

9-1 機械学習により高解像度の流れ場を効率的に予測 — 多重階層度の定常流を予測する畳み込みニューラルネットワークを開発 —

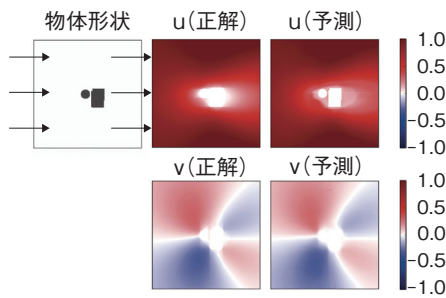


図9-2 機械学習による物体周りの流れ場の予測結果
1024² 格子を用いた流体シミュレーション (正解) と機械学習 (予測) によって予測した物体周りの2次元定常流れを示します。ここで、 u 、 v は横軸方向と縦軸方向への規格化された流速を示し、矢印で示されるように、計算領域の中心に配置された物体に向かって左壁から一様な流れが流入する条件で計算を行いました。

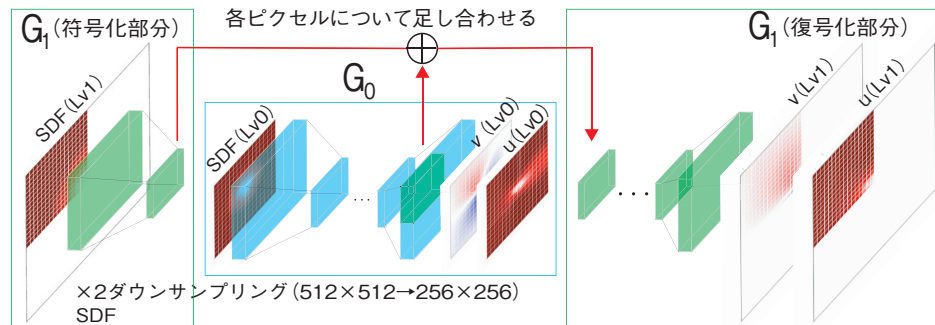


図9-3 提案した流れ場予測モデルの概念図

低解像度の全体データ (Lv0) と高解像度の部分データ (Lv1) に対する二つのCNNである G_0 (青)、 G_1 (緑) を組み合わせて高解像度の流れ場を予測します。最初に、高解像度 (Lv1) の物体形状の符号付き距離関数 (SDF) の全体データとそれをダウンサンプリングした低解像度 (Lv0) の SDF を用意します。高解像度ネットワーク G_1 は、符号化部分と復号化部分に分割されます。高解像度 SDF の一部を G_1 により符号化した後ダウンサンプリングし、解像度を G_0 の符号化データと合わせます。低解像度 SDF から流れ場全体を予測する G_0 の符号化データより、 G_1 の予測領域と対応する部分 (256 × 256) を切り出し、 G_1 の符号化データ (256 × 256) と足し合わせた後 G_1 で復号化することで、大域的に整合した高解像度の流れ場の一部分を予測します。

画像データの高精度な機械学習を実現した畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) 等を応用することで、流体シミュレーション結果を機械学習によって予測する代理モデルの構築が可能になりつつあります。代理モデルはシミュレーションに比べて計算コストが大幅に小さく、流体問題の即時予測や大規模なパラメータスキャン等において高い需要があります。しかしながら、従来の流れ場予測モデルはメモリの制約等により、512² ピクセル (格子) 程度の画像サイズまでしか適用できませんでした。このため、高解像度データに対しては、部分領域毎に独立に予測を行うモデルが提案されていますが、この手法では部分予測結果の結合後の構造に不整合が生じます。

本研究では、この課題を解決するために新しい流れ場予測モデルを開発しました。CNNによる流れ場予測では符号付き距離関数 (SDF、物体からの距離により物体内外を表現する関数) を入力データとして物体周りの流れ場を出力します。従来モデルでは、高解像度の SDF を部分領域毎に分割して CNN を適用していました。一方、本研究では、高解像度 SDF をダウンサンプリングした低解像度 SDF を用意して、分割した高解像度 SDF と、全領域の低解像度 SDF を組み合わせて、大域的に整合した高解像度の流れ場予測を行うことに成功しました (図9-2)。

CNN では、複数の畳み込み層により入力データを符号

化し、その後逆畳み込み層により必要な出力データへと復号 (復元) します。開発したモデルは、低解像度データの CNN (G_0) と高解像度データの CNN (G_1) から構成されます (図9-3)。図9-2の例では、1024² 格子の高解像度データを学習するために 512² 格子の低解像度データを用意し、 G_0 に全領域の低解像度 SDF (512²)、 G_1 に 1/4 領域の高解像度 SDF (512²) を入力しています。ここで、 G_0 の符号化データより G_1 の予測領域と対応する部分領域 (256 × 256) を切り出して、それと解像度が合うようにダウンサンプリングされた G_1 の符号化データ (256 × 256) と足し合わせることで、 G_0 が保持している大域的な構造を伝えます。結合は階層的に行われ、領域全体の構造が低解像度側から与えられるため、高解像度の部分予測結果を大域的に整合させます。このような階層的な CNN は画像処理分野でも提案されていますが、低解像度 CNN、高解像度 CNN の両方に全領域のデータが入力されていました。本研究では、分割された高解像度データを用いることでメモリ使用量を抑えつつ高解像度の流れ場予測を行うことが可能となりました。これにより流体問題の即時予測や大規模なパラメータスキャンが実施出来ます。

本研究の一部は、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (課題番号: jh210049-MDH) の支援の下で得られた成果です。

(朝比 祐一)

●参考文献

Asahi, Y. et al., AMR-Net: Convolutional Neural Networks for Multi-Resolution Steady Flow Prediction, Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Cluster Computing (IEEE Cluster 2021), Portland (Online), Oregon, U.S.A., 2021, p.686-691.