

# 堆積物記録を用いた 南海トラフ巨大地震発生履歴解明へのチャレンジ — 東海沖における海底掘削調査 —

池原 研<sup>1)</sup>・金松 敏也<sup>2)</sup>・Kan-Hsi Hsiung<sup>2)</sup>・三浦 伊織<sup>3)</sup>・奥津 なつみ<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

南海トラフは、フィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込むプレート境界です。南海トラフに沿ってはプレート境界型地震が約 100～200 年の間隔で繰り返し発生してきました。政府の地震調査研究推進本部 ([https://www.jishin.go.jp/regional\\_seismicity/rs\\_kaiko/k\\_nankai/](https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kaiko/k_nankai/), 閲覧日: 2020 年 3 月 12 日) によれば、過去に南海トラフで発生した大地震は、その震源域の広がり方に多様性があり、南海地域における地震と東海地域における地震が同時に発生している場合と若干時間差(数年以内)を持って発生している場合があるとされます。さらに、東海地域の地震でも、御前崎より西側で断層のすべりが止まった場合と駿河湾の奥まですべりが広がった場合があり、震源域が異なることがあるとされています。そして、南海トラフ全体を一つの領域として考え、100～200 年で繰り返し地震が発生していると仮定した場合の地震発生確率は 30 年以内に 70～80% の高い値とされています。

上記のように歴史地震の記録から、東海地方の地震は他の南海トラフ沿いの地域とは異なる間隔で発生していたと考えられます。一方で、東海沖から遠州灘の海域の海底下には沈み込んだリッジ(海底の長く続く高まり)が存在し(Kodaira *et al.*, 2003), この影響で地震の発生が抑制されているという考えもあります。しかし、確認されている南海トラフ沿いの歴史地震は、東海沖から遠州灘の地域と他の南海トラフ沿いの地域で地震の発生間隔に違いがあるかどうかを統計的に検討するには数が少ないのが現状です。一方、東海沖から遠州灘の海域においては、海底堆積物中に過去の南海トラフ沿いの地震がタービダイトとして記録されているとされていました(池原, 2001)。池原(2001)の堆積物記録は過去 2000 年程度までのものですが、より長い堆積物試料を採取できれば、より長期にわ

たる、統計的に検討することが可能な数の地震発生間隔を知ることが期待できます。このため私たちは、海洋研究開発機構(JAMSTEC)の地球深部探査船「ちきゅう」を用いて、海底堆積物の掘削を行いました。ここでは、プレス発表した速報([https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2020/pr20200129/pr20200129.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200129/pr20200129.html) あるいは [http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20200129](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20200129), 閲覧日: 2020 年 3 月 16 日)に基づいて、その概要を紹介します。

## 2. 地震によって作られる堆積層：タービダイト

南海トラフ沿いのプレート境界型地震のような巨大地震では、海底にも大きな擾乱が生じます。2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震後のたくさんの調査結果は海底堆積物の再懸濁や再堆積が広い範囲で起きていたことを示しています(例えば、池原・宇佐見, 2018)。また、巨大地震ではもっと規模の大きい海底地すべりが発生することもあることも知られています(例えば、原口ほか, 2020)。このような海底堆積物の再懸濁や海底地すべりによって発生する混濁流(水に堆積物粒子が混ざることによって周囲よりも密度が大きくなった水塊がその密度によって重力的に斜面を下る流れ)から堆積したタービダイト(第 1 図)は過去の巨大地震発生の地質学的な証拠の一つとなります。したがって、地層中からタービダイトを見つけ出し、そのたまった年代を決めることで過去の地震の発生年代や間隔を知ることができます。ただし、タービダイトは地震による混濁流だけでなく、洪水や嵐の時の大波、急激な堆積、海底での地下水の湧出、隕石の衝突など起源の混濁流からも形成されますので、見つけられたタービダイトの起源に関する検討が大事になります。また、形成されたタービダイトが地層として残されるためには、海底に棲む底生生物の

