

南海トラフ沿い巨大地震の複雑な発生様式の再現を目指して(2) Simulation of the Complicated Patterns of Great earthquakes along the Nankai Trough: Part 2

弘瀬 冬樹^{1*}, 前田 憲二¹

HIROSE, Fuyuki^{1*}, MAEDA, Kenji¹

¹ 気象研究所

¹ 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)は、南海トラフ沿いで発生する巨大地震について、(A)一度に全域が破壊する、(B)東海地域が割れ残る、(C)東南海地震の約2-5年後に南海地震(の一部)が発生する、などの複雑なパターンの再現と、東海地域および豊後水道で繰り返し発生するスロースリップ現象を再現することができた。彼らは、1944年東南海地震・1946年南海地震のアスペリティ分布(Kikuchi et al., 2003, EPS; 室谷・他, 2007, SSJ)、東海地域に沈み込んだ海嶺(Kodaira et al., 2004, Science)、九州 - パラオ海嶺、スラブから脱水した水の存在が示唆される領域(Rice, 1992; Hirose et al., 2008, JGR)を考慮して特徴的すべり量(L)や有効法線応力()の値に不均質性を持たせた。しかしながら、彼らのモデルでは、歴史記録では知られていない東南海地震のみ発生するパターンも現れており、モデルの信頼性については検証が必要である。

ところで、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下、2011年東北沖地震)ではプレート境界浅部が大きく滑ったことが指摘されている(e.g., Yoshida et al., 2011, EPS)。これまで東北太平洋沖のプレート境界浅部は定常的にすべり、地震性すべりは発生しないと考えられてきた(Uyeda and Kanamori, 1979, JGR)が、この地震の発生によりその前提が誤りであったことが示された。Kato and Yoshida(2011, GRL)(以下KY2011)は、浅部に大きなLとを与えてバリアの性質を持たせることで、浅部で大きく滑った2011年東北沖地震を再現した。一方、南海トラフ沿いでは、1605年慶長地震で深さ10km以浅も破壊したと考えられている(古村・他, 2010, SSJ)。その他に南海トラフで地球深部探査船「ちきゅう」が採取した岩石の解析によって、浅部まで高速で滑った過去がある証拠も得られている(Sakaguchi et al., 2011, Geology)。本研究ではこれらの点を踏まえ、南海トラフの浅部においても地震性すべりを発生させるモデルの作成を目指した。

2. 手法

プレート境界面でのすべりの時間発展は、食い違い弾性論(Rice, 1993, JGR)による応力とComposite lawと呼ばれる摩擦構成則(Kato and Tullis, 2001, GRL)に従う摩擦力のつり合いから導出される微分方程式を、5次のRunge-Kutta法(Press et al., 1992)を用いて数値的に解いた。計算領域は、南海トラフ沿いの東海地域から種子島近海までとした。摩擦パラメータa-bはトラフ軸から深さ30kmまで負となるよう設定した。特徴的すべり量Lは、深さ10km以浅で2.0m、東海地域に沈み込む海嶺、九州 - パラオ海嶺、紀伊半島沖で0.5-1.0m、その他は0.1mとした。は密度 $1.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、gは重力加速度 9.8 m/s^2 、zは深さkm)でトラフ軸から深さとともに上昇し、深さ5.67km以深は100MPa一定とした。プレート収束速度はHeki and Miyazaki(2001, GRL)に基づき、東(1.5cm/y)から西(6.5cm/y)へ徐々に大きくなるように与えた。弘瀬・前田(2011, JpGU, SSJ)のモデルとの主な違いは、深さ10km以浅にa-b<0および大きなL=2.0mを与えたことである。

3. 結果・議論

上記パラメータを与えたところ、以下のような複雑なパターンが現れるモデルを作成することができた。

- (1) 深さ10km以浅の領域も含めて一度に全域が破壊する。
- (2) 東海地域が割れ残る。
- (3) 東南海地震の約0.5-5年後に南海地震(の一部)が発生する。
- (4) 深さ10km以浅を破壊しない東南海・南海地震が発生する。
- (5) 東南海地震が単独で発生する。

深さ10km以浅に大きなLを置いてバリアを表現したことで、数サイクルに一度の割合で浅部まで破壊する巨大地震を再現することができた。浅部を破壊しない東南海・南海地震連動ではM8.4、浅部を破壊する東南海・南海地震連動ではM8.9、浅部および東海も含めて全て破壊した場合はM9.0の規模になった。また、KY2011に倣って、大きなLだけでなく大きなを浅部に与えた場合では、よりバリアの効果は強くなるため、浅部が破壊する巨大地震の割合は減る。そして浅部に強バリアが存在する影響で地震発生層の深い方の固着の剥がれが地震間において相対的に早くなり、約10kmより深い領域では地震間の固着がかなり弱くなる。これは三角測量、水準測量、GPS等から推定された近年のすべり欠

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS38-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 15:30-17:00

損分布 (例えば, Ito and Hashimoto, 2004, JGR; Liu et al., 2010, GJI) とは整合的ではないため, 今後の検討が必要である.

キーワード: 南海トラフ, 巨大地震, シミュレーション, 特徴的すべり量

Keywords: Nankai trough, great earthquake, simulation, characteristic displacement

南海トラフでの地震発生帯の浅部延長ならびに深部延長での地震性すべりの可能性 The possibility of seismic slip in the shallow and deep extensions of the seismogenic zone in the Nankai Trough

兵藤 守^{1*}, 堀 高峰¹, 馬場 俊孝¹

HYODO, Mamoru^{1*}, HORI, Takane¹, BABA, Toshitaka¹

¹JAMSTEC 地震 LP

¹JAMSTEC seismo LP

2011 東北地震では、様々な観測データ・その解析から海溝付近での大きなすべりにより、大津波が励起されたと考えられている (Fujiwara et al., 2011, Yagi and Fukahata, 2011)。南海トラフでも、沿岸湖沼の津波堆積物から大津波の痕跡が見つかっている (岡村, 2011) が、従来は地震発生帯でのすべりが横方向に連動発生することによって大津波が引き起こされると考えられてきた。

これに対し、近年『ちきゅう』によって掘削された熊野沖のデコルマ先端部でのコアサンプルから、高速すべりがある程度長時間生じたことを示すデータが得られた (Sakaguchi et al., 2011)。これは、南海トラフでも分岐断層の活動を伴うような昭和タイプ地震のみでなく、海溝付近まで破壊する地震が過去発生したことを示唆するものである。また、地震サイクルのモデル計算からも破壊エネルギーが大きく異なるアスペリティを入れ子状に配置すること (階層アスペリティ) により、通常の地震・海溝軸付近まで破壊する地震の両者が発生しうることが示されている (Hori et al., 2009)。

これらから、南海トラフで発生しうる地震のパリエーションをシミュレーションの立場から見直すとともに、それによる津波・地殻変動が、検証可能データと矛盾しないかを検討し、南海トラフでの地震発生ポテンシャルを再考する。

本研究では階層アスペリティモデルを南海トラフに適用する。Baba et al.(2003) のプレート形状を約 2km のサブ断層に離散化し、各サブ断層が半無限弾性体を仮定した相互作用をすることで Heki and Miyazaki(2001) のプレート運動速度で各サブ断層を駆動する。尚、ここでは、モデルプレート境界最浅部 (海面下深さ 6km に設定) をトラフ軸位置と見なし、この位置の境界条件が海底面の条件と近くなるようトラフ軸位置が半無限弾性体の自由表面と一致するように境界面を調整している。

摩擦パラメータは、従来の地震発生帯を破壊エネルギー小の領域として表現するため深さ 10-20km での特徴的すべり量 $L=5\text{cm}$ とし、それ以浅では $L=10\text{m}$ 、以深では $L=1\text{m}$ となるように設定した。また、定常すべり時の摩擦係数の速度依存性を表現する $A-B$ は、深さ 30km で $A-B=0$ とし、それ以浅では $A-B<0$ (不安定すべり)、以深では $A-B>0$ (安定すべり) とする。不安定すべり域では深さ 20km で $B-A$ が最大値 0.2MPa をとり、浅くなるにつれ $B-A$ 値が単調減少し、モデル上端で 0 とする。以上条件により、海溝付近のプレート境界は破壊エネルギー大の領域としてモデル化される。

シミュレーション結果としてモーメントマグニチュードが 0.4 程度異なる 2 タイプの地震が繰り返し発生した。以下では小さい地震を小イベント、他方を大イベントと呼ぶ。小イベントから大イベントまでの間隔は 170 年であり、大イベントの発生から次の小イベントまでは 203 年となっている。小イベントでは東海から日向灘までの地震発生帯が大きくすべっており、従来提案されてきた宝永モデルと似たすべり分布となっている (Furumura et al., 2011)。これに対し、大イベントでは、深部微動域 (-35km) からトラフ軸付近までがより大きくすべっている。

得られたすべり分布から期待される地殻上下変動は、両イベントとも土佐湾沿岸で 1m 近い沈降となる。このようにヒンジラインは、両者ともほぼ太平洋岸に沿う位置となり大差は生じていない。

内陸に目を向けると、大イベントでは、より深部まで大きなすべり域が広がるため、それに伴う沈降域が大坂湾・瀬戸内にまで達する。このため、地震時における地盤の隆起沈降を考慮した津波計算によると、瀬戸内での宝永時の波高データ (松浦, 私信) と調和的な津波高が予測される。一方で従来の宝永タイプと似たすべり分布を持つ小イベントでは、大坂湾・瀬戸内に顕著な津波が到達せず、宝永時データと矛盾する。また大イベントでは、巨大津波による堆積物が見つかっている大分県の龍神池でも堆積物の生成に十分な津波高となっている。

このように、大イベントは、南海トラフでの巨大地震発生の根拠となっている観測データとある程度整合する地震といえる。ただ、このイベントでは深部 (-35km) から海溝付近までが全体として大きなすべりを引き起こしている。このため、瀬戸内・龍神池などに大きな津波を生じるのに、単純にプレート境界全体で大きなすべりが生じればよいのか、もしくは津波高の増幅に支配的な波源 (たとえば海溝軸付近での局所すべり) が必要なのかをはっきりさせることが必要となる。それにより、発生しうる大地震のパリエーションを絞り込むことが可能となる。

キーワード: 東北地震, 南海トラフ, 階層アスペリティ, 地殻変動, 津波

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS38-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 15:30-17:00

Keywords: Tohoku Earthquake, Nankai Trough, hierarchical asperity, crustal deformation, tsunami

沈み込み帯でのプレート間相互作用と球殻海洋リソスフェア座屈の関連性 Correlation between the interplate coupling and the spherical oceanic lithosphere buckling at subduction zones

江口 孝雄^{1*}

EGUCHI, Takao^{1*}

¹ 防衛大地球海洋学科

¹National Defense Academy, Japan

We present a hypothetical model of mechanical stress change on the plate interface due to the slab age increases or decrease after the major spherical buckling.

Here, we assume that the absolute plate motion velocity of the overriding lithosphere is approximately zero at a subduction zone concerned.

Spherical tectonics suggests that, in the case of both edges of the single trench segment having been fixed with the mantle frame, if the slab age is gradually increasing or decreasing, the normal stress on the plate interface, i.e., interplate coupling, will be strengthened or weakened to some extent, respectively.

In the case of the abrupt increase or decrease in the slab age, the spherical slab segment might follow the mechanical buckling theory.

The buckling sequence of the trench segment(s) during morphological transformation is not like as a step function but as a gentle curve of some short period.

This is mainly because of the rheology response for the materials concerned, not only the slab segment itself but also the passive viscous flow regime within the surrounding upper mantle layer as well as the overriding lithosphere.

キーワード: プレート間相互作用, 球殻座屈

Keywords: interplate coupling, spherical shell buckling

日本におけるプレート境界型地震の長距離相関とスペキュラティブな解釈 Large Scale Correlation of Interplate-type Earthquakes in Japan and a Speculative Interpretation

林野 友紀^{1*}

HAYASHINO, Tomoki^{1*}

¹ 東北大学ニュートリノ科学研究センター

¹ Neutrino Center, Tohoku University

2011.3.11M9.0 を経験して、日本列島全体が地震活性期に入っていると指摘されることが多くなった。1995年兵庫県南部地震(M7.3)、2000年鳥取県西部地震(M7.3)、2004年新潟県中越地震(M6.8)、2007年能登半島沖地震(M6.9)、2007年新潟県上越沖地震(M6.8)、2008年岩手県内陸南部地震(M7.2)など近年の内陸地殻内地震も、プレート境界型である3.11M9.0との関連において議論されることも少なくない。

過去を見ても、3.11と同クラスと推定される貞観地震(869年、 $M > 8.4$)に際して、その前後十数年、日本各地で大地震や著しい火山活動が相次いだとされている。それらの中には貞観地震の地震動によって誘発された事象も多いと思われるが、貞観地震以前や、関西、九州など、震源域 = 三陸沖から遠く離れた地域における地震や噴火は、貞観地震自体の地震動が直接的影響を及ぼしたものでないことは明らかである。にも関わらず、全国各地でこの時期、大地震や噴火が集中発生していたとすれば、日本列島を含む巨大な領域が、地震が発生し易い状態になっていたと推測せざるを得ない。

以上を念頭におき、気象庁震度データベースを用いて、茨城県沖プレート境界型地震と日向灘同タイプ地震の長距離相関を調べた。ここで茨城県沖は大太平洋プレートと北米プレート、日向灘はフィリピン海プレートとユーラシアプレートの接合地点であって、両地域は約1000km隔たっており、地震発生は通常独立であるとみなされている。調査した期間は1930~2010年である。ここでこの2領域はプレートカップリングが類似しているとされている。(日向灘と、茨城県沖に含まれる鹿島灘の類似については、宇津徳治著「地震学」等) 即ち本講演では、1000km離れて異なるプレートに所属するが、似た「すべり方」をすると考えられる2領域について、地震発生の相関を調べたことになる。

それにより以下が明らかとなった。(不等号は“=”を含む)

- (1) 茨城県沖 $M > 5.7$ 地震の平均発生率は0.81回/年。
5年を1単位(1 bin)として時間変動を見ると、最大9回、最少1回と大きな変動を示し、20数年周期の増減を伺わせる。
- (2) 日向灘 $M > 5.5$ 地震の平均発生率は0.45回/年。
5年を1 bin で表すと、茨城県沖と類似した時間変動を示す。
- (3) 茨城県沖において $M > 5.7$ 地震平均回数/bin(5年)を上回る時期を H(high) phase、平均以下を L(low) phase として、それぞれの時期について日向灘での $M > 5.5$ 地震回数は次のようになる。

茨城県沖 日向灘/5年(統計誤差のみ)

H phase ; 4.3 +/- 1.0

L phase ; 1.5 +/- 0.4

誤差は大きい、H phase は L phase の3倍に達する。

現統計ではこの相関を確かな信号として確定することは難しいが、異プレート間の長距離相関の存在を示唆するものと言える。

ここで地震回数は本震のみを数え、余震と判断されるものは統計には入れていない。

2010年までの過去80年において、かかる相関が成立しているなら、日本列島全体に亘って少なくともプレート境界型地震発生が共通して亢進している時期と、そうでない時期が存在することになる。

