

宮城沖では大中小地震が東進し一部が 3.11 震源に達していた、ならば岩手北部沖から十勝沖も同じか～岩手中部沖は津波装置？～  
Close examination of universality of matter off Miyagi that earthquakes advanced toward the east

間瀬 博文<sup>1\*</sup>  
MASE, Hirofumi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 所属なし

<sup>1</sup> none

プレート境界面では低温のプレートの両側に、高温部が形成され互いに引き寄せ合うことで境界面近辺は常に圧縮されている。ウェッジは西進する沈み込みプレートに乗り、海岸線以西の部分から東向きの力を受けている (1)。簡単な実験で宮城沖を再現した。プレート境界の割れが深部より始まり、坂下ですべりを発生させながら割れ前線が浅部へ向けて時間を費やしゆっくりと進んだ。終には浅部の相当範囲の先端部が一気にはがれ、それをきっかけに超巨大地震に比すべき全域の「一斉すべり」が発生し一連のイベントが終了した。これを 1 サイクル一千年と考えた (2)。宮城沖の地震は震源の位置が次第にプレート境界を登坂していた。2005 年の地震の前後では、小地震発生範囲の先頭がじわじわと東進し、2010 年 11 月に 3.11 の震源を越えていた (3)。

したがって宮城沖のモデルは以下の様なもので、実験でほぼ再現された。M7 クラスの地震が震源を東に移動させながら数十年に一度発生し、その度に地震の後方が深部まですべりを起こす。先行する小地震が割れ前線を形成する。割れ前線がしかるべき位置に達すれば一斉すべりが起きる。このモデルの特徴は以下の三つの大問題、a. 特定の範囲内で繰り返し発生するものと一般に思われていること b. その度に大すべりを起こす歪の原因が不明であること c. 行き着くところは浅部の一気破壊だったこと、に対し解答を一度に与えられることである。

宮城沖 (MY)(Fig.1)を参考とし岩手中部沖 (IC), 岩手北部沖 (IH), 青森東方沖 (AT), 十勝沖 (TK) を考えたい。(IH)(AT)では 1968 年十勝沖地震、1994 年三陸はるか沖地震が発生している。(4) のすべり量分布図は興味深い。破壊開始点 (震源) と主破壊域が坂上坂下の関係は理解できるが相当離れているのは特徴で解明する必要があるが。主破壊域は最も海溝寄りのすべりのピークと解釈する。1968 年地震は大すべり範囲が南北二箇所あり、南側の主破壊域は 1994 年地震の主破壊域の坂下に位置し注目される。1968 年地震は、1994 年地震の一つ前の地震を同伴したようである。付近で過去に発生した地震 (5) は 1968 年地震か、1994 年地震の一つ前の地震の坂下に主破壊域があった可能性がある。だから (IH)(AT) は (MY) と同様の道を歩んでいると考える。浅部はすべれないのではなく、タイミングを待っているだけであろう。

(TK) では 1952 年十勝沖地震、2003 年十勝沖地震が発生した。震源は 1952 年地震が坂上である。しかし (6)(7)(8) のコンターによれば、主破壊域は 2003 年地震が坂上であった可能性が大きい。ここでも地震が登坂していると考えておいた方がよい。

(IC) は少々事情が異なる。北緯 39～40 度, 東経 143～144 度の範囲は 1923 年以降、中小地震の多発地帯であり、プレート内地震が多いことを伺わせる (12)。下盤が地震により常時潰れて物質が上にはみ出し付加体を作っていることになる。下盤が短くなるから上盤は相対的に長くなり、膨らんで表面付近は伸張場になろう。そして海溝に押し寄せるので急な崖を形成し崩落する。これは (9) で示される (IC) の地形を理由とともに説明していることになる。表面付近の伸張場は横ずれ断層型の発生 (10) の理由となろう。崩落が容易な崖の構造は、周辺の地震に敏感に反応する上に効率的な津波発生装置になっている可能性がある。(11) の成果に調和的である。

参考文献:(1) 間瀬/JpGU2012/SCG67-P06 (2) 間瀬/SSJ2012/P2-75 (3) 間瀬/JpGU2013/SSS28-P09 (4) 永井ら (2000)/三陸における再来大地震の震源過程の比較研究/東大震研/http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/11seikahoukoku/koukai/r11.5fig1.JPG

(5) Wikipedia「三陸沖北部地震」(6) 佐竹ら (2004)/1952 年・2003 年十勝沖地震の津波波源の比較－1952 年津波の再検討に基づいて－/産総研/SSJ2004 年大会

(7) 八木 (2004)/2003 年 9 月 26 日十勝沖地震 (Mjma 8.0) の破壊伝搬の様子 EPS 分/建築研 (8) 山中・菊地 (2003)/遠地実体波解析 9 月 26 日十勝沖地震 (Mj8.0)/東大震研/EIC 地震学ノート No.139 (9) 泉ら (2012)/150m グリッド DEM から作成した日本海溝付近の 3D 海底地形/海保海洋情報部/研究報告第 48 号 (10) 中島 (1974)/1968 年十勝沖地震の前後における発震機構の変化/北大/地球物理学研究報告 (11) 市原ら (2013)/東日本大震災で発生した津波が巨大化した原因となった場所を特定/JAMSTEC/2013 年 10 月 8 日 (12) 気象庁/地震・火山月報 (防災編)/平成 16 年 6 月/6 月 12 日岩手県沖の地震/震央分布図、断面図

SSS30-P01

会場:3 階ポスター会場

時間:4月29日 18:15-19:30

参考文献

(1) Hirofumi MASE(2012)/The power to form and maintain oceanic basin and island arc / JpGU2012/SCG67-P06 <http://www2.jpgu.org/meeting/2012/html5/session/S-CG67.html>  
 (2) Hirofumi MASE(2012)/Materialization and Experiment of Model of Miyagi Prefecture offing on the 2011 Tohoku-Oki Earthquake/SSU2012/P2-75 [http://globalist.jp/detail.php?GLOBAL\\_ID=2012022271822634851](http://globalist.jp/detail.php?GLOBAL_ID=2012022271822634851)  
 (3) Hirofumi MASE(2013)/Model that harmonizes with the rupture process of (Ide et al.2011) ~Relation between 3.11 and off-Miyagi-earthquakes~/JpGU2013/SSS28-P09 <http://www2.jpgu.org/meeting/2013/session/S-SS28.html>  
 (4) 永井理子・菊地正幸・山中佳子(2000)/三陸における再来大地震の震源過程の比較研究 / 東大震研/JpGU2000/Sa-005 Riko NAGAI, et al.(2000)/Comparative study on the asperities of large earthquakes in Sanriku region/ERI Univ. of Tokyo <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/11seikahoukoku/koukai/r11.5fig1.JPG>  
 (5) ウィキペディア (Wikipedia) [三陸沖北部地震/繰り返し発生する地震以外の地震] <http://ja.wikipedia.org/wiki/三陸沖北部地震>  
 (6) 佐竹健治・平田賢治・谷岡勇市郎・山本 滋(2004)/1952年・2003年十勝沖地震の津波波源の比較 - 1952年津波の再検討に基づいて - /産総研/SSU/2004年大会 <http://unt.aist.go.jp/act/fault-eq/seika/meeting/jishin2004/satake.html>  
 (7) 八木勇治(2004)/2003年9月26日十勝沖地震(Miwa 8.0)の破壊伝搬の様子EPS分/建築研 <http://isee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/Japan20030926/Japan20030926-j.html>  
 (8) 山中・菊地(2003)/遠地実体波解析9月26日十勝沖地震(Mj8.0)/東大震研/EIC地震学ノートNo.139 [http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/030926.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/030926.html)  
 (9) 泉純明・堀内大嗣・西澤あずさ・木戸ゆかり・中田高・後藤秀明・森辺清久・鈴木康弘(2012)/150mグリッドDEMから作成した日本海溝付近の3D海底地形/海峽海洋情報/研究報告第48号 Noriaki IZUMI, et al.(2012)/3D bathymetric image along the Japan Trench based on 150 meter grid DEM/JHOD/JCG <http://www.1.kaiho.mlit.go.jp/GJUTSUKOKUSAI/KENKYU/report/rhr48/rhr48-tr10.pdf>  
 (10) 中島徹(1974)/1968年十勝沖地震の前後における発震機構の変化/北大/地球物理学研究報告 Tohoru NAKAJIMA(1974)/Spacial and Sequential Distribution of Focal Mechanisms before and after the Tokachi-Oki Earthquake of May/Hokkaido U. <http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/14044>  
 (11) 市原寛・浜野洋三・馬場聖三・笠谷貴史(2013)/東日本大地震で発生した津波が巨大化した原因となった場所を特定/海洋研究開発機構/2013年10月8日 Hiroshi ICHIHARA, et al.(2013)/Tsunami source of the 2011 Tohoku earthquake detected by an ocean-bottom magnetometer/JAMSTEC [http://www.jamstec.go.jp/about/press\\_release/20131008\\_2/](http://www.jamstec.go.jp/about/press_release/20131008_2/)  
 (12) 気象庁/地震・火山月報(防災編)/平成16年6月/6月12日岩手県沖の地震/震央分布図、断面図 JMA/Monthly Report on Earthquakes and Volcanoes in Japan/June 2004/6月12日岩手県沖の地震 <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaiko/index.html#monthly> (13) 気象庁/地震・火山月報(防災編)/平成15年10月/特集1/図1-4、平成17年8月/特集1/図8-1,等 <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaiko/index.html#monthly>

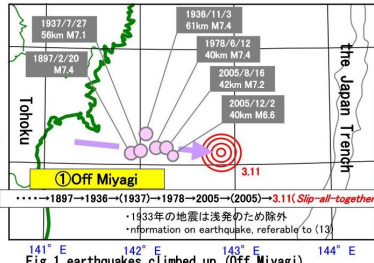


Fig.1 earthquakes climbed up (Off Miyagi)

the Model of Off-Miyagi of 1000 years (earthquakes climb up)

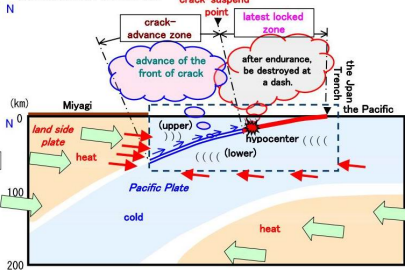


Fig.2 Model cross section intersecting squarely in the Trench and crossing over Miyagi

Explanatory notes		
	Power work by temperature structure of heat-cold-heat	
	Range corresponding to clay lump in the experiment	
	The distribution of power to work by $\alpha$ within $\beta$	

## アウターライズ地震の多様性：2013 年 10 月 26 日福島沖地震を例にして Diversity of outer-rise earthquakes: As an example of the Off-Fukushima earthquake on 26 October 2013

蓬田 清<sup>1\*</sup>  
YOMOGIDA, Kiyoshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院  
<sup>1</sup> Graduate School of Sciences, Hokkaido University

アウターライズ地震は、沈み込むプレートが折れ曲がる、あるいは自重によってプレート内部で起こる断層運動によって発生すると考えられている。約 50km より深いプレート下部での沈み込む方向に圧縮軸を持つ逆断層の地震もあるが、M7 を超える大地震を含む多くは浅い部分での正断層の地震であり、その発生様式は沈み込むプレート年代や近傍のプレート境界での大地震の発生パターンと深く関係すると、考えられてきた。プレート内地震であることが震源過程の本質的な特徴であり、既存の断層面(弱面)がない領域での地震なので、通常の沈み込むに伴う地震に比べて高周波成分が卓越することが常識と考えられてきた。

2013 年 10 月 26 日に、2011 年東北沖地震の影響によると思われるアウターライズの大地震の一つとして、福島沖で JMA で M7.1 の地震が発生した。この地震では緊急地震速報が正常に機能しなかった。その判定に使われる 1Hz あたりの地震動はるか沖の遠方という要素を考慮しても、小さかった可能性を示唆する。本研究では、F-net などの広帯域地震観測記録(とりわけ上下成分での P 波初動部分)を用いて、この地震の高周波数成分も含めた地震波の励起の周波数特性・波形の特徴を検証した。

