

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成28年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分  
平成28年3月25日現在

多波長ライダーと化学輸送モデルを統合したエアロゾル

5次元同化に関する先導的研究

Five-dimensional data assimilation of aerosol based on integrated analysis of multi-wavelength lidar and chemical transport model

課題番号：25220101

梶野 伊津志 (UNO ITSUSHI)

九州大学・応用力学研究所・教授



研究の概要 本研究ではアジア域の主要大気汚染物質の発生源からの流れを把握するために緯度帯・気候帯を代表する3地点で同じ機能を持つ多波長のラマン・ミー散乱ライダーでエアロゾルの組成を高精度でリトリーバルするアルゴリズムを開発し、この観測結果を拘束条件として、多成分同時同化化学輸送インバースモデルを構築し、高精度の人為・自然起源エアロゾルの5次元（時間・空間・組成）のエアロゾル分布の再解析データベースを構築・公開する。

研究分野：大気物理、大気化学、化学輸送モデリング、越境大気汚染

キーワード：エアロゾル、多波長ライダー、同化モデル、再解析

1. 研究開始当初の背景

アジア域は世界で一番大気汚染物質の排出の多い地域である。人間の生産活動による人為起源の排出の他にも、森林火災などの自然現象に起因する大気微粒子の発生も無視できない。アジア域はこれ以外にも、鉱物粒子（黄砂）や海塩粒子寄与も大きい。エアロゾルの大気中の寿命は長くても1-2週間程度で時間・空間的にも大きな変動を示す。エアロゾルの健康影響や温暖化への寄与の大きさは組成・粒径・分布高度にも深く関係することから、これらの情報を含む計測・モデル化が最重要であるが、現状は不十分である。

2. 研究の目的

エアロゾル観測値を拘束条件として、多成分同時同化化学輸送インバースモデルを構築し、高精度の人為・自然起源エアロゾルの5次元（時間・空間・組成）のエアロゾル分布の再解析データベースを作成する。

3. 研究の方法

アジア域の主要な大気汚染物質の発生源からの流れを把握するために緯度帯・気候帯を代表する3地点に同じ機能を持つ最新鋭の多波長のラマン・ミー散乱ライダーを開発・展開し、エアロゾル組成・空間分布を連続測定し、エアロゾルの組成を高精度でリトリーバルするアルゴリズムを開発する。ライダー計測や地上観測を拘束条件として、多成分同時同化化学輸送インバースモデルを構築し、高精度の人為・自然起源エアロゾルの5次元（時間・空間・組成）のエアロゾル分

布の再解析データベースを構築・公開する。

4. これまでの成果

福岡、沖縄（辺戸岬）、富山に多波長ラマンライダーを設置し、エアロゾルの鉛直分布測定を実施している。ライダーの7チャンネル計測データは、地上観測・モデル解析を組み合わせたエアロゾル組成の分離アルゴリズムの検証が順調に進み、2015年1月-4月のPM<sub>2.5</sub>高濃度事例などを対象としたエアロゾル光学特性のキャラクタリゼーションやエアロゾル組成リトリーバルアルゴリズム開発、また、開発した多波長ラマンライダーのシステム詳細とその性能評価の成果が国際誌に投稿中である。福岡の多波長ラマン散乱ライダーおよび地上計測器で測定されたパラメータ相互の関係を、エアロゾルイベント毎に解析した結果、福岡では大気汚染質と混合状態のダストに分類されるケースが多く、これはアジア域に特徴的なことであることを示した。この解析から、エアロゾル種によって測定パラメータが異なる範囲に分布し、エアロゾルの分離が可能であることが示された。モデルグループと連携し、多波長ラマン散乱ライダーで得られる全情報を用いて、化学輸送モデルの出力とライダー計測を直接比較するための光学モデル（観測演算子）を構築中で、データ同化実験の本格的実行フェーズに移行しつつある。

グリーン関数と化学輸送モデルを組み合わせた同化システムの開発も平行して進められている。エアロゾルの前駆物質であるNO<sub>x</sub>に先行して適用し、排出量の逆推定に成

