

(SPring-8 萌芽的研究アワード受賞 研究報告)

放射光 X 線マイクロトモグラフィー法による マントル物質の融解温度の決定

東京工業大学 地球生命研究所
野村 龍一

Abstract

本研究では、地球マントルの代表的な物質であるパイロライトに対し、レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧高温実験を行い、大気圧室温下に急冷させた回収試料中の熔融痕跡を X 線マイクロトモグラフィー法を用いて撮像することにより、マントル最下部圧力 (136 GPa) までの融け始めの温度 (ソリダス温度) を決定することに成功した。地球のマントル最下部は全球的には融けていないことから、マントルのソリダス温度はマントル最下部、さらにはその下に存在する地球外核の温度構造に上限を与える。地球外核は液体であることから、鉄合金として融点を大きく下げ効果を持つ水素が外核に大量に存在している可能性が示唆される。

1. はじめに

地球は、その中心部からコア (深さ 2,900~6,400 km)、マントル (深さ 約35~2,900 km)、地殻 (深さ ~5~35 km) の順番で層をなす玉ねぎ構造をしている (図1)。マントルは主に酸素、ケイ素、マグネシウム、鉄からなる岩石で構成されており、コアは主に鉄ニッケル合金でできている。コアはさらに液体の外核と固体の内核に分けられ、液体の外核がコアの体積の大部分 (約95%) を占めている。実験や理論による液体合金の物性研究と地震波観測によるコアの構造研究により、外核は鉄ニッケル合金よりも約10% 密度が低く、鉄やニッケルよりも軽い元素を多量に含むものと考えられている。硫黄、ケイ素、酸素、炭素や水素など、宇宙に豊富に存在する元素がコア中の軽元素候補としてよく研究されているが、過去60年以上にもおよぶ精力的な研究にもかかわらず、コアに含まれる軽元素は未だよく分かっていないのが現状である。

地球内部の温度構造は、有用な情報の一つである。マントル内部に関しては、マントルが対流していることから、浅いところから断熱温度勾配で変化していると理解でき、温度構造は比較的よく分かっている。これに対して、マントルとコアの間には熱境界層が存在しているため、コア内部の温度構造はあまりよく分かっていない。あとで述べるように、マン

トルの融け始めの温度 (ソリダス温度) は、コアの温度・組成に対し大きな制約を与えることから、マントルのソリダス温度を明らかにすることで、コアに関する重要な手掛かりが得られる。

本研究では、パイロライトと呼ばれる代表的なマントルの組成に対し、レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧高温実験を BL10XU (2012B0087) にて、回収試料の X 線マイクロトモ

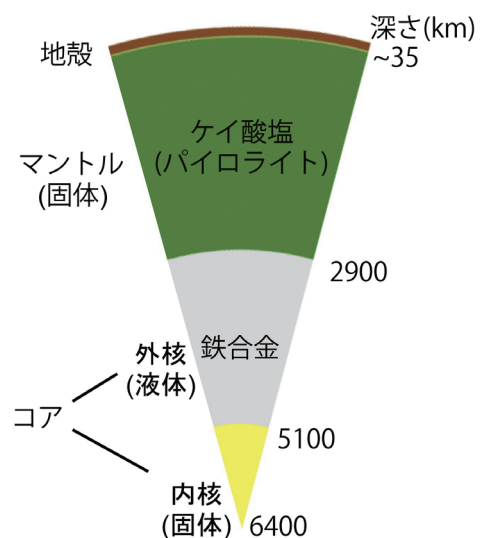


図1 地球の断面図

ニッケル合金よりも約10%密度が低いことや、融点降下の割合はその不純物組成に大きく依存することを考慮することで、本研究で明らかとなった地球外核の冷たい温度構造からその化学組成を制約することができる。これまでよく研究されてきた硫黄やケイ素、酸素では必要な融点降下を引き起こすことができず^[6,7]、融点を大きく下げる効果を持つ水素が地球外核に多量(25 atm%)に溶けていることを示唆する(図4)。

地球は形成期、マグマオーシャン(マグマの海)に覆われていたとされている。水素はこのような高圧高温下では親鉄性元素としてふるまうため、マグマオーシャン中でマグマ(液体ケイ酸塩)と地球コア物質(金属鉄)が高温で反応し、水素が地球コアへ取り込まれた可能性が高い^[8]。

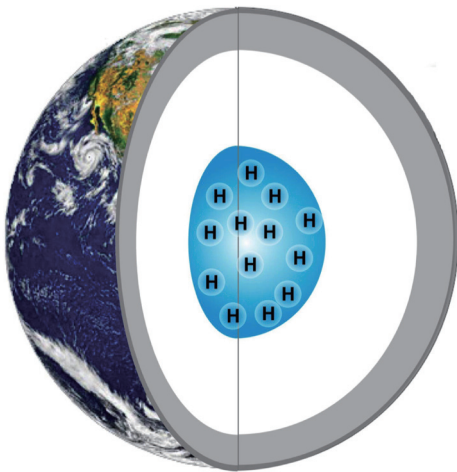


図4 地球コアの水素

4. まとめ

本研究では、レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルにX線マイクロトモグラフィ撮像法を組み合わせ、高圧高温を経験したサンプル内に鉄に富む微小な急冷メルトを識別することに成功した。その結果、代表的なマントル物質であるパイロライトのソリダス温度を最下部マントル圧力下まで決定することに成功した。この温度は従来予想されてきたソリダス温度よりも約600 K低く、地球コア-マントル境界、さらにはコア内部の温度構造に上限を与える。本研究によって決められた低い地球内部温度は、地球外核に合金の融点を大きく下げる効果を持つ水素が大量に含まれていることを示唆する。

参考文献

- [1] G. Fiquet *et al.*: *Science* **329** (2010) 1516-1518.
- [2] R. Nomura *et al.*: *Science* **343** (2014) 522-525.
- [3] R. Nomura *et al.*: *Nature* **473** (2011) 199-202.
- [4] A. Tsuchiyama *et al.*: *Geochimica et Cosmochimica Acta* **116** (2013) 5-16.
- [5] S. Anzellini *et al.*: *Science* **340** (2013) 464-466.
- [6] H. Terasaki *et al.*: *Earth and Planetary Science Letters* **304** (2011) 559-564.
- [7] G. Morard *et al.*: *Physics and Chemistry of Minerals* **38** (2011) 767-776.
- [8] T. Okuchi: *Science* **278** (1997) 1781-1784.

野村 龍一 *NOMURA Ryuichi*

東京工業大学 地球生命研究所
 〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1
 TEL : 03-5734-2715
 e-mail : nomura.r.ab@m.titech.ac.jp