

超巨大地震のシナリオすべり分布の推定手法の提案・中央アンデスへの適用 Estimation of slip scenarios of megathrust earthquakes: Application to Central Andes, Peru

ブリードネルソン^{1*}, Hernando Tavera², Mohamed Chlieh³, Hugo Perfettini⁴, Zenon Aguilar⁵, 中井 正一⁶, 山崎 文雄⁶
PULIDO, Nelson^{1*}, Hernando Tavera², Mohamed Chlieh³, Hugo Perfettini⁴, Zenon Aguilar⁵, Shoichi Nakai⁶, Fumio Yamazaki⁶

¹ 防災科学技術研究所, ² ペルー地球物理庁, ³ ジョセフ・フーリエ大学 (フランス), ⁴ ニス・ソフィア・アンティポリス大学 (フランス), ⁵ ペルー国立工科大学 (UNI), ⁶ 千葉大学

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Instituto Geofisico del Peru, ³Universite Joseph Fourier,

⁴Universite de Nice-Sophia Antipolis, ⁵Universidad de Ingenieria (UNI), ⁶Chiba University

The recent 2011 Tohoku-oki earthquake occurred in a region where giant megathrust earthquakes were not expected. This earthquake proved the difficulty to assess seismic hazard mainly based on information from historical earthquakes. In this study we propose a methodology to estimate the slip distribution of megathrust earthquakes likely to occur in the future, based on a model of interseismic coupling (ISC) distribution in subduction margins obtained from GPS measurements (Chlieh et al. 2011), as well as information of historical earthquakes, and apply the method to the Central Andes subduction region in Peru. Our results indicate that an earthquake of moment magnitude of 8.9 is very likely to occur at this region, as a result of the rapid convergence between the Nazca and South American plates and considering a large slip deficit of 15m since the 1746 earthquake, which is the largest and more damaging earthquake and tsunami in Central Andes according to historical information. The slip model obtained from geodetic data represents the large scale features of asperities within the megathrust, which is appropriate for simulation of long period waves and tsunami modelling. In order to create slip models appropriate for broadband strong ground motion simulations it becomes necessary to introduce small scale complexities to the source slip that allow the calculation of high frequency ground motions. To achieve this purpose we propose a "broadband" source model in which large scale features of the model are constructed from our geodetic scenario slip, and the small scale heterogeneities are obtained from a spatially correlated random slip model. This spatial heterogeneity of slip is obtained from the spectral amplitudes at high wave-numbers of a Von Karman Pseudo Spectral Density function (PSD) that fits the PSD of our geodetic slip.

Our results indicate that the PSD of a slip model of the (Mw8.8) 2010 Maule earthquake, Chile, (Pulido et al. 2010), is very similar to the PSD of our geodetic scenario slip for Central Andes, suggesting that our methodology might be appropriate to typify megathrust earthquakes at this region.

References

Chlieh, M., H. Perfettini, H. Tavera, J.-P. Avouac, D. Remy, J.-M. Nocquet, F. Rolandone, F. Bondoux, G. Gabalda, and S. Bonvalot, 2011. Interseismic coupling and seismic potential along the Central Andes subduction zone, *J. Geophys. Res.*, 116, B12405, doi:10.1029/2010JB008166.

Pulido N., Y. Yagi, H. Kumagai, and N. Nishimura, 2011. Rupture process and coseismic deformations of the February 2010 Maule earthquake, Chile, *Earth, Planets and Space*, 63, 955-959.

キーワード: 巨大地震, 地震シナリオ, j 地震ハザード予測, 中央アンデス・ペルー, ナスカプレート, GPS

Keywords: Megathrust earthquake, earthquake scenario, Seismic hazard estimation, Central Andes, Peru, Nazca plate, GPS

1906年エクアドル・コロンビア地震 (Mw 8.8) は本当に3連動地震か? Was the 1906 great Ecuador-Colombia earthquake (Mw 8.8) a multiple rupture event of three segments ?

都筑 基博^{1*}, 小山 順二¹, 蓬田 清¹
TSUZUKI, Motohiro^{1*}, KOYAMA, Junji¹, YOMOGIDA, Kiyoshi¹

¹ 北大・理・自然史

¹ Natural History Sci., Hokkaido Univ.

2011年東北地方太平洋沖地震発生以降、連動型地震への注目が高まってきている。このタイプの地震で最も有名なのが東海・東南海・南海の連動型地震であろう。そしてこれらと共に注目を集めているのが、エクアドル・コロンビア領域である。Kanamori and McNally (1982)によると、1906年にこの地域で発生した地震 (Mw = 8.8) の破壊領域は、余震分布から1942年 (Ms = 7.9), 1958年 (Ms = 7.8), 1979年 (Ms = 7.7) の3地震の領域を含んでいるとされている。しかし地震観測で得た乏しい1906年の地震の規模を正確に決定することは難しい。Kanamori and McNally (1982) でもこの地震の余震分布の不確実性は否定できず、Abe (1979) によって求められた津波マグニチュード M_t の値に近いことを信頼性の根拠としている。

Abe (1979) では、日本やハワイなどの遠地での津波の高さ記録を用いて1906年の M_t を求めていた。その計算で使われたデータの中に、ハワイのヒロで3.6 m という記録があった。しかしその値には以下のような問題点がある。

- ・どの文献を遡っても情報源となっているのは地元の新聞記事のため、数値の信頼度が低い。
- ・当時の新聞記事をあたると、この地震の津波によるヒロの被害は、線路や道路が浸水した程度である。1906年のヒロでの津波は3.6 m もなかった可能性がある。

ここでは近年の観測精度の高い1979年の記録を元にして1906年の地震の規模を推定してみる。Kanamori and McNally (1982) より、1979年の M_w は8.2。この地震は津波地震ではないので、 M_t は8.1である。そこで日本など遠地の信頼度の高い津波観測の記録を用いて1906年と1979年の津波波高の振幅比を求めた。そこから両年の M_t の差を推測する。その結果1906年の M_t は8.4~8.5となった。1906年の地震も津波地震でなかったとすると、 M_w も8.5程度となり、Kanamori and McNally (1982) の値よりも0.3小さい。地震モーメントでいえば、1906年の地震は1979年の2.8倍程度である。

スケーリング則により、地震モーメントは断層の長さの3乗に比例すると考える。Kanamori and McNally (1982) のように1906年の M_w が8.8ならば断層の長さは1979年の2倍になり、3つの地震の破壊領域を含むスケールになる。一方8.5ならば1.4倍となり、1958年と1979年の2つのセグメントを含むだけのものになる。

以上の結果より、1906年の地震は本当に3連動地震だったのだろうか、それにより3つのセグメントの個々の地震モーメントを足し合わせたものよりはるかに大きくなったのかは、慎重に考える必要がある。

参考文献

Abe, K., 1979, Size of great earthquakes of 1837-1979 inferred from tsunami data, *J. Geophys. Res.* **84**, 1561-1568.

Kanamori, H. and K. C. McNally, 1982, Variable rupture mode of the subduction zone along the Ecuador-Colombia coast, *Bull. Seism. Soc. Am.* **72**, 1241-1253.

キーワード: エクアドル, コロンビア, 連動地震, 津波

Keywords: Ecuador, Colombia, Multiple rupture, Tsunami

斜め衝突帯の巨大地震 (1) 相模トラフ

Megathrust Earthquakes in Oblique Subduction Zones Part 1: The Sagami Trough

小山 順二^{1*}, 都築 基博¹, 蓬田 清¹

KOYAMA, Junji^{1*}, TSUZUKI, Motohiro¹, YOMOGIDA, Kiyoshi¹

¹ 小山 順二, ² 都築 基博, ³ 蓬田 清

¹Junji KOYAMA, ²Motohiro TSUZUKI, ³Kiyoshi YOMOGIDA

2011年3月11日マグニチュード(Mw)9.0の超巨大地震が東北・関東地方を襲った。この地震は、Along-dip Double Segmentation (ADDS) と特徴づけられる、島弧沿いに並んだ活発な地震活動帯と海溝沿いの不活発な地震活動帯が、島弧と海溝の間に海溝軸に平行に二重に存在する地震活動域で発生した。巨大地震が発生すると予測されている南海トラフの地震活動はプレート境界浅部全面で不活発な地震活動を示す。過去の南海トラフの巨大地震時のすべり分布を見ると、プレート境界の浅部全体が、海溝沿いに隣り合って破壊し広がっている。このような違いを区別して、後者を Along-strike Single Segmentation (ASSS) と名づけている。これは ADDS では、海溝沿いの浅いプレート境界面だけが強く固着しているのに対し、ASSS ではプレート境界の浅い部分全体が強く固着をしているからである。

ASSS では巨大地震が発生する前に地震空白域が、ADDS ではドーナツ現象と呼ばれるような地震活動が活発化する。ここでは、巨大地震の発生したサブダクションゾーンの性質を、ADDS であるか ASSS か、サブダクションが正面衝突か斜め衝突か、上盤側のテクトニクス、背弧海盆の活動を考慮して、世界中の巨大地震に(1)1960年チリ型(2)1964年アラスカ型(3)2004年スマトラ型と(4)2011年東北沖型の4つの典型的なタイプがあること明らかにする。さらに、ここでは(1)チリ型の対極にある斜め衝突の(3)スマトラ型の巨大地震を検証し、日本付近に存在する斜め衝突のサブダクションゾーンである相模トラフでそこに発生する地震の特性を探ることとする。

西村・鷲谷(2007)はGPS観測から1923年関東地震の震源域ほとんどの領域でカップリング係数が0.8をこえているとした。それは1703年元禄地震以後のフィリピン海プレートの斜め衝突の変形を一部弾性変形でまかなった後に残るひずみの蓄積分である。相模トラフ周辺ではM5.5をこえるような地震はほとんど発生していない。したがって大きな地震が発生するとしても、それは seismic gap を形成するような ASSS 型の地震と思われる。ASSS 型の地震の固着域周辺深部ではゆっくりすべりやスロー地震が起こることがしばしば観測されている。房総沖スロー地震がフィリピン海プレートの固着域の先端付近であるとすれば、そこは相模トラフから70°、プレート境界面の深さが約30°位である(Hori, 2006)。相模トラフの構造は大きめに見積もっても全長が約250kmであり、2011年東北沖地震の約500km、2004年スマトラ・アンダマン地震の約1300kmに比べてはなはだ小さい。もし巨大地震が相模トラフ沿いに発生すると、相模トラフ沿いに長さ200kmでその深さまで破壊すると仮定すれば、断層の幅は約70km程度で、断層面積は約14000km²となる。Kanamori(1971)によれば、関東地震の断層は130x65km²、地震モーメントは7.6x10²⁰Nmである。断層面積比の3/2則を使って、期待される地震モーメントを推定すれば、約1.6x10²¹Nm程度、Mw[~]8.1となる。もちろん相模トラフでの地震となればMw[~]8程度でも、日本の中枢、人口密集地であるから、地震動や津波ばかりではなく、その被害は想像に余りあるが、相模トラフに限って言えば、巷間に叫ばれているようなMw9のような超巨大地震が発生する場ではない。

小さな地震のすべりベクトルから、相模トラフでは、アンダマン・スマトラ海溝のように斜め衝突の島弧に平行な成分が弾性変形により完全に緩和されているようには見えない。したがって、我々がこれから知らなければならないのは、斜め衝突による海溝軸に平行な成分が相模トラフ沿いにどのように緩和されて、どれくらいの逆断層成分が残されるかという問題である。さらに、地震の大きさとメカニズムによるすべりの収支を定量的に明らかにすることも重要である。

斜め衝突のサブダクションゾーンと言っても、スマトラ・アンダマン諸島とアリューシャン諸島でもはっきりとした違いがある。相模トラフの地震活動もそれらとは異なるものである。超巨大地震にもさまざまな発生形態があるのと同様に、斜め衝突するプレート境界でもさまざまな地震の起こり方がることが分かった。さまざまなサブダクションゾーンで発生している現象を相互に比較検証していくことが特定のサブダクションゾーンでの将来の地震活動を知ることにつながる唯一の道であると考えられる。

\$ http://www.bosai.go.jp/press/2011/pdf/20111031_01.pdf

キーワード: 巨大地震, 斜め衝突帯, 相模トラフ, 2004年スマトラ地震, 1965年ラット島地震

Keywords: Megathrust earthquakes, Oblique subduction zones, The Sagami Trough, 2004 Sumatra earthquake, 1965 Rat Island earthquake

日向灘と南海地震震源域との境界部における地震波速度構造 Seismic velocity structure around the boundary area of Hyuga-nada and Nankai seismogenic zone

山本 揚二郎^{1*}, 尾鼻 浩一郎¹, 高橋 努¹, 仲西 理子¹, 小平 秀一¹, 金田 義行¹

YAMAMOTO, Yojiro^{1*}, OBANA, Koichiro¹, TAKAHASHI, Tsutomu¹, NAKANISHI, Ayako¹, KODAIRA, Shuichi¹, KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

In the Nankai Trough, three major seismogenic segments (Tokai, Tonankai and Nankai) of megathrust earthquake exist. The Hyuga-nada segment is located on the west of Nankai segment and it was distinguished from these seismogenic segments because of the lack of megathrust earthquake. However, recent studies pointed out the possibility of simultaneous rupture of the Tokai, Tonankai, Nankai and Hyuga-nada segments [e. g., Furumura et al., 2011]. To understand segmentation and synchronization of seismic rupture along the Nankai Trough subduction zone, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology has been carried out a series of wide-angle active source surveys and local seismic observations in the Nankai Trough seismogenic zone.

