

東日本大震災および復興事業が塩業基盤をなす 沿岸環境や海洋資源に及ぼす影響の評価

佐藤 周之¹, 角田 出², 佐藤 利夫³

¹高知大学教育研究部, ²石巻専修大学理工学部, ³島根大学生物資源科学部

概要 本研究課題では、まず東日本大震災による沿岸浅海域の環境、生物資源および産業に及ぼした影響に関する既往の知見を収集し、被害の実態ならびに沿岸海域の復旧・復興事業に伴う変遷についての整理を行った。続いて、災害復興・対策事業が沿岸浅海域の水質ならびに生態環境に及ぼしている現況を評価することを目的とし、宮城県志津川湾、男鹿半島万石浦、石巻湾(蛤浜から福貴浦付近)までを対象として、微小生物環境およびそこに生息している魚類のストレス状態、藻類の生育状況を評価した。

文献調査の結果、重要と考えられた点は以下の二点である。一点は、沿岸の底質のうち、岩礁地帯よりも干潟や砂質地帯のほうが津波被害を大きく受け、回復にいたるまでの時間を要するという知見である。もう一点は、東日本大震災の被害を受けた沿岸浅海域に関する震災以前の環境および生態学的な科学データが十分でなく、データ蓄積の重要性である。今後、本震災と同様に津波被害を伴うと予想される地域においては、本震災が沿岸浅海域に及ぼした影響を科学的データとして整理し、各種復旧工事計画や自然環境修復計画の立案に繋げることが、環境の復元のみならず沿岸浅海域の生物資源を利用した産業の復旧・復興を具体化するうえで重要と考えられた。

既往の研究結果と同様、本調査の結果からも、湾によって震災の影響の受け方が異なり、重金属をはじめとする各種有害物質の濃度に違いが確認できた。魚類による生物濃縮の可能性については、湾による違いは確認できなかったが、今後継続して確認をする必要があると考えられた。

海水中の細菌叢については、海域により多少の差はあるものの、全菌数は 10^5 cells/mL、従属栄養性の生細菌数は 10^3 CFU/mL のオーダーであった。また、海水中の従属栄養性細菌の組成には、海域、表層と底層、季節による顕著な違いは確認できなかった。海藻の生育状況は、新規堤防建設工事現場付近ではあまりよくなかった。

復旧工事等に伴う魚類へのストレスなどを評価した結果、工事に伴う海水中の微粒子等が同所の魚の鰓に軽度の機能障害を惹起している可能性が示唆された。しかしながら、魚の血液中の主要なストレスホルモンからは、急性、亜急性から慢性的な全身的な高ストレス負荷状態下には置かれていないと推測できた。また、魚の肝臓のグリコーゲンや脂質量に異常な現象は確認できなかったことから、環境汚染に起因する顕著な変化は認められなかった。したがって、同海域の魚はエネルギー不足に陥ることなく、正常なストレス応答を示し得る状態であることが分かった。

本研究の結果から、震災および災害復旧事業が水質、藻類の生育、沿岸浅海域の微小生物生態、魚類の生理指標に及ぼす影響の一部を明らかにすることができた。本研究をさらに発展させていくことが、今後の大地震への対策として重要である。

1. 研究目的

2011年3月の東日本大震災は三陸沿岸域に大きな爪痕を残した。宮城県沿岸域においても、地震の激しい揺

れによる建築物の崩壊や土砂崩れ、地盤沈下に加え、直後に発生した津波によって、多くの命が奪われたほか、沿岸域の構造物の崩壊、陸域への海水の浸入、海底泥の

巻揚げや陸域への輸送、陸域からの様々な物質の流出、放射性物質の飛散等が引き起こされ、甚大な被害が生じている。

一方、近年の各種復興に向けた箱モノ建設事業に加え、防潮堤の建設、地盤沈下が生じた地域での広域嵩上げ工事、港の整備、高台への移転等を含めた国土強靱化施策に伴う沿岸域の施設整備事業は増加している。これらの事業は、社会基盤の再構築・機能向上、将来に渡る人間の安全な生活環境の確保に有用である半面、大量のコンクリートや土砂資材の沿岸浅海域への投入により、震災後に回復基調にあった沿岸環境が新たな改変を受ける可能性も無視できない。

このような災害対策事業が沿岸海域の環境に及ぼす影響は、東北地方太平洋沿岸に限らず、将来予測として最大規模の津波高さが想定されている連動型東南海地震が危惧される中南部太平洋沿岸域や、日本の大型製塩工場が多く集まる瀬戸内海沿岸部においても同様に懸念されるものである。そこで、本研究では、まず東日本大震災による沿岸浅海域の環境・生物資源、そして産業に及ぼす影響を整理することを目的とした。すなわち、災害復興・対策事業が沿岸浅海域の水質ならびに生態環境に及ぼす影響を明確にし、影響軽減に有効な方策を探るための基礎となる知見を集約した。つづいて、災害復興・対策事業が沿岸浅海域の水質ならびに生態環境に及ぼす影響を明確にし、影響軽減に有効な方策を探るための基礎知見を得ることを目的として、東日本大震災の復旧事業として港の整備や防潮堤の建設が大規模かつ急ピッチで進められている宮城県の志津川湾と、過去にわずかな土木工事が行われたり、今後土木工事が行われる可能性は排除できないもののその規模は小さいと考えられたりする同県牡鹿半島の付け根付近にある万石浦、同牡鹿半島中部南側(石巻湾)の沿岸域を調査対象として選び、両沿岸海域の微小生物環境およびそこに生息している魚類のストレス状態を調べるとともに、目視による藻類の生育状況の確認を行った。なお、本研究を遂行する上で適した生物として、シロメバル(*Sebastes cheni*)を選択した。その理由は、以下の通りである：(1)沿岸域に根着いて生息しているため、陸域由来の汚染に曝露されている可能性がある。(2)多毛類、甲殻類、魚類などの高次生物を餌としているため、生物濃縮が起こりやすい。(3)水産資源とし

て有用であり、高値(稚魚1尾あたり50円、成魚1kgあたり1,000円程度)で取引されている。

2. 研究方法

上記目的を達成する方法として、本課題では以下の二つに分け、課題解決を進めることとした。

2.1 レベルⅡ地震動および津波等が沿岸浅海域の環境に及ぼす影響の整理

東日本大震災が水質環境ならびに生態環境に及ぼした影響に関する知見の集積を図った。とくに、震災前と震災直後から現在までに分けて整理をすることが重要である。震災直後から現在までの間に、沿岸浅海域の環境および生態系の変化についての調査・研究報告が数多く為されている。しかし、時間軸を追った体系だった整理がなければ、これら情報の有効利活用は困難である。また、福島原発問題や海洋汚染は注目されがちであるが、広大な東北沿岸域の普遍的な沿岸環境の変遷を切り口とした整理は、将来の津波被害を伴うような大震災後の復旧計画を探るうえで非常に重要となる。

本課題で調査を実施する地区として、東北沿岸地域でも塩釜、石巻万石浦から牡鹿半島付け根部分等を中心に設定したが、文献調査では広く東北沿岸域における震災被害、津波被害ならびに復旧事業等が沿岸浅海域の環境に及ぼす影響に関する文献を収集し、これら地域における環境(水質および生態環境等)の変化をまとめた。一方、将来の大規模地震が想定される高知県土佐湾沿岸において、沿岸浅海域の環境および生態系に係る調査・研究結果に関する情報を収集した。

2.2 海水、底泥および生物(魚類)試料の採取

海水試料の採取は、夏季(8~9月)および冬季(11~12月)の年2回、宮城県沿岸域の牡鹿半島付け根付近に位置する万石浦、同牡鹿半島中部南側(石巻湾:蛤浜から福貴浦付近)、および、志津川湾の沿岸域で行った(Fig. 1)。同海域において、季節毎に3回、表層(表層水:表面~50cm)および底層(底層水:海底~50cm)より、バンドーン採水器あるいはウォーターサンプラーWS(ケニス株式会社製)を用いて行った。

生物試料については、釣りによって1または2歳のシロメバル(*Sebastes cheni*)を捕獲した(体重70-120g)が、冬季には万石浦と石巻湾でのみ試料採集が可能であった。



Fig. 1. 宮城県沿岸域における調査・試料採取海域

底泥に関しては、冬季のみであるが、両沿岸海域の3地点より、3ヶ所ずつパイプ穿刺およびエッグマン採泥器を用いて泥を採取し、混合・均一化して、その海域の試料とした。

2.3 海水中の微生物の調査

採取した海水は、その場で、水温、pH (LAQUAtwin B-212 ; HORIBA 社製)、溶存酸素濃度 (DO-24P ; 東亜ディーケーケー社製) を測定した後、冷蔵しつつ、研究室に持ち帰り、微生物の調査に用いた。すなわち、光学顕微鏡下で微生物の数と組成の観察を行うと(表層海水のみ)ともに、孔径 1 μm のガラスフィルター濾過後に、常法による一般水質(全窒素、全りん、 COD_{OH})および重金属濃度(後述)の分析、Zobell 2216E 培地を用いた平板培養(20 $^{\circ}\text{C}$)による生菌数の検出を行った。なお、生菌については、常法に準じて菌組成を調べた。また、グルタルアルデヒドで固定した同試料を孔径 0.2 μm のポリカー

