

回転球殻ダイナモに対する緯度方向不均一な内側浮力フラックス境界条件の影響 Effects of latitudinally heterogeneous buoyancy flux conditions at the inner boundary on MHD dynamo

佐々木 洋平^{1*}, 竹広 真一², 西澤 誠也⁴, 中島 健介³, 林 祥介⁴

SASAKI, Youhei^{1*}, TAKEHIRO, Shin-ichi², NISHIZAWA, Seiya⁴, NAKAJIMA, Kensuke³, HAYASHI, Yoshi-Yuki⁴

¹京大・数学, ²京大・数理研, ³九大・理学・地球惑星, ⁴惑星科学研究センター

¹Dept. Math., Kyoto Univ., ²RIMS., Kyoto Univ., ³Dept. Earth Planet. Sci., Kyushu Univ., ⁴Center for Planetary Science

地球固有磁場の生成維持に寄与しているであろう外核中の流れは、地球全体の冷却に伴い内核が固化成長する際の主成分の鉄およびニッケルの選択的な凝結により内核-外核境界 (ICB) へ放出される軽成分の浮力により生じると考えられている。一方で、近年の地震波観測から内核の結晶構造の異方性が明らかとなっており、その有力な成因として内核内部の流体運動が考えられるようになってきている (Karato, 1999; Yoshida et al., 1996; Takehiro, 2010)。考えられている内核中の流れ場の典型的なパターンは、極から赤道あるいは赤道から極へ向かう軸対称なものである。このような流れ場が存在すると、内核 - 外核境界を通しての質量フラックスを伴うため、境界表面における液体鉄の凝結過程に影響し、結果として境界面で生じる浮力に緯度方向の不均一が生じることが予想される。

そこで本研究では、緯度方向に不均一な浮力 (軽成分) フラックスを ICB にて与えた場合に外核中のダイナモ過程がどのような影響を受けるかを、3次元回転球殻ブシネスク磁気流体モデルを用いた数値実験を通して調べてみた。内核は外核の流体と同じ密度と磁気拡散率を持つ電気伝導性の剛体であるとし、マンツルの回転軸と同じ軸で異なる回転角速度で剛体的に回転することを許容した。外核の流れ場に対しては境界で滑り無し条件を課した。浮力境界条件は、外側境界において浮力フラックスが 0 である条件を与えた。一方で、内側境界で与える浮力フラックス分布は、一様浮力フラックスに加えて球面調和関数 Y_2^0 の分布を与えた。無次元パラメータは、内径外径比を 0.35、プランドル数を 1、エクマン数を 10^{-3} に固定し、磁気プランドル数 Pm を 1 から 10、修正レイリー数 Ra を 100 から 500 まで変化させた。内側球面での浮力フラックスは、1) 緯度方向に一様な分布、2) 赤道で強く極域で弱い浮力フラックス分布、3) 極域で強く赤道域で弱い浮力フラックス分布、の 3 通りをアツかつた。

最初に磁場の存在しない静止場に対して 1 点軽成分濃度擾乱を与えて対流計算を実行し、対流構造が統計的平衡状態に達した後には双極子磁場を球殻中に付与して MHD ダイナモ計算を行った。磁場の影響のない発達した対流の流れ場には平均帯状流の分布を除いて大きな違いは見られなかった。しかしながら、MHD ダイナモ計算では磁場の発達維持の状態に大きな差があらわれた。一様内側浮力フラックスの場合、および赤道域で強い内側浮力フラックスの場合には自励的に磁場が発達維持される解 (ダイナモ解) が得られた。 $Ra=300$ の場合にもっともダイナモ解が発達維持しやすく、 Pm が 3 以上の場合にダイナモ解が得られた。これよりもレイリー数を大きくしても小さくしてもダイナモ解が成立しづらくなり、 $Ra=100$, 500 の場合には $Pm = 10$ でないダイナモ解が得られなかった。これに対して、極域で強い内側浮力フラックスを与えた場合には計算したパラメータ範囲ではダイナモ解が得られなかった。このような磁場の発達維持の違いには、浮力フラックス緯度分布の違いに伴う平均帯状流の差異が影響していると考えられる。特に、極域で強いフラックスを与えた場合には温度風バランスを通じて赤道内球付近での平均帯状流の向きが逆になり、強いシア層が形成されている。このシア層が対流カラムを引き伸ばし、局在化を妨げているのかも知れない。

極域で強いフラックスを与えた場合にダイナモ解が成立しなかったことは、地球内核内部での流れの向きを示唆しているかも知れない。強い地球磁場が生成維持されるためには極域に集中した浮力フラックス分布は適当でないかも知れないからである。このことは、内核内部での軸対称的な流れが、すくなくとも極域から赤道への向きにはなっていないことが推測される。しかしながら、調べたパラメータは現実の地球中心核のものとはかなり差があるので、より広いパラメータでの調査が必要である。

参考文献:

Karato, S., Nature, 402 (1999), 871–873.

Yoshida, S., Sumita, I., Kumazawa, M., J. Geophys. Res., 101 (1996), 28085–28103.

Takehiro, S., Phys. Earth Planet. Inter., 184 (2011), 134–142.

キーワード: 内核異方性, 内核流れ, 浮力フラックス不均一, 組成対流, MHD ダイナモ

Keywords: Inner core anisotropy, Inner core flows, Heterogeneous buoyancy flux, Compositional convection, MHD dynamo