Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P01 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

Shenxigou 地域の龍門山断層帯における炭質物のラマン分光分析
Raman spectroscopic analysis of carbonaceous material in Longmenshan fault zone at Shenxigou

纐纈 佑衣 [1*] ; 清水 以知子 [1] ; YAO Lu[2] ; MA Shengli[2] ; 嶋本 利彦 [2]
KOUKETSU, Yui[1*] ; SHIMIZU, Ichiko[1] ; YAO, Lu[2] ; MA, Shengli[2] ; SHIMAMOTO, Toshihiko[2]

[1] 東京大学大学院　理学系研究科, [2] 地震動力学国家重点実験室　中国地震局・地質研究所
[1]Graduate School of Science, The University of Tokyo, [2]State Key Laboratory of Earthquake Dynamics Institute of Geology, China Earthquake Administration

On 12th May 2008, Wenchuan M_W 7.9 earthquake occurred along the Longmenshan thrust belt between the Tibetan plateau and the Sichuan basin. Shenxigou area is located at the western end of the coseismic faults during the Wenchuan earthquake. The fault zone consists of fault gouge, fine fault breccia, and fault breccia. The gouge zone consists of grayish gouge (GG) and blackish gouge (BG). The breccia zone consists of grayish breccia (GB), blackish breccia (BB), and mixtures (Mix) of GB and BB. The concentrations of organic carbon are reported as less than 1 wt.% in GG and GB, while those in BG and BB are 28 and 36 wt.%, respectively (Wang et al. 2014; Earthquake Science) . In the present study, we performed the Raman spectroscopic analysis of carbonaceous material (CM) included in these fault rocks and host sedimentary rocks. In addition to the natural samples, we also analyzed the gouge samples after high-velocity frictional experiment to detect the structural change of CM by frictional heating.

Raman spectroscopic analysis was carried out using 532 nm Nd-YAG laser. The laser power was limited to 0.2 mW to avoid the damage to CM. The CM Raman spectrum was fitted using four peaks (D1, D2, D3, and D4 bands) following the method of Kouketsu et al. (2014; Island Arc). The Raman spectra of CM in GG, BG, GB, BB, and Mix were similar , and all Raman spectra indicated that the structure of CM corresponds to amorphous carbon. This result suggests that the carbons were originated from the organic materials in the host rocks and not concentrated by hydrothermal precipitation. The Raman band width (full width at half maximum; FWHM) of these fault rocks was larger than that of the host rock, and it means that the degree of coalification of CM in the fault rock is lower than the host rock. The estimated metamorphic temperatures using Raman CM geothermometer proposed by Kouketsu et al. (2014) are around 200-230 ℃ in the fault rocks and 280-300 ℃ in the host rock. The Raman spectra of CM in the sample conducted on the frictional experiment that was carried out at constant slip rate of 1.4 m/s and normal stresses 0.8 MPa under room humidity conditions using BG also showed no obvious change compare to those of CM before the experiment. In the present study, frictional heating was not detected by the Raman spectroscopy in natural and experimental fault samples. These results indicate that the heating duration of the coseismic slip was insufficient for the studied CM to maturate enough.

キーワード: 四川大地震, 龍門山断層帯, 炭質物, ラマン分光分析, 摩擦加熱
Keywords: Wenchuan earthquake, Longmenshan fault system, Carbonaceous material, Raman spectroscopy, Frictional heating

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P02 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

炭質物のラマンスペクトルを用いた断層における摩擦発熱の検出
Detection of past frictional heating on fault from Raman spectra of carbonaceous material

田畑 皓輝 [1*] ; 氏家 恒太郎 [1] ; 纐纈 佑衣 [2] ; 鍵 裕之 [2]
TABATA, Hiroki[1*] ; UJIIE, Kohtaro[1] ; KOUKETSU, Yui[2] ; KAGI, Hiroyuki[2]

[1] 筑波大学, [2] 東京大学 大学院理学系研究科
[1]University of Tsukuba, [2]Graduate School of Science, The University of Tokyo

炭質物のラマンスペクトルは、温度上昇に伴って炭質物の構造が変化することにより系統的に変化する。この炭質物の構造変化は圧力に依存せず不可逆的に進行するとされており、炭質物のラマンスペクトルを用いて堆積岩や変成岩が被った最高到達温度を見積もる試みがなされてきた。我々は炭質物のラマンスペクトルが断層における摩擦発熱のような短時間急速加熱の証拠検出に適用できるか探るべく、犬山地域に分布するジュラ紀付加体チャート－砕屑岩シーケンスのスラストシート境界断層を対象に炭質物のラマン分光分析を行った。この断層では、ジュラ系珪質泥岩の上位に三畳系チャートが衝上しており、断層中軸部には厚さ数ミリの暗色層と厚さ 5 センチのカタクレーサイトが発達する。このうち前者では、断層脈とそこから派生する注入脈、融食・湾入構造、非晶質マトリックス中に晶出した白雲母マイクロライトが認められることから、摩擦熔融物が固化して出来たシュードタキライトであると考えられる。一方、後者は炭素質の黒色粘土マトリックス中に黒色チャートの破砕岩片を含むことで特徴付けられる。炭質物のラマン分光分析は、シュードタキライトとカタクレーサイトを対象に励起光 514.5 nm で行った。その結果、シュードタキライトとその近傍 2 mm の母岩（チャート）において D1 と D2 ラマンバンドの強度比（I_{D1}/I_{D2}）の減少と D1 バンドの半値幅の減少が認められ、炭質物の熟成度の増加が検出された。一方、シュードタキライトから 2 mm 以上離れたチャート及びカタクレーサイトとその周囲では I_{D1}/I_{D2}・D1 バンドの半値幅の変化は認められなかった。シュードタキライトとその近傍 2 mm のチャートから見出された炭質物の熟成度増加は、摩擦発熱に伴う温度上昇を反映している可能性があり、熱モデリング結果とも調和的であった。以上のことから、炭質物のラマンスペクトルは断層における摩擦発熱の検出に有効であると考えられる。

キーワード: 炭質物, ラマンスペクトル, シュードタキライト, カタクレーサイト, チャート－砕屑岩シーケンス
Keywords: carbonaceous material, Raman spectra, pseudotachylyte, cataclasite, chert-clastic sequence

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P03 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

モンモリロナイトの摩擦ヒーリング効果における湿度の影響
Effect of humidity on frictional healing of montmorillonite

手塚 寛 [1*] ; 片山 郁夫 [1]
TETSUKA, Hiroshi[1*] ; KATAYAMA, Ikuo[1]

[1] 広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻
[1]Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

同じ震源域から周期的に発生する地震について、地震の繰り返し発生モデルが提唱されている（Shimazaki and Nakata, 1980）。その一つに、非地震時に一定の割合で応力が増加し、ある一定の応力に達すると地震が発生するというモデル（時間予測モデル）がある。このモデルは、南海地震などの長期予測にも使用されている。非地震時の応力増加の割合は、摩擦ヒーリング効果（摩擦面が静止しているとき、時間の経過とともに摩擦強度が回復する効果）に支配される。海溝型地震の発生する沈み込み帯での摩擦挙動を考えるとき、海洋性堆積物に特徴的で低い摩擦係数を示すスメクタイトの性質が重要となる（Ikari et al., 2007; Ujiie et al., 2013）。また、沈み込み帯では、流体の分布の不均質が想定されるので、湿度の影響を考慮することが必要である（Zhao et al., 2009）。石英岩や石英・アルミナ・ソーダ石灰ガラスの粉末を試料に用いた研究では、湿度の上昇に伴い摩擦ヒーリング効果が強まるという結果が得られている（Dieterich and Conrad, 1984; Frye and Marone, 2002; Scuderi et al., 2014)。しかし、先行研究では、スメクタイトなどの粘土鉱物については調べられていない。そこで、本研究では、高温二軸摩擦試験機を用いて、スメクタイトの一種であるモンモリロナイトの摩擦ヒーリング効果における湿度の影響を調べた。

