

## 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：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・Shi Chong  
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  
埼玉県環境科学国際センター 原 政之

実施年度：令和元年度～令和3年度

### 1. 研究目的

大気汚染は環境問題として捉えられてきたが、近年では、地球温暖化を抑制するために対策効果が比較的早急に現れると期待される短寿命気候強制因子 (Short-Lived Climate Forcers: SLCFs) として、国内外で注目されている。本課題では、環境と気候問題の鍵となる大気汚染物質の時空間分布をより精度良く予報するために、データ同化手法を導入した大気汚染予測システムの開発を目的とした。これと同時に、大気汚染予測の初期値として作成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てることも目的とした。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、NICAM-Chem のモデル改良を継続的に行うことである。母体モデルの再現性がデータ同化結果のパフォーマンスに大きく影響するため、より高精度で大気汚染を予測するためには、継続的なモデル改良は必須である。一方で、大気汚染予測の高精度化のため、マルチモデルアンサンブル法の導入を目指し、NICAM-Chem とは異なる領域スケールモデルである SCALE-Chem をスパコン上でも効率的に稼働させ、その精度向上を図る。

### 2. 研究計画

本研究で利用する数値モデルは、全球から領域スケールを高分解能でシームレスにカバーすることができる NICAM-Chem である。より高精度の初期値作成のために、気象静止衛星ひまわり 8 号、極軌道衛星 GCOM-C、極軌道衛星 GOSAT2、極軌道衛星 CALIPSO などの衛星プロダクトを利用したエアロゾルデータ同

化を行う。これにより、観測のみ、あるいは、モデルのみでは得られない高精度のエアロゾル分布を導出する。同時に、NICAM-Chem モデル素過程等の改良も継続して進める。これらの組み合わせによって、より高精度の大気汚染予測システムの構築を目指す。また、NICAM-Chem では十分に対応しきれない都市スケールの大気汚染物質シミュレーションが得意な SCALE-Chem のモデル改良も行うことで、マルチモデルアンサンブルによる予測誤差の減少に向けたシステム設計に繋がることが期待される。

### 3. 進捗状況

これまで NICAM-Chem を用いて、気象静止衛星ひまわり 8 号搭載の AHI センサーや GCOM-C 極軌道衛星搭載の SGLI センサーから得られたエアロゾル光学的厚さ (Aerosol Optical Thickness: AOT) や、極軌道衛星ライダー CALIPSO 搭載の CALIOP センサーから得られたエアロゾル消散係数 (エアロゾル鉛直分布情報) の観測量を用いて、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。本課題実施前には、低時間分解能で単一の衛星センサーから得られた AOT を用いた LETKF 同化に取り組んでいたが、本課題を通じて、AHI による高時間分解能同化や、AHI と CALIOP による複合衛星センサー同化に関する手法を開発することができた。

今年度は、準リアルタイムでの大気汚染予測計算に向けて、計算精度と計算機コストのバランスを鑑みるため、二次元変分法 (2D-Var) の NICAM-Chem への導入を進めた。この 2D-Var は気象庁気象研究所のモデルにも搭載されており、LETKF よりも計算コストが軽

い。テスト計算として、AOT を対象として、AHI によるエアロゾル衛星成果物を利用し、NICAM-Chem/2D-Var の開発を進めた。オフライン実験まで完了しており、現在ではオンライン実験に向けて本格的な導入を進めている。

また今年度は、昨年度から継続して、NICAM-Chem を用いた短寿命微量気体シミュレーションおよびその検証も実施した。SX-Aurora を利用することで、同種類の大気汚染物質シミュレーションの中では高分解能といえる全球 56km 格子で8年の計算を行うことができています。昨年度は、欧米やアジアでの地表面オゾン濃度や、オゾン生成に関わる NO<sub>x</sub> や CO の物質濃度に関する検証結果を発表したが、本年度は、極軌道衛星 Sentinel-5P 搭載の TROPOMI センサーで得られた NO<sub>2</sub> の鉛直積算量の全球分布を検証した。比較の際には、TROPOMI のリトリーブで利用されたアベレージングカーネルを用いて、より整合的な比較を実施した。図1には NO<sub>2</sub> のほか、地表面オゾンや AOT の比較結果も載せている。概ね良好な結果が得られており、NO<sub>2</sub> に関しては正のバイアスが 16%程度と小さく、相関は非常に良く、不確実性も平均値の 10%以下であることがわかった。

