

観測システムシミュレーション実験 (OSSE)

石橋 俊之*

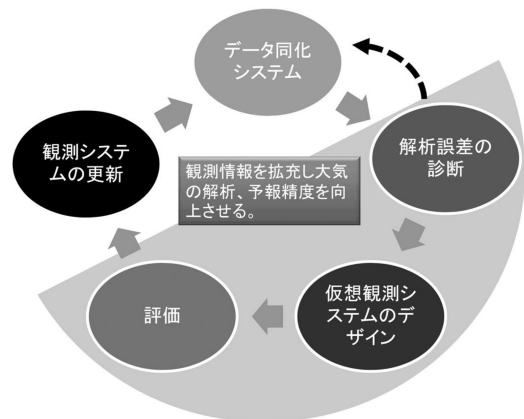
観測システムシミュレーション実験 (Observing System Simulation Experiment: OSSE) は、実在しない観測システム (仮想観測システム) を計算機上に構築し、その振る舞いを評価する手法である。OSSE は大気や海洋等様々な分野で実施されているが、ここでは全球大気観測に関する OSSE を念頭に解説する。OSSE は以下のような疑問に答えるために必要である。

- ① 数値天気予報 (NWP) システムの精度の向上を目的として、新しい観測システムを計画しているとしよう。この観測システムを実際に展開した場合、NWP の解析、予報精度はどの程度改善されるのだろうか (仮想観測システムの評価)。
- ② 大気状態を十分な精度で解析するには、どのような観測をどのくらいの時空間分解能で行えば良いのだろうか (仮想観測システムのデザイン)。
- ③ 既存の数値予報システムはどのような誤差を持っているのだろうか。また、既存観測を理想的な同化システムで同化したら、どのくらいの解析精度が得られるのだろうか (NWP システムの診断)。

計画中の新しい観測システムが数値予報に与える影響をあらかじめ評価するのが①であり、②はその前段で、将来の観測システムはどうあるべきかという設計である。①②には費用対効果の評価も含まれる。③は既存の観測システムや NWP システムの診断を行うことで、これらの問題点を見つけ、それを改善に結び付けようとするものである。NWP や全球観測システ

ムの研究開発では、これらの発展が第 1 図のように循環することが一つの理想形であるが、OSSE はこれに不可欠である。

OSSE の代表的な 3 つの手法について見てみよう。NR-OSSE (Masutani *et al.* 2010、及びその参考文献) は、まず適当な数値予報モデルの長期積分 (数カ月) を仮想的な真の大気状態 (仮想真値) とする。この仮想真値はネイチャーラン (Nature Run) と呼ばれることから、ここではこの手法を NR-OSSE と呼ぶ。次に、NR と整合する観測データを生成する。観測データは、仮想観測だけでなく、既存観測についても生成する。これは、NR に観測演算子を作用させ、これに現実の観測誤差統計 (観測誤差共分散行列) と整合する観測誤差を付加することで行う。ここで、観測演算子とは観測と大気状態を対応付ける関数である。例えば、ラジオゾンデによる気温観測の場合は、NR のモデル格子上的気温を観測点に内挿する計算で



第 1 図 全球観測システムと NWP システムの研究開発における OSSE の役割。影を付けた半円部分が OSSE による部分。

* Toshiyuki ISHIBASHI, 気象研究所台風研究部。
ishibasi@mri-jma.go.jp
© 2013 日本気象学会

あり、衛星輝度温度観測の場合は、放射伝達計算となる。NRは、大気其自然変動を表現していればよく、真の大気状態である必要はない。以降、仮想世界で生成された既存観測を疑似観測と呼んで仮想観測と区別する。

このように、NR-OSSEは、Nature Runを真とする仮想世界を構築する。仮想世界のデータ同化サイクルでは、疑似及び仮想観測を同化することで、これと整合する仮想背景場が生成される。仮想観測の数値予報への影響評価は、通常のOSE (Observing System Experiment, 観測システム実験)と同様に仮想観測ありなしで同化サイクルを実施して解析や予報場、それらの精度を比較して行う。NRの自然変動の表現、仮想観測に付加する観測誤差と真の観測誤差統計との整合性がNR-OSSEの妥当性を決める。NR-OSSEは、3つのOSSE手法の中で最も古く(原型は1950年代から)、OSSEと言えばNR-OSSEを指すことも多い。これまでに、衛星搭載のマイクロ波センサ、散乱計、ドップラー風ライダー、赤外超多チャンネルセンサ等多くのNR-OSSEが行われている。