本実験では、静止時間を 10・30・100・300・1000・3000 秒と変化させてヒーリング効果を確認した。垂直応力は 15MPa、せん断すべり速度は 3μm/s で一定に保ち、定常摩擦に達した後、スライド‐ホールド‐スライド試験を行った。試料にはモンモリロナイトを用いた。また、比較のために石英を用いた実験も行った。実験は 4 つの異なる湿度の条件で行った。（1）常温下で水槽を用いて純水の中で行った実験、（2）常温常湿下での実験、（3）試料を 100 ℃で 24 時間乾燥させた後、常温常湿下で行った実験、（4）試料を 100 ℃で 24 時間乾燥させた後、実験中もヒーターで 100 ℃を維持しながら行った高温摩擦実験の 4 つである。それぞれの相対湿度は（1）100 %、（2）20-60%、（3）（2）よりも小、（4）0 %程度である。

実験の結果、モンモリロナイトにおける摩擦ヒーリング効果は、湿度が高いほど小さくなることが分かった。モンモリロナイトのヒーリング速度 β は、乾燥状態では 0.008 程度であったが、水に飽和した状態では 0.0005 程度となり、ほぼ 1 桁の差が見られた。モンモリロナイトの摩擦ヒーリング効果が湿度と負の相関を示す原因として、湿度が高いほどモンモリロナイトの層間が広がり、層間の結合力が弱まって、真の接触部のせん断強度が低下することが考えられる。

湿度が高くモンモリロナイトが多く存在する領域では、摩擦ヒーリング効果が小さいため、非地震時の応力回復量が著しく小さい。水に飽和している条件で有効垂直応力を 100MPa とした場合、100 年間静止したとしても応力の回復量は、～0.5MPa と予想される。これは石英の 1/25 程度となる。このため、湿度が高くモンモリロナイトが多く存在する領域では地震の再来周期が長いことが予想される。

キーワード: スメクタイト, 摩擦のヒーリング効果, 湿度
Keywords: smectite, frictional healing, humidity

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P04 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

SEM-EBSD を用いた結晶方位解析における試料前処理条件の検討：花崗岩中の石英結晶を例に
Sample preparation condition for SEM-EBSD: An example of quartz minerals in granite

金井 拓人 [1*] ; 向吉 秀樹 [2] ; 高木 秀雄 [3]
KANAI, Takuto[1*] ; MUKOYOSHI, Hideki[2] ; TAKAGI, Hideo[3]

[1] 早稲田大学大学院創造理工学研究科, [2] 島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学領域, [3] 早稲田大学教育・総合科学学術院
[1]Graduate school of creative science and engineering, Waseda University, [2]Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, [3]Faculty of Education and Integrated Arts and Sciences, Waseda University

後方散乱電子回折法（EBSD）は，結晶性の試料に電子線を照射し，後方散乱する回折電子像のパターン（EBSP）を解析することにより結晶方位を特定する手法である．近年，地質学分野においても，走査型電子顕微鏡（SEM）に取り付けられた EBSD を用いた岩石試料の結晶方位解析や，層状物質の積層構造の解析などが行われている．岩石試料の SEM-EBSD 解析では，主に薄片を用いる．EBSD 分析では，EBSP に寄与する入射電子の進入深さが数 10 nm までとされており，硬い研磨剤の使用によるダメージ層の存在は，EBSP のコントラストを大きく減少させる．そのため，SEM-EBSD 用の試料は，通常の薄片作製によるダイヤモンドペースト鏡面研磨を行った後に，イオンミリングやコロイダルシリカを用いた振動研磨によりダメージ層を除去する測定面の仕上げが推奨されている（小暮・立川，2002; Prior et al., 1999）．なお，一般的な岩石薄片表面のダメージ層除去の仕上げには，コロイダルシリカを用いた振動研磨が最も適しているとされている（例えば Lloyd, 1987）．ただし，コロイダルシリカを用いた EBSD 用試料の研磨については，具体的な処理手順および最適な処理方法に関する報告はあまり知られていない．また，岩石薄片を作製する際に，作製者の技量により薄片が片減りすることがある．片減りした薄片も EBSD 分析に影響を及ぼす恐れがあるが，片減りの影響に関する報告もない．

そこで，岩石薄片におけるコロイダルシリカによる SEM-EBSD 用試料の前処理条件を検討することを目的とし，造岩主要鉱物の 1 つである石英を多く含む花崗岩を例に，コロイダルシリカの最適研磨条件に関する検討を行った．具体的には，コロイダルシリカ振動研磨の研磨時間および研磨時に試料にかける荷重について検討を行った．また，意図的に片減りさせた薄片を用意し，片減りがどの程度 EBSD 分析に影響を及ぼすかについての検討も行った．

コロイダルシリカによる振動研磨は，BUEHLER 社製 VibroMet2 研磨装置を用いた． またコロイダルシリカ溶液は PRECISION SURFACES INTERNATIONAL（PSI）社（代理店 株式会社 三啓）コロイダルシリカ最終仕上げ用（型番: 5904-S-64，pH: 9.8，粒径: 40 nm）を使用した．コロイダルシリカを用いた振動研磨の最適条件を決めるうえで，重要となるパラメータとして，①振動研磨時間，②試料にかける荷重，③振動強度，がある．今回の報告では，これらのパラメータのうち，①および②に対して検討を行った．具体的には，①については，振動研磨を 1 時間，2 時間，3 時間行った場合の研磨具合の違いについて検討した．②については，装置に付属の錘（約 200g）を 1 個使用した場合と 3 個使用した場合の研磨具合の違いについて検討した．③の振動強度については，中間値である 50%に固定して振動研磨を行った．EBSD 測定は，早稲田大学所有の SEM（日立ハイテクノロジーズ製 S-3400N）および，同 SEM に取り付けられている EBSD 検出器（Oxford Instruments 製 HKL CHANNEL5）を使用した．入射電子用の SEM フィラメントにはタングステンを用いた．測定用の試料は蒸着を行わず，試料表面の帯電を防ぐために，SEM 試料室の真空度を低真空（30Pa）に設定して測定した．また，照射電圧：25 kV，ワーキングディスタンス（WD）：30 mm の条件で SEM 観察および EBSD 分析を行った．測定の手順としては，まず，それぞれの薄片試料において，後方散乱電子像（BEI）観察により，目視で石英粒子を識別し，ターゲットとする石英結晶に対し，250 倍の倍率で，70 μ m 四方の範囲を 2 μ m 間隔で面分析（1 つの結晶につき 1225 点測定）した．1 つの薄片につき 20 個の石英結晶の面分析を行った．EBSD の評価方法は，面分析の総分析点数に対して，正しく指数付けされた測定点の数をヒット率として定義し，ヒット率が大きいほど EBSD での測定に適した試料調整ができているとした．

解析の結果，ダイヤモンド鏡面研磨のみの試料ではヒット率の平均値が 55%未満であったのに対し，コロイダルシリカ処理を施した試料はすべて 70%以上の値を示し，明らかな違いが見られた．コロイダルシリカ処理を施す時間に関しては，処理時間が長い程よい結果が得られたが，最も時間の短い 1 時間の試料でも，平均値が 70%以上の値を示し，1 時間の処理で十分であることが明らかとなった．錘の違いによる変化は見られなかった．本結果は，結晶サイズが数 100 μ m 程度の石英粒子の EBSD 分析を行う場合のみに適している可能性があり．その他の試料については，目的とする試料に合わせて，最適処理時間を評価する必要があると思われる．

キーワード: 走査型電子顕微鏡後方散乱電子回折法, コロイダルシリカ, 振動研磨, 薄片
Keywords: SEM-EBSD, colloidal silica, vibratory polishing, thin section

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P05 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

岩石磁気から見た断層ガウジ中の波状褶曲構造と地震時の摩擦強度減少
Fault Lubrication and Billow-like Wavy Folds in a Seismic Slip Plane of Nojima Fault Gouge: Rock Magnetic Perspective

