

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^{1*}, 都筑 基博¹

Junji Koyama^{1*}, Motohiro Tsuzuki¹

¹ 北海道大学理学研究院自然史科学部門

¹Div. 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^{1*}, 小山 順二¹

Motohiro Tsuzuki^{1*}, Junji Koyama¹

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

¹Department 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 [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¹, 生田 領野^{1*}

IWATSUKI, Maho¹, Ryoya Ikuta^{1*}

¹ 静岡大学理学部

¹ 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^{1*}, 飯尾 能久¹, 深畑 幸俊¹

Keita Chiba^{1*}, Yoshihisa Iio¹, Yukitoshi Fukahata¹

¹ 京都大学防災研究所

¹ 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^{1*}, Marianne Conin², J. Casey Moore³, Frederick M. Chester⁴, 中村恭之⁵, James J. Mori⁶, Louise Anderson⁷, Emily E. Brodsky³, 江口暢久⁸, Sean TOCZKO⁸, Expedition 343 scientists⁹

Weiren Lin^{1*}, Marianne Conin², J. Casey Moore³, Frederick M. Chester⁴, Yasuyuki Nakamura⁵, James J. Mori⁶, Louise Anderson⁷, Emily E. Brodsky³, Nobuhisa Eguchi⁸, Sean TOCZKO⁸, Expedition 343 scientists⁹

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

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

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^{1*}, 川村 喜一郎², 金松 敏也³, 笠谷 貴史³, 藤倉 克則³, 伊藤 喜宏⁴, 鶴 哲郎⁵, 木下 正高³

Takeshi Tsuji^{1*}, Kiichiro Kawamura², Toshiya Kanamatsu³, Takafumi Kasaya³, Katsunori FUJIKURA³, Yoshihiro Ito⁴, Tetsuro Tsuru⁵, Masataka Kinoshita³

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

¹WPI-I2CNER, Kyushu University, ²Yamaguchi University, ³JAMSTEC, ⁴Tohoku University, ⁵COSMO 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^{1*}, 稲津 大祐², 飯沼 卓史¹, 太田 雄策¹, 伊藤 喜宏¹, 長田 幸仁¹, 木戸 元之¹, 藤本 博己¹, 金田 義行³
Ryota Hino^{1*}, Daisuke Inazu², Takeshi Inuma¹, Yusaku Ohta¹, Yoshihiro Ito¹, Yukihito Osada¹, Motoyuki Kido¹, Hiromi Fujimoto¹, Yoshiyuki Kaneda³

¹ 東北大学, ² 防災科学技術研究所, ³ 海洋研究開発機構

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

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られなかった。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^{1*}, 成瀬元²

Jin-Oh Park^{1*}, Hajime Naruse²

¹ 東京大学 大気海洋研究所, ² 京都大学 大学院理学研究科

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, ² 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^{1*}, 山口 実華¹, 阿部翔梧¹, 田野宏季¹
Yoshitaka Hashimoto^{1*}, Mika Yamaguchi¹, Shougo Abe¹, Hiroki Tano¹

¹ 高知大学
¹ 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¹, 芦 寿一郎^{1*}, 大村 亜希子¹, 池原 研²
Ritsuko Sawada¹, Juichiro Ashi^{1*}, Akiko Omura¹, Ken Ikehara²

¹ 東京大学, ² 産業技術総合研究所

¹The University of Tokyo, ²National 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^{3*}, 熊谷 英憲³, BECKER, Keir¹, DAVIS, Earl²
Masataka Kinoshita^{3*}, Hidenori Kumagai³, BECKER, Keir¹, DAVIS, Earl²

¹マイアミ大学, ²カナダ地質調査所, ³海洋研究開発機構

¹Univ. Miami, ²Geological Survey of Canada, ³JAMSTEC

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水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水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^{1*}, 北田 数也¹, 木村 俊則¹, 横引 貴史¹, 松本 浩幸¹, 川口 勝義¹, 金田 義行¹
Eiichiro Araki^{1*}, Kazuya Kitada¹, Toshinori Kimura¹, Takashi Yokobiki¹, Hiroyuki Matsumoto¹, Katsuyoshi Kawaguchi¹,
Yoshiyuki Kaneda¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ 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¹, 廣野 哲朗^{1*}, 藪田 ひかる¹, 石川 剛志², 谷川 亘²

Hirokazu Masumoto¹, Tetsuro Hirono^{1*}, Hikaru Yabuta¹, Tsuyoshi Ishikawa², Wataru Tanikawa²

¹ 大阪大学理学研究科, ² 海洋研究開発機構 高知コア研究所

¹ Graduate School of Science, Osaka University, ² 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^{1*}, 望月 公廣¹, 中東 和夫¹, 山田 知朗¹, 篠原 雅尚¹, 酒井 慎一¹, 金沢 敏彦², 植平 賢司², 清水 洋³
Takeshi Akuhara^{1*}, Kimihiro Mochizuki¹, Kazuo Nakahigashi¹, Tomoaki Yamada¹, Masanao Shinohara¹, Shin'ichi Sakai¹,
Toshihiko Kanazawa², Kenji Uehira², Hiroshi Shimizu³

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所, ³ 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

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

³Institute 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^{1*}, 尾鼻 浩一郎¹, 山本 揚二郎¹, 海宝 由佳¹, 仲西 理子¹, 小平 秀一¹, 金田 義行¹

Tsutomu Takahashi^{1*}, Koichiro Obana¹, Yojiro Yamamoto¹, Yuka Kaiho¹, Ayako Nakanishi¹, Shuichi Kodaira¹, Yoshiyuki Kaneda¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

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^{1*}, 宮腰 研¹, 鶴来 雅人¹, 川瀬 博², 釜江 克宏³
Anatoly Petukhin^{1*}, Ken Miyakoshi¹, Masato Tsurugi¹, Kawase Hiroshi², Katuhiro Kamae³

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

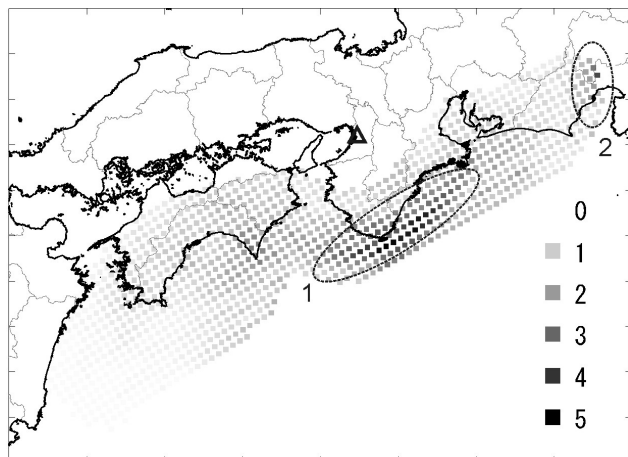
¹Geo-Research Institute, ²DPRI, Kyoto University, ³Research Reactor Institute, Kyoto University

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^{1*}, 深畑 幸俊², 平原 和朗³

Yosuke Shikakura^{1*}, Yukitoshi Fukahata², Kazuro Hirahara³

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

¹Grad. Sch. Environ. Stud., Nagoya Univ., ²DPRI, Kyoto Univ., ³Grad. 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整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 0.3×10^{-7} (yr⁻¹) 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のが予測される。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のが予想される。

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^{1*}, 平原 和朗², 古村 孝志³
Yoshiyuki Kaneda^{1*}, Kazuro Hirahara², Takashi Furumura³

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 京都大学, ³ 東京大学
¹JAMSTEC, ²Kyoto University, ³University 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^{1*}, Dugan Brandon², Moore Gregory³, Strasser Michael⁴, 前田玲奈⁵, Toczko Sean⁵, IODP Expedition 338 乗船研究者⁶

Kyuichi Kanagawa^{1*}, Brandon Dugan², Gregory Moore³, Michael Strasser⁴, Lena Maeda⁵, Sean Toczko⁵, IODP Expedition 338 Scientists⁶

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

¹ Chiba University, ² Rice University, ³ University of Hawaii, ⁴ ETH, ⁵ JAMSTEC, ⁶ 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^{1*}, 竹下 徹², Jacob Geersen³, Olivier Fabbri⁴, 大橋 聖和⁵, Yehua Shan⁶, 金川 久一⁵, Expedition 338 Scientists⁷
Asuka Yamaguchi^{1*}, Toru Takeshita², Jacob Geersen³, Olivier Fabbri⁴, Kiyokazu Oohashi⁵, Yehua Shan⁶, Kyuichi Kanagawa⁵,
Expedition 338 Scientists⁷

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

¹ AORI, Univ. Tokyo, ² Hokkaido Univ., ³ Univ. Southampton, ⁴ Univ. Franche-Comte, ⁵ Chiba Univ., ⁶ Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, ⁷ 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^{1*}, 山本 由弦¹, 橋本 善孝², Robert Harris³, Expedition 344 Scientists⁴

Arito Sakaguchi^{1*}, Yuzuru Yamamoto¹, Yoshitaka Hashimoto², Robert Harris³, Expedition 344 Scientists⁴

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

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

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^{1*}, 林為人¹, 臼井洋一¹, Xixi Zhao², 斎藤実篤¹, Michael Stipp³, Paola Vannucchi⁵, Walter Kurz⁶, 坂口有人¹, Robert Harris⁷, Expeditions 334 and 344 Scientists⁴
Yuzuru Yamamoto^{1*}, Weiren Lin¹, Yoichi Usui¹, Xixi Zhao², Saneatsu Saito¹, Michael Stipp³, Paola Vannucchi⁵, Walter Kurz⁶, Arito Sakaguchi¹, Robert Harris⁷, Expeditions 334 and 344 Scientists⁴

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

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

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^{1*}, 斎藤 実篤², 山口 飛鳥³, 亀田 純¹, 浜橋 真理¹, 福地 里菜⁴, 柴田 美緒⁵, 濱田 洋平¹, 橋本 善孝⁵, 藤本 光一郎⁴, 比名 祥子⁶, 北村 有迅²

Gaku Kimura^{1*}, Saneatsu Saito², Asuka Yamaguchi³, Jun Kameda¹, Mari Hamahashi¹, Rina Fukuchi⁴, Mio Eida⁵, Yohei Hamada¹, Yoshitaka Hashimoto⁵, Koichiro Fujimoto⁴, Shoko Hina⁶, Yujin Kitamura²

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

¹Dept. Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ²IFREE, JAMSTEC, ³Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ⁴Tokyo Gakugei University, ⁵Kochi University, ⁶The 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^{1*}, 藤本 光一郎¹, 浜橋 真理², 山口 飛鳥², 木村 学², 亀田 純², 濱田 洋平⁴, 比名 祥子², 橋本 善孝³, 栄田 美緒³, 北村 有迅⁴, 斎藤 実篤⁴, 水落 幸広⁵, 長谷 和則⁵, 明石 孝行⁵
Rina Fukuchi^{1*}, Koichiro Fujimoto¹, Mari Hamahashi², Asuka Yamaguchi², Gaku Kimura², Jun Kameda², Yohei Hamada⁴, Shoko Hina², Yoshitaka Hashimoto³, Mio Eida³, Yujin Kitamura⁴, Saneatsu Saito⁴, Yukihiko Mizuochi⁵, Kazunori Hase⁵, Takayuki Akashi⁵

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

¹Tokyo Gakugei University, ²The University of Tokyo, ³Kochi University, ⁴Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁵Sumiko 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^{1*}, 廣瀬 丈洋²

Michiyo Sawai^{1*}, Takehiro Hirose²

¹ 広島大学・院・理学研究科, ²JAMSTEC・高知コア研究所

¹Hiroshima University, ²Kochi/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想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^{1*}, 伊東 英紀², 東 修平², 大橋 聖和², 金川 久一², 井上 厚行²

Miki Takahashi^{1*}, Hidenori Ito², Shuhei Azuma², Kiyokazu Oohashi², Kyuichi Kanagawa², Atsuyuki Inoue²

¹(独)産総研 活断層・地震研究センター, ²千葉大学大学院理学研究科

¹AFERC, AIST, ²Graduate 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^{1*}, 廣瀬 丈洋²

Kiyokazu Oohashi^{1*}, Takehiro Hirose²

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

¹Graduate School of Science, Chiba University, ²Kochi 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 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 mm/s では挙動が不安定になり、22 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 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 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^{1*}

Dapeng Zhao^{1*}

¹ 東北大学・理

¹Tohoku 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^{1*}, 野田 博之²

Bunichiro Shibazaki^{1*}, Hiroyuki Noda²

¹ 建築研究所国際地震工学センター, ² 海洋研究開発機構

¹International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, ²Japan 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 oversized 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^{1*}, 藤田 哲史¹, Nakatani Masao¹, 日下部 哲也¹
Nobuki Kame^{1*}, Satoshi Fujita¹, Masao Nakatani¹, Tetsuya Kusakabe¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ 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^{1*}

Satoshi Ide^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科

¹Dept. 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^{1*}
Kenji Satake^{1*}

¹ 東京大学地震研究所

¹ 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(Prendergast 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, tsunami, 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^{1*}, 原田 智也², 佐竹 健治²
Yushiro Fujii^{1*}, Tomoya Harada², Kenji Satake²

¹ 建築研究所 国際地震工学センター, ² 東京大学 地震研究所
¹IISEE, Building Research Institute, ²ERI, 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 ~ 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 4.2×10^{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 (~ 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 ~ 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^{1*}, 鈴木 康弘¹, 杉戸 信彦¹, 千田良道², 石黒 聡士³, 内田主税⁴

Nobuhisa Matsuta^{1*}, Yasuhiro Suzuki¹, Nobuhiko Sugito¹, Yoshimichi Senda², Satoshi Ishiguro³, Chikara Uchida⁴

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

¹Nagoya University, ²Nakanihon Air Service CO., ³National Institute for Environmental Studies, ⁴Tamano 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）、過去の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^{1*}, 前杵 英明², 越後 智雄³, 小俣 雅志⁴, 郡谷 順英⁴, 渋谷 典幸⁴

Masanobu Shishikura^{1*}, Hideaki Maemoku², Tomoo Echigo³, Masashi Omata⁴, Yorihide Kouriya⁴, Shibuya Noriyuki⁴

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

¹Active Fault and Earthquake Research Center, AIST, ²Geography, Edu., Hiroshima Univ., ³GRI, ⁴Crearia 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¹⁴C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^{1*}, 須田陽介¹, 今村文彦¹, 本郷 宙軌², 八木 勇治³

Kazuhisa Goto^{1*}, Yosuke Suda¹, Fumihiko Imamura¹, Chuki Hongo², Yuji Yagi³

¹ 東北大学, ² 琉球大学, ³ 筑波大学

¹Tohoku University, ²University of the Ryukyus, ³University 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

南海トラフ C0002G 長期孔内観測点に設置された孔内地震計・傾斜計の初期データ評価

Initial data evaluation of seismometer and tiltmeter installed in the C0002G borehole observatory in the Nankai Trough

木村 俊則^{1*}, 荒木 英一郎¹, 北田 数也¹

Toshinori Kimura^{1*}, Eiichiro Araki¹, Kazuya Kitada¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

IODP Exp.332において2010年12月に南海トラフ掘削孔 C0002G 孔内に設置された歪計・傾斜計・地震計・圧力計・温度計等を含む孔内センサー群について、2013年1月24日に DONET(Dense Oceanfloor network system for Earthquake and Tsunamis) のケーブルネットワークへの接続を実施し、リアルタイム観測が開始された。本発表では、連続して観測されている各種孔内センサーのデータの内、特に地震計・傾斜計のデータについて今後の本格的なデータ解析に向けた初期データ解析を実施したので報告する。

初期データ解析としては、1) 短周期のノイズスペクトルの計算及び結果の相互比較 2) 長期のランニングスペクトルの計算および結果の相互比較 3) 遠地地震を利用した観測方位の推定。等を主に実施した。各項目の詳細は以下のとおりである。

1) 短周期のノイズスペクトルの計算および相互比較

一時間のバックグラウンドノイズからノイズスペクトルを算出した。得られたノイズスペクトルでは、孔内の地震計パッケージの各センサー(広帯域地震計: Guralp 社製 CMG3TBD, ジオフォン: Geospace 社製 GS-11D, 加速度計: 日本航空電子製 JA-5H200) および傾斜計(Applied Geomechanics 社製 LILY)について0.3Hz付近に脈動のピークがよく確認できた。また、得られた結果について、付近のDONET観測点 KMD16のノイズスペクトルとの比較を実施したところ、脈動の振幅については水平動で約10dB、鉛直方向でも3-5dB程度孔内地震計の方が小さいことを確認した。さらに、1Hz~50Hz付近の高周波数領域では、DONET観測点のものと比較して最大で20dB程度ノイズレベルが小さいことが確認された。このことから、孔内観測点では海底のDONET観測点でも捉えきれない微小な近傍の地震イベントを観測できることが期待できる。得られたノイズスペクトルは設置前に実施していた陸上での動作試験の結果と整合的であり、設置に伴うセンサーの性能劣化などは起きていないことが確認できた。また、ジオフォンについては、設置後前後でのキャリブレーション波形から応答パラメータを算出し、それらに変化がないことを確認した。

2) ランニングスペクトルの計算および結果の相互比較

一定区間のウィンドウで計算したランニングスペクトルについて、観測開始から連続的にプロットを実施し、内部ノイズレベルに長期にわたる変動がないか確認した。ランニングスペクトル上では短周期のノイズスペクトルで確認された特徴を再確認するとともに、時期による脈動振幅の変化などを明瞭に確認することができた。得られたランニングスペクトルには、センサーの長期的な劣化の兆候は今のところ現れていない。

3) 遠地地震を利用した観測方位の推定

孔内観測点の広帯域地震計で観測された遠地地震の記録について、中野ほか(2012)の方法を用いて孔内観測点のセンサー設置方位を推定した。具体的には、水平動の遠地地震記録について、反時計回りに一度ずつ回転させながら近傍のDONET観測点 KMD16の水平動との相互相関処理を計算し、その結果得られた相互相関係数が最大となる角度をセンサーの設置方位と推定した。解析の結果、孔内観測点の設置方位はセンサーのY成分が北から時計回りに46度と推定された。

上記の解析の結果、C0002Gに設置された地震計パッケージ・傾斜計は設置前に確認されていた性能を保持しつつ良好に動作していることが確認された。現在は、上記を含む解析について自動処理を実施し、解析結果を逐次評価しつつセンサーの健全性をモニタしている。今後は地震動を用いたセンサーのレスポンスの確認をより詳細に行うことや、孔内で観測されている微小な地震イベントについて検討していきたい。さらには、観測されているノイズ記録、地震記録のデータを利用した連続的な構造探査、構造モニタリングについての研究も進めていく予定である。

キーワード: 孔内観測点, 地震計, 南海トラフ, データ評価

Keywords: borehole observatory, seismometer, Nankai trough, data evaluation

南海トラフ孔内観測点 C0002 プラットフォーム上での精密水圧観測 Precision observation of seafloor pressure change on the platform of C0002 borehole observatory in Nankai Trough

北田 数也^{1*}, 荒木 英一郎¹, 松本 浩幸¹, 木村 俊則¹

Kazuya Kitada^{1*}, Eiichiro Araki¹, Hiroyuki Matsumoto¹, Toshinori Kimura¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

