

## 2004年スマトラ地震(Mw9.1)と2005年ニ阿斯地震(Mw8.6)に先行した地震活動度の長期静穏化と活発化 Long-term seismic quiescence and activation anomalies preceding to the 2004 Sumatra and the 2005 Nias earthquakes

勝俣 啓<sup>1\*</sup>  
KATSUMATA, Kei<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学研究院附属地震火山研究観測センター  
<sup>1</sup> Inst. Seismology and Volcanology, Hokkaido University

2004年スマトラ地震と2005年ニ阿斯地震に先行して、地震活動度が長期的に静穏化し、同時に活発化していたことが分かった。ISCの震源カタログを用いて、1964年から2004年までに研究領域(80E-110E, 10S-20N)で発生した深さ100km以浅、実体波マグニチュード $5.0 \leq M \leq 6.0$ の地震1153個を解析した。研究領域に東西0.5度×南北0.5度間隔で格子点を置き、ZMAPを使用して地震活動度の変化を詳細に調べた結果、1987年12月から静穏化が開始し、1989年7月から活発化が開始していたことが明らかとなった。静穏化領域と活発化領域は南緯2度から北緯6度の間に位置し、2004年スマトラ地震の震源域南部(破壊開始点付近)、及びその南東側に接する2005年ニ阿斯地震の震源域を覆っている。さらに、double-difference法によりISCの震源を再決定したPesicek *et al.* (2010)の結果及びGlobal CMTの震源メカニズム解を用いて、静穏化領域及び活発化領域の位置関係を調べると、海溝寄りではプレート境界面上の地震が活発化し、陸寄りでは地殻内地震と沈み込むプレート内地震が静穏化していることが分かった。この特徴的な空間パターンは、Kato *et al.* (1997)の数値シミュレーションから予想される海溝型プレート境界地震の本震発生数年から数10年前の状況とよく一致している。すなわち、本震の発生が近づくと、固着域の下端付近のプレート境界面上で前兆滑り(preseismic sliding)が開始し、その範囲が徐々に浅部に向かって広がって行く。それに伴い、プレート境界面上の小さなアスペリティが破壊されて低角逆断層型地震が活発化するが、上盤内(陸側の地殻内)では応力が一部解放されるので静穏化する。さらに、沈み込むプレート内ではdown dip extension型の地震は起きにくくなり、発生数が減少する。

Kato, N., M. Ohtake, and T. Hirasawa (1997), Possible mechanism of precursory seismic quiescence: Regional stress relaxation due to preseismic sliding, *Pure Appl. Geophys.*, 150, 249-267.

Pesicek, J.D., C.H. Thurber, H. Zhang, H.R. DeShon, and E.R. Engdahl (2010), Teleseismic Double-difference Relocation of Earthquakes along the Sumatra-Andaman Subduction Zone using a Three-Dimensional Model, *J. Geophys. Res.*, 115, B10303, doi: 10.1029/2010JB007443.

キーワード: 2004年スマトラ地震, 2005年ニ阿斯地震, 地震活動の静穏化, 地震活動の活発化, ZMAP, ISC

Keywords: The 2004 Sumatra earthquake, The 2005 Nias earthquake, seismic quiescence, seismic activation, ZMAP, ISC

## 北海道南東沖の太平洋プレート面上の摩擦の空間不均質性の検討：中規模地震の応力降下量の解析 Spatial heterogeneity of the frictional property on the Pacific plate off south-east of Hokkaido, Japan

齋藤 悠<sup>1</sup>; 山田 卓司<sup>1\*</sup>; 谷岡 勇市郎<sup>1</sup>  
SAITO, Yu<sup>1</sup>; YAMADA, Takuji<sup>1\*</sup>; TANIOKA, Yuichiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北大地震火山センター

<sup>1</sup> ISV, Hokkaido Univ.

### 1. はじめに

地震の応力降下量は、断層面の強度と動摩擦応力の差を表す指標である。本研究では、北海道南東沖の太平洋プレートの沈み込み境界面の強度と動摩擦応力差の不均質性の空間分布を明らかにすることを目的として、北海道南東沖で発生した330個の中規模地震の応力降下量を解析した。解析対象の北海道南東沖では、オホーツクプレートの下に沈み込む太平洋プレート面上でくり返し大地震が発生している。例えば、北海道の南東に位置する十勝沖において、2003年十勝沖地震(Mw8.0, 以下、2003年本震と表記する)が発生した。この地震の大すべり域は、1952年十勝沖地震の大すべり域と重なっている(Yamanaka and Kikuchi, 2003)。また、2003年本震後には、本震でのすべりを囲むような顕著な余効すべりが観測されている(Miyazaki *et al.*, 2004)。このことは、太平洋プレートの沈み込み境界面における強度や応力、摩擦特性に空間的不均質性があることを示唆している。一方、先行研究により、大地震の大すべり域では恒常的に強度と動摩擦応力の差が大きく、小地震の応力降下量の解析により、大すべり域を事前に予測できる可能性が示唆されている(例えば、Allmann and Shearer, 2007, Yamada *et al.*, 2010)。本研究の解析結果にも先行研究で見られるような応力降下量と本震でのすべり域との相関関係が得られることが期待される。

### 2. 解析手法

本研究では、2002年6月から2010年12月までに北海道南東沖(緯度40.5°Nから43.5°N, 経度141.0°Eから146.5°E)で発生した $4.2 \leq M \leq 5.0$ の地震の応力降下量を解析した。具体的な解析は、以下の手順で行った。まず $3.0 \leq M \leq 3.2$ の小地震のうち、解析対象の地震に最も近い地震の波形を経験的グリーン関数(EGF)とする。そして、解析対象の地震とEGFとして用いる地震それぞれについて、S波の伝播時間の2倍の時刻から、1秒ごとにずらして取った3つのタイムウインドウ(長さ5.11秒)について、Sコード波のスペクトルを求めた。そしてこれらのスペクトル比を計算することにより、観測波形に含まれる伝播の効果や観測点の特性をキャンセルし、解析対象の地震とEGFとの震源スペクトル比を得た。次に、震源スペクトルがBoatwright (1978)の $\omega^{-2}$ モデルに従うと仮定してコーナー周波数 $f_c$ を求めた。さらに、Madariaga (1976)の円形クラックモデルを用いて、コーナー周波数から応力降下量を推定した。

### 3. 解析結果と考察

応力降下量は $3.0 \times 10^{-1}$  MPaから $2.0 \times 10^2$  MPaと求められた。図は、応力降下量の空間分布を示している。図から明らかなように、2003年十勝沖地震の余効すべり領域と2004年釧路沖地震の震源域において、中規模地震の応力降下量の値に差が見られた。それぞれの領域の応力降下量の平均値は、1.2 MPaと2.0 MPaであった。この結果は、摩擦特性の空間不均質性を反映していると考えられる。さらに、1973年根室半島沖地震のすべり域の浅部と深部では、応力降下量の値がそれぞれ2.1 MPaおよび1.0 MPaとなり、有意な差があった。これは、1973年根室半島沖地震のすべり域内においても、太平洋プレート面上の強度や動摩擦応力に空間不均質性があることを反映しているのかもしれない。

### 謝辞:

本研究では、Hi-netのデータ(<http://www.hinet.bosai.go.jp/>)とEIC地震学ノート([http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/))で公開されているすべり分布のデータを使わせていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 太平洋プレート, 摩擦, 空間不均質性, 応力降下量

Keywords: Pacific plate, Friction, Spatial heterogeneity, Stress drop

SSS30-02

会場:メインホール

時間:4月28日09:45-10:00

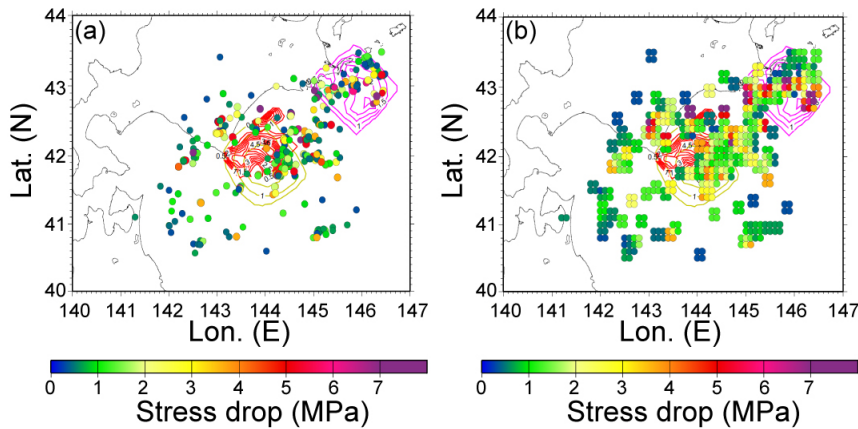


Fig. (a) Estimated stress drops of analyzed 330 middle-size earthquakes ( $4.2 \leq M \leq 5.0$ ). Each circle shows the stress drop for each earthquake. Contours indicate slip distributions of past four large earthquakes off south-east of Hokkaido (EIC seismic note, [http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/index.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/index.html)). (b) Spatial pattern of the averaged stress drop. Individual circles indicate averaged values of stress drop for every 0.1 degree, which were calculated from the values of earthquakes in areas with  $0.2 \times 0.2$  degrees.

### 3次元強震動・2.5次元遠地理論波形により地震波波形データから推定される東北地方太平洋沖地震の破壊過程 Seismically inferred rupture process of the 2011 Tohoku-Oki earthquake by using 3D and 2.5D Green's tensor waveforms

岡元 太郎<sup>1\*</sup>; 竹中 博士<sup>2</sup>; 原 辰彦<sup>3</sup>; 中村 武史<sup>4</sup>; 青木 尊之<sup>5</sup>  
OKAMOTO, Taro<sup>1\*</sup>; TAKENAKA, Hiroshi<sup>2</sup>; HARA, Tatsuhiko<sup>3</sup>; NAKAMURA, Takeshi<sup>4</sup>; AOKI, Takayuki<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 岡山大学 地球生命物質科学専攻, <sup>3</sup> 建築研究所国際地震工学センター, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト, <sup>5</sup> 東京工業大学学術国際情報センター

<sup>1</sup>Dep. Earth Planet. Sci., Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Dep. Earth System Sci. Okayama University, <sup>3</sup>IISSE, Building Research Institute, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>GSIC, Tokyo Institute of Technology

The March 11, 2011 Tohoku-Oki earthquake (GCMT Mw9.1) generated strong ground motions and large tsunamis, and caused devastating damages in the northeastern Japan. The rupture process of this event provides important clues for understanding the geophysical condition of the generation of mega-thrust earthquakes and the mechanism of the excitation of the large tsunamis.

We analyze "seismic" rupture process of this event by using a non-linear full-waveform inversion method. We incorporate the effect of the near-source laterally heterogeneous structure on the synthetic Green's tensor waveforms because the analysis can result in erroneous solutions if the effect is not considered [1]. Also, in order to increase the resolution we use the teleseismic and the strong-motion seismograms jointly: the distribution of strong-motion station is one-sided and analysis with only the strong-motion records may result in reduced resolution near the trench axis [2]. For the teleseismic P-wave synthetics we use a 2.5-dimensional finite-difference method [3]. For the strong-motion synthetics we use a full three-dimensional finite-difference method that incorporates topography, oceanic water layer, three-dimensional heterogeneity and attenuation. Our simulation is accelerated by GPUs used in parallel [4]: we use the TSUBAME GPU supercomputer in Tokyo Institute of Technology.

In the previous study [5] we used only a single structure model (i.e., a single vertical slice of the 3D heterogeneous structure) to generate all the 2.5D Green's functions. In this paper we have updated the 2.5D structure models. That is, we extracted twenty-three vertical slices from the 3D structure model: each slice was (nearly) perpendicular to the trench axis and was taken along the nodes of the grid that formed the fault plane. By using these new models the 2.5D Green's functions and 3D Green's functions are now "consistent" with each other.

We computed Green's tensor synthetic waveforms for 31 teleseismic and 32 strong-motion components. We used 640 GPUs of the TSUBAME supercomputer for the calculation of each strong-motion synthetics. The inferred slip distribution has large slips near the JMA epicenter with the maximum slip of about 32 m. The amount of slips at the areas close to the trench axis is smaller than that of the land-ward area (i.e., near the JMA epicenter). Inversion results similar to these features have been obtained by previous study [2] but it is remarkable that our joint "seismic" inversion using 2.5D-teleseismic and 3D-strong-motion Green's tensor waveforms resulted in the solution with these features (i.e., land-ward large slips and trench-ward small slips). These features have important implications for tsunami studies because large slips near the trench axis are expected for large tsunamis. In order to verify the solution we will inspect the resolution by using simulations of inversion and the effect of the choice of the Green's tensor waveforms on the solutions.

[1] Okamoto and Takenaka, *Earth Planets Space*, 61, e17-e20, 2009.

[2] Yokota et al., *Geophys. Res. Lett.*, 38, doi:10.1029/2011GL050098, 2011.

[3] Takenaka and Okamoto, in *Seismic Waves, Research and Analysis*, ed. K. Masaki, Intech, 2012.

[4] Okamoto et al, in *GPU Solutions to Multi-scale Problems in Science and Engineering*, ed. D.A. Yuen et al., Chapter 24, 375-389, Springer, 2013.

[5] Okamoto et al., *Seismological Society of Japan, 2013 Fall Meeting*, P1-62, Yokohama, Japan, October 7, 2013.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 破壊過程, GPU 計算, 地震波波形

Keywords: Tohoku-Oki earthquake, rupture process, GPU computing, seismic waveforms



## 2011年東北沖巨大地震域の地震波速度と減衰構造 Seismic velocity and attenuation tomography of the source zone of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0)

趙 大鵬<sup>1\*</sup>; Liu Xin<sup>1</sup>; Huang Zhouchuan<sup>1</sup>  
ZHAO, Dapeng<sup>1\*</sup>; LIU, Xin<sup>1</sup>; HUANG, Zhouchuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・理

<sup>1</sup>Tohoku University, Department of Geophysics

Detailed 3-D P and S wave velocity ( $V_p$ ,  $V_s$ ) and attenuation ( $Q_p$  and  $Q_s$ ) tomography of the crust and upper mantle under the entire Northeast Japan arc from the Japan Trench to the Japan Sea coast is determined (Zhao et al., 2011; Huang and Zhao, 2013; Liu et al., 2014). The suboceanic earthquakes under the Pacific Ocean and the Japan Sea are used in this work and they are relocated precisely using sP depth phases.  $V_p$  and  $V_s$  tomography is determined using a large number of high-quality arrival times, whereas the  $Q_p$  and  $Q_s$  tomography is obtained using a large number of  $t^*$  data measured precisely from P and S wave spectra of local earthquakes. Our results reveal the high-V and high-Q subducting Pacific slab, and significant low-V and low-Q anomalies in the crust and mantle wedge under the volcanic front and the back-arc area. Large megathrust earthquakes ( $M > 6.0$ ) during 1900-2013 including the great 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) sequence are generally located in high-V and high-Q patches which are surrounded by low-V and low-Q anomalies in the megathrust zone. The high-V/high-Q patches in the megathrust zone generally exhibit large coseismic slips of megathrust earthquakes and large slip deficit on the plate interface. We think that these high-V/high-Q patches represent asperities in the megathrust zone, whereas the low-V/low-Q anomalies reflect weakly coupled areas. These results suggest that structural heterogeneities in the megathrust zone control the interplate seismic coupling and the nucleation of megathrust earthquakes.

### References

- Huang, Z., D. Zhao (2013) Mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) and tsunami: Insight from seismic tomography. *J. Asian Earth Sci.* 70, 160-168.
- Liu, X., D. Zhao, S. Li (2014) Seismic attenuation tomography of the Northeast Japan arc: Insight into the 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.0) and subduction dynamics. *J. Geophys. Res.* 119, doi:10.1002/2013JB010591.
- Zhao, D., Z. Huang, N. Umino, A. Hasegawa, H. Kanamori (2011) Structural heterogeneity in the megathrust zone and mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0). *Geophys. Res. Lett.* 38, L17308.

