

## 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・安井良輔

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

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、大気汚染予測の初期値として役立つことである。また、初期値作成のために整備される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つ。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 とは異なるモデルである SCALE-Chem 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、昨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。様々な衛星成果物を融合した大気汚染物質データを用いて、NICAM-Chem のデータ同化を実施し、その変化を定量化する。用いる衛星データは、静止衛星ひまわり 8/9 号、極軌道衛星 Terra や Aqua の MODIS、GCOM-C/SGLI など想定しているが、可能であれば GOSAT-2/CAI-2 のエアロゾルプロダクトも同化に利用する。NICAM-Chem に新しく導入する 2 次元変分法 (2D-Var) 同化システムを動かし、改善具合を定量化する。SCALE-Chem については、大気汚染物質の 1 つである窒素酸化物 (NOx) に関して領域高分解能シミュレーションを実施する。

### 3. 進捗状況

これまで NICAM-Chem と様々なエアロゾル衛星成果物を用いて、局所アンサンブルカルマンフィルタ (Localized Ensemble Transform Kalman Filter: LETKF) によるエアロゾルデータ同化を行ってきた。しかし、アンサンブルを実施するため、最適化を進めても 5 倍以上の計算資源を必要とする。そこで本年度は、アンサンブル計算を必要としない 2D-var によるエアロゾル同化手法の NICAM-Chem への導入を進めた。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した。同化に用いた観測データは、静止気象衛星ひまわりと極軌道衛星 Aqua/MODIS を独自に補正して融合した 2 次元量のエアロゾル光学的厚さ (AOT) 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所内公募課題 A (2020-2022 年度実施) の中で作成した。その結果、同化した NICAM-Chem の結果は、同化元の衛星データと概ね整合的となり、NICAM-Chem/2D-Var がうまく稼働していることが確かめられた (図 1)。同化結果の検証には、同化に利用していない地上観測データ AERONET 及び SKYNET の AOT を用いたところ、バイアスや RMSE に関しては衛星結果よりも大きくなったが、相関関係は衛星結果よりも高くなった。これは衛星観測の不確実性が大きいグリッドで、モデル計算値の信頼性が高いこともあり、同化によってモデル・観測の単独よりも結果が改善されることが示された。また、同化結果と地上観測データで AOT 値の差が大きい場所に注目すると、アジア (特にインドやバングラデシュ) の高濃度地域が多く、そもそも同化に用いた衛星観測結果も地上観測データとの差が大きかった。このことから、アジアの高濃度地域での再現性を向上するためには、水平分解能 56km よりも細かい分解能であることが必要とわかった。

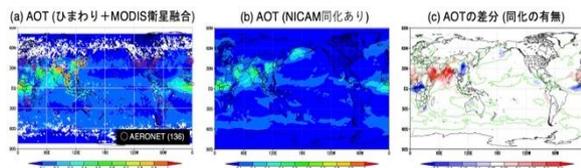


図 1. NICAM-Chem/2D-var で計算されたエアロゾル光学的厚さ (AOT) の検証結果。(a) 静止衛星ひまわりと極軌道衛星 Aqua/MODIS で融合したデータ、(b) NICAM-Chem/2D-var で同化した AOT、(c) NICAM-Chem の同化有無の AOT 差。図 1(a)にあるオレンジ色の丸は、検証に用いた地上観測サイトの場所を表す。

以上の研究と並行して、領域気象モデル SCALE とオフライン化学輸送モデルの結合モデルをベースとして、雷由来の窒素酸化物生成フラックス (LNO<sub>x</sub>) を計算できるモデルを導入し、窒素酸化物に関するシミュレーションを実施した。研究対象は富士山で LNO<sub>x</sub> が観測された 2017 年 8 月 22 日とした。モデル解像度は解析領域内で 1km とした (135-144°E, 32.5-37°N)。その結果、SCALE を結合していないオフライン化学輸送モデルでは再現できなかった窒素酸化物 NO<sub>y</sub> が、LNO<sub>x</sub> を考慮した SCALE-Chem オフラインモデルではうまく再現することができた。さらに解析をしたところ、LNO<sub>x</sub> は福井県付近で発生したものが富士山まで輸送されてきたこともわかった。

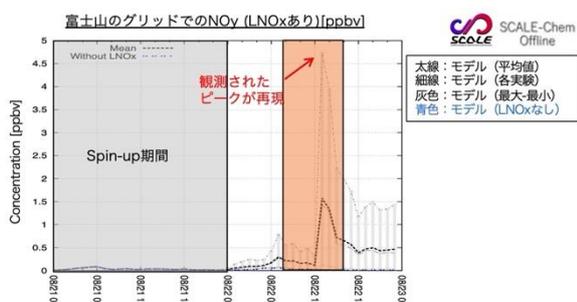


図 2. 富士山を含むグリッドにおける窒素酸化物 (NO<sub>y</sub>) の時系列変動。オレンジ色の時間帯では、観測で見られた NO<sub>y</sub> のピークがモデルでも再現された。

#### 4. 今後の計画

NICAM-Chem/2D-Var によるエアロゾル同化の実施によって、用いた衛星データの精度が非常に重要であり、丁寧に観測データの品質管理 (QC) を実施することが重要であることがわかった。そのため、衛星データの QC を改良し、高精度の衛星観測データを用いたエア

ロゾル同化を実施したい。また、同化対象を NO<sub>2</sub> とした新しい同化にも着手したい。

#### 5. 昨年度終了研究課題名

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 (課題代表者: 五藤大輔)

#### 6. 計算機資源の利用状況 (2021 年 11 月 1 日 ~ 2022 年 10 月 31 日)

実行ユーザ数: 11

VE 時間積 v\_debug: 0.00 hours, v\_normal: 28,486.59 hours, 計: 28,486.59 hours (全体の VE 時間積に対する占有率: 2.3 %)