

## 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<sup>1\*</sup>, 荒木 英一郎<sup>1</sup>, 北田 数也<sup>1</sup>

Toshinori Kimura<sup>1\*</sup>, Eiichiro Araki<sup>1</sup>, Kazuya Kitada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

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<sup>1\*</sup>, 荒木 英一郎<sup>1</sup>, 松本 浩幸<sup>1</sup>, 木村 俊則<sup>1</sup>

Kazuya Kitada<sup>1\*</sup>, Eiichiro Araki<sup>1</sup>, Hiroyuki Matsumoto<sup>1</sup>, Toshinori Kimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構

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

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<sup>1\*</sup>, 真田 佳典<sup>1</sup>, 木下 正高<sup>1</sup>

HungYu Wu<sup>1\*</sup>, Sanada Yoshinori<sup>1</sup>, Kinoshita Masataka<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Japan 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<sup>1\*</sup>, 山田 泰広<sup>1</sup>, 松岡 俊文<sup>1</sup>

Jun Shibamura<sup>1\*</sup>, Yasuhiro Yamada<sup>1</sup>, Matsuoka Toshifumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

<sup>1</sup>kyoto 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<sup>1\*</sup>, Shin'ichi Kuramoto<sup>2</sup>, Juichiro Ashi<sup>1</sup>

Kazuhiro Yagasaki<sup>1\*</sup>, Shin'ichi Kuramoto<sup>2</sup>, Juichiro Ashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC

<sup>1</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC

The Nankai and the Tokai Trough regions are common areas for cold seeps, an area of the ocean floor where Hydrogen Sulphide (H<sub>2</sub>S), Methane (CH<sub>4</sub>) 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<sup>1\*</sup>, 池原研<sup>2</sup>, 小嶋孝徳<sup>1</sup>, KH-11-9 乗船研究者<sup>1</sup>

Juichiro Ashi<sup>1\*</sup>, Ken Ikehara<sup>2</sup>, Takanori Ojima<sup>1</sup>, KH-11-9 Shipboard Scientists<sup>1</sup>

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

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

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<sup>1\*</sup>, 芦 寿一郎<sup>1</sup>, 坂口 有人<sup>2</sup>, 金松 敏也<sup>2</sup>, 青池 寛<sup>2</sup>, 稲垣 史生<sup>2</sup>

Satoru Muraoka<sup>1\*</sup>, Juichiro Ashi<sup>1</sup>, Arito Sakaguchi<sup>2</sup>, Toshiya Kanamatsu<sup>2</sup>, Kan Aoiike<sup>2</sup>, Fumio Inagaki<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup> 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<sup>1\*</sup>, 朴 進午<sup>1</sup>  
Kazuya Naito<sup>1\*</sup>, Jin-Oh Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup> 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<sup>1\*</sup>, 斎藤 実篤<sup>2</sup>

Takanori Ojima<sup>1\*</sup>, Saneatsu Saito<sup>2</sup>

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

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

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

Mayuko Shimizu<sup>1\*</sup>, Jun Kameda<sup>1</sup>, Yohei Hamada<sup>2</sup>, Gaku Kimura<sup>1</sup>

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

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

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

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

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>4</sup>Tokyo Gakugei University, <sup>5</sup>The Asahi Shimbunsha, <sup>6</sup>Kochi 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<sup>1\*</sup>, 阿部翔吾<sup>1</sup>, 田野宏季<sup>1</sup>, 斎藤 実篤<sup>2</sup>, 山口 飛鳥<sup>3</sup>, 亀田 純<sup>4</sup>, 浜橋 真理<sup>4</sup>, 福地 里菜<sup>5</sup>, 濱田 洋平<sup>2</sup>, 栄田 美緒<sup>1</sup>, 藤本 光一郎<sup>5</sup>, 北村 有迅<sup>2</sup>, 木村 学<sup>4</sup>

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

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

<sup>1</sup>Kochi University, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>AORI, <sup>4</sup>University of Tokyo, <sup>5</sup>Tokyo 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<sup>1\*</sup>, 後藤 秀作<sup>2</sup>, 山野 誠<sup>1</sup>, 芦 寿一郎<sup>3</sup>

Yoshifumi Kawada<sup>1\*</sup>, Shusaku Goto<sup>2</sup>, Makoto Yamano<sup>1</sup>, Juichiro Ashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研, <sup>2</sup> 産総研, <sup>3</sup> 東大大気海洋研