東南海地震の想定震源域である紀伊半島沖熊野灘における長期的な海底および孔内での水圧観測は、地殻変動の検知、分岐断層に沿った流体移動のモニタリング、さらには巨大地震発生の準備過程や発生直後のプレート間すべりの拡大様式等を理解する上で重要である。しかしながら、海底において観測された水圧計データには、地殻変動や流体移動による圧力変動の他に、圧力センサーのドリフトによるみかけの変動が含まれており、これらを区別する必要がある。一般に、ドリフト成分を除去するために測器の長期ドリフトレートをあらかじめ室内実験で評価するが、1年を超えるような長期観測においては、センサーのドリフト特性を把握することは難しい。そこで、本研究では、海底水圧計の現場校正技術の開発を目的として、C0002 孔内観測点での精密水圧計測を実施し、孔内水圧計の現場校正を試みた。

紀伊半島沖熊野灘の海底下に設置した C0002 孔内観測点では、2010 年 12 月の設置以降、水晶式水圧計 (Paroscientific Inc. 8B7000-2 および 8B7000-1) による、間隙水水圧計測 (3 式) および海底水圧計測 (1 式) を継続して実施している。さらに、2013 年 1 月-2 月に実施した KY13-02 航海において、C0002 孔内観測点を DONET へ接続しリアルタイム観測を開始しており、現場校正技術を検証する上で有効なターゲットである。

KY13-02 航海では、あらかじめ実験室 (JAMSTEC 環境シミュレーター) で絶対値の校正をした水圧計 (Paroscientific Inc. 8B7000-2-005) を ROV によって孔内観測点プラットフォーム上に運搬し、孔内観測点で運用している水圧計との比較観測を行った。水圧計の圧力変化による影響をできるだけ少なくするため、水圧計配管内の圧力を、海底温度環境下での想定圧力値にあらかじめ設定した。水圧計のバルブを閉じた状態で海底への運搬し、海底に設置後 ROV によりバルブを開け、1 時間程度観測を行った。観測後には、再度バルブを閉じてから水圧計を回収した。また、水圧計の傾斜による影響を評価するため、水圧計には傾斜センサーを取り付け、水圧計の傾斜変化も合わせて観測した。2013 年 1 月 20 日と 2 月 1 日の 2 度の精密水圧観測を実施し、絶対値校正に加え、水圧計の Repeatability の評価も実施した。

今回の現場校正により、孔内水圧計の絶対値オフセットは 240hPa 程度あることがわかった。また、2 度の繰り返し観測で得られた水圧計の Repeatability は 14hPa 程度であった。これは、水晶式水圧計の仕様 (Repeatability(0.005%FS)=34.5hPa) の範囲内であったが、実験室で評価した Repeatability 数 hPa 程度よりも大きな値を示した。今後、より精度の高い計測を目指すため、水晶水圧計の温度変化、水圧計の傾斜、および水圧計配管内のオイルの密度変化等による影響を定量的に評価し、観測の前後を含め水圧計の圧力条件を一定に保つことの重要性について検討する予定である。また、C0002 孔内観測点を用いた現場校正技術の検証を継続して実施し、長期ドリフトレートの現場評価さらには、南海トラフに設置された地震・津波観測監視システム (DONET) の海底観測点の水圧計校正にも適用していきたいと考えている。

キーワード: 海底水圧計測, 現場校正, 南海トラフ, 孔内観測, 地殻変動, 間隙水圧

Keywords: Seafloor pressure observation, In-situ calibration, Nankai Trough, Borehole observatory, Crustal movement, Pore pressure

The stress variation along the Nankai Trough observed in the scientific drillings Borehole C0010A and C0004B, NanTroSEIZ
The stress variation along the Nankai Trough observed in the scientific drillings Borehole C0010A and C0004B, NanTroSEIZ

呉 泓^{1*}, 真田 佳典¹, 木下 正高¹
HungYu Wu^{1*}, Sanada Yoshinori¹, Kinoshita Masataka¹

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

In NanTroSEIZIE Exp. 319, well C0010A was drilled to compare with well C0004B in physical properties, fault zone architecture, and the variations along-strike of Nankai Trough. Based on the seismic reflection data, the character of the mega-spray fault diverges remarkably between C0010A and C0004B. The well conditions of LWD images are collected to 550 meter below sea floor (mbsf). In this paper, we used the stress polygon to analyze the reprocessing LWD images for picking the breakout and tensile fracture azimuth and width in well C0010A and C0004B. The stress state in site C0010A can be modified by the borehole conditions, logging data and the physical properties. The same methods run on the site C0004B and the stable, consistent stress profiles are shown. Several faults were identified by the rotated borehole breakout orientation. The fractures distributions also supported the stress anomaly in the vicinity of the faults. The magnitudes of the horizontal stresses in C0010A vary in the different units comparing to the C0004B. The difference of two sites indicated that the local structure near the Nankai Trough would be the factor to influence the stress state in the boreholes. However, the normal fault stress regime was designed in both boreholes. The low stress level in the shallow portion near the Nankai Trough was obtained in this scientific drilling project.

Keywords: NanTroSEIZIE, LWD, Breakout, Tensile fractures, Stress polygon

ボアホールブレイクアウトに影響を与えるフラクチャーの特性 Analysis of Fracture Characteristic against Shape of Borehole Breakout

柴沼 潤^{1*}, 山田 泰広¹, 松岡 俊文¹

Jun Shibamura^{1*}, Yasuhiro Yamada¹, Matsuoka Toshifumi¹

¹ 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

¹kyoto University

1. 研究の背景と目的

一般に断層が形成される際には、フラクチャーが発達したダメージゾーンと呼ばれる領域が周囲に形成される。また先行研究により断層周辺では主応力方位の回転、マグニチュードの増減が生じていることが分かった。故に物理検層データなどを利用して地下のフラクチャーを観察し、その分布と応力の変動パターンを比較することによって、断層由来のフラクチャーを識別し、断層の規模や形状を推定できると考えられる。さらに応力に直接影響を与えているフラクチャーとそうでないものを分類できる可能性がある。

そこで本研究では、観察されたフラクチャーを周囲の応力状況に応じて3つのパターンに分類し、応力に影響を与えているフラクチャーの特性(走向・傾斜など)について評価した。分類する際には応力状況を示す指標として孔壁崩壊(borehole breakout: BO)の形状を基準にした。なおBOは応力集中によって生じる崩壊であり、通常180°間隔で2箇所に発生する。

2. 解析手法

坑井が貫通したフラクチャーは、孔壁画像中にサインカーブとなって現れる。これは円柱と平面の交線が、展開図中にサインカーブとなって現れるためである。またこのサインカーブの振幅と位相はそれぞれ傾斜角、走向を表わしている。本研究では孔壁画像から観察されたフラクチャーを、周囲の孔壁崩壊(BO)の形状によって以下の3つのパターンに分類することにした(図1)。BOが回転しているパターン。BOが180°間隔でなくなるパターン。BOに影響を与えないパターン。

3. 結果と考察

パターン に属するフラクチャーは傾斜角がやや小さい傾向が見られた。それに対しパターン に属するフラクチャーの傾斜角は大きく、走向に関しては両者の間に大きな違いは見られなかった。パターン に属するフラクチャーは傾斜角、走向ともに広く分布しており、このことからBOの形状に影響を与える条件は走向、傾斜以外にも存在することが示唆される。また推定したダメージゾーン内に存在するフラクチャーの種類を見ると、パターン に属するフラクチャーの割合が多いことが分かった(表1)。これは断層領域の内部では応力のマグニチュードが減少することからBOの幅が狭くなり、フラクチャーに沿って応力が解放されることによって本来崩壊が生じる領域に十分な応力が伝わらなくなったためと考えられる。

4. 今後の展望

フラクチャーによって応力がどのように解放されるか、モデル計算を利用して考察する。またモデル計算の結果を利用して、BOの回転を引き起こしているフラクチャーを特定する。

キーワード: フラクチャー, ボアホールブレイクアウト, 地下応力場, 物理検層, 南海トラフ, 付加体

Keywords: Fracture, Borehole Breakout, Stress state, logging, Nankai Trough, Accretionary Prism

Unsolving the fault activity off Tokai through 14C dating fossilised Calyptogena spp shells.

Unsolving the fault activity off Tokai through 14C dating fossilised Calyptogena spp shells.

Kazuhiro Yagasaki^{1*}, Shin'ichi Kuramoto², Juichiro Ashi¹

Kazuhiro Yagasaki^{1*}, Shin'ichi Kuramoto², Juichiro Ashi¹

¹Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ²JAMSTEC

¹Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ²JAMSTEC

The Nankai and the Tokai Trough regions are common areas for cold seeps, an area of the ocean floor where Hydrogen Sulphide (H₂S), Methane (CH₄) and often hydro-carbon rich fluid seepage occurs. These various substances encourage the growth of Calyptogena spp colonies to flourish at these sites. Naturally, cold seeps occur at tectonically active continental margins and are mostly ephemeral. This suggests that the activities of cold seeps are possibly influenced by the tectonic activity of the diverging plates. Previously attempts were made to reconstruct the cold seep activity history through amino acid racemisation dating. Yet further data is required to show any significant relationship. In order to further study the possible relationship between the cold seep activity and past major fault activity, radioactive 14C dating method will be used to attempt and accurately measure the age of the Calyptogena spp shells.

キーワード: Tokai Trough, Cold Seeps, Calyptogena spp, 14C dating, Fault activity

Keywords: Tokai Trough, Cold Seeps, Calyptogena spp, 14C dating, Fault activity

熊野沖前弧海盆北縁断層の高解像浅部地質構造

High resolution shallow structures of the northern marginal fault of the forearc basin off Kumano

芦 寿一郎^{1*}, 池原 研², 小嶋 孝徳¹, KH-11-9 乗船研究者¹

Juichiro Ashi^{1*}, Ken Ikehara², Takanori Ojima¹, KH-11-9 Shipboard Scientists¹

¹ 東京大学, ² 産業技術総合研究所

¹The University of Tokyo, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Investigation of shallow deformation structures is significant for understanding of recent tectonic activity. We carried out deep towed subbottom profiling survey by ROV NSS (Navigable Sampling System) during Hakuho-maru KH-11-9 cruise. High resolution mapping of shallow structures was successfully conducted by a chirp subbottom profiling system. ROV NSS also has a capability to take a piston core with a pinpoint accuracy. The studied area is the northern margin of the Kumano Trough. The Kumano Trough is a well developed forearc basin associated with the growth of the accretionary prism that has been examined by IODP drillings. The basin is characterized by pervasive large-scale folds trending ENE-WSW. The northern basin margin is divided into two domains, with water depth differences of 14 m: northern margin at a water depth of 2028 m and southern main basin floor at a water depth of 2042 m, by ENE-WSW trending step. An asymmetric anticlinal fold suggesting activity of a blind fault is recognized beneath this step on multichannel seismic reflection profiles. Subbottom profiles show that reflectors of both fold limbs bend up and thin out toward the fold axis. The northern limb is completely filled by sediments and the southern limb corresponds to the gentle slope between the northern margin and the main basin floor. Acoustically transparent layers are dominant at upper 5 m sequences of the both limbs. These layers seem to correspond to Holocene sediments after approximately 10,000 years ago by adjacent core sample ages. Because bend structures of shallow strata near the fold axis attribute to relative uplift of the fold axis region, vertical displacement for the past 10,000 years is estimated to be 2.5 m. Further deep structures revealed by SBPs show accumulation of displacement with depth. Moreover, MCS profiles suggest strike slip deformation around this anticline based on existence of flower structures. Therefore, it is inferred that the northern marginal fault located below this fold is active for more than 10,000 years at least.

キーワード: 単斜褶曲, 撓曲, 活断層, 前弧海盆

Keywords: monoclinial fold, flexure, active fault, forearc basin

熊野トラフの掘削試料を用いた泥火山供給源深度とその堆積場の研究 Studies of the source depth and the depositional environment of the mud volcano by using of drilling cores in the Kumano

村岡 諭^{1*}, 芦 寿一郎¹, 坂口 有人², 金松 敏也², 青池 寛², 稲垣 史生²

Satoru Muraoka^{1*}, Juichiro Ashi¹, Arito Sakaguchi², Toshiya Kanamatsu², Kan Aoiike², Fumio Inagaki²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

海底泥火山は、海底下深部の未固結または半固結の泥質堆積物堆積物が泥ダイアピルとして噴出し形成された山体である。海底泥火山は大深度掘削をすることなく海底下深部物質を入手できる点で重要であり、付加体形成や地震メカニズムの理解に期待されている。海底泥火山堆積物は、間隙率や密度などの物性や供給源深度を求めることを目的に世界各地の泥火山において研究が行われているが、巨大地震発生帯として知られる南海トラフにおいて、熊野海盆に発達する泥火山の供給源深度は求められてこなかった。

そのため、本研究では2009年3月に地球深部探査船「ちきゅう」を用いて採取された熊野海盆の泥火山掘削コア試料(C9004, C9005)を用い、泥火山の供給源深度を求め、それをもとに形成過程を議論することを目的とした。用いたデータは、主にビトリナイト反射率、間隙率と密度、微化石年代、帯磁率異方性である。

泥火山を構成する物質である礫が泥ダイアピルに取り込まれる以前に、どの深度に埋没していたかを、ビトリナイト反射率と年代、研究地域周辺の地温勾配の値から推定した。

その結果、供給源深度は礫の最大深度から1900mbsf前後と推定することができた。そして、その深度が付加体であるか、前弧海盆であるかが議論の焦点となり、以下の2つの点から、供給源深度は前弧海盆であると推定した。1) 深度に対する礫の密度の変化が、熊野沖の付加体で得られたロギングデータと一致していない。前弧海盆と付加体の境界で密度が低下するが、その低下が泥火山の礫では見られない。2) 泥火山堆積物の粘土鉱物の構成が、地球深部探査船「ちきゅう」による統合国際深海掘削計画(IODP)第314次研究航海で示された上部付加体のそれと異なっている。スメクタイトの存在比は上部付加体では多いことに対し、泥火山堆積物の最も深く推定された礫では少ない。これらの結果が、供給源が前弧海盆を示す。また、微化石年代により礫の年代は、深度の増加とともに年代が古くなるが、1700mbsfでは年代のギャップが示される。供給源が付加体でないとするならば、かつての前弧海盆堆積物であると思われる。1700mbsf付近には現在と昔の前弧海盆の不整合があったかもしれない。本研究により熊野海盆の層厚が2000mはあることを示唆するものとなった。

発表では、帯磁率異方性の測定から泥火山構成物の粒子配列やその変形についても言及する。

キーワード: 泥火山, 泥ダイアピル, ビトリナイト反射率, 前弧海盆, 南海トラフ

Keywords: mud volcano, mud diapir, vitrinite reflectance, forearc basin, Nankai Trough

サイスミックインバージョン法を用いた南海トラフ堆積層の物性解析 A seismic inversion study for incoming sedimentary sequence in the Nankai Trough, southwest Japan

内藤 和也^{1*}, 朴 進午¹
Kazuya Naito^{1*}, Jin-Oh Park¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo

南海トラフは西南日本の太平洋岸沖に位置するプレート収束境界である。この海域では 100–200 年周期でプレート境界型巨大地震が発生していると考えられており、近い将来の再発が懸念される一方、過去の地震発生メカニズムやその際に発生した津波の特徴について数多くの研究がなされている。本研究では、サイスミックインバージョン法による音響インピーダンス解析を用いて、南海トラフ堆積物中の物性の不均質性を明かにする。サイスミックインバージョン法は、坑井検層や採取コアの物性測定により得られた密度・P 波速度等の物性データを用いて音響反射面のモデルを作成し、これを実測の地震波探査断面に適合するように反復計算・再作成する事で、地震波探査断面の音響インピーダンスを求める方法である。本研究では KR06–02 航海による熊野沖の 3D 反射法地震波探査データ、KR05–12 航海においてトラフ軸全域に平行する形で行われた広域 2D 反射法地震波データ、ならびに坑井データとして IODP Expedition 322 および 338 による堆積物コアの物性測定データ・LWD ログデータを用いた。

キーワード: 南海トラフ, 堆積物, インバージョン, 音響インピーダンス, 反射法地震波探査, コア-ログ-サイスミック統合解析

Keywords: Nankai Trough, sediments, inversion, acoustic impedance, seismic reflection, Core-Logging-Seismic Integration

珪藻殻が堆積物の物性に与える影響 —東北三陸沖の例— Influence of Diatomaceous Structure on the Physical Properties - An Example of off San-riku, North Japan -

小嶋 孝徳^{1*}, 斎藤 実篤²

Takanori Ojima^{1*}, Saneatsu Saito²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構

¹AORI, The University of Tokyo, ²JAMSTEC

During Ocean Drilling Program(ODP) Leg. 186, two sites(Site 1150 and Site 1151) were drilled on the continental slope of the deep-sea forearc basin of northern Japan. Diatomaceous sediments were recovered Site 1150 (39° 10.9'N, 143° 19.9'E) and Site 1151 (38° 45.1'N, 143° 20.0'E), and the depth of each site is 1181.60 mbsf and 1113.60 mbsf, respectively. This area is under the influence of the Oyashio current and is one of the highly bio-productive regions of the North Pacific Ocean (Motoyama et al., 2004). The combination of high productivity and active tectonic deformation that often caused high rate accumulating of fossil and organic rich sediments.

The onboard results of porosity measurements show high value (50-70 %) down to 1000 mbsf, and obviously higher than nearby subduction trench, Nankai Trough (Taylor and Fisher, 1993). There is a possibility that diatomaceous shell keep a frame structure from effective stress and load pressure. On another drilling site result, DSDP(Deep Sea Drilling Project) Leg. 19 located 60 km to the north of ODP sites, was reported high value of porosity, but recognized only shallow range (>500 mbsf) (Shephard and Bryant, 1980).

We focused on the relationships between physical property, microstructure, and logging data at deep range(?1000 mbsf). We picked 14 samples to observe microstructure using SEM and measure permeability using flow-ump approach(1.5-4.5 MPa), and compiled Logging data respectively.

We observed many pore in and around diatom fossils using SEM even in the sample from deeper than 1000 mbsf. And we measured pore size and permeability at each depth. As depth is increased, permeability generally decreased by effective stress and load pressure. In this site, we recognized diminish wavy curve in correlation between depth and permeability. Furthermore, wavelength cycle nearly matched resistivity alternation, and promised to have a correlation with lithofacies change.

キーワード: 珪藻, 高間隙率, 孔サイズ分析, 透水率, 物理検層

Keywords: diatom, high porosity, pore size analysis, permeability, logging

沈み込み地震発生帯におけるアモルファスシリカの脱水 Dehydration of amorphous silica in subduction seismogenic zone

清水 麻由子^{1*}, 亀田 純¹, 濱田 洋平², 木村 学¹

Mayuko Shimizu^{1*}, Jun Kameda¹, Yohei Hamada², Gaku Kimura¹

¹ 東京大学, ² 海洋研究開発機構

¹The University of Tokyo, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Generally, a shallow part of a plate boundary megathrust has been considered as aseismic. However, in the 2011 Tohoku-oki earthquake, the seismic fault slip propagated close to the axis of the Japan Trench and caused an extremely large tsunami. It is considered that ductile deformation of unconsolidated sediments is common deformation mechanism prominent in this aseismic region of the shallow part of the subduction zone. Accordingly, it is still unknown how the seismic rupture reached to nearby the trench axis.