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS38-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 15:30-17:00

講演では、余震の判定条件等カタログ解析の詳細にも触れ、解析領域における地震発生の周期性や同期性を示す。更に 1000km オーダーの大スケールに亘って同期性 (正相関) を引き起こすメカニズムについて、定性的な考察を行う。

キーワード: プレート境界型地震, 時間変動, 長距離相関, 気象庁震度データベース
Keywords: interplate-type earthquake, time variability, long range correlation

津波波形解析より推定した千島沖巨大地震の破壊域の関係

Relations of rupture area of great Kurile earthquakes estimated by tsunami waveform analysis

伊尾木 圭衣^{1*}, 谷岡 勇市郎¹

IOKI, Kei^{1*}, TANIOKA, Yuichiro¹

¹ 北海道大学地震火山研究観測センター

¹ ISV, Hokkaido University

太平洋プレートは千島列島の下に年間約 8 cm の割合で沈み込む。そのため千島沈み込み帯では巨大地震が多く発生する。1963 年 10 月 13 日択捉島沖でプレート境界型の巨大地震が発生した (Mw 8.5, Mt 8.4)。この地震の震源は 44.8 °N, 149.5 °E, 深さ 60 km に位置する。また 10 月 20 日に 44.7 °N, 150.7 °E, 深さ 10 km を震源とする最大余震が発生した (Ms 7.2, Mt 7.9)。この最大余震は地震の規模のわりに大きな津波を発生させた津波地震となった。2006 年千島沖地震は 1963 年本震の北東側で発生し、震源は 46.6 °N, 153.2 °E, 深さ 30 km に位置する。1963 年本震と 2006 年千島沖地震のあいだに空白域は存在するか、1963 年本震と最大余震の破壊過程を理解するため、太平洋やオホーツク海沿岸の検潮所で観測された津波波形を用いて 1963 年本震と最大余震のすべり量分布を求めた。本震の場合、地震モーメントは 2.4×10^{21} Nm (Mw 8.2) と求められた。2006 年千島沖地震は 1963 年本震の北東側で発生したが重複しておらず空白域も存在しない。最大余震の場合、すべり量が大きい場所は海溝付近にみられ、津波地震となった。地震モーメントは 1.0×10^{21} Nm (Mw 7.9) と求められた。1958 年 11 月 6 日、1963 年地震の南西側で Mw 8.3 の地震が発生した。この地震はスラブ内地震で震源は 44.4 °N, 148.6 °E, 深さ 80 km に位置する。本研究では走向、すべり角は固定し、傾斜、深さ、すべり量を津波波形解析により求めた。傾斜 40 °, 深さ 37.5 km の場合、最も観測波形と合う断層モデルとなった。津波波形インバージョンにより求められた地震モーメントは 1.7×10^{21} Nm (Mw 8.1) となった。1969 年北海道東方沖地震について、この地震は 1963 年千島沖地震の南西側で発生したプレート境界型地震である。震源は 43.2 °N, 147.5 °E, 深さ 33 km に位置する。1963 年千島沖地震、1973 年根室沖地震との関係を調べるため、津波波形インバージョンにより 1969 年地震のすべり量分布を求めた。1973 年地震はプレート境界型地震で、震源は 43.0 °N, 146.0 °E, 深さ 40 km に位置する。1969 年地震の地震モーメントは 1.1×10^{21} Nm (Mw 8.0) と求められた。1963 年地震と 1973 年地震はそれぞれ 1969 年地震の北東側、南西側で発生したが、重複はせず空白域も存在しないことがわかった。

キーワード: 津波, 巨大地震, 千島海溝

Keywords: tsunami, great earthquake, Kurile trench

M=9.0 東北地震と津波についての新解釈 M=9.0 Tohoku Earthquake and tsunami; a new interpretation

丸山 茂徳^{1*}
MARUYAMA, Shigenori^{1*}

¹ 東京工業大学
¹Tokyo Institute of Technology

M=9.0 Earthquake:

M=9.0 earthquake occurred at 3.11, 2011 and its unusually large magnitude has been discussed since then. Here I propose a different process from the Benioff plane origin, but along a spray-fault that destroyed the fore-arc region. This is a process of tectonic erosion to break the hanging wall of overriding lithosphere, and transport it into deep mantle, presumably in mantle transition zone to develop the 2nd Continents through time.

Origin of spray faults is a manifestation of physically unstable triangular region between material boundary (trench) and physical boundary (spray fault). The tightly connected Benioff thrust dragged down the frontal part of overriding plate to reactivate the spray fault to form M=9.0 earthquake.

Tsunami:

The spray fault occurs right below the trench-slope break which is a turning point of slope change from shallow to deep trench inner wall. Right above the fault, sedimentary basin is present. Huge-scale submarine landslide occurred by the collapse of fulfilled sedimentary basin, which caused the tsunami off Sendai.

The river drainage system on NE Japan is remarkably different from SW Japan. Two major rivers, one from the north and another from the south to transport the eroded sediments on NE Japan meet in Sendai to carry them in the sedimentary basin off Sendai. This basin will periodically collapse, say, every 1000 years, to trigger tsunami.

余効滑り域は2011年東北地方太平洋沖地震のバリアーだったのか？ Have the prior afterslip areas been barriers to the 2011 Tohoku earthquake?

川崎 一朗^{1*}

KAWASAKI, Ichiro^{1*}

¹ 立命館大歴防・東濃地震科学研

¹DMUCH, Ritsumeikan U. and TRIES

2011年東北地方太平洋沖地震に対して多くの破壊拡大プロセスモデルが出された (Koketsu et al., 2011; Shao et al., 2011; Suzuki et al., 2011; Yoshida et al., 2011; Yagi and Fukahata et al., 2011; Ide et al., 2011)。詳細はモデルによって微妙に異なるが、共通点は次の3点であろう。

(共通点1) 断層滑りが40mから50mに達する主要破壊は、北緯37.5-38度から北緯39度までのほぼ南北150kmで起こり、ほぼ1分間、この部分で滑り続けた。

(共通点2) 北へ向かう破壊は北緯39度でほぼ停止した。

(共通点3) 初期破壊からほぼ1分後、破壊は北緯37.5-38度を越えて南に向かって拡大したが、滑り量は1桁小さい。主要な相違点は

(相違点1) 主要破壊が、北緯37.5-38度から北緯39度のうち東経143より陸側(2005年宮城沖地震の震源域)に及んだかどうか。海溝近傍で大きな滑りがあるモデルでは、主要アスペリティは及んでいないか、及んでいても滑り量が1桁小さい傾向がある。

Mitsui and Iio (2011) は、(共通点1)の特徴を、ローカルな大滑りが周辺を引きずって大きく滑らせるタイプの事件であることを示し、プレート境界面に引きずり込まれた海底火山が存在する可能性を示唆するものと見なした。

疑問は、滑りが40mから50mに達する主要破壊がどうして北緯39度で停止したのか？ 1分間もなぜ北緯37.5-38度を越えることが出来なかったのか？ 南に拡大した破壊に伴う滑り量がなぜ1桁小さいのか？である。

1990年代、余効滑りやサイレント地震が発見されるようになった。図1は、この地域で現在までに発見された余効滑りのマッピングである。北緯39度~39.5度には1992年三陸沖地震(Mw6.9)、北緯39.5度~40度には1989年三陸沖地震(Mw7.4)、北緯40度~41度には1994年三陸沖地震(Mw7.7)の余効滑り域が分布し、北緯37-38度には2008年福島県沖地震の余効滑り域が分布する。

Yoshida and Kato (2003) は、断層滑りの摩擦法則に立脚する数値シミュレーションに基づき、Silent earthquake と afterslip ではテクトニックな意味が異なることを明確にした。彼らによると、断層滑りの摩擦の特性は、摩擦定数(a-b)、封圧、特徴的長さ(断層のstiffnessの逆数)lで決まる。単純化すると、滑りは次の4つのモードに分けることができる。

(K1) アスペリティ。(a-b)<0、l~小の領域。

(K2) 遷移モード。(a-b)<0、l~中間の領域。地震サイクルの後半で間欠的にサイレント地震が起こる。

(K3) 準定常滑りモード。(a-b)<0、l~大の領域。地震サイクルの前半で固着、後半で定常滑り。

(K4) 定常滑りモード。(a-b)が正の領域。固着ステージが無く、常に安定滑りをしており、近隣のアスペリティで起こった動的破壊が侵入してきた場合にはバリアーとしてはたらし、余効滑りとなる。

以上の議論をもとに、ここでは、極端に単純化して、次の仮説を提出しておきたい。

(仮説) 主要アスペリティの外側部にバリアー(余効滑り域)が控えていたので、主要アスペリティは北緯39度を越えられず、北緯37.5-38度を越えるのに1分もかかった。東経143より西側に及ばなかった(及んだとしても滑りが小さい)のも同じ理由による。

過去1000年以上も大きな地震が起こったことのない不思議な場所とされていた北緯39(38.5)度~40度、東経142度~143度が、余効滑りの目玉になっている(国土地理院、2011)ことは、この部分が(K4)の領域であるとするのが分かりやすい。

このような仮説をあえて提唱するのは、「滑り量が桁違いの東北地方太平洋沖地震のアスペリティと多地震のアスペリティが重複していない」ことが、「巨大地震のアスペリティが重複しない」ことの類似として語られることに違和感を持ったからである。

以上の議論は非常に荒っぽく、今までに出された断層破壊拡大プロセスモデルでは、確かな結論は出せない。ここでは、ただ、忘れられがちな摩擦滑りの摩擦法則に立脚した議論の重要性を改めて強調しておきたい。

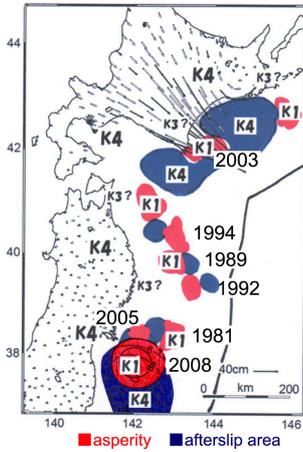
キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, アスペリティ, 余効滑り, 滑りのバリアー, 断層滑りの摩擦法則

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, asperity, afterslip, barrier, friction law

SSS38-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 15:30-17:00



日本海溝とその周辺の活断層と巨大地震 Active faults and large earthquakes around the Japan Trench

渡辺 満久^{1*}, 中田 高², 鈴木 康弘³, 後藤 秀昭², 隈元 崇⁴, 徳山 英一⁵, 西澤 あずさ⁶, 木戸 ゆかり⁷, 室井翔太⁴
WATANABE, Mitsuhisa^{1*}, NAKATA, Takashi², SUZUKI, Yasuhiro³, GOTO, Hideaki², KUMAMOTO, Takashi⁴, TOKUYAMA, Hidekazu⁵, NISHIZAWA, Azusa⁶, KIDO, Yukari⁷, Shota Muroi⁴

¹ 東洋大, ² 広島大, ³ 名古屋大, ⁴ 岡山大, ⁵ 東京大, ⁶ 海上保安庁, ⁷ 海洋研究開発機構

¹Toyo Univ., ²Hiroshima Univ., ³Nagoya Univ., ⁴Okayama Univ., ⁵Univ. of Tokyo, ⁶Japan Coast Guard, ⁷JAMSTEC

南海トラフ・相模トラフ・日本海溝周辺には、長さ数 10~500km の活断層が多数確認され、累積鉛直変位量は数 100~数 1,000 m に達している。したがって、これらの活断層が固有の地震を繰り返し発生させてきたことは確実である。しかし、プレート境界において発生する巨大地震に関しては、これらの海底活断層には注意は払われていない。歴史地震の震源域と海底活断層の位置は重なることが多いので、巨大地震と海底活断層との関係を詳しく検討する必要があると思われる。

本報告では、日本海溝周辺における海底活断層の分布と歴史地震の震源域との対応を提示する。その上で、大きな地震空白域が存在することなどを指摘し、地震発生予測に係わる基礎的資料を提供する。本研究では、平成 23 年~25 年度科学研究費補助金(基盤研究(B))研究代表者:中田 高、平成 21~24 年度科学研究費補助金(基盤研究(C))研究代表者:渡辺満久)を使用した。

2 使用データと画像

海上保安庁海洋情報部と JAMSTEC の統合測深データ(0.002° 間隔、東経 138-147°・北緯 34-42°)と、250m グリッド地形 DEM(岸本、2000、地質調査所研究資料集)を用いて、グリッドデータを作成した。これをもとに、立体視可能なアナグリフ画像を作成し、陸上における変動地形解析と同様の方法によって活構造図を作成した。アウターライズの地形解析も行ったが、以下では海溝陸側斜面の活構造だけを記載する。

3 海底活断層の特徴

三陸沖や房総半島沖の海溝斜面基部には、長さ 200km 程度の活断層が複数認定できる。三陸沖の活断層は、そのトレースの特徴から、大規模な正断層の可能性が高い。三陸沖以北から茨城沖までの海溝軸の陸側近傍にも、長短の正断層が多数発達する可能性がある。

三陸北部沖から茨城県沖にかけて、比高 1,000~3,000 m の撓曲崖が連続しており、延長約 500km 程度の長大な逆断層が存在することがわかる。この活断層のトレースは、牡鹿半島の東南東では海溝軸付近にあるが、それ以外の地域では海溝軸から数 10km 陸側(西側)にある。その上盤側には変位の累積を示す高まり(背斜)が連なり、断層面が地下浅部で高角となり、大きな垂直変位を生じている可能性を示している。これらの変動地形の分布範囲は、3.11 地震の震源域とはほぼ一致している。さらに陸側には、M7~8 の歴史地震の震源域に対応するように、一回り小規模な逆断層が複数認められる。

千島海溝においては、海溝軸の活断層と、その陸側の海溝斜面中部に海溝と並走する長い活断層が確認できる。これらの活断層は、上記の日本海溝軸およびその陸側の活断層とは連続していない。また、鹿島海山付近から南へ連続する活断層は次第に不明瞭となる。これとは別に、房総沖から三重会合点以南にかけての海溝軸の陸側に、比高 2000 m、延長 300km に達する変動崖が連続する。また、三重会合点より南では、さらに西側に比高 3000 m を超える大規模な撓曲崖が発達している。

4 考察

311 地震は、その位置・形状から、上記した延長約 500km の長大な逆断層が引き越した可能性が高い。この撓曲崖(断層崖)の比高は 1,000 m 以上に達しており、同様の固有地震が繰り返されていると考えられる。この地震は複数の破壊領域が連動したものであり、海底活断層とは無関係であるという見解もある。その理由として、津波の波源域が海溝軸に達しており、上記の長大な活断層の分布域とは異なるという「誤解」がある。海溝軸付近で大きな変動が確認されている牡鹿半島の東南東では、我々が提示した長大な活断層もまさに海溝軸付近を通過しており、「観測事実」と一致している。それ以外の地域では、海溝軸から数 10 km 西にトレースをもつ活断層による変位が大きな津波を発生させたと考えても、何ら問題はない。長さ 500km の活断層が繰り返し活動している事実は重要である。その他の歴史地震の震源域と活断層との対応もよく、実在する活断層の位置・形状をもとに、地震の発生位置や規模を想定すべきである。その観点からみて、下北半島東方と房総沖の三重会合点付近の活断層は、比較的明瞭な地震空白域にあり、今後十分な注意を払う必要がある。