<sup>1</sup>ERI, Univ of Tokyo, <sup>2</sup>GSJ/AIST, <sup>3</sup>AORI, 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<sup>1\*</sup>, 対馬 弘晃<sup>2</sup>, 小林 昭夫<sup>2</sup>, 山崎 明<sup>3</sup>, 馬場 久紀<sup>4</sup>, 勝間田 明男<sup>2</sup>, 上野 寛<sup>2</sup>, 青木 重樹<sup>2</sup>, 林元 直樹<sup>2</sup>, 武藤 大介<sup>2</sup>, 吉田 康宏<sup>5</sup>, 前田 憲二<sup>2</sup>, 横田 崇<sup>2</sup>

Kenji Hirata<sup>1\*</sup>, Hiroaki Tsushima<sup>2</sup>, Akio Kobayashi<sup>2</sup>, Akira Yamazaki<sup>3</sup>, Hisatoshi Baba<sup>4</sup>, Akio Katsumata<sup>2</sup>, Hiroshi UENO<sup>2</sup>, Shigeki Aoki<sup>2</sup>, Naoki Hayashimoto<sup>2</sup>, Daisuke MUTO<sup>2</sup>, Yasuhiro Yoshida<sup>5</sup>, Kenji Maeda<sup>2</sup>, Takashi Yokota<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>2</sup>Meteorological Research Institute, JMA, <sup>3</sup>Japan Meteorological Agency, <sup>4</sup>Tokai University, <sup>5</sup>Ministry 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?

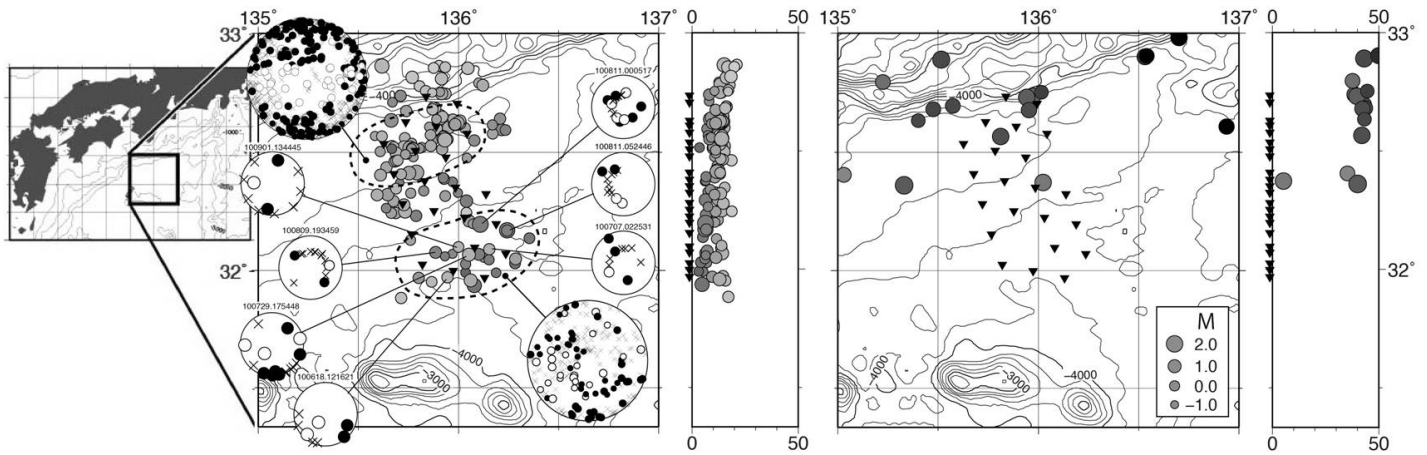
この問題を探るために、我々は2009年6月中旬潮岬沖トラフ軸からさらに南方へ、約15km間隔で24台のOBS(4.5Hz、3成分速度型)を設置し、約3ヶ月間の観測を行った。昨年度の2回の報告(平田・他、連合大会&地震学会、2012)に続き、今回、震源の深さの下限の検討ならびに発震機構について検討したのでその暫定結果を報告する。

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<sup>1\*</sup>, 下村 典生<sup>1</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>, 高橋 努<sup>1</sup>, 山本 揚二郎<sup>1</sup>, 山下 幹也<sup>1</sup>, 高橋 成実<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>, 武田 哲也<sup>2</sup>, 上野 友岳<sup>2</sup>, 汐見 勝彦<sup>2</sup>

Ayako Nakanishi<sup>1\*</sup>, Norio Shimomura<sup>1</sup>, Shuichi Kodaira<sup>1</sup>, Koichiro Obana<sup>1</sup>, Tsutomu Takahashi<sup>1</sup>, Yojiro Yamamoto<sup>1</sup>, Mikiya Yamashita<sup>1</sup>, Narumi Takahashi<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>, Tetsuya Takeda<sup>2</sup>, Tomotake Ueno<sup>2</sup>, Katsuhiko Shiomi<sup>2</sup>

