

## 日本付近の一重と二重の地震セグメント帯で発生した地震が励起した津波 Tsunami generation near Japan by earthquakes in along-strike single segmentation and along-dip double segmentation

小山 順二<sup>1\*</sup>, 都筑 基博<sup>1</sup>

Junji Koyama<sup>1\*</sup>, Motohiro Tsuzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学研究院自然史科学部門

<sup>1</sup>Div. Natural History Sciences, Hokkaido Uni.

After the 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake of Mw9.0, we have proposed a hypothesis that megathrust earthquakes worldwide occur Along-dip Double Segmentation (ADDS) or Along-strike Single Segmentation (ASSS). The former is characterized by the apparent absence of earthquakes in the aligned seismic segments along the Japan trench as opposed to those along the Japan Islands that generate repeated smaller earthquakes (ADDS), where the 2011 Tohoku-oki megathrust occurred. Meanwhile, the latter is by a weak seismic activity before the main event all over the subduction zone, where we find aligned seismic segments along the subduction zone from the trench to the island-arc (ASSS). A typical example of ASSS is the Nankai trough, Japan, where future great earthquakes are expected. The 1960 and 2010 Chile megathrusts occurred in ASSS. In and near Japan, ADDS earthquake activity is restrictively found along the Pacific side of Hokkaido and Tohoku regions and the Hyuganada, Kyushu. The rest of seismic activity near Japan is classified into ASSS. Comparing tsunami magnitude  $m$  from local tsunami-wave heights and seismic moment  $M_0$  from long-period surface-waves of 61 earthquakes from 1923 in and near Japan, we found that tsunami-wave heights of ASSS earthquakes are almost two times larger than those of ADDS's. This is also confirmed by studying tsunami magnitude  $M_t$  evaluated from teleseismic tsunami-wave heights. The reason of this different excitation between ADDS and ASSS is considered to be due to either (1) shallower focal depths for ASSS give rise to larger ocean bottom deformation, resulting in larger tsunami excitation, (2) larger dip-angles of fault planes for ASSS, (3) three dimensional ocean-bottom structures, such as troughs, trenches and continental shelves, or (4) ocean bottom topography nearby causes the focusing of tsunami waves. (1) is the conclusion that we would like to derive. (2) Speaking about the effect of dip angles to the maximum ocean bottom deformations, the difference is about 30% in cases of reverse faults with dip angles of 30 and 60 degrees. (3) Both of earthquakes along the passive margin of the back-arc basin of the Japan sea and along the Nankai trough are classified into ASSS. (4) Both of local and teleseismic tsunami-wave heights do suggest the similar result, rejecting the local tsunami focusing. Therefore, we conclude that the larger tsunami excitation for ASSS earthquakes is due to larger amount of ocean bottom deformations than those for ADDS earthquakes or by the reason of (1) or by both the effects. Asperity for ADDS locates in the shallow part of the subduction zone along the trench, and it ruptures only in the case of megathrust events like as the 2011 Tohoku-oki earthquake. In estimating tsunami wave heights for future earthquakes, we have to take into account of this difference in tsunami excitations in the ADDS or ASSS zone.

キーワード: 一重の地震セグメント帯, 二重の地震セグメント帯, 超巨大地震, 津波の励起, 津波マグニチュード

Keywords: Along-strike Single Segmentation, Along-dip Double Segmentation, Megathrust Earthquakes, Tsunami Generation, Tsunami Magnitude

## 2011年東北地方太平洋沖地震とその領域で過去に発生した津波地震のすべり欠損 The 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake (Mw 9.0) and slip deficit of the past tsunami earthquakes in the region

都筑 基博<sup>1\*</sup>, 小山 順二<sup>1</sup>

Motohiro Tsuzuki<sup>1\*</sup>, Junji Koyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

<sup>1</sup>Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

The 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake of  $M_w$  9.0 generated a devastating tsunami. Gusman et al. (2011) estimated the slip distribution of the earthquake, analyzing tsunami waveforms, GPS data, and ocean bottom deformation, and they indicated that the largest slip was located shallower part of the fault near the trench. That place is the same source areas of tsunamis by significant earthquakes of 869, 1611, 1793 and 1896 (Hatori, 1975). This means a slip deficit existed in the region of the 2011 because there was little strain accumulation there if the region released the strain perfectly every time. We aware some of these earthquakes were tsunami earthquakes and there must have been the slip deficit. Seismic moment of an earthquake with some slip deficit is smaller than that of an earthquake without deficit, when the areal sizes of two earthquakes the same. Now the comparison is made to check the above hypothesis that the seismic moment of tsunami earthquakes is smaller than that of ordinary inter-plate earthquakes with a same size of rupture areas.

This is done by studying the scaling relation between seismic moment and rupture area of tsunami and ordinary earthquakes. Standard scaling law for ordinary earthquakes is adopted from Koyama (1977);  $\log M_o = 1.5 \log S + 15.12$ , where  $M_o$  is seismic moment [Nm] and  $S$  is rupture area [ $\text{km}^2$ ]. Compared to the relation, we obtained smaller seismic moment for some tsunami earthquakes such as 1992 Nicaragua, 2006 Java, and 2010 Sumatra. Some other tsunami earthquakes such as 1994 Java, 1996 Peru, and 1998 Papua New Guinea are almost the same as the relation. The former are those characterised by low rupture velocity, and the latter are by land-slides or slump of ocean bottoms and may be by a smooth faulting with weak fault heterogeneities.

The 1896 tsunami earthquake occurred in the region of horst and graben structure similar to the 1992 Nicaragua earthquake. This indicates tsunami earthquakes off the Pacific coast of Tohoku are also characterized by low rupture velocity, and there must have been slip deficits.

We conclude that before the 2011 earthquake, the trench side of the rupture zone had a large amount of slip deficit due to repeated ruptures by tsunami earthquakes. Since the 2011 megathrust occurred in Along-dip Double Segmentation, the trench-ward seismic segment has had the potential to generate large moment release due to the slip deficit and the large slip in the trench-ward segment had accompanied with the rupture in the land-ward segment.

キーワード: 津波地震, すべり欠損

Keywords: tsunami earthquake, slip deficit

## 地震カタログによるすべり欠損分布図作成の試み Slip deficit distribution using earthquake catalogs

岩附真帆<sup>1</sup>, 生田 領野<sup>1\*</sup>

IWATSUKI, Maho<sup>1</sup>, Ryoya Ikuta<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学理学部

<sup>1</sup> Faculty of Science, Shizuoka university

すべり欠損はプレート沈み込み速度に対してその場所が過去にどれだけ滑っていないかを示す指標である。プレート境界の摩擦特性には安定すべり域/条件付き安定域/不安定すべり域(固着域)があると考えられ、安定すべり域は地震を起こさずにすべってしまうので、そのすべり欠損を地震の履歴から知る事はできない。他方で不安定すべり域においては地震が起こっていないことはすべり欠損が蓄積していることを示すことになると考えられる。Yamanaka and Kikuchi 2003 は日本海溝で過去 70 年に起こった地震に対して、強震波形を用いてアスペリティマップを示し、南三陸から宮城中部までの領域のサイズミックカップリングが小さいことを示した。この領域はプレート境界がズルズルすべっている可能性が高いと述べたが、少なくともアスペリティの部分については、地震すべりが東北沖地震の大すべり域の固着のために抑制されていたと考えて良いだろう。このことは、個々のアスペリティのサイズミックカップリングを調べる事で、そのすべりを抑制している上位のアスペリティの存在を調べられる可能性を示唆している。しかしこれは 80 年前から世界的に稀な地震観測網密度を有していた日本特有の事情であり、世界中の沈み込み帯で発生した過去の地震の強震波形からすべり欠損の時空間分布図を作成することは難しい。そこで我々は強震記録の代わりに地震の震源とマグニチュードのみの地震カタログを用いて時空間分布図を作成してアスペリティのすべり履歴を作成することを試みた。テストケースとして 2011 年以前の東北地方についてすべりの時空間分布図を作成し、すべり履歴の作成方法の妥当性を調べた。まず CMT 解が存在する 1976 年以降の M5 以上の地震のうちで海溝型地震のメカニズムを持つものと 1930 年以降で海溝型地震とされている M7 以上の地震について、震央を中心とするすべり域をプレート境界面上に定めた。すべり域の幅、長さ、すべり量はマグニチュードに基づき Wells and Coppersmith (1994) のスケール則に従った。このように決めたすべり域を不安定すべり域と規定し、USGS の 1900 年以降の centennial catalog の地震のうちこれらのすべり域を滑らせるものはすべてプレート境界地震としてそのすべり量を場所毎に積算した。結果として得られたすべり履歴の分布は、期待した通り東北地方太平洋沖地震の震源近傍で累積のすべり量が周囲より小さく(すべり欠損が大きく)見積もられたが、Yamanaka and Kikuchi 2003 に比べて特に茨城県などの南側との顕著な違いが見られなかった。この原因は主に震央を中心にすべり域が存在する非現実的な分布のためだと考えられるが現在のところ良い代案が無い。今後更に 2004 年スマトラ沖、2010 年チリ沖などの他の巨大地震が起こった場所についても地震発生直前までのすべり欠損分布を評価したい。

キーワード: アスペリティ, 沈み込み帯, 東北地方太平洋沖地震, 地震カタログ, すべり履歴

Keywords: asperity, subduction, the 2011 Tohoku-Oki earthquake, earthquake catalog, slip history

## 2011年東北地方太平洋沖地震震源近傍プレート境界深部での本震すべりの下限と強度の推定

### Estimation of the lower limit of the coseismic slip and the strength in the deeper part near the 2011 mainshock

千葉 慶太<sup>1\*</sup>, 飯尾 能久<sup>1</sup>, 深畑 幸俊<sup>1</sup>

Keita Chiba<sup>1\*</sup>, Yoshihisa Iio<sup>1</sup>, Yukitoshi Fukahata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2011年東北地方太平洋沖地震本震のすべり分布は様々な研究で推定されているが、すべりの全容は必ずしも明らかにはなっていない。本研究では防災科学技術研究所公表のF-netモーメントテンソル解と様々なすべりモデルから計算される応力変化を用いて震源近傍での本震すべりの下限を調べ、さらにすべりの下限近傍での強度の推定を行った。震源近傍のプレート境界深部では、1) 深さ40km程度にプレート上盤側に鉛直方向にP軸を持つ正断層型の地震、下盤側にプレート沈み込み方向にP軸を持つ逆断層型の地震が存在し、2) 深さ40~50km程度では本震前に通常発生していたスラスト型の地震が発生している様子が確認できた。そこでChiba et al., (2012)に従いすべりモデルを試行錯誤的に作成して、半無限弾性体の条件下で応力変化を計算し、1軸の分布に注目すると、メカニズム解1)、2)のパターンは変位勾配の大きい部分、すべりの下限にそれぞれ対応することがわかった。本震後のこうした特徴的なメカニズム解分布は本震すべりの応力変化で大局的には説明できるが、より詳細には本震後の余効変動や初期応力の影響も受けるはずである。そこで本震すべりに余効変動を加えたすべりモデルを作成し、初期応力も考慮して本震後の応力場を求めた。ここでプレート境界直上のメカニズム解のP軸と最大主応力軸のdip angleに注目しその対応関係を調べた。その結果、本震すべりの下限以深では差応力が5~10MPa以上と高く、本震時のすべりが大きかった浅部では差応力が5MPa以下と小さい可能性が示唆された。

Keywords: focal mechanism, fault model, stress change, initial stress

## 東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST) における応力測定 Determination of Stress State in Japan Trench Fast Drilling Project (JFAST)

林 為人<sup>1\*</sup>, Marianne Conin<sup>2</sup>, J. Casey Moore<sup>3</sup>, Frederick M. Chester<sup>4</sup>, 中村恭之<sup>5</sup>, James J. Mori<sup>6</sup>, Louise Anderson<sup>7</sup>, Emily E. Brodsky<sup>3</sup>, 江口暢久<sup>8</sup>, Sean TOCZKO<sup>8</sup>, Expedition 343 scientists<sup>9</sup>

Weiren Lin<sup>1\*</sup>, Marianne Conin<sup>2</sup>, J. Casey Moore<sup>3</sup>, Frederick M. Chester<sup>4</sup>, Yasuyuki Nakamura<sup>5</sup>, James J. Mori<sup>6</sup>, Louise Anderson<sup>7</sup>, Emily E. Brodsky<sup>3</sup>, Nobuhisa Eguchi<sup>8</sup>, Sean TOCZKO<sup>8</sup>, Expedition 343 scientists<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Kochi/JAMSTEC, <sup>2</sup>Universite des Antilles et de la Guyane, <sup>3</sup>University of California, Santa Cruz, <sup>4</sup>Texas A&M University, <sup>5</sup>IFREE/JAMSTEC, <sup>6</sup>Kyoto University, <sup>7</sup>University of Leicester, <sup>8</sup>CDEX / JAMSTEC, <sup>9</sup>IODP

<sup>1</sup>Kochi/JAMSTEC, <sup>2</sup>Universite des Antilles et de la Guyane, <sup>3</sup>University of California, Santa Cruz, <sup>4</sup>Texas A&M University, <sup>5</sup>IFREE/JAMSTEC, <sup>6</sup>Kyoto University, <sup>7</sup>University of Leicester, <sup>8</sup>CDEX / JAMSTEC, <sup>9</sup>IODP

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

得られた掘削同時検層 (Logging While Drilling, LWD) の比抵抗イメージを解析して応力の作用による掘削孔壁の圧縮性破壊 (ポアホールブレイクアウト) を見出し、その方向や幅から、掘削時 (地震発生後) の地層内の応力状態が北東?南西方向に伸張する応力場であることを明らかにした。このことは、これまでの調査結果から震災前は太平洋プレートの沈み込みに伴い北西?南東方向の圧縮場であったと考えられる海溝軸付近の地層の応力状態が、蓄積されていた応力が地震発生時にほぼ全て解放されることによって伸張場に変化したことを示しており、この顕著な応力の解放は、東北地方太平洋沖地震における津波の巨大化につながったと考えられる。

キーワード: JFAST, 応力, ブレークアウト

Keywords: JFAST, Stress, Breakout



## 2011年東北地方太平洋沖地震における大陸地殻の非弾性変形：大陸地殻の海側への伸張と巨大津波の発生

### Anelastic deformation during the 2011 Tohoku earthquake: The role of extensional faulting in the generation of a tsunami

辻 健<sup>1\*</sup>, 川村 喜一郎<sup>2</sup>, 金松 敏也<sup>3</sup>, 笠谷 貴史<sup>3</sup>, 藤倉 克則<sup>3</sup>, 伊藤 喜宏<sup>4</sup>, 鶴 哲郎<sup>5</sup>, 木下 正高<sup>3</sup>

Takeshi Tsuji<sup>1\*</sup>, Kiichiro Kawamura<sup>2</sup>, Toshiya Kanamatsu<sup>3</sup>, Takafumi Kasaya<sup>3</sup>, Katsunori FUJIKURA<sup>3</sup>, Yoshihiro Ito<sup>4</sup>, Tetsuro Tsuru<sup>5</sup>, Masataka Kinoshita<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所, <sup>2</sup>山口大学, <sup>3</sup>海洋研究開発機構, <sup>4</sup>東北大学, <sup>5</sup>コスモ石油

<sup>1</sup>WPI-I2CNER, Kyushu University, <sup>2</sup>Yamaguchi University, <sup>3</sup>JAMSTEC, <sup>4</sup>Tohoku University, <sup>5</sup>COSMO Oil Co. Ltd.

