

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13634

研究課題名(和文) 歪み集中帯の細粒鉱物混合層形成と化学効果

研究課題名(英文) Rheological weakening due to phase mixing

研究代表者

田阪 美樹 (Tasaka, Miki)

静岡大学・理学部・准教授

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)：本研究では鉱物混合層形成と歪み弱化における化学効果を明らかにするために、かんらん石+輝石の鉱物量比を変えた試料(輝石15%、26%、35%)を使ってかんらん岩の大変形を伴うねじり実験を行った。

輝石の多い試料(輝石26%、35%)では細粒鉱物混合層形成に伴い粒径は小さくなり、転位律速型の粒界すべりクリープから、より歪み速度の粒径依存性が高い粒界すべりクリープへ変化することが分かった。一方輝石の少ない試料(輝石15%)では強いかんらん石の結晶方位定向配列を持ち、変形メカニズムの変化は見られなかった。この結果より変形に起因する物質拡散により細粒鉱物混合層が形成されると提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はかんらん岩ねじり実験を行い鉱物混合層形成と歪み弱化における化学効果を明らかにした。マンツルの代表的な鉱物であるかんらん石+輝石系で鉱物量比の異なる多結晶体を用いて歪み速度、歪み量の違う実験を行った。輝石の多い試料($f_{\text{opx}} = 0.26$)では歪み増加に伴い粒径依存型クリープで変形、歪み弱化が起きることが分かった。一方輝石の少ない試料($f_{\text{opx}} = 0.15, 0$)では歪み弱化は確認できなかった。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」ならば、細粒化と歪み弱化の程度は応力と温度、岩石の化学組成に依存する。この結果は地球のプレート強度を考える上で重要である。

研究成果の概要(英文)：To understand the effects of secondary minerals on changes in the mechanical properties of upper mantle rocks due to phase mixing, we conducted high-strain torsion experiments on aggregates of olivine + orthopyroxene (opx) with orthopyroxene volume fractions of $f_{\text{opx}} = 0.15$, 0.26, and 0.35. For samples with larger amounts of orthopyroxene, $f_{\text{opx}} = 0.26$ and 0.35, the deformation mechanism changes as strain increases. In contrast, for samples with $f_{\text{opx}} = 0.15$, no change in deformation mechanism occurs.

The microstructures of samples with larger amounts of orthopyroxene provide insight into the change in deformation mechanism derived from the mechanical data. These mechanical and associated microstructural properties imply that rheological weakening due to phase mixing only occurs in the samples with larger f_{opx} , which is an important constraint for understanding strain localization in the upper mantle of Earth.

研究分野：岩石鉱物学

キーワード：かんらん岩 かんらん石 輝石 2相系 鉱物混合層 歪み弱化 剪断帯

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を起こすためには、プレート内に部分的に存在する歪み集中帯によりプレート強度を下げる必要がある。

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、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、この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。問題解決の糸口は、大変形の実験から得られる高精度の力学データと詳細な変形組織解析、化学組成分析であると認識している。

2. 研究の目的

歪み集中帯の細粒鉱物混合層形成と化学効果を明らかにすることを目的とする。

変形に伴いどのように元素が移動し細粒鉱物混合層を形成、歪み弱体化に至るのか、その熱力学的条件を主に化学組成に注目して明らかにし、歪み集中帯の粘性モデルを構築する。

3. 研究の方法

鉱物混合層形成には高歪みの変形が必要となる。そこで本研究では世界で唯一かんらん岩ねじり実験が可能な米国ミネソタ大学 Kohlstedt 研のガス圧式試験機を用い実験を行った。鉱物混合層形成と歪み弱体化における化学効果を明らかにするために、マンツルの代表的な鉱物であるかんらん石 輝石系を用い、かんらん石+輝石の鉱物量比を変えた試料(輝石 15%, 26%, 35%)をそれぞれ作成した。

