

国際深海科学掘削計画 (IODP) 第 386 次研究航海 「日本海溝地震履歴研究」とその試料採取航海

池原 研¹⁾・Michael Strasser²⁾・Jeremy D. Everest³⁾・前田 玲奈⁴⁾・Expedition 386サイエンスパーティー

1. はじめに

日本海溝は、太平洋プレートがオホーツク海プレートに沈み込むプレート境界で、ここではプレート境界型地震が繰り返し発生し、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(以下、2011年東北沖地震と呼ぶ)では地震動と津波により多くの尊い命が失われ、東日本の広い範囲に甚大な被害を引き起こしました。この地震直後からの海域での調査研究は、水深7 kmを超える超深海の日本海溝底の堆積物に、2011年東北沖地震だけでなく、それより前の巨大地震の記録が厚い泥質タービダイトとして残っていることを明らかにしました(Ikehara *et al.*, 2016; 池原・宇佐見, 2018; 池原ほか, 2019)。日本海溝底は沈み込む太平洋プレート表面のホルスト・グラベン構造と呼ばれる凹凸の地形に影響され、凹みであるグラベンが沈み込む場所には海盆が、高まりのホルストが沈み込む場所には海盆間の高まりが作られています。海溝軸に沿うこのような小さな海盆の連なりが日本海溝を特徴付ける海底地形になっています。これらの海盆のいくつかから採取された10 mほどの長さのコアから、地震のたびに大量の土砂(堆積物)が海盆に流れ込み地震に対応したイベント堆積物を形成しているほか、地震の間の平穏時にも堆積物が連続して堆積していることがわかりました。2016年までに実施された東北海洋生態系調査研究船「新青丸」やドイツの研究調査船「ゾネ」号などによる調査結果によれば、海盆には40 m以上の厚さの堆積物が溜まっていて、その中には過去の地震により形成されたイベント層が残されていることもわかりました(Kioka *et al.*, 2019)。これらのことから、これまでの長さ10 m程度のピストンコアラによる堆積物採取より長いコアを採取することでより長い期間にわたる日本海溝沿いの巨大地震の記録が得られるものと期待されました。そこで、国際深海科学掘削計画(International Ocean Discovery Program: IODP)に日本海溝での大口径長尺ピ

ストンコアラによる堆積物採取の掘削提案が出されました。この提案は修正の上、欧州海洋研究掘削コンソーシアム(European Consortium for Ocean Research Drilling: ECORD)が運用する特定任務掘削船(Mission specific platform: MSP)での航海として採択されました。そしてこの度、IODP第386次研究航海(Expedition 386)として実施されました。ここでは、この航海の研究目的と研究航海の様子を紹介したいと思います。

2. IODP Expedition 386「日本海溝地震履歴研究」

プレートが沈み込む海溝では、2004年スマトラ島沖地震や2011年東北沖地震など、甚大な被害をもたらす巨大地震・津波が発生しています。このような巨大地震は今後も発生すると考えられますが、それがどのような頻度・規模で発生するか、周辺地域にどのような地震・津波のリスクがあるか、を適切に評価するためには、過去に起きた地震の記録を調べる必要があります。巨大地震・津波の発生間隔は数百年以上と長いため、人類による観測記録だけでは数が少なく、その発生パターンや最大規模を調べるのが困難です。想定外と言われた2011年東北沖地震も、日本海溝で巨大地震・津波が発生していたことは陸域の津波堆積物として地質記録には残されていて、地層記録の解釈が巨大地震・津波の履歴の理解に重要であることが認識されました。海溝沿いの巨大地震の痕跡は、海底堆積物にも残されていて、すでに述べたように日本海溝の小さな海盆にはこのような地震の記録が地層内に残されていることがわかってきました。また、過去1500年分の海底堆積物中の地震記録は陸域の津波堆積物のそれとも概ね一致していることも明らかになっています(Ikehara *et al.*, 2016)。そこで地層探査記録で確認できる40 m程度までの堆積物を回収し、数万~十数万年というこれまでにない長期間の地震の履歴を日本海溝の全域で明らかにし、日本海溝における

