

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K14406

研究課題名(和文) 摩擦実験から推察する海山の沈み込みと地震発生

研究課題名(英文) Effects of the seamount subduction on earthquake generation: inferred from friction experiments

研究代表者

澤井 みち代 (Sawai, Michiyo)

千葉大学・大学院理学研究院・助教

研究者番号：20760995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：沈み込むプレート境界面には、アスペリティと呼ばれるプレート間同士がしっかり固着している領域が存在し、大地震につながるプレート境界型地震はこのアスペリティの破壊によって起きると指摘されている。そこで、アスペリティの形成要因の一つとして考えられている海山由来の岩石を用いて摩擦実験をおこなった。その結果、海山は深く沈み込み温度が上昇するにしたがって不安定な挙動を示すこと、低い温度領域では地震破壊を抑制するバリアの働きをする可能性があることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アスペリティ形成のひとつの要因として海山が有力視され、さらにアスペリティは、海溝型巨大地震からスロー地震に至るまで多くの現象を理解するための鍵と考えられている以上、海山の摩擦特性を理解することはアスペリティと地震発生を考える上で何が鍵となるのかを紐解く一端になりうる。本研究によって、海山は深く沈み込むほど不安定な挙動を示す一方、比較的温度の低い沈み込み帯の浅い領域では安定な挙動を示すことが明らかになったが、今後、数値計算などにこのような結果から制約を与えることにより、沈み込み帯で発生する多様な地震活動に対する理解がさらに深まると期待される。

研究成果の概要(英文)：Subducted seamounts are traditionally thought to affect seismic faulting along a subduction zone megathrust by increasing the normal stress on the subduction interface and to act as asperities, although recent studies suggest that they can act as barriers for rupture propagation or may promote slow slip behavior or creep. In this project, we conducted friction experiments on gouges of a greenstone to reveal the frictional strength of seamounts and the effect of temperature on frictional stability and investigated how the seamounts act at subduction zones. Our results showed that at low temperatures frictional strength was notably greater than those of typical subduction zone materials, and that frictional stability decreases with increasing temperature, i.e. with increasing depth. These results suggest that a seamount may act as a barrier for rupture propagation on a shallow portion, and can be a site of earthquake nucleation on a deep portion of a subduction zone.

研究分野：岩石力学

キーワード：海山 沈み込み 地震 摩擦

1. 研究開始当初の背景

これまでの物理観測や実験的研究等により、プレート境界に働く摩擦の大きさは場所によって異なることがわかってきた。アスペリティと呼ばれ、大きな摩擦が働いてプレート同士が強く固着している領域では、数十年から百年程度の間隔で繰り返し地震が発生している。アスペリティ形成のひとつの要因として沈み込んだ海底地形の凹凸が挙げられ、その最も代表的なものが海山である。これまで観測や理論的研究の視点から沈み込む海山に対して多くの研究がおこなわれている。海山が沈み込んだ場合、プレート境界の固着度が大きな影響を受け、その結果、そこがアスペリティとして巨大地震を発生(例えば Cloos, 1992) もしくは破壊伝播を抑制する(例えば Kodaira et al., 2000) 可能性が提案されてきた。一方、海山周辺に生じた高間隙水圧流体がプレート間の固着を弱め、プレート境界断層で海山部分が地震を起こさずクリープしている可能性も指摘されるなど(例えば Mochizuki et al., 2008) 不明な点も多く、アスペリティの実体は未だ明らかではない。また、海山の沈み込みと地震発生に関する物質学的視点からの系統的な研究(摩擦実験)はこれまでなされてこなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、沈み込み帯の地震発生機構を物質科学的な視点から解明することを目指し、地震発生直前～地震発生時のすべり速度を再現した低速～高速摩擦実験、および地下の温度・圧力を再現した高温高压含水条件下の摩擦実験を実施し、海山由来の緑色岩がどのような性質を示すのかを定量的に評価し、海山のアスペリティとしての可能性を含め、多様な地震活動の起源を明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究では、ガス圧式高温高压変形実験装置と回転式低速高速摩擦試験機を使用して、海山を構成する岩石の摩擦特性を定量的に調べる。具体的には、緑色岩の(1)すべり速度依存性、(2)温度依存性を調べ、海山の摩擦強度とアスペリティや地震との関連性を検証する。これまでの研究で明らかとなっているプレート境界の摩擦強度と比較検討することで、地震発生に対して海山がどのような役割を担うのかを明らかにしていく。得られた結果をこれまでの研究で明らかとなっているプレート境界構成物質や付加体構成物質等の摩擦特性と比較検討することで、多様な地震活動に対して海山がどのような役割を担うのかを検討する。