キーワード: 海底活断層, 巨大歴史地震, 津波, 地震空白域, 日本海溝

Keywords: submarine active fault, large historical earthquake, tsunami, seismic gap, Japan Trench

青森県東通村における古津波堆積物調査

Preliminary report on paleotsunami deposits survey in Higashidori Village, Aomori Prefecture, northern Japan

谷川 晃一郎^{1*}, 澤井 祐紀¹, 宍倉 正展¹, 行谷 佑一¹

TANIGAWA, Koichiro^{1*}, SAWAI, YUKI¹, SHISHIKURA, Masanobu¹, NAMEGAYA, Yuichi¹

¹産総研, 活断層・地震研究センター

¹Geological Survey of Japan

2011年東北地方太平洋沖地震の震源域は岩手県沖から茨城県沖にかけて約400kmに及んだが、この地震により破壊領域の北側(三陸沖北部)と南側(房総沖)では歪みのバランスが変わり、次の巨大地震が発生するのではないかと懸念されている(Simons et al., 2011)。このことから、下北半島周辺や房総半島周辺において過去に起こった地震・津波の履歴の解明が求められている。特に下北半島周辺については、千島海溝と日本海溝との境界付近に面しており、これらの海溝沿いで知られている千島の500年間隔地震や1611年慶長三陸地震、869年貞観地震といった過去の巨大地震の破壊領域の評価においても重要な地域である。こうした背景から、演者らは青森県東通村・六ヶ所村・三沢市において古津波堆積物調査を開始した。採取した試料の分析を現在行っているため、最終的な結論には至っていないが、津波堆積物の可能性がある砂層が東通村で見つかったので報告する。

調査地点は東通村小田野沢の海岸から約700m内陸に位置する標高約4~6mの低湿地である。調査はハンドコアラーとハンディジオスライサーを用いて行い、海岸にほぼ直交する約400mの測線上12地点で最大で深さ3.8mまで掘削を行った。

採取試料は主に粘土、泥炭質粘土、泥炭で構成され、3地点で深さ約50~60cmに10世紀に降下したとされる白頭山苦小牧火山灰(B-Tm)がみられた。海側の4地点では、層厚2cm以上の砂層が最大3枚、上位から深さ約50cm, 約200~240cm, 約250~300cmに分布する。これらの砂層は中粒砂~粗粒砂を主体とし、石英を多く含む。砂層の多くは、下限が明瞭な地層境界、上限が遷移的な境界となっており、級化構造の発達するものもみられた。

最も海側の地点では、深さ約50cmに層厚約4cmの砂層がみられ、砂層の6~7cm下位にはB-Tmがパッチ状に分布する。砂層の直下1cm, 2cmで採取した種子のAMS年代測定からは、それぞれ 395 ± 95 cal BP, 385 ± 85 cal BPの年代が得られた。今後さらに年代測定や珪藻化石分析などを行う予定である。

文献

Simons et al. 2011. The 2011 magnitude 9.0 Tohoku-Oki Earthquake: Mosaicking the megathrust from seconds to centuries. *Science* 332, 1421-1425, doi: 10.1126/science.1206731.

キーワード: 津波堆積物, 下北半島, 日本海溝, 千島海溝

Keywords: tsunami deposit, Shimokita Peninsula, Japan Trench, Kuril Trench

1605年慶長地震における八丈島の津波痕跡高の再検討 Reexamination of the tsunami trace of Hachijo Island in the 1605 Keicho earthquake

古村 孝志^{1*}, 今井 健太郎³, 前田 拓人¹, 原田 智也²
FURUMURA, Takashi^{1*}, IMAI, Kentaro³, MAEDA, Takuto¹, HARADA, Tomoya²

¹ 東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター / 地震研究所, ² 東京大学地震研究所, ³ 東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター

¹CIDIR/ERI Univ. Tokyo, ²ERI UnlessTokyo, ³DCRC Graduate School of Engineering, Tohoku Univ.

< 1605年慶長地震における八丈島の津波高 >

1605年慶長地震では、津波が千葉県房総半島から九州の鹿児島湾までの広範囲に襲撃したが、揺れによる被害はほとんど無かったことから、津波地震であったと考えられている。

南海トラフ地震の地震津波想定のために、慶長地震の波源モデルの理解は急務である。しかしながら、17世紀初頭幕藩体制の草創期であり、政治機構の整備が進んでおらず、史料の残存状況が良くない時期である。その中で、八丈島で津波により57名(75名との説もある)が死亡したという記録は重要であり、羽鳥(1975)は『八丈実記』の記述をもとに、最大10-20mの津波が襲撃した可能性を指摘しており、南海トラフ地震による小笠原諸島や東海～関東にかけての津波防災に大きな影響を与えている。

東海道沖～駿河湾を震源とする東海地震タイプの波源域を想定した津波シミュレーションでは、八丈島の津波高は5～6m程度に止まり、10mを越える津波の再現はよほど特殊な事象を考えないと再現は難しい。相田(1981)は、この高い津波を説明するには、たとえば東海道沖の南海トラフ沿いの波源域に加え、房総沖の相模トラフ沿いと伊豆・小笠原・小笠原海溝沿いにも波源域を置いた、極端な波源モデルが必要になることを述べている。一方、山本(1995)は、『八丈実記』に記された津波の記録伝承、当時の集落の位置や、島の地形を精査して、慶長地震における八丈島の津波高は10mに達していなかった可能性を指摘している。渡辺(1998)も、慶長地震の八丈島の津波高として10m以内(7～8m)としている。

八丈島の慶長地震津波の再検討のために、『八丈実記』の記述の再精査と、現地調査を行なった(2011年9月25～27日)。

< 『八丈実記』に記述された海嘯(津波) >

『八丈実記』は、近藤富蔵が八丈島に流罪中の1848～1861年に、島内に存在する諸記録をもとに編纂したものである。原本は東京都公文書館に所蔵されており、活字本が八丈実記刊行会により7巻本として刊行され、その第6巻第7編「天変地災諸病」に、慶長地震(1605年)、延宝房総沖地震(1677年)、元禄関東地震(1703年)、宝永地震(1707年)などによる強い揺れと海嘯(津波)の記録や伝承がまとめられている。これを読むと、島の西側海岸に近く、当時の島の人口の多くが集まる、八戸(谷ヶ里、八トヶ原)の津波被害が詳細に記され、その規模と被害は以下のように読み取ることができる:【1605年慶長地震】津波が上がって、谷ヶ里の村の下が残らず打ち払われた。島の田地も多く損失し、大幅な年貢の引き下げがあった。【1677年延宝房総沖地震】谷ガ里の半ばまで波が入り、島の13艘の船が波に取られた。【1703年元禄関東地震】大波打ち上げ八トヶ原の半分、稲宮山(今の弁天山)の左右を打ち払って、蒔きつけた麦・芋・あしたばが全滅した。御蔵役の道具が、屋敷・石垣ともに引き払われ、島の漁船が流された。【1707年宝永地震】ヨダ(津波)が少し入った。末吉村(八丈島の南部)へ波がよほど(激しく)揚がった。

< 慶長地震における八丈島の津波高の解釈 >

このように、4地震の津波被害の記述を比較すると、慶長地震津波は元禄関東地震津波より低かったことがわかる。これより高い津波は延宝房総沖地震、元禄関東地震の時であり、八トヶ原の半分、稲宮山(今の弁天山;すそ野の標高10m)の左右を打ち払って浸水したことから、10m以上の津波は不自然ではない。おそらく、羽鳥(1975)はこの元禄関東地震の津波と混同した可能性がある。

慶長地震の津波は、「谷ヶ里の村の下が残らず打ち払われた」とあるように、八戸集落の下、現在の八重根港と八重根漁港の付近までにとどまり、高台にある八戸集落までは浸水していない。宇佐美(2003)によると「谷ヶ里の家残らず流失し」とあるが、『八丈実記』の「谷ヶ里の下残らず流失し」の転載の誤りであろう。

慶長地震による津波被害が島の西側海岸に限定されることも、波源の位置を考える上で注目に値する。当時の東側海岸に集落がなかったことが要因の可能性もあるが、島周りを回折する津波の特性により、西側海岸のほうが津波が高くなる効果も考えられ、精査が必要である。

以上より、山本(1975)や渡辺(1998)が以前から指摘しているように、慶長地震の津波高は、島の西側海岸(現在の八重根港付近、八戸の集落の下付近)では10mには達せず、最大で7～8m以下と考えるのが適当である。

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS38-P10

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 15:30-17:00

<謝 辞>

八丈町教育委員会の林薫先生には、現地を詳細に案内していただき、島の歴史と津波資料について教えていただいた。八丈町役場および東京都八丈支所から資料を提供していただいた。東大地震研の西山昭仁博士には、『八丈実記』について詳しく教えていただいた。本研究は、文科省委託研究「連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究」により行われた。

西南日本における超巨大地震の可能性 Possibility of a hyper earthquake in Southwestern Japan

古本 宗充^{1*}

FURUMOTO, Muneyoshi^{1*}

¹ 名古屋大学・環境学研究科

¹Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies

現在駿河トラフ-南海トラフにかけての最大地震として、1707年宝永地震を上回るM9クラスの地震が想定されている。この想定では連動するセグメントを増やしたり、プレート境界の浅部と深部領域を含むようにして断層面積を大きくしているが、滑り量自体を特段大きくしてはいない。西南日本では100年程度の間隔で巨大地震が繰り返しているが、各巨大地震のイベント時にそれまで蓄積された滑り欠損がすべて解消されているかどうかは不明である。東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえるならば、1000年単位の期間滑り欠損の一部が蓄積され続け、それが数十m分になる可能性が残っている。この問題を検証するには、過去1000年間程の歴史地震のデータでも不十分であり、地質学や考古学のデータなどが必要である。ここでは縄文海進(約6000年前)以降に形成された海岸段丘に基づき、超巨大地震が存在した可能性が高いことを報告する。

西南日本沈み込み帯に沿う御前崎、潮岬、そして室戸岬にはこの期間に3-4回の大きな隆起が起きたことを意味する段丘面が発達している(藤原他, 2004; 宍倉他, 2008; 前空, 2001)。その回数や規模からみて、宝永型を含めた巨大地震に伴ったものでないと考えられる。御前崎の段丘形成年代はあまり精密には決まっていないが、潮岬と室戸岬では推定時期の幅が比較的狭い。この両者の形成年代は、約4500-4800年前、約2700-3000年前、約1800年前、そして数百年前でそろっている。年代の精度はないが、御前崎でも同程度のイベント数であり、似た間隔のはずである。これらの隆起は近傍の分岐断層などが活動した可能性もあるが、2地点の時期がほぼ一致していることは、広域の運動である可能性を強く示唆している。

これらに加えて、富士川河口付近、足摺岬、そして宮崎県でも同時期に数段の段丘形成がみられる。また西南日本各地で1000年オーダーの間隔で上下変動をしていた痕跡がみられる。これらは通常の巨大地震よりさらに大きな変位量をもった超巨大地震が1000~2000年間隔で発生していることを示していると考えられる。

キーワード: 沈み込み帯, 段丘

Keywords: subduction zone, terrace

遠州灘沿岸浜名川低地の堆積物中から見出された2層の歴史津波堆積物 Two historical tsunami deposits recognized in the core sediments along the Hamana River on the Enshu-nada coast, Central

佐藤 善輝^{1*}, 藤原 治², 小野 映介³, 矢田 俊文⁴, 海津 正倫⁵

SATO, Yoshiki^{1*}, FUJIWARA, Osamu², ONO, Eisuke³, Toshifumi Yata⁴, UMITSU, Masatomu⁵

¹九州大学大学院・日本学術振興会特別研究員, ²産総研 活断層・地震研究センター, ³新潟大学教育学部, ⁴新潟大学人文学部, ⁵奈良大学文学部

¹Kyushu Univ., JSPS Research Fellow, ²AFERC, AIST, ³Faculty of Education, Niigata Univ., ⁴Faculty of Humanities, Niigata Univ., ⁵Faculty of Letters, Nara Univ.

浜名湖周辺では南海トラフ沿いで発生した海溝型地震や津波に伴って、繰り返し被害を受けてきたことが知られている(静岡県 1996)。本研究では、藤原ほか(2010)によって浜名湖南西部の浜名川低地で掘削された新居 No.1 コア中に含まれる珪藻化石群集について分析を行い、歴史地震に伴うと推定される環境変化について検討した。その結果、1498年に発生した明応地震後に急速に環境変化が生じたことが明らかになり、さらに明応地震より後の時代の地震によると考えられる津波堆積物が新たに認定された。

新居 No.1 コアは更新世後期の海成段丘と完新世の砂丘列との間に分布する氾濫原で掘削された。氾濫原は浜名川の旧流路跡と後背湿地からなる。氾濫原を東流する浜名川は中世までは現在と異なって浜名湖から遠州灘に流れており、明応地震の津波による土砂移動によって河道が閉塞された可能性が指摘されている(藤原ほか 2010)。新居 No.1 コアの上部約 7 m が完新統(最上部の約 0.65 m は盛土)に相当し、浜名川の流路堆積物(層厚約 3.45 m)とそれを覆う湿地堆積物(層厚約 2.9 m)によって構成される。流路堆積物のうち最上部約 0.9 m は礫質で貝化石を含む砂層からなり、¹⁴C年代測定の結果から明応地震に伴う津波堆積物である可能性が指摘されている(藤原ほか 2010)。分析は流路堆積物最上部および湿地堆積物を対象とし、0.02~0.41 m 間隔で採取した計 33 試料について行った。なお、流路堆積物の下部についても分析を行ったが、珪藻化石が産出しなかった。採取した試料は小杉(1993)の方法に準拠して処理と封入を行い、分析用プレパラートを作成した。光学顕微鏡を用いて 1000 倍の倍率で検鏡し、200~300 殻程度を目安として種の同定および計数を行った。

分析の結果、湿地堆積物は下位から順に珪藻帯 I~V の計 5 帯に細分できることが明らかになった。珪藻帯 I は流路堆積物上部(深度 3.54 m~3.70 m)と湿地堆積物最下部(深度 3.34~3.52 m)で、汽水~海水生種の *Cocconeis scutellum* が 20% 程度、*Achnanthes hauckiana* が 5~10% 程度と優占して産出する。珪藻帯 II (深度 2.53~3.32 m) では *C. scutellum* や *A. hauckiana* の産出頻度が 10% 以下に減少し、かわって淡水~汽水生種の *Staurosira construens* が 20~50% 程度、*Synedra tabulata* や *Cocconeis placentula* が 10% 前後産出するようになる。珪藻帯 III (深度 1.36~2.40 m) および珪藻帯 V (深度 1.16~0.96 m) では珪藻帯 II と同様に *S. construens* が優占するが、*S. tabulata* や *C. placentula* がほとんど産出しなくなり、淡水生種の *Pinnularia* 属が 2~5% 産出する。珪藻帯 IV (深度 1.27~1.33 m) は湿地堆積物中に挟在するシルト層と細粒砂層の細互層(深度 1.25~1.33 m)に相当し、*S. construens* が 5~10% 程度と減少して外洋指標種群の *Thalassiosira* sp. が 10~40% に増加する。この泥層は側方への連続性が認められ、新居 No.1 コアの東方に位置するコアでも確認できる。

珪藻帯 II 以降では汽水~海水生種が減少して淡水~汽水生種や淡水生種が顕著に増加することから、珪藻帯 I に比べて海水の影響を受けにくい環境(淡水~汽水の湿地や池沼)に変化したと考えられる。明応津波堆積物と考えられる層準を挟んだ珪藻帯 I から II への環境変化は、津波後急速に環境変化が生じたことを示唆している。また、珪藻帯 IV は珪藻帯 III・V とは群集組成が大きく異なり、汽水~海水生種が多産する。外洋指標種とされる *Thalassiosira* sp. の多産は海水が流入したことを示唆しており、この区間の堆積層は津波堆積物である可能性が高い。既存の年代測定値を考慮すると、1707 年宝永地震あるいは 1854 年安政地震に伴う津波堆積物である可能性がある。この層準が津波堆積物であるとすると、泥質な層相を示すことから津波堆積物の先端付近(藤原ほか 2011)に相当すると考えられ、堆積物の分布傾向から津波は今切口側から浜名川沿いに遡上したと考えられる。この泥層は少なくとも 8 cm の層厚を有しており、浸水限界はさらに内陸(低地西方)へ伸びていた可能性がある。

文献

小杉正人 1993. 珪藻. 『第四紀試料分析法 2 研究対象別分析法』, 245-252. 東京大学出版会.

