

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

多様な環境影響評価に資する 風送エアロゾル濃度分布情報提供システムの構築 (5-1502)

平成27年度～平成29年度

Development of an Advisory and Assessment System for the
Environmental Impacts of Aeolian Dust

〈研究代表機関〉

国立研究開発法人国立環境研究所

〈研究分担機関〉

国土交通省気象庁気象研究所
京都大学

〈研究協力機関〉

山梨大学

平成30年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発の方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた主な成果	
6. 研究成果の主な発表状況	
7. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II-1 ライダー観測等に基づくリアルタイム黄砂データ提供手法の拡張 （国立研究開発法人国立環境研究所、山梨大学） 要旨	13
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
II-2 データ同化を基礎とした黄砂濃度再解析データベースの作成と 現況予測の改善 （国土交通省気象庁気象研究所） 要旨	31
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
II-3 疫学研究における黄砂濃度データ最適利用手法の開発とその応用 （京都大学） 要旨	47
1. はじめに	
2. 研究開発目的	

3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

III. 英文Abstract

・ ・ ・ ・ ・ 78

I. 成果の概要

課題名 5-1502 多様な環境影響評価に資する風送エアロゾル濃度分布情報提供システムの構築

課題代表者名 清水 厚（国立研究開発法人国立環境研究所地域環境研究センター
広域大気環境研究室主任研究員）

研究実施期間 平成27～29年度

累計予算額 68,824千円（うち平成29年度：21,775千円）

予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 黄砂、ライダー、データ同化、エアロゾル輸送モデル、疫学

研究体制

(1)ライダー観測等に基づくリアルタイム黄砂データ提供手法の拡張（国立研究開発法人国立環境研究所）

(2)データ同化を基礎とした黄砂濃度再解析データベースの作成と現況予測の改善（国土交通省気象庁気象研究所）

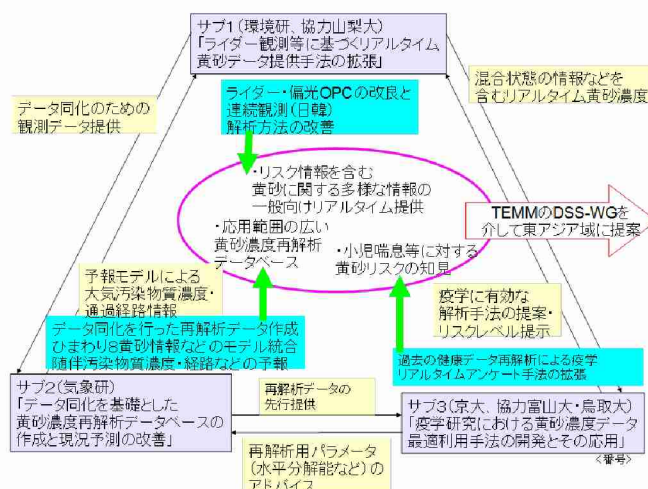
(3)疫学研究における黄砂濃度データ最適利用手法の開発とその応用（京都大学）

研究協力機関

山梨大学

1. はじめに（研究背景等）

東アジア域に発生起源を持つ風送エアロゾル（黄砂）は、日本の大気環境にも大きな影響を与えている。黄砂は幅広い粒径分布を持ち、特に長距離輸送された黄砂においてはPM2.5にあたる小粒子の割合が高くなる。例えば平成22年から24年度にかけては3年連続で常時監視一般局の10%以上において、黄砂の影響でPM2.5の環境基準が未達成とされている。逆に平成25年度においてはその割合は2.2%に留まるなど、自然由来現象である黄砂の年々変動は大きい。このような黄砂現象による大気環境および人間社会への影響を評価するためには、観測・モデルの統合的活用が不可欠である。本研究では、既に東アジア域で15年以上に渡り黄砂の連続観測を実施してきたライダーネットワークの更なる活用、ライダー以外の測定装置による黄砂濃度の検証などを実施して黄砂観測そのものの充実を図るとともに、数値モデルを利用してより広範囲に利用される過去の黄砂濃度再解析データベースをデータ同化の手法に基づいて作成する他、現況の黄砂濃度の一般向け提供情報の改善を行う。また観測・モデルから生成されるデータベースを黄砂の健康影響に関する疫学研究に応用し、実際の環境影響評価の実例とする。これらを通じて、日本国内の大気環境行政に対して提供する黄砂に関する知見の拡大を図ると共に、日中韓環境大臣会合に基づくワーキンググループの活動などを通じて東アジア域全体でこのような黄砂データの活用を促進する取り組みを行う。これら全体のフローは以下に示すとおりである。



2. 研究開発目的

風送エアロゾル(黄砂)の実態把握と環境影響評価のため、本研究では3つのサブテーマを形成した。観測を行うサブテーマ(1)では、ライダーによる黄砂の連続観測を実施して長期に渡る黄砂観測データベースの作成に寄与すると共に、これまでのライダーデータ解析で十分でなかった点の改善を行う。具体的には、(1)観測高度領域の拡大(人間活動領域に近いより低空の情報を取得)、(2)大気汚染と黄砂との関係に関わる内部混合状態の把握、(3)偏光パーティクルカウンター(POPC)による黄砂観測結果とライダーによる黄砂観測結果の対比による取得地点拡大への取り組み、を実施する。数値モデル研究に関連するサブテーマ(2)では、データ同化の手法に基づいてより広範囲に利用される過去の黄砂濃度再解析データベースを作成する他、現況の黄砂濃度の一般向け提供情報の改善を行う。また、数値予報モデルから得られる黄砂に随伴する汚染物質の状況や空気塊通過経路などの情報についても同時に提供するシステムを構築することで、きめ細かな注意喚起等を行う基盤を作成する。これら観測・モデルにより構築されるデータベースを用いた環境影響評価の実践として、人の健康に関する疫学に応用するための研究をサブテーマ(3)で実施する。具体的には① ライダーデータの疫学調査利用におけるパラメータ最適化、② 黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての脆弱者ニーズの探索と、パイロット的提供による評価、③ 気象モデルの疫学調査利用における最適なパラメータの提案と、気象モデルデータを利用した場合の既存の結果との違いについての評価、④ ライダーホームページ(一般対象)掲載用の黄砂の呼吸器への影響について既存報告をまとめる、を行う。これらの結果はサブテーマ(1)が管理するホームページからアクセス可能なように提供拠点を作成する。

3. 研究開発の方法

(1)ライダー観測等に基づくリアルタイム黄砂データ提供手法の拡張

国立環境研究所が管理を担当しているライダーネットワークAD-Net(Asian dust and aerosol observation lidar network)の連続運用を行うことで、日本・韓国・モンゴルにおける黄砂と人為汚染(球形)粒子の鉛直分布を連続的に観測する。この結果を国立環境研究所においてリアルタイムで処理し、環境省黄砂飛来情報ホームページ、あるいは国立環境研究所ライダーホームページなどを通じて提供する他、各種環境影響評価のためのデータセットを作成する。また、人間生活空間により近い低高度のエアロゾルをAD-Netで計測するため、小型広角望遠鏡の増設によって最低観測高度の引き下げを行う。黄砂と人為汚染との混合状態(内部混合が起きているか)を推定するために、可視と赤外の波長を用いた解析を行う。ライダーが設置されていない地点で黄砂濃度を得るため、山梨大学が開発した偏光パーティクルカウンター(POPC)による黄砂濃度とライダーによるものとを対比する。サブテーマ(3)における情報提供のため、ライダー観測による黄砂濃度をリアルタイムで提供する。他のサブテーマから得られた情報について、国立環境研究所ライダーホームページ内で一括して閲覧可能なページを整備する。詳細は以下の通りである。

(1)AD-Netにおける連続観測の実施

国立環境研究所では2001年につくば・北京・長崎の3地点でライダーの同時連続観測を始めて以来、多様な共同研究グループと共にライダーのネットワーク(AD-Net)の拡張を進めてきた。。これらの地点ではいずれも標準化された観測(時間分解能15分、解析時鉛直分解能30m、観測上限18km、観測波長532nm/1064nm、532nmにおける偏光解消度取得)を行っている。本研究費では、環境省が直接管理費を負担している富山・松江・長崎・新潟・東京・モンゴル3地点以外のライダーについて観測を実施した。

(2)小型広角望遠鏡による地上により近い領域の観測

ライダー観測においては、上空に射出されたレーザー光が受光望遠鏡の視野に完全に入るまでに一定の距離が必要である。AD-Netの場合、レーザー光が完全に視野に入るのは数百m上空で、それより下では経験的補正関数を作成して信号強度の補正を行ってきた。ただし、そのような補正も高度120m以下では補正係数が大きくなり過ぎるために限界があり、AD-Netから提供されるデータの下限高度は地上120mとしてきた。本研究では、広角・小型の望遠鏡を用いることで受光視野拡がりを大きく取り、なるべく低空からデータ取得を行う手法を検討した。

(3)赤外・可視の2波長観測を利用した内部混合の推定

AD-Netの標準データ解析(Shimizu et al., 2016)では、532nmの偏光解消度のみを用いて黄砂とそれ以外の球形粒子による消散への寄与を分離してきた。即ち、2種の粒子(黄砂と球形粒子)の外部混合を前提とした解析を行ってきた。しかしながら、実際には黄砂表面での化学反応などを通じて黄砂とそれ以外の大気汚染粒子あるいは大気汚染ガスとの反応が進んで内部混合状態の粒子が存在する可能性があるため、ここでは2波長比を用いた解析を行った。Sugimoto et al.(2002)と同様に、近赤外1064nmでの消散係数を導出して532nmの消散係数との比を得ることで2波長比(Color ratio)を得て、粒径分布の指標とする。これと偏光解消度を利用して、内部混合が起きているかどうかを表す。即ち、内部混合によってもともと非球形である黄砂が球形に近付いた場合、2波長比は維持されるが偏光解消度が低下すると考えられる。このような特徴が過去のライダー観測データから見出されるかどうかを調べた。

(4)偏光パーティクルカウンターを用いた黄砂観測との対比

AD-Netによるライダー観測は国内12地点で行われているが、より多くの地点(具体的には各都道府県など)への配置は困難である。このため、ライダー以外で黄砂濃度を直接計測出来るような連続測定機器の必要性が高い。本研究費では、過去に山梨大学が開発して偏光パーティクルカウンター(POPC = Polarization Optical Particle Counter)による観測をライダー観測と比較して、ライダーと同様に黄砂の濃度が計測できるのかを検証した。POPCでは、取り込まれた1つ1つの粒子に対して780nmのレーザー光を照射し、前方散乱強度から粒径を、後方散乱に関して偏光解消度を測定して形状の推定を行い、閾値に基づいて粒子の分別を行った後にそれら粒子の体積を推定、更に比重を掛け重量濃度の推定を行っている(鷹取ほか、2015、エアロゾル研究)。本研究ではこのうち以前からPOPCが設置されていたソウル、および本研究で新規に観測がスタートして近畿大学(東大阪市)におけるPOPC黄砂重量濃度データとライダーによる黄砂消散係数(高度120--210m区間の平均)との比較を時系列・散布図を用いて行った。

(5)各種情報の提供

サブテーマ(3)において実験参加者にリアルタイムでデータを提供するために、国立環境研究所から京都大学のサーバーに毎時黄砂濃度情報をアップロードした。この他、サブテーマ(2)・(3)から提供された知見に関するリンク集を国立環境研究所ライダーのホームページ内に設置し、統一的に黄砂濃度の環境影響に関連する情報へのアクセスを可能とした。

(2)データ同化を基礎とした黄砂濃度再解析データベースの作成と現況予測の改善

2-1) 全球エアロゾル輸送モデルの改良

気象研究所では、黄砂濃度の一般向け情報提供のサービス改善に向けて全球エアロゾル輸送モデル(MASINGAR mk-2)の改良を実施した。このモデルは気象研究所地球システムモデルの一要素として開発されており、地球温暖化予測等に用いられると共に気象庁の黄砂予測情報の提供に活用されている。現在気象庁の黄砂情報提供業務で使用されているMASINGAR mk-2の水平解像度は約110km(TL159)であったが、平成29年2月に水平解像度を約40km(TL479)に高解像度化した。平成27年度は気象庁客観解析値を用いたMASINGAR mk-2のTL159版の過去実験成果をサブテーマ1、3に提供すると共に、TL319(水平解像度約60km)、TL479版を気象研究所が平成27年3月に更新したスーパーコンピュータシステム(富士通製FX-100)において毎日計算できる体制を構築した。計算に際して気象データは気象庁が毎日現業的に実施している客観解析で作成された気象場格子点値をナッジングすることにより、気象場が現実の大気場と大きくずれないように配慮した。この計算結果(TL159版)を用いて黄砂の輸送経路に関する解析を実施した。平成29年度は毎日計算を継続すると共に、過去10年間(2007~2016)について低解像度版(TL159)の再計算を実施し、黄砂の輸送経路に関する解析も実施した。輸送経路の解析に関しては、質量フラックスの鉛直積算量を計算することによって、黄砂の輸送経路の月平均値(10年平均値)を作成し、これとの特定期年の差分を取ることで年毎の黄砂輸送経路の違いを解析した(参考: Sekiyama and Iwasaki, submitted)。

(2-2) ひまわり8号データを利用した黄砂予測精度の向上

本研究では世界に先駆けて日本が打ち上げた次世代型静止気象衛星である“ひまわり8号”の観測データを既有的エアロゾル(黄砂/PM2.5)予測モデル(MASINGAR mk-2)にデータ同化させ、より高い精度のエアロゾル分

布情報を作成し、他のサブグループに提供することを目指して技術開発を行った。ひまわり8号は(エアロゾルの測定に最適な)可視／近赤外領域に6つの観測バンドを持っており(これまでのひまわりや米国の静止気象衛星では1バンドのみ)、エアロゾル観測を主目的とする人工衛星並みの高精度なエアロゾル分布観測(鉛直積算濃度と粒径分布)が可能となった。そのうえ、ひまわり8号の観測頻度は旧世代の静止気象衛星に比べて劇的に向上しており、北極から南極までを同時に10分おきの観測が可能である。しかしながら、ひまわり8号で観測できるエアロゾルの情報は鉛直積算量と鉛直平均量だけであり、鉛直分布に関する情報は全く得られない。したがってそのままでは地上ライダー観測や疫学調査(対象は地表面で生活している人々)と比較するのは難しい。そのためデータ同化によって観測情報を数値シミュレーションと融合させることに大きな意味がある(融合させた情報には鉛直分布に関する情報が存在するため)。本研究では数多くのデータ同化計算スキームの中から局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF)を選んで利用した。この手法は天気予報の分野で広く研究・開発・検証が行われており、その高い性能が確認されている。数値シミュレーションモデルには上記の通り気象研究所のエアロゾル予測モデルMASINGAR mk-2を用いた。データ同化の結果を検証する手段として、2015年6月に起きた黄砂現象(=鉱物ダストエアロゾルの大規模発生)の予測実験を実施した。全くデータ同化を行わずに黄砂予測をした場合とひまわり8号の観測をデータ同化したのちに黄砂予測をした場合を比較した。また、世界各国で最も広く利用されているエアロゾルの衛星観測であるMODIS(米国NASA提供)をデータ同化した場合の黄砂予測も比較対象として実施した。MODISは低高度極軌道衛星によって測定されているため、ひまわり8号に比べて欠測が多く、データ取得間隔も非常に長い(一般的に12~24時間おき)。エアロゾル予測モデルの水平解像度は約100kmに設定して計算を行った。

(2-3) 二次元変分法によるエアロゾルデータ同化と黄砂再解析データセットの作成

前項で示したLETKFは、データ同化時に数十個の予測モデル計算を同時に実施する必要があるため、日々の予測実験や長期間の黄砂再解析を行うためには大量の計算機資源を必要とし、現在の計算機環境の元では長期間実施することは現実的でない。そこで、計算機資源的に有利な二次元変分法(2D-Var)を開発した。データ同化の際に重要なパラメータである背景誤差共分散(モデル誤差)は、過去の同モデルの計算結果より推定した。エアロゾル輸送モデルは気象庁全球解析値にナッジングすることにより現実に近い気象場を使えるようにした。衛星観測データはひまわり8号や米国航空宇宙局(NASA)のMODISから得られるエアロゾル光学的厚さのデータを用いた。得られる観測データがエアロゾルの鉛直分布に関する情報を持たないため鉛直プロファイルは全球エアロゾルモデルのものが用いられる。この手法を用いて(2-1)で改良したMASINGAR mk-2を用いて気象研スーパーコンピュータシステムを用いて毎日のデータ同化・予測実験を平成29年度より開始すると共に、過去5年分(2011~2015)に関してもこの手法を用いた黄砂再解析データセットを作成して公開した(Yumimoto et al., 2017)。黄砂再解析のダイアグラムは図(2)-1のとおり、6時間毎にMODISから得られたエアロゾル光学的厚さをMASINGAR mk-2に対してデータ同化している。

(3) 疫学研究における黄砂濃度データ最適利用手法の開発とその応用

サブテーマ(3)では、ライダーや気象モデルを、今後さらに、人の健康影響(疫学研究)や脆弱者の支援に活用していけるよう、必要な整備を行うことを目標とした。

具体的には、① ライダーデータの疫学調査利用におけるパラメータ最適化、② 黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての脆弱者ニーズの探索と、パイロット的提供による評価、③ 気象モデルの疫学調査利用における最適なパラメータの提案と、気象モデルデータを利用した場合の既存の結果との違いについての評価、④ ライダーホームページ(一般対象)掲載用の黄砂の呼吸器への影響について既存報告をまとめる、以上4点を実施した。

① ライダーデータの疫学調査利用におけるパラメータ最適化

ライダー開発者と疫学研究者とで、問題点を整理・共有し、その解決方法について議論した。そのうち、妥当性、黄砂の空間的広がり(1カ所の測定で複数地域の曝露指標とすることの妥当性)について、既存ライダーデータ、常時監視局の粒子状物質データや既存の健康情報を利用した解析を行い検証した。

② 黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての脆弱者ニーズの探索と、パイロット的提供による評価

脆弱者を対象に黄砂やPM_{2.5}の情報提供のニーズを調査する研究を実施し、情報提供のあり方について内容・

タイミング・頻度などのニーズをテーマ1に提供した(②-1)。さらに、脆弱者を対象に黄砂やPM_{2.5}の予報やリアルタイム情報をパイロット的に提供し、その健康影響への効果や使用感を評価する疫学調査を実施した(②-2)。

③気象モデルの疫学調査利用における最適なパラメータの提案と、気象モデルデータを利用した場合の既存の結果との違いについての評価

疫学調査の曝露情報とアウトカム情報(健康指標)を照らし合わせる際に、お互いがオーバースペックとならないような効率のよい分解能について、研究者間で情報提供・議論を行い、実際に、上記分解能にて再解析データセット(ライダーデータとの同化前・同化後)が作成された過去年度について、既存の健康情報を利用した解析を行い、これまで黄砂濃度情報を近隣のライダーなどで代用していた場合の結果との差について評価した。

具体的には、推進費5-1152にて得られた京都(京都市・木津川市)・滋賀(長浜市)・富山・鳥取(県西部)の妊婦のアレルギー症状のデータ(図(3)-2)を、気象モデルデータと照合し、気象モデルで推定した黄砂濃度と、妊婦のアレルギー症状発現との関連をみた。

④各感受性集団の呼吸器に対するリスクのまとめ(ライダーホームページ掲載用)

PubMed及び医中誌にて文献検索を実施し、レビュー文献を抽出。一般向けに分かりやすい表現で黄砂の呼吸器への影響についてまとめた。

4. 結果及び考察

(1)ライダー観測等に基づくリアルタイム黄砂データ提供手法の拡張

(1)AD-Netにおける連続観測の実施

ほぼ全ての地点でトラブル発生時を除き連続観測が達成され、それらの観測結果はいずれもリアルタイムで環境省黄砂飛来情報HPにも提供された。また、これらの結果によりそれ以前からのデータセットの延長が可能となった。これら情報を含め、Shimizu et al.(2017)では2007-2016年の日本上空における黄砂消散係数の長期変動を高度別に示した。これによると、国内の全てのライダーによる黄砂消散係数の平均値は、その鉛直積分値(黄砂光学的厚さ)で見ると-2.5%/年という減少を示しており、全般的には黄砂は日本において減少傾向と見られた。ただし、ライダーの特長を活かして高度別に同様のトレンド解析を行ったところ、地上に近い下層ほど減少傾向が小さく、上空で減少傾向が強いことが示された。人間生活に影響がある下層に浮遊する黄砂の変動が小さいことは、このような変動監視における高度別情報の重要性を示唆している。逆に、上空ほど減少傾向が強かったことから、ゴビ砂漠以遠から到来するバックグラウンド黄砂の変動が示唆された。上空の黄砂は直接人間の呼吸に含まれるわけではないが、放射影響あるいは氷晶核の観点から地球温暖化との関連が強い。即ち、上空の黄砂の経年変動が明らかになることは、大気大循環の変動予測等に繋がる重要な進捗である。

(2)小型広角望遠鏡による地上により近い領域の観測

AD-Netで採用されている大型望遠鏡で観測された生の値では高度600m以下で望遠鏡視野から後方散乱光が外れるため、信号強度は徐々に弱くなる。これまでは、別途推定した経験的補正関数を適用して高度120m以上で信号補正を行って解析に利用していた。今回導入された口径5cmの小型広角望遠鏡は、より下層から十分信号が受かっていた。ただし、600m付近では小型広角望遠鏡のノイズは非常に大きい。これは、広い視野で背景光が大量に入ること起因するものと推察される。このため、常時取得される小型望遠鏡データを従来の大型望遠鏡データの下層に(オーバーラップさせつつ)接続するのではなく、大気状態が安定しているコンディションにおいて両望遠鏡データを時間平均し、それらの比から高度毎の補正係数を決定する手法を導入した。検討の結果、従来の最低観測高度が地上120mだったのに対して、本手法によりこれを地上60mまで引き下げることが可能と見積られた。また、小型望遠鏡は532nmのみを受光するため、直接接続の方法では1064nmの下層を補えないのに対して、上述の高度毎補正係数を1064nmに適用すれば両波長において下層までデータが得られることになる点も有利である。

(3)赤外・可視の2波長観測を利用した内部混合の推定

AD-Netにおける過去の観測結果を再処理し、地上に近い領域での2波長比(1064nm消散係数と532nm消散係数との比)と532nm粒子偏光解消度を利用した散布図を作成した結果、大阪や新潟のように日本海から離れて

いたり日本海側であっても東日本である地点において内部混合を示唆するデータが多く見られた。即ち、ユーラシア大陸からの輸送時間が比較的長い地点において、内部混合が進んでいたものと考えられる。

(4) 偏光パーティクルカウンターを用いた黄砂観測との対比

山梨大学がPOPCによる観測を行っていた地点のうち、AD-Netライダーが存在するソウルについて、2016年春の黄砂濃度の比較を行った。両者の散布図からは、個々の黄砂イベント内では両者の対応関係は良いが、別のイベント同士ではその関係性にも差が見られた。これに対して2016年3月の大阪の結果では、より両者の対応度が高まっていた。ライダーの黄砂消散係数は主に粒子の表面積に関連するのに対して、POPCによる重量濃度は粒子の体積に依存しているため、両者の関係は粒径分布によって変化する。即ち、黄砂イベント毎に粒径分布が異なるならば、ライダー黄砂消散係数とPOPC黄砂重量濃度との対応もイベント毎に異なるものとなる。この点を考慮すると、黄砂発生源により近い韓国(ソウル)においてはそれまでの輸送経路などによって様々な粒径分布の黄砂が到達するのに対して、ユーラシア大陸から離れた日本(大阪)においてはいずれの黄砂イベントでも大粒子が含まれず粒径分布がイベント毎にあまり変わらなかった、ということが考えられる。

(5) 各種情報の提供

AD-Netから得られるライダーデータは以下のようにリアルタイムで提供を行ってきた。

a. 環境省黄砂飛来情報ホームページ(<http://www2.taiki.go.jp/dss/kosa>)

ここでは、ライダーによって得られた黄砂消散係数の1km以下平均値に、消散係数から質量濃度への変換係数1mg/m²を掛けて重量濃度に換算した上で4段階のグレード分けを行い地図上に表示している。これにより、その時点での全国的な黄砂の分布の特徴が一目で分かる他、各地点のアイコンをクリックするとその地点のそれ以前の濃度時系列(時間単位あるいは日単位)、同様に時間高度断面図などが表示される。

b. 国立環境研究所ライダーホームページ(<http://www-lidar.nies.go.jp>)

ここでは、532nm減衰後方散乱係数・532nm体積偏光解消度・1064nm減衰後方散乱係数の5日分時間高度断面図を全地点について作図し、ライダーデータを見慣れた研究者なら雲・各種エアロゾルの定性的な分布が理解できるような情報を提供している。更に解析を行って得られる黄砂消散係数・球形粒子消散係数の2次元(高度・時間)断面について数値データをファイルで提供し、大気あるいは環境影響評価研究のための基礎数値データとして幅広く活用されるように特設のアクセス制限なしで配布している。本研究費において、新たに上記(3)に対応する2波長比(Color ratio)に相当する作図を追加し、黄砂飛来時にリアルタイムで内部混合の状況が定性的に掴めるようになった。

c. 京都大学サーバー(実験参加者に対する情報提供源)

サブテーマ(3)において、実験参加者に対してメールで現在の黄砂濃度情報を知らせるなどの活動を行うため、それに適した形に整理したデータを実施機関である京都大学にリアルタイムで提供した。

d. さらに、各サブテーマから得られた情報を纏めて推進費5-1502の成果に掛るホームページとして整備し、国立環境研究所ライダーのホームページを司るサーバー上で公開している。

(2) データ同化を基礎とした黄砂濃度再解析データベースの作成と現況予測の改善

(2-1) 全球エアロゾル輸送モデルの改良

全球エアロゾル輸送モデルの検証結果に関しては、2016年3月の黄砂事例に関して気象庁の目視観測や日中韓黄砂共同研究第一作業部会にて共有されたPM10観測データとの比較では定性的によく一致していた。韓国の地上観測地点における比較を行った結果、両モデルとも黄砂イベントの飛来時期をよく捉えているものの、地表面付近濃度ではTL319の結果は黄砂最大濃度を過小評価する傾向があるのに対してTL479の結果は概ね観測された黄砂最大濃度をよく表現できている。今後より事例数を増やした検証を行う必要があるが、高解像度モデルの性能の一端を示すことができた。またこのモデルを用いて黄砂の輸送経路を調査したところ、3月から6月にかけて日本に到達する黄砂の発生源は主にゴビ砂漠であり、平均的な黄砂の輸送経路はゴビ砂漠から南東方向に輸送されて山東半島付近に到達し、その後東進して朝鮮半島、本州等に到達していることが分かった。月毎に見ると、3月から6月にかけて主要な輸送経路が分流し、北東方向へ向かうストリームが発生していることも分かった。また、質量フラックス最大値の大きさから、ゴビ砂漠における黄砂発生の最大値は4月から5月にかけてと推定できた。黄砂の輸送経路は夏季(7-8月)にはゴビ砂漠からほぼ東に輸送されるものの、秋から冬に

かけて南向き成分が増加していることも分かった。

(2-2) ひまわり8号データを利用した黄砂予測精度の向上

解析対象とした黄砂現象のケースではデータ同化無しで予測すると濃度のOverestimation(過大評価)が起きてしまい、RMSEが極めて大きくなってしまった(172.7~223.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。SPMの環境基準が1時間平均値で200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることを考えると、このRMSEは致命的に大きい。それに比べると、Himawari DAとMODIS DAの予測結果はRMSEに改善が見られた。48時間予報の時点ではその改善は小さいが(RMSE=112.2あるいは150.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、24時間予報/12時間予報ではRMSEが30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後となり、データ同化によるRMSE改善が著しい。48時間予報で改善が少ない原因は、現時点では陸上における衛星観測のリトリバルが難しいためであると考えられる。24時間予報や12時間予報では48時間前の観測情報をデータ同化で取り込んだ上でさらに24時間前あるいは12時間前の観測情報も取り込んでいる。

ひまわり8号データ同化による予測計算結果はMODISデータ同化による予測計算結果よりも常にRMSEが小さく、ひまわり8号のエアロゾル観測が高品質(および高頻度)であることが示唆された。

(2-3) 二次元変分法によるエアロゾルデータ同化と再解析データセットの作成

ひまわり8号より得られたエアロゾル光学的厚さの二次元変分法を用いたデータ同化事例では、ひまわり8号観測データを用いたデータ同化を行うことにより、エアロゾル濃度を下方修正された。MODIS観測データを用いたデータ同化では、観測データが十分に得られなかったためか、エアロゾル濃度の修正が余り行われなかった。黄砂再解析データセットに関して、まずはデータ同化が確実に機能しているかどうかを調べるために、入力データとして用いたMODISから得られた光学的厚さとの比較を実施した。データ同化を行わなかったフリーランと再解析値との差を調べると、モデルとMODISの光学的厚さに主に熱帯や中国、インド、北米において系統的な正のインクリメントが見られた。一方、黄砂を含む鉱物ダストエアロゾル発生域付近では、負のインクリメントが見られた。これらは、全球エアロゾルモデルの持つ系統的な誤差を示していると考えられ、今後のモデル改良に関する一つの指針と考えられる。次に、この黄砂再解析データが捉えた2015年10月におけるインドネシア森林火災事例を調べると、従来のモデルシミュレーション(フリーラン)では十分に捉えることができなかったインドネシアボルネオ島付近の森林火災を、MODISから得られた衛星観測データを同化することによって、ひまわり8号からの観測とほぼ同様に再現することに成功していた。

(3) 疫学研究における黄砂濃度データ最適利用手法の開発とその応用

① ライダーデータの疫学調査利用におけるパラメータ最適化

ライダーデータの疫学調査利用にあたって、確認・議論が必要な点を整理し(以下5点)、そのうち妥当性と空間的広がりについて検討した。

1. 妥当性
2. 定性下限・定量下限
3. 黄砂の空間的広がり(1カ所の測定で複数地域の曝露指標とすることの妥当性)
4. データの種類(高さ、時間区切り、代表値算出手法)
5. 球状粒子状物質濃度の扱い

1. 妥当性

疫学調査で曝露情報として重要な「地上」の濃度との関連をみたものは少ない。公表されている論文の中から、地上濃度との関連をみているものを3報整理した。

- ・黄砂イベント時に、PM_{2.5}やPM₁₀の動きとDust Extinctionの動きが連動している¹⁾
- ・複数大規模黄砂イベント時の大気中鉄濃度とDust Extinctionに強い関連が認められる²⁾
- ・複数大規模黄砂イベント時のTSP濃度とDust Extinctionから換算比を1.04g/mと算出³⁾

これらの報告は、ライダーデータを疫学調査の曝露指標とする上でも示唆に富むものであり、疫学研究者に広く紹介した。

花粉やディーゼル粒子など、既に強い健康影響があることが判っているものをあわせてDustと判定している可能性について、議論している報告はなかった。花粉は、京都市内に250m上空まで到達しうることが報告されている⁴⁾。ライダーで観測している上空に到達する可能性があると考えて、花粉のライダー値への影響について検

討し、花粉が飛んでいれば黄砂消散係数に上乘せられるが、その量は黄砂消散係数に比較して非常に小さく、疫学調査にて影響を推定する上で大きな問題とならないことを示した。

2. 黄砂の空間的広がり

2013年の黄砂飛来時の、全国714測定局(図(3)-1)のSPM及びPM_{2.5}濃度の推移を図示し、地上での実測値にもとづく黄砂の空間的広がりについて確認した。また、ライダー設置箇所に最近傍の測定局と周辺の測定局においてSPM日平均値の相関係数を求め図示した。衛星画像や予測モデルで推定されていたのと同様に、一部の地域(桜島近辺等)を除いては、地上観測においても地域内(凡そ県内程度)での濃度上昇はほぼ一様であり、相関係数で0.9以上であることを示した。また、東大阪ライダー・つくばライダー近辺に示されるように、平野や盆地等の地形によっては、非常に広い範囲で黄砂日の相関係数は0.9を超えと非常に高い値であることを示し、ライダー値を現在の疫学調査の曝露指標として使用するにあたって、概ね同一地方内であればライダー測定位置と実際に曝露された位置の違いによる誤差よりは、調査にまつわる他の誤差(屋内外の曝露量の違い、症状申告と実際の症状のずれ等)の方が格段に大きいと考えられることを示した。

②-1 黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての一般ニーズの探索

喘息児の母親とアレルギー性鼻炎女性、合計20名に、大気汚染情報のニーズについてインタビュー調査した。以下を満たす情報提供が求められていた。

- ・現況濃度と予報の両方の情報提供ニーズがある
- ・既に症状との関連性を感じており「高いときに見落とすことなく情報が欲しい」プッシュ方式派と、症状との関連性について確認がしたい「自分が見たい時にさっと確認したい」自律派に分かれている
- ・普段、自身が情報を得ているメディアで大気汚染の情報も得たい
- ・提供される情報は、忙しいときにもさっと確認できる最低限の視覚情報が基本であるが、必要に応じて手軽に詳細な情報や周辺情報を得ることができる状態になっているものが望ましい

②-2 黄砂・PM_{2.5}の予報やリアルタイム情報の、健康影響への効果や使用感の評価

黄砂・PM_{2.5}の予報やリアルタイム情報を発信し、その健康影響への効果や使用感を評価するシステムを作成し、無作為比較試験により、その効果を検証した。

【リクルート】環境省エコチル調査追加調査『黄砂と子どもの健康調査』に参加している母児の中で、一度でも喘鳴を起こしたことのある児1,153名の母親に本調査について案内・説明し、529名の母親から参加同意を得た(同意率46%)。

【情報発信】介入群(前半群)に当たった被験者には、希望する仕様(タイミング・濃度・項目・地域)で、黄砂・PM_{2.5}に関する情報を希望メールアドレスに発信した。

また、気象モデルにて地域のPM_{2.5}が10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と予想された日(かつ地域の常時監視局のPM_{2.5}の実測値4-6時平均が<12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ かつ地域の降水確率が20%以下)の朝には「洗濯日和・おでかけ日和」と題した、換気や外遊びを促すメールを該当地域の介入群に発信した。調査開始(H28.10月末)からH29.3月末まで、京都市47日、長浜市27日、木津川市45日、富山県31日、鳥取県20日が該当した。

さらに、母親の総合的な判断が可能になるように、屋内のPM発生源(タバコ・料理・ストーブ等)や室内環境整備(ダニ・カビ等)の重要性、外遊びの重要性についての情報について、手のあいた時にいつでもアクセスできる状態にし、情報への感想等を自由記載にて収集した。

【曝露データ】2016年10月末から2017年3月末まで、PM_{2.5}濃度は各地域とも常に日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であった。黄砂については、小規模から中規模のものが各地域で数日観察された。

【アウトカムデータ】2016年10月末から2017年4月末まで、カレンダー形式にて予定外受診・園欠席等の入力を毎月末に依頼した。期間中、延べ1,937回依頼発出し、そのうち延べ1,567回(81%)において期限内(発出日の翌月末まで)に回答が得られた。回答率は調査期間中、常に高率を保持できた。

【健康影響の解析結果】プロトコル上で主解析と設定した、研究期間中の予定外受診発生率は介入群で2.21%(584受診/延べ20,589日)非介入群で2.25%(600受診/延べ26,619日)と統計学的に有意な差を示さなかった(表(3)-14)。しかしながら、黄砂日(>0.04/km)に限定すると介入群の予定外受診オッズ比は0.30(95%CI 0.09-0.97)と、介入群で有意に低下していた。情報提供システムの使用感では、95%の方が「ほしい情報が受け取れた」にYes、84%の方が「引き続き利用したい」にYesと回答した。

③ 気象モデルの疫学調査利用における最適なパラメータの提案と、気象モデルデータを利用した場合の既存の結果との違いについての評価

気象モデル黄砂濃度データセットが作成されたH23-25年について、既存の健康情報(推進費C-1152(H23-25))を利用した解析を行い、これまで黄砂濃度情報を近隣のライダーなどで代用していた場合の結果との差について評価を行った。

気象モデルデータにおいて、ライダー値上昇時の地域のSPM上昇は概ね再現されており、気象モデルデータにおいても、ライダー値で推定した際と同様に濃度依存的な症状発現オッズ比の上昇が確認された。

④ ライダーホームページ(一般対象)掲載用の黄砂の呼吸器への影響についての既存報告のまとめ

抽出された11文献について、黄砂の定義／閾値・濃度依存性の検討／脆弱性を決める因子・予防法の検討について重点的にレビューし、一般向けにまとめた。各文献のレビュー結果を別添する。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

本研究に基づいて長期のライダー観測が実現したことで、日本国内の黄砂濃度の高度別長期トレンドが初めて明らかにされた。地表付近では過去10年で黄砂濃度は殆ど横ばいなのに対して中部対流圏では年6%以上の減少率であった。これは黄砂の発生源別にその日本への影響が異なることを示唆しており、この差異が発生量に基づくのか輸送プロセスに依存するのかという新たな問題を提示した。その他、小型望遠鏡を用いたライダーによる低層観測や偏光パーティクルカウンターとライダーとによる観測結果の良好な対応から、より人間生活空間の黄砂濃度を把握する手段が確立された。数値モデル研究では、気象庁の現業黄砂予報モデルの分解能向上に伴う予報精度の改善に寄与したほか、エアロゾル再解析データの作成により各種影響評価のための使いやすいデータベースが形成された。また疫学研究に関して、既存の観測・モデル結果の最適な利用手法やその限界、同化済みデータの有用性などが明らかになるとともに、黄砂の情報提供のあり方に関して利用者のフィードバックに基づき最適となる提供タイミングや内容についての知見が得られた。

(2) 環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

サブテーマ(1)による黄砂の連続観測結果の一部(主に福江島におけるデータ)は、環境省環境保健部環境安全課における「黄砂の健康影響に関する疫学研究等を行うワーキンググループ」に提供され、レトロスペクティブおよびプロスペクティブ研究において活用された。これらの結果に関する紹介も含む小冊子「黄砂とその健康影響について」が作成され、2018年春に環境省から公開されている。また環境省水・大気環境局大気環境課による「黄砂実態解明調査解析ワーキンググループ」においては、気象庁の黄砂発表日に関する解析を行うために全国のライダーによる黄砂消散係数が利用され、各黄砂イベントの規模や特徴を記述するために利用された。また、気象庁が黄砂発表していないような弱い黄砂の検出にライダーを利用する手法も同ワーキンググループで検討された。これらに関するH27年度・H28年度の解析結果はそれぞれ「環境省平成27年度黄砂飛来状況調査報告書」「同28年度報告書」に纏められている。更に同課が管轄する「日中韓環境大臣会合(TEMM)黄砂等に関するワーキンググループ1(DSS-WG1)」の年次会合にはサブテーマ(1)(2)から代表者・分担者が参加し、ライダーネットワークによる観測結果・数値モデル改善やエアロゾル再解析データベースについて発表を行い、東アジア域の大気環境管理に関する国際協調に資することとなった。また平成27年度ライダー・POPCのデータは日中韓三カ国のデータ共有対象となり、中韓両国のカウンターパート(中国環境保護局・韓国気象庁気象研究所)に提供された。ライダー観測結果は「環境省黄砂飛来情報ホームページ」から広く国民向けに常時提供され、黄砂の動態に関心を持つ市民に対する行政サービスの重要な基盤を形成している。また気象庁が実施している黄砂予測業務において、本研究成果である全球エアロゾル輸送モデルの改良版が平成29年2月より現業運用され、気象庁黄砂予測業務の改善に貢献した。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

H29年度のライダー観測結果は平成30年度に黄砂実態解明調査解析ワーキンググループにおいて利用され、H29年度黄砂飛来状況調査報告書として平成31年3月までに取り纏められる見込みである。平成28/29年の黄砂観測については、ライダー・POPCデータともTEM DSS-WG1における共有の対象となり、中韓カウンターパートに提供される予定である。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

＜査読付き論文＞

- 1) N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Matsui and M. Nishikawa: Particuology, 28, 114–120 (2016), A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM_{2.5}-to-PM₁₀ ratios.
- 2) A. Shimizu, T. Nishizawa, Y. Jin, S.W. Kim, Z. Wang, D. Batdorj, N. Sugimoto: Opt. Eng., 56(3), 031219 (2016), Evolution of a lidar network for tropospheric aerosol detection in East Asia.
- 3) A. Shimizu, N. Sugimoto, T. Nishizawa, Y. Jin, D. Batdorj: Sci. Online Let. Atmos., 13, 205–208 (2017), Variations of Dust Extinction Coefficient Estimated by Lidar Observations over Japan, 2007–2016.
- 4) T. T. SEKIYAMA, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. Nagao, M. Kikuchi, and H. Murakami: SOLA, 12, 86–90, doi:10.2151/sola.2016-020 (2016), Data Assimilation of Himawari-8 Aerosol Observations: Asian Dust Forecast in June 2015.
- 5) K. Yumimoto, H. Murakami, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi and T. Maki: Particuology, 28, 121–130 (2015), Forecasting of Asian dust storm that occurred on May 10–13, 2011, using an ensemble-based data assimilation system.
- 6) K. Yumimoto T. M. Nagao, M. Kikuchi, T. T. Sekiyama, H. Murakami, T. Y. Tanaka, A. Ogi, H. Irie, P. Khatri, H. Okumura, K. Arai, I. Morino, O. Uchino, T. Maki: GRL, 43, 5886–5894 (2016), Aerosol data assimilation using data from Himawari-8, a next-generation geostationary meteorological satellite,
- 7) K. Yumimoto, Tanaka, T. Y., Oshima, N., and T. Maki: Geosci. Model Dev., 10, 3225–3253, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-3225-2017> (2017), JRAero: the Japanese Reanalysis for Aerosol v1.0.
- 8) K. Yumimoto, Uno, I., Pan, X., Nishizawa, T., Kim, S.-W. and Sugimoto, N.: SOLA, 13, 31–35, doi:10.2151/sola.2017-006 (2017), Inverse Modeling of Asian Dust Emissions with POPC Observations: A TEMM Dust Sand Storm 2014 Case Study.

