

氏名	よしむらりょうけい 吉村令慧
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2462号
学位授与の日付	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Global-scale electromagnetic induction: a new three-dimensional forward simulator using an edge-based finite element method. (辺要素有限要素法を用いたグローバルスケール電磁誘導シミュレータ)
論文調査委員	(主査) 教授 大志万直人 教授 家森俊彦 教授 町田 忍

論文内容の要旨

電気伝導度分布は、地球内部の物性や状態を理解する上で重要なパラメータの一つである。近年、地球規模の電気伝導度分布を三次元的に求めることをめざし、外部磁場変動に対する地球規模の電磁誘導の応答を計算するための三次元グローバル電磁誘導シミュレータの開発が精力的に進められてきた。しかしながら、より現実的な地球規模電気伝導度分布モデルを構築するためには、これまで提案されてきたシミュレータでは、それぞれ一長一短があり充分とは言えなかった。さらに、三次元問題を扱う数値シミュレータの開発において直面する問題は、得られる解の信頼性の評価が困難であるという点である。この評価を充分に行うためには、独立した数値シミュレータで得られた解の相互比較に頼らざるをえない面がある。

このような背景のもと、申請者は、他の開発研究の流れとはまったく独立に、「辺要素有限要素法」を数値解法として採用した地球規模電磁誘導シミュレータを開発した。申請者が開発した地球規模電磁誘導シミュレータには、以下に述べるように2つの特徴がある。

申請者が解法の定式化に用いた有限要素法は、電磁誘導問題を解く際、磁気ベクトルポテンシャルが媒質境界で満たすべき境界条件を厳密に満たす辺要素を用いたもので、これまでのシミュレータに用いられていた節点要素にもとづく有限要素法より精度の良い解を得ることが期待できる。さらに申請者は、対象領域の離散化、つまり、要素生成が、得られる解の精度に大きく影響を与えるであろう点に着目して、地球内部およびその周辺領域を、電磁誘導現象の表皮効果を表現するのに最適な密度で、かつ形状が良質な四面体要素群に、容易に分割できるアルゴリズムを提案した。具体的には、地球内部領域では地表面近傍で密でかつ地球中心に向かうにつれて疎な分布となるように、地球中心に置いた正20面体を基に、正20面体表面の正三角形の頂点と重心点を次々に上の層に対し射影してゆくというものである。また、地球表面から外部境界に向かう領域内では、このアルゴリズムを逆に用い要素数密度を減らしメモリ効率を上げる手法も用意している。

申請者は、クロスチェック用にこれまで提案されている二種類の電気伝導度構造モデル、つまり軸対称球構造をもつモデルと非軸対称球構造をもつモデルに対して、軸方向に平行で一様な外部磁場変動をソースとする地球表面での電磁誘導場を計算し、他のシミュレータですでに得られていた数値解と比較検討し、申請者の開発した電磁誘導シミュレータの評価を行った。

論文審査の結果の要旨

地球科学的な各種の地球内部構造に関する研究から、内部構造の三次元性が明らかになりつつあるが、地球規模の電気伝導度分布の三次元的構造はまだ明らかにされていない。その理由として、観測点の地球規模での空間分布が不十分であったり、長期間にわたる良質の観測データの得られている地域が限られていたという観測面の問題と、地球規模三次元構造解析のための数値解析手法がまだ十分に確立されていなかったという点があげられる。近年、前者については、各種の観測研究プロジェクトにより観測点分布の空白域解消が進んでいることなどにより問題が解消されつつある。一方、後者の数値解析

手法の確立に関しては、90年代中ごろから任意の三次元電気伝導度構造に対しての電磁誘導レスポンス計算を目的にした、地球規模電磁誘導シミュレータの開発研究が報告されるようになってきている。しかし、それらのシミュレータには、それぞれ一長一短があり、また、得られた解の相互評価が不十分であり、その研究はまだ発展途上であるといわざるを得ない状況であった。

申請者は、このような背景を踏まえ、これまでのシミュレータとは独立に、辺要素有限要素法という、過去のシミュレータでは採用されていない数値解法を用い地球規模電磁誘導シミュレータの開発を行った。このシミュレータの開発に際し、申請者は、数値計算において、その解の精度に著しく影響を与える離散化モデルの構築法、つまり、解析領域の要素分割法に独自のアルゴリズムを導入し、新しいメッシュジェネレータを構築している。このアルゴリズムは、電磁誘導問題の性質・現実の構造を考慮して地表付近で密な分割が可能になるような、球状解析領域の四面体要素分割法である。そして、申請者の開発したメッシュジェネレータにより生成される四面体要素の形状は、同様に電磁誘導問題のシミュレーションを視野に入れてすでに開発・報告されたメッシュジェネレータより良質な要素を構成することができることが確認された。

申請者は、クロスチェック用に提案されている二つの電気伝導度構造モデルを用い、軸方向に平行で一様な外部磁場変動をソースとする地球表面での電磁誘導場を計算し、他のシミュレータですでに得られていた数値解と同等以上の精度の解を得ることができることを確認するとともに、これらの計算を通して、地球内部での領域離散化において注意すべき点をも考察している。一つ目のモデルは、軸対称球構造をもつモデルである。これにより、過去に報告されている節点要素有限要素法を数値解法としたシミュレータによる解との比較を行っているが、上述の辺要素有限要素法の電磁誘導問題に対する適性を示していると思われる良好な結果が得られている。二つ目のモデルは、非軸対称球構造をもつモデルである。このモデルでは、最初のテストモデルでは評価できなかつた、電気伝導度の大きく異なる境界を横切って誘導電流が流れる時にその境界に電荷が溜まる効果の影響をチェックできる。このモデルに関してもこれまでに報告されているシミュレータで得られた解と同等かそれ以上の解が得られることが示された。このテスト計算を通じて申請者は、任意の電気伝導度分布に対して適応できるシミュレータとしてはもっとも良好なシミュレータであることを示した。

以上、本申請論文は、地球内部電気伝導度分布に関する研究領域の進展に大きな貢献をしたと認められるとともに、今後とも、本論文の成果を基にした研究成果が多く出るものと予想されることから、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認めた。なお、主論文に報告されている研究内容と、これに関連する分野についての口頭試験を行った結果、合格と認めた。