

〈原著論文〉

理科教育における水銀をめぐる状況と今後の課題

仲井邦彦*

1. 緒言

理科教育は、環境問題の解決を目指した学習を通して、環境問題に対する理解と対応を促進し、子どもが科学的方法や態度、技能を身に付けることに重要な役割を果たすと期待される。その理科教育の中で、水銀に関する正しい知識と理解を深めることは、地球環境問題の解決や健康リスクの低減に貢献するとともに、水銀が環境に影響するメカニズムや過去の公害事例から学ぶことで、未来に向けた安全で持続可能な社会の構築に向けて行動する力を育むことができる。

水銀には金属水銀、無機水銀および有機水銀の化学形態があり、このうち水俣病の原因となった水銀が有機水銀の1つであるメチル水銀である。学校における水銀を題材とした教育については、水俣病に関する教材と、水銀に関連する教材に区分される。両者の特徴を整理した上で、今後の学校教育で求められる視点について整理する。なお、水俣病と水銀の問題は、公害を理解する上でよく用いられる教材となるが、持続可能な開発目標（SDGs）の達成に向けた取り組みでも重要な要素であり、環境教育やSDGsとしても注目される。

なお、本稿の内容は、小学校学習指導要領の理科・第6学年B 生命・地球（3）生物と環境、ならびに中学校学習指導要領の理科第1分野（7）科学技術と人間、理科第2分野（7）自然と人間・自然環境の調査と環境保全、などに該当する。

2. 水俣病と学校教育

水俣病は化学工場から排出されたメチル水銀により汚染された海産物を多食することで発生した公害病である。体内に取り込まれたメチル水銀は容易に脳へ移動し、成人では大脳や小脳を中心に特定部位の神経細胞を傷害し水俣病を引き起こした。さらに、妊娠中の母親がメチル水銀に曝露された場合、母親には一見すると影響が見られないレベルでも、メチル水銀は胎児の脳に到達し重大な傷害を引き起こし、胎児性水俣病の原因となった。この背景には、発生・成長過程にある脳がメチル水銀などの環境要因に対して感受性が高く、脆弱であることによる。

この水俣病をめぐる教材を見てみると、まず第1に原因物質であるメチル水銀について詳しく記されている。メチル水銀の有害性を理解する上で、メチル水銀が生体内で蓄積性を有し、体内ではあまり分解を受けず安定であることがポイントとなる。従ってメチル水銀は生態系における食物連鎖の中で生物濃縮を受け、大型の捕食者に高濃度に蓄積し、それを食べることで人間も高いレベルの曝露を受けることとなり（図1）¹⁾、魚介類摂取が曝露の鍵を握ることが強調されている。ただし、水俣でメチル水銀が大量に海洋放出されていた当時は、エラや体表面からもメチル水銀が魚介類に取りこまれ、どの魚介類にもメチル水銀が含まれており、食物連鎖のみに依存しないメチル水銀の曝露が起きていたことが水俣市立水俣資料館の子ども向けの資料に記されており（図2）、水俣病を理解する上で食物連鎖という現象がやや誇張されている恐れがあることを補足したい²⁾。その当時、水俣湾で主に消費されていた魚介類が紹介されている（図3）²⁾。

