

## 論文内容の要旨

### 論文題目

### 海底ケーブル電位差観測による マントル電気伝導度に関する研究

氏名 小山 崇夫

太平洋域において、通信用途を終えた海底ケーブルを用いて地球物理観測がおこなわれている。本研究は、海底ケーブルの電位差測定を行なうことで、地球内部の構造・ダイナミクスを理解することを目的とした。本論文は2部で構成される。

第一部では、数年～数十年のタイムスケールの地球内部起源の電磁場変動がマントル内不均質構造により散乱される効果が地表の磁場測定によって検出されている可能性について議論をおこなった。磁場はトロイダルとポロイダルの2モードに分離できるが、従来の研究ではポロイダル磁場の散乱効果のみ議論され、その効果は地表で観測できるほどの影響はないとされていた。一方、トロイダル磁場は地表に現れないため観測できないことから議論されることはなかったが、マントル内に電気伝導度の不均質構造が存在する場合、その不均質領域の散乱効果によりトロイダル磁場からポロイダル磁場に変換した成分が地表で観測される可能性はある。本論文ではマントル内で特に不均質性が大きいと考えられている  $D''$  layer の不均質構造によりコア内を起源とする電磁場変動が受ける散乱効果を3次元計算により数値実験した。その結果、地磁気60年変動の特徴的な空間パターンが、コア起源のポロイダル磁場が直接地表に現れていることでも説明はできるが、本研究で着目したコア起源のトロイダル磁場が  $D''$  layer 内の不均質構造により変換したポロイダル磁場によって作られている可能性もあることがわかった。また、1年程度の時間スケールの変動と考えら

れている地磁気ジャーク現象の特徴的な空間パターンについてもこの効果が地表で観測されている可能性があることを示した。実際に地表で観測されているポロイダル磁場が、コア内のトロイダル磁場起源の成分かポロイダル磁場起源の成分かを区別することは、磁場の観測からでは行なうことはできない。両者を分離するには、他の物理量が必要であるが、特に海底ケーブルなどを用いて電場の観測をおこない、地表での電磁場変動を調べるのが有効であることを指摘した。

第二部では、海底ケーブルの電位差データと陸上の地磁気観測点での地磁気データを用いて、太平洋下の電気伝導度構造の推定を行なった。解析には8本の海底ケーブルの電位差データと16点の磁場観測点での磁場データを用いた。解析法は電場と磁場両方のデータを用いておこなうMT法と、磁場3成分を用いておこなうGDS法の2つの方法を用いた。電場観測データと磁場観測データの両方を使って行なわれる電磁探査法であるMT法は、ローカルスケールの地下構造を調べることに使われるため、通常、地球を半無限媒質、また外部起源の電磁場ソースフィールドを平面波として扱う。しかし、数千kmの空間スケールを持つ海底ケーブルを扱う場合、地球の球形状、および外部ソースフィールドのグローバルな分布を考慮に入れて解析を行なう必要がある。これまでも海底ケーブルを用いたMT法の研究はいくつかなされてきたが、いずれもローカルスタディーで使われる半無限大地と平面波ソースで解析が行なわれているため、誤った構造を求めている可能性がある。また、GDS法もグローバル構造の解析手法であるので、やはり解析を進めるには、グローバルな構造を考慮しなければならない。そこで、本研究では、まず複数の磁場観測点での磁場水平成分から、磁場のグローバル分布の推定を行なった。その結果、1日周期以上の周期帯では外部磁場ソースは $P_1^0$ 分布と近似できることがわかった。