キーワード: 地震, スラブ, 流体

Keywords: earthquakes, slab, fluids

## 稠密海底地震計アレイ観測データを用いた2011年東北沖地震発生前後の震源南限域における地震活動に関する研究 A Study on Seismicity before and after the Tohoku Earthquake around its Southern Boundary Using Dense OBS Array Data

仲谷 幸浩<sup>1\*</sup>; 望月 公廣<sup>1</sup>; 篠原 雅尚<sup>1</sup>; 山田 知朗<sup>1</sup>; 日野 亮太<sup>2</sup>; 伊藤 喜宏<sup>3</sup>; 村井 芳夫<sup>4</sup>; 佐藤 利典<sup>5</sup>  
NAKATANI, Yukihiro<sup>1\*</sup>; MOCHIZUKI, Kimihiro<sup>1</sup>; SHINOHARA, Masanao<sup>1</sup>; YAMADA, Tomoaki<sup>1</sup>; HINO, Ryota<sup>2</sup>; ITO, Yoshihiro<sup>3</sup>; MURAI, Yoshio<sup>4</sup>; SATO, Toshinori<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 東北大学災害科学国際研究所, <sup>3</sup> 京都大学防災研究所, <sup>4</sup> 北海道大学大学院理学研究院, <sup>5</sup> 千葉大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, <sup>3</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>4</sup>Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>5</sup>Graduate School of Science, Chiba University

日本海溝域茨城県沖には、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域南限・最大余震域・沈み込む海山やその痕跡が位置しており、それらの相互関係や周辺域の地震活動との関係を理解することは、非常に重要である。しかし、対象域から遠く離れた陸上観測網データだけでは地震活動をよく拘束することはできず、解決すべき問題となっている。そこで重要となるのが、対象直上付近の海底地震観測データである。本研究では、茨城県沖で東北沖地震の発生を含む期間に展開された稠密海底地震計(OBS)アレイデータを用いて、東北沖地震前後における茨城県沖周辺の地震活動を推定した。

観測データには、東北沖地震の発生に伴い膨大な数の地震が記録されており、慣例的に行われているP波/S波走時の手動検測は極めて困難である。さらに海中ノイズや厚い堆積層の影響を受けたS/N比の小さいOBSデータを、東北沖地震後の雑音レベルの高い状況で処理する上で、ノイズに対して安定かつ有効なデータ解析手法が必要である。そこで、波形を足し合せてエネルギー放出領域を求めるバックプロジェクション法(BP法)をOBSデータに適用した。具体的な手法手順は、まず対象領域を小領域に分割し、各観測点までのP波走時を計算した。この際、計算走時の精度向上のために、既存の海域構造探査結果を参照して独自に三次元P波速度構造を構築した。この走時と周波数フィルター処理した観測エンベロップ波形とから、各時刻・各小領域でのセンブランス値を計算し、その最大値から震央を求めた。ここで深さ方向はプレート境界面を仮定している。一連のセンブランス解析に、STA/LTAアルゴリズムを組み合わせることによって、計算時間の減少や各イベント認定の向上に成功した。

推定した震央分布の妥当性・精度については、本研究で求めた震央と既知の気象庁一元化震央とのずれ、さらにS/N比および震源深さを変えて理論計算した波形や実際のイベント波形を用いたテストを評価することで、定性的かつ定量的に見積もった。その結果、アレイから数10km以内の範囲では議論が十分可能であることを確認した。

得られた震央分布から、まず地震の個数密度分布のイメージングを行った。その結果、東北沖地震前後で地震活動が非常に活発になった領域と大きな変化の見られない領域とがあることが分かった。活発化した領域は、沈み込む海山の前方に位置し、過去の地震活動解析結果と整合的な空間分布であった。さらに、アレイ南西端に位置する活発な地震活動領域は、東北沖地震の最大余震滑り域周辺に位置していた。一方、本震前から変わらず地震活動が非活発な領域も存在し、これは海域構造探査で明らかとなった地震活動非活発帯とも対応していた。さらに本震直後の地震活動の詳細な時空間推移をセンブランス値から見ると、沈み込んだ海山周辺域では本震発生後から最大余震発生前までに比べ、最大余震発生後にそれらの地震活動が活発化したと考えられ、東北沖地震の震源域南限との関係が示唆される。

キーワード: 稠密海底地震計アレイデータ, 地震活動, 2011年東北沖地震震源南限域

Keywords: dense OBS array data, seismicity, the southern boundary of the 2011 Tohoku earthquake

## プレート境界断層掘削と高速摩擦実験により明らかとなった2011年東北沖地震浅部巨大滑りメカニズム

### Large shallow slip during the 2011 Tohoku-Oki earthquake: New insights from JFAST and high-velocity friction experiments

氏家 恒太郎<sup>1\*</sup>; 田中 英恵<sup>1</sup>; 斎藤 翼<sup>1</sup>; 堤 昭人<sup>2</sup>; Mori James<sup>2</sup>; 亀田 純<sup>3</sup>  
UJIE, Kohtarō<sup>1\*</sup>; TANAKA, Hanae<sup>1</sup>; SAITO, Tsubasa<sup>1</sup>; TSUTSUMI, Akito<sup>2</sup>; MORI, James<sup>2</sup>; KAMEDA, Jun<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学, <sup>2</sup> 京都大学, <sup>3</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>Kyoto University, <sup>3</sup>Hokkaido University

これまでプレート境界断層浅部は、固着が弱く、歪みをそれほど蓄えず、地震性滑りが起こりにくい領域であると考えられてきた。しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では日本海溝近くのプレート境界断層浅部が約50 mも滑り、その結果巨大津波を引き起こした。この浅部巨大地震性滑りの成因を明らかにするために、地球深部探査船「ちきゅう」による日本海溝緊急掘削 (Japan Trench Fast Drilling Project: JFAST) が実施された。掘削の結果、震源域のプレート境界断層は遠洋性粘土岩中に局所化して発達しており、断層を特徴づける剪断帯の厚さは僅か5 m未満であることが明らかとなった。プレート境界断層の約8割はスメクタイトで構成されており、遠洋性粘土層におけるスメクタイトの濃集がプレート境界断層の局所化した発達をもたらしていると考えられる。プレート境界断層における変形は、鱗片状面構造に沿った分散した剪断と赤茶色と黒茶色粘土境界に沿った局所化した剪断で特徴づけられる。このうち後者に伴って、注入構造や色の異なる粘土鉱物のミキシングなど流動化 (fluidization) に特徴的な変形構造が認められた。プレート境界断層から採取された試料を用いて、高速 (1.3 m/s) 摩擦実験を含水条件下で行ったところ、小さい応力降下量、非常に低い剪断応力、短い滑り弱化距離が得られた。剪断応力が非常に低い原因として、プレート境界断層物質が低摩擦粘土であるスメクタイトを大量に含むことと、摩擦発熱による間隙流体圧上昇 (Thermal Pressurization: TP) が効果的に起こったことが考えられる。また、定常状態剪断応力は垂直応力依存性を持たず、実験後の試料には流動化に特徴的な変形構造が認められることから、高速滑り時に生じた TP により断層物質が流体のように振る舞ったことが示唆される。本研究により、地震時に日本海溝のようなスメクタイトに富むプレート境界断層において TP が効果的に起これば、断層物質は流体のように振る舞い、ほとんど抵抗なしに深部からの破壊伝播を促進することが明らかとなった。これが東北地震時にプレート境界断層浅部において巨大滑りを引き起こした要因であると考えられる。また、天然の局所化した剪断と実験での高速剪断に伴って形成された変形構造の類似性は、地震時に断層物質が流動化したことを示唆している。

## JFAST コア試料の微量元素・同位体組成から見た日本海溝地震断層帯の地球化学的特徴

### Trace element and isotope characteristics of core samples from the Japan Trench Fast Drilling Project (JFAST)

石川 剛志<sup>1\*</sup>; 松岡 淳<sup>2</sup>; 亀田 純<sup>3</sup>; Mori James<sup>4</sup>; Chester Frederick<sup>5</sup>

ISHIKAWA, Tsuyoshi<sup>1\*</sup>; MATSUOKA, Jun<sup>2</sup>; KAMEDA, Jun<sup>3</sup>; MORI, James<sup>4</sup>; CHESTER, Frederick<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> マリンワークジャパン, <sup>3</sup> 北海道大学, <sup>4</sup> 京都大学, <sup>5</sup> テキサス A&M 大学

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Marine Works Japan Ltd., <sup>3</sup>Hokkaido University, <sup>4</sup>Kyoto University, <sup>5</sup>Texas A&M University

統合国際深海掘削計画 (IODP) 第 343 次研究航海 (JFAST: Japan Trench Fast Drilling Project) では, 2011 年東北地方太平洋沖地震で非常に大きな断層滑りが生じたと考えられる日本海溝付近において掘削調査が行われ, C0019E 孔では主として 650 mbsf~840 mbsf の間で, 計 53.3 m のコア試料が採取された。本研究では, 820 mbsf 付近のプレート境界断層試料を含む, これらのコア試料についての微量元素分・同位体分析の結果について報告する。

C0019E 孔における岩相は, Unit 1~Unit 7 の 7 つに区分される (Chester et al., 2013)。Unit 1~Unit 3 は上盤プレートの堆積物であり, Unit 4 がプレート境界断層, Unit 5~Unit 7 は下盤プレートの堆積物である。これらの岩石について ICP-MS を用いた微量元素分析, TIMS, MC-ICP-MS を用いたストロンチウム・ネオジウム・鉛同位体分析を行った。

プレート境界断層 (Unit 4) の試料は, 肉眼的には黄褐色~暗褐色で非常に粘土鉱物に富む岩石であるが, 微量元素組成から見るとかなり変化に富んでいる。しかしながら, それらはいずれも希土類元素 (REE), HFS 元素, トリウム等に富む顕著な特徴を示し, 他の JFAST コア試料から識別される。下盤プレートの褐色泥質堆積物 (Unit 5) は, 上盤プレートの堆積物 (Unit 1~Unit 3) とおおよそ類似した微量元素組成を示すが, 両者はアルカリ金属やストロンチウム等の濃度がやや異なる。Unit 5 の堆積物の下に存在する色彩変化に富む遠洋性堆積物 (Unit 6) は, 非常に変化に富む微量元素組成を示し, REE パターンには顕著なセリウム異常が見られる場合がある。ストロンチウム・ネオジウム・鉛同位体組成の変化も各 Unit の微量元素組成の特徴と整合的であり, 岩相区分とよく対応する。

JFAST コア試料の岩相と微量元素・同位体組成および微化石年代の間にはよい対応関係があり, 東北地方太平洋沖地震の浅部地震断層帯やフロンタルウェッジを構成する岩石の起源を理解するための手がかりを与えてくれる。プレート境界断層試料の微量元素・同位体組成は, 近傍のインプットサイトである DSDP Site 436 下部に見られるスメクタイトに富む堆積物と類似しており, 同様な堆積物を原岩とする可能性が高いと考えられる。プレート境界断層試料の分析値からみた地震時/非地震時の諸過程についても議論を行う。

キーワード: 地震, 断層岩, 微量元素, 同位体, IODP

Keywords: Earthquakes, Fault rocks, Trace elements, Isotopes, IODP



## JFAST 航海で得られた日本海溝プレート境界試料の古地磁気分析 Paleomagnetic analyses of core samples from the plate-boundary thrust obtained during the IODP JFAST

三島 稔明<sup>1\*</sup>; Yang Tao<sup>2</sup>; 氏家 恒太郎<sup>3</sup>; Kirkpatrick James<sup>4</sup>; Chester Frederick<sup>5</sup>; Moore Casey<sup>6</sup>; Rowe Christie<sup>7</sup>; Regalla Christine<sup>8</sup>; Remitti Francesca<sup>9</sup>; 亀田 純<sup>10</sup>; Wolfson Monica<sup>11</sup>; Bose Santanu<sup>12</sup>; 石川 剛志<sup>13</sup>; Toy Virginia<sup>14</sup>  
MISHIMA, Toshiaki<sup>1\*</sup>; YANG, Tao<sup>2</sup>; UJIE, Kohtaro<sup>3</sup>; KIRKPATRICK, James<sup>4</sup>; CHESTER, Frederick<sup>5</sup>; MOORE, Casey<sup>6</sup>; ROWE, Christie<sup>7</sup>; REGALLA, Christine<sup>8</sup>; REMITTI, Francesca<sup>9</sup>; KAMEDA, Jun<sup>10</sup>; WOLFSON, Monica<sup>11</sup>; BOSE, Santanu<sup>12</sup>; ISHIKAWA, Tsuyoshi<sup>13</sup>; TOY, Virginia<sup>14</sup>

<sup>1</sup> 大阪市大, <sup>2</sup>China Earthquake Administration, <sup>3</sup> 筑波大, <sup>4</sup>Colorado State University, <sup>5</sup>Texas A&M University, <sup>6</sup>University of California Santa Cruz, <sup>7</sup>McGill University, <sup>8</sup>Pennsylvania State University, <sup>9</sup>Universita di Modena e Reggio Emilia largo, <sup>10</sup>北大, <sup>11</sup>University of New Hampshire, <sup>12</sup>University of Calcutta, <sup>13</sup>JAMSTEC, <sup>14</sup>University of Otago

<sup>1</sup>Osaka City University, <sup>2</sup>China Earthquake Administration, <sup>3</sup>University of Tsukuba, <sup>4</sup>Colorado State University, <sup>5</sup>Texas A&M University, <sup>6</sup>University of California Santa Cruz, <sup>7</sup>McGill University, <sup>8</sup>Pennsylvania State University, <sup>9</sup>Universita di Modena e Reggio Emilia largo, <sup>10</sup>Hokkaido University, <sup>11</sup>University of New Hampshire, <sup>12</sup>University of Calcutta, <sup>13</sup>JAMSTEC, <sup>14</sup>University of Otago

IODP 第 343 次航海 (Japan Trench Fast Drilling Project, JFAST) では, 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震で大きな滑りが生じたと考えられる日本海溝浅部でプレート境界断層を貫く掘削が行われた。プレート境界断層内部での cm スケールの変形を復元するため, コア試料の古地磁気分析を行った。

プレート境界断層コア試料は鱗片状面構造が発達し, 赤茶色・黒茶色の遠洋性粘土がシャープな境界面で接する構造をもつ。この境界面を含むように切り出された 3x3x5 cm<sup>3</sup> の薄片用スラブを用いた。高知大学海洋コア総合研究センターの 2G755 パススルー型超伝導岩石磁力計を利用し, 80 mT までの段階交流消磁と 0.5-1 cm 間隔での磁化測定を組み合わせた。

段階交流消磁測定により, 2 つの古地磁気成分を取り出すことができた。そのうち一方 (低保磁力成分) は 20-30 mT で消磁される成分であり, もう一方 (高保磁力成分) は 80 mT での交流消磁でも消磁されなかった。高保磁力成分の方位は, 同一のホールラウンド試料から切り出された複数のスラブではほぼ同一であった。一方, 低保磁力成分は隣接するスラブ間や, 同一スラブ内でも測定位置によって, 異なる方位を示した。

低保磁力成分の磁化方位の不一致は, プレート境界断層スラブ試料中の cm スケールの変形・回転を反映していることが考えられる。一方, 高保磁力成分の磁化方位の整合性は, 変形中または変形後に獲得されたためとすれば説明でき, 変形時に磁性鉱物が生成されたとすればそれが高保磁力成分を担った可能性がある。

## 間隙水圧観測から検出した2011年東北地方太平洋沖地震による透水性変化 Change of permeability caused by 2011 Tohoku earthquake detected from pore pressure monitoring