* 東海学園大学スポーツ健康科学部教授

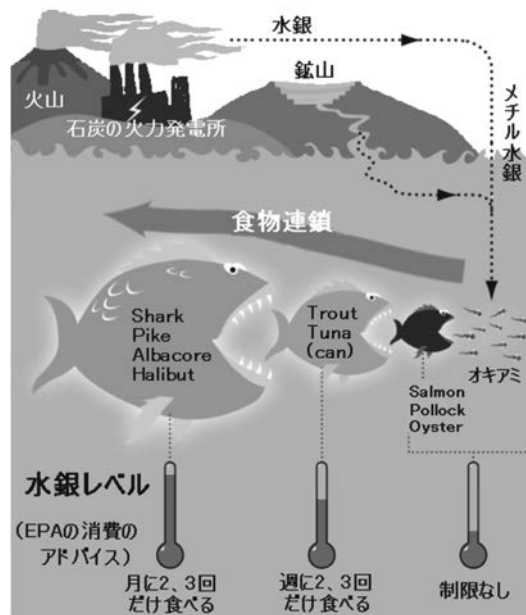


図1 魚介類におけるメチル水銀の蓄積¹⁾

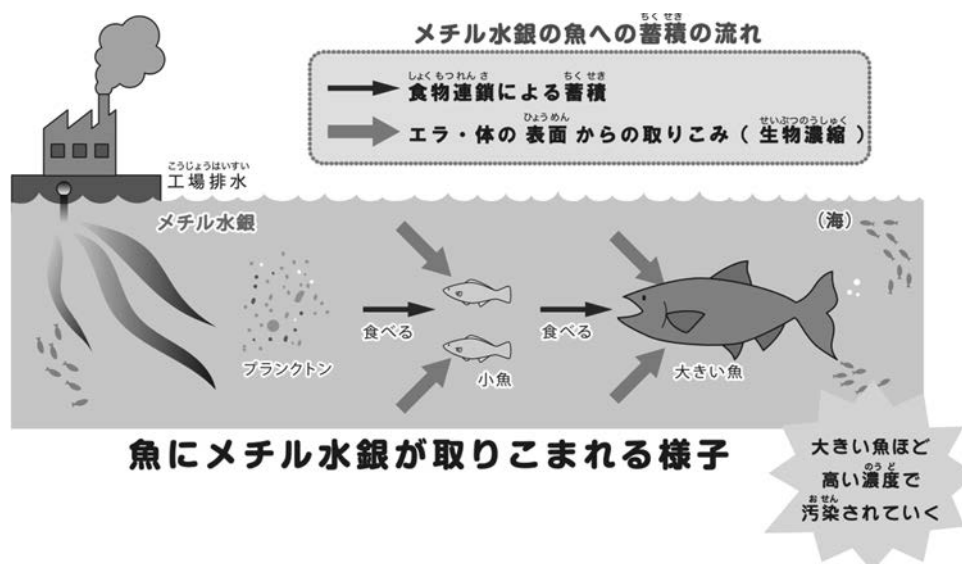


図2 メチル水銀の食物連鎖による蓄積²⁾

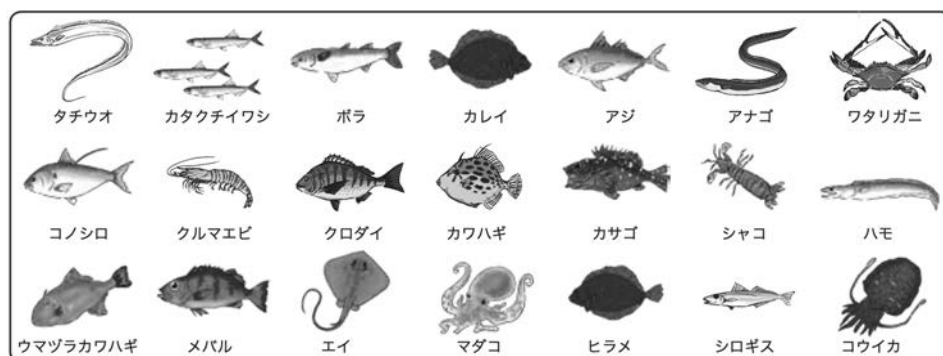


図3 水俣資料館による子ども向け資料に示されている魚介類²⁾

次に、水俣病の教材で着目される点は、水俣病患者の差別と偏見に関する記述である。水俣病は1956年に発見され、原因物質がメチル水銀であると確定したのは1968年である。水俣病の取り扱いの中で、水俣病が発見された当時は原因不明の中樞神経系疾患であり、いわゆる奇病として取り扱われた。いつまでも奇病という表現は医学的に不適切であることから水俣病という名称が与えられ、現在ではMinamata Diseaseとして海外でも定着したのであるが、このように原因不明の病気であったことから、水俣病が空気や食物でうつったり、遺伝したりすると誤解され、水俣地方特有の風土病と間違われた経緯がある。水俣出身だということで就職や結婚を断られることがあり、水俣を通る際には電車やバスの窓を閉めるなどの差別が横行した。水俣病の過去を遡る際に、このような差別や偏見を問題提起する資料は多い。

