

研究課題名：高度な大気汚染予測のためのデータ同化手法の開発

課題代表者：国立環境研究所地域環境保全領域 五藤大輔

共同研究者：国立環境研究所地域環境保全領域 菅田誠治

国立環境研究所地球システム領域 八代 尚

State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences

Tie Dai, Yueming Cheng

Vrije Universiteit Amsterdam, Faculty of Earth and Life sciences Nick Schutgens

九州大学応用力学研究所 弓本桂也

北海道大学大学院理学研究院 佐藤陽祐

近畿大学総合社会学部 中田真木子

気象庁気象研究所全球大気海洋研究部 梶野瑞王

富士通 Japan 株式会社サイエンスシステム部 中村東奈・住田功太郎

実施年度：令和4年度～令和6年度

1. 研究目的

本課題の主要目的は、近年得られる様々な大気汚染物質の衛星成果物を、全球モデルである NICAM-Chem の大気汚染物質データ同化に適用して、大気汚染予測に役立てることである。また、同化された大気汚染物質プロダクトを高分解能の再解析データと位置付け、他の科学研究に役立てることも視野に入れている。例えば、これらのデータはエアロゾルや海色・陸域植生のリモートセンシングの初期値やアプリオリとして役立つようなデータセットとしても利用できる。その他の目的として、母体モデルの再現性がデータ同化結果の再現性に大きく影響をするため、NICAM-Chem の継続的なモデル改良も掲げている。また、NICAM-Chem とは異なる領域対象モデルである SCALE による大気汚染シミュレーションも実施する。なお本課題は、2021 年度まで実施した課題（2019-2021 年度：エアロゾルデータ同化を活用した大気汚染予測システムの構築）の後継課題と位置付けている。

2. 研究計画

本研究で利用する数値モデルは、非静力学正 20 面体格子大気モデル NICAM に組み込まれたエアロゾル化学モデル (NICAM-Chem) である。様々な衛星から得られたエアロゾル成果物を統合したデータを作成した上で、NICAM-Chem のデータ同化を実施し、その変化を定量化する。今年度用いた衛星データは、静止衛星ひまわり、極軌道衛星 Aqua/MODIS、極軌道衛星 CALIPSO/CALIOP、静止衛星風雲 4 号/AGRI である。昨年度は NICAM-Chem に新しい同化手法である 2 次元変分法 (2DVar) を導入した（以後、NICAM-Chem/2DVar と呼ぶ）。今年度は NICAM-Chem/2DVar

を用いて、複数の衛星統合データに加えて、地上観測 (AERONET と SKYNET) のエアロゾル光学的厚さ (AOT) も用いてエアロゾル同化を実施し、同化の効果を定量化する。また、NICAM-Chem に組み込まれた局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（以後、NICAM-Chem/LETKF と呼ぶ）を用いて、2 つの異なる静止衛星の統合データを用いて、エアロゾル同化を実施する。シミュレーションでは、同類モデルの中では世界最高レベルの水平分解能 56km でエアロゾル同化を実施する。SCALE については、エアロゾルモデル SPRINTARS と結合した SCALE-SPRINTARS を用いたエアロゾル領域高分解能シミュレーションを実施する。

3. 進捗状況

NICAM-Chem/2DVar 実験では、同化に用いた観測データは静止気象衛星ひまわり・極軌道衛星 Aqua/MODIS・極軌道衛星 CALIOP/CALIOP を独自に補正して融合した 2 次元量の AOT に加えて、地上観測 AERONET と SKYNET が存在する場所ではこれらの地上観測の AOT も統合したデータセットである。このデータは本課題とも深く関係のある国立環境研究所内公募課題 A (2020-2022 年度実施) の中で作成した (Nishizawa et al., 2022)。昨年度は対象期間が 2019 年 1 月であったが、今年度は日本付近でも黄砂が卓越した 2021 年 3-4 月を対象とした。検証のために、まずは衛星データのみを用いた同化を実施し、地上観測を検証データとして利用した。その結果、同化した NICAM-Chem の結果は、同化に用いていない AERONET 地上観測をよく再現することができていた。これを踏まえて、地上観測 AERONET と SKYNET の AOT を同化し、同化に用いていない地表面付近の

