

気仙沼湾での東日本大震災による養殖漁場の水質変化

日下 啓作*¹・石川 哲郎*¹・中家 浩*²・千葉 充子*³

Water quality variation of aquaculture area after the Great East Japan Earthquake in Kesenuma Bay

Keisaku KUSAKA*¹, Tetsuroh ISHIKAWA*¹, Hiroshi NAKAIE*² and Atsuko CHIBA*³

キーワード：東日本大震災，気仙沼湾，水質，DIN，DIP

2011年3月11日に発生した東日本大震災において気仙沼湾一帯は津波による壊滅的な被害を受け、気仙沼湾内では陸上由来の多量の瓦礫や重油等の有害物質、下水処理場の被災に伴う汚水の流入により漁場環境の著しい悪化が懸念された。宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場（以下、気仙沼水産試験場と記載）では、震災直後の気仙沼湾の水質状況を把握することを目的として2011年5月から6月に緊急調査を行い、環境省が定める「人の健康の保護に関する環境基準」27項目及び「生活環境の保全に関する環境基準」2項目について分析した結果、各項目はすべて基準値以下であり¹⁾、有害物質による漁場汚染はないことが確認された。水質の富栄養化についても懸念されたが、複数の研究機関による調査の結果、2011年5月以降の海水中の栄養塩濃度には懸念されたほど著しい上昇はなかったことが報告されている^{2,3)}。その一方で、2012年春季には湾奥部での赤潮の頻発や、2013年にはまひ性貝毒プランクトンの大発生による養殖二枚貝類の毒化等の現象が震災後2年間のうちに次々と発生し、震災をきっかけとして漁場環境が変化した可能性が推察された。気仙沼湾ではマガキ・ホタテガイ・ワカメ・マコンブ等の養殖業や刺網などの沿岸漁業が再開されているが、今後さらなる復興を進めていく上で、震災前後の気仙沼湾における漁場環境の変化について記録しておくことが重要と考えられる。

そこで本稿では、2006年4月から2014年9月までの気仙沼湾の水質調査結果を比較するとともに、震災後認められた水質変化の要因について検討を行ったので報告する。

方法

使用したデータは、気仙沼水産試験場が行った水質調査結果のうち、2006年4月から2011年2月までの震災前約5カ年と2011年8月から2014年9月までの震災後約3カ年間、気仙沼湾湾口部の岩井崎、内湾部の松岩・日向貝、湾奥部の大浦の合計4点（図1）における水深0m層・5m層及び海底直上1m層（以下、B-1m層と記載）のものである。岩井崎は外洋に面し陸水の影響が比較的小さく、松岩・大浦は表層では陸水の影響、底層では底土の影響を受けやすい海域である。また、日向貝では潮汐の影響による流速が速い一方、大浦周辺の流速は遅いため、海水交換が悪いと推定される（高橋、未発表）。調査項目は水温・塩分・透明度・栄養塩濃度・プランクトン沈殿量・溶存酸素量（DO）・化学的酸素要求量（COD）であり、水温・塩分・透明度・栄養塩濃度・プランクトン沈殿量は1ヶ月毎、DOとCODは偶数月の2ヶ月毎のデータである。なお、調査時刻は潮汐の干満を考慮していない。水温・塩分・透明度・栄養塩濃度・プランクトン沈殿量については傾向を把握しやすくするため、各月の前後1ヶ月を含

*¹水産技術総合センター気仙沼水産試験場，*²農林水産部水産業振興課，*³元水産技術総合センター気仙沼水産試験場

む3か月移動平均値を用いた。欠測した月を含む移動平均値は使用しなかった。

水温・塩分は直読式水温塩分計 (JFE ADVANTEC, ACTD-RS), 透明度は透明度板を用いて観測した。プランクトン沈殿量は北原式定量プランクトンネット (目合い95 μm) で5m鉛直曳きを行い, 動植物プランクトン以外の異物をピンセットで除去後に採取物の沈殿体積から求めた。試水は, 0m層は採水バケツ, 5m層及びB-1m層はバンドン採水器または北原式採水器を用いて採水し, 栄養塩濃度・DO・CODの分析に供した。栄養塩濃度は, 2006年4月から2011年2月は分光光度計 (日立製作所, U-1000), 2011年8月から2014年9月はオートアナライザー (BL-TECH, QuAAtro2- HR) を用いて硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)・亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$)・アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)・リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) の分析を行った。DOはウインクラ法, CODはヨウ素滴定法により, 水質汚濁調査指針⁴⁾に記載された方法に基づき分析を行った。

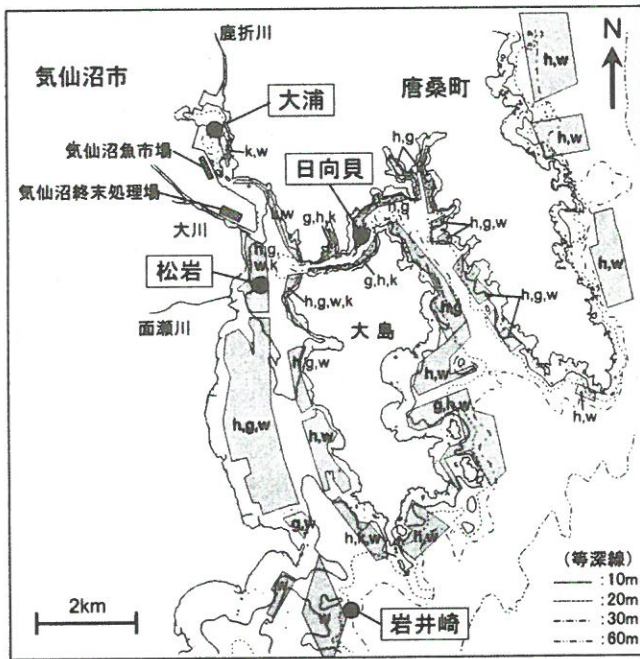


図1 水質調査点 (●) および震災前の養殖漁場 (■) の概略図
 図中のアルファベットは各漁場の代表的な養殖種を示す (g: マガキ, h: ホタテガイ, k: マコ, w: ワカメ)。

結果

1 水温・塩分・透明度

調査期間中の水温・塩分・透明度の3ヶ月移動平均値の推移と気象庁観測による気仙沼市の月間降水量を図2-1～図2-3に示した。

水温の3ヶ月移動平均値は, 湾口部の岩井崎で4.8～22.9 $^{\circ}\text{C}$, 内湾部の松岩・日向貝と湾奥部の大浦で5.0～23.4 $^{\circ}\text{C}$ の範囲であり, 各調査点とも震災前後で顕著な変化は認められなかった。季節的な変動は8月から10月の間に最高値, 2月から4月の間に最低値を示し, 概ね3月から10月は成層期, 11月から2月は混合期となっていた。

