

**UNEP GLOBAL MERCURY ASSESSMENT**  
**Summary of the Report 2002.12**

和訳(仮訳)

**国連環境計画**  
化学物質部門

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME  
CHEMICALS

**世界水銀アセスメント**

**GLOBAL  
MERCURY  
ASSESSMENT**

発行人：UNEP 化学物質部門、スイス、ジュネーブ  
2002年12月

## 報告書の主要な所見

なぜ関心をもたなければならないのか、そして介入は変化をもたらすか？

### 水銀は環境に遍在する

1. 工業時代の開始から環境中の水銀濃度は大幅に上昇した。現在、人間や野生生物に有害な影響を与うる濃度の水銀が全世界で様々な環境媒体や食物（特に魚）に存在する。水銀がこのように広く拡散した原因は人間が生み出した発生源である。これまでの産業行為によって、埋め立て地、鉱山尾鉱、汚染工業用地、土壌、堆積物に水銀が残留している。北極のようにほとんど水銀が排出されないような地域でも、大陸から運ばれてくる水銀によって汚染されている。

### 水銀は難分解性であり全世界を循環する

2. 水銀汚染で最も重要なのは、大気中への排出である。しかし、水銀は様々な汚染源から水系や土壌に直接排出される。一度、排出されると、水銀は環境中でほとんど分解されず、大気中、水系、堆積物、土壌、生物相を様々な形態で循環する。現在、排出されている水銀は全世界に貯留され、常に土壌と水系との間で、移動と蓄積とを繰り返す。

3. 水銀の排出形態は汚染源その他の因子によって異なる。大気放出の大部分はガス状の水銀元素の形態によるものであり、排出源から遠く離れた世界中のあらゆる地域に拡散する。それ以外の排出はガス状無機イオン水銀（塩化第2水銀など）の形態や放出粒子に結合した状態によるものである。これらの形態は大気中に長く留まることはなく、発生源から約 100 ~ 1000 キロメートル以内で、土壌や水系に堆積する。大気中の水銀元素はイオン水銀に変化し、放出された水銀元素堆積の重要な経路になる。

4. 一度、堆積すると水銀はメチル水銀に変化しうる（主に微生物代謝による）。メチル水銀は生物内に蓄積される特性（生物蓄積）があり、食物連鎖の上位相に行くほど濃度は高まる（生物学的濃縮）。特に水系食物連鎖ではこの傾向が著しい（魚や海洋ほ乳類）。従って、メチル水銀が最も危険な形態である。魚類体内のほとんどすべての水銀はメチル水銀である。

### 水銀曝露は危険である

5. 水銀が人間の健康や全世界の環境に対して多くの非常な有害な作用を持つことが証明されている。水銀とその化合物は極めて毒性が強く、とくに発達途上の神経系には有害である。人間や他の生物に与える毒性は化学形態、量、曝露経路、接触した人間の脆弱性によって異なる。人間と水銀との接触には多数の経路が考えられる。魚の摂取、職業および家庭内での使用、歯科用アマルガム、水銀を含むワクチンなどがそれである。

6. メチル水銀は人間と野生生物に対して有害である。この化合物は簡単に胎盤関門と血液脳関門を通過し、神経毒となり、特に成長過程の脳に悪影響を与える。妊婦が摂取する食品に含まれるメチル水銀は小児の成長にわずかだが永続的な影響を与え、学齢期になると発症することが研究によって明らかにされている。さらに、複数の研究から、メチル水銀との接触がわずかに増えると、心臓血管系に悪影響を及ぼすことが判明している。現在、多くの人間（および野生生物）は前述のリスクやその他の有害作用を生じる濃度にさらされている。

7. ある集団は特に水銀に曝露しやすい。その中で最も危険なのは、胎児、新生児、小児である。なぜなら彼らの神経系は発達過程にあるからである。このように、両親、妊婦、妊娠の可能性のある女性は特にメチル水銀の潜在的な有毒性に注意しなければならない。中程度の量の魚類摂取（低水銀濃度）は問題ないが、汚染された魚類や海洋ほ乳類を大量に摂取する先住民族や、小規模金銀採鉱などの水銀と接触する労働者は、水銀に接触する機会が多く、リスクも高いと言える。

8. 魚類は多くの地域文化の中で重要であるばかりでなく、世界中の多くの地域で、人間の食事の極めて重要な要素であり、他の食物からは得られない栄養素を供給している。水銀はこうした食物供給に対する恐るべき脅威である。同様に、汚染した魚類は漁業に依存する共同体や地域に経済的生存という重大な経済的問題を発生しうる。

9. また水系食物網（食魚性鳥類や哺乳類など）北極の生態系、湿地帯、熱帯生態系および土壌微生物群落の最高捕食者など極めて脆弱な生態系や野生生物集団も存在する。

### 介入は可能である

10. 水銀汚染は地域、国、大陸、地球レベルで重要な影響を持っている。これらの影響は使用量、排出量、曝露量を減らすことによりレベルごとに一定範囲の対応によって取り組むことができる。ヨーロッパ、北米その他の地域は様々な努力を払って、水銀の使用量と排出量を減らすことに成功している。しかし、これらの地域で、管理体制はまだ不十分であり、ある種の排出は依然として無視できない量に上っている。水銀排出量の減少に伴う環境濃度の低下や生態系の改善の範囲は、地域の生態系特性その他の因子によって大幅に異なり、ある種の事例は数10年を要するものもある。しかし、スエーデンの複数の湖の水銀濃度測定から、排出量削減によって、淡水魚などに見られる環境水銀濃度は10年から20年で大幅に低下することが判明している。

### なぜ地域や地方の対応だけでは不十分なのか？

#### 水銀の世界的循環が問題を大きくしている

11. 上述のように、環境水銀蓄積の原因は、地球半球または地球全体であると同時に地域および地方にある。水銀排出の地域的な原因（廃棄物焼却および石炭燃焼施設）に加えて、全世界のバックグラウンド濃度（グローバルプール）も大部分の地域の水銀負荷の重大な原因である。同様に、事実上すべての地域の水銀発生源がグローバルプールの原因になっている。また、河川や海流が長期的な水銀伝搬を媒介している。

12. 地域または地方の水銀蓄積量が汚染レベルを徐々に悪化し、過去数十年にわたって排出を減らすための対策を講じている国もある。しかし、水銀の伝搬は広範囲にわたるために、水銀の排出量が少ない国でも、他の工業国が悪影響を及ぼすことがある。例えば、大量排出地域から離れている北極でも、高濃度の水銀が検出されている。

#### 水銀は全世界の漁業に影響を与えている

13. 公海の多くの魚類は遠く離れた様々な場所に移動する。さらに、魚類は捕獲されると、通常、商業用魚類は原産地から遠く離れた世界中の国々に輸出される。従って、湖沼、河川、特に海洋の水銀汚染はまさに世界的な問題であり、漁業と魚類の消費者に影響を与えている。

#### 途上国は水銀問題が深刻である

14. 水銀の有害性が認識されるにつれて、多くの工業国では水銀使用量が大幅に削減されてきた。ほとんどの場合、安価な代用品が市場に出回っている。しかし、こうした使用量の削減は水銀の供給と比較して需要を低下させており、水銀価格は下落したために、水銀の使用は依然として止まらず（増えている場合もある）、低開発地域や途上国では旧態依然とした水銀の技術が使用されている。多くの低開発地域では、水銀規制は十分に整備されておらず、適切に発動していない。こうした傾向が、水銀による健康や環境のリスクが低開発地域を中心に高まる原因となっている。

## 全世界で消費、取引される水銀

15. リスクの認知度は高まったが、世界中で水銀はいまだに様々な製品や工程で使用されている。元素水銀金属は小規模金銀鉱、塩素アルカリ生産、測定制御用圧力計、温度計、電気スイッチ、蛍光灯、歯科用アマルガム充填材で使用されている。水銀化合物はバッテリー、製紙工業での殺生物剤、薬品、塗料、種子、実験用試薬、産業用触媒に使用されている。

16. 水銀や水銀を含む製品の貿易は依然として盛んに行われている。その中のあるものは、違法であり、規制を受けず、野放しになっているものもある。水銀に関する世界的な動向の中で最も理解されていないものは、国際貿易による水銀の移動である。近年、水銀の全取引量（採掘量も）は減少しているが、かなりの量がいまだに貿易の対象となっている。多くの途上国では需要が衰えておらず、これも大きな懸念材料である。世界市場で入手できる水銀の出所は多く、次のようなものがある。

- ・ 水銀鉱山（地殻内部の鉱石から抽出する）から採掘の主要産物または副産物として得られるもの。他の金属（金、亜鉛）または鉱物の精製中に発生するもの。
- ・ 私的または公的なストック（塩素アルカリ工場の水銀、国家的な備蓄）
- ・ 使用済み製品や産業廃棄物から回収された再生水銀。

17. 現在の規制の下でも、水銀や水銀含有製品を使用または輸送することによって、環境中に水銀が排出されることが多い。さらに、鉱山尾鉱、埋め立て地、堆積物、備蓄品に残留している大量の水銀は今後、排出される恐れがある。従って、地域、地方、国、国際レベルで、水銀の使用、備蓄、貿易を管理し減らす取り組みを行うことによって、今後の水銀排出を防止または最小限に食い止めることができよう。

## 水銀はどのように人間や野生動物の体内に入るのか？

18. 一部の集団は地域的状況から水銀を被曝するが、大部分の人は主に食物（特に魚）や歯科用アマルガムによる元素水銀蒸気、職業被曝によってメチル水銀に曝露している。メチル水銀の毒性はすでに述べた通りである。元素水銀蒸気も神経系その他の臓器に有害である。大部分の人々にとってメチル水銀が最大の懸念事であるが、過度な元素水銀との接触も注意を要する。

19. 世界中の多数の淡水魚や海生魚類で過剰なメチル水銀が検出されている。大型捕食魚や魚食性ほ乳類の濃度が最も高い。世界各地での被曝試験によれば、多数の人間や野生生物が汚染された魚によって危険なレベルのメチル水銀に被曝している。

20. 地域水銀汚染負荷に応じて、大気や水によって総水銀摂取量が大幅に高まる。さらに、美白クリームや石けんの個人的使用、宗教、分化、儀礼的な意味での水銀使用、民間療法薬としての使用、家庭や職場環境の水銀によって、人間が水銀に接触する機会は飛躍的に高まる。ワクチンやその他の水銀保存剤を含む薬品の使用によっても水銀に被曝することがある（チメロサル/チオマーサルなど）。

21. 塩素アルカリ工場、水銀鉱山、温度計工場、精製所、歯科医院、水銀抽出法による金銀の採掘や製造過程などの労働環境では元素水銀濃度が高いことが報告されている。地域的汚染（前記鉱山など）、職業被曝、地域の習慣は国ごとに大きく異なり、地域によってはレベルが極めて高いことが知られている。

22. えさの大部分を魚類に依存する多数の野生動物では、有害な水銀濃度が上昇することがある。高濃度の水銀を示す動物としては、カワウソ、ミンク、猛禽類、ミサゴ、ワシなどがある。これらの動物は水系食物連鎖の最高捕食者である。例えば、カナダにおけるある種の鳥類の卵は生殖を阻害するほどのレベルにある。さらに、北極ワモンアザラシやシロイルカの水銀濃度はカナダ領北極およびグリーンランドのある地域では過去 25 年間に 2 倍から 4 倍に増加した。暖水域で

は、ある種の捕食性海洋ほ乳類も危険が高い。さらに、最近、ヨーロッパの大部分の地域で土壤が汚染されていることが証明された。それ以外の多くの地域が汚染されている可能性もある。しかし、一部の環境では、高レベルの水銀負荷が生物にほとんど影響を与えないこともある。これは水銀が地域食物連鎖で生物濃縮されないことや、水銀がメチル化しにくいことによるものである。さらに、一部地域で行われている徹底したメチル水銀濃度管理によって、水銀の直接蓄積や伝搬が防止されていることも考えられる。