福沢 友彦[1*] ; 中村 教博[1]
FUKUZAWA, Tomohiko[1*] ; NAKAMURA, Norihiro[1]

[1] 東北大学大学院理学研究科
[1]Graduate School of Science, Tohoku University

An earthquake can occur only if friction decreases rapidly as slip proceeds and the shear stress on its fault planes surpasses the frictional strength of faults, indicating frictional coefficients significantly decrease (0.7→0.1) in proportion to a displacement. High-velocity friction experiments have proposed thermal pressurization and fluidization as weakening mechanism of a frictional strength of faults, but few geological traces for this mechanism are left behind in a natural fault zone. Asymmetric folding and fluttering structures have been found in a natural fault zone, such as in Nojima active fault and in in Kodiak accretionary prism. In Nojima fault gouge, it is well known that there are billow-like wavy folds along slip planes, being similar to the pattern of Kelvin Helmholtz (KH)-instability which normally occurs in fluid. This instability generates at the interface between two fluids of different densities shearing at different velocities (Thorpe, 2005). Therefore, the presence of billow-like wavy folds in Nojima fault gouge suggests the fluidization of gauge materials. If a temperature range for the generation of such billow-like folds could be determined, one can give a constraint to the weakening mechanism of frictional strength of faults. Here I show rock magnetic studies to prove the temperature rise in the generation of billow-like folds in cohesive blackish gouges, using a custom-made scanning magneto-impedance magnetic microscope. The results showed the billow-like folds and the sharp slip zones experienced at least a 375 ℃ heating during its formation from the incohesive grayish gouges, because of the magnetite formation through thermal decomposition of siderite in the grayish gouge. The upper limit of temperature rises can be constrained as at maximum 800 ℃ by the preservation of microfold textures because high viscosity fluid, such as melt, can't generate a shear flow forming KH-instability. Based on these results, these two zones had been experienced a frictional heating (375 ℃ ～800 ℃). From the temperature condition and the one-dimensional diffusion model, I estimated the frictional coefficient of a fault zone in Nojima fault gouge is approached to be 0.02～0.04 during coseismic slip. These results indicate that thermal pressurization-induced fluidization occurred in the fault slip.

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P06 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

岐阜県南東部に位置する屏風山断層の破砕・変質履歴
The fragmentation and alteration history of fault rocks in the Byobuyama fault, Gifu Prefecture, central Japan.

香取 拓馬 [1*] ; 小林 健太 [1] ; 安江 健一 [2] ; 丹羽 正和 [2] ; 小松 哲也 [2] ; 細矢 卓志 [3] ; 笹尾 英嗣 [2]
KATORI, Takuma[1*] ; KOBAYASHI, Kenta[1] ; YASUE, Ken-ichi[2] ; NIWA, Masakazu[2] ; KOMATSU, Tetsuya[2] ; HOSOYA, Takushi[3] ; SASAO, Eiji[2]

[1] 新潟大学理学部地質化学科, [2] 独立行政法人日本原子力研究開発機構, [3] 中央開発株式会社
[1]Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, [2]Japan Atomic Energy Agency, [3]Chuo Kaihatsu Corporation

中部地方には数多くの活断層が存在し, 日本でも有数の活断層密集地帯である. これらは, 大局的に NE-SW 走向と NW-SE 走向の直交する断層帯に大別でき, 複雑な断層幾何学系を構成している. その中でも屏風山断層は, 三河高原と美濃高原の境界に位置し, 長さ 32 km, 確実度 I , 活動度 B 級の活断層であり（活断層研究会編, 1991）, 周辺に分布する新第三紀鮮新統の瀬戸層群土岐砂礫層に, 約 500 m の垂直変位を与えている. また, 同断層北東端は, A 級活断層の阿寺断層の南端部と接し, 互いに止め合う関係を示す. 以上より, 屏風山断層の運動は現地形発達史に大きな影響を与え, 中部地方の複雑な断層幾何学系の一端を担う重要な活構造であると考える. そこで本研究では, 屏風山断層を事例に, その運動史を解明する調査技術開発を目的とした断層岩の構造解析および化学分析を行った.

対象とした露頭は, 岐阜県瑞浪市東部の論栃地域沢沿いに露出する断層露頭で, 既存報告のない新露頭である. この露頭では, 土岐砂礫層（新第三紀鮮新統）と, 伊奈川花崗岩（後期白亜紀）が断層関係で接し, 幅広い脆性破砕帯を観察することができる. 断層面の姿勢は, N42E50SE である. 本研究では, 断層面の姿勢, 破砕帯の規模, 土岐砂礫層と花崗岩が接していること, 活断層トレースに一致することなどから, 本露頭が屏風山断層の中軸（Master fault）であると考えた. 本露頭は下盤より, 幅 30 cm 以上明褐色を呈す土岐砂礫層起源の断層角礫, 幅約 30 cm の茶褐色?暗灰色を呈す土岐砂礫層起源の断層ガウジ, 幅約 5 cm の赤褐色を呈す土岐砂礫層起源の断層ガウジ, 幅約 40 cm の白濁色を呈す花崗岩起源の面状カタクレーサイト, 幅約 30 cm で白色を呈すカタクレーサイト, その上盤には花崗岩起源の弱破砕岩が連続する. 花崗岩起源の面状カタクレーサイトには, 濃緑色の断層ガウジが流動的に入り込む. 本露頭において断層岩の定方位試料の採取および分析用試料の採取を行った. 断層岩試料は多量の膨潤性粘土を含み, 大変脆弱なため取り扱いには細心の注意を要する. 試料の採取, 固化および切断・研磨においては高木・小林（1996）および大橋ほか（2008）を参考にした. 化学分析では, 粘土鉱物の同定を目的とした XRD 分析, 化学組成の比較を目的とした XRF 分析を行った. XRD 分析では, 沈降法（Sedimentation method）により抽出した粘土試料を自然乾燥させ, 秤量したものをスライドガラスに塗布し定方位試料を作成した. この定方位試料を無処理・エチレングリコール処理・加熱処理を施し, 分析値のピークシフトにより粘土鉱物の同定, 積分強度・半値幅の比較を行った. さらに, 粒度ごとの構成鉱物の違いを把握するため, 粒度ごとに分離した試料の XRD 分析を行った. XRF 分析では, ガラスビードを作成し主要および微量元素の全岩化学分析を行った.

以上の解析・分析の結果, 花崗岩起源のカタクレーサイトでは左ずれ, 花崗岩起源の断層ガウジおよび土岐砂礫層起源の断層ガウジ・断層角礫では右ずれの剪断センスを示し, 屏風山断層が複数の応力場で活動していたことが明らかとなった. 破砕帯にはスメクタイト（Sm）・イライト（Ill）・カオリナイト（Kln）を全体に含み, 花崗岩起源の断層岩では沸石（Zeo）がみられた. 積分強度について花崗岩起源の断層岩の傾向をみると, Sm は弱破砕岩で, Ill はカタクレーサイトで, Kln は断層ガウジにおいて最大値をとる. 土岐砂礫層起源の断層岩では, Sm・Ill・Kln ともに茶褐色?暗灰色断層ガウジで最大値をとり, 赤褐色断層ガウジで最小値をとるように段階的な変化がみられる. 半値幅について花崗岩起源の断層岩の傾向をみると, Sm・Ill ともにカタクレーサイトにおいて最大値をとる. 土岐砂礫層起源の断層岩では, Sm・Ill ともに赤褐色断層ガウジで最大値をとる. XRF 分析結果から, Mg・Ca・LOI の顕著な増加がみられ, 元素変動率は中軸部に近づくほど大きい傾向にある.

断層岩ごとの形成レジュームを考慮すると, 左ずれセンスを示す花崗岩起源のカタクレーサイトやその外縁部の弱破砕岩は, 南北圧縮東西引張応力場で形成されたと考えられる. その後, 東西圧縮南北引張応力場で屏風山断層は右ずれを伴う逆断層運動を開始し, 土岐砂礫層に垂直隔離を与え, 断層ガウジが形成されたと考える. 本発表では, 屏風山断層の活動史と, それに伴う破砕・変質履歴について議論する.

