

研究課題名：温室効果ガスのマルチスケールモデリング

課題代表者：国立環境研究所地球システム領域
共同研究者：国立環境研究所地球システム領域
村上和隆・亀井秋秀・山田恭平

丹羽洋介
齊藤誠・八代尚・佐伯田鶴・山下陽介・

実施年度：令和3年度～令和5年度

1. 研究目的

地球温暖化の影響が顕在化しつつある現在、温室効果ガス削減にむけた取り組みが一層求められているが、その削減効果については科学的で客観的な評価が必要である。本研究では、大気モデルを用いて温室効果ガスの大気中の動態解明や吸収・排出量の推定を行い、温暖化予測の不確定性低減や温室効果ガスの排出削減施策に資する知見を創出することを目的とする。特に、都市・国スケールから地球規模に至る空間的に幅広いスケールの温室効果ガスの動態を把握するため、高解像度モデリングおよび高度な逆解析・同化技術の開発を行う。併せて、温室効果ガス観測技術衛星プロジェクト (GOSAT シリーズ) に必要なモデル開発も行い、衛星観測のデータ質向上、また、衛星観測データを利用した研究も行う。

2. 研究計画

高解像度モデルによる国・都市スケールのフラックス推定について手法を確立する。全球長期逆解析システムと併せて統合的なマルチスケール温室効果ガス収支推定システムを構築し、定常的な運用を可能とする体制を整える。また、GOSAT/GOSAT-2 関連のプロダクト定常処理・公開を継続し、公開プロダクトに基づく全球炭素収支研究を推進する。さらに、温室効果ガスと二酸化窒素の同時シミュレーションから人為起源排出推定の解析を行う。

3. 進捗状況

NISMOM-CO₂を用いて長期の二酸化炭素 (CO₂) 逆解析を行い、グローバル・カーボン・プロジェクトによる統合支評価にデータを提出した。ここで、さらに初期推定値による影響の有無を調べるために、年々変動しない気候値の初期推定値を作成して追加の逆解析を行った。その結果、逆解析で得られるフラックスの年々変動は、初期推定値ではなく観測データによって主に駆動されていることがわかった。特に北半球中高緯度の陸域や南大洋における吸収増加傾向は、大気の大気濃度観測データによってもたらされていることが明らかになった。一方、NISMOM-CH₄を用いたメタン (CH₄) 逆解析を行い、2020年からはまった大気 CH₄

濃度の急激な増加について調べたところ、熱帯から北半球高緯度に至るまでの広い範囲に渡って、湿地や森林火災からの排出が同時多発的に増加したことが要因であることが示唆された。特に、北半球低中緯度 (10–35°N) における増加が大きく寄与しており、これは、現場観測と衛星観測のそれぞれのデータによる逆解析で整合的であった。

また、逆解析で得られたフラックスデータをダウンスケールして格子間隔約 14km の NICAM-TM による高解像度の CO₂ 大気輸送実験を実施した。ここで、タグ付きトレーサーを用いて東京域からの放出とそれ以外を分け、東京スカイツリーにおける大気観測データと比較を行うことで、東京からの CO₂ 放出量を推定した。その結果、東京域の正味 CO₂ 放出量が、GridFED (化石燃料起源) を含むボトムアップ推定値と約 5% の範囲で一致していることが示唆された (図 1)。

以上のように、全球から都市域に至るまでの空間スケールにおいて、温室効果ガス収支を推定する手法を確立することが出来た。

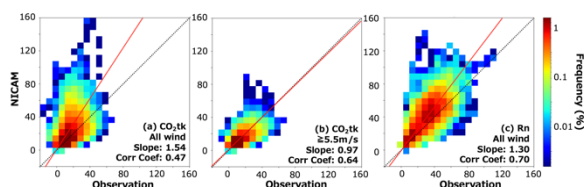


図 1. 観測—モデル間の 2 次元ヒストグラム (ログスケール)。タグ付きトレーサーによって計算された東京起源の CO₂ 濃度について全てのデータを用いた場合と 5.5m/s 以下の風速を除いた場合 (それぞれ a,b)。ラドンの場合 (c)。

