水銀に関する水俣条約の有効性評価に資する今後の水銀分析

武　内　章　記

1　はじめに

水銀は残留性が高く，毒性が強い金属として知られている。地殻に比較的豊富に存在する元素で，環境中では原子状水銀（Hg^0）と酸化態水銀（Hg^{2+}）の無機水銀，加えて水俣病の原因ともなったモノメチル水銀（MMHg：CH_3Hg^+）で代表される有機水銀として存在している[1)]。MMHg は土壌や水環境に生息する嫌気性細菌によって生成され，無機水銀よりも毒性が強く，生物濃縮性が高いことが知られている。水銀循環において，生成された MMHg は生態系に取り込まれて，食物連鎖を介して濃縮されていく一方で，光還元反応と生物学的な酸化還元反応によって，メチル水銀から無機水銀が生成されることも知られている（図 1）[1)~3)]。

水銀は古代より我々の生活に様々な形で使用されてきた。しかし，1950 年代以降，日本，イラク，スウェーデン，カナダ，そしてブラジルで，地域や市町村レベルで水銀に暴露したことによって多くの人々が水銀中毒にかかる事例が発生した[4)]。近年，先進国での水銀需要量は減少している。その一方，新興国と途上国では水銀を利用する機会が増加しているが，さらに水銀は化石燃料，鉄鉱や亜鉛鉱等に微量ながらも含有されており，こうした原料の使用量の増加に伴って水銀排出量が増加している。水銀は大気を介して，発生源とは異なる地域で汚染を引き起こす可能性があり，近年は地球環境汚染物質として全球レベルで対策及び研究が推進されている。本稿では，そうした 1）地球規模の水銀汚染，国際社会での取組として 2）水銀に関する水俣条約，3）国内の水銀対策，そして 4）水俣条約に貢献する今後の水銀分析の概要を示す。

2　地球規模の水銀汚染と生態系への影響

産業革命以前と比較して，近年の環境中の水銀濃度は 2 倍から 3 倍に増加していると言われており，大気へ放出される水銀のほとんどが人間活動によると推定されている[4)]。国連環境計画（UNEP）の報告書によると，現在の産業活動によって年間約 2000 トンの水銀が大気へ排出されている[4)]。これは年間水銀総排出量の約 30 % である。その一方，火山活動等による自然起源の水銀は約 10 % と見積もられており，残りの約 60 %（約 4000 トン）は過去に人為的に放出されて地表に沈着した水銀の再放出と考えられている。

主な水銀の発生源は化石燃料の燃焼となっており，石炭火力発電所から温室効果ガスの二酸化炭素（CO_2）と一緒に排出されている[4)]。大気に排出された水銀は，最終的には地表に沈着し，MMHg に形態を変える（図 1）。環境科学分野において，化学物質濃度の歴史的変遷を明らかにするために，堆積コアや氷床コアを利用す