木下 千裕<sup>1\*</sup>; 加納 靖之<sup>2</sup>; 伊藤 久男<sup>2</sup>

KINOSHITA, Chihiro<sup>1\*</sup>; KANO, Yasuyuki<sup>2</sup>; ITO, Hisao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>DPRI

地震に伴う地下水変化(水位, 流量, 自噴量, 化学成分など)はコサイスマックな変化として, あるいは前兆現象として昔から広く観測されている。京都大学防災研究所附属地震予知研究センターでは, 2005年から岐阜県神岡鉱山において間隙水圧と気圧の連続観測を行い, 地震による地下水変化を調べている。間隙水圧の測定には探鉱のために掘られた既存のボアホールのうち湧水のあるものから, 2つのボアホールを選び使用している。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の際には震央距離がおよそ523 kmであるにもかかわらず, 顕著な間隙水圧の減少が観測された。これは東北地方太平洋沖地震により震源域西側の地殻が伸びたこと, あるいは地震動によって水が間隙中を通りぬけやすくなり, 地下水が流出したことで説明できる。そこで, 本研究は東北地方太平洋沖地震に伴う透水性変化について潮汐応答(潮汐による間隙水圧変化)を用いて明らかにすることを目的とした。間隙水圧は気象や地球潮汐, 地殻変動などの外的要因により日々変化する。気象や地殻変動は一定ではないため, 「地震による地下水変化」のみを検出することは難しい。そこで, 地球潮汐による変形をほぼ一定と見なし, 帯水層内の状態が変化しない限り同じ応答を示すと仮定し, 地震前後の潮汐応答を比較した。間隙水圧データから潮汐応答を抜き出すために, 潮汐解析ソフトBAYTAP-Gを使用した。潮汐解析の中で着目した分潮はM2, O1分潮であり, 半日周期と1日周期をもつ。解析より, M2, O1分潮の振幅は東北地方太平洋沖地震後共に減少し, 位相変化もみられた。この結果は地震後帯水層内の岩盤の状態あるいは物性が変化したことを示唆する。さらに, 線形間隙弾性理論と拡散方程式を用いて地震前後の水理拡散率を見積もった。2本のうち1本のボアホールにおいて, 体積弾性率を一定と仮定した場合, 水理拡散率は地震前8.9 m<sup>2</sup>/sから地震後65.0 m<sup>2</sup>/sに増加したことがわかった。この結果は地震後に間隙水圧が減少したこととよく一致している。また震央距離やマグニチュードの違いによる地震前後の透水性変化の有無について調べるため, 2007年に発生した能登半島地震(M6.9)に対して同様の手法を用いて解析を行った。観測点までの震央距離はおよそ112 kmであったが, 地震前後で水理拡散率変化はみられなかった。震度は同程度であるにもかかわらず, 東北地方太平洋沖地震では水理拡散率が増加し, 能登半島地震では変化しなかったのかを調べるため①静的ひずみ変化, ②動的ひずみ変化, ③地震波の卓越周波数, ④方位角の4つの項目について水理拡散率変化との相関について検証した。

キーワード: 水理拡散率, 間隙水圧, 地球潮汐

Keywords: hydraulic diffusivity, pore pressure, Earth tide

## 海洋潮汐に先行する間隙水圧変動の謎：室戸沖南海トラフ付加体先端部の孔内長期観測 11+年の成果 Enigmatic phase lead of pore pressure: 11+ years of ACORK monitoring at the frontal decollement of Nankai Trough

木下 正高<sup>1\*</sup>; 加納 靖之<sup>2</sup>  
KINOSHITA, Masataka<sup>1\*</sup>; KANO, Yasuyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>京都大学防災研究所

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Kyoto Univ. DPRI

2001 年来 11 年半にわたって、室戸沖南海トラフ付加体先端部付近のデコルマとその上部の水圧を、孔内で継続観測している。10 インチケーシングの外側の annulus 部分で、海底下 100-900m の 6 か所の水圧をモニターしている。その中に潮汐応答も記録されている。応答の様子が深度によって異なることから、地層中の力学・水理特性を推定することが可能であるが、これまでの分析から annulus 付近の compliance が（設計よりも）大きいために、記録される変動が地層中の潮汐変動から歪んでしまい、地層中の特性を正確に推定することが困難と指摘された。

一方応答特性（振幅と位相）が 11 年間に徐々に変動していることが分かった。振幅比-位相差ダイアグラム上で 808 のほぼすべての圧力が同じカーブ上にのることを発見した。振幅比が 0.3 よりも大きい範囲では、振幅比が減少するとともに位相が徐々に遅れる（最大約 45°）（A）が、振幅比が 0.2 よりも小さい範囲では、振幅比が一定のまま位相が徐々に先行する（最大 40°）（B）。一方 1173 では概して変化が少なく、808 のような顕著な傾向は見られなかった。我々は、808ACORK に記録された潮汐応答には、メカニズムの異なる 2 種類の変動 A と B が含まれると仮定する。変動 A が卓越する状態においては B が隠されていると考えれば説明できそうである。チャンネルによっては、変動 B の領域に入らないものもあるが、これは何等かの原因で A の振幅が大きいままであるためと考えれば説明できるだろう。

A のメカニズムとして、Annulus 部分に徐々に孔が崩落して annulus を埋めることで、ACORK システムに対する地層のコンプライアンス比が減少、または水理拡散率が減少し、地層中の圧力変動が減衰したため、と解釈できる。「スクリーンの回りがパックされていく状態」を想定する。

一方 B のメカニズムは謎である。Wang and Davis (1996) の不均質多層構造モデルではこれほど大きな位相先行を生じることはいかなる場合にもできない。また固体潮汐の理論値は海洋潮汐と位相がほぼ反転しており、位相先行波形を構築できない。孔底が地層にオープンとなっている 808 孔に特有の現象であることから、孔底からケーシングを通じた流体移動による熱膨張が有望かもしれないが、単純な拡散過程では、見かけ上の位相先行=実は大きな位相遅れ（330°）と振幅比 0.1 を説明することはできない。CSG 内部の複雑な流れ場等により、他の現象との組み合わせで見かけ上の先行が起こっているのかもしれない。

キーワード: Nankai Trough, ACORK, ODP

Keywords: Nankai Trough, ACORK, ODP

## 2004 年 紀伊半島沖地震に先行した F-net 連続波形画像の欠測増加 The increase in missing waveform images of the F-net seismographs preceding the 2004 off Kii peninsula earthquake

末 芳樹<sup>1\*</sup>  
SUE, Yoshiki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 所属なし

<sup>1</sup> No institution affiliation

### 1. はじめに

広帯域地震観測網 F-net は、地震計 STS-1 および 2 型、73 観測点により構成される観測網である。地震計の固有周期は 120 秒 (STS-2) より長く長周期の振動を捉えることが出来る。F-net のホームページでは連続波形画像が提供されており、画像の容量解析の結果として長周期の振動が報告されている (末, 2010)。

### 2. 解析

連続波形画像の容量が変動を示すのは地表面の状態が変動している事による。そこで F-net の稼動状況を調べた。稼動状況を示す情報は 2 つある。

a. 欠測データ情報: 瞬断から長期までの欠測を示す公式情報であり、欠測の理由も示される。一方、情報の更新は不定期である。

b. 連続波形画像の欠測: 連続波形画像の統括頁に「画像無し」が示される。これは 1 日 (Daily plot) あるいは 1 時間 (Hourly plot) を越す不具合を示すと推測される。欠測の理由は示されないが、更新は毎日および毎時なされる。

このうち「連続波形画像の欠測」に関しては、2011 年東北地方太平洋沖地震前の欠測数の増加に関する報告がなされている (末, 2013)。そこで今回は南海トラフを対象として、2004 年 9 月 5 日に発生した主題地震 (M7.4) の状況を調べた。具体的には、2004 年 6 月 1 日より同年 9 月 10 日までの凡そ 3 ヶ月間の糸魚川-静岡構造線と沖縄島の間 (但し能登半島を除く) に位置する観測点の連続波形画像 (Daily plot) の欠測数を調べた。

### 3. 結果

図 1 に結果を示す。本震の凡そ 1.5 ヶ月以前にあたる 2004 年 6 月 - 7 月前半の欠測最頻値は 1 でほぼ一定の状態であった。7 月後半以降は欠測数の変動があった。

本震 6 日及び 5 日前の 8 月 30 日および 31 日に大きな増加があり、それぞれ九州南部および東岸で集中した欠測があった。

本震前日の 9 月 4 日には四国から九州にかけて南海トラフに沿った欠測があった (図 2)。

本震後、欠測は漸次減少し消滅した。

欠測の原因は、network trouble および electric power supply trouble が主体であった。

### 4. 議論

本震に先駆けて F-net 連続波形画像の欠測が増える。この時、欠測は震源域に限られず震源域を囲む広い領域に現れる。これらは 2011 年東北地方太平洋沖地震にも見られた現象であり、大地震前に一般的に見られる現象かもしれない。発生が懸念される南海トラフの巨大地震の際には、本報告に示すような F-net 観測点の不調が先行することがあるかもしれない。

全数欠測状態が、本震の凡そ 1.5 ヶ月前の 7 月 23 日 - 25 日に発生した (図 1)。この現象は 2011 年東北地方太平洋沖地震前にも見られ、F-net 網の不安定さの増大を示すものかもしれない。

大地震前の欠測の増加は、発生した地表面の変動が F-net の許容値を超えた為と推測している。network trouble および electric power supply trouble は、これを示す指標であるかも知れない。高感度地震観測網 Hi-net ではこのような現象は見られないが、これは周波数特性 (固有周期 = 1 秒) により長周期振動に反応しないためと推測する。

地震・津波観測監視システム DONET において異常が検出される場合には、F-net 連続波形画像にも同時期あるいは先駆けて欠測が発生するかもしれない。

欠測観測点の出現は影響を受ける範囲を示しており、その出現面積は発生地震の規模 (マグニチュード) と関連するかもしれない。

謝辞

防災科学技術研究所の F-net 観測網のデータを使用させて頂きました。記して感謝致します。



時間:4 月 28 日 14:15-14:30

末芳樹, 2010, F-net の連続波形画像に観測される長周期振動 (その 1), 日本地震学会講演予稿集, D31-12.  
末芳樹, 2013, 2011 年東北地方太平洋沖地震に先行した F-net 連続波形画像の欠測増加, JpGU2013, S-SS30-P01.

**Keywords:** F-net, broadband, seismograph network, long period, waveform, Nankai trough

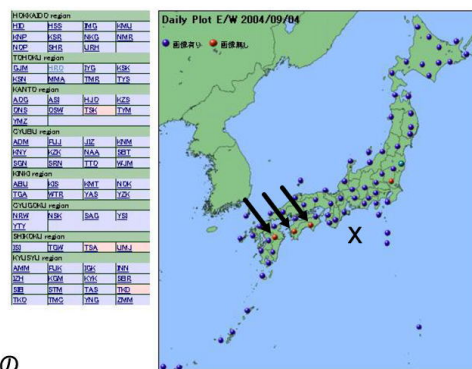


図2. 2004年9月4日の連続波形画像の  
欠測観測点(矢印)及び震央(X印) (出典: NIED).

## 紀伊半島沖～四国沖南海トラフ底の熱流量分布：四国海盆の地殻構造が温度構造に及ぼす影響

### Heat flow distribution along the Nankai Trough: Influence of the structure of the Shikoku Basin oceanic crust

山野 誠<sup>1\*</sup>; 川田 佳史<sup>1</sup>; 後藤 秀作<sup>2</sup>; 濱元 栄起<sup>3</sup>

YAMANO, Makoto<sup>1\*</sup>; KAWADA, Yoshifumi<sup>1</sup>; GOTO, Shusaku<sup>2</sup>; HAMAMOTO, Hideki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> 埼玉県環境科学国際センター

<sup>1</sup>Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Geol. Surv. Japan, AIST, <sup>3</sup>Center Environ. Sci. Saitama

南海トラフにおいて沈み込むフィリピン海プレート（四国海盆）上層部の温度構造は、プレート境界近傍の温度構造を支配する要素の一つであり、地震発生帯におけるさまざまな物理・化学過程に影響を及ぼす。南海トラフ底で観測される熱流量は、この沈み込むプレートの温度構造を反映すると考えられる。これまでの調査結果は、室戸沖から潮岬南方（東経 135～136 度付近）ではトラフ底における熱流量が海底年齢に比べて異常に高いのに対し、その東方（熊野沖）では年齢にほぼ応じた値であることを示している。熱流量が変化する場所は、1944 年東南海地震と 1946 年南海地震の震源域境界に近く、また陸側の地震活動が大きく変化する付近であり、地震発生過程と温度構造との関連を示唆している。

このような熱流量分布の東西方向の変化を詳しく調べ、その原因を解明することを目指して、2011～2013 年に紀伊半島沖～四国沖の南海トラフ海域で熱流量測定を実施した。特に重点的な対象としたのは、トラフ底の高熱流量が通常の値に遷移する地域（東経 136 度付近）、過去の測定データが乏しい四国南方のトラフ底である。これにより、南海トラフ底で計 39 点の新たな測定値が得られ、熱流量分布の変化を明瞭に捉えることができた。最も顕著な変化を示すのは東経 136 度付近（潮岬南方）であり、136 度より西では海底年齢に比べて異常に高く、ばらつきが大きい（130～250 mW/m<sup>2</sup>）のに対し、136 度の東ではばらつきが小さく、東に向かって急激に減少する（50 km で約 200 から約 100 mW/m<sup>2</sup> まで変化）。一方、134.5 度付近より西では、全般に値のばらつきが小さい。ここでは海底年齢が西に向かって古くなるが、これに対応した熱流量の減少は見られず、足摺沖（133.5～134 度）では年齢に対して有意に高い値（～130 mW/m<sup>2</sup>）を示す。

このトラフ底の熱流量分布には、沈み込む四国海盆海洋地殻の構造との対応が認められる。東経 134.5～136 度付近（室戸沖～潮岬南方）の高熱流量でばらつきが大きい地域は、四国海盆拡大末期の北東－南西方向の拡大で形成された部分にあたる。その東側及び西側のばらつきが小さいところは、東西方向の拡大で形成された部分である。両者の東側の境界付近（～136 度）では、海洋地殻の厚さや基盤地形も東西に変化することが知られている。一方、室戸沖トラフ底の高熱流量については、沈み込んだ海洋地殻上部の透水層内における間隙流体循環が、深部から熱を効率的に輸送してトラフ底を加熱するというモデルが提唱されている（Spinelli and Wang, 2008）。これらを合わせて考えると、四国海盆の拡大方向変化による構造境界で海洋地殻の透水率構造が変化しており、それが流体循環の強度やパターンの違いを生じ、熱流量分布の差をもたらしていると推測することができる。流体循環による深部からの熱輸送は、プレート境界付近を冷却する働きをするから、トラフ底熱流量の東西方向の変化は、地震発生帯の温度構造の変化と対応すると考えられる。

キーワード: 南海トラフ, 熱流量, 間隙流体, 海洋地殻, 温度構造, 地震発生帯

Keywords: Nankai Trough, heat flow, pore fluid, oceanic crust, temperature structure, seismogenic zone

## 南海地震発生帯における巨大分岐断層固着域周辺の現場温度の再評価: NanTroSEIZE Site C0002 長期孔内温度計測データからの制約 Reevaluation of temperature at the updip limit of locked portion of Nankai megasplay, inferred from IODP Site C0002 tem

杉原 孝充<sup>1\*</sup>; 木下 正高<sup>2</sup>; 荒木 英一郎<sup>3</sup>; 木村 俊則<sup>3</sup>; 許 正憲<sup>1</sup>; 難波 康広<sup>1</sup>; 木戸 ゆかり<sup>1</sup>; 真田 佳典<sup>1</sup>; Moe Kyaw Thu<sup>1</sup>

SUGIHARA, Takamitsu<sup>1\*</sup>; KINOSHITA, Masataka<sup>2</sup>; ARAKI, Eiichiro<sup>3</sup>; KIMURA, Toshinori<sup>3</sup>; KYO, Masanori<sup>1</sup>; NAMBA, Yasuhiro<sup>1</sup>; KIDO, Yukari<sup>1</sup>; SANADA, Yoshinori<sup>1</sup>; MOE, Kyaw thu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地球深部探査センター, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構 高知コア研究所, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト

<sup>1</sup>CDEX/JAMSTEC, <sup>2</sup>KCC/JAMSTEC, <sup>3</sup>DONET/JAMSTEC

Temperature near the updip limit of the locked zone still has large uncertainties due to lack of knowledge about thermal and hydrological properties at depth.

