

# 数値モデルを用いた地球環境解析

○眞木貴史(環境・応用気象研究部)、関山 剛(環境・応用気象研究部)、出牛 真(環境・応用気象研究部)、小林ちあき(気候研究部)、柴田清孝(環境・応用気象研究部)

## 1. はじめに

近年、地球温暖化、越境汚染といった地球環境に関する諸問題が顕在化しつつある。気象庁でも、2008年に実施された交通政策審議会において、地球環境業務における重点施策がとりまとめられ、地球環境分野を気象観測・予報、地震火山に次ぐ重点分野とすることとされている。これらの問題に対して適切に対応するためには、正確な現状把握と将来予測が必要になる。このためには、質・量共に十分な観測と将来を予測するための数値モデルが必要となる。

現在、世界中の様々な機関によって地球環境に関する数値モデル開発や、観測に関するプロジェクトが進められている。数値モデルは客観的かつ均一な空間・時間解像度のデータを得ることができるが、数値モデルには必ず誤差が含まれる。一方、観測に関しては、精度は高いが観測点が限られたり(地上観測など)、広い範囲を監視できるものの精度が少し落ちたり(衛星観測)するといった問題点がある。

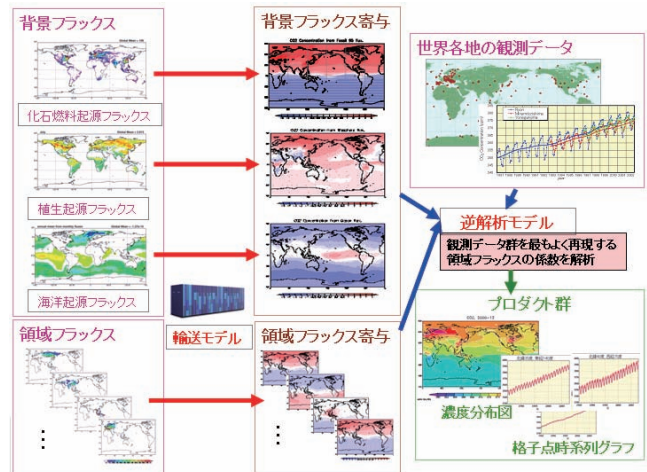
今回紹介する研究は、観測データと数値モデルをうまく組み合わせることによって、正確な実況監視や精度の高い将来予測に役立てようとするものである。

## 2. 解析手法とその成果について

### 2.1. 解析手法について

気象研究と比較した地球環境研究の特徴としては、観測データ量や数値モデル精度が十分ではないことが挙げられる。

このため、数値モデルを用いた解析を行うためには決して理想的ではない状況である。しかしながら、これらの不確かさは、直接測定が極めて難しくまだ理解が十分ではない広域の地表面放出量推定精度よりは良いと考えられるため、観測データと数値モデルを用いて地表面放出量を推定する方針は合理的である。地球環境研究の分野では、その化学過程の複雑さなどから気象分野で良く用いられている解析手法(4次元変分法)を適用することは難しく、逆解析やアンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)といった手法が良く用いられてきた。次節以下でこれらの手法と、これまでに得られた成果について紹介する。



第1図: 逆解析の概要(二酸化炭素)

### 2.2. 逆解析

逆解析とは、通常の気象予測モデル(順解析ともいう)とは異なり、結果から原因を推定する手法のことである。逆解析を成功させるためには質・量共に十分な観測データと原因から結果を推定できる数値モデルが必要となる。地球温暖化の主要な物質である二酸化炭素解析では、この数値モデルを用いて推定したい領域からのみ一定量の二酸化炭素放出を与え、それによる寄与を全領域についてあらかじめ計算しておく。次に、実際の観測データの振る舞いをもっとうまく再現できるように推定したい領域の二酸化炭素の放出吸収量を調節する(第1図)。

この手法でどれくらいの大きさの領域で解析できるかは利用できる観測データ数に大きく依存する。二酸化炭素解析では利用できるデータ数が100個程度のため、全球を20~100個程度の領域に分割することが多い。逆解析は国際的にも広く採用されており、気候変動に関する政府間パネルの報告書(IPCC第4次評価報告書)でも標準的に用いられているほか、気象庁の二酸化炭素分布情報でも採用されている。この手法は化学変化等の寄与が少ない他の物質に対しても有効と考えられ、特に黄砂・火山灰といった放出源が比較的限定できる物質に有効と考えられる。現在、日中韓黄砂共同研究の枠組みで逆解析を用いた黄砂放出量の逆推定にも取り組んでいる。

### 2. 3. アンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)

逆解析は、気象予測でよく用いられる4次元変分法とは異なりモデルを反転させる必要はないなどの利点を持つが、複雑な化学過程を取り扱いつらいことや、解析領域数の増大に伴い、輸送モデルや解析にかかる計算機資源が飛躍的に増大するという問題点がある。今節で紹介するEnKFはこれらの問題点を軽減する解析手法として着目を浴びつつある。EnKFでは、多数(数十～百程度)の少しずつ初期条件を変えた数値モデルを実行し、観測データを加えることによってあらたな初期条件群を解析し、これの繰り返しを行う解析手法である。EnKFでは、逆解析では取り扱いが難しかった測器のオリジナルデータをも利用可能である。気象研究所では、黄砂、二酸化炭素等に関して、これらの手法を用いた研究課題を実施中である。

