

東北地方太平洋沖地震前後の宮城県沖水深2000m以浅における海底の比較 Comparison of seabeds at <2000 m in water depth off Miyagi before and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake

和田 彩花¹; 川村 喜一郎^{1*}; ルーマー ミリアム²; シュトラッサー ミカエル³; フィンク ヒスケ²; 新井 和乃⁴; 日野 亮太⁵; 伊藤 喜宏⁶; 藤倉 克則⁷
WADA, Ayaka¹; KAWAMURA, Kiichiro^{1*}; ROMER, Miriam²; STRASSER, Michael³; FINK, Hiske²; ARAI, Kazuno⁴; HINO, Ryota⁵; ITO, Yoshihiro⁶; FUJIKURA, Katsunori⁷

¹ 山口大学, ² ブレーメン大学, ³ スイス工科大学チューリッヒ, ⁴ 千葉大学, ⁵ 東北大学, ⁶ 京都大学, ⁷ 海洋研究開発機構
¹Yamaguchi University, ²University of Bremen, ³ETH Zurich, ⁴Chiba University, ⁵Tohoku University, ⁶Kyoto University, ⁷JAMSTEC

2011年3月11日の日本時間14:46に、東北地方太平洋沖でMw9.0の地震が発生した。Arai et al. (2013)によると、この地震による津波に伴い混濁流が発生したとされている。この混濁流について、今後どのように地層として保存されるか良く分かっていない。

そこで本研究では、海底面を観察することで、地震に伴う混濁流が海底面にどう影響したかを調べた。また、それに基づき混濁流が発生したという事実が今後どのように地層に保存されるかを考察した。

研究に用いたビデオ映像は、R/V NATSUSHIMAによる3K#483(2000年9月5日実施)、同じ船による2K#1220(2000年9月19日実施)、R/V YOKOSUKAによるYKDT#100(2011年6月21日実施)、備船によるHAKUYO3000(2011年9月25日実施)、R/V SONNEによるSO219A OFOS(2012年3月8日~4月5日実施)とで、撮影された物を使用した。また、海底断面図はSO219A航海時にパラサウンドによって得られたものを使用した。

ビデオ映像から、震災前後で海底は大きく変化したことが確認出来た。震災10年前はヒトデやタコといった多くの生物がおり、また海底には生物の巣穴が多数存在し、低層流の強い流れは確認できなかった。震災の数ヶ月後の海底は、YKDT#100、HAKUYO 3000の映像から、生物の死骸が多数していた。また、その死骸の上やその付近には、直径1m程の大きなバクテリアマットが広がっていた。震災の1年後の海底は、OFOS-1,2の映像から、バクテリアマットが直径10cm程に小さくなっていた。このことから、地震後海底擾乱が起こった際、バクテリアマットは一時的にはできるが、地層に保存されることはなく、混濁流の証拠とならないと言える。

一方、地層記録として保存されうる混濁流の証拠も見つかった。YKDT#100、OFOS-2の映像から海底面上に多数の生物片が散らばっていた。これらの方向を測ると、大部分が南西-北東方向を向いており、これらはごく最近の強い流れ、すなわち津波混濁流によって形成されたものである。また、その方向は、Arai et al. (2013)を支持する結果であった。これらは震災直後、1年後どちらにも確認されたことから、混濁流の証拠として地層に保存されるのではないかと考えている。

キーワード: ゾンネ, 津波堆積物, 生物片, 古流向

Keywords: R/V SONNE, Tsunami deposit, biofragment, paleocurrent

東北沖巨大地震の痕跡：大水深の海底堆積物から探る Evidence of Tohoku-oki earthquake in the deep sea sediment

金松 敏也^{1*}; 池原 研²; 宇佐見 和子²
KANAMATSU, Toshiya^{1*}; IKEHARA, Ken²; USAMI, Kazuko²

