

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：15201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17832

研究課題名(和文) 鉱物混合層形成と歪み集中過程の解明

研究課題名(英文) Rheological weakening due to phase mixing in olivine + orthopyroxene rocks

研究代表者

田阪 美樹 (Tasaka, Miki)

島根大学・総合理工学研究科・特任講師

研究者番号：80772243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：歪み集中帯の中心部では2種類以上の鉱物が均一に混ざった、鉱物混合層が観察される。先行研究によると鉱物混合層の粒径は小さく、従ってそこでの粘性は低く保たれることから、混合層は歪み集中帯の強度を決めると考えられている。しかし、これまで大きな歪みを伴う変形実験が技術的に難しかったために、「どのように細粒鉱物混合層が形成され、歪みが集中していくのか？」は未解決の問題として残されている。そこで本研究では、独自の工夫に基づき大変形を伴うかんらん岩ねじり実験を行い、また実験から得られた力学特性や岩石組織の解析を行うことで、鉱物混合層形成と歪み集中の過程を明らかにすることを目的に研究を行った。

研究成果の概要(英文)：To understand the processes involved in rheological weakening due to phase mixing, we conducted high-strain torsion experiments. Samples composed of olivine plus 26% orthopyroxene were deformed to outer radius shear strains of up to ≤ 26 . Microstructural observations demonstrate that, with increasing shear strain, grain size decreased and mixtures of small, equant grains developed. The mechanical data with associated changes in microstructure demonstrated that our samples deformed (i) by dislocation-accommodated grain-boundary sliding (disGBS) with subgrains present at lower strains and (ii) by disGBS with subgrains absent at higher strains. The evolution of both the mechanical and the microstructural properties observed in this study provide insights into the dynamic processes associated with rheological weakening and strain localization in the plastically deforming portion of the lithosphere.

研究分野：実験岩石学

キーワード：かんらん石 輝石 鉱物混合層 歪み弱化 拡散速度

1. 研究開始当初の背景

プレートテクトニクスを起こすためには、地球のプレート強度が 200MPa 以下である必要がある(Tackley, 2000 Science)。しかしプレートを構成する鉱物から予想される強度は、この値よりも遥かに大きい 1000MPa 程度である(Kohlstedt et al., 1995 JGR)。そこでプレートテクトニクスが起きるためには、プレート内に部分的に存在する歪み集中帯によりその強度を下げる必要がある。そのため歪み集中帯の流動特性は、岩石変形における第一級の問題として議論されてきた。

天然岩石の解析から(Drury et al, 1991 Pure Appl. Geophys.)、歪み集中帯の外側では粗粒な岩石(粒径~1mm)が粒径に依存しないクリープで変形しているのに対して、歪み集中帯の中心部では極細粒な岩石(~10 μ m)が粒径依存型クリープで変形し、歪みが集中することが分かっている。さらに、この歪み集中帯の中心部では2種類以上の鉱物が均一に混ざった細粒鉱物混合層が観察されるために、鉱物混合層は歪み集中帯形成過程を解く鍵であると考えられている。

2. 研究の目的

先行研究によると鉱物混合層の粒径は小さく、従ってそこでの粘性は低く保たれることから、混合層は歪み集中帯の強度を決めると考えられている。しかし、これまで大きな歪みを伴う変形実験が技術的に難しかったために、「どのように細粒鉱物混合層が形成され、歪みが集中していくのか？」は未解決の問題として残されている。そこで本研究では、独自の工夫に基づき大変形を伴うかんらん岩ねじり実験を行い、また実験から得られた変形特性や岩石組織に基づき天然岩石の解析を行うことで、鉱物混合層形成と歪み集中の過程を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、**課題1**で大変形を伴う岩石の変形実験を行い、**課題2**で実験試料の鉱物混合層を解析し、地球深部の温度・圧力条件に本研究結果を応用する。これらの課題解決から、鉱物混合層形成と歪み集中の過程を明らかにする。