塩分の3ヶ月移動平均値は, 岩井崎では30.4～34.2, 松岩・日向貝・大浦では21.7～34.2の範囲であった。季節的な変動は, 震災前後を通じて, 3月から10月頃は塩分躍層が形成されて成層期となり, 11月から2月は混合期となった。震災前, 0m層では降水量の増加に応じて値は著しく低下し, 松岩・日向貝・大浦では震災前のほぼ毎年30末

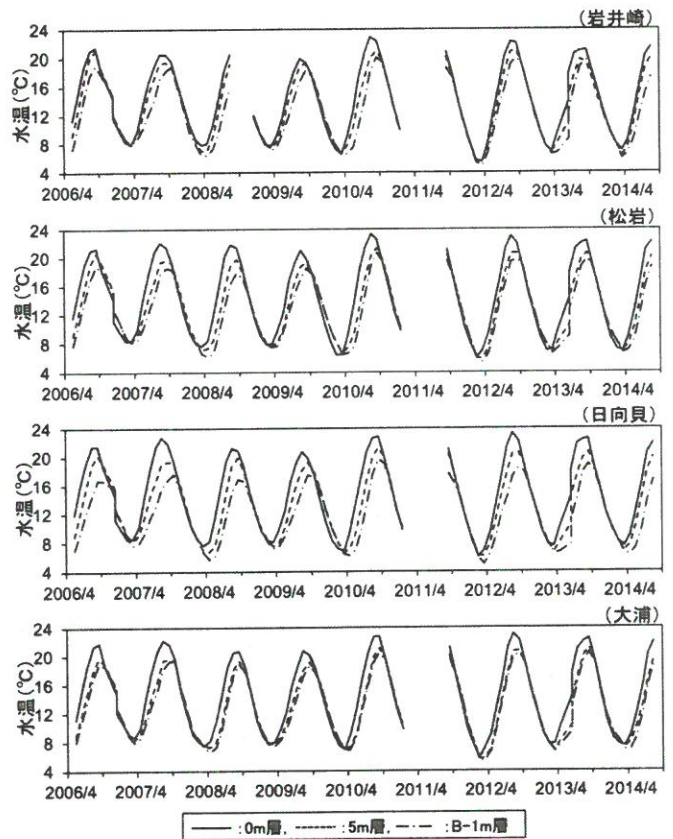


図2-1 各調査点における水温 (3ヶ月移動平均値) の推移

満となったが、震災後の2011年から2012年は降水量が震災前と大きな差がなかったにもかかわらず30以上で推移した。しかし、2013年以降は松岩・大浦の0m層で再び30未満となった。

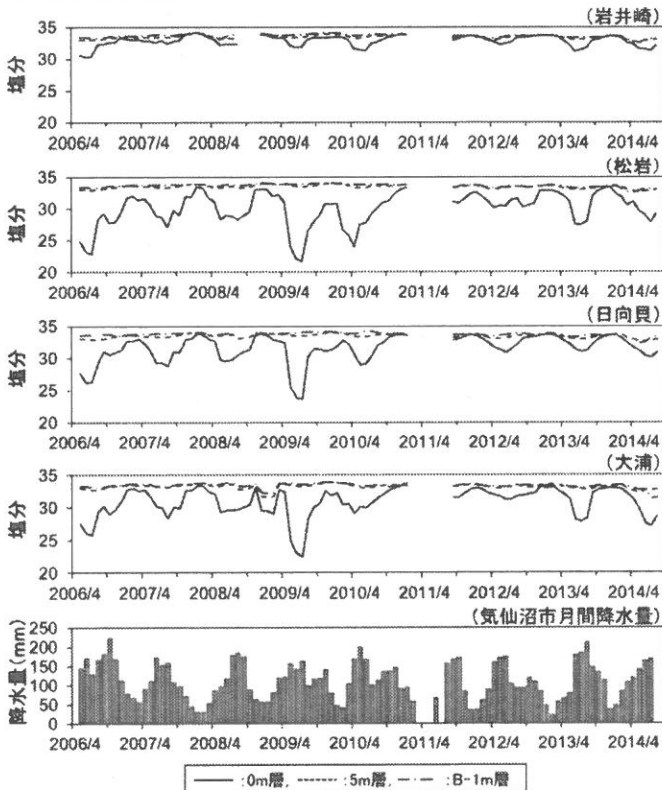


図 2-2 各調査点における塩分 (3ヶ月移動平均値) と気仙沼市月間降水量の推移

透明度の3ヶ月移動平均値は、大浦では1.2~8.0mの範囲で12月から2月頃に最高値、5月から9月頃に最低値となる季節的な変動を示し、震災前後で顕著な変化は認められなかった。一方、岩井崎・松岩・日向貝では震災前の2.5~20.7mに対して震災後は3.2~12.8mの範囲に変動幅が縮小した。季節的な変動は、震災前は大浦と同様の周

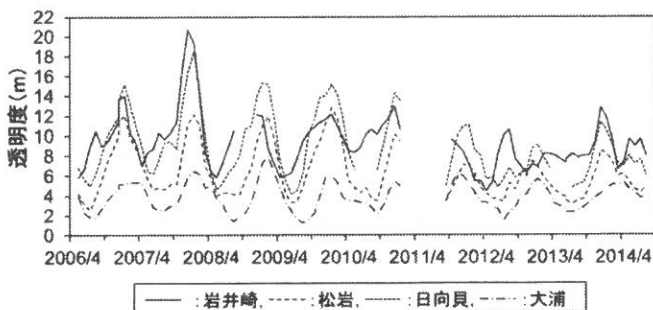


図 2-3 各調査点における透明度 (3ヶ月移動平均値) の推移

期であったが、震災後は5月から8月にも小さなピークが出現し、周期性が不明瞭であった。

2 栄養塩濃度

各調査点の栄養塩濃度について、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2\text{-N}$ ・ $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計をDIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ をDIPとし、それぞれの3ヶ月移動平均値の推移を図3に示した。

