環　境　科　学　会
Society of Environmental Science, Japan

環境科学会 2022 年会

講演要旨集

期日：　2022 年 9 月 8 日(木)～9 月 9 日(金)
会場：　オンライン開催

公 益 社 団 法 人
環　境　科　学　会

環境科学会 2022年会

日　程：　2022 年 9 月 8 日（木）～ 9 日（金）

場　所：　オンライン開催

主　催：　公益社団法人 環境科学会

年会への参加登録：

・発表申込をされた方を含め，本年会に参加されるすべての方に「参加登録」が必要です。

・参加登録には，下記URLの参加登録WEBシステムを利用した登録と参加費の振り込みが必要です。オンライン開催のため現金払いはできません。また，8月30日（火）17：00までに参加登録と振込払いの確認が出来ない場合，年会に参加いただけなくなるため注意してください。

年会案内WEB サイト：http://www.ses.or.jp/conference/2022conf/

※ アカウントは，発表申込と参加登録で共通です。先に発表申込を済ませた方は，同じアカウントで参加登録をしてください。

年会参加費：

・発表される場合（シンポジウム登壇を除いて発表には会員資格が必要です）

登録・支払日時	正会員	準会員	非会員	非会員（学生）	名誉会員 シニアフェロー 高校生
早期登録 （8月17日17：00まで）	6,000 円	3,000 円	9,000 円	5,000 円	無料 （参加登録は必要）
直前登録 （8月30日17：00まで）	8,000 円	4,000 円	11,000 円	6,000 円	

交流会費：

2022年会では交流会は中止です。

振り込み先：

郵便振替あるいは銀行振込のいずれかをご利用ください。

① 郵便振替：

振替口座　　記号番号 00190-0-791543

加入者名　　公益社団法人 環境科学会

② 銀行振込　（他の銀行からお振込みの場合）：

銀行口座　　ゆうちょ銀行 〇一九 当座 0791543

名 義 人　　シヤ）カンキヨウカガクカイ

※ 納入いただいた参加費等は返金できませんので，ご留意ください。

※ 振込取扱票の「通信欄」に「住所」「氏名」「参加登録番号」をご記入ください。

※ 振込手数料は参加者様にてご負担ください。

表彰式，記念講演：

日　時：９月９日（金）16：10 ～ 17：50
場　所：オンライン開催（Zoom）
受賞者：学会賞（1名）
　　学術賞（2名）
　　奨励賞（2名）
　　論文賞（2編）
　　優秀研究企画賞（2名）
　　博士課程学生研究奨励賞（1名）
　　高校活動奨励賞（2名）
表彰式ののち，学会賞受賞記念講演を行います。

交流会：

オンライン開催のため行いません。

※問合わせ先※

1）研究発表・参加登録・プログラム・会場・その他に関するお問い合わせ
公益社団法人 環境科学会 年会委員会（E-mail：nenkai@ses.or.jp）
2）入会手続きに関するお問い合わせ
公益社団法人 環境科学会 事務局
TEL: 03-6824-9383 FAX: 03-5227-8631
E-mail：sesj-office@bunken.co.jp

参加者の皆様へ

口頭発表に参加される際の注意事項

・口頭発表はオンライン会議システムZoomを用いて行います。
(Zoomのインストール方法や基本的な使い方はご自身で調べてください)
・Zoomは事前に最新バージョンに更新をお願いします。
・年会ホームページに掲載されている2022年会Zoomリンク付きタイムテーブルよりZoomのセッション会場への参加をお願いします。
・各会場のZoomに参加される際には、Zoomの名前を「氏名＿所属」に変更をお願いします。
名前の変更をしていただけない場合、セッションから退室となる場合がありますのでご注意ください。
・発表中の画面の撮影、録画、録音は行わないでください。
・発表中はカメラ、マイクをオフにしてください。
・質問がある場合は、Zoomのチャット機能に「質問があります」と入力し、座長から指名されるまで待ち、指名されたらカメラ、マイクをオンにして質問してください。発表時間が超過している場合等、座長から指名されないこともありますので、ご了承ください。

ポスター発表に参加される場合の注意事項

・オンラインでの発表と質疑応答（9月8日13：30～14：30）ので構成されています。
・発表と質疑応答はオンライン会議システムZoomのブレイクアウトルームを用いて行います。
・ポスター発表用のZoom会場は2会場となります。プログラムより各会場の発表者を確認いただき、Zoomに参加し、その中の各発表者のブレイクアウトルームに入室をお願いします。
・参加される際には、Zoomの名前を「氏名＿所属」に変更をお願いします。
(名前の変更方法はページ下部に簡単な説明があります)
・ブレイクアウトルーム入室前にカメラ、マイクは一旦オフにしていただき、目的のブレイクアウトルームに入室をお願いいたします。入室後、先に入室している参加者と発表者との質疑応答が行われている場合には、その参加者と発表者との質疑応答が終わるまで、マイク、カメラはオフのままお待ちください。先に入室している参加者がいない場合は、マイク、カメラをオンにし、発表者に発表の依頼をし、その後、質疑応答をお願いします。
・発表中の画面の撮影、録画、録音は行わないでください。

発表者の皆様へ

口頭発表、ポスター発表の共通注意事項

・口頭発表はオンライン会議システムZoomを用いて行います。
（Zoomのインストール方法や基本的な使い方はご自身で調べてください）
・Zoomは事前に最新バージョンに更新をお願いいたします。
・年会ホームページに掲載されている2022年会Zoomリンク付きタイムテーブルよりZoomのセッション会場への参加をお願いします。

口頭発表の共通注意事項

・ご自身が発表されるセッションの開始10分前までに会場のZoomに参加ください。
・Zoomの名前を「発表番号＿氏名＿所属」に変更をお願いします。
・発表者は自ら画面共有を使ってパワーポイント等の資料を提示・操作し，発表してください。
（事前に画面共有等のテストを行う日時は参加登録時に登録頂いたメールアドレスにお知らせいたします。）
・発表中はカメラ、マイクをオンにしてください。（他の発表者が発表中はカメラ、マイクはオフにしてください）
・発表時間は1件15分（発表10分＋質疑応答および入れ替え含めて5 分）を厳守してください。
・会場係が以下の時間にアラーム音にて時間経過をお知らせいたします。
発表開始7分経過（1回目のアラーム音）
発表開始10分経過（2回目のアラーム音）
発表開始14分経過（3回目のアラーム音）
3回目のアラーム音が鳴ったら、質疑応答を終了してください。
・発表時間の超過は次のセッション開始に影響いたしますのでご注意ください。
・参加者から質問がある場合は、参加者がZoomのチャット機能に「質問があります」と入力します。座長が質問のある参加者を指名し、指名された参加者がカメラ、マイクをオンにして質問しますので、対応をお願いします。

ポスター発表の共通注意事項

・ポスター発表はオンラインでの発表と質疑応答で構成されています。
・発表と質疑応答はオンライン会議システムZoomのブレイクアウトルームを用いて9月8日 13：30～14：30（コアタイム　14：00～14：30）に行います。
・Zoomは事前に最新バージョンに更新をお願いします。
・年会ホームページに掲載されている2022年会Zoomリンク付きタイムテーブルよりポスター会場のZoomへの参加をお願いします。
・ポスター発表用の会場は、当日（9月8日）の11:00には入れるようになっておりますので、発表開始（13：30）までにご自身のポスター番号のブレイクアウトルームに入室し、待機をお願いします。
・Zoomの名前を「ポスター番号＿氏名＿所属」に変更をお願いします。
（名前の変更方法はページ下部に簡単な説明があります）
・画面共有の確認が必要な場合は、会場に「会場係」がおりますのでお声がけいただき、各ブレイクアウトルームにて画面共有の確認等をお願いします。
・9月8日13：30～14：30の間、ご自分のブレイクアウトルームに参加者が入室されたら、パワーポイントなどのポスターの画面を共有して説明を数分程度で行い、その後、質疑応答を行ってください。複数の参加者が同時に入室された場合は、先に入室された参加者を優先して対応をお願いします。

公益社団法人 環境科学会 2022年会 タイムテーブル

会場名		A会場	B会場	C会場	D会場	ポスター会場
部屋		Zoom 1	Zoom 2	Zoom 3	Zoom 4	
9月8日（木）	9:00					
	9:15					
	9:30	シンポジウム-1 気候変動政策の転換を地域主導で進めるための体制・道具・人材 白井信雄 増原直樹 9:30～12:00	シンポジウム-2 わが国の地球温暖化対策の現状と課題 大塚直 柳憲一郎 9:30～12:00	シンポジウム-3 化学物質の環境モニタリングとリスクの評価・管理手法の今後 小林剛 高橋ゆかり 9:30～12:00	口頭発表1D-1 循環型社会 9:30～10:30 杉本賢二	
	9:45					
	10:00					
	10:15					
	10:30					
	10:45				口頭発表1D-2 食品の消費と廃棄 10:45～12:00 田畑智博	
	11:00					
	11:15					
	11:30					
	11:45					
	12:00	昼休み 12:00～14:30				
	12:15					
	12:30					
	12:45					
	13:00					
	13:15					
	13:30					
	13:45					ポスター発表・討論 13:30～14:30 （コアタイム　14:00～14:30）
	14:00					
	14:15					
	14:30	シンポジウム-4 環境汚染物質の網羅的分析手法の開発状況 亀屋隆志 高梨啓和 14:30～17:00	口頭発表1B-3 事業活動と環境 14:30～15:45 松本亨	口頭発表1C-3 気候変動適応 14:30～15:45 大塚佳臣	口頭発表1D-3 ライフスタイルと評価 14:30～15:45 青木えり	
	14:45					
	15:00					
	15:15					
	15:30					
	15:45					
	16:00		口頭発表1B-4 環境社会評価システム 16:00～17:15 藤山淳史	口頭発表1C-4 再生可能エネルギー 16:00～17:15 金森有子	口頭発表1D-4 環境活動と地域 16:00～17:00 竹内彩乃	
	16:15					
	16:30					
	16:45					
	17:00					

会場名		A会場	B会場	C会場	D会場	ポスター会場
部屋		Zoom 1	Zoom 2	Zoom 3	Zoom 4	
9月9日（金）	9:00					
	9:15					
	9:30	シンポジウム-5 地域の脱炭素化：次世代エネルギーと公共調達の観点から考える 宮本拓郎 有村俊秀 9:30～12:00	シンポジウム-7 持続可能な未来都市に向けた分析・計画・実装 松橋啓介 原圭史郎 9:30～12:00	口頭発表2C-1 センシング 9:30～10:45 島崎洋一	口頭発表2D-1 分析法 9:30～10:45 亀屋隆志	
	9:45					
	10:00					
	10:15					
	10:30					
	10:45					
	11:00			口頭発表2C-2 微小粒子状物質 11:00～12:00 野呂和嗣	口頭発表2D-2 一斉分析 11:00～12:00 高梨啓和	
	11:15					
	11:30					
	11:45					
	12:00	昼休み 12:00～13:30				
	12:15					
	12:30					
	12:45					
	13:00					
	13:15				口頭発表2D-3 政策・国際 13:15～14:30 森田香菜子	ポスター発表はありません。
	13:30	シンポジウム-6 脱炭素化に貢献するモビリティ革命のあり方をさぐる 加藤博和 朴秀日 13:30～16:00	シンポジウム-8 PBL としてのSDGs 活動：継続的な活動による能力開発の評価手法の検討 杉本卓也 中口毅博 13:30～16:00	シンポジウム-9 多様な学問分野における環境科学研究の最前線 山本佳世子 岩本茂子 13:30～16:00		
	13:45					
	14:00					
	14:15					
	14:30					
	14:45				口頭発表2D-4 環境浄化 14:45～16:00 鈴木裕識	
	15:00					
	15:15					
	15:30					
	15:45					
	16:00					
	16:15	表彰式・学会賞受賞記念講演 16:10～17:50				
	16:30					
	16:45					
	17:00					
	17:15					
	17:30					
	17:45					
	18:00					

※　シンポジウムの枠内の氏名はオーガナイザー，口頭発表セッションの枠内の氏名は座長です。

口頭発表（一般発表）

【1 日目（9 月 8 日）午前】

口頭発表 1D-1 「循環型社会」 D 会場（Zoom）9：30～10：30
座長：杉本賢二（大阪公立大学）

1D-0930 車載用 LiB の将来廃棄量の推計と二次利用の可能性
○渡邊一史（立命館大学), 橋本征ニ（立命館大学）

1D-0945 Circular Economy 戦略の評価に向けたストック・フロー・シミュレータの開発
○藤井雄介，村上進亮（東京大学），小出瑠（東京大学，国立環境研究所），
山本悠久（国立環境研究所）

1D-1000 日本版 SSP シナリオに基づく人口変化に伴う下水道ストックの将来推計
○松代竜毅（名古屋大学），山下奈穂，蛭田有希，白川博章，谷川寛樹（名古屋大学）

1D-1015 経年建物 GIS データの構築と建物動体の時空間分析
○杉本賢二（大阪公立大学），奥岡桂次郎（岐阜大学），秋山祐樹（東京都市大学）

口頭発表 1D-2 「食品の消費と廃棄」 D 会場（IB011）10：45～12：00
座長：田畑智博（神戸大学）

1D-1045 High resolution data-driven approach for analyzing the environmental impact of diets and sociocultural dietary trends: Shift in the role of seafood as a protein source in Japan
○スチュワートヘレン，鈴木彩，中村亨，久田正樹（NTT 宇宙環境エネルギー研究所）

1D-1100 食品リサイクルを利用した畜産物の消費者選好の推定
○諏訪竜夫（山口大学），涂懐静（招商銀行）

1D-1115 大学生のコンポストづくりと食品廃棄物に対する考え方：2 ヶ月間追跡調査
○袁博子，加藤尊秋（北九州市立大学）

1D-1130 食品ロス問題のメッセージの見せ方と反応
○沼田大輔，齋藤淳也，増田汐莉，菅原レナ，董思瑛，橋本大陸（福島大学）

1D-1145 家庭系食品ロス発生量の推計方法に関する一考察
○金森有子（国立環境研究所）

【1 日目（9 月 8 日）午後】

口頭発表 1B-3 「事業活動と環境」 B 会場（Zoom）14：30～15：45
座長：松本亨（北九州市立大学）

1B-1430 日本企業の循環経済への取組実施状況に関する一考察―SDGs 実態調査から
棚澤理奈，加藤瑞紀，小野田真二，○粟生木千佳（（公財）地球環境戦略研究機関）

1B-1445 都有施設における省エネ対策に関するヒアリング調査
○藤井康平（北星学園大学），片野博明，小谷野眞司（東京都環境科学研究所）

1B-1500 オフィスビルを対象とした PV･EV･BT 連携の有効性に関する研究
○カオリルトフィア，松本亨，藤山淳史（北九州市立大学）

1B-1515 都内中小規模事業所における省エネ動機に関するアンケート調査
○片野博明（東京都環境科学研究所），藤井康平（北星学園大学）

1B-1530 東京都の業務部門における 2030 年までの二酸化炭素排出量半減の達成シナリオの分析
○片野博明（東京工業大学），増井利彦（国立環境研究所）

口頭発表 1B-4 「環境社会評価システム」 B 会場（Zoom）16：00～17：15

座長：藤山淳史（北九州市立大学）

1B-1600 **【論文賞受賞記念講演】**
木造住宅と森林の木材需給を考慮した炭素ストックのシナリオ分析
○山下奈穂（名古屋大学），加用千裕（東京農工大学），谷川寛樹（名古屋大学）

1B-1615 国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンネットワーク設計： 日本への影響
○長尾剛樹，伊集院大将（電気通信大学），長沢敬佑（広島大学），山田哲男（電気通信大学）

1B-1630 わが国の食品ロス削減による国際食料市場を通した環境・経済・社会への影響
○棟居洋介（東京工業大学），増井利彦，金森有子（国立環境研究所）

1B-1645 Optimizing the Collection System of Industrial Plastic Waste by Using Machine Learning
○叢日超，藤山淳史，松本亨（北九州市立大学）

1B-1700 損失幸福余命を用いた福島災害後の放射線被ばく，糖尿病，心理的苦痛のリスク比較
○村上道夫（大阪大学，福島県立医科大学），尾崎章彦（福島県立医科大学，
ときわ会常磐病院），小野恭子（産業技術総合研究所），野村周平（東京大学，慶應義塾大学），竹林由武，坪倉正治（福島県立医科大学）

口頭発表 1C-3 「気候変動適応」 C 会場（Zoom）14：30～15：45

座長：大塚佳臣（東洋大学）

1C-1430 滋賀県における適応策の進捗管理に用いるための気候変動に対する脆弱性評価の試み
○河瀬玲奈，一瀬護，木村道徳（琵琶湖環境科学研究センター）

1C-1445 気候変動適応策優先順位付けのための意思決定分析:システマティックレビュー
○天沼絵理，藤井実，中島謙一，肱岡靖明（東京大学，国立環境研究所）

1C-1500 **【優秀研究企画賞受賞記念講演】**
気候変動の影響に関する地域住民の実感 ―熊本県南小国町黒川温泉地域を対象として―
○岩見麻子（熊本県立大学）

1C-1515 河川の活動性・軽明性印象は水害における共助防災行動を促す
○唐津遼大郎，甲斐田直子（筑波大学，産業技術総合研究所），
甲斐田幸佐（産業技術総合研究所）

1C-1530 行動意図に影響を与える日常生活要素の主成分分析と暗黙知の関係について
○菅原玲（東北大学），古川柳蔵（東京都市大学）

口頭発表 1C-4 「再生可能エネルギー」 C 会場（Zoom）16：00～17：15

座長：金森有子（国立環境研究所）

1C-1600 中部圏 3 県の再エネ率向上によるカーボンフットプリント削減効果の環境拡張産業連関分析
○佐藤一朗，成田大樹（東京大学）

1C-1615 洋上風力発電への受容性に対するナッジの効果
○小松秀徳，窪田ひろみ，永井雄宇，朝野賢司（(一財）電力中央研究所）

1C-1630 洋上風力事業が地域経済に与える影響 -長崎県五島市の事例から
○森基哉（東京工業大学），増井利彦，金森有子（国立環境研究所），棟居洋介（東京工業大学）

1C-1645 長期的な設備容量を考慮した太陽光パネルの排出動向に係る分析
○松岡賢， 村上進亮（東京大学）

1C-1700 **【奨励賞受賞記念講演】**
環境経済学手法による環境・エネルギー政策の評価：家庭部門を中心に
○森田稔（高崎経済大学）

口頭発表 1D-3 「ライフスタイルと評価」 D 会場（Zoom）14：30～15：45

座長：青木えり（東洋大学）

1D-1430 在宅勤務による働き方と生活時間の変化
○青木えり，平松あい，花木啓祐（東洋大学）

1D-1445 ガソリン車と電気自動車の利用者が得られる QOL 比較評価
○窪田まど華（富士電機株式会社），林良嗣（中部大学），松本康（富士電機株式会社），
竹下博之（中部大学）

1D-1500 中国の環境配慮行動における社会関係資本の役割 -CGSS2010 による分析-
○夏葉城，平尾桂子（上智大学）

1D-1515 南京市における消費者のレジ袋使用の特徴
○周月，加藤尊秋，二渡了（北九州市立大学）

1D-1530 使用済みプラスチック容器店頭回収システムの消費者選好評価
○藤山淳史，入江杏南，松本亨（北九州市立大学）

口頭発表 1D-4 「環境活動と地域」 D 会場（Zoom）16：00～17：00

座長：竹内彩乃（東邦大学）

1D-1600 自治体における気候市民会議：イギリスの実例と脱炭素かわさき市民会議の比較からの示唆
○河野真貴子，柳下正治（環境政策対話研究所）

1D-1615 ローカル SDGs 達成のための都道府県別社会活動人口の推計
○中口毅博（芝浦工業大学）

1D-1630 自然エネルギー大学リーグによる脱炭素化の推進
○原科幸彦（千葉商科大学）

1D-1645 **【奨励賞受賞記念講演】**
環境問題の解決に向けた人材育成
○竹内彩乃（東邦大学）

【2 日目（9 月 9 日）午前】

口頭発表 2C-1 「センシング」 C 会場（Zoom）9：30～10：45

座長：島崎洋一（山梨大学）

2C-0930 果樹作付と土性区分のオーバーレイ解析
○島崎洋一（山梨大学）

2C-0945 UAV を用いた環境保全型農業における水稲への窒素固定量評価
-比企丘陵 日向沼直下の谷津田の事例-
○後藤真太郎，佐藤響平，横山和成，向高新（立正大学）

2C-1000 低頻度･中分解能人工衛星データと自作固定翼機材の可能性
○松村寛一郎（東京農業大学），Stanley Anak Suab，Ram Avtar，Hitesh Supe（北海道大学），
杉本賢二（大阪公立大学），一ノ瀬俊明（国立環境研究所）

2C-1015 東京都における日射量と地表面温度の関係に関する考察
○白木洋平（立正大学），一ノ瀬俊明，平野勇二郎（国立環境研究所），
大西暁生（横浜市立大学）

2C-1030 リモートセンシング分野における都市熱環境研究のミスリード
○一ノ瀬俊明（国立環境研究所，名古屋大学）

口頭発表 2C-2 「微小粒子状物質」 C 会場（Zoom）11：00～12：00
座長：野呂和嗣（静岡県立大学）

2C-1100 ナノマイクロプラスチックの科学的不確実性を伴うリスクに対する法的制御の可能性について
-ナノ領域の廃棄物に関する日本の現状と課題を事例に-
○中山敬太（早稲田大学）

2C-1115 南極地域の環境計測における新たな試み
～昭和基地と雪鳥沢におけるバイオエアロゾル種組成変化～
○小林史尚（弘前大学）

2C-1130 Fe(III)イオンとペクチンによるナノプラスチックの凝集沈殿に関する研究
○小森直哉，森脇洋，秋山佳丈（信州大学）

2C-1145 **【博士課程学生研究奨励賞受賞記念講演】**
Photodegradation of chlorophenols adsorbed on plastics in seawater
○ハッサンエムデイナズムル，中井智司，後藤健彦，WataruNishijima（広島大学）

口頭発表 2D-1 「分析法」 D 会場（Zoom）9：30～10：45
座長：亀屋隆志（横浜国立大学）

2D-0930 撥水スプレー剤に含まれる POPs 関連フッ素化合物の実態調査
○齋藤隼輝（横浜国立大学），王斉（静岡県立大学），松神秀徳（国立環境研究所），
三宅祐一（横浜国立大学）

2D-0945 拡散型パッシブサンプラーを用いた揮発性有機化合物の個人曝露評価のためのサンプリングレート推算法の検討
○高橋佑果（横浜国立大学），王斉，雨谷敬史（静岡県立大学），福島靖弘，
鈴木義浩（柴田科学株式会社），三宅祐一（横浜国立大学）

2D-1000 **【優秀研究企画賞受賞記念講演】**
パッシブサンプラーを用いた揮発性有機化合物の個人曝露量の予測手法の開発と応用
○王斉（静岡県立大学），高橋佑果，三宅祐一（横浜国立大学），徳村雅弘，
雨谷敬史（静岡県立大学），福島靖弘，鈴木義浩（柴田科学株式会社）

2D-1015 シリコーンリストバンドを用いたパッシブ法における多環芳香族炭化水素類とそのハロゲン化誘導体の物質存在状態別の捕集速度への影響
○田川瑛梨（横浜国立大学），多田智彦，王斉，雨谷敬史（静岡県立大学），
三宅祐一（横浜国立大学）

2D-1030 **【論文賞受賞記念講演】**
イミダクロプリド-ジオール体((*N*-(1-((6-クロロピリジン-3-イル)メチル)-4,5-ジヒドロキシイミダゾリジン-2-イリデン)ニトラミド))の実環境試料からの検出と急性毒性評価
○橋本扶美（いであ株式会社），高梨啓和，中島常憲，上田岳彦，門川淳一（鹿児島大学），
宮本信一，石川英律（いであ株式会社）

口頭発表 2D-2 「一斉分析」 D 会場（Zoom）11：00～12：00
座長：高梨啓和（鹿児島大学）

2D-1100 GC-MS AIQS-DB 分析を活用した河川水中未規制有機汚染物質のスクリーニング
○根本幸弥，亀屋隆志（横浜国立大学）

2D-1115 保持時間と質量スペクトル類似度による 1466 種半揮発性有害物質の誤同定検証
○清水大佑，亀屋隆志（横浜国立大学）

2D-1130 環境リスク懸念物質の GC-CI-MS/MS による分析
○大高悟，亀屋隆志，根本幸弥，寺岡沙紀（横浜国立大学）

2D-1145 パキスタン・パンジャブ平原シャニオット地域の地下水中の微量元素組成の特徴
○吉田充夫（(一社）国際環境協力ネットワーク），Naseer AhmadMirza（Nusrat Jahan College）

口頭発表 2D-3 「政策・国際」 D 会場（Zoom）13：15～14：30

座長：森田香菜子（森林総合研究所）

2D-1315 海洋利用の現状および海洋生態系との相互作用に関する課題
○鈴木彩，小山晃，中村亨，久田正樹（日本電信電話株式会社）

2D-1330 南極海保全レジームにおける制度間相互作用
○大久保彩子（東海大学）

2D-1345 気候変動対策と生物多様性保全の両立に向けた政策的・科学的課題
○森田香菜子（森林研究・整備機構　森林総合研究所），松本健一（東洋大学）

2D-1400 Does Emissions Trading Scheme Induce Innovation and Carbon Leakage? Evidence from Japan
○呂冠宇（早稲田大学），定行泰甫（成城大学），有村俊秀　（早稲田大学）

2D-1415 Government Policies Combatting Single-use Plastic Products Pollution in Taiwan
○蔡佩宜，大西暁生（横浜市立大学）

口頭発表 2D-4 「環境浄化」 D 会場（Zoom）14：45～16：00

座長：鈴木裕識（岐阜大学）

2D-1445 サステナブルレメディエーション手法を用いた鉛表層土壌汚染地での対策手法の検討
○万晟吉，半田千智，深谷亮太，李京，小林剛（横浜国立大学）

2D-1500 「発表取り消し」

2D-1515 揮発性有機塩素化合物による土壌への長期吸着挙動の粒径分布を考慮した解析の検討
○李京，小林剛（横浜国立大学）

2D-1530 牧草地における雑草の判別と持続可能な駆除方法
○松村寛一郎（東京農業大学），脇健太郎，松阪勝利（株式会社丹波屋），
中山卓士（東洋電装株式会社）

2D-1545 **【高校活動奨励賞受賞記念講演】**
開発途上国の水質汚染抑制と生活雑排水の浄化
○新田遥加，中居泉穂，寺沢ゆき，佐々木昌虎，掛端博貴，
大坊拓也（青森県立名久井農業高等学校）

ポスター発表（優秀発表賞応募発表を含む）

発表・質疑応答：9 月 8 日（木）13：30〜14：30（うち，14：00〜14：30 は「コアタイム」とします）

※　発表者は各自のポスター番号の Zoom ブレイクアウトルームにて待機し，参加者への発表，質疑応答を行ってください。

ポスター発表の Zoom 会場は 2 会場となります。
ご自身の発表番号からご確認ください。
会場①：P-01〜P-20
会場②：P-21〜P-46

P-01　陸水域に生息する水生ダニ類相と水質評価Ⅱ
〇沢登美海，北出乃愛（山梨英和高校）

P-02　ウキクサと微生物による水質浄化のための培養方法
〇池田遥音，熊谷菜月，高橋栞奈（山梨英和高等学校）

P-03　家庭用ゲーム機に含まれるリン系難燃剤の実態調査とその使用に伴う経皮曝露量の推定
〇西山裕那，石田真穂，徳村雅弘，王斉，雨谷敬史，牧野正和（静岡県立大学）

P-04　ウォーターサーバーの水中に含まれる有機リン化合物の初期曝露評価
〇内田亜美，石田真穂，徳村雅弘，王斉，雨谷敬史，牧野正和（静岡県立大学）

P-05　**【高校活動奨励賞受賞記念発表】**
アサリのカップリング〜密集度と生殖の関係〜
〇高稲健翔，田上進之介，中原翔（宮崎県立宮崎北高等学校）

P-06　室内空気中のイソシアネートの濃度およびその潜在的発生源である製品中の濃度調査
〇柿本祐奈，王斉，野呂和嗣（静岡県立大学），三宅祐一（横浜国立大学），雨谷敬史（静岡県立大学）

P-07　有機リン化合物のアセチルコリンエステラーゼ阻害機序に関する研究
〇高下泰地，徳村雅弘，牧野正和（静岡県立大学）

P-08　ペットボトルリサイクル推進のための社会実験
土肥竜之介，〇石倉優大，小黒哲寛，柴田大至，白石渉，西川修平，森萌（早稲田大学）

P-09　理想的なまち・2050 〜 春日井市におけるケーススタディー 〜
〇山内梨湖（南山高等学校女子部），星野しずか（愛知県立旭丘高等学校），
足立心愛 (国立名古屋大学教育学部付属高等学校)

P-10　「発表取り消し」

P-11　シリコーンリストバンドを用いたパッシブ法における多環芳香族炭化水素類とそのハロゲン化誘導体の物質存在状態別の捕集速度への影響
〇田川瑛梨（横浜国立大学），多田智彦，王斉，雨谷敬史（静岡県立大学），三宅祐一（横浜国立大学）

P-12　拡散型パッシブサンプラーを用いた揮発性有機化合物の個人曝露評価のためのサンプリングレート推算法の検討
〇高橋佑果（横浜国立大学），王斉，雨谷敬史（静岡県立大学），福島靖弘，
鈴木義浩（柴田科学株式会社），三宅祐一（横浜国立大学）

P-13　撥水スプレー剤に含まれる POPs 関連フッ素化合物の実態調査
〇齋藤隼輝（横浜国立大学），王斉（静岡県立大学），松神秀徳（国立環境研究所），
三宅祐一（横浜国立大学）

P-14　ヒ素置換型ヒドロキシアパタイトを用いた水田土壌中ヒ素不溶化
○古賀朝陽，徳満敦哉，高梨啓和，中島常憲（鹿児島大学）

P-15　「発表取り消し」

P-16　鉄を用いた新たな除去機構による空気中ホルムアルデヒドの除去とその評価
○大森果菜，徳村雅弘，牧野正和（静岡県立大学），達晃一（いすゞ自動車株式会社），三上紗弥香，榎本剛司（日本電子株式会社）

P-17　製品との非接触時における皮膚中残留化学物質の経皮曝露を考慮するためのモデル構築
○石田真穂，徳村雅弘，王斉，雨谷敬史，牧野正和（静岡県立大学）

P-18　脱炭素社会へ向けた技術シーズのシナリオ評価ー吹田市のケーススタディ
○岩崎豊（大阪大学），小端拓郎（東北大学），渕上ゆかり，原圭史郎（大阪大学）

P-19　東京都・埼玉県の排出量取引におけるカーボンリーケージの動向
○井山智資（早稲田大学）

P-20　滞留年数の延長による将来ストックフロー及び CO_2 排出量への影響評価　-道路におけるケーススタディ-
○藤川奈々，山下奈穂，蛭田有希，白川博章，谷川寛樹（名古屋大学）

P-21　各種酸化法を用いた残留抗菌剤除去における実排水中夾雑物質が処理性能に及ぼす影響評価
○西村有里，鰐川雅花，徳村雅弘，王斉（静岡県立大学），
HossainAnwar，RaknuzzamanMohammad（ダッカ大学），雨谷敬史，牧野正和（静岡県立大学）

P-22　光触媒酸化によるバイオガス発電システムから得られる液体肥料の高付加価値化の検討
○澁谷柊介，徳村雅弘（静岡県立大学），矢部光保（九州大学），牧野正和（静岡県立大学）

P-23　Influences of population aging on household carbon footprint in the U.S.
○王家歓，重富陽介，山本裕基（長崎大学）

P-24　南京市における消費者のレジ袋使用の特徴
○周月，加藤尊秋，二渡了（北九州市立大学）

P-25　大学生のコンポストづくりと食品廃棄物に対する考え方：2 ヶ月間追跡調査
○袁博子，加藤尊秋（北九州市立大学）

P-26　保持時間と質量スペクトル類似度による 1466 種半揮発性有害物質の誤同定検証
○清水大佑，亀屋隆志（横浜国立大学）

P-27　GC-MS AIQS-DB 分析を活用した河川水中未規制有機汚染物質のスクリーニング
○根本幸弥，亀屋隆志（横浜国立大学）

P-28　Fe(III)イオンとペクチンによるナノプラスチックの凝集沈殿に関する研究
○小森直哉，森脇洋，秋山佳丈（信州大学）

P-29　車載用 LiB の将来廃棄量の推計と二次利用の可能性
○渡邊一史（立命館大学），橋本征ニ（立命館大学）

P-30　環境リスク懸念物質の GC-CI-MS/MS による分析
○大高悟，亀屋隆志，根本幸弥，寺岡沙紀（横浜国立大学）

P-31　洋上風力事業が地域経済に与える影響 -長崎県五島市の事例から
○森基哉（東京工業大学），増井利彦，金森有子（国立環境研究所），棟居洋介（東京工業大学）

P-32　オフィスビルを対象とした PV･EV･BT 連携の有効性に関する研究
○カオリルトフィア，松本亨，藤山淳史（北九州市立大学）

P-33　国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンネットワーク設計： 日本への影響
○長尾剛樹，伊集院大将（電気通信大学），長沢敬佑（広島大学），山田哲男（電気通信大学）

P-34　多環芳香族炭化水素類の光増感作用によるポリエチレンの劣化促進効果の評価
○野呂和嗣，雨谷敬史（静岡県立大学），矢吹芳教（大阪環農水研）

P-35　中国の環境配慮行動における社会関係資本の役割 ―CGSS2010 による分析―
○夏葉城，平尾桂子（上智大学）

P-36　気候変動適応策優先順位付けのための意思決定分析:システマティックレビュー
○天沼絵理，藤井実，中島謙一，肱岡靖明（東京大学，国立環境研究所）

P-37　ナノマイクロプラスチックの科学的不確実性を伴うリスクに対する法的制御の可能性について
-ナノ領域の廃棄物に関する日本の現状と課題を事例に-
〇中山敬太（早稲田大学）

P-38　アスベスト対策のための指導履歴に基づいた解体工事立入計画の検討
〇豊永悟史（熊本県保健環境科学研究所），古澤尚英（熊本県人吉保健所，熊本県宇城保健所），
中島尚哉，山形卓（熊本県環境生活部環境局環境保全課）

P-39　エシカル消費と関係人口の視点からみたふるさと納税の考察
上村青（神戸大学），大西暁生（横浜市立大学），〇田畑智博（神戸大学）

P-40　再生可能エネルギーが地域経済循環にもたらす影響について
-設備所在地と事業者所在地の関係性からみた分析-
〇岩川貴志，金再奎（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）

P-41　再生可能エネルギーの自然災害発生時の活用可能性について　-滋賀県の事例より-
〇金再奎，岩川貴志，松井亜紀（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）

P-42　インタビュー調査による地方環境研究所の研究成果が行政活用されるための条件の探索
〇豊永悟史（熊本県保健環境科学研究所），小原大翼（熊本県保健環境科学研究所，
熊本県環境生活部環境局環境保全課），宮崎康平（熊本県保健環境科学研究所），
古澤尚英（熊本県人吉保健所，熊本県宇城保健所）

P-43　ツマジロの諸臓器における水銀およびセレン濃度の関係
〇丸本倍美，坂本峰至，丸本幸治（国立水俣病総合研究センター）

P-44　「発表取り消し」

P-45　「発表取り消し」

P-46　日々の買物意識が自宅の片づけに与える影響
〇吉田綾（国立環境研究所）

企画シンポジウム

【１日目】

シンポジウムー1　　9 月 8 日（木）　オンライン　9：30 ～ 12：00

「気候変動政策の転換を地域主導で進めるための体制・道具・人材」

オーガナイザー　白井信雄（武蔵野大学）教授

増原直樹（兵庫県立大学）准教授

挨　　拶：白井信雄（武蔵野大学）教授

趣旨説明：気候の非常事態が露わになるなか、カーボンゼロ社会実現のためには、これまでの政策の体制や道具（方法論）の転換（トランジション）が必要であり、地域で転換の実践をコーディネイトする気候変動政策マネジャーの育成と活躍が必要になっている。また、カーボンゼロのための緩和策とともに、適応策についても、地域への影響評価や関連施策の棚卸し段階から、より構造的な適応策に踏み込んだ実装を行う段階となっている。具体的にどのような政策の体制、道具が必要であるか、また緩和策と適応策をあわせて、地域政策を進める気候変動政策マネジャーはどのような仕事を担うべきか、どのように育成すべきか。国内外の地域の事例と試行を共有し、具体的な方策に関する意見交換を行う。

講 演 者：①「地域の気候変動政策等のマネジメント・コーディネイトの要件」

白井信雄（武蔵野大学）教授

②「オーストリアの気候変動政策のマネジャー制度の特色」

上園昌武（北海学園大学）教授

③「自治体エネルギー政策を支える中間支援組織の体制・機能」

平岡俊一（滋賀県立大学）准教授

④「長野県飯田市におけるエネルギー自治を進める制度の設計と運用」

田中克己（飯田市）課長

⑤「SDGs と脱炭素を両立する地域環境ガバナンス試論」

増原直樹（兵庫県立大学）准教授

総合討論

司　　会　増原直樹（兵庫県立大学）准教授、白井信雄（武蔵野大学）教授

シンポジウムー2　9月8日（木）　オンライン　9：30 ～ 12：00

「わが国の地球温暖化対策の現状と課題」

オーガナイザー　大塚直（早稲田大学）教授
柳憲一郎（明治大学）名誉教授

挨　　拶：大塚直（早稲田大学）教授

趣旨説明：わが国の地球温暖化対策の現状と課題について、様々な角度から検討・分析する。2050年のカーボンニュートラルに向けてわが国の地球温暖化対策は待ったなしの状態にあるが、そこには多くの課題が存在する。現在の関連する法状況を確認・分析し、その課題を検討することは極めて重要なことと思われる。シンポジウムは、総論、再生可能エネルギー導入促進と地球温暖化対策推進法、省エネ及び革新的技術開発の現状と課題、気候変動に対する適応、CCUSについて扱う。メンバーは、社会科学、自然科学の研究者、環境省の実務家で構成されており、その点においても独自性がある。

講 演 者：①「総論」
大塚直（早稲田大学）教授

②「電力―再生可能エネルギー導入促進と地球温暖化対策推進法」
錦澤滋雄　（東京工業大学）准教授

③「省エネ及び革新的技術開発の現状と課題」
小松英司（明治大学）環境法センター

④「適応」
角倉一郎（環境省）

⑤「CCUS」
柳憲一郎（明治大学）名誉教授

総合討論

司　　会：大塚直（早稲田大学）教授

シンポジウムー3　9月8日（木）　オンライン　9：30 ～ 12：00

学術賞受賞記念シンポジウム

「化学物質の環境モニタリングとリスクの評価・管理手法の今後」

プロジェクト名：化学物質管理戦略研究会共同企画

オーガナイザー　小林　剛（横浜国立大学）准教授
高橋ゆかり（富山国際大学）教授

挨　　拶：小林剛（横浜国立大学）准教授

趣旨説明：リスク懸念のある化学物質についてライフサイクルを通じて網羅的・体系的に管理する考え方が国際的にも求められている。国内でも化審法や化管法等の化学物質管理関連や大気・水・土壌などの環境媒体別の法制度の中でリスクに基づく管理について議論がされており、事業者によってもリスクに基づく管理が検討されるようになってきている。また近年では、事故・災害時の化学物質管理の必要性や室内汚染に伴う先天異常の懸念など新たな視点での化学物質管理の必要性も指摘されている。本シンポジウムでは、化学物質の環境モニタリング結果などを用いて、いかにリスク評価・管理すればよいか、多様な場面での現状やリスクに基づく管理を行う上での課題、関連の研究事例を紹介していただき、会場からもご意見をいただきながら今後の研究の展望について議論する。

講 演 者：①「事業所周辺の大気環境リスクの把握と管理」
亀屋隆志（横浜国立大学）教授

②**【学術賞受賞記念講演】**
「土壌汚染地における化学物質のモニタリングとリスク管理」
小林　剛（横浜国立大学）准教授

③「化学物質流出事故の防災減災に向けた環境社会リスク対応
稗貫峻一（横浜国立大学）IAS 客員准教授

④「室内環境での子どもに配慮した化学物質のモニタリングとリスク管理」
高橋ゆかり（富山国際大学）教授

総合討論

司　　会：高橋ゆかり（富山国際大学)、小林剛（横浜国立大学）

シンポジウムー4　9月8日（木）　オンライン　14：30 ～ 17：00

「環境汚染物質の網羅的分析手法の開発状況」

プロジェクト名：環境研究総合推進費 5G-2101

「水環境中の要調査項目調査へのターゲットスクリーニング分析の実装」

環境研究総合推進費 SⅡ-4

「ライフサイクル全体での化学物質管理に資する PRTR データの活用方策に関する研究」

環境科学会化学物質管理戦略研究会　の合同企画

オーガナイザー　亀屋隆志（横浜国立大学）教授

高梨啓和（鹿児島大学）准教授

挨　　拶：亀屋隆志（横浜国立大学）教授

趣旨説明：化学物質の包括的な管理手法は世界の潮流となり、化審法の優先評価化学物質や水環境リスクの知見集積が必要な要調査項目、有害大気汚染物質に該当する可能性のある物質、化管法指定物質など、数百種類以上に及ぶ汚染物質の環境リスクが懸念されている。これに対し、近年、汎用あるいは高分解能の質量分析計を用いて化学物質を網羅的に分析しようとする開発研究が環境総合研究推進費をはじめとして採択されている。本シンポジウムでは、環境分野での化学物質の網羅的な質量分析手法の開発・実装研究に先駆的に取り組んできている研究者が集まり、それぞれの手法の開発状況や活用事例について情報発信を行い、課題点や限界と今後の展望などについて議論する。

講 演 者：①「GC-EI-MS 自動同定定量 DB（AIQS-DB）収録物質の拡充」

亀屋隆志（横浜国立大学）教授

②「ポストキャリブレーション型網羅的探索のための DB 開発状況」

高梨啓和（鹿児島大学）准教授、中島常憲（鹿児島大学）准教授、澤井淳（いであ）グループ長、宮本信一（いであ）副本部長、後藤康之（いであ）主査研究員、戸田美沙（いであ）研究員、小久保貴幸（いであ）エキスパートエンジニア、鈴木裕識（岐阜大学）准教授

③「LC-QToF-MS による簡易・迅速なターゲットスクリーニングのためのデータベース整備状況」

鈴木裕識（岐阜大学）准教授、尾川裕紀（岐阜大学）修士課程学生、髙沢麻里（埼玉県環境科学国際センター）研究員、小口正弘（国立環境研究所）主幹研究員、亀屋隆志（横浜国立大学）教授、栗栖太（東京大学）教授

④「LC-HRMS を用いた要調査項目物質のターゲットスクリーニング分析」

栗栖　太（東京大学）教授

総合討論

司　　会：亀屋隆志（横浜国立大学）教授

【２日目】

シンポジウムー5　9月9日（金）　オンライン　9：30 ～ 12：00

「地域の脱炭素化：次世代エネルギーと公共調達の観点から考える」

プロジェクト名：環境研究総合推進費

「暗示的炭素価格を踏まえたカーボンプライシングの制度設計:効率性と地域経済間の公平性を目指して」

市村清新技術財団地球環境研究助成

「公共調達のデジタル化によるグリーン調達促進:自治体の脱炭素化」

旭硝子財団研究助成プログラム

「再生可能エネルギー普及に向けた需要･供給サイドの研究:日独比較を通じた経済分析」

科学研究費 22K01503

「自治体のグリーン購入方針―グリーン購入促進効果・グリーン購入の効果との関係性」

オーガナイザー　宮本拓郎（東北学院大学）准教授

有村俊秀（早稲田大学）教授

挨　　拶：有村俊秀（早稲田大学）教授

趣旨説明：地域の課題解決や魅力向上に向けた脱炭素への取り組みについて、再生可能エネルギーと公共調達の観点から考える。研究者による研究成果やその政策的な含意の報告だけでなく、次世代電力供給に取り組む企業や公共調達のグリーン化を支援するNGOの関係者にも、それらの現状と課題について現場の視点からご報告いただく。本企画を通じて、研究者による分析と現場の視点を融合し、地域の脱炭素化における産学官連携のあり方を模索したい。

講 演 者：①「最適な地域間潮流がもたらす効果の産業連関分析：地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の応用」

鷲津明由（早稲田大学）教授

②「GXプラットフォームによる地域脱炭素の取り組みについて」

岩崎哲（(株)アイ・グリッド・ラボ）取締役CTO

③「再生可能エネルギー普及における地域コミュニティとの対立とその克服について：日独の事例から」

有村俊秀（早稲田大学）教授

④「地方公共団体のグリーン購入取り組み状況　―調達方針の重要性―」

竹内孝曜（グリーン購入ネットワーク事務局）

⑤「グリーン調達方針による学習効果と家庭での消費行動との関係性」

矢島猶雅（早稲田大学）助教

総合討論

司　　会：宮本拓郎（東北学院大学）准教授

シンポジウムー6　9月9日（金）　オンライン　13：30 ～ 16：00

「脱炭素化に貢献するモビリティ革命のあり方をさぐる」

プロジェクト名：環境研究総合推進費【1G-2001】

「モビリティ革命が脱炭素化を実現するための条件」

オーガナイザー　加藤博和（名古屋大学）教授

朴秀日（名古屋大学）研究員

挨　　拶：加藤博和（名古屋大学）

趣旨説明：近年、CASEと呼ばれる自動車の根本的な変革や、新たなモビリティ・ツールの普及、そしてICTを活用したMaaS等の交通モード間連携の進展といった「モビリティ革命」とも呼ばれる動きが注目を浴びている。しかし、モビリティ革命が脱炭素化に貢献しうるか否かについて、学術的・客観的な評価検討は不十分である。本シンポジウムでは「モビリティ革命が脱炭素化を実現するためにどのような施策が必要か」について、関連研究の紹介を踏まえ議論する。

講 演 者：①「プロジェクト全体紹介」

加藤博和（名古屋大学）教授

②「交通システムの低炭素性評価の包括的方法論の開発」

森田紘圭（名古屋大学）客員准教授

朴秀日（名古屋大学）研究員

③「交通具・エネルギーに関する新技術の低炭素性評価」

井原雄人（早稲田大学スマート社会技術融合研究機構）研究院客員准教授

④「IT等交通マネジメントに関する新技術の低炭素性評価」

氏原岳人（岡山大学）

⑤「地域の人口・空間構造の長期変化に関する低炭素性評価」

松橋啓介（国立環境研究所）室長

総合討論・質疑応答

討 論 者：講演者が相互に行う

司　　会：加藤博和（名古屋大学）教授

シンポジウムー7　9月9日（金）　オンライン　9：30 ～ 12：00

学術賞受賞記念シンポジウム

「持続可能な未来都市に向けた分析・計画・実装」

プロジェクト名：環境研究総合推進費 1-2003

「地域資源と地域間連携を活用した地域循環共生圏の計画とその社会・経済効果の統合評価に関する研究」

オーガナイザー　松橋啓介（国立環境研究所）室長

原圭史郎（大阪大学）教授

趣旨説明：カーボンニュートラル、SDGs 等の観点から持続可能な未来都市の必要性が認識され、その実現に役立つ分析・計画・実装に関する研究の重要性が増しています。本シンポジウムでは、ゼロカーボンシティ、地域循環共生圏、SDGs 未来都市、フューチャー・デザインの観点から、地域資源の分析、持続可能性目標・指標の検討、将来像と到達シナリオの設計、実装に向けた統合的アプローチ等に関する研究紹介を行い、持続可能な未来都市への転換を加速するために何が必要か、意見交換を行います。

講 演 者：①**【学術賞受賞記念講演】**

「持続可能な社会設計に向けたシナリオ評価と社会への反映」

松橋啓介（国立環境研究所）室長

②「フューチャー・デザイン － 実践の方法論と研究課題」

原圭史郎（大阪大学）教授

③「脱炭素未来都市の社会実装研究にむけて」

藤田壮（東京大学）教授

④「エネルギー資源の地域循環を活用した脱炭素地域づくり」

芦名秀一（国立環境研究所）主席研究員

⑤「ストック型社会の構築に向けた地域の建設系物質代謝」

谷川寛樹（名古屋大学）教授

総合討論（モデレーター：藤田壮（東京大学）教授）

司　　会：原圭史郎（大阪大学）教授、松橋啓介（国立環境研究所）室長

シンポジウムー8　9月9日（金）　オンライン　13：30 ～ 16：00

「PBL としての SDGs 活動：継続的な活動による能力開発の評価手法の検討」

オーガナイザー　杉本卓也（千葉商科大学）准教授
中口毅博（芝浦工業大学）教授

挨　　拶：杉本卓也（千葉商科大学）准教授

趣旨説明：学生による課外活動には様々な種類があるが、近年では SDGs と関連した活動も行われている。一方で、大学は教育研究機関ということもあり、学生が活動を通じて何を学び、何を身に着けるかといった点も重要となる。

授業としての課題解決型学習（PBL：Project Based Learning）と学生活動の大きな違いの一つは、その期間であると言える。授業は学期毎に区切られることがあるが、学生活動は継続性のあるそれである。学生活動が継続して展開されていくことで、その過程で企画やプロジェクト管理、コミュニケーション能力といった社会人基礎力の修得と実践の機会が複数回確保される。

このシンポジウムでは、学生による継続展開される SDGs 活動を学修機会と捉え、活動を通じた学生の能力開発について議論する。併せて、活動を継続していく過程で修得されていく能力の評価や測定手法についても議論する。

講 演 者：①「社会貢献活動の実践度からみた課題解決型学習の効果」
中口毅博（芝浦工業大学）教授

②「コロナ禍における環境活動の成果」
竹内彩乃（東邦大学）講師

③「教室断熱化ワークショップの企画運営によるサステナビリティ人材としての能力育成」
杉本卓也（千葉商科大学）准教授
手嶋　進（千葉商科大学）准教授

総合討論

司　　会：手嶋　進（千葉商科大学）准教授

シンポジウムー9　9月9日（金）　オンライン　13：30 ～ 16：00

「多様な学問分野における環境科学研究の最前線」

オーガナイザー　山本佳世子（電気通信大学）教授
岩本茂子（電気通信大学）協力研究員

挨　　拶：山本佳世子（電気通信大学）教授

趣旨説明：環境の重要性が世界的に認識され、多様な学問分野で環境科学研究が行われるようになった。たとえば、工学分野では建築、土木、都市計画だけではなく情報、機械、電気などの工学諸分野でも環境科学研究が実施されている。また、様々な学問分野の複合分野、融合分野においても、環境科学研究が推進されている。以上のように環境科学研究を行う学問分野の拡大には、環境問題の複雑化・多様化に加え、世界規模での社会的・経済的な変化の影響が大きい。そこで、本シンポジウムでは以上で示した環境問題の特性を考慮し、環境科学研究が近年積極的に推進されるようになった学問分野における環境科学研究の最前線について紹介する。具体的には、本シンポジウムでは、2022 年会会場校の電気通信大学の教員による最新の環境科学研究の成果について紹介する。

講 演 者：①「カーボンニュートラルに向けたエネルギーインフラパラダイム」
横川慎二（電気通信大学）教授

②「AI 予測最適化手法を用いた窓用透明型太陽電池の設計と開発」
曽我部東馬（電気通信大学）准教授

③「グローカル協働 DX による再生可能エネルギーと国境炭素税の循環サプライチェーン研究と課題」
山田哲男（電気通信大学）教授

④「天然由来資源のみを用いた木質系材料の成形加工技術の開発」
梶川翔平（電気通信大学）准教授

⑤「シミュレーションモデルと時空間解析を用いた環境評価方法の開発」
山本佳世子（電気通信大学）教授

総合討論

司　　会：岩本茂子（電気通信大学）協力研究員

2022 年度表彰報告

表 彰 委 員 会

2022 年度の環境科学会　学会賞，学術賞，奨励賞，論文賞は，次の方々に贈呈することが，理事会の議を経て決定致しました。各賞受賞者は，2022 年 9 月 8 日（木）～9 日（金）に電気通信大学及び Online で開催される環境科学会 2022 年会でご講演いただき，表彰式で表彰します。

学会賞（1 名）

藤江 幸一（千葉大学・理事）
表彰課題：持続可能な物質循環とエコロジー工学の発展に関する環境科学への貢献

学術賞（2 名）

小林 剛（横浜国立大学大学院環境情報研究院人工環境と情報部門・准教授）
表彰課題：環境中の化学物質管理に向けたモニタリングとリスク低減技術の開発

松橋 啓介（国立研究開発法人国立環境研究所社会システム領域地域計画研究室・室長，筑波大学システム情報系・教授（連携大学院））
表彰課題：持続可能な社会設計に向けたシナリオ評価と社会への反映

奨励賞（2 名）

竹内 彩乃（東邦大学理学部・講師）
表彰課題：環境問題の解決に向けた人材育成，環境教育に関する研究

森田 稔（高崎経済大学地域政策学部・准教授）
表彰課題：環境経済学手法による環境・エネルギー政策の評価

論文賞（2 編）

橋本扶美*,**，高梨啓和*，中島常憲*，上田岳彦*，門川淳一*，宮本信一***，石川英律**
（* 鹿児島大学大学院理工学研究科, **いであ株式会社環境創造研究所, *** いであ株式会社事業開発本部）
対象論文：イミダクロプリド-ジオール体（(*N*²（1-（(6-クロロピリジン-3-イル）メチル）-4,5-ジヒドロキシイミダゾリジン-2-イリデン）ニトラミド)）の実環境試料からの検出と急性毒性評価
環境科学会誌，33 巻 5 号 p.126-135(2020)

山下奈穂*，加用千裕**，谷川寛樹*
（*名古屋大学大学院環境学研究科，**東京農工大学農学研究院）
対象論文：木造住宅と森林の木材需給を考慮した炭素ストックのシナリオ分析
環境科学会誌，34 巻 4 号 p.184-195(2021)

［選考経過等］

環境科学会では，学会規程により，環境科学の研究において顕著な業績をあげた研究者に学会賞，学術賞，奨励賞を，また，環境科学会誌に優秀な論文を発表した著者に論文賞を贈呈することが定められています。上記の 2022 年度各賞受賞者の選考経過は以下のとおりです。

表彰規程に従い，環境科学会 Web サイトに 2021 年 12 月 24 日を締め切りとして，各賞受賞候補者の推薦

依頼を会告として告示しました。その結果を受けて，2022 年 1 月 31 日に表彰委員会を開催して各賞受賞候補者を選考し，その選考経過を 2 月 9 日に開催された理事会に報告し，理事会の議を経て各賞受賞者が正式に決定されました。

2004 年度からは，学会賞受賞者には表彰式後に記念講演を，学術賞受賞者には年会において受賞記念シンポジウムを企画していただき，その中で受賞記念講演を行っていただくよう依頼することとしています。また，奨励賞および論文賞の受賞者についても，年会の関連する一般研究発表あるいはシンポジウムの中でそれぞれ受賞記念講演を行っていただくよう依頼することとしており，現在，年会委員会と協議の上，準備中です。

会員の皆様の年会への多数ご参加をお待ちしています。

最後に，2023 年度表彰については，受賞候補者の推薦を 2022 年末締切として会員の皆様にお願いする予定であることを記して，表彰委員会報告と致します。

[2022 年度表彰委員会]

委員長	大塚 直	早稲田大学　教授
理　事	中井 里史	横浜国立大学　教授
	田崎 智宏	国立環境研究所
幹　事	立花 潤三	富山県立大学　講師
	村上 道夫	大阪大学感染症総合教育研究拠点　特任教授
委　員	加藤 博和	名古屋大学　教授
	小林 憲弘	国立医薬品食品衛生研究所
	沼田 大輔	福島大学　准教授
	肱岡 靖明	国立環境研究所
	棟居 洋介	東京工業大学　助教
	永淵 修	福岡工業大学　客員教授
	馬場 健司	東京都市大学　教授

［2022 年度の各賞受賞者］

藤江　幸一
（ふじえ　こういち）

学会賞

受賞者氏名：藤江 幸一（ふじえ　こういち）

表彰課題：持続可能な物質循環とエコロジー工学の発展に関する環境科学への貢献

所属・職：千葉大学・理事

専門分野：環境化学工学，環境技術・環境負荷低減，資源循環工学，持続可能システム

略　　歴：

1974 年　新潟大学工学部化学工学科卒業
1980 年　東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了（工学博士）
1980 年　東京工業大学資源化学研究所・助手
（1983～1985 年　オハイオ州立大学博士研究員）
1988 年　横浜国立大学工学部・助教授
1994 年　豊橋技術科学大学工学部・教授
2007 年　横浜国立大学大学院環境情報研究院・教授
2008 年　同上安心・安全の科学研究教育センター長（～2013 年）
2010 年　日本学術振興会学術システム研究センター・主任研究員（併任，～2013 年）
2014 年　横浜国立大学先端科学高等研究院・副研究院長
2017 年　横浜国立大学定年退職。同，先端科学高等研究院・客員教授
2021 年　千葉大学・理事（研究担当，学術研究・イノベーション推進機構長を兼務）

本学会では，評議員(1999～2000 年度)，理事(2001～2010 年度のうち 4 期)，副会長(2013～2018 年度のうち 3 期)，会長(2019～2020 年度)、顧問（2021 年度）を歴任。

表彰理由：

藤江幸一氏は，化学工学を専攻し工学博士号を取得されて以来，一貫して水資源をはじめとした物質の循環利用に関する技術やシステムの開発と評価に関する研究をされてきた。水資源や物質の適正な循環利用に関する取り組みは，現在では世界各国で重要課題に挙げられており，一連の研究活動はまさに当該研究分野を先導するものであった。

藤江氏の特筆すべき功績は，化学工学的な研究アプローチを，多様な要因が複雑に絡み合う環境問題の解決に応用し，持続可能社会の実現に向けた研究を推進してきた点である。近年に至って，工学的手法と社会科学的手法はようやく融合されつつあるが，同氏は持続可能社会の実現に向けて長期にわたって先駆的な役割を担ってこられた。循環型社会の構築やその推進に直結するバイオマス利活用技術・システムの設計・評価に関しても，世界をリードする数多くの優れた研究論文を発表され，関係省庁による各種委員会等にも数多く参画してこられた。これらの実績によって，国内にとどまらず中国，東南アジア等を中心とした海外から高い評価を受けている。研究成果は数多くの成書としても出版され，工学分野にとどまらず，農学分野や社会科学分野の研究者，専門家，学生等に対して，化学工学を基盤とした研究アプローチによる環境問題の理解促進と解決方策探索の重要性を教示している。

上記した一連の研究は，持続可能な社会への道筋を探索する手法を示したものであり，他分野においてもその成果が注目されている。このように，藤江幸一氏の研究業績は，環境科学研究の発展に大きく貢献してきたことは明らかである。さらに，環境科学会の運営においても，重要な役割を果たし，理事を 4 期 8 年間，副会長を 3 期 6 年間，会長を 1 期 2 年間務められ，会の発展を支えてこられた。このような氏の業績は，環境科学ならびに環境科学会の発展に貢献した者に与えられる環境科学会学会賞にふさわしいものと評価できる。

主要業績：

【研究論文等】

1. J R Amelia, Suprihatin Suprihatin, Nastiti Siswi Indrasti, Udin Hasanudin, Koichi Fujie, Effects of Treated Palm Oil Mill Effluent Application on the Soil Microbial Community Structure and Oil Palm Plantation Productivity, Journal of Water and Environment Technology 15(3), 77-85(2017)
2. 金子信博, 三浦季子, 南谷幸雄, 荒井見和, 藤江幸一, 一次生産の持続可能性のための土壌管理―熱帯プランテーションにおける保全管理の効果―, 環境科学会誌, 30(2), 85-87(2017)
3. 金井亮太, 大和田健登, 藤江幸一, 橘隆一, 塚本真大, 後藤尚弘, Udin Hasanudin, キャッサバの加工および残渣・排水の再資源化における物質フロー分析, 環境科学会誌, 30(2), 57-66(2017)
4. Toshiko Miura, Ainin Niswati, I. G. Swibawa, Sri Haryani, Heru Gunito, Miwa Arai, Kenta Yamada, Satoshi Shimano, Nobuhiro Kaneko, Koichi Fujie, Shifts in the composition and potential functions of soil microbial communities responding to a no-tillage practice and bagasse mulching on a sugarcane plantation, Biology and Fertilith of Soils, 52(3), 307-322(2016)
5. Toshiko Miura, Kento Owada, Kazuya Nishina, Muhajir Utomo, Ainin Niswati, Nobuhiro Kaneko, Koichi Fujie, The Effects of Nitrogen Fertilizer on Soil Microbial Communities Under Conventional and Conservation Agricultural Managements in a Tropical Clay-Rich Ultisol, Soil Science, 181(2), 68-74(2016)
6. Toshiko Miura, Ainin Niswati, I. G. Swibawa, Sri Haryani, Heru Gunito, Satoshi Shimano, Koichi Fujie, Nobuhiro Kaneko, Diversity of Fungi on Decomposing leaf Litter in a Sugarcane Plantation and Their Response to Tillage Practice and Bagasse Mulching: Implications for Management Effects on Litter Decomposition, Microbial Ecology, 70(3), 646-658(2015)
7. U. Hasanudin, R. Sugiharto, A. Haryanto, T. Setiadi, K. Fujie, Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries, Water Science and Technology, 72(7), 1089-1095(2015)
8. Saori Miho, Takashi Kameya, Takeshi Kobayashi, Koichi Fujie, Detection of Japanese PRTR Chemicals in a River Affected by Effluent from Industrial and Sewage Facilities, Journal of Water and Environment Technology, 13(1), 25-35(2015)
9. 加藤康弘, 奥田健介, 村田直樹, 藤江幸一, オゾン/過酸化水素処理における制御因子の検討, 土木学会論文集 G(環境) 70(7), 95-102(2014)
10. 佐伯孝, 藤江幸一, 大門裕之, 炭素繊維および炭素繊維強化樹脂への水熱反応の適用, 環境科学会誌, 27(2), 84-92(2014)
11. Shuichi Tamura and Koichi Fujie, Material Cycle of Agriculture on Miyakojima Island: Material Flow Analysis for Sugar Cane, Pasturage and Beef Cattle, Sustainability, 6, 812-835(2014)
12. Yan Sun, Huang Huang, Ying Sun, Chao Wang, Xiao-Lei Shi, Hong-Ying Hu, Takashi Kameya, Koichi Fujie, Ecological risk of estrogenic endocrine disrupting chemicals in sewage plant effluent and reclaimed water, Environmental Pollution 180, 339-344(2013)
13. S.Tamura, R.Maeda, K. Fujie, An Evaluation of the Cattle Raising Business in Miyakojima Island: Material Flow Analysis about Four Types of Cattle Raising, The International Journal of Environmental Sustainability, 9, 7-19(2013)
14. 蒲原弘継, Udin Hasanudin, Anugerah Widiyanto, 橘隆一, 熱田洋一, 後藤尚弘, 藤江幸一, 大門裕之, タピオカ澱粉生産におけるバイオガス利用による温室効果ガス排出量の削減効果, 化学工学論文集, 38(5), 299-304(2012)
15. 蒲原弘継, 藤江幸一, 熱帯プランテーション地域におけるバイオマス利活用による温室効果ガス排出量削減, 水環境学会誌, 32(2), 69-72(2009)

16. Hideto Tsuji, Takashi Saeki, Takayuki Tsukegi, Hiroyuki Daimon, Koichi Fujie, Comparative study on hydrolytic degradation and monomer recovery of poly(L-lactic acid) in the solid and in the melt, POLYMER DEGRADATION AND STABILITY, 93(10), 1956-1963(2008)
17. 蒲原弘継, 山口瞬, 橘隆一, 後藤尚弘, 藤江幸一, 家庭廃食用油の回収可能量の推計とバイオディーゼル燃料化におけるライフサイクル分析, 日本 LCA 学会誌, 4(4), 318-323(2008)
18. 塩見達郎, 立花潤三, 中澤祥二, 後藤尚弘, 藤江幸一, 建設廃棄物に含まれる塩化ビニル樹脂の地域内リサイクルのライフサイクル評価, 環境システム研究論文集, 36, 491-497(2008)
19. Hideto Tsuji, Yoshiko Yamamura, Tomoyuki Ono, Takashi Saeki, Hiroyuki Daimon, Koichi Fujie, Hydrolytic Degradation and Monomer Recovery of Poly(butylene succinate) and Poly(butylene succinate/adipate) in the Melt, Macromolecular Reaction Engineering, 2(6), 522-528(2008)
20. 後藤尚弘, 大門裕之, 蒲原弘継, 藤江幸一, バイオマスエネルギー利活用システムの設計と評価, 資源環境工学, 55(2), 103-108(2008)　など多数

【書籍】

1. 岡田光正，藤江幸一，環境問題のとらえ方と解決方法，放送大学教育振興会，NHK 出版(2017)
2. 坂田昌弘編著，エキスパート応用化学テキストシリーズ・環境化学，第１１章 環境の保全を担当，講談社サイエンティフィック(2015)
3. 岡田光正，藤江幸一，他３名，新訂環境工学，放送大学教育振興会，NHK 出版（2013）
4. 藤江幸一，よくわかる水リサイクル技術，オーム社(2012)
5. 国連大学ゼロエミッションフォーラム編，進化するゼロエミッション活動 - 低炭素社会へシフトするための最強のコンセプト - ，藤江幸一，「プランテーションでのバイオマス利活用の促進と課題」を担当，㈱海象社（2010）
6. 藤江幸一編著，生態恒常性工学 - 持続可能な未来社会のために - ，コロナ社(2008)
7. 鈴木基之，藤江幸一，他 11 名，改訂版「環境工学」，「第 12 章資源循環(4)バイオマス・プランテーション」を担当，放送大学教育振興会（2007）
8. 安井至，藤江幸一，他 7 名，環境科学−人間と地球の調和をめざして - ，第 10 章 :「ゼロエミッションは達成できるか」を担当，東京化学同人(2004)
9. 鈴木基之，中西準子、真柄泰基、大垣眞一，藤江幸一，他８名，環境工学，放送大学教育振興会、NHK 出版(2003)
10. 笠倉忠夫、藤江幸一、他８名，エコテクノロジー入門，朝倉書店（2001）　　など多数。

学術賞

小林　剛
（こばやし　たけし）

受賞者氏名：小林 剛（こばやし　たけし）
表彰課題：環境中の化学物質管理に向けたモニタリングとリスク低減技術の開発
所属・職：横浜国立大学大学院環境情報研究院人工環境と情報部門・准教授
専門分野：環境安全工学，化学物質管理，土壌・地下水保全
略　　歴：
1993 年　横浜国立大学 工学部 物質工学科卒業
1995 年　横浜国立大学 工学研究科 物質工学専攻修了
1995 年　神奈川県環境部大気保全課・技師
1997 年　横浜国立大学工学部・助手
2001 年　横浜国立大学大学院工学研究院・助手
2004 年　横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター・助手
2005 年　横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター・助教授
2007 年　横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター・准教授
2009 年　横浜国立大学大学院環境情報研究院・准教授（現職）
表彰理由：

小林剛氏は，環境中の化学物質による環境リスクの効率的な評価・低減技術において，毒性評価やモニタリング，動態評価といった観点から様々な研究に取り組んできた。また化学物質による健康リスクに関しても多くの研究業績を残している。近年では，そのなかでも土壌汚染物質のリスクに基づく浄化や管理に関する研究に特に力を入れて取り組んでいる。これらの研究の成果は，環境科学会誌を含む多数の論文にまとめており，環境化学および環境工学分野の学術的発展に大いに資するものである。また，環境科学会の理事に加えて，多数の委員会の委員も務め，研究成果と社会実装の両軸を兼ねた活動を進めている。このような小林剛氏の研究業績と活動は，環境科学分野において特に優れた研究業績を挙げた者に与えられる環境科学会学術賞にふさわしいものと評価できる。

主要業績：

【研究論文等】

1. Yuji Yamazaki, Gaku Kitamura, Xiaowei Tian, Ichiro Suzuki, Takeshi Kobayashi, Takaaki Shimizu, Daisuke Inoue, Michihiko Ike, Temperature dependence of sequential chlorinated ethenes dechlorination and the dynamics of dechlorinating microorganisms, Chemosphere, Volume 287(1), 1-9, 2022.
2. 小林剛, 末継淳, 李京, クロロエチレン等の揮発性有機塩素化合物の不飽和土壌への吸着・吸収特性と土壌中挙動への定性的影響, 環境情報科学学術研究論文集, 35, 102-106, 2021.
3. Yuji Yamazaki, Ai Hasegawa, Xiaowei Tian, Ichiro Suzuki, Takeshi Kobayashi, Takaaki Shimizu, Daisuke Inoue, Michihiko Ike, Effect of elevated temperature on cis-1,2-dichloroethene dechlorination and microbial community structure in contaminated soils—A biostimulation approach, Journal of Environmental Chemical Engineering, 8(2), 103682, 2020.
4. 三保紗織, 亀屋隆志, 小林剛, 藤江幸一, 河川水モニタリングにおける GC-MS AIQS-DB 法の同定定量精度の評価, 環境科学会誌, 33(5), 90-102, 2020.
5. 古川靖英, 小林剛, 保高徹生, 本藤祐樹, 藤江幸一, 揮発性有機塩素化合物汚染における土壌汚染対策技術選定時のサステイナブルアプローチの有効性検討と従来手法との比較, 土木学会論文集 G(環境), 74(4), 152-164, 2018.
6. Binh Nguyen Thi Lan, Takeshi Kobayashi, Atsushi Suetsugu, Xiaowei Tian, Takashi Kameya, Estimating the Possibility of Surface Soil Pollution with Atmospheric Lead Deposits Using the ADMER Model, Sustainability, 10(3), 720, 12pages (2018)

7. Yuichi Miyake, Masahiro Tokumura, Yuta Iwazaki, Qi Wang, Takashi Amagai, Yuichi Horii, Hideyuki Otsuka, Noboru Tanikawa, Takeshi Kobayashi, Masahiro Oguchi, Determination of hexavalent chromium concentration in industrial waste incinerator stack gas by using a modified ion chromatography with post-column derivatization method, Journal of Chromatography A, Vol.1502, 24-29, 2017.
8. 小林剛, 保高徹生, 朝日ちさと, 上原励, 大瀧友里奈, 小木曽裕, リスクを考慮した土壌汚染対策の促進に向けて, 環境情報科学, 46(2), 48-51, 2017.
9. Yasuhide Furukawa, Kazuhiro Mukai, Keisuke Ohmura, Takeshi Kobayashi, Improvement of Slant Drilling Well for In-situ Remediation of Contaminants under the Structure, Environ Sci Pollut Res Int, 24(7), 6504-6511, 2017.
10. Yuichi Miyake, Takeshi Kobayashi, Takashi Kameya, Satoshi Managaki, Takashi Amagai, Shigeki Masunaga, Comparison study on observed and estimated concentrations of perfluorooctane sulfonate using a fate model in Tokyo Bay of Japan, Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 49(7), 770-776, 2014.
11. 小林剛, 上田裕之, 高橋ゆかり, 亀屋隆志, 大気へ排出された粒子状物質成分の沈着による土壌汚染の可能性の検討, 環境情報科学論文集, 27, 233-236, 2013.
12. 古川靖英, 保高徹生, 大村啓介, 小林剛, 揮発性有機塩素化合物実土壌汚染サイトを題材とした簡便な費用ベースのサステイナブルアプローチ手法の試み, 土木学会論文集 G(環境), 69(7), 461-471, 2013.
13. Yuyu Liu, Takeshi Kobayashi, Yukari Takahashi, Takashi Kameya, Kohei Urano, A simple simulation of adsorption equilibrium of Pb(II) on Andosols in the presence of dissolved humic substances for monitoring soil contamination, Journal of Environmental Science and Health Part A,, 48, 1694-1699, 2013.
14. 高橋ゆかり, 小林剛, 亀屋隆志, 上田裕之, 汚染土壌の有害無機汚染物質溶出試験結果の変動要因となりうる土壌 pH 影響の解析, 環境情報科学, 環境情報科学論文集, 26, 49-54, 2012.
15. 上田裕之, 小林剛, 亀屋隆志, 高橋ゆかり, 多様な有機化合物の気相経由での油脂および脂肪性食品への移行経路の重要性のスクリーニング評価, 環境情報科学, 環境情報科学論文集, 26, 79-82, 2012.
16. 小林剛, 松島由佳, 山岸芳樹, 亀屋隆志, 高橋ゆかり, 浦野紘平, 液体状テトラクロロエチレンの土壌中での保持・地下浸透挙動の解析, 土木学会論文集 G（環境）, 67(7), III_409-415, 2011.
17. Yuichi MIYAKE, Takeshi KOBAYASHI, Kosuke INABA, Izumi WATABE, Naho KASUYA, and Takashi KAMEYA, Comparison of observed and estimated concentrations of volatile organic compounds using a Gaussian dispersion model in the vicinity of factories: An estimation approach to determine annual average concentrations and human health risks, Journal of Environmental Science and Health, Part A, Vol.45, 527-533, 2010.
18. 小林剛, 三宅祐一, 亀屋隆志, 東信行, 畠山周作, 多様な化学物質の土壌・地下水汚染による人への曝露可能性のスクリーニング手法の提案, 環境システム研究論文集, 37, 495-500, 2009.
19. 高梨ルミ, 亀屋隆志, 小林剛, 糸山景子, 浦野紘平, 人の健康保護を考えた自主管理のための環境管理参考濃度の提案と PRTR 対象物質への適用, 環境科学会誌, 18(2), 71-83, 2005.
20. 高梨ルミ, 浦野紘平, 小林剛, 人に対する長期毒性の確度情報による化学物質のランク分け方法, 環境科学会誌, 15(1), 23-33, 2002.
21. 浦野紘平, 高梨ルミ, 小林剛, 人に対する長期毒性の定量的情報による化学物質のランク分け方法, 環境科学会誌, 14(1), 27-38, 2001.

など多数

【書籍】

1. 分担執筆, 都市科学辞典, 春風社, 2019.（「公害対策の歴史」「土壌汚染と対策技術」を分担）

2. 分担執筆, 水環境の事典, 朝倉書店, 2021. （「土壌と地下水汚染の実態と修復」を分担）
3. 分担執筆, 安全工学便覧（第 4 版）, コロナ社, 2019. （「土壌汚染」「土壌汚染対策」等を分担）
4. 分担執筆, 環境問題のとらえ方と解決方法, 放送大学教育振興会, 2017.（7 章「水・地下水・土壌環境保全技術」を分担）
5. 分担執筆, Heavy Metal Contamination of Soils - Monitoring and Remediation, Springer, 2015.（Chapter 5「The adsorption equilibrium of Pb and Cd on several soils in various pH solutions, or in the presence of dissolved humic substances」を分担）
6. 分担執筆, 廃棄物安全処理・リサイクルハンドブック, 丸善株式会社 2010.（「リスクコミュニケーション」を分担）

受賞者氏名：松橋 啓介（まつはし　けいすけ）
表彰課題：持続可能な社会設計に向けたシナリオ評価と社会への反映
所属・職：国立研究開発法人国立環境研究所社会システム領域地域計画研究室・室長，筑波大学システム情報系・教授（連携大学院）
専門分野：環境政策，脱炭素まちづくり
略　　歴：
1994 年　東京大学工学部都市工学科　卒業
1996 年　東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻　修了
1996 年　国立環境研究所　研究員（現職）
2001 年　博士（工学）取得
2008 年　筑波大学大学院システム情報工学研究科・准教授（連携大学院）（兼務）（現職）
2012 年　東京大学大学院新領域創成科学研究科・客員准教授（連携講座）（兼務）

松橋　啓介
（まつはし　けいすけ）

表彰理由：

松橋啓介氏は，持続可能な社会・都市の設計に関する研究や資源・エネルギー，環境，経済など多面的な視点から将来社会の在り方について研究に取り組んできた。特に，持続可能な都市交通やまちづくりに加えて，近年では脱炭素社会の設計やその社会実装に関して顕著な研究業績がある。これらの研究成果は，国内外の多数の学術雑誌で報告しているだけでなく，セミナーなどでの社会発信にも積極的である。環境科学会の理事のほか，学会や行政の委員も多数務め，科学知の社会への還元という観点でも大きな貢献を果たしてきた。このように，科学的知見と市民対話を踏まえた政策決定に関する研究者として，地に足のついたゆるぎない活動を展開している。松橋啓介氏の研究業績と活動は，環境科学分野において特に優れた研究業績を挙げた者に与えられる環境科学会学術賞にふさわしいと評価できる。

主要業績：

【研究論文等】

1. 松橋啓介, 陳鶴, 有賀敏典, 金森有子, 持続可能な交通まちづくり政策への社会的支持に関する考察, 環境科学会誌, 2020 年 33 巻 1 号 1-10.
2. 花崎直太, 高橋潔, 肱岡靖明, 日下博幸, 飯泉仁之直, 有賀敏典, 松橋啓介, 三村信男, 日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・人口・土地利用シナリオ（第 2 版）, 環境科学会誌, 2014 年 27 巻 6 号 362-373.
3. 松橋啓介, 村山麻衣, 増井利彦, 原澤英夫, 持続可能社会への転換に向けた叙述シナリオの構築に関する試みー生産活動の観点からー, 環境科学会誌, 2013 年 26 巻 3 号 226-235.
4. 松橋啓介, 森口祐一, 寺園淳, 田辺潔, 問題領域と保護対象に基づく環境影響総合評価の枠組み, 環境科学会誌, 2000 年 13 巻 3 号 405-419.
5. 金炅敏, 松橋啓介, 石河正寛, 有賀敏典, 崔文竹, 都道府県別人口における年齢・時代・コーホート効果の分析, 都市計画論文集, 56(3), 1282-1288, 2021.
6. 金炅敏, 松橋啓介, 石河正寛, 有賀敏典, 運転免許保有者数と運転者数の推移における年齢・時代・コーホート効果の分析と将来推計, 土木学会論文集 G(環境), 77(6), II_227-II_234, 2021.
7. K. Honjo, K. Gomi, Y. Kanamori, K. Takahashi, K. Matsuhashi, Long-term projections of economic growth in the 47 prefectures of Japan: An application of Japan shared socioeconomic pathways, Heliyon, 7, e06412, 2021.
8. 金炅敏, 松橋啓介, 石河正寛, 有賀敏典, 第 4 次メッシュレベルの人口変動に及ぼす年齢・時代・コーホート効果の分析, 都市計画論文集, 55(3), 1121-1127, 2020.
9. 石河正寛, 陳鶴, 松橋啓介, 金森有子, 有賀敏典, 住宅と自動車の利用に伴うメッシュ別 CO2 排出量の推計と考察, 土木学会論文集 G, 76(5), II_199-II_207, 2020.

10. Chen, He, Matsuhashi, Keisuke, Takahashi, Kiyoshi, Fujimori, Shinichiro, Honjo, Keita, Gomi, Kei, Adapting global shared socio-economic pathways for national scenarios in Japan, SUSTAINABILITY SCIENCE, 2020.
11. 越智雄輝, 藤森真一郎, 高橋潔, 松橋啓介, 日本を対象とした将来シナリオのデータベース化とエネルギー需給・CO2 排出構造も 4 注目したその特徴の分析, 土木学会論文集 G（環境）, 75(5), 65-72, 2019.
12. 石河正寛, 松橋啓介, 金森有子, 有賀敏典, 市町村別家庭部門 CO2 排出量推計モデルの改良 -欠測データ処理と非線形回帰の適用-, 土木学会論文集G（環境）, 75(5), I_89-I_98, 2019.
13. 石河正寛, 松橋啓介, 金森有子, 有賀敏典, 家庭 CO2 統計に基づく全国 10 地方別の排出要因分析と市町村別世帯あたり排出量の推計 ― 全国試験調査結果を用いて ―, 土木学会論文集G（環境）, 74(6), II_193-II_201, 2018.
14. Daisuke Goto, Kayo Ueda, Chris Fook Sheng Ng, Akinori Takami, Toshinori Ariga, Keisuke Matsuhashi, Estimation of excess mortality due to long-term exposure to PM2.5 in Japan using a high-resolution model for present and future scenarios, Atmospheric Environment, Vol.140, 320-332, 2016.
15. 松橋啓介, 米澤健一, 有賀敏典, 地方公共団体における自動車CO2排出量の動向を踏まえた削減目標の検討に関する研究, 都市計画論文集, Vol.46(3) 805-810, 2011.
16. Kudoh Yuki, Matsuhashi Keisuke, Kondo Yoshinori, Kobayashi Shinji, Moriguchi Yuichi, Statistical analysis of fuel consumption of hybrid electric vehicles in Japan, World Electric Vehicle Journal, Vol.1(1) 142-147, 2007.
17. Noriyuki Suzuki, Kaori Murasawa, Takeo Sakurai, Keisuke Nansai, Keisuke Matsuhashi, Yuichi Moriguchi, Kiyoshi Tanabe, Osami Nakasugi, Masatoshi Morita, Yagita Hiroshi, Geo-referenced multimedia environmental fate model (G-CIEMS): Model formulation and comparison to the generic model and monitoring approaches, Environmental Science and Technology, Vol.28(21) 5682-5693, 2004.
18. Yuki Kudoh, Yoshinori Kondo, Keisuke Matsuhashi, Shinji Kobayashi, Yuichi Moriguchi, Current status of actual fuel-consumptions of petrol-fuelled passenger vehicles in Japan, Applied Energy, Vol.79(3) 291-308, 2004.

【書籍】

1. 松橋啓介「乗用車起因のCO2 排出量とメッシュ人口との関係」『運輸部門の気候変動対策』室町泰徳 編著, 109-120 (2020), 成山堂書店 [分担]
2. 松橋啓介「コンパクトシティと環境」 『コンパクトシティを考える』浅見泰司, 中川雅之編著, 120-134 (2018) プログレス [分担]
3. 松橋啓介「世帯エネルギー消費に関する社会的・政策的課題」『市民生活行動学』土木学会編, 83-86 (2015), 丸善 [分担]
4. 松橋啓介「運輸部門からのCO2排出量の中長期的削減に向けた対策」『低炭素都市』大西隆, 小林光編著, 82-103(2010), 学芸出版社 [分担]
5. 松橋啓介「車のかしこい使い方」『ココが知りたい地球温暖化』独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター編著, 163-167(2009), 成山堂書店 [分担]
6. 森口祐一,松橋啓介,工藤祐揮「低炭素社会の交通」『日本低炭素社会のシナリオ』西岡秀三, 118-153 (2008), 日刊工業新聞社 [分担]
7. 松橋啓介「比較リスク評価」『環境リスクマネジメントハンドブック』中西準子, 蒲生昌志, 岸本充生, 宮本健一, 394-402 (2003), 朝倉書店 [分担]
8. 森口祐一, 松橋啓介「比較リスクによるリスク削減戦略」『リスク学辞典』日本リスク研究学会, 316－317 (2000), TBS ブリタニカ [分担]

奨励賞

受賞者氏名：竹内 彩乃（たけうち　あやの）
表彰課題：環境問題の解決に向けた人材育成，環境教育に関する研究
所属・職：東邦大学理学部・講師
専門分野：環境政策、環境負荷・リスク評価・管理
略　　歴：2012 年　東京工業大学総合理工学研究科博士後期課程　修了
2012 年　エコセンターNRW ジュニアコンサルタント
2013 年　PN Power Plants AG　プロジェクトマネージャー
2015 年　名古屋大学大学院環境学研究科　助教
2016 年　名古屋大学大学院環境学研究科　招へい教員
2016 年　東邦大学理工学部　講師　（現在に至る）
2016 年　一般社団法人　環境政策対話研究所　研究員
（現在に至る）

竹内　彩乃
（たけうち　あやの）

表彰理由：

竹内彩乃氏は，環境問題や地域課題の解決におけるステークホルダーに対する環境教育やその解決に重要な役割を担う人材の育成に関する研究に取り組んでいる。近年では大学が取り組む地域課題への実践的な取り組みを通して，環境教育の在り方や地域との連携を円滑に行うための仕組みづくりに関する研究を行っている。これらの研究成果は，環境科学会誌をはじめ，国内外の学術雑誌にも論文が掲載されており，高い評価を得ており，環境科学の分野での社会的・学術的発展に大きく貢献している。

主要業績：

【業績課題に係わる主要論文】

1. 竹内 彩乃，社会へつながる環境人材育成―東邦 Ecolution の活動を事例に―，環境科学会誌，33，64-69，2020.
2. 竹内 彩乃，大学の省エネ活動を実践的な環境教育の場に–東邦エコリューションの活動を事例に–，環境科学会誌，30，357-364，2017.

【研究論文等】

3. Takeuchi Ayano, A survey of methods for evaluating mini-publics, Asia-Pacific of Regional Science, 5, 1-19, 2021.
4. 竹内 彩乃，石井 涼子，陸上風力発電事業における隣接自治体との事前調整に関する一考察，環境情報科学論文集，34，276-280，2020.
5. 竹内 彩乃，柳下 正治，気候変動と熟議型人材育成プログラムの開発（炭素中立社会へのトランジション：移行管理の課題），計画行政（Planning and public management）42(4)，27-32，2019.
6. 竹内 彩乃，個人の意見変化に着目した熟議デザインの評価，環境情報科学論文集，32，79-82，2018.
7. Takeuchi Ayano, Risk Communication for Japanese Offshore Wind Project-Case Study in Murakami City-, 2016.
8. 竹内 彩乃，錦澤 滋雄，原科 幸彦，協働推進のための人材育成プログラムの効果：ドイツ・ニュルティンゲン市を事例に，計画行政，36(2)，29-38，2013.
9. 竹内 彩乃，井関 崇博，村松 晶子，協働推進における独立型推進組織の役割に関する研究-神奈川県大和市を事例として-，計画行政，34(3)，99-107，2011.

受賞者氏名：森田 稔（もりた　みのる）
表彰課題：環境経済学手法による環境・エネルギー政策の評価
所属・職：高崎経済大学地域政策学部・准教授
専門分野：環境経済，環境政策
略　　歴：2014 年　上智大学大学院経済学研究科博士後期課程　修了
2014 年　早稲田大学環境と貿易研究所（現：環境経済・経営研究所）次席研究員
2015 年　上智大学経済学研究科　特別研究員
2016 年　早稲田大学政治経済学術院　助教
2018 年　高崎経済大学地域政策学部　准教授（現在に至る）

森田　稔
（もりた　みのる）

表彰理由：
森田稔氏は，地球温暖化抑制におけるグリーン開発メカニズムの効果的運用、環境税が産業・家計に与える影響評価、リベートプログラムが消費者行動に与える影響評価などに取り組んでいる。近年では、家庭部門におけるエネルギー削減の重要性に着目し経済的要因がエネルギー削減に及ぼす効果について多角度的に研究を行っている。これらの研究成果は，環境科学会誌をはじめ，国内外の学術雑誌にも論文が掲載されており，高い評価を得ており，環境科学の分野での社会的・学術的発展に大きく貢献している。

主要業績：
【業績課題に係わる主要論文】
1. 森田稔,　家庭部門における省エネ行動の実態と情報的手段の有効性に関する検証：震災以前の埼玉県草加市でのサーベイデータを用いた分析, 環境科学会誌, 30, 161-170, 2017.
2. 杉野誠, 有村俊秀, 森田稔, 地球温暖化対策税による産業・家計への影響：東京都税制調査会での検討案の評価, 環境科学会誌, 25, 126-133, 2012.

【研究論文等】
3. Minoru Morita, Kazuyuki Iwata, Toshi H. Arimura, The rebound effect in an air conditioner usage: an empirical analysis of Japanese individuals' behaviors, Environmental Economics and Policy Studies, 24(1), 99-117, 2022.
4. Makoto Sugino, Minoru Morita, Kazuyuki Iwata, Toshi. H. Arimura Multiplier impacts and emission reduction effects of Joint Crediting Mechanism: analysis with a Japanese and international disaggregated input–output table, Environmental Economics and Policy Studies, 19(3), 635-657, 2017.
5. Nils Simon, Toshi H. Arimura, Minoru Morita, Akihisa Kuriyama, Kazuhisa Koakutsu, Technology transfer and cost structure of clean development mechanism projects: an empirical study of Indian cases, Environmental Economics and Policy Studies, 19(3), 609-633, 2017.
6. Akihisa Kuriyama, Minoru Morita, Identifying factors for promoting renewable energy projects through the Clean Development Mechanism in China, India and ASEAN countries , Global Environmental Research, 21(1,2), 53-59, 2017.
7. 森田 稔, 松本 茂, 田崎智宏, 省エネリベートプログラムの主観的割引率への影響：ヘドニック価格法による家電エコポイント制度の評価, 環境経済・政策研究, 7(2), 24-36, 2014.

