

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02988

研究課題名(和文)ターミナル海盆の堆積記録を用いた南海トラフの地震履歴の高精度化

研究課題名(英文)Accuracy improvement of earthquake history of the Nankai Trough by sediment records from terminal basins

研究代表者

芦 寿一郎 (Ashi, Juichiro)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：40251409

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：東海沖から日向沖の地震履歴の情報を得るため、南海トラフ前弧域の浅部地下構造探査と柱状試料採取を行なった。海溝の陸側斜面から前弧海盆における高解像度の浅部地下構造を無人探査機に搭載した音波探査装置で捉えることができ、室戸岬沖や日向沖において活断層や現在進行中の傾動運動を確認した。堆積層の分析では、地震による海底表層の物質の移動・再堆積を明らかにするとともに、再堆積した地層の厚さは供給源となった地層の崩壊の深さと相関する可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：We conducted shallow subbottom profiling survey and sediment core sampling in the Nankai forearc region to know the earthquake history from off Tokai to off Hyuga. A subbottom profiler on a remotely operated vehicle successfully obtained high-resolution shallow subseafloor structures from the trench landward slope to the forearc basin, and found active faults and on-going tilting off Cape Muroto and off Hyuga. Sedimentological study revealed rework and redeposition processes of surface sediments by earthquake shaking and suggested that the thickness of the redeposited layer could correlate with the depth of the reworked unit of the source formation.

研究分野：海洋地質学

キーワード：タービダイト 地すべり 混濁流 堆積盆

1. 研究開始当初の背景

南海トラフ沿いでは 100~200 年間隔の海溝型巨大地震の発生が古文書・遺跡の調査から明らかにされている。また、沿岸部の堆積記録を用いて、さらに古い時代の津波の履歴が調べられている。南海トラフの地震発生域は、全域が破壊する場合やセグメントに分かれて破壊する場合が想定されている。これらに対して日向沖の地震はやや規模の小さいものが高い頻度で起こっており、超低周波地震の発生も知られているが、その原因はよく分かっていない。

地震動によって海底の擾乱が起こると堆積物粒子が海水と混合し混濁流として斜面を流下する。混濁流の発生時期の推定は、その堆積層であるタービダイトの年代を用いて行われている。しかし、この手法を用いる際に注意しなければいけない点は、混濁流は地震以外に洪水・波浪・土砂供給の増加などによっても引き起こされること、複数の供給源を持つ地点では震源位置の特定が十分に行えないこと、混濁流は海底面を削って以前の堆積記録を消し去る場合があること、斜面を下るだけでなく高まりを乗り越え、堆積記録がほとんど残らない場合があること、などが挙げられる。これまでの研究では、複数の地点で同時期にタービダイトが出現することや、河川からの土砂流入のない地点の試料を用いることによって、地震の発生時期・発生間隔が推定されている。しかし、上記の課題と の問題点は未だ解決されていない。

2. 研究の目的

上記背景の ~ の課題を解決できる場所として、沈み込み帯陸側斜面の「ターミナル海盆」が挙げられる。「ターミナル海盆」とは流入した堆積物を外部へ逃さない地形的な高まりで囲まれた堆積盆のことである。海溝陸側斜面の多くの地点は外縁隆起帯によって陸からの土砂供給から隔離されている(課題 に対応)。また海溝陸側斜面には ridge and trough 構造が発達し、溝状の凹地には周囲より凹んだターミナル海盆が多数発達する(課題 に対応)。ターミナル海盆の多くは、それへ堆積物を供給できる範囲(後背地・河川の場合の集水域に相当)が限られるため、地震動の発生場所を高い空間的精度で求めることができ(課題 に対応)、さらに流入する混濁流の規模も小さく削剥による記録の消去も避けられる(課題 に対応)。

本研究は、東海沖から日向沖の南海トラフ陸側斜面の多点で採取した柱状試料において地震性タービダイトを認定しそれらの堆積年代を求める。特に本研究では後背地の限られたターミナル海盆を対象とすることにより、規模の小さな地震の発生範囲の特定や、巨大地震のセグメント境界の位置の推定精度の向上を目指す。また、巨大地震発生域で