なお, 本研究は、平成 26 年度地層処分技術調査等事業「地質環境長期安定性評価確証技術開発」（経済産業省資源エネルギー庁）で得られた成果の一部を使用した.

キーワード: 屏風山断層, 断層岩, 破砕, 変質, 粘土鉱物
Keywords: Byobuyama fault, fault rocks, fragmentation, alteration, clay mineral

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P07 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

沈み込みに伴う海洋地殻物質の透水性の変化：四万十陸上付加体物質を用いた検討
Permeability evolution of oceanic basalt at Nankai subduction zone: implication from on shore basalt at Shimanto belt

谷川 亘[1*] ; 山口 飛鳥[2] ; 濱田 洋平[1] ; 亀田 純[3] ; 多田井 修[4] ; 畠田 健太朗[4]
TANIKAWA, Wataru[1*] ; YAMAGUCHI, Asuka[2] ; HAMADA, Yohei[1] ; KAMEDA, Jun[3] ; TADAI, Osamu[4] ; HATAKEDA, Kentaro[4]

[1] 独立行政法人海洋研究開発機構高知コア研究所, [2] 東京大学大気海洋研究所, [3] 北海道大学大学院理学研究院自然史科学専攻, [4] マリン・ワーク・ジャパン
[1]JAMSTEC/KCC, [2]Tokyo University, [3]Hokkaido Univeristy, [4]Marine Works Japan. LTD

2011 年の東北地方太平洋沖地震は、プレート境界断層浅部で断層が 50m にもわたる大きな変位を伴うすべりが生じたことにより大規模な津波災害が引き起こされたと考えられている。大変位を引き起こした原因のひとつとして、プレート境界近傍・深部における異常間隙水圧の発達に伴う強度の低下が挙げられる。この異常間隙水圧の発生要因として、沈み込みに伴う海洋プレート物質の脱水反応、深部流体の流入、続成作用に伴う孔隙体積および透水性の変化が挙げられる。同様のプロセスは東北沖だけでなく南海トラフ地震発生帯でも発生することが予想される。いずれのメカニズムも間隙水圧が実際にどの程度発達しうるかは、沈み込みに伴う海洋プレート物質の水理特性の変化が大きく影響する。そこで、本研究では南海トラフ沖プレート境界下部の海洋プレート物質を研究対象として、本対象の模擬物質である西南日本の陸上四万十帯付加体の試料を用いて、続成作用にともなう水理特性の変化を調べた。

本研究では、西南日本の陸上四万十帯付加体中の続成状態が異なると考えられる興津（小鶴津）、久礼、牟岐、および槇峰メランジュ中の 4 地点 5 種類の玄武岩を用いた。ビトリナイト反射率から推定した続成度（最大被熱温度）は下部牟岐メランジュが一番低く、槇峰メランジュが一番高い。本研究は、大気圧室温下において間隙率、弾性波速度、岩石比抵抗、および水銀圧入法による間隙径分布の測定を行った。透水係数は封圧 1～160 MPa まで変化させて、窒素ガスを間隙流体として用いて行った。試料上流側のガス圧を一定に制御（0.05～2.0 MPa）したガスを試料に流して、試料下流側から大気圧下に排気されたガス流量を測定して透水係数を算出した。

下部牟岐メランジュの間隙率は 3～5%、槇峰は 0.5～1%を示し、続成度が大きくなるにしたがって間隙率が小さくなる傾向が認められた。岩石比抵抗は下部牟岐メランジュが一番低い値を示したが、その他の玄武岩は違いが認められなかった。弾性波速度についても続成度による違いは明瞭に認められなかった。

同じ封圧条件で測定したガス浸透係数は、間隙圧の逆数に比例する Klinkenberg 効果が認められた。そこで、Klinkenberg の式を用いて「ガス浸透係数」から「透水係数」に変換した。また、ほとんどの実験で「透水係数」と Klinkenberg 式の「比例係数」が累乗則でフィッティングできたため、Klinkenberg の式で変換できなかったガス浸透係数は経験的に求めた累乗則を用いて推定した。いずれの試料も有効圧の増加に伴い透水係数は減少した。5MPa から 120 MPa の封圧の変化に対して約 3 桁減少し、またその変化は指数関数で近似できた。続成度の高い試料ほど低い透水性を示し、有効圧 20MPa において下部牟岐玄武岩は $7*10^{-18}$～$9*10^{-19}$ m^2 を示したのに対して、槇峰玄武岩は $2*10^{-22}$ m^2 を示した。また同じメランジュから採取した試料では、1~2 桁ほど透水係数のばらつきが認められた。測定した間隙径は測定装置の測定限界付近の 0.01 μ m 以下の非常に低い間隙構造を持っていることが確認された。

続成作用に伴う透水係数の減少は間隙率の減少と相関を示したことから、沈み込みにともなう力学的・化学的圧密作用による間隙径と間隙体積の減少により透水性が徐々に減少したことを示唆する。また、μ X 線 CT 画像の解析によると、同一種類の玄武岩の岩石物性のばらつきはメソスケールの割れ目の発達の程度が影響していることがわかった。

沈み込み帯プレート境界近傍の間隙水圧の上昇メカニズムは、これまで主に鉱物の脱水反応や地下深部からの流体の供給が主な原因として考えられてきた。しかし本研究結果は続成作用に伴う間隙体積と透水係数の減少が間隙水圧の増加に大きく寄与しうることが明らかとなった。そのため、南海トラフ沈み込み帯の高間隙水圧帯の発生領域は、本研究で求められた透水係数と間隙率の減少速度に依存している可能性が高い。

キーワード: 透水係数, 変質, 間隙水圧, 南海地震, 四万十帯, 玄武岩
Keywords: permeability, diagenesis, pore pressure, Nankai earthquake, Shimanto belt, basalt

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P08 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

南海トラフに沈み込む海洋地殻最上部の岩相と水理特性
Lithology and fluid transport property of the topmost part of the oceanic crust subducting into the Nankai Trough

山口 飛鳥 [1*] ; 谷川 亘 [2] ; 多田井 修 [3] ; 亀田 純 [4]
YAMAGUCHI, Asuka[1*] ; TANIKAWA, Wataru[2] ; TADAI, Osamu[3] ; KAMEDA, Jun[4]

[1] 東京大学大気海洋研究所, [2] 独立行政法人海洋研究開発機構高知コア研究所, [3] マリン・ワーク・ジャパン, [4] 北海道大学大学院理学研究院自然史科学専攻
[1]Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, [2]Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Kochi Instutute for Core Sample Research, [3]Marine Works Japan, [4]Earth and Planetary System Science Department of Natural History Sciences, Graduate School of Scienc

Fluids in subduction plate boundaries play important roles for both mechanical and chemical aspects. Recently, oceanic crust has been recognized as a source of water along seismogenic subduction plate boundary (Kameda et al., 2011). For documenting hydration state of topmost part of subducting oceanic crust, we performed visual, optical and Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) observations and powder X-ray Diffraction (XRD) analyses of basaltic rocks retrieved from the Site C0012 of Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 333. We also measured porosity and permeability of samples selected from each lithology. We further interpreted Logging-while-drilling (LWD) data of Hole C0012H obtained during the IODP Expedition 338 to estimate the thickness of seafloor alteration.

The IODP Site C0012 is located at the top of Kashinozaki Knoll, tectonically uplifted topographic high on the Philippine Sea Plate coming into the Nankai Trough. Basaltic rocks in Holes C0012A, E, F, G occuring below 520 mbsf, are mainly composed of upper pillow basalts and lower massive basalts. The pattern of alteration is lithology-dependent: in pillow basalts, volcanic glasses and vesicles were replaced by clay minerals; while alteration of massive basalt showing doleritic texture is characterized by red-colored Fe-oxyhydroxide veins with alteration halos. Potassium-bearing alteration minerals (K-feldspar and celadonite) occur in places.

