

An Investigation of Regional Atmospheric
Pollution as a Contribution to the international
Observation Network : Division of
Eco-Technology, Department of Natural Science
and Measurement

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/37014

広域大気汚染の解明と国際的観測網への貢献 —自然計測領域エコテクノロジー研究部門—

松木 篤^{1*}・木村繁男¹・塚脇真二¹

2013年12月9日受理, Accepted 9 December 2013

An Investigation of Regional Atmospheric Pollution as a Contribution to the International Observation Network

—Division of Eco-Technology, Department of Natural Science and Measurement—

Atsushi MATSUKI^{1*}, Shigeo KIMURA¹ and Shinji TSUKAWAKI¹

Abstract

The spread of air pollution and dust aerosol (KOSA) in East Asia has increased public concerns in recent years in relation to their threat to human health and the economy as well as their impact on the regional and global climate. The Noto Peninsula, extending from western Japan into the Sea of Japan, is geographically well located for characterizing such atmospheric constituents with high accuracy, since it is surrounded by the sea and is far from any local pollution source (e.g. a major city or industrial region) that may interfere with the sensitive observations. We have recently established an advanced atmospheric research facility called 'NOTOGRO' (the NOTO Ground-based Research Observatory) at the tip of the Noto peninsula. The ultimate goal of NOTOGRO is to improve the current understanding, and to enhance knowledge of the future outlook, of the evolving regional air quality and global climate conditions. It also serves to boost coordination between domestic research projects, and to contribute to international atmospheric monitoring networks.

Key Words: Trans-boundary air pollution, Atmospheric aerosols, KOSA, PM2.5, Black carbon
キーワード: 越境大気汚染, 大気エアロゾル, 黄砂, PM2.5, 黒色炭素粒子

I. はじめに

環日本海域環境研究センターエコテクノロジー研究部門では, 前稿(木村ほか, 2014)で記述したとおり, 「環境における流れの役割とその解明」をキーワードに, 地球表面における流体力学と熱・物質移動論, さらに時間の流れにともなう自然環境の変化に着目しながら, 環境に関連する種々の事象の解析, 計測技術の開発を行っている(木村ほか, 2014)。

そこで, 本部門を代表する研究成果のひとつとして, 本稿では広域大気汚染の解明と国際的観測網への貢献をとりあげたい。

黄砂やPM2.5に代表される大気中の微粒子, いわゆる大気エアロゾルはヒトの健康に影響を及ぼす地域的な大気質の悪化をもたらすのみならず, 太陽や地球表面からの放射を散乱・吸収し, さらに水蒸気が凝結し雲が形成する際に不可欠な雲核(雲凝結核・氷晶核)としても働ききわめて重要な気候変動

¹金沢大学環日本海域環境研究センター 自然計測領域エコテクノロジー研究部門 〒920-1192 石川県金沢市角間町
(Division of Eco-Technology, Department of Natural Science and Measurement, Institute of Nature and Environmental
Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

*連絡著者 (Author for correspondence)

因子である。エアロゾルの排出と、とりわけその雲への影響は、現在、気候変動予測上の最も大きな不確実性をもたらす要因の一つとして認識されている (IPCC, 2013)。

大気エアロゾルは、対流圏オゾンなどとならび、短寿命気候強制因子 (SLCF: Short-lived Climate Forcer) の一つに数えられる。地球規模で拡散するCO₂など長寿命の温室効果ガスに比べ、エアロゾルなど大気中での寿命の短いSLCFの時空間的な変動は発生源地域の分布にも大きく依存する。さらには、大気中における化学反応や粒子間の衝突併合などにより絶えず形状や化学組成を変化させており、その気候や大気質への影響評価を困難にしている。

現在の東アジア地域は、急速な経済発展をとげる大陸沿岸部を中心に大気汚染物質の排出が進み、黄砂現象とも相まって、世界的にも大気エアロゾルの発生規模が大きいホットスポットとなっている。大気を介した物質の輸送には国境がないため、大気汚染物質の拡散とその気候、環境への影響評価は周辺諸国に共通の課題となっている。今、地域ごとに異なるエアロゾルの物理的、化学的特性の解明に向けた国際的な取り組みが求められている。

II. 大気環境センサーとしての能登

近年、我が国をとりまく傾向としては、とりわけ離島などの遠隔地域において、光化学スモッグの主要因子である対流圏オゾンの濃度増加が認められ、光化学オキシダント注意報の発令地域が都市部に限らず広域化していることが挙げられる。わが国でも2007年には光化学オキシダント注意報の発令地域が28都府県にのぼり過去最多となった(秋元, 2007)。ここで特に注目したいのは、2007年5月9日に新潟県で史上初めて注意報が発令されたように、近年「日本海側」での発令が目だっている点である。

