

## 東日本大震災による養殖場の環境変化

内記公明・瀬川 叡・渡邊志穂・加賀克昌・久慈康支

### Changes in the coastal environment along the Sanriku District, Iwate Prefecture, due to the tsunami generated by the Great East Japan Earthquake

Kimiaki Naiki, Satoshi Segawa, Shiho Watanabe, Yoshimasa Kaga, and Yasushi Kuji

#### Abstract

To determine the effects of the tsunami generated by the Great East Japan Earthquake in 2011 on the environment of aquaculture farming grounds, we investigated environmental conditions of the seawater  $COD_{Mn}$  and sediment  $COD_{OH}$  in nine bays along the Sanriku District, Iwate Prefecture, Japan. And we investigated recovery process in two bays. Comparisons were made before and after the tsunami for  $COD_{Mn}$  or  $COD_{OH}$ . The amount of  $COD_{Mn}$  in the all bays decreased. The amount of  $COD_{OH}$  in the seven bays decreased and in the two bays increased. After the tsunami, their amounts in the two bays decreased, and are returning to the previous level.

**Key words** : water quality, sediment quality, Great East Japan Earthquake, tsunami

キーワード : 水質, 底質, 東日本大震災, 津波

#### はじめに

岩手県沿岸では、ホタテガイやカキなどの貝類、コンブやワカメなどの藻類の養殖が盛んに行われている。これらの養殖形態は、人工の餌を与えることなく、海域の自然の生産力を利用する無給餌型養殖として特徴づけられている。無給餌型養殖は、魚類養殖などの給餌型養殖と比べて残餌などによる水質や底質への負荷が少ないという利点がある。また、養殖で生産された漁獲物は、陸域から沿岸域に流入する有機物や栄養分を定期的に回収するといった役割があり、陸域と沿岸域の物質循環を担っている持続可能な養殖方法である。<sup>1)</sup>

漁場環境の悪化は水質や底質と関連があり、海底に堆積した有機物が微生物により分解されて、この際の酸素消費により貧酸素水塊を発生させるとともに、海底から無機態のリンや窒素の溶出が促進されるなど、底質は水質に大きな影響を与えることが知られている。<sup>2)</sup>

2011年3月の東日本大震災で発生した大津波により、岩手県沿岸の養殖場は壊滅的な被害を受けた。<sup>3-5)</sup> また、大津波により海岸地形の浸食や陸上からの土砂等の流入により、養殖場の水質や底質は変化した。<sup>6-9)</sup> これらの養殖場の環境変化は無給餌型養殖が基本とする自然の生産力に大きな影響を及ぼすものと考えられたことから、津

波前後で生じた岩手県沿岸の養殖場の環境変化を把握し、養殖業の再開と持続的な養殖管理のための基礎データとすることは重要である。

そこで本研究では、岩手県沿岸で過去の調査データがある9湾において津波前後の水質や底質の変化を把握し、また毎年の調査が行われた釜石湾と大船渡湾において底質の変化を継続的に把握することで、津波による養殖場の環境変化とその回復過程を評価することを目的とした。

#### 材料と方法

##### 調査水域

津波前後の水質や底質の変化を把握するために、過去の調査データがある岩手県の久慈湾、宮古湾、山田湾、大槌湾、釜石湾、唐丹湾、越喜来湾、大船渡湾、広田湾の9湾に各15地点の定点を設定した(Fig. 1(B): 背景地図には国土地理院発行の基盤地図情報を使用した)。さらに、9湾の中で毎年の調査が行われている釜石湾と大船渡湾は、底質の変化を継続的に調査するための定点として、釜石湾に4地点と大船渡湾に6地点の定点を設定した(Fig. 1(C): 背景地図には国土地理院発行の基盤地図情報を使用した)。これらの定点の位置は、震災前の調査定点の位置と原則一致させた。9湾の中で3湾は湾口部に

湾口防波堤の大型人工構造物があり、釜石湾と大船渡湾は既に設置されており他の湾に比べて閉鎖性が高い水域となっているが、久慈湾は設置途中で閉鎖性はそれほど高くなっていない水域である。