¹ 海洋研究開発機構, ² 産業技術総合研究所地質情報研究部門

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Techn

2011年の東北地方太平洋沖地震の地震性滑りは海溝軸まで達し、38° N付近では海溝先端にいくほど変位量が多いというこれまでに観測例がないものであった。また海溝軸海底は地震により隆起したことが明らかになっている (Fujiwara et al. 2012)。さらに地震後の詳しい海底下構造が調べられ (Kodaira et al. 2013, Nakamura et al. 2013 など)、上盤プレートが海側にせり出し、海溝堆積物をスラストアップさせた構造を作っていることが明らかにされている。Strasser et al. (2013) は採取された堆積物コアの記録を元に、地震時に先端部がスランプしたとし、Kawamura et al.(2012) や Tsuji et al.(2013) も同様に海溝先端の海底変動を議論している。

このように海溝軸まで地震性滑りが達する地震では、海底変動が海溝軸に近いほど大きく、変動の様子が海溝付近の地層に記録されている可能性が高い。その痕跡を読み解き、さらに過去に生じた巨大地震の特徴を明らかにすることを目指し、海溝底付近の海底堆積物を積極的に調査し始めている。

2012年に、海洋地球研究船“みらい”を使い、38° N付近で隆起した海溝軸（水深7500m）の海底堆積物採取を行い、ドイツ調査船“ゾンネ”では、陸側斜面を含む海底堆積物採取を行った。海溝底の地形的高まりから採取されたコアの最上部数十cmは、2011年の地震による赤褐色のタービダイトで構成され、海溝軸に地震記録が残る事が確認できている。また下位には、何枚かのタービダイトが確認され、これは歴史地震に対応するものと考えられる。海溝軸沿い南北にも同様なタービダイトが認められるため、広くこれを追跡すれば、地震履歴をより詳細にできるであろう。一方、“ゾンネ”によって海溝近辺の陸側斜面から得たコアには海溝底の岩相と違い、デブライトや傾斜変形した構造が記録されており、上盤プレートの変動が記録されていると考えられる。

2013年には海溝軸から一段高い、下部陸側斜面の平坦面（水深4000-6000m）で、“なつしま”を使い、広く海底堆積物採取を行った。採取された堆積物は多くの場合、薄い砂層を含むタービダイトで特徴づけられる。また表層崩壊の痕跡と考えられる流動変形した岩相を含むコアも採取されており、過去の地震との関連が注目される。

このように海溝軸・下部陸側斜面平坦面では、地震に関連したと考えられるイベント層が見いだされている。海底堆積物中の東北地方太平洋沖地震を含む地震記録の時空間的広がりを把握することができれば、今まで得られなかった情報を抽出することができ、東北沖地震の理解が進むと期待している。本発表では、これまでの調査の結果概要を紹介し、巨大地震・津波のポテンシャル評価にどのように貢献することができるか考えたい。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 日本海溝, 海底堆積物

Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, Japan Trench, deep sea sediment

日本海溝下部陸側斜面のタービダイト—NT13-19次航海の成果から Turbidites collected from the Japan Trench inner slope, during the NT13-19 cruise

宇佐見 和子^{1*}; 池原 研¹; マクヒュー セシリア²; 金松 敏也³
USAMI, Kazuko^{1*}; IKEHARA, Ken¹; MCHUGH, Cecilia²; KANAMATSU, Toshiya³

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門, ² 海洋研究開発機構・Queens College, C.U.N.Y., ³ 海洋研究開発機構
¹Geological Survey of Japan, AIST, ²JAMSTEC / Queens College, C.U.N.Y., ³JAMSTEC

To understand the recurrence of large earthquakes along the Japan Trench, we collected 24 sediment cores from the Japan Trench inner slope, 37.5-40 N, 143.5-144.16 E, water depth 4000-6000 m, during the NT13-19 cruise. Many deep-sea turbidites were intercalated in the sediment cores. We examined the interval and structures of the turbidites using soft-X radiographs. In general, number of the turbidites in a core is high in the southern part off Sendai, but is low in the northern part off Miyako. Meanwhile, intercalated tephtras such as Haruna-Ikaho (Hr-FP), Towada-Chuseri (To-Cu) and Towada-a (To-a) were identified in the 13 cores. Based on the eruption ages of the tephtras, we estimated the averaged recurrence intervals of 100-500 years in average in almost cores. But there are cores that display different intervals over 1500-2000 years.