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

2) インスブルック大学 地質学科

3) 英国地質調査所 ECORD サイエンスオペレーター

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: タービダイト, ジャイアント・ピストンコアラ, 地震, 日本海溝, IODP

地震発生パターンを理解する目的で IODP Expedition 386 が計画されました。

もう少し詳しくこの研究航海の目的を言うと、次の三つになります。

- ・地震により形成された堆積物の堆積学的、物理的、化学的、生物学的な特徴を明らかにすることで、過去に発生したマグニチュード9クラスの巨大地震によって形成された堆積物と、それよりも小さな地震やその他の変動によって形成された堆積物とを判別し、その年代を決定する。
- ・地震により形成された堆積物の時間的、空間的分布を調べることで、堆積物の供給源、堆積・形成過程などが日本海溝において時間と共にどう変化してきたのかを明らかにする。
- ・巨大地震がいつ、どこで発生したのかといった長期的な地震履歴を明らかにする。

以上の目的のため、参画研究者が世界から募集され、様々な専門分野の研究者35名がこの研究に参加することになりました。共同首席研究者は池原と Strasser の二人になります。この研究は実際に研究船で海底堆積物試料を採取する研究航海と、採取した試料を分析・解析する二つのフェーズに分かれています。研究航海は、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の海底広域研究船「かいめい」(写真1)による50日間の航海(オフショアフェーズ)で、日本海溝の19地点から長さ40mまでの大口径長尺ピストンコアラーによる海底堆積物試料の採取を目指しました。また、採取試料の分析・解析(onshore science party: OSP)は、地球深部探査船「ちきゅう」の研究区画で2021年秋頃に実施する予定になっています。



写真1 2021年4月13日 JAMSTEC 横須賀本部岸壁を出港する「かいめい」

3. 「かいめい」による研究航海

「かいめい」による研究航海は当初2020年4~6月に行われる予定でしたが、新型コロナウイルス感染症拡大のため、2021年に延期となりました。しかし、2021年2月に2021年4月13日~6月1日の50日間での実施が決まり、過日無事に研究航海を終えました。新型コロナウイルスの影響で外国人の日本への渡航が大きく制限されているため、この研究航海は日本在住者だけでの実施となり、研究者の乗船は4名のみとなりました。4月13日に JAMSTEC 横須賀本部岸壁を出港した「かいめい」は一路日本海溝へ、と行きたかったのですが、折からの強風のため横須賀港内で足止めを余儀なくされ、日本海溝へ向かったのは二日後の4月15日の午後、さらに一番南の採泥予定点まで移動できたのは良かったものの、予想外に強い黒潮と強風のため犬吠埼の北側で避泊することとなり、最初の試料採取は出港から1週間後の4月20日でした。その後も次々とやってくる低気圧と仙台沖まで北上していた黒潮に悩まされ続けましたが、八戸での途中入港で機材や冷蔵コンテナの積み替え、人員の一部交代などを経て、6月1日に JAMSTEC 横須賀本部岸壁に帰港し、50日間の航海を無事に終えることができました。結果としてこの航海では、15地点で29回の海底堆積物採取を行い、全長で830m強のコア試料を採取しました。この航海中の記録は ECORD のこの研究航海のウェブサイト(英語: <https://www.ecord.org/expedition386/>, 閲覧日:2021年6月21日)の daily report から Daily ship report や Weekly ship report に写真付きで、また航海の様子は研究航海のブログ(英語: <https://expedition386.wordpress.com>, 閲覧日:2021年6月21日)や J-DESC のウェブサイト(<https://www.j-desc.org/exp-386-japan-trench/>, 閲覧日:2021年6月21日)の船上レポートなどでも知ることができます。今回5月14日の作業では水深8,023mから37.74mの堆積物コアを採取できました。これはこれまでの深海科学掘削において最も深い水深からの試料採取であるとともに、海面から最大の深さ(8,060.74m)からの試料採取となりました。

