

液体金属熱対流シミュレーションとその可視化 Simulation and Visualization of Liquid Gallium Convection

古田敦哉¹, 政田 洋平^{1*}, 陰山聡¹
Atsuya Furuta¹, MASADA, Youhei^{1*}, Akira Kageyama¹

¹ 神戸大学 大学院システム情報学研究科 計算科学専攻

¹ Graduate School of System Informatics, Department of Computational Science, Kobe University

液体金属熱対流に対する磁場や回転の効果を調べる目的で、液体ガリウムの熱対流実験を海洋研究開発機構と北海道大学が共同して行なっている。実験では直方体容器内の熱対流を観察するが、液体ガリウムは不透明であり、光学的な計測法は利用できない。超音波を使った流速分布測定法も利用されているが、1次元の速度分布情報しか得ることができず、磁場や速度場などの空間構造を調べることができないという問題点を持つ。本研究では、この問題点を克服し、液体金属熱対流の本質に迫るために「地球シミュレータ」を使って実験を模擬したシミュレーションを行い、得られたデータを3次元可視化ツール GFV (Gallium Field Visualizer) を使って多角的に解析した。

実験と同様、直方体領域中での熱対流を計算モデルとして採用し、i) 磁場も回転も課さない場合、ii) 磁場のみを課す場合、iii) 回転のみを課す場合、における熱対流の物理を調べた。モデル i) では、レイリー数の増加に伴い対流がコヒーレントな状態から乱流的な状態へと遷移することを確認した。モデル ii) は実際の熱対流実験の条件に対応しており、実験で見いだされた対流ロール構造を数値的に再現した。さらに GFV の3次元可視化機能によって、実験では確認されていなかった対流ロールに沿った流線の螺旋構造と、収束流にともなう磁場の寄せ集め現象を発見した。実験に先行したモデル iii) では、高速回転下で回転軸に平行な軸を持つ渦柱が現れ、その半径が回転角速度に比例して小さくなることを確認した。また、GFV のパーティクルトレーサー機能を駆使して、渦柱の螺旋の巻き方が計算領域の上下で逆転していることを明らかにした。

今回のシミュレーション可視化研究の結果、実際の熱対流実験を補完する情報だけでなく、今後の実験の指針となるような幾つかの結果を得た。シミュレーションと3次元可視化、そして熱対流実験を相補的に行うことで、今後液体金属熱対流の研究がさらに促進されると期待される。

キーワード: 磁気流体力学, 数値シミュレーション, 可視化, 液体金属熱対流, 地球ダイナモ

Keywords: MHD, Numerical Simulation, Scientific Visualization, Liquid Metal Convection, Geodynamo