

夏季富士山頂で観測された大気中高濃度水銀の起源解析

永淵 修¹, 中澤 曜一¹, 篠塚賢一¹, 木下 弾², 菅原尚子², 西田友規³, 加藤俊吾⁴
 1.福岡工業大学, 2.日本インスツルメンツ(株), 3.滋賀県立大学大学院, 4.首都大学東京

1. はじめに

国連環境計画(UNEP)は 2005 年に水銀に関する Decision 23/9IV を採択し、各国政府機関に対して環境への水銀放出量と健康リスクの削減を求めた。その要求を受け、2006 年には日本を含めた 6 カ国で水銀の大気輸送に関する研究分野の Global Partnership が発足した。これは水銀の長距離輸送モデルの研究開発や、極地や遠隔地並びに高地及び山岳における大気中の水銀濃度などに関する研究を促すものであった。一般的に地上から高度約 10,000 m までを対流圈と呼び、高度 1,000~2,000m 以下の大気の層（大気境界層）とそれ以上の高度である自由対流圏に分けられる。自由対流圏は、地表との摩擦がほとんどなく地球規模の長距離輸送を観測するのに適している。また、自由対流圏と大気境界層の界面付近（気圧 850hPa 付近）の層は物質が輸送されやすい。実際、アメリカの研究では、アジアからのガス状および粒子状の汚染物質の大陸間輸送が北米の西海岸の大気組成に大きな影響を与えていていることが報告されている。また、日本へも中国大陸の汚染物質の輸送が 1990 年代から報告されている。大気中水銀に関しても大陸からの輸送が報告されている。したがって、自由対流圏における大気中水銀の動態および輸送・沈着の過程を包括した大気中水銀のモニタリング体制を整えることは重要である。

本研究では、2013 年～2015 年に自由対流圏に属する富士山測候所（Mount Fuji Research Station, MFRS）において、夏季の総ガス態水銀（TGM）、オゾン（O₃）、二酸化硫黄（SO₂）の連続観測を行い、気象データ（ラジオゾンデデータを含む）と Back Trajectory (BT) を用いて TGM の動態を検討した。なお、ここでは紙面の関係上 2013 年 7 月と 8 月における高濃度時の解析結果を示す。

2. 研究方法

大気中水銀の観測は、富士山頂（3,776m a.s.l.）にある MFRS で行った。大気中水銀の連続観測に用いた機器は、2013, 2014 年は、Mercury Ultra Tracker UT-3000 (Mercury Instruments 社製)、2015 年は、AM-5 (日本インスツルメンツ社製) である。環境大気はインレットの外（重要）から室内に導入し、UT-3000 および AM-5 に接続し連続観測を行った。測定方法は、UT-3000 は atomic absorption spectroscopy (AAS) で、検出器は紫外線吸収法である。一方、AM-5 は cold vapor atomic fluorescence spectroscopy (CVAFS) である。

MNO へ到達する気塊の輸送経路の推定には、アメリカ海洋大気局（NOAA: National Oceanic Atmospheric Administration）から提供されている HYSPLIT-4 (January

2017 Revision) (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) モデルを使用した。HYSPLIT-4 は R (version 3.5.1) のオープンソースのパッケージである openair¹⁾ を用いて解析を行った。遡上時間は 5 日前(121 時間前)、時間分解能は 1 時間とし計算を行った。解析を行った期間と場所は 2013 年～2015 年の調査期間と MFRS である。MFRS を中心とした $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ のグリッドで 25 地点解析、さらに、昼間の MFRS への上昇気流などの影響を評価するため、地表付近(100m a.s.l.) から山頂(5,000m a.s.l.)までの間で 100m 毎の BT 解析を行った(合計 1250 の BT)。BT 解析から得られた 1 時間毎の座標から、汚染地域の通過時間・高度を計算するために、 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ グリッドの水銀排出量の空間データ(固定燃料水銀、産業資源水銀の排出、産業廃棄物)をもつ Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) をもとに GIS (Geological Information system) を用いて、MFRS に到達した気塊が汚染源の 3,000m 以下の高度を通過した時に取り込むと仮定した水銀フラックス量の計算を行なった。

MFRS では、バイサラの総合気象計による観測を行った。高層気象データによる鉛直分布は、石川県輪島測候所、和歌山県潮岬測候所、東京都八丈島測候所、島根県松江測候所および茨城県館野測候所で観測されているラジオゾンデデータを用いた。

3. 結果および考察

図 1 に 2013 年夏季の TGM、WV、O₃ および気温の 1 時間値の変動を示す。

TGM の濃度が北半球のバックグラウンド値(1.5~1.7 ng/m³)を超過しているのは、7 月 24 日～29 日と 8 月 19 日～20 日である。この高濃度イベントを #1 と #2 として解析する。