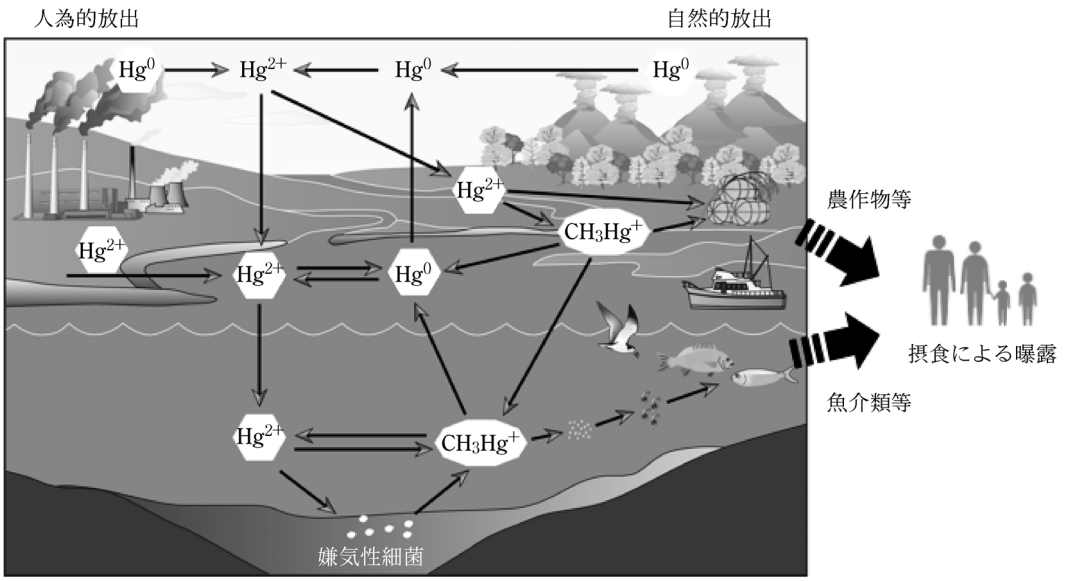

図 1　生物地球化学的水銀循環と人への水銀暴露経路

る研究が多く報告されている。これまで報告されている研究結果を集約すると，ほとんどの地点で産業革命以後の堆積物や氷床コア中の水銀濃度は上昇しており，人間活動によって大気を介した地表への水銀沈着量が増加している[4)~7)]。

地表に沈着した水銀と MMHg の生成および生物濃縮に関する知見も蓄積されつつある。沿岸環境において，MMHg の生成場として知られている底質中の MMHg 濃度は，そこに存在する無機水銀濃度と相関があることが示されている。また，水系生態系に存在する MMHg 濃度は，無機水銀の流入量に依存して変動することを示唆した研究報告がある[8)~10)]。すなわち，生成された MMHg は，優先的に生物に濃縮されるために，水銀沈着量の増加に伴い，水系生態系の MMHg 濃度は上昇することになる[11)]。このように，産業活動によって排出された水銀が，生物地球化学的過程を経て，我々人間や野生生物の健康を脅かしている構図が描ける。

3　水銀に関する水俣条約

水銀に関する水俣条約は，こうした地球規模の水銀汚染の防止を目指し，野生生物や人の健康を保護するための国際条約である。水俣条約に関しては，これまで気候変動や化学物質に関する国際条約を批准していない国々も署名しており，国際社会全体で水銀によるリスクと使用量削減の必要性を認識していると言える[4)]。

水俣条約の条文では，水銀鉱山の開発から水銀を使用する製品や製造プロセス等の規制，また大気や水・土壌などの環境への排出削減と水銀廃棄物の適正管理，さらには途上国支援，情報交換，研究・モニタリング等を実施して，有効性評価を実施すると定めている[12)]（表 1）。特に経済活動と直接関係がある水銀鉱山の開発，水銀を使用する製品や製造プロセス，小規模金採掘，主要な水銀排出源として指定された 5 種類の事業所（石炭火力発電所・産業用石炭燃焼ボイラー・非鉄金属製錬施設・廃棄物焼却施設・セメントクリンカー製造施設）からの排出削減に関しては，先進国から途上国への技術支援が重要となる。

水俣条約は，2013 年 10 月に熊本市で締約されて，我が国は国内の水銀等による環境汚染の防止案を策定後，2016 年 2 月に 23 番目の条約締結国として受諾書を国際連合に提出した。

4　我が国における水銀対策

高度経済成長期以降，我が国の水銀対策は環境基本法に基づき環境基準を設定して進められている（表 2）。かつて，水銀は工業的価値が高く，ポリ塩化ビニルとアセトアルデヒドの製造触媒や薬品として年間約 1500 トン以上使用されてきた[13)]。しかし水銀汚染を経験した後は，脱水銀社会形成に向けての取り組みが加速し，

表 1　水銀に関する水俣条約の主な内容

- 人の健康及び環境保護
- 鉱山からの輸出禁止・採掘の廃絶
- 水銀使用製品の製造・流通・販売・輸出を制限
- 金採掘での水銀使用廃絶
- 大気への水銀排出を減少・廃絶
- 水・土壌への水銀排出を減少・廃絶
- 水銀廃棄物の適正な取扱・回収・輸送・処分
- 汚染区域の修復
- 財政支援・技術支援・情報提供・教育
- 研究開発・モニタリング・報告・評価等

