

## 自由振動によるアフタースリップの検出 Afterslip detection from normal-mode data

谷本 俊郎<sup>1\*</sup>, シン チェン<sup>2</sup>  
Toshiro Tanimoto<sup>1\*</sup>, Chen Ji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学理学系研究科地球惑星科学科, <sup>2</sup> カリフォルニア大学サンタバーバラ校

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, <sup>2</sup>Department of Earth Science, UCSB

Afterslips of large earthquakes from the analysis of normal modes may provide useful information for earthquake source process as its frequency band fills the gap between geodetic data and higher-frequency (> 3 mHz) seismic data. Recent large earthquakes, such as the 2010 Chilean earthquake (M=8.8), the 2004 Sumatra earthquake (M=9.3) and the 2005 Nias (N. Sumatra) earthquake (M=8.6), provide us historically unparalleled opportunities to test such an idea because of availability of broadband seismic instruments.

In this study, we focus on amplitudes of multiplets between 0.2 and 1.85 mHz. There are 20 spectral peaks in this frequency range, some of which are simple multiplets like 0S2 and 0S3 but others consist of more than one multiplet like 1S3+3S1 and 2S5+1S6. Amplitudes of these peaks are the basic information of our approach. We first calculate synthetic seismograms for these peaks and calculate amplitude ratios between data and theory. These ratios as a function of frequency give us insight into the existence of possible afterslips (or multiple sources). If we compute modal amplitude ratios for the 2004 Sumatra earthquake, the amplitude ratios of data to synthetic spectra for the CMT solution is about 2.5 at about 0.3 mHz, i.e. 0S2 (Stein and Okal, 2005). The ratios at frequencies of twenty spectral peaks show systematic, decreasing trend toward 1 at about 2 mHz. The ratio of 1 indicates that the CMT solution is a good solution for seismic data for frequencies higher than 2 mHz.

Application of our technique to the 2010 Chilean earthquake shows that the modal amplitude data are mostly explained by the Global CMT solution with the exception of about 10 percent moment deficit. Amplitude ratios for the CMT solution are about 1.1 at lower frequency end (0.3 mHz). If we search for an additional source to improve the fit these ratios, we get a solution with the moment of about 11 percent of the CMT solution ( $M_0=1.84 \times 10^{29}$  dyne cm) and the source duration of 80 seconds.

For the N. Sumatra earthquake (Nias) in 2005, the afterslip must have the moment approximately 20 percent of the CMT solution with the rise time of about 100 seconds, although constraints on rise time is not tight.

For the Sumatra-Andaman earthquake in 2004, we modified Tsai et al.'s (2005) five point-source solution and were led to the sixth solution that indicated slow afterslip in the northern part of the Andaman arc.

Somewhat unusual results were found for the 2001 Peru earthquake and the 2003 Tokachi-Oki earthquake with no requirement for afterslips. As we know the Tokachi-oki earthquake had afterslips, derived from geodetic data, we must conclude that the afterslip for the Tokachi-oki earthquake occurred very slowly, meaning that the slip was so slow that it did not excite normal modes in the range 0.3-3 mHz.

We will discuss the details of our approach, the underlying assumptions and results for afterslips of large events ( $M_w > 8.0$ ) in the past decade.

キーワード: 自由振動, 震源過程, アフタースリップ

Keywords: normal mode, source process, afterslip

SSS035-02

会場:国際会議室

時間:5月23日 16:45-17:00

## ALOS/PALSAR ScanSAR で捉えた 2010 年チリ・マウレ地震の地震時・余効変動 Co- and postseismic deformation associated with the 2010 Maule, Chile, earthquake de- duced from PALSAR ScanSAR images

橋本 学<sup>1\*</sup>, 小澤 拓<sup>2</sup>

Manabu Hashimoto<sup>1\*</sup>, Taku Ozawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>DPRI, Kyoto University, <sup>2</sup>NIED

我々は、2010年チリ・マウレ地震前後に撮像された ALOS/PALSAR の広域観測モード (ScanSAR) 画像を干渉処理し、地震時および余効変動を検出した。ScanSAR 画像は 1 回の観測において幅約 350km の領域を撮像することができ、M8 級のプレート境界地震に伴う地殻変動検出には非常に有効な手段である。前処理として Full Aperture Algorithm を用いて撮像画像を入射角のことなる 5 つの画像に分割し、それぞれに対して 2 パス干渉法を適用した。解析に用いた ScanSAR 画像は、いずれも南行軌道から、地震前は 2008 年 4 月 10 日、地震後は 2010 年 3 月 1 日、4 月 16 日、6 月 1 日および 12 月 2 日に撮像されたものである。画像間のオーバーラップ率はそれほど高くないが、本震時をまたぐペアも含めいくつかのペアについて干渉画像を得ることができた。本震をまたぐペアの干渉画像では、2 m を超える視線方向伸長の変異が認められ、地殻が西へ向かって移動したことを示唆する。干渉画像にはコンセプションとコンスティテュション付近に 2 つのピークが認められる。GPS の変位もあわせてインバージョンした結果、複数のすべりのピークが推定された。最大すべりは 10m を超える。3 月 24 月の余効変動期のペアでは、地震時変位と同じ向きの変動が観測された。この画像には、3 月 11 日のバルパライソ付近の正断層の余震に伴う変位も認められた。

キーワード: 合成開口レーダー, マウレ地震, ScanSAR, InSAR, 余効変動, 地震時変動

Keywords: SAR, Maule earthquake, ScanSAR, InSAR, postseismic deformation, coseismic deformation

SSS035-03

会場:国際会議室

時間:5月23日 17:00-17:15

## 2010年チリ地震の震源過程と地震時の変形 Rupture process and coseismic deformations of the 27 February 2010 Maule Earthquake, Chile

プリード ネルソン<sup>1\*</sup>, 八木 勇治<sup>2</sup>, 熊谷 博之<sup>1</sup>, 西村 直樹<sup>2</sup>  
Nelson Pulido<sup>1\*</sup>, Yuji Yagi<sup>2</sup>, Hiroyuki Kumagai<sup>1</sup>, Naoki Nishimura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 筑波大学

<sup>1</sup>Nat. Res. Inst. Earth Sc. and Dis. Prev, <sup>2</sup>University of Tsukuba

We estimated the spatial and temporal slip distribution for the 27 February 2010 Maule earthquake from teleseismic body wave data. To obtain a stable inversion solution, we used the data covariance matrix from the observation and modeling errors, and incorporated smoothing constraints by using ABIC. The fault rupture can be divided into three stages. For the first 30 s the rupture started as an elliptical crack elongated in the in-plane direction along dip. After 30 s the rupture propagated bi-laterally along the strike reaching the maximum moment release at around 50 s near the hypocenter. Finally the rupture propagated mainly to the north reaching another peak of moment release at 80 s and 130 km north-east from the hypocenter. Main rupture lasted for about 110 s. To evaluate our source model, we calculated the coseismic vertical displacements and compare them with observed uplift/subsidence values measured along the coastline, as well as displacements obtained from strong ground motion and high-sampling GPS records in Concepcion. Our model provides good estimations of the static displacements in the northern source region, but under-estimates the observed coseismic uplifts in the southern region. This result suggests that more coseismic fault slip is required beneath the Arauco peninsula. The main slip in our source model is located in a region near the coastline. This feature is in good agreement with the source model of Delouis et al. (GRL, 2010), but differs from the source model of Lay et al. (GRL, 2010), in which the main moment release is located near the trench. A recent tomographic study conducted in the source area of the Maule earthquake suggests that the updip limit of the rupture zone might be located 30-40 km away from the trench (Contreras-Reyes et al., Tectonics, 2010), in agreement with our source model. On the other hand, the high-frequency radiated seismic energy suggests that the Maule earthquake may be identified as a normal megathrust event having the coseismic slip within the normal seismogenic zone (Newman and Convers, 2010), supporting the rupture near the coast as indicated by our results. The largest slip area of our source model is located near the hypocenter in a region of strong pre-seismic locking as derived from GPS measurements (Moreno et al., Nature 2010). This result supports the idea that slip of future earthquakes in subduction regions might be correlated to inter-seismic coupling.

キーワード: 2010年チリ地震, 震源過程, 地震時の変形, 強震動, サイスマチックカップリング

Keywords: 2010 Chile earthquake, source process, coseismic displacement, strong motion, seismic coupling

## 稠密アレイのデータを用いた巨大海溝型地震の破壊過程の推定 Constraints on the Properties of Subduction-Related Earthquakes Using Array Data

石井 水晶<sup>1\*</sup>, Eric Kiser<sup>1</sup>  
Miaki Ishii<sup>1\*</sup>, Eric Kiser<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harvard University

<sup>1</sup>Harvard University

本研究では、2001年から2010年におこった巨大な海溝型地震や深発地震をアメリカのTAアレイと日本の高感度地震観測網のデータを back-projection 手法を使って解析した。従来の方法と違い、この手法は断層の仮定やデータ加工を必要とせず、破壊面積やエネルギーの放出などが短時間で高い信頼性と安定性と共に得られる。破壊過程の解像度は幾つものアレイ、または地震波を同時解析することによって上げることができる。

2010年のチリ地震の破壊過程をTAアレイのデータを使って back-projection 方法で解析すると、この地震は三つのセグメントからなることが判明する。北のセグメントは1985年のMw 8.0のValparaiso地震と同じ緯度の範囲にあたり、速い破壊速度 (~2.9 km/s) と高周波のエネルギー放出によって特定される。中央セグメントは震央の周りに位置し、破壊は開始点から北と南の両方向に進む。北と南のエネルギー放出は均等ではなく、北部分の方がおおきい。北側の破壊は2.2 km/s程の速度で北に45秒程進む。この終端と北セグメントの破壊開始点との間には75kmの隔たりがあり、余震分布のギャップと一致する。中央セグメントから北セグメントへの破壊進行はP波程の速度を必要とし、北セグメントのすべりは動的トリガリングによって誘発されたと考えられる。三つ目のセグメントは中央セグメントの南に位置する。このセグメントの特徴はゆっくりと進む破壊 (0.8 km/s) と低周波でのエネルギー放出である。中央と南セグメントの緯度範囲は1835年のダーウィン地震の推定滑り範囲と重なる。

動的トリガリングとセグメント破壊は多くの巨大海溝型地震や深発地震でおこる事が観測された。海溝型地震のセグメントの境界はGPSなどで求められるプレート間カップリングの弱い地域であることが多い。また、back-projectionの結果は各セグメントの滑りが異なる事を示す。放出されたエネルギーの周波はセグメントによって違うので、地震の揺れや津波の予測などの防災速報に必要な情報は広範囲の周波を使った総合的な解析を元に推算されなければならない。

## 2010年12月に父島東方沖で発生したアウターライズ正断層地震の震源域 Source area of the outer-rise normal-faulting earthquake off the east of Chichi-jima Island in December 2010

尾鼻 浩一郎<sup>1\*</sup>, 高橋 努<sup>1</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 海宝 由佳<sup>1</sup>, 山下 幹也<sup>1</sup>, 佐藤 壮<sup>1</sup>, 野 徹雄<sup>1</sup>, 野口 直人<sup>1</sup>

Koichiro Obana<sup>1\*</sup>, Tsutomu Takahashi<sup>1</sup>, Shuichi Kodaira<sup>1</sup>, Yuka Kaiho<sup>1</sup>, Mikiya Yamashita<sup>1</sup>, Takeshi Sato<sup>1</sup>, Tetsuo No<sup>1</sup>, Naoto Noguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

2010年12月22日2時19分(JST)に小笠原諸島の父島近海でM7.4の地震が発生した。この地震は海溝海側のアウターライズで発生した太平洋プレート内部の正断層型の地震である。気象庁によると、この地震に伴って津波が発生し、東北地方の一部と関東南部から沖縄にかけての太平洋岸の各地で観測された。アウターライズのプレート内部で発生する正断層地震は、1933年三陸地震(M8.1)のようにしばしば甚大な津波被害をもたらしている。また2009年9月にトンガ海溝周辺で発生した地震では、アウターライズのプレート内正断層地震と海溝陸側のプレート境界型地震が時間的に近接して発生したと指摘されており(Beavan et al, 2010; Lay et al., 2010)、沈み込むプレート内部の正断層型地震とプレート境界で発生する海溝型巨大地震が、互いに影響し合っていると考えられる。プレート内正断層地震の発生メカニズムを考える上で、正確な断層面の位置や形状を知る事は非常に重要である。しかしながら海溝海側のアウターライズで発生する正断層地震の震源域は陸域から遠く離れている事もあり、正確な断層面の位置や形状を推定するために必要な高精度な余震分布を得る事は困難である。特に今回父島近海で発生した地震は、近傍の陸上観測点が極めて乏しいため、高精度な余震分布を得るには海域での観測が必要不可欠である。

今回の地震発生を受けて、海洋研究開発機構では、伊豆小笠原海域における地殻構造調査を実施中であった深海調査船「かいれい」により、震源域における海底地震計を用いた緊急余震観測を実施した。「かいれい」は地殻構造調査を一時中断し、構造探査に使用した海底地震計1台を再整備した上で震源域に設置し、本震発生3日後の12月25日より余震観測を開始した。この海底地震計は「かいれい」により2011年1月6日に回収された。また、新たに4台の海底地震計が震源域周辺に設置された。回収された海底地震計では良好な波形記録が得られており、父島(気象庁、防災科学技術研究所)と母島(気象庁)に設置されている地震計の記録とあわせて気象庁によって観測されている余震の震源再決定を行った。

再決定された震源の多くは、USGSによって決定された本震の震源から北西方向に分布している。余震分布は北西-南東に広がっており、北東-南西方向に張力軸をもつ本震の震源メカニズムと調和的である。震源域周辺では太平洋プレートの沈み込みに伴って太平洋プレートが正断層によって断ち切られたホルスト・グラベン構造がプレート境界にほぼ平行な走向で発達している。海底地震計による余震観測と震源域周辺の地殻構造調査の成果をあわせ、今回のプレート内部正断層地震がどのような場所で発生したか議論する。

キーワード: アウターライズ地震, 正断層地震, OBS, 余震

Keywords: outer rise earthquake, normal fault earthquake, OBS, aftershock



SSS035-06

会場:国際会議室

時間:5月23日 17:45-18:00

## 南海トラフ西端部日向灘に沈み込むフィリピン海プレートの形状 Geometry of the Philippine Sea plate subducting beneath the westernmost Nankai Trough

仲西 理子<sup>1\*</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 藤江 剛<sup>1</sup>, 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>, 高橋 努<sup>1</sup>, 山本 揚二郎<sup>1</sup>, 佐藤 壮<sup>1</sup>, 藤森 英俊<sup>1</sup>, 柏瀬 憲彦<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>

Ayako Nakanishi<sup>1\*</sup>, Shuichi Kodaira<sup>1</sup>, Gou Fujie<sup>1</sup>, Koichiro Obana<sup>1</sup>, Tsutomu Takahashi<sup>1</sup>, Yojiro Yamamoto<sup>1</sup>, Takeshi Sato<sup>1</sup>, Hidetoshi Fujimori<sup>1</sup>, Kazuhiko Kashiwase<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

In the Nankai Trough subduction seismogenic zone, the Nankai and Tonankai earthquakes had often occurred simultaneously, and caused a great event. Possibility of a megathrust earthquake along the Nankai Trough from Tokai to the Hyuga-nada, east off the Kyushu Island, Japan, is recently pointed out.

To know the genuine western end of the Nankai megathrust earthquake, a high-resolution wide-angle seismic survey was conducted in the Hyuga-nada region. Moreover, it is important to know the spatial geometry of the subducting Philippine Sea plate to understand rupture synchronization and segmentation of the Nankai megathrust earthquake.

Layered (or Layered-like) velocity models having velocity interfaces such as Moho are obtained by trial-and-error approach, ray-tracing technique [Zelt & Smith, 1992] combined with first arrival tomography based on the structural images derived from first arrival tomography and reflection traveltimes mapping [Fujie et al., 2006]. Previously obtained marine seismic data in the Hyuga-nada region is also used to make precise and detailed geometry of the subducting plate. We also used airgun shot data observed by HI-NET stations located along the prolongation of across-trough seismic profiles to determine deep subduction structure and forearc structure.

The spatial geometry of the Philippine Sea plate was estimated from the layered velocity models. The subducting plate is deformed around the northeastern and southwestern margins of the Kyushu Palau Ridge. Both margins of the Kyushu Palau Ridge may correspond to the western end of the Nankai megathrust earthquake, southwestern end of the 1968 Hyuga-nada earthquake and the 1662 tsunami earthquake, respectively.

This research is part of 'Research concerning Interaction Between the Tokai, Tonankai and Nankai Earthquakes' funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.