From the observation data in Hyuga-nada segment, that has been performed from 2008 to 2009, we have clarified the location of subducted Kyushu-Palau ridge as a low-velocity belt with NW-SE strike in the subducted Philippine Sea plate [Yamamoto et al., 2011]. However, because the boundary area between Hyuga-nada and Nankai segments was located in the eastern end of their study area, we could not obtain enough structural information to discuss the difference between Hyuga-nada and Nankai segments.

In this study, we added the observation data in western Nankai segment that has been performed from 2009 to 2010, to the dataset of Hyuga-nada. Then, to discuss the relationship between structural heterogeneities and coseismic rupture pattern around Nankai and Hyuga-nada segments, we performed a three-dimensional seismic tomography for combined dataset.

From our results, high velocity zone is imaged within the continental plate just above the coseismic slip area of 1968 Hyuga-nada earthquake [Yagi et al., 1998]. This high velocity zone is not imaged beneath the coseismic slip area of 1946 Nankai earthquake [Sagiya and Thatcher, 1999]. Besides, uppermost slab mantle in the boundary area of Hyuga-nada and Nankai segments showed relatively higher velocity than that in eastern area. High velocity slab mantle becomes unclear at the eastern side of Cape Ashizuri. This result is consistent with the previous active source studies that showed the P-wave velocity of uppermost slab mantle as 8.0 km/s beneath Cape Ashizuri [Takahashi et al., 2002] and as 7.8km/s beneath Cape Muroto that located about 100 km eastward from Cape Ashizuri [Kodaira et al., 2000]. The existence of high velocity zone in the continental plate and high velocity uppermost slab mantle might be a one of the factor of the boundary area between Hyuga-nada and Nankai segments.

This study is conducted as a part of ‘Research concerning Interaction between the Tokai, Tonankai and Nankai Earthquakes’ funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.

Keywords: Nankai Trough, Ocean bottom seismograph, tomography, seismicity

南海地震震源域周辺におけるランダムな速度ゆらぎの空間分布 Spatial distribution of random velocity inhomogeneities around the fault zone of Nankai Earthquake

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

TAKAHASHI, Tsutomu^{1*}, OBANA, Koichiro¹, YAMAMOTO, Yojiro¹, KAIHO, Yuka¹, NAKANISHI, Ayako¹, KODAIRA, Shuichi¹, KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

南海トラフ周辺では東海地震, 東南海地震, 南海地震といった巨大地震が繰り返し発生し, その破壊伝播過程は一つの震源域の破壊や複数の震源域が連動する破壊などの多様性を示すことが知られている。(独)海洋研究開発機構では文部科学省の受託研究「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」の一環として, 南海トラフ周辺において制御震源及び自然地震を用いた構造探査研究を進めている。本研究では2008年から2011年までに日向灘から紀伊水道で行った自然地震観測記録を統合した解析を行い, 南海地震震源域周辺の速度ゆらぎのパワースペクトル密度の空間分布を推定した。

速度ゆらぎの空間分布の推定はピーク遅延時間の解析に基づいて行った。ピーク遅延時間はS波初動到達から最大振幅到達までの時間差として定義され, 速度ゆらぎによる多重前方散乱の影響を強く反映し, 内部減衰の影響を受けにくい量である。本研究では495台の短周期海底地震計と(独)防災科学技術研究所のHi-net及びF-net観測点378点の記録を使用し, 水平動2成分の速度波形記録から合成した4-8Hz, 8-16Hz, 16-32HzにおけるRMSエンベロープを解析に用いた。Takahashi et al. (2007)によるピーク遅延時間の最小値分布を求めた結果, 日向灘と紀伊水道付近に周囲に比べ散乱の影響が強い領域が分布し, 沈み込んだ海山(Kodaira et al. 2002)が存在する領域付近で特に散乱が強い傾向が見られた。媒質の速度ゆらぎがvon Karman型のパワースペクトル密度関数で特徴づけられると仮定して, Takahashi et al. (2009)の方法に基づきパワースペクトル密度の空間分布を推定した結果, 日向灘と紀伊水道において周囲に比べ速度ゆらぎの長波長成分に富む傾向が見られた。日向灘における速度ゆらぎの異常域は沈み込んだ九州パラオ海嶺が存在すると考えられている領域と概ね一致する。速度ゆらぎの長波長成分に富む傾向は, 北部伊豆弧のFrontal Arc High付近と似た特徴であり, 過去に火成活動があった媒質の特徴を反映している可能性が考えられる。以上の結果は, 紀伊水道における速度ゆらぎの異常域が沈み込んだ海山の構造を反映している可能性が高いことを示唆し, またランダムな速度ゆらぎが沈み込み帯における構造の特徴を議論する上で重要な物理量であることを示唆する。

南海地震(1946)震源域の構造変化と沈み込むフィリピン海プレートの形状 Structural variation and geometry of the Philippine Sea plate of the southwestern Nankai seismogenic zone

仲西 理子^{1*}, 下村 典生¹, 小平 秀一¹, 尾鼻 浩一郎¹, 高橋 努¹, 山本 揚二郎¹, 佐藤 壮¹, 金田 義行¹, 望月 公廣², 加藤 愛太郎², 飯高 隆², 蔵下 英司², 篠原 雅尚², 武田 哲也³, 汐見 勝彦³

NAKANISHI, Ayako^{1*}, SHIMOMURA, Norio¹, KODAIRA, Shuichi¹, OBANA, Koichiro¹, TAKAHASHI, Tsutomu¹, YAMAMOTO, Yojiro¹, SATO, Takeshi¹, KANEDA, Yoshiyuki¹, MOCHIZUKI, Kimihiro², KATO, Aitaro², IIDAKA, Takashi², KURASHIMO, Eiji², SHINOHARA, Masanao², TAKEDA, Tetsuya³, SHIOMI, Katsuhiko³

¹ 海洋研究開発機構, ² 東大地震研, ³ 防災科研

¹JAMSTEC, ²ERI, Univ. Tokyo, ³NIED

In the Nankai Trough subduction seismogenic zone, the Nankai and Tonankai earthquakes had often occurred simultaneously, and caused a great event. It is necessary to understand rupture synchronization and segmentation of the Nankai megathrust earthquake. For a precise estimate of the rupture area of the Nankai megathrust event, it is important to know the geometry of the subducting Philippine Sea plate and deep subduction structure along the Nankai Trough.

Based on our latest structural study of Hyuga-nada region, structural boundary between the oceanic crust of the Shikoku Basin and the crust of the Kyushu Palau Ridge is identified as the western margin of the type of Nankai megathrust event such as the Hoei earthquake occurred in 1707. To understand structural factors controlling coseismic rupture of the Nankai earthquake in 1946, the large-scale high-resolution wide-angle seismic study was conducted in 2009 and 2010. It is also important to obtain structural image and its variation around the deep low frequency earthquakes and tremors area.

In this study, approximately 200 ocean bottom seismographs were deployed for each experiment off the Shikoku Island and the Kii channel respectively. A tuned airgun system (7800 cu. in.) shot every 200m along 13 profiles. Airgun shots were also recorded along an onshore seismic profile (prepared by ERI, univ. of Tokyo and NIED) prolonged from the offshore profile off the Kii Peninsula. Long-term observation was conducted for ~9 months by 21 OBSs off the Shikoku area and 20 OBSs off the Kii channel.

Geometry of the subducting Philippine Sea plate from the Hyuga-nada region to off the Shikoku area, there is no notable variation in the subducting angle or structure around the western margin of the 1946 Nankai earthquake area. However, different structural image around the source area of the deep low frequency earthquakes and tremors is obtained by using the airgun shots recorded at onshore Hi-net (NIED, Japan) data located along prolongation of the offshore seismic profiles. At the western margin of the Shikoku Island, the deep low-frequency earthquakes and tremors are estimated to occur at the subducting plate boundary shallower than the forearc mantle, considering the normal velocity of the forearc mantle.

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

複雑な振る舞いを再現するシンプルな巨大地震サイクルモデル A simple model reproducing complex behavior of a giant earthquake cycle

光井 能麻^{1*}, 鷺谷 威²

MITSUI, Noa^{1*}, SAGIYA, Takeshi²

¹ 名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター, ² 名古屋大学減災連携研究センター

¹Earthquake and Volcano Research Center, Nagoya Univ., ²Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ.

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake is giant earthquake estimated as M9.0 and the source region is expanded from off-Miyagi to off-Fukushima. The magnitude is larger than expected one which is M7-M8 (e.g., The Headquarters for Earthquake Research Promotion, 2002). Some possible causes for reaching M9.0 are proposed in order to understand the mechanism of the earthquake occurrence. They are different on the points: 1) whether the moment of M9 is accumulated before the earthquake occurred, 2) what is the main cause of M9.0 (e.g., spatio-temporal change of frictional parameters, coseismic linkage of several asperities). However some interpretations are misled from the method of data analysis or numerical simulations.

Thus we propose a model based on a simple idea that earthquakes occur frequently at the boundary between asperity and non-asperity area because the increasing rate of the strain energy is large. From this point of view, off-Miyagi M7 source regions can be considered as the boundary not only in the depth direction but also lateral one, considering several data (past and 2011 seismic sources, interseismic activity including repeating earthquake, seafloor geometry, crustal structure, and interseismic slip deficit distribution estimating from GPS data). On the other hand, the source region of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (mainly off-Fukushima region) can be assumed at lower increasing rate than that at off-Miyagi. We express this model based on the rate- and state-dependent friction law (Dieterich, 1979). The boundary between asperity and non-asperity in the depth direction is modeled changing the value of A-B from negative to positive, and we set smaller L (characteristic slip distance) at the off-Miyagi M7 source regions than the other surrounding regions in order to reproduce the recurrence of M7 earthquakes.

As the results, we reproduce the recurrence times, the source region, and the rupture propagation of M7 and M9 earthquakes. We analyze the spatio-temporal distribution of slip and shear stress change, and we understand that the moment release rates of M7 earthquakes are comparable to expected one from the plate convergence rate at the final stage of M9 cycle. This suggests that the slip deficit of the area seems to be completely canceled by only M7 events, and it can mislead understanding the whole image of the earthquake cycle using only the data in the last stage of the earthquake cycle. Moreover we analyze afterslip of the M7 events, and we find the area and the cumulated magnitude of the afterslips become larger at the later stage of M9 cycle. In the presentation, we will report the numerical simulation of crustal deformation using this earthquake cycle model.

成層粘弾性媒質中での準動的な地震発生サイクルシミュレーション Quasi-dynamic earthquake cycle simulation in a layered viscoelastic medium

平原 和朗^{1*}, 鹿倉 洋介¹, 大谷 真紀子¹, 兵藤 守², 堀 高峰², 橋間 昭徳³

HIRAHARA, Kazuro^{1*}, SHIKAKURA, Yosuke¹, OHTANI, Makiko¹, HYODO, Mamoru², HORI, Takane², HASHIMA, Akinori³

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 海洋研究開発機構, ³ 千葉大学大学院理学研究科

¹Grad. School Science, Kyoto University, ²JAMSTEC, ³Grad. School Science, Chiba University

実験室での岩石実験から導かれた速度・状態依存の摩擦構成則に基づく、地震発生サイクルシミュレーションが行われ、過去の地震発生履歴の再現に成功し、地震発生予測に役立てようという研究が行われている。これらの研究のほとんどは、均質半無限弾性媒質を仮定してのものである。ところが、日本列島のように海洋性プレートが沈み込むサブダクション帯では、マントルウェッジは粘弾性構造をもち、大地震後数十年にわたる応力緩和および余効変動を生み出している。津波堆積物の研究から、東北地方太平洋沖地震の地震サイクルは数百年に及ぶと報告され、こういった超巨大地震では、粘弾性による応力緩和により、地震サイクルが大きな影響を受けると思われる。また、プレート境界地震発生の前後に内陸地震活動が高まることが報告されているが、この地震活動の相関には、マントルウェッジを介した粘弾性応力相互作用が大きな役割を果たしていると考えられる。

準動的な地震発生サイクルシミュレーションでは、プレート境界を N 個のセル (小断層) に分割し、各セルにおいて、プレート運動からのすべり遅れによる応力と速度・状態依存則に従う摩擦力の準動的な釣り合いを考え、各セルでのすべりの発展を追っている。粘弾性媒質における応力は、時間依存のすべり応答関数とすべり遅れ速度履歴の畳み込み積分で表され、全すべり速度履歴が必要となり、弾性媒質では時間に依存しない弾性すべり応答関数とすべり遅れの単なる積となるのと異なり、大変な計算になる。その重要性にも関わらず、これが、地震サイクル計算にこれまであまり粘弾性を考慮してこなかった一因であろう。