In 2010, the first Long-Term Borehole Monitoring System was deployed at ~900 m below sea floor (mbsf) above the updip limit of seismogenic fault zone in the Nankai Trough off Kumano (Site C0002). Four temperature records show that the effect of drilling diminished in less than 2 years and they all reached thermal equilibrium by 2012. From in-situ temperatures and thermal conductivities measured on core samples, the temperature and heat flow at 900 mbsf are determined as 37.9 °C and 56.1 mW/m<sup>2</sup>, respectively. This heat flow value is in excellent agreement with that from shallow borehole temperature corrected for rapid sedimentation in the Kumano Basin. We use these values to constrain the temperature below 900 mbsf to the mega-splay and plate boundary fault zones.

To extrapolate temperature downward, we use LWD bit resistivity data as a proxy for porosity and the thermal conductivity is modeled from this porosity using a geometrical mean model. Upon integration by the 1-D thermal conduction we included the radioactive heat and frictional heat production. Estimated temperature at the megasplay ranges between 132 to 149 °C, depending on thermal conductivities and radioactive heat. It is significantly higher, by up to 40 °C, than previous 2-D numerical model predictions that can account for the heat flow across the deformation front. The discrepancy may be explained either by increasing the effective frictional coefficients along the fault zones or by introducing a lateral fluid flow along the permeable layers somewhere in the sedimentary layer. Revision of 2-D simulation by introducing our new boundary conditions will also be useful. Ultimately, reaching the megasplay fault and in-situ temperature measurement in the drilled hole is required to understand seismogenesis in the Nankai subduction zone.

キーワード: 地震発生帯, 南海トラフ, 巨大分岐断層, 温度構造, 統合国際掘削計画, 南海トラフ地震発生帯掘削計画

Keywords: Seismogenic zone, Nankai Trough, Megasplay fault, Thermal regime, IODP, NanTroSEIZE

## IODP Expedition 348 南海付加体内部への超深部ライザー掘削：科学結果速報 Preliminary Scientific Results of IODP Expedition 348: Ultra-deep Riser Drilling into the Nankai Accretionary Prism

廣瀬 丈洋<sup>1\*</sup>; Tobin Harold<sup>2</sup>; Saffer Demian<sup>3</sup>; Toczko Sean<sup>1</sup>; 前田 玲奈<sup>1</sup>; 久保 雄介<sup>1</sup>; Expedition 348 乗船研究者<sup>6</sup>  
HIROSE, Takehiro<sup>1\*</sup>; TOBIN, Harold<sup>2</sup>; SAFFER, Demian<sup>3</sup>; TOCZKO, Sean<sup>1</sup>; MAEDA, Lena<sup>1</sup>; KUBO, Yusuke<sup>1</sup>; EXPEDITION 348, Scientists<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup>University of Wisconsin-Madison, <sup>3</sup>Pennsylvania State University, <sup>4</sup>千葉大学, <sup>5</sup>東京大学, <sup>6</sup>IODP Expedition 348

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>University of Wisconsin-Madison, <sup>3</sup>Pennsylvania State University, <sup>4</sup>Chiba University, <sup>5</sup>The university of Tokyo, <sup>6</sup>IODP Expedition 348

The Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) is a multi-disciplinary scientific project designed to investigate fault mechanics and seismogenesis along subduction megathrusts through seismic imaging, direct sampling, in situ measurements, and long-term monitoring in conjunction with laboratory and numerical modeling studies. International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 348, the latest advance of the NanTroSEIZE project, started on 13 September 2013 and was completed on 29 January 2014. During Expedition 348, the drilling vessel *Chikyu* advanced the ultra-deep riser hole at Site C0002, located 80 km offshore of the Kii Peninsula, from a depth of 860 meters below sea floor (mbsf) to 3058.5 mbsf, the world record for the deepest scientific ocean drilling, and cased it for future deepening. The drilling operation successfully obtained data on formation physical properties from logging while drilling (LWD) tools, as well as from lithological analyses of cuttings and core from the interior of the active accretionary prism at the Nankai Trough. IODP Site C0002 is the currently only borehole to access the deep interior of an active convergent margin.

Preliminary scientific results of Expedition 348 include:

(1) Fine-grained turbiditic mudstones with coarser silty and sandy interbeds, exhibiting steep dips (between ~60 and 90 degrees) are predominant in the prism down to ~3000 mbsf. The biostratigraphic age of the sediments in the lowermost part of the hole is thought to be 9-11 Ma, with an assumed age of accretion of 3-5 Ma.

(2) Slickenlined surfaces, deformation bands and mineral veins are present throughout the drilled interval, while well-developed scaly clay fabrics are increasingly observed below ~2200 mbsf. A substantial fault zone with well-developed foliation was successfully cored from the deep interior of the prism at ~2205 mbsf.

(3) Porosity generally decreases from ~60% to ~20% from the seafloor to 3000 mbsf. However, physical properties including grain density, electrical conductivity and P-wave velocity suggest fairly homogeneous properties in the interior of the prism between ~2000 and 3000 mbsf.

(4) Drilling mud gas analysis during the riser drilling indicates that a source of hydrocarbon gas shifts from microbial origin to thermogenic at around 1700-2300 mbsf.

Lithological and structural characterizations, the style of deformation, and downhole physical properties all indicate a complex structural evolution and will provide unprecedented insights into the mechanical state and behavior of the prism at depth.

キーワード: IODP, NanTroSEIZE, Nankai Trough, accretionary prism

Keywords: IODP, NanTroSEIZE, Nankai Trough, accretionary prism



## 巨大分岐断層深部 - 浅部における摩擦発熱レベル：炭質物のラマン分光からの推定 Levels of frictional heat along deep to shallow parts of the megasplay fault : a Raman spectroscopic analyses of CM

向吉 秀樹<sup>1\*</sup>; 廣野 哲朗<sup>2</sup>; 増本 広和<sup>2</sup>

MUKOYOSHI, Hideki<sup>1\*</sup>; HIRONO, Tetsuro<sup>2</sup>; MASUMOTO, Hirokazu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学教育・総合科学学術院, <sup>2</sup> 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

<sup>1</sup>Faculty of Education and Integrated Arts and Sciences, WASEDA University, <sup>2</sup>Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University

現在のプレート境界断層および巨大分岐断層において、どのような断層弱化機構 (thermal pressurization, melt lubrication 等) が機能しうるかを理解するためには、化石巨大分岐断層の深部から浅部にいたる摩擦発熱レベルの評価が極めて重要である。そこで、本研究では、海底下 2.5-5.5 km で形成された化石巨大分岐断層 (四国南西部四万十帯久礼アウトオブシーケンススラスト) と海底下 1-4 km で形成された大規模逆断層 (房総半島江見層群) を対象とし、光学顕微鏡による微小変形構造観察に加え、断層に含まれる炭質物のラマン分光分析を実施した。炭質物の分子構造変化は、熱に対して不可逆的に変化するため、温度履歴を敏感に反映するプロキシとなることが期待される。また、温度による炭質物のラマンスペクトルの変化を実験的に評価するため、これらの断層近傍の母岩から採取した炭質物における嫌気環境下における加熱実験を実施した (昇温速度 20 K/min)。

その結果、両断層に含まれる炭質物のラマンスペクトルは、400~600 °C の加熱実験で得られたスペクトルに類似していることが確認された。これは、両断層がそのような高温を履歴したことを意味するであろう。但し、滑りに伴う剪断歪は炭質物の分子構造変化に影響を与えうることを予想されるため、加熱実験と併せて剪断実験の実施が不可欠であろう。

キーワード: 化石巨大分岐断層, 加熱実験

Keywords: ancient megasplay fault, heating experiment

## 上盤プレートの地質と沈み込み帯地震破壊領域のセグメント形成ー南海トラフの例ー Upper plate geology controls the rupture area segmentation -A case study of the Nankai Trough

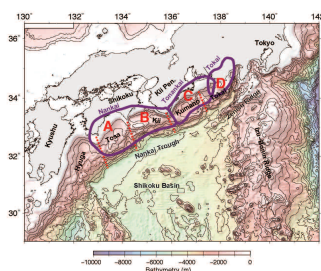
木村 学<sup>1\*</sup>; 橋本 善孝<sup>2</sup>; 北村 有迅<sup>3</sup>; 山口 飛鳥<sup>4</sup>; 浜橋 真理<sup>1</sup>; 高下 裕章<sup>1</sup>; 森田 澄人<sup>5</sup>

KIMURA, Gaku<sup>1\*</sup>; HASHIMOTO, Yoshitaka<sup>2</sup>; KITAMURA, Yujin<sup>3</sup>; YAMAGUCHI, Asuka<sup>4</sup>; HAMAHASHI, Mari<sup>1</sup>; KOGE, Hiroaki<sup>1</sup>; MORITA, Sumito<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 高知大学, <sup>3</sup> 鹿児島大学, <sup>4</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>5</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Dept. Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Kochi University, <sup>3</sup>Kagoshima University, <sup>4</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>5</sup>AIST

What controls the earthquake rupture area of megathrust is one of the most fundamental questions in geodynamic research of subduction zone. In the case of the Nankai Trough, Japan, three major controlling factors have proposed so far, surface topography of the subducting plate like seamount, locally strong rigidity of upper plate due to igneous rock composition, and friction property of the plate boundary megathrust including abnormal pore fluid pressure distribution. Such controlling factors are applicable to other subduction zone in general. For example, the topographic high like seamount is proposed to control the location of asperity due to stronger coupling. The topographic-high worked as an asperity contacts with upper plate and rupture could be propagated when the contact breaks. The topographic-high also works as a barrier in the difficult case to be broken. From the geological point of view, plate boundary megathrust in the seismogenic zone must be composed of fault rock in brittle regime because of its temperature range from ~150 °C to ~350 °C, which is cooler than the temperature for the plastic deformation of quartz, feldspar and other rock forming minerals of oceanic crust except for clayey phyllosilicates. In this temperature range, tectonic melange like fault rock with highly pressurized interstitial fluid is expected. Seismic observation showing a reflector with intensive amplitude of negative reflection coefficient suggests a plate boundary fault layer with abnormal fluid pressure. The friction behavior of the fault rock and pore fluid effect is a recent main concern in the subduction zone. The third factor is the mechanical property of the upper plate for the plate boundary megathrust in subduction zone. It is used to treat that the upper plate is a mechanical uniform media saving the elastic energy for theseismic slip along the megathrust. The mechanical property of the upper plate changes for a geological long time scale due to the growth of accretionary prism or tectonic erosion. In addition to such subduction mode of accretion vs erosion, some peculiar tectonic events (e.g. change in convergent direction, some obstacle collision, spreading ridge collision and rapid magmatic accretion etc.) modify the mechanical property of the upper plate and its heterogeneity in space. In the case of the Nankai Trough, a plutonic body is situated beneath the place of epicenter and is suggested to have been functioned as an asperity of 1944 Tonankai and 1946 Nankaido Earthquakes. We examined the on-land geology of the Shikoku island and the Kii Peninsula, SW Japan, basement structure and composition beneath the forearc Kumano Basin on the basis of recent results of ocean drilling by IODP (Integrated Ocean Drilling Project) and other investigations to infer the geologic composition of the upper plate. As a result we conclude that the key geologic event was middle to late Miocene episodic and rapid growth of forearc crust, mainly due to the magmatic intrusion and extrusion. This event was caused by the eastward migration of the T-T-T triple junction. Such ancient event now controls the rupture area of the great earthquake in the subduction zone.



## 「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」が目指す連動型巨大地震災害の軽減 The research project on the extended Nankai seismogenic zones towards disaster mitigation of the mega-thrust earthquakes

金田 義行<sup>1\*</sup>; 福和 伸夫<sup>2</sup>; 古村 孝志<sup>3</sup>

KANEDA, Yoshiyuki<sup>1\*</sup>; FUKUWA, Nobuo<sup>2</sup>; FURUMURA, Takashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 名古屋大学, <sup>3</sup> 東京大学

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

The recurrence of Nankai trough mega thrust earthquakes and tsunamis are the very severe problem to Japan. Therefore, MEXT of Japanese government has implemented the research project during a period from FY2008 to 2012 to evaluate seismic linkage around the Nankai trough mega thrust earthquake seismogenic zones. We have obtained many significant scientific results, such as the extended seismogenic zone, in this previous research project. In the 2013 fiscal year, a new project launched aiming mitigation of disaster caused by the Nankai trough earthquakes in the extended seismogenic zone. This new project is composed of three research fields which are the disaster mitigation research field, observational research field and the simulation research field. According to lessons learned from the 2011 East Japan Earthquake, the disaster mitigation research field are progressing 5 sub-themes which are precise seismic hazard estimation, providing research results to local government/community for disaster measures, investigating recovery and revival methodologies based on social environmental changes, and constructing redundant hazard information database. The observational research field reveals structures of crust and plate, seismicity, and historical tsunami events in the Nankai trough. In the simulation research field, investigations will be conducted for recurrence cycle simulation of mega thrust earthquakes, data assimilation method that improves reliability of the simulation, seismic and tsunami wave simulations for disaster mitigation. We must surely progress each sub-theme at the beginning and finally integrate them for disaster mitigation around the extended Nankai trough seismogenic zones. In this talk, we will introduce the outline of new project and the present progress.

Keywords: Nankai trough seismogenic zone, Seismic linkage, Disaster mitigation

## 小笠原スラブの沈み込みとマントル対流 Ogasawara Bending Slab and Mantle Convection

新妻 信明<sup>1\*</sup>

NIITSUMA, Nobuaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学地球科学教室

<sup>1</sup>Inst. GeoSciences, Shizuoka Univ.