## 南海トラフ日向灘域における速度ゆらぎの三次元構造

### Three dimensional structure of random velocity inhomogeneities in and around the Hyuga-nada region

高橋 努<sup>1\*</sup>, 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>, 山本 揚二郎<sup>1</sup>, 仲西 理子<sup>1</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>

Tsutomu Takahashi<sup>1\*</sup>, Koichiro Obana<sup>1</sup>, Yojiro Yamamoto<sup>1</sup>, Ayako Nakanishi<sup>1</sup>, Shuichi Kodaira<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

地殻および最上部マントル内を伝播する数 Hz 以上の地震波は、伝播距離の増大とともに波形が崩れインコヒーレントな波群が卓越する。このような波群は、媒質のランダムな速度ゆらぎによって地震波が多重散乱の影響を強く受けることで生成されると解釈することができる。近年、数 Hz 以上の高周波数地震波の散乱や減衰に着目した構造イメージングが大きく進展し、速度ゆらぎや散乱強度の空間分布と速度構造・地震活動との関連が明らかになってきた [e.g., Takahashi et al. 2009; Carcole & Sato 2010]。日向灘は南海地震想定震源域に隣接し、過去に発生した南海地震の中には日向灘を破壊域に含む地震が存在した可能性が指摘されており、この地域の詳細な速度構造や速度ゆらぎの分布を過去の地震活動などと関連づけて議論することは運動性評価を考える上でも重要な情報となる。(独)海洋研究開発機構では文部科学省の受託研究「東海・東南海・南海地震の運動性評価のための調査観測・研究」の一環として、日向灘周辺で短周期海底地震計 160 台を用いた構造探査及び自然地震観測を行い、地殻・最上部マントル構造の解明を進めている。本研究では海底地震計および周辺に展開された(独)防災科学技術研究所の Hi-net・F-net 観測点で得られた微小地震の地震波形記録を用い、日向灘およびその周辺における速度ゆらぎの空間分布の推定を行った。

本研究では、水平動二成分の速度波形記録から 4-8Hz, 8-16Hz, 16-32Hz の RMS エンベロープを合成し、S 波初動到達時刻から S 波最大振幅到達までの時間差(ピーク遅延時間,  $t_p$ )を解析に用いた。ピーク遅延時間は地震波の伝播過程における多重前方散乱の影響を強く反映し、内部減衰の影響を受けにくい観測量であることが知られている。媒質の速度ゆらぎが von Karman 型のパワースペクトル密度関数で表現できると仮定し、ピーク遅延時間のインバージョン解析 [Takahashi et al. 2009, GJI] によりパワースペクトル密度関数の空間分布を推定した。インバージョンの未知数は短波長域におけるスペクトルの勾配と、短波長域における平均的なスペクトル振幅を規定するパラメータの二つである。解析の結果、別府島原地溝帯付近と日向灘付近で速度ゆらぎが周囲に比べて大きいことが明らかになった。別府島原地溝帯では深さ 0-20km で速度ゆらぎが大きく、スペクトルの勾配が緩やかで短波長の速度ゆらぎに富む。このスペクトルの特徴は、東北日本や北部伊豆小笠原弧の第四紀火山群下の構造と類似している。日向灘付近の速度ゆらぎは、スペクトルの勾配は急峻で比較的長波長域における速度ゆらぎが大きく、短波長域における速度ゆらぎは周囲と同程度である。この特徴は、古い島弧が存在すると考えられている北部伊豆小笠原弧の Frontal arc high 付近の特徴と類似しており、沈み込んだ九州パラオ海嶺が存在しているという構造探査の結果 [Nakanishi et al. 2010, AGU Fall Mtg.] とも矛盾しないと考えられる。また日向灘周辺で発生した M6 クラスの地震の震源域は速度ゆらぎの大きな領域と概ね棲み分けている。この領域は 1707 年宝永地震の際の津波波源域 [Furumura et al., JGR in press] ともほぼ隣接しており、日向灘における地震活動に強く影響を与える特徴的な構造を示していると考えられる。

キーワード: 速度ゆらぎ, 南海トラフ, 日向灘

Keywords: random inhomogeneities, Nankai trough, Hyuga-nada

SSS035-08

会場:国際会議室

時間:5月23日 18:15-18:30

## 南海トラフ西端部日向灘の地震波速度構造

## Seismic velocity structure around the Hyuga-nada region, western end of the Nankai Trough

山本 揚二郎<sup>1\*</sup>, 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>, 高橋 努<sup>1</sup>, 仲西 理子<sup>1</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>

Yojiro Yamamoto<sup>1\*</sup>, Koichiro Obana<sup>1</sup>, Tsutomu Takahashi<sup>1</sup>, Ayako Nakanishi<sup>1</sup>, Shuichi Kodaira<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

In the Nankai Trough, three major seismogenic zones (Tokai, Tonankai and Nankai) of megathrust earthquake exist. The Hyuga-nada region is located on the west of Nankai seismogenic zone and it was distinguished from these seismogenic zones because of the lack of megathrust earthquake. However, recent studies pointed out the possibility of simultaneous rupture of the Tokai, Tonankai, Nankai and Hyuga-nada segments. Thus, the seismological structure in Hyuga-nada region is important to understand segmentation and synchronization of seismic rupture along the Nankai Trough subduction zone. To understand the possibility of seismic linkage of Nankai and Hyuga-nada segments, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology has been carried out a wide-angle active source survey and local seismic observation in the western end of the Nankai seismogenic zone. In the southern west part of observation area, it is considered that the Kyushu-Palau Ridge is subducting. This observation is conducted 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. From active source survey, Nakanishi et al [2010, AGU] showed that subducting Philippine Sea Plate can be divided into three zones and there is the zone of the thin oceanic crust of the subducting Philippine Sea Plate between Nankai segment and Kyushu-Palau Ridge segment. However, their imaging range is limited in the shallow part of the offshore region. Deep structure of the subducting slab and the structure of arc/ocean transition zone are also important to consider the possibility of the seismic linkage and the location of the boundary among three zones described above.

To extend the seismic image to the coastal area and to investigate the fine structure of subducted slab, we performed a three-dimensional seismic tomography combining the local seismic data recorded on 157 ocean bottom seismographs and 107 land seismic stations. From the result of hypocenter relocation, microseismicity near the trough axis is active on the western part of the 'thin oceanic crust', whereas inactive on the eastern part. Obtained velocity structure of subducted slab crust indicates that the width of 'thin oceanic crust zone' is narrow and it extends to about 30 km in depth of plate boundary. The continental crust just above the coseismic slip zone of 1968 Mw7.5 earthquake shows relatively high velocity. Besides, velocity structure of the uppermost part of the subducting slab mantle shows spatial heterogeneities. In the thin oceanic crust zone, high velocity slab mantle is imaged from near the trough to coastline. On the other hands, in the Kyusyu-Palau Ridge segment, western part of the 'thin oceanic crust' segment, two low velocity zones are imaged in the slab mantle. Because the locations of these low velocity zones are corresponding to the low magnetic anomaly area, we consider that these low velocity zone may be related to the subducted Kyusyu-Palau Ridge. Focal mechanisms estimated from P-wave first motion indicate that the normal fault earthquake is dominant in this region.

キーワード: 南海トラフ, 日向灘, 海底地震計, 地震波トモグラフィ, 地震活動

Keywords: Nankai Trough, Hyuga-nada, ocean bottom seismograph, seismic tomography, seismicity



## スマトラ島インド洋岸におけるサンゴの掘削調査と津波堆積物調査に基づく巨大地震発生履歴の解明 Earthquake recurrence as revealed by tsunami deposit and coral drilling surveys in Sumatra, Indonesia

西村 裕一<sup>1\*</sup>, 渡邊 剛<sup>1</sup>, 藤野滋弘<sup>2</sup>, エコ ユリアント<sup>3</sup>  
Yuichi Nishimura<sup>1\*</sup>, Tsuyoshi Watanabe<sup>1</sup>, Shigehiro Fujino<sup>2</sup>, Eko Yulianto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学, <sup>2</sup> 筑波大学, <sup>3</sup> インドネシア科学院

<sup>1</sup>Hokkaido University, <sup>2</sup>Tsukuba University, <sup>3</sup>LIPI, Indonesia

海溝型巨大地震の発生域近くに棲息するサンゴは、地震による地殻変動、および津波発生による浅海底の環境変化を記録している可能性がある。また、陸上の津波堆積物は、歴史・先史時代に津波が塑上した明瞭な痕跡である。我々のグループでは、スマトラ島インド洋岸において、過去数 1000 年間の巨大地震の発生履歴を解明することを目的として、浅海底のサンゴの掘削調査と陸上の津波堆積物調査を繰り返し実施してきた。とりわけ、2004 年スマトラ島地震津波などの最近のイベントに伴うサンゴの変化や津波堆積物の特性は、イベントと残された事象の関係を探る上で貴重である。本講演では、これまでの調査の概要と得られた結果、および課題について報告する。

熱帯域から亜熱帯域に広く棲息する造礁性サンゴは、年輪を刻みながら骨格を成長させるので、生息期間（数 100 年間）に起こった環境変化や事変を記録している。我々は、メンタワイ諸島の南パガイ島およびアチェ州シメル島においてそれぞれ 2009 年 7 月と 2010 年 5 月にサンゴの掘削調査を行い、水中および陸上掘削によりサンゴコア試料（現生および化石試料）計 15 本を採取した。得られたコア試料（長さ 1-3 m, 直径 5cm）は、厚さ 5mm の平板状に切断した後、軟 X 線写真を撮影した。その結果、明瞭な年輪が観察され、長いコアでは西暦 1750 年代まで遡ることができた。サンゴ年輪による時間軸に沿った骨格構造や化学組成の解析から過去から現在までの環境変動やイベントの復元が可能となる。現生のサンゴコア試料の軟 X 線画像解析からは、最近の地震（2004 年および 2005 年）時に相当する骨格部位に障害構造が観察され、また、同じ部位の同位体比、金属元素分析の結果、異常な変動パターンが検出された。今後は、これらの分析結果を基に、サンゴ年輪記録から地震による隆起・沈降量を定量化することと、地震・津波の前後での周辺環境の変化を読み取るための指標を確立させたい。さらに、より古い試料に適用して、過去の地震や津波の履歴を明らかにする予定である。

津波堆積物については、2009-2010 年に、2004 年スマトラ島津波によって大きな人的・物的被害を被ったアチェ州西海岸、最北部のランプークとチャランの低地で調査を実施した。深度 1-2m までの地層を採取する簡易コアリングの結果、チャラン近郊において深度約 1m に 1 層の砂層を発見した、同様の深度にある砂層は、我々の調査地点から約 45km 離れたムラボー近郊でも見つけられ、その堆積年代は約 1000 年前と推測されている。チャランとムラボーで見つかった砂層が同じ地震による津波堆積物であれば、約 1000 年前にも大規模な津波が発生していたことになる。一方、アチェ州のランプークでは、まず 2004 年津波堆積物が土壌に覆われて津波の浸水限界付近まで分布している様子を確認した。さらに、2004 年ほどの規模ではないが、少なくとも 2 枚の津波堆積物が海岸から数 km 先まで分布していることがわかった。これらの津波堆積物は、上下の砂質泥炭層の年代測定が困難であり、正確な年代は決定できていないが、1839 年および 1510 年の Seulawah Agam 火山の火山灰と思われる層に挟まれていることから、16 世紀から 19 世紀初めに発生した地震による津波の痕跡と考えられる。

キーワード: 巨大地震, 発生間隔, 津波堆積物, サンゴ掘削, インドネシア

Keywords: large earthquake, earthquake recurrence, tsunami deposit, coral drilling, Indonesia

SSS035-10

会場:国際会議室

時間:5月24日 08:45-09:00

## 1707年宝永地震震源域の東端位置(2) Location of the eastern end of source area of the 1707 Hoei earthquake (2)

中西 一郎<sup>1\*</sup>

Ichiro Nakanishi<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

宝永四年十月四日(1707年10月28日)に発生した東海-南海地震(以下宝永地震)の震源域の東端位置を推定するため、文献史料を調査した。

矢野・中西(2003)及び中西・矢野(2005)は、主に伊豆半島西岸地域に残されている棟札の地震記録(非文献史料)に基づいて、宝永地震の震源域東端は駿河湾の奥までは達しなかった、と推定した。この推定は瀬野(2011)による宝永地震震源域のモデルとも矛盾していない。

本論ではこの推定を支持する文献史料3点を示す。

- (1)「大地震富士山焼出之事」(『浅間文書纂』, 昭和6年)。
- (2)「大地震富士山焼之事覚書」(飯作家文書)。
- (3)「覚書 第三十五」(土屋家文書)。

本論に関連する各史料の特徴を記す。

(1) 富士山本宮浅間大社(静岡県富士宮市宮町1-1)が刊行した『浅間文書纂』に掲載されている。現在は行方不明である。武者史料の第2巻にも収録されている。昭和6年当時でも史料の状態は良くなく、冒頭から解読出来なかったようである。(宝永四力)丁亥十月四日昼7ッ上刻地震動ありから始まる。

(2) 飯作家(静岡市)が所蔵する。状態は良く全文を解読することが出来る。新収日本地震史料の続補遺別巻にも収録されているが、全文は翻刻されていない。どこでの状況・被害を示す箇所が翻刻されていない。全文を読めば(1)の写しであることが解る。宝永地震・噴火に関する重要な記録である。この記録によると十月四日に発生した本震より翌五日明六ッ少し過に発生した地震(余震)による地震動の方が大きく、家屋の被害及び人馬の死が多かったことがうかがえる。

(3) 土屋家(沼津市)が所蔵する。宝永地震時の土屋家の住居も現在と同じく駿河湾岸に近く、もし大津波が発生していれば津波被害を受けていたと考えられる。この土屋家文書に於いても四日の本震については単に「大地震」、翌五日については「又ゆり夥敷事也」と書かれており、本震よりも翌日の余震による地震動の方が強かったことがうかがえる。他地域での地震・津波の被害には言及しているが、住んでいた現在の沼津市原に関する記述はない。

上記のように、静岡県富士宮市宮町および沼津市原においては本震による家屋・人の被害よりも翌日朝の余震による被害の方が大きかった。また本震による津波被害を示す記述もない。伊豆半島西岸での調査(矢野・中西, 2003; 中西・矢野, 2005)も考慮すると、宝永地震震源域の東端は駿河湾の奥には達していなかったと考えられる。宝永地震本震の震源域の推定には翌日朝の余震の分離も含め再検討が必要である。

文献

矢野信・中西一郎, 2003. 天井裏の大地震記録: 棟札地震史料 収集と考察, 地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会, S045.

中西一郎・矢野信, 2005. 1707 年宝永地震震源域の東端位置, 北海道大学地球物理学研究報告, 第 68 号, 播磨屋敏生教授退官記念号, 255-259.

瀬野徹三, 2011. 南海トラフ巨大地震 その破壊の様態とシリーズについての新たな考えー, 地震, 投稿中.

