

1. はじめに

地層の大部分は海底で形成される。島弧-海溝系の海底は、堆積・侵食・地震時の変位など、さまざまな変動の記録を保持している。そのため、海底における地質過程の理解は、陸上で観察される地層や変形構造の成因を解明するうえでも重要である。本講演では、南海トラフ潮岬沖および日本海能登半島沖で近年実施した潜航調査に基づく海底露頭の観察事例を紹介し、その意義について議論する。

2. 南海トラフの露頭観察

世界の沈み込み帯の中で、南海トラフは付加体の発達する代表的な沈み込み帯であり、南海トラフ前弧域の大構造とその発達史の理解は、海溝型地震の発生場、および沈み込み帯のダイナミクスを理解する上で重要である。南海トラフにおける近年の深海掘削・反射法探査の成果（木村ほか, 2018 など）をふまえて、東南海・南海地震のセグメント境界付近に位置し、付加体断面が露出する潮岬海底谷沿いの海底地質調査・サンプリングを「しんかい 6500」で行うことを目的として、2023年6月15日～23日に「よこすか」YK23-10S 航海が行われた。本発表ではその速報結果を報告する。

YK23-10S 航海では紀伊半島沖の潮岬海底谷において「しんかい 6500」による潜航調査を実施し、南海トラフ付加体および前弧海盆堆積物の採取、プッシュコアラによる表層堆積物および冷湧水の採取、地形調査・地磁気観測・熱流量観測などの地球物理調査を行った。海底谷の崖沿いに行った4潜航（Dive 6K#1699, 1700, 1702, 1703）では、付加体を構成すると考えられる泥岩、斜面堆積層または前弧海盆最下部をなすと考えられる礫岩、前弧海盆堆積物と考えられる砂岩泥岩互層を視認・撮影し、合計104個・195kgの岩石試料を採取した。また、礫岩と砂岩泥岩互層の境界露頭を4潜航全てで確認した。今後、石灰質ナノ化石および浮遊性有孔虫化石による年代測定を行い、付加体と前弧海盆の境界の年代を決定することで南海付加体および前弧海盆の発達史を更新できると期待される。海底谷を縦断した1潜航（Dive 6K#1701）では、「しんかい 6500」に搭載したサブボトムプロファイラーによる海底下構造探査とプッシュコア、「よこすか」による海底地形調査を総合し、海底谷の発達過程と物質移動に関する知見が得られた。Tsuji et al. (2013, Tectonophysics) は、潮岬海底谷直下に高密度なドーム状岩体が存在することを反射法地震探査から指摘しており、このドーム状岩体は中期中新世の火成複合岩体で、東南海・南海地震の破壊領域にも影響を与える可能性が指摘されている（Kimura et al., 2022, G-cubed）。本航海では、「しんかい 6500」に搭載した熱流量測定装置（SAHF）による地殻熱流量測定を9地点で行った。今後、熱流量測定結果、および「よこすか」搭載の三成分磁力計・プロトン磁力計による広

域地磁気観測に基づき、火成岩体の存在について多角的に検討を行う予定である。

本航海は海況に恵まれ、予定していた5潜航を完遂することができた。今後、乗船後研究の進展により、南海付加体と熊野海盆の形成初期の発達史、およびセグメント境界の実態を物質科学的に解明することが可能になると期待される。「しんかい6500」による広域の海底調査と大量の試料採取は、反射法地震探査などの地球物理観測と鉛直1次元の深海掘削を、スケールを越えてつなぐ上で非常に強力なツールとなりうる。

3. 能登半島沖の露頭観察

海域活断層における地震時の断層運動は、海岸の隆起・沈降や津波の発生をもたらす。令和6年能登半島地震では、能登半島北部で最大4mに及ぶ海岸の隆起が生じた。海上保安庁による測深データからは海域活断層に沿った地形変動が示唆された。海底活断層の存在が予想される海域の水深が100m以浅であったことから、著者らは、2024年3月4日-16日に学術研究船「白鳳丸」により行われたKH-24-E1緊急航海において、水中ドローン（小型ROV）による断層調査を行った。その結果、能登半島北部沿岸の2か所（珠洲岬北西沖、輪島北西沖）において、令和6年能登半島地震に伴って形成された地震断層と考えられる海底の段差を2024年3月11日に確認した。

