

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04015

研究課題名(和文) 海洋マントルの加水反応がプレート沈み込み開始に与える影響の解明

研究課題名(英文) Influence of upper mantle hydration on the initiation of oceanic plate subduction

研究代表者

平内 健一 (Ken-ichi, Hirauchi)

静岡大学・理学部・准教授

研究者番号：10633290

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)：上部マントルの熱水変質作用が海洋断裂帯の強度にどのような影響を与えるのかを理解する目的で、変形DIA装置を用いて水飽和したかんらん岩ガウジの単純剪断実験を行った。実験条件は、温度500-580℃、封圧2.5 GPa、含水量4-30wt.%であった。かんらん岩ガウジの剪断強度は約0.5-1 GPaであった。かんらん石粒子には[001](010)のすべり系が卓越していた。ガウジ内にはB、R1、Y面などの蛇紋石を含む局所的な剪断帯が発達し、カタクレシスに起因する粒径減少が顕著であった。これらの結果は、断裂帯はかんらん石の転位クリープと蛇紋石の摩擦すべりによって変形が支配されていることを示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋プレートの沈み込みは、惑星表層とマントル間の物質循環をもたらすことから、地球史における大気やマントルの進化を考える上で重要なプロセスである。本研究成果は、惑星表層に海洋が存在することで、プレートが沈み込みを開始するために必要なプレート間にかかる抵抗力(差応力)に打ち勝つことができることを明らかにした。つまり、太陽系の岩石惑星の中で地球にだけプレートテクトニクスがある理由として、惑星表層に唯一水が存在することが挙げられる。

研究成果の概要(英文)：To understand how the hydrothermal alteration of the upper mantle affects the strength of oceanic fracture zones, we conducted simple-shear experiments on water-saturated peridotite gouges using two deformation-DIA apparatuses at a confining pressure of 2.5 GPa, temperatures of 500-580 °C, and water contents of 4-30 wt.%. The gouges have a shear strength of 0.5-1 GPa. Olivine aggregates exhibit a B-type crystal preferred orientation indicative of the operation of the [001](010) slip system. Shear displacement is also accommodated by the development of serpentine-rich multiple shear zones including B, R1, and Y shears, where intense cataclasis-related grain size reduction occurs. These findings suggest that at the oceanic fault zones undergoing hydrothermal alteration, deformation is controlled by competition between dislocation creep in olivine and frictional sliding of serpentine.

研究分野：構造地質学

キーワード：沈み込み開始 蛇紋石 上部マントル プレートテクトニクス 変形実験

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海洋プレートの沈み込みは、惑星表層とマントル間の物質循環をもたらすことから、地球史における大気やマントルの進化を考える上で重要なプロセスであり、トランスフォーム断層や断層帯などの既存の断層面を利用して起こると考えられている。しかし、プレートの沈み込みは、それら海洋プレート内断層の強度が異常に低い場合にのみ起こる現象であり、その具体的な断層弱体化機構については未だによくわかっていない。本研究では、上記の断層に沿って海水が浸透した際に起こるかんらん岩・水反応に着目した。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、海洋プレート深部における岩石・水反応がプレートの沈み込みに必要な力学的に弱い断層を形成しうるのかについて検証することであった。そのためには、上部マントル条件下でのかんらん岩の熱水変形実験を実施し、1) どのような含水鉱物が生成されるのか、2) 含水鉱物がどの程度含まれれば応力低下が起こるのか、3) 含水鉱物に卓越する変形機構は何か、以上の3点を明らかにする必要がある。

これまでに行われた実験では、「岩石と水の化学反応」と「岩石の変形」の性質について、個別に調べる手法をとってきた。しかし、天然の断層では、上記2つのプロセスは同時に時間発展し、かつ相互に作用し合うはずである。本実験では、反応と変形を同時に起こすことで、海洋プレートにおける断層深部に海水が浸透した直後に何が起こるのかについて、その物質科学的な描像を提供することができると考えた。

### 3. 研究の方法

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター(GRC)および大型放射光施設(SPring-8)に設置された変形DIA装置を用いてかんらん岩ガウジの高温高压熱水変形実験を行った。変形DIA装置は従来のマルチアンビル装置による圧力発生機構(六つのアンビルを載荷装置で加圧)に加え、上下方向の二つのアンビルを独立に駆動することにより試料に差応力を発生させることができる。出発物質はかんらん石70%と斜方輝石30%およびかんらん石100%の混合粉末試料で、温度・圧力条件はそれぞれ500~580、2.5 GPaであった。また、実験中に加水反応を引き起こす目的で、粉末試料に水を最大で30 wt%添加し、それらを白金カプセルに封入した。さらに、試料を最大主応力方向に対して45度の方向にプレカットしたアルミナピストンの間に挟み、単純剪断のジオメトリで試料を変形させる構成とした(図1)。実験は合計で15回実施し、実験時間は約20時間であった。変形中における試料の差応力については、放射光X線によるその場測定によって求めた。