日本海溝の外側の他のアウターライズ地震の波形記録を、沈み込み境界の地震のそれと同じ観測点で比較すれば、途中の伝搬のパス特性やサイト特性はほとんど影響しない。1Hz 以上の高周波成分はアウターライズ地震の方が明らかに卓越している。しかし上述の福島沖地震では、高周波数成分は太平洋沿岸のどの観測点でも目立たず、むしろ周期数秒程度のパルスが 5 回程度、明確に認められる観測点がいくつか存在した。この地震の直後にほぼ同じ震源位置で発生し、余震と思われる小さな複数の地震では、どの観測点でも高周波数成分だけが卓越しており、この福島沖地震の震源過程だけが異なることが確認された。つまり、この地震はアウターライズのプレート内地震ではあるが、破壊された断層面には 10 キロ程度の強度の大きな不均質性が複数あり、この地震の断層運動でそれらが最終的に破壊につながった極めて特異な震源過程が示唆される。リソスフェアの微細不均質性のサイズ分布はフラクタル的な von Karman 型などでよく表現できることがわかっているが、この断層面近傍は上述のスケールの複数の不均質性が際立っていたはずである。

福島沖に沈み込む太平洋プレートには海山列がいくつか認められており、今回のアウターライズ地震の特徴的な地震波励起を生じた不均質性の原因かもしれない。いずれにしても、アウターライズ地震は高周波成分によって早期判定ができるというところこれまでの概念は再考する必要がある、多様な発生様式がありうることを提案する。日本近海で発生したいくつかのアウターライズ地震の波形記録を調べると、2012 年 3 月 14 日に千島・日本海溝のコーナーで発生した M7.0 の地震だけは、高周波数成分にやや富んでいるが、周期数秒のパルス状の波形も重なっており、福島沖地震と似た特性を持っている。沈み込むプレートの不均質や折れ曲がってかかる応力状態などで、多様な破壊過程が生じる可能性があることも考えられる。

キーワード: アウターライズ地震, プレート内地震, 高周波数成分, 断層破壊, 海洋リソスフェアの不均質性  
Keywords: outer-rise earthquake, intra-plate earthquake, high frequency seismic waves, fault rupture, heterogeneity of oceanic lithosphere

## 日本海溝北部における高分解能反射法探査 High resolution seismic profiling in the northern Japan Trench axis area

中村 恭之<sup>1\*</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>; 三浦 誠一<sup>1</sup>; 山下 幹也<sup>1</sup>; 藤江 剛<sup>1</sup>; 下村 典生<sup>1</sup>; 井和丸 光<sup>1</sup>  
NAKAMURA, Yasuyuki<sup>1\*</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>; MIURA, Seiichi<sup>1</sup>; YAMASHITA, Mikiya<sup>1</sup>; FUJIE, Gou<sup>1</sup>; SHIMOMURA,  
Norio<sup>1</sup>; IWAMARU, Hikaru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Marine geological and geophysical surveys and analysis of their results have revealed that the ruptured area of the 2011 Tohoku earthquake extended up to the vicinity of the trench axis along the plate boundary fault. To investigate the geological structure, especially the faults and the deformation of the sediments, we have conducted reflection seismic surveys in the trench axis area of the Japan Trench off Miyagi and Iwate prefectures. Three seismic cruises have been carried out in 2011 and 2013 along 81 E-W (dip) lines and 17 N-S (strike) lines. We have used 320 or 380 inch<sup>3</sup> cluster air guns and a 1200 m long streamer cable to obtain high resolution seismic data. Surveyed area covers the trench axis area along the trench strike from seaward of the hypocenter of the Tohoku earthquake around 38 N at south, to ~40 N at north. Seismic profiles around 38 N show that the trench axis is located on a graben with sediments which have been deformed by reverse faulting. Similar deformation structure is observed around 40 N, but the trench axis is located on a horst not a graben there. The thickness of the incoming sediments on the Pacific plate typically ranges ~0.3 ? 0.5 s in two way time, however it is reduced down to <0.2 s around 39.5 N where the basement of the oceanic crust shows higher relief and trench inner wall is significantly steep. The thickness variation of the incoming sediments can be traced seaward and corresponded with along strike variation of the structure in the outer rise. These high resolutions seismic data served for the site selection of the JFAST drilling project by IODP and also contributes to the JTRACK proposal for future drilling in the Japan Trench following success of the JFAST.

## 東北地方太平洋沖地震震源域における地震探査 Seismic surveys in the ruptured area of the 2011 Tohoku earthquake

中村 恭之<sup>1\*</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>; 海宝 由佳<sup>1</sup>; 野 徹雄<sup>1</sup>; 藤江 剛<sup>1</sup>; 佐藤 壮<sup>1</sup>; 山本 揚二郎<sup>1</sup>; 笠谷 貴史<sup>1</sup>; 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>; 三浦 誠一<sup>1</sup>; 高橋 成実<sup>1</sup>

NAKAMURA, Yasuyuki<sup>1\*</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>; KAIHO, Yuka<sup>1</sup>; NO, Tetsuo<sup>1</sup>; FUJIE, Gou<sup>1</sup>; SATO, Takeshi<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Yojiro<sup>1</sup>; KASAYA, Takafumi<sup>1</sup>; OBANA, Koichiro<sup>1</sup>; MIURA, Seiichi<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Narumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

We have conducted seismic surveys in the ruptured area of the 2011 Tohoku earthquake off Miyagi prefecture in 2011 and 2013 using JAMSTEC's R/V Kairei. Three multi-channel reflection seismic (MCS) surveys were conducted in 2011 with R/V Kairei's 7800 inch<sup>3</sup> tuned air gun array and ~6 km long streamer cable. The MCS profiles along 14 E-W (dip) lines and two N-S (strike) lines were acquired during these surveys. Another seismic survey was carried out in 2013 around the JFAST drill site along one dip line and two strike lines. Time migrated sections demonstrated characteristic structure in the Japan Trench subduction zone; the Pacific plate deformed by normal faults (horst and graben structure), frontal prism with seismically transparent or chaotic feature, strong landward dipping reflections corresponding to the backstop interface, "deep sea terrace" in the upper landward trench slope covered with younger sediments mainly deformed with normal faults. Our survey area covers ~150 km in the trench strike direction around the epicenter area, which is rather small compared with the entire rupture zone (400 ? 500 km in the strike direction) of the Tohoku earthquake, however the structure is considerably variable from south to north. We have selected 6 dip lines, including the JFAST dip line, to apply pre-stack depth migration (PSDM). The PSDM sections provide higher quality profiles and interval velocity models in depth domain which are suitable for understanding the structural framework of the Japan Trench subduction zone. In 2013 survey, we also used four ocean bottom seismographs (OBSs) in addition to the MCS system. The P to S converted wave was clearly observed in the horizontal component seismograms, and the V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> in the sediment layer around the JFAST drill site was estimated at >4.5.

## 東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST) における熱物性測定 Determination of Three Thermal Properties in Japan Trench Fast Drilling Project (JFAST)

林 為人<sup>1\*</sup>; 多田井 修<sup>2</sup>; Fulton Patrick<sup>3</sup>; Harris Robert<sup>4</sup>; 谷川 亘<sup>1</sup>; 木下 正高<sup>1</sup>

LIN, Weiren<sup>1\*</sup>; TADAI, Osamu<sup>2</sup>; FULTON, Patrick<sup>3</sup>; HARRIS, Robert<sup>4</sup>; TANIKAWA, Wataru<sup>1</sup>; KINOSHITA, Masataka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 高知コア研究所, <sup>2</sup> 株式会社マリン・ワーク・ジャパン, <sup>3</sup> University of California, Santa Cruz, USA, <sup>4</sup> Oregon State University, USA

<sup>1</sup> Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup> Marin Works Japan LTD, <sup>3</sup> University of California, Santa Cruz, USA, <sup>4</sup> Oregon State University, USA

東北日本太平洋沖 Mw9.0 巨大地震の発生をうけて、統合国際深海掘削計画 (Integrated Ocean Drilling Program、略称 IODP) は、かつてにない迅速な検討を行い、掘削船「ちきゅう」による緊急掘削調査プロジェクト「東北地方太平洋沖地震調査掘削; Japan Trench Fast Drilling Project (JFAST)」の実施を決定した。この緊急掘削調査は、平成 24 年 4 月 1 日~5 月 24 日と平成 24 年 7 月 5 日~7 月 19 日の 2 回に分けて実施され、震源域における断層掘削を行った。掘削地点 (北緯 37 度 56 分東経 143 度 55 分) は宮城県牡鹿半島東方沖約 220km 沖合の海域で、日本海溝までの距離は約 6km であった。水深が約 6890 m の海底から、深度約 820m のプレート境界断層を貫通して、850m まで掘削して、チャート層に達した。東日本大震災の大津波をもたらした、滑り量が 50m にも及ぶ震源断層を掘り抜き、温度測定と試料の採取に成功した。

JFAST のもっとも重要な科学目標の一つは、東北地震時の断層滑りに伴う摩擦熱の検出であり、その摩擦熱の残熱として現れる温度深度分布の異常を定量的特定して、地震時の動的せん断応力を決定することである。掘削孔内の温度プロフィールから、温度異常の決定ならびに温度異常値から、地震時の摩擦熱量、さらに動的せん断応力を算出するためには、地層の三熱物性 (熱伝導率、熱拡散率と比熱) を知ることが必要不可欠である。本研究では、非定常面熱源法 (通称ホットディスク法) により、4 つのホールラウンドコア試料 (それぞれの採取深度が 177, 697, 802, 828 mbsf) の三熱物性値を測定した。また、非定常熱線法による船上測定では 45 個のハーフコアの熱伝導率が得られたとともに、定常法である分割棒法による粒状試料 (38 個) の熱伝導率測定が行われた。この 3 種類の熱伝導率測定法による結果は互いに整合し、C0019E 孔では概ね  $0.9-1.5 \text{ Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$  の範囲内に分布することが判明した。また、ホットディスク法による測定から、熱伝導率と熱拡散率の異方性を評価した結果、顕著な異方性がないことが確認された。

謝辞: 本研究で用いたコア試料は IODP の提供によるものである。第 343 と 343T 次 IODP 研究航海の乗船研究者、ラボテクニシャン、掘削チーム、運航チームのご協力に感謝の意を表す。

キーワード: 熱物性, JFAST, 熱伝導率, 熱拡散率, 比熱

Keywords: Thermal Property, JFAST, Thermal conductivity, Thermal diffusivity, Specific heat

## 東北沖浅部断層の低～高速摩擦特性を考慮したスロースリップと地震性すべりのモデル化 Modeling slow and seismic slips off Tohoku considering low to high speed friction behavior of the shallow plate boundary

芝崎 文一郎<sup>1\*</sup>; Ikari Matt<sup>2</sup>; 野田 博之<sup>3</sup>  
SHIBAZAKI, Bunichiro<sup>1\*</sup>; IKARI, Matt<sup>2</sup>; NODA, Hiroyuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所国際地震工学センター, <sup>2</sup>Marum, Center for Marine Environmental Sciences, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構  
<sup>1</sup>International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, <sup>2</sup>Marum, Center for Marine Environmental Sciences, <sup>3</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Ikari et al. (2013) examined low to high speed frictional properties of fault zone material from the shallow plate boundary in the Tohoku region obtained by the IODP Expedition 343 (JFAST). They found velocity-weakening frictional behavior at slip velocities slower than  $10^{-6}$  m/s and velocity-strengthening at higher slip velocities. This frictional property is considered to be a mechanism that causes slow slip events and stress accumulation during the period between slow slip events. We investigate the effects of this frictional property on generation of slow slip events and megathrust events.