光化学スモッグのほかにも、東アジアの大気環境を象徴する問題に黄砂がある。2010年3月21日前後に飛来した黄砂は、韓国でも観測史上最大規模を記録し、我が国でも気象庁が目視観測を行っている61地点中、実に58ヶ所で黄砂が観測された。このように、従来ほとんど黄砂飛来のなかった「北海道」の各地でも近年観測されるケースが増えてきている背景には、温暖化に伴う気象条件や輸送経路、発生源地域

における植生の変化等の影響が指摘されている。さらに、2013年の2月には、大気エアロゾルの中でも、特に大気汚染物質が蓄積しやすい粒径が2.5 μ m以下の小さな粒子の総称である「PM2.5」が社会的な関心を集め、世界保健機関 (WHO) が大気汚染関連のPM2.5をタバコの煙と並んで最も発ガン性の強い物質に指定したことは記憶に新しい。

以上のように、光化学スモッグが日本海側の沿岸域で頻繁に観測されるようになり、黄砂が北海道にまで北上し、PM2.5の増加が懸念される昨今の状況を踏まえると、東アジアのバックグラウンド大気の現状把握と変遷を探る上で「環日本海地域」は研究戦略上、環黄海、環東シナ海域と並んで今後ますます重要なフィールドになると考えられる。

日本海に大きく迫り出し、三方を海に囲まれた能登半島の風上方向 (大陸から吹き出す季節風に向かって) には国内の大都市も存在しない。このため、東アジア地域における典型的なバックグラウンド大気の観測にはうってつけである。実際、能登半島の輪島市では金沢市と比べても、大気粒子中に含まれる多環芳香族炭化水素 (PAH) 類の濃度が一桁あまり低いなど (Yang *et al.*, 2007)、この土地が化石燃料の燃焼等に伴う人為的汚染源が少なく日本海地域の高感度環境センサーとして適していることを物語っている。我々はこの能登半島が持つ地の利に着目し、その先端に新たに大気環境研究の拠点を築くべく「能登スーパーサイト」(通称NOTOGRO: NOTO Ground-based Research Observatory) の整備を進めてきた。ここではサイトの現状とこれまでの活動の概要、展望について紹介したい。

III. 能登スーパーサイト

能登スーパーサイトは、能登半島先端(北緯37°27', 統計137°21')に位置する金沢大学能登学舎内(旧: 小泊小学校)に設置した。学舎最上階(3階)の一面が改装され、空調設備、最大100V100A相当の電源、世界気象機関WMOの基準にも適合するPM10エアロゾルインレット(地上14.7mの高さから大気エアロゾル試料を取り込む配管)などが備わる。遠隔地域において質の高い観測を長期間続けるには定期的なメンテナンスが欠かせないが、インターネット回線を通じた観測装置類の遠隔監視が可能なほか、能登

学舎に常駐するスタッフの存在など、ロジスティクス面でのメリットも少なくない。

近年、PM2.5問題を背景に行政ベースで導入が進む観測装置は主としてPM2.5「質量濃度」がモニタリングできるのみであり、気候影響などを評価する際には、肝心のその「中身」に関する研究レベルの情報が必要である。能登スーパーサイトには2008年頃から次第に観測装置の導入が進み、現在では光学式パーティクルカウンタおよび走査型移動度粒径測定器（個数粒径分布）、積分型ネフェロメータ（光散乱係数）、黒色炭素粒子濃度計（光吸収係数）、エアロゾル質量分析計（微小粒子の化学組成）、雲凝結核カウンタ（雲核活性）等が集中的に運用されるなど、国際的に見ても高い水準のエアロゾル直接観測が継続できる研究基盤となっている。なお、エアロゾル以外のガス状微量成分についても、共同研究の枠組みの中で計測が行われている（井関ら、2010）。

能登スーパーサイトは近隣の主要都市である金沢、富山からはそれぞれ約115km、85km離れており、主要な工業地帯や幹線道路もないため、遠隔地域の比較的清浄なバックグラウンド大気が観測できる。図1には春（3～5月）、夏（6～8月）、秋（9～11月）、冬（12～2月）に相当する季節に、それぞれどの地域から空気塊が観測点に流入するかを、後方流跡線解析（Draxler and Rolph, 2013）によって調べた結果である。計算は毎日2回、高度1000mを起点として7日間溯った結果が示してある。