The 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) ruptured a wide area along the plate interface (~450 km in the trench-parallel direction) and generated a particularly large tsunami. On the basis of geodetic and geophysical data as well as tsunami records, large slip along the plate interface (~60 m) was estimated to have occurred near the trench off Miyagi. However, the mechanisms of large displacement along the plate interface near the trench are not well understood. Prior to the 2011 Tohoku-oki earthquake, the plate interface near the Japan Trench was thought to be too weak to accumulate strain and, because of this presumed weak lithology, the frontal prism was expected to deform aseismically. Here we identify a series of faults in seismic reflection profiles acquired within and outside of the tsunami source area and examine dynamic changes of the fault traces on the seafloor by comparing observations made during submersible dives before and after the 2011 earthquake, in order to identify characteristic geological structures and dynamic fault activity within the overriding plate in the tsunami source area. During the seafloor observations, we also repeatedly measured heat flow to evaluate the activity of the fault system.

Observations of seafloor morphologies and environments made before and after the 2011 Tohoku-oki earthquake reveal open fissures, generated during the earthquake, where the fault trace is interpreted on seismic profiles to intersect the seafloor. Anomalous high heat flow was observed at a landward-dipping normal fault in August 2011, five months after the earthquake, but by August 2012 heat flow measured at the same station had decreased to close to the background value, which suggests that the normal fault ruptured during the 2011 earthquake. These seafloor observations and measurements demonstrate deformation that was both extensional and anelastic within the overriding continental plate during the 2011 earthquake. Seismic profiles as well as seafloor bathymetry data in the tsunami source area further demonstrate that landward-dipping normal faults (extensional faults) collapse the continental framework and detach the seaward frontal crust from the landward crust at far landward from the trench. The extensional and anelastic deformation (i.e., normal faulting) observed in both seafloor observations and seismic profiles allows the smooth seaward movement of the continental crust. Seaward extension of the continental crust close to the trench axis in response to normal faulting is a characteristic structure of tsunami source areas, as similar landward-dipping normal faults have been observed at other convergent plate margins where tsunamigenic earthquakes have occurred. We propose that the existence of a normal fault that moves the continental crust close to the trench can be considered one indicator of a source area for a huge tsunami.

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波発生メカニズム, 海底露頭観察, 正断層, 非弾性変形, 熱流量

Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, Tsunami mechanisms, seafloor observations, normal fault, anelastic deformation, heat flow

## 2011年東北地方太平洋沖地震前後の海底上下変動 Vertical seafloor deformation associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake

日野 亮太<sup>1\*</sup>, 稲津 大祐<sup>2</sup>, 飯沼 卓史<sup>1</sup>, 太田 雄策<sup>1</sup>, 伊藤 喜宏<sup>1</sup>, 長田 幸仁<sup>1</sup>, 木戸 元之<sup>1</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>3</sup>  
Ryota Hino<sup>1\*</sup>, Daisuke Inazu<sup>2</sup>, Takeshi Inuma<sup>1</sup>, Yusaku Ohta<sup>1</sup>, Yoshihiro Ito<sup>1</sup>, Yukihito Osada<sup>1</sup>, Motoyuki Kido<sup>1</sup>, Hiromi Fujimoto<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>National research institute for earth science and disaster prevention, <sup>3</sup>JAMSTEC

2011年東北地方太平洋沖地震に先行して、その震源の近傍で2日前に発生した前震(Mw7.3)の余効すべりが観測されているが、本震の発生の直前に震源核形成に関連するような断層すべりの加速などの異常があったかはよくわかっていない。本震の震源から約110 km離れた沿岸(金華山観測点)の体積歪計の記録は、余効すべりによるモーメント解放レートが時間の経過とともに対数的に減衰していることを示しているが、震源から離れているはなれているため、破壊の開始点近傍で局在したすべりがあったとしてもこれを検知することは困難である。我々は、震源から20~80 kmの範囲の海底において得られた海底水圧の時系列から、本震に先行した局所的な変動があったか検討した。非潮汐性の海洋変動成分を除去することにより、水圧データのノイズレベルを大幅に軽減することができ、2 cm程度の上下変動であれば水圧データから検知することが可能となった。こうした時系列をもちいて再検討したが、本震発生直前の数時間の間にノイズレベルを超えるような局所すべりイベントの発生は認めることはできなかった。プレート境界上で20 cm程度のすべりがあれば、いずれかの観測点で検知限界である2 cmの鉛直変動が観測できるため、これを超えるようなすべり量を伴う震源核形成は震源周辺では発生しなかったと考えられる。講演では、再処理した圧力時系列を用いた本震発生直後の余効変動の特徴についても報告する。

キーワード: 海底地殻変動, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: seafloor geodesy, Tohoku-oki earthquake

## 南海トラフにおいて津波ポテンシャルを持つ浅部プレート境界断層の反射特性と空間分布

### Seismic reflection character and spatial distribution of the Nankai shallow decollement with tsunami potential

朴進午<sup>1\*</sup>, 成瀬元<sup>2</sup>

Jin-Oh Park<sup>1\*</sup>, Hajime Naruse<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大気海洋研究所, <sup>2</sup> 京都大学 大学院理学研究科

<sup>1</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup> Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

One of the biggest features of the subduction-zone processes is tsunami earthquake that generate tsunamis disproportionately large for their seismic energy. Tsunami earthquakes have been reported in the subduction zones worldwide: for example, 1896 Sanriku, 1946 Aleutian, 1992 Nicaragua, and 1994 Java. Most of the tsunami earthquakes appear to propagate along shallow decollement up to near trench. However, the tsunamigenic decollement is not clearly identified and its nature is largely unknown. Here we report seismic reflection character and spatial distribution of the tsunamigenic, shallow decollement along the Nankai subduction zone, southwest Japan. Seismic reflection profiles along and across the Nankai Trough reveal clear shallow plate-boundary fault (i.e., decollement) with variation of negative and positive polarity reflections. Very-low-frequency earthquakes suggesting slow seismic slip and shear failure occur around the decollements with tsunami potential. Although fluid-poor decollement with positive polarity reflection too may have tsunami potential, fluid-rich decollement with negative polarity reflection could be much easier to slip due to elevated fluid pressure leading to low effective normal stress so that it is conditionally stable. On the whole, the fluid-rich decollement is identified off Shikoku Island and Cape Shiono. The fluid-poor decollement is recognized off Kii Channel. Alteration of the fluid-rich and fluid-poor decollements is observed off Kumano Basin. The huge, fluid-rich decollement zone off Shikoku Island is almost consistent with tsunami source area of the 1605 Keicho event. On seismic reflection profiles, we also identify three distinct turbidites underthrusting along the shallow decollement immediately beneath the Nankai accretionary wedge. Deep sea turbidite subduction may affect formation of the fluid-rich decollement with much more tsunami potential.

Keywords: Nankai Trough, decollement, seismic reflection, spatial distribution, tsunami



## 堆積物の物性を用いた南海トラフ付加体における有効圧の推定 Estimation of effective pressure in Nankai accretionary margin using physical properties of sediments

橋本 善孝<sup>1\*</sup>, 山口 実華<sup>1</sup>, 阿部翔梧<sup>1</sup>, 田野宏季<sup>1</sup>  
Yoshitaka Hashimoto<sup>1\*</sup>, Mika Yamaguchi<sup>1</sup>, Shougo Abe<sup>1</sup>, Hiroki Tano<sup>1</sup>

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

Effective pressure within accretionary wedge and along decollement in subduction zone affects both on strength of sediments in wedges and friction strength along decollement or mega-splay faults. Those strengths control widely wedge architecture, stress state, and seismic behavior. Therefore, estimation of effective pressure is critical to understand wedge state and seismicity in subduction zone.

In this study, we estimate effective pressure along decollement from shallow to deep up to shallow seismogenic zone, and also along mega-splay fault in Nankai trough combining physical properties of sediments with information from seismic profiles in Nankai Trough.

For shallow decollement, from deformation front to ~25 km landward, we followed Tobin and Saffer (2009) to estimate effective pressure. They used velocity-porosity relationship obtained from sediments only in the toe and reference sites. Porosity was converted from velocity along decollement obtained by seismic data in Nankai Trough. The porosity was converted to effective pressure based on porosity-effective pressure relationship at reference site. We have newly made porosity-velocity relationship with additional data from rocks in Shiamnto Belt to cover wider range of porosity. The estimated effective pressure based on the newly modified porosity-velocity relationship represents less than 10 MPa, which is very consistent with the result of Tobin and Saffer (2009).

For deeper decollement, about 5 km depth, effective pressure was estimated using elastic properties of hanging-wall and footwall bounded by fossil seismogenic fault in Mugi melange, Shimanto Belt. The elastic properties were measured in laboratory under controlled effective pressure. Amplitude variations with offset (AVO) analysis were taken for the estimation. By comparison between AVO parameters from seismic data and the elastic properties, appropriate effective pressure was estimated as about 15MPa in hanging-wall and about 10 MPa in footwall.

Finally, for deep mega-splay fault, ~8-10km deeper portion, effective pressure is also estimated by elastic properties of hanging-wall and footwall bounded by Nobeoka thrust, Shimanto Belt. AVO analysis was also conducted to compare AVO parameters from seismic data and the elastic properties. The estimated effective pressure is about 50 MPa in hanging-wall and 5MPa in footwall although the coincidence between AVO parameters was not so good. The bad coincidence is probably due to anisotropy of elastic property especially in hanging-wall. At least, the difference in effective pressure between hanging-wall and footwall is larger than other portions.

Distribution of effective pressure in subduction zone from shallow to deep was examined in this study. About 5-15 MPa of effective pressure are distributed along shallow to deep decollement up to shallower portion of seismogenic zone. 5MPa in footwall and about 50MPa in hanging-wall of effective pressure are obtained along deep mega-splay fault. This low effective pressure in footwall both in decollement and mega-splay fault lead to low friction along those faults. This estimation is for the modern state based on the seismic data.

キーワード: 南海トラフ, 有効圧, 物性, 弾性波速度, 間隙率

Keywords: Nankai Trough, effective pressure, physical properties, velocity, porosity

## 南海トラフ付加プリズム斜面における地震性懸濁物の集積プロセス Accumulation process of earthquake-induced turbid layer in the Nankai Trough accretionary prism

澤田 律子<sup>1</sup>, 芦 寿一郎<sup>1\*</sup>, 大村 亜希子<sup>1</sup>, 池原 研<sup>2</sup>  
Ritsuko Sawada<sup>1</sup>, Juichiro Ashi<sup>1\*</sup>, Akiko Omura<sup>1</sup>, Ken Ikehara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

2004年紀伊半島南東沖地震(Mw 7.4)の震源に近接する熊野沖南海トラフの斜面堆積盆では、地震直後とその6,7年後に実施された海洋観測から、地震によって発生した大規模な懸濁層が、その後相当量の土砂(地震性堆積物)として堆積したことが推測された。地震性堆積物は長期にわたる地震発生の場所と間隔を解明する重要な情報である。また、これまで半遠洋性堆積物とされてきた堆積層が地震による再堆積物である可能性が示され、古環境・古海洋を復元するうえで、年代決定にも影響を及ぼし、堆積物試料評価においても重要な存在であると言える。しかし、地震性堆積物の実態は未だ解明されていない。

2011年のKH-11-9次航海では、地震直後に懸濁層が確認された斜面堆積盆を対象に、東京大学大気海洋研究所が所有する深海底サンプリングシステムNSS(Navigable Sampling System)に搭載されたチャープ式サブトムプロファイラー(SBP)による音波探査を実施した。SBPにより取得した高解像度の音波探査記録を用い、堆積盆の詳細な地質断面構造の検討を行ったところ、下位層に砂泥互層に相当する反射面を、上位層に数m規模の音響的透明層を3層確認した。音響的透明層最上位の層厚は2mであり、陸から離れたこのような閉鎖的な堆積盆では、層厚2mほどの堆積層を形成するような大規模な堆積イベントが発生する可能性が低いことから、最上位の音響的透明層は2004年の地震性懸濁物が溜まって形成された可能性が高いと考えられる。本研究では、斜面堆積盆に認められる音響的透明層の成因に関して考察した。

海底カメラ映像には海底面にリップル状の構造が二方向に認められることから、複数方向からの重力流の流入があったことが推定された。さらに、堆積盆と堆積盆への物質供給源域、本地域の堆積速度と地震発生間隔から考えると、音響的透明層は1度の地震イベントにより十分形成しうることが推察される。また、KT-06-7次航海において本地域と地質背景が類似し、隣接する斜面堆積盆にて採取された表層採泥試料の走査電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope;SEM)の観察では、粘土粒子ファブリックは高濃度の泥質流体によって形成された「粒状構造」の特徴を示していることが確認できた。従って、斜面堆積盆の表層は高濃度懸濁態から沈積した堆積物であることが示唆される。観測結果から、地震直後(2004年)と2010,2011年の水深差をその間の懸濁層厚として見積もったところ、層厚は少なくとも2.5mであった。音響的透明層の層厚を観測結果と高濃度懸濁態の粒子沈降実験から評価すると、音響的透明層が地震性懸濁物の沈積による堆積層であることが解釈できる。

以上より、本研究で対象とした斜面堆積盆では、最上位の音響的透明層が2004年紀伊半島南東沖地震に伴う地震性懸濁物の集積・沈降より形成された可能性が高いと考えられ、この場合M7クラスの地震時に層厚2m程度の堆積層が形成されることが示された。また、堆積物試料がない場所でも、SBPを用いた音響的透明層の探索による、地震性堆積物判別の可能性が示され、過去の地震履歴の復元に貢献できると考えられる。

キーワード: 地震性堆積物, 重力流, 斜面堆積盆, 懸濁層

Keywords: earthquake-induced sediment, gravity flow, slope basin, turbid layer

## 室戸沖南海トラフ ACORK 孔内間隙水圧から推定した潮汐応答と間隙圧異常 ACORK off Muroto: Tidal response and overpressure observed from borehole pore pressure monitoring in the Nankai Trough

木下 正高<sup>3\*</sup>, 熊谷 英憲<sup>3</sup>, BECKER, Keir<sup>1</sup>, DAVIS, Earl<sup>2</sup>  
Masataka Kinoshita<sup>3\*</sup>, Hidenori Kumagai<sup>3</sup>, BECKER, Keir<sup>1</sup>, DAVIS, Earl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>マイアミ大学, <sup>2</sup>カナダ地質調査所, <sup>3</sup>海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Univ. Miami, <sup>2</sup>Geological Survey of Canada, <sup>3</sup>JAMSTEC