キーワード: 歴史地震, 宝永地震, 巨大地震, 震源域, 南海トラフ, 駿河湾

Keywords: historical earthquake, Hoei earthquake, great earthquake, source area, Nankai trough, Suruga Bay

## 伊勢神宮外宮の被害と1361年康安地震

### The relation of the 1361 Koan earthquake to the damage of Ise Grand Shrine Geku

奥野 真行<sup>1\*</sup>, 奥野 香里<sup>2</sup>

Naoyuki Okuno<sup>1\*</sup>, Kaori Okuno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>三重県, <sup>2</sup>なし

<sup>1</sup>Mie Prefectural Government, <sup>2</sup>none

過去繰り返し発生している南海トラフ沿いの地震のうち、南海地震に対応する東南海地震の存在が十分明らかになっていない1361年(康安元年)の地震に関して、伊勢神宮関連史料から、東南海地震の存在や南海地震との関係について検討を行った。

今回、検討に用いた史料は、『神宮文書』、『狩野亨吉氏蒐集文書』及び『伊勢勅使部類記』であり、いずれの史料にも共通するキーワードは「扶木(たすげぎ)」である。

『神宮文書』は、康安元年の伊勢神宮外宮心御柱朽損等に関する小槻匡遠(南北朝時代の官務壬生家の当主)書状写しや祭主忠直の請文等からなる。前者(康安元年八月三日付け)には「依去六月地震、心御柱傾倚、御束柱顛倒以下事、邂逅之重事」との記述(以下「記述1」)がある。後者(康安元年八月十三日付け)は「外宮心柱傾倚正殿御壁板抜懸御束柱顛倒間事」を表題とする注進状である。永久四年(1116年)の外宮正殿傾倚の際、同年に式年遷宮を控えていたため、正殿に扶木(たすげぎ)を差しして遷宮を待った先例に関する記述(以下「記述2」)等がある。『狩野亨吉氏蒐集文書』には「大宮司長基重言上」を表題とする史料があり、「欲早被経御奏聞不日預勅許外宮正殿扶木間事 右任永久例可奉差扶木哉之旨去月二日言上 地震大風後勅有恐急領勅許可致沙汰」との記述(以下「記述3」)がある。

記述1や祭主忠直の注進状表題から「康安元年六月の地震」により、外宮正殿の「御壁板が抜け懸け」、「御束柱が顛倒する」被害が生じていたことがわかる。記述2や3の「扶木」に関しては、『伊勢勅使部類記』に、永久四年等過去の扶木の例に関する記述がある。その内容から「扶木」とは、外宮正殿の傾倚に伴い、同正殿に副短柱を差し挟むことによって、さらなる危険を回避するための応急的な措置であると考えられる。康安元年にも、外宮正殿において同様かつ急を要するような事態が生じていたことが推定される。

三重県被害想定調査結果によれば、伊勢神宮外宮付近で震度6弱以上となる想定地震は、活断層も含めて、東南海地震または東海・東南海・南海地震同時発生の中の二つのケースのみである。上述の外宮正殿の被害は、これらのいずれかによってもたらされた可能性が高い。

この地震の発生時期に関して、『神宮文書』の記述からは「依去(康安元年)六月地震」とまでしかわからない。しかし、『大日本史料』の康安元年六月の部分を調べてみると、地震の記事が最初に出現するのは、同月二十一日である。伊勢に強震動をもたらした地震が、京都等で無感であり、記事に全く残らないとは考えにくいとすると、外宮正殿に被害をもたらした地震は、二十一日以降に発生した地震であると判断される。

石橋(2002)は、京都の公家の複数の日記における記述内容から、康安元年六月二十四日の南海地震の2日前に東海地震が発生した可能性が高いことを指摘した。一方、穴倉ほか(2008)は、紀伊半島南東部沿岸の生物遺骸群集の高度や年代から、400~600年に一回の割合で起こる連動性地震に伴う異常な隆起イベントを見だし、1361年正平(康安)地震も連動性地震であった可能性について指摘した。

今回発見した伊勢神宮関連史料の地震に関する記述は、石橋(2002)が指摘する可能性をさらに高め、これまでその存在が明らかとなっていなかった、康安元年南海地震に対応する東南海地震の存在を強く示唆するものである。また、穴倉ほか(2008)も考慮すると、康安元年の南海トラフを震源とする地震の発生パターンは「東南海地震 2~3日後南海地震」または「東南海地震・南海地震連動」のいずれかであった可能性がある。

(引用文献)

石橋克彦(2002)フィリピン海スラブ沈み込みの境界条件としての東海・南海巨大地震 - 史料地震学による概要 - . 京都大学防災研究所研究集会 13K-7 報告書, 2002年3月

穴倉正展・越後智雄・前空英明・石山達也(2008)紀伊半島南部沿岸に分布する隆起生物遺骸群集の高度と年代 - 南海トラフ沿いの連動性地震の履歴復元 - . 活断層・古地震研究報告, No.8, p.267-280

キーワード: 康安東南海地震, 伊勢神宮外宮, 扶木

Keywords: Koan Tonankai earthquake, Ise Grand Shrine Geku, Tasukegi



## 和歌山県串本町橋杭岩周辺の漂礫分布の形成要因

### Factors causing scattered boulders located around Hashigui-iwa, the southernmost of Kii peninsula, Japan

行谷 佑一<sup>1\*</sup>, 前空 英明<sup>2</sup>, 宍倉 正展<sup>3</sup>, 越後 智雄<sup>4</sup>, 永井 亜沙香<sup>5</sup>

Yuichi Namegaya<sup>1\*</sup>, Hideaki Maemoku<sup>2</sup>, Masanobu Shishikura<sup>3</sup>, Tomoo Echigo<sup>4</sup>, Asaka Nagai<sup>5</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター, <sup>2</sup>広島大学, <sup>3</sup>産総研 活断層・地震研究センター, <sup>4</sup>地域地盤環境研究所, <sup>5</sup>海南市立巽中学校

<sup>1</sup>AFERC, GSJ, AIST, <sup>2</sup>Hiroshima University, <sup>3</sup>AFERC, GSJ, AIST, <sup>4</sup>GRI, <sup>5</sup>Tatsumi junior high school

和歌山県串本町橋杭に位置する波食棚上には、多数の漂礫が分布している。その漂礫の起源は、近くに位置する名勝「橋杭岩」と呼ばれる、石英班岩の貫入岩列であると考えられている。漂礫の分布は橋杭岩から距離にして数 m ~ 100 m 程度に広がっており、何らかの外力によって現在の位置まで運ばれたと考えられる。この外力として、津波や台風高潮などが挙げられる。本研究では、津波によって移動する可能性について検討を行った。

橋杭岩は南海トラフに面しており、これまでに 1944 年昭和東南海地震、1946 年昭和南海地震、1854 年安政東海・南海地震、および 1707 年宝永地震など、歴代の東海地震・南海地震による津波が来襲してきた地域である。これらの津波による流速が橋杭の波食棚上でどの程度になるか検討を行うために、津波遡上計算を行った。計算に用いた地形データは、現在の地形から防波堤や埋立地といった人工物を取り除いて（海化して）、できるだけ当時の地形に近くなるようにして用いた。その結果、たとえば 1707 年宝永地震（Ando, 1975; TECT）の場合、波食棚上で 4 m/sec 以上の流速が生じることがわかった。

一方、われわれは波食棚上に分布する漂礫の位置や大きさに関して、現地調査を行った（前空ほか、2010 年連合大会）。その数は千を越え、質量が 100 トンを越えるものもあった。また、漂礫とそれが乗っている波食棚との間の静止摩擦係数も直接測定した。その結果、静止摩擦係数は 0.8 と推定された。そこで漂礫が滑動により動き出すために必要な流速を推定したところ、4 m/sec 程度以上、大きな礫では 8 m/sec 程度以上必要であることがわかった。

さらにわれわれは、1975 年および 2007 年に橋杭岩上空から撮影された航空写真を入手し、この期間において各漂礫が移動したか否かを調査した。その結果、5 個の小さな漂礫を除き、全ての礫はこの期間で移動していないと認定できた。この期間においては規模の大きな津波は来襲していないが、大型の台風がいくつか来襲している。この期間に動いた 5 個の漂礫は、これらの台風高潮あるいは高波によって移動させられたことが考えられるが、大きさが小さいことと橋杭岩が観光地であることから、人為的に移動させられた可能性もある。

以上の説明から、橋杭岩周辺に広がる漂礫の分布は、宝永津波といった歴代の津波によって形成され、現在の位置に存在する可能性が高い。つまり、漂礫の分布はこれまでの巨大地震津波の履歴を表しているのかもしれない。最近、地質学的な研究から、漂礫の一部が宝永地震津波によって転倒させられた可能性があることが指摘されている（本大会、宍倉ほかの発表を参照）が、本発表の結論はその内容を支持するものであると考えられる。

キーワード: 漂礫, 橋杭岩, 波食棚, 津波, 宝永地震

Keywords: boulders, Hashigui-iwa, wave-cut benches, tsunami, the 1707 Hoei earthquake

## 潮岬周辺の津波石と隆起痕跡から推定される南海トラフの連動型地震履歴 History of multi segment earthquake along the Nankai Trough, deduced from tsunami boulders and emerged sessile assemblage

宍倉 正展<sup>1\*</sup>, 前空 英明<sup>2</sup>, 越後 智雄<sup>3</sup>, 行谷 佑一<sup>1</sup>, 永井 亜沙香<sup>4</sup>

Masanobu Shishikura<sup>1\*</sup>, Hideaki Maemoku<sup>2</sup>, Tomoo Echigo<sup>3</sup>, Yuichi Namegaya<sup>1</sup>, Asaka Nagai<sup>4</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター, <sup>2</sup>広島大学, <sup>3</sup>地域地盤環境研究所, <sup>4</sup>海南市立巽中学校

<sup>1</sup>Active Fault Earthq. Res. Ctr., AIST/GSJ, <sup>2</sup>Hiroshima University, <sup>3</sup>Geo-Reseach Institute, <sup>4</sup>Tatsumi Junior High School

潮岬そばの橋杭岩には津波石と思われる漂礫群が分布する。そこに付着した生物遺骸の年代を測ったところ、1707年宝永地震に対応する年代と12-14世紀頃の年代が得られた。これは周辺に分布する隆起生物遺骸群集から得られた年代と一致し、通常よりも隆起や津波の規模が大きくなるタイプの地震が400-600程度の間隔で発生している可能性を示している。

我々は南海トラフ沿いの地震の履歴を解明するため、紀伊半島南部沿岸において過去の地震に伴う津波や隆起の痕跡を探し、その分布と年代を調査している。特に潮岬に近い串本町橋杭にある名勝「橋杭岩」周辺には、石英英岩の貫入による岩列から供給されて移動した巨礫群が波食棚上に散在しており、我々はそれが津波によって移動した可能性を考え、検討を重ねている(本大会、行谷ほかの発表を参照)。礫にはカキやフジツボ、ヤッコカンザシなどの固着生物の化石が付着しているものがある。それらのうち礫の上面など通常の生息場所とは異なる向きに付着した化石は、礫が移動した証拠として、その移動時期を知る上で良い指標になる。そこでそれらの<sup>14</sup>C年代を測定したところ、AD1650以降とAD1120-1340の2つの時期に集中していることが分かった。前者は1707年宝永地震に対応する可能性が高い。宝永地震は古記録などから東海～南海のセグメントが連動して通常より規模の大きい津波を伴ったと考えられていることから、礫の移動と津波の規模との関係を知る上で興味深い。後者は1196年永長、1199年康和、1361年正平などの歴史地震が候補となり、両者の間隔は南海トラフにおける通常のプレート間地震の間隔よりも長い400-500年程度である。一方、礫の側面や底面などに付着した現地性の可能性が高い化石は、宝永地震よりやや新しい年代を示すものがあり、宝永地震で移動後、安政地震までの地震間の沈降時に付着し、その後の安政や昭和の地震による隆起で離水した可能性がある。

周辺の沿岸における隆起生物遺骸群集の高度と年代の調査では、1707年宝永地震に対応する隆起痕跡がいくつかの地点で見つかっており、通常よりも大きい隆起が生じていたことが推定されている(宍倉ほか、2008a; 歴史地震23号)。またその中には層構造をなすヤッコカンザシの群集もあり、例えば紀伊半島南東部の山見鼻で見つかった3層構造の群集はAD1400-1800頃の期間で100~150年ごとに1層ずつ形成されていることがわかった(宍倉ほか、2008b; 活断層・古地震研究報告8号)。これは各層が100~150年ごとに起こる通常のプレート間地震による隆起と地震間の沈降のくり返しを記録し、そのプロセスを経て厚く成長した群集が400-600年に1度の大きい隆起で離水していると解釈される。

以上のことから南海トラフ沿いで大きな津波と地殻変動を伴うイベントは、400-600年程度の間隔で発生している可能性が高く、その最新イベントは1707年宝永地震である。1回前のイベントも歴史地震に対応すると考えられるが、年代測定の誤差などからまだ断定するには至っておらず、また連動型地震であったかどうかは今後検討していく必要がある。

キーワード: 地震, 津波, 地殻変動, 南海トラフ, 潮岬

Keywords: earthquake, tsunami, crustal deformation, Nankai Trough, Cape Shionomisaki



SSS035-14

会場:国際会議室

時間:5月24日 09:45-10:00

## 高知県土佐清水市域での宝永地震(1707)の津波浸水高 Tsunami inundation heights of the 1707 Hoei Earthquake in Tosashimizu city, Kochi pre- fecture, Shikoku, Japan

都司 嘉宣<sup>1\*</sup>, 今井健太郎<sup>2</sup>, 行谷佑一<sup>3</sup>, 岩瀬浩之<sup>4</sup>, 原 伸彦<sup>4</sup>, 田中 聡<sup>4</sup>, 今村文彦<sup>2</sup>

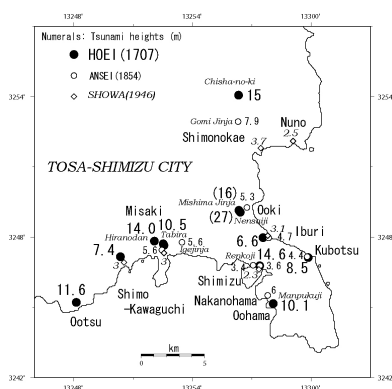
Yoshinobu Tsuji<sup>1\*</sup>, Kentaro Imai<sup>2</sup>, Yuichi Namegaya<sup>3</sup>, Hiroyuki Iwase<sup>4</sup>, Nobuhiko Hara<sup>4</sup>, Satoshi Tanaka<sup>4</sup>, Fumihiko Imamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研, <sup>2</sup> 東北大災害制御研究センター, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所, <sup>4</sup> (株) エコー

<sup>1</sup> Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>2</sup> Disaster Control Res. C., Tohoku Univ., <sup>3</sup> AIST, <sup>4</sup> Echo Co. Ltd.

宝永4年10月4日(1707年10月28日)に、東海沖、及び南海沖の巨大地震を合わせた震源域で発生した、連動型巨大地震である宝永地震の津波は、それから147年後に起きた安政南海地震(1854)のそれよりいちだんと規模が大きかったことは従来知られてきたが、古文書の記載、地元伝承に基づいて信頼するに足る浸水標高が測定された例は多くはなかった。われわれは、現地で具体的な津波浸水の目標物を測器で測定して得られた津波高さのデータを一つでも多く獲得することを重視した。本研究では、高知県土佐清水市の市域内で、宝永津波の津波浸水限界に関する記録のある九カ所の集落について、津波浸水標高に関する調査を行った。古文書に記録された小字地名を現在地図上に照合する作業に関しては、土佐清水市立図書館の各位や、各集落の多くの人々の御教示を得た。

その結果を図にしめす。図において に太字で示したのが宝永、 に字で示したのは安政南海、 印に斜体字で示したのが昭和南海地震の、津波浸水標高(m)である。下の加江、大岐、清水、三崎の4カ所で津波の浸水高さが15m近かったことがあらたに判明した。また、大浜、大津の2点でも浸水高さは10mを越えていたことが判明した。図には、羽鳥(1981)、村上ら(1996)によって得られた、安政南海地震津波の浸水高さと、海上保安庁水路部(水路要報、1947)による昭和南海地震の津波浸水標高を記して置いたが、宝永地震津波が、この後年の2回の南海地震の津波に比べて非常に大きな浸水高さを示していることに注目すべきである。



キーワード: 宝永地震, 連動型巨大地震, 歴史地震, 津波, 四国

Keywords: the 1707 Hoei Earthquake, joint gigantic earthquake, historical earthquake, tsunami, Shikoku

## 新しい海底活断層図からみた南海トラフの地震像

### A perspective of great earthquakes along the Nankai trough based on newly-made submarine active fault map

中田 高<sup>1\*</sup>, 後藤 秀昭<sup>2</sup>, 渡辺 満久<sup>3</sup>, 鈴木 康弘<sup>4</sup>, 徳山 英一<sup>5</sup>, 佐竹 健治<sup>5</sup>, 隈元 崇<sup>6</sup>, 西澤 あずさ<sup>7</sup>, 伊藤 弘志<sup>7</sup>, 松浦 律子<sup>8</sup>  
Takashi Nakata<sup>1\*</sup>, Hideaki Goto<sup>2</sup>, Mitsuhiro Watanabe<sup>3</sup>, Yasuhiro Suzuki<sup>4</sup>, Hidekazu Tokuyama<sup>5</sup>, Kenji Satake<sup>5</sup>, Takashi Kumamoto<sup>6</sup>, Azusa Nishizawa<sup>7</sup>, Koji Ito<sup>7</sup>, Ritsuko S. Matsu'ura<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 広島大学名誉教授, <sup>2</sup> 広島大学, <sup>3</sup> 東洋大学, <sup>4</sup> 名古屋大学, <sup>5</sup> 東京大学, <sup>6</sup> 岡山大学, <sup>7</sup> 海上保安庁, <sup>8</sup> 地震予知総合研究振興会

<sup>1</sup> Professor Emeritus, Hiroshima Univ., <sup>2</sup> Hiroshima Univ., <sup>3</sup> Toyo Univ., <sup>4</sup> Nagoya Univ., <sup>5</sup> Univ. Tokyo, <sup>6</sup> Okayama Univ., <sup>7</sup> Japan Coast Guard, <sup>8</sup> ADEP

南海トラフ沿いで発生すると巨大地震は、近い将来、日本の広い地域に大きな災害をもたらすと予測される地震のひとつであり、政府地震調査委員会によると、その30年間発生確率は50%以上に及ぶ。しかしながら、この予測は、地震動や津波の記録などから南海トラフに沿って設定された過去の地震の破壊領域区分(石橋・佐竹:1998など)に沿って、「どの領域で」地震が発生するのかという視点で行われており、トラフ沿いの海底活断層分布についてはまったく配慮なされていない。すなわち、政府地震調査研究推進本部(2001)は、次の大地震の発生予測範囲を南海トラフ・駿河トラフの領域X:足摺岬沖~潮岬沖(右図A+B)、領域Y:潮岬沖~浜名湖沖(C+D)、領域Z:浜名湖沖~駿河湾(E)の3つに分け、それぞれ南海地震、東南海地震、想定東海地震に対応するとしている。しかし、この領域区分では南海トラフ沿いの「どの活断層が」地震を発生させるのかという視点が欠如しているために、次の地震が「どこで・どのくらいの規模で発生するのか」を詳細に予測することが困難である。