表 2　我が国における水銀モニタリング及び環境・排出基準等の概要

大気（月一回）	ガス状水銀濃度の年間平均値が 40 ng/m^3 以下
公共用水域（月一回）	
環境基準	総水銀濃度の年間平均値が 0.5 μg/L 以下で，アルキル水銀は検出下限値以下
排水基準	水銀及びアルキル水銀とその他の水銀化合物濃度が 5.0 μg/L 以下で，アルキル水銀濃度は検出下限値以下
地下水（年一回）	
環境基準	総水銀濃度の年間平均値が 0.5 μg/L 以下で，アルキル水銀濃度は検出下限値以下
特定地下浸透水基準	水銀及びアルキル水銀とその他の水銀化合物濃度が 0.5 μg/L 以下で，アルキル水銀濃度も 0.5 μg/L 以下
浄化基準	総水銀濃度の年間平均値が 0.5 μg/L 以下で，アルキル水銀濃度は検出下限値以下
土壌	
環境基準	検液の総水銀濃度が 0.5 μg/L 以下
溶出量基準	水銀及びアルキル水銀とその他の水銀化合物濃度が 5.0 μg/L 以下で，アルキル水銀濃度は検出下限値以下
含有量基準	水銀及びその他の水銀化合物濃度が 15 mg/kg 以下
底質	
暫定除去基準	海域は平均潮差，溶出率，安全率を考慮した水銀濃度以上，河川及び湖沼においては総水銀濃度が 25 mg/kg 以上

2013 年では発光ダイオード等の水銀を含有しない製品の開発や，触媒として水銀を使用しないポリ塩化ビニル等の製造方法が確立されており，年間約 8.6 トンの使用にとどまっている[13)]。

我が国は，水銀による地球環境汚染の防止に取り組むために，水俣条約締結後に所要の措置を講じてきた。水銀の使用や貯蔵等に関しては，水銀環境汚染防止法を新たに成立した。また，水銀に着目した大気排出規制制度を新たに設けるために，大気汚染防止法の一部改正を実施した。これらによって国内の水銀鉱山の開発や水銀を触媒として使用することが禁止されるのと同時に，これまでは義務化されていなかった水銀排出施設に係る届出制度等が義務化されて，施設管理と排出基準が遵守されているかを地方自治体が確認することが可能となった。

新法以外にも，既存の法律によって水俣条約の担保措置が実施されている。水や土壌環境中への水銀放出に関しては環境基本法，水質汚濁防止法，そして土壌汚染対

策法で対策が講じられている（表 2）。また大気水銀に関しては従来の大気汚染防止法に基づいてモニタリングが実施されている（表 2）。これらに加えて，水銀の貿易および水銀廃棄物については，外国為替及び外国貿易法と廃棄物処理法等によって措置が講じられている。今後我が国は法律を順守して，水俣条約で定められた国際協力や，適切な情報発信活動等の範囲をさらに広げて貢献していくものと思われる。

5　今後の水銀分析

水銀は地質試料から水や大気，そして生体に至る様々な媒体に異なる形態で微量に存在している。かつて国内外で水銀汚染が発生した時に，汚染の原因解明，実態把握，そして対策の有効性を確認するために多くの水銀分析方法が開発された。そして，こうした水銀分析技術は広く普及して，様々な試料に対応した試験方法（公定法）として定められた（表 3）。しかし，すべての公定法は先進国で定められた方法であり，そのほとんどが比較的総水銀濃度の高い試料の定量分析を対象としている。さらに，ガス状水銀濃度の定量分析方法も連続観測や形態別水銀濃度の測定は課されておらず，発生源の識別や大気水銀の生態系への影響等を評価するための計測データを蓄積することができていない。