論文賞

受賞者氏名：橋本扶美*,**，高梨啓和*，中島常憲*，上田岳彦*，門川淳一*，宮本信一***，石川英律**

対象論文　：イミダクロプリド-ジオール体（(*N*-（1-（(6-クロロピリジン-3-イル）メチル）-4,5-ジヒドロキシイミダゾリジン-2-イリデン）ニトラミド)）の実環境試料からの検出と急性毒性評価，33 巻 5 号 p.126-135(2020)

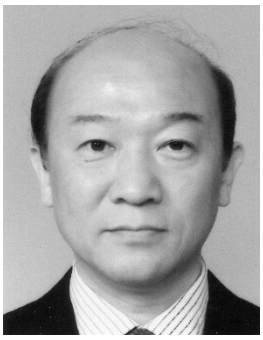
所 属　：* 鹿児島大学大学院理工学研究科, **いであ株式会社環境創造研究所, *** いであ株式会社事業開発本部

表彰理由　：

本論文は，光照射によって生成するネオニコチノイド系殺虫剤イミダクロプリドの環境変化体の評価，実環境からの測定，並びに，水生生物への毒性評価を行っている。光照射試料及び実環境試料から環境変異体を検出したほか，イミダクロプリドが環境変化体に変化することによって毒性が低下する傾向にあるが，イミダクロプリドでは観察されない致死毒性が環境変化体の一つから観察され，注意が必要であることを明らかにした。このように，本論文では，光分解，現場測定，変化体を含めた毒性評価と幅広く評価しており，有用で完成度が高い。以上により，本論文は，本会の論文賞に値すると考えられる。

橋本　扶美

（はしもと　ふみ）



高梨　啓和

（たかなし　ひろかず）

中島　常憲

（なかじま　つねのり）

上田　岳彦

（うえだ　たけひろ）

門川　淳一

（かどかわ　じゅんいち）

宮本　信一

（みやもと　しんいち）

石川　英律

（いしかわ　ひでのり）

受賞者氏名：山下奈穂*，加用千裕**，谷川寛樹*

対象論文　：木造住宅と森林の木材需給を考慮した炭素ストックのシナリオ分析，34 巻 4 号 p.184-195(2021)

所 属　：* 名古屋大学大学院環境学研究科, ** 東京農工大学農学研究院

表彰理由　：

本論文は木造住宅と森林の将来炭素ストックに関するシナリオ分析を行っており，特に，木造住宅における木材需要が森林の木材供給に与える影響を考慮した点に特徴がある。木材の需要増と長寿命化によって木造住宅と森林の合計炭素ストックが大きくなること，並びに，長寿命化による炭素ストックの増加は耐用年数が長くなるほどゆるやかになることを明らかにし，炭素ストックの増加の観点から長寿命化と木材の利用拡大に関する展望を示した。本論文では，一つ一つの変数を丁寧に仮定，また検証しており，カーボンニュートラルの社会に向けて今後の発展が期待される有用な知見を提供している。以上により，本論文は，本会の論文賞に値すると考えられる。

山下　奈穂

（やました　なほ）

加用　千裕

（かよう　ちひろ）

谷川　寛樹

（たにかわ　ひろき）

［学会賞記念講演］

持続可能な物質循環とエコロジー工学の発展に関する環境科学への貢献

Construction of Innovative Ecological Engineering for the Creation of Sound Material Cycle Society

千葉大学　藤江　幸一

Koichi Fujie

Academic Research and Innovation Management Organization, Chiba University

1. はじめに

この度、「持続可能な物質循環とエコロジー工学の発展に関する環境科学への貢献」という課題で（公社）環境科学会の学会賞を授与されるにあたり、学会長をはじめ理事、幹事、表彰委員会等の皆さまに心より感謝と御礼を申し上げます。

大学進学先として化学系か機械系か悩んだ末に、石油化学工業への憧れから、その中間ともいえる化学工学を選んだものの、卒業を間近に控えた1973年に中東紛争に端を発したオイルショックが発生し、石油化学工業を取り巻く状況に大きな変化が生じた。オイルショックに起因した景気後退局面とも重なったこと、“環境”の風が強く吹き始めていたことから、環境系の大学院進学を選択し、化学工学を基盤とした環境工学の研究活動をスタートすることとなった。

化学工学の基本は石油化学工業とともに発展してきた収支（物質、エネルギー、運動量他）、速度（移動、反応、伝熱他）そして単位操作（分離・精製、混合他）などであり、これらは環境工学の基盤である環境の解析・評価、保全・修復、創生等に取り組む上で、きわめて便利かつ重要な手法（切り口）となった。

2. 持続性と生活の質の両立を目指して

日常生活を振り返りながら**図1**をご覧いただきたい。建物や構造物などの社会インフラ、多様な工業製品、そして農水産物などの食料等が提供する機能によって毎日の生活は支えられており、大量の資源・エネルギーの消費と環境負荷も発生している。持続可能社会を実現するためには、人間活動に不可欠な機能をできるだけ少ない資源・エネルギーの消費と環境負荷で提供できる社会のシステムをいち早く構築する必要がある。生活の質（Quality of life）を維持しつつ持続可能性（Sustainability）を合わせて実現できるライフスタイル、社会システム等を再考・再構築するParadigm shift(パラダイムシフト)が求められている。このためには便益、リスク、コストなどに係る定量性、信頼性が高い情報やデータが不可欠であり、社会の選好性や受容性の評価についても同様である。

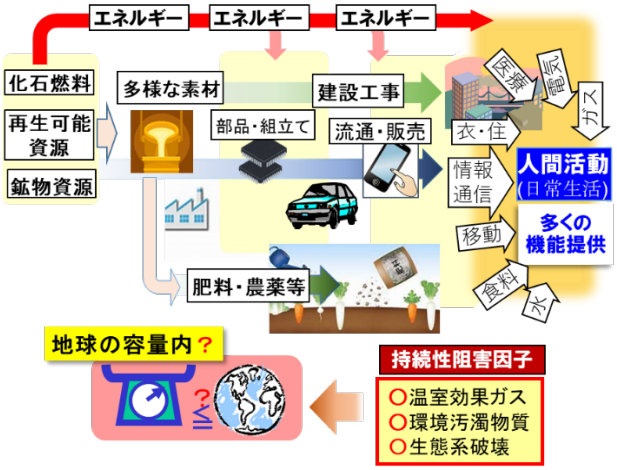


図1 人間活動に必要な機能・サービスの提供と物質・エネルギー収支

3. 熱帯プランテーションの物質フロー分析例

再生可能資源であるバイオマスは、カーボンニュートラルの切り札として、持続可能社会実現に向けて一層の利用促進が注目されている。熱帯プランテーションで実施した調査研究から物質フロー分析結果を基にバイオマス利用促進がもたらす課題について紹介

させていただく。研究の舞台はインドネシア・スマトラ島（総面積 47 万 k ㎡）である。面積が日本の 1.2 倍を超えるこの島の森林面積率は 1985 年の 57%から 2007 年には 30%まで減少していった。インドネシアではこの間にパーム油生産量が年間約 200 万トンから 1700 万トンに増加しており、パーム油の単収を3トン/ha とすると、22 年間にパームプランテーションが 5 万 k ㎡も増加したと推定され、これはスマトラ島の面積の約 10%に相当する。森林皆伐によって開発された直後と 20 年後のサトウキビプランテーションにおける土壌中有機物含有量を実測したところ、それぞれ 5%と 2%であった。土壌の有効深さを 30 ㎝として推定した無機化によるプランテーションからの二酸化炭素排出量は 130 トン/ha にも達することが分かった。土壌有機物の無機化は肥沃度の低下、単収の低下をもたらす。土壌中への炭素貯留と単収の向上には、バイオマス残滓の土壌還元が不可欠であり、プランテーション外への持ち出しはカーボンニュートラルに反する行為である。

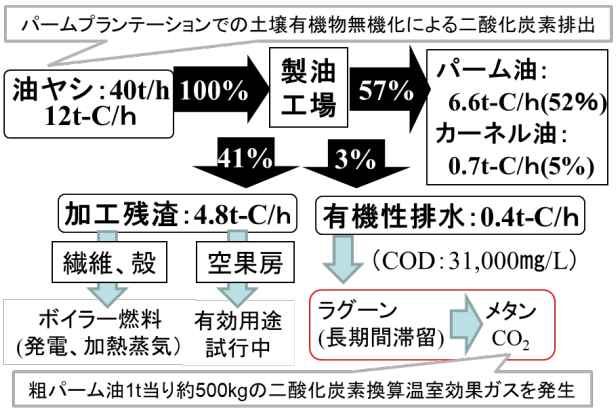


図 2 パーム製油工場における炭素収支の実測例

標準的なパーム製油工場で炭素に着目した物質収支の実測と分析を行った(**図 2**)。毎時 40t（炭素換算 12t-C/h）のアブラヤシの果実を加工して 6.6t-C/h のパーム油と 0.7t-C/h のカーネル油を生産している。加えて加工残渣が 4.8t-C/h、有機性排水が 0.4t-C/h との実測結果を得た。加工残渣中の繊維質(Fiber)と殻(Shell)は発電用の燃料として有効利用され、焼却灰はプランテーションにリン、カリ肥料として還元されている。ヤシ空果房（EFB）の有効活用が遅れており、ラグーンに長期間貯留された高濃度有機性排水中では嫌気性生物分解が進行しメタンと二酸化炭素を排出している。粗パーム油 1t 製造当り 40～50kg の有機炭素が排水中に排出され、ラグーンでは二酸化炭素換算で約 500kg に達する温室効果ガス（二酸化炭素とメタン）が発生している。ここでも土壌中有機物の無機化とラグーンでのメタン生成等による温室効果ガスの発生が深刻であった。

4. まとめに代えて

信頼性が判然としない限られた数のデータに基づいてカーボンニュートラルの効果が判断されているとすれば、危うい結果をもたらすことになる。プランテーションにおける物質フローの実測や分析では多様な影響因子を的確に考慮する必要があり、長時間を要するなど困難を伴う。現場での条件が明確であり信頼性の高い物質フローの実測データが必要であり、そのような現場データの蓄積をお願いしておきたい。

地域や産業を一つの反応装置と捉えて、原料、製品、未利用物質等に係る物質フローを緻密に分析・評価し、廃棄物発生や資源生産性を明らかにしながら、健全な物質循環を基盤とした持続可能社会形成の手法を提示してきたつもりである。

主な参考文献等

1)金子,藤江他,一次生産の持続可能性のための土壌管理ー熱帯プランテーションにおける保全管理の効果ー. **環境科学会誌**, 30(2) 82-87 2017
2)金井,藤江他，キャッサバの加工および残渣・排水の再資源化における物質フロー分析，**環境科学会誌**, 30(2) 57-66, 2017
3)後藤、藤江他，熱帯プランテーションにおける物質・エネルギー・経済収支の改善を目指した物質フローモデルの提案ーバイオガス利活用を例としてー，**環境科学会誌**, 30(2) 67-74, 2017
4)その他：https://researchmap.jp/read0009131

キーワード：循環型社会、物質フロー分析、プランテーション、バイオマス、カーボンニュートラル

プ ロ グ ラ ム

口　頭　発　表

９月８日（木）

車載用 LiB 廃棄量の将来推計と二次利用の可能性
Future estimation of vehicle-mounted LiB disposal amount and possibility of secondary use

立命館大学　○渡邊一史、橋本征二

1. はじめに

次世代自動車として普及が期待される電気自動車(Battery Electric Vehicle、以下 BEV)は、電源としてリチウムイオン電池(Lithium-ion Battery、以下 LiB)を搭載しているが、その生産にかかるエネルギーは大きく、積極的な再使用や適切な処理が求められる。本研究では、乗用車、商用車を含めた車種別に BEV の国内普及台数を想定し、2050 年までの LiB 廃棄量の将来推計を行う。加えて、車両の使用状態から LiB の劣化状態を推計し、LiB の残容量別の廃棄量から二次利用の可能性を検討した。

2. 方法

2.1. BEV の将来販売台数

乗用車は、普通・軽・小型を対象に式 1 に示すストック・フロー分析[1]で、将来販売台数を推計した。

$$I_t = K_t - K_{t-1} + D_t \qquad (1)$$

ここで、I_t、K_t、D_tはそれぞれt年の販売台数、保有台数、廃棄台数である。将来の保有台数は人口と世帯数および世帯あたりの保有台数にもとづく推計である。商用車は、貨物車・バス・タクシーとし、東京主税局の販売台数[2]を使用した。BEV の販売割合は、2050 年に 15%、30%、50%と 3 種のシナリオを想定した。

2.2. LiB 劣化量の推計

LiB の劣化量は、Xu ら[3]が提示するモデル式を用いて、諸条件を設定して推計した。劣化要因は自動車の使用年数と走行距離であり、下式のように車種別に使用年数と年間走行距離の確率分布を設定し推計した。

$$E_{t,y,m} = I_t \times P_1 \times P_2 \qquad (2)$$

$E_{t,y,m}$は t 年販売 BEV のうち使用年数 y(年)、年間走行距離 m(km)の BEV の廃棄台数である。P_1は使用年数、P_2は年間走行距離の確率分布であり、車種別に設定した。推計した使用年数および年間走行距離別の廃棄台数を、LiB 劣化モデル式[2]に当てはめて LiB の残容量別の廃棄量を推計した。

3.結果と考察

乗用車の年間走行距離別にみた LiB の劣化挙動を図 1 に示す。年間走行距離が 5,000km の場合、バッテリー最大容量が 70%となる使用年数が約 20 年であるのに対し、年間走行距離が 20,000km の場合、約 15 年となる。

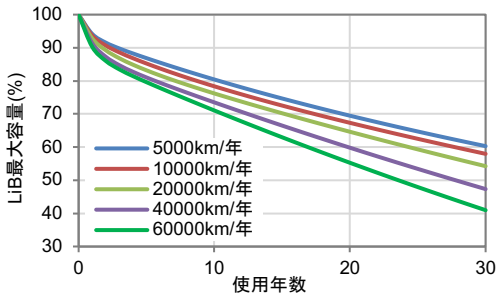


図 1. 乗用車の年間走行距離別の LiB 最大容量の推移

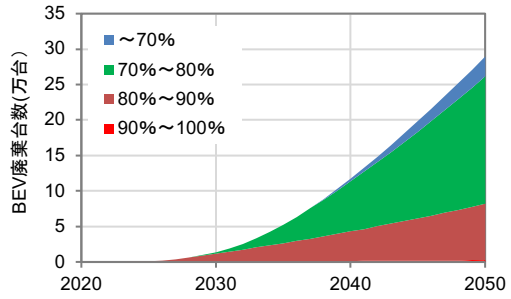


図 2. LiB 残容量別の普通乗用車 BEV 廃棄台数の推計結果(2050 年の BEV 販売割合 30%)

次に、2050 年に BEV 販売割合を 30%としたシナリオにおける、LiB 残容量別の普通乗用車 BEV 廃棄台数の推計結果を図 2 に示す。LiB 廃棄量は 2030 年以降に急増し、2040 年以降は最大容量が 70～80%のものがほとんどを占めると推計された。二次利用にはこれらの残容量帯が想定される。

参考文献

1) 間瀬貴之：乗用車の電動化とカーシェア普及による波及効果の評価方法について、電力中央研究所研究資料、Y19507、2020
2) 東京主税局：自動車関連税制に関するシミュレーション等調査、2021
3) Xu, B., et al.: Modeling of lithium-ion battery degradation for cell life assessment, IEEE Transactions on Smart Grid, 9(2), 1131-1140, 2018

キーワード 二次利用, LiB, BEV, 3R, 廃棄物

Circular Economy 戦略の評価に向けたストック・フロー・シミュレータの開発
Development of the stock-flow dynamics simulator to assess circular strategies

東京大学大学院工学系研究科 ○藤井雄介，村上進亮，小出瑠，国立環境研究所資源循環領域 山本悠久

1. 序論

持続可能な資源利用の実現に向けて，多様な循環戦略（Circular Economy 戦略: CE 戦略）の活用が必要である．しかし，各 CE 戦略が持つ資源循環に対するポテンシャルや，GHG 排出量への影響が明らかでないことなど，課題が残されている．そこで本研究では，適切な CE 戦略選択に向けた示唆を出すことを目的とし，耐久消費財に対する CE 戦略実装のシミュレーションモデルの開発を行う．

2. 手法

シミュレーションモデルは，ストック・フロー推計と評価指標算出の 2 段階で構成される．ストック・フロー推計には，山本ら[1]が開発した耐久消費財のフロー推計ツールを用いる．本ツールでは，過去の出荷・排出台数と，生存時間分析に基づき算出した製品ごとの使用期間分布のデータから，将来の出荷・排出台数の推計を行う．使用する評価指標は，最終処分量，TMR(Total Material Requirement)，GHG 排出量の 3 つである．TMR は経済フローと隠れた物質フローを合計した値を示し，循環の入口側を評価する指標として用いる．また，考慮する CE 戦略として，リユース，リマン，リサイクル，（長期使用を前提とした）製品寿命延長，レンタルの 5 つを選択した．

3. 結果

3.1. 製品寿命変化の影響

製品寿命に変化が起こった際のシミュレーションを行なった．2021 年以降の製品寿命について，50%縮小から 50%延長まで変化させた場合の出荷台数推移を図 1 に示す．デジタルカメラについては製品寿命変化による影響が非常に小さい一方で，需要の更なる拡大が予想されるスマートフォンでは大きな差が見られた．このことから，需要トレンドと寿命延長効果の関係性が示唆された．

3.2. 複数戦略の組み合わせ

各戦略が単独で導入された場合に，ベースケースに比べて TMR を 3%削減する水準の値を探索した．また，その水準にある 2 つの CE 戦略の組み合わせが持つ，ベースケースに対する TMR 削減割合を算出した(図 2)．図中の赤点線は，2 戦略が互いに独立に機能した場合に想定される効果を示す．寿命延長以外の戦略とレンタルとの組み合わせが上位を占めており，レンタルが持つ回収率向上の効果によって，副次的に他戦略に流入する量が大きく増加していることが理由だと考えられる．

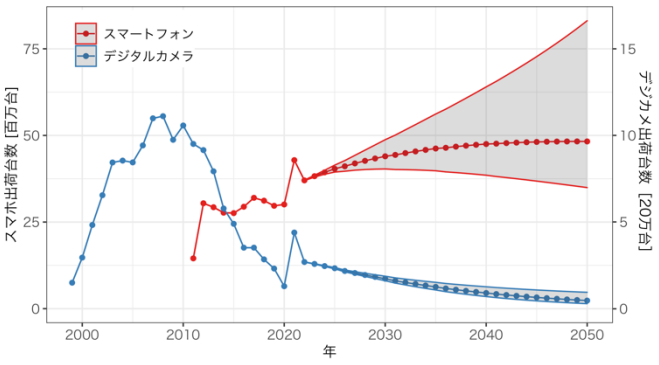


図 1 製品寿命変化の影響

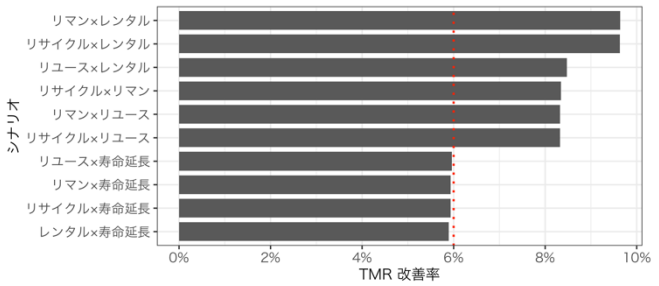


図 2 TMR 削減率による戦略の組み合わせの効果（デジタルカメラ）

参考文献

1) 山本悠久, 村上進亮, 藤井雄介, 小口正弘 (2022)“第 17 回日本 LCA 学会研究発表会” , 3-C2-04

キーワード

サーキュラーエコノミー，耐久消費財，ストック・フロー・ダイナミクス

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19H04325、および環境研究総合推進費(S-19-1)の助成を受けたものです。

日本版 SSP シナリオに基づく人口変化に伴う下水道ストックの将来推計
Estimation of future sewer stock with population change based on Japanese SSP scenario

登壇者　○松代竜毅（名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻），
共著者　山下奈穂[1]，蛭田有希[1]，白川博章[1]，谷川寛樹[1]（1．名古屋大学大学院環境学研究科）

1. はじめに

日本では高度成長期に整備したインフラが大量に更新時期を迎えており，下水道管渠もその一つである．2020 年度末における全国の下水道管渠総延長は約 49 万 km で，敷設後 50 年以上が経過する老朽管が全体の 5%を占め，今後もその割合は継続して増加すると予想されている．将来の人口減少に伴い，利用されない設備（退蔵ストック）が発生し，設備の単純な更新は資源の浪費になることが懸念される．そこで本研究では，現存の管種や管径を考慮した詳細な下水道ストック及び，将来の人口変化に伴う退蔵ストックの推計を試みた．

2. 研究手法

本研究では，日本下水道協会の下水道データベースを用いて，市町村別・管種別・管径別に現在の下水道管渠延長および 1 人あたり下水道管渠延長を推計した．管種について，統計で分類されている 9 種類のうち，本研究では総延長の約 90%を占めるコンクリート管と塩ビ管を対象とし，管径別延長の算出の際，市町村単位のコンクリート管と塩ビ管の割合で按分した．推計期間は，1960 年～2018 年までを対象とする．続いて，管種別・管径別の管路延長に JSWAS（日本下水道協会規格）で規定の管路延長 1m あたり重量を乗算し，現在の下水道ストック量を物量で算出した．

また，日本版 SSP シナリオを用いて，2018 年～2100 年までの人口変化に伴う将来推計を行い，現在のストック量との差分を退蔵ストック量として算出した．

3. 結果と考察

図 1 にコンクリート管，図 2 に塩ビ管の SSP シナリオ別の全国におけるストック量推移をそれぞれ示す．2100 年時点で人口変化に伴い必要とされる下水道ストック量は，SSP5 で最も多く約 850 万トン，SSP3 で最も少なく約 400 万トンであった．

また，SSP3 の 2100 年における退蔵ストック量は，コンクリート管が約 8,000 万トン，塩ビ管が約 700 万トンで，（将来退蔵量／現在のストック量）＝退蔵率とすると，コンクリート管に比べて塩ビ管の方が，退蔵率が 5%高いことが示された．これは，コンクリート管の多い大都市圏や市街地と比較して，塩ビ管の多い農村部での人口減少が深刻化するためであると考えられる．

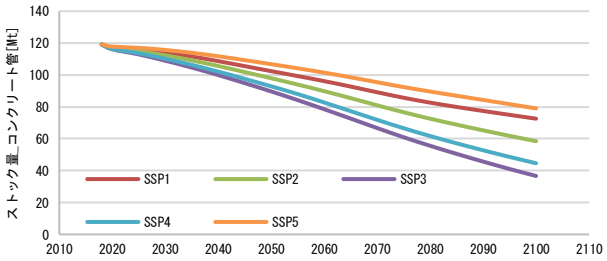


図 1　SSP シナリオ別ストック量推移（コンクリート管）

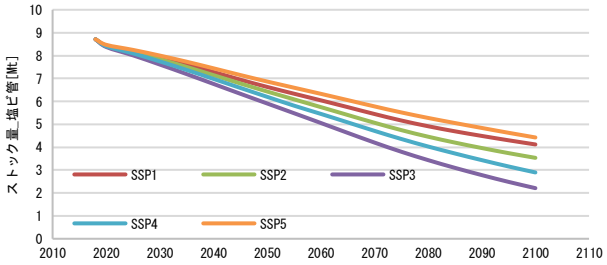


図 2　SSP シナリオ別ストック量推移（塩ビ管）

4. おわりに

今後の課題として，人口以外の要因や下水管の更生を考慮したストック・フロー分析及び，将来予測を行う必要がある．また，循環資源の利用を最大限促進するために，GIS を用いた地域間の需給バランスを考慮したネットワーク分析への発展を検討する．

謝辞：本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20201003，JPMEERF20S11816，JPMEERF20212003，JPMEERF20223C02，JPMEERF20201004），JSPS 科研費（JP22H03805，JP20H00648,），MEXT 科研費（JPJ010039）から助成を受けたものです．

参考文献

1) 日本下水道協会：下水道全国データベース
2) 環境研究総合推進費 2-1805 成果（日本版 SSP 市区町村別人口シナリオ第 2 版）

キーワード　下水道，ストック型社会，SSP シナリオ

経年建物 GIS データの構築と建物動態の時空間分析
Spatio-Temporal Analysis of Building Dynamics Using Time-Series Building GIS Data

大阪公立大学 ○杉本賢二，岐阜大学 奥岡桂次郎，東京都市大学 秋山祐樹

1. 背景と目的

日本では，少子高齢化の進展による住宅ストック過多が，空き家増加などの大きな社会問題に繋がっている．その一方で，大都市では建て替えや再開発による建物の大規模化・高層化が顕著である．建設時に投入される資材を生産するためには，大量のエネルギー消費と CO_2 排出を伴っており，さらに耐用年数を迎え，取り壊されることで大量の廃棄物が排出される．したがって，過去から現在までの建物変遷を把握することは，循環型社会の形成に向けて重要である．本研究では，複数年次の建物 GIS データを用いて，建物単位で形状や属性に関する同一性判断により，経年建物 GIS データを構築した．また，それを用いて新築や滅失といった動態について時空間分析を行い，変化傾向や地域特性を明らかにする．

2. 手法

経年建物 GIS データは，複数年次の建物 GIS データを比較し，同一性を判定することにより構築した．建物 GIS データは，ゼンリンの「Zmap TOWN II」の 2003 年，2009 年，2013 年，2016 年，2020 年の建物データを使用した．同一性判断は，前後する年次において，GIS ソフトウェアにより空間・属性検索を行い，建物単位で，(a)建物(ポリゴン)形状，(b)建物属性(階数，用途)，の 2 項目を比較することにより判定した．具体的には，両者が完全に一致する場合を「不変」とし，いずれかが一致しない場合を「新築」もしくは「滅失」と判定した．対象地域は，大阪市(24 区)とした．

3. 結果

表 1 に，各年次における建物棟数と，年次間の増加・減少棟数を示す．建物総数は徐々に減少しており，年次間でみると，2013～2016 年に増減数は他の期間より変化棟数は少ないものの，それ以外の期間は 1 割以上の建物が新築もしくは建替えられたことが明らかになった．なお，2003 年と 2009 年の建物データを比較したところ，増加・減少棟数が大きな値となったため表からは除外している．これは，新築や建て替えにより形状や階数が大きく変化したものもあるが，仕様変更と類推される要因で，ポリゴン形状が若干変化したものも含まれている．そのため，形状や階数だけでなく，建物面積や重心点距離などの判定基準を考慮する必要がある．

表 1　建物総数と増減棟数の推移

[単位：棟]

年次	総数	増加	減少
2009	683,968		
2013	677,582	60,318	66,704
2016	673,976	22,180	25,786
2020	666,513	57,324	64,787

図 1 に，2020 年における，町丁目別に集計した新築割合(建物総数に占める新築棟数)を示す．新築割合が高い地域として，大阪駅周辺の梅田 3 丁目(31%)や大深町(32%)，難波駅周辺の難波 5 丁目(59%)といった，再開発されている都心部のほか，住之江区の平林北一丁目(50%)や南港東 7 丁目(39%)など，湾岸地域が該当している．2009 年から 2013 年の期間では，平野区や西淀川区など，郊外寄りで新築割合が高かったことから，代謝が著しい地域が都心に回帰していることがわかる．

以上のように，複数年次の建物 GIS データを基に，一棟単位で同一性を判定することにより，都市域における建物動態の時空間分析が可能となった．今後の課題として，同一性の判定基準や精度検証，他地域への拡張が挙げられる．

謝辞：本研究は，科研費補助金(19K12434)の支援を受けて実施した．また，東京大学 CSIS 共同研究(No.1024)の成果の一部である．ここに記して謝意を表する．

キーワード　建物，同一性，新築，滅失

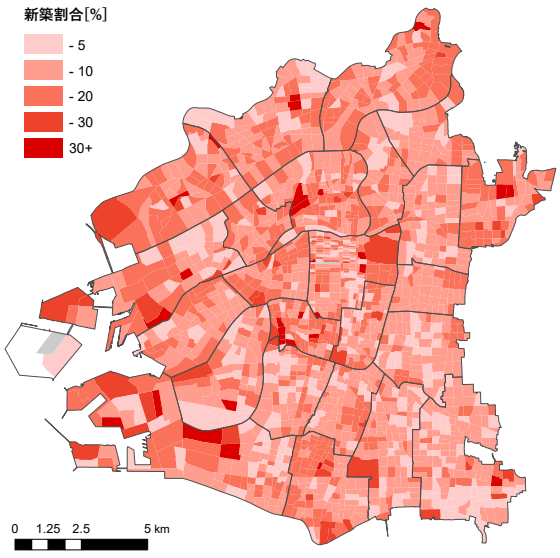


図 1　町丁目別の新築棟数割合 (2020 年)

高分解能データを用いた分析手法によるフードシステムの社会文化的変化の解明：日本におけるタンパク源としての水産食品の役割変化に関する研究

High resolution data-driven approach for analyzing the environmental impact of diets and sociocultural dietary trends: Shift in the role of seafood as a protein source in Japan

○Helen Stewart, Aya Suzuki, Toru Nakamura and Masaki Hisada

NTT Space Environment and Energy Laboratories, Tokyo, Japan

1. Introduction

Seafood has traditionally played a significant role in the food security of Japan. In recent years however, Japan has been moving away from seafood as its primary protein source. Few studies have examined the implication of these consumption trends for dietary sustainability. This study introduces a data analysis method using high-resolution supermarket point of sales (POS) data to examine trends in household food consumption trends and consequent environmental impacts. This method is applied to analyse the consumption of farmed and wild-caught fish, crustaceans and cephalopods in Japan.

2. Method

In this study, a supermarket POS data set [1] for Japan was used to estimate national sales quantities (hereon referred to as consumption quantities) for seafood in the categories of fish, crustaceans, and cephalopods, and land-based protein sources (beef, pork, chicken, tofu, eggs) for comparison. A recent meta-analysis study compared wild-caught to farmed fish for GHG emissions [2]. Life-cycle assessment (LCA) coefficients are used to estimate greenhouse gas (GHG) emissions attributed to consumption of each seafood type.

3. Results and Discussion

Estimates of daily consumption quantities of the three seafood categories shows seasonal instability in fish consumption (Fig 1(a)), which appears to be affected by price fluctuations of increasing magnitude. A long-term decline in the consumption of cephalopods is observed, which appears to be driven by a steady increase in prices (Fig 1(b)). Consumption of crustaceans is highly event-driven, and rising annual New-Year's season prices appear to be driving a decline in consumption (Fig 1(c)). Based on estimates from April 2022, it is found that within the eight major protein groups, seafood provides 18% of protein requirements, despite only accounting for 12% of GHG emissions (Fig 2).

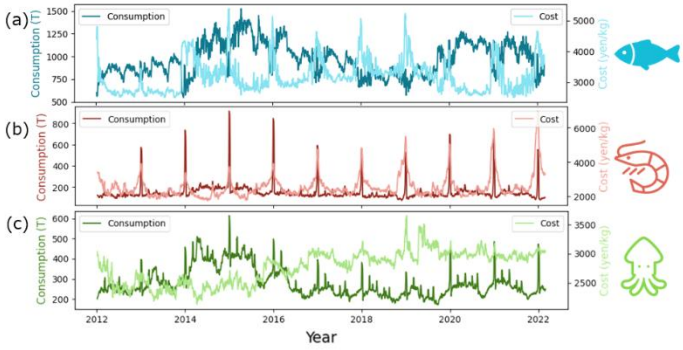


Figure 1: National household daily consumption quantities and average prices of (a) fish, (b) crustaceans and (c) cephalopods estimated from dataset [1] for Japan.

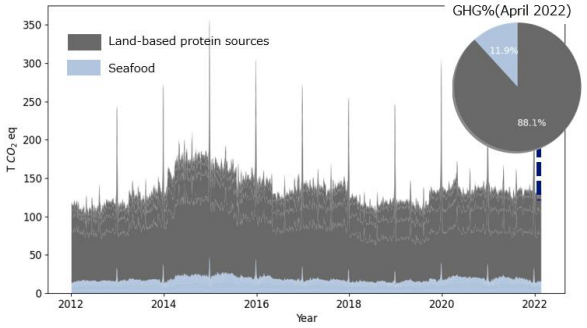


Figure 2: Comparison of GHG emissions for consumption of seafood and land-based protein sources in Japan.

4. Conclusion and future work

This study introduces a method to analyze the environmental impacts of food consumption with a time resolution of one day, allowing the effect of price fluctuations and sociocultural factors to be observed. Increasing prices and heightened price instability appears to be a factor contributing to decreasing seafood consumption. A long-term shift towards land-based protein sources could mean an increase in overall GHG emissions of the Japanese diet.

5. References

[1] "real shopper SM, Shopper Insight.," 2022.. https://shopperinsight.co.jp/service/

[2] J. Z. Koehn, E. H. Allison, C. D. Golden, and R. Hilborn, Environ. Res. Lett., vol. 17, no. 3, p. 035003, 2022, doi: 10.1088/1748-9326/ac3954.

Keywords Seafood, Diets, Sustainability, Protein, LCA

食品リサイクルを利用した畜産物の消費者選好の推定
Estimating Consumer Preference for Eco-feed Animal Products

招商銀行 涂懐静、山口大学経済学部 ○諏訪竜夫

1. はじめに

近年は大量に発生する食品廃棄物の有効な利活用が重要な政策課題である。そこで食品廃棄物由来を飼料であるエコフィードが着目されている。このエコフィードの普及には消費者の意識が重要となるが、それらに関する研究はこれまで多く実施されている。齋藤ら(2009)はエコフィード豚肉に関する選択型実験を実施し、エコフィード豚肉自体は避けられる傾向があるが、その傾向は世帯状況なリサイクルの意識によって変化することを示した。一方で、岩本(2017)は豚肉の選択型実験を行い、エコフィードとアニマルウェルフェア表示が消費者の選択確率を高めることを示した。

斎藤ら(2009)が指摘するように、エコフィードの普及には消費者のエコフィード畜産物の安全性の認識が重要である。そこで本研究では、エコフィードの安全性の関する情報提供を伴う選択型実験を実施し、情報提供による消費者の意識の変化を分析していく。

2. 分析

本研究では 2021 年 10 月に Web 調査によって日本の消費者に対して食品リサイクルに関する意識を調査するアンケートを実施した。この調査の回答者数は 560 人である。このアンケートではエコフィードを利用した鶏肉の選択に関する選択型実験を実施した。この選択型実験では属性を「価格(100g あたり):80 円、120 円、160 円、200 円」、「エコフィード表示:有 or 無」、「産地からの距離:20km、50km、100km、200km」、「肉の柔らかさ:有 or 無」の 4 つに設定した。この実験では回答者は属性の水準が異なる 3 種類の鶏肉と「どれも選ばない」という選択肢を加えた 4 つの選択肢から最も望ましいものを一つ選択し、この選択を 4 回繰り返してもらった。

小坂田・藤野(2018)の選択型実験では情報提供の有無によって回答者をグループ分することで、情報提供の効果を分析している。本研究では食品リサイクルの安全性に関する情報提供を一部の回答者に実施した。この情報の概要は「生肉等が混入する食品残さを飼料に利用する際は高い温度で長時間加熱処理されることが義務付けられている」ことである。

本研究ではアンケート回答者の半数にこの情報提供を行う処置群とし、残り半数には情報提供を行わない対称群とした。この 2 つのグループごとに条件付きロジットモデルにより効用関数パラメータの推定を行った。それらの推定結果は表 1 で示される。

表 1　推定結果

属性	情報提供**有**	情報提供**無**
産地からの距離	-0.003***	-0.005***
エコフィード表示	-0.142	-0.107
肉の柔らかさ	0.453***	0.502***
価格	-0.014***	-0.014***
ASC	-2.386***	-2.337***
回答者	282	278
観測数	1128	1112
対数尤度	-1366.6	-1336.7

***、**、*、はそれぞれ有意水準 1%、5%、10%を示す。

3. まとめ

本研究の選択型実験の結果から消費者は鶏肉を選択する際には、より価格が安く、より産地から近く、肉質が柔らかい鶏肉を好むことが示された。一方で、エコフィード表示は消費者の鶏肉選択に影響を与えないこと、さらにエコフィードの安全性に関する情報提供によってもその傾向が変わらないことが示された。

参考文献

1) 岩本博幸（2017）倫理的消費を通じたアニマルウェルフェアおよび食品リサイクル推進の可能性, 農村研究, 第 124 号, 1-10

2) 小坂田ゆかり・藤野正也（2018）情報提供が環境保全型農産物に対する消費者選好に及ぼす影響, 環境経済・政策研究, 第 11 巻 2 号, 15-28

3) 齋藤陽子・齋藤久光・仙北谷康（2009）豚肉のエコフィード認証に対する消費者評価,農業情報研究, 第 18 巻 3 号, 152-161.

キーワード　エコフィード, 選択型実験, 情報提供

大学生のコンポストづくりと食品廃棄物に対する考え方：2ヶ月間の追跡調査
A two-month follow-up study of the attitudes toward composting and food waste among university students

北九州市立大学大学院 ○袁博子、北九州市立大学　加藤尊秋

1. はじめに

現在、家庭からでた食品廃棄物に関心を持つ人々が少なく、日本の家庭ごみの処理は焼却が中心である。家庭の食品廃棄物の処理方法としてコンポストが注目されている。

食品廃棄物に対する若者のリサイクル意識向上が不可欠だと思い、大学生のコンポストづくりの参加動機やコンポストについての考え方を追跡調査した。コンポスト作りに参加する若者は少ないとされるが（2014 菊地他）、管理の手間が少ない竹コンポスト基材「竹肥姫（株式会社林田産業製）」を使うことで取り組みやすい活動とした。

本研究では、大学生がコンポストづくりを体験することでコンポストや食品廃棄物に対する考え方がどう変化するか、コンポスト体験の中で最も気になる点は何か、2ヶ月間におよぶ追跡調査を行った。

2. 調査方法

福岡県北九州市に立地する北九州市立大学、九州共立大学及び九州女子大学の学生各 3 人、6 人、3 人の総計 12 名が調査に参加した。学生の選定にあたっては、各大学の教員の協力を得た。

コンポストセットを各学生に配り、セット内容はコンポスト箱（市販プラスチック製 W200*D349*H188mm）、「竹肥姫」2 袋（平均 300g）、スコップ、温度計及び秤である。「竹肥姫」は、従来の基材よりも維持管理が簡単であり、単一の基材に食品廃棄物を入れてかき混ぜるのみで匂いが出にくい点が特徴である。1 袋分の基材を敷き、水を少量で入れることで、食品廃棄物を投入処理できる。

調査期間は、2022 年 6 月 1 日から 7 月 31 日までの 2 ヶ月間であり、合計 9 回、週に 1 回の頻度でオンライン面接調査及び質問紙調査を行った。各調査は、まず生徒各自に調査票に記入してもらい、その内容を参照しながらグループ面接で詳細を尋ねる形とした。調査方法の設計にあたり、小野ほか(2018)を参考とした。

3. 調査結果

今回参加した学生は、男性 4 人、女性 8 人である。自宅生は 5 人、下宿生は 7 人である。各調査の参加状況を表 1 に示す。

表 1 .各調査の参加状況

学校	北九州市立大学	九州共立大学	九州女子大学	総計
事前調査 6/1-6/6	3	6	3	12
実施調査 1 6/7-6/12	3	3	3	9
実施調査 2 6/13-6/19	3	6	3	12
実施調査 3 6/20-6/26	2	4	2	8
実施調査 4 6/27-7/3	1	6	2	9
実施調査 5 7/4-7/10	2	6	2	10
実施調査 6 7/11-7/17	2	5	2	9
実施調査 7 7/18-7/24	2	6	2	10
実施調査 8 7/25-7/31	2	6	2	10

事前調査を含む 9 回の調査を実施した。参加者の時間が調整しづらいため、事前調査及び実施調査 2 のみ全員が参加した。

8 回の調査の中で、途中で中止した参加者が 2 人いた。やめた理由は、食品リサイクル意識が高まったが、コンポストづくり中に虫と悪臭が発生するためであった。ひきつづき、結果の分析を進めている。

謝辞

九州共立大学の学生を調査する機会を頂きました梅田勝利先生、および、コンポストについての知識や基材をご提供いただいたあそびとまなび研究所の秋葉祐三子様、林田産業の和中政嗣様、持田めぐみ様に感謝いたします。

参考文献

地域資源の有効活用をめざして（２）竹チップなどを活かした地域資源循環システムの構築　2014　菊地他

小野和宏ほか（2018）PBL を評価する改良版トリプルジャンプにおける「学習としての評価」の要因、京都大学高等教育研究、第 24 号、pp. 35-44.

キーワード　コンポスト、食品廃棄物、追跡調査

食品ロス問題のメッセージの見せ方と反応
Response to the Message on Food Loss Problem

福島大学 ○沼田大輔，齋藤淳也，増田汐莉，菅原レナ，董思瑛，橋本大陸

1. はじめに

2019 年 10 月に施行された食品ロスの削減の推進に関する法律（食品ロス削減推進法）など，食品ロスの削減の推進が求められている。このための方策として，各種キャンペーン，情報発信などによる普及啓発等が盛んに行われている(石村ほか 2021)。そこでは，様々な形で食品ロス削減を呼びかけるメッセージが並んでいる。しかしながら，どのようなメッセージが食品ロス削減の動機によりつながるかについては必ずしも明らかではない。そこで，本研究では，食品ロスの現状についてのメッセージを複数用意し，各メッセージへの反応を，アンケートをもとに検討した。

2. 食品ロスに関するアンケートの概要

アンケートは，食品ロスという言葉・定義・現状の認知，普段の食品ロス削減の取組状況，食品ロスを減らそうと思うメッセージ，回答者の属性からなる。提示した食品ロスを減らそうと思うメッセージは，下記の 5 つとした（＜ ＞内は各メッセージの特徴を示している）。なお，これらのメッセージはいずれも，行動経済学のプロスペクト理論を踏まえ，損失が生じているという表現で，食品ロスの現状を示している。

① ＜日本・量・個人＞ 日本では 1 人当たり毎日お茶碗 1 杯分(約 130g)のご飯を捨てています
② ＜日本・量・全体＞ 日本では年間約 600 万 t の食品ロスが出ています
③ ＜日本・額・個人＞ 日本では 1 世帯(4 人家族)で年間約 6 万 5 千円分の食品ロスを出しています
④ ＜日本・額・全体＞ 日本では年間約 2 兆円分の食品ロスを出しています
⑤ ＜世界・量・全体＞ 世界では年間約 13 億トンの食品ロスが出ています

そして，「⑥どちらも思わない」と合わせて，回答者が食品ロスを減らそうと思うメッセージはどれかを次の順に尋ねた：

(1) 日本・量が共通で，個人か全体か（①と②と⑥）
(2) 日本・額が共通で，個人か全体か（③と④と⑥）
(3) 日本・個人が共通で，量か額か（①と③と⑥）
(4) 量・全体が共通で，日本か世界か（②と⑤と⑥）。

アンケートの実施方法は，福島大学の 3 つの授業および福島県環境アプリで行い，149 の回答を得た。内訳は，福島大学の学生が 92.2%，福島県環境アプリからが 7.8%，男性 74.5%，女性 25.5%，主な年齢は 0～10 代が 36.9%，20 代が 55.7%であった。

3. 食品ロスのメッセージへの反応の集計結果と要因

表 1・表 2 は，本アンケートの回答をもとに，最も減らそうと思うメッセージについて，全回答者に占める割合を示したものである（なお，(4)で⑥を選択した回答者は紙面の関係で省略する）。これを見ると，日本・量・個人（①のメッセージ）が最も多く(28%)，次に，日本・額・個人（③のメッセージ），世界・量・個人のメッセージに反応する回答者が多い(それぞれ 15%)ことが伺われる。

表1. 日本について

	量	額	⑥
個人	28%	15%	0%
全体	5%	8%	0%
⑥	0%	0%	0%

表2. 世界について

	量	額	⑥
個人	15%	7%	0%
全体	2%	10%	1%
⑥	0%	0%	1%

そして，(1)から(4)について，⑥の回答者をサンプルから除いた上で，それぞれ二項プロビット分析を行った。最もあてはまりの良い説明変数の組み合わせ(AIC 最小)についての推計結果を見ると，(1)については，家族数が増えるほど②(全体)を回答することが 5%有意で，(3)については，福島市(1 人 1 日あたりごみ排出量が多い状態が続いている)に在住の回答者ほど①(量)を回答することが 10%有意で，(4)については，高齢者ほど，福島市(地方都市の一例)に在住の回答者ほど②(日本)を回答することが 10%有意で観察された。

参考文献

1) 石村雄一ほか(2021) 食品ロス削減計画の策定はごみ減量化にどのような影響を与えるのか？，廃棄物資源循環学会研究発表会講演集，32 巻，43-44 頁

キーワード　食品ロス，メッセージ，アンケート，反応

家庭系食品ロス発生量の推計方法に関する一考察
A Study on Estimation Method of Household Food Loss Generation

国立環境研究所 ○金森有子

1. はじめに

わが国の家庭系食品ロス発生量は、環境省が実施している「食品廃棄物等の発生抑制及び再生利用の促進の取り組みにかかる実態調査」の結果を用いた推計値である。家庭系食品ロス発生量の推計方法は、上記調査において食品ロス発生量を把握している市区町村について、食品ロスの発生量が食品系廃棄物に占める割合（以後、発生割合）を算出し、その発生割合を全国の食品系廃棄物発生量に乗じるものである。この発生割合は、市区町村別に得られた発生割合を単純平均したものである。本研究では、上記調査の個票を用いて発生量の推計方法の課題を整理・分析した。

2. 分析方法

個票を用いて次の 3 つの手順で分析を実施した。手順 1 : データを整理し調査の質を確認した。手順 2 : 市区町村が実施した組成調査により食品ロス発生量を把握している市区町村の結果を、10 地域別、市区町村の人口規模別（4 区分）に整理し、特徴の有無を確認した。手順 3 : 推計方法の変更が結果に与える影響を分析した。手順 2 及び 3 の作業にあたり、市区町村別人口 1 人あたりの年間食品ロス発生量（以後、発生率）を用いた。これは国が推計で用いる発生割合とは異なるものであることに注意が必要である。

3. 結果

3.1 地域性の有無

家庭系食品ロスのうち、調査市区町村数の多い直接廃棄についての発生率の結果を表 1 に示す。市区町村数が 5 未満の結果については秘匿した。地域や人口規模別に違いはあるものの、平成 27 年から平成 30 年までの調査結果からは、明確な違いは明らかにできなかった。依然として調査数が少なく、地域性の有無については、今後の調査結果を注視する必要がある。

3.2 推計方法の違いと結果への影響

市区町村別発生率の単純平均と、人口規模を考慮した平均発生率の比較を表 2 に示す。人口規模を考慮した平均発生率の方が 10%以上小さくなる結果が得られた。近年の調査では食品ロス発生率を把握している市区町村が増えており、発生率が単純平均ではなく人口規模を考慮した値に近づく可能性がある。食品ロス発生量の減少が人々の行動変容によるものか調査数の増加によるものかを把握する必要があることがわかった。

表 1　直接廃棄の地域別発生率

H27	自治体数	平均値
関東	17	9.37
中部	6	8.43
関西	8	10.34
中国	6	12.05
九州		
全平均	46	9.72

H28	自治体数	平均値
関東	24	8.81
中部		
関西	12	9.04
中国	5	8.91
九州	7	8.86
全平均	59	8.19

H29	自治体数	平均値
関東	24	9.57
中部	9	14.00
関西	15	7.23
中国	8	8.71
九州	7	9.41
全平均	71	10.12

H30	自治体数	平均値
関東	30	8.36
中部	11	11.52
関西	18	7.11
中国	9	7.32
九州	7	7.59
全平均	83	8.27

表 2 発生率の推計方法を変更した場合の比較結果

		H27	H28	H29	H30
直接廃棄	(A)発生率を平均	9.72	8.19	10.12	8.27
	(B)人口を考慮した平均発生率	8.00	7.60	8.65	7.39
	(B)/(A)	82%	93%	85%	89%
食べ残し	(A)発生率を平均	16.52	18.61	16.84	12.43
	(B)人口を考慮した平均発生率	9.05	12.46	9.62	11.18
	(B)/(A)	55%	67%	57%	90%
過剰除去	(A)発生率を平均	6.72	9.47	8.43	7.27
	(B)人口を考慮した平均発生率	9.53	11.09	10.51	5.86
	(B)/(A)	142%	117%	125%	81%
食品ロス	(A)発生率を平均	38.84	26.92	17.21	15.69
	(B)人口を考慮した平均発生率	32.85	27.65	20.91	15.52
	(B)/(A)	85%	103%	122%	99%

謝辞

本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20193003）により実施した。また、環境省から食品廃棄物等の発生抑制及び再生利用の促進の取り組みにかかる実態調査の個票データの提供を受けた。

キーワード　家庭系食品ロス，発生割合，推計方法

日本企業の循環経済への取組実施状況に関する一考察―SDGs 実態調査から
The primary analysis of actions by Japanese companies for the transition to a circular economy

（公財）地球環境戦略研究機関　棚澤理奈，加藤瑞紀，小野田真二、○粟生木千佳

1. 背景

地球の限界内での暮らしを実現するため、循環経済への注目が集まっている。特に SDG12「つくる責任つかう責任」は消費と生産が環境に及ぼす負の影響を最小化し、同時に生活の質向上を達成するアプローチであり、循環経済への移行はその実現に向けた一つの不可欠な要素といえる[1]。SDG12 の達成すなわち生産と消費における企業の役割は大きい。SDGs に関する企業活動調査は 2015 年以降多く実施され[2]個別事例の報告もあるが、日本企業の循環経済への取組実施の全体的な傾向に関しては十分に整理されていない。

2. 目的

SDG12 の取組に関し、特に、日本企業の循環経済に関する取組を対象とし、その実施状況を分析し、今後の取組促進につながり得る基礎的情報を整理する。

3. 方法

グローバル・コンパクト・ネットワーク・ジャパン（GCNJ）会員企業・団体を対象に、2021 年 10-11 月に GCNJ・IGES 共同で実施した SDGs に関する取組実施状況を把握するアンケート「SDGs 実態調査」内の SDG12（循環経済を中心に設計）について回答を元に分析を行った。回答 154 社の内訳は、①製造:食料品（14 社）②製造:化学・医薬品（35 社）③製造:その他製造（26 社）④製造:機械・機器（49 社）⑤建設業（9 社）⑥卸売・小売業（11 社）⑦運輸（10 社）である。

4. 結果及び考察

- 「循環型設計・製造」、「製品価値の期間延長」に関し、代替素材開発導入以外の取組が 6 割以上の企業で実施されている。「サービスとしての提供」「廃棄・回収・資源循環」「製品の情報提供」は、いまだ実施が 4 割に満たず、限定的といえる。
- 「循環型設計・製造」：各業種で取組が進んでいるが、「製造:機械・機器」業による対応は他業種に比べ若干少なく、検討中企業の割合も多い。何らか課題がある可能性が考えられる。一方で容器包装の削減に関し「製造:食料品」業の全回答企業が対応済みであった。
- 「製品価値の期間延長」：7 割近くの企業が取組を進めている。消費者の 9 割が「長く使えるものを買う」[3]とする調査結果もある事から、企業が消費者の期待に対応した結果と考えられる。
- 「サービスとしての提供」：取組企業は限定的で、消費者動向調査[3]からも進んでいない取組と認識されている。
- 「製品の情報提供」：製品の製造段階で循環型の取組が進む企業でも「製品の情報提供」が実施されていない傾向がみられる。認証ラベルへの理解促進が限定的である事[3]や、消費行動に結びつく効果的な環境情報提供が不足しているという分析結果[4]も報告されており、消費者認識・企業の環境情報提供の両面における不足が原因とも考えられる。
- 「廃棄・回収・資源循環」：関連リサイクル法がある業種である「製造:機械・機器」「製造:食料品」においても、必ずしも実施が進んでいない。

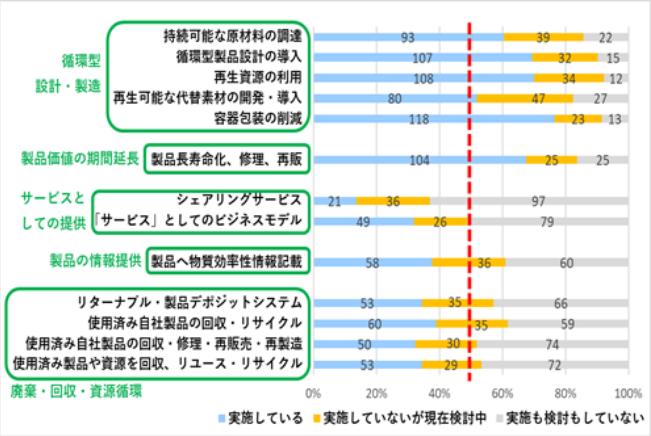


図 1 代表的な循環経済型ビジネスの取組実施状況

5. おわりに

回答企業は製造業が中心であり、設計製造や価値延長等の取組実施状況は良好である一方、情報提供、サービス化については、限定的である傾向が示された。また、資源循環の取組について 5 割以上の企業が実施・検討中であり、製造業の資源循環への関与が今後増加する可能性が示唆された。GCNJ 会員企業対象、また回答数が限定的な業種もあることから、結果への留意や今後、取組の程度や製造や資源循環等についての制度的背景などに関する追加的な分析が必要と考えられる。

6. 参考文献

1) United Nations Environment Programme (2015) “Sustainable Consumption and Production: A Handbook for Policy Makers”, United Nations Environment Programme, 1-216
2) 一般社団法人 グローバル・コンパクト・ネットワーク・ジャパン（GCNJ）・公益財団法人 地球環境戦略研究機関（IGES）（2022）SDGs 進捗レポート 2022 ～GCNJ 会員企業・団体の取組現場から～, GCNJ・IGES，1-88
3) 株式会社博報堂（2019）生活者のサステナブル購買行動調査，株式会社博報堂，1-6
4) 平尾雅彦（2022）持続可能な消費に向けてのアプローチ，日本 LCA 学会誌，18 (2)，70-76

都有施設における省エネ対策に関するヒアリング調査
Interview Survey on Energy Conservation Measures in Tokyo Metropolitan Government Facilities

北星学園大学 ○藤井康平，公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所 片野博明，小谷野眞司

1. 背景・目的

東京都は「ゼロエミッション都庁行動計画」を策定し，知事部局等のエネルギー消費量を 2024 年度に 2000 年度比で 30%削減することを目標としている[1)]。2020 年度時点の同削減率は約 21.6%であり[2)]，目標達成のためには更なる省エネの推進が必要である。これを踏まえ，知事部局等が管理する施設（以下「都有施設」という）における，省エネ対策の阻害要因および必要な支援を明らかにすることを目的としたヒアリング調査を実施した。

2. 調査方法

2021 年 11 月から 2022 年 2 月にかけて，知事部局等の中の主な部局（総務局，財務局，主税局，生活文化局（当時），都市整備局，環境局，福祉保健局，産業労働局，中央卸売市場，建設局，港湾局，東京消防庁，教育庁，警視庁）を対象に，ヒアリング調査を実施した。省エネ対策に伴う予算要求から現場対応まで，そのプロセスを幅広く調査するため，本庁施設管理部署（表 1，計 12 部署）及び各個別施設（表 2，計 22 か所）の現場担当者に対し，ヒアリング（対面またはオンライン）を実施した。なお，ヒアリングが難しい部署・施設（3 か所）については文書での回答を求めた。

表 1　調査対象の施設管理部署

対象部署	調査数
➢複数の個別施設を統括し、管理している本庁側の施設管理部署 ・総務部施設課 ・総務部総務課施設担当 ・総務部経理課施設担当 等	12部署

表 2　調査対象の個別施設

施設用途	調査数	原油換算エネルギー消費量（2019年度実績）
庁舎等	7箇所	約40～約9,930 kL/年
学校・教育施設等	3箇所	約170～約380 kL/年
文化施設等	3箇所	約520～約1,470 kL/年
その他（展示施設、研究所等）	9箇所	約30～約6,800 kL/年

3. 結果と考察

省エネ対策は，運用改善（空調の適正運用等，投資が不要な対策）と設備改善（空調設備の更新等，投資が必要な対策）に分けることができる。本研究はこの 2 つの相違に着目した（表 3）。主な対策阻害要因として、運用改善面では「情報不足」、設備改善面では「予算制約」「人員不足」「工事スケジュール調整」が挙げられた。

都有施設には様々な用途の施設があるが，エネルギーを消費する設備は主に空調や照明等であり，多くの部分で共通している。しかし部局間や施設間で省エネに関する情報交換はあまりなされておらず，各部局や各施設で独自に試行錯誤しつつ取り組んでいる状況である。

都有施設の数は約 3,300 と多いため，省エネ対策事例を集約し，部局を横断して共有する体制や，都庁全体で設備更新の方針を定め，計画的に進める体制を構築することが出来れば，省エネが大きく進む可能性がある。

表 3　省エネ対策に関するヒアリング結果

	運用改善	設備改善
対策実施プロセス	・実施者は現場担当者 ・大規模事業所（原油換算エネルギー消費量 1,500kl/年以上）は現場担当者が複数配置。 ・中小規模事業所（同未満）の現場担当者は 1,2 名程度であり，他業務も兼務 ・中小規模事業所と比較して，大規模事業所では，省エネに関する定例会等を設置し，より積極的に省エネに取り組んでいる傾向	・小規模な修繕は現場担当者が，大規模な設備更新は本庁施設管理部署が実施 ＞ただし現場担当者の裁量や管理予算は部局や施設ごとに幅がある ・24 時間稼働施設や大規模事業所では，中長期的な計画に基づき設備更新を実施するため，計画的に高効率な設備に更新される傾向 ・中小規模事業所は一般的に設備に不具合が生じた際に更新するため，省エネや予防保全を目的とした設備更新が実施できていない傾向
対策阻害要因	・情報不足 ＞専門性を有する対策の難しさ ＞知識・ノウハウの不足 ＞現場担当者に事務職が多く，技術的・専門的知識を持たない	・予算制約 ・人員不足 ・工事スケジュール調整の困難さ
有効と考えられる支援策	・都庁全体の省エネ運用基準の作成 ・施設の用途・規模・建築時期等で分類した省エネ対策事例の作成と各施設への提供 ・省エネ対策に関する問い合わせ窓口の設置	・都庁全体の設備更新方針の決定，設備更新基準の作成と予算の確保 ・部門横断的な省エネ専門人員の配置 ・都庁全体を管轄するゼロエミッション部署の設置（設備更新の一括発注，ノウハウ提供の実施等）

参考文献

1) 東京都（2021）『ゼロエミッション都庁行動計画』

2) 東京都（2021）『2020 年度（令和 2 年度） 東京都知事部局等の温室効果ガス排出量等について』 https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/own_efforts/results/200100a20220323202814858.html，（参照 2022-7-22）

キーワード　省エネ阻害要因，公共施設，ヒアリング

オフィスビルを対象とした PV･EV･BT 連携の有効性に関する研究
Study on Effectiveness of PV/EV/BT Linkage for Office Buildings

北九州市立大学 ○カオリ ルトフィア，松本 亨，藤山 淳史

1. はじめに

2015 年パリ協定を契機として，脱炭素化の動きが国や自治体，さらに世界中の多くの企業にも拡大している。企業にとって，太陽光パネル（PV）や定置型蓄電池（BT），電気自動車（EV）の導入は，温室効果ガス排出量の削減に貢献する可能性があるだけでなく，企業イメージの向上にもつながることも期待される。一方，導入コストが高いことに加え，天候によって発電量が変動することなどから導入に踏み出せない企業も少なくはない。

そこで本研究では，北九州市に立地するオフィスビルを対象として，PV，BT，EV の導入と，さらにそれらの連携を実施した場合の効果について，電力需給調整の可能性および CO_2 削減効果を評価した。

2. ケース設定と推計手法

2-1. ケース設定

導入ケースの効果を評価するため、以下 5 つのケースを設定した。

- 対象施設の現況ケース（PV,EV,BT なし）
- PV のみ導入ケース（PV のみ）
- PV と BT を導入するケース（PV,BT）
- PV と EV を導入するが V2B を行わないケース（PV,EV）
- PV と EV を導入し，V2B を行うケース（V2B）

2-2. 推計手法

PV の発電量は，NEDO 標準気象データベース [1]の斜面日射量データと JIS C8907[2]をもとに，PV 設置の傾斜角を 5 度，方位角を 0 度（真南方向），PV 発電容量を 30kW と設定し，年間 PV 発電量を 31,169kWh と推計した。

BT の容量は 36kW と仮定した。

EV は日産リーフを想定し，搭載している電池の容量を 40kW，実行容量 80%[3]とし，導入台数は 3 台とした。なお，営業日の 10:00～15:00 には EV は稼働とし，それ以外の時間はオフィスビルの駐車場に停車または V2B を実施すると設定した。

3. 結果

試算した結果を，図 1 に示す。オフィスビルの系統電力需要量を「PV,EV,BT なし」ケースと比較すると，「PV のみ」と「PV,EV」では 15%削減，「PV,BT」では 34%削減，「V2B」では 20%削減されることがわかった。また，ピークカット率は最大 6.7%であった。

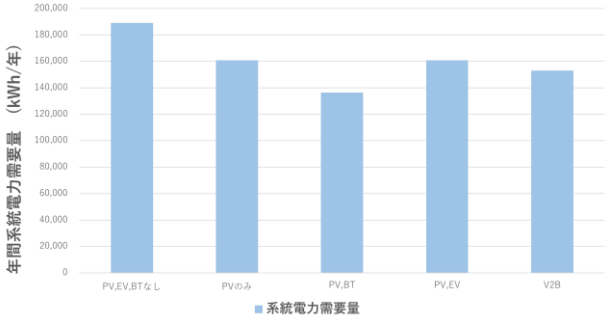


図 1　年間系統電力需要量

4. まとめと今後の課題

本研究では，北九州市内に立地するオフィスビルを対象に，PV，BT，EV の導入ケース 5 つを比較し，電力需給調整機能としての可能性について評価した。その結果，系統電力需要調整機能としては「PV,BT」のケースが最も効果があることがわかった。しかし，「PV,BT」のケースは社用車としてガソリン車を使用しているため，CO_2 排出の削減量でみると「V2B」のケースが最も大きい結果となった。今後は，評価対象施設の電力コストと CO2 削減量を最小化する観点から，PV，BT，EV 導入の最適規模や EV の最適な運用方法を検討していくことが課題である。さらに，複数の民間企業を対象として，一括充電による契約電力の軽減効果についても検討する予定である。

参考文献
1) NEDO, 年間時別日射量ベータベース（MRTPV-20）
2) JIS C8907:2005，太陽光発電システムの発電電力量推定方法
3) 日産，蓄電池利用，リーフ主要装備一覧 https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf/v2h.html

キーワード　太陽光発電，V2B，定置型蓄電池，電力需給調整機能

都内中小規模事業所における省エネ動機に関するアンケート調査

Questionnaire Survey on Motivations for Energy Conservation in Medium-Sized Buildings in Tokyo

公益財団法人東京都環境公社　東京都環境科学研究所　○片野博明，北星学園大学　藤井康平

1. はじめに

東京都は，「ゼロエミッション東京戦略 2020 Update & Report」において，都内エネルギー消費量を 2030 年までに 50%削減（2000 年比）するという目標を掲げており，省エネ対策は優先すべき課題の一つである。更なる省エネを進めるためには，省エネ対策の実施に影響を与える要因とその影響度を明らかにすることが重要である。本調査では，都内の中小規模事業所が，「省エネ対策に取り組む動機（以下「省エネ動機」という。）」について明らかにすることを目的に，アンケート調査を実施した。

2. アンケート調査概要及び分析方法

アンケート調査概要を表 1 に示す。本調査では，省エネ対策（A～F）の実施状況及び省エネ動機（①～⑬）の状況を選択式で回答する方式とした（図 1 及び図 2)。そして，省エネ動機が省エネ対策の実施状況に与える影響を明らかにするため，「省エネ対策の実施状況」を目的変数，「省エネ動機」を説明変数としたロジスティック回帰分析を実施した（図 1 及び図 2)。

3. アンケート分析結果及び考察

分析結果を表 2 に示す。有意確率が 5%未満となった省エネ動機を記載し，その中で係数がプラスになっている動機に色付けしている。分析の結果，省エネ対策を導入する動機として，光熱費の削減だけでなく，ステークホルダーや同業他社といった外部アクターの影響が強いことが推定された。また，将来の環境政策への事前対応という動機も強い影響を与えている。これらの結果から，業界団体への働きかけや，先行的に省エネ対策に取り組む事業所に対する様々な支援の実施，脱炭素社会への転換が将来の経営に与える影響に関する情報提供の実施等が必要だと推察される。

謝辞　本研究は JSPS 科研費（JP18K11771）の助成を受けたものです。

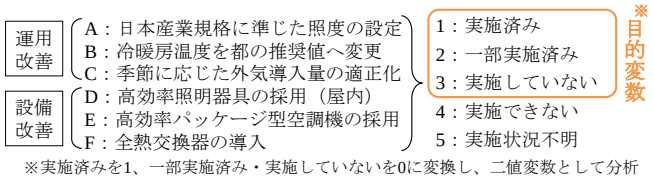
キーワード　中小規模事業所, 省エネ動機, アンケート調査

表 1　アンケート調査概要

項目	内容
実施期間	2022年3月
調査対象	東京都に地球温暖化対策報告書を提出している※商業複合系（テナントビル）、物販店（生鮮食品等）、学校・教育施設、フィットネス施設、旅館・ホテル等
調査方法	調査票を郵送。郵送又はメールで回答。
発送数・回収率	発送数：5,400施設　回収率：7.1%
調査項目	①省エネ対策の実施状況　②省エネ対策を阻害する要因 ③省エネ対策に取り組む動機　④事業所情報（資本金等）等

※地球温暖化対策報告書を提出している事業所の原油換算エネルギー使用量は年間1,500kL未満である。

図 1　本調査で扱う省エネ対策及び実施状況の選択肢



※実施済みを1、一部実施済み・実施していないを0に変換し、二値変数として分析

図 2　本調査で扱う省エネ動機及びその状況の選択肢

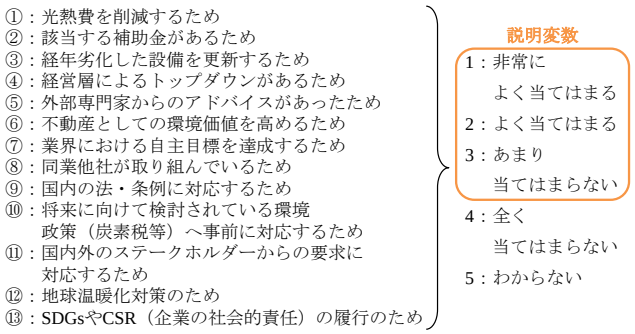


表 2　省エネ動機に関するロジスティック回帰分析結果

省エネ対策	省エネ動機	係数	有意確率
A:照度適正化	①光熱費削減	1.1256	0.0013
	②補助金の存在	-0.5438	0.0177
	③設備更新	-0.4437	0.0297
	④トップダウン	-0.5977	0.0219
	⑤外部専門家のアドバイス	0.5752	0.0385
	⑥不動産の価値向上	-0.7191	0.0052
	⑦業界の自主目標	0.6306	0.0440
	⑪ステークホルダーの影響	0.7663	0.0073
B:冷暖房温度適正化	⑥不動産の価値向上	-0.7301	0.0029
	⑪ステークホルダーの影響	0.7588	0.0008
C:外気導入量適正化	①光熱費削減	1.1434	0.0004
	②補助金の存在	-0.5329	0.0182
	⑩将来の環境政策への事前対応	0.8795	0.0025
D:高効率照明の採用	①光熱費削減	0.6730	0.0232
	③設備更新	0.3912	0.0324
	④トップダウン	-0.6946	0.0036
	⑨法条例対応	-0.5641	0.0292
F:全熱交換器の導入	⑥不動産の価値向上	0.8658	0.0038
	⑧同業他社の影響	1.6327	0.0004
	⑪ステークホルダーの影響	-0.7768	0.0252

東京都の業務部門における 2030 年までの二酸化炭素排出量半減の達成シナリオの分析

Scenario analysis for achieving CO_2 emission reduction by half by 2030 in the commercial sector of Tokyo

東京工業大学大学院 ○片野博明，国立環境研究所 増井利彦

1. はじめに

2021 年 10 月に地球温暖化対策計画が閣議決定され，2030 年度の温室効果ガスの排出削減目標として，業務部門では，2013 年度比 51%削減と大幅な削減が求められている。本研究では，東京都の業務部門において，地球温暖化対策計画で想定されている目標を達成するためには，いかなる対策が必要であるか，また，2030 年度には，高効率機器の普及率をどの程度にする必要があるか，明らかにすることを目的とする。

2. 分析手法

本分析では，機器レベルでの詳細な分析が可能なボトムアップ型のエネルギーモデルである AIM エンドユースモデル [1] を適用し，東京都の業務部門における 2030 年度のエネルギー起源の CO_2 排出量を推計した。本モデルでは，現状及び将来利用可能な個々のエネルギー機器関連データやエネルギーデータを準備するとともに，将来のエネルギーサービス需要を外生的に設定し，その条件の下で，年間の総費用（初期費用及び運転費用）を最小化するよう 1 年ごとにエネルギー機器の選択が行われる。本分析では，エネルギーサービス需要として，冷暖房，給湯，厨房，照明，冷蔵・冷凍，その他動力を想定し，環境省 [2]等より機器効率，機器価格等を設定した。本分析で，推計を行ったケースを表 1 に示す。

3. 分析結果及び考察

図 1 に業種別 CO_2 排出量，図 2 に機器別冷暖房サービス供給量の推計結果を示す。図 1 より，複数の対策を組み合わせた対策強化ケースで，目標達成が可能となった。また，電力の CO_2 排出係数の改善により，CO_2 排出量が大幅に削減される。本分析では，耐用年数を迎えた冷暖房機器を，費用最小化の条件により更新することで，2030 年には，冷暖房サービス需要において電気ヒートポンプの普及率が大幅に増加した（図 2）。以上の結果から，地球温暖化対策計画の目標達成のためには，電力の CO_2 排出係数の改善が，極めて重要な対策である。また，耐用年数を迎えた冷暖房機器を着実に更新していくことが必要と推察される。

表 1　推計を行ったケース一覧

ケース名	CO_2排出削減対策			
	炭素税	補助金	LED普及想定	その他動力のサービス需要想定
技術固定・排出係数固定ケース	・機器別のエネルギーサービス供給比率を固定 ・電力のCO_2排出係数を固定			
技術固定・排出係数改善ケース	・機器別のエネルギーサービス供給比率を固定 ・第6次エネルギー基本計画で想定されている 0.234 kg-CO_2/kWhまで，電力の排出係数が改善			
基準ケース	なし	なし	制約なし	高水準
対策ケース	あり	あり	普及継続	高水準
対策強化ケース①	あり	あり	普及90%	中水準
対策強化ケース②	なし	なし	普及100%	中水準
対策強化ケース③	なし	なし	普及継続	低水準

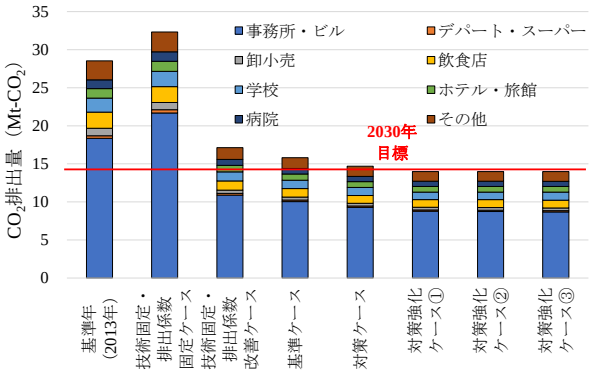


図 1　業種別 CO_2 排出量

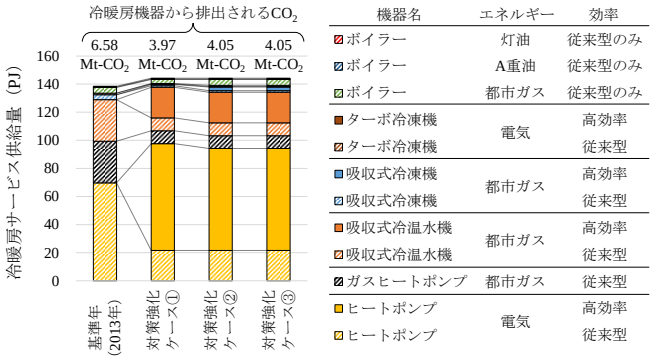


図 2　機器別冷暖房サービス供給量

参考文献

1) M. Kainuma, Y. Matsuoka, T. Morita (2002) CLIMATE POLICY ASSESSMENT, Springer

2) 環境省（2012）中央環境審議会地球環境部会 2013 年以降の対策・施策に関する報告書

キーワード　業務部門，CO_2 排出量，2030 年目標

木造住宅と森林の木材需給を考慮した炭素ストックのシナリオ分析
Scenario Analysis of Carbon Stock in Forest and Wooden Houses - Considering the Supply and Demand of Timber -

○山下奈穂[1]（1.名古屋大学大学院環境学研究科），加用千裕[2]（2.東京農工大学農学研究院），谷川寛樹[1]

1. はじめに

木材の主な利用先のうち，木造住宅は長期間に渡り炭素を蓄積することから，炭素ストックの推計には長寿命化などの住宅政策が木材需給及び森林にもたらす影響を考慮する必要がある。これまで森林側の炭素吸収・固定機能に着目した炭素ストック定量化は多く行われてきたものの，対象地域や樹種が限られている点や木材利用の多くを占める住宅政策の影響が考慮されていない点が課題であった。本研究では，住宅における炭素ストックの代表として木造住宅に着目し，木造住宅の長寿命化及び木材の利用促進を想定するシナリオのもと，木造住宅と森林の合計炭素ストック量の比較を行う。推計対象は日本の人工林面積の約 83%を占めるスギ・ヒノキ・カラマツ[1)]の三樹種とする。

2. 研究方法

木造住宅と森林の炭素ストック推計フローを図 1 に示す。まず，木造住宅の着工床面積に木材投入原単位を乗じることでその年に必要な木材の需要量を推計し，木材に固定されている炭素量から木造住宅の炭素ストック量を推計する。森林側では，樹種別齢級別の材積量を供給可能量とし，木造住宅用の木材需要量を満たすように伐採を行うとする。伐採は齢級の高い樹木から優先的に行い，伐採した面積分は翌年に同樹種によって再植林すると仮定する。このとき，伐採面積に対し実際に再植林を行う割合を複数検討し，再植林の仮定が全体の炭素ストック量に与える影響について併せて議論する。

3. 推計結果

木造住宅と森林の合計炭素ストック量について，現状維持シナリオでは 2100 年に 10.1 億 t-C と推計された。将来の木造住宅需要の増加と耐用年数の延長（100 年）を見込むシナリオでは，2100 年の炭素ストックが 11.4 億 t-C, 推計期間における年間の平均炭素ストックが 10.6 億 t-C とシナリオ間で最大の値を示した。また，伐採後に全く再植林が行われない，もしくは再植林率が現状の 25%に留まる場合，2100 年及び推計期間における毎年の平均炭素ストック量のいずれも減少すると予想された。

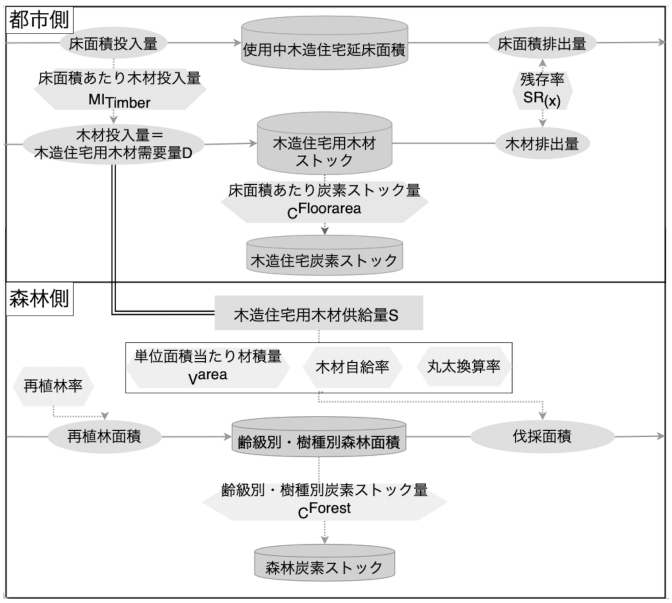


図 1　推計のフロー

4. おわりに

本研究では，木造住宅の需要増加と長寿命化についてシナリオを設定し，将来の木造住宅と森林の合計炭素ストック量を比較した。今後の課題として以下の点が挙げられる。

1)本研究では木造住宅を対象に推計を行ったが，木・紙製品，エネルギー利用のための木材供給量を加味することで，伐採量及び再植林後の齢級構成は変化しうる。

2)木材利用の傾向や，材積密度・容積密度は地理的特徴によって様々であると考えられることから，対象地域を細分化した推計を行うことが望ましい。一方で，炭素は国境を越えて世界中を移動することから，日本国内の炭素ストックの増加が世界の炭素フローに与える影響の評価もあわせて検討する。

参考文献

1) 林野庁（2017）森林資源の現況，https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/,（参照 2020-8-20）

キーワード　炭素ストック，物質ストック分析，木造住宅，木材需給，人工林

国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンネットワーク設計： 日本への影響
Design of Global Supply Chain Network with Carbon Border Tax: Impact on Japanese Market

電気通信大学　○長尾剛樹，伊集院大将，山田哲男，広島大学 長沢敬佑

1. 背景

地球温暖化を防ぐために，EU では 2026 年に国境炭素税[1]の導入が決定した。これは，気候変動対策の十分でない国から十分な国への商品の輸入の際に，炭素課金を行うことである[1]。国境をまたがる生産物流であるグローバル・サプライチェーンでも，コスト削減にこの影響は大きいと予想される。Nagao et al. [2]は，国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンをモデル化したが，日本を需要地とした際の分析は行われていなかった。

本研究では日本が需要地の場合を想定し，国境炭素税のグローバル・サプライチェーンへの影響を分析する。

2. モデル

本研究では，Nagao et al. [2]の国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンモデルを適用する。目的関数は総費用最小化であり（式（１）），*TC*，*TMC*，*TTC*，*TCDC*，*TCBA* はそれぞれ，総費用，総製造費用，総輸送費用，総関税費用と，総国境炭素税費用である。国境炭素税（式（２））は，製品の Greenhouse Gas (GHG)排出量が，適用国での国内生産製品の GHG 排出量より大きい場合に，その差分に国境炭素税率を掛け合わせることで算出，課税されると仮定する。そのもとで，国境炭素税は式（２）として表現される。ここで，$E_p^{b^*}$は工場 p から国境炭素税適用国b^*に輸入される製品の GHG 排出量の，国b^*での国内製造の場合との GHG 排出量の差である。$C_{b^*}^{\mathrm{R}}$は国b^*での国境炭素税率である。

Objective:

$$TC = TMC + TTC + TCDC + TCBA \rightarrow min \qquad (1)$$

s.t.

$$TCBA = \sum_{p \in P} E_p^{b^*} C_{b^*}^{\mathrm{R}} \qquad (2)$$

他の制約や例題は、Nagao et al. [2]と同様にする。日本への影響を調べるために, 需要は東京で 6000 個とする。

3. 結果

表 1 は，再設計前後での総費用と総 GHG 排出量の結果である。再設計前のサプライチェーンに対して国境炭素税を課すと，総費用は 60%増加した。一方で再設計後は，再設計前の総費用から 46%減少し，全体の 8%が国境炭素税費用となった。GHG 排出量に関しては，再設計前から再設計後へ，29%削減された。

また，グローバル・サプライチェーンの変化に関しては，工場立地は上海とクアラルンプールですべて変化なかった。しかし，サプライヤーはもともと工場立地国を中心に選択されていたが，再設計後には日本やアメリカのサプライヤーへ切り換えが進んだ。

表１　再設計前後での総費用と総 GHG 排出量の結果: 東京需要 6000 個の場合

	再設計前	再設計後
TTC [USD]	3236	6407
TCDC [USD]	758	2176
TMC [USD]	25506	28299
TCBA [USD]	44530	3092
TC [USD]	74030	39974
GHG 排出量 [t-CO_2eq]	58	17

4. まとめ

本研究では，国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンネットワークモデルにおいて，日本が需要地の場合の数値実験を行い，影響の分析を行った。今後の課題として，排出権取引など他の環境政策との比較検証が挙げられる。

謝辞　本研究の一部は，日本学術振興会科研費基盤研究(A)JP18H03824 の助成を受けたものである．

参考文献

1) Taxation and Customs Union, Carbon Border Adjustment Mechanism. https://ec.europa.eu/taxation_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en, last accessed 2022/5/6.

2) Nagao, T., Ijuin, H., Nagasawa, K., and Yamada, T. (2022) Modeling Carbon Border Tax for Material-based GHG Emission and Costs in Global Supply Chain Network, 18th Global Conference on Sustainable Manufacturing (in press).

キーワード　環境配慮型生産，LCA，脱炭素，関税

わが国の食品ロス削減による国際食料市場を通した環境・経済・社会への影響
Environmental, economic and social impacts of reducing Japanese food loss and waste in relation to global food markets

東京工業大学 ○棟居洋介，国立環境研究所 増井利彦，金森有子

1. はじめに

わが国は2030年度までに食品ロスの発生量を2000年度比で半減させることを目標としているが，食品ロスの削減が環境・経済・社会に与える影響については不明な点が多い。わが国は食料供給の多くを輸入に依存しているため，食品ロスの削減は国際食料市場を通して国内外において食料生産を減少させる可能性がある一方で，食料生産における天然資源の浪費や温室効果ガスの過剰な排出を抑制し，栄養不足人口の減少につながる可能性がある。本研究では 2015 年の社会・経済状況を前提として，わが国が食品ロスの半減目標を達成した場合のこれらの影響について，食料貿易モデルを用いて推定した。

2. 食料貿易モデルと食品ロス削減の想定

食料貿易モデルは，先行研究 [1)]で用いたモデルをベースに，2015 年において主要な 30 の貿易品目（穀物 4，糖料作物 1，砂糖 1，油糧作物 7，植物油 7，油粕 5，畜産物 5），世界 121 か国・地域を分析できるように改良したものを用いた。また，食品ロスの削減については，食品ロスの半減目標を達成することにより，2015 年の食品ロス発生量の 10.1%に相当する 74.9 万トンの食料の国内需要が減少することを想定して分析を行った。

3. 結果

わが国の食料輸入の減少によりすべての品目において国際価格が低下し，世界全体の食料生産額は国際価格換算で 27.1 億ドル減少した。他方で，国外における食事エネルギー総供給量は，わが国の食品ロス削減量のエネルギー換算量の 43.9%に相当する 8.62×10^{11} kcal 増加し，インド，中国などの途上国を中心に世界全体で栄養不足人口が 59.1 万人減少した。また，農業生産時の土地資源利用量は，農作物生産量の減少により世界全体で 3 万 7,800 ha 減少し，先行研究 [2)]で推定された 2015 年のわが国の食品ロスによる世界全体の土地資源の浪費（111 万 ha）の 3.4%に相当した。水資源利用量についても世界全体で 7,870 万 m^3 減少し，先行研究 [2)]で推計されたわが国の食品ロスによる世界の水資源の浪費（4 億 3,870 万 m^3）の 17.9%に相当した。さらに，食品由来の温室効果ガス排出量についても，畜産物を含む農産物の生産減少により世界全体で 94.0 万トン CO2eq 減少し，先行研究 [2)]で推定されたわが国の食品ロスによる温室効果ガス排出量（1,566 万トン CO2 eq）の 6.0%に相当した。

表 1　わが国の食品ロス削減による影響

評価項目	世界全体への影響
食事エネルギー総供給量	8.62×10^{11} kcal 増加 （先進国 4.9%, 途上国 95.1%）
栄養不足人口	59.1 万人 減少 （先進国 0.7%, 途上国 99.3%）
土地資源利用量	3万7,800 ha 減少 （先進国 37.7%, 途上国 62.3%）
水資源利用量	7,870 万m^3 減少 （先進国 8.7%, 途上国 91.3%）
温室効果ガス排出量	94.0 万トンCO2eq 減少 （先進国 25.6%, 途上国 74.4%）
食料生産額	27.1億ドル（国際価格換算）減少 （先進国 32.0%, 途上国 68.0%）

注）括弧内の数値は，先進国と途上国の内訳を示す。

4. 結論

食品ロスの半減目標の達成は，国際食料市場を通して経済面では負の影響をもたらす可能性がある一方で，環境面と社会面における課題の同時解決に貢献する可能性があることが示された。

謝辞：本研究は環境研究総合推進費（JPMEERF20193003）の助成により実施された。

参考文献

1) Munesue Y, Masui T, and Fushima T (2015) The effects of reducing food losses and food waste on global food insecurity, natural resources, and greenhouse gas emissions, Environmental Economics and Policy Studies, Volume 17, Issue 1, pp 43-77.
2) 棟居洋介・増井利彦・金森有子（2021）わが国の食品ロス発生による温室効果ガス排出，天然資源の浪費および経済損失の評価，環境科学会誌第 34 巻 6 号, 256–269.

キーワード　食品ロス，食料貿易，環境・経済・社会

Optimizing the Collection System of Industrial Plastic Waste by Using Machine Learning

[1]The University of Kitakyushu ○Richao CONG, Atsushi FUJIYAMA, Toru MATSUMOTO

1. Introduction

Instead of statistical approaches, artificial intelligence (AI) techniques have been utilized for waste management in many fields owing to their higher accuracy. It provides opportunities to make accurate future predictions of collection demands and detect the optimal collection routes. This study aims to address plastic waste management using AI by applying predicted individual collection demands of industrial plastic waste (IPW) to an integrated collection system, as demonstrated in the Fukuoka Prefecture, Japan.

2. Methods

Based on the information from the existing collection system, which was obtained from the local recycling company, a framework for integrating the current system was proposed, as shown in figure 1. The AI techniques used in this study include the machine learning approach on future predictions of collection demands and application of optimization for vehicle routing problems. First, the daily collection demands for routing collection facilities were accurately predicted by the AI based on the accumulated collection records. Following this, a distance-optimized collection route was detected by the AI to integrate the routing collection and spot collection facilities. To further validate this method, an optimal route was detected for a real road network. Finally, reductions in traveling distance and carbon dioxide (CO_2) emissions were evaluated for the collection system both before and after AI-assisted integration.

3. Results and Conclusion

In this study, we proposed an integrated IPW collection system to link the future prediction of collection demands from collection facilities with vehicle routing problem (VRP) which was solved by using the AI techniques. The total-traveling-distance-optimized routes were detected using the Euclidean distance and road network distance. The results of routing validation showed that this AI-based approach is reasonable for use in such applications. Finally, the benefit from this integration was proven through the traveling distance (i.e., 22 km reduction, which is 14.2% of the total) and CO_2 emissions (i.e., 4.8 kg-CO_2 reduction, which is 10.1% of the total). This demonstrates the high potential for integrating this method in the environmental aspect.

As a next step, the evaluations on the system optimization from economic aspect and further variables for better prediction accuracy should be explored.

Acknowledgements:
This study was supported by the Environment Research and Technology Development Fund (JPMEERF20193005) of the Environmental Restoration and Conservation Agency of Japan.

Keywords: AI technology, industrial plastic waste, machine learning, system optimization, VRP

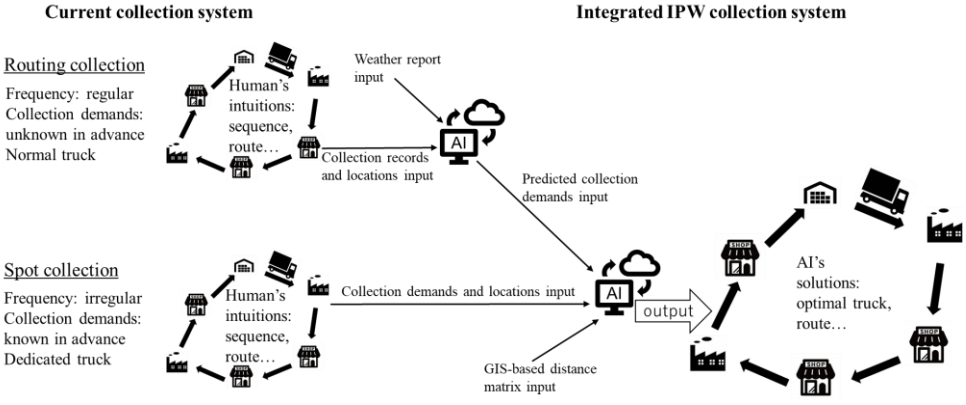


Figure1. A proposed system on integrating the current IPW collection system by AI technique

損失幸福余命を用いた福島災害後の放射線被ばく，糖尿病，心理的苦痛のリスク比較
Comparisons in loss of happy life expectancy of radiation, diabetes, and psychological distress

大阪大学感染症総合教育研究拠点/福島県立医科大学医学部 ○村上道夫，ときわ会常磐病院乳腺外科/福島県立医科大学医学部 尾崎章彦，産業技術総合研究所安全科学研究部門 小野恭子，東京大学大学院医学系研究科/慶應義塾大学医学部 野村周平，福島県立医科大学医学部 竹林由武，坪倉正治

1. はじめに

福島災害後，放射線被ばくのみならず心身の健康影響が生じた。2018 年会では，被ばくと老人施設からの避難や糖尿病について損失余命を，被ばくと心理的苦痛について損失幸福余命を用いて比較した[1]。本発表では新たに得られたデータを用いながら，損失幸福余命を用いて，福島災害後に増加した被ばく，糖尿病，心理的苦痛の 3 つのリスクの大きさを比較した。

2. 方法

本研究は，福島県立医科大学一般倫理委員会（一般 29199）およびときわ会常磐病院倫理委員会（JHTF-2021-0006）の承認を受けて行った。

損失幸福余命は，性別ごとの生命表，性別年齢階層ごとの情動幸福の割合，リスク事象による情動幸福の低下，性別年齢別の死亡率によって算出される[2]。生命表と情動幸福の割合は既報[2]に準じて日本全体の値を用いた。心理的苦痛や糖尿病による情動幸福の低下については避難指示区域（解除後）の住民を対象にした郵送法アンケート（2018 年 1 月に実施，計 680 名）[3]を用いて解析した。がんによる情動幸福の低下については，常磐病院の乳腺外科外来の乳がん患者および非乳がん患者に配布したアンケート（2021 年 11 月から 2022 年 1 月に実施，計 562 名）を用いて解析した。既報[2]に沿って，性別ごとに Positive emotion [3]または情動幸福と有意な関連のあった項目を共変量とした傾向スコアマッチングを行い，情動幸福の低下を解析した。有意な情動幸福の低下が見られた場合に，損失幸福余命を算出する際に低下量を組み込んだ。

避難指示区域住民における 1 年目および生涯被ばく量の平均値[4]を算出し，物理的崩壊によって減衰すると仮定して 2 年目以降の線量を割り当てた。心理的苦痛は災害後 8 年分の避難指示区域住民の値 [5]をもとに，災害後の心理的苦痛の増加量が指数関数的に減衰すると仮定した。糖尿病は 40－74 歳を対象とし，非帰還者の災害前有病率と 1 年ごとのオッズ比[6]から災害後 7 年間の有病率を算出し，増加した有病率を 1 年間で新規発生したと考えた。被ばくと糖尿病による死亡率の増加は既報[7]に準じた。平成 27 年モデル人口（https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei20/dl/14_nencho.pdf）を用いて 20 歳以上および 40 歳から 74 歳までの年齢調整損失幸福余命を算出した。

3. 結果と考察

傾向スコアマッチング後，心理的苦痛がある人の情動幸福は男性で 26.5%，女性で 47.6%低かった（$P < 0.05$）。一方，糖尿病とがんについては，有意な差はなかった（$P > 0.20$）。福島災害後の被ばくによる損失幸福余命は，20 歳以上全体において 0.0020 年，40－74 歳において 0.0013 年であった。心理的苦痛による損失幸福余命は，20 歳以上全体において 0.20 年，40－74 歳において 0.21 年であった。糖尿病による損失幸福余命（災害後 7 年間分のみ）は，40－74 歳において 0.14 年であった。心理的苦痛や糖尿病のリスクが大きかった。一方，帰還によって生じうる獲得幸福余命は 40 歳女性にて 0.8 年（この内，帰還に伴う心理的苦痛と主観的健康観の改善は 0.08 年）であり[8]，災害後に日常の幸福の向上を目指すことの重要性が示された。

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP17K20069，JP20H04354，「日本財団・大阪大学　感染症対策プロジェクト」の一環として行われたものです。

参考文献

[1] 村上ら（2018）環境科学会 2018 年会. [2] Murakami et al. (2018) Sci. Total Environ. [3] Murakami et al. (2020) Int. J. Disaster Risk Reduct. [4] UNSCEAR 2020/2021 Report Volume II. [5] Maeda et al. (2022) Health effects of the Fukushima nuclear disaster, Elsevier. [6] Nomura et al. (2021) Global Health Action. [7] Murakami et al. (2017) PLoS ONE. [8] Murakami et al. (2021) J. Radiation Res.

キーワード　損失幸福余命，福島災害，リスク比較

滋賀県における適応策の進捗管理に用いるための気候変動に対する脆弱性評価の試み
A Trial of Vulnerability Assessment for Progress Management of Adaptation in Shiga

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター ○河瀬 玲奈，一瀬 護，木村 道徳

1. 滋賀県における気候変動適応策の現状

滋賀県では，気候変動影響評価の 5 年ごとの更新，県民からの影響情報の収集および認知に関する分析などを行ってきた。適応策については，気候変動に対応する社会づくりの推進計画において，緩和策とともに一つの柱として位置付けられている。なお，農業など気候変動対策に特化した実行計画が作成されている分野もある。しかしながら専門家委員会において気候変動リスクに関する因子のつながりを描くインパクトチェーン作成への意見はあったものの，作成にはいたっていない。

今後は，計画に記載された緩和策・適応策の着実な実施により気候変動に対する脆弱性を低下させ，その進捗管理を行う段階にある。そこで，本研究は，気候変動影響の主要な分野別にインパクトチェーンを作成し，滋賀県の脆弱性を評価することを目的とする。

2. 方法

2.1. インパクトチェーンの作成

気候変動のインパクトチェーンの要素は，気象などを外力，その地域のシステムの悪影響を受ける傾向を示す脆弱性，これらの組み合わせにより発生する影響からなる。脆弱性はさらに，感受性と適応能力に分類できる。

インパクトチェーンは，環境省や大場ら[1]が作成したものをひな形に，滋賀県各分野の計画に記載されている事項，実施されている適応策や KPI をもとに定量化の可否なども考慮し，各要素間の関係や指標を決定し，滋賀県版を作成する。

2.2. 感受性と適応能力の定量化

定量的に脆弱性評価を行うため，2.1 節で作成したインパクトチェーンの感受性，適応能力の各指標について定量化を行う。定量化の過程においては，単位の異なる様々な指標を統合して一つの脆弱性指標とするために，標準化などの処理を行うことも必要である。指標の定量化の主な規則を列挙する。

・可能な限り 0～1 の間の数値とする。
・数値目標がある指標は，目標値を 1 とする。現状が比率で表現されていない指標は，基準年の値を 0 とする。
・実施の有無に関する指標は，望ましい／想定される状態に対してどの程度対応できているかの比率とする。
・想定する気象予測は，当該施策の実施に要する期間の最終年にて予測されている幅を用いる。
・滋賀県の統計などから基準値が得られない指標は，全国平均に対する比率で示す。
・定量化不可の指標は，脆弱性指標統合化に含めない。

3. 結果と考察

気候変動影響の主要な分野の一つである農業を例とする。滋賀県では農地の約9割が田であることから，水稲のインパクトチェーンを**図-1**に示す。

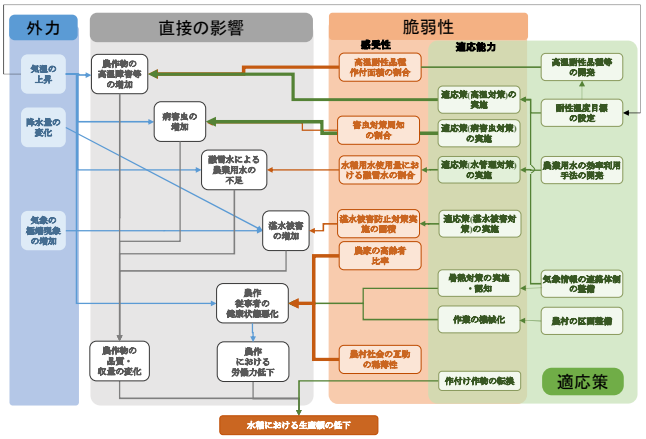


図 1　インパクトチェーンの例（水稲）

本研究では適応策の目標に対し，脆弱性がどこまで改善されたかを評価し，進捗管理に用いることを優先させたため，適応能力の定量化にて目標に対する相対値を多く用いた。自治体の計画は，4～5 年サイクルで見直されることが多く，見直しに伴い施策の目標値や施策そのものが変更となる。そのため，脆弱性評価における経年的な一貫性の確保が困難となることが課題である。

参考文献

1) 大場真・戸川卓哉・渡邊学・榎原友樹（2019）気候変動に対する地域適応策のための脆弱性・リスク評価手法の開発：地域レベル解像度-可視化システムと気候リスクコミュニケーション，環境情報科学論文集，Vol.33, 295-300.

キーワード　インパクトチェーン，脆弱性，進捗管理

気候変動適応策優先順位付けのための意思決定分析:システマティックレビュー
Systematic review of decision analysis for prioritizing climate change adaptation options

東京大学大学院 新領域創成科学研究科・国立環境研究所 ○天沼 絵理，藤井 実，中島 謙一，肱岡 靖明

1. はじめに

近年，気候変動適応は気候変動対策において重要性が増し，毎年数千の関連論文が発表されている[1)]。潜在的な適応策から実行可能な適応策を選択するために，意思決定分析を応用した適応策の優先順位付けに関する研究論文は，IPCC 第 5 次評価報告書以降増加しているものの年間数十件程度である。意思決定分析手法はいまだ開発途上であり，地域や分野によって扱われている手法が異なっているため，実際に適応策を選択する際に広く活用されていない状況にある。そこで本研究では，気候変動適応における意思決定分析手法の分野別開発および応用状況を明らかにするために，システマティックレビュー手法[2)]を用い，手法と分野の関係性を整理して今後の展望について考察した。

2. 方法

システマティックレビューでは，Berrang-Ford ら[2)]のガイドラインにしたがい，1)課題設定，2)文献の検索と選択，3)データ抽出と分析を行った。また，IPCC 第 5 次・第 6 次評価報告書を参考に，4)対象とする適応分野を 23 分類と設定した。Web of Science における検索キーワードを”climate change” AND adaptation AND decision AND priorit*とし，647 本が該当した（2022 年 6 月 3 日取得）。該当文献のタイトルと要旨を確認後，引用追跡を行い，最終的に 100 本の文献を対象とした。

3. 結果

意思決定分析手法を分類した結果，応用件数は多い順に Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) が 34%を占め，Cost-Benefit Analysis (21%)，Cost-Effectiveness analysis (9%), Optimization (9%)と続いた(図 1)。少数ではあるが，Robust Decision Making (3%)，Adaptation Pathways (2%)等の不確実性を考慮可能な手法がみられた。分野別に分類した結果，上位 3 分野は農業 18%，水資源 15%，沿岸災害と河川洪水がそれぞれ 11%となった。一方，貧困・共同社会・福祉分野を扱った文献は 0%であった。分野別では，MCDA が 23 分野中 18 分野と多分野で応用されている一方で，前述の不確実性を考慮可能な手法は水資源・災害分野に集中していることが分かった。

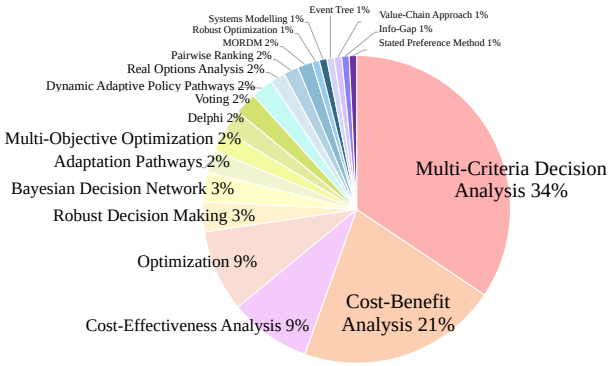


図 1　応用されていた意思決定手法の分類結果

4. 考察

気候変動適応を推進するためには，意思決定分析を広く活用していく必要がある。文献数が多い農業・水資源・災害分野等においては，複数の気候シナリオの応用が容易となり，それらを用いて適応策の有無を考慮した影響予測結果も入手可能となりつつある。その状況を鑑みると不確実性を考慮可能な意思決定分析手法の応用を拡大できる可能性が考えられる。一方，文献を発見できなかった貧困・共同社会・福祉分野では，意思決定分析に必要な気候変動影響と適応効果の定量化が喫緊の課題である。今後，政策決定者が意思決定分析手法を用いて気候変動適応策の優先順位付けを行うためには，意思決定手法に関する科学的知見の充実が必要となる。

参考文献

1) Noble, I. (2019) The evolving interactions between adaptation research, international policy and development practice, In: Research Handbook on Climate Change Adaptation Policy [Keskitalo, E.C.H. and Preston, B.L. (eds.)], Edward Elgar Publishing, 21-48

2) Berrang-Ford, L., Pearce, T., and Ford, J.D. (2015) Systematic review approaches for climate change adaptation research, Regional Environmental Change, Vol. 15, 755–769

キーワード　気候変動，適応策，優先順位付け，意思決定，システマティックレビュー

気候変動の影響に関する地域住民の実感 ―熊本県南小国町黒川温泉地域を対象として―
Local Residents' Perceptions of the Impacts of Climate Change

熊本県立大学 ○岩見麻子

1. はじめに

パリ協定が 2015 年 11 月に合意され，産業革命以降の気温上昇を 2 度未満に抑えるとの目標が掲げられるとともに，積極的に適応策を位置づけていく方向性が示された。我が国においても 2018 年 12 月に「気候変動適応法」が施行され，特に地方自治体は努力義務として地域の状況に応じた「地域気候変動適応計画」の策定などが求められている。気候変動の影響は地域によってさまざまであり，地域特性や地域に生じる影響を踏まえた上で適応策を検討していく必要がある。しかし適応策の認知度が低かったり，気候変動に関する地域住民の実感や意向が把握されていなかったり，各地域で適応策を推進していくためには課題が存在している。そこで本研究では，熊本県南小国町の黒川温泉地域を対象として地域のキーパーソンに対するヒアリング調査を実施し，その結果にテキストマイニングを適用することで，同地域における気候変動に関する地域住民の認識を概観することを目的とする。

2. 研究方法

対象とする黒川温泉地域における主要な産業に従事しているキーパーソンに対して，気候変動の影響に関する実感や取り組んでいる事業・活動，目指している地域社会像などについて 1 時間程度の非構造化インタビュー調査を実施した。なお対象者の選定にあたっては，南小国町役場のまちづくり課より候補団体の紹介を受けた。また調査の最後に対象者に対してこのような話を聞くべき候補者について尋ね，候補者の了解が得られれば対象者として追加していくスノーボールサンプリングの手法を採り，24 件の調査を実施した。

続いてインタビュー調査で得られた発言録にテキストマイニングを適用し，次のような分析を実施した。まず，各対象者の発言した語の類似性によって，24 件の対象をクラスター分析によってグループに分類した。分類した 5 つのグループが発言した語について，共起の頻度を用いてネットワークグラフで可視化した。

3. 結果

対象者 24 件について解釈が可能であった 5 つに分類した。対象者の事業や活動によって林業，農林業，旅館業，行政，まちづくりの 5 つのグループに分類された。

次に，分類した 5 つのグループすべてが言及した語の関係性を，ネットワークグラフを用いて可視化した。その結果を図 1 に示す。図のノードについてその大きさは語の出現頻度の高さを示しており，語の間の固有ベクトルに基づいて配置している。また人や団体，行動など語が示す種類に応じて筆者が色分けして示している。図に示すようにたとえば「人」のノードが最も大きく，その周辺には「温暖化」「農業」「野菜」「林業」などが，また「地域」「町」の周辺には「役場」「災害」「環境」などが配置された。発言録においてこれらの語が出現する箇所を参照すると気温の上昇により高冷地野菜が作りにくくなったことや健康状態の悪い樹木が増えたことなど，農林業分野における気候変動の影響についてや，国や役場からの支援に関する発言が見られた。

今後はより詳細な分析を進め，各グループの気候変動に関する実感や目指している地域社会像，グループによる違いなどを把握していく予定である。

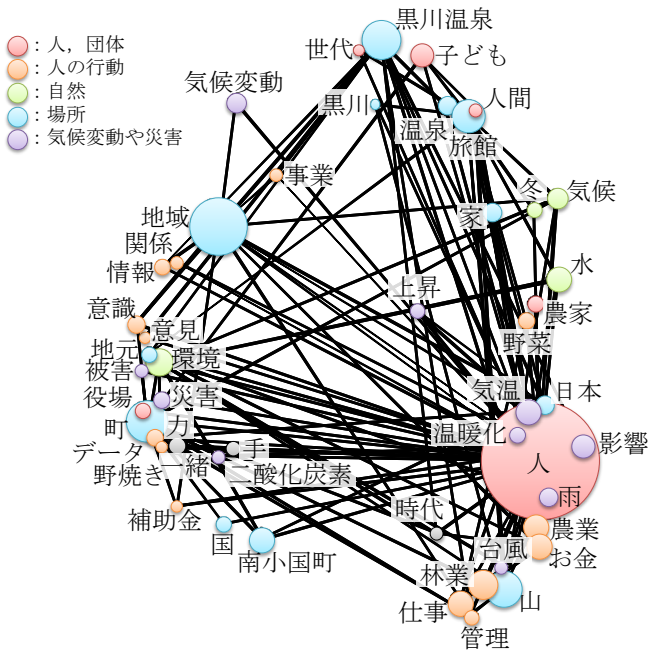


図 1　全グループが言及した語の関係性の可視化

キーワード　ヒアリング調査，テキストマイニング，ネットワーク分析

謝辞　本研究の一部は JSPS 科研費 21H03675 の助成を受けている。

河川の活動性・軽明性印象は水害における共助防災行動を促す
Active and lighthearted impressions of the river facilitate mutual assistance in flood preparedness

筑波大学 ○唐津遼大郎，甲斐田直子，産業技術総合研究所 甲斐田幸佐

1. 背景・目的

近年,短時間の強雨による洪水の危険性が増しており，水害対策が重要な課題となっている。水害を防ぐためには，物理的インフラによる水害対策に加えて，住民が自らを守るための自助・共助が重要である。先行研究によると，水害防災行動に寄与する要因として，河川の周辺環境や河川環境に対する住民の評価が挙げられている[1)]。しかし，住民が河川に抱く印象（河川印象）が水害防災行動に及ぼす影響については，ほとんど研究されていない。そこで本研究では，河川に対する住民の評価が河川印象に与える影響を調べ，河川印象が水害防災行動に与える影響を調べた。

2. 方法

本研究では，茨城県小貝川流域のハザードマップ上の浸水域の住民を対象に質問紙調査を行い，回答データを取得した（2022 年 3 月，配布 2,271，回収 576，有効回答 307）。調査項目は，個人属性，河川環境に対する評価（水のきれいさ等の外的環境項目，季節感等の判断項目[1)]），河川印象（動的な，好きな，明るい等[2)]），防災行動実践の程度（非常用持ち出し袋の準備，地域防災活動の参加等[3)]）であった。分析ではまず，河川環境に対する評価，河川印象，防災行動の各因子分析を行った。さらに，これらの因子を変数として，河川への評価が河川印象に与える影響，河川への評価から河川印象を介した防災行動への影響を，重回帰分析およびパス解析により分析した。

3. 結果

因子分析の結果，河川環境への評価については、「外的環境」5 因子（水質，社会，生態，水量，河川形状）および「判断」6 因子（社会親水，水質対策，情緒，治水機能，治水効果，水害）が抽出された。河川印象については，3 因子（活動性，価値性，軽明性）が，防災行動については 3 因子（自助準備行動，自助避難行動，共助行動）が抽出された。

重回帰分析（表 1）の結果，「判断」のうち、社会親水および治水効果は，河川印象の 3 因子と正の関係が認められた。情緒については，活動性に対して負の関係，価値性および軽明性に対して正の関係が示された。パス解析（図 1）の結果，水害認識は防災行動と正の関係に，活動性と軽明性は，共助防災行動に対して正の関係にあることが示された。

4. 考察・結論

本研究では，以下の 2 点が明らかになった。(1) 水害認識を高めることが，水害被害を軽減するための自助行動を促す，(2) 良好な印象をもたらす河川環境の形成が，防災のための共助を促す。これらの結果は、河川の活動性（賑わい）や軽明性（明るい印象）を創出する河川整備によって，親水性と治水性の共存を図りながら，共助にもとづく地域防災力が向上できることを示唆している。

表 1　河川印象因子を目的変数とした重回帰分析

		活動性	価値性	軽明性
外的環境	水質	-0.15	2.13**	3.04***
	社会	0.03	-1.28	-1.96
	生態	0.22	-0.3	-2.39**
	水量	2.02**	0.58	2.24**
	河川形状	1.83*	1.47	1.36
判断	社会親水	2.42**	4.58***	4.66***
	水質対策	1.29	1.3	2.1**
	情緒	-3.65***	2.9***	3.74***
	治水機能	-0.5	-0.34	0.16
	治水効果	2.43**	2.23**	2.37**
	水害	0.29	0.52	-0.18
	決定係数	0.1521	0.3334	0.3911

*p<0.1，**p<0.05，***p<0.01

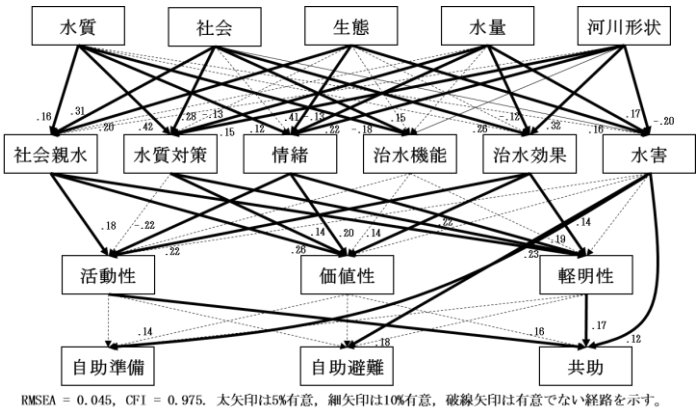


図 1　河川環境評価・印象・防災行動間のパス解析

参考文献

1) 三阪和弘・小池俊雄(2006)河川に対する評価構造と心理プロセスの統合モデルの検討，水工学論文集，第 50 巻，1495-1500

2) 大山正・瀧本誓・岩澤秀紀(1993)セマンティック・ディファレンシャル法を用いた共感覚性の研究，行動計量学，第 20 巻第 2 号, 55-64

3) 増田祐太郎・甲斐田直子(2019)防災行動の負担感が行動実践に与える影響，土木学会論文集 D3, Vol.75 No.5, I_109-I_116

キーワード　河川環境，印象，防災行動

行動意図に影響を与える日常生活要素の主成分分析と暗黙知の関係について
Principle Component Analysis of Daily Life Factors Affecting Behavioral Intentions and Relationships with Tacit Knowledge

所属　○東北大学大学院環境科学研究科　菅原　玲，東京都市大学環境学部　古川　柳蔵

1.背景と目的

環境配慮行動への移行には，知識や態度と実際の行動の不一致が指摘されてきた[1]。一方，知識以前の認識，判断，理解，行動の関係にはかねてより暗黙知[2]が重要な役割を果たすことが知られている。暗黙知は異なる物事を統合し意味あるものとして理解し解決までを導く知の力であり，それは「経験」により蓄積される。つまり行動に至らない一因に，日常生活における暗黙知の減少が影響している可能性がある。そこで本研究では暗黙知の形成に必要な「経験」が，日常生活の行動意図にどの程度影響しているかを明らかにするため，主成分分析により日常生活の要素の定量評価を行うことで，「経験」と行動意図との関係を分析することを目的とする。

2. 研究方法

日常生活の要素には，ライフスタイルの評価指数として作成された 70 のライフスタイル評価項目（LS 評価項目）[3]を用いアンケートを実施。質問は LS 評価項目の 70 項目とし，5 段階の重要度による回答から 2000 サンプルを得た。LS 評価項目に対する重要度の回答に対して主成分分析を行い，固有値 1 以上の成分を抽出，成分負荷量から各主成分の解釈と成分得点の考察を行った。

3. 結果と考察

主成分分析の結果, 行動意図に影響する成分として 10 成分が抽出され，累積寄与率は 68.2%であった（表 1）。抽出された主成分の解釈は，成分負荷量の値より以下の解釈を行った。PC1「自己実現と他者との協調要素」, PC2「目前・利便優先要素」, PC3「社会動向への同調要素」, PC4「平穏な暮らし」，PC5「お金をかけても贅沢をする要素」，PC6「物や技術による自己の満足要素」，PC7「自己の経験成長要素」，PC8「安心を犠牲にした情報重視要素」，PC9「新しさよりも昔や自然を好む要素」，PC10「身内・家族重視要素」。また，主成分得点より属性による考察を行った（図 1）。特に暗黙知の形成に必要な PC7 と利便要素の PC2 に対し年齢別の比較を行った結果, 29 歳以下では経験を求める傾向が認められたが，高齢者層では強く求める傾向は確認できなかった。

表 1　主成分分析で得られた固有値・寄与率

成分	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
固有値	28.6	4.5	3.4	2.9	2.0	1.7	1.3	1.2	1.2	1.0
寄与率%	40.9	6.5	4.8	4.1	2.8	2.4	1.9	1.7	1.6	1.5
累積寄与率%	40.9	47.4	52.2	56.3	59.1	61.5	63.4	65.1	66.8	68.2

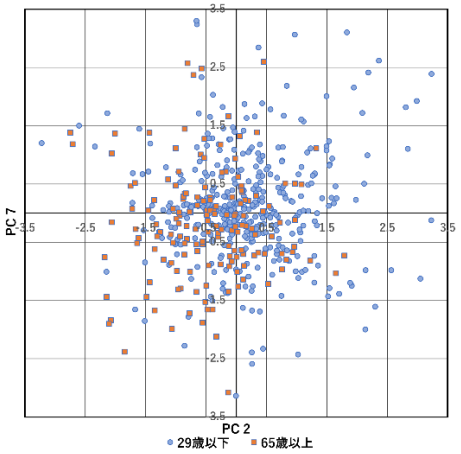


図 1　主成分得点属性比較 29 歳以下・65 歳以上

4. まとめ

暗黙知形成に必要な「経験」は PC7「自己の経験成長要素」として抽出されたが，寄与率の程度から行動意図への影響では説明量の低さが明らかとなった。このことから日常生活では暗黙知の形成がやや困難であることが示され，暗黙知の減少が示唆される結果となった。また主成分得点の分析からは年齢層により経験を重視する傾向に違いがあることから経験訴求を行う場合，年齢層による施策検討の工夫は効果があると考えられる。

参考文献

1) 村上一真（2008）環境配慮行動の規定要因に関する構造分析．環境情報科学論文集 22，339-344
2) M Polanyi　高橋勇夫訳（2003）『暗黙知の次元』，ちくま学芸文庫，194 頁
3) Ryuzo Furukawa and Masae Mitsuhashi(2018) Development of lifestyle evaluation factors to analyze lifestyle change，poster session，SCORAI，Copenhagen Business School.