我々は、非弾性媒質における地震波動場の差分計算に用いられているメモリ変数を導入することで、履歴積分を必要としない方法を導入した (平原・他, 2011)。この方法では、すべり応答関数を M 個の緩和関数の和で表し、各緩和関数に対応するメモリ変数を導入する。各メモリ変数は時間に関する 1 階の微分方程式に従い時間発展する。応力は、すべり遅れから各メモリ変数の和を引いたものと弾性すべり応答との積になり、弾性媒質におけるすべり遅れの代わりに、すべり遅れから時間変化するメモリ変数の和を引いたものを用い、形式的には全く弾性応答の応力計算式と同じ形をとる。このため、我々が導入した、弾性媒質での応力計算の省メモリ化・高速化手法が有効に働く。その手法では、弾性媒質におけるすべり応答関数行列 ($N \times N$) とすべり遅れベクトル (N) 積のメモリ・計算量は、 $O(N^2)$ であるが、階層化行列 (H-matrices) 法を用いて、 $O(N) \sim O(N \log N)$ となる省メモリ化・高速化を達成している (Ohtani et al., 2012)。計算コストの面で見ると、粘弾性媒質におけるある時刻における地震サイクル計算では、弾性計算に比べ、すべり応答関数を近似する $N \times 3M$ 個のパラメータ、 $N \times M$ 個のメモリ変数がふえ、演算もメモリ変数の時間に関する $N \times M$ 個の 1 階微分方程式が加わり、弾性媒質に比べ、 $O(N \times M)$ のメモリおよび計算コストが増えるだけで、実際的な計算が可能になる。

本講演では、東北地方太平洋沖地震サイクルの 2 次元成層粘弾性シミュレーションを報告する。厚さ 40km の弾性層およびマクスウェル粘弾性媒質であるマントルウェッジを持つ成層構造中に、 20° で沈み込む太平洋プレート境界を仮定し、Kato and Yoshida (2011) の摩擦パラメータ分布を用いて、すべりの発展を追う。深さ 100km までを計算領域としているが、すべり速度弱体化特性をもつ地震発生層は粘弾性層中の深さ 55km まで設定している。すべり応答関数の計算には、Fukahata and Matsu'ura (2005, 2006), Hashima et al. (2008) に基づくプログラムを用いている。粘弾性層中でのすべり応答関数は時間と共に減衰しゼロになるが、弾性層中ではあるレベルに保たれる。粘弾性構造は地震の繰り返し間隔等に影響を与えるが、こういったすべり応答関数の違いは、特に粘弾性層中において弾性帯の場合とは大きく異なるすべり発展を生み出す。

キーワード: 地震発生サイクル, シミュレーション, 成層粘弾性媒質, 階層化行列法, メモリ変数

Keywords: Earthquake cycle, Simulation, Layered viscoelastic media, H-matrices method, Memory variables

過去の地震活動が解き明かす東北沖地震の動的破壊過程 Historical seismicity explains the dynamic rupture process of the 2011 Tohoku-Oki earthquake

井出 哲^{1*}, Aochi Hideo²
IDE, Satoshi^{1*}, AOCHI, Hideo²

¹ 東大・理, ² フランス BRGM
¹EPS, Univ. Tokyo, ²BRGM, France

東北沖地震の震源域周辺には、過去に繰り返し地震が多数同定されており、プレート境界面上に特徴的な構造が長期間維持されていることが示唆される。この構造を単純に周囲と切り離された固有地震的アスペリティとして取り扱うことは正しくないことが東北沖地震によって明らかになった。しかし同時に、そのような構造を基本として東北沖地震の動的破壊過程が進行した可能性が高い。その動的破壊過程を、地震断層面を半径に比例した破壊エネルギーを持つ円形パッチの分布によって表現した Ide and Aochi (2005) のモデルを用いて再現する。

1923 年以來の気象庁カタログをもとに、この地域で過去に発生したプレート境界地震のうち M8 程度 (Mj 7.8-8.3)、M7.5 程度 (Mj 7.2-7.7)、M7 程度 (Mj 6.7-7.1) のものを、それぞれ半径 50 km, 25 km, 12.5 km の円として震源を中心に配置する。この約 50 個の地震の配置から東北沖地震の大きなすべり領域が巨大な空白域として現れる。1896 年の明治三陸地震を考慮し、その南に海溝に沿って長径 130 km、短径 75 km の楕円パッチを配置する。さらに M7 程度のパッチを一つ追加するだけで、このパッチ配置から近似的に東北沖地震の動的破壊過程が説明される。

Ide and Aochi (2005) と同様にすべり弱摩擦則と境界積分法を用いて動的破壊シミュレーションを行うと、(1) 破壊開始直後から 30 秒間の西方への伝播、(2) それを震源核とする最大楕円パッチの破壊と 60 秒後の海溝の破壊、(3) 最大パッチの周辺、プレート境界深部で連鎖破壊する M7-8 の多数のパッチ、が再現される。それぞれ地震波を用いたデータ解析で指摘されている特徴である。また破壊はその後発生する余震の震源を残して停止する。計算には自由表面が入っていないのでモーメントは過小評価になるが、震源時間関数の特徴も説明できる。なお、このような破壊の連鎖には 3 月 9 日の前震による応力集中が欠かせず、それを含まない計算では破壊は (1) の西方への伝播のみで停止し、1978 年宮城沖地震のような M7.5 ~ 8 程度の地震となる。

キーワード: 2011 年東北沖地震, 動的破壊過程, フラクタルパッチ, 地震活動

Keywords: The 2011 Tohoku-Oki earthquake, dynamic rupture process, fractal patch, seismicity

プレート境界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シミュレーション Dynamic Simulations for the Seismic Behavior of Shallow Part of the Fault Plane during Mega-Thrust Earthquakes

津田 健一^{1*}, ドルジャパラム サロル¹, 壇 一男¹, 小川 幸雄¹, 渡辺 孝英¹, 浦谷 裕明², 岩瀬 聡²
TSUDA, Kenichi^{1*}, DORJPALAM Saruul¹, DAN Kazuo¹, OGAWA Sachio¹, WATANABE Takahide¹, URATANI Hiroaki², IWASE Satoshi²

¹ 大崎総合研究所, ² 中部電力株式会社

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

プレート境界地震の断層浅部には、プレート境界から上に向かって枝分かれした断層である分岐断層が見つかっており、プレート境界地震に伴って活動する場合には海底を隆起させ、その隆起によって津波が引き起こされると言われている。例えば南海トラフ沿いのプレート境界地震では、1944年の東南海地震や1946年の南海地震の際には分岐断層が連動し、大きな津波を引き起こしたとする報告がされている(Baba・他、2006)。一方、昨年発生した東北地方太平洋沖地震では、プレート境界浅部で強震動を伴わない大きなすべりが生じ、これはプレート間地震において地下の浅部まで断層破壊が及んだ場合の挙動の特徴として着目されている。このように、分岐断層を含め、プレート間地震における断層浅部の地震時挙動(破壊過程、地震動特性等)について観測記録の分析に基づく様々な検討がされている一方で、動力学モデルに基づく解析的な検討については、まだ十分な検討がされているとは言えない。例えば分岐断層を対象とした先駆的な研究であるWendt・他(2009)では、プレートの断層面上の初期応力分布の違いによって分岐断層の地震時挙動(連動するかしらないか)やそれに伴う海底面の変位量に大きな違いが生じることを数値シミュレーションによって示した。

本研究では、分岐断層を含め、プレート間地震における断層浅部の地震時挙動に関する知見の拡充を目的として動力学モデルによるシミュレーションを実施した。シミュレーションにおける数値計算手法としては、詳細な断層形状を組み入れることが出来、かつ計算速度の速いスペクトル要素法(Ampuero, 2009)を用いた。断層破壊に関する構成則はすべり弱体化則(Ida, 1972)を使用した。今回設定したモデルでは、東北地方太平洋沖地震の際に見られたプレート間地震の特徴的な断層浅部の挙動の再現は不十分であったものの、今後は地盤物性、摩擦構成則や初期応力状態等の諸条件によるパラメータスタディを実施し、断層破壊挙動およびそれによって生じる地震動への影響を検討することによって、分岐断層を含むプレート間地震の断層浅部の地震時挙動の把握につながるものと思われる。

キーワード: プレート境界地震, 動力学シミュレーション, 断層浅部, スペクトル要素法

Keywords: Megathrust event, Dynamic Simulation, Shallow Part of Fault Plane, Spectral Element Method

プレート運動と地震発生に伴う西南日本内陸活断層の長期的な破壊関数の変化 Long-term Changes in Coulomb Failure Function on inland faults in SW Japan due to plate motion and earthquakes

鹿倉 洋介^{1*}, 深畑 幸俊², 平原 和朗¹

SHIKAKURA, Yosuke^{1*}, FUKAHATA, Yukitoshi², HIRAHARA, Kazuro¹

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 京都大学防災研究所

¹ Grad. School Science, Kyoto Univ., ² DPRI, Kyoto Univ.

近畿地方とその周辺には中央構造線, 根尾谷断層, 六甲淡路断層帯など多くの内陸活断層が形成されている。これらの断層における地震発生は, オホーツク (OKH) プレートとアムール (AMR) プレートの相対運動によるとみられる新潟・神戸歪集中帯 (NKTZ) の東西圧縮 (Sagiya, 2004) がもたらすと考えられる。しかし同時に, 南海トラフ巨大地震の発生前 50 年から後 20 年に西南日本で内陸地震活動が増す (Hori & Oike, 1996) ことから, 南海トラフにおける巨大地震も内陸地震の発生に影響を与えていると推測される。これまで西南日本の内陸地震発生パターンについて, Pollitz & Sacks (1997), Hyodo & Hirahara (2004), 平原 (2007) が, クーロン破壊応力の時間変化 (CFF) を用いてフィリピン海 (PHS) プレート沈み込み境界での固着と巨大地震による粘弾性応答が西南日本の内陸活断層にもたらす影響を評価している。これらの研究は, プレートの定常沈み込みが応力蓄積をもたらさないという仮定を置いているが, 実際には数十万年スケールで変形が蓄積し, そのパターンは粘弾性時間無限大応答により得られる (Matsu'ura & Sato, 1989)。本研究では新たに, プレート沈み込み境界における「定常沈み込みの影響」, また「内陸地震発生相互の影響」を加えて西南日本の内陸活断層上に及ぼす応力変化を評価し, 活断層での応力の蓄積解放過程をモデル化する。この研究により, 南海トラフ巨大地震発生サイクル中のどの期間に地震が発生しやすくなるかを内陸活断層ごとに見積もり, 歴史記録における地震発生パターンと比較しモデルの妥当性を検証する。

粘弾性すべり応答関数の計算は, 弾性・粘弾性水平成層構造のもと, 表層の変形に伴う浮力が作用すると仮定し, 計算コードは Fukahata & Matsu'ura (2006) を用いる。また, Matsu'ura & Sato (1989) の方法で, プレートの定常沈み込みによる応力変化 CFF の時間変化の評価を行う。PAC, PHS プレートの沈み込み形状モデルは, 定常沈み込みを計算する際に必要な「滑らかさ」を重視した Hashimoto et al. (2004) のモデルを採用する。過去の南海トラフ巨大地震発生パターンは歴史記録に基づき, すべり量については時間予測および規模予測モデル (Shimazaki & Nakata, 1980) に基づき設定する。全球プレート運動モデルは, GPS データから構築された REVEL2000 (Sella et al., 2002) を用いる。また, NKTZ に代表される東西圧縮は N100E 方向に 1×10^{-7} (strain/yr) とする。伊豆弧の衝突については, Heki & Miyazaki (2001) に従い, 伊豆から駿河地域にかけ PHS - AMR 間の相対運動が減少するとしてモデルに入れる。断層の位置・形状は地震調査研究推進本部の値を採用する。また, 内陸地震による CFF 変化を考慮する。摩擦係数は間隙圧の効果を検討し 0.3 と設定する。

最初にモデルの検証のため, プレートの定常沈み込みによる効果について Hashimoto et al. (2008) と同じ全球プレート運動モデル NUVEL-1A を採用して計算したところ, 調和的な隆起速度分布が得られた。また, リソスフェアの厚さは Hashimoto らの研究では日本付近を一様 40km としているが, 西南日本で沈みこむ PHS プレートで想定される 35km として計算したところ, 西南日本におけるフリーエア重力異常場と近い分布が得られたため, 以降の計算ではこのプレート厚さを採用する。次に, PHS・PAC プレート定常沈み込みと NKTZ の東西圧縮による, 内陸活断層上の CFF 長期変化を計算した。計算の結果, ほとんどの活断層で長期の CFF 変化率は正となり, その絶対値は数 kPa/yr 程度となった。定常沈み込みによる CFF 変化率は ± 数百 Pa/yr 程度となり, その絶対値はすべて NKTZ の東西圧縮による変化率より小さくなった。これは, この地域の内陸地震発生が主として NKTZ の東西圧縮が生み出している考え方と整合的である。断層における地震発生は, 基本的に CFF が過去最大の値となる時点で発生し, CFF の考え方と調和的な結果になった。地震時の CFF の変化は, 基本的に断層側に近づくにつれて大きくなったが, 断層の幾何によって傾向は異なってくる。発表では, 以上に加えて内陸地震の発生による応力変化を考慮した計算結果を示す予定である。

キーワード: 沈み込み帯, 数値シミュレーション, 粘弾性, クーロン破壊関数, プレート定常沈み込み, 内陸地震

Keywords: subduction zone, numerical simulation, viscoelasticity, Coulomb failure function, steady plate subduction, inland earthquake

東南海地震の固着域とその海側における地震間応力蓄積量評価：弾性定数・固着域範囲の依存性

Interseismic stress accumulation at the locked zone of Nankai Trough seismogenic fault off Kii Peninsula

木下 正高^{1*}, Tobin, Harold²

KINOSHITA, Masataka^{1*}, Tobin, Harold²

¹JAMSTEC, ²Univ. Wisconsin Madison

¹JAMSTEC, ²Univ. Wisconsin Madison

Since 2007, we accomplished drilling, coring and downhole measurements at 13 sites across the Nankai accretionary complex off Kii peninsula using D/V Chikyū. Although the deepest hole is well above the seismogenic fault zone, we found that the stress regime is quite variable across the accretionary prism, and their mechanism is still in discussion.