#### 海水試料の採取及び水質分析

2012年及び2013年の9月に各定点で行ったサンプリングデータを Table 1 に示す。海水は、表層から清浄なバケツ等で採取し、有機物汚濁指標として化学的酸素要求量(COD<sub>Mn</sub>)を 100°C-酸性過マンガン酸カリウム法により測定した。

#### 海底泥試料の採取及び底質分析

2012年の9月と10月、2013年の9月、2014年～2017年の10月に各定点で行ったサンプリングデータを Table 1 に示す。海底泥は、柱状採泥器(内径 11 cm)、エクマンバージ型採泥器(採泥面積 0.0225m<sup>2</sup> または 0.04m<sup>2</sup>) のいずれかを用いて、表層 2-3 cm を攪乱しない

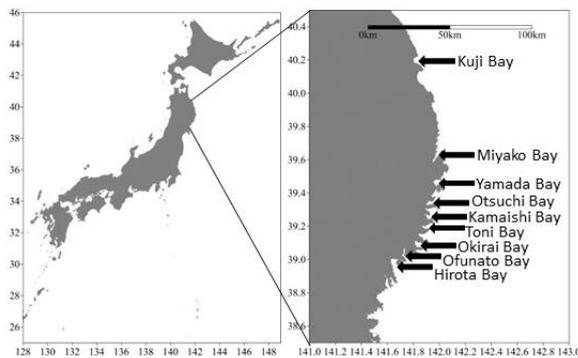
ように採取し、有機物汚濁指標として化学的酸素要求量(COD<sub>OH</sub>)をアルカリ性過マンガン酸カリウム法により測定した。

#### データの整理及び解析

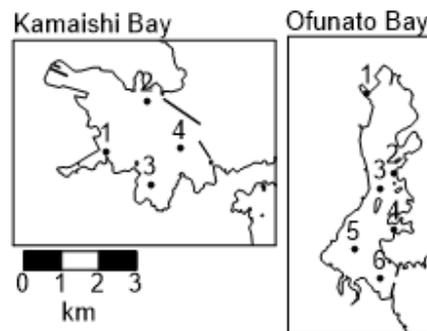
津波前後の変化を把握するために、水質については2008年から2010年にかけて岩手県が行った公共用水域水質測定結果(<http://env.pref.iwate.jp/>)から COD<sub>Mn</sub> の値を抽出し、底質については2001年から2010年にかけて岩手県水産技術センターが行った調査結果から COD<sub>OH</sub> の値を抽出し、津波前のデータとして整理した。そして、本研究で得られた2012年から2013年の調査結果と比較した。

津波後の底質の変化を継続的に把握するために、本研究で得られた2012年から2017年の釜石湾と大船渡湾の調査結果を比較した。

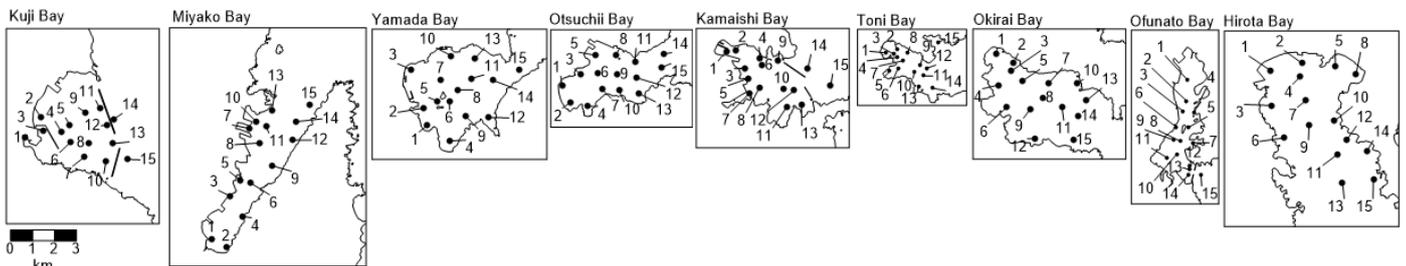
なお、底質の COD<sub>OH</sub> の値は、津波前後及び津波後の各年において有意差検定(Wilcoxon signed-ranks test)を行った。



(A) Pacific Coast of northern Japan.



(C) Sampling points in the bay from 2014 through 2017.



(B) Sampling points in the bay from 2012 through 2013.