黄砂に関しては、この手法を用いて衛星搭載ライダー(CALIPSO)を用いた地表面放出量推定を世界で初めて成功させるなどの成果を上げている(第2図)。この手法を用いることによって、地表面放出量と大気中の黄砂濃度の推定精度を向上させることができた。現在、国立環境研究所(NIES)が東アジアに展開しているライダー観測網のデータを用いたデータ同化実験を実施しており、CALIPSOを用いたのと同様の成果を得られている。今後は、疑似観測データを用いた観測システムシミュレーション実験(OSSE)や、東アジア域の黄砂放出量推定などを行う予定である。また、このシステムは将来的に気象庁の黄砂情報の改良として利用することを視野に入れている。

二酸化炭素に関しても、黄砂と同様のアルゴリズムを用いたデータ同化システムを構築しており、各種観測データのインパクトに関するOSSEを実施するなどした。逆解析でもそうだがOSSEはデータ同化の有力な利用法の一つである。また、実際の観測データを用いた解析の準備も進めている。二酸化炭素に関しては、地上、航空機、衛星観測を利用する計画である。予備実験の結果を第3図に示す。基本的に観測データを利用することによって、数値モデルの結果をより確からしく修正できることが分かる。今後は、数値モデルの改良とデータ同化システムの調整を行い、10年程度の二酸化炭素放出吸収量の解析を実施する計画である。

### 3. まとめ

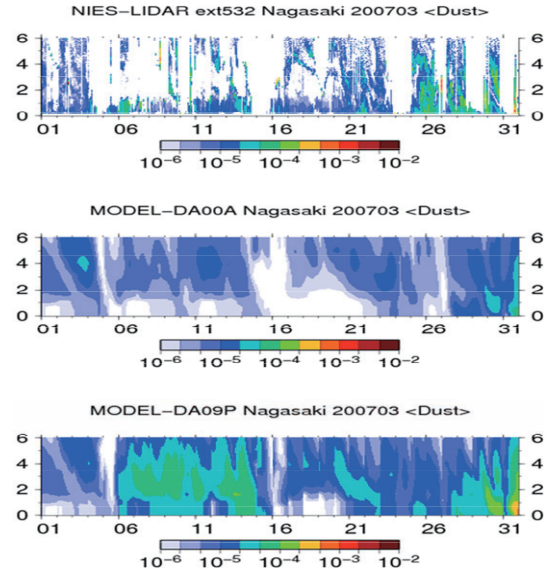
気象研究所では、数値モデルを用いた地球環境解析に関する研究を実施してきた。今回は逆解析とEnKFに関してその手法と適用例に関して紹介を行った。

これらの解析手法は、数値モデルと観測データを用いることによって、最適な解析値を得ることができる上に、観測網の

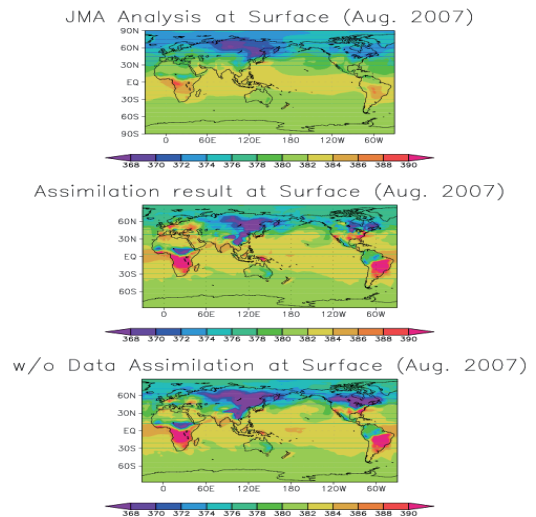
評価等にも有益な情報を与えることができる。特に黄砂では、世界に先駆けてその成果を示すことができた。

しかしながら、得られる解析値の精度は、利用可能な観測データの質・量と数値モデルの精度に大きく依存する。

今後、地球環境の現状把握と将来予測をより確実なものとするためには、データ同化手法の改良は勿論重要であるが、観測データの充実や数値モデルの精度向上も車の両輪として進めていく必要がある。



第2図:長崎における2007年3月における黄砂の解析例(上段:独立観測、中段:モデル予測、下段:解析結果)



第3図:二酸化炭素濃度の解析例(2008年8月:上段:気象庁逆解析、中段:EnKF解析、下段:数値モデル結果)

### 参考文献

- (1) Maki, T., et al, 2010: New technique to analyse global distributions of CO<sub>2</sub> concentrations and fluxes from non-processed observational data, *Tellus B*, 62, 797-809.
- (2) Sekiyama, T. T., et al, 2010: Data assimilation of CALIPSO aerosol observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 39-49.