ある東海沖から足摺岬沖と、それに比べてやや規模の小さな地震域である日向沖の浅部地下構造・堆積層を比較する。

3. 研究の方法

本研究は、従来の手法では採取困難な地点での「柱状試料採取」と、その採泥地点の選定を行うための「海底浅部地下構造探査」、得られた試料の「地震性タービダイト認定」、地震発生履歴の推定のための「堆積物の年代測定」に大きく分けられる。

1) 柱状試料採取：試料採取は主に東京大学大気海洋研究所の自航式深海底サンプル採取システム(NSS)を用いて行った。NSSは海底をカメラで観察しながら移動し1m程度の精度での採泥が可能な装置である。

2) 海底浅部地下構造：試料採取地点が目的とする研究に適した場所であるかどうかは、音波を用いた海底浅部地下構造探査(サブボトムプロファイラー[SBP]を用いた探査)が必要である。本研究では、従来の船舶から発振・受信する方法に加えて、上記のNSSの水中機器に発振と受信ユニットを取り付け、深海曳航探査(海底近傍での音波の発振・受信)により高解像度の浅部地下構造断面を得ることができた。

3) 地震性タービダイト認定：採取された柱状試料は高知大学海洋コア総合研究センターにてX線CTスキャナーを用いた内部構造撮影を行った。試料の半裁後に肉眼観察・記載、キューブ状試料の採取を行ない、密度・間隙率測定、帯磁率異方性測定を行った。また、一部で粒度分析を実施した。

4) 堆積物の年代決定：地震性タービダイトの層準の年代の決定は、海底表層から浅部の試料については、セシウム137法と鉛-210法を用いた(於：北海道大学)。浅部から深部のすべての層準については浮遊性有孔虫の殻、および一部において堆積物中に含まれる有機物を用いた放射性炭素年代測定を行った(於：東京大学大気海洋研究所)。

4. 研究成果

本研究の内容は、1) 調査航海における研究、と航海で取得したデータ・試料をもとにした2) 構造地質学的研究と3) 堆積学的研究、に大きく分けられる。以下ではそれぞれの成果について述べる。

1) 調査航海

2015年度は白鳳丸KH-15-2次航海(8月19日~9月15日)を行い、東海沖から日向沖の前弧海盆から付加プリズム中部斜面で、主に無人探査機を用いた海底浅部構造探査と精密照準採泥を行った。海底浅部構造探査は深海曳航式の装置を用いたもので船舶を用いた通常の装置に比べて高解像度の断面を得ることができた。試料はピストンコアを11地点、マルチプルコアを20地点より得た。また、浅部構造探査を16測線行なった。

2016年度は白鳳丸 KH-16-5 次航海（10月20日から11月8日）を行い、前年度と同じく東海沖から日向沖の前弧海盆から付加プリズム中部斜面で、主に無人探査機を用いた海底浅部構造探査と精密照準採泥を行った。試料はピストンコアを5地点、マルチプルコアを18地点より得た。また、浅部構造探査を8測線行なった。

2017年度は、前年度までに得られた浅部構造探査で明らかになった地下構造をもとに、採泥点を選定した。試料はピストンコアを12地点、マルチプルコアを21地点より得た。3ヶ年の研究期間に採取したピストンコアの地点を図1に示す。

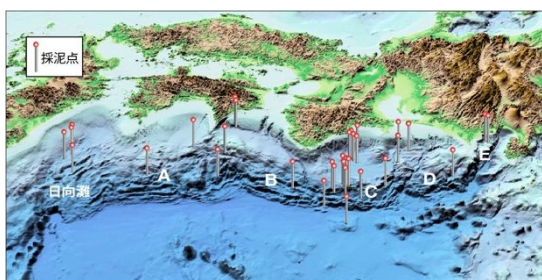


図1 ピストンコア採泥点の位置図

2) 構造地質学的研究

2015年度および2016年度に取得した浅部構造探査のうち深海曳航式探査の記録の解析により従来にない高精度の浅部地下構造、特に活動的な地質構造を明らかにすることができた。

室戸岬から足摺岬沖へ連続する外縁隆起帯を横断する2地点で探査を行なった。室戸岬沖では深部ほど陸側への傾斜と層厚の増加の見られる表層堆積層を確認するとともに、下位層の層厚は一定であることから、傾動運動開始が比較的最近であることを明らかにした。傾動運動の開始は、ピストンコア試料の浮遊性有孔虫種の消滅から約12万年前と推定される。足摺沖では海底面まで変形の達する高角の断層と撓曲に挟まれたホルスト状の地形が捉えられ、同隆起帯が現在も活動的であることを確認した。

