特集 大槌湾周辺における東北地方太平洋沖地震後の海洋生態系の変化：東北マリンサイエンス拠点形成事業（プロジェクト）による取組とその成果

東北地方太平洋沖地震に伴う津波が大槌湾のプランクトン群集に及ぼした影響

西部裕一郎,* 福田 秀 樹, 津 田 敦

東京大学大気海洋研究所

Impact of the tsunami following 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on plankton communities in Otsuchi Bay

YUICHIRO NISHIBE,* HIDEKI FUKUDA AND ATSUSHI TSUDA

Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 277-8564, 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とこれに伴う津波によって、東日本の太平洋に面した地域は甚大な被害を受けた。沿岸域では海岸線や海底地形が変化したほか、干潟や藻場の消失、大規模防波堤の損壊、陸上物質の流入、海面養殖施設の流失などが生じた。こうした環境変化は、津波による直接的な攪乱に加えて、流動場や栄養塩循環、さらには食物網構造の変化を通じて沿岸生態系に様々な影響を及ぼすことが懸念された（日本海洋学会, http://kaiyo-gakkai.jp/jos/archives/geje2011_artcl/1589, 2017年3月18日）。そのため、震災直後から東北太平洋岸の様々な湾において、物理的・化学的環境と沿岸生物群集のモニタリングが数多く実施されてきた。

プランクトンは遊泳力が乏しく、海水の流れによって受動的に輸送される生物であるため、津波による水柱の物理的攪乱の影響は大きくないと思われる。しかし、河口域や湾奥部といった限られた環境に生息する種は、津波による大規模な流動によって個体群が散逸した可能性があった。また、沿岸域のプランクトンには、珪藻類、渦鞭毛藻類、枝角類、カイアシ類など、生活史の一時期に底生性の休眠期細胞、休眠卵を形成する分類群や、底生無脊椎動物の浮遊幼生が多いため、津波による海底攪乱の影響を受けたことも予想された。さらに、上述した津波による環境変化、特に栄養塩環境や養殖環境の変化によって、プランクトンの密度や組成が変化した可能性も考えられた。プランクトンは沿岸域の漂流生態系において低次生産者として重要であるため、津波の影響とその後の変化過程を把握することは、津波が沿岸生態系に及ぼした影響を理解する上で不可欠である。

岩手県南部に位置する大槌湾では、東京大学大気海洋研究所を中心としたグループによって、2011年5月から約2ヶ月に1回の頻度で、湾内4～5測点（測点位置は本特集の福田、永田を参照）における物理的・化学的環境とプランクトンのモニタリングが実施されている。¹⁻⁴⁾ 本小文では、津波後の大槌湾における植物・動物プランクトンの動態と津波前後での変化についてまとめるとともに、東北太平洋岸の他の湾から報告された同様の研究を整理し、津波が沿岸域のプランクトン群集に及ぼした影響を概説する。

2. 植物プランクトン

大槌湾における植物プランクトンの動態については、Fukuda *et al.*¹⁾ および福田ら²⁾ によってクロロフィル *a* 濃度の津波後5年間（2011年5月～2016年3月）の季節変化が、Tachibana *et al.*³⁾ によって群集構造の津波後2年間（2011年5月～2013年5月）の季節変化が報告されている。

湾中央部におけるクロロフィル *a* 濃度は、5月から9月の成層期には表層で $1 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上で推移し、11月から1月の混合期に低下する傾向を示した。春季ブルームによるクロロフィル *a* 濃度の極大 ($> 10 \mu\text{g L}^{-1}$) は、2012年、2014年および2016年の3月に見られた。津波から約1年後の2012年3月には $25 \mu\text{g L}^{-1}$ に達する高濃度が見られたが、津波以前の2008年3月にも同程度かそれ以上の濃度 ($18.6\text{--}46.1 \mu\text{g L}^{-1}$) が記録されており（福田、未発表）、津波に関連した特異的な現象とは考えにくい。一方、2013年と2015年の春季にはクロロフィル *a* 濃度の顕著な増加は認められなかったが、これは約2ヶ月に1回の調査ではブルームを捉えられ

* Tel : 81-4-7136-6405. Fax : 81-4-7136-6172. Email : ynishibe@aori.u-tokyo.ac.jp