キーワード: 地震, 日本海溝, タービダイト, テフラ
Keywords: earthquake, Japan Trench, turbidite, tephra

津波起源タービダイトは巨大地震発生履歴を物語るか Tsunami-generated turbidite as a proxy for large-scale earthquakes

成瀬 元¹; 新井 和乃^{2*}
NARUSE, Hajime¹; ARAI, Kazuno^{2*}

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 千葉大学大学院理学研究科
¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Graduate School of Science, Chiba University

本発表は、津波起源タービダイトに関する研究の現状を総括し、それらが巨大地震の発生履歴のプロキシとなる可能性について検討を行う。津波を起源とするタービダイトは、わずかな例外を除いて、地震起源タービダイトの一種といえるだろう。1980年代より地中海に分布する塊状砂岩 (homogenite) が津波起源タービダイトではないかなどの指摘はなされていたが、ほぼ確実に津波が直接の起源となったタービダイトが発見されたのは、2011年東北地方太平洋沖地震津波の直後の調査によるものである。例えば、Arai et al. (2013) は、海底圧力計の突然の移動や海底地震計などに残された堆積物から、津波を起源とする混濁流が発生した可能性が高いことを示した。この研究は、津波が浅海域の堆積物を巻き上げ、それにより発生した堆積物雲が斜面を流れ下ったことで混濁流が生じたと推定している。発生した混濁流は、地震発生から約3時間後に流速 2.4 ? 7.1 m/s 以上で水深約 1000 m の地点を通過したことが海底圧力計の記録などから見積もられる。Ikehara et al. (2014) など、多くの研究がこの津波起源混濁流により形成されたタービダイトを報告している。今回発生した津波起源タービダイトは極めて細粒であり、水深 1000 m 以深のほとんどの領域では中央粒径はシルト以下のサイズだが、級化構造などの堆積構造や生物攪拌の程度により十分に識別可能である。

それでは果たして、津波起源タービダイトは、巨大地震発生履歴を知るために有益だろうか。これまで、長期にわたる巨大地震の発生履歴を知るためのプロキシとして、地震起源タービダイトが用いられることがあった。特に Cascadia 沖のタービダイトの堆積タイミングは歴史地震などとの一致が良いことが知られている。巨大地震が混濁流を発生させるメカニズムとしては、津波以外にも、例えば地震に伴う海底地すべりなどが考えられる。ただし、このような地震起源タービダイトを他の要因 (例えば地震と関係のない地すべりや breaching など) によるタービダイトと区別することは容易ではない。Goldfinger (2012) は広範囲にわたって同時に堆積していることを地震起源タービダイトの認定根拠として挙げているが、Paris (2010) が 2004 年スマトラ沖地震起源タービダイトに関して示したように、巨大地震起源で起こった海底地すべりによるタービダイトは必ずしも広範囲に分布しているとは限らない。一方、巨大津波は広範囲な浅海域に影響を与えるため、今回検出された津波起源タービダイトは海溝軸と平行方向に幅 200 km 以上にわたって分布している。また、海底地すべり起源のタービダイトと異なり、海底斜面上部から海溝域まで、深さ方向にも広範囲な分布を示すことが重要な特徴である。すなわち、これまで広範囲な分布を根拠として認定されてきた地震起源タービダイトの多くは、実際には津波起源タービダイトである可能性があるだろう。むしろ、何らかの証拠により海底地すべりに関連したタービダイトを除外し、津波起源タービダイトと共通する特徴をもつタービダイトを地質記録から抽出した方が、より確実に巨大地震発生履歴を復元できるのではないかと考えられる。