小笠原海溝から沈み込む小笠原スラブは急に深度を増し、急斜している。しかし、2013年5月14日 M7.3 深度 619km のマリアナ海溝域最深地震、および 1998年2月7日 M6.4 深度 552km の小笠原海溝域地震の震央は海溝側に近付いており、小笠原スラブが同心円状屈曲したまま上部マントル下底まで沈み込んでいることを示している。

東太平洋海膨で拡大形成された太平洋プレートは、日本列島に沿って沈み込み、上部マントル底に達している。プレートの下に接するマントルも含めて考えると、東太平洋海膨域ではプレート拡大のためにマントルが不足し、日本列島域では沈み込んだマントルが過剰になる。マントル量の定常状態を保つためには、過剰な沈み込みマントルを拡大域へ環流させるマントル対流が必要である。

スラブが同心円状屈曲したまま上部マントル底に到達すると、スラブ上面が下部マントル上面に接する。上部マントル内でスラブ上面が最も低温なので、スラブ上面は下部マントルへ相転移できず、下部マントル上面に浮いた状態でプレート運動と逆方向に移動する。この海嶺へ向かうスラブ移動は、最速最大の太平洋プレート運動を支えるマントル対流に重要な役割を担っているであろう。

小笠原スラブの北側の伊豆スラブも同心円状屈曲して沈み込むが、深度 410km 付近で平面化するため、同心円状屈曲のまま沈み込む小笠原スラブとの間にスラブの不連続が存在するはずである。この不連続部で 2013年11月に西之島が噴火した。この不連続部で起こる地震の発震機構は、東日本大震災の前後で変化している。

キーワード: 小笠原スラブ, 同心円状屈曲, マントル対流, 上部マントル下底, 西之島噴火

Keywords: Ogasawara Slab, Concentric Bending, Mantle Convection, Upper Mantle Bottom, Nishinoshima Eruption



## 整流潮汐載荷：微動が明らかにする地震発生メカニズム Rectified tidal loading: Control on earthquakes manifested by deep tremors

井出 哲<sup>1\*</sup>; 田中 愛幸<sup>2</sup>  
IDE, Satoshi<sup>1\*</sup>; TANAKA, Yoshiyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

地震はプレート運動によっておきるが、何がプレート運動を支配しているのか必ずしも明らかでない。この問題への手掛かりを与えるのが、西日本で発見された深部微動である。ある微動のクラスターの発生レートは観測される潮汐変化に極端に依存している。両者の関係から、プレート境界における速度依存型の応力とすべりの非線形関係が導かれる。この経験的法則と観測潮位によって過去9年間の微動活動はかなり正確に説明できる。振動する潮汐応力変化は非線形摩擦法則によって整流化され、潮汐振幅のわずかな変化が沈み込み帯深部で大きなスロースリップの変化を生み出すことがわかる。この変化はさらに浅部の地震活動に影響するかもしれない。実際に過去50年間の定常地震活動と潮汐の変化は同期しており、さらに過去1000年以上の南海地震の弱い周期性とも関係している可能性が高い。

キーワード: 微動, 潮汐, 整流効果, スロースリップ, 地震活動, 南海地震  
Keywords: tremor, tide, rectification, slow slip, seismicity, Nankai earthquakes

## 沈み込み帯でのプレート境界面破壊に関する構造力学モデル Structural mechanics model of plate-interface fracture at subduction zones

江口 孝雄<sup>1\*</sup>  
EGUCHI, Takao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 防衛大学校 地球海洋学科  
<sup>1</sup>National Defense Academy, Japan

There are unidentified and unveiled properties concerning the physical process of greater inter-plate earthquakes at subduction zones. We, here, present a stochastic fracture model of the plate-interface with dynamic discrete interaction blocks. The stochastic treatment in this study is mainly based on structural mechanics. Here, in the four-dimensional point of view, regarded as significant long-wavelength components of the mechanical inter-plate coupling, we assign several discrete lattice-like blocks being connected each other on a hypothesized plate boundary system. The representative mechanical interaction vector (or tensor) for each discrete block should be variable on the plate boundary system. The total number of the discrete blocks and their nesting pattern should also vary with time during the long-term subduction process with intermittent greater seismic events.

Hereafter, we treat the inter-plate coupling at discrete blocks, using parameters such as failure probability ( $P_{sf}$ ) and safe probability ( $P_{ss}$ ) of the total system of the plate boundary. Here,  $P_{sf} + P_{ss} = 1$ .

The system fracture for the case of parallel connecting blocks is defined as the breakdown of all parallel blocks. Whereas, for the case of a series connecting block system, the system fracture is defined as the failure of one of the series block, or more. The system failure probability of a simple mechanical system being coupled in parallel  $N$  blocks is given as a product of  $p(i)$  from  $i = 1$  to  $i = N$ . Here,  $p(i)$  is the failure probability of the  $i$ -th block of the system. For the case of a mechanical system connected in series  $N$  blocks, the system safe probability becomes a product of  $\{1 - p(i)\}$  from  $i = 1$  to  $i = N$ . For a mechanical system composed of both parallel and series blocks, the system failure probability and system safe probability can be estimated with the above definition. Then, we assume that the inter-plate shear coupling of the plate-interface progresses only at discrete blocks of brittle fracture.

We consider two different configuration models for a two-by-four matrix ( $2 \times 4$ ) system of discrete coupling blocks, consist of four columns in the trench-parallel direction and two rows of deep side and a shallow side in the dip direction, as follows.

Configuration model  $A$  is a series-connected system of both the shallower parallel-connected column blocks and the deeper parallel-connected ones.

Configuration model  $B$  is a parallel-connected system of the four columns of the shallower and deeper rows being directly series-connected in the dip direction.

By setting the failure probability,  $p(i,j)$ , of  $(i,j)$ -th block, we can estimate the system failure probability ( $P_{sf}$ ) and system safe probability ( $P_{ss}$ ) for the configuration models,  $A$  and  $B$ . For the configuration models  $A$  and  $B$ , the system safe probability,  $P_{ss}(A)$  and  $P_{ss}(B)$  can be obtained. In the case of  $p(i,j)$  less than 0.5 for all blocks,  $P_{ss}(A)$  becomes larger than  $P_{ss}(B)$ , indicating that the configuration model  $A$  is safer than the model  $B$ . When the representative pattern of the inter-plate coupling changes from the configuration model  $A$  to  $B$ , or vice versa, we should carefully estimate the system probabilities.

We also demonstrated the detailed hypothetical expression form of  $p(i,j)$  by considering the effect of preceding larger seismic ruptures at blocks and the subsequent healing process, etc.

キーワード: 沈み込み帯, プレート間相互作用, 構造力学, 系の破壊確率, 系の安全確率

Keywords: subduction zone, inter-plate coupling, structural mechanics, system failure probability, system safe probability

## 沈み込み帯における地震発生数と前弧地形の関係 Seismicity rate variations in subduction zones related to forearc topography

西川 友章<sup>1\*</sup>; 井出 哲<sup>1</sup>  
NISHIKAWA, Tomoaki<sup>1\*</sup>; IDE, Satoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

世界の沈み込み帯の地震活動には、地震発生数や最大地震サイズなど様々な点において違いがある。このような地震活動の違いはそれぞれの沈み込み帯のプレート相対速度や、沈み込むプレートの浮力などによって説明されてきた。とくに地震発生数は、Ide (2013) によりプレート相対速度との比例関係が指摘されている。これは地震がプレートの歪みに起因することを考えれば自然な関係である。

その一方、沈み込み带上盤も地震発生を支配する重要な要素である。これまでの地震観測やテクトニクスの研究では、上盤前弧の地形がプレート境界の固着や間隙流体圧などの摩擦特性と関係することが指摘されている。このことから、世界の沈み込み帯の前弧地形の違いは沈み込み帯ごとの摩擦特性の違いを反映していると考えられる。しかし、このような上盤地形の違いが世界の沈み込み帯の地震活動と具体的にどのように対応しているかは明らかではない。そこで本研究では、Smith and Sandwell (1997) による海底地形データを用いて、世界の沈み込み带上盤における海溝斜面の傾斜を計算し、それらと ETAS モデル (Ogata, 1988) から計算される沈み込み帯における定常地震発生数（余震を除いた地震発生数）を比較した。その結果、海溝斜面の傾斜と定常地震発生数に正の相関が見られた。上盤の海溝斜面が急斜面になっている沈み込み帯ほど定常地震発生数が多く、緩斜面では少ない。また、海溝斜面と定常地震発生数の関係は、前述のプレート速度と地震発生数の比例関係 (Ide, 2013) に従わない沈み込み帯（カスカディア、南チリなど）も説明することができるように思われる。

上盤地形とプレート境界の摩擦の関係を説明する臨界尖形モデル (Davis et al., 1983; Dahlen, 1984) や沈み込み帯のアナログ実験 (Gutscher et al., 1996 など) によれば、海溝斜面が急斜面であることは前弧域のプレート間摩擦が大きいことを意味する。本研究の結果と合わせて考えると、急斜面でプレート境界の摩擦が大きい沈み込み帯では定常地震発生数が多いということになる。このことは浸食・付加作用とプレート境界における凹凸を考えることで理解できる。海溝斜面が急斜面である沈み込み帯は浸食作用が卓越した沈み込み帯と考えられている (Clift and Vanucchi, 2004)。そのような沈み込み帯では堆積物の厚さが薄く海底面の凹凸がそのまま沈み込み、上盤ウェッジ先端部で大きな摩擦を生む。地震発生領域（サイスモジェニックゾーン）ではそれらの凹凸は無数の小さなアスペリティーとして働き、多くの地震が発生する。逆に緩斜面の沈み込み帯は付加作用の卓越した沈み込み帯である。底面の凹凸は堆積物によって滑らかになり、上盤ウェッジ先端部での摩擦は小さい。地震発生領域では滑らかなプレート境界は一つの大きなアスペリティーとして働き、結果として地震数が少なくなる。また、このようなアスペリティーの数や大きさの違いは沈み込み帯における巨大地震の発生様式の違いにも関連があると思われる。

本研究は上盤地形と地震活動の対応を明らかにするとともに、地震発生数がプレート相対速度と歪みのような力学的要因のみならず、浸食・付加作用や堆積物、プレート境界の凹凸などの物質的要因にも支配されていることを示すものである。

キーワード: 地震発生数, 沈み込み帯, 前弧地形, 浸食・付加作用, アスペリティー

Keywords: seismicity rate, subduction zone, forearc topography, erosion and accretion, asperity

## 地震発生に先行する断層強度低下の地震波モニタリング可能性の検討 Feasibility of acoustic monitoring of strength drop precursory to earthquake occurrence

亀 伸樹<sup>1\*</sup>; 永田 広平<sup>2</sup>; 中谷 正生<sup>1</sup>; 日下部 哲也<sup>1</sup>  
KAME, Nobuki<sup>1\*</sup>; NAGATA, Kohei<sup>2</sup>; NAKATANI, Masao<sup>1</sup>; KUSAKABE, Tetsuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 文部科学省

<sup>1</sup>Earthquake Res. Inst., Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

Rate- and state-dependent friction law (RSF), proposed on the basis of laboratory experiments, has been extensively applied to modeling of earthquake stick-slip cycles. A simple spring-slider model obeying RSF predicts a significant decrease of the frictional strength  $\Phi$  (the state of contact) that is localized within a few years preceding the earthquake occurrence. On the other hand, recent laboratory experiments successfully monitored the history of the strength by simultaneously measuring P-wave transmissivity  $|T|$  across the frictional interface using a 1MHz transducer. This suggests a possibility of earthquake forecast by monitoring the strength of a natural fault by acoustic methods.

The present paper explores the feasibility of such monitoring in the field on the basis of the physics of RSF combined with the linear slip model (LSM) employed in the classical acoustic methodology for monitoring an imperfectly welded interface. The characteristic frequency  $f_c$ , around which  $|T|$  (or reflectivity  $|R|$ ) has a good sensitivity to the interface strength, is shown to be proportional to the strength and inversely proportional to the representative scale of real contacts. For natural faults  $f_c$  is estimated to be 1 to 100Hz, which is practicable in the field. The changes of  $|T|$  and  $|R|$  depend on the ratio of the strength drop to the absolute strength level, the latter of which is not constrained by RSF simulations. Expected changes in wave amplitude in the preslip period would be several percent for strong faults and several tens percent for weak faults, which may be detectable by acoustic methods such as seismic reflection surveys.

キーワード: 断層強度, 地震サイクル, 速度・状態依存摩擦則, 地震先行現象, 線形すべりモデル, 地震波モニタリング  
Keywords: fault strength, earthquake cycle, rate- and state-dependent friction, precursor, linear slip model, acoustic monitoring



## 台湾車籠埔断層における古応力状態の変化と半定量化 Semi-quantitative analysis of change in stress state in Chelung-pu Fault, Taiwan

橋本 善孝<sup>1\*</sup>; 戸部 航太<sup>1</sup>; 葉 恩肇<sup>2</sup>  
HASHIMOTO, Yoshitaka<sup>1\*</sup>; TOBE, Kota<sup>1</sup>; YEH, En-chao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 高知大学, <sup>2</sup> 国立台湾師範大学

<sup>1</sup>Kochi University, <sup>2</sup>National Taiwan Normal University

地震にともなう応力の変化を理解することは、地震の規模や性質を理解する上で重要である。台湾チェルンブ断層では1999年に発生した集集地震の詳細な地震波記録がとられ、地震直後に Taiwan Chelung-pu Fault Drilling Project(TCDP)による掘削が行われている。世界でもこのような断層は稀である。本研究の目的は、チェルンブ断層から得られた構造データを用いて、小断層に記録されている過去の応力状態を推定し、地震と応力の関係を時空間的に検討することである。地震後の応力状態は TCDP によって得られているが、地震前あるいは地震時の応力状態は地質学的な情報に保存されていることが期待できる。TCDP による掘削は 40m 間隔を空け 2 箇所で行われており本研究ではホール A のコアを対象としている。得られたコアの範囲は深度 400m から 2000m までである。地震断層は深度およそ 1120m で確認された。コアの観察から、ほぼ全域に渡って小断層やオープンクラック、断層岩等の変形構造が確認された。このうち小断層面上のスリッケンラインのレイクとスリッケンステップからスリップデータを得た。スリップデータの数 は 195 個である。また、コアと比較するために地表の露頭から小断層のスリップデータを測定した。調査地点は 2 地点あり、TCDP 掘削地点からおおよそ 2km 程度傾斜方向西方に離れている。岩相は主として灰色の頁岩からなる。スリップデータの数 は 146 個である。

小断層解析には多重逆解法 MIM (Yamaji et al., 2000) と k-means clustering (Otsubo et al., 2006) を使用した。小断層解析の結果、コアと地表からそれぞれ 4 つの応力解が得られた。それぞれ、コアの応力を c1-c4、地表の応力を s1-s4 とし、 $\Phi = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)$  で表される応力比の小さいものからナンバリングした。解析の結果得られた応力解がどのような応力状態を取るかを推定するため Anderson の断層運動論に従って stress polygon を描き、解析の結果得られた応力解を SHmax、Shmin、SV の 3 成分に分解することで stress polygon に投影した。投影した結果 c1 と c3 は SHmax、Shmin がともに比較的小さい範囲にあり、c1 が正断層型、c3 は全ての断層運動タイプをとり得る範囲を示した。c2 は c1 と c3 に比べて SHmax、Shmin がともに大きい範囲にあり、逆断層型を示した。c4 は stress polygon に投影することができなかった。c1 と c3 は Lin et al. (2007) で示されている地震後の現在の応力状態と調和的な結果となり、c2 は集集地震時にチェルンブ断層が逆断層成分の滑りをしていたことと調和的な結果となった。この応力状態の違いは地震サイクルに伴う応力状態の変化を表している可能性がある。地表の結果では s1 と s3 は SHmax、Shmin がともに比較的小さい範囲にあり、s1 は正断層型、s3 は正断層型と横ずれ断層型の応力状態をとった。s2 は stress polygon に投影することができなかった。s4 は s1、s3 に比べて大きい SHmax、Shmin の範囲にあり、逆断層型であった。地表でも同様に地震サイクルに伴う応力状態の変化と見られる結果が得られた。これらを地震前後の応力とし応力降下量を計算すると、コアでは最大 13.71MPa、地表では 0~0.08MPa 程度となった。Ma et al. (2000) は地震波解析から集集地震北部大変位域の応力降下量を平均 10MPa と報告しており、おおむね一致している。

キーワード: 応力, 小断層解析, 応力解放量, チェルンブ断層

Keywords: stress, micro-fault inversion, stress drop, Chelung-pu fault

## 美濃帯チャートの透水性と続成組織

## Fluid transport property and diagenetic microstructure of chert in the Mino Belt

山口 飛鳥<sup>1\*</sup>; 谷川 亘<sup>2</sup>; 亀田 純<sup>3</sup>; 清水 麻由子<sup>4</sup>; 濱田 洋平<sup>5</sup>; 木村 学<sup>4</sup>

YAMAGUCHI, Asuka<sup>1\*</sup>; TANIKAWA, Wataru<sup>2</sup>; KAMEDA, Jun<sup>3</sup>; SHIMIZU, Mayuko<sup>4</sup>; HAMADA, Yohei<sup>5</sup>; KIMURA, Gaku<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構高知コア研究所, <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> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>5</sup> 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

<sup>1</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, <sup>2</sup> JAMSTEC/Kochi, <sup>3</sup> Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>4</sup> Department of Earth and Planetary Science, the University of Tokyo, <sup>5</sup> JAMSTEC/IFREE

Pore fluid pressure along plate boundary megathrust is controlled by both fluid supply and fluid transport property, and it affects on faulting and earthquake mechanics. In the case of subduction zones where relatively old (older than 50 m.y. in age) oceanic plate subducts, oceanic crust is covered with thick pelagic siliceous sediments composed of diatomic and/or radiolarian oozes. In the Japan Trench, Kimura et al. (2012) pointed out that the volume of dehydrated fluid during silica diagenesis from opal-A to quartz through opal-CT is significant compared to that from clay mineral (smectite-illite) transition. However, fluid transport property of siliceous sediments has not been well-understood yet. In this study we conducted both permeability measurement and microstructural/microchemical observation of bedded chert from Inuyama-section in the Mino belt, Jurassic accretionary complex in Japan, as an on-land analog of subduction zone where old oceanic plate subducts.

