

GAIA Sq ソースモデルによるグローバル電磁誘導計算とマントル電気伝導度構造推定への応用

小山 崇夫 [1]; 村田 友香 [2]; 藤田 茂 [3]; 藤井 郁子 [4]; 馬場 聖至 [5]; 三好 勉信 [6]; 藤原 均 [7]; 陣 英克 [8]; 品川 裕之 [8]
[1] 東大・地震研; [2] 気象庁; [3] 気象大; [4] 気象大; [5] 東大・地震研; [6] 九大・理・地球惑星; [7] 成蹊大・理工; [8] 情報通信研究機構

Global induction modeling by the GAIA Sq model and its application to estimation of the electrical conductivity in the mantle

Takao Koyama[1]; Yuka Murata[2]; Shigeru Fujita[3]; Ikuko Fujii[4]; Kiyoshi Baba[5]; Yasunobu Miyoshi[6]; Hitoshi Fujiwara[7]; Hidekatsu Jin[8]; Hiroyuki Shinagawa[8]

[1] ERI, University of Tokyo; [2] Japan Meteorological Agency; [3] Meteorological College; [4] Meteorological College; [5] ERI, Univ. of Tokyo; [6] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [7] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [8] NICT

The electromagnetic sounding has been widely used to reveal the electrical conductivity structure in the Earth. For shorter periods than 10000 sec, a plain wave approximation of the EM field may be valid and generally used in magnetotelluric method to elucidate the structure of subsurface, crust and uppermost mantle. For longer periods than several days, a simple P10 distribution approximates well the EM variations in global scale and can reveal the structure in a lower part of the mantle transition zone and lower mantle. In order to unveil the whole mantle structure, intermediate bands are inevitable. The geomagnetic field in this band such as Sq field, however, is known to have complicated distributions and careful consideration of a spatial distribution of the EM variation must be required. On the other hand, geomagnetic observatories are sparsely and unevenly distributed on the ground, and thus it is difficult to detect a realistic Sq field distribution from only the on-land geomagnetic observatory data.

In our paper, instead of conventional ways, we use the GAIA (Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) model to represent a realistic Sq field (e.g. Jin et al. 2011, Miyoshi et al. 2011). The GAIA model is a whole atmosphere model from the surface to the exobase including the ion and electron dynamics and the dynamo process in the ionosphere. It is noted that the GAIA model employed for the Sq calculation assimilates the meteorological reanalysis data (JRA-55) to the whole atmosphere-ionosphere coupled model. Therefore, it provides us 3-D grid point values of the realistic electrical current in ionosphere.

By using the Sq model derived from the GAIA and a supposed conductivity model in the Earth, the effect of the global induction is evaluated to compare the geomagnetic field data on the ground. We choose some quiet days in each season from time series of the GAIA model and performed numerical induction modeling in a frequency domain by using the 3-D CIE numerical code (Koyama et al. 2014). The conductivity structure in the Earth is supposed to be a layered structure with a horizontally heterogeneous structure of ocean-land contrast on the top.

As the results, we found that the vertical magnetic component is reduced by about 50% and the horizontal magnetic components are enhanced by 30%. We also found that some phase delays occur due to highly conductive ocean, and they sometimes explain the observed geomagnetic data better. We should note, however, that the focus of the Sq field is mislocated and thus discrepancy of north-south component between observed and numerical data is large. Then we conducted synthetic test of 3-D inversion of the electrical conductivity in the Earth by using Sq model and concluded that it is very sensitive to the mantle structure in 200-400 km depth.

In our presentation, we show the forward results of the induction modeling due to the GAIA Sq source and compare the observed and numerical data. Also we will show a potential to use the GAIA model as the Sq source field to elucidate the electrical conductivity in the Earth's mantle.

従来地下の電気伝導度構造を推定する際に、外部電磁場ソースは 10,000 秒よりも短周期側を使用する場合は平面波でよく近似でき、また、数日よりも長周期側では地磁気座標系における P10 のダイポールソース、つまり地磁気軸方向を向く一様な磁場でよく近似できることが知られており、これら非常にシンプルなソース形状の仮定のもとでも電磁誘導度構造解析に使用されている。

一方で、およそ 10,000 秒から 100,000 秒の帯域は電離層起源の Sq 場が存在することが知られている。Sq 場の空間波長を仮に平面波として近似してしまうと磁場データは有意にずれるため、特に Sq 場が卓越する場合の地磁気静穏日データを解析する際には、Sq 場の空間分布を適切に考慮した解析方法が求められる (e.g. Shimizu et al. 2011)。Sq 場の空間分布を知るためには、多点での観測が必要であるが、陸上の定常磁場観測点は世界でも 100ヶ所程度と数が少なく、また、分布も陸域に、かつ、陸域でも特定の地域に偏っており、既存の陸上データのみから適切な Sq 場の分布を知ることは困難である。

そこで、本研究では Sq 場を磁場の観測データから求めるのではなく、まったく別の物理・化学を基にした「GAIA モデル」を利用することとした (e.g. Jin et al. 2011, Miyoshi et al. 2011)。GAIA モデルは下層大気から超高層大気までの大気圏モデルおよび電離圏モデルのカップリングを考慮し、電磁流体力学や光化学反応系などを満たすように統合解析されており、表層での気象データ (JRA-55 再解析データ) の同化もなされているモデルである。この GAIA モデルによる電

離層電流系が作る磁場分布 (村田 2017) を外部ソースとして用いて、地下の電気伝導度構造による電磁誘導の効果を計算し、実際に地磁気観測点で測定された磁場値との比較をおこなった。

最初のテストとして、地下の構造としては単純な水平成層構造に加え、最上部表層にのみ海陸および堆積層等による水平不均質があるという電気伝導度モデルを用いた。電磁誘導の計算には CIE 法 (e.g. Singer et al. 1995, Pankratov et al. 1995) によるグローバル 3 次元計算コード (Koyama et al. 2014) を使用した。Sq 場は太陽との位置関係からその分布に年周変動があるため、ここでは、夏・秋 (分)・冬の 3 期の静穏日について計算し、データとの比較をおこなった。

おおまかな傾向として、外部ソースの磁場と地下構造による誘導を加味した磁場とでは、鉛直成分がおよそ 1/2 に減少し、水平成分はおよそ 1/3 増加することがわかり、データとの一致も比較的によいことがわかった。また、表層不均質の影響により、特に海の影響による位相の遅延をよく説明できることも示された。特に海と陸の境界でのイレギュラーな時間変化が顕著であり、日本のような海と大陸の境界付近の磁場観測値を使う場合はこの点に注意が必要であることが示唆される。磁場データとの比較で悪かった点としては、Sq 場の極大点、いわゆる「目玉」、の緯度が現実とモデルとはずれがあり、特に磁場の南北成分での Sq 場極大点付近における不一致が顕著に見てとれる。そのため、季節によってデータとの一致・不一致の度合いが変わるので、今後構造解析に用いる場合は適切な地点・時期を選択する必要がある。

また本研究では、Sq 場を用いた電気伝導度構造インバージョンコードを開発しており、それを使って GAIA モデルを入力とした構造解析を試みる。テストモデルによる感度計算では深さ 200km-400km に感度が高く、スラブ・マントルダイナミクスに重要な上部マントル下部から遷移層にかけての構造を明らかにすることができる。

本発表では、GAIA モデルを外部入力した場合の電磁誘導の効果および実際の磁場データとの比較と、それを利用した地下電気伝導度構造推定の可能性について発表・議論する。