

課題：実地球環境でのマントル・コア活動の数値シミュレーション

課題責任者：浜野 洋三（海洋研究開発機構 地球深部ダイナミクス研究分野）

課題目的：

マントルとコアからなる地球内部システム全体の活動の実体解明を目的として、現在手にできるグローバルな観測量や、復元されている地球の変動史に合致する、より現実的なシミュレーションモデルを構築する。具体的には、(1) コア対流と地磁気生成過程の高精度シミュレーション、(2) プレートや大陸の移

動を再現するマントル対流のシミュレーション、(3) 地磁気変動によって地殻・マントル内に誘導される電磁場のシミュレーションにもとづく地球内部電気伝導度構造の推定、を相互に参照しつつ進める。これらにより、地球内部の動的状態を把握し、将来的な変動の予測にもつなげる。

今年度得られた成果：

(1) コア対流

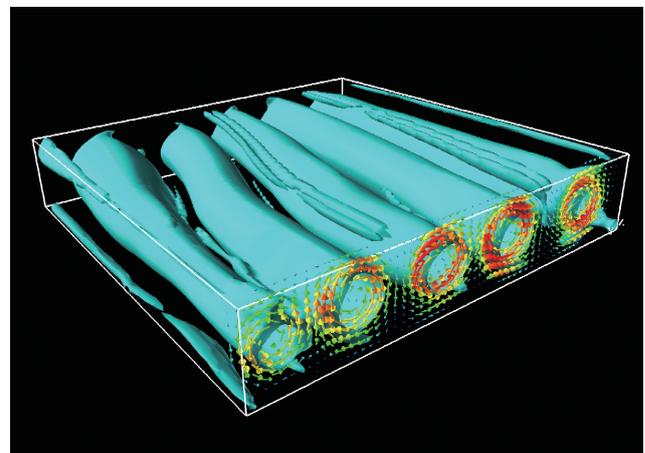
- ・コア-マントル境界の上に D'' 層を模した固体電気伝導層を与えたダイナモシミュレーションを実施して、地磁気観測に基づくコア-マントル境界でのトロイダル磁場の推定可能性を検討した。得られた観測磁場モデルとコア対流モデルを用いて、磁場凍結近似に基づく理論的手法によってコア-マントル境界でのグローバルなトロイダル磁場分布を推定した。推定結果とシミュレーションによるトロイダル磁場を比較したところ、低緯度の磁気拡散効果が比較的大きな領域を除いて、概ねトロイダル磁場の振幅及びパターンを再現できることが明らかになった。
- ・コア対流を二重拡散対流として取り扱い、さらに、コア最上部に熱的あるいは組成的安定成層を置いた際のダイナモの振舞を、エクマン数を 3×10^{-5} まで下げて調査した。その結果、組成対流が卓越する場合、地球コア最上部の安定成層の起源は熱的なものである可能性が示唆された。
- ・現実の小さいプラントル数を用いた液体金属の対流シミュレーションで、広いパラメータ範囲にわたって室内実験の結果を良く再現するとともに、水平面内で大規模な循環が間欠的に生じることが流れ場の反転を引き起こすことを示した。これは地磁気反転のメカニズムを考察する際に重要である。

(2) マントル対流

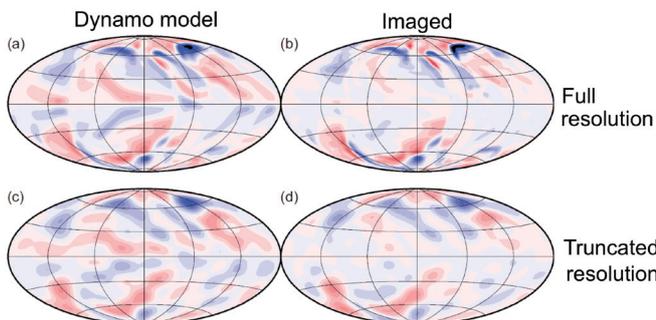
- ・球殻での対流シミュレーションを実施し、粘性の温度依存性およびマントルに対する外核の半径比をパラメータとして一連のデータセットを構築した。基本の対流モードがこれらにどう依存するかを示すとともに、表面のプレートが沈み込む条件を明らかにした。

(3) 電気伝導度の推定

- ・3次元電磁誘導方程式のフォワードコードおよびインバージョンコードの改良を進めた。フォワードコードでは、積分方程式法での行列の前処理に物理的な考察を加えて高速化を実現した。インバージョンでは電磁場の周波数および水平方向に並列化することで計算効率を上げた。



水平磁場を印加した液体金属の対流のシミュレーション。流れ場の挙動について室内実験と整合的な結果が得られている。水平面内での大規模な循環流が間欠的に生じてロールが再結合することにより、流れ場の反転が起こる。



$$B_{T\phi} = -\frac{1}{r_o} \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad \text{Bphi} \quad \text{Takahashi (2014)}$$

ダイナモシミュレーションによる CMB トロイダル磁場 (a, c) と、ダイナモシミュレーションから得られた観測磁場とコア対流から、理論的に推定した CMB トロイダル磁場 (b, d) の比較。(a, b) はフル解像度、(c, d) は次数 12 で打ち切った場合。低緯度帯を除いて非常に良くトロイダル磁場を再現できている。