巨大地震の発生準備過程では、断層付近の水理特性(間隙水圧異常や浸透率)は重要な要素である。これまで地震探査による速度異常などから推定されているが、断層現場での観測による検証が必須である。2001年に実施された ODP 第 196 次航海により、室戸沖南海トラフ付加体先端部に設置された、掘削孔内長期水理学的モニタリング装置(ACORK)は、これまで 10 年にわたって連続した間隙圧データを記録することに成功している。2012 年 11 月に実施された KR12-17 航海ではこれを引き継いで、無人探査機「かいこう 7000II」によるデータ取得を継続して行った。このことにより、ACORK による連続観測データを、11 年あまりの期間途切れることなく取得することに成功した。

昨年度までの観測で、地震時に間隙水圧が異常変化を示すことが分かっていた。すなわち、2003 年 7 月に室戸沖で発生した超低周波地震や、2004 年 紀伊半島沖地震時に顕著であり、また 3.11 東北地震時にも出現していた。10 日異常継続し、最大 100kPa を超えるこのような異常がなぜ起きるのか、そのメカニズム解明のためには、まず計測系自体の特性を正確に把握することが必須である。

まず海洋潮汐に対する孔内圧力応答を詳細にチェックした。11 年間の潮汐応答を、振幅と位相の両方について調べたところ、時間とともに振幅が減少していることが観測された。位相については、時間とともに徐々に遅れるものが見つかったが、一方で時間とともに位相が進み、途中で海底での潮汐位相よりも先行する現象も観測された。ACORK のケーシングと掘削孔の隙間に掘屑が堆積することにより、計測部付近の水頭拡散率が減少して潮汐振幅が減少したと考えられるが、なぜ位相が進むのか、など、さらに検討中である。

間隙水圧の絶対値を正確に求めることも重要な目的である。現在のところ、既往研究から予測される、デコルマ面上での数 MPa という間隙水圧異常は認められず、間隙水圧異常の大きさはせいぜい 100kPa 程度と見積もられる。

付加体先端部のデコルマまで到達している掘削孔 808I に設置された ACORK では、昨年までの観測で孔口から最大 1L/min の流体湧出が観測されている。この採水口(バルブは閉じた状態)に、新たに圧力計を取り付けたところ、接続前(静水圧)の状態に比べて、接続直後に 10kPa 程度、圧力が上昇した。湧出速度との関連が注目される。一方、この採水口のバルブを 2011 年末に開から閉鎖したが、その直後に ACORK の全区間の圧力が 1~4kPa 減少し、その後徐々に回復した。上述の孔口からの湧出が抑止されたのであれば、圧力は上昇するはずであるが、その時同時に、これまで地下深部から一緒に運ばれていた熱が供給されなくなり、熱収縮したことも考えられる。数値計算等により定量的な検討を行っている。

ただし、デコルマを貫通して設置された ACORK は、設置時の不具合から孔口がずっとオープンなままであり、もしかしたら 11 年間にデコルマから水が排出されたために、間隙水圧異常が相当解消したのかもしれない。2011 年にバルブを閉じたことで、長期的には今後再び間隙圧異常が増大するのかもしれない。この点も現在解析中である。

キーワード: 南海トラフ, ODP, 孔内長期計測, デコルマ, 地震発生帯, 間隙水圧

Keywords: Nankai Trough, ODP, Borehole monitoring, decollement, seismogenic zone, pore pressure

## 南海トラフ海底・海底孔内地震・地殻変動観測ネットワークの展開 Development of seafloor and seafloor borehole observatory network in the Nankai Trough for monitoring earthquake and slo

荒木 英一郎<sup>1\*</sup>, 北田 数也<sup>1</sup>, 木村 俊則<sup>1</sup>, 横引 貴史<sup>1</sup>, 松本 浩幸<sup>1</sup>, 川口 勝義<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>  
Eiichiro Araki<sup>1\*</sup>, Kazuya Kitada<sup>1</sup>, Toshinori Kimura<sup>1</sup>, Takashi Yokobiki<sup>1</sup>, Hiroyuki Matsumoto<sup>1</sup>, Katsuyoshi Kawaguchi<sup>1</sup>,  
Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

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

沈み込むプレート境界で発生する巨大地震の発生メカニズムの研究のため、東南海地震の震源域とその周辺に海底ケーブルを用いた恒久的かつリアルタイム観測が行える海底地震・地殻変動観測網 (DONET) の構築を進めている。

地震やこの地域で発生が知られている超低周波地震よりゆっくりとしたプレート境界面などにおける滑りに伴う地殻変動のこの地域での観測は、沈み込みに伴うプレート境界面の固着の状態を検討するうえで非常に重要な情報を与えると考えられる。そのため、DONET では、海底での地震・津波観測の他に、地殻変動の連続的な観測を実現することも目標としている。DONET での海底地殻変動観測は、海水準を基準面とした海底水圧変動観測によるものと、海洋ノイズの影響を避けて、より安定な地層内での観測が行える、海底に掘削した掘削孔内に設置したセンサーによるものを計画・実施中である。

海底観測網の構築は、2010年3月から地震・水圧観測点の展開を開始し、2011年7月には、20点からなる海底観測網が稼働を開始している。この海底観測網では、広帯域地震計と強震計からなる地震観測装置を海底面に埋設することによって、海底面の底層流などによるノイズの影響を大幅に減らし、広帯域・高ダイナミックレンジの海底地震観測を行えるように配慮している。埋設は、地中に埋め込んだケーシング内に地震計を収納することによって行っているが、2013年2月には、埋設可能な観測点についてケーシング内の地震計とケーシング管を砂で充填することによって、さらなる地震計の海底とのカップリング向上および観測ノイズの抑制を図った。その結果、多くの観測点においてノイズレベルが低下したことが確認できた。

また、水圧観測による海底地殻変動観測においては、水圧計の観測期間中の測器ドリフトの存在が問題であるが、これを、定期的な現場での水圧計校正の実施によって解決する計画である。そのため、2013年1月のJAMSTEC かいよう航海において、試験的な水圧計の校正実験を実施した。

海底孔内観測網の構築は、IODPの南海掘削の一環で複数点の設置を計画し、2010年12月にC0002G掘削孔に広帯域地震計や温度計アレイとともに最初の観測点の設置に成功している。2011-2012年に実施された無人潜水艇による試験観測によって、システムの良好な動作が確認できたため、2013年1月24日にDONETへのケーブル接続を実施し、成功した。現在、孔内センサーによる連続観測を開始している。長周期の孔内体積歪計、傾斜計、間隙水圧計、広帯域地震計記録には、遠地地震に伴う長周期地震動のほか、海洋潮汐・津波・海洋長周期重力波にともなう地殻変形が明瞭にみられている。

今後、DONETに接続された孔内観測システムと海底観測網を組み合わせた観測により、地震発生帯での地震・ゆっくり滑り現象の実態を解析していく予定である。

キーワード: 南海トラフ, 地震観測, 地殻変動観測, 掘削孔, 水圧, 海底ケーブル

Keywords: the Nankai Trough, seismic observation, ground deformation monitoring, borehole, seafloor pressure, seafloor cable



## 南海トラフ巨大分岐断層の掘削コア試料における鉱物組成および炭質物分析 Analyses of mineral composition and carbonaceous material in the megasplay fault of the Nankai Trough

増本広和<sup>1</sup>, 廣野 哲朗<sup>1\*</sup>, 藪田 ひかる<sup>1</sup>, 石川 剛志<sup>2</sup>, 谷川 亘<sup>2</sup>

Hirokazu Masumoto<sup>1</sup>, Tetsuro Hirono<sup>1\*</sup>, Hikaru Yabuta<sup>1</sup>, Tsuyoshi Ishikawa<sup>2</sup>, Wataru Tanikawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学理学研究科, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構 高知コア研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Osaka University, <sup>2</sup> JAMSTEC-Kochi

東海沖から四国沖にかけて位置する南海トラフでは、巨大地震が過去、繰り返し発生しており、さらに近い将来にも発生が予想されている。そこで、断層掘削によって地震・津波発生過程を解明しようと、南海トラフ地震発生帯掘削が進められている。2008年に実施された掘削航海では、1944年東南海地震時に活動したと推定される巨大分岐断層の試料が採取された。この試料では、先行研究によって、高いビトリナイト反射率と高いイライトの含有量が検出され、これらは地震時の摩擦発熱の痕跡と解釈されている。一方で、微量元素・Sr同位体分析の結果、同断層では300 を超える発熱を履歴していないとも報告されている。

そこで、本研究では、以上の先行研究での摩擦発熱の履歴有無の結論の違いの原因を検討するために、後者の分析で用いられた同試料を用いて、粉末X線回折分析と炭質物分析(ビトリナイト反射率測定、ラマン分光分析、赤外分光分析)を実施した。その結果、母岩と比較して、断層では有意に高いビトリナイト反射率を検出したが、鉱物組成や赤外スペクトルおよびラマンスペクトルに大きな差は認められなかった。先行研究も含めた以上の分析結果を総合的に考察すると、断層では300 を超える摩擦発熱を伴う高速滑りは生じていないが、剪断(おそらくゆっくりとした滑り)によって炭質物を構造変化させ、高いビトリナイト反射率を引き起こしたと言えるだろう。



## 海陸統合地震観測により明らかとなった紀伊半島周辺の震源分布と3次元速度構造のセグメンテーション

### Segmentation of hypocenters and 3-D velocity structure around the Kii Peninsula

悪原 岳<sup>1\*</sup>, 望月 公廣<sup>1</sup>, 中東 和夫<sup>1</sup>, 山田 知朗<sup>1</sup>, 篠原 雅尚<sup>1</sup>, 酒井 慎一<sup>1</sup>, 金沢 敏彦<sup>2</sup>, 植平 賢司<sup>2</sup>, 清水 洋<sup>3</sup>

Takeshi Akuhara<sup>1\*</sup>, Kimihiro Mochizuki<sup>1</sup>, Kazuo Nakahigashi<sup>1</sup>, Tomoaki Yamada<sup>1</sup>, Masanao Shinohara<sup>1</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>1</sup>, Toshihiko Kanazawa<sup>2</sup>, Kenji Uehira<sup>2</sup>, Hiroshi Shimizu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup> National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention,

<sup>3</sup> Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University

紀伊半島周辺には、東南海、南海地震の震源域境界が位置するほか、震源分布、P波異方性、低周波地震分布、沈み込むフィリピン海プレートの深さなどにトラフ軸に沿った不連続、すなわちセグメンテーションが見られることが過去の研究により明らかにされている。このようなセグメンテーションの実態に迫るために、2003年から2007年の間に設置された海底地震計と陸上観測点のデータを用いて、3次元速度構造および震源分布を求めた。

解析にあたり、まず海底の堆積層の影響を補正するための補正値を震源決定の走時残差に基づいて決定した。3次元速度構造の決定には、Double-Difference法を用い、震源の決定数を増やすためにグリッドサーチの手法を採用した。加えて、震源位置精度の向上のため、および類似地震クラスターを抽出するために、地震波形の相互相関係数を利用した。その際、海底地震計の波形では、堆積層の影響により、単一の周波数が卓越してしまうという問題点が生じることがある。この問題点に対処するために、相関係数の閾値を観測点ごとに統計学的に求める手法を開発した。

解析の結果から、沈み込むフィリピン海プレートの上面、モホ面の深さが推定された。海洋性地殻内および上盤の底部で $V_p/V_s$ 比にセグメンテーションが存在し、低周波地震の分布と良い対応関係を示すことが明らかとなった。紀伊半島西部のセグメントでは、海洋性地殻内の $V_p/V_s$ 比が小さく、積算すべり量の小さい低周波地震クラスターが位置しており、間隙流体が少ないことを示唆している。東側のセグメントでは $V_p/V_s$ 比が大きく、低周波地震が発生していないため、プレート境界で間隙流体圧が高く、安定すべりの状態になっていることが推測される。

震源分布にも、同様のセグメンテーションが見られた。紀伊半島西部のセグメントでは海洋性地殻で、その西側のセグメントでは海洋性マントルで多くの地震が起こっている。紀伊半島東部のセグメントでは、他のセグメントと比べ、地震が発生していない。海洋性地殻内で地震が起こらなくなる深さにも変化が見られ、温度構造の違いを反映していると考えられる。

波形の相互相関係数に基づくクラスター解析により、海洋性マントル内を走る平行な断層群、および紀伊半島南端で起こるプレート境界型地震のクラスターが発見された。このプレート境界地震のクラスターは、プレート間カップリング率が変化するところで起こっている。このクラスターを長期的に観測することで、地震静穏期のプレート間カップリング率の状態について、新たな知見を得ることができると期待される。

キーワード: 沈み込み帯, 紀伊半島, 海底地震計, 震源分布, 3次元地震波速度構造, 類似地震クラスター

Keywords: subduction zone, Kii Peninsula, ocean bottom seismometer, hypocenters, 3-D seismic velocity structure, similar event cluster

## 南海トラフ西部地震発生帯におけるランダム速度不均質構造 Spatial distribution of random velocity inhomogeneities at western Nankai trough

高橋 努<sup>1\*</sup>, 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>, 山本 揚二郎<sup>1</sup>, 海宝 由佳<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>, Yuka Kaiho<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

南海トラフ周辺で発生する巨大地震は、一つの震源域の破壊や複数の震源域が連動する破壊など破壊伝播に多様性が見られることが知られている。この地域における構造の特徴及び地震活動との関連を解明するため、(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・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」の一環として、南海トラフ周辺において制御震源及び自然地震を用いた構造探査研究を進めてきた。本研究では、2008年から2012年までに日向灘から熊野灘で行った自然地震観測記録と陸上および海底の定常観測点の地震波形記録を統合し、直達S波の初動到達から最大振幅到達までの時間差として定義されるピーク遅延時間の解析により、ランダム速度不均質の空間分布を推定した。このピーク遅延時間は内部減衰の影響を受けにくく、多重前方散乱の影響を抽出する上で最適な観測量である。解析には665台の短周期海底地震計と(独)海洋研究開発機構の地震・津波観測監視システム(DONET)の広帯域地震計20点(独)防災科学技術研究所のHi-net及びF-net観測点532点の記録を使用し、水平動2成分の速度波形記録から合成した4-8Hz, 8-16Hz, 16-32HzにおけるRMSエンベロープを用いた。

ランダム速度不均質のパワースペクトル密度関数がフォン・カルマン型であると仮定し、その空間分布を推定した結果、日向灘に沈み込んだ九州パラオ海嶺や紀伊水道付近で、ランダム速度不均質の長波長成分が周囲に比べ大きいという結果が得られた。また四国西部や潮岬付近の深さ40km周辺でランダム速度不均質の長波長成分が周囲に比べ顕著に大きいことが示された。四国西部で強い速度不均質を示す領域は、深部低周波微動やスロースリップイベント(SSE)も多く発生する領域と概ね一致する。また微動発生が低調な四国東部には顕著な不均質性は見られなかった。これまでの研究で、同様の不均質性が日高西部の微小地震発生域でも検知され[Takahashi et al. 2009]、この地域では速度構造から流体の存在が示唆されている[Kita et al. 2010]。これらの結果は、媒質の不均質性が、媒質中の流体分布や地震活動と関連した重要な量である可能性を示唆する。