We use a rate- and state-dependent friction law with cut-off velocity to an evolution effect to represent this frictional behavior. Based on the experimental results (Ikari et al., 2013), we set the cut-off velocity at  $10^{-6}$  m/s. We also consider dynamic weakening due to thermal pressurization at high slip velocity. We perform three-dimensional quasi-dynamic modeling of slip processes. Numerical results show the occurrence of slow slip events at intervals of several ten years at the shallow plate boundary. During the period between slow slip events, stress accumulation proceeds. When an earthquake nucleates at the deeper region, coseismic slip propagates into this region, which results in larger slip compared to the case where a simple velocity-strengthening friction law is considered.

Ito et al. (2012) detected slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake. Shallow very low frequency earthquakes off Tohoku were detected by Matsuzawa et al. (2012). In addition, along the shallow plate boundary off Tokachi, sequential activity of very low frequency earthquakes occurs at intervals of several years (Asano et al., 2008). These observations suggest that the transitional friction behavior investigated by Ikari et al. (2013) occurs along the shallow plate boundary off Tohoku.

キーワード: 東北沖, 浅部プレート境界, 低～高速摩擦特性, スロースリップ, 地震性すべり  
Keywords: off Tohoku, shallow plate boundary, low to high speed friction behavior, slow slip, seismic slip

## 地形を用いた日本海溝における沈み込みプレート境界浅部を支配する摩擦特性の解析 Friction properties beneath the frontal wedge near the Japan Trench: deduction from topographic variation

高下 裕章<sup>1\*</sup>; 小平 秀一<sup>2</sup>; 富士原 敏也<sup>2</sup>; 佐々木 智之<sup>3</sup>; 亀田 純<sup>7</sup>; 北村 有迅<sup>6</sup>; 浜橋 真理<sup>1</sup>; 濱田 洋平<sup>4</sup>; 山口 飛鳥<sup>5</sup>; 芦 寿一郎<sup>5</sup>; 木村 学<sup>1</sup>

KOGE, Hiroaki<sup>1\*</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>2</sup>; FUJIWARA, Toshiya<sup>2</sup>; SASAKI, Tomoyuki<sup>3</sup>; KAMEDA, Jun<sup>7</sup>; KITAMURA, Yujin<sup>6</sup>; HAMAHASHI, Mari<sup>1</sup>; HAMADA, Yohei<sup>4</sup>; YAMAGUCHI, Asuka<sup>5</sup>; ASHI, Juichiro<sup>5</sup>; KIMURA, Gaku<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域, <sup>3</sup> 海洋技術開発株式会社, <sup>4</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>6</sup> 鹿児島大学, <sup>7</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Institute for Research on Earth Evolution Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Ocean Engineering & Development Corporation, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>6</sup>Kagoshima University, <sup>7</sup>Hokkaido University

The 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) produced a fault rupture, extending to the Japan Trench. Deformation and frictional properties beneath the forearc are the keys to elucidate this unusual event.

In this study, to obtain frictional properties ( $\mu_b'$ ; the coefficient of effective basal friction), we extracted shape-related parameters from the cross sections of the frontal wedge which are obtained from surveys across the trench that span sporadically along the axis of the Japan Trench. The following two methods were adopted for this study; Critical Taper Theory (CT) and Critical State Theory (CS). Both of the theories are based  $\mu_b'$ . From the Critical Taper Theory. Near latitude 36.1, the taper angles (slope angle + decollement dip angle) has been developed. A possible seamount subduction may differentiate this area. However, near the latitude 38.15 where the largest slip was reported with the 2011 earthquake, the taper angle has also been large without any seamounts. The calculated [or estimated] value of  $\mu_b'$  in this area is larger than that of the other area, suggesting that the larger strain energy was accumulated in comparison with the other wedges.

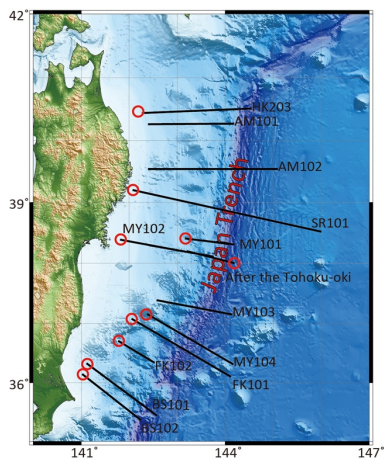
From the Critical State Theory, the value of  $\omega$  (angle between the basal decollement and backstop interface) becomes smaller toward the north. The results of CS show the increase of the  $\omega$  associate with the increase of the  $\mu_b'$ , suggesting that strain energy is more stored toward the North.

Both results show that the  $\mu_b'$  has decreased after the earthquake. The change in  $\mu_b'$  may be due to the earthquake.

It is possible to know friction properties of before the earthquake and that of after the earthquake with bathymetry.

キーワード: 日本海溝, 臨界尖形理論

Keywords: Japan Trench, Critical Taper Theory





## 段丘地形・沖積平野地下地質の特徴に基づいた三陸海岸南部・陸前高田の長期地殻変動 Long-term crustal movement in the Rikuzentakata area, southern Sanriku coast, based on geomorphological/geological featu

丹羽 雄一<sup>1\*</sup>; 遠田 晋次<sup>1</sup>  
NIWA, Yuichi<sup>1\*</sup>; TODA, Shinji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学災害科学国際研究所

<sup>1</sup>International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

東北日本弧では地質学的に求めた地殻変動速度と測地的に求めた地殻変動速度の不一致が指摘されている(池田, 1996)。三陸海岸地域では、海成段丘の存在から、10 万年スケールでは 0.1 mm/yr オーダーでの隆起が示唆されている(小池・町田, 2001)が、測地観測記録からは過去 100 年間最大で 10mm/yr の速度で沈降している(西村, 2012)。このような時間スケールによって相反する地殻変動傾向に対し、未知の巨大地震による隆起が推定された(池田, 1996)ものの、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震では、プレート境界浅部の急激なすべりに伴う陸側プレートの変形によって、三陸海岸一帯で広域的な沈降が生じた(Ozawa et al., 2011)。海溝型巨大地震の繰り返しメカニズムに迫るためには長期地殻変動と 2011 年の地震のような超巨大地震時の地殻変動との関連性を理解することが重要であるが、そのためには、地形地質学的データに基づいて長期的な地殻変動を明らかにしていく必要がある。前述のように、三陸海岸では長期的な隆起が推定されているが、地震時の沈降が著しかった南部三陸海岸に着目すると、海成段丘の分布は限定的かつ、明確な編年データにも欠けており、長期的地殻変動自体が不明のままといえる。

このような背景のもと、発表者らは三陸海岸南部を中心に空中写真判読・露頭調査・ボーリング調査・既存ボーリングデータの収集・解析を行った。本発表では、予察的ではあるが、三陸海岸南部のうち、陸前高田における長期地殻変動を検討する。

空中写真判読を行った結果、本地域には標高 20~70 m ほどに定高性のある平坦面が認められたが、これらは著しく開析を受け丘陵状になっており、分布が断片的かつ連続性に乏しい。いくつかの露頭で層厚 5 m 以上の風化の進んだ礫層が認められたが、この礫層が段丘構成層なのか、あるいは開析を受けた段丘の基盤をなすのか判断はできなかった。ごく一部の露頭では風化の進んでいない海成礫と思われる層厚 3 m 以上の垂円礫層を観察できたが、上位を背後の古い段丘(あるいは丘陵)からの崩壊物と思われる風化礫に覆われ、編年可能なテフラなどの試料は見られなかった。地形判読の結果から、本地域では段丘地形から長期地殻変動を捉えることが難しいと言える。

沖積平野では、3 本のボーリングコアの記載・粒度分析・電気伝導度(EC)測定、<sup>14</sup>C 年代測定を行った。本地域の地下は、下位から花崗岩からなる基盤岩、網状河川堆積物、河口~潮間帯堆積物、内湾~デルタ堆積物、氾濫原堆積物から構成される。最も上流側のコアで 8000~8500 cal BP の堆積年代を示す潮間帯堆積物と思われる極細粒砂とシルトのリズミカルな互層が現標高-11.21~-16.26 m に認められた。この堆積物がハイドロアイソスタシーを考慮した本地域の当時の海面高度(Nakada et al., 1991)と同程度の標高に分布することから、本地域の地殻変動を完新世の平均的な傾向で見ると概ね安定傾向と考えられ、顕著な隆起傾向および、測地的データから推定される 1 mm/yr オーダーの沈降傾向にはないと考えられる。発表時にはコアデータを増やし、より詳細に議論を行う予定である。

キーワード: 海成段丘, 三陸海岸南部, 長期地殻変動, 沖積平野

Keywords: marine terrace, southern Sanriku coast, long-term crustal movement, alluvial plain

## 高詳細モデルを用いた地震時・地震後地殻変動の大規模有限要素シミュレーション Large-scale simulation of coseismic and postseismic crustal deformation using a high-fidelity finite element model

縣亮一郎<sup>1\*</sup>; 市村強<sup>1</sup>; 平原和朗<sup>2</sup>; 兵藤守<sup>3</sup>; 堀高峰<sup>3</sup>; 堀宗朗<sup>1</sup>

AGATA, Ryoichiro<sup>1\*</sup>; ICHIMURA, Tsuyoshi<sup>1</sup>; HIRAHARA, Kazuro<sup>2</sup>; HYODO, Mamoru<sup>3</sup>; HORI, Takane<sup>3</sup>; HORI, Muneo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 京都大学, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Kyoto University, <sup>3</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

海溝型巨大地震の地震後地殻変動は、アセノスフェアの粘弾性的な振る舞いに大きく影響を受ける。解析的なモデルや三次元有限要素法などを使って粘弾性を考慮し、地震後地殻変動のシミュレーションを行った研究例はいくつか存在する。一方地殻形状や物性のデータは蓄積されてきているものの、現実に近い地殻モデルを用いてこれらのシミュレーションを行うことは、計算コストの観点から難しいとされてきた。本研究では、ハイパフォーマンスコンピューティングの技術に基づき、地殻データを詳細に再現した地殻の三次元有限要素モデル（以下高詳細モデル）を用いて、地震後地殻変動の大規模解析を試みる。これまでに日本列島全域を含む、東西方向 1700 km、南北方向 2600 km、鉛直方向 400 km の領域に対し、1km 分解能の高詳細モデルを生成した。地表面形状のモデルとしては日本水路協会発刊の日本近海 30 秒 (900m) グリッド分解能の水深データ (JTOPO30, 2003) を用い、プレート間境界の形状には CAMP スタンダードモデル (Hashimoto et al. 2004) を用いた。ユーラシアプレート及び北アメリカプレートの厚さ 30km の弾性層の下に、粘弾性マントルウェッジを置き、そこにフィリピン海プレートおよび太平洋プレートが沈み込む有限要素モデルを構築した。モデル化対象領域が大きいこと、地表面の曲率も考慮した。高詳細モデルは多自由度となるため、計算には京コンピュータを用いた。

セッション当日には、高詳細モデルを用いた海溝型地震後 200 年間の地震後地殻変動のシミュレーション結果を示す予定である。それに加え、メッシュサイズや時間分解能などを変えた計算結果を比較することにより、本手法により計算された解が数値的に収束していることも示す。

キーワード: 地震後地殻変動, 高詳細な三次元地殻構造モデル, 大規模シミュレーション

Keywords: postseismic crustal deformation, high-fidelity finite element model of crustal structure, large-scale simulation

## 南海トラフ沿いで想定された最大クラスの巨大地震による西太平洋・東シナ海の津波伝播シミュレーション Tsunami simulation in the Western Pacific Ocean and East China Sea from the hypothetical M9 Nankai earthquake models

原田 智也<sup>1\*</sup>; 佐竹 健治<sup>2</sup>; 古村 孝志<sup>1</sup>  
HARADA, Tomoya<sup>1\*</sup>; SATAKE, Kenji<sup>2</sup>; FURUMURA, Takashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大総合防災情報研究セ/地震研究所, <sup>2</sup> 東大地震研究所

