

特別講演

食の安全と環境科学

佐藤 洋

1 はじめに

食べることは、人にとって様々な意味を持っている。生理的な要求を満たしたり必要な栄養素を供給し生命を維持する役割、空腹を満たして心理的にも生理的にも満足感を得ること、さらには健康を増進する薬理的な作用への期待、酒類も含めて食事をともにすることによってより良い人間関係の構築等に加えて、最近では食育も強調されるようになって来た。いずれの意味を考えるにしても、その基本として食べるものの安全性が確保されていなければならない。しかし、すべての食品が安全なわけではない。

食べ物の持つ危険性、すなわち健康に害をおよぼすかもしれないポテンシャルを「危害要因」ないしは「ハザード (hazard)」という。これは、化学物質の持つハザードと同じ意味である。しかし、表1に示すように、食品安全の分野ではより幅広くハザードをとらえている¹⁾。

2 食品安全委員会とリスク評価

食べ物を食することは、その食品に含まれるハ

ザードを摂取することにもなるので、ハザードによってもたらされる危害をどのように避けるのか、その知恵が必要になる。伝統的には、フグ毒を避けるために卵巣等テトロドトキシンの含まれる部位を除去して食べて来た。またアフリカでは、キャッサバを水に晒して除毒してから調理し食する。

しかしながら食品が多様化し、流通圏も拡大し、生産や加工の過程で用いられる手段や物質が増加する中で、伝統的な方法だけで食べるものの安全性を確保することには限界があることは明らかである。近年「リスク分析 (Risk Analysis)」と呼ばれる手法で、食の安全性を確保することが国際的なコンセンサスとなっている²⁾。リスク分析は、リスク評価・リスク管理・リスクコミュニケーションの3つの要素からなる。そこでは、人の健康保護を最優先し、科学的な根拠を重視して、関係者 (ステークホルダー) 間の意思疎通を図り、透明性の高い意思決定を行う。

食品安全委員会 (以下食安委) は、食品健康影響評価を行うリスク評価機関である³⁾。ここで言うリスク評価とは、食品中のハザードを同定し、人集団でのばく露を推定して、健康危害の起きる確率やそ

表1 食品中の様々な危害要因 (ハザード) の例

有害微生物等	腸管出血性大腸菌 (O-157 等)、カンピロバクター、リステリア、サルモネラ、ノロウイルス、異常プリオン 等
生産資材由来のもの	農薬や動物用医薬品の残留、食品添加物 等
加工中に生成される汚染物質	アクリルアミド、クロロプロパノール 等
環境からの汚染物質	カドミウム、メチル水銀、ダイオキシン 等
自然毒	きのこ毒、フグ毒、カビ毒 等
物理的危険要因	温度 (食品保存場所)、放射性物質、気道異物 等

の程度を推測すること、あるいはどの程度のばく露であれば健康危害が起きないかを科学的に明らかにすることである。食安委は、7人の委員と、ハザードによって分類された11の専門調査会と食安委の運営全般に関与する企画等専門調査会（12の専門調査会で合わせて延べ199名の専門委員）、および事務局から構成されている。食安委は、食品安全基本法に基づき、平成15（2003）年7月1日に内閣府に設置され、その後厚生労働省や農林水産省等のリスク管理機関からの要請や食安委自身で必要と思われるリスク評価を約1300件行って来た。

以下、環境汚染物質でもある、メチル水銀と鉛のリスク評価をもとに、食の安全に環境科学がどう関わるのかを述べてみたい。

3 メチル水銀のリスク評価

メチル水銀は水俣病の原因物質である⁴⁾。化学工場の廃液に含まれたメチル水銀は、水銀化合物を触媒として利用した化学反応の副反応で生成され、生態系を汚染し食物連鎖を通して人が食する魚介類に蓄積した。それら魚介類を多食した人々に神経症状が認められた。メチル水銀の影響は、母親の胎内でメチル水銀にばく露された出生児にもみられた（胎児性水俣病）。水俣病やイラクのメチル水銀中毒禍から、胎児のメチル水銀に対する感受性は、成人より高いことが明らかになった。WHO（1990）は、「妊娠中の母親の毛髪水銀濃度のピーク値が10-20ppmで胎児に対するリスクがある」とした⁵⁾。

局地的な環境汚染がなくとも水銀は自然環境中に存在し、微生物によって一部メチル水銀となり、食物連鎖による生物濃縮で大型の肉食魚や海棲哺乳類に蓄積する⁶⁾。したがって、これら生物はもちろんのこと、その他の魚介類の摂食によってもメチル水銀にばく露される。そのレベルは、毛髪の水銀濃度として、通常の食事をしている日本人で1-3ppm程度⁷⁾、魚介類を多食する集団ではさらに高く、歯鯨類を食する地域では数十ppmあるいはそれ以上の高値も報告されている⁸⁾。したがって、魚介類の摂食を通じた低濃度メチル水銀ばく露の生体影響が、一般集団においてどのような広がりを持って表れるのか、健康に及ぼす影響はどの程度か、交絡要因はないのか等を明らかにすることが必要であった。

