

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19740329

研究課題名 (和文) ザクロ石の塑性変形実験に基づく沈み込んだ海洋地殻のレオロジー的性質

研究課題名 (英文) Rheological properties of subducted crustal materials based on deformation experiments of garnet

研究代表者

片山郁夫 (Katayama Ikuo)

広島大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：10448235

研究成果の概要：沈み込んだ海洋地殻物質を構成するザクロ石のレオロジー的性質（流動特性）を高温高压変形実験により調べた結果、ザクロ石の塑性強度は含水量に強く依存することが分かり、低含水量ではザクロ石はオリビンより強度が高いが、高含水量ではオリビンより強度が低く流動しやすいことが分かった。このことは、水に富んだ環境では海洋地殻物質は低い粘性率を持つため周りのマントル物質と混合しやすいが、枯渇した条件では粘性率が高くマントル内部で孤立した化学不均質として存在している可能性が高い。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,200,000	0	2,200,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	330,000	3,630,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：地殻・マントル・核

1. 研究開始当初の背景

マントル内部へ沈み込む海洋地殻物質は地球内部での化学不均質の最も重要な要因であり、そのような地殻物質のマントル条件での動的挙動はマントルの進化を議論する上で重要である。これら地殻物質の相関係や弾性的性質は静水圧条件での高温高压実験により多くの研究例があるが、流動を支配するレオロジー的性質はまだほとんど理

解されていない。本研究では海洋地殻を代表する鉱物であるザクロ石のレオロジー的性質を高温高压変形試験機により調べた。

2. 研究の目的

鉱物中に溶け込む微量の水（水酸基）は結晶中の格子欠陥濃度を上昇させ変形を著しく促進することが知られている。例えば、マントルを代表する鉱物であるオリビンで

は 1000ppm 程度の含水量で粘性率が 2 桁ほど低下することが報告されている。変形速度に対する水の効果はどの欠陥が変形を支配しているかに依存する。オリビンでは格子間に存在するシリコンサイトの点欠陥が変形を支配していると報告されている (Karato and Jung 2001)。しかし、変形を支配する欠陥は結晶への水の溶解機構により異なるため、ザクロ石では変形に対する水の効果 (フガシティーのベキ数) がオリビンとは異なる可能性がある。実際、これまでの水の溶解実験によればオリビンではメタルサイトを 2 つの水素原子が置き換えるのに対し (Kohlstedt et al. 1996)、ザクロ石ではシリコンを 4 つの水素原子が置き換える hydro-grossular 置換により水が結晶中に取り込まれると報告されている (Ackermann et al. 1983)。もし、変形に対する水の効果が異なれば、含水条件によりザクロ石とオリビンの相対強度比 (粘性率比) が変化すると予想される。地球内部での水の分布は不均質である可能性が高いため、海洋地殻とマンテル物質のレオロジー的性質が地域により異なり、地殻物質のマンテル内部での混合問題および 660km 相境界付近での分離の条件が地域 (もしくは時代) ごとに異なる可能性がある。本研究ではザクロ石の流動特性に対する水の効果を調べ、含水量によりオリビンとザクロ石の強度比がどのように変化するかを調べる。

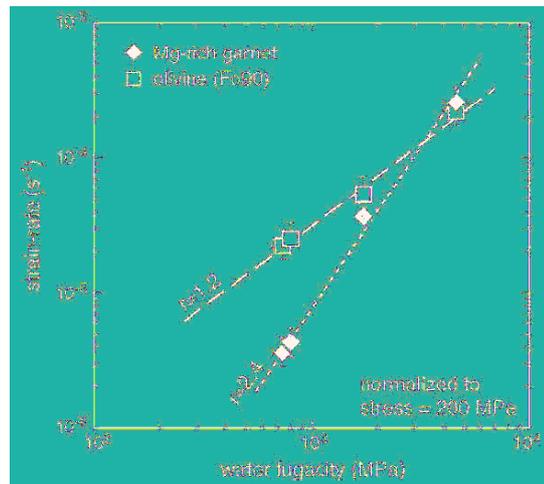
3. 研究の方法

マンテル深部では海洋地殻は主にザクロ石から構成されるため (90vol%)、海洋地殻物質のレオロジーはザクロ石が支配している可能性が高い。また、地殻物質の混合や分離の問題では地殻物質のレオロジーのみならず、周りのマンテル物質とのコントラストが重要になる。そこで、本研究では固体圧変形試験機を用い、ザクロ石とオリビンと同時に変形させ両者の強度比を直接測定する二相直列変形実験を行う。含水条件実験は圧媒体に含水鉱物を用い、それら含水鉱物の脱水反応により水を試料に供給するセルで実験を行った。