3. 水銀を題材とした理科教育

理科教育の中で水銀は主に無機水銀（金属水銀を含む）として取り上げられることが多い³⁾。水銀の特徴は、金属でありながら常温でも液体であること、比重が重く、このため砲丸でさえ水銀の中に入ると沈んでしまうこと、化学反応性が高くさまざまな反応を見せることが可能であり、理科実験に適した材料と言える。さらに、水銀は温度計や蛍光灯などでも活用されており、身近な元素である。このような特性を有していることから、水銀（無機水銀）は理科教材の中で化学的現象を理解するために適した材料と言える。昔、水銀は錬金術（卑金属から人工的に金を作り出す試み）の中でもよく取り上げられた経緯があり、超伝導現象の発見も水銀によりもたらされたことを考えれば、科学の歴史を紹介する上でも話題性に富む元素である⁴⁾。一方で、水銀は後述するように健康とも密接であり、SDGsの教材としても有用であるが、そのような視点での教材利用はあまり報告がない。

4. 子どもを対象とした水銀教育の重要性

水俣病は高濃度のメチル水銀による曝露により引き起こされた公害病であり、その後、水銀の環境への排出は厳しく規制され、国内で水俣病が再発する恐れはほとんどない。このため水俣病に関する教材も、当時の被害者の人権問題などに重点を置く内容に移ることも理解される。過去の公害病の体験から教訓化し、別の事象に備えることは大切であり、その意味での水俣病に関する学習も大切と考えられる。

ただし、メチル水銀の健康影響そのものについては、低レベルの曝露影響が危惧されており、小児の空間認識や言語機能などでの遅れが報告されている^{5,6)}。我が国でも筆者らにより出生コホート研究が実施され、現在の日本人でも、その中には曝露レベルが比較的高い集団が存在し、小児神経発達に負の影響が観察されることが確かめられている^{7,9)}。その影響は水俣病患者の症状から比較すると極めて小さいものであるが、集団として捉えた場合は無視できない影響である。その曝露レベルを低減することは容易であり、前述のように低レベルのメチル水銀の曝露は主に魚介類、特に食連鎖上位の魚の摂取に由来することから、そのような魚の摂取を控えることが有効である。実際に、厚生労働省からも妊婦向けの注意喚起などが発出されている。問題なのは、そのような注意喚起が出されているにもかかわらず、その知識が有効利用されていないことにある。

メチル水銀は、成長過程にある脳で感受性が高いことを述べた。このため妊娠もしくは妊娠を迎える世代での曝露回避の行動が鍵となる。このため海外では子どもたちへの教育的なアプローチが重視されており、対象年齢としては小学校高学年以上を対象とする水銀による健康影響に関する学校教材が提案されている。米国の保健福祉省に属するATSDR（米国有害物質・疾病登録局）からは、有害物質への曝露や関連する疾病を防ぐことを意図し、grades 6-8を対象とするCBL（computer-based Learning）

が示されており¹⁰⁾、金属水銀の化学的な特性に加え、人体曝露の影響、水銀の曝露回避などについて学ぶプログラムが提案されている。

東南アジアおよびアマゾン流域などでは金採掘に関連して金属水銀が多用されており、金属水銀は蒸気水銀となってその地域の環境を汚染し、水銀は生態系の中でメチル水銀となり、流域の魚介類はメチル水銀により汚染され、その魚介類を摂取することで人体曝露が懸念されている。インドネシアの第2の都市スラバヤでは、公立小学校における栄養教育の1つとして水銀摂取の健康リスクに関する授業を展開し、魚介類摂取を取り上げて水銀曝露を低減する試みを検討し、食行動上で効果が示されることが報告されている¹¹⁾。理科教育よりも保健に近い教育的活動であるものの、小学校から水銀の有害性について触れる試みが始まっていることが注目される。なお、インドネシアでは確かに金採掘に伴う水銀汚染が報告されているものの、魚介類を多食する日本人と比較して、一般的にインドネシアの方々の水銀汚染は低く¹²⁾、スラバヤにおける水銀教育の試みは、高濃度汚染地域に特有の試みというわけではない。またアマゾンでもリスクコミュニケーションの視点から、小児をも含む集団への教育的介入の試みが紹介されている¹³⁾。