発表者らは南海トラフ沿いの詳細測深データをもとに、海底活断層の位置・形状や活動性などを具体的に明らかにした(渡辺ほか:2010, 後藤ほか:2010)。これまでの研究(東海沖活断層研究会, 1999; 徳山ほか2001; 木村・木下編, 2009)などが海底地形に加え反射断面から読み取れる地質構造の特徴を認定根拠に認定している通り、トラフに平行な前縁断層や分岐断層などの北傾斜の逆断層の発達が目撃されているが、しかし、地形分解能の低い画像によって解析作業を行っているために、活断層線は直線的かつ断片的に描かれており、その位置・形状や連続性に対する信頼性は低い。本研究では従来とは比較にならない高い分解能の画像を用いて地形解析を行ない、トラフのほぼ全域の活断層の詳細な分布を明らかにし、その連続性や独立性についても議論が十分可能となるデータとして整備した。また、長大な横ずれ活断層の発見など数多くの新知見を得た。この結果、巨大地震と関連すると考えられる主要活断層の中には、上述の破壊領域区分を超えて連続するものや領域内で連続が途絶えるものも少なく認められ、これまでの推定破壊領域に依存した地震発生予測の再検討が不可欠であることが明らかになった。近年、熊野トラフから南海トラフに至る地域の大規模な構造調査結果から深海平坦面にあたる熊野トラフの外孤隆起帯(outer ridge(茂木:1977))の基部に出現する分岐断層が1944年東南海地震の震源断層であるとの説(木村・木下:2009ほか)が有力視されてきつつあるが、この断層は潮岬海底谷を挟んで東西に連続し、潮岬沖に設定された破壊領域境界とは無関係である。一方、1946年南海地震の震源断層は潮岬の東方沖から足摺岬沖に破壊領域を持つと想定されているが、これも分岐断層の位置・形状とは対応しない。

新たに認定された活断層の中で1944年地震に対応すると推定される活断層は、熊野トラフ底を横切って延びる逆断層で、東海沖活断層研究会(1999)の遠州断層系の南部にあたり、新鮮な活断層変位地形が認められる活動的な断層である。また、1946年地震に対応する活断層は、太地沖から潮岬海底谷を横切り土佐バ工南縁の急崖の基部を通り、足摺岬南東に達する逆断層であり、徳山ほか(2001)の遠州断層系南部-南海OST断層系-土佐断層系にまたがって連なっている。二つの地震の震源断層の境界は新宮沖にあり、地震に伴う地殻変動や津波発生を説明するのに矛盾はない。

これに対して、上述の分岐断層は、徳山ほか(2001)の南海OST断層系の一部に対応するが、この断層は潮岬南東沖から室戸岬沖まで連続している。また、東海沖活断層研究会(1999)の東海断層系は、その連続性が御前崎沖から渥美半島沖に限られている。これに対して、徳山ほか(2001)の前縁断層系は、駿河トラフから南海トラフ前縁にかけて連続がよく、大規模な崩壊を伴う断層崖やその基部に発達する低断層崖の発達から、活動性が最も高い断層であり、室戸岬沖まで連続すると考えられるものもある。しかしながら、室戸岬南方沖でその延長は断たれ、徳山ほか(2001)の四国前縁断層系や土佐断層系とは連続しない。土佐断層系には大規模な右横ずれ断層が含まれている。さらに、九州東岸沖には日向断層系に属する活断層が発達する。新たに特定された活断層と歴史地震・津波の関係については、今後、検討を進める予定である。

本発表は、海上保安庁と広島大学などが共同で行っている平成20-22年度科学研究費補助金(基盤研究(B))(研究代表者:中田 高)の成果の一部である。

キーワード: 南海トラフ, 海底活断層, 巨大地震

Keywords: Nankai trough, submarine active fault, large earthquake

SSS035-16

会場:国際会議室

時間:5月24日 10:15-10:30

## 南海トラフの巨大地震と巨大分岐断層

### Role of mega-splay faulting in the rupture process of great earthquakes at the Nankai Trough

鷺谷 威<sup>1\*</sup>, 山中 佳子<sup>1</sup>

Takeshi Sagiya<sup>1\*</sup>, Yoshiko Yamanaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学

<sup>1</sup> Nagoya University

The latest megathrust events along the Nankai Trough are the 1944 Tonankai and the 1946 Nankai earthquakes. Although the main rupture zone of these earthquakes is the plate boundary megathrust, several authors have argued a possibility of splay faulting associated with the 1946 Nankai earthquake. The estimated splay fault is located at the western end of the source region of the 1946 earthquake and is characterized by a high-angle reverse faulting. Recently, we have investigated the source process of the 1944 Tonankai earthquake. Eastward rupture propagation stopped on the way and did not extend to Suruga Bay, the eastern end of the Nankai Trough. Through a scrutiny of seismological and leveling data, we obtained a new fault model for the 1944 earthquake. One peculiar feature of this model is that it has a splay fault at its eastern end, branching from the plate boundary megathrust at the depth of about 30km. But this splay fault did not reach to the ground surface and the rupture stopped at the depth of 10-15km. The model can reproduce the leveling profile quite well. The model suggests that mega-splay faulting may have an important role of stopping the dynamic rupture of a plate boundary event. Both the 1944 and the 1946 event seem to have stopped when and where the mega-splay faulting occurred. In both cases, the areas above the splay fault had severe shaking. So the specification of possible location of mega-splay faulting is an important target in terms of seismic hazard mitigation.

キーワード: 南海トラフ, 巨大地震, 巨大分岐断層, 東南海地震, 南海地震

Keywords: Nankai Trough, Megathrust earthquake, Mega-splay fault, Tonankai earthquake, Nankai earthquake

SSS035-17

会場:国際会議室

時間:5月24日 10:45-11:00

## 西南日本の微小地震活動の次元圧縮解析 dimension reduction analysis of microseismicity rate in SW Japan

鳥海 光弘<sup>1\*</sup>  
mitsuhiro toriumi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究機構  
<sup>1</sup> JAMSTEC

Microseismic activities ranging from M1 to M2 mean micro-slip of small shear cracks in the rocks of crust and mantle. Considering that the open cracks associated with shear cracks are sensitive of small change of strain and stress and their orientations, microseismicity rate represents number of active shear cracks controlled by shear plane orientation. To infer the hidden states and processes of the plate boundary zone many time series of microseismicity rate of various volumes in the plate and crust should be investigated by means of data mining methods with non-supervised machine learning.

Therefore, the author studied the dimension reduction method by means of principal component analysis to apply for the high dimension vector data sets of time series (1998-2008 data set of JMA1) of microseismicity rate of various volumes of subduction slab of Philippine sea plate and overriding crust of southwest Japan arc as shown in the previous paper (1). The original dimension is 104 and reduced dimension becomes 10. Numbers of time series is took as 120, and thus the sample matrix shows 104 x 120.

Results of dimension reduction of time series of microseismicity rate of the PSP and arc crust represent clearly that the after-shock microseismicity associated with large earthquakes can be sharply dissolved as major PCA components and that the annual periodicity can be observed in the higher order components. It also concluded that the long term changes of several lower order components are identified. The resolved shear stress on microcracks by tidal force may be responsible for the annual periodicity of some PCA components but the long term changes should be derived from the plate motion and related local stress concentration.

1) Toriumi, M., 2009, J.D.R.4.

キーワード: 次元圧縮, 微小地震, 西南日本, 主成分解析

Keywords: dimension reduction, microseismicity, SW Japan, principal component analysis



## 海域の震源域における固着状態の時間的・空間的変動の海底測地モニタリングに向けて

### Toward seafloor geodetic monitoring of spatial and temporal variation of the seismic coupling in an offshore seismogenic

藤本 博己<sup>1\*</sup>, 田所 敬一<sup>2</sup>, 木戸 元之<sup>1</sup>  
Hiromi Fujimoto<sup>1\*</sup>, Keiichi Tadokoro<sup>2</sup>, Motoyuki Kido<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 理学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学 環境学研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Grad. Sch. Environ. Stud., Nagoya Univ.

防災科学技術研究所のHi-netと国土地理院のGEONETにより、地震活動と歪分布の時空間変化をモニタリングするためには高密度・高精度の地震・測地観測網が不可欠であることが認識されるようになった。しかし巨大地震は海域の沈み込み帯で起こり、陸上の地震・測地観測網は沖合の震源域における地殻活動のモニタリングは不得手である。ケーブル方式の海底観測システムであるDONETやDONET2の敷設が進められており、GPS音響方式の海底測位（海底GPS）や海底圧力観測、掘削孔内の傾斜・歪観測などの開発がすすめられている所以である。

海底GPSはプレート境界付近の海底地殻変動を観測するための主要な測位システムとなっている。しかし陸上のGPS観測と比べると以下に述べるように大きな違いがある。東北大学と名古屋大学のグループは、海底地殻変動観測システムの高度化をめざす文部科学省のプログラムの下で、陸上GPS観測との差を埋める研究を進めている。

海底GPSの測位精度は重要な問題の一つである。プレート運動速度は多くの場合年間数cmであることを考えれば、海底GPSの測位の再現性2-3cmは、陸上GPSの2-3mmとは大きな違いである。我々は海中音速の水平方向の変化を捉えることにより、測位精度を向上させるとともに、観測時間を短縮できると推定している(Kido et al., 2008)。したがってこれは南海トラフなどの震源域に海底GPSの観測網を張るために鍵となる課題であると言える。4~5個の海底局を用いることにより海中音速の水平変動の一部を捉えることに成功している(Kido 2007; Kido et al., 2010)。我々は複数の海上局を用いることにより海中の音速勾配を推定する観測も進めている(Tadokoro et al., 2010)。

海底GPSに関する別の重要な問題は、1年に1~2回、それぞれ1日から2日かけて海底局アレイの測位を行うキャンペーンスタイルの観測にある。それはGPSの前の時代に行われた三角測量に似ており、陸上GPSのセミリアルタイムの連続観測とは大きな違いである。Chadwell et al. (2009, AGU Fall Meeting)はこの問題に一步踏み込み、浅海における係留ブイを用いて海底GPSの連続観測を行った。我々も小さな係留ブイを用いて連続観測を行うシステムの開発を進めている(Fujimoto et al., 2008)。

厚い堆積層に設置した海底局の姿勢の長期安定性は海底GPSの基本的な問題の一つであった。というのは、海底局が傾くと、その上部に設置してある音響送受波器の位置が変わるので、海底局の位置が変わったと解析されるからである。陸上のGPSアンテナ用の柱は土台にしっかり固定されるのに対して、海底局は会場から投入されて海中を自由落下して海底に設置される。このことは、地震に伴う海底地殻変動を検出する時に重大な問題となる。M7クラスの2004年紀伊半島南東沖地震はこの問題を調べる絶好の機会を与えてくれた。JAMSTECの無人探査機を用いて、我々は2006年に10台の海底局を目視観察したが、そのうちの7台は、Kido et al. (2006)およびTadokoro et al. (2006)により報告された20cm以上の地震に伴う海底地殻変動を検出した装置である。その目視観測により、その7台の海底局は、平坦な堆積層の上に鉛直に立っており、地震の影響は認められないということが確認された(Fujimoto et al., in press)。

キーワード: GPS 音響, 海底地殻変動, 海底測地, 固着状態, 震源域

Keywords: GSP/Acoustic, seafloor crustal movement, seafloor geodesy, seismic coupling, seismogenic zone

SSS035-19

会場:国際会議室

時間:5月24日 11:15-11:30

## 熊野灘における海底地殻変動観測

### Observation of seafloor crustal movement using the seafloor acoustic ranging on Kumano-nada

長田 幸仁<sup>1\*</sup>, 木戸 元之<sup>1</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>  
Yukihito Osada<sup>1\*</sup>, Motoyuki Kido<sup>1</sup>, Hiromi Fujimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学理学研究科

<sup>1</sup>Tohoku Univ., Graduate school of science

フィリピン海プレートの沈み込み帯である南海トラフ周辺では、これまでおよそ100?150年といった間隔でM8クラスの地震が発生している。1946年の南海地震の発生後60年以上がたち、地震調査研究推進本部によれば今後30年以内におきる地震の確率は、60%程度と見積もられている。そのためこの地震発生に備えて震源域と想定される海域において観測システムの整備が重要とある。海底で地殻変動を観測するシステムとしてGPS音響測位と海底間音響測距があるが我々のグループは断層のような局所的な変化を検出する海底間音響測距を開発してきた。このシステムは、断層を挟むように複数台設置し、この装置間の基線長の変化を計測することにより地殻変動を検出する。

2007年から2008年にかけて短期間(1日)と長期間(4か月)の観測を行い、精度評価を行ってきた。基線長1km程度で標準偏差1cm程度の再現性を確認できた。この結果を踏まえ、このシステムを南海地震で重要な役割を果たすと考えられている分岐断層を挟むように設置し、VLFなどの発生により起こる地殻変動を検出することを試みた。2008年9月JAMSTEC調査船「なつしま」を用いて3台の装置を設置した。目標設置点は斜面であるため、3台を船上から平坦面に投入し、そのうち1台を「ハイパードルフィン」で北側斜面に移動させ観測網を構築した。計測予定は1年程度であったが、回収は、今年8月中旬、JAMSTEC研究船「白鳳丸」KH10-3航海で行った。観測期間中の2009年3月に設置点周辺で超低周波地震が発生したが、本装置では基線長変化は見られなかった。このことから現時点での検出限界である1cm程度の変化を伴う活動は見られなかったと推定した。またこの装置の検出限界を推定するために、設置点での断層モデルを仮定し、変位量を推定した。その結果、M5程度の地震が分岐断層で発生したとき、1cm程度の変位が推定された。これにより現時点でのこの装置の検出限界は、M5程度であると考えられる。今後温度補正や姿勢補正を付け加えることで精度向上を測る予定である。

キーワード: 海底測地, 海底地殻変動, 熊野灘

Keywords: seafloor geodesy, seafloor crustal movement, kumano-nada

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS035-20

会場:国際会議室

時間:5月24日 11:30-11:45

## 南海トラフに沈み込むプレート境界の滑りを監視する海底孔内観測ネットワーク Seafloor borehole observatories for monitoring slip events in the Nankai subducting plate boundary.

荒木 英一郎<sup>1\*</sup>, Kopf Achim<sup>3</sup>, Saffer Demian<sup>2</sup>, 北田 数也<sup>1</sup>, 木村 俊則<sup>1</sup>, 木下 正高<sup>1</sup>, 川口 勝義<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>, IODP Exp332 乗船研究グループ<sup>4</sup>

Eiichiro Araki<sup>1\*</sup>, Achim Kopf<sup>3</sup>, Demian Saffer<sup>2</sup>, Kazuya Kitada<sup>1</sup>, Toshinori Kimura<sup>1</sup>, Masataka Kinoshita<sup>1</sup>, Katsuyoshi Kawaguchi<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>, Science Party IODP Exp332<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> ペンシルバニア州立大, <sup>3</sup> ブレーメン大, <sup>4</sup> なし

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Penn State Univ., <sup>3</sup>Bremen Univ., <sup>4</sup>none

Tonankai earthquakes are magnitude 8 class earthquakes known to occur every 100-150 years in the Nankai Trough, south of Japan. The last occurrence was in 1944 and we are concerned about the next occurrence. In order to monitor and watch detailed seismic process in the vicinity of its epicenter, a sea-floor observatory network called DONET was developed and it started observation from 2010. The DONET is consisted of 20 seafloor observatories linked with submarine cable, covering from aseismic seafloor near the trough axis, through the area where episodic slow slip events occur, as well on the Tonankai earthquake rupture zone. Each DONET seafloor observatory was designed to observe ground motion, seafloor pressure, and seafloor water temperature in wide frequency range and wide dynamic range to cover various types of events expected in the area of the DONET network, such as large earthquakes, micro-earthquakes, episodic slow slip events, and seafloor turbidity currents. Some of expected events are very small in amplitude therefore we established very low noise observation environment by completely burying each seismometer in the seabed. By January, 2011, we have successfully installed submarine cable network, and 8 seafloor observatories are operational.