キーワード　行動意図，暗黙知，主成分分析

中部圏 3 県の再エネ率向上によるカーボンフットプリント削減効果の環境拡張産業連関分析

Environmentally-extended Input-output Analysis of the Impacts of Increasing Renewable Electricity Generation on Carbon Footprint Reduction in 3 Prefectures in Chubu Region

東京大学大学院総合文化研究科 ○佐藤一朗，成田大樹

1. 背景と目的

世界的な脱炭素の流れにより、全国の 42 都道府県が 2050 年カーボンニュートラルへの取組みを表明しているが、グローバル化した現代では地域内の直接排出の削減だけでは地球温暖化問題解決への真の貢献としては不十分で、消費される財やサービス（以下、両者を合わせて「製品」と呼ぶ）の生産から廃棄までのサプライチェーン全体で発生した温室効果ガスを最終消費者の排出として算定する「消費ベース」の排出量も把握し削減する必要がある(Larsen and Hertwich, 2009)。

かかる背景の下、本研究は、カーボンニュートラルに向け多くの都道府県が取組む再エネ電力導入促進が、消費ベースのエネルギー起源 CO_2 排出量（カーボンフットプリント）に与える影響を評価するため、消費電力の再エネ率が対照的な中部圏 3 県を対象に分析した。

2. 方法・データ

本研究は、地理的に隣接した長野、岐阜、三重の 3 県を対象に 2015 年の家計消費に伴うカーボンフットプリント（以下、「CFP」と略す）を推計・比較した。長野、岐阜は県内発電電力がほぼ全て水力、三重はほぼ全て火力である。長野、岐阜、三重の 2015 年の消費電力の県内発電供給率（金額ベース）は各 50, 89, 75%であり、この違いを反映し本研究で定義した方法で算定した再エネ率は、長野 55%、岐阜 90%、三重 5%である。

サプライチェーン全体の CFP 計算のため、多地域間産業連関表 EXIOBASE3 (Stadler *et al.*, 2018)と 3 県の産業連関表を接続し、53 部門の多地域間産業連関表を構築して環境拡張産業連関分析を行った。

3. 結果と考察

図 1 に CFP の推計結果を示す。燃料消費による直接排出は 3 県の差が少ないが、電力を含む製品に体化された間接排出は再エネ率が低い県ほど大きく、岐阜は三重よりも一人あたり CFP 合計が約 23%小さい。図 2 は製品部門別の比較である。電力部門の CFP は再エネ率の違いを直接反映しているが、サービス部門にも目立った差が生じており、サービス生産に投入する電力の CFP の違いが間接的に現れている。長野が、100%水力の県内生産電力で全ての県内需要を賄えたと仮定して推計した CFP は、電力とサービス部門で大きく低下し、合計でひとりあたり 780Kg (15.5%) 低下した。

これら分析結果から、地域内の再エネ率向上は地域の CFP 削減に一定の効果はあるが、それだけでは不十分であり、電力以外のエネルギー起源排出削減、地域外を含むサプライチェーン全体での排出削減の取組みが必要となることが示唆された。

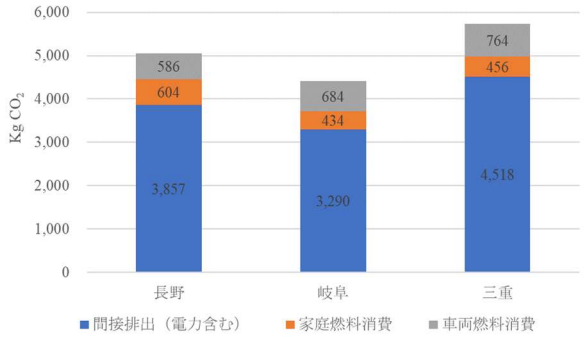


図 1　一人あたりカーボンフットプリント

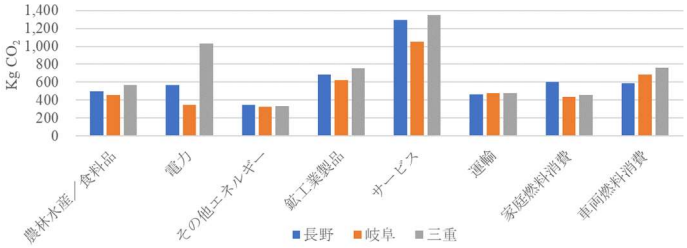


図 2　一人あたりフットプリント（部門別）

参考文献

Larsen, H.N. and Hertwich, E.G. (2009) 'The case for consumption-based accounting of greenhouse gas emissions to promote local climate action', Environ. Sci. Policy , 12(7), pp. 791–798.

Stadler, K. *et al.* (2018) 'EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables', *J. Ind. Ecol.*, 22(3), pp. 502–515.

キーワード　カーボンニュートラル，カーボンフットプリント，消費ベースの排出量

洋上風力発電への受容性に対するナッジの効果
Nudging effects on acceptance toward offshore wind power

（一財）電力中央研究所 ○小松秀徳，窪田ひろみ，永井雄宇，朝野賢司

1. はじめに

我が国では、2040 年までに洋上風力発電を 45GW 導入するとの政府目標が掲げられている[1]が、そのためには地域関係者の受容性を高める必要がある。本研究の目的は、血縁者の支援を伝えるメッセージが行動経済学の「ナッジ」として機能し、様々なリスク忌避的な態度を緩和することを特定した先行研究[2]を踏まえ、洋上風力に対するナッジの効果を明らかにすることである。

2. 調査方法

国内の公衆（成人男女、調査会社モニター）を対象に、インターネット質問紙調査を用いたランダム化比較実験により、ナッジとしての情報提供の効果検証を実施した（調査期間：2021/12/4-6、有効回答数：4,130）。

基本的な文字情報のみを提示する統制群(CG)、血縁者の支援を伝える文字情報を追加的に提示する介入群(T1)、支援の関係性を示したイラストも追加的に提示する介入群(T2)の計 3 グループを設定し（図 1）、被験者をいずれかのグループへとランダムに割り当てた。情報提供の直前と直後に、洋上風力発電が自分自身および未来の世代へ与える影響について、5 件法（1 = 安全, 3 = どちらともいえない, 5 = 危険）で尋ねた。ナッジの効果は、この認知の情報提供前後での変化量 D（値が大きいほど安全側へ変化）を、統制群からの差で比較する、差分の差分法で評価した。

図 1　被験者に提示した情報。太線下線部は T1 と T2 に、イラストは T2 にのみ提示し、それ以外の文字情報は全てのグループに提示した。

3. 結果

図 2 に各メッセージの効果を示す。D の大きさは自分自身への影響、未来の世代への影響共に CG < T1 < T2 となり、特に T2 は T1、CG のいずれからも有意に大きくなった($p < 0.001$)。メッセージを読んだことで年上の血縁者から支援を感じた程度の大きさも CG < T1 < T2 となり、D の順序と一致した。性別、年齢に加えてパーソナリティ特性などの各種属性を説明変数とするパネル回帰分析では、T2 によるナッジの効果は 0.15（自分自身に）、0.23（未来の世代に）と推定された($p < 0.001$)。

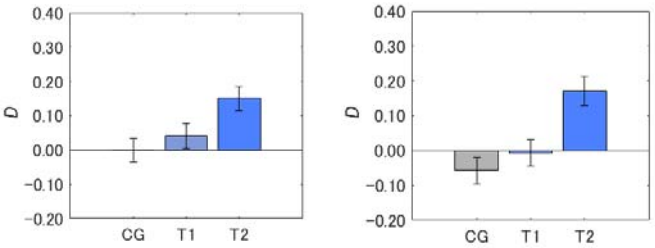


図 2　グループ毎のメッセージの効果。

4. 結論

血縁者の支援を想起させるメッセージが、洋上風力発電に対するリスク忌避的な態度の緩和効果を示すことを明らかにした。今後、漁業従事者など利害関係者を対象として、このナッジの有効性を検証する。

参考文献

1) 資源エネルギー庁(2020) 洋上風力産業ビジョン(第 1 次), 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会
2) Komatsu H, Tanaka N, Kubota H, and Ohashi H (2020) Designing information provision to serve as a reminder of altruistic benefits: A case study of the risks of air pollution caused by industrialization, PLoS ONE, 15, e0227024.

キーワード　洋上風力発電，受容性，ナッジ，情報提供

洋上風力事業が地域経済に与える影響 -長崎県五島市の事例から
The impact of offshore wind project on local economies −A case study of Goto city, Nagasaki

東京工業大学　○森 基哉, 棟居 洋介, 国立環境研究所 増井 利彦, 金森 有子

1. 研究背景

洋上風力発電が、再エネ主力電源化に向けて「切り札」として注目されている。洋上風力発電機は支柱部分を工夫することで支柱が魚礁化し魚が集まる可能性があり、この魚礁効果をうまく活用することで漁業関係者との協調が可能である。また、洋上風力発電事業が地域の経済活性化にもつながることが期待されている。しかしながら、洋上風力発電を対象にした先行研究では、支柱の魚礁化や実用化された後の事業計画を考慮した分析は行われていない。

2. 研究目的

長崎県五島市で戸田建設が計画している洋上風力事業を対象に、実施地域にもたらされる経済波及効果を推計する。定量化にあたって、産業連関（IO）分析を用いて洋上風力発電の建設、事業による長崎県全体の誘発的な生産額を推計し、洋上風力支柱の魚礁化を含めた効果を分析する。加えて、地域付加価値創造分析を用いて、同事業の実施によって五島市にもたらされる付加価値を推計する。その際地域内の企業がどれだけ調達･建設･運営･出資に参画、協力するか（地域内貢献度）を考慮する。

3. 研究手法とその結果

3.1. IO 分析と結果

長崎県産業連関表をもとに、同県の産業を 40 部門に統合し、洋上風力事業の実施を新たな需要として各産業で誘発される生産額を推計する。分析では長崎県の産業連関表や統計データ、事業を運営している戸田建設が公表しているコスト計画を用いた。

なお、洋上風力の支柱の魚礁効果は定量化されている事例が無いため、形状の似ている人工浮魚礁の五島市での実証実績データを参考に漁獲高増大量を推計している。

五島市での洋上風力事業計画による経済波及効果を表 1 に示す。魚礁効果がないとした場合でも投資額の約 1.3 倍の一次効果が現れ、長崎県にとって十分経済波及効果が大きいとわかる。魚礁効果による影響については、魚礁効果が小規模な場合は大きな変化はみられなかったが、大規模になると魚礁効果がない時と比べ運営段階の経済効果が約 35%増大する。ここで海水表層部のみ魚礁化した際を小規模、水深深くでも魚礁化した際を大規模と表現している。

表１　五島市の洋上風力事業が長崎県にもたらす経済効果

(単位：百万円/1 基)	直接効果	一次効果	二次効果	総合効果
初期投資段階	2720	911	405	4036
運営段階(魚礁効果なし)	1320	411	304	2035
運営段階(小規模魚礁化)	1320	492	315	2127
運営段階(大規模魚礁化)	1320	1028	390	2738

3.2. 地域付加価値創造分析と結果

洋上風力事業を構成する各事業における付加価値のうち五島市内にもたらされるものを計上する。地域付加価値とは、①事業の純利益、②従業員の可処分所得、③地方税収の 3 要素から構成される。事業を初期投資段階と運営段階に分割し、この 3 要素を計上する。

地域内貢献度の高さで 2 つのシナリオを設定して算出した結果を表 2 に示す。地域内貢献度は発電機の支柱の調達･建設･運営･出資を各 100%、75%、50%となる 3 つのシナリオを設定しそれぞれを積極的、中程度、消極的と表現する。既往研究で国内の太陽光発電事業の運営段階での付加価値は約 40%とされていることから、洋上風力でも同様の地域活性化を望む際中程度以上の貢献度が必要である。

表２　五島市の洋上風力事業が五島市にもたらす付加価値

	初期投資段階(億円)	対投資額	運営段階(億円/年)	対総売上
積極的貢献	25.18	11.7%	10.85	54.6%
中程度貢献	18.88	8.7%	8.155	41.0%
消極的貢献	12.59	5.8%	5.51	27.7%

4. まとめ

国内で洋上風力事業を実施する際、地域の経済活性化につなげるためには支柱全体に魚礁効果が発生するような工夫と、洋上風力事業のうち 50%ほど地域内企業に参画してもらうことの 2 点に留意する必要がある。

参考文献

1) 中山琢夫 (2021) エネルギー事業による地域経済の再生, ミネルヴァ書房, p16-55.

キーワード　洋上風力発電, 地域経済, 魚礁効果

長期的な設備容量を考慮した太陽光パネルの排出動向に係る分析
Analyzing waste photovoltaic panels generation based on the long-term capacity

東京大学　○松岡賢，村上進亮

1. 背景

第６次エネルギー基本計画において再生可能エネルギー最優先の原則が示され、今後各種再生可能エネルギー設備の一層の導入が見込まれる。大規模な設備導入を行うに当たっては、設備廃止後の資源循環についてもあらかじめ考慮しておくことが重要となる。

このうち太陽光発電設備については、複数の既往調査[1)2)]において今後の排出時期や規模感が推計されている。しかしながら、これらは推計当時の社会情勢を踏まえた将来導入量の見通しを基にしており、またその見通しも全国規模のものである。そこで本研究では、再生可能エネルギー最優先の原則を踏まえたうえで想定される、各都道府県における太陽光発電設備の設備容量に基づき、その長期的な排出動向を分析した。

2. 分析方法

まず、各都道府県における長期的な設備容量及び設備導入量の設定を行った。設備容量の設定に当たっては、2020 年までは NEDO から IEA PVPS（国際エネルギー機関・太陽光発電システム研究協力プログラム）に報告をされている日本全国での設備容量を、FIT 法に基づく各年の認定容量と同様の分布で各都道府県に配分した。2021 年以降は、各都道府県において 2050 年までに環境省の「令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務」における事業性を考慮した導入ポテンシャルの上位シナリオ（※）を達成し、以後同水準で 2200 年まで維持されるものと仮定した。その上で、設定された各年の設備容量が毎年の排出量（後述）を加味した上でも達成されるよう、各年の設備導入量を設定した。

※　全国で計約 400GW。これは総合資源エネルギー調査会において「議論を深めていくための参考値」として示されたもののうち、上位ケース（約 370GW。2050 年の発電量の約 50～60%を再生可能エネルギーとし、中でも太陽光発電設備を最大限導入。）と概ね整合。

排出量については、IRENA（国際再生可能エネルギー機関）の推計を参考に、導入後の設備故障等をワイブル分布（平均故障年数 30 年）により与えるとともに、2050 年に導入される設備までは単位設備容量当たりの重量が低減し、以後は横ばいで推移すると仮定した。また、故障後は一律に排出されると仮定した。

3. 結果と考察

全国では 2060 年頃にかけて約 70 万トンまで順次年間排出量が増大し、以後は 50 万トン程度まで低減するものの、その後も同水準で推移すると推計された（下図）。都道府県単位では愛知県や北海道のピークが最も大きく、2060 年頃までに４万トン、以後は３万トン程度で推移すると推計された。このように、廃止後設備の排出は一過性のピークを有するにとどまらず、一定の規模感で続くと想定される。再生可能エネルギー設備の大規模導入に伴い、あらかじめ長期的な資源循環の在り方を検討することが重要であると示唆された。

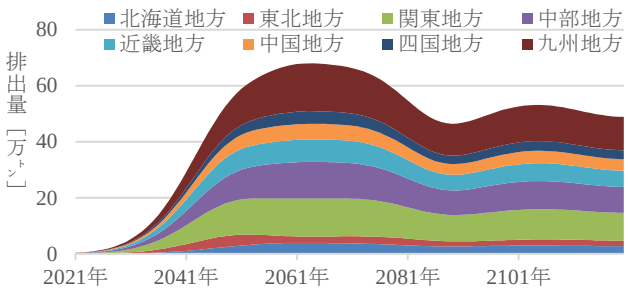


図　全国における太陽光パネル排出動向の分析結果

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 19H04325 の助成を受けたものです。

参考文献

1) 使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する検討会（2015）太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書

2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（2019）平成 26 年度～平成 30 年度成果報告書「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／太陽光発電リサイクル動向調査／太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測」

キーワード　太陽光発電，廃棄物，資源循環

在宅勤務による働き方と生活時間の変化
Changes in working style and time for daily life due to working from home.

東洋大学 ○青木えり，平松あい，花木啓祐

1. はじめに

コロナ禍を契機とした緊急的なテレワーク導入を経て，テレワークは定着し始めると同時に多様性が増してきている。特に生活の場で働く在宅勤務は暮らしへの直接的な影響も想定される。このような状況が働き方や生活にどのような影響を与えているか，在宅勤務日の変化だけではなく，出勤時においてもどのように変化するのか系統立てた検討が必要となっている。本稿では，在宅勤務期間中における在宅勤務時と出勤時との働き方や暮らし方の変化とその意識について報告する。

2. オンラインアンケート調査

関東地方に居住する在宅でのテレワーク勤務（以下，在宅勤務）経験者を対象に，2021 年で最も継続して在宅勤務を行った期間中に週何日在宅勤務をしていたかによって回答数を割り付け（表 1），働き方や暮らし方の状況とその意識，個人属性について尋ねたオンライン調査を 2021 年 11 月に実施し，1500 の有効回答を得た。

3. 関東地方における在宅勤務期間の状況と意識

(1) 働き方の状況

在宅勤務期間中の在宅勤務日数と出勤日数を表 1 に示す。勤務日数の違いや在宅勤務日にも出勤するという者も含まれるので必ずしも合計が週 5 日となるわけではないが，週 3 日の在宅勤務と週 2 日の出勤者が最多である。

在宅勤務時の働き方について，仕事と私的な時間の管理について尋ねたところ，仕事をする時間は勤務先に決められたが，多少の私的な行動はできた者が最多であった。時間と内容の管理状況に関して在宅勤務日数による差異は見られないが，完全に自分の裁量であったという項目では，週 5 日以上在宅勤務者の割合が多かった。

主として出勤していたコロナ前と比較して，在宅勤務期間中の仕事量と時間当たりの仕事量（能率），仕事時間の増減を尋ねた結果，在宅勤務日数にかかわらず全項目で半数以上の者が変わらないと回答した。増減の傾向もばらつきがあるが，能率においては，出勤なしの者は能率増加，その他の者は能率減少の傾向がみられた。また出勤者の在宅勤務中の出勤日は，以前より仕事の量も時間も増えたと回答する傾向がみられた。在宅勤務日の仕事意識に関する 10 項目を全くそうではない(1)から全くその通り(6)の 6 件法で尋ねた結果の平均値を，在宅勤務における能率増減の意識別に示し，多重比較（Tukey の HSD 法）において能率増加群と減少群間の結果のみをあわせて示した（表 2）。2 群間で有意に差がみられる 7 項目は良い点にも困難な点にも含まれるが，そもそも業務内容が不適という意識を除けば，仕事と私事の切り替えを難しいと感じているかと，交流やコミュニケーションに関する項目に大きな違いが見られた。

表 1　在宅勤務期間中の在宅勤務日数と出勤日数

		出勤なし	週1出勤	週2出勤	週3出勤	週4出勤	週5以上	合計
在宅勤務	週1	13	41	24	36	172	21	307
	週2	10	21	97	199	14	4	345
	週3	11	29	212	60	1	8	321
	週4	17	120	12	4	11	2	166
	週5以上	194	57	6	5	7	92	361
合計		245	268	351	304	205	127	1500

表 2　在宅勤務における能率増減と意識

	変化なし	能率増加	能率減少	増加と減少間の多重比較における有意確率(p)
仕事に集中できる	4.1	**4.0**	**3.8**	0.03 **
作業環境に支障なし	4.0	**3.8**	**3.3**	0.00 ***
裁量は望ましい	4.3	4.2	4.3	0.24
追加的な作業や手間	3.2	**3.4**	**3.7**	0.00 ***
プライバシー問題	3.0	3.0	3.0	0.88
費用の自己負担	3.4	3.7	3.6	0.36
業務内容が不適	2.8	**2.8**	**3.4**	0.00 ***
仕事の切り替えが難しい	3.5	**3.5**	**4.1**	0.00 ***
交流が減る	3.8	**3.9**	**4.3**	0.00 ***
コミュニケーション困難	3.6	**3.6**	**4.1**	0.00 ***

** p< .005, *** p< .001

(2) 暮らし方の状況

在宅勤務時の生活時間として，家事労働時間や余暇時間の 9 項目と睡眠時間について，在宅勤務日と出勤日それぞれで増減を尋ねた。結果，生活時間項目も変わらないという回答が多かったが，全項目で時間増加が多い傾向が見られた。在宅勤務中の出勤日であっても増加している者の方が多かった。特に，在宅勤務日における余暇時間 2 項目（くつろいでいる時間，家族や同居人と過ごす時間）については，増加した者が多かった。

キーワード：テレワーク，新しい生活様式，アンケート調査

ガソリン車と電気自動車の利用者が得られる QOL 比較評価
Comparative Evaluation of QOL for Gasoline Vehicle and Electric Vehicle users

富士電機（株）○窪田　まど華，中部大学 林　良嗣，富士電機（株）松本　康，彦根　修，中部大学　竹下　博之

1. はじめに

電気自動車（以下 EV）化は脱炭素戦略の重要な柱であるが，ガソリン車に比べてメリットがないと進展しない。そこで本研究では，価値意識（選好）に基づく QOL アクセシビリティ法[1)]を用いて，EV の QOL がガソリン車の QOL を超える条件を評価する。

2. モデル構成と QOL 測定指標の抽出

個人 i における QOL 関数は線形を仮定する。

$$\mathrm{QOL_i} = \sum_j \beta_{ij} X_j \quad (1)$$

ここで，X_j は表 1 に示す測定指標 j の設定値であり，β_{ij} は個人 i にとっての測定指標 j の重みである。なお，測定指標は EV ユーザーにヒアリングを行い表 1 の 4 項目に絞った。

表 1　コンジョイント分析調査表の例（全 9 問）

測定指標	選択肢 1 EV	選択肢 2 ガソリン車	選択肢 3
1.車両価格	270 万円	170 万円	どちらも選ばない
2.航続距離	550km	900km	
3.給油給電	個人占有	ｶﾞｿﾘﾝｽﾀﾝﾄﾞ	
4.自動運転	レベル 4	レベル 3	

3. アンケート調査の概要と結果

表 1 に示すコンジョイント分析調査表を用いて，選好を回答者にたずねる形式で行った。なお，給油給電に関しては，充電器が個人占有，集合住宅にて住民で共用，そしてガソリンスタンドの 3 種類を想定した。調査結果から各測定指標の重み β_j の推定結果とそれに基づく貨幣換算値を表 2 に示す。貨幣換算の方法は，β_j を $\beta_{\text{車両価格}}$で除することによって得られる。例えば，航続距離が 100km 延びることは 17 万円（$100\text{km}\times\beta_{\text{航続距離}}\div\beta_{\text{車両価格}}$）に相当する。なお，いずれの β も有意であった。また，充電環境が住民で共用であることは，ガソリンスタンドでの自由な給油に比べて 13 万円（$\beta_{\text{充電給油}}\div\beta_{\text{車両価格}}$）価値が低く，個人占有であることは，ガソリンスタンドでの給油に比べて 13 万円価値が高い結果となった。

式(1)と表 2 に基づき，ガソリン車と EV の QOL の比較を図 1 に示す。ここで，ガソリン車の QOL を，2021 年に最も売れたガソリン車の仕様（価格 170 万円，航続距離 900km）と，自動運転レベル 3 の組合せに固定する。そして EV の仕様を 4 つに設定して比較すると，EV が仕様①の場合，車両価格が 235 万円以下で QOL がガソリン車を上回る。同様に，仕様②は 207 万円以下，仕様③は 183 万円以下，仕様④は 173 万円以下で QOL がガソリン車以上となる。

表 2 測定指標の重み β_j の推定結果と貨幣換算値

測定指標	単位	β	貨幣換算
1.車両価格	万円$^{-1}$	-9.12×10^{-3}	—
2.航続距離	km^{-1}	1.53×10^{-3}	17[万円/100km]
3.給油給電	—	1.15×10^{-1}	13[万円]
4.自動運転	—	2.25×10^{-1}	25[万円/レベル]

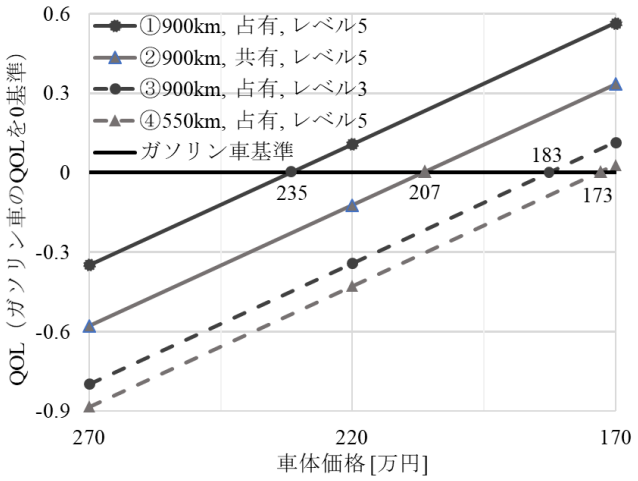


図 1 ガソリン車と電気自動車の QOL 比較

4. おわりに

本研究の結果，EV の QOL がガソリン車を超える仕様が，航続距離の向上，充電設備の充実，自動運転レベルの向上，車両価格の値下げ額を説明指標として定量的に得られた。

参考文献
1) 林　良嗣（2020）QOL アクセシビリティ法によるプロジェクト評価，高速道路と自動車，63 巻 7 号，pp6–10.

キーワード　QOL，電気自動車，ガソリン車

中国の環境配慮行動における社会関係資本の役割―CGSS2010 による分析―
The Role of Social Capital in Chinese Pro-environmental Behavior-Analysis by CGSS2010-

上智大学大学院地球環境学研究科 ○夏葉城，平尾桂子

1.はじめに

日本や欧米では、環境配慮行動と社会関係資本の関連を検討した多くの研究により、両者の間に正の相関があることが明らかになっている。それに対して、中国ではいまだ環境配慮行動に関する研究事例が少なく、社会関係資本と環境配慮行動の関連は明らかになっていない。そこで、本研究では、中国における環境配慮行動について、広瀬モデルに基づき、特に社会関係資本の効果に注目しながら分析を行った。

2. 分析方法・結果

表 1　環境配慮行動の各項目の規定要因のまとめ

		ゴミの分別	有機野菜の購入	自家用車の利用削減	燃料削減	節水行動	グリーン消費
個人属性	男性	－	－				
	年齢					＋	＋
	教育年数	＋	＋		＋	＋	＋
	世帯年収		＋				＋
	未婚者		－				
	農村戸籍を持つ人			－	－	－	－
	農業部門の就業者						
	無職者				＋		＋
広瀬モデル	責任帰属の認知						
	対処有効性認知		＋			＋	＋
	環境リスク認知				＋	＋	＋
	実行可能性評価	＋	＋	＋	＋	＋	＋
	便益･費用評価	＋	＋	＋	＋	＋	＋
	社会規範評価				＋	＋	
社会関係資本	信頼度						
	社会的な交流度		＋				＋
	地域愛着度	＋		＋	＋	＋	＋
	隣人関係の良さ						

（＋：正の相関，－：負の相関）

具体的な分析プロセスについて、本研究は CGSS2010 に基づく二次分析による研究であるため、環境配慮行動に関する項目は CGSS2010 の調査項目によるゴミの分別、有機野菜購入、自家用車の利用削減、燃料削減、節水行動、グリーン消費の 6 項目を検討する。そして、6 項目の環境配慮行動の規定要因として、個人属性を考察するとともに、広瀬（1994）の環境配慮行動の 2 段階モデル（広瀬モデル）を導入し、中国における広瀬モデルを検証する。さらに、Putnam（1993）の社会関係資本の理論を参考にしながら、CGSS2010 の調査項目による人への信頼度、社会的な交流度、地域愛着度、隣人関係の良さなどの社会関係資本に関する各指標を測定し、社会関係資本の各種指標が環境配慮行動に与える影響を明らかにする。回帰分析結果のまとめは、表 1 のとおりである。

3. 結論

社会関係資本の変数である「社会的な交流度」、「地域愛着度」 は環境配慮行動に影響を与えることが明らかになった。具体的に言えば、「社会的な交流度」が強いほど、「有機野菜の購入」、「グリーン消費」の実施度が高いことを示し、「地域愛着度」強いほど、「ゴミの分別」、「自家用車の利用削減」、「燃料削減」、「節水行動」、「グリーン消費」の実施度が高いことを示している。そして、広瀬モデルは中国の環境配慮行動にある程度当てはまると考えられる。また、 広瀬モデルをベースに社会関係資本の各種指標を追加することで、新たなモデルの可能性も示唆された。

参考文献

1) Putnam, R. (1993). *Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy*. Princeton university press.
2) 平尾桂子 (2009) 環境と家事のあいだ--誰がごみを分別しているか. 地球環境学(5), 49-57.
3) 広瀬幸雄 (1994) 環境配慮的行動の規定因について. 社会心理学研究 10 (1)： 44-55.
4) 大島尚, 堀毛一也(2015) 環境問題とコミュニティ意識:社会関係資本からの検討 (TIEPh 第 2 ユニット 価値観・行動ユニット). 「エコ・フィロソフィ」研究(9): 151-165.

キーワード　環境配慮行動、社会関係資本、広瀬モデル

南京市における消費者のレジ袋使用の特徴

Characteristics of consumers' use of plastic bags in Nanjing

北九州市立大学大学院 ○周 月，北九州市立大学 加藤尊秋、二渡了

1. はじめに

中国では1日に約30億枚のレジ袋が使用されており，2019年までにレジ袋の年間使用量は400万トンを超えた（Kasidoni M 2015）。レジ袋が環境，健康，安全に悪影響を及ぼすにもかかわらず，多くの消費者はレジ袋を使いたいと考えている。レジ袋の使用を減らすためには，消費者の使用意図を理解し，環境配慮行動の実践を規定する要因の解明が重要となる。本研究では，南京市を対象として市民アンケート調査を行い，レジ袋使用の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. レジ袋削減行動モデル

分析用のモデル構築にあたり，Ajzen (1991)の提唱した計画行動理論を参考にした。計画行動理論によると，行動の「意図」は，「態度」,「主観的規範」と「行動コントロール」が3つの認知要素による影響を受ける。本研究では，さらに，レジ袋の特徴を考えて「便利さ」に注目した。レジ袋は持ち運びに便利で，油や水から荷物を守ってくれる。また，消費者の生活に関する「政策宣伝」が影響すると考え，これらの因子を追加した。なお，「便利さ」は，実際には，尺度を逆転させて「便利さなし」として計測した（図1参照）。

3. 調査概要及び研究方法

南京市民を対象として，インターネットでアンケート調査を2021年11月9日～11月23日に実施した。データクリーニングして最終的に正確に回答した人数は324名であった。レジ袋削減行動（3問），削減意図（4問），主観的規範（4問），行動コントロール（4問），便利さなし（4問），政策宣伝（3問），個人属性（6問）に関して尋ねた。これをもとに因子分析と共分散構造分析（SPSS，AMOS使用）を行い，最適なモデルを検討した。

4. 結果と考察

表1より，各因子の負荷量は0.767から0.918の間で0.5の基準値を超えており，各因子の計測が適切に行われたことがわかる。図1の共分散構造分析によるモデル推定結果では，まず，レジ袋削減意図が削減行動に正の影響を与えている。削減意図の因子としては，「便利さなし」の係数が最も大きい。予想通り，「便利さなし」と政策宣伝は，消費者のレジ袋削減意図を顕著に高めることが分かった。また，態度，主観的規範，行動コントロールも消費者のレジ袋削減意図に正の影響がある。

表1　因子負荷量

因子負荷量		
変数	番号	因子負荷
態度	ATT1	.759
	ATT2	.883
	ATT3	.898
	ATT4	.820
主観的な規範	SN1	.800
	SN2	.768
	SN3	.902
	SN4	.871
行動コントロール	PBC1	.802
	PBC2	.767
	PBC3	.881
	PBC4	.866
便利さなし	C1	.858
	C2	.894
	C3	.884
	C4	.887
政策宣伝	PP1	.828
	PP2	.913
	PP3	.910
意図	I1	.828
	I2	.913
	I3	.910
	I4	.828
行動	B1	.787
	B2	.824
	B3	.737

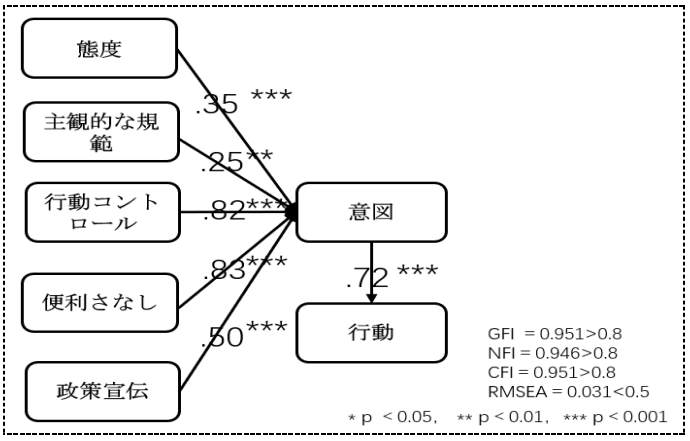


図1　レジ袋削減行動モデル

参考文献

1) Kasidoni M, Moustakas K, Malamis D (2015) The existing situation and challenges regarding the use of plastic carrier bags in Europe. Waste Manag Res 33(5):419–428

2) Ajzen I (1991) The theory of planned behavior. Organ Behav Hum Decis Process 50(2):179–211

キーワード　レジ袋，計画的行動理論，使用意図

使用済みプラスチック容器店頭回収システムの消費者選好評価
Consumer Preference Rating of Collection System for Used Plastic Containers at Stores

北九州市立大学 ○藤山淳史，入江杏南，松本亨

1. はじめに

北九州市において，2021年7月9日～12月31日まで，使用済みプラスチックボトルやパウチの水平リサイクルの展開に向けて，ボトル等のブランドオーナーも関与した回収実証実験「MEGURU BOXプロジェクト」が実施された。具体的には，北九州市内の流通小売店舗合計5か所，市民センター2か所に，使用済みボトルや詰め替え用パウチ類を回収する「MEGURU BOX」を設置し，そこへ市民が使用済みプラスチックを持参し，投入するという仕組みである。この実証実験「MEGURU BOXプロジェクト」の特徴は，①ICTの活用，②参加に応じたポイント還元，③社会支援団体へ寄付する仕組みである。そこで，本研究では，ポイント付与の仕方と付与額，回収箱の設置場所，店舗の利用頻度に対する市民の選好を，アンケート調査による選択型コンジョイント分析を用いて定量的に評価することを目的とした。

2. 調査方法

本研究では，本プロジェクトの公式LINEアカウントに登録済みの協力者に直接アンケートを配布する方法と，店頭に設置している回収箱にアンケートのチラシを設置し配布する方法の2通りで行い，Webアンケート方式で合計70名から回答を得た。コンジョイント分析の評価属性は，本プロジェクトの特徴であるポイント付与の仕組みについて消費者（協力者）の選好を把握することを目的に，以下のように評価属性と水準（各3段階）を設定した。

- ポイント付与の仕方：回収店舗で使用できるポイント，社会支援団体への寄付，LINEポイント
- ポイントの付与額：1円/個，5円/個，10円/個
- 回収箱設置店舗の利用頻度：よく利用する店舗，たまに利用する店舗，利用しない店舗
- 回収箱の設置場所：スーパーマーケット，ドラッグストア，市民センター

コンジョイントカードの作成においては，評価属性と水準の組み合わせから，直交性を考慮して27のプロファイルを抽出し，$L_9 3^4$型の直交表を用いて，9つのカードに絞った。本研究のアンケート調査では選択型コンジョイント分析を採用し，条件付きロジットモデルを用いて解析をした。回答者には9つのカードから無作為に抽出した3つのコンジョイントカードから最も望ましいものを1つ選択させた。この操作を1人の方に7回繰り返した。

3. 結果と考察

解析結果を図1に示す。最も効用が高い項目は「利用頻度－よく利用する店舗」で，最も効用が低い項目は「利用頻度－利用しない店舗」であった。また，2番目に効用が高かった項目はBOX設置場所の中で，最も日常的に利用すると予測される「スーパーマーケット」であった。このことから消費者に対して回収参加を促すためには，利用頻度の高い店舗で回収を実施することが重要であることがわかった。LINEからの回答者が8割を超えており，本プロジェクトに積極的に参加した方，つまり比較的社会問題への関心の高い層の回答割合が高いと考えられ，「寄付」の効用が高くなったと考えられる。

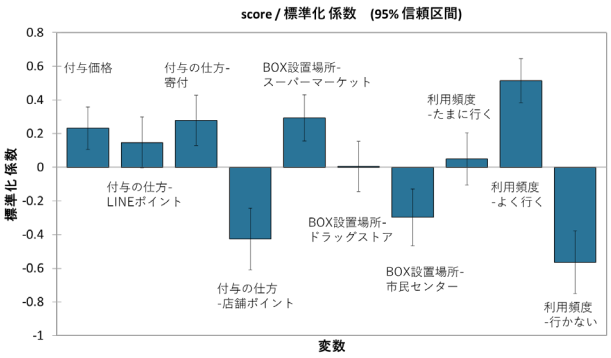


図1　条件付きロジットモデルによる解析結果

4. まとめ

水平リサイクルの仕組み構築をめざした「MEGURU BOXプロジェクト」を対象にアンケート調査を実施し，コンジョイント分析によって，使用済みプラスチックの回収に関する消費者の選好を把握した。得られた結果をもとに，市民にとっても企業にとってもよりよい回収の仕組みを検討していくことが課題である。

キーワード　コンジョイント分析，アンケート調査，資源循環，水平リサイクル

自治体における気候市民会議：イギリスの実例と脱炭素かわさき市民会議の比較からの示唆
Implication from the Comparison btw. Municipality Climate Assembly in the UK and Kawasaki

○河野眞貴子，環境政策対話研究所 柳下正治

1. はじめに

1.1. 背景と目的

世界では国家規模の気候市民会議が開催されるようになってきているが（フランス、イギリス）、日本では自治体規模の気候市民会議が 2 件開催されたばかりである。しかしながら、今後も気候市民会議開催の予定があり、まさに黎明期を迎えようとしている。このような日本の自治体における気候市民会議にはどのような設計や制度が必要、あるいは適しているのだろうか。かかる示唆を得ることを目的として、イギリスの約 20 例と、日本のサンプルとしての「脱炭素かわさき市民会議」とを比較してみることとした。

1.2. 視点

イギリスと日本の自治体の気候市民会議を見渡すと、大きな違いの 1 つは自治体の関与の仕方であることが看て取れる。市民会議の分析に係る視点は多数あるが、本研究ではこの自治体の関わり方に着目して分析を試みた。もっとも、日本とイギリスではそもそもの背景となる制度が異なるので、このような制度的背景も併せて分析の対象とした。

研究は文献・報告書などの調査によって実施した。

2. 脱炭素かわさき市民会議 [1)]

まず最初に昨年実施された、「脱炭素かわさき市民会議」の概要について紹介する。当該会議は民間主導で 2021 年 5 月から 10 月にかけて開催された。主催は脱炭素かわさき市民会議実行委員会、共催は一般社団法人環境政策対話研究所及び川崎市地球温暖化防止活動推進センターであった。6 回、合計 22 時間の会議では、無作為抽出によって選ばれた 75 名の市民により、議論が行われた。議論の結果は 77 項目からなる市民提案としてとりまとめられ、11 月に川崎市長に手交されると共に、社会発信された。一部は「川崎市地球温暖化対策推進基本計画の改定案」に対するパブリックコメントの形で、個人としての市民から提出された。川崎市は場所の提供、施策に関する専門家としての情報提供等で協力した。

3. 分析結果

3.1. 社会的・制度的な差異

イギリスの自治体と日本の自治体で最も異なる点は、ガバナンス構造であろう。例えば、イギリスで最も多くの自治体が採用しているのは「リーダーと内閣」制である [2)]。このケースでは議員から構成される内閣が、日常的な政策の意思決定と執行を行う。すなわち、イギリスでは自治体における立法部と執行部の関係がより緊密である点が、日本と大きく異なる点である。

3.2 気候市民会議における差異

主に脱炭素かわさき市民会議と比較すると、イギリスにおける自治体の気候市民会議では以下のような点が特徴として頻繁にみられることがわかった。

(1) 気候非常事態宣言を端緒とする（ときにはこれらの宣言に気候市民会議設置が記載されている）。
(2) 無作為抽出における考慮要素が多い。
(3) 組織構造に関して、どこかしらに議員が入っており、また、開催中に監視グループが活動する。
(4) フィードバック先が議会や議員であり、フォーマルに書面で応答される。
(5) 実際にアクションプランや戦略、計画に助言が反映されている。
(6) 構造化された気候変動対策プロセスの一部として実施されることがある。
(7) 何らかの形で一般市民の参画がみられる。
(8) 若い世代の会議が別途、並行的に実施される。
(9) 予算が自治体などから支出されている。

4. 今後の予定

イギリスにおける上記の特徴の多くは立法部と執行部の緊密な関係から説明できるが、日本ではこれほど緊密ではない。今後、より詳細な分析を実施し、日本において強調すべき点、緩和できる点などを実効性確保の観点も交えて抽出していく。

参考文献

1) https://www.cckawasaki.jp/kwccca/citizen.html#01
2) Local Government Act 2000

キーワード　気候市民会議，脱炭素，気候変動、自治体

ローカル SDGs 達成のための都道府県別社会活動人口の推計
Estimation of Socially Active Population by Prefecture for Achieving Local SDGs

芝浦工業大学 ○中口 毅博

1. 研究の背景と目的

SDGs を地域レベルで達成するためには、地域の中での社会活動を活発化する必要がある。筆者は，持続可能な地域づくりを全国のすべての自治体で同時成立させるためには，物的・人的資源の分かち合いが必要であり，そのためには移住一辺倒ではなく社会活動に参加する人，すなわち「活動人口」を維持するべきであると主張してきた(中口、2018)。これは総務省の言う「関係人口」とは若干定義が異なる。関係人口は，単に観光目的で村を訪れた人（＝交流人口）も含まれるが，「活動人口」は当該地域の持続可能な地域づくりに貢献する社会活動を行った場合と定義している。

そこで本報告では都道府県別社会活動人口の推計結果について報告する。

2. 算定方法

2022 年 3 月 14 日に Web アンケートを行った。対象は全国の 15 歳以上 99 歳以下の男女で、サンプル数は 1,000 とした。89 の社会活動に対し、実施している活動とその実施場所（都道府県別）を尋ねた。自分の地域で 80 以上または他県で 50 以上チェックしているものは不正確な回答として除外した結果、有効回答数は 778 となった。一方 89 の活動を最も寄与する SDGs のゴールと紐つけ、ゴールごとの延べ活動数を有効回答数で除して 1 人あたり延べ活動数を算出した。また自分の居住する都道府県と他地域の活動を分けて集計した。

図 1　SDGs ゴール別 1 人あたり自地域延べ活動数

※18「心の豊かさを守ろう」は筆者独自の分類で文化芸術活動を含む

3. 算定結果

図 1 に SDGs ゴール別の自地域における 1 人あたり延べ活動数を示した。「住み続けられるまちづくりを」が 2.48 と最も大きく、次いで「すべての人に健康と福祉を」の 1.39 となった。

図 2 に都道府県別の自地域における 1 人あたり活動数を示した。島根県が 4.61 で最も大きく、次いで長野県の 4.40 であった。一方福井県が 2.58 と最も小さいなど、北陸 3 県が小さくなった。首都圏の都県は中位に位置することが明らかになった。

キーワード：SDGs、関係人口、地域創生

参考文献：中口毅博(2018)群馬県内市町村における持続可能な地域づくりの課題と解決策－奪い合いから分かち合いによる地方創生－. 群馬自治,357,p3-5.

図 2　都道府県別 1 人あたり自地域活動数

自然エネルギー大学リーグによる脱炭素化の推進
Promoting Decarbonization through The Renewable Energy University League

原科幸彦、千葉商科大学

1. 大学と脱炭素化

大学は教育研究と共に社会への貢献も求められるが、脱炭素化のためには、その人材の育成、脱炭素化の実例提示、地域の脱炭素化活動支援の 3 つがある。

脱炭素化には 3 つの phase があり、Phase 1 は直接の化石燃料燃焼による CO2 排出、phase 2 は直接の電力使用による排出なので対応しやすい。一方、phase 3 はサプライチェーンを通じた間接的な CO2 排出なので対応は容易ではない。そこで、まず、キャンパス内で直接対応ができる Phase 1, 2 の脱炭素化を目標とし、その先に phase 3 の取り組みを本格的に行う段階戦略をとる。

2. RE100％社会に向けて[1)]

まず、再エネの推進。The Climate Group の RE100 は電力調達に関する再エネ 100％で、対象は年間 10GWh 以上の電力消費量の巨大企業に限られており、これだけでは変革はできない。社会の各主体が自らの手で脱炭素化を進めることが必要である。現在、再エネ電力は小規模分散型の発電が可能となり、各主体が自らの使用電力量に相当する量の発電が可能になった。

RE100 は電力調達に関するもので、RE100_cons と略記する。一方、自らの責任で使用電力分を再エネで 100％発電するものは、電力生産なので RE100_prod と略記。再エネ推進の観点からは、RE100_cons は電力を使う責任、RE100_prod は電力を創る責任を果たしている。SDGs12「つかう責任、つくる責任」である[1)]。

3. 自然エネルギー100％大学

3.1. 千葉商科大学の経験[2)]

千葉商科大学は 2019 年に日本初の RE100 大学を達成した。RE100_cons と RE100_prod 双方の達成である。2012 年、筆者は本学に赴任後、大学を再エネ推進のセンターにと同僚教員や学生と共に自主活動を始め、2014 年、ボランタリリーに RE100％大学を目指すと意思表明。

筆者が学長に就任した 2017 年から大学組織の活動とし、100％達成に向け省エネ、創エネの設備投資が可能となった 2017 年 11 月、100％達成を目指すと大学が公式宣言。目標 1 は電気に関し、目標 2 は電気＋ガスに関し、それら使用量相当の再エネ発電を行うとした。RE100％達成で、年間 CO2 排出量は 2016 年度の 2,863 トンが 2021 年度は 319 トンにと、2,544 トン（89％）削減。

3.2. 大学ならではの脱炭素化

本学の経験は大学らしい脱炭素化の道を示している。大学組織としての活動開始には時間を要するが、自由な活動が可能な大学では、まず一部の教職員や学生達による自主活動から始められる。その活動により次第に学内の理解が得られ、学内合意を積み重ね、大学組織としての活動へと転換しうる。個人としての活動が重要。

学長にも同じことが言える。学長個人がリーダーシップを発揮し大学プロジェクトに転換すれば、脱炭素化への設備投資や再エネ電力購入の意思決定が可能となる。

4. 自然エネルギー大学リーグ

筆者は我々の経験を他の大学に伝えるべく、脱炭素化を目指す学長諸氏に声をかけ、2021 年 6 月に「自然エネルギー100％大学リーグ」を発足させた[3)]。設立発起人は、千葉商科大、国際基督教大、和洋女子大、聖心女子大、東京外国語大、長野県立大、上智大、広島大、東京医科歯科大の 9 大学の学長である。

まず、個人としての活動からとの考えで、教職員等の個人会員のほか、学生会員も設け、大学組織としての参加はキャンパス単位での脱炭素化のためキャンパス会員を設けた。さらに企業などの支援会員がある。

この 1 年間で、以下 10 大学の学長らも個人会員に。東京都立大、東京都市大、足利大、立命館大、昭和女子大、慶応義塾大、名古屋大、千葉大、明治大、桜美林大で、現在 19 大学からの学長となった。学長のリーダーシップにより脱炭素化の推進が期待される。

参考文献

1) 原科幸彦・鮎川ゆりか・山口勝洋（2019）再生可能エネルギー社会へ「まず、隗より」, 環境と公害, 48(4)、66-70.
2) 手嶋進・原科幸彦（2021）自然エネルギー100％大学（電力）の実現, 環境科学会誌, 34(3), 162-171
3) 原科幸彦編 (2022) SDGs と大学, CUC サポート社, 409 頁

キーワード　脱炭素化，自然エネルギー，大学リーグ

環境問題の解決に向けた人材育成
Human Resource Development to Overcome Environmental Challenges

東邦大学 ○竹内彩乃

1. はじめに

環境問題や地域課題の解決において，様々なステークホルダーの協力が不可欠である。しかし，現実的には利害対立や情報共有の難しさなど，様々な問題が発生するため，これらをコーディネートし，効果的なコミュニケーションの触媒となる「環境人材」の育成が求められている。環境人材の育成において，アクティブ・ラーニングが有効であると考えられるため，本研究では，東邦大学習志野キャンパスに設立された環境学生団体である「東邦 Ecolution」を事例に，実践的な環境教育やその効果について論じた。

2. 東邦 Ecolution について

東邦 Ecolution は，習志野キャンパス及び近隣エリアの環境負荷低減活動に，学生と教職員が協力して取り組むことを目的に 2017 年に設立された環境学生団体である。学生から団体名を募集し Eco(エコ)で Solution（解決策）を考えるということを意図して，東邦 Ecolution と命名された。設立当初は，学内で省エネ対策に取り組む「経費節減委員会」と連携しながら活動していたが，活動内容が省エネだけではなく，その他の環境問題を対象としたものへ広がったことから，キャンパス内の愛好会として登録することになった。最近では「理学部教育活動推進基金」を獲得し，教育活動の取り組みの 1 つとして認知されてきた。学部 1 年生から 3 年生約 20 名と担当教員 1 名で構成されており，週 1 回のミーティングにおいて，各班の活動状況や全体の連絡事項を共有している。

1 年目～2 年目は，具体的な活動内容を決めるために，他大学調査を行った上で，「古紙回収班」，「レジ袋有料化班」，「広報班」を作ることになった。古紙回収班では，経費節減委員会と連携しながら，学内に古紙回収ボックスを設置した上で，どのような情報を提供すると古紙回収に関する意識啓発につながるのかについて実証実験を行った。レジ袋有料化班では，生協理事と検討を開始し，レジ袋有料化の実証実験を行った（容器包装リサイクル法関係省令改正前）。その他，外部の専門家の指導の下，学内の「省エネ改修ワークショップ」を開催した。また，近隣エリアにある商店街の昔の景観を語りと共に残す「まち歩き班」も発足した。3 年目には，企業との共同事業である「ECORUITING PROJECT」が発足した。これは，学生が企業を訪問し，環境活動提案を行い，企業が実施した環境活動の成果を他の学生に向けて報告することで，環境配慮型企業としての知名度を上げるというものである。コロナ禍においては，身近な生活と関わる環境問題についてコラムを執筆し，公開する「note 班」が立ち上がった。最近では菜食や学内にウォーターサーバーを置くために活動する班が立ち上がっている。基本的に参加する学生の希望に沿って活動をしてもらうことにしている。一つ共通するのは，各自で下調べをすること，関係主体へのヒアリングを行うことである。これらの事前調査を通じて分かったことからプロジェクトの企画の検討を開始することを基本としている。

3. 学内環境活動によって得られる力

東邦 Ecolution に参加した学生は，事前調査を通して環境問題の解決に向けたプロジェクトの企画検討を行うことで，環境に関する知識の習得をし，主体的に行動する力を習得していた。また，キャンパスの教職員や外部の企業とのやりとりを通じて，多様な関係主体の間に立って調整するスキルも身につけていた。最初のきっかけを興味のあるテーマに関する事前調査としているが，下調べの結果の妥当性を確認したり，適切なヒアリング対象に連絡をとりながらサポートする教職員の存在も重要であると考えられる。

参考文献

1) 竹内 彩乃 (2017) 大学の省エネ活動を実践的な環境教育の場に−東邦エコリューションの活動を事例に−, 環境科学会誌, 30, 357-364
2) 竹内 彩乃 (2020) 社会へつながる環境人材育成―東邦 Ecolution の活動を事例に―, 環境科学会誌, 33, 64-69

キーワード　環境人材, アクティブ・ラーニング, 他主体連携

口　頭　発　表

9月9日（金）

果樹作付と土性区分のオーバレイ解析
Overlay Analysis of Fruit Cropping and Soil Texture

山梨大学　○島崎 洋一

1. 研究目的

本研究は，気候変動適応の観点から，果樹特産地域における環境要因の特徴を定量的に明らかにすることを目的とする。従来，地理情報システムを用いて，山梨県峡東地域における果樹作付と土壌分類のオーバーレイ解析[1)]を試みた。本解析では山梨県中北地域を対象に果樹作付地図を作成し，土壌分類との関係に加えて，土壌の重要な性質である土性区分との関係も明らかにする。

2. 解析方法

農地区画単位は，水土里(みどり)情報システムのデータベースを基準とした。航空写真を参照することにより，農作物の特徴に基づき，9 種類(ブドウ・モモ・サクランボ・カキ・リンゴ・田・畑・その他・転用地)の土地を識別することを試みた。山梨県中北地域における果樹作付地図と縮尺 5 万分の 1 農耕地包括土壌図[2)]を重ね合わせることにより，果樹作付と土壌分類，果樹作付と土性区分のオーバーレイ解析を行った。

3. 解析結果

図 1 に果樹作付と土性区分のオーバーレイ解析の結果を示す。この地域における 5 つの果樹の面積割合は全体の 15.1%である。地域全体の土性区分を基準にした場合，ブドウは表層および下層において強粘質の割合が高いことがわかった。また，モモやサクランボは壌質の割合が高いことがわかった。従来の土壌分類だけではなく，新規の土性区分においても果樹作付別に特徴が見られた。これは気候変動により果樹の植え替えが必要な場合，果樹の根の深さを考慮する重要性を示唆している。

謝辞

山梨県農政部の長坂 克彦さん，山梨県果樹試験場の加藤 治さん，桐原 崚さんから果樹栽培と土壌に関する貴重なご助言を得ました。また，果樹作付地図の作成にあたり，山梨県土地改良事業団体連合会の関係者各位のご協力を得ました。データ入力の際には島崎研究室の学生(中矢 亜有実さん・下村 珠由さん・坪田 佳奈さん)のご協力を得ました。本研究は JSPS 科研費 JP20K12297 の助成を受けたものです。深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 島崎 洋一（2019）果樹と土壌のオーバーレイ解析，環境科学会 2019 年会講演要旨集，50
2) 農研機構，日本土壌インベントリー，https://soil-inventory.rad.naro.go.jp/（アクセス日：2022 年 3 月 29 日）

キーワード　果樹栽培，環境要因，土壌分類，土性区分

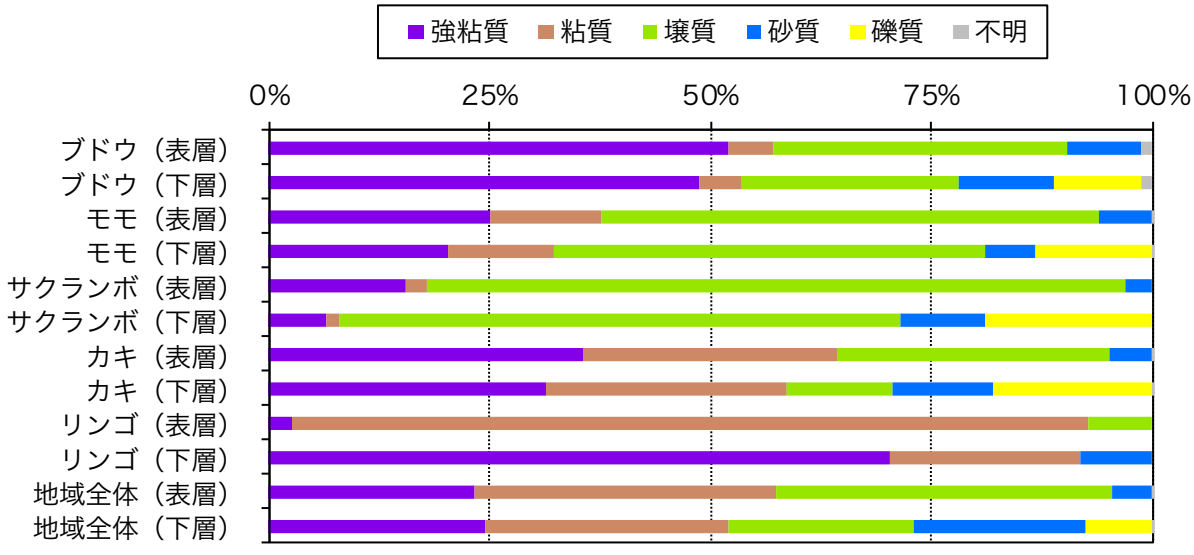


図1　果樹作付と土性区分のオーバレイ解析の結果

UAV を用いた環境保全型農業における水稲への窒素固定量評価 -比企丘陵 日向沼直下の谷津田の事例-

Attempt of nitrogen fixation in paddy rice using UAV -Case of Yatsuda just below Hiki Hills Hinata-numa-

立正大学　○後藤真太郎，佐藤響平，横山和成，向高新

1.はじめに

埼玉県比企丘陵には沼が多く，沼の水に貯留される天水のみを利用した農業が 1500 年以上前から沼周辺の小字コミュニティーにより延々と引き継がれている．この地域には，有機農業の発祥の地である小川町も含まれており，環境保全型農業が始まった要因として沼で醸成される有機物と有機物を餌とする土壌微生物の働きに着目し，1500 年前から丘陵地という悪条件の中で，共同知を利用して環境保全型農業を持続させてきた要因を明らかにすることで，自然資源を利用した高付加価値な農業に繋ぐヒントがあるように思われる．

本研究では，水稲を対象として，UAV 画像から稲と雑草のバイオマス量を求め，GIS で面的に整理する事で稲および雑草の生長過程を把握し，水稲および雑草のバイオマス量を別々に推定し水稲への窒素固定量を推定し，土壌微生物多様性・活性値を用い、ため池から供給される有機態窒素を含む全窒素を起源とする窒素循環につき評価した。

２．研究方法

2.1 観測対象

本研究の研究対象圃場は,埼玉県熊谷市最南部の小江川に位置するホテルヘリテイジリゾートの敷地内の谷津田である.

田植えから稲刈りまでの期間は，2019 年 7 月 7 日から 2019 年 11 月 15 日である.

なお，対象圃場は 2017 年から環境保全型農業により「彩のかがやき」が栽培されている.

2.2 GIS データの作成方法

本研究では，佐藤ら[1)]と同様の手法で行った.

３．雑草のバイオマス量による収量の補正量の抽出

本研究では，佐藤ら[1)]と同様の手法で行った.

４.ため池からの窒素供給量の推定

本研究の対象ほ場は、無化学肥料の栽培であるため、人為的な施肥は無く、ため池中の栄養分のみで栽培されていると考えてよい。

よって、ため池から供給される農業用水中の窒素と、圃場内の土壌中に元来含まれている窒素のみで稲体及び雑草を含めた植物が生産されていると仮定した。ため池中の水の窒素濃度を分析したのち、ほ場に流出入する水量を推算し、栽培期間中のため池からの窒素供給量を推算した。水質分析の際、窒素は全窒素(TD)を分析対象とし、アルカリ性ペルオキソ二硫酸カリウム分解による分析方法を用いて分析した。

ほ場に流入する農業用水は、コンクリート製の水路を通じてため池から供給されるため、水路の幅・水深・流速を計測し推算した。

土壌中の窒素量を把握するため、対象ほ場で対角線採土法によるサンプリングを行い，採取した試料を土壌分析機(富士平工業株式会社、全農型土壌分析機 ZA-Ⅱ)で分析した。サンプリングは田植え前と田植え後の 2 回行い，差分量を観測期間中に消費された土壌窒素量とした。

ほ場中にあった水稲株は3442株であった。ため池中の全窒素は1.06mg/l水路幅は20cm水深は5cm流速は20cm/sであった。ほ場に供給される水量は、172.8kL/dayであり、田植えから乾燥期までの積算日数は87日であるため、ため池からほ場に供給された積算水量は、約15033kL、供給された積算全窒素量は約15.93kgであった。

なお、土壌分析により硝酸態窒素については、田植え前・稲刈り後どちらも検出されなかった。

水稲株数，単位収量，推定単位収量を図5に示す。推定収量の50%に満たない区画は6,7,9区画であった。

水稲の体積を用いた窒素量換算は、文献調査により得られたでパラメータを用いる。窒素供給量への換算結果は、発表時に提示する。

６.土壌微生物多様性・活性値

土壌の生物性を科学的・客観的に評価する方法として，横山[3)]による土壌微生物多様性・活性値を用い,土壌中に生息する微生物群集の有機物分解能力の多様性を数値化した.

土壌微生物多様性・活性値以外のメッシュ毎の計測値は紙面の関係で講演時に述べる．土壌微生物多様性・活性値については,田植え前に 99.1 万を示し，ため池の土壌の計測値は，115.6 万であったことから，ため池由来の豊かな土壌成分が圃場に流入している事を示した.土壌成分データにおいて，NO3-は ZA-Ⅱの測定限界である 0.33mg/100g よりも低い数値であり微量であった.このことは,土壌成分を計測した時期は水分がない時期であることから、乾土効果によってアンモニア化成量が増大した事に由来するものと考えられる.

７．おわりに

本研究では以下の内容を明らかにした.

GIS による谷津田内の環境要素のデータ化手順と樹木モデルによる関係性の評価を行い，稲と雑草が共存する環境保全型農場での稲の成長に及ぼす環境要素の評価モデルを構築した.

また,窒素成分の由来が土壌成分ではないことがわかり，一方で土壌微生物多様性・活性値が高い事から,窒素成分の由来は土壌微生物であることが示唆された.

参考文献

1) 後藤真太郎・佐藤響平・横山和成（2021）：ジオインフォマチックスを用いた環境保全型農業における土壌微生物に着目した窒素循環評価の試み　-比企丘陵日向沼直下の谷津田の事例-,2021 年環境科学会年会要旨集,ID-1045.

2) 細谷啓太(2017)：自然栽培水田における窒素循環と収量成立機構,岩手大学院連合農学研究科.

3) 横山和成(1996)：土壌微生物群集の多様性評価土壌微生物群集の多様性評価，土と微生物，**49**，pp.35-42.

キーワード　土壌微生物多様性・活性値，ジオインフォマチックス，環境保全型農業，UAV

低頻度･中分解能人工衛星データと自作固定翼機材の可能性
Combining Sentinel 2 Satellite image and a fixed wing drone

東京農業大学〇松村寛一郎、北海道大学　Stanley Anak Suab, Ram Avtar,　Hitesh Supe,
大阪公立大学　杉本賢二, 国立環境研究所　一ノ瀬俊明

1. 背景と目的

西暦 2030 年まで無償提供と商業利用が約束されている Sentinel2 人工衛星データのデータセンターにアクセスして、誰もが容易な形で任意の地表面の植生指数と湿潤指数を GEOJSON 形式および KML 形式で入手できる GUI（Graphical User Interface）をインドのムンバイにある Agriforetell 社が開発した。任意の場所の畑作地を可視化できる。2022 年の夏季は雲の影響で地表面情報を取得できない日が続いており、自作固定翼機材を用いることの可能性を提案する。

2. 植生指数と湿潤指数

能取湖に面した牧草地の衛星画像を示す。植生指数（NDVI）、湿潤指数（NDMI）と可視画像を取得できる。

図 1. 2022 年 7 月 18 日における植生指数（上）と湿潤指数（下）

取得された人工衛星データは数値データとして取得できるために、植生指数と湿潤指数の散布図を求めることができる。時間軸をずらすことで相関行列を求めることで、例えば旭川市郊外の当麻町のコメ農家の事例では 7 月下旬の湿潤指数が、9 月上旬の植生指数に関連があることが示された。この仕組みをサブスクリプションで提供することで、任意の畑地の可視化が実現される。酪農家を対象に集中的に牧草を加工する TMR センターを運営する元所長へのヒアリングによれば牧草地が 1 ヘクタール存在したとしても売上が 20 万円程度にしかならないために、あえて人工衛星データを購入して可視化をするというインセンティブが働かなかった経緯がある。集中豪雨や異常高温が多発する 2022 年の夏季においては、北海道の道東地域を中心として曇り空の日が多い異変が起きている。人工衛星データを取得したくてもできない日々が多発しており、人工衛星データを活用して可変施肥等を実践している農家にとっては深刻な問題となっている。

3. 自作固定翼機材の開発

研究代表者らは、マレーシアの国営企業であるペトロナスグループが所有する広大なパームオイル畑を高度 1500 メートルから観測するために実際に使われた機材と同じものを複数機製作した。自動飛行を可能にするフライトコンピューターと飛行経路を作成するソフトを用いた。2022 年 6 月 22 日から国土交通省による 100 グラム以上の機材登録制度に登録することができ、併せて保険に加入することができた。進歩的な農業経営者は自らトラクターを整備できる知識と道具がそろっており、このような農業経営者を対象とした自作ドローンを集中的に製作して運用までを実体験でき、お土産にドローンを持ち帰ることができるセミナー開催の準備を進めている。

図 2. パームオイル畑での自作固定翼機材

参考文献

1) AgriForetell, a brand of Ignisnova Robotics Pvt. Ltd, https://agriforetell.com, accessed 2020

謝辞

Joint Research Program of the Japan Arctic Research Network Center, Hokkaido University Grant, 2020, 2021

キーワード　Sentilel-2、NDVI、NDMI、自作固定翼機材

東京都における日射量と地表面温度の関係に関する考察

A Study of the Relationship between Solar Radiation and Surface Temperature in Tokyo

立正大学 ○白木 洋平，国立環境研究所 一ノ瀬 俊明　平野 勇二郎
横浜市立大学　大西 暁生

1. はじめに

都市域における熱環境の実態を把握する最も有効かつ基本的な方法は現地での観測であることは言うまでもないが，近年では気温とは異なる物理量ではあるものの広域性や同時性，周期性などといった長所を有している衛星リモートセンシングによって得られた地表面温度がしばしば利用されている。しかしながら，たとえばヒートアイランド現象といった主に都市域を対象地域に含んでいる研究では地表面温度分布の傾向の解析や，その要因の解析などについては議論がなされているものの，特に広域を対象とした研究の場合では複雑な建物形状によって発生する影，すなわち日射量が地表面温度にどのような影響を与えているかについては議論されないことが多い。この理由として，従来までは詳細な建物形状を広域で取得することがコスト的にも容易ではなかったことが挙げられる。

本研究では，国土交通省によって進められている日本全国の 3D 都市モデルの整備・オープンデータ化プロジェクトである PLATEAU によって公開/提供されている東京都の建物情報を利用して，東京都において建物形状を考慮した日射量の時間変化について解析を行うとともに，得られた情報と衛星リモートセンシングによって得られた地表面温度との関係について考察を行なったので報告する。

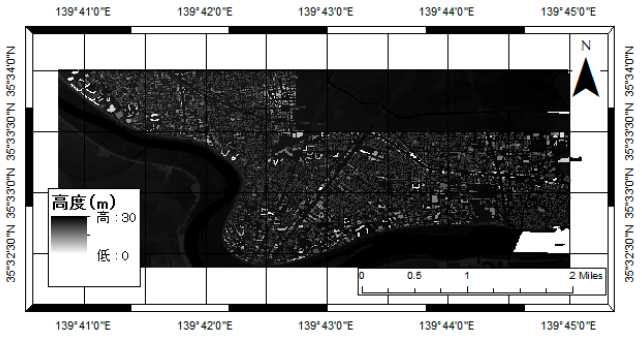


図 1　東京都大田区の建物高度

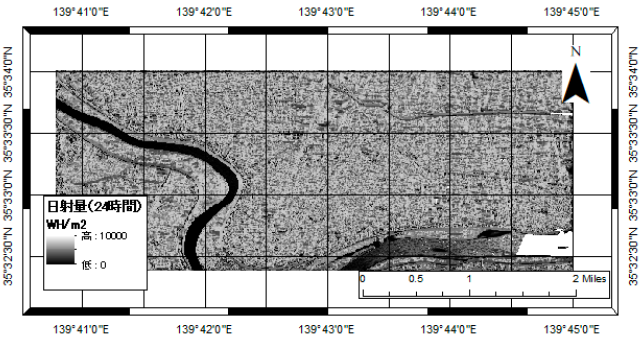


図 2　2022 年 8 月 12 日の総日射量分布
（東京都大田区の例）

2. 解析方法

上述した通り，PLATEAU にて公開/提供されている CityGML を地理情報システム（GIS）で利用できる形式に変換し，解析に利用することとした。また，建物の高さ情報には標高の情報が含まれていない。そこで，国土地理院によって提供されている 5m メッシュ標高を用いて標高を含めた正味の高さの抽出を行なった（図 1）。次に，得られた建物高度を利用して地理情報システムを用いた日射量解析（日射量の時間変化の抽出）を行なった。なお，本稿では一例として東京都大田区における 2022 年 8 月 12 日の 0 時～24 時を対象時間として処理を行なった例を示している。最後に，高時間分解能を有する静止気象衛星 HIMAWARI より得られた地表面温度との関係について考察を行った。

3. 結果

図 2 に 2022 年 8 月 12 日の総日射量の分布を示す。このことから，PLATEAU にて公開/提供されている CityGML を用いることで，広域における建物形状を考慮した日射量の算出が行えることが明確となった。この手法により得られた情報と HIMAWARI によって得られた地表面温度との関係に関する考察については発表時に説明を行うこととする。

謝辞
本研究は JSPS 科研費 21H01468 の助成によって実施した。

キーワード　PLATEAU，日射量，地理情報システム

リモートセンシング分野における都市熱環境研究のミスリード
Research Misleading of Urban Thermal Environment in the Discipline of Remote Sensing

国立研究開発法人国立環境研究所/名古屋大学大学院環境学研究科 ○一ノ瀬俊明

現在世界各国で急速な都市化と市街地面積の拡大が進行しており、都市環境の快適性確保が極めて重要な課題となっている。とりわけ都市の熱環境は、都市の生活環境に影響する重要な指標である。有効なモニタリングを通じて典型的な都市熱環境の動態を把握し、都市構造が都市の高温化（ヒートアイランド）に与える影響を明らかにすることは喫緊の課題と考えられる。また昨今では、新型コロナウイルス（COVID-19）の流行以降都市の換気性能に注目が集まっている。とりわけ「風の道」を活用することで、都市内における感染防止と夏季屋外における快適性確保の両立が実現されるものと思われる。さらに、日本では多くの都市で人口減少が進む一方住宅数の増加が進み、都市化の進展や市街地における人工化の状況は以前と変わっていない。そして地球温暖化による気温上昇が進む中、都市環境の快適性や気候変動適応といった観点からも、ヒートアイランド対策の重要性が高まっている。

一方今日のリモートセンシング技術の飛躍的な発展は、広範囲、高解像度での迅速な都市熱環境情報取得を可能としており、都市熱環境のモニタリングにおいて不可欠な技術となっている。Roth *et al.* (1989) を嚆矢として、衛星リモートセンシングの手法は都市熱環境研究の分野において盛んに用いられるようになっている。近年では、都市熱環境や気象学、地理学などのバックグラウンドを持たないリモートセンシング分野の研究者による都市熱環境、ヒートアイランド研究の論文が急増しているが、重要なバッググラウンドの知識を欠いたまま分析を進めて書かれたと思われる残念な論文も散見されている。

従前東アジア地域を人工衛星が通過する時間帯は午前 10 時前後が多く、この時間帯に撮影される地表面熱画像も多い。冬季はこの時間帯の画像だけで解析した場合、大都市の地表面温度が郊外にくらべて広域に低温となるようなシーンが撮影される場合もある。これは低い太陽高度に対応した日影のパターンや、都市地表面構成素材の熱慣性などが関係しているものと考えられる。これだけを用いて解析し、「冬季の都心における大規模なクールアイランド」について言及した論文もあるが（e.g. Yang *et al.*, 2020）、これは一般的な気象学・気候学の知見としての「冬季の都心におけるヒートアイランド」とは矛盾する結果であり、これらを一般的なものとして提示することは、自然科学的知見を顧みず、手法ばかりに傾注した故の残念な研究と言わざるをえない。そしてこのような背景は、都市環境計画の現場において正しいリモートセンシングの利用が進みにくい要因ともなっている。

このほか、演者が論文査読の現場で気になり、厳しい批判をもって対応してきた事例には、次のようなものもある。

感染症対策として行われたロックダウンの影響（人間活動強度の低下：人工排熱の減少）は、都市の地表面温度ではなくて気温に現れると考えられる。よって、衛星リモートセンシングで直接検知できると考えるには、別途様々な検討が必要となる。

また、大規模な都市内緑地・河川空間の存在による周辺地域の冷却効果（Spillover of Park Cooling Effect: PCS）は、地表面温度ではなくて気温に現れる（e.g. Sugawara *et al.*, 2015）。地表面温度にも冷却効果が見えると主張するならば、安定して出現しているわけではない冷気のにじみ出し効果が地表面熱収支に影響（気温が地温に影響）するか、もしくは土壌層内部における熱の水平拡散（伝熱）の効果が十分大きいということを示す必要がある（一般にこのプロセスは気象モデルには組み込まれていない）が、彼らはこの検討に踏み込んでいない。

衛星リモートセンシングの分野で「新発見」のようにもてはやされうる話の中には、気象学の常識的知見との矛盾を克服できていないものが存在する。もし正しいというならば、それは伝統的な気象学の教科書が書き換わるほどの話であり、そこを自覚せずにさらりと出せるようなものではないと考える。

参考文献

Roth *et al.* (1989) International Journal of Remote Sensing 10 (11):1699-1720

Yang *et al.* (2020) Remote Sensing 12(5), 801

Sugawara *et al.* (2015) Journal of Environmental Quality

キーワード　リモートセンシング, 都市熱環境, 気象学, 緑地, クールアイランド

ナノマイクロプラスチックの科学的不確実性を伴うリスクに対する法的制御の可能性について
―ナノ領域の廃棄物に関する日本の現状と課題を事例に―
Possibility of legal control of risks associated with scientific uncertainty related to nano-micro plastics
-A case study of Japan's current situation and issues related to nano-scale waste-

早稲田大学社会科学総合学術院　○中山敬太

1. 研究背景

現在、社会的課題となっている海洋ごみ問題を含むマイクロプラスチック汚染は深刻な状況となっている。そもそもプラスチックは、現代科学技術の「正の産物」として、医療分野を含め人類社会に多大な恩恵をもたらしてきた。しかし、「負の産物」としてマイクロプラスチック汚染が社会問題化していく中で、「それに付随する化学物質の生物への影響については、未解明の点が多く、さらなる研究が必要である」(高田 2018)と指摘しているように、科学的不確実性を伴うリスクが懸念されており、その解決には複数の解決策を組み合わせる必要があり、基本的には廃棄物管理の徹底と３Ｒの促進である(高田 2018)と言われている。

マイクロプラスチックは、主に河川等を通じて海洋ごみとなり、それが紫外線等により微小・細分化されることで大気中を浮遊して陸上に戻ってくるとされている。しかし、このマイクロプラスチックがどのようなメカニズムで主にどこでどれほど発生しているのか、どのような身体的悪影響があるのか、そして対策が講じられた際に一体どれほどの効果があるのかも明確に分かっていない現状がある。すなわち、マイクロプラスチックに関する様々な局面・プロセスにおいて科学的不確実性が伴っている状況である。

2. 研究目的

そこで、本報告では、ナノ領域の廃棄物であるナノマイクロプラスチックの発生原因やそのメカニズムに関する現状把握を先行研究等に基づきレビューし、どの発生メカニズムやプロセス段階にて科学的不確実性を伴うリスクがより生じているのかを中心に分析を進め、予防的な法的制御の可能性について検討を行う。その上で、ナノマイクロプラスチックの法的予防措置等に関する日本の現状と課題を中心に、関連する先行研究等を踏まえ検討を行った。

3. 研究の特徴

本研究の特徴としては、特にナノ領域を含めたナノマイクロプラスチック汚染問題の健康リスクに着目し、一体いかなるメカニズムやプロセス等に不確実性が生じているのか、その不確実性の性質や要素等を整理し、アスベストのような過去安全だと謳われていた素材が現在使用禁止になっているような負の歴史を繰り返さないように、適切かつ迅速な法的予防措置を可能にする法的理論枠組みやその予防的な規制アプローチを新たに見出し、当該解決策の新たな視座を示すことが、本研究の特徴として位置付けることができる。

4. 研究の社会的意義

ナノ領域になったプラスチックの健康リスクが特に懸念される状況下で、実効性を担保した具体的な法的予防措置も講じられていない日本の現状を鑑みると、「予防原則」の適用を含め法的予防措置の観点から検討をする本研究はその社会的意義を見出すことができる。また本研究は、ナノ領域のライフサイクルにおける廃棄段階での法的予防措置に関して、不確実性マネジメントの観点から新たな視座を示した意義がある。

主な参考文献

1) 大塚佳臣・高田秀重・二瓶泰雄・亀田豊・西川可穂子(2021)「マイクロプラスチック汚染研究の現状と課題」『水環境学会誌』Vol.44、No.2。
2) 大野慶(2019)「バーゼル条約等におけるプラスチック対策の国際展開」『廃棄物資源循環学会誌』Vol.30、No.2。
3) 高田秀重(2018)「マイクロプラスチック汚染の現状，国際動向および対策」『廃棄物資源循環学会誌』Vol.29、No.4。
4) 日本学術会議 健康・生活科学委員会・環境学委員会合同環境リスク分科会(2020)「マイクロプラスチックによる水環境汚染の生態・健康影響研究の必要性とプラスチックのガバナンス」『学術の動向』。

キーワード　ナノマイクロプラスチック、科学的不確実性、予防原則

南極地域の環境計測における新たな試み [1)]
～昭和基地と雪鳥沢におけるバイオエアロゾル種組成変化～
Novel Environmental Observation in Antarctica
-Variations in Bacterial Communities of Bioaerosols at the Syowa Station and Langhovde Yukidori Valley-

弘前大学大学院 理工学研究科 ○小林 史尚

1. 緒言

「バイオエアロゾル」とは空気中を浮遊する生物粒子のことをいう。南極は寒冷でほとんどが氷床で覆われており、ヒトの環境影響の非常に少ない地域といえる。本研究では，講演者が第 54 次南極地域観測隊（2012 年 11 月～2013 年 3 月）に参加し，昭和基地と南極特別保護地区であるラングホブデ雪鳥沢におけるバイオエアロゾル経時観測を実施し，そのメタゲノム分析を行い、南極環境に対する人為的影響の評価を試みた。

2. 実験方法

昭和基地（60º 00’S，39º 36’E）で，バイオエアロゾル観測を実施した。観測期間は，2012 年 12 月 26 日から 2013 年 1 月 21 日までおよび 2 月 2 日から 8 日まで毎日正確に 1 時間行った。雪鳥沢は，昭和基地から南に約 20 km 離れたところにある露岩地域で（図 1），人為的影響が全くない地域である（69º15’S，39º43’E）。2013 年 1 月 26 日から 30 日まで実施した。フィルターサンプルは日本に持ち帰り、次世代シークエンサーを用いたメタゲノム分析を行った。

3. 結果と考察

昭和基地における観測では，種組成が激しく変化し，例えば 2013 年 1 月 12 日から 15 日においては，Beta-proteobacteria 綱の占有率が急激に高くなることがわかった。ラングホブデ雪鳥沢では，人の居住区から遠く離れており，南極特別保護地区に指定され南極地域の中でも極端に人の立ち入りが制限されていることから，昭和基地に見られた著しい種組成の変動はみられなかった。昭和基地とラングホブデ雪鳥沢を比較した結果，一部のヒト起源と思われる細菌群は有意差があり、他の細菌群でも有意差があった。有意差の無い細菌群の方が割合も種類も多いため，本研究のバイオエアロゾル観測結果から，昭和基地では人為的な細菌の影響はほとんどないと判断した（図 2）。

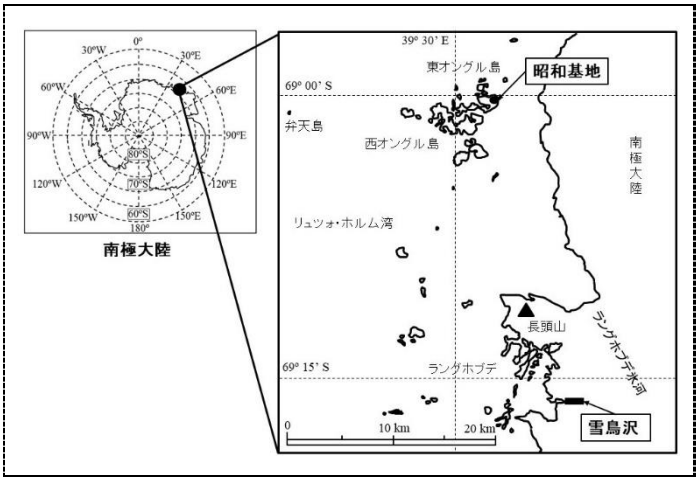


図 1 南極の昭和基地と雪鳥沢の位置

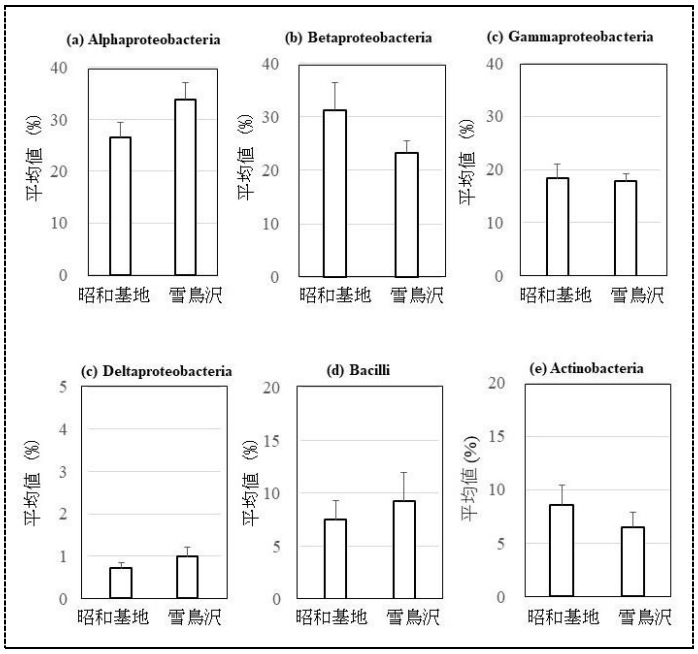


図 2　各種組成の平均における昭和基地と雪鳥沢の比較

参考文献

1) 小林史尚（2022）南極地域の環境計測における新たな試み－昭和基地と雪鳥沢におけるバイオエアロゾル種組成変化－，環境科学会誌，35 巻 2 号，113–120

キーワード　バイオエアロゾル，南極，人為的影響評価

Fe(III)イオンとペクチンによるナノプラスチックの凝集沈殿に関する研究
Sedimentation of nanoplastics with pectin, a water-soluble polysaccharide, in the presence of Fe(III) ion

信州大学，○小森直哉，森脇洋，秋山佳丈

1. はじめに

プラスチック製品の分解や剥離によって生成するナノプラスチック（NP: ナノメートルサイズの合成プラスチック）は、分析方法が確立されておらず、環境中の存在量が現段階では明らかになっていない。しかし、マイクロプラスチック汚染の状況から環境中に広く分布していると考えられている。NP の毒性については多くの研究がなされてきており、NP の魚類への曝露が神経系に悪影響を与える可能性が示唆されている [1]。それゆえ、水環境における NP の挙動に関する情報を加え、水中から NP を分離する方法を開発することが重要である。

そこで本研究では、バイオポリマーとして知られているペクチンと金属イオンを用いた凝集沈殿法を検討し [2]、バイオポリマーと NP 間の相互作用が水環境中の NP の挙動にどのような影響を及ぼすかについて調査した [3]。さらに、本手法による水中からの NP の分離について検討した。

2. 実験方法

2.1. 水環境における NP の挙動に関する調査

試験管内でポリスチレン NP 懸濁液 (10 mg L^{-1}, pH 7.0)とペクチン(15 mg L^{-1})および塩化鉄 (0.10 mM)[2]の混合液(40 mL)を振とうし、静置した。その後、上層(4.0 mL)から上澄み液をサンプリングし、203 nm における吸光度を紫外可視分光光度計（V-730、日本分光株式会社、東京、日本）で測定した。203 nm における上澄み液の吸光度の減少率から凝集沈殿の進行を評価した。

2.2. 水中から NP を分離する方法の検討

水からの NP の除去率(%)を算出するために、ポリスチレン NP 懸濁液の濃度を上げ(500 mg L^{-1}, pH 7.0)、2.1.で行った手法と同様の操作を行い、鉄による影響を受けない 550 nm での吸光度を測定し、除去率(%)を算出した。また、2.1.の試料において除去率(%)を求める際は、上澄み 4.0 mL に含まれる鉄の濃度を、ICP 発光分光分析装置で測定し、鉄イオンの影響を差し引くことにより、算出した。

3. 結果と考察

3.1. 水環境における NP の挙動に関する調査

ポリスチレン NP 懸濁液(10 mg L^{-1}, pH 7.0)とペクチン(15 mg L^{-1})および塩化鉄(0.10 mM)の混合液(40 mL)を振とう後、静置すると凝集沈殿が起こった。吸光度減少率(%)は、72 h で 96 %となった（図 1）[3]。沈殿物を透過型電子顕微鏡で観察すると、沈殿物に NP が含まれていることが確認された（図 2）[3]。

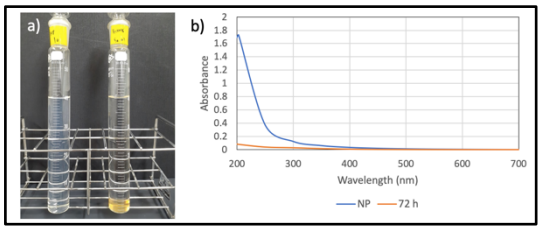


図 1　a) 凝集沈殿の様子 b) 吸収スペクトルの変化

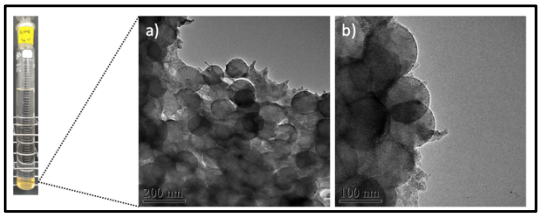


図 2　a, b) 沈殿物の電子顕微鏡画像

3.2. 水中から NP を分離する方法の検討

ポリスチレン NP 懸濁液(500 mg L^{-1}, pH 7.0)とペクチン(15 mg L^{-1})および塩化鉄(0.10 mM)の混合液(40 mL)を振とうし、静置することにより水中の NP を 72 h で 90 %以上除去できた [3]。また、振とう条件を最適化することにより除去スピードが上昇した。

参考文献

1) T. Ö. Sökmen, *et al.* (2020), Neurotoxicology, 77, 51–59
2) H.Yokoi, *et al.* (2002), Bioresour. Technol., 84, 287–290
3) H. Moriwaki *et al.* (2022), J. Environ. Chem. Engineer. 108054

キーワード　ナノプラスチック，ペクチン，凝集沈殿

プラスチックに吸着したクロロフェノール類の海水中での光分解
Photodegradation of chlorophenols adsorbed on plastics in seawater

Hassan Md NAZMUL, Satoshi NAKAI, Takehiko GOTOH (Hiroshima University, Grad. School of Engineering)
Wataru NISHIJIMA (Hiroshima University, Environment Research Management Center)

1. Introduction

Plastics affect the photodegradation behavior of organic pollutants adsorbed onto their surfaces[1]. Floating microplastics in the oceans are exposed to sunlight and sunk into the water up to a certain layer cause of density differences[2]. The photodegradation behaviors of adsorbed organic pollutants on plastics might show different behavior between air and seawater mediums. In this study, we investigated the photodegradation behavior of chlorophenols adsorbed on plastics in seawater.

2. Materials and Method

A mixture of 2,3,4,5-tetrachlorophenol (TeCP) and pentachlorophenol (PCP) (90:10) was chosen as model pollutants and prepared in 100 mg/l solutions using hexane. Virgin polyethylene terephthalate (PET) sheets with 1.0 mm thickness were commercially obtained and used as a model plastic. PET sheets were sunk into the chlorophenols solution and after evaporation of the solvent in a laminar airflow chamber at 25°C, the chlorophenols adsorbed PET sheet samples were sunk in a water medium (seawater, milli-q water) and irradiated using a 10W low-pressure UV (254 nm) light source. Samples were placed 10 cm away from the light source. Three samples were randomly sacrificed for analysis of the remaining chlorophenols. A control experiment was performed under the shading of UV radiation by wrapping it with aluminum foil.

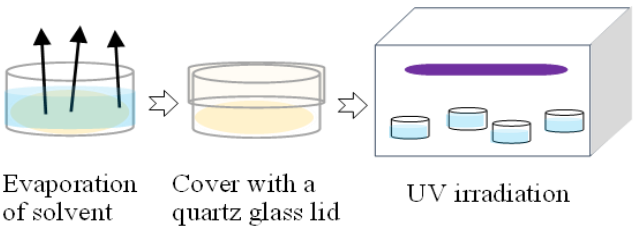


Figure 1. Photodegradation experiment of PCP in seawater.

3. Results and Discussion

As shown in Fig. 1, the photodegradation of PCP on PET sheets followed pseudo-first-order reaction kinetics. In the control experiment, the PCP concentration did not change (data not shown). Comparing the photodegradation rate constants, the result indicates that photodegradation proceeds much slower in the water media. In addition, the artificial seawater further suppressed the photodegradation of PCT. A similar trend was also observed for TeCP photodegradation. The possible cause for the suppression of photodegradation might be light scattering. In fact, the measurement of UV intensity attenuation through 1 cm of Milli-Q water and artificial seawater was 4 μW/cm^2 and 3 μW/cm^2, respectively. The salt effect might be another important cause of suppression due to the presence of common ions which harvested the light source.

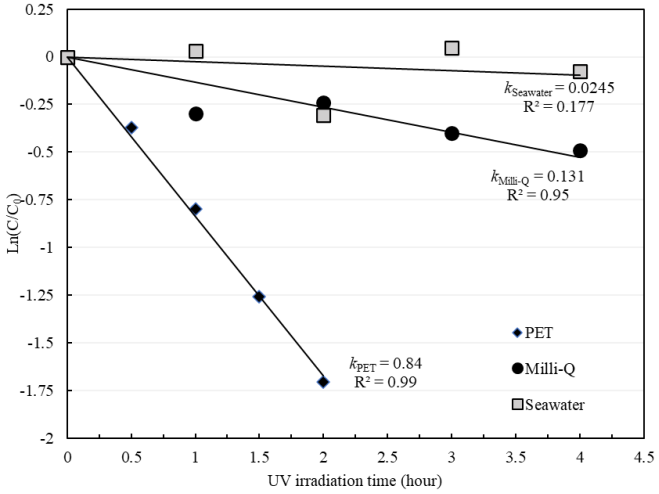


Figure 2. Photodegradation of PCP on PET sheets (n = 3).

Conclusions

The photodegradation of the PCP and TCP adsorbed onto PET was suppressed in the water media, especially, in seawater. The possible reasons may be the harvesting of light and heavy metal ions effect which adsorption reported on plastics. Future studies should address the effect of degradation medium along with heavy metals effect.

Reference

1) Hassan et al., 2020, *J. Chem. Eng. Japan*, *53*, 660-666.
2) Gewert et al., 2015, *Environ. Sci.: Pro. Impacts*, *17*,1513
3) Czaplicka, M., 2006, *J.Hazard.Mater.*, 134,45-59

Keywords: Photodegradation, PET, Seawater, Salt effect.