The megathrust is characterized by a prominent reflector. Therefore it has been pointed out that the megathrust may host highly pressurized fluids (Kimura et al., 2012). Moreover, based on the result of mineral analysis by Deep Sea Drilling Project (DSDP) in 1977, it is supposed that the subducting sediments mainly consist of vitric diatomaceous and radiolarian silt with pelagic clay intervals.

Opal-A in the vitric diatomaceous silt transform to quartz, and smectite in the pelagic clay to illite. These diagenetic reactions accompany dehydration reactions. The dehydration rates become maximum at 50-60 km horizontally from the deformation front, where the temperature along the megathrust is 100-120°C. This region coincides with the locus with a prominent reflector, and this suggests that the main source of highly pressured fluids is dehydration of sediments (Kimura et al., 2012).

However, few studies have conducted mineral analysis of sediments along the Japan Trench, and detailed dehydration process of hydrous minerals and the reality of fluid pressure have been poorly constrained. Therefore, in this study, we examined by X-ray diffraction whole rock composition of sediments including opal-A, which was recovered from outer rise of the Japan Trench during DSDP Leg56. In this talk, we present calculations of the diageneses of opal-A and smectite, and discuss development mechanism of fluid pressure in the shallow portion of the megathrust in the Japan Trench.

References

Kimura et al. (2012) Runaway slip to the trench due to rupture of highly pressurized megathrust beneath the middle trench slope: The tsunamigenesis of the 2011 Tohoku earthquake off the east coast of northern Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 339-340, 32-45

キーワード: 沈み込み帯, シリカ, 脱水, XRD

Keywords: Subduction zone, Silica, Dehydration, XRD

プレート沈み込み帯分岐断層の岩石物性と岩相・構造 延岡衝上断層掘削における コア・物理検層統合解析 Core-log integration of a subduction zone megasplay fault -Example from the Nobeoka Thrust Drilling-

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

Mari Hamahashi^{1*}, Saneatsu Saito², Gaku Kimura¹, Asuka Yamaguchi³, Rina Fukuchi⁴, Jun Kameda¹, Yohei Hamada², Koichiro Fujimoto⁴, Yoshitaka Hashimoto⁶, Shoko Hina⁵, Mio Eida⁶, Yujin Kitamura²

¹ 東京大学, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ 東京大学大気海洋研究所, ⁴ 東京学芸大学, ⁵ 朝日新聞社, ⁶ 高知大学

¹The University of Tokyo, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ⁴Tokyo Gakugei University, ⁵The Asahi Shimbunsha, ⁶Kochi University

Subduction zone megasplays are known to act as tsunami-seismogenic faults and have been the focus of numerous geological and geophysical research. Reflectance surveys and wave tomography reveal clear outlines of the megasplay in the Nankai Trough, indicating low velocity zone along the thrust and the contrast in physical property and structure between the hanging wall and footwall. Megasplay has been the target of Integrated Ocean Drilling Program (NanTroSEIZE), but the deep portion of the megasplay has not been reached yet. Thus the nature and evolution of megasplay remain to be poorly constrained. On the other hand, however, the fossilized megasplay fault now exhumed on-land, enables to directly observe and study the lithology and structures from the outcrop. The Nobeoka Thrust in Shimanto belt, Kyushu Island, has been studied to be a fossilized megasplay fault, and present well preserved structures of fault zones from the seismogenic regime. To obtain geologic and geophysical datasets to correlate with ocean drilling program, the Nobeoka Thrust Drilling Project was conducted in 2011. 255m of continuous coring and geophysical logging was held, and the main fault core between the hanging wall and footwall was found at 41m depth.

The purpose of this study is to present the results of core-log integration, focusing on the relation among lithology, structure, and physical property along the Nobeoka Thrust, emphasizing the clear contrast between the hanging wall and footwall.

Hanging wall (0-41.3m) is composed of the Kitagawa Group of phyllite of alternating beds of sandstone and shale, while the footwall (41.3~255m) is composed of the Hyuga Group of foliated cataclasite consisted with scaly shale, tuffaceous shale, sandstone, and acidic tuff. The main fault core between the hanging wall and footwall is random fabric cataclasite of ~50cm thickness, and above and below, the damage zone close to the fault core is characteristic in the hanging wall and footwall. The hanging wall damage zone (32.4-41.3m) is sandstone-rich, with boudinaged and fragmented structures, while the footwall damage zone (41.3-53m) is clay-rich cataclasite with abundant fragments and less mineral veins. 5 lithologic units are classified in the footwall, mainly by the variety of sandstone, silt, and tuff and its structures. Other than the main fault core, several macroscopic fault zones are seen throughout depth in the hanging wall and footwall, which are included in each unit and partly influence the change in lithology and structure there. Tuffaceous silt becomes abundant especially from Unit 3, across the fault zone at 112-118m.

Geophysical logging data correlates well with the lithology and structure observed above, and the contrast between the hanging wall and footwall is particularly clear around the main fault core. Footwall presents higher values of neutron porosity (~7.6%) compared to hanging wall (~4.8%), while porosity is lowest (~3.6%) towards/just above fault core. Resistivity is higher at hanging wall (LN~507, SN~453, GD~400 ohm-m), followed by drop near fault core (329,268,315) and stably lower footwall (308,232,310). P-wave velocity is slightly higher at hanging wall and fault core (~4.3km/sec) compared to footwall (~4.2km/sec). Temporary drop in natural gamma ray (~108API) and spontaneous potential (~39mV) are characteristic towards and just above fault core, while values are nearly constant at hanging wall (~123API, ~55mV) and footwall (~122API, ~57mV). Density does not vary much throughout depth (~2.7g/cc).

Curve fitting of number distribution of logging data for each unit, and statistically significant values are obtained from normalized distribution. To understand and estimate the physical property of megasplay fault from logging data, I recalculate values using elastic theory of open cracks assuming the effective pressure to be 55 MPa representing those at in situ values of the Nobeoka Thrust when it was active at depth.

キーワード: 分岐断層, 付加体, 南海トラフ, 岩石物性

Keywords: Megasplay fault, accretionary prism, Nankai Trough, Physical property

アウト・オブ・シークエンス・スラストにおける岩石物性：九州四万十帯延岡衝上断層 Physical properties at out of sequence thrust: Nobeoka thrust, Shimanto Belt, Southwest Japan

橋本 善孝^{1*}, 阿部翔吾¹, 田野宏季¹, 斎藤 実篤², 山口 飛鳥³, 亀田 純⁴, 浜橋 真理⁴, 福地 里菜⁵, 濱田 洋平², 栄田 美緒¹, 藤本 光一郎⁵, 北村 有迅², 木村 学⁴

Yoshitaka Hashimoto^{1*}, Shogo Abe¹, Hiroki Tano¹, Saneatsu Saito², Asuka Yamaguchi³, Jun Kameda⁴, Mari Hamahashi⁴, Rina Fukuchi⁵, Yohei Hamada², Mio Eida¹, Koichiro Fujimoto⁵, Yujin Kitamura², Gaku Kimura⁴

¹ 高知大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 東京大学大気海洋研究所, ⁴ 東京大学, ⁵ 東京学芸大学

¹Kochi University, ²JAMSTEC, ³AORI, ⁴University of Tokyo, ⁵Tokyo Gakugei University

To understand information from geophysical survey combining with natural rocks, direct measurement of physical properties on natural rocks is essential. Mega-splay faults cutting whole accretionary wedges in the latest stage of deformation history in subduction zone are commonly observed in seismic profiles. The mega-splay faults are developing around the shallower portion of seismogenic zone along subduction plate interface, and penetrating to ocean floor in transition zone with higher angle of slope topography between outer and inner wedges. Therefore, the mega-splay fault can be a boundary of physical properties of sediments. The on-land analogue of the mega-splay faults is considered to be an out-of-sequence thrust, which cuts paleo-thermal structures. In this study, we measured physical properties of hanging-wall and footwall of the Nobeoka thrust, which is an on-land out-of-sequence thrust. The samples were cored by Nobeoka thrust drilling project (NOBELL).

Nobeoka Thrust is a major geologic boundary between the Northern and the Southern Belts of the Shimanto accretionary complex in Kyushu, Southwest Japan. The paleo-maximum temperature of hanging-wall and footwall is about 320°C and 250°C, respectively. About 70°C difference in temperature is observed at the thrust. The hanging-wall is composed of phyllite. Major component of footwall is tectonic melange of terrigenous sediments and tuff. Damage zone related to Nobeoka thrust is developed in the footwall. Minor faults with carbonate and quartz veins are densely observed in the damage zone. Cataclasite is also identified in the damage zone in some part. Core was drilled about 250m long and Nobeoka thrust is located about 40m of depth in the core. The damage zone is ranging in the depth from about 40m to 110m. We classified samples into three, phyllite in hanging-wall, cataclasite and melange in footwall. 5 samples for each were tested to get physical properties.

We have conducted P-wave and S-wave velocity measurement under controlled effective pressure. Effective pressure ranges from 5MPa to 65 MPa with 5MPa interval. In the laboratory test, change in pore water volume and axial displacement were recorded. Porosity and density were also measured.

Obtained P-wave and S-wave velocities for phyllite, cataclasite, and melange are 4.71-5.01 km/s and 2.78-2.57 km/s, 4.42-4.76km/s and 2.38-2.48 km/s, and 4.48-4.76 km/s and 2.34-2.44 km/s, respectively. V_p/V_s for cataclasite is relatively low (1.85-1.91) than that for others (1.90-1.95). Porosities for phyllite, cataclasite and melange are 1-5%, 2-10%, and 2-8%, respectively. Density is almost constant for all lithologies.

Amplitude variations with offset (AVO) analysis were taken for the estimation of effective pressure. By comparison between AVO parameters from seismic data and the elastic properties, appropriate effective pressure was estimated as about 50 MPa in hanging-wall and about 5 MPa in footwall. Although the coincidence between AVO parameters was not so good, at least, the difference in effective pressure between hanging-wall and footwall is relatively larger. The bad coincidence is probably due to anisotropy of elastic property especially in hanging-wall.

キーワード: アウト・オブ・シークエンス・スラスト, 四万十帯, 弾性波速度

Keywords: out of sequence thrust, Shimanto Belt, velocity

南海トラフ熊野沖の付加体先端部で湧水の時間変化を検出する試み Detecting time-dependent fluid discharge at the toe of the Nankai Trough accretionary prism

川田 佳史^{1*}, 後藤 秀作², 山野 誠¹, 芦 寿一郎³

Yoshifumi Kawada^{1*}, Shusaku Goto², Makoto Yamano¹, Juichiro Ashi³

¹ 東大地震研, ² 産総研, ³ 東大大気海洋研

¹ERI, Univ of Tokyo, ²GSJ/AIST, ³AORI, Univ of Tokyo

南海トラフ熊野沖の付加体先端部にある断層崖(大峰リッジ)近傍の湧水域で2年以上に渡る長期熱流量観測を行い、湧水およびその時間変化の検出を試みた。付加体からの湧水は付加体からの排水過程および地震発生帯の間隙水圧異常に関わる。このため、湧水およびその時間変動の検出は、付加体の変形過程を知るための第一歩となる。

自己記録式の熱流量計(SAHF; Kinoshita et al., 2006)を、湧水があると期待されるバクテリアマット上、およびその近傍の湧水がないと期待されるふつうの海底面上に設置した。SAHFの槍部分(長さ60cm)には5つのサーミスターが11cm間隔で封入されており、海底下約50cmまでの温度を記録できる。ひとつのSAHFの近傍には、海底付近の水温を測るための水温計も設置した。設置期間は2010年3月15日~2010年8月6日、2010年8月6日~2012年7月11日、および2010年7月11日~現在である。機器の設置・回収は海洋研究開発機構の「なつしま・ハイパードルフィン」および「よこすか・しんかい6500」を用いた(NT10-05Leg1, YK10-09, NT12-18)。

本観測地点は水深が浅く(~2500m)潮汐や黒潮などによる水温変動を被っているため、水温変動を積極的に用いて流速を求める方法を用いた(Goto et al., 2006)。まず、温度計ごとにある期間(4、5カ月程度)のフーリエ成分を求める。次に、深さの異なる2つの温度計について、各フーリエ成分の振幅比(浅いセンサー/深いセンサー)と位相差からその区間のDarcy流速および拡散係数が得られる。位相差は主に拡散係数に関連し、位相差が大きいほど拡散係数は小さく求まる。拡散係数が分かると、振幅比からDarcy流速が求まる。すなわち、上昇流では速度が大きいほど振幅比が大きく、下降流では速度が大きいほど振幅比が小さい。以上の方法を様々な期間に対して行うことで、湧水の時間変化を追うことができる。

バクテリアマット上とふつうの海底面上、それぞれに設置した熱流量計のデータについて上記の解析を行い、有意な差を得た。ふつうの海底面上では、すべての期間で流速ほぼ0が得られた。また、拡散係数はいずれの深さにおいてもこの地域の平均的な値 $3 \times 10^{27} \text{ m}^2/\text{s}$ が得られた。一方バクテリアマット上では、Darcy流速にして $2.3 \times 10^{27} \text{ m/s}$ 程度の上昇流が見込まれることが分かった。予備的な解析によると、2011年初頭ではDarcy流速が $1 \times 10^{27} \text{ m/s}$ と、その後よりやや弱い傾向がみられた。拡散係数として、海底下30cmより深いところではこの地域の平均的な値が、20cmより浅いところでは平均より1.5から2倍程度の値が得られた。大きな拡散係数は、バクテリアマットの形成と関連があると考えられる。

キーワード: 湧水, 付加体, 熱流量, 沈み込み帯, 長期計測

Keywords: fluid seepage, accretionary prism, heat flow, subduction zone, long-term monitoring

海底地震観測に基づく紀伊半島沖フィリピン海プレート内部の微小地震活動 Micro-seismicity in incoming Philippine Sea Plate off Kii Peninsula based on ocean-bottom seismographic observation

平田 賢治^{1*}, 対馬 弘晃², 小林 昭夫², 山崎 明³, 馬場 久紀⁴, 勝間田 明男², 上野 寛², 青木 重樹², 林元 直樹², 武藤 大介², 吉田 康宏⁵, 前田 憲二², 横田 崇²

Kenji Hirata^{1*}, Hiroaki Tsushima², Akio Kobayashi², Akira Yamazaki³, Hisatoshi Baba⁴, Akio Katsumata², Hiroshi UENO², Shigeki Aoki², Naoki Hayashimoto², Daisuke MUTO², Yasuhiro Yoshida⁵, Kenji Maeda², Takashi Yokota²

¹ 防災科学技術研究所, ² 気象研究所, ³ 気象庁地震火山部, ⁴ 東海大学海洋学部海洋地球科学科, ⁵ 文部科学省

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Meteorological Research Institute, JMA, ³Japan Meteorological Agency, ⁴Tokai University, ⁵Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology in Japan

気象研究所では、2005年から2008年にかけて紀伊半島沖で自己浮上式の海底地震計(OBS)を用いた地震観測を実施し、南海トラフ軸周辺で深さ10kmから25kmで微小地震活動が起きていることを確認した(山崎他2011気象研技術報告)。Obana et al.(2005, JGR)は、トラフ軸周辺のフィリピン海プレート内部の微小地震活動を、海洋性地殻内部で発生しているもの(震源の深さ10km付近)および最上部マントルで発生しているもの(深さ15kmから30km付近)に分類した。Obana et al.は、海洋性地殻内部の微小地震活動は既存の断層に関連して発生しており、その発震機構解はトラフ軸にほぼ直交な張力場を示すこと、一方、最上部マントル内の微小地震活動はトラフ軸にほぼ直交な圧縮場を示すこと、などを報告している。では、フィリピン海プレートの内部で発生しているこれらの微小地震活動はどのくらい沖合まで追跡することができるのであろうか?

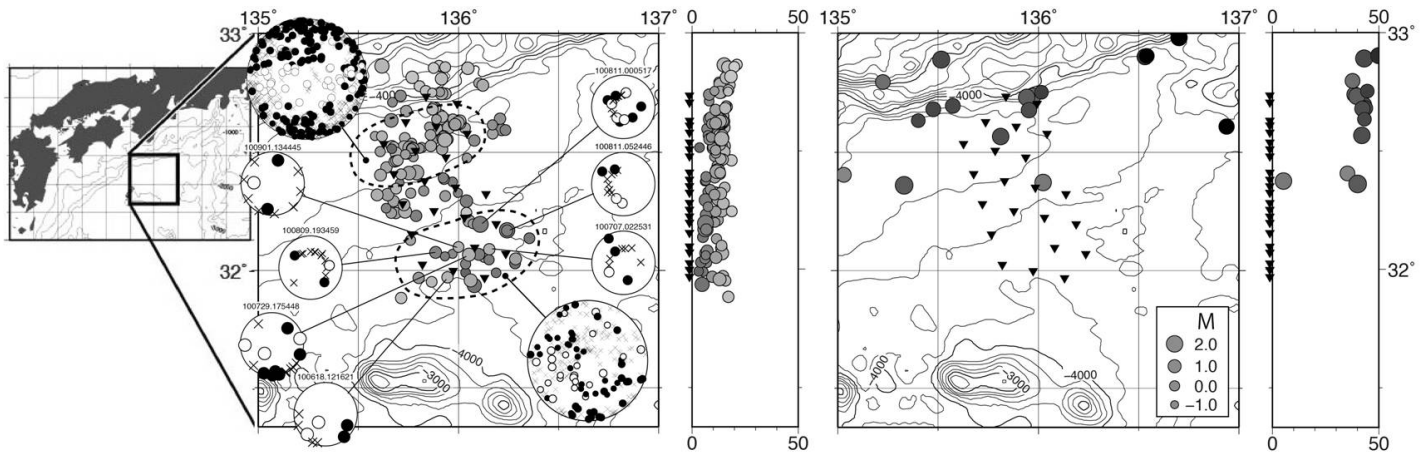
この問題を探るために、我々は2009年6月中旬潮岬沖トラフ軸からさらに南方へ、約15km間隔で24台のOBS(4.5Hz、3成分速度型)を設置し、約3ヶ月間の観測を行った。昨年度の2回の報告(平田・他、連合大会&地震学会、2012)に続き、今回、震源の深さの下限の検討ならびに発震機構について検討したのでその暫定結果を報告する。

図に約3ヶ月間の観測期間内に決定された震源のうち、観測網の近傍で発生している震源の分布(左図)を示す。地震の規模はM2以下、ほとんどはM1.5以下とかなり小さい。ほぼ全ての地震が深さ20km以浅の、海洋性地殻ないし最上部マントルで発生していることが確認できる。観測網南部の微小地震の半分が海洋性地殻内で、残りが最上部マントルで発生している。6種類の1元速度構造を仮定し深さ分布を検討してみたが、いずれのケースも同じ結果となった。この微小地震活動は気象庁の一元化震源では確認できない(右図)。ここでは図示していないが、観測網外側を含めた震源分布でも、観測網のさらに南側で地震活動が消失している。M1.5以下の微小地震活動がたまたま今回展開した観測網内でのみ発生しているとは考えづらい。地震の規模がかなり小さいので観測網近傍の地震しか検出できていないと考えた方がよく、このような微小地震活動は実際にはさらに広範囲で発生している可能性がある。図には、観測網北部のトラフ軸周辺と観測網南部で発生した地震活動に関してP波初動の合成押し引き分布(下半球投影)も示している。トラフ軸周辺で発生している地震の合成P波押し引き分布はこれらの地震がトラフ軸に直交する方向にT軸を持つ正断層型の発震機構でほぼ説明できることを示している。一方、観測網南部の地震活動に関する合成押し引き分布もトラフ軸のそれと同じ方向にT軸を持つ発震機構で説明できると考えられるが、横ずれ型の発震機構を持つようにも解釈できる。トラフ軸周辺および観測網南部で推定されるトラフ軸と直交する方向と平行な張力場は沈み込み直前のフィリピン海プレート内部に働くベンディング応力と関係していると考えられる。

SSS31-P14

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 18:15-19:30



構造研究に基づく南海トラフ（西部）地震発生帯のプレート形状および速度構造の3次元モデル

Three-dimensional plate geometry and velocity models for the western Nankai Trough based on structural studies

仲西 理子^{1*}, 下村 典生¹, 小平 秀一¹, 尾鼻 浩一郎¹, 高橋 努¹, 山本 揚二郎¹, 山下 幹也¹, 高橋 成実¹, 金田 義行¹, 武田 哲也², 上野 友岳², 汐見 勝彦²

Ayako Nakanishi^{1*}, Norio Shimomura¹, Shuichi Kodaira¹, Koichiro Obana¹, Tsutomu Takahashi¹, Yojiro Yamamoto¹, Mikiya Yamashita¹, Narumi Takahashi¹, Yoshiyuki Kaneda¹, Tetsuya Takeda², Tomotake Ueno², Katsuhiko Shiomi²

¹ 海洋研究開発機構, ² 防災科学技術研究所

¹JAMSTEC, ²NIED

Great interplate earthquakes have repeatedly occurred in pairs along the Nankai Trough. In order to reduce a great deal of damage to coastal area from both strong ground motion and tsunami generation, it is necessary to understand rupture synchronization and segmentation of the Nankai megathrust earthquake. For a precise estimate of the rupture zone of the Nankai megathrust event based on the knowledge of realistic earthquake cycles and variations of magnitude, it is important to know the geometry and property of the plate boundary of the subduction seismogenic zone. To improve a physical model of the Nankai Trough seismogenic zone, the large-scale high-resolution wide-angle and reflection (MCS) seismic studies, and long-term observation have been conducted since 2008. Marine active source seismic data have been acquired along grid two-dimensional profiles having the total length of ~800km per year. A three-dimensional seismic tomography using active and passive seismic data observed both land and ocean bottom stations have been also performed. This study is part of 'Research concerning Interaction Between the Tokai, Tonankai and Nankai Earthquakes' funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan. The seismic survey was conducted off the Tokai area including the onshore survey across the eastern Kii Peninsula in 2012, the final year of this project.