ボネイトフィルター (ADVANTECH 社製) で濾過し、フィルター上に捕獲された細菌を DAPI 染色して蛍光顕微鏡下で計測し、全細菌数を求めた。

2.4 魚類の生理指標の測定

釣りにより捕獲した魚は、直ちにヘパリンナトリウム(和光社製)溶液で処理したシリンジを用いて、尾部血管から採血を行った。採血した血液は冷蔵して持ち帰った後、3,000 g で 10 分間遠心して、血漿分画を得た。また、魚体は、氷冷しながら持ち帰った後、肝臓と鰓を採取した。血漿および採取した組織は、それぞれ、各種分析に供するまで、 -80°C で保存した。

魚類の生理指標として、血漿中のコルチゾル濃度 (Cortisol ELISA Kit : Neogen 社製)、および、グルコース濃度(グルコース CII・テストワコー : 和光社製) を測定するとともに、肝臓中のグリコーゲン(アンスロン硫酸法) と脂質含量 (Folch 法による抽出後、リン酸バナリン法) に加え、

下記に示す方法により、肝臓と鰓の分子量 70,000 の熱ショックタンパク質(Heat shock protein 70 : Hsp70)含有量を求めた。なお、血中コルチゾール濃度や組織中に含まれる Hsp70 含量は、ストレスの指標として広く用いられているものである。また、肝臓のグリコーゲンと脂質量は、エネルギー蓄積の指標として良く使用されているものである。

肝臓および鰓の Hsp70 含量は、組織の 9 倍量の抽出用緩衝液(1% SDS, 1%メルカプトエタノール, 20%グリセリン, 0.25 mg/mL EDTA, 1 µg/mL アプロチニン, 50 mM Tris-HCl 緩衝液 pH 7.4)を加えて、ドリル型ホモジナイザーで均一化後に、試料を 4°C、12,000 g で、15 分間遠心分離し、上清のタンパク質量を Bradford 法により定量して、試料のタンパク質濃度を揃え、SDS 処理した後に、ゲル濃度 10%のプレキャストゲル(ATTO 社製)を用いて SDS-PAGE(40 mA, 70 分間の電気泳動)を行った。電気泳動終了後、取り出したゲルから Polyvinylidene difluoride (PVDF)メンブレンにタンパク質を転写し、ブロッキング操作を行った後、一次抗体として Monoclonal Anti-Heat Shock Protein 70 antibody (マウス由来 : SIGMA-ALDRICH 社製)を、二次抗体として Anti-Mouse IgG (whole molecule) Alkaline Phosphatase (ヤギ由来 : SIGMA-ALDRICH 社製)を用いて反応・発色させ、よく洗浄と乾燥処理を行った後、バンドをスキャナーで取り込み、画像解析ソフト(image-J)を用いてバンドの濃さ(ピーク面積)を測定し、Hsp70 の標準品(Human Recombinant Expressed in E. Coli : SIGMA-ALDRICH 社製)との比によって、組織中の Hsp70 含量(相対値)を算出した。ただし、魚類では Hsp70 標準品の直上にバンドが現れるため、分子量マーカーの位置から Hsp72(Hsp70 ファミリーに属する)として扱った。

2.5 海水、底泥(溶出分)、魚類肝臓中の重金属含有量の測定

海水は、孔径 1 µm のガラス繊維フィルターを用いてろ過したものを試料とした。海底泥に関しては、泥重量の 9 倍量の 0.1 N 塩酸を添加して、6 時間の振盪処理を行い、溶出してきた重金属を含む溶液を孔径 0.45 µm のフィルターでろ過したものを試料とした。また、魚類の肝臓は、110°Cで乾燥したものを電気炉で加熱(560°C)して灰化し、同灰化物を硝酸と過塩素酸を 10:1 に混合した液で溶解したものを重金属分析用試料とした。これらの環境および生

物試料中の銅(Cu)、鉄(Fe)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)の濃度は、誘導結合プラズマ発光分析装置(ICP)を用いて定量した。

2.6 沿岸域における大型藻類の目視調査

海水、底泥、魚試料を採取した海域付近の大型藻類(海藻)を目視にて、種類および繁茂状況を観察した。

2.7 統計

値を平均値と標準偏差で表した。統計処理は、JMP(米国 SAS インスティテュート社, バージョン 5)を使用し、分析を行った。交互作用があったものは、最小 2 乗平均差の Tukey の検定にかけて比較を行った。危険率 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

3. 研究結果

3.1 東日本大震災が東北沿岸の環境・生物資源に及ぼした影響

本震災は稀に見る未曾有の大災害であり、震災直後から配信された様々な報道や被災状況の報告から、海洋環境の悪化や沿岸域に生態史を持つすべての生物に甚大な影響が出ることが懸念された。本研究課題では、とくに地震動、津波の影響に加え、現在も進行中の各種復旧工事が沿岸浅海域の環境および生物資源に及ぼす影響を整理することを目的として、以下のように課題を分類した。

- ① 津波による物理的攪乱が沿岸浅海域の生態系に及ぼした影響
 - ② 津波、地震後の地盤沈下や海底地形の変化が沿岸の各種動物に及ぼした影響
 - ③ 陸上からの瓦礫や化学物質の流入が沿岸浅海域の水質に及ぼした影響
 - ④ 各種復旧工事が沿岸生態系へ新たに及ぼした影響
- これら 4 項目について整理した結果を以下にまとめる。

3.1.1 津波による物理的攪乱が沿岸浅海域の海藻類に及ぼした影響

津波による沿岸浅海域の生態系への被害は、マクロ的に俯瞰すると湾によって大きく異なることが報告されており、その要因は沿岸域の海底の形状や底質の種類、到達した津波エネルギー(高さ)の違いなどである。一方、津波による海岸の物理的攪乱の影響の度合いは、海岸の底質によって大きく異なることが報告されている。

沿岸の底質のうち、岩礁帯ではコンブ、アラメ、アカモク

などの岩礁性の根付き海藻が繁茂する。松島湾内のアカモクについては、2007年6月と2013年6月の比較データから、震災後に繁殖面積の減少が見られたことが報告されている¹⁾。しかし、アラメに関する玉置らの報告では、男鹿半島東岸における2008年6月と2011年7月の比較調査結果から、津波による影響はほとんどなかったことが明らかにされている²⁾。また、ワカメとコンブでは、両者ともに分布密度が小さくなっているが、コンブの分布量の大幅な減少も報告されている³⁾。一方、干潟に代表される砂泥質の潮間帯を底質とする東日本の沿岸域では、津波により生育していた藻場が消失するのみでなく、生育基盤そのものから根こそぎ破壊されたことが報告されている⁴⁻⁵⁾。したがって、砂泥質の基盤が回復しなければ、アマモの回復は期待できない。現在は、津波のような大規模な攪乱後の回復についての調査が進められている状況である。

3. 1. 2 津波、地震後の地盤沈下や海底地形の変化が沿岸の各種動物に及ぼした影響

男鹿半島東岸では、地震にともなう岩盤の沈下により水深が1 m程度深くなっていること、津波によって砂浜や干潟が破壊された宮城県石巻の海岸では、津波の引き波によって砂泥質の潮間帯が失われたこともあり、0.8 mの地盤の低下が報告されている²⁾。岩礁帯の生物の影響としては、沿岸域のウニ類(キタムラサキウニ)の激減が報告されているが、エゾアワビについては海域の違いによって増減両者の報告がある²⁻³⁾。いずれにせよ、前項で述べた岩礁帯の根付き藻類の減少がこれら動物類の生息数に影響したと考えられている。

一方、干潟や砂泥質地帯の動物では、アサリの減少と稚貝の回復が報告されているが、アサリ個体数の減少は基礎となる地盤の津波による流出の影響と結論付けられている²⁻⁶⁾。また、沖合に生息する生物資源に対しては、たとえばキツネメバルやミズダコの資源診断を行った結果、津波の直接的な被害は小さかったことが報告されている³⁾。

3. 1. 3 東日本大震災が沿岸浅海域の水質に及ぼした影響

震災直後から懸念された問題の一つに水質の悪化がある。西村は、津波により機能を停止した下水処理場の処理能力の回復と、放流水が流入する松島湾の水質の関係について調査を行った。その結果、下水処理場の機能

が回復するまでは大腸菌群数などの各種水質指標が水質の大幅な悪化を示したのに対し、下水処理施設の機能回復後は健全な水環境に戻ったことを報告している⁷⁾。

震災後に岩手県宮古湾や岩手県釜石湾の水質に注目し、栄養塩の変化についての報告を見てみると、釜石湾では水質の季節的変動の傾向は震災前後で大きな違いはないこと、震災前に建造された湾口防波堤が破壊されたことにより、湾内の水交換能が変化し、湾外と湾内の水質差が小さくなったことなどが報告されている⁸⁻⁹⁾。これら報告での共通点としては、比較すべき過去(震災前)のデータ量が少ないこと、であった。