Fig. 1 The study area illustrating sampling points along the Pacific Coast of northern Japan. The black line of the bay mouth at Kuji Bay, Kamaishi Bay and Ofunato Bay indicates a breakwater.

Table 1 Water sampling locations and dates of each site.

Sampling site	Number of sampling point	Longitude (° E)	Latitude (° N)	Date of water sampling	Date of reference <sup>a</sup>
Kuji Bay	15	141.79-141.85	40.18-40.21	4,5 Sep. 2012	30 Sep. 2008 15 Sep. 2009 7 Sep. 2010
Miyako Bay	3 <sup>a</sup>	no data	no data	4 Oct. 2011 <sup>a</sup>	14 Oct. 2008 6 Oct. 2009 5 Oct. 2010
Yamada Bay	15	141.96-142.00	39.44-39.48	6,7 Sep. 2012	24 Sep. 2008 15 Sep. 2009 14 Sep. 2010
Otsuchi Bay	15	141.90-141.95	39.33-39.35	8,9 Sep. 2012	14 Oct. 2008 6 Oct. 2009 14 Sep. 2010
Kamaishi Bay	15	141.89-141.95	39.25-39.27	13,19,20 Sep. 2012	14 Sep. 2010 2 Sep. 2008 21 Oct. 2008 13 Oct. 2009 12 Oct. 2010
Toni Bay	15	141.87-141.90	39.19-39.21	10,11 Sep. 2012	5 Aug. 2008 4 Aug. 2009 3 Aug. 2010
Okirai Bay	15	141.82-141.86	39.08-39.11	25,27 Sep. 2013	14 Oct. 2008 6 Oct. 2009 5 Oct. 2010
Ofunato Bay	15	141.72-141.74	39.02-39.06	13,26 Sep. 2012	24 Sep. 2008 15 Sep. 2009 14 Sep. 2010
Hirota Bay	15	141.63-141.69	38.95-39.00	20,21 Sep. 2012	2 Sep. 2008 7 Sep. 2009 7 Sep. 2010

<sup>a</sup> Results of the Water Quality Survey of Public Water Areas.

Table 2 Sediment sampling locations and dates of each site.

Sampling site	Number of sampling point	Longitude (° E)	Latitude (° N)	Date of sediment sampling	Date of reference <sup>a</sup>
Kuji Bay	15	141.79-141.85	40.18-40.21	4,5 Sep. 2012	5,6 Oct. 2004
Miyako Bay	15	141.95-142.00	39.59-39.65	3,10 Oct. 2012	25,26 Sep. 2008
Yamada Bay	15	141.96-142.00	39.44-39.48	6,7 Sep. 2012	26,27 Sep. 2007
Otsuchi Bay	15	141.90-141.95	39.33-39.35	8,9 Sep. 2012	15,16 Sep. 2009
Kamaishi Bay	15	141.89-141.95	39.25-39.27	13,19,20 Sep. 2012	16,17 Sep. 2004
	4	141.91-141.93	39.24-39.26	19,20 Sep. 2012	
	4	141.91-141.93	39.24-39.26	18 Oct. 2013	
	4	141.91-141.93	39.24-39.26	8 Oct. 2014	
	4	141.91-141.93	39.24-39.26	7,15 Oct. 2015	
	4	141.91-141.93	39.24-39.26	13 Oct. 2016	
	4	141.91-141.93	39.24-39.26	26 Oct. 2017	
Toni Bay	15	141.87-141.90	39.19-39.21	10,11 Sep. 2012	12,13 Sep. 2005
Okirai Bay	15	141.82-141.86	39.08-39.11	24,25 Sep. 2013	19 Sep. 2001
Ofunato Bay	14 <sup>b</sup>	141.72-141.74	39.02-39.06	13,26 Sep. 2012	13,14 Sep. 2006
	5 <sup>c</sup>	141.72-141.73	39.02-39.04	13,26 Sep. 2012	
	6	141.72-141.73	39.02-39.06	22 Oct. 2013	
	6	141.72-141.73	39.02-39.06	9 Oct. 2014	
	6	141.72-141.73	39.02-39.06	6 Oct. 2015	
	6	141.72-141.73	39.02-39.06	17 Oct. 2016	
	6	141.72-141.73	39.02-39.06	17 Oct. 2017	
Hirota Bay	15	141.63-141.69	38.95-39.00	20,21 Sep. 2012	30,31 Aug. 2010

<sup>a</sup> Results of the Iwate Fisheries Technology Center annual report.