### 水銀の主要汚染源は何か？

23. 水銀排出は次の4つのカテゴリーに分けられる。

- ・ 自然排出-火山活動や岩石の風化によって地殻から自然に水銀が発生することによる排出。
- ・ 化石燃料などの原料に含まれる水銀が（現在行われている人間の活動によって）人為的に排出される。 - 特に石炭、少量だがガスや油、その他抽出、処理、再生された鉱物。
- ・ 現行製品や工程で意図的に使用した水銀からの人為的排出。製造による排出、漏出、使用済み製品の廃棄または焼却その他の排出によるもの。
- ・ かつて人間が土壤、堆積物、湖沼、埋め立て地、廃棄場、尾鉱などに捨てたものがその場所から移動する。

24. 現在、大気中に存在する水銀の大部分は多年にわたる人為的排出の結果である。全体的な大気負荷のうち自然現象によるものを推定するのは難しいが、活用できるデータから、人為的行為が大気中の水銀濃度を高めたことが示唆されている。それによれば、大気中の水銀濃度は約3倍、平均堆積速度は1.5~3倍、工業地帯付近の堆積は2~10倍となっている。

25. 高度に汚染された工業地帯や廃坑は水銀を排出し続けている。また、農林水産業などの土壤、水系、資源管理活動、洪水などによって水銀が生体に吸収されやすくなる。メチル化と生物濃縮は湖沼における高レベルの栄養と有機質の影響を受ける。さらに、異常気象の頻発から洪水や土壤浸食が進み、水銀が排出される原因になる。

### 人為的発生源は何か？

26. 人為的排出については、意図的な使用による排出と、水銀不純物の拡散の相対的な深刻度は次のような要素によって国ごとに異なる。意図的利用（製品と工程）の代替規模、化石燃料、特に石炭へのエネルギー依存、鉱業および鉱物抽出産業の規模、廃棄物処理方法、汚染防止技術の実施状態などがそれである。水銀採掘や小規模金銀採掘で水銀を使用している国では、こうした汚染源は極めて重要な意味合いを持っている。

27. 水銀不純物を拡散させる主な人為的工程としては次のようなものがある。石炭火力発電および発熱、セメント製造、鉱業および鉄、鋼鉄、亜鉛、金の生産などの鉱物の抽出や処理を行う他の冶金事業などである。意図的な水銀の抽出および使用による人為的汚染源としては次のようなものがある。水銀鉱山、小規模金銀鉱山、塩素アルカリ、蛍光灯の使用（中の破損）、車両のヘッドライト、圧力計、サーモスタット、温度計、その他の測定機器、歯科用アマルガム充填剤、水銀含有製品の製造、廃棄物処理、水銀含有製品の灰化、埋め立て、焼却などがある。

### どうやって排出を減らすのか？

28. 人為的な水銀排出を減らしたり、あるいは根絶するには水銀汚染原料や工業用原料からの拡散を防止し、製品や工程の水銀使用を減らすか追放しなければならない。これらの水銀排出の管理方法は地域の状況によって異なるが、おおむね次の4つのグループに分けられる。

- ・ 水銀を排出する水銀鉱山や原料および製品の使用を減らす。
- ・ 水銀を含有したり、使用する製品や工程の代替。
- ・ 最終排出部分で水銀の放出を防止する。

- ・ 水銀廃棄物の管理。

29. 上記のうち最初の2つは予防的対策である。水銀の使用や排出を完全に防止しようとするものである。後の2つはある程度の水銀排出を抑制（または遅延）しようとする対策である。水銀を放出する原料や製品の消費を減らそうという予防措置は一般に水銀放出を根絶してしまおうという実現可能な手段の中ではコスト効果が高いものの1つである。また、水銀を使わない製品や工程で代替するという方法は重要な予防措置である。

30. ガスフィルターなどを使って、末端部分で水銀排出をコントロールしようとする方法は特に、微量の水銀で汚染された原料を使う工程には適している。具体的には、化石燃料発電所、セメント製造、亜鉛、金その他の金属などのような一次原料の抽出や加工、鉄くずのような二次原料の処理などである。石炭燃焼ボイラーや焼却炉などの二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、粒子状物質 (PM)を減らす現行の制御技術は、多くの国々で広く採用されているわけではないが、ある程度のレベルまで水銀をコントロールできる。さらに水銀をコントロールする技術は開発中であり、まだ効果が証明されておらず、市販されてもいない。長期的には、統合多種汚染物質 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, 水銀)制御技術がコスト効果の高い方法になるだろう。しかし、末端制御技術は、大気水銀汚染の問題を軽減するにしろ、将来、汚染源となりうる水銀廃棄物質を排出するものであるから、こうした物質は環境に悪影響を与えない方法で処理したり再使用しなければならぬ。

31. ガスろ過製品、塩素アルカリ産業のスラッジ、灰、鉍物残渣、使用済み蛍光管、バッテリー、その他あまりリサイクルされないことのない製品など様々な汚染源から多くの水銀が回収されるため水銀廃棄物管理は複雑さが増してきている。一部の国での水銀廃棄物の許容できる処理コストは高いので、製造者は水銀を使用しない代替製品を探している。水銀の環境への流出を減らすには水銀廃棄物の適正な管理が重要である。これには漏出（温度計の破損）やある種の用途からの長時間にわたる放出（自動スイッチ、歯科用アマルガムなど）、廃棄物の焼却や灰化による排出も含まれる。水銀排出を適切に減らすには十分な検討を経た予防および抑制措置の組み合わせが必要である。

32. 多くの国々は使用、排出、被曝を制限したり防止してきた。その対策としては以下のようなものがあつた。

- ・ 環境への水銀排出を減らす対策や規制。
- ・ 製品管理対策および水銀含有製品の規制。
- ・ 飲料水、地表水、大気、土壌、魚その他食品など様々な媒体の最大許容水銀濃度を定めた環境基準。
- ・ 労働環境における水銀被曝規制、要件、魚摂取限度量、消費者安全対策などを定めた上記以外の規格、対策、プログラム。

33. 大部分の国家プロジェクトで立法は重要部分であるが、それ以外にもより安全な代替物質やクリーンな技術の開発や導入、代替品使用を奨励する補助金や奨励金の利用、業界との自発的合意、啓蒙活動など水銀使用量を減らす対策は存在する。

34. 水銀は環境内で長期にわたって循環し、分解しにくいので、多くの国々が地方、地区、国際レベルで共通の削減目標を確認し、諸国間で共同実施を行う対策をすでに講じている。

## 我々の理解と国際協調を促進するにはどうしたらよいか？

35. データのギャップにもかかわらず、半世紀にもわたる広範囲の研究に基づいて全地球的な水銀問題に対する国際的取り組みに早期に着手しなければならないことは十分に理解されている（循環経路と輸送、健康および環境に与える影響、人間の行為の役割に関する知識）しかしながら、下記の多数の領域において我々の理解や協調を促進するためにさらなる研究と今までにない行動が求められている。

- 各国の使用状態、消費、環境排出のリスト。
- 様々なカテゴリーでの水銀の輸送、変質、循環経路に関する情報。
- 様々な媒体（大気や大気内蓄積など）、生物相（魚類など）における水銀濃度、人間や野生動物に対する影響の測定と監視。様々な形態の水銀の累積被曝による影響を含む。
- 人間及び生態系リスクの評価データと測定ツール。
- 様々な汚染源からの排出を防止、削減するさらなる対策。
- 科学的小よび技術的領域に取り組む各国間の協力。水銀廃棄物管理や改善を含む。
- 全世界の水銀および水銀含有材料の貿易および取引に関する情報。

# 報告書の要旨

## 第 1 章- 序論

36. 本報告書は国連環境計画(UNEP)の運営管理審議会(GC)の要求に基づいて作成した。2003年の第22回会合で発表されるGC決定21/5によれば、UNEPは化学品の健全管理のための組織間プログラム(IOMC)の他の加盟国と共同して、全世界で水銀と水銀化合物の調査を行うべきであるとしている。この調査には、各政府、政府間組織、非政府組織、民間セクターが参加し、GC決定で定めた多数の要素が含まれている。これらの、要素は本報告書の各章で可能な限り論じられている。

37. GC決定21/5の実施の一部として、UNEPは本報告書の原稿と最終版の作成を支援するため世界水銀評価作業部会を設立した。最初に所見を郵送して回覧してもらい、2002年9月9～13日にスイスのジュネーブで行われた作業部会の会議で検討した。作業部会の期限は定めて居らず、政府、政府間組織、非政府組織が任命した委員からなった。

38. 本報告書は運営管理審議会に提出されその2003年の第22回会議で審議される。この評価報告書の作成に着手することによって、運営管理審議会は環境的に健全な水銀とその化合物の管理を促進するために水銀に対する国際的な取り組みが必要かどうかを考慮する根拠を得ることができよう。本報告書は水銀およびその化合物に関する主要問題に対する意思決定者の認知度と理解を高めた次の運営管理審議会会議における問題の議論が容易になるであろう。

## 第 2 章- 化学

39. 水銀は環境に自然に発生し、様々な形態で存在する。鉛やカドミウムと同じように、水銀は地球上の元素あるいは重金属の1つである。純粋な状態では、水銀は元素水銀あるいは金属水銀と呼ばれている(Hg(0)またはHg<sup>0</sup>とも表記される)。自然界では水銀は純粋な状態、すなわち液体金属であることはめったにない。むしろ、化合物や無機塩の中に存在する。水銀は一価または二価の水銀として他の化合物と結合する(それぞれ、Hg(I)およびHg(II)またはHg<sup>2+</sup>と表記される)。多くの無機および有機水銀化合物はHg(II)から形成される。

40. 元素水銀は光沢のある銀白色の金属であり、室温では液体である。従来、温度計やある種の電気的スイッチに使用されてきた。密閉されなければ、室温では金属水銀の一部は蒸発し、水銀蒸気となる。水銀蒸気は無色無臭である。温度が上昇すると、液体金属水銀からより多くの蒸気が発生する。水銀蒸気を吸引した人の一部は口の中に金属味を感じることを報告している。

41. 水銀は硫化第2水銀(辰砂鉱石)として採掘される。歴史的に、辰砂は金属水銀の商用採掘の原鉱であった。金属形態は硫化第2水銀鉱石を540℃以上に過熱することによって製錬された。こうして鉱石内の水銀が蒸発し、それを回収して、冷却すると、液体金属水銀が得られる。

42. 無機水銀は硫化第2水銀(HgS)、酸化第2水銀(HgO)および塩化第2水銀(HgCl<sub>2</sub>)である。これらの水銀化合物は水銀塩とも呼ばれる。大部分の無機化合物は白色粉または結晶である。ただし、硫化第2水銀は赤色で、光線に曝露すると黒色に変色する。ある種の水銀塩(HgCl<sub>2</sub>など)は揮発性が強く、大気気体として存在する。しかし、これらの無機(または二価)水銀ガスの水溶性と化学的活性により元素水銀よりもかなり急速に大気中から地表に降下する。こうして、二価水銀ガスの大気中での寿命は元素水銀ガスと比較すると非常に短い。

43. 水銀が炭素と結合してできた化合物は有機水銀化合物と呼ばれる。潜在的な有機水銀化合物の数は非常に多い(ジメチル水銀、フェニル水銀、エチル水銀、メチル水銀など)。しかし、環境



に最も多く存在する有機水銀はメチル水銀である。無機水銀と同様にメチル水銀もフェニル水銀も塩として存在する（塩化メチル水銀または酢酸フェニル水銀など）。純粹状態であれば、メチル水銀およびフェニル水銀の大多数の形態は白色結晶固体である。しかし、ジメチル水銀は無色の液体である。