An important source for such stress variation is the tectonic loading. In order to assess how much stress can possibly be accumulated around the locked zone during one seismic cycle, we conducted a simple 2D plain-strain steady-state elastic model using the finite-element method.

We fixed the geometry of plate interface and prohibited a horizontal displacement at one side (above the plate interface) 200km landward from the trench. Along the plate interface except the locked zone, we allowed free slip only along the fault. The locked zone is defined at 30-100 km landward of the trench, and is assumed as 100% locked (no differential movement). The movement of downgoing lithosphere is given at the landward side boundary 200 km landward of the trench. Since we deal with the total stress accumulation within one seismic cycle, a displacement of 5 m was given as a slab pull. Young modulus in the Kumano forearc basin (1 km thick) is set as 4 GPa taken from sonic log data at Site C0009, whereas that in the underlying domain is set at 50 GPa which would be too high for the accretionary sediment. In that case, estimated stress would be lower than provided below.

Most of the tectonic stress due to 5m of plate convergence is concentrated near the downdip edge of the locked zone. The principal compressional and shear stress on the fault is larger than 5 MPa and 2 MPa, respectively. They roughly agree with the stress drop during the M8 events.

These stresses along the fault, however, gradually decrease seaward to zero level. Tectonic compressional stress near the updip edge is much smaller than near downdip. At Site C0002, it is almost uniform at 0.3-0.5 MPa in the accretionary sediment below the Kumano Basin. In the Kumano basin, the stress further decreases by one order of magnitude.

Since we neglect gravity load, isostatic rebound and horizontal resistance, we cannot estimate the absolute stress level. Thus the results here cannot be compared to the observed downhole stress data, which implies strike-slip regime in the accretionary prism at Site C0002. Still, as mentioned by Wang and He (1999), the fault stress will not deviate too much from its average value. Our results confirm their implication. Furthermore, the small tectonic loading stress suggests that in the shallow part the orientation of principle stress can easily be rotated by near-surface phenomena such as stretching of sediment caused by thrusting of mega splay fault.

Keywords: NanTroSEIZE, stress, locked zone, Young's Modulus, Poisson's ratio

東北地方太平洋沖地震発生前に見られたゆっくりすべりの伝播 Propagation of slow slip leading up to the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake

加藤 愛太郎^{1*}, 小原 一成¹, 五十嵐 俊博¹, 鶴岡 弘¹, 中川 茂樹¹, 平田 直¹

KATO, Aitaro^{1*}, OBARA, Kazushige¹, IGARASHI, Toshihiro¹, TSURUOKA, Hiroshi¹, NAKAGAWA, Shigeki¹, HIRATA, Naoshi¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI University of Tokyo

Many large earthquakes are preceded by one or more foreshocks, but it is unclear how these foreshocks relate to the nucleation process of the mainshock. On the basis of an earthquake catalog created using a waveform correlation technique, we identified two distinct sequences of foreshocks migrating at rates of 2-10 km/day along the trench axis toward the epicenter of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake. The time history of quasi-static slip along the plate interface, based on small repeating earthquakes that were part of the migrating seismicity, suggest that two sequences involved slow slip transients propagating toward the initial rupture point. The second sequence, which involved large slip rates, may have caused substantial stress loading, prompting the unstable dynamic rupture of the mainshock (Kato et al., 2012, Science).

Keywords: Tohoku-Oki earthquake, slow slip, migration, repeating earthquakes

GPS 音響結合方式観測による 2011 年東北沖地震の余効変動 Postseismic deformation of the 2011 Tohoku Earthquake using GPS/acoustic observations

長田 幸仁^{1*}, 木戸 元之¹, 飯沼 卓史¹, 稲津 大祐¹, 佐藤 まりこ², 太田 雄策¹, 伊藤 喜宏¹, 日野 亮太¹, 藤本 博己¹
OSADA, Yukihito^{1*}, KIDO, Motoyuki¹, IINUMA, Takeshi¹, INAZU, Daisuke¹, SATO, Mariko², OHTA, Yusaku¹, ITO, Yoshihiro¹,
HINO, Ryota¹, FUJIMOTO, Hiromi¹

¹ 東北大学理学研究科, ² 海上保安庁海洋情報部

¹Graduate school of Science, ²Hydrographic and oceanographic department, Japan Coast Guard

東北日本沖では太平洋プレートが日本海溝に沈み込みにより、大きな被害をもたらすプレート境界型地震がしばしば発生する場所として知られている。しかし、大地震の発生する震源域は海底下にあるため、陸上 GPS 観測網だけでは、その位置やひずみの蓄積レート等を精密に推定することは難しい。東北大学では、海底で地殻変動を観測する方法として GPS 音響結合方式を採用し、2003 年から継続して観測を行って来た。2011 年東北地方太平洋沖地震発生後、地震に伴う変位を求めるため観測を行った結果、宮城県沖に設置した二つの観測点では、それぞれ 15m (GJT4, 海溝軸から約 140km), 31m (GJT3, 同じく約 50km) の東南東方向の水平変位が得られ、変位が海溝軸に近づくにつれ急激に大きくなっていることが明らかになった (Kido et al., 2011)。余効変動においては陸上 GPS 観測網により推定されるすべり分布は、本震時の滑り域の北西側と南側に比較的大きな滑りが推定されるとの報告が国土地理院からなされている (<http://www.gsi.go.jp/cais/topic110314-index.html>)。しかし、この解析では地震時に大きな変位が検出された海域のデータが含まれていない。そのため海域での地殻変動データが重要になってくる。地震発生後、当該海域で観測を継続している東北大学のグループの観測点は 2 点のみであり、余効変動の詳細な空間パターンを知るためには、観測点数が大幅に不足していた。そのため観測点を増設し空間分解能を高める必要があった。地震発生後福島沖 (GFK) で観測を開始し、既存点と併せての海底地殻変動観測を開始した。

地震発生前から継続的に観測を行って来た観測点 GJT3 においては、地震発生後 3 回の観測 (2011 年 4 月, 8 月, 10 月) から、東北東方向に 1.2m の水平変位が得られた。この変位量は、陸上 GPS 観測網で得られた変位場に基づいて推定された余効滑りモデルから計算される変位量 (東南東方向 0.42m) に比べて有意に大きく、方向に関してもその違いは著しい。このことから、余効変動の要因がプレート間すべりによるとすれば、浅部プレート境界でのすべりが、陸上点のみを用いての解析から得られている余効すべり分布に比べて大きいことを示唆している。海底地殻変動観測点並びに海底水圧観測点 (石川他, 本大会; 稲津他, 本大会) と陸上 GPS 観測点から得られた、海陸の測地学的データを用いた余効すべりの予察的解析結果によれば、浅部での余効すべりが大きくなっていることが示唆されている (飯沼他, 本大会)。本講演では得られた余効変動について発表を行う予定である。

キーワード: 余効変動, 海底地殻変動, 2011 年東北沖地震

Keywords: Postseismic deformation, seafloor crustal movement, the 2011 off Pacific coast of Tohoku Earthquake

2011年東北沖巨大地震：プレートカップリングが弱い沈み込み帯で起こった連動型地震

Interlocking rupture at the weakly coupled plate boundary for the 2011 Tohoku-Oki megathrust earthquake

田島 文子^{1*}, Kennett, Brian²

TAJIMA, Fumiko^{1*}, Brian Kennett²

¹LMU ミュンヘン大学, ²The Australian National University

¹LMU Munich, ²The Australian National University

Over the last few decades an asperity model has been developed to characterize the ruptures of large shallow subduction zone earthquakes in context of the strength of plate coupling [e.g., Ruff and Kanamori, 1980; Lay et al., 1982]. The 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw9) ruptured a large portion of the boundary between the subducting Pacific and the overriding Okhotsk plates where the coupling was considered weak and represented by sparsely distributed small asperities [e.g., Tajima and Kanamori, 1985a,b]. Thus, such a great earthquake had not been anticipated for this region in the previous scenario, in which a typical asperity break could produce an event of Mw~7.5 to lower 8, but the driving force of rupture propagation may not be large enough to break through a broad region, as was in the case of the interlocked Mw9 megathrust event in 2011. A typical large event is accompanied by a significant expansion of aftershock activity reflecting stress adjustment into the weakly coupled fault zones outside the ruptured areas.

The 2011 Tohoku-Oki earthquake sequence started with an Mw7.3 foreshock on March 9th. The 2-day aftershock area of this event mainly expanded trenchward until the March 11th main event took place at the western edge of the zone. After the March 11th earthquake ruptured the broad region in $t \sim 150$ s, however, it is notable that the aftershock area did not show much expansion over time as compared with the 1-day area in spite of the numerous aftershocks (note that we consider the aftershock area to be linked to the main rupture zone, and the large events ($M > 6$) in Niigata or Shizuoka, which were apparently induced after March 11 as a separate feature). Unlike the previous large earthquakes in this subduction zone, this expansion pattern is similar to that of the 1964 Mw9.2 Alaskan earthquake which occurred at the boundary between the Pacific and North American plates.

A recent joint seismic tomography model using both P and S wave arrivals provides an indication of the complex variations in physical properties of the fault zone [Gorbatov and Kennett, 2003; Kennett et al., 2011]. In the old subducting Pacific plate in the source region, shear wavespeed variations (dV_S/V_S) dominate variations in bulk-sound speed (dV_{ph}/V_{ph}) (the wavespeed associated with bulk-modulus alone). The variations in the wavespeed structure can be enhanced by examining a measure (R) of the relative variations in dV_{ph}/V_{ph} and dV_S/V_S with respect to the *ak135* reference model [Kennett et al., 1995]. The tomographic images taken on a plane approximately coincident with the March 11 main event fault surface show an anomalous zone of distinct reduction to zero in R, and slightly negative values just up-dip of the mainshock hypocenter. The zone of reduced R is largely associated with a reduction in dV_S/V_S with the effects enhanced by the increase in dV_{ph}/V_{ph} , and appears to have a strong influence on plate coupling over the rupture area. A consistent feature determined for the 2011 March 11 source rupture is the separation of areas associated with dominant high-frequency radiation down-dip and low-frequency up-dip from the hypocenter although the models show notable differences depending on the specific source of information employed. The down-dip edge of the anomalous zone in R corresponds to the separation between the areas of dominant high-frequency radiation and dominant low-frequency radiation. The edges of the anomalous zone we have delineated act as the initiation points for rupture process of the March 2011 sequence starting on March 9 as well as for the 1978 (Mw7.5) and 1981 (Mw7.0) events, and these locations will be where the strongest contrasts exist in physical properties.

In summary we suggest not to preclude a possibility that a weakly coupled plate boundary could produce an interlocked megathrust event as in the case of March 11th main event, given an effective plate coupling.

