

研究課題名：超高解像モデル SCALE による植生を考慮した都市域における二酸化炭素輸送計算

課題代表者：東京大学大気海洋研究所
 共同研究者：国立環境研究所地球システム領域
 北海道大学大学院理学研究院

今須良一
 伊藤昭彦
 佐藤陽祐

実施年度：令和4年度～令和4年度

1. 研究目的

観測された大気中 CO₂ 濃度から CO₂ 排出量・吸収量を推定するいわゆるトップダウンアプローチでは、自然起源と人為起源の区別ができない。そのため、人為起源分の寄与を推定するためには、もう一方である自然起源分の推定精度が十分に高くなくてはならない。特に、短期間の解析においては、その時々の植物の状態を正確に反映した陸域生態系モデルが必要となる。この目的のために東京大学大気海洋研究所では、衛星データに基づく植生活動度を取り入れ、時間単位で光合成と呼吸量を評価できる陸域生態系モデル「BEAMS-diurnal」を開発した。このモデルと国立環境研究所の陸域生態系モデル「VISIT」との相互比較を通じて、高時空間分解が可能な陸域生態系モデルへと改良することを一つの目的とする。この改良されたモデルと、超高解像モデル SCALE-RM をベースとした大気輸送モデルとを組み合わせ、植生に囲まれた都市域などにおける CO₂ 濃度分布を精度良く計算できるシステムを構築することを最終目標とする。

2. 研究計画

研究の第一段階として、次世代気象気候基盤ライブラリ「SCALE」について、サブ km スケールの空間分解能で CO₂ 輸送計算を可能にする改修を行う。なお、SCALE については、本課題参加者である北海道大学佐藤准教授により、既に国立環境研究所のスーパーコンピュータシステム上で動作できる環境が整えられていることに加え、大気化学コンポーネントの実装が進み、徐々に成果が出始めている（国立環境研究所スーパーコンピュータシステム利用研究、R1 年度：代表八代 尚、R2、R3 年度：代表五藤大輔）。

一方、陸域生態系モデルについては、「BEAMS-diurnal」と国立環境研究所の「VISIT」とを、都市域の典型的な植生タイプや土壤タイプについて CO₂ フラックスベースで比較し、違いの原因を調べ、より良いパラメータ設定の導出を行う。

研究の第二段階として、パラメータ等最適化された「BEAMS-diurnal」と「SCALE」を組み合わせ、CO₂

輸送計算を実施する。対象とする地域は、東京を含む関東地域とし、必要に応じてその周辺を含むドメインでの計算を実施する。これらの計算結果を、気象庁の WDCGG 等により提供されている大気中 CO₂ 濃度の実測値と比較することにより、計算の妥当性の評価と必要に応じた改良を実施する。

3. 進捗状況

【SCALE-RM への CO₂ 輸送計算コンポーネント追加】

SCALE の領域モデルである SCALE-RM に、CO₂ 輸送計算用コンポーネントを追加した。この時、CO₂ は熱力学場や放射スキームには影響を及ぼさない他のパッシブトレーサーと同様の扱いとし、移流・拡散過程を他のトレーサーと同様に計算している。気象場の初期値境界値は、NCEP_FNL を用いる。

人為起源 CO₂ の排出インベントリーは、EAGrid2000 をベースに、国全体の総エネルギー量の年変化に応じたスケーリングを施している。EAGrid2000 は、煙突高や航空機航路などを考慮し、高さ情報を含む 3 次元の外部データとしている。現時点での暫定的な措置として、空間解像度はオリジナルの 1 km のままでし、SCALE-RM 側で最近隣法によりモデルグリッド上の値として取り込んでいる。