44. 環境では自然に複数の形態の水銀が発生する。環境で最も一般的に認められる水銀の天然形態は金属水銀、硫化第2水銀、塩化第2水銀、メチル水銀である。ある種の微生物と自然作用は水銀を環境中である形態から別の形態に変化させる。

45. 放出された元素水銀の有効な分解経路があれば、大気中の元素水銀は無機水銀形態に変化することがある。

46. 微生物と自然作用によって他の形態から生じる最も一般的な有機水銀化合物はメチル水銀である。メチル水銀は食用となる多くの淡水魚、海水魚、海洋ほ乳類に蓄積（生物濃縮、生物蓄積）され、その濃度は周囲の水の数千倍にもなるため特に深刻である。

47. メチル水銀は微生物代謝（生物作用）によって環境に形成しうる。これはある種の細菌や生体を含まない化学作用（非生物作用）によるものである。しかし、一般に、自然界でのメチル水銀の形成は生物作用によるものであると信じられている。歴史的に原因は存在するものの、メチル水銀を発生する人為的（または人間が生じた）直接原因は今のところ、不明である。しかし、間接的には人為的放出は他の形態の変換により自然界のメチル水銀濃度を高めている。有機水銀化合物の直接排出の例は1950年代に発生した水俣メチル水銀中毒事件がある。水俣では工業規模のアセトアルデヒド生産の副産物である有機水銀が地域の湾内に排出された。イラク中毒事件では、有機水銀化合物を含む種子粉衣で処理された小麦がパンに使用された。また、最近の調査では、メチル水銀は一般廃棄物の埋め立て地（Lindbergら, 2001）、下水処理場（Sommarら, 1999）からも排出されるという。しかしこの一般的な主要汚染源は不明である。

48. 1つの元素として、水銀は無害な物質に分解、劣化しない。水銀は循環するうちに様々な状態や種類に変化することがあるが、その基本的な形態である元素水銀はそれ自体、人間や環境に対して無害である。水銀が鉱石、化石燃料、地殻に隠れた鉱物堆積から放出され、生態系に放出されると、移動性が高まり、地表や大気中を循環するようになる。地球の表土、湖沼、底質は生物圏で水銀が堆積する主要な場所と考えられている。

水銀は自然状態において主に下記のような形態で存在する。

- ・ 金属蒸気、液体、元素水銀。
- ・ 水銀含有鉱物（固体）に結合した状態。
- ・ 溶液中のイオンまたはイオン化合物（無機または有機塩）に結合した状態。
- ・ 可溶性イオン錯体。
- ・ ガス状または溶解非イオン有機化合物。
- ・ ・イオン吸着、求電子吸着、親油性吸着により無機または有機粒子物質に結合した状態。

## 水銀化学種について

49. 存在する様々な水銀形態（元素水銀蒸気、メチル水銀、塩化第2水銀）は一般的に「種」と呼ばれる。上述のように、水銀種の主なグループは元素水銀、無機水銀、有機水銀形態である。化学種とは様々な種の中で水銀量の分布を示すために一般的に用いられる用語である。

50. 化学種は生物に対する水銀の毒性や被曝に重要な役割を果たす。とりわけ、化学種は下記項

目に影響を与える。

- ・ 被曝の物理的容易性 -水銀が非吸収性物質に堅固に結合している場合、容易に摂取されることはない(例：生体の血流)。
- ・ 生体内で水銀が有害な影響を与える組織への移動 - 例えば、腸管膜や血液脳関門の通過など。
- ・ その毒性(上記項目が原因の一部となる)。
- ・ 組織内の蓄積、生物濃縮、解毒、組織からの排泄。
- ・ 食物連鎖の栄養段階までの生物学的濃縮(特にメチル水銀では重要な特性)。

51. また化学種は大気、海洋その他を含む環境区画内または環境区画相互間での水銀の移動に影響を与える。例えば、化学種は大気中に放出された水銀がどのくらい遠くまで移動するかを決定する因子である。粒子に吸収された水銀およびイオン(二価)水銀化合物は発生源の近くで地表または水面に落下する(地域ないし地区内)。一方、元素水銀蒸気は片側半球や全地球的な規模で移動し、水銀排出は世界的な問題になる。別の例はいわゆる極地早朝水銀除去現象である。ここでは元素水銀の二価水銀への変化は太陽活動の亢進と氷結晶の存在の影響を受け、3ヶ月間(おおむね3月から6月)の水銀堆積が大幅に上昇する。

52. さらに、化学種は水銀の大気中への放出の管理に非常に重要である。例えば、無機水銀化合物(塩化第2水銀)の放出はある種の制御装置(洗浄装置など)で一定の範囲で捕捉できるが、元素水銀は大部分の排出制御装置では濃度が低すぎる。

### 第3章- 毒物学

53. 水銀の毒性はその化学的形態に依存する。症状と徴候は元素水銀、無機水銀化合物、有機水銀化合物(特にメチル水銀、エチル水銀塩、ジメチル水銀などのアルキル水銀化合物)によってやや異なる。被曝原因も水銀の形態によって大幅に異なる。アルキル水銀については、メチル水銀が最も重要であり、その主な被曝原因は食事、特に魚その他の海産物である。元素水銀蒸気については、一般集団にとって重要な汚染源は歯科用アマルガムである。しかし、場合によっては労働環境での被曝がこれを上回ることもある。無機水銀化合物では、大多数の人々にとって、食事が最も重要な汚染源である。しかし、ある集団では、水銀を含む美白クリームや石けんの使用、文化的/民族的目的による水銀使用、民間療法薬、が無機または有機水銀の被曝の主要な原因になっている。

54. 水銀とその化合物が極めて有害で、その有害性は慎重に考慮しなければならないということは十分理解されているが、これらの物質、特にメチル水銀はどの程度有害なのか現在議論されている。過去10年の新たな発見によれば、毒性はこれまで考えられていたよりも低い濃度で発生し、世界人口のほとんどが影響を受けているということが分かった。微量有毒効果のメカニズムおよびその効果は現在証明されつつある。これは非常に複雑な問題であって、この極めて重要な疑問について十分な解答は出ていない。

#### メチル水銀

55. 有機水銀化合物の中で、メチル水銀は多数の人間が被曝しており、特殊な位置を占める。その毒性は他の有機水銀化合物よりも詳しく調査されている。有機水銀化合物のグループの中で、アルキル水銀化合物(特にエチル水銀とメチル水銀)は毒性(歴史的に殺虫剤として使用されてきたことも)については類似すると考えられているが、フェニル水銀などの他の有機水銀化合物は毒性については無機水銀化合物に類似する。

56. メチル水銀は神経毒性があることは研究によって明らかにされている。特にメチル水銀は発育中の脳に有害である。さらに、この化合物は胎盤関門や血液脳関門を簡単に通過するので、妊娠中の被曝は重大な関心事である。また、少量のメチル水銀被曝の増加でも、心臓血管系に有害

であり、死亡率を高めることを示唆する研究もある。心臓血管疾患は世界的に重要な問題であるから、上記所見は確認されていないが、メチル水銀被曝には注意が必要であり、今後も追跡調査を要する。さらに、国際癌研究機関 (IARC, 1993)の全般的評価によればメチル水銀化合物は人間に対する発癌性があると考えられている (グループ 2B)。

### 元素水銀と無機水銀化合物

57. 元素水銀への主な被曝経路は蒸気の吸引である。吸引された蒸気の約 80%は肺組織に吸収される。この蒸気は血液脳関門を簡単に通過し、神経毒性があることが証明されている。元素水銀は小腸ではあまり吸収されない。元素水銀は体内組織で酸化され、無機二価形態になりうる。

58. 人間が元素水銀蒸気を吸引すると神経挙動障害が発生することが観察されている。特徴的な徴候としては、振戦、情動不安定、記憶喪失、神経筋変性、頭痛などがある。さらに、腎臓や甲状腺に与える影響もある。高濃度に被曝すると死亡することもある。発癌性については、IARC (1993)の総合評価によれば、金属水銀と無機水銀化合物は人間に対する発癌性のない物質に分類されている (グループ 3)。従ってリスク評価の証拠となる重大影響は振戦の誘導などの神経毒性である。腎臓に対する影響 (尿細管) も考慮しなければならない。これらは無機水銀化合物被曝の主要なエンドポイントである。影響は可逆的であるが、大部分の人間にとって被曝は常に生じているため、影響も依然として存在する。

### 影響レベルのまとめ

59. メチル水銀の被曝レベルを概観すると、最も広く受け入れられた非致死の有害作用 (神経発達効果) については米国学術研究会議 (NRC, 2000)はベンチマーク用量 (BMD) を臍帯血 58 マイクログラム/リットル ( $\mu\text{g/l}$ ) と推定している (または母体の体毛における 10 マイクログラム/グラム、 $\mu\text{g/g}$ )。これは Faroe Islands ヒト水銀被曝試験 (Grandjean ら、1997)のデータを使用している。この BMD レベルは Faroe Islands 試験において子宮内で被曝した小児の異常神経学的機能発生率 5% (注意力、言語記憶、言語発育遅滞) を倍化する被曝レベルのより低い 95% 信頼限界である。これらは平均 1 日摂取量約  $1\mu\text{g}/\text{体重 } 1\text{kg}/\text{日}$  から生じると推定される組織濃度である ( $1\mu\text{g}/\text{体重 } \text{kg}/\text{日}$ )。

60. 人間で観察された他の有害作用は信頼できないか、高度の被曝でなければ発生しない。メチル水銀については、成人の神経系、心臓血管疾患、癌発生率、発癌性に影響を与えている。また、出生前に被曝した 7 歳の子供たちの心拍変動、血圧、成人の心臓血管死亡率に影響を与えている。元素水銀や無機水銀化合物については、低分子タンパクの排泄、甲状腺機能に関わる酵素、自然流産率、遺伝毒性、呼吸器系、胃腸 (消化) 系、肝臓、免疫系、皮膚に影響が見られる。

### 食事について

61. 地球上の多くの地域で魚は人間の食事にとって極めて重要な要素であり、他の食品では代替できない栄養素 (蛋白質、オメガ 3 脂肪酸その他) を供給する。水銀はこの食料供給源に対する大きな脅威である。事実、他のすべての条件が同じであれば、メチル水銀濃度の低い魚は高い魚よりも摂取者にとって本質的に有害性が低い。

62. いくつかのエンドポイントで水銀の毒性を減少する食事成分 (セレンウム、ビタミン E、オメガ 3 脂肪酸など) や増加する食事成分 (アルコールなど) を示唆する研究上の証拠は少ないが存在する。しかし、現時点ではこれらのデータから結論を導くことはできない。

## 第4章- 水銀被曝の現状と人間の健康に与える影響の評価

63. 上述のように、大多数の人間は主に食事（特に魚）によってメチル水銀に、歯科用アマルガムによって元素水銀蒸気に被曝している。地域的な水銀汚染の程度によって、大気や水から総摂取量がかなり変動する。また、美白クリームや石けん、宗教、文化、儀礼的な使用、ある種の伝統薬に含まれる水銀（アジアで実施されているある種の療法など）、家庭や職場での水銀によって人間の水銀被曝はかなり増加する。例えば、ある種の旧式のガスメーターからの水銀もれその他の水銀漏出によって家庭で水銀濃度は上昇する。さらに、塩素アルカリ工場、水銀鉱山、温度計工場、精製所、歯科医院、水銀を使用する金銀鉱山などの労働環境では水銀濃度が高いことが報告されている。保存料としてワクチンその他の薬品に使用されているチメロサル/チオマーサルなど（エチル水銀チオサリシレート）を使用しても被曝する。現在、地域的汚染、職業的曝露、ある種の文化的あるいは儀式的習俗や伝統薬の使用による汚染は世界中の国や地域によって大幅に異なり、場所によっては非常に高いレベルになっている。