山本らは気仙沼湾と舞根湾を対象とし、両湾に流入した様々な瓦礫由来の有害物質に焦点を当てた調査結果を報告している¹⁰⁾。調査の結果、気仙沼の海水および底質中の各種有害物質の濃度は、震災発生直後から徐々に減少傾向を示したこと、一年経過後には環境基準値以下となったが報告されている。本報告からは、湾をはじめとする海域では、水質の年変動を考慮する必要性が述べられており、震災後の一年以上を通じた継続的なモニタリングが重要である、とまとめている。

3. 1. 4 各種復旧工事が沿岸生態系へ新たに及ぼした影響

現在までに、特定の復旧工事が沿岸生態系に影響を及ぼした、という報告は確認できなかったが、いくつかの報告には復旧工事によって生じるであろうリスクと留意点について提言があった。そのいくつかを取り上げると、鈴木は、「生態系サービス」を維持するうえでは本来存在した干潟と底生動物、さらにその上位の動物類のつながりを再構築することの重要性を説明し、各種復旧工事で底生動物の種多様性の高い場所を失わないようにしなければならない、としている¹¹⁾。渋谷らおよび島田らは、津波による攪乱は海と陸の境界部で強く起こっており、陸域と水域の移行帯(エコトーン)に注目した調査を実施し、具体的な保全対策を提案している^{12,13)}。

3. 2 本研究で対象とした沿岸の水質、細菌数、魚類の各種指標の調査結果

Table 1に万石浦、石巻湾、および、志津川湾の表層と底層海水の一般水質および重金属濃度を示す。水温は、夏季には24~27°Cで、表層は底層に比べて1~2°C高く、冬季では、13~15°Cで、表層は底層に比べて1°C程低か

った。各海域のpHは8.1~8.2であった。溶存酸素濃度は7.9~9.4 mg/Lで、底層は表層に比べて0.1~0.7 mg/L程低いことが多かった。CODは0.38~0.65 mg/Lの範囲であった。全窒素は0.58~0.83 mg/Lで、冬季の志津川湾でやや高めの値となった。全りんは0.035~0.082 mg/Lで、冬季の万石浦で高めの値となった。海水中の重金属濃度では、各海域とも、夏季と冬季を通してCd濃度は低く、また、CdやCuに顕著な海域差や季節差はみられなかった。ただし、夏季と冬季ともに、石巻湾の底層、志津川湾の表層と底層に高いZn濃度がみつかったほか、夏季の石巻湾表層および冬季の石巻湾底層や志津川湾の表層と底層から高いFe濃度が検出された。

Table 2に万石浦、石巻湾、および、志津川湾の表層における微小生物の出現状況を示す。植物プランクトンは、万石浦に多く、ついで志津川湾で、石巻湾の値(蛍光量)が最も低かった。各測点の動物プランクトン現存量(個体

数密度)は570~11,000 個体/m³で、万石浦に最も高い数字がみられ、続いて志津川湾で、石巻湾の値は1/15程度と低かった。この傾向は植物プランクトン量(蛍光量)と類似した。また、出現した動物プランクトンは、カイアシ類、フジツボ類の幼生、端脚類、二枚貝幼生、腹足類幼生、多毛類幼生、ヤムシ類、尾虫類、仔魚等で、最優占種はカイアシ類(動物プランクトンの90%以上を占有)であった。

Table 3に万石浦、石巻湾、および、志津川湾の底泥の重金属含有量(酸溶出される重金属量)を示す。Cdは、万石浦と志津川湾で0.2 mg/g乾重量程度、石巻湾では0.1 mg/g乾重量以下であった。Cuは、万石浦が最大値(約16 mg/g乾重量)となり、石巻湾と志津川湾では、2~3 mg/g乾重量程度であった。Feは、万石浦と志津川湾で高く(400~550 mg/g乾重量)、石巻湾ではその半分程度の値であった。Znは、万石浦で約30 mg/g乾重量と高く、志津川湾はその半分、石巻湾は同1/5程度の値であった。

Table 1. 万石浦、石巻湾、志津川湾の表層と底層海水の一般水質および重金属濃度

	Summer						Winter					
	M (s)	M (b)	I (s)	I (b)	S (s)	S (b)	M (s)	M (b)	I (s)	I (b)	S (s)	S (b)
Temperature (°C)	27	25	25	24	26	24	14	15	15	15	13	14
pH	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2
DO (mg/L)	9.4	8.6	8.7	8.2	8.6	7.9	9.3	9.1	8.6	8.8	8.7	8.3
COD _{OH} (mg/L)	0.65	0.50	0.40	0.48	0.50	0.63	0.46	0.38	0.54	0.49	0.42	0.56
Total-N (mg/L)	0.58	0.59	0.68	0.76	0.61	0.60	0.63	0.66	0.63	0.61	0.80	0.83
Total-P (mg/L)	0.036	0.049	0.035	0.045	0.040	0.040	0.078	0.082	0.056	0.057	0.048	0.054
Heavy metal (μg/L)												
Cd	0.012	0.012	0.014	0.014	0.012	0.012	0.010	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
Cu	0.068	0.060	0.082	0.072	0.074	0.060	0.062	0.048	0.062	0.076	0.062	0.072
Fe	0.030	0.018	0.166	0.028	0.060	0.020	0.034	0.078	0.040	0.132	0.232	0.094
Zn	0.060	0.054	0.032	0.248	0.272	0.128	0.034	0.126	0.070	0.226	0.344	0.128

M ; Mangokuura, I ; Ishinomaki-bay, S ; Shidzugawa-bay, (s) ; surface zone, (b) bottom zone

Table 2. 万石浦、石巻湾、志津川湾の表層における微小生物の出現状況

	(A.U.)	Summer			Winter		
		M	I	S	M	I	S
Phytoplankton	(A.U.)	2.4	0.5	2.2	1.6	0.9	1.2
Zooplankton	(individuals/m ³)	9889	569	3717	11084	796	2563
Copepod	(individuals/m ³)	9230	527	3528	10650	740	2430
small crustaceans without copepod	(individuals/m ³)	502	24	106	204	6	84
gelatinous zooplankton	(individuals/m ³)	34	13	36	122	42	21
Benthos larva	(individuals/m ³)	120	4	42	106	8	26
Others (small larva etc.)	(individuals/m ³)	3	1	5	2	0	2

M ; Mangokuura, I ; Ishinomaki-bay, S ; Shidzugawa-bay

Table 3. 万石浦、石巻湾、志津川湾の底泥の重金属含有量

	Cd*	Cu*	Fe*	Zn*
M	0.172	15.8	435	30.5
I	0.061	1.8	257	5.6
S	0.205	3.1	541	14.0

M ; Mangokuura, I ; Ishinomaki-bay, S ; Shidzugawa-bay

* ; mg/g dry weight

夏季および冬季の万石浦、石巻湾、および、志津川湾の表層と底層海水中における全菌および生細菌 (Zobell 2216E 培地上での培養可能な従属栄養細菌) の数を Fig. 2 に示す。全菌数は、全ての海域において、 10^5 Cells / mL のオーダーであった。夏季における表層水と底層水中の平均全細菌数 ($\times 10^5$ Cells / mL) は、それぞれ、万石浦で 7.7 と 8.7、石巻湾で 9.2 と 4.5、志津川湾では 3.9 と 7.1 であった。また、冬季では、表層水と底層水の値は、それぞれ、万石浦で 3.5 と 2.6、石巻湾では 3.2 と 4.6、志津川湾では 4.7 と 6.5 であった。夏季と冬季の全細菌数を比べると、万石浦では表層、底層ともに冬季に減少、石巻湾では表層水のみ減少、志津川湾では表層水が増加し底層

層水が減少という結果となった。

従属栄養性の生細菌については、全ての海域で 10^3 CFU/mL というオーダーで検出された。平均細菌数 ($\times 10^3$ CFU/mL) は、夏季の表層水と底層水では、万石浦で 6.0 と 4.7、石巻湾で 2.5 と 2.5、志津川湾では 2.6 と 5.1 であった。冬季の表層水と底層水では、万石浦で 3.7 と 3.5、石巻湾で 6.3 と 2.5、志津川湾では 2.8 と 5.1 であった。夏季から冬季の細菌数は、万石浦で減少したが、石巻湾と志津川湾では増加または変化しなかった。