静岡県 1996. 静岡県史別編 2 自然災害誌, 808pp.

藤原 治ほか 2010. 1498 年明応地震による遠州灘沿岸浜名川流域の地形変化 - 掘削調査による地質学的検討 - . 歴史地震 25, 29-38.

藤原 治ほか 2011. 2011 年東北地方太平洋沖地震津波で千葉県蓮沼海岸(九十九里海岸中部)に形成された堆積物. 活断層・古地震研究報告, 11, 1-10.

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS38-P12

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 15:30-17:00

キーワード: 浜名湖, 津波堆積物, 明応地震, 珪藻化石群集, 南海トラフ

Keywords: Lake Hamana, Tsunami deposit, Meio earthquake, Diatom fossil assemblage, Nankai trough

物理検層・掘削コアから示唆されるプレート境界化石分岐断層の岩石物性 Petrophysical properties of fossilized seismogenic megasplay fault

浜橋 真理^{1*}, 斎藤 実篤², 木村 学¹, 山口 飛鳥¹, 福地 里菜³, 亀田 純¹, 濱田 洋平¹, 藤本 光一郎³, 橋本 善孝⁴, 比名 祥子¹, 栄田 美緒⁴, 北村 有迅², 水落 幸広⁵
HAMAHASHI, Mari^{1*}, SAITO, Saneatsu², KIMURA, Gaku¹, YAMAGUCHI, Asuka¹, FUKUCHI, Rina³, KAMEDA, Jun¹, HAMADA, Yohei¹, FUJIMOTO, Koichiro³, HASHIMOTO, Yoshitaka⁴, HINA, Shoko¹, EIDA, Mio⁴, KITAMURA, Yujin², MIZUOCHI, Yukihiro⁵

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ 東京学芸大学, ⁴ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ⁵ 住鉱コンサルタント株式会社

¹ Department of Earth and Planetary Science, the University of Tokyo, ² Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³ Faculty of Education, Tokyo Gakugei University, ⁴ Department of Natural Environmental Science, Faculty of Science, Kochi University, ⁵ Sumitomo Resources Exploration & Development, Co., Ltd.

To understand the evolution and fault mechanism of subduction zone megasplay fault branching from plate boundary, Nobeoka Thrust Drilling Project (NOBELL) was carried out in 2011. Nobeoka Thrust is known to be a fossilized megasplay fault (out-of-sequence thrust) in ancient accretionary complex, located onland in Kyushu, Japan. In this project, coring and wireline logging were conducted down to 255m in total depth across the Nobeoka Thrust. Continuous logs of resistivity, density neutron porosity, natural gamma ray, and optical/sonic images were successfully acquired along the borehole wall.

In this study, we focus on the interval of 20-60m, including the main fault core (at 41m), and compare the physical properties among hanging wall, footwall, and fault core, correlating logging datasets and core description. Structure of hanging wall is characterized by phyllite and relatively stable foliation. Stronger deformation and boudinage can be seen from ~38m toward fault core. Random fabric cataclasite characterizes fault core, while cataclasite / foliated cataclasite are spread throughout footwall.

Footwall presents higher values of neutron porosity (4.6-10.5%) compared to hanging wall (2.3-8.7%), while porosity is lowest (3.2-10.2%) around fault core. Resistivity is higher at hanging wall (SN: 138-622 ohm-m), followed by drop near fault core (151-203 ohm-m) and stably lower footwall (163-323 ohm-m). P-wave velocity is highly fluctuated and slightly higher at hanging wall and higher values at fault core (3.3-5.0m/s) and values are stable at footwall (3.8-4.6m/s). Local decreases in natural gamma ray (91.9-134 API) and spontaneous potential (39.4-57mV) are characteristic around fault core, while values are nearly constant at hanging wall (81-158 API, 18.7-64.2mV) and footwall (91.1-152 API, 53.3-59.7mV). Density log is fluctuated and does not show significant changes throughout depth (2.4-2.9g/cc).

Crossplots of these logging data are useful to examine relationship between the logs and extract different responses with depth. A resistivity-porosity plot clearly illustrates that the fault core, hanging wall, and footwall show different trend. We also apply empirical formulas (such as Archie's formula and Wyllie's formula) to evaluate relationship between physical properties and internal structure and characterize hydrological properties. Permeability derived from porosity and resistivity show highest values around fault core, despite the lowest porosity value at the interval. These results provide important suggestions to understand structural and hydrological properties associated with fault activities and to connect modern and ancient seismogenic megasplay faults.

四万十付加体中の延岡衝上断層を貫くボーリングコアを用いたイライト結晶化度の解析

Illite crystallinity of the borehole samples penetrating the Nobeoka thrust, Miyazaki prefecture, SW Japan

福地 里菜^{1*}, 藤本 光一郎¹, 浜橋 真理², 山口 飛鳥², 木村 学², 亀田 純², 濱田 洋平², 橋本 善孝³, 比名 祥子², 柴田 美緒³, 北村 有迅⁴, 齋藤 実篤⁴, 水落 幸広⁵, 長谷 和則⁵, 明石 孝行⁵

FUKUCHI, Rina^{1*}, FUJIMOTO, Koichiro¹, HAMAHASHI, Mari², YAMAGUCHI, Asuka², KIMURA, Gaku², KAMEDA, Jun², HAMADA, Yohei², HASHIMOTO, Yoshitaka³, HINA, Shoko², EIDA, Mio³, Yujin Kitamura⁴, Saneatsu Saito⁴, Yukihiro Mizuochi⁵, Kazunori Hase⁵, Takayuki Akashi⁵

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

¹Tokyo Gakugei University, ²The University of Tokyo, ³Kochi University, ⁴JAMSTEC, ⁵Sumiko Resource Exploration & Development, Co.,Ltd.

南海トラフ地震発生帯掘削の陸上アナログとして白亜紀と古第三紀の付加体である四万十帯中の延岡衝上断層を貫く坑井が掘削された。全掘削深度は255mで、深度41.7mで延岡衝上断層を貫く良好な連続コアが採取された。断層の上盤側は北川層群の千枚岩、下盤側は日向層群のメランジュが分布する (Kondo et al., 2005)。

本研究では、コアから採取した岩片を中心にX線回折によって含有鉱物を予察的に検討した。主な含有鉱物は石英、斜長石、イライト、緑泥石、方解石であり、深度による大きな変化はみられなかった。一方、水ひによって粘土鉱物を選別して定方位試料を作成してイライト結晶化度 (illite crystallinity, IC) を求めた。

IC値は、上盤は0.163 0.185 °2、境界の断層周辺は0.678 0.701 °2、下盤は0.369 0.550 °2と、それぞれ特徴的な値を示した。イライト結晶度の温度換算式 (向吉ほか, 2007) を当てはめて温度を見積もると、上盤で315 319 °C、境界部の衝上断層で209 213 °C、下盤で240 277 °Cとなった。ベトリナイト反射率から見積もった最高被熱温度は上盤の北川層群は約320 °C、下盤の日向層群は約250 °C (Kondo et al., 2005) であり、IC値から見積もった温度とよい一致を示した。

一方、境界部の延岡衝上断層においては、スメクタイトのような低温で形成されたと考えられる鉱物は含まれないものの、上下の地層よりも大きなIC値を示し、より低温での断層活動や熱水活動の影響を受けていることが示唆された。

キーワード: 断層, ボーリングコア, 付加体

Keywords: Fault, Borehole core, Accretionary Complex

陸上付加体における異なる変形構造の応力解析：四国四万十帯 Stress analysis on various deformation features in on-land accretionary complexes: Shikanto Belt, Shikoku, SW Japan

栄田 美緒^{1*}, 橋本 善孝¹

EIDA, Mio^{1*}, HASHIMOTO, Yoshitaka¹

¹ 高知大学

¹ Kochi University

沈み込みプレート境界では、プレートの沈み込みに伴い構造性メランジュの形成、堆積物の付加、地震断層の活動などの様々な変形が起こっている。陸上付加体中に観察される変形構造（メランジュ、小断層、底付け断層、アウトオブシークエンススラスト、地震断層など）は、そのようなプレートの沈み込みによる変形イベントに起因しており、それぞれ異なるステージに異なる応力によって形成されたものだと考えられる。また、このような変形ステージや応力変化は、沈み込みプレート境界における物性変化や流体圧変化を反映し、付加体の形状や強度、地震挙動と密接に関連している。本研究ではこれらの異なる変形構造を形成した応力場を推定し、沈み込みプレート境界における時空間的な変化を明らかにすることを目的とする。

研究対象地域は四万十帯に属する横浪メランジュおよび牟岐メランジュである。横浪メランジュは白亜系四万十帯に属する。黒色頁岩を主体とし、砂岩、赤色頁岩、チャート、玄武岩などのブロックを含む。北側の須崎層との境界断層である五色ノ浜断層は局所的な断層面を持ち、摩擦溶融または流動化に起因するとみられる注入脈が見つかることから、地震断層と考えられている。また牟岐メランジュは白亜系および古第三系四万十帯に属する。基質は黒色頁岩であり、枕状溶岩、赤色頁岩、砂岩などのブロックを含む。海洋底層序の繰り返す覆瓦構造をなしていることから、底付け作用により形成された付加体だとされている。牟岐メランジュと横浪メランジュは共に、鉾物脈を伴いメランジュ面構造を切る小断層が多く発達している。この小断層から断層スリップデータを取得し、古応力場の推定を行った。

解析には多重逆解法 MIM (Yamaji, 2000) と Hough 変換を用いた逆解法 HIM (Yamaji et al., 2006) を使用した。まず変形構造を以下の4つに分類した。1) 横浪メランジュ中に発達する小断層、2) 五色ノ浜断層周辺の小断層、3) 牟岐メランジュ中に発達する小断層、4) 牟岐メランジュ底付け断層に関連した小断層である。これらを解析した結果、MIM ではそれぞれの断層データから2~4個の応力場が得られ、HIM では1~2個の応力場が得られた。得られた応力場について、理論上のすべり方向と実際計測したすべり方向との角度差 (misfit 角) を比較すると、HIM で得られた応力場に比べ MIM で得られたものの方が、小さな misfit 角をもつ断層データをより多くとるような応力場であった。よって MIM の方がより正確な解を得られていると考え、今回は MIM で得られた応力場を採用する。さらに応力を説明する小断層が最も多い応力に着目し比較を行った。

比較するにあたり、まず平均的な断層面の走向傾斜をもとに応力場の水平補正を行った。これは小断層の形成はデコルマに沿ってほぼ水平だったと考えられるためである。その結果決定したそれぞれの応力場は次の通りである。横浪メランジュ内は σ_1 が低角な南北方向の圧縮場 (応力比 = 0.32)、五色ノ浜断層周辺は σ_1 が低角な北東-南西方向の圧縮場 (= 0.22)、牟岐メランジュ内は σ_1 が低角な南南東-北北西方向の圧縮場 (= 0.05)、牟岐底付け断層周辺は σ_1 が低角な東西方向の圧縮場である (= 0.45)。ここで応力比 は $(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ で表される。水平補正後の応力場を比較すると、横浪メランジュ内と五色ノ浜断層周辺の小断層については産状が異なるが、推定された応力場はほぼ南北走向の低角な圧縮でありよく似ていた。牟岐メランジュから推定された応力場もこれらとよく一致する。しかし牟岐底付け断層周辺の応力場は応力方向、応力比ともに大きく異なっていた。

また Angelier (1989) に基づき、推定した応力場に対する小断層形成時における断層面上の有効摩擦係数 μ' を推定した。 $\mu' = \mu (1 -)$ で表され、 μ は岩石の一般的な摩擦係数、 は流体圧比である。横浪メランジュは $\mu' = 0.11 \sim 0.48$ 、五色ノ浜断層周辺は $\mu' = 0.49 \sim 0.79$ 、牟岐メランジュ内は $\mu' = 0.14 \sim 0.35$ 、牟岐底付け断層付近は $\mu' = 0.05 \sim 0.23$ となった。五色ノ浜断層が μ' の値が比較的大きく、小断層形成時に何らかの影響により流体圧が低下していた可能性がある。それ以外は μ' の値が比較的小さく、それらの小断層形成時に流体圧が高かったと考えられる。横浪メランジュや牟岐メランジュ内に発達する小断層は鉾物脈を伴うものが多く、小断層の形成時に大量の流体が存在したことを示唆しており、また牟岐メランジュの底付け境界周辺には流動化によるものとみられる破碎帯が存在していることから、これらの小断層形成時の流体圧が比較的高いものであったという今回の結果と合致する。

キーワード: 古応力, 沈み込み帯, 付加体, メランジュ, 底付け断層, 有効摩擦係数

Keywords: paleostress, subduction zone, accretionary complex, melange, underplating fault, effective frictional coefficient

ラマン分光法を用いた地質・地震断層温度計開発の試み

Development of geo- and fault-thermometer using a raman spectroscopy technique on carbonaceous material

向吉 秀樹^{1*}, 北村 真奈美², 廣瀬 丈洋³, 山本 由弦⁴, 坂口 有人⁴

HIDEKI, Mukoyoshi^{1*}, KITAMURA, Manami², HIROSE, Takehiro³, YAMAMOTO, Yuzuru⁴, SAKAGUCHI, Arito⁴

