

GPUを駆使して流体解析と観測データを高速に同化する手法の開発

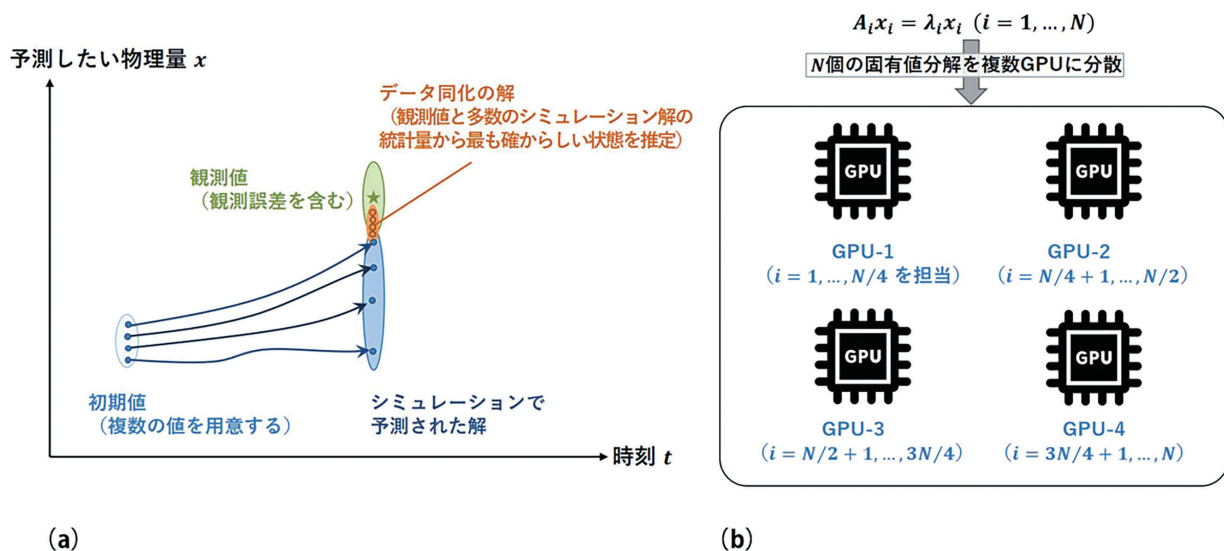


図1 データ同化の模式図

(a) データ同化 (局所アンサンブル変換カルマンフィルタ; LETKF) では、観測値と多数のシミュレーション解の統計量から最も確からしい状態を推定する手法 (最尤推定) を用いてデータ同化の解を求めます。(b) LETKF では多数の行列の固有値分解を計算します。本研究では、これを複数 GPU に分散して高速に解くコードを開発しました。

データ同化は、数値シミュレーションに現実の観測データを取り込み、シミュレーションの予測精度を向上させる手法です。天気予報の分野を中心に発展してきた手法ですが、数値流体力学 (CFD) 解析にも適用され始めたことで、幅広い科学・工学分野への応用が期待されています。

高精度なデータ同化手法の一つとして局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) がありますが、LETKFでは多数の行列を解く処理の計算速度が問題になります。今回、原子力機構と理化学研究所 (理研) は共同で、LETKFを画像処理装置 (GPU) で高速に計算するためのコード開発を行いました (図1 (a), (b))。

LETKFでは、条件の異なる複数のシミュレーション (アンサンブル計算) を行なったのち、アンサンブル計算から平均や分散などの統計量を求めます。この統計量を基にデータ同化を行います。その際にCFDの格子点数 (数万～数億) と同じ数だけの行列の固有値分解を解く必要があり、この処理が実行時間の大部分を占めます。本研究では、理研が本問題の行列に特化した固有値分解ソルバ「EigenG-Batched」を開発し、原子力機構が複数GPU間のデータ通信の最適化を行いました。これらにより、GPU計算機「Wisteria-Aquarius」(東京大学) の64GPUを用いた計算において、最適化前の実装に比べて45倍の高速化を達成しました。

本研究の一部は、JSPS科研費 (若手研究: JP21K17755) 及び学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHP CN: jh210049, jh220030, jh220031) の支援を受けて行われ、理化学研究所との共同研究「大規模並列行列計算ライブラリの研究開発」として実施した成果の一部です。計算には東京大学情報基盤センター「Wisteria/BDEC-01 スーパーコンピュータシステム」を利用しました。

Hasegawa, Y., Imamura, T., Ina, T., Onodera, N., Asahi, Y., Idomura, Y., GPU Optimization of Lattice Boltzmann Method with Local Ensemble Transform Kalman Filter, Proceedings of 2022 IEEE/ACM, 13th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems (ScalAH), Dallas (online), U.S.A., 2022, p.10–17.

