

熊本県水産研究センター研究報告

第11号

目次

ヒジキ増殖手法の開発	長山公紀, 齋藤剛, 鮫島守, 山下幸寿	1
熊本県沿岸域における ELISA 法を用いた麻痺性貝毒モニタリング	郡司掛博昭, 篠崎貴史, 吉村直晃, 山下幸寿	6
熊本県有明海・八代海における水質環境の長期変動について	多治見誠亮, 吉村直晃, 増田雄二, 川崎信司	10
2013 年度漁期に有明海熊本県海域で赤潮化した <i>Eucampia zodiacus</i> の出現動態について	多治見誠亮, 吉村直晃, 川崎信司	22
放流用稚ガザミに対する <i>Heterosigma akashiwo</i> の影響について	多治見誠亮, 吉村直晃, 川崎信司	28
(短報) 有明海熊本県海域(上天草市大矢野島近辺)における <i>Chattonella</i> 赤潮の消滅と <i>Gyrodinium dominans</i> による捕食の関係について	多治見誠亮, 諸熊孝典, 川崎信司	32
緑川河口干潟におけるハマグリ分布について	諸熊孝典, 内川純一, 川崎信司	35
八代海湾奥部における夏季の環境特性と 2011 年同海域で発生したアサリ大量へい死の要因	川崎信司, 諸熊孝典, 高日信也	47
くまもと観賞魚ワールドの進展に向けて～「ぼんさい鯉」の試み～	平田郁夫	57

平成31年3月

熊本県水産研究センター

ヒジキ増殖手法の開発

長山公紀, 齋藤剛, 鮫島守, 山下幸寿

Development of a method for breeding *Sargassum fusiforme*

Koki Nagayama, Tsuyoshi Saito, Mamoru Sameshima, and Yukihiisa Yamashita

キーワード：ヒジキ、増殖、資源管理

ヒジキ (*Sargassum fusiforme*) は、北海道南部、本州太平洋岸、四国、九州、本州日本海岸中・南部、南西諸島に、日本国外では朝鮮半島及び中国南部に分布するホンダワラ科の海藻である¹⁾。主に潮が引いた際に干出する潮間帯と呼ばれる岩礁域に生える。ヒジキの採藻は、3月から5月の大潮時に、潮が引いた海岸で、あるいは船上から鎌で刈り取る (図1)。



図1 ヒジキの収穫 (2012年6月17日 熊本県上天草市にて)

多くの場合、漁場は海岸近くで、高価な漁具も不要なため、漁業者にとっては手軽な収入源といえる。収穫後のヒジキは、海岸などで広げて天日乾燥し出荷されることが多いが、生のまま出荷される場合もある。

ヒジキは、煮物やひじきご飯などで食されることが多く、日本人の食卓に馴染みが深い海藻のひとつであるものの、国内で流通するヒジキのうち国産品の割合は2割程度にすぎないとされる。残りの約8割は中国産と韓国

産で占められており、これら輸入品は、産地表示が不要な弁当類や飲食店などで多く使われているようである。しかしながら、近年、食の安全安心や産地表示の関連で国産ヒジキの需要が高まっていることから、産地で乾燥して出荷される際の価格は、800~1,000円/kg程度と10年ほど前の2倍以上に上昇している。

本県では有明海と八代海沿岸を中心に乾燥重量で約40トンのヒジキが漁獲されているが、ヒジキ採藻を行う漁業者の数は、価格の上昇とともに年々増加し、現在は県内で600名を超えていると推定される²⁾。

このため、漁業現場からは、将来に渡って安定生産が可能となる増殖手法の確立が求められており、これは他県においても同様である。

しかし、全国各地でヒジキ増殖の取組みとして、漁場への母藻移植や、雑藻の除去、岩盤清掃などが試みられているが、実際の漁業現場で継続的に行われ、かつ効果を上げている取組みは見当たらない。

そこで我々は、漁業者が取り組めるヒジキ増殖手法の開発を目的として試験を実施したので、その内容を報告する。

試料及び方法

1 採苗と海岸への移植

ヒジキの親株は、ヒジキが成熟する5月

から7月の大潮干潮前後に、上天草市大矢野町の海岸において、成熟した雄株と雌株を鎌で刈り取り採取した。雄雌は、この時期の成熟した葉体にみられる生殖器床の形で判別した。採取した雄株と雌株を一緒に陸上水槽内に入れ、海水を満たし維持することで雌株から放出された卵は受精卵となった。なお、受精卵の大きさは0.1~0.2 mm程度であり、雌株の生殖器床の周りに付着している様子が肉眼でも確認された(図2)。



図2 ヒジキの雌株から放出された卵

受精卵は、発現後1~2日以内に雌株の生殖器床から離れて幼胚と呼ばれる形態になり、水槽の底に沈殿するため、この沈殿した幼胚をワムシネット等でろ過回収して1辺20cmの正方形基板に植え付けた。基板は、表面構造や厚さを考慮し、将来的に漁業者自らが取り組むことができるように、ホームセンター等で購入できる1枚150円以下の安価なものを選んだ。

幼胚を植え付けた基板は、発芽した幼胚が基板に根を張るまで陸上水槽で育成し、海岸に設置した。その後は、基板上に生育するヒジキの生長を観察した。なお、採苗から設置までの日数は、最短で5日、最長で83日であった。

海岸への設置は、ビスで海岸の岩に直接基板を貼り付けるか、約25kgのコンクリート製土台に基板をビスで固定して、その土

台ごと海岸に置いた(図3)。



図3 海岸の岩に固定した基板

2 漁業関係者を対象とした講習会の実施

水産研究センターでの試験後、結果をヒジキ増殖に関心を持つ漁協や漁業者に普及するため、漁業関係者に対する講習会を実施した。

3 漁業者による試験

水産研究センターでの採苗講習を受講した漁業者によって実施された現場試験について調査を行った。

結果

1 採苗と海岸への移植

使用した親株の成熟度、天気、水温等の条件でばらつきがあったが、10kgの親株から幼胚を約100万~1,000万粒得られることがわかった。基板1枚当たりの植え付け数は約2万粒としたので、10kgの親株から約50~500枚分の基板に植えつけられる量の幼胚が得られたことになる。

2014年5月から7月にかけて陸上水槽で採苗し海岸に設置した124枚の基板について、2015年3月にヒジキの生残と生長の状況を確認し、次の3段階に分けて評価した。

○：基板表面の約5割以上にヒジキが繁茂しているか、5割以下でも葉体が長く生長して根が広がっており、今後根からの発芽が見込まれる。(図4)

△：ヒジキの繁茂は基板表面の約半分以

下であり、葉体は短めであるが、仮根の拡大で2年目以降の拡大繁茂が期待できる。

×：ヒジキの生残と生長がほとんど確認できない。

その結果、○48枚(39%)、△42枚(34%)、×33枚(27%)、剥離1枚(1%)であり、海岸に設置した基板は、○と△を合わせると全体の73%となった。なお、この時点の葉長は最長で約70cmであり、周囲に生えている天然藻体と同程度であった。



図4 全面にヒジキが繁茂した基板

また、2013年6月に海岸に設置して2014年4月にヒジキが繁茂した基板は、その後6月には天然藻体と同様に葉体が枯失した後、夏には再び仮根から新芽が発芽生長し、2015年3月にも前年同様にヒジキが繁茂した。このことから、海岸設置後の基板は翌年だけでなく、翌々年以降も仮根からの発芽によってヒジキ繁茂が可能であることがわかった。

基板を土台に固定して海岸に置いた事例では、波浪によって土台ごと移動や転倒する例がみられた。この方法は、海岸で岩にドリル穿孔する必要がない代わりに、波浪が小さい内海、岩やブロックの隙間など、設置場所がある程度限られると思われた。

設置した基板に繁茂したヒジキの葉長と収量を測定した事例では、2012年5月に設置した基盤に繁茂したヒジキが2013年4月に最大120cm程度まで生長し、収量は1平方メートル当たり湿重量で約28kgであった。

2 漁業関係者を対象とした講習会の実施

講習会は、2013年と2014年の5月と6月に水産研究センターで開催し、成熟して放卵したヒジキの親株や受精卵の観察、採苗などを体験してもらった(図5)。漁業関係者の受講者数は2013年が13名、2014年は29名であった。



図5 水産研究センターにおけるヒジキの採苗講習会(2013年5月29日撮影)

講習会後は、受講者の多くが6月から7月にかけて各現場で増殖試験を実施した。また、年間を通して、漁協等での講習も随時行ない、2012年4月～2014年3月までに計17回を実施した。目的は、単に増殖手法だけでなく、生態や資源管理、収穫後の品質管理、流通状況など、ヒジキの生産から流通販売まで一連の流れを広く漁業関係者に知ってもらうとともに、水産研究センターで実施する採苗講習会への参加や、漁業者自身による現場試験実施につなげるためである。

3 漁業者による試験

2013年春季から2014年春季にかけて有明海と八代海で実施された各1例について調査を行った。

(1) 上天草市松島地区(有明海)における実施例(図6)

2013年6月に親株を松島地区の海岸で採取し、漁港に設置した陸上水槽で種付けを実施した。水槽内で行った7日間の育成期間を経て、基板を海岸の潮間帯に固定した。干潮が午後の炎天下時と重なる夏場の大潮時には、干出して枯死する事例も見られたが、枯死を免れて生長したヒジキは、

9月に長さ約1 cm、12月に約10 cm、翌年2月に約30 cm、同5月には約70 cmに生長した。生長したヒジキの仮根は基板表面の全体に広がっており、2年目以降の発芽が期待された。

なお、この場所においてヒジキが生残して生長した基板数は15、ヒジキが全て枯死した基板数は18、ビスが抜けて基板が脱落した基板数は5であり、脱落した基板を除いてヒジキが生残生長した基板の割合は約45%であった。



図6 上天草市松島地区での実施例
(a) 基板への植え付け(2013年6月), (b) 海岸への移植(2013年6月), (c) 約1cmに生長(2013年9月), (d) 約30 cmに生長(2014年2月), (e) 約70 cmに生長(2014年5月)

(2) 天草市倉岳地区(八代海)における実施例(図7)

2013年6月に親株を倉岳地区の海岸で採取し、海岸に隣接した漁業者宅の敷

地内に設置した陸上水槽で種付けを実施した。この実施例では、真夏の大潮干潮時に干出によるヒジキ幼体の枯死を防ぐため、水槽内で7日間育成したヒジキを、基板ごと海上の筏に垂下して越夏させ、10月にこれらの基板を海岸に設置した。10月に長さ約2 cmに生長していたヒジキは、12月には約5 cmに、翌年4月には約70 cm(最長123 cm)に生長した。この地区でもヒジキの仮根は基板表面の全体に広がっており、2年目以降の発芽が期待された。

なお、ヒジキが生残生長した基板の割合は約80%であった。

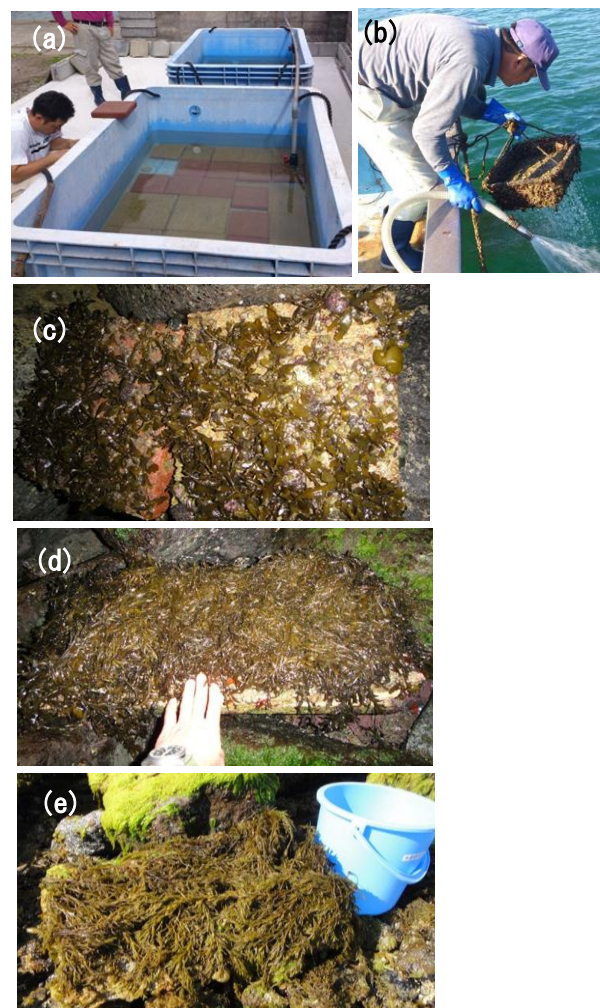


図7 天草市倉岳地区での実施例
(a) 幼胚を植え付けた基板(2013年6月), (b) 筏に垂下して越夏(2013年6~10月), (c) 約3cmに生長(2013年12月), (d) 約30 cmに生長(2014年2月), (e) 約80 cmに生長(2014年4月)

考 察

成熟したヒジキによる放精と放卵は5月～7月の大潮のたびに複数回行われるため、採苗も複数回行うことができるが、現段階では得られる幼胚の数にばらつきがあり、場合によっては放卵が確認できないこともある。

この要因として、親株の成熟状態や天気、陸上水槽での飼育条件などが考えられるが、そのコントロールが十分にはできていないため、今後は安定した数の幼胚を得られる条件を見出すことが必要である。

また、海岸での育成では、場所によって基板を海岸に設置した後に、巻貝による食害などでヒジキの新芽が消失する事例が確認されている。食害を受けない大きさまで陸上や他の場所で生長させてからの設置や、食害防止のカバーを取り付けるなどの対策を検討中である。さらに、真夏の干潮時の干出で新芽が乾燥に耐えきれずに枯死する事例が確認されることから、基板の材質や設置時期、設置方法の改良などによる一層の生残率向上が必要である。

漁業関係者による現場での増殖試験は2013年から県内各地で実施されており、実施地区数は初年度の2013年に8、2014年に14と年々増加していることから、漁業者のヒジキ増殖に対する関心が高いことがわかる。本法による増殖は、陸上水槽内で採苗してヒジキが定着した基板を海岸に設置する方法であるが、この手法によって基板上で生長し、収穫できるヒジキの量には限界があることから、生長した基板上のヒジキを収穫せずに残し、成熟して放出される受精卵を周囲に拡散させる種場として活用したい。そうすることで、設置した基板の面積よりもはるかに広い漁場の創出が期待される。

この増殖手法に用いる機材は、ほとんどがホームセンターで購入でき、比較的安いコストで実施可能である。大規模な公共事業と違い規格的には限られているが、その一方で漁

業関係者が自分たちで取組みを行えることは強みである。漁業者自らが取組むことで、ヒジキの増え方や漁場環境に対して漁業者の関心も高まり、それが資源管理意識の向上に繋がっていくものと考えている。

要 約

漁業者が将来に渡ってヒジキを安定して生産するためには、安価で簡便な増殖技術の確立と普及が必要である。

本法は、コンクリート等を素材とする基板に陸上水槽内でヒジキ幼体を定着させ、基板ごと海岸に設置する増殖法であり、水産研究センターでの試験及び漁業関係者による現場試験において基板上のヒジキは約70cmから最長約120cmに生長した。

このヒジキ増殖手法に用いる機材は、ほとんどがホームセンターで購入できるため、比較的安いコストで実施可能であり、漁業者自らが取り組むことができる。

文 献

- 1) 伊藤龍星. 第4章 食料 第2節 海藻類の生産と利用 藻類ハンドブック (渡邊信監修 エヌ・ティー・エス, 東京, 2012; 602-607.
- 2) 熊本県 県内漁協への聞き取り調査, 2013.
- 3) 新井章吾. I 褐藻類 藻類の生活史集成 第2巻 褐藻・紅藻類 (堀輝三編) 内田老鶴圃, 東京, 1993; 166-167.

熊本県沿岸域における ELISA 法を用いた麻痺性貝毒モニタリング

郡司掛博昭, 篠崎貴史, 吉村直晃, 山下幸寿

Paralytic Shellfish Poisoning toxins monitoring using Enzyme-Linked Immunosorbent Assay in Kumamoto Prefecture coastal zone

Hiroaki Gunjikake, Takashi Shinozaki, Naoaki Yoshimura, Yukihiisa Yamashita

キーワード：麻痺性貝毒、カキ、ELISA 法、スクリーニング値、偽陰性

麻痺性貝毒 (Paralytic Shellfish Poisoning Toxins: PSP) は、カキやアサリ、ホタテガイといった食用二枚貝に蓄積する。麻痺性貝毒が蓄積した貝をヒトが喫食することによって中毒症状を呈し、最悪の場合には死に至ることもあるため、二枚貝の生産海域では、麻痺性貝毒量及び *Alexandrium catenella*, *A. tamarense*, *Gymnodinium catenatum* といった二枚貝毒化原因プランクトンの監視が行われている。

麻痺性貝毒の分析は、国内外を問わずマウス毒性試験 (以下「公定法」) によって行われているが、動物愛護の観点から麻痺性貝毒を検出できる代替検査法が開発されている。本県では、向井(2008)¹⁾が ELISA キットを用いた分析法 (以下「ELISA 法」) の麻痺性貝毒モニタリングへの導入の可否について検討し、導入できる可能性を見いだせたことから、2007 年から大阪府立公衆衛生研究所が開発した ELISA キット (PSP-ELISA)²⁾を用いた麻痺性貝毒モニタリングを実施している。このモニタリング結果から篠崎ら(2013)³⁾が ELISA 法を用いた麻痺性貝毒モニタリングの有効性について検討し、本県沿岸域におけるスクリーニング値 (公定法による検査を実施するかどうかの基準値) を 2 MU/g と定めて、この値を超過した検体については公定法検査を実施している (図 1)。

しかし、スクリーニング値を 2~4 MU/g の間に変更することが可能であれば公定法の実施回数を削減でき、経済的負担の軽減や分析に使用するマウスの数を減らすことができると考えられる。

本研究では、スクリーニング値を 2~4 MU/g の間に変更することが可能であるかどうかを検討するため、スクリーニング値設定以降に蓄積した ELISA 法と公定法による麻痺性貝毒の分析データについて比較し、統計的手法を用いてスクリーニング値の妥当性について検討した。その結果、本県沿岸域における ELISA 法のスクリーニング値は、2 MU/g が適当であるという知見が得られたので報告する。

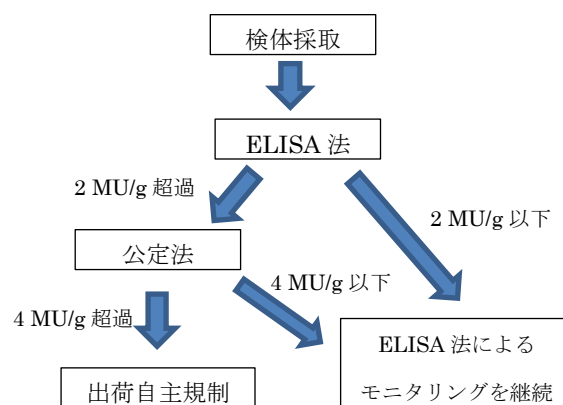


図 1 麻痺性貝毒モニタリングフローチャート

材料及び方法

1 試料

検査に用いた試料は熊本県沿岸域で毒化が確認された海域のカキ 170 検体を用いた。2010年4月～2015年3月まで、毎年4月～10月までは約2週間間隔、11月～翌年3月までは約1週間間隔でカキを採取した。

2 麻痺性貝毒の定量

(1)麻痺性貝毒成分の抽出

検体からの麻痺性貝毒成分の抽出は食品衛生検査指針理化学編麻痺性貝毒検査法⁴⁾に準じて調製した。

(2)ELISA法による毒力定量

麻痺性貝毒の毒力定量には大阪府立公衆衛生研究所が開発したELISAキット(PSP-ELISA)²⁾を用いて分析を実施した。

(3)公定法

食品衛生検査指針理化学編麻痺性貝毒検査法³⁾に準じて実施した。

(4)統計的手法による解析

- ・ある地域で1日に起こる交通事故の件数
- ・1日に受け取る電子メールの件数
- ・1時間当たりのwebサーバーへのアクセス数

というような単位時間中に平均で λ 回発生する事象がちょうど k 回(k は非負の整数、 $k=0, 1, 2, \dots$)発生する確率を表す場合に用いられる確率分布として、離散型の確率分布である二項分布やポアソン分布がある。偽陰性の発生回数はカウントデータであるため、ポアソン分布を用いるのが適当であることから、ELISA法及び公定法による分析結果についてポアソン分布を用いて偽陰性(ELISA法でスクリーニング値以下かつ公定法で4 MU/g超過)の発生確率について予測し、予測式に基づいてスクリーニング値を検討した。

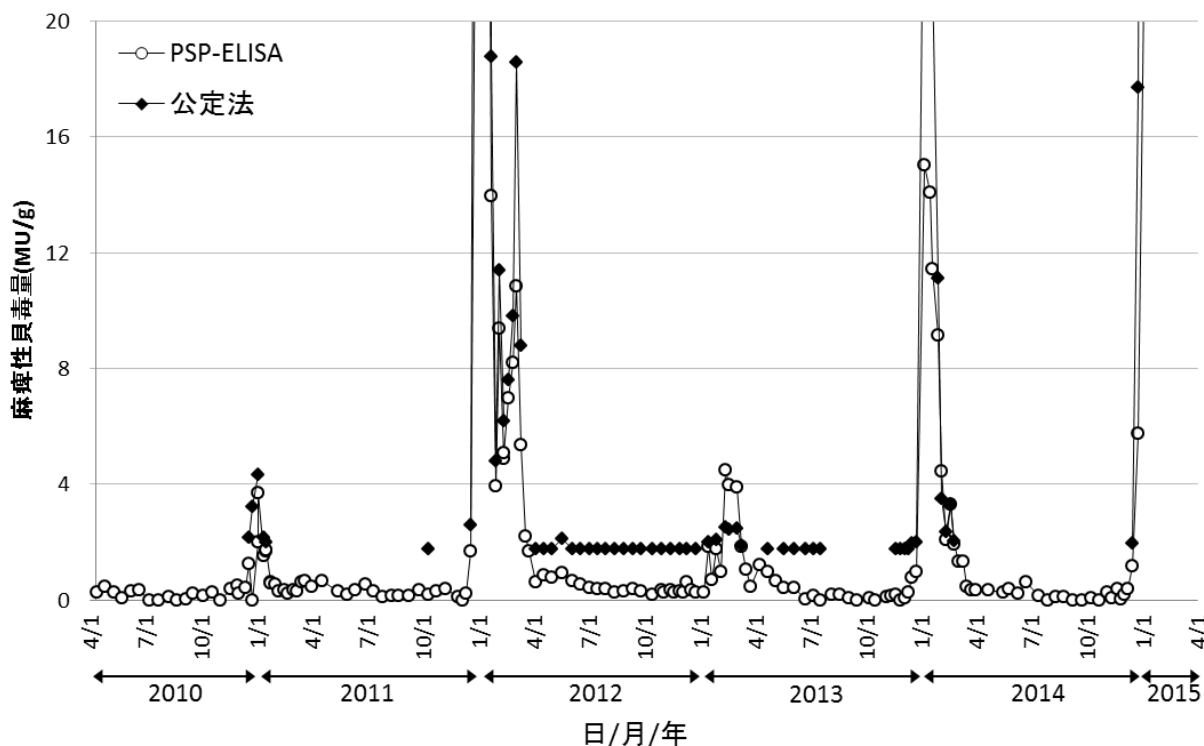


図2 麻痺性貝毒定期モニタリング調査結果

※公定法においては検出限界以下(1.75 MU/g以下)の検体については1.75 MU/gとして記載

結果と考察

1 麻痺性貝毒の毒力推移

ELISA 法及び公定法による麻痺性貝毒モニタリング結果を図 2 に示す。篠崎ら³⁾の報告と同様、カキの毒化は年末から翌年の春先にかけて発生していた。分析した 170 検体中、ELISA 法で 4 MU/g 以下かつ公定法で 4 MU/g を超過した検体が 2 検体あったことから、仮にスクリーニング値を 4 MU/g と設定していた場合には、2 検体の偽陰性が発生していたことになる。

現在の麻痺性貝毒モニタリングではスクリーニング値を 2 MU/g に設定している。この条件に当てはめた場合、分析した 170 検体の中に偽陰性の検体は無かった。

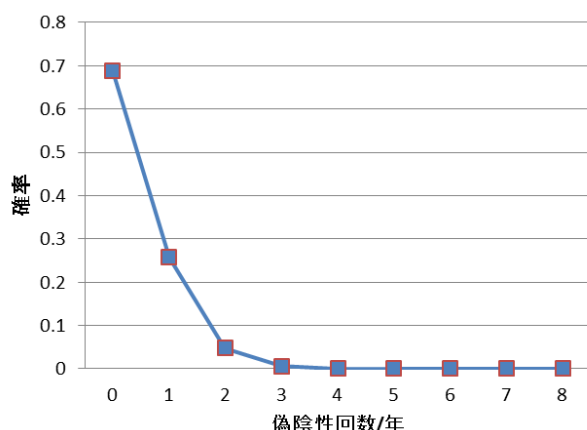


図 3 偽陰性発生確率

表 1 偽陰性発生確率

偽陰性数	0	1	2	3	4	5	6	7	8
確率	0.67	0.27	0.05	0.007	7.0×10 ⁻⁴	5.7×10 ⁻⁵	3.8×10 ⁻⁶	2.2×10 ⁻⁷	1.1×10 ⁻⁸

表 2 偽陰性数毎の観測度数・理論上の発生確率・理論度数

偽陰性数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合計
観測度数	3	2	0	0	0	0	0	0	0	5
理論上の発生確率	0.67	0.27	0.05	0.007	7.0×10 ⁻⁴	5.7×10 ⁻⁵	3.8×10 ⁻⁶	2.2×10 ⁻⁷	1.1×10 ⁻⁸	
理論度数	3.4	1.3	0.27	0.036	0.0036	2.9×10 ⁻⁴	1.9×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁶	5.5×10 ⁻⁸	

2 偽陰性の検討

スクリーニング値を 4 MU/g に設定した場合には、偽陰性が 170 検体中 2 検体発生したことになるので、1 検体あたりの偽陰性発生確率を求めると、 $2/170=0.012$ となる。

ポアソン分布に従いつつ年間 34 検体分析すると仮定した場合、偽陰性発生回数の期待値は、 0.012×34 検体 = 0.4 回/年となる。

平均 0.4 回/年の偽陰性が発生する場合、ポアソン分布から求められる今後 1 年間の偽陰性発生確率を表 1 及び図 3 に示す。今回得られた分布から求められる偽陰性数毎の理論上の発生確率及び理論度数、実際の偽陰性発生回数を示す観測度数を表 2 に示す。表 2 の数値を基に、実際の偽陰性の発生とポアソン分布の適合度検定 (χ^2 検定) を行った。 χ^2 検定は実測度数と期待度数との差を統計的に検定する場合に用いられ、

$$\chi^2 = \sum (\text{観測度数} - \text{理論度数})^2 / \text{理論度数}$$
 で表される。表 2 の数値を当てはめると $\chi^2 = 0.99 > 0.05$ となり帰無仮説が棄却されないため、今回得られた分布はポアソン分布に適合していると考えられる。

3 異なるスクリーニング値における偽陰性発生確率の検討

本研究で、スクリーニング値を 4 MU/g に設定した場合の今後 1 年間に偽陰性が少なくとも 1 回発生する確率は、約 33% となった (表 3)。

ここでスクリーニング値を 3 MU/g 及び 2 MU/g に設定した場合について同様に検討すると、スクリーニング値が 3 MU/g の場合は 2010 年 4 月から 2015 年 3 月までの間に 1 回の偽陰性が発生し、偽陰性が今後 1 年間に少なくとも 1 回発生する確率は、約 18% だった。また、スクリーニング値が 2 MU/g の場合は偽陰性の発生はないため、偽陰性が今後 1 年間に少なくとも 1 回発生する確率は、0% となった (表 3)。

表 3 スクリーニング値別偽陰性発生確率

スクリーニング値	偽陰性発生確率
2 MU/g	0%
3 MU/g	18%
4 MU/g	33%

麻痺性貝毒では日本国内で 4 件の死亡例が発生している。偽陰性は本来出荷自主規制をするべき毒力の二枚貝を流通させてしまうことに繋がり、最悪の場合、死亡事例が発生してしまうことが考えられる。偽陰性の発生確率は、33% はもとより 18% でも高いと考えられるため、スクリーニング値は 2 MU/g に設定することが妥当であると考えられた。

要 約

麻痺性貝毒の簡易測定法キット (PSP-ELISA) を用いたモニタリングにおける本県海域でのスクリーニング値の検討を行った。

ELISA 法と公定法での検査結果を比較し、ポ

アソン分布に当てはめたところ、スクリーニング値 2、3、4 MU/g における今後 1 年間の偽陰性の発生確率は 0%、18%、33% であった。この結果、スクリーニング値 2 MU/g が妥当であることが分かった。

文 献

- 1) 向井宏比古. 熊本県沿岸域における麻痺性貝毒モニタリングへのスクリーニングとしての ELISA 法 (サキシトキシン定量キット) の利用について. 熊本県水産研究センター研究報告, 第 8 号, 73-79 (2008)
- 2) Kawatsu, K., Hamano, Y., Sugiyama, A., Hashizume, K., Noguchi, T. Development and application of an enzyme immunoassay based on a monoclonal antibody against gonyautoxin components of paralytic shellfish poisoning toxins. *J. Food Prot.*, 65, 1304-1308 (2002).
- 3) 篠崎貴史, 渡邊龍一, 川津健太郎, 櫻田清成, 高日新也, 上野健一, 松嶋良次, 鈴木敏之. 麻痺性貝毒簡易検出キット (PSP-ELISA) を用いた貝毒モニタリングシステムの有効性, *食衛誌*, 54, 397-401 (2013)
- 4) 厚生労働省監修: 食品衛生検査指針 理化学編, 日本食品衛生協会, pp. 673-680 (2005).

