

研究種目： 基盤研究(B)
研究期間： 2007 ~ 2009
課題番号： 19340147
研究課題名(和文) 沈み込みプレート境界の地震発生における脱水反応の役割
研究課題名(英文) The role of dehydration reaction in seismogenic processes at subduction plate boundaries
研究代表者
清水 以知子 (SHIMIZU ICHIKO)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号： 40211966

研究成果の概要(和文)：

沈み込みスラブの2重震発面における地震発生メカニズムとして、蛇紋岩化したマントルの脱水脆性化説が有力視されてきた。しかし従来のガス圧式変形試験機による実験は地下 15 km までの条件に限られており、同じメカニズムを深さ 200 km におよぶ沈み込みスラブの中深発地震にあてはめることはできない。そこで我々は固体圧式変形試験機によって、より高圧における蛇紋岩の力学的挙動を調べるとともに、実験試料の変形組織を観察し、従来の学説とは異なる「脱水軟化」現象を明らかとした。

研究成果の概要(英文)：

A popular hypothesis for the occurrence of double seismic zones, observed at the intermediate depth of about 50-200 km, is dehydration embrittlement of the serpentinized slab mantle. The weakening of serpentinite was attributed to excess pore fluid pressure caused by dehydration reaction of serpentine. However, the confining pressure of these experiments using gas-medium apparatus was limited up to 500 MPa (corresponding to 15 km depth). It is questionable if the same mechanism could be effective in subducting slabs at higher pressures. We conducted constant strain-rate experiments of serpentinite using a solid-medium deformation apparatus and found that the yield strength of serpentinites drastically decreased when dehydration reaction proceeded. This phenomena, named “dehydration weakening”, would be a key to understand seismogenic processes in the serpentinized mantle slabs.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,100,000	3,630,000	15,730,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野: 数物系

科研費の分科・細目: 地質学一般

キーワード: レオロジー

1. 研究開始当初の背景

最近、H₂O 流体が地震発生帯ではたす役割に注目が集まっている。地殻中深部の断層帯近傍における流体の存在は、地震波反射面や弾性波速度異常や比抵抗異常から様々に議論されてきた。また沈み込みプレート境界で観測された低周波微動も、流体の移動に関連したものである可能性が高い。地震発生における H₂O 流体の影響がとくに顕著にあらわれていると予想される場所として、沈み込むスラブで古くから知られている2重深発地震面(和達-ベニオフ面)があげられる。数値シミュレーションで再現されるスラブの温度構造や相平衡解析から、2重深発地震面が蛇紋岩などの含水鉱物の脱水温度に対応すると推定された (Peacock, 2001; Ohmori et al., 2002; Yamasaki & Seno, 2003)。しかし、脱水反応がどのように地震を誘発するかについての物質科学的理解はたち遅れていた。

2. 研究の目的

震源域における流体の挙動と破壊・断層滑りに至る素過程を理解することは、将来の地震の

長期的／短期的予測のためにも重要であるが、そのためには岩石力学と物質科学的アプローチとを融合した研究が必要となる。本研究では高温高压変形実験に基づいて沈み込みスラブにおける脱水反応から破壊へいたるプロセスを明らかにし、中深発地震のメカニズムを解明することをめざした。

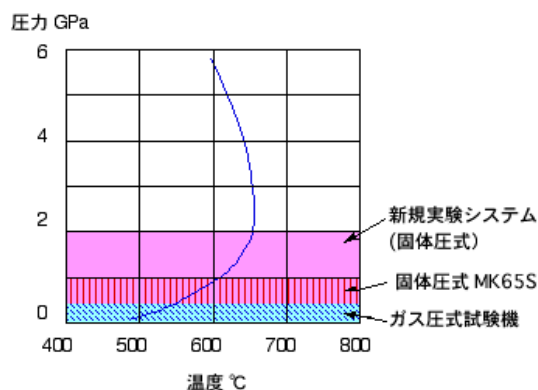


図1. 高温型蛇紋石(アンチゴライト)の脱水反応曲線と変形実験可能な温度圧力領域. 反応曲線は Ohmori et al. (2001) による.

3. 研究の方法

研究代表者らは固体圧式実験装置 MK65S により高温高压下での差応力を精密決定する手法を確立してきた(熊澤・清水, 2006; 清水ほか, 2006). 本研究ではこの装置によって変形実験を行なうとともに、1GPa 超の封圧を容易に発生することができる変形実験装置 CHERRY を新たに設計開発した(図1).

実験後に回収した試料は偏光顕微鏡・反射顕微鏡および走査型電子顕微鏡 (SEM: 東京大学理学系研究科現有) によって観察し、鉱物の塑性変形組織や割れ目、反応生成物の有無を観察した. 実験で生成される細粒結晶の方位をマッピングするために、後方電子散乱像解析装置 (EBSD) を使用した.

