

# 平成 26 年度 地球シミュレータ利用報告 研究成果概要

## 1. 課題名

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

Simulation Study on the Dynamics of the Mantle and Core in Earth-like Conditions

## 2. 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)

Yozo Hamano

## 3. 課題の目的

これまでに引きつづいて、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。

## 4. 今年度当初の研究計画

(1)コア対流: 計算コードの高解像度化・高精度化の成果をもとに、粘性をあらわす無次元数であるエクマン数を  $10^{-7}$ 、磁気プラントル数を  $10^{-1}$  まで下げた地球ダイナモの大規模シミュレーションを系統的におこなう。これまで比較的高粘性の領域で得られていた一連の結果が、低粘性域でどのように変形されるか検証する。外核上層の安定成層構造と二重拡散対流を同時に取り扱うことでコアのダイナミクスと地磁気変動がどのように変わるかを調べる。結果に基づき、磁場の永年変化から安定成層の存在を地震波観測と独立に確認可能かを検証する。空間解像度は球関数展開 400 次程度であり、磁気双極子の拡散時間程度の地磁気変動時系列を得るのに、数百から 1000 ノード時間を要する。基本モデルの高解像度化と同時に、組成と熱による二重拡散系の振る舞いの調査や、複雑なマントル境界条件等の影響のモデル化、観測によるトロイダル磁場推定方法の開発を進める。さらに、液体金属の熱対流の実験結果を計算機上で再現し、乱流と大規模流の関係を確立することで、コア対流に適用可能な電磁流体力学的乱流モデルを構築する。

(2)マントル対流: 岩石の粘性率が大きく変化する系において、3次元箱形や球殻での対流計算をおこなう。沈み込むプレートや上昇するプルームの活動の時空間的な変動特性と、表層環境変動とを定量的に結びつける。コア対流の駆動源となる深部マントル熱流量の長時間変動を明らかにする。数億から十億年の時間積分をおこなうため、ケースごとに数百ノード時間が必要である。

(3)電気伝導度の推定: 地表での磁場観測データから、マントルのグローバルおよびリージョナルな電気伝導度構造推定をおこなう。表層の海陸分布が電磁誘導に与える効果を明らかにするた

めには、展開次数 128 次以上の計算が必要である。また、コア-マンツルの電磁気的な結合による地球回転変動への影響を self-consistent に扱う。コア対流の計算で得られる磁場を入力として、マンツルの電気伝導度構造を考慮して地磁気ジャークなどの観測との比較をおこなう。

## 5. 研究計画に沿った利用状況

利用できる資源量を考慮して、大規模計算は(1)のコア対流をターゲットとして実施した。重点としたパラメータについて地球ダイナモの長時間積分をおこない、重要な結果を得ることができた。今後はケースを増やすとともに、さらなる高解像度化に取り組みたい。

## 6. 今年度得られた成果、および達成度

### <成果>

#### (1)コア対流

・コア-マンツル境界の上に 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-マンツ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-マンツ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  $3 \times 10^{-5}$  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は、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も重要である。

#### (2)マンツル対流

・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ツ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。

### <達成度>

(年度当初の研究計画を全て達成した場合を 100% / 複数の目標があった場合は、それぞれについて達成度を数値で記載)

- (1)コア対流 70%
- (2)マントル対流 60%
- (3)電気伝導度の推定 50%

## 7. 計算機資源の利用状況

### <計算機資源の利用状況>

(計画的に計算機資源を利用できているか、状況を記載)

期間の前半では比較的小規模な計算で数多くのパラメータスタディをおこない、後半では重要なパラメータにしぼった大規模計算をおこなった。12 月中に割当量をほぼ使い切ったが、おおむね計画通りの利用であった。

### <チューニングによる成果>

(ベクトル化、並列化チューニング等、計算機資源を有効利用するために行ったこととその効果を記載)