Further low noise and stable observatory may be built using a seafloor borehole penetrating below the sediment on which seafloor observatories stand. During IODP Exp 332 in December 2010, we have successfully installed the first planned seafloor borehole observatories in IODP Hole C0002G. Strainmeter, tiltmeter and seismic sensors were cemented near the bottom of 980 m seafloor borehole to ensure stable environment required for these geodetic measurement, where distance to the Tonankai seismogenic fault is approximately 6 km. The borehole observatory in C0002G is currently measuring pore-fluid pressure in the accretionary prism, sediment basin, and seafloor. In March, 2011, we plan to start long-term seismic and geodetic observation in the C0002G borehole observatory. We plan for installation of another permanent borehole observatory at IODP Hole C0010A which is located in the south of the C0002G penetrating one of the splay faults in shallower depth. We expect the strainmeter, tiltmeter, and broadband seismometer installed quiet and stable environment in Hole C0002G and C0010A will produce a key observation defining slip behavior of the subducting plate in zone between seismically coupled and decoupled plate interface.

## 南海トラフ C0002 長期孔内観測点に設置されたセンサーの開発と評価 The development and evaluation of sensors for long-term borehole monitoring system at C0002 site in Nankai Trough

木村 俊則<sup>1\*</sup>, 荒木 英一郎<sup>1</sup>, 高山 博之<sup>2</sup>, 北田 数也<sup>1</sup>, 木下 正高<sup>1</sup>, 難波 康広<sup>1</sup>, 許 正憲<sup>1</sup>  
Toshinori Kimura<sup>1\*</sup>, Eiichiro Araki<sup>1</sup>, Hiroyuki Takayama<sup>2</sup>, Kazuya Kitada<sup>1</sup>, Masataka Kinoshita<sup>1</sup>, Yasuhiro Namba<sup>1</sup>, Masanori Kyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 気象庁精密地震観測室

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>JMA

本発表では, IODP Exp.332 において南海トラフの C0002 孔内観測点に設置されたセンサーの開発および性能評価試験について報告する。南海トラフでの最初の恒久的孔内観測点である C0002 孔内観測点には, プレート境界型巨大地震発生のメカニズムの解明に向けて広帯域, 高ダイナミックレンジの変動を測定可能とするべく, 広帯域地震計, 体積歪計, 傾斜計, ジオフォン, 加速度計, および温度計アレイ等の各種センサー群の設置が計画されていた。本研究の目的はこれらのセンサーについて科学的要求をクリアする高精度・高信頼度の観測性能を有し, かつ, IODP Exp.319 によりその問題が認識された黒潮に起因する Vortex Induced Vibration(VIV) による強振動環境にも耐えうるセンサーを開発することであった。

設置されたセンサーの内, 広帯域地震計 (Guralp 社製 CMG3TB), 傾斜計 (Applied Geomechanics 社製 LILY), 温度計アレイの AD 変換部 (海洋電子製 SAHF) については市販品に改良を加える形で開発を実施した。温度計アレイのセンサー部は一定間隔でケーブルにサーミスタを取り付け後モールド加工することで作成した。体積歪計に関しては, 受感部を含めて新規製作を実施することとした。また, ジオフォン (OYO Geospace 社製 GS-11D 4.5Hz), 加速度計 (日本航空電子製 JA-5H200) については, レベリング部, テレメトリ回路, AD 変換回路およびキャリブレーション回路の新規作成を実施した。全てのセンサーに独自に耐振補強を施し, VIV による強振動に耐えうる構造となるよう開発を実施した。

開発終了後, 傾斜計, ジオフォン, 加速度計, 温度計アレイ AD 変換部についてノイズ評価試験, 振動・衝撃試験を実施した。本試験の目的は, 振動・衝撃試験前後の各センサーのノイズレベル, 振幅, 位相特性に変化がないことを確認し, 耐震補強の有効性を確かめるといったものであった。ノイズ評価試験は気象庁精密地震観測室壕内にて実施した。壕内は極めて low-noise 環境であるので, 仮に, 振動・衝撃試験によりセンサーにダメージが生じた場合, 振幅・位相特性の変化を捉えることができる。また, 温度, 湿度共に非常に安定しており, 長期安定性についても確認・議論が可能である。ノイズ評価試験実施後, 良好なデータが取得できたことを確認した後, 振動・衝撃試験を実施した。振動試験は IODP Exp. 319 において測定された実測振動データを元に算出された 3-15Hz の Sweep 振動, 最大加速度  $\pm 2.0G$  の条件で実施した。また, 衝撃試験については, センサー設置時の衝撃を予備実験にて見積り, 最大加速度 90G, 衝撃パルス幅 2ms として実施した。振動・衝撃試験の前後にジオフォンのレスポンス確認等の簡易的な動作確認を実施後, 再度気象庁精密地震計壕内にセンサーを設置し, ノイズ評価試験を開始した。なお, 歪計に関しては, 全体で試験することがサイズ, 重量の関係上不可能であったため, 製作過程においてコンポーネント単位での振動試験を実施した。また, 広帯域地震計に関しては, 出荷前に他のセンサーと同様の条件で英国 Guralp 社により振動試験が実施された後, 他のセンサーと同じく精密地震観測室でのノイズ評価試験を実施した。

傾斜計, ジオフォン, 加速度計について, 振動・衝撃試験前後に取得されたバックグラウンドノイズ記録からそれぞれ Power Spectral Density(PSD) を算出し, 加速度変換後のレスポンスの比較を実施した結果, 試験前後での特性変化は認められなかった。傾斜計, ジオフォンについてはいずれも 0.2~0.3Hz 付近に脈動の明瞭なピークが認められた。また, 加速度計については, 強震計として入力レンジを設定していることからシグナルに対応するピークは確認できないが, 試験前後でのノイズレベルの変化はないことを確認した。温度計アレイについては, 試験前後の安定性に変化がないことをリファレンスセンサーとの時系列データ比較から確認した。その後, 広帯域地震計も含む同時測定を実施し, 陸上タイプの広帯域地震計 (CMG3T) をリファレンスとして特性を比較した結果, 広帯域地震計, ジオフォン, 傾斜計についてレスポンスの良好な一致を確認した。これら一連の試験実施後, 全てのセンサーは”ちきゅう”に搭載され, IODP Exp.332 により南海トラフ掘削孔 C0002 に無事設置された。これらのセンサーは 2011 年 3 月下旬に予定されている調査船”かいよう”による航海 KY11-04 にて海底に設置されるレコーダーに接続され, 連続測定が開始される。発表では回収されたデータについても速報的に紹介する予定である。

キーワード: 長期孔内計測, 南海トラフ, センサー開発, 振動・衝撃試験, ノイズ評価試験

Keywords: Long-term borehole monitoring system, Nankai Trough, development of sensors, vibration and shock test, noise

evaluation test



## 間隙水圧と歪の並行観測による断層帯周辺の透水構造推定

## Modeling of permeability structure using pore pressure and borehole strain monitoring

加納 靖之<sup>1\*</sup>, 伊藤 久男<sup>2</sup>  
Yasuyuki Kano<sup>1\*</sup>, Hisao Ito<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京大・防災研, <sup>2</sup> 独立行政法人 海洋研究開発機構

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

岩盤の透水性を測定するには、掘削孔に設置したパッカーとポンプを用いた現場水理試験や、得られたコアを用いた室内透水試験によってその値を得ることが行なわれてきた。また、水圧計や水位計を掘削孔に設置し、長期的なモニタリングを行なう場合は、大気圧変化や地球潮汐など自然の岩盤変形に対する間隙水圧の応答を推定することが可能である。地下水資源の探査の分野では、こうした自然の岩盤変形に対する応答を調べて透水性や貯留量を推定する手法が古くからとられてきた。

これらの手法では測定領域やサンプルのスケールが大きく異なり、断層帯のように空間的に不均一な透水性構造となっている場合には、それぞれで得られる値がどのような関係をもっているかは必ずしも明らかではない。しかも、断層帯の透水構造を考えるとときには、断層面からの距離によって透水構造が変化するのか？断層面に沿った流れが卓越するのか？など、その不均一性の理解が、断層帯の変動の理解に重要な鍵となると考えられる。

自然の岩盤変形による応答を測定することを想定して、断層帯の透水構造についての簡単なモデル解析をおこなった。モデルは2次元（深さ断面）で、均一な透水率をもった岩盤に垂直方向に断層を模擬した高透水性層を設ける。モデルの上方の境界は、自由水面（排水条件：間隙水圧=0）、下方の境界は水が流れ出さないという条件で、変位と間隙水圧がカップルした拡散方程式を数値的に解いた。初期条件として、上方の境界での上下方向の均一なステップ的な荷重とした。また、大気圧変動を想定して同様の荷重についていくつかの周波数で計算した。また比較のため、断層（高透水性層）を設けず、均一な透水性構造の場合も計算した。

このモデル計算の結果からは、高透水性層（断層）の幅と、高透水性層と低透水性層の透水性のコントラストに依存して、断層周辺の低透水性の層の影響の寄与の割合が変化し、薄い断層帯中であればその中で間隙水圧を測定したとしても、それがただちに断層帯そのものの透水性推定につながらないことが示唆された。

このモデル計算の結果を、神岡鉱山の断層を貫くボアホールでの現場水理試験とその後の水位観測のデータに適用した。現場水理試験により母岩、薄い亀裂、断層帯の透水係数がそれぞれ  $1.4 \times 10^{-19}$ ,  $5.5 \times 10^{-15}$ ,  $2.0 \times 10^{-15} \text{ m}^2$  と推定された。また、その後の断層帯の水位観測および近傍のボアホール歪記録によって観測された大気圧および地球潮汐応答の解析からは、透水係数が  $10^{-14} \text{ m}^2$  と推定された。母岩と断層帯の組み合わせでこの観測結果を説明しようとする、断層帯が観測地点のごく近傍（距離 10 m 程度）で自由水面（排水面）となっていることが推定される。現場の状況と合わせて考えると坑道が自由水面となっていることで説明できる。

ここでのモデル計算から、母岩（低透水性層）にかこまれた断層（高透水性層）の透水性を得るためには、断層帯のみならず、母岩の透水性を調べることも重要であることがわかった。断層帯を想定した透水性のモデリングは、水圧モニタリングおよび現場水理試験のデザインや、コア試料による透水試験の配置に有益な情報となるだろう。

キーワード: 断層帯, 透水構造, 深部掘削孔, 間隙水圧

Keywords: fault zone, permeability structure, deep drill hole, pore pressure

SSS035-23

会場:国際会議室

時間:5月24日 12:15-12:30

## Seismic structural and stratigraphic variations of subduction inputs along the Nankai Trough

### Seismic structural and stratigraphic variations of subduction inputs along the Nankai Trough

朴 進午<sup>1\*</sup>, 佐々木 智之<sup>1</sup>, 東 真幸<sup>1</sup>, 林 智胤<sup>1</sup>

Jin-Oh Park<sup>1\*</sup>, Tomoyuki Sasaki<sup>1</sup>, Masayuki Higashi<sup>1</sup>, Jiyoung Lim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大気海洋研究所

<sup>1</sup> AORI, University of Tokyo

The Nankai Trough subduction zone, where the Philippine Sea Plate subducts beneath the Eurasian Plate to the NNW, is known as one of the best-suited convergent plate margins for studying subduction zone earthquakes. Historically, large earthquakes along the subduction zone have occurred with a recurrence interval of 100-200 years. The Nankai subduction zone may be divided into four or five discrete domains marked by the megathrust earthquake rupture, each of which roughly corresponds to a geologically well-defined forearc basin. Previous works indicate variations in upper plate geometry and plate-boundary decollement character along the Nankai Trough. Wedge taper angle of overlying accretionary prism varies significantly along the Nankai subduction zone. Reflection polarity of plate-boundary decollement has also a regional variation: for example, reverse for Muroto transect, and normal for Kumano transect. Those variations of the Nankai subduction-zone processes may be attributed to variations of subduction inputs composed of oceanic crust and overlying sediments of the Philippine Sea plate.

In order to figure out structural and stratigraphic variations of subduction inputs along the Nankai Trough, we interpreted a number of 2D and 3D seismic reflection data which have been acquired by JAMSTEC since 1997. For lithologic and age controls of each seismic reflection unit, we used Ocean Drilling Program and Integrated Ocean Drilling Program NanTroSEIZE drilling results. Based on seismic reflection characteristics, we identify 5 major seismic units from top to bottom: (1) trough turbidite fill, (2) upper Shikoku Basin sediments consisting of hemipelagic mud and volcanic ash, (3) middle Shikoku Basin sediment of volcanoclastics, (4) lower Shikoku Basin sediments consisting of turbidites and hemipelagic mud, and (5) oceanic crust of basalt. In particular, we recognize 3 different turbidite sediments within the lower Shikoku Basin (LSB) unit: LSB-T1, -T2, and T3. The shallow LSB-T1 is widely distributed in the east Nankai Trough including offshore Kumano Basin, with pinch-out off Cape Muroto of Shikoku Island. The middle LSB-T2 is confined to a region off Cape Ashizuri of Shikoku Island. The deep LSB-T3 shows a local distribution off Kumano Basin. Variation of oceanic basement highs appears to have influenced the turbidite sedimentation along the Nankai Trough. In this talk, we will present seismic structural and stratigraphic variations of the subduction inputs and then discuss its implications for the Nankai plate-boundary fault behavior.

SSS035-24

会場:国際会議室

時間:5月24日 12:30-12:45

## VSPによる南海トラフ熊野灘の付加帯のS波速度構造 S-wave velocity structure in the accretionary prism beneath the Kumano Basin, Nankai Trough, Japan, revealed by vertical

日野 亮太<sup>1\*</sup>, Bangs Nathan<sup>2</sup>, 真田 佳典<sup>3</sup>, 朴 進午<sup>4</sup>, von Huene Roland<sup>5</sup>, Moore Gregory<sup>6</sup>, 辻 健<sup>7</sup>, 野 哲郎<sup>3</sup>, 荒木 英一郎<sup>3</sup>, 木下 正高<sup>3</sup>

Ryota Hino<sup>1\*</sup>, Nathan Bangs<sup>2</sup>, Yoshinori Sanada<sup>3</sup>, Jin-Oh Park<sup>4</sup>, Roland von Huene<sup>5</sup>, Gregory Moore<sup>6</sup>, Takeshi Tsuji<sup>7</sup>, Tetsuo No<sup>3</sup>, Eiichiro Araki<sup>3</sup>, Masataka Kinoshita<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> テキサス大学, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構, <sup>4</sup> 東京大学大気海洋研, <sup>5</sup> カリフォルニア大学, <sup>6</sup> ハワイ大学, <sup>7</sup> 京都大学大学院工学研究科

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Univ. of Texas, <sup>3</sup>JAMSTEC, <sup>4</sup>AORI, Univ. of Tokyo, <sup>5</sup>Univ. of California, <sup>6</sup>Univ. of Hawaii, <sup>7</sup>Kyoto Univ.

The Kumano Basin is a forearc basin located on the landward slope of the Nankai Trough. It lies directly above the large co-seismic slip area of the 1944 Tonankai earthquake (M 8.1) and directly above the megasplay fault. Although a number of surface seismic surveys have been acquired in this area to reveal seismic signatures characterizing an asperity of megathrust earthquakes, S-wave velocity structure remains almost unknown. In 2009, we conducted a walk away vertical seismic profiling (VSP) experiment using a large, 7,800 cu. in. airgun array as a sound source and an array of 16 three-component downhole seismometers as receivers, during the IODP Exp. 319. P-to-S converted waves were successfully observed on the horizontal component of the downhole seismic records. Refracted S waves that were converted at the seafloor from P waves have arrival times that are explained by assuming  $V_p/V_s$  values of 1.73 in the old accretional sedimentary layer overlain by the unconsolidated basin sediment with  $V_p/V_s > 2.0$ . The obtained  $V_p/V_s$  ratio, or equivalent Poisson's ratio, is somewhat smaller than the value estimated in the Ashizuri region, southwestern end of the Nankai subduction system, although the observed  $V_p$  values are almost the same in the two regions. The lower Poisson's ratio in the old accreted sediment suggests that the layer is highly cemented and therefore impermeable. The existence of the impermeable layer in the hanging wall side of the mega-splay fault could increase pore pressure along the fault zone where VLF earthquakes are observed frequently.