4. 研究成果

鉱物量比の異なる多結晶を用いて歪み速度、歪み量の違う実験を複数回行った。実験で得た力学データから変形メカニズムを推定した。かんらん石 74%+輝石 26%の試料($f_{px} = 0.26$)では歪み増加に伴い応力指数(n)は減少し(図 1)粒径依存型クリープで変形、歪み弱体化が起きることが分かった。一方かんらん石 85%+輝石 15%の試料($f_{px} = 0.15$)及び輝石を含まないかんらん石多結晶($f_{px} = 0$)では歪み増加に伴い n は減少せず(図 1)粒径に依存しないクリープで変形し、歪み弱体化は確認できなかった。

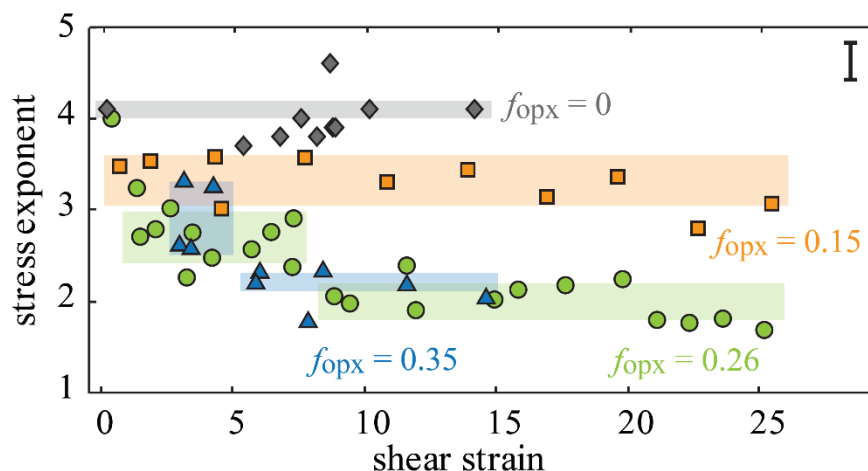


図 1: 応力指数(縦軸)とせん断歪み(横軸)の関係

実験試料を用いて鉱物混合層形成の素過程を考察した。輝石の量比が違う2つの試料を用い高歪み 2500%の実験を行い輝石が多い ($f_{px} = 0.26$ 、試料中の SiO_2 が少ない) 試料では細粒鉱物混合層 ($\sim 1\mu m$) が形成され(図 2A)、力学データでは歪み弱化が確認できた。一方輝石が少ない ($f_{px} = 0.15$ 、 SiO_2 が多い) 試料では粗粒かんらん石 ($\sim 10\mu m$) が観察され(図 2B) 力学データでは歪み弱化は確認できなかった。

細粒鉱物混合層が形成する理由について、かんらん石と輝石を主に構成する SiO_2 と酸化メタル(MeO)の拡散速度の差に注目し「変形に起因する物質拡散」により MeO が圧縮応力方向から引張応力方向に移動するために、細粒鉱物混合層が形成されると考察した。実験で得た輝石の量比が異なる試料において歪み弱化と細粒鉱物混合層形成の有無が変わるという結果は、この仮説と整合的である。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、細粒化と歪み弱化の程度は応力と温度、岩石の化学組成に依存すると考えられる。この結果は地球のプレート強度を考える上で重要な成果である。

