

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 暦¹, 篠塚賢一¹, 木下 弾², 菱田尚子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までを対流圏と呼び、高度1,000~2,000 m以下の大気層(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850 hPa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(3,776 m 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° × 0.5°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(100 m a.s.l.)から山頂(5,000 m a.s.l.)までの間で100 m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° × 0.5°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3,000 m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。

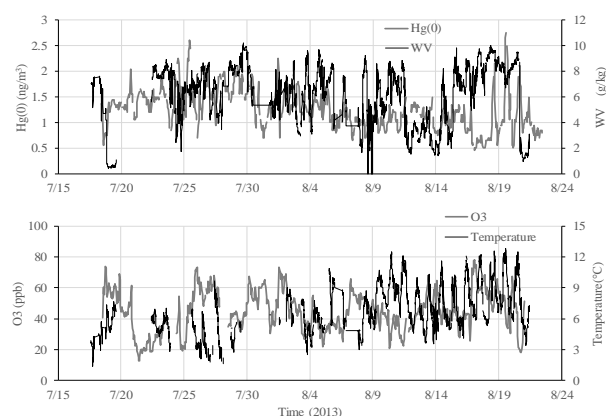


図1 2013年夏季のTGM, WV, O₃および気温の1時間間値

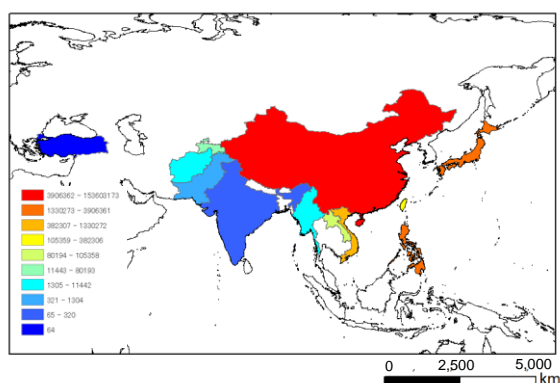


図2 MFRS に到達した Hg 積算排出量の国別の割合

#1 は、BT の解析結果から中国大陸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降下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は中国大陸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

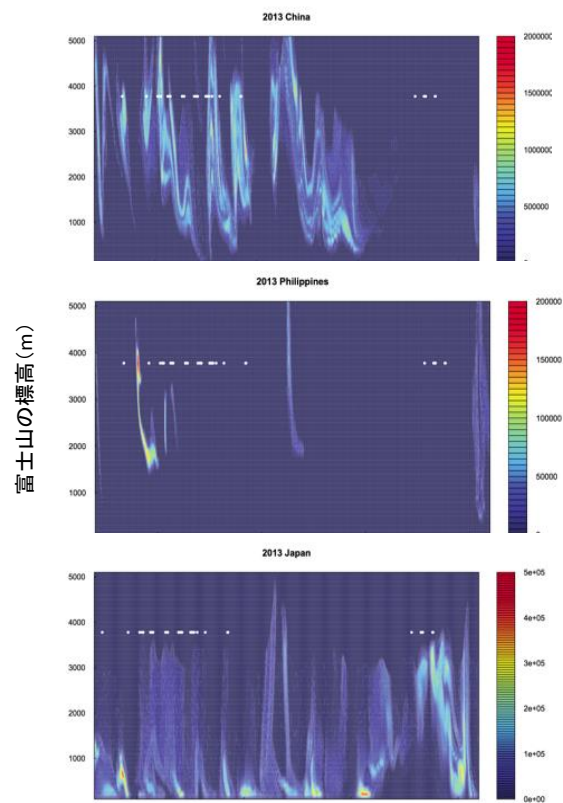


図3 中国の水銀排出源を通過した気塊(Hgフラックス込)が富士山のある緯度経度に到達したときの高度、白のドットは富士山頂で観測したTGMが北半球のバックグラウンド値(1.7 ng/m³)を超過した日時

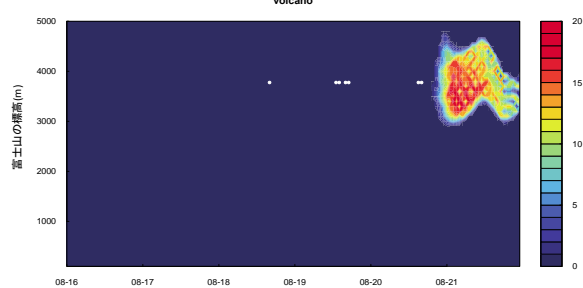


図4 桜島boxを通過した気塊が富士山boxに到達した標高と通過trajectoryのn回数(Back Trajectory)

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.