キーワード: 南海トラフ, ランダム媒質, 散乱

Keywords: Nankai Trough, random media, scattering

## 南海トラフの M9 クラス震源域におけるグリーン関数振幅の分布に関する検討 On the anomalies of distribution of Green's function amplitudes for M9 source in Nankai trough

Petukhin Anatoly<sup>1\*</sup>, 宮腰 研<sup>1</sup>, 鶴来 雅人<sup>1</sup>, 川瀬 博<sup>2</sup>, 釜江 克宏<sup>3</sup>

Anatoly Petukhin<sup>1\*</sup>, Ken Miyakoshi<sup>1</sup>, Masato Tsurugi<sup>1</sup>, Kawase Hiroshi<sup>2</sup>, Katuhiro Kamae<sup>3</sup>

<sup>1</sup> (財) 地域地盤環境研究所, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 京都大学原子炉実験所

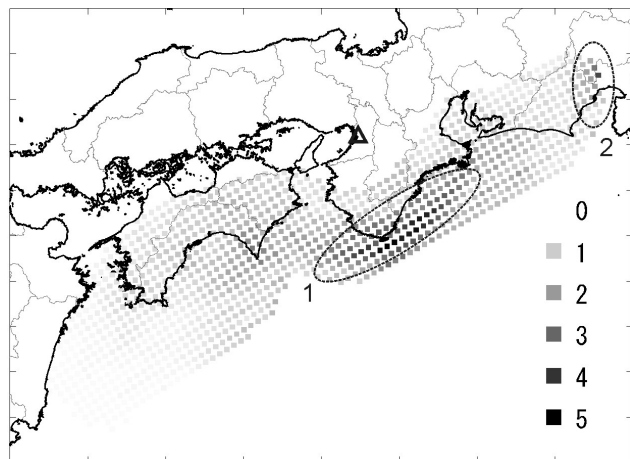
<sup>1</sup>Geo-Research Institute, <sup>2</sup>DPRI, Kyoto University, <sup>3</sup>Research Reactor Institute, Kyoto University

長周期地震動のシミュレーションにおける巨大地震のアスペリティや強震動生成領域の影響が大きい位置を検討した。震源モデルとして地震本部(2012)が提案した南海トラフの M9 クラスのモデルを, 地下構造モデルとして Koketu et al.(2012) による JIVSM の 3 次元モデルを用いた。この地下構造モデルは長周期地震動シミュレーションの高精度化の一環として作成されたモデルである。小断層は JIVSM モデルのフィリッピン海プレートの上面に沿って並べている。多数の小断層(1000 個以上)におけるグリーン関数を効率的に計算するため, 相関法を用いた差分法を適用した。検討対象地点は図中で示した大阪平野の中央部である

検討対象地点におけるグリーン関数の最大振幅分布を下図に示す。グリーン関数には周期 4-20 秒のバンドパスフィルター処置をしている。黒で示した小断層のグリーン関数の最大振幅は大きくなり, 白で示した小断層のグリーン関数の最大振幅は 5 倍程度小さくなる。同図より, 対象地点における振幅が大きくなる領域が, 紀伊半島の南側にある東西に細長い領域と駿河湾の北側にある比較的小さい領域の, 2 つ存在することがわかる。これらの領域の走向方向は 10-15km の等深線のそれと良く一致し, 対象地点はその走向に対してほぼ垂直方向に位置している。これらのことから, 放射パターンと特異な走向角・傾斜角の分布といったプレート形状の影響が大きいことがわかる。

キーワード: 巨大地震, 震源モデル化, グリーン関数, 長周期地震動, 相関法, 南海トラフ

Keywords: Megathrust earthquake, Source modeling, Green's function, Long-period ground motions, Reciprocity method, Nankai trough





## 近畿地方周辺の内陸地震発生と南海トラフ巨大地震の時空間的關係 Spatiotemporal relation of inland earthquakes in southwest Japan to interplate earthquakes along the Nankai trough

鹿倉 洋介<sup>1\*</sup>, 深畑 幸俊<sup>2</sup>, 平原 和朗<sup>3</sup>

Yosuke Shikakura<sup>1\*</sup>, Yukitoshi Fukahata<sup>2</sup>, Kazuro Hirahara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学 大学院環境学研究所, <sup>2</sup>京都大学 防災研究所, <sup>3</sup>京都大学 大学院理学研究科

<sup>1</sup>Grad. Sch. Environ. Stud., Nagoya Univ., <sup>2</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>3</sup>Grad. Sch. Science, Kyoto Univ.

近畿地方とその周辺には多くの内陸活断層が存在するが、断層での地震発生は北米・ユーラシア両プレートの相対運動による新潟神戸歪集中帯での東西圧縮によると考えられる (Sagiya, 2004)。しかし同時に、南海トラフ巨大地震の発生前 50 年から後 10 年に西南日本で内陸地震活動が増す (Utsu, 1974; Hori & Oike, 1996) ことから、南海トラフ巨大地震も内陸地震発生に影響すると推測される。Pollitz & Sacks (1997) や Hyodo & Hirahara (2004) は、南海トラフでの固着と地震発生に伴う粘弾性応答によるクーロン破壊関数の時間変化 (CFF) を、近畿地方周辺の数箇所の断層に対し評価している。今回、変形源として内陸地震発生を加え、近畿地方周辺の多数の活断層上で CFF を計算したところ、南海トラフ巨大地震の発生前に逆断層型地震が多く起こり、発生後に横ずれ型地震が多くなることを予測する結果を得た。本講演では、歴史地震の時空間分布が得られた予測と統合的な分布であったのかを調べることで、予測の妥当性を検証する。

計算では、弾性・粘弾性水平成層構造でプレート沈み込み形状 (Hashimoto et al., 2004) を仮定し、Fukahata & Matsu'ura (2006) のコードで粘弾性すべり応答関数を求める。南海トラフ巨大地震のすべり量は時間予測および規模予測モデル (Shimazaki & Nakata, 1980) から得る。東西圧縮は活断層分布から N100E 方向  $0.3 \times 10^{-7}$  (yr<sup>-1</sup>) とする。プレート収束速度は Heki & Miyazaki (2001)、断層の位置・形状は地震調査研究推進本部の値を用いる。

これまでの研究は以下のようにまとめられる。断層の走向傾向は東西圧縮に対応しており、東西圧縮により本地域の活断層の応力蓄積が説明される。南海トラフ巨大地震による弾性的な CFF は、逆断層では低下し、震源域の北にある横ずれ断層では上昇した。これは、南海トラフ巨大地震の震源域の北にある断層は、南海トラフ巨大地震により南南東に引っ張られる結果、東西圧縮が形成する南北走向の逆断層では滑り方向と逆方向に、東西圧縮が形成する北東 - 南西走向の右横ずれ断層や北西 - 南東走向の左横ずれ断層では滑り方向と順方向に引かれるためである。次に、最近 500 年に発生した起震断層の同定されている 9 つの内陸地震の起震断層上で CFF を計算した結果、断層上の CFF が最大値となる時に内陸地震が発生し、CFF と歴史地震記録は調和的であった。近畿地方周辺の 73 活断層上の CFF を計算した結果、南海トラフ巨大地震の発生前 50 年から後 10 年に西南日本で内陸地震活動が増える歴史記録と調和的な結果となった。以上の結果から、南海トラフ巨大地震の発生前に逆断層型地震が多く起こり、発生後に横ずれ型地震が多くなることが予測される。プレート境界型地震発生を境に、内陸地震のメカニズム解が逆断層型から横ずれ型に変化する現象は、2011 年東北地方太平洋沖地震前後の北東北での内陸地震発生で観測されている (Yoshida et al., 2012)。

さて、内陸地震のメカニズム解と内陸断層のメカニズムは、両者が共にローカルな応力場を反映することから大まかに一致し、近畿地方とその周辺においてもその関係は成立する (Townend & Zoback, 2006; Terakawa & Matsu'ura, 2010)。すなわち、断層の分布に対応して、近畿地方中部・中部地方南西部で逆断層型地震が多く、近畿地方北西部・中部地方西部では横ずれ型地震が多い。逆に言うと、震源の位置から、地震のメカニズム解を大まかに推定できると考えられる。先の予測と合わせると、逆断層の多い地域では南海トラフ巨大地震の発生前に内陸地震が多く、横ずれ断層が多い地域では南海トラフ巨大地震の発生後に内陸地震が多くなることが予想される。

以上の考えから、南海トラフ巨大地震に対する相対年別に近畿地方周辺の歴史地震の空間分布をプロットした。すると、逆断層の多い地域では南海トラフ巨大地震の発生前に内陸地震が多く発生しており、予想と調和的であった。一方、横ずれ断層の多い地域では、中部地方西部では南海トラフ巨大地震後に内陸地震の発生率が増え、予想と調和的な結果になったが、近畿地方北西部では南海トラフ巨大地震前のほうが多いという結果になった。後者は、横ずれ断層では比較的どの期間にも地震発生が起きることが CFF から示されること、この地域での南海トラフ巨大地震による応力変化が比較的小さいことから説明される。全体として、歴史地震の時空間分布は、本研究で得られた予測と調和的な分布となっていた。

キーワード: 沈み込み帯, 近畿地方, 南海トラフ地震, クーロン破壊関数, 歴史地震, 内陸地震

Keywords: subduction zone, the Kinki region, interplate earthquake along the Nankai trough, Coulomb failure function, historical earthquake, inland earthquake

## 南海トラフ巨大地震連動性評価研究成果

### The results of researches on the seismic linkage among mega thrust earthquake seismogenic zones around the Nankai trough

金田 義行<sup>1\*</sup>, 平原 和朗<sup>2</sup>, 古村 孝志<sup>3</sup>  
Yoshiyuki Kaneda<sup>1\*</sup>, Kazuro Hirahara<sup>2</sup>, Takashi Furumura<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 京都大学, <sup>3</sup> 東京大学  
<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Kyoto University, <sup>3</sup>University of Tokyo

The recurrence of Nankai trough mega thrust earthquakes is the very severe problem to Japan. Therefore, MEXT of Japanese government has started to the research project on the estimation of seismic linkage around the Nankai trough mega thrust earthquake seismogenic zones. This project is composed of three research subjects as the observational research, simulation research and disaster mitigation research.

In results of observational research subject, the precise structures and seismicity around the western part of the Nankai trough are obtained. Especially, precise structures and characteristics of off Hyuga seismogenic zone including Kyushu-Palau

Ridge are obtained from refraction seismic surveys. Around off Hyuga, low frequency detected by the new analytical method. Furthermore, we have carried out observations of earthquakes and crustal deformations around off East Japan seismogenic zone from before 2011 East Japan earthquake, so, results of off East Japan observations indicated crustal activities among the pre shock, the main shock and aftershocks at 2011 East Japan. As results of simulation research subject, the crustal deformation database has been constructed and tsunami sediments were sampled and analyzed for the estimation of historical large tsunami recurrences. And some simulation technologies have been developed for advanced simulation researches including recurrence cycle simulations and data assimilations. .

Finally, in disaster mitigation research subject, precise seismic wave and tsunami propagations have simulated for the reliable hazard estimation. Furthermore, for the disaster mitigations and improvements of regional disaster measures, we have discussed with local governmental people and lifeline industrial people at some regional disaster prevention research societies. Results from this project contributed to the new estimation of maximum Nankai trough seismogenic zones, tsunamigenic zones and damages by Japanese Cabinet office.

Keywords: Nankai trough, Mega thrust earthquake, Seismic linkage



## IODP Expedition 338 科学結果速報 Preliminary results of IODP Expedition 338: Scientific aspects

金川 久一<sup>1\*</sup>, Dugan Brandon<sup>2</sup>, Moore Gregory<sup>3</sup>, Strasser Michael<sup>4</sup>, 前田玲奈<sup>5</sup>, Toczko Sean<sup>5</sup>, IODP Expedition 338 乗船研究者<sup>6</sup>

Kyuichi Kanagawa<sup>1\*</sup>, Brandon Dugan<sup>2</sup>, Gregory Moore<sup>3</sup>, Michael Strasser<sup>4</sup>, Lena Maeda<sup>5</sup>, Sean Toczko<sup>5</sup>, IODP Expedition 338 Scientists<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学, <sup>2</sup> ライス大学, <sup>3</sup> ハワイ大学, <sup>4</sup> スイス連邦工科大学, <sup>5</sup> 海洋研究開発機構, <sup>6</sup> IODP Expedition 338

<sup>1</sup> Chiba University, <sup>2</sup> Rice University, <sup>3</sup> University of Hawaii, <sup>4</sup> ETH, <sup>5</sup> JAMSTEC, <sup>6</sup> IODP Expedition 338

The Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) is a multi-disciplinary scientific project designed to investigate fault mechanics and seismogenesis along subduction megathrusts through reflection and refraction seismic imaging, direct sampling, in situ measurements, and long-term monitoring in conjunction with laboratory and numerical modeling studies. As part of the NanTroSEIZE program, operations during Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 338 were planned to extend and case riser Hole C0002F, begun on Expedition 326 in 2010, from 856 meters below the sea floor (mbsf) to 3600 mbsf. Riser operations extended the hole to 2005.5 mbsf, collecting a full suite of logging- and measurement-while-drilling (LWD/MWD), mud gas and cutting data. However, due to damage to the riser during unfavorable winds and strong current conditions, riser operations were cancelled. Hole C0002F was suspended at 2005.5 mbsf, but left for re-entry during future riser drilling operations, which will deepen the hole to penetrate the megasplay fault at about 5000 mbsf.

Contingency riserless operations included coring at Site C0002 (200-505, 902-940 and 1100.5-1120 mbsf), LWD at Sites C0012 (0-709 mbsf) and C0018 (0-350 mbsf), and LWD and coring at Sites C0021 (0-294 mbsf) and C0022 (0-420 mbsf). These sites and drilling intervals represent key targets not sampled during previous NanTroSEIZE expeditions, but relevant to comprehensively characterize the alteration stage of the oceanic basement input to the subduction zone, the early stage of Kumano Basin evolution, gas hydrates in the forearc basin, and the recent activity of the shallow megasplay fault zone system and submarine landslides.

Preliminary scientific results of Expedition 338 include:

1. LWD, mud gas monitoring and analyses of cuttings from the deep riser hole characterize two lithological units within the inner wedge of the accretionary prism at Site C0002, separated by a prominent fault zone at ~1640 mbsf. Internal style of deformation, downhole increase of thermogenically formed gas, and evidence for mechanical compaction and cementation document a complex structural evolution and provide unprecedented insights into the mechanical state and behavior of the wedge at depth.