日向沖では他の南海トラフ海域に比べて地下構造・表層地質情報の報告が限られる。本研究では海溝陸側斜面中部から上部へかけての高解像度の地下構造を得ることができた。

沖大淀海盆と大淀海盆を分断する北北東-南南西方向の大淀海丘周辺の最近の構造運動を明らかにするため探査を行ない、海丘軸を中心にほぼ対称に相対的な隆起を示す撓曲構造の発達を確認した。表層約10mの堆積層は海丘に向かって厚さを減じながら連続性が良いことから最近の変形であることを示す。海丘の基部は西側・東側とも撓曲構造が発達する。

日向海盆西縁の急崖では、西側の相対的隆起にともなう褶曲構造がみられた。海底下20mではアバット、それ以上では斜面上方に薄

層化しながら連続する構造が認められ、最近も変動が続いているとみられる。西側の斜面上部には、フラワー構造とみられるV字型の凹地とそれを覆う地層が発達し横ずれ変形が示唆される。

日向海盆北西縁の急崖の構造を明らかにするため表層地下構造探査を行ない、西側の相対的隆起にともなう褶曲構造を明らかにした。堆積構造は海底下10mではアバット、それ以上では斜面上方に薄層化しながら連続しており、最近も変動が続いていることを示す。

第2 渥美海丘西側斜面の地すべりの浅部構造探査を行い、2ヶ所の大きな滑落崖とそれぞれの上部に正断層の発達を確認した。滑落崖の下部斜面には緩やかな起伏が発達し、地すべり体の移動による圧縮変形を受けていたとみられる。斜面基部には崩落したブロックが薄い表層堆積層下に見られる。

室戸岬の東方沿岸には、海底地形から地すべりによるとみられる地形が認められた。それらは上部の急峻な滑落崖と、中部から下部へかけての緩斜面からなるが、中央部に小規模な急崖と凹地がみられるのが特徴である。凹地には最近溜まった堆積物がみられないことから、地すべりは比較的最近発生したことが推察される。

3) 堆積学的研究

堆積物試料の各種分析から地震時の堆積物の移動についての情報が得られ、海底ごく表層の堆積物移動の実態が明らかになった（図2）。また、全有機物の放射性炭素年代の高密度測定によってイベント層の検出が可能なこと、陸源物質の流入する地点においても有機物の同位体を用いることで洪水性と地震性を区別できる可能性が示された。

熊野沖の外縁隆起帯に発達したターミナル海盆の試料を用い、堆積物の移動様式を調べた。表層部のシルト質泥は上部と下部に分かれ、上部は明瞭な基底層、シルト質葉理とそれを覆う無構造の泥層から成る細粒タービダイトで、セシウム137濃度と過剰鉛210濃度から2004年紀伊半島南東沖地震時に堆積したと推定された。帯磁率異方性測定から斜面方向の堆積物移動が推定され、堆積盆底と堆積物供給源の推定面積から、斜面表層1cmの泥質物質の移動で上記の地層が形成されたことを明らかにした。

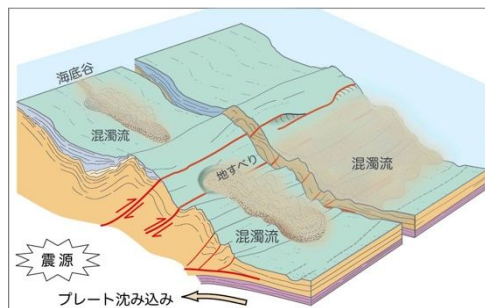


図2 堆積物移動の模式図

同地点の下位には 23 層のタービダイトが認定され、その上下では浮遊性有孔虫化石の放射性炭素年代の逆転が見られた(図 3)。逆転の年代差はタービダイト層の厚さと相関しており、厚いタービダイト層では深くまでの地層の再移動が行われていることを示唆する結果となった。