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) Shimizu A., Nishizawa T., Sugimoto N., Matsui I., Kobayashi H., Maki T., Sekiyama T., Kanatani K.: 27th International Laser Radar Conference, New York, U.S.A., 2015, “Integrated Study of AD-NET Mie-lidar Network and Data Assimilated CTM for Asian Dust Epidemiology in Japan”
- 2) Sugimoto N., Nishizawa T., Matsui I., Shimizu A., Jin Y.: International Workshop on Outbreaks of Asian Dust and Environmental Regime Shift – Second JSPS Seminar –, Lanzhou, China, 2015, “Characterization of Asian Dust Using Lidars”
- 3) Sugimoto N., Nishizawa T., Shimizu A., Jin Y. (2016) The Asian Dust and Aerosol Lidar Observation Network (AD-Net). OSA Light, Energy and the Environment Congress, Optical Instrumentation for Energy and Environmental Applications, Abstracts, E2(EW2A.1)
- 4) Sugimoto N., Shimizu A., Nishizawa T. (2016) Validation/assimilation of aerosol chemical transport models using the ground-based lidar network (AD-Net). 2016 International Asian dust and Aerosol Workshop, Abstracts, 17

- 5) 清水厚, 小林拓, 西澤智明, 杉本伸夫 (2016) ライダーによる黄砂消散係数と偏光OPCによる黄砂濃度との対比. 第34回レーザセンシングシンポジウム, 同予稿集, 138-139
- 6) Sugimoto N., Nishizawa T., Shimizu A., Jin Y. (2016) Observation of distribution and characteristics of mineral dust using lidars and in-situ optical particle counters. Third JSPS Seminar: Collaborative Research between Mongolia, China and Japan on Outbreaks of Asian Dust and Environmental Regime Shift, Abstracts, 18
- 7) Sugimoto N., Nishizawa T., Shimizu A., Jin Y., Oikawa E. (2016) Validation/assimilation of chemical transport models using AD-Net lidar data. International Cooperative for Aerosol Prediction: Lidar Data and its use in Model Verification and Data Assimilation, -
- 8) Shimizu A., Sugimoto N., Matsui I., Nishizawa T., Jin Y. (2016) ACTIVITIES IN 15 YEARS OF AD-NET, A LIDAR NETWORK FOR ASIAN DUST STUDIES. 2nd International Conference on Atmospheric Dust, Scientific Research Abstracts vol. 5 - DUST 2016, 139
- 9) 清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 西澤智明 (2016) 2波長偏光ライダーによる黄砂時のエアロゾル光学特性分類. 日本気象学会2016年度春季大会, 同予稿集, 207
- 10) N. Sugimoto, A. Shimizu, T. Nishizawa, Y. Jin, 28th International Laser Radar Conference, Bucharest, Romania, 2017 “Recent Developments with the Asian Dust and Aerosol Lidar Observation Network (AD-Net)”
- 11) 清水厚、高見昭憲、吉野彩子、杉本伸夫、西澤智明、神慶孝、第22回大気ライダー研究会、東京、2018 “地上付近のエアロゾル鉛直分布把握のための取り組み”
- 12) T. Y. Tanaka, A. Ogi, N. Ohkawara, T. Maki, T. T. Sekiyama, K. Yumimoto: Updates of the aerosol prediction in Japan Meteorological Agency, 7th ICAP meeting, Spain, 2015.
- 13) T. T. Sekiyama, K. Yumimoto and T. T. Tanaka: Aerosol Data Assimilation Current Situation and Projects of JMA, 7th ICAP meeting, Spain, 2015.
- 14) T. Maki: Overview and EWS of Dust in Japan, International Symposium on Preparedness for Dust Hazard, Tottori, 2015.
- 15) T. Maki, K. Yumimoto, T. T. Sekiyama, A. Ogi, Y. Kitajima, N. Ohkawara, T. Y. Tanaka: Modeling study in JMA/MRI, The 8th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, Fukuoka, Japan, 2015.
- 16) T. T. Sekiyama: Aerosol-Forecast-Oriented Data Assimilation of Himawari-8 Aerosol Products , 96th American Meteorological Society (AMS) annual meeting, New Orleans, USA, 2016.
- 17) T. Y. Tanaka, A. Ogi, N. Ohkawara, , K. Yumimoto , T. T. Sekiyama and T. Maki: Development and future plans of the Aeolian dust prediction of the Japan Meteorological Agency, DUST 2016, Italy, 2016.
- 18) T. Y. Tanaka, A. Ogi, N. Ohkawara, , K. Yumimoto , M. Deushi, T. T. Sekiyama and T. Maki: Update of the aerosol prediction of the Japan Meteorological Agency, 8th ICAP meeting , College Park, USA, 2016.
- 19) K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, T. Maki and A. Ogi: JMA Assimilation Update, 8th ICAP meeting , College Park, USA, 2016.
- 20) T. Maki, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi, T. Kitajima, T. Aoyagi and M. Deushi: Current Asian dust forecasting/monitoring activities of JMA/MRI, 2016 International Asian dust and Aerosol Workshop, Jeju, Korea, 2016.
- 21) T. Maki, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi, T. Kitajima, T. Aoyagi and M. Deushi: Modeling study in JMA/MRI, The 9th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, Jeju, Korea, 2016.
- 22) K. Yumimoto and T. Maki: Development of an aerosol assimilation/forecasting system with Himawari-8 aerosol products, AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA, 2016.
- 23) T. Y. Tanaka, T. Maki and K. Yumimoto: Near Real Time aerosol forecast experiment with Himawari-8 aerosol product, JPGU and AGU joint meeting, Makuhari, Japan, 2017
- 24) K. Yumimoto, T. Y. Tanaka and T. Maki: JMA/MRI Aerosol reanalysis Product, JPGU and AGU joint meeting, Makuhari, 2017.
- 25) T. Maki, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi, T. Kitajima, T. Aoyagi and M. Deushi : Modeling study in JMA/MRI, The 10th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, Lanzhou, China, 2017.

- 26) T. Maki: Simulation and prediction of the sand storm and dust, Module of Technical Seminar on Sand Dust Monitoring, Teheran, Iran, 2015.
- 27) T. Maki: Simulation and prediction of the sand storm and dust, Technical Seminar on Sand Dust Monitoring, Ahwaz, Iran, 2017.
- 28) 弓本桂也、関山剛、村上浩、菊池麻紀、永尾隆、田中泰宙、小木昭典、眞木貴史: ひまわり8号データを用いたエアロゾルデータ同化、日本気象学会秋季大会、京都(2015)
- 29) 田中泰宙、小木昭典、大河原望、弓本桂也、関山剛、大島長、眞木貴史: 気象庁黄砂予測のための次期全球エアロゾル予測モデルの開発、日本気象学会秋季大会、京都(2015)
- 30) 関山剛: エアロゾル数値モデルと観測データの比較による黄砂発生プロセス理解の深化、鳥取大学乾燥地研究センター平成27年度共同研究発表会、鳥取(2016)
- 31) 金谷久美子. 「疫学からのアプローチ」. 文部科学省認定「共同利用・共同研究拠点」同志社大学赤ちゃん学研究センター キックオフシンポジウム 赤ちゃん学って何だろう? (2017.3)
- 32) 金谷久美子. 「大気汚染の健康影響に関する疫学研究 -アレルギー疾患を中心に-」第44回毒性学会学術年会シンポジウム (2017.7), Journal of toxicological sciences, Vol.42th, Page.S93 (2017.06)
- 33) 金谷久美子.: 「黄砂・PM2.5の健康影響 ～子どもを包む空気を考える～」 第19回日本こども健康科学会シンポジウム (2017.12)
- 34) Kumiko T KANATANI: "Climate change, air pollution, and allergy" East Asia Allergy Symposium1 (EAAS1) 2018, (2018.5, Seoul)
- 35) Kyoko Hirabayashi, et al. : "The effectiveness of Asian dust now-cast/for-cast intervention among mothers of wheezing children in Japan: A randomized controlled trial" ISEE-AC 2018 (2018.5, Taipei)

7. 研究者略歴

研究代表者

清水 厚(サブテーマ(1)代表)

京都大学大学院理学研究科博士後期課程修了、博士(理学)、現在、国立環境研究所地域環境研究センター広域大気環境研究室主任研究員

研究分担者

1) 眞木 貴史(サブテーマ(2)代表)

京都大学理学部卒業、現在、気象研究所環境・応用気象研究部第一研究室長

2) 金谷 久美子(サブテーマ(3)代表)

京都大学医学部卒業、University of California, San Diego, Master of Clinical Research修了、現在、京都大学大学院医学研究科 社会健康医学系専攻 健康情報学分野 研究員

II. 成果の詳細

II-1 ライダー観測等に基づくリアルタイム黄砂データ提供手法の拡張

国立研究開発法人国立環境研究所

地域環境研究センター 広域大気環境研究室

環境計測研究センター

環境計測研究センター 遠隔計測研究室

清水 厚

杉本 伸夫

西澤 智明

<研究協力者>

山梨大学

小林 拓

平成27年度～29年度累計予算額：41,401千円（うち平成29年度：13,545千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

風送エアロゾル(黄砂)の環境影響を把握するために重要な地上付近の濃度の重点的な把握のため、従来のライダー観測における低空データ取得方法の改善、偏光パーティクルカウンターによる計測値との比較を行い、いずれも目的に適った利用が可能であることを確認した。黄砂と大気汚染物質の内部混合に関してライダーの2波長比を用いた解析を進め、国内では地域毎にその特徴が現れることを見出した。またライダーネットワークの持続的な運用を行い、黄砂濃度の長期変動に高度依存性が見られる（地上付近では横ばいなのに対して上空では減少傾向）ことを明らかにした。また観測結果をサブテーマ(2)における数値モデル検証のために提供したほか、サブテーマ(3)の健康影響調査実験参加者へ提供するためのデータとしても提供した。3つのサブテーマから得られた知見についてのリンク等を情報提供システム（国立環境研究所ライダーHP）上に整備した。

[キーワード]

ライダー、偏光パーティクルカウンター、内部混合、長期データ取得、情報提供

1. はじめに

東アジア域に発生起源を持つ風送エアロゾル(黄砂)は、日本の大気環境にも大きな影響を与えている。黄砂は幅広い粒径分布を持ち、特に長距離輸送された黄砂においてはPM2.5にあたる小粒子の割合が高くなる。例えば平成22年から24年度にかけては3年連続で常時監視一般局の10%以上において、黄砂の影響でPM2.5の環境基準が未達成とされている。逆に平成25年度においてはその割合は2.2%に留まるなど、自然由来現象である黄砂の年々変動は大きい。このような黄砂現象による大気環境および人間社会への影響を評価するためには、観測・モデルの統合的活用が不可欠であり、観測サイドで重要な課題となるのは大気粒子全体からの黄砂のみの濃度の抽出・多様な観測点の拡がり・連続稼働性などである。本研究では、既に東アジア域で15年以上に渡り黄砂の連続観測を実施してきたライダーネットワークの更なる活用を目指し、その観測高度範囲の拡張(より低空の観測)、黄砂と大気汚染の内部混合に関する情報の取得、ライダー以外の測定装置による黄砂濃度の検証などを実施する。またこれらを通じて改善された黄砂の現状に関する情報を他のサブテーマに提供し、取得された観測結果の有効活用を図る。さらに、他のサブテーマより提供された黄砂に関する情報(再解析データベース)、黄砂の健康影響に関する知見を取り纏めることにより、黄砂の環境影響評価に資するようなデータの提供を実施する。これを通じて、日本国内の大気環境行政に対して提供する黄砂に関する知見の拡大を図ると共に、日中韓環境大臣会合に基づくワーキンググループの活動などを通じて東アジア域全体でこのような黄砂データの活用を促進する取り組みを行う。

2. 研究開発目的

本研究では、ライダーによる黄砂の連続観測を実施して長期に渡る黄砂観測データベースの作成に寄与すると共に、これまでのライダーデータ解析で十分でなかった点の改善を行う。具体的には、(1)観測高度領域の拡大(人間活動領域に近いより低空の情報を取得)、(2)大気汚染と黄砂との関係に関わる内部混合状態の把握、(3)偏光パーティクルカウンター(POPC)による黄砂観測結果とライダーによる黄砂観測結果の対比による取得地点拡大への取り組み、を実施する。またこれらを通じて得られた大気の実態に関する情報を他のサブテーマに提供すると共に、他のサブテーマから得られた知見を黄砂濃度提供システム(国立環境研究所ライダーネットワークホームページ内)に纏めて一般および研究者向け情報提供の充実を図る。

3. 研究開発方法

国立環境研究所が管理を担当しているライダーネットワークAD-Net(Asian dust and aerosol observation lidar network)の連続運用を行うことで、日本・韓国・モンゴルにおける黄砂と人為汚染(球形)粒子の鉛直分布を連続的に観測する。この結果を国立環境研究所においてリアルタイムで処理し、環境省黄砂飛来情報ホームページ、あるいは国立環境研究所ライダーホームページなどを通じて提供する他、各種環境影響評価のためのデータセットを作成する。また、人間生活空間により近い低高度のエアロゾルをAD-Netで計測するため、小型広角望遠鏡の増設によって最低観測高度の引き下げを行う。黄砂と人為汚染との混合状態(内部混合が起きているか)を推定するために、可視と赤外の波長を用いた解析を行う。ライダーが設置されていない地点で黄砂濃度を得るため、山梨大学が開発した偏光パーティクルカウンター(POPC)による黄砂濃度とライダーによるものとを対比する。サブテーマ(3)における情報提供のため、ライダー観測による黄砂濃度をリアルタイムで提供する。他のサブテーマから得られた情報について、国立環境研究所ライダーホームページ内で一括して閲覧可能なページを整備する。これらの詳細は以下の通りである。

(1)AD-Netにおける連続観測の実施

国立環境研究所では2001年につくば・北京・長崎の3地点でライダーの同時連続観測を始めて以来、多様な共同研究グループと共にライダーのネットワーク(AD-Net)の拡張を進めてきた。図(1)-1に2016年3月の時点におけるAD-Netの観測地点を示す。これらの地点ではいずれも標準化された観測(時間分解能15分、解析時鉛直分解能30m、観測上限18km、観測波長532nm/1064nm、532nmにおける偏光解消度取得)を行っている。この観測データは全て国立環境研究所にリアルタイムで転送され、統一されたアルゴリズムに基づき処理される。データプロダクトとしては雨天判定結果、雲底高度、エアロゾル消散係数、粒子偏光解消度が導き出され、これらを用いて黄砂消散係数および球形粒子消散係数が晴天時は9kmまで、曇天時には雲底高度以下で導出される(Shimizu et al., 2016)。これらはいずれも国立環境研究所ライダーグループホームページから画像・数値として公開されているほか、黄砂消散係数については地上付近の1時間値が計算され、環境省サーバーを経由して「環境省黄砂飛来情報ホームページ」から一般向けに公開される。本研究費では、環境省が管理費を負担している富山・松江・長崎・新潟・東京・モンゴル3地点 以外のライダーについて観測を実施した。

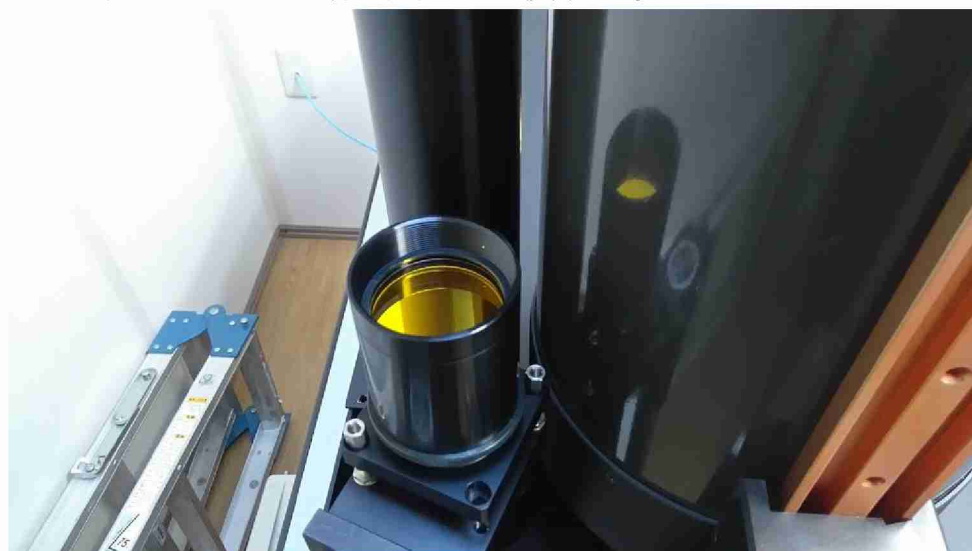


図(1)-1 AD-Netライダー観測実施地点

なおこの図には本研究費以外の経費で運用されている地点も含む。

(2) 小型広角望遠鏡による地上により近い領域の観測

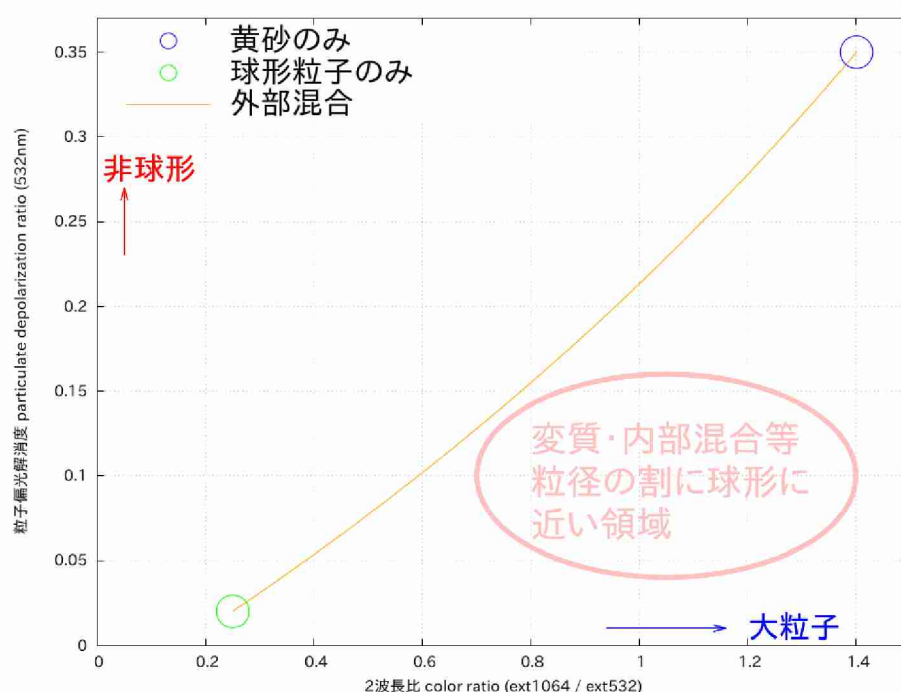
ライダー観測においては、上空に射出されたレーザー光が受光望遠鏡の視野に完全に入るまでに一定の距離が必要である。AD-Netの場合、レーザー光が完全に視野に入るのは数百m上空で、それより下では経験的補正関数を作成して信号強度の補正を行ってきた。ただし、そのような補正も高度120m以下では補正係数が大きくなり過ぎるために限界があり、AD-Netから提供されるデータの下限高度は地上120mとしてきた。本研究では、図(1)-2に示すような広角・小型の望遠鏡を用いることで受光視野拡がりを大きく取り、なるべく低空からデータ取得を行う手法を検討した。



図(1)-2 口径5cmの小型広角望遠鏡

(3)赤外・可視の2波長観測を利用した内部混合の推定

AD-Netの標準データ解析(Shimizu et al., 2016)では、532nmの偏光解消度のみを用いて黄砂とそれ以外の球形粒子による消散への寄与を分離してきた。即ち、2種の粒子(黄砂と球形粒子)の外部混合を前提とした解析を行ってきた。しかしながら、実際には黄砂表面での化学反応などを通じて黄砂とそれ以外の大気汚染粒子あるいは大気汚染ガスとの反応が進んで内部混合状態の粒子が存在する可能性があるため、ここでは2波長比を用いた解析を行った。Sugimoto et al.(2002)と同様に、近赤外1064nmでの消散係数を導出して532nmの消散係数との比を得ることで2波長比(Color ratio)を得て、粒径分布の指標とする。これと偏光解消度を利用して、内部混合が起きているかどうかを表す。即ち、内部混合によってもともと非球形である黄砂が球形に近付いた場合、2波長比は維持されるが偏光解消度が低下すると考えられる(図(1)-3)。このような特徴が過去のライダー観測データから見出されるかどうかを調べた。



図(1)-3 2波長比と偏光解消度を利用した内部混合状態推定手法の概念図

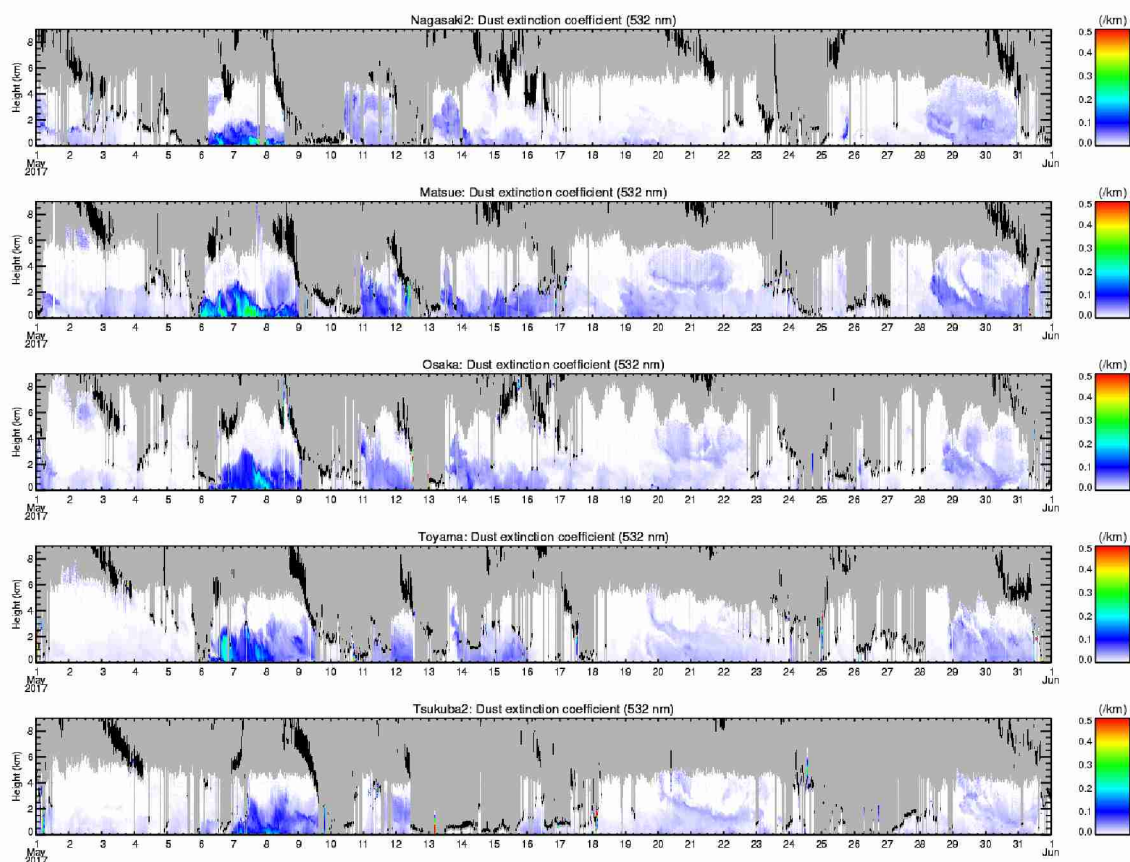
2波長比(粒子の大きさの指標)と偏光解消度(粒子の非球形性の指標)を固定した2種類の粒子(黄砂=大粒径・非球形と球形粒子=小粒径・球形)が外部混合している場合には観測値はオレンジの外部混合曲線上に位置し、内部混合など変質が進むと大きさに対して偏光解消度が下がることで外部混合曲線の右下側に位置することとなる。

(4)偏光パーティクルカウンターを用いた黄砂観測との対比

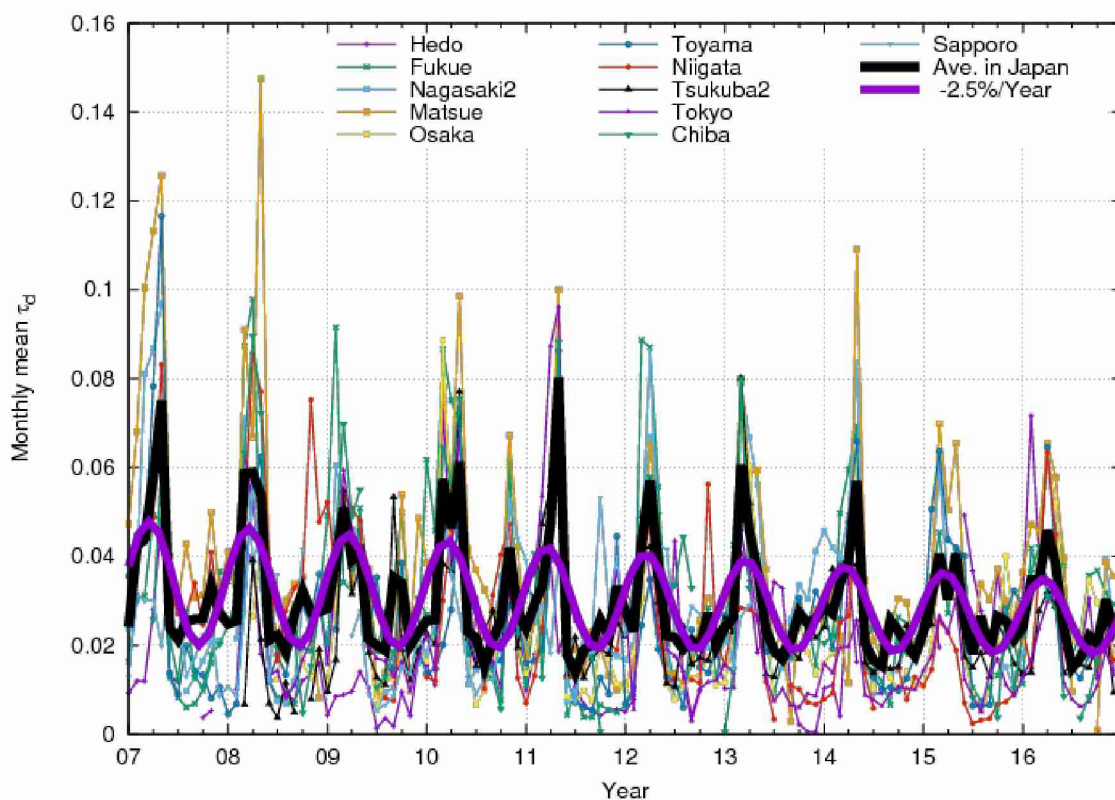
AD-Netによるライダー観測は国内12地点で行われているが、より多くの地点(具体的には各都道府県など)への配置は困難である。このため、ライダー以外で黄砂濃度を直接計測出来るような連続測定機器の必要性が高い。本研究費では、過去に山梨大学が開発して偏光パーティクルカウンター(POPC = Polarization Optical Particle Counter)による観測をライダー観測と比較して、ライダーと同様に黄砂の濃度が計測できるのかを検証した。POPCでは、取り込まれた1つ1つの粒子に対して780nmのレーザー光を照射し、前方散乱強度から粒径を、後方散乱に関して偏光解消度を測定して形状の推定を行い、閾値に基づいて粒子の分別を行った後にそれら粒子の体積を推定、更に比重を掛け重量濃度の推定を行っている(鷹取ほか、2015、エアロゾル研究)。本研究ではこのうち以前からPOPCが設置されていたソウル、および本研究で新規に観測がスタートした近畿大学(東大阪市)におけるPOPC黄砂重量濃度データとライダーによる黄砂消散係数(高度120--210m区間の平均)との比較を時系列・散布図を用いて行った。

(5)各種情報の提供

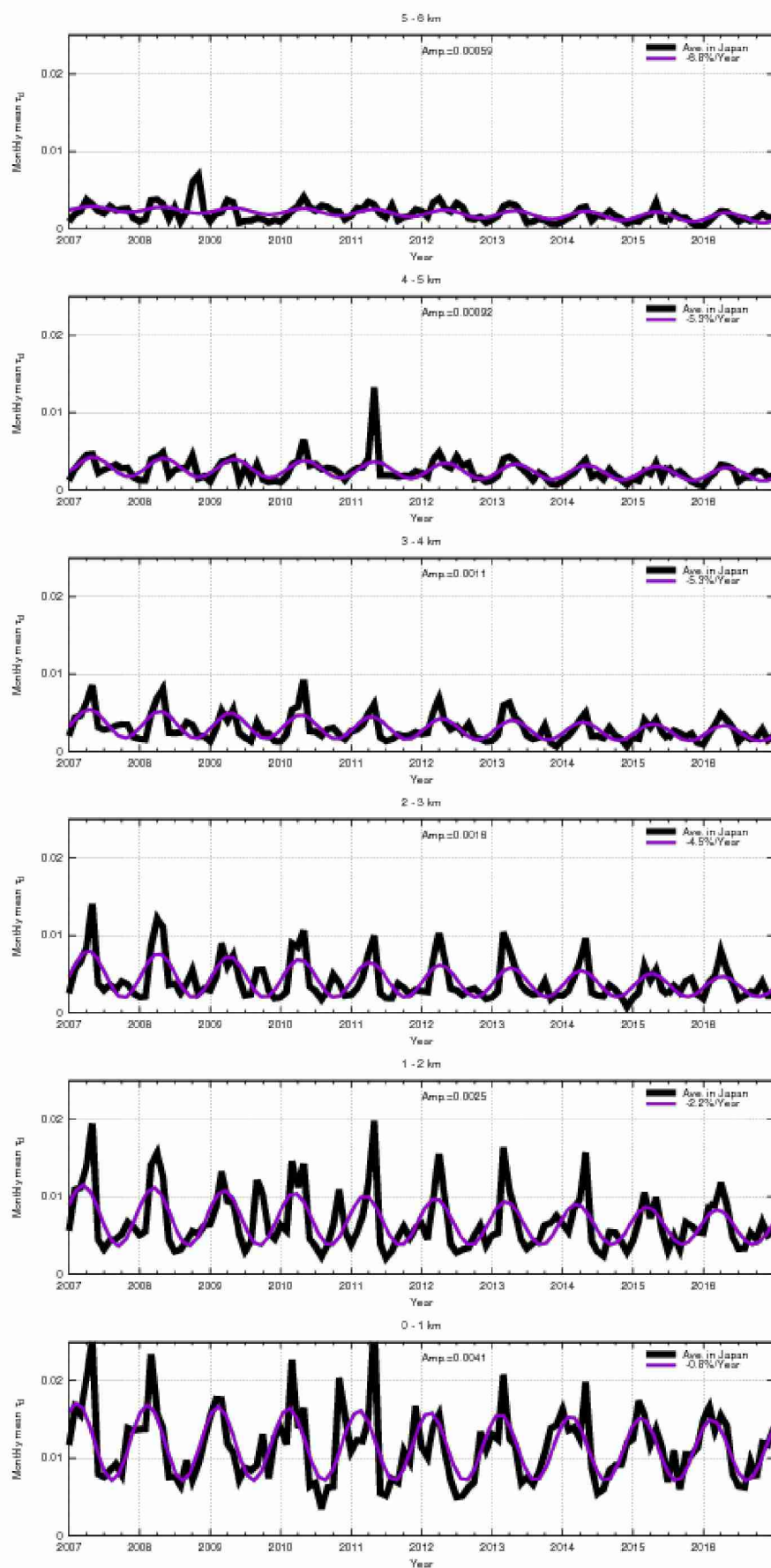
サブテーマ(3)において実験参加者にリアルタイムでデータを提供するために、国立環境研究所から京都



図(1)-5 5地点における連続観測により得られた黄砂消散係数の時間高度断面図（平成29年5月分）
上から長崎、松江、大阪、富山、つくば。黒は雲、灰色は雨・雲底以上など観測不能領域を示す。



図(1)-6 黄砂光学的厚さ（鉛直積分された黄砂量に相関）の2007-2016年における変動
太い黒線が国内のライダー全地点で平均した月毎の値、太い紫線が年周期正弦波と時間の一次関数の和でフィッティングを行った結果。細実線は地点別の値。Shimizu et al. (2017)から抜粋。