Keywords: 2011 Tohoku-Oki megathrust earthquake, Weakly coupled plate boundary, Interlocking rupture

北海道南東沖における地殻構造と巨大地震震源域の関係

A plate interface geometry off the southeastern coast of Hokkaido and its relation to source areas of large earthquake

町田 祐弥^{1*}, 篠原 雅尚¹, 高波 鐵夫¹, 中東 和夫¹, 山田 知朗¹, 望月 公廣¹, 村井 芳夫², 東 龍介², 日野 亮太³, 金沢 敏彦⁴
MACHIDA, Yuya^{1*}, SHINOHARA, Masanao¹, TAKANAMI, Tetsuo¹, NAKAHIGASHI, Kazuo¹, YAMADA, Tomoaki¹, MOCHIZUKI, Kimihiro¹, MURAI, Yoshio², AZUMA, Ryosuke², HINO, Ryota³, KANAZAWA, Toshihiko⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 北海道大学地震火山研究観測センター, ³ 東北大学大学院理学研究科, ⁴ 防災科学技術研究所
¹ERI, Univ. of Tokyo, ²ISV, Hokkaido Univ., ³Tohoku Univ., ⁴NIED

In the region off southeastern coast of Hokkaido, Japan, several large interplate earthquakes with magnitudes of 8 have occurred repeatedly due to a subduction of the Pacific Plate. The source regions of the earthquakes are spatially divided into several segments. Revealing a crustal structure in the region is essential to understand the distributions of source region. Seismic experiments using an airgun array and fifty-nine ocean bottom seismometers (OBSs) were performed along 4 profiles in 2006 and 2007. The profiles are located to cross the source regions of the earthquakes and an afterslip area following the earthquake. In this study we investigate relations between the source regions of large interplate earthquakes and an upper surface geometry of the subducting Pacific Plate. Combined the result from the wide angle seismic data with the previous seismic studies, we constructed a precise geometry of an upper surface of subducting Pacific plate in and around the source regions of large interplate earthquake. The depth of the plate interface geometry is not uniform along the trenches. A structure of the island arc crust and the plate interface geometry indicate a folded structure related to the arc-arc collisional tectonics of the Hokkaido region due to oblique subduction of Pacific plate. We found regions with high concentrated stresses on a fault based on the geometry of the plate interface. The areas are comparable with the source regions of the 1952 and the 2003 Tokachi-oki earthquake and the region where large slip was estimated during the 1952 Tokachi-oki earthquake from tsunami waveform inversion. In contrast to the stress concentrated regions, we found a region where the stresses are less concentrated. The afterslip of the 2003 Tokachi-oki earthquakes is distributed to the region. Therefore we suggest that the geometry of the subducting Pacific plate is strongly related to the distributions of source areas in the southernmost Kuril Trench. Due to the difference of the stress acting on the plate boundary, a wide variety of ruptures can occur for M 8 class earthquakes.

キーワード: 沈み込み帯, 巨大地震, 地殻構造, 千島海溝, 日本海溝, 島弧 島弧衝突

Keywords: subduction zone, megathrust earthquake, crustal structure, Kuril Trench, Japan Trench, arc-arc collision

千島海溝-日本海溝北部沿いの大地震・巨大地震の複雑な時空間分布 Complex Space-Time Pattern of Great and Large Earthquakes in the Northern Japan to Kurile Subduction Zones

原田 智也^{1*}, 佐竹 健治¹, 石橋 克彦²
HARADA, Tomoya^{1*}, SATAKE, Kenji¹, ISHIBASHI, Katsuhiko²

¹ 東京大学地震研究所, ² なし

¹Earthquake Research Institute, The Univ. of Tokyo, ²None

本研究では、日本海溝北部-千島海溝において1913年-2010年の約100年間に発生したM7以上の全てのタイプの地震について、本震・余震の震源再決定を行い、その時空間分布を検討した。次に、1960年代以降の全ての地震について、すべり分布の推定を行い、本震・余震分布とともに時空間分布の検討に用いた。その結果、この地域におけるM7以上の地震の時空間分布は、従来考えられてきたよりも複雑であることが分かった。

日本海溝北部-千島海溝南部の陸側は、M8級のプレート間巨大地震が時間・空間的に規則正しく発生する典型地域とされてきた(宇津, 1972; 1984)。しかしながら、この地域ではプレート間巨大地震以外にも、M7級のプレート間大地震、M7以上のスラブ内地震・アウターライズ地震・津波地震が多く発生してきた。本研究では、日本海溝北部-千島海溝において1913年-2010年の約100年間に発生したM7以上の全てのタイプの地震について、本震・余震の震源再決定をおこない、その時空間分布を検討した。震源決定には、Schweitzer (2003)のHYPOSATを用いた。いくつかの地震に関しては、さらにHurukawa (1995)の改良型連係震源決定法(MJHD法)を用いた再決定もおこない、震源の相対分布の精度を向上させた。読み取り値は、1964年以前の地震に関してはISS(International Seismological Summary)とBCIS(Bureau Central International de Sismologie)のカタログから、それ以降の地震に関してはISC(International Seismological Centre)のホームページから得た。

次に、1960年代以降に発生したM7以上の地震について、すべり分布の推定をおこない、本震・余震分布とともに時空間分布の検討に用いた。地震のすべり分布の推定には、Kikuchi and Kanamori (2003)の遠地実体波インバージョン・プログラムを用いた。古い地震に関してはWWSSNの長周期地震波形記録を、新しい地震に関してはIRIS-DMCより取得した広帯域地震波形記録を使用した。

結果は以下の通りである。日本海溝北部-千島海溝南部沿いは、過去のプレート間巨大地震の余震域から複数の領域に分けられているが(宇津, 1972; 地震調査研究推進本部, 2004)、各領域において、M8級のプレート間地震が単独で発生する場合と、M7級のプレート間地震が複数発生する場合がある。ウルップ島沖は1963年エトロフ沖地震(Mw8.5)の震源域であるが、そこで1991年、1995年にMw7.6, Mw7.9のプレート間地震が発生した。1963年、1991年、1995年のすべり分布から、1963年の南西側のアスペリティが1995年の地震によって再破壊された可能性がある。1990年代以降、この地域ではプレート間(巨)大地震が複数発生し、現在、青森県東方沖、釧路-択捉島沖、北ウルップ水道沖の3つのプレート間地震空白域が存在する。

1978年、1994年に色丹島付近で発生したスラブ内地震は太平洋スラブの断裂に起因する。2つの地震の近くでは、1939年にM7級のスラブ内地震が発生している。プレート間地震と考えられてきた1915年にシムシル島沖、1918年9月7日にウルップ島沖付近で発生したM8級の地震はスラブ内地震であった可能性がある。

この地域の海溝軸外側の海洋プレート内では、1933年、2007年のM8級の巨大地震をはじめ、1919年、1963年、1982年、2009年にM7級の地震が発生している。ウルップ島沖のM7級のプレート間地震とされてきた1918年11月8日の地震は、アウターライズ地震の可能性がある。2007年の正断層型の巨大地震の余震域内で発生した2009年の地震は逆断層型であったが、すべり分布の比較の結果、2007年はプレートの浅い部分、2009年は深い部分を破壊していることが分かった。1963年にウルップ島沖、1975年に色丹島沖で津波地震が発生している。

本研究では、HYPOSAT, MJHD法, 遠地実体波インバージョンのFORTRANプログラムを用いた。記して感謝します。

キーワード: 日本海溝北部-千島海溝, M>7の地震の時空間分布, 震源再決定, 遠地実体波インバージョン, 空白域

Keywords: Northern Japan - Kurile subduction zones, space-time pattern of M>7 earthquakes, hypocenter relocation, teleseismic body-wave inversion, seismic gap

長期的歪蓄積過程からみた千島-日本海溝沈み込み帯の特徴

Characteristics of long-term strain buildup in the Kuril-Japan subduction zone: a global comparison

池田 安隆^{1*}

IKEDA, Yasutaka^{1*}

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Dept. Earth Planet. Sci., Univ. Tokyo

Crustal strain is build up in and around a subduction zone in association with interseismic coupling on the plate interface. The elastic component of the crustal strain is released during episodic decoupling events on the plate boundary; the remainder is accommodated as permanent (= inelastic) deformation mainly within the subduction-related orogenic zone. Coseismic deformation is basically elastic, although damped by asthenospheric viscosity and thereby followed by postseismic deformation. Recent GPS observations have made it possible to detect crustal strain precisely and extensively, but are not sufficient in time to cover a whole cycle of strain buildup and release in subduction-related orogens. We propose here that geological methods and data should be used to evaluate inelastic strain buildup quantitatively, thereby to evaluate present-day elastic strain buildup, which may eventually result in gigantic earthquakes.

There has been a discrepancy between long-term (geologic) and short-term (geodetic) strain observations in both horizontal and vertical directions over the Northeast Japan (NEJ) arc. Geodetic observations in the past ~100 years have revealed strain accumulation across the NEJ arc at a rate as high as 10^{-7} strain/yr, whereas geologically observed strain rates are one order of magnitude slower. A similar discrepancy exists also in vertical movements; tide gauge records along the Pacific coast have indicated subsidence at a rate as high as ~10 mm/yr during the last ~80 years, whereas late Quaternary marine terraces indicate long-term uplift at 0.1-0.4 mm/yr. The ongoing rapid coastal subsidence is due to dragging by the subducting Pacific plate beneath the NEJ arc. Thus, most of the strain accumulated in the last 100 years at abnormally high rates is elastic, and is to be released by slip on the coupled plate interface. Only a fraction (~10%) of geodetically-observed crustal shortening is accommodated within the NEJ arc as long-term (inelastic) deformation.

Fairly large (Mw 7-8) subduction earthquakes occurred in the past ~100 years on the Kuril-Japan subduction zone, but they had nothing to do with strain release or coastal uplift. The 2011 Tohoku earthquake of Mw 9.0, whose rupture surface encompassed those of previously occurred Mw 7-8 subduction earthquakes, is likely to be such a decoupling event that effectively releases the elastic strain due to plate coupling. Pattern of interseismic subsidence indicates that, at 50~100 km depths down-dip of the 2011 rupture, there still exists a coupled part of plate interface, on which a large amount of aseismic after slip may occur in the coming decades.

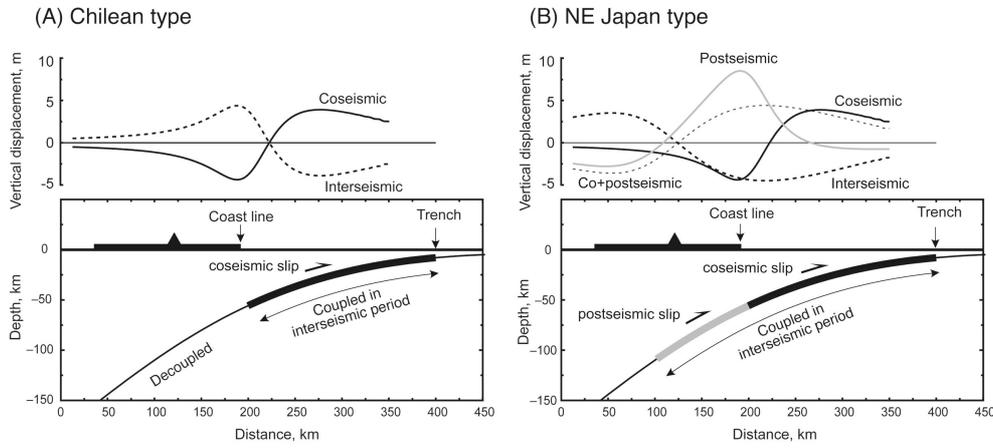
A global survey suggests that gigantic (Mw \geq 9.0) subduction earthquakes are classified into two types: the NEJ type and the Chilean type. The Chilean type strain buildup/release process is simple and straightforward in the sense that seismogenic zone (down to a 40-50 km depth) plays everything. The source areas of the 1960 Chile, 1964 Alaska, and 1700 Cascadia earthquakes lack evidence for interseismic deep coupling. Paleoseismological evidence indicates interseismic uplift around the down-dip edge of coseismic rupture, where coseismic subsidence is observed. This implies that the deeper plate interface is basically decoupled in interseismic periods, although subtle postseismic slip could exist on a transition zone down-dip of the coseismic rupture. In contrast, the NEJ type strain buildup/release process seems to be exceptional in that interseismic coupling occurs to a depth as deep as ~100 km. Its decoupling process is two-fold: seismic decoupling occurs only on the shallower plate interface while the deeper interface (50~100 km depths) decouples aseismically following the earthquake. A possible cause for such deep coupling would be thermal; the oceanic lithosphere of the western Pacific is very old and therefore cold, and has subducted beneath the NEJ-Kuril arc.