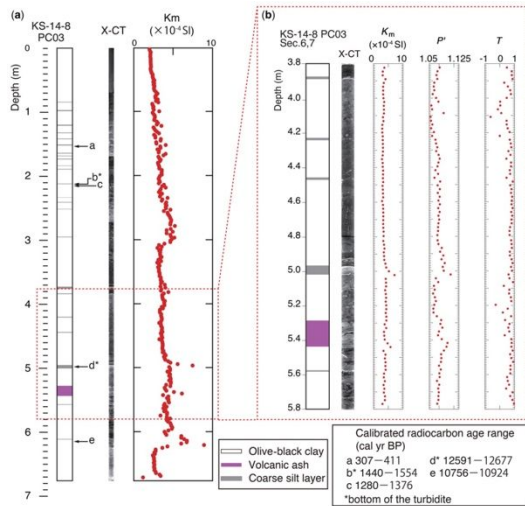


図 3 コア試料の柱状図, X 線 CT, 帯磁率異方性と年代

熊野灘の堆積物において、全有機物の放射性炭素年代を高密度で測定したところ、年代の逆転部が 40cm の区間において 6 層認められた。これらは肉眼では粘土質シルトからなる無構造の試料で、X 線 CT スキャン画像を用いても境界がほとんど認識できないものであり、全有機物の放射性炭素年代を用いたイベント層の検出の可能性が示された。また、有機物の同位体から洪水性とみられる層の年代が歴史記録の洪水とよく対応することが示された。

以上の 2 例のほか、志摩半島沖、潮岬沖、室戸岬沖、足摺岬沖、日向沖の各海域におけるターミナル海盆のピストンコア試料、マルチプルコア試料の X 線 CT 画像測定、帯磁率測定、半裁、写真撮影、記載を終えた。多くの地点のピストンコア試料では概ね等間隔に発達するタービダイト層を認定した。また、火山灰層の挟在を確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 13 件)

池原 研, 宇佐見和子(2018) 海底の地震・津波堆積物-巨大地震・津波による海底の擾乱と擾乱記録を用いた巨大地震・津波履歴の解明-, シンセシオロジー, 11, 12-22. 査読有

Ohde A, Otsua H, Kioka A, Ashi J (2018) Distribution and depth of bottom-simulating reflectors in the Nankai subduction margin, Earth, Planets and

Space 70:60, 10.1186/s40623-018-0833-5, 査読有

Okutsu N, Ashi J, Yamaguchi A, Irino T, Ikehara K ほか 3 名(2018) Evidence for surface sediment remobilization by earthquakes in the Nankai forearc region from sedimentary records, Subaqueous Mass Movements. Geological Society, London, Special Publications 477, 10.1186/s40623-018-0833-5, 査読有

Chun C, Kioka A, Jia J, Tsuji T (2018) Characterization of hydrate and gas reservoirs in plate convergent margin by applying rock physics to high-resolution seismic velocity model, Marine and Petroleum Geology, 92, 719-732, 10.1016/j.marpetgeo.2017.12.002, 査読有

Eng C, Ikeda T, Tsuji T (2017) Study of the Nankai seismogenic fault using dynamic wave propagation modelling of digital rock from the Nobeoka fault, Exploration Geophysics, 49, 11-20, 10.1071/EG17129, 査読有

Nimiya H, Ikeda T, Tsuji T (2017) Spatial and temporal seismic velocity changes on Kyushu Island during the 2016 Kumamoto earthquake Science Advances 3, 10.1126/sciadv.1700813, 査読有

Omura A, Ikehara K, Arai K, Udrekh (2017) Determining sources of deep-sea mud by organic matter signatures in the Sunda trench and Aceh basin off Sumatra, Geo-Marine Letters, 37, 549-559, 10.1007/s00367-017-0510-x, 査読有

Tsuji T ほか 4 名 (2017) 3D geometry of a plate boundary fault related to the 2016 Off-Mie earthquake in the Nankai subduction zone, Japan, Earth and Planetary Science Letters 478, 234-244, 10.1016/j.epsl.2017.08.041, 査読有

Tsuji T ほか 4 名 (2016) Using seismic noise derived from fluid injection well for continuous reservoir monitoring, Interpretation 4(4), SQ1-SQ11, doi: 10.1190/INT-2016-0019.1, 査読有