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

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

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<sup>1\*</sup>, 西澤 あずさ<sup>1</sup>, 金田 謙太郎<sup>1</sup>, 及川 光弘<sup>1</sup>, 藤岡 ゆかり<sup>1</sup>

Daishi Horiuchi<sup>1\*</sup>, Azusa Nishizawa<sup>1</sup>, Kentaro Kaneda<sup>1</sup>, Mitsuhiro Oikawa<sup>1</sup>, Yukari Fujioka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁海洋情報部

<sup>1</sup>JHOD, 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 inch<sup>3</sup>) × 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<sup>1\*</sup>, 市村 強<sup>2</sup>, 兵藤 守<sup>3</sup>, 堀 高峰<sup>3</sup>, 平原 和朗<sup>4</sup>, 堀 宗朗<sup>2</sup>

Ryoichiro Agata<sup>1\*</sup>, Tsuyoshi Ichimura<sup>2</sup>, Mamoru Hyodo<sup>3</sup>, Takane Hori<sup>3</sup>, Kazuro Hirahara<sup>4</sup>, Muneo Hori<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>School of Engineering, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, <sup>3</sup>JAMSTEC,

<sup>4</sup>Graduate 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<sup>1\*</sup>, 望月 公廣<sup>1</sup>, 篠原 雅尚<sup>1</sup>, 山田 知朗<sup>1</sup>, 日野 亮太<sup>2</sup>, 伊藤 喜宏<sup>2</sup>, 村井 芳夫<sup>3</sup>, 佐藤 利典<sup>4</sup>  
Yukihiro Nakatani<sup>1\*</sup>, Kimihiro Mochizuki<sup>1</sup>, Masanao Shinohara<sup>1</sup>, Tomoaki Yamada<sup>1</sup>, Ryota Hino<sup>2</sup>, Yoshihiro Ito<sup>2</sup>, Yoshio Murai<sup>3</sup>, Toshinori Sato<sup>4</sup>

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

Nobuaki Niitsuma<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学理学部地球科学教室、仙台

<sup>1</sup> 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<sup>1\*</sup>Hirofumi Mase<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 所属なし<sup>1</sup> 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<sup>1\*</sup>

Kiyoshi Yomogida<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北大・理・地球惑星ダイナミクス

<sup>1</sup>Earth & 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ふ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<sup>1\*</sup>, 坂口 有人<sup>1</sup>, 谷川 亘<sup>1</sup>, 山本 由弦<sup>1</sup>, 山口 飛鳥<sup>2</sup>, 亀田 純<sup>2</sup>, 木村 学<sup>2</sup>

Yohei Hamada<sup>1\*</sup>, Arito Sakaguchi<sup>1</sup>, Wataru Tanikawa<sup>1</sup>, Yuzuru Yamamoto<sup>1</sup>, Asuka Yamaguchi<sup>2</sup>, Jun Kameda<sup>2</sup>, Gaku Kimura<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>The 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/m<sup>2</sup> and 6,250 s, respectively, for the megasplay, and 23,200 J/s/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 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 ( $\sim 1$ m/s) and shorter displacement ( $\sim 1$ 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<sup>1\*</sup>, 橋本善孝<sup>1</sup>, 廣瀬丈洋<sup>2</sup>, 北村真奈美<sup>3</sup>Kiyohiko Morita<sup>1\*</sup>, HASHIMOTO, Yoshitaka<sup>1</sup>, HIROSE, Takehiro<sup>2</sup>, KITAMURA, Manami<sup>3</sup><sup>1</sup> 高知大学, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 広島大学<sup>1</sup>Kochi University, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Hiroshima 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 $\mu$ 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、 $\mu$ : せん断応力 (O'Hara 2004) と  $\mu = \rho g$  : 摩擦係数、 $\rho$ : 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/cm<sup>3</sup> 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<sup>1\*</sup>

Ichiko Shimizu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, 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<sup>1\*</sup>, 山口 哲生<sup>2</sup>, 隅田 育郎<sup>3</sup>, 鈴木 岳人<sup>1</sup>, 井出 哲<sup>1</sup>  
Atsuko Namiki<sup>1\*</sup>, Tetsuo Yamaguchi<sup>2</sup>, Ikuro Sumita<sup>3</sup>, Takehito Suzuki<sup>1</sup>, Satoshi Ide<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 地球惑星, <sup>2</sup> 九州大学, <sup>3</sup> 金沢大学  
<sup>1</sup>EPS, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Kyushu University, <sup>3</sup>Kanazawa 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<sup>1\*</sup>, 堤 昭人<sup>1</sup>, 氏家 恒太郎<sup>2</sup>, 亀田 純<sup>3</sup>  
Yuka Namiki<sup>1\*</sup>, Akito Tsutsumi<sup>1</sup>, Kohtaro Ujiie<sup>2</sup>, Jun Kameda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 筑波大学, <sup>3</sup> 東京大学