黄砂現象が多発する春や秋は、移動性高気圧と温帯低気圧が交互に東に移動する影響により、大陸からの空気塊の流入が卓越する様子がわかる。夏季は、典型的な台風の進路に代表される太平洋高気圧の縁に沿うような流入ルートが目立ち、大陸の影響は弱まる一方で、西日本や朝鮮半島などの影響が相対的に高まる。冬季は、日本海側の季節風を強く反映し、シベリア高気圧からの噴き出しにより北西よりの風系に収束する。このように、能登スーパーサイトでは空気塊の到達経路が明瞭な季節変化を伴っており、年間を通じて大気エアロゾルにも発生源地域の違いを色濃く反映した変動が予測される。

IV. 黒色炭素粒子の濃度変動

代表的な燃焼由来のエアロゾルに、黒色炭素粒子

がある。ブラックカーボン(black carbon, BC)とも呼ばれ、燃料の不完全燃焼によって生成されるいわゆるスス（煤）である。PM2.5の領域にも多く含まれる微粒子であり、発生源としてはディーゼル排気・石炭燃焼・バイオマス燃焼（森林火災を含む）などがある。

強力な光吸収物質である黒色炭素粒子は、文字通り太陽放射を吸収し、熱を放出するため、大気エアロゾルが持つ寒冷・温室効果のうち、後者を支配する最大の原因物質と考えられており、極めて重要なSLCFである。黒色炭素粒子は炭素質の非揮発性粒子であるため、燃焼過程によって大気中に放出された後、雲過程や降雨により湿性沈着されない限り、大気の流れによって長距離輸送される。また、大気中でガス前駆体などから二次的に生成することもないため、風上における燃焼過程のトレーサーとしても有効な成分である。

図2に、能登スーパーサイトで観測された黒色炭素粒子の濃度変動を示す。特に春の時期（3～4月）にスパイク状のピークを伴った顕著な濃度の上昇がみられる。晩秋（10～11月）にも春ほどではないものの、同レベルの濃度が頻繁に観測されている。これらの時期は、黄砂が観測される時季とも一致しており、大陸における化石燃焼由来の汚染物質についても、大陸から空気塊が運ばれやすい気象条件を反映

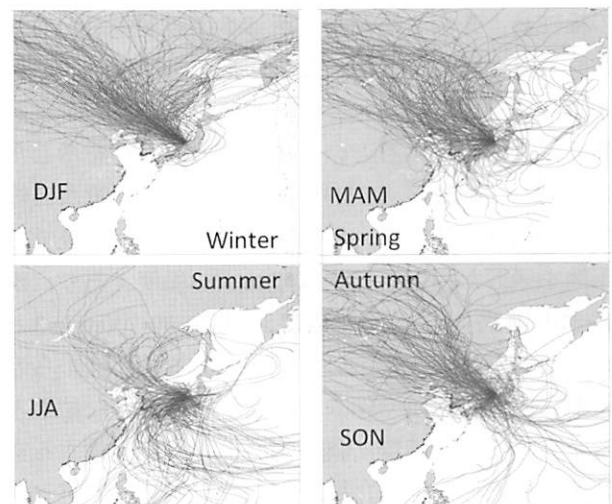


図1 能登スーパーサイトに到達する空気塊の流入経路の後方流跡線解析結果（DJF: 12～2月、MAM: 3～5月、JJA: 6～8月、SON: 9～11月）。

Fig. 1 Transport patterns of air-mass arriving at NOTO Ground-based Research Observatory (NOTOGRO) based on backward trajectory analysis (winter=DJF, spring=MAM, summer=JJA, autumn=SON).

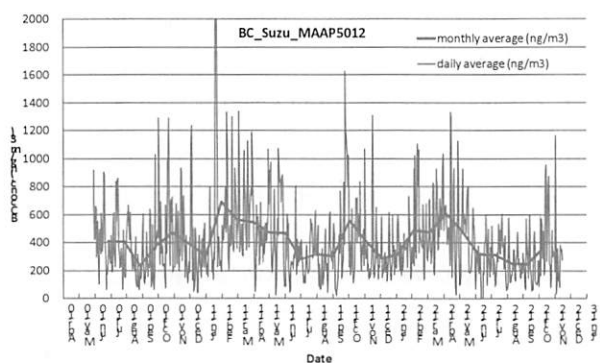


図2 能登スーパーサイトで観測された黒色炭素粒子濃度の変動 (2010年6月~2012年11月)。

Fig. 2 Temporal variation of Black Carbon (soot) particle concentration measured at NOTOGRO (June 2010-November 2012).