4. 研究成果

(1) 海山由来緑色岩の地震時摩擦特性

震源核の形成から大地震の発生に至るプロセスを理解するためには、地震のはじまりである震源核形成がなされる超低速から地震発生時の高速度領域(秒速約1 m)をつなぐ実験が必要である。そこで本研究では、まず地震発生時に海山がどのようなふるまいをするのかを検討するため、山口県秋吉台で採取した海山由来の緑色岩を用いて、幅広いすべり速度で実験をおこなった。緑色岩は、乳鉢で粉碎しふるいにかけて粒径125 μm以下の粉末試料にし、構成鉱物は薄片および粉末X線回折法で確認した。実験には回転式低速高速摩擦試験機を用いて、変位速度0.0013~1.3 m/s、垂直応力0.7~4 MPaの条件でおこなった。海山がアスペリティとして振る舞うには、少なくとも低速度領域で非常に強い強度を持つ必

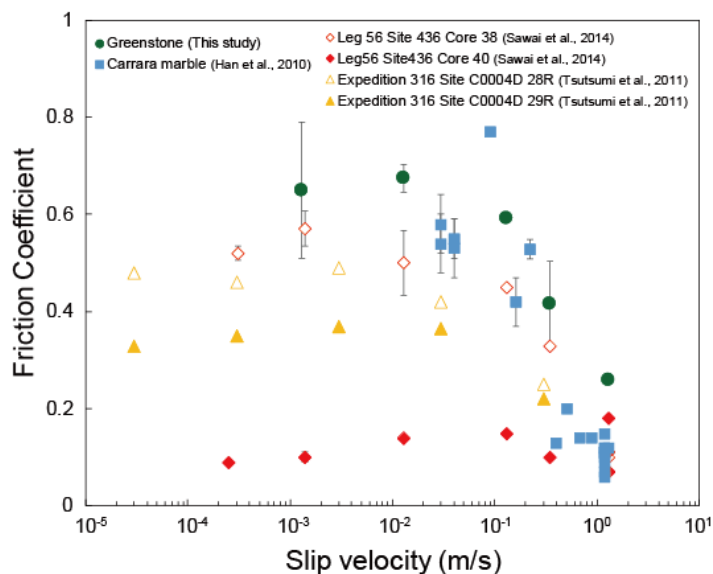


図1. 海山構成物質、日本海溝および南海トラフ掘削試料の摩擦強度の変位速度依存性

要があり、また、破壊の伝播を止めるような性質をもつ可能性があるのであれば、地震発生時のすべり速度に至るまでの中速度領域において、破壊を止めるバリアのような性質を示すことが期待される。その結果、定常摩擦係数は低速度領域では高く、地震時のすべり速度にあたる 1.3 m/s に近づくにつれ減少することが分かった (図 1)。実験後試料の薄片観察をおこなうと、1.0 MPa、1.3 mm/s の高速実験時には、変形集中帯が形成されていることが明らかになった。こうした変形集中帯は速度弱化的領域でしばしば観察され、断層が不安定となる要因とされている。一方、1.0 MPa、0.0013 mm/s と速度が小さくなると、変形集中帯は見られず、ガウジ全体は均一な組織となっていた。これにより低速条件下ではガウジ全体で変形をまかなっていると考えられる。こうした変形組織の違いが、定常摩擦が低速で高く、地震時のすべり速度にあたる 1.3 m/s では急激に小さくなる挙動を引き起こしていると考えられる。また、0.013 m/s においてわずかな速度強化がみられることがわかった。加えて、日本海溝に沈み込む堆積物や南海トラフ付加体堆積物と比較し、大きな強度をもつことがわかった (図 1)。海山由来の緑色岩は、低い温度条件下ではその摩擦係数の高さや速度強化の特性から、固着域になりうる性質をもちつつ、地震時には破壊が伝播するのを防ぐ可能性が考えられる。

(2) 海山由来緑色岩の高温高压含水条件下の低速摩擦特性

海山がアスペリティとしてふるまう可能性について検討するため、ガス圧式高温高压変形実験装置を使用し、(1)同様に 125 μm 以下にふるった緑色岩粉末試料について、封圧 150 MPa、間隙水圧 50 MPa、温度 25–200°C の条件で、軸方向変位速度を 0.1, 1, 10 $\mu\text{m/s}$ の間でステップ状に変化させた変位速度急変摩擦実験をおこなった。その結果、 $\leq 100^\circ\text{C}$ で主に正の値を示した断層の安定性を示すパラメーター $a-b$ 値は温度が上昇するに伴って減少し、150°C で遷移領域を示し、さらに 200°C に上昇すると負の値をとることが明らかとなった (図 2)。これは、海山が温度の上昇とともに、つまり沈み込む深度が深くなるほど不安定な挙動を示しアスペリティとしてふるまう可能性を示唆すると考えられる。

