特集 東北地方太平洋沖地震が海洋生態系に与えた影響の解明と漁業の復興支援：東北マリンサイエンス拠点形成事業（東北大学・JAMSTEC）による取組とその成果 Part I

岩手県大槌・釜石沖合における海底環境の長期時系列観測

小栗一将,^{1*} 渡邊修一,¹ 脇田昌英,¹ 藤原義弘,¹
土田真二,¹ 河戸勝,¹ 藤倉克則,¹ 北里洋^{1,2}

¹海洋研究開発機構東日本海洋生態系変動解析プロジェクトチーム, ²東京海洋大学学術研究院

Long-term monitoring of seafloor environments, off Otsuchi and Kamaishi, Iwate, Japan

KAZUMASA OGURI,^{1*} SHUICHI WATANABE,¹ MASAHIDE WAKITA,¹ YOSHIHIRO FUJIWARA,¹
SHINJI TSUCHIDA,¹ MASARU KAWATO,¹ KATSUNORI FUJIKURA¹ AND HIROSHI KITAZATO^{1,2}

¹Project Team for Analyses of Changes in East Japan Marine Ecosystem, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, Kanagawa, 237-0061, ²Tokyo University of Marine Science and Technology, Minatoku, Tokyo 108-8477, Japan

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震、および発生した津波によって、東日本沿岸から日本海溝にかけての海底は大きな攪乱を受けた。¹⁻⁴その後岩手県の大槌湾などでは、地震や津波後の環境や湾の季節変動を調べる時系列観測が始まり、地元漁業者などの関係者に海洋情報の提供が開始された。⁵底曳き漁の盛んな大槌湾沖では、水深300 mおよび998 mの2地点において、ランダーと呼ばれる観測プラットフォームを用いた長期時系列観測が行われた。⁶この結果、水深300 m地点では、2013年5月初旬に津軽暖流水から親潮系の水塊への交替があったこと、水深998 mでは観測中に地震が発生し、海底が物理的な攪乱を受けたものの、底生生物群集に変化がなかったことが判明した。この海域における観測はその後継続し、観測データの蓄積が進んだ。本論では、Oguri *et al.*⁶による報告以降、文部科学省の海洋生態系研究開発拠点機能形成事業「東北マリンサイエンス拠点形成事業（海洋生態系の調査研究）」の一環として大槌湾、釜石湾の沖合において新たに行われた長期時系列観測の結果、および確認された諸々の現象を報告する。

2. 方法

大槌湾および釜石湾沖合において、マルチパラメータプラットフォーム（RDCP 600, Xyrem製）を搭載したランダーを用い、水温、塩分、溶存酸素濃度（DO）、およびADCPが発する超音波（600 kHz）の水中反射強度プロファイルの各測定を1時間間隔で行った。⁶このランダーには海底撮影システム⁶も搭載し、海底の時系列撮影を6時間間隔で行った。

観測地点は大槌湾沖合の陸棚斜面上部、釜石湾沖海底谷の各1点と、漸深海の2点の計4点である（図1）。観測期間は131日から522日に渡った。観測地点の緯度経度、水深、設置・回収日などの詳細を表に示す。

3. 結果

全地点における観測結果を図2に示す。陸棚斜面上部（214 m）の水温は、4.3°Cから12.5°Cまで変化した。最低水温は、2015年11月から12月の間に記録された（図2A）。2015年12月から翌年1月にかけて、数日から2週間以内の間に水温は4°C以上の変動をしつつ上昇傾向を示し、その後低下した。塩分は、2015年11月から翌年1月にかけて増減を繰り返しながらも増加、その後減少に転じた。同年3月中旬以降はほぼ一定であった（図2B）。DOは200 μM前後から250 μMであった（図2C）。海底撮影によって、2015年11月5日から11月13日まで、計33枚の時系列写真を得た。海底にはキタクシノハクモヒトデ *Ophiura sarsii* の群集が大量に分布しており、魚類はエゾイソアイナメ *Physiculus maximowiczii* が撮影された（図2D）。

釜石湾海底谷（764 m）上部では、観測期間を通し水温、塩分は共に一定であり、それぞれ $3.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、 34.0 ± 0.1 であった（図2E, F）。DOは20 μMから30 μMであったが、2014年12月から翌年3月と、2016年1月から同年3月の間、増加する現象が見られた（図2G）。DOの平均値は $26.2 \pm 5.5 \mu\text{M}$ であった。海底撮影によって、計2090枚の時系列写真を得た。海底は観測期間を通し暗褐色を呈し、クモヒトデはほとんど見られなかった（図2H）。キチジ *Sebastolobus macrochir*、シロブチヘビゲンゲ *Lycenchelys albomaculata* などの魚類の