64. 本章は主に魚類の摂取によって曝露する総水銀およびメチル水銀のデータを例示する。さらに、スウェーデン、フィンランド、米国（USA）、北極、日本、中国、インドネシア、パプアニューギニア、タイ、韓国、フィリピン、アマゾン、フランス領ギニアなど世界中の様々な地域での他の汚染源に関するデータも提示する。例えば、1999-2000年、米国で女性約1700人（年齢16-49歳）を対象として行った試験では女性の約8%が血液および頭髪の水銀濃度が米国EPA基準用量レベルを超えていた。本章のデータから米国と比較して、グリーンランド、日本、その他の地域で被曝が高レベルであることが分かる。

65. これらの国々や地域では、地域または地区の水銀堆積量は多年にわたり水銀汚染レベルに影響を与えてきた。そして、過去数十年にわたって、国内排出を減らすための対策が講じられてきた。しかし、水銀排出は広範囲の大気と海洋に広がっているため、水銀排出が少ない国々に対しても、人口の稠密な遠隔地から伝搬する水銀が悪影響を及ぼしている。例えば、汚染源から遠く離れた北極でも高濃度の水銀が検出されている。

66. 多数の国々や国家間組織が魚類の水銀濃度データを提出している。さらに、魚類の水銀濃度に関する多くの研究が文献で報告されている。本章では様々な地域の魚類における水銀濃度の例を示す発表済みデータを概観する。様々な魚類の水銀濃度(mg/kg)は一般に魚の組織キログラム中約0.05~1.4ミリグラムである。これは水のpH、酸化還元電位、魚の種類、魚齢、サイズなどの因子によって異なる。水銀は水系食物網で生体濃縮するので、食物連鎖で高い位置にいる魚（または捕食レベルの高い魚）は水銀濃度が高い傾向にある。従って、ヨコシマサワラ、カワカマス、サメ、メカジキ、ウォールアイ、バラクーダ、本マグロ（通常、ツナ缶に使用される小型マグロではない）、タチウオ、マーリン、アザラシ、歯鯨などの大型捕食魚は最も濃度が高い。利用できるデータによれば、人間や野生動物に有害な濃度の水銀が全世界に存在するという（特に魚類）。この濃度から考えると多数の国々で、様々な水系から捕獲したある種の魚の摂取は制限するか禁止することが必要である。特に感受性の強い集団（妊娠中の女性や小児）では、魚類や海洋ほ乳類の摂取には十分注意が必要である。中程度の魚類摂取（低濃度の水銀を含む魚）は問題がないと思われる。しかし、大量の汚染魚や海洋ほ乳類を摂取する人々は水銀の被曝レベルが高く、危険も高いことになる。

## 第5章- 水銀が環境に与える影響

### 食物網における水銀の蓄積

67. 水銀が環境に及ぼす影響における重要な因子の1つは食物連鎖を遡及して生体内へ蓄積する能力である。どんな形態であれ、水銀はある程度蓄積するが、とりわけメチル水銀は吸収蓄積量が大きい。無機水銀も吸収されるが、通常は吸収率が低く、メチル水銀よりも影響が少ない。

メチル水銀の生物学的濃縮は動物や人間に対して、最も影響が強い。魚類はメチル水銀に強く結びつくと思われる。捕食魚類で生物濃縮する水銀のほぼ 100%がメチル水銀である。魚類組織内のメチル水銀の大部分は蛋白質スルフィドリル基と共有結合している。この結合によって、排泄までの半減期が長くなる(約 2 年)。その結果、栄養段階を 1 つ遡及することにメチル水銀の選択的濃縮(無機水銀と対照的に)が生じる。

#### 生物蓄積および生物学的濃縮

生物蓄積という用語は生物(他の生物)または無生物(土壌、空気、水)を通じて生体内に長期的に蓄積される金属総量を意味する。生物学的濃縮の用語は連続的な栄養レベルを通じたある種の重金属の進行性濃縮を指す(ある種の難分解性物質をも指す)。つまり、餌動物と比較した場合の、捕食生物の組織内の濃縮率を意味する(AMAP, 1998)。

68. 他の水銀化合物と対照的に、メチル水銀の排泄は非常に緩慢である。メチル水銀の排泄が遅いために任意の安定的な環境濃度では、任意の魚類個体の水銀濃度は加齢または魚類が成長し大きくなると栄養位置が変化して摂取量が増えるために上昇する(魚摂取量の増加とより大きい餌動物の摂取)。従って、年齢を重ねた魚は同じ種類のより若い魚よりも通常は組織内水銀濃度が高い。

69. 水銀濃度は捕食者ではない小魚が最も低く、食物連鎖を遡及するに従って、増加してゆく。食物中の濃度は別として、水銀の生物蓄積に影響を与える因子は他にもある。最も重要なのは、水銀メチル化細菌(細菌還元菌)によるメチル化率と脱メチル化率である。これらの因子が全て組み合わせると、総メチル化率は水生生物が生産し、蓄積、保持するメチル水銀量に多大の影響を与える。第 2 章で述べたように、水系環境の複数のパラメータは水銀のメチル化に影響を与える。一般に生物蓄積と生物学的濃縮については多くが知られているが、その過程は極めて複雑で、入り組んだ生物地球化学的循環と生態系相互作用を示す。その結果、蓄積と濃縮は観察できるが、地域間の魚類における水銀生物学的濃縮の範囲の予測は容易ではない。

70. 水中食物網の最上部は、人間、水鳥、アザラシ、カワウソなどの魚食種である。より大きい野生動物(ワシ、アザラシなど)はマスや鮭など捕食者である魚を食べる。一方、小型魚食性野生動物(カワセミなど)はより小さい採餌魚類を食べる傾向にある。ウィスコンシン州での毛皮動物の研究では、組織水銀濃度が最高の種はカワウソとミンクであった。これらの動物は水中食物連鎖で最上位の捕食者である。水中食物連鎖の最上位捕食鳥類はミサゴや白頭ワシなどの猛禽類である。こうして、水銀は複数の食物網レベルを通じて移動、蓄積する(US EPA, 1997)。水中食物網は地上網よりもレベル数が多い傾向がある。地上網では野生動物捕食者はめったに共食いをすることがないので、水系生物学的濃縮が通常は最高の値を示す。

#### 野生生物に有害な水銀化合物

71. メチル水銀は中枢神経系に有害であり、腎臓は無機水銀による障害を最も受けやすい。重篤な神経学的影響はすでに日本の水俣において動物で観察されている。水俣では人間の中毒より先に鳥が飛行できなくなり、他にも極めて異常な挙動が見られた。生殖に対する重大な影響も水銀が原因とされている。メチル水銀は胎盤関門を容易に通過し、成長中の神経系を損傷しうるので特に胎児の成長に危険がある。

72. 鳥類では、卵内の濃度がわずか 0.05 ~ 2.0 mg/kg (湿重量)でも水銀は生殖に悪影響を与える毒性は生じる。カナダのある種の卵はすでにこのレベルに達している。その他のカナダの複数種の濃度は増加を続けており、これらのレベルに近づいている。

73. 北極カナダ領とグリーンランドの一部の地域では北極ワモンアザラシとベレーガイルカの

濃度は過去 25 年間に 2 倍から 4 倍に上昇した。同様に暖水域でも捕食海洋ほ乳類は危機に瀕している。香港のザトウイルカの研究でも、水銀は他の重金属以上に健康被害を起こすレベルであることが判明した。

### 脆弱な生態系

74. 近年の証拠から、ヨーロッパの大部分の地域や同じ土壌特性を持つ世界のそれ以外の地域でも、水銀は地球上の食物連鎖で重要な微生物活動低下の原因であることが示唆されている。有機土壌に含まれる水銀による生態系の破壊を防止するための土壌水銀含有量の暫定的上限は 0.07-0.3 mg/kg とされている。

75. 全地球的に見て、北極地域は近年、水銀の長距離伝搬によって注目を集めている。しかし、水銀の影響は世界中で北極だけにとどまるわけではない。多くの国々で同一の食物網特性や類似する水銀汚染食品源への依存は各生態系や人間共同体に見られる。特に魚を大量に摂取する地域ではそれが目立つ。

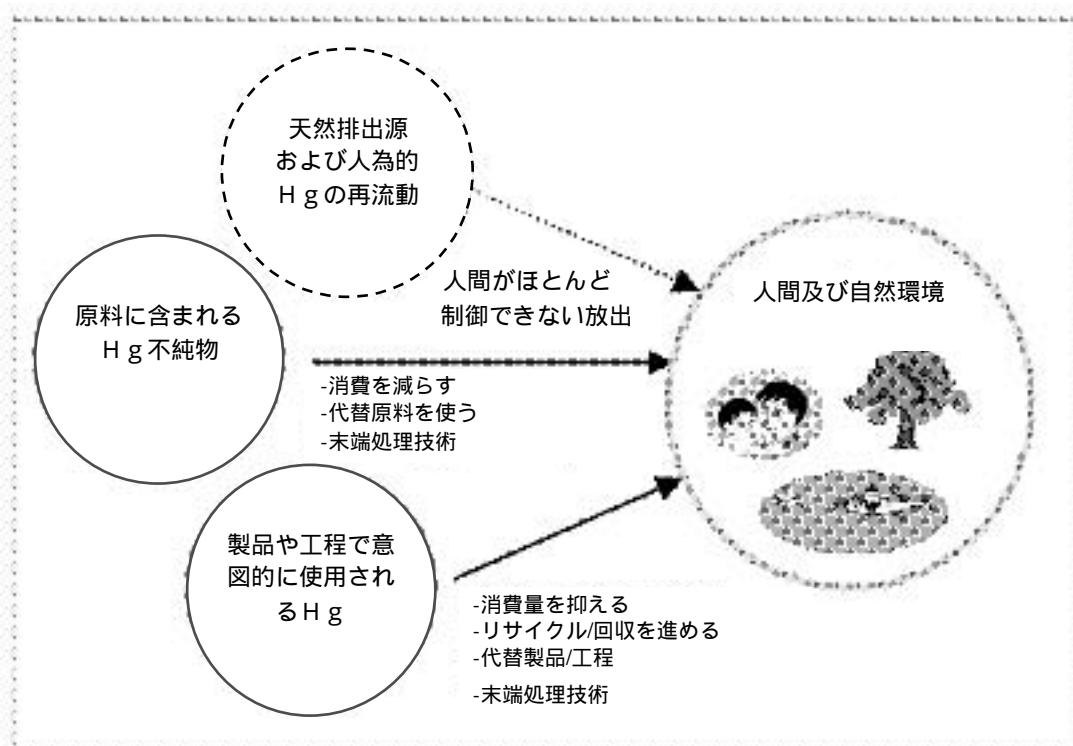
76. 地球的規模の環境変化による水位上昇もまた魚類における水銀のメチル化と蓄積を示唆する。例えば、小さな暖水湖やあらたに洪水を起こした地域でメチル水銀の形成が増加している徴候がある。

## 第 6 章- メチル水銀の発生源と地球環境への循環

77. 生物圏への水銀の放出は下記の 4 つのカテゴリーに分類できる。

- ・ 自然原因 -火山の噴火や岩石の風化によって地殻から自然に発生した水銀が自然に移動する。
- ・ 現在使用されている化石燃料（石炭、量は少ないがガスや石油など）などの原料やその他の鉱物の抽出、処理、リサイクルによる水銀不純物の移動から人為的（人間の活動に関連して）に発生する。
- ・ 現行製品や工程で意図的に使用した水銀からの人為的排出あるいは製造による排出、漏出、使用済み製品の廃棄または焼却その他の排出によるもの。
- ・ かつて人間が土壌、堆積物、湖沼、埋め立て地、廃棄場、尾鉱などに捨てたものがその場所から移動する。