海山は多くの沈み込み帯で確認されているが、沈み込み帯の温度構造は場所によって大きく異なる。これは、例えば同じ深度に存在する海山であっても、沈み込み帯の場所によって温度条件が異なることを意味する。先行研究にみられる海山の多様な観測事実は、このような沈み込み帯の場所の違いがもたらす温度構造の違いとそれに伴う摩擦特性の相違によってもたらされたと考えられる。

実際のプレート境界における摩擦の大きさは沈み込むプレートの形状だけによって決まるものではなく、水の分布に代表される物性にも大きく影響を受けると考えられる。今後は、海山列の沈み込みにより周囲応力場が乱されることを考慮し、間隙水圧の効果も合わせて探っていきたい。

<引用文献>

- ① Cloos, M. (1992). Thrust-type subduction-zone earthquakes and seamount asperities: A physical model for seismic rupture. *Geology*, 20(7), 601-604.
- ② Kodaira, S., Takahashi, N., Nakanishi, A., Miura, S., & Kaneda, Y. (2000). Subducted seamount imaged in the rupture zone of the 1946 Nankaido earthquake. *Science*, 289(5476), 104-106.
- ③ Mochizuki, K., Yamada, T., Shinohara, M., Yamanaka, Y., & Kanazawa, T. (2008). Weak interplate coupling by seamounts and repeating $M \sim 7$ earthquakes. *Science*, 321(5893), 1194-1197.