陸域生態系による光合成と呼吸量については、それぞれ BEAMS-diurnal による計算をオフラインで実行

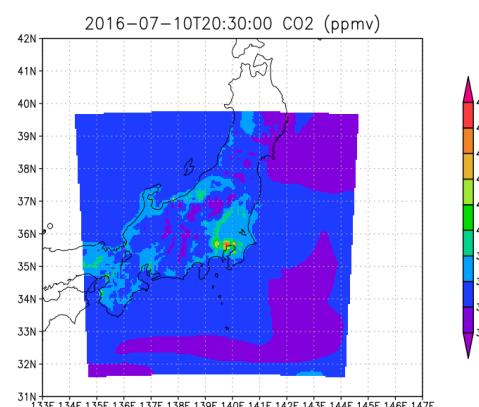


図 1. SCALE-RM をベースにした CO₂ 輸送計算モデルによる計算結果の例。

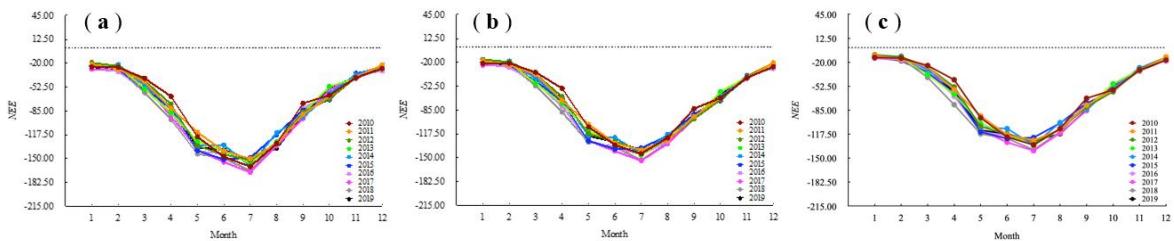


図2. 関東地域に於ける植生タイプごとの生態系純交換量(NEE)。(a)常緑針葉樹、(b)常緑広葉樹、(c)落葉広葉樹。2000年から2019年の計算結果を色の異なる線で示してある。

した結果を外部ファイルとして用意した。これについても、BEAMS-diurnal のオリジナルグリッドに対し、最近隣法で得られた値を SCALE のグリッドデータとして取り込んでいる。

SCALE の計算領域の外側の CO₂ 濃度は、NICAM-TM による計算結果（環境研丹羽洋介氏提供）を用い、移流、拡散の境界条件としている。

これらの条件のもとで計算された関東地域の CO₂ 濃度分布の例を図1に示す。

【BEAMS-diurnal と VISIT との比較】

両モデルの比較のために、どのような計算条件で得られる結果を比較するべきかの検討を進めている。基本的には、植生タイプごとに気象条件や光合成有効放射量、土壤水分量といった外部パラメータと同じにした場合の総一次生産量 (GPP)、植生の呼吸量、土壤呼吸量を比較する。しかし、温度応答など、コンポーネントレベルでの比較が必要なものも多く、最終結果の違いへの影響が大きいコンポーネントの洗い出し作業が必要であり、そのための準備を進めている。

今年度、BEAMS-diurnal による計算作業を進める中で、いくつかのプログラムにバグや入力データの不具合を発見した。それらを修正した後、2000年から2009年の10年分の計算を実行し、データベース化した。図2には、計算された生態系純交換量 (NEE) を3つの植生タイプについて示す。

4. 今後の計画

今年度後半は、開発されたモデルによる CO₂ 濃度の計算結果を、気象庁の WDCGG が提供する観測データ（堂平、騎西など）を用いて検証し、モデルや入力データの改良の指針とする。また、BEAMS-diurnal による CO₂ の地表フラックスは、森林総合研究所などが提供するフラックスタワーのデータとの比較により検証する。

3. で記したとおり、現時点では、人為起源のエミッションインベントリー、および、陸域生態系による光

合成と呼吸量は、SCALE-RM のモデルグリッドに合わせて作成されておらず、最近隣法で近いグリッドの値を用いる方法を用いている。そのため、領域全体での排出量、吸収量の保存性が保証されていない。また、SCALE の解像度を変更するたびに、SCALE-RM 本体のプログラムの修正が必要になる。そのため、SCALE-RM の解像度を決めた段階で、それに合わせた排出・吸収量データベースをコマンド一つで作成できるツールを作成する必要がある。また、人為起源のエミッションインベントリーデータは、モデルのすべてのグリッド点について CO₂ 放出の可能性があるということで、これと同じサイズで、かつ、時間ステップごとのデータとして外部ファイルから読み込んでいる。そのため、モデルへの入力データのサイズが大きく、また、分散処理の足かせとなっている。この点の効率化も、年度後半で行う予定である。

当グループでは、既に産業技術総合研究所の輸送モデル AIST-MM をベースにした EnTKF システムにより、都市域からの CO₂ 排出量推定などを行っている。このコンポーネントとスクリプトを本課題で作成した CO₂ 輸送計算システムに適用し、CO₂ 排出量推定を可能にすることを、次年度以降で検討したい。これは、2023 年度打ち上げ予定の GOSAT-GW や米国 OCO-3 衛星などにより取得される CO₂ 画像データの解析に利用することができ、都市域からの CO₂ 排出量推定や大規模発生源の特定などの研究に資するものであると考えている。

5. 計算機資源の利用状況（2022年4月1日～2022年10月31日）

実行ユーザ数: 3

VE 時間積 v_debug: 0.00 hours, v_normal: 0.17 hours, 計: 0.17 hours (全体の VE 時間積に対する占有率: 0.0 %)