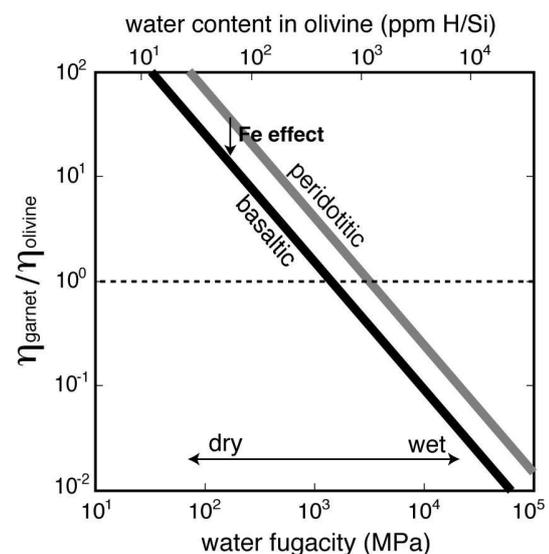
4. 研究成果

高温高压変形試験の結果、低含水量ではザクロ石はオリビンより塑性強度が高いのに対し、高含水量ではザクロ石の方が強度が低くなることが明らかとなった。鉱物の塑性強度を水のフガシティー (含水量から計算) の関数としてプロットすると、オリビンはフガシティーの 1.2 乗に比例するのに対し、ザクロ石の変形速度はフガシティーの 2.4 乗に比例し水に敏感であることが分かる。これはオリビンの変形がシリコンサ

イトの空陥に支配されているのに対し、ザクロ石の場合は水素欠陥に律速されているためと考えられる。



マンテル内に分布する海洋地殻物質は時間経過 (対流) とともに周りのマンテル物質と混合する可能性が指摘されているが (Allegre and Turcotte 1985)、この問題では海洋地殻とマンテル物質のレオロジー的性質 (粘性率比) が鍵を握っている (Manga 1996)。例えば、海洋地殻の粘性率がマンテルより高い場合には混合は起きにくい、低い場合には比較的容易に海洋地殻がマンテル物質中に混合すると報告されている。本研究の結果は水に富んだ環境では海洋地殻物質は低い粘性率を持つため比較的容易に周りのマンテル物質と混合するが、一方水に枯渇している場合は海洋地殻の強度は高くマンテル内部で孤立した化学不均質として存在している可能性が高いことを示唆する。



上部マントルの領域では沈み込んだ海洋地殻物質は周りのマントル物質より密度が高いが、660km の上部下部マントル境界においては密度逆転が起き海洋地殻物質がマントル物質より密度が低くなると報告されている (Irifune and Ringwood 1993)。この密度逆転による浮力のため海洋地殻成分は沈み込むスラブから引き離され、分離した地殻物質は境界層にトラップされている可能性が示唆されている (e.g., Ringwood 1982)。しかしながら、地殻物質を引き離すような動的プロセスでは密度だけではなくレオロジー的性質 (粘性率) が重要になる。これまでの数値モデリングによると海洋地殻とマントル物質の粘性率が等しい場合には 660km 相境界付近での海洋地殻の分離は起きないが (Richards and Davies 1989)、海洋地殻がマントル物質に比べ高い粘性率を持つ場合は分離する可能性が高いと報告されている (van Keken et al. 1996; Karato 1997)。本研究の結果、含水条件では海洋地殻がマントル物質に比べ低い粘性率を持つため、地殻物質はスラブから剥がれマントル遷移層に蓄積されているが、無水の条件では海洋地殻がマントル物質に比べ高い粘性率を持つことから分離は起きず、地殻物質は株マントルまで運び込まれていることが予想される。

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 9 件)