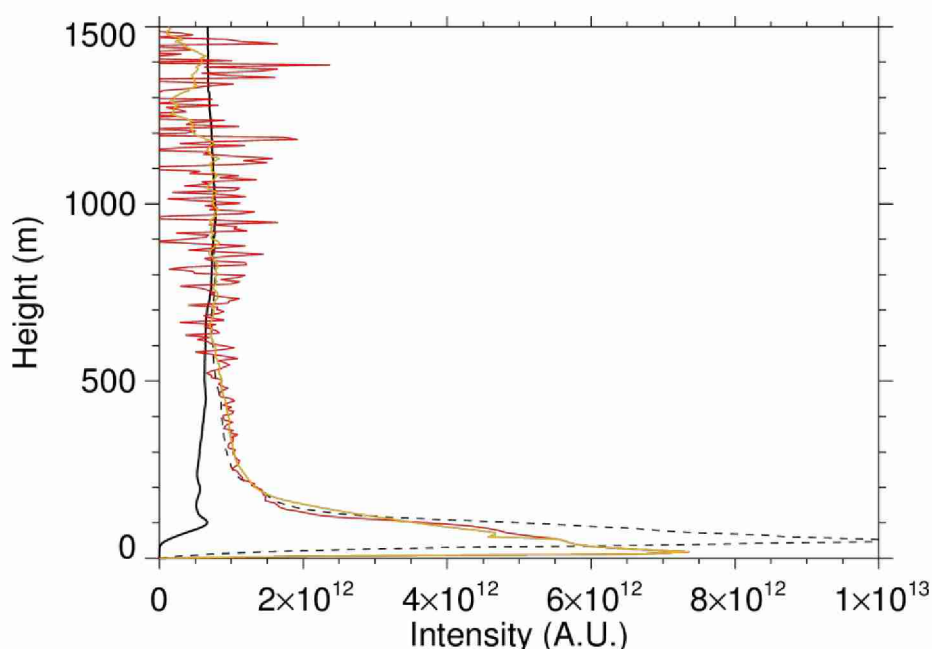


図(1)-7 高度別の黄砂光学的厚さの2007-2016年における変動
下から上へ0-1km, 1-2km, 2-3km, 3-4km, 4-5km, 5-6km。Shimizu et al. (2017)より抜粋。

(2) 小型広角望遠鏡による地上により近い領域の観測

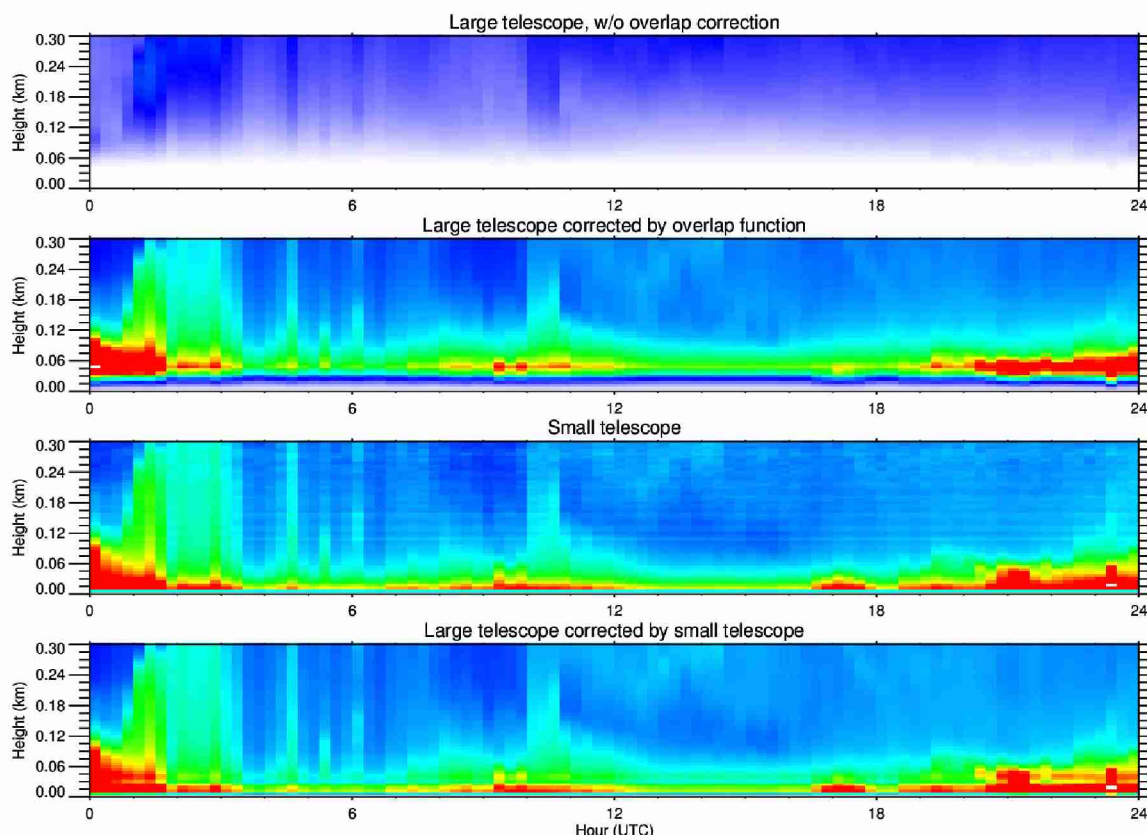
ある特定の時刻におけるつくばライダーによる鉛直プロファイルの例を図(1)-8に示す。観測された生の値（黒の実線）では高度600m付近より下で望遠鏡視野から後方散乱光が外れるため、信号強度は徐々に弱くなる。これまでは、別途推定した経験的補正関数を適用して高度120m以上で信号補正を行って（黒の点線）解析に利用していた。この結果は、高度60m付近では不自然に大きくなるなど、利用できる範囲に限界が見られた。今回導入された口径5cmの小型広角望遠鏡は、より下層から十分信号が受かっていることが図(1-6)から明らかである。ただし、大型望遠鏡でも光のロスなく計測が行われている高度600m付近では小型広角望遠鏡のノイズは非常に大きい。これは、広い視野で背景光が大量に入ることにより起因するものと推察される。このため、常時取得される小型望遠鏡データを従来の大型望遠鏡データの下層に（オーバーラップさせつつ）接続して観測値を生成するのではなく、大気状態が安定しているコンディションにおいて両望遠鏡データを時間平均し、それらの比から高度毎の補正係数を決定し、それを大型望遠鏡の観測値に適用して最終プロダクトとする手法を導入した。これによる補正を行ったデータも図(1)-8にプロットされており、以前の経験的補正係数によるものよりも下層までデータが取得されている。検討の結果、従来の最低観測高度が地上120mだったのに対して、本手法によりこれを地上60mまで引き下げることが可能と見積られた。また、小型望遠鏡は532nmのみを受光するため、直接接続の方法では1064nmの下層を補えないのに対して、上述の高度毎補正係数を1064nmに適用すれば両波長において下層までデータが得られることになる点も有利である（ただし、両波長において大型望遠鏡に関する受光系の視野広がりとは全く同じであるという仮定が必要）。この結果得られる時間高度断面図の例を図(1)-9に示す。これまでの手法（上から2段目）では最下層に不自然なギャップが見られ、この付近のデータは利用されてこなかった。3段目の小型広角望遠鏡データはその点は改善されているが前述の通り上空でノイズが大きい。小型望遠鏡による実測値に基づいた補正の結果（4段目）により、各高度でノイズが少なくかつ低空まで利用可能なデータの整備が可能となった。

なおこれまでに小型望遠鏡が配備された地点はつくば・済州島・長崎・福岡である。その他の地点への配備については引き続き検討を重ねている。



図(1)-8 532nm後方散乱強度（相対値）の鉛直プロファイル

黒実線：既存（大型）望遠鏡の測定値、黒破線：経験的補正関数による修正値、赤実線：小型広角望遠鏡の測定値、オレンジ：赤実線にスムージングを掛けた結果。

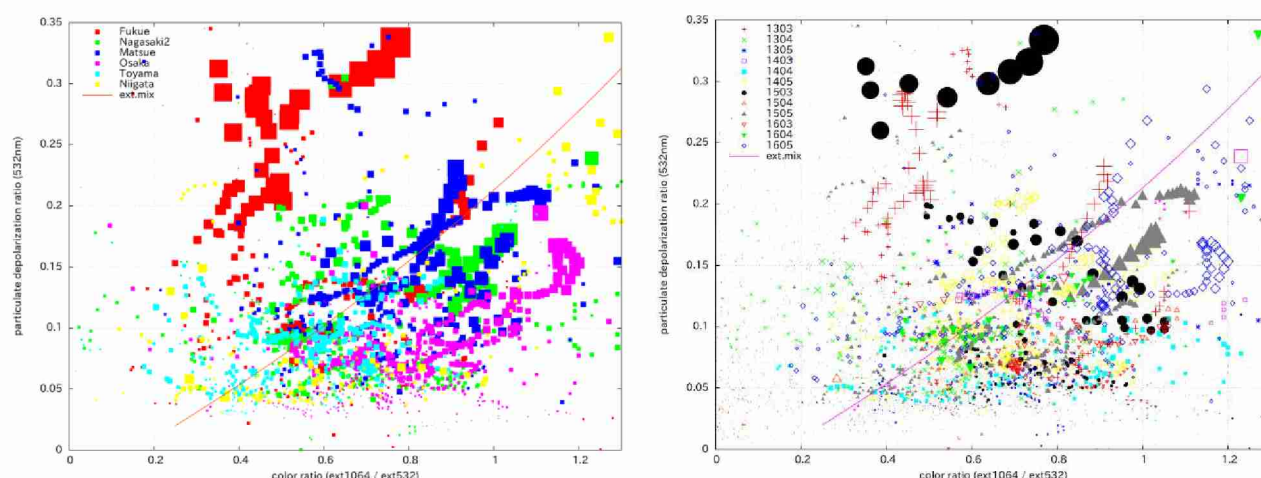


図(1)-9 532nm後方散乱強度の時間高度断面(高度3km以下、24時間分)

上から(1)補正なし(2)従来の経験関数による補正(3)小型望遠鏡を直接利用したもの(4)小型望遠鏡を利用して策定した補正関数により大型望遠鏡の値を補正したもの。

(3)赤外・可視の2波長観測を利用した内部混合状態の推定

AD-Netにおける過去の観測結果を再処理し、地上に近い領域での2波長比(1064nm消散係数と532nm消散係数との比)と532nm粒子偏光解消度を利用して多地点かつ複数の黄砂シーズンデータを含む散布図を作成した。その結果を図(1)-10に示す。これらの図では、黄砂と球形粒子が外部混合していればその理論曲線上にデータ点が来るべきところ、内部混合により黄砂(大粒子)の偏光解消度が低下すればこの線よりも右下側にデータ点が現れると想定する。結果としては、図(1)-10左に見られる通り大阪や新潟のように日本海から離れている、あるいは日本海側であっても東日本である地点において内部混合を示唆するデータが多く見られた。即ち、ユーラシア大陸からの輸送時間が比較的長い地点において、内部混合が進んでいたものと考えられる。これに対して図(1)-10右では、同じ黄砂イベント(厳密には同じ月内)における地点毎のばらつきが大きいことが見受けられる。つまり、ある黄砂イベントについて日本全体で内部混合が進んでいるような状況は見出しにくく、変質のプロセスは国内における輸送時間と相関があることが示唆された。なお、図(1)-10左において福江島で見られたデータ(外部混合曲線の左上に位置する)については小粒子でありながら非球形であることを示しているため従来の2成分ライダー解析手法では解釈が難しく、該当期間におけるデータの品質管理の確認を含めてこの部分の理解は今後の課題となっている。



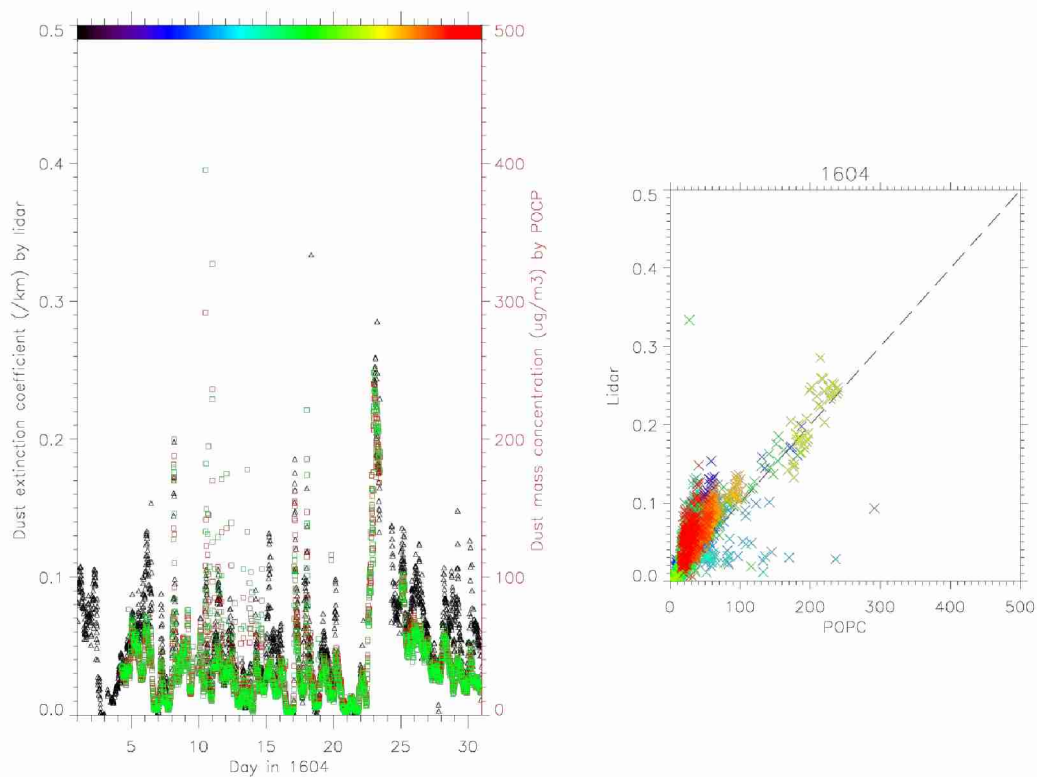
図(1)-10 地上に近いデータの2波長比（横軸）と粒子偏光解消度（縦軸）の散布図

値はすべて月平均されたもの。左：地点別の色分け表示、右：月別にシンボルを変えた表示。いずれも点の大きさは黄砂消散係数の絶対値に比例している。

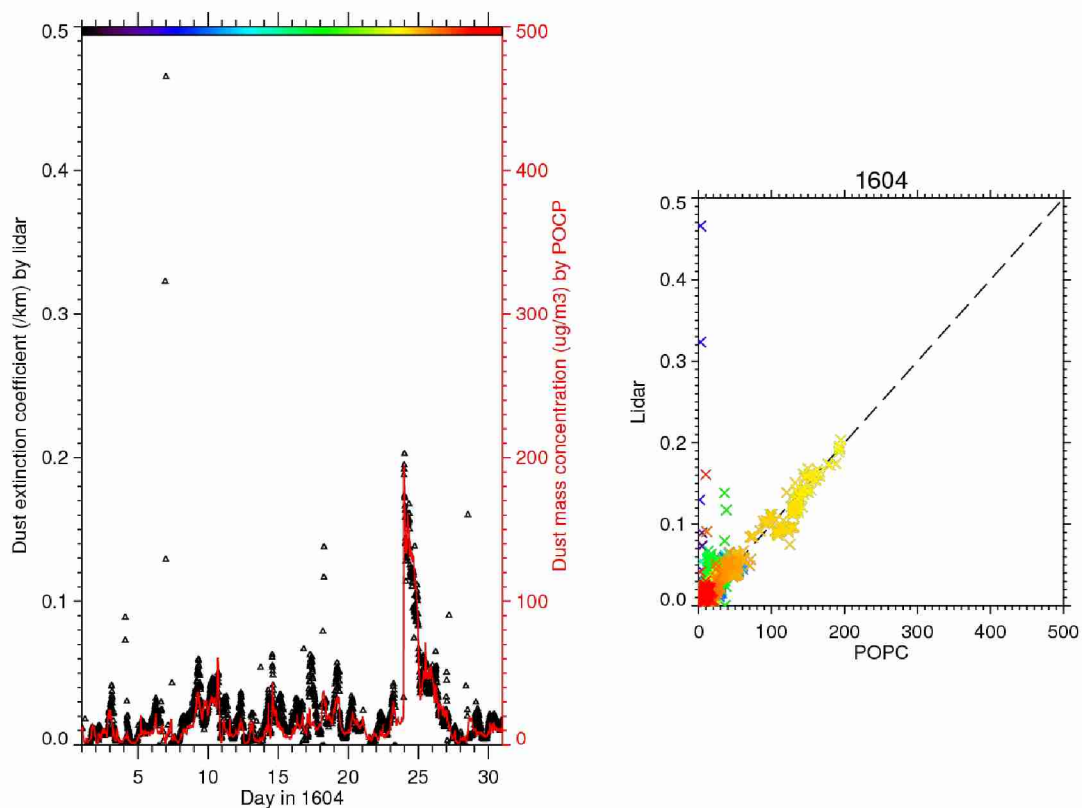
(4)偏光パーティクルカウンターを用いた黄砂観測との対比

山梨大学がPOPCによる観測を本研究開始以前から行っていた地点のうち、**AD-Net**ライダーが存在するソウルについて、**2016**年春の黄砂濃度に関して両観測手法による結果の比較を行った。ライダーは高度120mから210mまでの高度範囲の値を平均したものを利用している。図(1)-11はソウルにおける**2016**年**4**月の両者の時系列(左)および散布図(右)である。散布図からは、個々の黄砂イベント内では両者の対応関係は良いが、別のイベント同士ではその関係性に差が見られている(23日前後の高濃度黄砂時と、30日頃の中低濃度黄砂とではデータ点集合を結ぶ直線の傾きに差がある)。これに対して本研究で新規にPOPCが設置された大阪における**2016**年**4**月の結果(図(1)-12)では、ライダーデータに時折見られる外れ値(雨滴等の誤判定によるもの)を除くと低濃度でもすべてのデータが同じ直線状に乗り、より両者の対応度が高まっている。ライダーの黄砂消散係数は主に粒子の表面積に関連するのに対して、**POPC**による重量濃度は粒子の体積に依存しているため、両者の関係は粒径分布によって変化する。即ち、黄砂イベント毎に粒径分布が異なるならば、ライダー黄砂消散係数と**POPC**黄砂重量濃度との対応もイベント毎に異なるものとなる。この点を考慮すると、黄砂発生源により近い韓国(ソウル)においてはそれまでの輸送経路などによって様々な粒径分布の黄砂が到達するのに対して、ユーラシア大陸から離れた日本(大阪)においてはいずれの黄砂イベントでも大粒子が含まれるようなことはなく粒径分布がイベント毎にあまり変わらなかった、ということが考えられる。なお、図(1)-11、図(1)-12右側の散布図に含まれる直線はデータのフィッティング結果ではなく、国内で利用している黄砂消散係数から黄砂重量濃度への変換係数を利用した場合に2種類の黄砂量が乗る線を示している。この変換係数は日本国内において検証されたものであり、発生源に近い韓国では検証されていない。即ち、図(1)-11のデータがこの線に乗る必然性は今のところないことを注記する。

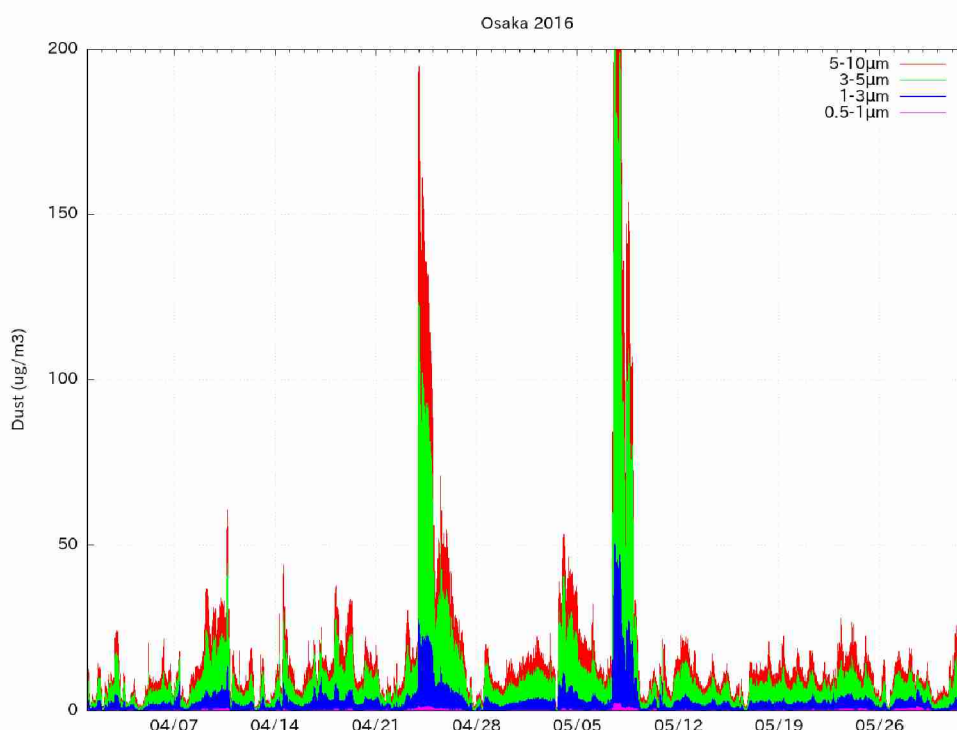
また、偏光OPCでは黄砂の粒径分布も直接得られる点が、様々な仮定の下で2波長比を用いても粒径の傾向しか分からないライダーにはない特長である。黄砂の粒径情報はこれまで殆ど実例がないために、黄砂の数値モデルにおいても最も検証が困難なパラメータであった。図(1)-13に、**2016**年**4**月の大阪における黄砂粒径別濃度の時系列を4つのビンに分けて示す。本研究ではサブテーマ(1)からサブテーマ(2)に対してこのような粒径情報を提供し、モデル検証にも貢献している。



図(1)-11 (左)2016年4月のソウルにおけるライダー黄砂消散係数(黒△)およびPOPC黄砂濃度時系列(赤□)、(右)両者の間の散布図
右図の各点の色は、左図上に示すカラーバーが対応する時刻を示している。



図(1)-12 図(1)-11に同じ。ただし2016年4月の大阪における結果。



図(1)-13 POPCによる粒径別黄砂濃度情報の時系列。

2016年4月、大阪の結果。

(5)情報提供

AD-Netから得られるライダーデータは以下のようにリアルタイムで提供を行ってきた。

a. 環境省黄砂飛来情報ホームページ(<http://www2.taiki.go.jp/dss/kosa>)

ここでは、ライダーによって得られた黄砂消散係数の1km以下平均値に、消散係数から質量濃度への変換係数 $1\text{mg}/\text{m}^2$ を掛けて重量濃度に換算した上で4段階のグレード分けを行い地図上に表示している（図(1)-14）。これにより、その時点での全国的な黄砂の分布の特徴が一目で分かる他、各地点のアイコンをクリックするとその地点のそれ以前の濃度時系列（時間単位あるいは日単位）、同様に時間高度断面図などが表示される。

b. 国立環境研究所ライダーホームページ(<http://www-lidar.nies.go.jp>)

ここでは、532nm減衰後方散乱係数・532nm体積偏光解消度・1064nm減衰後方散乱係数の5日分時間高度断面図を全地点について作図し、ライダーデータを見慣れた研究者なら雲・各種エアロゾルの定性的な分布が理解できるような情報を提供している。更に解析を行って得られる黄砂消散係数・球形粒子消散係数の2次元（高度・時間）断面について数値データをファイルで提供し、大気あるいは環境影響評価研究のための基礎数値データとして幅広く活用されるように特設のアクセス制限なしで配布している。本研究費において、新たに上記(3)に対応する2波長比(Color ratio)に相当する作図を追加し（図(1)-15）、黄砂飛来時にリアルタイムで内部混合の状況が定性的に掴めるようになった。

c. 京都大学サーバー（実験参加者に対する提供情報源）

サブテーマ(3)において、実験参加者に対してメールで現在の黄砂濃度情報を知らせるなどの活動を行うため、それに適した形に整理したデータを実施機関である京都大学にリアルタイムで提供した。

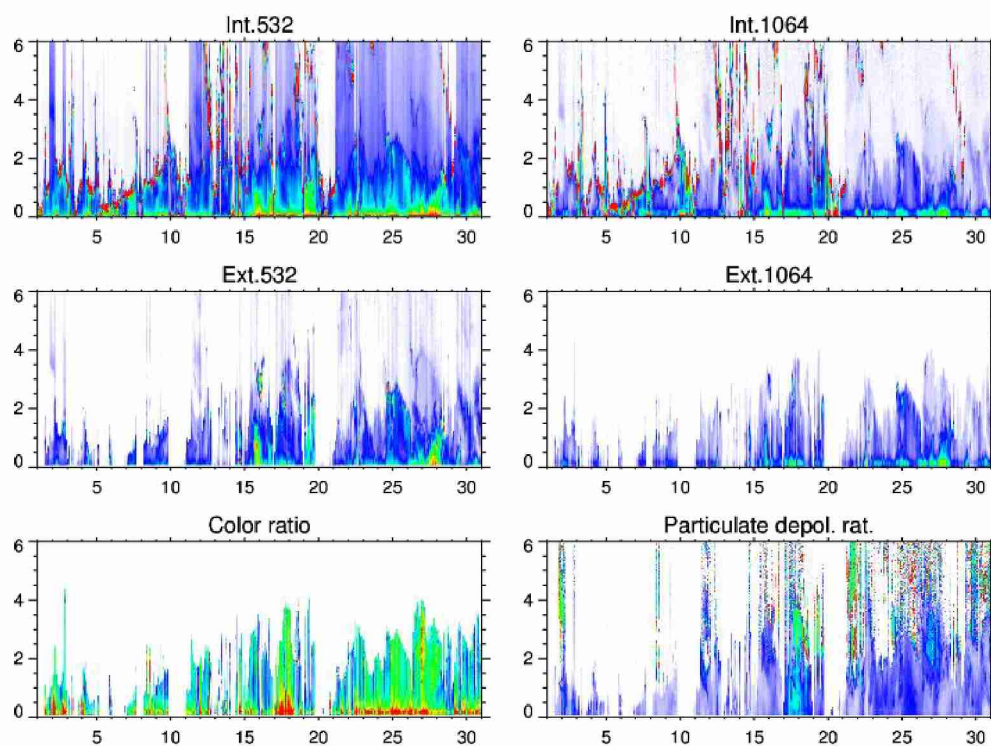
d. さらに、各サブテーマから得られた情報を纏めて推進費5-1502の成果に掛るホームページとして整備し、国立環境研究所ライダーのホームページを司るサーバー上で公開している。具体的には、サブテーマ(1)におけるライダーの連続観測結果に関する画像と数値ファイル、POPCのリアルタイム観測結果、サブテーマ(2)の成果であるエアロゾル再解析データへのアクセス、サブテーマ(3)による黄砂の健康影響に関する既往研究を含む取り纏め結果である。同ページのスクリーンショットを図(1)-16に示

す。



図(1)-14 2017年5月8日の黄砂イベント時の環境省黄砂飛来情報ホームページ

なお平成30年4月以降、このサイトのデザインは更新されているのでこの形式による表示は現在行われていない。



図(1)-15 国立環境研究所ホームページより提供されている2波長比に関する時間高度断面図（左下）例は2015年4月のつくばにおけるもの。その他のパネルは従来提供されていた532/1064nm後方散乱強度、532nm消散係数(中段左)、粒子偏光解消度(下段右)と、2波長比計算のために導出された1064nm消散係数(中段右)である。

環境研究総合推進費5-1502「多様な環境影響評価に資する風送エアロゾル濃度分布情報提供システムの構築」(H27-29年度)による成果へのリンク集

対象	内容	担当
一般	ライダーネットワークによる地上付近のリアルタイム黄砂濃度表示@環境省黄砂飛来情報	サブテーマ1・国立環境研究所
専門家	ライダーネットワークによる黄砂観測結果(過去の数値データ)	サブテーマ1・国立環境研究所
一般	偏光OPC(POPC)によるエアロゾル濃度リアルタイム観測結果表示	サブテーマ1・山梨大学(研究協力)
専門家	データ同化によるエアロゾル再解析データセット	サブテーマ2・気象庁気象研究所
一般	黄砂の健康影響に関する解説	サブテーマ3・京都大学大学院医学研究科

問い合わせ先:国立環境研究所 地域環境研究センター 清水厚 [shimizua\(at\)nies.go.jp](mailto:shimizua(at)nies.go.jp)

図(1)-16 国立環境研究所ライダーホームページ内の当研究課題成果リンク集

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

日本域における大気中に浮遊する黄砂の濃度について、特に環境影響評価が必要となる地上付近でのデータ取得に主眼を置いて観測手法の多様化を行うと共に、ライダーネットワークによる継続的な観測を行ったことによって気候変動が進行する状況下での黄砂の変動に関するデータベースの整備を行った。まず、ライダーによってより地上に近い領域の観測を行うために小型広角望遠鏡をシステムに導入し、これを用いた信号補正関数を定義する手法を策定してこれまで最低高度が120mであった提供可能データ範囲について60mまで下限を下げられることを示した。これまでライダー観測結果に基づく環境影響評価、特に健康影響評価(疫学利用)においては、下層を直接測れていないことに関する疑問が呈されてきた。実際には黄砂のような長距離を輸送される空気塊においては十分な鉛直混合が達成される時間が発生後に確保されるため、鉛直の濃度勾配は少なくとも日本到達時にはほぼないものと想定される。これは、これまでの120m以上においても黄砂消散係数に関しては鉛直勾配が小さいことからほぼ裏付けられていたものの、実際に60mから値が得られることにより一層この仮定の妥当性が強固なものとなった。これによって地上における黄砂の環境影響評価に際してライダーの利用価値が向上した。なお地上付近のエアロゾル鉛直勾配については、今後ドローンを利用した現場観測とライダーなどリモートセンシング手法との対比が重要となるものと考えられる。

また、ライダーが存在しない地点における新規の黄砂観測手法として今後導入が検討されるべき偏光パーティクルカウンター(POPC)による黄砂重量濃度と従来のライダーによる黄砂消散係数から変換した重量濃度との比較を行ったところ、特に日本国内において両者の対応が良く、同等のデータセットとして利用が可能であることが示された。元来、ライダーによる黄砂消散係数を一般向けに「環境省黄砂飛来情報ホームページ」から後悔する際には重量濃度に換算しており、この換算係数は理論的には粒径分布に依存する。これまでのところ、黄砂消散係数と国内におけるフィルターサンプリングによる重量濃度とが良い相関を持つ(Shimizu et al., 2007)ことから国内における黄砂の粒径分布は一定と仮定してきたが、個々の粒子の質量を粒径方向に積分した結果に基づくPOPC重量濃度データとライダーによる黄砂消散係数とが高い相関を示したことは、これまでの換算係数を国内において一定とする仮定に妥当性を与えるものである。なお、POPCは地上の空気を吸引しているため、観測高度はライダーの下限と一致するわけではない。それにも関わらず、両者による黄砂濃度の対応が良かったことは、先述した通り黄砂濃度の鉛直勾配が地上付近で小さいことへの傍証ともなっている。

小型望遠鏡・POPCとも、特に黄砂の人間への影響を考える際には地上付近のデータ取得が必要であることから、両者の有用性が示されたことで今後の広範囲な活用が期待される。

また本研究期間中の連続観測結果はそれ以前のものと併せて利用することで黄砂の長期トレンドの検出に利用することができた。Shimizu et al.(2017)では、黄砂消散係数の2007-2016年のトレンドを高度別に示し、下層(地上付近)では殆んど変動なし、上層(5-6km)では強い負のトレンドが存在することを明らかにした。このように黄砂濃度のトレンドに高度差がある理由については観測のみからは推定出来ないが、考えられる要因としては発生源地域における植生の変化、黄砂をもたらす低気圧発生頻度や通過コースの変化、輸送経路そのものおよび経路上での沈着の変化などが挙げられる。このうち発生源の植生変化は地球温暖化に伴う生態系変動と人間活動(放牧など)の影響とが考えられ、低気圧や輸送経路は気候変動による気象の変化と関連付けられる。これらの解明については今後数値モデルを活用した発生源解析や輸送ルート上の気象による影響調査などから今後明らかにされてくるものと考えられる。

また、2波長比と偏光解消度を利用した内部混合状態の推定は、これまでAD-Netライダーデータでは限定的なイベント解析のみが行われていたのに対して(Sugimoto et al., 2014)、今回過去データに遡り多くの黄砂を含むデータを処理し、地域的および時期的な特徴が明らかになった点で進捗が大きい。本研究によって定常的な処理が始まり、今後データが蓄積されるにつれて内部混合状態に関する知見の集積が進むことが期待される。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

黄砂の連続観測結果の一部(主に福江島におけるデータ)は、環境省環境保健部環境安全課における「黄砂の健康影響に関する疫学研究等を行うワーキンググループ」(本研究課題代表者も委員として参加している)に提供され、レトロスペクティブおよびプロスペクティブ研究において活用された。これらの結果に関する紹介も含む小冊子「黄砂とその健康影響について」が作成され、2018年春に環境省から公開されている。同ワーキンググループの成果については環境省水・大気環境局による「微小粒子状物質等疫学調査研究検討会」(同じく代表者が委員)においても報告された。また環境省水・大気環境局大気環境課による「黄砂実態解明調査解析ワーキンググループ」(同じく代表者が委員)においては、気象庁の黄砂発表日に関する解析を行うために全国のライダーによる黄砂消散係数が利用され、各黄砂イベントの規模や特徴を記述するために利用された。また、気象庁が黄砂発表していないような弱い黄砂の検出にライダーを利用する手法も同ワーキンググループで検討された。これらに関するH27年度・H28年度の解析結果はそれぞれ「環境省平成27年度黄砂飛来状況調査報告書」「同28年度報告書」に纏められている。更に同課が管轄する「日中韓環境大臣会合(TEM)黄砂等に関するワーキンググループ1(DSS-WG1)」の年次会合にもライダーネットワークによる観測結果やその疫学研究における活用方法が紹介され、東アジア域の大気環境管理に関する国際協調に資することとなった。また平成27年度ライダー・POPCのデータは日中韓三カ国のデータ共有対象となり、中韓両国のカウンターパート(中国環境保護局・韓国気象庁気象研究所)に提供された。この他にライダー観測結果は前述の通り「環境省黄砂飛来情報ホームページ」(<http://www2.env.go.jp/dss/kosa/>)から広く国民向けに常時提供され、黄砂の動態に関心を持つ市民に対する行政サービスの重要な基盤を形成している。

<行政が活用することが見込まれる成果>

H29年度のライダー観測結果は平成30年度に黄砂実態解明調査解析ワーキンググループにおいて利用され、H29年度黄砂飛来状況調査報告書として平成31年3月までに取り纏められる見込みである。平成28/29年の黄砂観測については、ライダー・POPCデータともTEM DSS-WG1における共有の対象となり、中韓カウンターパートに提供される予定である。

6. 国際共同研究等の状況

1) 日中韓環境大臣会合(TEM)黄砂等に関するワーキンググループ1(DSS-WG1)

カウンターパート：中国環境保護局(CNEMC)、韓国気象庁気象研究所(NIMS)

参加状況：3か国持ち回りで毎年ワークショップを開催し、各国で共通の解析対象黄砂イベントを選定し、それに向けたデータ提供・データ解析を各国で行う。その成果をワークショップで発表するほか、2年に一度共通の投稿先を選定して学術誌に成果発表を行う。2017年には日本気象学会のSOLAを対象とし、日韓の参加者から論文が受理・掲載された。

国際的な位置付け：TEMNのもとに設置された黄砂局長級会合TDGMの合意に基づく活動。

2) 全球大気監視計画(Global Atmosphere Watch (GAW))

カウンターパート：世界気象機関(WMO)

参加状況：AD-NetはGAWのcontributing networkとして認定されており、定常観測結果の測定値および処理済みの値をnetCDF形式でウェブサーバー経由でリアルタイムで提供している。

国際的な位置付け：WMOが1989年から取り組む地球環境の監視・提供を行う組織。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Matsui and M. Nishikawa: Particuology, 28, 114-120 (2016), A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM2.5-to-PM10 ratios.
- 2) A. Shimizu, T. Nishizawa, Y. Jin, S.W. Kim, Z. Wang, D. Batdorj, N. Sugimoto: Opt. Eng., 56(3), 031219 (2016), Evolution of a lidar network for tropospheric aerosol detection in East Asia.
- 3) A. Shimizu, N. Sugimoto, T. Nishizawa, Y. Jin, D. Batdorj: Sci. Online Let. Atmos., 13, 205-208 (2017), Variations of Dust Extinction Coefficient Estimated by Lidar Observations over Japan, 2007-2016.