キーワード: 深海掘削, 鉛直地震探査

Keywords: IODP, VSP

SSS035-25

会場:国際会議室

時間:5月24日 14:15-14:30

## 無人探査機NSSを用いて明らかになった熊野沖南海トラフ沈み込み帯分岐断層の高解像度浅部構造

### High resolution shallow structures of splay faults in the Nankai subduction zone off Kumano revealed by ROV NSS

芦寿一郎<sup>1\*</sup>, 中村恭之<sup>2</sup>, 辻健<sup>3</sup>, 池田安隆<sup>4</sup>, 大塚宏徳<sup>1</sup>, KH-10-3乗船研究者<sup>1</sup>

Juichiro Ashi<sup>1\*</sup>, Yasuyuki Nakamura<sup>2</sup>, Takeshi Tsuji<sup>3</sup>, Yasutaka Ikeda<sup>4</sup>, Hironori Otsuka<sup>1</sup>, KH-10-3 shipboard scientists<sup>1</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, <sup>3</sup> 京都大学大学院工学研究科, <sup>4</sup> 東京大学大学院理学系研究科

<sup>1</sup>AORI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>Grad. School of Engineering, Kyoto Univ., <sup>4</sup>Grad. School of Science, Univ. Tokyo

Structures of the accretionary prism off Kumano were well investigated by dense seismic reflection survey. IODP Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) has been conducted based on these data. However, subbottom profiling (SBP) and surface sediment samplings were limited due to steep and complex topography under strong Kuroshio Current. We carried out deep-tow subbottom survey and pinpoint core sampling by ROV NSS (Navigable Sampling System) during Hakuohmaru KH-10-3 cruise. A pilot vehicle of NSS is equipped with four thrusters, observation cameras and a hook for a heavy payload. We introduced a chirp subbottom profiling system of EdgeTech DW-106 for high resolution mapping of shallow structures on this study.

Megasplay faults at shallow depth around IODP drilling sites were well imaged by 3D seismic survey. One of three SBP data shows a fault plane at a depth deeper than 10 meter below a seafloor. Surface sediments exhibit continuous stratification although reflectors are weak above this blind fault. Chaotic sediments are often observed at a base of a fault scarp suggesting slumping or sliding. Active cold seep at each fault scarp was recognized at the prism slope 30 km southwest of the IODP sites. One of fault scarps at a water depth around 3300m is characterized by dense traces of bivalves suggesting diffusive methane flux through thin sediment cover above a fault. SBP reveals a blind fault at the depth deeper than 10m below seafloor. Above the upper termination of this fault, chaotic sediments are found below a stratified cover sequence of five meters thick. It is suggested that diffusive methane flux occurs through such thin sediment cover. We installed a long-term heat flow meter for monitoring of cold seep activity.

キーワード: 活断層, 分岐断層, 冷湧水, 付加体

Keywords: active fault, splay fault, cold seep, accretionary prism



## 熊野沖分岐断層付近における熱流量異常と湧水活動

### Heat flow anomaly and cold seep activity in the vicinity of the splay fault off the Kii Peninsula

山野 誠<sup>1\*</sup>, 濱元 栄起<sup>2</sup>, 後藤 秀作<sup>3</sup>

Makoto Yamano<sup>1\*</sup>, Hideki Hamamoto<sup>2</sup>, Shusaku Goto<sup>3</sup>

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

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

南海トラフ沈み込み帯、特にプレート境界巨大地震発生帯の温度構造の解明を目指して、紀伊半島南東方(熊野沖)海域における熱流量測定を実施してきた。その結果、この地域の大局的な熱流量分布として、南海トラフ底から前弧海盆(熊野トラフ)にかけて、陸側に向かって熱流量が徐々に低下する様子が明らかになった。この熱流量分布は、フィリピン海プレートの沈み込みによるものとして説明可能であり、プレート境界面の温度構造についての情報を与えるものである。これに対し、局所的な異常として、変形フロントの陸側約15~25 kmの付加体斜面上でばらつきの大い値(50~100 mW/m<sup>2</sup>)が測定された。この場所は付加体を断ち切る分岐断層が海底面に達する付近にあたり、熱流量のばらつきの原因として、1) 海底水温の時間変動が及ぼす擾乱、2) 断層面に沿った間隙流体の流れによる熱輸送、3) 堆積物表面の変動(海底地すべり等)などが考えられる。このうち2)と3)は、分岐断層の活動と関連するものである。

この熊野沖分岐断層付近の熱流量(温度構造)異常について調べるため、2010年8月の白鳳丸KH-10-3航海において、熱流量測定を行い、また長期温度計測装置を設置した。熱流量測定には通常の深海用プローブを使用し、付加体斜面上の2箇所(HF-1、HF-2)において計11点の測定データを得た。HF-1(水深2600~2700 m)は顕著な断層の近傍であり、ばらつきの大い熱流量が得られている点にも近いが、ここで測定された温度プロファイルには海底水温変動の影響が認められた。この結果は、既存データのばらつきの一部は海底水温変動によることを示唆している。一方、より海側に位置する断層に近いHF-2(水深3000~3300 m)では、海底水温変動の影響は認められず、断層に沿った測定点の熱流量が周囲の点よりも有意に高いという結果が得られた。この断層の近辺では、湧水活動を示す生物群集が潜航調査によって発見されており、断層面に沿った間隙流体の上昇が局所的な高熱流量を生じている可能性が高い。今後さらに集中的な測定を行い、断層と熱流量異常の関係を詳しく調べることが必要である。

長期温度計測に使用した装置は、「自己浮上式海底熱流量計」2台である。これは、6個または7個の温度センサを封じた長さ2 mのプローブを堆積物に突き刺し、温度プロファイルを1年程度の間連続的に測定するもので、NSS(Navigatable Sampling System)を用いて、海底面の状況を観察しながら設置した。設置点は、いずれも断層沿いに存在する生物群集に近接しており、うち1点は、通常の熱流量測定を行ったHF-2の付近である。他の1点は、2001~2002年及び2003~2004年に長さ60~70 cmのプローブによる温度プロファイルの長期計測を実施した地点と、ほぼ同じ位置である。以前の長期計測で得られたデータの解析によっては、生物群集付近で熱流量が非常に高く(100 mW/m<sup>2</sup>以上)、特にバクテリアマット内では間隙流体が上昇していることが明らかになっている。さらに断層沿いに約300 m離れた地点でも、長さ60 cmの小型プローブ(SAHF)を用いた温度プロファイルの長期計測を2010年3月より行っている。これらの長期計測データを合わせて解析し、また従来よりも長いプローブを用いて深くまで測定することにより、間隙流体の流れをより鋭敏に検出できることが期待される。また、流れの時間変動を捉えることができれば、他の現象(超低周波地震など)との比較が可能となる。

キーワード: 南海トラフ, 付加体, 分岐断層, 熱流量, 湧水, 長期計測

Keywords: Nankai Trough, accretionary prism, splay fault, heat flow, cold seep, long-term monitoring

## 熊野灘沖付加体巨大分岐断層とプレート境界断層の表層まで伝播した地震破壊 - IODP Exp316 ちきゅうによる非破壊コア分析の成果 - Coseismic rupture to the up-dip end of plate subduction zone, the result of IODP NanTro-SEIZE Exp316

坂口 有人<sup>1\*</sup>, 山口 飛鳥<sup>2</sup>, 亀田 純<sup>2</sup>, 濱田 洋平<sup>2</sup>  
Arito Sakaguchi<sup>1\*</sup>, Asuka Yamaguchi<sup>2</sup>, Jun Kameda<sup>2</sup>, Yohei Hamada<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学地球惑星科学  
<sup>1</sup>IFREE/ JAMSTEC, <sup>2</sup>University of Tokyo

熊野灘沖の東南海地震(1944)震源域には分岐断層とプレート境界断層の二つの主要な断層が発達している。IODP 南海トラフ地震発生帯掘削計画の第316次航海において、この巨大分岐断層(C0004: 400 mbsf)と、プレート境界断層(493 mbsf)を貫いて掘削・コア採取が試みられ、断層岩が成功裏に採取された。分岐断層はプレート境界断層から岐分かれてして発達し、浅部では斜面海盆堆積物の上に付加体を衝上させている。この断層浅部において破砕帯およびマイクロプレッチャ帯が採取され、その中に幅約20 mmの暗黒色ゾーンが認められた。一方のプレート境界断層は、付加体の先端において海底面に顔を出しており、付加体を南海トラフ底堆積物の上に衝上させている。この断層浅部において破砕帯およびマイクロプレッチャ帯が採取され、その中に幅約数mmの暗黒色ゾーンが認められた。この暗色帯を挟んでナノプランクトン年代が上盤5.32 Maに対して下盤3.65 Maという逆転が確認されている(Kinoshita, et al., 2009)。これはこの暗黒色帯の累積変位量がきわめて大きいことを意味している。またこういった断層浅部は、未固結堆積物であるゆえ速度弱化を起しにくいことから、地震破壊は伝播しないだろうと考えられてきた(Wang and He, 2008; Saffer and Marone, 2003)。

この断層帯においてXRD, 蛍光X線コアスキャン, ビトリナイト反射率分析を行った。その結果、巨大分岐断層の暗色帯において、周辺よりもAl, K, Feが濃集し、CaとSrが減少していることが認められた。また暗黒色帯においてイライト-スメクタイト混合層中のイライトの割合が高いことを確認した(Yamaguchi et al., 投稿中)。またビトリナイト反射率分析は、周辺層( $R_o = >0.27\%$ )よりも暗黒色帯とその周囲がわずかに高い( $R_o = 0.57\%$ )ことが示した。ビトリナイト反射率分析は、同様にプレート境界断層の先端においても暗黒色帯とその周囲がわずかに高い( $R_o = 0.37\%$ )ことを示した(Sakaguchi et al., GEOLOGY, inpress)。

これらの結果はいずれも暗黒色帯が高い温度を経験したことを意味している。反応帯の幅と変質レベルから過去の被熱時間をある程度推定することが可能となる。詳細な解析研究は個別の講演に譲るが、この断層沿いの局所的な熱異常は地質時間スケールの長期わたる現象ではなく、比較的短時間に生じたものと結論づけられる。おそらく断層の高速剪断摩擦作用によるものであり、浅海における高速破壊はおそらく津波を伴ったものと推定される。

### References

Kinoshita, M., Tobin, H., Ashi, J., Kimura, G., Lallemand, S., Screatton, E.J., Curewitz, D., Masago, H., and Moe, K.T., and the Expedition 314/315/316 Scientists, 2009, Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, Volume 314/315/316: Washington, D.C, Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., doi: 10.2204/iodp.proc.314315316.133.2009.

Saffer, D., and Marone, C., 2003, Comparison of smectite- and illite-rich gouge frictional properties: Application to the up-dip limit of the seismogenic zone along subduction megathrusts: Earth and Planetary Science Letters, v. 215, p. 219-235, doi: 10.1016/S0012-821X(03)00424-2.

Wang, K., and Hu, Y., 2006, Accretionary prisms in subduction earthquake cycles: The theory of dynamic Coulomb wedge: Journal of Geophysical Research, v. 111, B06410, doi: 10.1029/2005JB004094.

キーワード: プレート沈み込み帯, 地震発生帯, 津波, ビトリナイト, XRD, SRF  
Keywords: Plate subduction, Seismogenic zone, Tsunami, Vitrinite, XRD, XRF

SSS035-28

会場:国際会議室

時間:5月24日 15:00-15:15

## スロースリップの物質的な証拠 A material record of slow slip in the shallow accretionary prism

濱田 洋平<sup>1\*</sup>, 坂口 有人<sup>2</sup>, 山口 飛鳥<sup>1</sup>, 亀田 純<sup>1</sup>, 木村 学<sup>1</sup>  
Yohei Hamada<sup>1\*</sup>, Arito Sakaguchi<sup>2</sup>, Asuka Yamaguchi<sup>1</sup>, Jun Kameda<sup>1</sup>, Gaku Kimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 独立法人海洋研究開発機構

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC

Recent geophysical observations have shown a great variation in seismicity in a shallow accretionary prism, from the coseismic slip of a large earthquake such as the 1944 Tonankai earthquake to slow slip of VLF in Nankai Trough. During the Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTro SEIZE) Stage 1, the frontal thrust and a megasplay fault were drilled and cored. The measurements of vitrinite reflectance geothermometry were performed within these two major slip zones and revealed the occurrence of the temperature anomaly along the faults. We combined the data with core-scale structure and interpolated the vitrinite reflectance ( $R_o$ ) applying Steinman function. The smoothed data showed that broad peaks exist within certified slip zones and the peak positions locate in black narrow zones in each fault. We simulated  $R_o$  distribution using temperature alteration model and a kinetic method of thermal maturation of vitrinite. The results show that the range of the  $R_o$  distribution is expanding relative to the width of heat generate region and the long-term heating ( $\sim 100$  s) is needed for the proceeding of the maturing reaction rim. Therefore, we concluded that the measured  $R_o$  distributions indicate that the slow slip occurred in the shallow accretionary prism.

キーワード: スロースリップ, ビトリナイト反射率, 化学反応速度論

Keywords: slow-slip, vitrinite refraction, kinetics

SSS035-29

会場:国際会議室

時間:5月24日 15:15-15:30

## IODP Exp. 315, Site C0002B より採取した付加体中泥岩の破壊および浸透率特性 Failure and permeability properties of accretionary mud samples cored at Site C0002 of the IODP Expedition 315

高橋 美紀<sup>1\*</sup>, 東 修平<sup>2</sup>, 上原 真一<sup>1</sup>, 金川 久一<sup>2</sup>

Miki Takahashi<sup>1\*</sup>, Shuhei Azuma<sup>2</sup>, Shin-ichi Uehara<sup>1</sup>, Kyuichi Kanagawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 千葉大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Chiba Univer

Very low frequency earthquakes have recently been found in the accretionary prism along the Nankai Trough (Ito and Obara, 2006), which has been ascribed to slow-slip faulting along out-of-sequence thrusts (OSTs). Thus faulting along the OSTs presumably varies from slow slips to seismic ruptures. What controls such difference in seismic faulting along the OSTs? Both intrinsic and extrinsic factors are likely responsible; intrinsic factors include material and physical properties of sediments (e.g., clay-mineral contents and permeability), while extrinsic factors include physical conditions (e.g., pressure, pore-water pressure and temperature). We will here discuss on pore-water diffusivity possibly affecting the duration time for stress drop after failure.

We have conducted triaxial compression experiments and permeability measurements to investigate what factors affect styles of brittle failure in accretionary sediments. We used mud samples cored from c.a. 1000 mbsf at site C0002 of the IODP Expedition 315 (#51R06 and #65R02). At room temperature, we first measured the permeability of the specimens of two samples with 20 mm in diameter and 40 mm in length, then deformed them at a constant axial displacement rate of either 1 micron/sec and 10 micron/sec, and at in situ confining and pore-water pressures, i.e. at the confining pressure  $P_c$  of 36 MPa and the pore-water pressure  $P_p$  of 28 MPa for the sample #51R06 (944 mbsf), while at  $P_c$  of 38 MPa and  $P_p$  of 29 MPa for the sample #65R02 (1049 mbsf).

Permeability measurements revealed that sample #51R06 is less permeable ( $k \sim 10^{-20} \text{ m}^2$ ) than the sample #65R02 ( $k \sim 10^{-19} \text{ m}^2$ ). Both samples showed a continuous porosity reduction during the deformation, implying a continuous compaction. However, the duration time required for stress drop after failure of the sample #51R06 was almost 10 times longer than that of the sample #65R02. Because the less permeable sample requires more time for pore water to diffuse throughout the sample, it also requires more time for pore-water pressure to stabilize after failure. Thus the duration time required for stress drop after failure is possibly affected by pore-water diffusivity. We will also discuss on mineral compositions and microstructures of the two samples which are relevant to the difference in their failure and permeability properties.

Keywords: post-failure curve, permeability, diffusivity

## 南海トラフ巨大分岐断層物質の中速摩擦特性

## Frictional properties of megasplay fault materials in the Nankai subduction zone for intermediate slip velocities

堤 昭人<sup>1\*</sup>, 氏家 恒太郎<sup>2</sup>

Akito Tsutsumi<sup>1\*</sup>, Kohtaro Ujiie<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科

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

Knowledge of frictional properties of fault materials for a wide range of velocities is essential for understanding mechanical behavior of faults. Here, we present results from a series of frictional experiments over a range of slip velocities from 0.0026 to 260 mm/s, with > 250 mm of displacements on clay-rich fault materials from the major splay fault within the Nankai accretionary complex (a megasplay fault zone) for water saturated condition.

All of the samples tested in this study were collected at Sites C0001 and C0004 during the IODP expedition 316. Friction experiments were conducted on the samples using a rotary-shear, intermediate- to high-velocity friction testing machine. The experimental fault is composed of a 24.9 mm diameter granite cylinder assembled with an intervening thin layer of gouge (initial gouge thickness were 0.5 or 1.0 mm). A PTFE (Teflon) ring surrounds the fault in order to avoid gouge expulsion during rotation. The collected samples were disaggregated, oven dried at 50 degrees centigrade for 24 hours and then sieved in order to eliminate clasts larger than about 0.17 mm. Distilled water of 0.5 ml in volume was added to the 0.5 mm-thick gouge layer (1.0 ml for 1.0 mm gouge) in order to prepare saturated (wet) condition of the experimental gouge layer. The assembled gouge has been axially pre-compacted at the test condition (5 MPa) for half an hour.