震災前のDIN・DIPの3ヶ月移動平均値は、岩井崎では各層ともほぼ年1回、冬季を中心に極大値、夏季を中心に極小値を持つ周期的な変動を示し、経年的に変動幅の著しい差は認められなかった。松岩・日向貝・大浦の5m層では、岩井崎と同様にほぼ年1回、冬季中心の極大値と夏季中心の極小値を持つ周期的な変動を示し、経年的に変動幅の著しい差は認められなかったが、0m層・B-1m層は極大値と極小値の他、年によって春季から夏季にも小さなピークが出現し、周期性や経年的な変動幅が変化する傾向が認められた。

震災後は、各調査点とも季節的な変動は震災前と同様の傾向であったが、経年的な変動幅が大きく異なり、2006年4月から2011年2月までの期間 (以下、震災前と記載) と比較して、2011年8月から2013年4月までの期間 (以下、震災後1~2年目と記載) はDIN・DIPとも各調査点、各層で著しく低く推移した。その後、2013年5月から2014年9月までの期間 (以下、震災後3~4年目と記載) は、DINは各調査点、各層で大幅に増加したが、DIPはわずかに増加したのみであった。

各月毎のDIN・DIPの原データから求めた震災前、震災後1~2年目、震災後3~4年目の各期間の平均値、最小~最大値を表1に示した。震災前の松岩・日向貝・大浦のDIN・DIPは、既報^{5,6)}で1963~2004年の大浦について報告された値と近かった。各期間の平均値を比較すると、震災後1~2年目には震災前と比較してDINが25~77%、DIPは67~92%それぞれ減少し、DINでは湾口部より湾奥部の調査点で、かつ水深がより深い層で大きく減少する傾向を示したのに対し、DIPでは調査点や水深に関わらず、ほぼ一様に減少する傾向を示した。震災後3~4年目には、DINは岩井崎のB-1m層を除いた全ての調査点および水深で震災前より高い値を示したが、DIPは依然として震災前より33~75%低く、調査点や水深間で一定の傾向は認められなかった。