Keywords: interseismic coupling, decoupling event, elastic strain release, inelastic strain buildup, subduction-related orogen

SSS38-18

会場:303

時間:5月23日 15:30-15:45



17世紀に発生した千島海溝の連動型地震の再検討 Reexamination of the 17th century Kuril multi-segment earthquake

岡村 行信^{1*}, 行谷 佑一¹

OKAMURA, Yukinobu^{1*}, NAMEGAYA, Yuichi¹

¹ 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター

¹ Active Fault and Earthquake Research Center, GSJ, AIST

17世紀に北海道東岸を襲ったと推定されている巨大津波を発生させた千島海溝の連動型地震は、津波堆積物の分布域を津波浸水域として津波シミュレーションを行い、 M_w 8.4 から 8.5 と推定されている。しかしながら、2011年東北地方太平洋沖地震は、津波堆積物の分布域より津波浸水域の方が広いことを明確に示した。この知見を千島海溝に適用すると、17世紀の津波を発生させた連動型地震は、 M_w 8.5 よりかなり大きい可能性が出てくる。もし、この地震の規模が従来の推定より大きくなると、三陸海岸へも被害を与え、歴史記録に残ると考えられる。17世紀の歴史記録に残る三陸海岸の被害津波を見ると、西暦1611年の三陸慶長津波があり、同地震が千島海溝の連動型地震によって発生した可能性が高くなる。津波シミュレーションによると、千島海溝の地震規模を M_w 8.9 以上にすると、三陸海岸で歴史記録に残る津波に匹敵する津波が発生する。このようなシミュレーションが妥当かどうかについては更に検討が必要であるが、千島海溝の連動型地震については従来の推定よりは規模が大きいと考えるのが妥当であろう。

文献：岡村・行谷（2011）活断層・古地震研究報告，11，15-20. (<http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/seika/kojishin.html>)

キーワード: 巨大津波, 連動型地震, 千島海溝, 1611年慶長三陸津波

Keywords: giant tsunami, multi-segment earthquake, Kuril trench, 1611 Keicho-Sanriku-tsunami

地殻上下変動量・津波浸水域・津波高さ分布に基づく1703年元禄関東地震の断層モデル

A fault model of the 1703 Genroku Kanto earthquake inferred from coastal movements, tsunami inundation area and heights

行谷 佑一^{1*}, 佐竹 健治², 宍倉 正展¹

NAMEGAYA, Yuichi^{1*}, SATAKE, Kenji², SHISHIKURA, Masanobu¹

¹ 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, ² 東京大学地震研究所

¹ Active Fault and Earthquake Research Center, GSJ/AIST, ² ERI, U. Tokyo

元禄関東地震は元禄十六年十一月二十三日(西暦1703年12月31日)に相模トラフ沿いで発生した地震である。この地震により海岸の隆起や津波が生じた。

これまで検討されてきた元禄関東地震の断層モデルは、大きく分けて二つのタイプに分けられる。すなわち、笠原ほか(1973, 関東大地震五十周年論文集)に代表されるような震源域が相模湾から房総半島南部に及ぶモデルと、Matsuda et al.(1978, Gel. Soc. Am. Bull.)に代表されるような、さらに房総半島南東沖合まで震源域(断層C)が延びるモデルである。本研究では地形・地質学的に明らかにされた地殻上下変動量の逆解析を出发点に、津波浸水域や津波高さの情報を加味して断層Cの必要性について検討した。

まず、フィリピン海プレートの上面形状に関する最近の研究成果(Sato et al., 2005, Science; 武田ほか, 2007, 月刊地球; Tsumura et al., 2009, Tectonophysics)を統合し、その上面に34枚の小断層(大きさ:15km四方)を設置した。そして、地質・地形学的な調査により得られた地殻上下変動量(宍倉, 2003, 地震研彙報)を再現するよう、インバージョン解析により断層すべり量分布を推定した。ただし、断層Cによる地殻上下変動は陸域にほとんど影響を及ぼさないため、この段階で断層Cの必要性については検討していない。この結果、房総半島南部で最大10mのすべり量が推定された。神奈川県大磯付近から三浦半島にかけての断層面上では平均して5m程度のすべり量が推定された。

つぎに、この推定した断層すべり量分布を用いて九十九里浜の津波浸水計算を行ったところ、津波供養碑から推定された浸水範囲にはほとんど到達せず、狭い範囲しか浸水しなかった。そこで、この断層モデルに房総半島南東沖合の断層C(すべり量10m)を加えて浸水計算を行ったところ、津波供養碑による浸水範囲までほぼ浸水することがわかった。すなわち、元禄地震の破壊域は、房総半島南東沖合にまで達したと言える(行谷ほか, 2011, 活断層・古地震研究)。

さらに、この断層モデルによる沿岸の津波高さと、歴史記録から推定される津波高さについて比較を行った。この結果、房総半島南東部では断層Cを加えた場合の方が、加えない場合よりも2倍程度津波が高く、歴史記録から推定された津波高さ(平均で約7m)に近くなることがわかった。津波高さの視点から見ても、断層Cは必要であると言える。

キーワード: 1703年元禄関東地震, 津波, 沿岸の地殻変動, 九十九里浜, 断層モデル

Keywords: the 1703 Genroku Kanto earthquake, tsunami, coastal movement, Kujukuri beach, fault model

安政南海地震に伴う地殻変動：高潮及び大潮被害の時間変化 Crustal movement associated with 1854 Nankai earthquake: Temporal change of damage caused by storm surge and spring tide

露木 啓悟^{1*}, 中西 一郎¹

TSUYUKI, Keigo^{1*}, NAKANISHI, Ichiro¹

¹ 京都大学 理学部 地球物理学教室

¹Dept. Geophysics, Kyoto University

安政南海地震について当時書かれた史料を読み、高知市および高知市付近での地震、津波、高潮、大潮などの被害を調べた。それをもとに高知市、また高知市付近での地殻変動を推定した。

用いた史料は

(1) 嘉永七甲寅年十一月五日土佐国大地震并御城下大火事且大汐入之実録之事 (高知県立図書館)

(2) 嘉永七甲寅年十一月五日土佐国大地震并御城下大火事且大汐入之実記 (京都大学図書館)

の2点であり、これらは文章がほぼ同じことから同じ史料を写したものと思われるが、文が抜けている部分や(2)にはそもそも書かれていない部分もあり、2点あることで互いに補完している。

これらの史料には安政南海地震当時の被害や事象、具体的には津波、高潮、大潮など潮について、火事、建物の崩壊、天候などについて記述されている。以下に記述の一部を記す。

俄二天气雨を催大雨降出大時化大雷鳴二成其中二震も発し誠二是社世之末也ト諸人心の中二八思ひけり其時化二半潰之家も風吹破浪打破り委く破却翌廿六日又々常と殊成大西風吹出誠二重々之大変何二譬へん方もなく哀はかなき世とは成にけり先西八潮江下知比島東は葛島高須新木鹿兎田部島絶海大島屋頭東崎孕下田介良一円白海と成日々大浪立破損船も少々有其内大島絶海屋頭田部島杯山添之土地高き家へ八潮不入高知も南会所之辺迄汐上ル右之中二而潮ノ不入所八壱ヶ村二四五軒七八軒計也

これは(2) 嘉永七甲寅年十一月五日土佐国大地震并御城下大火事且大汐入之実記の14頁目を引用したものである。この部分から天気に関すること(大雨、大時化、大雷鳴、大西風)や家が時化により半潰、また(安政元年十一月)廿六日にいくつかの村が高潮の被害にあったことなどが記述されている。このように史料には被害の種類によっては日付や、被害にあった地域なども記述されている。

次に上記の被害、事象の中でも特に高潮や大潮の被害について、また潮が干るという事象に注目し当時の村の位置を参考に調べ、それらによる被害の規模と地震後の時間推移の関係について調べたところ、高潮は地震が起きて1年以内に集中しており、大潮も地震直後頻度が高く、地震から2年ほど経つと潮が干るとの記述が目立つようになる。

これらの結果から高知市及び高知市付近では安政南海地震で地盤の沈下が起こり、その後徐々に隆起していったことが推測できる。

キーワード: 安政南海地震, 津波, 高潮, 大潮, 地殻変動

Keywords: Ansei Nankai earthquake, tsunami, storm surge, spring tide, crustal movement

中部琉球海溝での巨大地震・津波発生の可能性 - 沖縄本島羽地内海と塩屋湾で発見された津波堆積物 -

Evidence for prehistoric large earthquakes in the central Ryukyu Trench ? : Tsunami sediments at the Haneji Inner Bay

原口 強^{1*}, 中村 衛², 山田 和芳³, 瀬戸 浩二⁵, 五反田 克也⁴, 米延 仁志³

HARAGUCHI, Tsuyoshi^{1*}, NAKAMURA, Mamoru², YAMADA, kazuyoshi³, SETO, Koji⁵, GOTANDA, Katsuya⁴, YONENOBU, Hitoshi³

¹ 大阪市立大学大学院理学研究科, ² 琉球大学理学部, ³ 鳴門教育大学大学院学校教育研究科, ⁴ 島根大学汽水域研究センター, ⁵ 千葉商科大学政策情報学部

¹Graduate School of Sciences, Osaka City University, ²Faculty of Science, University of the Ryukyus, ³Graduate School of Education, Naruto University of Education, ⁴Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, ⁵Faculty of Policy Informatics

これまで琉球海溝には巨大地震を発生しうる場所である固着域がなく、巨大地震は起こらない場所とされてきた。しかし最近の研究から、沖縄本島南東沖の琉球海溝に固着域があり、琉球海溝でも巨大地震が発生する可能性が指摘されている。

一方、沖縄の地震津波の歴史記録をみると、約300年前以降の情報しかなくそれ以前に沖縄本島付近での巨大地震・津波の情報が欠如している。

このような背景から、沖縄本島沿岸域での過去数千年間の巨大地震・津波の履歴を明らかにすることを目的として、津波堆積物調査を行っている。

調査地域は、1960年チリ津波により屋我地大橋が落橋するなどの被害を受けた沖縄本島の西岸の羽地内海と、同様の閉鎖海域である塩屋湾を対象とした。両方の地域で音波探査とコアリング(代表地点:長さ約3m)を実施した。音波探査から、両方の湾ともに表層から10m以上の泥層が氷期の旧河道を埋積していることが明らかとなった。羽地内海は、台風時の船舶避難港であり波浪の影響を殆ど受けないことから、こうした静穏な環境が過去数千年程度に亘って保たれてきたといえる。さらに塩屋湾は羽地内海以上に静穏な堆積環境となっている。

採取したコアに含まれる植物片を用いた年代測定の結果、羽地内海で約2100年間、塩屋湾で約1500年分がカバー出来た。堆積物は概ね塊状の明灰色~オリブ灰色シルトで構成されている。羽地内海では、深度80, 180, 280cmに3枚、一方、塩屋湾では、深度110cmおよび280cmに2枚、層厚5~10cm程度のサンゴの破片や外洋棲貝の破片の密集する薄層が挟在している。年代-深度関係から、およそその薄層の堆積年代を推定すると、羽地内海では、600-800年前、1300-1500年前そして2200-2400年前に、塩屋湾では、700-900年前、1400-1600年前であることがわかった。異なる地点間でこれら薄層を形成させるイベントの発生年代が同調していることやほぼ等間隔であることが確認された。台風や高潮で貝やサンゴが内海に入って来たのであれば、その痕跡が頻りに繰り返してもおかしくない。しかし他の部分は極めて均質な泥層で、同じ傾向が塩屋湾にも見られることから、この薄層は津波堆積物の可能性が高い。

予察的に琉球海溝においた断層モデル(幅約50km,長さ200km,すべり量20m,M8.5)での予想される津波は、沖縄本島の東海岸全域で最大波高が15m以上、湾奥など局所的に20m以上となる。海溝と反対側的那覇、北谷、名護港でも8~10m程度の津波となり、羽地内海や塩屋湾にも大きな津波が到達する。

このことから、羽地内海と塩屋湾で発見された津波堆積物は、過去に琉球海溝で発生した巨大地震・津波を記録している可能性が高い。今後、沖縄本島沿岸全域での津波堆積物調査と同時に海底地殻変動観測で固着域が琉球海溝に沿ったように分布しているのかを調べるのが重要である

キーワード: 中部琉球海溝, 巨大地震, 津波, 津波堆積物

Keywords: central Ryukyu Trench, large earthquake, tsunami, tsunami sediment

南海トラフ底の熱流量分布：巨大地震発生帯の温度構造との関係

Heat flow distribution on the floor of the Nankai Trough: Relation to the temperature structure of the seismogenic zone

山野 誠^{1*}, 後藤 秀作², 川田 佳史¹, 濱元 栄起³

YAMANO, Makoto^{1*}, GOTO, Shusaku², KAWADA, Yoshifumi¹, HAMAMOTO, Hideki³

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

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

沈み込む海洋プレートの温度構造は、沈み込み帯の温度構造を支配する要素の1つである。海洋プレートの温度構造は基本的にその年齢で決まることから、南海トラフ沈み込み帯では、沈み込むフィリピン海プレート（四国海盆）の年齢分布に応じて、プレート境界面や前弧域の温度構造が東西方向に変化するものと考えられる。しかし、南海トラフ底で観測される熱流量の値は、四国海盆の海底年齢と必ずしも整合的でないことが判明している。特に顕著な異常を示すのは四国東部・室戸沖のトラフ底で、熱流量のばらつきが大きく、平均値は約 200 mW/m² と海底年齢に対応する値（堆積効果を補正したもの）の2倍にも達する。これに対して紀伊半島東南方・熊野沖では、ほぼ年齢に応じた正常な値（約 100 mW/m²）である。この違いの原因が何であるかは、南海トラフ沈み込み帯の温度構造を考える上で重要な問題である。我々は、室戸沖の異常高熱流量と熊野沖の正常値の間の変化を調べるため、紀伊半島沖の南海トラフ底で熱流量測定を行ってきた。