Permeability measurement of representative samples of each lithology was performed at JAMSTEC-Kochi, under the room temperature conditions with effective pressures of 5 to 120 MPa. Permeability was measured by using N2 gas as a pore fluid, and calculated by steady-state gas flow method. Gas permeability decreases with increasing effective pressures and pore pressures, following the Klinkenberg equation. Klinkenberg-corrected permeability of pillow basalt ranges 10-19 to 10-20 m2 at effective pressure of 5 MPa, while that of massive basalt ranges 10-17 to 10-19 m2. Permeability contrast between the two lithologies would reflect microtextural difference between two lithologies, because of the absence of significant difference in porosity.

LWD data of basaltic rocks were obtained from Hole C0012H of the IODP Expedition 338. Low resistivity and velocity intervals are corresponding to pillow basalts, whereas high resistivity and velocity intervals are corresponding to massive basalts. Contrastingly, gamma ray trend is independent from resistivity and velocity trends: positive at around lithological boundaries. Positive peaks of gamma ray would reflect potassium-bearing alteration caused by permeability contrast between each lithology. Below 680 mbsf, all logging data become constant and non-fluctuated, suggesting that lithology become homogeneous below this depth without strong alteration. Therefore the thickness of hydrated part of oceanic crust at Site C0012 is roughly estimated to be ˜100 m.

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P09 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

岩石を用いた動的破壊伝播に関する室内実験
Laboratory experiments on dynamic rupture propagation using rocks

溝口 一生 [1*]
MIZOGUCHI, Kazuo[1*]

[1] 電力中央研究所
[1]Central Research Institute of Electric Power Industry

Around pre-existing geological faults in the crust, we have often observed off-fault damage zone where there are many fractures with various scales, from ∼μm to ∼m and their density typically increases with proximity to the fault. One of the fracture formation processes is considered to be dynamic shear rupture propagation on the faults, which leads to the occurrence of earthquakes. Although much work on such off-fault damage associated with dynamic rupture in homogeneous material (ex. polymers) have been done in the past decades (Rosakis et al., 2007), the rupture-induced damaging behavior of rocks, that constitute the faults in nature and of which frictional properties controlling the dynamic rupture might be different from the polymers, is still experimentally unexamined.

Recently, I have worked on laboratory experiments on dynamic rupture propagation along contacting surfaces of two metagabbro blocks from Tamil Nadu, India, simulating a fault of 30 cm in length. For the experiments, the similar uniaxial loading configuration to Rosakis et al. (2007) is used. Axial load σ is applied to the fault plane with an angle θ to the loading direction. Changing the angle makes the ratio of shear to normal stress on the fault a critical level close to the maximum static frictional strength beyond which the fault begins to slip spontaneously. For the critically stressed fault, the triggering of rupture is archived by striking the one edge of the fault with a hammer and the subsequent increase in shear load for a short duration. The load cell attached to the tip of the hammer head can provide us the magnitude and time duration of the impact stress. In this presentation, I introduce the experimental set-up and some preliminary results for the dynamic rupture propagation on rocks. This work is supported by the JSPS KAKENHI (26870912).

キーワード: 動的破壊伝播, 岩石, 断層, 実験
Keywords: Dynamic rupture propagation, Rock, Fault, Experiment

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P10 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

窒素雰囲気下におけるドレライトの摩擦強度の温度依存性
Temperature-dependent frictional strength of dolerite in a nitrogen atmosphere

田中 伸明 [1*] ; 和田 純一 [2] ; 金川 久一 [1]
TANAKA, Nobuaki[1*] ; WADA, Jun-ichi[2] ; KANAGAWA, Kyuichi[1]

[1] 千葉大学大学院理学研究科, [2] 応用地質
[1]Graduate School of Science, Chiba University, [2]OYO Corporation

1990 年代半ば以後、地震発生時に匹敵する高変位速度（≤ 数 m/s）における様々な岩石試料の摩擦実験が行われ、高速域（≥ 10 cm/s）では変位速度の増加に伴って摩擦強度が著しく低下することが明らかとなっている。しかし、従来の高速摩擦実験では摩擦発熱による温度上昇を制御できておらず、高速域における摩擦強度の低下が温度上昇の影響である可能性を排除できない。実際、背景温度を制御したドレライト試料の大気中の摩擦実験（垂直応力 1 MPa、変位速度 1 cm/s、室温～1000 ℃）では、高速域における摩擦強度の低下が温度上昇の影響によって説明し得ることが示されている（Noda et al., 2011, JGR）。この実験では、ドレライトの摩擦強度の温度変化が摩耗物質中の非晶質物質含有量と負の相関、含鉄鉱物の高温酸化による酸化鉄鉱物含有量と正の相関を示すことが示されているが、地下の断層は酸素に乏しい環境下にあるため、実験で観察されたような含鉄鉱物の高温酸化は現実的ではない。

そこで、酸素に乏しい窒素雰囲気下（酸素濃度 0.1%程度）で室温～600 ℃の温度範囲で Noda et al. (2011) と同様の実験を行い、定常摩擦強度と非晶質物質含有量およびすべり面の摩耗物質被覆率との相関を調べ、大気中の Noda et al. (2011) の実験結果と比較した。その結果、定常摩擦係数は室温で約 0.52 であり、100～500 ℃では約 0.70 でほぼ一定、600 ℃では約 0.76 であった。非晶質物質含有量は室温～500 ℃で 60 ±6 wt%の範囲内であったのに対し、600 ℃では約 38 wt%であった。また、摩耗物質被覆率は室温で約 0.78 であったのに対し、100～600 ℃では約 0.9 とほぼ一定であった。窒素雰囲気下のドレライトの定常摩擦係数は、室温では大気中（約 0.77）と比べてかなり小さく、逆に 100～600 ℃では大気中（約 0.61 ±0.03）より大きくなっている。また、100～600 ℃の温度範囲では非晶質物質含有量との間に大気中で認められたような負の相関関係が認められるが、一方、室温～500 ℃の温度範囲では摩耗物質被覆率との間に正の相関関係が認められる。しかしながら、このような相関関係は、前者の場合室温～100 ℃、後者の場合 500～600 ℃の温度範囲で、それぞれ不明瞭になっている。

窒素雰囲気下のドレライトの室温の定常摩擦強度が大気中と比べて小さいのは摩耗物質に水分吸着の影響がないためと考えられるが、100～600 ℃の定常摩擦強度が大気中と比べて大きくなる理由は現時点では不明である。また、定常摩擦強度と非晶質物質含有量およびすべり面の摩耗物質被覆率との相関・非相関が何に起因しているのかも、現時点では明らかになっていない。これらについて、今後検討を進めていく予定である。

キーワード: ドレライト, 窒素雰囲気, 回転剪断試験, 温度依存性, 非晶質物質含有量, 摩耗物質被覆率
Keywords: Dolerite, Nitrogen atmosphere, Rotary shear experiment, Temperature dependency, Amount of amorphous wear material, Ratio of wear material cover

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P11 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

震源及びメカニズム解分布に基づいた本震断層と余震との関係
Relation between mainshock rupture and aftershock sequence based on highly resolved hypocenters and focal mechanisms

行竹 洋平 [1*] ; 飯尾 能久 [2]
YUKUTAKE, Yohei[1*] ; IIO, Yoshihisa[2]

[1] 神奈川県温泉地学研究所, [2] 京都大学防災研究所
[1]Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, [2]Disater Prevention Research Institute, Kyoto University