熊本県有明海・八代海における水質環境の 長期変動について

多治見誠亮, 吉村直晃, 増田雄二, 川崎信司

Long-term transition of Water Quality in Ariake Sea and Yatushiro Sea, off
Kumamoto Prefecture, Japan

Seisuke Tajimi, Naoaki Yoshimura, Yuji Masuda, Shinji Kawasaki

キーワード：有明海、八代海、水質、長期変動

熊本県は有明海・八代海・天草灘の3海域を有しており、それぞれの海域の特性を活かした漁業が営まれている。

そのうち、有明海では、潮汐による干満差が大潮時には5mを超えるなど大きく、干潮時には広大な干潟が広がるため、ノリ養殖やアサリ・ハマグリ等の採貝漁業が盛んである。また、八代海では、穏やかな潮流により海水交流が緩慢であることや、入江や島が多いなどの地理的特徴から魚類養殖が盛んである。一方、近年における両海域の漁業生産状況は厳しく、有害赤潮の多発化に伴う漁業被害や漁場環境の変化による収穫量や漁獲量の低下等が懸念されている。

本センターにおける有明海・八代海の調査の歴史は古く、全国的な規模で発足した漁海況予報事業と並行して、1964年度から水質のモニタリングを実施してきた。1974年度以降は有明沿岸の4県で協議し、調査時期の変更や調査項目の追加等、モニタリング体制の見直しや整理を図り、月1回程度の頻度で現在まで継続して実施している。40年以上続けられてきた調査の結果は、その都度、事業報告書としてまとめられ、2006年までの両海域の水質変動傾向については、山形ら¹⁾によって報告されている。しかし、2006年以降の水質データを加えた解析の報告はなく、前途のとおり、近年危惧される漁業生産の低下を軽減するためにも、最新のデータを用いた両海域の水質変動傾向を把握することは不可欠である。そこで、本報告では、2006年度以降のデータを加えて、両海域の水質変動について解析を行ったので報告する。

材料と方法

1974年4月から2013年3月に月1回の頻度で実施した浅海定線調査（有明海）18点および内湾調査（八代海）20点の調査結果（主に5m層）を解析した（Fig.1）。

解析は、水温、塩分、透明度、溶存酸素量（以下、DO）、pH、COD、各種栄養塩類（T-N、T-P、DIN、PO₄-P、SiO₂-Si）、プランクトン沈殿量（以下、PL沈殿量）を用い、項目毎に調査開始年度・調査点・調査頻度が異なることを踏まえ、Table.1に示すデータを用いた。測定方法及び分析手法についてはTable.2に示す方法を用いた。

解析に際しては、過去の報告との整合性を保つために、山形ら²⁾が実施した手法に従い、12区間移動平均の回帰直線を引き、0.1%の危険率で有意なもの（ $p < 0.001$ ）を「上昇」「下降」として判断し、その傾きから変化の程度を試算した。有意な変化が確認された項目については、季節別（3～5月：春、6～8月：夏、9月～11月：秋、12～2月：冬とした。また、八代海のCODなどの一部項目については、5月を春、8月を夏、11月を秋、2月を冬とした）についての変動解析も行った。

また、有明海は横内ら²⁾、八代海は園田ら³⁾の報告を参考に、有明海を3水域、八代海を5水域に区分し、水域毎の推移の違いについても検討した。

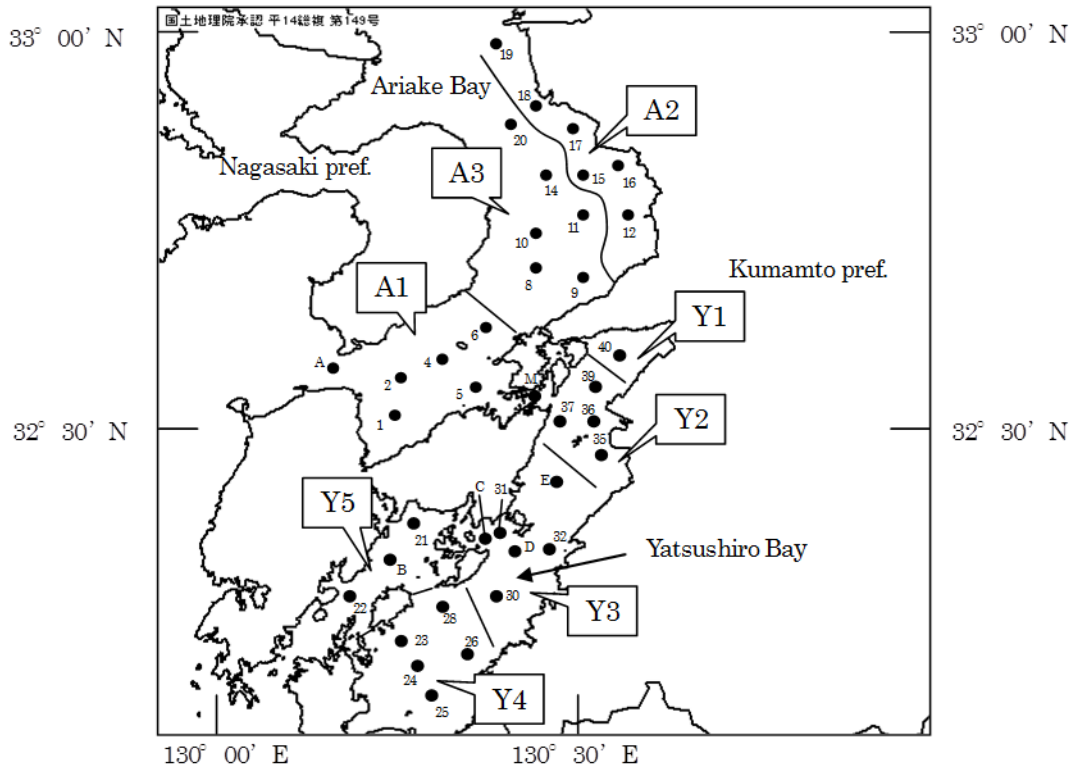


Fig. 1 浅海定線調査(有明海)及び内湾調査定点(八代海)

Table. 1 解析に用いた調査結果一覧

項目	有明海			八代海		
	年	地点数	回数/年	年	地点数	回数/年
水温	1974~2013	18	12	1974~2013	20	12
塩分				1974~2013	11 ^{※1}	11 ^{※3}
透明度	1993~2013	18		1991~2013	11 ^{※3}	4 (5,8,11,2月)
DO	1981~2013	11 ^{※1}				
pH	1974~2013	11 ^{※1}		1994~2013	9 ^{※4}	12
COD	1994~2013	11 ^{※2}		2001~2013	11 ^{※3}	4 (5,8,11,2月)
DIN	1998~2013	11 ^{※1}		2005年度測定開始、データ蓄積中		
NH ₄ -N	1998~2013	11 ^{※1}				
PO ₄ -P	1998~2013	11 ^{※1}				
PL沈殿量	1998~2013	11 ^{※1}				
SiO ₂ -Si	1998~2013	11 ^{※1}				
T-N	1998~2013	11 ^{※1}				
T-P	1998~2013	11 ^{※1}				

※1 St. 1,4,5,9,10,12,14,16,17,18,19

※2 St. 2,8,9,11,12,14,15,16,17,18

※3 St. 21,22,24,26,28,30,31,32,40,D,M

※4 St. 21,22,26,28,30,31,32,39,C

Table. 2 各項目の分析測定方法

項目	観測層 (m)	測定機器及び方法
水温	0.5, B・1	電子機器 (CTD) 等
塩分	5	
透明度	-	透明度板
pH [*]	5	ガラス電極法
DO	5	ウインクラー-アジ化ナトリウム変法
COD	5	アルカリ性過マンガン酸カリウム消費量法
DIN	5	NO ₃ -N: 銅カドミウムカラム吸光度法
		NO ₂ -N: ナフチルエチレンジアミン吸光度法
		NH ₄ -N: インドフェノール青吸光度法
PO ₄ -P	5	モリブデン青吸光度法
PL沈殿量	鉛直曳き (0~5m)	ネット(目合い0.1mm)の鉛直5m曳き 10%ホルマリンで固定後、24時間静置 ろ水率100%としてml/m ³ に換算
SiO ₂ -Si	5	モリブデン青吸光度法
T-N	5	ペルオキシニ硫酸カリウム-水酸化ナトリウム 分解ナフチルエチレンジアミン吸光度法
T-P	5	ペルオキシニ硫酸カリウム-水酸化ナトリウム 分解モリブデン青吸光度法

* 有明海は2006年以降より5m層(2005年以前は0m層)による観測値を使用。

結果

1 水温

両海域の 5m 層における水温の推移を示す (Fig.2, Fig.3)。5m 層における水温の平均は、有明海で 8.9~28.4°C (平均 18.8°C)、八代海で 9.5~28.6°C (平均 19.4°C) で推移した。12 区間移動平均より調査期間 (38 年間) における変化を試算すると、有明海では 0.51°C の上昇、八代海でも 0.69°C の上昇と見積もられた (p<0.001)。

また、表層及び底層においても有明海は 0.51~0.64°C の上昇、八代海でも 0.66~0.78°C 上昇しており、5m 層と同程度の上昇が確認された (Table.3)。

なお、季節別の水温の推移については、両海域ともに冬季の上昇が大きく、春季において上昇が小さかった (Fig.4, Fig.5, Table.4)。海域毎の変化では、各水域とも上昇傾向が確認された (Table.13, Table.14)。

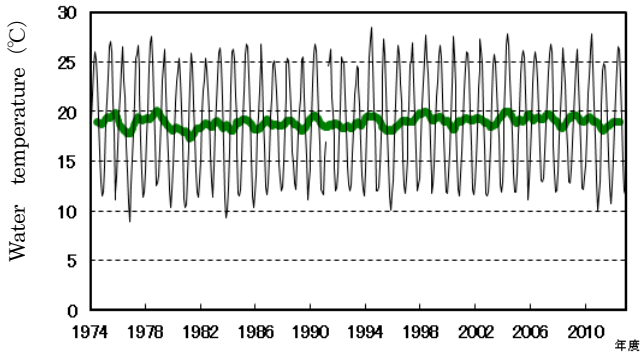


Fig. 2 有明海における水温の長期変動 (5m層)
(黒線：観測値 緑線：12区間移動平均値)

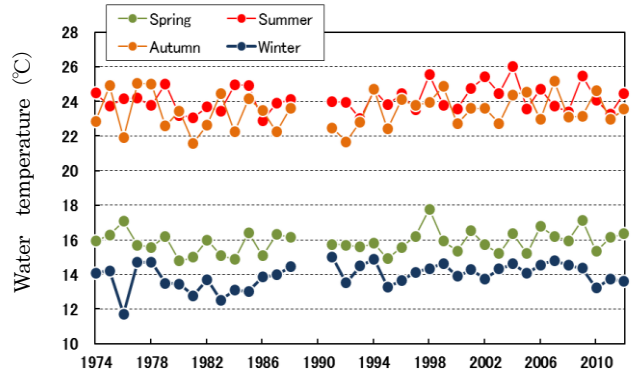


Fig. 5 八代海における水温の季節別変動 (5m層)

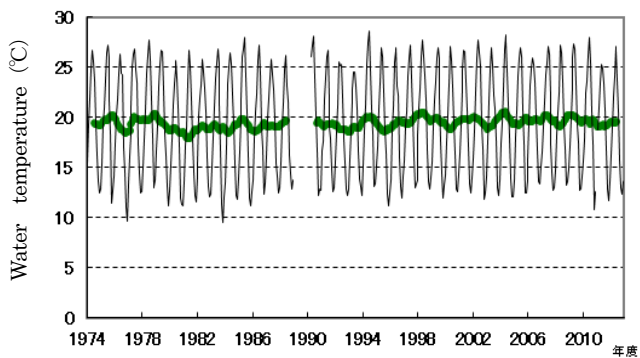


Fig. 3 八代海における水温の長期変動 (5m層)
(黒線：観測値 緑線：12区間移動平均値)

Table. 4 両海域における水温の季節別変化

海域	季節	平均	変化
有明海	春	15.24	0.21
	夏	23.89	0.25
	秋	22.89	0.56
	冬	13.40	0.71
八代海	春	15.89	0.41
	夏	24.13	0.47
	秋	23.45	0.44
	冬	13.93	0.72

Table. 3 両海域における水温の長期変化

海域	調査層	平均	変化
有明海	表層	19.1	0.51*
	5m層	18.8	0.51*
	底層	18.7	0.64*
八代海	表層	19.6	0.66*
	5m層	19.4	0.60*
	底層	19.1	0.78*

※p<0.001

2 塩分

両海域の 5m 層における塩分の推移を示す (Fig6, Fig7)。5m 層における水温の平均は、有明海で 24.8~34.1 (平均 32.1)、八代海で 22.5~34.6 (平均 32.5) で推移した。塩分で 30 を下回ったのは、7 月に集中しており、梅雨や台風等で降雨が多くなる時期と一致していた。

一方、調査期間 (38 年間) における一定の長期変動は認められなかった。

なお、各水域では、有明海では A1 で有意な低下、八代海では Y1 で有意な上昇、Y1、Y3、Y4、Y5 で有意な低下が認められた (Table13、Table14)。

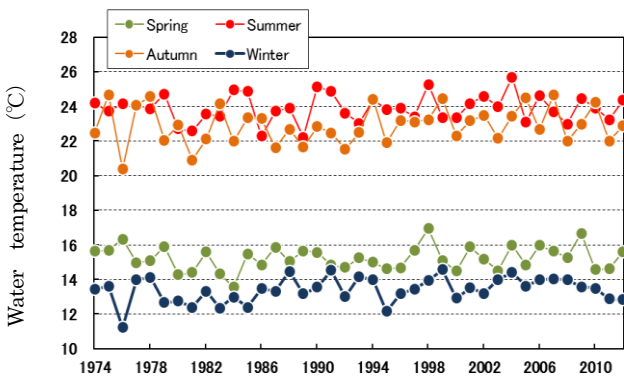


Fig. 4 有明海における水温の季節別変動 (5m層)

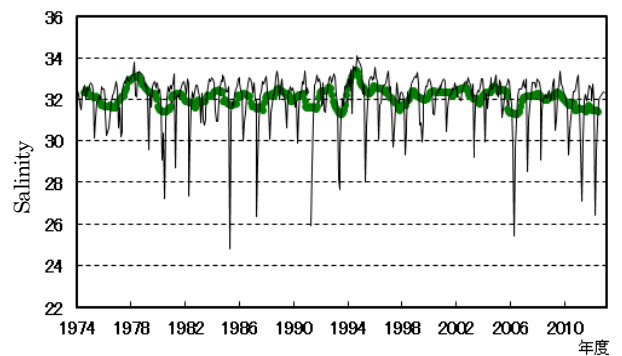


Fig. 6 有明海における塩分の長期変動 (5m層)
(黒線：観測値 緑線：12区間移動平均値)

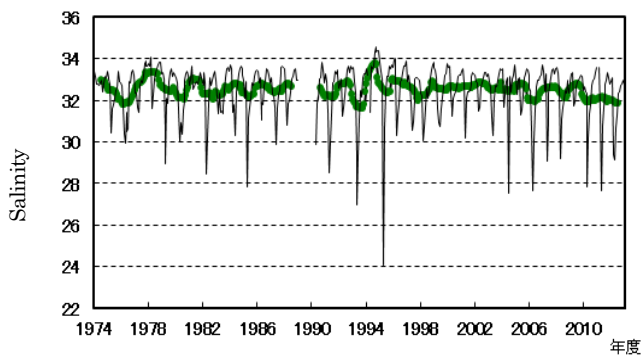


Fig. 7 八代海における塩分の長期変動 (5m層)
(黒線：観測値 緑線：12区間移動平均値)

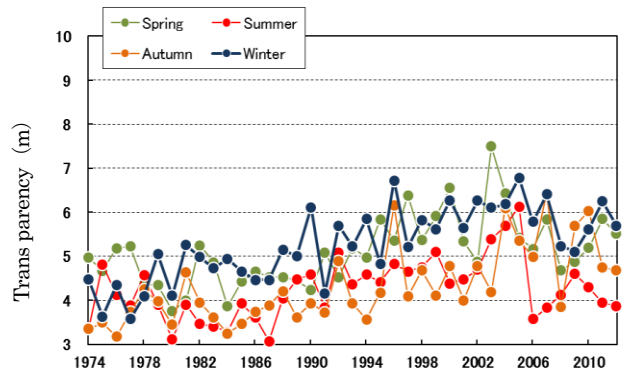


Fig. 10 有明海における透明度の季節別変動

3 透明度

両海域の透明度の推移を示す (Fig8、Fig9)。透明度の平均は、有明海で 2.2~11.0m (平均 4.7m)、八代海で 1.9~11.9m (平均 6.1m) で推移した。

12区間移動平均より調査期間 (38年間) における変化を試算すると、有明海では 1.6m の上昇、八代海でも 1.0m の上昇と見積もられた ($p < 0.001$)。

なお、季節別の推移として、有明海では秋季～冬季を中心に周年を通じた上昇が確認され、八代海では秋季～冬季における高い上昇が確認された。(Fig.10、Fig.11、Table.5)。

また、海域毎の変化では、各水域とも上昇傾向が確認された (Table13、Table14)。

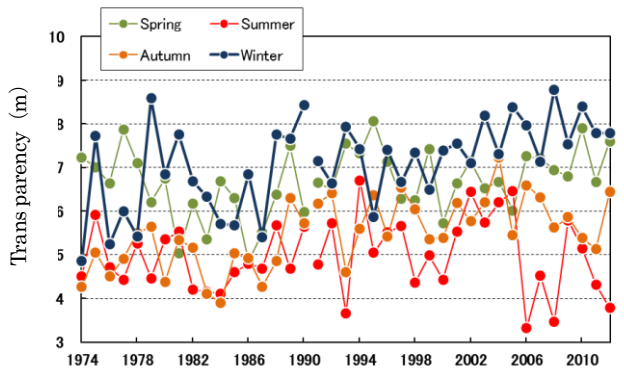


Fig. 11 八代海における透明度の季節別変動

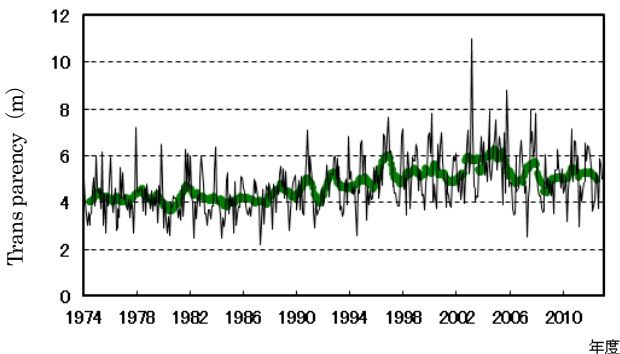


Fig. 8 有明海における透明度の長期変動
(黒線：観測値 緑線：12区間移動平均値)

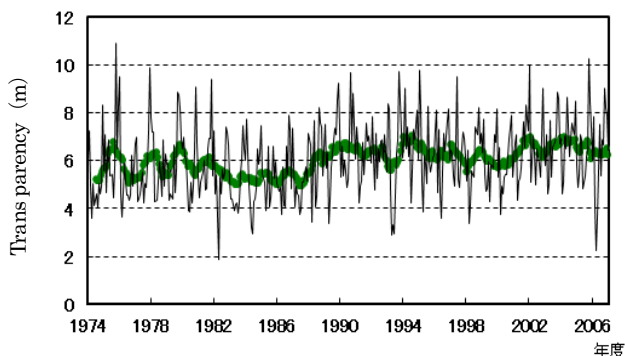


Fig. 9 八代海における透明度の長期変動
(黒線：観測値 緑線：12区間移動平均値)

Table. 5 両海域における透明度の季節別変化

海域	季節	平均	変化
有明海	春	5.1	1.40
	夏	4.3	0.91
	秋	4.3	1.94
	冬	5.3	2.05
八代海	春	6.7	0.60
	夏	5.0	0.07
	冬	7.1	1.84

4 DO

両海域の5m層におけるDOの推移を示す (Fig12、Fig13)。DOの平均は、有明海で 5.4~10.2mg/L (平均 7.7 mg/L)、八代海で 5.6~10.9mg/L (平均 7.7 mg/L) で推移した。

12区間移動平均より調査期間 (38年間) における変化を試算すると、有明海では 0.098mg/L の低下と見積もられた ($p < 0.001$)。一方、八代海では一定の長期変動は見いだせなかった。

なお、季節別の推移では、春季に高く、夏季～秋季における顕著な低下が確認された (Fig.14、Table.6)。

また、各水域では、有明海では A1 及び A3 で有意な低下が確認された (Table13、Table14)。

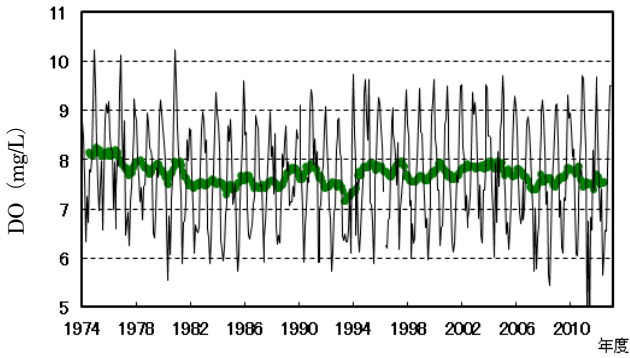


Fig. 12 有明海におけるD0の長期変動 (5m層)
(黒線：観測値 緑線：12 区間移動平均値)

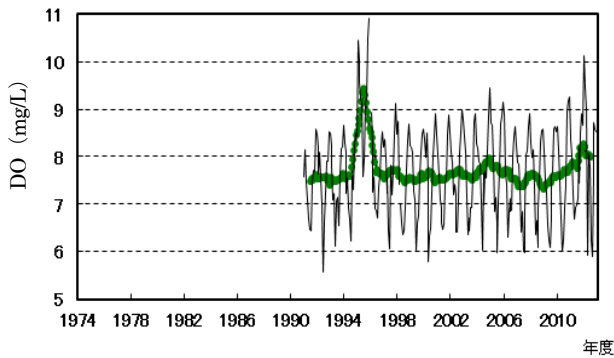


Fig. 13 八代海におけるD0の長期変動 (5m層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

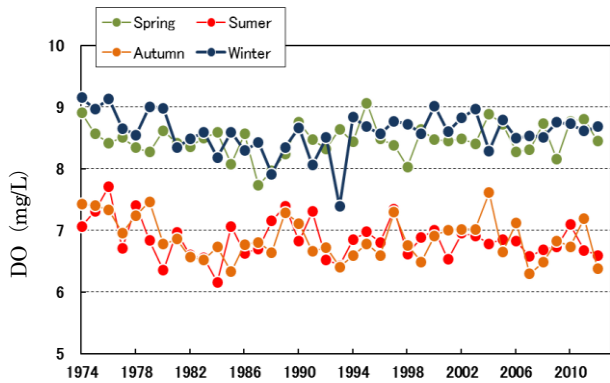


Fig. 14 有明海におけるD0の季節別変動 (5m層)

Table. 6 有明海におけるD0の季節別変化

海域	季節	平均	変化
有明海	春	8.5	0.11
	夏	6.8	-0.32
	秋	6.9	-0.30
	冬	8.6	-0.06

5 COD

両海域の 5m 層における COD の推移を示す (Fig15、Fig16)。COD の平均は、有明海で 0.05 ~1.7mg/L (平均 0.63 mg/L)、八代海で 0.10~

1.01mg/L (平均 0.50 mg/L) で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (有明海 38 年間、八代海 21 年間) における変化を試算すると、有明海では 0.09mg/L の上昇と見積もられた ($p<0.001$)。一方、八代海では一定の長期変動は見いだせなかった。

なお、季節別の推移では、春季の上昇が確認された (Fig.17、Table.7)。

また、各水域では、有明海では A2、八代海では Y1 で有意な上昇が確認された (Table13、Table14)。

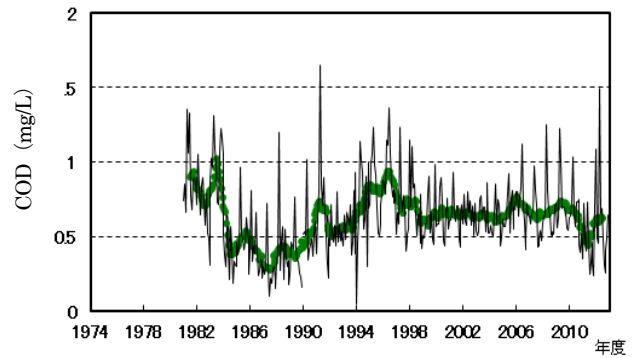


Fig. 15 有明海におけるCODの長期変動 (5m層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

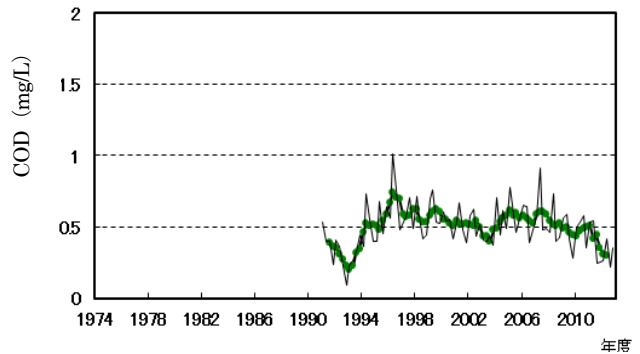


Fig. 16 八代海におけるCODの長期変動 (5m層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

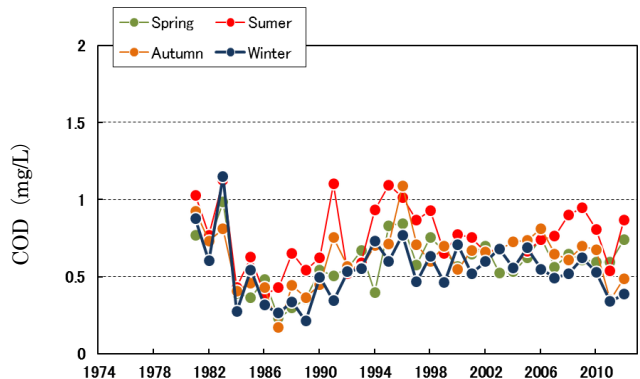


Fig.17 有明海におけるCODの季節別変動 (5m層)

Table. 7 有明海における COD の季節別変化

海域	季節	平均	変化
有明海	春	0.59	0.11
	夏	0.75	0.06
	秋	0.62	0.06
	冬	0.54	-0.04

6 DIN

両海域の 5m 層における DIN の推移を示す (Fig.16、Fig17)。DIN の平均は、有明海で 0.45 ~ 21.6 $\mu\text{g-at/L}$ (平均 4.2 $\mu\text{g-at/L}$)、八代海で 0.34 ~ 8.8 $\mu\text{g-at/L}$ (平均 2.5 $\mu\text{g-at/L}$) の範囲で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (有明海 38 年間、八代海 21 年間) における変化を試算すると、八代海では 1.1 $\mu\text{g-at/L}$ の減少と見積もられた。(p<0.001)。一方、有明海では一定の長期変動は見いだせなかった。

なお、季節別の推移では、秋季の低下が顕著であった (Fig20、Table.8)。

また、各水域では、有明海では A1、八代海では Y1、Y3 及び Y4 で有意な低下が確認された (Table13、Table14)。

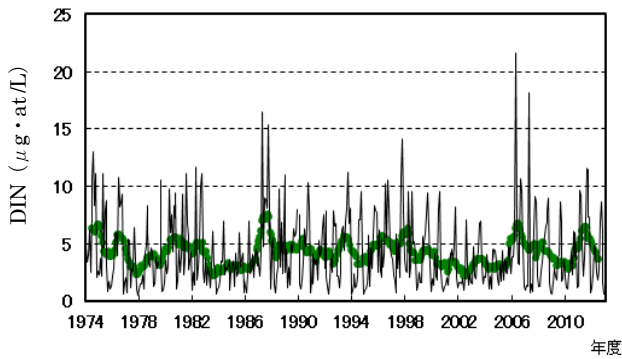


Fig. 18 有明海における DIN の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

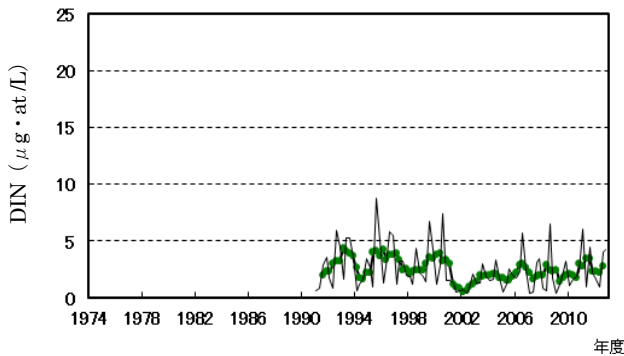


Fig. 19 八代海における DIN の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

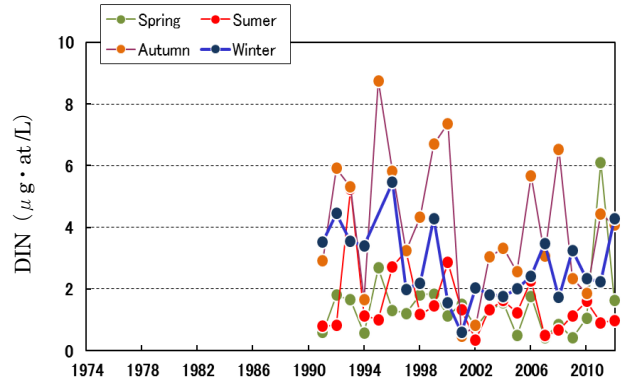


Fig. 20 八代海における DIN の季節別変動 (5m 層)

Table. 8 八代海における DIN の季節別変化

海域	季節	平均	変化
八代海	春	1.5	0.6
	夏	1.6	-1.2
	秋	4.1	-1.6
	冬	2.8	-1.2

7 NH₄-N

両海域の 5m 層における NH₄-N の推移を示す (Fig.21、Fig22)。NH₄-N の平均は、有明海で 0.06 ~ 9.1 $\mu\text{g-at/L}$ (平均 1.03 $\mu\text{g-at/L}$)、八代海で 0.02 ~ 5.5 $\mu\text{g-at/L}$ (平均 0.92 $\mu\text{g-at/L}$) の範囲で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (有明海 38 年間、八代海 21 年間) における変化を試算すると、有明海では 0.19 $\mu\text{g-at/L}$ の減少と見積もられた。(p<0.001)。一方、八代海では一定の長期変動は見いだせなかった。

なお、季節別の推移では、春季、夏季、秋季の低下が顕著であった (Fig23、Table.9)。

また、各水域では、有明海では A1 及び A3 で有意な低下、八代海では Y5 で有意な上昇が確認された (Table13、Table14)。

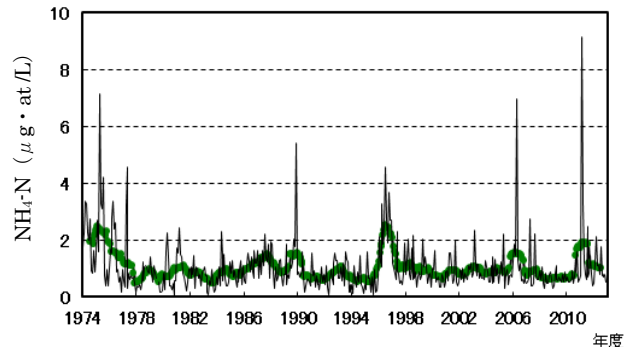


Fig. 21 有明海における NH₄-N の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

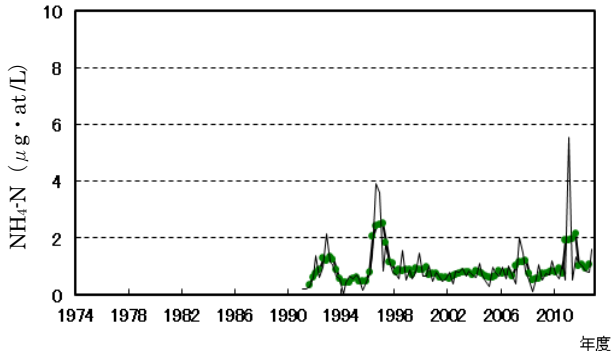


Fig. 22 八代海における NH₄-N の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

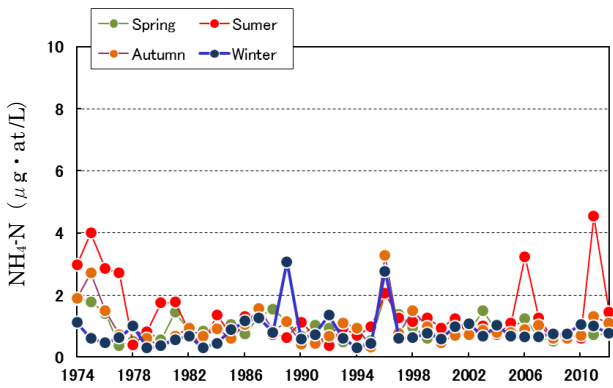


Fig. 23 有明海における NH₄-N の季節別変動 (5m 層)