78. 下図はこれらの排出カテゴリーを主な管理機構とともに示す。



79. 環境に排出された水銀の行き先は大気、水生環境（水系）、土壌（地表）がある。これらの区画では常に水銀が相互作用している。排出された水銀の化学種（化学的形態）は発生源その他の因子で異なる。水銀の種類が違えば、毒性も異なるので人間の健康や環境にも影響を与える。

80. 全地球的な水銀の循環を理解すれば、現在排出されている水銀が地球上の生物圏の水銀蓄積量を増加させることが分かる。水銀は連続的に地表、水面を移動、堆積し、再び移動する。水銀は元素であるから、分解は困難であり、環境中で毒性の低い下位物質に劣化することはない。生物圏から長期的に水銀を隔離するには、深海に堆積させるか、ある程度管理された埋め立て地に廃棄する以外にない。こうすれば水銀は物理化学的に移動できなくなり、人為的原因や自然現象（気象や地理的な要因）で移動しなくなる。このことは水銀の人為的排出の減少、水銀濃度低下、環境改善のスピードは遅く、通常は数十年以上を要することを意味する。しかし、地域や地方の汚染源の影響を受けている特定地域や地方の改善の速度はもっと速いであろう。

### 地域的排出-地球に与える影響

81. 環境水銀堆積（大気から陸地および海洋に水銀が流れること）の原因は地域、地方、地球半球、地球全体である。複数の大規模な研究は、地域的原因（塩素アルカリ製造、石炭燃焼、廃棄物焼却施設）に加えて、地球環境での水銀のバックグラウンド濃度が大部分の地域で著しい水銀負荷を起しているという結論を裏付けている。同様に、ほとんどすべての地域的汚染源は地球生物圏の水銀蓄積量であるバックグラウンド濃度を上昇させている。そのほとんどが数十年間にわたって蓄積された人為的な排出である。また、海流は水銀の長距離移動の媒体である。海洋は地球循環における重要な動的水銀倉庫である。

82. 人為的に大気中に放出される水銀の大部分はガス状元素水銀である。こうして気団に乗って遠く離れた場所に移動することができる。空気中に放出された水銀の残りの部分はガス状二価化合物の形態を取る（ $\text{HgCl}_2$ など）または排出ガスの粒子に結合している。これらの種は元素水銀蒸気よりも大気中の寿命が短く、乾湿過程によって、約 100 ~ 1000 キロメートル以内に堆積する。しかし、大気移動中にも水銀に変化が生じ、移動距離に影響を与える。

83. 元素水銀が大気中に留まる時間は数ヶ月から約 1 年である。従って、地球半球を移動することができ、どの大陸から生じた排出でも他の大陸で堆積することができる。例えば、EMEP/MSCE (Travnikov および Ryaboshapko, 2002)の大陸間水銀移動のモデリングによれば北米で人為的に堆積する水銀の 50%が北米外に由来するものである。同様に、ヨーロッパやアジアの人為的水銀堆積のうち外部由来のものは、それぞれ約 20%と 15%と推定されている。

84. さらに、上述のように、水銀は水面や地表から再排出される。この過程によって、環境中の水銀総滞留時間は大幅に延長される。近年、Lindberg ら(2001)がカナダ、オンタリオ州北西部で行った安定水銀アイソトープ測定実験では 2 年間にわたって約 20%の再排出が認められた。

### 水銀放出の人為的発生源

85. 現在、大気中に存在する水銀の大部分は多年にわたる人為的活動からの排出の結果である。総大気負荷の天然部分の推定は難しいが、近年の研究(Munthe ら, 2001)から、人為的活動が大気中の総水銀濃度を約 3 倍程度高めていることが示唆される。

86. 地殻からの天然水銀排出もあるが、大気、水系、土壌に対する水銀排出の主な原因は人為的なものである。

### 人為的水銀排出源の重要例

#### 水銀不純物の移動による排出:

- ・ 石炭火力発電および発熱（大気排出の最大原因）
- ・ 他の化石炭素燃料からのエネルギー生産
- ・ セメント生産(石灰中の水銀)
- ・ 処女鉱物原料および再生鉱物原料の抽出および処理を含む鉱業および冶金業  
例えば、下記項目の生産：
  - 鉄および鋼鉄
  - マンガン鉄
  - 亜鉛
  - 金
  - その他非鉄金属
- ・ 意図的な水銀抽出および使用による排出:
- ・ 水銀採掘
- ・ 小規模金銀採掘(アマルガム法)
- ・ 塩素アルカリ生産
- ・ 蛍光灯、各種機器、歯科用アマルガム充填材の使用
- ・ 下記のような水銀を含有する製品の製造:
  - 温度計
  - 圧力計その他の測定機器
  - 電気および電子スイッチ
- ・ 廃棄物処理、焼却などによる排出 (水銀の不純物および意図的使用による):
- ・ 廃棄物焼却 (一般、医療、危険廃棄物)
- ・ 埋め立て地
- ・ 焼却
- ・ 埋め立て (土壌に排出)

87. 排出量については排出源のみならず排出国もほとんど不明である。様々な排出源から大気中への水銀排出量に関する最も利用価値の高い推定量が下表である。

表 1995年における主な人為的発生源から大気中に排出される水銀推定量(メートルトン/年)\*1

大陸	焼却施設	非金属生産 *5	銑鉄および 鋼鉄生産	セメント生 産	廃棄物処理 *2	金採掘 *4	排出測定値 合計 *3
ヨーロッパ	186	15	10	26	12		250
アフリカ	197	7.9	0.5	5.2			210
アジア	860	87	12	82	33		1070
北米	105	25	4.6	13	66		210
南米	27	25	1.4	5.5			60
オーストラ リアとオセ アニア	100	4.4	0.3	0.8	0.1		100
排出測定値 合計 1995 *3,4	1470	170	30	130	110	300	1900 +300
出典	Pirrone ら (2001)	Pirrone ら (2001)	Pirrone ら (2001)	Pirrone ら (2001)	Pirrone ら (2001)	Lacerda (1997)	

1 最近の世界的な推計が存在しないので多数の他の排出源からの水系、地表環境、大気への排出は除外してある。この問題については第6章を参照。

2 論者らは排出量を過小評価していると考えている。表6.10の注を参照。

3 本表記載の排出源の合計を表す。すべての既知の排出源ではない。合計は四捨五入してあるので、正確には各項目の合計になっていない。

4 1980年代後半から1990年代初めにかけての金採掘による推定排出量。近年の研究(MMSD, 2002)では、金採掘の水銀消費量つまり水銀排出量はこれよりもさらに多い。

5 水銀、亜鉛、金、鉛、銅、ニッケルなどの非鉄金属の生産による水銀排出。



88. 化石燃料（特に石炭）の燃焼施設および廃棄原料から出る排出は主な人為的排出源からの総大気排出量測定値の約70%を占める。先進国や途上国での高まるエネルギー需要に対応するため化石燃料の燃焼は増加しているため、制御技術や代替エネルギー源がなければ水銀排出量も増加することが予想される。石炭燃焼工場や廃棄物焼却炉の酸性化物質(特にSO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>)および粒子状物質(PM)に対処するために制御技術が開発されている。こうした現行の技術はある程度、水銀を抑制できるが、地球的規模で見たとき、これらの制御技術は排出源の水銀をわずかに減少させるに過ぎない。多くの制御技術は他の形態と比べて元素水銀を減らすのにはほとんど無効である。理想的な水銀抑制技術は現在、開発中であるが、まだ市販されていない。

89. 全世界の廃棄物処理場からの大気排出量、製品および工程における水銀の意図的利用からの排出量の推定値は過小評価されており、やや不完全であると見なされている。しかし、処女水銀生産の記録によれば過去20年間で毎年約6000~約2000メートルトン減少している。従って、鉱業や水銀使用による排出もまた減少しているのかもしれない。

90. 北米とヨーロッパでは過去10年にわたり、削減努力によって多数の主要な排出源からの人為的排出は減少してきた。また、過去10年にわたり、いくつかの先進国で大気中への人為的排出量も減少している。例えば、カナダの排出量は1990年から2000年にかけて、33メートルトンから6メートルトンに減少している。

### 天然水銀排出源

91. 天然排出源としては、火山、土壌や水面からの蒸発、鉱物の風化、森林火災などがある。我々は天然の水銀排出を抑制できない。我々の地域または地球の生活環境の一部と考えるべきだろう。しかし、この排出源は環境水銀濃度を高めるものであるから忘れてはならない。世界のある地域では、地殻の水銀濃度が自然に上昇し、地域や地方の水銀濃度が上がる事になる。

92. 今日、土壌や水面からの水銀排出は天然由来のものと、人為および天然由来の水銀が過去に廃棄されたものとの両方からなっている。このことから、実際の天然水銀排出量がどのくらいなのか推定するのは非常に難しい。

93. 天然および人為水銀排出の推定量に関する論文の数値には大幅な差がある。しかし、最近の研究では人為的なものを重視すべきであるとされている。天然排出量を直接測定しようという試みが現在進行中である。しかし、得られた情報からは天然排出源は全排出の50%未満であることが分かっている。

94. 世界中の平均では、人為的水銀排出による堆積速度は産業革命前の1.5倍から3倍になるといふ。工業地帯やその周辺では、堆積速度は過去200年の間に2倍から10倍加速している。

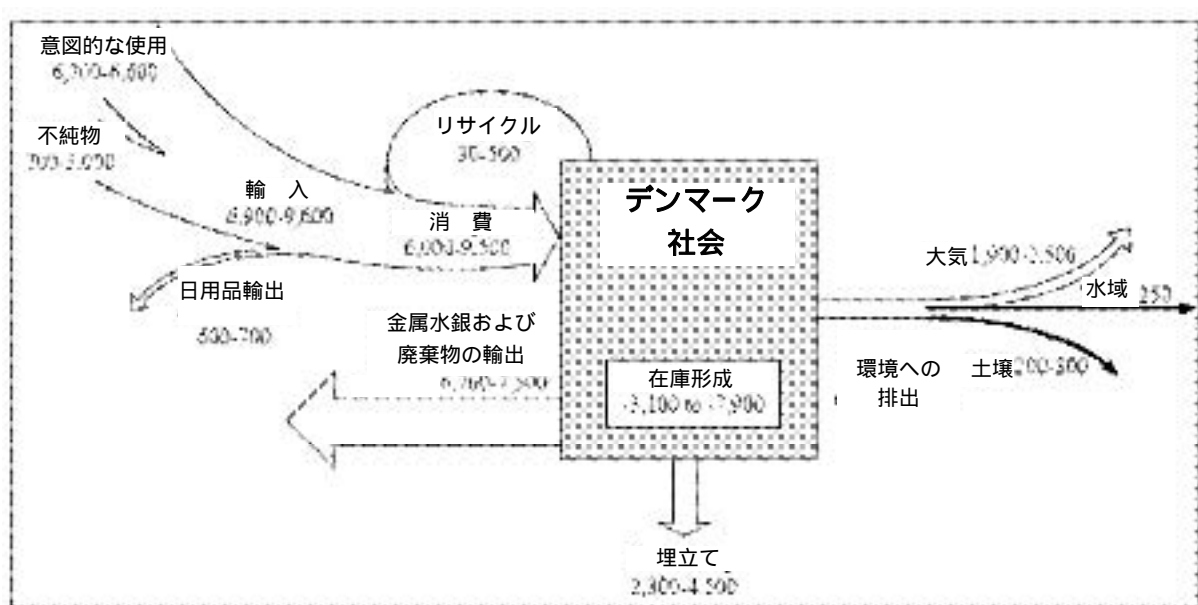
### 意図的使用と高容量物質に含まれる不純物の影響

95. 人為的排出に関しては、水銀の意図的使用と不純物の移動の相対的重要性は国、地域によって、次のような条件で異なる。

- ・ 意図的使用の代替状態（製品と工程）
- ・ エネルギー生産における化石燃料（特に石炭）への依存 ならびに水銀排出を減らす他の汚染源の抑制手段の存在。
- ・ 鉱業および鉱物抽出産業の規模。
- ・ 廃棄物処理方法-焼却埋め立て。
- ・ 発電、廃棄物焼却、様々な産業工程における排出抑制技術の状態。