ところで、メチル水銀による曝露を低減する最も簡単な方法は、魚介類を摂取しないことである。しかしながら、魚介類には神経系の発達に必須と考えられているDHAやEPAといったオメガ3系不飽和脂肪酸など有用な栄養因子が含まれており、栄養学的には魚摂取が推奨されている¹⁴⁾。したがって、魚摂取を控えるという選択肢は矛盾に満ちたアドバイスにも聞こえる。ポイントは食物連鎖のどの段階の魚介類を利用するのが重要であり、不飽和脂肪酸に富むものの、食物連鎖の上位ではない魚介類を選択することが大切となる(図4)。もしくは、同じ魚種でもメチル水銀濃度はその魚の寿命に比例して増加することから、小型の魚の摂取が推奨される¹⁵⁾。なお、国民健康・栄養調査によると、近年は魚介類の摂取量が減少しており、そのことによるメチル水銀曝露の低減(=benefit)と、魚摂取量が減少することで生じる栄養学的な不飽和脂肪酸の不足(=risk)が拮抗するとの仮説が提出されている¹⁶⁾。

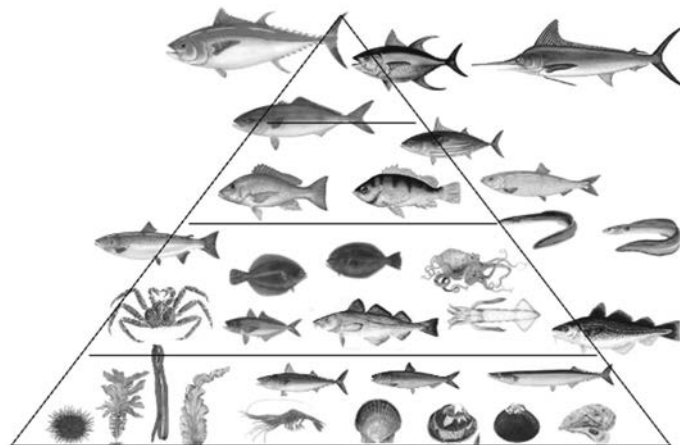


図4 魚介類の食物連鎖から見た摂取に適した魚介類の選択。食物連鎖のレベルに加え、体長(寿命)、脂質含量などを考慮する。なお、魚介類には化学物質のみならず健康に寄与する栄養素(不飽和脂肪酸など)も含まれており、バランスよく摂取することが期待される。

5. SDGs と水銀

水銀による環境汚染を地球規模で見た場合に、環境中の水銀濃度は確実に上昇しており、世界各国の博物館で所蔵されている生体試料を用いた水銀分析の結果でも近年の顕著な増加が著しい(図5)¹⁷⁾。

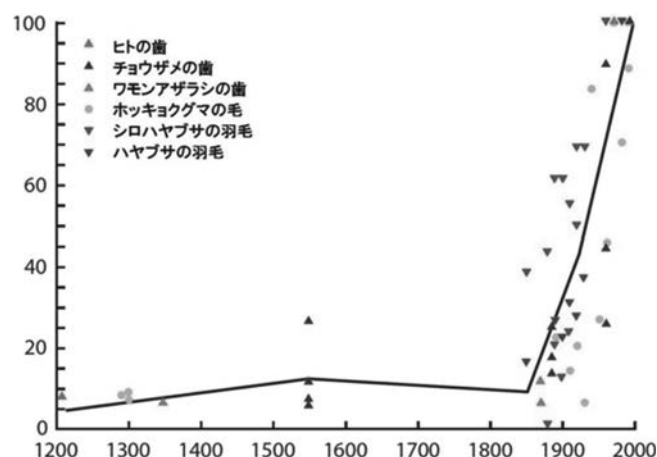


図5 北極圏の生物試料で観察された水銀濃度の推移
(現在を100%とした相対表示)¹⁷⁾

例えば、ハワイ沖で採取されるキハダマグロに含まれている水銀レベルは、毎年3.8%増加していることが報告されている¹⁸⁾。このような地球規模の水銀汚染の拡大を止めることが喫緊の課題であることが認識され、2017年に国際的な水銀条約（水俣条約）が発効した。SDGsでは地球温暖化が主なテーマの一つであるが、この地球規模の水銀汚染も地球環境問題を理解する上で重要なテーマであり、またSDGs向けの教材としても期待される。