Table. 9 有明海における NH₄-N の季節別変化

海域	季節	平均	変化
有明海	春	0.95	-0.39
	夏	1.4	-0.46
	秋	0.98	-0.33
	冬	0.85	0.16

8 PO₄-P

両海域の 5m 層における PO₄-P の推移を示す (Fig.24、Fig25)。PO₄-P の平均は、有明海で 0.00 ~ 1.4 µg-at/L (平均 0.35 µg-at/L)、八代海で 0.003 ~ 0.71 µg-at/L (平均 0.27 µg-at/L) の範囲で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (有明海 38 年間、八代海 21 年間) における変化を試算したが、両海域ともに有意な増減はなく、一定の長期変動は見いだせなかった。

また、各水域では、有明海では A3 で有意な上昇、八代海では Y1 で有意な低下が確認された (Table13、Table14)。

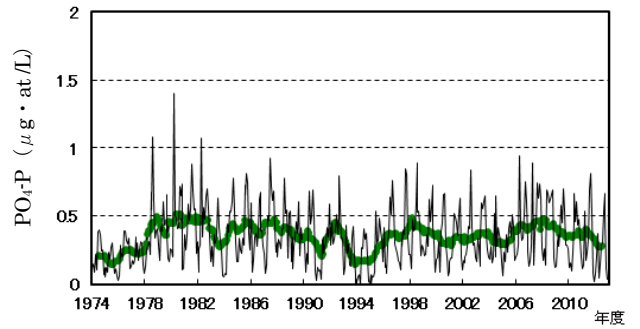


Fig. 24 有明海における PO₄-P の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

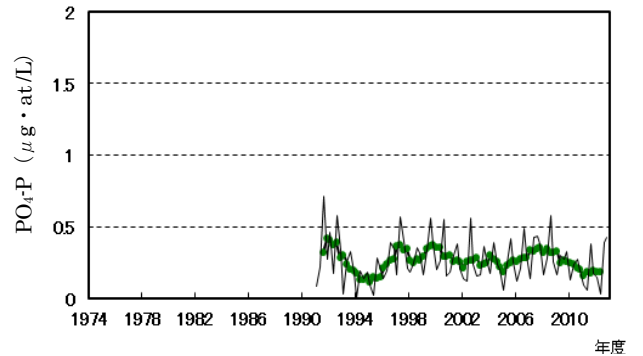


Fig. 25 八代海における PO₄-P の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

9 SiO₂-Si

両海域の 5m 層における SiO₂-Si の推移を示す (Fig.26、Fig27)。SiO₂-Si の平均は、有明海で 0.4~95 µg-at/L (平均 23 µg-at/L)、八代海で 0.3 ~ 25 µg-at/L (平均 11 µg-at/L) の範囲で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (有明海 16 年間、八代海 11 年間) における変化を試算したが、両海域ともに有意な増減はなく、一定の長期変動は見いだせなかった。

また、各水域では、八代海の Y1 及び Y4 で有意な低下が確認された (Table13、Table14)。

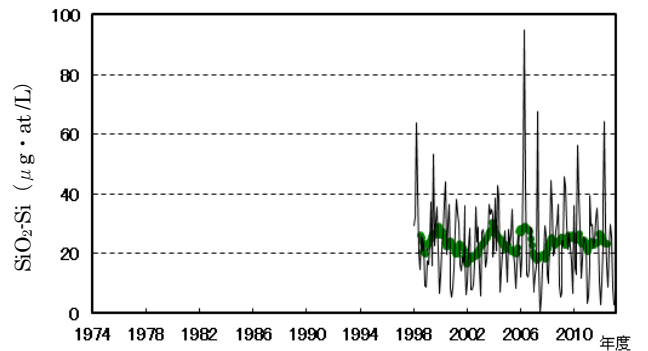


Fig. 26 有明海における SiO₂-Si の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

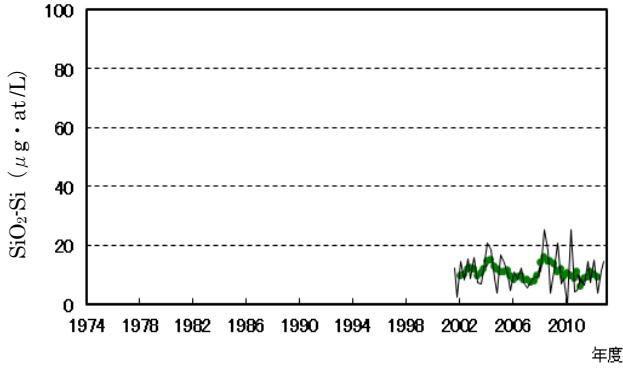


Fig. 27 八代海における SiO₂-Si の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

10 T-N (有明海のみ)

有明海の 5m 層における T-N の推移を示す (Fig.28)。T-N の平均は 3.8~37 µg-at/L (平均 16 µg-at/L) の範囲で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (有明海 14 年間) における変化を試算すると、1.2 µg-at/L の増加と見積もられた。(p<0.001)。

なお、季節別の推移では、春季の減少及び夏季の増加が顕著であった (Fig29、Table.10)。

また、各水域では、A2 及び A3 で有意な増加が確認された (Table13、Table14)。

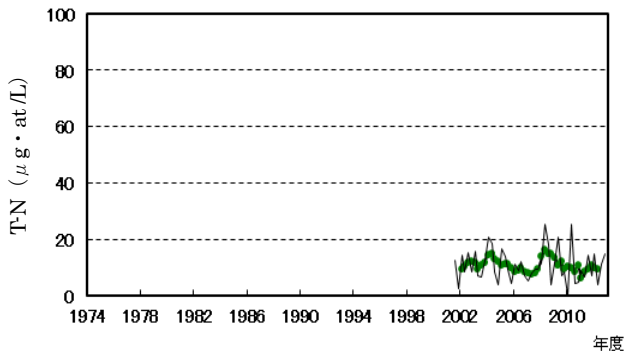


Fig. 28 有明海における T-N の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

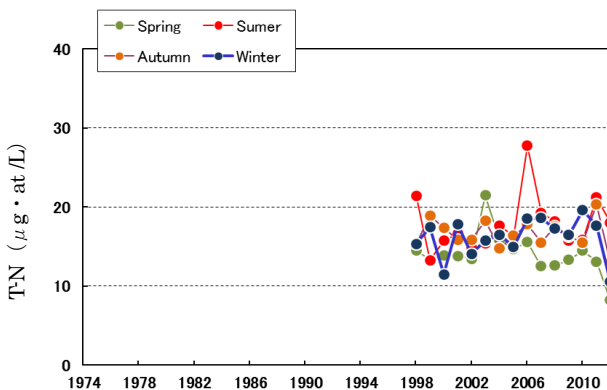


Fig. 29 有明海における T-N の季節別変動 (5m 層)

Table.10 有明海における T-N の季節別変化

海域	季節	平均	変化
有明海	春	14	-3.3
	夏	18	2.4
	秋	17	-0.67
	冬	16	1.0

11 T-P (有明海のみ)

有明海の 5m 層における T-P の推移を示す (Fig.30)。T-P の平均は 0.56~1.8 µg-at/L (平均 0.95 µg-at/L) の範囲で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (14 年間) における変化を試算したが、有意な増減はなく、一定の長期変動は見いだせなかった。

また、各水域でも、一定の変動は見いだせなかった (Table13、Table14)。

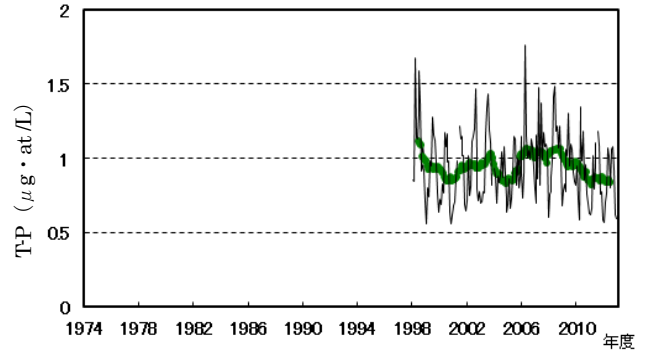


Fig. 30 有明海における T-P の長期変動 (5m 層)
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

12 PL 沈殿量

両海域の 5m 層における PL 沈殿量の推移を示す (Fig.31、Fig32)。PL 沈殿量の平均は、有明海で 1.1~224ml/m³ (平均 24 ml/m³)、八代海で 1.9~242 ml/m³ (平均 27 ml/m³) の範囲で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (14 年間) における変化を試算すると、有明海では 14 ml/m³ の低下、八代海では 16 ml/m³ の上昇と見積もられた (p<0.001)。

なお、季節別の推移では、有明海では春季の増加、夏季から秋季の低下が顕著であった。また、八代海では夏季、冬季における増加が顕著であった (Fig32、Fig33、Table.11)。

また、各水域では、有明海では A2 及び A3 で有意な低下、八代海では Y3 で有意な上昇が確認された (Table13、Table14)。

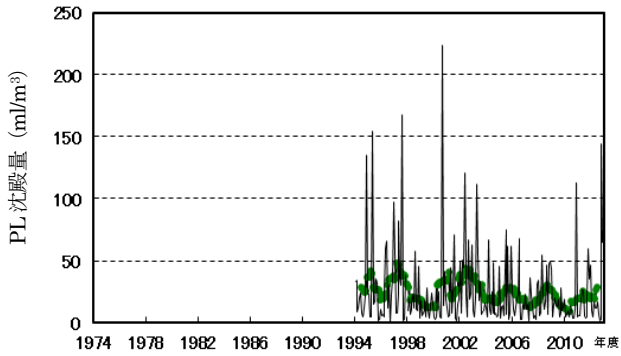


Fig. 30 有明海における PL 沈殿量の長期変動
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

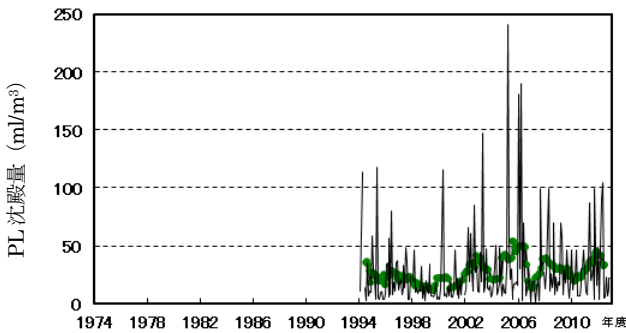


Fig. 31 八代海における PL 沈殿量の長期変動
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

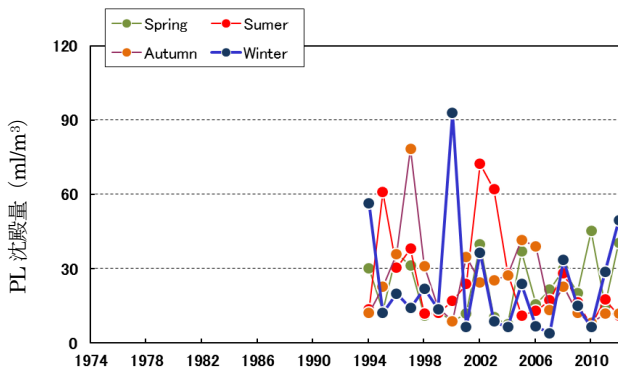


Fig. 32 有明海における PL 沈殿量の季節別変動

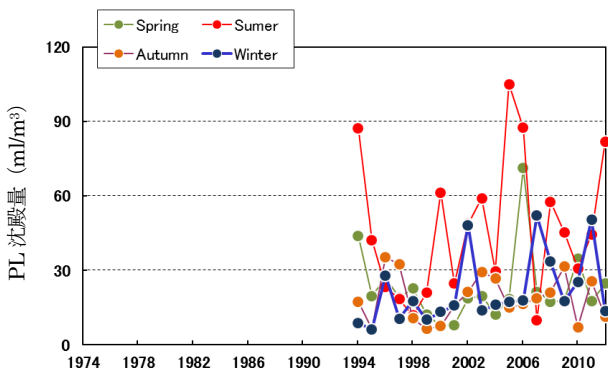


Fig. 33 八代海における PL 沈殿量の季節別変動

Table. 11 両海域における PL 沈殿量の季節別変化

海域	季節	平均	変化
有明海	春	23	9.1
	夏	26	-21
	秋	25	-21
	冬	24	-8.5
八代海	春	23	2.4
	夏	47	19
	秋	19	0.95
	冬	22	22

13 pH

両海域の 5m 層における pH の推移を示す (Fig.34, Fig35)。pH の平均は有明海で 8.1~9.3 (平均 8.27)、八代海で 8.1~8.4 (平均 8.23) の範囲で推移した。

12 区間移動平均より調査期間 (有明海 19 年間、八代海 21 年間) における変化を試算すると、有明海では 0.18 の低下、八代海でも 0.095 の低下と見積もられた ($p < 0.001$)。

なお、季節別の推移では、両海域ともに季節間での差は確認されなかった (Fig36、Fig37、Table.12)。

一方、各水域では、両海域ともに全ての水域で有意な低下が確認された (Table13、Table14)。

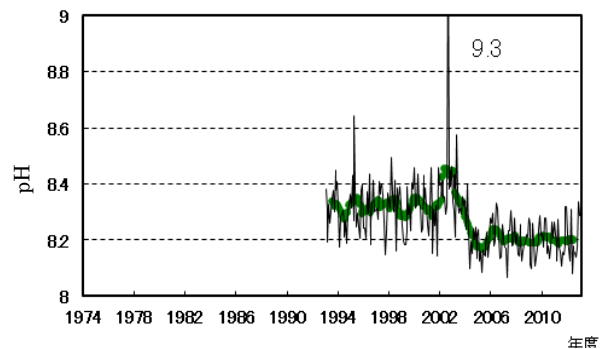


Fig. 34 有明海における pH の長期変動
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

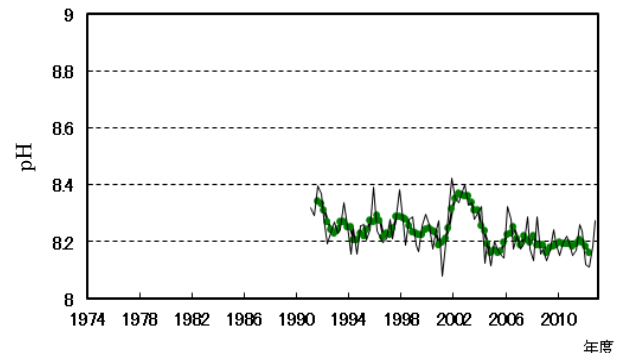


Fig. 35 八代海における pH の長期変動
(黒線：観測値 緑線：4 区間移動平均値)

Table. 12 両海域における pH の季節別変化

海域	季節	平均	変化
有明海	春	8.3	-0.15
	夏	8.3	-0.20
	秋	8.3	-0.20
	冬	8.3	-0.17
八代海	春	8.2	-0.12
	夏	8.2	-0.06
	秋	8.2	-0.08
	冬	8.3	-0.14

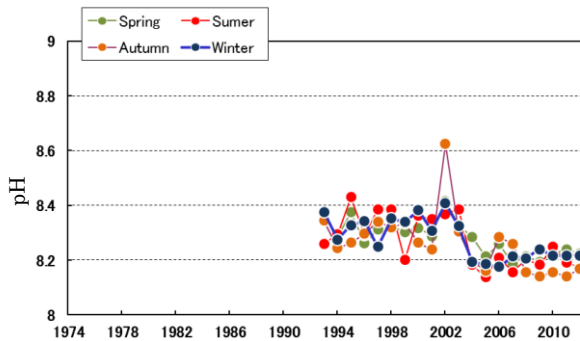


Fig. 36 八代海における pH の季節別変動

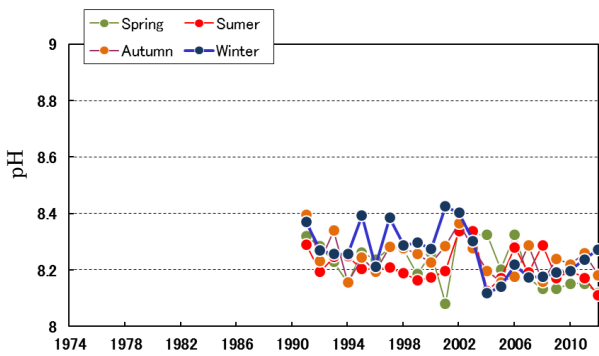


Fig. 37 八代海における pH の季節別変動

Table. 13 有明海における水域別の長期変動

	A1		A2		A3	
	平均	変化	平均	変化	平均	変化
水温	19.1	0.55*	18.6	0.51*	18.8	0.46*
塩分	33.09	-0.17*	31.36	-0.11	31.75	-0.15
透明度	7.16	2.2*	2.4	1.0*	4.72	1.7*
DO	7.6	-0.24*	7.4	0.01	7.85	-0.14*
COD	0.43	-0.07	0.76	0.21*	0.62	0.04
DIN	3.3	-0.58*	5.1	-0.16	3.57	0.0049
NH4-N	0.87	-0.51*	1.21	-0.17	0.86	-0.30*
PO4-P	0.25	0.07*	0.44	-0.00077	0.30	0.04*
SiO2-Si	12	-0.80	31.57	0.54	20.94	2.2
T-N	12	0.30	19.38	1.7*	14.87	1.3*
T-P	0.60	-0.03	1.25	-0.05	0.80	0.05
PL沈殿量	17	-1.2	25	-12*	26	-19*
pH	8.3	-0.16*	8.3	-0.22*	8.3	-0.21*

*p<0.001

Table 14 八代海における水域別の長期変動

	Y5		Y4		Y3		Y2		Y1	
	平均	変化	平均	変化	平均	変化	平均	変化	平均	変化
水温	19.8	0.65*	19.7	0.63*	19.3	0.63*	18.7	0.62*	18.49	0.38*
塩分	33.32	-0.32*	33.05	-0.25*	32.48	-0.20*	31.74	-0.07	30.72	0.3*
透明度	9.15	1.6*	8.56	0.94*	5.80	1.3*	2.58	0.93*	1.88	0.73*
DO	7.5	-0.09	7.8	0.03	7.80	-0.1	-	-	7.47	-0.07
COD	0.39	-0.06	0.42	0.04	0.50	-0.0046	-	-	0.83	0.40*
DIN	2.9	-0.35	2.1	-0.72*	2.0	-0.90*	-	-	3.89	-2.6*
NH4-N	0.98	0.44*	0.76	0.19	0.80	0.05	-	-	1.81	0.13
PO4-P	0.27	-0.01	0.23	-0.04	0.25	-0.03	-	-	0.42	-0.12*
SiO2-Si	8.2	-0.30	8.6	-1.7*	10	-0.93	-	-	21.25	-11.3*
T-N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PL沈殿量	16	1.2	22	8.8	31	19*	-	-	-	-
pH	8.2	-0.11*	8.2	-0.11*	8.3	-0.11*	8.3	-0.17*	8.3	-0.06*

*p<0.001

考 察

1 水温の上昇について

本報告により、熊本県有明海及び八代海の水温の長期変動は、12 区間移動平均では上昇傾向にあった。

一方、5m 層における 2006 年度～2012 年度までの変動については、有明海では 0.69°C の低下、八代海でも 0.59°C の低下傾向 (p<0.001) が確認され、長期的には上昇しているが、近年は低下傾向にあると考えられた (データ記載なし)。

また、季節別の変化を見ると、両海域ともに秋～冬季の上昇が大きかった。

秋季～冬季における海水温の上昇は、熊本県における主要水産業であるノリ養殖業に大きな影響を与えると予想される。熊本県におけるノリ養殖は、有明海を中心に発展し、1994 年度漁期以降は 10 億枚前後の生産を続けている。

しかし、近年は珪藻プランクトンの増殖と関係があるとされる「ノリの色落ち被害」や、燃油や資材の高騰に伴う生産コストの上昇等により安定的な生産が困難な状況になっている。西川ら⁴⁾によると、冬季の水温上昇と大型珪藻プランクトンの大量発生機構の関与が指摘されている。熊本県においても近年、ノリ養殖漁期における *Eucampia zodiacus* による赤潮の報告があり、今後ノリ養殖業への影響が懸念される。

2 透明度の上昇について

本報告により、熊本県有明海及び八代海の透明度の長期変動は、12 区間移動平均では長期的な上昇傾向にあり、この結果は山形ら¹⁾の報告と一致するものであった。

季節別の推移をみると、両海域ともに夏季における上昇が低かった。この要因としては、梅雨や台風における出水による濁度の増加等が推察される。近年の夏季における植物プランクトンの異常増殖が、透明度を低下させている⁵⁾可能性も指摘されており、今後より詳細について検討する必要がある。また、冬季における透明度の上昇が、ノリ漁期における珪藻プランクトンの増殖に与える影響についても今後検討していく必要がある。

3 栄養塩類の挙動について

栄養塩類の動向を見ると、12 区間移動平均では、DIN は有明海では一定の長期変動はなく、八代海では減少傾向にあった。PO₄-P は両海域ともに一定の長期変動は見いだせなかった。

DIN の季節別の推移をみると、両海域ともに秋季に高かったが、長期的には減少傾向にあった。

栄養塩類の挙動については、プランクトンの推移や河川水の出水等が大きく影響すると考えられる。有明海の PL 沈殿量の挙動をみると秋季の増加を捉えることはできず、微少な有機物量の指標となる COD の顕著な増加も認められなかった。

栄養塩類の長期変動については、山形らの報告と一致する内容であり、2006年度以降で大きく傾向は変化していないと推察される。

また、T-N、T-Pについても同様に、2006年度以降で大きく変化していないと推察された。

一方、水域別では変化が大きく、海域内でも傾向は異なっていた。

4 今後の取組みについて

熊本県では、有害赤潮の多発化及び変動する海洋環境の影響等により漁業生産量は減少傾向にある。このような危機的状況を打破するためには、海域毎の長期変動傾向について明らかにしていくとともに、今後も継続した定線調査の実施が不可欠である。また、今回確認されたpHの減少といった、海洋酸性化に伴う生態系への影響も更にデータを蓄積していくことで評価する必要がある。尚一層の長期データの必要性が高まっている。

今後もデータを蓄積、解析していくとともに、これらが熊本県の水産業や生態系に与える影響についてしっかりと読み解いていく必要があるだろう。

要 約

1974年4月から2013年までの熊本県有明海及び八代海における水質環境の長期変動について、12区間移動平均等によりその長期傾向を把握した。

有明海では、水温・透明度・DO・COD・NH₄-N・T-N・PL沈殿量・pHにて有意な増加及び低下が確認された ($p < 0.001$)。

八代海では、水温・透明度・DIN・PL沈殿量にて有意な増加及び低下が確認された ($p < 0.001$)。

2006年までの山形ら¹⁾の報告と比較すると、水温や透明度など大きく変化していない項目もあれば、pHなど新たに長期変動傾向が確認された項目もあった。

文 献

- 1) 山形卓・櫻田清成・小山長久・糸山力. 有明海・八代海における水質の長期推移について. 熊本県水産研究センター研究報告. 8.59-73(2008)
- 2) 横内克巳・半田亮司・川村嘉応・吉田雄一・山本憲一・清本容子・岡村和麿・藤原豪. 有明海にお

ける水質環境の水平分布と経時変化. 海と空. 80(4), 141-162(2005)

3) 園田吉弘・滝川清・川崎信司・青山千春・齋藤孝. 八代海海域における水質環境特性. 土木学会論文集 B3 (海洋開発). 69(2), 1240-1245(2013)

4) 西川哲也. 養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* の大量発生機構に関する整理生態学的研究. 兵庫農技総セ研報 (水産). 42, 1-82(2011)

5) 清本容子・山田一來・中田英昭・石坂丞二・田中勝久・岡村和麿・熊谷香・梅田智樹・木野世紀. 有明海における透明度の長期的上昇傾向及び赤潮発生との関連. 海の研究. 17(5), 337-356(2008)

2013 年度漁期に有明海熊本県海域で赤潮化した

Eucampia zodiacus の出現動態について

多治見誠亮, 吉村直晃, 川崎信司

Appearance movement of *Eucampia zodiacus* in 2013 in the Ariake Sea, off
Kumamoto Prefecture, Japan

Seisuke Tajimi, Naoaki Yoshimura, Shinji Kawasaki

キーワード：赤潮、有明海、珪藻、*Eucampia zodiacus*

熊本県のノリ養殖業は有明海を中心に発展し、1994 年度漁期以降は 10 億枚前後の生産を続けている (Fig.1)。しかし、2000 年度漁期は 12 月上旬からほぼ有明海全域で *Rhizosolenia imbricate* を主体とする赤潮が発生し、海中の栄養塩が消費され、養殖ノリの色調が低下する「色落ち」被害が生じた。熊本県でも生産枚数が前年比 80% と大きく減少し代表的な不作年となった¹⁾。また、近年はノリの色落ち被害の他に、燃油や資材の高騰に伴う生産コストの上昇、採苗・育苗期における海水の高水温化等の影響で安定的な生産が行えない状況が続いている。

このような状況の中、2013 年度漁期に有明海全域で *Eucampia zodiacus* (Fig.2) による赤潮が発生した。*E. zodiacus* は大型の珪藻プランクトンであり、瀬戸内海の播磨灘では 1990 年代後半以降はほぼ毎年のように大量発生しているため、ノリ色落ち原因珪藻として、大量発生機構に関する研究が進められている²⁾。熊本県海域でも 2000 年代以降に 5 回赤潮を形成したことが報告されており³⁾、ノリ色落ち原因珪藻の代表種として認識されているものの、有明海における *E.zodiacus* の生理・生態及び出現動態については研究例が少なく、不明な点が多いのが現状である。

そこで、本報告では、2013 年度ノリ漁期 (10 月～3 月頃) に赤潮化した *E.zodiacus* の出現動態と各種環境要因との関係について報告する。

なお、本報告で実施した広域調査の一部は、水産庁委託事業「閉鎖性海域赤潮被害防止対策事業」により実施した。

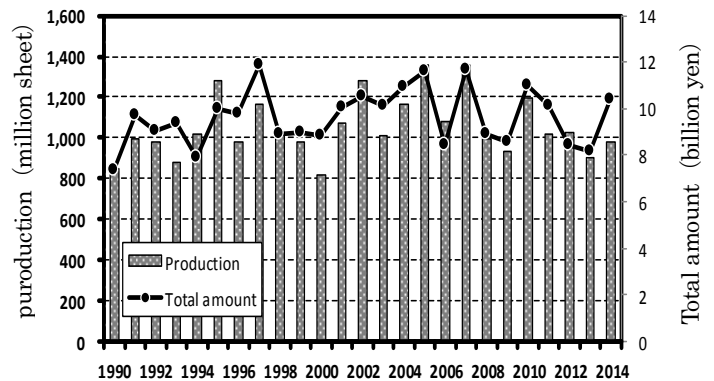


Fig. 1 熊本県におけるノリ生産枚数及びノリ生産金額の推移

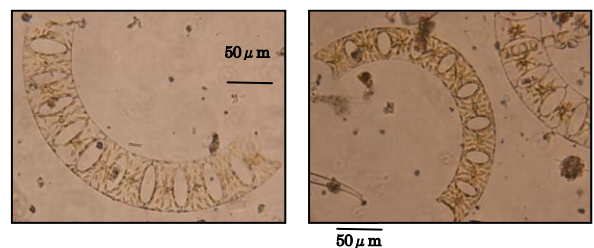


Fig. 2 *Eucampia zodiacus* (有明海長洲町沖)

材料と方法

2013 年 10 月から 2014 年 4 月にかけて、熊本県有明海における 8 定点 (Fig.3) で調査船「あさみ」による広域調査を原則として隔週に実施した。調査項目は、多項目水質計(JFE アドバンテック株式

会社製 AAQ1183-H) による水温・塩分・クロロフィル蛍光値等の鉛直観測のほか、採水器 (離合社製バンドーン採水器) による採水層(0m、2m、5m・・・B-1m)の各種栄養塩、植物プランクトン(0mのみ)とした。各種栄養塩については、WhatmanGF/C ガラス繊維濾紙 $1.2\mu\text{m}$ で濾過後、オートアナライザー((株)BL TEC 株式会社 QuAAtro2-HR)を用いて、溶存無機態窒素 (DIN)、リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$)、ケイ酸態ケイ素 ($\text{SiO}_2\text{-Si}$) の分析を行った。植物プランクトンについては、*E.zodiacus*、その他珪藻類、渦鞭毛藻類等について 1ml あたりの細胞数を光学顕微鏡下で計数した。また、気象統計データは気象庁気象統計情報ホームページの熊本地方気象台の結果を用いた。

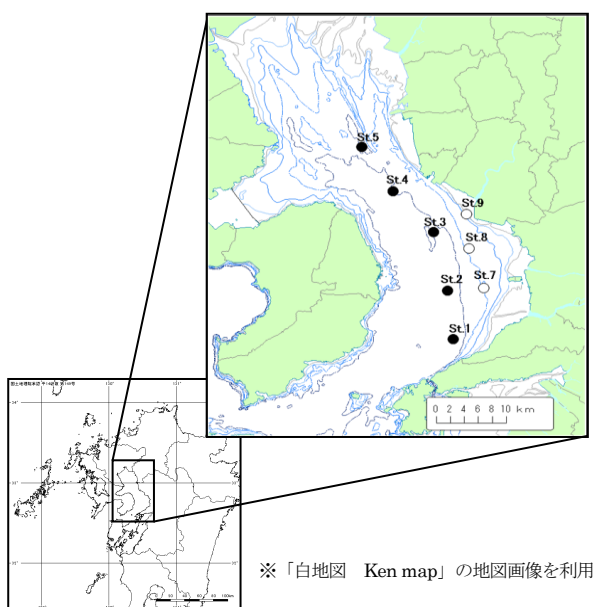


Fig.3 調査点図

結果

1 *E.zodiacus*、その他珪藻類、渦鞭毛藻類の細胞密度

2013年10月から2014年4月における、*E.zodiacus*、その他の珪藻類、渦鞭毛藻の細胞密度の変動を Table 1 に示す。

調査期間中、*E.zodiacus* は12月11日に St.2 で 10cells mL^{-1} 未満の低密度で初認された。その後、1月8日には St.8 及び St.9 の沿岸域でそれぞれ 4 cells^{-1} 、 25 cells mL^{-1} 確認された。1月22日には、St.5 および St.7~9 にかけて $20\sim 81\text{cells mL}^{-1}$ の範囲で確認され、1月24日には玉名市滑石地

先から玉名市岱明町にかけて *E.zodiacus* による赤潮が形成された⁴⁾。2月以降になると、赤潮を形成する範囲が広がり、2月6日には熊本県海域のノリ養殖漁場全域において高密度となり、赤潮状態となった⁵⁾。この状態は3月~4月まで続き、3月10日では $163\text{ cells mL}^{-1}\sim 889\text{ cells mL}^{-1}$ の範囲で、4月7日では *E.zodiacus* による着色は見られなかったものの最高 32 cells mL^{-1} 確認されていた。過去の熊本県海域における *E.zodiacus* 赤潮の発生状況を見ると、2月から3月にかけて赤潮を形成する傾向が多く見られていたが³⁾、2013年度については1月下旬と早い時期であった。