これまでの測定で、東経 136 度付近（潮岬南方）より西側のトラフ底では熱流量のばらつきが大きく、平均値は室戸沖と同程度に高いことがわかってきた（山野ほか, 2009 年連合大会）。しかし、東側（熊野沖）の正常値への遷移について検討するにはデータが不十分であった。このため、2011 年の淡青丸 KT-11-15 航海、なつしま NT11-23 航海において、紀伊半島南方の南海トラフ海域での熱流量測定を実施し、計 23 点の新たな測定値を得た。特に東経 136 度近辺のトラフ底で重点的な測定を行った結果、136 度を境にして熱流量分布が明瞭に変化することが明らかになった。すなわち、136 度より西では熱流量は高くばらつきが大きく（120 - 250 mW/m²）、基本的に室戸沖と同じ特徴を示す。これに対し、東側ではほとんど値のばらつきがなく、東に向かって単調に減少し、50 km の距離で約 200 から約 100 mW/m² まで変化する。西側での値の大きなばらつきや、136 度で急に分布が変化することは、その原因がかなり浅いところ（海洋地殻程度）にあることを示している。熱流量分布が変化する場所は、1944 年東南海地震と 1946 年南海地震の震源域境界に近く、トラフ陸側の地震活動もこの付近で東西に顕著に変化することが報告されている。このことは、沈み込むプレートの温度構造と地震活動に何らかの関係があることを示唆している。

室戸沖トラフ底の高熱流量の原因については、沈み込んだ海洋地殻上層部の透水層で活発な熱水循環が起き、これが深部から熱を効率的に輸送してトラフ底を加熱するというモデルが提唱されている（Spinelli and Wang, 2008）。この熱水循環モデルを紀伊半島南方の熱流量分布に適用すると、136 度の西側では室戸沖と同様な循環による熱輸送が起きているが、136 度を境に循環の強度やパターンが変化するすると推定される。熱水循環の変化は、海洋地殻内透水層の構造の変化によると考えられる。四国海盆形成末期に拡大方向が東西から北東-南西に変わった際の構造境界が、これに対応する可能性がある。熱水循環による深部からの熱輸送は、トラフ底の熱流量を高める一方、プレート境界面の温度を低下させる。したがって、トラフ底の熱流量分布の東西方向の変化は、プレート境界地震発生帯の温度構造の変化（地震発生過程や鉱物の脱水反応が起きる深さ等の変化）を表す指標になり得る。

キーワード: 南海トラフ, 熱流量, 熱水循環, 温度構造, 四国海盆, 地震発生帯

Keywords: Nankai Trough, heat flow, hydrothermal circulation, temperature structure, Shikoku Basin, seismogenic zone

深海曳航式浅部地層探査により明らかになった熊野トラフ周縁の活構造 Active structures in the margins of the Kumano Trough revealed by deep-tow subbottom profiler

芦 寿一郎^{1*}, KH-11-9 Leg 3 乗船研究者¹
ASHI, Juichiro^{1*}, KH-11-9 Leg 3 Shipboard Scientists¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ AORI, the University of Tokyo

The Nankai Trough is a convergent margin at which the Philippine Sea plate is subducting to the northwest beneath the Eurasian plate at a rate of about 4 cm/yr. The area off Kumano is characterized by a well-developed forearc basin called the Kumano Trough and a NE-SW trending continuous outer ridge. Multichannel seismic survey data demonstrate that megasplay faults branch from the master decollement ~50 km landward of the accretionary prism toe to form an outer ridge. A NE-SW elongated depression is developed between the outer ridge and the forearc basin. The deep-towed sidescan sonar WADATSUMI revealed a strong NE-SW lineament on the basin floor of the depression and a swarm of normal faults at the southern margin of the forearc basin. Bacterial mats, tubeworms and carbonate crusts are also observed at landward slopes of the depression where the forearc basin strata are partly exposed. Bathymetric map off Kii Peninsula suggests a dextral displacement of the axis of Shionomisaki Canyon. In order to know the deformation at the southern margin of the Kumano Trough, we carried out deep-tow subbottom survey and pinpoint core sampling by ROV NSS (Navigable Sampling System) during Hakuho-maru KH-11-9 cruise. We introduced a chirp subbottom profiling system of EdgeTech DW-106 for high resolution mapping of shallow structures on this study. The profile crossing the elongated basin does not reveal a fault plane itself but clearly indicates complex geometry of the sedimentary strata. The zone where the sidescan sonar imagery shows a distinct lineament correspond to a small ridge morphology and exhibits sudden dip changes of the strata. Existence of the continuous ridge and deformation of shallow formation suggest recent strike slip displacement along this lineament.

キーワード: 前弧海盆, 活断層, 横ずれ, 冷湧水, 付加体

Keywords: forearc basin, active fault, strike slip, cold seep, accretionary prism

南海トラフ巨大分岐断層の形態と物性 Geometry and physical properties of mega-splay fault in the Nankai Trough

山田 泰広^{1*}, 増井玲央那¹, 辻健¹
YAMADA, Yasuhiro^{1*}, Reona Masui¹, Takeshi Tsuji¹

¹ 京都大学

¹Kyoto University

南海トラフ付加体で認められた巨大分岐断層の三次元形態を反射法地震探査データを用いて解析した結果、場所によって傾斜角度や傾斜方向に変化があることや、単なる平板ではなく複雑な屈曲形態を示すこと、断層帯の厚さや音響インピーダンス分布も場所によって変化していることなどが明らかになった。これらの断層帯形態や物性分布は、海底斜面崩壊堆積物から推定された断層活動の地域差と調和的である。

キーワード: 南海トラフ, 分岐断層, 構造形態, 物性, 物理検層, 反射法地震探査

Keywords: Nankai Trough, mega-splay fault, structural geometry, physical properties, geophysical logging, reflection seismology

南海トラフ断層浅部物質の大変位条件下における摩擦の速度依存性 Friction velocity dependence of the shallow parts of faults within the Nankai Trough at a large displacement

堤 昭人^{1*}, 水野有梨², 東 修平³, 金川 久一³

TSUTSUMI, Akito^{1*}, MIZUNO, Yuri², AZUMA, Shuhei³, KANAGAWA, Kyuichi³

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 京都大学理学部, ³ 千葉大学大学院理学研究科

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Faculty of Science, Kyoto University, ³Graduate School of Science, Chiba University

Frictional velocity dependence of clay-rich fault material collected from the Nankai Trough in IODP Exp.316 at the shallow portion of the megasplay system (C0004) and at the frontal thrust site (C0007) were examined in frictional experiments performed at a normal stress of 5 MPa under water-saturated conditions with >250 mm of displacement. Experimental results derived for slip velocities from 0.026 to 2.6 mm/s reveal that there exist both velocity-weakening and velocity-strengthening materials along the megasplay fault. In contrast, all of the tested fault material from the frontal thrust region shows only positive velocity dependence at the same experimental conditions. The frictional coefficient values for slow slip velocities ($v = 0.26$ mm/s) are relatively low (0.2 to 0.35) for velocity-strengthening samples compared to the values for velocity-weakening samples (0.38 to 0.49). Microstructural analyses reveal that velocity-strengthening samples generally show homogeneous deformation textures in which the entire gouge layer is deformed, whereas velocity-weakening materials show evidence of shear localization in which deformation is concentrated along narrow subsidiary shears.

Results of XRD analysis shows that each of the tested fault rock samples contains clays (smectite, chlorite, illite and kaolinite), quartz, plagioclase and calcite. Low values of friction recorded for the velocity strengthening samples may indicate a higher content of weak clays in the experimental fault layers [e.g., Summers and Byerlee, 1977; Morrow et al., 1992]. However, a semi-quantitative XRD analysis of the clay fraction performed both on the velocity-strengthening samples and the velocity-weakening samples reveals that clay composition are rather uniform and the variations are small among the all examined fault materials.

These results may imply that velocity dependence of friction along the shallow parts of the faults within the Nankai Trough is sensitive to the variation of the clay content of the fault zones. Alternatively, it could be suggested that another property of the fault material, such as the size distribution of the grains within the fault zone also plays an important role in controlling deformation processes of the faults, whereby the velocity dependence of friction could be affected.

キーワード: 南海トラフ, 断層, 摩擦, 前縁断層, 分岐断層

Keywords: Nankai Trough, fault, friction, frontal thrust, splay fault

南海トラフ付加体浅部の半遠洋性・タービダイト起源泥質堆積物の力学的・水理学的特性

Hydrological and mechanical properties of hemipelagic and turbidite muds from the shallow Nankai accretionary prism

東 修平¹, 金川 久一^{1*}, 高橋 美紀², 上原 真一³, 井上 厚行¹

AZUMA, Shuhei¹, KANAGAWA, Kyuichi^{1*}, TAKAHASHI, Miki², UEHARA, Shin-ichi³, Atsuyuki Inoue¹

¹ 千葉大学理学研究科地球科学コース, ² 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, ³ 東邦大学理学部生命圏環境科学科

¹Department of Earth Sciences, Chiba University, ²Active Fault and Earthquake Research Center, AIST, ³Department of Environmental Science, Toho University

IODP Exp. 315 において南海トラフ付加体浅部(海底下約 1000 m)から採取された泥質堆積物 2 試料の起源が、それぞれ半遠洋性およびタービダイト起源と判明した。半遠洋性泥試料は石英や長石などの碎屑粒子に乏しく(36-37 wt%)、スメクタイトなどの粘土鉱物粒子に富み(36-42 wt%)、細粒均質(1.40 ± 1.25 μm)で孔隙が少ない(約 11%)。一方、タービダイト起源泥試料は石英や長石などの碎屑粒子に富み(52-58 wt%)、粘土鉱物粒子が比較的少なく(29-34 wt%)、比較的粗粒で淘汰が悪く(2.27 ± 3.59 μm)孔隙も多い(約 38%)。

室温、封圧 36-38 MPa、間隙水圧 28-29 MPa の条件で透水実験を行った結果、半遠洋性泥試料は浸透率が小さく(2.9 × 10⁻¹⁹ m²)透水性が悪く、一方タービダイト起源泥試料は浸透率が大きく(2.3 × 10⁻¹⁸ m²)透水性が良いことが明らかとなった。上記の温度・封圧・間隙水圧条件、および変位速度 10 μm/s で三軸圧縮実験を行った結果、半遠洋性泥試料は破壊強度が約 14 MPa と小さく、1 分ほどかけてゆっくりと破壊したのに対し、タービダイト起源泥試料は破壊強度が約 20 MPa と大きく、数秒間で急激に破壊した。上記の温度・封圧・間隙水圧条件、および軸方向の変位速度を 0.1, 1, 10 μm/s でステップ状に変化させて三軸摩擦実験を行った結果、半遠洋性泥試料は摩擦強度が小さく(摩擦係数約 0.25)すべり軟化の挙動を示し、一方タービダイト起源泥試料は摩擦強度が大きく(摩擦係数約 0.56)、摩擦強度がほぼ一定の定常すべりの挙動を示した。両試料ともに変位速度の増加に伴い摩擦強度が増加する速度強化の挙動を示したが、半遠洋性泥試料の方がより顕著な速度強化の挙動を示した。一方、タービダイト起源泥試料は短期的には速度強化の挙動を示すが、長期的には速度弱化的挙動を示す可能性が示唆された。

このような半遠洋性とタービダイト起源の泥質堆積物の力学・水理学的特性の相違は、付加体浅部におけるこれらを母岩とする断層運動にも大きな相違をもたらすと考えられ、それについても議論する。

キーワード: 南海トラフ付加体, 泥質堆積物, 水理特性, 破壊特性, 摩擦特性

Keywords: Nankai Trough accretionary prism, mud sediments, hydrological properties, failure properties, frictional properties

断層岩から最大応力、破壊エネルギー、臨界すべり距離を推定する Estimation of Peak stress, Fracture energy and Critical distance from natural fault

坂口 有人^{1*}

SAKAGUCHI, Arito^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

New methods based on the technique of calcite twin piezometer can estimate seismic frictional parameters of peak stress, fracture energy (Gc), critical distance (Dc). Though these are fundamental parameters of fault friction, it has been hard to know from a fault rock.

The calcite records paleo-stress as stress dependent intracrystalline deformation of mechanical twinning. Calcite grains, interleaving between rigid grain aggregate, will deform during elastic deformation of the whole body. The record of stress may be preserved by the indicator after elastic rebound of the whole body. This concept was documented by tri-axial sandstone experiment and numerical simulation of discrete element method (Sakaguchi et al., 2011).

This method is applied to natural fault at Pseudotachylyte bearing ancient seismic Okitsu fault, Cretaceous Shimanto complex. High peak stress of 350 MPa was found at center of fault zone, and it drops to 260 MPa with short distance of several 10 m perpendicular to the fault. Such a localized high stress may result in stress-concentration at rupture front. If dynamic fracture energy is close to concentrated strain energy at rupture front, fracture energy can be estimated from paleo-stress and elastic modulus of the fault rock. In fault energy model, peak stress, critical distance and fracture energy are plotted at simple triangle diagram. The critical distance can be assumed from other two parameters.

