

【5-1405】水銀の全球多媒体モデル構築と海洋生物への移行予測に関する研究（H26～H28 累計予算額 115,768 千円）

研究代表者 鈴木 規之（国立研究開発法人国立環境研究所）

1. 研究実施体制

- （1）水銀の全球多媒体モデルおよび海洋生物移行モデルの構築（国立研究開発法人国立環境研究所）
- （2）水銀の安定同位体分析による媒体間動態の検討（国立研究開発法人国立環境研究所）
- （3）遠洋・沿岸地域での水銀の動態観測と解析（国立水俣病総合研究センター）
- （4）大気中水銀の連続観測によるモデル検証（学校法人新潟工科大学）

2. 研究開発目的

本研究では、超微量分析技術による遠洋観測と安定同位体分析による水銀形態の起源推定など新たな研究手法を導入し、これを POPs（残留性有機汚染物質）研究によって実績のある全球多媒体モデル手法と融合することで、新たな水銀の全球多媒体モデルを構築し、国際的な行政課題にこたえることをめざす。

サブテーマ(1)では、POPs の全球多媒体モデル FATE に水銀動態諸過程を導入して水銀の全球多媒体動態を記述するモデル（FATE-Hg）を構築する。また、サブテーマ(2)(3)(4)と密接に連携して遠洋海域での生物移行モデルを開発して全球多媒体モデルに統合する。サブテーマ(2)では、多重検出器型誘導結合プラズマ質量分析装置（MC-ICP/MS）を用いて、分析前処理方法も含めた高精度な水銀同位体分析技術を確立する。そして沿岸域と外洋域で、魚類と底質試料を採取し、それらの水銀同位体組成から、起源や反応機構プロセスを検討し、媒体間動態の解明を図る。サブテーマ(3)では、遠洋・沿岸海域での水銀の大気－海洋間のフラックス観測、沿岸域動態・生物移行の観測・実験を行うことにより、大気－海洋間および生物動態データを取得しサブテーマ(1)の多媒体環境モデルおよび生物移行モデル構築・検証する基礎を確立する。サブテーマ(4)では、大気中形態別水銀の連続観測および沈着量調査を国内で実施し、モデルの大気検証データを得て、また観測手法を確立する。具体的には、データの少ない地域における形態別大気・沈着観測を進め、モデル予測結果の検証の基礎とすることを目的とした。

これらから新たな水銀の全球多媒体モデルを構築し、例えば排出量の削減による、環境の各媒体の濃度・存在量や 海洋生物中の濃度などの応答を予測可能な技術的手段を提供することを目的とする。

3. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

本研究では、水銀の全球多媒体モデルを概成させ、全球スケールにおいて、人為起源により排出された水銀が、大気、海洋などによる輸送過程と媒体間輸送、またメチル水銀を含む化学形態の変化を経て遠洋海域の魚介類に到達する過程の予測を可能とした。これにより、現時点での公衆への曝露起源として大きな割合を占める遠洋魚介類中に存在するメチル水銀と、人為起源により大気に排出される元素状（および酸化態）無機水銀との直接的な連関を初めて確立したことが本研究の成果の科学的な意義である。

全球多媒体モデルの構築にあたっては、これまで詳細な研究例が少なかった環境試料中の高精度な水銀同位体組成を太平洋、インド洋また沿岸域等の魚介類において明らかにし、光脱メチル化プロセスの影響を受けメチル水銀の蓄積を示唆する新たな知見を得た。これは世界的にも最も先端的な科学的成果と言える。この成果を得るために、低濃度の環境試料において高精度に水銀同位体組成を分析する高度な分析手法が確立されたことが同時に重要な科学的成果である。

また、遠洋海域におけるメチル水銀を含む存在状態の把握や大気－海洋間フラックスの観測がモデ

ル構築の基礎となった。このために、極低濃度の海水中溶存態メチル水銀と粒子態メチル水銀の新たな分析法を開発し、これを用いて東シナ海を中心とする海水及びフラックスの観測結果を得た。これはモデル構築および検証の基礎となるとともに、観測結果自体がこれまでに報告のない新たな科学的知見であると考ええる。