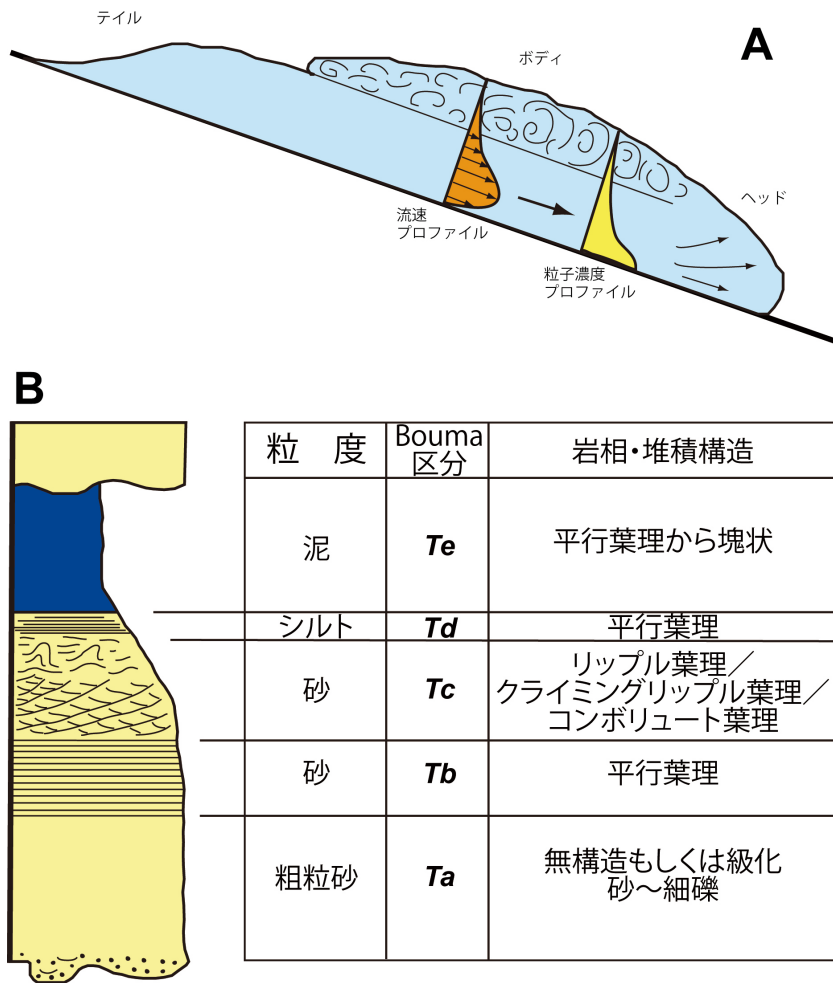
1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

2) 海洋研究開発機構 海域地震火山部門

3) 東京大学 新領域創成科学研究科

4) 海洋研究開発機構 研究プラットフォーム運用開発部門

キーワード: 地震, 南海トラフ, タービダイト, 海底掘削, SCORE



第1図 混濁流 (A) とタービダイト (B)。典型的なタービダイトは砂質であるが、地震性タービダイトでは泥質なものも多い。Aは Pickering and Hiscott (2016) を、Bは Bouma (1962) を参考に作図した。

活動でタービダイトが壊されないことも必要で、このためには地震間の通常時に堆積物が連続してできるだけ早い速度で溜まることも重要になります。さらに、過去の地震の履歴を知ることから、過去の巨大地震の度にタービダイトが形成される場であるということがとても大事になります。このような点に留意しつつ、世界中の海や湖でタービダイトを用いた過去の地震履歴の検討(タービダイト古地震学)が進められています (Strasser *et al.*, 2015)。

### 3. 「ちきゅう」による掘削プロポーザル作成と審査

通常の海洋地質調査航海もそうですが、「ちきゅう」による海底掘削となるとさらに膨大なお金が必要になります。幸い日本地球掘削科学コンソーシアム (J-DESC) と JAMSTEC は「ちきゅう」を使った表層科学掘削プログラム (Chikyu Shallow Core Program: SCORE) を協働で推進しています。SCORE では、J-DESC 会員からの掘削提案がその科学的意義などについての審査を受け、優れた提案と

認められたものの実施が JAMSTEC に推薦されます。さらに、推薦された掘削提案の中から「ちきゅう」の年次運用計画に支障をきたさない実施可能なものが JAMSTEC により選定されて実施に至ります。そこで私たちは、このプログラムを利用した掘削の実行を考え、掘削提案の作成にあたりました。

SCORE の掘削提案は、以下の3つの条件を満たすことが必要になります。1) 学術研究を目的とした科学掘削提案であること、2) 海底表層(海底下 100 m 程度まで)のピストンコアリングによる海底面目視を行わないコア採取であり、数日程度の範囲で実施が可能な内容であること、3) 掘削サイトの事前調査データとして、海底地形図及び反射法地震探査(シングルチャンネル可)データ 1 本以上を含むこと。そして掘削提案書には、科学目的、掘削希望サイトの情報、コア採取と研究計画、国際海洋科学掘削計画 (International Ocean Discovery Program : IODP) の科学計画における対応項目を示す必要があります。私たちの場合の科学目的は「はじめに」で示した通りですが、これ

