

4次元変分法データ同化の新展開

東京大学地震研究所 長尾 大道 伊藤 伸一 長谷川 慶

1. はじめに

大規模数値シミュレーションと大容量観測データの状態空間モデリングであるデータ同化は、現代の数値気象予報において欠かせない計算技術である。データ同化は、現在では様々な科学分野で応用されているが、応用分野におけるデータの特性や興味の対象に合わせ、計算手法そのものを見直す必要に迫られることが多い。例えば、我々はこれまでに構造材料分野に資するデータ同化手法の開発を実施してきたが、同分野では、気象予報のような状態推定ではなく、材料パラメータの推定に非常に強い興味を持たれる。このような場合、推定した量の不確実性をきちんと評価することが、既存材料の特性を知り、新規材料を生むための実験条件を設定するために必須となる。

2. 不確実性評価と最適解の広域探索が可能な新しい4次元変分法の開発

気象予報においても主力のデータ同化手法として用いられている4次元変分法は、モデルとデータの適合度を示す評価関数 J の初期状態 \mathbf{x}_0 に関する勾配 $\partial J / \partial \mathbf{x}_0$ を高速に計算し、適切な勾配法に基づいて評価関数を最小にする最適な初期状態 \mathbf{x}_0^* を探索する。逐次ベイズフィルタ法と比較すると、計算コストの観点から、大規模モデルの場合に非常に有効である。従来は4次元変分法は、局所最適解のみを与える手法であったが、これまでに我々は、second-order adjoint 法を導入することにより、求めた局所最適解の不確実性評価が可能な4次元変分法の開発に成功した (Ito *et al.*, 2016)。

しかしながら、本手法を実問題に応用展開していくためには、初期解に強く依存する局所最適解ではなく、最適解の広域探索が可能な手法へとさらに発展させる必要がある。そこで本研究では、解の更新に対象分布の勾配およびランダムウォークの両方を用いる Metropolis-adjusted Langevin algorithm をベースに、4次元変分法で得られる評価関数の勾配とレプリカ交換モンテカルロ法を組み合わせた新しい4次元変分法を開発している。データ同化を実問題へ適用する場合には、評価関数が多峰性をもつことは避けて通れないが、解に関する事前情報があまり無い場合であっても、本手法により、極めて良好な解を得られることが期待できる。

本講演では、構造材料や岩石内の粒成長シミュレーションに用いられるフェーズフィールドモデルに本手法を実装し、性能評価を実施した結果について報告する。

参考文献

Ito, S., H. Nagao, A. Yamanaka, Y. Tsukada, T. Koyama, M. Kano, and J. Inoue, Data assimilation for massive autonomous systems based on a second-order adjoint method, *Phys. Rev. E*, 94, 043307, doi:10.1103/PhysRevE.94.043307, 2016.