<sup>1</sup>CIDIR/ERI, the University of Tokyo, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

本研究では、内閣府（2012）が南海トラフ沿いにおいて想定した最大クラスの巨大地震の11パターンの断層モデル（Mw9.1）による西太平洋・東シナ海の津波の伝播シミュレーションを行った。その結果、ニューギニア島沿岸、フィリピン諸島沿岸、上海付近沿岸において計算された最大津波高は、それぞれ、1.0~5.0 m, 1.0~7.0 m, 0.5~2.0 mであった。これらの値は、南海トラフにおける既往最大地震である1707年宝永地震の種々の断層モデルによって計算されたものよりも2倍近く高くなる。各沿岸での最大津波高は、四国沖～日向灘沖に大すべり域が存在するモデルで大きくなる傾向があった。しかし、駿河湾・紀伊半島沖に大すべり域を仮定したモデルも宝永地震モデルの1.5倍程度大きくなることが分かった。

内閣府に設置された「南海トラフの巨大地震モデル検討会」は、南海トラフ沿いにおける最大クラスのプレート間巨大地震を想定し、日本沿岸における津内高を計算し、それによる人的及び経済的な被害想定を行った（内閣府、2012）。その結果、津波高10m以上の巨大津波が13都県にわたって襲来することが想定された。内閣府の想定したM9クラスの南海地震による大津波は、西太平洋あるいは東シナ海の沿岸を襲うと考えられる。Harada and Satake (2012, AOGS; 2013, "Tsunami Events and Lessons Learned", Springer)は、過去の南海トラフ沿いの巨大地震について提出されている複数の断層モデル（Ando, 1975, 1982; 相田, 1981a, 1981b; 安中・他, 2003）による西太平洋・東シナ海の津波の伝播シミュレーションを行っている。

本研究では、想定された最大クラス巨大地震の11パターンの断層モデルによる同様の津波伝播シミュレーションを行った。津波の伝播計算は、コリオリ力を含む極座標系の非線形長波式（Satake, 1995）を用いた。津波の初期値は、内閣府（2012）による平面直交座標系（JGD2000）における値を極座標系における値に変換して使用した。海底地形はGEBCOの30秒グリッドデータを用いた。計算領域は東経115° - 155°, 南緯8° - 北緯40°で、時間ステップは1秒、海底摩擦はマニングの粗度係数を $0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$ として与えた。海岸では津波の全反射を仮定し、計算領域の境界では流出境界を用いた。以上の条件で、地震発生から24時間分の津波シミュレーションを行った。

これらのシミュレーション結果は、当該海域における津波は、主に南海トラフの南西域（南海地震の震源域）のプレート間の破壊に依存し、沿岸での津波高はそのすべり量の大きさによることを示した。

本研究では、内閣府により提供していただいた最大クラスの巨大地震による津波の初期値を使用した。記して感謝致します。本研究は、文部科学省委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」により行われた。

キーワード: 津波シミュレーション, 西太平洋, 東シナ海, 最大津波高, 最大クラスの南海巨大地震

Keywords: tsunami numerical simulation, Western Pacific Ocean, East China Sea, maximum tsunami heights, hypothetical M9 Nankai earthquake

## 南海トラフに C0002 掘削孔内の応力集中 Stress concentration in the C0002 borehole of the NanTroSEIZE Project, Nankai Trough

呉 泓昱<sup>1\*</sup>; 木下 正高<sup>1</sup>; 斎藤 実篤<sup>1</sup>; 林 為人<sup>1</sup>; 真田 佳典<sup>1</sup>

WU, Hungyu<sup>1\*</sup>; KINOSHITA, Masataka<sup>1</sup>; SAITO, Saneatsu<sup>1</sup>; LIN, Weiren<sup>1</sup>; SANADA, Yoshinori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Wellbore instability is a major challenge for the engineer evaluating borehole and formation conditions. Instability is especially important to understand in areas with high stress variations, significant structure anisotropy, or pre-existing fracture systems. Borehole (in)stability is influenced by rock strength, structural properties, and near-field principal stresses. During drilling, the borehole conditions also impact borehole integrity. Factors that we can measure in the borehole during with logging while drilling (LWD) to understand these conditions include Mud Weight, mud loss, ROP (Rate of Penetration), RPM (Rotation Per Minute), WOB (Weight on Bit), and TORQ (Power swivel torque value). By observation the resistivity images, we can utilities the significant features under the interactions of effective stresses and formation.

We conducted stress analysis for Site C0002F of the Nankai Trough transect based on riser and riserless drilling data during IODP Expedition 338. Rock strength and basic physical properties, including velocity, density and porosity are obtained from core samples. The borehole shape, determined from LWD resistivity images, indicates that most of drilling occurred in stable environments, however, in a few instances the bottom hole assembly became stuck. We used our stress profile model to evaluate the mud weight required to drill a stable borehole for the measured rock strength and physical properties. Based on our analysis, we constrained the stress magnitude and possible orientation during IODP Expedition 338 by the drilling parameters. The enlargement and collapse in the borehole indicated that mud weight plays the essential role in the drilling.

Keywords: NanTroSEIZE, LWD, Breakout, Drilling, Borehole Instability

## IODP 第348次航海：南海トラフ地震発生帯掘削試料の岩相と堆積物組成分析の速報 Preliminary results of lithology examined during IODP Expedition 348 in the accretionary wedge of the Nankai Trough

福地 里菜<sup>1\*</sup>; Schleicher Anja<sup>2</sup>; Maia Ana<sup>3</sup>; Song Chen<sup>4</sup>; Yang Kihō<sup>5</sup>; Expedition 348 scientists<sup>6</sup>

FUKUCHI, Rina<sup>1\*</sup>; SCHLEICHER, Anja<sup>2</sup>; MAIA, Ana<sup>3</sup>; SONG, Chen<sup>4</sup>; YANG, Kihō<sup>5</sup>; EXPEDITION 348, Scientists<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> ミシガン大学, <sup>3</sup> カーディフ大学, <sup>4</sup> ミズーリ大学 コロンビア校, <sup>5</sup> 延世大学校, <sup>6</sup> IODP Expedition 348

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>University of Michigan, <sup>3</sup>Cardiff University, <sup>4</sup>University of Missouri-Columbia, <sup>5</sup>Yonsei University,

<sup>6</sup>IODP Expedition 348

International Ocean Discovery Program (IODP) Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) Expedition 348 took place from 13 September 2013 to 29 January 2014. This expedition was primarily designed to extend riser Hole C0002N to 3600 mbsf (in the event, C0002N sidetrack Hole C0002P was drilled to 3058.5 mbsf). We collected cuttings, core samples, mud gas, and logging data. Here we report the preliminary shipboard lithological results of IODP Expedition 348.

Four lithologic units were identified at Site C0002 based on geological and geochemical characteristics of core and cuttings samples: Unit II (475-512.5 mbsf in Hole C0002M), Unit III (875.5-975.5 mbsf in Hole C0002N), Unit IV (975.5-1665.5 mbsf in Hole C0002N), and Unit V (1665.5-2325.5 mbsf in Hole C0002N, and 1965.5-3058.5 mbsf in Hole C0002P).

Lithologic Unit II is dominated by fine-grained turbiditic deposits. Silty claystone is the main lithology, with subordinate fine-grained sandstone and sandy siltstone. Lithologic Unit III is dominated by silty claystone with trace amounts of very fine loose sand, containing common glauconite grains. Those units are interpreted to be the Kumano forearc basin sediments. Lithologic Unit IV is dominated by silty claystone, with sandstone as a minor lithology. Sandstone cuttings in this unit are generally very weakly consolidated, and occur as disaggregated loose sand. Lithologic Unit IV is divided into five subunits based on sand content and interpreted as the upper accretionary prism sediment. Lithologic Unit V is dominated by silty claystone. Fine-grained and moderately cemented sandstone was a minor component. In Hole C0002P, clay-size content in the silty claystone increases at the depth up to 2625.5 mbsf. The fine silty claystone becomes the dominant lithology from 2625.5 mbsf. This unit is possibly interpreted to be the trench or Shikoku Basin hemipelagic deposits.

キーワード: IODP Expedition 338, 南海トラフ地震発生帯掘削計画, Site C0002

Keywords: IODP Expedition 338, NanTroSEIZE, Site C0002

## IODP 第348次航海C0002サイト南海付加体における物理特性 Physical properties of Nankai accretionary prism sediments at Site C0002, IODP Expedition 348

北村 真奈美<sup>1\*</sup>; 北島 弘子<sup>2</sup>; Henry Pierre<sup>3</sup>; Valdez Robert<sup>4</sup>; Josh Matthew<sup>5</sup>; Expedition 348 Scientists<sup>6</sup>  
KITAMURA, Manami<sup>1\*</sup>; KITAJIMA, Hiroko<sup>2</sup>; HENRY, Pierre<sup>3</sup>; VALDEZ, Robert<sup>4</sup>; JOSH, Matthew<sup>5</sup>; EXPEDITION 348, Scientists<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> Aix-Marseille University, <sup>4</sup> Pennsylvania State University, <sup>5</sup> The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, <sup>6</sup> IODP Expedition 348

<sup>1</sup> Hiroshima University, <sup>2</sup> Geological Survey of Japan National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>3</sup> Aix-Marseille University, <sup>4</sup> Pennsylvania State University, <sup>5</sup> The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, <sup>6</sup> IODP Expedition 348

Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) Expedition 348 focused on deepening the existing riser hole at Site C0002 to ~3000 meters below seafloor (mbsf) to access the deep interior of the Miocene inner accretionary prism. This unique tectonic environment, which has never before been sampled in situ by ocean drilling, was characterized through riser drilling, logging while drilling (LWD), mud gas monitoring and sampling, and cuttings and core analysis. Shipboard physical properties measurements including moisture and density (MAD), electrical conductivity, P-wave, natural gamma ray, and magnetic susceptibility measurements were performed mainly on cuttings samples from 870.5 to 3058.5 mbsf, but also on core samples from 2163 and 2204 mbsf.

MAD measurements were conducted on seawater-washed cuttings ("bulk cuttings") in two size fractions of >4 mm and 1-4 mm from 870.5 to 3058.5 mbsf, and hand-picked intact cuttings from the >4 mm size fractions within 1222.5-3058.5 mbsf interval. The bulk cuttings show grain density of 2.68 g/cm<sup>3</sup> and 2.72 g/cm<sup>3</sup>, bulk density of 1.9 g/cm<sup>3</sup> to 2.2 g/cm<sup>3</sup>, and porosity of 50% to 32%. Compared to the values on bulk cuttings, the intact cuttings show almost the same grain density (2.66-2.70 g/cm<sup>3</sup>), but higher bulk density (2.05-2.41 g/cm<sup>3</sup>) and lower porosity (37-18%), respectively. The grain density agreement suggests that the measurements on both bulk cuttings and intact cuttings are of good quality, and the differences in porosity and density are real, but the values from the bulk cuttings are affected strongly by artifacts of the drilling process. Thus, the bulk density and porosity data on handpicked cuttings are better representative of formation properties. Combined with the MAD measurements on hand-picked intact cuttings and discrete core samples from previous expeditions, porosity generally decreases from ~60% to ~20% from the seafloor to 3000 mbsf at Site C0002.

Electrical conductivity and P-wave velocity on discrete samples, which were prepared from both cuttings and core samples in the depth interval of 1745.5-3058.5 mbsf, range 0.15-0.9 S/m and 1.7-4.5 km/s, respectively. The electrical resistivity (a reciprocal of conductivity) on discrete samples is generally higher than the LWD resistivity data but the overall depth trends are similar. On the other hand, the P-wave velocity on discrete samples is lower than the LWD P-wave velocity between 2200 mbsf and 2600 mbsf, while the P-wave velocity on discrete samples and LWD P-wave velocity are in a closer agreement below 2600 mbsf. The electrical conductivity and P-wave velocity on discrete samples corrected for in-situ pressure and temperature will be presented.