今後の課題は、津波起源タービダイトの発生条件や、その保存ポテンシャルの解明である。数値計算の結果から、すべての津波が混濁流を発生させるわけではなく、ある規模 (波高) を超えた津波のみが混濁流を生じさせることが推定されている。この「津波規模フィルター」を定量的に見積もることが、巨大地震発生履歴を津波起源タービダイトから復元するためには重要であろう。また、津波起源タービダイトは深海の安定した環境に堆積するため、堆積・侵食が頻繁に起こる陸上環境の津波堆積物に比べて地層中への保存ポテンシャルが高いことが期待されるが、この点についても継続的な観測に基づく研究が必要だろう。

キーワード: 地震, タービダイト, 堆積物重力流, 津波
Keywords: Earthquake, turbidite, sediment gravity flow, tsunami

2011年東北地方太平洋沖地震の発生直後に震央域で観測された海底水温の急上昇について An abrupt seafloor water-temperature increase in the epicentral region of the 2011 Tohoku earthquake

稲津 大祐^{1*}; 伊藤 喜宏²; Saffer Demian³; 日野 亮太⁴
INAZU, Daisuke^{1*}; ITO, Yoshihiro²; SAFFER, Demian³; HINO, Ryota⁴

¹ 防災科学技術研究所, ² 京都大学, ³ ペンシルバニア州立大学, ⁴ 東北大学
¹NIED, ²Kyoto University, ³The Pennsylvania State University, ⁴Tohoku University

東北地方太平洋沖地震(以下、東北地震)は、地震学的のみならず、地質学的、地球化学的など、震源域間近に限っても、非常に多面的かつ高感度な現代計測技術によって観測された。本発表では、東北大学によって実施された、東北地震の震源域直上の海底圧力観測網で計測された、東北地震の発生直後に起こった海底水温の急上昇について報告する。

海底圧力計には、圧力センサーの温度補償のために温度計が内蔵されている。この内蔵温度計で取得された温度変動データは、圧力計外の(海底)水温変動とよく一致する。東北地震を計測した海底圧力計は8点ある(Ito et al. 2013 Tectonophys.)。これら8点の圧力計の温度計データから以下の事実が明らかになった。東北地震時の最大すべり領域の直上の2点の観測点(TJT1、GJT3:水深3000-6000 m)において、地震前までの水温変動と比べ、明瞭な水温上昇が認められた。それは地震発生から数時間後に始まり、0.1℃前後の上昇で、2、3週間は継続していた。その他の陸側の観測点(水深2000 m以下)では、同様の異常は確認されなかった。また、3/9のM7の最大前震を含め、東北地震に先行する他の地震に関係する明瞭な水温異常は、いずれの観測点においても確認されなかった。まず、おそらく、この水温変動の起源は、M9の東北地震であり、特に海溝に近い地震時最大すべり領域にあった、と言えそうである。

ところで、海底付近で採取した海水の分析に基づく地球化学的研究は、東北地震に伴い、地下約1 kmのメタン(Kawagucci et al. 2012 Sci. Rep.)、および、マントル(地下15 km以深)(Sano et al. 2014 Nat. Comm.)に起源を持つ水・流体が、地震時最大すべり領域を通して海底に放出されたと報告した。

そこで、我々が観測した水温変動の異常が、観測点地下数 km 以深から供給された流体起源と仮定すると、数時間という時間差から、供給された流体の速度は、遅くとも0.1 m/sのオーダーと見積もられる。これは、非地震時の地殻内の湧水の典型的な移動速度(たとえば、 10^{-9} m/s)(Screaton and Saffer 2005 EPSL)と比べ何桁も大きい。放出された流体の移動速度が0.1 m/sオーダーだったとすると、おそらく、その流体は、地殻内を通過し海底に湧き出たのではなく、東北地震の巨大すべりによって生じた地殻の亀裂(Tsuji et al. 2013 EPSL)に放出され、海水中の拡散などによって海底に到達したのかもしれない。