¹(株)マリン・ワーク・ジャパン, ²広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻, ³海洋研究開発機構 高知コア研究所, ⁴海洋研究開発機構

¹Marine Works Japan Ltd., ²Hiroshima University, ³JAMSTEC Kochi, ⁴JAMSTEC

ビトリナイト反射率は他の地質温度計と比較して、より低温のイベントを検出できることから、付加体浅部域など低熱変成地域における古地温構造解析(例えば Laughland & Underwood 1993, Sakaguchi et al., 1996)や断層の摩擦発熱の検出(例えば O'Hara, 2004; Sakaguchi et al., 2011)などにおいて注目されている。ビトリナイト反射率同様、炭質物の熟成を把握する手法としてラマン分光装置を用いた分析手法があり、ラマンスペクトルの 1580cm⁻¹ 付近に現れる G ピーク、1350cm⁻¹ 付近に現れる D1 ピーク、1620cm⁻¹ 付近に現れる D2 のピークの面積比 R2 (=D1/[G+D1+D2]) を指標とした地質温度計が構築されている(Bayssac et al., 2002; Rahl et al., 2005; Aoya et al., 2010 など)。しかし、これまでに報告されているラマン地質温度計は、主に変成岩地域に産出するグラファイトを対象にしたものであり、その温度範囲は約 330°C-650°C に限られる。

そこで本研究では、1. ラマン温度計を低熱変成地域に応用可能か、2. 石炭組織の違いによるラマンスペクトルの変化はないか、3. 断層の摩擦発熱のような瞬間的な熱をラマンスペクトルから検出できるか、の3つについて明らかにすることを目的として、低熟成度の非晶質炭質物(石炭)のラマン分析を行った。手法としては、1については、ビトリナイト反射率から古地温が見積もられている房総半島中部中新統保田付加体(約 50°C)(Yamamoto et al., 2005)、四国南西部白亜系四万十帯(約 150°C、230°C)(Mukoyoshi et al., 2006)、ジュラ系足尾帯(約 300°C)の試料のラマン分析を行い、ラマンスペクトルとビトリナイト反射率との相関について検討した。2については同じ地層から採取したコリナイト、デグラディナイト、フージナイトのラマン分析を行い、それぞれのラマンスペクトルの比較を行った。3については、石英(90 wt%)とビトリナイト(10 wt%)の模擬混合ガウジを作成し、高知コアセンターに設置されている高速摩擦試験機を用いた高速摩擦実験を行い、実験前後の炭質物のラマンスペクトルの比較を行った。これまで報告されているグラファイト質炭質物のラマン分析では、ピークを上述の D1, G, D2 ピークおよび 1500cm⁻¹ 付近に現れる D3 ピークの4つに分離しているが、石炭においては、これらのピークの外に D1 ピークの肩として 1180cm⁻¹ 付近、1270cm⁻¹ 付近および 1450cm⁻¹ 付近に D ピーク群の一部と思われるピークが確認される。これらのピークの影響により、これまで報告されている D と G の2つのピーク分離や G、D1、D2、D3 の4つのピーク分離ではスペクトラムをうまくフィッティングすることができない。そこで、これまでのピーク分離法に加え、D1 ピークの肩として現れる3つのピークを含む合計7つのピークに分離した上でスペクトルフィッティングもおこなった。

解析の結果、ピークを4つに分離してフィッティングしたもので、これまでのラマン地質温度計で報告されている低熱変成地域の炭質物と同様に、R2の面積比と被熱温度との相関が見られなかった。一方ピークを7つに分離し、Aoya et al., 2010を参考に単一試料ごとの面積比の平均値を計算したうえで被熱温度との相関について調べたところ、R2面積比においては、 $T(^{\circ}\text{C}) = 8.6 \cdot \exp(7 \cdot R2)$ (決定係数 0.98) の指数相関関係が見られた。また、R2の面積比とは別に、D1/[分離した7つのピーク全て]の面積比(仮に R6 とする)と被熱温度との相関について検討したところ、 $T(^{\circ}\text{C}) = 10.9 \cdot \exp(11.9 \cdot R6)$ (決定係数 0.99) のような高い指数相関関係が見られた。R6を用いた石炭組織の違いによるラマンスペクトルの比較では、石炭組織ごとの R6の違いは同一試料を10回測定した際の誤差の範囲に収まる程度のものであり、有意な違いは見られなかった。摩擦発熱の検出に関しては、R6に有意な違いが見られたが、剪断変形の影響の可能性が考えられるため、今後さらなる検討が必要である。

以上の結果より、非晶質炭質物(石炭)においても、ピークを7つに分離した上でフィッティングをおこない、R6の面積比の平均値を求めることにより地質温度計となりうるということがわかった。その温度範囲は約 50°C~300°C であり、付加体浅部域の古地温構造解析などに応用できると考えられる。今後の検討次第では、摩擦発熱の検出も可能になるとと思われる。

キーワード: ラマン分光分析, ビトリナイト反射率, 炭質物, 地質温度計, 摩擦発熱, 断層岩

Keywords: raman spectroscopy, vitrinite reflectance, carbonaceous material, geothermometry, frictional heat, fault rock

断層物質からのすべりパラメータ推定における水理・熱的特性の影響 Sensitivity analyses of slip parameter estimation to hydrological and thermal properties

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

HAMADA, Yohei^{1*}, SAKAGUCHI, Arito², TANIKAWA, Wataru¹, YAMAGUCHI, Asuka¹, KAMEDA, Jun¹, KIMURA, Gaku¹

¹ 東大・理・地惑, ² 海洋研究開発機構, ³ 独立行政法人海洋研究開発機構高知コア研究所

¹Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Kochi I

Sensitivity analyses of slip parameter estimation to hydrological and thermal properties

Yohei Hamada^{1,*}, Arito Sakaguchi², Wataru Tanikawa³, Asuka Yamaguchi¹, Jun Kameda¹, Gaku Kimura¹

¹Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

²Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0001, Japan

³Kochi institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 200 Monobe Otsu, Nankoku-city, Kochi, Japan

* yhamada@eps.s.u-tokyo.ac.jp

Abstract

Enormous earthquakes repeatedly occur in subduction zones, and the slips along megathrusts, in particular those propagating to the toe of the accretionary prism, generate ruinous tsunamis. Although quantitative evaluation of slip parameters (i.e., slip velocity, rise time and slip distance) of past slip events for the shallow, tsunamigenic part of a fault is a critical component of characterizing such earthquakes, it is very difficult to constrain these parameters. Here we quantify these parameters for slip events that occurred along the shallow part of a megasplay fault and a plate boundary decollement in the Nankai Trough, off Japan. We applied a kinetic approach to profiles of vitrinite reflectance data obtained from Integrated Ocean Drilling Program (IODP) cores that intersected the slip planes of the two thrusts, and identified extremely slow and long-term slips in the megasplay fault and the frontal decollement.

The chemical kinetic method is useful to evaluate fault temperature and slip parameters. This has been introduced into various natural faults, however, this contains uncertainty due to its sensitivity to temperature which is dependent on various natural properties complicatedly. Therefore, we also discussed the effect of temperature dependence of thermal property or dynamic weakening mechanism for temperature calculation. We assessed the sensitivity of the calculation results to the measured thermal property and dynamic weakening effect caused by thermal pressurization.

キーワード: 断層物質, すべりパラメータ

Keywords: fault material, slip parameter, parameter sensitivity

沈み込みプレート境界における堆積物のP波速度と間隙率の関係 Relationship between compressional-wave velocity and porosity of sediments along subduction plate interface

山口 実華^{1*}, 橋本善孝¹

YAMAGUCHI, Mika^{1*}, Yoshitaka Hashimoto¹

¹ 高知大学

¹ Kochi University

沈み込み帯における堆積物の物性変化はウェッジの形状・強度, 脱水過程, 断層強度, 地震挙動などに大きな影響を与える。はじめ未固結な堆積物は間隙率が60-70%以上だが, 埋没や沈み込みに伴って圧密やセメンテーションなどの続成過程によって間隙率は減少し, 次第に岩石化して行く。本研究ではこの過程における堆積物の物性を弾性波速度によって定量的に捉え, 沈み込み前の堆積物から付加体内の堆積物までの変化を理解することを目的とする。

本研究では, Expedition 333 で得られた reference site および Expedition 315, 316 でえら得た付加体浅部の堆積物の弾性波速度データを新たに測定した。これに加えて, これまでの先行研究で得られた南海トラフ四国沖, 熊野沖, およびコスタリカ沖の堆積物の弾性波速度物性データを収集し, 比較した。比較に当たっては, 間隙率とP波速度の関係を用いた。収集した先行研究データは, Gettemy and Tobin (2003), Hoffman and Tobin (2004), Hashimoto et al., (2010), Hashimoto et al., (2011), Raimbourg et al., (2011) である。

対象とする Site は以下の通りである。熊野沖南海トラフにおいて, Site C0001 はメガスプレー断層表層域近傍の上盤に位置しており, Site C0004 は, Site C0001 よりさらにメガスプレー断層の先端部に位置する。Site C0002 は, 巨大地震発生帯の真上に位置する。Site C0006E は, 付加体先端部前縁断層上盤に位置している。Site C0011D は, 付加体に沈み込む直前の表層堆積物である。四国沖は Site 1173 および Site 1174 の沈み込み前の堆積物を対象としている。また, コスタリカ沖のデータは ODP Leg 170 で得られた資料を対象としており, 海溝より1.5km地点の沈み込む直前 (Site 1039)、海溝より1.7km地点の付加体 (Site 1040)、海溝より0.6km地点の付加体先端部 (Site 1043) の堆積物を対象としている。

本研究で新たに行った測定は以下のような条件である。500kHzのトランスデューサーを2個用い、透過法で波形データを取得した。両方のコアの流体圧は1MPaで維持し, 排水条件化で封圧を変化させることで有効圧をコントロールしながら測定した。有効圧は, 船上データから推定される静水圧下の有効圧までに4ステップ, さらにその2.5倍の有効圧までに4ステップ程度の測定を行った。流体圧および封圧を二台の全自動シリンジポンプ有効圧を制御し, 1ステップ当たり8時間以上のインターバルを空けて, 堆積物の歪みと有効圧が平衡に達したところで, 波形の取得を行った。

全データの間隙率の範囲はおおよそ27%~65%である。P波速度はおおよそ1.5km/s~およそ2.6km/sである。Raimbourg et al., (2011) のデータは全体として高いP波速度を示す。例えば Hoffman and Tobin (2004) の示した Site 1173 のデータ, Site C0001 における Hashimoto et al., (2010) データと比較して, おおよそ1 km/s 以上速い。

堆積物を圧密のみによると考えられる堆積物 (reference site および slope sediments) とウェッジ堆積物の大きく二つに分けると, それらについて, P波速度と間隙率の関係において異なる傾向が見られた。圧密のみによると考えられる堆積物ではP波速度と間隙率の関係は Global empirical relationship である Erickson and Jarrard (1998) の highly compaction および normal compaction の間に分布する。一方, ウェッジ堆積物の中には, 両者の関係は Global empirical relationship から大きく外れるような, 一定の間隙率に対して高いP波速度を示し, より高角な傾向が見られるものがあった。このような傾向は熊野沖 Site C0001 および Site C0004 とコスタリカ沖の堆積物で同様に見られる。このようなP波速度と間隙率の関係における高角な傾向は堆積物の剪断歪みの増加や, セメンテーションの影響によるものと考えられる。

キーワード: 弾性波速度, 間隙率, 沈み込みプレート境界, 付加体

Keywords: compressional-wave velocity, porosity, subduction plate boundary, accretionary complex

応力下におけるき裂を有するコアサンプルのX線CTイメージングと水理特性評価 X-ray CT imaging and hydrologic characterization of fractured core samples under stress

渡邊 則昭^{1*}, 伊藤 久男²

WATANABE, Noriaki^{1*}, ITO, Hisao²

¹ 東北大学, ² 独立行政法人海洋研究開発機構

¹Tohoku University, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

Analyzing fluid flow within naturally fractured samples under in-situ stress conditions is desirable. The present study first focuses on the feasibility of a precise 3D numerical modeling coupled with X-ray computed tomography (CT), which enables simple analysis of heterogeneous fracture flows within core samples, as well as the measurement of porosity and permeability. A numerical modeling was developed and applied to two fractured granite core samples having either an artificial single fracture or natural multiple fractures. With a linear relationship between the CT value and the fracture aperture, 3D distributions of the CT value for the samples were converted into fracture-aperture distributions in order to obtain fracture models for these samples. The numerical porosities reproduced the experimental porosities within factors of approximately 1.3 and 1.1 for the single fracture and the multiple fractures, respectively. Using the fracture models, a single-phase flow simulation was also performed. The numerically obtained permeabilities reproduced the experimental permeabilities within factors of 1.3 and 1.6 at for the single fracture and the multiple fractures, respectively. Consequently, a precise numerical modeling coupled with X-ray CT is essentially feasible. Furthermore, the development of preferential flow paths (i.e., channeling flow) was clearly demonstrated for multiple fractures, which is much more challenging to achieve by most other methods.

The method was then applied to two granite core samples having either a mated artificial or a mated natural fracture at confining pressures of 5 to 50 MPa. Numerical results were evaluated by a fracture porosity measurement and a solution displacement experiment using NaCl and NaI aqueous solutions. The numerical results coincided only qualitatively with the experimental results, primarily due to image noise from the aluminium liner of the core holder. Nevertheless, the numerical results revealed flow paths within the fractures and their changes with confining pressure, whereas the experimental results did not provide such results. Different stress-dependencies in the flow paths were observed between the two samples despite the similar stress-dependency in fracture porosity and permeability. The changes in total area of the flow paths with confining pressure coincided qualitatively with changes in breakthrough points in the solution displacement experiment. Although the data is limited, the results of the present study suggest the importance of analyzing fluid flows within naturally fractured core samples under in situ conditions in order to better understand the fracture flow characteristics in a specific field. X-ray CT-based numerical analysis is effective for addressing this concern.

Finally, a novel core holder with a carbon fiber reinforced polyetheretherketone (CFR PEEK) body has been proposed and developed. Medical CT scans for granite and sandstone samples containing a saw-cut fracture revealed that the core holder had no adverse influence on image quality due to the small X-ray attenuation. Moreover, with medical CT scans using the new core holder, a numerical analysis of single-phase flow was successfully completed on a fractured granite sample at confining pressures of 3-10 MPa, where real fracture porosities and permeabilities could be predicted within factors of 1.2-1.3 and 1.4-1.5, respectively. Although the maximum available confining pressure and sample size are currently limited due to the design, the novel core holder with the CFR PEEK body enables CT scans on fractured samples under confining pressure without image noise problem. Consequently, with the new core holder or a core holder having similar X-ray attenuation, the X-ray CT based numerical analysis can be successfully conducted on naturally fractured samples under confining pressure, which should contribute to better understanding of fluid flow characteristics in the crust.

