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

宮城県女川湾における地震・津波前後の底質変化

横山 由香,^{1*} 坂本 泉,¹ 八木雅俊,^{1a}

藤巻三樹雄,¹ 金子 健 司,² 木島 明 博²

¹東海大学海洋学部, ²東北大学農学部

Environmental change of submarine sediment in Onagawa Bay, Miyagi

YUKA YOKOYAMA,^{1*} IZUMI SAKAMOTO,¹ MASATOSHI YAGI,^{1a} MIKIO FUJIMAKI,¹
KENJI KANEKO² AND AKIHIRO KIJIMA²

¹School of Marine Science and Technology, Tokai University, Shimizu, Shizuoka 424-8610, ²Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Sendai, Miyagi 981-8555, Japan

1. はじめに

東北地方太平洋沿岸域では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震・津波によって、壊滅的な被害を受けた。津波により湾内海底では堆積物の浸食・攪乱・再堆積などが発生し、それに伴い海底地形や堆積物など海底環境は大きく変化したことが考えられる。例えば、リアス式の湾内の海底地形では、津波に伴う大規模な削剥痕の形成が報告されている。また、津波による新規堆積物が各湾内に広域に被覆したことが認められ、岩手県の多くの湾では、湾内底質が砂質堆積物に変化した事が報告されている。宮城県女川湾では、他湾とは異なり地震・津波後に湾内堆積物が泥質堆積物に変化したことが地元漁業者より報告されている。湾内底質環境の変化は、そこに生息する底生生物種をはじめとする湾内生態系に影響を与えると推察される。そこで、地震・津波前後の湾内底質環境変化およびその堆積機構を解明するため東海大学と東北大学の共同研究が開始された。本稿では、女川湾における地震・津波前後の底質環境について報告する。

2. 調査海域・方法

女川湾は、三陸リアス式海岸南部に位置し、湾口は東に向かって開口している（図1）。港入口付近には港口防波堤が設置され、湾中央付近から南側へは支湾（五部浦湾）が発達し、北側は出島水道を通して御前湾へとつながっている。湾内への大きな河川流入はなく、海岸は支湾周辺の一部を除いて砂浜は認められず、多くの海岸は礫浜および海食崖で形成されている。

現地調査として2015年-2016年に柱状堆積物試料

図1 調査海域図

(G.S. 型採泥器, バイブレーションコアサンプラー (以下, VCS)) および表層堆積物試料 (スミスマッキンタイヤ型採泥器) 採取を行った。船舶は東北大学農学部所属の実習調査船「翠皓」・「海生」を用いた。

2015年9月に柱状堆積物試料 (VCS) 3点, 海岸砂試料11点, 2016年7月に表層堆積物試料8点・柱状堆積物試料10点を採取した (図2)。表層堆積物試料は, スミスマッキンタイヤ型採泥器バケット内の堆積物を表面から3 cm (0-3 cm 層) にかけて採取し, 研究室に持ち帰った。柱状堆積物試料は, 上位から0.5 cm 間隔に採取し, 上位から3 cm (0-3 cm 層) における各分

* Tel/Fax : 81-54-337-0925. Email : yokoyama@tokai-u.jp

^a 現所属 : 株式会社 (GEOSYS. Inc., Bunkyo-ku, Tokyo 112-0012, Japan)

図2 採泥点図および中央粒径値による底質図（黒数字は観測点番号，白数字は中央粒径値 ϕ ，破線は Line A および B を示す）

析結果平均値をその地点における表層堆積物の代表値とした。各堆積物試料の粒度分布は，レーザー回折散乱法（Malvern 社製 Mastersizer3000）を用いて分析した。本論文では粒度の特性として中央粒径値（粒度頻度分布における中央値）および淘汰度（粒子の大きさの揃い具合を示す）を用いた。淘汰度は数値が小さいほど良く，大きいほど悪いことを示す。淘汰が悪いということは粒子の供給源に近く，良くなるほど遠くなったことを示すと考えられる。各値は Folk and Ward¹⁾ による以下の式を用いて求めた。式中の ϕ_1 は粗粒堆積物からの積算頻度の各パーセント値におけるファイ値を示す。

$$\text{中央粒径値 } Md_\phi = \phi_{50}$$

$$\text{淘汰度 } \sigma_\phi = (\phi_{84} - \phi_{16}) / 2$$

3. 2016 年における湾内底質環境

湾内堆積物の中央粒径値を基に作成した湾内底質図を図2に示す。湾内堆積物は中央粒径値からシルト（ 6.7ϕ : St.1）～中粒砂（ 1.3ϕ : St.18）で構成される（図2）。湾内は湾口から湾奥に向かって漸移的に細粒化する傾向が見られ，最も粗粒な堆積物は湾口部（St.7, 8, 18）に中粒砂，最も細粒な堆積物では細粒シルトが湾奥部・女川港（St.1）に分布している。