2. Multiple samples of the boundary between the Kumano Basin section and the underlying accretionary prism at Site C0002 shed new light on this unconformity, the interpretation of which was debatable from previous samples and data. New samples suggest that variable erosional processes were active on small spatial scales.

3. Geochemical data characterize the gas-hydrate bearing zone (200-400 mbsf) in the Kumano Basin at Site C0002 as a zone of disseminated methane-dominated hydrate of microbial origin.

4. Operations at Site C0012 included 178.7 m of detailed LWD characterization of the oceanic basement, indicating an upper ~100 m zone of altered pillow basalts and sheet flow deposits, and a lower, presumably less altered basement unit.

5. Cores recovered at Site C0021 improve our understanding of submarine landslides in the slope basins seaward of the splay fault. LWD data acquired at Sites C0018 and C0021 characterize in situ internal structures and properties of mass-transport deposits (MTDs) which relate to the dynamics and kinematics of submarine landslides.

6. LWD resistivity images from Hole C0022A, located in the slope basin immediately seaward of the megasplay fault, show a conductive horizon where the tip of the megasplay fault is inferred from the 3D seismic data. Although the fault itself was not sampled at Hole C0022B, structural and porosity data from cores as well as interstitial water data suggest that the conductive horizon is possibly the splay fault tip.

Keywords: NanTroSEIZE, accretionary prism, forearc basin, megasplay fault, submarine landslide, subduction input

## IODP Expedition 338 変形構造記載成果速報 Preliminary structural geology results of IODP Expedition 338

山口 飛鳥<sup>1\*</sup>, 竹下 徹<sup>2</sup>, Jacob Geersen<sup>3</sup>, Olivier Fabbri<sup>4</sup>, 大橋 聖和<sup>5</sup>, Yehua Shan<sup>6</sup>, 金川 久一<sup>5</sup>, Expedition 338 Scientists<sup>7</sup>  
Asuka Yamaguchi<sup>1\*</sup>, Toru Takeshita<sup>2</sup>, Jacob Geersen<sup>3</sup>, Olivier Fabbri<sup>4</sup>, Kiyokazu Oohashi<sup>5</sup>, Yehua Shan<sup>6</sup>, Kyuichi Kanagawa<sup>5</sup>,  
Expedition 338 Scientists<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 北海道大学, <sup>3</sup> サウサンプトン大学, <sup>4</sup> フランシュ=コンテ大学, <sup>5</sup> 千葉大学, <sup>6</sup> 中国科学院広州地球化学研究所, <sup>7</sup> IODP Expedition 338

<sup>1</sup> AORI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup> Hokkaido Univ., <sup>3</sup> Univ. Southampton, <sup>4</sup> Univ. Franche-Comte, <sup>5</sup> Chiba Univ., <sup>6</sup> Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, <sup>7</sup> IODP Expedition 338

Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) Expedition 338 took place from October 1, 2012 to January 13, 2013. This expedition was originally planned to extend riser Hole C0002F from 856 to ~3600 mbsf. However, riser operations at Hole C0002F were suspended at 2005.5 mbsf because the riser pipe was damaged by unfavorable wind/current conditions. Contingency riserless operations including coring at Site C0002 (200-505, 902-940, and 1100.5-1120 mbsf), LWD at Sites C0012 (0-709 mbsf) and C0018 (0-350 mbsf), and LWD and coring at Sites C0021 (0-294 mbsf) and C0022 (0-420 mbsf) have been performed instead of deepen Hole C0002F. Here we report the preliminary results of Expedition 338 shipboard structural studies.

During Expedition 338, two types of sample material were used for structural geology analyses: (1) cuttings (1-4 mm and >4 mm size fractions) sampled at 5-10 m intervals between 865.5 and 2004.5 mbsf during riser drilling of Hole C0002F, and (2) cores recovered from intervals of 200.0-1112.84 mbsf at Holes C0002H, C0002J, C0002K, and from intervals of 0-419.5 mbsf at Hole C0022B. For the cuttings from Hole C0002F, deformation structures such as vein structures, carbonate veins, slickenlined surfaces, and minor faults, were observed as well as high number of drilling-induced deformation structures. Between 1550.5 ? 1675.5 mbsf, up to 10% of investigated cuttings show slickenlined surfaces. This is correlatable with the high fracture concentration interval identified by LWD resistivity images. Abundant bedding, faults and deformation bands are observed in the cores retrieved from Holes H, J, K and L at Site C0002. Deformation structures are rarely observed in cores from the upper part of the Kumano Basin deposits (Unit II), while they are numerous in cores from the lowermost part of the Kumano Basin sediments (Unit III) and from the accretionary prism sediments (Unit IV). At Site C0022, orientations of bedding dip and minor faults appear to change across the possible splay fault. The existence of highly fractured or disturbed material and claystone with planar fabrics suggest that the interval of 100-101 mbsf is a plausible candidate for the location of the splay fault at Site C0022.

キーワード: IODP Expedition 338, 南海トラフ地震発生帯掘削計画, Site C0002, Site C00021, Site C00022

Keywords: IODP Expedition 338, NanTroSEIZE, Site C0002, Site C00021, Site C00022

## なぜ Mw7 なのか？なぜ Mw8 なのか？ What determines Mw7 or Mw8?

坂口 有人<sup>1\*</sup>, 山本 由弦<sup>1</sup>, 橋本 善孝<sup>2</sup>, Robert Harris<sup>3</sup>, Expedition 344 Scientists<sup>4</sup>

Arito Sakaguchi<sup>1\*</sup>, Yuzuru Yamamoto<sup>1</sup>, Yoshitaka Hashimoto<sup>2</sup>, Robert Harris<sup>3</sup>, Expedition 344 Scientists<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IFREE/JAMSTEC, <sup>2</sup>高知大学, <sup>3</sup>Oregon State University, <sup>4</sup>IODP

<sup>1</sup>IFREE/JAMSTEC, <sup>2</sup>Kochi univ., <sup>3</sup>Oregon State University, <sup>4</sup>IODP

Variations in earthquake magnitude and recurrence intervals of fault behavior need to be understood in the context of regional tectonics. Convergent margins may be divided into two end-member types that are termed erosive and accretionary plate boundaries (e.g. von Huene and Scholl, 1991; Clift and Vannucchi, 2004). The Nankai accretionary margin has a 1300-year historical earthquake record with a recurrence interval of 100-150 years (Ando, 1975). In contrast, the Middle America trench offshore Costa Rica represents an erosive margin characterized by magnitudes as high as 7.6Mw, with a recurrence interval of several decades.

CRISP (Costa-Rica Seismogenesis Project) Program-A has carried out the first step toward deep riser drilling by characterizing the shallow lithologic, hydrologic, stress, and thermal state of this area (Vannucchi et al., 2011; Harris et al., 2013). CRISP drilling of Exp. 344 reveals that the shallow upper plate crust is composed of terrigenous sediment accumulated at a high rate. The Costa Rica seismogenic zone is characterized by the subduction of young oceanic crust with high heat flow and active fluid flow (Spinelli and Wang, 2008; Spinelli and Harris, 2011; Harris et al., 2010). These characteristics are similar to the Nankai seismogenic zone (Kinoshita et al., 2008). Some differences exist between both margins including the convergence rates, the thickness and composition of incoming sediments, and physical properties of the crust. Among them, P-wave velocity within the upper plate of the Costa Rica margin (Stavenhagen et al., 1998) is much higher than at the Nankai margin (Nakanishi et al., 2002). In frictional stick-slip systems, the recurrence interval and event displacement varies with the stiffness of the system. We propose that the characteristic magnitude of large subduction earthquakes and recurrence intervals are influenced by the stiffness of the upper plate. This hypothesis may be best tested at the Nankai and Costa Rica margins.

Keywords: Large subduction earthquake, seismogenic zone drilling, accretion and erosive margin

## コスタリカ沈み込み帯における応力と歪みの時空間変化：IODP Exp. 334, 344 速報 Preliminary results of stress and strain analyses, IODP Expeditions 334 and 344, Costa Rica Seismogenesis Project (CRISP)

山本 由弦<sup>1\*</sup>, 林為人<sup>1</sup>, 臼井洋一<sup>1</sup>, Xixi Zhao<sup>2</sup>, 斎藤実篤<sup>1</sup>, Michael Stipp<sup>3</sup>, Paola Vannucchi<sup>5</sup>, Walter Kurz<sup>6</sup>, 坂口有人<sup>1</sup>, Robert Harris<sup>7</sup>, Expeditions 334 and 344 Scientists<sup>4</sup>

Yuzuru Yamamoto<sup>1\*</sup>, Weiren Lin<sup>1</sup>, Yoichi Usui<sup>1</sup>, Xixi Zhao<sup>2</sup>, Saneatsu Saito<sup>1</sup>, Michael Stipp<sup>3</sup>, Paola Vannucchi<sup>5</sup>, Walter Kurz<sup>6</sup>, Arito Sakaguchi<sup>1</sup>, Robert Harris<sup>7</sup>, Expeditions 334 and 344 Scientists<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IFREE, JAMSTEC, <sup>2</sup>UCSC, <sup>3</sup>GEOMAR, <sup>4</sup>University of London, <sup>5</sup>University of Graz, <sup>6</sup>Oregon State University, <sup>7</sup>USIO

<sup>1</sup>IFREE, JAMSTEC, <sup>2</sup>UCSC, <sup>3</sup>GEOMAR, <sup>4</sup>University of London, <sup>5</sup>University of Graz, <sup>6</sup>Oregon State University, <sup>7</sup>USIO

The Costa Rica Seismogenesis Project (CRISP) is designed to understand the processes that control nucleation and seismic rupture of large earthquakes at erosional subduction zones. Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expeditions 334 and 344 penetrated the middle slope at Sites U1378 and 1380, the upper slope at Sites U1379 and U1413, the frontal prism at Site U1412, and input sites at Sites U1381 and U1414.

Stress and strain analyses using anelastic strain recovery (ASR), fault kinematics, and anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) have been conducted in the middle and the upper slope. Based on ASR analyses during Expedition 334, a clear difference in present-days stress state between the slope sediments and the basement were identified at Site U1379: A normal-fault stress regime characterizes the slope sediments, whereas a strike-slip regime corresponds to the basement. On the other hand, the stress-states in the slope sediments at Sites U1378 and U1380 are characterized by a strike-slip regime that has Sigma 2 oriented vertically. The Sigma 1 direction is oriented NNW-SSE, which corresponds to the SHmax direction identified in the logging while drilling (LWD), parallel to the present GPS direction. In contrast to the present-day stress state, the ancient stress and strain based on onboard fault kinematics during both expeditions and AMS were controlled by direction of plate subduction (Sigma 1 oriented to the vertical, whereas Sigma 2 oriented NW-SE). The spatial and time variations in stress state along the CRISP transect plausibly correspond to the stress variations during earthquake cycles. Preliminary ASR and AMS results will be incorporated into this study.

キーワード: 応力, コスタリカ, CRISP, 地震サイクル

Keywords: Stress, Costa Rica, CRISP, Earthquake cycle

巨大地震の物理化学岩石流体相互作用と破壊伝播-露出した化石地震発生プレート境界断層から学ぶ-  
Fluid-rock interaction and resultant rupture of great earthquake -An exercise from fossilized seismogenic plate boundary

木村 学<sup>1\*</sup>, 斎藤 実篤<sup>2</sup>, 山口 飛鳥<sup>3</sup>, 亀田 純<sup>1</sup>, 浜橋 真理<sup>1</sup>, 福地 里菜<sup>4</sup>, 柴田 美緒<sup>5</sup>, 濱田 洋平<sup>1</sup>, 橋本 善孝<sup>5</sup>, 藤本 光一郎<sup>4</sup>, 比名 祥子<sup>6</sup>, 北村 有迅<sup>2</sup>

Gaku Kimura<sup>1\*</sup>, Saneatsu Saito<sup>2</sup>, Asuka Yamaguchi<sup>3</sup>, Jun Kameda<sup>1</sup>, Mari Hamahashi<sup>1</sup>, Rina Fukuchi<sup>4</sup>, Mio Eida<sup>5</sup>, Yohei Hamada<sup>1</sup>, Yoshitaka Hashimoto<sup>5</sup>, Koichiro Fujimoto<sup>4</sup>, Shoko Hina<sup>6</sup>, Yujin Kitamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 独) 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域, <sup>3</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>4</sup> 東京学芸大学, <sup>5</sup> 高知大学, <sup>6</sup> (株) 朝日新聞社

<sup>1</sup>Dept. Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>IFREE, JAMSTEC, <sup>3</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>4</sup>Tokyo Gakugei University, <sup>5</sup>Kochi University, <sup>6</sup>The Asahi Shimbun Company

Recent investigations of exhumed and fossilized plate boundary thrusts and megasplay faults strongly suggest that unraveling the physico-chemical dynamics of fluid-rock interaction and resultant rupture of great earthquake and tsunami is the scientific target of the seismogenic plate boundary processes, which is accessible only by Chikyu-deep riser drilling. The expected result of drilling into the active and living fault in depth will be a great step of science.

Technological advantage of the Chikyu Riser drilling is no doubt for its ability of deep hole with coring, logging and observatory installation. A main target of IODP was direct drilling into the seismogenic plate boundary thrust in the Nankai Trough of subduction zone. After the first proposal for the NantrosEIZE many new discoveries have been reported from subduction zones, e.g. deep low frequency earthquakes, shallow low frequency earthquakes, high velocity slip even along the plate boundary decollement and on-going stress build-up within the hanging wall accretionary prism. However, unfortunately the deep target of IODP has not been reached yet.

Before drilling into the seismogenic deep splay fault and plate boundary thrust, we have conducted investigation of exhumed and fossilized splay fault of the Nobeoka thrust and plate boundary fault rocks recorded as melange in the Shimanto belt, Japan.

The Nobeoka thrust was once buried at the depth more than 10 km in subduction zone. Combining with inspection of surface exposure, drilling with logging for physical properties and borehole imaging was operated to compare the one dimension data set with the three dimensional occurrences of the fault zone.

Even though surface weathering and cracking with exhumation, the results of coring, logging, and borehole imaging present the condition of the fault in the depth of plate boundary. They show porosity less than several percentages with contrast between the hanging wall and footwall, which are well correlated with electric resistivity, and elastic wave velocities of  $V_p$  and  $V_s$ . They are systematically changes with the development of discrete slip zones in the shear zone and define a quantitative damage zone. Abundant mineral precipitation is characteristic in the fault and presents a catalog of fault rocks from friction melt of pseudo-tachylyte to fluidized fault rock suggesting various fault mechanisms of dynamic weakening.

REE pattern of carbonate vein precipitated along the slip surfaces and extensional cracks suggests that fluid flow along the fault, which might be co-seismic, would be under reductive condition but inter-seismic fluid appear to be oxidized condition. The change in chemical property appear be from rupture-related fluid-rock interaction along the plate boundary.

Exploration of the fossilized plate boundary to deep living ones is the revolving jump like autopsy to modern open-heart surgery in medical science. The drilling into various plate boundaries with different subduction parameters is quite essential.