The shipboard physical properties measurements on cuttings are very limited but can be useful with careful treatment and observation.

Keywords: IODP Expedition 348, NanTroSEIZE, accretionary prism

## 摩擦発熱と粉砕作用がビトリナイト反射率増加に与える効果：南海トラフ巨大分岐断層ガウジと摩擦実験試料の比較 Effects of frictional heating and comminution on coal maturation

古市 裕之<sup>1\*</sup>; 氏家 恒太郎<sup>1</sup>; 斎藤 翼<sup>1</sup>; 坂口 有人<sup>2</sup>; 堤 昭人<sup>3</sup>  
FURUICHI, Hiroyuki<sup>1\*</sup>; UJIIE, Kohtarō<sup>1</sup>; SAITO, Tsubasa<sup>1</sup>; SAKAGUCHI, Arito<sup>2</sup>; TSUTSUMI, Akito<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学・生命環境, <sup>2</sup> 山口大学・理学, <sup>3</sup> 京都大学・理学  
<sup>1</sup>Life and Env., Sci., Univ. Tsukuba, <sup>2</sup>Sci., Yamaguchi Univ., <sup>3</sup>Sci., Kyoto Univ.

The detection of friction heating on faults is crucial to estimate frictional heat during earthquakes. Recently, vitrinite reflectance (Ro) has been used to detect friction heating along faults. However, the factors controlling increase in Ro on faults remain poorly understood. Moreover, the application of the commonly used kinetic model to the estimation of temperature rise during short-lived thermal events such as frictional heating on faults has not been convinced. Here, we conducted friction experiments on a mixture of 95 wt% clay-rich material from the host rock of the megasplay fault gouge and 5 wt% coal grains from the forearc basin in the Nankai subduction zone at slip rates of 0.15 mm/s-1.3 m/s under dry (room humidity) and wet (water-saturated) conditions. After the experiments, we examined microstructures, Ro and size of coal grains and then compared with those obtained from in and around the megasplay fault gouge. The results show that Ro does not increase by rapid heating alone; grain-size reduction due to comminution is required for increase in Ro. The combination of comminution and heating is the most effective for increase in Ro, possibly due to enhanced mechanochemical reaction associated with an increase in surface area of coal grains. The application of the results to the Nankai megasplay fault gouge is that increased Ro in the fault gouge results from frictional heating and comminution, while that in adjacent to the gouge are mainly derived from comminution. The Ro calculated from the chemical kinetic model is higher than that measured after the experiments. Ro is an useful tool to detect past frictional heating on faults, but the estimation of temperature rise from Ro is problematic; the new kinetics model considering the effects of frictional heating and comminution is necessary to estimate amount of frictional heat.

キーワード: ビトリナイト反射率, 摩擦発熱, 粉砕, 南海トラフ  
Keywords: vitrinite reflectance, frictional heating, comminution, Nankai Trough

海底地震計データによるレシーバー関数解析 —紀伊半島沖に沈み込むフィリピン海プレートの3次元モデル構築を目指して—  
Receiver function analysis using OBS data: modeling 3-D structure of the Philippine Sea plate off the Kii Peninsula

悪原 岳<sup>1\*</sup>; 望月 公廣<sup>1</sup>  
AKUHARA, Takeshi<sup>1\*</sup>; MOCHIZUKI, Kimihiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所  
<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Megathrust earthquakes have repeatedly occurred beneath the southwestern Japan, on the subducting Philippine Sea plate, in cycles of 100-150 years [Ando, 1975]. The rupture boundary of the latest two megathrust earthquakes, the 1944 Tonankai and 1946 Nankai earthquakes, is located at the south of the Kii Peninsula. Although some structural heterogeneity was proposed as factors of the rupture boundary [Mochizuki et al., 1998; Kodaira et al., 2006], the question of why rupture propagation stops there is still open in light of our little knowledge about 3-D geometry of the subducting Philippine Sea plate at offshore region.

In this study, we aim to construct 3-D structure model of the subducting Philippine Sea plate by receiver function (RF) analysis, using data of ocean-bottom seismometers (OBSs) deployed from 2003 to 2007 off the Kii Peninsula [Mochizuki et al., 2010; Akuhara et al., 2013]. These OBSs have three-component velocity sensors with natural frequency of 1 Hz, and their orientations were determined in this study from particle motion of regional P-wave. The difficulty of our RF analysis using OBS data is summarized by the following two factors. The first is that noise is dominant within a low-frequency band ( $1 < \text{Hz}$ ), the most stable band for estimating RFs. The second is that the number of teleseismic events is limited because of short observation periods and low S/N ratio.

To overcome these problems, we calculated RFs with the aid of multi-taper correlation (MTC) method [Park and Levin, 2000]. The method is resistant to spectral leakage and able to estimate frequency-dependent uncertainties for RF, which is suitable for noisy OBS data and for high-frequency analysis. We binned resultant RFs by back azimuths, and computed time-domain uncertainties of the RFs from the frequency-dependent uncertainties estimated by the MTC method, using jackknife resampling within each back azimuth bin [Leahy and Collins, 2009]. This uncertainty estimation makes the following phase identification more reliable, even though the number of teleseismic events is limited.

Our preliminary results show some coherent peaks throughout all back azimuth bins, whose amplitude is larger than one-sigma uncertainties. Some of them have moveout, implying existence of dipping layers, and have arrival times roughly corresponding to the depth of the slab mantle. Although more detailed identification process for these peaks is largely left for our future work, these peaks might be converted phases from the slab mantle.

キーワード: 海底地震計, レシーバー関数, 沈み込み帯

Keywords: ocean-bottom seismometer, receiver function, subduction zone



## 構造研究に基づく南海トラフ地震発生帯の3次元速度構造モデル Three-dimensional velocity model for the Nankai Trough seismogenic zone based on structural studies

仲西 理子<sup>1\*</sup>; 高橋 成実<sup>1</sup>; 山本 揚二郎<sup>1</sup>; 高橋 努<sup>1</sup>; 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>; 金田 義行<sup>1</sup>  
NAKANISHI, Ayako<sup>1\*</sup>; TAKAHASHI, Narumi<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Yojiro<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1</sup>; OBANA, Koichiro<sup>1</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>; KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

Coseismic rupture area of the great interplate earthquake concerned about its occurrence along the Nankai Trough presumed by government of Japan is now wider to the west, north and south than the former assumption. Although the new estimation is based on seafloor topography, source area of the past largest megathrust event, present seismic activity and so on, structural information has not always been enough reflected yet. In order to estimate precise coseismic rupture area of the Nankai megathrust earthquake, it is necessary to improve a physical model of the Nankai Trough seismogenic zone based on the geometry of the subducting plate and velocity structure model.

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology had conducted the large-scale high-resolution wide-angle and reflection seismic survey and long-term observation from off Kyushu to Tokai between 2008 and 2012. Layered velocity structure models are now obtained along grid two-dimensional seismic profiles from the Hyuga-nada to the Kii channel area. A three-dimensional seismic tomography using active and passive seismic data observed both land and ocean bottom stations had been also performed for the western Nankai Trough.

In this study, we constructed a three-dimensional velocity model of the Nankai Trough with the procedure as follows;

- 1) Sampling the velocity structural information along each seismic profile with interval of ~1km in horizontal, and ~100m in vertical directions
- 2) Preparing the geometry model of each interface included in layered models, e.g., basement, plate boundary, Moho, etc.
- 3) Setting minimum and maximum velocities of each layer based on the velocity models along two-dimensional seismic profiles
- 4) Interpolating sampled velocity information considering layered structure (Landmark DecisionSpaceDesktop is used for constructing 3-D modeling)

Previously published layered models are also used to make up for insufficient structural information for the eastern Nankai Trough.

Reliability of the three-dimensional model was confirmed by comparing calculated travel-times with observed travel-times along each seismic profile. We will also try to evaluate the reliability of the model by comparing the hypocenter distribution using three-dimensional velocity model obtained in this study with that determined by three-dimensional seismic tomography using active and passive source data. We will plan to revise our 3D model with additional structural information and construct more precise and detailed model for the entire Nankai Trough area so that the model can be applied to more realistic numerical simulation.

This study is part of 'Research concerning Interaction Between the Tokai, Tonankai and Nankai Earthquakes (FY2008-2012)' funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.

## 紀伊半島沖における自然地震観測 Seismic observations off Kii Peninsula

山本 揚二郎<sup>1\*</sup>; 高橋 努<sup>1</sup>; 海宝 由佳<sup>1</sup>; 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>; 仲西 理子<sup>1</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>; 金田 義行<sup>1</sup>  
YAMAMOTO, Yojiro<sup>1\*</sup>; TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1</sup>; KAIHO, Yuka<sup>1</sup>; OBANA, Koichiro<sup>1</sup>; NAKANISHI, Ayako<sup>1</sup>; KODAIRA,  
Shuichi<sup>1</sup>; KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

In the Nankai Trough subduction zone, megathrust earthquakes of M 8 class occur repeatedly. There are three main seismogenic segments (Tokai, Tonankai and Nankai earthquake regions), and these segments have ruptured sometimes simultaneously and sometimes individually. To understand the control factor of the seismic linkage among these segments and Hyuga-nada segments, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology has been carried out a series of wide-angle active source surveys and local seismic observations from 2008 to 2012, as a part of Research concerning Interaction Between the Tokai, Tonankai and Nankai Earthquakes' funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan. In this study, we show the results of two local seismic observations off Kii peninsula, the one is in the Kii channel and the other is in the Kumano-nada. The boundary of the Tonankai and Nankai segments is located in this region (Baba and Cummins, 2005), and the existence of the high velocity plutonic rock in the landward plate just beneath Shionomisaki is considered as the control factor of historical rupture variation (Kodaira et al., 2006). Japan Meteorological Agency (JMA) catalogue also indicates the spatial relationship between the seismic activity and seismogenic segments; shallow microseismicity seems to be more active in the Nankai region than in Tonankai region.

The observation in the Kii channel has been performed in FY2010 and was composed of 155 short-term (about 1.5 months) ocean bottom seismographs (OBSs) and 19 long-term (about 10 months) OBSs. First, we relocated the JMA catalogue earthquakes by using three-dimensional velocity model obtained by active source surveys and adding the first arrival time data at OBSs. As a result, the earthquakes near the trough axis were generally relocated 10-20 km shallower than JMA location. Then, we attempt to detect the earthquakes by using long-term OBS records and found the active intraslab seismicity, especially in the up-dip part of the subducted seamount (Kodaira et al., 2000). The observation in the Kumano-nada has been performed in FY2011 and was composed of 150 short-term (about 2.5 months) OBSs and 14 long-term (about 8 months) OBSs. Now we perform the first arrival picking of these data with the seismograph data of Dense oceanfloor network system for earthquakes and Tsunamis (DONET), according to the JMA catalogue earthquake list. We will show the preliminary results of hypocenter distribution in the Kumano-nada at the presentation.