Compiling those studies provides a three-dimensional plate geometry and velocity structure models of the western Nankai Trough at the moment. Although their reliability and resolution should be evaluated, these models can be applied to a numerical simulation to examine if the observed rupture zone of the historical event can be reproduced. We will also try to construct more fine-scale model for the entire Nankai Trough area.

反射法地震断面と地形からみた南西諸島海溝北端部の沈み込み構造

Subducting structure in the northern end of the Nansei-Shoto Trench deduced from MCS profile and topography

堀内 大嗣^{1*}, 西澤 あずさ¹, 金田 謙太郎¹, 及川 光弘¹, 藤岡 ゆかり¹

Daishi Horiuchi^{1*}, Azusa Nishizawa¹, Kentaro Kaneda¹, Mitsuhiro Oikawa¹, Yukari Fujioka¹

¹ 海上保安庁海洋情報部

¹JHOD, Japan Coast Guard

海洋プレートの沈み込み帯では地震が多発しており、日本海溝における2011年東北地方太平洋沖地震や、南海トラフにおいて周期的に発生している東海・東南海・南海地震のように、被害の大きい地震が起きる場合もある。南海トラフや日本海溝周辺ではマルチビーム音響測深機による海底地形調査や、地震探査による地殻構造調査が数多く行われており、沈み込み帯における地震発生機構や地震の特性の解明に向けた研究がすすめられている。しかしこれらの海域に比べて、南西諸島海溝における地形調査や地殻構造調査の研究例は少なく、南西諸島海溝に関する地球科学的な知見はまだあまり得られていない。

海上保安庁は2011年に南西諸島海溝の北端部において海溝 - 島弧 - 背弧系を横断する測線 ECr11 を設定し、屈折法およびマルチチャンネル反射法地震探査を行った。測線は喜界海盆（九州・パラオ海嶺、奄美海台、南西諸島海溝で囲まれた海盆）を南東端として、屋久島の南西約5kmの位置を通過し島弧を横断するものであり、海溝から島弧にかけての範囲は、Iwasaki et al.(1990)の屈折法探査の測線とほぼ重なっている。彼らは人工震源として主に火薬を使用することによって、海溝陸側斜面下部の12kmを超える厚さの付加体の存在や、付加体下に沈み込んだ海洋プレートの地殻構造を推定した。今回の調査では、Iwasaki et al.(1990)で報告されている付加体の内部をはじめとする、沈み込み帯の浅部から深部にかけての構造を詳細に見るために、屈折法探査においてIwasaki et al.(1990)の調査よりも海底地震計を密に設置し、屈折法探査と同一測線でマルチチャンネル反射法探査を実施した。

本発表では、ECr11 測線で実施したマルチチャンネル反射法地震探査で得られた断面図と、測線周囲の海底地形データから推定した、南西諸島海溝北端部における沈み込み帯浅部の構造と、その周囲の活断層の平面分布について報告する。

マルチチャンネル反射法地震探査の調査スペックは次のとおりである。

震源 5.7l (350 inch³) × 3 の tuned エアガンアレイ

発振間隔 50m

収録装置 3,000m、240ch ストリーマーケーブル（受信点間隔 12.5m）

収録時間 12 秒

反射法探査で得られた断面図には、沈み込む前のフィリピン海プレートに、海底面まで達する正断層がみられる。海底地形から、この正断層は海溝軸と平行な走向であることが確認できる。これは本測線 ECr11 の南方で、ECr11 にほぼ平行な測線 ECr10（奄美海台西部で南西諸島海溝を横断する測線）で実施された地震探査において、海溝付近に海溝と平行な走向の正断層があると報告されていること（及川ほか2012）と整合的である。測線周囲の海底には、海溝軸と平行な走向の線状構造が、南西諸島海溝軸から海側へ約50km以内、九州・パラオ海嶺の北端から奄美海台の南側までの範囲に多数分布している。これらの線状構造群は、海溝軸付近の海洋プレート上にしか確認できず、海溝軸に近いほど落差が大きくなる傾向があるため、沈み込みに伴う海洋プレートのベンディングによって形成された正断層であると推測される。

海溝陸側の反射断面図には海洋プレート上面と思われる強反射面が明瞭に見られ、少なくとも海溝軸から陸側へ約80kmの距離まで追跡することができる。この強反射面には、Iwasaki et al.(1990)が、海溝底に設置した海底地震計のデータおよび船上で測定した重力値から求めた速度構造モデルにおいて、undulation of basement と呼んだ凹凸構造が現れている。海溝に近い陸側斜面の海底地形は沈み込んだ海洋プレート基盤の凹凸構造と対応しており、海溝から陸側へ約25km および約45kmの地点では海洋プレートも地形も上に凸の構造となっている。

キーワード: 南西諸島海溝, フィリピン海プレート, 沈み込み帯, 反射法地震探査, 海底地形

Keywords: Nansei-Shoto Trench, Philippine Sea Plate, subduction zone, reflection seismic survey, seafloor topography

高詳細な三次元地殻構造モデルを用いた地殻変動解析手法の開発とその地震時断層すべり推定への適用可能性の検討
Crustal Deformation Analysis Method with High-fidelity 3D Model and Application to Estimation of Coseismic Slip

縣亮一郎^{1*}, 市村 強², 兵藤 守³, 堀 高峰³, 平原 和朗⁴, 堀 宗朗²

Ryoichiro Agata^{1*}, Tsuyoshi Ichimura², Mamoru Hyodo³, Takane Hori³, Kazuro Hirahara⁴, Muneo Hori²

¹ 東京大学大学院工学系研究科, ² 東京大学地震研究所, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 京都大学大学院理学系研究科

¹School of Engineering, The University of Tokyo, ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ³JAMSTEC,

⁴Graduate School of Science, Kyoto University

地震時断層すべりは、陸上・海底での地殻変動観測データと地殻変動解析を組み合わせた逆解析により推定される。この方法には、詳細な地殻構造データを用いた大規模地殻変動解析手法を用いることが望ましい。しかし、地殻構造の高詳細な数値解析用モデルの構築は困難であり、これまでは半無限均質弾性体など単純化された地殻構造モデルが用いられてきた。本研究では、地殻構造データとハイパフォーマンスコンピューティングの技術に基づき、地殻構造の高詳細な三次元有限要素モデル構築手法及びそれを用いた地殻変動解析手法を開発した。東北地方太平洋沖地震の地震時すべり推定への適用から、本手法を用いることで、地震時断層すべり推定結果の確度改善が行える可能性が示唆された。

キーワード: 地震時断層すべり逆解析, 高詳細な三次元地殻構造モデル, 地殻変動解析

Keywords: Inversion analysis of coseismic slip, High-fidelity 3D Crustal Structure Model, Crustal Deformation Analysis

2011年東北沖地震における初期破壊過程の解明に向けた back-projection 法の OBS データへの適用 Application of back-projection method to OBS data for understanding rupture propagation of the 2011 Tohoku earthquake

仲谷 幸浩^{1*}, 望月 公廣¹, 篠原 雅尚¹, 山田 知朗¹, 日野 亮太², 伊藤 喜宏², 村井 芳夫³, 佐藤 利典⁴
Yukihiro Nakatani^{1*}, Kimihiro Mochizuki¹, Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Ryota Hino², Yoshihiro Ito², Yoshio Murai³, Toshinori Sato⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 東北大学大学院理学研究科, ³ 北海道大学大学院理学研究院, ⁴ 千葉大学大学院理学研究科
¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Graduate School of Science, Tohoku University, ³Graduate School of Science, Hokkaido University, ⁴Graduate School of Science, Chiba University

The rupture process of the 2011 Tohoku earthquake was remarkably complicated. To discuss what constrains the rupture propagation, it is important to clarify the space and time variation of seismicity before and after the Mw 9.0 event. High-resolution seismicity around the rupture region of the main shock is required for such discussion. We used data from a dense array of 31 ocean bottom seismometers (OBSs) that were deployed before and recovered after the main shock off Ibaraki. The station interval of the array was about 6km. Accurate OBS positions were determined by applying the LSQR algorithm to the acoustic measurements between the vessel and OBS.

In this study, we tried to estimate the initial rupture area by applying back-projection method to these OBS array data.

First of all, we constructed a 3-D velocity structure model off Tohoku by compiling the results of marine seismic surveys (e.g., Mochizuki et al., 2008; Miura et al., 2005) and the tomography under the Japanese islands (Matsubara and Obara, 2011). In this case, P-wave velocities are given to grid points at a horizontal grid spacing of 10km and a vertical grid spacing of 5km. Then, we constructed a travel time field bounded by 35.5N - 40.5N and 141E - 144.5E (about 300km X 540km) with the same grid interval. To refine the theoretical travel time field, we referred to precise hypocenters of aftershocks determined with OBS data from aftershock observations (Shinohara et al., 2012).

After constructing the theoretical travel time field, we measured the array response function to confirm the resolution of the apparent slowness vector arriving at the array, applied a proper frequency filter selected with consideration of the sediment under each OBS, and estimated the initial rupture area of the main shock by projecting semblance values.

Keywords: the 2011 Tohoku earthquake, ocean bottom seismometer, back-projection

気象庁 CMT 発震機構解によって捉えられる太平洋プレート屈曲過程と屈曲スラブ平面化過程の進行 Progress of bending process of Pacific Plate and flattening process of bent slab detected with CMT solution of JMA

新妻 信明^{1*}

Nobuaki Niitsuma^{1*}

¹ 静岡大学理学部地球科学教室、仙台

¹ Institute of Geoscience, Shizuoka University, Sendai

日本海溝域の地震活動は、海溝軸輪郭が海溝側に突き出す中心線に対称に配列している。この対称配列は東日本巨大地震後に明確になった。この対称軸と日本海溝の交点に地震空白域が存在する。東日本巨大地震の震源もこの対称軸上に位置し、その位置を鼻とすれば口の位置に空白域がある。3つの主応力軸方位に基づく発震機構では、空白域周縁の地震は殆ど「正断層型」であるが、島弧側に「横ずれ断層型」もある。

気象庁が公表している CMT (Centroid Moment Tensor) 発震機構解には、モーメントテンソル要素とともに非双偶力 (non Double Couple) 成分比も掲載されており、3つの主応力の大きさを算出できる。主応力の大きさを考慮して、正断層型地震は圧縮主応力過剰で負非双偶力成分を持つ「押広正断層型」、引張主応力過剰で正非双偶力成分を持つ「引裂正断層型」、非双偶力成分を持たない「双偶力正断層型」の3つに区分した。

空白域周縁では、初動震源深度の大きな深所の地震は圧縮主応力過剰の「押広正断層型」(2011年3月11日 M7.5 など)、初動震源深度の小さい浅所の地震は引張主応力過剰の「引裂正断層型」(2012年12月7日 M7.3 など)である。海溝軸は海洋プレートが屈曲して沈み込むプレート境界であり、屈曲過程が進行しているはずである。有限の厚さのプレートが屈曲すれば、深層で圧縮、浅層で伸張が予想される。空白域周縁で観測された深所での大きな圧縮主応力、浅所に向かう圧縮主応力の減少と引張主応力の増大は、海洋プレート屈曲の力学的予想に合致し、海洋プレート屈曲の進行過程を捉えている。

垂直方向の圧縮主応力が浅所に向かって減少し、水平方向の中間主応力よりも小さくなると、圧縮主応力軸が中間主応力軸と入れ替わり、中間主応力軸が垂直な横ずれ断層型になる。空白域の島弧側に起こっている横ずれ断層型の地震(2011年7月10日 M7.3 など)は、圧縮主応力が減少して中間主応力と等しくなり、応力軸が入替っていることを示している。

空白域の存在は、海洋プレート屈曲や海溝軸輪郭の曲りにより形成される応力勾配によって、応力が動的に相殺され、地震の起こりにくい差応力の無い等岩圧状態が形成されていることを示しているのであろう。

海洋プレートは海溝軸で屈曲を開始してスラブとなり沈み込むが、東日本沿岸域下に達すると平面に戻り、日本海西岸のウラジオストックに向かって沈み込む。この屈曲スラブの平面化過程では、屈曲の際に伸張したスラブ浅層が短縮するとともに、屈曲状態から平面に戻すための「引剥引張力」が働かなければならない。東日本沿岸域下のスラブ浅所では、伸張スラブ短縮に対応し負非双偶力成分を持つ圧縮主応力過剰な「衝突逆断層型」(2003年5月26日 M7.1 など)や、屈曲引剥に対応し正非双偶力成分を持つ引張主応力過剰な「引剥逆断層型」(2011年4月7日 M7.2 など)の地震が起こっており、屈曲スラブ平面化過程の進行を示している。屈曲スラブ平面化過程の地震は、圧縮主応力 P 軸方位がスラブ上面に並行して島弧側に傾斜しているため、海溝側に傾斜するスラブ上面に沿うプレート相対運動の剪断応力による地震と区別できる。プレート相対運動による地震には、2005年8月16日 M7.2, 2011年3月9日 M7.3, 2011年3月10日 M6.8, 2011年3月11日 M9.0 などがある。屈曲スラブ平面化の地震は、日本海溝付近の海洋プレート屈曲過程の地震活動と関連して起こっていることも注目される。

気象庁の CMT 震源機構解は、日本海溝域の海洋プレート屈曲過程と屈曲スラブ平面化過程の進行を捉えていることが明らかになった。

キーワード: CMT 発震機構解, 屈曲過程, 平面化過程, 日本海溝, 非双偶力成分, 地震空白域

Keywords: CMT solution, bending process, flattening process, Japan Trench, nonDC component, seismic free area

3.11の前に、はるか東方沖は本当に沈み込みプレートを押したことがあるか？ Ahead of the 3.11, has the greatly east offing pushed the subducting plate really?

間瀬 博文^{1*}Hirofumi Mase^{1*}¹ 所属なし¹ none

プレート(P)境界面では低温の沈み込みPの両側に高温部が形成され相互に引き合うことで境界面近辺は常に圧縮されている(1)。この力学でPの収束を始め島弧や海盆、火山の形成維持を説明した(2)。細かく見れば岩手・福島両県沖は普段から歪が解放され易い温度構造があり、宮城県沖にはそれが無いため応力が蓄積し続けるとした(3)。3.11超巨大地震の震央を通る、海岸から海溝までの宮城県沖の断面のモデルを提示し3.11に至る過程を再現する実験を行い成果を得た(4)。この断面付近で発生した過去の顕著な地震42件の分析分類意味付けを行った(5)。3.11自体のすべり分布・破壊過程は(6)を重視し、モデルが(6)や過去の観測事実と調和的であることが判明しつつある(7)。

今回は3.11震源域及び余震域の内、P境界面で言えば3.11震源より浅部側と海溝軸の東側を考える。高度で均質な観測事実が国の機関等により3.11前は十数年間、3.11後は二年間蓄えられた。以下で利用した根拠資料は(8)で、記して感謝する。

発震機構分布図(P6,1994/01/01-2012/12/31)で3.11前後の地震の特徴がよく分かる。a)3.11前)海溝軸の西側は岩手県沖～福島県沖まで逆断層型(逆型)が多く(正断層型(正型)は2個)、東側は宮城県沖の正型1個が目立つ他は岩手県沖に2個。b)3.11後,宮城県沖)北緯38度東経144度地点(Q)を中心として正型が東西南北に溢れており西側は”引き”の横ずれ型も目立つが逆型は2,3個。c)3.11後,岩手・福島県沖)海溝軸西側は逆型主体、東側は正型主体で海溝軸を挟み対峙。

最近Q点付近でM?深52kmの逆型地震(y)とM7.3深20kmの正型地震(x)が数秒差で発生した(2012年12月7日三陸沖の地震,断層面は共に西傾斜)。(x)(y)が並存し得たことと、b)のような環境、具体的には顕著な震央を結ぶライン[(3.11)-(2011/7/10M7.3横ずれ型地震(X))-(x)-海溝軸(Q)-(y)-(2011/3/11M7.5正型地震(Y))]上に位置する状況で(y)の出現は一見不可解である。

二年前3.11が発生し39分後に(Y)が続いた。沈み込みPの急激な前進が”引き”になったと見られるが、(Y)以東が動かなかったことを示す。(Y)付近は完全な崩壊がない限り東西方向の密度は減少した。沈み込みPにブレーキは掛かったが緩慢なすべりが続いたことによる”引き”で四か月後(X)が発生した。横ずれ型とは南北両側からの圧力が大きいことを示す。(X)付近における沈み込み量がその南北でのそれより大きかったことを示唆する。南北からの密度補填が期待でき、(X)付近の東西方向の密度減少は(Y)付近ほどでない。この時点でも(Y)以東は動かなかった。その後2012/12/31現在まで、(X)からQ点までは正型と横ずれ型、Q点から(Y)までは正型で溢れている。

つまり宮城県沖は東西に”引き”の場であるが海溝軸を境として西側は密度が高く東側が低いことが推測される。西からの圧力でまず(y)の上盤(深52km)が東上へすべり逆型となり、8秒後それに呼応して(x)の下盤(深20km)が東上へすべり正型となった。不可解な逆型+正型はこうして発生したと考える。また、Q点西側での横ずれ型の多さは3.11による宮城県沖での沈み込み量の大きさに関連していると考えられる。