功、手法の妥当性を確認している。ライダー計測を念頭に地上観測を用いた大気汚染と黒色炭素粒子、黄砂に対する理想的な同化実験を実施し、その実行可能性の確認と問題点のスクリーニングを進めている。また、2013年1月に中国で発生した超高濃度PM<sub>2.5</sub>汚染のモデル解析をライダー計測と連携して行い、同年の気象の特異性に大きな原因があることを示している。さらに、九州大学筑紫キャンパスで継続している1時間の高時間分解のPM<sub>2.5</sub>組成分析観測の2013年12月から2015年3月の1年4ヶ月を対象として、GEOS CHEM 化学輸送モデルを用いたソース・リセプター解析 (SR 解析) を行っている。東アジア地域の発生源地域を国・地域、中国の省ごとに15領域に分割し、各領域の人為起源排出量の削減感度計算を行い、福岡に到達する領域毎のエアロゾル成分寄与、季節変動などを解析した。モデル計算結果はPM<sub>2.5</sub>濃度の時間変化、季節変化を概ね再現していた。福岡におけるPM<sub>2.5</sub>濃度に対する人為起源の寄与の内、約75%は国外寄与である。影響の大きな地域としては北京、天津、河北省の相対寄与が20.7%、朝鮮半島の相対寄与が13.0%であり、中国の省ベースの寄与率までスケールダウンした影響解析は初めてである。季節ごとの特徴をみると、PM<sub>2.5</sub>が高濃度となる冬季から春季にかけては約80%が国外寄与であり、朝鮮半島、および、北京周辺地域や遼寧省などの中国東北部から中北部からの寄与が大きい。この解析結果は投稿準備中である。

このソース・リセプター感度実験から得られる寄与率の情報は非常に重要で、引き続き行われるデータ同化実験の主要な入力条件として整備中である。これを用いて、データ同化を実施し、排出量を最適化することで、モデルに見られたエアロゾルの過小傾向を改善し、より高精度なエアロゾルの3次元分布の構築が進められている。

ライダー観測結果、エアロゾル化学成分連続自動分析装置 (ACSA)、偏光式光学粒子計測器 (POPC) の観測結果は、いずれもエアロゾルの混合過程の重要性を示し、黄砂と汚染質の内部混合の重要性も明らかにされたので、モデルに黄砂表面での不均質反応系を導入し、黄砂によるHNO<sub>3</sub>ガスの吸収過程 (dust-nitrate 生成過程) を加味した。モデル結果は黄砂時の硝酸粒子の時間変化を再現し、dust-nitrate は中国大陸から黄海・東シナ海で急激に生成することが示された。中国大陸上のHNO<sub>3</sub>は、海洋上で乾性沈着により多くが除去され通常は越境しないと考えられるが、黄砂表面でdust-nitrate となって日本域まで越境輸送され、PM<sub>2.5</sub>としても重要であることを観測とモデル解析から初めて示した。これらの結果は化学輸送モデルの問題とされてきた硝酸塩の再現性の向上をもたらすと期待できる。この結

果は論文として投稿中であり、掲載時にプレスリリースとして発表の予定である。

## 5. 今後の計画

ライダー測定データから導出されたエアロゾル光学特性値を用いて、エアロゾル種の性能評価・改良を更に進め、アルゴリズムの高度化を図る。このアルゴリズムを用いて福岡、富山、沖縄の3地点でのデータ解析を行い、モデル同化に適したデータセットを構築する。日欧共同地球衛星観測プロジェクト「アースケア」の衛星搭載ライダーの測定データを用いたエアロゾル推定アルゴリズムの開発・改良への貢献を見据え、エアロゾルイベントの抽出 (黄砂飛来、大気汚染粒子の滞留、海塩粒子の移流など) とそのイベント毎の光学特性のモデル化を更に進め (福岡の解析結果について現在投稿中)、国際誌に投稿する。

黄砂計測に絞った解析と同化実験を進める。黄砂同化システムを構築、ライダーデータや他の観測データを同化することで、黄砂発生に関わるソース関数を最適化し、観測との比較から同化結果の妥当性を確認する。ソース関数を季節毎、砂漠域毎に整備、公開し、結果をまとめ国際誌に投稿する。

既存の人為起源汚染質の排出量インベントリを先見情報として使い、3地点のライダー観測結果を用いたエアロゾル同化実験から排出量を最適化し、予備的な評価を進める。モデル結果と観測結果の精度を確認しながら、同化システムを多成分同時同化システムに拡張し、他の衛星ライダーやMODIS、地上ライダーとの比較も含めて、エアロゾル排出量インバースの精度を高める。

開発・検証されたモデル結果をもとに最終プロダクトとしてエアロゾル再解析データを構築・公開し、エアロゾルの気候影響評価の精度向上にも貢献する。エアロゾル再解析データは国際誌に論文として発表する

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

1. 鶴野他 (2013), 大気環境学会誌, 48, 274-280 (大気環境学会論文賞)
  2. Uno et al. (2014), *SOLA*, 10, 136-140
  3. Pan, Uno et al. (2015), *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2014GL062491
  4. Sugimoto et al. (2015), *J. Quantitative Spectroscopy Radiative Transfer*, 150, 107-113.
  5. 弓本、鶴野ほか(2015), 大気環境学会誌, 50, 199-206
- 2016年9月16日 大気環境学会賞(弓本桂也)  
2014年、2016年 大気環境学会論文賞

ホームページ等

<http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/taikai/>