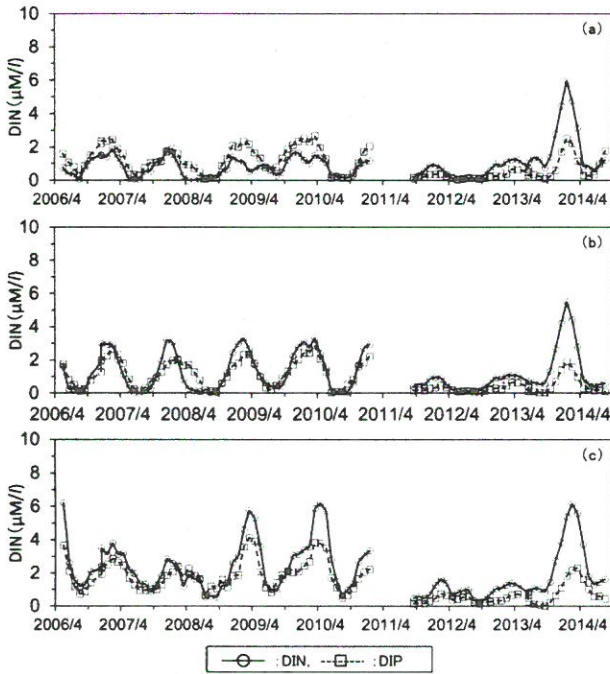


図 3-1 岩井崎における DIN・DIP (3 ヶ月移動平均値) の推移
(a) : 0m 層, (b) : 5m 層, (c) : B-1m 層

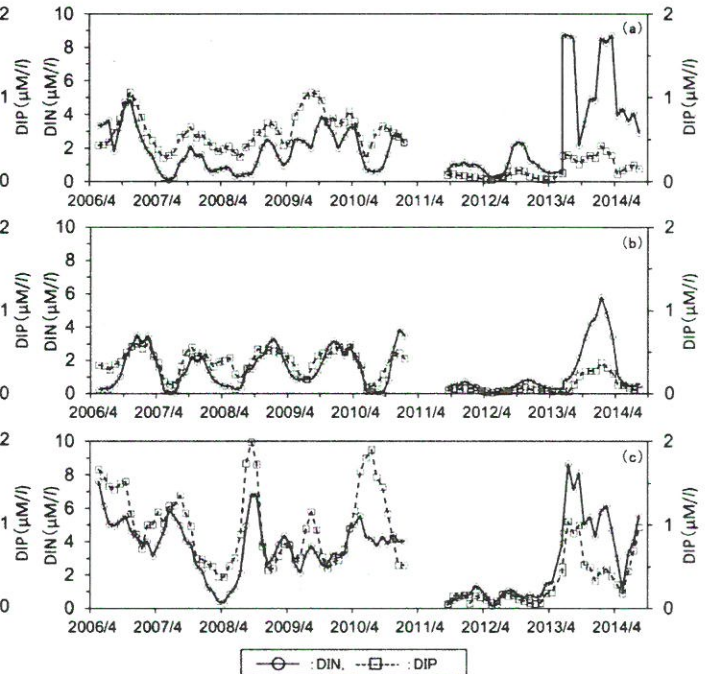


図 3-2 松岩における DIN・DIP (3 ヶ月移動平均値) の推移
(a) : 0m 層, (b) : 5m 層, (c) : B-1m 層

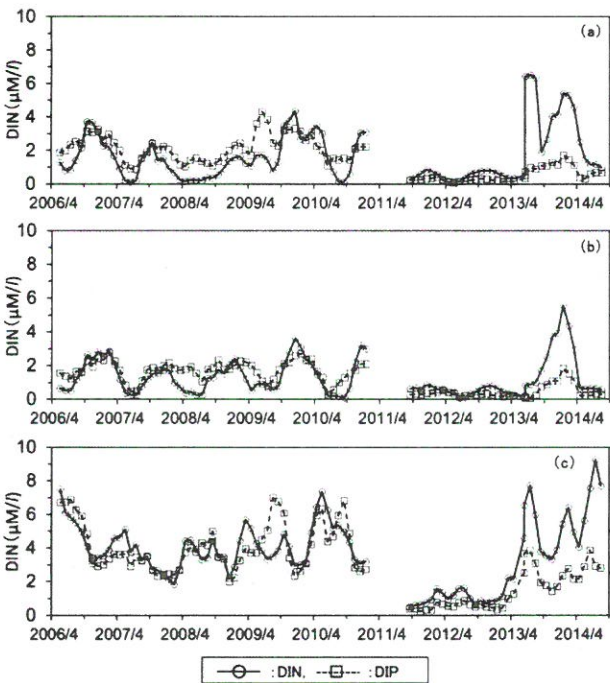


図 3-3 日向貝における DIN・DIP (3 ヶ月移動平均値) の推移
(a) : 0m 層, (b) : 5m 層, (c) : B-1m 層

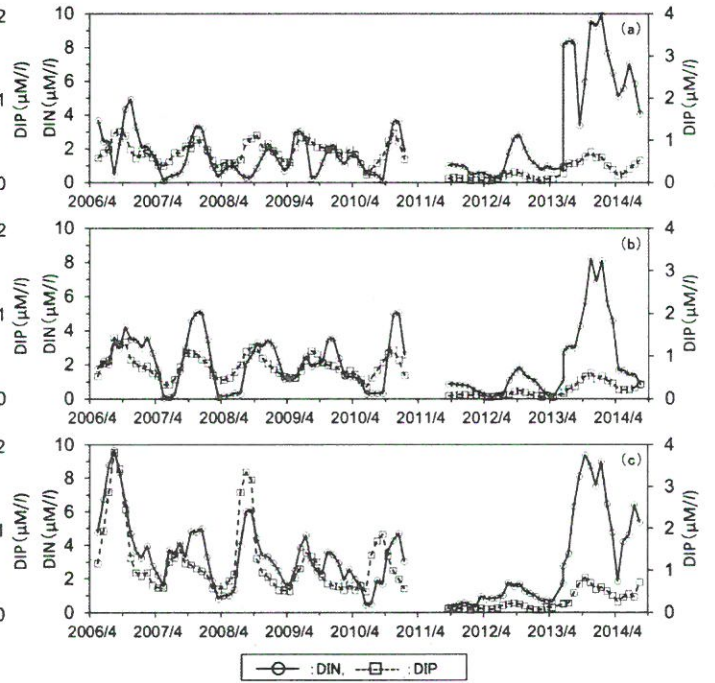


図 3-4 大浦における DIN・DIP (3 ヶ月移動平均値) の推移
(a) : 0m 層, (b) : 5m 層, (c) : B-1m 層

表 1 調査時期別の各調査点における DIN・DIP の値
(上段：平均値, 下段：最小値-最大値)

(0m)	岩井崎		松岩		日向貝		大浦	
	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP
	平均値		平均値		平均値		平均値	
2006.4-2011.2	0.8	0.3	1.9	0.6	1.6	0.4	1.6	0.7
	<0.1 - 2.4	<0.1 - 0.7	0.1 - 8.3	0.1 - 1.7	<0.1 - 6.6	<0.1 - 1.7	<0.1 - 7.1	0.1 - 1.8
2011.8-2013.4	0.6	0.1	1.0	0.1	0.5	<0.1	1.2	0.1
	<0.1 - 1.9	<0.1 - 0.2	0.3 - 3.9	<0.1 - 0.2	0.1 - 1.2	<0.1 - 0.1	0.2 - 4.0	<0.1 - 0.3
2013.5-2014.9	2.0	0.2	5.2	0.2	3.3	0.2	6.3	0.4
	0.1 - 7.2	<0.1 - 0.7	0.3 - 24.8	<0.1 - 0.7	0.3 - 18.0	<0.1 - 0.5	<0.1 - 23.9	<0.1 - 0.8
(5m)	岩井崎		松岩		日向貝		大浦	
	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP
	平均値		平均値		平均値		平均値	
2006.4-2011.2	1.4	0.3	1.6	0.4	1.4	0.4	2.2	0.8
	<0.1 - 4.2	<0.1 - 0.7	<0.1 - 5.6	<0.1 - 0.8	<0.1 - 4.6	<0.1 - 0.7	<0.1 - 7.6	0.1 - 2.1
2011.8-2013.4	0.6	0.1	0.4	<0.1	0.6	0.1	0.8	0.1
	<0.1 - 1.8	<0.1 - 0.2	<0.1 - 1.0	<0.1 - 0.1	0.1 - 1.1	<0.1 - 0.1	0.1 - 2.8	<0.1 - 0.2
2013.5-2014.9	1.6	0.1	2.1	0.1	1.8	0.1	3.6	0.3
	0.2 - 6.4	<0.1 - 0.5	<0.1 - 7.6	<0.1 - 0.5	<0.1 - 7.5	<0.1 - 0.5	<0.1 - 10.2	<0.1 - 0.8
(B-1m)	岩井崎		松岩		日向貝		大浦	
	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP
	平均値		平均値		平均値		平均値	
2006.4-2011.2	2.7	0.4	3.9	1.0	4.2	0.8	3.5	1.2
	0.1 - 11.8	<0.1 - 1.3	0.1 - 11.1	0.3 - 3.4	0.4 - 9.2	<0.1 - 2.2	<0.1 - 10.8	0.1 - 6.5
2011.8-2013.4	0.9	0.1	0.9	0.1	1.2	0.1	0.9	0.1
	0.1 - 2.3	<0.1 - 0.2	0.1 - 3.2	<0.1 - 0.4	0.1 - 4.0	<0.1 - 0.4	0.1 - 2.6	<0.1 - 0.3
2013.5-2014.9	2.4	0.2	5.0	0.6	5.7	0.5	5.7	0.5
	0.4 - 7.4	<0.1 - 0.5	0.1 - 12.4	0.1 - 1.7	0.4 - 11.2	0.1 - 1.1	0.1 - 12.3	<0.1 - 1.7

各調査点におけるDIN・DIPのモル比 (DIN / DIP比) の3ヶ月移動平均値の推移を図4に示した。震災前のDIN / DIP比は0.2~9.3で調査点や水深による変動幅が小さく、既報^{5,6)} とほぼ同様の範囲であった。震災後は変動幅が拡

大し、震災後1~2年目は2.0~27.3、震災後3~4年目は2.4~43.5の範囲となり、特に0m層ではレッドフィールド比 (N/P=16)⁷⁾ を大きく超える値が松岩・日向貝・大浦で頻繁に出現した。