(y)の発生後2012/12/31までに逆型の余震は皆無なので、宮城県沖の海溝軸の東西が”押し”の場に変ったと言えず、現在も(Y)以東は碇同然と見るのが妥当であろう。a)の事実は3.11の直前でさえ遠洋からの圧力がなかった疑いを示す。b),c)の事実は海溝軸の東側は”引き”の場であることと、海溝軸を境に力のかかり方が変化していることを示す。岩手・福島県沖は事情(3)により下盤の沈み込みが小さく海溝軸西側はすでに逆型で”押し”だが、東側は”引き”である。沈み込みPにかかる力の内一方は東方からでなく下方からという説明(1)と整合的である。「PテクトニクスでP境界地震の発生を理解するという基本的な枠組みに変更の必要はないだろう(9)」とは言い切れない事態ではないか。

(1)[間瀬]JpGU2007合同大会予稿集 S149-005 (2)[間瀬]JpGU2012合同大会予稿集 SCG67-P06

(3)[間瀬]SSJ講演予稿集 2011秋季大会 P3-40 (4)[間瀬]SSJ講演予稿集 2012秋季大会 P2-75

(5)(7)[間瀬]<http://homepage3.nifty.com/hmase/>(6)[井出哲]<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2011/12.html>(8)[気象庁]<http://www.jma.go.jp/jma/press/1301/10a/1212tohoku.pdf>

(9)[日本地震学会]モノグラフ 2012/5No.1(P129)

M10地震の発生条件：2011年東北沖地震の新しい知見から A possible M10 event deduced from the lessons of the 2011 Tohoku-Oki earthquake

蓬田 清^{1*}

Kiyoshi Yomogida^{1*}

¹ 北大・理・地球惑星ダイナミクス

¹Earth & Planet. Dynamics, Hokkaido University

2011年東北地方太平洋沖地震から得られた沈み込み帯における超巨大地震の発生についての新しい知見から、一部の研究者で最近議論されているマグニチュード10の地震発生の可能性、およびその特性や候補地域について論じる。これまでのゲーテンベルグ・リヒター則による統計的な地震の発生頻度の単純な外挿と、断層運動を記載するマクロなパラメータ（断層の長さ、幅、平均滑り量など）についての地震の相似則から、M10の地震は千年単位の時間スケールで十分に起こりうる。ただし、単純な相似則から推定されるM10の地震の断層の長さ・幅・平均滑り量は、1,200 km、600 km、50 mとなるが、長さや平均滑り量については知られているM9クラスの地震の最大値と同じ程度で現実的なるのに対して、幅だけが大きな問題となる。沈み込むプレート境界が弾性的に挙動する深さは制限があり、低角の沈み込み帯でも幅が200 kmを大きく超えることは不可能だからである。このような幅の上限値の制限から、M10の地震のためには(1)平均滑り量が100 mを超えるか、(2)断層の長さが1,500 kmを超えることが必要条件となる。

(1)の条件については、2011年東北沖地震で現実的であることが示されたが、これは浅いセグメントが深いセグメントと独立に存在する along-dip double segmentation の沈み込み帯にのみ可能だと、これまで発生した最近の地震の例に従った場合の結論である。これに対して、従来の single segmentation の場ではこれほど大きな滑りの証拠はなく、極めて可能性が低い。しかし、ダブルセグメントでの超巨大地震には、滑りが非常に大きな浅いセグメントの周りに、地震時に滑りがそれほど大きくないセグメントが隣接する、すなわち大きな滑りの領域は比較的狭い範囲に集中している。ダブルセグメントではプレート境界で非常に固着が強い領域と弱い領域とのコントラストが大きく、2011年東北沖地震でも顕著であり、これは沈み込むプレートが強い不均質性を持っているためと考えられる。そのために、M10の地震となるには、固着が強い大きな（東北沖地震より一回り大きい）領域が必要だが、それは海溝軸付近の大きな地震空白域として、ある程度の候補として挙げることができる。ただし、現段階でそのような大きな明瞭な空白域は同定できなかった。

(2)の条件については、シングルセグメントで固着が強い領域が複数存在していること、そしてもちろん沈み込み帯の長さが1,500 kmを超えていることが条件となる。となると、やはり南米太平洋岸のチリの沈み込み帯は、固着の強い領域の割合が高いと考えられ、候補としてまず挙げられる。ただし、1960年チリ地震で歪みを大きく解放したので、この領域では数百年の時間スケールではこれを超える地震は発生しないだろう。アラスカからアリューシャン列島にかけては、アラスカ付近のダブルセグメントから東へシングルセグメントと変わっていき、一続きの沈み込み帯で長大な断層面の地震が可能かもしれない。しかし、この沈み込み帯は強い固着のセグメントだけでなく、弱い固着のセグメントが相当な割合でGPS観測などから同定されている。長さ1,200 kmを超える1957年の地震では、断層面の東半分では滑りが非常に小さい、つまり元々固着が弱く歪みが蓄積されていないセグメントであり、地震モーメントが断層の長さ比べて相似則から大きくはずれて小さかった。つまり、このような沈み込み帯では例え多くのセグメントが連動しても、超巨大地震は可能性が低い。唯一、東端の1964年アラスカ地震の領域はダブルセグメントで大きな滑りが可能で、ここからより長大な断層となる西側のセグメントへの連動が起るという特別な条件があれば、M10の地震も可能かもしれない。

キーワード: メガスラスト地震, 2011年東北沖地震, ダブルセグメント, 強固着域, 断層幅, 平均すべり量

Keywords: megathrust earthquake, 2011 Tohoku-Oki earthquake, double segmentation, strong coupling, fault width, average slip

ビトリナイト反射率分析に基づく断層すべりパラメータの推定と沈み込み帯浅部断層すべり挙動の解明

Investigation of slip parameters and fault slip behavior in the shallow part of subduction zone on the basis of vitrinite

濱田 洋平^{1*}, 坂口 有人¹, 谷川 亘¹, 山本 由弦¹, 山口 飛鳥², 亀田 純², 木村 学²

Yohei Hamada^{1*}, Arito Sakaguchi¹, Wataru Tanikawa¹, Yuzuru Yamamoto¹, Asuka Yamaguchi², Jun Kameda², Gaku Kimura²

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 東京大学

¹JAMSTEC, ²The University of Tokyo

Enormous earthquakes repeatedly occur in subduction zones, and the slips along megathrusts, in particular those propagating to the toe of the forearc wedge, generate ruinous tsunamis. Quantitative evaluation of slip parameters (i.e., slip velocity, rise time and slip distance) of past slip events at shallow, tsunamigenic part of the fault is critical to characterize such earthquakes. Here we attempt to quantify these parameters of slips that may have occurred along the shallow megasplay fault and the plate boundary decollement in the Nankai Trough, off southwest Japan. We apply a kinetic modeling to vitrinite reflectance profiles on the two fault rock samples obtained from Integrated Ocean Drilling Program (IODP). This approach constitutes two calculation procedures: heat generation and numerical profile fitting of vitrinite reflectance data. For the purpose of obtaining optimal slip parameters, residue calculation is implemented to estimate fitting accuracy. As the result, the measured distribution of vitrinite reflectance is reasonably fitted with heat generation rate (Q) and slip duration (tr) of 16,600 J/s/m² and 6,250 s, respectively, for the megasplay, and 23,200 J/s/m² and 2,350 s, respectively, for the frontal decollement, implying slow and long-term slips. To compare these slip behaviors with those in other settings of shallow part of subduction zone, we measured vitrinite reflectance on fossilized analogue faults, exposed in the Miura-Boso accretionary complex (the Shirako fault and the Emi fault), and examined their slip parameters by the above method. The measurement is conducted by using a newly-developed optical microscopy which allows us to 2-dimensional reflectance measurement on polished slab samples. The obtained vitrinite reflectance profiles both show strong anomaly at the slip zones. The reflectance anomaly in the Shirako fault is also recognized at the outside of the slip zone as is the case for the megathrusts in the Nankai trough. The numerical analysis yields slip velocity and slip distance of 0.14 cm/s and 5.17 m, respectively, under the optimal parameters set of $Q = 14,500$ J/s/m² and $tr = 3,600$ s. On the other hand, the reflectance anomaly at the Emi fault is limited only inside of the slip zone. This condition (i.e. the absence of reflectance anomaly in the host rock) is taken as a constraint to determine Q and tr for the Emi fault. The estimated slip parameters are then compared with previous reports. The maximum temperature, T_{max} , for the Nankai megasplay fault is consistent with the temperature constraint suggested by Hirono et al. [2009]. On the other hand, the calculated temperature contradicts the estimation deduced from clay mineral analysis [Kameda et al., submitted]. This discrepancy might indicate that the Shirako fault has experienced two types of slips; faster slip which caused temperature increase only inside the fault and acceleration of illitization, and slower slip which keep a high temperature state for a while enough to heat up the host rock by thermal conduction. Two constraints are combined to estimate slip parameters for the Emi fault. One is that T_{max} is 350-1100 C [Hamada et al., 2011], and another is the absence of vitrinite reflectance anomaly in the host rock. Slip parameter ranges defined by these constraints are relatively faster slip velocity (~ 1 m/s) and shorter displacement (~ 1 m) than those for other faults. These results show large variation of slip parameters in shallow part of subduction zone. Especially, slow slip velocity, long-term rise time and large displacement are recognized in the three fault zones (the megasplay, the frontal decollement and the Shirako fault). These parameters are longer and slower than typical coseismic slip, but are rather consistent with rapid afterslip.

キーワード: すべりパラメータ, ビトリナイト反射率, 摩擦発熱

Keywords: slip parameters, vitrinite reflectance, frictional heat

四国白亜系四万十帯整然相中の炭質物濃集層における断層発熱履歴

Frictional heating recoded in vitrinite reflectance within coal material concentrated layer: The Cretaceous Shimanto Bel

森田 清彦^{1*}, 橋本善孝¹, 廣瀬丈洋², 北村真奈美³Kiyohiko Morita^{1*}, HASHIMOTO, Yoshitaka¹, HIROSE, Takehiro², KITAMURA, Manami³¹ 高知大学, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ 広島大学¹Kochi University, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Hiroshima University

四国白亜系四万十帯整然相中の炭質物濃集層における断層発熱履歴

断層運動に伴う摩擦発熱は断層の変移量や変移速度、断層厚さに依存する (Fulton, 2012)。南海トラフ付加体浅部断層帯中のビトリナイト反射率 (Ro) が周囲に比べて高いことから断層摩擦発熱が認定されており (Sakaguchi et al., 2011)、断層運動の復元に用いられている (Fulton et al., 2012)。本研究の目的は四国白亜系四万十帯整然相中にある炭質物濃集層を対象に断層面からの距離に応じた Ro の分布を調べ断層発熱の認定を精度よく行うことである。

本研究では白亜系四万十帯北帯に属する野々川層の中央北よりをフィールドとし、炭質物濃集層を切る断層露頭を対象に断層面からの距離に応じた炭質物および砂岩サンプルを採取した。炭質物濃集層は厚さ約 80cm で、約 6m の範囲で地上に露出していた。断層は直線ではなく曲線的で枝分かれが見られた。母岩より 4 つ、濃集層より 6 つで内 2 つは断層から 0cm、3cm と断層に近いものを採取した。岩石を 30~35 μ m の薄さまで磨き薄片にし、観察面は鏡面研磨を行った。落射型反射偏光顕微鏡を用い Ro を測ることで断層の発熱履歴を割り出す。

母岩の Ro は約 0.98 % で全体的にバラつきが見え、リワークが原因と考えられる。炭質物濃集層では正規分布が見られ Ro は約 0.92 % を示したが、断層距離 0cm、3cm の試料ではこのピークに加えて 0.2~0.3 % 高い値にも異常が見られた。特に 0cm では 2 重ピークが明瞭で過去の発熱の証拠と考える。野々川層の Ro は平均約 1.1 % であり (坂口ら 1992)、今回の測定結果と調和的である。

母岩の減温度速度を約 100 $^{\circ}$ C/Ma、発熱があると考えられる Ro 値の減温度時間を 0.035 $^{\circ}$ C/Ma と 1.0 $^{\circ}$ C/Ma のとし (O'Hara 2004) 得た Ro を Sweeney and Burnham (1990) の反応式より被熱温度に変換すると、母岩は約 146 $^{\circ}$ C、発熱温度は約 460~540 $^{\circ}$ C となった。 $\mu = (cA)/D$: 岩石密度、c: 比熱容量、A: 温度 \times 断層厚さ、D: 変移量、 σ : せん断応力 (O'Hara 2004) と $\mu = \sigma / \rho g$: 摩擦係数、 ρ : 垂直加重 を用い摩擦係数を産出した。垂直加重は母岩温度約 146 $^{\circ}$ C と地温勾配を 30 $^{\circ}$ C/km、岩石密度を 2.65g/cm³ と仮定し、126.2Mpa とした。この結果、変移量が 1m を越えると断層強度の値が 0.1 を下回る傾向が見られた。よって断層強度は小さいことが言える。これは炭質物濃集層の流動化による弱体化あるいは炭質物の摩擦係数そのものが小さいことが考えられる。

キーワード: ビトリナイト

Keywords: vitrinite

東北沖プレート境界逆断層における2種類のアスペリティー Two types of asperities on the Tohoku-oki interplate megathrust

清水 以知子^{1*}

Ichiko Shimizu^{1*}

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, Faculty of Science, University of Tokyo

従来、アスペリティー仮説で説明されてきた M7 級の宮城県沖地震はプレート境界逆断層の深所 (海面下 35-45 km) を震源としているのに対し、2011 年の東北地方太平洋沖地震 (M9) はプレート境界逆断層の中間的な深さ (海面下 17-18 km) で発生した。これら深さの異なる地震発生帯における摩擦特性を明らかにするため、M9 震源域を含むプレート境界剪断強度の深度断面を作成した。

リソスフェア強度モデルでは通常、大陸ないし島弧地殻を石英・長石、マントルをオリビンのレオロジーで表現している。しかし、沈み込みプレート境界においては海洋地殻物質が摩擦挙動を大きく支配すると考えられる。ここでは海洋地殻堆積物と海山のレオロジーをウェットな石英 (+ 粘土鉱物) とガプロでそれぞれ表わし、圧力・温度・間隙圧比の深さによる変化を考慮した。海洋プレート最上部の泥質堆積物は速度強化摩擦特性を示すため、M9 震源の深さでは上盤プレートに底付けされているものと考えられる。逆断層深部 (> 35 km) では、高温 (>250 °C) のため珪質堆積物は延性的になるのに対し、ガプロはこの温度でも固く脆性的である。したがってウェッジマントルの下にある従来の M7 級地震のアスペリティーは、珪質堆積物にとりかこまれて存在する崩壊した海山と解釈できる。アスペリティー周囲の条件付き安定性は、石英の脆性-延性転移領域における摩擦挙動によって説明される。深部における M7 級アスペリティーとは対照的に、中間的な深さでは断層の摩擦強度が岩相に強くは依存しないため、M9 地震のアスペリティー (M9 東北沖地震の前の強い固着領域) はプレート境界の大きな面積を占めることになる。Lay et al. (2012) の見いだした地震波放射パターン深度変化は、こうした2種類のアスペリティーの分布を反映している。M9 級のアスペリティーの広がりや内部構造は、断層構成物質よりもむしろ断層面の凹凸や流体の状態などを表わしているだろう。これまでの地球物理学的観測データから、島弧に平行な方向の M9 アスペリティーの広がりがプレート境界面上の流体分布に規制されていることが示唆される。M9 地震のアスペリティーでは流体の影響が小さく、固着が強かったと考えられる。

References

Lay, T., H. Kanamori, C. J. Ammon, K. D. Koper, A. R. Hutko, L. Ye, H. Yue, and T. M. Rushing (2012), Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults, *J. Geophys. Res.*, 117, B04311, doi:10.1029/2011JB009133.

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, アスペリティー, レオロジー, 沈み込み帯, 摩擦, 海山

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, asperity, rheology, subduction zone, friction, brittle-ductile transition

地球浅部のレオロジーが決める最大地震サイズ Regulation of maximum earthquake sizes by the lithospheric rheology

並木 敦子^{1*}, 山口 哲生², 隅田 育郎³, 鈴木 岳人¹, 井出 哲¹
Atsuko Namiki^{1*}, Tetsuo Yamaguchi², Ikuro Sumita³, Takehito Suzuki¹, Satoshi Ide¹

¹ 東京大学 地球惑星, ² 九州大学, ³ 金沢大学
¹EPS, Univ. of Tokyo, ²Kyushu University, ³Kanazawa University

Shallow part of the Earth can be considered to behave as an elastic material such that earthquakes occur, whereas the deeper part deforms viscously. However, it still remains unclear how the seismicity changes with this viscous/elastic transition. On the other hand, the rock constituting the Earth is frequently modeled by a Maxwell fluid which behaves as an elastic material when it deforms at a time scale which is sufficiently shorter than the relaxation time scale. Here we perform shear deformation experiments of quasi Maxwell fluid under different strain rates, and show that the same material can cause earthquakes associated with elastic rebound as well as viscous flow. Around the threshold to cause earthquakes, both earthquakes in which ruptures propagate at a shear wave velocity and viscous relaxation occur simultaneously. The threshold is determined by the strain rate, relaxation time, shear modulus, and the adhesive stress. We construct a scaling applicable to a real faulting system by taking account of the fact that strain rates depend inversely on the faulting length scales. Our scaling predicts that a larger fault can relax the accumulated stress more and the maximum sizes of earthquakes which can occur on Earth becomes around Mw 9. The 2011 Tohoku-Oki Earthquake (Mw 9.0) resulted in a huge coseismic slip, but was insufficient to reconcile all the inter-seismic deformation since the previous earthquake. Our scaling suggests that this earthquake must be around the threshold and some part of the accumulated stress has relaxed viscously prior to the earthquake. Our scaling also explains the fact that only small earthquakes show repeatability and magnitudes of the slow earthquakes are small. Another important feature of our scaling is that the accumulated strain is not proportional to the accumulated stress. For an accurate risk assessment, accumulated stress should be evaluated rather than strain.