課題1：岩石組織の変化に伴い、変形特性はどう変化するのか？

大変形を伴う岩石のねじり実験を行い、高精度の応力・歪速度データと変形組織を得る。これにより実験で歪み集中帯を再現し、歪み増加に伴う変形組織と粘性の関係を定量化する。

課題2：鉱物混合層は、どのように形成されるのか？

これまでの実験や天然岩石の研究から、変形に起因した化学反応や物質移動によって細粒鉱物混合層が形成されると考えられている(Jin et al., 1998 JSG; Toy et al., 2010 J. Petrol., Farla et al., 2013 PNAS)。そこで本研究では、高歪み実験から得られた変形試料の化学組成・変形組織を精度良く解析し、鉱物混合層形成の素過程を明らかにする。

4. 研究成果

パターンソン型ガス圧式変形試験機は、圧力容器の中で荷重と変位が測定できるため、高精度の力学データを得ることができる。歪み速度、歪み量、温度の違う実験を行い、歪み集中に伴う変形メカニズムの変化を得た。せん断歪み 200%から 2700%の8回のねじり実験に成功し、細粒鉱物混合層形成に伴う応力・歪速度データを得ることができた(図1)。

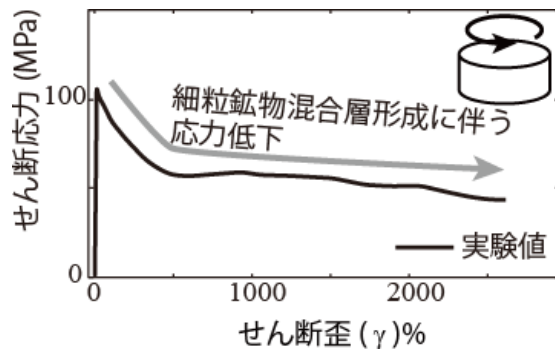
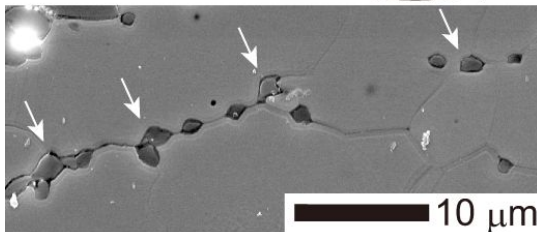


図1：高歪み変形実験(せん断歪み 2700%)におけるせん断応力とせん断歪みの関係

低応力(~80MPa)・低歪み量(200%)の実験から、出発試料の粒径(~10 μ m)より細粒で丸い粒子(< 1 μ m)が、かんらん石と輝石それぞれの粒界に確認できた(図2の白矢印)。これは変形による応力勾配で、かんらん石中の酸化メタル(MeO)が粒界を移動する「変形に起因する物質拡散」により説明できる。同様の組織が天然でも観察されることから、歪み集中帯形成初期の変形組織を実験から観察できたと言える。

かんらん石の多い層 



輝石の多い層

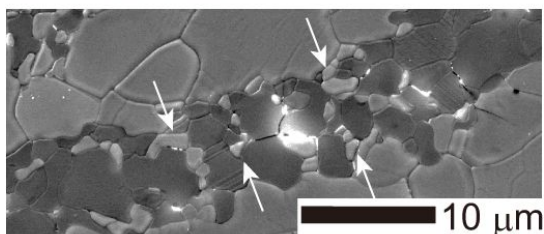


図2：鉱物混合層形成の初期段階の組織。
薄い灰色：かんらん石、濃い灰色：輝石、
白矢印：新しい粒子。
試料は右横ずれ変形をしている

実験により示唆された「変形に起因する物質拡散により鉱物混合層が形成される」という仮定に基づけば、細粒化の程度は変形温度、圧力、応力（または歪み速度）に依存する。そこでリソスフェアの歪み集中帯の温度・圧力条件($T = 800$, $P = 300\text{MPa}$)におけるかんらん石多結晶体の変形機構図を作成し、本実験と同じメカニズムで鉱物混合層が形成されれば、天然で想定されるような遅い歪み速度($10^{-12} \sim 10^{-13} \text{ s}^{-1}$)と小さい応力(10MPa)でも歪み集中帯を発現しうることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

Tasaka, M., M. E. Zimmerman, D. L. Kohlstedt, H. Stunitz, and R. Heilbronner (2017), Rheological weakening of olivine + orthopyroxene aggregates due to phase mixing, Part2: Microstructural development, Journal of Geophysical Research- Solid Earth, 122, DOI: 10.1002/2017JB014311.