大規模計算で用いたプログラムは前年度までにほぼチューニングをすませている。

### <計画的に利用できていない場合、その理由>

特になし

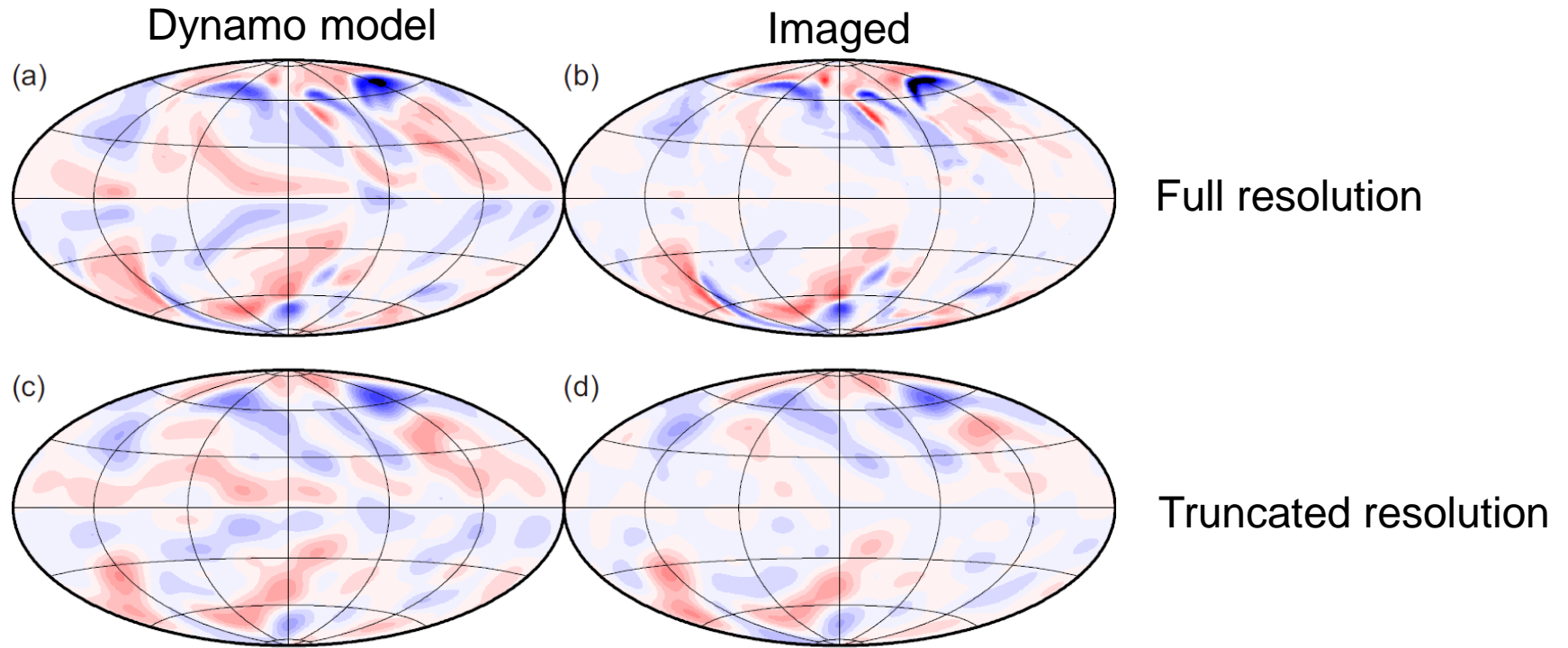
## 8. 新聞、雑誌での掲載記事

平成 26 年 9 月に放送された NHK スペシャル「巨大災害」の地震の回について、制作に協力するとともにマントル対流のシミュレーションの動画を提供した。

# 課題名：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

濱野洋三、海洋研究開発機構 地球深部ダイナミクス研究分野

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。



$$B_{T\phi} = -\frac{1}{r_o} \frac{\partial T}{\partial \theta}$$

-0.004   -0.002   0.000   0.002   0.004   Bphi

Takahashi (2014)