- ① Katayama, I. 2009. Thin anisotropic layer in the mantle wedge beneath northeast Japan. *Geology*, 37, 211-214. (査読有り)
- ② Katayama, I., Suyama, Y., Ando, J. and Komiya, T. 2009. Mineral chemistry and P-T condition of granular and sheared peridotite xenoliths from Kimberley, South Africa: Origin of the textural variation in the cratonic mantle. *Lithos*, doi:10.1016/j.lithos.2008.05.004. (査読有り)
- ③ Tajima, F., Katayama, I. and Nakagawa, T. 2009. Variable seismic structure near the 660 km discontinuity associated with stagnant slabs, geochemical implications. *Physics of Earth and Planetary Interior*, 172, 183-198. (査読有り)
- ④ Katayama, I. and Karato, S. 2008. Low-temperature, high-stress deformation of olivine under water-saturated condition. *Physics of Earth and Planetary Interior*, 168, 125-133. (査読有り)
- ⑤ Katayama, I. and Karato, S. 2008. Effects of water and iron content on the rheological contrast between garnet and olivine. *Physics of Earth and Planetary Interior*, 166, 57-66. (査読有り)
- ⑥ Katayama, I., Komiya, T. and Toriumi, M. 2008. Annealing time-scale of the cratonic lithosphere of Southern Africa inferred from the shape of inclusion minerals. *International Geology Review*, 50, 84-88. (査読有り)
- ⑦ 片山郁夫 2008. かんらん石格子選択配向の実験的研究と沈み込み帯での地震波異方性、月刊地球, 30, 2-7. (査読無し)
- ⑧ Karato, S., Jung, H., Katayama, I. and Skemer, P. 2008. Geodynamic significance of seismic anisotropy of the upper mantle: New insights from laboratory studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, 59-95. (査読有り)
- ⑨ Kneller, E.A., van Keken, P.E., Katayama, I. and Karato, S. 2007. Stress, strain, and B-type olivine fabric in the fore-arc mantle: sensitivity tests using high-resolution steady state subduction zone models. *Journal of Geophysical Research*, 112, B04406, doi:10.1029/2006JB004544. (査読有り)

[学会発表] (計 9 件)

- ① I. Katayama, Thin anisotropic layer in the mantle wedge beneath Northeast Japan. American Geophysical Union, Fall Meeting (Sanfrancisco, USA), 2008/12/17
- ② 片山郁夫, 陶山由夏, 安東淳一, 道林克禎, 小宮剛 キンバーライト捕獲岩の温度圧力条件と変形組織の関係 日本地質学会第 115 年学術大会 (秋田)、年月: 2008/9/20
- ③ I. Katayama, K. Michibayashi, J. Ando, T. Komiya. Distinct olivine slip-system in the sheared and granular mantle xenoliths from the Kimberley, South Africa. Asia Oceanic Geosciences Society Meeting (Busan, South Korea), 2008/6/18
- ④ 片山郁夫, 道林克禎, 安東淳一, 小宮剛 キンバーライト捕獲岩の変形組織とかんらん石すべり系の関係 2008 年地球惑星科学連合大会 (幕張)、年月: 2008/5/17
- ⑤ 片山郁夫, 安東淳一, 道林克禎, 小宮剛 大陸下マントル捕獲岩の変形微細組織と異方性 日本鉱物学会 (本郷)、年月: 2007/9/17
- ⑥ 片山郁夫, 是永淳 大陸テクトスフェアはなぜ安定か? 日本地質学会第 114 年学術大会 (札幌)、年月: 2007/9/10
- ⑦ I. Katayama, S. Karato. Is garnet stronger than olivine? International Eclogite Symposium (Lochalsh, Scotland), 2007/7/4
- ⑧ 片山郁夫, 唐戸俊一郎 (招待講演) オリビン選択配向に対する水の効果と沈み込み

帯地震波異方性に関する考察 2007 年地球惑星科学連合大会（幕張）、年月：2007/5/22

- ⑨ 片山郁夫、唐戸俊一郎（招待講演）沈み込んだ海洋地殻の行方：レオロジー的性質からの考察 2007 年地球惑星科学連合大会（幕張）、年月：2007/5/21

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/~geotect/link/katayama.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片山 郁夫 (KATAYAMA IKUO)
広島大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：10448235

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者