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 清水厚：計測と制御、56(5), 335-340 (2017) レーザー光で上空の黄砂・人為汚染粒子を測る
- 2) Shimizu A., Sugimoto N., Matsui I., Nishizawa T., Jin Y. (2016) Activities in 15 years of AD-Net, a lidar network for Asian dust studies. ProScience, 3, 106-110

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) Shimizu A., Nishizawa T., Sugimoto N., Matsui I., Kobayashi H., Maki T., Sekiyama T., Kanatani K.: 27th International Laser Radar Conference, New York, U.S.A., 2015, "Integrated Study of AD-NET Mie-lidar Network and Data Assimilated CTM for Asian Dust Epidemiology in Japan"
- 2) Sugimoto N., Nishizawa T., Matsui I., Shimizu A., Jin Y.: International Workshop on Outbreaks of Asian Dust and Environmental Regime Shift - Second JSPS Seminar -, Lanzhou, China, 2015, "Characterization of Asian Dust Using Lidars"
- 3) 杉本伸夫, 西澤智明, 清水厚, 松井一郎, 神慶孝, 鶴野伊津志, 原由香里, 弓本桂也, Ristori P., Quel E.: 第33回レーザーセンシングシンポジウム, 蒲田、東京, 2015, "多機能ライダー観測ネットワークによるエアロゾルの特性評価"
- 4) 清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 西澤智明: 第33回レーザーセンシングシンポジウム, 蒲田、東京, 2015,

“SPM/PM_{2.5}からの黄砂判定の可能性 -ライダー黄砂消散係数を指標として-”

- 5) 清水厚:富山県環境科学センター環境セミナー、射水市、富山、2015、“ライダーによるエアロゾル観測とその環境影響調査への応用”
- 6) Pan X., Uno I., Hara Y., Kobayashi H., Sugimoto N., Yamamoto S.:第33回レーザセンシングシンポジウム, 蒲田、東京, 2015, “Seasonal variation of polarization properties of tropospheric aerosols over western Japan based on polarization optical particle counter (POPC) measurement”
- 7) Pan X., Uno I., Hara Y., Kobayashi H., Sugimoto N., Yamamoto S.:13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality, Kobe, Hyoko, 2015, “Simultaneous Transport of Asian Mineral Dust Aerosols with Anthropogenic Pollutants Revealed by a Polarization Optical Particle Counter (POPC)”
- 8) Sugimoto N., Nishizawa T., Shimizu A., Jin Y. (2016) The Asian Dust and Aerosol Lidar Observation Network (AD-Net). OSA Light, Energy and the Environment Congress, Optical Instrumentation for Energy and Environmental Applications, Abstracts, E2(EW2A.1)
- 9) Sugimoto N., Shimizu A., Nishizawa T. (2016) Validation/assimilation of aerosol chemical transport models using the ground-based lidar network (AD-Net). 2016 International Asian dust and Aerosol Workshop, Abstracts, 17
- 10) 清水厚, 小林拓, 西澤智明, 杉本伸夫 (2016) ライダーによる黄砂消散係数と偏光OPCによる黄砂濃度との対比. 第34回レーザセンシングシンポジウム, 同予稿集, 138-139
- 11) Sugimoto N., Nishizawa T., Shimizu A., Jin Y. (2016) Observation of distribution and characteristics of mineral dust using lidars and in-situ optical particle counters. Third JSPS Seminar: Collaborative Research between Mongolia, China and Japan on Outbreaks of Asian Dust and Environmental Regime Shift, Abstracts, 18
- 12) Sugimoto N., Nishizawa T., Shimizu A., Jin Y., Oikawa E. (2016) Validation/assimilation of chemical transport models using AD-Net lidar data. International Cooperative for Aerosol Prediction: Lidar Data and its use in Model Verification and Data Assimilation, -
- 13) Shimizu A., Sugimoto N., Matsui I., Nishizawa T., Jin Y. (2016) ACTIVITIES IN 15 YEARS OF AD-NET, A LIDAR NETWORK FOR ASIAN DUST STUDIES. 2nd International Conference on Atmospheric Dust, Scientific Research Abstracts vol. 5 - DUST 2016, 139
- 14) 清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 西澤智明 (2016) 2波長偏光ライダーによる黄砂時のエアロゾル光学特性分類. 日本気象学会2016年度春季大会, 同予稿集, 207
- 15) N. Sugimoto, A. Shimizu, T. Nishizawa, Y. Jin, 28th International Laser Radar Conference, Bucharest, Romania, 2017 “Recent Developments with the Asian Dust and Aerosol Lidar Observation Network (AD-Net)”
- 16) 清水厚、高見昭憲、吉野彩子、日本気象学会2017年度秋季大会、札幌、2017 “ライダーとドローンによる地表付近の微粒子鉛直分布観測”
- 17) 清水厚、杉本伸夫、西澤智明、神慶孝、第33回全国環境研究所交流シンポジウム、つくば、2017 “ライダーネットワーク常時観測から見出される各種エアロゾルイベント”
- 18) 清水厚、高見昭憲、吉野彩子、杉本伸夫、西澤智明、神慶孝、第22回大気ライダー研究会、東京、2018 “地上付近のエアロゾル鉛直分布把握のための取り組み”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 平成27年度富山県環境科学センター主催の環境セミナーにおける講演、「ライダーによるエアロゾル観測とその環境影響調査への応用」（平成28年2月4日、聴講者約50名）

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

本研究課題による観測を含む黄砂ライダーグループ等の活動が、2017年度環境賞優良賞（日刊工業新聞・国立環境研究所）として表彰を受けている。

8. 引用文献

- 1) A. Shimizu, T. Nishizawa, Y. Jin, S.W. Kim, Z. Wang, D. Batdorj, N. Sugimoto: Opt. Eng., 56(3), 031219 (2016), Evolution of a lidar network for tropospheric aerosol detection in East Asia.
- 2) Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A., Uno I., Asai K., Endoh T., Nakajima T. (2002) Observation of dust and anthropogenic aerosol plumes in the Northwest Pacific with a two-wavelength polarization lidar on board the research vessel Mirai. Geophys. Res. Lett., 29 (19), 7-1-7-4
- 3) 鷹取 翔, 小林 拓, 松本 潔: 偏光光散乱式粒子数計測装置による鉍物粒子濃度推定方法の検討, エアロゾル研究, 30(4), 270-274, 2015
- 4) A. Shimizu, N. Sugimoto, T. Nishizawa, Y. Jin, D. Batdorj: Sci. Online Let. Atmos., 13, 205-208 (2017), Variations of Dust Extinction Coefficient Estimated by Lidar Observations over Japan, 2007-2016.
- 5) Shimizu A., Sugimoto N., Matsui I., Mori I., Nishikawa M., Kido M. (2011) Relationship between Lidar-derived Dust Extinction Coefficients and Mass Concentrations in Japan. SOLA, 7A, 1-4
- 6) Sugimoto N., Nishizawa T., Shimizu A., Matsui I., Kobayashi H. (2014) Detection of internally mixed Asian dust with air pollution aerosols using a polarization optical particle counter and a polarization-sensitive two-wavelength lidar. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 150, 107-113

Ⅱ－２ データ同化を基礎とした黄砂濃度再解析データベースの作成と現況予測の改善

気象庁気象研究所

環境・応用気象研究部 第一研究室 眞木 貴史、関山 剛

〈研究協力者〉 田中 泰宙、弓本 桂也、小木 昭典

平成27(開始年度)～29年度累計予算額：16,243千円（うち平成29年度：4,850千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

全球エアロゾル輸送モデル（MASINGAR mk-2）の改良を進め、計算結果を他のサブテーマに提供した。このモデルに衛星観測データ（ひまわり8号）を同化する手法（LETKF）を開発し、モデルの精度が向上することを確認した。さらに、高速演算が可能なデータ同化手法（2D-Var）を開発し、衛星観測データを用いた日々のデータ同化・予測実験を開始した。2D-Varを用いた黄砂再解析を実施し、過去5年分の高品質な4次元エアロゾルデータセットを作成して他のサブテーマに提供すると共に外部の研究者にも公開した。

〔キーワード〕

黄砂、エアロゾル輸送モデル、データ同化、黄砂再解析、黄砂予測

1. はじめに

近年のPM2.5による健康影響への関心の高まりに対し、その具体的な成分や発生機構の解明を通じて対策を施すと共に、疫学的見地からリスク評価を行う研究が広く行われている。PM2.5の成分分析については自治体のサンプリングを活用した疫学研究が環境省の検討会でも行われているが、期間・地点が限られるという困難が伴う。その中で、その一部がPM2.5に含まれるユーラシア大陸からの風送エアロゾル（黄砂）については、平成24年度大気汚染状況報告書においてPM2.5環境基準が黄砂の影響で非達成となった一般局が18.9%存在するなど、微小粒子領域にも影響を及ぼしている。この黄砂については、国立環境研究所が中心となって展開しているライダーネットワークによって上空の粒子の形状と濃度を計測することにより、連続・自動で黄砂粒子の量を計測出来るようになっている。またこれにより得られた結果は、環境省「黄砂飛来情報」HPを通じて一時間毎に一般向けに提供されている他、研究面ではエアロゾル数値計算におけるデータ同化に用いられ、疫学研究においては曝露指標として複数の研究グループにより利用されている。本研究では、このようなフレームワークを活用し、より広範囲に利用される過去の黄砂濃度再解析データベースをデータ同化の手法に基づいて作成する他、現況の黄砂濃度の一般向け提供情報の改善を行う。さらにこれらの活用事例として小児の呼吸器に関する疫学研究にデータ提供を通じた協力を行う。この結果によって示されるリスクの度合いについて、現況の提供情報にフィードバックし統合するほか、数値予報モデルから得られる黄砂に随伴する汚染物質の状況や空気塊通過経路などの情報についても同時に提供することで、多様な感受性集団に対するきめ細かな注意喚起等を行う基盤を作成する。

2. 研究開発目的

本研究課題では、データ同化の手法に基づいてより広範囲に利用される過去の黄砂濃度再解析データベースを作成する他、現況の黄砂濃度の一般向け提供情報の改善を行う。また、数値予報モデルから得られる黄砂に随伴する汚染物質の状況や空気塊通過経路などの情報についても同時に提供するシステムを構築することで、きめ細かな注意喚起等を行う基盤を作成する。

3. 研究開発方法

(2) データ同化を基礎とした黄砂濃度再解析データベースの作成と現況予測の改善

(2-1) 全球エアロゾル輸送モデルの改良

気象研究所では、黄砂濃度の一般向け情報提供のサービス改善に向けて全球エアロゾル輸送モデル(MASINGAR mk-2)の改良を実施した。MASINGAR mk-2は、硫酸塩、黒色炭素、有機炭素、鉱物ダスト、海塩の5種類のエアロゾルを取扱っている。このモデルでは、エアロゾルの混合状態は外部混合を仮定しており、硫酸塩、黒色炭素および有機炭素は対数正規分布を仮定し、鉱物ダストおよび海塩粒子はビン法にもとづいて粒径分布を表現している。このモデルは気象研究所地球システムモデルの一要素として開発されており、地球温暖化予測等に用いられると共に気象庁の黄砂予測情報の提供に活用されている。現在気象庁の黄砂情報提供業務で使用されているMASINGAR mk-2の水平解像度は約110km (TL159)であったが、平成29年2月に水平解像度を約40km (TL479)に高解像度化した。

平成27年度は気象庁客観解析値を用いたMASINGAR mk-2のTL159版の過去実験成果をサブテーマ1、3に提供すると共に、TL319 (水平解像度約60km)、TL479版を気象研究所が平成27年3月に更新したスーパーコンピュータシステム(富士通製FX-100)において毎日計算できる体制を構築した。計算に際して気象データは気象庁が毎日現業的に実施している客観解析で作成された気象場格子点値をナッジングすることにより、気象場が現実の大気場と大きくずれないように配慮した。この計算結果(TL159版)を用いて黄砂の輸送経路に関する解析を実施した。平成29年度は毎日計算を継続すると共に、過去10年間(2007~2016)について低解像度版(TL159)の再計算を実施し、黄砂の輸送経路に関する解析も実施した。輸送経路の解析に関しては、質量フラックスの鉛直積算量を計算することによって、黄砂の輸送経路の月平均値(10年平均値)を作成し、これとの特定年の差分を取ることで年毎の黄砂輸送経路の違いを解析した(参考: Sekiyama and Iwasaki, submitted)。

(2-2) ひまわり8号データを利用した黄砂予測精度の向上

地上ライダー観測によるエアロゾルの生成・移流・拡散・沈着のプロセス理解、あるいは疫学調査による黄砂/PM2.5の健康影響評価は、どちらも数値シミュレーション研究とのコラボレーションによって大きな相乗効果が期待できる。数値シミュレーションは広い範囲で均質な情報を提供でき、過去の現象の再解析や数日先の予報情報を提供することが可能だからである。しかしながら、数値シミュレーションの欠点として、それが所謂「計算機の中の世界」であることが挙げられる。その欠点を改善する手段として近年脚光を浴びているのが「データ同化」(=観測とシミュレーション結果のような2種類の情報が混在する場合に数学的に最も尤もらしい真の状態を推定する計算手法)である。本研究では世界に先駆けて日本が打ち上げた次世代型静止気象衛星である“ひまわり8号”の観測データを既存のエアロゾル(黄砂/PM2.5)予測モデル(MASINGAR mk-2)にデータ同化させ、より高い精度のエアロゾル分布情報を作成し、他のサブグループに提供することを目指して技術開発を行った。

ひまわり8号は(エアロゾルの測定に最適な)可視/近赤外領域に6つの観測バンドを持っており(これまでのひまわりや米国の静止気象衛星では1バンドのみ)、エアロゾル観測を主目的とする人工衛星並みの高精度なエアロゾル分布観測(鉛直積算濃度と粒径分布)が可能となった。そのうえ、ひまわり8号の観測頻度は旧世代の静止気象衛星に比べて劇的に向上しており、北極から南極までを同時に10分おきの観測が可能である。これが意味するところは、地上のある1地点で雲が掛かっていることによって上空からのエアロゾル観測が不可能であっても、その雲が晴れる瞬間を長時間待ってエアロゾルを観測することが可能であり、一方で幸いにして雲が少ない領域では10分おきの観測を複数集めたコンボジットによって観測誤差の小さなデータも作成できるということである。これまでのエアロゾル観測衛星のほとんどは低高度極軌道衛星であったため、地上のある1地点の上空を通過するのは一瞬であり、次に同じ地点の上空に戻ってくるのは数週間後というのが普通であった。そのため、エアロゾルの衛星観測には大量の欠測が不可避であった(地上には多くの雲が掛かっているため)。しかし、ひまわり8号の打ち上げ(2014年10月)と運用開始(2015年7月)によって、非常に広範囲・高頻度のエアロゾル観測データが手に入るようになった。本研究ではエアロゾル観測データのリトリバル(数学的な情報復元処理)

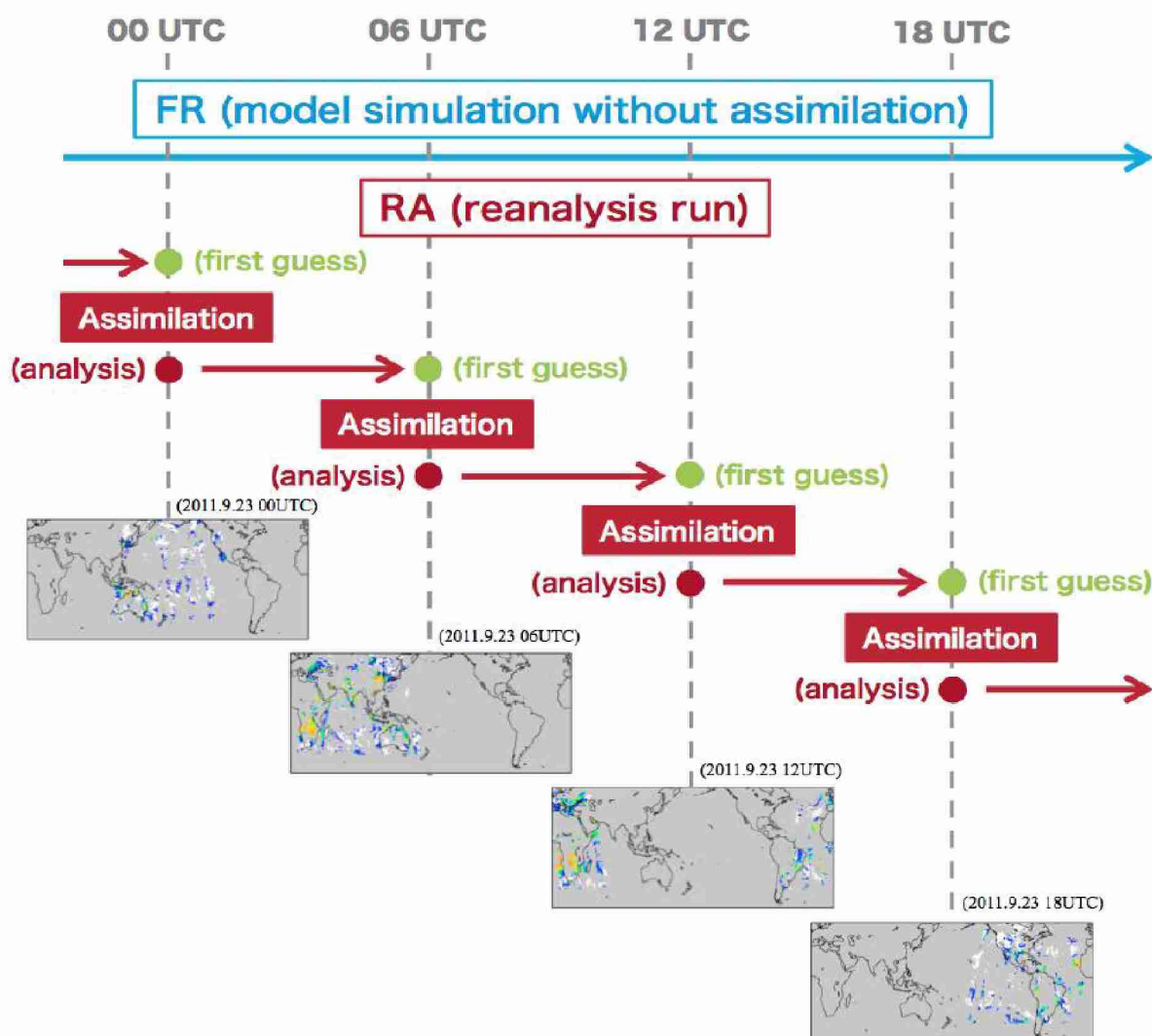
についてJAXA/EORCの多大な協力を得た。

しかしながら、ひまわり8号で観測できるエアロゾルの情報は鉛直積算量と鉛直平均量だけであり、鉛直分布に関する情報は全く得られない。したがってそのままでは地上ライダー観測や疫学調査（対象は地表面で生活している人々）と比較するのは難しい。そのためデータ同化によって観測情報を数値シミュレーションと融合させることに大きな意味がある（融合させた情報には鉛直分布に関する情報が存在するため）。本研究では数多くのデータ同化計算スキームの中から局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を選んで利用した。この手法は天気予報の分野で広く研究・開発・検証が行われており、その高い性能が確認されている。数値シミュレーションモデルには上記の通り気象研究所のエアロゾル予測モデルMASINGAR mk-2を用いた。データ同化の結果を検証する手段として、2015年6月に起きた黄砂現象（＝鉱物ダストエアロゾルの大規模発生）の予測実験を実施した。全くデータ同化を行わずに黄砂予測をした場合とひまわり8号の観測をデータ同化したのちに黄砂予測をした場合を比較した。また、世界各国で最も広く利用されているエアロゾルの衛星観測であるMODIS（米国NASA提供）をデータ同化した場合の黄砂予測も比較対象として実施した。MODISは低高度極軌道衛星によって測定されているため、ひまわり8号に比べて欠測が多く、データ取得間隔も非常に長い（一般的に12～24時間おき）。エアロゾル予測モデルの水平解像度は約100kmに設定して計算を行った。

（2－3）二次元変分法によるエアロゾルデータ同化と黄砂再解析データセットの作成

前項で示したLETKFは、データ同化時に数十個の予測モデル計算を同時に実施する必要があるため、日々の予測実験や長期間の黄砂再解析を行うためには大量の計算機資源を必要とし、現在の計算機環境の元では長期間実施することは現実的でない。そこで、計算機資源的に有利な二次元変分法（2D-Var）を開発した。データ同化の際に重要なパラメータである背景誤差共分散（モデル誤差）は、過去の同モデルの計算結果より推定した。エアロゾル輸送モデルは気象庁全球解析値にナッジングすることにより現実に近い気象場を使えるようにした。衛星観測データはひまわり8号や米国航空宇宙局（NASA）のMODISから得られるエアロゾル光学的厚さのデータを用いた。得られる観測データがエアロゾルの鉛直分布に関する情報を持たないため鉛直プロファイルは全球エアロゾルモデルのものが用いられる。この手法を用いて（2-1）で改良したMASINGAR mk-2を用いて気象研スーパーコンピュータシステムを用いて毎日のデータ同化・予測実験を平成29年度より開始すると共に、過去5年分（2011～2015）に関してもこの手法を用いた黄砂再解析データセットを作成して公開した（Yumimoto et al., 2017）。黄砂再解析のダイアグラムは図(2)-1のとおり、6時間毎にMODISから得られたエアロゾル光学的厚さをMASINGAR mk-2に対してデータ同化している。

これらの計算結果は他のサブテーマにも提供されたほか、外部の専門家への公開も開始している（既に数件、データ提供依頼を受けている）。この黄砂再解析データセットの作成・公表は日本では初めての事例であり、世界的にも欧米に次ぐ4番目の公開となった。



図(2)-1 黄砂再解析の解析ダイアグラム

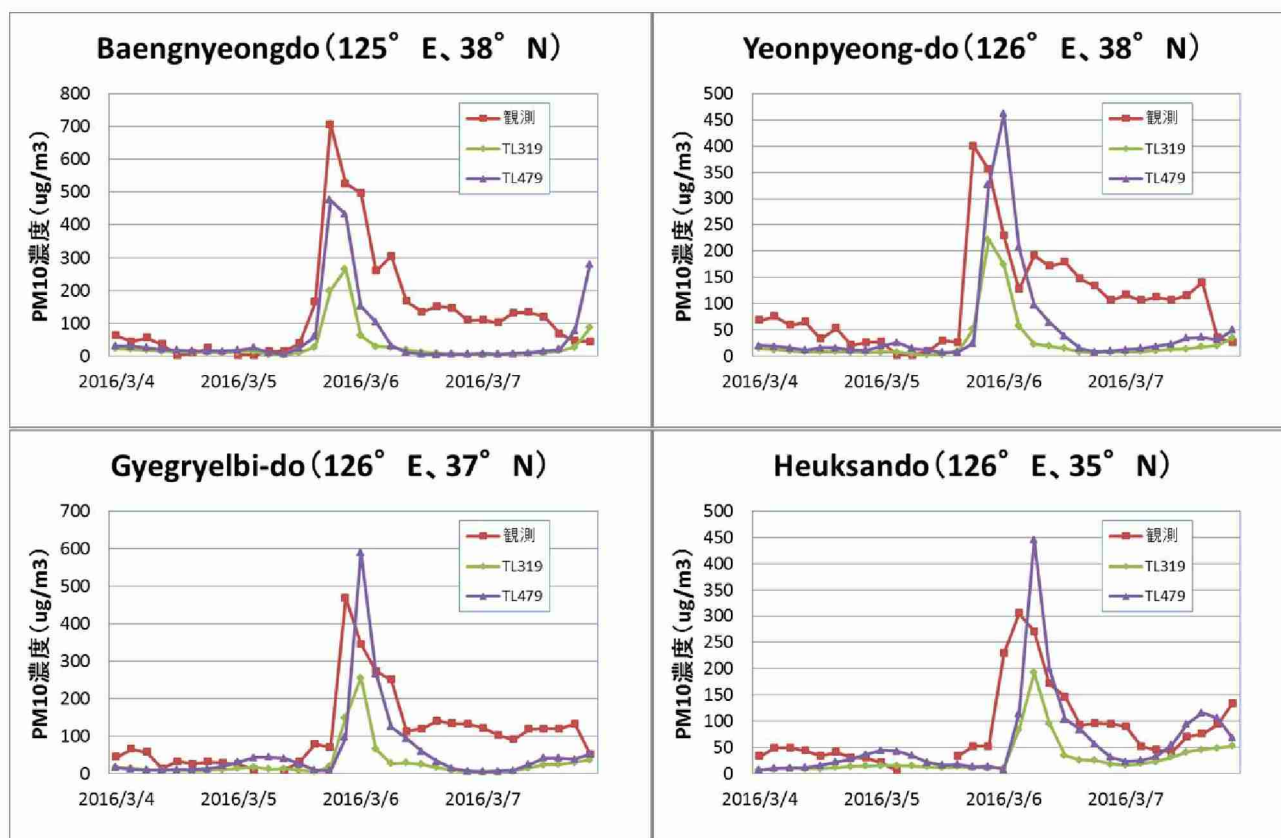
6時間毎にモデル計算と衛星データ同化を繰り返すことにより均質なエアロゾルデータセットの作成が可能となった。

4. 結果及び考察

(2) データ同化を基礎とした黄砂濃度再解析データベースの作成と現況予測の改善

(2-1) 全球エアロゾル輸送モデルの改良

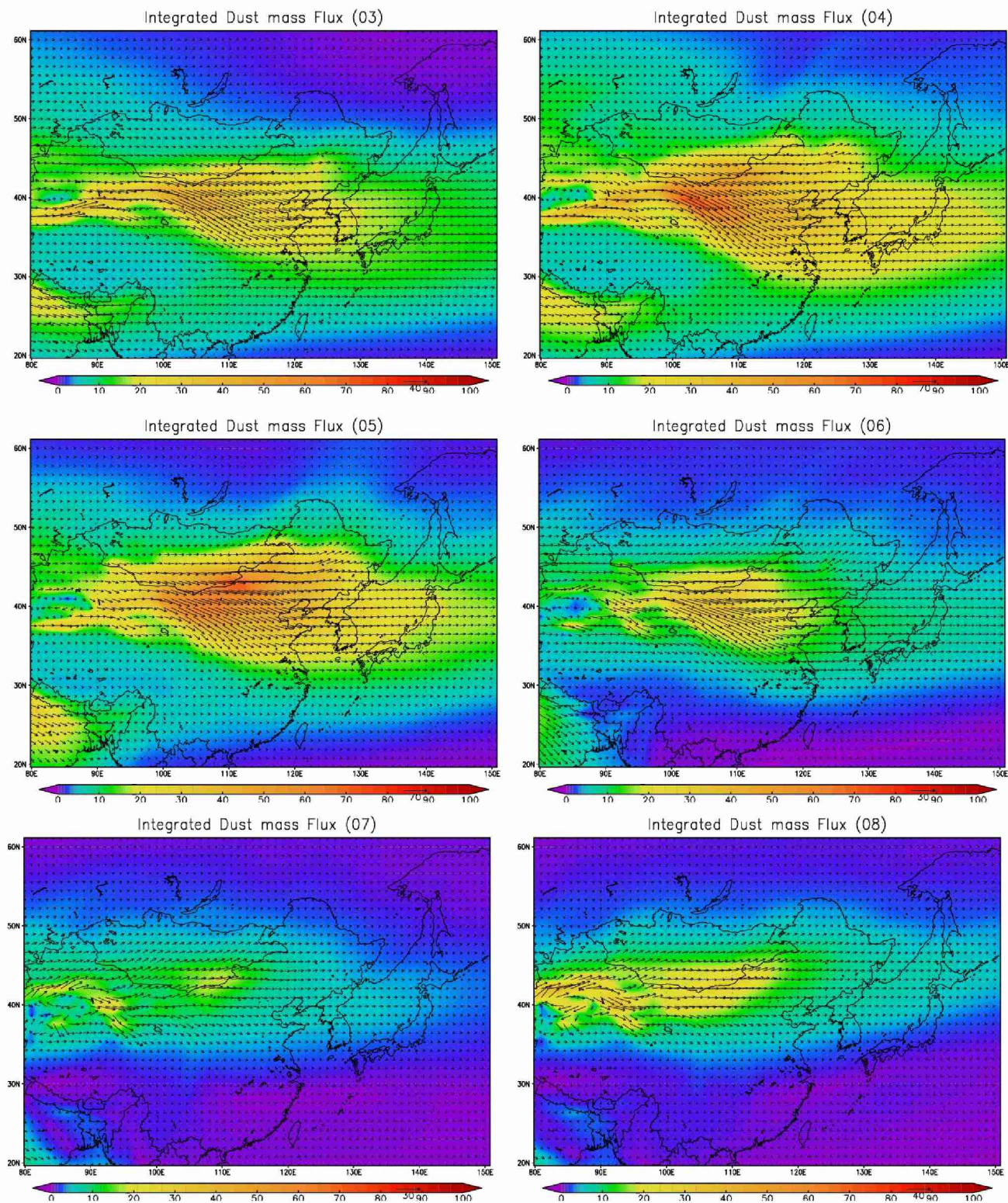
全球エアロゾル輸送モデルの検証結果に関しては、2016年3月の黄砂事例に関して気象庁の目視観測や日中韓黄砂共同研究第一作業部会にて共有されたPM10観測データとの比較では定性的によく一致していた(図省略)。次に、地上観測地点における比較を行った。この黄砂イベントに関して日本の観測所ではPM10濃度が低かったため、韓国気象庁がHPにて公開している情報を用いて比較した。比較的濃度の高い黄砂を観測していた朝鮮半島西部の4地点(Baengnyeongdo, Yeonpyeong-do, Gyeonggi-do, Heuksando)に関する比較結果は図(2)-2の通りである。図(2)-2を見ると、両モデルとも黄砂イベントの飛来時期をよく捉えていることが分かる。ただし、地表面付近濃度ではTL319の結果は黄砂最大濃度を過小評価する傾向があるのに対してTL479の結果は概ね観測された黄砂最大濃度をよく表現できている。今後より事例数を増やした検証を行う必要があるが、高解像度モデルの性能の一端を示すことができた。



図(2)-2 MASINGAR mk-2シミュレーションにおける地表面PM10濃度分布 $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$

赤線は観測値を、緑線は水平解像度60km (TL319) の、紫線は水平解像度40km (TL479) のMASINGAR mk-2シミュレーション結果を示す。

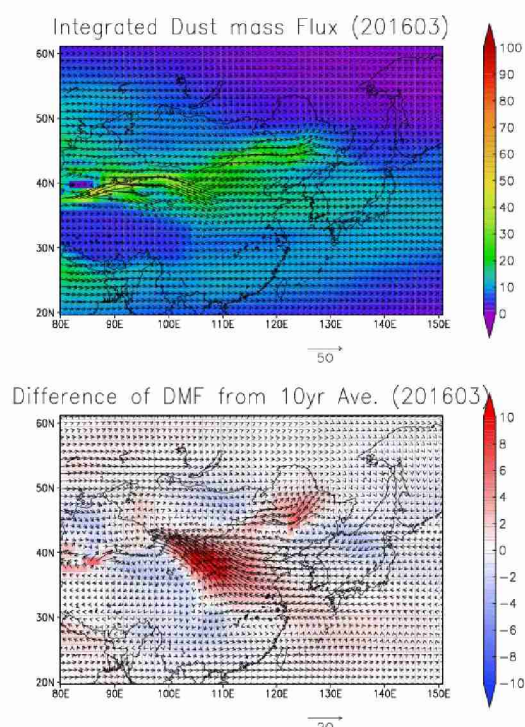
黄砂の輸送経路に関して全球エアロゾルモデルを用いて解析を行った結果を示す。図(2)-3は東アジアにおける黄砂の主要な飛来時期である3月から8月にかけての鉛直積算した黄砂の質量フラックスの10年平均値を示す。質量フラックスは、黄砂が発生源からどの経路を通して輸送されているかを示している。図(2)-3より、3月から6月にかけて日本に到達する黄砂の発生源は主にゴビ砂漠であり、平均的な黄砂の輸送経路はゴビ砂漠から南東方向に輸送されて山東半島付近に到達し、その後東進して朝鮮半島、本州等に到達していることが分かる。月毎に見ると、3月から6月にかけて主要な輸送経路が分流し、北東方向へ向かうストリームが発生していることも分かる。また、質量フラックス最大値の大きさから、ゴビ砂漠における黄砂発生値の最大値は4月から5月にかけてと推定できる。黄砂の輸送経路は夏季(7-8月)にはゴビ砂漠からほぼ東に輸送されるものの、秋から冬にかけて南向き成分が増加していることも分かった(図省略)。



図(2)-3 全球エアロゾルモデルを用いた黄砂の鉛直積算質量フラックス10年平均値 (g/m/s)
 左上、右上、中左、中右、左下、右下はそれぞれ3月、4月、5月、6月、7月、8月を示す。

次に、先に事例解析で示した2016年3月における黄砂鉛直積算質量フラックスと図(2)-3で示した10年間の月平均値との差（アノマリー）を図(2)-4に示す。図(2)-4上段を見ると、この事例では黄砂の発生源はゴビ砂漠であるが、輸送経路は中国東北部と山東半島から韓国に至る経路に2分されており、鉛直積算した質量フラックスの面からは中国東北部に輸送された黄砂の方が多くなっている。図

(2)-3で示した10年間月平均値（平年値）との差（アノマリー）を図(2)-4下段に示した。平年値との差の方向は矢印で示し、差の南北成分は青～赤の色で示しており、寒色系は北からの輸送を、暖色系は南からの輸送を示している。このイベントにおける黄砂の発生量が10年平均値と比較して少なかったため、鉛直積算質量フラックス平年差のベクトル（矢印）は放出源に向かうことを示しているが、南北輸送成分に着目すると、華北・華中を通過するメインストリームが平年よりも弱く、東北部を通過する分流ストリームが平年よりも強かったことを示している。このように、質量フラックスを用いた解析を行うことにより、黄砂の輸送経路に関する知見を得ることができることが分かった。



図(2)-4 2016年3月における黄砂の鉛直積算質量フラックス月平均値（上段）と平年値（図(2)-2左上）との差（下段）

矢印はベクトルを、色は南北成分を示しており、単位は全て（g/m/s）。

（2-2）ひまわり8号データを利用した黄砂予測精度の向上

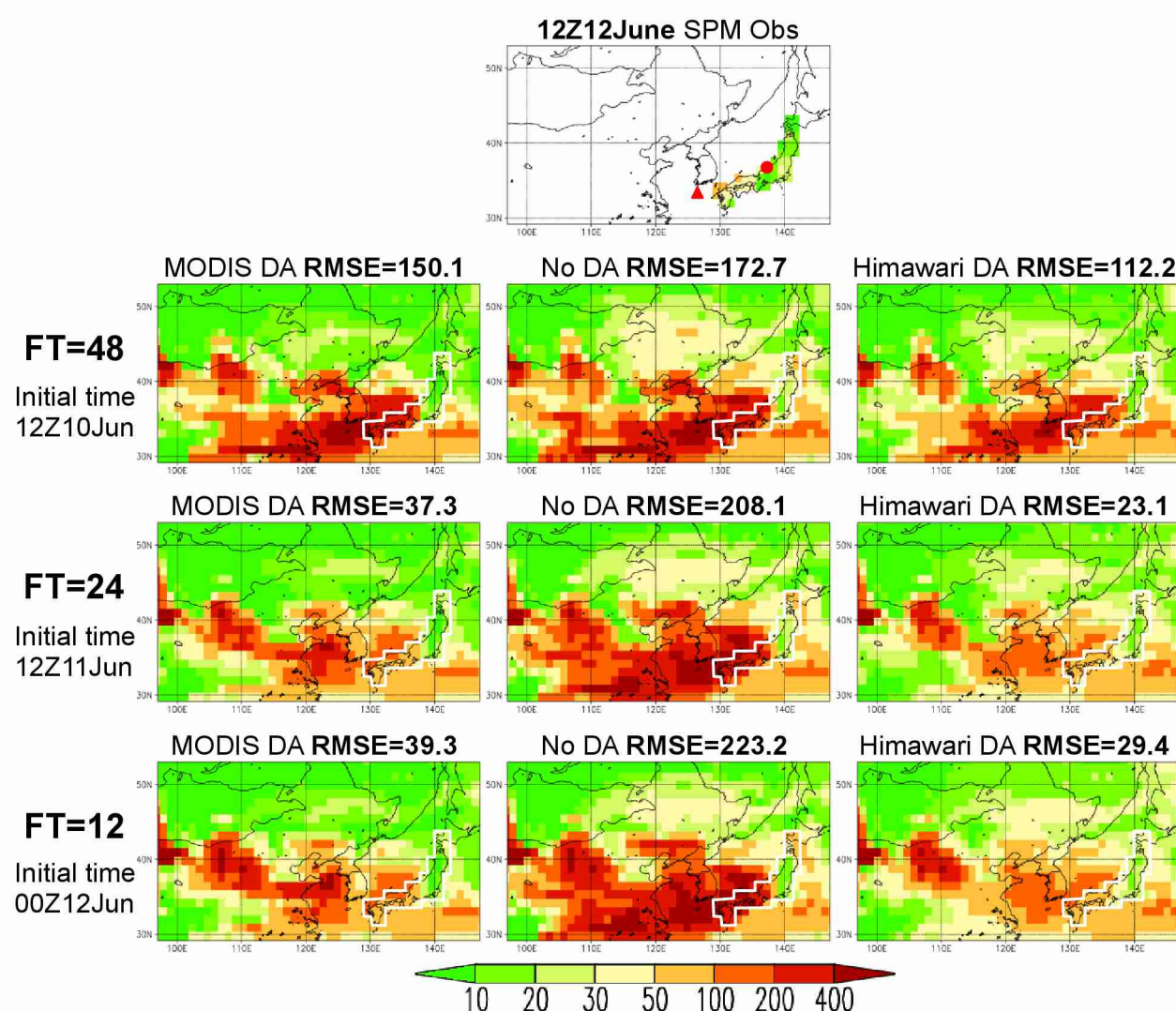
3種類（黄砂データ同化なし、MODISのデータ同化、ひまわり8号のデータ同化）の黄砂予測結果（地上の鉱物ダストエアロゾル濃度）を図(2)-5に示す。また、独立観測と比較して予測精度の検証を行うため、環境省のそらまめ君ネットワークで観測されたSPMの地上濃度分布を利用した。そらまめ君SPMデータは国立環境研究所の早崎博士による品質管理を経て格子平均値に変換されたものを用いた。