キーワード: 地球浅部の粘性率, 応力緩和, 破壊伝播速度, 東北地方太平洋沖地震
Keywords: Viscosity of the shallow Earth, Stress relaxation, Rupture velocity, Tohoku-Oki earthquake

IODP Exp334 コスタリカ地震発生帯掘削で採取されたココスプレート上の堆積物の摩擦特性 Frictional properties of sediments on the Cocos Plate collected during the IODP Exp334, CRISP

並木 由香^{1*}, 堤 昭人¹, 氏家 恒太郎², 亀田 純³
Yuka Namiki^{1*}, Akito Tsutsumi¹, Kohtaro Ujiie², Jun Kameda³

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 筑波大学, ³ 東京大学

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²University of Tsukuba, ³University of Tokyo

プレート沈み込み帯における地震発生の素過程に関して理解するには、天然の沈み込み物質の摩擦特性を調べる事が重要である。これまでに様々な岩石の摩擦特性が明らかにされてきたが、沈み込み帯の物質を用いた研究例は多くない。近年、掘削で得られた南海トラフに沈み込む粘土質な堆積物を用いた摩擦実験の結果が報告され、その摩擦特性が明らかになりつつある (Kopf and Brown, 2003 など)。これは大きな成果であるが、世界中の沈み込み帯において沈み込む物質は粘土質な堆積物だけではない。南海トラフとは異なる例として、例えばコスタリカ沖中米海溝に沈み込んでいるココスプレート上には、玄武岩の上に珪質軟泥や石灰質軟泥といった生物起源堆積物が、その上位に粘土およびシルト質粘土が複数のテフラ層を挟んで堆積している。そこで本研究では、コスタリカ沖で採取されたココスプレートの掘削試料を用いて、その堆積物の摩擦特性を調べた。海洋プレートの摩擦特性を理解することは、沈み込み帯における初期の剪断面形成や、浅部での安定および不安定すべりを理解する上で重要である。

本研究ではまず、海洋プレート上の堆積物についてスミアスライド観察とXRD分析を行った。その結果を基に、堆積物を碎屑物、火山ガラス、生物起源堆積物の3グループに分類した。次に、摩擦実験によりこれら試料の摩擦特性を調べた。剪断強度を調べるために0.28 mm/sで速度一定実験を行い、速度依存性を調べるために速度急変実験を行った。その結果、剪断開始直後の剪断強度に関しては物質ごとに顕著な差は見られなかった。しかし、定常すべりに達すると上位の碎屑物が0.2を下回るような低い摩擦係数を示し、下位の火山ガラスや生物起源堆積物は0.6~0.8という高い摩擦係数を示すことが分かった。これは、剪断を受ける際に強度の低い碎屑物中に変形が集中して剪断面が形成される可能性を示唆すると考えられる。また、碎屑物は0.0028 mm/s~2.8 mm/sの速度域において正の速度依存性を示した。これに対して、火山ガラスおよび生物起源堆積物のほとんどが0.0028 mm/s~0.28 mm/sの速度域で負の速度依存性を、0.28 mm/s~2.8 mm/sの速度域では正の速度依存性を示した。正の速度依存性を持つ断層は安定すべりを起こすと考えられているので、剪断強度が弱く、正の速度依存性を示す碎屑物中では安定すべりが起きている可能性が高い。一方、負の速度依存性を持つ断層は不安定すべりを起こし得るので (Scholz, 1990)、地震の核は火山ガラスおよび生物起源堆積物中に形成される可能性が高い。

キーワード: 沈み込み帯, 摩擦実験, CRISP

Keywords: subduction zone, frictional experiment, CRISP

圧力溶解析出クリーブによる石英粉末の固化と浸透率の低下について Time-dependent consolidation and reduction in permeability of quartz aggregate due to pressure solution precipitation

野田 博之^{1*}, 岡崎 啓史², 片山 郁夫²

Hiroyuki Noda^{1*}, Keishi Okazaki², Ikuo Katayama²

¹ 海洋研究開発機構、地球内部ダイナミクス領域, ² 広島大学、理学研究科

¹IFREE, JAMSTEC, ²Graduate School of Science, Hiroshima University

During diagenesis process, incohesive sediments are compacted, lose porosity and permeability, and gain resistance against deformation. Understanding of evolution in the hydrological and mechanical properties during diagenesis is of essential importance in considering deformation of a shallow part of the crust including accretionary prism. Pressure solution precipitation creep is one of the important mechanisms in diagenesis of sediments, and thus has been intensively studied. Previous studies have established microphysical models and the constitutive law during compaction creep [e.g., Shimizu, 1995; Niemeijer et al., 2002]. In the present study, we put our focus on the evolution in the permeability and storage capacity during consolidation due to pressure solution precipitation creep of quartz aggregate.

Recent studies [e.g., Noda and Lapusta, 2013] have pointed out the importance of hydraulic properties on the earthquake generation mechanisms. In particular, permeability plays a cardinal role in thermal pressurization of pore fluid due to frictional heating during high velocity fault slip. An important unknown is whether the host rock (or sediments) fractures with significant increase in the porosity and the permeability or not. Such a property would depend on the degree of consolidation or diagenesis, as well as confining pressure, temperature, and loading condition. In the present study, the focus is put on the effect of time-dependent consolidation or diagenesis on the mechanical and hydraulic properties.

The starting material is commercially available quartzite powder the mean grain size of which is about 6 microns. We have prepared the specimens from slurry by sedimentation inside silver tubes which are used as jackets during compaction experiments with gas apparatus at Hiroshima University. The initial specimens have good repeatability in terms of permeability. Compaction experiments are performed with distilled water as pore fluid and at 200 MPa confining pressure, 100 MPa pore pressure, and temperature at most 550 degree C. Permeability and storage capacity are monitored continuously during compaction experiment by pore pressure oscillation technique [e.g., Fischer and Paterson, 1992]. The shortening of the specimen is measured by the hit-point method from time to time.

After the consolidation test, we performed triaxial deformation test at constant load point velocity at room temperature. It turns out that solution-precipitation process extend the elastic limit of the sediment pretty quickly. When the specimen is heated up to 500 degree C by about 100 degree C/ 10 min and cooled down by a similar rate as soon as the temperature reaches 500 degree C, the specimen shows peak strength about 300 MPa in terms of axial compressional stress applied in addition to the 100 MPa effective isotropic pressure. Note that an uncooked sample yields as soon as the axial compressional stress is added. In the present poster, the relations between the shortening and hydraulic properties will be discussed.

キーワード: 続成作用, 変形実験, 透水実験

Keywords: Diagenesis, Deformation experiment, Fluid-flow experiment

ガス圧試験機を用いた沈み込み帯岩石の弾性波速度測定

Measurement of the elastic wave velocity of rocks in subduction zones with the gas medium high pressure apparatus

玉井 速汰^{1*}, 武藤 潤¹, 長濱 裕幸¹, 石川 正弘²Hayata Tamai^{1*}, Jun Muto¹, Hiroyuki Nagahama¹, Masahiro Ishikawa²¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 横浜国立大学大学院環境情報研究院¹Department of Geology, Graduate School of Science, Tohoku Univ., ²Graduate School of Environment and Information Science, Yokohama National University

様々な地点での地震学的観測 (Nakajima et al., 2001 など) や, 室内実験による定量的な弾性波速度測定 (Nishimoto et al., 2005 など) によって, 地下深部の速度構造が明らかになってきている。地震波トモグラフィーから, 東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) のすべり域では, 地震波速度が高いことがわかっている (Zhao et al., 2011)。従って, 沈み込み帯の不均質性が断層のすべりに大きな影響を与えていると考えられる。地震の地震発生の理解のためには, 沈み込み帯を構成する岩石の定量的な弾性波速度測定によって, 沈み込み帯のプレート境界の物性を明らかにする必要がある。本研究では, 静水圧性に優れ, 温度や間隙水圧も制御可能であるガス圧試験機を用いて, 高圧下で弾性波速度測定システムを構築し, 沈み込み帯の岩石の弾性波速度測定結果を紹介する。

本研究では, 2 MHz の出力波を使用した透過法を用いて弾性波速度を測定した。これを 10^9 sampling/s でオシロスコープで記録した。圧力容器内には, 圧電素子を貼りつけた 2 つの金属治具で岩石試料を挟み込んだものが設置されている。試料は高さ 15-40 mm, 直径 20 mm である。金属治具や速度既知のガラスを用いて測定システムの校正を行った。また, 封圧 200 MPa まで, 加圧・減圧時について, 斑れい岩と花崗岩の V_p , V_s を測定した。約 100 MPa までは封圧の上昇に伴い, 急激に弾性波速度が増加した。100 MPa 以上では弾性波速度の上昇率は一定でゆるやかになった。同じ封圧においても, 岩石の V_p , V_s は, 加圧時よりも減圧時の方が高かった。これは, 加圧で閉じたクラックが, 再び減圧時に加圧時と同じように開くとは限らないためと考えられている (Birch 1960)。Hacker and Abers (2004) による任意の温度, 圧力および岩石組成における弾性波速度を計算するプログラムから求められた斑れい岩と花崗岩の弾性波速度と, 本実験で実際に測定された速度を比較した。封圧とともに弾性波速度が大きく増加する 100 MPa 以下では, 封圧が低いほど理論値と実測値との差が見られ, それより高圧下では, 理論値と実測値はほぼ一致した。このプログラムによって計算される弾性波速度には, クラックの影響が含まれておらず, 岩石を構成する鉱物の弾性波速度の圧力依存性を考慮されている。従って, 本研究では 100 MPa 程度で岩石中のクラックが閉じ, それより高圧では, 速度に影響しなくなったと考えられる。一方, 固体圧試験機で行われた先行研究では, 400 MPa 程度まで封圧の増加に伴う弾性波速度の急激な上昇が見られ, クラックが比較的高圧下まで閉じない可能性を示している。従って, 沈み込み帯浅部などの低圧下においては, 静水圧性の高いガス圧試験機による測定が適していることを示唆している。また, ガス圧試験機では実験できない 200 MPa 以上の圧力での岩石の弾性波速度については, クラックが閉じきった後の弾性波速度は, 封圧上昇により, 一定に上昇することを利用して見積もることができる。沈み込み帯における岩石の弾性波速度測定から得られた, 物性値について紹介する。

キーワード: 弾性波速度, ガス圧試験機, クラック, 沈み込み帯岩石, 地震波トモグラフィー, 反射法地震探査

Keywords: elastic wave velocity, gas medium high pressure apparatus, microcrack, rocks in subduction zones, seismic tomography, reflection survey

地形から見た日本海溝における動的な臨界尖形理論の再検討 Revisit of dynamic critical taper theory for the Japan trench from the topographic point of view

高下 裕章^{1*}, 小平 秀一², 富士原 敏也², 佐々木 智之³, 濱田 洋平⁴, 浜橋 真理¹, 亀田 純¹, 木村 学¹

Hiroaki Koge^{1*}, Shuichi Kodaira², Toshiya Fujiwara², Tomoyuki Sasaki³, Yohei Hamada⁴, Mari Hamahashi¹, Jun Kameda¹, Gaku Kimura¹

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

¹Department of Earth and Planetary Science of the Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Institute for Research on Earth Evolution Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Ocean Engineering & Development Corporation, ⁴Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁵Atomosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

The March 11, 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0) is supposed to have fault rupture extending to the shallow part of subduction zone at the Japan Trench. Various inversion analyses by using, for example, geodetic, teleseismic body waves, strong ground motion or tsunami waveform, show large displacement near the trench axis. Moreover, bathymetric comparison between before and after the earthquake clearly demonstrated that the seafloor on outermost landward slope moved ~50 m east-southeastward to the trench and uplifted ~7 to 10 m. Although the mechanism of such fault rupture is not clear, revisiting the structure, deformation and friction properties at the base of the forearc will be key to elucidate this important issue.

Based on bathymetric and seismic reflection data (e.g., angle of slope, dip angle of the subducting plate) and physical states of the wedge and plate boundary (e.g., normal stress, fluid pressure, shear stress and coefficient of friction), Kimura et al. (2012) suggested that middle slope and lower slope of the Japan Trench is in a critical state. Dynamic Critical taper theory proposed by Wang and Hu (2006) improved the Mohr-Coulomb theory to show how stress state changes in terms of seismic cycle. Although the shape of the wedge in the Japan trench is consistent with this theory, stress transition in the shallow region of the trench should be reconsidered.

Because of along-trench variability in the bathymetry and the direction of plate convergence, it is very useful to reconsider relation of taper angle and the friction of the plate boundary at several profiles along the Japan Trench.

In this study, based on Kimura et al. (2012), we used a bathymetric data taken before the Tohoku-oki earthquake and re-examined the relationship between the taper angle and friction of plate boundary in shallow part of the Japan Trench. First, we divided the trench into three segments from south to north, and chose five seismic survey lines from each area, focusing on a specific range from the trench to the splay fault (~20km). By applying the Critical taper theory to the individual cross-section, and based on the assumption that splay fault behaves as a backstop, we discuss stress balance between the interior and base of the wedge, fluid pressure ratio, and effective friction coefficient of the plate boundary. Dip angle of the subducting plate is obtained from images by seismic reflectance surveys, and by studying a broad range in the Japan Trench, we determine the deformation process in the shallow part of the trench.

References

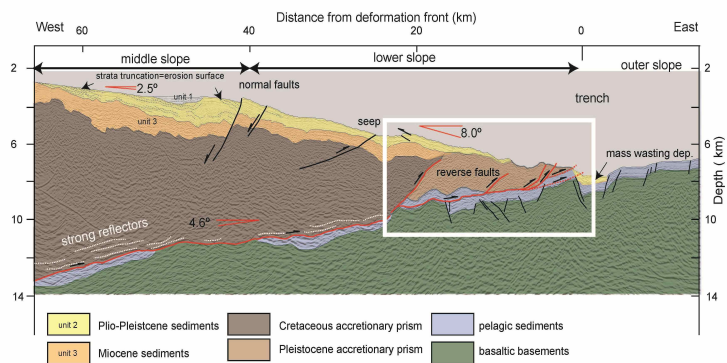
- Fujiwara, T. et al. The 2011 Tohoku-Oki earthquake: Displacement reaching the trench axis. *Science* Vol. 334,1240(2011)
- Kodaira, S et al. Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Geoscience* 5, 646-650 (2012)
- Kimura, G et al. Runaway slip to the trench due to rupture of highly pressurized megathrust beneath the middle trench slope: The tsunamigenesis of the 2011 Tohoku earthquake off the east coast of northern Japan, *Earth and Planetary Science Letters*, 339-340, 32-45. (2012)
- Ito, Y et al. Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophysical Research Letters* 38(15): L00G05.(2011)

Keywords: critical taper, slope, the Japan trench

SSS31-P29

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 18:15-19:30



Sesimic profile along MY 102 modified from Tsuji et al. (2011).

仮想的なプレート内地震による応力擾乱と1605年慶長津波地震との関係 Relation between Stress Perturbation of the Virtual Fault Models of Intra-plate Eq. and the 1605 Keicho Eq.

弘瀬 冬樹^{1*}, 前田 憲二¹
Fuyuki Hirose^{1*}, Kenji Maeda¹

¹ 気象研究所

¹Meteorological Research Institute

1. はじめに

これまで我々は、速度 - 状態依存摩擦構成則に基づいたプレート境界面における3次元数値シミュレーションモデルの開発・改良を行ってきた。弘瀬・前田 (2011, JpGU, SSJ; 2012, JpGU) は、南海トラフ沿いで発生する巨大地震について、摩擦パラメータや有効法線応力に不均質性を持たせてシミュレーションを行い、いくつかの複雑なパターンが現れるモデルを作成した。しかしながら、1605年慶長津波地震のように浅部(深さ10km以浅)のみが破壊した可能性のあるパターン(古村・他, 2010, SSJ)の再現はできず、内陸地震による応力擾乱を考慮したシミュレーション(弘瀬・前田, 2012, SSJ)でも再現には至っていない。ただし、内陸地震による応力擾乱は、プレート境界浅部との距離が大きく応力変化が小さい(地震発生シミュレーション上の地震時におけるせん断応力変化3MPaの1/50程度)。仮にトラフ軸付近で大きめのプレート内地震が発生した場合、応力擾乱は大きくなるだろう。

2. プレート内地震の仮想断層モデル

東海地域南方沖には、北東 - 南西走向のゼニス海嶺があり、その付近では定常的な地震活動がみられ、過去にはM6クラスの地震もいくつか発生している。同地域では、南北走向で左横ずれの西七島断層帯の存在も指摘されている(貝塚, 1972, 科学)。また、記憶に新しい2004年9月5日に紀伊半島南東沖でM7.1および7.4のプレート内地震が発生した。これらのようなプレート内地震が発生し、慶長地震のトリガーになった可能性はないだろうか。

そこで本研究では、弘瀬・前田(2012, SSJ)と同様の手法で、トラフ軸付近のプレート内地震による応力擾乱を考慮したシミュレーションを行い、慶長地震の再現を目指す。予備的な結果であるが、西七島断層帯による応力擾乱を与えた場合は、全域を破壊する巨大地震となり、浅部のみを破壊する地震は再現できていない。その他の仮想断層による擾乱の影響については、本発表で行う予定である。

キーワード: 南海トラフ, 慶長地震, シミュレーション, 応力擾乱, プレート内地震

Keywords: Nankai trough, Keicho earthquake, Simulation, stress perturbation, intra-plate earthquakes

南海地震・日向灘地震・豊後水道スロースリップイベントの数値シミュレーション Numerical simulation of Nankai Earthquake, Hyuga-nada Earthquakes, and slow slip events in Bungo Channel

中田 令子^{1*}, 兵藤 守¹, 堀 高峰¹
Ryoko Nakata^{1*}, Mamoru Hyodo¹, Takane Hori¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

南海地震震源域の西端は、これまで考えられてきた足摺岬沖までだけでなく、日向灘北部まで延長した場合も過去に発生した可能性が、近年示唆されている [Furumura et al., 2011]。本研究では、南海地震と、日向灘や豊後水道で発生している地震性/非地震性すべりとの関連性について検討するために、地震発生サイクルの数値シミュレーションを行った。対象としたイベントは、南海地震 (M8 - 8.7)・1968年日向灘地震 (M7.5)・ひとまわり小さい日向灘地震 [地震調査研究推進本部, 2004] (M6.7 - 7.2) と、豊後水道で発生している繰り返し間隔約7年のスロースリップイベント (SSE) および日向灘で発生している SSE [Yarai & Ozawa, 2010] である。本研究では、ひとまわり小さい日向灘地震は、Yamashita et al. [2011] を参考に、1941・1970年の震源域と、1899・1931・1961・1996年の震源域の2つに区分する。簡単のため、南海地震と東南海・東海地震との連動発生のパターンと、海溝寄り浅部でのすべりについてはモデル化しない。

モデル領域は紀伊半島西方沖から日向灘南部までとし、Baba et al. [2002] に基づいた3次元プレート境界面形状を用いた。摩擦構成則は composite law [Kato & Tullis, 2001] を適用した。南海地震震源域は紀伊半島沖から足摺岬沖の深さ10 - 20kmまでとした。日向灘で発生する3つの地震の震源域とSSEの震源域では、 r/rc [Kato, 2003, 2004] を調整し、不安定すべりやスロー地震が起こりやすい条件に設定した。本研究では、南海地震を引き起こす地震発生帯を西に延長させるのではなく、日向灘地震との連動によって、南海地震による破壊の西への広がりをモデル化する。

シミュレーションの結果、南海地震は100 - 200年の間隔で繰り返し発生した。日向灘におけるひとまわり小さい地震は、どちらも繰り返し間隔数十年で発生していた。豊後水道におけるSSEの繰り返し間隔は5 - 10年であった。このように、概ね観測と調和的な繰り返し間隔で各イベントの発生が再現できた。さらに、シミュレーションで得られた豊後水道SSEによる地殻変動・断層面上のすべり量・継続期間等についても、観測とある程度一致していた。

このシミュレーション結果から、観測ではまだ確認されていない現象について考察する。1968年日向灘地震に相当するイベントは100年前後の間隔で繰り返し発生しており、約500年に1回程度は、南海地震と連動していた。足摺岬沖浅部が固着している時には南海地震の破壊は西には広がらず、日向灘地震との連動は生じない。豊後水道SSE震源域では南海地震時やその余効変動としてすべる場合が多く見られた。南海地震後、しばらくSSEは発生しないが、次の南海地震発生前までにはSSEが繰り返し発生するようになっていた。これらのことから、豊後水道SSEや日向灘地震の発生をモニタリングすることは、南海地震発生サイクルの理解に役立つ可能性がある。しかし、これらの現象は、観測ではまだ確認されていないため、今後は、モデル化の際の仮定やパラメタの不確定性等の影響をはっきりさせ、検証可能な観測データとの比較を行いながら、議論をすすめていくことが必要である。