<sup>b</sup> Station6 was no sample.

<sup>c</sup> Station1 was no sample.

## 結果

### 津波前後の水質変化

津波後の各湾における表層海水の  $COD_{Mn}$  の平均値は、全ての湾で津波前と比べて低下傾向を示した (Fig. 2)。津波前は越喜来湾が最も低く、大船渡湾が最も高かった。また、津波後は唐丹湾が最も低く、広田湾が最も高かった。津波前後の平均値は、大船渡湾で最も変化が大きく、越喜来湾で最も変化が小さかった。

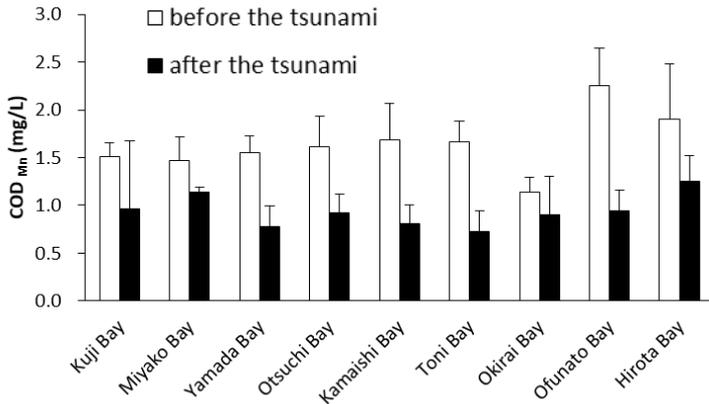


Fig. 2 Changes in surface seawater  $COD_{Mn}$  of each site, before and after the tsunami. White and black box indicates average value. Error bar indicates standard deviation.

### 津波前後の底質変化

津波後の各湾における海底泥の  $COD_{OH}$  の中央値は、久慈湾、山田湾、大槌湾、広田湾が津波前よりも有意に低下 ( $p < 0.05 \sim 0.01$ ) し、釜石湾と大船渡湾が津波前よりも有意に上昇 ( $p < 0.05 \sim 0.01$ ) した (Fig. 3)。宮古湾、唐丹湾、越喜来湾は津波前後で有意差は見られなかったが、宮古湾や唐丹湾で中央値が低下し、越喜来湾で中央値が上昇した。

津波前は久慈湾が最も低く、大船渡湾が最も高かった。また、津波後は久慈湾が最も低く、大船渡湾が最も高かった。津波前後で最も低い湾と高い湾の順位は変わらなかったが、津波前後の中央値は、大槌湾で最も大きく低下し、釜石湾で最も大きく上昇していた。

### 釜石湾と大船渡湾における津波後の底質変化

津波後の釜石湾における海底泥の  $COD_{OH}$  の中央値は、低下傾向を示した (Fig. 4)。2012年から2014年にかけて中央値は直線的に低下し、それ以降は増減しながらほぼ一定の値で推移した。

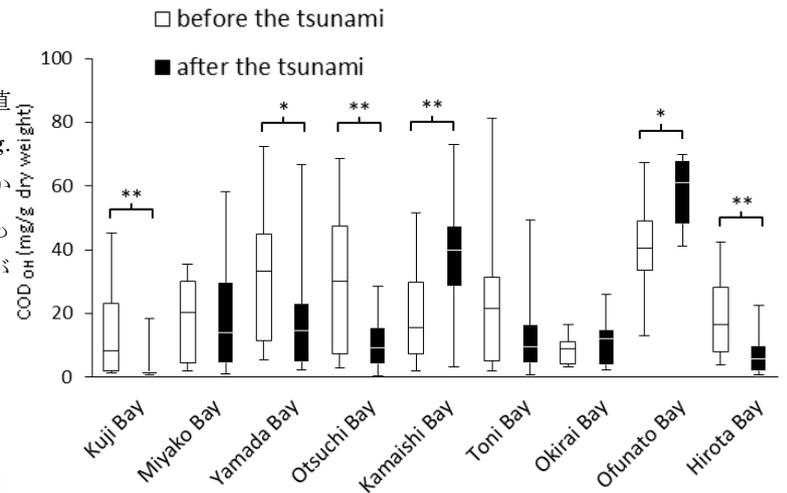


Fig. 3 Box-and-whisker plots of  $COD_{OH}$  of each site, before and after the tsunami. Horizontal line in the box indicates median value. Boxes are drawn between the 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> quartiles, and the whiskers stretch to the maximum and minimum values or that variable. \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$  (Wilcoxon signed-ranks test, two-tailed test)