海底堆積物の採取には、「かいめい」に搭載されている大口径長尺ピストンコアラー(写真2)を用いました。ピストンコアラーはピストンを海底面に固定した状態でバレルと呼ばれる金属の筒を錘の重さで貫入させ、コアラーを引き上げることで堆積物を抜き取ってくるサンプリング機器です(第1図)。「かいめい」のシステムはバレル長が最大で40m、口径は直径11cmで通常のコアラーの直径7cm程度よりも大きいため、「大口径」「長尺」ピストン

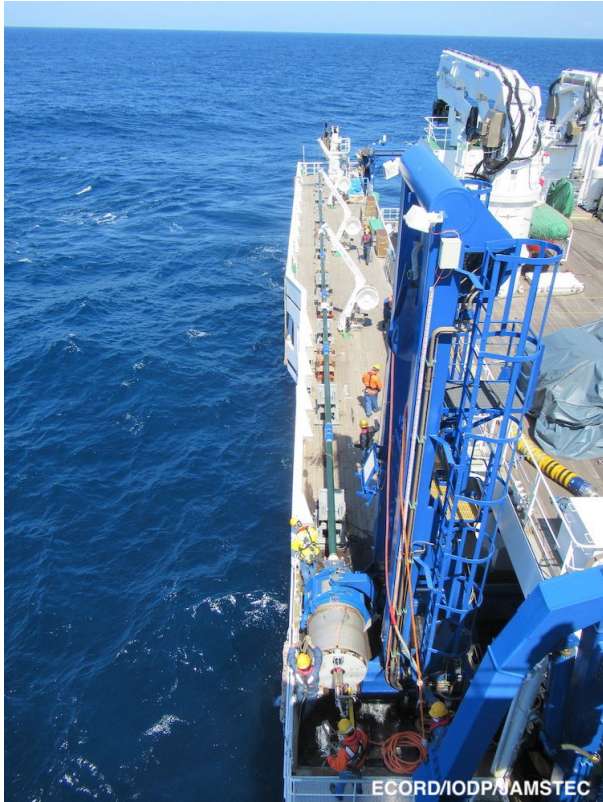


写真2 「かいめい」に搭載されている大口径長尺ピストンコアラー

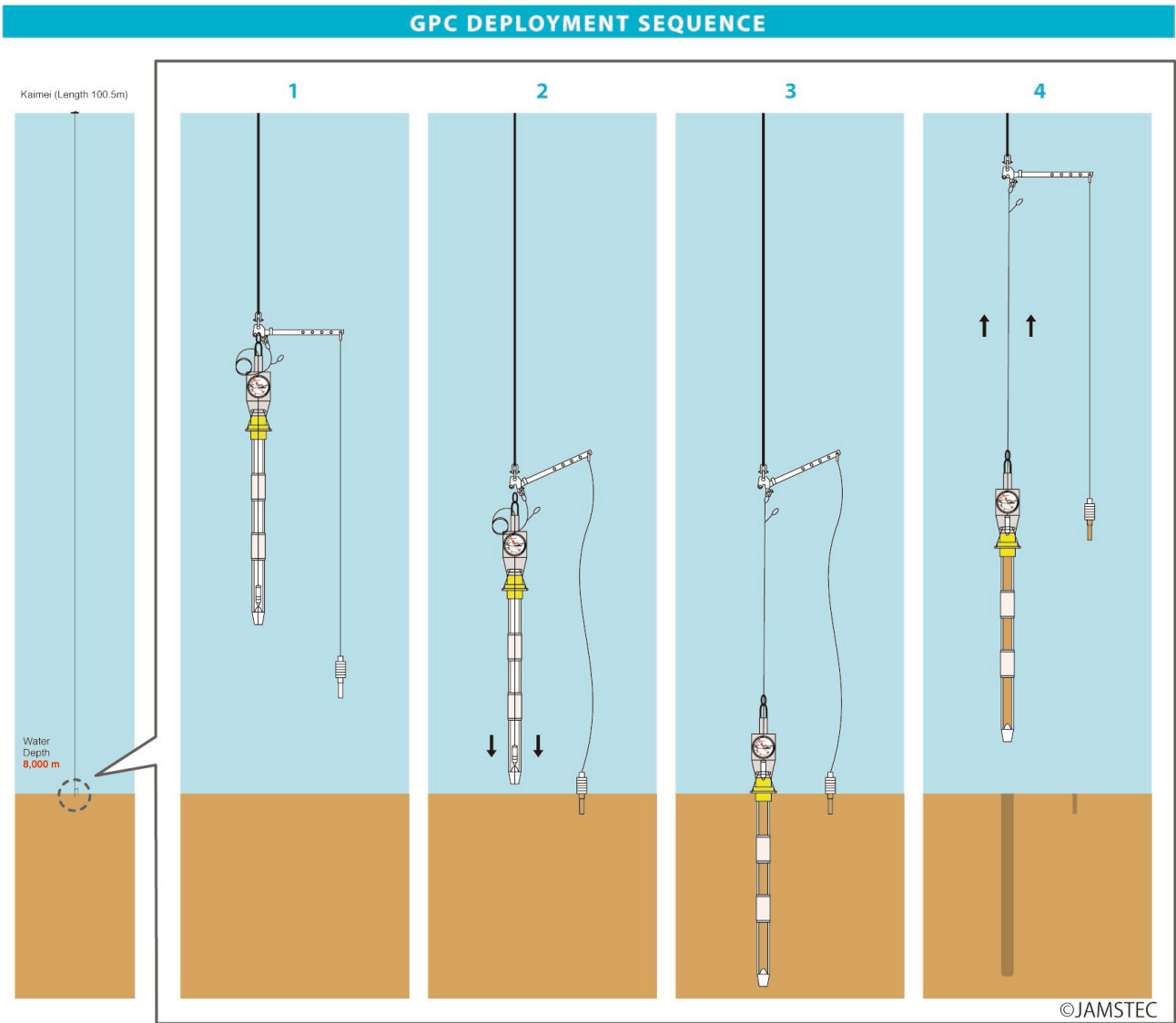


写真3 「かいめい」船上に揚収されたトリガーコアラー

コアラーと呼ばれます。口径が大きいため、試料の量が多く、同じ層準から様々な分析を行える利点があります。「かいめい」に搭載された大口径長尺ピストンコアラーのシステムでは海底直上でピストンコアラーを作動させるのにトリガーコアラー(あるいはパイロットコアラー)と呼ばれるグラビティコアラーが使われます(写真3)。このトリガーコアラーは、ピストンコアラー本体よりも先に着底し、これにより天秤の片側にかかっていたトリガーコアラーの荷重が解かれることで本体コアラーを支えていた天秤(トリガー)のフックが外れ、ピストンコアラーは海底に向かって落下し、堆積物に貫入します(第1図)。トリガーコアラーにはピストンが入っておらず、コアラー自体の重さのみでゆっくりと貫入します。このようにして、1回の採泥作業で、本体コアラーからとトリガーコアラーから1本ずつの試料が得られます。今回使用した錘は2tですが、5mのバレルを8本繋いだ40mのコアラーになるとコアラーの重量だけで6tにもなります。これが特殊な繊維索ロープに吊り下げられて、水深7,000~8,000mの日本海溝底まで往復することになります。水深8,000mの海底までですと、往復で16,000mの道のりになります。通常のロープの巻き出し/巻き上げの速度は秒速1m程度ですので、上げ下げだけで4時間半程度かかります。これに、コアラー

を船から降り出したり、船に揚収したりするのにそれぞれ45分~1時間かかりますので、投入作業開始から揚収終了まで6時間程度かかることとなります。通常は朝8時から作業開始でしたので、揚収終了は14時くらいでした。