水俣条約の有効性評価を実施するためには，これまで信頼性が高かった分析方法を簡便化させて発展途上国へ普及させるのと同時に，環境試料や生体試料を中心に，近年確立された水銀分析技術を活用していく必要がある。そこで水俣条約に貢献する今後の水銀分析として，1）途上国でも利用可能な水銀分析，2）ガス状水銀分析技術の高度化，そして 3）水銀に着目した生物モニタリング手法の高度化について最近の動向を紹介する。

5･1　途上国支援を念頭においた水銀分析手法の開発

地球規模の環境問題解決には，各国の汚染状況や排出量等を把握する必要がある。しかし，途上国の水銀汚染状況，需要・供給量，そして排出量の情報が不足している。特に，途上国の小規模金採掘の総数等が完全に把握できていないために，UNEP は 2010 年の人間活動による大気への水銀の年間総排出量が 1010 トンから 4070 トンと広い幅で報告した[4]。

途上国での水銀汚染の現状を把握するためには，広域的な調査を実施するための研究環境を整える必要がある。しかし，途上国では先進国と異なる不安定な電力供給に加えて，比較的純度の高い水や試薬，高圧ガスなど化学的前処理に必要な消耗品の入手が困難である。そうした状況に対応するように，流通している総水銀分析装置の中には，試薬による化学的前処理を必要としない加熱気化原子吸光分析装置がある。マイルストーンゼネラル㈱が販売している「DMA−80」や，日本インスツルメンツ㈱が販売している「MA−3000」が該当する。これらの装置に共通していることは，原子吸光光度計であるためにキャリヤーガスは空気である。また秤量（ひょうりょう）後の試料の加熱による水銀の気化から，水銀の濃縮，そして測定までをコンピュータ制御で実施される。これらに加えて，水試料に対しては，ストリッピングボルタンメトリーを用いた水中水銀濃度の現場測定装置（例：

表 3　国内外の水銀分析公定法

固　体	気　体	液　体
国内		
• 環境省水銀分析マニュアル • 衛生試験法 • 飼料分析法 • 土壌汚染対策法 • 底質調査方法 • 産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法 • 肥料分析法 • 銅中の水銀定量分析（JIS H 1066） • 石炭類−全水銀の定量方法（JIS M 8821）	• 環境省水銀分析マニュアル • 有害大気汚染物質測定方法マニュアル • 労働安全衛生法 • 排ガス中水銀分析方法（JIS K 0222） • LP ガス中水銀分析方法（JLPGA−S−07）	• 環境省水銀分析マニュアル • 水質汚濁防止法 • 工場排水試験方法 • 下水試験方法
海外		
• US EPA Method 7473 • EU玩具安全規格（EN71−Part3） • RoHS指令 • ASTM Method D6722−01 • ASTM Method D7623−10 • US EPA Method 30B • IEC Method 62321	• ISO Method 20552 : 2007 • ISO Method 6978 • ASTM Method D5954−98 • ASTM Method D6350 • US EPA Method IO−5	• US EPA Method 245.1 • US EPA Method 245.2 • US EPA Method 245.5 • US EPA Method 7470A • US EPA Method 7471B • US EPA Method 1631 • US EPA Method 1630 • US EPA Method 29 • ASTM Method D3233−02 • ASTM Method D6784−02 • EN Method 13211 • EN Method 1483 • ISO Method 12846

Metalyser® Field Pro HM3000），鉱山周辺など比較的水銀濃度が高い地質試料に対しては，ハンドヘルドタイプの蛍光 X 線分析装置も流通しており，途上国での効率的な調査を実施するための分析技術が整いつつある。