なかったものと思われる。ブルーム期以外のクロロフィル *a* 濃度は $0.13\text{--}8.6\ \mu\text{g L}^{-1}$ で変動し、既報の濃度範囲 ($0.06\text{--}19.6\ \mu\text{g L}^{-1}$) を超えるものではなかった。このように、大槌湾における津波後のクロロフィル *a* 濃度は過去の変動幅の範囲内であり、津波に起因する大きな変化はなかったと判断された。

大槌湾表層（深度 1 m）における植物プランクトン群集は、基本的には 1 月から 5 月には中心目珪藻類が、7 月から 11 月にはクリプト藻類と羽状目珪藻類が優占し、9 月から 1 月には渦鞭毛藻類も一定の割合で出現した。多変量解析の結果、2011 年 5 月の植物プランクトン群集は 1 年後、2 年後の群集と高い類似性を示したことから、各季節の優占種は既報と共通していたことから、津波から 2 ヶ月後には群集は例年の状態に回復しており、その後も顕著な影響はなかったと考えられた。

東北太平洋岸の他の湾における津波後のクロロフィル *a* 濃度の変動については、仙台湾、⁵⁾ 気仙沼湾⁶⁾ および大船渡湾⁷⁾ から報告されている。仙台湾では、津波後（2012 年 3 月～2014 年 4 月）の調査結果と既報との比較から、クロロフィル *a* 濃度の季節性に津波前後での変化はなかったことが示されている。⁵⁾ また、気仙沼湾では、津波を挟んだ約 2 年間（2010 年 5 月～2011 年 2 月、2011 年 6 月～2012 年 3 月）のクロロフィル濃度の変動が調べられており、両期間で濃度に差がないことが明らかにされている。⁶⁾ 一方、大船渡湾では、津波後（2012 年 9 月～2014 年 9 月）にクロロフィル *a* 濃度が平均で 2 倍以上増加したことが報告されている。⁷⁾ 大船渡湾では津波によって二枚貝類の養殖量が減少したため、植物プランクトンへの摂食圧が低下し、結果的にクロロフィル *a* 濃度が増加したと推測されている。

津波後の植物プランクトン群集の動態については、クロロフィル *a* 濃度と同じく、仙台湾、⁸⁾ 気仙沼湾⁹⁾ および大船渡湾¹⁰⁾ から報告されている。Watanabe *et al.*⁸⁾ は、仙台湾での約 3 年間（2011 年 6 月～2014 年 4 月）の調査結果と既報との比較から、津波前後での珪藻類優占種の季節性に変化がなかったことを報告している。また、西谷ら⁹⁾ は、気仙沼湾において、2011 年 5 月から約 1 年半の植物プランクトンの季節変化を調べ、調査開始時の優占種および珪藻細胞密度が 1 年後と同様であったことから、津波から 2 ヶ月後には群集は既に通常の状態に戻りつつあったと推測している。一方、大船渡湾では、夏季（6、7 月）の植物プランクトンの種数と種組成が津波前後（2010 年と 2011 年）で異なっていたことが報告されている。¹⁰⁾

二枚貝養殖に深刻な被害を与える貝毒プランクトンについては、大槌湾表層での津波後 2 年間の調査では、下痢性貝毒の原因種である *Dinophysis fortii* と *D. acuminata* が 5 月から 11 月に出現したが、麻痺性貝毒

の原因種である *Alexandrium tamarense* と *A. catenella* は確認されなかった。³⁾ しかし、*A. catenella* については、岩手県水産技術センターによって 2012 年 11、12 月に低密度での出現が確認されている。¹¹⁾ 大船渡湾と気仙沼湾では、それぞれ 2012 年 5 月と 2013 年 5 月に *A. tamarense* の栄養細胞が過去最大の密度で出現し、^{12,13)} 両湾と仙台湾では堆積物表層のシスト密度も津波後に著しく増加したことが報告されている。¹⁴⁻¹⁶⁾ これは津波によって堆積物深層のシストが水中へ懸濁し、再沈降することによって表層に集積したと推測されており、津波後に見られた大量発生の一因の一つと考えられている。¹⁶⁾