１．はじめに

大地震発生後の余震の発生過程を理解するために、余震が本震時に破壊された断層（本震断層）のすべり残しの破壊であるのか、あるいはその周辺に存在する破砕帯の破壊なのかを明らかにする必要がある．Liu et al. (2003) では、1992 年 Landers 地震の余震位置とメカニズム解から、本震断層上で発生した余震は 5%程度にすぎないと推定している．しかし、この研究で用いた余震の震源決定精度が最大で 1km に及ぶため、より高精度な震源位置やメカニズム解データに基づいて議論することが不可欠である．そこで本研究では、2000 年鳥取県西部地震（Mw6.8）域に展開された稠密地震観測データから余震の震源位置およびメカニズム解を推定し、上記の問題について解明を試みた．

2000 年鳥取県西部地震域では、本震発生後 1 週間から約 2 か月間にわたり、59 点の稠密地震観測が実施された．行竹ほか（2005）では、本震断層を 1 枚の断層面に近似し、稠密地震観測から推定された震源位置及びメカニズム解をもとに、多くの余震は本震断層の周辺で発生したことを推定した．しかし、本震断層は複数のセグメントに分かれていることから（例えば、Fukuyama et al., 2003）、厳密に議論するにはより複雑な断層形状を考慮した解析が必要となる．

３．震源及びメカニズム解決定

本研究では稠密余震観測により取得された地震波形データを使用し、2000 年 10 月 15 日から 11 月 31 日までに発生した、約 4,700 イベントについて震源決定を試みた．最初に、Shibutani et al., (2005) により決定された一次元速度構造と観測点補正値を用い、hypmh 法（Hirata and Matsu’ura, 1987) によって初期震源位置を求めた．次に、Double Difference 法（Waldhauser and Ellsworth, 2000) を用いて、これらの震源の再決定を行った．各イベントの走時差を相互相関処理並びに手動検測走時から求め、約 4,100 イベントの余震の震源位置を得ることができた．このうち 90%の地震について相対誤差が水平方向に 0.08km、深さ方向に 0.12km 以内に求まった．

メカニズム解については、Imanishi et al., (2011) の手法を参考に、P 波初動極性に加えて P 波及び SH 波の振幅値を用いて決定した．その結果、震源再決定された余震の 8 割にあたる、約 3,300 イベントの余震のメカニズム解について節面方向の精度が 15 度以内に決定できた．

４．本震断層の推定

鳥取県西部地震では明瞭な地表断層があらわれなかったため（上田ほか、2002）、余震分布に基づき本震断層を推定した．本震時に主要な破壊が生じた北緯 35.35 度より南側（例えば、Iwata and Sekiguchi, 2002）の領域を解析対象とした．この領域内でメカニズム解の節面方向が類似しているいくつかの地震群（クラスター）を見ることができ、余震及びメカニズム解分布をもとに 5 つのクラスターを抽出した．それぞれのクラスターでの余震の震源位置から、主成分分析を用いて（例えば、Shearer et al., 2003）、5 つの最適な断層面の方向と位置を推定した．

５．結果

本震震源周辺及び余震域南部では、最適な断層面はほぼ鉛直で、その走向は本震初動解の節面に近い N142^{o}E 及び CMT 解の節面に近い N149^{o}E 方向にそれぞれ推定された．一方、本震震源の北側では、走向が N80^{o}E の共役断層系に対応する断層面が推定された．最適な断層面と余震位置との距離を調べると、すべてのクラスターにおいて余震は最適な断層面からおよそ 1.2km の幅を持って分布している。また、この分布幅は本震時に大きく滑った余震域南部で拡がる傾向が見られた．次に、最適な断層面の走向・傾斜からリファレンスとなるメカニズム解を求め、余震メカニズム解との類似性について Kagan 角（Kagan, 1991）を用いて評価した．リファレンス解のすべり方向は、本震の滑り方向を考慮し左横ずれ（共役断層は右横ずれ）を仮定した．その結果、メカニズム解誤差の上限である 15 度を上まわる Kagan 角を持つ余震は全体の 90%をしめ、Kagan 角の分布の幅は最大で 100 度に及ぶことが分かった．以上の結果は、余震の多くは本震時に破壊された断層面上ではなく、その周辺の破砕帯で起きていることを示している．またメカニズム解のばらつきは、破砕帯内の複雑な構造を反映していると考えられる．

謝辞

本研究では、鳥取県西部地震合同稠密余震観測により取得された地震波形データを使用させて頂きました．F. Waldhauser

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

博士から hypoDD プログラムコードを提供して頂きました.

キーワード: 余震, 震源分布, メカニズム解, 本震断層
Keywords: Aftershock, Hypocenter distribution, Focal mechanism, Mainshock fault

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P12 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

JFAST コアサンプルの摩擦実験結果を用いた地震サイクルシミュレーション
Earthquake sequence simulations using measured frictional properties for JFAST core sample

野田 博之 [1*] ; 澤井 みち代 [2] ; 芝崎 文一郎 [3]
NODA, Hiroyuki[1*] ; SAWAI, Michiyo[2] ; SHIBAZAKI, Bunichiro[3]

[1] 海洋研究開発機構, [2] 広島大学, [3] 建築研究所
[1]JAMSTEC, [2]Hiroshima University, [3]Building Research Institute

Parameters in a rate- and state-dependent friction law (RSF) are often determined by velocity-step tests in which the slip rate V is stepped typically by a factor of 3 to 10. The test may yield a set of parameter values such as a, b, and d_c, but it is often the case that those determined parameters depend on V if a logarithmically wide range of V is investigated. At this point, the originally assumed constitutive law is shown to be invalid, strictly speaking, and thus need to be modified. For example, the experiments by Dieterich [1978] show that the rate-dependency $\partial f_{ss}/\partial \ln(V)$ increases as V increases, which can be explained by introduction of a cut-off time for healing [Okubo, 1989]. Such a proposal of a new constitutive law with a corresponding microphysical interpretation is a great advance in technology which enables us to implement a complex rate-dependency into earthquake sequence simulations, as well as in understanding of physics of rock friction and earthquake generation process. However, not all experimental data showing complex rate-dependency have been digested and implemented in a rate- and state-dependent framework. In this study, we propose a simple modification to the logarithmic RSF which enables implementation of rate-dependencies ($\partial f/\partial \ln(V)$ and $\partial f_{ss}/\partial \ln(V)$) that change with $\ln(V)$.

Sawai et al. [2014, AGU fall meeting] conducted a series of velocity-step tests with a core sample obtained in JFAST project at 50 MPa effective normal stress σ_e, 50 MPa pore water pressure, various temperatures T from 20 ^{o}C to 200 ^{o}C, and V from 0.3 to 100 μm/s. They found that with increasing V, the rate-dependency $\partial f_{ss}/\partial \ln(V)$ increases from negative to positive at T = 20 ^{o}C, decreases from positive to negative at T = 100 ^{o}C and 150 ^{o}C, and decreases more remarkably but stays positive in the studied range of V at T = 200 ^{o}C. In order to account for these complex rate-dependencies, we modified the logarithmic RSF to a quadratic form:

$f = f_0 + F_1 L_V + F_2 L_V^2 + G_1 L_W + G_2 L_W^2$

where $L_V = \ln(V/V_0)$ and $L_W = \ln(d_c/V_0\theta)$, f_0 is a reference friction coefficient at a reference slip rate V_0, F_1, F_2, G_1, and G_2 represent rate-dependencies which are assumed to be given by quadratic functions of ambient temperature T, and θ is the state variable representing recent slowness which evolves with a characteristic slip d_c:

$d\theta/dt = 1 ?\ V\theta/d_c$.

Note that at a steady-state, $L_V = L_W$ and

$f_{ss} = f_0 + (F_1+G_1)L_V + (F_2+G_2)L_V^2$.

This is a generalization of the aging law, the original version corresponding to $F_1 = a$, $F_2 = 0$, $G_1 = -b$, and $G_2 = 0$. We determined the rate-dependency functions by least-squares method from the experimental data by Sawai et al. [2014], and investigated the consequence by means of dynamic earthquake sequence simulations [e.g., Lapusta et al., 2003].