Experimental results reveal that there are both velocity-weakening and velocity-strengthening fault materials for slip velocities from 0.026 to ~26 mm/s. The velocity weakening behavior could provide a condition to initiate unstable fault motion at shallow depths along the splay fault. On the contrary, velocity strengthening behavior may affect to stabilize the propagation process of earthquake nuclei that emerges in the velocity weakening portion along the fault. For velocities  $v > 260$  mm/s, friction of all samples decreases dramatically with increase of the slip velocity.

The tested samples contain clays, quartz, plagioclase and calcite [Expedition 316 Scientists, 2009]. Variation of the clay content and composition of the clays may play an important role controlling the frictional velocity dependence of the megasplay fault at shallow depth conditions. For example, lithological unit that includes abundant ash layers would be a candidate of smectite-rich horizon, and this type of compositional variation along the fault may contribute to produce patch-like distribution of the frictional velocity dependence along the splay fault.

キーワード: 断層摩擦, 南海トラフ, 分岐断層

Keywords: frictional properties, Nankai Trough, Splay fault



SSS035-31

会場:国際会議室

時間:5月24日 15:45-16:00

## NanTroSEIZE Site C0012における海洋底玄武岩最上部の変質パターンと沈み込みプレート境界断層のレオロジー

### Alteration pattern of ocean floor basalt at NanTroSEIZE Site C0012: implication for the rheology of subduction thrust

山口 飛鳥<sup>1\*</sup>, 亀田 純<sup>1</sup>, 北村 有迅<sup>2</sup>, 斎藤 実篤<sup>2</sup>, 木村 学<sup>1</sup>, Henry Pierre<sup>3</sup>, 金松 敏也<sup>2</sup>, Kyaw Thu MOE<sup>2</sup>, the Expedition 333 Scientists<sup>4</sup>

Asuka Yamaguchi<sup>1\*</sup>, Jun Kameda<sup>1</sup>, Yujin Kitamura<sup>2</sup>, Saneatsu Saito<sup>2</sup>, Gaku Kimura<sup>1</sup>, Pierre Henry<sup>3</sup>, Toshiya Kanamatsu<sup>2</sup>, MOE Kyaw Thu<sup>2</sup>, Scientists the Expedition 333<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> CEREGE, <sup>4</sup> IODP

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>CEREGE, <sup>4</sup>IODP

The IODP Expedition 333, a part of NanTroSEIZE project, was operated during December 2010 to January 2011. To recover cores of oceanic crust as the material of subduction input, three holes were drilled at Site C0012, located at the top of Kashinozaki Knoll on the Philippine Sea Plate just before subduction in the Nankai Trough. Basalts are recovered from 525.7 to 626.44 m CSF in Hole C0012G. They are composed of pillow lavas and massive lavas. Plagioclase and pyroxene (clinopyroxene) phenocrysts in altered volcanic glasses with various amounts of vesicles show intergranular to subophitic textures. Alteration is entirely strong: i.e., olivine phenocrysts were completely replaced by saponite, and groundmasses (volcanic glasses) were mostly altered to saponite and celadonite. Moreover, plagioclases were replaced by zeolites and clay minerals in some places. Green- and orange-colored alteration halos develop along red-colored Fe-oxyhydroxide veins below 563 m CSF. The green and orange alteration halos were overprinted by pyrite precipitation accompanying with strong saponitization (occurs in 525.7 to 563, 601, 613 to 615 m CSF). The two stages of alteration reflect the changes in fluid redox state. Fe-oxyhydroxide veins with orange alteration halos might be formed by near-axis open-system oxidizing fluid circulation, whereas strong saponitization with pyrite might be formed by closed-system reducing fluid circulation after oceanic crust was covered with sediments and separated from seawater (Alt, 2004).

Strong saponitization encountered in the topmost 40 m of ocean floor basalt may play important role for the rheology of subduction thrust, especially stepping-down of the decollement. Saponite releases water in response to temperature rise, and is progressively converted to chlorite (Kameda et al., submitted). In subduction zones, this dehydration reaction can build up high fluid pressure within highly saponitized part of oceanic crust so that can reduce effective strength at the topmost part of subducting basalt. If this mechanism works efficiently, inversion of effective strength between sediments and oceanic crust occurs at some depth of subduction zone. Here we point out the possibility that such strength inversion result in the step-down of the decollement to oceanic crust, which is figured out by seismic profiles of modern subduction zones (e.g. Park et al., 2002; Kimura et al., 2010) and geology of on-land accretionary prisms (Kimura and Ludden, 1995). A compile of metabasalts in on-land accretionary complexes indicate that oceanic crusts are often underplated to accretionary prism as slab-like bodies with thickness of less than 300 m (mostly <100 m) (Kimura and Ludden, 1995). This characteristic thickness could be controlled by the thickness of saponitization just below the sediment. Although seismic fault rocks have been discovered from basalts in on-land accretionary complexes (Ujiiie et al., 2007), frictional properties of altered basalt are not very much considered so far. Experimental investigation on altered basalt is needed to quantify the role of subducting basalt in seismogenic zones.

SSS035-32

会場:国際会議室

時間:5月24日 16:00-16:15

## 過去の付加体前縁断層に見られる粘土鉱物の相転移反応 Prograde clay minerals reactions along an ancient frontal thrust

亀田 純<sup>1\*</sup>, 山本 由弦<sup>2</sup>, 濱田 洋平<sup>1</sup>, 木村 学<sup>1</sup>

Jun Kameda<sup>1\*</sup>, Yuzuru Yamamoto<sup>2</sup>, Yohei Hamada<sup>1</sup>, Gaku Kimura<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC

Fossil imbricate thrusts branching from an ancient decollement in the Miura-Boso accretionary prism are exposed in the southern parts of the Miura and Boso peninsulas in central Japan. A clay mineralogical analysis on the fault rocks of one of the imbricate thrust faults, the Shirako fault (Boso Peninsula), revealed a local progress of transformation reactions over intact surrounding rocks; illitization of mixed-layer illite-smectite (I-S), thickening and/or ordering of discrete illite and chlorite packets, and partial degradation of kaolinite. Shape of I(001)-S(001) reflection in the X-ray diffraction pattern together with mean crystallite thickness suggests that illite content in I-S within the fault gouge increases by ~10 % from the host rock samples. Local temperature anomaly possibly caused by frictional high-velocity slips appears a favorable reason to have promoted these prograde reactions in the clay assemblage, rather than factors such as rock deformation or specific fluid composition. A thermal model coupled with kinetic simulation on illitization in I-S suggests that the reaction is facilitated by several repetitions of high-velocity slips with peak temperature >400 °C. Such slips along the Shirako fault might have been potentially tsunamigenic events.

キーワード: 付加体, 摩擦発熱, スメクタイト, イライト

Keywords: accretionary prism, tsunami, smectite, illite

## 断層帯の粘土鉱物の挙動の基礎的研究 カオリナイトの非晶質化と再結晶化 Behavior of clay minerals in fault zones - amorphization and recrystallization of kaolinite

藤本 光一郎<sup>1\*</sup>, 佐藤 公法<sup>1</sup>

Koichiro Fujimoto<sup>1\*</sup>, Kiminori Sato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京学芸大学

<sup>1</sup>Tokyo Gakugei Univ.

ナノサイズの粒子は断層の摩擦的性質に大きな影響を与えていると考えられ、近年注目を集めている (Ma et al., 2006 など)。機械的粉碎による細粒化にとどまらず、それによって励起される化学的変化 (メカノケミカルな変化) が生じることと考えられ、飯田松川断層では粉碎起源と思われる非晶質物質が発見されている (Ozawa and Takizawa, 2007)。脆性断層の変形集中部 (断層コア) には粘土鉱物が多産するが、粘土鉱物はメカノケミカルな過程で非晶質化することなどが知られており、その挙動を調べることは重要と考えられる。本研究においては、組成が単純であり、実際に台湾のチェルンブ断層の断層コアでの選択的消失が報告されているカオリナイト (Hirono et al., 2008) を対象にして、機械的な粉碎実験と、再結晶化実験を行った。

非晶質化実験: 関白産カオリナイト (日本粘土学会 参考資料 JCSS1101b) について、遊星型ミルを用いて乾式の粉碎実験を行った。45ml の WC 製容器に 5mm 径の WC 製ボールを 180 個入れ、400 回転/分の条件で粉碎をしたところ、30 分程度で X 線回折のカオリナイトのピーク強度が低下した。不純物として含まれる石英やミョウバンのピーク強度がほとんど変化していないことから、カオリナイトが選択的に非晶質化したと考えられる。FE-SEM による観察でも、数 nm サイズの細かい粒子の集合体に変化している様子が観察されている。また、ナノスケールの空隙のサイズ分布をポジトロニウムの寿命計測によって評価し、粉碎に伴う変化が検出された。この実験による容器内の衝突のエネルギーは、全体としては一回の M7 程度の地震性滑りの破壊エネルギーにほぼ匹敵すると考えられる。スメクタイトの一種であるステープンサイトも同様に機械的粉碎を試みたが、カオリナイトほどの顕著な非晶質化は起こらなかった。粘土鉱物でも構造の違いによって非晶質化のされやすさに違いがあるのかもしれない。

加熱による非晶質化の実験も行った。600 °C では 1 時間で、また 1000 °C では 1 分の加熱で X 線回折パターンでほぼ完全にカオリナイトのピークが消失し、非晶質化されることが確認された。

再結晶化実験: 機械的粉碎で純粋な非晶質物質を作ることができなかったため、ジョージア産カオリナイトを温度 600 °C の電気炉で 1 時間加熱することで非晶質化させた。それを pH3 の希塩酸水溶液で、140 ~ 250 °C の温度条件で 2 時間 ~ 1 月程度熱水処理を行った。生成物を X 線粉末解析で解析し、カオリナイトの 002 ピークの面積から結晶化率を半定量的に求めた。250 °C では数時間で、200 °C では 1 日、170 °C では 4 日前後でほぼ 10% 程度がカオリナイトに再結晶化すると評価された。この結晶化率から考えると常温では再結晶化するのに数百年以上の時間がかかることが予想される。

カオリナイトは大地震による高速すべりによる摩擦発熱や機械的粉碎のどちらでも非晶質化しうると考えられる。また、非晶質化した後で長時間経過すると、再結晶化する可能性もある。

キーワード: 断層, 粘土鉱物, カオリナイト, メカノケミカル, 非晶質化

Keywords: fault, clay mineral, kaolinite, mechanochemical, amorphization

## 地震断層における流体岩石相互作用および摩擦溶融の地球化学的評価 Geochemical evaluation of co-seismic fluid-rock interaction and frictional melting in fault zones

石川 剛志<sup>1\*</sup>, 廣野 哲朗<sup>2</sup>, 本多 剛<sup>2</sup>, 松多 範子<sup>2</sup>, 濱田 洋平<sup>3</sup>  
Tsuyoshi Ishikawa<sup>1\*</sup>, Tetsuro Hirono<sup>2</sup>, Go Honda<sup>2</sup>, Noriko Matsuta<sup>2</sup>, Yohei Hamada<sup>3</sup>

<sup>1</sup>JAMSTEC 高知コア研究所, <sup>2</sup>大阪大学大学院理学研究科, <sup>3</sup>東京大学大学院理学系研究科

<sup>1</sup>Kochi Inst. Core Sample Res., JAMSTEC, <sup>2</sup>Osaka Univ., <sup>3</sup>Tokyo Univ.

断層における高温流体の発生や摩擦溶融は、地震時の断層の強度低下をもたらす主要な要因に数えられる。流体の関与に関しては、摩擦熱による間隙圧上昇（熱圧化：Thermal pressurization）に伴う断層強度の低下、それによる断層の破壊伝播の促進が注目され、実験的研究や数値モデリングを用いた研究が精力的に行なわれている。

高温の流体との相互作用や融解によって岩石の微量元素組成、同位体組成が変化することはよく知られている。流体と相互作用した岩石の微量元素組成は、元の流体と岩石の化学組成・鉱物組成が一定であれば、おおまかには流体/岩石比と、固相-流体間における各元素の分配係数とによって決まる。融解で生じるメルトの組成は、融解する鉱物相、融解の程度、固相-メルト間における各元素の分配係数等によって変化する。これらのことから、断層岩の組成変化に基づき、その断層が過去の地震時に高温流体との相互作用や摩擦溶融を経験したかどうかを評価することが原理的には可能である。このような観点から、筆者のグループでは、断層岩の微量元素・同位体分析を進めている。本研究では、これまでに得られたデータに基づき、地球化学的手法を用いた断層中の流体岩石相互作用および摩擦溶融の評価の現状および課題について議論を行なう。

1999年台湾集集地震で活動したチェルンブ断層において、地震時の熱圧化を示唆する高温（> 350℃）の流体岩石相互作用の地球化学的証拠（Ishikawa et al., 2008, Nature Geoscience）が発見されて以来、房総・江見付加体中の断層（Hamada et al., 2011, JGR）、Kodiak 付加体中の断層（Yamaguchi et al., in prep.）、四万十付加体久礼地域の断層（Honda et al., submitted）でも同様の、地震時のものと考えられる高温の流体岩石相互作用の証拠が次々に見つかっている。これらのうち、スプレー断層の深度 2.5~5.5km の部分に相当するとされる四万十付加体久礼地域（Mukoyoshi et al., 2006, EPSL）の試料については、溶融による不適合元素の濃集と流体岩石相互作用による組成変化がオーバーラップしているのが観察された。これは、摩擦溶融によるシュードタキライトの生成に先行して、熱圧化には至らないものの断層帯で高温の流体との相互作用が起こったことを示している。さらに、中央構造線の断層試料（松多ほか、本大会）では、100~200℃程度の比較的低温の流体岩石相互作用の痕跡を検出することができた。このように、地震時の断層帯、特に付加体中では、流体岩石相互作用がかなり一般的に起こっていることが分かってきた。断層岩の微量元素・同位体組成を用いた手法は、地震時の断層帯における流体岩石相互作用、摩擦溶融の履歴の評価法として有効であり、特に、これまで不明な点が多かった熱圧化の実態に断層岩の分析を通して迫る手法の1つとなりうることが特筆される。

今後、この地球化学的手法を精密化するためには、Li, Rb, Cs, Sr など鍵となる元素の固相-流体分配係数を水熱実験等により 350℃ を越える温度についても決定すること、化石断層帯についても元の流体（間隙水）の組成を適切に見積もること、速度論的な効果を適切に評価することが必要である。摩擦溶融による微量元素・同位体組成の変化は原岩組成や溶融条件により多様であり、溶融温度等の見積もりは現時点では困難であるが、摩擦溶融の履歴を簡便に認定する手法としては有効かもしれない。

キーワード: 断層岩, 地球化学, 地震, 流体岩石相互作用, 微量元素, 同位体

Keywords: fault rocks, geochemistry, earthquake, fluid-rock interactions, trace elements, isotopes



SSS035-35

会場:国際会議室

時間:5月24日 17:00-17:15

## 沈み込み帯浅部における圧力溶解劈開から脆性断層への変化：固結度と地震サイクル

### Change in deformation mechanisms from pressure solution to brittle faulting at shallow subduction interfaces: lithification

橋本 善孝<sup>1\*</sup>, 山野菜津子<sup>1</sup>, 山口 実華<sup>1</sup>, 柴田 美緒<sup>1</sup>

Yoshitaka Hashimoto<sup>1\*</sup>, Natsuko Yamano<sup>1</sup>, Mika Yamaguchi<sup>1</sup>, Mio Eida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 高知大学

<sup>1</sup>Kochi University

Tectonic melanges predominantly composed of sheared, fluid saturated, trench-fill sediments, and have been considered to be formed along subduction plate boundaries. Those tectonic melanges can include a wide range of seismic deformations as well as aseismic deformations, as geological evidences. While pseudotachylytes are the direct evidence for seismogenic faults, the change in deformation mechanisms from pressure solution cleavage to brittle faulting is also a significant geological evidence for variety of displacement along subduction plate boundaries. In this study, we focused on pressure solution cleavages and micro-faults within melange zones to understand processes in shallow brittle-ductile transition along subduction interfaces.

Occurrences commonly observed in tectonic melanges that the extension cracks only formed in sandstone blocks and injected by shale matrices in part suggest that competence contrast did exist at the time of the melange formation. The matrix flow might be accommodated by dissolution-precipitation creep, representing pressure solution cleavages. Observation by secondary electron microscope (SEM) shows that the pressure solution cleavages are composed of relatively heterogeneous size of grains of illites with authigenic pyrite.

Micro-faults are also commonly observed in melange zones almost parallel to melange foliation but clearly cut the shale matrices in some parts. Most of micro-fault are accompanied with mineral veins composed of quartz and/or calcite, and slicken lines and mirror surface are also commonly found on the fault surface, indicating the fault displaced in brittle manner. SEM observations provide that the mirror surface are composed of very fine grained (<1 micron) chloritoid with homogenize grain size.