キーワード: X線CT, 水理特性, フラクチャー, コアサンプル, 応力

Keywords: X-ray CT, hydrological characteristics, fracture, core sample, stress

サイスミックインバージョンによる熊野沖南海トラフ堆積層の物性推定 Seismic inversion of the incoming sedimentary sequence in the Nankai Trough off Ku- mano Basin, southwest Japan

内藤 和也^{1*}, 朴 進午¹

NAITO, Kazuya^{1*}, PARK, Jin-Oh¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

西南日本の太平洋沿岸に位置する南海トラフは、およそ 100 年から 150 年周期で繰り返すプレート境界型巨大地震の発生帯となってきたと考えられている。この巨大地震によって、西南日本の太平洋沿岸では強振動や津波などが繰り返し引き起こされており、近年では特にその再発が懸念されている。そのため、この海域での海底下構造の詳細とそれによる震源メカニズムの解明はわが国にとって急務と言える。また、本海域は地質付加体のモデル海域としても世界的に注目されており、詳細な海底地形調査や海底下構造の探査、海底コア掘削等によるサンプル採取研究等も盛んに行われている。サイスミックインバージョン法は、地震波探査による反射断面に対し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インピーダンス値のモデルを作成し、ウェーブレットと合成する事で反射断面のモデルを作成する事で、地震波探査断面の物性を求める方法である。本研究では、南海トラフ熊野沖における 2006 年の KR06-02 航海にて実施された、高分解能 3D MCS (3D Multi-channel Seismic reflection survey: 3 次元マルチチャンネル反射法地震波探査) データおよび IODP (Integrated Ocean Drilling Program: 統合国際深海掘削計画) Expedition 319、Expedition 322 航海による C0011 C0012 サイト掘削の際に実施された坑井の物理検層データ、ならびに採取された堆積物コアの物性測定データを統合し、CLSI (Core-Logging-Seismic Integration: コア-ログ-サイスミック統合解析) の一貫としてサイスミックインバージョン法による海底下物性解析を行った。

キーワード: 南海トラフ, 反射法地震波探査, 堆積物, サイスミックインバージョン

Keywords: Nankai trough, Multi-channel Seismic reflection, sediments, seismic inversion

前弧海盆の横ずれを伴う活断層の浅部構造の解釈 - 東部南海トラフ遠州断層系の例 Shallow structure and evolution of active faults with strike-slip in a forearc basin, eastern Nankai Trough

小嶋 孝徳^{1*}, 芦 寿一郎¹, 中村 恭之²

OJIMA, Takanori^{1*}, ASHI, Juichiro¹, NAKAMURA, Yasuyuki²

¹ 東京大学 大気海洋研究所, ² 日本海洋研究開発機構

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

Accretionary prisms and forearc basins are developed in the Nankai Trough, SW Japan. Many active faults are recognized and classified into five fault systems in the eastern Nankai Trough. The Enshu Faults System, the most landward one, runs over 200 km along the northern edge of the Tokai, Enshu and Kumano forearc basins. Structural investigation of this area is important for earthquake disaster mitigation as well as understanding of oblique subduction tectonics. However, activity and distributions of faults has not been well clarified.

The Enshu Faults System has a general trend of ENE-WSW, on the basis of swath bathymetry and side-scan sonar imagery, and shows dextral strike slip inferred from displacement of the canyon axis across the landward-most fault. Seismic reflection profiles partly exhibit landward dipping faults. These observations suggest that this area is tectonically affected by oblique subduction of the Philippines Sea Plate.

We picked continuous reflectors and divided the formation into five units on the multichannel seismic profiles obtained by JOGMEC, and carefully studied thickness changes of the units across the faults, which reflect fault activities. Approximate positions of faults are estimated by discontinuities of seismic reflectors although fault planes are hardly recognized. Moreover, geometry of formations beneath the lineaments identified on the sidescan sonar imagery suggests existence of flower structures along fault zones. The formation thicknesses above the acoustic basement occasionally change across these fault zones. In most cases, the formation thickness seaward of the fault zones is thicker than that landward of them suggesting transpressive deformation. However, time and space distribution of unit thickness changes imply that fault displacements are not uniform along each fault zone. In order to know the recent fault activity, we carried out deep towed chirp subbottom profiler survey. In the base of the steep slope corresponding to the strong lineament, the shallow sedimentary sequence exhibits seaward divergent shape of reflectors. These depositional styles indicate recent activity of crustal movement by faulting although a fault plane is not recognized in the shallow sediment. In contrast, the dimmed seismic reflectors with tiny displacements were observed in the upper part of the slope. Shallow extension of the fault planes and existences of cold seep previously observed by a submersible survey suggest that these fault systems are still active at present.

キーワード: プレート斜め沈み込み, 横ずれ断層, 活断層, 撓曲

Keywords: Oblique subduction, Strike-slip fault, Active fault, flexure

斜面堆積盆における地震性懸濁物の集積プロセス

Accumulation process of earthquake-induced turbid layer in the slope basin -An example from the Nankai Trough off Kuman-

澤田 律子^{1*}, 芦 寿一郎¹

SAWADA, Ritsuko^{1*}, ASHI, Juichiro¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Aori, Univ. Tokyo

Earthquake shaking is one of triggers for submarine slope failures and causes sediment redeposition in the base of the slope. Sedimentary section of the slope basin in an accretionary prism continuously and well records past activity of earthquakes for a long term and with a high accuracy. Therefore, it is one of useful proxy to understand coseismic geological phenomenon. However, it is inferred that earthquake-induced turbid mud settles out so fast. In this study, because sedimentation processes on earthquake-induced sediment are not well illustrated so far, I am analyzing settling processes of earthquake-induced turbid mud in deep sea.

Muddy deposits in a deep-sea region generally show slow sedimentation rate. The velocity is several mm to several dozen mm per one thousand years. However, the observation by ROV "NSS" during KH-10-3 cruise (*R/V Hakuho-maru*) illustrated that thick turbid layers in the prism slope completely settled six years after the 2004 off Kii peninsula. Therefore, it is inferred that earthquake-induced turbid mud settles out during short period. Two turbid layers specifying different degrees of turbidity are composed of upper dilute suspension layer and bottom dense suspension layers. The measured water depth at the slope basin in 2010 shows high variation suggesting seafloor undulation. In contrast, the measured water depth in 2004 by NSS during KY04-11 cruise (*R/V Kaiyo*) was very constant. This observation indicates that the measured water depth corresponds to the upper boundary of a dense suspended layer as a pseudo-seafloor.

A chirp subbottom profiler (SBP) surveys were carried out during the KH-10-3 and KH-11-9 cruises. We successfully obtained high resolution structural images down to a maximum of about 30m. Sedimentary reflectors of the slope basin are mostly flat-lying and laterally coherent. Moreover, three transparent layers are developed at a depth shallower than about 10 meter below a seafloor. Observation of dense turbid layers after the 2004 earthquake and existence of distinct transparent layers in the slope basin suggest periodic accumulation of earthquake-induced turbid layer.

キーワード: 懸濁層, 再堆積, 地震性堆積物, 堆積構造

Keywords: turbid layer, redeposition, earthquake-induced sediments, sedimentary structure

南海トラフ付加体分岐断層付近における熱流量の高密度測定 Closely-spaced heat flow measurements in the vicinity of the splay fault on the the Nankai accretionary prism

山野 誠^{1*}, 川田 佳史¹, 濱元 栄起², 後藤 秀作³

YAMANO, Makoto^{1*}, KAWADA, Yoshifumi¹, HAMAMOTO, Hideki², GOTO, Shusaku³

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

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

紀伊半島東南方・熊野沖海域では、南海トラフ地震発生帯の温度構造解明を目指して、熱流量測定が行われてきた。深海域における通常の測定に加え、海底水温変動の影響が大きい浅海域での長期温度計測、メタンハイドレート BSR の深度に基づく値により、以下のような熱流量分布が明らかになった。南海トラフ底では四国海盆の年齢に応じた 100 mW/m^2 程度であり、付加体上では陸側に向かって減少し、前弧海盆（熊野トラフ）では $40 - 60 \text{ mW/m}^2$ である。この分布に基づいて、プレート境界の地震発生帯や前弧域の温度構造が推定される。一方、付加体を断ち切る分岐断層が海底面に達する近辺（変形フロントから $15 - 25 \text{ km}$ ）では、 $60 - 100 \text{ mW/m}^2$ のばらつきの大きい値が得られている。この局所的な変動の原因として、活断層に沿った間隙水の流動、海底地すべり等の浅部の変形・変動、海底水温の時間変動、海底地形の影響、等が考えられる。

2010、2011 年の白鳳丸 KH-10-3、KH-11-9 航海において、分岐断層付近の変形・湧水活動について調べ、また熱流量のばらつきの原因を解明するため、付加体斜面上の 2 地域で高密度の熱流量測定を実施した。1 つは、分岐断層による断層崖（高さ約 400 m ）の近傍である。崖の下に沿っては生物群集が分布し、湧水活動の存在を示している。この断層崖を挟んで両側で熱流量測定を行ったところ、崖の下側（海側）では上側に比べて相対的に高い値が得られた。この熱流量の差は、崖の地形効果によるものとしてほぼ説明可能であるが、崖下の湧水地帯付近においては地形効果以上に高い値も測定された。断層に沿った間隙流体の上昇が高熱流量を生じている可能性が考えられるが、さらに詳細な調査が必要である。もう 1 つの調査箇所は、付加体斜面上の U 字型の地すべり地形（滑落崖）の付近で、滑落崖を越える測線に沿って測定を実施した。得られた熱流量は、測線上でほぼ一定であり、地形との関係は見られなかった。この地形に係る海底地すべりは、非常に新しいものではないと考えられる。

上記の 2 航海では、自己浮上式の長期温度計測機器の設置・回収も行い、2 地点（水深 2530 m と 3340 m ）において 15 か月間の海底水温データを得た。 2550 m の点では、 0.3 K を越える大きな海底水温変動が観測され、この水深において通常の深海用プローブによる熱流量測定を行った場合、水温変動の影響を受けることが明らかになった。これに対し、 3340 m の地点での水温変動は 0.1 K 以下で、熱流量測定に有意な影響を与えないレベルであった。付加体斜面上で測定されたばらつきの大きい熱流量値のうち、半数程度は水深 3000 m 以浅で測定されており、水温変動の影響を受けている可能性がある。今後、水深 3000 m 付近においても長期温度計測を行い、より信頼できる熱流量を求めるとともに、既存のデータを評価することが必要である。

キーワード: 南海トラフ, 熱流量, 付加体, 分岐断層, 湧水, 海底地すべり

Keywords: Nankai Trough, heat flow, accretionary prism, splay fault, cold seep, submarine landslide

自己浮上式海底地震計を用いた潮岬沖フィリピン海プレート内部の背景的微小地震活動

Back-ground seismicity within the Philippine Sea Plate off Shiono-misaki based on ocean-bottom seismographic observation

平田 賢治^{1*}, 対馬弘晃¹, 山崎明², 馬場久紀³, 去川寛士³, 小林昭夫¹, 上野寛¹, 青木重樹¹, 吉田康宏¹, 勝間田明男¹, 前田憲二¹, 横田崇¹

HIRATA, Kenji^{1*}, Hiroaki Tsushima¹, Akira Yamazaki², Hisatoshi Baba³, Hiroshi Sarukawa³, Akio Kobayashi¹, Hiroshi Ueno¹, Shigeki Aoki¹, Yasuhiro Yoshida¹, Akio Katsumata¹, Kenji Maeda¹, Takashi Yokota¹

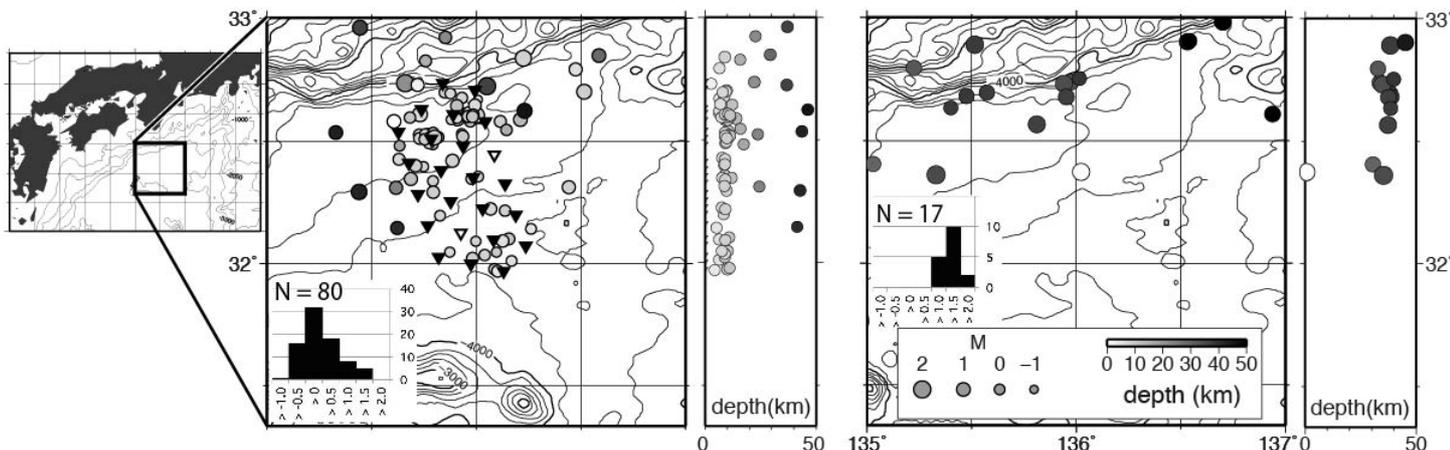
¹ 気象研究所, ² 地磁気観測所, ³ 東海大学

¹Meteorological Research Institute, ²Kakioka Magnetic Observatory, ³Tokai University

気象研究所では、2005年からの4年間で紀伊半島潮岬沖でOBSを用いた微小地震観測を計4回実施し、南海トラフ軸周辺で深さ10kmから25kmの範囲で微小地震活動が起きていることなどを確認した(山崎他2011 気象研技術報告)。これらの微小地震活動は陸上の地震観測網ではほとんど捉えられていない。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25km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直交な圧縮場を示すこと、さらにこれらの発震機構解の深さのパターンはフィリピン海プレートのベンディングで説明できること、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ヶ月間の観測後、22台のOBSを回収した。設置と回収はどちらも気象庁観測船凌風丸を使用した。OBS時計の補正後、P波、S波を読み取るとともに、PS変換波も読み取り観測点補正の初期値(堆積層補正值)を求めた。次に、観測網近傍の構造探査(Kodaira et al., 2000)の結果から作成した1次元速度構造モデルを用いて震源決定(Hirata and Matsu'ura, 1986)を行った。走時残差を補正值に加え再震源決定を3回繰り返して最終的な観測点補正值と震源パラメタを決定した。

震源決定はまだ予察的な段階であるが、図に6月中旬から1ヶ月間の期間内に決定されたOBS震源(左図)を示す。が震源を、はOBSを示す。深さが30kmより深い地震はOBS観測網の外にのみプロットされており、おそらく震源の深さがうまく拘束されていない。OBS観測網直下ではM1以下の極微小地震が深さ約10kmに集中して発生している。これらの極微小地震の活動は気象庁の一元化震源ではまったくリストされていない(右図)。極微小地震の震央は一見してOBS観測網内部にのみ発生している。しかしM1以下の極微小地震がたまたま今回展開したOBS観測網内でのみ発生しているとは考えづらく、このような極微小地震活動はさらに広域的に起きていると考えられる。また、山崎・他やObana et al.が報告した、トラフ軸直下の海洋プレート内部に求められた2種類の地震活動のうち、深さ約15kmから25kmの微小地震活動は、今回のOBS観測網内の南部では見られない。すなわち、最上部マントル中の背景的な微小地震活動はトラフ軸周辺から陸側にのみ発生している可能性がある。



紀伊半島周辺に沈み込むスラブ内での詳細な震源分布 Fine-scale Seismicity of the subducting PHS plate around the Kii Peninsula

悪原 岳^{1*}, 望月 公廣¹, 中東 和夫¹, 山田 知朗¹, 篠原 雅尚¹, 酒井 慎一¹, 金沢 敏彦¹, 植平 賢司², 清水 洋²
AKUHARA, Takeshi^{1*}, MOCHIZUKI, Kimihiro¹, NAKAHIGASHI, Kazuo¹, YAMADA, Tomoaki¹, SHINOHARA, Masanao¹,
SAKAI, Shin'ichi¹, KANAZAWA, Toshihiko¹, UEHIRA, Kenji², SHIMIZU, Hiroshi²

¹ 東京大学地震研究所, ² 九州大学地震火山観測研究センター

¹ERI, Univ. of Tokyo, ²SEVO, Kyushu Univ.