その他の珪藻類については、調査期間を通じて $1000\text{ cells mL}^{-1}$ を計測する日があり、10月~12月に集中していた。また、多くの場合、St.7~St.9 の沿岸域で特に濃密であった。なお、優占種は10月は *Skeletonema* spp.、11月~12月は *Chaetoceros* spp. であった(組成データ未記載)。

渦鞭毛藻類については、調査期間を通じて低密度で推移していた。

2 水温、塩分の変動について

2013年10月から2014年4月における水温・塩分の St.1~St.5 までの平均値の変動および St.7~St.9 までの平均値の変動を Fig.4 に示す。

水温は、沖合域の St.1~St.5 では表層および底層でそれぞれ $10.8\sim 24.7^\circ\text{C}$ 、 $11.1\sim 24.4^\circ\text{C}$ の範囲で、沿岸域の St.7~St.9 では表層および底層でそれぞれ $9.4\sim 25.1^\circ\text{C}$ 、 $10.9\sim 24.5^\circ\text{C}$ の範囲で推移した。全調査点を通じて10月初旬で最高値、1月中旬で最低値を記録した。また、St.7~St.9 のほうが水温の振れ幅が大きいことから気温の影響を受けやすい傾向が確認された。

塩分は、St.1~St.5 では表層および底層でそれぞれ $30.5\sim 32.5$ 、 $32.0\sim 33.0$ の範囲で、St.7~St.9 では表層および底層でそれぞれ $25.9\sim 31.3$ 、 $29.3\sim 32.8$ の範囲で推移した。全調査点を通じて10月下旬、11月上旬には降雨の影響により(熊本市で10月22日から28日にかけて計 61.5mm 、11月6日から12日にかけて計 36.5mm) 表層塩分の低下が確認された。St.7~St.9 のほうが塩分の振れ幅が大きく、沖合域である St.1~St.5 に比べて河川からの淡水の流入の影響を受けやすい傾向が確認された。

次に、*E.zodiacus* が各地点において 100cells mL^{-1} 以上確認された際の水温、塩分の値を Fig.5

に示す。熊本県では *E.zodiacus* が増殖した際の

Table 1 St. 1~5 及び St. 7~9 における *E. zodiacus*、その他珪藻類、渦鞭毛藻類の細胞密度の変動 (cells mL⁻¹)

Station number	Organisum	10月11日	10月28日	11月12日	11月26日	12月11日	12月24日	1月8日	1月22日	2月6日	2月17日	3月10日	4月10日
1	<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	271	103	259	30
	Other diatoms	689	23	151	2,630	838	0	67	74	158	0	106	102
	Flagellates	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1
2	<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	0	8	0	0	52	749	306	279	0
	Other diatoms	200	23	59	710	3,478	13	72	276	422	100	0	307
	Flagellates	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
3	<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	179	440	163	0
	Other diatoms	70	0	50	216	85	1	65	20	402	21	27	10
	Flagellates	2	1	1	0	2	2	0	2	0	1	0	0
4	<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	74	191	523	0
	Other diatoms	122	11	21	76	59	0	364	62	76	28	68	18
	Flagellates	0	7	3	1	0	1	3	0	1	0	0	0
5	<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	0	0	0	0	20	699	74	375	0
	Other diatoms	8	4	12	95	23	14	50	93	255	38	51	104
	Flagellates	1	8	5	1	1	1	0	2	0	0	0	0
7	<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	0	0	0	0	23	221	427	693	0
	Other diatoms	890	58	53	4,855	939	64	66	111	123	26	67	154
	Flagellates	3	0	1	2	5	3	0	3	1	0	0	0
8	<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	0	0	0	4	32	224	752	889	0
	Other diatoms	1,474	348	648	722	7,114	18	44	239	258	225	18	30
	Flagellates	12	0	1	2	1	0	5	0	0	1	0	0
9	<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	0	0	0	25	81	717	976	620	32
	Other diatoms	1,848	67	14	81	2,645	22	150	245	407	234	39	51
	Flagellates	11	2	4	2	4	0	1	3	2	0	0	1

細胞数での警報基準を設けていないが、2013年では 100cells mL⁻¹~200 cells mL⁻¹ の細胞数でも着色が確認されたことから、100cells mL⁻¹ 以上を高密度状態とする。St.1~St.5 では水温および塩分はそれぞれ 10.6~11.7°C、31.6~32.8 であった。St.7~St.9 では水温および塩分はそれぞれ 9.4~11.6°C、27.0~32.4 であった。沿岸域である St.7~St.9 では、10°Cを下回る状態でも 100cells mL⁻¹ の高密度な細胞数が確認された。

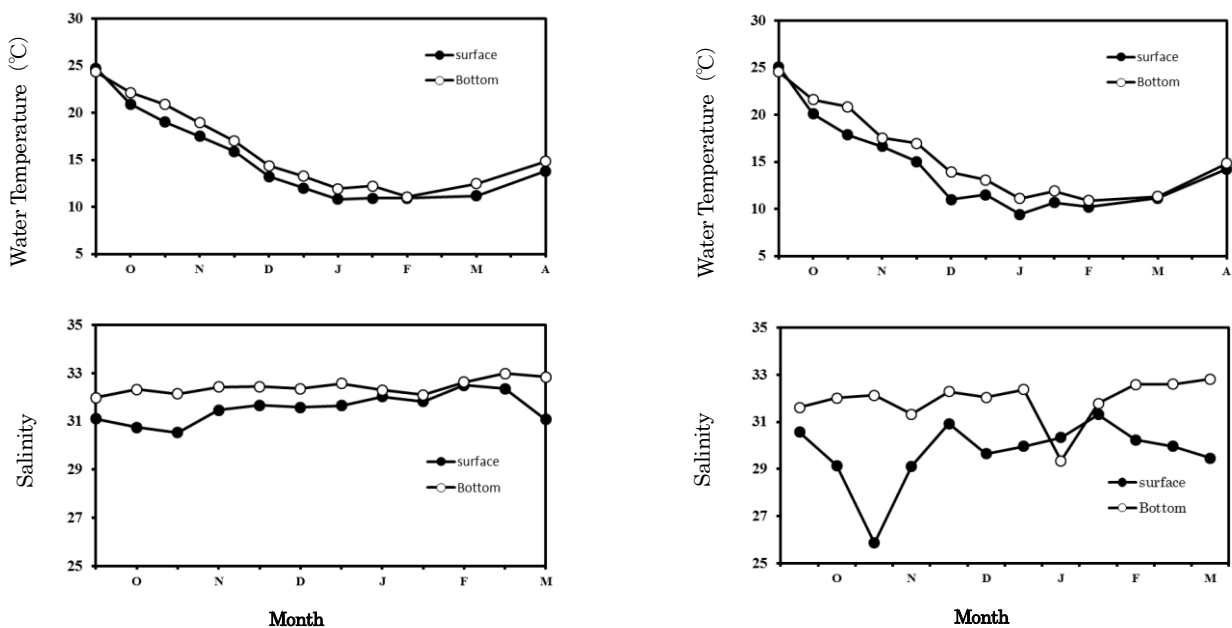


Fig. 4 2013年10月から2014年4月までの水温及び塩分の変動

左図：St. 1~5 (沖合域) における推移 右図：St. 7~9 (沿岸域) における推移

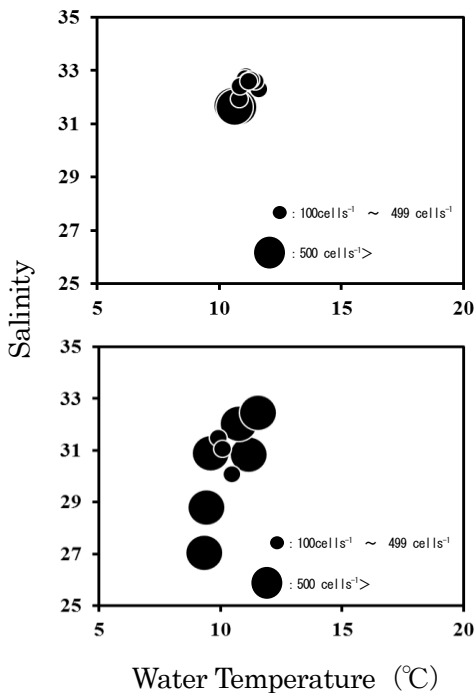


Fig. 5 *E. zodiacus* の高密度出現時における水温、塩分との関係
 上図：St. 1~5（沖合域）における推移
 下図：St. 7~9（沿岸域）における推移

3 各種栄養塩の変動について

2013年10月から2014年4月におけるDIN・ $PO_4\text{-P}$ ・ $SiO_2\text{-Si}$ のSt.1~St.5までの平均値の変動をFig.6に示す。また、*E. zodiacus*による赤潮の報告がされていない2012度ノリ漁期における各種栄養塩類の変動も併せて示す。

DINは、表層および底層でそれぞれ0.1~11.4 μM 、0.1~8.1 μM の範囲で推移し、表層を中心に降雨の影響に伴って増加が確認された。しかし、*E. zodiacus*が増加する1月中旬以降大幅に低下し、ノリ漁期末期の3月まで3 μM を下回った。

$PO_4\text{-P}$ は、表層および底層でそれぞれ0.0~1.0 μM 、0.1~0.8 μM の範囲で推移し、DINと同様*E. zodiacus*の増加が確認された1月中旬以降低下し、3月末まで0.1 μM を下回った。

$SiO_2\text{-Si}$ は、表層および底層でそれぞれ0.6~46.3 μM 、0.6~26.3 μM の範囲で推移した。

*E. zodiacus*の赤潮が確認されなかった2012年度漁期については、12月以降に各種栄養塩濃度の低下が確認されたが、DINについては3月まで3 μM 、 $PO_4\text{-P}$ については0.1 μM 程度で推移

していた。

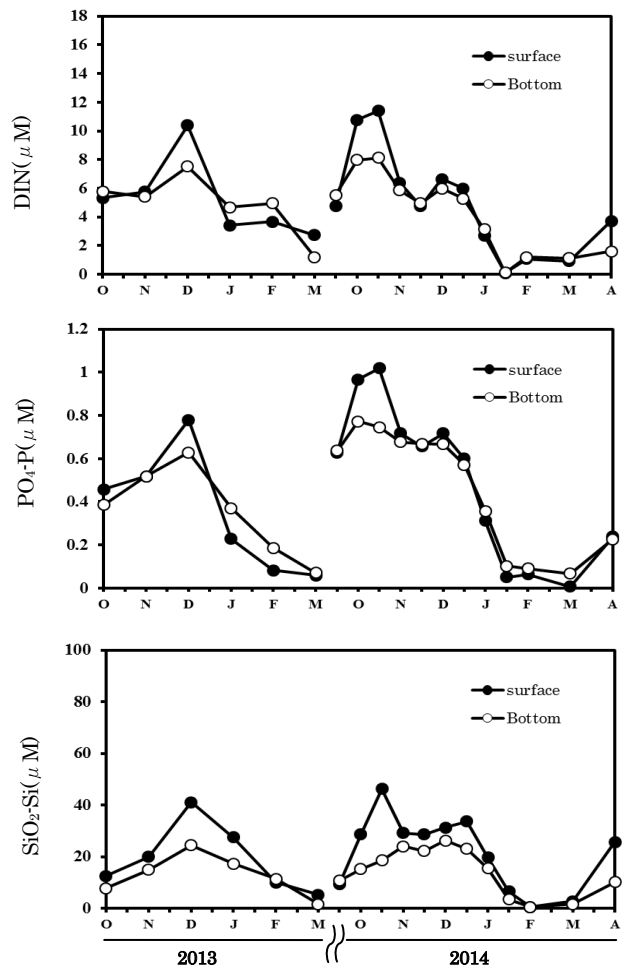


Fig. 6 2013年10月から2014年4月までのSt. 1~St. 5におけるDIN、 $PO_4\text{-P}$ 及び $SiO_2\text{-Si}$ の変動

4 熊本市の全天日射量

2013年10月から2014年4月における旬別の熊本市の全天日射量の変動をFig.7に示す。

全天日射量は、10月以降低下し、11月~12月に最低となったあと、1月以降再度高くなる傾向を示した。また、*E. zodiacus*の赤潮が確認され始めた1月中下旬は平年と比べて1.1~1.8 MJm^{-2} 高めで推移していた。

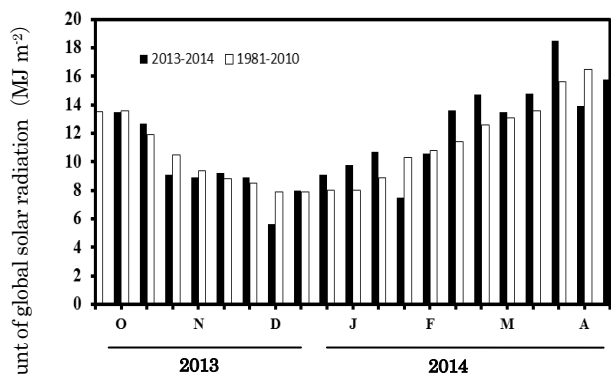


Fig. 7 熊本市における2013年10月から2014年4月までの旬別全天日射量の推移

考 察

2013年度漁期における *E.zodiacus* の発生状況を見ると、1月上旬から低密度で確認され、1月中旬には赤潮を形成するまで増加した (Table 1)。

過去熊本県海域における *E.zodiacus* による赤潮発生状況を見ると2月～3月に特に高密度となるケースが多いことから (Table 2)、2013年度漁期における発生時期は早期であったと言える。

次に、*E.zodiacus* の赤潮形成時期の現場環境であるが、水温が9～12℃、塩分が27～33であり、低水温環境期であった。西川ら²⁾の報告では、*E.zodiacus* の至適増殖温度は水温20～25℃あることから、有明海熊本県海域における *E.zodiacus* の赤潮形成時期は至適増殖環境下ではなかった。

このことについて、*E.zodiacus* は細胞サイズが大きく沈降速度も大きいため、本種の大量発生が可能な時期は鉛直混合期に限られると播磨灘において報告されている。熊本県海域でも、*E.zodiacus* による赤潮が形成される2月～3月は鉛直混合期にあたり、播磨灘における状況と類似した結果となった。

E.zodiacus が出現した1月中旬以降、漁場の栄養塩は急激に減少し、地点によっては1μMを下回るまで低下した。*E.zodiacus* の最小細胞内栄養塩含量は低く、低栄養塩環境下においても長期間赤潮を形成することが報告されている²⁾。このことは、*E.zodiacus* は低栄養塩環境下であっても増殖を続け、栄養塩を枯渇するまで消費することを意味しており、今回の栄養塩濃度減少に大きく寄与していたと考えられた。また、*E.zodiacus* の赤潮が発生しなかった2012年度漁期と比べても、低栄養塩環境下が継続する時期が長かったことから、本種の出現はノリ漁場中の栄養塩濃度減少に大きく影響を及ぼすと考えられた。

E.zodiacus の発生状況を見ると、400cells mL⁻¹以上の高密度状態が確認されたのは、St.2、St.4～St.9であり、特に沿岸域のST.7～St.9では2回以上確認された。また、St.7～St.9では、Table 1に示すように、*E.zodiacus* が未検出であった10月から12月において、他の珪藻類も高密度となる傾向があった。この要因については不明であるが、St.7～St.9では複数の河川の流入の影響を受けやすいことや、10月から2月のノリ漁期における表層水温が沖合域であるSt.1～St.5より1℃程度低いこと

Table 2 有明海熊本県海域における1996年以降の *E. zodiacus* の発生状況

year	Max cell density	term	Other diatoms
2012	2,160	2月21日-4月13日	
2011			
2010			
2009			
2008	97	9月10日-10月8日	<i>Skeletonema</i> spp. / <i>Chaetoceros</i> spp. / <i>Akasio sanguinea</i> / <i>Ceratium furca</i>
2007			
2006			
2005			
2004			
2003	260	7月24日-7月31日	<i>Chaetoceros</i> spp. / <i>Skeletonema</i> spp. / <i>Nitzscha</i> spp. / <i>Talassionema nitzschioides</i>
2002	5,600	2月21日-4月1日	<i>Skeletonema</i> spp. / <i>Chaetoceros</i> spp. / <i>Chaetoceros sociale</i>
2001			
2000	1,413	2月10日-3月17日	
1999	1,931	2月12日-3月29日	
1998			
1997			
1996	84	2月7日-2月19日	<i>Chaetoceros</i> spp. / <i>Asterionella glacialis</i> / <i>Rhizosolenia</i> spp.

が傾向としてあり、今後はこれらの水質環境とノリ養殖施設等による潮流の変化等も考慮して、St.7～St.9 で珪藻類が増殖しやすい要因について検討していく必要がある。

2013年度漁期の特徴として、1月上旬から中旬における全天日射量が平年と比べて高めで推移していたことがある。珪藻類の増殖には全天日射量が関与していることが報告されている⁷⁾。2000年に有明海全域で *Rhizosolenia imbricate*. を主体とする赤潮が12月上旬より発生し、熊本県ではノリ生産枚数が大きく減少した。この要因の一つとして、12月初旬の日射量が高かったことが推察されている¹⁾。同様に、1月の全天日射量が高かったことが、2013年度漁期における *E.zodiacus* の早期赤潮化を助長していた可能性は考えられるが、現段階では不明であり、今後検討する必要がある。

前述したとおり、*E.zodiacus* は熊本県において、ノリ色落ち原因珪藻として広く認識されている。特に、2013年度漁期の冷凍網生産期は本種の増殖の影響を受け、過去最低の生産枚数となり、生産金額でも過去2番目の不作であった。西川らは、冬季水温の上昇と溶存無機態窒素の減少といった環境要因の変動が、本種の近年における大量発生に大きく関与していると報告している²⁾。熊本県では1974年以降の長期的な解析の結果、冬季水温の上昇及び溶存無機態窒素の低下が確認されており⁷⁾、今後も *E.zodiacus* による色落ち被害が発生することが懸念される。

E.zodiacus による色落ち被害を軽減させるためにも、周年における広域的な調査を実施し、有明海熊本県海域における生息状況を明らかにする必要がある。なお、*E.zodiacus* の発生予察には、季節的な細胞サイズの変動を把握することが有効であると報告されている²⁾。今後は、現場での環境調査に併せて、*E.zodiacus* の細胞サイズのデータも蓄積していくことで、*E.zodiacus* による色落ち被害軽減に向けた取組が期待される。

要 約

E.zodiacus は1月中旬以降増加し、St.7～St.9の沿岸域で顕著な増殖を示した。

E.zodiacus の赤潮が発生した時の水温は9～12℃であり、既往知見の至適環境下とは異なる、低水温時期であった。

また、赤潮発生後栄養塩は減少し、ノリ漁期終盤の3月まで低濃度で推移した。

1月中旬の早期に *E.zodiacus* が増加した要因の一つとして、1月上旬から中旬における全天日射量が高めで推移していたことが推察された。

今後も *E.zodiacus* によるノリの色落ちが発生することが懸念されるため、周年にわたる調査と発生予察に繋がるデータを取得していく必要がある。

文 献

- 1) 平成12年度熊本県水産研究センター事業報告書. 熊本県水産研究センター. 98-104
- 2) 西川 哲也. 養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* の大量発生機構に関する整理生態学的研究. 兵庫農技総研報 (水産). 42, 1-82(2011)
- 3) 平成8年～平成25年九州海域の赤潮. 水産庁九州漁業調整事務所. 1996～2013
- 4) 赤潮情報第46号. 熊本県水産研究センター. 2014
- 5) 赤潮情報第47号. 熊本県水産研究センター. 2014
- 6) 長副聡・島崎洋平・松原賢・紫加田和幸・山崎康裕・吉田幸史・久野勝利・大嶋雄治・本城凡夫. 有明海湾奥部、塩田川河口海域における物理・化学的要因と植物プランクトンの増殖との関係. 沿岸海洋研究. 46, 141-151(2009)
- 7) 山形卓・櫻田清成・小山長久・糸山力. 有明海・八代海における水質の長期推移について. 熊本県水産研究センター研究報告. 8.59-73(2008)

放流用稚ガザミに対する *Heterosigma akashiwo* の影響について

多治見誠亮, 吉村直晃, 川崎信司

About the impact of *Heterosigma akashiwo* for *Portunus trituberculatus* larvae

Seisuke Tajimi, Naoaki Yoshimura, Shinji Kawasaki

キーワード：ガザミ、*Heterosigma akashiwo*

Heterosigma akashiwo (Fig.1) は、ラフィド藻綱に属し、日本各地で赤潮を形成しており、熊本県では主に4月～9月に赤潮として発生する。

また、*H.akashiwo* の増殖至適環境は広く、水温は概ね10～30℃、塩分は16～36程度^{1,2)}であることから、本県海域において発生する有害赤潮のうち、発生頻度がかなり高く、それに応じて、赤潮警報（海水1mLあたり10,000cells以上確認された場合発令する）の発令回数も多い。近年はモニタリングによる赤潮発生状況の確認および養殖生産者による餌止め等の対策が取られており、熊本県海域において大きな被害は出ていないものの、他県においては漁業被害の報告があり、注意を要する種である。

H.akashiwo の魚介類に与える影響は不明な点が多いのが現状であるが、本県の有害種に指定されている *Chattonella marina* 及び *Chattonella antiqua* と同様、活性酸素がその魚毒性に関与しているとの報告がある³⁾。

一方、*H.akashiwo* による赤潮が発生する時期は有明海の主要な放流対象魚であるガザミ (*Portunus trituberculatus*) の放流時期と重なっている。ガザミは有明海を中心に漁獲されるカニであり、熊本県では6月から9月頃に有明海に稚ガザミを放流する。その際、現場で *H.akashiwo* による赤潮が発生していた場合、放流稚ガザミに何からの影響を与える可能性は無視できず、また、稚ガザミを用いて *H.akashiwo* の影響を確認した知見はほとんどない。そこで、本試験では、稚ガザミに対して *H.akashiwo* が与える影響を把握し、赤潮被害軽減や効果的な放流時期や場所を選定す

るための基礎的知見を得ることとした。

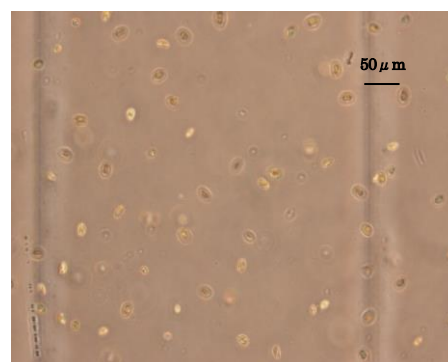


Fig.1 *Heterosigma akashiwo*
(熊本市河内町船津で採取)

材料と方法

本試験に用いた *H.akashiwo* は、2015年6月に有明海の3地点 (Fig.2) で発生した本種による天然赤潮海水を用いた。なお、赤潮海水の組成は *H.akashiwo* がその大半を占めていたものの、クリプト藻等を主体とする微細藻類および *Gyrodinium* sp.等の混在も確認された。

採取した海水は、2Lから20Lポリタンクを用いて水産研究センターまで持ち帰り、2Lガラス製ビーカーに2Lずつ分注し、室内温度を25℃に設定することで水温変動を抑えた。

試験には、公益財団法人くまもと里海づくり協会で生産された放流サイズであるC3サイズ（全甲幅長約10mm）のガザミ (Fig.3) を用いた。試験の際は、稚ガザミの共食いや足の減耗を防ぐため、付着基としてロープ（規格：直径6mm）を一緒に収容した。

※「白地図 Ken map」の地図画像を利用

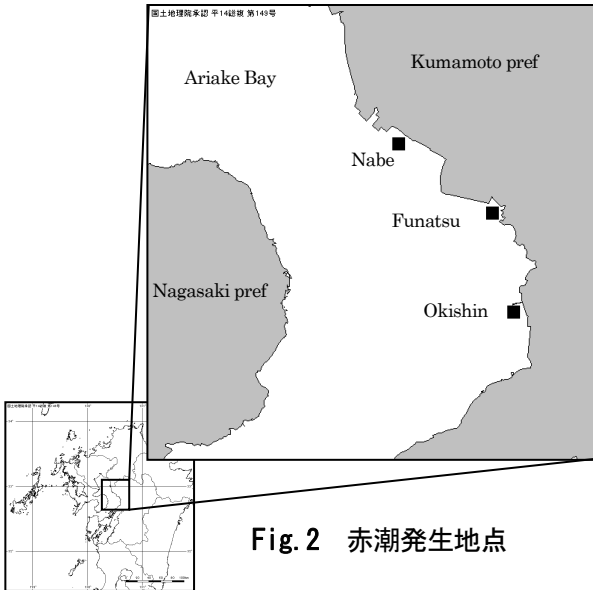


Fig. 2 赤潮発生地点

試験区を Table 1 に示す。対照区として、ろ過海水のみの区（対照区 A）と暴露試験区の塩分が 14~22 と低めであったことから、低塩分による複合的な影響を評価するための半海水程度に希釈した区（対照区 B）を設定した。これは、稚ガザミの低塩分耐性について、塩分 10~13 の間で大きく生存率が減少することが報告されているためである⁴⁾。なお、試験海水は *H.akashiwo* の偏在を防ぐため、エアレーションで緩やかに攪拌した (Fig.4)。

H.akashiwo による影響評価は暴露後 10 分、30 分、1 時間、2 時間、3 時間、6 時間、12 時間、24 時間、48 時間で経過観察を行い、ピンセット



Fig. 3 暴露試験に供した稚ガザミ (C3 サイズ)

等で刺激のうえ、反応が確認されなかった個体を死亡個体として取り上げて記録した。また、上記経過時間後に、多項目水質計 (JFE アドバンテック株式会社製 AAQ176) による水温・塩分の測定及び光学顕微鏡を用いた *H.akashiwo* の細胞数の計測も併せて実施した。

Table 1 稚ガザミ試験区の設定条件

	Water temperature (°C)	Salinity	<i>Heterosigma akashiwo</i> (cells mL ⁻¹)	Number of <i>Portunus trituberculatus</i>	
exposure	Funatsu	24.7	14.9	168,800	10
	Nabe	24.8	22.1	93,100	10
	Okishin	24.6	21.3	105,200	10
Control	A	23.3	31.3	0	10
	B	23.8	16.6	0	10

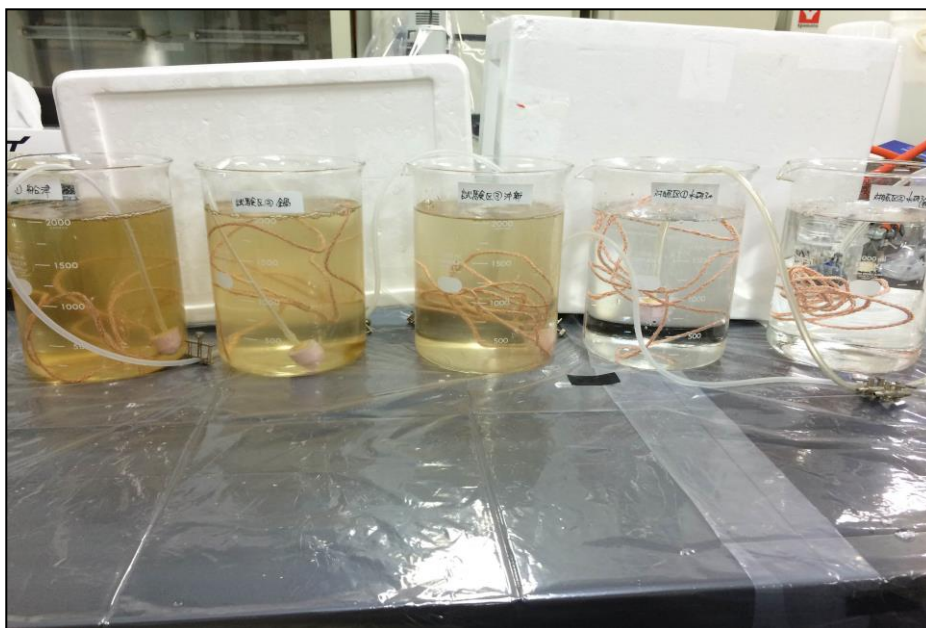


Fig. 4 暴露試験の様子

結果

暴露試験による結果を示す (Fig.5)。対照区では、試験を通じて全ての個体が生存していた。試験区では、沖新地先の区で暴露開始後 5 時間に 1 個体死亡した。その後、12 時間で沖新地先及び鍋地先の区で 1 個体ずつ死亡が確認された。沖新地先の区では続く 14 時間でも 1 個体死亡が確認された。22 時間後には沖新地先及び鍋地先の区で再度 1 個体ずつ死亡した。また、暴露試験区と対照区とでは稚ガザミの状態は異なっており、暴露試験区では 1 時間程度で目の前に表れるピンセット等に対する反応が鈍い個体が多く出現したのに対し、対照区では反応が良く、威嚇体制を取る個体が多いことが観察された。また、体表にも差が確認され、暴露試験区では体表が黒化している個体が多いことが観察された。

試験に用いた *H.akashiwo* の細胞数の推移を Fig.6 に示す。暴露試験区では暴露開始後 24 時間後も一定の細胞数を保った状態を維持していたが、その後は徐々に減少し、48 時間後には約半数程度になった。また、対照区では *H.akashiwo* は確認されなかった。

暴露試験時の水質の測定結果を Table 2 に示す。水温は暴露開始時より一定しており、変動はほとんどなかった。塩分についても変動はほとんど確認されなかった。

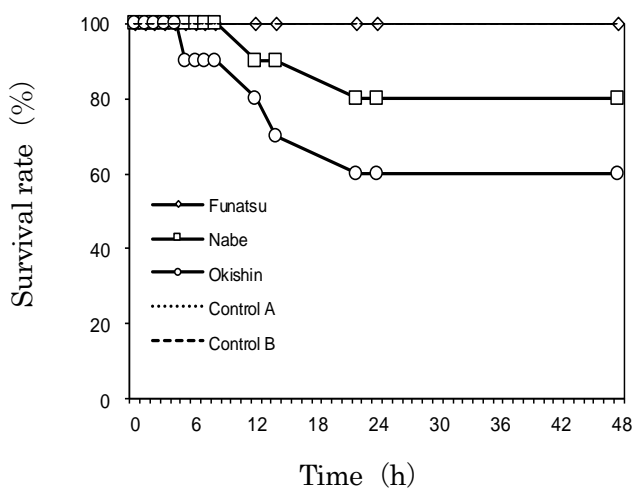


Fig. 5 *H. akashiwo* を暴露された稚ガザミの生存率の推移

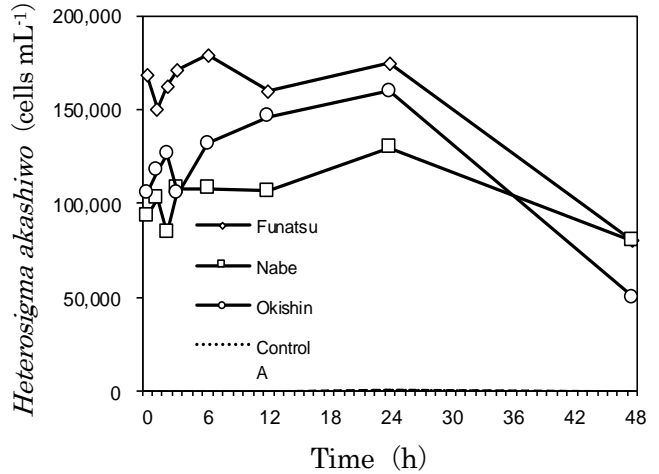


Fig. 6 *H. akashiwo* 細胞数の推移

Table 2 暴露試験時の水質測定結果

		Water temperature (°C)	Salinity
exposure	Funatsu	24.4~25.1	14.7~15.6
	Nabe	24.2~25.0	22.1~22.8
	Okishin	24.1~24.8	21.3~22.6
Control	A	23.3~24.5	30.7~31.8
	B	23.8~24.8	16.3~17.1