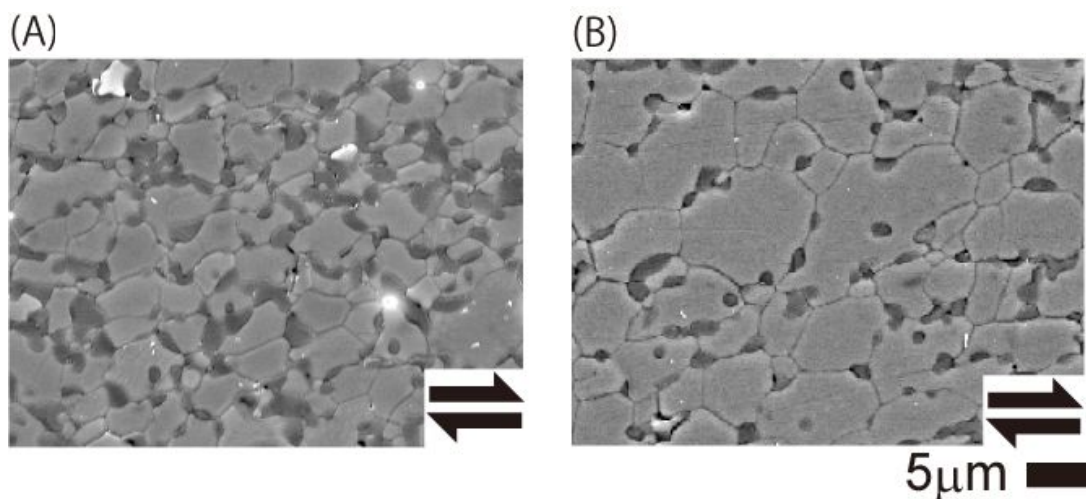


図 2 : 歪み 2500%の変形組織。薄いかんらん石、濃い灰色 : 輝石(A) $f_{px} = 0.26$ 、試料中の SiO_2 が少ない試料、(B) $f_{px} = 0.15$ 、試料中の SiO_2 が多い試料

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Pommier, A., D. L. Kohlstedt, L. N. Hansen, S. Mackwell, M. Tasaka, F. Heidelbach, K. Leinenweber	4. 巻 173.41
2. 論文標題 Transport properties of olivine grain boundaries from electrical conductivity experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Contributions to Mineralogy and Petrology	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/s00410-018-1468-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wallis, D., L.N. Hansen, M. Tasaka, K.M. Kumamoto, A. J. Parsons, G. E. Lloyd, D.L. Kohlstedt, A. J. Wilkinson	4. 巻 508
2. 論文標題 The impact of water on slip system activity in olivine and the formation of bimodal crystallographic preferred orientations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 51-61
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.12.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jimenez-Diaz, A., I. Egea-Gonzalez, L. Parro, M. Tasaka, J. Ruiz	4. 巻 -
2. 論文標題 The thermal structure and mechanical behavior of the Martian lithosphere	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ICARUS	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.113635	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 M. Tasaka, M. E. Zimmerman, D. L. Kohlstedt
2. 発表標題 Effect of pyroxene on rheological weakening of olivine + orthopyroxene due to phase mixing
3. 学会等名 AGU, Fall Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tasaka
2. 発表標題 Effects of pyroxene volume fraction on the rheological properties of Earth's mantle
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific workshop on Mantle and Lithosphere Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Heilbronner and M. Tasaka,
2. 発表標題 Anisotropic spatial clustering and ordering of olivine and orthopyroxene during rheological weakening conditions
3. 学会等名 EGU (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田阪 美樹, M. E. Zimmerman, and D. L. Kohlstedt
2. 発表標題 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解明
3. 学会等名 地球惑星連合大会2018年
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田阪 美樹, 稲川駿介
2. 発表標題 鳥根県野山岳に産するかんらん岩捕獲岩の微細構造解析と化学組成分析 ~ 日本海拡大時の岩石変形?
3. 学会等名 地球惑星連合大会2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田阪 美樹, M. E. Zimmerman, and D. L. Kohlstedt
2. 発表標題 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解明
3. 学会等名 地球惑星連合大会2018年
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

田阪美樹 https://sites.google.com/site/mikitasak005/home

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	コールステッド デイビット (Kohlstedt David L.)	アメリカミネソタ大学	
研究協力者	ジーママン マーク (Zimmerman Mark E.)	アメリカミネソタ大学	