Introduction

In southwestern Japan, the Philippine Sea (PHS) plate subducts along the NNW direction beneath the Eurasian plate. This plate has been known for its complex shape, less seismic activity and occurrences of megathrust earthquakes. Although many seismological studies have been done, their resolutions at the ocean area are still poor, mainly because these studies are based on on-land observations. Mochizuki et al. (2010) investigated the seismicity around the Kii peninsula using ocean bottom seismometers (OBSs), and revealed stepwise changes of seismic characteristics along the Nankai trough. In this study, we do not only extend the study area of Mochizuki et al. (2010) using on-land observations, but we applied waveform cross correlation analysis to relocate hypocenters with better resolution. As a result, we obtained some linear alignment of earthquakes.

Data

We deployed at most 27 long-term OBSs for repeating one-year observations around the Kii peninsula by changing sites among 32 locations from November, 2003 to November, 2007. In addition, we included arrival time data from 45 land stations during the same period.

Relocation and Tomography Method

We first located events using P and S-wave first arrival times. During this process, we assumed station-specific 1-D velocity structures, and determined the station corrections simultaneously to compensate for systematic errors mainly originating from slow S-wave velocities in the sediment layers. We located 3931 events, which included microearthquakes that were not listed in the JMA catalog. Then, we applied a Double-Difference tomography method [Zhang and Thurber, 2003] to the above results and obtained relocated hypocenters and 3-D velocity structures for both P- and S-waves. Because of the limited seismic activity in this area, it is important to make full use of the present marine data set. Therefore, we applied non-linear grid search method [Lomax et al., 2009] to the events whose hypocenter was not stably determined through the above processes. This method searches hypocenters and origin times using 3-D grid velocity model so that the Equal Differential Time (EDT) likelihood function can be maximum. We obtained 1059 events by this grid search. Finally, we calculated waveform cross-correlation for measuring arrival time differences, and applied the Double-Difference tomography method again.

Results

We obtained the seismic velocity structure of the subducting PHS and overriding Eurasian Plates and seismicity from around the Kii Peninsula to the Nankai Trough axis. The dip angle of subduction increases from west to east. The seismicity in the slab varies between the east and west. In the west, earthquakes occurred in shallow part of the slab mantle (30~35 km depth), while they did not occur in the east. We found some linear alignments of earthquakes in this western shallow mantle. These alignments are oriented in NNE-SSW. We also revealed a large alignment of intra-slab earthquakes just below the Nankai trough. It is oriented N-S and dipping southwards.

Keywords: PHS plate, seismicity, subduction, OBS, waveform cross-correlation, tomography

BBOBS 連続記録から抽出された反射波を用いた S 波速度および異方性構造のデイリーモニタリング

Daily monitoring of shear wave velocity and anisotropic structure using the reflected wave extracted from BBOBS data

利根川 貴志^{1*}, 深尾 良夫¹, 西田 究², 杉岡 裕子¹, 伊藤 亜妃¹

TONEGAWA, Takashi^{1*}, FUKAO, Yoshio¹, NISHIDA, Kiwamu², SUGIOKA, Hiroko¹, ITO, Aki¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東大地震研

¹JAMSTEC, ²ERI, Univ. of Tokyo

近年、地震波干渉法を用いて地震波速度構造の時間変化を抽出する研究が精力的に行われている。これらの研究は、2つの観測点間を伝わる波を抽出し、その抽出波形の時間変化を調べることで地下の地震波速度変化の検出を試みている。例えば、Breguier et al. (2008) では表面波を抽出し、2004年パークフィールド地震(M6.0)に伴う地震波速度変化を検出した。また、Nakata et al. (2011) では、鉛直アレーを伝わる直達波を抽出し、その到達走時の時間変化を調べることで2011年東北地方太平洋沖地震に伴う浅部の構造の時間変化を検出した。さらに、自己相関関数をスタックすることで疑似反射記録が得られるが、中条ほか(日本地震学会2011年秋季大会)では、海底地震計記録の自己相関関数から反射P波を抽出し、その走時を調べることで地下構造の時間変化を検出した。本研究では、紀伊半島沖に設置された海底地震計を用いて、水平動記録の自己相関関数から反射S波を抽出し、観測点と反射面の間の異方性構造を推定する。さらに、その異方性を含めたS波速度構造が時間変化するのかどうかを調べる。

使用した観測点は、紀伊半島沖の付加体の上に設置されたBBOBS(3点中)2点で、観測期間は2008/8-2009/9である。この期間は、紀伊半島沖で超低周波地震の活動が活発(Mw~4.9(Sugioka et al. 2012))だった時期(2009/3)を含む。前処理として、1-3 Hzのバンドパスフィルターを水平動2成分に適用し、振幅の1bit化を行った。その後、2成分波形を5°きざみで時計回りに回転させて波形を合成し、それぞれの方位において、600秒の時間窓ごとに自己相関関数を計算した。さらに、それらを一日分スタックした自己相関関数を約400日分求めた(72方位×400日の自己相関関数)。また、上記の波形の回転は、振動方向の異なる反射S波の走時を測定することを目的としている。

結果では、二つの観測点で付加体底部からと考えられる反射波を全方位の自己相関関数において検出した。しかし、その到達走時はS波の振動方向によって変化しており、これは観測点から反射面の間の異方性構造に起因するものと考えられる。両観測点において、速いS波と遅いS波の速度変化は3-4%ほどであった。また、このような反射波は一日分のスタックで検出することができるため、その走時の変化を測定することで、S波速度と異方性構造のモニタリングが可能となる。しかし、2009/3の超低周波地震に起因するような変化は検出されなかった。発表では、紀伊半島沖の結果に加え、アウターライズに設置されたBBOBSで、堆積層底部からの反射S波の走時が2011年東北地方太平洋沖地震の前後で変化したので、それも併せて報告する。

キーワード: 地震波干渉法, モニタリング, 付加体, 異方性, S波速度

Keywords: seismic interferometry, monitoring, accretinary prism, anisotropy, shear wave velocity

日向灘における余効すべりの伝播に誘発されるスロースリップイベントとM7クラスの地震

Slow slip events and large thrust earthquakes triggered by afterslip in the Hyuganada region

中田 令子^{1*}, 兵藤 守¹, 堀 高峰¹

NAKATA, Ryoko^{1*}, HYODO, Mamoru¹, HORI, Takane¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

日向灘で1996年10月と12月に発生した地震(M6.9・M6.7)の余効すべり域[Yagi et al., 2001]とほぼ同じ場所では、スロースリップイベントが繰り返し発生している[国土地理院, 予知連資料, 2011]。継続時間は半年から1年程度、発生間隔は約2年で、これまでに少なくとも3回観測されている。

中田他[2011年地震学会]では、Baba et al. [2002]に基づいた3次元曲面のプレート境界面形状を用いて、日向灘南部における地震サイクルの数値シミュレーションを行い、余効すべり域において、繰り返し発生するスロースリップイベントを再現することができた。このモデルでは、スロースリップのすべり速度でもslowness lawを適用し、スロースリップイベントのすべり域では、地震の震源域よりも大きな特徴的すべり量を与えている。その結果、スロースリップイベントの繰り返しやM7前後の地震の繰り返しに関して、観測を定性的に再現することができた。また、再現されたスロースリップイベントには、自発的に繰り返し発生するものと、余効すべりによってトリガーされるものが見られた。さらに、スロースリップイベントのすべり域では、通常地震(Mw7.2)も、余効すべりの伝播によってトリガーされていた。

摩擦パラメタの異なる場所では、破壊がどのように起こるかも異なる。しかし、本モデルでは、摩擦パラメタの空間分布は時間変化させていないため、同じ摩擦条件下で、すべり速度の異なる破壊が起きている。本研究では、余効すべりによってトリガーされるすべりが加速して通常地震に発展するとき、加速がゆるやかで、スロースリップイベントになるときの違いを調べるために、両イベントの発生前の期間について、細かいタイムステップで計算を行った。余効すべり域とその周辺において、応力 - すべり速度の関係、応力・強度の時間発展や空間分布を、各イベントの約270日前から1日おきに比較したところ、両者に顕著な違いは見られなかった。このことは、震源域におけるわずかな応力や強度分布の違いで地震が発生したりスロースリップイベントが発生したりする可能性を示すものである。今後は、両者の違いをもたらす原因を明らかにする必要がある。

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。

東南海震源域における孔内地震地殻変動観測の進捗

Progress of borehole seismo-geodetic observation above the rupture zone of the Tonankai earthquakes.

荒木 英一郎^{1*}, 北田 数也¹, 木村 俊則¹, 木下 正高², 金田 義行¹

ARAKI, Eiichiro^{1*}, KITADA, Kazuya¹, KIMURA, Toshinori¹, KINOSHITA, Masataka², KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構 地震津波防災研究プロジェクト, ² 海洋研究開発機構 IFREE

¹JAMSTEC DONET, ²JAMSTEC IFREE

海域での高感度観測を行うため、東南海地震の震源域へ掘削した孔内へ高感度な地震・地殻変動センサーを設置している。全体として3点以上からなる掘削孔内観測網を構成し、さらにそれらの観測点を地震・津波観測監視システム(DONET)に接続して東南海地震震源域およびその海側の観測を行う計画であり、2009年にIODP C10孔で一時的孔内間隙水圧観測システムを設置したのをはじめとして2010年12月には、C2孔に体積歪・傾斜・広帯域地震動・強震動・孔内間隙水圧・温度の計測が行える恒久的な孔内観測点を設置した。C2観測点に設置したセンサーの動作確認は、予定された2011年3月の航海が東北太平洋沖地震の影響でキャンセルしたため遅延しているが、2011年7月末にJAMSTECなつしまNT11-09航海、2012年1月にNT12E01航海を実施し、孔内体積歪計・傾斜計・広帯域地震計・強震計・ジオフォン・温度計アレイの正常な動作が確認されている。広帯域地震計の動作確認試験データからは、C2孔内では、近隣の海底設置の地震計(DONET-KMD16)よりも周期帯によって10~20dB程度背景ノイズが小さいことが示唆されており、孔内で今後安定な地震・地殻変動観測ができることが期待される。間隙水圧計については、2010年の設置時に動作確認を行い、観測を継続している。今のところ、間隙水圧計を除いては連続観測を実施できていないが、今後連続観測を行い、さらに2013年1月にC2点をDONETへ接続すべく、準備を進めている。

キーワード: 孔内, 地震, 地殻変動, 東南海地震

Keywords: borehole, seismic, geodecy, Tonankai earthquake

地震・津波観測監視システム (DONET) の運用とDONET2の構築 Operation and Construction of Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunamis (DONET/DONET2)

金田 義行^{1*}, 川口勝義¹, 荒木英一郎¹, 松本浩幸¹, 横引貴史¹, 西田周平¹, 崔鎮圭¹, 星野政之¹, 中野優¹, 中村武史¹, 有吉慶介¹, 高橋成実¹, 神谷眞一郎¹, 馬場俊孝¹

KANEDA, Yoshiyuki^{1*}, Katsuyoshi Kawaguchi¹, Eiichiro Araki¹, Hiroyuki Matsumoto¹, Takashi Yokobiki¹, Shuhei Nishida¹, Jin-Kyu Choi¹, Masayuki Hoshino¹, Masaru Nakano¹, Takeshi Nakamura¹, Keisuke Ariyoshi¹, Narumi Takahashi¹, Shin-ichiro Kamiya¹, Toshitaka Baba¹

¹ (独) 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

地震・津波観測監視システム (DONET) は、海底において長期間かつ稠密な地震・津波観測を行うシステムである。海底ケーブルによって陸上局と繋がれた複数の海底観測点に、それぞれ広帯域地震計、強震計、ハイドロフォン、微差圧計、水圧計、精密温度計が設置され、観測データはリアルタイムで送られる。DONET 1として計画された20観測点のすべての設置を平成23年8月に完了し、現在、紀伊半島沖熊野灘の水深1,900から4,300mの海底でのリアルタイム観測を順調に実施している。データを用いた緊急地震速報や津波警報の高度化に資する即時解析研究や、プレート境界浅部での低周波微動やゆっくり滑りをはじめとする南海トラフ地震発生帯研究も同時に進めている。

一方、東南海地震 - 南海地震の一連の過程を捉えるためには、東南海地震震源域である熊野灘での観測網整備だけでは不十分である。特に東南海地震が南海地震に先行して発生した場合、南海地震の時間差連動発生を評価することが非常に重要であることから、南海地震の想定震源域への観測網の拡張が必要不可欠である。このため海洋研究開発機構では、紀伊半島沖西方海域から室戸沖に至る海域に新たな地震・津波観測監視システム (DONET2) の構築を平成22年度より本格的に開始した。DONET2は、基幹ケーブル長350km、ノード7基、観測点約30点と、現行のDONETよりも大規模なシステムで、DONETは3KVの電圧システムに対し、DONET2は10KVの高電圧システムでより広域な観測網の展開を可能とする。現在は、DONET2の大まかなケーブルルートを決し、当該海域の海底地形調査、曳航体等によるルートクリアランス (海底目視観察) を行うとともに、陸揚げ局の設計などを実施している。ここでは、DONET運用とDONET2の進捗状況について紹介する。

キーワード: 地震・津波観測監視システム, 東南海地震, 南海地震, 南海トラフ, 津波, リアルタイム

Keywords: DONET, DONET2, real time monitoring system, Tsunami, Nankai trough, Nankai earthquake

東地中海泥火山の噴出供給源

Investigation into source depth of mud volcano in the eastern Mediterranean: A case study of Medee-Hakuho Mud Volcano

喜岡新^{1*}, 芦寿一郎², 村岡諭², 坂口有人³, 中村恭之³, 佐藤時幸⁴, 徳山英一²

KIOKA, Arata^{1*}, ASHI, Juichiro², MURAOKA, Satoru², SAKAGUCHI, Arito³, NAKAMURA, Yasuyuki³, SATO, Tokiyuki⁴, TOKUYAMA, Hidekazu²

¹ 東大・理・地惑, ² 東大・大気海洋研, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 秋田大・工学資源学研究科

¹Dept. EPS, Univ. Tokyo, ²AORI, Univ. Tokyo, ³IFREE, Jamstec, ⁴Engr. Resource Sci., Akita Univ.