考察

H.akashiwo に暴露された稚ガザミは、少なくとも 5 時間~22 時間程度で死亡する個体が確認された。低塩分区である対照区 B では稚ガザミの死亡が確認されなかったことから、*H.akashiwo* がその生存に影響を与えている可能性が示唆された。このため、放流された稚ガザミが高濃度の *H.akashiwo* に長期暴露された際は、死亡が発生する危険性が考えられた。なお、最初の死亡個体が確認されたあとから、倍以上の時間の暴露に耐える個体も見られることから、*H.akashiwo* に対する感受性は個体による差もあると考えられた。

また、*H.akashiwo* に暴露された個体は、目の前の物質に対する応答が悪く (威嚇体制をとらない等)、体色が黒化する個体が多いように見えたことから、*H.akashiwo* によるストレスで活性が低下する可能性も示唆された。

一方、最も *H.akashiwo* が高密度であった船

津区にて、稚ガザミの死亡は確認されなかった。低塩分環境に暴露されたことで何らかの生理障害・代謝の低下が発生し、呼吸・摂餌に伴う *Hakashiwo* の取り込みに影響を与えていた可能性が考えられる。天然赤潮海水による暴露試験のため、*Hakashiwo* の生理状況等も考慮する必要があり、今後さらに検証を重ねていく必要がある。

Hakashiwo による赤潮は、魚類のほか甲殻類（エビ類）⁵⁾においても死亡が確認されており、今回の試験結果で稚ガザミも死亡する可能性があることが示された。今後もサンプル数や試験を繰り返し実施していくことで更にデータを蓄積し、*Hakashiwo* の稚ガザミに対する影響の評価及び適切な放流方法について検討していく必要があるものと思われる。

要 約

Hakashiwo に暴露された稚ガザミは、5 時間～22 時間程度で死亡が確認された。このことから、現場で放流された稚ガザミが高濃度の *Hakashiwo* による赤潮海水に長期暴露された際は、死亡が発生する可能性が考えられた。

文 献

- 1) 村田圭助・猪狩忠光・和田実・上野剛司. 鹿児島県海域で発生する *Heterosigma akashiwo* の増殖に及ぼす水温・塩分・照度・シストの影響. 鹿児島水技研報. No.1, 1-5(2010)
- 2) 山砥稔文・坂口昌生・岩滝光儀・松岡數充. 諫早湾に出現する有害赤潮鞭毛藻 4 種の増殖に及ぼす水温, 塩分の影響. *Nippon Suisan Gakkaishi* 72(2), 160-168 (2006)
- 3) 山崎康裕・小田達也. 諫早湾で発生した赤潮原因プランクトン, ヘテロシグマ アカシオ (*Heterosigma akashiwo*) の活性酸素産生能に関する研究. 長崎大学水産学部研究報告 84, 65-71(2003)
- 4) 原田和弘・中村行延. ガザミ種苗の塩分及び水温耐性. 兵庫水試研報.(31), 17-23(1994)
- 5) 平成 17 年九州海域の赤潮. 水産庁九州漁業調整事務所. 81(2007)

(短報)

有明海熊本県海域（上天草市大矢野島近辺）における
Chattonella 赤潮の消滅と *Gyrodinium dominans* による
 捕食の関係について

多治見誠亮, 諸熊孝典, 川崎信司

About the relationship of the disappearance of *Chattonella* red tide and the predation by
Gyrodinium dominans in the Ariake Sea (Kamiamakusa Ohyanoshima around), off
 Kumamoto Prefecture, Japan

Seisuke Tajimi, Takanori Morokuma, Shinji Kawasaki

キーワード: *Chattonella* spp、*Gyrodinium dominans*、捕食

2015年の夏季に、有明海熊本県海域の広範囲にてラフィド藻である *Chattonella* spp.による赤潮が発生した。この赤潮は8月17日から9月15日まで継続したが、熊本県上天草市大矢野島付近で確認されていた赤潮については、9月11日に急に消滅した。

当日の現場海水を確認すると、*Gyrodinium dominans* が多数確認され、食胞をもつ細胞も多く見られた (Fig.1)。*G.dominans* は従属栄養渦鞭毛藻類であり、他のプランクトンを摂餌することが知られている。また、*G.dominans* が *Chattonella* spp.を捕食する報告¹⁾もあり、2015年夏季の *Chattonella* 赤潮の消滅に関与している可能性が推察された。

そこで、熊本県水産研究センターで保有している培養 *Chattonella antiqua* 株を用いて、現場で確認された *G.dominans* との混合培養試験を実施し、*G.dominans* の捕食と両種の細胞数の変動について検証したので報告する。

材料と方法

本試験に用いた *G.dominans* は、2015年9

月11日に有明海で赤潮が発生している2地点 (Fig.2)にて採取した天然海水を用いた。天然海水の赤潮の組成は *G.dominans* がその大半を占めていた。*Chattonella antiqua* については、2008年4月に熊本県水俣市沖にて分離し、確立した株を用いた。

混合培養試験は、採取した天然海水毎に2区設定し (Table 1)、水温 25℃、明暗周期 12L:12D の条件下で実施した。細胞密度は6日間、原則として1日に2回、培養液から 1mL を接種し、光学顕微鏡を用いて計測した。なお、本試験では栄養塩の添加は行っていない。

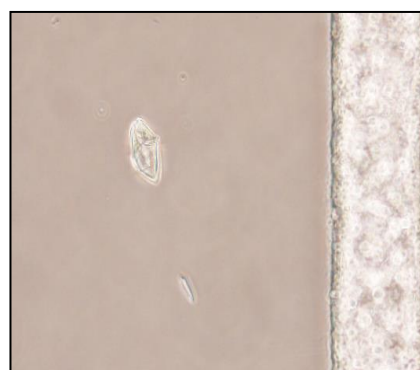


Fig.1 *Gyrodinium dominans* (上天草市大矢野町)

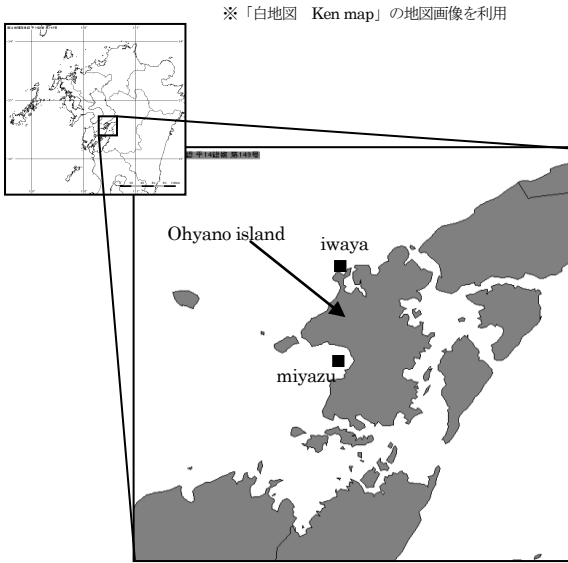


Fig. 2 暴露試験用海水採取地

Table 1 混合培養試験の設定条件

Area	<i>Gyrodinium dominans</i>	<i>Chattonella antiqua</i>
①:miyazu	20cells/ml	750cells/ml
②:iwaya	45cells/ml	850cells/ml

結果

混合試験による結果を Fig.3 に示す。両試験区ともに、2日目以降に *Gyrodinium spp.*の顕著な増殖が確認された。また、*Chattonella antiqua* 由来の食胞も多数確認された (Fig.4、Fig5)。*Chattonella antiqua*については1日目から減少し、両試験区とも6日目には0cells mL⁻¹となった。

考察

本試験において *G.dominans*が *Chattonella antiqua* を捕食し、増殖していることが確認された。このことから、大矢野島周辺の *Chattonella spp.*による赤潮の消滅は、*G.dominans*による捕食によるものだと考えられた。また、中村 1)は、従属栄養性渦鞭毛藻類が赤潮を消滅させる役割を果たすと述べているが、本試験ではそれを示唆させる結果となった。

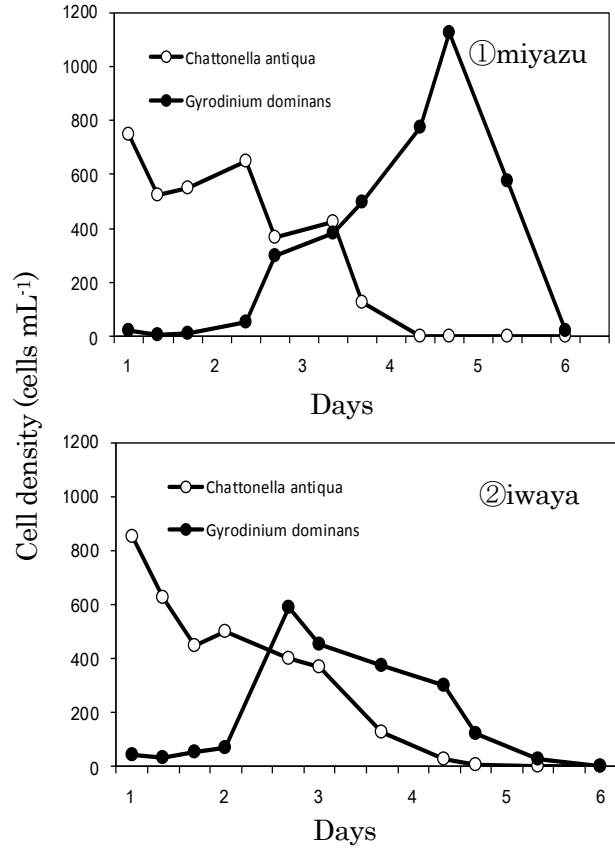


Fig. 3 混合培養試験における細胞数の推移 (試験区①：上図、試験区②：下図)

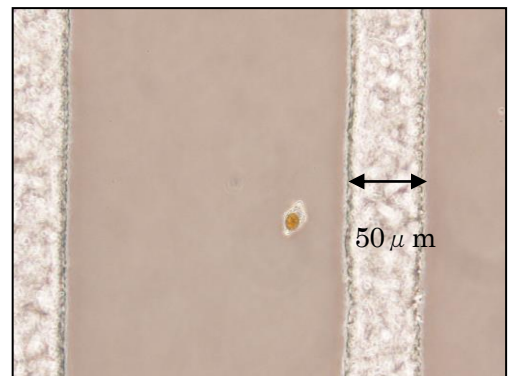


Fig. 4 *Chattonella antiqua* 由来の食胞を持つ *G. dominans*

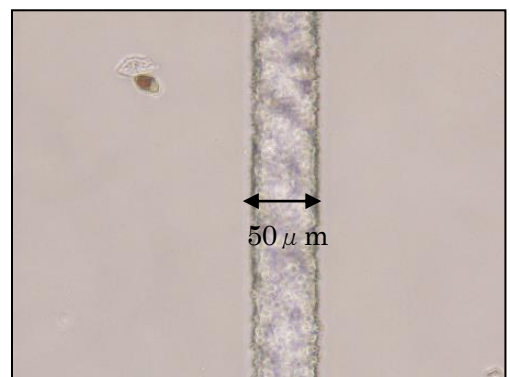


Fig. 5 *Chattonella antiqua* 由来の食胞を持つ *G. dominans*

一方、試験区により *G. dominans* の増殖状況が異なる様子も確認された。試験区①と②では①が4日目にピークを示したのに対し、②は2日目がピークであった。採取時の *G. dominans* の細胞数が試験区①と②では異なっており、このことが原因となっているかについて、今後検証する必要がある。

G. dominans は、有明海で頻繁に観察される植物プランクトンであるものの、どのタイミングで捕食行動を開始し、大増殖するのかなど不明な点が多い。中村¹⁾は播磨灘において、従属栄養性渦鞭毛藻類の物質循環に果たす役割について述べている。有明海においても同様に、食物連鎖の過程で重要な役割を果たしている可能性が考えられるため、今後も周年を通じた現存量の把握など検証していく必要がある。

文 献

1)中村泰男、従属栄養性渦鞭毛藻類, *Oithona* 属カイアシ類,尾虫類:これまで余り注目されなかった捕食 - 被食関係が物質循環に果たす役割. Bull Plankton Soc.Japan , 46(1),70-77(1999)

緑川河口干潟におけるハマグリ分布について

諸熊孝典, 内川純一, 川崎信司

The variation in the population density of the Japanese hard clam *Meretrix lusoria* on sandy tidal flats at the mouth of Midori River, Kumamoto, Japan.

Takanori Morokuma, Jun-ichi Uchikawa and Shinji Kawasaki

キーワード：ハマグリ、干潟、緑川、分布状況

有明海に注ぐ一級河川の緑川の河口域には、約 30 km² の干潟が広がっており、熊本県のハマグリ主要漁場の一つとなっている。当漁場のハマグリ漁獲量は、最盛期の 1970 年代後半には 5,000 トン以上あったが、1980 年代以降は 1,000 トン前後にまで減少し、2000 年代には 100 トン前後と低迷している (図 1)。

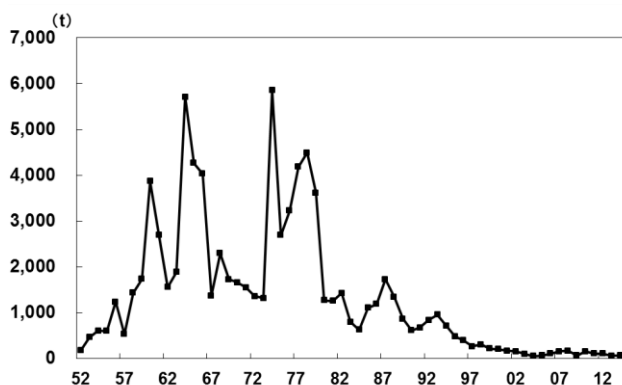


図 1 熊本県のハマグリ漁獲量の推移 (1952~2006 農林水産統計, 以降漁協聞き取り値)

このため、当センターではハマグリ漁獲量の高位安定化を目指して、当漁場を利用している漁業協同組合と連携し、保護区の設定や放流等の資源管理を推進している。

これらの取組の基礎資料として、当漁場におけるハマグリ生息密度の調査を実施しており、2006 年から 2014 年までの調査結果についてとりまとめたので報告する。

方法

調査は毎年 6 月の大潮時に 3~4 日かけて実施した。当漁場内に設定した 127 定点において、25 cm

方形枠による底泥の枠取りを 2 回実施し、目開き 1 mm の篩でふるい分けて試料とした。試料から得られたハマグリについて、個体の計数および殻長の計測を行った。

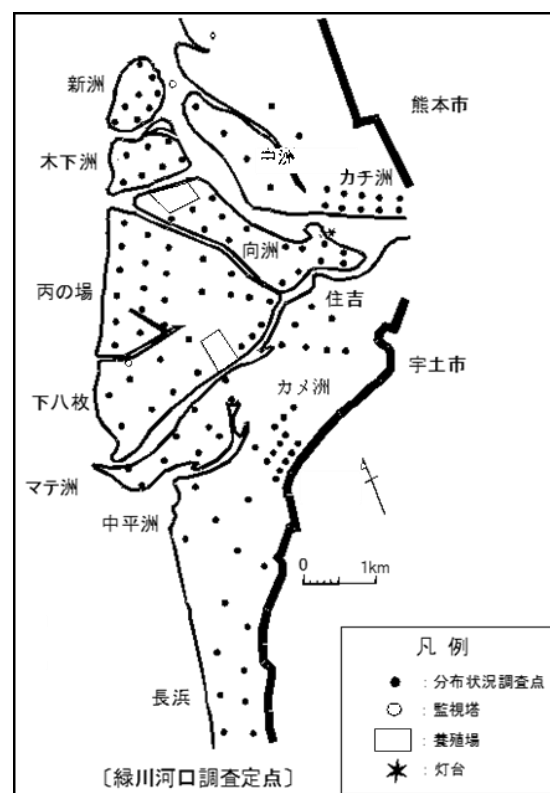


図 2 緑川河口域ハマグリ分布状況調査定点図

結果及び考察

ハマグリ平均分布密度と当漁場のハマグリ漁獲量の推移を図 3 に示した。平均分布密度は、17~124 個/m² (殻長 10 mm 以下の稚貝：4~116 個/m²) の

範囲で推移し、最大分布密度は2008年、最小分布密度は2012年となった。ハマグリ平均分布密度および稚貝平均分布密度は、2008年以降年々減少し、2014年は17個/m²と非常に低くなった。漁獲量は、53~164tの範囲で推移し、最大漁獲量は2008年、最小漁獲量は2013年となった。

漁獲量は2010年以降、減少傾向が続いており、2014年の漁獲量は全盛期である1970年代の2%程度にも満たなかった。

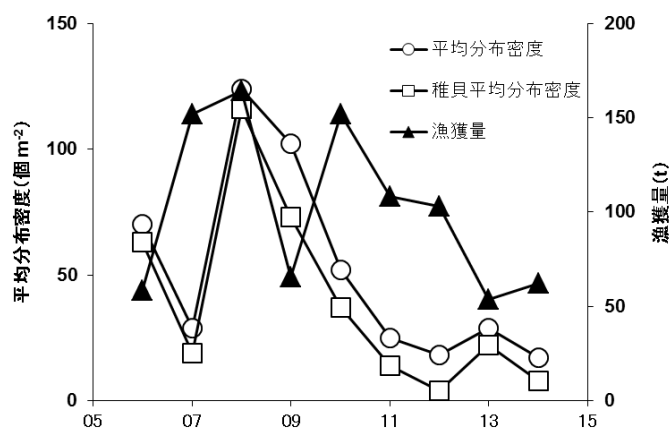


図3 緑川河口域におけるハマグリ平均分布密度及び漁獲量の推移

各年度のハマグリ分布状況及び洲毎の殻長組成を図4~21に示した。

緑川河口域におけるハマグリは、河口付近のカチ洲、向洲及び住吉において、常に高密度で確認されたが、殻長10mm以下の稚貝が大部分を占めていた。

一方、有明海域の漁獲サイズであり、産卵が可能なサイズでもある殻長30mm以上の個体は、ほとんど確認されなかった。

有明海においては、ハマグリが漁獲サイズである殻長30mmに達するまで3年程度を要する¹⁾。本調査で得られた殻長10mm以下の稚貝を前年発生群とみなし、調査年の稚貝平均分布密度を目的変数とし、その翌々年の漁獲量を説明変数とした重回帰分析を行った結果、正の相関関係が認められた ($p < 0.05$ 図22)。

これらのことから、緑川河口域において、殻長30mm以上の産卵母貝が何らかの要因(乱獲や環境変化等)で減少しているため、新規加入群が減少し、漁獲量の減少につながっていることが示唆された。緑川河口域におけるハマグリ資源量を増加させるためには、7~9月の産卵期にハマグリ母貝を保護し、産卵量を確保することが重要となる。漁業者の間でもハマグリの資源量減少に対する危機感が強く、

2015年の産卵期からは、漁場を利用している3漁協が共同で禁漁期間を設けた。今後も本調査から得られた結果を活用し、禁漁期間の長期化や母貝保護等の資源管理を推進する必要がある。

要約

- 2006年から2014年までの緑川河口域におけるハマグリの分布状況を把握した。調査は毎年6月に127定点で実施した。
- 緑川河口域におけるハマグリ稚貝の高密度発生域が、カチ洲、向洲及び住吉であることがわかった。
- ハマグリ稚貝の平均分布密度とその翌々年の漁獲量とは相関がみられた。

謝辞

本調査の実施にあたり、協力頂いた畠口漁業協同組合、海路口漁業協同組合、川口漁業協同組合、住吉漁業協同組合、網田漁業協同組合、熊本県漁業協同組合連合会、熊本市水産振興センター、宇土市農林水産課の職員並びに関係者の各位に心から感謝します。

文献

- 熊本県. 熊本県ハマグリ資源管理マニュアル, 熊本, 2013; 6.

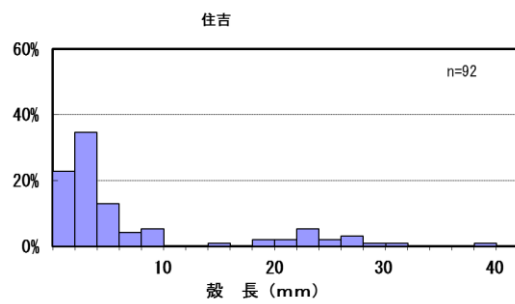
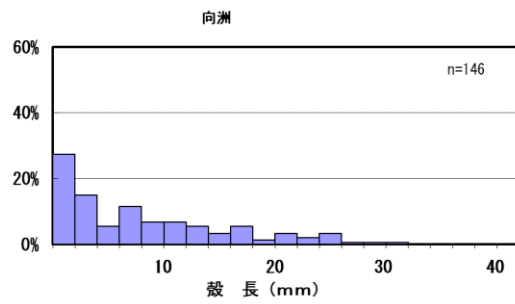
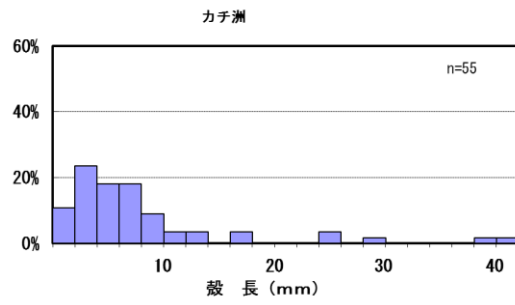
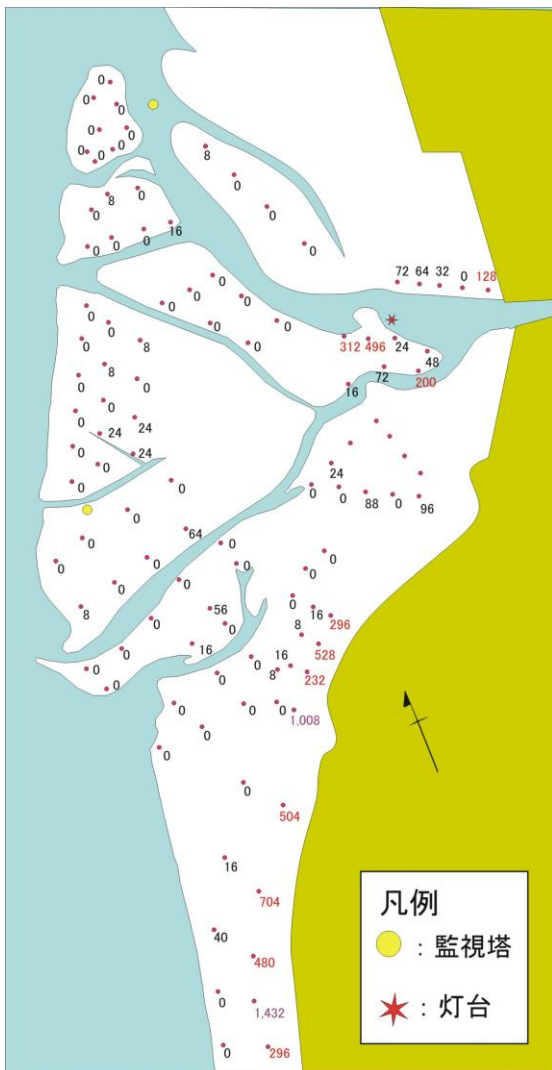


図4 2006年度ハマグリ分布状況 (単位: 個/m²)

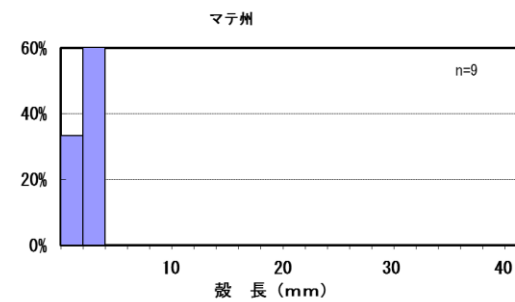
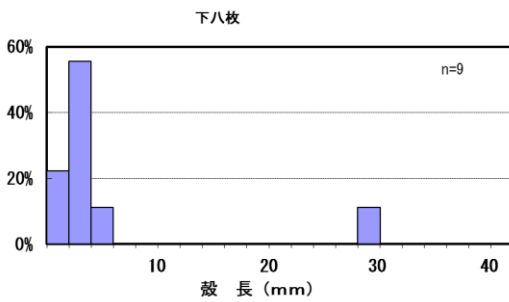
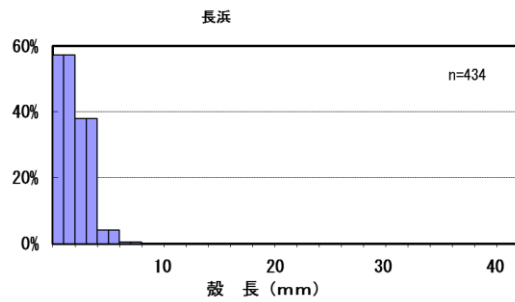
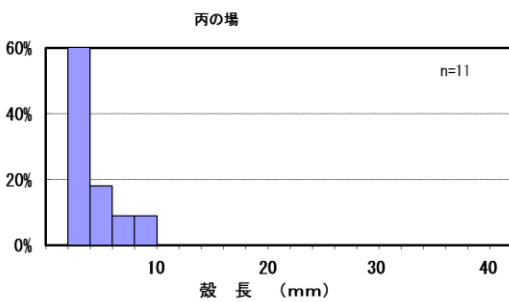


図5 2006年度ハマグリ殻長組成 (洲毎)

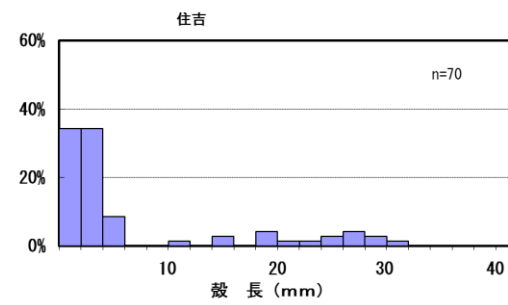
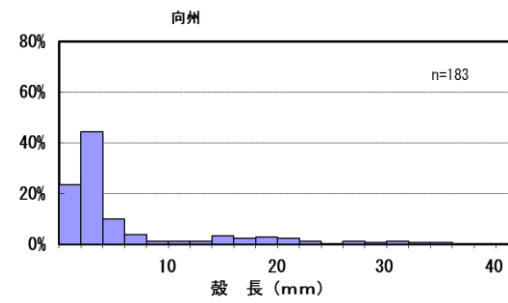
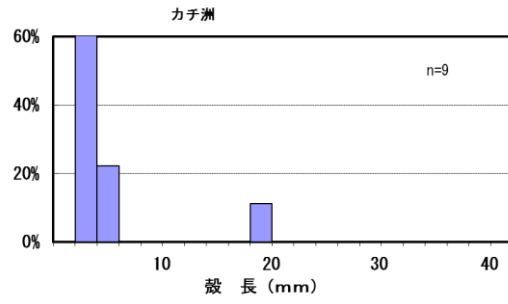
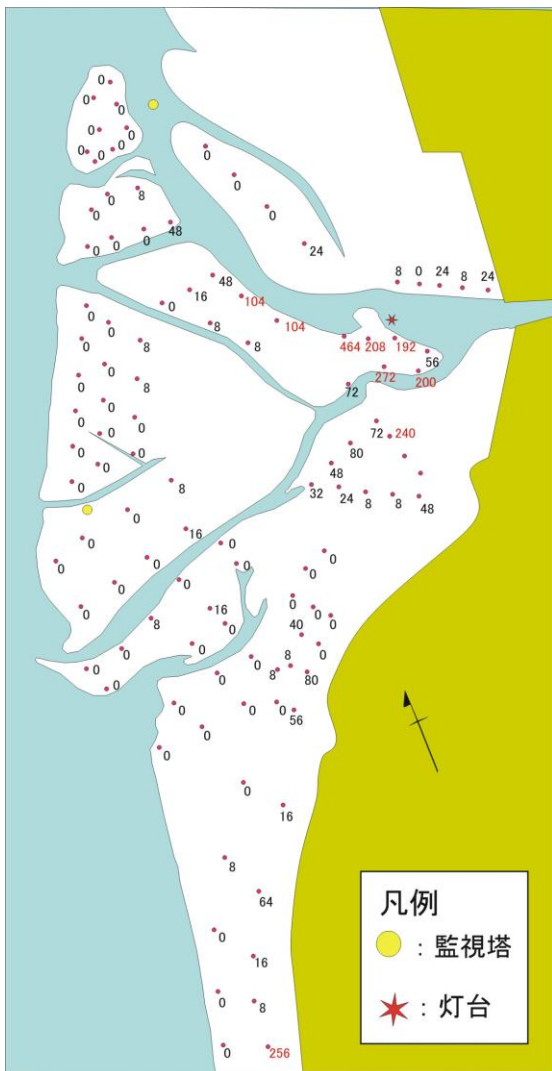


図6 2007年度ハマグリ分布状況 (単位: 個/m²)

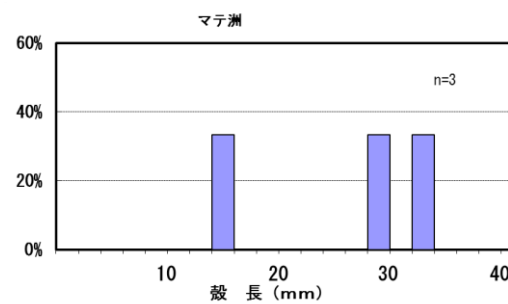
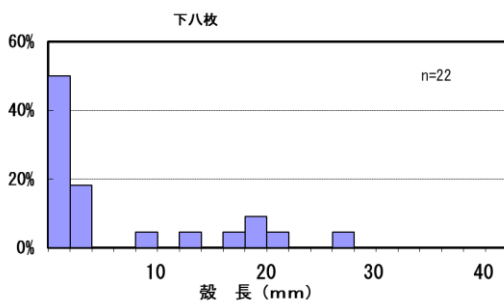
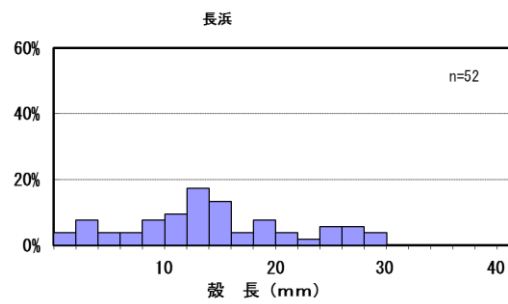
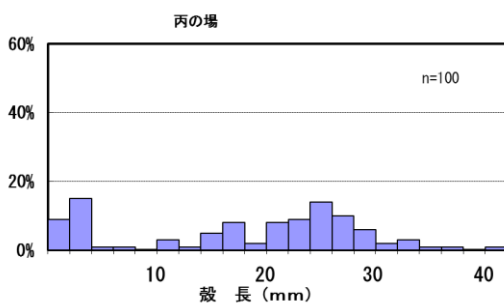