湾内を東西（湾奥～湾口，Line A，図2）および南北（五部浦～出島水道，Line B，図2）に横断する観測線における中央粒径値および淘汰度からみた底質変化を図3に示す。また，南北に横断する測線に関しては五

部浦湾海岸砂分析結果を比較に用いた。

湾を東西に横断する Line A における中央粒径値の分布は，湾口から湾奥にかけて細粒化する傾向を示し，底質図の結果とも調和的となっている（図3(a)）。特に，湾口部（St.7: 1.8ϕ ）から湾中央部（St.5: 4.5ϕ ）および湾中央部（St.4: 3.9ϕ ）から湾奥部（St.3: 6.1ϕ ）に向かって，急激に細粒化する傾向が認められる。淘汰度の分布では，湾口（St.8: 0.7 ）で最も良く，湾口から湾中央（St.4: 2.1 ）に向かって徐々に悪くなり，その後湾中央（St.4: 2.1 ）から女川港（St.1: 1.5 ）に向かって緩やかに淘汰が良くなる傾向が確認される（図3(b)）。

湾を南北に縦断する Line B における中央粒径値の分布は，湾北側に位置する御前湾（St.22: 2.7ϕ ）・出島水道を境に女川湾内に向かって急激に細粒化（St.21: 4.8ϕ ）することが確認される。女川湾中央部の観測点では，ほぼ一定の粒度（St.13: 4.1ϕ および St.4: 3.9ϕ ）で分布するが，湾中央部（St.4: 3.8ϕ ）から五部浦湾入口（St.12: 5.9ϕ ）へ向かって急激に細粒化する傾向が認められた。五部浦湾内では，湾入口（St.12: 5.9ϕ ）から海岸（ 1.6 – 2.2ϕ ）に向かって粗粒化する傾向が確認される。淘汰度は，Line B 全体としてはほぼ一定の値（ 2.0 ）を示すが，五部浦湾海岸のみ 0.5 と非常に良淘汰となっている。

五部浦湾にて VCS で採取した柱状堆積物試料（15ONV2_2，水深 23 m，図2）の特徴から鉛直方向への変化をみると，最上位に中粒砂～細粒シルト（ 1.8 –

図3 Line A および B における中央粒径値および淘汰度の変化 (a) Line A における中央粒径値変化 (b) Line A における淘汰度変化 (c) Line B における中央粒径値変化 (d) Line B における淘汰度変化 (図中数字は各観測点番号)

図4 佐々木⁴⁾による中央粒径値を基にした震災前底質図 (一部加筆, 図中白数字は中央粒径値 φ を示す)

6.0φ) の級化構造をもつ砂層が層厚約 12 cm で分布し, その下位に生物擾乱が発達する極細粒砂～中粒シルト (3.8–5.7φ) 層が分布する。上位から 50–74 cm には火山灰層を含んでいる。

4. 地震・津波前後における底質環境比較

本研究によって得られた中央粒径値による 2016 年 7 月の湾内底質環境と, 佐々木²⁾によって報告されている 1992 年 6 月および 1993 年 6 月の地震・津波前の中央粒径値を基にした湾内底質環境を比較する。佐々木²⁾の湾内底質図を一部加筆し, 2016 年 7 月調査時と粒度のスケールを合わせ図 4 に示す。地震・津波前 (図 4) および地震・津波後 (図 2) による底質図を比

較すると, 両者とも湾口で最も粗粒な堆積物が分布し, 湾奥にかけて細粒化する傾向が認められた。両者の中央粒径値の分布範囲は, 地震・津波前には極粗粒砂～細粒シルト, 地震・津波後では中粒砂～細粒シルトとなり, 地震・津波により湾内堆積物が細粒化したことが推定される。特に, 地震・津波前に高白浜から北東方向に分布する粗粒砂質堆積物域 (0–3φ) が地震・津波後には泥質堆積物域 (4–6φ) へと変化した。また, 湾口部に関しては, 両者とも砂質堆積物が分布しているが, 地震・津波前が 1–3φ であったのに対し, 地震・津波後は 2–4φ とより細粒な砂質堆積物へ変化している。湾内には砂質堆積物を湾全域に供給するような大規模な砂浜や後背地は認められず, 地震・津波前に湾全域に分布するほ