キーワード: 海底水温, 2011年東北地震

Keywords: Seafloor water temperature, 2011 Tohoku earthquake

相模トラフで採取された海底堆積物の堆積学的・古地磁気学的研究 A sedimentological and paleomagnetic study of deep-sea sediments collected from the Sagami trough

中嶋 新^{1*}; 川村 喜一郎¹; 金松 敏也²; 斎藤 実篤²; 村山 雅史³

NAKAJIMA, Arata^{1*}; KAWAMURA, Kiichiro¹; KANAMATSU, Toshiya²; SAITO, Saneatsu²; MURAYAMA, Masafumi³

¹ 山口大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 高知大学

¹ Yamaguchi University, ² JAMSTEC, ³ Kochi University

はじめに

関東地方では、過去に大規模の地震が繰り返し発生している。陸上では、主に海岸段丘の分布と年代に基づいて地震履歴が復元されてきた(宍倉, 2012; 地震予知連)。一方、海底では地震性堆積物を用いることによって、古地震研究の可能性が議論されている(池原, 2001 など)。さらに、近年の海底堆積物を用いた研究によると、採取地点において洪水堆積物が到達しえないと考えられる場所での古地震研究が提唱されている(野田他 2008)。

このように、近年の池原らの研究成果により、海底での地震イベント堆積物の研究は急速に発展してきた。そこで、本研究では、海底の地層中の関東地震の痕跡に探るべく、相模湾の水深 1000~1200 m のなだらかな海底斜面から海底堆積物を採取し、堆積学的・古地磁気学的に詳細に記載し、堆積プロセスを議論した。

研究試料の概要

研究に用いた堆積物は、学術研究船「淡青丸」による KT-12-35 航海(2012 年 12 月 23 日~27 日実施)中にピストンコアラを用いて相模湾で採取された 2 つのコア(PC01 と PC03)を使用した。PC01 は北緯 35° 04' 00", 東経 139° 12' 99", 水深 991m の地点で採取された。PC03 は北緯 34° 58' 30", 東経 139° 13' 40", 水深 1235m の地点で採取された。この地域では、地震イベント堆積物の存在が Ikehara et al.(2012) によって示唆されている。

結果と議論

堆積物の観察、測定結果から以下のことがわかった。

(1) 肉眼及び顕微鏡観察: PC01, PC03 は、主としてオリーブ黒色の半遠洋性堆積物であり、有孔虫、ケイ藻などを多量に含む。両者には複数枚の厚さ数 cm の火山灰層や砂層が肉眼で観察された。

(2) X 線 CT 解析: 半遠洋性堆積物と思われた層準に多くのイベント層が認められた。

(3) 物性値: 間隙率は、PC01 では 72%→58%, PC03 では 76%→65%であった。

(4) 磁化特性: 古地磁気及び帯磁率異方性測定から、古流向解析を行った。全データのプロットから PC01 は E→W の古流向が示された。

(5) 年代: 火山灰分析は、PC03 の 11cm と 95cm の 2 箇所行い、1707 年の富士宝永噴火と 838 年天津島天上山噴火が得られた。C14 年代測定は、PC01 の 136cm と PC03 の 172cm の 2 箇所行い、30820 ± 210 年 BP と 2850 ± 30 年 BP が得られた。以上のことから、PC03 の平均堆積速度は 64 cm/1000 年であった。また、PC01 は、一点のみの測定ではあるが、4 cm/1000 年と算出された。

以上の結果から、過去にこの地域で発生したイベント回数及び発生間隔を検討し、既知の古地震・噴火などの地質イベントと照らし合わせ、海底における古地震研究の可能性を議論する。