図7 2007年度ハマグリ殻長組成 (洲毎)

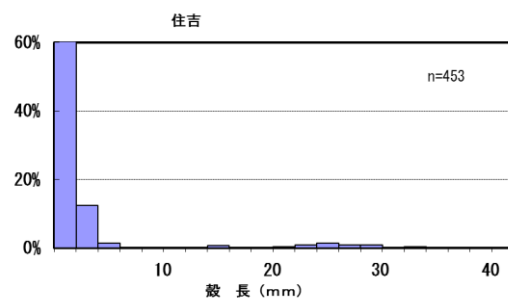
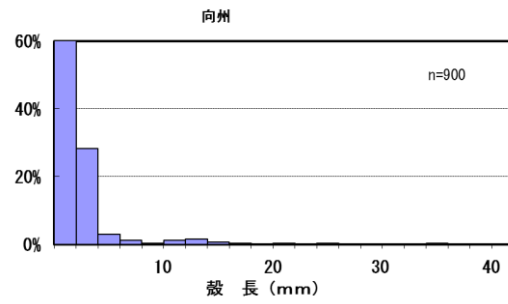
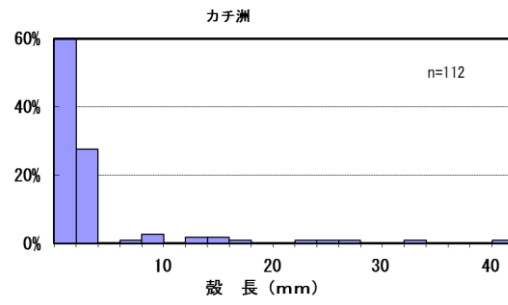
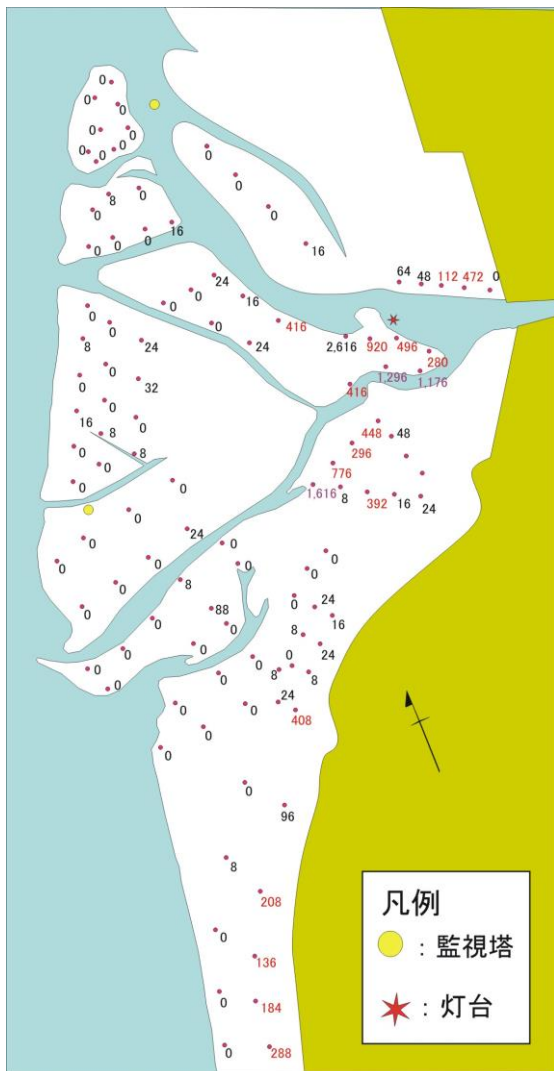


図8 2008年度ハマグリ分布状況 (単位: 個/m²)

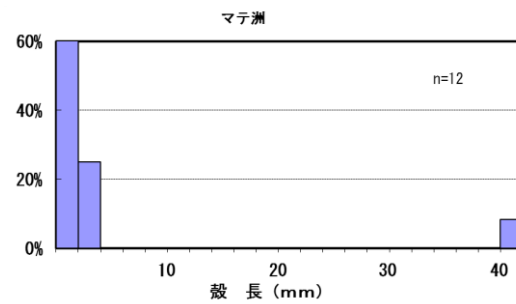
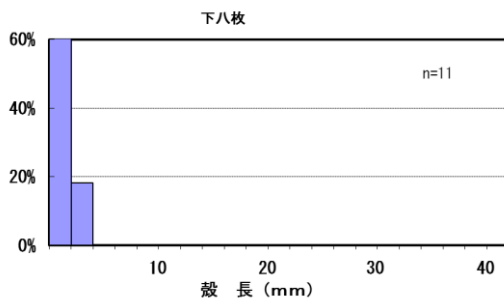
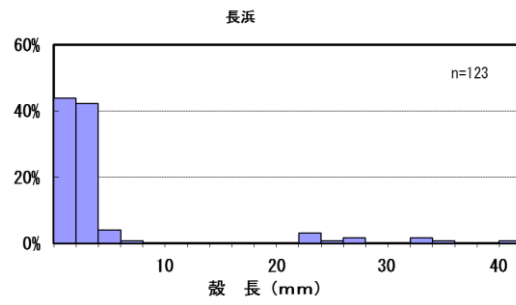
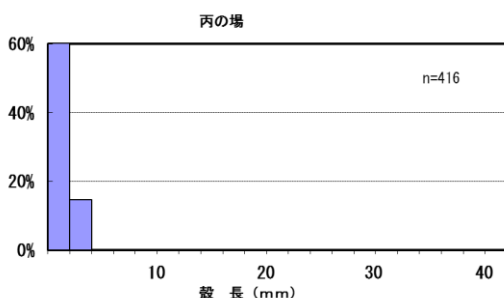


図9 2008年度ハマグリ殻長組成 (洲毎)

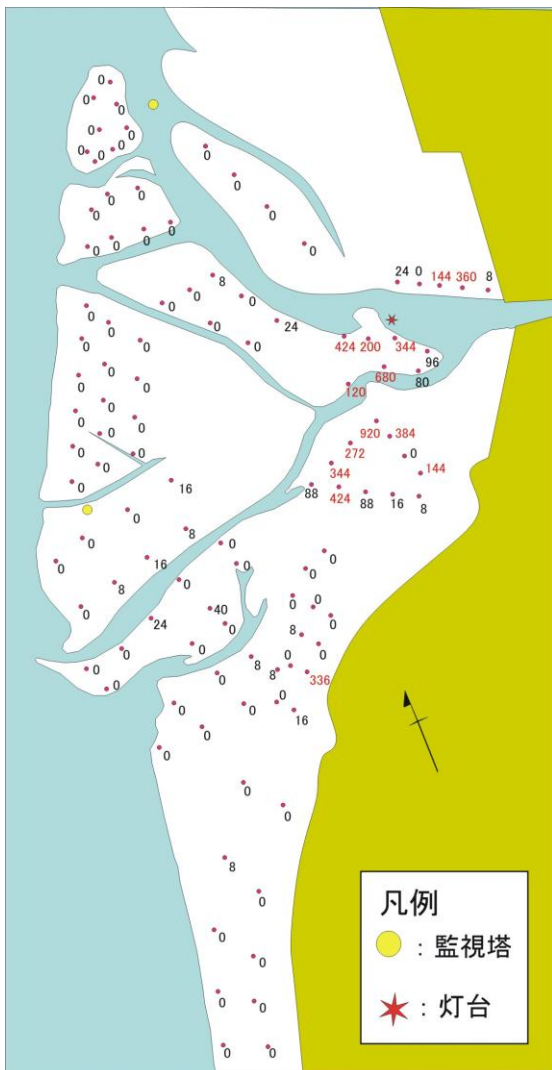


図12 2010年度ハマグリ分布状況 (単位: 個/m²)

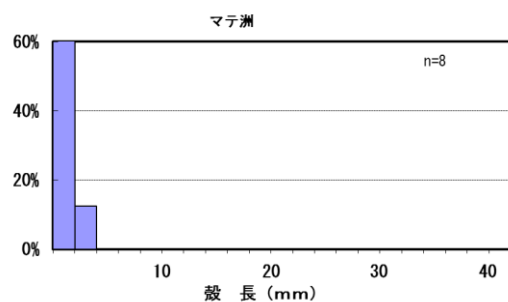
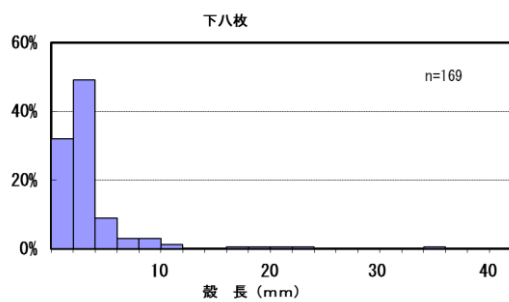
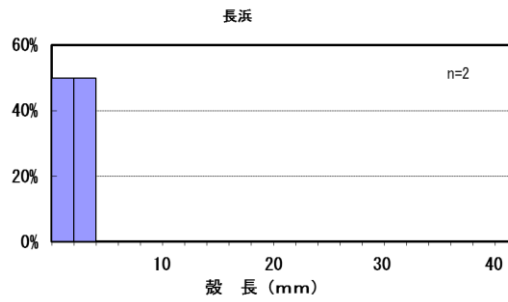
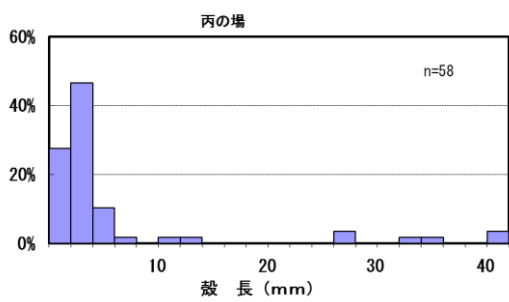
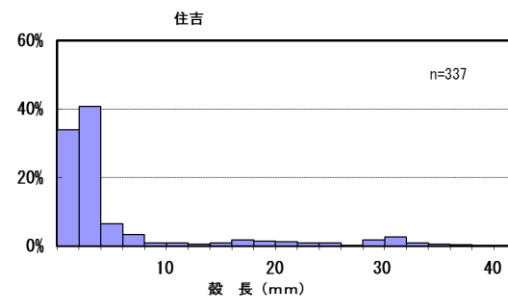
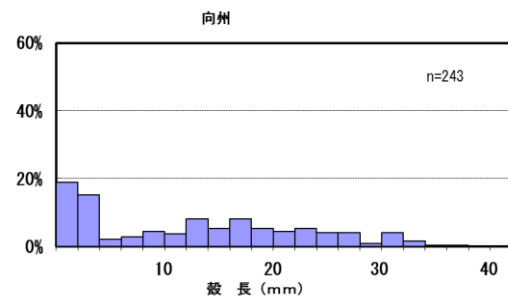
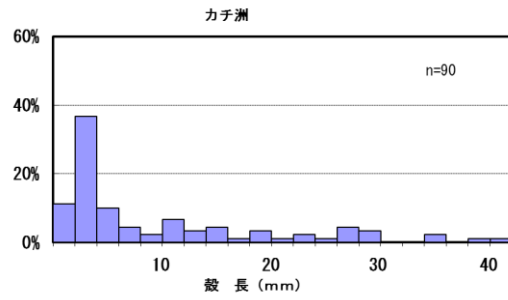


図13 2010年度ハマグリ殻長組成 (洲毎)

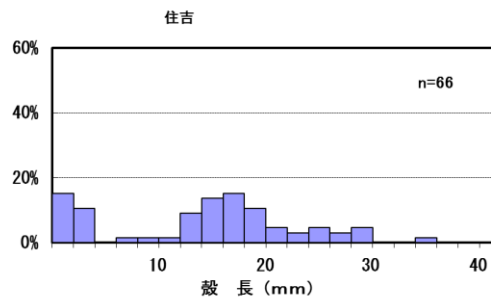
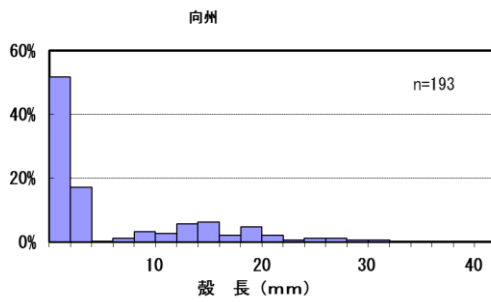
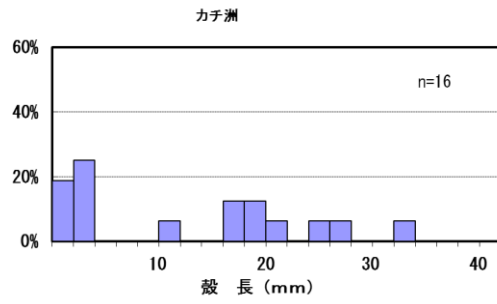
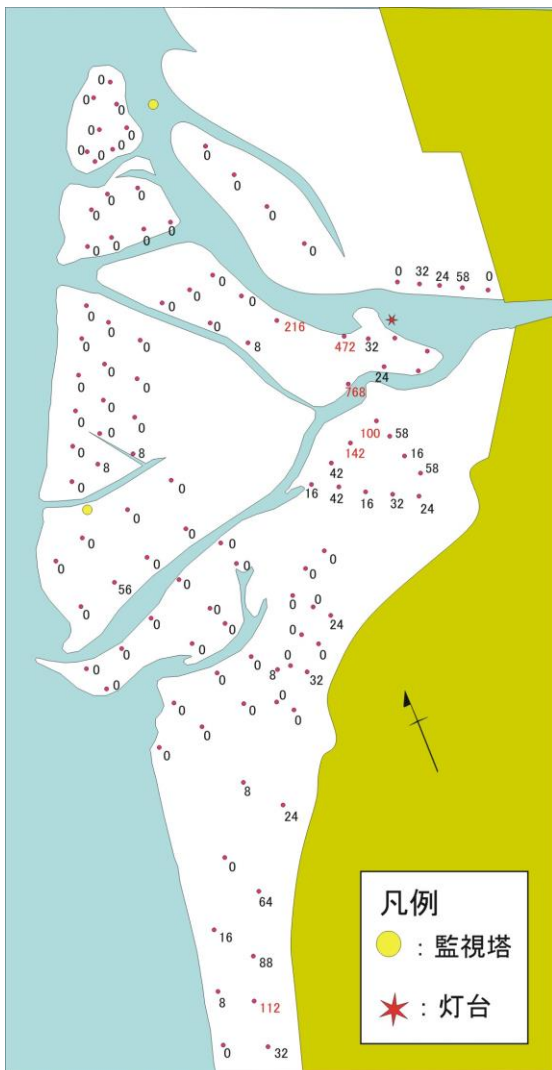


図14 2011年度ハマグリ分布状況 (単位: 個/m²)

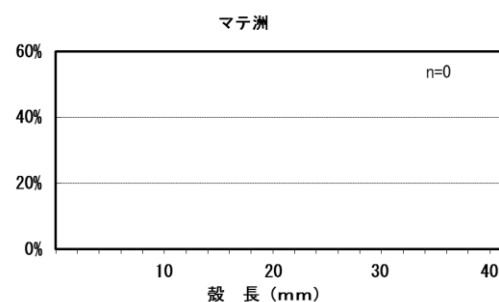
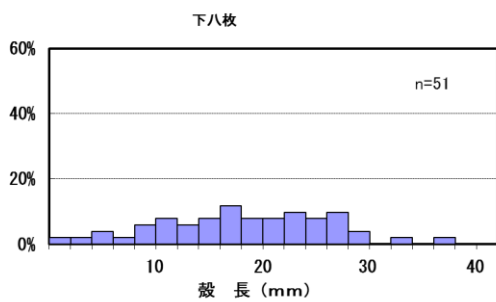
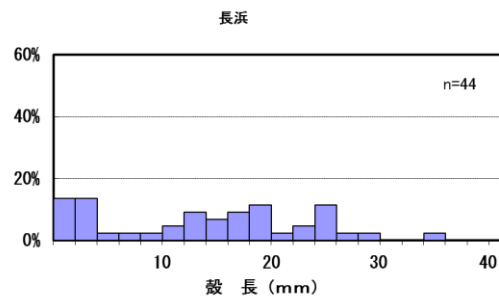
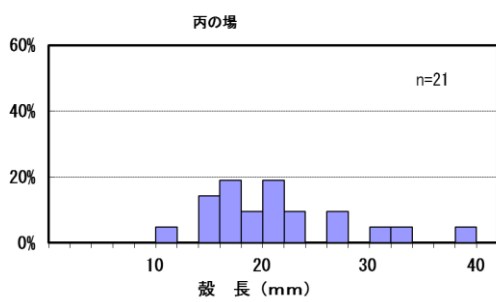


図15 2011年度ハマグリ殻長組成 (洲毎)

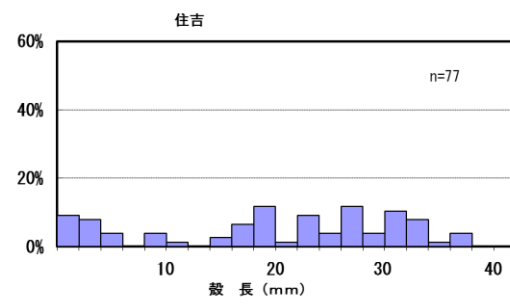
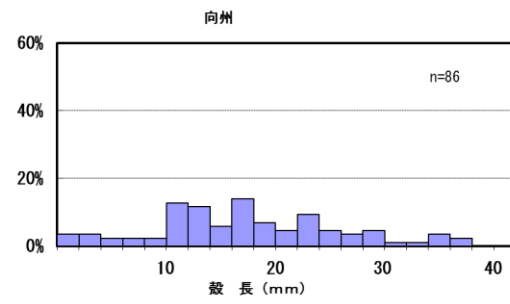
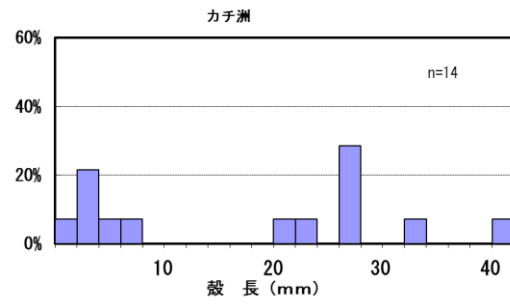
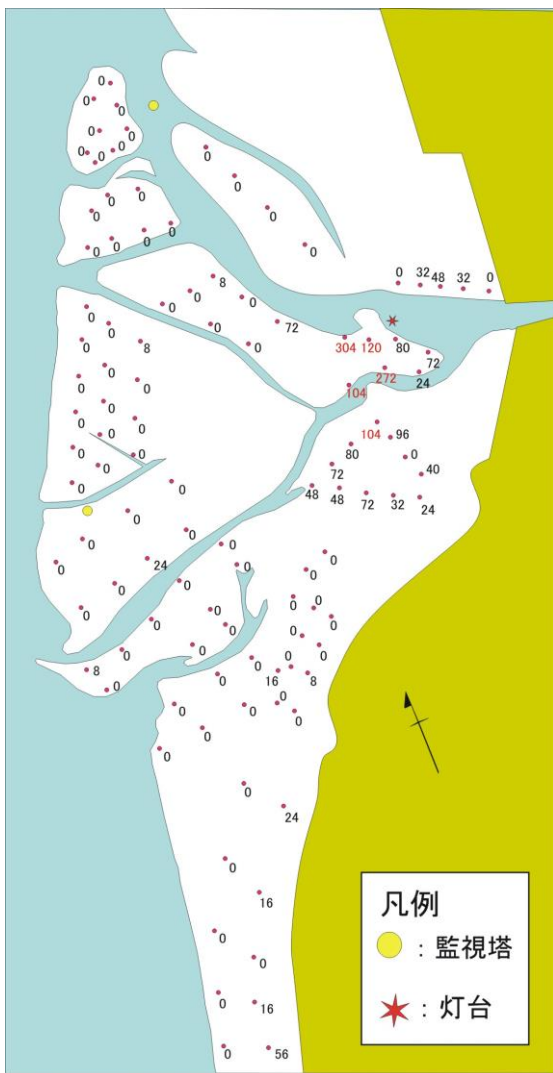


図 16 2012 年度ハマグリ分布状況 (単位: 個/m²)

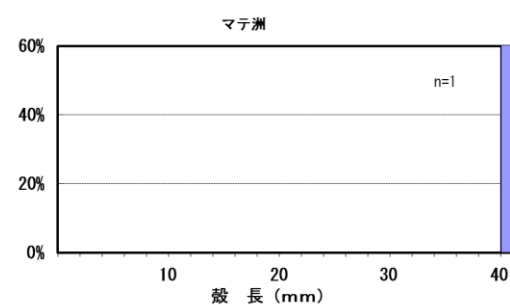
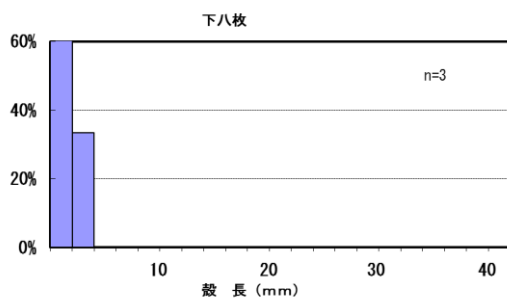
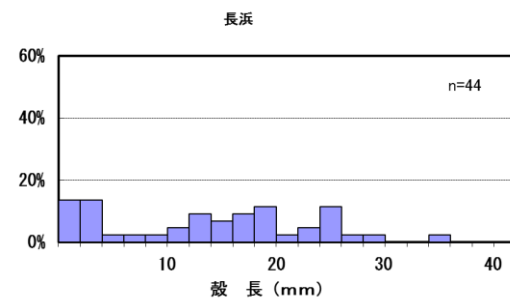
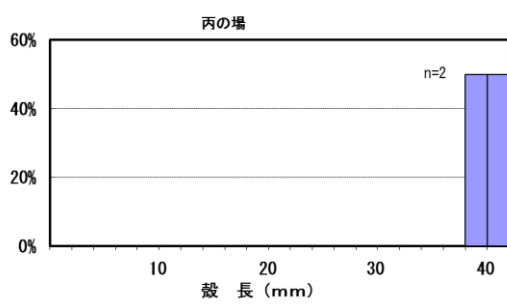


図 17 2012 年度ハマグリ殻長組成 (洲毎)

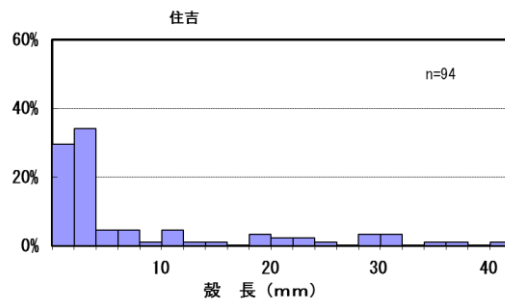
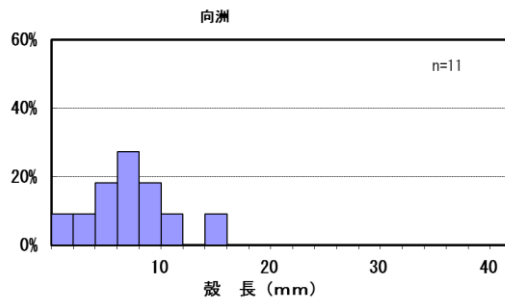
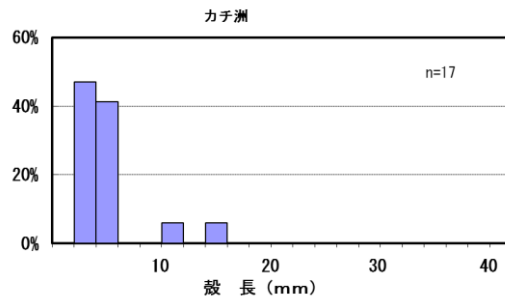
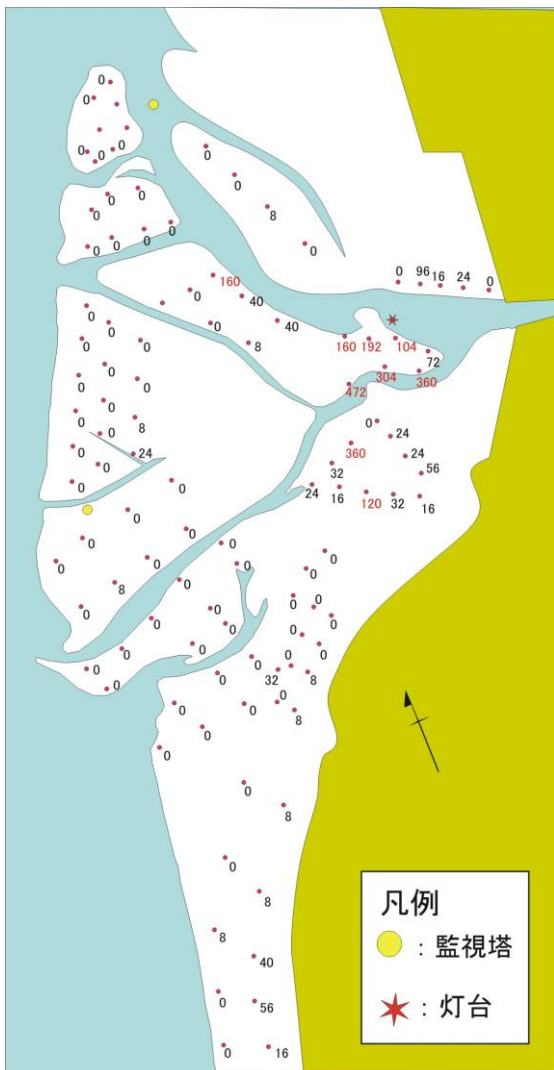


図 18 2013 年度ハマグリ分布状況 (単位: 個/m²)

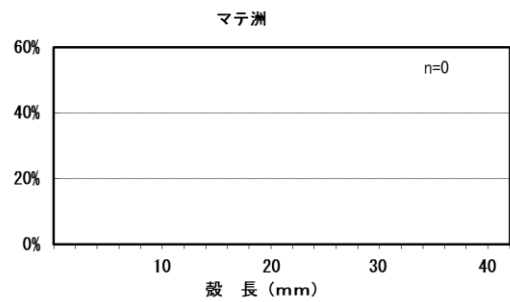
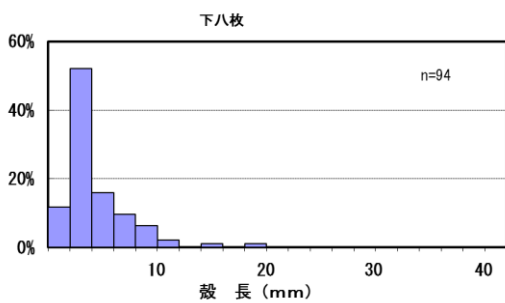
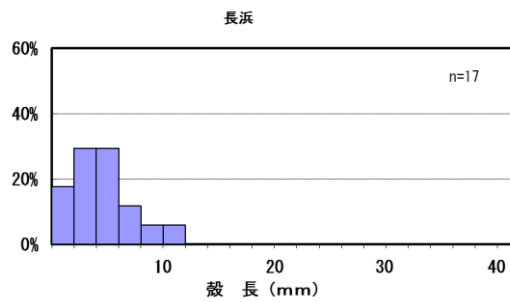
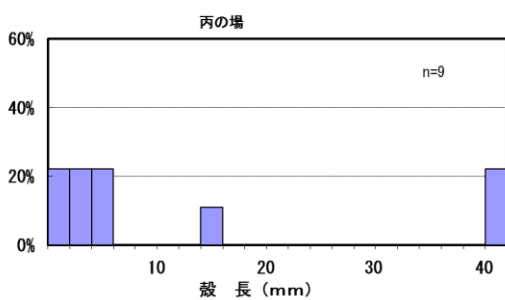


図 19 2013 年度ハマグリ殻長組成 (洲毎)

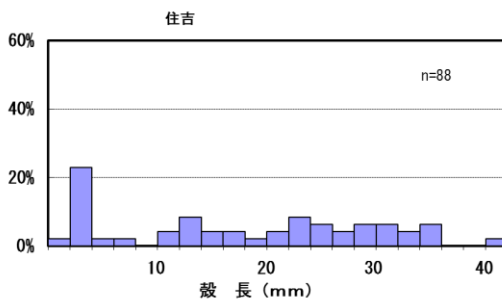
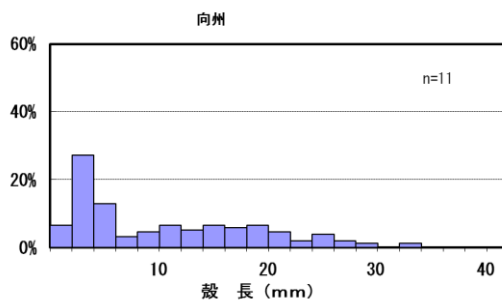
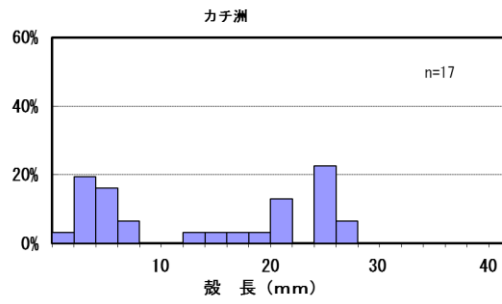
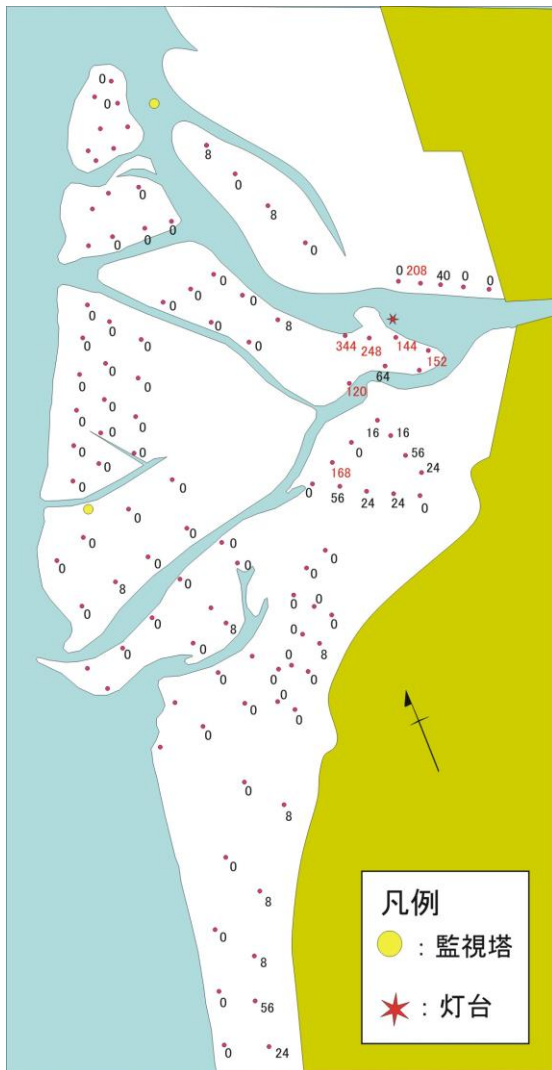


