

核-マントル境界の電気・熱伝導率を高温高圧実験によって明らかにする

太田 健二 [1]
[1] 東工大・理・地惑

Experimental constraints on the electrical and thermal conductivity of the Earth's core-mantle boundary

Kenji Ohta[1]
[1] EPS, Tokyo Tech

http://www.geo.titech.ac.jp/lab/ohta/Ohta.Lab_HP/Ohta.Lab_Home.html

Heat in the Earth's interior is transported by convection in the mantle and core, and by conduction at thermal boundary layers. The electrical and thermal conductivity at the core-mantle boundary region determines the magnitude of heat flux from the core, and is intimately related to the formation of mantle plumes, the long-term thermal evolution of both mantle and core, and the driving force for generations of the geomagnetic field [1]. However, it is very challenging to directly determine the electrical and thermal transport properties of core and mantle materials at the core-mantle boundary conditions, 136 GPa and ~4000 K. Therefore, the thermal conductivity in this region has been predicted to be $10 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ for the lowermost mantle and $30 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ for the outermost core based on large pressure and temperature extrapolations of laboratory data [2]. These values have been widely used for simulation of the mantle and core dynamics, and estimation of core heat flux. Recent technical progress both in the high-pressure experiment and the theoretical calculation enables us to reveal high pressure and high temperature behavior of thermal conductivities of lower mantle minerals and core materials. Our recent experimental studies regarding the electrical and thermal conductivity of core and mantle materials indicate below.

1. Our results showed that the thermal conductivity of a mixture of MgSiO_3 bridgmanite and MgO periclase which are main constituents of Earth's lower mantle was about $11 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ at the core-mantle boundary conditions, which is consistent with conventional estimate [3,4].

2. We found the electrical conductivity of pure iron which is main component of the Earth's core was two to three times higher than conventional estimates at the core-mantle boundary conditions, which means the thermal conductivity of core also had much higher value [5].

These results are in good agreement with recent theoretical calculations. Our results of the thermal conductivities of the lowermost mantle and the outermost core support the recent notion of high core-mantle boundary heat flow, implying rapid secular cooling, an inner core younger than 1 Giga years, and ubiquitous melting during early Earth [5].

References

- [1] T. Lay, J. Hernlund, and B.A. Buffett, *Nature Geoscience*, **1**, 25 (2008).
- [2] F.D. Stacey, in *Physics of the Earth* (1992).
- [3] K. Ohta *et al.*, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **349-350**, 109 (2012).
- [4] S. Imada *et al.*, *Geophys. Res. Lett.*, **41**, doi:10.1002/2014GL060423 (2014).
- [5] H. Gomi *et al.*, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **224**, 88-103 (2014).

地球深部に蓄えられた熱は対流あるいは伝導によってコア、マントル、地殻を移動する。地球のコア-マントル境界の電気・熱伝導率はコアからマントルへと移動する熱の流量の決定に必須の物理量であり、マントルプルームの形成や、コアとマントルの熱進化、地球磁場の生成・維持に大きな影響を与えている [1]。しかし、実際のコア-マントル境界に相当する圧力温度条件である 136 GPa, ~4000 K でのコア・マントル物質の電気・熱伝導率の直接決定は容易ではない。そのため、過去 20 年近く、比較的低圧における実験結果の外挿からコア-マントル境界の熱伝導率はマントル側でおよそ 10 W/m/K 、コア側でおよそ 30 W/m/K と推定されていた [2]。そして、これらの値を用いてマントルやコアの対流シミュレーションやコアからの熱流量の見積もりが行われていた。しかし、近年の高温高圧実験技術の向上と理論計算の発展によって、実際のコア-マントル境界条件における物質の電気・熱物性の決定が可能となってきた。本研究で行った高温高圧その場でのコア・マントル物質の電気・熱伝導率測定は以下のことを示している。

1. 下部マントルの主要構成鉱物である MgSiO_3 ブリッジマナイトと MgO ペリクレーズの混合物のコア-マントル条件での熱伝導率はおよそ 11 W/m/K と過去の推定値と調和的である [3,4]。

2. コアの主成分である純鉄のコア-マントル条件での電気伝導度は従来の予想値の 2~3 倍高く、このことはコアの熱伝導率もこれまでの予想の 2~3 倍高いことを意味する [5]。

これらの実験結果は最近の理論計算の結果とも調和的であり、コア-マントル境界は特にコア側において、これまでの予想よりも高い熱輸送能力を持つことがわかった。コア-マントル境界の高い熱輸送能力は、過去の地球深部がマントル底部で大規模な融解を起こすほどに高温であったことを示唆している [5]。また、コアの冷却速度は内核の成長速度と密接に関連しているため、コアの熱伝導率の上方修正は内核の年齢の見積もりを大きく変えるかもしれない。

参考文献

- [1] T. Lay, J. Hernlund, and B.A. Buffett, *Nature Geoscience* 1, 25 (2008).
- [2] F.D. Stacey, in *Physics of the Earth* (1992).
- [3] K. Ohta et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* 349-350, 109 (2012).
- [4] S. Imada et al., *Geophys. Res. Lett.* 41, doi:10.1002/2014GL060423(2014).
- [5] H. Gomi et al., *Phys. Earth Planet. Inter.* 224, 88-103 (2014).