Initial porosity of chert samples at atmospheric pressure is 0.4 to 2.2 %. Permeability was measured at room temperature under isostatic confining pressures of 5 to 120 MPa, by the steady state flow method with nitrogen gas as a pore fluid. Water permeability was then obtained by using Klinkenberg equation. At effective pressure of 5 MPa converted water permeability is  $10^{-17}$  to  $10^{-19}$  m<sup>2</sup>, decreases with increasing effective pressure down to the ranges of  $10^{-20}$  to  $10^{-21}$  m<sup>2</sup>.

Optical and electron probe microanalyzer (EPMA) analyses show that chert is composed of radiolarian fossils filled with quartz and chalcedony, and red-colored matrix. Red matrix shows ~95 wt.% of SiO<sub>2</sub>, whereas >99 wt.% of SiO<sub>2</sub> are commonly observed from inside part of the radiolarian fossils. Such high concentration of SiO<sub>2</sub> within radiolarian fossils indicates that dissolved silica was precipitated into cavities maintained by radiolarian tests. This process would be related with silica diagenesis, occurring as dissolution-precipitation processes.

Silica mineral precipitation onto pore spaces would contribute to construct characteristic low porosity and permeability of chert. Our result shows that silica diagenesis works as not only a fluid source but also as a process for porosity/permeability reduction in convergent margins characterized by old subducting oceanic plate.

キーワード: 沈み込み帯, 続成作用, 浸透率, チャート

Keywords: subduction zone, diagenesis, permeability, chert

## 南海トラフ付加体浅部堆積物の力学的特性 Mechanical properties of the shallow Nankai Trough accretionary sediments

金川 久一<sup>1\*</sup>; 高橋 美紀<sup>2</sup>; 東 修平<sup>1</sup>; 伊東 英紀<sup>1</sup>; 井上 厚行<sup>1</sup>

KANAGAWA, Kyuichi<sup>1\*</sup>; TAKAHASHI, Miki<sup>2</sup>; AZUMA, Shuhei<sup>1</sup>; ITO, Hidenori<sup>1</sup>; INOUE, Atsuyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Chiba University, <sup>2</sup> Active Fault and Earthquake Research Center, Geological Survey of Japan

IODP 掘削地点 C0002 および C0009 において南海トラフ付加体浅部(海底下約 1000-1500 m)から採取された、砂岩、凝灰岩、シルト質泥岩および粘土質泥岩 5 試料について、室温および試料原位置相当の圧力・間隙水圧条件で、三軸圧縮・摩擦実験を行った。

上記の条件で、軸方向変位速度  $10 \mu\text{m/s}$  で三軸圧縮実験を行った結果、破壊強度は砂岩試料が約 300 MPa と非常に大きく、凝灰岩試料が 48 MPa 程度、シルト質泥岩 1 試料が 20 MPa 程度、粘土質泥岩試料が 14 MPa 程度であった。砂岩、凝灰岩、シルト質泥岩試料の破壊時間は 20 秒以内と比較的短く、一方粘土質泥岩試料は約 40 秒かかってゆっくりと破壊した。シルト質泥岩のもう 1 試料は破壊せず、15 MPa 程度の強度で延性的に変形した。砂岩試料は方解石でセメントされていて非常に硬く固結しているため、破壊強度が非常に大きかったと考えられる。一方、延性的に変形したシルト質泥岩試料は十分に固結していなかったと考えられる。粘土質泥岩試料は粘土鉱物に富む(約 42 wt%)ため強度が小さかったことに加えて、孔隙率が小さく(約 11%)透水性も低かった(約  $10^{-19} \text{ m}^2$ )ため、圧縮により間隙水圧が上昇して強度がさらに低下し、またゆっくり破壊したと考えられる。このような粘土質泥岩の破壊は、南海トラフ付加体浅部で観測されているスロースリップの発生源となっている可能性がある。

さらに、上記の条件で軸方向変位速度を 0.1, 1,  $10 \mu\text{m/s}$  の間でステップ状に変化させながら三軸摩擦実験を行った結果、これらの試料の摩擦特性が、粘土鉱物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。5 試料の粘土鉱物の含有量は、砂岩試料が約 6 wt%、凝灰岩試料が約 17 wt%、シルト質泥岩試料が 29-34 wt%、粘土質泥岩試料が約 42 wt% である。変位速度  $1 \mu\text{m/s}$  における定常摩擦係数は、粘土鉱物の含有量の増加に伴って低下し、砂岩試料が 0.87、凝灰岩試料が 0.71、シルト質泥岩試料が 0.53-56、粘土質泥岩試料が 0.25 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。全試料とも、変位速度の増加に伴って摩擦強度が増加する速度強化の挙動を示すが、定常摩擦強度の変位速度依存性に対する ( $a - b$ ) 値の割合は、粘土鉱物含有量の増加に伴って減少する。これは、粘土鉱物含有量の増加に伴って摩擦成分が低下し、流動成分が増加することを意味している。このように、南海トラフ付加体浅部の断層運動は堆積物中の粘土鉱物含有量によって支配されていると考えられる。

キーワード: 南海トラフ, 付加堆積物, 破壊特性, 摩擦特性

Keywords: Nankai Trough, accretionary sediments, failure properties, frictional properties

## 沈み込み帯浅部における断層の摩擦速度依存性 Velocity weakening behavior observed for friction of the shallow subduction zone fault material

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

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

Recent observations of slow earthquakes along faults within shallow part of subduction zones, for example the very low frequency earthquakes at the Nankai Trough [Ito and Obara, 2006; Sugioka et al., 2012], has demonstrated that faulting there is slow yet seismic; suggesting that frictional velocity dependence along the fault at the shallow portion must be negative. However, previous experimental results have repeatedly shown that velocity dependence of the expected fault zone material is generally estimated to be positive. Here, we present our recent experimental results showing that velocity dependence of the friction of the shallow subduction zone faults are not necessarily be positive.

We have performed a series of rotary-shear large displacement (>150 mm) friction experiments on the following shallow fault simulating material: clayey fault material from the shallow megasplay fault zone within the Nankai accretionary prism, input pelagic siliceous to calcareous sediments to the Costa Rica subduction zone, and simulated artificial gouge of montmorillonite/quartz mixtures (20-40 wt% of montmorillonite). Experimental results reveal that these material do exhibit velocity weakening behavior at a range of velocities from 0.003-0.3 mm/s. Velocity weakening of these material is mostly characterized by a small degree of the friction velocity dependence (the absolute value of (a-b) is typically <0.005).

The SSEs are often described as conditionally stable sliding of faults [e.g., Shelly et al., 2006]. High pore fluid pressure could alter a velocity-weakening fault with a small value of (a-b) to conditionally stable regions by reducing the effective normal stress [Scholz, 1998]. The presented velocity weakening property with a small value of (a-b) could be responsible for generating shallow slow seismic slip events in subduction zones. Textural observation reveals the importance of studying effects of both the clay content and shear-induced deformation textures on the frictional velocity dependence.

キーワード: 南海トラフ, 沈み込み帯, 摩擦速度依存性, ゆっくり地震

Keywords: Nankai Trough, subduction zone, frictional velocity dependence, slow earthquakes



## 非晶質シリカ及びカルサイトから成る断層模擬物質の摩擦特性 Frictional properties of simulated faults containing amorphous silica/calcite mixtures

並木 由香<sup>1\*</sup>; 堤 昭人<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

Various seismic behaviors such as large earthquakes, episodic slow slip events, or silent earthquakes are observed in subduction zones. Knowledge of the frictional properties of input material to subduction zones would help to understand the complicated seismic behaviors. On the Cocos plate, which subducts beneath the Caribbean Plate at Middle America Trench offshore Costa Rica, input sediments containing clay, silty clay sediments and silicic to calcareous ooze were collected during the IODP expedition 334. We have been studying the frictional properties of the collected input material to the Costa Rica subduction zone. In order to better understand frictional processes of a fault in silicic to calcareous ooze, we have performed a series of friction experiments on a simulated fault gouge containing mixtures of amorphous silica and calcite.

Frictional experiments were performed at a constant slip velocity of  $v = 0.28$  mm/s, and also under a velocity-stepping condition. The silicic to calcareous ooze sample showed the following characteristic behavior. The friction coefficients at 0.28 mm/s showed initial peaks at 0.4-0.6 and subsequent little decrease, followed by a gradual increase to attain a constant friction value at 0.6-0.8. The analogue gouge containing 40-80 wt% of calcite reproduced such frictional behavior well. The experimental samples of the input ooze material required only about 40 mm of displacement to attain constant steady-state friction level. However, the calcite/amorphous silica mixtures needed larger displacement to attain steady-state friction. Furthermore, the calcite/amorphous silica mixtures could not reproduce friction velocity dependence observed for the collected ooze samples. The result suggests the importance of studying effects of grain size distribution and the grain morphologies on the frictional properties of the silicic to calcareous ooze material.

キーワード: 沈み込み帯, 摩擦実験, CRISP

Keywords: subduction zone, frictional experiment, CRISP

## スメクタイト及びイライトの摩擦挙動の温度効果：沈み込み帯での地震発生帯の上限としての可能性

### Effect of temperature on frictional behavior of smectite and illite: Implication for the updip limit for seismogenic zone

久保 達郎<sup>1\*</sup>; 片山 郁夫<sup>1</sup>

KUBO, Tatsuro<sup>1\*</sup>; KATAYAMA, Ikuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学地球惑星システム学

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

[はじめに] 浅部の非地震発生領域と地震発生帯との境界は地震発生上限 (updip limit) と呼ばれ、津波発生に関わるなど、何がこの上限を決定しているかは防災の観点などから大変重要である。沈み込み帯における地震発生領域の上限領域は主に温度に強く依存し、150℃で起こるとされている。地震発生上限を決めている要因は諸説あるが、その中の一つにスメクタイト-イライト相転移による摩擦特性の違いによるという仮説がある。一方で、Saffer and Marone(2003)ではスメクタイト、イライトの速度依存性の詳細な実験が行われ、スメクタイト、イライトともに安定すべりをするところからスメクタイト-イライト相転移が沈み込み帯における地震発生上限となり得ないと報告した。しかし、Saffer and Marone(2003)の実験はすべて室温で行われたもので、天然の温度環境を再現しながらの実験がなされていないという問題点がある。そこで今回、広島大学理学部にある高温二軸摩擦試験機を用いて高温でのスメクタイトとイライトの摩擦挙動を調べ、スメクタイト-イライト相転移が地震発生上限になりうるかどうかの議論を行うことを目的とした。

[実験手法] 高温二軸摩擦試験機を用いて、粉末状の擬似断層物質を二つのガブロブロックの間にはさみ摩擦実験を行う double-direct shear といわれる手法をとった。垂直応力は油圧式手押しポンプで制御しながら加重をかけていき、鉛直方向(剪断方向)の加重はモーターとギアシステムを用いており、ギアシステムにより様々な速度比で減速された回転運動を、ボールネジを用いて鉛直方向の往復運動に変換することで載荷した。摩擦特性の地震性か非地震性の評価は、速度依存性の式によって行った。速度依存性は次式で与えられ：

$$(a-b)=d \mu / (d \ln V) \text{ (ただし, } a, b \text{ は摩擦パラメータ, } V \text{ は滑り速度)}$$

この、 $a-b$  が正を示せば地震性、負を示せば非地震性となることが知られており、地震性か非地震性かを知る上で重要なパラメータとなっている。摩擦強度と速度依存性を算出し、高温下でスメクタイト及びイライトが安定すべりをするか、不安定すべりをするかの評価を行った。

[結果、考察] 摩擦係数は室温で行われた先行研究と同様にスメクタイトはイライトよりも低くなる傾向が見られた。温度を上げるとスメクタイトとイライトの摩擦強度の差はわずかになるが、垂直応力が 60MPa の条件下では約 2 倍の差があり、スメクタイトはイライトに比べ歪みエネルギーを溜めにくい特性を持っていると言える。また、速度依存性については、温度の上昇により変化せず、垂直応力が 40MPa 以上の条件下では、すべり強化 ( $a-b>0$ ) の非地震性の摩擦挙動を示した。これらのことから、スメクタイトは天然の沈み込み帯における温度・圧力条件下においても非地震性の安定すべりをしていると期待される。一方で、イライトはスメクタイトに比べ大きな摩擦係数の値を示した。このことに加え、温度環境が 200℃、垂直応力が 40MPa 以上の条件下ですべり弱化(地震性)の摩擦挙動を示した。温度効果によって、天然の沈み込み帯における温度・圧力下で、地震性の不安定すべりをしている可能性があると考えられる。

Saffer and Marone(2003)の先行研究において、室温の温度環境下でイライトがすべり強化(安定すべり)したために、スメクタイト-イライト相転移による鉱物の変化が摩擦特性の変化と結びつかず、地震発生上限になり得ないと報告をした。しかし、本研究において温度を上昇させ天然の地震発生上限域の温度環境下に近い条件ではイライトがすべり弱化を示したことで、スメクタイト-イライト相転移が、十分に非地震性-地震性の変化を支配している可能性が有力であると言える。

キーワード: 地震発生帯の上限, スメクタイト-イライト相転移, 温度効果, 速度依存性

Keywords: updip limit, smectite-illite transformation, effect of temperature, velocity dependence

## 玄武岩起源断層物質の摩擦特性と海溝型地震

## Frictional properties of basalt-derived fault rocks and implications for subduction earthquakes

斎藤 翼<sup>1\*</sup>; 氏家 恒太郎<sup>1</sup>; 堤 昭人<sup>2</sup>

SAITO, Tsubasa<sup>1\*</sup>; UJIIE, Kohtaro<sup>1</sup>; TSUTSUMI, Akito<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学・生命環境, <sup>2</sup> 京都大学・理学

<sup>1</sup>Life and Env. Sci., Univ., Tsukuba, <sup>2</sup>Sci., Kyoto Univ.