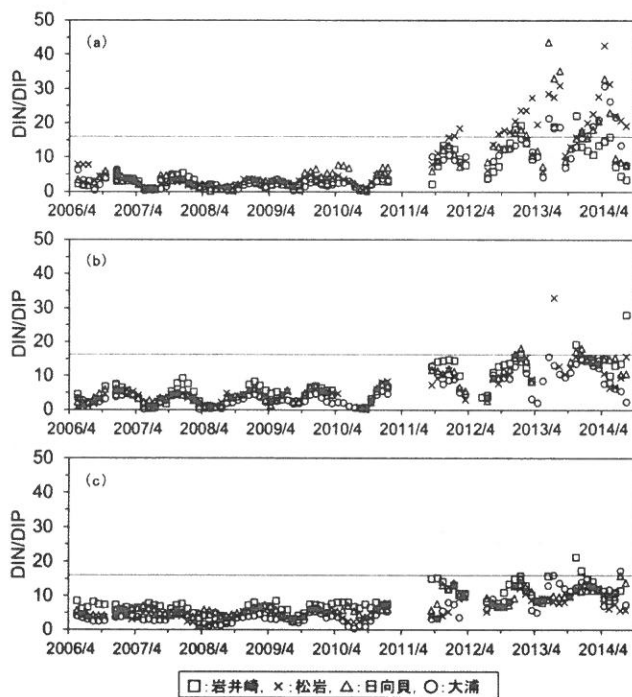


図 4 各調査点における DIN / DIP 比の推移
(a) : 0m 層, (b) : 5m 層, (c) : B-1m 層
図中の横線はレッドフィールド比 (N / P = 16)⁷⁾ を示す。

3 プランクトン沈殿量

各調査点におけるプランクトン沈殿量の3ヶ月移動平均値の推移を図5に示した。

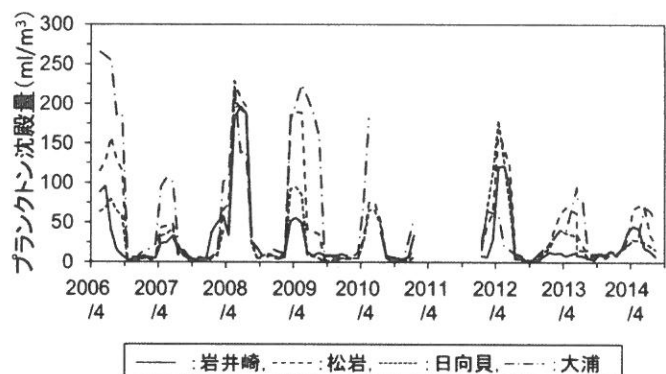


図 5 各調査点におけるプランクトン沈殿量 (3ヶ月移動平均値) の推移

震災前は1.0~265.2 ml/m³の範囲で推移し、年によって変動は見られるが各年の最高値は湾口部より湾奥部の調査点で高い傾向が認められた。震災後はやや減少し、1.6~179.7 ml/m³の範囲で推移した。各調査点の最高値は、

岩井崎・松岩・日向貝では2012年に120.8~179.7 ml/m³と震災前と同等に高い値を示したが、2013~2014年は大幅に低下し12.7~71.3 ml/m³の範囲となった。一方、大浦では2012年から低く推移し、震災後の最高値は65.1~94.6 ml/m³の範囲であった。季節的な変動は、震災前後を通じて春季に最高値を示した後、急激に減少する規則的な変化を示しており、プランクトン沈殿量の増加は冬季から春季にかけてのDIN・DIPの増加期および春季から秋季の水躍層形成期に対応していた。

4 DO・COD

各調査点におけるDOの推移を図6に示した。震災前の0m層では5.8~13.4 mg/l、5m層では3.2~14.8 mg/l、B-1m層では1.8~11.2 mg/lの範囲であったが、震災後はやや高く推移する傾向を示し、0m層が6.7~23.3 mg/l、5m層が4.1~15.1 mg/l、B-1m層では2.9~14.6 mg/lの範囲となった。季節的な変動は、震災前後を通じて極大値が冬季から春季、極小値が夏季から秋季にかけて出現する規則的な変化を示し、松岩・大浦では岩井崎・日向貝と比較して最高値と最低値の変動幅が大きい傾向にあった。松岩・大浦のB-1m層では、震災前の2006年4月から2011年2月まで

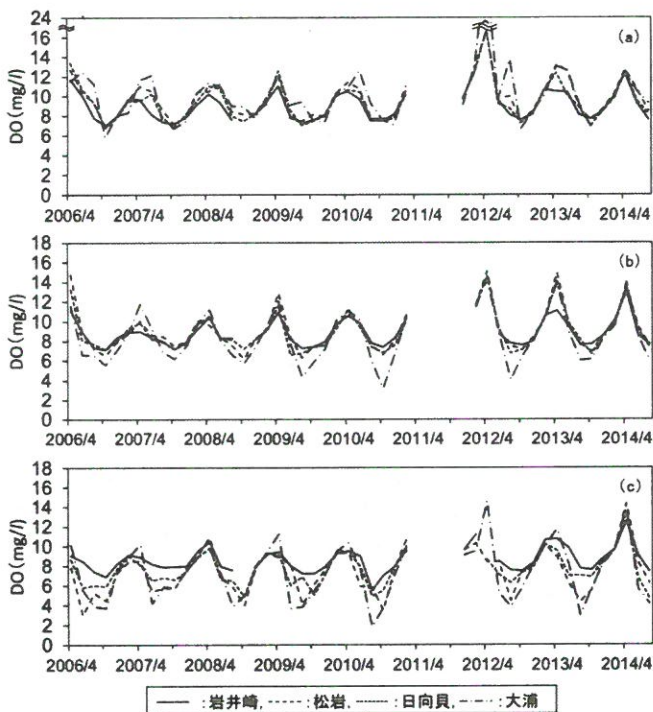


図6 各調査点におけるDOの推移
(a) : 0m層, (b) : 5m層, (c) : B-1m層

の期間のほぼ毎年、夏季に水産用水基準値（内湾夏季低層：4.3 mg/l）未満の値が認められたが、震災後の2011年12月以降、基準値未満となったのは大浦のみであった。

各調査点におけるCODの推移を図7に示した。震災前は、0m層・5m層でやや高く0~3.0 mg/l、B-1m層では0~1.9 mg/lの範囲で推移したが、震災後は震災前と比較して低く推移する傾向を示し、3.2 mg/lと値が高かった2012年8月の大浦の0m層を除くと、各層の値は0~1.3 mg/lの範囲にあった。季節的な変動は規則性がやや不明瞭であったが、震災前後を通じて夏季と冬季の年1~2回ピークとなる傾向が認められた。特に、0m層における夏季のCODの上昇は、プランクトン沈殿量の増加後に出現する傾向が認められた。