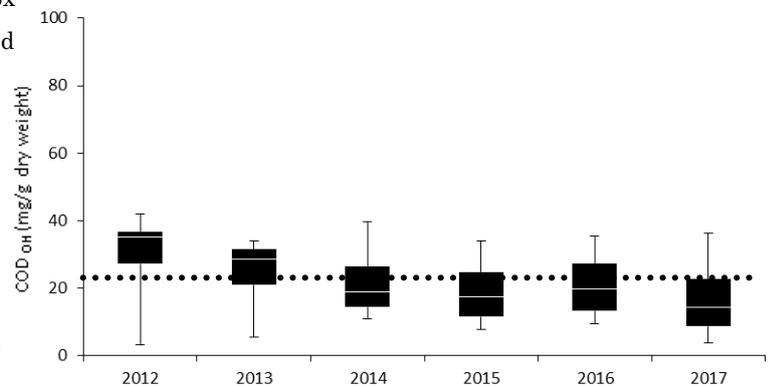


Fig. 4 Box-and-whisker plots of  $COD_{OH}$  of Kamaishi Bay, after the tsunami. Horizontal line in the box indicates median value. Boxes are drawn between the 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> quartiles, and the whiskers stretch to the maximum and minimum values or that variable. Dotted line indicate the level of before tsunami.

津波後の大船渡湾における海底泥の  $COD_{OH}$  の中央値は、釜石湾と同様に低下傾向を示した(Fig. 5)。2012年から2016年にかけて中央値は断続的に低下した。2012年と2013年及び2015年と2016年にかけては、有意に低下 ( $p<0.05$ ) した。

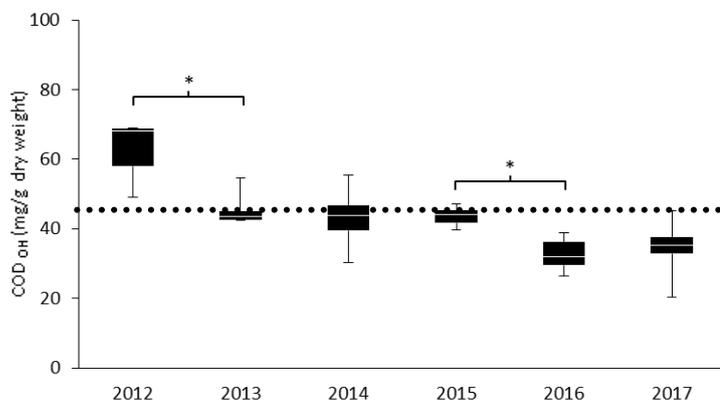


Fig. 5 Box-and-whisker plots of  $COD_{OH}$  of Ofunato Bay, after the tsunami. Horizontal line in the box indicates median value. Boxes are drawn between the 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> quartiles, and the whiskers stretch to the maximum and minimum values of that variable. Dotted line indicate the level of before tsunami.

\* $p<0.05$  (Wilcoxon signed-ranks test, two-tailed test)

## 考 察

水質や底質の有機物汚濁指標として  $COD_{Mn}$  や  $COD_{OH}$  はこれまで広く用いられてきた良い指標である。<sup>10)</sup>津波前後の水質変化については釜石湾や大船渡湾のように湾口防波堤が設置された閉鎖的環境の湾に関する報告があり、津波による湾口防波堤の倒壊の影響で湾内の水質が変化したことが示唆されている。<sup>7-8)</sup>本研究においても表層海水の  $COD_{Mn}$  が津波前よりも低下したことが明らかとなった。津波により湾口防波堤が倒壊した釜石湾や大船渡湾は、9湾の中でも低下の度合いが大きく、湾口防波堤が倒壊したことによる海水交換の影響が大きいと考えられた。湾口防波堤が設置されていない他の湾においても一様に低下しているが、これは津波により沿岸部の人的活動が制限されたことによる海域への有機物負荷の低下や養殖活動の減少等によるものと推測される。

