

論文審査の結果の要旨

氏名 小山崇夫

本論文は2部からなり、いずれも長さ数千キロメートルという長大な通信用海底ケーブルを用いた地電位差観測データをもとに行った、固体地球に関する電磁気学的研究の結果について述べたものである。

第1部は6章からなり、海底ケーブルで観測される電位差変動のうち、外核で発生した成分について、特にそのマントル最下部の不均質電気伝導度構造との関連に着目して述べたものである。第1章の研究の背景で述べられるように、地球磁場は外核のダイナモ作用によって発生しているが、その発生過程においてトロイダルモードの磁場（動径成分がないために、地表で観測することができない磁場）の役割が重要である事が理論的には知られている。このモードの磁場に対応する電流はマントルにしみ出しており、その地表における電場としての信号は微弱であるが長大なケーブルを用いれば観測可能である。この電場は、マントルの電気伝導度の不均質構造の影響を受けるが、特にその最下部（外核直上）は地震波速度構造の研究からも大きな不均質構造の存在が示唆されている。第2章では、その影響を詳しく調べるための問題設定が行われ、地磁気60年変動およびGeomagnetic Jerkと呼ばれる非常に短い時間スケールの地磁気変動が、外核のトロイダル磁場の変動がマントルの不均質構造によってマントルの磁場変動に変換された結果であるという仮説をたてた。そして、仮説に従った数値実験を行い、観測による検証の可能性を調べることにした。第3章で具体的に電磁誘導方程式を積分方程式法によって数値的に解く方法が示された。第4章では、数値実験の結果が示され、第5章でそれらについての詳しい議論がなされている。さらに第6章では、第1部の研究で得られた結論が述べられている。

第1部において得られた結果を要約すると以下ようになる。従来、地磁気数十年変動やGeomagnetic jerkと呼ばれる急激な地磁気変化には特徴的な空間パターンがあることが知られている。外核における磁場発生そのものに地域性があることはもちろんありうるが、本研究で考察したように、もともとの磁場変動には特別な空間分布がなくても下部マントル最下部の不均質な電気伝導度構造によってそのような空間分布が作られている可能性がある。本研究以前にも、構造の影響を考察した例はあるが、トロイダル磁場のモード変換の可能性を指摘したのは、本研究が初めてである。モデルの妥当性はトロイダル磁場の強さがわからない以上確定的ではないが、海底ケーブルによる電位差観測が可能になった現在、観測によって検証が可能となった。本研究は、それに加えて地球の自転変動の観測データとの直接比較による検証のプロセスも示した。

第2部は7章からなり、海底ケーブルで観測される電位差変動および地磁気観測点で

観測される地球磁場3成分変動のうち、地球外部（電離圏・磁気圏）に原因のある磁場変動によって誘導された成分に着目し、マントル深部の電気伝導度構造との関連について述べたものである。地球内部の電気伝導度に関する研究では、MT法に代表される地球を半無限空間として扱う場合でも観測データから直接3次元構造を求められたことはほとんど実例がない。第1章で研究の背景が述べられるように、地球を球体と扱ういわゆるグローバルインダクションの問題では、観測点が十分に全球をカバーしていないこともあって、1次元（球対称）モデルに基づく解析しか行われていない。しかも、1次元モデルですらモデル間のばらつきが大きく、地震学におけるPREMに相当する標準モデルがない。本研究は、特に海半球計画等で観測点の密度が飛躍的に向上した北太平洋を中心とする全球の4分の1の領域について、信頼できる1次元構造とそれからのずれとしての3次元不均質電気伝導度分布を、インバージョンで求めた点が特に新しい点である。第2章で、観測データから電気伝導度の情報を含む応答関数への変換の方法とその結果が述べられている。第3章では、海陸分布を考慮に入れた1次元電気伝導度インバージョンが行われる。構造を求める際に、地震学や室内実験の結果を参照して、400 kmと660 kmの深さでは急激な電気伝導度の変化を許すが、それ以外ではなめらかに変わるという拘束条件を与えた。第4章および第5章では、その結果得られた1次元構造を標準モデルとして、3次元構造を求める手順が詳しく述べられている。電磁誘導問題のフォワード解法は本研究の独創ではないが、これを逆問題に組み込んで実際の観測データに適用したのは世界初の結果である。第6章では、本研究で得られた1次元および3次元電気伝導度構造モデルについて、その地球科学的な考察が行われ、第7章で結論が述べられている。

本論文の第2部の重要な点は、このような解析を世界で初めて試みた点である。今後観測が充実することに伴って、構造モデルそのものは修正されることはあると予想されるが、本研究で行われたアプローチ（正確な1次元構造モデルの決定とそこからずれとしての3次元構造の推定）は、今後この研究分野における標準的な方法として扱われるものと考えられる。そうした意味で、エポックメアーキングな研究といえることができる。結果として得られた3次元電気伝導度構造のうち、例えばハワイの下のマントル遷移層には周囲よりも有意に電気伝導度が高い領域があり、これは地震波トモグラフィーによる速度構造とも対応して同様の傾向（高温領域）を示している。このことから、将来さらに充実した観測データをもとにした電気伝導度構造の研究により、地球深部の状態およびダイナミクスを理解する上で、地震学的手法とは独立な情報をもたらされることが期待される。本研究は、その出発点となる。

なお、本論文の第1部は、清水久芳および歌田久司との共同研究であるが、論文提出者が主体となって数値計算などを行なったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断される。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。