どの砂質堆積物の供給については、今後海流などによる運搬および各観測点における砂質堆積物の鉱物組成を検討し、明らかにする必要がある。

地震・津波後、五部浦湾にて採取した柱状堆積物試料はその特徴から以下の2層に分けられる。最上位に分布し、下位から上位に向かって粒子が細粒化するような級化構造を持つ砂層は2011年津波堆積物。一方で、その下位に分布し生物擾乱の発達した極細粒砂〜中粒シルト層は、地震・津波前の湾内堆積物と推定される。また、その粒度特性から津波堆積物の多くは、湾内通常堆積物を攪拌して級化構造を呈しながら堆積し、最下部の一部には五部浦海岸からの粗粒な砂(1.8 ϕ)の供給があったと考えられる。Seike *et al.*^{3,4)}は、女川湾中央部(水深38 m)で地震・津波後に柱状堆積物を採取し、最上位に粗粒から中粒シルト(4.3–6.5 ϕ)、その下位には中粒砂〜粗粒シルト(1.8–5.0 ϕ)の級化構造を伴った津波堆積物が分布することを報告している。また、その下位には砂質堆積物を含むシルト層が堆積することを明らかにしている。したがって、女川湾内は津波によって湾内堆積物が浸食および攪拌され、粗粒な堆積物から順に堆積した結果、湾内表層は細粒な堆積物で覆われ、泥質堆積物優勢の湾内へと変化したことが推察される。女川湾における津波堆積物の多くは湾内通常時堆積物起源であり、これらが再堆積したものと推察される。

図5に、2016年7月における湾内堆積物および海岸砂の粒子特性として、中央粒径値と淘汰度の相関図を示す。中央粒径値は海岸砂、湾口、湾中央部、五部浦および女川港の順に細粒化する傾向がみられ、これらは底質分布図と調和的である。淘汰度は、海岸で最も良淘汰を示し、湾中央部に向かって淘汰が悪くなる傾向を示す。淘汰度は湾中央部 St.4 で最も悪い値を示した。湾中央部からは、五部浦湾に向かってやや淘汰が良くなる傾向が認められ、女川港に向かっては五部浦湾より淘汰が良くなる傾向が認められた。また、Line A および Line B の中央粒径値および淘汰度の結果(図3)において湾中央部 St.4 を境に淘汰度が変化することも図6の特性を支持している。その後、五部浦湾および女川港に向かって淘汰度がよくなる。そのため、湾中央部から湾沿岸部に向かって堆積物が移動したことが推察される。

5. まとめ

女川湾内底質環境は湾内に堆積していた堆積物が津波により浸食・攪拌され、それらが分級化しながら再堆積したため、最上位(表層)には細粒な堆積物が堆積し、湾内が砂質堆積物から泥質堆積物優先に変化したと推定される。地震・津波後の湾内底質環境変化は、底生生物

図5 2016年7月における中央粒径値と淘汰度の関係(矢印は粒子特性から推定した堆積物の移動経路を示す)

をはじめとする生態系に影響を与えられられる。また、湾内への砂質堆積物の生成は湾口部岩礁起源が推察され、暴浪時や季節変化などにより湾内堆積物の分布は変化することが推定される。今後より広域な調査や経年的な調査を重ねることで刻々と変化する底生生物を含んだ湾内底質環境変化を把握する必要がある。

謝 辞

現場観測は、東北大学付属複合生態フィールド教育センター 平塚船長、鈴木技術員をはじめとするスタッフの皆様の多大なる協力によって実施された。また、女川漁業協同組合からもご協力いただいた。本研究は、文部科学省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)」の支援を受けて実施した。

文 献

- 1) Folk RL, Ward W. Brazos river bar; a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.* 1957; **27**: 3–26.
- 2) 佐々木浩一, 青柳和義, 荒井永平. 女川湾の底質. 水産海洋研究 1995; **59**(3): 241–249.
- 3) 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; **72**: 141–149.
- 4) Seike K, Kobayashi G, Kogure K. Post-depositional alteration of shallow-marine tsunami-induced sand layers: A comparison of recent and ancient tsunami deposits, Onagawa Bay, northeastern Japan. *Islands Arc.* 2017; doi: 10.1111/iar.12174.