

回転球における遅い磁気流体波：レジスティブ不安定とアイデアル不安定

櫻庭 中 [1]

[1] 東京大・理・地球惑星

Slow magnetohydrodynamic wave in a rotating sphere: Resistive and ideal instabilities

Ataru Sakuraba[1]

[1] Dept. of Earth and Planetary Science, Univ. of Tokyo

The tendency that the geomagnetic field pattern observed at the surface slowly moves westward has been recognized as the geomagnetic westward drift. For example, relatively small-scale signals under Africa and the Indian Ocean are known to move westward at least for the last hundred years. The origin of the westward drift is not fully understood. It is possible to attribute it to advection because magnetic diffusion plays a secondary role, but it may be as a result of propagation of magnetohydrodynamic waves. Recent seismological studies suggest existence of a low-velocity layer at the top of the outer core. If this represents a stable stratification, it is unlikely that convection near the core surface creates the relatively small-scale drifting signal such as seen under the Indian Ocean. However, it may be more natural to consider that such field pattern and movement represents propagation of a wave confined in the stratified layer.

The magnetohydrodynamic wave in a rotating system, in particular a slow wave that is most relevant to the secular variation, is not fully understood. Previous studies mostly assume a cylindrical system in which a solution is periodic along the rotation axis. In this study, I perform a linear analysis on slow waves confined in a rotating sphere, assuming an axisymmetric toroidal field inside. In particular, I focus on magnetic instability and summarize the results obtained for various basic magnetic fields. When the magnetic field intensity is relatively weak, a resistive mode occurs with a slow eastward propagation. The critical wavenumber becomes higher with a more localized magnetic field near the equator. When the magnetic field is strong, at least greater than 10 mT, an ideal mode occurs with a rapid westward propagation. This mode is enough to explain the geomagnetic westward drift, but the critical intensity might be too high.

地表で観測される磁場のパターンがゆっくりと西方に移動するという現象は、地磁気西方移動として古くから認識されている。たとえばアフリカからインド洋にかけてみられる比較的短波長の地磁気パターンは、過去100年程度にわたって、赤道に沿って西向きに移動していることが知られている。地磁気西方移動の原因は、きちんと理解されているわけではない。地磁気西方移動を含め、数十年から数百年程度の時間スケールをもつ地磁気永年変化は、磁気拡散の影響が小さいと見積もられることから、単純に移流の結果として解釈されることが多いが、一方で、磁気流体波動として解釈することも可能かもしれない。とくに、最近の稠密な地震観測網により、外核最上部に地震波の低速度領域が存在することの確実性が高まっている。もしこれが安定成層を示すものだとすると、そこでは磁場を増幅するような活発な対流運動が抑えられるため、たとえばインド洋近辺の短波長のシグナルを長期間維持するメカニズムはなかなか考え難い。しかし波動という観点で見れば、安定成層という空間スケールによって規定される固有のパターンが磁気流体力学的な復元力で伝搬している、というふうに自然に解釈できるかもしれない。

回転する系での磁気流体波動、とくに地磁気永年変化と関係するであろう「遅い波」については、すでに50年以上の研究の歴史がある。しかし過去の研究では、主として円筒座標系をもちいていて、自転軸方向に周期性をもった解を仮定することが多い。地球のコアに直接適用可能な、回転球内の波動伝搬を扱った研究は少ない。そこで本研究では、回転球内に軸対称なトロイダル磁場を仮定し、その基本場に沿った無限小振幅の擾乱について固有モード解析をおこなった。とくに波の振幅が増幅する磁気不安定に着目し、臨界磁場強度と波の伝搬方向を、さまざまな基本磁場構造のもとでまとめた。まず比較的低い磁場強度で起こるレジスティブ不安定については、基本的には東向き伝搬で、伝搬速度は「遅い」時間スケールで規定される。基本磁場を赤道付近に局在させると、より高波数のモードが不安定になる。いっぽう比較的強い磁場強度で起こるアイデアル不安定も見出された。このモードは基本的に西向き伝搬で、伝搬速度は比較的速い。これは地球の磁気西方移動を説明するにじゅうぶんである。ただし必要な磁場強度は、コアの電気伝導度を考慮すると少なくとも10 mT以上であり、実際に存在するかは疑わしいかもしれない。