## 延岡衝上断層を貫くボーリングコアのイライト結晶度の変化 Changes in illite crystallinity in the Nobeoka thrust fault zone SW Japan, ancient megaspray fault in a subduction zone

福地 里菜<sup>1\*</sup>, 藤本 光一郎<sup>1</sup>, 浜橋 真理<sup>2</sup>, 山口 飛鳥<sup>2</sup>, 木村 学<sup>2</sup>, 亀田 純<sup>2</sup>, 濱田 洋平<sup>4</sup>, 比名 祥子<sup>2</sup>, 橋本 善孝<sup>3</sup>, 栄田 美緒<sup>3</sup>, 北村 有迅<sup>4</sup>, 斎藤 実篤<sup>4</sup>, 水落 幸広<sup>5</sup>, 長谷 和則<sup>5</sup>, 明石 孝行<sup>5</sup>  
Rina Fukuchi<sup>1\*</sup>, Koichiro Fujimoto<sup>1</sup>, Mari Hamahashi<sup>2</sup>, Asuka Yamaguchi<sup>2</sup>, Gaku Kimura<sup>2</sup>, Jun Kameda<sup>2</sup>, Yohei Hamada<sup>4</sup>, Shoko Hina<sup>2</sup>, Yoshitaka Hashimoto<sup>3</sup>, Mio Eida<sup>3</sup>, Yujin Kitamura<sup>4</sup>, Saneatsu Saito<sup>4</sup>, Yukihiro Mizuochi<sup>5</sup>, Kazunori Hase<sup>5</sup>, Takayuki Akashi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京学芸大学, <sup>2</sup> 東京大学, <sup>3</sup> 高知大学, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 住鉱資源開発株式会社

<sup>1</sup>Tokyo Gakugei University, <sup>2</sup>The University of Tokyo, <sup>3</sup>Kochi University, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>Sumiko Resources Exploration & Development, Co.,Ltd.

The Nobeoka thrust is a fossilized OOST in the Shimanto belts, Cretaceous and Paleogene accretionary complex in SW Japan. A bore hole penetrating the Nobeoka thrust was drilled at Nobeoka city, SW Japan as analogue of NanTroSEIZE project. Total drilling length was 255 m and continuous core samples were recovered. The borehole runs through the Nobeoka thrust at the depth of 41.3m. The hangingwall is mainly phyllite of Kitagawa group and the footwall is cataclacite of Hyuga group (Kondo et al., 2005).

The depth interval between 29m and 78.4m is suffered intense cataclasis due to Nobeoka thrust. Quartz and carbonate veins are enriched in this interval except 41.3-52 m depth interval. We identified from 41.3m to 41.8 m to be a main thrust zone. We also recognize fault breccia at 114m depth.

We collected fragmented core samples from every three meters and analyzed constituent minerals by powder X-ray diffraction. Quartz, plagioclase, illite, chlorite, calcite are main constituent minerals from the top to the bottom. Ankerite sometimes occurs as a vein mineral. Here, we focus on the illite with special reference to fault activity.

We measured IC values (FWHM of illite 001 peak) of 65 samples from the top to the bottom. They show remarkable change between hanging-wall and footwall.

IC values range from 0.14° to 0.22° above 38m depth they increase from 0.18° to 0.30° in the damaged zone between 38m and 41.0m depth. They range from 0.43° to 0.58° just above the Nobeoka thrust between 41.0 to 41.3 m depth. They range from 0.49° to 0.59° in the fault core between 41.3m and 41.8m depth, They range from 0.38° to 0.62° in the footwall. Here, we focus on the changes in IC values in the hanging-wall.

IC values increase near the Nobeoka thrust. In the damaged zone, the samples are divided into two groups, A and B. In the group A, IC value and peak intensity show negative correlation, whereas, IC values are low and peak intensity is high in the group B. In the fault core, carbonate and clay minerals are enriched and plagioclase content is decreased by intense hydrothermal alteration. The alteration temperature may be lower than the maximum plaeotemperature of Kitagawa group (320 degrees centigrade). This alteration may affect the high IC values in the fault core and the zone just above the fault.

Cray minerals are easily amorphitized by pulverization. IC values should increase during pulverization. We conducted pulverization experiment of illite rich core samples by planetary ball mill. The IC values increased with decreasing peak intensity, in a similar relations as that of group A.

Therefore, the increase in IC values in the damaged zone of the Nobeoka thrust result from two processes, which are pulverization (group A) and hydrothermal alteration(group B).

キーワード: 付加体, 分岐断層, イライト, 粘土鉱物

Keywords: clay mineral, megaspray fault, illite

## 東北沖プレート境界へと沈み込む遠洋性堆積物の高速摩擦挙動 Frictional behavior of incoming pelagic sediments to the Tohoku subduction zone

澤井 みち代<sup>1\*</sup>, 廣瀬 丈洋<sup>2</sup>

Michiyo Sawai<sup>1\*</sup>, Takehiro Hirose<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 広島大学・院・理学研究科, <sup>2</sup>JAMSTEC・高知コア研究所

<sup>1</sup>Hiroshima University, <sup>2</sup>Kochi/JAMSTEC

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)が発生し、甚大な被害をもたらした。これまで、沈み込みに伴う大地震が発生した際に、大きな滑りがプレート境界浅部で起こるとは予期されていなかったが、東北地方太平洋沖地震では海溝軸付近で50m程度の大規模な滑りが生じたことが明らかとなっている(e.g., Fujiwara *et al.*, 2011)。この浅部での大きな滑りが巨大な津波を引き起こした可能性が高いが、なぜこのような津波を誘発する地震が起こったのか。その機構を明らかにするのは容易ではないが、本研究では実際に沈み込む堆積物を用いて摩擦実験を行い、その摩擦特性からこの問題を検討することを試みた。

実験には、東北沖日本海溝に沈み込む太平洋プレートに堆積したチャート層直上の遠洋性粘土質堆積物(DSDP, Leg56, Site 436, Core 38 (358 mbsf) and Core 40 (378 mbsf))を用いた。Core 38は珪藻に富む粘土質堆積物である一方、Core 40は主としてスメクタイトを多く含んでいる。このスメクタイトに富んだ堆積物は、昨年4~5月に行われたJapan Trench Fast Drilling Project (JFAST)の航海においても、太平洋プレートと北米プレートのプレート境界から採取されたCore 17にて確認されている。実験には、高知コア研究所に設置されている高速摩擦試験機を使用し、自然乾燥後脱凝集した粉末試料(模擬断層ガウジ)1gを砂岩もしくは斑レイ岩の母岩(25mm径)に挟み、テフロンスリーブでガウジのものを防いで摩擦実験を行なった。ガウジ試料と母岩は共に標準海水で飽和させて(含水条件)、すべり速度0.25 mm/s ~ 1.3 m/s、垂直応力0.8 - 2.0 MPa、すべり量約16mの条件で実験を行なった。

すべり速度1.3 m/s一定で垂直応力0.8 - 2.0 MPaの実験では、すべりはじめに摩擦係数が急上昇したあと、指数関数的に摩擦が減少するすべり軟化が観察された。また、垂直応力1 MPa一定で摩擦の速度依存性を4桁におよぶ速度レンジ(0.25 mm/s - 1.3 m/s)で調べたところ、Core 40ではすべてのレンジで定常摩擦が0.2以下を示すことがわかった。一方Core 38の定常摩擦は低速では高く、地震時のすべり速度にあたる1.3 m/sに近づくにつれ、その値は0.6から0.1以下にまで減少することが分かった。実験後の組織観察では、Core 40は剪断面が非常によく発達し、剪断面に沿って粘土鉱物が配列している一方、Core 38では、粒子の細粒化によってすべり面に向かい粒径が小さくなっており、粒子の圧密・粒径減少がよく観察された。これより破壊、及び剪断による圧密がCore 38の実験時には支配的なプロセスとして働いていると考えられる。つまり定常摩擦にみられる両堆積物の顕著な摩擦強度の差は、スメクタイト含有量や初期粒径の違いによるのではないかと考えられる。さらに、Core 40のすべりはじめのピーク摩擦値は、Core 38に比べはるかに小さく、加えて、同様の実験条件における他の断層ガウジ(e.g., Mizoguchi *et al.*, 2007; Ujiie and Tsutsumi, 2010)と比較してもそのピーク摩擦・定常摩擦は顕著に小さいことがわかった。

以上のように、東北沖に沈み込むプレート境界物質、特にCore 40にみられる摩擦の性質が、東北地震の際にプレート境界浅部において大きなすべりが誘発された要因の一つではないかと考えられる。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 高速摩擦, 遠洋性堆積物

Keywords: Tohoku earthquake, High-velocity friction, Pelagic sediments

## 南海トラフ付加体浅部堆積物試料の力学特性 Mechanical properties of the shallow Nankai Trough accretionary sediments

高橋美紀<sup>1\*</sup>, 伊東英紀<sup>2</sup>, 東修平<sup>2</sup>, 大橋聖和<sup>2</sup>, 金川久一<sup>2</sup>, 井上厚行<sup>2</sup>

Miki Takahashi<sup>1\*</sup>, Hidenori Ito<sup>2</sup>, Shuhei Azuma<sup>2</sup>, Kiyokazu Oohashi<sup>2</sup>, Kyuichi Kanagawa<sup>2</sup>, Atsuyuki Inoue<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(独)産総研 活断層・地震研究センター, <sup>2</sup>千葉大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>AFERC, AIST, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Chiba Univ.

We report the results of triaxial compression and friction experiments of mudstone, sandstone and tuff samples, which are cored from the shallow (1000-1500 mbsf) Nankai Trough accretionary prism at Sites C0002 and C0009 of IODP Expeditions 315 and 319, at confining pressures, pore water pressures and temperatures close to their in situ conditions.

Triaxial compression experiments at these conditions and an axial displacement rate of 10 micron/s reveal that failure strength is 300 MPa for a sandstone sample, 48 MPa for a tuff sample, 20 MPa for a silty mud sample, and 14 MPa for a clayey mud sample. Another silty mud sample did not fail, and deformed ductilely at strength of ~15 MPa. The sandstone sample is strongly lithified by being cemented by calcite and dolomite, which makes this sample's failure strength very high. The ductilely deformed silty mud sample seems not lithified enough to fail. Failure strength of the other three samples shows a negative correlation with the content of clay minerals, i.e. it increases with decreasing content of clay minerals.

Friction experiments at these conditions and axial displacement rates changed stepwise among 0.1, 1 and 10 micron/s reveal that frictional strength, too, has a negative correlation with the content of clay minerals; steady-state friction coefficient is >0.8 for the sandstone sample with ~5 wt% clays, ~0.7 for the tuff sample with ~15 wt% clays, ~0.55 for the silty mud samples with ~30 wt% clays, and ~0.25 for the clayey mud sample with ~40 wt% clays. Slip-dependent frictional behavior also shows a correlation with the content of clay minerals; sandstone sample, tuff and silty mud samples, and clayey mud sample exhibit slip-hardening, quasi steady-state slip, and slip-softening, respectively. All samples showed an increase in friction when sliding velocity was increased or vice versa, i.e., velocity strengthening. We also found that the velocity dependence of friction has a correlation with the content of clay minerals, suggesting an increasing contribution of flow with increasing amount of clay minerals.

Thus the mechanical properties of shallow accretionary sediments differ basically according to the content of clay minerals, which would have important implications for deformation and faulting in the shallow Nankai Trough accretionary prism.

キーワード: 破壊実験, 浸透率, 摩擦の変位速度依存性

Keywords: fracture experiment, permeability, velocity dependent of friction

## スメクタイト質断層の中速度領域における動的強度弱化とその地震学的重要性 Dynamic weakening of smectite-rich faults at intermediate velocities and its importance for rupture propagation

大橋 聖和<sup>1\*</sup>, 廣瀬 丈洋<sup>2</sup>

Kiyokazu Oohashi<sup>1\*</sup>, Takehiro Hirose<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構 高知コア研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Chiba University, <sup>2</sup>Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

海溝型地震断層の浅部は付加あるいは沈み込んだ未固結の堆積物から構成され、その摩擦特性は非地震性として理解されてきた (e.g., Saffer & Marone, 2003, EPSL). これはプレート境界断層浅部での地震活動が非常に低調であることから示されている (e.g., Oleskevich et al., 1999, JGR). 一方で、2011年東北地方太平洋沖地震では破壊が海溝軸付近まで達しており (Ide et al., 2011, Science), この領域が深部からの破壊の伝播に対しては受動的に振る舞うことが指摘されている。また、津波地震 (例えば慶長地震) の存在は、この領域が単独で活動する可能性も示唆している。Faulkner et al., (2011, GRL) は粘土鉱物の摩擦実験から、低速すべり時に安定 ( $a-b > 0$ ) な物質であっても高速時に強度弱化をすることで浅部への破壊伝播が可能であると指摘した。一方で断層の変位速度は多様かつ連続的であり、粘土鉱物量比も一定ではない。そこで本研究ではより実際の条件に近づけることを目指し、多様な速度条件と粘土量比のもと、スメクタイト質断層の摩擦特性を明らかにした。実験にはスメクタイトを主成分とするベントナイトを 10, 20, 25, 35, 50% それぞれ石英砂に混合させ、0.6 ml の蒸留水を加えた水飽和条件下で行った。また、円柱形母岩には浸透率の異なる二種類の岩石を用い、変位速度 30  $\mu\text{m/s}$ -1.3  $\text{m/s}$ 、垂直応力 2.0 MPa で実験を行った。

浸透率の低いガプロを母岩として用いた混合ガウジは、30-150  $\mu\text{m/s}$  の低速条件下においては変位距離数 m にかけて一定の摩擦係数を示す一方、中速条件下の数  $\text{mm/s}$  では挙動が不安定になり、22  $\text{mm/s}$  以上では劇的なすべり弱化を示した。この現象はスメクタイト量比の少ない 20% においても顕著であり、これにより 30  $\mu\text{m/s}$  では約 0.7 であった摩擦係数は 22  $\text{mm/s}$  では 0.1-0.2 にまで低下する。このような劇的なすべり弱化を始める速度域は、一般的な造岩鉱物において顕著な摩擦発熱と動的弱化が認められている速度域 (数 10  $\text{cm/s}$ ; Di Toro et al., 2011, Science) よりも 1-2 桁低い。一方で浸透率の高い砂岩を母岩として用いた実験ではすべり弱化は認められず、高い摩擦で定常状態に達した。すべり弱化後に一定時間保持した試料では時間とともに強度の回復が認められたが、強度回復はすべり面の温度低下とは対応せず、より長い時間 (数時間以上) を要した。これらの結果は Thermal pressurization および/もしくはその他の Pressurization process が強度低下に寄与していることを示す。南海トラフ地震発生帯掘削計画などで得られているプレート境界断層物質はスメクタイトを 20-30% 程度含むが、本実験においてそれに相当する模擬断層ガウジが低速時には非地震性 ( $a-b > 0$ ) かつ高い摩擦係数を持ち (応力を蓄積でき)、なおかつ中・高速すべりの伝播に対してはそれを止めることなく急激に強度弱化する力学的特性を有することは沈み込み帯浅部での地震活動を考える上で非常に重要である。

キーワード: スメクタイト, 断層ガウジ, 摩擦実験, 動的弱化, 熱圧化, 津波地震

Keywords: Smectite, Fault gouge, Friction experiment, Dynamic weakening, Thermal pressurization, Tsunamigenic earthquake



## Megathrust-zoneの構造不均質と巨大地震の発生機構 Megathrust-zone heterogeneity and megathrust earthquakes

趙 大鵬<sup>1\*</sup>  
Dapeng Zhao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・理  
<sup>1</sup>Tohoku University

We investigated the detailed 3-D seismic structure of the crust and upper mantle under the NE Japan and SW Japan arcs and its implications for the generation of large megathrust earthquakes. We used P and S wave arrival times from earthquakes under the forearc region under the Pacific Ocean and back-arc region under the Japan Sea which are relocated precisely using sP depth phases. P and S wave arrival-time data from many relocated aftershocks of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) are also added to determine the updated 3-D Vp and Vs models of the Tohoku forearc region.