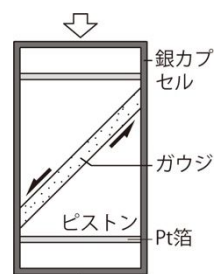


図1. 変形DIA装置の試料アセンブリ。

### 4. 研究成果

SPring-8で実施した全4回の実験において、人工かんらん岩試料の差応力は約0.5~1 GPa程度であった。実験後は、試料を剪断方向に平行な面でカットし、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた微細組織観察、レーザーラマン分光分析、主要元素組成分析、後方散乱電子回折を行った。高剪断歪(最大3.8)を獲得した試料には、脆性剪断帯に特徴的な複合面構造が認められた。特に、リーデル剪断面(R1面)が明瞭であり、R1面に沿ってのみ出発物質の粒子は著しく粒径減少していた(図2)。そして、細粒化した粒子の粒界はジグザグ状をなし、粒間には新たに生成したと思われる鉱物粒子が認められた。主要元素組成分析の結果から、これらの含水鉱物は蛇紋石であることがわかった。さらに、この蛇紋石についてレーザーラマン分光分析を行ったところ、リザーダイトとアンチゴライトの中間の結晶構造をもつことがわかった。一方、かんらん石粒子について、後方散乱電子回折を行ったところ、かんらん石のc軸が剪断方向に平行、b軸が剪断面に垂直に配向するBタイプファブリックからなることが明らかになった。

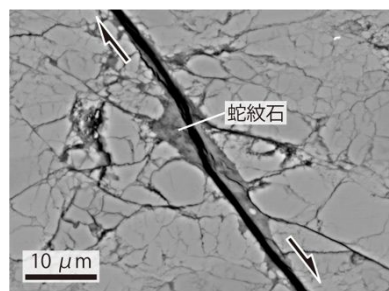


図2. 熱水変形実験後のかんらん岩試料のSEM写真。剪断面に沿って蛇紋石が新たに生成している。

本実験において加水反応が起こった場所は、剪断面(R1面やY面)に沿ってのみであった。これは、R1面に沿ってカタクレシスによる粒径減少が起こったことで、粒子の反応速度がその部分のみ相対的に増加したことに起因すると考えられる。また、一般に含水鉱物はかんらん石や輝石に比べて著しく低い摩擦強度をもつことから、剪断面に沿った含水鉱物の存在は、ガウジ層全体の強度の低下に寄与していると予想される。一方で、かんらん石に粒子に結晶方位定向配列が卓越していたことから、これらの粒子は転位クリープによる結晶塑性変形が卓越していたことが考えられる。このことは、上部マントルにおける断層(弱面)形成を考える上で、含水鉱

物の存在に加えて名目上無水鉍物のレオロジーも重要な役割を果たすことを意味している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9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 Hirauchi, K., Segawa, I., Kouketsu, Y., Harigane, Y., Ohara, Y., Snow, J., Sen, A., Fujii, M., Okino, K.	4. 巻 30
2. 論文標題 Alteration processes recorded by back-arc mantle peridotites from oceanic core complexes, Shikoku Basin, Philippine Sea	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12419	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 Hirauchi, K., Nagata, Y., Kataoka, K., Oyanagi, R., Okamoto, A., Michibayashi, K.	4. 巻 576
2. 論文標題 Cataclastic and crystal-plastic deformation in shallow mantle-wedge serpentinite controlled by cyclic changes in pore fluid pressures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 117232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2021.117232	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 -

1. 著者名 Sen, A., Snow, J.E., Ohara, Y., Hirauchi, K., Kouketsu, Y., Sanfilippo, A., Basch, V., Harigane, Y., Fujii, M., Okino, K., Akizawa, N.	4. 巻 22
2. 論文標題 Melting and evolution of amphibole-rich back-arc abyssal peridotites at the Mado Megamullion, Shikoku Basin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 e2021GC010013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GC010013	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 -