6. 結論

理科教育を通じて水銀に関する正しい知識と理解を深めることは、地球環境問題の解決や健康リスクの低減に貢献し、未来に向けた安全で持続可能な社会の構築に向けて行動する力を育むことができる。しかしながら、我が国における水銀教育は、水俣病の事例に遡る歴史教育や、理科教材における水銀の物理化学的な理科教育の域を脱していないことが示唆された。海外では栄養教育としての側面を有しながらも、水銀の有害性と曝露回避を意図した野心的な教育が始まっていることを紹介した。水俣病のみにこだわるのではなく、低レベルのメチル水銀曝露や地球環境問題としての水銀汚染にも興味に向くことを期待したい。我が国では水俣病総合研究センターで小学生を対象とした社会教育的な試みがあり、毎年開催されている一般公開（オープンラボ）の機会に、希望者の毛髪を採取しその水銀値を報告するプログラムが進められており、人気が高い。ただし、理科教育として見ると、科学への興味を刺激する基礎的な企画が主であり、水銀教育としては展開されていない。小学生への水銀教育の展開について、今後さらなる事例を積み重ね改良されることが期待される。

参考文献

- 1) Wikipedia. 水銀中毒. <https://ja.wikipedia.org/wiki/水銀中毒>. (2024/10/14 検索)
- 2) 水俣資料館. こどもと学ぶ水俣病. https://minamata195651.jp/pdf/kodomotomanabu/siryo_all.pdf. (2024/10/14 検索)
- 3) 山田洋一, 南伸昌, 本澤秀二. 中学生に魅力ある理科授業展開 (第1報). 宇都宮大学教育学部・教育実践総合センター紀要. 2004, 27: 111-8.
- 4) 嶋澤るみ子. 人類は水銀をどのように利用してきたのか: 科学史における水銀の役割 (講座: 教育現場における学生からの素朴な疑問 2). 化学と教育. 2005, 53: 148-50.

- 5) 吉田稔, 村田勝, 仲井邦彦ら. メチル水銀と健康問題～未来～. 環境科学会誌. 2004, 17 : 191-8.
- 6) 村田勝敬, 吉田稔, 坂本峰至, 他. メチル水銀毒性に関する疫学的研究の動向. 日本衛生学雑誌. 2011, 66 : 682-95.
- 7) Tatsuta N, Murata K, Iwai-Shimada M, et al. Psychomotor Ability in Children Prenatally Exposed to Methylmercury: The 18-Month Follow-Up of Tohoku Study of Child Development. *Tohoku J Exp Med*. 2017, 242: 1-8.
- 8) Tatsuta N, Nakai K, Murata K, et al. Impacts of prenatal exposures to polychlorinated biphenyls, methylmercury, and lead on intellectual ability of 42-month-old children in Japan. *Environ Res*. 2014, 133: 321-6.
- 9) Tatsuta N, Kurokawa N, Nakai K, et al. Effects of intrauterine exposures to polychlorinated biphenyls, methylmercury, and lead on birth weight in Japanese male and female newborns. *Environ Health Prev Med*. 2017, 22: 39.
- 10) ATSDR. Don't Mess with Mercury — A mercury spill prevention initiative for schools. <https://www.atsdr.cdc.gov/dontmesswithmercury/index.html>. (2024/10/14 検索)
- 11) Mahmudiono T, Wijanarko MAV, Elkarima E, et al. Education on mercury exposure from fish and its processed products among school children in the Kenjeran Beach Area, Surabaya. *Journal of Public Health in Africa*. 2023, 14: 2623.
- 12) Feng Q, Suzuki Y, Hisashige A. Hair mercury levels of residents in China, Indonesia, and Japan. *Arch Environ Health*. 1998, 53: 36-43.
- 13) Boischio AA, Henshel D. Fish consumption, fish lore, and mercury pollution--risk communication for the Madeira River people. *Environ Res*. 2000, 84: 108-26.
- 14) 厚生労働省. 魚介類に含まれる水銀について. 2005.
- 15) Chen MH, Chen CY, Chang SK, et al. Total and organic mercury concentrations in the white muscles of swordfish (*Xiphias gladius*) from the Indian and Atlantic oceans. *Food Addit Contam*. 2007, 24: 969-75.
- 16) Fujimura S, Yoshinaga J. Risk and benefit of decreasing seafood consumption in Japan-docosahexaenoic acid, methylmercury and infant IQ. *Foods*. 2023, 12: 1674.
- 17) Assessment GM. United Nations Environment Programme 2013.
- 18) Drevnick PE, Lamborg CH, Horgan MJ. Increase in mercury in Pacific yellowfin tuna. *Environ Toxicol Chem*. 2015, 34: 931-4.