EnDA-OSSE (Tan *et al.* 2007)は、4次元変分法のデータ同化サイクルを複数実行して、解析場や予報場のアンサンブルを構築する手法である。EnDAはEnsemble of Data Assimilation cycles (アンサンブルデータ同化サイクル)の略である。各同化サイクルには、解析の入力データである観測、背景場、境界値(SST等)に、誤差統計に従った異なる値の摂動が与えられる。これにより複数のデータ同化サイクルは、解析場は解析誤差統計に、予報場は予報誤差統計に従ったアンサンブルとなる。したがって、現実世界では実行できないアンサンブル期待値の計算を行うことができ、そのスプレッドで解析や予報誤差を評価できる。観測値を生成するのは仮想観測だけで良い。これは、同化サイクルを行うNWPシステムとは別のNWPシステムによって生成された解析場等に観測演算子を作用させることで行う。すべての観測に現実の観測誤差統計と整合する観測誤差を付加する。NR-OSSEと同様に真の大気状態を必要としないが、誤差統計は真の誤差統計に十分近い必要がある。この手法は実装が容易であるが、計算コストは通常のOSEのアンサンブルメンバ倍になる。また、アンサンブルスプレッドの過小性、サンプリングエラー等への対応が必要である。EnDA-OSSEで構築するのは解析場や予報場の誤差統計であり、NR-OSSEが場や観測自

体を構築するのと対照的である。この手法はこれまでに、衛星搭載ドップラー風ライダーのOSSEに使用されている。アンサンブルを構築する手法としてはEnDAの他にもアンサンブル・カルマンフィルタがあり、これによっても同様にOSSEを構築できる。いずれにしてもアンサンブルの妥当性がOSSEの妥当性を決める。

SOSE-OSSE (Marseille *et al.* 2008)は、感度解析を応用したSOSE (Sensitivity Observing System Experiment) という手法により、現行の数値天気予報に使われているデータ同化システムで生成される解析場よりもはるかに精度のよい解析場を生成し、真の大気状態の近似とする。これを真値代替場と呼ぶ。真値代替場から仮想観測を生成し、これを既存観測と合わせて同化し、解析や予報場、それらの精度の変化を見る。したがって、既存観測は実観測をそのまま使用できる。一方、真値代替場の妥当性の評価が必要である。またその生成に接線形仮定を用いるため、非線形性の強い熱帯下層水蒸気場等の評価は相対的に難しくなる可能性もある。他の2つの手法との大きな違いは、真値代替場を構成することである。SOSE-OSSEはこれまでに、衛星搭載ドップラー風ライダーのOSSEに用いられている。

以上、3つの代表的なOSSE手法について概説した。3つの手法には各々特徴があるが、特に現実と仮想世界のバランスで見ると、NR-OSSEでは気象場も観測値も仮想、EnDA-OSSEでは気象場は現実、観測値は仮想、SOSE-OSSEでは気象場、既存観測は現実、仮想観測のみ仮想であり、誤差の生成も仮想観測だけで良い。このように3つの手法は仮想性のスペクトルを形成している。

最後にOSSE結果の妥当性について考えておこう。現実のNWPシステムは、数値予報モデルの誤差や観測データの誤差統計など、完全には知りえない要素を含んでいる。仮想観測のインパクトを正確に評価するにはこれらの要素もOSSEで再現する必要があるが、これは一般に難しい問題である。このため、OSSE結果の妥当性を確保するためには、はじめに既存観測についてOSSEを行い、現実のOSEや線形インパクト解析の結果と十分に整合することを確認しておく必要がある。NR-OSSEでは、モデル誤差を考慮する目的で、NRを作成した予報モデルと異なる予報モデルで同化サイクルを実施することが行われる。ただし、これは2つの予報モデル誤差の差の構造が、

実際の子報モデルの誤差構造を良く近似するという仮定に基づいている。一方で別の見方として、OSSEでは最適に近い条件で同化した場合の仮想観測のインパクトを評価できるとも見る事ができる。これは仮想観測のインパクトの上限を与える。これを既存観測について現実と比較することや、NWPシステムの不定要素を様々に導入して比較することは、システムの診断になる。このようにOSSEですべてをシミュレーションできるわけではないが、OSSEで得られる情報と現実世界の情報 (OSE等) を比較することで、妥当な評価につなげて行くことが必要である。

参 考 文 献

- Marseille, G.-J., A. Stoffelen and J. Barkmeijer, 2008: Sensitivity Observing System Experiment (SOSE): A new effective NWP-based tool in designing the global observing system. *Tellus A*, **60**, 216-233.
- Masutani, M., J. S. Woollen, S. J. Lord, G. D. Emmitt, T. J. Kleespies, S. A. Wood, S. Greco, H. Sun, J. Terry, V. Kapoor, R. Treadon and K. A. Campana, 2010: Observing system simulation experiments at the National Centers for Environmental Prediction. *J. Geophys. Res.*, **115**, D07101, doi:10.1029/2009JD012528.
- Tan, D. G. H., E. Andersson, M. Fisher and L. Isaksen, 2007: Observing-system impact assessment using a data assimilation ensemble technique: application to the ADM-Aeolus wind profiling mission. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **133**, 381-390.