撥水スプレー剤に含まれる POPs 関連フッ素化合物の実態調査
Investigation of POPs-related fluorinated compounds in water repellents on the Japanese market

横浜国立大学 ○齋藤隼輝，静岡県立大学 王斉，国立環境研究所 松神秀徳，横浜国立大学 三宅祐一

1. 緒論

2019 年、PFOA とその塩、および PFOA 関連物質が残留性有機汚染物質（POPs）に指定され、多くの関連物質を有する PFAS 全体の管理が求められている。しかし近年、繊維・皮革製品の撥水加工に使用されるフルオロテロマーベースポリマー（FTP）については、PFOA 関連物質の発生源となる可能性が指摘されるものの [1]、その含有実態は未解明な点が多い。また、PFAS とその関連物質は対象物質数が非常に多く、LC-MS/MS 等による個別分析だけでは網羅的な測定が難しい。そこで本研究では、市販の撥水スプレー剤を対象に、FTP 由来の PFOA 関連物質に着目した PFAS 個別分析およびフッ素の総量分析の両観点から、PFAS とその関連物質全体の含有実態について検討した。

2. 方法

2011 年、2021 年に国内で販売されていた撥水スプレー剤（それぞれ 28 製品、26 製品）を対象とした。製剤 0.2 g をメタノール中で 30 分間超音波抽出した後、抽出液 10 mL として、燃焼イオンクロマトグラフ（C-IC）によるフッ素の総量分析を行った。また、製剤抽出液にアルカリ加水分解処理を加える前と後で、LC-MS/MS、GC-MS/MS による PFAS（73 種）の個別分析を行った。

3. 結果と考察

3.1. FTP 由来 PFOA 関連物質の定量分析

直接的な機器分析が困難である FTP は、加水分解処理を加えることで、側鎖由来の PFAS の種類とその潜在的な濃度の評価が可能となる [1]。2011、2021 年の撥水スプレー剤に対する PFAS 個別分析の結果、全 54 製品中 24 製品において、PFOA 関連物質に該当するフルオロテロマーアルコール（FTOH）の濃度が加水分解後に増加した。この結果から、FTP 側鎖に FTOH がエステル結合した構造をしていると考えられ、半数程度の市販撥水スプレー剤は潜在的に PFOA 関連物質を含有することが示された。ここで、PFAS 個別分析の対象物質 73 種のうち PFOA 関連物質である 18 種に着目し、フッ素換算濃度の合計を考えると、2011 年（28 製品）は<2.7～5600 mg-F/kg、2021 年（26 製品）は<2.7～1300 mg-F/kg であった（図 1 左）。2021 年の製品中 PFOA 関連物質の濃度は、2011 年の製品中濃度と比較して有意に低下していた（Welch's t-test: p<0.01）。これは、2019 年に PFOA 関連物質が POPs に指定され、その後の規制による影響と考えられる。

3.2. 抽出可能有機フッ素（EOF）の定量分析

撥水スプレー剤の抽出液を C-IC で分析し、抽出可能有機フッ素（EOF）の定量を行った。その結果、2011 年（28 製品）では<3.0～5700 mg-F/kg、2021 年（26 製品）では 4.6～8400 mg-F/kg であり（図 1 右）、有意差は見られなかった。個別分析の結果を踏まえると、2011 年から 2021 年の間で、個別分析できた PFOA 関連物質の濃度としては減少した一方、有機フッ素の総量である EOF 濃度としては変化しておらず、別のフッ素系物質へ代替されていることが示唆された。今後、これらフッ素系の代替物質について、物質の特定、および分解物を含めた POPs 関連物質への該当の有無について検討が必要である。

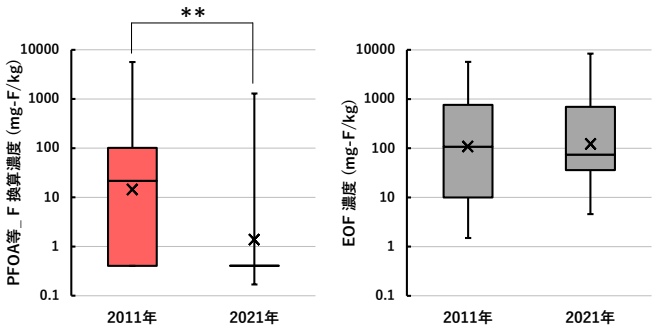


図 1　撥水スプレー剤中の PFOA 関連物質フッ素換算濃度（左）および EOF 濃度（右）（** : p<0.01）

4. 謝辞

本研究は、環境研究総合推進費の助成を受け実施した。（3-2102: JPMEERF20213002）

参考文献

1) 松神ら，環境化学物質 3 学会合同大会（第 30 回環境化学討論会）要旨集，pp.193-194

キーワード　POPs，PFAS，PFOA 関連物質，FTP，C-IC

拡散型パッシブサンプラーを用いた揮発性有機化合物の個人曝露評価のための サンプリングレート推算法の検討

An estimation model for sampling rates of volatile organic compounds using a passive sampler for personal exposure assessment

横浜国立大学 ○高橋佑果，三宅祐一，静岡県立大学 王斉，雨谷敬史
柴田科学（株）福島靖弘，鈴木義浩

1.はじめに

揮発性有機化合物（VOCs）は作業環境で広く使用され、一部の物質についてはヒトへの健康影響が懸念されている。作業環境で行動する人の動きは様々であることから、VOCs の個人曝露量を実測することが重要であるため、その方法として動力が必要ない拡散型パッシブサンプラーを用いた濃度測定が有効かつ簡易である。しかし、この測定法には物質ごとにサンプリングレート（SR）の算出が必要であり、実測値が利用できる物質数は限られている。そこで本研究では、実測した SR がなくてもパッシブサンプラーを用いて濃度測定が行えるように、計算のみから SR を推算する方法を検討した。

2. 実験方法

SR の測定は、ISO16107[2]に基づき、4 つの環境要因について条件を設定して実験を行った。対象物質は、労働安全衛生法で管理濃度が設定されている作業環境測定対象物質のうち、多様な物性をもち、拡散係数の値が異なる 33 種類の VOCs を選定した。アクティブサンプラーとパッシブサンプラーを用い、チャンバー内で同時に VOCs を 4 時間捕集した。捕集翌日、2 mL の二硫化炭素で 15 分間振とう抽出をした後、GC-MS で分析をした。

3. 結果と考察

本研究で使用したパッシブサンプラーでの捕集は分子拡散を利用しており、吸着剤の拡散抵抗が十分小さいことを仮定すると、Fick の第一法則より SR（L min^{-1}）は空気 A 中における物質 B の分子拡散係数 D_{AB}（cm^2 sec^{-1}）の関数として表すことができる（式 1）。

$$SR = \frac{60\times10^{-3}\times A\times D_{AB}}{Z} \quad \cdots(1)$$

ここで、サンプラーの有効拡散面積 A（cm^2）、拡散距離 Z（cm）はサンプラー固有の定数であることに加え、分子拡散係数の実測値が利用できる物質数は限られていることから、本研究では分子拡散係数の推算方法についての検討を行った。まず、網羅的に文献調査することで、187 種類の VOCs[3]について分子拡散係数の実測値を収集することができた。情報収集できた 187 種類の VOCs に対して、臨界温度・臨界圧力をパラメータとした実験式である藤田の式と、気体分子運動論をベースとした半実験式である Fuller の式の 2 つの推算式を用いて分子拡散係数を算出した。各分子拡散係数の推算値と実測値との関係を図 1 に示す。2 つの推算式の精度に大きな差はないが、臨界定数を他の推算式から算出する必要がある藤田の式に対し、化学式のみで算出できる Fuller の式の方がより簡易的な手法だと考えられる。

また、本研究で SR を実測した 33 種類の VOCs に対して、各分子拡散係数の推算値と SR 実測値には正の相関関係が認められたため、分子拡散係数の実測値がない VOCs において、各 VOCs の化学構造や化学式から SR の推算が可能であることが示された。

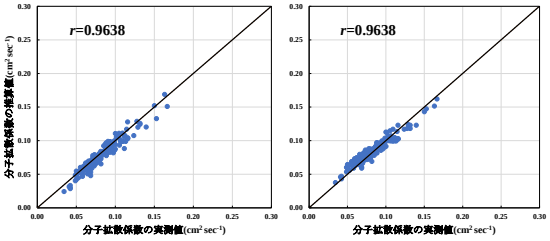


図 1　拡散係数実測値と推算値の関係
左）藤田の式　右）Fuller の式

4. 謝辞

本研究は環境研究総合推進費（JPMEERF18S11704）の助成を受け実施した。

参考文献

1) 光崎ら(2006) *室内環境学会誌*, **9**, 1-15
2) ISO16107 Workplace atmospheres–Protocol for evaluating the performance of diffusive samplers
3) Tang M. J. *et al.* (2015) *Atmospheric Chemistry and Physics*, **15**, 5585–5598

キーワード VOCs，パッシブサンプラー，SR

パッシブサンプラーを用いた揮発性有機化合物の個人曝露量の予測手法の開発と応用
Development and application of a prediction method for personal exposure to volatile organic compounds using a passive sampler

静岡県立大学 ○王斉
横浜国立大学 高橋佑果，三宅祐一，静岡県立大学 徳村雅弘，雨谷敬史，柴田科学（株）福島靖弘，鈴木義浩

1. はじめに

産業で広く利用されている有機溶剤から発生する揮発性有機化合物（VOCs）は，ヒトの健康への悪影響が報告されている。VOCs は容易に揮発し，特に災害・事故現場などにおいて，個人の行動状況により VOCs への曝露量は大きく影響され，迅速かつ簡易に VOCs の個人曝露量を把握することが重要である。動力が必要ない小型携帯捕集法である拡散型パッシブサンプラーは，災害・事故等の非定常状況下においても容易に使用することが期待されている。しかし，パッシブサンプラーを用いた VOCs の個人曝露量測定には，物質ごとにサンプリングレート（SR）の算出が必要であり，実測値がある物質数は限られている。また，SR は環境要因に影響を受けることが知られている。本研究では，活性炭を充填したパッシブサンプラー（カーボンビーズパッシブガスチューブ，柴田科学）を用い，幅広い物性を持つ VOCs に適用できる SR の推算方法を検討し，SR データベースの構築を目的とする。

2. 方法

代表的な VOCs の SR の実測，および精度評価：パッシブサンプラー性能試験国際標準（ISO 16107）[1]の試験条件を満たすチャンバーを用い，異なる温度，湿度，風速およびガス濃度の条件下で，使用量が多く，幅広い物性を持つ 33 種類の VOCs の SR を実測した。パッシブサンプラーとアクティブサンプラーの同時捕集を行い，SR は式 1 により求めた。

$$SR = \frac{W_p}{C_a \times t} \qquad 1)$$

ここで，SR はサンプリングレート（L min^{-1}），W_p はパッシブサンプラーの捕集量（μg），C_a はアクティブサンプラーにより実測した VOCs の濃度（μg L^{-1}），t は捕集時間（min）である。

また，ISO 16107 に従ってパッシブサンプラーの精度，およびその影響要因を評価した [1]。

SR の推算 [2,3]：パッシブサンプラーは分子拡散を利用し，吸着剤の拡散抵抗が十分小さいことを仮定し，Fick の第一法則より SR の推算式（式 2）が導かれる。

$$SR = \frac{60 \times 10^{-3} \times A \times D_{1,2}}{Z} \qquad 2)$$

ここで，A はサンプラーの有効拡散面積（cm^2），Z は拡散距離（cm），1 は空気，2 は対象物質，$D_{1,2}$ は空気中における物質の拡散係数（cm^2 sec^{-1}）である。

3. 結果

3.1. VOCs の SR 実測値の精度およびその影響要因

温度，湿度，風速およびガス濃度を変動させた各実験条件における，33 種類 VOCs の SR 実測値の変動係数は 1.6–13%であり，いずれの条件においても SR は大きな影響を受けないことが示唆され，良好な精度が示された。ISO メソッドに従って算出した精度の影響要因の寄与率は，標本間の変動（7.0–94%）が最も高く，温度（0–69%），湿度（0–51%），風速（0–46%）と濃度（0–10%）による影響は比較的低かった。

3.2. SR 推算値データベースの構築

式 2 において，同一のサンプラーでは，有効拡散面積 A と拡散距離 Z は定数であるため，拡散係数 $D_{1,2}$ を決定することで SR の推算が可能になる。そこで，分子の構造から拡散係数を算出し，33 種類 VOCs の SR 実測値との相関係数を求め，SR の推算式を確立した。

作業環境測定対象物質および PRTR 対象物質のうち，液体の有機化合物（有機溶剤関係）かつ常圧で沸点が 50–260℃の物質を対象に，確立した推算式を用いて SR の推算値を算出し，それらのデータベースを構築した（アルデヒド類とイソシアネート類を除いて，計 165 物質）。なお，このデータベースを応用する場合，今回検討したパッシブサンプラーを用いることと，測定対象物質の回収率を求めることが必要である。

参考文献： **1)** ISO 16107:2007; **2)** 光崎ら, 室内環境学会誌, 9(1), 1-15, 2006; **3)** 高橋ら, 環境化学物質 3 学会合同大会要旨集, 2022.

キーワード： パッシブサンプラー，VOCs，サンプリングレート

シリコーンリストバンドを用いたパッシブ法における多環芳香族炭化水素類とそのハロゲン化誘導体の物質存在状態別の捕集速度への影響

A Passive Sampling Method by Silicone Wristband for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Halogenated Derivatives and Effect on Sampling Rate

横浜国立大学 ○田川瑛梨，三宅祐一，静岡県立大学 多田智彦，王斉，雨谷敬史

1. はじめに

近年、準揮発性有機化合物（SVOC）の個人曝露量を測定するためのパッシブサンプラーとしてシリコーンリストバンドが注目されている[1]ものの、研究例が限られている。また、SVOC は分子拡散を推進力としてパッシブサンプラーに捕集されると考えられている[2]が、シリコーンリストバンドでの検討例は少ない。

本研究では、SVOC の中でも幅広い物性を持つ多環芳香族炭化水素類（PAHs） 28 種とそのハロゲン化誘導体（XPAHs） 42 種の計 70 物質を対象とし、大気中濃度とシリコーンリストバンドでの捕集量を比較することで手法の有効性を検証した。また、シリコーンリストバンドの捕集速度と分子拡散係数の関係を調査した。

2. 方法

前洗浄したシリコーンリストバンドを乾燥させ、パッシブサンプラーとして使用した。捕集後はサンプラーを切り分け、ジクロロメタンで抽出し、抽出液を精製した。また、パッシブ法と並行し、ミニポンプを用いて大気中濃度を測定した。これらのサンプルは GC-MS/MS（GC 7890B / MS 7010B, Agilent Technologies）で分析した[3]。各種類のサンプラーの前処理における PAHs・XPAHs の回収率は 61-116%であった。

3. 結果と考察

3.1. シリコーンリストバンドの性能評価

シリコーンリストバンドを用いたサンプリングの結果、対象物質とした 70 種全てが検出された。アクティブ法で測定した大気中濃度とシリコーンリストバンドでの捕集量には、図 1 に赤色で示した、対象物質の 79%にあたる 55 種の物質で有意な正の相関関係が認められ（p<0.01）、本法の有効性を示すことができた。有意な相関関係が認められなかった物質の中には、環境中に低濃度で存在しており、十分なサンプル数が得られなかったものがあった。今後、高濃度域においてさらに試料採取を行い、より多くの物質に対して手法の有効性を調査する予定である。

3.2. 捕集速度と分子拡散係数の関係

対象物質のうち、大気中濃度とシリコーンリストバンドでの捕集量に有意な正の相関関係が認められた 55 物質において、粒子態物質のシリコーンリストバンドへの捕集速度は、ガス態物質よりも遅くなることが示された（Welch's t-test: p<0.01）。また、シリコーンリストバンド 1 つあたりの捕集速度（L min^{-1} WB^{-1}）と、藤田の式[4]を用いた分子拡散係数（cm^2 sec^{-1}）を算出し比較した結果、ガス態・粒子態いずれも捕集速度と分子拡散係数に有意な相関関係は認められなかった。したがって、ガス相での分子拡散以外にシリコーン相における吸着・吸収機構が捕集速度に影響を及ぼしていることが示唆された。しかし現時点では測定数や測定条件に限りがあるため、今後更に調査を行い詳細に検討する予定である。

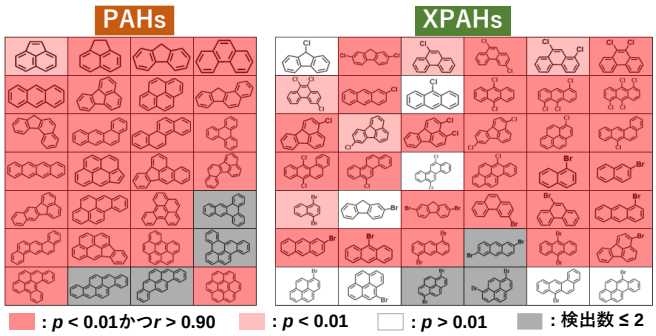


図 1　対象物質における相関係数のヒートマップ

4. 謝辞

本研究は JSPS 科研費・基盤研究（B）（課題番号：21H03614）、および環境研究総合推進費（JPMEERF 18S11704）の助成を受け実施した。

参考文献

1) O'Connell *et al.* (2014) *Environ. Sci. Technol.*, **48**, 3327-3335; 2) Samantha M. Samon *et al.* (2022) *Environment International*, 107339; 3) Sei *et al.* (2021) *Chemosphere*, **271**, 129535; 4) Fujita S. (1964) *Kagaku Kogaku*, **28**, 251-254

キーワード：パッシブサンプリング，多環芳香族炭化水素類（PAHs），シリコーンリストバンド

イミダクロプリド-ジオール体（(*N*- （1- （(6-クロロピリジン-3-イル）メチル）-4,5-ジヒドロキシイミダゾリジン-2-イリデン）ニトラミド)）の実環境試料からの検出と急性毒性評価

Presentation Title (in English) Detection and Acute Toxicity Evaluation of Imidacloprid-diol (*N*-(1-chloropyridine-3-yl) methyl)-4,5-dihydroxyimidazolidine-2-iliden) nitramide)

いであ株式会社 ○橋本扶美，鹿児島大学大学院理工学研究科　高梨啓和，中島常憲，上田岳彦，門川淳一，
いであ株式会社 宮本信一，石川英律

1. はじめに

環境中で施用された農薬が，ただちに水や二酸化炭素などの最終分解物に分解するとは限らず，分解の過程で生成した加水分解物や光分解物などの環境変化体が環境中に存在することがある[1]。本研究で対象としたイミダクロプリド-ジオール体は，イミダクロプリドの植物代謝による分解生成物として報告されているが，実環境試料中からの検出および水生昆虫に対する毒性の検討例は確認できない。そこで，本研究では，イミダクロプリド-ジオール体が実環境試料から検出されるか否かを検討すると共に，図 1 に示す 5 物質の環境変化体を含めて水生昆虫に対する急性毒性を評価することを目的とした。

2. 実験方法

本研究で対象とした 7 物質は，富士フィルム和光純薬（大阪，日本），Sigma-Aldrich（MO，USA），および合成によって入手した。イミダクロプリド 1.0 mM 水溶液に模擬太陽光を照射し，光照射サンプルを調製した。田面水サンプルとして，鹿児島県阿久根市にある，イミダクロプリドを育苗箱施用した苗が継続的に移植されていた水田から，田面水を採取した。光照射および田面水サンプル中の環境変化体は，LC-ESI-HRMS（Orbitrap XL, Thermo Fisher Scientific, MA, USA）を用いたプリカーサーイオン分析により探索した。また，オオミジンコおよびセスジユスリカの幼虫を対象とした 7 物質の急性毒性試験を実施した。

3. 結果および考察

3.1. 光照射および田面水サンプルからの環境変化体の検出

標準物質と光照射および田面水サンプルのコクロマトグラフィー比較により，田面水サンプルからイミダクロプリド-ジオール体が検出された。実環境試料からのイミダクロプリド-ジオール体の検出例は，これまで見当たらない。イミダクロプリド-ジオール体の他にも光照射サンプルから 4 物質，田面水サンプルから 4 物質の環境変化体が検出された。

3.2. 対象 7 物質の急性毒性試験

供試生物のエンドポイントを遊泳阻害として 48h-EC_{50} で評価したところ，イミダクロプリドに対する毒性は，セスジユスリカが 0.021 mg/L，オオミジンコが 25 mg/L であり，供試生物間の感受性差が大きいことが明らかとなった。また，本研究で対象とした 6 物質の環境変化体に対する毒性は，セスジユスリカが 3.3～>180 mg/L，オオミジンコが 20～>200 mg/L であり，環境変化体に変化することで遊泳阻害強度が弱いことが明らかとなった。

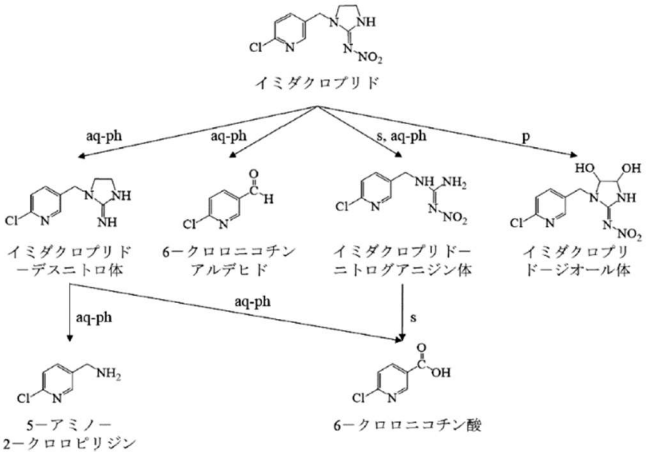


図 1　本研究で対象とした環境変化体
aq-ph: 水中光分解, s: 土壌分解, p: 植物分解

参考文献

1) 高梨啓和・浜崎賢太・加藤雄介・中島常憲・大木章・近藤貴志・亀屋隆志・松下　拓（2013）水環境中で生成する農薬変化体の文献研究, 水環境学会誌，36(2), 29–38.

キーワード　ネオニコチノイド，環境変化体，高分解能 LC/MS

GC-MS AIQS-DB 分析を活用した河川水中未規制有機汚染物質のスクリーニング
Screening of unregulated organic pollutants in river water using GC-MS AIQS-DB monitoring

横浜国立大学 ○根本幸弥，亀屋隆志

1. 緒言

多様な有害化学物質のうち環境中でのリスク評価が行われている物質はごく一部にとどまる。本研究では、未規制有機汚染物質の有害性情報を網羅的に収集して有害性評価値の設定を行い、GC-MS 自動同定定量データベース（AIQS-DB）法を用いた効率的な河川モニタリングにより大規模なデータを収集して、水環境中でのリスクが懸念される物質のスクリーニングを行った。

2. 方法

化管法指定物質（2008 年改正、2021 年改正）、化審法優先評価化学物質（2022.4.1）および水環境リスクに関する知見の集積が必要な要調査項目のうち、AIQS-DB 法で分析可能な物質について、環境省による初期評価や信頼性の高い毒性情報を収集し、環境省の方法に準じ、人健康と水生生物に対する有害性評価値を設定した。また、神奈川県内 26 地点（2010-2012[1)]，2020-2021[2)]）および全国 50 地点（2015-2016[3)]）の河川水の AIQS-DB 分析における Total Ion Monitoring (TIM) データを対象 461 物質について再解析し、全 76 地点での 95%tile 値を推定環境濃度として有害性評価値で除してハザード比 HQ を算出した。

3. 結果と考察

対象物質のうち 461 物質が AIQS-DB 分析可能であり、このうち人健康で 263 物質、生態影響で 369 物質に有害性評価値が得られた。人健康で 198 物質、生態影響で 92 物質については有害性評価値が得られずスクリーニングできなかった。河川水モニタリングから 267 物質の環境濃度が得られ、人健康では HQ≧1 が 1 物質、0.1≦HQ<1 が 3 物質、HQ<0.1 が 181 物質となり、生態影響では HQ≧1 が 34 物質、0.1≦HQ<1 が 46 物質、HQ<0.1 が 187 物質となった。環境濃度が定量下限値以下だった 194 物質については、定量下限値が有害性評価値の 1/10 以下で十分な分析感度がある物質はリスク懸念が無視できると考えられ、人健康で 65 物質、生態影響で 51 物質あった。一方、環境濃度が定量下限値以下で定量下限値が有害性評価値の 1/10 よりも大きい物質は人健康で 13 物質、生態影響で 51 物質あり、これらの物質は分析感度不足でスクリーニングできなかった。

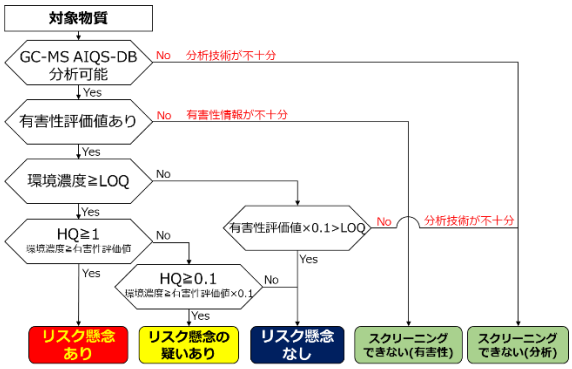


図 1 GC-MS AIQS-DB 法と有害性情報を活用した河川水のリスクスクリーニング

表 1 関連法令等ごとにみたスクリーニング結果

		物質の属性			スクリーニングの結果				
		対象	GC-MS AIQS-DB法分析可能	有害性評価値あり	リスク懸念あり	リスク懸念の疑いあり	リスク懸念なし	スクリーニングできない	
								有害性	分析技術
化管法	健康	822物質群	238	161	0	2	148	77	11
	生態		370	313	34	42	192	57	45
要調査	健康	136項目	81	53	1	0	47	28	5
	生態	105項目	70	65	6	11	44	5	4
優先評価	健康	218物質群	26	23	0	0	22	3	1
	生態		34	18	3	3	12	16	0
Total（重複除く）	健康	461		263	1	3	246	198	13
	生態			369	34	46	238	92	51

4. まとめ

有害性情報の収集と GC-MS AIQS-DB 法のモニタリングを組み合わせ、人健康に関する 250 物質と生態影響に関する 318 物質の環境リスクのスクリーニングを試みた。調査河川ではリスクの懸念が無視できない物質が人健康で 4 物質、生態影響で 80 物質あった。また、GC-MS 分析や有害性評価値の入手ができないためにスクリーニングできない物質が相当数あることが示された。

謝辞　本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF19S20403、JPMEERF20215G01)により実施した。

参考文献

1) 三保ら(2015)第 49 回水環境学会年会, 2-J-11-2
2) 大髙ら(2022)第 30 回環境化学討論会, TU-C1-5
3) 亀屋ら(2017)第 51 回水環境学会年会, 1-A-09-2

キーワード 環境リスク, AIQS-DB 法, 河川モニタリング

保持時間と質量スペクトル類似度による 1466 種半揮発性有害物質の誤同定検証
Identification error validation among 1466 semi-volatile organic compounds based on retention time difference and mass spectral similarity

横浜国立大学 ○清水大佑，亀屋隆志

1. 緒言

GC-MS のスペクトル同定は目的物質の保持時間と質量スペクトルによって行われる。そのため、多様な未規制物質を分析対象とする場合には、保持時間が近く、かつ質量スペクトルが類似している物質同士を未確認のまま誤同定してしまうケースが多分に想定される。そこで、本研究では同一条件で分析した際の RT と質量スペクトルの情報が 1466 物質について収録した国内最大級の AIQS-DB を活用し、目的物質を同定する際に誤同定する可能性のある物質リストを作成した。

2. 方法

AIQS-DB 登録済みの 1466 物質について目的物質の標準質量スペクトルと、保持時間からの同定幅内に検出される物質の標準質量スペクトルの類似度を計算し、誤同定の可能性を判断した。

類似度(SI)は、目的物質の標準質量スペクトルのみに注目して計算を行うリバースサーチを採用し、以下の式で表される。

$$SI = \left[1 - \frac{\sum_{m/z} |Iu(m/z) - It(m/z)|}{\sum_{m/z} \{Iu(m/z) + It(m/z)\}}\right] \times 100$$

Iu (m/z): 比較対象の m/z の相対スペクトル強度

It (m/z): 目的物質の m/z の相対スペクトル強度

3. 結果

例えば、図 1 (b)の目的物質(o-フェニレンジアミン)は保持時間が 12.88min であり、m/z=108 を定量イオンとしている。この物質を目的物質とした時、図 1(c)の比較対象物質(p-アニシジン)は同定幅内の 12.92min にピークが現れ、目的物質の質量スペクトルから算出した比較対象物質の質量スペクトルとの類似度は 82 であった。つまり、環境サンプルに o-フェニレンジアミンが含まれておらず、p-アニシジンのみが含まれている場合には、p-アニシジンを o-フェニレンジアミンとして誤同定する可能性がある。逆に p-アニシジンを目的物質としたとき、o-フェニレンジアミンとの類似度は 72 であったが、p-アニシジンの定量イオンを 123 に設定することで誤同定の懸念を排除することができる。

このように RT が近く誤同定懸念のある物質は 1466 物質のうち 188 物質あり、特に化管法・要調査項目・優先評価化学物質・有害大気汚染物質に着目すると、61 物質が図 1(a)にリストアップされた。誤同定される物質のほとんどは構造の類似しており、イオン化の際に類似したフラグメントが得られる物質であった。

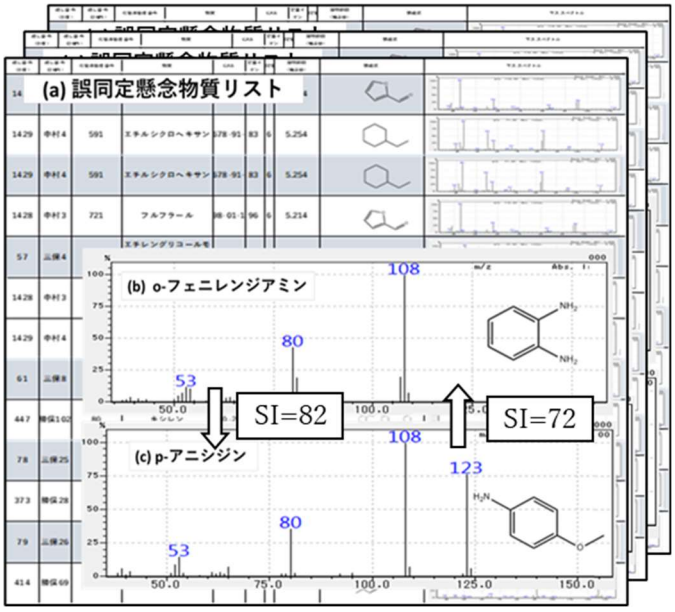


図 1 (a) 誤同定懸念物質リスト (b) 目的物質の質量スペクトル (c) 誤同定される物質の質量スペクトル

4. 結論

同一条件で GCMS 分析した有害物質 1466 物質について、RT の同定幅内にピークが現れる物質の類似度を計算し、誤同定懸念のある 188 物質のリストを作成した。このようなリストを活用すれば GCMS 分析時の有害物質同士の誤同定の可能性を容易にチェックでき、定量イオンや分離カラム、昇温条件などの見直しに活かせる。

謝辞 本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF19S20403)により実施した。

キーワード AIQS-DB，GC-MS，類似度，保持時間，質量スペクトル

環境リスク懸念物質の GC-CI-MS/MS による分析
Analysis of Environmental Risk Concern Substances by GC-CI-MS/MS

横浜国立大学 大学院環境情報学府 ○大髙悟，根本幸弥，亀屋隆志，横浜国立大学 理工学部　寺岡沙紀

1. 緒論

多様な物質の一斉分析が可能な GC-MS 自動同定定量データベース分析（AIQS-DB）法の活用検討が進められている。本研究では AIQS-DB 法によるスクリーニング分析でリスク懸念が高かった物質を対象に，同定や定量に優れた GC-CI-MS/MS 分析を行い比較した。

2. 方法

化管法指定物質（2008，2021 年改正），水環境リスクの知見集積が必要な要調査項目，化審法優先評価化学物質のうち半揮発性有機化合物 461 物質を収録した AIQS-DB を用い，河川水 430 試料 [1)2)]と大気 95 試料 [3)] の Total Ion Chromatogram を再解析し，リスク懸念の高かった 41 物質を対象に，GC-CI-MS/MS の Multiple Reaction Monitoring (MRM)メソッドを作成した。分析装置は QP8030（島津製作所）を，カラムは AIQS-DB 法と同じ DB-5ms (30 m×0.25 mm, 0.25μm, J&W Agilent)を用い，昇温速度も同じく 40℃×2 min→8℃/min→310 ℃×5min とし，試薬ガスにイソブタン，コリジョンガスにアルゴンを用いた。スキャン分析でプリカーサイオンを確認した物質をコリジョンエネルギー5～45V の範囲で 5V ごとに分析し，プロダクトイオン強度が最も高い条件を選択した。MS/MS 分析の定量イオンと確認イオンの強度比（確認イオン比）を同定要件とし，標準試料での変動幅の 2 σ 区間内で同定，3 σ 区間外で同定外とした。

3. 結果と考察

対象 41 物質のうち 34 物質は分子イオン又は AIQS-DB 分析の定量イオンより大きな質量数のプリカーサイオンが確認され，うち 21 物質は 2 つ以上のプロダクトイオンが選択できた。一方，ほぼ同じ保持時間に同じプリカーサイオンとプロダクトイオンが検出された 2 物質，プリカーサイオンが確認できない，又は強度がフラグメントイオンに比べ非常に小さく選択できなかった 7 物質，プロダクトイオンが確認できない，又は 1 つしか確認できず定量・確認イオンの 2 つの選択ができなかった 13 物質と，メソッド作成できない物質が計 22 物質あった。また，対象 41 物質にはハロゲン化物が 6 物質含まれていたが，うち 5 物質はプリカーサ又はプロダクトイオンが選択できず，ハロゲン化物は CI 法での分析に適していない可能性が示唆された。

MRM メソッドが作成できた 19 物質について，河川 4 試料，大気 3 試料を分析した結果，AIQS-DB 分析では 15 物質が同定されたが，MSMS 分析で同定されたのはそのうち 9 物質だけだった。差分 6 物質のうち 5 物質では， AIQS-DB 分析では誤同定されていたと判断された。

表 1　MRM メソッド作成したリスク懸念物質

物質名	RT [min]	分子量	プリカーサイオン	プリカーサ構造	プロダクト1	CE [V]	プロダクト2	CE [V]	確認イオン比	σ値
エチルシクロヘキサン	5.54	112.21	111	M-H	69	5	55	10	32.0	0.701
N-ニトロソジエチルアミン	6.71	102.14	103	M+H	75	10	57	10	6.79	0.232
メタクリル酸n-ブチル	8.48	142.198	143	M+H	87	5	59	20	12.4	0.133
オクタメチルシクロテトラシロキサン	8.56	296.62	297	M	281	10	249	30	19.6	0.205
2,2'-アゾビスイソブチロニトリル	9.38	164.21	137	M-CN	110	5	68	10	62.2	0.451
N-メチルアニリン	10.24	107.15	108	M+H	93	20	66	30	18.6	0.223
オクタン－1－チオー	11.52	146.29	147	M+H	71	5	57	5	82.8	1.68
キノリン	13.63	129.16	130	M+H	103	20	77	25	148	1.54
N-ニトロソジプチルア	14.01	158.24	159	M+H	103	10	57	10	201	1.70
ヒドロキノン	14.10	110.11	111	M+H	93	10	65	15	94.9	7.14
ヘキサメチレン=ジイソシアネート	15.72	168.19	169	M+H	126	5	55	20	110	1.60
2,4-ジ-ターシャリーブ	18.10	206.32	207	M+H	151	5	57	15	257	14.7
フェノブカルブ	19.59	207.27	208	M+H	152	5	95	10	122	3.66
ペンゾフェノン	20.06	182.22	183	M+H	105	15	77	25	49.3	0.607
アントラセン	22.40	178.23	179	M+H	178	25	177	30	62.1	1.52
アントラセン－9，10－ジオン	24.66	208.21	209	M+H	153	20	152	30	149	2.38
N，N－ジメチルオク	26.15	297.56	298	M	71	25	57	25	293	9.17
アジピン酸ジ－2－エチルヘキシル	29.22	370.57	371	M	129	10	147	5	34.6	1.31
ピリダベン	32.44	364.93	365	M	147	25	309	5	67.6	0.954

4. 結論

AIQS-DB スクリーニング分析でリスク懸念が高かった 19 物質について GC-CI-MS/MS 分析の MRM メソッドを作成し，河川水 4 試料と大気 3 試料を AIQS-DB 分析して検出された 15 物質を MS/MS 分析したところ，9 物質は MS/MS 分析においても同定されたが，5 物質は AIQS-DB 分析での同定が誤同定と判定された。

謝辞　本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF19S20403，JPMEERF20215G01)により実施した。

参考文献

1) 亀屋ら(2017)第 51 回水環境学会年会，1-A-09-2
2) 大髙ら(2022)第 30 回環境化学討論会，TU-C1-5
3) 亀屋ら(2021)環境研究総合推進費 SⅡ-4-2(1)

キーワード　AIQS-DB, GC-CI-MS/MS, SVOC, 誤同定

パキスタン・パンジャブ平原シャニオット地域の地下水中の微量元素組成の特徴
Characteristics of trace elements composition of groundwater in Chiniot, Punjab, Pakistan

（一社）国際環境協力ネットワーク ○吉田充夫，Nusrat Jahan College: Mirza Naseer Ahmad

1. はじめに

パキスタン・パンジャブ平原の Chiniot 地方は、地下水に依存する広大な農業地帯であり都市化も進みつつある。この地域の地下水汚染調査の微量元素組成分析結果について報告する。なお、本調査研究の実施にあたり 2020～22 年度地球環境基金の助成を受けた。

2. 調査分析方法

地下水試料は、2020 年 3 月に、Chiniot 地方の住民が生活用水・農業用水として日常的に利用している 83 井から採取した。井戸はいずれも深度 200 フィート以浅の浅層井であり、手押しまたは小型電動ポンプによって揚水している。採取した地下水試料は希硝酸にて pH2 に調整し、ICP-MS 法による元素分析を行った。その結果、29 元素（As, B, Ba, Br, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, S, Sb, Se, Si, Sr, U, V, W, Zn）について検出限界以上の濃度で検出した。

3. 微量元素組成の特徴

3.1. 水質基準との比較

検出した 29 元素のうち基準値(MCL; Maximum Contamination Level)または参考値等を超える濃度の元素の出現率は表 1 に示す 8 元素である。

表 1　基準値を超過する濃度の元素とその出現率

元素	単位	平均	最小	最大	基準値	出現率
As	ppb	9.50	0.5	93.3	10	14.5 %
Br	ppb	119	6	540	10*	89.2 %
Cd	ppb	3.42	0.05	5.72	5	7.2 %
Cl	ppm	55	1	500	250	2.4 %
Fe	ppb	56	11	318	300	1.2 %
Mn	ppb	174	0.05	1105	50	45.8 %
S	ppm	68	3	392	250	2.4 %
U	ppb	18	0.34	141.56	30	16.9%

* Bromate の形態とした場合の基準値。

3.2. 多変量解析

29 元素の濃度の多変量解析（クラスター分析・階層型凝集法）を行った。その結果、大きく分けて５つの元素クラスターに分けられることが明らかとなった。

第１クラスターは As-Na-Ba-Ca-Br-Cl であり、第一報[1]で述べたように基盤岩類中の Arsenopyrite や岩塩に由来する元素である。第２クラスターは Cd-Sb-Ni であり、人為的（廃棄物）起源もしくは鉱化作用起源と考えられる。第３クラスターは Co-Zn-Fe-Mn-Cu のベースメタルであり、基盤岩類中に賦存する鉄鉱床やマンガン鉱(Cryptomelane)に由来する[1]。一方、第４クラスターは B-S-Mg-Pb-Mo-Se-W-V の組み合わせ、第５クラスターは Cr-K-Li-Sr-Rb-Si-U の組み合わせからなるが、これらの起源については不明な点が多い。B, S, Pb, Cr などについては自然由来及び人為的な汚染や廃棄物由来汚染物との複合的な汚染の可能性が考えられ[2]、また Mg, U, Se については自然由来の汚染の可能性がある。

4. まとめ

パキスタンは急速な人口増、開発の進行のもと、国造りを地下水資源に大きく依存している。しかしその水質については必ずしも十分には調査されていず、ヒ素汚染水の摂取による疾病の発生や水系伝染病の発生など公衆衛生上の課題に直面している。今回の調査では、地域で実際に利用されている井戸から地下水を採取しその微量元素について分析を行ったところ 8 元素について基準濃度を超過していることが明らかとなった。自然由来および人為的汚染のいずれの可能性もあるが、これらは飲用水として不適切であり農業用水としての継続使用も再考されねばならない。地下水資源の利用・開発のあり方についても再検討される必要がある。

引用文献

1) M Yoshida, MN Ahmad (2018) Trace element contamination of groundwater around Kirana Hills, District Chiniot, Punjab, Pakistan. *Intern. Jour. Econ. Env. Geol.*, 9(4), pp.12-19.
2) 吉田充夫・MN Ahmad (2021) パキスタン国パンジャブ平原の都市化・農業開発地域における地下水汚染. 環境科学会 2021 年会予稿集 2D-1115

キーワード　地下水汚染，微量元素，パキスタン

海洋利用の現状および海洋生態系との相互作用に関する課題
Review and future challenges on the interrelation between human marine utilization and marine ecosystems

日本電信電話株式会社　NTT 宇宙環境エネルギー研究所　○鈴木彩，小山晃，中村亨，久田正樹

1. はじめに

人間活動の多様化や拡大に伴い，地球環境は持続可能性の危機に直面している．著者らは地球環境の維持・再生に向けて，生物化学過程を中心にモデル化することで生態系や気候等の変化を予測可能な技術の確立を目指している．島国である日本では海の恵みを利用する「海洋利用」は極めて重要な人間活動である．そこで，海洋利用と海洋生態系との相互作用に焦点を当てたモデル構築を検討している．本稿では，海洋利用の現状と，海洋生態系との相互作用に関する課題を整理する．

2. 海洋利用の現状

地球表面の 7 割を占める海洋から，人類は海洋利用を介して食料を始めとする恩恵を受けている．主な海洋利用を表 1 に示す．地球環境の再生のためには，海洋環境と資源を持続可能な方法で利活用する必要がある．

表 1　従来および今後の主な海洋利用

分類		海洋利用例
食料生産	漁業	養殖（海面・深海），沿岸，沖合，遠洋漁業
	農業	海上および海中農場
	畜産業	海上および海中牧場
エネルギー生産		海底資源開発，海洋温度差発電
生活空間		海上および海中都市

海洋利用は沿岸漁業を出発点に発展してきたが，環境問題とは切り離せない．養殖漁業を例に挙げると，養殖生物の排泄物や残餌といった有機物が周辺沿岸域の環境悪化を引き起こす事象は多く報告されており，富栄養化による赤潮発生や貧酸素化の要因の一つとなっている [1]．一方で，沿岸域の干潟や藻場造成などの富栄養化対策も推進されてきた．

近年では外洋や深海への進出も目立つ．例えば，国連は人口過密の解消と環境保全を目的とした海上都市設計を発表した [2]．また，海底資源やエネルギー，食料，深層水等の多様なポテンシャルを持つ深海へも都市開発構想が打ち出され，2030 年までの実現が目指されている [3]．近海とは異なる海洋生態系や物理現象が存在する外洋や深海での海洋利用はチャレンジングでありながらも，その実現と共に人類に大きな技術発展および経済発展をもたらし得るものである．

3. 海洋利用と海洋生態系の相互作用に関する課題

前提として，人間活動を実施すると化学物質や熱量などの様々な物理量の入出力がある．海洋利用の場合，その入出力に伴い海洋生態系との相互作用が生じる．現状，相互作用による変化を予測可能なモデルの対象は沿岸域かつ従来の海洋利用に限られている．今後の海洋利用を見据えるとモデルが不十分であることが課題に挙げられる．

また，2 で述べた海洋利用が進出しつつある外洋や深海では，人間活動と海洋生態系の相互作用が起こる環境が沿岸域とは異なる．例えば，中深層では生物生産等に影響を及ぼす栄養塩湧昇を生じさせる鉛直混合現象がある [4]．このような中深層の物理現象を組み込んだ海洋生態系モデルが確立していないことも課題である．

4. おわりに

本稿では海洋利用の現状と課題を述べた．今後，課題解決に向けて，多様化が進む海洋利用と海洋生態系の相互作用による変化をシミュレーション可能なモデル技術を確立する．地球再生へ向かうために，例えば生物多様性を増加させる等の，プラスの変化へ転じさせることが可能な海洋利用のシナリオを設計できる技術となり，持続可能な海洋利用の進出に貢献できる．

参考文献

1) 門谷茂（1998）魚類養殖場の環境管理，日本海水学会誌，52, 202–210.

2) UN-Habitat and partners unveil OCEANIX Busan, the world’s first prototype floating city, 2022, https://unhabitat.org/.

3) 清水建設，深海未来都市構想　OCEAN SPIRAL，2018, https://www.shimz.co.jp/.

4) 郭新宇（2011）東シナ海における外洋起源栄養塩の輸送量と低次生態系への影響，水環境学会誌，34-9, 293-296.

キーワード　地球再生，海洋生態系，人間活動

南極海保全レジームにおける制度間相互作用
Institutional Interactions in Regimes for Conserving the Southern Ocean

東海大学 ○大久保彩子

1. はじめに

南極条約体制（Antarctic Treaty System, ATS）を軸とした南極地域のガバナンスは，従来，概ね成功してきたと評価されている（Green 2022, McGee and Haward 2019）。一方で，近年，気候変動が極域に及ぼす悪影響への懸念はますます強まり（IPCC 2019），将来にわたる南極生態系の保全は，南極域内の人間活動の管理のみでは実現し得ないという現実に直面している。そうしたなかで, ATS とグローバルな国際制度との間でいかに連携を図り，問題に対処し得るかが課題の一つとして認識されている（Haward 2019）。

そこで本研究では，南極の海洋保全に関する国際制度間の相互作用とアクターの対応を具体的事例に即して分析し，制度の有効性への影響について検討する。

2. 南極条約と国連海洋法条約

国連海洋法条約は，排他的経済水域（EEZ）や大陸棚等における沿岸国の主権的権利および管轄権を定めており，大陸棚延伸の手続きについても規定している。一方で南極条約は, 南緯 60°以南における領土権を凍結しており，南極条約のもとでは沿岸国の存在自体に合意がない。そこでオーストラリアは，自国が領土権を主張する領域(AAT)の沖合海域に EEZ を設定する一方, 同海域における国内法の適用は自国民に限るとした。大陸棚の延伸では AAT 沖合を国連大陸棚限界委員会への申請に含めつつ，同委員会に審査を進めないよう要請した。当時に，ハード島・マクドナルド島を起点とした大陸棚の延伸には, 南緯 60°以南の領域を含めた。Titterton らは，こうした対応を ATS の主要な規範を強化するものと評価している(Titterton & Haward 2022)。

3. 南極条約体制と国際海事機関

南極海における船舶航行指針については，1999 年，国際海事機関（IMO）において北極海と南極海の双方を対象とした指針案が提示されたが, 米国は ATS の意思決定機関である南極条約協議国会合（ATCM）で扱うべきと主張し，他の国々も追随した。ATCM は船舶航行指針を自らの優先事項として位置づけ，検討を開始したが，IMO で北極海航行指針が採択されると, 同指針を基礎に南極海航行指針を策定した。ATCM はさらに，IMO の取組みを高く評価し, IMO に対して同指針の義務化を要請した。指針の策定作業を通して，ATCM において IMO の専門性に対する理解が深まり，役割分担が明確化し，制度間の関係が安定化したといえる（大久保　2013）。

4. CCAMLR とワシントン条約

絶滅のおそれのある野生生物の国際取引を規制するワシントン条約（CITES）においては，2002 年，南極海の主要漁獲対象種であるメロ類の附属書 II 掲載提案がオーストラリアにより提出された。CCAMLR では同提案への批判が相次ぎ，南極の海洋生物資源管理に関する意思決定の権限は CCAMLR にあることが確認されるとともに, メロ類の資源管理の強化と CITES との協力が決議された。CITES もまた CCAMLR との協力の強化を決議し，CITES 加盟国に対し CCAMLR が策定した漁獲証明制度の実施を要請した。より多くの締約国が参加する CITES での決定は，制度間の相乗作用を創出するものと捉えられる。こうした制度間の相互作用への対応は，今後の南極生態系の保全に向けた制度間の連携のあり方を検討するうえでも有用であると考えられる。

参考文献

1) Green, J. (2022) Hierarchy in Regime Complexes: Understanding Authority in Antarctic Governance, International Relations Quarterly, 66, sqab084.

2) McGee, J. and Haward, M. (2019) Antarctic governance in a climate change world, Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs, Vol.11, No.2, 78 – 93.

3) IPCC (2019) The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

4) Titterton The Kerguelen Plateau: Interactions between the Law of the Sea and the Antarctic Treaty, Marine Policy, Vo.138, 104993.

5) 大久保彩子 (2013) 南極海の生態系保全のための国際制度間の調整，日本海洋政策学会誌，第 3 号，14－22.

キーワード　南極海，南極条約体制，生態系保全

気候変動対策と生物多様性保全の両立に向けた政策的・科学的課題
Policy and scientific challenges to enhance synergies between climate change actions and biodiversity conservation

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 ○森田香菜子，東洋大学　松本健一

1. 背景・研究目的

気候変動と生物多様性の問題は，それぞれ国連気候変動枠組条約（UNFCCC），気候変動に関する政府間パネル（IPCC），生物多様性条約（CBD），生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム（IPBES）などの異なる政策や科学的プロセスの下で議論されてきた。しかし，気候変動と生物多様性の問題が相互に関係していることは長年認識されており，特に近年，気候変動対策と生物多様性保全を両立させた対策や政策の必要性が高まっている。例えば途上国では農林水産業など生物多様性に関係の深い産業を基盤とした国が多く，また森林管理による炭素固定や生態系を活用した護岸機能強化などの生態系を基盤とした気候変動の緩和・適応策も実施されており，両問題の同時解決につながるアプローチが必要になっている（森田, 2021）。

中でも，2015 年に持続可能な開発目標を含む「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」や，気候変動に関する国際枠組である「パリ協定」が採択され，持続可能な社会に向けた社会変革の必要性に対する認識が広がった。そして，COVID-19 の発生後は，気候変動や生物多様性を含む環境対策などと共に行う COVID-19 からの経済回復である「グリーン・リカバリー」の議論が高まった。気候変動と生物多様性の損失は表裏一体の関係にあり，両問題を同時に解決すること，それを実現する社会変革のあり方を考えることが求められている（Pörtner, et al. 2021）。

本研究の目的は，UNFCCC や CBD を軸とした政策的議論，IPCC と IPBES を軸とした科学的議論の変遷を分析することで，気候変動対策と生物多様性保全を両立するための政策的・科学的課題を明らかにすることである。

2. 研究方法

本研究では，UNFCCC や CBD を中心とした政策的議論，IPCC と IPBES を中心とした科学的議論の変遷について，持続可能な開発のための 2030 アジェンダとパリ協定が採択された 2015 年を軸として 2015 年以前と以後の UNFCCC，CBD，IPCC，IPBES の気候変動と生物多様性の両問題を解決するための議論の変化や課題を既存の学術的・実務的な文献を基に分析する。2015 年以前は気候変動と生物多様性の両方の観点で便益のある対策として議論された生態系を基盤とした気候変動の緩和・適応策に焦点を置く。2015 年以降は，UNFCCC や CBD だけでなく，G7，G20 など条約を超えて気候変動と生物多様性の双方で注目が集まる「自然を基盤とした解決策（気候変動を含む多様な社会的課題を解決しながら，同時に人間の幸福や生物多様性の便益をもたらす幅広い対策）」に関する議論（Morita and Matsumoto, 2021; Seddon, 2022）や民間企業や金融機関などの活発化する多様な行為主体の取り組みに関する議論を対象とする。また，IPCC や IPBES の科学的議論の変遷も分析する。

3. 研究結果

本研究では，気候変動と生物多様性に関する政策的・科学的プロセスでの議論の変遷を分析することで，気候変動対策と生物多様性保全を両立するための課題を明らかにした。気候変動と生物多様性の両問題解決に関して，以前は生態系を基盤とした気候変動の緩和・適応策を軸とした対策や関連制度の課題が中心であった。しかし，現在は気候変動と生物多様性の両観点に加えて持続可能な開発を実現するための幅広い社会システム変革，それに関わる様々な要素（国際から地方の多様な制度や金融機関・民間企業などを含む行為主体ほか）の関係性などについての幅広いガバナンスの課題が示された。

参考文献

1) 森田香菜子（2021）海外環境開発協力で求められる新たなアプローチの検討, OECC 設立 30 周年記念 「海外環境開発協力の将来像」OECC, p.26.
2) Pörtner, H.O. et al. (2021) Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change; IPBES secretariat, 256 pp.
3) Morita, K. and K. Matsumoto (2021) Governance challenges for implementing nature-based solutions in the Asian Region, Politics and Governance, 9 (4), pp. 102–113.
4) Seddon, N. (2022) Harnessing the potential of nature-based solutions for mitigating and adapting to climate change, Science, 376, pp.1410–1416.

キーワード　気候変動，生物多様性，政策，科学
謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP22K12511, JP19K12467 の助成を受けたものである。

Does Emissions Trading Scheme Induce Innovation and Carbon Leakage? Evidence from Japan

早稲田大学 ○呂冠宇，成城大学 定行泰輔，早稲田大学　有村俊秀

1. Introduction and Objectives

Climate change caused by increases in CO2 emissions is a challenging global issue. To mitigate the impacts of climate change, emissions trading schemes (ETSs) gradually have played an important role for abatement. In Japan, to reduce CO2 emissions from large-scale facilities, Saitama that larger numbers of manufacturing firms have been located in, has launched the non-punishment regional ETS. This paper investigates whether the innovation and carbon leakage are induced by Japanese regional Saitama ETS by using Japanese manufacturing firm level panel data during 2003 to 2018.

2. Methods adopted

The difference-in-differences (DiD) method that can identify the causal relationship between policy and outcome variables by comparing policy impact on treatment and control group is adopted in this paper. We consider the Japanese regional ETS as a quasi-natural experiment. The firms are divided to treatment group and control group based on whether the firm is targeted by Saitama ETS. The baseline DID model is constructed as follows:

$$Y_{it} = \beta_1 ETS_i \times Post_{1114t} + \beta_2 ETS_i \times Post_{1518t} + X_{it}\Phi + \mu_t + \gamma_i + \varepsilon_{it}$$

where, Y is outcomes including the firm's innovation and outsourcing. ETS is a dummy variable with the value one for Saitama ETS firm or otherwise. Post1114 and Post1518 are dummy variables with the value one for different implementation periods or otherwise. The measurement of innovation is the R&D instead of patents due to the lack of information on patent applications based on literature. The outsourcing activity that captures firms' production processes by outsourcing represents the carbon leakage. The survey data changed the investigation items of outsourcing since the 2010 survey (convert to 2009 data), leading to unnatural changes from 2008 to 2009. Therefore, we focus on the impact on outsourcing during the period from 2009 to 2018. A heterogeneity analysis with the outsourcing dummy is adopted in this paper, to further investigate how outsourcing firms affect their innovation activities to respond to Saitama ETS.

3. Main findings

	(1)	(2)
Outcome variables	R&D	Outsourcing
Period	2003-2018	2009-2018
ETS × $Post_{1114}$	0.214**	0.275
	(0.0972)	(0.180)
ETS × $Psot_{1518}$	0.168	0.189
	(0.144)	(0.290)
Controls	Yes	Yes
Year-fixed effect	Yes	Yes
Firm-fixed effect	Yes	Yes
Observations	89,051	55,571
R-squared	0.017	0.020

Columns (1) to (2) present the DiD results for the impact of ETS on R&D and outsourcing. Column (1) presents the result of the impact of ETS on the R&D, which shows that only the coefficient of the interaction term of the first phase on R&D is statistically significant at 5% level. The coefficient is 0.21 in Column (1) indicates Saitama ETS firms improves innovation by 21% compared with non ETS firms, which supports Hypothesis 1. However, the coefficient of second phase is not statistically significant. These results relate to the fact that the first phase of ETS achieved a 22% reduction and a policy for reserving their allowances from the first to the second phase. Since the ETS was just implemented, several firms tend to innovate the new clean technologies to lead by example. Meanwhile, the reserve of allowances is allowed by ETS, which encourages firms to innovate more in the first phase. As the result, compared with reduction targets of 6% ~ 8% for the first phase, the reduction was achieved at 22%. However, ETS firms already make enough efforts to innovate in the first phase and reserve allowance, which results in the ETS only improved R&D in the first phase. Column (2) shows the insignificant effect of interaction terms on wo phases. This result which indicates the Saitama ETS does not induce the carbon leakage through the outsourcing.

4. Conclusions

Our analysis indicates that ETS firms tend to innovate technologies compared to non-ETS firms. Meanwhile, our results indicate that Saitama ETS does not reduce firms' sales while increases the sales at announcement period.

台湾における使い捨てプラスチックの使用削減政策に関する研究
Government Policies Combatting Single-use Plastic Products Pollution in Taiwan

横浜市立大学 ○蔡佩宜，大西暁生

1. Introduction

Increasing usage of plastic in packaging has a direct impact on the environment, particularly in the ocean. To control the environmental problems posed by plastic waste, the Taiwanese government has developed a waste management policy and promulgated several regulations since 1997. In addition, Taiwan was one of first places that initiated a plastic bag charge in 2002. In this study, we provided a comprehensive review of Taiwan's current municipal solid waste (MSW) management situation and the future perspectives related to the application of a "zero single-use plastics" frameworks by 2030. The barriers to the elimination of single-use plastic products were also discussed.

2. Methodology

In this study, updated data on the statistics and status of MSW management in Taiwan were obtained from the official yearbook, the Solid Waste Statistics, and a literature review, which was utilized to systematize the fragmentary knowledge and provide the latest information about regulatory measures for reduction on single-use plastics and the results of its implementation in Taiwan. In addition, a comparative status of MSW management between Taiwan and Japan was provided.

3. Results

As with many developing countries, Taiwan had one of the world's worst urban waste problems and some media reports referred to Taiwan as "Garbage Island" in the 1970s–1980s. Today, Taiwan has the second-highest effective waste recycling rate, following Germany (Eunomia, 2018). To ensure proper waste management, Taiwan has implemented a very specific waste collection system since 1998 and started to improve resource recycling, including plastic and food waste, in the 2000s. As a result of a series of waste measures, the recycling rate of MSW between 2001 and 2021 increased from 12.7 to 61.1 percent, and 96.9% of the waste was properly disposed in 2020 (Environmental Protection Administration (EPA), 2021). However, the amount of collected food waste has indicated that a decreasing trend exists due to the limitation of the composting treatment capacity and collection systems in some cities and the lack of economic incentives for recycling enterprises. We also found that the number of recycled paper containers in 2020 was over 400% that in 2018. The increasing number of online shopping and food deliveries during the COVID-19 pandemic was the main reason for the large numbers of recycled paper containers and cutlery.

Taiwan has also implemented a series of policies to reduce single-use plastic products since the 2000s. Although the number of single-use plastic bags consumed was reduced by 200 million annually after banning plastic bags at retail establishments, Taiwan still consumes approximately 15 billion single-use plastic bags annually, which is 3.9 times more than the number consumed by the EU. The main reason is that the restricted targets do not include fresh markets and diners such as traditional markets, night markets, and food stands. In 2022, Taiwan had 1,195 markets, and many plastic bags were consumed in these markets. The Taiwanese government implemented several measures to address this issue, such as the promotion of "green night markets" that use reusable tableware or set an eco-box for used plastic bags, which can be provided to the next consumer for free in traditional markets. To address the issue of increased online shopping packages or food delivery services (e.g., containers or plates), the EPA proposed a new approach designed to set pickup sites for consumers to return their used cutlery. This type of approach can encourage reuse or make recycling easier and overcome the awareness-behavior gap.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the financial support provided by Asahi Group Foundation.

References

1) Eunomia (2018) Recycling-Who Really Leads the World? European Environmental Bureau. https//eeb.org/library/recycling-who-really-leads-the-world/
2) Environmental Protection Administration (EPA) (2021) Yearbook of Environmental Protection Statistics 2021.

Keywords：Waste Management, Single-use Plastic Products, Taiwan

サステナブルレメディエーション手法を用いた鉛表層土壌汚染地での対策手法の検討
Study of Remediation Methods in Lead Surface Soil Contaminated Sites by Sustainable Remediation

横浜国立大学 ○万晟吉，半田千智，深谷亮太，李京，小林剛

1. 背景および目的

工場等から大気に排出された鉛が、沈着することによる表層土壌汚染が多く発生している。土壌の浄化対策の8割近くで利用されている掘削除去は、ゼロリスクを目指す過剰な対策となっていることも多く、多様な環境・経済・社会への悪影響を生じていることが社会課題となっている。また、公定法では、表層から5cmと5～50cmの土壌を均等混合して、土壌中含有量等を測定、評価するが、鉛が土壌表層にのみ存在する場合でも、1mの土壌を掘削除去するようことが少なくない。

本研究では、鉛による表層土壌汚染地において、対策する土壌の深さの違いによって、低減できる健康リスクと、多様な対策手法によって、生じる環境影響やコストなどを評価し、サステナブルレメディエーション(SR)の有用性について検討することとした。

2. 方法

実汚染サイトでの調査結果を参考に、評価対象サイトの条件を図1(左)のように設定した。前任者は表層土壌中の鉛含有量が380 mg/kgの時の経口・吸入曝露による健康リスク評価を行った[1]。これを参考に本研究では、実汚染サイトの深さ毎の土壌中鉛含有量の測定結果から、処理する汚染深さ別に、経口・吸入曝露による健康リスクをTDI 3.5 μg/kg/dやWHO大気ガイドライン値0.5 μg/m^{3}に対するハザード比を用いて算出した。また、各対策の環境面への影響は、東京都の土壌汚染対策における環境負荷定量評価ツール[2]を用いて算出した。汚染面積や土壌密度、処理する深さ、運搬距離等の条件を入力し、環境負荷8項目(CO$_2$、PM$_{10}$、SOx、NOx、エネルギー(原油)、マテリアル(鉄)、マテリアル(砂、廃棄物)の排出(消費)量を求めた。コストや社会面の影響も算出した。

3. 結果

3.1. 処理する深さの違いによる健康リスク

図1から、鉛は土壌への吸着性が高く、土壌表層ほど土壌中鉛含有量が大きく、経口や吸入の摂取量が多くなり、ハザード比も高くなることが分かった。飛散した土壌の吸入曝露の場合、ハザード比はいずれの処理深さでも1を超過せず、処理しなくてもハザード比は0.5程度で、吸入による健康リスクは十分に低かった。経口曝露の

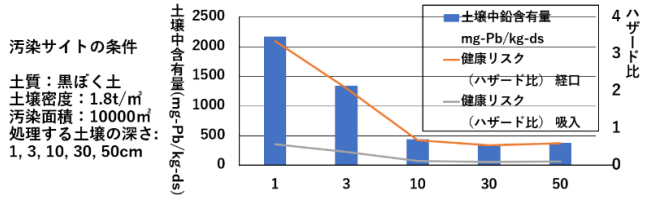


図1 掘削深さ毎の土壌中鉛含有量に基づくハザード比

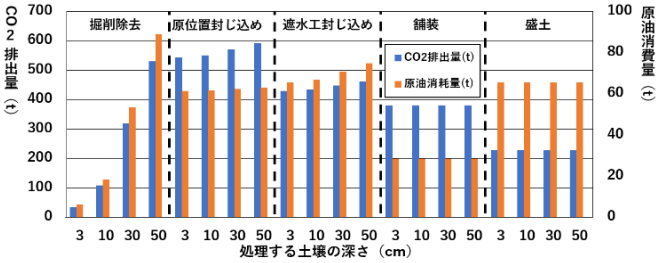


図2 処理する深さ毎の5つの対策の環境負荷の計算例

場合、深さ10cm以上処理すれば、基準値は3倍近く超過するものの、ハザード比が1未満となり、健康リスクは十分に低く管理できることが分かった。

3.2. 各対策手法により生じる環境影響の比較例

図2には、CO$_2$と原油消費量を例として、5つの対策を行った時の処理する深さ毎の環境負荷を示した。舗装と盛土の環境負荷は深さによって大きく変化しなかった。原位置封じ込めと遮水工封じ込めの環境負荷は、深さとともに増加したが、この程度の土壌量の違いでは大きな違いは見られなかった。掘削除去と環境負荷は処理深さにほぼ比例し、深さ50cmでの環境負荷は10cmの時の約5倍になった。図1の結果と合わせると、10cm以上を掘削除去する場合、十分にリスクは低減できているにもかかわらず、CO$_2$等の排出を多く発生することが分かった。このように、健康リスクをゼロにするのではなく、小さなリスクは残ったとしても、他の環境・経済・社会への悪影響を増やす過剰な浄化とならないよう、表層土壌汚染の場合、詳細な深さ方向の汚染分布に基づいて対策を検討することが有効と考えられた。

参考文献

1)Chisato.H, Takeshi.K(2021) Assessment of Health Risk due to Inhalation Exposure of Re-suspension off Contaminated Surface Soil, WET2021-online program and abstract, 17
2)東京都環境局：東京都の土壌汚染対策における環境負荷定量評価ツール https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/chemical/soil/information/grsr.html

キーワード　表層土壌汚染，鉛，リスク評価，SR

揮発性有機塩素化合物による土壌への長期吸着挙動の粒径分布を考慮した解析の検討
Analysis of Long-term Adsorption Behavior of Chlorinated Volatile Organic Compounds on Soil Considering Particle Size Distribution

横浜国立大学大学院　○李京，小林剛

1. はじめに

揮発性有機塩素化合物（CVOC）による長期間汚染土壌では、地下水環境基準値以下まで浄化した後に、土壌中に残留した CVOC が再溶出して、再び基準超過する事例（リバウンド現象）や、土壌浄化が長期化すること等が課題となっている。このように浄化困難となる原因の一つに、長期間汚染された土壌では CVOC が土壌粒子の奥部まで吸着して脱離しにくくなることが考えられる。本研究では、CVOC の土壌への吸着を、土壌粒子表面への速い吸着と土壌粒子奥部までの遅い吸着があると考え、土壌特性値（粒径区分）が遅い吸着挙動にどのように影響するかを、土壌の粒径分布を考慮した吸着モデルを構築し、遅い吸着挙動を計算して検討することとした。

2. 長期吸着モデルの検討

長期汚染土壌からの溶媒抽出されにくさの測定結果[1)]等を参考に、CVOC の気相での長期土壌吸着モデルを構築した。土壌への吸着は、速い吸着部分と遅い吸着部分を分けて考えた。土壌の間隙水相と気相とは常に気液平衡が成り立つと仮定し、土壌は 5 粒径区分に分けて計算することとした。検討したモデル概要を図 1 に示す。

3. 結果と考察

5 つの粒径区分の土壌への遅い吸着部分への平衡到達率の計算結果の例（PCE、砂質土）を図 2 に示した。各粒径区分の土壌の遅い吸着部分への平衡到達率が 80%となる時間は、粒径 0.005mm 以下では 0.005d、0.075~0.005mm は 1.4d、0.250～0.075mm は 24.4d、0.850～0.250mm は 208d、2~0.850mm は 1880d となった。粒径 0.005mm 以下（ローム土中等に多い粒径区分）では 1 時間もかからないのと比べて、粒径 2~0.850mm（砂質土中に多い粒径区分）では非常に時間がかかり、平衡到達率が 80%までに 5 年もかかることが分かった。土壌はこのような数 100 倍も粒径の異なる粒子の混合物である。粒径が大きいと、気相と接する外部表面積が小さく細孔への入口が少ないこと、入口から細孔奥までの距離も長くなることから、吸着時間が長くなる。また、最初は速く吸着するが、平衡に到達する最後の 20%は非常に長い時間をかけて吸着することも分かる。実汚染土壌では数 10 年かけて吸着していることが多く、速い吸着部分は速く浄化できるが、この粗大粒子の細孔奥の吸着分が、浄化の長期化やリバウンド現象の原因となっていると考えられた。

速い吸着による時間区分 j-1～j の吸着量は(1)式で表せる。

(j-1～j時間目までの吸着量) ＝ (j時間目での吸着量) － (j-1時間目での吸着量)

$$-V_S K_S \mathrm{I} a_{VR}\left(C_{Sj-1}-H_{SWG}\mathrm{I}C_{Gj-1}\right)\Delta t = \rho_b V_S C_{Sj}\ \mathrm{I} - \rho_b V_S C_{Sj-1}\ \mathrm{I} \quad (1)$$

C_{Sj} I でまとめると(2)式で表せた。

$$C_{Sj}\ \mathrm{I} = \left(1-\frac{K_S\ \mathrm{I}\ a_{VR}}{\rho_b}\Delta t\right) C_{Sj-1}\ \mathrm{I} + \frac{K_S\ \mathrm{I}\ a_{VR} H_{SWG}\ \mathrm{I}}{\rho_b}\Delta t C_{Gj-1} \quad (2)$$

同様に、遅い吸着による吸着量は(3)式で表せた。なおK_S Ⅱ a_{VR} は粒子半径R_hを考慮し、C_{Sj} Ⅱ でまとめると(4)式で表せた。

$$-V_S K_S\ \mathrm{II}\ a_{VR}\left(C_{Sj-1}\ \mathrm{II} - H_{SWG}\ \mathrm{II}\ C_{Gj-1}\right)\Delta t = \rho_b V_S C_{Sj}\ \mathrm{II} - \rho_b V_S C_{Sj-1}\ \mathrm{II} \quad (3)$$

$$C_{Sj}\ \mathrm{II} = \left(1-\frac{15D_e}{R_h^2}\Delta t\right) C_{Sj-1}\ \mathrm{II} + \frac{15D_e H_{SWG}\ \mathrm{II}}{R_h^2}\Delta t C_{Gj-1} \quad (4)$$

粒径は n 区分あるとして湿潤土壌の固相濃度は(5)式で表せた。

$$C_{sj} = C_{sj}\ \mathrm{I} + \sum_{h=1}^{n} m_h C_{Sj}\ \mathrm{II} + \frac{a}{100-a}\frac{C_{Gj}}{H_{GW}} \quad (5)$$

気相濃度はマスバランスと前述の吸着挙動から(6)式で表せた。

(j-1~jでの気相減少量) ＝ (j-1~jでの速い吸着の増加量) ＋ (j-1~jでの遅い吸着の増加量)

$$V_G\left(C_{Gj-1}-C_{Gj}\right) = -V_S K_S\ \mathrm{I}\ a_{VR}\left(C_{Sj-1}-H_{SWG}\ \mathrm{I}\ C_{Gj-1}\right)\Delta t - V_S\frac{15D_e\rho_b}{R_h^2}\left(C_{Sj-1}-H_{SWG}\ \mathrm{II}\ C_{Gj-1}\right)\Delta t \quad (6)$$

記号の説明

Ⅰ:速い吸着に関するパラメータ、 Ⅱ:遅い吸着に関するパラメータ、 C_{Sj}:固相濃度[mg/kg-dry]、 C_{Gj}:ガス濃度[mg/m³]、V:体積[m³]、 H_{SWG}:固吸吸着平衡定数[m³/kg-dry]、 H_{GW}:ヘンリー定数[-]、 K_S:固相側物質移動係数[kg/ m²・d]、 a_{VR}:単位容積当たりの粒子外表面積[1/m]、 Δt: 1 時間区分、 ρ_b:充填密度[kg-dry/L]、D_e:粒内拡散係数[m²/d]、 R_h:粒子半径[m]、 m_h:粒径区分hの土壌粒子の重量比[-]

図 1　検討した長期吸着モデルの概要

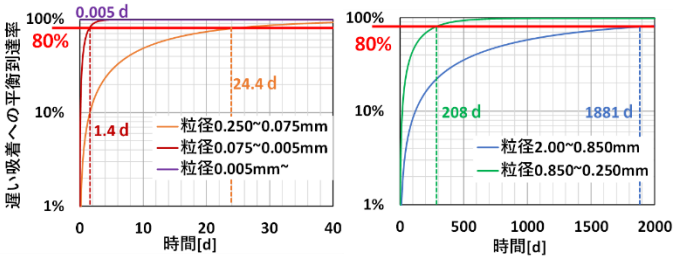


図 2　粒径区分ごとでの吸着平衡への到達率の結果の例

4. 結論

粒径分布を考慮した長期吸着モデルを構築でき、遅い吸着への粒径の影響を考察できた。今後、長期間汚染土壌で、リバウンド現象も考慮した効率的な浄化・管理手法の検討に活用できると考えられる。

参考文献

1) 李京・小林剛（2022）揮発性有機塩素化合物の長期の土壌への吸着による脱離しにくさの解析，第 27 回地下水・土壌汚染研究集会講演集，129-131

キーワード　長期土壌汚染, CVOC, 遅い吸着, 粒径分布

牧草地における雑草の判別と持続可能な駆除方法
Sustainable weed control identifying weed among pasture

東京農業大学〇松村寛一郎、㈱丹波屋　脇健太郎、松阪勝利、東洋電装㈱　中山卓士

1. 背景と目的

牧草は、牛の生産物である牛乳の品質と密接に関係している。動く化学工場と揶揄される牛は、自らの意思で判断をしながら牧草を摂取しているために雑草はできる限り少ないことが望ましい。雑草であるギシギシ、アメリカオニアザミ、リードカナリーグラスを駆除するために牧草に対して一様あるいは背中にタンクを背負いピンポイント的にアージラン、ハーモニー、ラウンドアップ、バンベルディ―等の薬剤散布が行われている。昨今の国際情勢の変化により、自前の牧草地を持たない酪農家にとっては、輸入牧草が高騰するだけでなく、入手すらできない事態が深刻化している。農薬や肥料価格も高騰傾向にある。こうした状況を鑑みて、牧草地において雑草を識別し、その識別された雑草に対してピンポイント的に薬剤を散布する仕組みを提案する。酪農家へのヒアリングよれば、使用薬剤量を 8 割近く削減できる可能性がある。

2. 雑草認定

マルチスペクトルカメラ搭載ドローンを用いて撮影した画像変化からムラのある場所を俯瞰的に捉え、雑草を撮影した画像を雑草識別のために学習させる。

図 1. マルチスペクトルカメラ搭載ドローン（左上）、植生指数の 2022 年 7 月 9 日から 6 月 1 日を除したもの(右上)、雑草認識手順（左下）、地上走行ドローン（右下）

3. 地上走行ドローンと通信システム

中国の XAG 社が開発した RTK システムを搭載した 30 分の急速充電で 4 時間走行可能で 150kg の積載能力と 1 トンの牽引能力がある 2.4 ㎓帯の地上走行ドローンを自動走行させる。5.8 ㎓帯の移動体通信網を牧草地に通信アンテナを立てることで、走行中の地上走行ドローンから高精細な画像をリアルタイムに基地局に転送できる仕組みを構築する。地上走行ドローンが走行しながら、雑草を自動的に識別し、その種類に応じた薬剤を散布する仕組みを構築する。高付加価値な牧草を労働力の削減を実現することで酪農家と消費者、薬剤使用量の 8 割削減による環境負荷低減を実現する。

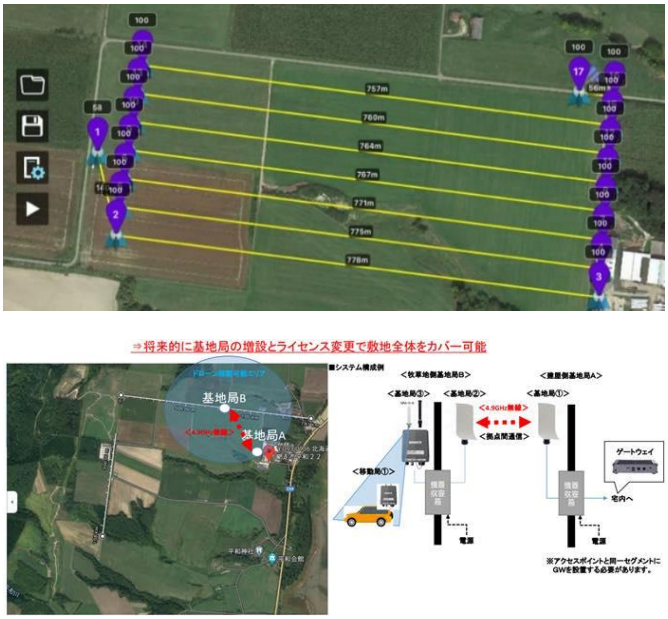


図 2. 走行経路（上）と高速移動体通信網の構築

参考文献

1) 小池誠（2020 年），IT 農家のラズパイ製ディープ・ラーニング・カメラ，CQ BUNKO，pp.174

2) 農業農村工学会（2022）農業農村工学会ミニ動画コンテスト“ こりゃ映像！ 2022 応募作品
https://www.youtube.com/watch?v=oC_mVox6LqQ

3)バロ電機工業株式会社、牧場向け遠隔雑草除去システム提案書 2022

キーワード　雑草駆除、可変薬剤散布、高速移動通信網

開発途上国の水質汚染抑制と生活雑排水の浄化

青森県立名久井農業高等学校　○新田遥加，佐々木昌虎，中居泉穂，寺沢ゆき，掛端博貴，大坊拓也

1. 背景

富栄養化による河川や故障の水質汚染問題を抱えている開発途上国は多い。いろいろな原因があるが、家庭の炊事や洗濯等に使った生活雑排水は、規模こそ小さいが発生源が多く、改善されていないのが現状である。そこで日本古来の土壌固化技術の三和土（たたき）で作るアルカリ水が洗剤の代替とならないか、また三和土で生活雑排水の浄化ができないか研究を行った。

2. 実験の方法と材料

（１）三和土ブロックの作成

土に消石灰及び貝殻焼成カルシウムを 20～30%加え水で練って 100g 紙コップに充填する。土は砂質の真砂土と粘土であるベントナイトの２種類を用いた。1 週間放置し固化させる。

（２）三和土アルカリ水の作成

固化した三和土ブロックを１リットルの純水に浸漬し、時間による pH の推移を測定する。

（３）三和土アルカリ水の洗浄試験

油を垂らした布を三和土アルカリ水に浸漬し、2 時間後に汚れが落ちているか観察する。

（４）三和土アルカ水の除菌試験

酵母菌の培養液、腐葉土の浸漬水の２つを三和土アルカリ水と精製水に 0.5ml 添加する。5 分後、一般細菌試験紙でコロニー数を測定し除菌効果を比較する。

（５）生活雑排水の浄化

人工的に製作した洗濯廃液を三和土ブロックに透過させ、水質の変化測定する。項目は pH、NH4-N、PO4-P、Na とした。

3. 結果

（１）三和土ブロックの作成

いずれの三和土も 1 週間後には固化した。

（２）三和土アルカリ水の作成

三和土ブロックを純水に浸漬させるといずれの三和土も 1 週間後には pH12 以上の強アルカリ水になった。また空気に触れないようにすると 6 週間も保存できることがわかった。

（３）三和土アルカリ水の洗浄試験

精製水では落ちない油汚れも三和土アルカリ水に浸漬したところ、油は乳化しきれいに落ちた。

（４）三和土アルカ水の除菌試験

純水と比較すると三和土アルカリ水ではコロニー数が約 10 分の 1 に減少した。

（５）生活雑排水の浄化

三和土ブロックを透過させることで、廃液に含まれている各成分が減少した。特にバーミキュライトと消石灰で作成した三和土の浄化力が高かった。（図１）

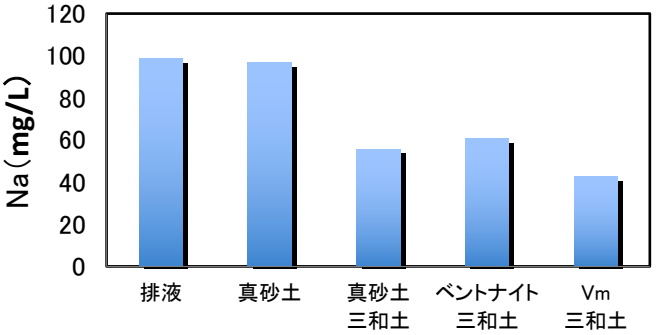


図１　三和土透過水の Na 濃度比較

4. まとめ

三和土ブロックを純水に浸漬するだけで pH12 以上の強アルカリ水になり、油汚れの洗浄と除菌ができることがわかった。これにより洗剤の使用量を削減できる可能性がある。また排水を三和土ブロックに透過すると栄養分を削減できることがわかった。これにより開発途上国の水質汚染抑制に貢献できる。また透過水には陰イオンの硝酸態窒素が多く含まれているため、植物栽培用の液肥として活用できる可能性も大きい。

5. 参考文献

1) What is Eutrophication? https://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-and-solutions-to-eutrophication.php

2) World Eutrophic and Hypoxic Coastal Areas https://www.flickr.com/photos/48722974@N07/5555377863

6. キーワード　水質浄化，排水処理，排水活用

ポスター発表
（優秀発表賞応募発表も含む）

ポスター会場：オンライン（Zoom）

発表・質疑応答時間：9 月 8 日（木） 13:30 ～ 14:30

陸水域に生息する水生ダニ類相と水質評価Ⅱ

Aquatic mite fauna and water quality evaluation inhabiting land waters II

山梨英和中学校・高等学校　○沢登　美海，○北出　乃愛

1. はじめに

山梨県の河川は比較的綺麗だと言われている。しかし、実際に河川が綺麗なのかは知らない。そこで、ミズダニに環境省の発表している日本版平均スコア法を応用し、山梨県内の河川の水質を評価しようと考えた。

2. 研究方法

県下64本の河川に214箇所の調査地点を決め，河川の上中下流を以下のように調査した。

①各地点の理化学・生物的調査した。

②生物調査は1m×1mのコドラート内をキ ック法で動物を採取した。その後検鏡，撮影し，属の同定を行った。

③採取個体は90%エタノールに属ごと分けて保存した。

④環境省の日本版平均スコア法を応用してミズダニ属のスコアを算出した。

3. 研究結果・考察

・水生生物(環境省指定)64科、ミズダニ属15属を採取できた。その個体数比率はほぼ10:1である。

・ミズダニは中流域で大きく平均0～3匹/㎡の密度で生息している。これは、水生生物の10%前後である。

・最高密度河川は平等川，須玉川である。優占種はアオイダニ属、ナガレダニ属である。

・χ^2検定で検証し、ミズダニ亜目は水質によって住み分けていて、指標動物としての妥当性が示唆された。

・評価基準を定量的と定性的の2種類を利用者の発達段階(小・中学生向け、高校生向け)によって制作した。

4. 結論

県下64本の河川の水生生物とミズダニを採取し、ミズダニの分布を明らかにした。そして、ミズダニ亜目のスコアと評価基準の妥当性を検証した。平均スコア法も算出したミズダニスコアで河川の水質を定量的に評価した。調査の結果、山梨県内の90%調査河川の水質が良好であると判定できた。

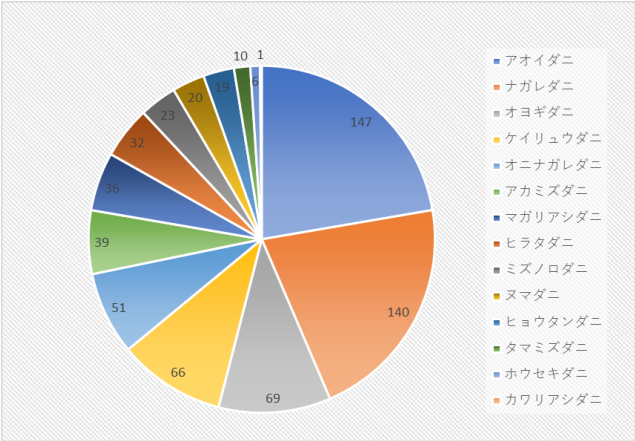


図1　捕獲ミズダニ一覧

	非常に良好	良好	やや良好	良好とは言えない
属名　スコア	ホウセキ　8.4	カワリアシ　7.4	オヨギ　6.4	
	ヒョウタン　8.3	ナガレ　7.0	ヌマ　6.3	
	ケイリュウ　7.8	ヒラタ　6.8	アカミズ　6.1	
	タマミズ　7.8		アオイ　5.8	
	マガリアシ　7.6		ミズノロ　5.5	
	オニナガレ　7.5			

表1　ミズダニスコア一覧

参考文献

1)今村　泰二「ミズダニ類の生態・ミズダニ形態と種類」日本淡水生物学 近代文芸社 (1996 244-322)

2)吉成　暁「日本産ミズダニ類移一科および属への検索」兵庫陸水生物 (2010;61 62:117-147)

3)大高　明史「日本陸水域に生息する水生ミズダニ類相の解明と目録作成」科学研究費助成金研究成果報告書 (2005;3)

4)佐藤　愛　山梨英和高校報告書「山梨県に生息するミズダニによる水質評価」（2019）

キーワード　ミズダニ，指標妥当性，スコア法

ウキクサと微生物による水質浄化のための培養方法
How to cultivate Lemna ukikusa and microorganisms for water purification.

山梨英和中学校・高等学校　○池田遥音，○熊谷菜月，○高橋栞奈

1. 初めに

私達は，日々の生活の中で河川や海等に有害化学物質を排出している。その物質が水生生物に悪影響を与える場合もある。様々な水質浄化の技術がある中で私達は身近な植物であるウキクサの浄化能力に着目し，利用方法を確立するため，この研究を始めた。私達のこれまでの実験でウキクサの葉状体が 25 日間で最も安定した状態で増加する条件は，光照射時間 9 時間，温度 25℃であることが分かった（表 1）。本研究では，ウキクサの増加速度とウキクサと微生物による水質浄化能力の関係性を調べた。

表 1　葉状体の平均増加枚数

光条件・温度条件	9h25℃	9h20℃	15h25℃	15h20℃
平均増加枚数（枚）	28.7	25	20.7	8

2. 方法

学校に生息しているウキクサを使用し，以下の条件を設置した。

① LAS 溶液
② 微生物が生息しているビオトープの水＋LAS
③ LAS 溶液＋ウキクサ
④ 微生物が生息しているビオトープの水＋LAS＋ウキクサ

これらの条件をそれぞれ恒温器で光照射時間 9 時間と 15 時間，温度 20℃と 25℃の 4 つの条件で設定し，28 日間 7 日ごとにサンプルを採取して冷凍保存し，液体クロマトグラフィーで測定した。

3. 結果

各光条件，温度条件内で比較をすると，すべての条件で④の減少速度が最も速いことが分かった。また， C10（炭素数 10）の最終増減量では光照射時間 9 時間，温度 25℃の条件で，初期値を 100 としたときの最終増減量が -63.0 となり，最も LAS の減少速度が速い結果となった（図）（表 2）。

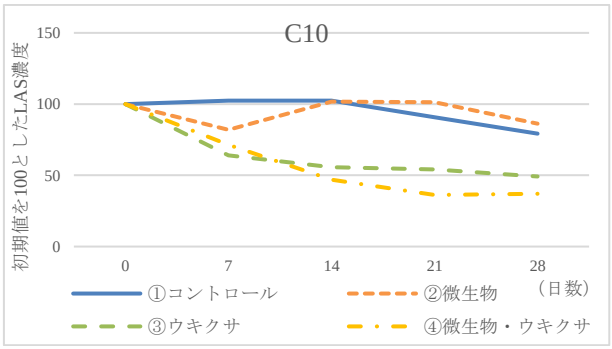


図　光照射時間 9 時間，温度 25℃条件下の LAS（C10）濃度

表 2　各条件での C10 の初期値を 100 とした最終増減量（相対値）

	9h25℃	9h20℃	15h25℃	15h20℃
①	-20.7	-30.0	-11.2	-12.9
②	-13.7	-38.7	-19.1	-43.1
③	-50.8	-52.3	-36.4	-39.3
④	-63.0	-55.3	-51.5	-46.5

4. 考察

結果より，④が最も LAS を減少させたことから微生物とウキクサを共生させることによって分解効率が上がるといえる。また，④ではウキクサの葉状体が最も増加しやすい条件下（光照射時間 9 時間，温度 25℃）で LAS の減少が最も速く，増殖速度が大きいほど浄化能力も大きいことが分かる（表 1， 2）。

5. 展望

今後は，温度条件，光条件に加えて水の循環が浄化に与える影響を調べる。また，浄化に使用したウキクサを廃棄するのではなく，バイオエタノール化して再利用する方法を確立していく。

参考文献

1) 森一博・遠山忠・清和成・河野哲郎　2005 年　日本水処理生物学会誌
2) 水生植物の根圏における界面活性剤分解作用とその強化

キーワード　ウキクサ，水質浄化，バイオエタノール

家庭用ゲーム機に含まれるリン系難燃剤の実態調査とその使用に伴う経皮曝露量の推定
Occurrence of phosphorus flame retardants in video game consoles: implications for dermal exposure

静岡県立大学 ○西山裕那，石田真穂，徳村雅弘，王斉，雨谷敬史，牧野正和

1. はじめに

リン系難燃剤（PFRs）は，添加型難燃剤として様々なプラスチック製品中に含まれており，製品からの揮発や拡散，摩擦などによって曝露媒体に移行し，ヒトに曝露することが報告されている。PFRs のなかには，有害性を示すものもあるため，曝露に伴う健康への悪影響が懸念されている。従来では，室内空気を介した経気道曝露や，ハウスダストを介した経口曝露が難燃剤の主要な曝露経路とされていたが，難燃剤を含む製品との直接接触に伴う経皮曝露も，新たな曝露経路として注目されている。

新型コロナウイルス感染症の拡大によって在宅時間が増え，特に青少年においてゲームをする時間が増加している。加えて，近年，コンピューターゲームやビデオゲームを使ったスポーツ競技である e スポーツが流行し，中学生や高校生は部活動として，また，大人はプロゲーマーとして職業的に長時間ゲームをする機会も増えている。一般に，大人よりも子供のほうが化学物質の影響を受けやすいため，子供らが好んで使用する製品についてのリスクを評価することは，極めて重要である。しかし，家庭用ゲーム機に含まれる PFRs の情報は限られているのが現状である。

本研究では，家庭用ゲーム機の中でも皮膚と直接接触する機会の多い，コントローラー中に含まれる PFRs の実態調査とその使用に伴う経皮曝露量の評価を行った。

2. 実験方法

日本国内において，純正品 8 個とサードパーティ製品 29 個の合計 37 個のコントローラーを購入した。コントローラーの表面を彫刻刀で削り，その破片約 10 mg を 10 mL 試験管に入れた。ジクロロメタン 5 mL を添加後，超音波を 30 分間照射した。完全に溶解したことを確認し，1 mL を 10 mL 試験管に採り，9 mL のアセトニトリルを加えて 10 倍希釈した。30 秒間ボルテックスした後，上清 80 µL をバイアルに移し，内部標準物質（tributyl phosphate（TBP）-d_{27}）20 µL を添加した。PFRs の分析には，液体クロマトグラフ - タンデム型質量分析計（LC-MS/MS）を用いた。

3. 結果と考察

19 種類の PFRs を分析対象としたところ，純正品 5 個とサードパーティ製品 22 個から triphenyl phosphate（TPhP）が検出された（1−530 µg/g）（Fig. 1）。既往研究[1-2]では，液晶テレビやノートパソコンなどの電子機器や，プラスチック製の玩具から TPhP が検出されている。特に，キーボードからは 500 µg/g の TPhP が検出されており，本研究の結果と一致した。

消費者製品曝露モデルである ConsExpo を用いて，家庭用ゲーム機の使用に伴う経皮曝露量の推定を行った。青少年の一日当たりの平均ゲーム時間（37 分）における，家庭用ゲーム機のコントローラーからの TPhP の経皮曝露量は，経気道曝露や経口曝露といった他の曝露経路と比較して高く，主要な曝露経路となりうることが示唆された。今後，より正確な評価を行うため，TPhP の皮膚透過速度やゲームプレイ時間などの情報収集が必要であると考えられる。

参考文献

1) Kajiwara et al. (2011) J. Hazard. Mater., **192**, 1250-1259.
2) Ionas et al. (2014) Environ. Int., **65**, 54-62.

キーワード　家庭用ゲーム機，リン系難燃剤，経皮曝露

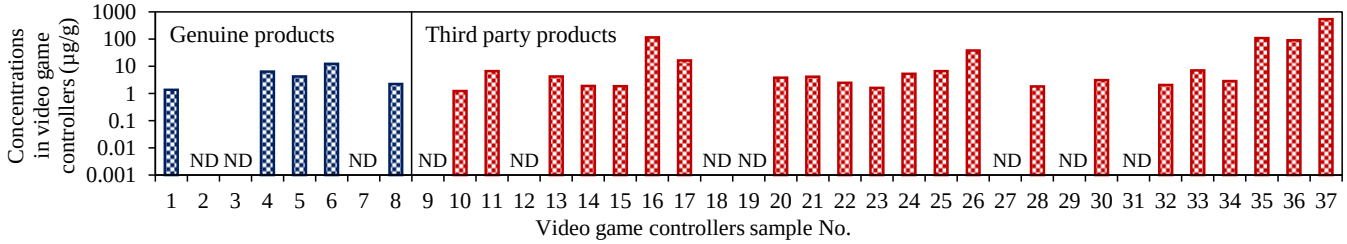


Fig. 1 Concentrations of TPhP in video game controllers brought in Japanese market. (ND: not detected)

ウォーターサーバーの水中に含まれる有機リン化合物の初期曝露評価
Occurrence of organophosphorus compounds in drinking water collected from water dispensers

静岡県立大学 ○内田亜美，石田真穂，徳村雅弘，王斉，雨谷敬史，牧野正和

1. はじめに

有機リン化合物はプラスチックの難燃剤や可塑剤として広く使用され，プラスチック製品中に数パーセントオーダーという高濃度で含まれている。一般に，有機リン化合物は添加型の加工剤であり，製品と化学的に結合していないことから，製品外へ放出されやすいという特徴があり，室内空気やハウスダストを介してヒトに曝露することが報告されている。

ヒトにとって水は必要不可欠であり，ヒトの健康を保つためには，飲料水の安全性を担保することが求められている。有機リン化合物の中には，中程度から高い水溶性を持つものもあり，飲料水中に溶け出す可能性がある。実際，プラスチックボトル入り飲料水などから，有機リン化合物が検出された事例が報告されており，飲料水が有機リン化合物のヒトへの重要な曝露経路となる可能性も示されている [1]。一方，近年，COVID-19 の影響により，飲料水への不安や備蓄のために，自宅や会社でのウォーターサーバーの設置，常飲が増えている。既往研究によれば，ウォーターサーバーの水中から高濃度の有機リン化合物が検出されたことが報告されているが [2]，我が国における測定例はない。

本研究では，ウォーターサーバーの飲料水を介した有機リン化合物の曝露・リスク評価を行うことを目的とし，液体クロマトグラフ-タンデム型質量分析計（LC-MS/MS）を用いてウォーターサーバーの水中に含まれる有機リン化合物を測定し，簡易的な曝露評価を行った。

2. 方法

2022 年 7 月から 8 月に，家庭で使用されているウォーターサーバーから，水をサンプリングした。水サンプル 100 mL と酢酸エチル：ヘキサン（1:1, v/v）100 mL，クリーンアップスパイク（d 体 mix 4 種：triphenyl phosphate（TPhP）-d_{15}, tris(2-ethylhexyl) phosphate（TEHP）-d_{51}，tricresyl phosphate（TCsP）-d_{21}，tris(2-chloroethyl) phosphate（TCEP）-d_{12}）を分液漏斗に加え，振とう機で 10 分間振とうした。有機層をナスフラスコに移し，エバポレーターでおよそ 1 mL まで濃縮した。窒素パージで 80 µL まで濃縮した後，アセトニトリルで溶媒置換し，シリンジスパイク（tributyl phosphate（TBP）-d_{27}）を加え，最終液量を 100 µL とした。phosphorus flame retardants（PFRs）の分析には，LC-MS/MS を用いた。

3. 結果と考察

本研究のサンプルに加え，文献から得られた各種飲料水中 PFRs 濃度を Fig. 1 に示す。ウォーターサーバーの水からは TCEP が 260 ng/L（中央値），tris(2-chloroisopropyl) phosphate（TCPP）が 55 ng/L で検出され，文献値と比較して同等以上の値が得られた。

本結果をもとに，推定 1 日摂取量（EDI）を算出したところ，TCEP は 8.8 ng/kg-bw/day，TCPP は 1.8 ng/kg-bw/day となった。PFRs の主要な曝露経路である経口曝露と比較すると，それぞれ 3.8 倍および同程度の値となった。

謝辞

本研究は厚生労働科学研究費補助金「飲料水中の有機リン化合物の健康影響評価に関する研究」（研究代表者：徳村 雅弘，R4-化学-一般-005）によって実施された。

参考文献

1) Yao et al. (2021) Sci. Total Environ., **795**, 148837. 2) Hou et al. (2021) Environ. Sci. Technol. Lett., **8**, 884-889. 3) Ding et al. (2015) Sci. Total Environ., **538**, 959-965. 4) Park et al. (2018) Sci. Total Environ., **634**, 1505-1512. 5) Zhang et al. (2021) J. Environ. Manage., **291**, 112714.

キーワード　飲料水，有機リン化合物，経口曝露

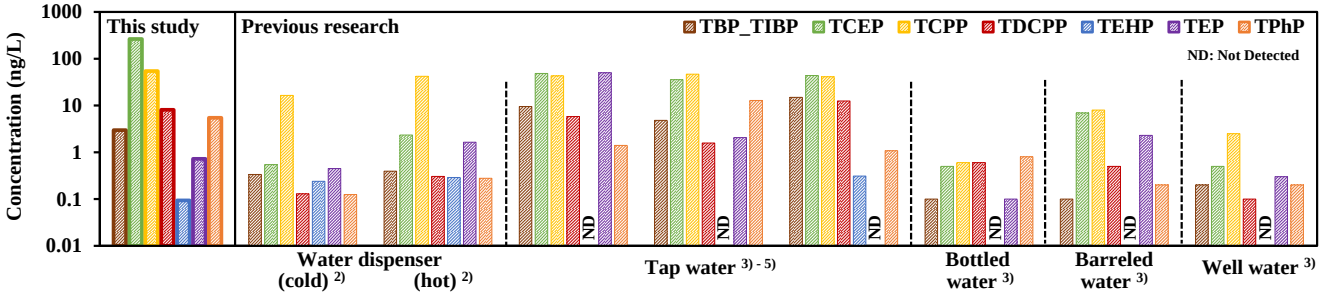


Fig. 1 Concentrations of PFRs in drinking waters.