評価要請を受けた食安委は、妊婦^{注1)}において1週間当たり2.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重（Hgとして）というメチル水銀の耐容摂取量を答申した⁹⁾。根拠となった研究は、当時から行われていた北海のフェロー諸島とインド洋のセイシェル共和国における出生コ

ホート調査であった。それらの調査結果から、妊娠中の母親の毛髪中総水銀濃度が11ppm以下であれば、胎児期ばく露による出生後の発達への影響は認められないと結論づけた。キネティクスモデルで、毛髪中総水銀濃度から血中メチル水銀濃度を推定し、メチル水銀摂取量を算出した。さらに、不確実係数を4（キネティクスモデルの定数の個人差）として耐容週間摂取量が算出された。ハイリスクグループは胎児とし、耐容摂取量の対象は妊婦^{注1)}（妊娠している可能性のある人も含む）に限定した。これは、妊婦^{注1)}の血液-胎盤を通して胎児が過剰のメチル水銀にばく露されることを避けるために、妊婦^{注1)}のメチル水銀摂取量を制限することが適切と考えたためである。

4 鉛のリスク評価

鉛は、青みを帯びた灰色の腐食されにくい重金属である¹⁰⁾。地殻に比較的豊富に存在し自然由来の鉛もあるが、産業革命以降の化石燃料の燃焼や鉛ガソリンの使用による大気汚染、鉛鉱山や製錬所からの排出、鉛管、蓄電池、ハンダ、含鉛塗料等の利用によって人為由来の鉛も環境中に拡散した。大気や飲料水及び器具・容器包装によって汚染された食品を含む食物の摂取によるばく露を受けている。

鉛の有害性は、職業ばく露による鉛中毒（頭痛、末梢神経障害、貧血等を主徴とする）がよく知られており、より低濃度での継続的な鉛ばく露による神経系、血液・造血系への影響等が疫学研究で明らかにされている。特に発達段階にある胎児や小児の中枢神経系に対する影響が最も懸念されている¹⁰⁾。

小児の血中鉛濃度と知能指数（IQ）等の神経行動学的発達への影響との関連を調べた最近のコホート研究及び横断的研究に基づき、血中鉛濃度が4 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 以下であれば、有害影響は認められないと結論づけられた¹⁰⁾。出生後のばく露の影響を除いて、胎児期ばく露の影響を明らかにすることは困難であった。また母乳経由ばく露の影響も懸念されるので、この評価においては、胎児及び小児に加え妊婦^{注1)}・授乳中の女性・妊娠可能な年齢層の女性をハイリスクグループとし、ハイリスクグループを除く一般成人と区別してリスク評価を行った。近年の我が国における小児の血中鉛濃度は、4 $\mu\text{g}/\text{dL}$ と比べて低いレベル（ほぼ1 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 程度）である¹¹⁾。

一般成人については、職業ばく露における疫学研究のデータを基に、ベンチマークドーズ（BMD）法を用いて、神経系への影響のBMDの95%信頼下限値（BMDL）を算出し、血中鉛濃度10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 以下であれば有害影響は認められないと結論づけ

られた¹⁰⁾。

これまで血中鉛濃度から摂取量に変換する多くのモデルが提唱されているが、不確実性が必ずしも十分に考慮されていないことや、環境中の鉛濃度が比較的高い時期に開発されたモデルなのでパラメータが必ずしも現状にそぐわない可能性があることが問題とされた。さらに、食物、飲料水、大気、土壌、室内塵など各媒体からの鉛ばく露量データに関し、ばらつきが大きくどの程度が妥当なのかというコンセンサスが得られていない。このため、モデルを用いての血中鉛濃度から鉛摂取量への変換は困難であると考えられた¹⁰⁾。なお、今後血中鉛濃度から摂取量への変換に関する新たな知見が蓄積された場合には、耐容摂取量の設定を検討することになっている。

5 食品のリスク評価における環境科学の役割

食安委で行った、メチル水銀と鉛のリスク評価について述べた。メチル水銀は、水銀の地球化学的な循環の中で生成され、生態系における生物濃縮で大型の肉食魚や歯鯨等の海棲哺乳類に蓄積する。これらを明らかにしたのは、環境科学分野の研究成果である。水銀の地球化学的循環の中で人為起源の水銀

がどの程度の重要性を持つのかは明らかでないが、現在の科学・技術のレベルで環境中の水銀量を減少させることは困難であろう。したがってリスク評価、つまりハイリスクグループを特定して、耐容摂取量を決定したことは大きな意味を持つ。また、リスク管理として、耐容摂取量を超えないような魚介類の摂取量や頻度を示した「妊婦^{注1}への魚介類の摂食と水銀に関する注意事項」を厚生労働省が発した¹²⁾。詳述はしないが、メチル水銀汚染の特徴や、また魚食のベネフィット（良質のタンパク質であり、DHAやEPAといった必須の不飽和脂肪酸はじめ種々の栄養素を含んでいる）を考慮する、妥当なリスク管理の手法であると考えられる。