図(2)-5には3種類の予測結果、すなわちひまわり8号のデータ同化ののち予測計算（Himawari DA）、データ同化無しでの予測計算（No DA）、MODIS衛星観測のデータ同化ののち予測計算（MODIS DA）が示されている。そして、それら全てについて、48時間予報の結果、24時間予報の結果、12時間予報の結果を図示してある。これら10枚の図はすべて同じ時刻（世界標準時で2015年6月12日正午＝日本時間で同日午後9時）を表している。すなわち、48時間予報の場合は予測計算の初期時刻が6月10日正午、24時間予報の場合は初期時刻が6月11日正午、12時間予報の場合は初期時刻が6月12日0時である。もし予測計算が完璧であれば、そらまめ君SPMの濃度分布にほぼ一致するはずである（この日、PM2.5など黄砂以外のエアロゾル濃度は黄砂に比べて極めて低かったことを確認済み）。そらまめ君の観測領域は図(2)-5の中に白線で囲んである。この領域内で二乗平均平方根誤差（RMSE）を計算し、図(2)-5の中に記入した。

図(2)-5を一目して明らかなことは、この黄砂現象のケースではデータ同化無しで予測すると濃度のOverestimation(過大評価)が起きてしまい、RMSEが極めて大きくなってしまうことである(172.7～223.2

$\mu\text{g}/\text{m}^3$)。SPMの環境基準が1時間平均値で $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることを考えると、このRMSEは致命的に大きい。それに比べると、Himawari DAとMODIS DAの予測結果はRMSEに改善が見られる。48時間予報の時点ではその改善は小さいが(RMSE=112.2あるいは $150.1\mu\text{g}/\text{m}^3$)、24時間予報/12時間予報ではRMSEが $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後となり、データ同化によるRMSE改善が著しい。48時間予報で改善が少ない原因は、現時点では陸上における衛星観測のリトリバルが難しいためであると考えられる。24時間予報や12時間予報では48時間前の観測情報をデータ同化で取り込んだ上でさらに24時間前あるいは12時間前の観測情報も取り込んでいる。

ひまわり8号データ同化による予測計算結果はMODISデータ同化による予測計算結果よりも常にRMSEが小さく、ひまわり8号のエアロゾル観測が高品質(および高頻度)であることが示唆される。次世代静止気象衛星であるひまわり8号のデータ利用は世界的にも始まったばかりであり、その最新研究成果を本研究課題に活用出来ることは研究計画のスムーズな(あるいは予想以上の)進展に大きく寄与できるはずである。我々はここで掲げた検証結果以外にも硫酸エアロゾル(PM_{2.5}等)でひまわり8号データ同化の精度検証を進めており、非常に良い結果を得ている。今後はひまわり8号のリトリバルアルゴリズムの改良にも取り組み、より高い精度のデータ同化を実現したいと考えている。



図(2)-5 2015年6月12日正午(UTC)における東アジアの地表面SPM濃度分布[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

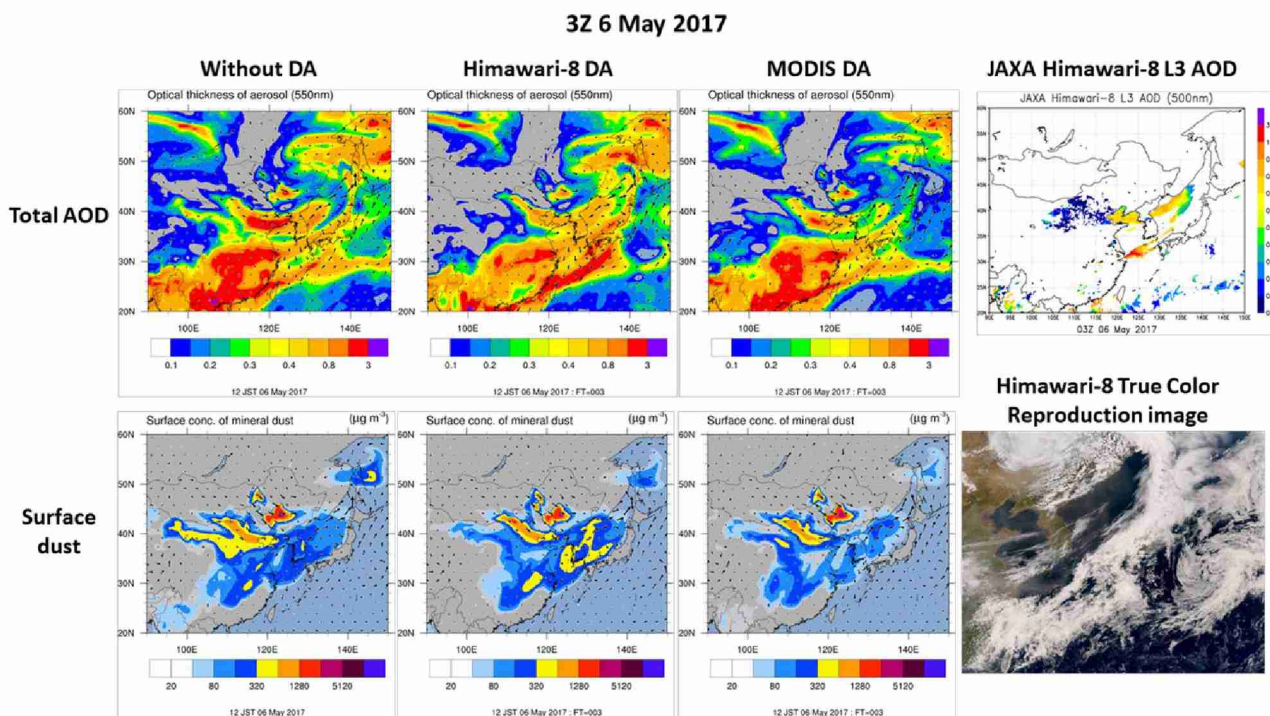
最上段の図はそらまめ君の観測値を $1.1^\circ \times 1.1^\circ$ の解像度に平均化したもの。下段の3列の図はそれぞれ48時間、24時間、12時間予報の結果であり、すべて同時刻(2015年6月12日正午)を表している。左列はMODIS観測をデータ同化して作成した初期値、中列はデータ同化無しで作成した初期値、右列はひまわり8号観測をデータ同化して作成した初期値からの予報値である。それぞれの二乗平均平方根誤差(RMSE)はそらまめ君観測値とモデル予報値の差から計算している。本図はSekiyama et al. (2016 SOLA)からの引用。

(2-3) 二次元変分法によるエアロゾルデータ同化と再解析データセットの作成

ひまわり8号より得られたエアロゾル光学的厚さの二次元変分法を用いたデータ同化事例を以下に示す。図(2)-6と7は、2017年5月に日本付近に到達した黄砂事例に関するデータ同化実験の結果である。JAXAがリトリブしたエアロゾル光学的厚さ (Ver. 1) によると、図(2)-6では、中国大陆にエアロゾルが見られるが、データ同化を行わなかった計算 (左端) ではひまわり8号よりも濃いエアロゾルを計算している。ひまわり8号観測データを用いたデータ同化を行うことにより (左2列目)、このエアロゾル濃度を下方修正していることが分かる。MODIS観測データを用いたデータ同化 (左3列目) では、観測データが十分に得られなかったためか、エアロゾル濃度の修正が余り行われていない。

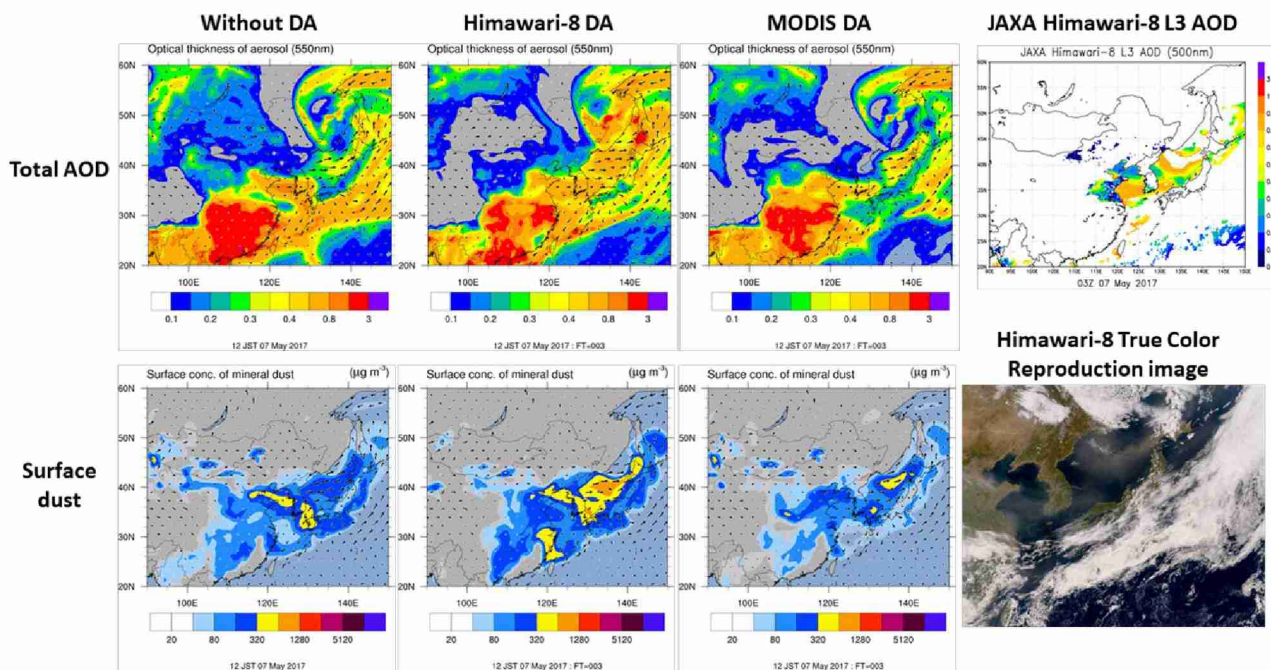
一方、1日後の図(2)-7では、黄海から日本海付近にモデルよりも濃いエアロゾル領域が存在する。データ同化を行わなかった計算 (左端) では、特に日本海付近のエアロゾル光学的厚さが観測と比較して小さい。ひまわり8号観測データを同化することにより (左2列目)、この過小評価傾向が修正されていることが分かる。MODIS観測データを同化した実験 (左3列目) では、ひまわり8号の観測データを同化したほどではないが、日本海のエアロゾル光学的厚さを若干高く修正している。

このように、ひまわり8号を用いたデータ同化では日中の日本周辺域のエアロゾルを雲の晴れ間等を狙って連続的に監視できるため、観測データによるモデルの修正を効果的に行うことができた。



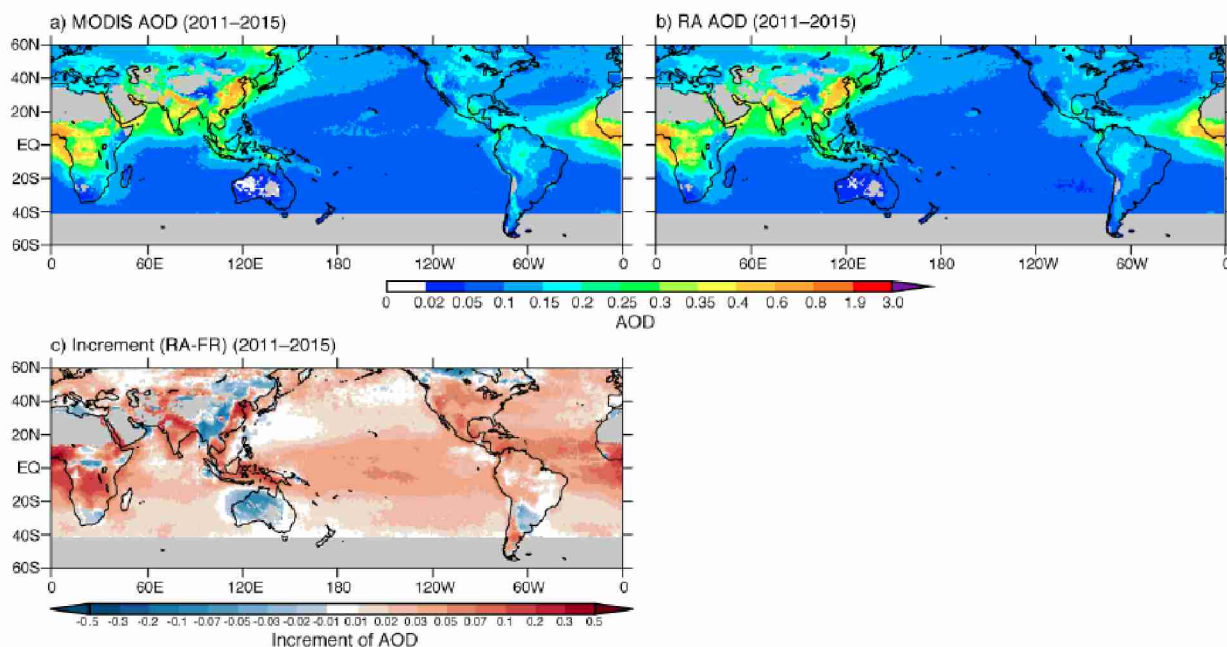
図(2)-6 2017年5月に日本に飛来した黄砂事例に関するデータ同化実験結果 (2017年5月6日03UTC) 上段はエアロゾル光学的厚さを、下段は地表付近の黄砂濃度を示す。左列より、データ同化を行わなかった実験 (without DA)、ひまわり8号観測データを同化した実験 (Himawari-8 DA)、MODIS観測データを同化した実験 (MODIS DA) を示す。上段右端はデータ同化に利用したひまわり8号から得られたエアロゾル光学的厚さを示す。右下はひまわり8号から得られるトゥルーカラー画像 (日本海と黄海にかかる薄い黄色い帯が黄砂を示す)。

3Z 7 May 2017



図(2)-7 2017年5月に日本に飛来した黄砂事例に関するデータ同化実験結果（2017年5月7日03UTC）
図の説明は図(2)-5と同じ。

次に、黄砂再解析データセットに関する結果を示す。まずはこの再解析データに関して、データ同化が確実に機能しているかどうかを調べるために、入力データとして用いたMODISから得られた光学的厚さとの比較を実施した。図(2)-8に全解析期間（2011～2015）におけるMODISによる光学的厚さ、再解析により得られた光学的厚さとこの両者の差を示す。

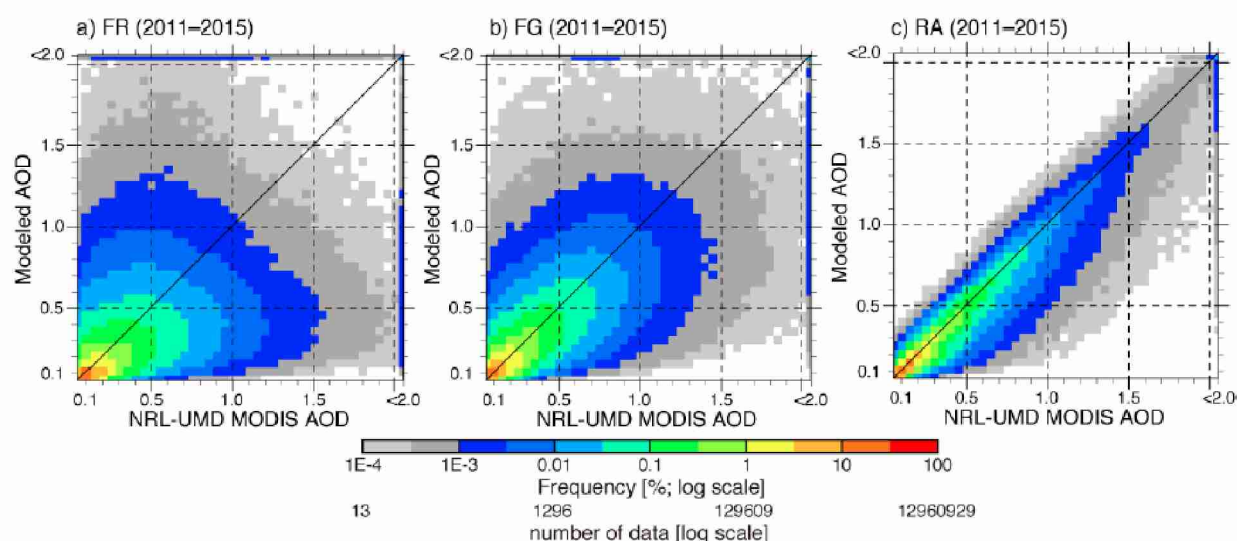


図(2)-8 衛星観測（MODIS；左上）と今回作成した再解析値（右上）によるエアロゾル光学的厚さ
左下は再解析値とモデルフリーランとの光学的厚さの差。

図(2)-8の右上図より、今回作成した再解析データセットは全球的なエアロゾルの分布をよく再現で

きていることが分かる。図(2)-8下は、データ同化を行わなかったフリーランと再解析値との差を示しているが、モデルとMODISの光学的厚さに主に熱帯や中国、インド、北米において系統的な正のインクリメントが見られる。一方、黄砂を含む鉱物ダストエアロゾル発生域付近では、負のインクリメントが見られる。これらは、全球エアロゾルモデルの持つ系統的な誤差を示していると考えられ、今後のモデル改良に関する一つの指針と考えられる。

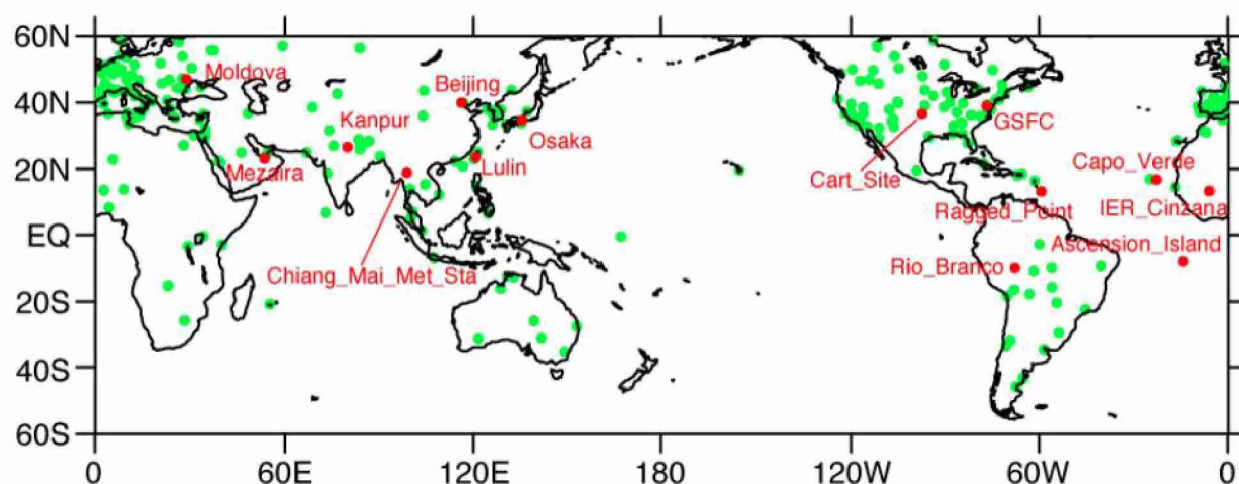
個々の格子点値における比較は図(2)-9の通りである。データ同化を行わないフリーランだと観測との比較でかなりばらつきが見られる。第一推定値（6時間前にデータ同化を行った予報値）では、このばらつきがかなり小さくなり、データ同化を行うことによりさらに観測データとの一致度が高まっている。



図(2)-9 衛星観測 (MODIS) を用いたエアロゾル光学的厚の検証

左モデルフリーラン、中央は第一推定値（6時間前にデータ同化を実施した予報値）、右は再解析値（データ同化後）を示す。

次に、地上観測データ (AERONET) 18地点との比較を行った。地上観測データの観測それに対応するフリーラン (FR) と再解析 (RA) に関して季節毎の根平均二乗誤差 (RMSE)、相関係数 (R) は表(2)-1の通りとなった。検証に用いた地上観測点は図(2)-10の通りである。主に熱帯から北半球の陸域に分布していることが分かる（南半球の観測地点は少ない）。



図(2)-10 黄砂再解析に用いた地上観測点の分布

赤点は統計的な検証として利用した観測点を示す。

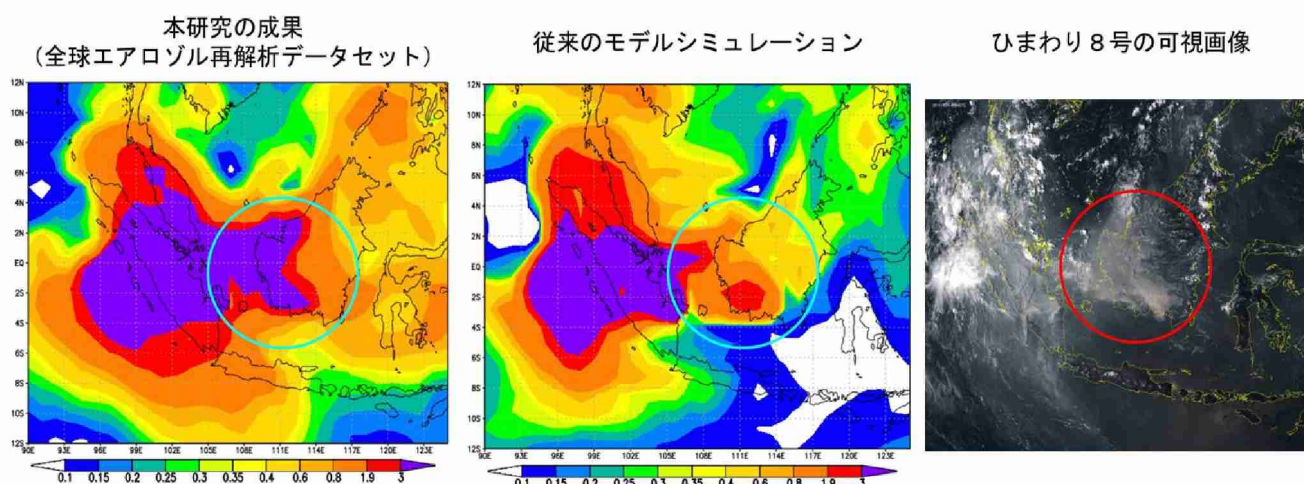
表(2)-1 地上観測より得られた光学的厚さデータ (AERONET) に対するモデルフリーラン (FR)、第一推定値 (FG)、再解析値 (RA) の統計的検証結果
RMSEは根平均二乗誤差を、Rは相関係数を示す。

	RMSE			R		
	FR	FG	RA	FR	FG	RA
Whole period	0.14	0.11	0.05	0.61	0.78	0.96
DJF	0.14	0.11	0.05	0.60	0.77	0.96
MAM	0.15	0.11	0.05	0.64	0.79	0.96
JJA	0.16	0.12	0.05	0.61	0.79	0.96
SON	0.13	0.10	0.05	0.58	0.76	0.95

全ての季節において、再解析 (RA) の結果がもっとも独立観測との一致度が高く、次に第一推定値 (FG)、モデルフリーラン (FR) の順となっている。再解析の地上観測に対する根平均二乗誤差の平均値が0.05とフリーランのおよそ1/3となっていることや、極めて高い相関係数 (0.95前後) から、データ同化が有効に機能していることが分かる。

次に、この黄砂再解析データが捉えた2015年10月におけるインドネシア森林火災事例を図(2)-11に示す。この時期はエルニーニョ現象の影響もあり、東南アジアにおいて大規模な森林火災が頻発し、近傍の社会経済等にも大きな影響を与えたイベントであった。

図(2)-11を見ると、従来のモデルシミュレーション (フリーラン) では十分に捉えることができなかったインドネシアボルネオ島付近の森林火災を、MODISから得られた衛星観測データを同化することによって、ひまわり8号からの観測とほぼ同様に再現することに成功した。



図(2)-11 2015年10月24日6時(世界標準時)のエアロゾル光学的厚さの分布 (東南アジア)

左図：本研究で開発した全球黄砂再解析データセットの結果，中図：従来のモデルシミュレーションの結果。右図：ひまわり8号によって撮影された可視画像 (白い領域は雲，灰色または薄い灰色が泥炭火災で発生した煙霧)

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

(2) データ同化を基礎とした黄砂濃度再解析データベースの作成と現況予測の改善

(2-1) 全球エアロゾル輸送モデルの改良

全球エアロゾルモデル(MASINGAR mk-2)の解像度を上げることにより、衛星観測データを用いたデータ同化や検証の際に問題となっていた空間代表性の差を小さくすることができた。また、60km版(TL319)と40km版(TL479)でエアロゾルの分布パターンに大きな違いがない一方、黄砂極大値の表現が高解像度版の方が大きめとなることも明らかになり、高解像度モデルの基本的な性能を確認することができた。40km版はこれまで気象庁が現業黄砂予測用として用いてきた120km版(TL159)と比較しても良好な予測成績を残し、平成29年2月に気象庁黄砂予測業務に採用された。

(2-2) ひまわり8号データを利用した黄砂予測精度の向上

ひまわり8号は現在世界で運用されている静止気象衛星の中で最も高い測器性能を持っており、過去の気象衛星に比べて遙かに高精度なエアロゾル観測を実施し、鉛直積算濃度と粒径分布に関する情報を取得可能である。また、ひまわり8号は北極から南極までを同時に10分おきの観測が可能であるため、極めて広範囲・高頻度のエアロゾルデータ取得が可能である。このような高精度・広範囲・高頻度なエアロゾル衛星観測を利用した黄砂/PM_{2.5}の濃度分布情報の作成は世界初のことである

(Sekiya et al. 2016)。今後はそのプロダクトを地上ライダー観測と比較することによってエアロゾルの生成・輸送・消滅に関する新しい知見を得られると期待している。

(2-3) エアロゾルデータ同化と再解析データセットの作成

高速なデータ同化手法の開発により、毎日のエアロゾル予測計算や長期間の黄砂再解析を現実的な計算機負荷で実施することができるようになった。高解像度モデル(TL479)を用いた日々のデータ同化・予測実験では2017年5月の黄砂イベントにおいてひまわり8号観測データを同化することにより、この事例でモデルとの違いがあったエアロゾル(黄砂)濃度を修正することができた。このように、衛星観測データを同化することによって再現精度も向上しており、これまでのエアロゾル予測における大きな問題点であった観測値による修正を行うことが可能となった。

過去5年分の黄砂再解析を行い、均質かつ高品質のエアロゾル4次元データセットを作成することができた。この再解析データセットの作成は日本初であり、世界的に見ても4番目である。独立観測値を用いた検証結果でも、根平均二乗誤差が1/3になり、相関係数が概ね0.95に達するなど、データ同化を行わない場合と比較してエアロゾル監視精度が大きく改善した。このデータセットは気候、環境、疫学研究等の様々な研究活動に貢献できることが見込まれる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

気象庁が実施している黄砂予測業務において、本研究成果である全球エアロゾル輸送モデルの改良版が平成29年2月より現業運用され、気象庁黄砂予測業務の改善に貢献した。

また、本研究課題による一連の研究成果は、日中韓黄砂共同研究第一作業部会において発表され、同共同研究において活用された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究によるデータ同化に関する研究成果は、平成30年度以降に気象庁黄砂予測情報提供業務に貢献することが計画されている。

また、本研究課題による一連の研究成果は、環境省が実施中のイラン環境局との砂塵嵐対策共同研究においても活用が見込まれる。

今回作成した黄砂再解析値は気象庁が毎日行っている数値天気予報の境界条件としての利用も見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

●【日中韓黄砂共同研究第一作業部会】

カウンターパート：PAN Benfeng（中国環境保護局（CNEMC））、RYOO Sang Boom（韓国気象庁（KMA））

参加・連携状況：毎年1回会合を開催してデータ共有等を通じた共同研究を実施し、成果を論文集に取り纏めている。平成27年12月に福岡で、28年11月に済州島で、29年11月に蘭州において開催された各会合に参加し、本研究課題の成果等を発表した。

国際的な位置づけ：日中韓環境大臣会合、日中韓局長級会合の合意を経て設置されている。

●【世界気象機関砂塵嵐警戒評価システム（SDSWAS）】

カウンターパート：S. Nickovic（WMO 事務局）、X. Zhang（中国気象局（CMA））、Y. Chun（韓国気象庁（KMA））

参加・連携状況：2～3年に1度程度会合を開催して観測データ、予測データ等の共有を進めている。平成28年9月に済州島で開催された会合に参加した。

国際的な位置づけ：世界気象機関（WMO）の世界天気研究計画（WWRP）におけるプロジェクト

●【エアロゾル予測のための国際協調（International Cooperative for Aerosol Prediction, ICAP）】

カウンターパート：Pete Colarco・GSFC/NASA・米国、Angela Benedetti・欧州中期気象予報センター・英国、Jeff Reid・米国海軍研究所・米国

連携状況：気象研究所はICAPの主要参加機関であり、NASA・米国海軍研究所・欧州中期気象予報センターと協力してエアロゾルモデル相互比較・年次会合開催・論文共同執筆を進めている。

国際的な位置づけ：ICAPは参加者のボランティアな互助組織であるが、主要メンバーが所属する組織は全球エアロゾルモデルの自主開発能力を持つ現業予報機関のみで構成されており、世界最高水準のエアロゾル（黄砂、PM_{2.5}等）予報技術の相互比較の場となっている。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) T. T. SEKIYAMA, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. Nagao, M. Kikuchi, and H. Murakami: SOLA, 12, 86-90, doi:10.2151/sola.2016-020 (2016), Data Assimilation of Himawari-8 Aerosol Observations: Asian Dust Forecast in June 2015.
- 2) K. Yumimoto, H. Murakami, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi and T. Maki: Particuology, 28, 121-130 (2015), Forecasting of Asian dust storm that occurred on May 10-13, 2011, using an ensemble-based data assimilation system.
- 3) K. Yumimoto T. M. Nagao, M. Kikuchi, T. T. Sekiyama, H. Murakami, T. Y. Tanaka, A. Ogi, H. Irie, P. Khatrri, H. Okumura, K. Arai, I. Morino, O. Uchino, T. Maki: GRL, 43, 5886-5894 (2016), Aerosol data assimilation using data from Himawari-8, a next-generation geostationary meteorological satellite,
- 4) K. Yumimoto, Tanaka, T. Y., Oshima, N., and T. Maki: Geosci. Model Dev., 10, 3225-3253, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-3225-2017> (2017), JRAero: the Japanese Reanalysis for

Aerosol v1.0.

- 5) K. Yumimoto, Uno, I., Pan, X., Nishizawa, T., Kim, S.-W. and Sugimoto, N.: SOLA, 13, 31-35, doi:10.2151/sola.2017-006 (2017), Inverse Modeling of Asian Dust Emissions with POPC Observations: A TEMM Dust Sand Storm 2014 Case Study.

<その他誌上発表(査読なし)>

関山剛, 吉田真由美, 菊池麻紀, 弓本圭也: 日本気象学会気象研究ノート (2018) 「エーロゾルプロダクト, 静止気象衛星ひまわり8号・9号とその利用」岡本幸三(編)

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) T. Y. Tanaka, A. Ogi, N. Ohkawara, T. Maki, T. T. Sekiyama, K. Yumimoto: Updates of the aerosol prediction in Japan Meteorological Agency, 7th ICAP meeting, Spain, 2015.
- 2) T. T. Sekiyama, K. Yumimoto and T. T. Tanaka: Aerosol Data Assimilation Current Situation and Projects of JMA, 7th ICAP meeting, Spain, 2015.
- 3) T. Maki: Overview and EWS of Dust in Japan, International Symposium on Preparedness for Dust Hazard, Tottori, 2015.
- 4) T. Maki, K. Yumimoto, T. T. Sekiyama, A. Ogi, Y. Kitajima, N. Ohkawara, T. Y. Tanaka: Modeling study in JMA/MRI, The 8th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, Fukuoka, Japan, 2015.
- 5) T. T. Sekiyama: Aerosol-Forecast-Oriented Data Assimilation of Himawari-8 Aerosol Products, 96th American Meteorological Society (AMS) annual meeting, New Orleans, USA, 2016.
- 6) T. Y. Tanaka, A. Ogi, N. Ohkawara, K. Yumimoto, T. T. Sekiyama and T. Maki: Development and future plans of the Aeolian dust prediction of the Japan Meteorological Agency, DUST 2016, Italy, 2016.
- 7) T. Y. Tanaka, A. Ogi, N. Ohkawara, K. Yumimoto, M. Deushi, T. T. Sekiyama and T. Maki: Update of the aerosol prediction of the Japan Meteorological Agency, 8th ICAP meeting, College Park, USA, 2016.
- 8) K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, T. Maki and A. Ogi: JMA Assimilation Update, 8th ICAP meeting, College Park, USA, 2016.
- 9) T. Maki, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi, T. Kitajima, T. Aoyagi and M. Deushi: Current Asian dust forecasting/monitoring activities of JMA/MRI, 2016 International Asian dust and Aerosol Workshop, Jeju, Korea, 2016.
- 10) T. Maki, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi, T. Kitajima, T. Aoyagi and M. Deushi: Modeling study in JMA/MRI, The 9th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, Jeju, Korea, 2016.
- 11) K. Yumimoto and T. Maki: Development of an aerosol assimilation/forecasting system with Himawari-8 aerosol products, AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA, 2016.
- 12) T. Y. Tanaka, T. Maki and K. Yumimoto: Near Real Time aerosol forecast experiment with Himawari-8 aerosol product, JPGU and AGU joint meeting, Makuhari, Japan, 2017
- 13) K. Yumimoto, T. Y. Tanaka and T. Maki: JMA/MRI Aerosol reanalysis Product, JPGU and AGU joint meeting, Makuhari, 2017.
- 14) T. Maki, K. Yumimoto, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi, T. Kitajima, T. Aoyagi and M. Deushi: Modeling study in JMA/MRI, The 10th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, Lanzhou, China, 2017.
- 15) T. Maki: Simulation and prediction of the sand storm and dust, Module of Technical Seminar on Sand Dust Monitoring, Teheran, Iran, 2015.