して、この時期に最も直接的な影響を受けていることを示している。反対に、夏季(7~8月)は太平洋高気圧の影響で大陸の影響が最も弱まる時季と考えられ、相対的に濃度が最も低い時期となる。

図2に示した結果の中で、日本海側の特徴として着目すべきは、冬季(1月)に見られるもう一つの極小である。空気塊の流入経路(図1)を見ても、冬季には中国東北部における暖房(石炭燃焼)の影響などを受ける可能性が十分考えられるが、実際には日本海側の冬季季節風による降雨・降雪により、湿性沈着による著しい除去が起こっていると考えられる。

先行研究では大陸からの移流を意識し、五島列島の福江島、長崎や福岡など西日本に観測拠点が設置されてきた経緯がある。こうした地点では、主に秋季、冬季、春季を通じて比較的PM2.5やBCの濃度が高く、夏季に下がるという単峰性の年周期を示したのに対し(兼保ら, 2011)、日本海側では明瞭な二峰性の年周期を持つことが明らかになった。能登での年間を通じた濃度レベルは430ng/m3程度であり、西日本の離島である福江島における600-700ng/m3といった値と比較して低いレベルにある。大陸からの距離に応じた拡散や除去を考慮すると妥当な結果と考えられるが、純粹に我が国の中心まで到達する空気塊の代表性を考えた場合、むしろ能登スーパーサイトで計測される値は、中部日本地域のバックグラウンド濃度を示す新たな指標として扱うことできる。

V. 今後の展望

衛星観測による広域観測網や数値モデルの精緻化が進む一方で、それらリモートセンシングやシミュレーション結果の妥当性を評価するには、直接観測結果との比較による検証が不可欠である。こうした理由から、例えば世界気象機関・全球大気監視プログラム(WMO/GAW)では、継続的に観測されることが望ましい大気エアロゾル関連の直接観測項目リストを作成しているが(WMO/GAW, 2007)、能登スーパーサイトは、ここ数年の活動を通じて、その観測項目の多くを網羅するに至った。WMO/GAWなどの国際データベースに参画している研究機関が圧倒的に欧米に偏重している現状などを鑑み、今後は世界のスーパーサイトと伍して国際ネットワーク観測の一員を担う次のステージへの移行を目指す。

数値シミュレーションの結果によれば、長期的には大気汚染物質の排出規制が進み、化石燃料の燃焼の際に排出される大気エアロゾルやその前駆物質は今世紀終りに向けて世界的に減少すると考えられているが、CO₂そのものの排出は増加を続けると予測されている。特にその変化は東アジア地域で顕著に表れると予想され、この地域における数十年スケールの気候変動は、温室効果ガスとその他の大気エアロゾルをはじめとするSLFCがもたらす温室・寒冷効果のバランスとして顕在化すると考えられる。そのため、今後も西日本を中心に観測を行ってきたグループとの連携や国内の大気観測研究のハブとしての役割を一層強めながら、国際的な観測網への貢献を行い、東アジア大気環境の変遷に対して最も敏感な研究拠点の一つとしての役割を果たす必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり、金沢大学能登学舎の赤石大輔博士、伊藤浩二博士、宇都宮大輔博士、小路晋作博士、沢野未佳氏を始めとするスタッフの方々、ならびに産業技術総合研究所の兼保直樹博士には観測の実現にあたり多大なるご助力をいただいた。ここに記して感謝する。本研究は「三井物産環境基金2007年度研究助成」、「JST若手研究者の自立的研究環境整備促進平成19年度採択課題(新領域創成をめざす若手研究者育成特任制度)」、「内閣府・最先端・次世代研究開発支援プログラム(GR045)」支援の下で行われた。

文 献

- 秋元 肇, 2007: 平成19年度光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書, 環境省, 50p.
- Draxler, R. R. and Rolph, G. D., 2013: *HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website* (<http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, College Park, MD.
- International Panel on Climate Change, 2013: *IPCC Climate Change 2013. The Physical Science Basis*.
- 井関将太・定永靖宗・松木篤・岩坂泰信・佐藤啓市・竹中規訓・坂東博, 2010: 能登半島珠洲におけるオゾンと一酸化炭素の濃度変動要因の解析. 大気環境学会誌, **45**, 256-263.
- 兼保直樹・高見昭憲・佐藤 圭・畠山史郎・林 政彦・原圭一郎・河本和明・山本重一, 2011: 九州北部の離島および大都市部におけるPM2.5濃度の通年での挙動. 大気環境学会誌, **46**, 111-118.
- 木村繁男・塚脇真二・松木 篤, 2014: 環境における「流れ」の役割とその解明－自然計測領域エコテクノロジー研究部門－. 日本海域研究, **45**, 11-14.
- WMO Global Atmosphere Watch (GAW), 2007: *Strategic Plan 2008-2015*. 172.
- Yang, X.-Y., Okada, Y., Tang, N., Matsunaga, S., Tamura, K., Lin, J.-M., Kameda, T., Toriba, A. and Hayakawa, K., 2007: Long-range transport of polycyclic aromatic hydrocarbons from China to Japan. *Atmospheric Environment*, **41**, 2710-2718.