Fig. 3 に万石浦、石巻湾、および、志津川湾の表層と底層海水中の従属栄養性の生細菌について、その組成を示す。海水中の従属栄養細菌については、夏季、冬季と

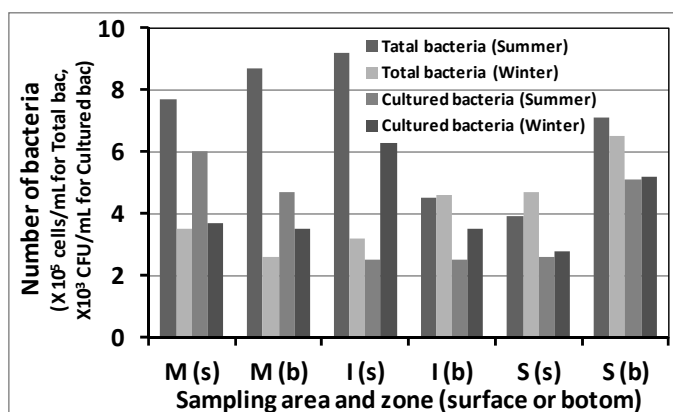


Fig. 2. 夏季および冬季の万石浦、石巻湾、志津川湾の表層と底層海水中における全菌および生細菌数
M (s); 万石浦表層, M (b); 万石浦底層, I (s); 石巻湾表層, I (b); 石巻湾底層, S (s); 志津川湾表層, S (b); 志津川湾底層

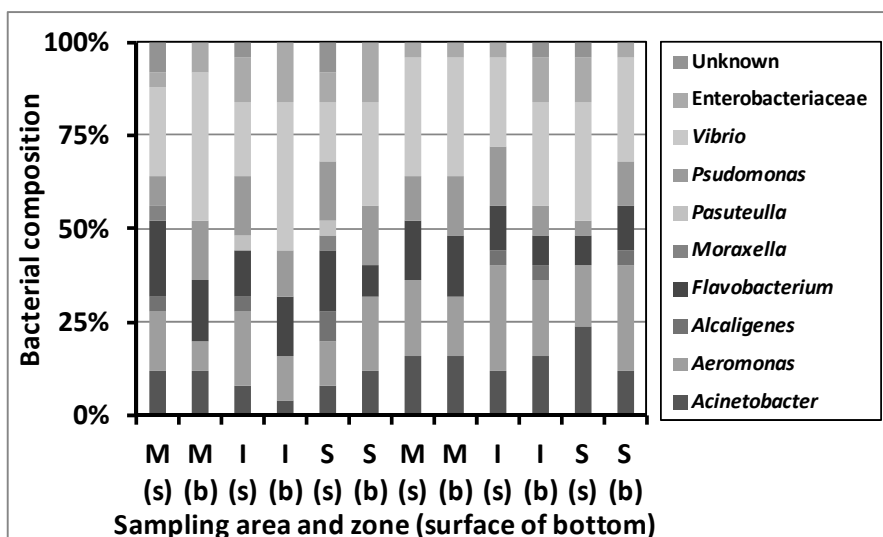


Fig. 3. 夏季および冬季の万石浦、石巻湾、志津川湾の表層と底層海水中における生細菌 (培養可能な従属栄養細菌) の組成

M (s); 万石浦表層, M (b); 万石浦底層, I (s); 石巻湾表層, I (b); 石巻湾底層, S (s); 志津川湾表層, S (b); 志津川湾底層

もに、細菌組成の大きな変化は見られなかった。海水からは、*Acinetobacter* 属、*Aeromonas* 属、*Alcaligenes* 属、*Flavobacterium* 属、*Moraxella* 属、*Pasuteulla* 属、*Pseudomonas* 属、*Vibrio* 属、および、*Enterobacteriaceae* 科の細菌が検出されたが、*Vibrio* 属細菌の比率が最も高く、*Acinetobacter* 属、*Aeromonas* 属、*Flavobacterium* 属、*Pseudomonas* 属を含む5属で、全体の75~95%を占めた。海水中従属栄養性細菌の組成に、海域、表層と底層、季節による顕著な違いは認められなかった。夏季においては、各海域において、底層で *Vibrio* 属の出現率が高く、逆に、*Aeromonas* 属の割合が低かった。冬季では、万石浦では、表層、底層ともに、*Vibrio* 属の出現率が高く、また、石巻湾の表層と志津川湾の底層で *Acinetobacter* 属の出現率が高かった。

夏季および冬季に、万石浦、石巻湾、および、志津川湾で捕獲したシロメバルの血漿中コルチゾル濃度を Fig. 4 に示す。夏季では、捕獲海域(群)間に有意差はみられなかった。一方、冬季では、万石浦と石巻湾の間に有意差がみられ、前者で値は高かった。また、万石浦については、冬季に夏季に比べて有意に高い値がみられた。

夏季および冬季に、万石浦、石巻湾、および、志津川湾で捕獲したシロメバルの血漿中グルコース濃度を Fig. 5 に示す。夏季には、万石浦に対して、石巻湾、志津川湾、ともに有意に高い値が認められた。冬季では、万石浦と石巻湾の間に有意な差は認められなかった。なお、万石浦については、冬季に夏季より有意に高い値がみられた。

Fig. 6 に、ウェスタンブロッティング法により検出した、万石浦、石巻湾、および、志津川湾で捕獲したシロメバルの

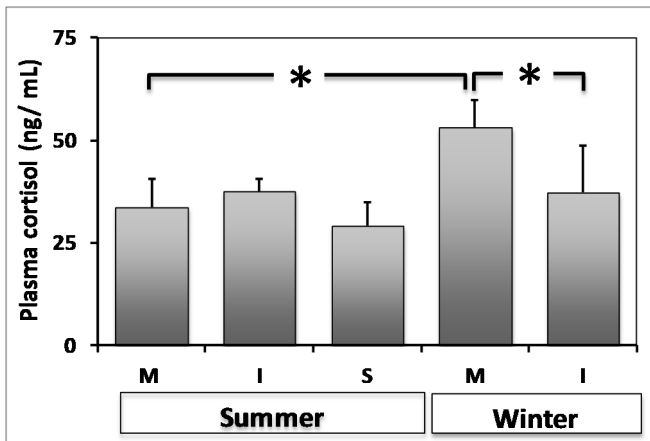


Fig. 4. 万石浦、石巻湾、志津川湾で捕獲したシロメバルの血漿中コルチゾル濃度。M ; 万石浦、I ; 石巻湾、S ; 志津川湾。平均値±標準偏(n=5)、* ; 有意差あり(p<0.05)

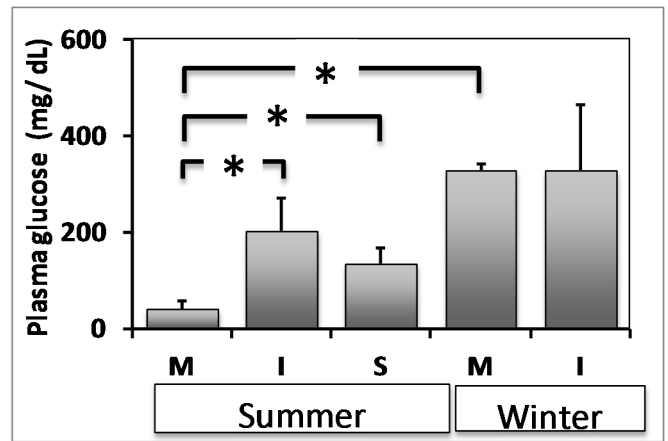


Fig. 5. 万石浦、石巻湾、志津川湾で捕獲したシロメバルの血漿中グルコース濃度。M ; 万石浦、I ; 石巻湾、S ; 志津川湾。平均値±標準偏(n=5)、* ; 有意差あり(p<0.05)

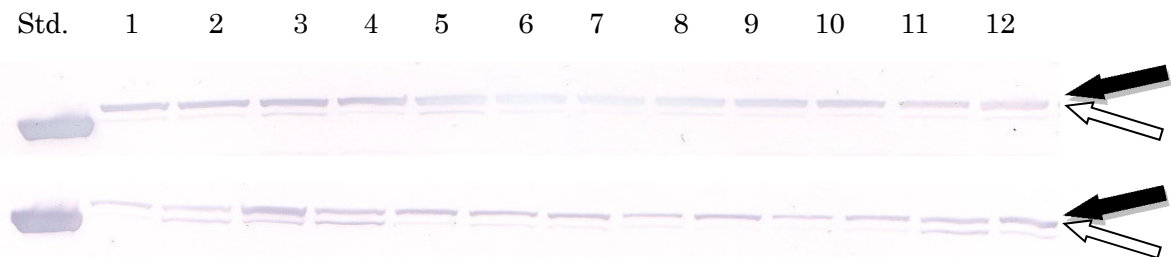


Fig. 6. 万石浦、石巻湾および志津川湾で捕獲したシロメバル肝臓の Hsp70 および Hsp72 の泳動像(黒矢印;Hsp72、白抜き矢印;Hsp70)。上;夏季に捕獲したもの。左から、Hsp70 標準品、志津川湾で捕獲したシロメバル肝臓 1~4、石巻湾で捕獲したシロメバル肝臓 5~8、万石浦で捕獲したシロメバル肝臓 9~12。下;冬季に捕獲したもの。左から、Hsp70 標準品、石巻湾で捕獲したシロメバル肝臓 1~5、万石浦で捕獲したシロメバル肝臓 6~10。11と12は、夏季に石巻湾で捕獲、あるいは、万石浦で捕獲したシロメバル肝臓を同時に泳動したもの。