Significant structural heterogeneities are revealed in the interplate megathrust zone under the Tohoku forearc. Three low-velocity (low-V) anomalies exist off Sanriku, off Fukushima and off Ibaraki. There is a correlation between the velocity variation and the distribution of large thrust-type earthquakes ( $M > 6.0$ ) that occurred from 1900 to 2011, including the foreshock, mainshock and aftershocks of the 2011 Tohoku-oki earthquake. The low-V patches in the megathrust zone may contain subducted sediments and fluids associated with slab dehydration, thus the subducting Pacific plate and the overriding continental plate may become weakly coupled or even decoupled in the low-V areas. In contrast, the high-velocity (high-V) patches in the megathrust zone may result from subducted oceanic ridges, seamounts and other topographic highs on the Pacific seafloor that become asperities where the subducting Pacific plate and the overriding continental plate are strongly coupled. Thus tectonic stress tends to accumulate in these high-V areas for a relatively long time during subduction, leading to the nucleation of large and great earthquakes in those areas. The off-Miyagi high-V zone, where the Tohoku-oki mainshock and its largest foreshock occurred, corresponds to the area with large coseismic slip ( $> 25$  m) during the Tohoku-oki mainshock. This indicates that the off-Miyagi high-V zone is a large asperity in the megathrust zone that ruptured during the Tohoku-oki mainshock. These results indicate that the rupture nucleations of the large events in the 2011 Tohoku-oki earthquake sequence, including the mainshock and major foreshocks and aftershocks, were controlled by the structural heterogeneities in the interplate megathrust zone and the over-riding continental plate.

Detailed 3-D Vp and Vs models of the entire SW Japan arc from the Nankai trough to the Japan Sea are determined for the first time using a large number of high-quality arrival-time data from local earthquakes. Our results show that strong lateral heterogeneities exist in the interplate megathrust zone under the Nankai forearc. Large interplate earthquakes mainly occurred in or around high-V patches in the megathrust zone. These high-V patches may represent asperities formed by the subducted oceanic ridges and seamounts. Low-V zones in the megathrust zone may contain sediments and fluids associated with slab dehydration and so become weakly coupled areas. Our results also show that the coseismic slip distributions of some megathrust earthquakes are not limited in the high-V patches (asperities) where the ruptures initiated. Because of the weak interplate coupling in the low-V areas, the rupture of an interplate earthquake could unimpededly pass through the low-V anomalies and so result in a great megathrust earthquake.

### References

- Huang, Z., D. Zhao (2013) Relocating the 2011 Tohoku-oki earthquakes (M 6.0-9.0). *Tectonophysics* 586, 35-45.  
Liu, X., D. Zhao, S. Li (2013) Seismic imaging of the Southwest Japan arc from the Nankai trough to the Japan Sea. *Phys. Earth Planet. Inter.* 216, 59-73.  
Tong, P., D. Zhao, D. Yang (2012) Tomography of the 2011 Iwaki earthquake (M 7.0) and Fukushima nuclear power plant area. *Solid Earth* 3, 43-51.  
Zhao, D. et al. (2011) Structural heterogeneity in the megathrust zone and mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0). *Geophys. Res. Lett.* 38, L17308.

キーワード: 沈み込み帯, 巨大地震, 構造不均質, 地震波トモグラフィ, 前弧域, 流体

Keywords: subduction zone, great earthquakes, structural heterogeneity, seismic tomography, forearc, fluids



## 高速摩擦を考慮した千島海溝南部で発生する超巨大地震の発生サイクルモデル 3D modeling of the cycle of megathrust earthquakes in the southern Kuril subduction zone considering high speed friction

芝崎 文一郎<sup>1\*</sup>, 野田 博之<sup>2</sup>

Bunichiro Shibazaki<sup>1\*</sup>, Hiroyuki Noda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所国際地震工学センター, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Studies on deposits of prehistoric tsunamis indicate the occurrence of destructive earthquakes (Mw 8.4) along the southern Kuril trench subduction zone (Nanayama et al., 2003). Intervals between inferred outsized tsunami events average nearly 400 years, but range widely from about 100 to 800 years (Sawai et al. 2009).

Recent studies on fault zones show that considerable weakening can occur at a high slip velocity because of pore-fluid pressurization via frictional heating or thermal weakening processes (Noda and Lapusta, 2010; Di Toro et al., 2011, Tsutsumi et al., 2011). Shibazaki et al. (2011) performed 3D quasi-dynamic modeling of the great Tohoku-oki earthquake cycle by considering high-speed friction. The present study models the megathrust earthquake cycle along the southern Kuril trench subduction zone, considering weakening of friction by thermal pressurization at high slip velocity.

We investigate the model considering a rate- and state-dependent friction law and thermal pressurization by using a spectral solver (Noda and Lapusta, 2010) to calculate the temperature and pore pressure evolution on a fault plane. Asperities for the 1952 Tokachi-oki earthquake (Mw 8.1) and the 1973 Nemuro-oki earthquake (Mw 7.8) are considered. The Geospatial Information Authority of Japan (2012) suggests that there is a slip deficit region at the shallower subduction interface between the two source regions, and in this respect, we set a larger asperity near the trench. We set the frictional properties of velocity weakening within the asperities and that of velocity strengthening outside of the asperities. Results show that when a rupture occurs around the large asperity near the trench, significant thermal pressurization occurs, resulting in large and fast slips. This rupture propagates to the stable creeping region and to the asperities of Mw 8 earthquakes. We examine conditions where observed recurrence intervals are reproduced. In cases where the recurrence interval of megathrust earthquakes is around 400 years, the size of the megathrust earthquakes reaches Mw 8.8.

キーワード: 千島海溝南部沈み込み帯, 超巨大地震, 発生サイクル, 高速摩擦

Keywords: the southern Kuril subduction zone, megathrust earthquakes, earthquake cycle, high-speed friction

## 地震先行現象としての断層強度低下量：RSF地震サイクルモデルと断層透過波モデルからの観測検知可能性の検討 Strength drop as a detectable short-term precursor: feasibility of acoustic monitoring at a natural scale

亀 伸樹<sup>1\*</sup>, 藤田 哲史<sup>1</sup>, Nakatani Masao<sup>1</sup>, 日下部 哲也<sup>1</sup>  
Nobuki Kame<sup>1\*</sup>, Satoshi Fujita<sup>1</sup>, Masao Nakatani<sup>1</sup>, Tetsuya Kusakabe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Res. Inst., Univ. of Tokyo

On the basis of the revised RSF proposed by Nagata et al. (2012), we reinvestigated frictional stick-slip cycles of earthquake faults. Simulation results showed a fairly large strength drop in the preslip period, which is localized within a few years preceding the earthquake. This suggests a possibility of earthquake forecast by monitoring the strength drop of a natural fault by acoustic methodology. In laboratory, Nagata et al. (2008, 2012) conducted rock friction experiments in a double-direct-shear apparatus, where they simultaneously measured P-wave transmissivity across the frictional interface to monitor the state of contact (= strength). The acoustic transmissivity  $|T|$  was found to reflect changes in the contact state very well. However, a critical problem is that how the acoustic monitoring can be realized at a natural scale. The present paper discusses its feasibility based on the earlier studies on the acoustic method for monitoring mechanical properties of imperfectly welded interfaces (Kendall and Tabor, 1971; Schoenberg, 1980).

We started from the laboratory experiment of Nagata et al. (2008) of the order of strength 10MPa,  $f_c \cdot L_{lab} = 1\text{MHz}$  and  $L_{lab} = 1\text{micron}$ , where  $f_c$  is a cutoff frequency and  $L$  is a characteristic slip distance of the interface. We theoretically derived that  $I$  times greater strength and  $J$  times greater  $L$  lead to  $f_c = (I/J)f_c \cdot L_{lab}$ . For our simulation values of  $I=10$  (100MPa strength) and  $J=10^5$  ( $L=10\text{cm}$ ),  $f_c$  can be estimated as 100 Hz. Recently reported large  $L=1\text{m}$  ( $J=10^6$ ) (Hori and Miyazaki, 2011; Kato and Yoshida, 2011) and weak strength of 10MPa ( $I=1$ ) (Hasegawa et al., 2011) for the 2012 Mw9.0 Tohoku earthquake,  $f_c$  could be as low as 1 Hz. We think that the frequency range between 1 to 100 Hz is seismically observable. In fact, the explosion reflection surveys conducted over the plate boundary on the forearc slope of the Japan Trench successfully revealed the intensity distribution of plate boundary PP reflection around 5 - 20 Hz (Fujie et al., 2002; Mochizuki et al., 2005). Because acoustic reflection  $|R|$  is theoretically related to  $|T|$  (Schoenberg, 1980), acoustic monitoring of strength via  $|R|$  looks feasible at a natural scale. Note that though expected change of  $|T|$  in the preslip period would depend on the ratio of the change to the absolute value (Nagata et al., 2012), and the ratio is arbitrary in the simulations (only the change from an arbitrarily chosen reference value is necessary). The ratio could be more than 50% if a weak fault is considered in our simulation, and it would be easily detected by seismic reflection surveys.

### Reference

Kame, N., Fujita, S., Nakatani, M. and Kusakabe, T., Earthquake cycle simulation with a revised rate- and state-dependent friction law, *Tectonophysics* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.11.029>

## 沈み込み帯地震活動のパラドックス: 定常活動度と巨大地震

## Paradox of seismicity in subduction zones: Background seismicity and mega-earthquakes

井出 哲<sup>1\*</sup>

Satoshi Ide<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科

<sup>1</sup>Dept. EPS, Univ of Tokyo

沈み込み帯ではプレートの沈み込みによって蓄積される応力を解放する過程として地震が発生する。従って速くプレートが沈み込めば多数地震が発生すると想像できる。この直感的想像はデータによって支持される。世界の沈み込み帯の地震活動に ETAS モデルを適用し、定常地震発生数を見積もるとプレート速度と正の相関が見られる。特にトンガ・ケルマデックやマリアナに代表される南西太平洋の沈み込み帯は、世界中でも地震発生頻度が多いうえに、プレート速度との比例関係が顕著である。同時にこの地域ではマグニチュード9を超えるような超巨大地震は知られておらず、その一つのマリアナ地域は比較プレート沈み込み帯研究において、巨大地震が起きない地域の代表例と考えられてきた。南西太平洋では10年に一度マグニチュード9の地震が起きる速度でプレートの沈み込みが起きているにも関わらず、である。一方で上記の地震発生数とプレート速度の正相関から大きく外れて地震のない地域がある。南海～琉球、カスケード、南チリ、など、これらは同時に微動やスロースリップなどの「ゆっくり地震」の活動域としても知られ、また超巨大地震の発生が知られている。一見すると定常活動が高いほど、超巨大地震の発生可能性が低く、その逆も成り立つ。そしてそのパラドックスにはゆっくりした変形が関与しているようである。上記の事実は地域ごとに「何となく」研究者が認識していたことである。しかし実は世界一般に成り立つ、地震科学にとって無視できないパラドックスである。

キーワード: 沈み込み帯, 地震活動, ETAS, ゆっくり地震

Keywords: subduction zone, seismicity, ETAS, slow earthquake

## 世界の沈み込み帯で発生する巨大地震の共通性と多様性 Similarity and variability of great earthquakes in world's subduction zones

佐竹 健治<sup>1\*</sup>  
Kenji Satake<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, University of Tokyo

M9クラスの超巨大地震はその発生間隔が数百年程度と長いこと、特定の沈み込み帯から得られるデータは限られるが、世界中の沈み込み帯を調べることによって、知見を増やすことができる。20世紀以降に発生したM9以上の超巨大地震5個については、地震波・津波・地殻変動データの解析によって、すべり分布や共通性が明らかにされた。それ以前に発生した超巨大地震については、歴史資料や海岸変動(隆起・沈降)・津波堆積物・タービダイトなどの古地震データから、規模や履歴が調べられ、多様性が明らかになってきた。M9クラスの超巨大地震は、M8程度の地震が繰り返し発生している沈み込み帯でも発生しており、短い履歴に基づいてM8クラスの地震を固有地震とみなすことは危険である(Satake and Atwater, 2007)。

20世紀以降に発生したM9クラスの巨大地震、すなわち、1952年カムチャツカ地震(Mw 9.0)、1960年チリ地震(Mw 9.5)、1964年アラスカ地震(Mw 9.2)、2004年スマトラ・アンダマン地震(Mw 9.1)、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)については、津波波形と地殻変動データのインバージョンによって、すべり分布が調べられた。その結果、最大すべり量は平均すべり量の2~4倍であること、平均すべり量の1.5倍以上の領域をアスペリティと定義するとその面積は断層全体の16~32%であること、M8クラスの海溝型地震について見出されていた地震モーメント、断層面積、アスペリティ面積、平均すべり量間の相似則がM9クラスの地震にも適用できることなどが明らかとなった(Murotani et al., 2013)。

20世紀以前の巨大地震については、環太平洋で実施されてきた歴史地震・古地震学的調査によって、それらの履歴や多様性が明らかになってきた。1960年チリ地震の震源域では、歴史資料によれば100年程度の繰り返しで巨大地震が発生しているが、津波堆積物調査(Cisternas et al., 2005)からは1960年のひとつ前のM9クラスの地震は1575年に発生し、その繰り返し間隔は300年程度であると推定されている。北米のカスケード沈み込み帯では、歴史的には巨大地震の発生は知られていないが、1980年代から行われてきた古地震学的調査(海岸の沈降、津波堆積物、深海タービダイト)から、過去1万年間に40回を超える巨大地震が発生していること、それらのうちM9クラスのは半分程度(平均発生間隔は500年程度)であることなどが明らかになった(Goldfinger et al., 2012)。千島海溝沿いでも、津波堆積物を残すような巨大地震は約500年間隔で発生したことが知られている(Nanayama et al., 2003)。仙台平野における津波堆積物調査からは、貞観地震や東北地方太平洋沖地震のような地震の発生間隔は500~800年程度と見積もられている(Sawai et al., 2012)。インド洋の周辺諸国(タイ、インドネシア、インドなど)でも2004年以降、古地震学調査が精力的に実施され、2004年インド洋津波と同じような津波が数百年前に発生していたことが明らかにされつつある。タイにおける津波堆積物からは平均発生間隔は500年程度とされている(Predergast et al., 2012)。

キーワード: 巨大地震, 津波, 古地震学, 沈み込み帯

Keywords: great earthquakes, tsunamis, paleoseismology, subduction zone

## 2011年東北地方太平洋沖地震と1896年明治三陸地震の津波波源モデル Tsunami source models of the 2011 Tohoku and 1896 Sanriku earthquakes

藤井 雄士郎<sup>1\*</sup>, 原田 智也<sup>2</sup>, 佐竹 健治<sup>2</sup>

Yushiro Fujii<sup>1\*</sup>, Tomoya Harada<sup>2</sup>, Kenji Satake<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所 国際地震工学センター, <sup>2</sup> 東京大学 地震研究所

<sup>1</sup>IISEE, Building Research Institute, <sup>2</sup>ERI, University of Tokyo

We estimated the tsunami sources of the 2011 Tohoku earthquake and 1896 Meiji Sanriku tsunami earthquake by modeling the tsunami waveform data and tsunami height data along the coasts.