- 16) T. Maki: Simulation and prediction of the sand storm and dust, Technical Seminar on Sand Dust Monitoring, Ahwaz, Iran, 2017.
- 17) 弓本桂也、関山剛、村上浩、菊池麻紀、永尾隆、田中泰宙、小木昭典、眞木貴史：ひまわり8号データを用いたエアロゾルデータ同化、日本気象学会秋季大会、京都(2015)
- 18) 小木昭典、田中泰宙、大河原望、眞木貴史、関山剛、弓本桂也：気象庁黄砂予測モデルの高精度化、日本気象学会秋季大会、京都(2015)
- 19) 田中泰宙、小木昭典、大河原望、弓本桂也、関山剛、大島長、眞木貴史：気象庁黄砂予測のための次期全球エアロゾル予測モデルの開発、日本気象学会秋季大会、京都(2015)
- 20) 関山剛：エアロゾル数値モデルと観測データの比較による黄砂発生プロセス理解の深化、鳥取大学乾燥地研究センター平成27年度共同研究発表会、鳥取(2016)

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) ポスト「京」重点課題4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」第2回成果報告会（主催：海洋研究開発機構、29年12月21日、気象庁講堂、観客約200名）にて講演

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 成果の記者発表（29年9月4日、於気象研究所、「黄砂やPM2.5などの大気浮遊粒子状物質（エアロゾル）に関する再解析データセットを開発」）。朝日新聞、読売新聞、日刊工業新聞等に掲載

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

Ⅱ－３ 疫学研究における黄砂濃度データ最適利用手法の開発とその応用

京都大学大学院 医学研究科

社会医学系専攻 健康情報学分野

金谷 久美子

平成27～29年度累計予算額：11,180千円（うち平成29年度：3,380千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

PM_{2.5}の環境基準（人の健康を保護する上で維持されることが望ましい基準）としては「1年平均値が15 μ g/m³以下であり、かつ、1日平均値が35 μ g/m³以下であること」と定められている。環境省は、暫定的な指針となる値として1日平均値70 μ g/m³を設定し、これを超えそうな場合は、都道府県等が注意喚起を行うことを推奨している。しかし、呼吸器や循環器に疾患のある者、小児や高齢者などでは、これより低い濃度でも健康影響が生じる可能性があるとしており、実際に、わが国において短期的な影響が観察されているのはこれらの脆弱集団である。脆弱者への対応については現時点では現況濃度及び予報のWeb上での情報公開のみであるが、ライダーや気象モデル等の技術は多様な感受性集団に対するきめ細かな情報提供サービスを可能にするものであり、国民にサービスとして還元できる。

また、ライダーは、土壌性ダストを他の粒子状物質と区別して連続測定できる唯一のシステムとして、疫学分野でも注目されている。しかしライダーは元々疫学調査のために開発されたものではなく、疫学調査での利用にあたっては整備が必要な状態であった。

以上を背景に、サブテーマ（3）では、ライダーや気象モデルを、今後さらに、人の健康影響（疫学研究）や脆弱者の支援に活用していけるよう、必要な整備を行った。

具体的には、① ライダーデータの疫学調査利用におけるパラメータ最適化、② 黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての脆弱者ニーズの探索と、パイロット的提供による評価、③ 気象モデルの疫学調査利用における最適なパラメータの提案と、気象モデルデータを利用した場合の既存の結果との違いについての評価、④ ライダーホームページ（一般対象）掲載用の黄砂の呼吸器への影響について既存報告をまとめる、以上4点を実施した。

〔キーワード〕

疫学、健康影響、アレルギー、呼吸器疾患、曝露推定

1. はじめに

PM_{2.5}の環境基準（人の健康を保護する上で維持されることが望ましい基準）としては「1年平均値が15 μ g/m³以下であり、かつ、1日平均値が35 μ g/m³以下であること」と定められている。環境省は、暫定的な指針となる値として1日平均値70 μ g/m³を設定し、これを超えそうな場合は、都道府県等が注意喚起を行うことを推奨している。しかし、呼吸器や循環器に疾患のある者、小児や高齢者などでは、これより低い濃度でも健康影響が生じる可能性があるとしており、実際に、わが国において短期的な影響が観察されているのはこれらの脆弱集団である。脆弱者への対応については現時点では現況濃度及び予報のWeb上での情報公開のみであるが、ライダーや気象モデル等の技術は多様な感受性集団に対するきめ細かな情報提供サービスを可能にするものであり、国民にサービスとして還元できる。

また、ライダーは土壌性ダストを他の粒子状物質と区別して連続測定できる唯一のシステムとして、疫学分野でも注目されている。ライダーによる連続測定を開始以来、多くの疫学調査の曝露データとして使用され、土壌性ダストの健康影響を明らかにする過程に貢献してきた。しかし、ライダーによる黄砂の測定は、元々は疫学調査用に開発されたものではない。疫学調査での利用にあたって整備が必要で

あると考えられた。

2. 研究開発目的

サブテーマ（3）では、ライダーや気象モデルを、今後さらに、人の健康影響（疫学研究）や脆弱者の支援に活用していけるよう、必要な整備を行うことを目標とした。

具体的には、① ライダーデータの疫学調査利用におけるパラメータ最適化、② 黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての脆弱者ニーズの探索と、パイロット的提供による評価、③ 気象モデルの疫学調査利用における最適なパラメータの提案と、気象モデルデータを利用した場合の既存の結果との違いについての評価、④ ライダーホームページ（一般対象）掲載用の黄砂の呼吸器への影響について既存報告をまとめる、以上4点を実施した。

3. 研究開発方法

① ライダーデータの疫学調査利用におけるパラメータ最適化

ライダー開発者と疫学研究者とで、問題点を整理・共有し、その解決方法について議論した。そのうち、妥当性、黄砂の空間的広がり（1カ所の測定で複数地域の曝露指標とすることの妥当性）について、既存ライダーデータ、常時監視局の粒子状物質データや既存の健康情報を利用した解析を行い検証した。

② 黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての脆弱者ニーズの探索と、パイロット的提供による評価

脆弱者を対象に黄砂やPM_{2.5}の情報提供のニーズを調査する研究を実施し、情報提供のあり方について内容・タイミング・頻度などのニーズをテーマ1に提供した（②-1）。さらに、脆弱者を対象に黄砂やPM_{2.5}の予報やリアルタイム情報をパイロット的に提供し、その健康影響への効果や使用感を評価する疫学調査を実施した（②-2）。

②-1黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての脆弱者ニーズの探索

まず、黄砂やPM_{2.5}の情報提供のあり方について、内容・タイミング・頻度などのニーズを喘息児の保護者やアレルギー性鼻炎患者から探った。

【研究デザイン】

質的研究

【方法】

・実施手順

黄砂やPM_{2.5}に関する情報提供の内容やタイミング、媒体などのニーズが明らかになるよう、インタビューガイドにそって実施した。インタビューは各被験者につき約1時間、1回とした。本人の了解を得て内容はICレコーダーに録音したが、本人の希望により削除も可能とした。

・実施場所

京都大学もしくは被験者自宅もしくは勤務先。

・解析の概要

音声データの逐語録と観察記録から記録を作成した。分析の詳細は記録を詳細に読んだ後、プロセスを重視した分析が適する場合は修正版グランデッドセオリーによる分析を行い、そうでなければ内容分析を行った。修正版グランデッドセオリーによる分析では、分析テーマに照らしデータを継続比較しながら、演繹的に概念を作成した。また、複数の概念の関係からなるカテゴリーを作成し、カテゴリー相互の関係から分析結果をまとめた。分析の終了は、継続的比較分析を進めても確認すべき問題点がなくなり、理論的サンプリングからも新たにデータを収集して確認すべき問題点が無くなった時点とした。内容分析の場合、リアルタイムデータ提供のあり方について、内容・タイミング・頻度などのニーズに関して枠組み決定後、帰納的に分析した。分析の信頼性を高めるため、1. スーパーバイザーを確保する、2. member checkingのため分析途中で対象者に結果を返す、3. 修正版グランデッドセオリーの場合、理論的飽和化を求める、4内容分析の場合、複数人で結果を対合させる、以上を実施した。

- ・研究期間

対象者登録期間：倫理審査承認日から2016年6月

対象者観察期間：倫理審査承認日から2016年10月頃までの間で1～2時間程度（インタビュー日）

②-2 黄砂・PM情報・予報の脆弱者へのパイロット的提供と、その健康影響への効果や使用感の評価

子育て中の親は、児から目が離せないことからインターネットに頻回に情報を取りに行くことは難しいことが多い。実際に、京都・富山・鳥取での乳幼児の母親を対象とした我々の予備調査（H27-H28）では、黄砂日に「どこからか情報を得た」に「はい」と回答した割合は3%程度であった。さらに②-1にて実施した調査では、脆弱者集団（喘息児・アレルギー性鼻炎患者）において地域の黄砂やPM_{2.5}の濃度上昇や予報をメール等のプッシュ方式で知らせるサービスのニーズがあることが示された。

そこで、②-1にて得られたニーズに概ね合致した情報提供システムを構築し、その健康影響への効果や使用感を評価するランダム化比較対照試験を実施した。

- ・研究対象者の選定

【セッティング】

京都・富山・鳥取にてエコチル調査追加調査として実施中の『黄砂と子どもの健康調査』に同意した母児から、医師に喘息や喘息様気管支炎と診断されたことのある児や、喘鳴を起こしたことのある児の母親、医師にアレルギー性鼻炎と診断された児の母親に、本調査について手紙・メール等で案内し、同意が得られたものを登録した。

【適格基準】

選択基準 『黄砂と子どもの健康調査』に同意した母児のうち、登録児に以下のいずれかの既往があり、黄砂・PM_{2.5}濃度の情報提供を希望するもの：喘息・喘息性気管支炎・喘鳴・アレルギー性鼻炎

【除外基準】 母親が日常的にスマートフォン等を使用していないもの

- ・被験者登録／割付／盲検化の方法

既にエコチル調査追加調査『黄砂と子どもの健康調査』に参加されている母児の該当者に、手紙及びメール・Web上にて本調査について説明し、適宜メールや郵送、電話、対面にて追加説明を行い、最終的に本調査のPM_{2.5}質問票上にて、各参加者固有のURLからパスワードを入れて再同意を得た。なお、『黄砂と子どもの健康調査』開始時に、調査が追加・延長される可能性があることと、その際には再同意を得ることは説明済みであった。

介入（情報提供）の割付については、再同意を得る際に、コンピュータがランダム表から無作為に前半群と後半群に割り付けた。

- ・介入

研究の評価対象となる介入内容は、黄砂・PM_{2.5}濃度の予報とリアルタイム濃度の情報提供である。被験者が自身で提供のタイミングやカットオフ値、花粉や降水確率等の付加情報の同時提供等の提供仕様を選択した。

比較対照は、前半に情報提供を行わない群（後半群）とした。

介入の中止：被験者の希望・操作により、いつでも中止・中断できるものとした。

- ・観察・検査・調査・報告項目とスケジュール

【測定項目、測定方法、測定者または測定機関】

日のアレルギー症状／服薬状況：母親が、その日の登録者（児もしくは母親）の様子からアレルギーコントロールスコア質問票に回答した。

日の行動変容：母親が、以下について回答した：屋外にいた時間／窓を開けた時間があつたか／空気清浄機をつけていたか／洗濯物を外干ししたか／布団を外干ししたか

園欠席日：母親が、毎月随時Web上のカレンダーに記載した

予定外受診日・入院日：母親が、毎月随時Web上のカレンダーに記載した

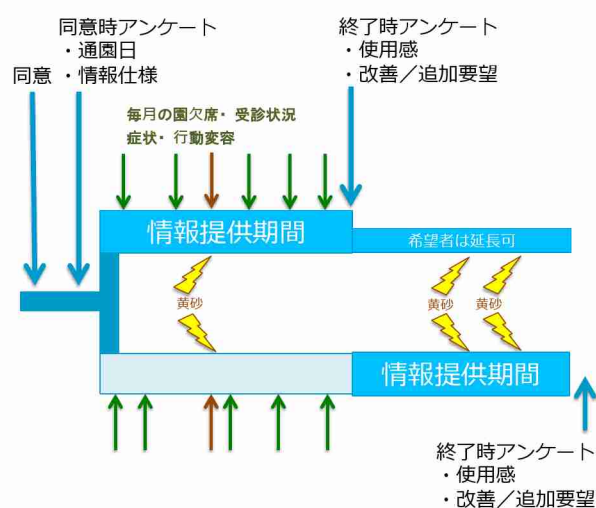
看護のための親の欠勤日：母親が、毎月随時Web上のカレンダーに記載した

通園日：母親が、登録時に何曜日に通園しているかを回答した

希望情報仕様：情報提供の仕様について、母親が登録時に以下について選択した：内容（予報／リアルタイム濃度／花粉等の付随情報） タイミング（カットオフ値を超えたら／毎朝もしくは毎夕） 地域（京都市／木津川市／滋賀県／富山県／鳥取県）

情報提供システム使用感・改善点：内容やタイミングについての評価の他、母親が自由に記載した【測定スケジュール】（図(3)-1）

同意者をランダムに前半群と後半群の2群に分け、前半群には調査の上半期に、後半群には調査の下半期に、被験者のスマートフォンに被験者が選択した仕様にて黄砂・PM_{2.5}の濃度情報をメールで提供した。両群とも、上半期に最近傍ライダー135m値にて朝6時から夕6時までの中央値が0.07/kmを超えた日、及び、地域のPM_{2.5}の朝6時から夕6時の平均値が35 μg/m³を超えた日（概ね年に10日程度）、比較のためのコントロール日（毎日1/10の児がランダムに選択される）に、児が屋外にいた時間やその日の症状について尋ねるアンケートを発信した。参加者はスマートフォンからパスワードにて保護されたサイトにアクセスして回答した。また、サイトには個人カレンダーを用意し、園欠席や予定外受診、入院、看護のための親の欠勤があった際に入力してもらった（随時アクセスできるが、毎月末に誘導もする）。調査の終了時に情報提供についての情報内容・タイミング等について評価してもらった。感想や改善点について、自由記載欄も設けた。



図(3)-1 測定スケジュール

・解析の概要

【主要評価項目】 予定外受診の有無

【副次的評価項目】 園欠席の有無・目／鼻／呼吸器の症状スコア・行動変容の有無・情報提供システムの使用感

Yを予定外受診の有無を表す変数として、予定外受診があれば1、なければ0をとる変数であるとした。

ロジスティック回帰モデル

$$\text{logit Pr}(Y = 1) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_p X_p$$

X1：前半群1、後半群0

による解析を主解析として行った。パラメータの推定と信頼区間の構成には、一般化推定方程式（GEE）による方法を用いた。

【交絡の可能性を検討した因子】 対象者最寄りの観測局のSO₂、NO₂、O₃濃度、花粉濃度、日の平均気温、日の平均気圧、前日からの気温変化、前日からの気圧変化、気温の日内変動幅、日の最低気温、湿度。

【その他、モデルへの投入を検討した因子】 地域のインフルエンザ患者数（週別）、母親の喫煙の有無、父親の喫煙の有無、家庭内喫煙の有無

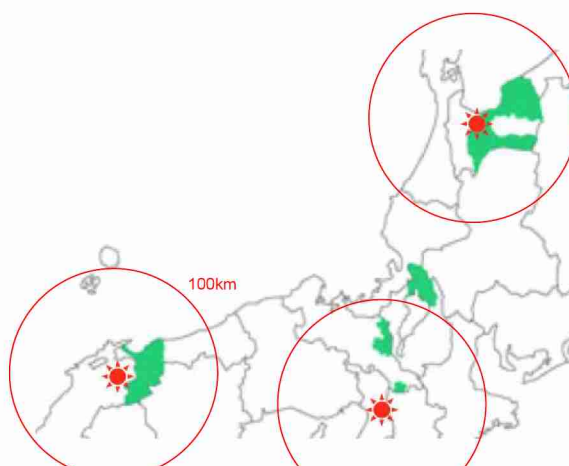
③気象モデルの疫学調査利用における最適なパラメータの提案と、気象モデルデータを利用した場合の既存の結果との違いについての評価

疫学調査を実施する上で、パラメータの時間的／空間的分解能をどのようにしたらよいかの提案を行った。具体的には、疫学調査の曝露情報とアウトカム情報（健康指標）を照らし合わせる際に、お互いがオーバースペックとならないような効率のよい分解能について、研究者間で情報提供・議論を行った。

そして実際に、上記分解能にて再解析データセット（ライダーデータとの同化前・同化後）が作成された過去年度について、既存の健康情報を利用した解析を行い、これまで黄砂濃度情報を近隣のライ

ダーなどで代用していた場合の結果との差について評価した。

具体的には、推進費5-1152にて得られた京都（京都市・木津川市）・滋賀（長浜市）・富山・鳥取（県西部）の妊婦のアレルギー症状のデータ（図(3)-2）を、気象モデルデータと照合し、気象モデルで推定した黄砂濃度と、妊婦のアレルギー症状発現との関連をみた。



図(3)-2 赤：ライダー 緑：被験者の居住地

【対象期間】2011.10～2013.5 までの黄砂シーズン（10～11月・2～5月）計364日

【対象者】エコチル追加調査『黄砂と子どもの健康調査』に同意した京都市・木津川市・長浜市・富山県・鳥取県西部の妊婦3,268名

【曝露】気象モデルにより推定した、上記各地域それぞれにおける黄砂濃度及び黄砂小粒子濃度

【アウトカム】妊婦のアレルギー症状の有無（アレルギーコントロールスコア[®]の症状スコア>0をアレルギー症状ありと定義）

【解析手法】一般化推定方程式にて個人内相関を加味した上で、四分位最低位濃度と比較したアレルギー症状発現オッズ比を推定した。

④ 各感受性集団の呼吸器に対するリスクのまとめ（ライダーホームページ掲載用）

PubMed及び医中誌にて以下のごとく文献検索を実施し、レビュー文献を抽出した。

【検索式】("Asian dust"[All Fields] OR "desert dust"[All Fields]) AND (respiratory[All Fields] OR "hypersensitivity"[MeSH Terms] OR "hypersensitivity"[All Fields] OR "allergy"[All Fields] OR "allergy and immunology"[MeSH Terms] OR ("allergy"[All Fields] AND "immunology"[All Fields]) OR "allergy and immunology"[All Fields]) OR ("lung"[MeSH Terms] OR "lung"[All Fields] OR "pulmonary"[All Fields])) AND ("japan"[MeSH Terms] OR "japan"[All Fields]) AND "humans"[MeSH Terms]

【検索期間】2005年1月1日～2017年12月31日

【抽出条件】以下をすべて満たすもの

- ・ 原著論文
- ・ 調査対象が日本人
- ・ 調査対象イベント（黄砂）が複数回以上
- ・ 大気汚染物質や花粉、気象因子について、交絡の可能性が考慮されている
- ・ 解析モデルが妥当（同一人の繰り返し測定の場合にモデルに反映されている等）

以上を満たす11文献についてレビューを実施し、一般向けに分かりやすい表現で黄砂の呼吸器への影響についてまとめた。

4. 結果及び考察

① ライダーデータの疫学調査利用におけるパラメータ最適化

ライダーデータの疫学調査利用にあたって、確認・議論が必要な点を整理し（以下5点）、そのうち妥当性と空間的広がり、データの種類（高さ・時間区切り・代表値算出手法）について検討した。

1. 妥当性
2. 定性下限・定量下限
3. 黄砂の空間的広がり（1カ所の測定で複数地域の曝露指標とすることの妥当性）
4. データの種類（高さ、時間区切り、代表値算出手法）
5. 球状粒子状物質濃度の扱い

1. 妥当性

【上空濃度（135m以上）と地上濃度】

ライダーデータにより大気モデルを検証し、さらにモデルを同化する研究については、これまで多く報告されている。一方、疫学調査で曝露情報として重要な「地上」の濃度との関連をみたものは少ない。公表されている論文の中から、地上濃度との関連をみているものを3報整理した。

- ・黄砂イベント時に、PM_{2.5}やPM₁₀の動きとDust Extinctionの動きが連動している[1]
- ・複数大規模黄砂イベント時の大気中鉄濃度とDust Extinctionに強い関連が認められる[2]
- ・複数大規模黄砂イベント時のTSP濃度とDust Extinctionから換算比を1.04g/mと算出[3]

これらの報告は、ライダーデータを疫学調査の曝露指標とする上でも示唆に富むものであり、疫学研究者に広く紹介した。

【黄砂以外のものを誤判定している可能性】

花粉やディーゼル粒子など、既に強い健康影響があることが判っているものをあわせてDustと判定している可能性について、議論している報告はなかった。花粉は、京都市内にて250m上空まで到達しうることが報告されている[4]。ライダーで観測している上空に到達する可能性があると考えて、花粉のライダー値への影響について検討した。

スギ・ヒノキ花粉は粒径が大きい（約30 μ m）。そのため、そのままではライダー値への影響は少ないと考えられる[1]。ただし、花粉表面のオービクルの大きさは約1 μ mと小さく、これがライダーのDust extinctionに影響を与えている可能性は考えられた。

そこで、花粉がライダーのDust extinctionにどの程度影響しうるかについて、検討を行った。

スギの名所でありスギ花粉が多く飛散する京都市の花粉数は、多い年のピーク日で1500個/m³（環境省はなこさんデータより）であった。花粉表面をすべてオービクルが被っていると仮定すると、花粉1個あたり3000 $\times 10^{-12}$ m²、1500個/m³のオービクルが存在する。これらオービクルを全てライダーがDustと認識したとすると、消散効率を2としても消散係数で9 $\times 10^{-6}$ /m、約0.01/kmと算出された。これは、ライダーの黄砂消散係数の春・秋の期間中央値にあたる値であり、非常に薄いと考えられる値である。即ち、花粉が飛んでいれば黄砂消散係数に上乘せされるが、その量は黄砂消散係数に比較して非常に小さいと言える。

実際、京都で上記期間中に観察された花粉飛散数が多かった日トップ5の4位まではライダーの黄砂消散係数は高くはなかった。5位の日のみ黄砂日と考えられるレベルであったが、同日はPM_{2.5}やSPMについても上昇しており、実際に黄砂日であったと考えられた（表(3)-1）。

また、花粉のライダーのDust extinctionへの上乗せ分が、疫学研究解析にどの程度影響を与えるかを、上記妊婦のアレルギー症状データにて検証した。結果、花粉のライダーの黄砂消散係数への上乗せ分は、推定オッズ比にほとんど影響を与えなかった（表(3)-2, 3）。

以上より、花粉が飛んでいれば黄砂消散係数に上乘せされるが、その量は黄砂消散係数に比較して非常に小さく、疫学調査にて影響を推定する上で大きな問題とならないと考えられた。

表(3)-1 京都市の2012-2013年の花粉数（環境省「はなこさん」より）トップ5日とその日のライダー黄砂消散係数

高濃度日トップ5	花粉数 (/m ³)	黄砂消散係数 (/km)
1	1500	0.037
2	460	0.014
3	390	0.008
4	300	0.023
5	256	0.179

表(3)-2. ライダー黄砂消散係数から花粉による消散係数を引いた値を黄砂曝露濃度として推定した場合の、黄砂時のアレルギー症状発現オッズ比

	オッズ比	95% 信頼区間	P値
黄砂 (>0.07/km) ^a	1.11	1.04 - 1.18	.001
SO ₂ (>3ppb) ^a	1.17	1.08 - 1.27	<.001
花粉数 (>40/m ³) ^a	1.37	1.28 - 1.47	<.001
日の最低気温(℃) ^b	0.99	0.98 - 0.99	<.001
気温の日内変動幅 (℃) ^b	1.01	1.00 - 1.01	.009
湿度 (%) ^b	1.00	0.99 - 1.00	<.001

95% CI: 95% confidence interval

Adjusted by smoking status of subjects, smoking status of subjects' partners, house incomes, age, and BMI.

^aDesert dust, SO₂, and Cedar pollen / Cypress pollen were treated as dichotomous (with cut-off value of 0.07/km, 3 ppb, and 40/m³ respectively). ^bClimatic variables were treated as numerical.

表(3)-3. 花粉による消散係数を考慮しない場合の、黄砂時のアレルギー症状発現オッズ比

	オッズ比	95% 信頼区間	P値
黄砂 (>0.07/km) ^a	1.10	1.04 - 1.18	.002
SO ₂ (>3ppb) ^a	1.17	1.08 - 1.27	<.001
花粉数 (>40/m ³) ^a	1.37	1.28 - 1.47	<.001
日の最低気温(℃) ^b	0.99	0.98 - 0.99	<.001
気温の日内変動幅 (℃) ^b	1.01	1.00 - 1.01	.008
湿度 (%) ^b	1.00	0.99 - 1.00	<.001

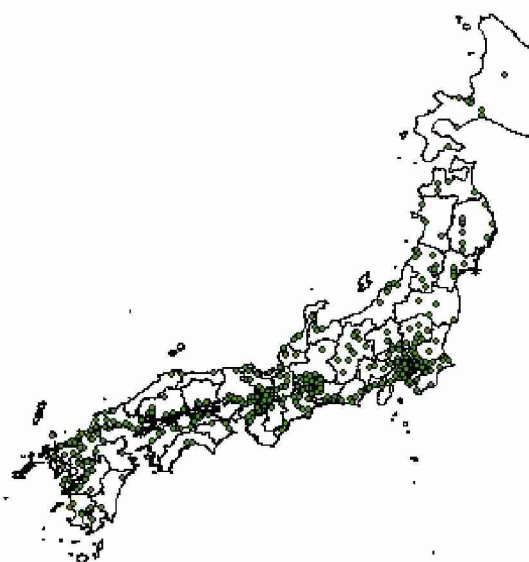
95% CI: 95% confidence interval

Adjusted by smoking status of subjects, smoking status of subjects' partners, house incomes, age, and BMI.

^aDesert dust, SO₂, and Cedar pollen / Cypress pollen were treated as dichotomous (with cut-off value of 0.07/km, 3 ppb, and 40/m³ respectively). ^bClimatic variables were treated as numerical.

2. 黄砂の空間的広がり（1カ所の測定で複数地域の曝露指標とすることの妥当性）

ライダーの設置は国内に11基のみと、PM_{2.5}やその他の大気汚染物質の観測が全国500カ所以上で実施されている（図(3)-3）のに比べて数が少ない。黄砂は比較的広域の現象であると考えられてはいる



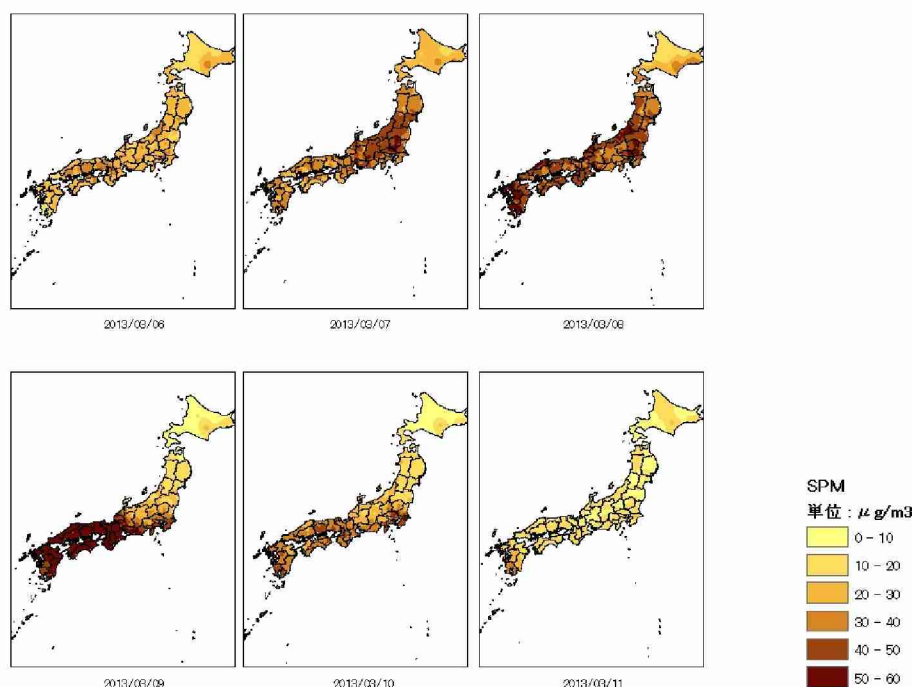
図(3)-3 全国のPM_{2.5}測定局（2013年3月）

ものの、疫学調査の指標として空間的にどの程度の誤差が生じるのかについては、まだ十分な議論がない。我々は、2013年の黄砂飛来時の、全国714測定局（図(3)-3）のSPM及びPM_{2.5}濃度の推移を図示し、地上での実測値にもとづく黄砂の空間的広がりについて確認した。

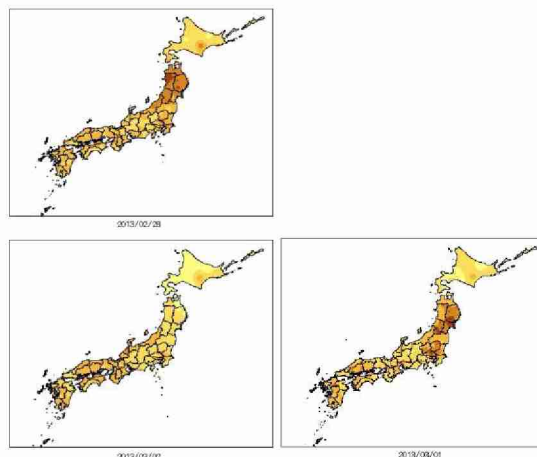
2013年に気象庁が黄砂飛来と判定したイベントは、全国1地域でも黄砂飛来と判定された際に1イベント（連続した黄砂日は1イベント）とカウントした場合、7イベント15日であった（表(3)-4）。

これらの日（イベントの前後1～2日を含む）における、各地のSPM及びPM_{2.5}推定濃度を図示した。SPM及びPM_{2.5}推定濃度は、全国714測定局で観測された濃度を用いて、GIS IDW法にて測定局からの距離で重みづけして求めた。

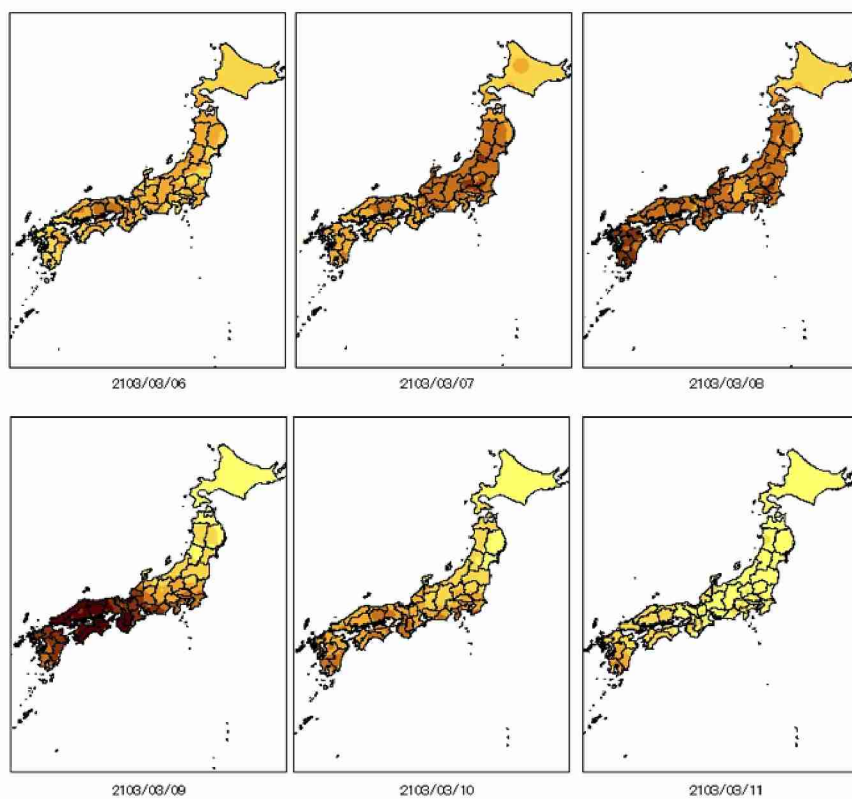
日平均値表示の一例（3/8～11のイベント：西日本の多くの都市で黄砂日と判定された比較的大きなイベント、及び3/1のイベント：稚内のみ黄砂日と判定された小さなイベント）を例として図に示す（図(3)-4～9）。衛星画像や予測モデルで推定されていたのと同様に、地上観測においても地域内（凡そ県内程度）での濃度上昇はほぼ一様であった。時間値で推移をみた場合、日平均値に比べると地域でのvariationが大きいが、時間によるvariationを上回りそうな様子は観察されなかった（図(3)-7,9）。ただし、小さなイベントでは濃度上昇が局所的になる可能性は考えられ、今後の課題と思われた。



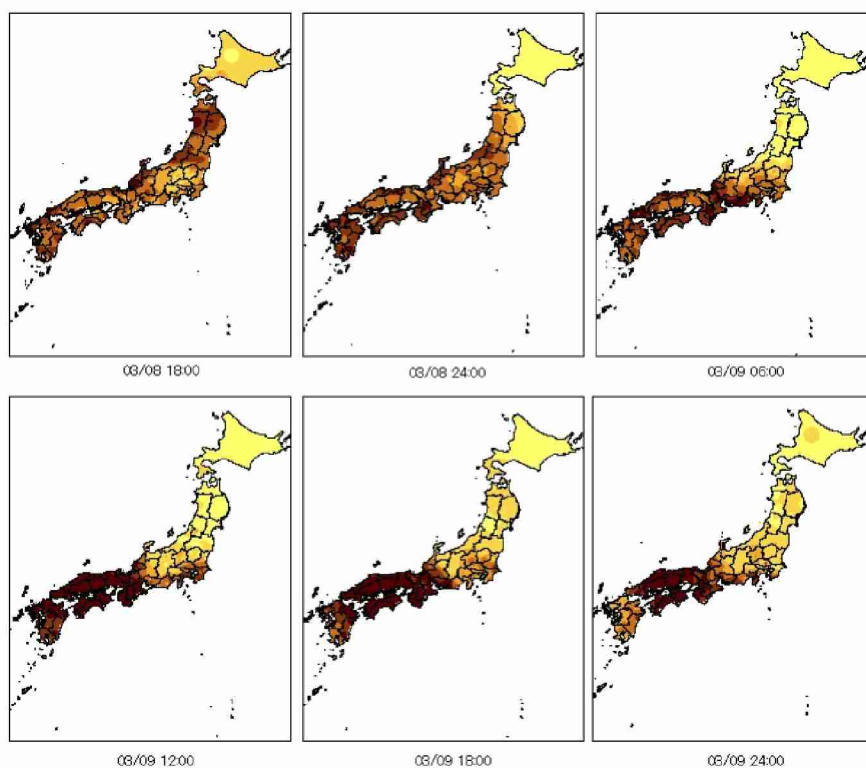
図(3)-4 2013/3/6～2013/3/11のSPM日平均値による日平均推定濃度



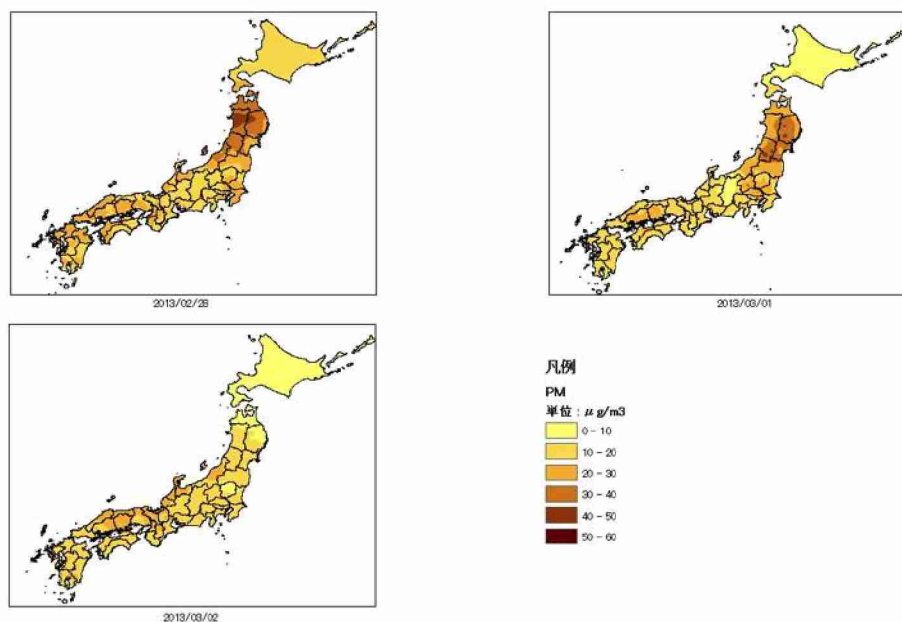
図(3)-5 2013/2/28～2013/3/2のSPM日平均値による日平均推定濃度
（濃度区分は図(3)-4の凡例参照）



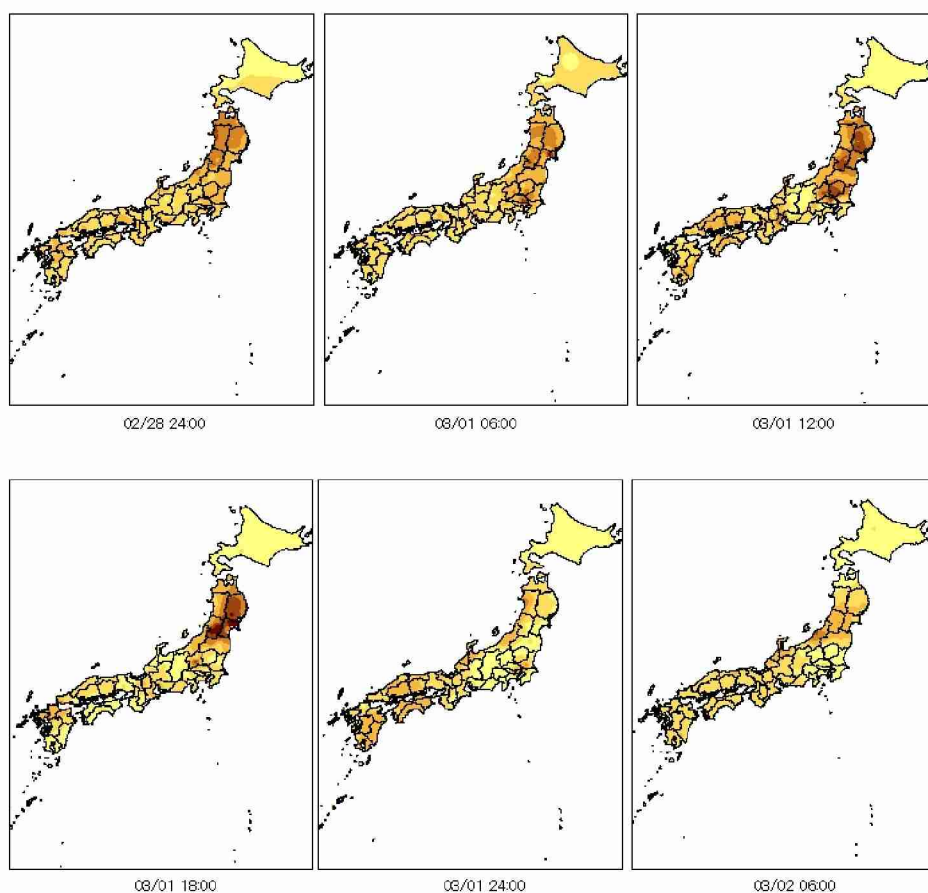
図(3)-6 2013/3/6 ~ 2013/3/11のPM2.5日平均値による日平均推定濃度
(濃度区分は図(3)-4の凡例参照)



図(3)-7 2013/3/8 ~ 2013/3/9のPM2.5時間値による6時間毎濃度推定値
(濃度区分は図(3)-4の凡例参照)

