

学 位 論 文 題 名

A Theoretical Study on Seismomagnetic Effect Considering the Inhomogeneously Magnetized Earth's Crust.

(地殻の磁化不均質を考慮した地震地磁気効果の理論的研究)

学位論文内容の要旨

地震活動に伴い地球磁場が変化する現象(地震地磁気効果)は比較的古くから知られており、これまでもいくつかの観測例が報告されている。この現象の原因のひとつに、ピエゾ磁気効果(磁歪の逆効果)が考えられている。

一般に磁性を持つ物質は、外部応力を加えられる事によりその磁化を変化させる性質を持っており、これをピエゾ磁気効果と呼んでいる。この現象が、強磁性鉱物を含む岩石に於いても観られる事が岩石実験により明らかにされている。この事から、地震活動で地殻中に生じる応力変化により、地殻中の帯磁した岩石の磁化率に変化が生じ、これが磁場変化をもたらすというプロセスが考えられている。岩石実験の結果からは磁化変化と応力変化との間の線形的な関係が認められ、その経験式が提示されている。これを構成式として、地震地磁気効果による磁場変化を数值的、又は解析的に見積もる試みがなされて来た。

解析的なアプローチでは初等関数で簡便に表わされた磁場変化の解析解を得るために、一様帯磁した地殻モデル(地表から地温がキュリー点を越える深さまで一様帯磁していると仮定したモデル)が用いられた。その結果、これまでに垂直な strike-slip 及び tensile-opening 型という限られたタイプの断層運動による磁場変化の解析解のみが得られていた。また、数值的なアプローチでは断層端面における応力の特異性を回避する為、又計算量の軽減の為2次元の断層、地殻モデルでの計算が主であった。

本研究では、こうしたこれまでの研究での断層、地殻モデルの制約を除き、より現実的な磁場変化の計算を可能にするため以下の研究を行った。

1. 一様磁化モデルを用い、任意の傾きを持った全てのタイプの断層による磁場変化を与える解析解を求めた。
2. 1. に於いて断層パラメータが磁場変化に与える影響を明らかにした上で不均質磁化モデルでの磁場変化の解を求めた。

本論文では、その研究成果を以下の6つの章で述べた。

第1章の序章では、これまでの地震地磁気効果の研究の成果について述べ、同時に本研究の位置付けを示した。

第2章では、基本となる地震地磁気効果の定式化について説明した。特に、解析解を求める際の基本となる、ピエゾ磁気ポテンシャルの表現定理の導出過程について解説した。

第3章では、一様磁化モデルを用い、任意の傾きを持った有限断層による磁場変化の解析解を求めた。その解を用い、北半球の中緯度域で地震が生じた場合に期待される磁場変化を、断層運動のタイプ及び断層の傾きを変えながら計算した。その結果、磁場変化の振幅は断層の傾きに依存するがその変化の仕方は以下のように断層のタイプによって変わる事が明らかになった: (1) 磁場変化の振幅は strike-slip 及び tensile-opening 型の断層では、傾きが垂直の場合振幅が最大。(2) dip-slip では傾きが 45 度付近で最大。

この章で得られた解の具体的な形を Appendix A 及び B として示し、さらに磁場変化の計算を行う FORTRAN プログラムを開発してそのソースコードを Appendix C として示した。

第4章では、磁化不均質モデルで磁場変化を求めるための解を求めた。磁場変化を与える式は、帯磁領域の表面についての表面積分の形で定式化されるが、その被積分項の形からこの2重の積分の一方を、楕円積分を用いて解析的に解くことが出来る事を示した。また、具体的に求められた解を Appendix D として示した。

こうして磁化不均質モデルでの磁場変化は単なる一次の積分で表され、これを数値的に解く事で磁場変化を求める事が出来る。その計算例を第5章に示した。この章ではまず、不均質磁化モデルとして、キューブ状の領域を考え、その内部と外部で磁化率が異なっている場合を想定した。ここで、微小なキューブを足し合わせる事により任意の地殻の磁化構造を考慮した磁場変化の計算をする事が可能になる。このモデルで、有限断層による磁場変化を計算した結果、一様磁化モデルに比べキューブの端面付近で磁場変化の振幅が増幅された。その増幅率は断層モデル、キューブと断層面の位置関係により異なるが、最大で約100倍にも上った。これは、キューブの境界での磁化率の違いを反映し、境界面の表裏で生じる磁化変化が異なるためである。