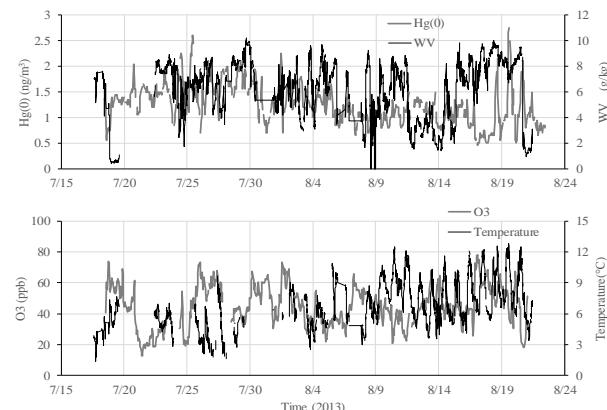


図 1 2013 年夏季の TGM、WV、O₃ および気温の 1 時間値

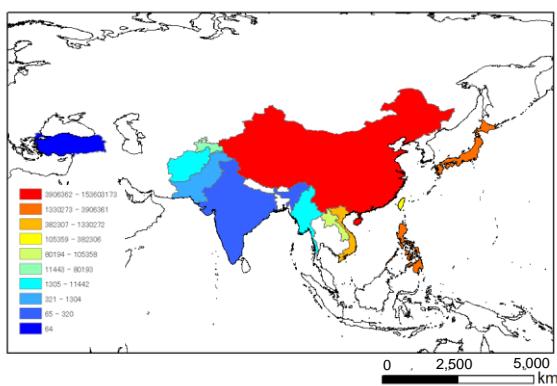


図2 MFRS に到達した Hg 積算排出量の国別の割合

#1 は、BT の解析結果から中国大陆を通過した気塊が到達したものであり、特に7月24日はWVの値も低くdryな気塊が高高度から下降したものと考えられる。8月19日～20日のTGMの高濃度は後記するが、8月18日16:31に桜島が噴火しており、BT の解析結果からもこの噴火の影響を示唆している。

2013年の調査期間中におけるMFRSに到達したHg 積算排出量(フラックス量)の国別の結果を図2に示す。

図2の暖色はHg フラックス量が多いことを示している。国別でみると上位9か国で累積フラックス量の99%を占めており、China が92%、Philippines が2.3%、Japan が1.9%であり、South Korea, Vietnam, Thailand, Cambodia, North Korea, Taiwanと続いている。なお、フラックス量は低いがMFRSから最も遠い国では、Turkey を通過した気塊も到達している。

次にフラックス量が95%を占める上位3か国を対象として国別寄与解析を行った。図3に富士山に到達した高度別のHg フラックス量を示す。7月24日からのMFRSでの高濃度は中国からの影響を示唆しており、日本からの影響は富士山の低標高に集中していることがわかる。また、8月19日～20日の高濃度は日本からの影響であることを示唆している。このイベントの解析では、桜島にもMFRSと同様のbox作成し、100mから10,000m(噴煙高度が5,000mのため)の高度でTrajectory解析を行った。図4は、桜島噴火後に富士山Box(100m毎)に到達したtrajectoryのn数を示す。この結果から8月19～20日のMFRSでのTGMの高濃度は桜島から排出された水銀であると考えられる。しかし、Kato ら²⁾のSO₂の解析結果と比べるとTGMの方が早くMFRSに到達しており、火山ガスとして爆発前にTGMが高濃度になっていた可能性も考えられる。

4.まとめ

- ・MFRS に到達する TGM は中国大陆からの影響が大きい。しかし、国内起源の TGM も富士山の低標高には到達している可能性がある。

- ・火山の噴火イベントでは、SO₂とTGM等の火山ガス濃度

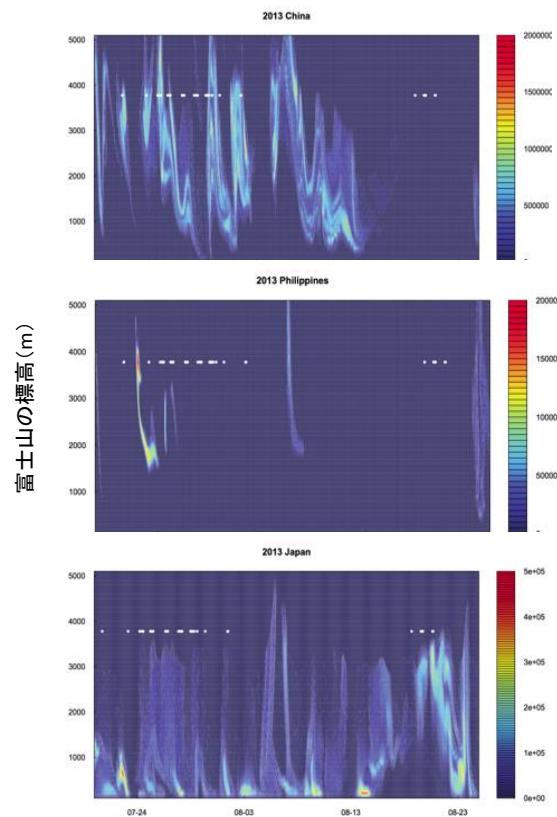


図3 中国の水銀排出源を通過した気塊(Hg フラックス量込)が富士山のある緯度経度に到達したときの高度、白のドットは富士山頂で観測したTGMが北半球のバックグラウンド値 (1.7 ng/m^3) を超過した日時

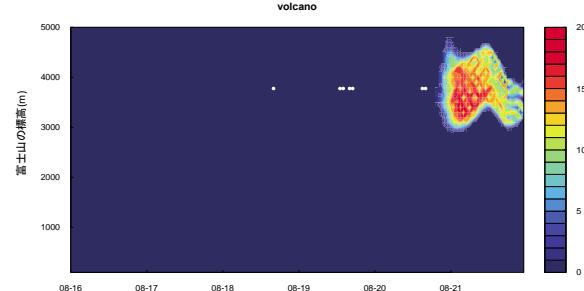


図4 桜島boxを通過した気塊が富士山boxに到達した標高と通過 trajectory の n 回数(Back Trajectory)

が上昇するが、TGM は噴火イベント前から高濃度ガスを排出している可能性があり、実際にFT 解析で富士山の高標高に到達している。

参考文献

- 1) King's College London (2015) The openair manual open-source tools for analyzing air pollution data, version 28th January 2015.
- 2) S. Kato et al (2015). Atmospheric CO, O₃ and SO₂ Measurements at the Summit of Mt. Fuji during the Summer of 2013, *Aerosol and Air Quality Research*, **16**, 2368-23.