

六方最密構造(hcp)鉄の流動特性 Rheology of hexagonal-close packed (hcp) iron

西原遊¹, 土居峻太¹, 辻野典秀², 山崎大輔²

¹愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, 〒790-8577 愛媛県松山市文京町 2-5

²岡山大学惑星物質研究所, 〒682-0193 鳥取県東伯郡三朝町山田 827

Yu NISHIHARA^{1,*}, Shunta DOI¹, Noriyoshi TSUJINO², and Daisuke YAMAZAKI²

¹GRC, Ehime University, Matsuyama, Ehime, 790-8577, Japan

²Institute of Planetary Materials, Okayama University, Misasa, Tottori, 682-0193, Japan

1 はじめに

地球中心に位置する固体金属の内核には、南北方向に伝播する P 波が赤道方向のものに対し約 3%も高速となる大きな地震波異方性が存在することがわかっている。この内核の異方性の成因には、さまざまなメカニズムが提唱されているが、現在までに一致した見解は得られていない。Lasbleis and Deguen [1]によれば、内核の年齢（内核冷却速度の逆数に相当）と粘性率の値によって内核ダイナミクスの支配的なメカニズムが異なるが、内核年齢と粘性率はよく制約されていないため、異方的成長、熱対流をはじめとするいくつものメカニズムが現在の内核ダイナミクスの支配的なメカニズムである可能性を持っている。内核の粘性率は内核を構成する六方最密構造(hcp)鉄の流動変形の力学的性質（レオロジー）によって決まっていると考えられるため hcp 鉄の高温高压でのレオロジーの理解が重要である。しかし、この物質のレオロジーについての過去の研究は 600 K 以下の低温に限られており、内核で卓越する変形機構を明らかにするものではなかった [2,3]。本研究では、内核異方性形成メカニズムに制約を与えることを目的として、より高温での高压変形実験によって hcp 鉄のレオロジーの決定を目指した。

2 実験

実験は高エネルギー加速器研究機構、PF-AR、NE7A 設置の D111 型変形装置 および SPring-8、BL04B1 設置の D-DIA 装置 SPEED-MkII-D を用いて行った。直径 0.5 mm、高さ 0.5–0.6 mm に成型した bcc 鉄焼結多結晶を用いて、一定歪速度における高温高压変形実験を行なった。変形の条件は温度 $T = 423\text{--}873\text{ K}$ 、圧力 $P = 16.3\text{--}22.6\text{ GPa}$ 、一軸圧縮歪速度 $1.5 \times 10^{-6}\text{--}8.8 \times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ である。実験中の試料の差応力は 60 keV の放射光単色 X 線を用いた二次元 X 線回折により、歪は X 線ラジオグラフィにより決定した。

3 結果および考察

図 1 に示すような応力歪曲線が様々な条件で得られ、合計 37 の変形条件での定常流動応力が決定された。これらから総合的に判断すると、約 800 K 以

上の高温とそれ以下の低温では、それぞれ異なる変形機構が卓越していることが示唆される。高温機構は格子拡散が律速する高温型べき乗則クリープであると考えられ、その応力指数は常圧下の金属で一般的な値である 5 に近い。いっぽうで、低温機構は転位拡散が律速する低温型べき乗則クリープであると考えられ、また約 700 K 以下では顕著なべき乗則の崩壊を伴っている。内核条件でべき乗則クリープが支配的な変形機構であると仮定し、融点規格化に基づいた見積もりを行うと、内核条件での hcp 鉄の粘性率は約 $10^{18}\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以上の高い値を持つことが示唆される。

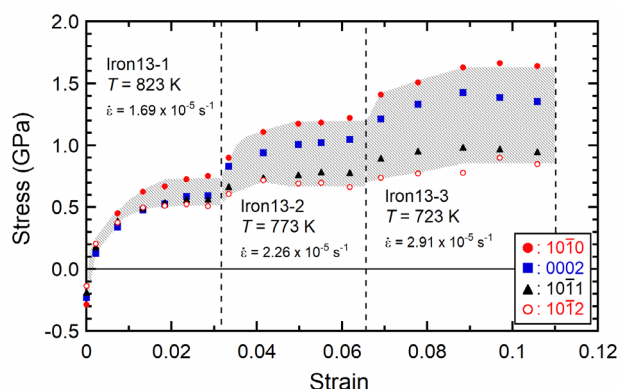


図 1 : 温度ステップ実験における hcp 鉄の応力歪曲線。実験では、圧力 16.5–16.3 GPa、歪速度 $1.7\text{--}2.9 \times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ の条件で温度を 823, 773, 723 K と段階的に変化させた。応力の決定に用いた X 線回折ピークの指数をシンボル変えて示している。

謝辞

実験でご支援いただいた芳野極教授（岡山大学）松影香子教授（帝京科学大学）、坪川祐美子助教（九州大学）、Andrew Thomson 講師（University College London）、鈴木昭夫准教授（東北大学）、肥後祐司主幹研究員（JASRI）に感謝する。

参考文献

[1] M. Lasbleis and R. Deguen, *Phys. Earth Planet. Int.* 247, 80 (2015).

- [2] N. Nishiyama *et al.*, *Geophys. Res. Lett.* **35**, 10.1029/2007GL031431 (2007).
- [3] A.E. Gleason and W.L. Mao, *Nature Geosci.*, **6**, 571 (2013).

* yunishi@sci.ehime-u.ac.jp