Keywords: seismic fault, paleo-stress, calcite twin, Dc, Gc

沈み込みプレート境界地震発生帯における堆積物の深度方向の物性変化: 四国白亜系四万十帯の例 Change in physical properties of sediments in seismogenic depth along subduction zone: The Cretaceous Shimanto Belt

橋本 善孝^{1*}, 坂本駿¹

HASHIMOTO, Yoshitaka^{1*}, Shun Sakamoto¹

¹ 高知大学理学部応用理学科

¹Department of Applied Science, Faculty of Science, Kochi University

沈み込みプレート境界地震発生帯における堆積物の物性変化を明らかにすることは岩石強度の変化や脱水プロセスを理解することにつながり、地震発生の物質的なメカニズムを理解する上で重要である。本研究の目的は高知県西部白亜系四万十帯における弾性波速度分布から堆積物の深度方向の物性変化を検討することである。弾性波速度は間隙率に依存する物性であるが、固結した岩石では間隙率よりも弾性波速度の方が変化を捉えやすい。また、弾性波速度は間隙形状の変化に関する議論を可能にする。本研究ではピトリナイト反射率 (VR) を深度の指標に用いて、弾性波速度の深度方向の変化を検討する。

調査対象地域の高知県西部白亜系四万十帯である。高知県西部白亜系四万十帯は厚いタービダイト相と、それに挟むメラングジュ相からなる。VR による熱構造は仏像構造線から南へ約 15km の間に約 150 から 230 へ増加し、アウトオブシークエンススラスト (OST) を境に約 150 に低下、再び南へ緩やかに上昇する傾向を示す (Sakaguchi et al. 1999)。本研究では OST を境に上盤から砂岩 11 個、泥岩 5 個、下盤から砂岩 6 個、泥岩 4 個の計 26 個サンプルの弾性波速度を測定した。

500 k Hz の S 波発信器を 2 個用いて透過法で波形を取得した。流体圧を 1MPa で固定し、有効圧を 5MPa から 65MPa まで 5MPa きざみで変化させて、P・S 波弾性波速度を求めた。以下では、1) 最大有効圧のときの最大速度 (V_{max})、2) 有効圧の変化に伴う弾性波速度の変化量 (ΔV)、3) サンプル採取地点における VR (内挿で求める) の 3 つの要素を用いて、それぞれの相関を検討した。

V_{max} と VR について砂岩には相関は見られず、泥岩には正の相関が見られた。 ΔV と VR について砂岩に正の相関が見られたが、泥岩には相関が見られなかった。また V_{max} と ΔV の間では砂岩の P 波に正の相関があり、S 波には相関が見られなかった一方、泥岩では S 波に負の相関があり、P 波には相関が見られなかった。以上のように砂岩と泥岩ではまさに逆の関係が見られた。

このことは沈み込みプレート境界地震発生帯において砂岩と泥岩の物性がまったく異なる進化を示している。砂岩は沈み込む過程で地震発生帯に達するまでに岩石化が完了しており、地震発生帯内では深度とともに間隙率は変化しない。一方泥岩は地震発生帯内部でも未だ岩石化が完了しておらず、深度とともに進行する。 ΔV は異方的な間隙の量比に依存したパラメータで、砂岩では深度とともに変化するが、泥岩では変化しない。また、P 波と S 波で V_{max} と ΔV との間の相関が異なることは異方的な間隙の方位が層に平行であることを示唆している。

キーワード: 付加体, 弾性波速度, 物性変化

Keywords: accretionary prism, velocity, change in physical properties

南海分岐断層と過去の分岐断層（延岡衝上断層）の比較研究

A comparison of the modern Nankai megasplay fault and the exhumed ancient megasplay fault, the Nobeoka thrust

木村 学^{1*}, 山口 飛鳥¹, 斎藤 実篤², 浜橋 真理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, 長谷 和則⁵, 明石 孝行⁵

KIMURA, Gaku^{1*}, YAMAGUCHI, Asuka¹, SAITO, Saneatsu², HAMAHASHI, Mari¹, FUKUCHI, Rina³, KAMEDA, Jun¹, HAMADA, Yohei¹, FUJIMOTO, Koichiro³, HASHIMOTO, Yoshitaka⁴, HINA, Shoko¹, EIDA, Mio⁴, KITAMURA, Yujin², MIZUOCHI, Yukihiro⁵, Kazunori Hase⁵, Takayuki Akashi⁵

¹ 東京大学, 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, ⁵ 住鉱資源開発株式会社

¹Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ²IFREE, JAMSTEC, ³Tokyo Gakugei University, ⁴Kochi University,

⁵Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd.

Megasplay fault branched from plate boundary megathrust in subduction zone is located around the border between outer and inner wedges and is considered to cause great earthquake and tsunami such as 1960 Alaska earthquake, 1944 and 1946 Nankai-Tonankai earthquakes, and 2004 Sumatra earthquakes. Therefore, understanding the fault mechanics of the megasplay faults is essential toward assessing their role in the plate boundary processes and seismo-tsunamigenesis. Seismic reflection studies for the megasplay faults in 2D and 3D in the Nankai forearc present the reflector with negative or positive polarities of various amplitude for the megasplay fault, and suggest complicated petrophysical properties and condition of the fault and its surroundings. The Nankai megasplay fault at a depth of ~5km is going to be drilled and cored by Integrated Ocean Drilling Program, NantroSEIZE experiments and is expected for great progress of understanding of the fault mechanics. Deep portion of the megasplay fault and its connection to the plate boundary megathrust is, however, impossible to be accessed by direct drilling. Far and near field geophysical observation is therefore only way to access the modern and active megasplay fault. On-land exhumed and fossilized megasplay faults, on the other hand, give a clue for the fault mechanics when they were active in depth although the exhumation and fossilization process modifies their primary properties due to physico-chemical weathering and crack opening by unloading. Our previous studies from the Nobeoka thrust in Kyushu, southwest Japan present well-preservation of primary faulting processes and clear contrast of physical property between the hanging wall and footwall.

We have conducted the seismic, drilling, coring and logging investigation into the Nobeoka thrust to the depth of ~250 m including ~40m hanging wall and ~210 m footwall. The coring was ~99% recovery and full logging was successful. The result of the logging together with triangular S-wave vibro-seismic array investigation presents a clear contrast between the hanging wall and footwall. The results indicate how the fossilized megasplay fault is useful to investigate the primary properties in depth, excluding the secondary effects associated with exhumation and surface weathering.

化石分岐断層から得られた連続的コア・検層データ：延岡衝上断層掘削速報 Continuous coring and logging dataset obtained from fossilized megasplay fault

山口飛鳥^{1*}, 木村学¹, 浜橋真理¹, 福地里菜², 亀田純¹, 濱田洋平¹, 藤本光一郎², 橋本善孝³, 比名祥子¹, 栄田美緒³, 斎藤実篤⁴, 北村有迅⁴, 水落幸広⁵
YAMAGUCHI, Asuka^{1*}, KIMURA, Gaku¹, HAMAHASHI, Mari¹, FUKUCHI, Rina², KAMEDA, Jun¹, HAMADA, Yohei¹, FUJIMOTO, Koichiro², HASHIMOTO, Yoshitaka³, HINA, Shoko¹, EIDA, Mio³, SAITO, Saneatsu⁴, KITAMURA, Yujin⁴, MIZUOCHI, Yukihiko⁵

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京教育大学自然科学系, ³ 高知大学大学院理学研究科応用理学専攻, ⁴ 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域, ⁵ 住鉱資源開発株式会社
¹ Department of Earth and Planetary Science, the University of Tokyo, ² Faculty of Education, Tokyo Gakugei University, ³ Department of applied science, Faculty of Science, Kochi University, ⁴ Institute For Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁵ Sumiko Resources Exploration & Development, Co., Ltd.

Mechanics and evolution of large thrust faults along subduction plate boundaries are one of the essential topics in earth sciences because of their potential for causing catastrophic geohazards. Megasplay faults, large landward-dipping thrust fault branching from plate boundary megathrusts, are one of the candidates for the source of large tsunamis. Deep portion (~5200 mbsf) of the megasplay fault in the Nankai Trough is listed for the next drilling target of the NanTroSEIZE project. In such depths, the megasplay fault is recognized as strong reflector of seismic profiles, however, the thickness, architecture, deformation styles of the fault zone is still ambiguous. To evaluate the status of modern megasplay fault before drilling, we projected drilling, coring and logging to the Nobeoka thrust, Japan, a fossilized on-land analog of such megasplay fault and its basic setting has been constrained (Kondo et al., 2005): Nobeoka Thrust Drilling Project (NOBELL).

Drilling operation continued from July to September, 2011. Coring was operated up to 255 m depth with excellent recovery (99.82%). Visual core descriptions including detail sketch, lithological and structural characterization, measurements on 3,787 structural elements, were performed on the whole core. Subsequently, geophysical logging (temperature, spontaneous potential logging, natural gamma-ray, resistivity, P/S-wave velocity, neutron porosity, caliper) and borehole imaging (optical and ultrasonic wave) were operated and continuous dataset from 12 to 252 m-depth were obtained. Cores were stored in Kochi Core Center (KCC) at Kochi University, and gamma-ray density, magnetic susceptibility measurements were performed by a multi-sensor core logger.

Although analyses of core description and logging dataset are now in progress, various cataclasites and slip zones possibly reflecting protolith type and deformation mechanisms, and many spikes on logging data have been recognized. The results of NOBELL would provide new insights on not only the architecture but mechanics and evolution of ancient and modern megasplay faults.

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)1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、1~小の領域。

(K2) 遷移モード。(a-b)<0、1~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、1~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。

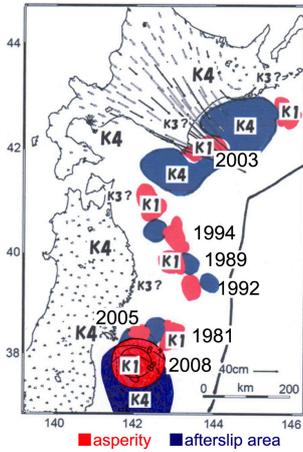
キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, アスペリティ, 余効滑り, 滑りのバリアー, 断層滑りの摩擦法則

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, UIMITSU, Masatomom⁵

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

¹Department of Earth and Planetary Science, the University of Tokyo, ²Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Faculty of Education, Tokyo Gakugei University, ⁴Department of Natural Environmental Science, Faculty of Science, Kochi University, ⁵Sumitomo 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 の深さに基づく値により、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

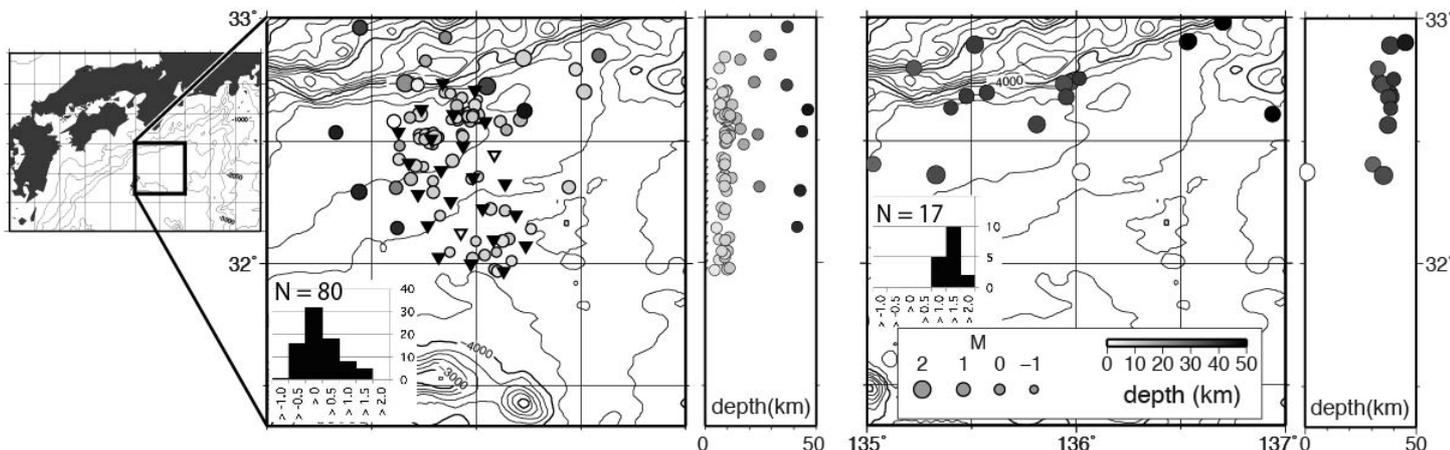
¹ 気象研究所, ² 地磁気観測所, ³ 東海大学

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

¹JHOD, 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 Udrekh⁶, 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, Udrekh⁶, 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