In preliminary simulations, we simulated earthquake sequences on a planer fault in 2-D (mode II) problems with depth-dependent T, depth-dependent σ_e, and a rotation axis to mimic intersection of the fault plane and the surface. Distributions of T and σ_e are determined to be consistent with the heat-flow measurement and modeling by Gao and Wang [2014].

Without additional complexity such as patch-like asperities and high-velocity weakening (e.g., thermal pressurization of pore fluid [Noda and Lapusta, 2013]), earthquakes are nucleated at about 30?50 km downdip from the trench where $\partial f_{ss}/\partial \ln(V)$ is negative regardless of V, and rupture only the shallowest part of the plate interface. The nucleation is preceded by slow slip in the shallower part of the plate interface where $\partial f_{ss}/\partial \ln(V)$ changes its sign with increases V and thus spontaneous acceleration to coseismic slip rate cannot occur. Effect of thermal pressurization and interaction of the system with embedded rate-weakening patches generating earthquakes shall be discussed in the presentation.

キーワード: 地震サイクル, 摩擦構成則, 数値シミュレーション, 摩擦実験
Keywords: Earthquake cycle, Friction constitutive law, Numerical simulation, Friction experiment

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P13 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

広域重力変動と地震活動の関係性
Relations between wide-area gravity changes and earthquake activity

山田 京平 [1] ; 三井 雄太 [2*]
YAMADA, Kyohei[1] ; MITSUI, Yuta[2*]

[1] 静岡大学理学部, [2] 静岡大学理学研究科
[1]Faculty of Science, Shizuoka University, [2]Institute of Geosciences, Shizuoka University

衛星重力ミッション GRACE のデータから、2002~2014 年間の全世界における一月ごとの重力時系列変動データを作成した。この重力変動と地震活動の関係を調べるため、4 つの地域 (紅海・チリ・チベット・アラスカ) を選定した。これらの地域における地震活動データを USGS から入手し、一月ごとの地震発生回数をまとめた。重力変動と地震回数の相関分析を行い、両者の相関関係について調べた。結果、アラスカでのみ、弱いながらも正の相関があるという結果を得た。この相関から、アラスカにおいて、重力変動が地震を引き起こす何らかのメカニズムが存在すると考えた。そのメカニズムの候補として、Ellsworth(2013) を参考に、2 つのパターン (地表付近の水の増大による断層への載荷/地下への水の浸透による断層摩擦の低下) について調べた。その結果、特に横ズレ断層の多い北緯 63 度以北では、地表付近の水 (雪) による載荷が断層の応力に影響しているのではなく、水圧の浸透が間隙流体圧を上げ摩擦強度を下げることで地震を引き起こしていると考えられる。

キーワード: 重力, 地震活動, 誘発地震, 表面荷重, 間隙流体圧
Keywords: Gravity, Seismicity, Induced earthquake, Surface load, Pore fluid pressure

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P14 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

摩擦溶融時のシュードタキライト中の動的な酸化・還元状態について
Dynamic fluctuation of redox state during frictional melting and crystallization of graphite-bearing psuedotachylites

中村 佳博 [1*] ; Madhusoodhan Satish-Kumar[2] ; 豊島 剛志 [2]
NAKAMURA, Yoshihiro[1*] ; MADHUSOODHAN, Satish-kumar[2] ; TOYOSHIMA, Tsuyoshi[2]

[1] 新潟大学　自然科学研究科, [2] 新潟大学　理学部地質科学科
[1]Graduate School of Science & Technology, Niigata University, [2]Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University

We carried out a stable carbon isotopic study of graphite-bearing pseudotachylytes to characterize the origin, role and behavior of different forms of carbon during frictional melting. The study area, located in the Hidaka Metamorphic belt, exposes metasedimentary rocks and various magmatic intrusions and are extensively deformed as evidenced by the presence of various types of fault rocks such as graphite-bearing cataclasite, ultracataclasite and pseudotachylytes. In particular, graphite-bearing pseudotachylytes are observed in the brittle shear zones, which are a few mm to maximum 5 cm in width. They are mainly divided into two types (Pst-I and Pst-II) based on the occurrences, microstructures and mineral assemblages of lithic fragments and secondary minerals. The graphite in each domain of Pst-I and Pst-II were separately analyzed for carbon isotopic composition. Disseminated graphite in protolith has a narrow range of δ^{13}C values between -23.6 and -25.8 ‰ (n = 13), and cataclasite, ultracataclasite and Pst I also have similar values between -24.1 and -27.0 ‰ (n = 25). On the other hand, the graphite separated from Pst II matrix on slab sections show values between -18.2 and -23.6 ‰ (n = 16), shifting the carbon isotope values to 2-3 ‰ higher from host metamorphic graphite. In particular, there is a clear correlation between stable carbon isotope composition and volume fraction of lithic fragments in each domain.

Our data indicate that metamorphic graphite in fault rocks were converted into H_2O-CO_2 or H_2O-CH_4 fluids under very-high temperature condition of frictional melting. Subsequently, a part of the COHS fluid re-precipitated as fluid-deposited graphite and the remaining was expelled as COHS fluids into fault zones during quenching stage. On the basis of chemical compositions and mineral assemblages in the pseudotachylytes, we attempt to estimate the P-T-fO_2-fS_2 phase diagram during frictional melting and crystallization of pseudotachylytes. The thermal decomposition of biotite coexisting with graphite and sulfide minerals are deduced by following reaction;

Annite in biotite + 3Pyrite + 1.5Graphite = Sanidine + 6Pyrrhotite + H_2O + 1.5 CO_2

The dehydration and decarbonation processes in this reaction are mainly driven by temperature, fS_2, and fO_2, and the breakdown of biotite that is ferromagnesian mineral change the redox state to the more oxidation state at ranges between ΔFMQ +0.5 to + 3.0. Such high fO_2 and fS_2 environments are only observed in the domains which show relatively low-temperature condition (Pst I matrix) during frictional melting. On the other hand, in the domains which show high temperature conditions (>1200 degree C) biotite microlite are observed in pseudotachylytes instead of pyrrhotite. This suggests the negative jump to biotite stable field of ASM buffer by lowering fS_2 under high-temperature condition. In addition, we tried to estimate the redox state at precipitation stage using graphite-fluid fractionation model. The difference between disseminated graphite and fluid deposited graphite show the positive 2-3 ‰ shifting by carbon isotope fractionation, suggesting the presence of CH_4-rich COHS fluid during precipitation stage. Under CH_4-H_2O dominant fluid in COH diagram, we can explain the carbon isotope variation of fluid deposited graphite at around ΔFMQ -3.0 by hydration reactions during the crystallization of titanite and hydroxyapatite. Such reducing conditions are only observed in the high temperature frictionally melted domains (Pst II matrix).

Thus, oxidation and precipitation processes of graphite are mainly controlled by the breakdown of ferromagnesian minerals and we revealed that the redox state and TOC values dynamically changed within each pseudotachylyte matrix. In addition, our data imply that redox state in pseudotachylyte sensitively change in melting domains at ranges of ΔFMQ -3.0 to + 3.0 as a function of melting temperature and bulk chemistry.

