

環電流型磁場変動による薄層球殻モデルの電磁誘導計算

大志万 直人 [1]
[1] 京大・防災研

Electromagnetic Induction in a Conducting Spherical Thin Shell in which the Electrical Conductivity is Distributed Non-uniformly

Naoto Oshiman[1]
[1] DPRI, Kyoto Univ.

EM induction studies on thin sheet approximation of conductor have been made since Price(1949). Recently, most of all thin-sheet numerical modeling with finite electrical conductivities for global electromagnetic induction are based on methods of quasi-analytical solutions after representing the EM fields in terms of toroidal and poloidal potential. Kuvshinov and Pankratov(1994), Koyama and Utada(1998), Kuvshinov et al.(1999), and Sun and Egbert(2012) have developed numerical solvers for global EM induction including a surface thin sheet shell structure.

On the other hand, since the mid-1990s, several simulators for global EM induction in a 3D sphere have been developed on the basis of the finite difference method (FDM) or the finite element method (FEM or the edge-based FEM) for solving the EM differential equation (e.g. Everett and Schultz, 1996; Maritinec, 1999; Uyeshima and Schultz, 2000; Yoshimura and Oshiman, 2002). However, in those simulators, a thin sheet approximation, which is very useful for modeling ocean distribution on the Earth's surface, is not well implemented.

Based on Price(1949)'s theory, Rikitake(1992) proposed numerical methods to solve EM induction problems of axially symmetrical cases of finite electrical conductivity distribution in a spherical thin shell, such as a spherical shell having a hole, including the potential value at the origin of the spherical coordinates. In the method, since the inside of the shell is empty, coupling induction effects between the shell and conductive layers beneath the shell cannot be evaluated. However, thin shell models in which the electrical conductivity distribution represents land-ocean distribution of the earth are very useful to study global induction phenomena in the Earth's ocean.

In 2017 SGEPS fall meeting, I presented the method of full 3D induction modeling of thin sheet spherical shell, namely cases of non-axial and non-uniform distribution of the electrical conductivity of the thin sheet shell, based on the method for solving axial symmetrical problems proposed by Rikitake(1992). The calculation code is further extended to a case of a ring current type source of inducing magnetic field. In this presentation, several calculated results obtained from spherical thin sheet models having the land-ocean distribution under the inducing magnetic field of the ring current source type will be shown in comparison with model calculation results under the uniform inducing field case.

薄層の電磁誘導問題についての理論的研究は、Price(1949)の成果にそのルーツをさかのぼることができる。近年、グローバルな薄層球殻を構造に含む電磁誘導問題の解法としては、求める場をトロイダル成分とポロイダル成分に分離したうえで、積分方程式を基にして解くというような手法が主として活用されてきた。例えば、Kuvshinov and Pankratov(1994)、小山・歌田(1998)、Kuvshinov et al.(1999)、また、最近では、Sun and Egbert(2012)などで、モデルの表面上に薄層球殻の電気伝導度構造を設定することが可能である。

一方で、1990年代半ばごろから、電磁誘導の方程式を解くために差分法、有限要素法、辺要素有限要素などの手法を用いた、3次元グローバル電磁誘導モデリングのための様々な数値シミュレーターが提案されてきた。例えば、Everett and Schultz(1996)、Maritinec(1999)、Uyeshima and Schultz(2000)、Yoshimura and Oshiman(2002)などである。しかし、これまでに開発されてきたこれら微分方程式を基礎にした一連のシミュレーターでは、地球表面の海陸分布などをモデル化するのに威力を発揮する薄層近似を、モデルの中に取り込むことまでは至っていない。

Rikitake(1992)は、Price(1949)の理論を有限な電気伝導度の軸対称薄層球殻モデルに適用し、差分法を基礎として数値的に直接解くという手法を提案している。このモデル解法では、薄層球殻内部は、電磁伝導度構造を持たない真空領域として扱われているものの、グローバルな電磁誘導問題を解くために、微分的手法を基礎とした解法(差分法、有限要素法など)に係わる研究推進のためには、非常に適した課題であると考えられる。そこで筆者は、数年前からこの解法に係わる研究を行ってきており、すでにRikitake(1992)が扱った軸対称問題についての解法に係わる問題点とその解決手法に関しては、2015年度のCA研究会で、また、3次元球殻モデルへの実際の適用結果に関しては1997年SGEPSS秋の総会でもすでに報告してきた。その後、この3次元薄層球殻計算コードを、一様磁場の場合だけではなく誘導磁場が環電流型の場合にも適用できるように拡張した。今回は、海陸分布を設定した薄層球殻モデルに関して、環電流型磁場変動の場合と一様磁場変動により薄層球殻中に誘導される電流分布の違いなどに関して報告する。