図 20 2014 年度ハマグリ分布状況 (単位: 個/m²)

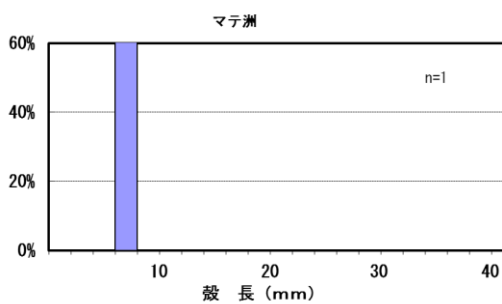
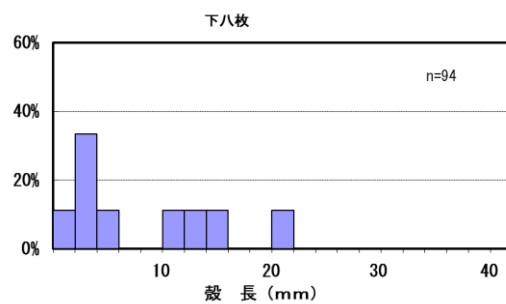
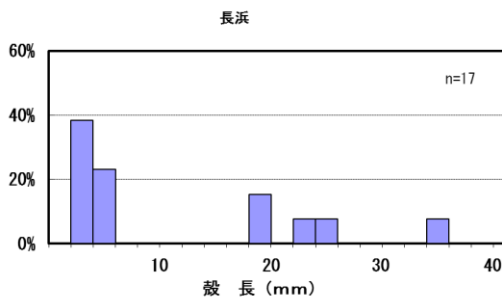
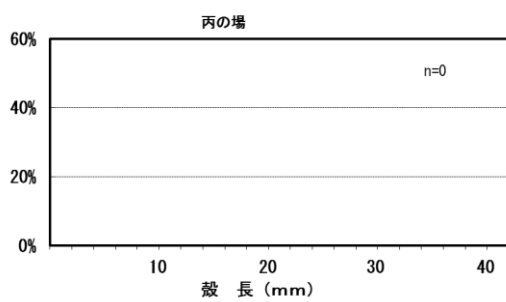


図 21 2014 年度ハマグリ殻長組成 (洲毎)

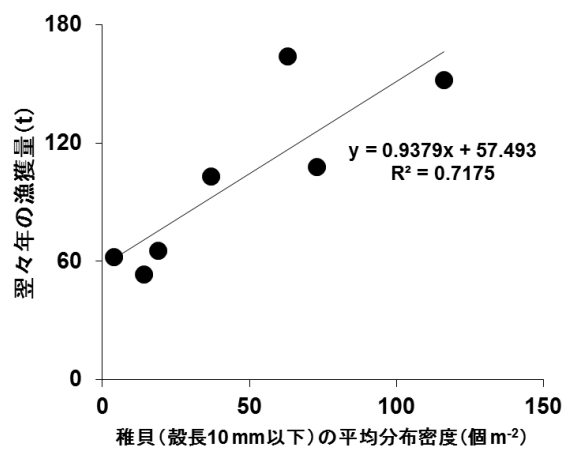


図22 稚貝(殻長10mm以下)の平均分布密度と翌々の漁獲量との関係

八代海湾奥部における夏季の環境特性と 2011年同海域で発生したアサリ大量へい死の要因

川崎信司, 諸熊孝典, 高日信也

Studies on Mass mortality of the clam *Ruditapes philippinarum* at the river mouth of yatusirio sea

Shinji Kawasaki, Takanori Morokuma, Shinya Takahi

キーワード：八代海、塩分、アサリ、へい死

八代海湾奥部の氷川河口域から球磨川河口域にかけては干潟漁場が広がり、アサリ・ハマグリ
の採員が行われてきた。しかし、同海域では、数
年に一度、梅雨から夏季の時期にアサリの大量へ
い死が発生するなど、アサリ資源の変動が激しい
状況が続いていた。そのような中、2011年6月末
に発生したアサリの大量へい死は、同海域のアサ
リ資源に壊滅的な打撃を与えた。

その後 2017年現在にいたるまで、稚貝の放流
等地元漁協等の資源回復のための努力にもかか
わらず、まとまった資源の回復は見られていない。

そこで、当センターでは、当海域の環境特性を
明らかにし、今後のアサリ等の増殖の取組みの基
礎となるデータを得るために、2012年から、調査
船による定期調査や水質連続モニタリング機器
を設置する等の調査を進めてきた。さらに、2011
年のアサリへい死時期の断片的な漁場環境デー
タを解析し、2011年のアサリのへい死要因につ
いて検討したので報告する。

方法

1 定期調査

(1) 時期及び頻度

2012年から2014年の6月から9月に、2
回/月の頻度で行った。

(2) 場所 八代海湾奥部の4点(図1)。

(3) 方法

調査船上から、多項目水質計による各水質
の鉛直観測を行った。観測項目は、水温・塩
分・DO。

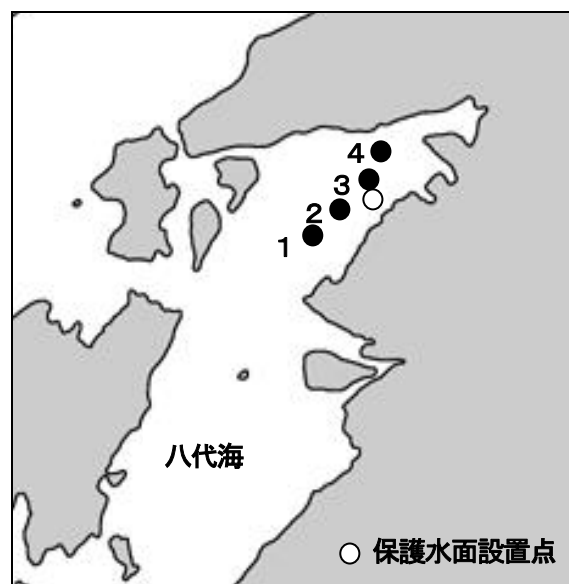


図1 八代海湾奥部での調査点

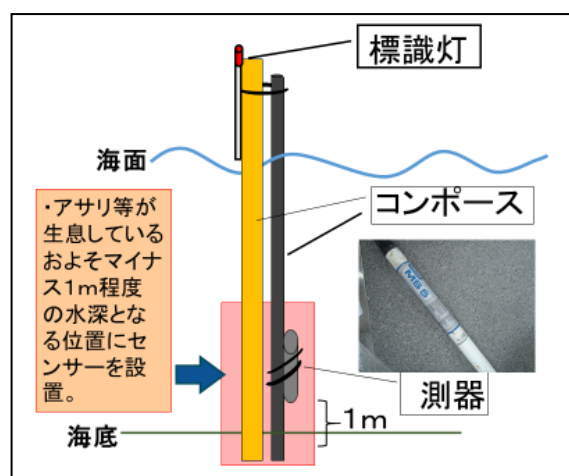


図2 連続観測機器の設置図

2 連続観測

(1) 時期

2012年から2014年の6月から9月に行った。

(2) 場所

八代海湾奥部の4点(図1)。各調査点は、小潮の満潮時で水深がおよそ4m程度。

(3) 方法

水温・塩分及びDOが同時に測れる多項目水質計を設置し、1回/20分又は30分の間隔で連続観測を行った。なお、周辺海域でアサリ等が生息していると推定される地盤高に合わせ、センサー部が海底から1mの高さの位置になるよう設置した。

3 2011年のアサリのへい死要因の検討

2011年のアサリの大量へい死については、6月20日頃に漁業者らからの通報により明らかとなった。そこで、当センターでは、図1の調査点3において、6月24日に調査船により多項目水質計による水質の鉛直分布の調査を行った。また、図1に示した保護水面において、当センターの養殖研究部がカキの養殖試験の一環として、水温・塩分の連続測定を行っていた。

これらのデータ及び今回の3か年の調査結果をもとに、2011年のアサリの大量へい死の要因について検討した。

結果及び考察

1 定期調査

(1) 鉛直分布

図3に定点2における2012年7月26日の水質の鉛直分布の状況を、調査期間中の典型的な事例として示す。

水温については、表層は29℃程で、水深2.5m付近までは27℃程度と緩やかに低下したが、水深3.5mに至る1m程の層で24℃程まで急激に低下し、この層に躍層がみられた。

塩分については、表層は17程度で水深2.5m付近までは20程度と緩やかに上昇したが、水深3.5mに至る1m程の層で27程度まで急激に上昇し、その後低層の10m付近では29程まで緩やかに上昇した。塩分についても水温と同じく、水深2.5~3.5mの層に躍層を形成していた。

DOについても、水温・塩分躍層の上層にあたる2.5m付近までは、160~180%を示したが、3.5m付近で60%まで低下し、5m以深

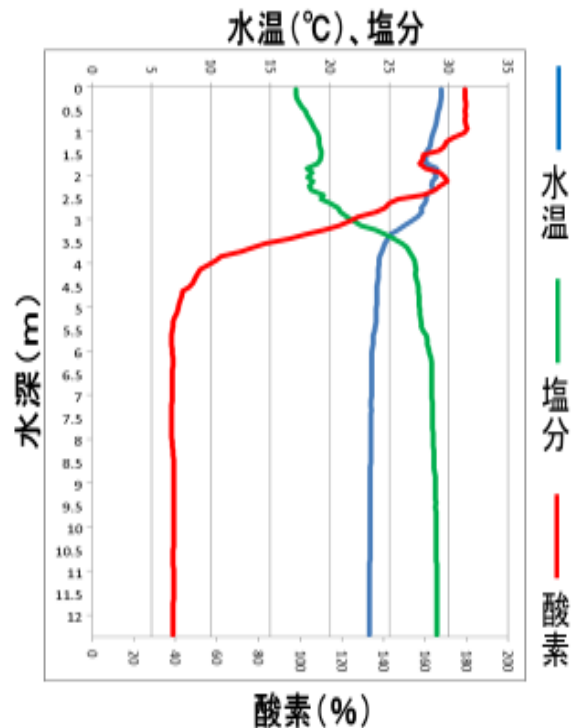


図3 2012年7月26日の定点2の水質の鉛直変化

では、40%とかなり低い値となった。

このように定点2においては、水深2.5~3.5m層に躍層があり、その上層では、高水温・低塩分及び高い溶存酸素が観測され、下層では、低水温・高塩分及び低い溶存酸素が観測された。

(2) 水質断面

図4に2012年7月26日の定点1~4における水質断面の状況を、調査期間中の典型的な事例として示す。

水温については、定点1~4にかけて水深2.5~3.5mに躍層があり、上層では高水温、低層では低水温となっていた。湾奥に位置する定点3~4表層は、30℃を超えており、より高水温傾向にあった。

塩分についても、水温と同じく定点1~4にかけて水深2.5~3.5mに躍層があり、上層では低塩分、低層では高塩分となっている。湾奥に位置する定点3~4表層は、より低塩分傾向にあった。

DOについても、水温・塩分と同じく定点1~4にかけて水深2.5~3.5mの水温・塩分躍層の上層には、160~180%と高い値となった、3.5m以深の層では、40%とかなり低い値となった。

このように定点1~4にかけて、水深2.5~3.5m層に躍層があり、その上層では、高

水温・低塩分及び高い溶存酸素が観測され、
下層では、低水温・高塩分及び低い溶存酸素
が観測された。また、より湾奥にある水深の
比較的浅い定点3・4にかけては、表層の水

温の上昇及び塩分の低下が著しい傾向にあ
った。これは水深の比較的浅い湾奥部が気温
及び陸水の影響を受けやすいことを示唆し
ていると思われる。

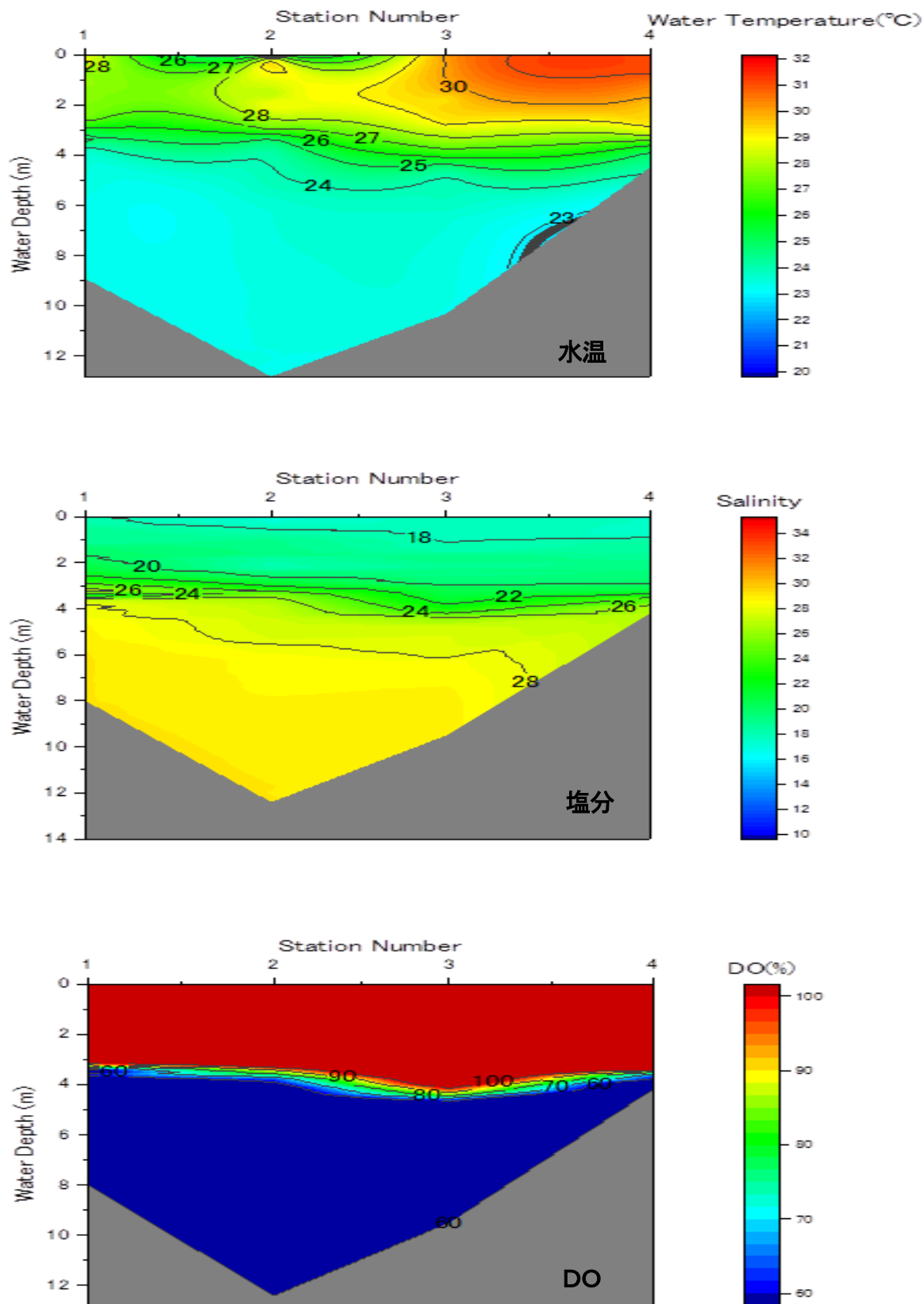


図4 平成24年7月26日の水質の鉛直断面

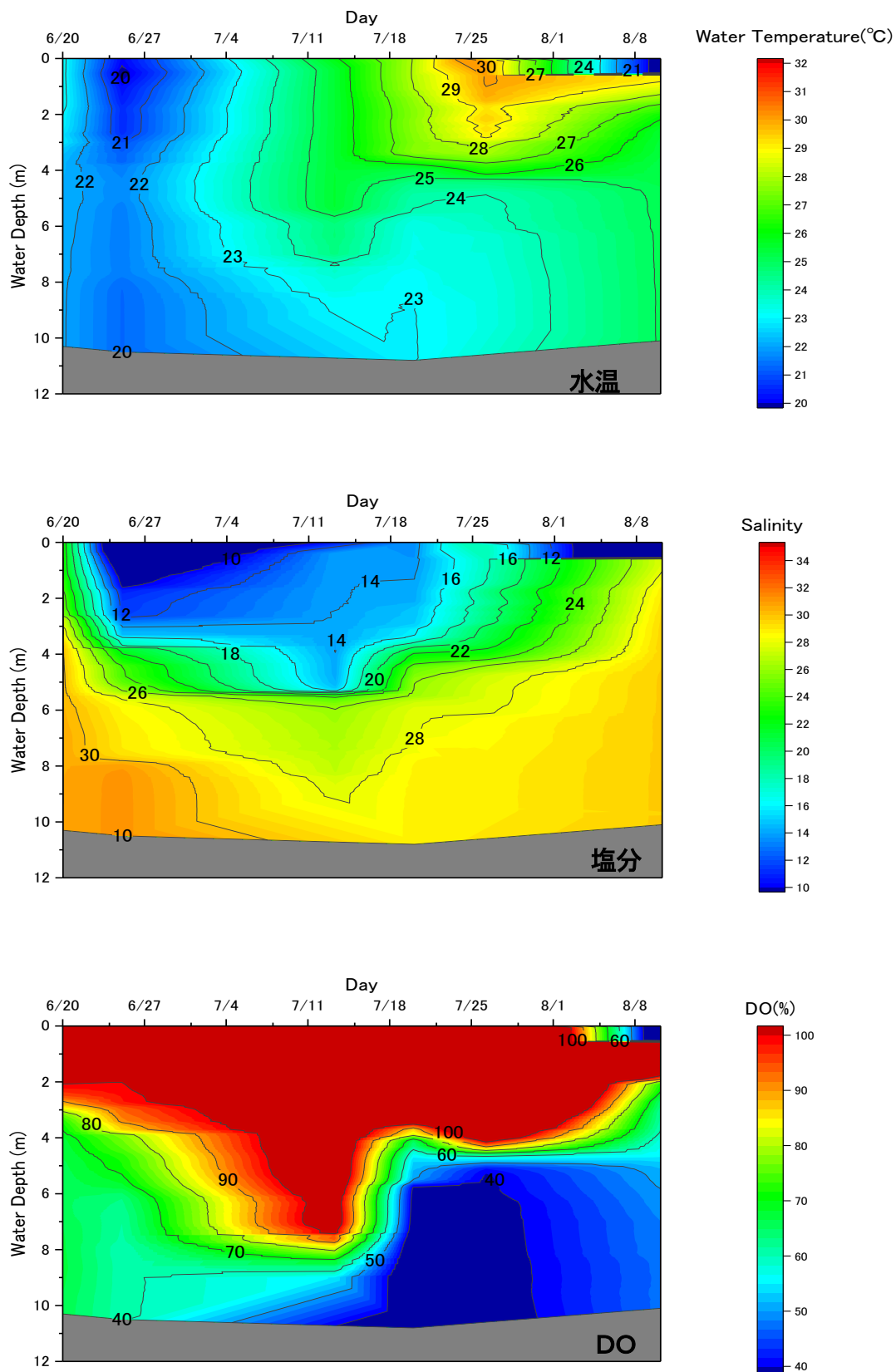


図5 2012年調査期間中の定点2における水温・塩分及びDOの鉛直観測の推移

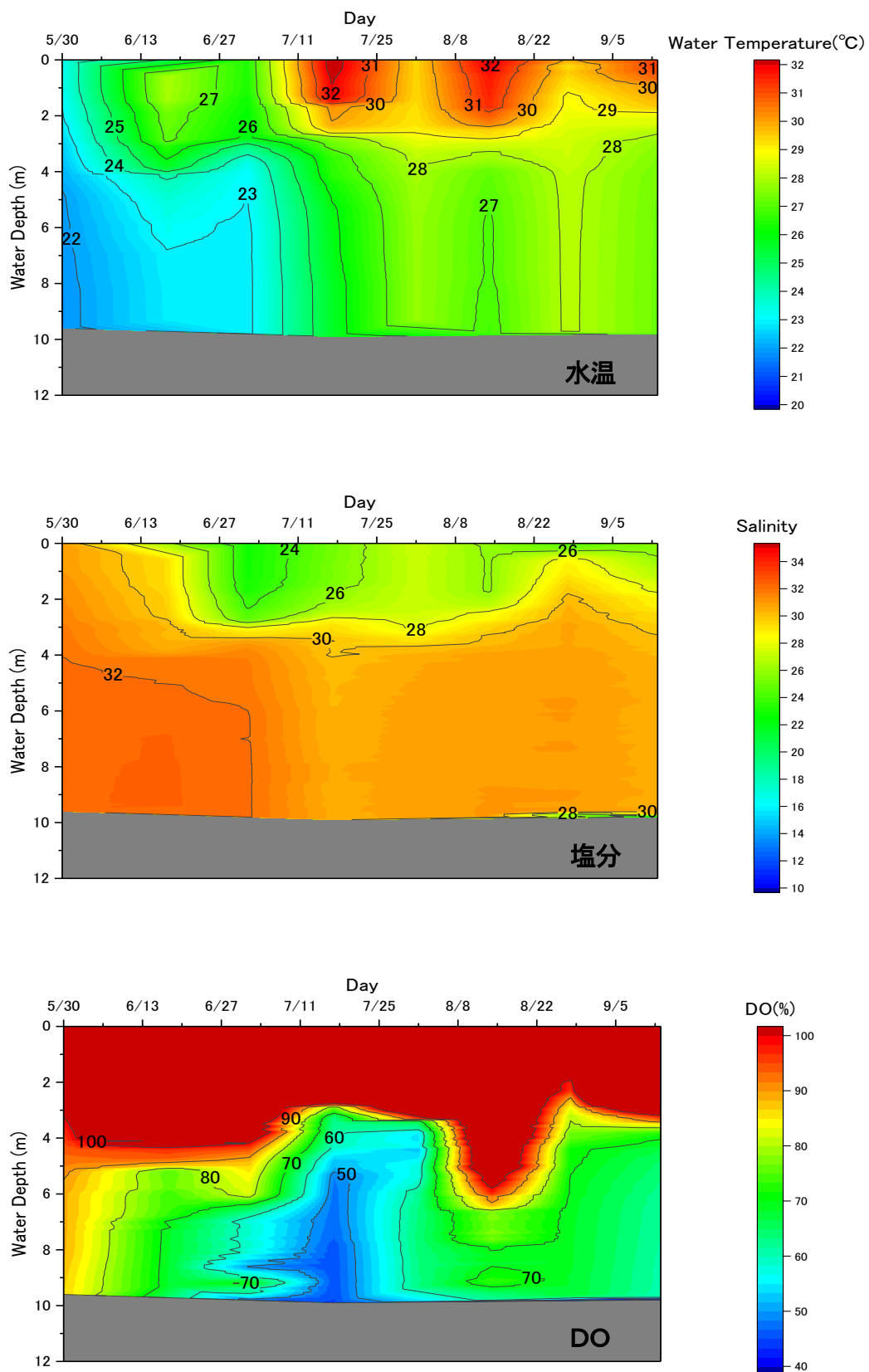


図6 2013年調査期間中の定点2における水温・塩分及びDOの鉛直観測の推移

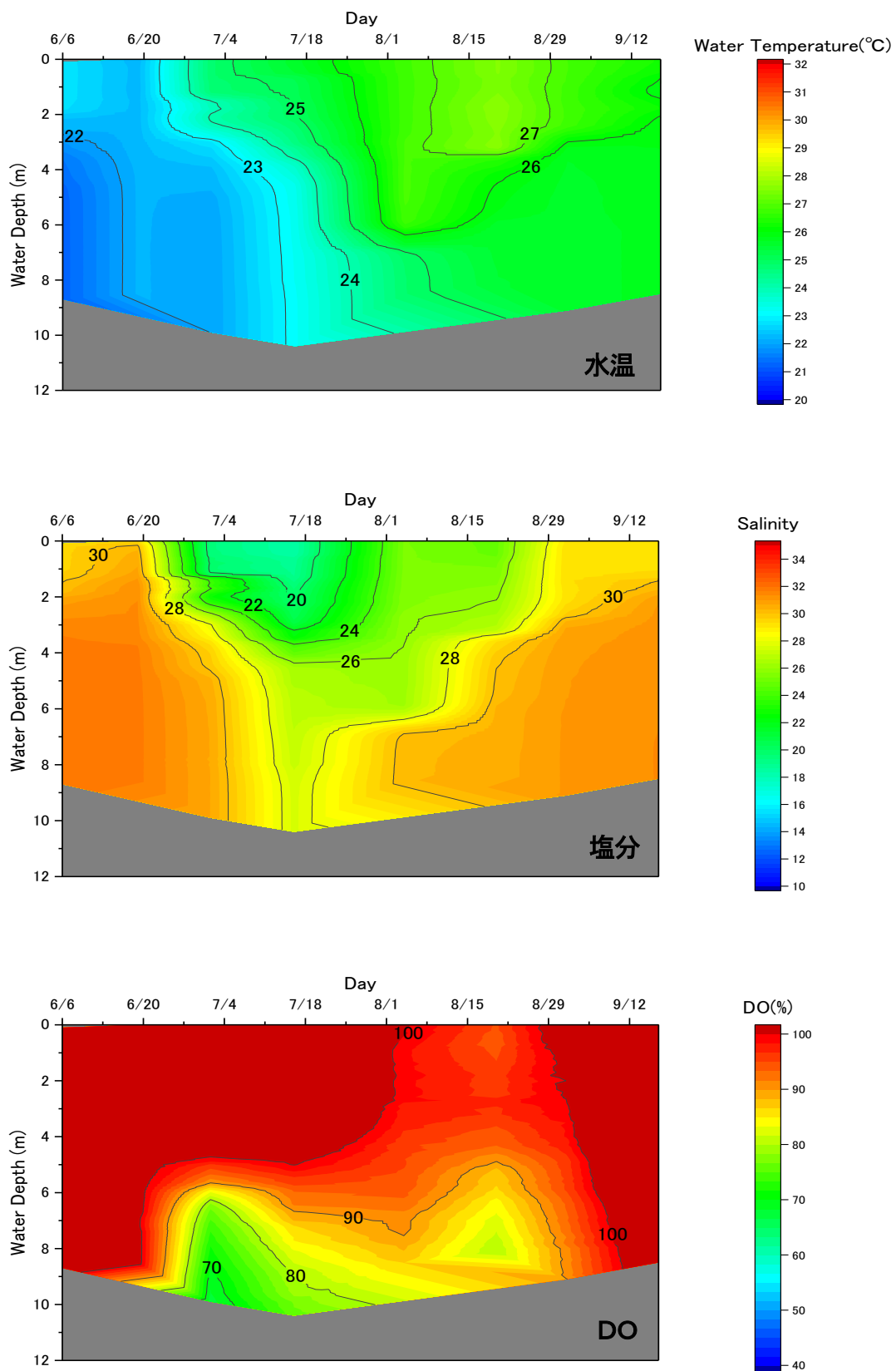


図7 2014年調査期間中の定点2における水温・塩分及びDOの鉛直観測の推移

(3) 夏期の水質変化

図5～7にそれぞれ、2012年・2013年及び2014年の調査期間中の定点2における水温・塩分及びDOの鉛直観測の推移を示す。

ア 2012年

水温については、7月中旬から水温成層が形成され始め8月中旬まで継続した。塩分については、6月末に強い塩分成層が形成されたが、その後緩やかに表層の塩分は回復し、7月末までにはほぼ塩分成層は解消した。DOについては、6月当初から表層で高く低層で低い状況が継続していたが、7月末に水温成層が形成されると同時期に底層で急激に低下し、貧酸素状態(酸素飽和度40%以下)が観測されたが、7月末には貧酸素状態は解消した。

イ 2013年

水温については、6月中旬から水温成層が形成され始め8月中旬まで強弱はあるものの、9月中旬まで継続した。塩分については、6月末から成層が形成されたが、表層の塩分は20を切ることはなく、この年の塩分低下は比較的穏やかであった。DOについては、期間中、表層で高く低層で低い状況が継続していたが、6月末に底層で貧酸素状態が観測されたが、7月初旬には強い貧酸素状態は解消した。

ウ 2014年

水温については、7月初旬および8月中旬にごく弱い水温成層が形成されたものの、期間を通じて、表層および低層での水温差は大きくはなかった。塩分については、7月初旬の短い期間に成層が形成されたが、それ以外は期間を通じて明瞭な成層は形成されなかった。DOについては、7月初旬と8月初旬のそれぞれにごく短期間に底層で貧酸素状態が観測されたが、それ以外は期間を通じて明瞭な酸素の低下は観測されなかった。

エ 3か年の調査の結果から

八代海湾奥部については、6～7月にかけては、主に塩分の低下による躍層が3m付近で形成され、その後7～9月に表層近くの水温の上昇とともに水温による躍層が同じく3m付近で形成されることが観察された。DOについては、期間を通して水温・塩分躍層の上層では、100%を超えるような値が継続するが、底層については、年に1～2

回程度の著しい酸素濃度の低下がみられ、その変化は大きいことが観察された。底層酸素の低下は、水温及び塩分躍層の強度により影響を受ける一方で、大潮時の底層への南部海域からの差し込みにより、観測値に大きな変動が観察されるものと思われる。

2 連続観測

図8に定点4における2012年7月31日の24時間分の水質の経時変化の状況を、調査期間中の典型的な事例として示す。

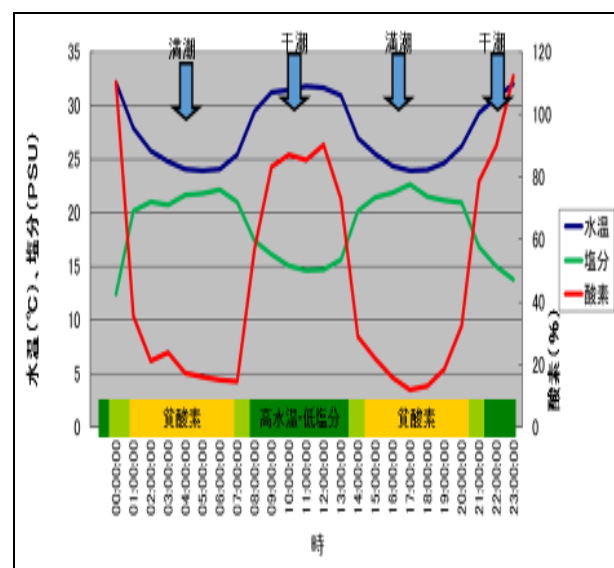


図8 2012年7月31日の連続観測結果

水温については、2～6時は25°C程度でその後急激に上昇し9～13時は30°C以上となり、その後急激に下降し、15～17時は25°C程度まで低下し、さらに急激に上昇し22時ころには再び30°Cを超えるに至った。

塩分については、2～6時は22程度でその後急激に下降し9～13時は15近くまでに低下し、その後急激に上昇し15～17時は22程度で推移し、さらに急激に下降し22時ころには再び15より低下するに至った。

DOについては、2～6時は20%程度でその後急激に上昇し9～13時は80%近くまでに上昇し、その後急激に下降し15～17時は再度20%程度で推移し、さらに急激に上昇し22時ころには再び80%を超えるに至った。