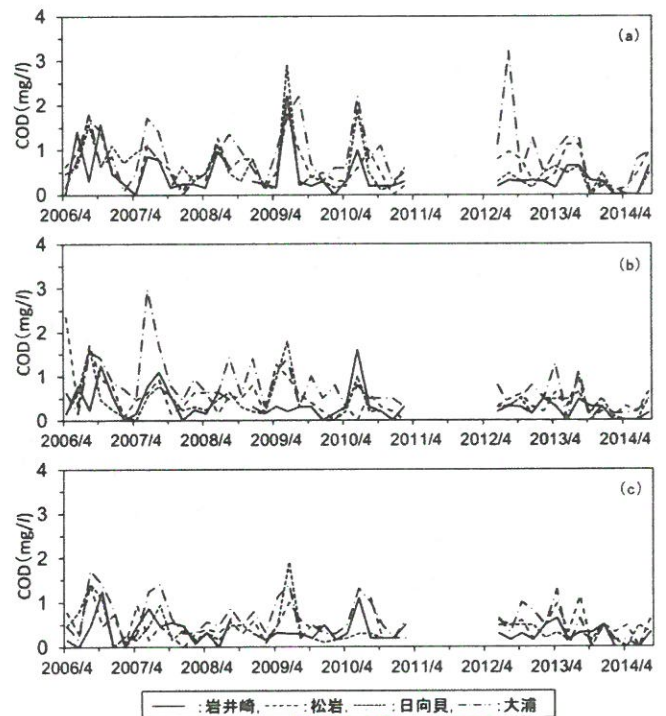


図7 各調査点におけるCODの推移
(a) : 0m層, (b) : 5m層, (c) : B-1m層

考 察

震災前後の気仙沼湾の水質を比較した結果、DIN・DIPにおいて顕著な変化が認められた。一般に、閉鎖性内湾域の栄養塩は、陸域からの供給や生物生産による消費、底土からの溶出、外洋水との収支が主な変動要因と考えられるが、このうち陸域からの供給については、震災後1

～2年目は0m層塩分の著しい低下が認められず、また DIN・DIPは震災前と比較して著しく低かったことから、陸域からの栄養塩供給が少なかったことが考えられる。震災後1～2年目の気仙沼市の降水量には震災前と比較して大きな差が認められなかったが、この時点では地盤沈下の影響や排水施設の復旧が進んでいなかったために雨水が陸上に滞留しやすかったと考えられ、海域への淡水流入および栄養塩供給が少なかったことが推察される。一方、震災後3～4年目には各調査点で0m層塩分の低下と DIN・DIPの増加が認められたが、これは被災した水産加工場の再開が徐々に進展したことや、災害廃棄物処理の完了、気仙沼終末処理場の再稼働など生活・産業基盤が復旧し始めたことによる排水の増加、市街地造成工事や漁港施設・海岸防潮堤の復旧工事の本格化等によって陸域からの淡水流入量が増加し、海域への栄養塩供給が大幅に増加したことが要因と推察される。震災後3～4年目は0m層でDIN/DIP比が上昇する傾向を示したが、これは大川河口域の河川水で2013年5月からNH₄-Nが急速に増加した一方で、PO₄-Pは震災後著しく低い状態であった⁸⁾ことから裏付けられるとおり、陸域から供給された栄養塩のDIN/DIP比が著しく高かったことによる影響と考えられた。このことは、DINが震災後1～2年目に各調査点、各層で大きく減少した後、震災後3～4年目に水深の深い岩井崎のB-1m層を除いて震災前以上に増加した一方で、DIPは各調査点、各層とも震災前より一貫して低かったこととも整合している。

生物生産による消費の影響については、DIN・DIPが震災前より低かった2012年においても、岩井崎・松岩・日向貝のプランクトン沈殿量は震災前と同等の水準であった。顕微鏡観察を行っていないためプランクトンネットによる採取物の詳細な組成は不明であるが、震災後の採取物には土砂等の懸濁物質や動植物プランクトン以外の異物は肉眼で認められなかったこと、プランクトンネットの目合いが95 μmで比較的大型のプランクトンが捕捉対象となることから、採取物は大型または連鎖を形成する珪藻やカイアシ類等のマクロ動物プランクトン^{5,6)}が主体であったと考えられる。2011年5月から気仙沼湾内で行われた調査でも、2012年春季には植物プランクトン細胞密度やクロロフィルa濃度の大幅な増加が確認されているが^{2,3,9)}、この時期の植物プランクトン発生量が多かった

のは、気仙沼湾の貝類養殖が本格的に復旧していなかったことにより、貝類による植物プランクトンの消費が少なかったことが要因と考えられる。また、2012年は大浦周辺で渦鞭毛藻 (*Heterocapsa triquetra*) の大発生による赤潮が頻繁に発生した²⁾。本調査では、震災後の大浦のプランクトン沈殿量は低かったが、これは*H.triquetra* がプランクトンネットの目合い (95 μm) より小さかったためにプランクトン沈殿量に反映されなかった一方で、渦鞭毛藻の大発生によって栄養塩が消費され、大型の珪藻が増加しにくい状況であったためと考えられる。このような植物プランクトンの大幅な増殖は、2012年春季に各調査点でDOが増加したことからも裏付けられ、陸域からの供給量が比較的少なかった栄養塩濃度がさらに低下したものと推察される。一方、震災後3～4年目にはDIN・DIPが大幅な増加傾向を示したにも関わらず、プランクトン沈殿量は震災後1～2年目と比較して低くなる傾向が認められた。日向貝および大浦周辺でも2013年春季のクロロフィルa濃度は2012年春季より低くなっており³⁾、また各調査点のCODにも低下傾向が認められたことから、震災後3～4年目には植物プランクトンの増殖が低下傾向にあったことが推察される。この要因としては、気仙沼湾における2013年のマガキ養殖生産量が震災前 (2010年) の約8割^{10,11)}に達していることから、貝類養殖業の復旧が進み、貝類による植物プランクトンの消費が増大したことが考えられる。さらに、植物プランクトン現存量が減少したことによって栄養塩消費量が減少し、陸域からの栄養塩供給が増加した影響も重なり、震災後3～4年目のDIN・DIPが増加したものと考えられる。

底土からの溶出については、大津波によって気仙沼湾の海底が大規模に攪乱されたことで底層の環境が劇的に変化し、海水中の栄養塩濃度にも影響を及ぼした可能性が考えられる。内湾の夏季底層では、成層化による酸素供給の減少や高水温、分解層の発達でDOが減少し⁶⁾、還元状態となることで底土からNH₄-NやPO₄-Pの溶出が促進される¹²⁻¹⁵⁾。B-1m層におけるDOとNH₄-NおよびPO₄-Pの3ヶ月移動平均値の推移を見ると (図8)、岩井崎ではDOとNH₄-NおよびPO₄-Pの増減がほぼ同調しながら推移したが、松岩・日向貝・大浦ではDOが低下する夏季にNH₄-N・PO₄-Pが増加、DOが増加する冬季にNH₄-N・PO₄-Pが減少する傾向を示しており、内湾部では、震災前後を