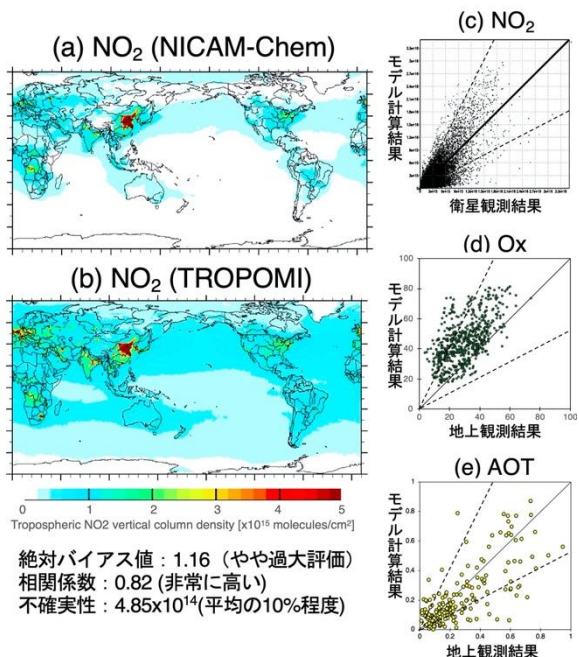


図 1. NICAM-Chem で計算された微量気体・エアロゾルの検証結果。対象は 2018 年で、(a) NICAM-Chem の鉛直積算 NO<sub>2</sub>、(b) TROPOMI の鉛直積算 NO<sub>2</sub>、(c) (a)と(b)で得られた結果の散布図、(d) 地表面オゾンの観測と NICAM-Chem の散布図、(e) AOT の観測と NICAM-Chem の散布図。

以上の研究と並行して、領域化学輸送モデル SCALE-Chem (モデル分解能は 5km) によるシミュレーションも実施した。研究対象は、長野県を中心とした日本アルプス周辺域で、モデル検証に用いた観測データは、NASA/AERONET/DRAGON/J-ALPS による集中観測で得られたものである。本実験では山岳地形がエアロゾル分布に与える影響について調査を行った。通常の設定の他、地形データを用いず山岳のない設定、長野県内の人為起源エアロゾルの排出がない設定の 3 種類のシミュレーションを実施した。その結果、図2に示したように、山岳がエアロゾルの流入を抑えている場合もあれば、長野県内の排出により山間部の盆地にエアロゾルが溜まりやすい日には、山岳がエアロゾルの滞留に寄与している場合もあることが示された。

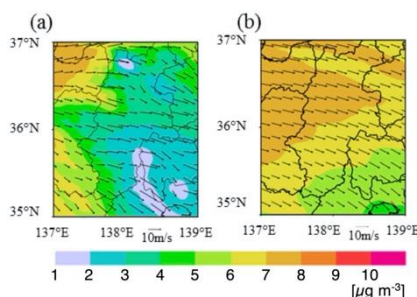


図 2. 3月20日の PM<sub>2.5</sub> 濃度分布と風。(a)通常状態のシミュレーション、(b) 山岳のない状態のシミュレーション

#### 4. 今後の計画

本課題を通じて、NICAM-Chem を利用した大気汚染予測のための課題がいくつか顕在化されたので、それらに取り組みたい。具体的には、大気汚染物質の準リアルタイム予測に向けた NICAM-Chem/2D-Var の開発を継続することである。また、母体となる NICAM-Chem 自体の大気汚染物質の再現性をさらに向上させるために、NICAM-Chem のプログラムを再度見直し、精緻化を進める。さらに、予測精度向上の一つの手段としてのマルチモデル予測も視野に入れて、NICAM-Chem と SCALE-Chem の連携を強める。そのほか、NICAM-Chem の全球実験の結果を領域モデル VENUS の境界データに利用することを進める。

#### 5. 計算機資源の利用状況 (2020年11月1日～2021年10月31日)

実行ユーザ数: 13

VE 時間積 v\_debug: 0.00 hours, v\_normal: 134,231.57 hours, 計: 134,231.57 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 9.4%)