

地磁気移動性磁場の発生過程

行武毅 [1]
[1] なし

A generating process of the geomagnetic drifting field

Takesi Yukutake[1]
[1] None

<http://www.sgepss.org/>

The drifting part of the geomagnetic field is characterized mainly by two features. One is its spatial characteristic. The drifting field has a simple structure. The vertical component is symmetric about the equator expressed by sectorial terms in spherical harmonic series, except for one harmonic ($n=2, m=1$) that also shows westward drift. The other feature is a uniform rate of the drift. Little dependence on the harmonics is observed.

This paper proposes a model to explain the above features, in which

- (1) the core surface rotates at a uniform rate relative to the mantle,
- (2) toroidal flows are superposed on the uniform rotation of the core surface, and the interaction with the dipole field generates the drifting field of the same pattern as the toroidal flows.

The observed uniformity of the drifting rate is difficult to understand by magnetohydrodynamic waves as MAC, because those waves are highly dispersive, and the characteristic frequency strongly depends on harmonics. The uniformly rotating core model circumvents this difficulty, as far as the temporal change in the field induced by the toroidal flow is small.

It has been confirmed that the toroidal flow mode can be a solution of the equations of Navier-Stokes and electromagnetic induction. The investigation has been conducted for two coordinate systems, the Cartesian coordinate in the equatorial region and the spherical polar coordinate system. In the Cartesian coordinate model, a free-surface layer is assumed at the top of the core and the Coriolis factor and the magnetic field are both taken to change in the meridional direction. In the spherical coordinate system, the core surface is free and a uniform magnetic field as in model Z is assumed for a dipolar field. The boundary condition for the electric currents, the currents normal to the core-mantle boundary must vanish at the boundary, leads to the flow that is in the meridional direction across the equator. This is equivalent to toroidal flow of sectorial harmonics when transformed into the spherical coordinate system.

The characteristic frequency of the toroidal flow is of the order of 10^{-11} /sec for the Cartesian coordinate system when the layer thickness is taken to be 300 km, and 10^{-13} /sec in the spherical core model. This implies that the flow changes so slowly with a period of about 10^3 years, while the drifting field completes its rotation within about 1200 years. The fluid velocity that produces the observed magnitude of drifting field has been estimated to be 10^{-5} to 10^{-6} m/sec at the core surface in the Cartesian coordinate system, and 10^{-7} m/sec in the spherical coordinate system.

This study indicates that toroidal flows can exist to produce the poloidal field of sectorial terms as observed. The effect of the core-mantle interface seems essential in the generating process.

地球磁場の中の移動性部分は空間的に極めて単純な構造をしている。鉛直成分でみると、殆どが赤道面に対して対称である。球面調和関数で表すと、($n=2, m=1$) 項を除くと (m, m) 項、すなわち sectorial term で移動性磁場が圧倒的に卓越している。移動性磁場の第 2 の特徴は移動速度が harmonic によらず殆ど 0.3 degree/yr (10^{-10} rad/sec) と一定であることである。

これまで地球磁場の西方移動についていくつかの解釈がなされている。その典型的なものは (a) 核全体の剛体回転、(b) MAC wave (磁場と浮力とコリオリ力間のバランスによって生じる電磁流体波) (c) 最近の数値シミュレーションによる磁場の移動などである。しかし、いずれも上に挙げた移動性磁場の特徴を充分説明するには至っていない。

本研究では次のようなモデルを検討した。

- (1) 核表面がマントルに対して相対的に一様な速度で回転している。
Harmonic に依存しない分散性のない移動速度を説明することが可能。
- (2) Sectorial 項で表される toroidal flow が核の一樣回転に重畳している。
双極子磁場との相互作用で sectorial な poloidal 磁場を発生する。

強い toroidal 磁場とコリオリ力のバランスから発生する電磁流体波は移動速度が波長に強く依存する極めて分散性の高い波動となる。観測された移動性磁場に分散性が見られないことから、核表面が剛体的な一様回転をしていると考える方が自然である。

何故 sectorial 項の流れが卓越するかという問題は、電流に関する核・マントル境界での境界条件を考慮すれば解決する。マントルを絶縁体だと仮定すると、核・マントル境界で電流の境界面に垂直な成分はゼロでなければならない。赤道域に着目すると、この条件を満たすのは磁場と平行な流れ即ち赤道面を横切る南北流になる。球面調和関数で表現すれば sectorial 項で表される流れである。

Toroidal 流のみで運動方程式と電磁誘導方程式を満たす解が存在するかどうかを、赤道を中心とした直角座標と球座標とについて検討した。

直角座標系では自由表面で限られた厚さ 300km の流体層を考え、コリオリ力磁場共に南北方向に変化する中での toroidal 流を検討した。定常流は存在しないが、周波数が 10^{-11} rad/sec の南北流が得られた。つまりこの流れは 1000 年の桁で変動している緩慢な変化である。また観測された移動性磁場強度を説明するには 10^{-5} - 10^{-6} m/sec の速度があればよいことになる。問題はこの波動の減衰時間が約 200 年と短いことである。減衰時間を長くするには層を厚くする必要がある。

球座標系では核内の双極子型の磁場として model Z 的な回転軸に平行な一様磁場を仮定した。Sectorial 流が卓越し、周波数が 10^{-13} rad/sec、流体速度が 10^{-7} m/sec という結果が得られた。減衰時間も 1000 年の桁の充分長い時間が求まった。

本研究で sectorial な磁場を発生する toroidal mode の流れが地球核内に存在しうることが明らかになった。このことから、観測された移動性磁場は、マントルに対して一様回転している核の表面で、境界の影響を強く受けた toroidal 的流れによって生成されると考えることが可能である。