Keywords: Graphite, stable carbon isotope, pseudotachylyte, redox state

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P15 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

スメクタイトの摩擦特性における温度と圧力の効果：南海トラフプレート境界地震への影響
Thermal and pressure effect on frictional property of smectite: application to the plate boundary earthquakes of Nankai

水谷 知世[1*] ; 平内 健一[1] ; 林 為人[2] ; 澤井 みち代[3]
MIZUTANI, Tomoyo[1*] ; HIRAUCHI, Ken-ichi[1] ; LIN, Weiren[2] ; SAWAI, Michiyo[3]

[1] 静岡大学大学院理学研究科地球科学専攻, [2] 海洋研究開発機構　高知コア研究所, [3] 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻
[1]Department of Geosciences, Graduate School of Science, Shizuoka University, [2]Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, [3]Department of Earthsciences,Graduate School of Science,Hiroshima University

海洋プレートが大陸プレートの下に潜り込む沈み込み帯では，逆断層による巨大地震が発生しやすい．この沈み込むプレート境界断層において，100-150 ℃の温度範囲においてスメクタイトがイライトに遷移することが地震発生帯上限を定義する 1 つの鍵となっている．もしこの仮定が正しければ，スメクタイトは 100-150 ℃まで摩擦的に安定な挙動（速度強化）を示すことが示唆される．また，スメクタイトは含水し，膨潤する機能を持つため，これについて検証を行う場合，水に飽和した条件で実験を行う必要がある．しかし，モンモリロナイト標準試料を用いた先行研究（Saffer and Marone, 2003, EPSL; Ikari et al., 2007, JGR）は，室温湿潤条件のみで行われており，その摩擦の速度依存性（*a-b*）は，30 MPa 以下の法線応力下で速度弱化を示している．そこで本研究では，水に飽和した条件下において，モンモリロナイトガウジの摩擦実験を行い，摩擦強度とすべりの安定・不安定性に対する温度と法線応力の影響を調べた．

本実験で使用したガウジ試料は Na 型モンモリロナイト標準物質である．実験には高知コアセンター設置の三軸圧縮試験機を用い、砂岩供試体にはさんだガウジを有効法線応力 10-70 MPa，間隙流体圧 10 MPa で，25-150 ℃，すべり速度 0.03-3 μ m/s で剪断させた．摩擦係数（μ）は 0.056-0.120 の範囲をとり， 25 ℃と 60 ℃では有効法線応力の増加に伴って，摩擦強度が減少した．90 ℃と 120 ℃では有効法線応力の増加に伴って，摩擦強度が増加した．*a-b*は，有効法線応力の増加に伴って，25-90 ℃では段階的に正から負へ，120 ℃では段階的に負から正になった．

モンモリロナイトの μ は，先行研究において湿度が高くなるにつれて値が小さくなることが示されていた．本実験結果は，相対湿度 100%時の μ と調和的であった．このことはモンモリロナイトの μ は 100 wt%以上のの影響を受けないことを意味する．また，モンモリロナイトの*a-b*は，先行研究において湿潤条件では，法線応力の増加に伴って負から正へと遷移する傾向をもつことが示されている．一方，本実験結果では，有効法線応力の増加に伴って，*a-b*値が正から負へ遷移する傾向を示した．このことは，モンモリロナイトの*a-b*は 100 wt%以上の含水の影響を受けることを意味する．本実験結果から有効法線応力と*a-b*の関係は各温度条件において線形に表されることが示された．これらの結果を考慮して，南海トラフのプレート境界浅部の非地震性領域に相当する温度圧力条件でスメクタイトの*a-b*値の推定を行った．その結果，λ = 0.4 以上の場合，λ = 0.4 の一部領域を除き*a-b*は速度強化を示した．このことから，南海トラフの非地震性域において、スメクタイトは非地震性物質として振る舞うことが示唆される．

キーワード: 沈み込み逆断層, デコルマ, 非地震性領域, スメクタイト, 室内実験, 摩擦の速度依存性
Keywords: subduction thrust fault, decollement, aseismogenic zone, smectite, laboratory experiment, velocity dependence of friction

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SSS29-P16 会場:コンベンションホール 時間:5 月 24 日 18:15-19:30

熱クラックを生成した斑レイ岩の弾性波速度および Vp/Vs 比の間隙圧依存性
Dependences of pore pressure on elastic wave velosities and Vp/Vs ratio for thermally cracked gabbro

西村 佳也[1*] ; 上原 真一[1] ; 溝口 一生[2]
NISHIMURA, Kaya[1*] ; UEHARA, Shin-ichi[1] ; MIZOGUCHI, Kazuo[2]

[1] 東邦大学 大学院 理学研究科, [2] 電力中央研究所
[1]Graduate School of Science, Toho University, [2]Central Research of Electric Power Industry

地震波探査により、沈み込み帯の海洋地殻に Vp/Vs 比の高い領域が存在することが知られている。例えば、Cascadia 沈み込み帯（2.0~2.8）（*Audet et al.,* 2009)、南海トラフ沈み込み帯（≧ 2.03）(*Kodaira et al.,* 2004)、チリ沈み込み帯（>1.8）(*Marcos et al.,* 2012) などが挙げられる。Christensen（1984）は海洋地殻を構成する岩石である玄武岩およびドレライトについて、高封圧・高間隙圧条件下で弾性波速度を測定した室内実験を行い、間隙圧が 4%の玄武岩に関しては、観測結果で得られた高い Vp/Vs 比は高間隙圧（低有効圧）で説明できることを示した。一方、間隙圧が 1 %だったドレライトでは十分に説明できない。また、Peacock *et al.,* (2011) は、間隙率が高く、低有効圧であるほど Vp/Vs 比が高くなるという関係を示している。しかし、海洋地殻を構成する岩石について、内部の亀裂分布が Vp および Vs、ならびに Vp/Vs 比にどのように影響するかについて詳しく調べられていない。また、沈み込んだプレートの亀裂挙動も、天然の海洋プレートでは脆性破壊などによって複雑だと考えられる。本研究では、海洋地殻を構成する岩石である斑レイ岩について、熱クラックを生成した岩石試料の弾性波速度を大気圧下で測定後、封圧および間隙圧を制御した状態で弾性波速度実験を行い、Vp/Vs 比と間隙圧、亀裂分布との関係について検討した。

試料は，インドタミル・ナドゥ斑レイ岩を高さ 40 mm、直径 40 mm の円柱形に整形したものを用いた。本研究では，500、700 ℃で 24 時間加熱することによって、亀裂密度の異なる試料を用意した。また、加熱していない試料についても測定を行った。弾性波速度測定は透過法で行った。パルスジェネレータで矩形波（周波数 0.001 MHz、振幅最大 300 V）の電圧信号を発生させ、試料の側面に接着した入力側の圧電素子を振動させ、試料反対側の圧電素子からの電圧信号と入力信号の時間差から、弾性波速度を測定した。容器内三軸圧縮試験機で測定する前に、加熱していない試料および 500 ℃で加熱した試料について 45 度間隔に圧電素子を接着し、大気圧下で試料の 4 方向で弾性波速度を測定して岩石の異方性について検討した。その結果、500 ℃で加熱した試料については，直交方向に最大約 10 %の違いがあった。その結果をもとに、4 方向について容器内三軸圧縮試験機での弾性波速度実験を行った。この時封圧は 50 MPa で一定とし、間隙圧は 49 から 0.1 MPa まで下げ、その後 49 MPa まで上げる応力経路の何点かで弾性波速度を測定した。その結果、500 ℃で加熱した試料については，間隙圧 49 MPa のとき、Vp/Vs 比は 2.0~2.1 を示した。この値は、地震波速度の観測結果で測定された高 Vp/Vs 比の値に近い値をとった。間隙圧が高いときに高 Vp/Vs 比となるのは、試料内部の間隙が間隙圧の作用で広がったからと考えられ、間隙率が高いほど間隙圧の影響も大きくなると考えられる。また、間隙圧 40 MPa 以下のときの Vp/Vs 比は約 1.8~2.0 を示し、大気圧下での実験よりも高くなった。これは、封圧により、試料内部の間隙が圧縮され、間隙の割合を小さくしたことが原因であると考えられる。一方、加熱していない試料は、間隙圧の変化に対して Vp/Vs 比は顕著な変化は見られず、約 1.5 でほぼ一定だった。

発表時には、700 ℃で加熱した玄武岩の容器内三軸圧縮試験機での実験結果についても示す予定である。また、薄片観察により、亀裂密度や開口幅などの亀裂分布に関する情報を取得し、実験結果と比較する予定である。

本研究は JSPS 科研費 26400492 の助成を受けたものである。

キーワード: 斑レイ岩, Vp/Vs 比, 弾性波速度, 高間隙圧
Keywords: Gabbro, Vp/Vs ratio, Elastic wave velosity, High pore pressure