またこの章では、計算の一例として発生が予想される東海地震により期待される地磁気変化を求め、その結果を示した。ここで、一様磁化を仮定した場合と、震源域近傍の磁化構造の不均質性を考慮した場合の結果とを比較した所、磁場変化の様相が大きく異なる事が示された。この様な計算には、来るべき地震に備えた観測点配置に対する情報等が求められるが、この計算結果からその様な要請に答え得る為にはより現実的な磁化構造を考慮しなければならない事が示された。

最後に第6章に於いて、全体の研究成果を総括してまとめた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 西 田 泰 典

副 査 教 授 小 山 順 二

副 査 助 教 授 笹 谷 努

副 査 助 教 授 笹 井 洋 一

学 位 論 文 題 名

A Theoretical Study on Seismomagnetic Effect Considering the Inhomogeneously Magnetized Earth's Crust.

(地殻の磁化不均質を考慮した地震地磁気効果の理論的研究)

強磁性体物理学や岩石磁気学を基礎として、岩石に応力が加わるとその磁化が変化することが知られている。そのような圧磁気効果にもとづいて、地震や地殻応力の蓄積に伴って地磁気が変化する現象を地震地磁気効果と呼ぶ。このような現象は、近年の地磁気観測の精密化にともなって野外観測の上からも確立されてきた。しかしながら、その観測量を定量的に解釈するには、まだモデル計算手法の進歩が必要な段階にある。解析的手法では、一様磁化した半無限弾性体において、垂直断層運動に伴う地磁気変化の場合のみ解が得られている。一方、不均質磁化媒質にたいしては数値解法的アプローチが試みられているが、現実のフィールドに適応するにはあまりにも計算時間がかかりすぎる。そのため現状では、きわめて限られた例についての計算がある程度である。

本学位申請者は解析的手法を発展させて、上に述べた限界を克服することを試みた。まず申請者は、一様磁化した半無限弾性体において、一般的な地震に適用できるように、任意の走向・傾斜および任意の発震機構 (strike-slip 型, tensile-opening 型, dip slip 型) をもつ断層運動に伴う地磁気変化の解析解を求めた。またその解析解をもとに、地表で観測されるであろう磁場の、断層の深さ、走向、および傾斜依存性を調べた。全ての場合について、断層の端部付近で大きい振幅の磁場変化が現れると同時に、断層が浅くなるほど磁場変化が大きくなる。また走向の変化に伴って磁場の変化パターンは大きく異なるが、最大振幅はほとんど変わらない。さらに strike-slip 型および tensile opening 型の断層運動においては断層の傾斜角が 90° (垂直) で最大の振幅が観測されるが、dip-slip 型においては 45° で最大振幅が観測される、などのことが明らかにされた。

地震地磁気効果にたいする断層の走向・傾斜や発震機構依存性の一般化に

成功したのを受けて、申請者は次に媒質を一様磁化から不均質磁化に拡張することを試みた。地殻を細かい領域に分け、各領域内では磁化が均質であるが、領域毎には異なると考えることにより地殻の磁化不均質性を近似している。各々の領域にたいする地震地磁気効果を計算し、それらをたしあわせることにより全体の地磁気変化が求められることになる。本研究では、1つの領域を均質磁化した立方体と考え、その地震地磁気変化の解析的解法を開発している。一般に、均質磁化した物体の圧磁気ポテンシャルは、変位と歪みを含む関数を物体表面について積分することにより表現される。半無限媒質のように積分区間が無限大の場合には、初等関数で表される解析解が得られる。しかしながら立方体のような有限区間の表面積分の場合には解析解がない。しかし申請者は、表面積分の内、一方の座標に関する積分は、楕円関数を用いて解析的に表現できることを見いだした。その結果、残りの一次積分のみを数値的に行えば良いことになる。

均質磁化した媒質中に、異なる磁化を持つ立方体が埋め込まれた場合についての計算例では、断層近傍の他に、立方体の端部にも磁場の振幅の著しい増大が見られた。このことは、断層から離れた場所においても地殻の磁化が異なる境界付近で地磁気観測を行うことにより、有効な地震地磁気効果の検出が可能であることを示しており、地殻活動のモニターを行う立場にとっても極めて意義のある結果となっている。

以上のように、地震地磁気効果のモデル計算の手法を、一般的な断層運動や不均質磁化地殻の場合に解析的に拡張した申請者の研究は、地殻活動の場を推定する重要な手がかりを与えるとともに、地球磁気学的手法による地震予知研究にも資するところ大である。

よって申請者は北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。