

## 地震波伝搬に伴う動的なピエゾ磁気効果の定式化

### Formulation of the Piezomagnetic effect considering the seismic wave propagation

宇津木 充<sup>1\*</sup>

Mitsuru Utsugi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>京都大学火山研究センター

<sup>1</sup>Aso Vol. Lab., Kyoto Univ.

従来、Sasai(1991)などの研究により、地震などの地殻活動に伴う地磁気変化を、帯磁した地殻構成岩石のピエゾ磁気効果で説明しようとする理論・観測研究がなされてきた。これらの研究で対象とされたのは、地殻活動後(十分な時間がたった後)に生じた永久変位による応力場変化であり、時間項を含まないスタティックなものとなる。しかし、2008年6月に起きた岩手宮城内陸地震においては、大久保他(2009)により地震波動到達に先行する磁場変化が観測され、地震による断層破壊の進行・地震波の伝播に伴うと見られる磁場変化が観測された。これを定量的に見積もることを目的に、本研究では従来のスタティックなピエゾ磁気効果理論を、変位・応力が時間発展する場合に応用し、動的なピエゾ磁気効果を定式化した。

一般に、ある体積をもつ磁性体による磁気ポテンシャルは、クーロンの法則により磁性体中の磁気モーメントが作る磁場を、磁性体全体について体積積分することで得られるが、ピエゾ磁気ポテンシャル(ピエゾ磁気効果による磁場変化の磁気ポテンシャル)も、応力変化に伴い生じた地殻岩石の磁化変化を体積積分することで得られる。静的なピエゾ磁気ポテンシャルの場合、この体積積分に地殻応力についての平衡方程式を連立させ、Greenの定理を用い積分の次数を下げ、帯磁領域表面についての表面積分の形で定式化される(ピエゾ磁気ポテンシャルの表現定理)。しかし地震波動伝播に伴う応力変化を考えた場合、平衡方程式に当たるものは運動方程式となり加速度項が現れるので、静的な場合とまったく同じ扱いは出来ない。そこで、ヘルムホルツ定理に従い、波動方程式を満たす変位の解をスカラー、ベクトルポテンシャルに分解する事を考える。こうする事により、スカラーポテンシャルとベクトルポテンシャルそれぞれについてのピエゾ磁気ポテンシャルの表現定理が得られる。これにより動的なピエゾ磁気効果は、スカラー、ベクトルポテンシャルを用いた表現定理と、(スカラー、ベクトルポテンシャルの具体的な解を得るための)運動方程式を連立した形で表現される。なお、本研究では、電気伝導度を持った媒質中で生じる2次誘導の効果は無視している。ここで、運動方程式(波動方程式)の解であるスカラー、ベクトルポテンシャルとして、Aki and Richards(2002)のStokes解を用いピエゾ磁気効果による磁場変化を見積もった。また、地震の場合ピエゾ磁気効果は断層面(の極近傍)が重要な磁場変化源となる事が知られているが、動的な場合でも同様である。この寄与の見積もりについては、Sasai(1991)やOkubo(1990)の方法を踏襲して計算を行った。

まずは期待される磁場変化がどのような傾向を持つかを概観するため、一様帯磁した無限媒質中にダブルカップル型の点震源を置いた場合の計算を行った。この結果、震源のモーメント関数(震源で地震モーメントがどのように開放されるかを表す関数)について、時間的に連続且つ一次微分も連続とする時間的に滑らかな分布を与えた最も単純な場合、P,Sの実体波については地震球面波の外側に磁場を作らず、断層面で進行する断層破壊と永久変位に対応するNear-Field波のみが磁場を作る事が明らかになった。本発表ではこれらについての詳細を報告する。

キーワード:ピエゾ磁気効果,地震地磁気効果,地磁気

Keywords: piezomagnetic effect, seismomagnetic effect, geomagnetic field