肝臓の Hsp70 と同 72 の泳動像を示す。夏季、冬季ともに、シロメバルの肝臓からは Hsp70 および Hsp72 が検出された。Fig. 7 に Hsp70 の含量を、Fig. 8 に Hsp72 の検出レベルを示す。Hsp70 については、夏季の 3 海域間、冬季の万石浦と石巻湾の間に、それぞれ、有意な差は認められなかった。Hsp72 については、夏季の万石浦と石巻湾、石巻湾と志津川湾の間に、それぞれ、有意な差が認められ、石巻湾の値は最も低かった。冬季では、万石浦と石巻湾の間に有意な差は認められなかった。

Fig. 9 にウェスタンブロッティング法により検出した、万石浦、石巻湾、および、志津川湾で捕獲したシロメバルの鰓の Hsp70 と同 72 の泳動像を示す。夏季、冬季ともに、シロメバルの肝臓からは Hsp70 および Hsp72 が検出された。

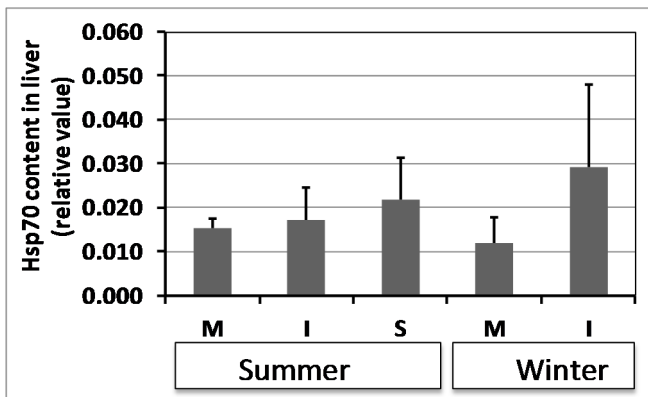


Fig. 7. 万石浦、石巻湾、志津川湾で捕獲したシロメバルの肝臓中 Hsp 70 レベル。M; 万石浦、I; 石巻湾、S; 志津川湾。平均値±標準偏差 (n=5)

Fig. 10 に、シロメバル鰓の Hsp70 レベルを示す。夏季では、石巻湾と志津川湾の間にのみ有意な差が認められ、志津川湾は万石浦に比べて高い値であった。冬季では、万石浦と石巻湾の間に有意な差はみられなかった。シロメバル鰓の Hsp72 レベルを Fig. 11 に示す。Hsp70 と同様に、鰓の Hsp72 においても、夏季には、万石浦と志津川湾の間に差が認められ、志津川湾で有意に高い値がみられた。冬季では、万石浦と石巻湾の間に差は認められなかった。

Fig. 12 に、肝臓中のグリコーゲン蓄積量を示す。グリコーゲン蓄積量においては、季節、海域を問わず、全ての群の間に有意な差はみられなかった。

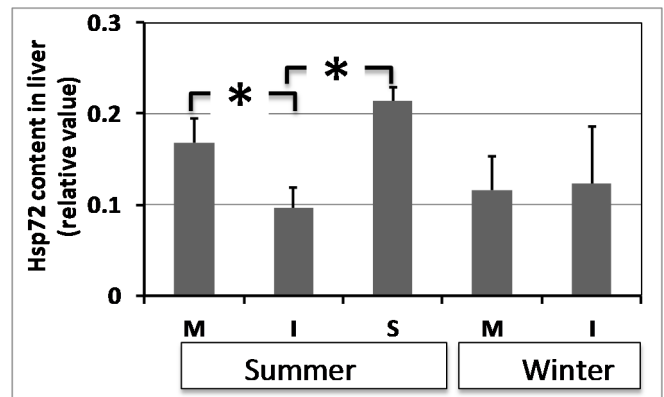


Fig. 8. 万石浦、石巻湾、志津川湾で捕獲したシロメバルの肝臓中 Hsp 72 レベル。M; 万石浦、I; 石巻湾、S; 志津川湾。平均値±標準偏差 (n=5)、*: 有意差あり (p<0.05)

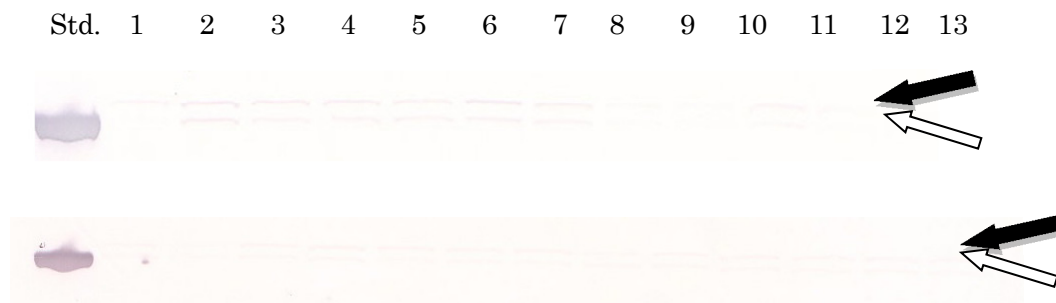


Fig. 9. 万石浦、石巻湾および志津川湾で捕獲したシロメバル鰓の Hsp70 および Hsp72 の泳動像 (黒矢印; Hsp72、白抜き矢印; Hsp70)。上; 夏季に捕獲したもの。左から、Hsp70 標準品、志津川湾で捕獲したシロメバル鰓 1~4、石巻湾で捕獲したシロメバル鰓 5~8、万石浦で捕獲したシロメバル鰓 9~12。下; 冬季に捕獲したもの。左から、Hsp70 標準品、石巻湾で捕獲したシロメバル鰓 1~5、万石浦で捕獲したシロメバル鰓 6~10。11、12、13 は、それぞれ、夏季に志津川、石巻湾、万石浦で捕獲したシロメバル鰓を同時に泳動したもの。

Fig. 13 に肝臓中の総脂質量を示す。夏季では、石巻湾と志津川湾に万石浦より有意に高値がみられた。石巻湾と志津川湾の間に差はなかった。また、冬季では、万石浦と石巻湾の間に有意な差は認められなかった。

万石浦、石巻湾、および、志津川湾で捕獲されたシロメバルの肝臓中重金属含量を Fig. 14 に示す。Cd および Fe については、夏季、冬季ともに、魚を採集した海域による有意な違いは認められなかった。Cu については、夏季、冬季おもに、万石浦に石巻湾より有意に低い値がみられた。Zn については、夏季において、万石浦に石巻湾より有意に低い値がみられた。なお、各重金属元素濃度は、

冬季に夏季より高値になる傾向にあり、Cu については、石巻湾で冬季の値が夏季の値に対し、有意に高くなった。

Fig. 15 に、万石浦、石巻湾、および、志津川湾の浅海・沿岸構造物を土台として繁茂する海藻の生育状況を示す。新設堤防付近では、海藻の生育状態はあまり良くないが、その他の部分(数 10 m も離れていない場所)ではワカメ、ヒジキ、コンブ、アラメ、ホンダワラ等の褐藻類に加え、マクサやオゴノリ等の紅藻類が繁茂しており、万石浦では、これにアナアオサ、ミル等の緑藻類が混生・繁茂していた。また、万石浦の砂地にはアマモ(面積的には震災後に激減)も繁茂していた。

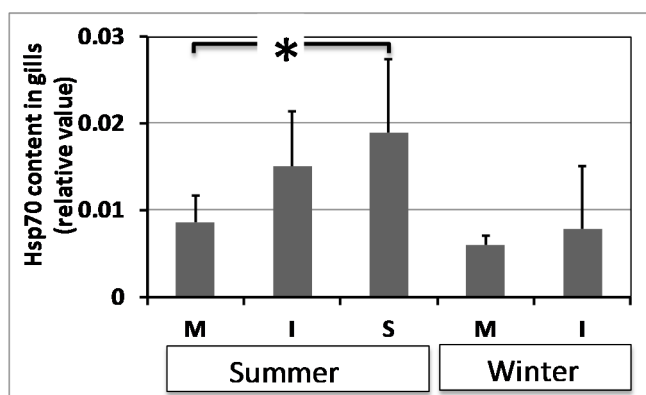


Fig. 10. 万石浦、石巻湾、志津川湾で採取したシロメバルの鰓 Hsp70 レベル

M; 万石浦、I; 石巻湾、S; 志津川湾

平均値±標準偏差(n=5)、*: 有意差あり(p<0.05)

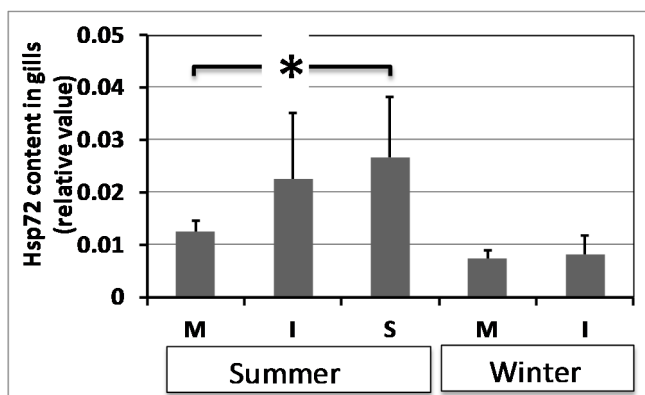


Fig. 11. 万石浦胃、石巻湾、志津川湾で採取したシロメバルの鰓 Hsp72 レベル

M; 万石浦、I; 石巻湾、S; 志津川湾

平均値±標準偏差(n=5)、*: 有意差あり(p<0.05)