GOSAT-2 が全球で観測する輝度スペクトルデータから導出した CO₂ および CH₄ のカラム平均濃度を用いた全球 CO₂・CH₄ 収支逆解析に今年度も引き続き取り組んだ。逆解析には NISMOM を使用した。カラム平均濃度データに含まれるバイアスが逆解析結果の正確性を著しく低下させることがこれまでの研究で明らかになっており、このバイアスへの対処方法が本研究課題

の大きな問題となってきた。昨年度までは、地上観測データに基づく初期場濃度データを基準としてカラム平均濃度データ 1 点ごとに観測誤差を与えることでバイアス問題への対処を図った。この方法は、逆解析結果へのバイアスの影響を低減する一方で、衛星観測データが有する時空間情報を十分に活用できないという問題が残った。今年度は、新たに提案されたバイアス補正方法を適用してカラム平均濃度データを用いた試験を実施し、その結果の解析と考察を進めた。

昨年度より開発を継続している全球大気環境の短期解析・予測システムについても機能拡充を行なった。この予測システムは、現在 2024 年度の打ち上げに向けて準備が行なわれている GOSAT-GW 衛星の観測と連携して利用される予定である。すなわち、衛星によって観測された放射輝度スペクトルデータから CO₂・CH₄ カラム平均濃度を導出する際に必要となる、毎日の GHG・エアロゾルの全球濃度分布を、気象データ同化による解析・予測シミュレーションを実行することによって提供する。今年度は解析・予測精度の向上を目指し、プログラム最適化による高速化と結果検証の重点化を行なった。結果検証では、GHG 解析・予測結果のより詳細な比較を実施するために、温室効果ガス世界資料センター (WDCGG)からの定期的なデータダウンロードとシミュレーション結果との視覚的な比較の実施を可能にした。また、予測データの比較対象として、再解析データだけではなく、データ駆動型気象予測モデルである FourCastNet を用いた予測を実行した。その結果、一週間以内程度の予測範囲であれば、いくつかの主要な変数に対して再解析データに匹敵する予測性能を発揮することが明らかになった。このデータ駆動型予測モデルを用いることにより、再解析データがまだ提供されていない期間の比較が可能になるため、定期的な予測計算実行を今後予定している。

二酸化窒素 (NO₂) のシミュレーションについて、昨年度は、NICAM に大気化学モデルモデルを結合した NICAM-Chem を用いて、全球 56 km の解像度でシミュレーションを行った。本年度は、NICAM-Chem と衛星観測を組み合わせ、観測から簡易的に排出量を推定するシステムの開発を進めた (図 2)。

4. 今後の計画

CO₂ の長期逆解析の結果を地球環境データベースからバージョン 2023.1 として公開する。また、全球 CH₄ 逆解析や NICAM-TM による高解像度シミュレーションによる東京 CO₂ 放出量の推定について、それぞれの成果を論文にまとめて投稿する。GOSAT-2 関係では、

現時点においては CO₂ 解析の試験に焦点を当ててきたが、今後は同手法を CH₄ へ展開するとともに、今回の試験で明らかとなった課題の改善に取り組み、GOSAT-2 観測データによる全球吸排出量推定の精度向上に取り組む。GOSAT-GW のための全球大気環境の短期解析・予測システムでは、解像度向上による予測性能の向上を行ない、排出推定システムの精度検証を進める。また、NO₂ シミュレーションによる解析では、今後、メガシティなど都市域を中心に、NO₂ 排出量推定の自動化に取り組む。

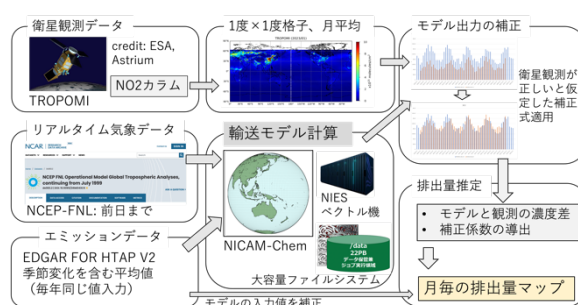


図 2. 簡易的な NO₂ 排出量推定手法の概念図

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: 204.2 hours, v_normal: 541,663.3 hours, 計: 541,867.5 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 7.4%)