近年の南海トラフをはじめとする沈み込み帯における反射法地震探査結果は、海溝型地震震源域の大部分が海洋地殻上部の玄武岩にあることを示唆しており (Bangs et al., 2009 など)、海溝型地震の発生過程を理解するうえで、玄武岩は鍵となる物質であると考えられる。しかし、これまで玄武岩の摩擦特性を検討した研究はほとんどない。四国東部に分布する四万十付加体上部白亜系牟岐メランジュでは、底付け付加に伴うデュプレックス構造形成によって、玄武岩とテクトニックメランジュがスラストにより複数回繰り返す (Ikeshawa et al., 2005)。スラストは玄武岩中に発達しており、ウルトラカタクレーサイト、面状カタクレーサイトなどで構成され、ウルトラカタクレーサイトからは断層物質の流動化 (fluidization) や摩擦発熱による鉱物変化など地震性すべりの証拠が報告されている (Ujiie et al., 2007; 2008; Kameda et al., 2011 など)。本研究では、ウルトラカタクレーサイト、面状カタクレーサイト、及びそれらの母岩である枕状玄武岩から採取した試料を用いて、含水条件下ですべり速度 0.0028-2.8 mm/s 下での摩擦の速度依存性と高速 (1.3 m/s) 摩擦特性を検討した。実験の結果、摩擦の速度依存性は、枕状玄武岩起源のガウジで速度弱化、ウルトラカタクレーサイト、面状カタクレーサイト起源のガウジで速度強化の挙動を示した。一方、高速摩擦実験ではすべての試料がピーク摩擦から 0.1-0.2 への定常摩擦へと至るすべり弱化の挙動を示すが、ウルトラカタクレーサイト起源のガウジは、応力降下量、すべり弱化距離、破壊エネルギーが枕状玄武岩や面状カタクレーサイト起源のものとは比べ顕著に小さいという結果が得られた。XRD 解析と微細構造観察の結果、速度弱化を示した試料は粘土鉱物に乏しく (21 wt.%)、粉碎に伴う粒子の細粒化が見られた一方、速度強化の挙動を示した試料は粘土鉱物により富んでおり (29-50 wt.%)、せん断帯に沿った粘土鉱物の配列が認められた。これらの結果は、海洋地殻を構成する枕状玄武岩は不安定すべりの発生ポテンシャルを有するが、断層岩形成に伴ってすべりが安定化することを示唆する。これは、断層運動に伴う粘土鉱物の配列や、熱水変質の進行に伴う粘土鉱物の含有量増加に起因しているのかもしれない。高速摩擦実験の結果は、ウルトラカタクレーサイトにおいて、地震破壊が伝播しやすいことを示している。このことは、ウルトラカタクレーサイトにおいて地震性すべりの痕跡が認められることと調和的である。

キーワード: 海溝型地震, 玄武岩, 摩擦速度依存性, 高速摩擦

Keywords: subduction earthquakes, basalt, frictional velocity dependence, high velocity friction

## 粘土鉱物の湿式および乾式粉碎による非晶質化 Amorphization of clay minerals by wet and dry grinding

藤本 光一郎<sup>1\*</sup>; 福地 里菜<sup>2</sup>

FUJIMOTO, Koichiro<sup>1\*</sup>; FUKUCHI, Rina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京学芸大学, <sup>2</sup> 東京大学理学系研究科

<sup>1</sup>Tokyo Gakugei University, <sup>2</sup>Tokyo University

Nanoparticles in fault zones are recently paid much attention since they give significant influences on the frictional properties (Ma et al., 2006). Nanoparticles are considered to be formed not only by mechanical grinding but also by mechanochemical processes. Amorphous nanoparticles were found in Iida-Matsukawa fault, Central Japan (Ozawa and Takizawa, 2007). It is well known that clay minerals are easily transformed into amorphous phase by mechanochemical processes. We conducted pulverization experiments of some clay minerals under both dry and wet conditions to clarify the characteristics of the pulverized materials and the mechanism of amorphization.

We used kaolinite saponite and sericite as starting materials. Pulverization experiments were conducted using planetary ball mill and characterization of run products were conducted by XRD, FT-IR, TG-DTA and FE-SEM. Three minerals were completely transformed into amorphous materials by dry grinding. XRD peaks were weakened but still remain after one day wet drying as for kaolinite and sericite. On the contrary, as for saponite, XRD peaks do not show remarkable change under wet condition. Probably amorphization rate is reduced because impact energy in the ball mill is decreased in the presence of water. Presence of interlayer water affects on the behavior of saponite.

キーワード: 粘土鉱物, カオリナイト, セリサイト, サポナイト, 非晶質

Keywords: clay minerals, kaolinite, sericite, saponite, amorphous



## 地震発生帯の流体の化石としての流体包有物, その捕獲メカニズムと断層科学への解釈

### Fluid inclusion as fossil fluid in seismogenic zone, trap mechanism and interpretations for fault science

坂口 有人<sup>1\*</sup>; 柳澤 和道<sup>2</sup>

SAKAGUCHI, Arito<sup>1\*</sup>; YANAGISAWA, Kazumichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 山口大学大学院・理工学研究科/海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 高知大学・総合科学系

<sup>1</sup>Yamaguchi Univ./JAMSTEC, <sup>2</sup>Kochi Univ.

A fluid inclusion, fluid-fill capsule within rigid crystal, preserves density and chemical composition of fluid in deep crust. This records pressure, temperature and other information of the fluid when the fluid trapped. Pore fluid pressure drop due to rapid fluid ejection along the fault was discussed in Kodiak accretionary complex (Vrolijk et al., 1988). CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O fluid inclusions are reported at pseudotachylyte bearing Nobeoka Thrust, Shimanto accretionary complex (Kondo et al., 2005). Thermal stretching of fluid inclusions due to seismic frictional heating were found at seismogenic Mugi Melange, Shimanto accretionary complex (Ujiie et al., 2008). Though fluid inclusion tells us fluid condition in deep crust, trapping mechanism within crystal is still uncertain. The fluid inclusion is one of crystallographic defect, but general size from sub-micron meter to several mm is much greater than crystal lattice. A crystal tend to growth without large defect, and it seems irregular process to be formed a fluid inclusion. The trap mechanism is significant to interpret the fluid inclusion data.

We succeeded to make artificial fluid inclusion in calcite during hydrothermal experiment. A calcite crystals are nucleated and grown with temperature decrease in autoclave. Fluid inclusions were never formed in simple cooling procedure, but many large fluid inclusions were found at the overgrowth zone formed by re-heating process. Surface condition of artificial calcite of re-heating and overgrowth process were observed using SEM. Etched pattern covers the surface of re-heated calcite crystal. Some depressions are wide shallow and others are small deep. Many growth steps were found on surface of over-growth calcite. The calcite surface may have been advanced with lateral motion of growth steps. This growth step covers most of the etched depressions except small deep one. These small deep depressions are surrounded by new grown surface and became increasingly deep. Some depressions may make large pore within overgrowth zone in this process.

This observation shows that the fluid inclusion were made during overgrowth after surface etching, and this requires temporary solubility change in crystal growth process. The fluid inclusions may record pore-fluid condition after the event of pressure, temperature and/or chemical change in deep crust.

Keywords: Fluid inclusion, trap mechanism, artificial calcite

## 地震発生深度における新しい流体移動メカニズム New fluid flow mechanism at seismogenic depth in subduction zone

岳 孝太郎<sup>1\*</sup>  
TAKE, Kotaro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 山口大学地球圏システム科学科  
<sup>1</sup>Dept. of Geosphere, Yamaguchi Univ.

Since pore fluid pressure may concern with seismogenesis, large amount of articles are published for fluid flow research, and -previous researches have been focused only crack flow in deep crust. In general, a pore between sedimentary grain decreases with depth, and fluid flows only within crack in deep crust. This study shows new fluid flow mechanism that doesn't depend on crack in the rocks. This produces new perspective of fluid flow of seismogenic depth in subduction zone.

The Shimanto accretionary complex at SW-Japan, formed at seismogenic depth suffers pressure solution deformation and generally includes brittle failure of web structure and crack-filled veins. The carbonate matrix is lacked in the sediments due to deposition below CCD.

Some sandstones in the late Cretaceous Nonokawa Formation, includes spotted carbonate deposit. This carbonate deposit occurs limited area less than several meters square within sandy layer without crack-filled vein. Microscopic observation shows following features as below.

The spotted carbonate minerals overprint with embayment structure in pressure-solution deformed sandy grains, and these are cut by web structure and crack-filled veins. The fluid may have dissolved the sandy grains, and carbonate minerals were deposited at latest stage of lithification process between pressure solution deformation and brittle failure. These occurrences suggest that fluid can flow with dissolution of rock-forming grains in rigid crust without crack.

キーワード: 流体移動, 付加体  
Keywords: fluid flow, accretionary complex

## 化石巨大分岐断層における高温流体発生の痕跡とその空間的分布 Generation of high-temperature fluid and its spatial distribution in an ancient megasplay fault

増本 広和<sup>1\*</sup>; 廣野 哲朗<sup>1</sup>; 石川 剛志<sup>2</sup>; 谷川 亘<sup>2</sup>; 向吉 秀樹<sup>3</sup>

MASUMOTO, Hirokazu<sup>1\*</sup>; HIRONO, Tetsuro<sup>1</sup>; ISHIKAWA, Tsuyoshi<sup>2</sup>; TANIKAWA, Wataru<sup>2</sup>; MUKOYOSHI, Hideki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構高知コア研究所, <sup>3</sup> 早稲田大学教育・総合科学学術院  
<sup>1</sup>Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University, <sup>2</sup>Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Faculty of Education and Integrated Arts and Sciences, Waseda University

四万十付加体久礼地域には、かつて海底下 2.5 – 5.5 km で活動したとされる化石巨大分岐断層の露頭が存在し、先行研究によって、シュードタキライトの産出や 350 °C に達する高温流体の発生と摩擦熔融による不適合元素の濃集が報告されている。しかし、これらの結果は局所的な試料採取によるものであり、露頭全体のスケールにおいて、シュードタキライトや高温流体の痕跡がどのように分布しているのかは未だ明らかにされていない。また、現在のプレート境界断層および巨大分岐断層において、地震時に高温流体が一樣に発生し、thermal pressurization が大規模に起きうるかどうかを理解するためには、化石巨大分岐断層における高温流体発生の痕跡とその空間的分布の情報が極めて重要である。そこで、本研究では、露頭における変形構造解析、広範囲サンプリングによる試料採取 (全 46 試料)、ビトリナイト反射率測定、粉末 X 線回折 - RockJock による鉱物組成定量分析、微量元素分析を実施した。その結果、スリップゾーンの黒色ガウジには高温流体の痕跡が再確認されたが、そこに近接する下盤の砂岩には石英の増加や希土類元素濃度の減少などが明らかになった。これらの変化は、スリップゾーンで発生した高温高压の流体が、ある程度、周囲の母岩に浸透し、元素移動を生じさせたことを意味するかもしれない。

キーワード: 南海トラフ, 巨大分岐断層, 四万十付加体, 断層岩, 流体岩石相互作用, X 線回折

Keywords: Nankai trough, megasplay fault, Shimanto accretionary complex, fault rocks, fluid-rock interactions, X-ray diffraction

## 沈み込み帯化石分岐断層における multiple damage zone system について Multiple damage zone system of an exhumed subduction zone megasplay fault

浜橋 真理<sup>1\*</sup>; 川崎 令詞<sup>1</sup>; 福地 里菜<sup>1</sup>; 斎藤 実篤<sup>2</sup>; 橋本 善孝<sup>3</sup>; 濱田 洋平<sup>2</sup>; 北村 有迅<sup>4</sup>; 山口 飛鳥<sup>1</sup>; 木村 学<sup>1</sup>  
HAMAHASHI, Mari<sup>1\*</sup>; KAWASAKI, Ryoji<sup>1</sup>; FUKUCHI, Rina<sup>1</sup>; SAITO, Saneatsu<sup>2</sup>; HASHIMOTO, Yoshitaka<sup>3</sup>; HAMADA, Yohei<sup>2</sup>; KITAMURA, Yujin<sup>4</sup>; YAMAGUCHI, Asuka<sup>1</sup>; KIMURA, Gaku<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 高知大学, <sup>4</sup> 鹿児島大学

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Kochi University, <sup>4</sup>Kagoshima University

More than 90% of the major earthquakes and tsunamis are known to occur at plate convergent margins, along plate boundary faults and megasplay faults. Investigating the mechanical properties and deformation patterns of these megathrusts are important to understand the generation of earthquakes and the dynamics on the subduction plate interface. Large displacement faults contribute to the reduction of steady-state strength at mid-crustal levels, and cause the frictional-viscous deformation at depth. As the candidate for such weak faults, foliated, phyllosilicate-rich fault rocks have been prevalently recognized in many tectonic settings. However, whether foliated fault rocks behave as weak structures in the longer terms and their roles in the strain localization and fault evolution, are poorly understood.

Exhumed fault zones are helpful to constrain fault strength and deformation process of foliated cataclasites formed at upper-midcrustal depths over geological time. One of the well-studied exhumed major fault zones in subduction settings is the Nobeoka Thrust, a fossilized megasplay fault in Kyushu Shimanto Belt, southwest Japan, which exposes foliated fault rocks that were formed under the temperature range of ~180-350 °C (Kondo et al., 2005). During the Nobeoka Thrust Drilling Project in 2011, core samples were retrieved containing both consolidated fault rocks and less consolidated, brecciated fault rocks, preserved from surface weathering and less likely to be drilling-induced. The core samples are expected to provide a different aspect on fault rock strength from previous geological studies on exposed, consolidated outcrops. In the current study, given the unique opportunity to determine the coexistence of cohesive and less cohesive fault rocks in a single fault system, we conduct macroscopic and microscopic structural observation and physical property measurements on the core samples, synthesizing with geophysical logs obtained from the drilling of the Nobeoka Thrust to characterize the damage zone architecture of the fault rocks formed in the frictional-viscous regime along the megasplay fault.

The hanging wall consists of the shale-dominant intervals of dense development of phyllitic cleavages, the sandstone-dominant intervals of disturbed foliations, and the damage zone above the fault core characterized by cataclastically broken phyllite with thick abundant sandstone blocks. The observed density of brittle fractures, breccias, and mineral veins is increased at the sandstone-dominant intervals and near the fault core, whereas brecciated and less brittle/ductile structures are abundant within the shale dominant intervals. The brittle deformation near the fault core may have caused the wearing away of the shale-rich zones by abrasion, and as a result, the sandstone-rich zones that have relatively larger strength, remained and deformed cataclastically near the fault core. On the other hand, the footwall in the drilled range consists of six sets of fracture zones, all of which include a "brecciated zone" intensively broken in the center, sandwiched by a "surrounding damage zone" with abundant cohesive faults, mineral veins, and sandstone blocks. The surrounding damage zone is characterized by the increase in fault and fractures with distance from the fault core, and interestingly associate with the increase in resistivity, P-wave velocity, and density and decrease in porosity. The deformation in the surrounding damage zone is inferred to occur in a strain-hardening manner, strengthening with distance from the fault core. Shear localization may initiate more easily in the sandstone-rich area later forming the surrounding damage zone, and eventually develop an intensively deformed fault core in the center. These insights would enable to reinterpret the deformation processes and weakening mechanisms that occur in foliated fault rocks along the megathrust in subduction zones.