総水銀濃度の定量分析に加えて，発展途上国でも人や野生生物への水銀曝露（ばくろ）の影響を評価するための有機水銀の定量分析も必要である。一般的に人間への水銀曝露量を評価する場合に毛髪を曝露指標のサンプルとして分析する。日本人の毛髪が含有している水銀は，MMHg が約 100 % であると知られているために，毛髪の総水銀濃度を定量すれば有機水銀の曝露影響を評価するためのデータ蓄積が可能である。しかし，人種の違いや生活習慣等によって有機水銀含有率に個人差が生じることが知られている[14]。一般的に MMHg の精密分析を実施するためにはガスクロマトグラフが接続された冷原子蛍光分析装置（GC−AFS）や，質量分析装置（GC−ICPMS）が必要となる。しかし，発展途上国でこうした機器を用いた精密分析を実施するのは困難な場合も多い。そこで，有機水銀は一般的に比較的試薬内等の汚染レベルが低く，実験環境からの混入レベルも低い点を利用して，加熱気化原子吸光分析装置を用いて途上国でも利用できる信頼性の高い分析法の開発が進んでいる。例えば，生物試料を硫酸，臭化カリウム，そして硫酸銅溶液で溶解後，トルエン等で有機水銀を抽出し，チオ硫酸溶液等で逆抽出をかけて，その水相を加熱気化原子吸光分析装置で測定するものである[15]。こうして測定された結果は，MMHg 濃度として報告はできないが，有機水銀濃度として報告して，無機水銀の曝露なのか，魚介類等の摂食による有機水銀の曝露なのかを識別することができる。

5･2　ガス状水銀分析技術の高度化

地球規模の水銀汚染を防止するのと同時に，水俣条約の有効性評価のためには，大気中の水銀監視を強化する必要がある。大気中には原子状のガス状水銀（GEM），反応性が高い酸化態水銀（GOM）と粒子態水銀（PBM）が存在し，一般的には総水銀濃度の 90 % 以上が GEM である[16]。こうした形態別大気水銀の観測は，テクラン社が販売している分析装置で連続観測が可能である。テクラン社の分析装置は内臓金トラップに GEM，塩化カリウムでコーティングされた内蔵デニューダ管に GOM，そして内蔵石英ウールで粒径 2.5 μm 以下の PBM を捕集する。そして金トラップを 5 分ごと，デニューダ管と石英ウールを約 2 時間ごとに捕集トラップから加熱脱着させて，水銀ガスを原子蛍光光度計で測定する。近年我が国においても沖縄県，福岡県，そして秋田県で同様の分析装置を用いた常時観測が行われている。平成 26 年度の沖縄県と秋田県で観測された年間平均値は，GEM が 1.6 − 1.7 ng / m^3, GOM が 0.002 ng / m^3，そして PBM が 0.004〜0.009 ng/m^3 で，いずれの地点においても GEM 濃度は，常時我が国の指針値以下であった[17]。

GEM 濃度に比べて，GOM と PBM 濃度は著しく低いことが知られている。これは大気中の GEM は滞留時間が 6 か月から 1 年と比較的長いのに対して，GOM と PBM は反応性が高いために生成後すぐに沈着するからである。沈着した GOM と PBM は，地表で MMHg に形態変化しやすい化学種であり，これらの生成メカニズムを解明するための環境監視技術の向上が急務である。これまで広く普及しているテクラン社の分析システムでは，GOM の捕集効率がオゾン濃度と湿度に依存して低下している事が指摘され，計測値が低く見積もられていた[18]。現在テクラン社は採取口の改良を実施中であり，まもなく改善策が発表される。それと同時に，陽イオン交換メンブレンで GOM は約 100 % 捕集が可能であるという知見があり，クロスチェックのための分析手法開発も行われている[19][20]。

大気水銀の環境監視において，無機水銀だけではなく毒性の強いガス状有機水銀のジメチル水銀（DMHg）の計測も重要である[1]。DMHg は MMHg よりも毒性が強いが，紫外線によって容易に分解されるために大気中の存在量は極微量である。しかし，大気中や降水中に存在する MMHg の起源と考えられており，MMHg の環境動態を理解する上で重要な化学形態である[21]。MMHg は Tenax TA と呼ばれる炭素樹脂系の捕集材，DMHg は Carbotrap と呼ばれる捕集材が最適だと言われているが，Bond Elut ENV が効率良く両化学形態を捕集できるという報告があり，GC − AFS や GC − ICPMS を用いた高感度分析手法の開発が進んでいる[22]。

