

論文題目：大気中水銀の動態に関する研究

著者：芹川 裕加

研究科、専攻名：環境科学研究科 環境動態学専攻

学位記番号：環論 第9号

博士号授与年月日：平成 25 年 1 月 30 日

論文の要旨

水銀は、火山活動等の自然発生に加え、人為活動によっても環境中に放出されている。国連環境計画（UNEP）は世界全体における人為活動による大気への水銀放出量は 2005 年の推計値で 1,920 トン/年、そのうち、約 1,280 トンがアジア諸国からによるものであり、中国の寄与が大きいと推定している。我が国ではアジア大陸から偏西風の影響によって大陸由来の酸性降下物質や黄砂等が観測されていることから、水銀も気流に乗って共に運ばれてくる可能性が示唆される。さらに、南米やアフリカ、東南アジアなどでは小規模な金精錬現場（ASGM）において大量の水銀が使用され、処理されることなく環境中に排出されている。排出された水銀は滞留時間が比較的長いことから長距離輸送による非汚染地域への影響も指摘されるなど地球規模での水銀拡散が現在懸念されている。

2005 年に UNEP は水銀に関する Decision 23/9IV を採択し、各国政府機関、国際機関、非政府組織ならびに民間組織に対して環境への水銀放出量と健康リスクの低減のためのパートナーシップの設立を求めた。その要求を受け、2006 年には日本を含む 6 ヶ国が参加して水銀の大気輸送に関する研究分野の Global Partnership が発足した。これは、水銀の越境移動や極地や高地における水銀の沈着、大気中水銀濃度などに関する研究を促すもので、大気中の拡散状況の把握が国際的に重要な課題であるという認識に立ったものである。

そこで本研究では、大気中水銀に関する以下の 2 点について検討することを目的とした。

I. 大陸からの水銀輸送の可能性

II. 水銀の人為発生源の 1 つであるインドネシアの小規模な金精錬現場（ASGM）から大気中へ放出される水銀の現状把握

I. 大陸からの水銀輸送の可能性

水銀の長距離輸送を調べるためには大陸からの影響が最も現れやすい山岳地において水銀濃度の経時変化に関する情報を取得することが重要であると考え、①北アルプス立山において大気中ガス状水銀（Hg(0)）濃度と、二酸化硫黄（SO₂）やオゾン（O₃）等の大気汚染物質濃度の連続測定、ならびに②山岳地と平野部の降水に含まれる水銀の測定を行った。

その結果、立山の標高 2,450m の観測地点では火山ガスの影響受け Hg(0) と SO₂ とは同時に濃度が上昇する現象が観測された。そこで SO₂ 濃度が低い期間を選択し火山ガスの影響を排除したうえで O₃ を長距離輸送の指標として Hg(0) の輸送過程を検討した結果、Hg(0) は O₃ と同時に大陸から輸送されている可能性が示された。しかしながら、火山ガスの影響に比べ Hg(0) 濃度の上昇はわずかであった。さらに標高 977m の観測地点において硫酸エアロゾル（SO₄²⁻）と SO₂ を長距離輸送の指標として検討した結果、Hg(0) は SO₄²⁻ と同時に大

陸から輸送されている可能性が示されたが、この地点においても Hg(0)濃度の上昇は他の成分と比較して小さかった。

降水中の水銀は、容器での保存時間の経過に伴い器壁吸着や揮発により濃度が減少していくため、沈着量の評価が困難であった。そこでまず始めに降水の採取・保存・測定手法の検討を行った。その結果、予め塩化臭素水で洗浄したフッ素コーティング容器を降水採取容器として使用し、降水採取容器に 0.1 w/v%L-システイン溶液を降水 1L に対して 10mL 添加することによって、水銀損失を抑えた試料の採取・保存が可能となった。この方法を用いて 2010 年 12 月 22 日～2012 年 4 月 2 日に富山県の平野部において測定した降水中水銀濃度の平均値は 8.5ng/L であり、地元の影響により水銀濃度が上昇していると推測された。しかし山岳地立山の積雪中水銀濃度を測定した結果、黄砂の影響を受けたと思われる層で水銀濃度が高くなった。この層では水銀、Ca²⁺、SO₄²⁻の濃度が高かった。平野部において黄砂粒子中の水銀、Ca²⁺、SO₄²⁻の粒子径分布を測定した結果、水銀の粒子分布は Ca²⁺、SO₄²⁻と一致した。従って、水銀は Ca²⁺、SO₄²⁻と同期して輸送されている可能性が示唆された。

以上の結果から、水銀は O₃ や Ca²⁺、SO₄²⁻と共に大陸から長距離輸送されている可能性が示唆されたが、その濃度は他の大気汚染物質に比べ低いと考えられる。

II. インドネシアの ASGM から大気中へ放出される水銀の現状把握

小規模な金精錬現場から放出されている水銀の現状を把握するため、金精錬が活発に行われているインドネシアの 5 つの精錬現場において大気中 Hg(0)濃度を独自に開発したパッシブサンプラーとアクティブサンプラーを使用して多点同時測定を行った。その結果、WHO のガイドライン(1,000ng/m³)を超える高い Hg(0)濃度をいくつかの地点で確認した。精錬時の水銀使用量は精錬方法により異なり、これが周辺環境の大気中 Hg(0)濃度に影響を与えていると推測された。そこで大気中 Hg(0)濃度が高かったインドネシア中央スラウェシ州 Palu 市において、流体解析ソフトウェア Phoenix を使用し水銀の拡散シミュレーションを行うことによって、大気への水銀放出量の推定を行った。その結果、シミュレーションでは、現地の大気中の Hg(0)濃度に関して実測値とほぼ同様な空間分布を再現することができ、時間変化も再現することができた。このことから、Palu 市では年間約 53 トンもの水銀が大気中へ放出されていると推定された。