キーワード: 相模トラフ, 地震性堆積物, X 線 CT, 火山灰分析, C14 年代測定, 磁化特性

Keywords: Sagami trough, Seismic deposit, XrayCT, Volcanic glass, C14 dating, Magnetic properties

DEVELOPMENT OF MULTI-PARAMETER BOREHOLE SYSTEM TO EVALUATE THE EXPECTED LARGE EARTHQUAKE ?N THE MARMARA SEA, TURKEY DEVELOPMENT OF MULTI-PARAMETER BOREHOLE SYSTEM TO EVALUATE THE EXPECTED LARGE EARTHQUAKE ?N THE MARMARA SEA, TURKEY

OZEL, Oguz^{1*} ; GURALP, Cansun² ; PAROLAI, Stefano³ ; BOUCHON, Michel⁴ ; KARABULUT, Hayrullah⁵ ; AKTAR, Mustafa⁵ ; MERAL OZEL, Nurcan⁵

OZEL, Oguz^{1*} ; GURALP, Cansun² ; PAROLAI, Stefano³ ; BOUCHON, Michel⁴ ; KARABULUT, Hayrullah⁵ ; AKTAR, Mustafa⁵ ; MERAL OZEL, Nurcan⁵

¹Istanbul University-Turkey, ²Guralp Systems-UK, ³Geoforschungszentrum-Germany, ⁴CNRS-France, ⁵Kandilli Observ. & Earthq. Res. Inst.-Turkey

¹Istanbul University-Turkey, ²Guralp Systems-UK, ³Geoforschungszentrum-Germany, ⁴CNRS-France, ⁵Kandilli Observ. & Earthq. Res. Inst.-Turkey

The Istanbul-Marmara region of northwestern Turkey with a population of more than 15 million faces a high probability of being exposed to a hazardous earthquake. The 1999 Izmit earthquake in Turkey is one of the best recorded in the world. For the first time, researchers from CNRS and Kandilli Observatory (Istanbul) observed that the earthquake was preceded by a preparatory phase that lasted 44 minutes before the rupture of the fault. This phase, which was characterized by a distinctive seismic signal, corresponds to slow slip at depth along the fault. Detecting it in other earthquakes might make it possible to predict some types of earthquakes several tens of minutes before fault rupture.

In an attempt to understand where and when large earthquakes will occur, and the physics of the source process prior to large earthquakes, we proposed to install multi-parameter borehole instruments in the western part of Marmara Sea in the frame of an EU project called MARSITE. This system and surrounding small-aperture surface array is planned to be capable of recording small deformations and tiny seismic signals near the active seismic zone of the North Anatolian Fault passing through the Marmara Sea, which should enable us to address these issues.

The objective is to design and build a multi-parameter borehole system for observing slow deformation, low-frequency noise or tremors, and high frequency signals near the epicentral area of the expected Marmara earthquake. Furthermore, it is also aimed to identify the presence of repeating earthquakes and rupture nucleation, to measure continuously the evolution of the state of stress and stress transfer from east to west with high resolution data, and to estimate the near-surface geology effects masking the source related information. The proposed location of the borehole system is right on the Ganos Fault and in a low ambient noise environment in Gazikoy in the western end of the North Anatolian Fault in the Marmara Sea, where the Ganos Fault goes into the Marmara Sea. The proposed instrumentation will be consisted of broadband seismometer with very wide dynamic range, strainmeter, tiltmeter, hydrostatic pressuremeter and thermometer. These instruments will be installed in 150m deep borehole. Additionally, a surface microearthquake observation array, consisting of 8-10 seismometers around the borehole will be established to obtain continuous high resolution locations of micro-seismicity and to better understand the existing seismically active structures and their roles in local tectonic settings.

キーワード: Borehole system, repeating earthquakes, slow motion, microearthquake activity, rupture nucleation, MARSITE

Keywords: Borehole system, repeating earthquakes, slow motion, microearthquake activity, rupture nucleation, MARSITE