5･3　生物を用いた水銀モニタリング手法の高度化

水銀に関する水俣条約では，環境中の大気，水，土壌のモニタリングに加えて，生物や人への健康影響に関するモニタリングの実施も課せられている。一般的に，生物や生体試料の総水銀濃度は大気や水試料と比較して，約 10 万倍高いために定量的に計測することが比較的容易である。しかし，水系生態系に生息している高次消費者や人に蓄積している水銀の 90 % 以上は MMHg であり，人為的に排出している無機水銀が有機水銀に形態を変えて，生物に移行し，そして濃縮していく詳細な過程は未解明な部分が多い。さらに，各生態系においてその環境の水銀汚染の指標となる生物を確定する必要がある。そこで生物や生体試料の水銀モニタリングでは，総水銀と MMHg 濃度の定量分析に加えて，マルチコレクター ICPMS を用いた水銀の安定同位体分析を活用して，発生源の推定や蓄積過程に関する情報を加える多媒体モニタリングに関する研究が推進されている[23][24]。

MMHg のように規制対象となっている有機水銀化合物以外にも，製品中や人為的に使用される水銀の影響を

把握するためには，未規制の有機水銀の分析手法の高度化および簡便化を図る必要がある。例えば，国内では使用頻度が減っているが，世界的にはチメロサールと呼ばれるエチル水銀チオサリチル酸ナトリウムが，ワクチンの防腐剤として使用されている。そのために，人の血液や髪に MMHg に加えてエチル水銀（EtHg）も濃縮されている報告がある[26]。環境省水銀分析マニュアルに沿った分析方法で EtHg を測定することも可能だが，煩雑な前処理操作が必要である。そのために，より簡便で高感度な形態別水銀分析が可能な誘導体化試薬を使用した方法や，配位子を用いた化学発光分析法を用いる分析手法の開発が進められている[25)26)]。こうした新しい分析技術を活用することにより，より迅速に大量のデータ蓄積が可能となり水銀曝露に関する実態を把握することができる。

6　おわりに

水銀に関する水俣条約は，環境モニタリングによって水銀汚染の実態が明らかになり，その原因が人間活動であるという認識で締結された。そして水俣条約は，50 か国が批准してから 90 日後に発効されて，地球規模の水銀汚染対策が開始される。こうした一連の流れの中で，様々な水銀分析技術が非常に重要な役割を果たしている。今後，水俣条約で定められた対策の有効性評価や，新たに必要な取り組み等が議論されるが，その時に必要となるデータの蓄積を推進させるためにも水銀分析技術の簡便化や更なる高度化によって貢献していくことが求められている。