* Tel : 81-46-867-9794. Fax : 81-46-867-9525. Email : ogurik@jamstec.go.jp

図1 大槌湾沖, 釜石湾沖の観測地点

表 観測地点, 水深, 設置開始・終了日, 設置・回収に使用した船舶と航海番号, 使用ランダーの種類

観測地点	緯度 (N)	経度 (E)	水深 (m)	設置日	回収日	使用船舶 航海番号 (投入)	使用船舶 航海番号 (回収)	ランダー
陸棚斜面上部	39°15.500'	142°05.800'	214	2015/11/14	2016/3/24	新青丸 KS15-15	新青丸 KS16-02	自己浮上型
釜石沖海底谷	39°14.589'	142°18.208'	764	2014/10/2	2016/3/7	新青丸 KS14-08	新青丸 KS16-J03	自己浮上型
漸深海#1	39°19.947'	142°26.960'	981	2014/6/24	2015/5/11	なつしま NT14-11	かいよう KY15-08 Leg.2	コンパクト型
漸深海#2	39°19.988'	142°26.908'	955	2015/5/14	2016/3/8	かいよう KY15-08 Leg.2	新青丸 KS16-J03	コンパクト型

ほか, ズワイガニ属 *Chionoecetes* sp. のカニが多く見られた。また, 観測期間を通し懸濁粒子が多かった。

漸深海の2地点 (981 m, 955 m) は, ほぼ同じ場所であるため, 観測結果をまとめて示す。2014年5月から2016年3月の約22ヶ月間, 漸深海の水温, 塩分, DOは, それぞれ $2.9 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 34.5 ± 0.1 , $23.8 \pm 3.1 \mu\text{M}$ と一定であった (図2I-K)。2015年1月から翌年2月にかけて, ごく小さい水温上昇とわずかなDOの増加傾向がそれぞれ見られた。DOは北太平洋の典型的な酸素極小層の値⁷⁾に近い。海底撮影によって, 観測期間全体で計2481枚の時系列写真を得た。海底面は褐色を呈し, 主要な底生生物はノルマンクモヒトデ *Ophiophthalmus normani* であった。大型のヒトデ類, ナマコ, 腹足類のほか, 魚類も確認された。撮影された主な魚類はホラアナゴ属 *Synaphobranchus* sp. (図2L), キチジ *Sebastolobus macrochir*, ギンザメ属 *Chimaera* sp. であった。

なお, ここに示した観測データおよび海底写真は, 東北マリンサイエンス拠点形成事業「海洋生態系の調査研究」のデータベース (TEAMS データ案内所リソース, <http://www.i-teams.jp/catalog/rias/j/index.html>, 海洋研究開発機構, 2018年6月12日) にて公開予定である。

4. 考察

観測海域の表層から陸棚では, 津軽暖流水や親潮を起源とする水塊が季節によって入れ替わる。^{6,8,9)} また, 漸深海には底層水が常に存在する。^{6,8)} 陸棚斜面上部における2016年11月から翌年3月の水温は, 同地点・同時期で得られた24年間の平均値⁹⁾と比較して 1°C から 2°C 高い。この時の水温と塩分はいずれも高く, 起源は津軽暖流水と考えられる。^{8,9)} この結果はモデル計算からも示唆される (「海洋の健康診断表」の旬平均表層水温, 親潮域, http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index_subt.html, 気象庁, 2018年6月12日)。

陸棚斜面上部の時系列写真からは, 海底の生物相に変化は見られなかった。釜石沖海底谷で特に懸濁物が多いのは, 2015年2月から同年5月 (春季), 2015年10月から同年12月 (秋季) であった。懸濁粒子 (光を反射し白色に写る) の多少を示す指標として, 全画像について明るさ (画像をモノクロに変換, 黒を0, 白を255とした画像全体の平均値) を計算, この結果と, 水柱の懸濁物の量を反映する, 各層における超音波の反射強度を組み合わせた。この結果, 画像が明るくなる時期には, 反射強度も増加することが判明した (図3)。これは, 春季と秋季に, 海底に沈降するマリンスノーが増加したことを示唆する。漸深海では, 2回の観測を通し, 海底

図2 観測結果

陸棚斜面上部の水温 (A), 塩分 (B), DO (C), および海底写真 (D)。釜石沖海底谷の水温 (E), 塩分 (F), DO (G) および海底写真 (H)。漸深海の水温 (I), 塩分 (J), DO (K) および#1の観測中に撮影した海底写真 (L)。

の底生生物相に変化は見られなかった。しかし、2015年2月17日8:06 (JST) に、三陸沖 (39.53°N, 144.21°E) を震源とする $M_w=6.8$ の地震 (気象庁発表, <https://www.jma.go.jp/jma/press/1502/17a/kaisetsu201502170940.pdf>, 2015年2月17日) が発生した。その直後に海底面の微地形 (凸凹) が消失し (図4A, B), 地震発生から58時間後には、海底を視認できないほどの濁りを記録した (図4C)。しかし、クモヒトデなどの底生生物群集はこの攪乱の影響を受けなかった。海底の微地形は、10日以上をかけて、再び地震前の状態に戻った (図4D)。この過程は、大槌沖水深998m地点における長期観測中の2012年12月7日に記録された、地震前後の海底面の変化や底生生物相の応答と同様であった。⁶⁾

5. 結論

岩手県三陸沖の陸棚斜面上部 (214 m), 釜石沖海底谷 (764 m), そして漸深海 (982 m, 955 m) において水温, 塩分, DO, 海底撮影の長期観測を行った。この結果, 以下のことがわかった。