キーワード: 南海トラフ, 海底地震観測, 地震活動

Keywords: Nankai Trough, ocean bottom seismographic observation, seismicity

## 宮古・八重山諸島周辺における構造探査および自然地震観測 Seismic observation and active-source seismic surveys on southern Ryukyu arc

高橋 努<sup>1\*</sup>; 海宝 由佳<sup>1</sup>; 石原 靖<sup>1</sup>; 山本 揚二郎<sup>1</sup>; 仲西 理子<sup>1</sup>; 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>; 金田 義行<sup>1</sup>  
TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1\*</sup>; KAIHO, Yuka<sup>1</sup>; ISHIHARA, Yasushi<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Yojiro<sup>1</sup>; NAKANISHI, Ayako<sup>1</sup>; OBANA,  
Koichiro<sup>1</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>; KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

琉球弧はユーラシアプレートの南東部に位置する島弧で、琉球海溝でフィリピン海プレートが北西方向に沈み込んでいる。この地域では1911年の奄美大島近海の地震(M8)などM7-8クラスの地震が多発し、1771年の八重山地震(M7.4)や1938年の宮古島北方の地震(M7.2)など津波を伴う地震も多く発生している。しかしこれらの大地震の震源断層などについては未解明な点も多く、また地震観測点が島嶼に限られているため定常的な地震活動や地下構造なども十分には解明されていない。独立行政法人海洋研究開発機構では文部科学省の受託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の一環として、琉球弧全域における地震活動や地下構造を解明するための構造探査および自然地震観測を2013年度から実施している。2013年度は南部琉球弧の宮古・八重山諸島周辺において、屈折法地震探査および反射法探査、海底地震計と島嶼に展開した臨時観測点による自然地震観測を実施した。

屈折法地震探査は、石垣島東方において琉球海溝南方から沖縄トラフまでの約480kmの測線に60台の短周期海底地震計(OBS)を設置して行った。また反射法探査は、屈折法探査と同じ測線および西表島北西沖における約100kmの測線で実施した。これらの探査には(独)海洋研究開発機構の調査船「かいらい」の大容量チューンドエアガン(7800 cu. in.)を用いた。屈折法探査で得られた記録ではフィリピン海プレート内を伝播する波群や島弧を横断する波群が明瞭に観測され、また反射法探査では沖縄トラフ内の正断層などが明瞭に観測された。

自然地震観測では、30台の短周期OBSを南部琉球弧前弧側および沖縄トラフ南縁に設置し、宮古島・多良間島・石垣島・西表島・黒島・波照間島に広帯域地震計や短周期地震計からなる観測点を展開した。観測された地震波形は、S波の散乱や減衰の影響が経路によって大きく異なり、島弧周辺におけるランダム不均質や減衰の空間変化を示唆する。例えば沖縄トラフ内に設置したOBSでは、ほとんどの地震についてS波が観測されないが、与那国島や西表島の北部で発生する一部の地震においてS波コーダ波が卓越し非常に長い継続時間を示す波形が観測された。これは沖縄トラフの浅部は強い不均質性もち、深部は不均質性や内部減衰が強いことを示していると考えられる。本発表ではこれらの観測の概要と観測記録の特徴などについて報告する。

## 海底活断層を考慮したプレート境界地震モデル A plate boundary earthquake model with consideration on submarine active faults

中田 高<sup>1\*</sup>; 渡辺 満久<sup>2</sup>  
NAKATA, Takashi<sup>1\*</sup>; WATANABE, Mitsuhiisa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 広島大学 名誉教授, <sup>2</sup> 東洋大学

<sup>1</sup>Hiroshima University Professor Emeritus, <sup>2</sup>Toyo University

一般に、地震はプレート内部で起きるプレート内地震と、プレート境界でおきるプレート間地震に分けられている。後者は、海溝の陸側での逆断層型の浅い地震で、2011年東北地方太平洋沖地震がこれにあたることに對して異論を挟む研究者は皆無に近い。

筆者らは、南海トラフや日本海溝周辺に分布する長大な活断層の位置・形状を明らかにし、海底活断層の位置と歴史地震の震源域が良く対応することを示してきた。これに對し、アスペリティモデル(Lay and Kanamori, 1980)を重視する多くの研究者は、このような海底活断層の地震発生源としての重要性に理解を示しているとは言えない。海底地形データ(変動地形)と地下の断層の状況は異なると考える研究者は少なくない。しかしながら、海底の変動地形は海底活断層による累積的断層変位の具体的な物証であり、モデル設定において無視されてはならない情報である。

アスペリティモデルとは、プレート表面に定常的にすべる領域に囲まれて摩擦抵抗の大きな部分(アスペリティ)が複数存在するというものである(松澤, 2009)。日本海溝でも適用され、個々のアスペリティが破壊するとM7~8クラスの地震を起こすというものであり、複数のアスペリティが連動するとM9クラスの超巨大地震となるといわれている。

2011年東北地方太平洋沖地震では、このような複数のアスペリティが破壊し、50mを超える断層変位が海溝軸に達し、巨大津波が発生したとの説が広く受け入れられている。しかしながら、50mを超える断層変位の根拠となった地震前後の海底地形や地下構造の変化の原因は、断層運動によるものではなく地すべりの可能性が極めて強い。また、この地震の震源域に對する海溝軸付近には、逆断層運動の累積性を示すような大規模な断層変位地形は存在しない。これに對して、三陸中部沖から茨城県沖にかけての海溝陸側斜面には、2011年地震の震源域と對する範囲に逆断層変位を示す長大な変動崖が発達しており、この長大な海底活断層が超巨大地震の起震断層であると考えられている。西暦869年に発生した貞観地震時にも同じような津波が発生しており、この長大な海底活断層は約1,000年ごとに、固有の活動としてマグニチュード9クラスの地震を繰り返し発生している可能性が高い。長大な逆断層の上盤側にはバルジ状の高まりが発達し、その上には多数の開口亀裂が認められる。地震後の潜水調査でもバルジ周辺で新たな亀裂の発生が認められ、この逆断層が活動したことを暗示している。

2つのモデルは、大地震はあらかじめ決まった場所で起こるとしている点では共通している。大きな相違点は、アスペリティモデルは一枚のプレート境界面から地震が発生すると考えているのに對して、活断層モデルは、定常的なすべりを伴う狭義のプレート境界(海洋プレートと島弧地殻の境界面)の上盤にトランプが重なるように規模の異なる複数の逆断層が発達し、それぞれの活断層が固有の地震を繰り返し発生させるという点である。

大きな地震を発生させるアスペリティが定常的なすべり領域に囲まれた強度の大きな部分とすることに對しても疑念がある。海底活断層は、陸域の活断層と同じように末端では変位がゼロとなる断層運動が累積しており、周囲より強度の弱いすべりやすい面(断層面)が繰り返し活動し地震を発生させていると考えた方が合理的である。したがって、狭義のプレート境界地震を除けば、プレート境界地震とされる巨大地震の多くは、地殻内の断層運動が原因となるプレート内地震にあたる可能性が高い。すなわち、日本海溝や南海トラフのプレート境界で発生する大地震の多くは、狭義のプレート境界での定常的なすべりでは解消されない歪が、上盤の島弧地殻内に蓄積され、海底活断層の運動によって解放されることによって発生すると考えるが、定常的なすべりと活断層変位の量的な關係については今後検討したい。

キーワード: プレート境界地震, アスペリティ地震モデル, 活断層地震モデル

Keywords: plate boundary earthquake, asperity model, active fault model

## 土佐湾湾奥部蟹ヶ池の堆積物中に見られる過去 6000 年間の津波履歴 The last 6000 years record of tsunami events in the Kaniga-ike pond along the Nankai Trough

松岡 裕美<sup>1\*</sup>  
MATSUOKA, Hiromi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 高知大学理学部  
<sup>1</sup> Kochi Univ.

過去の南海トラフ地震の履歴を明らかにするために、土佐湾の湾奥に位置する高知県土佐市の蟹ヶ池において津波堆積物の研究を行ってきた。2006 年から 2011 年にかけて 34 本のバイブロコア試料を採取し、堆積物の対比を行うとともに、約 150 試料について放射性炭素年代測定を行った。その結果、過去 2000 年間に 6 回の津波記録が明らかになっている。このうち 4 回は歴史上の南海地震に対比することができ、上位から西暦 1854 年安政地震、1707 年宝永地震、1361 年正平もしくは 1099 年康和地震、684 年天武地震、歴史記録よりも古いイベントは、AD300~600 年、約 2000 年前の紀元前後のものである。この中で、特に約 2000 年前のイベントは下位の堆積物を大きく削り込み、厚く粗粒な津波堆積物を堆積させており、大規模であったと考えられることがこれまでに分かっている。

さらに古い過去数千年の履歴を明らかにするために、2012 年から 2013 年にかけて 12 本のより深い深度まで達する試料を採取し、堆積物の対比を行うとともに、約 60 試料について放射性炭素年代測定を行った。その結果約 2000 年前のイベントよりも下位である約 2500 年前~約 6000 年前の 3500 年間に、少なくとも 11 回のイベントがあることが明らかになった。これら 11 回のイベントは 300 年程度の周期をもって規則的に大規模な削剥もしくは堆積間隙を伴わず堆積しており、この間比較的安定した堆積環境が継続していたことを示している。

蟹ヶ池の湖底堆積物から、過去 6000 年間の津波履歴を明らかにした。その結果、当然のことながら、過去 6000 年間にわたって規則的に津波が襲来していることが分かった。さらに約 2000 年前のイベントは、過去 6000 年間では唯一最大のイベントであると言える。このイベントが具体的にどのような津波で、どのような地震によって引き起こされたのかは明らかではないが、南海トラフ沿いの他の湖沼においてもこの年代で大規模な津波痕跡がいくつも見つかっており、今後その具体像を探ってゆきたい。

キーワード: 南海トラフ, 津波堆積物  
Keywords: Nankai Trough, Tsunami sediment

## 弾性波速度測定によるクラックの接触状態の推定 Estimate of the contact state of microcrack from the elastic wave velocity measurement

玉井 速汰<sup>1\*</sup>; 武藤 潤<sup>1</sup>; 長濱 裕幸<sup>1</sup>; 石川 正弘<sup>2</sup>  
TAMAI, Hayata<sup>1\*</sup>; MUTO, Jun<sup>1</sup>; NAGAHAMA, Hiroyuki<sup>1</sup>; ISHIKAWA, Masahiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院

<sup>1</sup>Department of Geology, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Geological institute, Graduate School of Environment and Information Science, Yokohama National Univ

Birch (1960) studied about the relationship between the confining pressure and the elastic wave velocity. It was indicated that the elastic wave velocity increases with the increasing confining pressure because the microcrack is closed at high pressure. The velocity includes the effect of microcracks at low pressure. We must the elastic wave velocity without the effect of microcrack to know the elastic constants of a rock. To do that, it is necessary to know the process of closing microcracks and the contact state of microcrack.

The power-law relation between the elastic wave velocity and confining pressure is expressed with pressure exponent of  $\mu$  (Kobayashi and Kozumi, 1976). They assume that the microcrack has single contact in this model. It is necessary to take account in multiple contacts because the microcracks of a rock have multiple contacts. We applied the single contact model to multiple contacts model with the previous study (Archard, 1953). The microcrack has the point contact, ball contact and plane contact when  $\mu$  is  $2/3$ ,  $3/5$  and  $1/2$  respectively. The microcrack contacts plastically if  $\mu$  is  $<1/2$ . We measured the elastic velocity of rocks with gas medium high pressure apparatus to discuss the effect of the confining pressure.

We measure the velocity with the pulse transmission technique. We set the assembly, composed of a sample between two metal jig pasted piezoelectric transducers, in the pressure vessel. The sample height is about 15-40 mm and diameter is 20 mm. The frequency of transmission wave is 2 MHz. We recorded it  $10^{-9}$ s rate. We measured  $V_p$  and  $V_s$  of the gabbro and granite during pressurization and depressurization to a maximum confining pressure of 200 MPa. The velocity increased drastically with the increase in the confining pressure up to 100 MPa. When confining pressure is lower than about 100 MPa,  $\mu$  of the gabbro and granite is about  $2/3$ , indicating that the contact state of microcrack is point contact. However, under pressure higher than 100 MPa,  $\mu$  becomes under  $1/2$ , indicating that all microcracks are closed plastically in the experiment with gas medium high pressure apparatus. So the velocity at pressure higher than 100 MPa does not include the effect of microcracks. Furthermore, we estimated  $\mu$  of several rocks from previous studies (Birch, 1960, Zimmer et al., 2002). Although  $\mu$  depends on rock type at low pressure, it converges to values smaller than  $1/2$  at high pressure. This indicates that all microcracks are completely closed at high pressure and this result conforms to our experiment. If fluid exists in rocks, the value of  $\mu$  is less than  $1/2$  even at low pressure. Therefore the microcrack with fluid acts as having plastic contact. We revealed the process of closing microcracks with the increasing confining pressure from the elastic wave velocity measurement.