通じて、夏季底層のDOの低下によって底土から $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ が溶出し、海水中のDIN・DIPの増加に寄与していたことが示唆された。なお、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出量はDOの減少や水温の上昇に伴って増加することが報告されているが¹⁵⁾、調査期間中のB-1m層のDOや水温には、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出量を著しく増減させるような著しい変化は認められず、震災前後のDIN・DIPの変化に対する底土からの溶出の影響は比較的小さかったものと推察された。ただし、気仙沼湾の海底は大津波によって2~7m洗掘されたことが報告されており¹⁶⁾、これは従来報告されている水質に影響を及ぼすとされる底土の厚さ(2cm¹⁷⁾から3cm程度¹⁵⁾と比較して桁違いに大きい。このため、底土と海水中の栄養塩の動態が震災を境に大きく変化した可能性があり、今後、底土に関する調査結果も含めた検討を行う必要がある。

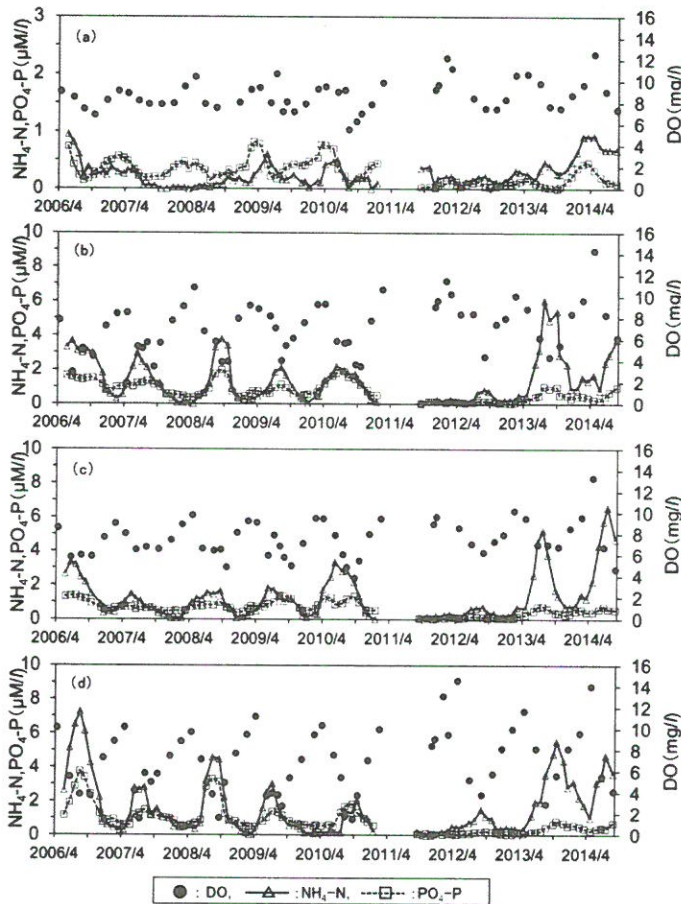


図8 B-1m層におけるDOと $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{PO}_4\text{-P}$ (3ヶ月移動平均値)の推移
(a):岩井崎, (b):松岩, (c):日向貝, (d):大浦

次に、外洋水の影響について考察する。震災前後で概

観すると、岩井崎におけるDIN・DIPの変化は松岩・日向貝・大浦と同様の傾向が認められ、陸域からの栄養塩供給や植物プランクトン現存量の減少による影響が湾口部まで及んでいたことが推察された。ただし、岩井崎では親潮や津軽暖流をはじめとする外洋水の波及が栄養塩濃度に影響を及ぼしていた可能性もあることから、DIN・DIPの変化と海況条件との関連について調べるため、Hanawa and Mitsudera¹⁸⁾に基づいて冬季の水系分類を試みた(図9)。使用したのは、2006年・2011年・2013年の各年12月から翌年4月における5m層・B-1m層の水温・塩分の平均値である。これらの各時期のうち、2007年3月は冬季最低水温(3ヶ月移動平均値)が調査期間中で最も高かった年、2012年3月は同じく冬季最低水温が最も低く、かつDIN・DIPが低かった年、2014年3月はDIN・DIPが高かった年である。水系分類の結果、2012年3月は親潮水系、2007年3月と2014年3月は親潮水系と沿岸表層水系のほぼ境界付近に分類された。

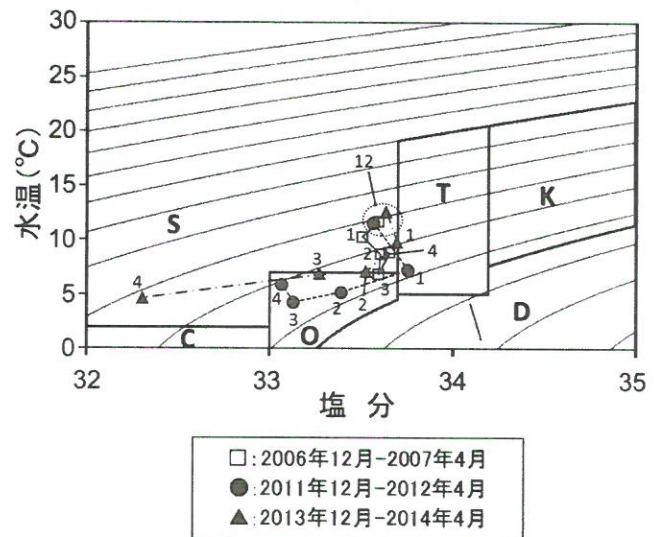


図9 岩井崎の水温、塩分データによるTSダイアグラム
図中のアルファベットはHanawa and Mitsudera¹⁸⁾による水系区分(T:津軽暖流水系, O:親潮水系, K:黒潮水系, D:底層冷水系, S:沿岸表層水系, C:沿岸親潮水系), 数字は月を示す。

三陸沿岸域では親潮の波及に伴う直接的な栄養塩供給や鉛直混合の促進によって冬季から春季の栄養塩濃度が増加することが報告されているが¹⁹⁾、2012年3月のDIN・DIPは低く、親潮の波及に伴う栄養塩濃度の増加は認められなかった。また、2007年3月および2014年3月の水系分