96. 多数の国々については、意図的使用の推定量は上記因子の影響に応じて 国内全排出量の10~80%である。各国の主な人為的排出源タイプの概算値は本章に記載した。

97. 下図の数値から 1992 年および 1993 年のデンマーク社会における水銀生産量が分かる (Maag ら、1996 から転載)。(投入量と排出量が異なるのは前年度からの投入量が多いためである。総在庫変動量はマイナスである。)



98. デンマークは非常に小国であり、比較的正確に経済と環境の両面から製品と廃棄物の流れを監視している。従って、かなり詳しい収支が明らかになった。これはいわゆる水銀物質フロー評価というものである。この図を見ると社会と環境における全水銀負荷の中で様々なセクターの割合を知ることができる。図のように、投入量の大部分つまり 2/3 以上が、意図的な使用（塩素アルカリ製造と製品）によるものである。1992 年～1993 年のデンマークによる大気中への全排出に意図的な使用が占める割合は約 50-80% である。注意すべきは、一次鉱物抽出と処理はデンマークでは他国のように大きな割合を占めていないことである。

99. 本章では様々な排出源からの人為的な水銀放出の国内分布例も示している。水銀採掘や小規模金鉱で水銀を意図的に使用している国では、これらの排出源は大きな割合を占めている。

## 第 7 章- 水銀の現在の生産量と使用

### 水銀の由来

100. 水銀は地球の天然要素である。地殻の平均含有量は約 0.05 mg/kg であるが、地域的な変動が大きい。水銀鉱石には通常約 1% の水銀が含まれている。スペインの地層には、最大で 12-14% の水銀が含まれているという。約 25 種類の主要な水銀鉱物が知られているが、水銀を抽出するのに採掘されてきた唯一とも言える堆積物は辰砂である。また水銀は生物圏全体に極めて低レベルで存在する。植物による水銀の吸収は石炭、石油、ガスなどの化石燃料に水銀が存在することを意味する。なぜならこれらの燃料は伝統的に有機残留物の地質学的変換から生じたと考えられているからだ。

### 市場出荷される水銀の由来

101. 世界市場で入手できる水銀の由来としては下記のようなものがある（順不同）。

- ・ 一次水銀の採掘(地殻鉱石から抽出):

- 採掘の主要産物として。
- または他の金属または鉱物の採掘または精製の副産物として(亜鉛、金、銀など)。
- ・ 天然ガスの精製から回収された一次水銀 (しかし、実際に市販される時は副産物である。すべての国に出荷されるわけではない)。
- ・ 水銀を含む古い鉱山の尾鉱の再処理または二次採掘。
- ・ 使用済み製品や産業生産工程の廃棄物から回収された再生水銀。
- ・ 現在も社会で使用されたり、ユーザーが保有している製品の中に大量(蓄積)の水銀が含まれている。
- ・ 政府が備蓄または保存する水銀。
- ・ 私的ストック(塩素アルカリその他の産業で使用される水銀)。その一部は市場に戻る。

102. 一次水銀の採掘と他の鉱物抽出は製品および工程に意図的に使用するための人為的な水銀移動の原因となる。再生された水銀とストックからの水銀は過去に土壌から抽出された水銀の人為的再移動とみなされる。

### 一次水銀の採掘継続

103. 世界的に水銀消費量が減っているにもかかわらず(世界需要は1980年の半分以上)、競合する供給源からの供給と低価格によって、多くの国々で鉱山から水銀が採掘されている。スペイン、中国、キルギスタン、アルジェリアは過去数年にわたって、この分野で支配的であった。複数の鉱山は国営である。下表は1981年以来、記録されている世界一次水銀生産情報である。中国、ロシア(シベリア)、外モンゴル、ペルー、メキシコの小規模手掘り鉱山の水銀も報告されている。この生産量は違法であれ合法であれ主に地方の手掘り金鉱で使用する旺盛な水銀需要をまかなうものと思われる。こうした水銀生産は世界の商品市場における安価な水銀に対抗するため、掘りやすい水銀鉱石と低コストの労働力を必要とする。

時期	1981-1985	1986-1989	1990-1995	1996	1997	1998	1999	2000
世界一次生産量年次記録(メートルトン)	5500-7100	4900-6700	3300-6100	2600-2800	2500-2900	2000-2800	2100-2200	1800

出典：7.2.1項を参照。

### 再生水銀の大量供給出荷

104. 進行中の代替、ヨーロッパその他の地域における水銀による塩素アルカリ生産中止の結果、大量の水銀が市場に出回っている。市場分析によれば、1990年代中期以降、年間700-900メートルトンの再生水銀(記録された一次生産の約30%に相当)が全世界で出荷されている。その大部分は塩素アルカリ生産施設に由来する。しかし、水銀に対する正当な要求がある範囲で、水銀の再使用と再生は処女水銀の採掘と溶連にとって変わるだろう。これは水銀排出の原因となり、新しい水銀を市場と出荷に移動することを意味する。

105. 水銀の大量在庫が市場に投入されるという状況の中で水銀の新規採掘よりも再使用とリサイクルへの指向は、水銀の過剰供給は市場価格を下げ、水銀の使用と廃棄が促進されるという常識的な経済法則によって一層、複雑化する。こうした理由から、下に示すようなある種の対策が取られている。

106. 今後10年以上にわたって、ヨーロッパ諸国が2010年までには廃止する水銀工程を採用する塩素アルカリ施設の転換や閉鎖から大量の水銀が放出されるだろう。欧州連合だけでも、市場に出荷される水銀の量は13,000メートルトンに及ぶ(一次水銀生産の6-12年分)。この水銀の供給過剰に対応して、ヨーロッパ塩素アルカリ産業を代表する欧州アルカリ産業界はスペインの

Minas de Almaden と契約を締結した。契約は Minas de Almaden が西ヨーロッパ塩素アルカリ工場から余剰水銀を買い取り、Almaden が水銀を採掘する代わりに市場に出荷するというものだ。欧州アルカリ産業界のすべての EU 加盟国はこの契約に従って 彼らの余剰水銀を Almaden に売ることに合意した。欧州アルカリ産業界は中央および東ヨーロッパの大部分の生産者はこの契約に加わると信じている。この契約は明らかにすべての当事者が責任を持って余剰水銀問題に取り組むことを示したのだが、この水銀を販売する地域と使用法の規制としては十分でないという人もいる。

107. 同様に、様々な政府の有する水銀の大量在庫はあふれかえっており、該当する国内当局の了解が得られれば、今後、世界市場で販売されるだろう。これは米国でも同様である。米国は 4,435 メートルトンの水銀在庫を抱えている。1994 年以来水銀の販売は停止されており、環境や市場に与える影響調査の決定を待っている状態である。すでに、これらのストックの販売は米国国内市場の水銀供給と輸出に大きな影響を与えた経緯がある。1990-94 年における米国政府の販売は米国内の水銀需要の 18 ~ 97% を占めた (米国 EPA, 1997; Maxson および Vonkeman, 1996)。

## 水銀の使用

108. 元素水銀は何千年も昔に発見された唯一の液体金属で、そのユニークな特性を生かして多数の製品や工程に使われてきた。室温では液体、優れた導体であり、極めて高い密度と高い表面張力を持つ。圧力や温度の変化に応じて液体全体が均一に伸縮し、微生物（病原体を含む）その他の害虫にとっては有害である。このように水銀は様々な目的で優れた物質と言える。

109. これまで、多数の有機水銀化合物が殺虫剤（とりわけ種子粉衣として広く使用されてきた）やある種の塗料、薬品、化粧品などの殺生物剤を初めとして、広く使用されてきた。これらの多くの用途が世界のある地域では尻すぼみになる一方で、有機水銀化合物は未だに複数の目的で使われている。例としては、一部の国では種子粉衣として水銀化合物が使われ、少量のジメチル水銀が化学試験の基準物質として使われている。チメロサル（エチル水銀を含む）は一部のワクチンや、医薬品、化粧品の保存剤として、1930 年代から使われている。水銀が健康や環境に有害であることが知られるようになると、多くの先進国で水銀の用途（無機、有機を問わず）と使用量は大幅に減ってきた。特にこの 20 年でその傾向は顕著であったと言える。

### 水銀の使用例

金属として (例):

- ・ 金や銀の抽出 (数世紀にわたる)
- ・ 塩素アルカリ生産の触媒
- ・ 圧力を測定したり制御したりする圧力計
- ・ 温度計
- ・ 電気及び電子スイッチ
- ・ 蛍光灯
- ・ 歯科用アマルガム充填材

化学化合物として (例):

- ・ 電池 (二酸化物として)
- ・ 製紙業、塗料、種子などの殺生物剤
- ・ 薬品の防腐剤
- ・ 検査分析反応材
- ・ 触媒
- ・ 顔料と染料 (おそらく古くから)
- ・ 洗剤 (おそらく古くから)
- ・ 爆薬 (おそらく古くから)

110. しかし、OECD 諸国ではすでに廃止した多くの用途は他の諸国では未だに存続している。多数の諸国でこれらの用途のいくつかは禁止または厳しく制限されている。なぜなら水銀は人体と環境に有害であるからである。

111. さらに、全世界で水銀生産と使用について共通の理解があるが、需要を評価し、適切な汚染防止と削減手段を策定し、特定目的の進捗を監視するには世界の水銀市場とフローをより深く理解しなければならない。

## 第 8 章- 予防および抑制技術と実際

112. 第 6 章のように、水銀の生物圏への排出は 4 つの主なカテゴリーに分かれる。うち 2 つはあまりよく理解されておらず、人間が抑制することは難しい(過去に人為的に土壌、埋め立て地、湖沼に堆積させた水銀の自然現象を原因とする移動による排出)。

113. 他の 2 つは現行の人為的水銀排出である。これらの排出を減らしたり、追放するには次の条件が必要である：

- ・ 水銀汚染材料、工業用原材料、偶発的使用による水銀排出の主な汚染源からの排出を抑制するための投資、代替。
- ・ 水銀の意図的使用による排出源である製品および工程における水銀使用の削減および排除。

114. これらの汚染源からの水銀排出を抑制する特殊な方法は地域の状況によって大きく異なるが、一般に次の 4 つのグループに分類できる。

- A. 水銀採掘、原料消費、水銀を排出する製品を減らす
- B. 水銀を使用したり水銀を含む製品、工程を非水銀代替物と交換する(または撤廃)
- C. 末端処理技術で水銀排出を抑制する
- D. 水銀廃棄物管理

115. 上記のうち最初の 2 つは予防的対策である。水銀の使用や排出を完全に防止しようとするものである。後の 2 つはある程度、排出された水銀が環境に到達するのを抑制(または遅延)しようとする対策である。これらの非常に包括的なグループ分けの中で、多数の技術と戦略が水銀排出と被曝を減らそうとするものである。これらが様々な諸国で採用されるかどうかは、政府と地域の優先度、情報、発生しうるリスクの教育、法的枠組み、施行、実施コスト、予測される利益、その他の因子に左右される。

### A. 水銀を排出する原料や製品の消費を押さえる。

116. 水銀を排出する原料や製品の消費を押さえるということは水銀を含む製品や工程にたいして実施されることが多い予防的措置であるが、原料や発電燃料の使用における効率改善によっても達成できる。この対策グループには、石炭の代わりに天然ガスを使って発電したり、特殊な成分(より多くの塩素など)の石炭を使うことも含まれる。なぜなら、このタイプの石炭の燃焼から排出される水銀は他の石炭よりも抑制しやすいからである。