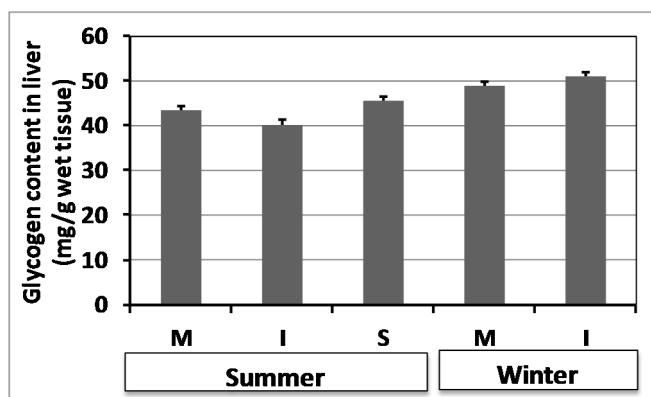


Fig. 12. 万石浦、石巻湾、志津川湾産シロメバルの肝臓中グリコーゲン蓄積量

M; 万石浦、I; 石巻湾、S; 志津川湾

平均値±標準偏差(n=5)

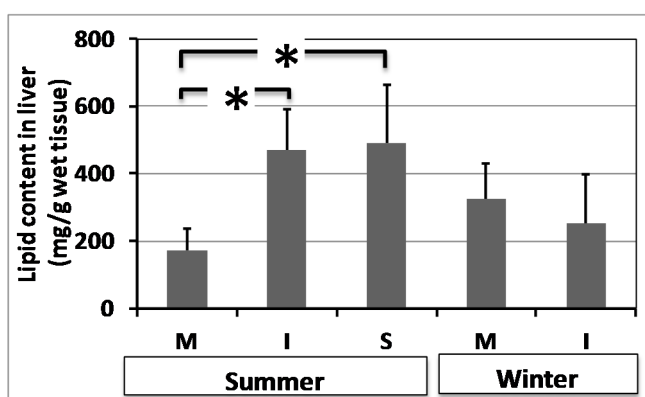


Fig. 13. 万石浦、石巻湾、志津川湾産シロメバルの肝臓中の総脂質濃度

M; 万石浦、I; 石巻湾、S; 志津川湾

平均値±標準偏差(n=5)、*: 有意差あり(p<0.05)

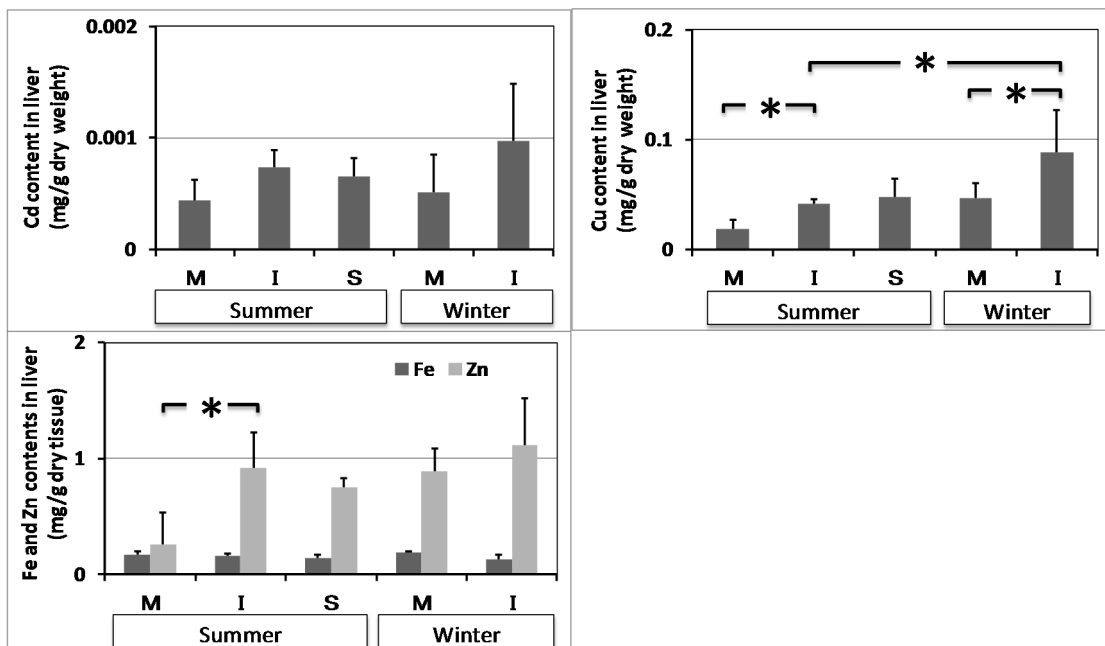


Fig.14. 万石浦、石巻湾、志津川湾で捕獲したシロメバルの肝臓中重金属(Cd、Cu、Fe、Zn)含量
M; 万石浦、I; 石巻湾、S; 志津川湾。平均値±標準偏差(n=5)、 * : 有意差あり(p<0.05)



万石浦(海への開口部付近)
海藻が繁茂・多種の藻類が付着



石巻湾(試料採取地付近)
海藻が繁茂している



志津川湾
海藻が繁茂している



石巻湾(新設堤防付近)
海藻の付着が少ない

Fig. 15. 万石浦、石巻湾、および、志津川湾の浅海・沿岸構造物を土台として繁茂する海藻の生育状況(平成 27 年 3 月現在)

4. 考 察

4. 1 大震災に関する既往の研究報告から明らかになった点

文献調査から明らかになったことは、以下の二点に集約できる。一つは、沿岸の底質のうち、岩礁地帯よりも干潟や砂質地帯のほうが津波被害を大きく受け、回復に至るまでの時間を要する、という知見である。もう一つは、東日本大震災の被害を受けた沿岸浅海域に関する震災以前の水環境および生態学的な科学データが十分でなく、過去のデータの蓄積が非常に重要であったことが明らかになった点である。今後、本震災と同様に津波被害を伴うと予想される地域においては、本震災が沿岸浅海域に及ぼした影響を科学的データとして整理し、各種復旧工事計画や自然環境修復計画の立案に繋げることが、環境の復元のみならず沿岸浅海域の生物資源を利用した各種産業の復旧・復興を具体化するうえで重要と考えられる。また、東日本大震災以降、国土強靱化の施策のもと日本各地で人間の安全・安心のための防潮堤や護岸整備などが注力される傾向にある。しかし、長期的な復旧・復興を考えると、この震災で得られた環境・生物資源に関する施策の実現後の評価と、それを反映した計画の再立案、という手順が急務である。

4. 2 本研究で対象とした三沿岸の水質、細菌数、魚類の各種指標から得られた考察

調査対象とした石巻湾および志津川湾は海洋の生活環境の保全に関する環境基準の類型 A、また、志津川湾と万石浦は窒素及びリンに関わる環境基準の類型 II に指定されている¹⁴⁾。本実験では、調査対象海域の水質を年 2 回しか調べていないため、全窒素や全りんについては基準値(年間平均値)との単純比較はできないが、調査した 3 海域はともに類型 A の基準値を満足しているものの、志津川湾および万石浦における窒素及びリンの数値は既報(全窒素はそれぞれ 0.1 mg/L と 0.2 mg/L 付近、全りんはともに 0.02 mg/L 付近)に比べて高く、震災から 3~4 年後においては、類型 III から IV (水産 2 種から 3 種) 相当の環境下にあると考えられた。

重金属については、各海域とも、夏季と冬季ともに、石巻湾の底層、志津川湾の表層と底層に高い Zn 濃度がみつかつたほか、夏季の石巻湾表層および冬季の石巻湾底層や志津川湾の表層と底層から高い Fe 濃度が検出さ

れた。また、万石浦の底泥からは Cd、Cu や Fe が、志津川湾の底泥からは Cd が高めに検出されている。ただし、シロメバルの肝臓中の重金属含量に関しては、冬季は夏季に比べて値は高くなるものの、異常値とは言えず、3 海域間に大きな差は認められなかった。魚の肝臓中の重金属含量と、環境水あるいは底泥の重金属濃度や含有量との間に明瞭な相関関係が認められなかった理由は不明である。しかし、万石浦は、今回調査した 3 海域の中で最も微小生物の分布密度が高い海域であり、底生生物やゼラチン質の微小生物も多く、また、仔稚魚の育成場としても重要な海域であることから、同海域の環境・生態系保全、そこで生産される水産物の安全性確保の両面から、汚染物の起源の特定を含め、同所の環境およびそこに生息している生物の生理指標(食性や代謝速度を含む)、体内重金属蓄積量等の推移を注視する必要があると考える。