(1) 2015年11月中旬から同年12月中旬にかけ、陸

図3 画像解析によって得られた釜石沖海底谷で撮影された画像の明るさと、超音波の反射強度プロファイル Y 軸左の値とグラフ中の点は画像の明るさを示し、グラフ内のモノクロマップおよびスケールバーは水柱における超音波の反射強度を示す。Y 軸右の値は海底からの高さを示す。

棚斜面上部では津軽暖流水が卓越した。水温は約 4.5 °C から 12.5°C まで上昇し、その後低下した。この値

図4 カメラが撮影した地震前後の漸深海地点の海底の様子
(A) 地震発生2時間前, (B) 地震発生から4時間後, (C) 地震発生から58時間後, (D) 地震発生から10日10時間後。

は24年間の平均値よりも1°Cから2°C高い。

- (2) 釜石沖海底谷, 漸深海ともに水温, 塩分, DOはほぼ一定であったが, DOは漸深海で最も低かった($23.8 \pm 3.1 \mu\text{M}$)。
- (3) 陸棚斜面上部の海底には大量のキタクシノハクモヒトデが生息していた。
- (4) 釜石沖海底谷の堆積物表層は暗褐色であり, クモヒトデなどの底生生物の個体数は少なかった。水中に懸濁物が多く, 春季と秋季に増加した。
- (5) 漸深海の海底は褐色を呈し, ノルマンクモヒトデが多く見られた。地震によって海底の微地形が消失し, 一時的に強い濁りを記録した。海底の微地形は10日ほどで地震前の状態に戻った。このイベントの前後で, 底生生物相の変化は見られなかった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり, なつしま NT14-11, 新青丸 KS14-08, KS15-15, KS16-02, KS16-J03, かいよう KY15-08 Leg.2 各航海のクルー, ROV ハイパードルフィン運航チーム(日本海洋事業株式会社), 観測技術員(日本海洋事業株式会社, 株式会社マリン・ワーク・ジャパン)および乗船研究者(主として海洋研究開発機構)の方々には, ランダーの設置回収に大変お世話になった。ここに謝意を表します。

文 献

- 1) Arai K, Naruse H, Miura R, Kawamura K, Hino R, Ito Y, Inazu D, Yokokawa M, Izumi N, Murayama M, Kasaya T. Tsunami-generated turbidity current of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geology* 2013; DOI:10.1130/G34777.1.
- 2) Oguri K, Kawamura K, Sakaguchi A, Toyofuku T,

Kasaya T, Murayama M, Glud RN, Kitazato H. Hadal disturbance in the Japan Trench induced by the 2011 Tohoku-Oki Earthquake 2013. *Sci. Rep.* 2013; 3: DOI:10.1038/srep01915.

- 3) Toyofuku T, Duros P, Fontanier C, Mamo B, Bichon S, Buscail R, Chabaud G, Deflandre B, Goubet S, Grémare A, Menniti C, Fujii M, Kawamura K, Annika Koho K, Noda A, Namegaya Y, Oguri K, Radakovitch O, Murayama M, deNooijer LJ, Kurasawa A, Ohkawara N, Okutani T, Sakaguchi A, Jorissen F, Reichart G-J, Kitazato H. Unexpected biotic resilience on the Japanese seafloor caused by the 2011 Tōhoku-Oki tsunami. *Sci. Rep.* 2014; 4: 7517. DOI:10.1038/srep07517.
- 4) Seike K, Kitahashi T, Noguchi T. Sedimentary features of Onagawa Bay, northeastern Japan after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake: sediment mixing by recolonized benthic animals decreases the preservation potential of tsunami deposits. *J. Oceanogr.* 2016; 75: 141-149.
- 5) 田中 潔, 羽角博康, 小松幸生, 伊藤幸彦, 柳本大吾, 坂本 天, 仁科 慧, 道田 豊. 三陸沿岸の海洋物理学研究について. *日本水産学会誌* 2017; 83: 644-647.
- 6) Oguri K, Furushima Y, Toyofuku T, Kasaya T, Wakita M, Watanabe S, Fujikura K, Kitazato H. Long-term monitoring of bottom environments of the continental slope off Otsuchi Bay, northeastern Japan. *J. Oceanogr.* 2016; 72: 151-166.
- 7) Fontanier C, Duros P, Toyofuku T, Oguri K, Koho KA, Buscail R, Grémare A, Radakovitch O, Deflandre B, deNooijer LJ, Bichon S, Goubet S, Ivanovsky A, Chabaud G, Menniti C, Reichart G-J, Kitazato H. Living (Stained) deep-sea foraminifera off Hachinohe (NE JAPAN, western Pacific): Environmental interplay in oxygen-depleted ecosystems. *J. Foram. Res.* 2014; 44: 281-299.
- 8) Hanawa K, Mitsudera H. Variation of water system distribution in the Sanriku coastal area. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.* 1986; 42: 435-446.
- 9) Oguma S, Suzuki Y, Nagata Y. Seasonal variations in the sea off Sanriku Coast, Japan. *J. Oceanogr.* 2002; 58: 825-835.