117. 一部の地域で採用できる別のアプローチとしては、水銀含有量をほとんど含まない石炭の使用がある(地域によっては原料の由来により水銀濃度は大きく異なる)。しかし、このアプローチには限界と問題がある。例えば、低硫黄原油を使うとすると、一部の公益事業は低水銀石炭を高額で買うかもしれない。これは高水銀石炭の市場価値を下げ、公共事業が排出抑制に乗り気でない地域では逆に高水銀石炭が多く使用されるようになるかもしれない。さらに、米国で最近収集されたデータによれば、米国の石炭の水銀含有量はあまり変化がない。

118. しかしながら、こうした水銀排出抑制をねらった予防措置は 一般にコスト効果が高い。ただし、代替原料がかなり高価な場合や、他の問題によってこのアプローチが不可能な場合はこの限りではない。

## B. 水銀を含んだり使用したりする製品および工程の代替

119. 水銀を含んだり使用したりする製品および工程を水銀を含まないものと代替することは、経済および環境面から見て、水銀の流れに影響を与える予防対策としては上策である。このアプローチは家庭、環境、廃棄物の流れ、焼却炉からの排出、埋め立て地の水銀を大幅に減らす（温度計の破損のような偶発的排出も減らす）。代替はコスト効果が最も高く、特に市場が大きいほど代替が求められる。この対策グループには、化石燃料火力発電から非化石燃料技術への転換も含まれる。

120. 同時に、代替は常に最上の方法であると考えるのは誤りである。例えば、エネルギー効率の高い蛍光灯に競合する水銀を含まない代替品がない限り、水銀を含まないが効率の低い標準白熱灯を使用するよりも水銀を含むが効率の高いランプを使う方が製品のライフサイクルの面から見て一般的には望ましいだろう。これは現行の電力生産状態の結果である。

## C. 末端処理技術で水銀排出を抑制する。

121. 排気ガスフィルターなどの末端処理技術で水銀排出を抑制することは化石燃料発電所、セメント製造（石灰原料には微量の水銀が含まれることが多い）、鉄、鋼鉄、マンガ鉄、亜鉛、金、その他非鉄金属など一次原料の抽出および加工、鉄、鋼鉄スクラップなどの二次原料の処理などのような水銀汚染の少ない原料にとっては非常に優れた方法である。石炭燃焼ボイラーや焼却炉で  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  および PM を削減する現行の抑制技術は 多くの国々で広く使用されている訳ではないが、ある程度の水銀を抑制する。石炭燃焼ボイラーでは、石炭タイプ、ボイラー構造、排出抑制装置によって 0 ~ 96%削減できる。平均的には、石炭の品質が落ちると、水銀抑制能力も落ちる。しかし、削減量は所定の石炭の品質内でも変化する。さらなる水銀抑制技術の開発と検証が現在進められているが、市販されてもいない。長期的には、統合多種汚染物質（ $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、PM、水銀）制御技術がコスト効果の高い方法になるだろう。しかし、末端制御技術は、大気水銀汚染の問題を軽減するにしろ、将来、汚染源となりうる水銀廃棄物質を排出するものであるから、こうした物質は環境に悪影響を与えない方法で処理したり再使用しなければならぬ。

## D. 水銀廃棄物管理

122. 末端処理技術で処理された残留物を含む水銀廃棄物は 水銀排出物の特殊なカテゴリーをなす。これらは水銀の原産地から遠く離れた人々に影響を及ぼしうる。水銀廃棄物管理、上述の第 4 の抑制方法は 廃棄物に含まれる水銀を不活性化し、その後、埋め立て地で管理したり、埋め立て前に処理する方法であってもよい。スエーデンでは、水銀廃棄物の唯一の許可された廃棄方法は処理済み廃棄物を地下深くに永久貯蔵することである。しかし、この方法のいくつかの技術的問題は解決していない。

123. ガスフィルター製品、塩素アルカリ産業のスラッジ、灰、不活性鉱物残渣、使用済み済み蛍光管、バッテリー、その他あまりリサイクルされないことのない製品など様々な汚染源から多くの水銀が回収されるため水銀廃棄物管理は複雑さが増してきている。廃棄物中の低濃度の水銀は一般に通常の埋め立てが許可されている。一部の諸国では、高濃度の水銀を含む廃棄物だけを埋め立て地に廃棄することを許可している。この埋め立て地は先進の排出抑制技術を備えており、水銀の浸出や蒸発を防ぐことができる。一部の国々で受け入れられる水銀廃棄物処理コストは高価なので、多くの製造者は現在、水銀を生じず、水銀廃棄物を処理しないですむような代替品を探求している。水銀廃棄物は現在、国内または地域規制に従って、管理されることが最も多く、長期的な管理と投資が求められている。環境への水銀流出（温度計や圧力計の破損）ある種の用

途からの長時間にわたる放出（自動スイッチ、歯科用アマルガムなど）を防ぐため水銀廃棄物の適切な管理は重要である。さらに、市場には水銀の需要があることを考えれば、水銀含有製品を回収すれば、新たに大量の水銀を採掘しなくてもよいことになる。

## 排出予防と抑制対策

124. 水銀排出を効果的に削減するには予防および抑制措置の組み合わせを十分に検討することが有効である。より重要な人為的水銀排出源のいくつかを考える場合、どのように予防対策と抑制対策を組み合わせ、これらの排出源に応用するかを検討しなければならない。

- 一般廃棄物や医療廃棄物焼却炉からの水銀排出は水銀を含む小部分を焼却前に分離することによって減らすことができる。例えば、米国では、無料家庭水銀廃棄物収集により、大量の水銀含有製品の回収（元素水銀を含むジャーまで）を成功させてきた。また、分離プログラムは病院でも成功を収めた。多数の病院は産業N G O 政府合同プログラムで水銀含有製品を購入しないことを誓約した。しかし、分離プログラムは広範囲に実施するには、特に一般市民に対処する時には困難であり、費用もかかる。そうした場合、より優れた長期計画によって水銀含有製品の非水銀製品による代替を促進することができる。中期的な解決策としては、分離プログラムを実施し、焼却煙道ガスから水銀を除去する。医療廃棄物および一般廃棄物からの水銀排出は現行のPMおよびSO<sub>2</sub>抑制装置に炭素吸着剤を加えることによって比較的良好に抑制できる。しかし、抑制は100%有効というわけではなく、水銀含有廃棄物は工程から排出される。
- ユーティリティボーイラーおよび非ユーティリティボーイラーからの水銀排出、特に石炭燃焼によるものは、予備燃焼石炭クリーニング、消費石炭の削減、エネルギー効率改善、煙道ガスクリーニング、可能であれば非石炭燃料源への切り替えなどにより、効果的に対処できる。別の方法としては、水銀含有量の少ない石炭を使うことが考えられる。石炭クリーニングや他の予備処理オプションが、実現可能でコスト効果が高ければ、それらを使って、水銀排出を減らすことができる。さらに、現行のSO<sub>2</sub>およびPM抑制技術に先立って吸着剤を使用しても水銀を捕捉できる。これらの技術は現在、開発と検証を行っており、市販されていない。またこれらの副産物は将来新たな排出を起こす恐れがあるので、環境的に問題のない方法で処理または再使用しなければならない。
- セメント、鋳業、冶金鋳業などの原料または工業用原材料の微量汚染による水銀排出は末端処理技術で削減することができる。また、もし可能であれば、汚染がほとんどない原材料または工業用原材料を選択することによっても、削減することができる。
- くず鉄生産工程、くず鉄集積場、破碎工場、二次鋼鉄製造の水銀排出は主に、自動車の便利な軽量アンチロックブレーキシステム(ABS)スイッチによって生じる。そこで、解決法としては、効果的なスイッチ除去、回収プログラムがある。
- 手掘り金鉱による水銀排出や健康被害は、鉱山労働者とその家族により安全性が高く、水銀の使用量が少ないかまたは全く使用しない方法を奨励して危険性を教育することによって削減できる。できれば、鉱山労働者が最終精錬工程で使用する濃縮鉱石を集める施設を設置することが望ましい。一部の国では、手掘り鉱山労働者に水銀の使用を禁じている。こうすることによって中央処理施設の使用を促進できるかもしれない。しかし、こうした禁止令は実施が困難である。
- 厳重な水銀計算手順によって塩素アルカリ生産中の水銀排出や職業的曝露を大幅に減らす。これは「標準日常業務」対策と呼ばれ、水銀が拡散するのを防止し、施設から出る廃棄物を適切なフィルターに通し、水銀廃棄物を慎重に処理し、適切な方法で廃棄する。大気中に水銀が排出されるのを防ぐには多数の予防対策がある。米国塩素アルカリ産業は紫外線を使用し、製造装置から漏れ出る水銀蒸気を検出し、漏出部分をふさげるようにした。開放する前に冷却し、大気への水銀排出を減らす器具が許可されている。連続的水銀蒸気アナライザーを使用して、水銀蒸気の漏出を検知し、労働者に警報を発し、対応措置を実施させることもできる。一般に、受け入れられた長期解決法は水銀を必要とする塩素アルカリ生産工程を段階的にやめさせ、水銀を使わない技術で代用させる方法である。

- 水銀含有塗料、石けん、各種スイッチ用途、サーモスタット、圧力計、気圧計、コンタクトレンズ溶液、薬品、化粧品に関わる水銀排出と被曝はこれらの製品を水銀を使用していない製品と交換することによって減らす事ができる。
- 歯科治療による水銀排出は水銀アマルガムのプレパレーションをより効率的に行い、水銀アマルガムを別の材料で代用し、排水システムに適切なトラップを設置することによって減らす事ができる。
- 焼却時の歯科用アマルガムからの水銀排出を減らす方法は焼却前にアマルガムを除去する以外にない。これは一般的な手法ではない。あるいは焼却炉でガス状排気をフィルターに通すこともできる。焼却炉の燃焼ガスクリナーは高価な抑制技術なので、通常の歯科治療では水銀アマルガムを別の材料で代用し、水銀の排出を防止する方が望ましい。
- 水銀含有製品または廃棄物の処理が管理されていない場合、こうした処理から出る排出物を減らすには、こうした処理を違法なものとし、十分に法律を順守させる必要がある。危険な廃棄物処理施設を視察し、長期的に、廃棄物に含まれる水銀量を削減し、所定の対策を通じて、非水銀製品および工程による代替を奨励しなければならない。

## 第9章- 使用および被曝を制限するための取り組み

### 国としての取り組み

125. 多数の国の環境当局は毒性が明らかな水銀を最重要物質と見なしている。彼らは水銀および水銀化合物の使用と排出による潜在的な問題を認識しており、一定の使用と排出を規制、予防する対策を実施してきた。各国が行ってきた対策としては次のような種類がある。

- ・ 飲料水、空気、土壌、食品（魚など）のような様々な媒体の最大許容水銀濃度を定めた環境規格。
- ・ 大気への排出制限、水系汚染源、最も有効な技術、廃棄物処理の使用の奨励、および廃棄基準など環境への水銀排出を抑制する環境原因対策および規制。
- ・ 製品管理行為、バッテリー、化粧品、歯科用アマルガム、電気スイッチ、研究用化学物質、照明、塗料、顔料、殺虫剤、薬品、温度計、測定機器など水銀含有製品の規制。
- ・ 労働環境での水銀被曝規制、産業における水銀の使用と排出の情報と報告要件、魚類摂取注意書、消費者安全対策などその他の規格、措置、プログラム。

126. 大部分の国家プロジェクトで立法は重要部分であるが、水銀の安全な管理にはより安全な代替物質やクリーンな技術の開発や導入、代替品使用を奨励する補助金の利用、業界や水銀使用者との自発的合意、啓蒙活動などがある。多数の国がこうした対策を実施し、水銀消費とそれに伴う使用、排出を大幅に減らしている。