を可能にする掘削地点を決めることが重要です。私たちはこれまでの調査結果を踏まえて、地震起源のタービダイトが地震の度に堆積し、保存され、地震以外の起源のタービダイトがないという観点から堆積物の採取地点を慎重に検討し、正・副の2つの掘削候補地点を選びました。さらに、どのようにコアを採って、採れたコアについてどのような研究を行うかを検討しました。ここでは、どのくらいの深度まで掘削を行うと、どのくらいの年代の堆積物までが回収できるかをこれまでの表層堆積物の分析結果から推定しました。そして、正の候補地点では海底下95 mまで、副の候補地点では80 mまでの掘削を提案することとしました。次に、予想される年代までの堆積物について如何に詳細な堆積年代の推定を行うか、手法を含めて検討を重ねました。

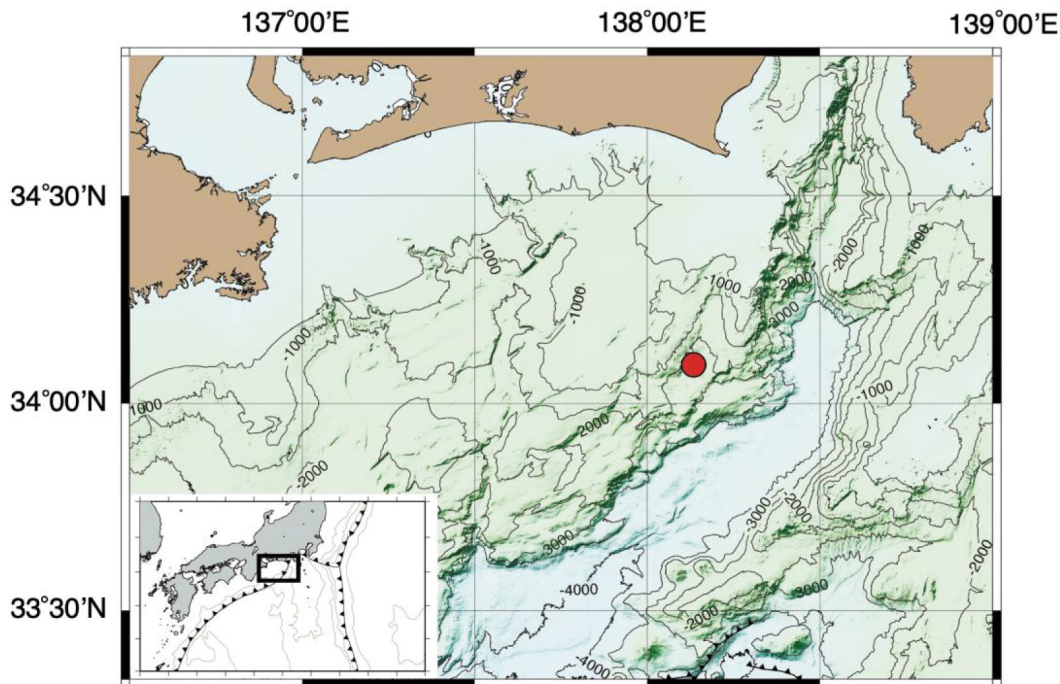
そのようにして提出された私たちの掘削提案は、J-DESCのIODP 部会科学推進専門部会で審査され、科学的に曖昧な点や事前調査データの追加や解釈のやり直し、分析手法の詳細の記述の追加などの修正を行った後、無事に審査を通過することができました。