類には明らかな違いはなかったが2カ年のDIN・DIPは大きく異なっていたことから、今回検証した限りでは、外洋水の波及と栄養塩濃度の間に明確な関連が認められなかった。ただし、岩井崎のDIN・DIPの変動傾向は、震災後1～2年目が震災前と比較して低く、震災後3～4年目に大幅に増加した点で内湾部の調査点と共通しており、これは潮汐や外洋水の流入による内湾部と湾口部の海水交換など調査点の海域特性が密接に関連している可能性があると考えられ、今後は海水流動など物理的な面からも検討する必要があると考えられる。

本研究では、気仙沼湾の水質調査結果から震災後の水質変化の要因について検討したが、今回対象とした期間ではクロロフィルa濃度や植物プランクトンの種組成に関するデータがほとんどなく、長期的な一次生産の動向について不明な部分が多い。今後、気仙沼湾の養殖業を発展的に復興していく上では、震災後の漁場の水質を引き続き調査していくとともに、海水流動や底土の状況、一次生産等を含めた包括的な漁場環境のモニタリングを行っていく必要があると考えられる。

要 約

2006年4月から2014年9月における気仙沼湾の水質調査結果を用いて、気仙沼湾湾口部の岩井崎、内湾部の松岩・日向貝、湾奥部の大浦における東日本大震災前後の水質を比較した。

- 1) 水温は震災前後で顕著な変化は認められなかった。塩分は、震災前のほぼ毎年、松岩・日向貝・大浦の夏季0m層で河川水の影響と考えられる塩分低下が認めら

れたが、震災後1～2年はこの塩分低下は弱まった。透明度は、大浦では震災前後で明らかな変化は認められなかったが、岩井崎・松岩・日向貝では震災前と比較して震災後がやや低く推移する傾向が認められた。

- 2) DINは、震災前と比較して震災後1～2年目は低く推移した後、震災後3～4年目は震災前と同等または震災前より高い値を示した。一方、震災後のDIPは震災前と比較して低い値で推移した。DIN/DIP比は、震災前と比較して震災後は高い傾向を示した。
- 3) プランクトン沈殿量は、震災後1～2年目は震災前とほぼ同等の値が認められたが、震災後3～4年目は大幅に低下する傾向を示した。DOは震災前と比較して震災後はやや高く、CODは震災後やや低く推移する傾向を示した。
- 4) 震災後のDIN・DIPに大きな変化をもたらした要因としては陸域からの栄養塩供給やプランクトンの増殖に伴う栄養塩消費の影響が大きかったと考えられた。

謝 辞

東日本大震災後の調査に御協力いただいた宮城県漁業協同組合唐桑支所および気仙沼地区支所ならびに漁業関係者の方々に厚くお礼申し上げます。また、調査データの評価に関して有益な御助言をいただいた東北大学大学院農学研究科准教授 高橋大介博士に感謝申し上げます。永年にわたり気仙沼湾の水質調査に携わってこられた宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場の歴代担当職員諸氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 東日本大震災災害復旧に係る漁業・養殖業再開のための緊急環境調査結果。(宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場, <http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/89364.pdf>, 2011年7月)
- 2) 西谷豪・山本光夫・夏池真史・劉丹・吉永郁生 (2012) 気仙沼舞根湾の植物プランクトンの動態. 海洋と生物, **34** (6), 545-555.
- 3) 山本光夫・劉丹・長坂翔子・横山勝英 (2013) 気仙沼舞根湾海域における水質の推移. 海洋と生物, **35** (6), 547-553.
- 4) 日本水産資源保護協会 (1980) 水質分析法. 新編水質汚濁調査指針, 133-235, 東京, 恒星社厚生閣, 552pp.
- 5) 伊藤博・藤田則孝・千葉充子 (2005) 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の変遷. 宮城水産研報, **5**, 27-35.

- 6) 伊藤博・藤田則孝・千葉充子 (2006) 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の季節変動. 宮城水産研報, **6**, 51-57.
- 7) Redfield, A. C., B. H. Ketchum, and F. A. Richards (1963) The influence of organisms on the composition of seawater. In: The Sea (ed. M. N. Hill), vol. 2, 26-77. New York, Inter Science.
- 8) 福島慶太郎・米田聡美・鈴木伸弥・日高渉 (2013) 気仙沼湾流入河川における森から海までの水質形成. 海洋と生物, **35** (6), 554-560.
- 9) 山本光夫・横山勝英・吉永郁生 (2012) 気仙沼舞根湾における重金属類と流出油の水質・底質への影響. 海洋と生物, **34** (6), 538-544.
- 10) 気仙沼市 (2012) 気仙沼の水産, 平成23年版, 46pp, 気仙沼市産業部水産課.
- 11) 気仙沼市 (2014) 気仙沼の水産, 平成26年版, 62pp, 気仙沼市産業部水産課.
- 12) 石谷哲寛・郡山益実・荒木啓輔 (2012) 有明海奥部における海水中の栄養塩濃度の季節変化について. 佐賀大農彙, **97**, 19-26.
- 13) 伊藤博 (2008) 気仙沼湾における貧酸素水の発生状況と底質の経年変化. 宮城水産研報, **8**, 41-48.
- 14) 郡山益実・荒木啓輔・伊藤祐二・片野俊也・石谷哲寛 (2012) 有明海奥部底泥における栄養塩フラックスの季節変化. 土木学会論文集B2 (海岸工学), **68** (2), I_1056-I_1060.
- 15) 白柳康夫・大矢正代 (1991) 横浜港底質からのリン, 窒素の溶出—溶存酸素濃度と温度の影響—. 横浜市公害研究所報, **15**, 57-66.
- 16) 秋元和實・滝川清・矢北孝一・外村隆臣・滝野義幸 (2012) 音響解析による気仙沼湾における津波襲来後の海中環境と堆積物分布特性の把握. 土木学会論文集B3 (海洋開発), **68** (2), I_180-I_185.
- 17) 鈴木昌弘・國分治代・伊藤学 (2003) 東京湾における堆積物—海水間のリンの挙動. 海の研究, **12** (5), 501-516.
- 18) Hanawa, K. and H. Mitsudera (1987) Variation of water system distribution in the Sanriku coastal area. Journal of the Oceanographical society of Japan, **42**, 435-446.
- 19) 澤田明利・早川康博 (1997) 越喜来湾における栄養塩類の平均的季節変化と経年変化. 日水誌, **63**(2), 152-159.