謝辞：本研究は文科省のプロジェクト「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」の補助を受けて行われました。本研究の計算には海洋研究開発機構の地球シミュレータを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

破壊エネルギーの深さ方向不均一分布によって生じる南海地震発生様式の変化 Two alternative regimes in Nankai seismic cycles caused by depth dependent distribution of fracture energy

兵藤 守^{1*}, 堀 高峰¹

Mamoru Hyodo^{1*}, Takane Hori¹

¹ 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト

¹JAMSTEC SeismoLP

Great earthquakes have occurred repeatedly along the Nankai Trough in southwestern Japan with recurrence intervals of 100?200 y. The magnitudes of Nankai earthquakes have varied throughout this recurrence history, with many studies to date asserting that an event's magnitude is controlled only by the number of broken segments arranged along the Nankai Trough. However, evidence for seismic slip on the shallowest part of the decollement has been found in cores from boreholes drilled along the trough. In fact, slip on the shallowest part of the plate interface became larger during the 2011 Tohoku earthquake, causing a devastating tsunami. Moreover, recent evidence suggests that large tsunami with recurrence intervals of several hundred years have occurred along the Nankai Trough. Therefore, it is now essential to reconsider the scenario of Nankai Trough earthquakes, including the possibility of seismic slip on the shallow subduction interface. Recently, model calculations of the interplate seismic cycle have been conducted using rate- and state-dependent friction laws. In these calculations, assuming heterogeneous distribution of fracture energy in the seismogenic zone and its shallower extension, both massive earthquakes with slips up to the trough axis and ordinary earthquakes in the seismogenic zone can occur in different seismic cycles. Here, we apply a similar heterogeneous distribution of fracture energy in the shallower plate interface of the Nankai Trough. In the model, we represent the difference in fracture energy by the difference in the characteristic slip distance L . To model the conventional seismogenic zone as a zone of low fracture energy, we set L to be 0.05 m at depths of 10?20 km. Conversely, the shallow plate boundary near the trough is modeled as a zone of high fracture energy. By applying various values of L ($0.05\text{m} < L < 10\text{m}$) in the shallower region, we explain the effect of gaps in fracture energies on resultant seismic cycles. For small gaps in fracture energies ($0.05\text{m} < L < 2.25\text{m}$), the rupture in the every earthquake propagates up to the top of plate interface. In cases of relatively high fracture energies on the shallow interface (i.e. $L \geq 2.25\text{m}$), however, two types of earthquake with different moment magnitude occur alternately. The recurrence interval of the larger type (i.e., that with the greater slip distance) is about 370 y, which is comparable to the recurrence interval of larger tsunami deduced from recent geological findings. Large coseismic slip (i.e., more than 10 m) extends to the trough axis during the larger types. In contrast, the smaller one, whose seismic slip is distributed only along the seismogenic zone, occurs after ~200 y of the larger one. These results indicate the depth dependent distribution of fracture energy could be a factor which controls the large variation of seismic cycles along the Nankai Trough.

キーワード: 数値シミュレーション, 地震発生サイクル, 沈み込み帯, 破壊エネルギー不均質, 滑り速度状態依存摩擦則

Keywords: numerical simulation, earthquake generation cycle, subduction zone, fracture energy heterogeneity, rate- and state-dependent friction laws

付加体とデコルマ形成の力学過程と巨大地震発生メカニズム Dynamics of decollement formation during accretion and mechanism of great earthquake generation in subduction zones

堀 高峰^{1*}, 阪口秀¹
Takane Hori^{1*}, Hide Sakaguchi¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

従来、付加体にできるデコルマは、物質の違いや流体圧の不均質に起因する既存の弱面が存在することが必要条件と考えられ、そこに沿って形成されると考えられてきた。また、付加体の発達につれて形成される複数の平行したデコルマは、「デコルマのステップダウン」と言われるように、もともとあるデコルマよりも深い側が後に形成されると考えられてきた。しかしながら、デコルマの形成にとって物性の不均質の存在が必要条件ではないこと、さらには、平行なデコルマが形成される場合には、もとのデコルマよりも上に後から形成されることを、付加体形成過程の数値実験で我々は見いだした。本講演では、その力学的なメカニズムを説明した上で、付加にともなうデコルマの形成過程についての従来の考え方とは根本的に異なる、力学にもとづいた新たな付加体・デコルマ形成像を提案する。さらに、この新たな考え方にもとづく沈み込み帯の巨大地震発生メカニズムについて議論する。

プレート境界の巨大地震に関わる断層浅部の動力学モデルによる地震時拳動ミュレーション(その3)

Dynamic Simulation of the Seismic Behavior on the Shallow Part of the Fault during Mega-Thrust Earthquakes Part.3

津田 健一^{1*}, ドルジャパラム サロル¹, 壇一男¹, 小川幸雄¹, 渡辺孝英¹, 入江紀嘉¹, 浦谷裕明², 岩瀬聡²

Kenichi Tsuda^{1*}, DORJPALAM, Saruul¹, DAN, Kazuo¹, OGAWA, Sachio¹, WATANABE, Takahide¹, IRIE, Kiyoshi¹, URATANI, Hiroaki², IWASE, Satoshi²

¹ 大崎総合研究所, ² 中部電力

¹Ohsaki Research Institute Inc., ²Chubu Electric Power Co., Inc.

The recent mega-thrust earthquakes, such as the 2011 Tohoku-Oki earthquake (M9.0), the 2004 Sumatra earthquake (M9.2) and the 2010 Chile earthquake (M8.8) showed some distinct features. For example, huge slips on the order of several ten meters on the shallow part of the fault without radiating short-period seismic waves (strong ground motions) are detected. Another is that the deep part of the fault radiates strong ground motions (e.g. Lay et al., 2012). The feature of seismic behavior especially shown on the shallow part of the fault has been highlighted if the rupture of the mega-thrust earthquakes reaches to the shallow part. Although various kinds of observations for the seismic behavior (rupture process and ground motion characteristics etc.) on the shallow part of the fault plane during the mega-thrust earthquakes have been reported, the number of analytical or numerical studies based on dynamic simulation is still limited.

In this study, we carried out the dynamic simulations in order to get better understandings about the seismic behavior on the shallow part of the fault during mega-thrust earthquakes. We used the two-dimensional spectral element method (Ampuero, 2009) that can incorporate the complex fault geometry into simulation as well as to save computational resources. The simulation utilizes the slip-weakening law (Ida, 1972). In the simulation, we investigated the seismic behavior with changing some parameters such as the critical slip distance (D_c), the material parameters, and the rupture directivity in addition to the stress drop whose results are shown in Tsuda et al. (2012). The results of simulations are useful to get better understandings about the seismic behavior on the shallow part of the fault during the future mega-thrust earthquakes along the Nankai Trough, Japan.

Keywords: mega-thrust earthquake, shallow part of fault plane, seismic behavior, dynamic simulation, spectral element method

西南日本におけるフィリピン海プレートの沈み込みに伴う温度・流れ・地殻熱流量の3次元数値モデリング

3-D numerical modeling of temperature, fluid flow and heat flow associated with subduction of the PHS plate in SW Japan

季 穎鋒^{1*}, 吉岡 祥一², 松本 拓己³

Yingfeng Ji^{1*}, Shoichi Yoshioka², Takumi Matsumoto³

¹ 神戸大学理学研究科, ² 神戸大学都市安全研究センター, ³ 防災科学技術研究所

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Kobe University, ²Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED)

Constructing a three-dimensional numerical model, we investigated temperature, fluid flow and heat flow distributions associated with subduction of the Philippine Sea plate subducting beneath the Amuran plate, southwest Japan. We modeled realistic three-dimensional shape of the Philippine Sea slab by an inversion analysis using ABIC, using the geometry datum obtained by high resolution of P-wave tomography and seismic reflection study. Subduction velocity was set to be 4 cm/yr during a period from 7 to 3 Ma in the direction parallel to the strike of the Kinan Seamount Chain, and 6.32 cm/yr for the last 3 Myr obliquely in the current convergent direction. The results showed the patterns of temperature distribution, fluid flow and surface heat flow distributions in southwest Japan after 7 Myr of subduction. We found that the cooling effect brought by the Philippine slab is remarkable in the portion on descent slope of the slab with a larger composite subduction angle. The distribution of interplate temperature on the slab upper surface appears similar to the geometry of slab upper surface, indicating a corresponding relation between them. Flow velocity of the mantle substance near the upper surface of the Philippine Sea slab is lower than that of the slab, and oblique subduction resulted in convection in oblique direction beneath the Osaka Bay where a dip angle of the slab is much larger than that beneath Shikoku. Subduction velocities on ascent and descent slope gradients are different, for they have a different composite subduction angle. Surface heat flow distribution is also affected by the slab shape. The cooling effect became large with increasing subduction time and slab length. To fit the observed surface heat flow distribution better in the model domain, we changed thickness of the continental plate and pore pressure ratio related to frictional heating on the plate interface, and evaluated the simulated results using the least square method. As a result, we suggest that thickness of the continental plate larger than 30 Myr. Pore pressure ratio larger than 0.95 is better for fitting the observation data. High heat flow anomalies in Shikoku and the Kii Peninsula and the low anomaly along the Seto inland sea exist according to the comparison to the results of simulation.

Keywords: numerical simulation, temperature, fluid flow, heat flow, Philippine Sea plate, Southwest Japan

石垣島津波石の古地磁気記録と津波履歴

Rock magnetism of Tsunami boulders and its implication to emplacement history.

佐藤 哲郎^{1*}, 中村 教博¹, 後藤 和久², 長濱 裕幸¹, 箕浦 幸治¹

Tetsuro Sato^{1*}, Norihiro Nakamura¹, Kazuhisa Goto², Hiroyuki Nagahama¹, Koji Minoura¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 東北大学災害科学国際研究所

¹ Graduate School of Earth Science, Tohoku Univ., ² International Research Institute of Disaster Science (IRIDEs), Tohoku University

In Ishigaki Island of Japan, there are several tens of erratic boulders, consisted of hermatypic coral. They had been emplaced due to the 1771 Meiwa Tsunami and/or prehistorical Tsunamis, called Tsunami boulder. These boulders that originally had attached to the reef edge emplaced to the shoreline or reef flat. To reveal the age of ancient Tsunami attacks, recent studies have conducted radiocarbon dating to Tsunami boulders and the result showed the population of five tsunamis since about 2000 years ago. Therefore, each Tsunami event might have transported or rotated Tsunami boulders more than once. However, radiocarbon dating cannot discriminate subsequent rotations. To solve this problem, we propose the paleomagnetic strategy. When coral grows, the coral magnetized parallel to the Earth's magnetic field due to the presence of magnetosome or detrital magnetite. If boulder have fine-grained magnetite, it is easy to acquire the secondly magnetization. Thus, the boulder obtains the new magnetization as it moves and rotates. This new magnetization is called viscous remanent magnetization (VRM) and increases progressively with age like vector composition. Using progressive thermal demagnetization (PTD), these vector components are erased young to old. Therefore, PTD can visualize the point of magnetic vector component changed and this point indicates the presence of Tsunami event. Furthermore, Neel's theory gives the formula that natural VRM acquired at low temperature over a long time disappears at a high temperature in a short time. This formula predicts multiple Tsunami age is determined from rotation record of each boulder. Our result showed multiple points of vector component changed during 383K to 413K. This result consist with emplacement mode of "Bari-ishi" which have been emplaced by 1771 Meiwa Tsunami. Our paleomagnetically-dated ages agree well with the population of radiocarbon dating. Furthermore, the ages calculated by the demagnetization temperature of VRM are close to ages of radiocarbon dating, although remanence-carrying mineral should be a single domain magnetite. To reveal the magnetic mineralogy, we conducted Lowrie-Fuller test, X-ray diffraction, high-temperature hysteresis to determine the Curie point. These allow us that the magnetic mineral of Tsunami boulder is of single domain magnetite. Therefore, our paleomagnetic strategy is valid for revealing the multiple transportation history of Tsunami boulder at Ishigaki Island.

Keywords: Tsunami boulder, paleomagnetism, viscous remanent magnetization, Neel's theory, single domain

1911年に喜界島近海で発生した巨大地震(M8.0)に伴う津波の聞き取り調査 Hearing survey of the tsunami generated by the 1911 great earthquake(M8.0) occurred around Kikai-jima, Japan

岩本 健吾¹, 後藤 和彦^{1*}

IWAMOTO, Kengo¹, Kazuhiko Goto^{1*}

¹ 鹿大・理工・南西島弧

¹NOEV, Kagoshima Univ.

1911年6月15日に喜界島近海で発生したM8.0の巨大地震(以下では「明治喜界島近海地震」という)は、日向灘～南西諸島域における最大規模の地震である。この地震に伴う津波については、奄美大島の南に位置する加計呂麻島で家が浸水したことや奄美大島の秋名で漁師が海水の異常に気づいたことが報告されているのみであった(今村, 1913)。このことにより、明治喜界島近海地震で励起された津波は地震規模の割には小さかったと考えられてきた(羽鳥, 1996)。明治喜界島近海地震の震源の深さは100km程度とする考えがあるが、そのような考えとなった一因として津波が小さかったと思われていたことが挙げられている。しかし、都司(1997)は明治喜界島近海地震に伴う津波が喜界島では8mに達していたという口承があることを報告している。また、著者のひとは奄美大島の龍郷で標高5m程度まで浸水したとの話を聞いた。これらは明治喜界島近海地震に伴う津波が以前に考えられていたよりも大きかったことを示している。

そこで、明治喜界島近海地震に伴う津波の実態を把握するために現地での聞き取り調査を行った。調査は喜界島と奄美大島、奄美大島の南に位置する加計呂麻島・請島・与路島およびトカラ列島南端の宝島の沿岸部のほとんどの集落(奄美大島南部の大島海峡・焼内湾に面する地域については一部の集落)で2011年11月から2012年11月にかけて実施した。

明治喜界島近海地震によって励起された津波については、喜界島で34、奄美大島で19、加計呂間島で2つの情報が得られた。ただし、明治喜界島近海地震の発生から100年以上が経過しているために、津波体験者本人からの聞き取り情報はなく、多くは親や祖父母などからの口承である。なお、請島・与路島・宝島では津波の情報は得られなかった。

収集できた津波の情報をまとめると以下の通りである。

・喜界島の西海岸では5m以上の津波が到来しているが、東海岸では津波はあったものの小規模であった(東海岸では津波高に関する情報は得られていない)。

・奄美大島では5m以上の津波が到来しており、概して東海岸の方が西海岸より大きかった。

・奄美大島の南に位置する島々(加計呂麻島・請島・与路島)での津波の規模は小さかった。

・喜界島および奄美大島の少なくとも中部以北での津波は引きで始まった(奄美大島南部以南では押し引きの情報は得られていない)。

なお、聞き取り調査から推定された津波高の最大値は喜界島中里での10mである。

今回の聞き取り調査により、明治喜界島近海地震によって励起された津波は、M8.0の地震としては標準的な規模であったことが明らかとなった。さらに、津波高の地域差や津波の押し引きに関しても新たな情報が得られた。これらは明治喜界島近海地震の震源位置を考える上で有用である。簡単な津波シミュレーションの結果、明治喜界島近海地震に伴う津波は、波源域が喜界島の北～北東方向にあり、低角逆断層運動により発生したものと推定された。

キーワード: 巨大地震, 津波, プレート境界, 南西諸島, 喜界島

Keywords: great earthquake, tsunami, plate boundary, Nansei-shoto, Kikai-jima

蒲生田大池における約6500年間の南海トラフ地震の履歴

Nankai Earthquake recurrences recorded in lacustrine sediment from eastern Shikoku

福本 崇大^{1*}, 松岡裕美², 岡村真²

Takahiro Fukumoto^{1*}, Hiromi Matsuoka², Makoto Okamura²

¹ 高知大学大学院理, ² 高知大理

¹Graduate School of Science, Kochi Univ., ²Kochi Univ.

過去の南海トラフ地震の履歴を明らかにするために徳島県阿南市の蒲生田大池で津波堆積物の調査を行った。蒲生田大池は四国の最東端で、紀伊水道に突き出ている蒲生田岬の先端部分に位置している。この池は直径200mほどで周囲を低山に囲まれており、沢から流れてきた堆積物以外は堆積物の流入の可能性は低い。これまでの調査では約3500年間の堆積記録を保持しており、津波と思われる堆積物が2000~2300年前に堆積していることが明らかになっている。

今回は測線上に新たに9本採取し、過去の調査と併せて17本分析した。これらのコア試料は3.2~5.3mのコア長をもち、全体がほぼ、オリーブグレーのシルトによって構成されている。また、コアの層準はほぼ同じで大きな堆積環境の変化はみられない。その中に最大で層厚10cmの円磨度が高い中粒砂~粗粒砂からなる砂層がみられ、それは淘汰の良く級化構造を示しており、海側のコアほど厚く、山側のコアほど薄いことから、海から運ばれてきたものであるといえる。よって津波によって堆積したと考えられる。その他にコアの最下部に最大で層厚約40cmの円磨度が高い中粒砂~粗粒砂および礫からなる砂層がみられるが、淘汰の悪いことから運搬距離が短いため、池形成前に堆積したものであると考えられる。また、極細粒砂~細粒砂の砂まじりの泥層が数枚みられるが、円磨度の低く、淘汰が悪く、山側のコアほど厚く海側のコアほど薄いため、雨などで山側より流入したものであると考えられる。44試料の年代測定結果、これらのコア堆積物は約6500年の記録を保持しており、津波による堆積物は約2000~2300年前を示した。

蒲生田大池は南海地震の中でも比較的大きな津波を発生させたとされる宝永、正平、天武地震などに相当する歴史時代の津波の痕跡はまったく見られなかった。それは、蒲生田岬とその東に位置する伊島との間に存在する浅い海底地形による影響であると考えられる。約2000~2300年前に発生した津波は約6500年間堆積記録をもつ蒲生田大池において唯一の津波堆積物であり、大規模な津波であったことが推測される。

キーワード: 津波堆積物, 南海地震, 南海トラフ, 地震履歴

Keywords: tsunami sediment, Nankai earthquake, Nankai Trough, tsunami record

三重県尾鷲市須賀利大池における過去 3500 年間の津波履歴 Nankai Earthquake recurrences recorded in lacustrine sediment

岡村 眞^{1*}, 松岡 裕美²

Makoto Okamura^{1*}, Hiromi Matsuoka²

¹ 高知大学総合研究センター, ² 高知大学理学部

¹Kochi University, ²Kochi University

過去の津波履歴を明らかにするために、南海トラフに面した紀伊半島の東岸、三重県尾鷲市須賀利大池で調査を行った。湖底試料を 2011 年度と 2012 年度にわたり計 13 本採取し、現時点では 8 本について分析を進めている。

この池は東西約 500 m、南北約 100 m の比較的大きな細長い池で、南北を山に挟まれている。津波の侵入経路となる低地は池の東、西、南東の 3 方向にある。西は円礫からなる海岸で、東と南東は岩石海岸であり、津波堆積物の砂を供給するような浜堤は付近には見られない。周囲に大きな流入河川はないが、池の北西の斜面から溪流が流れ込み小さなデルタを形成している。