#### 4. 「ちきゅう」による掘削結果の概要

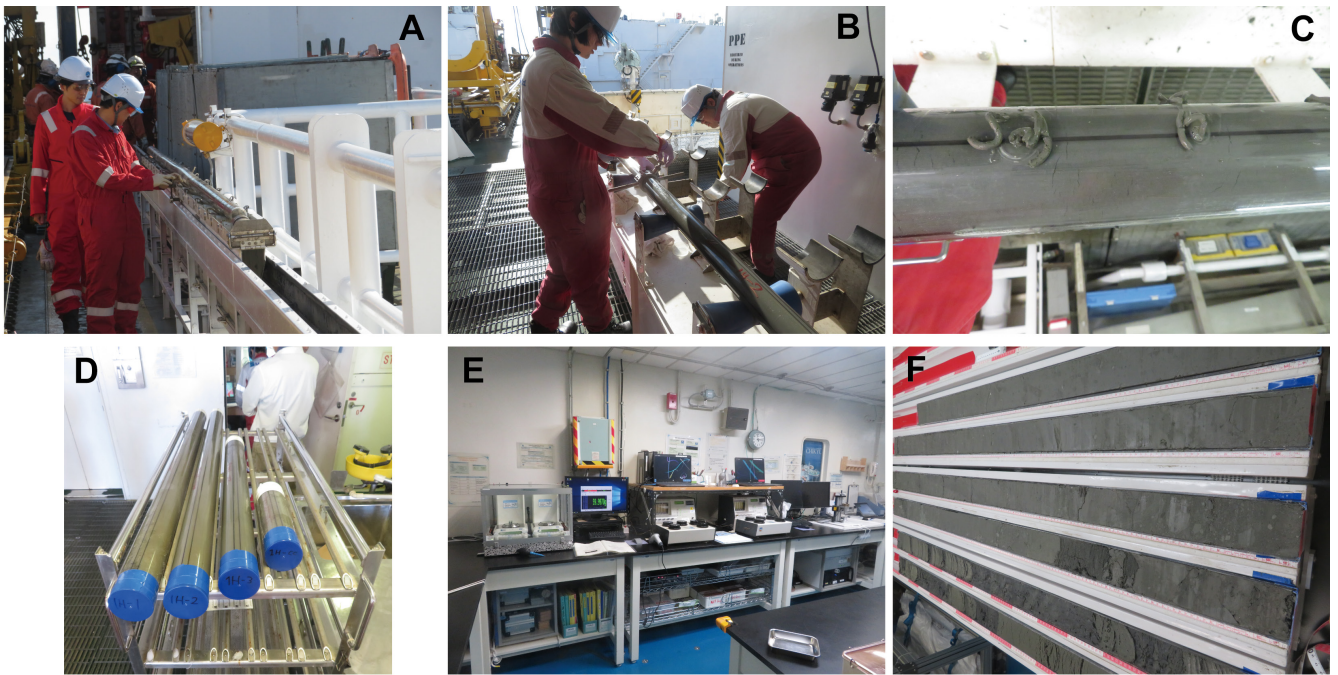
「ちきゅう」による掘削は、2020年1月に実施されました。年明け早々の1月5日に静岡県清水港を出港した

「ちきゅう」は翌日から東海沖の水深2414 mの凹地の掘削提案地点(第2図)で掘削作業を始めました。掘削では、一回に9.5 mの長さの試料(これを単位としてコアと呼びます)が採取できます。これを何度も繰り返すことで、長い試料が採取できます。1回に採取されたコアは、キャットウォークと呼ばれる場所に持ち込まれ、ラボテクニシャンの方々によって1 m毎に分割されます(第3図A~C)。堆積物も海底下深くなってくると、上にあった堆積物や海水による上載圧から解放されるので伸びようとします。コアが伸びてくるのを防ぐために圧力解放用の穴をライナーに開けますが、その穴からは堆積物がニュルニュルと出てくることがあります。1 m毎のセクションに分割されたコアはその後、エックス線CT装置による撮影、マルチセンサコアロガーによる非破壊物性測定の後、半割されて研究用(ワーキング)ハーフと保存用(アーカイブ)ハーフに分けられます。今回船上では、研究用ハーフから物性測定用の試料を1コアあたり1~2個採取して、含水率、乾燥密度、粒子密度、間隙率、間隙比の測定ならびに1~2層準での貫入強度の測定を行いました。保存用ハーフでは、半割面のデジタルイメージの取得の後、1 mに分割されたセクション毎の肉眼記載と主要な岩相の組成確認のためのスミアスライドの作成とその検鏡、古地磁気測定を行いました(第3図D~F)。

今回の掘削では、海底下80 m以上の地層を掘り抜く



第2図 掘削地点の位置。プレスリリース資料 ([https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2020/pr20200129/pr20200129.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200129/pr20200129.html) あるいは [http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20200129](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20200129), 閲覧日: 2020年3月16日) から転載。



第3図 船上作業の様子。A：コアが上がってきた。B：1 m 毎への分割作業。C：コアライナー内の圧力解放用の穴から出てくる堆積物。D：1 m 毎のセクションに分割されたコア。E：物性測定ラボ。F：肉眼記載用テーブルに展開されたコア。