## 南海トラフ付加体浅部堆積物の摩擦特性 Frictional properties of the shallow Nankai Trough accretionary sediments

星野 紘輝<sup>1\*</sup>; 大橋 聖和<sup>2</sup>; 金川 久一<sup>2</sup>  
HOSHINO, Koki<sup>1\*</sup>; OOHASHI, Kiyokazu<sup>2</sup>; KANAGAWA, Kyuichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学理学部, <sup>2</sup> 千葉大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup>Faculty of Science, Chiba University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Chiba University

千葉大学に設置されたガス圧高温高圧三軸試験機を使用して、南海トラフ付加体浅部堆積物 4 試料（粘土質泥岩、シルト質泥岩、砂岩および凝灰岩）について、IODP 掘削地点 C0002 の海底下 1 km の想定温度（42 °C）・圧力（37 MPa）・間隙水圧（29 MPa）条件で、軸方向の変位速度 1 μm/s の摩擦実験を行った。その結果、これらの試料の摩擦特性は、粘土鉱物、特にスメクタイトの含有量によって系統的に変化することが明らかとなった。4 試料の粘土鉱物の含有量は、砂岩試料が 6.0 wt%、凝灰岩試料が 17.2 wt%、シルト質泥岩試料が 34.1 wt%、粘土質泥岩試料が 42.0 wt% である。砂岩試料にはスメクタイトが含まれていないが、それ以外の試料に含まれるスメクタイトは粘土鉱物全体の 68-76 wt% を占めている。

定常すべり時の摩擦係数は、粘土鉱物の含有量の増加に伴って低下し、砂岩試料が 0.83、凝灰岩試料が 0.74、シルト質泥岩試料が 0.34、粘土質泥岩試料が 0.27 であった。変位量に依存した摩擦挙動も粘土鉱物含有量の増加に伴って系統的に変化し、粘土鉱物含有量が少ない砂岩試料がすべり硬化を示すのに対し、粘土鉱物含有量の増加に伴ってすべり軟化に転じ、それが明瞭になる傾向が認められた。

同一温度・圧力・間隙水圧条件におけるこれらの試料の摩擦強度の変位速度依存性、およびより深部の条件においてこれらの試料の摩擦特性がどのように変化するかについても、報告する予定である。

キーワード: 南海トラフ, 付加体堆積物, 摩擦特性  
Keywords: Nankai Trough, accretionary sediments, frictional properties

## モンモリロナイト—石英ガウジの摩擦挙動に及ぼす剪断変位と断層組織変化の影響 Effects of shear displacement and fault zone structure on the frictional behavior of montmorillonite-quartz gouge

河合 智章<sup>1\*</sup>; 堤 昭人<sup>1</sup>

KAWAI, Tomoaki<sup>1\*</sup>; TSUTSUMI, Akito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto University

Recent observation of the low frequency earthquakes in the shallow part of the Nankai subduction zone has demonstrated that faulting there is slow yet seismic; suggesting that frictional velocity dependence along the fault would be negative. However, in a widely accepted model, sediments there is expected to exhibit velocity-strengthening frictional behavior. We have reported that the fault material along the megasplay fault in the Nankai Trough exhibited both velocity-strengthening and velocity-weakening frictional behavior [Tsutsumi et al., 2011]. Fault zone structures may be important to understand why the samples exhibited different velocity dependence. In this study, we have conducted frictional experiments on artificial gouges composed of montmorillonite and quartz mixtures, in order to understand the relationship between the fault zone structures and velocity dependent frictional behavior.

We examined frictional behavior and fault zone structure of the artificial gouge samples composed of montmorillonite/quartz mixtures. All of the experiments were conducted under water-saturated conditions at 1 to 5MPa of normal stress, with shear displacement of 30 mm to 14 m, using a rotary-shear friction testing machine. Velocity step tests were conducted in a range of velocities from 0.003mm/s to 30 mm/s, in order to examine velocity dependent frictional behavior.

Results of these experiments reveal influences of normal stress and displacements on frictional behavior. Velocity weakening behavior was observed for the mixtures of montmorillonite/quartz = 20/80 and 40/60 wt%, respectively, at large displacement. In velocity-weakening samples, montmorillonite becomes to be finer-grained and is well mixed with quartz in the gouge layer after long shear displacements and at high normal stresses. These observation demonstrates that frictional behavior of the montmorillonite/quartz gouge changes with the development of the deformation structures. It is suggested that fault zone structure is one of the important factors of describing the frictional behavior along faults at the Nankai Trough.

キーワード: モンモリロナイト, 摩擦実験, 断層組織

Keywords: montmorillonite, frictional experiment, fault zone structure



回転式摩擦実験により推定した沈み込み帯浅部物質の摩擦特性  
Friction constitutive properties of shallow subduction zone material as estimated from rotary shear friction experiments

中野 龍二<sup>1\*</sup>; 並木 由香<sup>1</sup>; 堤 昭人<sup>1</sup>  
NAKANO, Ryuji<sup>1\*</sup>; NAMIKI, Yuka<sup>1</sup>; TSUTSUMI, Akito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto University

In order to understand the dependence of constitutive parameters,  $a$ ,  $b$ , and  $D_c$ , on slip velocity,  $V$ , we conducted experiments by using a rotary shear high velocity friction apparatus. Samples used in this work were collected from the Nankai accretionary prism, offshore from Kii Peninsula, Japan, at Site C0004 during Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 316 [Expedition 316 Scientists, 2009; Tsutsumi *et al.*, 2011], and from the Costa Rica subduction zone, Cocos Ridge, at Site U1381 during IODP Expedition 334 [Expedition 334 Scientists, 2012]. All of the samples from the Nankai accretionary prism are clayey silt, whereas those from Costa Rica can be divided into 2 groups with respect to their composition: one is clayey silt (hereinafter referred to as "Costa Rica Unit I"), the other is silicic to calcareous ooze ("Costa Rica Unit II"). All experiments were carried out at 5 MPa normal stress and 0.0028-2.8 mm/sec slip velocity under wet condition (0.5 g samples with 0.5-0.9 ml distilled water). Moreover, we created a simulation program, which can estimate the values of constitutive parameters and system stiffness,  $k$ , with Levenberg-Marquardt method, supposing the spring-block model.

The results are summarized as the following: (1)  $a$ ,  $b$  and/or  $D_c$  increase with slip velocity; (2) the values are the highest at  $V = 0.028-0.28$  mm/sec; (3) the values are the lowest at  $V = 0.028-0.28$  mm/sec. The reason is not clarified yet, but it is remarkable that, despite the composition, the result of the clayey megasplay fault material from the Nankai accretionary prism resembles the result of Costa Rica Unit II. This implies that, as expected, constitutive parameters depend on not only material but also other conditions. Another remarkable point to be noted is that the values of system stiffness of Costa Rica Unit I decrease by a factor of 10 when compared with the measured apparatus stiffness value. This implies that the mechanical property of the material of Costa Rica Unit I may be more flow-dominated than others. This implies that the mechanical property of the material of Costa Rica Unit I may be more flow-dominated than others. Considering that the samples of the Nankai accretionary prism and Costa Rica contain 20-30 wt%, 60-70 wt% clay, respectively, it is possible that total clay content reflects the gouge behaviour.

キーワード: 摩擦, 沈み込み帯, 速度・状態依存摩擦構成則, 南海トラフ, コスタリカ

Keywords: friction, subduction zone, rate- and state- friction constitutive law, Nankai Trough, Costa Rica

## IODP Expedition 344 コスタリカ沖沈み込み帯 reference site および frontal prism の堆積物物性 Physical properties of sediments in reference sites and Frontal prism off Costa Rica: IODP Expedition 344

佐伯 綾香<sup>1\*</sup>; 橋本 善孝<sup>1</sup>  
SAIKI, Ayaka<sup>1\*</sup>; HASHIMOTO, Yoshitaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 高知大学  
<sup>1</sup>Kochi University

沈み込みプレート境界地震発生帯における堆積物の物性変化を明らかにすることは岩石強度の変化や脱水プロセスを理解することに繋がり、地震発生機序のメカニズムを理解する上で重要である。本研究の目的は、コスタリカ沖における reference site (RF サイト) から frontal prism (FP サイト) までの海底堆積物の物性を明らかにすることである。これは将来のデコルマを推定し、地震発生帯の物質を決定する基礎的なデータとなる。対象とする試料は Integrated Ocean Drilling Program (IODP) 第 344 次航海の RF サイト U1381, U1414 と FP サイト U1412 から得た。本研究では船上データから物性変化を検証し、その結果を踏まえて U1381 と U1414 の弾性波速度と間隙率を有効圧を変化させて測定した。

物性を測定した試料は U1381 と U1414 から 2 個ずつ計 4 個である。500kHz のトランスデューサーを 2 個使用し、透過法で波形データを取得した。流体圧を 1MPa に維持し、サンプル採取深度における静水圧を仮定した有効圧まで 5step、さらにその 10 倍の有効圧まで 5step 程度の測定を行った。

実験の結果、測定試料の間隙率はおよそ 53 – 77 % に変化し、P 波速度はおよそ 1.4 – 1.6km/s であった。この、P 波速度と間隙率の関係は、船上データ、実験データともによく一致し、世界的な経験則の範囲内であった。また、U1381 Unit II 除いて同様の傾向を示すことから、間隙率と有効圧は実験結果を用いて変換可能と言える。この関係を用いて、船上で得られた間隙率を有効圧に変換し、深度から間隙流体圧を推定した。

U1381 Unit I では誤差範囲が大きいため流体圧の規制が困難であったが、期待される静水圧の範囲を含む結果を得た。一方、U1414 では、Unit I からしばらくは静水圧が、Unit II の上部で 10 m 程度の幅で静水圧以下の流体圧 (過圧密状態) が推定され、下位で再び流体圧が静水圧的となった。このギャップがデコルマを将来の規定する可能性がある。加圧密状態が推定される層は、粒子密度が一定で間隙率が急速に減少しており、推定された結果と調和的である。その下位では間隙率が増加するが、同時に粒子密度の減少も見られ、結果として静水圧的となった。異なる物性を持つ可能性があり、今後実験を続けていく必要がある。また、U1412 では、プリズム上部がすでに過圧密状態にある結果が得られ、先端付加作用によって脱水が進行している様子が確認できた。

キーワード: IODP, 沈み込み帯, 堆積物物性, 弾性波速度, 間隙圧

Keywords: IODP, subduction zone, physical property of sediment, elastic wave velocity, pore pressure

## 四国西部四万十帯トラバース A structural traverse across the Shimanto belt in western Shikoku, Japan

大橋 聖和<sup>1\*</sup>; 金川 久一<sup>1</sup>  
OOHASHI, Kiyokazu<sup>1\*</sup>; KANAGAWA, Kyuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Chiba University

関東地方から九州にかけて帯状分布する四万十帯は、海洋プレートの沈み込みに伴い形成された付加コンプレックスを主体としている(平ほか, 1980)。九州東部や四国中東部では、混在岩(メランジュ)帯やシュードタキライトを伴う脆性断層などの強変形帯の存在が知られており(例えば Mukoyoshi et al., 2006)、沈み込み境界での長期的・短期的な変形現象を記録していると考えられている。四国中部に分布するメランジュ帯は、四国西部にかけて延長して分布することが Taira et al. (1988) によって示唆されているが、当地域における地質構造の報告は乏しく、その詳細は不明である。また、埋没深度の指標となる最高被熱温度に関する研究が行われていないため、断層による熱構造ギャップの有無を議論することができない。そこで、発表者らは宇和島北方の仏像構造線以南から足摺岬までの四国西部沿岸域において四万十帯の岩相・変形マッピング、構造測定、断層記載、およびビトリナイト試料のサンプリングを行った。発表では、調査で明らかとなったメランジュ帯・脆性断層の分布と特徴、ビトリナイト反射率に基づいた最高被熱温度を示し、四国西部での広域的な構造発達史を議論する。また、高温の被熱温度を示す九州東部と、比較的低温を示す四国中部-東部との関係性についても議論する。

### [引用文献]

Mukoyoshi, H., Sakaguchi, A., Otsuki, K., Hirono, T., and Soh, W., 2006, Co-seismic frictional melting along an out-of-sequence thrust in the Shimanto accretionary complex. Implications on the tsunamigenic potential of splay faults in modern subduction zones, *Earth and Planet. Sci. Lett.* 245, 330-343.