アサリのカップリング―密集度と生殖の関係―
Clam coupling ~Relationship between density and reproduction

宮崎北高等学校 ○高稲健翔　田上進之介　中原翔

1. 研究動機

我々は近年、国産のアサリが減少しているというデータを見つけた。アサリを増やすためにもアサリが繁殖しやすい環境を探すことにした。

2. 研究方法

アサリが集まると受精度が上がるというデータをもとに、アサリが集まりやすい環境の条件を探す。

どのくらい集まったかの基準として密集度を用いる。密集度は 4 匹のアサリの重心をつないだ面積の大きさで示す。

GoPro で継続して大量の画像データを取るために、RaspberryPi4 とつないで自動で撮影するプログラム（1 時間に 1 回撮影する・アサリの動向に反応して動画をとるもの）を作成する。密集度、アサリの移動速度、移動距離のデータをとる。密集度はプログラミングソフト MATLAB で二値化とラベリングなどの画像処理を用いて検出する。

環境条件は光の強さ、光の色を計測予定である。

3. 実験 1　アサリの位置の検出

アサリの検出プログラムを作成するために、防水カメラで 3 日おいて撮影したアサリ画像を解析する。

4. 結果 1

二値化でデータを検出する予定だったが、背景とアサリをうまく分離できず、二値化ができなかった。そのため、画像から手動でアサリの距離を測り、四角形の面積を計算した(Fig.1&2)。なお、密集度の計算は酸素ポンプの直径を基準に補正した。

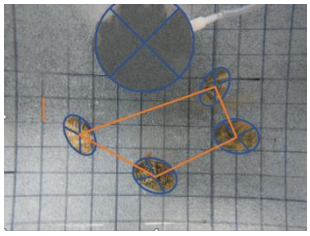


Fig.1　7 月 26 日
密集度：13.85 ㎠

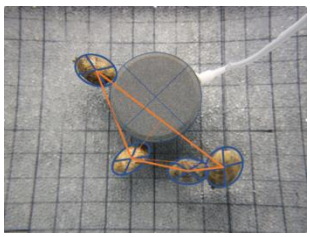


Fig.2　7 月 29 日
密集度：15.07 ㎠

5. 実験 2　白いプラ板によるアサリ位置の検出

プラ板が透明だとアサリを検出しづらいため、白いプラバンを用意してアサリとの色を差別化しやすくした。

6. 結果 2

アサリの検出はしやすくなったが、計測プログラムは完成しなかったため、こちらも手動で密集度を計測した(Fig.3&4)。

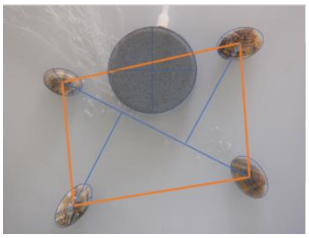


Fig3　7 月 31 日
密集度：40.94 ㎠

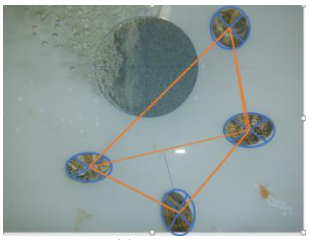


Fig.4　8 月 4 日
密集度：35.36 ㎠

7. 考察とまとめ

今回はアサリの検出プログラムの作成と密集条件の調査を同時進行で行った。

実験 1 では、密集度は大きくなったが、エアポンプのほうに移動していた。そのため、酸素濃度が高いほうに近づいているのではないかと考えられる。密集度が 1.24 増加したが、これはエアポンプが邪魔したためだと考えた。

実験 2 ではアサリはあまり移動していないように見えたが密集度は 5.58 と小さくなった。やはりエアポンプにアサリが移動した。

アサリは酸素に引き寄せられる可能性がある。砂浜で酸素濃度が高いスポットを準備すればアサリの繁殖につながるかもしれない。もしくはエアポンプの振動に関係するかもしれない。密集度計測プログラムの作成とともにエアポンプとアサリの関係を実験によって明らかにしていく。

参考文献

「貝のパラダイス」岩崎敬二
「貝のミラクル」奥谷喬司

キーワード　アサリ　生殖　プログラミング

室内空気中のイソシアネートの濃度およびその潜在的発生源である製品中の濃度調査
Investigation of concentrations of isocyanates in indoor air and in products

静岡県立大学　○柿本祐奈，王斉，野呂和嗣，雨谷敬史，横浜国立大学　三宅祐一

1. はじめに

イソシアネート類は，ポリウレタンの合成材料，エラストマーや塗料などとして，建築物や家庭用家具に用いられている。イソシアネート類は感作性が顕著であり，喘息や接触性皮膚炎，アレルギー感作などと関連があることから[1]，特に吸入摂取による健康影響が懸念されている。近年，イソシアネート類を原料とする製品の増加に伴い，室内環境においてイソシアネート類が高濃度で存在している可能性がある。我々の既往研究では，室内空気からイソシアネートが検出されており，ヒトへの曝露が懸念されている。しかし，イソシアネート類の室内発生源についての知見は不足している。そこで本研究では，室内空気中のイソシアネート類の発生源を検討するため，一般住宅における室内空気中のイソシアネート類の濃度調査，家庭で使用される製品中のイソシアネート類の含有量調査を行った。

2. 方法

2.1. 一般住宅におけるイソシアネート類濃度調査

3 つの住宅（A，B，C）を対象とし，各住宅のリビング、寝室、屋外において空気を捕集した。ジブチルアミン（DBA）を含侵させたシリカゲル 350 mg をカートリッジに充填し，サンプラーとして使用した。サンプラーをミニポンプ（MP-W5P，柴田科学）に接続し，流速 0.3 L min^{-1} で 24 時間捕集した。このサンプリングを 2 回行った。アセトニトリル (5 mL)を用いてサンプラーからイソシアネート類を抽出し，液体クロマトグラフ質量分析計 (LC-MS/MS, Ultimate 3000–Endura, ThermoFisher Scientific）を用いて分析した。

2.2. 製品中のイソシアネート類の含有量調査

子供用いす，マットレス，スプレーポリウレタンフォーム（スプレーPUF）をそれぞれ異なる 3 つの製造会社から購入しサンプルとした。試験管にサンプル 0.1 g とアセトニトリル 5 mL を加えた。超音波抽出を 30 分間行い，遠心分離（15min，3000 rpm）した。得られた上澄み液を 1 mL のバイアルに分取し，1.0 mg のジブチルアミンを添加し，LC-MS/MS を用いて分析した。

3. 結果と考察

住宅 A，B では，サンプリング場所によるイソシアネート類濃度に大きな違いは見られなかった（住宅 A: 33–58 ng m^{-3}，住宅 B: 69–98 ng m^{-3}）。しかし、住宅 C の寝室において，屋外(62–137 ng m^{-3})やリビング(89–116 ng m^{-3})よりも高濃度(229–280 ng m^{-3})のイソシアネート類が検出され，同じ住宅でも場所によりイソシアネートの濃度差が大きかった。これらの結果から，一般住宅においてイソシアネート類の発生源が存在する可能性が示唆された。なお、住宅 A，B，C の室内空気から検出されたイソシアネート類のうち，86.8 – 98.8%が isocyanic acid（ICA）であった。

子供用いすから，ICA，toluene diisocyanate（TDI），hexamethylene diisocyanate（HDI）が検出された。マットレスからは，TDI と HDI に加えて、phenyl isocyanate（PhI）が検出された。スプレーPUF からは，methylene diisocyanate（MDI）と ICA が高濃度で検出された（図 1）。これらの製品が，室内環境中のイソシアネート類の発生源である可能性がある。

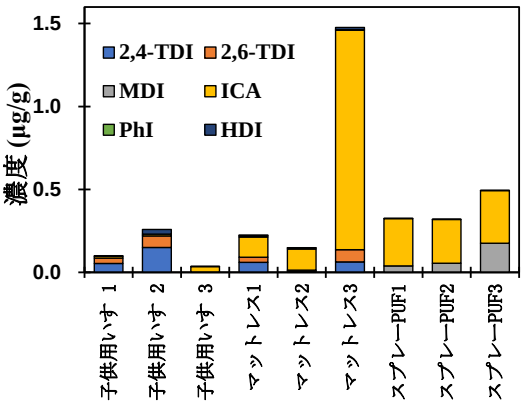


図 1　製品中のイソシアネート含有量

参考文献

1) Boor, B.E., Liang, Y., Crain, N.E., Järnström, H., Novoselac, A., and Xu, Y. (2015) Identification of Phthalate and Alternative Plasticizers, Flame Retardants, and Unreacted Isocyanates in Infant Crib Mattress Covers and Foam, Environ. Sci. Technol. Lett. 2, 4, 89−94

キーワード LC-MS/MS 分析，室内環境，ジブチルアミン

有機リン化合物のアセチルコリンエステラーゼ阻害機序に関する研究
A mechanism of acetylcholinesterase inhibition induced by organophosphorus compounds

静岡県立大学 ○髙下泰地，徳村雅弘，牧野正和

1. はじめに

クロルピリホス(CPF)は殺虫作用を示す有機リン化合物であり、シックハウス症候群の原因物質の一つと見做されている。CPF は、室内環境指針値がホルムアルデヒド (0.08ppm)の約 1000 倍厳しい値 (0.07ppb) として定められており、生活環境を保全する上で注視すべき化合物といえる [1]。

先行研究において我々は、CPF の神経毒性をアセチルコリンエステラーゼ(AChE)阻害に基づいて評価し、その阻害機序に関して (i)芳香環に結合するハロゲン（塩素）置換基、および (ii)芳香環内の窒素元素が、重要な役割を果たしていることを報告している [2]。

一方、有機リン化合物は、難燃剤や可塑剤として快適な生活環境を構築する上でも幅広く使用されており、CPF の様に明確に AChE 阻害を示す化合物が存在するが、その阻害能が未だ不明確な化合物もみられる。

そこで、有機リン化合物の AChE 阻害機序を分子構造論的に予測する有益な情報を得るため、CPF とはハロゲン基の種類が異なり、かつ芳香環内の窒素元素をもたないブロモホスエチル(BPE)に今回着目し、AChE 阻害能を評価したので詳細を報告する。

2. 実験方法

BPEoxon およびその脱ハロゲン化合物合成方法に関しては、既報の CPFoxon 類縁化合物合成方法に従っている [2]。また、AChE 阻害能試験は、Ellman らの方法に倣い、電気ウナギ由来の AChE（基質作用部位 Ser 200）を用いて実験を行った [3]。また、陽性コントロールとしてガランタミンを使用した。なお、有機リン化合物が特徴的に示す AChE に対する不可逆的な阻害能は、吸光度(412 nm)の時間依存性を観測することにより評価した [2]。

3. 結果と考察

表 1 に、AChE 阻害試験に用いた化合物の略称と 0.25 h および 4 h の IC_{50} 値を示す。まず、CPFoxon と BPEoxon の IC_{50}(0.25 h)値を比較した時、CPFoxon << BPEoxon であった。これより、阻害能は BPEoxon よりも CPFoxon が著しく大きく、この違いはハロゲン置換基の種類と芳香環窒素の存在が関係しているためと予想された。

次に、芳香環窒素をもたない CPFoxon-nonN の IC_{50}(0.25 h)値をふまえて比較した結果、阻害能の順序は CPFoxon-nonN < BPEoxon << CPFoxon であった。これより、CPFoxon-nonN や BPEoxon で観測された阻害能の顕著な低下は、ハロゲン置換基の種類よりも芳香環窒素を分子内にもたないことが大きく関係していると考えられた。一般に、有機リン化合物の AChE 阻害機序において、基質作用部位である Ser 200 のほかに、コリンバインディングサイトと呼ばれる基質ポケット内の部位も重要な役割を果たしていることが、報告されている。上記結果は、この阻害機序を裏付けていると考えられた。

最後に、不可逆的な阻害能を評価するため、式(1)に従い時間依存的阻害能変化(Tac; Time-dependent inhibitory activity change)を計算した。

$$Tac = IC_{50}\ (0.25\ h) / IC_{50}\ (4\ hr) \quad \cdots (1)$$

この結果、Tac 値が芳香環に臭素原子が置換している BPEoxon や BPEoxon-4Br において、塩素原子の場合と比較して明らかに増大する(BPEoxon; 220, BPEoxon-4Br; 120)ことから、臭素原子は、AChE の基質ポケット内で誘導適合を生じさせることが示唆された。

Table 1. IC_{50} and Tac values for tested compounds.

Compound	IC_{50}(0.25 h) [μM]	IC_{50}(4 h) [μM]	Tac
CPFoxon	5.35×10^{-4}	6.67×10^{-5}	8
BPEoxon	1.66×10^{-1}	7.67×10^{-4}	220
CPFoxon-nonN	4.89×10^{-1}	1.55×10^{-2}	32
CPFoxon-5Cl	1.30×10^{-1}	1.11×10^{-2}	12
BPEoxon-4Br	5.32×10^{-3}	4.53×10^{-5}	120

参考文献

1) 厚生労働省 https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tc3866&dataType=1&pageNo=1
2) 船水ら，環境科学会 2019 年会要旨集 p164.
船水ら，環境科学会 2020 年会要旨集 p127.
船水ら，環境科学会 2021 年会要旨集 p131.
3) Ellman, G. L., et al. (1961) Biochem. Pharmacol., **7**, 88-95.

キーワード クロルピリホス，ブロモホスエチル，アセチルコリンエステラーゼ阻害，誘導適合.

ペットボトルリサイクル推進のための社会実験
A social experiment promoting plastic bottle recycling

早稲田大学 土肥竜之介, ○石倉優大, 小黒哲寛, 柴田大至, 白石渉, 西川修平, 森萌

1. 背景

近年、ペットボトルの理想的なリサイクル方法として、ボトル to ボトルが注目されている。ボトル to ボトルとは、使用済みペットボトルを原料化し、新たなペットボトルへと再利用する方法である。このボトル to ボトルを推進するためには、ペットボトルの中に飲み残しがない、キャップとラベルがはがされているなどの条件が必要となる。本研究では、そのようなペットボトルの正確な分別を促進させる要因を明らかにするために、ナッジを活用した社会実験を行った。ナッジとは個人の意思決定への緩やかな介入を意味しており、このナッジを取り入れたポスターや擬人化回収箱を利用することで、それらがキャップとラベルの分別率にどのような影響を及ぼすのかを分析した。

2. 分析手法

本実験は、早稲田大学構内の 7 カ所のペットボトル回収箱を対象とし、うち 1 カ所は介入無し、4 カ所にポスター、2 カ所に擬人化回収箱を設置した。ポスターと擬人化回収箱のデザインは図 1 に示されている。ポスターは、社会規範ナッジのメッセージを含むかどうか、視認性の高い色かどうかで 4 種類を作成した。擬人化回収箱は、丸くて親しみのある外観のものを作成した。それぞれの実験場所では、①キャップ有りラベル有り、②キャップ有りラベル無し、③キャップ無しラベル有り、④キャップ無しラベル無しの 4 種類のペットボトルを区別し、3 日おきにペットボトルの回収本数を計測した。

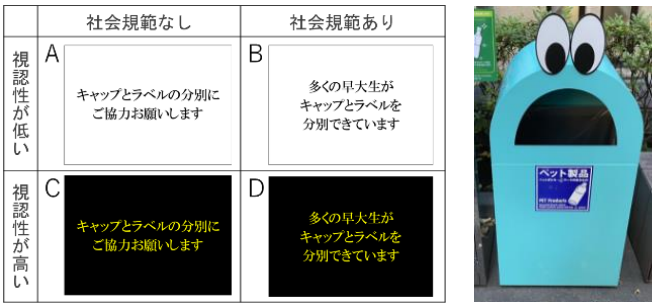


図 1　実験に用いたポスターと擬人化回収箱

3. 分析結果

本分析では、キャップとラベルの分別率データに対して重回帰分析を行った。表 1 の左側は、ラベルとキャップの両方が外されているペットボトルの割合（以下、キャップラベル分別率）に対して、各介入方法が与えた影響を表している。ポスターA とポスターD にはキャップラベル分別率を引き上げる効果が見られた一方で、ポスターB とポスターC は有意な結果を示さなかった。また、擬人化回収箱も有意な結果を示さなかった。

表 1 の右側は、社会規範ナッジのメッセージを含むポスターB とポスターD の存在を社会規範ダミー、視認性を高めたポスターC とポスターD の存在を視認性ダミーとした重回帰分析の結果を示している。この分析では、社会規範ダミーに正の効果が有意に確認されたものの、視認性ダミーには有意な結果が確認されなかった。

表 1　各介入方法とキャップラベル分別率の関係

説明変数	係数
ポスターA	0.226***
ポスターB	0.085
ポスターC	-0.063
ポスターD	0.161**
擬人化回収箱	0.030

説明変数	係数
社会規範	0.138**
視認性	-0.010

注)***, **, *は 有意水準 1%,5%,10%を示す。

4. 結論

ポスターに関しては、社会規範のナッジに分別を促す効果が確認された。また、ポスターD よりポスターA の方が強い正の効果を示したことは、ポスターの特異な配色が利用者に警戒心を与えてしまった可能性を示唆している。また、擬人化回収箱に関しては、分別を促す効果は示されなかった。このことから、擬人化回収箱によって通行人の目を引くだけでなく、利用者に取ってほしい行動を明確にすることが重要であると考えられる。

謝辞　本研究は早稲田大学とサントリー MONOZUKURI エキスパート株式会社の共同研究の成果の一部である。

キーワード　ボトル to ボトル, ナッジ, 社会規範

理想的なまち・2050　~春日井市におけるケーススタディー~
The ideal city in 2050　~A Case study in the Kasugai city~

○国立名古屋大学教育学部付属高等学校　足立　心愛　○南山高等学校女子部　山内　梨湖
愛知県立旭丘高等学校　星野　しずか

1. 導入

本研究では，人間が使うことのできる時間（THT: Total Human Time）に着目し，現在の若者が将来時間にゆとりのある理想的なまちで生活を送るための方法を検討する。図 1 に理想的なまちの概念図を示す。

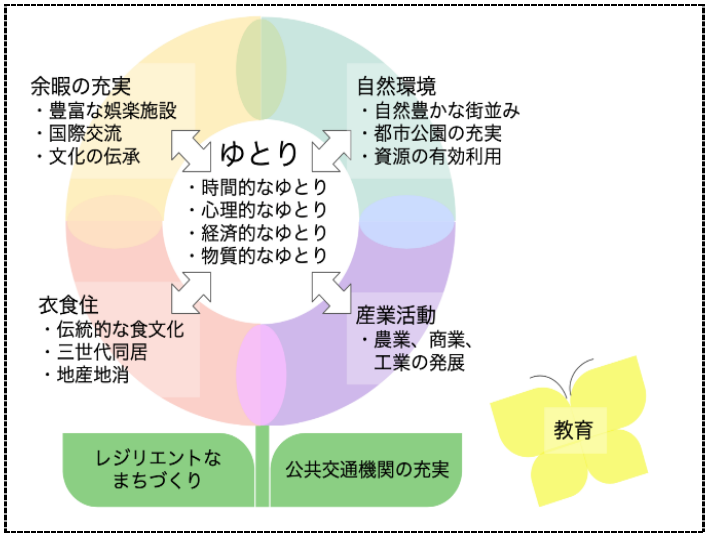


図 1　理想的なまち

2. 研究手法

一人の人間が有する時間は 1 日あたり 24 時間であり，減少した人口に伴ってその地域がもつ時間のポテンシャル，時間的余裕は減っていく。従って，人口減少により失われる時間を取り戻すことができれば，現在と変わらない，もしくはよりゆとりのある生活を送ることが可能になると仮定する。ここで，ゆとりに影響を与えるのが「活動時間（24 時間－睡眠時間）」である。2021 年から 2050 年にかけての春日井市全体の活動時間を推計する。推計には以下の項目を検討する。
(a)公共交通機関の充実，(b)娯楽施設の充実，(c)衣食住，(d)自然環境，(e)産業活動の 5 項目である。
(a)については e-Palette の導入や自動車の飛行による渋滞解消や移動時間の削減を検討する。バスの乗降時間の削減，走行速度の加速，乗客者数が 0 名の便の欠航をコントロール可能となる。
(b)については春日井市の娯楽施設数を増加することにより施設利用者の移動時間の削減が可能となる。
(c)については「住」に注目し，全ての核家族が三世代世帯になることで育児や家事に費やす時間を減少させることが可能となる。
(d)については都市公園を増やすことで，児童の公園での滞在時間が延長し，保護者の子育てにあてる時間の減少，つまり，生産時間の更なる確保が可能となる。
(e)については春日井市の労働人口の全ての仕事において人工知能やロボットを用いることで，労働時間の短縮を可能となる。

3. 研究結果

2050 年における春日井市の THT は人口減少により 288,000,000 時間/年減少する。しかし，本研究で挙げた項目を検討することで，272,000,000 時間/年のゆとりを生み出すことができることが判明した。すなわち 2.82 時間/日のゆとりができる。この時間を実際に作り出すことができれば，現在と変わらないまたはよりゆとりのある生活が実現可能となる。

4.今後の課題

今後気候変動などによって起こりうる自然災害に備え，よりレジリエントなまちづくりをするため，現在の災害対策や被災時の影響，復興にかかる時間等を検討する。

参考文献

1) Mario Giampietro, Kozo Mayumi, and Jesus Ramos-Martin(2009)Multi-scale integrated analysis of social and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale, Energy, Vol. 34., 313-322
2) 山下睦・韓驥・谷川寛樹（2011）都市における人間活動時間の変化に伴う労働生産性及び CO2 排出量の最適化に関する研究，第 39 回環境システム研究論文発表会講演集，39, 443-448
3) 春日井市. 人口｜春日井市公式ホームページ　春日井市. 2021. https://www.city.kasugai.lg.jp ，

キーワード　ゆとり，THT，理想的なまち

開発途上国の水質汚染抑制と生活雑排水の浄化

青森県立名久井農業高等学校　○新田遥加，佐々木昌虎，中居泉穂，寺沢ゆき，掛端博貴，大坊拓也

1. 背景

富栄養化による河川や故障の水質汚染問題を抱えている開発途上国は多い。いろいろな原因があるが、家庭の炊事や洗濯等に使った生活雑排水は、規模こそ小さいが発生源が多く、改善されていないのが現状である。そこで日本古来の土壌固化技術の三和土（たたき）で作るアルカリ水が洗剤の代替とならないか、また三和土で生活雑排水の浄化ができないか研究を行った。

2. 実験の方法と材料

（１）三和土ブロックの作成

土に消石灰及び貝殻焼成カルシウムを 20～30%加え水で練って 100g 紙コップに充填する。土は砂質の真砂土と粘土であるベントナイトの２種類を用いた。1 週間放置し固化させる。

（２）三和土アルカリ水の作成

固化した三和土ブロックを１リットルの純水に浸漬し、時間による pH の推移を測定する。

（３）三和土アルカリ水の洗浄試験

油を垂らした布を三和土アルカリ水に浸漬し、2 時間後に汚れが落ちているか観察する。

（４）三和土アルカ水の除菌試験

酵母菌の培養液、腐葉土の浸漬水の２つを三和土アルカリ水と精製水に 0.5ml 添加する。5 分後、一般細菌試験紙でコロニー数を測定し除菌効果を比較する。

（５）生活雑排水の浄化

人工的に製作した洗濯廃液を三和土ブロックに透過させ、水質の変化測定する。項目は pH、NH4-N、PO4-P、Na とした。

3. 結果

（１）三和土ブロックの作成

いずれの三和土も 1 週間後には固化した。

（２）三和土アルカリ水の作成

三和土ブロックを純水に浸漬させるといずれの三和土も 1 週間後には pH12 以上の強アルカリ水になった。また空気に触れないようにすると 6 週間も保存できることがわかった。

（３）三和土アルカリ水の洗浄試験

精製水では落ちない油汚れも三和土アルカリ水に浸漬したところ、油は乳化しきれいに落ちた。

（４）三和土アルカ水の除菌試験

純水と比較すると三和土アルカリ水ではコロニー数が約 10 分の 1 に減少した。

（５）生活雑排水の浄化

三和土ブロックを透過させることで、廃液に含まれている各成分が減少した。特にバーミキュライトと消石灰で作成した三和土の浄化力が高かった。（図１）

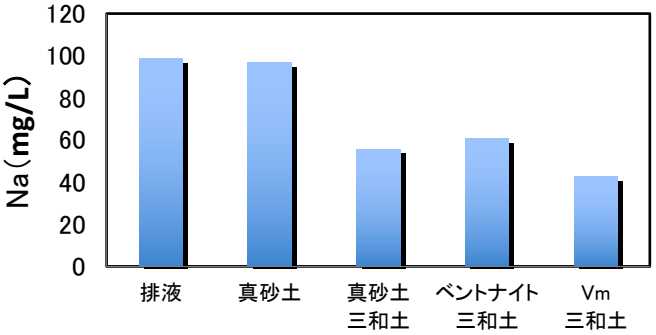


図１　三和土透過水の Na 濃度比較

4. まとめ

三和土ブロックを純水に浸漬するだけで pH12 以上の強アルカリ水になり、油汚れの洗浄と除菌ができることがわかった。これにより洗剤の使用量を削減できる可能性がある。また排水を三和土ブロックに透過すると栄養分を削減できることがわかった。これにより開発途上国の水質汚染抑制に貢献できる。また透過水には陰イオンの硝酸態窒素が多く含まれているため、植物栽培用の液肥として活用できる可能性も大きい。

5. 参考文献

1) What is Eutrophication? https://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-and-solutions-to-eutrophication.php

2) World Eutrophic and Hypoxic Coastal Areas https://www.flickr.com/photos/48722974@N07/5555377863

6. キーワード　水質浄化，排水処理，排水活用

シリコーンリストバンドを用いたパッシブ法における多環芳香族炭化水素類とそのハロゲン化誘導体の物質存在状態別の捕集速度への影響

A Passive Sampling Method by Silicone Wristband for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Halogenated Derivatives and Effect on Sampling Rate

横浜国立大学 ○田川瑛梨，三宅祐一，静岡県立大学 多田智彦，王斉，雨谷敬史

1. はじめに

近年、準揮発性有機化合物（SVOC）の個人曝露量を測定するためのパッシブサンプラーとしてシリコーンリストバンドが注目されている[1]ものの、研究例が限られている。また、SVOC は分子拡散を推進力としてパッシブサンプラーに捕集されると考えられている[2]が、シリコーンリストバンドでの検討例は少ない。

本研究では、SVOC の中でも幅広い物性を持つ多環芳香族炭化水素類（PAHs） 28 種とそのハロゲン化誘導体（XPAHs） 42 種の計 70 物質を対象とし、大気中濃度とシリコーンリストバンドでの捕集量を比較することで手法の有効性を検証した。また、シリコーンリストバンドの捕集速度と分子拡散係数の関係を調査した。

2. 方法

前洗浄したシリコーンリストバンドを乾燥させ、パッシブサンプラーとして使用した。捕集後はサンプラーを切り分け、ジクロロメタンで抽出し、抽出液を精製した。また、パッシブ法と並行し、ミニポンプを用いて大気中濃度を測定した。これらのサンプルは GC-MS/MS（GC 7890B / MS 7010B, Agilent Technologies）で分析した[3]。各種類のサンプラーの前処理における PAHs・XPAHs の回収率は 61-116%であった。

3. 結果と考察

3.1. シリコーンリストバンドの性能評価

シリコーンリストバンドを用いたサンプリングの結果、対象物質とした 70 種全てが検出された。アクティブ法で測定した大気中濃度とシリコーンリストバンドでの捕集量には、図 1 に赤色で示した、対象物質の 79%にあたる 55 種の物質で有意な正の相関関係が認められ（p<0.01）、本法の有効性を示すことができた。有意な相関関係が認められなかった物質の中には、環境中に低濃度で存在しており、十分なサンプル数が得られなかったものがあった。今後、高濃度域においてさらに試料採取を行い、より多くの物質に対して手法の有効性を調査する予定である。

3.2. 捕集速度と分子拡散係数の関係

対象物質のうち、大気中濃度とシリコーンリストバンドでの捕集量に有意な正の相関関係が認められた 55 物質において、粒子態物質のシリコーンリストバンドへの捕集速度は、ガス態物質よりも遅くなることが示された（Welch's t-test: p<0.01）。また、シリコーンリストバンド 1 つあたりの捕集速度（L min^{-1} WB^{-1}）と、藤田の式[4]を用いた分子拡散係数（cm^2 sec^{-1}）を算出し比較した結果、ガス態・粒子態いずれも捕集速度と分子拡散係数に有意な相関関係は認められなかった。したがって、ガス相での分子拡散以外にシリコーン相における吸着・吸収機構が捕集速度に影響を及ぼしていることが示唆された。しかし現時点では測定数や測定条件に限りがあるため、今後更に調査を行い詳細に検討する予定である。

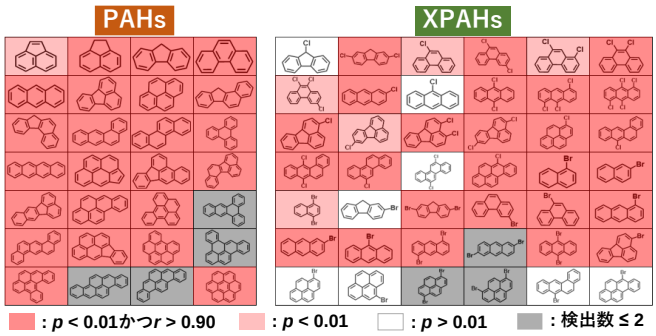


図 1　対象物質における相関係数のヒートマップ

4. 謝辞

本研究は JSPS 科研費・基盤研究（B）（課題番号：21H03614）、および環境研究総合推進費（JPMEERF 18S11704）の助成を受け実施した。

参考文献

1) O'Connell *et al.* (2014) *Environ. Sci. Technol.*, **48**, 3327-3335; 2) Samantha M. Samon *et al.* (2022) *Environment International*, 107339; 3) Sei *et al.* (2021) *Chemosphere*, **271**, 129535; 4) Fujita S. (1964) *Kagaku Kogaku*, **28**, 251-254

キーワード：パッシブサンプリング，多環芳香族炭化水素類（PAHs），シリコーンリストバンド

拡散型パッシブサンプラーを用いた揮発性有機化合物の個人曝露評価のための サンプリングレート推算法の検討

An estimation model for sampling rates of volatile organic compounds using a passive sampler for personal exposure assessment

横浜国立大学 ○高橋佑果，三宅祐一，静岡県立大学 王斉，雨谷敬史
柴田科学（株）福島靖弘，鈴木義浩

1.はじめに

揮発性有機化合物（VOCs）は作業環境で広く使用され、一部の物質についてはヒトへの健康影響が懸念されている。作業環境で行動する人の動きは様々であることから、VOCs の個人曝露量を実測することが重要であるため、その方法として動力が必要ない拡散型パッシブサンプラーを用いた濃度測定が有効かつ簡易である。しかし、この測定法には物質ごとにサンプリングレート（SR）の算出が必要であり、実測値が利用できる物質数は限られている。そこで本研究では、実測した SR がなくてもパッシブサンプラーを用いて濃度測定が行えるように、計算のみから SR を推算する方法を検討した。

2. 実験方法

SR の測定は、ISO16107[2]に基づき、4 つの環境要因について条件を設定して実験を行った。対象物質は、労働安全衛生法で管理濃度が設定されている作業環境測定対象物質のうち、多様な物性をもち、拡散係数の値が異なる 33 種類の VOCs を選定した。アクティブサンプラーとパッシブサンプラーを用い、チャンバー内で同時に VOCs を 4 時間捕集した。捕集翌日、2 mL の二硫化炭素で 15 分間振とう抽出をした後、GC-MS で分析をした。

3. 結果と考察

本研究で使用したパッシブサンプラーでの捕集は分子拡散を利用しており、吸着剤の拡散抵抗が十分小さいことを仮定すると、Fick の第一法則より SR（L min^{-1}）は空気 A 中における物質 B の分子拡散係数 D_{AB}（cm^2 sec^{-1}）の関数として表すことができる（式 1）。

$$SR = \frac{60\times10^{-3}\times A\times D_{AB}}{Z} \quad \cdots(1)$$

ここで、サンプラーの有効拡散面積 A（cm^2）、拡散距離 Z（cm）はサンプラー固有の定数であることに加え、分子拡散係数の実測値が利用できる物質数は限られていることから、本研究では分子拡散係数の推算方法についての検討を行った。まず、網羅的に文献調査することで、187 種類の VOCs[3]について分子拡散係数の実測値を収集することができた。情報収集できた 187 種類の VOCs に対して、臨界温度・臨界圧力をパラメータとした実験式である藤田の式と、気体分子運動論をベースとした半実験式である Fuller の式の 2 つの推算式を用いて分子拡散係数を算出した。各分子拡散係数の推算値と実測値との関係を図 1 に示す。2 つの推算式の精度に大きな差はないが、臨界定数を他の推算式から算出する必要がある藤田の式に対し、化学式のみで算出できる Fuller の式の方がより簡易的な手法だと考えられる。

また、本研究で SR を実測した 33 種類の VOCs に対して、各分子拡散係数の推算値と SR 実測値には正の相関関係が認められたため、分子拡散係数の実測値がない VOCs において、各 VOCs の化学構造や化学式から SR の推算が可能であることが示された。

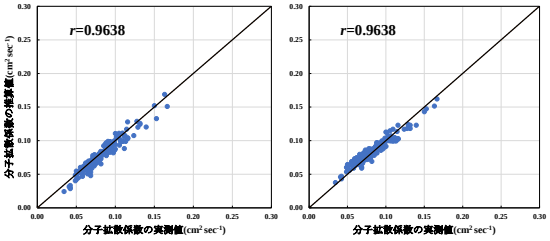


図 1　拡散係数実測値と推算値の関係
左）藤田の式　右）Fuller の式

4. 謝辞

本研究は環境研究総合推進費（JPMEERF18S11704）の助成を受け実施した。

参考文献

1) 光崎ら(2006) *室内環境学会誌*, **9**, 1-15
2) ISO16107 Workplace atmospheres–Protocol for evaluating the performance of diffusive samplers
3) Tang M. J. *et al.* (2015) *Atmospheric Chemistry and Physics*, **15**, 5585–5598

キーワード VOCs，パッシブサンプラー，SR

撥水スプレー剤に含まれる POPs 関連フッ素化合物の実態調査
Investigation of POPs-related fluorinated compounds in water repellents on the Japanese market

横浜国立大学 ○齋藤隼輝，静岡県立大学 王斉，国立環境研究所 松神秀徳，横浜国立大学 三宅祐一

1. 緒論

2019 年、PFOA とその塩、および PFOA 関連物質が残留性有機汚染物質（POPs）に指定され、多くの関連物質を有する PFAS 全体の管理が求められている。しかし近年、繊維・皮革製品の撥水加工に使用されるフルオロテロマーベースポリマー（FTP）については、PFOA 関連物質の発生源となる可能性が指摘されるものの [1]、その含有実態は未解明な点が多い。また、PFAS とその関連物質は対象物質数が非常に多く、LC-MS/MS 等による個別分析だけでは網羅的な測定が難しい。そこで本研究では、市販の撥水スプレー剤を対象に、FTP 由来の PFOA 関連物質に着目した PFAS 個別分析およびフッ素の総量分析の両観点から、PFAS とその関連物質全体の含有実態について検討した。

2. 方法

2011 年、2021 年に国内で販売されていた撥水スプレー剤（それぞれ 28 製品、26 製品）を対象とした。製剤 0.2 g をメタノール中で 30 分間超音波抽出した後、抽出液 10 mL として、燃焼イオンクロマトグラフ（C-IC）によるフッ素の総量分析を行った。また、製剤抽出液にアルカリ加水分解処理を加える前と後で、LC-MS/MS、GC-MS/MS による PFAS（73 種）の個別分析を行った。

3. 結果と考察

3.1. FTP 由来 PFOA 関連物質の定量分析

直接的な機器分析が困難である FTP は、加水分解処理を加えることで、側鎖由来の PFAS の種類とその潜在的な濃度の評価が可能となる [1]。2011、2021 年の撥水スプレー剤に対する PFAS 個別分析の結果、全 54 製品中 24 製品において、PFOA 関連物質に該当するフルオロテロマーアルコール（FTOH）の濃度が加水分解後に増加した。この結果から、FTP 側鎖に FTOH がエステル結合した構造をしていると考えられ、半数程度の市販撥水スプレー剤は潜在的に PFOA 関連物質を含有することが示された。ここで、PFAS 個別分析の対象物質 73 種のうち PFOA 関連物質である 18 種に着目し、フッ素換算濃度の合計を考えると、2011 年（28 製品）は<2.7～5600 mg-F/kg、2021 年（26 製品）は<2.7～1300 mg-F/kg であった（図 1 左）。2021 年の製品中 PFOA 関連物質の濃度は、2011 年の製品中濃度と比較して有意に低下していた（Welch's t-test: p<0.01）。これは、2019 年に PFOA 関連物質が POPs に指定され、その後の規制による影響と考えられる。

3.2. 抽出可能有機フッ素（EOF）の定量分析

撥水スプレー剤の抽出液を C-IC で分析し、抽出可能有機フッ素（EOF）の定量を行った。その結果、2011 年（28 製品）では<3.0～5700 mg-F/kg、2021 年（26 製品）では 4.6～8400 mg-F/kg であり（図 1 右）、有意差は見られなかった。個別分析の結果を踏まえると、2011 年から 2021 年の間で、個別分析できた PFOA 関連物質の濃度としては減少した一方、有機フッ素の総量である EOF 濃度としては変化しておらず、別のフッ素系物質へ代替されていることが示唆された。今後、これらフッ素系の代替物質について、物質の特定、および分解物を含めた POPs 関連物質への該当の有無について検討が必要である。

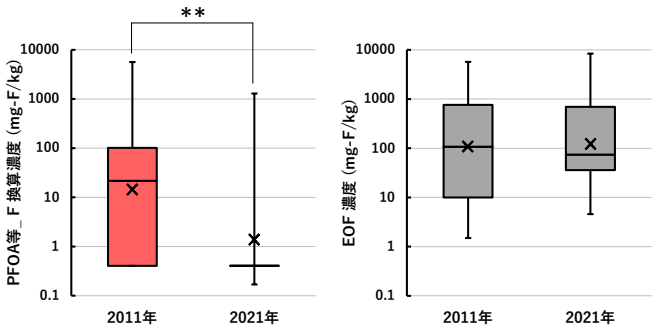


図 1　撥水スプレー剤中の PFOA 関連物質フッ素換算濃度（左）および EOF 濃度（右）（** : p<0.01）

4. 謝辞

本研究は、環境研究総合推進費の助成を受け実施した。（3-2102: JPMEERF20213002）

参考文献

1) 松神ら，環境化学物質 3 学会合同大会（第 30 回環境化学討論会）要旨集，pp.193-194

キーワード　POPs，PFAS，PFOA 関連物質，FTP，C-IC

ヒ素置換型ヒドロキシアパタイトを用いた水田土壌中ヒ素不溶化
Insolubilization of Arsenic in Paddy Soil by Using Arsenic Substituted Hydroxyapatite

鹿児島大学 ○古賀朝陽, 徳満敦哉, 高梨啓和, 中島常憲

1. 緒言

コメ中には他の農作物と比較して高い濃度のヒ素が含まれている[1]。既往の研究により水田土壌中では、土壌に含まれている鉄鉱物とヒ素とが結びついていると報告があるが[2]、灌水時に微生物などの影響により土壌が還元雰囲気となり、鉄鉱物の崩壊に伴いヒ素が溶出し稲穂に移行することが問題となっている。これまでにその対策として、安定な水和鉱物の一種であるヒドロキシアパタイト(以下 HAP と表記する)を用いて水田土壌中のヒ素を不溶化することを試みている。この方法では、HAP 中のリン酸イオンとヒ酸イオンがイオン交換して固定化されていると考えられるが[3]、リン、カルシウム、ヒ素の存在比が異なる場合に同じ機構で不溶化されるのかなど詳細は明らかではない。本研究では、ヒ酸や亜ヒ酸イオンが共存する水相にて HAP を合成した場合のヒ素不溶化機構をリン、カルシウム、ヒ素の存在比から考察し、効果的に水田土壌中のヒ素を不溶化できる条件を明らかにした。

2. 実験操作

$Ca(OH)_2$ と Na_2HPO_4 を反応させ HAP を合成する際の水相に、5 価の無機ヒ素であるヒ酸イオンおよび 3 価の無機ヒ素である亜ヒ酸イオンを共存させ、HAP 生成時にそれぞれのイオンを取り込ませる実験（以下共沈実験と表記する）を行った。HAP 単位構造中の P/Ca モル比は 0.6 であり、HAP 構造中のリン酸イオンとヒ酸イオンが交換して格子内に取り込まれるという機構を確かめるため、P/Ca=0.6, 0.3, 0 になるように P の添加量を調製して共沈実験を行った。また、中性から弱酸性条件でのヒ素溶出率を調べるために、共沈実験で得られた固相を pH3 ~ 11 に調整した水溶液中で室温にて 30 分撹拌した。試験液をろ過した後、ろ別した固相の鉱物組成を XRD により分析し、液相中のヒ素濃度を HG-AAS にて測定した。これらの結果から、水田土壌においてどの程度ヒ素を不溶化できるか検討した。

3. 結果および考察

ヒ酸イオン(以下 As(Ⅴ)と表記する)および亜ヒ酸イオン(以下 As(Ⅲ)と表記する)の共沈実験を行い、ヒ素の不溶化に対してリン、カルシウム、ヒ素の存在比がどのように影響するかを検討した。As(Ⅴ)および As(Ⅲ)ともに、P/Ca=0.6 よりも 0.3 の条件で高不溶化率が得られた。また、XRD 分析により P/Ca=0.6, 0.3 どちらの条件でも、HAP の生成を確認した。

次に、一般的な水田土壌環境に近い条件である pH6 ~ 7 でのヒ素不溶化割合を図 1 に示した。P/Ca = 0.3 の条件下で、最もヒ素が不溶化しやすい結果となった。As(Ⅲ)の実験結果も同様であったが、As(Ⅴ)に対する実験結果と比べると不溶化率は低かった。これらの結果から、水田土壌環境中のヒ素を不溶化するためには、酸化雰囲気下（ヒ素が As(V)で存在）において、P/Ca = 0.3 付近に各元素の存在比を調整した土壌でヒ素不溶化を実施することが効果的であると考えられる。

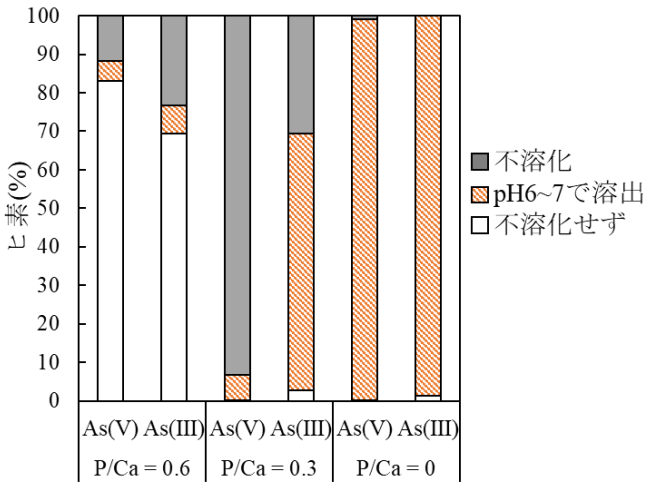


図 1 土壌環境条件下(pH6 ~ 7)でのヒ素の不溶化、溶出の割合(%)

参考文献

1) 農研機構,コメのヒ素低減のための栽培管理技術導入マニュアル, 第 2 版 (2021)
2) 広城吉成ら, 地下水学会誌, 第 50 巻, 25 (2008)
3) S.Monika et.al, *Ceramics International,* 41, 9203 (2015)

キーワード　水田土壌, ヒドロキシアパタイト, ヒ素, 不溶化

鉄を用いた新たな除去機構による空気中ホルムアルデヒドの除去とその評価
Removal of Formaldehyde in Air by a New Removal Mechanism Using Iron and Its Evaluation

静岡県立大学 ○大森 果菜，徳村 雅弘，牧野 正和
いすゞ自動車自動車株式会社 達 晃一
日本電子株式会社 三上 紗弥香，榎本 剛司

1. はじめに

住居などの室内空気中に存在する化学物質のなかで，ホルムアルデヒドをはじめとしたアルデヒド類は，比較的低濃度でも健康リスクが高い傾向にあると報告されている。一方，物理吸着（例えば活性炭吸着など）や酸化分解（例えば酸化チタン光触媒酸化法など）を利用した種々の空気清浄機が販売されているが，ホルムアルデヒドの親水性や高い蒸気圧などの物性により，ホルムアルデヒドの除去は困難であると考えられる。他方，排水処理の分野では，アルデヒド類は鉄イオンと錯形成し，光照射により錯体が開裂・分解する反応が報告されている[1]。また，不均一系の鉄触媒の活性は，担体の素材により大きく異なることが報告されている。

本研究では，上記の反応を空気中に応用し，高リスク懸念物質であるホルムアルデヒドの除去方法の開発を目的とした。鉄の担体として綿布や Nafion 膜，陽イオン交換樹脂を選定し，空気中ホルムアルデヒドの除去性能の評価に加え，鉄担持法の違いによる影響を評価した。

2. 実験方法

担体として，綿布，Nafion 膜（陽イオン交換膜），廃陽イオン交換樹脂（超純水製造に利用されていた廃材のリサイクル）を用いた。また，鉄源としては，硫酸鉄（Ⅱ）七水和物水溶液を用いた。綿布への鉄の担持法は，綿布に鉄イオン水溶液を噴霧し乾燥させたものを SpC とし，綿布を鉄イオン水溶液に一晩浸漬し乾燥させたものを SoC，綿布を鉄イオン水溶液に浸漬後，還元して乾燥させたものを SoC-R とした。Nafion 膜を鉄イオン水溶液に一晩浸漬し乾燥させたものを SoIM，廃陽イオン交換樹脂を鉄イオン水溶液に一晩浸とう機（150rpm）を用いて浸とうし，乾燥させたものを SoIER とした。

各担持法ごとに空気中ホルムアルデヒドの連続式除去実験（ワンパス式）を行った。反応器として，内径 28.4 mm，長さ 300 mm のガラス管を用い，ガス流量は 0.6 L min^{-1} とした。光源には，紫外線ランプ（極大照射波長：352 nm）を用いた。ホルムアルデヒドの発生源にはパラホルムアルデヒドを用い，3 種の入口濃度レベル（2ppm，3ppm，5ppm）でホルムアルデヒドの除去性能を評価した。ホルムアルデヒド濃度は，光音響ガスアナライザー（GASERA ONE FORMALDEHYDE）を用いて測定した。

3. 結果と考察

各鉄担持法における空気中ホルムアルデヒドの除去量とワンパス除去率の結果のまとめを Fig. 1 に示す。SpC を用いた場合，ホルムアルデヒドのワンパスの除去率は 2.9%（0.059 μg min^{-1}）−6.4%（0.13 μg min^{-1}）であり，SoC（31% [0.41 μg min^{-1}]−47%[1.4 μg min^{-1}]）および SoC-R（1.1% [0.017 μg min^{-1}]−19%[0.77 μg min^{-1}]）と比較して低い値となった。SpC と SoC の違いは，鉄イオンの担持法が噴霧か浸漬かの違いであることから，本研究で噴霧した量（鉄担持量）が少ないためと考えられる。また，SoC を還元した SoC-R の場合，鉄イオンが還元されることで鉄とホルムアルデヒドの錯形成が阻害されたことで，除去性能が低下したと考えられる。SoIM の除去率は 3.4%（0.051 μg min^{-1}）−21%（0.76 μg min^{-1}），SoIER は 57%（0.87 μg min^{-1}）−70%（1.5 μg min^{-1}）であった。本研究では，他の担体と比較して SoIER が最も高いホルムアルデヒド除去性能を示したが，これは表面積が大きいことに因るものと考えられた。

参考文献

1) Tokumura et al., Applied Catalysis B: Environmental, **106**, 565-576 (2011).

キーワード　空気清浄法，ホルムアルデヒド，鉄

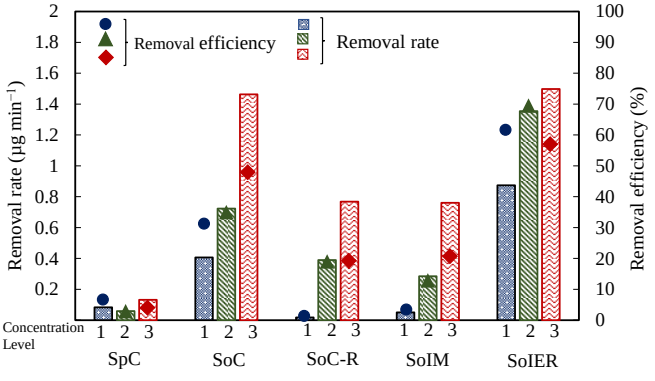


Fig. 1 Comparison of removal performances by iron-immobilized catalysts.

製品との非接触時における皮膚中残留化学物質の経皮曝露を考慮するためのモデル構築
Model to Estimate Dermal Exposure to Residual Chemicals in Skin during Non-contact with Products

静岡県立大学 ○石田真穂，徳村雅弘，王斉，雨谷敬史，牧野正和

1. はじめに

リン系難燃剤（PFRs）の多くは，添加型の難燃剤であり，高分子材料と化学的に結合していない。そのため，製品から環境中へと容易に放出される可能性がある。これまで，経口曝露や経気道曝露が PFRs の主要な曝露経路とされてきたが，近年，経皮曝露が注目されている。既存の経皮曝露評価法では，単純化した拡散モデルを用いて経皮曝露量を推算している例が多く，製品との接触により皮膚に蓄積した PFRs を考慮した評価はできていない。経皮曝露評価法の精緻化のためには，皮膚への蓄積や皮膚透過におけるラグタイムを考慮したシミュレーションモデルの構築が必要である。

本研究では人工皮膚を用いた自動車シート中 PFRs の皮膚透過試験を行い，皮膚透過量について速度論的解析を行った。また，PFRs や製品の物理化学的因子の違いによる経皮曝露量への影響の評価も行った。本稿では，自動車シートからの検出率の高い，リン酸トリス（2–クロロイソプロピル）（TCPP）の結果について報告する。

2. 方法

EPISKIN（三次元組織ヒト表皮モデル）表面に実製品（自動車シート）を接触させた。約 32℃で皮膚透過試験を行い，各測定時間でレセプター溶液を回収・交換した。レセプター溶液として，5%ウシ血清アルブミン（BSA）DMEM 培地を用いた。回収したレセプター溶液に抽出溶媒（酢酸エチル : ヘキサン［1 : 1，v/v］）2 mL を加え，攪拌（1 min）と遠心分離（3000 rpm，3 min）を行い，上清を分取した。この操作を 3 回行い，分取した上清を，窒素パージを用いて 100 µL まで濃縮し，内標準物質（TBP-d_{27}）を添加した。これを，高速液体クロマトグラフ–タンデム質量分析計（LC-MS/MS）を用いて分析した。

3. 結果と考察

製品との接触により皮膚に蓄積した PFRs の経皮曝露を評価するために，皮膚中濃度分布を考慮した皮膚透過モデルを構築した。微分方程式を下記に示す。

$$\frac{dC_{S,1}}{dt} = k_S\left(C_S^{*} - C_{S,1}\right) - k_S'\left(C_{S,1} - C_{S,2}\right) \qquad (1)$$

$$\frac{dC_{S,i}}{dt} = k_S'\left(C_{S,i-1} - C_{S,i}\right) - k_S'\left(C_{S,i} - C_{S,i+1}\right) \qquad (2)$$

$$\frac{dC_{S,l}}{dt} = k_S'\left(C_{S,l-1} - C_{S,l}\right) - k_R K_R C_{S,l}\frac{V_R}{V_{S,l}} \qquad (3)$$

$$\frac{dC_R}{dt} = k_R K_R C_{S,l} \qquad (4)$$

ここで C_S は皮膚中 PFRs 濃度（ng cm^{-3}），C_R はレセプター溶液中 PFRs 濃度（ng cm^{-3}），k_S, k_S'，k_R は物質移動係数（h^{-1}），K_R は平衡定数（–），V_S は皮膚の体積（cm^3），V_R はレセプター溶液の体積（cm^3）を表している。式（1）–（4）を 4 次精度の Runge-Kutta 法により解くことで，皮膚透過量を推算した。実験値とのフィッティングにより速度定数などのパラメータを決定した。

構築したモデルを用いて，製品との非接触時における皮膚中物質移動も考慮した皮膚透過量を推算した（Fig. 1）。製品との非接触時において，皮膚に蓄積した PFRs は時間をかけて経皮曝露することが明らかとなった。推算した皮膚透過量を用いて経皮曝露量を算出した。本研究では，接触体表面積は背部，腰部の半分，臀部，大腿部の半分である 3700 cm^2，体重は 50 kg，製品との接触時間は平均自動車乗車時間である 1.3 時間とした。接触開始から 24 時間後の皮膚透過量は 9.0 ng cm^{-2} で，1 日あたりの経皮曝露量は 660 ng kg^{-1} day^{-1} となった。

謝辞

本研究は経済産業省化学物質安全対策「大学・公的研究機関と連携した化学物質管理高度化推進事業」，厚生労働科学研究費補助金の助成を受けたものです。

キーワード　難燃剤，経皮曝露，機序解析

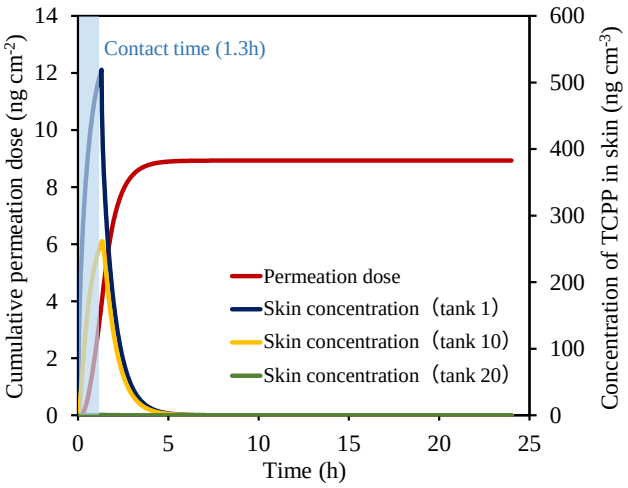


Fig. 1 Cumulative permeation dose and skin concentration of TCPP via direct contact with car seat.

脱炭素社会へ向けた技術シーズのシナリオ評価ー吹田市のケーススタディ
Scenario analysis of technology seeds for a decarbonized society - a case study of Suita city

*大阪大学大学院工学研究科 **東北大学環境科学研究科 ○岩崎豊*, 小端拓郎**, 渕上ゆかり*, 原圭史郎*

1. 緒言

近年カーボンニュートラル(CN)が様々な地域で唱えられている．CN 達成へ向けての技術シーズの 1 つに，太陽光(PV)と電気自動車(EV)を活用した V2H と呼ばれるシステムがある[1]．PV の課題である蓄電機能を，EV を用いて補完するシステムであり，EV の導入が推進される現在において注目されている．小端ら(2021)は日本の 9 都市に対して V2H を導入した場合の，2030 年におけるCO_2排出量削減率やコスト削減率を算出し，V2H 導入の意義を示した[2]．一方，①PV および V2H を 1 度に全て導入しており段階的な導入はない，②将来シナリオに影響する要因の考慮数が少ない，③2030 年までの将来予測であり CN 達成目標年度である 2050 年までの予測は示されていない，の 3 点の課題が残る．

そこで本研究では，日本の行政に対し 2050 年まで段階的に V2H を導入した際の将来シナリオを作成し，評価を行った．また，ライフサイクルアセスメント(LCA)を用いて，将来シナリオに影響する要因を洗い出し作成を行った．行政によって CN を達成する技術シーズは異なるが，本解析の結果は対象自治体で CN の施策や政策デザインを検討する方法である，フューチャー・デザインを実践する際の材料として用いることを想定する．

2. シナリオ評価の手法とデータ

本研究では，大阪府吹田市を対象としシナリオを作成した．また，シナリオ作成には SAM(System Adviser Model)と呼ばれるソフトを用いた． SAM は，再生可能エネルギー産業関係者の意思決定をするために用いられるソフトで，米国の研究機関 National Renewable Energy Laboratory が提供する．解析する再生可能エネルギーの種類を選択し，必要なデータを入力することで，発電できるエネルギーなどを自動で出力する．PV パネルの設置コストなど，SAM に入力するデータは複数あるが，屋根面積など行政特有かつシナリオに対する影響が大きいデータは，吹田市のデータを用いた．また，PV の将来導入予測は株式会社資源総合システムが提供するデータを用い，EV の将来導入予測は経済産業省が明示する 2050 年までの EV 導入目標を参考とした[3][4]．

3. シナリオ結果

2 章で示した SAM を用い，LCA を考慮しつつ将来シナリオを作成した．将来シナリオは先行研究を基に 5 つの指標について解析を行った．表 1 に 5 つの指標の説明を示す．また， PV と EV の相乗効果を確認するために，V2H 導入のシナリオと PV のみ導入したシナリオの差異を分析した．本稿では紙面の関係から，シナリオ評価については 1 つの指標についてのみ示す．

図 1 に PV および V2H をそれぞれ導入した時のCO_2 emission reduction を示す．青色が PV 導入時，橙色が V2H 導入時である．2030 年頃までは同じような挙動を示している一方で，2030 年以降では挙動の差が確認される．PV 導入時では 2050 年に向かうにつれ増加率が緩やかになり，2050 年時点で削減率は 35%に落ち着く．V2H 導入時は一定の割合で値が増加しており，2050 年時点で 60%のCO_2を削減することができる．これは，V2H システムの導入により PV で発電した電力を効率よく消費し，その分電力会社の発電によるCO_2排出量を削減できていることを示している．

表　5 つの指標名とそれらの説明

指標名	説明
CO_2 emission reduction	導入前と比較したときのCO_2排出量削減の割合
Energy sufficiency	PV により市内総消費電力の何%を発電できるか表した指標
Self sufficiency	電力の利用効率を考慮し，PV 発電による電力で市内総消費電力を実際何%賄えるか表した指標
Cost saving	導入前と比較した時のコスト削減の割合
Self consumption	自家消費率を 1 軒の建物ではなく市内全体に拡張した指標

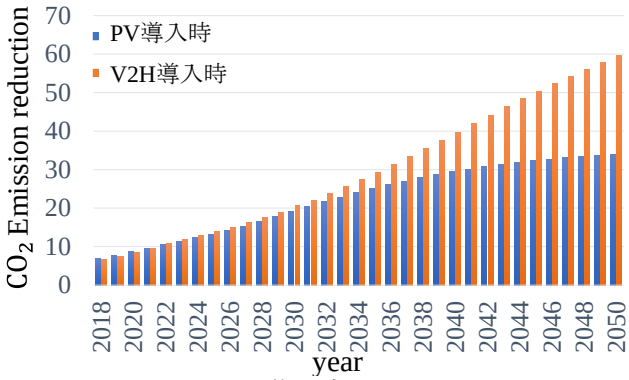


図 1　PV および V2H 導入時のCO_2 emission reduction

4. 結論と今後の展望

本研究では行政に対し，2050 年までの PV および V2H の導入した時の将来シナリオを作成した．今回は吹田市に対して解析を行ったが，データの入手ができれば，すべての行政に対してシナリオを提供することができ，対象とする行政の CN 達成に V2H が適しているかの判断が可能である．一方，現段階では 1 つの行政に対するシナリオの作成に時間を要するため，今後はシナリオ作成の最適化を行う必要がある．

参考文献

[1] Shin, H., & Baldick, R. (2016). Plug-in electric vehicle to home (V2H) operation under a grid outage. IEEE Transactions on Smart Grid, 8(4), 2032-2041.
[2] Kobashi et al. - 2021 - SolarEV City concept Building the next urban power and mobility systems
[3] 資源総合システム日本市場における 2030/2050 年に向けた太陽光発電導入量予測
[4] 国土交通省・経済産業省「EV/PHV 普及の現状について」

キーワード　カーボンニュートラル，V2H，将来シナリオ

東京都・埼玉県の排出量取引におけるカーボンリーケージの動向
Do Tokyo ETS and Saitama ETS cause carbon leakage? Using long-term panel data

早稲田大学 ○井山智資

1. 背景

近年,気候変動対策として排出量取引の導入が世界的に関心を集めている。日本においては国レベルでの包括的な制度導入は進んでいないが,東京都が 2010 年,埼玉県が 2011 年に導入している。しかし,このような地域的な排出量取引はカーボンリーケージという問題を引き起こす懸念もある。地域的なカーボンプライシングによって,制度域外の炭素価格が相対的に低下する結果,制度域内の炭素使用量が減少しても,制度域外での炭素使用量が増加し,全体で見れば排出量が変化しないか増加してしまう可能性がある。

本研究の目的は,東京都と埼玉県の排出量取引によって,制度対象事業所を持つ企業の制度域外事業所における排出量が増加したかどうか,つまり,企業内でカーボンリーケージが発生したかどうかを確認することである。特に,義務率や目標削減率が高くなった第二計画期間でその傾向は表れやすいと予想される。

2. 分析手法

本研究では,環境省の「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」の事業所別排出量パネルデータを使用する。当該データには,原油換算エネルギー使用量合計が 1,500kl/年以上となる大規模事業所の排出量が 2009 年から 2018 年まで記載されている。

当データに差分の差分法を適用し,各政策効果を推定した。なお,東日本大震災による排出量減少や,地域ごとによる排出量の違いは,変数を用意し統制した。

3. 分析結果

表 1 に,各政策による効果を抜粋して示している。Tokyo には,東京都の排出量取引の効果,Saitama には,埼玉県の排出量取引の効果を示している。Others には,各排出量取引に参加する事業所を持つ企業の,制度域外での事業所排出量への効果を示している。つまり,Others が正で有意であれば,企業内カーボンリーケージが発生していることがいえる。

全産業でも製造業でも,東京都の排出量取引の効果,埼玉県の排出量取引の効果が負で有意である。義務率が高く罰則のある東京都の方が埼玉県より削減効果が大きい。また,削減義務率や目標削減率が高い第二期の方が第一期に比べて削減効果が大きい。

制度域外への効果は第一期の製造業以外は,全て負で有意となっている。排出量取引に参加する企業が,制度域外の事業所でも排出削減をしていることが概ね伺える。また,第二期では目標が高いのにも関わらず,第一期よりも域外削減効果が大きいことが読み取れる。

表 1　各排出量取引制度の域内効果と域外効果

	被説明変数：各事業所 CO2 排出量対数値			
	全産業 第一期	全産業 第二期	製造業 第一期	製造業 第二期
Tokyo	−0.033*** (0.011)	−0.051*** (0.011)	−0.051*** (0.018)	−0.097*** (0.018)
Saitama	−0.023** (0.011)	−0.033*** (0.011)	−0.035*** (0.012)	−0.039*** (0.012)
Others	−0.014** (0.007)	−0.018*** (0.007)	−0.008 (0.009)	−0.038*** (0.010)

*** p<0.01，** p<0.05，* p<0.1　括弧内は頑健な標準誤差

係数が有意で負なら排出減,正なら排出増（非 ETS 企業事業所比）

4. 結論

東京都・埼玉県の排出量取引に参加する企業は,企業内カーボンリーケージを発生させず,むしろ制度域外の事業所でも排出削減をしていることがわかった。域内の削減効果が大きい第二期では,それに呼応するように域外の削減効果も大きくなっていた。制度参加をきっかけに排出削減行動が促され,それが制度域内域外に関わらず,企業内で共有された結果だと予想できる。地域的な環境政策によって,カーボンリーケージは発生しておらず,むしろ地域外にも排出削減が波及する可能性があるため,導入可能な地域から自治体レベルで環境政策を行うことは適切であると考えられる。

本研究は,（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20202008）により実施した。

キーワード　排出量取引制度，カーボンリーケージ，差分の差分法

滞留年数の延長による将来ストック・フロー及び CO_2 排出量への影響評価
―道路におけるケーススタディ―
Assessment of the Impact of Prospective Material Stock and Flow and Associated CO_2 Emissions as a Lifetime -Case Study on Roads in the Whole Japan-

○藤川奈々[1]，山下奈穂[1]，蛭田有希[1]，白川博章[1]，谷川寛樹[1]（1.名古屋大学大学院環境学研究科）

1. はじめに

物質ストック・フローの実態を明らかにし，その健全なマネジメントを行うことは，循環型社会の形成に向け非常に重要である．特に，建築物や社会基盤の建設には大量の建築資材が投入されるため，その運用は将来にわたる健全な物質代謝の実現や CO_2 排出量の抑制に繋がり，全球規模での資源枯渇問題やパリ協定の1.5度目標などの課題とも密接に関わっている．本研究の目的は，社会に存在する多様な物質ストックのうち道路構造物に焦点を当て，滞留年数の延長による将来の物質代謝やそれに伴う CO_2 排出量への影響を stock-driven model 型マテリアルストックフロー分析[1)]によって推計することである．将来推計には国立環境研究所による SSP シナリオを用い，今後新たに投入される資源量と解体に伴う廃棄量を推計し，これら建設・解体活動に伴う資源量及び CO_2 排出量を明らかにする．

2. 推計手法

本研究では，日本の道路構造物を対象に，まず，1953年から2018年までの物質ストック量を推計した．次に，SSP シナリオの日本全国の総人口の将来予測を基に，2019年から2100年の日本全体の道路構造物の将来ストック量を予測した．SSP シナリオ[2)]では表1に示す5シナリオが検討されている（表1）．日本道路公団によると，現在道路の耐用年数は70年程度とされている．本推計では現状の滞留年数を2100年まで維持するシナリオと， 2019年以降の滞留年数を100年に延長するシナリオの2種類を採用した．

表1　日本版 SSP のパラメータ設定イメージ

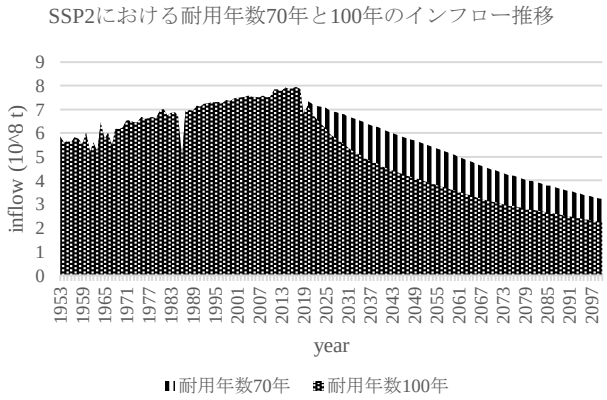
	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
出生率	高	中	低※1	低※2	中
死亡率	中	中	中	中	中
移民	中	中	中	中	高

※1：出生率 1.0，※2：出生率 1.2

3. 結果

推計の結果，現状維持を想定した SSP2 シナリオの評価では，滞留年数70年の場合の必要インフロー量が 4.22×10^{10} t と推計されたのに対し，100年の場合は 3.19×10^{10} t と推計され，滞留年数の延長により24.5%の新規資源投入量の削減を期待できる．（図1）また，それに伴い，CO_2 排出量も同様の削減量を見込めた．

図1　耐用年数の変化によるストック量の変化



4. おわりに

本研究では，日本全国の道路構造物を対象に，滞留年数の延長による将来の資源利用量及び CO_2 排出量への影響を明らかにした．今後の課題として，その他の建設物・社会基盤施設を対象とした推計や，リサイクル資材の活用などを組み込んだシナリオの検討を行う．

参考文献

1） Fishman T., Schandl H., Tanikawa H.,Walker P. and Krausmann F (2014) Accounting for the Material Stock of Nations. Journal of Industrial Ecology, 18 (3), 407–420.
2) 国立研究開発法人国立環境研究所（2021）「社会経済シナリオに応じた市町村別の人口推計」https://adaptation-platform.nies.go.jp/socioeconomic/population.html
3）日本道路公団（2004）「土工の耐用年数について」https://www.mlit.go.jp/road/ir/sisan/10pdf/1.pdf

キーワード　循環型社会，物質ストック，滞留年数

各種酸化法を用いた残留抗菌剤除去における実排水中夾雑物質が処理性能に及ぼす影響評価

Effects of co-existing substances in wastewaters on antibiotics removal by oxidation processes

静岡県立大学 ○西村 有里，徳村 雅弘，王 斉，雨谷 敬史，牧野 正和
ダッカ大学 Hossain ANWAR，Raknuzzaman MOHAMMAD

1. はじめに

抗菌剤は，病気の治療や予防に多く使用されている。しかし，最も普及している排水処理法である活性汚泥法は，難生分解性である抗菌剤の除去は難しく，放流水中に残存している。残留抗菌剤は，薬剤耐性菌感染症の原因となり，それに起因する死者は 2050 年には 1000 万人まで増加すると予測されている。抗菌剤を安心して使い続けるためには，投与後の抗菌剤を適切かつ効率的に処理できる排水処理技術の検討が重要である。

その対策としてオゾン酸化法や促進酸化法など，種々の酸化分解法が開発・検討されているが，それらを定量的かつ詳細に比較した例は限られている。また，実排水に含まれる夾雑物質の影響を定量的に評価した既往研究は少ない。

本研究では，既往研究において残留報告例の多い抗菌剤を含む 7 種の抗菌剤を対象とし，オゾン酸化法およびオゾン/過酸化水素法，フォトフェントン反応による分解実験を，5 種の実排水中で行い，除去性能を評価・比較した。

2. 実験方法

除去対象の抗菌剤として，ナリジクス酸（NA），スルファメトキサゾール（SMX），トリメトプリム（TMP），シプロフロキサシン（CPFX），オキシテトラサイクリン（OTC），エリスロマイシン（EM），クラリスロマイシン（CAM）を選定した。初期濃度は 2 μmol/L とした。オゾン酸化法は，溶液に 0.55 mg/L のオゾンガスを，ガス流量 3.0 L/min で吹き込むことで実験を開始した。オゾン/過酸化水素法は，上記に 30%過酸化水素を 100 mg/L になるように添加して実験を開始した。フォトフェントン反応は， pH＝3.0 に調整した水溶液に抗菌剤，硫酸鉄（Ⅱ）七水和物（3.0 mg/L），過酸化水素（100 mg/L）を添加し，3 本のブラックライトブルーランプ（極大照射波長 ＝355 nm）を点灯することで実験を開始した。実験中，溶液をサンプリングし，高速液体クロマトグラフ-タンデム型質量分析計（LC/MS-MS）を用いて抗菌剤濃度を測定した。

3. 結果と考察

本研究で対象としたすべての酸化法にて，本研究で対象とした NA 以外の 6 種の抗菌剤を 30 分以内に 90%以上分解できることを確認した。擬一次反応速度定数の値は，オゾン酸化法およびオゾン/過酸化水素法で同様の傾向（NA＜CPFX＜CAM＜EM＜TMP＜SMX＜OTC）を示した。実排水中の擬一次反応速度定数を，純水中の擬一次反応速度定数で除すことで得られる比（Inhibitory factor）を図 1 に示す。この数値が低いほど，実排水による阻害の影響が大きいことを示し，1 以上は純水中と比較して分解反応が促進されていることを示す。オゾン酸化法では，NA，EM が促進され，SMX，CAM が阻害された。オゾン/過酸化水素法では，NA，CPFX，EM，CAM が促進され，SMX，TMP は阻害されやすいことが示唆された。フォトフェントン反応では，NA を除く 6 物質で大きく阻害された。

本研究の結果より，実排水中の夾雑物質により抗菌剤の除去性能は大きく影響を受けることが明らかとなり，実用化の際には，対象とする抗菌剤・実排水の組み合わせに基づいて，最適な酸化処理法を選択する必要があることが明らかとなった。今後，分解反応における夾雑物質の影響を統計学的に評価する必要がある。

謝辞 本研究は，環境省の環境研究総合推進費(5-1954)，クリタ水・環境科学振興財団 (18A070)(21A028)の支援により実施された。

キーワード 抗菌剤，排水処理，促進酸化法

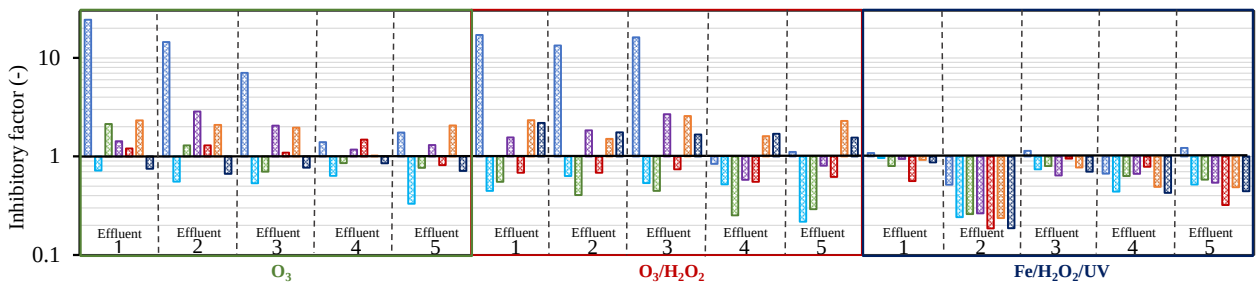


図 1 3 種の酸化処理法を用いた 7 種の抗菌剤除去における 5 種の実排水の Inhibitory factor の比較

光触媒酸化によるバイオガス発電システムから得られる液体肥料の高付加価値化の検討
Nitrification of Liquid Fertilizer Collected from Biogas Power Generation by Photocatalytic Oxidation

静岡県立大学 ○澁谷 柊介，徳村 雅弘，牧野 正和，九州大学 矢部 光保

1. はじめに

近年，肥料の価格高騰や農林水産省による緑の食料システム戦略の策定によって，食品残渣や汚泥などの産業廃棄物から窒素やリンなどの肥料成分を回収・活用することによる，資源循環の構築が望まれている。

バイオガス発電は食品廃棄物などを原料とし，発電を行う際に消化液を排出する。消化液は肥料成分を含んでおり，液体肥料として施設園芸などに利用することができる。しかし，需要を超えた消化液は，廃液として処理されているのが現状である。液体肥料の利用を促すために，アンモニア態窒素を硝酸態窒素に変換することで，植物工場や水耕栽培への応用も可能となる。

アンモニア態窒素の硝酸態窒素への変換法として，生物学的硝化があるが，その硝化効率は温度・溶存酸素・pH・有害物質濃度に大きく依存する。そのため，高濃度のアンモニアなどを含む液体肥料においては，硝化反応が阻害されることが懸念される。一方，光触媒酸化に用いられる TiO_2 は安価な触媒であり，光触媒酸化によってアンモニアを亜硝酸・硝酸に変換できることが報告されている[1]。しかし，既往研究の多くは純水中での実験であり，夾雑物質を多く含む実サンプル中での実験例は限られている。

本研究では，TiO_2 を用いた光触媒酸化による液体肥料の高付加価値化の初期検討として，TiO_2 によるアンモニアの硝化機序の解明を試みた。本稿では，純水中における pH が及ぼす硝化反応速度への影響評価についての結果を示す。

2. 方法

光触媒酸化を用いた硝化実験は下記のとおり行った。500 mL ビーカーに純水を入れた後，アンモニア水をアンモニア態窒素濃度が 1.0 mM になるように添加し，水酸化ナトリウム及び硫酸を用いて pH（2，5，9，12）を調整した。また，TiO_2（Degussa P25，等電点 pH_{pzc} = 6.2–7.5）[1]を 1.0 g/L になるように添加し，UV ランプを点灯させることで実験を開始した。UV ランプを 6 時間照射し続け，その間，経時的にサンプリングを行った。サンプルはメンブレンフィルター（孔径 = 0.45 μm）でろ過した後，分析を行った。

3. 結果と考察

純水中の各 pH における TiO_2 によるアンモニア態窒素の硝化実験の結果及び各 pH におけるアンモニア態窒素の存在率を図 1 に示す。また，液相中におけるアンモニア態窒素の硝化の反応式を以下に示す。

$$NH_3 \rightleftarrows NH_4^+ \overset{k_1}{\rightarrow} NO_2^- \overset{k_2}{\rightarrow} NO_3^- \qquad (1)$$

ここで，k_1・k_2 は擬一次反応速度定数を表す。pH 2，5 ではアンモニア態窒素は硝化されず，NO_2^-及び NO_3^-は生成されなかった。pH 2 及び 5（< pH_{pzc}）では，TiO_2 の表面は正に帯電している。そのため，NH_4^+と TiO_2 は電気的に反発し，NH_4^+の TiO_2 表面への吸着が阻害され，NO_2^-が生成しなかったと考えられる。pH 9 及び 12（> pH_{pzc}）では，NH_4^+は TiO_2 の表面に電気的に引き寄せられ，NO_2^-への酸化が促進されたと考えられる。pH 9 と pH 12 の場合の k_1 を比較すると，pH 9 の方が大きかった。pH 9 と比較した場合，pH12 の方が TiO_2 の表面はより負に帯電しており，電気的により強く NH_4^+を引き寄せる。しかし，pH 12 では，ほとんどのアンモニア態窒素が NH_3 として存在しているため液相中の NH_4^+濃度が低く（酸解離定数 pKa = 9.25），また，NH_3 が気相中に放散したことで，硝化反応が阻害されたと考えられる。

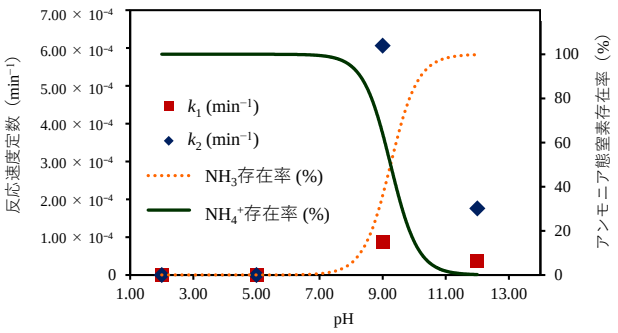


図 1. 各 pH における TiO_2 による硝化反応速度定数及びアンモニア態窒素の存在形態

参考文献

1) Zhu et al. (2005) Environ. Sci. Technol., 39., 3784−3791.

謝辞：本研究は科学研究費助成事業（22H02446）の援助を受けて実施された。

キーワード　光触媒酸化，液体肥料，硝化

Influences of population aging on household carbon footprint in the U.S.

Nagasaki University, ○Jiahuan Wang, Yosuke Shigetomi, Yuki Yamamoto

1. Background

Because of increasing concern about the recent global climate change, “carbon footprint (CF)” has been utilized to quantify the contribution of final consumption to greenhouse gas (GHG) emissions through the supply chain. In particular, CF of household consumption (i.e., household CF) is dominant in the total CF. Regarding socioeconomic factors such as household income, demographic shifts impact the structure of household consumption, resulting in changes in household CF [1].

The United States (U.S.) is the nation with the largest CF on the globe, and there have been studies analyzing U.S’s household CF cognizant of socio-economic drivers. However, to our knowledge, there is no literature concerning the relationship between household CF and demographic shifts in the U.S. In less than two decades, older adults are projected to outnumber kids for the first time in U.S. history.

Against this backdrop, this study identifies the differences in household CF structures across age groups and estimates the impact of the projected demographic trend on household CF in the U.S.[2]

2. Methods

We utilized EXIOABSE 3 [3] which is a multi-regional input-output database to quantify the U.S. household CF through the global supply chain. Besides, to identify the relationship between the U.S. household CF and demographic structures, this study carried out the mapping method to minimize the difference between the structure of the U.S. Consumer Expenditure Surveys (CES) program by The Bureau of Labor Statistics and household final demand recorded in the input-output table [1]. Further, the impact of projected demographic shifts on the household CF during 2018-2038 is estimated by using the JCHS database.

3. Results

The figure shows the total household CFs across the seven age groups (Under 25, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64, 65-74, 75 and older) for the 12 categories that are aggregated from 200 products on EXIOBASE 3. The highest CF per household in the 45-54 years-old households accounted for 36.5 t-CO_2eq. When looking at the differences by category, "transport, post, and telecommunications” contributed the most to the CF for all the households, ranging from 6.5 to 13.0 t-CO_2eq. The age group with the highest CF per household for “transport, post, telecommunications” was shown by the 45-54 years-old households, which are more likely to travel frequently with larger family members. "Utilities" which includes electricity, gas, water services, etc. was the second dominant category for the CF, ranging from 5.4-7.2 t-CO_2eq among age groups. Same as "transport, post, and telecommunications”, the age group with the highest CF per household for "utilities" was the 45-54 years-old households.

Furthermore, we will demonstrate the result of the impact of demographic shifts on household CF and discuss its abatement in an aging society in the U.S.

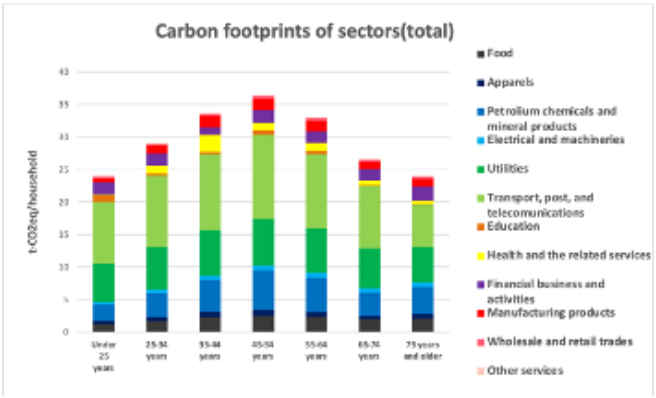


Figure. Compositions of the household CF for 12 categories by householder age group in 2011.

References

1) Shigetomi, Y. et al. (2014) *Environ. Sci. Technol.* 48, 6069-6080.

2) U.S. Census Bureau, accessed 3 January 2022. U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS, accessed 30 July 2022.

3) Stadler, K. et al. (2018) *J. Ind. Ecol.* 22(3), 502–515.

Keyword: aging society, environmentally extended input-output analysis, household carbon footprint, U.S.A

南京市における消費者のレジ袋使用の特徴

Characteristics of consumers' use of plastic bags in Nanjing

北九州市立大学大学院 ○周 月，北九州市立大学 加藤尊秋、二渡了

1. はじめに

中国では1日に約30億枚のレジ袋が使用されており，2019年までにレジ袋の年間使用量は400万トンを超えた（Kasidoni M 2015）。レジ袋が環境，健康，安全に悪影響を及ぼすにもかかわらず，多くの消費者はレジ袋を使いたいと考えている。レジ袋の使用を減らすためには，消費者の使用意図を理解し，環境配慮行動の実践を規定する要因の解明が重要となる。本研究では，南京市を対象として市民アンケート調査を行い，レジ袋使用の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. レジ袋削減行動モデル

分析用のモデル構築にあたり，Ajzen (1991)の提唱した計画行動理論を参考にした。計画行動理論によると，行動の「意図」は，「態度」,「主観的規範」と「行動コントロール」が3つの認知要素による影響を受ける。本研究では，さらに，レジ袋の特徴を考えて「便利さ」に注目した。レジ袋は持ち運びに便利で，油や水から荷物を守ってくれる。また，消費者の生活に関する「政策宣伝」が影響すると考え，これらの因子を追加した。なお，「便利さ」は，実際には，尺度を逆転させて「便利さなし」として計測した（図1参照）。

3. 調査概要及び研究方法

南京市民を対象として，インターネットでアンケート調査を2021年11月9日～11月23日に実施した。データクリーニングして最終的に正確に回答した人数は324名であった。レジ袋削減行動（3問），削減意図（4問），主観的規範（4問），行動コントロール（4問），便利さなし（4問），政策宣伝（3問），個人属性（6問）に関して尋ねた。これをもとに因子分析と共分散構造分析（SPSS，AMOS使用）を行い，最適なモデルを検討した。

4. 結果と考察

表1より，各因子の負荷量は0.767から0.918の間で0.5の基準値を超えており，各因子の計測が適切に行われたことがわかる。図1の共分散構造分析によるモデル推定結果では，まず，レジ袋削減意図が削減行動に正の影響を与えている。削減意図の因子としては，「便利さなし」の係数が最も大きい。予想通り，「便利さなし」と政策宣伝は，消費者のレジ袋削減意図を顕著に高めることが分かった。また，態度，主観的規範，行動コントロールも消費者のレジ袋削減意図に正の影響がある。

表1　因子負荷量

因子負荷量		
変数	番号	因子負荷
態度	ATT1	.759
	ATT2	.883
	ATT3	.898
	ATT4	.820
主観的な規範	SN1	.800
	SN2	.768
	SN3	.902
	SN4	.871
行動コントロール	PBC1	.802
	PBC2	.767
	PBC3	.881
	PBC4	.866
便利さなし	C1	.858
	C2	.894
	C3	.884
	C4	.887
政策宣伝	PP1	.828
	PP2	.913
	PP3	.910
意図	I1	.828
	I2	.913
	I3	.910
	I4	.828
行動	B1	.787
	B2	.824
	B3	.737

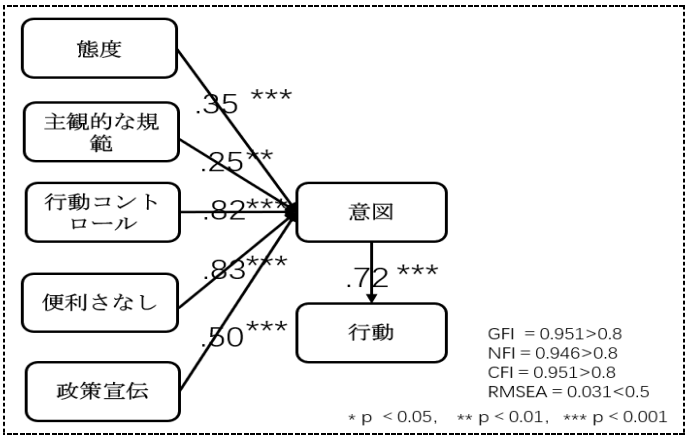


図1　レジ袋削減行動モデル

参考文献

1) Kasidoni M, Moustakas K, Malamis D (2015) The existing situation and challenges regarding the use of plastic carrier bags in Europe. Waste Manag Res 33(5):419–428

2) Ajzen I (1991) The theory of planned behavior. Organ Behav Hum Decis Process 50(2):179–211

キーワード　レジ袋，計画的行動理論，使用意図

大学生のコンポストづくりと食品廃棄物に対する考え方：2ヶ月間の追跡調査
A two-month follow-up study of the attitudes toward composting and food waste among university students

北九州市立大学大学院　○袁博子、北九州市立大学　加藤尊秋

1. はじめに

現在、家庭からでた食品廃棄物に関心を持つ人々が少なく、日本の家庭ごみの処理は焼却が中心である。家庭の食品廃棄物の処理方法としてコンポストが注目されている。

食品廃棄物に対する若者のリサイクル意識向上が不可欠だと思い、大学生のコンポストづくりの参加動機やコンポストについての考え方を追跡調査した。コンポスト作りに参加する若者は少ないとされるが（2014 菊地他）、管理の手間が少ない竹コンポスト基材「竹肥姫（株式会社林田産業製）」を使うことで取り組みやすい活動とした。

本研究では、大学生がコンポストづくりを体験することでコンポストや食品廃棄物に対する考え方がどう変化するか、コンポスト体験の中で最も気になる点は何か、2ヶ月間におよぶ追跡調査を行った。

2. 調査方法

福岡県北九州市に立地する北九州市立大学、九州共立大学及び九州女子大学の学生各 3 人、6 人、3 人の総計 12 名が調査に参加した。学生の選定にあたっては、各大学の教員の協力を得た。

コンポストセットを各学生に配り、セット内容はコンポスト箱（市販プラスチック製 W200*D349*H188mm）、「竹肥姫」2 袋（平均 300g）、スコップ、温度計及び秤である。「竹肥姫」は、従来の基材よりも維持管理が簡単であり、単一の基材に食品廃棄物を入れてかき混ぜるのみで匂いが出にくい点が特徴である。1 袋分の基材を敷き、水を少量で入れることで、食品廃棄物を投入処理できる。

調査期間は、2022 年 6 月 1 日から 7 月 31 日までの 2 ヶ月間であり、合計 9 回、週に 1 回の頻度でオンライン面接調査及び質問紙調査を行った。各調査は、まず生徒各自に調査票に記入してもらい、その内容を参照しながらグループ面接で詳細を尋ねる形とした。調査方法の設計にあたり、小野ほか(2018)を参考とした。

3. 調査結果

今回参加した学生は、男性 4 人、女性 8 人である。自宅生は 5 人、下宿生は 7 人である。各調査の参加状況を表 1 に示す。

表 1 .各調査の参加状況

学校	北九州市立大学	九州共立大学	九州女子大学	総計
事前調査 6/1-6/6	3	6	3	12
実施調査 1 6/7-6/12	3	3	3	9
実施調査 2 6/13-6/19	3	6	3	12
実施調査 3 6/20-6/26	2	4	2	8
実施調査 4 6/27-7/3	1	6	2	9
実施調査 5 7/4-7/10	2	6	2	10
実施調査 6 7/11-7/17	2	5	2	9
実施調査 7 7/18-7/24	2	6	2	10
実施調査 8 7/25-7/31	2	6	2	10

事前調査を含む 9 回の調査を実施した。参加者の時間が調整しづらいため、事前調査及び実施調査 2 のみ全員が参加した。

8 回の調査の中で、途中で中止した参加者が 2 人いた。やめた理由は、食品リサイクル意識が高まったが、コンポストづくり中に虫と悪臭が発生するためであった。ひきつづき、結果の分析を進めている。

謝辞

九州共立大学の学生を調査する機会を頂きました梅田勝利先生、および、コンポストについての知識や基材をご提供いただいたあそびとまなび研究所の秋葉祐三子様、林田産業の和中政嗣様、持田めぐみ様に感謝いたします。

参考文献

地域資源の有効活用をめざして（２）竹チップなどを活かした地域資源循環システムの構築　2014　菊地他

小野和宏ほか（2018）PBL を評価する改良版トリプルジャンプにおける「学習としての評価」の要因、京都大学高等教育研究、第 24 号、pp. 35-44.