1. 著者名 Akizawa, N., Ohara, Y., Okino, K., Ishizuka, O., Yamashita, H., Machida, S., Sanfilippo, A., Basch, V., Snow, J.E., Sen, A., Hirauchi, K., Michibayashi, K., Harigane, Y., Fujii, M., Asanuma, H., Hirata, T.	4. 巻 8
2. 論文標題 Geochemical characteristics of back-arc basin lower crust and upper mantle at final spreading stage of Shikoku Basin: an example of Mado Megamullion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-021-00454-3	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 森下知晃・藤江剛・平内健一・片山郁夫・瀧澤佑衣・黒田潤一郎・岡本敦・小野重明・道林克禎・諸野祐樹・山本伸次	4. 巻 130
2. 論文標題 マントル掘削でのみ解明される地球科学問題 生命惑星海洋プレートの今を理解する	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 483-506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5026/jgeography.130.483	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 -

1. 著者名 Hirauchi, K., Yoshida, Y., Yabe, Y., Muto, J.	4. 巻 21
2. 論文標題 Slow stick slip failure in halite gouge caused by brittle plastic fault heterogeneity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 e2020GC009165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GC009165	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 -

1. 著者名 Hirauchi, K., Katayama, I., Kouketsu, Y.	4. 巻 140
2. 論文標題 Semi-brittle deformation of antigorite serpentinite under forearc mantle wedge conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Structural Geology	6. 最初と最後の頁 104151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jsg.2020.104151	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 -

1. 著者名 大橋聖和・竹下徹・平内健一	4. 巻 129
2. 論文標題 断層帯と断層レオロジーの進化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 473-489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5026/jgeography.129.473	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 -

1. 著者名 Hirauchi, K., Yamamoto, Y., den Hartog, S.A.M., Niemeijer, A.R.	4. 巻 531
2. 論文標題 The role of metasomatic alteration on frictional properties of subduction thrusts: An example from a serpentinite body in the Franciscan Complex, California	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 115967
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2019.115967	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13件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 平内健一・永田有里奈・大柳良介・岡本敦・道林克禎
2. 発表標題 高間隙流体圧下での古マントルウェッジ蛇紋岩体の破壊作用と深部スロー地震発生サイクルとの関連性
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日比涼多・平内健一
2. 発表標題 石英・滑石混合ガウジの摩擦特性から検証するスロースティック・スリップの発生メカニズム
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永田有里奈・平内健一・岡崎啓史
2. 発表標題 フィールドおよび実験的観察から推測される深部スロー地震発生域におけるアンチゴライト蛇紋岩の変形挙動
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬川いづみ・平内健一・小原泰彦・瀨織佑衣・道林克禎
2. 発表標題 四国海盆における海洋コアコンプレックスから採取された蛇紋岩化したかんらん岩の岩石学的特徴
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩谷輝・道林克禎・平内健一・瀨織佑衣・苗村 康輔
2. 発表標題 静岡県西部三波川帯「渋川超苦鉄質岩体」の構造岩石学的特徴とその起源
3. 学会等名 日本地質学会第126年学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田有里奈・片岡賢悟・平内健一
2. 発表標題 四国中央部三波川帯に分布するブロック状蛇紋岩の構造岩石学的解析
3. 学会等名 日本地質学会第126年学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬川いづみ・平内健一・小原泰彦
2. 発表標題 四国海盆における海洋コアコンプレックスから採取されたかんらん岩の構造岩石学的研究
3. 学会等名 日本地質学会第126年学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平内健一
2. 発表標題 アウターライズ断層の強度に対する岩石・水相互作用の影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片岡賢悟・永田有里奈・平内健一・大柳良介・岡本敦・道林克禎
2. 発表標題 Evidence for semi-brittle flow in mantle-wedge serpentinites under high pore fluid pressure and their implications for deep low frequency earthquakes
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白鬚里彩子・多々良祈里・平内健一・竹村貴人
2. 発表標題 石英ガウジの摩擦特性に対する滑石含有量の影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和泉美希・吉田晶樹・平内健一
2. 発表標題 海洋リソスフェアにおける沈み込み開始の数値シミュレーション実験：含水鉱物のレオロジー特性の効果
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 仙場真紀・平内健一・大内智博・道林克禎
2. 発表標題 High-pressure deformation experiments on peridotite gouges under hydrothermal conditions, using a deformation-DIA apparatus
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塩谷輝・道林克禎・平内健一
2. 発表標題 静岡県西部三波川帯 "渋川超苦鉄質岩体" カンラン石の構造岩石学的研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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 分担 者	大内 智博  (Tomohiro Ohuchi)  (60570504)	愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・准教授   (16301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------