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup> University of Tsukuba, <sup>3</sup> University 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<sup>1\*</sup>, 岡崎 啓史<sup>2</sup>, 片山 郁夫<sup>2</sup>  
Hiroyuki Noda<sup>1\*</sup>, Keishi Okazaki<sup>2</sup>, Ikuo Katayama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構、地球内部ダイナミクス領域, <sup>2</sup> 広島大学、理学研究科

<sup>1</sup>IFREE, JAMSTEC, <sup>2</sup>Graduate 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<sup>1\*</sup>, 武藤 潤<sup>1</sup>, 長濱 裕幸<sup>1</sup>, 石川 正弘<sup>2</sup>Hayata Tamai<sup>1\*</sup>, Jun Muto<sup>1</sup>, Hiroyuki Nagahama<sup>1</sup>, Masahiro Ishikawa<sup>2</sup><sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院<sup>1</sup>Department of Geology, Graduate School of Science, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Graduate 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<sup>1\*</sup>, 小平 秀一<sup>2</sup>, 富士原 敏也<sup>2</sup>, 佐々木 智之<sup>3</sup>, 濱田 洋平<sup>4</sup>, 浜橋 真理<sup>1</sup>, 亀田 純<sup>1</sup>, 木村 学<sup>1</sup>

Hiroaki Koge<sup>1\*</sup>, Shuichi Kodaira<sup>2</sup>, Toshiya Fujiwara<sup>2</sup>, Tomoyuki Sasaki<sup>3</sup>, Yohei Hamada<sup>4</sup>, Mari Hamahashi<sup>1</sup>, Jun Kameda<sup>1</sup>, Gaku Kimura<sup>1</sup>

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

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

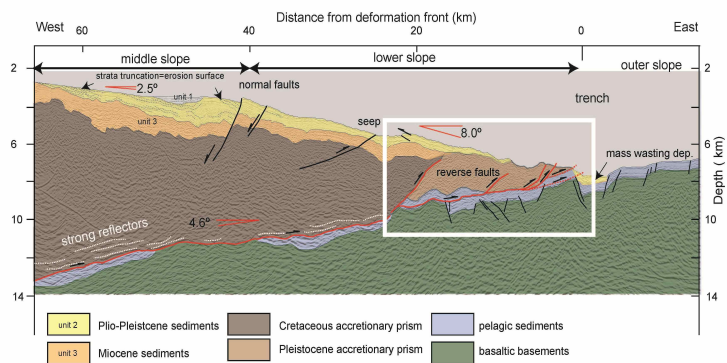
- Fujiwara, T. et al. The 2011 Tohoku-Oki earthquake: Displacement reaching the trench axis. *Science* Vol. 334,1240(2011)
- Kodaira, S et al. Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Geoscience* 5, 646-650 (2012)
- Kimura, G et al. Runaway slip to the 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<sup>1\*</sup>, 前田 憲二<sup>1</sup>  
Fuyuki Hirose<sup>1\*</sup>, Kenji Maeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup>Meteorological 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 10 km 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 3 MPa 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<sup>1\*</sup>, 兵藤 守<sup>1</sup>, 堀 高峰<sup>1</sup>  
Ryoko Nakata<sup>1\*</sup>, Mamoru Hyodo<sup>1</sup>, Takane Hori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

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<sup>1\*</sup>, 堀 高峰<sup>1</sup>

Mamoru Hyodo<sup>1\*</sup>, Takane Hori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト

<sup>1</sup>JAMSTEC 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<sup>1\*</sup>, 阪口秀<sup>1</sup>  
Takane Hori<sup>1\*</sup>, Hide Sakaguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

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

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挙動ミュレーション(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<sup>1\*</sup>, ドルジャパラム サロル<sup>1</sup>, 壇一男<sup>1</sup>, 小川幸雄<sup>1</sup>, 渡辺孝英<sup>1</sup>, 入江紀嘉<sup>1</sup>, 浦谷裕明<sup>2</sup>, 岩瀬聡<sup>2</sup>