Jia J, Tsuji T, Matsuoka T (2016) Gas hydrate saturation and distribution in the Kumano Forearc Basin of the Nankai Trough, Exploration Geophysics, doi:10.1071/EG15127, 2016 査読有

池原 研(2015)ターミナル小海盆：タービダイト古地震学の一つのターゲット, 第四紀研究 54, 345-358. 査読有

Tsuji T, Ashi J, Strasser M, Kimura G (2015) Identification of the static backstop and its influence on the evolution of the accretionary prism in the Nankai Trough, Earth and Planetary Science Letters 431, 15-25, doi:10.1016/j.epsl.2015.09.011, 査読有

Kioka A, Ashi J. (2015) Episodic massive mud eruptions from submarine mud volcanoes examined through topographical signatures Geophysical Research Letter 42, 8406-8414 doi: 10.1002/2015GL065713, 査読有

〔学会発表〕(計 25 件)

池原 研, 海底堆積物中のイベント堆積層を用いた地震発生履歴解明に向けたイベント層の認定の現状と課題, 高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究成果発表会, 2018

芦 寿一郎, 自航式深海底サンプル採取システム NSS の運用のこれまで, プルーアースサイエンス・テク, 2018

OKUTSU, Natsumi, Surface sediment remobilization triggered by earthquakes in the Nankai forearc region, AGU Fall Meeting, 2017

TSUJI, Takeshi, Imaging and monitoring of seismogenic fault: Contribution for earthquake hazard assessment, Workshop on future direction of NanTroSEIZE drilling, Kagoshima, 2017

TSUJI, Takeshi, Fault and lithology from trench to coast on seismic profiles off Kii peninsula, French-Japanese week on Disaster Risk Reduction, French-Japanese week on Disaster Risk Reduction Mega-earthquakes in subduction zones: insights from fossil examples, 2017

池原 研, 海底への堆積物の供給と堆積・再移動・溶解, 日本地質学会第 124 年学術大会, 2017

OKUTSU, Natsumi, Identification of muddy seismogenic turbidite from sedimentary structure and chemical composition, JpGU-AGU Joint Meeting, 2017

芦 寿一郎, 室戸 - 足摺沖隆起帯の浅部活構造, 日本地球惑星科学連合大会, 2017

OKUTSU, Natsumi, Paleoseismic events inferred from marine seismogenic turbidites of the eastern Nankai Trough, AGU fall meeting, 2016

池原 研, 地震性タービダイトによる地震発生履歴研究の現状と課題, 日本地質学会第 123 年学術大会, 2016

芦 寿一郎, 日向沖南海トラフ周辺の活構造の高解像地層探査, 日本地質学会第 123 年学術大会, 2016

大村亜希子, 全有機炭素の放射性炭素年代連続測定による海底イベント堆積物認定の試み, 日本地質学会第 123 年学術大会, 2016

芦 寿一郎, 日向沖南海トラフ前弧域の浅部活構造, 日本地球惑星科学連合大会, 2016

OKUTSU, Natsumi, Microstructure analysis of marine seismogenic turbidites in Kumano forearc basin, AGU fall meeting,

2015

IKEHARA, Ken, Deep-sea turbidite evidence on the recurrence of large earthquakes along the northern Japan Trench, XIX INQUA Congress, 2015

奥津なつみ, 2004 年伊半島南東沖地震による地震性堆積物の微細構造解析, 日本地球惑星科学連合大会, 2015

芦 寿一郎, ターミナル海盆における 2004 年伊半島南東沖地震の地震性堆積物, 日本地球惑星科学連合大会, 2015

辻 健, ダイナミックに発達する南海トラフ付加体, 日本地球惑星科学連合大会, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芦 寿一郎 (ASHI, Juichiro)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号: 40251409

(2) 研究分担者

池原 研 (IKEHARA, Ken)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・首席研究員

研究者番号: 40356423

辻 健 (TSUJI, Takeshi)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号: 60455491

(3) 連携研究者

入野 智久 (IRINO, Tomohisa)

北海道大学・地球環境科学研究科(研究院)・助教

研究者番号: 70332476

山口 飛鳥 (YAMAGUCHI, Asuka)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号: 30570634

大村 亜希子 (OMURA, Akiko)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・日本学術振興会特別研究員

研究者番号: 80401298