

液体金属による熱対流の乱流状態と磁場の影響

Turbulent thermal convection in liquid metal and the effect of magnetic field

柳澤 孝寿 [1]; 山岸 保子 [1]; 田坂 裕司 [2]; 矢野 可南子 [3]; 櫻庭 中 [4]; 武田 靖 [5]; 浜野 洋三 [6]

Takatoshi Yanagisawa[1]; Yasuko Yamagishi[1]; Yuji Tasaka[2]; Kanako Yano[3]; Ataru Sakuraba[4]; Yasushi Takeda[5]; Yozo Hamano[6]

[1] IFREE, JAMSTEC; [2] 北大・工・エネルギー環境; [3] 北大・工・機械; [4] 東大・理・地球惑星科学; [5] 北大・工・機械; [6] 東大・理・地球惑星物理

[1] IFREE, JAMSTEC; [2] Energy & Environmental Sys., Hokkaido Univ.; [3] Mech. Eng., Hokkaido Univ.; [4] Dept. of Earth and Planetary Science, Univ. of Tokyo; [5] Mechanical Engineering, Hokkaido Univ.; [6] Dept. Earth & Planetary Physics, Univ. of Tokyo

地球磁場は外核での溶融鉄の対流運動によって生成されている。その詳細なメカニズムの研究には大規模数値シミュレーションと並んで、実際に液体の金属を用いた実験が重要な役割を果たす。実験室程度のスケールで自己励起ダイナモを実現することは困難であるが、大局的な流れを規定する重要な要素である乱流の性質を知るためには室内実験が不可欠である。液体金属は一般に、低粘性で熱伝導度が大きく電気伝導性を持つ。このような流体による流れは日常目にする流れとは異なる性質を示し、さらに磁場の存在によって大きく影響を受ける。しかし金属は光を通さないため、生じている流れ場を直接調べるのは困難であった。

我々は超音波を利用して流れ場を計測する技術を高精度化し、液体金属の自然対流に適用可能なまでに速度分解能を上げることに成功した。それにより、液体金属中でも流れの構造や時間的変動を生き生きと捉えることが可能となった。その計測原理は、超音波トランスデューサからビーム状のパルス波を発信し、液体金属の流れとともに動いている微粒子からの反射波を受信してそのドップラーシフトを利用することで、ビームライン上の各地点での速度の情報を得るというものである。個々の計測で得られるのは測線上の速度分布であるが、複数のトランスデューサを用いたり、ビームラインをスキャンしたりすることにより、系全体の流れ場を把握することが可能である。

この技術を上下温度差により駆動されるレイリー・ベナール対流に適用し、流れ場の挙動を速度と温度の同時計測により描き出した。上下温度差を大きくしていくと、あるところから小スケールの渦が大スケールの秩序立ったロール構造を形成し、そのロール形状は正方形か若干横長である。長時間の観察でもロールの数は不変であるが、その構造は規則的な振動を示すことが大きな特徴である。この振動は隣接ロール間での伸縮運動およびロール軸方向への波動的現象を見ているものと考えられる。同時に少数の点でサーミスタを用いた高精度の温度計測を行い、温度の時間変動と速度場との対応関係を確立することができた。我々はさらに、このような熱対流の系に水平方向に一樣磁場を印加する実験を行った。ロール軸の方向に磁場をかけるので、大局的には流れは常に磁場と直行する成分を持ち、誘導電流によって減速する向きに力を受けることを意味する。実際には磁場の存在により、速度・温度ともに乱れ成分が顕著に減少することが観察された。それに伴い大規模構造はむしろ明瞭になり、平均流速は増大するという興味深い結果が得られた。ロールの振動する幅は減少するが、その周期にはほとんど変化が見られなかった。