さらに、揚収されたコアラーから、試料が抜き出され、まず5m毎に切られて(写真4)、研究者側に渡されます。ここまでは観測技術員と船員の役目です。研究者側では、さらにこれを1mのセクションに切っていきます(写真5)。5mのコア(これをセグメントと呼びました)を1mのセクション5本に切るのに、最初は20分以上かかっていましたが、慣れてくると15分程度にまで短縮され、20mコアでは1時間程度の作業時間になりました。切断面からは、変質しやすい成分の分析用試料がすぐに採取されます(写真6)。採取後、採取跡にフォームを詰めて切断面にキャップをし、船内の実験室に運びます。ここまでで揚収終了から2~3時間かかります。順調にいけば、17時の夕食前に終わりますが、40mの試料では夕食後にコアカットを再開、ということもありました。実験室ではセクションの長さなどの基本情報を測った後、非破壊物性計測のために試料が室温と同じになるまで、6時間静置されます(写真7)。と言っても、何もやらないわけではなく、この6時間の待ち時間を使って、間隙水の採取作業が行われます(写真8)。



第1図 「かいめい」大口径長尺ピストンコアラースステムの作動概念図



写真4 コアは本体コアラーステムから抜き出され、5 m 毎のセグメントに分割される



写真5 5 m のセグメントは 1 m 毎のセクションに分割される



写真6 1 m 毎のセクションの切断面から堆積物試料が採取される。白いのは採取跡の穴を埋めたフォーム、山型のアクリル板は試料採取可能場所を示すための手製のプロテクター。



写真8 実験室では間隙水のサンプリングが行われる



写真7 1 m セクションのコアは実験室に持ち込まれて静置される



写真9 全てのサンプリングと測定が終わったコアは冷蔵コンテナに収納された

研究者側がコアカットとサンプリングを行っている間、コアラーは洗浄され、翌日の採取作業に向けたコアラーの組み立て作業に移ります。作業場所に臨時的照明を増設し、手元の明るさを確保しつつ、作業が行われました。6時間の静置を終えたコアは、マルチセンサコアロガーによる非破壊物性測定の後、ボックスパレットに移されて、冷蔵コンテナに収納されました(写真9)。また、採取された間隙水は船上で屈折率、pH、アルカリ度及びアンモニアの測定がなされたほか、適切な処理をして保管されました。

以上が本体コアラーの作業ですが、この他にトリガーコアラーの試料も採られ、多くの地点から1 m 程度の長さの海底表層の堆積物試料が得られました。本体コアラーは揚収時に横倒しにしてしまうため、最表層部分の試料はどうしても乱れてしまいますが、トリガーコアラーは立てたまま揚収される(写真3)ので、海底面を維持した堆積物試料を得ることができます。また今回は堆積物の上の直上水の

試料の採取も行いました。これらの作業は、観測技術員の助けを借りつつ、研究者側で行いました。

コアラーの組み立てが終了するとようやく船は移動を開始できます。翌日も同じあるいは近傍の採取地点で作業する場合には朝までの時間が空きます。本航海ではこの時間も無駄にせず、海況や時間の許す範囲で試料採取する海溝底の小海盆の形状や堆積物のたまり方の情報を得るため航走観測を行いました。具体的には「かいめい」に搭載されているマルチビーム音響測深器と表層地層探査装置による海底地形と表層の反射断面の取得を行いました。

このように、朝から夜まで作業は続きますので、乗船者は時間制で交代で働くこととなります。今回はIODPの航海なので、研究者は欧米式の12時間ワッチ(12時間交代勤務)で働くことになり、日々の調査計画を作る役目が主の池原は朝から夕方まで、堆積物や間隙水などのサンプリングが主の他の3名はコアが上がってくる昼から夜までの体制