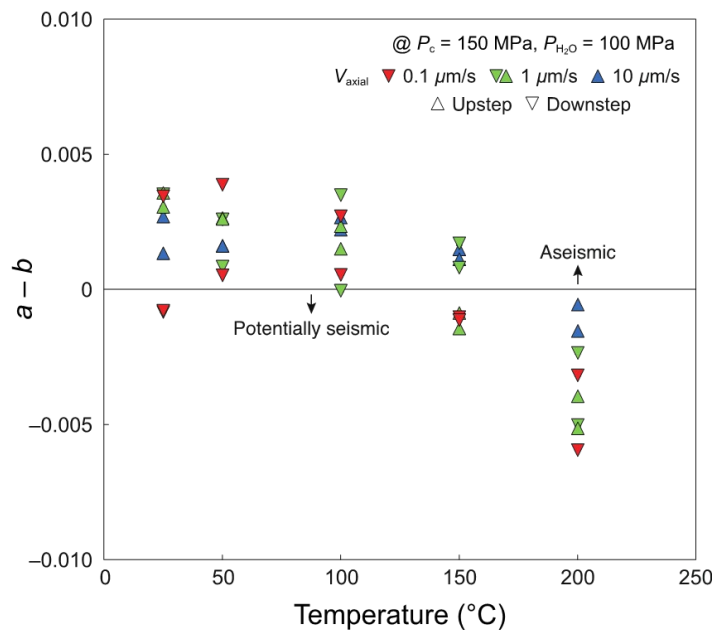


図 2. 緑色岩の $a-b$ 値 (断層の安定性を示すパラメーター) の温度変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kanagawa, K., Murayama, H., Sugita, A., Takahashi, M., Sawai, M., Furukawa, N. and Hirose, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Weakening of quartz rocks at subseismic slip rates due to frictional heating, but not to lubrication by wear materials of hydrated amorphous silica or silica gel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tectonophysics	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） 10.1016/j.tecto.2020.228429	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 Michiyo Sawai, Andre R. Niemeijer, Takehiro Hirose, Christopher J. Spiers	4. 巻 44
2. 論文標題 Frictional properties of JFAST core samples and implications for slow earthquakes at the Tohoku subduction zone	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 8822, 8831
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2017GL073460.	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 Hiroyuki Noda, Michiyo Sawai, Bunichiro Shibazaki	4. 巻 375
2. 論文標題 Earthquake sequence simulations with measured properties for JFAST core samples	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Philosophical Transactions of the Royal Society A	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） 10.1098/rsta.2016.0003.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tomoyo Mizutani, Ken-ichi Hirauchi, Weiren Lin, Michiyo Sawai	4. 巻 44
2. 論文標題 Depth dependence of the frictional behavior of montmorillonite fault gouge: Implications for seismicity along a decollement zone	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 5383, 5390
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2017GL073465.	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 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 澤井みち代・横山湧紀・北村真奈美・金川久一
2. 発表標題 摩擦特性および摩擦発熱に与える背景温度の影響-ドレライトを例に-
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sawai, M., Fukami, J., Takahashi, M., Hayasaka, Y. and Kanagawa, K.
2. 発表標題 Frictional properties of greenstone: Effects of the seamount subduction on faulting at the subduction zone
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kanagawa, K., Ogawa, T., Funaki, T., Nakanishi, T., Sagano, S., Fujimori, J. and Sawai, M.
2. 発表標題 Changes in frictional properties of mud gouge with depth in the Nankai Trough accretionary prism
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金川久一・杉田明日郁・高橋美紀・澤井みち代
2. 発表標題 準地震性変位速度における石英質岩石の摩擦発熱による弱化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kanagawa, K., Sagano, S., Nakanishi, T., Fujimori, J. and Sawai, M.
2. 発表標題 Frictional properties of incoming sediments and rocks at shallow conditions of the Japan Trench subduction zone
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山湧紀・澤井みち代・金川久一
2. 発表標題 アルゴン雰囲気下におけるドレライトの摩擦特性および摩擦発熱に対する温度効果
3. 学会等名 日本地震学会2019年秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤井みち代・横山湧紀・金川久一
2. 発表標題 ドレライトおよび花崗岩の中速摩擦特性に対する背景温度の効果
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 Kanagawa, K., Nakanishi, T., Kuwana, M., Sawai, M., and Hirose, T.
2. 発表標題 Frictional properties of opal gouge at low-temperature hydrothermal conditions and their implications for seismogenic faulting along subduction-zone megathrusts
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 金川久一・杉田明日郁・高橋美紀・澤井みち代
2. 発表標題 石英質岩石の中速摩擦強度の支配要因
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 東郷徹宏・嶋本利彦・澤井みち代
2. 発表標題 未固結断層岩のクラストの表面及び内部組織とその重要性
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 中西 智哉、金川 久一、澤井 みち代
2. 発表標題 オパールガウジの低温熱水条件における摩擦特性に対する溶解 - 析出クリープの影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部 浩典、金川 久一、澤井 みち代、井上 厚行
2. 発表標題 Frictional properties of accretionary sediments/rocks and their implications for the transition of aseismic to seismic faulting at the Nankai Trough Subduction Zone
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江口 大賀、金川 久一、澤井 みち代、井上 厚行
2. 発表標題 Frictional properties of incoming sediments/rocks at shallow conditions of the Japan Trench subduction zone
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kyuichi Kanagawa, Kosuke Abe, Michiyo Sawai
2. 発表標題 Frictional Properties of Accretionary Sediments/Rocks and Their Implications for The Shallow Transition of Aseismic to Seismic Faulting at The Nankai Trough Subduction Zone
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society, 15th Annual Meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金川久一、星野紘輝、中西智哉、澤井みち代
2. 発表標題 南海トラフ付加体泥質堆積物の摩擦特性の深度変化再考
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西智哉、金川久一、澤井みち代
2. 発表標題 200 以下の熱水条件におけるオパールガウジの摩擦特性
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuuki Yokoyama, Michiyo Sawai, Kyuichi Kanagawa
2. 発表標題 Effects of Temperature on Frictional Strength of Rocks in an Argon Atmosphere
3. 学会等名 The Second International Symposium Crustal Dynamics
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michiyo Sawai, Yasutaka Hayasaka, Toshihiko Shimamoto, Ma Shengli, Lu Yao
2. 発表標題 Frictional properties of Akiyoshi greenstone: implications for the seamount subduction and earthquake generation
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横山湧紀、村山寛樹、金川久一、澤井みち代
2. 発表標題 アルゴン雰囲気下におけるドレライトの中速摩擦特性に対する温度効果
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村山寛樹、金川久一、澤井みち代、廣瀬丈洋
2. 発表標題 大気中およびアルゴン雰囲気下における中速域のめのうの摩擦強度
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kyuichi Kanagawa, Koki Hoshino, Kosuke Abe, Michiyo Sawai
2. 発表標題 Frictional properties of the Nankai Trough accretionary mud samples collected and cored from 944.6-3030.5 mbsf at IODP Site C0002
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金川久一、星野紘輝、阿部浩典、澤井みち代
2. 発表標題 南海トラフ付加体泥質堆積物の摩擦特性の深度変化
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阿部浩典、金川久一、澤井みち代
2. 発表標題 南海トラフ沈み込み帯地震発生源上限付近の温度圧力条件における泥質堆積物の摩擦特性
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水谷知世、平内健一、林為人、澤井みち代
2. 発表標題 モンモリロナイトガウジの熱水摩擦特性：デコルマ帯における地震活動との関係
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017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
研究協力者	金川 久一 (Kanagawa Kyuichi)	千葉大学・大学院理学研究院・教授 (12501)	

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
---------	---------