ことができました。そして、その上部の約 40 m の堆積層にはたくさんのタービダイトが認められました(第 4 図)。同じ凹地から採取された表層堆積物コアの堆積速度は約 1m/ 千年です(池原, 2001; Omura *et al.*, 2012) ので、約 40 m の堆積層がたまるには 4 ~ 5 万年がかかる計算になります。この約 40 m の堆積層に挟在するタービダイトの枚数を船上での肉眼観察の結果から数えると、約 200 枚ありました。単純に割り算すると、平均的なタービダイトの堆積間隔は約 200 年になります。堆積層の堆積年代やタービダイトの枚数は今後の分析によって変わる可能性はありますが、地震性と考えられるタービダイトを 4 ~ 5 万年もの期間に渡って連続的に採取できたのは初めてと言えます。また、このような連続的で未攪乱の堆積物コアの取得は、「ちきゅう」の水圧式ピストンコアリングシステムの技術により成し得たものと言えます。

## 5. おわりに

SCORE のもとでの「ちきゅう」による掘削により、4 ~ 5 万年間という十分に長い期間についてタービダイトの堆積間隔を検討できる試料を得ることができました。今後は、採取された試料の堆積年代を決定し、タービダイトの堆積間隔を詳細に検討していく予定です。これにより南海トラフの巨大地震の姿を少しでも解明できればと考えています。また、今回の掘削で「ちきゅう」による掘削コア

がタービダイト古地震学にも非常に役に立つことがわかりました。南海トラフ沿いの別の場所での掘削は、南海トラフのセグメント間での地震発生様式の違いに関する情報を提供してくれるかもしれません。今後は是非、継続して研究すべき課題と考えられます。

この掘削を行うにあたり、以下に挙げる多くの人の支援を受けました。深く感謝いたします。

掘削提案プロポーネント(筆者ら以外)の芦 寿一郎氏、小平秀一氏、荒井晃作氏。J-DESC IODP 部会科学推進専門部会の皆様、提案書の査読者の方々。JAMSTEC 研究プラットフォーム運用開発部門の皆様、J-DESC の皆様。「ちきゅう」C912 航海の船長をはじめとする船員、掘削技術者、ラボテクニシャン、乗船研究者の皆様。

## 文 献

- Bouma, A. H. (1962) Sedimentology of some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation. Elsevier, Amsterdam, 168p.
- 原口 強・池原 研・柳澤英明 (2020) 講座「海底地すべりと津波」2. 国内外で発生した海底地すべりと津波の被災事例. 地盤工学会誌 (印刷中).
- 池原 研 (2001) 深海底タービダイトを用いた南海トラフ東部における地震発生間隔の推定. 地学雑誌,



第4図 採取されたコアの例 (JAMSTEC による)。黒色部がタービダイト。左側の数字は海底からの深度 (m) を示す。プレスリリース 資料 ([https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2020/pr20200129/pr20200129.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200129/pr20200129.html) あるいは [http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20200129](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20200129), 閲覧日: 2020年3月16日) から転載。

110, 471–478.

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.

Kodaira, S., Nakanishi, A., Park, J.-O., Ito, A., Tsuru, T. and Kaneda, Y. (2003) Cyclic ridge subduction at an inter-plate locked zone off central Japan. *Geophysical Research Letters*, 30, 1339.

Omura, A., Ikehara, K., Sugai, T., Shirai, M. and Ashi, J. (2012) Determination of the origin and processes of deposition of deep-sea sediments from the composition of contained organic matter: An example from two forearc basins on the landward flank of the Nankai Trough, Japan. *Sedimentary Geology*, 249–

250, 10–25.

Pickering, K. T. and Hiscott, R. N. (2016) *Deep Marine Systems: Processes, Deposits, Environments, Tectonics, and Sedimentation*. American Geophysical Union and Wiley, West Sussex, 657p.

Strasser, M., Cattaneo, A., Ikehara, K. and McHugh, C. (2015) Submarine paleoseismology: Using giant-piston coring within IODP to fill the gap in long-term records of great earthquakes – 16–18 July 2015, Zurich (Switzerland). *ECORD Newsletter*, 25, 24.

IKEHARA Ken, KANAMATSU Toshiya, HSIUNG Kan-Hsi, MIURA Io and OKUTSU Natsumi (2020) Challenge for decoding the sedimentary record of the past megathrust earthquakes along the eastern Nankai subduction zone -Preliminary report on SCORE drilling off Tokai.

(受付: 2020年3月31日)