鉛は、産業革命以来化石燃料の燃焼によって環境汚染が増大して来た。殊にガソリンのアンチノック剤としてアルキル鉛化合物がガソリンに添加された上、第二次世界大戦後のモータリゼーションの波（自動車の台数の増加）によって、都市における大気汚染が深刻化した¹⁰⁾。しかし、1970年代後半から行われて来たガソリンの無鉛化は、すみやかに大気中鉛濃度の低下をもたらし、さらに人々の血液中鉛濃度の低下として効果があらわれた（表2）¹³⁾。また、地球環境全体としても、南極やグリーンランド

表2 社会の出来事と血中鉛濃度の推移（1970－1997年、日本人男性： $\mu\text{g}/\text{dL}$ ）

（独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター（2006）¹³⁾の表を改変）

	報告者	報告年	Mean	SD	GM	GSD	検体数
1970年 牛込柳町交差点で「鉛中毒事件」→	日向ら	1970	11.9				112
	関ら	1971	17				823
	東京都衛生局	1971	15				1645
	斉藤ら	1973	10				203
	荒記ら	1973	12				21
	石津	1973	16				27
	児玉ら	1974	11				28
	桜井ら	1974	14				76
1975年 レギュラーガソリン無鉛化 有鉛ハイオクの鉛の含有量減少→	友国	1983	9				165
	荒記ら	1984	10				46
	中明ら	1984	5				115
	Watanabeら	1985			4.81	1.51	779
	大原ら	1986	5.16	1.89			347
	渡辺ら	1988			4.44	1.44	153
1987年 世界初の完全無鉛化→	品川ら	1992	4.40	1.90			191
	那須ら	1994	4.78	1.69			109
	Moritaら	1996	3.90	1.20	3.70	1.40	105
	Kajiら	1997	3.17	1.34			106

の氷河のコアサンプルの鉛濃度の経年変化は、鉛汚染が人為的であったことと、それへの対策が有効であったことを明らかに示している。

これは、環境科学の知見に基づいて、ガソリンへの鉛化合物添加を規制した環境行政の大きな成果のひとつであると考えられる。現在の経気道あるいは経口ばく露量の比較から考えると、大気汚染物質としての鉛の直接的な吸入が減少して血液中鉛濃度が低下したというよりも、大気中に放出された鉛が環境中に拡散し、食物も汚染して人のばく露源となっていたと考えられる。他にも水やまき上げられた土壌粉塵やハウスダストもばく露源として考え得る。いずれにしても、鉛の環境負荷を減少させた効果が比較的短期に明瞭にあらわれた。

メチル水銀と鉛は、環境汚染の様態や環境動態は全く異なるものではあるが、いずれも食物が主要なばく露源であった。この二つの例は、食品のリスク評価において、対象となる汚染物質の環境動態をはじめとして環境科学の知見も重要であることを示している。

注

注1 妊娠している方もしくは妊娠している可能性のある方

文 献

- 1) 食品安全委員会事務局 (2013) 食品の安全性に関する用語集 (改訂版), http://www.fsc.go.jp/yougoshu/flash_0422/, (accessed 2013-4-17).
- 2) WHO/FAO (2007) CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION PROCEDURAL MANUAL, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1472e/a1472e.pdf>, (accessed 2013-4-17).
- 3) 食品安全委員会 (2013) 食品安全委員会パンフレット 2013, <http://www.fsc.go.jp/iinkai/index.html>, (accessed 2013-4-17).
- 4) Watanabe C and Satoh H (1996) Evolution of our understanding of methylmercury as a health threat. *Environ Health Perspect* 104 Suppl. 2, 367-379.
- 5) WHO (1990) Environmental Health Criteria No.101 Methylmercury.
- 6) 島田美幸・佐藤 洋 (2008) 水銀, 糸川嘉則 (編) ミネラルの科学と最新応用技術, 株式会社シーエムシー出版, 東京, 349-358pp.
- 7) Yasutake A, Matsumoto M, Yamaguchi M and Hachiya N (2003) Current hair mercury level in Japanese: survey in five districts. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 199, 161-169.
- 8) 国立水俣病総合研究センター (2010) 太地町における水銀と住民の健康影響に関する調査結果について, http://www.nimd.go.jp/kenkyu/report/20100427_taiji_report.html, (accessed 2013-4-17).
- 9) 食品安全委員会 (2005) 食品安全委員会魚介類等に含まれるメチル水銀について, <http://www.fsc.go.jp/fsciis/evaluationDocument/show/kya20040723175>, (accessed 2013-4-17).
- 10) 食品安全委員会化学物質・汚染物質専門調査会鉛ワーキンググループ (2012) 鉛に関する食品健康影響について 一次報告, <http://www.fsc.go.jp/fsciis/meetingMaterial/show/kai20120322ka1>, (accessed 2013-4-17).
- 11) Yoshinaga J, Takagi M, Yamasaki K, Tamiya S, Watanabe C and Kaji M (2012) Blood lead levels of contemporary Japanese children. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 17, 27-33.
- 12) 厚生労働省 (2010) 魚介類に含まれる水銀について, <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/suigin/>, (accessed 2013-4-17).
- 13) 独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター (2006) 詳細リスク評価書 鉛暫定版