Present-day geodynamic framework in the Eastern Mediterranean Sea and the surroundings is characterized by a complex pattern of active thick-skin crustal tectonics resulting from various plate and microplate interactions [e.g., McKenzie 1972]. Moreover, thick impermeable barrier of the Messinian evaporates exists below the entire Eastern Mediterranean foredeeps exceeding 3 km in thickness [e.g., Polonia et al. 2002]. These geological frameworks result in the Mediterranean Ridge (MedRidge) differing from other accretionary complexes around the world, coupled with formation of mud volcano and brine lake.

Ten-day PENELOPE Cruise in January/February 2007 (KH-06-4 Leg06 survey of the R/V Hakuho-Maru) made detailed mapping and piston/multicores sampling at newly-discovered Medee brine lake and its westward neighboring Medee-Hakuho Mud Volcano (MHMV) in the western branch of the MedRidge. The MHMV has an almost circular dome structure in diameter of ~7km and reaching ~130m high showing very gentle slope, standing on the backstop boundary thrust in water depths of 2260 m. It was initially roughly-recognized during Medee Cruise conducted in 1995 on the basis of its distinct backscatter intensity. The MHMV is interpreted to be active because of existence of many pebbles in the obtained core samples and the high backscattering characteristics.

Little has been clarified the relationship between undergoing collisional tectonics and mud volcanism, although these processes are strongly associated [Kopf 2002]. Mud volcanism in the Eastern Mediterranean Sea is known to be present on contiguous belt along the MedRidge, which is referred to as the "Mediterranean Ridge mud diapiric belt" [Limonov et al. 1996], but mud fields in the western branch of the MedRidge remain poorly solved. This study includes vitrinite reflectance (VR) measurement of the clasts from the pinpoint piston cores obtained from MHMV by means of ROV NSS (Navigable Sampling System), in order to evaluate experienced maximum paleotemperature of the clasts. Some nannofossil ages of the clasts from the MHMV core show ~100 Ma corresponding to the period when Hellenic subduction initiated [Stampfli and Borel 2002]. The subduction system in the eastern Mediterranean has developed dramatically since the period [Ring et al. 2010]. Preliminary results show high VR values suggesting these clasts come from deeper areas as compared with reported results from mud volcano at Kumano Trough [e.g., Muraoka et al. 2011]. Estimating the sediment source and burial depth of MHMV will contribute to qualitatively indicate elevated pore pressure in this subduction zone, or presumably to reveal characterization of the mud volcano coupled with brine lake at the prism-backstop contact.

キーワード: 東地中海, 地中海リッジ, 付加プリズム, 泥火山, ビトリナイト反射率

Keywords: Eastern Mediterranean, Mediterranean Ridge, accretionary prism, mud volcano, vitrinite reflectance

熊野トラフに発達する泥火山の供給源深度 The source depth of the mud volcano developed in the Kumano Trough

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

MURAOKA, Satoru^{1*}, ASHI, Juichiro¹, KANAMATSU, Toshiya², SAKAGUCHI, Arito², AOIKE, Kan², INAGAKI, Fumio²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, ² JAMSTEC

Submarine mud volcanoes are formed as conical mounds composed of erupted unconsolidated or partially consolidated sediments from mud diapirs which are induced by high pore-fluid pressure and buoyancy developed in the deep underground. Most of them were discovered around subduction zones. Mud diapir that brings deep underground materials to seafloor has an important role for material circulations in subduction zones. Moreover, methane seepages at mound summits are suggested by existences of chemosynthetic biological communities, and accumulation of methane hydrate is expected from core samples and seismic reflection studies. Therefore, mud volcano is also significant in terms of global warming and energy resource.

In order to understand material circulations by mud volcanoes, information about formation mechanism, source layer and its depth is important. In addition, despite mud diapir is generally regarded as rising phenomenon by buoyancy and abnormal high pore pressure, those physical properties are not well investigated. In this study, we discuss the formation mechanism and source depth of mud diapir by using of samples derived from mud volcanoes.

We obtained drilling samples from two sites at the summit of the mud volcano in the Kumano Trough, off Kii Peninsula, SW Japan, during CK09-01 using Deep-Sea Drilling Vessel CHIKYU, in March, 2009. Those sites are near the central part of the vent of the mud volcano.

To understand formation process of mud volcano, anisotropy of magnetic susceptibility, vitrinite reflectance, density, geological description of breccia are conducted. Anisotropy of magnetic susceptibility shows particle arrangement within samples to understand sedimentation and deformation fabrics. While muddy sediments usually exhibit the ellipsoidal body characterized by oblate shape, the samples from the mud volcano show prolate shape rather than oblate shape. Moreover, long axis of the ellipsoidal body shows mostly vertical direction. Therefore, we expected that the drilling site is influenced by vertical material flow.

Porosity of the matrix from the mud volcano is almost constant around 50%. In contrast, the porosity from deposits of the normal basin sediment decreases with the depth and show larger values than those of the mud volcano within 20 m below seafloor. Constant value of porosity of mud volcanoes indicates recent eruption without gravitational compaction. On the other hand, the porosity of breccias shows 20-40%. These values are smaller than those of the surface basin sediment and the matrix of the mud volcano.

Finally, the measured reflectance of vitrinites included in breccias derived from one formation under the seafloor and the age estimated by previous studies give us absolute maximum temperature of breccias. We calculated the depth of one formation by using the value of temperature and the geothermal gradient of this area before mud diapir brought in the formation as breccias. The depth is about 1900 meters under the seafloor. We expect that the source depth of the mud volcano is more depth than 1900 meters depth.

キーワード: 泥火山, 泥ダイアピル, ビトリナイト反射率, 沈み込み帯, 南海トラフ

Keywords: mud volcano, mud diapir, vitrinite reflectance, subduction zone, Nankai Trough

地震探査から判明した南西諸島海溝南部の沈み込み構造

Subduction structure revealed by seismic experiments at the southern Ryukyu Trench

金田 謙太郎^{1*}, 西澤 あずさ¹, 堀内 大嗣¹

KANEDA, Kentaro^{1*}, NISHIZAWA, Azusa¹, HORIUCHI, Daishi¹

¹ 海上保安庁海洋情報部

¹Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

英文のみ

キーワード: 地殻構造, 沈み込み帯, 南西諸島海溝, 地震探査

海底地形とマルチチャンネル反射法断面から推測される八重山諸島前弧域の地質構造

The geological structures to the south of the Yaeyama Islands deduced from submarine topography and MCS reflection data

堀内 大嗣^{1*}, 加藤 幸弘¹, 西澤 あずさ¹, 金田 謙太郎¹

HORIUCHI, Daishi^{1*}, KATO, Yukihiko¹, NISHIZAWA, Azusa¹, KANEDA, Kentaro¹

¹ 海上保安庁海洋情報部

¹ JHOD, JCG

海洋プレートの沈み込み帯の周辺は地震が多発する領域であり、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精密海底地形調査や、地震探査による構造調査が数多く行われており、各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。

南西諸島の南東側に位置する南西諸島海溝では、フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下へと沈み込んでいく。しかし南海トラフや日本海溝に比べて、南西諸島海溝についての構造調査の研究例は少なく、南西諸島海溝の地震発生の特性についての理解はまだ十分には成されていない。南西諸島海溝南部においても、1771年に大津波を伴う地震(八重山地震)が発生し、八重山諸島で死者約1万2000人におよぶ被害があったという記録があるため、南西諸島海溝の沿岸域における地震や津波のリスクは、南海トラフや日本海溝の沿岸域と比べて低いとはいえない。

南西諸島における地震を正しく理解するために、南西諸島海溝周辺の地形・地質を詳細に早急に把握することは極めて重要である。

海上保安庁では海洋権益保全のための調査の一環として、南西諸島周辺において精密海底地形調査と屈折法・反射法地震探査を実施している。南西諸島の南端に位置する八重山諸島周辺においては、2009年に海溝から前弧海盆地を経て島弧までを横断する測線を設定して屈折法・反射法探査を行った。反射法地震波探査では、長さ3000m、240チャンネルのストリーマケーブルを曳航し、5.7l (350 inch³) × 3 のエアガンアレイを50mごとに発震させ、断面図(MCS: Multi-Channel Seismic プロファイル)を得た。

八重山諸島南方の海溝陸側斜面には、幅約50kmの付加体地形が海溝軸と平行に認められる。与那国島の南方では、付加体地形と前弧海盆地の境界にWNW-ESE方向の直線的な右横ずれ断層がみられる(Lallenam et al. 1999)。この右横ずれ断層は宮古島南部にまで連続していることが海底地形から認められる。

石垣島の南東方でこの断層と交差する測線のMCSプロファイルには、前弧海盆地と付加体域の境界の海底崖の表層付近にフラワー構造が認められ、この海底崖は横ずれの成分を持つことが確認できる。前弧海盆地直下には、プレート境界と思われる北落ちの強い反射面が、少なくとも海底崖から北方に約50km、海面下約20km程度の深さまで連続している様子が認められる。

キーワード: 南西諸島海溝, マルチチャンネル反射法探査, 海底地形

Keywords: Nansei-Shoto trench, Multi-Channel Seismic profile, submarine topography

2004年スマトラ-アンダマン地震震源域の海底下地質構造 Subbottom structures in the region causing the huge tsunami during the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake

三澤 文慶^{1*}, 平田 賢治², Leonard Seeber³, Riza Rahardiawan⁴, 馬場 久紀⁵, 亀尾 桂¹, 安達 啓太¹, 去川 寛士⁵, Udrekh Udrek⁶, 荒井 晃作⁷, 中村 恭之⁸, 木下 正高⁸, 富士原 敏也⁸, 芦 寿一郎¹, 徳山 英一¹, Haryadi Permana⁹, Yusuf S. Djajadihardja¹⁰

MISAWA, Ayanori^{1*}, HIRATA, Kenji², Leonard Seeber³, Riza Rahardiawan⁴, BABA, Hisatoshi⁵, Katsura Kameo¹, ADACHI, Keita¹, SARUKAWA, Hiroshi⁵, UDREKH, Udrek⁶, ARAI, Kohsaku⁷, NAKAMURA, Yasuyuki⁸, KINOSHITA, Masataka⁸, FUJIWARA, Toshiya⁸, ASHI, Juichiro¹, TOKUYAMA, Hidekazu¹, Haryadi Permana⁹, Yusuf S. Djajadihardja¹⁰

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 気象研究所, ³ ラモント・ドハティ地球研究所, ⁴ インドネシア海洋地質研究所, ⁵ 東海大学, ⁶ インドネシア応用技術評価庁, ⁷ 産業技術総合研究所, ⁸ 海洋研究開発機構, ⁹ インドネシア科学院, ¹⁰ インドネシア測量地図庁
¹AORI, the University of Tokyo, ²MRI, ³LDEO, ⁴MGI, ⁵Tokai University, ⁶BPPT, ⁷GSJ, AIST, ⁸JAMSTEC, ⁹LIPI, ¹⁰BAKOSURTANAL

On 26th December 2004, the Sumatra-Andaman Earthquake (Mw 9.2) nucleated offshore northwestern Sumatra Island and then ruptured the megathrust for over ~1,300 km mostly to the north along the Sunda Trench. The great tsunami spread over the Indian Ocean and more than the 220,000 people died. Several international marine geological and geophysical surveys have been conducted in this area, especially the Sunda Trench and the Aceh Basin areas. Based on the results from the surveys, five working hypotheses have been proposed for the tsunami source fault model. Among them, Hirata et al. (2008, 2010) suggested that the secondary tsunami source is located around the Middle Thrust of Sibuet et al. (2007). If the 2004 coseismic rupture reached the seafloor along the Middle Thrust, seafloor deformation contributing the great tsunamis would be recorded in the shallow part of the sediment layer.

To image the detailed shallow structure and to map distribution of active faults, we conducted a high-resolution Multi-Channel Seismic (MCS) survey with ship-board Subbottom Profiler (SBP) in the areas during KH-10-5 cruise (using R/V Hakuho-Maru). KH-10-5 MCS survey was carried out in November 2010. Total length of the survey lines was ~484.3 nautical miles. In this MCS survey, a GI gun with a total volume of 150 cubic inch (G: 45 cubic inch, I: 105 cubic inch) and 1200m-long, 48 ch streamer cable were used (steaming at 4 knots, 10 seconds shot interval).

The survey provided fine structural images down to 1.5 sec (TWT) in the trench and to a maximum of 2.0 sec (TWT) in the forearc high region. In the trench region, many landward-vergences (seaward-dipping) faults were identified. These faults reach the seafloor. In general, the trench region seems to suffer active deformation. Additionally, the landward-vergences uplift and deform the oceanic and trench-fill sediments of the Sunda trench. This deformation system has developed the kink folding systems and has also played the role of the accretionary process. In the forearc high area, many of faults and folds were also recognized. A number of ridges in this area are made by many thrust-anticlines. Between the anticline ridges, the syncline and the syncline (or piggyback) basins are also recognized. The sedimentary layers of syncline basins can be usually imaged down to a maximum of 0.5 sec (TWT) below the seafloor. In the deep part of these basins, sediment is often tilted landward. These tilted layers form a proto-deformation related to the shortening of the forearc and the development of the anticline ridges. In contrast, the shallow part of these basins is mostly flat-lying and laterally coherent. It indicates that the recent deformation activity of this area is relatively low. Along the Middle thrust, however, we found evidence in both MCS and SBP data of recent deformation in the near-surface layer. This active deformation area is almost coincident with the position of the predicted secondary tsunami source fault predicted by Hirata et al. (2008). However, only the high-resolution MCS and shipboard SBP data alone cannot decide if this deformation was activated coseismically during the 2004 event. Also, the deeper structure of the Middle Thrust could not be recovered by our MCS data. Additional survey will be required, such as the high-resolution deep-tow SBP and piston coring will be required in near future as well as a large-scale MCS survey with larger volume air-gun and much long streamer.

キーワード: 2004年スマトラ-アンダマン地震, 津波, 海底下地質構造, 高解像度反射法地震探査

Keywords: 2004 Sumatra-Andaman Earthquake, Tsunami, Subbottom structure, High-resolution Multi-Channel Seismic survey