PM_{2.5} 濃度の再現性を検証した。対象領域は、用いた静止衛星のデータ数が多い東アジアで、観測データが充実している日本とした。その結果、AERONET と SKYNET も同化した地上 PM_{2.5} 濃度は、世界でよく用いられている ECMWF/CAMS や NASA/MERRA-2 と遜色ない再現性が得られていることがわかった。この成果は現在論文として投稿中である。

NICAM-Chem/LETKF 実験では、2つの異なる静止衛星（日本ひまわりと中国風雲4号）を統合した観測データを用いたエアロゾル同化を実施した。図1には中国 Songshan サイトと日本の辺戸岬における2021年3月の AOT 時系列変動を示した。用いた静止衛星の対象領域と欠損値の数によって同化の効果が異なってくるが、図1に示したサイトでは2つの衛星結果を用いた方（Combined DA）が結果は良くなることが確かめられた。この成果は Cheng et al. (Geophys. Res. Lett., 2022, doi:10.1029/2022GL099908) として公表されている。

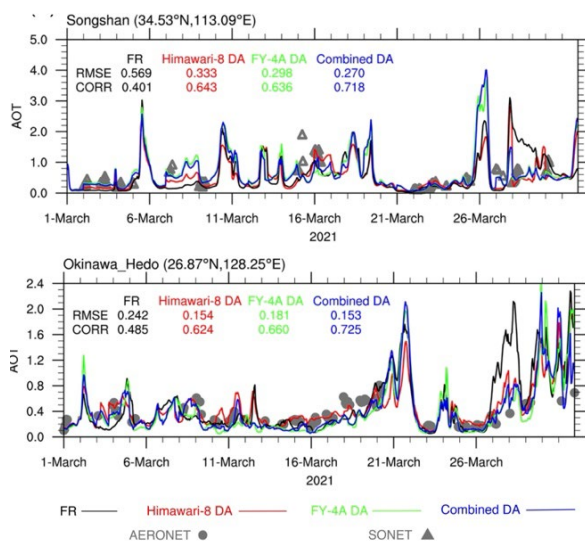


図 1. 中国 Songshan サイトと日本の辺戸岬における2021年3月の AOT 時系列変動。シミュレーションは同化なし（FR）と同化あり（ひまわり同化：Himawari-8 DA、風雲同化：FY-4A DA、両方の同化：Combined DA）。図は Cheng et al. (2022) から抜粋した。

以上の研究と並行して、領域気象モデル SCALE とエアロゾルモデル SPRINTARS が結合したオンライン SCALE-SPRINTARS によるエアロゾルシミュレーションを実施した。対象は2020年3月の長野県とし、水平解像度 5 km とした。その結果、AOT と地上 PM_{2.5} 濃度の再現性は概ね良好であった。

4. 今後の計画

AOT の地上観測データも用いた NICAM-Chem/2D-Var 同化によって、衛星では欠損値が多かった陸上で観測値が得られることにより、地上付近の PM_{2.5} 濃度再現性が向上することがわかった。これにより、本手法を用いることで、より精度の高いエアロゾル時空間分布が得られ、エアロゾル再解析データの作製に貢献できる可能性が高くなった。

また、AOT だけでも様々な衛星からデータが得られるようになってきたため、異なる衛星の AOT を統合した観測データを用いた同化も継続して実施していきたい。具体的には、JAXA/地球観測研究センター（EORC）から提供される GCOM-C/SGLI の AOT とひまわりの AOT を統合したデータの利用等を計画している。

SCALE-SPRINTARS は、エアロゾルシミュレーションが実施可能であることが確かめられたので、今後は対象事例を変えることで、モデル評価を進めるとともに、SCALE-Chem との比較などを実施していきたい。

5. 計算機資源の利用状況（2023年4月1日～2023年10月31日）

VE 時間積 v_debug: 0 hours, v_normal: 103,137.3 hours, 計: 103,137.3 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 1.4%)