キーワード　コンポスト、食品廃棄物、追跡調査

保持時間と質量スペクトル類似度による 1466 種半揮発性有害物質の誤同定検証
Identification error validation among 1466 semi-volatile organic compounds based on retention time difference and mass spectral similarity

横浜国立大学 ○清水大佑，亀屋隆志

1. 緒言

GC-MS のスペクトル同定は目的物質の保持時間と質量スペクトルによって行われる。そのため、多様な未規制物質を分析対象とする場合には、保持時間が近く、かつ質量スペクトルが類似している物質同士を未確認のまま誤同定してしまうケースが多分に想定される。そこで、本研究では同一条件で分析した際の RT と質量スペクトルの情報が 1466 物質について収録した国内最大級の AIQS-DB を活用し、目的物質を同定する際に誤同定する可能性のある物質リストを作成した。

2. 方法

AIQS-DB 登録済みの 1466 物質について目的物質の標準質量スペクトルと、保持時間からの同定幅内に検出される物質の標準質量スペクトルの類似度を計算し、誤同定の可能性を判断した。

類似度(SI)は、目的物質の標準質量スペクトルのみに注目して計算を行うリバースサーチを採用し、以下の式で表される。

$$SI = \left[1 - \frac{\sum_{m/z} |Iu(m/z) - It(m/z)|}{\sum_{m/z} \{Iu(m/z) + It(m/z)\}}\right] \times 100$$

Iu (m/z): 比較対象の m/z の相対スペクトル強度

It (m/z): 目的物質の m/z の相対スペクトル強度

3. 結果

例えば、図 1 (b)の目的物質(o-フェニレンジアミン)は保持時間が 12.88min であり、m/z=108 を定量イオンとしている。この物質を目的物質とした時、図 1(c)の比較対象物質(p-アニシジン)は同定幅内の 12.92min にピークが現れ、目的物質の質量スペクトルから算出した比較対象物質の質量スペクトルとの類似度は 82 であった。つまり、環境サンプルに o-フェニレンジアミンが含まれておらず、p-アニシジンのみが含まれている場合には、p-アニシジンを o-フェニレンジアミンとして誤同定する可能性がある。逆に p-アニシジンを目的物質としたとき、o-フェニレンジアミンとの類似度は 72 であったが、p-アニシジンの定量イオンを 123 に設定することで誤同定の懸念を排除することができる。

このように RT が近く誤同定懸念のある物質は 1466 物質のうち 188 物質あり、特に化管法・要調査項目・優先評価化学物質・有害大気汚染物質に着目すると、61 物質が図 1(a)にリストアップされた。誤同定される物質のほとんどは構造の類似しており、イオン化の際に類似したフラグメントが得られる物質であった。

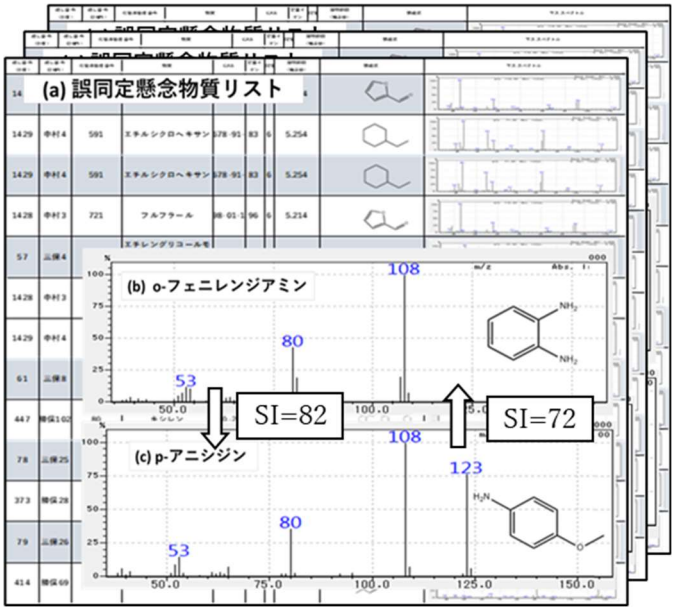


図 1 (a) 誤同定懸念物質リスト (b) 目的物質の質量スペクトル (c) 誤同定される物質の質量スペクトル

4. 結論

同一条件で GCMS 分析した有害物質 1466 物質について、RT の同定幅内にピークが現れる物質の類似度を計算し、誤同定懸念のある 188 物質のリストを作成した。このようなリストを活用すれば GCMS 分析時の有害物質同士の誤同定の可能性を容易にチェックでき、定量イオンや分離カラム、昇温条件などの見直しに活かせる。

謝辞 本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF19S20403)により実施した。

キーワード AIQS-DB，GC-MS，類似度，保持時間，質量スペクトル

GC-MS AIQS-DB 分析を活用した河川水中未規制有機汚染物質のスクリーニング
Screening of unregulated organic pollutants in river water using GC-MS AIQS-DB monitoring

横浜国立大学 ○根本幸弥，亀屋隆志

1. 緒言

多様な有害化学物質のうち環境中でのリスク評価が行われている物質はごく一部にとどまる。本研究では、未規制有機汚染物質の有害性情報を網羅的に収集して有害性評価値の設定を行い、GC-MS 自動同定定量データベース（AIQS-DB）法を用いた効率的な河川モニタリングにより大規模なデータを収集して、水環境中でのリスクが懸念される物質のスクリーニングを行った。

2. 方法

化管法指定物質（2008 年改正、2021 年改正）、化審法優先評価化学物質（2022.4.1）および水環境リスクに関する知見の集積が必要な要調査項目のうち、AIQS-DB 法で分析可能な物質について、環境省による初期評価や信頼性の高い毒性情報を収集し、環境省の方法に準じ、人健康と水生生物に対する有害性評価値を設定した。また、神奈川県内 26 地点（2010-2012[1)]，2020-2021[2)]）および全国 50 地点（2015-2016[3)]）の河川水の AIQS-DB 分析における Total Ion Monitoring (TIM) データを対象 461 物質について再解析し、全 76 地点での 95%tile 値を推定環境濃度として有害性評価値で除してハザード比 HQ を算出した。

3. 結果と考察

対象物質のうち 461 物質が AIQS-DB 分析可能であり、このうち人健康で 263 物質、生態影響で 369 物質に有害性評価値が得られた。人健康で 198 物質、生態影響で 92 物質については有害性評価値が得られずスクリーニングできなかった。河川水モニタリングから 267 物質の環境濃度が得られ、人健康では HQ≧1 が 1 物質、0.1≦HQ<1 が 3 物質、HQ<0.1 が 181 物質となり、生態影響では HQ≧1 が 34 物質、0.1≦HQ<1 が 46 物質、HQ<0.1 が 187 物質となった。環境濃度が定量下限値以下だった 194 物質については、定量下限値が有害性評価値の 1/10 以下で十分な分析感度がある物質はリスク懸念が無視できると考えられ、人健康で 65 物質、生態影響で 51 物質あった。一方、環境濃度が定量下限値以下で定量下限値が有害性評価値の 1/10 よりも大きい物質は人健康で 13 物質、生態影響で 51 物質あり、これらの物質は分析感度不足でスクリーニングできなかった。

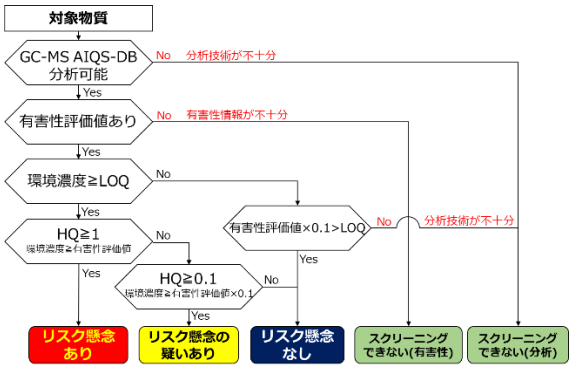


図 1 GC-MS AIQS-DB 法と有害性情報を活用した河川水のリスクスクリーニング

表 1 関連法令等ごとにみたスクリーニング結果

		物質の属性			スクリーニングの結果				
		対象	GC-MS AIQS-DB法分析可能	有害性評価値あり	リスク懸念あり	リスク懸念の疑いあり	リスク懸念なし	スクリーニングできない	
								有害性	分析技術
化管法	健康	822物質群	238	161	0	2	148	77	11
	生態		370	313	34	42	192	57	45
要調査	健康	136項目	81	53	1	0	47	28	5
	生態	105項目	70	65	6	11	44	5	4
優先評価	健康	218物質群	26	23	0	0	22	3	1
	生態		34	18	3	3	12	16	0
Total（重複除く）	健康		461	263	1	3	246	198	13
	生態			369	34	46	238	92	51

4. まとめ

有害性情報の収集と GC-MS AIQS-DB 法のモニタリングを組み合わせ、人健康に関する 250 物質と生態影響に関する 318 物質の環境リスクのスクリーニングを試みた。調査河川ではリスクの懸念が無視できない物質が人健康で 4 物質、生態影響で 80 物質あった。また、GC-MS 分析や有害性評価値の入手ができないためにスクリーニングできない物質が相当数あることが示された。

謝辞　本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF19S20403、JPMEERF20215G01)により実施した。

参考文献

1) 三保ら(2015)第 49 回水環境学会年会, 2-J-11-2
2) 大髙ら(2022)第 30 回環境化学討論会, TU-C1-5
3) 亀屋ら(2017)第 51 回水環境学会年会, 1-A-09-2

キーワード 環境リスク, AIQS-DB 法, 河川モニタリング

Fe(III)イオンとペクチンによるナノプラスチックの凝集沈殿に関する研究
Sedimentation of nanoplastics with pectin, a water-soluble polysaccharide, in the presence of Fe(III) ion

信州大学，○小森直哉，森脇洋，秋山佳丈

1. はじめに

プラスチック製品の分解や剥離によって生成するナノプラスチック（NP: ナノメートルサイズの合成プラスチック）は、分析方法が確立されておらず、環境中の存在量が現段階では明らかになっていない。しかし、マイクロプラスチック汚染の状況から環境中に広く分布していると考えられている。NP の毒性については多くの研究がなされてきており、NP の魚類への曝露が神経系に悪影響を与える可能性が示唆されている [1]。それゆえ、水環境における NP の挙動に関する情報を加え、水中から NP を分離する方法を開発することが重要である。

そこで本研究では、バイオポリマーとして知られているペクチンと金属イオンを用いた凝集沈殿法を検討し [2]、バイオポリマーと NP 間の相互作用が水環境中の NP の挙動にどのような影響を及ぼすかについて調査した [3]。さらに、本手法による水中からの NP の分離について検討した。

2. 実験方法

2.1. 水環境における NP の挙動に関する調査

試験管内でポリスチレン NP 懸濁液 (10 mg L^{-1}, pH 7.0)とペクチン(15 mg L^{-1})および塩化鉄 (0.10 mM)[2]の混合液(40 mL)を振とうし、静置した。その後、上層(4.0 mL)から上澄み液をサンプリングし、203 nm における吸光度を紫外可視分光光度計（V-730、日本分光株式会社、東京、日本）で測定した。203 nm における上澄み液の吸光度の減少率から凝集沈殿の進行を評価した。

2.2. 水中から NP を分離する方法の検討

水からの NP の除去率(%)を算出するために、ポリスチレン NP 懸濁液の濃度を上げ(500 mg L^{-1}, pH 7.0)、2.1.で行った手法と同様の操作を行い、鉄による影響を受けない 550 nm での吸光度を測定し、除去率(%)を算出した。また、2.1.の試料において除去率(%)を求める際は、上澄み 4.0 mL に含まれる鉄の濃度を、ICP 発光分光分析装置で測定し、鉄イオンの影響を差し引くことにより、算出した。

3. 結果と考察

3.1. 水環境における NP の挙動に関する調査

ポリスチレン NP 懸濁液(10 mg L^{-1}, pH 7.0)とペクチン(15 mg L^{-1})および塩化鉄(0.10 mM)の混合液(40 mL)を振とう後、静置すると凝集沈殿が起こった。吸光度減少率(%)は、72 h で 96 %となった（図 1）[3]。沈殿物を透過型電子顕微鏡で観察すると、沈殿物に NP が含まれていることが確認された（図 2）[3]。

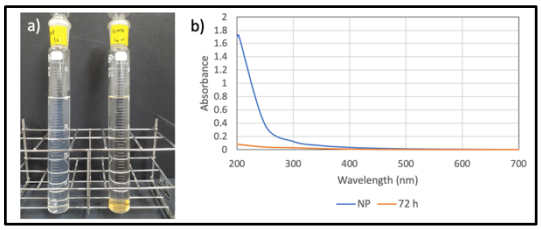


図 1　a) 凝集沈殿の様子 b) 吸収スペクトルの変化

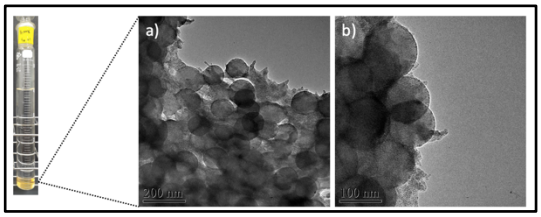


図 2　　a, b) 沈殿物の電子顕微鏡画像

3.2. 水中から NP を分離する方法の検討

ポリスチレン NP 懸濁液(500 mg L^{-1}, pH 7.0)とペクチン(15 mg L^{-1})および塩化鉄(0.10 mM)の混合液(40 mL)を振とうし、静置することにより水中の NP を 72 h で 90 %以上除去できた [3]。また、振とう条件を最適化することにより除去スピードが上昇した。

参考文献

1) T. Ö. Sökmen, *et al.* (2020), Neurotoxicology, 77, 51–59
2) H.Yokoi, *et al.* (2002), Bioresour. Technol., 84, 287–290
3) H. Moriwaki *et al.* (2022), J. Environ. Chem. Engineer. 108054

キーワード　ナノプラスチック，ペクチン，凝集沈殿

車載用 LiB 廃棄量の将来推計と二次利用の可能性
Future estimation of vehicle-mounted LiB disposal amount and possibility of secondary use

立命館大学　○渡邊一史、橋本征二

1. はじめに

次世代自動車として普及が期待される電気自動車(Battery Electric Vehicle、以下 BEV)は、電源としてリチウムイオン電池(Lithium-ion Battery、以下 LiB)を搭載しているが、その生産にかかるエネルギーは大きく、積極的な再使用や適切な処理が求められる。本研究では、乗用車、商用車を含めた車種別に BEV の国内普及台数を想定し、2050 年までの LiB 廃棄量の将来推計を行う。加えて、車両の使用状態から LiB の劣化状態を推計し、LiB の残容量別の廃棄量から二次利用の可能性を検討した。

2. 方法

2.1. BEV の将来販売台数

乗用車は、普通・軽・小型を対象に式 1 に示すストック・フロー分析[1]で、将来販売台数を推計した。

$$I_t = K_t - K_{t-1} + D_t \qquad (1)$$

ここで、I_t、K_t、D_tはそれぞれt年の販売台数、保有台数、廃棄台数である。将来の保有台数は人口と世帯数および世帯あたりの保有台数にもとづく推計である。商用車は、貨物車・バス・タクシーとし、東京主税局の販売台数[2]を使用した。BEV の販売割合は、2050 年に 15%、30%、50%と 3 種のシナリオを想定した。

2.2. LiB 劣化量の推計

LiB の劣化量は、Xu ら[3] が提示するモデル式を用いて、諸条件を設定して推計した。劣化要因は自動車の使用年数と走行距離であり、下式のように車種別に使用年数と年間走行距離の確率分布を設定し推計した。

$$E_{t,y,m} = I_t \times P_1 \times P_2 \qquad (2)$$

$E_{t,y,m}$は t 年販売 BEV のうち使用年数 y(年)、年間走行距離 m(km)の BEV の廃棄台数である。P_1は使用年数、P_2は年間走行距離の確率分布であり、車種別に設定した。推計した使用年数および年間走行距離別の廃棄台数を、LiB 劣化モデル式[2]に当てはめて LiB の残容量別の廃棄量を推計した。

3.結果と考察

乗用車の年間走行距離別にみた LiB の劣化挙動を図 1 に示す。年間走行距離が 5,000km の場合、バッテリー最大容量が 70%となる使用年数が約 20 年であるのに対し、年間走行距離が 20,000km の場合、約 15 年となる。

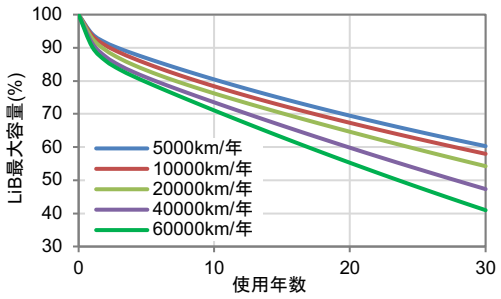


図 1. 乗用車の年間走行距離別の LiB 最大容量の推移

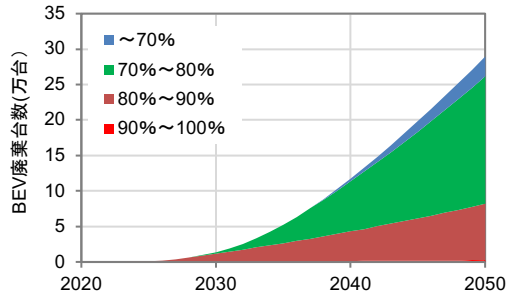


図 2. LiB 残容量別の普通乗用車 BEV 廃棄台数の推計結果(2050 年の BEV 販売割合 30%)

次に、2050 年に BEV 販売割合を 30%としたシナリオにおける、LiB 残容量別の普通乗用車 BEV 廃棄台数の推計結果を図 2 に示す。LiB 廃棄量は 2030 年以降に急増し、2040 年以降は最大容量が 70～80%のものがほとんどを占めると推計された。二次利用にはこれらの残容量帯が想定される。

参考文献

1) 間瀬貴之：乗用車の電動化とカーシェア普及による波及効果の評価方法について、電力中央研究所研究資料、Y19507、2020
2) 東京主税局：自動車関連税制に関するシミュレーション等調査、2021
3) Xu, B., et al.: Modeling of lithium-ion battery degradation for cell life assessment, IEEE Transactions on Smart Grid, 9(2), 1131-1140, 2018

キーワード 二次利用, LiB, BEV, 3R, 廃棄物

環境リスク懸念物質の GC-CI-MS/MS による分析
Analysis of Environmental Risk Concern Substances by GC-CI-MS/MS

横浜国立大学 大学院環境情報学府 ○大髙悟，根本幸弥，亀屋隆志，横浜国立大学 理工学部　寺岡沙紀

1. 緒論

多様な物質の一斉分析が可能な GC-MS 自動同定定量データベース分析（AIQS-DB）法の活用検討が進められている。本研究では AIQS-DB 法によるスクリーニング分析でリスク懸念が高かった物質を対象に，同定や定量に優れた GC-CI-MS/MS 分析を行い比較した。

2. 方法

化管法指定物質（2008，2021 年改正），水環境リスクの知見集積が必要な要調査項目，化審法優先評価化学物質のうち半揮発性有機化合物 461 物質を収録した AIQS-DB を用い，河川水 430 試料 [1)2)]と大気 95 試料 [3)] の Total Ion Chromatogram を再解析し，リスク懸念の高かった 41 物質を対象に，GC-CI-MS/MS の Multiple Reaction Monitoring (MRM)メソッドを作成した。分析装置は QP8030（島津製作所）を，カラムは AIQS-DB 法と同じ DB-5ms (30 m×0.25 mm, 0.25μm, J&W Agilent)を用い，昇温速度も同じく 40℃×2 min→8℃/min→310 ℃×5min とし，試薬ガスにイソブタン，コリジョンガスにアルゴンを用いた。スキャン分析でプリカーサイオンを確認した物質をコリジョンエネルギー5～45V の範囲で 5V ごとに分析し，プロダクトイオン強度が最も高い条件を選択した。MS/MS 分析の定量イオンと確認イオンの強度比（確認イオン比）を同定要件とし，標準試料での変動幅の 2 σ 区間内で同定，3 σ 区間外で同定外とした。

3. 結果と考察

対象 41 物質のうち 34 物質は分子イオン又は AIQS-DB 分析の定量イオンより大きな質量数のプリカーサイオンが確認され，うち 21 物質は 2 つ以上のプロダクトイオンが選択できた。一方，ほぼ同じ保持時間に同じプリカーサイオンとプロダクトイオンが検出された 2 物質，プリカーサイオンが確認できない，又は強度がフラグメントイオンに比べ非常に小さく選択できなかった 7 物質，プロダクトイオンが確認できない，又は 1 つしか確認できず定量・確認イオンの 2 つの選択ができなかった 13 物質と，メソッド作成できない物質が計 22 物質あった。また，対象 41 物質にはハロゲン化物が 6 物質含まれていたが，うち 5 物質はプリカーサ又はプロダクトイオンが選択できず，ハロゲン化物は CI 法での分析に適していない可能性が示唆された。

MRM メソッドが作成できた 19 物質について，河川 4 試料，大気 3 試料を分析した結果，AIQS-DB 分析では 15 物質が同定されたが，MSMS 分析で同定されたのはそのうち 9 物質だけだった。差分 6 物質のうち 5 物質では， AIQS-DB 分析では誤同定されていたと判断された。

表 1　MRM メソッド作成したリスク懸念物質

物質名	RT [min]	分子量	プリカーサイオン	プリカーサ構造	プロダクト1	CE [V]	プロダクト2	CE [V]	確認イオン比	σ値
エチルシクロヘキサン	5.54	112.21	111	M-H	69	5	55	10	32.0	0.701
N-ニトロソジエチルアミン	6.71	102.14	103	M+H	75	10	57	10	6.79	0.232
メタクリル酸n-ブチル	8.48	142.198	143	M+H	87	5	59	20	12.4	0.133
オクタメチルシクロテトラシロキサン	8.56	296.62	297	M	281	10	249	30	19.6	0.205
2,2'-アゾビスイソブチロニトリル	9.38	164.21	137	M-CN	110	5	68	10	62.2	0.451
N-メチルアニリン	10.24	107.15	108	M+H	93	20	66	30	18.6	0.223
オクタン－1－チオー	11.52	146.29	147	M+H	71	5	57	5	82.8	1.68
キノリン	13.63	129.16	130	M+H	103	20	77	25	148	1.54
N-ニトロソジブチルア	14.01	158.24	159	M+H	103	10	57	10	201	1.70
ヒドロキノン	14.10	110.11	111	M+H	93	10	65	15	94.9	7.14
ヘキサメチレン=ジイソシアネート	15.72	168.19	169	M+H	126	5	55	20	110	1.60
2,4-ジ-ターシャリーブ	18.10	206.32	207	M+H	151	5	57	15	257	14.7
フェノブカルブ	19.59	207.27	208	M+H	152	5	95	10	122	3.66
ベンゾフェノン	20.06	182.22	183	M+H	105	15	77	25	49.3	0.607
アントラセン	22.40	178.23	179	M+H	178	25	177	30	62.1	1.52
アントラセン－9，10－ジオン	24.66	208.21	209	M+H	153	20	152	30	149	2.38
N，N－ジメチルオク	26.15	297.56	298	M	71	25	57	25	293	9.17
アジピン酸ジ－2－エチルヘキシル	29.22	370.57	371	M	129	10	147	5	34.6	1.31
ピリダベン	32.44	364.93	365	M	147	25	309	5	67.6	0.954

4. 結論

AIQS-DB スクリーニング分析でリスク懸念が高かった 19 物質について GC-CI-MS/MS 分析の MRM メソッドを作成し，河川水 4 試料と大気 3 試料を AIQS-DB 分析して検出された 15 物質を MS/MS 分析したところ，9 物質は MS/MS 分析においても同定されたが，5 物質は AIQS-DB 分析での同定が誤同定と判定された。

謝辞　本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF19S20403，JPMEERF20215G01)により実施した。

参考文献

1) 亀屋ら(2017)第 51 回水環境学会年会，1-A-09-2
2) 大髙ら(2022)第 30 回環境化学討論会，TU-C1-5
3) 亀屋ら(2021)環境研究総合推進費 SⅡ-4-2(1)

キーワード　AIQS-DB, GC-CI-MS/MS, SVOC, 誤同定

洋上風力事業が地域経済に与える影響 -長崎県五島市の事例から
The impact of offshore wind project on local economies −A case study of Goto city, Nagasaki

東京工業大学　○森 基哉, 棟居 洋介, 国立環境研究所 増井 利彦, 金森 有子

1. 研究背景

洋上風力発電が、再エネ主力電源化に向けて「切り札」として注目されている。洋上風力発電機は支柱部分を工夫することで支柱が魚礁化し魚が集まる可能性があり、この魚礁効果をうまく活用することで漁業関係者との協調が可能である。また、洋上風力発電事業が地域の経済活性化にもつながることが期待されている。しかしながら、洋上風力発電を対象にした先行研究では、支柱の魚礁化や実用化された後の事業計画を考慮した分析は行われていない。

2. 研究目的

長崎県五島市で戸田建設が計画している洋上風力事業を対象に、実施地域にもたらされる経済波及効果を推計する。定量化にあたって、産業連関（IO）分析を用いて洋上風力発電の建設、事業による長崎県全体の誘発的な生産額を推計し、洋上風力支柱の魚礁化を含めた効果を分析する。加えて、地域付加価値創造分析を用いて、同事業の実施によって五島市にもたらされる付加価値を推計する。その際地域内の企業がどれだけ調達･建設･運営･出資に参画、協力するか（地域内貢献度）を考慮する。

3. 研究手法とその結果

3.1. IO 分析と結果

長崎県産業連関表をもとに、同県の産業を 40 部門に統合し、洋上風力事業の実施を新たな需要として各産業で誘発される生産額を推計する。分析では長崎県の産業連関表や統計データ、事業を運営している戸田建設が公表しているコスト計画を用いた。

なお、洋上風力の支柱の魚礁効果は定量化されている事例が無いため、形状の似ている人工浮魚礁の五島市での実証実績データを参考に漁獲高増大量を推計している。

五島市での洋上風力事業計画による経済波及効果を表 1 に示す。魚礁効果がないとした場合でも投資額の約 1.3 倍の一次効果が現れ、長崎県にとって十分経済波及効果が大きいとわかる。魚礁効果による影響については、魚礁効果が小規模な場合は大きな変化はみられなかったが、大規模になると魚礁効果がない時と比べ運営段階の経済効果が約 35%増大する。ここで海水表層部のみ魚礁化した際を小規模、水深深くでも魚礁化した際を大規模と表現している。

表１　五島市の洋上風力事業が長崎県にもたらす経済効果

(単位：百万円/1 基)	直接効果	一次効果	二次効果	総合効果
初期投資段階	2720	911	405	4036
運営段階(魚礁効果なし)	1320	411	304	2035
運営段階(小規模魚礁化)	1320	492	315	2127
運営段階(大規模魚礁化)	1320	1028	390	2738

3.2. 地域付加価値創造分析と結果

洋上風力事業を構成する各事業における付加価値のうち五島市内にもたらされるものを計上する。地域付加価値とは、①事業の純利益、②従業員の可処分所得、③地方税収の 3 要素から構成される。事業を初期投資段階と運営段階に分割し、この 3 要素を計上する。

地域内貢献度の高さで 2 つのシナリオを設定して算出した結果を表 2 に示す。地域内貢献度は発電機の支柱の調達･建設･運営･出資を各 100%、75%、50%となる 3 つのシナリオを設定しそれぞれを積極的、中程度、消極的と表現する。既往研究で国内の太陽光発電事業の運営段階での付加価値は約 40%とされていることから、洋上風力でも同様の地域活性化を望む際中程度以上の貢献度が必要である。

表２　五島市の洋上風力事業が五島市にもたらす付加価値

	初期投資段階(億円)	対投資額	運営段階(億円/年)	対総売上
積極的貢献	25.18	11.7%	10.85	54.6%
中程度貢献	18.88	8.7%	8.155	41.0%
消極的貢献	12.59	5.8%	5.51	27.7%

4. まとめ

国内で洋上風力事業を実施する際、地域の経済活性化につなげるためには支柱全体に魚礁効果が発生するような工夫と、洋上風力事業のうち 50%ほど地域内企業に参画してもらうことの 2 点に留意する必要がある。

参考文献

1) 中山琢夫 (2021) エネルギー事業による地域経済の再生, ミネルヴァ書房, p16-55.

キーワード　洋上風力発電, 地域経済, 魚礁効果

オフィスビルを対象とした PV･EV･BT 連携の有効性に関する研究
Study on Effectiveness of PV/EV/BT Linkage for Office Buildings

北九州市立大学 ○カオリ ルトフィア，松本 亨，藤山 淳史

1. はじめに

2015 年パリ協定を契機として，脱炭素化の動きが国や自治体，さらに世界中の多くの企業にも拡大している。企業にとって，太陽光パネル（PV）や定置型蓄電池（BT），電気自動車（EV）の導入は，温室効果ガス排出量の削減に貢献する可能性があるだけでなく，企業イメージの向上にもつながることも期待される。一方，導入コストが高いことに加え，天候によって発電量が変動することなどから導入に踏み出せない企業も少なくはない。

そこで本研究では，北九州市に立地するオフィスビルを対象として，PV，BT，EV の導入と，さらにそれらの連携を実施した場合の効果について，電力需給調整の可能性および CO_2 削減効果を評価した。

2. ケース設定と推計手法

2-1. ケース設定

導入ケースの効果を評価するため、以下 5 つのケースを設定した。

- 対象施設の現況ケース（PV,EV,BT なし）
- PV のみ導入ケース（PV のみ）
- PV と BT を導入するケース（PV,BT）
- PV と EV を導入するが V2B を行わないケース（PV,EV）
- PV と EV を導入し，V2B を行うケース（V2B）

2-2. 推計手法

PV の発電量は，NEDO 標準気象データベース [1]の斜面日射量データと JIS C8907[2]をもとに，PV 設置の傾斜角を 5 度，方位角を 0 度（真南方向），PV 発電容量を 30kW と設定し，年間 PV 発電量を 31,169kWh と推計した。

BT の容量は 36kW と仮定した。

EV は日産リーフを想定し，搭載している電池の容量を 40kW，実行容量 80%[3]とし，導入台数は 3 台とした。なお，営業日の 10:00～15:00 には EV は稼働とし，それ以外の時間はオフィスビルの駐車場に停車または V2B を実施すると設定した。

3. 結果

試算した結果を，図 1 に示す。オフィスビルの系統電力需要量を「PV,EV,BT なし」ケースと比較すると，「PV のみ」と「PV,EV」では 15%削減，「PV,BT」では 34%削減，「V2B」では 20%削減されることがわかった。また，ピークカット率は最大 6.7%であった。

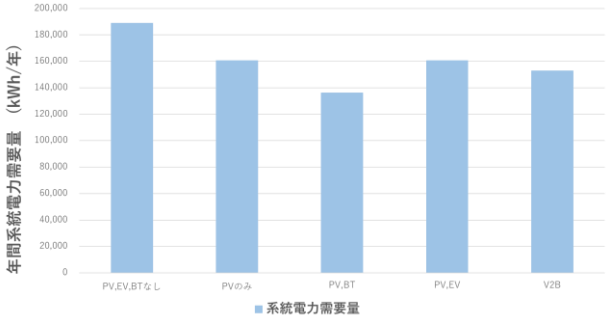


図 1　年間系統電力需要量

4. まとめと今後の課題

本研究では，北九州市内に立地するオフィスビルを対象に，PV，BT，EV の導入ケース 5 つを比較し，電力需給調整機能としての可能性について評価した。その結果，系統電力需要調整機能としては「PV,BT」のケースが最も効果があることがわかった。しかし，「PV,BT」のケースは社用車としてガソリン車を使用しているため，CO_2 排出の削減量でみると「V2B」のケースが最も大きい結果となった。今後は，評価対象施設の電力コストと CO2 削減量を最小化する観点から，PV，BT，EV 導入の最適規模や EV の最適な運用方法を検討していくことが課題である。さらに，複数の民間企業を対象として，一括充電による契約電力の軽減効果についても検討する予定である。

参考文献
1) NEDO, 年間時別日射量ベータベース（MRTPV-20）
2) JIS C8907:2005，太陽光発電システムの発電電力量推定方法
3) 日産，蓄電池利用，リーフ主要装備一覧 https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf/v2h.html

キーワード　太陽光発電，V2B，定置型蓄電池，電力需給調整機能

国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンネットワーク設計： 日本への影響
Design of Global Supply Chain Network with Carbon Border Tax: Impact on Japanese Market

電気通信大学　○長尾剛樹，伊集院大将，山田哲男，広島大学 長沢敬佑

1. 背景

地球温暖化を防ぐために，EU では 2026 年に国境炭素税[1]の導入が決定した。これは，気候変動対策の十分でない国から十分な国への商品の輸入の際に，炭素課金を行うことである[1]。国境をまたがる生産物流であるグローバル・サプライチェーンでも，コスト削減にこの影響は大きいと予想される。Nagao et al. [2]は，国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンをモデル化したが，日本を需要地とした際の分析は行われていなかった。

本研究では日本が需要地の場合を想定し，国境炭素税のグローバル・サプライチェーンへの影響を分析する。

2. モデル

本研究では，Nagao et al. [2]の国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンモデルを適用する。目的関数は総費用最小化であり（式（１）），*TC*，*TMC*，*TTC*，*TCDC*，*TCBA* はそれぞれ，総費用，総製造費用，総輸送費用，総関税費用と，総国境炭素税費用である。国境炭素税（式（２））は，製品の Greenhouse Gas (GHG)排出量が，適用国での国内生産製品の GHG 排出量より大きい場合に，その差分に国境炭素税率を掛け合わせることで算出，課税されると仮定する。そのもとで，国境炭素税は式（２）として表現される。ここで，$E_p^{b^*}$は工場 p から国境炭素税適用国b^*に輸入される製品の GHG 排出量の，国b^*での国内製造の場合との GHG 排出量の差である。$C_{b^*}^{\mathrm{R}}$は国b^*での国境炭素税率である。

Objective:

$$TC = TMC + TTC + TCDC + TCBA \rightarrow min \qquad (1)$$

s.t.

$$TCBA = \sum_{p \in P} E_p^{b^*} C_{b^*}^{\mathrm{R}} \qquad (2)$$

他の制約や例題は、Nagao et al. [2]と同様にする。日本への影響を調べるために, 需要は東京で 6000 個とする。

3. 結果

表 1 は，再設計前後での総費用と総 GHG 排出量の結果である。再設計前のサプライチェーンに対して国境炭素税を課すと，総費用は 60%増加した。一方で再設計後は，再設計前の総費用から 46%減少し，全体の 8%が国境炭素税費用となった。GHG 排出量に関しては，再設計前から再設計後へ，29%削減された。

また，グローバル・サプライチェーンの変化に関しては，工場立地は上海とクアラルンプールですべて変化なかった。しかし，サプライヤーはもともと工場立地国を中心に選択されていたが，再設計後には日本やアメリカのサプライヤーへ切り換えが進んだ。

表１　再設計前後での総費用と総 GHG 排出量の結果: 東京需要 6000 個の場合

	再設計前	再設計後
TTC [USD]	3236	6407
TCDC [USD]	758	2176
TMC [USD]	25506	28299
TCBA [USD]	44530	3092
TC [USD]	74030	39974
GHG 排出量 [t-CO_2eq]	58	17

4. まとめ

本研究では，国境炭素税を考慮したグローバル・サプライチェーンネットワークモデルにおいて，日本が需要地の場合の数値実験を行い，影響の分析を行った。今後の課題として，排出権取引など他の環境政策との比較検証が挙げられる。

謝辞　本研究の一部は，日本学術振興会科研費基盤研究(A)JP18H03824 の助成を受けたものである．

参考文献

1) Taxation and Customs Union, Carbon Border Adjustment Mechanism. https://ec.europa.eu/taxation_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en, last accessed 2022/5/6.

2) Nagao, T., Ijuin, H., Nagasawa, K., and Yamada, T. (2022) Modeling Carbon Border Tax for Material-based GHG Emission and Costs in Global Supply Chain Network, 18th Global Conference on Sustainable Manufacturing (in press).

キーワード　環境配慮型生産，LCA，脱炭素，関税

多環芳香族炭化水素類の光増感作用によるポリエチレンの劣化促進効果の評価
Accelerated degradation of polyethylene by photosensitization of polycyclic aromatic hydrocarbons

静岡県立大学 ○野呂和嗣，雨谷敬史，大阪環農水研 矢吹芳教

1. 背景

光分解によって粗大なプラスチックごみが劣化し、マイクロプラスチック(MPs)となることが知られている。我々は、MPs に吸着した多環芳香族炭化水素類(PAHs)の光分解試験を実施し、MPs 上では PAHs の光分解が抑制されることを報告した[1]。その過程で、PAHs を吸着したポリエチレン(PE)粒子が太陽照射下で着色し、PE が劣化していることが示唆された (図 1)。

本研究では、PE 板に PAHs を添加し、人工太陽光を照射した。PE 板をフーリエ変換赤外分光法(FTIR)で分析し、光照射による PE の劣化を評価した。

2. 実験方法

2.1. PAHs の添加

PE 板(5 枚、5 mm×5 mm)を、16 種 PAHs 混合標準液(100 mL、各 12.5 μg L^{-1})に浸漬し、24 h 撹拌した。PE 板を取り出し、PAH サンプルとした。

2.2. PE 板への光照射

石英ガラス窓付きステンレス容器に、100 mL の超純水と、3 枚の PAH サンプルを入れ、ガラス撹拌子で撹拌させながら人工太陽光を照射した。PE 板を回収し FTIR で分析した。同様の試験を洗浄した PE 板を用いて行った(Ctrl サンプル)。

2.3. PE 劣化の評価

カルボニルインデックス(*CI*)を用いて、PE の劣化を評価した。*CI* は、PE の劣化に伴い生成するカルボニル基の生成量を相対的に評価する指標である。*CI* は式(1)から計算した。

$$CI = A_{1895\text{-}1751} \quad (1)$$

$A_{1895\text{-}1751}$ は、1895–1751 cm^{-1} の範囲にある吸光度の平均である。

3. 結果と考察

CI は、光照射開始から 100 h まで増加し、その後減少した(図 2)。この結果は、光分解によって PE の表面にカルボニル基が生成し、さらに反応が進行することでカルボニル基が分解されたためだと考えられる。

PAH サンプルは、Ctrl サンプルよりも高い *CI* 値を示した(図 2)。PAHs の一部は光化学反応の触媒として作用することから、光照射によって励起した PAHs のエネルギーが MPs の分解に消費された可能性がある。この現象は光増感作用と呼ばれている。

本結果から、PAHs がプラスチックの劣化を促進する効果をもつことが示唆された。海洋での MPs 生成には未知の要因があることが指摘されており、PAHs の光増感作用が、MPs の生成機構の一部である可能性がある。

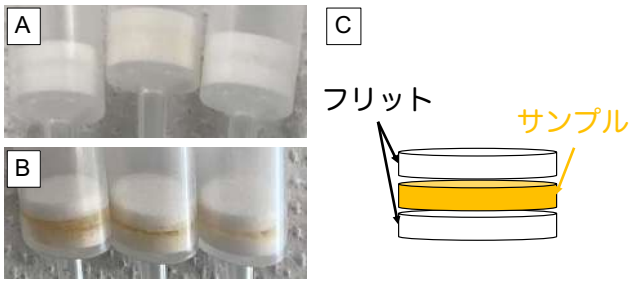


図 1　光照射後のポリエチレン粒子 (A) コントロールサンプル、(B) PAHs を添加したサンプル、(C) 模式図。

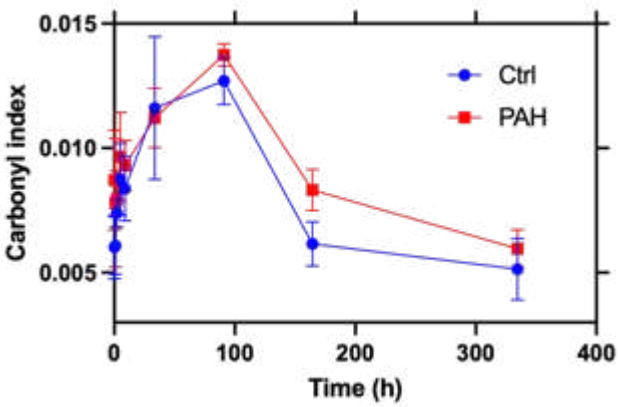


図 2　*CI* の時間変化、n=6, 誤差範囲は標準偏差を示す。

参考文献

1) Noro and Yabuki (2021) Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on polyethylene microplastics, Marine Pollution Bulletin, 169, 112561.

キーワード　マイクロプラスチック、FTIR、カルボニルインデックス

中国の環境配慮行動における社会関係資本の役割―CGSS2010 による分析―
The Role of Social Capital in Chinese Pro-environmental Behavior-Analysis by CGSS2010-

上智大学大学院地球環境学研究科 ○夏葉城，平尾桂子

1.はじめに

日本や欧米では、環境配慮行動と社会関係資本の関連を検討した多くの研究により、両者の間に正の相関があることが明らかになっている。それに対して、中国ではいまだ環境配慮行動に関する研究事例が少なく、社会関係資本と環境配慮行動の関連は明らかになっていない。そこで、本研究では、中国における環境配慮行動について、広瀬モデルに基づき、特に社会関係資本の効果に注目しながら分析を行った。

2. 分析方法・結果

表 1　環境配慮行動の各項目の規定要因のまとめ

		ゴミの分別	有機野菜の購入	自家用車の利用削減	燃料削減	節水行動	グリーン消費
個人属性	男性	－	－				
	年齢					＋	＋
	教育年数	＋	＋		＋	＋	＋
	世帯年収		＋				＋
	未婚者		－				
	農村戸籍を持つ人			－	－	－	－
	農業部門の就業者						
	無職者				＋		＋
広瀬モデル	責任帰属の認知						
	対処有効性認知		＋			＋	＋
	環境リスク認知				＋	＋	＋
	実行可能性評価	＋	＋	＋	＋	＋	＋
	便益･費用評価	＋	＋	＋	＋	＋	＋
	社会規範評価				＋	＋	
社会関係資本	信頼度						
	社会的な交流度		＋				＋
	地域愛着度	＋		＋	＋	＋	＋
	隣人関係の良さ						

（＋：正の相関，－：負の相関）

具体的な分析プロセスについて、本研究は CGSS2010 に基づく二次分析による研究であるため、環境配慮行動に関する項目は CGSS2010 の調査項目によるゴミの分別、有機野菜購入、自家用車の利用削減、燃料削減、節水行動、グリーン消費の 6 項目を検討する。そして、6 項目の環境配慮行動の規定要因として、個人属性を考察するとともに、広瀬（1994）の環境配慮行動の 2 段階モデル（広瀬モデル）を導入し、中国における広瀬モデルを検証する。さらに、Putnam（1993）の社会関係資本の理論を参考にしながら、CGSS2010 の調査項目による人への信頼度、社会的な交流度、地域愛着度、隣人関係の良さなどの社会関係資本に関する各指標を測定し、社会関係資本の各種指標が環境配慮行動に与える影響を明らかにする。回帰分析結果のまとめは、表 1 のとおりである。

3. 結論

社会関係資本の変数である「社会的な交流度」、「地域愛着度」 は環境配慮行動に影響を与えることが明らかになった。具体的に言えば、「社会的な交流度」が強いほど、「有機野菜の購入」、「グリーン消費」の実施度が高いことを示し、「地域愛着度」強いほど、「ゴミの分別」、「自家用車の利用削減」、「燃料削減」、「節水行動」、「グリーン消費」の実施度が高いことを示している。そして、広瀬モデルは中国の環境配慮行動にある程度当てはまると考えられる。また、 広瀬モデルをベースに社会関係資本の各種指標を追加することで、新たなモデルの可能性も示唆された。

参考文献

1) Putnam, R. (1993). *Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy*. Princeton university press.
2) 平尾桂子 (2009) 環境と家事のあいだ--誰がごみを分別しているか. 地球環境学(5), 49-57.
3) 広瀬幸雄 (1994) 環境配慮的行動の規定因について. 社会心理学研究 10 (1)： 44-55.
4) 大島尚, 堀毛一也(2015) 環境問題とコミュニティ意識:社会関係資本からの検討 (TIEPh 第 2 ユニット 価値観・行動ユニット). 「エコ・フィロソフィ」研究(9): 151-165.

キーワード　環境配慮行動、社会関係資本、広瀬モデル

気候変動適応策優先順位付けのための意思決定分析:システマティックレビュー
Systematic review of decision analysis for prioritizing climate change adaptation options

東京大学大学院 新領域創成科学研究科・国立環境研究所 ○天沼 絵理，藤井 実，中島 謙一，肱岡 靖明

1. はじめに

近年，気候変動適応は気候変動対策において重要性が増し，毎年数千の関連論文が発表されている[1)]。潜在的な適応策から実行可能な適応策を選択するために，意思決定分析を応用した適応策の優先順位付けに関する研究論文は，IPCC 第 5 次評価報告書以降増加しているものの年間数十件程度である。意思決定分析手法はいまだ開発途上であり，地域や分野によって扱われている手法が異なっているため，実際に適応策を選択する際に広く活用されていない状況にある。そこで本研究では，気候変動適応における意思決定分析手法の分野別開発および応用状況を明らかにするために，システマティックレビュー手法[2)]を用い，手法と分野の関係性を整理して今後の展望について考察した。

2. 方法

システマティックレビューでは，Berrang-Ford ら[2)]のガイドラインにしたがい，1)課題設定，2)文献の検索と選択，3)データ抽出と分析を行った。また，IPCC 第 5 次・第 6 次評価報告書を参考に，4)対象とする適応分野を 23 分類と設定した。Web of Science における検索キーワードを”climate change” AND adaptation AND decision AND priorit*とし，647 本が該当した（2022 年 6 月 3 日取得）。該当文献のタイトルと要旨を確認後，引用追跡を行い，最終的に 100 本の文献を対象とした。

3. 結果

意思決定分析手法を分類した結果，応用件数は多い順に Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) が 34%を占め，Cost-Benefit Analysis (21%)，Cost-Effectiveness analysis (9%), Optimization (9%)と続いた(図 1)。少数ではあるが，Robust Decision Making (3%)，Adaptation Pathways (2%)等の不確実性を考慮可能な手法がみられた。分野別に分類した結果，上位 3 分野は農業 18%，水資源 15%，沿岸災害と河川洪水がそれぞれ 11%となった。一方，貧困・共同社会・福祉分野を扱った文献は 0%であった。分野別では，MCDA が 23 分野中 18 分野と多分野で応用されている一方で，前述の不確実性を考慮可能な手法は水資源・災害分野に集中していることが分かった。

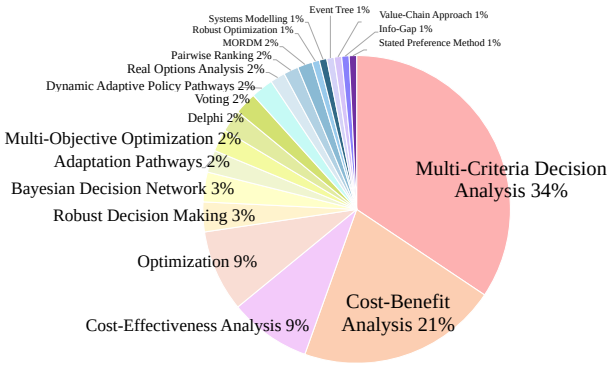


図 1　応用されていた意思決定手法の分類結果

4. 考察

気候変動適応を推進するためには，意思決定分析を広く活用していく必要がある。文献数が多い農業・水資源・災害分野等においては，複数の気候シナリオの応用が容易となり，それらを用いて適応策の有無を考慮した影響予測結果も入手可能となりつつある。その状況を鑑みると不確実性を考慮可能な意思決定分析手法の応用を拡大できる可能性が考えられる。一方，文献を発見できなかった貧困・共同社会・福祉分野では，意思決定分析に必要な気候変動影響と適応効果の定量化が喫緊の課題である。今後，政策決定者が意思決定分析手法を用いて気候変動適応策の優先順位付けを行うためには，意思決定手法に関する科学的知見の充実が必要となる。

参考文献

1) Noble, I. (2019) The evolving interactions between adaptation research, international policy and development practice, In: Research Handbook on Climate Change Adaptation Policy [Keskitalo, E.C.H. and Preston, B.L. (eds.)], Edward Elgar Publishing, 21-48

2) Berrang-Ford, L., Pearce, T., and Ford, J.D. (2015) Systematic review approaches for climate change adaptation research, Regional Environmental Change, Vol. 15, 755–769

キーワード　気候変動，適応策，優先順位付け，意思決定，システマティックレビュー

ナノマイクロプラスチックの科学的不確実性を伴うリスクに対する法的制御の可能性について
―ナノ領域の廃棄物に関する日本の現状と課題を事例に―
Possibility of legal control of risks associated with scientific uncertainty related to nano-micro plastics
-A case study of Japan's current situation and issues related to nano-scale waste-

早稲田大学社会科学総合学術院　○中山敬太

1. 研究背景

現在、社会的課題となっている海洋ごみ問題を含むマイクロプラスチック汚染は深刻な状況となっている。そもそもプラスチックは、現代科学技術の「正の産物」として、医療分野を含め人類社会に多大な恩恵をもたらしてきた。しかし、「負の産物」としてマイクロプラスチック汚染が社会問題化していく中で、「それに付随する化学物質の生物への影響については、未解明の点が多く、さらなる研究が必要である」(高田 2018)と指摘しているように、科学的不確実性を伴うリスクが懸念されており、その解決には複数の解決策を組み合わせる必要があり、基本的には廃棄物管理の徹底と３Ｒの促進である(高田 2018)と言われている。

マイクロプラスチックは、主に河川等を通じて海洋ごみとなり、それが紫外線等により微小・細分化されることで大気中を浮遊して陸上に戻ってくるとされている。しかし、このマイクロプラスチックがどのようなメカニズムで主にどこでどれほど発生しているのか、どのような身体的悪影響があるのか、そして対策が講じられた際に一体どれほどの効果があるのかも明確に分かっていない現状がある。すなわち、マイクロプラスチックに関する様々な局面・プロセスにおいて科学的不確実性が伴っている状況である。

2. 研究目的

そこで、本報告では、ナノ領域の廃棄物であるナノマイクロプラスチックの発生原因やそのメカニズムに関する現状把握を先行研究等に基づきレビューし、どの発生メカニズムやプロセス段階にて科学的不確実性を伴うリスクがより生じているのかを中心に分析を進め、予防的な法的制御の可能性について検討を行う。その上で、ナノマイクロプラスチックの法的予防措置等に関する日本の現状と課題を中心に、関連する先行研究等を踏まえ検討を行った。

3. 研究の特徴

本研究の特徴としては、特にナノ領域を含めたナノマイクロプラスチック汚染問題の健康リスクに着目し、一体いかなるメカニズムやプロセス等に不確実性が生じているのか、その不確実性の性質や要素等を整理し、アスベストのような過去安全だと謳われていた素材が現在使用禁止になっているような負の歴史を繰り返さないように、適切かつ迅速な法的予防措置を可能にする法的理論枠組みやその予防的な規制アプローチを新たに見出し、当該解決策の新たな視座を示すことが、本研究の特徴として位置付けることができる。

4. 研究の社会的意義

ナノ領域になったプラスチックの健康リスクが特に懸念される状況下で、実効性を担保した具体的な法的予防措置も講じられていない日本の現状を鑑みると、「予防原則」の適用を含め法的予防措置の観点から検討をする本研究はその社会的意義を見出すことができる。また本研究は、ナノ領域のライフサイクルにおける廃棄段階での法的予防措置に関して、不確実性マネジメントの観点から新たな視座を示した意義がある。

主な参考文献

1) 大塚佳臣・高田秀重・二瓶泰雄・亀田豊・西川可穂子(2021)「マイクロプラスチック汚染研究の現状と課題」『水環境学会誌』Vol.44、No.2。
2) 大野慶(2019)「バーゼル条約等におけるプラスチック対策の国際展開」『廃棄物資源循環学会誌』Vol.30、No.2。
3) 高田秀重(2018)「マイクロプラスチック汚染の現状，国際動向および対策」『廃棄物資源循環学会誌』Vol.29、No.4。
4) 日本学術会議 健康・生活科学委員会・環境学委員会合同環境リスク分科会(2020)「マイクロプラスチックによる水環境汚染の生態・健康影響研究の必要性とプラスチックのガバナンス」『学術の動向』。

キーワード　ナノマイクロプラスチック、科学的不確実性、予防原則

アスベスト対策のための指導履歴に基づいた解体工事立入計画の検討
Trial for record-based planning of on-site inspection of demolition works for asbestos control

○豊永悟史[1]，古澤尚英[2,3]，中島尚哉[4]，山形卓[4]

[1]熊本県保健環境科学研究所，[2]熊本県人吉保健所，[3]熊本県宇城保健所，[4]熊本県環境生活部環境局環境保全課

1. はじめに

不適切な解体工事等によって建材中のアスベスト繊維が飛散することで，作業員や周辺住民の健康被害のリスクが高まることが知られている。近年，大気汚染防止法による規制が強化され，成形板等（いわゆるレベル 3 建材）が規制対象に追加された。レベル 3 建材は一般家屋にも多く使用されており，対象となる解体工事等は膨大な数となることから，大気汚染防止法を所管する自治体で，全件立入りを実施するのは現実的に困難である。このため，優先順位を設定し，限られた人的資源を配分しながら立入検査を実施していく必要がある。アスベストの飛散リスクは，施工業者の作業状況に大きく影響されることから，本研究では，施工業者（元請，下請）への指導履歴を活用し，立入の優先度設定に活用する手法を検討した。また，元請と下請の関係についても評価するため，ネットワーク分析の適用を検討した。

2. 方法

使用したのは，令和 2 年 7 月豪雨で被害を受けた地域での立入記録の一部である。この立入記録はデータベース化されているため，定量的な解析が可能となっている。令和 2 年 7 月豪雨では，2,426 件の公費解体の申請が行われており，そのほぼ全てが令和 3 年度中に解体を完了している[1)]。立入記録の指導項目を飛散リスクの高さで 4 段階に分類し，分類ごとにリスク係数を設定した。公費解体が開始された 2020 年 10 月～2021 度末までの立入記録から各解体工事のリスク係数を計算し，それを施工業者別に集計した。さらに，元請と下請の関係についてもネットワーク分析を用いて解析した。

3. 結果と考察

本稿では，発災から約 1 年後の令和 3 年 7 月上旬までの立入記録を分析した結果について示す。元請の施工業者別の集計結果について見ると，リスク係数の集計値は元請の間で最大約 30 倍の違いが見られた。また，リスク係数の集計値が高い上位 2 割の元請が，全体の集計値合計の 6 割を占めており，飛散リスクが高い項目で指導を受けやすい元請が存在することが示唆された。下請でも同様の傾向が認められており，これらの施工業者は優先的に立入検査を行うことが望ましいと考えられた。

ネットワーク分析の結果を Fig.1 に示した。丸で示したのが各施工業者であり，矢印で元請と下請の関係を示した。また，丸の色と大きさで，各ネットワークにおける重要度の指標となる次数中心性を表示した。Fig.1 からは，内包する施工業者の数が多いネットワーク（大規模ネットワーク）が 1 つ存在し，少ないネットワーク（小規模ネットワーク）が多数存在していることが分かる。このようなネットワーク構造は，施工業者間の情報の流通を規定しており，自治体からの指導内容の伝搬にも影響している可能性が考えられる。

指導履歴は，通常案件別に記録されるため視覚的・定量的に扱うことが難しい場合が多いと推測されるが，データベース化して用いることで，様々な活用が期待される。このような情報を一種のビッグデータとして活用していくことは，効率的・効果的な行政施策の実施を進める上で今後重要になっていくと考えられる。

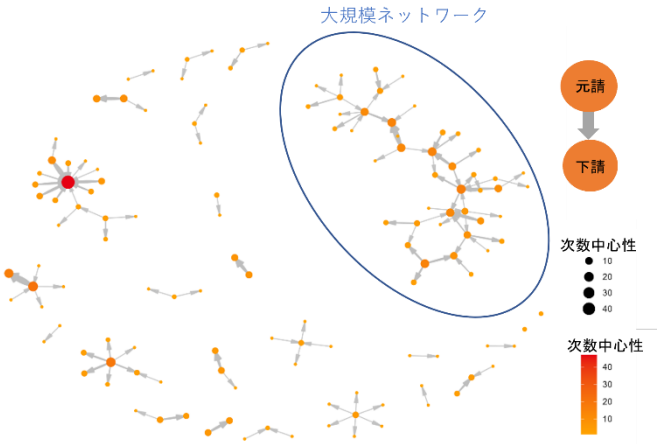


Fig.1 ネットワーク分析の結果

参考文献

[1)]熊本県 HP:令和 2 年 7 月豪雨　損壊家屋等の公費解体の状況 https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/53/90466.html（2022.6.8 アクセス）

キーワード

アスベスト，リスク，立入計画，ネットワーク分析

エシカル消費と関係人口の視点からみたふるさと納税の考察
Discussion on the Japan's Hometown Tax Program (Furusato Nozei) Through the Perspective of Ethical Consumerism and Related Population

神戸大学　上村　青，横浜市立大学　大西暁生，神戸大学　○田畑智博

1. はじめに

ふるさと納税は，在住していない自治体に，自己負担額の 2,000 円を除外した分の寄付額が，翌年の住民税から控除される仕組みである。ふるさと納税は「お得なネットショッピング」と揶揄される一方，見方を変えると，本制度を通して「エシカル消費」や「関係人口(特定の地域と継続的な繋がりを持つ人)」づくりに活用できる素地も併せ持っている。本研究は，ふるさと納税による寄付の実態を調査し，エシカル消費と関係人口の視点から本制度の可能性を考察する。

2. 研究の方法

国内で最もふるさと納税による住民税控除適用者数が多い東京都内在住者を対象とし，Web アンケートを実施する。調査期間は 2021 年 11 月 10 日~11 日であり、220 名から回答を得た。質問は，基本属性(年齢，性別，都内の居住年数等)，ふるさと納税による寄付の有無，2020 年の寄付件数・寄付金合計額，寄付の使い道，寄付先との関係等である。調査結果は記述統計により分析する。

3. 結果と考察

ふるさと納税による寄付を実施した回答者は，67 名(全体の 30.4%)に留まった。しかし，2020 年度の控除適用者数は 552.4 万人(納税義務者数の約 8.6%)[1]であり，今回の調査は実際より利用者が多い結果となった。寄付件数(図 1)は，1〜2 件が最も多かった。寄付金合計額は，5 千〜3 万円未満が最も多かった。

寄付の使い道(図 2)は，まちづくり・観光，子育て・教育等が多かった。環境や災害復興等のエシカル消費に係わる使い道もみられた。ふるさと納税を通した寄付の理由として多く挙げられたのは，返礼品と節税目的であった。これらに続く理由として，社会貢献や自分のふるさと／繋がりのある自治体が挙げられていた。自分のふるさとに関して，都内の居住年数と寄付金合計額とをクロス集計した結果，都内に 10 年以上居住している回答者は，10 年未満の居住者より寄付件数が多い傾向が伺えた。このことから，関係人口がふるさと納税による寄付に影響を及ぼしている可能性があることが伺えた。

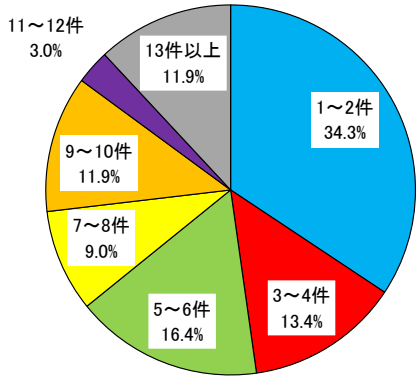


図 1　寄付件数(N=67)

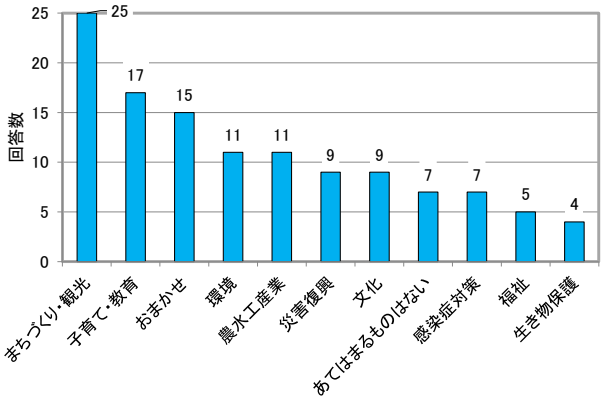


図 2　寄付の使い道(N=67，複数回答可)

4. おわりに

さらなる調査は必要であるが，ふるさと納税による寄付実施者は，エシカル消費や関係人口を意識する／しないに関わらず，結果としてこれらに係わる理由や寄付の使い道を選択していることが伺えた。政府や自治体が，ふるさと納税がエシカル消費や関係人口づくりに活用できることをアピールすることは，納税者の本制度に対する考え方を変化させるうえで有用である。

参考文献

1)　総務省 (2021) ふるさと納税に関する現況調査結果，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01zeimu04_02000101.html

キーワード　ふるさと納税，エシカル消費，関係人口

再生可能エネルギーが地域経済循環にもたらす影響について
－設備所在地と事業者所在地の関係性からみた分析－
Impacts of Renewable Energy on Local Economic Circulation
- An Analysis based on the relationship between facility location and business location -

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター ○岩川 貴志，金 再奎

1. はじめに

再生可能エネルギーの活用による地域経済循環が期待されているが，実際には都市圏の事業者主体による収益事業として実施されるケースが多い。その現状を把握するため，太陽光発電による固定価格買取制度（FIT）認定事業を対象に，発電設備の所在地と，それを運営する事業者の所在地の関係性について分析した。

2. 分析の方法

資源エネルギー庁公表の事業計画認定情報[1)]（2021 年 11 月 30 日時点）より，運転開始前を除く太陽光発電事業約 35 万件を対象として抽出した。対象設備の所在地と，それを運営する事業者の所在地を，都道府県および市区町村単位で把握した上で，対象最寄地点の平均日射量データベース[2)]から年間発電量を推計することで，分析用のデータベースを構築し，集計および分析を行った。

3. 分析の結果

都道府県別で集計した，設備および事業者所在地ベースの発電量シェアを図 1 に示す。大半の地域では事業者所在地ベースの発電シェアが設備所在地ベースを下回っており，東京都を筆頭とした都市部へと収益が集中している構造が顕在化した。

全国の発電設備の事業者所在地について，「同一市区町村内」「同一都道府県内」「都道府県外」の 3 つに分類した発電量のシェアを図 2 に示す。総発電量の 5 割弱が，都市圏を主とする他の都道府県の事業者によって行われており，再生可能エネルギーの活用が，地域経済循環の形成と都市部への経済集中を同時に起こしている現状が確認された。

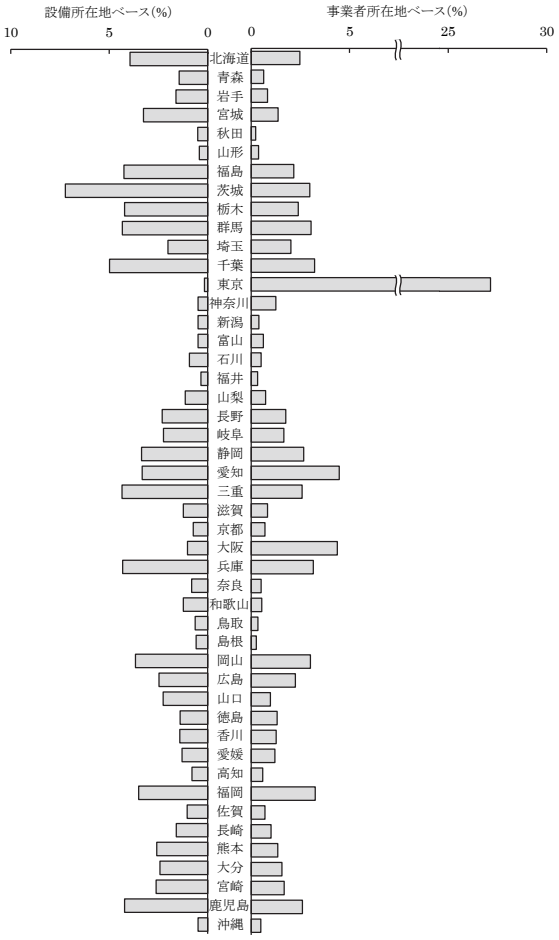


図 1　発電量の都道府県別シェア

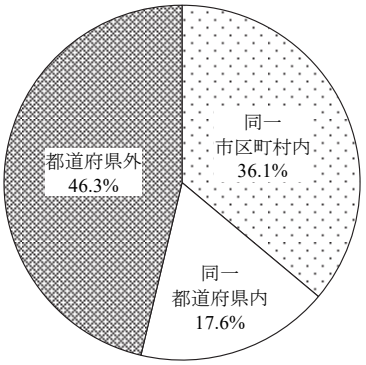


図 2　事業者の所在地別発電量シェア

キーワード　再生可能エネルギー，太陽光発電，地域経済循環

参考文献

1) 資源エネルギー庁，事業計画認定情報公表用ウェブサイト, https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfo（参照 2022-8-10）
2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構，日射に関するデータベース，https://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html（参照 2022-8-10）

再生可能エネルギーの自然災害発生時の活用可能性について－滋賀県の事例より－
Potential Use of Renewable Energy in the Event of Natural Disasters：Shiga Prefecture as a Case Study

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター　○金 再奎，岩川貴志，松井亜紀

1. はじめに

脱炭素社会実現のために再生可能エネルギーの大幅な導入が必要である一方で，導入にあたっては，災害時のレジリエンスの強化・エネルギーの地産地消に資することが求められている。そのような背景から，資源エネルギー庁では，固定価格買取（FIT）制度認定の要件として，2020 年度より，自家消費や地域一体的な活用を促す「地域活用要件」を定め，自立運転機能や電源の分散といった災害対策を推し進めている。本研究では，滋賀県における FIT 制度認定事業のうち，太陽光発電設備を対象とし，設備の所在地と洪水浸水想定区域(想定最大規模の場合)，土砂災害警戒区域との関係性を分析した。

2. 分析方法

FIT 制度認定事業に関する情報（資源エネルギー庁，2021 年 6 月時点）[1] を基に，滋賀県内の 20kW 以上の太陽光発電設備の所在地から地理座標を特定し，地理情報システム上に整備する。年間の予想発電量については，滋賀県内のアメダス観測地点（8 地点）ごとの，接地面の 1 日あたりの年平均日射量（NEDO　MONSOLA-20，傾斜角 30）に損失係数（0.73）を考慮して求める。それらを基に，滋賀県防災情報マップ [2] の洪水浸水想定区域(想定最大規模)および土砂災害警戒区域との関係性を分析する。

3. 分析結果

滋賀県における FIT 制度認定事業のうち，20kW 以上の太陽光発電事業は 5,594 件（2021 年 6 月時点）であり，合計発電出力は 882MW である。それらの年間予想発電量は 991GWh/y と推計され，20kW から 50kW 未満が 11%，50kW から 1,000kW 未満が 51%，1,000kW 以上が 38%を占めた。設備の立地場所は，土地利用細分メッシュデータ（国土数値情報，2016 年）[3] を用いて分析すると，建物用地およびその他用地 48%，農地 25%，森林 20%，その他 7%であった。

図 1 と図 2 に，災害との関係性の分析結果を示す。洪水浸水想定区域(想定最大規模)内に 26.7%，土砂災害警戒区域内に 5.6%の設備が立地していることが分かった。特に，農地に立地している太陽光発電設備は，1 年の間

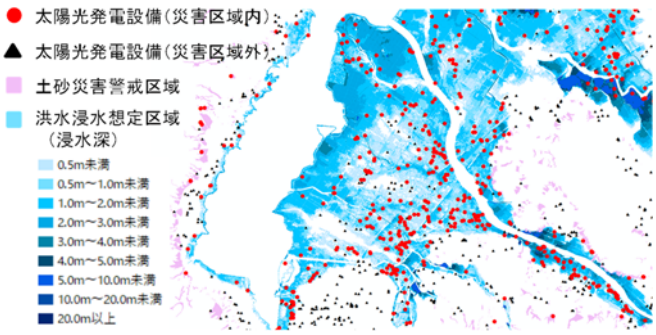


図 1　設備所在地と滋賀県防災情報マップの関係性（一部抜粋）

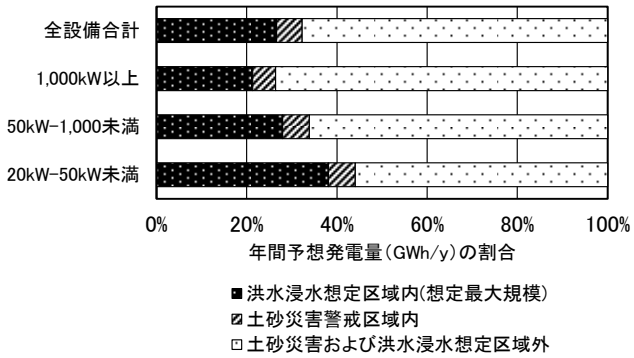


図 2　洪水浸水想定区域・土砂災害警戒区域に立地する設備の割合

に発生する確率が 1/1000(0.1%)程度の想定最大規模の洪水が発生した場合，57%が水没する。設備を災害時の復旧に活用するためには，自家消費用の回路や自立運転機能システムの構築も必要であると同時に，設備の設置場所そのものを災害リスクの低いところにすることが重要と考えられる。

参考文献

1)　資源エネルギー庁，事業計画認定情報公表用ウェブサイト，https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfo

2)　滋賀県防災危機管理局，滋賀県防災情報マップ，https://shiga-bousai.jp/dmap/（参照 2022-8-1）

3）国土交通省，国土数値情報ダウンロードサービス，https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/（参照 2022-8-1）

キーワード　再生可能エネルギー，自然災害

インタビュー調査による地方環境研究所の研究成果が行政活用されるための条件の探索

Searching for factors on contribute the local environmental institutes' research to environmental policy by interview surveys

○豊永悟史[1]，小原大翼[1,2]，宮崎康平[1]，古澤尚英[3,4]

[1]熊本県保健環境科学研究所，[2]熊本県環境生活部環境局環境保全課，[3]熊本県人吉保健所，[4]熊本県宇城保健所

1. はじめに

地方環境研究所（以下「地環研」）は，環境行政を推進するための調査・研究を行う自治体の出先機関である。地環研による研究の成果は，各自治体の環境政策の立案・実施に活用（以下「行政活用」）されるべきものであるが，$PM_{2.5}$に関する研究を対象としたアンケート調査では，行政活用実績があると回答された研究は，実施された研究全体の3割以下に留まっていることが示された[1)]。そこで，本研究は，$PM_{2.5}$関係の業務を所管している地環研及び本庁の担当部署（以下「行政部署」）の職員を対象としたインタビュー調査により，行政活用に影響を与える要因の探索と，それらが行政活用に影響する具体的なメカニズムを明らかにすることを試みた。

2. 方法

アンケート調査[1)]で回答を得た自治体の一部について，インタビュー調査への協力を依頼した。インタビュー調査の協力者は6自治体の15名であり，いずれも$PM_{2.5}$関係の業務等の担当者もしくは担当係長であった（表1）。また，全自治体について，地環研と行政部署で各1名以上の聞き取りを実施した。

インタビュー調査はWeb会議システムにより，半構造化面接として行い，先に実施していたアンケート調査の内容も踏まえながら，各部署の役割や，各部署の業務量や体制，部署間の関係性，研究成果の行政活用状況等について聞き取りを実施した。調査の状況は，協力者から同意を得て録画した上で逐語録を作成し，うえの式質的分析法[2)]を参考にして分析を行った。

3. 結果と考察

行政活用及び研究活動の活発さに影響を与える要因を分析したところ，アンケート調査では確認できなかった要因として，「上司の意向」や「環境問題の解決による行政ニーズの低下」等の存在が示唆された。

地環研と行政部署の日常的なコミュニケーションの契機としては，①環境モニタリング等の定型業務に関する内容，②予算に関する内容，③住民からの苦情や議会対応等の事案に関する内容の3点が主要なものとして挙げられる一方で，研究の実施状況等について話す機会は限られる傾向が見られた。また，複数の協力者の発言から，②では立場の違いによる行き違いが生じやすく，③は地環研が技術的助言を行うことで存在価値を示す機会として捉えられていることが推察された。これらのコミュニケーションは，地環研と行政部署の関係性を理解する上で重要であり，研究活動の活発さや研究成果の行政活用状況にも影響している可能性が考えられた。

謝辞

調査に協力いただいた皆様に感謝申し上げます。本研究の一部は科学研究費（奨励研究）21H03880の支援を受けて実施しました。また，本研究の一部は九州環境政策研究会（自治体職員による自主研究会）の活動の一環として実施しています。

参考文献

[1)]豊永ら（2021）第62回大気環境学会年会講演要旨集，p.400.

[2)]上野（2018）情報生産者になる，筑摩書房.

キーワード

地方環境研究所，研究成果の行政活用，インタビュー調査，部署間連携

表1　インタビュー調査協力者の属性

部署	協力者数	内訳							
		役職		年齢			部署への在籍年数*		
		係長級	担当者級	30代	40代	50代	3年以下	3-10年	10年以上
地環研	9	4	5	3	4	2	3	2	4
行政部署	6	1	5	3	3	0	5	1	0

*人事異動により、同一の部署に複数回配属されている場合は、通算の在籍年数とした。

ツマジロの諸臓器における水銀およびセレン濃度の関係
Mercury and Selenium Concentrations in Various Organs of the Silvertip shark (*Carcharhinus albimarginatus*)

国立水俣病総合研究センター ○丸本倍美，坂本峰至，丸本幸治

1. はじめに

歯クジラは魚介類の摂取により臓器中に高濃度の水銀を蓄積することが知られている。成体になるために、また、生命を維持するために、魚介類の摂取を終生続けるが、メチル水銀中毒で死亡した個体はこれまでに報告されていない。メチル水銀の毒性軽減には、必須微量元素のセレンの役割が重要とされており、歯クジラではセレンによるメチル水銀の無機化の促進が毒性軽減に有用だとされている。

大型のサメやカジキの仲間は成長すると体重数百キロになる種類も多く存在する。これらの種は成長するため、生体を維持するために餌として大量の魚を食べ続ける。よって、大型のサメやカジキの仲間も歯クジラの仲間と同様に無機化能力が高いのではないかと推察した。本研究では、これまでに報告のないメジロザメ科のツマジロの諸臓器における総水銀およびセレン濃度を測定し、臓器による濃度の違いについて検討することとした。

ツマジロ *Carcharhinus albimarginatus* はメジロザメ属に属するサメの一種でインド洋や太平洋のサンゴ礁を中心に分布している大型のサメである。成長すると体長が 3 メートル、体重数百キロになり、餌として主に硬骨魚を食べることから、継続的にメチル水銀に曝露されている可能性が高いが、ツマジロの諸臓器における水銀およびセレン濃度に関する報告はない。そこで、ツマジロの肝臓・脾臓・鰓・エピゴナル器・胃・腸・生殖器・中枢神経系・骨格筋・皮膚における水銀およびセレン濃度の関係を検討することでツマジロのメチル水銀無機化能力について考察した。

2. 研究方法

材料：動物種：ツマジロ

臓器：中枢神経系（間脳・視葉・小脳・脊髄）・肝臓・脾臓・膵臓・エピゴナル器・胃・腸・直腸腺・精巣もしくは卵巣・骨格筋・皮膚・鰓

分析：総水銀・セレン濃度測定

3. 結果と考察

総水銀濃度を測定した結果、肝臓における濃度が最も高く、平均 26.4ppm であった。また、エピゴナル器・脾臓といった造血器官の総水銀濃度が次に高い傾向にあった。可食部である骨格筋の総水銀は最高 3.4ppm であり暫定基準値の 0.4ppm を超えていた。

セレン濃度はエピゴナル器における濃度が最も高く、平均 906ppm であった。造血器官である脾臓も高い傾向にあった。

諸臓器における総水銀濃度とセレン濃度のモル比は臓器によって大きく異なっていた。ほとんどの臓器においては、セレン濃度と総水銀濃度のモル比が、数倍から数百倍となっており、セレンの割合が高かった。また、肝臓および骨格筋における総水銀濃度とセレン濃度のモル比は１：１に近くなった。

これまでの多くの研究により、メチル水銀無機化能力の高い歯クジラの肝臓および骨格筋では総水銀およびセレン濃度のモル比が１：１となることが知られており、今回検索したツマジロでも同様の結果となった。

発表者らがこれまでに歯クジラの肝臓および骨格筋以外の諸臓器における水銀およびセレン濃度を測定した結果、今回検索したツマジロと同様に、臓器中のモル比が臓器によって大きく異なり、セレン濃度と総水銀濃度のモル比が数倍から数百倍となることを見出している。よって、ツマジロも歯クジラの仲間と同様にメチル水銀の無機化能力が高いのではないかということが推測された。

キーワード　ツマジロ，水銀，セレン

謝辞

本研究を発表するにあたり、久米島漁業協同組合・譜久里長徳氏・桃原球野氏および髙橋利久氏、国立水俣病総合研究センター・基礎研究部・内栁麻央氏および千々岩美和氏、環境・保健研究部・鬼塚重美氏、橋本二美可氏、本山愛氏および森本茜氏に謝意を表します。

日々の買物意識が自宅の片づけに与える影響
Impact of daily shopping consciousness on home organization

国立環境研究所 ○吉田綾

1. 背景と目的

近年、片づけに関する悩みを抱えている人は多い。モノを少なくして、スッキリ暮らすための方法に関する書籍がベストセラーになるなど、人々のモノに対する意識には変化が見られる。

自宅が片づいている人といない人では、日々の買物意識にどのような違いがあるのだろうか。本研究は日々の買物意識と自宅の片づけの関係を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

首都圏（東京・埼玉・千葉・栃木・群馬・茨城）在住の男女 20-69 歳のうち、3 か月以内に片づけをする予定がある人を対象に、株式会社マクロミルの登録モニターから、回答を募集した。調査は 2022 年 6 月 28 日―30 日に実施した。その結果、474 名（男性 190 名、女性 284 名）、平均年齢は男性 50.35 歳（*SD* 11.58）、女性 43.56 歳（*SD* 12.73）から回答を得た。

質問項目は、（１）片づけ指数（安東, 2011）:「今すぐ人を家に招けない」などの質問についてその有無を回答するもの（30 項目,各 1 点）、（２）買物意識：衝動的購買尺度に浪費性，快楽意識，効率意識，ストック意識，節約意識，価値観を加えたもの（30 項目，5 点尺度）および属性（年齢、性別、婚姻の有無、子供の有無、世帯年収）に関するの質問であった。

3. 結果

3.1. 買物意識の因子分析

買物意識 30 項目すべてを用いて因子分析を行った（最尤法、プロマックス回転）。分析の段階で十分な因子負荷量を示さなかった 7 項目を分析から除外し、再分析を行った結果、最終的に 23 因子が抽出された。各因子（各因子項目の平均値）は「衝動」（M＝2.52，SD＝.86，α＝.938）、「効率」（M＝3.44，SD＝.706，α＝.776）、「快楽」（M＝3.08，SD＝.880，α＝.752）、「ストック志向」（M＝3.2，SD＝.833，α＝.642）と命名した。内的整合性を示すクロンバックの α 係数の値が低かった、ストック志向を除いた下位尺度 3 つを以降の分析では使用する。

3.2. 相関関係

自宅の片づけの状態を表す片づけ指数の平均値は、11.27 点（*SD* 6.85）であった（11 点以上の場合、かなり思い切ってモノを処分する必要があるとされる）。

買物意識と片づけ指数の相互相関を表 1 に示す。衝動と快楽、衝動と片づけ指数、快楽と片づけ指数の間に正の有意な相関がみられた。衝動と効率の間に負の有意な相関がみられた。

3.3 買物意識の因子分析

買物意識が片づけ指数（自宅の片づけの状態）に与える影響を検討するために、重回帰分析を行った。結果を表 2 に示す。

衝動から片づけ指数に対する標準偏回帰係数（β）が有意である一方で、効率と快楽から片づけ指数に対する標準偏回帰係数は有意ではなかった。

表 1　買物意識尺度と片づけ指数の相互相関

	片づけ指数	衝動	効率	快楽
片づけ指数	—	.35**	-.08	.20**
衝動		—	-.22**	.47**
効率			—	-.08
快楽				—

**p <.01

表 2　片づけ指数を従属変数とした重回帰分析の結果

説明変数	*B*	*B SE*	β
衝動	2.61	0.40	.33***
効率	-0.02	0.43	-.00
快楽	0.34	0.38	.43
R^2	.122***		

基準変数：片づけ指数　*** p <.001

参考文献

1) 安東英子（2011）運命を変える収納術！二度と散らからない片付け方の順番，主婦と生活社，157p

キーワード　購買態度，溜め込み，Web 調査

企画シンポジウム

シンポジウム

※全てのシンポジウムは、オンラインにて開催されます。

シンポジウムー1
「気候変動政策の転換を地域主導で進めるための体制・道具・人材」
9月8日（木）　9：30 ～ 12：00

シンポジウムー2
「わが国の地球温暖化対策の現状と課題」
9月8日（木）　9：30 ～ 12：00

シンポジウムー3
「化学物質の環境モニタリングとリスクの評価・管理手法の今後」
9月8日（木）　9：30 ～ 12：00

シンポジウムー4
「環境汚染物質の網羅的分析手法の開発状況」
9月8日（木）　14：30 ～ 17：00

シンポジウムー5
「地域の脱炭素化：次世代エネルギーと公共調達の観点から考える」
9月9日（金）　9：30 ～ 12：00

シンポジウムー6
「脱炭素化に貢献するモビリティ革命のあり方をさぐる」
9月9日（金）　13：30 ～ 16：00

シンポジウムー7
「持続可能な未来都市に向けた分析・計画・実装」
9月9日（金）　9：30 ～ 12：00

シンポジウムー8
「PBL としての SDGs 活動：継続的な活動による能力開発の評価手法の検討」
9月9日（金）　13：30 ～ 16：00

シンポジウムー9
「多様な学問分野における環境科学研究の最前線」
9月9日（金）　13：30 ～ 16：00

シンポジウム－1

「気候変動政策の転換を地域主導で進めるための体制・道具・人材」

オーガナイザー　白井信雄（武蔵野大学）教授
増原直樹（兵庫県立大学）准教授

趣旨説明：気候の非常事態が露わになるなか、カーボンゼロ社会実現のためには、これまでの政策の体制や道具（方法論）の転換（トランジション）が必要であり、地域で転換の実践をコーディネイトする気候変動政策マネジャーの育成と活躍が必要になっている。また、カーボンゼロのための緩和策とともに、適応策についても、地域への影響評価や関連施策の棚卸し段階から、より構造的な適応策に踏み込んだ実装を行う段階となっている。具体的にどのような政策の体制、道具が必要であるか、また緩和策と適応策をあわせて、地域政策を進める気候変動政策マネジャーはどのような仕事を担うべきか、どのように育成すべきか。国内外の地域の事例と試行を共有し、具体的な方策に関する意見交換を行う。

気候変動政策の転換を地域主導で進めるための体制・道具・人材
Institution, Tools and Human Resource for Transition Management in Local-oriented Climate Change Policy Area

シンポジウムオーガナイザー
武蔵野大学　白井信雄
兵庫県立大学 増原直樹

1. はじめに

気候の非常事態が露わになるなか、地域におけるカーボンゼロ社会実現のためには、これまでの政策の体制や道具（方法論）の転換（トランジション）が必要となっている。

例えば、カーボンゼロを実現するための省エネルギーや再生可能エネルギーに関する技術導入においては、それらの技術導入を通じた産業振興や参加と協働によるコミュニティづくりを進めるなど、エネルギー自治を進める方法論が必要となる。また、経済の量的成長から質的成長への転換や産業構造や土地利用構造等の再構築等を射程に入れた政策デザインや合意形成も取組み課題となる。こうした転換を実現するためには、転換後のビジョンを俯瞰的に捉え、転換の実践をマネジメント・コーディネイトする気候変動政策マネジャーの育成と活躍の仕組みの整備が必要になってくる。

また、カーボンゼロのための緩和策とともに、適応策についても、地域への影響評価や関連施策の棚卸し段階から、より構造的な適応策に踏み込んだ実装を行う段階となっている。構造的な適応策とは、豪雨の被害を受けやすい脆弱な土地利用の再構築、災害に適応できるコミュニティづくり、食やエネルギーの自立分散・地産地消、大規模で画一化された農業生産から他品種少量生産への再編等である。構造的な適応策を計画・実践していくために、行政分野横断的にプロジェクトを組み上げ、行政・企業・住民の協働を促す役割を担うマネジャー・コーディネイターの存在が不可欠である。

では、カーボンゼロに向けた緩和策や構造的な適応策の推進のためにどのような政策の体制、道具が具体的に必要であるか、また緩和策と適応策をあわせて地域政策を進める気候変動政策マネジャーはどのような仕事を担うべきか、どのように育成すべきか。気候変動政策マネジャーが活躍できるポストや組織はどのようにあるべきか。

国内外の地域の事例と試行を共有し、具体的な方策に関する意見交換を行う。

2. 個別の研究発表

2.1.　地域の気候変動政策等のマネジメント・コーディネイトの要件

白井信雄（武蔵野大学）

地域の緩和策あるいは適応策の実践を進めるためのマネジャー・コーディネイター（人材）を中心に捉え、その人材が備えるべき要件、人材が活かされる組織・制度等のあり方を整理する。

人材が備えるべき要件としては、まず諸問題の連環や根幹を捉えることができる俯瞰的な役割と能力、諸問題に対する基礎的な知識とシステム思考を持っていることがあげられる。加えて、政策実践における地づくりと人づくりのエコシステムを構想してアニメートする力、専門的な内容を関係者に伝える翻訳家としての役割、計画や協働等を専門的に支援する役割、企画・実践・見直し等のプロジェクト・ステージに応じた調整能力等を持った人材が不可欠である。

では、このような人材はどのようなポストや組織において活かされるべきか。気候変動対策以外の分野（地域づくり、SDGs 未来都市等）の実践事例等も踏まえて、検討の枠組みを提示する。人材の育成・確保についても教育システムのあり方を提起する。

2.2.　オーストリアの気候変動政策のマネジャー制度の特色

上園昌武（北海学園大学）

オーストリアでは、各自治体や地域において住民主導のエネルギー自立地域づくりが進められてきた。だが、農山村には、人口 2〜3 千人の小規模自治体が点在しており、再エネ普及や省エネ対策を実装していくための資金や人材が足りないという課題を抱えている。

そこで政府は、小規模自治体の気候変動対策を促進していくために、気候エネルギーモデル地域（KEM）という制度をつくり、中間支援組織による支援体制を構築した。特筆すべきは、KEM マネジャーのコーディネーターの役割である。KEM マネジャーは、住民や企

業、自治体との間に入って意見を調整し、必要に応じて外部の専門家などから専門的な助言やノウハウを伝え、計画づくりの策定で媒介者の役割を担う。

KEM マネジャーの存在によって、地域の課題を同時に解消していく住民本位の気候変動政策が取り組まれている。本報告では、日本の脱炭素地域づくりでも参考になる事例を紹介する。

2.3. 自治体エネルギー政策を支える中間支援組織の体制・機能

平岡俊一（滋賀県立大学）

日本の自治体レベルでのエネルギー・脱炭素政策を推進していく上では、担い手となる人材や専門的知見・ノウハウといった「知的・人的基盤」の脆弱性が深刻な課題になっている。

欧州の関連政策分野では、自治体の知的・人的基盤を補完する存在として、助言・ノウハウ提供、調査・研究、教育などの各種支援を行う「中間支援組織（エネルギー・エージェンシー）」が各地に整備され、自治体や諸主体を対象に支援活動を活発に展開している。

本報告では、報告者がこれまで重点的に調査を行ってきたオーストリアの同組織の体制・機能を紹介するとともに、日本での導入の可能性・課題などについて論じる。

2.4. 長野県飯田市におけるエネルギー自治を進める制度の設計と運用

田中克己（飯田市）

電力を中心とするエネルギーの安定確保の問題は、新たな社会的課題を波及的に生み出しており、今日では様々な課題が各地で顕在化している。課題解決をエネルギーや資源関連に矮小化してエネルギー会社や国策に任せきりにせず、あらゆる階層・属性の人々が、お互いの関係性を考慮して、求められる役割を自覚し、社会的課題解決に向けて主体的に活動できる状況づくりが必要である。

そのために、シームレスに続く様々な人々の関係性の中で、誰がどのような視点に立って求心力を発揮し、人々の主体的な活動に一定の流れを生み出し、活動を連携させて効果を最大化させていくのか。それには、地域の人々や地域資源を知悉する市町村の役割は大きい。

市民起点での課題の共有化と、ここを起点とする主体的な自治活動の生成、そこへの市の関与の形とその社会的機能について考察し、エネルギーと地域づくりの関係性のこれからの形について議論したい。

2.5. SDGs と脱炭素を両立する地域環境ガバナンス試論

増原直樹（兵庫県立大学）。

ともに 2015 年に誕生した SDGs とパリ協定は、2030～2050 年までの中長期にわたって、政府・自治体の政策、企業活動に大きな影響を及ぼしていく。

本シンポジウムのテーマに引き付ければ、SDGs はゴール間あるいはターゲット間に存在するシナジー・トレードオフ関係が特徴であり、それら連環の定量的な分析が国内でも進められている。そうした連環分析を手がかりとして、地域に山積する諸課題の根幹に迫り、課題解決のために適切な行動をとることのできる人材の育成が急務である。

一方、SDGs と密接な関係にある地方創生、脱炭素といった理想像の実現に向け、国内自治体はどのような状況にあるのか。現在進行中の SDGs 未来都市計画の全数調査、SDGs 未来都市担当者へのヒアリング調査等の結果を基に、今後必要な人材育成に関するヒントを抽出する。

謝辞

本研究は、武蔵野大学しあわせ研究所の「しあわせ研究費」の支援により実施されている。

参考文献

1) 白井信雄 (2017)、特集企図　長期的環境ガバナンスに向けた道具と仕組みの開発、環境情報科学 46 (4)、1-4.
2) 白井信雄・大和田順子・奥山睦編著（2022)、SDGs を活かす地域づくり　あるべき姿とコーディネイターの役割、晃洋書房.
3) 増原直樹・監修(2022)、30 のキーワードで理解するカーボンニュートラル、日本能率協会マネジメントセンター.

シンポジウム－2

「わが国の地球温暖化対策の現状と課題」

オーガナイザー　大塚直（早稲田大学）教授
柳憲一郎（明治大学）名誉教授

趣旨説明：わが国の地球温暖化対策の現状と課題について、様々な角度から検討・分析する。2050年のカーボンニュートラルに向けてわが国の地球温暖化対策は待ったなしの状態にあるが、そこには多くの課題が存在する。現在の関連する法状況を確認・分析し、その課題を検討することは極めて重要なことと思われる。シンポジウムは、総論、再生可能エネルギー導入促進と地球温暖化対策推進法、省エネ及び革新的技術開発の現状と課題、気候変動に対する適応、CCUSについて扱う。メンバーは、社会科学、自然科学の研究者、環境省の実務家で構成されており、その点においても独自性がある。

総論
Overview of this Project

早稲田大学 ○大塚　直

1. 気候変動問題への国際的・国内的目標

IPCC は 2018 年に 1.5℃特別報告書を公表し、IPPC の第 6 次評価報告書に関する WG3(2022 年 3 月～4 月承認・受諾）は、1.5℃上昇に抑えるには、2025 年までに各国の総排出量がピークに達し、減少に転じなければならないこと、世界全体で 2050-55 年には CO2 排出を実質ゼロにする必要があることを指摘した。

このような気候危機ともいえる状況に対して、2016 年に発効したパリ協定は、世界の長期気温目標として「工業化前に比して世界の平均気温の上昇を 2℃を十分下回る水準に抑制し、1.5℃に抑制するよう努力する」と定めており（2 条 1)、今世紀後半に温室効果ガス（GHG）の人為的排出と人為的吸収を均衡させるよう迅速に削減する、つまり、GHG の排出量を実質ゼロにするとしている（4 条 1)。

2020年10月、当時の菅首相は、わが国は、2050年までにGHGの排出を全体として実質的にゼロ（カーボンニュートラル（CN））にすることを目指すと宣言し、また、翌年4月、2030年度までに（2013年度比で）46%削減し、さらに50%削減の高みに向けて挑戦を続けることを宣言した。もっとも、世界各国についてもわが国についても、2030年目標の深堀の必要が指摘されている。

２．わが国の気候変動対策に関する今後の展望

菅総理の所信表明を契機として、わが国の温暖化対策は転換期にある。以下では、報告者がわが国の気候変動対策に関する今後の展望と考えるところを列記する。

第 1 に、目指すべき経済社会像として、2022 年 4 月、中央環境審議会「炭素中立型経済社会変革小委員会」は、「サステナブルな経済社会の実現」と「そこでの人の幸福」とした。ここにいう「人」には将来世代の人々も含まれている。報告者もこの目標を支持する。

第 2 に、各分野について手法のポリシーミックスは必要であるが、電力システム改革を契機として電力業界が変化し始めていること、さらに GHG 削減について高い目標が掲げられたことなどに鑑みると、自主的取組を温暖化対策の第一義的なものとし続けるのは困難となった。経済的手法及び規制的手法の活用がますます重要となったといえよう。2050 年に向けて革新的技術に注目が集まりがちであるが、革新的技術の今後についてはどうしても不確実性を伴う。制度、システムの改革が必要となっているのである。

横断的対策として注目される経済的手法（カーボンプライシング（CP））としては、税と排出枠取引（ET）がありそれぞれ長短があるが、税をベースとしつつ、電力については――エネルギーミックスで総量が決まっていることから――総量規制＋ET を導入し、電力以外の産業・業務等に対しては――対策の費用効果性を重視するのであれば――本格的な税の導入が考えられる。ただ、成長戦略との関係では、当面、税が適切であろう。もっとも、国際競争力に対する配慮は必要となる。GX リーグについては、汚染者負担原則（PPP）の観点からは、無償割当の ET に安住するのではなく、オークションへの移行が早急に検討されなければならない。

第３に、エネルギーについては、電化、電力の非化石化、再エネ、省エネ、水素政策の推進などが特に重要である。再エネについては、系統の強化など、その導入の基礎を構築すること、コストを低減させていくことが重要である。火力については CP により（PPP に基づく）環境負荷に伴う公正な負担を負う必要がある。風力発電に関しては、環境影響評価が足枷になっているとの指摘があり、この点は規模要件の改正がなされたが（環境影響評価法施行令改正)、再エネの特徴を考慮しつつ再エネ独自のアセス法を構想すべきである。また、再エネ購入の促進のため、小売の際の電源種の開示は現在努力義務にとどまっているが、早急に義務化すべきであろう。その他の再エネの課題については錦澤報告ご参照。

第 4 に、産業、業務に対しては、既存の省エネ法（小松報告ご参照)、建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律、フロン抑制法等を活用・強化すること、都市の低炭素化については、エコまち法を強化することが考えられる。運輸については電動車の導入目標の実現、自動車関連税制における環境税としての性格の強化が有効である。セクターごとの RM 作りが必須である。

自家消費型の太陽光発電は系統にも接続する必要がなく導入しやすいため、各社は自社の敷地や屋根などのポテンシャルをしっかり把握し、それに基づき CN 行動計画の中に再エネ導入を位置づけることが望まれる。屋根上太陽光の設置は、業務・家庭部門での対応として有

用である。国レベルでは、建築物省エネ法改正において義務化には踏み込まなかったが、東京都の条例案は、この点に踏み込んでいる。

もっとも、エネルギー起源 CO2 以外の GHG に対する費用効果性の高い対応の必要は残る。これに対しては、CCS も 1 つの選択肢である（柳報告ご参照）。

産業に関しては革新的な技術によるグリーン成長が目指されており、官民一体となった投資が重要であるが、財政規律との関係も踏まえつつ対応する必要はあろう。

第 5 に、横断的な対応として、気候変動対策に対する ESG 投資の重要性は益々増大している。ESG の拡張と、その前提としての企業の非財務情報の開示（金融商品取引法の改正が行われる予定である）、タクソノミーを含めたその指標の開発が重要である。

第 6 に、やはり横断的問題として、気候変動に関する日本の技術力を生かし、技術の市場化、普及をいかに促進するかの検討が必要である。そのためにはアジアの新興国との競争上の公平を確保することも重要となろう。EU の CBAM も世界における競争上の公平を確保するための施策とみることもできる。

第 7 に、気候変動対策の基本的姿勢として、気候変動対策と他の政策の統合的実施が重要である。すなわち、気候変動対策と産業政策の統合、気候変動対策と循環型社会政策（サーキュラーエコノミー政策）の統合、気候変動対策と生物多様性対策の統合、気候変動政策と水管理政策の統合などである。省庁間の連携が極めて重要であることはいうまでもない。気候変動対策と合わせた 3 つの政策を統合する地域循環共生圏によって脱炭素社会を目指すことが必要である。

第 8 に、脱炭素社会を実現する中で悪影響を受けるセクターに対しては、行政としては、その雇用の確保に努めなければならない。「公正な移行（just transition）」に向けたロードマップ作りの際の省庁の利害を超える対応、科学的対応が必要である。なお、気候変動対策の結果としての産業の移行に関しては、独禁法の適用除外についても検討する必要となろう。

CN に資する革新的イノベーションの実施や移行のため、政府はすでに 2 兆円基金があり、さらに岸田総理は 2022 年 5 月、脱炭素分野で少なくとも 10 年で 150 兆円超の投資が官民で必要と指摘し、必要な政府支援額として 20 兆円規模との試算を示し、GX 経済移行債で先行して調達すると述べた。今後官民の資金をどう活用していくか、その財源をどう調達するかについて見取り図を示す必要がある。その際、GHG 削減との関係でのコストエフェクティブな施策を優先する姿勢がなければ、資金の有効な活用はできないことを強く認識する必要がある。

第 9 に、関係計画の脱炭素化に努めることも重要である。温対法 21 条 8 項に規定があるが、都市計画等の施策において同法の地方公共団体実行計画と連携して GHG の削減等が行われるよう「配意」するとされており、「適合」や「調和」よりも弱いことが批判されている。また、適応計画に関しては、法制化され、具体的に進んできているが（角倉報告ご参照）、今後、その内容を都市計画に反映させること、環境影響評価の評価項目の評価の仕方に影響させることが必要である。また、適応の実施は本来温暖化関連の法律の計画レベルに留まるものではない。ドイツでは気候変動の影響について、自然保護法、水管理法といった個別法や、森林戦略に反映されるものとし、さらに、国土整備法、建設法典、環境影響評価法でも気候変動の影響を考慮要素として、国土利用・計画法における地域空間管理の計画で受け止めるものとしている（特に、建設法典では、計画基本原則に気候変動防止・適応が定められた。1 条 5 項）。わが国においても参考にされるべきであろう。

第 10 に、気候変動問題は今や人権問題となり、気候訴訟もこの点に関連している。また、関連して、わが国の気候変動対策政策の形成において、市民や若者の参加が必ずしも重視されておらず、今後改めるべきであろう。

第 11 に、わが国からの国際的な対応については、主に JCM（二国間クレジット制度）による対応がなされているが、現在、JCM は目標積み上げの基礎とされていない。これを目標積み上げの基礎とし、2030 年目標にも組み込むことが必要である。

全体として、わが国では、従来、自主的取組ないし金融関係でのやむに已まれぬ状況からの気候変動対策は導入してきたが、経済的負担や（産業に関連する）規制は回避してきたという傾向が見て取れる。しかし、GX 経済移行債についても、償還財源としての CP は（将来世代への付けを莫大なものにしないために）必須になっているし、GHG の高い削減目標の達成のために規制を導入すべき場面もあろう。さらに、各分野の対策を総合的計画的に推進し、以上のことを実現するために、気候変動対策基本法の制定が望まれる。

参考文献

1）大塚直（2021 年）環境法研究，12 号，1 頁-28 頁

キーワード　気候変動，カーボンプライシング

電力―再生可能エネルギー導入促進と地球温暖化対策推進法
Promotion of Renewable Energies and the Related Policy

東京工業大学 ○錦澤 滋雄

1. 再生可能エネルギーを巡る国内外の動向

温暖化対策としての再生可能エネルギーへの期待は大きく、国内外で導入が進んでいる。世界では 2021 年に太陽光が 900GW、風力が 800GW の導入量に達し、2023 年には両者あわせて 2TW を超すと見込まれる。わが国では 2020 年 10 月、菅内閣が 2050 年脱炭素を宣言して 2021 年 11 月に示された第 6 次エネルギー基本計画では、再エネの最大限導入に向けた最優先の原則が打ち立てられた。資源エネルギー庁による 2021 年 9 月公表データによると [1]、太陽光発電の導入量が 63GW 超で中国・米国に次ぐ世界第 3 位、風力とバイオマスはどちらも約 4.5GW と未だ低位に留まるが（表 1）、風力は固定価格買取制度による認定のうち、事業化（稼働率）が 30%に満たず、今後の導入が期待される。

一方、再エネ導入にあたっては、全国各地で事業計画に対する懸念や反対、事業実施に伴う苦情が後を絶たない。再エネ導入に総論では賛成するものの、居住地近くの建設には反対を示す、いわゆる NIMBY（Not In My Back Yard）現象が起こっている。報告者らの研究グループは全国各地で再エネ施設の実地調査をしてきたが、著しい環境影響が生じるケースがあり、地域エゴとして片づけることは無理があると考えている。地球温暖化問題と再エネ導入による地域環境問題、このグリーンジレンマと呼ばれる事態をいかに同時解決するかが問われている。

本報告では、このような問題意識から、再エネ導入による環境紛争の概況を述べた上で、先に改正された地球温暖化対策推進法（改正温対法）を対象に地域と共生する再エネに求められる要件を検討したい。

2. 再生可能エネルギー導入による環境紛争

再エネ導入をめぐる環境紛争について、新聞記事の検索をもとにした調査の結果を表 1 に示す。調査対象時期に差異があるので単純な比較はできないが、バイオマス発電による紛争は 8 件と少ないのに対して、風力 76 件、太陽光 74 件と多い傾向にある。風力は 1999 年 9 月の北海道の案件で初めて紛争が確認されたのに対して、太陽光は 2011 年であることから、太陽光の紛争案件が近年増加傾向にあるといえる。

これらの紛争論点は、風力では野鳥衝突（35＝事業数）、騒音（28）、自然保護（20）、景観（19）、災害（17）、太陽光は面開発事業であることから土砂災害などを懸念する災害（41）が最も多く、次いで景観（30）、自然保護（12）、生態系・動植物（9）、水質・漁業（9）などとなっている。また、稼働後の苦情や相談では、風力発電においては羽根の回転による影のちらつきが起こる「シャドーフリッカー」、太陽光ではパネルの反射光など、あまり知られていない生活環境影響が問題となることが報告されている。

また、紛争発生後の事業の状況について、その後の報道等で確認したところ、風力では半数近くが中止又は凍結されていること、太陽光でも 4 分の 1 以上の事業で中止となっていることがわかった。運転開始に至った事業は 4 分の 1 程度となるが、これらの事業で反対団体の納得が得られたとは限らない。風力発電の紛争事例を対象にした安喰ら（2018）の研究では [2]、運転開始した事業の多くで、計画地の変更、基数削減、

表 1　再生可能エネルギー導入量と環境紛争発生状況

	導入量［GW］ 2012.6.→2021.9 ＋未稼働(稼働率)	調査対象時期 （新聞記事検索）	紛争発生 事業数
風力	2.6→4.6 +11.3(29%)	2017年7月まで (2012.5～2017.7)	76 (17)
太陽光	5.6→63.1 +17.8(78%)	2021年6月まで	74
バイオマス	2.3→4.5 +5.0(47%)	2017年4月まで	8

注 1:導入量は資源エネルギー庁データ（2022.1 公表）による。風力は小型風力、太陽光は住宅用を含む。
注 2:新聞記事検索は ELNET データベースにより「風力発電 反対」などをキーワードに検索。
注 3:ここで用いた「環境紛争」は反対団体の活動が報道される状況と定義した。

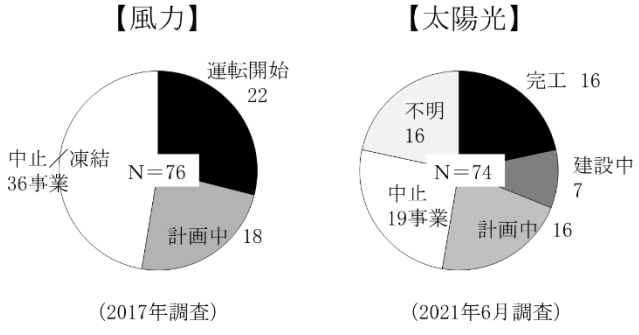


図 1　環境紛争発生後の事業の状況

単機出力の縮小などの事業計画変更が提案されていたとしている。このため、紛争発生後に事業を進めるのは容易ではなく、いかに紛争回避するか事前の対応が重要になることがわかる。

そこで次に、紛争の事前回避策として期待されるゾーニングの仕組みに着目し、先の法改正でこれを制度化した地球温暖化対策推進法を取り上げる。

3. 改正地球温暖化対策推進法による再エネ導入促進策

3.1. ゾーニング（促進区域）による早期の環境配慮

本年（2022 年）4 月に施行された改正地球温暖化対策推進法は、脱炭素実現に向けて多様な施策が盛り込まれたが、再エネ導入促進の観点では促進区域と呼ばれるゾーニングによる早期段階での環境配慮の仕組みが具体的に示された点が重要で、2022 年 6 月に環境省からマニュアル第 2 版が公表されている[3)]。

これに先立ち環境省は、2016 年から地方自治体によるゾーニング導入可能性検討のモデル事業を実施して 2020 年にマニュアル（第 2 版）を公表している。同マニュアルには、陸上と洋上風力を含む 10 の自治体（県 2 団体、市町村 8 団体）での取り組みを踏まえた知見が収められている。

ゾーニングのポイントは保全と開発のバランスを考慮する点にある。保全すべきエリアは複数のレイヤーを重ねて、国立公園などの環境面、風況などの事業性（経済面）、住宅からの距離や農地などの社会面が包括的に検討される。これらは法規制や事業性などの観点から一律に除外されるエリアと、除外を検討する調整エリアなどに分けて区分（ゾーニング）される。このため自然環境保全地域など国の基準で一律に除外されるエリアの他に、都道府県や市町村の政策に基づいて除外されるエリアが含まれる。早期段階での検討により影響の不可逆性の回避、事業アセスでは対応が難しい累積的影響にも配慮できる可能性が高まるといった利点がある。また改正温対法では、促進区域で事業計画が提案されて市町村の認定を受けた場合、環境アセスの配慮書手続きが省略されるほか、許認可手続きの窓口を一本化できるなど、事業の円滑化を図ることで事業者のメリットとなる特例が設けられている。

一方、ゾーニングの課題は作成に時間がかかること（通常 1〜2 年）の他、ほぼ全域が保全エリアとなってしまうケースがある。検討範囲が狭いケースで起こり得るので、県全域を対象に策定するなど複数の自治体間で協力・調整することが求められる。また、ゾーニングマップは法的な規制力があるわけではないため、適地以外で事業提案された場合の扱いが問題となる。

3.2. 地域貢献策

改正温対法では、促進区域の設定のほかに地域貢献について考慮することで円滑な合意形成を図ることが提案されている。再エネを NIMBY 施設から PIMBY（Please In My Back Yard）施設へと転換していくためには、地域にとってのポジティブな要素を最大限生み出す観点が重要になる。具体的には、売電収入の一部還元、災害時の電力供給、地域課題の解決など、地域メリットにつながる要素を関係者による協議会の場で検討し、再エネの地域ビジョンや計画に位置付けていくことが望ましい。これらは今後の自治体の取り組みが期待されるところだが、先行事例として岩手県軽米町の事例がある（長澤ら、2020）[5)]。この計画では、風力、太陽光、バイオマス発電を整備する促進区域を示すことに加えて、地域貢献策として発電事業の収入の一部を基金化して、農林業の発展やまちづくりなど地域発展を視野に入れた多様な用途が示されている。また、協議会で論点となった森林開発については、町内林野面積全体の上限を 10%に設定して計画に明記するといった工夫もなされている。

このように再エネ導入による長短両面を協議会の場で包括的に検討し、計画に反映していくことで地域住民を含む関係者間の円滑な合意形成が期待できる。

参考文献

1) 資源エネルギー庁 事業計画認定情報 公表用ウェブサイト、https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfo（2022 年 4 月 25 日閲覧）
2) 安喰基剛・錦澤滋雄・村山武彦（2018）風力発電事業の計画段階における環境紛争の発生状況と解決要因、環境情報科学論文集 32:185-190
3) 環境省（2022）地域脱炭素のための促進区域設定等に向けたハンドブック（第 2 版）、環境省
4) 環境省（2020）風力発電に係る地方公共団体によるゾーニングマニュアル（第 2 版）、環境省
5) 長澤康弘・錦澤滋雄・村山武彦・長岡篤（2020）農山漁村再生可能エネルギー法に基づく基本計画策定時の協議会における合意形成プロセス、環境情報科学論文集 34:25－30

キーワード　再生可能エネルギー, 環境紛争, 合意形成, 地球温暖化対策推進法

省エネ及び革新的技術開発の現状と課題
Current Status and Issues in Energy Conservation and Innovative Green Technology Development

明治大学 ○小松　英司

1. はじめに

人為的な GHG の純排出量総量は、1850 年以降の累積 CO2 純排出量と同様に、2010 年から 2019 年の期間でも増加し続けた。2010～2019 年の年間平均 GHG 排出量は、過去 10 年間のどの時期よりも多かった（IPCC, 2021）。2010 年から 2019 年までの累積 CO2 純排出量は、温暖化を 1.5℃に抑制する確率が 50%の場合、2020 年以降の残りの炭素バジェットの約 5 分の 1 に相当する。1.5℃目標のパスを実現するためには、遅くとも 2025 年までに世界の GHG 排出量をピークアウトさせ、その後急激に排出量削減を実現する必要があると予測されている。

この実現には、IPCC（2022）はエネルギー部門全体における GHG 排出量削減が必須で、化石燃料の使用量の大幅な削減、低排出量のエネルギー源及び代替エネルギーキャリアへの転換、エネルギーの効率向上と節約・カスケード使用など、都市・社会構造とともに革新的転換が必要であると提言している。

しかしながら、国内とともに国外の都市での GHG 削減計画の策定・実施能力は、より広範な法規制や社会制度の策定に加え、財源や技術的資源へのアクセス、地方統治能力、市民社会の関与、自治体の予算権限などの条件によって大きく違ってくることは否めなく、地域で大規模に削減を推進するためには、これらの知識・資源と投資を共有、流動化させる社会制度が必要である。

2. 省エネ及び革新的技術開発の現状

2.1.省エネ法改定と省エネ技術

省エネ法改定の背景として、長期エネルギー需給見通しにおける省エネ対策とエネルギーミックスの省エネ対策の進捗状況が挙げられる。前者は、2030 年度に最終エネルギー需要を対策前比で原油換算 5,030 万 kl 程度削減、エネルギー消費効率を 35%改善する必要があり、2050 年度に向けてさらに効率を大幅に向上させる必要がある。2016 年度時点で 876 万 kl 削減（17.4%減）に留まっており、家庭部門は最も低く 14.6%減となっており、省エネ設備投資の加速によるエネルギー消費効率の向上、運輸部門では貨物分野のエネルギー効率向上が課題である。これらの背景から、大きく 2 つの制度、連携による省エネ量を企業間で分配して報告可能とし全体で効率を向上させる、荷主が契約等で輸送の方法等（日時、場所、輸送モード）を決定する者と定義し、貨物の所有権のないネット小売事業者等も省エネ法の対象とする、が導入された。

一方、省エネ技術は、広範で多岐に亘り、より効果的に技術開発や普及が促進されるためには、効率向上が期待される分野を特定することが重要であり、省エネ法と整合性する研究開発推進のロードマップの見直しを行い、実効性の高い研究開発することが求められる。

図 1　省エネルギー技術戦略に定める重要技術 [1)]

2.2 グリーン革新的技術開発

日本学術会議 [2)] は、エネルギー及び気候変動対策を効果的に推進するためには、特に行政機関等に対して、①電力化率向上と電源の低炭素化、脱炭素化の加速、再エネの課題認識と取組、②低炭素、脱炭素を実現するエネルギーインフラ投資の予見性の向上、③基礎的な研究に重きをおいたイノベーションの誘発を提言した。省エネ技術と同様、革新的技術は様々なセクターで多岐の技術に亘ることから、③に基づく着実なイノベーションが期待され、①、②の観点を考慮した大規模に社会実装できることが必須である。内閣府は、我が国が強みを有するエネルギー・環境分野において革新的なイノベーションを創出し、社会実装可能なコストを実現、これを世界に広めていくために、「革新的環境イノベーション戦略」を策定した [3)]。この戦略は、5 分野で重要かつ共通の 16 の革新的技術課題について、要素技術開発から実用化・実証開発までの具体的なシナリオと具体的なコスト目標等

を明記した「イノベーション・アクションプラン」、これらを実現するため、研究体制や投資促進策を示した「アクセラレーションプラン」、社会実装に向けて、グローバルリーダーとともに発信し共創していく「ゼロエミッション・イニシアティブズ」から構成され、国内外での GHG の大幅削減に最大限貢献することを目的とされた。

3. 革新的技術開発に向けて

3.1. 今後取り組むための課題

日本は、浮体的洋上風力発電や廉価太陽光パネル等の環境技術イノベーションに繋がらなかった例があり、一方 1 で言及した通り温暖化対策には時間が限られていることから、有効かつ大規模な革新的技術を選定し、実装していくためには、2.2 の①、②に加え、環境規制・影響の要件、産業育成の障壁・障害等の項目を考慮した「技術アセスメント評価」を行い、地域に即して合理的に選定し、確実にイノベーションを創出させる必要がある。

3.2. グリーンイノベーションモデルと実装

① 複雑システムとグリーンイノベーション

「革新的環境イノベーション戦略」では、16 の革新的技術を取り上げているが、世界では既存技術の蓄積や IoT 等の発展により、環境イノベーションの創出が加速している。地球温暖化対策に関連するイノベーションは、決して一つの技術だけで進んできたわけではなく、科学と技術の両方の進歩の組み合わせで進んできた。例えば、AI 技術を用いると、ゲーム理論から派生した深層学習により、自律走行や革新的な省エネなど、様々な温暖化対策技術が可能になりつつある。地球温暖化を防止するグリーンイノベーションの基礎的な理論は、1 つの技術だけで進歩させるのではなく、複雑システムの枠組みを応用して既存の科学技術と新しい知識を組み合わせることである。隣接する科学技術の融合の可能性が達成されると、積極的な研究開発が進行され、能動的にイノベーションが発現され、地球温暖化を防止する革新的技術や大規模 GHG 削減技術の創出する可能性を高めることが期待される。このイノベーションを通じて、次世代技術とされているエネルギーシステム統合技術、システムを構成するコア技術、革新的生産プロセス、超軽量・耐熱構造材料、次世代畜電池、次世代地熱発電、CO_2 固定化・有効利用やこれらを組み合わせたネガティブエミッション技術などの基盤技術の創出が可能となる。さらにこれらの地球温暖化の防止技術の革新が加速され、企業や国、地域を超えて知識・技術が伝播するオープンイノベーションの枠組み・制度を見出す必要がある。

② オープンイノベーションモデル

グリーン技術開発のイノベーションは、持続可能な社会形成には必須となる社会的機能であると言える。図 2 に 9 つの領域からなるオープンイノベーションモデルの枠組みを示す。このモデルでは、システムの要素が相互に影響を及ぼし、すべてが機能する構造を持っており、知識・情報と投資が流動することにより、知識革新と社会変革が促進され、長期的な知識社会が出現させることが可能となる。このモデルを法制化による社会実装することにより、今後直面する環境課題を解決する革新的な科学技術や政策・制度の創出が状況の遷移に応じて継続され、その結果持続可能な社会経済の発現と形成が可能となると考えられる。また、このモデルは知識の創造・蓄積が重要であり、世界、特にアジア諸国の各セクターと連携することにより、アジア全体の技術革新が進むとともに、地域に適用可能な継続的な技術パッケージやグリーン社会インフラの実装、つまり地域内の GHG 排出量の削減を急進することに繋がることが期待できる。

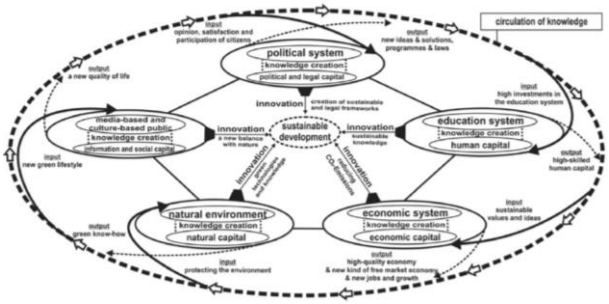


図 2 オープンイノベーションモデルの枠組み

参考文献

1) NEDO, 2019, 「省エネルギー技術戦略」に定める「重要技術」の改定.
2) 日本学術会議総合工学委員会, 2000, 長期の温室効果ガス大幅排出削減に向けたイノベーションの加速.
3) 内閣府統合イノベーション戦略推進会議, 2020, 革新的環境イノベーション戦略.
4) Elias Carayannis, Campbell, DFJ. (2010) International Journal of Social Ecology and Sustainable Development, 1(1), pp.41–69.
5) Elias Carayannis, Thorsten Barth, David Campbell. (2012) Journal of Innovation and Entrepreneurship,1:2 pp.1-12.

