

論文審査の結果の要旨

氏名 大石 祐介

本論文は2部10章から構成される。1章は全体の導入部である。第1部（2章から5章）では、地球に近づけた物性パラメーターでの計算を実施するために、従来のダイナモシミュレーション手法に比べてより解像度が高く、高速の計算が可能な新しい計算方法を開発し、ダイナモシミュレーションを実施したことが述べられている。また第2部（6章から9章）では、コア内部の熱条件に着目し、地球内部で考えられるような内核表面の熱境界条件をパラメータとして、ダイナモシミュレーションを行い、生成される磁場の安定性と熱境界条件との関係を吟味している。

2章は第1部の導入部である。3章では今回開発された新方法（フーリエスペクトル法）の定式化と計算コードを作成し、地球シミュレータへの適用までがまとめられている。4章では開発されたコードを用いて実際にシミュレーションを行なったことが示されている。まずダイナモシミュレーションコードのチェックに標準的に用いられているベンチマークテストの計算を実施し、開発されたコードがダイナモシミュレーションを正しく行なっていることを示している。さらにもう一桁エクマン数を小さくしたモデルでダイナモ計算を行い、従来のスペクトル法と同様の結果が得られることを検証している。5章では開発された新手法に基づく計算と従来のスペクトル変換法との計算速度の比較を行い、解像度が256次を超える高解像度の計算を行う場合には、従来のスペクトル変換法に比べて開発された方法がより有利で計算速度が速くなることを示している。現在の地球シミュレータの能力では、本計算コードの能力を十分に発揮することは難しいが、より能力の高い計算機では本計算コードが有用で、より現実の地球に近づけた計算が可能であると結論している。

続く6章から9章が第2部である。第6章は第2部の導入部である。従来のダイナモシミュレーションの多くは流体層（外核）の上下の温度を固定した定常熱対流を駆動力とするダイナモモデルであり、マントルからの冷却を駆動源とする実際の地球とは異っている可能性がある。従来のダイナモモデルでは、内核表面と外核表面の境界の表面積の違いにより、内核表面での熱流量が大きくなり、内核境界近傍の運動が活発にする。一方、実際の地球ではマントルからの冷却が原動力となっているため、外核表層の運動が活発になる可能性が示唆される。このような考察から、本研究では内核表面の熱条件をパラメータと

して変えてダイナモ計算をおこなっている。また内核の存在の影響を調べる為に内核がない場合に付いてもダイナモシミュレーションを行なっている。地球の内核はコアの冷却のために地球進化過程のある時期に誕生して成長してきたと考えられており、内核のないダイナモモデルは、地球の初期の磁場の様子を推定するためにも重要である。7章ではこのダイナモモデルの定式化が述べられ、8章で実際にシミュレーションの結果が述べられる。計算のパラメータとしてはコアからマントルへの熱流量に比例するレーリー数(Ra)と、内核表面から外核への熱流量とマントルから逃げ出す熱流量の比(Q)を用いて、パラメータスタディーを行なっている。計算結果の解析からは、速度場や磁場の空間分布、運動エネルギーや磁気エネルギーの Ra 依存性が、 Q によって違ってくる様子が示されている。 Ra を一定とした場合、流体核内部での速度場及び磁場は Q によって違っているが、表層の速度場やコア外部の磁場は Q に依存しないこと等、地球磁場からコア内部の状態を知る上で、興味深い結果が得られている。次の9章では、重要な成果として、磁場の実空間及び波数空間での振る舞い、磁場の安定性等が Ra と Q によってどのように異ってくるかが示される。特に双極子が卓越した安定なダイナモ状態から、非双極子が大きく不安定なダイナモへの転移する Ra が、 Q によって変化することが示されたことは、地球磁場の変動の原因を考える上で重要である。最後に10章では第1部及び第2部の研究によって得られた知見が簡潔にまとめられている。

以上述べたように、本論文は、大規模なMHDダイナモシミュレーションを実施することによって、コアのダイナモ作用による磁場生成過程を解明するための、あたらしい知見を得ている。特にコア表面での熱境界条件が一定であっても、内核表面の熱境界条件によって双極子が卓越する磁場から不安定な磁場に移り変わることを見出したことは、コアダイナミクスを理解する上で重要な発見である。

なお、本論文第1部については、櫻庭中・浜野洋三との共同研究であるが、論文提出者が主体となって定式化及びシミュレーション計算を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の理由より、博士(理学)の学位を授与できると認める。