文　献

1) P. Swartzendruber, D. Jaffe : "*Sources and Transport, A Global Issue*", Edited by M.S. Bank, p. 3 (2012), (University of California Press, Berkeley).
2) E. M. Sunderland, D. P. Krabbenhoft, J. W. Moreau, S. A. Strode, W. M. Landing : *Global Biogeochem. Cycles*, **23**, GB2010 (2009).
3) B. K. Lasorsa, G.A. Gill, M. Horvat : "*Analytical Methods for Measuring Mercury in Water, Sediment, and Biota*", Edited by M. S. Bank, p. 27 (2012), (University of California Press, Berkeley).
4) UNEP : "*Global Mercury Assessment 2013, Sources, Emissions, Release and Environmental Transport*", p. 32 (2013), (United Nations Environmental Program).
5) W. F. Fitzgerald, D. R. Engstrom, R. P. Mason, E. A. Nater : *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 1 (1998).
6) Landers, D. H., S. L. Simonich, D. A. Jaffe, L. H. Geiser, D. H. Campbell, A. R. Schwindt, C. B. Schreck, M. L. Kent, W. D. Hafner, H. E. Taylor, K. J. Hageman, S. Usenko, L. K. Ackerman, J. E. Schrlau, N. L. Rose, T. F. Blett, M. M. Erway : "*The Fate, Transport, and Ecological Impacts of Airborne Contaminants in Western National Parks (USA)*", p. 350 (2008), (EPA/600/R−07/138. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, NHEERL, Western Ecology Division, Corvallis, Oregon).
7) H. Yang, D. R. Engstrom, N. L. Rose : *Environ. Sci. Technol.*, **44**, 6570 (2010).
8) C. R. Hammerschmidt, W. F. Fitzgerald : *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 1487 (2004).
9) R. C. Harris, J. W. M. Rudd, M. Amyot, C. L. Babiarz, K. G. Beaty, P. J. Blanchfield, R. A. Bodaly, B. A. Branfireun, C. C. Gilmour, J. A. Graydon, A. Heyes, H. Hintelmann, J. P. Hurley, C. A. Kelly, D. P. Krabbenhoft, S. E. Lindberg, R. P. Mason, M. J. Paterson, C. L. Podemski, A. Robinson, K. A. Sandilands, G. R. Southworth, V. L. St. Louis, M. T. Tate : *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **104**, 16586 (2007).
10) W. F. Fitzgerald, C. H. Lamborg, C. R. Hammerschmidt : *Chem. Rev.*, **107**, 641 (2007).
11) C. R. Hammerschmidt, W. F. Fitzgerald : *Environ. Sci. Technol.*, **40**, 7764 (2006).
12) Minamata Convention on Mercury, UN Treaty Collection HP, https://treaties.un.org/Pages/src−TREATY−mtdsg_no−XXVII～17−chapter−27−lang−en−PageView.aspx (2016 年 4 月 1 日，筆者最終確認).
13) 環境省："水俣病の教訓と日本の水銀対策"，p. 59 (2013)，(環境省環境保健部環境安全課).
14) L. Laffont, J. E. Sonke, L. Maurice, S. L. Monrroy, J. Chincheros, D. Amouroux, P. Behra : *Environ. Sci. Technol.*, **45**, 9910 (2011).
15) M. Valega, S. Abreu, P. Pato, L. Rocha, A. R. Gomes, M. E. Pereira, A. C. Duarte : *Water Air Soil Poll.*, **174**, 223 (2006).
16) W. H. Schroeder, J. Munthe : *Atmos. Environ.*, **32**, 809 (1998).
17) 環境省："平成 26 年度大気中水銀バックグラウンド濃度等のモニタリング調査結果について"，p. 29 (2015)，(環境省環境保健部環境安全課).
18) M. S. Gustin, H. M. Amos, J. Huang, M. B. Miller, K. Heidecorn : *Atmos. Chem. Phys.*, **15**, 5697 (2015).
19) S. N. Lyman, M. S. Gustin, E. M Prestbo, P. I. Kilner, E. Edgerton, B. Hartsell : *Environ. Sci. Technol.*, **43**, 6235 (2009).
20) A. Pierce, D. Obrist, H. Moosmuller, X. Fain, C. Moore : *Atmos. Meas. Tech.*, **6**, 1477 (2013).
21) P. A. Baya, M. Gosselin, I. Lehnherr, V. L. St. Louis, H. Hintelmann : *Environ. Sci. Technol.*, **49**, 223 (2015).
22) P. A. Baya, J. L. Hollinsworth, H. Hintelmann : *Anal. Chim. Acta*, **786**, 61 (2013).
23) 武内章記，柴田康行，田中　敦：水銀同位体生物地球化学，**19**, 1 (2009).
24) J. D. Blum, L. S. Sherman, M. W. Johnson : *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **42**, 249 (2014).
25) D. Gibicar, L. Martina, N. Horvat, A. M.−Pernat, R. Ponikvar, M. Horvat : *Anal. Bioanal. Chem.*, **388**, 329 (2007).
26) H. Kodamatani, A. Matsuyama, K. Saito, Y. Kono, R. Kanzaki, T. Tomiyasu : *Anal. Sci.*, **28**, 959 (2012).

武内章記（Akinori Takeuchi）
国立研究開発法人国立環境研究所（〒305−8506 茨城県つくば市小野川 16−2）。Washington State University, USA 修了。Ph.D。≪現在の研究テーマ≫環境試料の長期保存と水銀分析。
E−mail : takeuchi.akinori@nies.go.jp