キーワード 省エネ技術，グリーン革新的技術開発，技術アセスメント評価，オープンイノベーションモデル

気候変動適応法の展開
The Enactment of the Climate Change Adaptation Law and the Way Forward

環境省 ○角倉　一郎

1. 気候変動適応法の意義

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）に代表される最新の科学的知見によれば、人間の影響が地球を温暖化させてきたことは疑う余地がなく、世界中の全ての地域で広範囲にわたる急速な変化が、大気、海洋、雪氷圏及び生物圏に起きていると指摘されている。さらに、温室効果ガスの排出削減対策を今後一層強化したとしても、世界の平均気温は少なくとも今世紀半ばまでは上昇を続けると考えられ、向こう数十年の間に温室効果ガスの排出を大幅に削減しない限り、今世紀中に世界の平均気温の上昇幅は、産業革命前と比べ2℃を超えるとの予測も示されている。こうした最新の科学的知見を踏まえれば、排出削減対策をさらに前に進めるだけでは不十分であり、気候変動により既に生じている、又は将来予測される影響や被害を直視し、これらを回避・軽減する適応策も同時に進める必要がある。こうした中で2018年に制定された気候変動適応法は、我が国の法制上はじめて適応策を明確に位置づけたものであり、気候変動対策の車の両輪として、地球温暖化対策推進法と双璧をなす法的枠組みとの意義を有するものである。

2. 気候変動適応法制定の背景と経緯

2015年3月に中央環境審議会がとりまとめた報告書「日本における気候変動による影響の評価に関する報告と今後の課題について」は、我が国においても、気温の上昇、大雨の頻度の増加に伴う水害等の増加、高温による米や果実の品質低下、動植物の分布域の変化、熱中症搬送者数の増加など、気候変動の影響が既に全国各地で起きていることを示すものであった。さらに、この報告書においては、将来、農作物の品質の一層の低下、多くの種の絶滅、渇水の深刻化、水害・土砂災害を起こしうる大雨の増加、高潮・高波リスクの増大、夏季の熱波の頻度の増加等が懸念されることが示されていた。この報告書を受けて、2015年11月に「気候変動適応計画」が閣議決定され、①農林水産業、②水環境・水資源、③自然生態系、④自然災害・沿岸域、⑤健康、⑥産業・経済活動、⑦国民生活・都市生活といった様々な分野における関係府省庁の適応策が幅広く盛り込まれることとなった。

気候変動適応計画に基づく関係各省庁の取組の進展とともに、適応策の法制化を求める声も徐々に強くなっていった。2016年の通常国会における地球温暖化対策推進法改正案の採決の際の付帯決議においては、「適応計画の早期の法定化を図ること」が盛り込まれるとともに 、与党からも法制化を求める提言が政府に対してなされ、自治体担当者からも法制化を求める声が強くなってきた。こうした背景としては、特に農林水産業の分野において気候変動の影響が実感としてより強く感じられるようになるとともに、記録的な豪雨災害の増加や過去に例を見ない猛暑の発生など、気候変動の影響がより深刻かつ身近に感じられるようになってきたことがあげられる。

こうした法制化の機運の高まりを受け、2018年の通常国会に気候変動適応法案が内閣提出法案として提出され、衆参両院で全会一致で可決・成立している。

3. 気候変動適応法の主なポイント

3.1. 気候変動適応計画の法定化

気候変動適応法の主要な柱の一つが気候変動適応計画の法定化である。同法は、気候変動適応計画の策定を政府に義務づけるとともに、概ね5年のサイクルで最新の科学的知見を基に気候変動の影響を評価し、各分野の将来影響を加味して気候変動適応計画の見直しを行う仕組みを整えることにより、気候変動影響の最新の評価結果に基づき総合的計画的に適応策を推進することを規定している。

3.2. 国立環境研究所を中核とする情報基盤の整備

気候変動による現在及び将来の影響に関する科学的知見が未だ不十分であり、不確実性が残ることを踏まえれば、幅広い関係者による効果的かつ実効性のある適応策を推進するためには、気候変動の影響及び当該影響への適応策に関する科学的知見の充実が不可欠である。こうした観点から気候変動適応法は、気候変動適応計画を中心とした施策体系と並んで、気候変動影響及び気候変動適応に関する情報基盤の構築も主要な柱の一つとして位置付けている。具体的には、①国立

環境研究所が気候変動影響及び気候変動適応に関する科学的情報基盤の中核を担うよう、同研究所の業務を追加し、②国立環境研究所と国の他の試験研究機関との情報ネットワークの強化について規定するとともに、③地域の大学や研究機関等を地域気候変動適応センターとして指定できる旨規定した上で、これらセンターと国立環境研究所との情報ネットワークの強化についても規定している。

3.3. 地域での適応策の本格的な展開

気候変動への影響の現れ方は地域の自然的社会的条件によって異なり、気候変動の影響による被害の防止・軽減のためにどういった適応策が効果的なのかも地域によって異なる。また、気候変動による影響は各地域で生じているものである以上、気候変動への適応策も各地域での取組が極めて重要である。その一方で、地方公共団体の現場レベルからは、地方公共団体による適応策の推進については明確な法律上の規定がなく、組織内での理解が必ずしも十分に進まない、適応策を推進するための科学的な情報や参考とすべき優良事例についての知見が不足しているとの声も環境省に寄せられていた。こうした状況を踏まえて地域における適応の取組を本格的に進めるための制度的枠組みとして、気候変動適応法では、①地域気候変動適応計画の策定、②地域気候変動適応センターの立ち上げ、③気候変動適応広域協議会の立ち上げの三つのスキームを規定している。

4. 気候変動適応法制定後の展開

気候変動適応法成立後の 2018 年 11 月に気候変動適応計画が閣議決定されたが、その翌年の 2019 年 12 月に、同法に基づく気候変動影響評価報告書が公表されたことも踏まえて、2021 年 10 月に見直しが行われ、新たな気候変動適応計画が閣議決定されている。

また、2018 年 12 月には、気候変動適応推進会議（環境大臣を議長、環境副大臣を副議長とし、関係府省庁の局長級の職員がメンバー）が設置されるなど、政府の体制も強化されている。

5. 「気候変動」から「気候危機」へ

2018 年 10 月に IPCC により公表された 1.5℃特別報告書では、産業革命前からの地球の平均気温の上昇が 1.5℃の場合と 2℃の場合とでは、生じる影響に有意な違いがあることを示した上で、将来の世界の平均気温上昇が 1.5℃を大きく超えないようにするためには、2050 年前後には世界の二酸化炭素排出量が正味ゼロになっている必要があるとしている。我が国においても、2050 年カーボンニュートラルを宣言するとともに、これと整合的で野心的な目標として、2030 年度に温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指し、さらに、50%の高みに向けて挑戦を続けることとしている。しかしながら、2050 年カーボンニュートラル実現に向けて世界全体で気候変動対策を着実に推進し、気温上昇を 1.5℃程度に抑えられたとしても、現在既に生じている以上の様々な深刻な影響が予測されていることに留意する必要がある。

近年の豪雨災害や猛暑にも見られるように、気候変動の影響は日本でも既に顕在化しつつあり、気候変動の進展に伴い、今後状況は一層深刻化するものと見込まれる。こうした状況はもはや単なる「気候変動」ではなく、「気候危機」ともいえる危機的状況であり、国会においても超党派の議員により気候非常事態宣言決議が発議され、2020 年 11 月に衆参両院の本会議において、それぞれ党派を越えた賛成を得て可決されている。こうした「気候危機」へ対応するためには、緩和策（排出削減対策等）に全力で取り組むことはもちろん、適応策にも関係者一丸となって取り組むことが重要である。気候変動の深刻化による影響は、風水害の深刻化や国内の農林水産業への影響、熱中症の深刻化などにとどまらず、世界的規模での食糧価格の高騰や干ばつ等による世界各地での紛争の深刻化のおそれなど、我が国をとりまく状況にも深刻な影響を及ぼし得るものである。こうした将来の不都合な真実を直視し、我が国の将来を見据えて、緩和策と適応策を車の両輪として対策を進めていくことが必要であり、2018 年の気候変動適応法の制定はそのための第一歩に過ぎない。今後、同法を足場として、着実に対策を前に進めていくことが重要である。

なお、本稿は筆者の個人的な見解であり、必ずしも筆者の所属する組織の見解を代表するものではないことを念のため申し添える。

参考文献

1) 角倉一郎（2021 年）気候変動的応報の展開，環境法研究，12 号，49 頁–76 頁

キーワード　気候変動，適応，地球温暖化

アジア域における CCUS 法政策のフレームワークの構築
Legal and policy framework for CCUS development in Asian Region

明治大学 ○柳　憲一郎

1. はじめに

パリ協定は、世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて２℃以下に抑制し、1.5 ℃に抑える努力を追求し、適応能力を向上させることによって、気候変動の脅威へ世的な対応を強化することにした（パリ協定, 2，3 条)。この目標を達成するには、2050 年までに世界的に多くの CSS プロジェクトが必要になり、野心的な CCS の導入・普及政策が必要である。CCS がグローバルな脱炭素化のための重要な技術となることは世界的なコンセンサスとなっている。

このパリ協定を受けて、わが国の約束草案(INDC)によると、国内の排出削減・吸収量の確保により、これまでは、2030 年度に 2013 年度比 26.0%削減の水準とし、GHG 削減目標を設定してきたが、2020 年 10 月、「2050 年に、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち 2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」という目標が表明され、2021 年 4 月に、2050 年目標と整合的な 2030 年目標（2013 年度比 46%削減、50%削減の高みを目指す）が公表された。併せて、2050 年目標が、2021 年 6 月に公布された改正地球温暖化対策推進法において、同法の基本理念（第 2 条の 2）として盛り込まれた。

また、CCS に関しては、第 6 次エネルギー基本計画において、「CCS については、長期のロードマップを策定した上で、国内外の CO2 貯留適地調査等を実施するとともに、事業化に向けた環境整備等を検討する。」とされた（閣議決定、2021.10)。

2. アジアの貯留可能性と法整備の現状と課題

アジア諸国では近年高い実質経済成長率を実現したが、先進国の経済発展モデルと同様な産業育成と技術導入がなされた結果、一次エネルギーの約 88%を化石エネルギーに依存し、エネルギー消費型開発になる傾向が現れており、GHG 排出量も急増している。中国を含めたアジア諸国では、2016 年にはエネルギーセクターにおける世界の二酸化炭素排出量の 48%を占め、最も急速に増加している温室効果ガス（GHG）排出地域となっているため、GHG 削減する革新的な取り組みを具現化することを挑戦する地域といえる。

各国は、INDC(Intended Nationally Determined Contributions)として自国の約束草案を公表しており、温暖化対策に取り組んでいる。アジア開発銀行は、3 か国を事例として、2013 年にアジア域の貯留ポテンシャルを推定しており（図 1)、アジア域で CCS が GHG の大規模削減手段の重要な手段であることを明らかにしている。

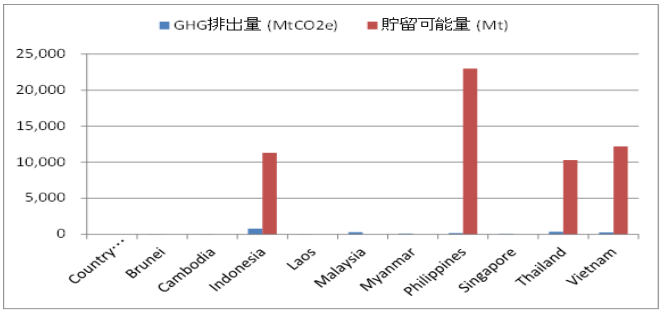


図 1 アジア域の GHG 排出量と貯留ポテンシャル

アジア域で JCM パートナーとなっているインドネシア、フィリピン、タイ、ベトナムの 4 か国を対象とし、CCS に関連する法規制の比較研究を行い、これらの国の CCS の法整備の状況を項目別に比較したものを表 1 に示す。

表 1 に示すように、例えば、インドネシアでは 2011 年から中部ジャワ州で生産の始まるグンディガス田において、CO2 の地中貯留およびモニタリング技術の研究開発がわが国の支援でなされているため、実証実験は特別措置で可能になっている。これは特例扱いであるため、わが国と同様に包括的な CCS の法規制の整備がなされているとはいえない。ただし、最近、CCS に関する制度化の動きがあることは注目される。

これらの比較研究結果から、アジア域の CCS の法規制の課題として主に以下の点を指摘することができる。

① 法律等で CO2 を廃棄、または大気汚染物質の対象とする規定がないこと。

② 貯留サイト及びそのアクセスを含む領地・海域及び地下空間の長期占用許可の法規制がないこと。

③ 鉱物・油田における CCUS の法的責任の規定がないこと。

④ 環境影響評価法等で CCS 事業が対象となっていないこと。
⑤ 域内 CO2 輸送のパイプラインを敷設できる仕組みがないこと。
⑥ CCS 事業の安全・衛生・環境保全の定義がないこと。

表 1　JCM パートナー国の CCS の法整備の状況

項目	インドネシア	フィリピン	タイ	ベトナム
CO_2 の定義	石油・ガス事業者による CO_2 排出量インベントリ推計の継続的実施を要求しているが、廃棄の対象とはなっていない。	温室効果ガスとして認識されているが、汚染物質、廃棄物としては規定さていない。	「石油による副産物」としてのみ規定されている。	定義なし。
貯留サイト	いくつかの土地所有権が定義されている（自由土地保有権及び使用権）：通常の権利期間ではCCS事業を行うには短すぎ適していない。	フィリピン国籍を持つ者のみが土地所有権があるとされているが、外国籍の者がリースできる場合がある。地上権は規定されており、最長25年のリース、許可、ライセンス、もしくは契約により個人の権利を得ることが許されている。	土地所有者からの地上権の紛争は民法及び土地法により対応する。一方、既存の鉱業権については適切な法的解釈により国に権利があるとされている。	産業利用の土地利用許可は50年であり、最長70 年まで延長できる。
法的責任（長期的責任を含む）	法的責任は石油・ガスの産出に関する環境規制により定義されている。	既存の環境責任基金(EGF, EMF, MRF)はCCS事業に利用が考えられる。既存の不法行為法及び水質浄化法による損害賠償の内容をCCS事業にも適用することができる。	政府管轄のNEFによって、CCSから生じる環境コストを充当できる。石油法では事業廃止の負担金に対する財政保障を規定している。	土地保有に関する法により土地所有者が管理されている。石油・ガス共同契約により環境費用が拠出される。
環境保護	環境影響評価法（2009）の対象事業ではない。	水浄化法などにより環境保護、水資源の環境影響評価を要求している。	環境保護・再生法の対象ではない。	環境保護法（2005）の対象ではない。
CO_2 輸送	BPMIGAS 管理下にあるﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝはLaw22/2001により規制されている。	輸送はPICCSによる許可を得る必要がある。天然ガス等の輸送はエネルギー省の規則が適用される。	Upstreamは石油法、Downstreamはエネルギー省によって、それぞれ規制されている。	MoITはﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝの設置を規制し、MoNREはﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝに対する環境基準を管轄・規制している。
安全衛生	MEMR Regulation No.300は石油及びガスのﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝの作業での労働安全を規定し、CO_2 輸送に適用できる。	DoLE の労働安全衛生基準がある。	エネルギー省により労働安全衛生の規制がある。	MoLの労働安全衛生の規定だけでなく、MoITが規制する石油とガスの安全管理にも適用できる。

そのため、現状の法の枠組みでは CCS 事業を商用化することが難しい状況であると示唆される。

3. アジア域における CCUS 法制度・政策のフレームワークの構築

CCU（二酸化炭素回収・有効利用）技術の導入は、分離・回収装置を付設するだけで完了するもので、CCS の導入に比べると普及しやすいといえるが、回収 CO_2の有効利用の需要はそれほど大きくなく、広く普及させて大規模な GHG 削減には適さない。このことから、アジア域の今後の動向等を踏まえると、CCU で余剰分となった CO_2を貯留できる CCS を組み合わせた CCUS の普及を推進することが必須となる。

アジア域でのフレームワーク(共通基盤)の構築に際して、CCS の法政策に適用可能な RIA を欧州や米国の RIA を参考に、検討しておく必要がある。ここでは、CCS 政策の効果・便益に係る評価可能な項目をレビューし、評価手法があるかどうかの分析を行った結果、政策手段を対象とする副次効果も考慮した費用対効果分析で用いる評価指標を導き出した。GHG 削減目標の達成に CCS 導入が必須となることから、CCS の政策選択では合理的かつ効率的な導入政策が求められるため、限界削減費用、投資コスト、CO2 回収量、貯留容量、その結果のエネルギー供給の安定化などが政策評価で優先される指標となり、これらの指標を不確実性が小さい方法で推定することが求められる。今後の課題としては、環境経済評価モデルや社会受容性の調査結果を用いてこれらの指標を推量し、定量的に各政策オプションやその組合せ（シナリオ）の政策評価を行い、比較評価することにより CCS 導入・普及の適切なポリシーミックスを見出すことを挙げることができよう。

参考文献

1) IEA, 2014, Carbon Capture and Storage: Legal and Regulatory Review, OECD/IEA, Paris.
2) ADB, 2018,“Asia Clean Energy Forum”.
3) OECD/IEA, 2017, “Southeast Asia Energy Outlook 2017, World Energy Outlook Special Report”.

キーワード　アジア域，CCUS，法政策フレームワーク

シンポジウム－3

学術賞受賞記念シンポジウム
「化学物質の環境モニタリングとリスクの評価・管理手法の今後」

プロジェクト名：化学物質管理戦略研究会共同企画

オーガナイザー　小林剛（横浜国立大学）准教授
高橋ゆかり（富山国際大学）教授

趣旨説明：リスク懸念のある化学物質についてライフサイクルを通じて網羅的・体系的に管理する考え方が国際的にも求められている。国内でも化審法や化管法等の化学物質管理関連や大気・水・土壌などの環境媒体別の法制度の中でリスクに基づく管理について議論がされており、事業者によってもリスクに基づく管理が検討されるようになってきている。また近年では、事故・災害時の化学物質管理の必要性や室内汚染に伴う先天異常の懸念など新たな視点での化学物質管理の必要性も指摘されている。本シンポジウムでは、化学物質の環境モニタリング結果などを用いて、いかにリスク評価・管理すればよいか、多様な場面での現状やリスクに基づく管理を行う上での課題、関連の研究事例を紹介していただき、会場からもご意見をいただきながら今後の研究の展望について議論する。

事業所周辺の大気環境リスクの把握と管理
Monitoring and Management of Air Environment Risk around Emission Source

横浜国立大学　○亀屋隆志、小林剛

1. はじめに

わが国では、事業所から排出される化学物質の多くは大気へ排出されており、事業所周辺での健康リスクが懸念されている。環境基準や排出基準が定められている物質については、対象施設における排出規制のほか、行政による環境モニタリングによって大気汚染の未然防止が図られている。一方、基準値等が定められていない未規制物質については、大防法では光化学オキシダントの生成要因の一つとされる揮発性有機化合物の大気排出（VOC インベントリで 573 千トン(R2)、拡張 VOC インベントリで 134 千トン(R2)）[1] が把握されているほか、有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質の中で特に健康リスクがある程度高いと考えられる優先取組物質については、環境目標値（指針値）が設定され、大気環境モニタリングによる曝露状況の情報収集が進められている[2]。また、化管法では PRTR 対象物質のうち届出総排出量の 91%を占める 112 千トン(R2)[3] の大気排出が事業所ごとに把握され、事業所の所在地や物質名、排出量、排出先などの個別データが公開されている。

本法では、事業所周辺の大気環境リスクを当該事業者や周辺住民に把握していただくことを想定し、その際に必要となるデータや簡易に活用できるツールについて、筆者らのこれまでの研究成果を中心に概説し展望する。

2.有害性評価値

大気環境リスクは、一般に、大気環境濃度が環境基準等の有害性評価値を超えるレベルになると「リスク懸念あり」と判定される。有害性評価値には、有害性に閾値のある場合は無毒性量(濃度)が、閾値のない場合は 10^{-5} 発がん確率に相当する実質安全量(濃度)が用いられることが多い。無毒性量のデータは、NITE&CERI が行った化学物質の初期リスク評価書[4] や、環境省が行う化学物質の環境リスク初期評価[5] から個別に入手可能であるが、エコケミストリー研究会が HP 掲載している大気管理参考濃度[6] が収録データ数では最も多く、一覧性もある。なお、実質安全量は 10^{-5} を単位濃度あたりのリスク（＝ユニットリスク）として与えられている数値で除した値として得られる。ここで留意すべき点として、上記の情報源から得られる有害性評価値は、いずれも初期段階の評価値とされており、法的拘束力を持った基準値や指針値、目標値といった性格のものではない。このため、例えば図 1 に示すように、環境省のリスク初期評価から得られる有害性評価値とエコケミストリー研究会の大気管理参考濃度を比べた際には、桁違いの評価値となっているため、あくまで利用者が自主管理などを目的に自らの判断で目安として利用していただきたい。

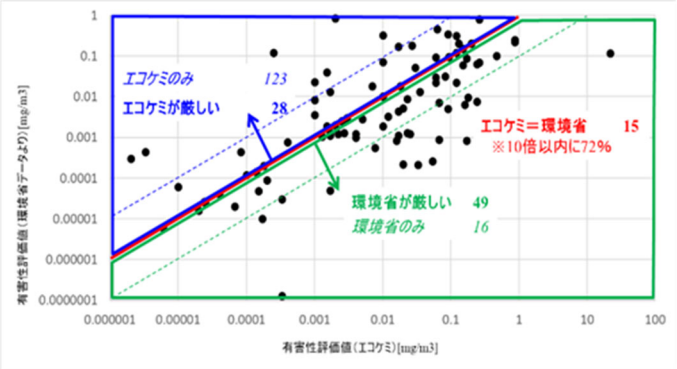


図 1　利用可能な有害性評価値のばらつき

3. 大気環境濃度のモデル計算

有害性評価値のほかに、大気環境リスクの算出においては、大気環境濃度を把握する必要がある。大気環境濃度は、直接的には後述する環境モニタリングによって得ることになるが、仮想的なモデル計算により間接的に推計することもできる。旧来、事業所周辺の大気環境濃度の算出にはパフモデルやプルームモデルが用いられてきたが、現在は経済産業省が開発した拡散計算ソフト METI-LIS（経済産業省－低煙源工場拡散モデル）[7] が汎用されている。このソフトでは、煙突などから継続的に排出される大気汚染物質が周辺 10 km 程度の範囲でどのような濃度分布を示すかを面的に計算することができ、低煙源からの拡散に対する周辺建屋の影響や刻々変化する気象条件を時々反映して計算することができる。

一方、令和 2 年度に経産省が委託事業で行った講習会受講者へのアンケート調査[8] によれば、METI-LIS を利用したことがある受講者が 10%に過ぎず、その存在すら知らない受講者が約 70%に達していた。このため、普及のための広報や、具体的な活用事例の蓄積、計算される曝露濃度と有害性との関係の理解などが課題とされた。

4. 大気環境リスクの簡易な推計ツール

筆者らは、2019～2021 年度の環境省環境総合研究推進費の戦略的研究開発領域 SII-4-2-1(JPMEERF19S20403)において、化学物質の有害性と曝露量を使用状況に合わせて尺度化するコントロール・バンディング手法を定量的に拡張し、事業所周辺での大気環境リスクをパソコンや METI-LIS などのアプリケーションを用いずに推計できる実用的な手法の検討を行った。その結果、①有害性、②煙突高さ、③煙源から評価する地点までの距離、④化学物質の年間排出量、⑤風向頻度のわずか 5 つのパラメータについて定量化された尺度を選択肢の中から選び、それらの足し算を 2 回行うだけで事業所周辺環境のリスクレベルを算出できる簡易なアセスメントシートを開発した（図 2）。この手法は、もともと METI-LIS をベースにして、重要パラメータを絞り込み、その尺度とリスクの大きさが相関するように設計されたものであり、ケーススタディによって、その信頼性の確認もできている。

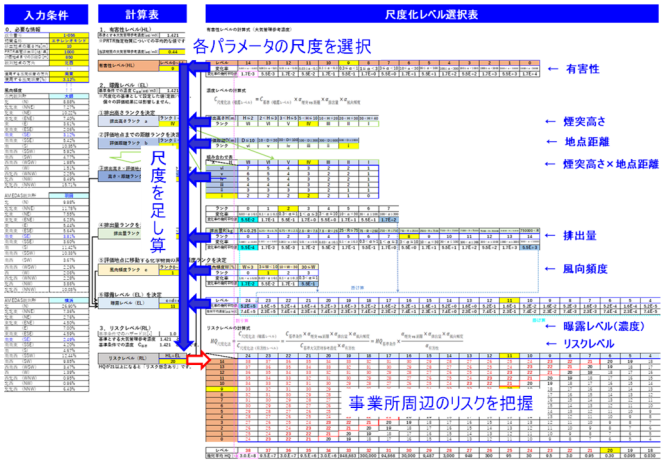


図 2　事業所周辺環境の簡易リスクアセスメントシート

5. 自動同定定量 DB 法を用いた大気環境モニタリング

GC-MS 自動同定定量データベース（AIQS-DB）法[9)]は、GC-MS 分析において機器の性能評価を毎日に行い、その都度の検量線作成を省略しながらも、あらかじめ作成された 3 つのデータベース（①保持時間、②質量スペクトル、③検量線）を用いることで約 1000 の有害物質を一斉に分析できるスクリーニング分析法である。筆者らは、上記の戦略的研究開発領域 SII-4-2-1 において、化管法の指定物質（2021 年 10 月見直しを反映済）について網羅的に検討し、436 種の半揮発性有機化合物（SVOC）と 78 種の揮発性有機化合物を AIQS-DB へ収録した。今後さらに、有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質の追加登録も考えているが、環境汚染が懸念される物質を一斉分析する点では国内最大の AIQS-DB を構築することができた。

この分析法は、とにかく、DB 登録された物質すべてを検量線作成なしに分析して自動同定定量できることが強みであるが、どこでどのような有害物質が排出され移流してきているかなど、曝露に至るまでの環境動態がよくわからない場合にも威力を発揮する。また、この分析法では、Total Ion Monitoring (TIM) モードあるいは Scan モードと呼ばれる方法ですべての検出イオンのデータが保存されるため、そのときの環境試料を決められた条件でとりあえず分析しておけば、後に検討対象となった新たな物質には 3 つのデータベースを作成して再解析することによって、当該物質の過去の汚染状況を知ることも可能になる。筆者らは、全国各地の汚染状況調査を継続的に行っているが、この分析法の自治体での活用が進めば、環境改善の状況把握が効率的に行えるものと思われる。

謝辞　本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF19S20403)により実施した。

参考文献

1) 環境省, VOC 排出インベントリ, https://www.env.go.jp/air/osen/voc/inventory.html
2) 環境省, 有害大気汚染物質対策, https://www.env.go.jp/air/osen/law/yugai.html
3) 環境省, PRTR インフォメーション広場, https://www.env.go.jp/chemi/prtr/result/index.html
4) NITE, 化学物質有害性評価書／初期リスク評価書, https://www.nite.go.jp/chem/chrip/chrip_search/intSrhSpcLst?_e_trans=&slScNm=CI_02_001
5) 環境省, 化学物質の環境リスク初期評価関連, https://www.env.go.jp/chemi/risk/
6) エコケミストリー研究会, 大気管理参考濃度, http://www.ecochemi.jp/PRTR2019/prtr-index.html
7) 産業技術総合研究所, METI-LIS, https://riss.aist.go.jp/meti-lis/
8) 経済産業省委託事業, 化管法見直しに関する調査, https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/information/pdf/R2PRTRreview.pdf
9) 門上希和夫ら (2004) 有害化学物質一斉分析用ガスクロマトグラフィー/質量分析法データベースの開発, 分析化学 53(6), 581-588.

キーワード　化学物質管理, 環境リスク, リスク評価ツール、一斉モニタリング、AIQS-DB 法

土壌汚染地における化学物質のモニタリングとリスク管理
Monitoring and Risk Management of Chemicals in Soil Contaminated Sites

横浜国立大学 ○小林 剛

1. はじめに

土壌汚染対策法（土対法）が 2003 年に施行されてから 20 年が経とうとしている。土壌汚染の基準不適合事例は、環境省の調査[1)]では令和 2 年度までの累計で 15,472 件（調査事例 34,071 件）であり、調査事例の約半数で汚染が見つかっている。このように、有害物質の使用履歴がある事業所で土壌汚染が見つかることは特別なことではない。また国内で調査もされずに潜在する汚染箇所は数万箇所あるとも言われている。土壌汚染は Stock 型で既に発生してしまっている汚染である。今後も発覚し一部は社会問題化すると思われ、規制前の汚染に社会でどのように対応するか考える必要がある。

土対法では、「リスク」の考え方が取り入れられている。汚染が存在しても曝露経路が無く、健康被害も想定されなければ「形質変更時要届出区域」に指定される。曝露経路があり健康被害が想定されて「要措置区域」に指定されても、必ずしも汚染の除去ではなく曝露経路を遮断して管理すれば良いとされている。しかし実際には、日本では基準値を超過するとその 8 割近くで「掘削除去」（汚染土壌を掘り返して他所で焼却等）が行われる。健康リスクが無視できるレベルでも、多くの費用やエネルギーを消費し、環境や社会に多大な負荷を生じさせていることが問題となっている。この掘削除去偏重は、対策費用が高額なために土地の活用自体が断念されて長期間利用されない遊休地となるブラウンフィールド問題や、中小企業では汚染発覚後の対応が困難なために土壌汚染の調査が敬遠される問題の原因にもなっている。

本発表では「土壌汚染とリスク管理」に着目して、リスクの大きさに基づく適切な土壌汚染対策がなされるために、筆者らの研究のいくつかを紹介しながら、諸課題への今後の研究の必要性について展望してみたい。

2. 土壌汚染地での化学物質モニタリングに関する研究

2.1 多様な汚染物質の土壌中挙動把握等に関する研究

土壌汚染は Stock 型と前述したが、汚染物質の揮発性や土壌吸着性、分解性等の物理化学的特性によって、更に土壌特性（粒径や比表面積、有機炭素含有率など）によって、土壌中挙動は大きく異なる。このことは、土壌汚染状況の評価や将来予測、人への曝露経路、浄化・対策手法等に大きく影響するため、物質毎によく把握する必要がある。筆者らもこれまで、新たに規制に加わったクロロエチレン[2)]や 1,4-ジオキサン[3)]等について、測定評価するとともに既存物質との大きな特性の違いを考慮した管理手法について検討してきた。1,4-ジオキサンでは、水と相互溶解するという特性から、揮発性物質でありながら土壌中を気化して広がらないため、どのように測定・評価するべきか課題となっている。また、土壌吸着性の高さから、表層汚染しやすい鉛等の土壌中挙動[4～6)]に着目して、測定・評価してきたが、土壌の pH や塩濃度、有機炭素含有率がその挙動に影響を及ぼすことを把握している。更に近年、PFAS による土壌地下水汚染が注目されている。泡消火剤や撥水剤など、社会で多用されてきたが、界面活性剤の特性から、土壌中での挙動がどのようになるか検討が進められている。

2.2 土壌汚染によるリスクの効率的な把握のための研究

土壌汚染の評価のために公定法が定められているが、操作が煩雑であったり、操作する器具が測定値の精度に影響することがある。また、土壌汚染物質は他の媒体と異なり、汚染が局所に留まるため、調査の密度が大きく（表層土壌調査の場合、汚染可能性が高い箇所では 10m×10m で 1 箇所の測定）、検体数の増加から調査費用は大きくなる。ただし、これでも汚染を見逃す懸念が指摘されてもいる。そのため、公定法ほどの精度は無くても、安価に現地で汚染の有無やおよその濃度レベルを把握できる簡易分析手法の開発は有用である。筆者らも、揮発性有機塩素化合物の汚染の把握には、ボーリングバー検知管法により検知管（ガステック、光明理化学工業）を使用したり、鉛等の土壌汚染調査ではパックテスト（共立理化学研究所）を使用して、汚染現場でおよその濃度分布や汚染レベルを把握して、持ち帰った高濃度箇所の試料を機器分析するなど活用している。また、筆者らは現場に持ち込める小型フローインジェクションアナライザーの活用研究[7)]にも携わったこともある。

現在、多くの中小企業では汚染の有無も把握できていない。高濃度汚染の放置は、健康被害とともに、汚染拡大により将来の浄化対策費用の増加も懸念される。多くの汚染物質の汚染の有無や濃度（リスク）レベルを、安価・簡易に把握できる技術の開発は重要である。

3. 土壌汚染地の効率的浄化とリスク管理に関する研究

3.1 効率的な浄化のための研究

掘削除去偏重の土壌汚染対策を改善したり、中小企業での調査（浄化）を進めるためには、効率的な浄化技術の研究も必要である。筆者らは、竹中工務店や岡山大学、竹中土木との共同研究で NEDO 戦略的省エネルギー技術革新プログラム「汚染地盤を掘らずに省エネ浄化できる加温式高速浄化システムの開発」[8)] に取り組んできた。これは従来のバイオレメディエーションによる浄化期間を数分の 1（2〜3 年）に短縮し、また掘削除去と比べてコストは 1/2 以下、エネルギー使用は 1/3 以下、発生する他の環境負荷などを大幅に削減することができた。

土壌汚染は大気や水と違って、継続的に曝露することは少ないため、健康リスクとして懸念される状況ではない場合も多い。その場合、多様な環境影響や経済、社会への影響を考慮して、対策の手法を検討することが社会にとっても有用である。このような社会の限られた資源を活用して、環境・経済・社会の利益が最大化されるように浄化手法選定する「サステナブルレメディエーション」という考え方が議論されはじめており、筆者らも検討[9)] を進めている。

更に中小企業では、汚染が見いだされた後の効率的な浄化も重要となる。特に有機塩素系溶剤の様に過去に原液に近い濃度で取り扱って、高濃度汚染（基準の数 10 万倍以上）が懸念される場合は、汚染が拡がる前に、操業中であっても調査・浄化が求められる。クリーニング店のような小規模事業所でも深刻な高濃度汚染が見つかることも多く、高濃度汚染だけでも安価に除去できる技術の開発が重要であり、筆者らも検討[10)] している。

3.2 リスクコミュニケーションのための研究

土対法は必ずしも基準値以下とする対策を求めていない。曝露経路を遮断すれば、基準値を超過していても適切に管理できるが、現実には「ゼロリスク」を目指した掘削除去が多く行われる。前述のサステナブルレメディエーションの研究とともに、土壌汚染地のリスクコミュニケーションの研究（利用しやすいリスク評価ツール、SR 評価ツール、リスクの意味の理解促進など）が重要と考えられる。筆者らも、現在、ベンゼンを例に土壌汚染地のリスク評価とそのリスク等を社会の他のリスクと比較判断できる物さしの検討[11)] を行っている。

おわりに

これまでも土対法は改善されてきたが、難しい課題も多数残されている。土壌汚染は Stock 型汚染ということで、問題発覚時には既に社会に多数の問題がある状況となってしまう。そのため、法規制されてからでは遅く、未然防止が非常に重要である。未規制物質も含めた多様な化学物質管理が重要である。また、化学物質は大気、水、土壌と環境中を移動しながら土壌に Stock される場合もある。そのため、今後、排出媒体に限定しない化学物質管理の在り方の検討も重要であろう。

謝辞

このたび、環境科学会学術賞をいただくこととなりました。本発表で対象となった研究の一部を紹介しましたが、いずれも横浜国立大学で一緒に取り組んだ先生方やスタッフ、学生をはじめ、共同研究等でお世話になった先生方や企業／行政の皆様との協働によるものです。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

1) 環境省, 令和 2 年度土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果, https://www.env.go.jp/water/report/r3-01/index.html
2) 小林剛, 末継淳, 林知美, 田小維, 揮発性有機塩素化合物の多様な土壌への吸着･吸着特性､環境科学会年会､p.105（2018）
3) 森一星, 渋沢麻衣, 上田裕之, 小林剛, 藤江幸一, 1,4-ジオキサンの特異な土壌中挙動を考慮した不飽和土壌中挙動予測モデル, 環境科学会年会, 62 (2013)
4) 深谷亮太, 半田千智, 小林剛, 表層鉛土壌汚染地における吸入曝露を想定した垂直汚染分布の測定･解析, 環境科学会年会, 116（2021）
5) 高橋ゆかり, 小林剛, 亀屋隆志, 上田裕之, 汚染土壌の有害無機汚染物質溶出試験結果の変動要因となりうる土壌 pH 影響の解析, 環境情報科学, 環境情報科学論文集, 26, 49-54(2012).
6) Takeshi Kobayashi, Yuyu Liu, Yukari Takahashi, Takashi Kameya and Yuko Yamada, The adsorption equilibrium of Pb and Cd on several soils in various pH solutions, or in the presence of dissolved humic substances, Heavy Metal Contamination of Soils - Monitoring and Remediation, 105-111, Springer (2015.4)
7) 高橋ゆかり, 伊藤美恵子, 小林剛, 浦野真弥, 浦野紘平, 低コストフローインジェクションアナライザーによる土壌溶出液中の Pb(Ⅱ)分析, 第 20 回環境化学討論会, 364-365 (2011)
8) NEDO 戦略的省ｴﾈﾙｷﾞｰ技術革新ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ成果, https://www.nedo.go.jp/content/100926721.pdf
9) 古川靖英, 小林剛, 保高徹生, 本藤祐樹, 藤江幸一, 揮発性有機塩素化合物汚染における土壌汚染対策技術選定時のサステイナブルアプローチの有効性検討と従来手法との比較, 土木学会論文集 G(環境), 74(4), 152-164(2018).
10) 小林剛, 柏冬琳, 李京, 小規模事業所で操業中に使用可能な小型土壌ガス吸引装置の検討, 第 27 回地下水・土壌汚染研究集会, 220-221（2022）
11) 丸田有美, 島生成, 半田千智, 小林剛, リスク共生のための VOC 土壌汚染地の健康リスク比較判断指標の検討, 第 27 回地下水・土壌汚染研究集会, 32-35（2022）

キーワード　土壌汚染, 化学物質リスク管理, 持続可能性

化学物質流出事故の防災減災に向けた環境社会リスク対応
Environmental and Social Risk Management for Disaster Prevention and Mitigation of Chemical Spills

横浜国立大学〇稗貫峻一，中山穣，野口和彦，澁谷忠弘，三宅淳巳

1. 背景と目的

近年、台風や地震などによる自然災害が激甚化している。これらは生活や社会活動にも大きな影響を与え、平常時から防災減災に向けた対応策を検討しておく必要がある。

これまでの化学物質流出への対応の多くは、各ステークホルダーや研究分野が得意とする対象を中心としており、各分野が独立して検討している傾向がある。これは消防法や高圧ガス保安法などが、それぞれ管轄する範囲内を対象として制定されており、日本の事業所の多くは化学物質の漏洩による影響を事業所内で対応することを前提とする傾向が強いためと考えられる。しかし、化学物質の漏洩による影響は、事業所内で留まるとは限らず、またその対応は事業者に加えて消防や警察、行政、市民などが連携して行う必要がある。特に、事故現場および周辺地域における初期対応は非常に重要であり、環境や社会への影響を小さくするためには事故の進展から収束を一気通貫して体系的に捉える必要がある。また、火災、爆発、漏洩など物理的な影響の可能性が低い場合でも、漏洩や避難の可能性に対する不安などの心理的な影響を考慮する必要がある。

このような課題に対して、国土強靭化アクションプラン[1]では、「起きてはならない最悪の事態」に、社会経済活動・サプライチェーンの維持に必要なエネルギー供給の停止、コンビナート・重要な産業施設の損壊、火災、爆発など、有害物質の大規模拡散・流出が明記されている。また、自然災害由来の産業施設災害は、国際的にもNatech (Natural Hazard Triggered Technological Disasters)として重要な課題として位置づけられ[2]、災害の発生、進展、防護とともに、環境及び社会への影響にも配慮した適切な防災減災戦略を学術的に構築、発信することが強く求められている。

本発表では、化学物質流出による産官公学の地域防災減災戦略を環境社会リスクの観点から構築し、環境社会リスク対応として整理すること、さらに化学物質流出に対応する各主体の実行可能性を考慮した防災減災戦略を作成することを目的とした環境研究総合推進費の概要を紹介するとともに、当該研究分野の今後について展望することとした。

2. 環境研究総合推進費による取り組み

横浜国立大学が実施した推進費研究では、分野横断的かつ喫緊の課題に対応するために、新たに環境社会リスク（環境リスク、社会状況・構造、対応力から構成）を定義し、化学物質流出に対する防災減災戦略への対応に関する研究を実施してきた。以下にその概要を示す。

2.1. 環境への漏洩シナリオの整理

化学物質に関する事故や災害等に伴う漏洩シナリオを以下の 3 つの要素を示した。

① 対象とする化学物質 : 本研究は、特定の地域の特定の危険性に特化せず、敷地内外へ影響をもたらす可能性のある全ての化学物質を対象として、社会の各要素への影響の検討を行った。また、化学物質の漏洩に関して、原材料、製造プロセスにおいて製造される物質、製品等の全ての状況を考慮しており、その取り扱いに関しては保管、輸送、製造工程、廃棄等のライフサイクルの全てのステージを対象とした。

② 漏洩原因 : 本研究で考える化学物質の漏洩原因としては、多様な事故、保管等の管理失敗、自然災害、意図的な攻撃等の多様な事故や災害を原因とした漏洩を対象とした。

③ 漏洩・汚染形態 : 本研究は、大気、水、土壌への 3 つの漏洩先を考慮し、それぞれ 3 つの媒体の汚染に繋がるものとした。また、水領域に関しては、河川の他に、湖沼や海洋、地下水等も対象とした。さらに、汚染に関しては、化学物質の存在している設備からの直接的な漏洩による汚染に限らず、大気・水・土壌の媒体間の間接的な影響が移行する場合も考慮した。

2.2. 影響を受ける社会構造の整理とリスクの特定

リスク分析を行うために、社会の構成要素と要素間の関係を、市民、行政（国、都道府県、市町村）、化学物質取り扱い事業者、インフラ事業者、一般事業者のごとに整理し、環境社会リスクを特定した。

ここでの社会の構成要素とは、守るべき対象であると同時に、社会を守る主体としても位置付けられる。

2.3. 環境社会リスク顕在化シナリオの分析

シナリオの作成は、安全工学分野の手法である MLT (Master Logic Tree)、ET (Event Tree)、FT (Fault Tree)を応用した。これらの手法は、検討すべきリスクや事象進展シナリオの重要な分岐の検討を見落とさない様に、それぞれの事象や影響の関係を整理することが可能である。図 1 に汚染物質の漏洩から人の健康への直接及び間接影響を対象とした例を示す。この分析結果から以下の要点が整理された。

① 漏洩した化学物質が大気、水、土壌を通じて拡散すること
② 漏洩後、短時間で人の健康に影響が出る可能性があること
③ 汚染が、行政や社会インフラ等へ影響を及ぼし、その影響が人の健康や生活に影響を及ぼすこと（医療など影響が大きいものは特記する）
④ 漏洩後の緊急時には住民避難の可能性があり、避難の必要性を考慮した避難行動及び避難支援となる。その結果、避難計画とは異なる対応が発生し、人の健康へ間接的に影響を及ぼすこと

次に、図 1 の MLT を基本として、ET により、人の健康に影響を与える環境汚染、生活の維持に影響を与える環境汚染、社会活動へ影響を与える環境汚染、事故・災害対応に影響を与える環境汚染について分析した。さらに、各事象に対して事故の拡大防止策の失敗原因を FT により詳細に分析した。これにより、市民、環境汚染対応の活動主体としての行政、化学物質取扱事業者、インフラ事業者、一般事業者のそれぞれの活動の是非が、汚染対応に大きく関わっていることが示された。

2.4.環境社会リスク対応の検討

各社会構成要素の活動の要点を分析した結果、本研究の特徴は、環境汚染対応の活動主体として、市民、行政、化学物質取扱事業者、インフラ事業者、一般事業者の 5 つを取り上げ、その主体毎に、活動の要点を整理したところにある。また、活動内容を（1）漏洩事象発生事前に実施すべき活動、（2）化学物質漏洩時の活動、（3）敷地外汚染発生・拡大時の活動、（4）復旧時の活動の 4 つのフェーズに分けて分析・整理を行なった。これら汚染対応の活動は、汚染が発生した際の活動について議論されることが多いが、環境汚染による社会的影響を小さくするための対応として、事前の準備活動や状況の変化を先取りした適切な対応が重要であることが示された。

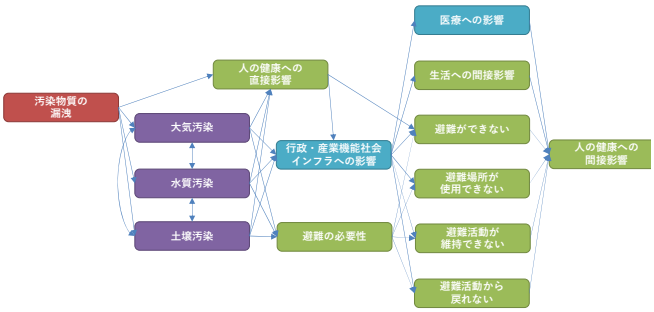


図 1　人の健康への影響を主体とした MLT の例

3.　まとめ

環境汚染の社会影響を小さくするためには、従来の事業者の安全活動に加えて、行政、企業、市民などの活動も重要であり、さらにそれらを支援するための研究機関や学会の活動も必要不可欠である。社会で使われる技術や化学物質は日々変化しており、防災減災に関連する活動は、規制や法律の遵守のみで達成することは極めて困難である。推進費の研究では、化学物質を管理する行政や事業者などが化学物質の自主的な管理を促進することを支援するため、環境社会リスク対応ガイドライン、化学物質リスク情報プラットフォーム、環境社会リスクの事例紹介ビデオを取りまとめた。今後はこれらの情報の充実化を計るとともに、防災減災に向けた意思決定の場においての活用されるように社会への情報発信をしていく必要がある。

なお、成果の詳細は、最終報告書および横浜国立大学・先端科学高等研究院（リスク共生社会創造センター）のホームページ[3]を参照されたい。

謝辞

本研究は、(独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20191004）「災害・事故に起因する化学物質流出シナリオ構築と防災減災戦略」により実施した。

参考文献

1) 内閣官房，国土強靭化基本計画（平成 30 年 12 月 14 日閣議決定）
2) United Nations Officer for Disaster Risk Reduction, Natech hazard and risk assessment, 2017
3) 横浜国立大学 先端科学高等研究院(リスク共生社会創造センター)，https://www.anshin.ynu.ac.jp/

キーワード　環境社会リスク，化学物質漏洩，防災減災戦略，自然災害，シナリオ分析

室内環境での子どもに配慮した化学物質のモニタリングとリスク管理
Chemical monitoring and risk management in indoor environments focusing on children

富山国際大学 ○高橋ゆかり、静岡県立大学　王 斉、雨谷敬史、横浜国立大学　三宅祐一

1. はじめに

環境省により、「子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）」が実施されており、アレルギー疾患や先天異常などの増加と化学物質との関連について、知見が集積されつつある[1)]。妊婦のホルムアルデヒドへの曝露が、生まれてきた子どもの1歳時の精神運動発達に影響を与える可能性があることや[2)]、室内でのカビの発生、薪ストーブや暖炉の使用が子どもの喘息のリスクに影響する可能性があることなども報告されている[3)]。

また、日本においてアレルギー疾患が増加しており、日本の全人口の約2人に1人が何らかのアレルギー疾患に罹患していることから、アレルギー疾患対策の方向性の見直しが行われることとなった。平成26年に公布された「アレルギー疾患対策基本法」の基本理念には、アレルギー疾患に関する専門的、学際的または総合的な研究を推進することが組み込まれている[4)]。厚生労働省による「アレルギー疾患対策の推進に関する基本的な指針」には、アレルギー症状を引き起こす原因物質の特定や対策について、研究機関や各団体との連携による情報の共有を図っていくこと、アレルギー症状を引き起こした可能性のある成分を適切かつ効率的に同定、確保及び活用するための仕組みについて検討していくことが必要であると記載されている[5)]。

化学物質による室内空気汚染と子どものアレルギー疾患との関連や、子どもの方が成人より化学物質への感受性が高いことも指摘されている。例えば、アルデヒド類を長期にわたって吸入することにより、アレルギー疾患が引き起こされることが懸念される。また、保育施設では、火災予防のために難燃剤を含む室内製品の使用が義務付けられているため、ハウスダスト経由した難燃剤への曝露の可能性がある。このような理由から、身の回りの製品中等からの多様な化学物質への曝露について、知見を集積し、総合的に考察していくことが大切であると考えられる。

そこで、研究紹介では、富山市内の保育施設において、室内外空気中のアルデヒド、ハウスダスト中の有機リン系化合物および臭素系難燃剤を対象とした調査を実施した結果について述べる。さらに、保育施設での自由遊び時間における子どもの行動特性を解析した結果などをもとに、成人との相違点を整理する。

2. 研究紹介

2.1 方法

富山県富山市内の平野部に位置する2か所の保育施設A園（保育園）とB園（幼稚園）を調査の対象とした。A園は築15年の木造建築、B園は築40年の木造建築であった。アルデヒドについては、パッシブサンプラーを用いて採取し、抽出後、高速液体クロマトグラフィー(HPLC) による分析を行った。

ハウスダストは、紙パック式のスティック型クリーナーを用いて1週間採取した。ジクロロメタン－ヘキサン（1:1; v/v）を抽出溶媒として16時間以上ソックスレー抽出を行い、得られた抽出液を分画した後、有機リン系化合物と臭素系難燃剤を高分解能型ガスクロマトグラフ-質量分析計（GC-HRMS）または液体クロマトグラフ-タンデム型質量分析計（LC-MS/MS）を用いて分析した。

また、幼児の行動解析のために、園での一日の活動を記録するとともに、自由遊びにおけるビデオ撮影を実施し、得られた画像を解析して姿勢推定処理を行った。

2.2 結果と考察

得られた室内外のホルムアルデヒド濃度は夏季に高かった。幼児の平均体重、1日の呼吸量と園における1日の滞在時間（幼稚園5.5時間、保育園9時間）から、幼児の保育施設におけるアルデヒドへの曝露量を推測した。この結果、屋外で活動することが多い4歳児よりも、室内で過ごす時間の長い1－2歳児の方がアルデヒドの曝露量が多くなる場合があることがわかった。幼稚園では天気の良い日は長時間園庭で遊ぶことや、1-2歳児は園の滞在時間が長く、また、4歳児よりも室内で過ごす時間が長いことなどによると考えられた

一方、保育施設におけるハウスダストから、9~12種類の有機リン系化合物が検出された。この中で、リン酸トリス（2-ブトキシエチル）（TBOEP）の濃度が最も高く、検出された有機リン系化合物中の大部分を占めた。この保育施設では木製の床材が使用されていたため、検出されたTBOEPは、床に塗布されたワックス由来であると考えられた。これ以外には、リン酸トリス（2-クロロイ

ソプロピル)、リン酸トリス（1,3-ジクロロ-2-プロピル）などが検出された。これらは、ウレタンやカーテン等に添加される難燃剤であることから、今後、詳細な調査が必要であると考えられた。また、ヘキサブロモシクロドデカンなどの臭素系難燃剤も検出された。

画像処理の結果より、4 歳児の場合、口に手を触れる子どもはほとんどいなかったため、対象とした化学物質の経口曝露が大きな問題となる可能性は低いと考えられた。一方、保育室内を裸足で歩く園児が多かったことから、吸入曝露だけでなく経皮曝露についても無視できない可能性があると考えられた。

2.3　まとめと課題

保育時間や室内で過ごす時間、化学物質に対する感受性などを考慮すると、3 歳未満児を対象としたリスク評価が特に重要ではないかと考えられる。また、検出される化学物質の種類や量が場所によって異なる可能性が高いことから、さらに多くの保育施設において実態を把握していくことも大切である。

対象とした保育施設においては、比較的高濃度に検出された有機リン系化合物の種類は限られていた。このため、発生源を明らかにし、原因物質を除去できれば、ハウスダスト中の有機リン系化合物の量を大幅に減少させることができるものと考えられる。

3. 子どもに配慮した化学物質管理の今後

保育施設では、消毒などの衛生環境には配慮するが、微量の化学物質やこれらによる健康影響については、あまり注意が払われないかも知れない。今後、保育従事者に対し、室内でどのような化学物質が発生する可能性があり、どのような点に注意すればリスクを減少させることが可能であるかを分かりやすく説明していくことも、リスク低減のために大切であると思われる。

1-2 歳児は、さまざまな組織が未発達であるため、化学物質の影響が成人よりも大きい可能性が高いことがエコチル調査などからも明らかになりつつある。このため、保育施設や家庭などの乳幼児の生活環境において、どのような化学物質がどの程度存在しているのか、総合的なモニタリングが必要であると思われる。また、複数の化学物質の複合的な健康影響について明らかにしていくことも、今後の課題である。

化学物質の曝露経路は、子どもと成人では異なる可能性が高いことから、環境科学の分野だけでなく、医学、保育、画像処理などさまざまな分野の研究者が協力しつつ、子どもの生活環境中の化学物質のリスク管理に携わっていくことがリスク低減のために大切である。また、研究者と保育者の間で化学物質についての情報を共有していくことも課題であると考えられる。

この研究紹介では、アレルギー疾患に着目したが、化学物質が神経系に影響を及ぼす可能性についても検討していくことが大切である。また、妊婦が化学物質に曝露することにより、胎児が影響を受ける可能性があることから、若い世代の人々に対しても化学物質についての情報を共有していくことも重要であると考えられる。

謝辞

本発表で紹介した研究データは JSPS 科研費 JP15K00616 の助成を受けたものです。ご協力いただいた保育施設の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

1) 環境省，調査の成果，エコチル調査，(https://www.env.go.jp/chemi/ceh/results/publications.html)
2) Hiroko Nakaoka, Aya Hisada, Daisuke Matsuzawa et al. (2021) Associations between prenatal exposure to volatile organic compounds and neurodevelopment in 12-month-old children: The Japan Environment and Children's Study (JECS), Sci Total Environ. 794
3) Yasuaki Saijo, Eiji Yoshioka, Yukihiro Sato et al. (2022) Relations of mold, stove, and fragrance products on childhood wheezing and asthma: A prospective cohort study from the Japan Environment and Children's Study, Indoor air, 32(1)
4) アレルギー疾患対策基本法（平成 26 年法律第 98 号）
5) 厚生労働省，アレルギー疾患対策の推進に関する基本的な指針，（平成 29 年 3 月厚生省告示第 76 号，令和 4 年 3 月改正）

キーワード　子ども，曝露評価，室内空気汚染物質

シンポジウム－4

「環境汚染物質の網羅的分析手法の開発状況」

プロジェクト名：環境研究総合推進費 5G-2101
「水環境中の要調査項目調査へのターゲットスクリーニング分析の実装」
環境研究総合推進費 SⅡ-4
「ライフサイクル全体での化学物質管理に資する PRTR データの活用方策に関する研究」
環境科学会化学物質管理戦略研究会の合同企画

オーガナイザー　亀屋隆志（横浜国立大学）教授
高梨啓和（鹿児島大学）准教授

趣旨説明：化学物質の包括的な管理手法は世界の潮流となり、化審法の優先評価化学物質や水環境リスクの知見集積が必要な要調査項目、有害大気汚染物質に該当する可能性のある物質、化管法指定物質など、数百種類以上に及ぶ汚染物質の環境リスクが懸念されている。これに対し、近年、汎用あるいは高分解能の質量分析計を用いて化学物質を網羅的に分析しようとする開発研究が環境総合研究推進費をはじめとして採択されている。本シンポジウムでは、環境分野での化学物質の網羅的な質量分析手法の開発・実装研究に先駆的に取り組んできている研究者が集まり、それぞれの手法の開発状況や活用事例について情報発信を行い、課題点や限界と今後の展望などについて議論する。

GC-EI-MS 自動同定定量 DB（AIQS-DB）収録物質の拡充
Expansion of GC-EI-MS Automated Identification and Quantification System Database

横浜国立大学 ○亀屋隆志

1. はじめに

今回のシンポジウム「環境汚染物質の網羅的分析手法の開発状況」では、近年、環境分野において開発が進められている汎用あるいは高分解能の質量分析計を用いた化学物質の網羅的分析手法について、その開発・実装研究に先駆的に取り組んできている研究者がそれぞれの手法の開発状況や活用事例について情報発信を行い、課題点や限界と今後の展望などについて議論する。開発の目的や想定する実装範囲・実装方法はそれぞれ異なるが、環境汚染物質を網羅的に把握できる技術によって、包括的な化学物質管理を実現しようとする方向性では一致している。そうした目でそれぞれの特長や守備範囲、実装に向けた作戦のような議論が期待される。

本報では、まず、そうした網羅的分析が必要とされるようになってきた背景を概説するとともに、筆者らが 10 年以上に亘って取り組んでいる GC-EI-MS 自動同定定量 DB（AIQS-DB）法の現在の開発状況について報告する。

2. 化学物質の環境中での残留状況調査

米国では 1976 年に制定された有害物質規制法（TSCA）において既存化学物質への試験要求がなされ、また、欧州では 2007 年に発行した REACH において新規・既存を問わず一定量を超える化学物質に対して基礎的な情報の事前登録が求められ、これらは包括的な制度と称されてきた。わが国では、1999 年に化管法が制定された頃から、化学物質の包括的な管理が求められるようになり、2009 年の化審法改正において、既存化学物質も含むすべての化学物質に対して、一定数量以上の製造・輸入を行った事業者からの実績数量等の届出が義務化され、それらの安全性評価が行われることになった。

こうした安全性評価を行う際には、環境リスクの評価が不可欠になり、対象物質の環境中での残留状況を知る必要がある。環境省では[1)]、化審法制定時の附帯決議を踏まえ、1974 年から現在まで、化学物質環境実態調査（化学物質エコ調査）を行って環境中での残留状況を調べ、「化学物質と環境（通称：黒本）」にまとめている。1979 年度には優先的に調査する化学物質の一覧（プライオリティリスト）に基づく調査の枠組みが確立されたが、調査結果がより有効に活用されるよう、2002 年度には環境省内の関連部署からの要望物質を中心に調査対象物質を選定する方式になった。現在では、①環境リスク懸念物質の高濃度予想地点データを取得して曝露可能性の判断に用いるための初期環境調査、②化審法の優先評価化学物質のリスク評価において全国的な曝露状況を検討するための詳細環境調査、③化審法の特定化学物質等の残留状況を監視するためのモニタリング調査として行われている。およそ 50 年におよぶ調査だが、年々増加する多様な化学物質に対して、対象物質数や調査地点数、継続調査数などは決して十分なものではなく、今後の活用において大きな不足が生じると予想される。

3. GC-EI-MS AIQS-DB の拡充に取り組む経緯

化管法の運用や化審法改正などの検討において化学物質に対する包括的管理の機運の予想が高まる中、おりしも、門上らによって約 1000 種に及ぶ有害化学物質を一斉にスクリーニング分析できる GC-EI-MS 自動同定定量データベース（AIQS-DB）法[2)]が開発され、汎用の GC-EI-MS のアドインシステムとして市販された。これを契機に、筆者らは化管法指定物質や化審法の優先評価化学物質や旧第三種監視化学物質（生態毒性物質）、水環境リスクが懸念される要調査項目、有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質などの多数の「未規制物質」を主な対象として、環境省が行う初期環境調査あるいは詳細環境調査レベルの残留状況調査に利用できないかと考え、それらの物質の AIQS-DB 拡充に努めてきた。

当初に研究を開始した 2009 年頃には、市販システムの AIQS-DB に収録されていた化管法指定物質は 200 物質程度であった。当時の化管法指定物質が PRTR 対象の第一種 462 物質と第二種 100 物質の計 562 物質であったことを鑑みれば、さらに DB 拡充が可能と考えられた。また、1998 年に設定された要調査項目が 2014 年には 208 項目に見直され、2021 年には化管法指定物質が第一種 515 物質と第二種 134 物質の計 649 物質に見直され、さらなる DB 拡充が必要となった。このほか、現時点で化審法の優先評価化学物質が 267 物質、有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質が 248 物質リストアップされており、こちらについても DB 拡充を予定している。

4. GC-EI-MS AIQS-DB の収録状況（2022/7/13 現在）

現在、筆者らが保有する AIQS-DB の収録物質数は 1466 物質であり、その中には化管法の新旧指定物質を 401 物質(群)、要調査項目を 91 項目 120 物質含んでいる。当初の市販システム収録されていた物質数が 942 物質であったことから、筆者らの研究室において約 10 年間に 524 物質を追加収録したことになる。

上記の物質数はいずれも半揮発性有機化合物（SVOC）である。SVOC の分析は、開発者メソッドに従い、GC カラムは DB-5ms（30m ×0.25 mm, 0.25 μm, Agilent J&W）を使用し、キャリアガスは He を 40cm/sec で流し、分析液を 1μL 注入してスプリットレスとし、カラム昇温速度を 40℃×2 min→8℃/min→310℃×5min でクロマト分離後、33-660amu の範囲をスキャン分析した。分析機器には QP2010 plus と QP2030NX を使用し、データ解析には GCMS Solution と Compound Composer（いずれも島津製作所）を用いた。なお、筆者らは、分析溶媒にはヘキサンではなくアセトンを使用する点が開発者メソッドと異なるが、これにより保持時間や質量スペクトル、検量線にはほとんど影響しないことを確認している。

また、SVOC として AIQS-DB 収録できない物質のうち、構造内にヒドロキシル基（−OH）やアミノ基（-NH_2）などの活性水素を有する物質について、分析液にトリメチルシリル（TMS）誘導体化試薬として BSTFA+ 1％ TMSI を添加して 1h 反応させた後に分析して、AIQS-DB に収録可能か否かを検討した。その結果、108 物質を TMS-SVOC 用の AIQS-DB に収録した。活性水素基別にみると、フェノール基（-C_6H_5OH）を有する物質が 35 物質、ヒドロキシ基（-OH）が 24 物質、アミノ基（-NH_2、-NH-）が 29 物質、カルボニル基（-COOH）が 8 物質、ペプチド結合が 10 物質とさまざまであった。

さらに、揮発性有機化合物（VOC）を対象に新たな VOC 用の AIQS-DB の開発を行った。結果、現在は化管法指定物質 76 物質を VOC 用 AIQS-DB に収録した。事前に分析条件の検討を行い、GC カラムは DB-624（60m ×0.32 mm, 1.8μm, Agilent J&W）を使用し、キャリアガスは He を 37.9cm/sec で流し、CS_2 溶媒の分析液を 2μL 注入して 1:10 のスプリットとして、カラム昇温速度を 35℃ ×4min→5℃/min→100℃→10℃/min→260℃×5min でクロマト分離した後、33-660amu の範囲をスキャン分析した。

5. GC-EI-MS AIQS-DB 法の課題と対応

開発者メソッドでは、検出漏れを極力避けたいとの意向から、ピーク同定の条件として登録された保持時間の前後 30sec 以内に検出されていて、登録された質量スペクトルとの類似度がもっとも大きいピークが同定されるようデフォルト設定されているが、トレードオフとして誤同定も多く発生することが確認されている。

また、たくさんの化学物質を GC-EI-MS AIQS-DB に登録すると、保持時間と質量スペクトルが重なってしまい、その結果、登録された質量スペクトルと比べて類似度がより大きな物質として同定され、その結果、誤同定が発生することが確認されている。こうした支障は、もともとの分子構造あるいは 70eV でイオン化した際のフラグメントイオンのパターンが類似した物質間で引き起こされる。詳細については別件の発表にて報告するが、筆者らにより SVOC 用の AIQS-DB に収録された 1466 物質間においては、このような誤同定の可能性は低いことを確認している。なお、通常の GC-MS 分析では、これと同じ理由による誤同定はチェックし難いが、たくさんの物質を収録した AIQS-DB 法では、こうしたチェックが可能になったことは意義が深い。

一方、AIQS-DB に収録されていない物質との間で保持時間と質量スペクトルが重なってしまうことによる誤同定も存在しうる。これについては、同じカラムや分析条件で GC-MS 分析する限りは避けることのできない誤同定となりうるが、高濃度あるいは高頻度あるいは高リスクとしてモニタリングされた物質については、構造由来の情報を活用して同定を行う TMS 誘導体化分析や GC-CI-MS、GC-MS/MS、LC-HRMS などによる詳細な検証が必要となる。

謝辞　本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF19S20403、JPMEERF20215G01) により実施した。

参考文献

1) 令和 3 年度版　化学物質と環境 https://www.env.go.jp/chemi/kurohon/2021/shosai.html
2) 門上希和夫ら (2004) 有害化学物質一斉分析用ガスクロマトグラフィー/質量分析法データベースの開発, 分析化学 53(6), 581-588.l

キーワード　残留状況、曝露評価，一斉モニタリング、AIQS-DB

ポストキャリブレーション型網羅的探索のための DB 開発状況

○高梨啓和、中島常憲（鹿児島大学）、
澤井　淳、宮本信一、後藤康之、戸田美沙、小久保貴幸（いであ）、鈴木裕識（岐阜大学）

1. はじめに

西暦 2008 年度に、全国の一級河川水系で起きた水質事故は 1,454 件[1)]であり、1996 から 2008 年までの 13 年の間、年間 102 件の割合で増加し続けた。また、埼玉県および神奈川県における水質事故の原因判明率が 40～50%とされていることから、年間 700 件以上の水質事故で原因物質が不明と考えられる。このため、水試料中に含まれている未知物質の化学物質名を迅速に推定する必要性が増している。そこで本研究では、ポストキャリブレーション型の網羅的探索技術に着目し、必要なデータベースを構築することとした。

2. ポストキャリブレーション型網羅的探索

水試料中に含まれている未知物質の化学物質名を迅速に推定する方法として、質量分析法に着目した。質量分析は、通常の分析法と比較して 1,000 程度高感度[2)]である。また、高速分析が可能なため、分離を伴う分析が可能である。この特徴は、水試料のように多種多様な夾雑物が含まれる試料への適用を可能にしている。一方で、他の分析法と同様に機器の感度が変動するために校正作業（キャリブレーション）が必要である。キャリブレーションは、分析対象物質（分析種）毎に実施する必要があり、労働集約的かつ高コストなため、数多くの化学物質を網羅的に探索する際の大きな障害になっている。

そこで本研究では、想定した分析種が試料中から検出されたか否かはキャリブレーションを実施しなくても判断可能なことに着目し、検出された分析種に限定（想定した分析種の一部が検出されると仮定）してキャリブレーションを実施して、試料調製（前処理）時の分析種回収率の検討、検出下限界値の検討、質量分析機の感度補正を実行することで効率化を図ることにした。

3. 構築したデータベースの収録内容

ポストキャリブレーション型網羅的探索法は、予め分析種を想定して、想定した分析種が検出されたか否かを判断するターゲットスクリーニング分析の一種である。このため、想定した分析種のデータベースが必要である。本研究では、検出法（質量分析）の特徴と化学物質管理の通則に合わせて、以下の項目を集録した。1)化学物質名、2)CASRN、3)PubChem CID、4)分子式、5)法区分、6)NITE CHRIP へのリンク情報、7)PubChem COMPOUND SUMMARY へのリンク情報、8)生態影響のクラス情報、9)硝化阻害のクラス情報、10)電子イオン化（EI）法でイオン化して測定したマススペクトル、11)GC 用の微極性カラムで実測された保持指標（RI）値である。

4. 構築したデータベースの収録物質数

ポストキャリブレーション型網羅的探索における分析種の物質数に制限はない。本研究では、化審法および化管法の対象物質等を集録し、日本国内で使用されている化学物質を集録することを目指した。2022 年 7 月 12 日時点での集録物質数は、集録物質数=36,437、EI マススペクトル付与物質数=7,086、実測 RI 値付与物質数=3,377（すべて実数）である。その内訳を**表 1** に示す。

表 1　構築したデータベースの収録物質数

法律	区分	収録物質数（実数）	EIマススペクトル収録物質数（実数）	実測RI値収録物質数（実数）
化審法	第1種特定化学物質	673	233	221
化審法	第2種特定化学物質	33	9	3
化審法	監視化学物質	166	41	11
化審法	優先評価化学物質	1,893	237	130
化審法	既存化学物質	29,081	5,968	2,735
化審法	新規公示化学物質（2011年3月31日以前届出）	1,098	274	104
化審法	新規公示化学物質（2011年4月1日以降届出）	52	10	2
化審法	（旧）指定化学物質	350	180	94
化審法	（旧）第2種監視化学物質	318	190	116
化審法	（旧）第3種監視化学物質	398	211	145
化管法	特定第一種指定化学物質	661	47	7
化管法	第一種指定化学物質	3,709	844	491
化管法	第二種指定化学物質	178	108	50
–	生態毒性物質（全体）	1,035	848	546
–	生態毒性物質（クラス1）	604	480	301
–	生態毒性物質（クラス2）	354	317	203
–	生態毒性物質（クラス3）	48	41	34
–	生態毒性物質（分類できない）	29	10	8
–	硝化阻害物質（全体）	218	166	74
–	硝化阻害物質（クラス1）	9	9	5
–	硝化阻害物質（クラス2）	74	60	29
–	硝化阻害物質（クラス3）	135	97	40
–	硝化阻害物質（クラス外）	163	124	82
–	異臭物質	3	3	3
–	合計（延べ数）	41,282	10,507	5,434

参考文献

１）環境省、https://www.env.go.jp/water/confs/fpwq/02/mat04_06.pdf(2022 年 7 月アクセス)

２）日本工業規格、JIS K 0124:2011

キーワード GC/MS，LC/HRMS，化学物質探索システム

LC-QToF-MS による簡易・迅速なターゲットスクリーニングのためのデータベース整備状況
Attempt on Development of The Database for Simple and Rapid Target Screening by LC-QToF-MS

岐阜大学 ○鈴木裕識，尾川裕紀，埼玉県環境科学国際センター 髙沢麻里
国立環境研究所 小口正弘，横浜国立大学 亀屋隆志，東京大学 栗栖太

1. はじめに

近年，ヒトの健康や生態系への影響が懸念される化学物質の増加により，これらの環境モニタリング情報を効率的に取得，蓄積する需要が高まっている。そのため，多様な環境汚染物質を一斉に，網羅的に分析する手法の開発への取り組みが国内外で盛んに行われてきている。

高分解能 MS 機器を用いた分析技術では，目的化合物の機器測定データが収録されたスクリーニングデータベース（DB）と環境試料の測定データを突合することで目的物質の有無を一斉に把握する，いわゆる「ターゲットスクリーニング分析（TS)」により，迅速な存在実態把握が可能となるため，手法の確立が期待されている。一方で，このような DB を用いる手法においては，DB を作成した装置や機関以外で利用した場合でも分析データの比較や評価ができるように，DB やデータ解析の手法の汎用性を確保することや分析装置の機種依存性を低減するなどの整備が重要となる。

本研究グループでは，LC-QToF-MS を用いた TS 分析の DB 構築において，有力な突合情報を取得するために，3 段階の濃度で希釈，調製した標準品を無段階 MS/MS 法で測定し，濃度に応じてスペクトル強度が変化した複数のフラグメントイオン情報を抽出する手順を構築した[1)]。本稿では，本手法と本 DB を異なる分析機関で適用することを想定し，分析の精度と汎用性・作業効率性を兼ね備えた分析手法を提案することを目的として，DB との突合における，カラム保持指標（RI）の導入可能性を検討するとともに，誤判定低減に向けた質量誤差範囲設定の条件について検討したので紹介する。

2. 方法

2.1 高分解能 LC/MS における RI の導入可能性の検討

LC-QTOF-MS のエレクトロスプレーイオン化法（ESI）のネガティブおよびポジティブモードにより取得されたデータに基づき RI の導入可能性を検討した。対象とした環境汚染物質は，環境省の要調査項目や PRTR 制度の対象物質に加え，Contaminants of Emerging Concern として懸念されている有機フッ素化合物類（PFASs）や PPCPs 等を含む 30 種とした。なお，これらのうち，15 種が ESI（+）により，残りの 15 種が ESI（-）により検出されることを事前に確認した。RI の算出では，内部標準として同位体標識標準物質 14 種（ISTD）をスクリーニング対象物質の DB 登録用分析時に添加するとともに，本検討で用いた環境水試料（n=30）の分析時に同 ISTD を添加した。RI の算出は各 ISTD の登録カラム保持時間（RT）と検出 RT および各物質の DB 登録 RT を用いて以下に示す**式 1** により行った。なお，DB 登録用の分析データ取得に用いた分析機器と河川試料の分析データ取得に用いた分析機器は，同機種ではあるが，異なる分析機関のものを用いた。また，両者の測定時期の差は 3 年未満であった。

$$RI_S = \frac{1}{2}\left\{\frac{ISRT_{Me-b-S}}{ISRT_{DB-b-S}} + \frac{ISRT_{Me-a-S}}{ISRT_{DB-a-S}}\right\} \times RT_S \qquad \text{式 1}$$

ここで RI_S：物質 S のカラム保持指標（RI）（min），$ISRT_{Me\text{-}b\text{-}S}$：物質 S の直前に溶出する内部標準のカラム保持時間（RT）の測定値（min），$ISRT_{Me\text{-}a\text{-}S}$：物質 S の直後に溶出する内部標準の RT の測定値（min），$ISRT_{DB\text{-}b\text{-}S}$：物質 S の直前に溶出する内部標準の RT の登録値(min)，$ISRT_{DB\text{-}a\text{-}S}$：物質 S の直後に溶出する内部標準の RT の登録値（min），RT_S：物質 S の RT の登録値（min）である。

2.2 誤判定低減に向けた質量誤差範囲設定

DB に収録された目的物質のプリカーサーイオンやフラグメントイオンの情報は，DB 収録機関とは異なる機関で環境試料を分析する場合，また，同機関であっても収録時から測定環境が変化する場合を想定すると，突合条件を不必要に過度に厳しくすることでかえって誤判定のリスクが高まることが懸念される。そこで，特に，フラグメントイオンの許容質量誤差範囲の設定について，精密 m/z としてその組成より算出される理論値を「理論計算値」，測定された各フラグメント精密 m/z を「装置測定値」とし，理論計算値に対して質量誤差範囲 10 ppm で突合する条件を基準条件として，3 つの条件，すなわち，①理論計算値を質量誤差範囲 50ppm で突合，②装置測定値を質量誤差範囲 10ppm で突合，③装置測定値を質量誤差範囲 50ppm で突合，の誤判定率を比較した。

3. 結果と考察

3.1 高分解能 LC/MS における RI の導入可能性の検討

DB 登録 RT と実測試料の RT(実測 RT)の⊿RT の最大値と本研究で算出した RI と実測 RT の⊿RT の最大値をプロットした結果を図 1 に示す。DB 登録 RT と実測試料の RT の⊿RT の最大値が 1 min を超えていた PFBS と PFHxA（両者とも PFASs 類。登録 RT と実測 RT の⊿RT の最大値がそれぞれ 1.15 min と 1.16 min）は RI を導入することで⊿RT の最大値がそれぞれ 0.90 min と 1.00 min に改善した。LAS（C10）では登録 RT と実測 RT の⊿RT の最大値が 0.90 min であったのに対し, RI では 0.22 min に減少し, 大幅に補正された。その他の物質を含め, シマジン（CAT）の 1 物質を除く 29 物質で，登録 RT よりも RI の方が⊿RT の最大値が小さくなり改善していることが分かる。TS 分析においては，⊿RT が大きくなるほど検出の偽陽性の可能性が高くなるため，⊿RT 許容範囲の突合条件はなるべく小さく設定できることが望ましいが，RI を採用することで，⊿RT 許容範囲=±1min 程度に設定できることが示唆された。

3.2 誤判定低減に向けた質量誤差範囲設定

DB と実測データのフラグメントイオン情報の突合における，基準条件と 3 つの比較条件による誤判定率をそれぞれ**表 1** に示す。条件①では誤判定率が 7.6%，そのうち誤検出率が 6.8%と多くを占めていた。条件③も同様（誤判定率:7.6%，誤検出率:6.3%）であった。一方で，条件②では，誤判定率は条件①や③と大きく変わらない 8.8%であったが, 見逃し率が多くを占め 5.8%であった。次に，ブランク試料の強度の 3 倍を検出下限強度として差し引くことで，環境試料由来ではないデータ排除による誤検出率の低減効果を検討した。条件①と③の誤判定率はそれぞれ 2.8%と 2.7%に低減され，その主な理由は誤検出率の低下（①6.8%→2.2%，③6.3%→2.1%）であった。また，理論計算値と装置測定値の設定間には誤判定率に大きな差がなかった。一方，条件②では誤判定率は 4.7%への低減にとどまり，その理由は見逃し率があまり改善しなかった（5.8%→3.8%）ためであった。以上より, 突合条件は 10ppm のように許容質量誤差範囲を厳しく設定することで見逃しの発生リスクが高くなることが示された。また，DB のフラグメントイオン登録データは，理論値の算出時に求められる専門知識や労力が不要な装置測定値でも支障がないことが確認された。

謝 辞 ：本研究の一部は環境研究総合推進費（JPMEERF19S20410，JPMEERF20215G01）により実施しました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 髙沢麻里，鈴木裕識，小森行也，對馬育夫，山下洋正, & 小口正弘. (2020). 液体クロマトグラフ-精密質量分析計を用いた PRTR 物質の簡易スクリーニング手法の構築と下水試料への適用. 環境科学会誌, 33(5), 114-125.

キーワード 高分解能 MS，スクリーニング，データベース

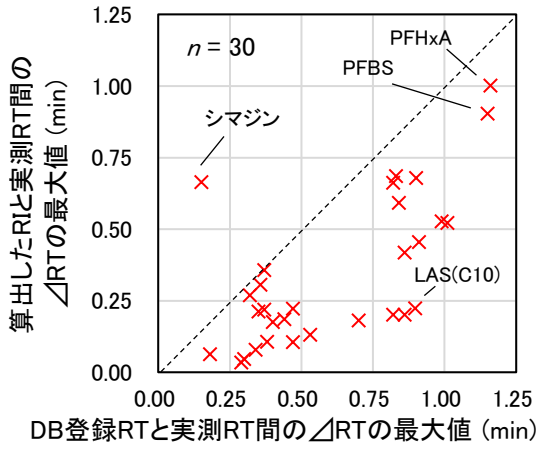


図1 対象物質の実測RTとDB登録RT・RIとの⊿RTの比較

表1 LC-QToF-MSを用いたターゲットスクリーニング分析におけるフラグメントイオンの突合条件の比較

		（1）測定データをそのまま解析に供した場合				（2）検出下限強度を設定し差引いた場合			
		【基準条件】	【比較条件】			【基準条件】	【比較条件】		
			①	②	③		①	②	③
解析条件	データ数：900（30物質×30試料）	理論計算値	理論計算値	装置測定値	装置測定値	理論計算値	理論計算値	装置測定値	装置測定値
	突合するフラグメントイオンのm/z								
	許容質量誤差範囲（ppm）	10	50	10	50	10	50	10	50
判定結果	検出「あり」判定	332	386	307	378	209	224	183	223
	検出「なし」判定	568	514	593	522	691	676	717	677
	基準条件との一致率（%）		92.4	91.2	92.4		97.2	95.3	97.3
	基準条件と比較した誤判定率（%）		7.6	8.8	7.6		2.8	4.7	2.7
	誤判定の内訳 見逃し率（%）		0.8	5.8	1.2		0.6	3.8	0.6
	誤判定の内訳 誤検出率（%）		6.8	3.0	6.3		2.2	0.9	2.1

LC-HRMS を用いた要調査項目物質のターゲットスクリーニング分析
Target Screening Analysis of Items to be Surveyed Using LC-HRMS

東京大学大学院工学系研究科 ○栗栖　太

1. はじめに

平成 10 年に環境省による水環境保全に向けた取組のための要調査項目（以下要調査項目）が設定され、平成 26 年に 208 項目に見直された。令和 3 年にペルフルオロオクタンスルホン酸およびペルフルオロオクタン酸の要監視項目への格上げと、ペルフルオロヘキサンスルホン酸の要調査項目への追加があり現在207項目となっている。環境省により「要調査項目等存在状況調査」が行われているものの、毎年 10 項目程度の調査が行われているに過ぎず、全項目を調査する目途が立っている状況ではない。そこで我々は、HPLC-高分解能質量分析計（LC-HRMS）を用いることで、対象物質ごとに分析法を開発することなくできるだけ多くの物質を同時に分析することを目標とし、分析法の開発に取り組んでいる。

2. 一斉定量分析法の開発

要調査項目のうち、無機物や、分子量が 50 未満で質量分析が不可能なものなどを除くと、測定対象物質は多く見積もっても 200 物質未満、実際に分析できるものとしては 100 物質程度と予想された。標準物質をそろえるのが不可能な数ではないことから、最初に標準物質を用いた定量分析法の開発を行った。3 種類の固相抽出法の比較、5 種類の HPLC カラムの比較を行い、回収できる物質数が最大で分離が良好な条件を選定した。質量分析には、四重極－Orbitrap 質量分析計(Q Exactive Focus, Thermofisher Scientific)を用いた。

検討の結果、固相抽出は Oasis HLB と AC2(Waters)の直列接続による前処理を、また分析カラムは InertSustain AQ-C18(GL Science)を用いた分析を採用した。また、質量分析においては、プリカーサイオンによる定量を行い、その際の許容質量誤差は 5 ppm とした。Data dependent MS2(Confirmation)モードでデータ取得し、必要に応じて、プロダクトイオンの確認を行うようにした。

LC-HRMS 分析では 106 物質の分析が可能であり、このうち固相抽出で回収可能であったものは 84 物質であった。この分析法を用い、埼玉県の荒川 5 地点から採取した試料を分析したところ、32 物質について濃度を示すことができた [1)]。

3. ターゲットスクリーニング分析法の適用

LC-HRMS を用いデータベースによる同定と定量を行う AIQS (Automated Identification and Quantification System)-LC 法 [2)]を活用している試験機関での分析を想定し、AIQS-LC 法を用いた要調査項目分析の開発を行った。LC-HRMS には、AIQS-LC 法で用いられている四重極 - 飛行時間型質量分析計(X500R, SCIEX)を用いた。

要調査項目のうち、すでにデータベースに登録されている 21 物質に加え、新規に 82 物質を登録することができ、合わせて 103 物質の分析と定量が可能となった。さらにこの分析方法において、試料前処理を行わず 500 μL までの大容量直接注入による分析を試みたところ、注入量の倍率に応じた検出感度の向上が得られた。これにより、固相抽出等の前処理では回収できない物質についても測定を行うことが可能となることが示された。

4. 定量性についての検討

本研究は幅広い物性の多物質を一斉に分析する手法であることから、試料マトリクスにより回収率や質量分析での検出強度が影響を受ける物質もある。河川水や、下水、下水処理水、それぞれ数種類の試料に対して標準添加法により回収率を評価し、回収率がおおむね 50%以上で定量値をそのまま利用してよい物質群と、回収率が低いまたは不安定であり、定量値が過小評価されている可能性がある物質群とに分けた。たとえば、毒性影響等から示される評価値よりも定量値が高い場合には、回収率の如何にかかわらず問題がある可能性がある、と結論することができる。

5. おわりに

厳密な定量分析と、スクリーニング分析の間に位置づけられる分析法を開発した。実際の要調査項目の評価に活用できるよう、分析法の確立を目指している。

謝辞　本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20215G01)により実施した.

参考文献

1)　Xie et al. (2021) *Chemosphere*, 273, 128524.
2)　Kadokami and Ueno (2019) *Anal Chem*, 91, 7749-7755.

キーワード　要調査項目, 高分解能 LC/MS, AIQS-LC 法

シンポジウム－5

「地域の脱炭素化：次世代エネルギーと公共調達の観点から考える」

プロジェクト名：環境研究総合推進費
「暗示的炭素価格を踏まえたカーボンプライシングの制度設計:効率性と地域経済間の公平性を目指して」
市村清新技術財団地球環境研究助成
「公共調達のデジタル化によるグリーン調達促進:自治体の脱炭素化」
旭硝子財団研究助成プログラム
「再生可能エネルギー普及に向けた需要･供給サイドの研究:日独比較を通じた経済分析」
科学研究費 22K01503
「自治体のグリーン購入方針―グリーン購入促進効果・グリーン購入の効果との関係性」

オーガナイザー　宮本拓郎（東北学院大学）准教授
有村俊秀（早稲田大学）教授

趣旨説明：地域の課題解決や魅力向上に向けた脱炭素への取り組みについて、再生可能エネルギーと公共調達の観点から考える。研究者による研究成果やその政策的な含意の報告だけでなく、次世代電力供給に取り組む企業や公共調達のグリーン化を支援する NGO の関係者にも、それらの現状と課題について現場の視点からご報告いただく。本企画を通じて、研究者による分析と現場の視点を融合し、地域の脱炭素化における産学官連携のあり方を模索したい。

地域の脱炭素化：次世代エネルギーと公共調達の観点から考える
Local Decarbonization: Next Generation Energy and Public Procurement Perspectives

オーガナイザー　東北学院大学 宮本拓郎、早稲田大学 有村俊秀

1. 趣旨

本企画では、地域の課題解決や魅力向上に向けた脱炭素への取り組みについて、再生可能エネルギーと公共調達の観点から考える。研究者による研究成果やその政策的な含意の報告だけでなく、次世代電力供給に取り組む企業や公共調達のグリーン化を支援する NGO の関係者にも、それらの現状と課題について現場の視点からご報告いただく。本企画を通じて、研究者による分析と現場の視点を融合し、地域の脱炭素化における産学官連携のあり方を模索することが本企画の趣旨である。

鷲津明由氏（早稲田大学)、岩崎哲氏　((株)アイ・グリッド・ラボ)、有村俊秀氏（早稲田大学)、竹内孝曜氏（グリーン購入ネットワーク事務局)、矢島猶雅氏（早稲田大学）の 5 人（以上、報告順）にご報告いただく。鷲津氏・岩崎氏・有村氏には、次世代エネルギーについてご報告いただき、竹内氏・矢島氏には公共調達についてご報告いただく。また、次世代エネルギーでは、余剰電力の有効活用（鷲津氏は地域間融通・岩崎氏は地域内での安定的な循環流通）と地域コミュニティとの対立に焦点を当てたご報告、公共調達ではグリーン調達方針に焦点を当てたご報告をしていただく予定である。各報告のより詳細な内容については、下記の要旨を参照していただきたい。

また、以上の 5 つの報告の後に総合討論を行う予定である。

2. 各報告の要旨

各報告の要旨は以下のとおりである。

【報告①】

最適な地域間潮流がもたらす効果の産業連関分析 : 地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の応用

○早稲田大学　鷲津 明由
東北学院大学　板明果

次世代エネルギーシステム分析用産業連関表(IONGES, 2011 年版)の 2030 年想定表を 9 地域間 IONGES に拡張した(図 1)のでその成果を報告する。その際、再生可能エネルギーの導入比率を 2015 年の長期エネルギー需給の見通しの水準とし，その地域間分布に出力抑制を考慮したうえ地域間送電は 2011 年の実態と仮定した表(保守的融通ケース，新井・鷲津;2021，有村他;2022)と，2030 年に想定されている電力設備量の分布(再生可能エネルギー導入は第 6 次エネルギー基本計画の野心的水準)と電源計画モデル(矢部・林; 2022)に基づく最適な地域間送電を仮定した表(野心的融通ケース)の 2 通りの表を作成した。野心的融通ケースでは，地域間送電を活発にすることで，再生可能エネルギーの出力抑制が可能な限り回避され，火力発電費用が最小になるように計算された結果が反映されている。2 つの表の電力の国内生産額計はどちらも 2011 年の総務省・産業連関表の水準で共通であるが，その地域別，電源種別内訳や地域間の電力の移出入状況が，それぞれの想定となっている。

		北海道	東北	・・・	沖縄	最終需要	国内総生産額
		部門1・・・部門n	部門1・・・部門n		部門1・・・部門n		
北海道	部門1 ・ ・ 部門n						
東北	部門1 ・ ・ 部門n						
・ ・							
沖縄	部門1 ・ ・ 部門n						
付加価値							
国内総生産額							

図 1　地域間 IONGES の概念図

本報告では、カーボンプライシングの制度設計に対する示唆を導出するために，2 つのケースごとに，各地域の消費が直接･間接に自地域と他地域にもたらす CO_2 誘発効果を計算した。その結果，全地域の最終消費が引き起こす CO_2 排出の総量は，野心的ケースでは保守的ケースに比べて 5.3%減少する。また，各地域の消費 100 万円が引き起こす CO_2 誘発は野心的ケースでは保守的ケースに比べて 2.7%～10%減少する(連系のない沖縄を除く)。その一方，関東における消費が東北に引き起こす CO_2 誘発が大幅に増加するなどの分布の変化が確認された。つまり，全体最適の中で配分が変化すると，局所的には負

の影響を受ける地域も出てくるということが分かった。この点は今後のカーボンプライシングの制度設計に対して重要な示唆を提供する。

謝辞 : 地域間産業連関表編集については独立行政法人経済産業研究所　新井園枝氏にご尽力いただきました。ここに深く感謝を申し上げます。

参考文献

新井園枝，鷲津明由『2011 年次世代エネルギーシステム分析用産業連関表・地域間表(地域間 IONGES)の作成について』経済統計研究 第 49 巻Ⅱ号，p14-37，2021 年

有村俊秀・杉野誠・鷲津明由編著『カーボンプライシングのフロンティア』第 7 章，日本評論社，2022.