127. 下表は本報告書に提出された情報に基づいて作成した水銀を管理抑制するために重要な対策、それに関係した水銀の生産量、使用ライフサイクル、実施状況の概観である。これらの対策の詳細は第9章と本報告書付録に記載した。



対策のタイプと目的		実施状況
<b>生産とライフサイクルの使用段階</b>		
排出	工程内の水銀の意図的使用の防止または制限	ごく少数の国で実施されている一般的禁止令
	工業工程から水銀が直接環境に排出されないように防止または制限する（塩素アルカリおよび冶金産業）。	多数の国で実施。特に OECD 諸国。
	排出制御技術を導入し、化石燃料の炎症からの水銀の排出を制限する。	一部の OECD 諸国で実施。
	水銀が工程から排水処理システムに漏出するのを防止または制限する。	一部の OECD 諸国で実施。
	旧式の技術の使用を防止または制限。最新の技術を導入させ、水銀排出を防止する。	一部の国で実施。特に OECD 諸国。
製品	水銀含有製品の国内出荷を防止または制限する。	一般禁止令は 2、3 の国で実施。電池、照明、医療用温度計などの一部製品の禁止令または制限はより多くの国で施行されている。
	水銀含有製品の輸出を防止する。	2、3 の国のみで実施。
	すでに購入した水銀または水銀含有製品の使用を防止または制限する。	2、3 の国のみで実施。
	大容積製品の不純物として存在する水銀の許容量を定める。	2、3 の国のみで実施。
	市販の食品（特に魚）に含まれる水銀の許容量を定め、汚染魚の消費量に関するガイドラインを作成する（同一もしくは他の許容量に基づく）。	一部の国で実施。特に OECD 諸国。一部の国は WHO ガイドラインを使用。
<b>ライフサイクルの廃棄段階</b>		
製品内および工程廃棄物の水銀が環境に直接排出されるのを効果的な回収法により防止する。	多数の国で実施。特に OECD 諸国。	
製品内および工程廃棄物の水銀を分別回収し処理することによって一般廃棄物流のより安全な廃棄物に混合するのを防止する。	多数の国で実施。特に OECD 諸国。	
家庭廃棄物、危険廃棄物、医療廃棄物を焼却その他処理することによって水銀が環境に排出するのを排出抑制技術によって防止または制限する。	一部の国で実施または実施検討中。特に OECD 諸国。	
耕作地に散布された下水汚泥の水銀許容値を定める。	多数の国で実施。	
道路敷設、建築、その他の用途で固形焼却灰の使用を制限する。	一部の OECD 諸国で実施。	
使用済みまたは再生水銀の再出荷を防止する。	ごく少数の国で実施されている。	

## 地域および国際プロジェクト

128. 環境中で水銀は分解せず、大気や水系によって国境を越えて、遠距離を移動し、排出国から遠くはなれた場所で食物連鎖に蓄積するので、多数の国が国内基準だけでは不十分としたのは明らかである。諸国が地域、地区、国際レベルで共通削減目標を策定し、対象領域にある諸国間で協調して確実に実施しようとした多数の例がある。

129. 3 つの地域的な法的拘束力のある法律文書が存在する。この文書には水銀および水銀化合物の使用と放出についての当事者の法的義務が記載されている。

- LRTAP 長距離越境大気汚染条約およびその重金属に関する 1998 オルフス議定書（中央および東ヨーロッパおよび米国）
- OSPAR 東大西洋の海洋環境保護に関する条約
- バルト海の海洋環境保護に関するヘルシンキ会議

これら 3 つの法的文書はすべてそれらの対象地域で水銀の使用と放出を大幅に削減することに成功した。

130. しかし、地域および地区協力は法的拘束契約だけにとどまらない。地域および地区レベルで参加する国や地方に法的義務を課することなく対象領域内の水銀の使用と放出を減らす共同努力を促進する 6 個のプロジェクトが存在する。そのプロジェクトとは、北極評議会行動計画、カナダ米国五大湖二国間有害物質戦略、ニューイングランド総督-東部カナダ州知事の水銀行動計画、北アメリカ地域行動計画、北欧環境行動プログラムおよび北海会議である。これらのプロジェクトの重要な側面は協力によって達成できる具体的な目標の議論と合意、戦略の開発、設定した目標を達成する作業プラン、進捗を監視し討論するフォーラムの開催である。これらのプロジェクトは参加者を拘束しないが、しばしば強力な政治的公約があり、プロジェクト内で到達した合意が国または地域レベルで確実に実施される。

131. また民間セクターが公的セクタープロジェクトの補助とも見られる自発的な取り組みの形式で実施した国家/地域プロジェクトの多数の例がある。そうしたプロジェクトは一次利害関係者の支援によって当然、成功のチャンスが十分にある。これらの自発的プロジェクトはすべて国家的な規制措置に対する重要な補助となるものであり、認知度を高め、情報交換を促進し、対象領域に利する削減目標の設定を容易にする。

132. 国際レベルでは、水銀と水銀化合物にかかわる 2 つの多国間環境合意(MEAs)が存在する。それは危険廃棄物とその処理の越境管理に関する基本条約および国際貿易におけるある種の化学物質および殺虫剤の事前インフォームドコンセント手順に関するロッテルダム会議である。これらの法的文書は望ましくない化学物質、殺虫剤、危険廃棄物の貿易を規制する。しかし、それらには、水銀の使用と排出を削減する固有の合意が直接には含まれていない。最も最近に、化学物質に対して協議された合意であるストックホルム POPs 会議は水銀を扱っていない。さらに、多数の国際機関が水銀が人間や環境に与える毒性に取り組む行動を開始している。

133. 各国の法制も含めた国家プロジェクトの詳細リストは本報告書の付録「水銀に関する法律を含む現行および将来の国家的行動の概観」に記載している。この付録は別冊として出版されている。付録に記載した情報はこのプロジェクトに参加した諸国から受領した国家文書から抜粋したものである。

## 第 10 章- データギャップ

### 国家的研究と情報の必要性

134. 多数の国は UNEP への提出書類の中で水銀と水銀化合物に関する国内データベースの確立または改善の必要性を明らかにしている（使用、排出、放出源、環境濃度、抑制方法に関する知識や情報）。状況は国ごとに変わるが水銀のための環境管理戦略の様々な要素に関する情報の必要性は各国とも共通のようである。また、水銀の環境管理に長い歴史を持つ国はリスク評価を改善し、効果的なリスク管理を確実に行うために彼らの水銀に関する知識を深め続ける必要性を表明した。必要性としては次のようなものがある。

- ・ 国内での水銀使用、消費、環境排出記録。
- ・ 様々な媒体（空気、空気堆積、表面水など）および生物相（魚、野生生物、人間など）における現行水銀濃度の監視。様々な形態の水銀が累積被曝によって人間や生態系に及ぼす影響の評価。
- ・ 様々な区画における水銀の移動、変性、循環、転帰に関する情報。
- ・ 人間および生態系リスク評価のためのデータと評価ツール。
- ・ 国家的状況に関わる予防および削減対策に関する知識と情報。
- ・ 水銀の有害性、正しい取扱、適切な廃棄物管理方法に関する大衆の認知度向上。
- ・ 国家、地域、国際レベルでの水銀及び水銀化合物に関する現行の情報を評価する適当なツールと施設。
- ・ 水銀および水銀化合物を含む危険物質の安全な管理のための能力構築、および物理的

- インフラ、そうした危険物質を取り扱う職員の研修。
- 水銀および水銀含有物質の商業貿易に関する情報。

135. 原則として、本情報の一部は地方間、地域間、国家間で交換する。なぜならば、本情報はどの国にもあてはまることだからである。しかし、各国の伝統、経済、産業活動、形成的現実に合わせて翻訳しなければならない。このことは、それ自体、かなりの程度の優先性、知識、基金を必要とする。本情報の他の部分は特定の国家にだけあてはまるものであり、情報を調査、収集、処理するには国家的な努力を必要とする。

### 一般的、汎地球的なデータギャップ

136. 水銀は環境毒物としてかなり研究が進んでいるが、水銀に関する多数の一般的、全世界的問題の基本的理解にはデータギャップがある。提出された情報、その編集物、評価に基づいて、水銀に関する包括的該当性の現行データギャップを分類すると次のようになる（順不同）。

- ・ 可動性、変性、移動、摂取など環境における水銀の転帰に影響を与える天然機構の理解と評価。つまり、環境中の水銀の経路および環境から人間に移動する経路である。
- ・ 世界的視野から見た水銀放出に関する人間の行動の理解と評価。その結果、人間が地域、地方、汎地球的水銀負荷に与える影響。つまり人間から環境への水銀の移動経路。
- ・ 人間、生態系、野生生物が地域、地方、地球環境に見られる水銀濃度から受ける有害影響とその程度を理解。つまり、発生しうる影響、影響を受ける人数、規模、影響を受ける人間の重篤度。

137. 約半世紀におよぶ水銀の影響と経路に関する広範囲の調査に基づいて上記 3 つのカテゴリの基本的理解は確立されている。しかし、多数の地域で、新たな情報を得て、環境モデル評価と最新の意思決定ツールを改善するには、さらなる研究が必要である。これらの情報ギャップにもかかわらず、水銀の汎地球的な有害影響に対処するための国際的な活動に今すぐ着手しなければならないという意味で、水銀は十分に理解されている（水銀の転帰、移動、健康や環境に対する影響、人間活動の役割などの知識を含む）。

## 第 11 章 -水銀の汎地球的かつ深刻な有害作用に取り組むための措置

138. 水銀の汎地球的評価の一部として、UNEP 運営管理審議会は特に水銀とその化合物の使用、排出、放出、損失を削減または防止し、国際協調を促進し、リスクに関する情報交換を活性化することによって水銀の汎地球的かつ深刻な有害作用に取り組むために運営管理審議官が考慮しなければならないおおよその選択肢を要求した。

139. 運営管理審議会決定 21/5 の実施の一部として、UNEP は作業部会を確立した。この作業部会の目的は UNEP を助けて、運営管理審議会の会合の準備を行うことである。運営管理審議会は 2003 年 2 月に開催され、当該問題が議論される。世界水銀評価作業部会の第 1 回会合は 2002 年 9 月 9～13 日であったが、その席でこの評価報告書が完成し、第 22 回運営管理審議会に提出された。この会合では、作業部会は運営管理審議会の検討事項に関する多数の結論に達した。

- 本報告書の主な所見によれば、作業部会はその見地から、水銀の環境への放出による人間の健康や環境に対するリスクを抑制するため国際的な行動を発動するに足る汎地球的かつ重大な有害作用の十分な証拠があると結論づけた。この問題に対するよりよい理解は重要であるが、作業部会は行動を起こすために完全な合意に達したり、完全な証拠を得る必要はなく、潜在的な汎地球的有害作用に対して取り組まなければならないことを強調した。
- また作業部会は水銀の汎地球的有害作用に、地球的、地域的、国家的、地方的レベルで対処

する推奨事項の選択肢に合意した。 選択肢としては、水銀の生産、消費、排出の削減もしくは廃絶などの対策、他の製品や工程による代替、法的拘束力を持つ条約の制定、法的拘束力を持たない地球規模の行動計画の策定、情報交換に関する政府間強調の強化、リスク情報の交換、評価、および関連行動がある。

- 最終的に、作業部会は水銀の影響に関する知見に照らして一定の範囲で可能な緊急行動を運営管理審議会に提出しなければならないということに合意した。その内容としては、被害を受けやすい集団に対する保護の増強(妊婦、妊娠を予定している女性に対する援助を強化する)、途上国や経済的過渡期にある諸国に技術的、経済的支援を行う、研究活動を支援促進する、水銀の健康及び環境的側面の監視とデータ収集、環境に負荷をかけない水銀の代替物質の探索などである。