Tasaka, M., M. E. Zimmerman, and D. L. Kohlstedt (2017), Rheological weakening of olivine + orthopyroxene aggregates due to phase mixing, Part1: Mechanical behavior, Journal of Geophysical Research- Solid Earth, 122, DOI: 10.1002/2017JB014333.

Tielke, J. A., L. N. Hansen, M. Tasaka, C. Meyers, M. E. Zimmerman, and D. L. Kohlstedt (2016), Observations of grain-size sensitive power-law creep of olivine aggregates over a large range of lattice-preferred orientation strength, Journal of Geophysical Research- Solid Earth, 121, 2, 506–516, DOI:10.1002/2015JB012302. Link

Tasaka, M., M. E. Zimmerman, and D. L. Kohlstedt (2016), Evolution of the rheological and microstructural properties of olivine aggregates during dislocation creep under hydrous conditions, Journal of Geophysical Research- Solid Earth, 121, 1, 92–113, DOI:10.1002/2015JB012134.

〔学会発表〕(計7件)

田阪 美樹, M. E. Zimmerman, and D. L. Kohlstedt, 2017, 輝石の量比の異なるかんらん岩を用いた鉱物混合層形成に伴う歪み弱化的解明, 地球惑星連合大会 2017年, 幕張, 5月22日(ポスター).

A. Jiménez-Díaz, I. Egea-González, L. M. Parro, M. Tasaka and J. Ruiz, 2017, On the structure of the lithosphere of Mars: New insights from crustal composition and rheology of the upper mantle, EPSC Abstracts, Vol. 11, EPSC2017-208, 2017, European Planetary Science Congress 2017.

田阪 美樹, M. E. Zimmerman, and D. L. Kohlstedt, 2016, 転位クリープ変形下における含水かんらん岩の組織発達と変形特性, 地球惑星連合大会 2016年, 幕張, 5月23日(ポスター)

田阪 美樹, M. E. Zimmerman, and D. L. Kohlstedt, 2016, 鉱物混合層形成にともなう歪み弱化的解明, 地球惑星連合大会 2016年, 幕張, 5月22日(口頭).

Tasaka, M., M. E. Zimmerman, D. L. Kohlstedt, 2016, Rheological weakening due to phase mixing in olivine + orthopyroxene aggregates, AGU Fall Meeting, T13H-05, Dec 12 (talk).

Tasaka, M., M. E. Zimmerman, D. L. Kohlstedt, 2016, Rheological and microstructural development in olivine aggregates during dislocation creep under hydrous conditions, Goldschmidt, 4C-44, June 29 (poster).

M. Satish-Kumar, M. Tasaka, T. Yoshino, and H. So, 2016, Pressure Dependence on Carbon Isotope

Fractionation between Diamond and Iron Carbide Melt, Goldschmidt, 4A-30, June 27 (poster).

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.geo.shimane-u.ac.jp/>

<https://sites.google.com/site/mikitasak005/home>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田阪 美樹 (Tasaka, Miki)

島根大学, 総合理工学研究科, 特任講師

研究者番号: 80772243

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

David L. Kohlstedt

Department of Earth Science, University of Minnesota, Twin Cities, Minneapolis, MN, USA

Mark E. Zimmerman

Department of Earth Science, University of Minnesota, Twin Cities, Minneapolis, MN, USA

Holger Stünitz

Department of Geology, University of Tromsø, Tromsø, Norway

Renée Heilbronner

Geological Institute, Basel University, Basel, Switzerland