4. 研究成果

沈み込むスラブの二重震発面の原因として、蛇紋岩化したマントルカンラン石の“脱水脆性化説”が有力視されてきたが、深さ 200 km におよぶ震源の分布を説明するのは困難がある. これにかわるメカニズムとして“脱水軟化説”を提唱した.

東北日本などで典型的にみられる見られる二重震発面のうち下面地震(および上面地震の一部)は蛇紋石が脱水分解する 650~700 °C 付近の等温線付近にある. 上面地震の海洋地殻部分については角閃石・ローソン石・緑泥石などの脱水反応が関与している可能性が指摘されている (Yamasaki & Seno, 2003; Ohmori et al., 2002, 2009; Hacker et al., 2003). 本研究ではこれらさまざまな含水鉱物のうち特に蛇紋石の脱水反応をとりあげた. 蛇紋石は体積にして 24% におよぶ「水」を含む(言い換えれば、脱水反応によって 24% 固相体積が減少する)ため、脱水反応が地震の不安定性を起こすとすれば、その効果は蛇紋岩において最も顕著にあらわれると

予想されるからである.

高压下における脱水不安定性のメカニズムを探るため、蛇紋岩の定歪速度試験を行なった. 蛇紋岩試料は $\phi 10 \times 15$ mm の円柱に整形し銀チューブで覆った. 図3には応力-歪曲線の例を示している. 脱水反応がまだ起こらない 500 °C の実験では差応力が 1 GPa 近くなっても破壊や降伏がみられなかった. これに対して、予備加熱の後に温度 700 °C で変形させた実験では低い差応力で降伏し、定常的クリープで変形した. ここで見られた顕著な強度低下は従来の「脱水脆性化」説のように破壊を伴うものではないので、我々はこれを「脱水軟化」と呼んで区別している.

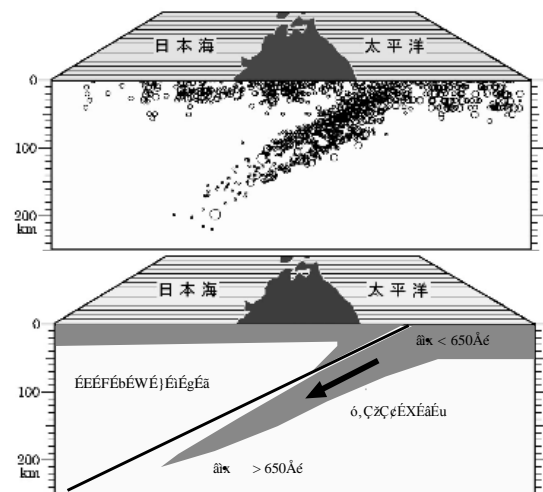


図2. 東北日本断面における震源分布(上)と温度構造の概念図(下). 防災科学研究所 Hi-net (<http://www.hinet.bosai.go.jp>) の震源分布図に加筆.

H₂O 生成によって岩石が軟化する原因として様々な可能性が考えられるが、微細構造の観察や流動応力の歪速度依存性から、蛇紋石の脱水分解した後に反応生成物の破碎流動と圧密変形を起こしたと推定している(清水ほか, 2009). 従来のガス圧変形実験と異なる結果とな

った理由としては、封圧の違いのほか、圧媒体が固体(タルクなど)であるため急激な破壊を抑制すること、また試料ジャケットが完全にシールされていないため H₂O 流体が徐々に外へ抜け出していたということがあげられる。自然界で実際に起きている脱水反応過程でも、反応が進むとともに空隙率が増加し、やがて空隙どうしが連結して浸透流で H₂O 流体が抜け出していく。したがって我々の実験は、より天然で起きている状況に近いプロセスを見ているものと考えられる。

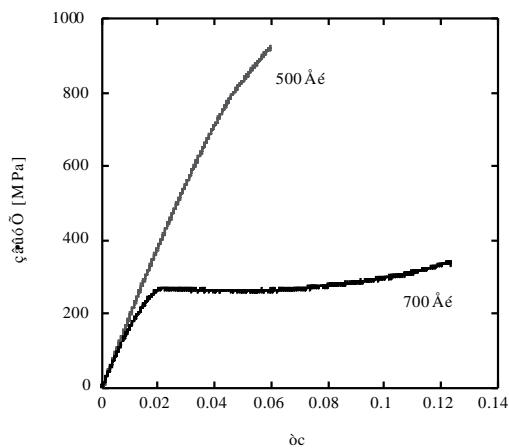


図3. アンチゴライト蛇紋岩の脱水軟化を示す応力-歪曲線. 封圧 0.8 GPa , 歪速度 3.3×10^{-5} sec⁻¹.