海水中の細菌叢については、海域の違いにより多少の差はあるものの、全菌数は 10^5 Cells / mL、従属栄養性の生細菌数は 10^3 CFU/mL のオーダーにあり、組成では、*Vibrio* 属細菌の比率が最も高く、*Acinetobacter* 属、*Aeromonas* 属、*Flavobacterium* 属、*Pseudomonas* 属を含む 5 属で、全体の 75~95% を占めること、海水中従属栄養性細菌の組成に、海域、表層と底層、季節による顕著な違いのないこと等が分かった。ただし、宮城県周辺海域で採集される細菌の重金属や薬剤耐性に、震災前後で大きな違いのあることも報告されている¹⁵⁾ので、今後の海水や海底泥中の微生物の動態にも注目したい。

なお、沿岸域における海藻の生育状況については、今回調査した 3 海域においても、新設堤防工事が行われた海域周辺ではその生育状況はあまり良くはなかったものの、少し(数 10 m) 離れると、震災前に比べて良くなった(少なくとも、一時的には栄養塩が増加したり、採集圧が低下したりしたこと等が原因と考えられる)、あるいは、以前と変わらない状況にあったと思われる。

本研究では、環境状態を長期的かつ総合的に捉えるため、水質や底泥の分析値に加え、本研究では、魚の生理状態、特に、そのストレス応答に注目した。ストレス応答試験とは、刺激を与え、その作用因子に対する変化を追うことが、一般的である。しかし、ストレス応答は、作用因子が生体の体に変化をもたらすことも含まれている¹⁶⁾ことから、今回は、血液中のコルチゾルやグルコース濃度等に現れ

る急性的な応答に加え、肝臓や鰓組織内における Hsp70 の発現量等の亜急性から慢性的な応答指標の変化を捉える事により、各海域に生息する魚類の生理状態、および、環境状態を評価することとした。また、肝臓中のエネルギー蓄積量が低下すると正常なストレス応答ができないという報告がある¹⁷⁾ことから、取り上げた魚の肝臓のグリコーゲンや脂質量についても調べた。

その結果、血漿中のコルチゾル濃度は、夏季に差はなかったものの、冬季では万石浦と石巻湾間で差がみられ、前者で高くなった。これは、冬季の万石浦で魚の捕獲直前に何らかの環境変化があった可能性を示すが、両海域で捕獲した魚の肝臓および鰓の Hsp70 含有量に差はなかったことから、同変化は恒常的なものでないと推察された。なお、血漿中のグルコース濃度も、コルチゾルと同様の変化を示したが、コルチゾルによる血漿グルコース濃度の上昇は筋肉等のタンパク分解を介して生じるために時間がかかることから、その変化は、より直前的な変動要因・機序、恐らくカテコラミン系の変動に付随したものと考えられた。

肝臓中の Hsp70 は、一般的に亜急性あるいは慢性的なストレス応答の指標として用いられているが、その変動要因は温度、酸素濃度、アンモニアから、接触、ハンドリングストレスなど広域にわたっている¹⁸⁻²²⁾。したがって、この数値変動から単純に変動要因を云々できない。今回の実験では、夏季も冬季も海域間で有意な差がみられなかった。一方、鰓の Hsp70 含有量に関しては、夏季の万石浦と志津川湾の間に有意差が認められ、後者で高かった。鰓における Hsp70 の発現は、酸素欠乏や鰓組織の障害によって誘起される²³⁾ことが知られていることから、本結果は震災復興に伴う護岸工事が広範囲かつ急ピッチで進められている志津川湾において、海水中の環境、特に海水中の微粒子の存在量が増加している可能性を示すものと考えられる。ただし、異なる時期に測定された SS の値に変化が無い(角田;未発表データ)ことから、今後、鰓の Hsp70 含有量の把握とともに、より微小な粒子の数や形態に関する調査が必要であるとともに、護岸工事に関しては、長期的に施工され、影響も直ぐに現れる訳ではないため、継続的な調査が必要であると考えられる。

一方、肝臓の Hsp72 は Hsp70 の発現状況とは異なっていた。Hsp72 については、Hsp70 と違う機能を有している

可能性があると考えられるが、同値の変化を取り上げた例が魚類では見当たらないことから、現状ではその変動要因は不明である。ただし、ラットでは、ストレス負荷後に細胞外の Hsp72 が炎症性サイトカイン産生を誘導し、細菌感染からの防御に関係していることが明らかになっている²³⁾。今回の調査では、調査海域の細菌数や細菌組成に大きな変化、異常は認められなかったが、今後、魚の感染状態や生体防御活性の変化にも注目しながら、Hsp72 の機能やその変動が示す意味を明らかにしていきたい。

また、Hsp には、今回調査した 70 や 72 以外にも、Hsp90 等があり、前者は種々のタンパク質の活性を調節・制御したり、酸化ストレスによって発現量が増えたりすることが知られている²⁴⁾。また、低分子の Hsp15-30 については、二枚貝ではあるが、Cd や Pb 等の重金属の負荷によって発現量が増えることが報告されている²⁵⁾。それゆえ、今後、魚類の生理状態・ストレス応答の変化から環境変動を捉えるために、Hsp70 や 72 以外にも、分子量の異なる Hsp についてもその機能や変動機序を調べることで、変動要因の絞り込みが可能になると考える。

肝臓中のグリコーゲン量に、著しい不足等は認められず、季節、群間に差もみられなかった。このことは、今回調査した 3 海域、2 季節に捕獲したシロメバルは、エネルギー量の減少に起因するストレス応答性の低下はなかった、すなわち、正常なストレス応答を行い得る状況にあったと考えられる。また、肝臓中の総脂質量に関しては、夏季の石巻湾と志津川湾が万石浦より高いことがわかった。この理由については不明であるが、今後、餌となる多毛類、甲殻類、魚類などの現存量やその時期、その海域の活動量・エネルギー量を調べることである程度の説明がつくものと思われる。

本研究の目的は、災害復興・対策事業が沿岸浅海域の水質ならびに海洋生物・生態系に及ぼす影響を明確にし、影響軽減に有効な方策を探るための基礎知見を得ること、そして、将来に起こり得る連動型東南海地震が中南部太平洋沿岸域や瀬戸内海沿岸部等に及ぼす直接的な影響や災害対策事業に伴う間接的な影響を評価するために必要な情報を収集することであった。そのため、東日本大震災の復旧事業として行われている港の整備や防潮堤の建設の規模が異なる宮城県万石浦、石巻湾、志津川湾の水質、藻類の生育状況、沿岸海域の微小生物生

態や魚類の生理指標等を調査した。研究期間が短く、調査可能な項目にも限りがあったが、設定した目的に対して一定の成果は得られたと考える。今後、継続的な調査を進めるとともに、沿岸海域生態系の攪乱・再生状況、陸域と海域の繋がりに関わる物質輸送や生物移動の変化等を含めた調査を進めることで、当該分野の進展に貢献したい。

5. まとめ

宮城県沿岸域に万石浦、石巻湾および志津川湾の3海域を設定し、同海域の一般水質、細菌叢や微小生物の生息状況、重金属汚染状況を調べるとともに、同海域に生息する魚類(シロメバル)の生理状態から、多様かつ複雑な環境異変を総合的に捉える方法を検討し、以下の結果を得た。

- 1) 調査海域の水質は、震災前に戻りつつあるが、窒素やリンに関わる環境基準の達成に時間のかかる(志津川湾および万石浦)もあった。また、海域によっては、Zn や Fe 濃度が高かったり、Cd(万石浦や志津川湾の底泥)やCu(万石浦の底泥)が高かったりした。シロメバルの肝臓中の重金属含量に海域差はなく、環境水や底泥の重金属濃度や肝臓の重金属含量との間に明瞭な相関関係はみられなかった。この理由は不明であるが、仔稚魚の育成場として重要な万石浦に外洋に面する海域よりも高レベルの重金属が検出されたことは留意すべき事柄である。
- 2) 海水中の細菌叢については、海域により多少の差はあるものの、全菌数は 10^5 Cells / mL、従属栄養性の生細菌数は 10^3 CFU/mL のオーダーにあり、組成では、*Vibrio* 属細菌の比率が最も高く、*Acinetobacter* 属、*Aeromonas* 属、*Flavobacterium* 属、*Pseudomonas* 属を含む5属で、全体の75~95%を占めた。海水中従属栄養性細菌の組成に、海域、表層と底層、季節による顕著な違いはなかった。
- 3) シロメバル鰓の Hsp70 発現量は、志津川湾で多く、修復工事等に伴う環境変化、例えば、海水中の微粒子等が同所の魚に鰓に軽度の機能障害を惹起している可能性のあることが示唆された。
- 4) 血液中の主要なストレスホルモンであるコルチゾルや肝臓の Hsp70 量には差はなく、今回調査した魚は急性、