我が国日本海側において、研究開始当時は大気中の形態別水銀の連続観測結果は得られておらず、本研究において実施された観測は新たな知見を与えることとなった。また、粒子状水銀の粒径分布には明確な気温依存性が見られ、乾性沈着量を推算する場合には粒子状水銀の粒径分布の季節変化を考慮しなくてはならないことが示唆された。これは、新たな観測結果としての科学的意義を有するとともに、モデル構築においても粒子状水銀の過程記述を検証する重要な成果となった。

(2) 環境政策への貢献（研究代表者による記述）

<行政が既に活用した成果>

研究開始時点において、水銀排出量の多いアジア大陸に近く、また、測定報告値の少ない日本海側において大気中水銀の形態別連続観測、粒子状水銀の粒径別観測、降水に伴う沈着観測値を得ようとする初めての観測を試みたものである。直接には引用されていないが、環境省における大気中形態別水銀の観測プログラムの設計において、本研究の知見が検討委員等から指摘された知見として、プログラムの検討過程において有効に活用された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究成果は、全球スケールにおいて、例えば大気への排出削減対策が、大気あるいは海洋のどのような経路をたどって、最終的に曝露媒体である遠洋海域の魚介類の濃度のレベルおよび将来の変動や削減に寄与するかを明らかにする手段を提供するものである。水銀に関する水俣条約が発効すると各締約国での水銀排出削減対策が進んでいくと考えられる。現在、条約暫定事務局を中心に、水銀の全球モニタリング計画の検討が進められているところであるが、本研究成果により、例えば排出削減対策が、曝露媒体にどのような時間スケールによって、また程度をもって応答するかを予測することが可能となると考えられ、条約に基づく排出対策の効果予測と水銀曝露量削減への程度に関する推定を与えることによって、条約の第22条に基づく有効性評価の実施などの環境政策に貢献できると考える。

また、同じく水俣条約の第19条で、環境中の水銀循環における反応機構の解明および発生源の識別を可能にすることができる指標開発という記述があり、本研究で開発した分析技術あるいは知見を活用することにより、環境中の水銀発生源の識別を可能とする方法あるいは方法の開発の基礎的知見として利用されることが見込まれる。

これまでに定量が困難であった極低濃度の海水中溶存態メチル水銀と粒子態メチル水銀の検出限界濃度の向上を果たした。これにより、今後の海洋モニタリングにおいて利用可能な分析手法を提供することが出来ると見込まれる。また、東シナ海における海水、プランクトン、魚類の水銀に関する広範なデータを取得しており、これら東アジア域における行政における種々の検討において基礎データとして活用されることが見込まれる。東シナ海全域の海面からの水銀放出量もまた、東アジア域における水銀観測の今後の設計において重要な基礎情報となり、有効性評価の実施において貢献できると考える。

測定報告値の少ない日本海側における大気中水銀の形態別連続観測値、粒子状水銀の粒径別観測値、降水に伴う沈着観測値は貴重な観測データであり、行政における観測データを補完し、また通常の観測では得られない粒径別データなどの基礎的観測値として、行政における活用が見込まれる。

4. 委員の指摘及び提言概要

水銀の全球多媒体モデルの構築を目的とする研究であり、未だ誤差は大きいものの、将来もう少し精緻化されれば、金採掘や石炭燃焼などからの発生が削減された場合に、各媒体中の水銀がどのように応答するかが予測でき、大変有用なモデルになると期待できる。また、高精度な同位体計測法の確立とそれを用いた遠洋水カラム中でのメチル化の確認、東シナ海における水銀フラックス収支の解析など個々に重要な知見も多く得られている。

国際誌への発表がサブテーマ 3 に 1 編あるのみで、研究の柱であるサブテーマ 1 では誌上発表がない。世界的に初めての研究といっているが、それを専門家に広く認めてもらうステップが踏まれている。

5. 評点

総合評点：B