Pressure temperature conditions for melange formation and micro-faults using fluid inclusion thermometry from some melange zones, corresponding ~100 degree C - ~210 degree C / ~80MPa - ~150 MPa, and ~180 degree C - ~250 degree C / ~150MPa - ~300 MPa, respectively. The brittle-ductile transition can ranges from ~180°C to 210°C in temperature. Those results indicate that the deformation mechanisms are divided by P-T conditions with the transition zones and change can be one-way to deep in broad sense. In addition to that, the authigenic minerals were also distinguished with the deformation mechanisms.

Change in deformation mechanisms can be related to lithification, strain rate and fluid pressure. In the way from ductile to brittle, from shallow to deep, lithification can be a significant process. In this process, pressure solution is a role to make shale matrices lithified. In the brittle-ductile transition zones, the heterogeneous lithification state can be existed.

Change in strain rate can affect on the deformation mechanisms in the transition zone. The seismic cycle model by Wang and Hu (2006) expects a change in strain rate along subduction interface and a change in stress within the front of accretionary wedges. Stress changes reported from Yokonami melange and the Nobeoka thrust (Eida and Hashimoto, Yamaguchi et al., this meeting) indicate the consistency with the model. The seismic cycle model can adapt not only to accretionary margins but also to erosional margins such as Costa Rica.

キーワード: 変形機構, 付加体, 沈み込みプレート境界地震, 地震サイクル, 構造的メランジュ

Keywords: deformation mechanisms, accretionary complex, seismogenic zone along subduction interface, seismic cycle, tectonic melange



## Faulting process and its heterogeneity on Chelungpu fault during ChiChi earthquake revealed by TCDP Hole C cores Faulting process and its heterogeneity on Chelungpu fault during ChiChi earthquake revealed by TCDP Hole C cores

川端 訓代<sup>1\*</sup>, Chieng-Hung Chen<sup>1</sup>, Kuo-Fong Ma<sup>1</sup>, Anne-Marie Boullier<sup>2</sup>, Yoshiyuki Iizuka<sup>3</sup>, Hidemi Tanaka<sup>4</sup>  
Kuniyo Kawabata<sup>1\*</sup>, Chieng-Hung Chen<sup>1</sup>, Kuo-Fong Ma<sup>1</sup>, Anne-Marie Boullier<sup>2</sup>, Yoshiyuki Iizuka<sup>3</sup>, Hidemi Tanaka<sup>4</sup>

<sup>1</sup>National Central University, <sup>2</sup>LGIT - CNRS, Universite Joseph Fourier, <sup>3</sup>Academia Sinica, <sup>4</sup>The University of Tokyo

<sup>1</sup>National Central University, <sup>2</sup>LGIT - CNRS, Universite Joseph Fourier, <sup>3</sup>Academia Sinica, <sup>4</sup>The University of Tokyo

The Chelungpu fault is an active fault generated a large earthquake (magnitude 7.7) in Chi-Chi, central Taiwan, in 1999. Taiwan Chelungpu fault Drilling project (TCDP) drilled two vertical holes (hole A and B) and one side-track hole from the hole B (hole C). The samples from the hole C preserve whole structures including a possible primary slip zone (PSZ) and other older slip zones. Identification of the slip zone by recent earthquake is important to understand slip mechanism with combining seismic data and geological data. In this presentation we first show microstructures and discuss recent slip zone and its slip mechanism. Furthermore we discuss heterogeneity on the fault surface by comparing slip zone in hole C with those in holes A and B.

Based on detailed observation, we divided 12 cm fault zone of the hole C into thin 16 layers. All layers are classified into gouge composed of quartz, feldspar and clay minerals. Results of microstructural observation suggest that the most bottom layer in the 12 cm fault zone is related to ChiChi earthquake slip layer. Characteristics of the bottom layer is that the slip layer has 2 cm width and its slip zone is localized within thin 2mm zone.

Comparing our results from the hole C samples and previous studies about the holes A and B, slip layer activated by Chi-Chi earthquake is heterogeneous on the fault zone. Slip zone in the hole C is localized in 2 mm with adjoining drag structure with grain segregation and that in hole B is also 2 mm thick showing a layering structure with grain segregation and dewatering structure (Aubourg et al., 2010 presentation in WPGM T33B-03; Chou et al., 2010 poster in WPGM T31A-061). In contrast, slip zone in the hole A is 2 cm thick and shows random fabric (Boullier et al., 2009). These structures may be compared with experimental studies under high speed and dry or wet conditions (Ujiie et al., 2010 presentation in JPGU SSS019-15; Boutareaud et al., 2008) with fluid pressurization in the slip zone. We show possible slip mechanisms and the heterogeneity of PSZs in Hole A, B and C, by comparing PSZs microstructures in Chelungpu fault with those formed in experiments.

キーワード: ChiChi earthquake, CheLungPu fault, Accretionary complex of Taiwan

Keywords: ChiChi earthquake, CheLungPu fault, Accretionary complex of Taiwan

## コスタリカ地震発生帯掘削プロジェクト IODP Expedition 334 速報 Preliminary results of IODP Expedition 334, Costa Rica Seismogenesis Project (CRISP)

氏家 恒太郎<sup>1\*</sup>, 英文参照<sup>2</sup>, 英文参照<sup>3</sup>, 英文参照<sup>4</sup>, 第334次航海乗船研究者一同<sup>5</sup>

Kohtaro Ujiie<sup>1\*</sup>, Paola Vannucchi<sup>2</sup>, Alberto Malinverno<sup>3</sup>, Nicole Stroncik<sup>4</sup>, Expedition 334 Scientists<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学, <sup>2</sup> 英文参照, <sup>3</sup> 英文参照, <sup>4</sup> 英文参照, <sup>5</sup> 英文参照

<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>University of Florence, <sup>3</sup>Columbia University, <sup>4</sup>Texas A&M University, <sup>5</sup>IODP

コスタリカ地震発生帯掘削プロジェクト (Costa Rica Seismogenesis Project, CRISP) は、沈み込み浸食縁辺域における地震の発生過程を明らかにすることを目的とした一大国際プロジェクトである。コスタリカ沖中米海溝は、ココス海嶺の沈み込みに伴って沈み込み浸食が活発に行われていると考えられ、日本の深海掘削船「ちきゅう」による地震発生帯ライザー掘削が可能でほとんど唯一の沈み込み浸食縁辺域である。IODP Expedition 334 では2011年3月15日から4月13日かけて米国の深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション号」により、沈み込み浸食域と固着域直上の海溝陸側斜面の2地点で、海底面下約1000mに及ぶ掘削コアの採取と掘削同時検層を実施する予定である。これらの掘削地点は、「ちきゅう」による深部ライザー掘削のパイロットホールとしての役割も期待されていると同時に以下の科学目標がかかげられている。

(1) 沈み込み浸食縁辺域のプレート境界 (subduction channel) は、沈み込む堆積物よりむしろ下底浸食により上盤から取り込まれた物質で主に構成されていると考えられている。そこで、上盤から物質を採取し、その組成、組織、物性を明らかにする。

(2) 沈み込み浸食に伴う上盤の沈降速度を明らかにし、subduction channel の厚さを見積もる。

(3) 沈み込み浸食域上盤における岩石と流体の相互作用、水理地質学的・地球化学的特徴を明らかにする。

(4) 沈み込み浸食域直上と固着域直上での応力場を明らかにする。

講演では、航海の速報を紹介する予定である。

## すべりと応力場に及ぼす断層セグメント間の相互作用 Characteristics of slip and stress due to interaction between fault segments

有吉 慶介<sup>1\*</sup>, 松澤 暢<sup>2</sup>, 矢部 康男<sup>2</sup>, 加藤 尚之<sup>3</sup>, 日野 亮太<sup>2</sup>, 長谷川 昭<sup>2</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>

Keisuke Ariyoshi<sup>1\*</sup>, Toru Matsuzawa<sup>2</sup>, Yasuo Yabe<sup>2</sup>, Naoyuki Kato<sup>3</sup>, Ryota Hino<sup>2</sup>, Akira Hasegawa<sup>2</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究 P, <sup>2</sup> 東北大学 地震・噴火予知研究センター, <sup>3</sup> 東京大学 地震研究所

<sup>1</sup>DONET, JAMSTEC, <sup>2</sup>RCPEV, Tohoku University, <sup>3</sup>ERI, Tokyo University

巨大地震が連動して発生する場合、断層セグメント間の相互作用によって応力擾乱が発生するため、長期地震予測モデルとして、Shimazaki and Nakata (1980) が提唱した Time/Slip- Predictable Model は適用できない。このような連動地震のモデルとして、応力降下量一定モデルと固有すべりモデルの2つが、活断層の研究から提唱されている(栗田, 2004)。本研究では、どのような場合に長期地震予測モデルから大きくずれて、2つの連動地震モデルのうちどちらが妥当となるのかについて検討すべく、宮城県沖地震のように沈み込み方向に2つの断層セグメントを想定し、速度/状態依存摩擦構成則を用いた数値シミュレーションを行った。その結果、連動破壊の時間差が短いほど後続する地震に対してすべり量が増幅され、長期地震予測モデルから大きくずれる傾向があった。増幅されたすべり量のうち、地震性すべりが卓越するのは断層セグメント間の摩擦安定性が弱い場合で、非地震性のゆっくりすべりが卓越するのは摩擦安定性が強い場合となった。この結果を2004年のスマトラ地震に適用し、解釈を試みる。また、先行する地震に対する前駆すべり量/応力変化や、初期破壊地点の揺らぎについても議論する予定である。

キーワード: 地震サイクルの擾乱, 応力降下量一定モデル, 固有すべり量モデル, 前駆すべり, 2004年スマトラ地震, 数値シミュレーション

Keywords: Perturbation of earthquake cycle, Constant stress drop model, Characteristic slip model, Preseismic slip, the 2004 Sumatra earthquake, Numerical simulation

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS035-39

会場:国際会議室

時間:5月24日 18:00-18:15

## 東南海地震後から南海地震までの地殻変動データに対する逐次データ同化の数値実験

### Numerical experiment of sequential data assimilation for crustal deformation between Tonankai and Nankai earthquakes

堀 高峰<sup>1\*</sup>, 兵藤 守<sup>1</sup>, 宮崎 真一<sup>2</sup>

Takane Hori<sup>1\*</sup>, Mamoru Hyodo<sup>1</sup>, Shin'ichi Miyazaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 京大理

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

A possible estimation procedure for the time interval between the forthcoming Tonankai (Tokai) and Nankai earthquakes is sequential assimilation for the crustal deformation data which will obtain from hour to hour following the occurrence of the Tonankai (Tokai) earthquake. We demonstrate the numerical experiment of the assimilation using the surface deformation calculated from the results of earthquake generation cycle simulations along the Nankai trough. For the observation noise, we use the real ocean bottom pressure gauge data excluding the tidal modulation at a station of the Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunamis (DONET) in the Tonankai source area. As a data assimilation method, we use Sequential Importance Sampling (SIS) which is a kind of particle filter. Data assimilation is done sequentially every 5 hours. As the data increase, the estimated time interval between Tonankai and Nankai earthquakes becomes closer to the "true" time interval. How early the true value is estimated depends at least on the noise level and crustal deformation pattern. It is important to note that the real noise level of the pressure gauge data of DONET including the long-term drift is small enough to distinguish the simulated crustal deformation patterns for the different cases in the time interval.

## 大規模マルチスケール地震発生サイクルシミュレーションの高速化手法 Fast computational methods for large- and multi-scale earthquake cycle simulations

平原 和朗<sup>1\*</sup>, 大谷 真紀子<sup>1</sup>, 兵藤 守<sup>2</sup>, 堀 高峰<sup>2</sup>

Kazuro Hirahara<sup>1\*</sup>, Makiko Ohtani<sup>1</sup>, Mamoru Hyodo<sup>2</sup>, Takane Hori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 海洋開発研究機構

<sup>1</sup> Grad. School Science, Kyoto University, <sup>2</sup> JAMSTEC

我々は、最近、摩擦実験から得られた速度・状態依存則に基づく、準動的地震発生サイクルシミュレーションの高速化・省メモリ化に取り組んでいる。本講演では、地震発生サイクルシミュレーションの高速化・省メモリ化の必要性と各手法の概要・特徴および開発の現状について報告する。

高速化・省メモリ化の必要性は主に以下の2つの要請から来ている。1) 大規模マルチスケールシミュレーション: 最近、南海トラフ巨大地震サイクルシミュレーション (Hori, 2006) に見られるように、大領域を扱うようになってきた。また、現状では大きなアスペリティー数個を対象にしたシミュレーションが主流であるが、色々なサイズの地震や南海トラフ震源域深部で発生する各種スロースリップイベントに代表される多様なすべり現象まで説明する、大規模階層的マルチスケールシミュレーションを行う必要がある。2) データ同化手法を用いた予測シミュレーション: 現状では、試行錯誤的に摩擦パラメータ分布を推定して、実際に発生した地震発生系列を再現する地震発生サイクルシミュレーションを行っている (例えば, Kato, 2008)。地震発生の将来的な予測には摩擦パラメータに加え、物理パラメータの初期値の推定が必須である。また予測精度の議論には推定値の確からしさについての尺度が必要である。このためには、気象・海洋学分野で用いられているデータ同化手法を組み込んだ予測シミュレーションシステムを構築する必要がある。シミュレーションでは、プレート境界をN個の小さなセルに分割して、 $N \times N$  すべり応答関数行列とすべり遅れ速度ベクトル積の計算が繰り返し現れ、この計算に要する計算時間およびメモリ容量は $O(N^2)$ となり、南海トラフのような大領域における地震サイクル計算やデータ同化を含む予測シミュレーションでは、Nが大きな大規模繰り返し計算となる。我々は、他分野で開発された手法を適用して、この密行列・ベクトル積の高速化・省メモリ化に取り組んでいる。

本講演では、均質弾性体におけるすべり応答関数行列・ベクトル積の高速化手法として、高速フーリエ変換法 (FFT)、高速多重極法 (FMM) および階層型行列 (Hierarchical Matrices: H-matrices) 法を取り上げ、その概要と特徴について述べる。FFTは地震サイクル計算でも良く用いられ (例えば, Kato, 2008)、メモリ量は $O(N)$ 、計算量は $O(N \log N)$ となり、省メモリで高速計算が可能である。しかしながら、FFTを適用するには、繰り返し境界条件が必要である。沈み込み帯でのシミュレーションでは、海溝軸に沿った方向には繰り返し境界条件の仮定が可能であるが、地表を含む深さ方向への適用には問題がある。FMMは天体物理学におけるN体問題での長距離相互作用の高速計算のために開発され、多くの問題に適応されてきた。しかしながら、地震発生シミュレーションでは我々とTullis and Beeier (2008) 以外の研究では用いられていない。FMMではすべり応答関数の多重極展開により、遠くの多くのソースおよびレシーバセルの寄与をまとめて評価してあたかもひとつのセルからの寄与のように扱うことを可能にし、高速化を図っている。FMM計算ではメモリ量および計算量は $O(N)$ となる。我々は、Yoshida et al. (2001) によるFMMの定式化とLiu and Nishimura (2006) による4分岐木構造アルゴリズムに基づき、均質無限媒質におけるすべり応答関数行列とすべり (速度) ベクトルの積の計算にFMMを用いたコード開発を行った。FMMは繰り返し境界条件を必要としないが、すべり応答関数が多重極展開可能な関数形を持つ必要があり、全無限均質弾性体ではこの条件を満たしている。ところが、地表を含む半無限均質弾性体での傾斜境界での縦ずれ成分を含むシミュレーションでは、多重極展開に適した形が得られていない (大谷・他, 2010)。H-matrices (Hackbusch, 1999) は、密行列を階層的な正方行列に分解し、各小行列を低ランク行列で近似したもので、行列ベクトル積などの行列演算を小さなメモリ量で高速に行うことができる。Ohtani et al. (2011) では、Hori (2006) の地震サイクルシミュレーションコードにH-matrices法を実装し、セルサイズ $10^{**}6$ まで調べている。精度やメモリ量を制御するパラメータを適切に取る必要があるが、メモリ量は $O(N)$ 、計算量は $10^{**}5$ 程度までは $O(N)$ 、それを越えると $O(N) \sim O(N \log N)$ となる。H-matrices法は、すべり応答関数がソースとレシーバセルの距離に応じて減衰する性質を持てば良く、FMMのように関数形に制限はなく、実装したコードでは、半無限均質媒質での三角要素セルに対するすべり応答関数を用いている。将来的には、FEM等を用いた不均質弾性媒質中でのすべり応答関数を用いることも可能で、均質のみならず不均質を有する、沈み込み帯での大規模マルチスケール地震発生サイクルシミュレーションに威力を発揮すると期待される。

キーワード: 大規模マルチスケール地震発生サイクルシミュレーション, 高速化, 高速フーリエ変換法, 高速多重極法, 階層型行列



Keywords: Large- and multi-scale earthquake cycle simulatio, Fast computation methods, Fast Fourier Transform Method, Fast Multipole Method, H-matrices