The spatial and temporal slip distribution of the 2011 Tohoku tsunami source was inverted from 53 tsunami waveforms recorded at ocean bottom pressure gauges, GPS wave gauges, and coastal wave and tide gauges (Satake et al., 2013, BSSA). The result shows that fault slip started near the hypocenter and very large ( $> 25$  m) slip occurred on the deep plate interface near the hypocenter within  $\sim 2.5$  min, then huge (up to 69 m) slip occurred at the shallow part near the trench axis and propagated to the north. The final slip distribution shows that the slip increases toward the trench axis. The average slip on a 550 km long and 200 km wide fault is 9.5 m, and the total seismic moment is  $4.2 \times 10^{22}$  Nm ( $M_w = 9.0$ ). The slip distribution can be decomposed into a shallow slip near the trench axis ( $M_w = 8.8$ ) and a deeper slip on the plate interface ( $M_w = 8.8$ ).

The shallow slip near the trench axis is similar to the proposed model of the 1896 Sanriku tsunami earthquake (Tanioka and Satake, 1996, GRL), which is inferred from the tsunami records at three tide gauges (Hanasaki, Ayukawa and Choshi). The maximum tsunami height observed at tide gauges was 1.2 m at Ayukawa, which is much smaller than the observed one for the 2011 tsunami ( $> 8$  m), while the maximum tsunami height ( $\sim 40$  m) along the Sanriku coast was similar to the 2011 tsunami. The tide gauge records and the coastal tsunami heights from the 1896 Sanriku earthquake can be explained by halving the slip of the 2011 source model on the northern subfaults along the trench axis (200 km  $\times$  50 km). The seismic moment is  $\sim 3 \times 10^{21}$  Nm ( $M_w = 8.2$ ). While the average slip of  $\sim 9$  m is similar to the previous estimates (Tanioka and Seno, 2001, GRL), the slip increases toward south. This indicates that both the 1896 and 2011 earthquakes had similar slip distribution along the trench axis.

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 1896年明治三陸地震, すべり分布, 津波波形記録, 沿岸での津波高

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, 1896 Sanriku earthquake, Slip distribution, Tsunami waveform data, Tsunami height along coast



## 津浪の性質（波長）に対する海岸地形のタイプ別津浪高の特徴 東北地方太平洋沖地震の検証

### The feature of the Tsunami height according to type of the coastal landforms - in the case of the 2011 Tohoku Earthquake

松多 信尚<sup>1\*</sup>, 鈴木 康弘<sup>1</sup>, 杉戸 信彦<sup>1</sup>, 千田良道<sup>2</sup>, 石黒 聡士<sup>3</sup>, 内田主税<sup>4</sup>

Nobuhisa Matsuta<sup>1\*</sup>, Yasuhiro Suzuki<sup>1</sup>, Nobuhiko Sugito<sup>1</sup>, Yoshimichi Senda<sup>2</sup>, Satoshi Ishiguro<sup>3</sup>, Chikara Uchida<sup>4</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>中日本航空, <sup>3</sup>国立環境研究所, <sup>4</sup>玉野総合コンサルタント

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Nakanihon Air Service CO., <sup>3</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>4</sup>Tamano Consultants Co.

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により発生した津波（以後、平成津波）により東北地方から千葉県にかけての沿岸部は広域にわたり壊滅的な被害を受けた。日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム（2011）や東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（2012）によって浸水範囲、津波高、遡上高が迅速に測られ、インターネット上で公表されており、その地域的分布と明治三陸地震の津波高を比較することで、明治三陸地震に対して、東北地方太平洋沖地震は南部で津浪高が高いことが指摘されている。

しかし、この比較では津波高の最大値に注目がいき、それぞれの津波が持つ特性を十分にとらえ切れていないと考え、海岸地形をタイプ分けし、そのタイプごとに各津波を比較することで、今回の津波の特性を明らかにし、浦々レベルでの今後の津波防災や古津波研究に貢献したいと考えている。

内閣大臣官房都市計画課（1934）は『三陸津浪に因る被害町村の復興計画報告』の中で岩手県種市町から宮城県女川町までの浦々を甲類1から丁類8に分類している。その分類は、甲類1：直接外洋に向かえるV字湾、甲類2：直接外洋に向かえるU字湾、甲類3：直接外洋に面し海岸線の凹凸が少ない場合、乙類4：大湾の内にあるV字形の港湾、乙類5：大湾の内にあるU字形の港湾、乙類6：大湾の内にあり海岸線の凹凸が少ない場合、丙類7：細長くかつ比較的浅い湾、丁類8：海岸線が直線に近い場合、である。内閣大臣官房都市計画課（1934）にはこの分類は震災予防評議会が内務大臣に建議した「津波災害予防に関する注意書」に依ると記載されている。

本報告ではまず、内閣大臣官房都市計画課（1934）ですでに湾形分類がされていた地域において2011年の津波と明治津波の津波高を比較した。平成津波の津波高は日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム（2011）のデータをもとにDEMデータから各谷での遡上高を代用した。その理由は立入禁止の地域を含め、全範囲でほぼ同品質のデータが得られているため、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（2012）のデータも補足的に利用した。

内閣大臣官房都市計画課（1934）データは岩手県が中心で有り、宮城県南部や福島県の湾分類はないため、独自に同様な分類を行った。ただし、福島県地域は溺れ谷がすでに埋積され、海岸線は新第三系が削られて、凹凸の少ない海食崖となっているため、海面が数メートル上昇したときの海岸地形をもって湾分類を行った。

その結果、湾形の違いによる津波高を明治津波、チリ津波および2011年津波で比較すると、明治津波では甲類で津波高が極めて高く、乙類は概して津波高が低い傾向にあり、チリ津波では乙類で津波高が大きい傾向にある。これは波長の短いタイプの津波は甲類で波高が高くなり、波長の長いタイプの津波は乙類で波高が高くなる傾向があることを意味し、シミュレーション計算でも同様な傾向が得られた。一方、平成津波はその傾向は特に大船渡以南から仙台以北で顕著で、甲類と乙類で差がない。逆に釜石以北では甲類が乙類より大きい傾向がみられる。また福島などでは大規模の溺れ谷を乙類と見なしてよいならば同様な傾向が見られるといえる。これは、短波長のパルス状の波は大船渡以南から仙台付近ではなかったかもしれないことを意味している。室井ほか（2012）などが指摘する海底の変動地形に見られる断層の角度が浅部で高角度になって形成されたと考えられるパルス状の高まりの分布に対応している可能性もあり、その場合、パルス状の津波は浅部での極端な滑りが原因ではなく、断層の傾斜角度の変化によってもたらされたことになる。

以上のように、津波の高さの地域差は波源の特徴をよく反映していると思われ、観測機器が十分に設置されていない海外での海溝型地震の解明や、古地震調査などで（地形的な特徴と遡上高を合わせられる稠密なデータ取得が条件だが）、過去に海溝型地震の波源の特定に大きな貢献があることが期待される。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 海岸地形, 明治三陸津波, 津波波長, 海溝型地震

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, coastal landform, Meiji Tsunami, Wavelength of Tsunami, Ocean-Trench Earthquake

## 南海トラフ沿いの和歌山県串本町で検出された完新世イベント堆積物 Holocene event deposits detected from Kushimoto, Wakayama prefecture, along the Nankai Trough

穴倉 正展<sup>1\*</sup>, 前杵 英明<sup>2</sup>, 越後 智雄<sup>3</sup>, 小俣 雅志<sup>4</sup>, 郡谷 順英<sup>4</sup>, 渋谷 典幸<sup>4</sup>

Masanobu Shishikura<sup>1\*</sup>, Hideaki Maemoku<sup>2</sup>, Tomoo Echigo<sup>3</sup>, Masashi Omata<sup>4</sup>, Yorihide Kouriya<sup>4</sup>, Shibuya Noriyuki<sup>4</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター, <sup>2</sup>広島大学教育学研究科, <sup>3</sup>地域地盤環境研究所, <sup>4</sup>株式会社クレアリア

<sup>1</sup>Active Fault and Earthquake Research Center, AIST, <sup>2</sup>Geography, Edu., Hiroshima Univ., <sup>3</sup>GRI, <sup>4</sup>Crearia Inc.

南海トラフ沿いの和歌山県南部沿岸は、過去からくり返すプレート間地震によって津波に襲われてきた。今回、串本町でのボーリング掘削調査から、完新世における複数回のイベント堆積物を検出した。これらは津波の履歴を示している可能性がある。平均再来間隔は400~600年程度であり、筆者らが周辺地域の津波石や隆起生物遺骸群集の調査でこれまでに解明したイベントの再来間隔とほぼ同じである。

調査は和歌山県立串本古座高等学校串本校舎校庭において実施した。調査地点は陸繋島砂洲の様相を呈する東西を海に挟まれた幅約500mの完新世低地で、西側の海岸から150m程度の距離にあり、標高は5.8mである。この地点は笠島遺跡と呼ばれる弥生後期末の遺跡があった場所で、構造船や漁網、木浮き、土器が出土している。南北50mに配した測線上で合計6本のボーリング掘削を行い、掘削深度は4~9mである。最も北側の掘削コアを除き、いずれの掘削コアも腐植質粘土・シルト層または粘土・シルト層の中に、細~粗粒砂層が挟まれている様子が観察された。砂層は層厚1~50cmで明瞭な級化または逆級化構造を示している。これらの層相の観察から、静穏な湿地またはラグーンのような環境に、時折強い水流によって砂が運ばれ、堆積したイベント堆積物と考えられる。

深度7.4m付近には、有機質粘土層中にパブルウォール型の火山ガラスの純層が層厚約15cmで挟まれていた。層位や特徴からみて鬼界アカホヤテフラ(K-Ah)の可能性が高い(現在詳細分析中)。また深度4.1mと3.2mからそれぞれ得られた植物片の<sup>14</sup>C年代は、それぞれ5570-5320yBPおよび4150-3980yBPであった。さらに深度1.8m付近には前述の弥生後期末(1800年前頃)の遺物包含層と思われる土器片と加工木片が見られる。この遺物包含層もイベントを示している可能性がある。

イベント堆積物は、5400年前頃以降、4100年前頃までの間に少なくとも2~3層認識され、4100年前頃以降、1800年前頃までの間では少なくとも4層(遺物包含層も含めると5層)が認識される。したがって平均再来間隔は400~600年程度となる。

本調査地点は河川の流入がないことから、イベント堆積物はおもに海岸付近からもたらされたと考えられ、その成因として津波または高潮が挙げられる。しかし海岸線に近い環境が完新世中期から続いていると推定されるため、現在のところ両者を区別することは難しい。一方で串本周辺は南海トラフ沿いの地震において地殻の隆起を伴うことから、イベント堆積物と地殻変動の痕跡とを組み合わせることで、津波の可能性を論じることができる。今後、イベント堆積物の上下の層準における古環境復元や周辺地域での隆起痕跡の年代との対比などにより議論していきたい。

キーワード: 南海トラフ, 串本, 完新世, 津波, 堆積物

Keywords: Nankai Trough, Kushimoto, Holocene, tsunami, deposit

## 再考・喜界島の隆起問題

### Revisiting the unusual uplift of the Kikai Island at northern Ryukyu Islands, Japan

後藤 和久<sup>1\*</sup>, 須田陽介<sup>1</sup>, 今村文彦<sup>1</sup>, 本郷 宙軌<sup>2</sup>, 八木 勇治<sup>3</sup>

Kazuhisa Goto<sup>1\*</sup>, Yosuke Suda<sup>1</sup>, Fumihiko Imamura<sup>1</sup>, Chuki Hongo<sup>2</sup>, Yuji Yagi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 琉球大学, <sup>3</sup> 筑波大学

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>University of the Ryukyus, <sup>3</sup>University of Tsukuba

2011年東北地方太平洋地震津波以降、我が国における地震・津波の想定の見直しが各地で行われている。想定を行うにあたって、過去に発生した最大規模の地震と津波の実像を明らかにすることは、より現実的で適切な対策を講じるために、極めて重要だと考えられる。そのためには、歴史、地質、地形記録を収集することに加え、地震学や津波工学などの知識や技術を余すことなく活用し、学際的かつ多角的に現象の解明に努める必要がある。その一例として、本研究では琉球列島北部奄美諸島の奄美大島と喜界島を対象に、過去の巨大地震と津波の実態にどこまで迫ることができるのかを検討する。喜界島は、離水サンゴ礁の段丘地形で特徴づけられるように、完新世を通じて1-4 mにおよぶ地震性隆起が約1500-2000年の間隔で起きていることが知られている。一方で、約30 km離れた奄美大島東部の笠利半島のサンゴ礁は、少なくとも過去3000年程度の間大きく隆起した痕跡は見られない。それに加えて、喜界島や奄美大島東部には、先島諸島で見られるような津波石が沿岸部で見られず、台風由来の巨礫群のみが堆積している。喜界島の隆起イベントのうち直近のものは約1550年前に起きたとされるが(Webster et al., 1998)、上記の地質・地形学的痕跡から、この時の地震は喜界島を約2.5 m隆起させるものの奄美大島は大きく隆起せず、かつ津波石を打ち上げるような大きな津波は発生させなかったということになる。そこで我々は、どのような断層を仮定すれば上記の特徴を説明できるのかを検討した。その結果、海溝型の低角断層よりも、プレート内の高角逆断層を仮定した場合のほうが上記の地質学的制約条件を説明しやすいことが予察的に明らかになった。

キーワード: 地震, 隆起, 津波, 喜界島

Keywords: earthquake, uplift, tsunami, Kikai Island