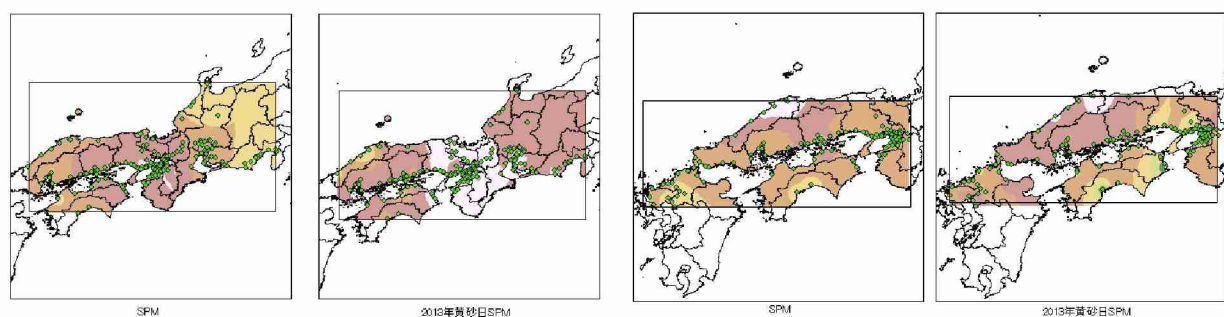
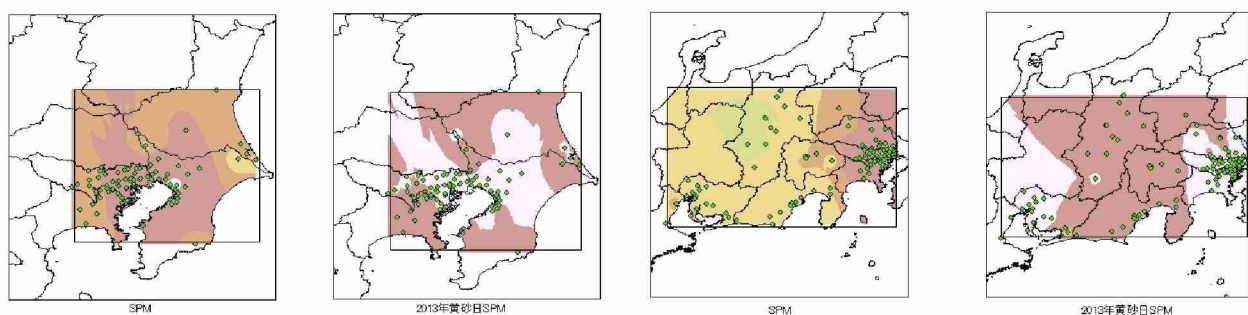
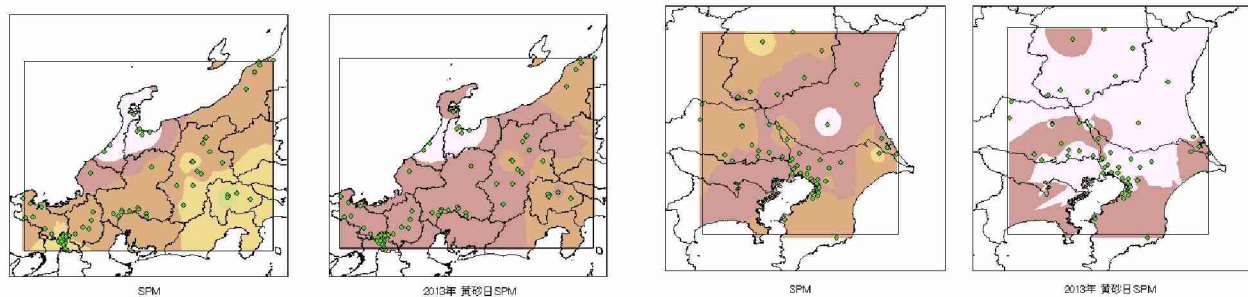
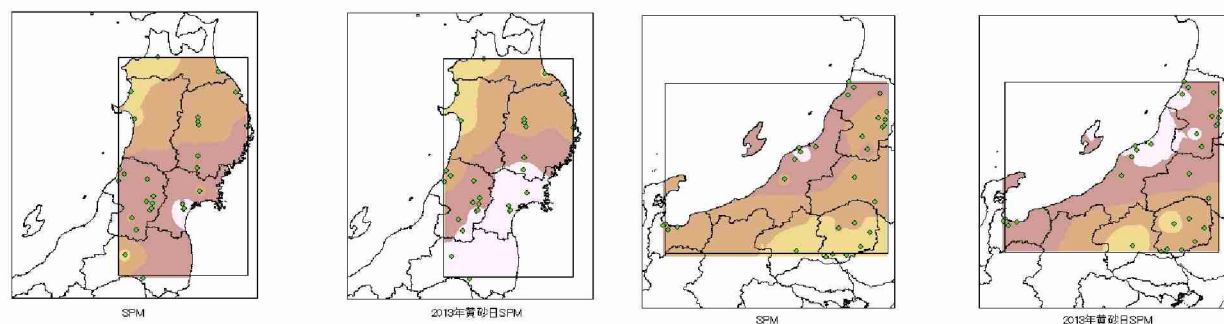
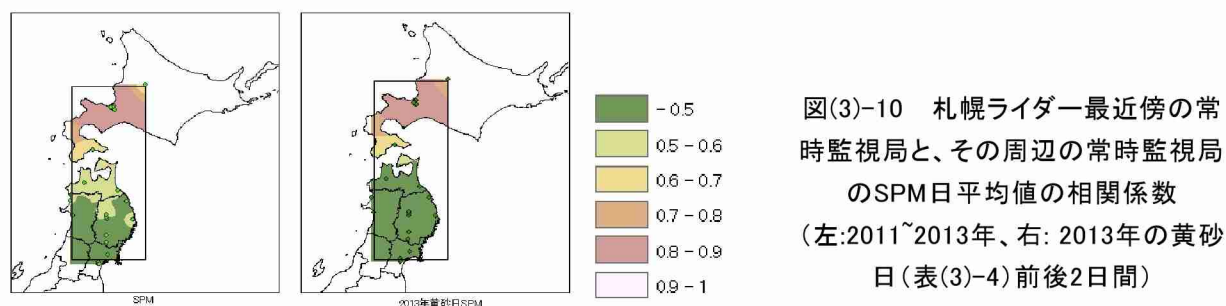


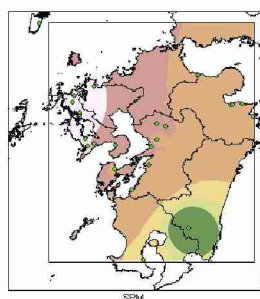
図(3)-8 2013/2/28 ~ 2013/3/2のPM2.5日平均値による日平均推定濃度



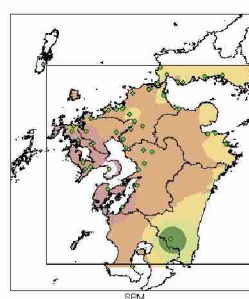
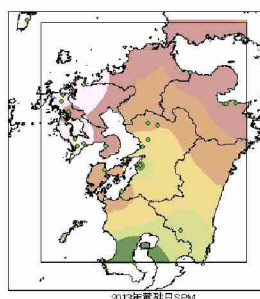
図(3)-9 2013/2/28 ~ 2013/3/2のPM2.5時間値による6時間毎濃度推定値
(濃度区分は図(3)-8の凡例参照)

次に、SPMの日平均値について、2011~2013年（左）及び2013年の黄砂日前後2日間（右）の、各ライダー測定地に最近傍の常時監視局と、その周辺の常時監視局の相関係数を図示する。

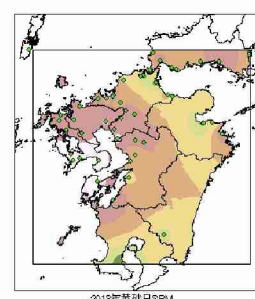




図(3)-19 同上(福江島ライダー)



図(3)-20 同上(長崎ライダー)



図(3)-10~20のように、一部の地域(桜島近辺等)を除いては、黄砂日に限定せずともライダー設置県内であれば相関係数は0.8を超える状況であり、黄砂日前後に限定するとライダー設置地県内では0.9を超え、設置地方内であれば概ね0.8を超える状況であった。さらに、東大阪ライダー・つくばライダー近辺に示されるように、平野や盆地等の地形によっては非常に広い範囲にわたって黄砂日の相関係数は0.9を超えと非常に高い値であった(図(3)-14, 17)。

以上のように、ライダー値を現在の疫学調査の曝露指標として使用するにあたって、概ね同一地方内であればライダー測定位置と実際に曝露された位置の違いによる誤差よりは、調査にまつわる他の誤差(屋内外の曝露量の違い、症状申告と実際の症状のずれ等)の方が格段に大きいと考えられることを示した。

②-1 黄砂・PM_{2.5}情報の提供のあり方についての一般ニーズの探索

【被験者背景(表(3)-5)】

20名中、喘息児の母親が8名、本人がアレルギー性鼻炎患者15名(重複あり)、園の教員1名。年齢は24~47歳(平均38歳)。児の喘息の重症度は多くが「間欠型」で「軽症と中等症の間」(発作は月に数回から)が2人と、比較的軽症のものが多かった。大気汚染と児もしくは自身の症状との関連については、10人が「関連あり」もしくは「関連があると感じるが、わからない」と認識していた。

表(3)-5 被験者背景

対象者		家族の喘息、ア鼻炎患者の人数		喘息やア鼻炎患者の属性と喘息やア鼻炎の症状についての									症状と大気汚染物質の関連性の認識
年齢	子の人数		対象者との続柄	年齢	性別	診断名	発症時期	重症度	症状が出やすい季節	症状が出やすい時間帯			
33	1	3	本人	33	女	ア鼻炎							
			夫		男	黄砂・PM2.5アレルギー(検査未)			11月-4, 5月		関連あり		
			子	1	男	喘息性気管支炎	1歳過ぎ			夜、明け方			
34	3	2	本人	34	女	ア鼻炎		軽度				関連ありそうだが分からない、見ないようにしている	
			第3子	3	男	喘息	1歳9か月	軽症と中等症の間	秋口-春先 秋が重症	夕方			
41	2	3	本人	41	女	ア鼻炎							
			夫		男	ア鼻炎						分からない	
			第1子	12	女	喘息気味、ア鼻炎	2歳:ア鼻炎	間欠型?(喘息)	春、秋、 季節の変わり目	朝(夜たまに)			
			本人	24	女	ア鼻炎、慢性鼻炎	5歳	中等度から重症 持続型	季節の変わり目:秋から冬、冬から春	寝起き	関連あると思うがわからない		
24	0	2	本人	24	女	ア鼻炎、慢性鼻炎							
			姉	27	女	ア鼻炎、慢性鼻炎							
			本人	35	女	喘息 ア鼻炎	小2:ア鼻炎 23, 24歳頃:喘息	間欠型 (喘息)	夏以外 1-3月:重症	明け方			
35	2	3	夫		男	ア鼻炎 ア鼻炎兆候(くしゃみ)						関連あり	
			子										
44	2	4	本人	44	女	ア鼻炎				黄砂飛来時			
			夫		男	ア鼻炎				黄砂飛来時			
			第1子	8	女	ア鼻炎	3or4歳	軽症持続性	年中 特に春	就寝中	関連あり		
			第2子	4	女	鼻炎症状?(診断未)	3歳	軽症持続型	年中 特に秋と春				
			本人	35	女	ア鼻炎		軽度					
			第1子	3	女	喘息疑い	3歳	間欠型?	不明 (3-4ヶ月前から発症のため)	明け方		わからない	
			第2子	1	男	喘息疑い	1歳	現在ほとんど症状なし	不明 (3-4ヶ月前から発症のため)	現在ほとんど症状なし			
			39	2	1	本人	39	女	ア鼻炎	20歳代	間欠型	春、秋 (特に5月)	関連あり
37	1	3	本人	37	女	ア鼻炎							
			夫	43	男	ア鼻炎	成人後 (8年前?)					関連なし?	
			子	3	女	喘息	3歳9か月	軽症と中等症の間	不明(発症したばかりのため)	夜			
			第1子	9	男	喘息 ア鼻炎	4歳	幼稚園時:数回/月 小学校:数回/年	春秋 雨の日	就寝時と起床時			
			第2子	7	女	喘息まではいかないが、咳が持続 ア鼻炎	幼稚園	咳の持続:9月がひどい	春秋 雨の日 (9月が重症)	就寝時と起床時	関連あり		
			第3子	4	男	喘息、 ア鼻炎	3歳	間欠型 (1年に数回)	春秋 雨の日	就寝時と起床時			
34	1	2	本人		女	ア鼻炎	小学生の頃(小中の頃は重症、現在はかなり治まっている)	最重症と重症の間(一番ひどいとき)	春、秋 (春が重症)		関連なし(わからない)		
			夫		男	ア鼻炎							
45	2	2	本人		女	喘息	10歳頃発病20歳頃に治癒	軽症				わからない	
			子	3	女	喘息性気管支炎	2歳半	間欠型 (1年に数回)	季節の変わり目(春、秋)	夜			
38	2	4	本人		女	ア鼻炎	子どもの頃		春先	朝方	関連あり		
			第1子	6	男	気管支炎	生後6ヶ月	軽症~間欠型 (年中ぐらいまで重症)	秋~冬 (乾燥する時期)		(子どもが幼い時は感じていたが、現在の認識は薄れている)		
			第2子	2	女	気管支炎	1歳未満	軽症~間欠型	秋~冬 (乾燥する時期)	朝方			
34	2	3	本人	34	女	ア鼻炎			春				
			夫		男	ア鼻炎			春				
36	1	2	第2子	2	男	気管支喘息(気管支炎)	7ヶ月:急性気管支炎、 1歳:ステロイド開始(現在中止)	間欠型 (1年に数回)	春、秋	昼寝の後、夕方			
			夫		男	ア鼻炎			年中 (春がひどい)		不明		
47	2	3	第1子	2	女	軽度喘息疑い	1歳	間欠型 (1年に数回)	年中	夜から朝			
			本人		女	小児喘息(現在、咳喘息様) アレルギー性結膜炎(軽症)		軽症	喘息 (秋から開始)		関連あり		
			子	14	女	ア鼻炎		軽症					
			子	11	女	ア鼻炎		軽症					
31	2	2	本人	31	女	喘息 ア鼻炎		小学校まで:重症 中学校:毎朝なし 20歳後:間欠型	季節の変わり目(春)、冬	主に朝方、たまに夜中(一番寒くなる時間帯)		わからない	
			夫	36	男	ア鼻炎			春(特に雨の日)				
42	1	2	夫	40	男	ア鼻炎	大学生	間欠型	春先 ストレスの多い秋冬				
			本人	42	女	ア鼻炎			秋				
45	1	1	第1子	15	女	ア鼻炎	5歳頃	最重症(※症状は中学、高校と進むごとに改善)	春、秋	夜	関連あり		
44	2	0	本人、本人の家族に喘息やア鼻炎の人はいない。児をみる保育士さんとしてインタビューを受けてもらっている。現在、0歳児担当。今まで、幼稚園4年、保育園や幼児教室9年、子ども園3年半(現職)										

【情報提供ニーズ】

20人中19人が大気汚染物質の情報提供を希望していた。情報提供を希望した19人全員が、大気汚染物質の濃度に関する情報を希望した。その中で、予報も希望される方が18人であった。また、タイムリーに変化する濃度の情報提供だけでなく、大気汚染物質の身体の影響や、対処方法などに関する情報も希望した人が11人いた。大気汚染物質の情報提供を希望する理由として、予防行動（外出を控える、マスクの使用など）への活用（18人）、洗濯・布団干しに活用（14人）、症状との関連性の検討（8人）があった。

一方、大気汚染物質以外の情報もあわせて希望した人が18人いた。得たい情報としてあがったものは、天気（15人）、花粉（12人）の他に、喘息やアレルギー性鼻炎に関する情報（9人）、湿度（6人）、気温（5人）、風の強さや向き（5人）が続いた。それらの情報を希望する理由として、「一度に情報を得ると便利、分かりやすい」（10人）、「喘息やアレルギー性鼻炎と関係がありそう」（8人）があった。

情報提供を受ける頻度として、毎日、毎週、毎月といった定期的な情報提供を希望する人と、一定基準を超える、または超えそうな時という不定期な情報提供を希望する人が10人ずついた。その中でも、定期的な情報提供に加え、不定期な情報も欲しいと重複している人が5人いた。情報提供の希望時間は、朝が9人と一番多かった。

情報の入手方法については、自動的に情報を受信するなど、自ら情報源にアクセスしないで情報を得たい人（12人）と、自らアクセスして情報を得たい人（9人）がいた。まず、自ら情報にアクセスしたくない理由として、12人中10人が「忙しい」、4人が「情報を自動に入手する方が情報の見落としがない」をあげた。一方、自ら情報源へアクセスして情報を得たい理由として、9人中2人が「自動に情報が送信されてくるのが煩わしい」、2人が「既に自分で情報を得ている」をあげた。

また、情報を入手する媒体としては、ハード面では携帯電話（15人）が最も多く、その次にテレビ（4人）であった。ソフト面では、アプリケーション（11人）やメール（7人）、LINE（4人）、ウェブサイト（3人）で情報を入手したい希望があった。これらの選択理由として、利便性をあげる人が最も多く、普段自身が情報を得ているメディアで大気汚染の情報も得たい様子が伺えた。

情報提供を受けて困ることとして挙げられたのは、「配信メールが多いことや内容そのものが過多」が10人と最も多く、「理解できない内容」が2人いた。そのため、提供される情報は、視覚情報が多いもの（12人）、地域が限定できるもの（9人）、自分で欲しい情報内容やタイミングをカスタマイズできるもの（6人）、URLなどが付いていて詳細が欲しい場合は入手できるもの（6人）、必要な情報が一度に入手できるもの（4人）とされた。

以上、脆弱者集団の中でも喘息児の母親とアレルギー性鼻炎女性に、大気汚染情報のニーズについてインタビュー調査した。以下を満たす情報提供が求められていた。

- ・現況濃度と予報の両方の情報提供ニーズがある
- ・既に症状との関連性を感じており「高いときに見落とすことなく情報が欲しい」プッシュ方式派と、症状との関連性について確認がしたい「自分が見たい時にさっと確認したい」自律派に分かれている
- ・普段、自身が情報を得ているメディアで大気汚染の情報も得たい
- ・提供される情報は、忙しいときにもさっと確認できる最低限の視覚情報が基本であるが、必要に応じて手軽に詳細な情報や周辺情報を得ることができる状態になっているものが望ましい

②-2 黄砂・PM_{2.5}の予報やリアルタイム情報の、健康影響への効果や使用感の評価

推進費（H23-25）C-1152にて確立した、ケータイ端末のメール機能と環境測定システムとを連携させ症状や曝露時間等についてタイムリーな情報収集を行うシステムを元に、黄砂・PM_{2.5}の予報やリアルタイム情報を発信し、その健康影響への効果や使用感の評価するシステムを作成した。環境省・エコチル調査コアセンター・京都大学・富山大学・鳥取大学の倫理審査の承認を得て、左記システムを使用した無作為比較試験を実施した。

具体的には以下を実施した。

【システムの改築】環境省ライダーデータ・地域の常時監視局データとメール発信システムを連動させて、ケータイからタイムリーに回答してもらうシステムに、新たに気象モデルによる予報や花粉・降水確率等の情報発信機能を追加し、さらに無作為比較試験が実施できるように改築した。

○黄砂・PM_{2.5}濃度情報提供システムの概要○

黄砂・PM_{2.5}濃度の情報を主にスマートフォンのメールに提供するシステムである（図(3)-21）。被験者が自由に「情報の内容」「提供のタイミング」等について希望の仕様にカスタマイズできる。予報は、気象庁の黄砂・PM_{2.5}予報モデルからの数値を使用する。リアルタイム濃度は、各地域の常時監視局・ライダーのデータを使用する。ともに、国立環境研究所より提供される。

「情報の内容」については、「予報」と「リアルタイム濃度」の2種類から選択できる（複数選択可）。

「提供のタイミング」については、「閾値を超えたら」と「毎日一定時刻に」の2種類から選択できる。閾値（年に数日レベル／月に数日レベル）や時刻についても選択可能とする。

加えて、PM_{2.5}が10 μg/m³未満と予報された日の朝には、換気や外遊びを促すメールが送られる（図(3)-22）。

また、国立環境研究所、そらまめ君、環境再生保存機構による喘息情報サイト、その他各リソースが示され、必要に応じていつでもアクセスできる。

エコチル『黄砂と子どもの健康調査』
宛先：
『黄砂と子どもの健康調査』

京都市のPM2.5が、ご設定の濃度を超えました



PM2.5 21.0 μg/m³

やや多い

黄砂 提供期間外

※この濃度で症状にどれくらいの影響があるの？
 ※黄砂・PM2.5予防の知恵
 ※こんな時は、換気してね！
 ※ぜんそく基礎知識
 ※情報提供の仕様の設定を変えたいとき

エコチル『黄砂と子どもの健康調査』
宛先：
洗濯日和・おでかけ日和

おはようございます。
今日は、めったにないくらい空気がきれいと言われています。＼(^0^)/

お家の空気を入れ替えて、お外で遊びましょう！
晴れていれば、お布団干しも、オススメです。

降水確率 0%
今日の天気予報 <http://weather.yahoo.co.jp/weather/jp/26/>
まめ知識 紫外線とビタミンD
<http://www.ecochil.com/shigaisen?token=355bf1d7a23e24337eef114142dd6dcf3176f92aa2de05a8a9569e21307495e2>

楽しい一日に、なりますように・・・！

『黄砂と子どもの健康調査(パート3)』事務局

2017年2月27日 8:21
詳細情報を隠す
受信 - iCloud 36

図(3)-21 予報提供メール例

図(3)-22 換気や外遊びを促すメール例

【リクルート】環境省エコチル調査追加調査『黄砂と子どもの健康調査』に参加している母児の中で、一度でも喘鳴を起こしたことのある児1,153名の母親に本調査について案内・説明し、529名の母親から参加同意を得た（同意率46%）。参加児の年齢は1～5歳で約半数が3歳であった。性別では男児が53%とやや多かった。男児がやや多い理由として、エントリー基準に「喘鳴の既往」があり乳幼児期には男児で喘鳴が多いことが考えられ、この年齢層の喘鳴児の特徴が表れていると考えられた。既に「喘息」の医師診断がされているものは半分弱であり、これについても過去の知見と一致していた。また地域差はあるものの、多く（全体で93%）の児が通園しており73%の母親が働いていた。表(3)-6に、参加児の背景を示す。

表(3)-6 参加児の背景

		介入群 n=279		非介入群 n=245		合計 n=524	
性別	女児	139	50%	108	44%	247	47%
	男児	140	50%	137	56%	277	53%
年齢	平均±SD	3.87	0.65	3.92	0.67		
居住地域	京都 / 滋賀	73	26%	61	25%	134	26%
	富山	140	50%	141	58%	281	54%

	鳥取	64	23%	41	17%	105	20%
	その他	2	1%	2	1%	4	1%
通園の有無	通園している	261	94%	225	92%	486	93%
	していない	18	7%	20	8%	38	7%
喘息診断	未診断	165	59%	134	55%	299	57%
	診断あり	114	41%	111	45%	225	43%
ステロイド吸入	指示されていない	242	87%	209	85%	451	86%
	指示されている	37	13%	36	15%	73	14%
	- 指示通り吸入	32	86%	36	100%	68	93%
	- 指示通りにはせず	5	14%	0	0%	5	7%
アレルギー血液検査の実施 (特異的IgE)	未実施	185	66%	153	62%	338	65%
	実施	94	34%	92	38%	186	36%
	- ハウスダスト陽性	34	36%	34	37%	68	37%
	- 花粉陽性	13	14%	13	14%	26	14%
	- 何らかの食物に陽性	51	54%	52	57%	103	55%
	- カビに陽性	4	4%	7	8%	11	6%

1歳未満での喘鳴	あり	125	45%	105	43%	230	44%
	なし	151	54%	133	54%	284	54%
	回答なし	3	1%	7	3%	10	2%
6ヶ月時の体重	平均±SD	6832	831	6788	908		
1歳時の体重	平均±SD	7878	857	7901	924		
6ヶ月時の離乳食	始めている	175	63%	154	63%	329	63%
	未開始	102	37%	89	36%	191	37%
	回答なし	2	1%	2	1%	4	1%
1歳時の母乳	のんでいる	201	72%	181	74%	382	73%
	のんでいない	74	27%	57	23%	131	25%
	回答なし	4	1%	7	3%	11	2%
1歳時の人工乳	のんでいる	109	39%	83	34%	192	37%
	のんでいない	168	60%	156	64%	324	62%
	回答なし	2	1%	6	2%	8	2%
母親の就労	就労している	223	80%	181	74%	404	77%
	主婦	56	20%	64	26%	120	23%
母親の喘息既往	あり	47	17%	48	20%	95	18%
	なし	232	83%	197	80%	429	82%
父親の喘息既往	あり	41	15%	36	15%	77	15%
	なし	217	78%	197	80%	414	79%
	回答なし	21	8%	12	5%	33	6%

*Subjects analyzed: Subjects whose outcomes were available at least once (n=524) among the randomized (n=530)

【情報発信】介入群（前半群）に当たった被験者には、希望する仕様（タイミング・濃度・項目・地域）で、黄砂・PM_{2.5}に関する情報を希望メールアドレスに発信した（図(3)-21）。被験者が希望した仕様のまとめを表(3)-7, 8に示す。黄砂実況濃度の配信を希望したものは390名（74%）、PM_{2.5}実況濃度の配信を希望したものは396名（75%）うち両方を希望したものは393名であり、実況濃度がほしいものの多くは黄砂・PM_{2.5}の両方を選択していた。同時に208名が花粉情報も希望された。同様に、黄砂予報を希望したものは416名（78%）、PM_{2.5}予報を希望したものは417名（79%）うち両方を希望したものは414名であり、予報がほしい方についても多くは黄砂・PM_{2.5}の両方を選択していた。また付随する情報内容として希望が多かったのは、花粉予報（294名）及び天気予報（151名）であった。

気象モデルにて地域のPM_{2.5}が10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と予想された日（かつ地域の常時監視局のPM_{2.5}の実測値4-6時平均が<12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ かつ地域の降水確率が20%以下）の朝には「洗濯日和・おでかけ日和」と題した、換気や外遊びを促すメールを該当地域の介入群に発信した。調査開始（H28. 10月末）からH29. 3月末までで、京都市47日、長浜市27日、木津川市45日、富山県31日、鳥取県20日が該当した。

表(3)-7 黄砂情報提供の希望仕様

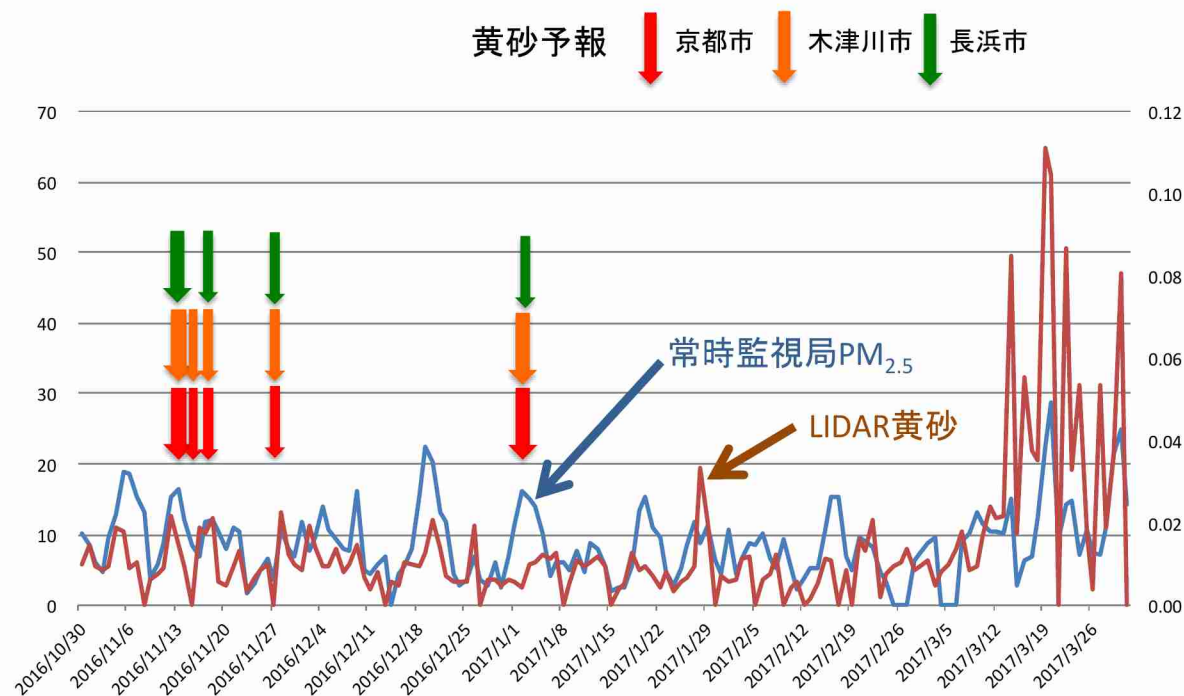
	希望した(人)					希望しなかつた(人)	合計(人)
	一定レベルを超えたら		毎日定時刻	両方			
	月に数日レベル	年に数日レベル		月に数日レベル	年に数日レベル		
予報	230	19	12	129	6	134	530
現況濃度	230	32	17	104	7	140	530

表(3)-8 PM2.5情報提供の希望仕様

	希望した(人)					希望しなかった (人)	合計(人)
	一定レベルを超えたら		毎日 定時刻	両方			
	月に数日 レベル	年に数日 レベル		月に数日 レベル	年に数日 レベル		
予報	230	20	11	129	7	133	530
現況濃度	233	35	16	105	7	134	530

さらに、母親の総合的な判断が可能になるように、屋内のPM発生源（タバコ・料理・ストーブ等）や室内環境整備（ダニ・カビ等）の重要性、外遊びの重要性についての情報について、手のあいた時にいつでもアクセスできる状態にし、情報への感想等を自由記載にて収集した。以下のように、記載されたコメントは概ね我々の意図が理解されたと思われるものであった。「お料理にも、PM_{2.5}があるとは知らなかった」「知らなかったのでいつも換気扇を弱にしていた」「家庭で発生するものとは思わなかったので、気を付けたいです」「ビタミンdの働きがもっと解明されれば、紫外線を味方にしようと思う人も増えると思います」「今年11月に四人目出産しました。冬生まれの子はどうしても外出する機会が少ないので勉強になりました」

【曝露データ】2016年10月末から2017年3月末まで、PM_{2.5}濃度は各地域とも常に日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であった（図(3)-23~27）。黄砂については、小規模から中規模のものが各地域で数日観察された（図(3)-23~27）。調査期間中の大気汚染物質（SO₂、NO₂、オゾン）や花粉、気象因子（気温、気温変化、気圧、気圧変化、湿度）の分布を表(3)-9~13に示す。PM_{2.5}やライダーの黄砂消散係数と特別強い関連を示した大気汚染物質等（SO₂、NO₂、オゾン、花粉、インフルエンザ発生数）はなかった。



図(3)-23 調査期間中の京都市のPM_{2.5}、東大阪ライダーの黄砂の推移と、
予報で黄砂が月に数日レベル以上と判定された日（矢印）

表(3)-9 京都市のPM_{2.5}、黄砂、他の大気汚染物質濃度の研究期間中の日平均値の分布

	n (日数)	平均	SD	25 %値	50 %値	75 %値
SO ₂	153	2.8	0.72	2	3	3
SPM	143	10.9	6.5	6	9	15
NO ₂	147	13.8	5.8	9	13	18
Ox*	147	30.3	10.5	22	31	38
PM _{2.5}	146	9.2	4.9	5.4	8.6	11.6
黄砂	141	0.015	0.018	0.006	0.010	0.014
球状粒子状物質	139	0.093	0.122	0.027	0.053	0.088

*Ox: 8 hour average was used for daily data.

表(3)-10 長浜市（滋賀）のPM_{2.5}/黄砂/他の大気汚染物質濃度の研究期間中の日平均値の分布

	n (日数)	平均	SD	25 %値	50 %値	75 %値
SO ₂	153	1.1	0.29	1	1	1
SPM	153	11.8	7.0	6.5	10	15.5
NO ₂	153	9.1	4.5	6	8	12
Ox	152	35.0	10.5	28	36	42

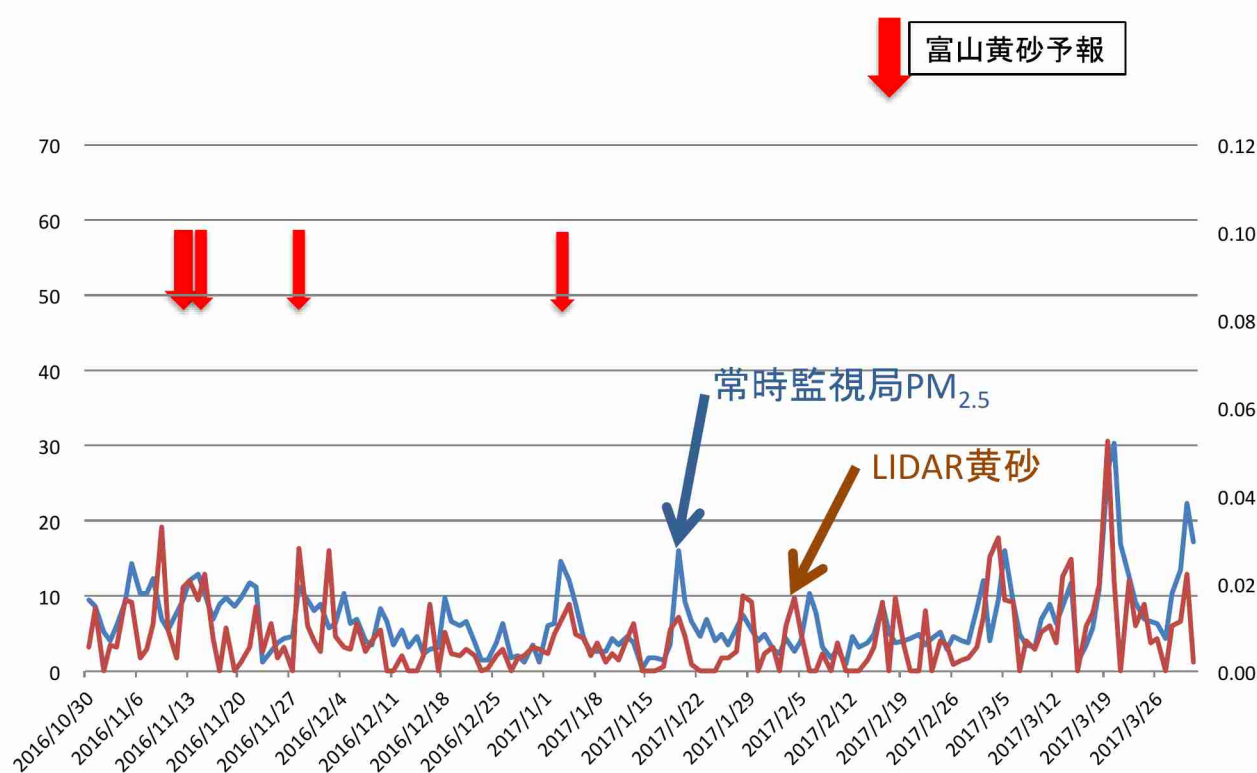
PM _{2.5}	153	10.4	5.2	6.9	9.3	12.8
-------------------	-----	------	-----	-----	-----	------

*Ox: 8 hour average was used for daily data.

表(3)-11 木津市（京都）のPM_{2.5}/黄砂/他の大気汚染物質濃度の研究期間中の日平均値の分布

	n（日数）	平均	SD	25 %値	50 %値	75 %値
SO ₂	153	2.4	0.79	2	2	3
SPM	153	17.8	8.0	12	16	21.5
NO ₂	153	11.8	5.3	8	11	15
Ox	153	31.8	11.3	25	33	39
PM _{2.5}	153	12.1	5.4	7.9	11.3	14.9

*Ox: 8 hour average was used for daily data.



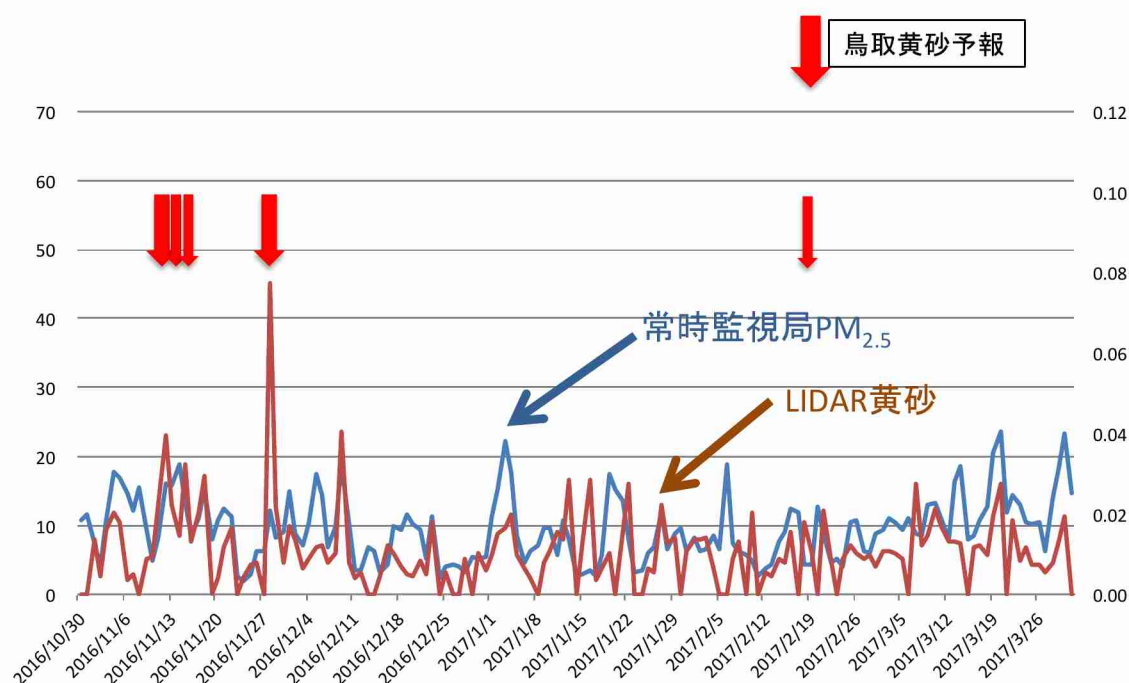
図(3)-24 調査期間中の富山市のPM_{2.5}、富山ライダーの黄砂の推移と、予報で黄砂が月に数日レベル以上と判定された日（矢印）

表(3)-12 富山市のPM_{2.5}、黄砂、他の大気汚染物質濃度の研究期間中の日平均値の分布

	n（日数）	平均	SD	25 %値	50 %値	75 %値
SO ₂	153	0.74	0.46	0	1	1
SPM	153	9.2	5.1	6	8	11
NO ₂	153	8.7	3.3	6.5	8	10
Ox	153	37.1	9.6	31	36	44
PM _{2.5}	153	6.7	4.6	3.6	5.5	9.05
黄砂	121	0.0099	0.0079	0.0043	0.0075	0.0141

球状粒子状物質	119	0.0731	0.0334	0.0493	0.0669	0.0913
---------	-----	--------	--------	--------	--------	--------

*0x: 8 hour average was used for daily data.