Kenichi Tsuda<sup>1\*</sup>, DORJPALAM, Saruul<sup>1</sup>, DAN, Kazuo<sup>1</sup>, OGAWA, Sachio<sup>1</sup>, WATANABE, Takahide<sup>1</sup>, IRIE, Kiyoshi<sup>1</sup>, URATANI, Hiroaki<sup>2</sup>, IWASE, Satoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 大崎総合研究所, <sup>2</sup> 中部電力

<sup>1</sup>Ohsaki Research Institute Inc., <sup>2</sup>Chubu 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<sup>1\*</sup>, 吉岡 祥一<sup>2</sup>, 松本 拓己<sup>3</sup>

Yingfeng Ji<sup>1\*</sup>, Shoichi Yoshioka<sup>2</sup>, Takumi Matsumoto<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Kobe University, <sup>2</sup>Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, <sup>3</sup>National 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<sup>1\*</sup>, 中村 教博<sup>1</sup>, 後藤 和久<sup>2</sup>, 長濱 裕幸<sup>1</sup>, 箕浦 幸治<sup>1</sup>

Tetsuro Sato<sup>1\*</sup>, Norihiro Nakamura<sup>1</sup>, Kazuhisa Goto<sup>2</sup>, Hiroyuki Nagahama<sup>1</sup>, Koji Minoura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 東北大学災害科学国際研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Earth Science, Tohoku Univ., <sup>2</sup> 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<sup>1</sup>, 後藤 和彦<sup>1\*</sup>

IWAMOTO, Kengo<sup>1</sup>, Kazuhiko Goto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 鹿大・理工・南西島弧

<sup>1</sup>NOEV, 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、著者のひとり(後藤)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、加計呂麻島で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<sup>1\*</sup>, 松岡裕美<sup>2</sup>, 岡村真<sup>2</sup>

Takahiro Fukumoto<sup>1\*</sup>, Hiromi Matsuoka<sup>2</sup>, Makoto Okamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 高知大学大学院理, <sup>2</sup> 高知大理

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kochi Univ., <sup>2</sup>Kochi Univ.

過去の南海トラフ地震の履歴を明らかにするために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<sup>1\*</sup>, 松岡 裕美<sup>2</sup>

Makoto Okamura<sup>1\*</sup>, Hiromi Matsuoka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 高知大学総合研究センター, <sup>2</sup> 高知大学理学部

<sup>1</sup>Kochi University, <sup>2</sup>Kochi 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<sup>1\*</sup>, 佐竹 健治<sup>1</sup>

Satoko Murotani<sup>1\*</sup>, Kenji Satake<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, 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<sup>1\*</sup>, 谷岡 勇市郎<sup>1</sup>

Kei Ioki<sup>1\*</sup>, Yuichiro Tanioka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地震火山研究観測センター

<sup>1</sup>Institute 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 $1.7 \times 10^{22}$  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<sup>1\*</sup>, 中田 高<sup>2</sup>, 渡辺 満久<sup>3</sup>, 後藤 秀昭<sup>2</sup>, 鈴木 康弘<sup>1</sup>

Nobuhiko Sugito<sup>1\*</sup>, Takashi Nakata<sup>2</sup>, Mitsuhisa Watanabe<sup>3</sup>, Hideaki Goto<sup>2</sup>, Yasuhiro Suzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>名古屋大, <sup>2</sup>広島大, <sup>3</sup>東洋大

<sup>1</sup>Nagoya Univ., <sup>2</sup>Hiroshima Univ., <sup>3</sup>Toyo 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<sup>1\*</sup>, 西澤 あずさ<sup>1</sup>, 堀内 大嗣<sup>1</sup>, 木戸 ゆかり<sup>2</sup>, 中田 高<sup>3</sup>, 後藤 秀昭<sup>3</sup>, 渡辺 満久<sup>4</sup>, 鈴木 康弘<sup>5</sup>  
Noriaki Izumi<sup>1\*</sup>, Azusa Nishizawa<sup>1</sup>, Daishi Horiuchi<sup>1</sup>, Yukari Kido<sup>2</sup>, Takashi Nakata<sup>3</sup>, Hideaki Goto<sup>3</sup>, Mitsuhiro Watanabe<sup>4</sup>,  
Yasuhiro Suzuki<sup>5</sup>

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

<sup>1</sup>Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science And Technology,  
<sup>3</sup>Hiroshima University, <sup>4</sup>Toyo University, <sup>5</sup>Nagoya 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<sup>1\*</sup>, 宮内崇裕<sup>1</sup>Daisuke Ishimura<sup>1\*</sup>, Takahiro Miyauchi<sup>1</sup><sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科<sup>1</sup> 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，<sup>14</sup>C 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，<sup>14</sup>C 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