3. 動物プランクトン

大槌湾における動物プランクトンの動態については、Nishibe *et al.*⁴⁾ によって、津波後 2 年間（2011 年 5 月～2013 年 5 月）の季節変化が報告されている。同報では、津波以前（1989～1990 年）に採集された試料も分析し、既報と合わせて比較することで、動物プランクトンへの津波の影響を評価した。その結果、1) 調査開始時におけるカイアシ類の種組成は津波以前の春季（4、5 月）と同じであったこと、2) 終生プランクトンの主要分類群（カイアシ類、尾虫類、枝角類）の季節的消長は津波以前と同様であったこと、3) 津波後のカイアシ類の個体数密度と種組成は 2 年間同様の季節変化を繰り返す、津波発生年に特別な変化はなかったこと、が明らかになった。そのため、大槌湾では、動物プランクトン、特に終生プランクトンへの津波の影響は軽微であったか、極めて短期的であったと推測された。こうした結果は、閉鎖性が低く、湾外との海水交換が頻繁な大槌湾の水理的特性を反映していると思われる。

大槌湾では、休眠卵を産むカイアシ類 *Acartia hudsonica* が春季の湾奥部を中心に高い個体数密度で出現する。大槌湾の湾奥部では津波による環境攪乱が非常に大きかったため、本種はプランクトン個体群と堆積物中の休眠卵の両方が影響を受けたと予想された。しかし、2011 年 5 月には、本種は他の温帯沿岸域から報告されている最高値に匹敵する個体数密度を湾奥部で示し、1 年後、2 年後にも同様の高密度で出現したことから（図 1）、本種の個体群は津波から 2 ヶ月後には既に回復していた可能性が示唆された。*A. hudsonica* は湾央部や湾口部にはほとんど出現しないため、湾外からの移入によって個体群を再形成したとは考えにくい。おそらくは湾奥部にプランクトン個体群か休眠卵の一部が残存し、津波後に急速に個体数密度を増加させたものと思われる。一方、底生無脊椎動物（二枚貝類、巻貝類、多毛類）の浮遊幼生は、2011 年 5 月の湾奥部における個体数密度が 1 年後、2 年後と比較して極端に低く、底生個体群（親個体群）への影響を反映した結果と考えられた。

図1 大槌湾におけるカイアシ類 *Acartia hudsonica* の個体数密度の季節変化 (Nishibe *et al.*⁴⁾を改変)

大槌湾と同様の研究は、山田¹⁷⁾によって気仙沼湾で行われており、2011年7月から1年間の動物プランクトンの季節変化が報告されている。気仙沼湾では津波以前の知見がないため、攪乱前後での変化は不明だが、津波後の主要分類群の季節的消長とカイアシ類の種組成は大槌湾の結果と概ね一致している。同報では、2011年5月の大船渡湾における外洋性カイアシ類 *Eucalanus bungii* の個体数密度が、2002年から2007年の同月と比べて著しく高かったことも示されており、湾口防波堤の崩壊によって海水交換が活発になり、湾外の動物プランクトンが流入しやすくなった可能性が指摘されている。

4. おわりに

大槌湾を中心に、東北太平洋岸のいくつかの湾における津波後の植物・動物プランクトンの動態と津波前後での変化についてまとめた。大槌湾と同様に、気仙沼湾と仙台湾では、津波前後で種組成や季節性に大きな違いがなかった、あるいは津波発生年に特異的な現象が認められなかったことから、津波がプランクトン群集に及ぼした影響は軽微であったか、短期的であったと推測される。しかし、これらの湾においても、渦鞭毛藻や底生無脊椎動物の幼生など、生活史の一時期に底生環境と関係する分類群については分布や出現密度に変化が見られており、海底攪乱の影響がプランクトンにも及んでいたと思われる。一方、大船渡湾では、津波前後で出現量（密度）や種組成に顕著な変化が見られている。こうした変化は、湾口防波堤の崩壊による流動構造の変化や養殖二枚貝類の減少による漁場環境の変化に起因すると考えられ、津波による環境改変が、物理的・化学的環境や生物間相互作用の変化を通じてプランクトン群集に影響を及ぼした一例と言える。

文 献

- 1) Fukuda H, Katayama R, Yang Y, Takasu H, Nishibe Y, Tsuda A, Nagata T. Nutrient status of Otsuchi Bay (northeastern Japan) following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *J. Oceanogr.* 2016; **72**: 39–52.