Taira, A., Katto, J., Tashiro, M., Okamura, M. and Kodama, K., 1988, The Shimanto Belt in Shikoku, Japan -Evolution of Cretaceous to Miocene accretionary prism. *Modern Geology*, 12, 5-46.

平 朝彦・田代正之・岡村 眞・甲藤次郎, 1980, 高知県四万十帯の地質とその起源. 平 朝彦・田代正之編, 四万十帯の地質学と古生物学-甲藤次郎教授還暦記念論文集, 林野弘済会出版, 319-389.

キーワード: 四万十付加体, 層序外断層, メランジュ, ビトリナイト反射率, 断層岩

Keywords: Shimanto accretionary complex, Out of sequence thrust, Melange, Vitrinite reflectance, Fault rocks

## 四万十帯久礼 OSTs の応力評価 Stress estimation of Kure OSTs, Shimanto accretionary complex

米谷 優佑<sup>1\*</sup>  
KOMETANI, Yusuke<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 山口大学  
<sup>1</sup>yamaguchiuniversity

Stress must be concentrated at front of seismogenic fault during rupture propagation. The level of this stress concentration depends on rupture propagation velocity, fault length, thickness of process zone and strength of host rock. However, few quantitative analysis was reported in natural fault due to difficulty of stress estimation. The calcite-twin piezometer, enables stress estimation from elastic rebounded rock, was proposed based on discrete element method simulation and tri-axial rock experiments (Sakaguchi et al., 2011).

The Shimanto accretionary complex is ancient subduction zone and some fossil seismogenic faults were reported.

Among them, pseudotachylyte bearing Kure OSTs cuts Cretaceous Shimotsui, Nonokawa Formation and Kure Melange. This Kure OSTs is composed of echelon formed small faults with thin damaged zone, and burial depth of the host rock is estimated as below 3 km in depth. We obtained three rock samples, applicable for calcite-twin piezometer. The highest value of estimated stress was approximately 420MPa. This is much higher value than the other seismogenic fault in Shimanto accretionary. The Okitsu Fault, formed deeper depth of approximately 4 km, have suffered lower stress of 350 MPa at fault center (Sakaguchi et al., 2011). This indicates that much higher stress was concentrated at shallow Kure OST than deep Okitsu Fault. We propose two models to make high stress at shallow portion. Long crack length from deep to surface causes high stress concentration at shallow portion. Other model causes high stress due to narrower fault zone than the Okitsu Fault. Stress may tend to concentrate at narrower process zone of Kure OSTs than wide process zone of Okitsu Fault.

キーワード: 付加体, 古地震, 方解石, 双晶密度  
Keywords: subduction zone, ancient seismogenic, calcite, twin density

## プレート沈み込み帯分岐断層の古応力解析：延岡衝上断層の例 Paleostress analysis of a subduction zone megasplay fault - An example from the Nobeoka Thrust, Japan

川崎 令詞<sup>1\*</sup>; 浜橋 真理<sup>1</sup>; 福地 里菜<sup>1</sup>; 橋本 善孝<sup>2</sup>; 山口 飛鳥<sup>3</sup>; 亀田 純<sup>4</sup>; 濱田 洋平<sup>5</sup>; 北村 有迅<sup>6</sup>; 大坪 誠<sup>7</sup>; 木村 学<sup>1</sup>  
KAWASAKI, Ryoji<sup>1\*</sup>; HAMAHASHI, Mari<sup>1</sup>; FUKUCHI, Rina<sup>1</sup>; HASHIMOTO, Yoshitaka<sup>2</sup>; YAMAGUCHI, Asuka<sup>3</sup>; KAMEDA, Jun<sup>4</sup>; HAMADA, Yohei<sup>5</sup>; KITAMURA, Yujin<sup>6</sup>; OTSUBO, Makoto<sup>7</sup>; KIMURA, Gaku<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. Earth and Planet. Sci., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Kochi Univ., <sup>3</sup>Atmosph. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>4</sup>Hokkaido Univ., <sup>5</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>6</sup>Kagoshima Univ., <sup>7</sup>AIST, Geological Survey of Japan, Inst. Geology and Geoinformation

<sup>1</sup>Dept. Earth and Planet. Sci., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Kochi Univ., <sup>3</sup>Atmosph. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>4</sup>Hokkaido Univ., <sup>5</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>6</sup>Kagoshima Univ., <sup>7</sup>AIST, Geological Survey of Japan, Inst. Geology and Geoinformation

The megasplay faults in subduction zones, branching from plate boundary thrusts, are thought to have a potential to generate earthquakes and accompanying tsunamis. It is therefore important to understand the fault mechanism of megasplay faults for earthquakes and tsunamis occurring in subduction zones. Paleo-splay faults exposed on land often preserve clear deformation features of the seismogenic zone and provide information on the fault mechanisms at depth. One of the important informations that can be obtained from exhumed faults is paleo-stress field. Here we investigated the Nobeoka Thrust, a fossilized megasplay fault in the Shimanto Belt in Kyushu. The hanging wall is Eocene Kitagawa Group, composed of phyllitic shales. The footwall is Eocene to early Oligocene Hyuga Group, composed of foliated cataclasite originated from sandstone-shale melanges. The thrust has been active during the period of 48-40 Ma [Hara and Kimura, 2008]. The hanging- and the footwall have experienced maximum burial temperatures of approximately 320 °C and 250 °C, respectively [Kondo et al., 2005]. The existence of klippe apart from the Nobeoka Thrust shows that the Nobeoka Thrust is nearly horizontal in regional scale [Murata, 1991, 1995]. Kondo et al. (2005) described two orientations of slickensides from the outcrop, suggesting the existence of flexural gentle fold in kilometer scale. In addition to the previous studies focusing on outcrops, scientific drilling has performed in 2011 penetrated through the Nobeoka Thrust, and core samples and geophysical logging data are obtained. The cores provide important information for investigating geological features under the ground and have an advantage without surface weathering.

In this study, we analyzed paleo-stress from slip vectors on small faults observed in the cores. Small faults are expected to be less-reactivated. The number of small faults is much larger than that of large faults, accordingly, high statistical reliability is expected. Multiple inverse method (MIM; Yamaji, 2000; Otsubo and Yamaji, 2006) was applied to the small faults. K-means clustering (Otsubo et al., 2006) was applied to stress tensors detected by the MIM for estimating optimal solutions. Preliminary results indicate the presence of solutions with three maximum horizontal stress axes: N85.24°E, N30.07°W and N65.47°E. We examined the formation process of the Nobeoka Thrust based on the results and slickensides on the outcrop. Our results would provide potential insights to the fault evolution of a megasplay fault in subduction zone.

キーワード: Nobeoka Thrust Drilling Project, Subduction zone, Shimanto Belt, paleo-stress, Multiple inverse method  
Keywords: Nobeoka Thrust Drilling Project, Subduction zone, Shimanto Belt, paleo-stress, Multiple inverse method

## シュードタキライトの3次元微細構造解析 3D micro structural observation of pseudotachylyte

濱田 洋平<sup>1\*</sup>; 木村 学<sup>2</sup>; 亀田 純<sup>3</sup>; 山口 飛鳥<sup>4</sup>; 浜橋 真理<sup>2</sup>; 北村 有迅<sup>5</sup>; 福地 里菜<sup>2</sup>; 川崎 令詞<sup>2</sup>  
HAMADA, Yohei<sup>1\*</sup>; KIMURA, Gaku<sup>2</sup>; KAMEDA, Jun<sup>3</sup>; YAMAGUCHI, Asuka<sup>4</sup>; HAMAHASHI, Mari<sup>2</sup>; KITAMURA,  
Yujin<sup>5</sup>; FUKUCHI, Rina<sup>2</sup>; KAWASAKI, Ryoji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 高知コアセンター, <sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> 北海道大学大学院理学研究  
院自然史科学専攻, <sup>4</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>5</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻

<sup>1</sup>Kochi institute for Core Sample Research, JAMSTEC, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo,  
<sup>3</sup>Earth and Planetary System Science Department of Natural History Science, <sup>4</sup>Atomosphere and Ocean Research Institute, The  
University of Tokyo, <sup>5</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Engineering Kagoshima

Pseudotachylyte, molten fault rock due to dynamic frictional heating, is a strong evidence of seismic fault slip [Sibson 1975]. Recent research reveals pseudotachylytes can be related with dynamic weakening mechanism such as melt lubrication [DiToro et al., 2006]. However, observations of internal structure of pseudotachylyte have been confined to 2D observations with optical-electron microscope. Here we performed X-ray 3D structural observation of natural pseudotachylyte developed close to the Nobeoka thrust which is a major Out of sequence thrust in fossil accretionary prism (Shimanto-belt).

The Nobeoka thrust located in Kyusyu Island, south west Japan, bounding northern and southern Shimanto belt of Cretaceous-Tertiary accretionary complex. The thrust is considered to have been active during 40-48Ma at seismogenic depth of ~11kmsf, experienced maximum temperature of which is 320 C in the hanging wall and 250 C in the footwall. Thus, the Nobeoka thrust is examined that it was major OST in seismogenic zone of accretionary prism (Kondo et al., 2005; Hara and Kimura, 2008; Raimbourg et al., 2009). The pseudotachylyte bearing fault develops in the hanging wall of the Nobeoka thrust with 1 mm of width. Okamoto et al. (2007) reported that carbonate-matrix implosion breccia fill tensile cracks and inner periphery of the fault, interposing pseudotachylyte, based on optical microscopic observation. Though pseudotachylyte cut the implosion breccia, the fault jog consists only of the carbonate-matrix breccia. It may show the fault experienced dynamic pore water pressurizing accompanied by pseudotachylyte generation at its first frictional slip. Therefore, the fault is appropriate to structural investigation of dynamic fault weakening mechanism.

We performed structural observation of this pseudotachylyte with scanning electron-microscope and 3D X-ray microscope. In the electron microscopic observation, we found that fragments of host rock unevenly distributed in the pseudotachylyte. The number of fragments is larger at lower part (footwall-side) than within the center of the pseudotachylyte. We also found open cracks along the fragments arrangement. It is considered to be cooling crack generated due to rapid cooling of molten rock. The 3D x-ray microscopic observation was performed with cylinder sample of 8 mm diameter. The spatial resolution of the x-ray microscope is 1 micro meter, and detailed 3D fault structure was imaged. We focused four planes, A: lower plane of lower fault filling vein, A': lower plane of pseudotachylyte, B: upper plane of upper vein, B': upper plane of pseudotachylyte. The surfaces configurations were extracted and its roughness was evaluated as calculated average roughness, Ra (theta), in each direction. We found that Ra has minimum value in the same direction in each plane, and the lineation strongly develops at the lower planes (A, A').

From the above results, we discussed the faulting process as:

- 1) Start faulting. strain concentrated in the footwall side and pore pressure was raised at the part.
- 2) Hydraulic fracturing by high pore pressure, tensile cracks formation and fluid migration.
- 3) Strength (friction) recovery by draining and formation of pseudotachylyte.

キーワード: シュードタキライト, 三次元微細構造, 表面粗さ

Keywords: pseudotachylyte, 3D micro structure, surface roughness