津波前後の底質変化については内湾域の流動構造と関連付けての報告があり、津波の流速分布等の数値シミュレーションに基づく津波の仕事量と底質変化が良く関連していることが示唆されており、内湾域の海底浸食や堆積物の湾外への移動と再堆積が発生したと考えられている。<sup>11)</sup>また、岩手県沿岸の9湾を地形の特徴により3

タイプに分けて、津波による底質への影響を評価した報告もある。<sup>9)</sup>このように、流動構造や地形の違いによって各湾の津波の影響度は異なっていることが示唆されており、津波前後で釜石湾と大船渡湾の  $COD_{OH}$  が上昇し、その他の湾が低下したことを示した本研究結果は、これらの報告を支持するものである。

津波後の底質変化については女川湾における底質の回復過程に関連する報告があり、変化した底質は徐々に津波前の状態に戻る傾向は見られるものの、復興事業による新たな攪乱が同時進行する状況にあり未だ安定した状態にはなっていないことが指摘されている。<sup>12)</sup>本研究において  $COD_{OH}$  は釜石湾と大船渡湾の両湾とも増減しながら津波前の状態に戻りつつあるが、未だ津波後の回復過程にあるものと考えられる。今後、沿岸部で行われる工事等の人的活動の影響により新たな攪乱が生じることも考えられることから、環境モニタリングを継続することが必要である。

## 謝 辞

本研究の一部は、被害漁場環境調査事業(水産庁)、東北マリンサイエンス拠点形成事業(文部科学省)、漁場環境保全調査事業及び漁場保全総合対策事業(岩手県)により行われました。本研究の推進にあたり、試料採取等で調査にご協力いただきました沿岸地区漁協、いであ株式会社、(国研)水産研究・教育機構東北水産研究所、北里大学海洋生命科学部の皆様に感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 小橋及子・高木 稔:「養殖海域の環境収容力」(日本水産学会監修), 恒星社厚生閣, 東京, 2006, pp.49-64.
- 2) 左山幹雄:「詳論沿岸海洋学」(日本海洋学会沿岸海洋研究会編), 恒星社厚生閣, 東京, 2014, pp.190-207.
- 3) 煙山 彰:岩手県における水産業の被害. 日水誌, 77, 712-714(2011).
- 4) 煙山 彰:岩手県水産業の復興状況と岩手県水産技術センターの現状. 日水誌, 82, 970-972(2016).
- 5) 「岩手県東日本大震災津波の記録」(企画・発行 岩手県), 2013.
- 6) 片山知史:「水産海洋学入門」(水産海洋学会編), 講談社, 東京, 2014, pp.273-281.
- 7) 山本光夫・加藤孝義・多部田茂・北澤大輔・藤野正俊・小豆川勝見・松尾基之・田中 潔・道田 豊:

東日本大震災後の釜石湾における海域環境変化. 日水誌, 81, 243-255(2015).

- 8) Y. Yamada, S. Kaga, Y. Kaga, K. Naiki, and S. Watanabe : Changes of seawater quality in Ofunato Bay, Iwate, after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *J. Oceanogr.*, 73, 11-24(2017).
- 9) 内記公明・山田美和・加賀新之助・渡邊志穂・神山孝史・加戸隆介・緒方武比古・難波信由・林崎健一・山田雄一郎・山下哲郎 : 2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波による岩手県沿岸内湾域の底質変化. 日水誌, 81, 447-455(2015).
- 10) 「水産用水基準第8版」(公益社団法人日本水産資源保護協会発行), 2018.
- 11) 西 敬浩・八木 宏・神山孝史・杉松宏一・林健太郎・中山哲厳 : 東北地方太平洋沖地震津波による三陸内湾域の流動構造と底質環境変化の把握. 土木学会論文集 B2(海岸工学), 69, 286-290(2013).
- 12) 金子健司・高橋大介・五味泰史・庄子充広・阿部博哉・藤井豊展・片山亜優・山口敏康・木島明博 : 女川湾において津波が底質および底生生物に与えた影響とその回復過程. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 84, 909-912(2018).