亜急性から慢性的な全身的な高ストレス負荷状態下には置かれていないと推測された。

- 5) 魚の肝臓のグリコーゲンや脂質量に異常な減少はない、すなわち、環境汚染に起因する顕著な変化は認められず、同海域の魚はエネルギー不足に陥ることなく、正常なストレス応答を示し得る状態にあることが分かった。
- 6) 海藻の生育状況では、新設堤防工事が行われた海域周辺ではあまり良くはなかったものの、少し(数10m)離れると、震災前に比べて良くなった、あるいは、以前と変わらない状況にあった。

研究期間が短く、調査可能な項目にも限りがあったが、水質、藻類の生育状況、沿岸海域の微小生物生態に加え、魚類の生理指標から調査したところ、震災および災害復興・対策事業が沿岸浅海域の水質ならびに海洋生物・生態系に及ぼす影響の一端を明らかにすることができたと考える。将来に起こり得る別の震災等やその復旧事業が海域の環境や生態系に及ぼす影響を評価するため、沿岸海域生態系の攪乱・再生状況、陸域と海域の繋がりに関わる物質輸送や生物移動の変化等を含めた調査を継続的に進めることで、当該分野の進展に貢献したい。

6. 参考文献

- 1) 坂巻隆史、西村修:震災による宮城県沿岸における生態系の変化、土木学会論文集 B3、Vol.70、No.2、I_31-I_36、2014.
- 2) 玉置仁、村岡大祐:地震とそれにもない発生した津波が藻場・干潟生態系に及ぼした影響、Vol.34(A)、No.12、400-404、2011.
- 3) 後藤友明:東日本大震災によって三陸沿岸域の海と海洋生物に何がおこったか?、Ebuheeb、Vol.43、2-5、2011.
- 4) 鈴木昌弘、他 12 名:東日本大震災による海洋生態系影響の実態把握と今後の対応策の検討、日本海洋学会ニューズレター、Vol.1、No.3、1-4、2011.
- 5) 岡田知也、古川恵太:宮古湾における津波からのアマモ復元の視点でみた底質状況、土木学会論文集 B3、Vol.69、No.2、I_31-I_36、2013.
- 6) 小谷祐一:海洋生態系及び水産業への東日本大震災の影響と復興支援の取組、日本水産学会誌、80(1)、93-94、2014.

- 7) 西村修:震災が松島湾の水環境に及ぼした影響について、水環境学会誌、Vol.36(A)、No.2、49-52、2013.
- 8) 山本光夫、他8名:東日本大震災後の釜石湾における海域環境変化、日本水産学会誌、81(2)、243-255、2015.
- 9) 村上智一、他3名:岩手県宮古湾における東北地方太平洋沖地震津波後の水質環境の現地観測、土木学会論文集B3、Vol.70、No.2、I_19-I_24、2014.
- 10) 山本光夫、横山勝英、吉永郁生:気仙沼舞根湾における重金属類と流出油の水質・低質への影響、海洋と生物、Vo.34、No.6、538-542、2012.
- 11) 鈴木孝夫:東日本大震災による干潟環境の変化と底生動物への影響、水環境学会誌、Vol.34(A)、No.12、395-399、2011.
- 12) 渋谷晃太郎、島田直明、鈴木正貴:岩手県三陸沿岸エコトーンの現状把握とその保全に関する研究、総合政策、第15巻、第2号、181-199、2014.
- 13) 島田直明、川西基博、早坂大亮:岩手県の砂浜植生に関わる生態学的な評価と保全対策の提案、総合政策、第16巻、第1号、19-34、2014.
- 14) 閉鎖性海域ネット:環境省 www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/
- 15) 角田 出、佐藤大仁、高瀬清美、佐藤周之、佐藤利夫:東日本大震災および復興事業が三陸沿岸海域の環境・資源に及ぼす影響、海水誌、69(3)、156(2015)
- 16) G.K.Iwama、A.D.P.Ickerring、J.P.Sumpter、C.B.Schreck:*Fish Stress and Health in Aquaculture*、CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS、UK、1997. pp. 14-16.
- 17) I. Lupatsch、G.A. Santos、J.W. Schrama、J.A.J. Verreth:Effect of stocking density and feeding level on energy expenditure and stress responsiveness in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*、298、245-250(2010).
- 18) Heinz-R. Kohler、Cornelia Bartussek、Helga Eckwert、Katrin Farian、Stefan Granzer、Thomas Knigge、Nicole Kunz:The hepatic stress protein (hsp70) response to interacting abiotic parameters in fish exposed to various levels of pollution. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*. 8、261-279(2001).
- 19) Mary A. Delaney、Phillip H. Klesius : Hypoxic conditions induce Hsp70 production in blood、brain and head kidney of juvenile Nile tilapia *Oreochromis Niloticus*(L.). *Aquaculture*. 236、633-644(2004).
- 20) Y Y Sung、R J Roberts、P Bossier:Enhancement of Hsp70 synthesis protects common carp、*Cyprinus carpio* L.、against lethal ammonia toxicity. *Journal of Fish Diseases*.35、563-568(2012).
- 21) Hosoya S、Johnson SC、Iwama GK、Gamperl AK、Afonso LO:Changes in free and total plasma cortisol levels in juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) exposed to long-term handling stress. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 146(1)、78-86(2007).
- 22) Robert J. Griffitt、Roxana Weil、Kelly A. Hyndman、Nancy D. Denslow、Kevin Powers、David Taylor、David S : Barber.Exposure to copper nanoparticles causes gill injury and acute lethality in zebrafish (*Danio rerio*). *Environ. Sci. Technol.*、41 (23)、8178-8186(2007).
- 23) Jay Campisi、Ted H. Leem、Monika Fleshner : Stress-induced extracellular Hsp72 is a functionally signify danger signal to the immune system. *Cell Stress & Chaperones*. 8(3)、272-286(2003).
- 24) Valeria Ramaglia、Leslie T. Buck : Time-dependent expression of heat shock proteins 70 and 90 in tissues of the anoxic western painted turtle.The *Journal of Experimental Biology* .207、3775-3784(2004).
- 25) Anguo Zhang、Yali Lu、Chenghua Li、Peng Zhang、Xiurong Su、Ye Li、Chunlin Wang、Taiwu Li:A small heat shock protein (sHSP) from *Sinonovacula constricta* against heavy metals stresses. *Fish & Shellfish Immunology*. 34、1605-1610(2013).

Evaluation on the Influence of Great East Japan Earthquake and Its Reconstruction Projects to the Coastal Environment and Marine Resources Based to the Salt Industry

Shushi Sato¹, Izuru Kakuta², Toshio Sato³

¹Faculty of Agriculture, Kochi Univ., ²Dept. Biological Engineering, Senshu Univ. of Ishinomaki,

³Faculty of Life and Environmental Science, Shimane Univ.

Summary

First of all, research papers and reports concerned to the influence of Great East Japan Earthquake (called GEJE, here after) to the environment of shallow coastal area, biological resources and industries were collected and summarized in this research subject. Second of all, in order to evaluate the influence of various works for disaster restoration to the water quality and ecological damage under the present state, microscopic creatures, seaweeds growth and stress conditions of fish living near the construction site were evaluated. Focused sea areas were three; Shizugawa-bay, Mangoku-bay, and Ishinomaki-bay.

According to the result of reference materials investigation, important points were considered as following two; comparing the difference of bottom conditions of shallow coastal area, Tsunami damaged significantly to the creatures of mudflats and sand area than that of reef area, and the time for the recovery of mudflats and sand area were also estimated to be longer than that of reef area. Many researchers also pointed out the lack of scientific data such as water environment and ecology concern to the damaged shallow coastal area by GEJE. Many regions, at the rim of Pacific Ocean, are facing to the coming huge earthquake and Tsunami, and must prepare to protect not only human life and industry, but also even the natures, it is important to arrange the damage of GEJE appropriately and utilize them for the planning of restoration design.

It was confirmed that each bay showed different concentrations of various harmful matters including heavy metals. This result was similar with the previous researches. As for the risk of bio-accumulation of these heavy metals, it had not confirmed clearly. However, further investigation was necessary to definite this problem. The bacterial flora in sea water showed different tendency between each bay, however, number of total viable bacteria were the size of 10^5 Cells/mL and the number of heterotrophic bacteria were the size of 10^3 CFU/mL. It was not confirmed that compositions of heterotrophic bacteria showed significant differences between each bay, depth and season. Growth of seaweed was not so good near the construction site of new embankment.

Evaluation results on stress of fish around the construction site, it was indicated that particulate matter generated due to the constructions might cause the slight functional disorder of gills. However, major stress hormones in the fish blood were not suggested that the fish was under the circumstances of highly stress load all the time. Moreover, glycogen and lipid content of liver didn't show the unusual phenomenon, significant alternation due to the pollution of environment was not recognized at this site. Therefore, the fish in this area was

concluded not to get into the energy shortage and to be able to show the normal stress reaction.

From the results described above, we could clarify a part of influences of GEJE and restoration constructions to the water quality, seaweed growth, environment of microorganism, and physiological index of fish. It is very important to develop this research for the countermeasure of coming huge earthquakes in the future.