写真10 「かいめい」船上からライブ中継で船上での仕事を説明する乗船研究者

で作業を進めました。コアラーの投入・揚収・解体・組み立てを行う観測技術員と船員もチームに分かれて長時間労働をしない体制で調査作業が進められました。また、この研究航海の実施主体である ECORD サイエンスオペレーターや共同首席研究者、海洋研究開発機構の関係者らとのオンライン会議が平日夕方(ヨーロッパの朝)に実施されて、調査の進捗状況の報告、天気と海況の予想、今後の調査計画や調査作業やデータ取得についての議論などがなされました。航海中には European Geosciences Union (EGU) の大会に合わせて開催された IODP/ICDP タウンホールミーティングでのライブイベント、鳴門教育大学を中心とした四国の大学とを繋いだライブイベント、乗船研究者の一人の出身校とを繋いだライブ授業のアウトリーチ活動も実施されました(写真10)。

4. おわりに

筆頭著者の池原にとっては、久しぶりに50日間という長い航海でしたが、乗船中は日々の作業に追われ、長いようで短くも感じる航海でした。今はとにかく無事に終わってよかったと思っています。黒潮に悩まされ続け、調査ができない予定点ができてしまったことは残念ですが、15地点から29本のコアを採取することができましたので、及第点はいただける結果だと思っています。文中にも書きましたように、この研究はまだ終わったわけではなく、「ちきゅう」でのOSPで今回採取したコアの研究が始まります。さらに、研究が進展して日本海溝沿いの巨大地震の履歴を明らかにできるよう、引き続き努力していきたいと思っています。

研究航海及びその実施にあたっては多くの方々の支援を受けました。深く感謝します。

「かいめい」KM21-02C 航海の木村直人船長をはじめとする乗組員の皆様、マリン・ワーク・ジャパン及び日本海洋事業の観測技術員の皆様、乗船研究者である海洋研究開発機構の金松敏也氏、Kan-Hsi Hsiung 氏、早稲田大学の實野佳奈氏、研究航海で Expedition Project Manager 補助をしていただいた海洋研究開発機構の櫻井紀旭氏、横山貴大氏、奥津なつみ氏、海洋研究開発機構研究プラットフォーム運用開発部門の皆様、ECORD サイエンスオペレーターの皆様、陸上からご支援くださった皆様。

なお、この報告に使用した写真は ECORD の Expedition 386 のウェブサイトで公開されているオフショアフェーズの Daily ship report から転載しました。また、第1図は海洋研究開発機構研究プラットフォーム運用開発部門によるものです。

文 献

- 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.
- Ikehara, K., Kanamatsu, T., Nagahashi, Y., Strasser, M., Fink, H., Usami, K., Irino, T. and Wefer, G. (2016) Documenting large earthquakes similar to the 2011 Tohoku-oki earthquake from sediments deposited in the Japan Trench over the past 1500 years. *Earth and Planetary Science Letters*, **445**, 48-56.
- 池原 研・喜岡 新・Tobias Schwestermann・金松敏也・Michael Strasser (2019) 膨大な量の有機炭素が巨大地震によって超深海底に供給されていた—日本海溝を例とした地球表層での炭素輸送における巨大地震の役割の理解—. GSJ 地質ニュース, **8**, 212-216.
- Kioka, A., Schwestermann, T., Moernaut, J., Ikehara, K., Kanamatsu, T., Eglinton, T.I. and Strasser, M. (2019) Event stratigraphy in a hadal oceanic trench: The Japan Trench as sedimentary archive recording recurrent giant subduction zone earthquakes and their role in organic carbon export to the deep sea. *Frontiers in Earth Science*, **7**, 319, doi:10.3389/feart.2019.00319.
- IKEHARA Ken, Michael STRASSER, Jeremy D. EVEREST, MAEDA Lena and Expedition 386 Science Party (2021) Introduction of IODP Expedition 386 Japan Trench paleo-seismology –offshore phase was successfully completed.

(受付：2021年6月21日)