矢部邦明・林泰弘，第 38 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 講演論文集, pp.691-696, 2022 年

【報告②】

GX プラットフォームによる地域脱炭素の取り組みについて

(株)アイ・グリッド・ラボ　岩崎 哲

筆者らは、分散型エネルギーの予測・制御を行う GX プラットフォームを開発・運営している。GX プラットフォームを用いて、太陽光発電余剰電力を地域内での需給をバランスさせつつ安定的に循環・流通させ、エネルギーの地産地消と地域循環型経済を生み出す地域脱炭素の取り組みを行っている。地域密着型の流通小売業を中心に自治体・地銀・サプライチェーン・生活者と連携し、GX の計画立案からソリューション実行に至るまで、事例を含めて報告する。

【報告③】

再生可能エネルギー普及における地域コミュニティとの対立とその克服について：日独の事例から

早稲田大学　有村 俊秀

カーボンニュートラルに向けて、各国で再生可能エネルギーの普及が進んでいる。同時に、送電網の拡張も進んでいる。そして、風力発電の建設や送電網の建設は、地域コミュニティとの対立も招いている。本研究では、日独の事例を見ながら、両国でどのように地域コミュニティとの対立に対処しているかを検証する。

【報告④】

地方公共団体のグリーン購入取り組み状況　―調達方針の重要性―

グリーン購入ネットワーク事務局　竹内 孝曜

グリーン購入は、温室効果ガスの排出削減、廃棄物の発生抑制や資源循環の促進など、地方公共団体のさまざまな環境施策と密接な関係がある。また、SDGs の目標をはじめ社会的課題の解決にもつながる重要な取り組みだといえる。今回は、グリーン購入法において努力義務と位置付けられている地方公共団体のグリーン購入の取り組み状況について紹介すると共に、組織的に取り組みを展開する上で重要となるグリーン購入調達方針の役割と、個別自治体の取り組み事例を解説する。

【報告⑤】

グリーン調達方針による学習効果と家庭での消費行動との関係性」

早稲田大学　矢島 猶雅

調達しようとしている製品・サービスがグリーン購入法の基本方針の判断基準を満たすのかを判断するのは、専門家でないと難しい。各自治体で作成しているグリーン調達方針は、判断基準を満たすエコラベルや製品サービスの情報などを掲載しており、グリーン購入の円滑な実施に貢献している。これらの情報は、業務上だけでなく、調達担当者の家庭での消費行動にも利用される可能性がある。この可能性を自治体対象のアンケート調査データを用いて検証した。

謝辞：本シンポジウムは、環境研究総合推進費「暗示的炭素価格を踏まえたカーボンプライシングの制度設計:効率性と地域経 済間の公平性を目指して」、市村清新技術財団地球環境研究助成「公共調達のデジタル化によるグリーン調達促進:自治体の脱炭素化」、旭硝子財団研究助成プログラム「再生可能エネルギー普及に向けた需要・供給サイドの研究:日独比較を通じた経済分析」、科学研究費 22K01503「自治体のグリーン購入方針―グリーン購入促進効果・グリーン購入の効果との関係性」の助成を受けて、企画・開催した。

シンポジウム－6

「脱炭素化に貢献するモビリティ革命のあり方をさぐる」

プロジェクト名：環境研究総合推進費【1G-2001】
「モビリティ革命が脱炭素化を実現するための条件」

オーガナイザー　加藤博和（名古屋大学）教授
朴秀日（名古屋大学）研究員

趣旨説明：近年、CASE と呼ばれる自動車の根本的な変革や、新たなモビリティ・ツールの普及、そして ICT を活用した MaaS 等の交通モード間連携の進展といった「モビリティ革命」とも呼ばれる動きが注目を浴びている。しかし、モビリティ革命が脱炭素化に貢献しうるか否かについて、学術的・客観的な評価検討は不十分である。本シンポジウムでは「モビリティ革命が脱炭素化を実現するためにどのような施策が必要か」について、関連研究の紹介を踏まえ議論する。

脱炭素化に貢献するモビリティ革命のあり方をさぐる
A study on the evaluation method of low-carbonization effect due to mobility revolution

名古屋大学 加藤博和・朴秀日（オーガナイザー）・森田紘圭
早稲田大学 紙屋雄史・井原雄人・楊イ翔、岡山大学 氏原岳人、国立環境研究所 松橋啓介

1. はじめに

交通分野においては近年、新たなモビリティツールの普及、CASE（Connected、 Automated、 Shared、 Electric）と呼ばれる自動車の根本的な変革、ICT を活用した MaaS（Mobility as a Service）といった新たな動きが注目を浴びており、それらをまとめて「モビリティ革命」と呼ぶこともある。それによって交通がどの程度便利になるかはもとより、交通起源の環境負荷、特に温室効果ガスの排出削減にどの程度寄与するかも重要であるが、学術的・客観的な評価はほとんど行われていない。そこで著者らは「モビリティ革命が脱炭素化を実現するための条件」を明らかにする手法の確立を目指して研究を進めている（謝辞参照）。本稿では本研究の枠組とこれまでの成果、今後の進め方について述べる。

2. 研究目的

本研究では、交通システムに様々な交通具・技術・サービスを導入した場合の CO_2 排出量の変化を LCA（Life Cycle Assessment）のアプローチで把握し、さらに需要・供給状況や、インフラ整備・エネルギー技術等の要因による変化も考慮できる評価手法を開発しつつある。これを実際の都市に適用し、QOL（Quality of Life）を向上させながら低炭素化も実現する交通システムのあり方を見いだす方法論を確立することを目的としている。

3. 研究の枠組および成果

研究の枠組を図 1 に示し、これまでの進捗および成果について 4 つの区分ごとに述べる。

3.1. LCA に基づく交通システムの低炭素性評価

交通システム革新の低炭素性評価の定量的・包括的な方法論の開発を目指し、次世代モビリティツール（交通具）・新技術・サービスの LCA に基づく低炭素性評価手法を構築し、シナリオ評価に適用してきた。

具体的には、まず、モビリティ革命に関わる資料や文献、情報等を参考にし、今後普及が期待される次世代モビリティの交通具・新技術・サービスを整理した。その上で、各項目の詳細内容と普及・実装状況を把握し、そ

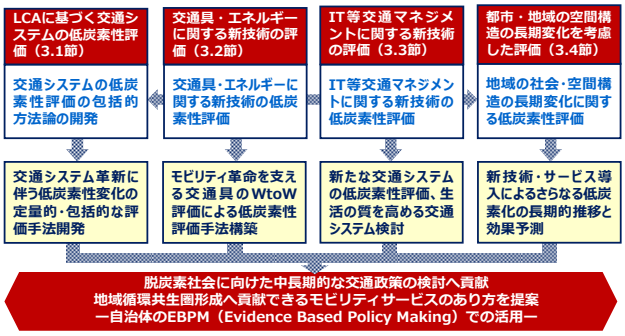


図 1　研究の枠組

れらの組み合わせによる CO_2 排出量変動の主要因を、車両およびインフラの製造・建設段階から走行・維持管理段階、廃棄・リサイクル段階の LC（ライフサイクル）に着目して把握できるように LC プロセスツリーを作成した。また、文献収集およびヒアリング調査等を通じて車両・インフラの素材・部品・建物の資材等の情報とデータを収集し、LCI データベース IDEA および JLCA を用いて、製造段階の評価に標準的に使用できる CO_2 排出原単位を整備した。走行時の原単位については、ヒアリング調査による実測データ入手や車両の電費計測試験を通じて WtoW（Well to Wheel）原単位を整備した。これを用いて、走行条件・利用人数・電力構成を考慮したシナリオ評価を行うとともに、それらの組み合わせを比較・分析した。

さらに、乗用車から鉄道・バス等の中大量公共交通機関への転換による CO_2 大幅削減可能性の検討を行うため、多様な中大量輸送システムの LC-CO_2 原単位を整備するとともに、端末交通機関として次世代パーソナルモビリティを新たに想定し、導入前後の CO_2 排出量を利用距離・乗車人数・車両種類別に推計できるようにした。加えて、地域特性（気候、地形等）、車両特性（回生、電動化等）、需要特性（輸送量、車両乗車人数等）の様々な条件を考慮した CO_2 排出量推計を可能とした。以上の結果、交通システム革新の様々な側面を考慮できる低炭素性評価の方法論を整備しつつある。

3.2. 交通具・エネルギーに関する新技術の評価

次世代モビリティツール（交通具）の WtoW 評価によ

る低炭素性評価手法の構築を目指し、交通具の電力 CO_2 排出量が電源構成および走行条件や充電パターンにどの程度影響を受けるか把握するとともに、これらの設定を考慮できる CO_2 排出原単位を整備し、感度分析および低炭素性評価を行ってきた。

具体的には、まず、電動バス、グリーンスローモビリティ（GSM）、超小型 EV、電動キックボードの走行時電費のデータを収集し、車両総重量と電費の相関性を明らかにした。また、平均車速および勾配による電費の違いを調査し、走行パターンによる電費の違いを把握した。

また、充電に使用する電力の CO_2 排出原単位を WtoW で評価するため、一般送配電事業者の 1 時間ごとの発電構成を分析した。これを用いて、電動車両の充電パターンによる CO_2 排出量の違いを検討できるように、デジタル運行データ（GTFS）を用いて車両稼働状況を把握できるようにした。これに時間帯別 CO_2 排出原単位を考慮することで、CO_2 排出量を最小化するような充電パターンの導出を可能とし、仕業の見直しによる CO_2 排出量の削減可能性を明らかにした。

3.3. IT 等交通マネジメントに関する新技術の評価

新たな交通システムの低炭素性評価手法を構築し、低炭素でかつ QOL を高める交通システム実現のあり方を提示することを目指し、MaaS、オンデマンド、シェアリング等モビリティ革命の核となる新たな交通マネジメント技術の利用形態に着目した低炭素性評価手法を開発し、各事例に適用・評価した。

具体的には、超小型 EV および GSM の導入実験における導入前後（With-Without）の利用者データを取得し、導入を低炭素性で評価した。以上の結果をふまえ、利用者ベースでの低炭素性を評価するための枠組を構築し、それに合わせて収集すべきデータ群を整理した。また、公共交通整備状況が異なる大都市圏と地方部の 2 地域を対象に、MaaS の利用経験・実態やサービス向上による利用可能性変化を把握し、導入課題を整理した。その上で、各地域を対象に交通行動調査を実施し、MaaS 利用をきっかけとした手段変更の有無や新しい行動の発生等による個人レベルでの CO_2 排出量変化を推計した。

さらに、COVID-19 が交通行動に与えた影響を把握するために、流行前後での代表交通手段の転換状況や、公共交通利用を継続・停止する人の特性を把握した。

3.4. 都市・地域の空間構造の長期変化を考慮した評価

交通に関する新技術・サービス導入による各地域の将来変化に合わせたモビリティ低炭素化の方向性の提示を目指し、都市・地域の空間構造および人口構成の長期変化と、並行して起きるライフスタイル変容（移動の量・質の変化）を踏まえた交通需要変化をシナリオ化し、それによる CO_2 排出量の長期推移を予測した。さらに、各種の施策およびそれらの組み合わせを考慮した場合の低炭素性を評価した。

具体的には、まず、政令市を対象に人口シナリオ設定による市街地コンパクト化の CO_2 排出量削減効果の評価を行った。また、車検証データを用いて、全国市区町村別に走行距離と CO_2 排出量の推計を行い、可住地人口密度が高いほど 1 台あたり走行距離が低いことを示した。総走行距離のうちハイブリッド車が占める割合は、温暖地が寒冷地の約 2 倍である等の特性も明らかにした。

さらに、交通モード選択にかかる年齢構成等の影響を把握するため、全国の性別 5 歳階級別の免許保有者数と運転者数の推移の要因を年齢、時代、コーホートの各効果に分類する APC（Age-Period-Cohort）分析を適用し、免許保有者数と運転者数の特徴を分析した。その結果、現在の傾向が継続すると高齢女性の免許返納や運転取りやめが減少し、運転者数が増加する可能性が高いことを明らかにした。

4. 今後の進め方

以上で示した評価手法およびその適用結果をさらに発展させた上で統合し、モビリティ革命が脱炭素を実現する交通システムの条件を取りまとめる。また、評価手法を用いることによって、国による低炭素技術の導入支援事業の評価や、地方自治体における公共交通への転換や新たな交通システムの導入といった施策の低炭素性評価を、輸送量等の地域特性を考慮して行うことができ、EBPM（Evidence Based Policy Making）に活用できる。

一方、モビリティ革命によってサービスやビジネスのあり方が大きく変化していく中で、モビリティサービスの環境評価・認証の仕組みを構築し普及することが必要不可欠である。そのため、本研究で開発する評価手法をベースとした脱炭素性能認証制度を構築し、適用可能性を検証する予定である。

謝辞　本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20201G01）（2020～22 年度）により実施している。

キーワード　脱炭素、MaaS、CASE、LCA、Well to Wheel

シンポジウム－7

学術賞受賞記念シンポジウム
「持続可能な未来都市に向けた分析・計画・実装」

プロジェクト名：環境研究総合推進費 1-2003
「地域資源と地域間連携を活用した地域循環共生圏の計画と
その社会・経済効果の統合評価に関する研究」

オーガナイザー　松橋啓介（国立環境研究所）室長
原圭史郎（大阪大学）教授

趣旨説明：カーボンニュートラル、SDGs 等の観点から持続可能な未来都市の必要性が認識され、その実現に役立つ分析・計画・実装に関する研究の重要性が増しています。本シンポジウムでは、ゼロカーボンシティ、地域循環共生圏、SDGs 未来都市、フューチャー・デザインの観点から、地域資源の分析、持続可能性目標・指標の検討、将来像と到達シナリオの設計、実装に向けた統合的アプローチ等に関する研究紹介を行い、持続可能な未来都市への転換を加速するために何が必要か、意見交換を行います。

持続可能な社会設計に向けたシナリオ評価と社会への反映
Scenario Evaluation for Sustainable Society Design and Reflection on Society

国立環境研究所 松橋啓介

1. はじめに

持続可能な社会・都市への転換を進めるためには、まず、将来のありうる社会経済の姿を複数のシナリオとして整理し、資源・エネルギー、環境の状況を分析・評価することで、環境的にも持続可能な社会・都市を選択肢として提示することが必要である。また、多様なステークホルダーや市民との対話を通じて、提示された持続可能な社会・都市を選択するだけでなく、多様な視点を踏まえた共通的なシナリオや社会像・都市像を新たに見い出す取り組みも重要である。

2. シナリオ分析

2.1. シナリオの設定

「脱温暖化 2050 研究」（2004-2008）では、2050 年に脱温暖化した日本社会の姿とそこに至る道筋を、成長・技術・集中型の活力社会であるシナリオ A と定常・自然・分散型のゆとり社会であるシナリオ B の 2 通りに設定した。筆者は、運輸部門を分担し、低炭素燃料への転換や車両技術の発展によるエネルギー効率の向上だけでなく、輸送効率の向上やモーダルシフト、輸送距離の短縮のためのコンパクト化を地域特性に応じて組み合わせることの重要性を指摘した[1)]。

持続可能社会への転換に向けた叙述シナリオの構築[2)]では、2 通りのシナリオが対立的になりすぎることを避けて、GDP 成長を重視するシナリオと環境・経済・社会・個人のバランスを重視するシナリオとを提示した。また、日本版 SSP（社会経済）シナリオづくり[3)]では、気候変動の観点から適応策や緩和策の取りやすさの軸で設定された SSP1～5 をもとに、日本の状況を反映させたシナリオを作り、対応する将来人口とイメージイラスト[4)]を提示した。なお、日本版 SSP 人口は複数の自治体の適応計画策定に利用されている。

2.2. 全国市区町村別自動車 CO_2 排出量等の推計

資源・エネルギー、環境の状況を分析・評価する切り口として、深刻な健康影響を及ぼす大気汚染物質の排出量の推計[5)]や削減対策が遅れている全国市区町村別の自動車 CO_2 排出量の推計[6)]および家庭部門のエネルギー消費量[7)]や CO_2 排出量の推計[8,9)]に取り組んだ。なお、市区町村別の自動車／家庭 CO2 排出量は、環境展望台/環境 GIS (tenbou.nies.go.jp/gis/)で公開され、現況値の推計手法として採用されている。

2.3. 人口分布シナリオとコンパクト化の評価

コンパクトシティに関する研究[10)]の発展として、過去の人口動態を参考に、市区町村内の人口分布を偏在と均一の 2 通りに分けるシナリオの構築方法を開発[11)]し、温暖化影響・適応策評価のための人口シナリオ[12)]に反映された。また、メッシュ人口規模別の一人あたり自動車 CO_2 排出量を定式化し、コンパクト化による削減効果が 10～15%程度見込まれる地域があることを示した[13)]。人口分布シナリオを用いた分析は、多様な評価軸から見た望ましい人口・土地利用を検討するアプローチとして活用されつつある。

3. 市民参加を通じた持続可能な社会の設計

3.1 指標と重み付け

持続可能な地域を評価する手法として、地域の持続可能性指標をレビューし、トリプルボトムラインと人の幸福を包括的に評価する観点から、環境・経済・社会・個人からなる指標体系を提示した[14)]。また、ユーザーによる指標間の重み付けを可能とする点で特徴的な OECD の「より良い暮らし指標」に着目し、これに不足している地球環境の指標を追加したところ、相対的に高い重みが与えられることを国内の調査を通じて示した[15)]。

多様な市民による重み付けとして、茨城県県南の公募市民の参加を得て、日本の環境問題に関する情報提供を行った上での重大性の比較評価を試行した[16)]。

3.2 持続可能社会転換方策の提案

持続可能な社会への転換方策の提案として、筆者が企画に参加した事例では、市原市、八千代市、館山市、西之表市における未来ワークショップ[17)]がある。中高生が 30 年後の未来の市長になったつもりで、今の市長へと政策提言を行うものである。また、川崎市では気候市民会議を主催した[18)]。住民基本台帳から無作為抽出した市民に参加を依頼し、希望者から年齢層を調整して 75 人の市民が参加した。2050 年脱炭素社会に向けた 77 の政策

を提言した。バックキャストや市長になったつもりの視点を明確にした点、無作為抽出の多様な年齢層の参加を得た点がそれぞれの優れた点である。

さらに、サステナビリティ・トランジションやフューチャー・デザインの知見を参考とし、参加者以外への転換の普及方法を検討するため、社会の政策転換を通じた個人の行動転換の可能性と、こうした転換策への社会的支持が得られる可能性[19]とをオンライン調査を通じて指摘した。

持続可能な社会像を探索する際には、科学的知見や多様な市民の意見に基づいた熟慮を行った上での個人の重み付けを行い、公共善を見い出す取り組みが重要と考えられる。今後は、地域特有の資源や現状の課題に基づきつつ、人口減少や気候変動等に関する将来予測を踏まえたバックキャストの視点や、まちづくりやしくみづくりといった公共の政策を考える市長になったつもりの視点を導入する方法を改良していきたい。

4. おわりに

持続可能な都市・社会の設計に向けたシナリオ評価と社会への反映に関する一連の研究を紹介した。科学的知見と市民対話を踏まえた政策決定への貢献を引き続き行いたい。

これらの研究成果は、国立環境研究所の特別研究や研究プログラム、環境研究総合推進費（B-61(2), S-3(5), 2-1711(2), 2-1805, ）などの支援によって得られた。関係の皆様に広く深くお礼申し上げます。

参考文献

1) 西岡秀三(2008) 日本低炭素社会のシナリオ, 日刊工業新聞社.
2) 松橋啓介, 村山麻衣, 増井利彦, 原澤英夫(2013) 持続可能社会への転換に向けた叙述シナリオの構築に関する試みー生産活動の観点からー, 環境科学会誌 26(3), 226-235.
3) Chen, H., Matsuhashi, K., Takahashi, K. et al.,(2020) Adapting global shared socio-economic pathways for national scenarios in Japan, Sustainability Science 15, 985–1000.
4) 松橋啓介, 高橋潔(2020) 日本版社会経済シナリオのイメージ図, 環境科学会 2020 年会要旨集, 69.
5) 松橋啓介, 田邊潔, 森口祐一, 小林伸治(2004) 自動車に起因する大気汚染物質排出量推計手法の開発（Ⅰ）重量区分別走行量を考慮したマクロ推計, 大気環境学会誌 39(6), 280-293.
6) 松橋啓介, 工藤祐揮, 上岡直見, 森口祐一(2004) 市区町村の運輸部門 CO2 排出量の推計手法に関する比較研究, 環境システム研究論文集 32, 235-242.
7) 石河正寛, 松橋啓介, 有賀敏典(2016) 建物ポイントデータの床面積補正を通じた民生部門エネルギー消費量の推計, 土木学会論文集 G, 72(6), II_87-II_94.
8) 石河正寛, 松橋啓介, 金森有子, 有賀敏典(2018) 家庭 CO2 統計に基づく全国 10 地方別の排出要因分析と市町村別世帯あたり排出量の推計, 土木学会論文集 G, 74(6), II_193-II_201.
9) 松橋啓介, 石河正寛(2018) 家庭と乗用車から生じる市区町村別 CO2 排出量に関する考察, 都市計画論文集 53(3), 913-918.
10) 松橋啓介(2001) 環境共生都市の都市空間形態に関する研究, 東京大学学位論文(乙第 14941 号).
11) 有賀敏典, 松橋啓介(2012) 地域内人口分布の偏在化・均一化シナリオ構築手法の開発, 都市計画論文集 47(3), 745-750.
12) 花崎直太, 高橋潔, 肱岡靖明, 日下博幸, 飯泉仁之直, 有賀敏典, 松橋啓介, 三村信男(2014) 日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・人口・土地利用シナリオ（第 2 版）, 環境科学会誌 27(6) 362-373.
13) Matsuhashi K., Ariga T. (2016) Estimation of passenger car CO_2 emissions with urban population density scenarios for low carbon transportation in Japan, IATSS Research 39, 117-120.
14) 松橋啓介, 田崎智宏, 村山麻衣, 栗島英明, 遠藤はる奈, 倉阪秀史, 中口毅博(2013) 地域の持続可能性を評価する指標の体系の検討ートリプルボトムラインと人の観点からー, 環境科学会 2013 年会要旨集, 230-231.
15) 松橋啓介, 永野亜紀(2017) より良い暮らし指標における重みの分析と持続可能発展指標への拡張の試み, 社会技術研究論文集 14, 1-8.
16) 松橋啓介, 森口祐一, 寺園淳, 田辺潔(2000) 問題領域と保護対象に基づく環境影響総合評価の枠組み, 環境科学会誌 13(3) 405-419.
17) 森朋子, 田崎智宏, 松橋啓介(2017) 未来ワークショップが参加者に与える影響―アンケート調査結果から―, 環境科学会 2017 年会要旨集, 101.
18) 松橋啓介(2021) カーボンゼロ社会に向けた脱炭素かわさき市民会議の進捗, 環境科学会 2021 年会要旨集, 211-212.
19) 松橋啓介, 陳鶴, 有賀敏典, 金森有子(2020) 持続可能な交通まちづくり政策への社会的支持に関する考察, 環境科学会誌 33(1), 1-10.

キーワード　持続可能，シナリオ，市区町村，人口

フューチャー・デザイン - 実践の方法論と研究課題
Future Design – Methods for practices and research agenda

大阪大学 ○原 圭史郎

1. はじめに

気候変動，資源エネルギー問題など様々な長期的課題が顕在化する中，持続可能な社会構築は喫緊の課題となっている。このような中，将来世代を持続可能な社会を引き継いでいくための様々な社会の仕組みや社会システムをデザインする「フューチャー・デザイン」[1]に関する研究や実践が進められている。本稿では，自治体など公的機関や産業界で実践されてきたフューチャー・デザインの成果や得られた知見を踏まえて，実践の方法論および今後の研究課題を整理することを目的とする。

2. フューチャー・デザインの社会応用・実践

2015 年に岩手県矢巾町において最初のフューチャー・デザイン[2]が実施されてから，様々な自治体で，公共施設管理施策[3]，庁舎建て替え問題[4]，カーボンニュートラル[5]，環境基本計画策定[6]，再生可能エネルギー導入問題[7]，水環境問題[8]などといった公共政策分野の諸課題への応用が進められてきた。また，産業界においては，研究開発（R&D）戦略やビジネスモデル構築への応用[9]が始まっている。さらに，学術的な研究テーマ探索や技術イノベーションへの応用展開[10]，そして技術アセスメント手法開拓への応用[11]など，様々なテーマにおいてフューチャー・デザインの実践が進められている。

これらの実践は，ヒトの将来可能性[12]を生み出すための仕組み・方法の導入が基盤となる。そのような仕組み・方法の中でも有望な手法として，将来世代の代表者である「仮想将来世代」を創出するアプローチが挙げられる。そして、本アプローチは実験，フィールド実験，実践等を通じて，その効果がこれまで確かめられつつある。既存研究からは，仮想将来世代の仕組みを導入することによって，近視性を克服した意思決定が可能となること，討議参加者の独創性が高まると同時に，将来世代と現世代の双方を俯瞰する視点共有が生まれること，長期的課題についての現世代の責任意識や将来への目標共有意識が高まりうること，社会変革に対するインセンティブが生まれること，などがわかってきた[2-12]。また，実践参加者の個人属性と将来可能性賦活との関係性についても分析が進められている[3, 6, 8,13,14]。なお，仮想将来世代の導入形態、プロセスについて複数のオプションが考えられる。例えば，矢巾町で行われたフューチャー・デザイン初実践[1]では，町民が現世代グループ（２グループ）と仮想将来世代グループ（２グループ）に分かれ，2060 年を目標年とした地方創成プランをテーマとして今後 10 年間で検討すべき施策をまずはグループ別に検討し，最後に両世代のグループがお互いの提案を出し合って世代間合意形成を図る，という枠組みが導入された。一方， 2017 年に，2050 年公共施設管理のプランをテーマに同町で実施された新たな実践[2]では，意思決定に参加したすべての町民が，現世代および仮想将来世代の双方の視点から施策を検討し，最後に意思決定の理由と将来世代へのアドバイスを送付する，という個々人レベルでの視点移動アプローチが採用され，この方法でも参加者の将来可能性の賦活が示唆されている。仮想将来世代の導入以外にも，過去に対する回顧的視点を導入する方法[13]など，複数の方法を使うことで，効果的に将来可能性が生み出しうることもわかってきた。

さらには，問題構造が複雑な課題へのフューチャー・デザインの応用において，合理的に意思決定を導くためのツールの開発や導入も始まっている。例えば，2019 年に京都市で実施された，カーボンニュートラル実現に向けた政策デザインへの応用実践では，2050 年の社会像や政策要素間の因果関係を記述するため，システム分析手法である「因果ループ図」が導入され，その効果や課題も分析されている[5]。このように社会的な意思決定や政策デザインや意思決定への応用が進む中，さらなる社会実装に向けての研究課題も明らかになりつつある。以下，今後の主な研究課題を整理する。

3. 応用実践における研究課題

既存研究から導かれる，主な研究課題として以下 3 点を提示する。

① 汎用性のある実践方法の体系化

既存研究からヒトの将来可能性を生み出すための方法論について様々な知見が蓄積されつつある。これらの知見を踏まえ，フューチャー・デザイン実践のための方法論や枠組み・プロセスを整理・体系化し，汎用性のある方法論や枠組みを構築する必要がある。

② 情報提示の条件

将来に関わる課題を検討するうえで，どのような情報をどの程度提示するべきか，という点は重要な検討課題である。情報提示によるバイアスを可能な限り抑え，意思決定や討議、合意形成を有効に進めるための情報提示の条件についても，整理が必要である。

③ 意思決定や将来社会の検討を支援する多様なツール開発と応用

フューチャー・デザイン実践は，将来可能性の賦活という観点から，討議や意思決定プロセスがデザインされる。一方で，様々な意思決定や合意形成を進めるためにはこれらを支援する多様なツールを準備する必要がある。京都市のフューチャー・デザイン実践で応用された因果ループ図はその一例であるが。仮想将来世代としての意思決定をサポートする様々な支援ツール開発と応用実践が，今後の重要課題である。

4. まとめ

持続可能社会を形成していくためには，将来世代の利益や選好を現世代に取り込むための新たな社会の仕組みや社会システムのデザインとその実践が求められる。フューチャー・デザイン実践を支えるのは理論の深化であり，理論深化と社会実践を両輪とした研究を推進していくことが重要である。

本稿では特にフューチャー・デザインの社会応用と実践の方法に焦点を当て，現状を簡潔に俯瞰するとともに，今後のさらなる社会実装に向けた研究課題を検討した。

参考文献

1) 西條辰義編(2015)フューチャー・デザイン-七世代先を見据えた社会， 勁草書房
2) Hara K *et al*. (2019) Reconciling intergenerational conflicts with imaginary future generations - Evidence from a participatory deliberation practice in a municipality in Japan，***Sustainability Science***，14(6)，1605–1619
3) Hara K *et al*. (2021) Effects of Experiencing the Role of Imaginary Future Generations in Decision-Making - a Case Study of Participatory Deliberation in a Japanese Town， ***Sustainability Science***，16(3)，1001-1016
4) Nishimura N *et al*. (2020) Impact of Future Design on Workshop Participants' Time Preferences ，***Sustainability***，12，7796
5) Hara K et al. (2022) Policy Design by "Imaginary Future Generations" with Systems Thinking – a Practice by Kyoto City towards Decarbonization in 2050， Available at ***SSRN*** (preprint)
6) Hara *et al*. (2022) Changes in Perception and the Effects of Personal Attributes on Decision-making as Imaginary Future Generations – Evidence from Participatory Environmental Planning， ***RIETI Discussion Paper Series***， 22-E-045
7) Uwasu M *et al*. (2020) Citizen-participatory Scenario Design Methodology with Future Design Approach: A Case Study of Visioning for Low-Carbon Society in Suita City， Japan， ***Sustainability***， 12(11)， 4746
8) Kuroda M *et al*. (2021) Shifting the Perception of Water Environment Problems by Introducing "Imaginary Future Generations - Evidence from participatory workshop in Ho Chi Minh City， Vietnam， ***Futures***，126，102671
9) Hara K *et al*. (2022) How Does Research and Development (R&D) Strategy Shift by Adopting Imaginary Future Generations? - Evidence from Future Design Practice in a Water Engineering Company， Available at ***SSRN*** (preprint)
10) Hara K *et al*. (2022) Designing Research Strategy and Technology Innovation for Sustainability by Adopting "Imaginary Future Generations"—A Case Study Using Metallurgy， Available at ***SSRN*** (preprint)
11) Hara K *et al*. (2022) Assessing Future Potentiality of Technology Seeds from the Perspective of "Imaginary Future Generations" – a Case Study of Hydrothermal Technology， Available at ***SSRN*** (preprint)
12) 西條辰義 (2018) フューチャー･デザイン - 持続可能な自然と社会を将来世代に引き継ぐために， 環境経済・政策研究， 11(2)， 29-42.
13) Nakagawa Y *et al*. (2019) Intergenerational retrospective viewpoint promotes financially sustainable attitude，***Futures***， 114， 1–13
14) Hiromitsu T et al. (2021) What do people say when they become "future people"? ―Positioning Imaginary Future Generations (IFGs) in general rules for good decision making， ***Sustainability***， 13(12)， 6631

キーワード フューチャー・デザイン，仮想将来世代，サステナビリティ，実践の方法論，支援ツール

脱炭素未来都市の社会実装研究にむけて
Action Research Approach for Decarbonization and Reurbanization Future City

東京大学　○藤田　壮

1. 脱炭素未来都市の先導的な実現に向けて

2050 年脱炭素社会の実現に向けては、地域の特性を活かしながら、環境・経済・社会の統合的向上に向けた取組の具体化を自律的に進め、経済社会システム、ライフスタイル、技術といったあらゆる観点からイノベーションを創出することが必要となる。筆者らは 2021 年度より文部科学省事業として、地域における脱炭素化と都市転換を統合的に推進するため、脱炭素化に係る複数の主要な政策分野を横断的に捉え、地方自治体等が地域の脱炭素化に向けた総合的な計画策定等のために活用できる汎用的な「脱炭素地域計画支援システム」の開発を進めている。

2. 政策分野間の脱炭素の地域モデルの統合化研究

研究プロジェクトでは、地域自律エネルギー、次世代交通、建設ストック等の脱炭素化に係る主要な政策分野における先導地域において、地域の大学、自治体、企業等と連携し、それぞれの政策分野における脱炭素化モデル構築に取り組んでいる。そのうえで、政策分野の脱炭素化モデルの統合や市民等を巻き込んだ合意形成システムの開発等に係る研究を進めている。

政策分野別の脱炭素化モデルの統合を行うため、各政策分野横断的に都市機能と脱炭素化の効果を複合的に高めるアプローチと、拠点地区におけるイノベーションを周辺地区に波及させるためのアプローチにより、施設と地区の相乗効果を高めるプロセスを明らかにすることを目指す。地域の脱炭素の中核的な施設や地区での個別（点）の試みを面的なイノベーションに展開する「都市イノベーション」について科学的なエビデンスとして定量化、客観する手法を開発することにより、施設と地区の相乗効果を高めるプロセスを明らかにすることをめざす.システムの重層的な価値の創出による新しい脱炭素社会の構築のゴールとそこに至るロードマップを描くための論理と方法論を開発のプロセスを検討しており、地域における脱炭素社会実現の中核となる、地域の拠点地区・施設を重層的にネットワークさせ、マネジメントすることにより、地域の短期・中長期の経済社会経済価値を高めるメカニズムの構築を進めている

主な参考文献

藤田壮：地域循環共生圏の実現に貢献する環境情報科学研究にむけての期待，環境情報科学，Vol.50，No.４，pp.12-17，2021　他

キーワード　脱炭素社会、統合モデル、脱炭素先行地域

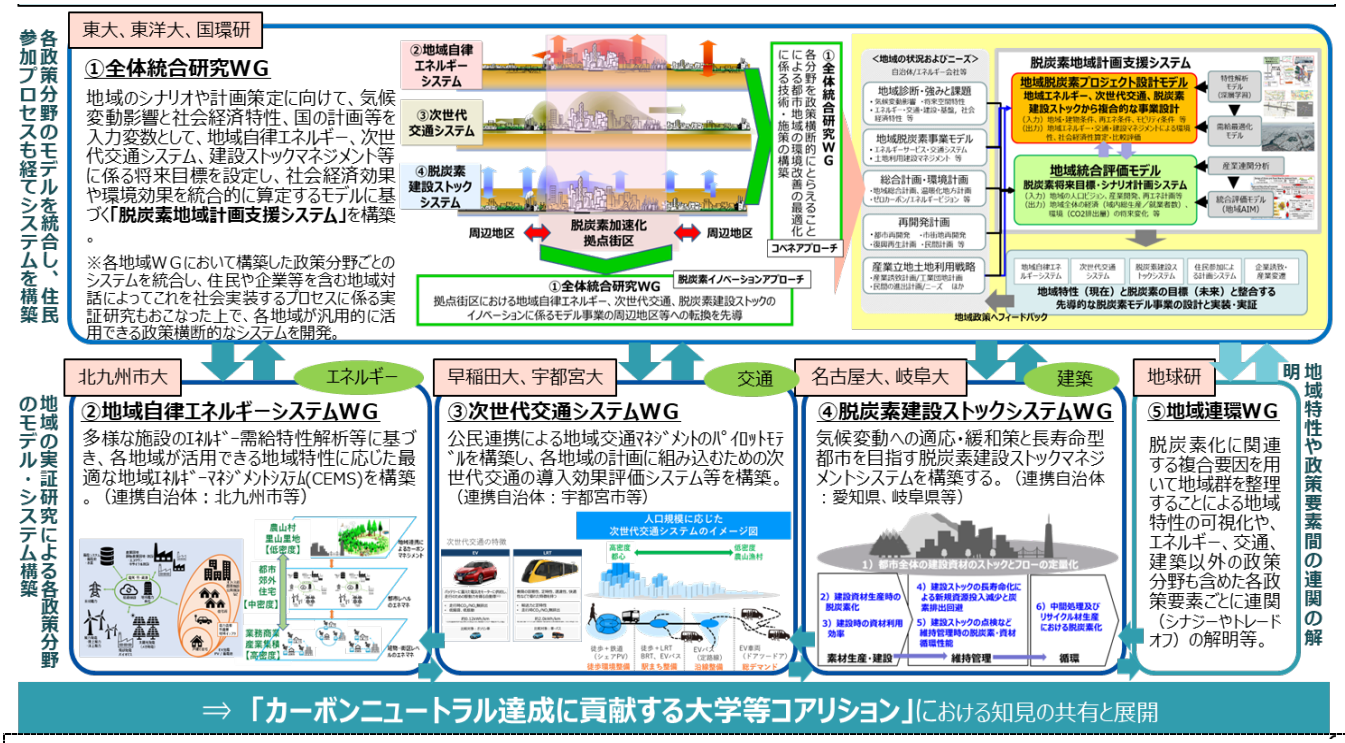


図　大学の力を結集した、地域の脱炭素化加速のための基盤研究開発の概要

エネルギー資源の地域循環を活用した脱炭素地域づくり
Designing a decarbonized society utilizing interregional cooperation of energy resources

○芦名秀一，国立環境研究所社会システム領域地域計画研究室

1. はじめに

2020 年の菅総理による 2050 年カーボンニュートラル宣言以降、都道府県や地方自治体など地域でも脱炭素化（脱炭素地域づくり）に関する検討や取り組みが広がっている。環境省がまとめた 2050 年ゼロカーボンシティ表明自治体での取り組みでは、具体的な取組・施策の検討段階にある自治体もあるが、多くの自治体が太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーの活用を掲げており、脱炭素地域づくりでは地域における再生可能エネルギー利用の拡大が重要となると期待されている。

2. 地域での再生可能エネルギー活用への課題

再生可能エネルギー（以下「再エネ」とする。）は地域によってその賦存量が異なり、必ずしもエネルギー需要とは一致しない。図 1 に、市区町村別のエネルギー需要量の代理変数としての人口と再エネポテンシャル量 [1] の関係を示す。人口が大きくなるとともに建物系の太陽光発電が増加するため再エネポテンシャル量も大きくなる傾向があるが、総じて言えば再エネポテンシャル量の大きい自治体は人口、すなわちエネルギー需要が少ない。そのため、わが国全体で脱炭素地域づくりを進めるためには、再エネが余剰となる地域と不足する地域の組み合わせを明らかにすることが重要といえる。

そこで本研究では、わが国の全市区町村（1,741 自治体）を対象に、エネルギー需要量と再エネポテンシャル量をもとにした広域的な地域間での再エネ連携を分析し、地域循環を活用した脱炭素地域づくりの可能性に関する検討を行った。

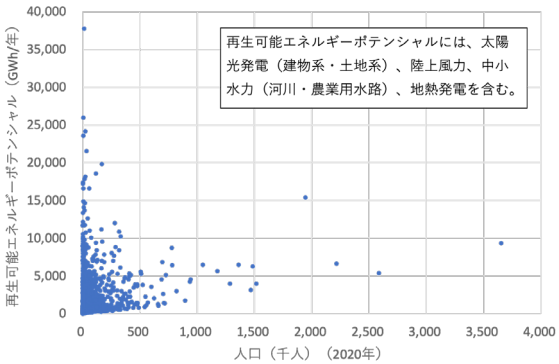


図 1　市区町村別人口と再エネポテンシャル量の関係

3. 広域的な再エネ連携の分析シナリオ

再エネ連携の検討にあたっては、本研究ではエネルギー需要量、再エネポテンシャル量のほかに、自治体の地理的隣接関係や電力会社間連系線も含む系統容量等複数の要素を考慮することとした。分析では、例えば隣接関係を考慮する/しないなど、要素の組み合わせで複数のシナリオを想定した。

4. 脱炭素地域づくりに向けた地域間での再エネ連携

本研究の分析より、対象とする再エネや考慮する要素により再エネ連携の姿は大きく異なることが明らかとなった。例えば、洋上風力も含めた全再エネを対象に隣接関係を考慮した場合の地域連携分析の結果（図 2）では、東京や大阪、名古屋といった大都市を中心に連携が形成されるが、別のシナリオでは北海道から関東までが一体となった連携が適していることが示されている。

本報告では、これら成果の報告とともに、脱炭素地域への転換プロセスで地域連携をどのように形成（社会実装）していくかについても議論を行う。

図 2　再エネ連携の分析例（隣接関係考慮・再エネ全種）

参考文献

1) 環境省（2022）再生可能エネルギー情報提供システム［REPOS］，https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/（アクセス日：2022 年 7 月 12 日）

キーワード　地域連携，脱炭素，再生可能エネルギー

ストック型社会の構築に向けた地域の建設系物質代謝
Socio-Economic Metabolism of Construction sector toward establishing Stock-type society

名古屋大学　○谷川寛樹

1. 持続可能なストック型社会へ

わが国の建築物の寿命は欧米先進国と比べて短いと言われて久しい。ストック型社会の概念はフロー型社会の対局に位置し，高機能な建築物やインフラを長期間使い続けることにより，次世代へつながる”資産の蓄積”を行うものである[1]。社会・経済活動の基盤となる建築物やインフラが，価値の高いサービスを発揮し，投入した資源の価値を最大限に引き出すモノ使い[2]ができることは，持続可能なストック型社会の条件とも言える。ストック型社会の形成に資する国内外での研究事例はまだ少ない。当研究室では，物質ストックに関する研究を続けているが，ここでいう物質ストックとは，社会に滞留し人々の豊かさを引き出す様々なサービスを提供するもので，耐久消費財や建築物，土木構造物など社会に不可欠なものである。近年、物質ストックの定量化に関する研究事例は増えているものの、物質ストックの状況や質に言及するものは少なく，持続可能で循環型かつストック型の社会形成を目指すための物質ストックの量と質の両面を明らかにする研究が求められている。本報告では，わが国における物質ストックの状況について，経年的に定量化・指標化した研究事例について取り上げたものである。

2. 建設系物質ストックの定量化

90 年代から整備が進められた建築物やインフラのデジタル地理情報により、現在では国内の多くの地域で 20 年から 30 年間の地理的な変遷を GIS で分析することができ，物質ストックの分布についても継続的に定量化できるようになっている[3]。地域に絞った研究では過去のアナログ地図情報をデジタル化することで，都市景観の変遷だけではなく，長期間に渡る都市の建設系資材の蓄積情報を視覚化，定量化することでき[4]，鋼材やコンクリート，木材，アルミ等の蓄積分布や，都市鉱山としての二次資源の賦存量およびその分布，建設資材の滞留年数の定量化等々を考えることができる。図 1 は，戦後から現在までの建設系資材の物質ストックの変遷を視覚的に表したもので，最新年（2014）を表示している。都市立体化に伴う蓄積密度の増加や蓄積物質の変遷が視覚的に把握でき，地理的にストック分析が可能である。

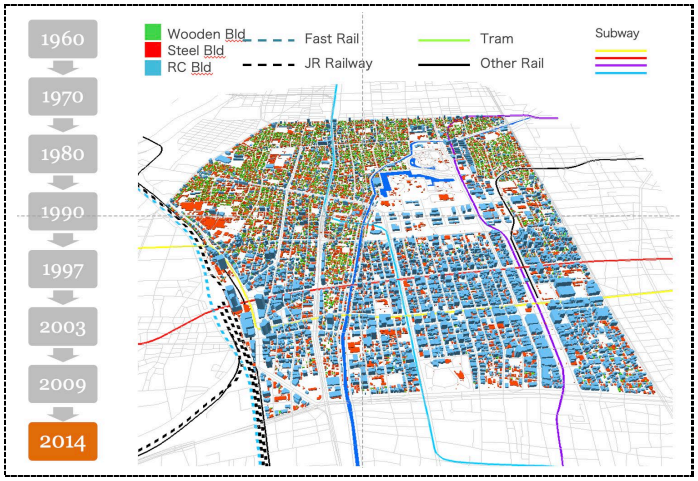


図 1　都市の物質ストックの変遷（名古屋市, 1960-2014）

3. ストック型社会の形成へ向けた指標体系の必要性

現在の循環型社会推進基本計画では、資源の採取から廃棄物の排出に至るまでの一連の物質フローを「入口」「循環」「出口」の三つの側面から評価している[5),6)]。特に GDP を天然資源投入量で除した「資源生産性」は，社会の資源効率を計測する上で重要な指標である。社会経済活動は足元の物質ストックが発生するサービスによって成立していることを考えると，物質フロー指標を支援する物質ストック関連指標[7)] は極めて重要であり，ストック型社会の構築に向けて，今後政策目標としても採用されることが期待される。

参考文献
1) 岡本久人（2006）ストック型社会への転換：長寿命化時代のインフラづくり、鹿島出版社
2) 甲斐沼美紀子ら，環境研究総合推進費 S-6 報告書（2013）アジア低炭素社会の実現に向けて，12-15
3) H. Tanikawa et al (2015) The Weight of Society Over Time and Space, J. Industrial Ecology, 19(5), 778-791
4) H. Tanikawa, S Hashimoto (2009) Urban stock over time, Building research & information 37 (5-6), 483-502
5) 森口祐一(2003) 循環型社会形成のための物質フロー指標と数値目標、廃棄物学会誌、14(5)、242-251
6) S. Hashimoto, Y.Moriguchi. (2004) Proposal of Six Indicators of Material Cycle for Describing Society's Metabolism, Resources Conservation & Recycling, 40, 185-200
7) H. Tanikawa, T. Fishman et al (2021) A framework of indicators for associating material stocks and flows to service provisioning J. Cleaner Production 285, 125450

キーワード　ストック型社会，都市物質代謝，マテリアルストック・フロー分析，4d-GIS

シンポジウム－8

「PBL としての SDGs 活動：継続的な活動による能力開発の評価手法の検討」

オーガナイザー　杉本卓也（千葉商科大学）准教授
中口毅博（芝浦工業大学）教授

趣旨説明：学生による課外活動には様々な種類があるが、近年では SDGs と関連した活動も行われている。一方で、大学は教育研究機関ということもあり、学生が活動を通じて何を学び、何を身に着けるかといった点も重要となる。

授業としての課題解決型学習（PBL : Project Based Learning）と学生活動の大きな違いの一つは、その期間であると言える。授業は学期毎に区切られることがあるが、学生活動は継続性のあるそれである。学生活動が継続して展開されていくことで、その過程で企画やプロジェクト管理、コミュニケーション能力といった社会人基礎力の修得と実践の機会が複数回確保される。

このシンポジウムでは、学生による継続展開される SDGs 活動を学修機会と捉え、活動を通じた学生の能力開発について議論する。併せて、活動を継続していく過程で修得されていく能力の評価や測定手法についても議論する。

PBL としての SDGs 活動：継続的な活動による能力開発の評価手法の検討
SDGs Activities to be Project Based Learning: Assessment Approach on Capacity Development by Successive Efforts

オーガナイザー　千葉商科大学　杉本卓也，芝浦工業大学　中口毅博

1. はじめに

学生による課外活動には様々な種類があり、SDGs と関連した活動も行われている。一方で、大学は教育研究機関ということもあり、学生が活動を通じて何を学び、何を身に着けるかといった点も重要となる。

授業としての課題解決型学習（PBL：Project Based Learning）と課外活動の大きな違いの一つは、その期間であると言える。授業は学期毎に区切られることがあるが、課外活動は継続性のあるそれである。活動が継続して展開されていくことで、その過程で企画やプロジェクト管理、コミュニケーション能力といった社会人基礎力の修得と実践の機会が複数回確保される。

このシンポジウムでは、学生による継続展開される SDGs 活動を学修機会と捉え、活動を通じた学生の能力開発について議論する。併せて、活動を継続していく過程で修得されていく能力の評価や測定手法についても議論する。

2. 各報告の要旨

2.1　社会貢献活動の実践度から見た課題解決型学習の効果

中口毅博（芝浦工業大学）

本報告は、現役の大学生が、小学生の頃から現在に至るまで、どのような社会貢献活動をどの程度実践してきたか、その実態を分析することを目的としたものである。

芝浦工業大学学生に限定した調査では、小学校で活動の経験が最も多く、中学校、高校と進むにつれて活動の機会が減っていくことが明らかになっている。その種類を見ると、小学校時代に経験した活動で最も多いのは「農作業」であり、次いで「花や木の栽培・植樹や手入れ」「子ども（下級生）の学習活動支援」「野生生物の観察・生態調査」などとなっている。中学校時代に経験した活動で最も多いのは、「企業や商店・公共施設での就労活動」であり、次いで「農作業」「子ども（下級生）の学習活動支援」「近隣の学校との交流による学習活動」となっている。高校時代に経験した活動で最も多いのは、「海外の学校との交流による学習活動」であり、次いで「諸外国の生活・文化体験活動など異文化理解」「道路・公園など共有空間の清掃・補修・維持管理」「いじめや差別」の順で経験が多くなっている。大学生のうちに経験したい活動で最も多いのは、「省エネ活動」であり、次いで「企業や商店・公共施設での就労活動」「海外の学校との交流による学習活動」などとなっている。

現在、他大学や高校生にも同様の調査を実施している。校種や専攻分野による違いがあるかとどうか、あるいは社会貢献活動を実践する学生団体に入っているかどうかにより、経験の量や種類に差があるかどうかを分析した結果を報告したい。また、活動経験が多いほど【思考力】【判断力】【表現力】【実践力】【社会参画力】といった社会人基礎力が身についているといった仮説が考えられるが、この仮説が成立するならば、どの時期の活動経験と社会人基礎力とに強い相関があるかを分析し、報告したい。

2.2　コロナ禍における環境活動の成果

竹内彩乃（東邦大学）

東邦 Ecolution は、2017 年 4 月に東邦大学で設立された環境サークルである。東邦大学の理学部、薬学部、健康科学部が存在する習志野キャンパス及び近隣エリアの環境負荷低減活動に、学生と教職員が共に取り組むことを目的とする。コロナ前は、古紙回収やレジ袋有料化に関する実証事業を行い、その必要性や実施した場合のインパクトについて調査してきた。また、学生食堂を対象に省エネワークショップを行ったり、環境問題の解決と就活を目的とした企業と共同で行う ECORUITING プロジェクトや学園祭における地産地消商品の提供も行ってきた。

基本的には、テーマごとにグループに分かれて活動し、週 1 回の会議で進捗を共有していたが、コロナ禍においてその活動が一時停滞してしまった。そこで、週 1 回の会議をオンラインで行うことにし、「note プロジェクト」を開始した。「note プロジェクト」とは、環境問題を普段の生活と結びつけて学生視点で発信していくプロジェクトである。週 1 回の会議では、グ

ループで書いた記事の内容を推敲して、誤字脱字の確認を行って公開していくという作業を繰り返した。

2021 年 8 月 5 日から始まり、2022 年 7 月までに 28 つの記事が掲載された。記事の検討を開始する前に会議で話し合い、なるべく 1〜2 分で読み終えることができるようにすることを決定した。はじめに東邦 Ecolution の活動を説明するために、担当教員へのヒアリングを行い、記事にして掲載した。このためか、内容としては最も多いのが活動紹介 7 つであった。続いて、食に関して 5 つ、プラスチック 4 つ、時事 3 つ、SDGs、服飾、植物が 2 つずつ、文化、気候、省エネが 1 つずつであった。会議では、遠慮せずにお互い間違いや改善できる点を指摘し合っていた。学生へのヒアリングによれば、いかに分かりやすく相手に伝えるかを考えるようになった、日々のニュースや身近な自然に目を向け、何故かを考えるようになったなど、伝える力や問いを立てる能力などが身についていたことが分かった。

2.3 教室断熱化ワークショップの企画運営によるサステナビリティ人材としての能力育成

杉本卓也（千葉商科大学）
手嶋進（千葉商科大学）

千葉商科大学では 2017 年度より 4 つの学長プロジェクトのうちの一つとして、「自然エネルギー100%大学」の取り組みを実施している。その活動を通じて、コロナ禍という状況下の 2020 年度末において「大学で創出するエネルギー量（再生可能エネルギーによる総エネ）」と「大学で消費するエネルギー量」を同量とする「自然エネルギー100%大学」を達成している。

上記取り組みの中で学生団体 SONE が 2018 年度に設立し、学生や教職員向けに省エネのための意識啓発活動を推進している。定例の活動として夏季の打ち水、冬季の再エネを利用したイルミネーションを実施しているが、2022 年度は省エネに直接効果が見込まれる教室の断熱化プロジェクトを立ち上げた。教室の断熱化に当たっては施設管理者としての法人への説得と協力の取り付けだけでなく、設計や施工といった外部業者との連携や調整も必要となる。また断熱化の施工を業者任せにするのではなく、「自分事化する」ための一環として学生団体 SONE 以外の学生も関わるワークショップ形式での施工を企画している。そのために学生に向けた周知や参加募集受付も戦略的に進める必要がある。

以上のことを全て学生単独で行うことは難しいため教員のサポートは必須となるが、学内外の関係者との連絡・調整を含めた教室断熱化プロジェクトの進行管理を学生が担うことで、受け身型の講義では獲得困難な能力獲得が期待できる。

本プロジェクトの中核を担っている学生団体 SONE のメンバーに対しては、Career Edge を参考として、学生自身の能力評価について事前事後のアンケート調査を実施している。発表ではアンケート調査の結果を交えて、学生の能力育成の効果やその方策について報告する。教室化断熱プロジェクトの概要については、学生団体 SONE から報告を行う。

3. 総合討論

総合討論では次の 3 点を中心に議論したい。

・活動の設計
どのような活動にするか、その立案に教員はどの程度関わるのか。また、活動を通じて身に付けることができる能力をどのように設定するかについて議論したい。

・活動による学修効果の評価手法
学生にとっては、活動の過程を通じて成長機会を見込むことができる。活動による学修効果をどのように確認するか、その方策について議論したい。

・学生側の関心
教員側が想定する学修効果以外にも、学生自身が活動に期待し、活動を通じてそのスキルを獲得することもありうる。活動の設計時に学修効果の評価項目としておくことで、効果測定の中に含むことができるようになる。

下記の学生も交えてディスカッションを行う。会場からも積極的なご意見、ご感想を求めたい。

東邦 Ecolution　尾崎由佳（東邦大学）
髙橋克英（東邦大学）
学生団体 SONE　堀川春花（千葉商科大学）

キーワード　SDGs，PBL，　評価手法

シンポジウム－9

「多様な学問分野における環境科学研究の最前線」

オーガナイザー　山本佳世子（電気通信大学）教授
岩本茂子（電気通信大学）協力研究員

趣旨説明：環境の重要性が世界的に認識され、多様な学問分野で環境科学研究が行われるようになった。たとえば、工学分野では建築、土木、都市計画だけではなく情報、機械、電気などの工学諸分野でも環境科学研究が実施されている。また、様々な学問分野の複合分野、融合分野においても、環境科学研究が推進されている。以上のように環境科学研究を行う学問分野の拡大には、環境問題の複雑化・多様化に加え、世界規模での社会的・経済的な変化の影響が大きい。そこで、本シンポジウムでは以上で示した環境問題の特性を考慮し、環境科学研究が近年積極的に推進されるようになった学問分野における環境科学研究の最前線について紹介する。具体的には、本シンポジウムでは、2022 年会会場校の電気通信大学の教員による最新の環境科学研究の成果について紹介する。

カーボンニュートラルに向けたエネルギーインフラパラダイム
Energy Infrastructure Paradigm Toward Carbon Neutrality

電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センター ○横川慎二

1. はじめに

人類の発展は，これまで高リソース・高エネルギー消費に基づくイノベーションに支えられて成り立ってきた．あたかも無限のようにみなされてきた地球上の資源を消費することと，経済の右肩上がりの発展には明確な因果関係があった．ところが，化石エネルギーの枯渇の懸念や脱炭素の必要性の増加に伴い，温室効果ガス排出量実質ゼロを基本とするイノベーション創出が必須となった．

我が国では既に，2050 年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにするという高い目標が示されている．この高い目標を達成するための社会・経済活動の持続性を確保するには，リソースシェアの概念をプラットフォームに導入し，共有から生じる価値というインセンティブを生み出す仕組みがなければならない．すなわち，2050 年のエネルギーインフラは，イノベーション創出の原動力となると同時に，温室効果ガス排出量の実質ゼロ化を実現するためにユーザ個人が自ら形成する小規模自立分散システムの相互共助を基盤としたものになると考える．これは，現在の延長線上にある社会像とは本質的に異なり，ユーザが主体となって情報とエネルギーを共有することによって新たな価値の創造とレジリエントな社会生活を確保できる社会に変容してゆくことを意味している．

本報告では，電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センターにおける研究と議論を通じて，カーボンニュートラルという目標にむけたエネルギーインフラが，現在のシステムに対してどのように変容してゆくべきかを考察した結果と，そのエネルギーインフラを基盤とした社会像について論じる．

2. 想定するエネルギーインフラの将来像

事業組織によって大小発電や需要を集中コントロールする従来のエネルギーインフラは，電力の安定供給が主目的であり，事業組織が運営・保守に大きな責任を負う．我々の想定する姿は，ユーザ自らの手で形成された小規模自立分散グリッドのネットワークとそのリソースシェアにより，既存の基幹系統に匹敵するインフラを形成するという分散アプローチである．ユーザが自ら構築した小規模自立分散グリッドをネットワークに接続することにより，必要とするだけのエネルギーを共助により入手可能で，末端のシステムやデバイスがユーザの手で入れ替わることによって新陳代謝してゆくようなシステムである．

3. エネルギー地産地消における情報技術の位置付け

今後の科学技術の発展により，革新的な太陽電池や大容量の蓄電池が身近に数多く導入されるようになり，生活や仕事に必要な分のエネルギーは遠隔地で造られたものを運んできて使う形から，身近にあるものを集めて利用することが主流になると考えられる．すでに研究開発が進んでいる高効率な太陽電池や自由に形状を変えられる太陽電池などが社会実装される形態は，航空機・自動車などの移動体の外装や建物の外壁・窓など，身の回りのあらゆる場所に及ぶとされている．かつて人が里山の薪を集めてエネルギーとしたように，生活に十分なエネルギーを身の回りから集めて蓄積することが出来れば，地産地消を基本とした生活様式も不可能ではなくなっているであろう．このとき，近隣で物理的にそのエネルギーを貸し借りすることによって，相互の過不足を補い合うことも可能となるものと思われる．

このようなエコシステムは，自然から取り出されたエネルギーが情報のタグ付けがなされた Information-powered energy[1]に昇華されることによって，グローバルなレベルのインフラになりうる．すなわち，いつ，どこで，だれによって，どのようなエネルギーが，どのくらい，どうやって収集，蓄積できるのかを情報技術を用いて共有することによって，物理的接続だけではなく，仮想的にも接続されたエネルギーネットワークとして構築される[2]．超伝導技術などの長距離送配電技術が実現するような場合でも，再生可能エネルギーによる地産地消の局所的グリッドと長距離送配電による広域基幹グリッドの階層構造を自由度高く構成し，要素となるデバイスやシステムの組み合わせを変えながらシステムが進化していくことは必至である．その進化のためには，様々な組織や個人が運用する仕様の異なるグリッドが接続可能な，インターネット型のエネルギープラットフォームの仕組みが必要となると考えられる．

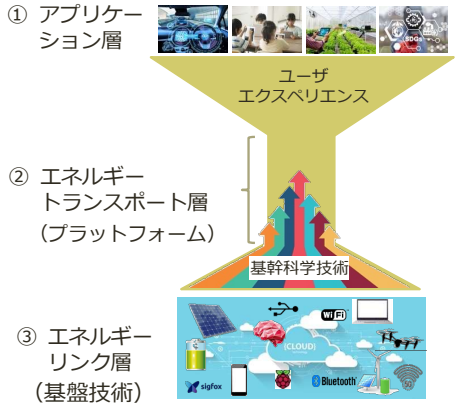


図 1　インターネット型エネルギープラットフォームのワイングラス型三層構造

4. インターネット型エネルギープラットフォーム

複数のエネルギーグリッドを相互接続したエネルギー網，すなわちインターネット型のエネルギープラットフォームは，図 1 にしめすような多階層のワイングラス構造をもつと考えられる．①エネルギーサービスを駆動させる上位のアプリケーション層と，③太陽電池，蓄電池，風力発電などの多用な再生可能エネルギー資源や天然資源発電などの基盤技術に支えられる下位のエネルギーリンク層と，そして②上位と下位が技術的発展や社会的進展で新しいものに置き換わったとしても駆動を維持できるエネルギートランスポート層から構成される．主体となるのはワイングラスの中間層にあたる②エネルギートランスポート層とそのインターフェイスである．エネルギートランスポート層はエネルギーリンク層に繋がるエネルギー資源やデバイスの種類に関係無くアプリケーション層に繋げる役割をもち，さらには今後の技術的発展によってリンク層に繋がるデバイス数が膨大になっても十分に対応できるためのアドレス管理機能を有する必要がある．

この実現に向けては，革新的な創電・蓄電技術だけでなく，AI，制御セキュリティ，IoT 環境センシングなど，現時点では直接エネルギー分野の主流とは異なる分野を統合した研究開発が必要と考えられる．またその研究は，インターネットの起源である ARPANET（Advanced Research Projects Agency NETwork，高等研究計画局ネットワーク）が，大学と研究機関によるプロジェクトにおいて開発されたように，情報技術に支えられて，技術の変革や災害に対してレジリエントなエネルギープラットフォームとして，大学や研究機関が主役となって推進すべきと考えている．さらに，特定の産業分野に依存せず，シェアリングを通じた共有から生まれる価値を基盤とした技術プラットフォームとして確立し，将来の不確実性への対処可能性の機能の付与と，現時点では存在していない新しい IoT ベースビジネスの創出（例えば，図 2）にも貢献しうることが重要である．

5. おわりに

2050 年カーボンニュートラルに向けて再生可能エネルギーの主力電源化を実現する動きは，エネルギーや環境の課題だけではなく，新たな産業の創出や国際的な経済格差の縮小にも影響を与える大きな流れになっている．インターネット型エネルギープラットフォームは，この流れの先を具体化した一つの姿であろう．

また，本稿では電力システムを想定して議論を進めた．一方で，より身近な環境発電の迅速かつ有効な活用や，排熱エネルギーの回収など，エネルギー・ミックスやエネルギー・トータルマネジメントの重要性も増してきている．その多種多様な研究成果を統合する基盤としても，インターネット型エネルギープラットフォームの構想設計と研究推進が重要と考える．

参考文献

1) H. Ichikawa, S. Yokogawa, Y. Kawakita, K. Sawada, T. Sogabe, A. Minegishi, and H. Uehara (2019) An Approach to Renewable-Energy Dominant Grids via Distributed Electrical Energy Platform for IoT Systems, IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids, WS-1, 1570562161.
2) 横川慎二，市川晴久，曽我部東馬，澤田賢治，早瀬修二，大川富雄（2019）超スマート社会の社会品質を支える i-パワードエネルギー・システム，品質，Vol. 49, No. 3, pp. 28-31.

キーワード　カーボンニュートラル，エネルギーインフラ，インターネット型エネルギープラットフォーム

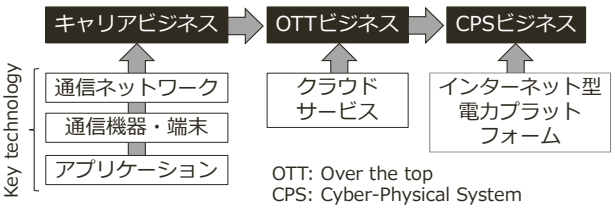


図 2　主要な情報通信技術によるビジネスイノベーションの変遷

AI 予測最適化手法を用いた窓用透明型太陽電池の設計と開発
AI based prediction and optimization for see-through photovoltaics window design

電気通信大学　○曽我部東馬，斯波廣大，吉田響，熊倉健太

1. はじめに

日本政府は「2050 年カーボンニュートラル」を実現するために、太陽光発電や風力発電を代表とする再生可能エネルギー(再エネ)を 2030 年までに現状の 2 倍(38%)まで拡大することが政府の方針となっている。しかし、従来の太陽光発電システムでは、設置できる適地も飽和状態にあるので、近年、壁面太陽光発電、特に、壁面にある窓のような開口部を利用した窓用透明型次世代太陽電池が注目されている。ただし、その開発には、発電効率の高効率化、透明度の高透過率化、赤外光などの熱線の遮断効果、そして実用に向けた軽量化、曲面追従化そして長寿命化のような多数の制約条件を考慮する必要がある。これらの制約条件に関わる最適化パラメータは数百個以上にのぼり、人間のカン・コツに頼る従来の太陽電池の開発技術では全く通用できなくなる。そこで、我々はこれまでに開発した独自の AI 予測最適化制御技術を駆使し、新たな窓用透明型太陽電池の設計開発手法の構築を目指す。

2. 研究概要と結果

2.1　AI 手法を用いた半導体量子ドットの逆設計

透明型太陽電池を開発するためには、可視光を透過させ、赤外光や紫外光を発電に利用するという非常にユニークな光吸収係数を持つ材料を探索する必要がある。本研究はバンドギャップを自在に操作できるコロイド量子ドット、特にキャリアのライフタイムが長いコアシェル量子ドットに着目し、目標となる光吸収スペクトルが既知である条件下で、最適な量子ドットを逆設計する。そこに我々が独自に開発したグラフ CNN 深層ニューラルネットワーク[1]を用いることで、従来の浅いニューラルネットワークによる学習不足問題が回避され、結果として入力データの種類を大幅に増やすことができ、より効率的に各変数間の相関や特徴抽出を行うことが可能になる。図 2 は、本稿の提案手法の模式図を示している。まず、実験チームからの情報に基づき、量子ドットモデルの構造情報を作成する。量子ドットの各位置における断面図や各断面図における各元素の分布図といった直感的にイメージできる画像データを入力することができるので、CNN と連動し優れた学習効果が十分に期待できる。さらに半導体量子ドット特有のバンドダイアグラムに関しては、グラフネットワークを処理することによって画像として学習することができる。各元素（Cd,Te,Se,Zn,In,As,…）のインデックスは深層学習分野で度々用いられている one-hot エンコーディングを使用する。また、図 2 に示す AI 手法を用いた半導体量子ドットの最適化においては、数十種類のドロップアウト確

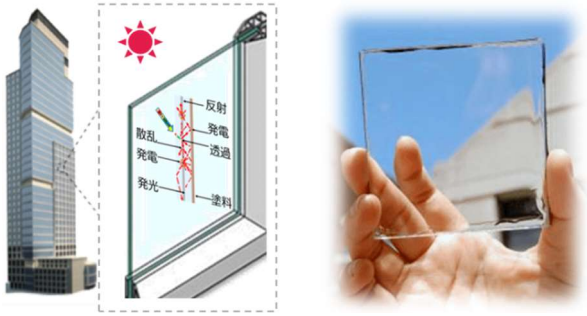


図 1　壁面透明型太陽電池の発電原理と模式図

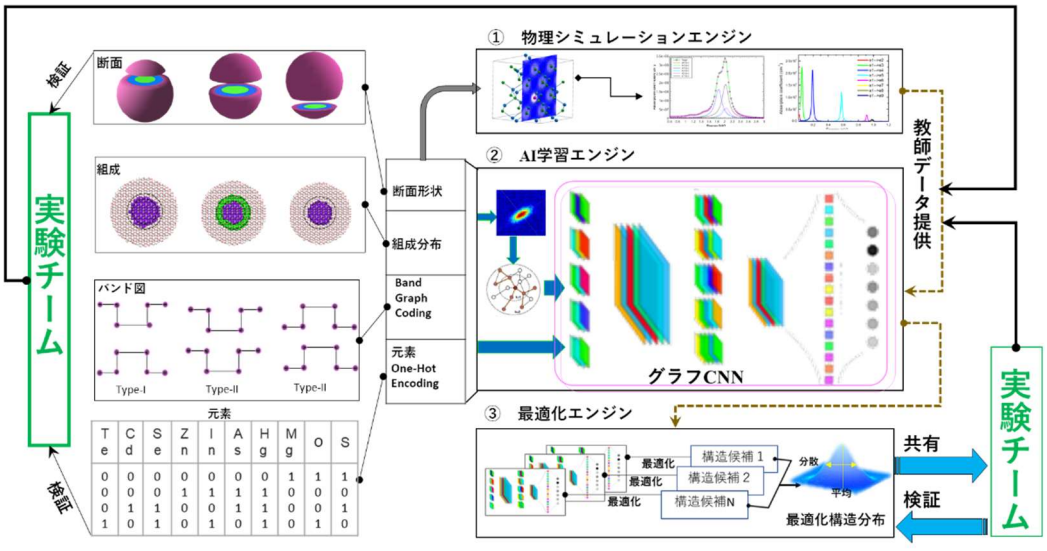


図 2　AI を半導体量子ドットの予測・逆設計と最適化

率を用意すれば、数十種類のニューラルネットワークが得られる。それぞれのニューラルネットワークにおいて、従来の汎用型数学最適化アルゴリズムを駆使すれば、最適化構造変数の分布を得ることができる。図２の①に示すように、グラフ CNN を用いた深層学習の教師データは、従来の第一原理 DFT 計算を中心としたバンド計算の設計の対象となる励起子吸収スペクトラムから多数用意することができる。

2.2　AI を用いた光学構造と発電デバイスの逆設計

窓用太陽電池の開発では、赤外光のような長波の光を有効に利用するためにナノフォトニクス光閉じ込め構造を設計する必要がある。最新の研究結果によると、ナノフォトニクス分野の構造逆設計において、予測と最適化の両方の機能を備える深層強化学習を用いた構造決定が通常の機械学習手法より遥かに高い精度を示し、かつ人間の専門家が決定した値より優れた光学特性を達成することから、ナノフォトニクス分野の逆設計の主力手法になることが示唆されている。

図 3 は本提案手法の模式図を示す。構造パラメータは強化学習アルゴリズムの行動に置き換えることで探索することができる。構造データが連続値なので、連続値行動を学習できる決定型方策勾配法の強化学習アルゴリズムを使用する[2]。強化学習の報酬関数は FDTD 電磁場解析手法を用いて光散乱強度、反射係数、透過係数を算出する値を使用する。FDTD 解析は、波長のステップ幅と FDTD の時間幅を小さくするので、計算時間が非常に長くなる。この問題を回避するために、再帰型ニューラルネットワークを用いて FDTD の電磁波伝搬解を学習する仕組みを取り入れる。学習済みの再帰型ニューラルネットワークを使用すれば、FDTD に割り当てる計算をミリ秒で処理できる。

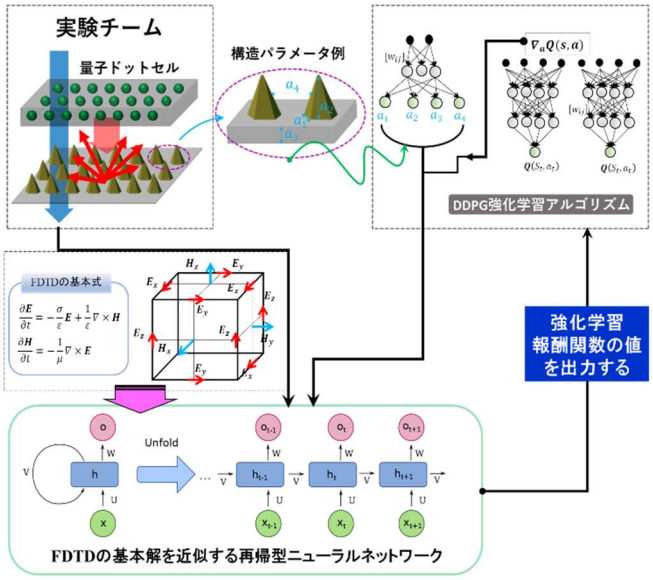
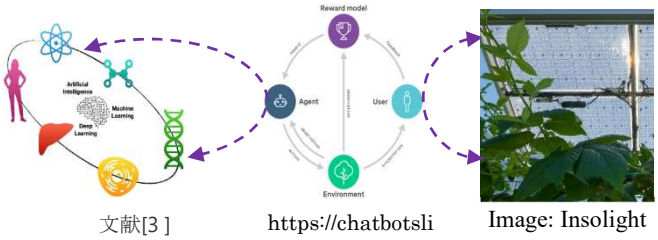


図 3　FDTD 近似型ニューラルネットワークと深層強化学習を用いた光閉じ込め構造の逆設計



文献[3]　https://chatbotsli　Image: Insolight

図 4　AI 予測最適化技術を応用した材料探索・開発及びデバイス設計の模式図

3. 今後の展開

本研究で開発した AI 予測最適化技術は、現在、大いに注目されているマテリアルインフォマティクス(MI)とデバイスインフォマティクス(DI)分野の中核技術と深くかかわっている。さらに本研究で最も力を入れている AI 予測最適化による逆設計技術は、材料設計とデバイス設計の全自動化を実現するためのゲームチェンジングテクノロジーと位置付けられている[3]。量子ドットの光物性の高精度予測とそれに基づく量子ドットの組成と幾何構造の最適化ができれば、図 4 に示すように、量子ドットに限らず新規半導体材料の開発、高機能高分子材料、生物分子そして薬の開発にも応用可能である

参考文献

[1] 高橋慧ほか,「特徴グラフを用いた汎用型 CNN 深層学習手法の開発」. 一般社団法人 人工知能学会, 2018 年. doi: 10.11517/pjsai.JSAI2018.0_4Pin101.

[2] T. P. Lillicrap et al., 「Continuous control with deep reinforcement learning」. arXiv, 2019 年 7 月 5 日. 参照: 2022 年 7 月 5 日. [Online]. Available at: http://arxiv.org/abs/1509.02971

[3] A. Karthikeyan and U. D. Priyakumar, 「Artificial intelligence: machine learning for chemical sciences」, *J Chem Sci*, vol. 134, no. 1, p. 2, 3 月 2022, doi: 10.1007/s12039-021-01995-2.

キーワード　AI 予測, 量子ドット, 透明型太陽電池, 逆設計, 最適化

グローカル協働 DX による再生可能エネルギーと国境炭素税の循環サプライチェーン研究と課題

Glocal and Collaborative Digital Transformation of Circular Supply Chain with Renewable Energy and Carbon Border Tax

電気通信大大学院情報理工学研究科○山田哲男

1. はじめに

我々のスマートフォンやノート PC，家電といった組立製品は，グローバルサプライチェーン [1]というサプライヤーからの部品や材料の購入から始まり，工場での生産，小売または消費者への納入といった国境，途絶や関税を越えた生産・物流によって，日々届けられている。しかし，地下資源のエネルギーや物質を大量消費するこの豊かさと引き換えに，温室効果ガス（GreenHouse Gas Emission; GHG）排出による地球温暖化や，海洋プラスチックごみを含む廃棄物の発生によって，地球環境を悪化させてしまっている [2)3)4)]。

2021 年の国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議（COP26）では，米国がパリ協定に復帰し，世界は 2050 年までに排出量を実質ゼロとするカーボンニュートラル，すなわち脱炭素を目指すことになった [4)]。そのために，温室効果ガスを排出しない再生可能エネルギー（再エネ）[5)]や，材料・部品・製品の再製造（リユース・リサイクル）によって新たに作る材料を代替して排出量と廃棄物の削減に貢献する循環経済（Circular Economy; CE）への転換が始まっている [6)]。

しなしながら，サプライチェーンを担う企業にとり，再エネや再製造の導入で新たな費用が生じ，経済的なビジネスモデルの構築が難しいことが考えられる。また，こうしたエネルギー，コト（仕事），モノ，カネの人類と地球の構成要素は，グローバルから（海外需要，天然地下資源）ローカルまで（仕事，再エネ）のプロセスが本来つながっているのに，大規模かつ複雑で別々にデータ構築・管理されてきたため，全体の調整や対話がなく，国連 SDGs の環境・社会・経済課題間にトレードオフが生じ，課題単体では解決できなくなってしまっている [7)]。

本研究では，グローカル協働 DX による再生可能エネルギーと国境炭素税の循環サプライチェーンを提案し，その研究と課題について述べる。

2. グローカル協働 DX の再エネ循環サプライチェーン

サプライチェーンの環境配慮 [2)]が求められる企業では，例えば米国アップル社が RE100[4)]として，部品製造にも再エネ利用 100%を進めている。ザ・コカ・コーラ・カンパニーでは，2030 年までに世界で販売する製品の販売量に相当する缶・PET 容器をすべて回収・リサイクルするという目標を掲げた [3)]。

図 1 は，本稿で提案するグローカル協働 DX による再エネ循環サプライチェーンの脱炭素化の例である。図上部が再生可能エネルギー[8)]，下部が循環経済サプライチェーン [2)]の各プロセスであり，中央がその両者を結ぶデジタルトランスフォーメーション（DX）[6)]の AI によるグローカル協働である。

図上部には，ローカルな再生可能エネルギーによる電力の流れがある。再エネ生成の電力が，サプライチェーンの製造プロセスへ届けられる。しかし，太陽光や風力の電力供給量は地域の天候に左右されるため，RE100 の製造ができる生産量が制約される。図下部は循環サプライチェーンのモノの流れである。動脈であるグローバルサプライチェーン設計と，静脈である国内ローカルな再製造サプライチェーン設計から構成される [2)]。

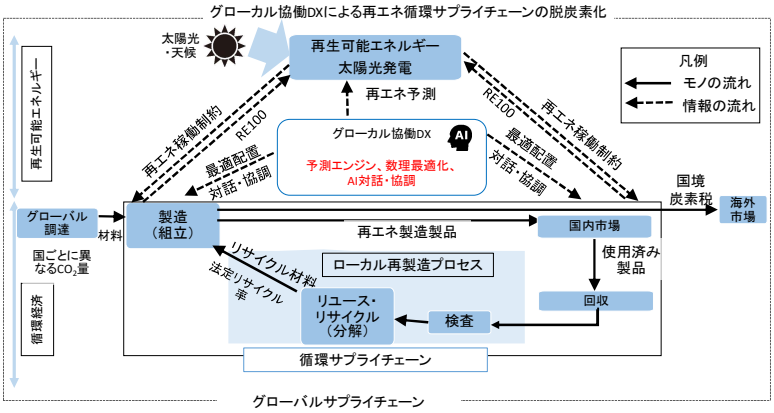


図 1　グローカル協働 DX による
再エネ循環サプライチェーンの脱炭素化の例

3. 課題

3.1. RE100 とサプライチェーン

RE100 とは，企業が自らの事業活動における使用電力を 100%再生可能エネルギー電力で賄うことを目指す

国際的なイニシアティブである[4]。アップル社は，サプライヤーの部品製造にもRE100を進める。しかし，太陽光や風力の再エネ発電量は，天候に依存する。そのため，ローカルな天候によって，製造に必要な再エネ発電量が確保できず，その期間のその地域の生産量が制約されて，グローバル供給の途絶[1]が起こり得る。消費量のピークシフトにはバッテリーが有効だが，容量の大きなものは高額になってしまう。

再エネコンサルト企業エコロミ社との共同研究[8]では，東京都のある施設の太陽光自家発電量と消費電力量が分析された。時間帯ごとのアンバランスはあったが，1週間累積では太陽光自家発電量で消費量を満たせることがわかった。さらに，開発した太陽光発電量予測エンジンと低容量バッテリーの併用や，人の活動時間帯の調整の可能性が示された。

3.2. 国境炭素税と循環グローバルサプライチェーン

国境炭素税とは，EUや米国で導入が模索されている炭素国境調整措置のことである[5]。これは，国ごとで異なる気候変動対策の緩い国からの輸入品に対して，炭素関税を課すことによって，競争上の不公平を是正するものである。他にも，国ごとに異なるのは，各国の経済状況や電力のエネルギーミックスによる材料製造時の調達費用やGHG 排出量のほか，経済連携協定による関税，新型コロナウイルス感染状況による途絶があり，グローバルサプライチェーンはますます複雑化している[1)2)]。

一方，使用済み製品の内部には，リユース・リサイクルによる再製造によって，材料の新規製造を代替して温室効果ガスや廃棄物を抑えられるプラスチックや鉄などの素材が含まれている。LCAによれば，CO2排出量は製造時と比較し，自動車リユース部品で99%削減，複写機で93%削減できるとされる[2]。

4. 結言

もし，ローカルな再エネ製造によって得られる低GHG部品について，天候による電力供給制約で低減してしまう生産量を，グローバル製造からGHG量が回収されたリユース部品で補う再製造ができれば，国境炭素税や法定リサイクル率を乗り越える循環グローバルサプライチェーンの脱炭素化ができるのではないだろうか。

そこで，ローカルな再生可能エネルギーとグローバルな循環サプライチェーンを統合することによって，エネルギー（再エネ）・モノ（地下資源），コト（仕事）とカネ（コスト，利益，国境炭素税）の流れを，センシングやモデル化でデータとプロセスをつなぎ，人間の意思決定をサポートできる協調や対話のAI[7]と最適化[2]により全体を俯瞰して調整することで，単独では解けないサプライチェーンの脱炭素化の解決が期待される。

謝辞　本研究の一部は，科研費基盤研究(A)JP18H03824の助成を受けたものである。また，作図に協力して頂いた伊集院大将氏に感謝する。

参考文献

1) 山田・長尾・長沢・周（2022）新型コロナウイルス患者数予測によるグローバルサプライチェーン途絶の信頼性設計へ向けて，信頼性，Vol.44, No.2, 77–85
2) 山田哲・木下・長沢・山田周・井上・北田・石垣（2020）炭素税と経済連携協定を考慮したグローカルサプライ・再製造チェーンのIoTビジネスモデル構築，システム/制御/情報，Vol.64, No.10, 394-402
3) 堅達京子, NHK BS1スペシャル取材班（2020）脱プラスチックへの挑戦 持続可能な地球と世界ビジネスの潮流，山と渓谷社，296
4) 環境省（2022）環境白書，日経印刷，334
5) 竹内純子（2021）エネネルギー産業30への戦略，日本経済新聞出版，174
6) デロイト トーマツ グループ監修（2021）グリーントランスフォーメーション戦略，日本経済新聞出版，120
7) 山田・岡本・中嶋・長沢・伊集院・于・滝（2022）Withコロナのグローカル社会課題を統合知で同時解決を目指すサステナブルCOVID-19リカバリーの研究と課題－第26回ICPRにおけるオーガナイズドセッション，博士・若手研究者ワークショップと国際共同研究－，経営システム, Vol.31, No.2, 115-125
8) Ijuin, H., Yamada, S., Yamada, T., Takanokura, M. and Matsui, M. (2022) Solar Energy Demand-to-Supply Management by the On-Demand Cumulative-Control Method: Case of a Childcare Facility in Tokyo, energies, Vol.15 No.13, 1–13

キーワード　太陽光発電，RE100，グローバルサプライチェーン，途絶，再製造

天然由来資源のみを用いた木質系材料の成形加工技術の開発
Development of forming technology of wood-based materials using only natural resources

電気通信大学大学院情報理工学研究科　○梶川翔平

1. はじめに

カーボンニュートラルな特性を持つ木材・竹材などの木質系資源は，環境調和型材料であり，計画的な植林・伐採によって持続的利用が可能である．木質系材料を，工業材料として，あらゆる産業分野にて活用するためには，低コストかつ短時間であらゆる形状に加工できる技術が必要である．しかしながら，プラスチックや金属などの一般的な工業材料と比べ，木質系材料は変形能が低く，任意の形状に加工することが難しい．このため，木質系の製品のコストは高くなる傾向にある．木材の加工においては，接着剤も頻繁に用いられるが，それらの多くは化石資源に依存した合成系接着剤であり，人体や環境への影響が懸念される．

上記の課題を解決するため，天然由来の材料のみを用いて素材の可塑性を高め，効率的な成形加工を行う方法を開発した．本稿では，筆者らが開発した木質系材料の加工方法を紹介する．

2. 木質系粉末の圧粉成形 [1)]

図 1 に，木質系粉末のみを用いて圧粉成形を行い，得られた成形品の外観を示す．木質系粉末は，適切な温度に加熱した金型内で加圧することによって，接着剤を全く用いることなく，固形化した成形品を得ることが可能である．これは，一般的な木質系材料を構成する成分が加水分解され，接着性を持つ成分が生成されるためである．図 1 (a) に示すように，種類が異なる材料でも成形が可能である．また，工具の形状を工夫することによって，図 1 (b) に示すようなカップ形状など，様々な形状の部品を成形することができる．

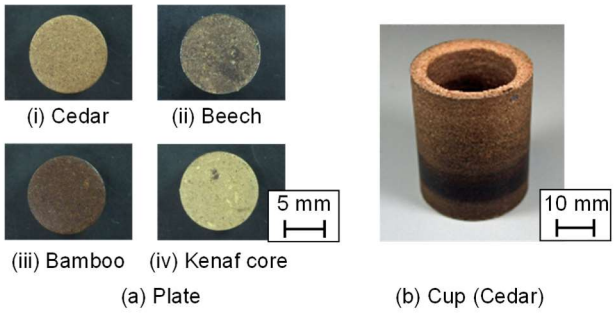


図 1　木質系粉末の圧粉成形

3. 蒸煮処理を施した竹粉の射出成形 [2)]

様々な形状の部品を大量生産するにあたっては，プラスチックの代表的な加工法である射出成形が有効である．射出成形とは，加熱によって流動化した材料を，金型へと射出し，型内で冷却した後に取り出すことによって，様々な形状の部品を加工する方法である．

図 2 に蒸煮処理を施した竹粉の射出成形の概略を示す．射出成形を行うにあたって，材料の高い熱流動性が必要である．そこで，木質系材料に蒸煮処理を施し，構成成分の加水分解を促進することによって，木質系粉末に熱流動性を付与した．蒸煮処理を施すことによって，竹粉の熱流動性が向上し，図 2 (c)に示すような成形品を得ることが可能であった．

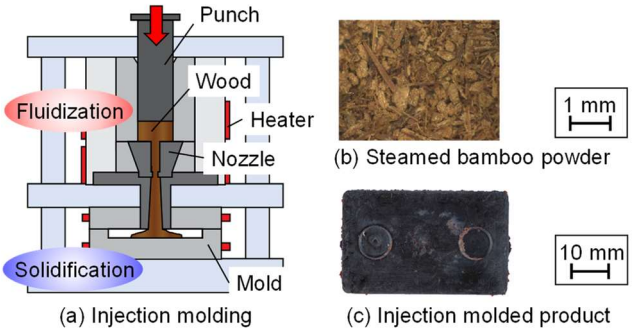


図 2　蒸煮処理竹粉の射出成形

4. 天然系バインダを混合した木粉の成形加工

4.1. 熱流動性の調査 [3),4)]

成形品の強度や耐水性向上を目的として，スクロースおよびクエン酸から構成される天然系バインダを木粉に混合し，成形加工する方法を検討した．成形加工を行

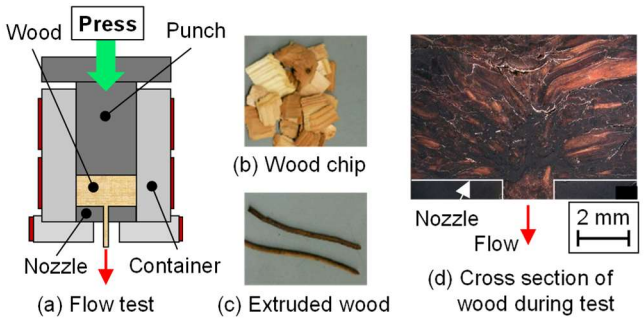


図 3　天然系バインダを混合した木粉の熱流動性評価

うにあたって，材料の熱流動性が重要であるため，まず天然系バインダを混合した木粉の熱流動性を調査した．

図 3 に，木粉の熱流動性評価の概略を示す．加熱したコンテナに入れた試料を，内径 2 mm のノズルを通して押し出した．その結果，適切な条件下において，試料が流動し，ストランド状の成形品が得られた．微粉末のみならず，チップ状の試料を用いた場合においても，ノズル流入時にチップが破砕し，押し出すことが可能であった．様々なパラメータ（温度，加熱時間，バインダ混合比, バインダ含有率, 粒子サイズ）を変えた実験を行い，高い熱流動性が得られる加工条件を明らかにしている．

4.2. 射出成形 [3)]

天然系バインダ混合木粉の熱流動性の調査結果に基づき，射出成形を行った．図 4 に示すように，適切な条件にて射出成形を行うことによって，金型に試料が充填し，圧密されたプレートを成形可能であった．一方，バインダ含有率が低く，試料の流動性が乏しい場合，金型の端部において試料は充填せず，成形体は脆くなった．適切な条件下で成形を行った場合，曲げ強度は 37 MPa に達した．また，24 時間水に浸漬した際の吸水厚さ膨張率は 8~10 %程度であり，一般的なファイバーボードに要求される耐水性の基準を満たした．

(a) Binder content *B*=20 wt%　(b) Binder content *B*=30 wt%　(c) Binder content *B*=40 wt%

図 4　天然系バインダを混合した木粉の射出成形によって得られた成形品

4.3. 押出し成形 [5)]

押出し成形は，押出し方向に一定の断面形状を有する部品を成形できる方法であり，プラスチックや金属材料の成形にも用いられる生産性の高い加工法である．押出し成形を天然系バインダ混合木粉の成形に適用することによって，円管を成形した．

図 5 に，加工の概要を示す．押出し成形の場合，ダイ内で試料を十分に固化させた後に，ダイ外へ押し出す必要がある．ダイの長さが短く，コンテナ温度が高すぎると，ダイ内で試料が十分に固化せず，押し出された成形品には亀裂が発生する．ダイの長さやコンテナ温度を適正化した上で，ダイを適切な温度に冷却すると，試料はダイ内で十分に固化した状態で押し出され，光沢のある

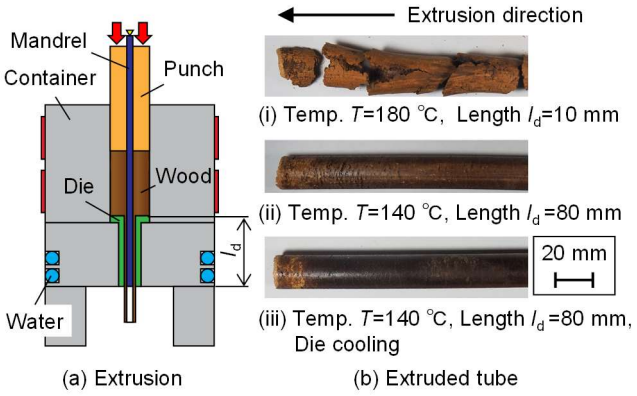


図 5　天然系バインダを混合した木粉の押出し成形

外観を有する管が得られた．

5. おわりに

本稿では，著者らが開発した天然由来の材料のみを用いた成形加工技術を紹介した．これまでの研究によって，化石由来資源を使うことなく，木質系材料をプラスチックのように可塑化し，様々な方法で成形加工できることを示した．これらの技術の実用化に向け，さらに研究を発展させていきたい．

参考文献

1) 梶川翔平・飯塚高志 (2014) 130℃の蒸煮処理を施した木質系粉末の圧密成形体の硬さ特性, 塑性と加工, 55 (644), 853-857.
2) Kajikawa, S. and Iizuka, T. (2015) Effect of molding temperature on fluidity and injection moldability of oven-dry steam-treated bamboo powder, Journal of Materials Processing Technology, 225, 433-438.
3) Kajikawa, S., Horikoshi, M., Kuboki, T., Tanaka, S., Umemura, K. and Kanayama, K. (2020) Fabrication of naturally derived wood products by thermal flow molding of wood powder with sucrose and citric acid, BioResources, 15 (1), 1702-1715.
4) 梶川翔平・曺基宇・久保木孝・田中聡一・梅村研二・金山公三 (2020) スクロースおよびクエン酸を混合したスギ粉末の熱流動に及ぼす粒子サイズの影響, 材料, 69 (6), 440-445.
5) 鈴本雄也・梶川翔平・久保木孝 (2021) スクロースとクエン酸を混合した木材粉末の押出し加工による円管成形, 材料, 70 (12), 912-917.

キーワード　木質系材料，成形加工，生産技術

シミュレーションモデルと時空間解析を用いた環境評価方法の開発
Development of the Environmental Evaluation Method Adopting Simulation Models and Spatiotemporal Analysis

電気通信大学大学院情報理工学研究科　○山本佳世子

1. はじめに

環境中に存在する化学物質が，呼吸や飲食から人間の体内へ，大気や土壌などの環境媒体から植物や動物などの生態系へと蓄積され，悪影響を及ぼしている．こうした有害化学物質による環境負荷を，未然に効果的に防止・低減することが環境リスクの分野において重要視されている．以上の背景から，本研究は，特定の発生源から排出された有害な化学物質の環境リスクの評価方法を開発することを目的とする．有害化学物質としてダイオキシン類，発生源として焼却炉を取り上げ，環境リスクを評価する．また，本研究は他の化学物質や他の発生源に対しても応用することができる評価方法を提案する．

2. 評価の枠組み

2.1. 評価の方法と枠組み

本研究の評価手順の概要を以下に示す．

①本研究の評価方法は，評価の指標となる化学物質を決め，発生源を特定することから始まる．そして，それぞれの大気拡散モデルの計算で必要となるデータに加工し，発生源データを作成する．

②作成した発生源データを基に，それぞれの大気拡散モデルの拡散計算に必要となるデータを入力する．大気拡散モデルを用いることで，発生源から排出された化学物質の大気中濃度及び沈着量を算出する．

③GIS を用いることで，大気拡散モデルより得られた解析結果を地図上に表示し，空間的な解析を行う．大気拡散モデルより推定した大気中濃度及び沈着量を，人口密度データ及び土地利用データにそれぞれ重ね合わせる．

④重ね合わせた結果を基に，統計処理をそれぞれ行うことで，大気中濃度から人への暴露量と，沈着量から環境への蓄積量を把握することと，人や環境への影響の観点から環境リスクを定量的に評価することができる．

2.2. 大気拡散モデル

本研究では，2 段階に分けて環境リスクの評価を行うため，利用する大気拡散モデルは 2 つある．この 2 つの大気拡散モデルの詳細を下記に示す．

2.2.1. 第一段階の大気拡散モデル

評価対象地域全域を対象にした広範囲の評価では，産業技術総合研究所（AIST）が開発した産総研 - 曝露・リスク評価大気拡散モデル（AIST-ADMER Ver.2.5）を利用する．これは，発生源における排出量と気象条件から大気中濃度を推定することができるモデルであり，関東地方全域といった比較的広範囲において，長期的な濃度分布を予測することに適している大気拡散モデルである．

2.2.2. 第二段階の大気拡散モデル

発生源近傍を対象にした局所的かつ詳細な評価では，経済産業省が開発した経済産業省 - 低煙源工場拡散モデル（METI-LIS Ver.3.02）を利用する．これは，発生源近傍における濃度を予測するモデルであり，発生源近傍の建物による気流の乱れの影響を受けて発生するダウンウォッシュを考慮することができる．そのため，発生源周辺の建物の高さデータを入力することで，建物による拡散の影響を考慮した狭い範囲で詳細な濃度分布解析ができる大気拡散モデルである．

2.3. 地理情報システム（GIS）

本研究では，GIS として ESRI 社の提供する ArcGIS Ver.10 を利用する．ArcGIS には結果データの表示形式や空間分布解析，データ編集など様々な機能が搭載されている．環境リスクを評価するにあたって，大気拡散モデルより得られた解析結果と，人口密度データ及び土地利用データとのオーバーレイ解析，統計処理を行うために ArcGIS を用いる．

2.4. 評価対象地域の選定

本研究の評価対象地域として東京都を選定した．ADMER を用いた評価対象地域全域の評価では，島嶼部を除く，東京都区部及び多摩地域からなる東京都全域を対象にする．METI-LIS を用いた発生源近傍の評価では，前段階の評価により特定したダイオキシン類による汚染リスクが高いとされる地域を選定し，一般廃棄物焼却

炉の周辺地域を対象に評価を行う．東京都を選定した理由は，人口密度が高い地域のため人への健康に対する影響が強く懸念されること，ゴミ問題に対する政策に積極的であること，焼却炉に関する詳細なデータを公表していることがあげられる．

3. データの収集と加工

本研究では，大気拡散モデルと GIS の 2 つの操作において，様々なデータを利用する．大気拡散モデルでは，拡散計算を行うために発生源に関するデータ及び気象データが必要になる．GIS では，空間的な属性を地図上で表示・解析するために GIS データが必要になる．本研究で利用する GIS データは，デジタル地図データ，実測データ，人口データに分類できる．

大気拡散モデルを用いて化学物質の拡散をシミュレーション計算するために，「ダイオキシン類対策特別措置法に基づく自主測定結果」の排ガス中ダイオキシン類（ngTEQ/㎥ N）と焼却能力（kg/h）から，それぞれの大気拡散モデルに入力する排出量を算出し，発生源データを作成した．気象データはアメダスデータを利用する．

4. 評価対象地域全域の評価

第一段階の評価では，ADMER を用いて，東京都全域を対象に 2000 年度から 2008 年度にかけて一般廃棄物焼却炉から排出されたダイオキシン類の濃度分布解析を行った．ADMER によるシミュレーション結果の一例を図 1 に示す．ADMER の解析結果より，2000 年度は 0.05pgTEQ/㎥以下，2001 年度は 0.025pgTEQ/㎥以下，2002 年度は 0.005pgTEQ/㎥以下，2003 年度以降は 0.001pgTEQ/㎥以下の濃度範囲の地域に，人口が密集していることが確認できた．また，最もダイオキシン類が蓄積した土地環境は「建物用地」であることがわかった．いずれも，環境基準を超える濃度は推定されなかった．

5. 発生源近傍の評価

第二段階の評価では，ADMER より高濃度と推定された地域及び期間である日野市北部，大田区北東部，世田谷区南西部の 2000 年度と 2001 年度を対象に，METI-LIS を用いて，6km×6km の範囲で全ての焼却炉から排出されたダイオキシン類の濃度分布解析を行った．METI-LIS によるシミュレーション結果の一例を図 2 に示す．METI-LIS の解析結果より，大田区北東部の特定地域において,大気中ダイオキシン類濃度の環境基準値 0.6pgTEQ/㎥を超過する結果が推定された．しかし，ダイオキシン類が高濃度を示す地域では人口密度が低く，人口密度が高い地域ではダイオキシン類の暴露量が低い傾向が見られた．また，面積の割合に対して高い蓄積量を示した土地環境は海水域であることから，東京湾に生息する魚類への影響が懸念される．

6. 結論

本研究で提案した評価方法は，発生源に関するデータを作成することで，広範囲の評価から汚染リスクが高い地域の発生源近傍の詳細な評価という 2 段階で環境リスクを評価することができる．そのため，発生源に関するデータが揃えば，ダイオキシン類以外の有害化学物質に対しても応用できる．特に，本研究の評価方法を用いることで，土地環境への影響評価から実測調査すべき高濃度地域の特定と，人への影響評価から地域住民と事業者のリスクコミュニケーションを促すことができ，効率的かつ実用的に有害化学物質の対策や環境の改善を支援することが可能になる．

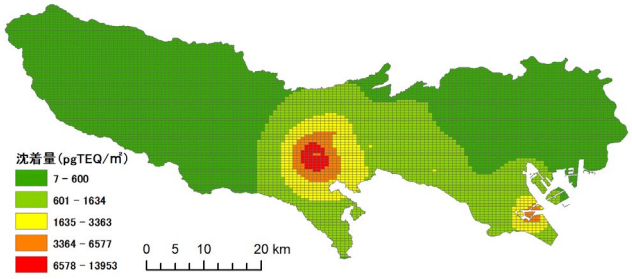


図 1　ADMER によるシミュレーション結果
（2000 年度）

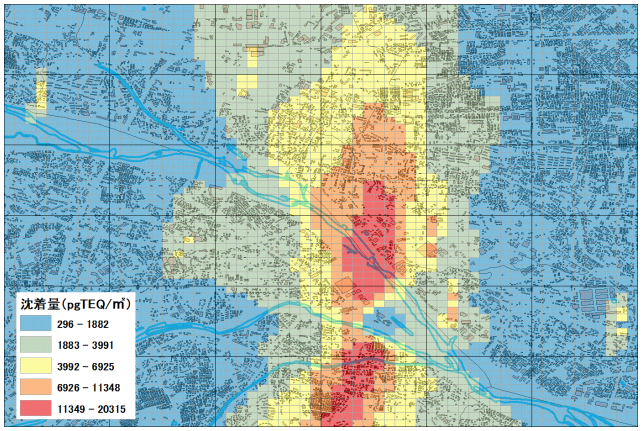


図 2　METI-LIS によるシミュレーション結果
（日野市北部，2000 年度）

キーワード　シミュレーション，時空間解析，大気拡散モデル，地理情報システム（GIS），ダイオキシン類

富士電機
Innovating Energy Technology

エネルギー・環境事業で、
持続可能な社会の実現に貢献します。

富士電機株式会社　〒141-0032 東京都品川区大崎1-11-2（ゲートシティ大崎イーストタワー） TEL.03-5435-7111

『水や環境』に関する
学術研究助成プログラム

助成対象研究分野

- **自然科学・技術（１）**

  水処理に関する理論、技術、分析、材料などの研究

- **自然科学・技術（２）**

  水域生態系保全に関する研究

- **特別テーマ**

  「水を究める」研究

- **人文・社会科学**

  水に関する文化、教育、歴史、政策、制度などの研究

- **萌芽的研究ａ）**

  自然科学・技術の分野、人文・社会科学の分野で、特に新しい切り口や手法に基づく水や水環境に関する研究

- **萌芽的研究ｂ）**

  若手研究者あるいは独立して研究を開始する研究者による水や水環境に関する研究

◆◆詳細はホームページを参照ください　http://www.kwef.or.jp/josei/josei_koku.html◆◆

公益財団法人クリタ水・環境科学振興財団（KWEF）

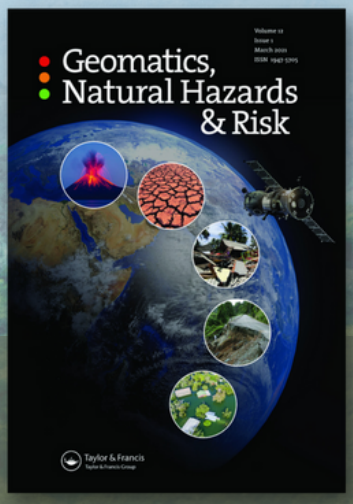
お問い合わせ：f-kurita@kwef.or.jp

ENVIRONMENT & SUSTAINABILITY

Publish with Taylor & Francis

Taylor & Francisでは、環境科学分野で多数のジャーナルを出版しており、気候変動、天然資材、林業、農業生態学、自然災害、生物多様性の保全など、幅広いトピックを網羅しています。

Taylor & Francisで研究論文を出版し、研究が与えるインパクトとリーチを最大化しませんか？



www.bit.ly/tandf_ENS

Taylor & Francis Group
an **informa** business

公益社団法人 環境科学会 2022 年会

年会実行委員会

委員長	山本佳世子	電気通信大学
幹事	岩本茂子	電気通信大学

年会委員会

委員長	大西暁生	横浜市立大学
理事	島崎洋一	山梨大学
幹事	徳村雅弘	静岡県立大学
幹事	青木えり	東洋大学
幹事	松本健一	東洋大学
幹事	佐伯　孝	富山県立大学
事 務 局	林　信宏 ・ 村瀬　彩子	

公益社団法人 環境科学会 2022 年会 講演要旨集
編集・発行:公益社団法人 環境科学会
〒162-0801 東京都新宿区山吹町 358 番地 5
TEL:03-6824-9383
E-mail:sesj-office@bunken.or.jp
URL:http://www.ses.or.jp/