コアリングにより湖底から約 5~7.5 m の堆積物を採取した。堆積層の最下位は、厚いところでは 1 m 以上の層厚を持つ貝殻混じりの淘汰の悪い砂層によって構成される。これは池が形成される前の海成の堆積物であると考えられることから、この池の湖成堆積物の層厚は最大で 6 m 程度である。58 試料の放射性炭素年代測定の結果から、この池の堆積物は過去約 3500 年間に記録していることがわかった。この堆積物は基本的には植物遺骸を多く含む褐色のシルトによって構成されているが、急激な堆積物の流入を示すと考えられる砂層もしくは砂まじりのシルト層であるイベントを少なくとも 18 回確認することができた。

下部の約 3500~2500 年前の堆積物中には、4 回のイベント層が確認できた。約 2500~2000 年前の層準では、礫を含む粗粒な砂層や木片などを含む大規模なイベント層が 4 回確認できた。これらのイベント層は厚いものでは 50cm を越えるものもあり、下位の層を大きく削剥し、堆積物記録の書き換えがおきていることから、イベント層の認定や対比が難しい。中部の約 2000~1000 年前の堆積物では、池の東側の試料では 5 回のイベントが見られるが、西側の試料では粗粒な碎屑物はほとんど見られず、2 層のみが対比可能であった。上部の約 1000 年前より上位では、急激に堆積物中の碎屑物の割合が高くなり、木の葉が少なく草本の植物遺骸が多くなる。過去 1000 年間では、池の東側では 2 回の大きなイベントのみ確認できるが、堆積物記録のほとんどはこのイベントによって書き換えられている。池の西側では過去 1000 年間で 5 回のイベントを確認した。

以上の結果から、この池では過去 3500 年間で少なくとも 2 回の大きな堆積環境の変化があり、連続した安定した堆積物記録を保持しているとは言い難い。約 2500 年前からは大規模なイベントが短期間に繰り返されることから、海岸の開口部の破壊などの条件の変化を想定しなくてはならない。また約 1000 年前の池周辺の植生などの環境変化も考える必要がある。しかしながら、イベントは平均すれば 200 年に一回程度の繰り返し間隔で記録されており、過去の地震による津波の履歴を残していると考えられる。さらに、これまでの南海トラフ沿いの他の池で顕著なイベントを形成している天武地震（西暦 684 年）や約 2000 年前の津波に対比できる層準は、この池の記録の中でも明らかに確認することができる。

キーワード: 南海地震, 津波堆積物, 須賀利大池

Keywords: Nankai Earthquakes, Tsunami sediments, Sukari O-ike

日本海溝南部周辺で発生した大地震の再検討 -1927年・1953年房総沖の地震- Re-examination of large 20th century earthquakes along the southern Japan trench -The 1927 and 1953 off Boso earthquakes

室谷 智子^{1*}, 佐竹 健治¹

Satoko Murotani^{1*}, Kenji Satake¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の震源域に隣接し、次なる大地震の発生が危惧されている房総沖では、過去に1677年延宝津波地震(Mt 8.0)や1953年房総沖の地震(Mw7.9)のような大地震が起こっており、津波も発生している。また、1900年以降、日本への被害は少ないものの、M=6~7.5の地震やMt>7の津波地震もいくつか発生している。しかしながら、これらの地震は三重会合点周辺のどのプレート境界(あるいはプレート内)で発生しているのか、繰り返し同じ場所で発生しているのか、どのようなメカニズムなのか等、不明な点も多い。そこで本研究では、1927年と1953年の房総沖の地震についての検討を行った。

1927年8月19日に発生したMjma 6.4, Mt 7.4の地震は、気象庁震源(142.4 °E, 33.8 °N, 深さ 39km)と羽鳥(1975)による津波波源域の位置が100 km以上離れている。1953年11月26日の地震(141.2 °E, 34.2 °N, 深さ 59km, Mjma 7.4, Mt 7.8)と比較すると、気象庁震源は1953年よりも東に位置するが、羽鳥(1975)による波源域は1953年の震源や波源域よりも北西に位置する。また、過去に報告されている複数のカタログも震源の位置にばらつきがある。そこで、1927年の地震に関する津波波形、地震波形、観測点原簿等の資料を集め、波源域と震源の再検討を行った。1927年の津波波形は銚子検潮所と布良検潮所の2点しか残っていないが、当時の検潮所の位置を見直して逆伝播図を再計算した結果、羽鳥(1975)の津波波源域と比較して、やや南に位置することがわかった。布良での津波初動到達時刻には複数の報告値があるが、ここでは銚子での検潮記録と比較して、羽鳥(1975)の報告値を採用した。震源に関して、気象庁(2004)は、近地のP波到達時刻7点、S波到達時刻2点、S-P時間1点を用いて震源再決定を行っている。1927年当時は、初期微動継続時間としてS-P時間でなく、L-P時間が報告されている観測点が多く、十分な数のデータが震源決定に使われていない。そこで、今回多くの観測点について観測点原簿や地震波形記象紙からS波到達時刻を見直し、海外でのデータを加えて、新たに震源決定を試みた。その結果、再決定震源はこれまでの気象庁震央よりもかなり陸側に位置する(141.2~141.7 °E, 34.1~34.2 °N)。今回調べ直した各観測点でのS-P時間の分布は、1953年のS-P時間分布に比較的似ているため、見直した震源が1953年震源に近いことと整合的である。様々なメカニズムを仮定して計算した津波波形と検潮記録を比較すると、比較的浅い地震であると考えられるため、フィリピン海プレートでの地震であると推測される。一方、1953年房総沖の地震は高角正断層とされているが、このメカニズムから津波波形を計算すると、布良検潮所で観測された津波到達から約1時間の波形を良く説明できる。

キーワード: 房総沖地震, 震源再決定, 津波シミュレーション

Keywords: Off Boso earthquake, Hypocenter location, Tsunami simulation

津波堆積物データから求めた北海道沖で発生した17世紀巨大地震の断層モデル Fault model of the 17th century great earthquake off Hokkaido estimated from tsunami deposit data

伊尾木 圭衣^{1*}, 谷岡 勇市郎¹

Kei Ioki^{1*}, Yuichiro Tanioka¹

¹ 北海道大学地震火山研究観測センター

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

北海道東方沖では多くのプレート境界型地震が発生している。一方、有史以前の津波によるいくつかの津波堆積物が北海道東方沖で確認されている。これらの津波堆積物は、歴史地震による津波浸水域より、はるかに内陸にみられる。また、津波堆積物が発見された高さは、観測された歴史津波の高さよりはるかに高い。この巨大津波の繰り返し間隔は400~600年とされている。最も新しいイベントは17世紀初頭のものである、なぜならこのイベントによる津波堆積物は、1667年樽前噴火による火山灰のすぐ直下で発見されているためである。この巨大津波は、十勝沖と根室沖を破壊した巨大地震により発生したものである。

本研究では、低地における津波堆積物確認場所と、沿岸付近の高地における津波堆積物が発見された高さを用いて、17世紀巨大地震の断層モデルを求めた。有限差分法を用いて非線形長波近似式を解いた。計算された津波の浸水域と高さは、北海道太平洋沿岸東部の11か所において比較された。Satake et al. (2008)は17世紀巨大地震の断層モデルを求めた。この断層モデルは、津波堆積物確認場所と計算した津波の浸水域を比較し求められた。津波の大きな浸水域を説明するには、プレート境界で大きな破壊域を持つ断層モデルが必要となった。さらに、沿岸付近の高い津波の高さを説明するには、海溝付近のプレート境界浅部でとても大きなすべりを持つ断層モデルが必要となる。よって海溝付近に断層モデルを追加し、すべり量を変化させ、津波の浸水域と高さを計算した。

その結果、内陸低地における津波堆積物は、プレート境界の深い場所の大きな破壊による津波浸水域によって説明することができ、沿岸高地の津波堆積物が発見された高さは、海溝付近のプレート境界浅部の非常に大きなすべりによって説明することができた。求められた断層モデルより、17世紀巨大地震の地震モーメントは 1.7×10^{22} Nm (Mw 8.8)と計算された。また、2011年東北地方太平洋沖地震は、大きな破壊域を持ち、海溝付近のプレート境界浅部で非常に大きなすべりが発生した巨大地震であった。北海道東方沖で発生した17世紀巨大地震は、2011年東北地方太平洋沖地震と同じタイプの地震であったと考えられる。

キーワード: 巨大地震, 津波, 北海道

Keywords: great earthquake, tsunami, Hokkaido

0.5秒メッシュDEMで見る相模トラフの海底活断層地形(予察)

Preliminary report on submarine active-fault landforms in the Sagami Trough, revealed by 0.5-arcsecond-mesh DEM

杉戸 信彦^{1*}, 中田 高², 渡辺 満久³, 後藤 秀昭², 鈴木 康弘¹

Nobuhiko Sugito^{1*}, Takashi Nakata², Mitsuhisa Watanabe³, Hideaki Goto², Yasuhiro Suzuki¹

¹名古屋大, ²広島大, ³東洋大

¹Nagoya Univ., ²Hiroshima Univ., ³Toyo Univ.

プレート境界付近に発達する海底活断層は、陸域活断層と同様、地表面(海底)を累積的に変位させ、断層変位地形を発達させる(例えば、Nakata et al., 2012)。われわれは、これまで陸域の活断層に適用してきた変動地形学的・古地震学的調査手法をプレート境界付近の海底活断層に適用することによって、プレート境界付近における地震の発生予測に寄与することを目指している。その端緒として今回、相模トラフ、東京海底谷出口付近(水深1200m付近)においてマルチビーム音響測深を実施し、画期的に細密な海底地形データを取得して断層変位地形の検討を行った。

相模トラフの地形データとしてはこれまで、3秒(=約90m)メッシュのDEMが整備されている(例えば、泉ほか, 2011)。しかし縮尺約1~4万分の1の航空写真や各種DEMを活用できる陸域と同様の詳しい地形解析には、3秒メッシュDEMでは決して十分とは言えず、さらに詳細なDEMが求められていた。

今回のマルチビーム音響測深においては、KONGSBERG社製EM302型マルチビーム音響測深装置を用いて調査船(第七開海丸500トン)を4.5ノットで航行し、片舷40度(両舷80度)の範囲でビーム幅が2度(送信ビーム)×2度(受信ビーム)の、432点のマルチビームを等間隔で発射して精緻な測深を行った。船舶の測位にはD-GPS(Differential GPS)を使用した。その結果、調査仕様どおり、1秒メッシュよりも詳細なDEMを作成できるデータが得られた。

現在、得られたデータから0.5秒(=約15m)メッシュのDEMを作成し、鳥瞰図やアナグリフ等の各種画像を作成して地形判読を行っている。作成した画像においては、既存データから作成した画像と比べ、断層変位地形を格段に詳しく読み取ることができ、1923年大正関東地震の震源断層を特定できた可能性がある。陸域との比較で言えば、縮尺約4万分の1の航空写真を用いた地形判読と同等の詳細さで変位地形が捉えられている。プレート境界における巨大地震の震源断層の具体的な位置と形状が特定でき、古地震の変位量を直接計測することが可能となっている。巨大地震の断層モデル構築に向け、これまでの地震観測結果や測地観測結果とは異なる貴重な情報を取得できるようになり、歴史地震の発生源の検討や地震発生予測に大きく貢献するものと期待される。

【謝辞】データ取得は芙蓉海洋開発株式会社に、データ処理は株式会社海洋先端技術研究所にお世話になりました。本研究は文部科学省による平成24~25年度地震及び火山噴火予知のための観測研究計画「プレート境界周辺海底活断層の変動地形学的・古地震学的フィージビリティ調査」(研究代表者:名古屋大・鈴木康弘)の一環として実施されました。

【文献】

泉 紀明・加藤幸弘・西澤あずさ・伊藤弘志・渡邊奈保子・中田 高・後藤秀昭・植木俊明・梶 琢, 2011, 3秒グリッドDEMから作成したフィリピン海プレート北縁部の3D画像, 海洋情報部研究報告, 47, 83-89.

Nakata, T., Goto, H., Watanabe, M., Suzuki, Y., Nishizawa, A., Izumi, N., Horiuchi, D. and Kido, Y., 2012, Active faults along Japan Trench and source faults of large earthquakes, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, 254-262.

キーワード: 海底活断層, 断層変位地形, 歴史地震, マルチビーム音響測深, 相模トラフ

Keywords: Submarine active fault, Fault-related landform, Historical earthquake, Multi-beam echo sounder, Sagami Trough

相模トラフから房総三重会合点周辺の3D海底地形 3D bathymetric image of the Sagami Trough and the Boso Triple Junction area

泉 紀明^{1*}, 西澤 あずさ¹, 堀内 大嗣¹, 木戸 ゆかり², 中田 高³, 後藤 秀昭³, 渡辺 満久⁴, 鈴木 康弘⁵
Noriaki Izumi^{1*}, Azusa Nishizawa¹, Daishi Horiuchi¹, Yukari Kido², Takashi Nakata³, Hideaki Goto³, Mitsuhsa Watanabe⁴,
Yasuhiro Suzuki⁵

¹ 海上保安庁海洋情報部, ² 海洋研究開発機構, ³ 広島大学, ⁴ 東洋大学, ⁵ 名古屋大学

¹Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, ²Japan Agency for Marine-Earth Science And Technology,
³Hiroshima University, ⁴Toyo University, ⁵Nagoya University

A triple junction is a place where complex interactions of plates occur. The Pacific plate, the North American plate and the Philippine Sea plate collide at the junction of the Japan Trench and the Izu-Bonin Trench, and the Sagami Trough. At these trenches and their vicinity, a collision of plates builds up strain and causes intraplate and interplate earthquakes. Those imprints may have been preserved in the topography.

To understand the seafloor topography of the triple junction and its vicinity, especially spatial distribution of active submarine faults, we made detailed seafloor topographic images based on 150m DEM processed from the original data obtained by Japan Coast Guard and JAMSTEC.

地形・地質学的情報に基づく三陸沿岸部の第四紀後期における地殻変動の再検討 Reexamination of the late Quaternary crustal movements in the Sanriku Coast, Northeast Japan, based on geomorphological

石村 大輔^{1*}, 宮内崇裕¹Daisuke Ishimura^{1*}, Takahiro Miyauchi¹¹ 千葉大学大学院理学研究科¹ Graduate School of Sciences, Chiba University

東北日本弧では、地質学的手法と測地学的手法による地殻変動の速度（歪み速度や隆起・沈降速度）が異なることが指摘されてきた（池田，1996 など）。特に三陸沿岸部では、地形学的情報に基づき長期間（> 10 万年）では 0.1 mm/yr オーダーで隆起していると推定されているが（小池・町田，2001 など）、測地学的情報（潮位記録，水準測量記録，GPS 記録）では 1-10 mm/yr オーダーで沈降していることが明らかである（西村，2012）。このような矛盾は、未知の海溝型地震による隆起で解決されると想定されてきた（池田，1996）。しかし，2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震（Mw 9.0）の際には，三陸沿岸部が全域で沈降し（Ozawa et al., 2011 など），地震時に隆起は生じなかった。そこで，本研究では三陸沿岸部（八戸から鮎川）での長期間（1 万年-10 万年間）の地殻変動を再検討するために，空中写真・アナグリフ画像判読，簡易掘削調査，既存ボーリングデータの収集・分析を行った。本発表では，予察的なデータではあるが，いくつかの新知見が得られたのでそれらを報告する。

空中写真および 5 m・1 m DEM に基づくアナグリフ画像の判読を行った結果，八戸から連続的に分布する MIS 5e の種市面に対比されると考えられる段丘は，久慈までは少なくとも分布し，野田まで分布する可能性がある。野田より南では，気仙沼までは MIS 5e の海成段丘と判断できる段丘は分布しない。しかし，中期更新世に形成されたと推定される海成段丘は八戸から宮古付近まで連続的に確認することができる。気仙沼周辺では，標高 10-50 m の間に定高性のある平坦面が確認できるが，その特徴のみでは時代や海成段丘が否かを正確に判断できない。また気仙沼から牡鹿半島では，MIS 5e の海成段丘と判断できる段丘は分布しないと推定される。現地調査は，Mii (1960) や Matsu 'ura et al. (2009) が完新世の離水ベンチや MIS 5 の海成段丘を指摘されている岩井崎で行った。完新世の離水ベンチと指摘されている石灰岩の平坦面（標高 2-3m）は，Matsu 'ura et al. (2009) で指摘されている海成段丘（MIS 5a）の基盤の高さと一致し，離水ベンチと同様のものが段丘の基盤へ連続していく様子が観察された。このことから従来完新世の離水ベンチと指摘されてきた平坦面は，侵食によって出現した更新世段丘のレリック地形である可能性がある。また，MIS 5a とされている岩井崎先端の段丘構成層と風成層を確認したところ，Matsu 'ura et al. (2009) で示されている風成層（30 cm 程度）よりも厚い風成層が確認された（約 3 m）。同時に段丘構成層も確認できたが，風化がかなり進んでいる。このような特徴からこの段丘は MIS 5 よりも古い時代に形成された可能性がある。

地形判読の結果を受けて，地形学的情報のみでは正確に最近 10 万年間の地殻変動が捉えにくいいため，地下地質情報を用いて沈降している証拠が得られるか検討した。一つは既存のボーリングデータの収集，もう一つはパーカッション探土器・ハンディジオスライサーを用いた沖積低地の掘削を行った。既存のボーリングコアについては，石巻市の長面湾で掘削された約 90 m のコアを対象とし，層相の記載，¹⁴C 年代測定，テフラ分析を予察的に行った。結果，沖積層の基底は標高-54 m であり，その下位には礫層を挟んで潮汐堆積物が標高-87 m まで分布し，標高-90 m で基盤岩に達する。この潮汐堆積物と推定される地層は，¹⁴C 年代測定の測定限界よりも古いため，更新世の海成層であると推定される。現在，分析途中であるため結果をまとめて発表時に報告する予定である。宮古市では，パーカッション探土器・ハンディジオスライサーを用いて，臨海部の低地で掘削を行った。結果，十和田中掬（To-Cu）テフラ（6 ka：町田・新井，2003）が標高約-3 m から見つかかり，その下位には陸成堆積物であると判断される有機質な層が分布していた。したがって，これらの結果から完新世においては宮古周辺では沈降が卓越していることが示唆される。

このように本研究では，断片的な情報ではあるが，三陸中部から南部においては完新世もしくは更新世の間で沈降が勝っていることが示唆される。また三陸中部・南部の更新世段丘の形成年代と垂直変動史に関しては，再検討する必要がある。

謝辞：千葉大学の金田平太郎氏，河野太陽氏，丹野正浩氏，流川遥平氏，山市 剛氏，東北大学の岡田真介氏，大畑雅彦氏，寺地将史氏には，三陸沿岸部の簡易掘削調査を手伝っていただいた。掘削調査地の土地所有者の方には，快く掘削を許可していただいた。平川一臣氏，今泉俊文氏，池田安隆氏，吉田修二氏，越後智雄氏には現地で議論していただいた。第一復建株式会社の坂本省吾氏には，長面湾のコア使用に関して便宜を図っていただいた。石巻市には，長面湾のコアの使用許可をいただいた。上記の方々には，この場を借りて御礼申し上げます。

キーワード: 更新世, 完新世, 地殻変動, 海成段丘, 三陸海岸

Keywords: Pleistocene, Holocene, crustal movement, marine terrace, Sanriku Coast