一般に「軟化」現象は「脆性化」とは反対に、剪断変形をより安定化させる方向に働く。したがって「脱水軟化」の起きる場所で地震が発生するというのは、一見奇妙なことに思える。ひとつの要因として考えられるのは、スラブ内部の反応フロントが軟化することによる歪の集中である。歪が局在化し剪断帯が形成されることにより弾性的な応力もこの周囲に集中し、やがては震源核として働くことになるだろう。もうひとつの重要な要因は反応部における圧密変形である。差応

力下の圧密変形では空隙を満たしていた流体が絞りだされ、その過程で過剰な空隙水圧が発生する。この高い空隙水圧の領域で岩石強度が低下し、破壊が起きると考えられる。

参考文献

- 熊澤峰夫・清水以知子, 2006, 日本における固体圧変形実験装置の開発と研究の系譜. 構造地質, No. 49, 5-14. 清水以知子ほか (2006): 構造地質, No. 49, 15-26.
- Omori, S., Kamiya, S., Maruyama, S. & Zhao, D.. Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo 76, 455-478 (2002).
- Omori, S. et al., Gondwana Research 16, 458-469, (2009).
- Peacock, S. (2001): Geology, 29, 299-302.
- Raleigh, C. B. and Paterson, M. S. (1965): J. Geophys. Res. 70, 3965-3985.
- Seno, T. et al. (2001): Earth Planets Space, 53, 861-871.
- 清水以知子・道林克禎・渡辺悠太・増田俊明・熊澤峰夫, 2006, 構造地質, No. 49, 15-26.
- 清水以知子ほか (2009): 地球惑星科学連合大会, J240-005.
- Yamasaki and Seno, T. (2003): J. Geophys. Res., 108, doi: 10.1029/2002JB001918.

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 7 件)

1. 清水 以知子, 2010, 沈み込みスラブの二重震発面と蛇紋岩の脱水不安定性, 月刊地球, 32, 162-166.
2. Koizumi, S., Hiraga, T., Tachibana, C.,

Tasaka, M., Miyazaki, T., Kobayashi, T., Takamasa, A., Ohashi, N., Sano, S., (2010) Synthesis of highly dense and fine-grained aggregates of mantle composites by vacuum sintering of mineral nano-powders, Physics and Chemistry of Minerals, DOI: 10.1007/s00269-009-0350-y.

3. Hiraga, T., Tachibana, C., Ohashi, N., Sano, S., (2010) Grain growth systematics for forsterite ± enstatite aggregates: Effect of lithology on grain size in the upper mantle, Earth and Planetary Science Letters 291, 10-20.

4. Katayama, I., Hirauchi, K., Michibayashi, K., and Ando, J., 2009. Trench-parallel anisotropy produced by serpentine deformation in the hydrated mantle wedge. Nature, 461, 1114-1117, doi:10.1038/nature08513.

5. Michibayashi, K., Hirose, T., Nozaka, T., Harigane, Y., Escartin, J., Delius, H., Linek, M. and Ohara, Y., 2008. Hydration due to high-T brittle failure within in situ oceanic crust, 30° N Mid-Atlantic Ridge. Earth and Planetary Science Letters, 275, 348-354, 10.1016/j.epsl.2008.08.033.

6. Shimizu, I., 2008, Theories and applicability of grain size piezometers: The role of dynamic recrystallization mechanisms, J. Struct. Geol., 30, 899-917. doi:10.1016/j.jsg.2008.03.004. 1

7. Tasaka, M., Michibayashi, K. and Mainprice, D., 2008. B-type olivine fabrics developed in the fore-arc side of the mantle wedge along a subducting slab. Earth and Planetary Science Letters, 272, 747-757.

[学会発表] (計 3 件)

1. 清水 以知子, 改良熊沢型固体圧試験機による高圧実験, 地球惑星科学連合大会, 千葉県幕張メッセ, 2010 年 5 月 19 日.

2. 清水 以知子・渡邊 悠太, 道林 克禎, 高橋美紀, 蛇紋岩の脱水軟化と沈み込みスラブにおける地震発生過程, 地球惑星科学連合大会, 千葉県幕張メッセ, 2009 年 5 月 16 日 (招待講演)

3. 清水 以知子, 蛇紋岩の脆性-延性転移, 地球惑星科学連合大会, 千葉県幕張メッセ, 2009 年 5 月 26 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 以知子 (SHIMIZU ICHIKO)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号: 40211966

(2) 研究分担者

平賀 岳彦 (HIRAGA TAKEHIKO)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号: 10440476

道林 克禎
(MICHIBAYASHI KATSUYOSHI)
静岡大学・理学部・準教授
研究者番号: 20279782