キーワード: 沈み込み帯, 巨大分岐断層, 岩石物性, 断層帯, 構造観察, 変形破壊

Keywords: subduction zone, megasplay fault, physical property of rock, damage zone, structural observation, rock deformation



## 延宝五年十月九日(1677-XI-7)房総沖地震津波の被災範囲 Damaged coasts of the tsunami of the Enpo Boso-Oki Earthquake of November 7, 1677

矢沼 隆<sup>1\*</sup>; 都司 嘉宣<sup>2</sup>; 平畑 武則<sup>1</sup>; 馬淵 幸雄<sup>3</sup>; 大家 隆行<sup>3</sup>; 岡田 清宏<sup>3</sup>; 今井 健太郎<sup>4</sup>; 岩渕 洋子<sup>5</sup>; 今村 文彦<sup>4</sup>  
YANUMA, Takashi<sup>1\*</sup>; TSUJI, Yoshinobu<sup>2</sup>; HIRAHATA, Takenori<sup>1</sup>; MABUCHI, Yukio<sup>3</sup>; OOIE, Takayuki<sup>3</sup>; OKADA,  
Kiyohiro<sup>3</sup>; IMAI, Kentaro<sup>4</sup>; IWABUCHI, Yoko<sup>5</sup>; IMAMURA, Fumihiko<sup>4</sup>

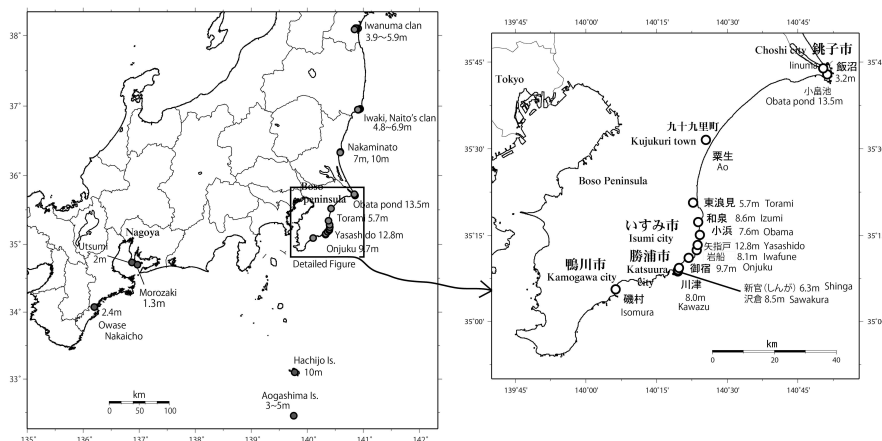
<sup>1</sup>(株)パスコ, <sup>2</sup>深田地質研究所, <sup>3</sup>パシフィックコンサルタンツ(株), <sup>4</sup>東北大学災害科学国際研究所, <sup>5</sup>原子力安全基盤機構

<sup>1</sup>Pasco., <sup>2</sup>Fukada Geolog. Inst., <sup>3</sup>Pacific Consultant, <sup>4</sup>IRIDeS, Tohoku Univ., <sup>5</sup>JNES

江戸時代前半の延宝五年十月九日(1677-XI-7)の夜五ツ時(20時頃)に房総沖海域に発生した地震は、揺れによる被害は起きていない。また有感地震の範囲は、房総半島と江戸に限られる。このように地震の揺れが小さかった割に津波被害が大きかった。この津波による最大被災地となったのは房総半島の勝浦・銚子間であった。江戸時代初期の幕府の根本史料の一つである『玉露叢』に房総半島の津波被害の詳細が記録されている。現在の勝浦市域にある川津村で倒家19軒、死者3人、沢倉村では倒家11軒、死者2人、新官村では倒家17軒、死者2人の津波被害を生じた。流失家屋が総家屋数の10%かそれ以上生じた場合、その場所の地上冠水厚さは2.0mと推定されることから(羽鳥、1984、越村ら、2009など参照)、この3村での津波浸水高さはそれぞれ8.0m、8.5m、6.3mであった。御宿浦はこれら3村より被害が大きく、倒家30軒で63人もの死者を生じた(津波高9.7m)。現在はいすみ市に属する岩船も津波被害が大きく倒家40軒に対して死者57人を生じた(8.1m)。矢指戸(やさしど)は現在でも総戸数30戸ほどの小集落である。ここで、倒家25軒、溺死13人が記されている。ほぼ、集落全体の全戸消滅に近い(12.8m)。一宮町東浪見(とらみ)は、倒家50軒で97人もの死者を出した最大被災地の一つであるが、この現地文書には「潮は権現堂前まで」とあり、この地点の標高を測定して5.7mの浸水高を得た。銚子市の小島池には外洋から津波によって海水が浸入したとされる。外洋と池を隔てる峠部の標高から13.5mを得た。この津波の特徴は、被害が房総半島からみて遠方にまで及んでいることである。福島県いわき市で4.8~6.9m、宮城県岩沼でも3.9~5.9mの浸水高さがあつた。八丈島では島の南西海岸の八戸(やと、現在の八重根港の集落)で居住地の被害を生じており、筆者の一人である今井の現地調査により約10mに達したと推定される。津波は西方にも遠く伊勢湾の知多半島にまで及んでいる。すなわち南知多町内海では『柳営日記』に「内海浦にて漁船廿四、五艘破船つかまつり」と記され、ここで2m程度の水位上昇があつたと推定される。さらに知多半島先端の師崎(もろざき)でも、「九日夜尾州知多郡師崎浦江高潮十四五度差引有之」と記され、この「高潮」を天文潮位の満潮の潮位と理解して1.3m(TP)の津波であつたと判断される。津波は紀伊半島の尾鷲に及んでいる(『見聞闕疑集』)。この文から尾鷲は居住地に浸水したと判断され、津波浸水標高は2mとする。本研究は、(独)原子力安全基盤機構からの委託業務「平成25年度津波痕跡データベースの高度化ー確率論的津波ハザード評価に係る痕跡記録の調査および波源モデルのデータベース化」(代表:東北大学 今村文彦)の成果の一部として行われたものである。

キーワード: 歴史地震, 歴史津波, 房総沖地震, 首都圏, 伊勢湾, 紀伊半島

Keywords: historical earthquake, historical tsunami, the 1677 Boso-Oki earthquake, metropolotan area, Ise bay, Kii peninsula



## 1703 年元禄地震に伴う地盤変動：東京湾沿岸域の隆起・沈降 Crustal movement associated with the 1703 Genroku earthquake

中西 一郎<sup>1\*</sup>  
NAKANISHI, Ichiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 理学部 地球物理学教室  
<sup>1</sup>Dept. Geophysics Kyoto University

元禄地震（元禄 16 年 11 月 23 日；1703 年 12 月 31 日）による東京湾沿岸での地盤変動を推定することを目的として、当時開発された新田及び塩田に関する史料の調査を行った。神奈川県、千葉県については関連史料を得ることができたが、東京都については発見していない。

神奈川県に関しては、東京湾入口から東京湾西岸に開発された 4 新田又は塩田史料が得られた。史料の概要を南から北に向けて、以下に示す。

○内川新田（1660 年完成）（横須賀市）。元禄地震から 9 年後に書かれた。  
「乍恐以返答書申上候事」（正徳二年六月）（1712 年）（横須賀市蔵）の記述を示す。  
（前略）然所拾ヶ年以前未ノ年大地震より以来右之場所干かたニ罷成候（後略）。  
この地域（浦賀水道西岸）が隆起したことを示している。

○泥亀新田（1668 年完成）（横浜市）。元禄地震の 1 年後に書かれた。  
「可納申御年貢割付」（宝永元年十月）（1704 年）（神奈川県立金沢文庫蔵・永島家文書）の記述を示す。  
（前略）去未地震潮入取米なし（後略）。  
この後に書かれた史料によると、この状態は長期間続いた。

○吉田新田（1667 年完成）（横浜市）。元禄地震から 8 年後に書かれた。  
「乍恐書付を以御訴訟申上候」（宝永七年二月）（1710 年）（吉田家文書）の記述を示す。  
（前略）八年以前未之年地震津浪二吉田新田潮留堤震崩  
（中略）地震以来亡所同前二罷成り候間（後略）

○大師河原新田・塩田（1695 年完成）（川崎市）。地震後 50 年経って書かれた。  
「一札之事」（宝暦四年二月）（1754 年）（川崎市立中原図書館蔵・池上家文書）の記述を示す。  
（前略）先年地震変地仕御運上御免之場所二御座候所（後略）。

千葉県に関しては、東京湾最奥に位置する行徳塩田に関する史料を示す。中世から続く歴史のある塩田であり、江戸幕府に引き継がれた。

○行徳塩田（？～1624 年）（市川市）。  
書かれた年月は不詳である。記載中の年号に寛延三年があり、元禄地震後約 50 年後に書かれたものと推定される。  
「行徳領塩浜由来書」（国文学研究資料館蔵）の記述を示す。  
（前略）元禄十六年未年十一月廿三日夜大地震平岡三郎右衛門様御支配之節二而  
地形より下ヶ塩浜海面塩除堤保チ不申荒浜致出来候（後略）。  
地面が下がり、塩浜が海になったと書かれている。

東京都、特に江東区には、元禄地震前に多くの新田が開発されたが、地震に関連する史料はまだ見つかっていない。また行徳塩田以東の新田・塩田についても調査を続けて行く必要がある。

キーワード: 元禄地震, 東京湾, 地盤変動  
Keywords: 1703 Genroku earthquake, Tokyo Bay, crustal movement

## 宝永地震の津波の再現—東日本大震災を参考に広い海底面隆起域が時間的に変動した場合

### A Reproduction of 1707 Hoi Tsunami with long rupture duration, referring to 2011 East Japan Pacific Ocean Earthquake

松浦 律子<sup>1\*</sup>; 安重 晃<sup>2</sup>; 庄司 正弘<sup>2</sup>

MATSU'URA, Ritsuko S.<sup>1\*</sup>; ANJU, Akira<sup>2</sup>; SHOJI, Masahiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (公財) 地震予知総合研究振興会地震調査研究センター, <sup>2</sup> (株) 構造計画研究所

<sup>1</sup>ADEP, ERC, <sup>2</sup>Kozo Keikaku Engineering Inc.

#### 1. 宝永地震について

1707年宝永地震は、伊豆半島以西の太平洋岸で広域に津波被害を与えた江戸時代で最大の地震であった。これまで宝永地震には、安政東海地震と安政南海地震とで破壊した領域が、非常に短時間の間に引き続いて発生したという説 [e.g. 宇佐美 (2003)] や、安政の二地震の領域が一度に破壊した、謂わば“アスペリティ連動地震”という説 [e.g. Ishibashi (2004)] があったが、安政の二地震から類推できる地震という扱いを受けてきたようである。最近詳細な史料の検討によって明らかになった震度と地殻変動、津波到達時間とからは、宝永地震がその震源域の東端と西端とでは安政の二地震とは重ならず、従来言われてきたような駿河湾内や足摺岬の下は震源域に含まれず、江戸時代の“西日本太平洋沖地震”とも言うべき、別格の超巨大地震であったことが判ってきた [e.g. 松浦 (2012)]。

一方、津波波高から宝永地震を検討すると、相田 (1981) は足摺沖に他より二倍のすべり量を設定し、Furumura et al. (2011) は日向灘まで震源域を拡大して、西日本各地の高い津波を説明するのに苦労している。宝永地震の津波を再現できる波源を追求する際に重要なのは「震源域の設定範囲」や、「すべり量」では無さそうである。これまでの M8 クラス以下の地震の解析と同様に、半無限弾性体中の矩形断層による地表面の地殻変動の理論計算プログラム [e.g. Sato and Matsu'ura (1973)] を用いて、瞬時に波源全域の海底が永久変位の値に変形して津波が発生する、という前提で計算する従来手法を、M9 に近い超巨大地震に適用するために生じる「手法の限界」が影響しているのではないだろうか。矩形の逆断層による理論地殻変動は、震源域の縁が特異点となるので、M9 地震では震源域の端が陸に近くなって計算手法由来のモデル化誤差が当然大きくなる。海溝近くの浅い部分も震源域になれば、弾性定数が大きく異なる深部と物性を変えずに地殻変動を計算することによる「設定モデルの乖離」も加わる。

#### 2. 用いた方法

そこで、我々はまず断層面でのすべりから海底変形を出すことを棚上げして、宝永地震の津波を説明可能な海底の時間変化する変動量分布の例を求めることにした。そのために、宝永地震と同じように広範囲に大津波をもたらした東日本大震災の場合で、手法の妥当性を吟味した。参考として、Saito et al. (2011) が求めた東日本大震災の海底面変動量を、最終変動値として、既知の震源から破壊が伝播し、GPS 観測で捉えられた 20 秒の変動停滞の後に、再び破壊が広がるモデルを計算した。「地震発生の物理」を考慮して、変動は破壊フロントが到達した時点から、変形域の縁に破壊が到達するまで、全ての点が動き続ける設定とした。このような計算によっても、大きい隆起域と岩手沖に角のように飛び出た部分に隆起をおけば、GPS プイなど沿岸から離れた津波観測波形を再現できることが確認できた。

#### 3. 宝永地震の津波計算結果

そこで、松浦ら (2011) の宝永地震の震源域モデルの範囲を隆起域として、同様に破壊に要する時間を考慮した津波計算を行った。計算には、現在の海底地形から、例えば大阪付近の計算には、関西空港や天保山のような明らかに宝永以降の埋め立て地や、大和川が運んだ堺沖の堆積物の埋積部分等を取り除く、など当時の地形に近づける工夫をした。破壊開始点を、銭洲近くと、熊野灘付近とに変えてみたが、津波の傾向に大きい変化は見られず、歴史地震の津波高という、大まかなデータから破壊開始点を特定することは、少なくとも宝永地震に関しては無理なようである。今回のような概略モデルによっても、十分大阪市中の堀川への浸水や、大分県間越への浸水などが再現できた。巨大津波をシミュレーションする際には、現在津波計算に標準で利用されている 40 年も前の「半無限弾性体中の矩形断層による地殻変動の理論式」ではなく、現在手軽に高機能な計算機が使える状況を活かした方式に、そろそろ切り替えるべきではないだろうか。

キーワード: 1707 年宝永地震, 2011 年東北太平洋沖地震, 矩形断層モデル, 超巨大地震の津波計算, 歴史地震

Keywords: Hoi Earthquake in 1707, East Japan Pacific Ocean Earthquake in 2011, rectangular source fault model, huge tsunami, historical earthquakes



## 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://global.jst.go.jp/detail.php?GLOBAL\\_ID=201202271822634851](http://global.jst.go.jp/detail.php?GLOBAL_ID=201202271822634851)
- (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)/三陸における再発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/11seikahokoku/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 道(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/SSU2004年大会  
<http://unit.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(Mj8.0)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/EIC.Notes/030926.html>
- (9) 泉紀明・堀内大嗣・西澤あずさ・木戸ゆかり・中田高・後藤秀明・森田満久・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  
/海保海洋情報部/研究報告第46号 Noriaki IZUMI, et al.(2012)/3D bathymetric image along the Japan Trench based on 150 meter grid DEM/JHOD/JCG  
<http://www1.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震源機構の変化/北大/地球物理学研究報告  
Tohoku 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・馬場聖至・笠谷貴史(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/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/j/about/press\\_release/20131008\\_2/](http://www.jamstec.go.jp/j/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/gaikyo/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/gaikyo/index.html#monthly>

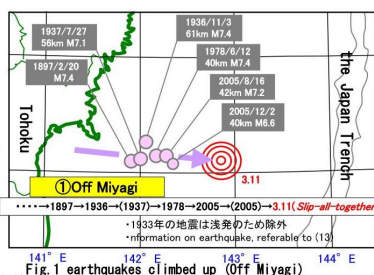


Fig.1 earthquakes climbed up (Off Miyagi)

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

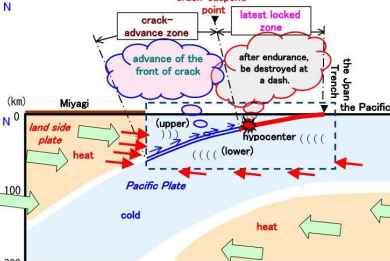


Fig.2 Model cross section intersecting squarely in the Trench and crossing over Miyagi

## Explanatory notes

$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
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。この地震の直後には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 Vp/Vs 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ァイルから、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  $0.9\text{--}1.5\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  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.

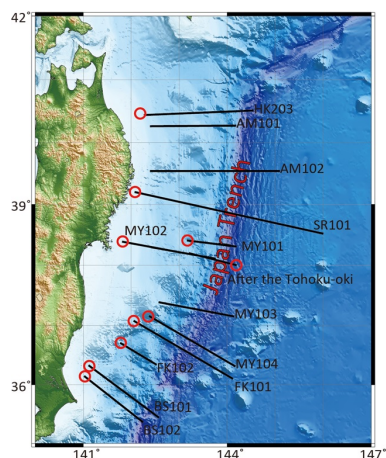
From the Critical State Theory, the value of  $\omega$  (angle between the basal decollement and backstop interface) becomes smaller toward the north. The results of CS show the increase of the  $\omega$  associate with the increase of the  $\mu_b'$ , suggesting that strain energy is more stored toward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

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学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、測地学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 Kiho<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, Kiho<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>; UJIE, Kohtaro<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「かいれい」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, Mitsuhiro<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ることができる。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ジリ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ジリ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も疑問がある。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 (断层面) 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  $\mu\text{m/s}$  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、地震発生の物質的な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およそ 53 – 77 % に変化し、P 波速度はおおよそ 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 UnitII 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