

水平不均一なジュール加熱により引き起こされる地球内核中の流れ

Fluid motions induced by horizontally heterogeneous Joule heating in the inner core of the earth

竹広 真一^{1*}

Shin-ichi Takehiro^{1*}

¹京都大学数理解析研究所

¹Research Inst. Math. Sci., Kyoto Univ.

地震波観測により示された地球内核の弾性的性質の異方性^{1,2,3}は、内核の固化における固体組織の整列^{4,5}や内核中の流体運動による塑性変形による組織の整列^{6,7,8,9}によるものと考えられてきている。内核の固化では異方性の深さ分布が説明できない一方で、これまでに考察されたさまざまな要因による内核中の流れでは異方性を生み出すに十分なほど決定的ではない¹⁰。本研究では、内核中の流れを引き起こす新たな要因として、内核-外核境界で与えられた磁場が内核中へ貫入し発生するジュール熱を提案する。内核内のジュール熱の大きさは内核の永年冷却など他の熱的要素とくらべて小さいのでたとえば熱史の計算や対流の発生の議論などでは無視してあつかわれている。しかしながらジュール熱の分布が少しでも水平方向に変化していれば、水平方向に温度傾度が生じて浮力によるトルクが発生し水平対流運動が生じる。

まず、地球内核中で予想されているパラメータを用いて外核から内核に貫入する磁場によるジュール熱が引き起こす流れの大きさを見積もってみた。ジュール熱の大きさ Q_j は、磁場の大きさを 10^2 - 10^3 T程度とすると $Q_j=3 \times 10^{10}$ - 3×10^8 W/m³となる。このジュール熱に対してバランスする物理過程は熱拡散と熱の移流項であるが、簡単なスケールリングから内核の状況下では平均的な温度の移流が拡散を卓越することが予想される。したがって熱のバランスは $v\Gamma \sim Q_j/(\rho C_p)$ と近似できる。ここで v は内核中の典型的な速度、 Γ は基本場の温度傾度と断熱温度傾度の差、 ρ と C_p は密度及び断熱比熱である。中心と内核-外核境界の非断熱的溫度差 ΔT を30K程度としてみる¹⁰。すると $v \sim Q_j/(\rho C_p)(a/\Delta T) \sim 10^{12}$ - 10^{10} m/sと見積もられる。この速度の大きさは他の要因による流れの振幅と同程度かそれ以上である。

次に、内核-外核境界における磁場分布を与えたときのジュール熱により引き起こされる定常な速度場を解析的に求めた。用いた方程式は磁場の拡散の式、ブシネスク流体の運動方程式および熱の式である。境界条件は内核-外核境界において応力の接線成分が0、法線成分が一定、温度擾乱が0とした。球面調和函数の全波数2、方位角波数0のトロイダル磁場成分を内核-外核境界において与えて具体的に計算したところ、赤道域で下降流、極域で上昇流の流れのパターンが得られた。この流れは相対的に極域で大きく赤道域で小さくなっているジュール熱の水平方向不均一に伴うものである。与えたトロイダル磁場に伴う電流場が赤道から極へ向けて流れており、幾何学的効果と電流の連続性により電流の振幅が相対的に極で強く赤道で弱くなっている。これに応じてジュール熱分布の振幅が極で大きく赤道で小さい。

本研究で提案する内核中の流れのモデルでは、マックスウェル応力に対する応答¹⁰とは異なり、力学的平衡状態におちついて流れが止まることはない。また、モデルは外側境界付近に応力場の弱い境界層が形成されることを予想する。その厚さは、内核-外核境界付近に観測される異方性の弱い領域の深さと整合的である。さらに、モデルは内核内部のジュール熱が内核-外核間での流れ場および磁場の相互作用を生じさせることを示唆する。ジュール熱により引き起こされる内核中の流れ場は外核との質量交換を伴っており、内核-外核境界での潜熱の吸収・解放と軽成分の吸着・放

出を通じて外核中の流れ場とダイナモ作用へ影響を及ぼす。一方、外核中の磁場分布が変化すると内核-外核境界から内核内へ貫入する磁場分布とジュール熱分布が変化して内核中の流れに影響が跳ね返って来ることになる。このようなジュール熱を通じた内核と外核の流れ場および磁場の相互作用が地球中心部において生じているかも知れない。

参考文献

- [1] Poupinet, et al. (1983) *Nature*, 305, 204--206.
- [2] Morelli, A. et al. (1986) *Geophys. Res. Lett.*, 13, 1545-1548.
- [3] Souriau, A. (2007) in *Treatise on Geophysics*, ed. by Schubert, G.
- [4] Karato, S., (1993) *Science*, 262, 1708--1711.
- [5] Bergman, M. I. (1997) *Nature*, 389, 60--63.
- [6] Jeanloz, R. & Wenk H.-R. (1988) *Geophys. Res. Lett.*, 15, 72--75.
- [7] Yoshida, S. et al. (1996) *J. Geophys. Res.*, 101, 28085--28103.
- [8] Karato, S. (1999) *Nature*, 402, 871--873.
- [9] Buffett, B. A. & Wenk, H.-R. (2001) *Nature*, 413, 60--63.
- [10] Buffett, B. A. & Bloxham, J. (2000) *Geophys. Res. Lett.*, 27, 4001--4004.

キーワード:内核中の流れ,ジュール加熱,地震波速度異方性,地球ダイナモ,内核外核相互作用

Keywords: inner core flows, Joule heating, seismic anisotropy, geodynamo, interaction between the inner and outer core