図(3)-25 調査期間中の米子市のPM_{2.5}、松江ライダーの黄砂の推移と、
予報で黄砂が月に数日レベル以上と判定された日（矢印）

表(3)-13 米子市のPM_{2.5}、黄砂、他の大気汚染物質濃度の研究期間中の日平均値の分布

	n (日数)	平均	SD	25 %値	50 %値	75 %値
SO ₂	153	0.61	0.75	0	0	1
SPM	153	9.6	4.7	6	9	12
NO ₂	152	5.9	2.5	4	5	7
0x	153	34.2	9.7	27	34	41
PM _{2.5}	153	9.5	4.7	6.0	8.9	12.0
黄砂	125	0.0131	0.0093	0.0077	0.0107	0.0159
球状粒子状物質	123	0.0568	0.04024	0.02689	0.04569	0.0786

*0x: 8 hour average was used for daily data.

【アウトカムデータ】2016年10月末から2017年4月末まで、カレンダー形式にて予定外受診・園欠席等の入力を毎月末に依頼した。期間中、延べ1,937回依頼発出し、そのうち延べ1,567回（81%）において期限内（発出日の翌月末まで）に回答が得られた。

また、同期間中に症状に関するアンケート回答依頼を延べ12,151回（一人あたり平均23回）発出し、そのうち延べ10,863回（89%）において期限内（発出日の翌日まで）に回答が得られた。

回答率は調査期間中、常に高率を保持できた。

【健康影響の解析結果】プロトコル上で主解析と設定した、研究期間中の予定外受診発生率は介入群で2.21%（584受診/延べ20,589日）非介入群で2.25%（600受診/延べ26,619日）と統計学的に有意な差を示さなかった（表(3)-14）。しかしながら、黄砂日（>0.04/km）に限定すると介入群の予定外受診オッズ比は0.30（95%CI 0.09-0.97）と、介入群で有意に低下していた（表(3)-15, 16）。

表(3)-14 介入群及び非介入群の、研究期間中の予定外受診発現率

	介入群 n=245	非介入群 n=279	合計 n=524
解析対象延べ日数	20,589	26,619	47,208
予定外受診数	454	600	1,054
発現率	2.21%	2.25%	2.23%

* 入院期間中は受診のat risk 集団から外れるため解析対象日から除外

表(3)-15 介入群及び非介入群の、黄砂日(>0.04/km)の予定外受診発現率

	介入群	非介入群	合計
解析対象延べ日数	442	504	946
予定外受診数	4	14	18
発現率	0.90%	2.78%	1.90%

* 入院期間中は受診のat risk 集団から外れるため解析対象日から除外

表(3)-16 黄砂日 (>0.04/km)の予定外受診発現オッズ比

	オッズ比		95% 信頼区間		p値
介入（非介入と比較）	0.30	0.09	—	0.97	0.04
平日（日曜祝日と比較）	2.92	1.17	—	7.31	0.02

* 2016.10～2017.3のライダー黄砂濃度>0.04/kmの日の回答データ

ただし入院期間中は受診のat risk 集団から外れるため解析対象日から除外

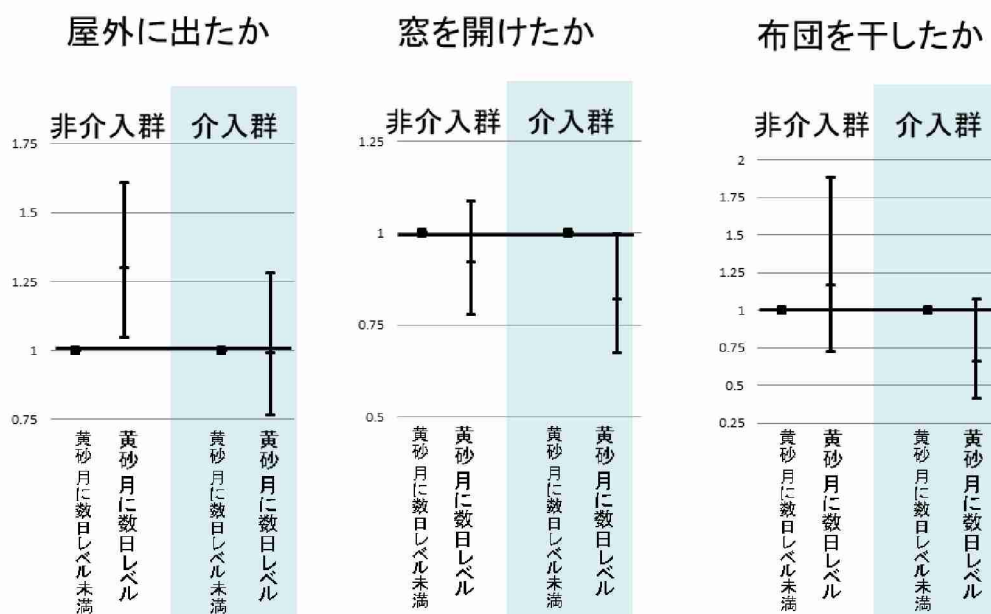
Yを予定外受診の有無を表す変数として、予定外受診があれば1、なければ0をとる変数とした。

$\text{logit Pr}(Y = 1) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$ (X1: 介入群1、非介入群0)

パラメータの推定と信頼区間の構成には、一般化推定方程式（GEE）による方法を用いた。

* モデル投入を検討した因子：SO₂、NO₂、Ox濃度、花粉濃度、日の平均気温、平均気圧、前日からの気温変化、前日からの気圧変化、気温の日内変動、日の最低気温、湿度、スギ・ヒノキ花粉、インフルエンザ発生数、平日/休日、回答時の年齢、性別、出生時体重、満期産/早産、生後6ヶ月時の離乳食開始状況、生後6ヶ月時の母乳/ミルク摂取状況、生後6ヶ月までの体重増加量、生後1年時の母乳/ミルク摂取状況、生後1年までの体重増加量、生後1年までの喘鳴の既往、生後1年までの喘鳴回数、アレルギー検査の結果（ハウスダストやスギ花粉の抗体価）、医師のステロイド吸入の指示状況と実施状況、両親の呼吸器・アレルギー疾患既往、母親の喫煙状況、家庭内の喫煙状況。

【行動変容の解析結果】非介入群では、黄砂日には屋外に出やすい傾向がみられた。おそらく、黄砂日は気温が高めで乾燥することが多いためと考えられる。しかし、介入群（情報提供群）では、そのような傾向は抑えられており（図(3)-26）、結果として黄砂日の予定外受診の低下につながったと思われる。



図(3)-26 非介入群及び介入群の、黄砂が月に数日レベル (<0.02/km) 未満であったときに比較した行動の変化 (オッズ比と95%信頼区間)

【情報提供システムの使用感】介入群の使用感アンケートでは、回答者の95%が「欲しい情報は、受け取れましたか」にYes、88%が「情報提供システムは役に立ちましたか」にYes、そして84%が「今後も黄砂・PM2.5濃度情報提供システムを利用したいと思いましたか」にYesと回答した(表(3)-17)。

表(3)-17 介入群の情報提供サービス終了時の使用感アンケート結果

質問事項	人	%
欲しい情報は、受け取れましたか		
Yes	186	94.9
No	10	5.1
黄砂・PM2.5濃度の情報提供システムは役に立ちましたか		
Yes	173	88.3
No	23	11.7
情報を受け取るタイミングは、ご希望通りでしたか		
Yes	174	88.8
No	22	11.2
黄砂やPM2.5についての、一般的な情報サイトは役に立ちましたか		
Yes	110	56.1
No	5	2.6
読まなかった	57	29.1
覚えていない	24	12.2
アレルギーやぜんそくの、症状低減のための情報サイトは役に立ちましたか		
Yes	89	45.4
No	8	4.1
読まなかった	64	32.7
覚えていない	35	17.9
今後も「黄砂・PM2.5濃度情報提供システム」を利用したいと思いましたか		
Yes	165	84.2
No	2	1.0
わからない	29	14.8

③ 気象モデルの疫学調査利用における最適なパラメータの提案と、気象モデルデータを利用した場合の既存の結果との違いについての評価

気象モデル黄砂濃度データセットが作成されたH23-25年について、既存の健康情報（推進費C-1152（H23-25））を利用した解析を行い、これまで黄砂濃度情報を近隣のライダーなどで代用していた場合の結果との差について評価を行った。

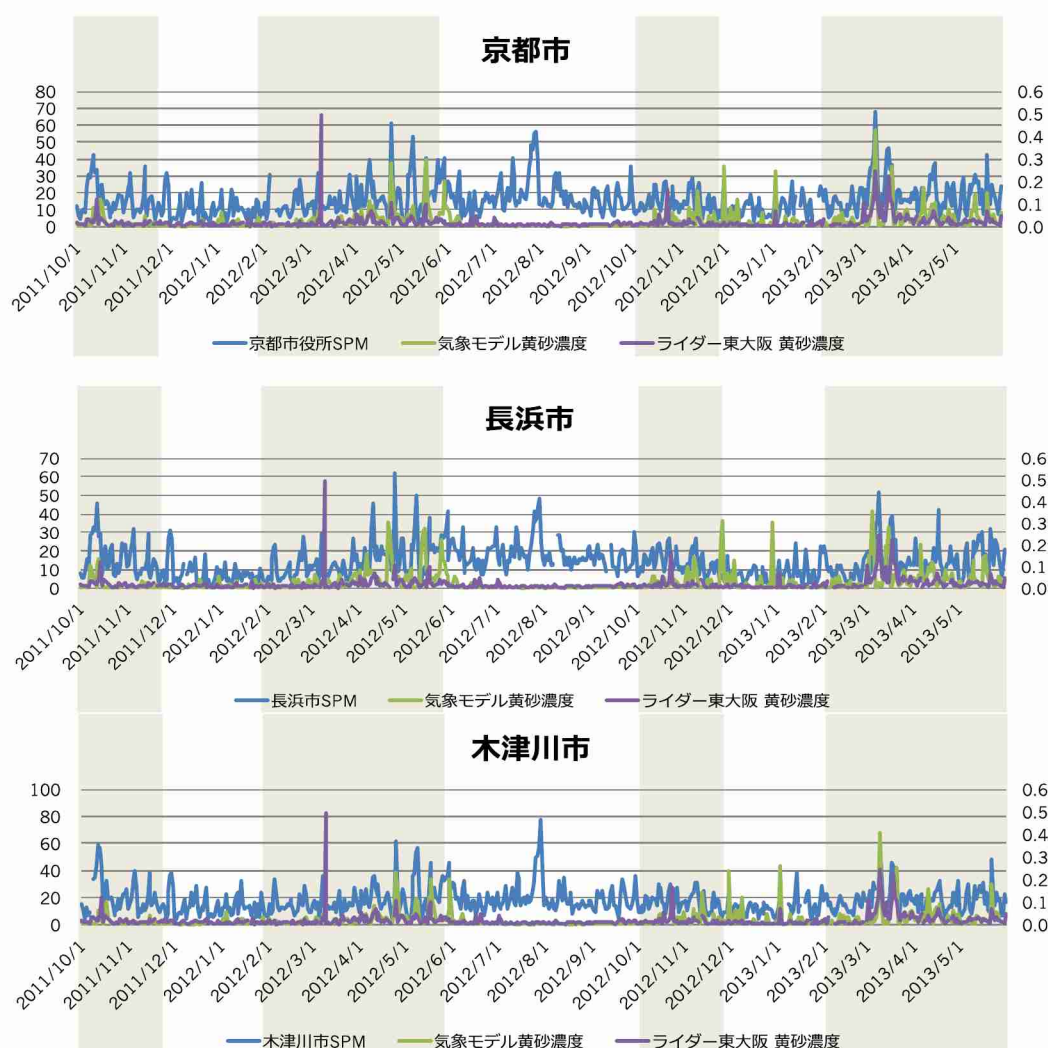
図(3)-2のように、推進費C-1152（H23-25）にて実施した疫学調査では、ライダー設置箇所（赤）と被験者の居住地（緑）は距離的に数十km程度（京都市・木津川市・富山県・鳥取県）から百km以上（長浜市）離れている。これらの地域において、各地のライダー値を利用した場合と気象モデル値を利用した場合のアレルギー症状への影響について、それぞれ症状発現オッズ比を推定した。

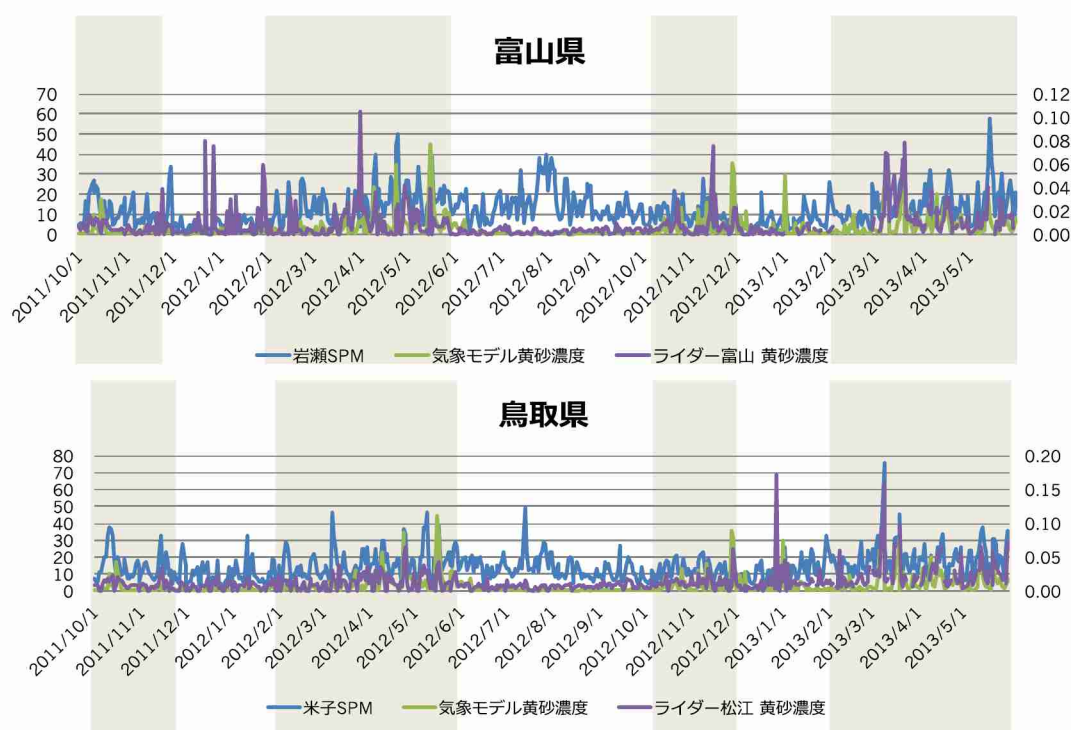
具体的には、射水市・松江市・東大阪市のライダーの黄砂濃度（消散係数）135mの6-18時の平均値、富山県・鳥取県西部・京都市・木津川市・長浜市それぞれにおける気象モデルデータの黄砂濃度及び黄砂小粒子（凡そPM_{2.5}）濃度をそれぞれ4分位に分け、第一分位（濃度下位1/4）の日と比較した各位のアレルギー症状の発現オッズ比を推定した。

【被験者背景】H23-25年度の過去健康データは、エコチル調査追加調査『黄砂と子どもの健康調査』参加妊婦のもので、年齢は10代後半から40代までで全員が妊娠中の女性である。被験者の背景を表(3)-1に示す。地域差はあるものの約半数に花粉症の既往があり、実際に血清IgE値では53%がスギ花粉に対するIgE抗体を有している。その他身長や最終学歴・年収等は、わが国の若い女性・世帯を代表するものとして矛盾のないものであった。

【期間中（H23-25年）のライダーデータと気象モデルデータ】

各地域における常時監視局のSPM濃度、気象モデルでの黄砂濃度と、ライダー濃度の推移を図(3)-27に示す。ライダー値上昇時の地域のSPM上昇は、気象モデルでも概ね再現されていた。





図(3)-27 各地域における常時監視局のSPM日平均濃度、気象モデルでの黄砂日平均濃度と、ライダー黄砂濃度（120-150m，日平均）の調査期間中の推移

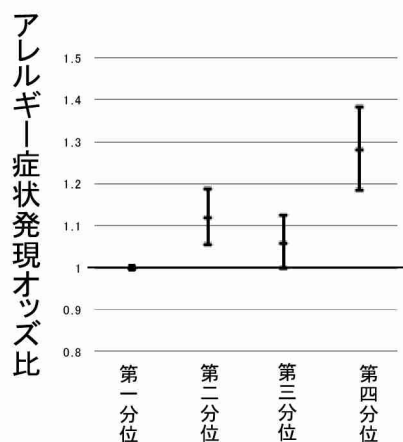
【アレルギー症状発現オッズ比の比較】

図(3)-29のように、気象モデルデータにおいても、ライダー値で推定した際（図(3)-28）と同様に濃度依存的な症状発現オッズ比の上昇が確認された。また、気象モデルデータでは、黄砂の濃度を小粒子（PM_{2.5}）に限って出すことも可能である。小粒子についても同様に濃度依存的なオッズ比の上昇が確認された。

次に、ライダー設置箇所から100kmを超える長浜市の被験者に限定して同様の比較を行った（図(3)-30，図(3)-31）。ライダーデータと気象モデルデータのオッズ比の上昇の一致度は、ライダー設置箇所から凡そ数十km圏内である京都市・木津市・富山県・鳥取県の被験者と変わらなかった。理由として、長浜市は東大阪市のライダーから100km以上離れているとはいえ、地形的には大阪平野に続く京都盆地・琵琶湖沿岸に位置していることが考えられる。実際に地上のSPM日平均値も京都市や東大阪市の推移と酷似しており、気象モデルにおいても黄砂濃度推定値は類似した推移をとっていた。疫学調査においては、この程度の違いは他条件の違いに比べて小さく差範囲におさまるものと思われた。

以上、

- ・気象モデルデータにおいて、ライダー値上昇時の地域のSPM上昇は概ね再現されていた。
- ・気象モデルデータにおいても、ライダー値で推定した際と同様に濃度依存的な症状発現オッズ比の上昇が確認された。
- ・ただし、ライダー黄砂濃度データと気象モデル黄砂濃度データでは、ライダー黄砂濃度データの方がアレルギー症状の予測はよさそうである。
- ・黄砂の影響をみる疫学調査において、ライダー設置箇所から100km以上離れている地域でも、地形やSPM推移によってはライダーのデータを曝露濃度として利用できる可能性がある。
- ・ライダーは雪や雨の日は正確な黄砂濃度の推定が難しくデータの利用ができないが、気象モデルデータではこのような日においても濃度の推定が可能である。気象モデルは、ライダーが近隣にない地域の黄砂濃度の推定や疫学調査・ライダーデータが入手不可能な日の黄砂濃度の推定に有用であると考えられる。



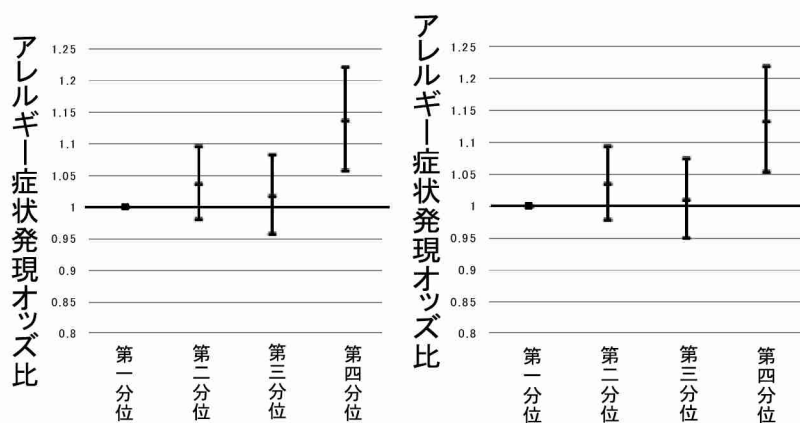
図(3)-28 ライダー黄砂濃度(消散係数)135m値6-18時の平均値の第一分位の日と比較した各分位の日のアレルギー症状発現オッズ比

●モデルの概要●

ロジスティック回帰分析(一般化推定方程式にて、個人の繰り返し測定を加味してオッズ比を推定)

アウトカム: アレルギーコントロールスコア>0(何らかの症状あり)を1とする2変数

交絡因子: 地域のSO₂日平均値(0.3ppmで2分)、地域の花粉飛散の有無、地域の日の最低気温、地域の前日の湿度日平均値、地域の気温の日内変動幅



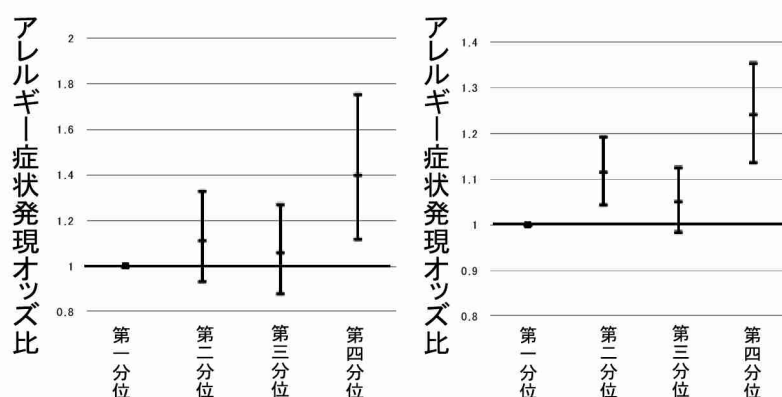
図(3)-29 気象モデル黄砂濃度6-18時の平均値の第一分位の日と比較した各分位の日のアレルギー症状発現オッズ比(左:黄砂濃度 右:小粒子(PM2.5)黄砂濃度)

●モデルの概要●

ロジスティック回帰分析(一般化推定方程式にて、個人の繰り返し測定を加味してオッズ比を推定)

アウトカム: アレルギーコントロールスコア>0(何らかの症状あり)を1とする2変数

交絡因子: 地域のSO₂日平均値(0.3ppmで2分)、地域の花粉飛散の有無、地域の日の最低気温、地域の前日の湿度日平均値、地域の気温の日内変動幅



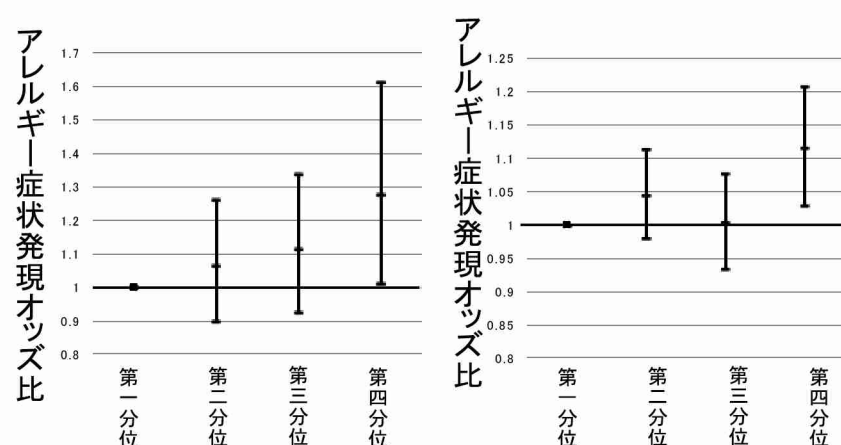
図(3)-30 ライダー黄砂濃度(消散係数)135m値6-18時の平均値の第一分位の日と比較した各分位の日のアレルギー症状発現オッズ比(左:長浜市の参加者 右:長浜市以外の参加者)

●モデルの概要●

ロジスティック回帰分析(一般化推定方程式にて、個人の繰り返し測定を加味してオッズ比を推定)

アウトカム:アレルギーコントロールスコア>0(何らかの症状あり)を1とする2変数

交絡因子:地域のSO₂日平均値(0.3ppmで2分)、地域の花粉飛散の有無、地域の日の最低気温、地域の前日の湿度日平均値、地域の気温の日内変動幅、参加者のスギ花粉抗体価



図(3)-31 気象モデル黄砂濃度6-18時の平均値の第一分位の日と比較した各分位の日のアレルギー症状発現オッズ比(左:長浜市の参加者 右:長浜市以外の参加者)

●モデルの概要●

ロジスティック回帰分析(一般化推定方程式にて、個人の繰り返し測定を加味してオッズ比を推定)

アウトカム:アレルギーコントロールスコア>0(何らかの症状あり)を1とする2変数

④ ライダーホームページ(一般対象)掲載用の黄砂の呼吸器への影響についての既存報告のまとめ

以下の11文献がレビュー対象として抽出された。各文献について、黄砂の定義/閾値・濃度依存性の検討/脆弱性を決める因子・予防法の検討について重点的にレビューし、一般向けにまとめた。各文献のレビュー結果を別添する。

[1] Asian Dust and Pediatric Emergency Department Visits Due to Bronchial Asthma and Respiratory Diseases in Nagasaki, Japan. Nakamura T1, Hashizume M, Ueda K, Shimizu A, Takeuchi A, Kubo T, Hashimoto K, Moriuchi H, Odajima H, Kitajima T, Tashiro K, Tomimasu K, Nishiwaki Y. J Epidemiol.

2016 Nov 5;26(11):593-601. Epub 2016 May 14.

[2] Desert dust exposure worsens allergic symptoms: a natural experiment in Japan. Kanatani KT, Hamazaki K, Inadera H, Sugimoto N, Shimizu A, Noma H, Onishi K, Takahashi Y, Itazawa T, Egawa M, Sato K, Go T, Ito I, Kurozawa Y, Konishi I, Adachi Y, Nakayama T, Japan Environment & Children's Study Group. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 2016 May;116(5):425-430.e7. doi: 10.1016/j.anai.2016.02.002. Epub 2016 Mar 11.

[3] Differences in the effects of Asian dust on pulmonary function between adult patients with asthma and those with asthma-chronic obstructive pulmonary disease overlap syndrome. Watanabe M, Noma H, Kurai J, Sano H, Ueda Y, Mikami M, Yamamoto H, Tokuyasu H, Kato K, Konishi T, Tatsukawa T, Shimizu E, Kitano H. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016 Jan 28;11:183-90. doi: 10.2147/COPD.S97460. eCollection 2016.

[4] Association between pulmonary function and daily levels of sand dust particles assessed by light detection and ranging in schoolchildren in western Japan: A panel study. Watanabe M, Noma H, Kurai J, Kato K, Sano H, Tatsukawa T, Nakazaki H, Yamasaki A, Shimizu E. *Allergol Int*. 2016 Jan;65(1):56-61. doi: 10.1016/j.alit.2015.07.005. Epub 2015 Aug 12.

[5] Effect of Asian dust on pulmonary function in adult asthma patients in western Japan: A panel study. Watanabe M, Noma H, Kurai J, Sano H, Mikami M, Yamamoto H, Ueda Y, Touge H, Fujii Y, Ikeda T, Tokuyasu H, Konishi T, Yamasaki A, Igishi T, Shimizu E. *Allergol Int*. 2015 Nov 20. pii: S1323-8930(15)00198-7. doi: 10.1016/j.alit.2015.10.002. [Epub ahead of print]

[6] Association of Sand Dust Particles with Pulmonary Function and Respiratory Symptoms in Adult Patients with Asthma in Western Japan Using Light Detection and Ranging: A Panel Study. Watanabe M, Noma H, Kurai J, Shimizu A, Sano H, Kato K, Mikami M, Ueda Y, Tatsukawa T, Ohga H, Yamasaki A, Igishi T, Kitano H, Shimizu E. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 Oct 16;12(10):13038-52.

[7] Asian dust and daily all-cause or cause-specific mortality in western Japan. Kashima S, Yorifuji T, Tsuda T, Eboshida A. *Occup Environ Med*. 2012 Dec;69(12):908-15.

[8] Long-range transported Asian Dust and emergency ambulance dispatches. Ueda K, Shimizu A, Nitta H, Inoue K. *Inhal Toxicol*. 2012 Oct;24(12):858-67.

[9] Desert dust exposure is associated with increased risk of asthma hospitalization in children. Kanatani KT, Ito I, Al-Delaimy WK, Adachi Y, Mathews WC, Ramsdell JW; Toyama Asian Desert Dust and Asthma Study Team. *Am J Respir Crit Care Med*. 2010 Dec 15;182(12):1475-81.

[10] Decreased pulmonary function in school children in Western Japan after exposures to Asian desert dusts and its association with interleukin-8. Watanabe M, Noma H, Kurai J, Sano H, Saito R, Abe S, Kimura Y, Aiba S, Oshimura M, Yamasaki A, Shimizu E. *Biomed Res Int*. 2015;2015:583293.

[11] Asian dust and daily emergency ambulance calls among elderly people in Japan: an analysis of its double role as a direct cause and as an effect modifier. Kashima S, Yorifuji T, Suzuki E. *J Occup Environ Med*. 2014 Dec;56(12):1277-83.

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

ライダーは、土壌性ダストを他の粒子状物質と区別して連続測定できる唯一のシステムとして、疫学分野でも注目されている。しかしライダーは元々疫学調査のために開発されたものではなく、疫学調査での利用にあたっては整備が必要な状態であった。ライダー開発者と疫学研究者とでこれらの問題点を整理・共有・一部を解決した。これらは今後の土壌性ダストの健康影響評価に活用していく礎となる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

PM_{2.5}の環境基準（人の健康を保護する上で維持されることが望ましい基準）としては「1年平均値が15 μ g/m³以下であり、かつ、1日平均値が35 μ g/m³以下であること」と定められている。環境省は、暫定的な指針となる値として1日平均値70 μ g/m³を設定し、これを超えそうな場合は、都道府県等が注意喚起を行うことを推奨している。

しかし、呼吸器や循環器に疾患のある者、小児や高齢者などでは、これより低い濃度でも健康影響が生じる可能性があるとしており、実際に、わが国において短期的な影響が観察されているのはこれらの脆弱集団である。我々は、脆弱者集団の情報提供ニーズを探ることにより、ライダーや気象モデル等の技術を利用した、多様な感受性集団に対する情報提供サービスのあり方を提案した。また実際にニーズにあった情報提供を行い、情報提供サービスが脆弱者集団の黄砂日の予定外受診のリスクを下げることを示した。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 金谷久美子：子どものアレルギーと大気汚染、小児科 56(10), 1681-1688, 2015-09
- 2) 金谷久美子、足立雄一：黄砂の小児におけるアレルギーへの影響：アレルギーの臨床、2015年10月号 5 (2015)

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 金谷久美子. 「疫学からのアプローチ」. 文部科学省認定「共同利用・共同研究拠点」同志社大学赤ちゃん学研究センター キックオフシンポジウム 赤ちゃん学って何だろう? (2017. 3)
- 2) 金谷久美子. 「大気汚染の健康影響に関する疫学研究 -アレルギー疾患を中心に-」第44回毒性学会学術年会シンポジウム (2017. 7), Journal of toxicological sciences, Vol. 42th, Page. S93 (2017. 06)
- 3) 金谷久美子. : 「黄砂・PM_{2.5}の健康影響 ～子どもを包む空気を考える～」 第19回日本こども健康科学会 シンポジウム (2017. 12)
- 4) Kumiko T KANATANI : "Climate change, air pollution, and allergy" East Asia Allergy Symposium1 (EAAS1) 2018, (2018. 5, Seoul)
- 5) Kyoko Hirabayashi, et al. : "The effectiveness of Asian dust now-cast/for-cast intervention among mothers of wheezing children in Japan: A randomized controlled trial" ISEE-AC 2018 (2018. 5, Taipei)

（3）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 0次カフェ（一般公開シンポジウム）「気になる黄砂とPM_{2.5}」（主催：ながはま0次クラブ ながはま健康フェスティバル2015、2015年5月17日、長浜バイオ大学）にて講演
- 2) 一般シンポジウム「黄砂について話そう」（主催：京都エコチルユニットセンター、2016年3月17日、京都市左京区）にて講演
- 3) 一般シンポジウム「黄砂について話そう」（主催：京都エコチルユニットセンター、2016年3月18日、京都市北区）にて講演
- 4) 0次カフェ（一般公開シンポジウム）「黄砂とPM_{2.5}の子どもたちへの影響」（主催：ながはま0次クラブ ながはま健康フェスティバル2017、2017年5月28日、長浜バイオ大学）にて講演
- 5) 『黄砂と子どもの健康調査』事務局：「『黄砂と子どもの健康調査』ご報告」（2018.1）調査参加者に冊子配布（約1000名）
- 6) 0次カフェ（一般公開シンポジウム）「黄砂とPM_{2.5}の子どもたちへの影響」第9回ながはま健康フェスティバル2018 講演（主催：健康づくり0次クラブ、2018年5月20日、長浜バイオ大学）

（5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（6）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Nobuo Sugimoto, Yukari Hara, Atsushi Shimizu, Keiya Yumimoto, Itsushi Uno, Masataka Nishikawa. Comparison of Surface Observations and a Regional Dust Transport Model Assimilated with Lidar Network Data in Asian Dust Event of March 29 to April 2, 2007. SOLA 2011, Vol. 7A, 013-016, doi:10.2151/sola.7A-004
- 2) Naoki Kaneyasu, Nobuo Sugimoto, Atsushi Shimizu, Shigekazu Yamamoto, and Kazuaki Kawamoto. Comparison of Lidar-derived dust extinction coefficients and the mass concentrations of surface aerosol. Jpn Soc Atmos Environ Vol47 No6 (2012)
- 3) Atsushi Shimizu, Nobuo Sugimoto, Ichiro Matsui, Ikuko Mori, Masataka Nishikawa, and Mizuka Kido. Relationship between Lidar-derived Dust Extinction Coefficients and Mass Concentrations in Japan. SOLA, 2011, Vol. 7A, 001-004, doi:10.2151/sola.7A-001
- 4) 寺島雅人, 川島茂人, 高野可菜, 玉内翔子, 登内道彦, 藤田敏男, 高橋裕一, 中村公人, 濱武英. 京都市とつくば市上空における空中花粉濃度の鉛直プロファイル. 日本花粉学会大会講演要旨集 2008 (49) 53

III. 英文Abstract

Development of an Advisory and Assessment System for the Environmental Impacts of Aeolian Dust

Principal Investigator: Atsushi SHIMIZU

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)
 16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN
 Tel: +81-29-850-2489 / Fax: +81-29-850-2579
 E-mail: shimizua@nies.go.jp

Cooperated by: Meteorological Research Institute, Kyoto University, Yamanashi University

[Abstract]

Key Words: Aerosol Transport Model, Asian Dust, Lidar, Data Assimilation, Epidemiology

Continuous observations by the AD-Net lidar network in East Asia of the vertical distribution of Asian dust were evaluated. The data confirmed a negative trend of Asian dust density over Japan over last 10 years and that intensity was dependent on altitude. Measurement of near-surface aerosols were improved by introducing a small telescope with a wide field-of-view into the lidar system. Internal mixing of Asian dust and anthropogenic pollutants were suggested through an analysis of the color ratio (the ratio between extinction coefficients at two wavelengths). Asian dust density values obtained by a polarization optical particle counter (POPC) corresponded well with dust extinction coefficients obtained by lidar near the surface. We supplied AD-Net data to the Ministry of Environment (MOE) for their Dust and Sand-Storm information homepage, and the data were also utilized for activities related to several MOE working groups.

We improved a global aerosol transport model (MASINGAR mk-2) and provided calculation results to other sub-themes. We developed an analysis method (LETKF) to assimilate satellite observation data (Himawari-8) in this model and confirmed that the accuracy of the analysis improved. In addition, we developed a data assimilation method (2D-Var) capable of high-speed computation and started a daily data assimilation and prediction experiment using satellite observation data. We conducted an aerosol re-analysis (JRAero) using the 2D-Var system and prepared a high-quality 4-dimensional global aerosol dataset for 2011–2015. The JRAero was provided to other sub-themes and was also open for use to external researchers.

In addition, we clarified points to be completed when using lidar in epidemiologic studies and resolved some related issues. As a result, it has become possible to conduct health risk assessments in areas where lidar observations have not been available and epidemiologic studies have not been performed due to a lack of current information on the concentration of Asian dust. Furthermore, we proposed a method to provide and actually provided information to vulnerable people and demonstrated that the provision of information reduced the risk of unscheduled clinic visits of vulnerable people on days with high Asian dust concentrations.