- 2) 福田秀樹, 楊燕輝, 高巢裕之, 西部裕一郎, 立花愛子, 津田 敦, 永田 俊. 2011年東北地方太平洋沖地震以降5年間の三陸沿岸大槌湾における栄養塩環境の変化. 沿岸海洋研究 2017; **54**: 105–116.
- 3) Tachibana A, Nishibe Y, Fukuda H, Kawanobe K, Tsuda A. Phytoplankton community structure in Otsuchi Bay, northern Japan after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and tsunami. *J. Oceanogr.* 2017; **73**: 55–65.
- 4) Nishibe Y, Isami H, Fukuda H, Nishida S, Nagata T, Tachibana A, Tsuda A. Impact of the 2011 Tohoku earthquake tsunami on zooplankton community in Otsuchi Bay, northeastern Japan. *J. Oceanogr.* 2016; **72**: 77–90.
- 5) Taniuchi Y, Watanabe T, Takehi S, Sakami T, Kuwata A. Seasonal dynamics of the phytoplankton community in Sendai Bay, northern Japan. *J. Oceanogr.* 2017; **73**: 1–9.
- 6) Okumura Y, Nakaie H, Kusaka K, Ishikawa T, Kaga S. Short-term effects of the March 11, 2011, tsunami on phytoplankton assemblages in Ofunato and Kesenuma Bays, Japan. In: Ceccaldi *et al.* (eds). *Marine Productivity: Perturbations and Resilience of Socio-ecosystems*. Springer International Publishing, Switzerland. 2015; 23–30.
- 7) Yamada Y, Kaga S, Kaga Y, Naiki K, Watanabe S. Changes of seawater quality in Ofunato Bay, Iwate, after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *J. Oceanogr.* 2017; **73**: 11–24.
- 8) Watanabe T, Taniuchi Y, Takehi S, Sakami T, Kuwata A. Seasonal succession in the diatom community of Sendai Bay, northern Japan, following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. *J. Oceanogr.* 2017; **73**: 133–144.
- 9) 西谷 豪, 山本光夫, 夏池真史, 劉 丹, 吉永郁生. 気仙沼舞根湾の植物プランクトンの動態. 海洋と生物 2012; **34**: 545–555.
- 10) Okumura Y, Kaga S. Retrospective analysis of phytoplankton assemblages on the Iwate coast before and after the 2011 tsunami using cryopreserved DNA samples. *Fish. Oceanogr.* 2017; **26**: 234–250.
- 11) 貝毒原因プランクトン出現状況モニタリング体制の整備. 平成24年度岩手県水産技術センター年報, 岩手県水産技術センター, 釜石. 2012; 91–97.
- 12) 加賀新之助, 渡邊龍一, 長井 敏, 神山孝史, 鈴木敏之. 東日本大震災後の岩手県大船渡湾における *Alexandrium tamarense* による貝類の毒化. 月刊海洋 2012; **44**: 321–327.
- 13) 西谷 豪, 山田雄一郎, 長坂翔子, 横山勝英, 夏池真史, 吉永郁生. 2013年に気仙沼舞根湾海域で発生した有害有毒プランクトン. 海洋と生物 2013; **35**: 568–574.
- 14) 緒方武比古, 池田有里, 加賀新之助, 内記公明, 加賀克昌, 小檜山篤志, 山田雄一郎, 松岡数充. 東日本大震災が岩手県大船渡湾における麻ひ性貝毒原因渦鞭毛藻の発生・増殖に与えた影響. 日本水産学会誌 2016; **82**: 155.
- 15) 石川哲郎, 日下啓作, 押野明夫, 西谷 豪, 神山孝史. 東日本大震災後の宮城県気仙沼湾における *Alexandrium* 属の栄養細胞とシストの分布パターンおよび二枚貝類の毒化. 日本水産学会誌 2015; **81**: 256–266.
- 16) Kamiyama T, Yamauchi H, Nagai S, Yamaguchi M. Differences in abundance and distribution of *Alexandrium* cysts in Sendai Bay, northern Japan, before and after the tsunami caused by the Great East Japan Earthquake. *J. Oceanogr.* 2014; **70**: 185–195.
- 17) 山田雄一郎. 気仙沼舞根湾および周辺海域の動物プランクトン. 海洋と生物 2012; **34**: 556–561.