この結果を用いて、地下の電気伝導度構造を解析する。解析手順として、まず、すべてのデータを平均的に満足するような太平洋下の1次元鉛直構造を求め、続いて、その1次元構造からのズレとして3次元不均質構造を求めることにする。電気伝導度の1次元構造解析は比較的容易であるため、ローカルおよびグローバルスタディーにおいて、これまでも盛んに行なわれている。ただし、地表付近にある微細な不均質構造により電場が歪む効果が電場データに含まれるため、この影響を考慮せずに地表で得られた電磁場データを用いて解析を行なうと、全く異なった構造を誤って求めてしまうことが、「ガルバニックディストーション」としてローカルスタディーにおいてはよく知られている。特に本研究は太平洋という海洋地域を解析対象とするので、3 S/mと高伝導体である海水と0.001 S/m程度である固体地球との不均質により電場が大きく歪むので、この「海陸

不均質」によるガルバニックディストーションの影響が考慮されなければならない。従来までの研究では「海陸不均質」の影響を扱うものの、第一次的近似としての取り扱いしかなされていなかった。そこで本研究では、「海陸不均質」を適切に考慮した解析法を新たに開発した。さらに、MT法、GDS法などの電磁探査法は電磁誘導を利用した方法だが、電磁誘導が拡散方程式に従うため、地下での電磁場の急激な変化は、地表には鈍って伝わる。そのため、電磁探査法は、地下の不均質境界を検出することは原理的に困難であるという、根本的な欠点がある。本研究ではこの欠点を補うため、地震学、高圧実験の結果を利用し、深さ400 km、650 kmの2箇所には電気伝導度の急激な変化が存在するという先験情報を加えて、太平洋下の平均的な1次元鉛直構造の推定を行なった。その結果、深さ400 kmではおよそ1.5桁、650 kmではおよそ3倍、電気伝導度が上昇することがわかった。この構造を、高圧実験による岩石の電気伝導度測定の研究結果と比較したところ、マントル主成分と考えられている $Mg_{1.8}Fe_{0.2}SiO_4$ を扱ったXu et al. [1998]の測定結果に非常に近いことがわかった。その一方で、この1次元構造からは系統的にずれているデータを示す観測点があり、その原因として電気伝導度構造の3次元性を考える必要がある。

電気伝導度はオーダーで変化する物理量であるため、電磁誘導方程式の3次元計算を行なうときはその計算の条件数が悪くなり、3次元解析は非常に困難になる。これまでも3次元解析はほとんどなされておらず、本研究のようなグローバル解析に限れば、これまでにわずか2例しかない。そこで、本研究では新たにグローバル3次元電磁誘導の逆問題解析手法を開発した。計算量を極力抑えることを考え、グリッドサーチのようなglobal minimization methodではなく、初期モデルから出発して求める逐次近似法を採用した。その中でも特に、計算量が少なくすむ最急降下法とBFGS更新公式による準ニュートン法を採用したインバージョンアルゴリズムを開発した。

この手法をデータに適用し、初期モデルである平均的な1次元構造からのズレに着目し、3次元不均質構造の推定を行なった。その結果、ハワイ下の遷移層が1次元構造に比べて3倍高伝導、マリアナ下の400 km付近が3倍高伝導、フィリピン下の遷移層・下部マントルが0.5倍低伝導であることがわかった。これを地震波トモグラフィーの研究により得られている地震波速度構造モデルと比較すると、ハワイ下は低速度異常、フィリピン下は高速度異常があることがわかった。この影響をたとえば温度とみなすと、高温度異常では、電気伝導度は上昇し、地震波速度は減少するので、電気伝導度モデルと地震波速度モデルは矛盾を生じない。また、液体の存在下でも、電気伝導度は上昇し、地震波速度は減少する。このよう

に組成の違いでも電気伝導度の不均質構造を説明できる可能性があるが、どのような組成であるかは未知であり、その効果を見積もることができないので、本研究では簡単のため電気伝導度不均質が温度異常によるものと考えて、電気伝導度異常を温度異常に変換することで定量的な評価を行った。その結果、ハワイ下は350度の高温異常、フィリピン下は250度の低温異常と見積もられた。この値はS波の速度異常から見積もられる温度異常に近い数値であることがわかった。その一方でマリアナ下は350度の高温異常と見積もられるが、これは電気伝導度構造からのみ検出された。