珠洲岬北西沖で見つかった断層露頭は、海底に露出する岩盤（砂泥質の堆積岩）中に発見された。産業技術総合研究所による反射法探査（井上・岡村, 2010）から推定された海底活断層（珠洲沖セグメント）よりも南東側に位置し、北東-南西走向に40m以上連続する。比高は約50cm程度とみられ、北西側が高く、上部が下部よりも張り出した逆断層センスのずれを示しており、張り出した上盤からの崩落物も認められる。断層面には鏡肌および縦ずれ成分の卓越する条線が認められる。断層面および崩落物の破断面は風化を受けておらず、藻や底生生物が付着していないことから、この断層は観察の数か月以内に形成されたものであり、令和6年能登半島地震に関連する逆断層すべりによって形成された海底地震断層（主断層に対する副次的なバックスラスト）であると考えられる。

輪島北西沖では、海底活断層（猿山沖セグメント, 井上・岡村, 2010）のトレース上に東北東-西南西走向の段差が確認された。段差の比高は1m未満で、北側が深く南側が浅い。段差の表面には礫や貝殻片などが露出しており、周囲の海底の表面に広く見られる褐色の被膜が乱されていることから、ごく最近に擾乱を受けたと推定される。これらの産状と段差の位置とを考慮すると、この段差は断層変位に伴う撓曲崖であり、令和6年能登半島地震に関連する断層の変位で表面が崩壊したものと考えられる。

今回水中ドローンによる調査を行った3か所のうち2か所で、令和6年能登半島地震によるものである可能性のある海底面の段差が見つかった。このことは、能登半島北部沿岸の広い範囲において、地震時の断層すべりが海底面に達したことを示唆する。また、地震発生から2か月という短期間で海底地震断層を観察した例は珍しく、今後同じ地点を繰り返し観察することにより、海底に露出した断層の風化課程も明らかにできると期待される。

4. おわりに

本発表では南海トラフと日本海における海底の変動を潜水船・水中ドローンで直接観察した結果について紹介した。海底の調査は、陸上と異なり一度の調査での可動範囲に限られているばかりか、地形図も整備されておらず、どこに露頭があるかを事前に確認することが難しい場合が多い。しかし、調査に先立って、海底地形測量・反射法地震探査・採泥・掘削などの手法を用いた事前検討を行い、観察地点を適切に選定することができれば、陸上の地質調査とさほど変わらない質のデータやサンプルが大量に入手できる。浅海・深海ともに海洋調査技術の進歩は著しく、今後、地質学研究における潜航調査の意義はさらに高まることが期待される。

引用文献

井上卓彦・岡村行信 (2010) 能登半島北部周辺 20 万分の 1 海域地質図及び説明書, 海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」, 数値地質図 S-1, 産業技術総合研究所地質情報総合センター

木村 学, 木下 正高, 金川 久一, 金松 敏也, 芦 寿一郎, 斎藤 実篤, 廣瀬 丈洋, 山田 泰広, 荒木 英一郎, 江口 暢久, Sean Toczko (2018) 南海トラフ地震発生帯掘削がもたらした沈み込み帯の新しい描像. 地質学雑誌, 124, 47-65.

Kimura, G., Nakamura, Y., Shiraishi, K., Fujie, G., Kodaira, S., Tsuji, T., Fukuchi, R., Yamaguchi, A. (2022) Nankai forearc structural and seismogenic segmentation caused by a magmatic intrusion off the Kii Peninsula. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23, e2022GC010331

Tsuji, T., Kodaira, S., Ashi, J., Park, J.-O. (2013) Widely distributed thrust and strike-slip faults within subducting oceanic crust in the Nankai Trough off the Kii Peninsula, Japan. *Tectonophysics*, 600, 52-62.