このように、センサーを設置した水深においては、一日に二回、高水温・低塩分・高酸素の水質環境と低水温・高塩分・低酸素の水質環境に交互に暴露されることが観測された。

連続モニタリングにおける一日に2回の水質

の大きな変化は、図9に示すとおり一日に2回の潮汐の変化により躍層の上下の層を観測しているためであると想定される。このことは、アサリの生息水深として設置している水質計の設置水深において、事例として紹介した2012年7月下旬においては、アサリに危険となる高水温・低塩分水塊に日に2回暴露され、さらに水温・塩分環境が改善されている時間帯は、貧酸素に暴露され、アサリにとって危険な状況が

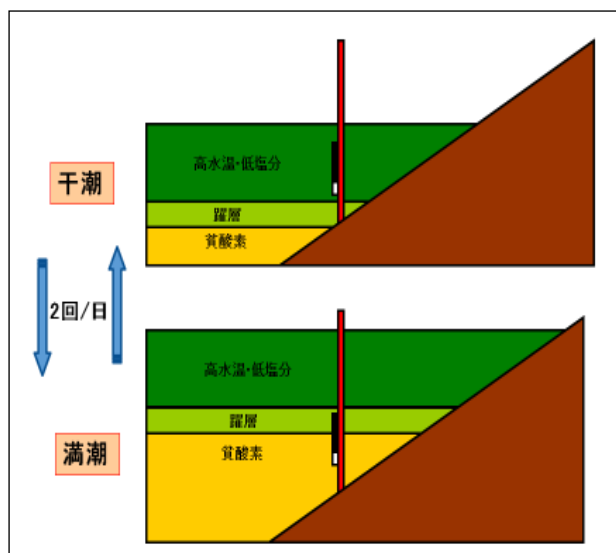


図9 連続モニタリング観測時の想定水塊

継続していたものと推察される。さらに、干満差の小さい小潮の時期においては、調査点より高い地盤高の潮間帯等に生息しているアサリにとっては、長時間高水温・低塩分に暴露され、より地盤高の低い潮下帯に生息しているアサリにとっては、長時間低酸素に暴露される危険があることが想定される。

3 2011年のアサリのへい死要因の検討

図10に2011年保護水面海域における水質連続モニタリング調査結果及び八代での降雨データについて示す。この水質連続モニタリングの際の水質計は、図1に示した干出する保護水面地点の地盤から50cmほどの高さに設置されており、2012年からの連続モニタリングの調査点より1m以上高い地盤であると想定される。用いたデータは、6月初日から6月末までのほぼ1か月分で、測定間隔は1回/20分、調査項目は水質と塩分である。緑色で示す塩分の測定値が頻繁に0まで低下しているが、これはセンサー部分が干出してしまったために、測定不能になっている状態であると想定される。

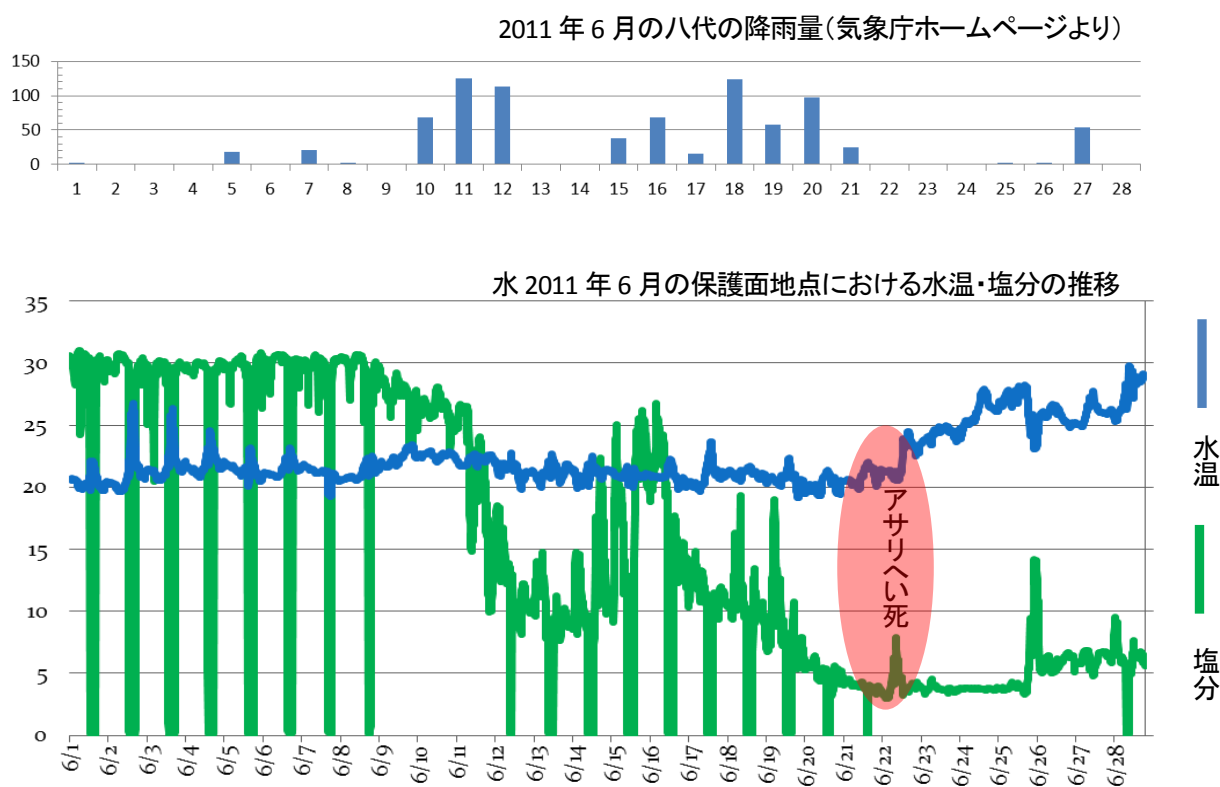


図10 2011年保護水面海域における水質連続モニタリング調査結果及び八代での降雨データ

図10によると、塩分は6月10日までは30程度を保っているが6月10・11・12日の3日間でおよそ300mmの降雨があり、その影響を受け塩分が急激に低下し、6月12日には塩分15まで低下した。その後降雨が一時おさまり、塩分も15日頃には、25程度まで回復した。しかし、15日から21日にかけて7日間降雨が続き、特に18日と20日はいずれも100mm/日を超える激しい降雨となった。これにより塩分も再度低下を続け、6月20日以降は、塩分5程度まで低下し、ほぼ塩分5~7というアサリにとっては厳しい状況が一週間以上継続した。一方で水温については、6月初旬から25日程までは20~25℃というアサリにとっては問題とならない水温で推移した。

アサリのへい死が見られたのは、塩分の低下が著しい最中の6月20日頃からであり、報告を受けて当水研では、6月26日に図1に示す調査点2において、多項目水質計を用い水温・塩分及びDOの鉛直状況の調査を行った。その結果を図11に示す。

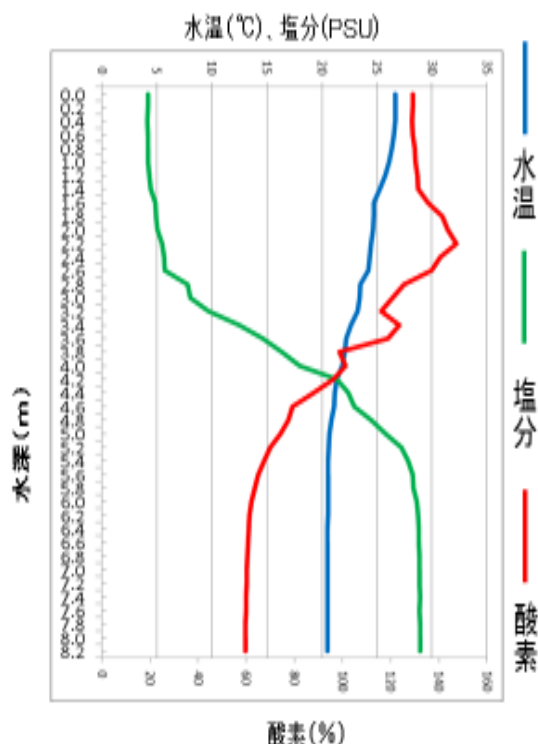


図11 2011年6月26日の定点2の水質の鉛直変化

水温については、表層は27℃程で、水深4m

付近までは22℃程度と緩やかに低下した、それ以下では水温20℃前後であった。表層と底層では5℃前後の差があったが、躍層とみられるような急激な水温変化のある層は見られなかった。

塩分については、表面から2.5m層までは5程度と非常に低塩分の層があり、2.5~4.5m層にかけて25程度と急激に上昇し、底層ではほぼ30近くまで回復していた。

DOについては、水深3.5m層までは、水深帯によりやや変動はあるものの、100%をこえており、それ以下では緩やかに低下し6mより以下ではほぼ50%程度となった。

このように6月26日の調査結果では、アサリの生残に影響を与える要因としては、水深2, 5m層まで存在する塩分5程度という値が最も高い危険性を示していると思われる。この水深帯は、アサリの生息する干潟上を継続的に暴露し続ける層であることが想定され、連続観測の結果から塩分低下の状況が長期間継続していることが観察されている。

アサリの低塩分耐性について、倉茂(1942)¹⁾は朝鮮半島産のアサリを用いた試験から、比重1.005(塩分8程度)で、8日後にはほとんど全滅するとしているが、併せてその状態でも毎日8時間内外普通海水に入れるとへい死率は著しく減少するとしている。また、松田ら(2008)²⁾は、アサリを水温25℃、0~15psuの7段階の低塩分海水に暴露する試験を行い、7.5psu未満では72時間まで生存する個体はいなかったとの結果を報告している。

以上のことから、2011年の6月の八代海湾奥部におけるアサリの大量へい死の要因は塩分の低下によるものと推察される。

西田ら(2006)³⁾による八代海における淡水の滞留時間についての報告では、1990年以降純淡水流入量に対し、平均滞留時間が長くなり、海水交換が悪くなっていることを示唆している。八代海湾奥部におけるアサリの資源管理を行う上で、塩分の低下における資源への影響については、今後も十分に留意する必要があるものと思われる。

要約

2012年から3か年の間、夏期の八代海湾奥部において、多項目水質計による定期調査及び連続モニタリング調査を行った。

夏季の八代海湾奥部においては、水深3m程度に水温・塩分躍層が形成され、表層では高水温・

低塩分、底層では貧酸素が発生することが観察された。

躍層の強度は、降雨量等その年の気象状況等により左右されるものと想定された。

アサリ等が生息すると想定される水深帯によっては、潮の干満により、2回/日水質が急激に変化し、表層の高水温・低塩分、底層の貧酸素等に連続して暴露される危険性があることが想定された。

2011年に八代海湾奥部で発生した、アサリの大量へい死は、降雨の影響をうけて塩分濃度の低下した水塊に長時間暴露されたことが大きな要因であることが推察された。

謝 辞

本報告を取りまとめるにあたり、多くの情報を提供いただいた鏡町漁業協同組合及び八代漁業協同組合の皆様に謝意を申し上げます。

文 献

- 1) 倉茂英次郎：海水塩分の変化に対するアサリの抵抗性，日本海洋学会誌，1，29-43，（1942）
- 2) 松田正彦・品川明・日向野純也・藤井明彦・平野慶二・石松惇：低塩分がアサリの生残，血リンパ浸透圧および軟体部水分含量に与える影響，水産増殖，56(1)，127-136，（2008）
- 3) 西田泰輔・藤家亘・大和田紘一：八代海における淡水の滞留時間について，月間海洋/yol. 38，No . 2，86-91，（2006）

くまもと観賞魚ワールドの進展に向けて～「ぼんさい鯉」の試み～

平田郁夫*¹

An attempt of the small-sized Nishiki-goï “Bonsai-goï” culture for the development of the fancy fish industry in kumamoto prefecture

Ikuo Hirata*¹

キーワード：観賞魚、錦鯉、小型鯉、ぼんさい鯉

熊本県は、金魚や錦鯉の全国有数の産地であり施設、技術、人材を有しているが、観賞魚産業としては伸び悩んでいる。特に、錦鯉は「庭池があり、生活に余裕のある一部の人の高額趣味の世界」という評価が一般的で、「品評会のために、より大きく、より美しい鯉を育てる」という考え方に偏重しがちである。¹⁾さらに、近年ではコイヘルペスウイルス病の発生が生産、流通および消費の隘路になっている。

しかし、錦鯉は世界に誇る日本原産の観賞魚であり、²⁾³⁾⁴⁾消費者の現状やニーズに適合した新しい市場を開拓すれば、観賞魚産業が活性化する可能性がある。

そこで、錦鯉が一般の家庭、学校、職場など身近で広く愛育されるような新しい市場を開拓するため、従来とは異なる観点から「サイズは小さい（概ね体長 10cm 程度）が、錦鯉特有の多様な色彩や模様の変化が楽しめ、ある程度長期間、手間がかからず、経費が安く、小規模で簡便に飼育できる」という基本的な考え方のもと、錦鯉の飼育試験を行い、10年間の結果からその可能性について見込みが得られたので概要を報告する。

方法

供試魚は、平成 17 年 5 月に熊本県内水面研究所で飼育していた紅白系とプラチナ黄金系の親鯉（図 1）から採卵し、ふ化後、屋外 100 kL コンクリート水槽に收容し、井戸水をかけ流しながら市販の稚魚用配合飼料を給餌して粗放的に飼育していたものの中から、同年 11 月に、できるだけ小型の個体を選別した。

選別後、供試魚は屋内の 400L と 2kL FRP 水槽（図 2）に收容し、井戸水をかけ流し、エアストーンによる通気を施した。給餌は供試魚の遊泳動作、痩せ具合、摂食状況など体調を観察しながら上述の稚魚用配合飼料を原則として週に 3 回、腹 7 分程度と思われる量（3 粒程度/尾）が全ての個体に一応行き渡ることを目安に手撒きで与え、平成 19 年 3 月まで飼育した。

同年 4 月以降は、図 3 に示す屋外素掘池（縦 2 m、横 1.4m、深さ 1m、実効水深 0.7m 程度）2 面に收容し、飼育を継続した。素掘池は、底面に #3000 厚手ビニルシートを敷設した簡易なもので、飼育水の水質変動をなるべく軽減するため、上部には約 1m の高さから遮光率 80% の遮光幕を



図 1 親鯉（左：紅白系、右：プラチナ黄金、採卵：平成 17 年 5 月）

*1 旧内水面研究所、現企画情報室



図2 屋内水槽による飼育風景（左：400L×3面、右：2kL×2面）

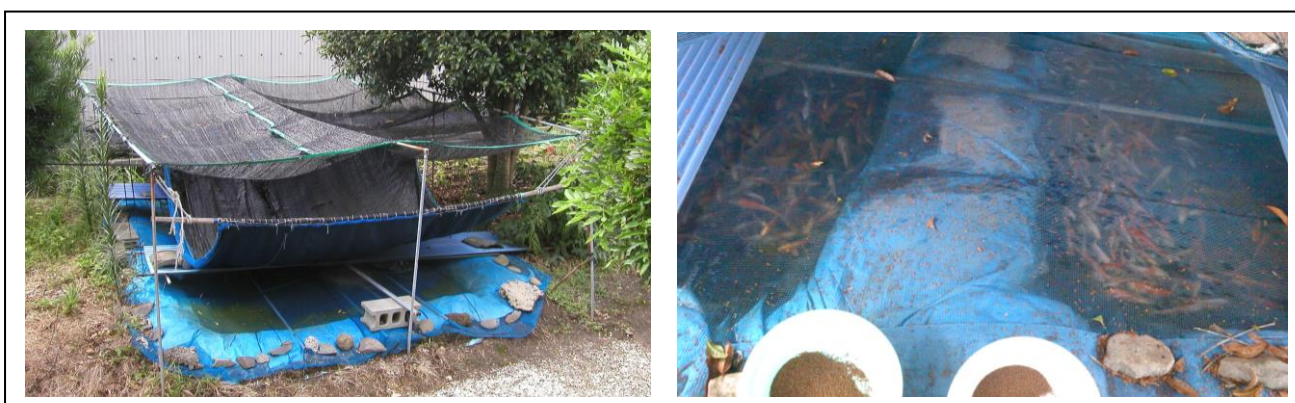


図3 屋外素掘池による飼育風景（約2m×1.4m×1m 2面）

U字型に設置し、直射日光を遮るとともに、同幕を伝ってU字型の底部に集まり落下する雨水は塩化ビニル製波板で受けて池外に排出した。飼育水には井戸水を用い、週1回、3/4程度を目安に換水した。止水飼育なので、家庭浄化槽用ブロワーとエアストーンを用い、水面が3cm程度盛り上がり、飼育水が池全体を緩やかに循環する程度の通気を施した。給餌は、屋内水槽飼育時と同様の要領で行ったが、頻度は四季折々の水温と供試魚の体調を観察しながら、週に1～3回程度与えた。

結果

平成19年3月まで屋内水槽で飼育し、1歳10ヶ月になった段階の状況は図4（400L水槽飼育群）及び図5（2kL水槽飼育群）に示したとおりである。各写真中、尺度指標として水槽底に置いてある金網の目合いは13mm四方であることから、飼育魚のサイズは概ね体長6～10cm程度であることがわかる。色彩・紋様については、親鯉の形質を引き継いだ紅白系と黄金系のほか、雑種としている

なタイプの鯉が現出した。これらの紋様は変化に富んでいたが、紅白系の紅色・白色、黄金系の鱗の光沢、雑種の藍色などの色彩は錦鯉としての趣を楽しめる水準と思われる。

その後、屋外素掘池で平成27年10月まで飼育し、10歳5ヶ月に達した段階の状況について図6に示した。水槽底の金網の目合いは狭幅40mmなので、飼育魚のサイズは概ね体長10cm程度である。その中には図7に示したように、一般的な鑑賞基準²⁾³⁾⁴⁾に照合して紅白系の色彩・模様、プラチナ黄金系の光沢等の特徴がよく現出している個体もみられた。また、稀ではあるが、眼球虹彩部の萎縮、上顎と下顎の不整合、鰭の矮小、体躯の曲折等の個体も育っており、従来は奇形として選別され、飼育から除外される鯉たちであるが、図8のようにアクリルガラス水槽に収容して横から鑑賞すると、その容姿は個性的であり、従来の水面上からの鑑賞では気付かなかった魅力のあることがわかった。

これらの結果から、当初の目標である「サイズは小さい（概ね体長10cm程度）が、錦鯉特有の多

様な色彩や模様の変化が楽しめ、ある程度長期間、飼育に手間がかからず、経費が安く、小規模で簡単に飼育できる」という錦鯉飼育に見込みが得られ、このような鯉を「ぼんさい鯉」と称することにした。

呼称の由来は、鉢植えて樹姿を整えながら自然の雅趣を表し鑑賞する「盆栽」と個々の鯉の「い

ろいろ（凡）な資質（才能）」を個性として大切に育てるということを掛けて表現したものである。

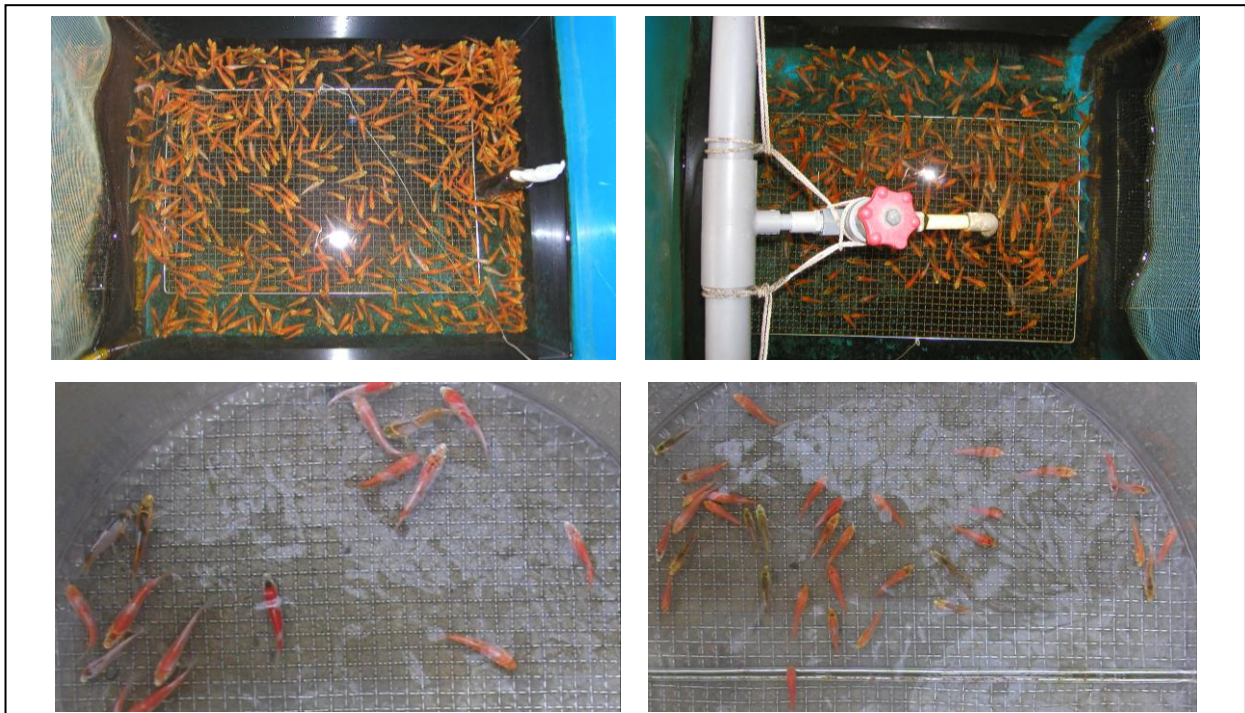


図4 1歳10ヶ月の飼育状況（下は拡大写真、屋内水槽400L：平成19年3月）

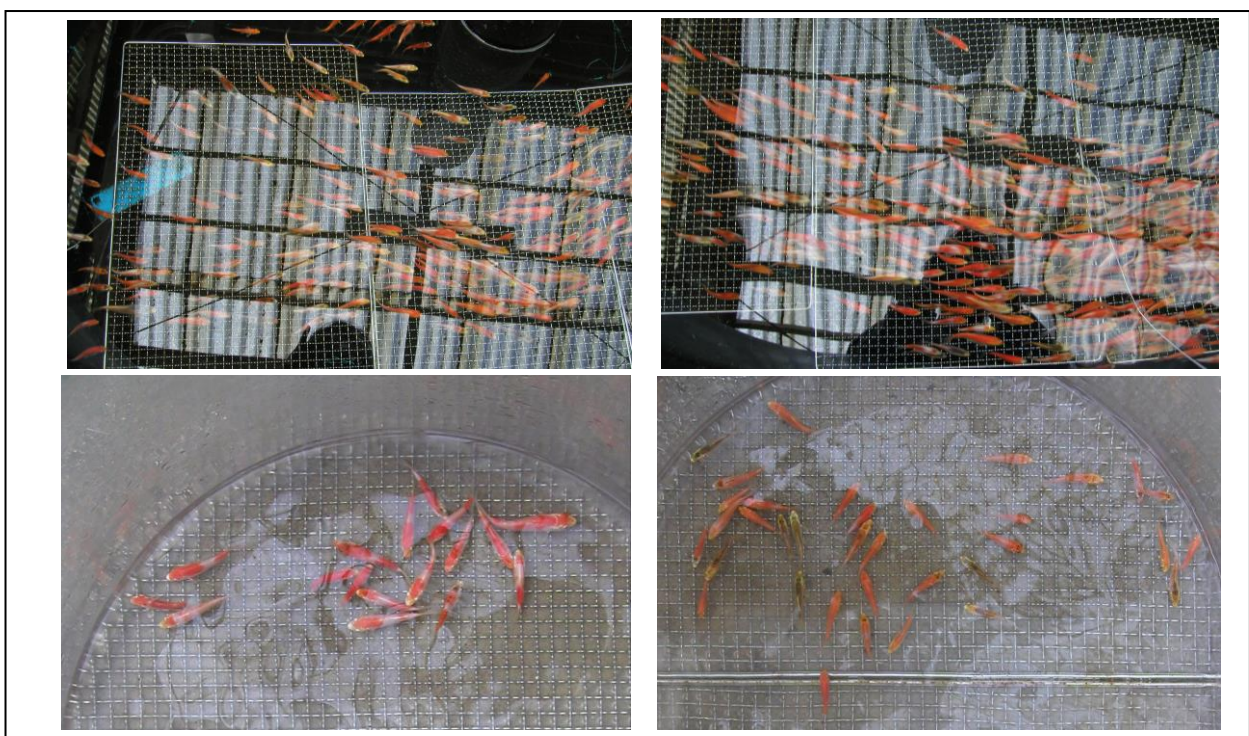


図5 1歳10ヶ月の飼育状況（下は拡大写真、屋内水槽2kL：平成19年3月）



図6 10歳5ヶ月の飼育状況（屋外素掘池、平成27年10月）



図7 10歳5ヶ月の「ぼんさい鯉」－親鯉の紅白系とプラチナ黄金系の色彩・模様・光沢等の特徴がよく現出している事例

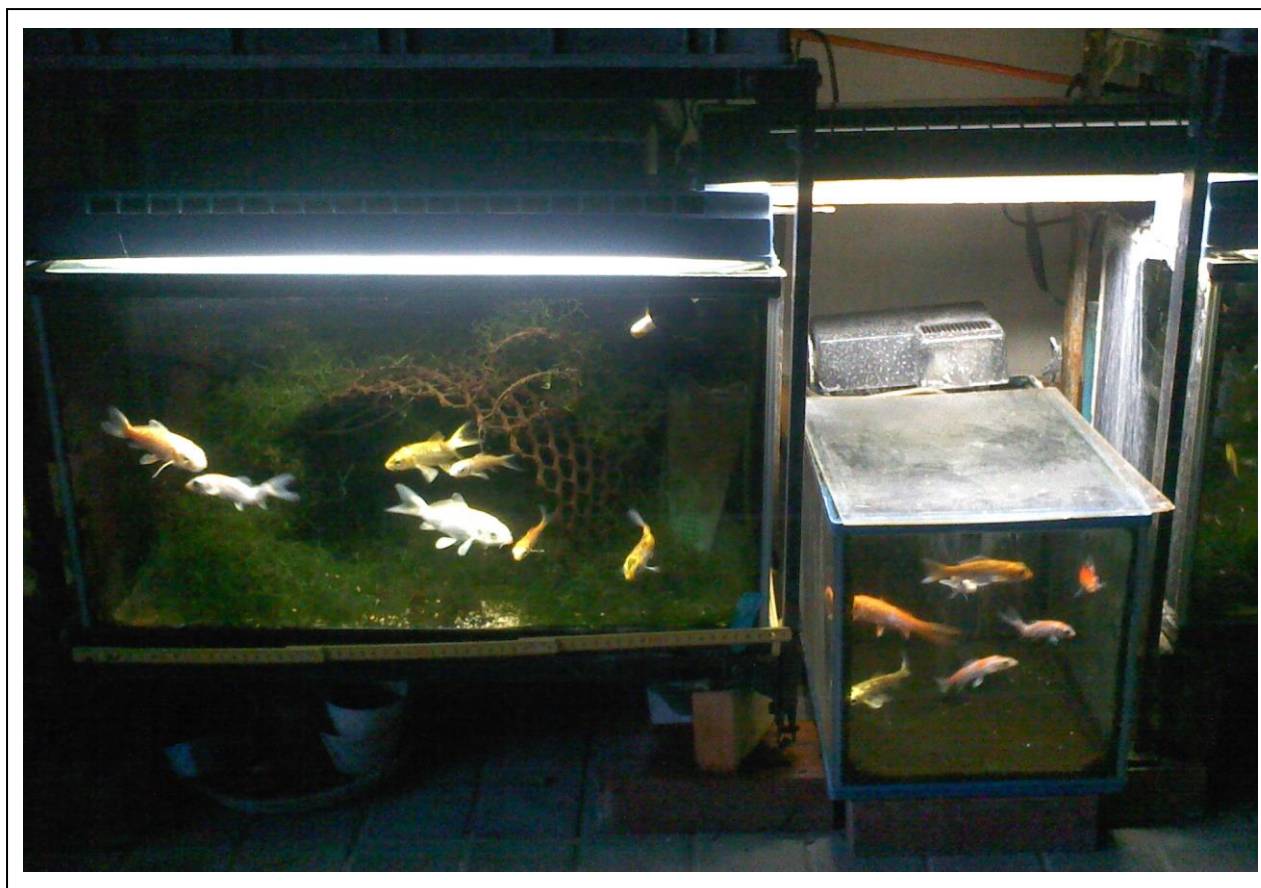


図8 室内小型アクリルガラス水槽による飼育風景（左 60L 水槽、右 20L 水槽）

考 察

観賞魚の全国的な市場規模に関する資料は少ないが、その中で、資料1に示す環境省の「観賞魚の市場規模業界(推定)」⁵⁾によると、平成6年度の1,400億円がピークで、それ以降、減少傾向を示し、平成14年度は725億円になっている。この間、大きな割合を占めていた熱帯魚関係が平成8年度の240億円から同14年度の110億円に激減し、金魚と錦鯉はそれぞれ60億円と50億円レベルで横ばい状況である。熱帯魚の減少及び金魚と錦鯉の伸び悩みの要因としては「死にやすい」、「購入費・維持経費が高い」、「手間がかかる」等が考えられるが、見方を変えて、これらの課題を解決すれば、この減少分は観賞魚の潜在市場と考えられる。

一方、老若男女を問わずストレスの多い現代社会においては、自然態として遊泳する魚たちの様子を身近で観賞することで心が癒されるとともに、⁶⁾魚の飼育体験を通して「生き物を育てることの楽しさ・難しさ・大切さ」や「生物・生命・生態系

(環境)とそれらのつながりに関する知識と技術」を学ぶことができる。特に後者については、飼育水とその中に生息する微生物、植物(水草等)及び動物(魚等)が一つの生態系を構成し、そのバランスのもとにそれぞれが生命を維持し、共存しているものであり、この仕組みは陸上の愛玩動物の飼育では具現化することが難しく、日常生活の中で体験する機会は少ないと思われる。これらの心理学・生理学的効果や教育学的意義をさらに検証し、観賞魚の新たなセールスポイントとして確立し、積極的に宣伝することで、元来「鑑賞魚は馴染みが少なく、飼育方法がわからない」、「水の中にいるので直接触れることができず、親しみがわからない」などの理由で飼育に消極的だった人々の関心と興味を惹起し、ひいては消費拡大につながる事が考えられる。⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾

観賞魚の中でも錦鯉は、金魚、在来淡水魚、熱帯魚、海水魚などに比べて一般的に環境適応範囲が広く、丈夫で飼育しやすく、長寿で、品種や系統が多様で、個体ごとの色彩・紋様の変化が際立っており、²⁾³⁾⁴⁾これらの特長は市場開拓する上で

大きな強みといえる。

ぼんさい鯉の場合は、その基本的な考え方に示したように魚体が小さく、市販の幅 60cm 程度の小型アクリルガラス水槽でも簡便に飼育できるので消費者の住環境、経済事情等の実情やニーズに応じて、より身近で、より広く愛育する機会を提供できると思われる。

従来、錦鯉の水槽飼育は、幅 60cm 水槽では主に 0 歳魚を飼育し、その後、成長に応じて大きな水槽に更新するが、一般屋内では設置空間、耐重量、飼育管理の利便性等の都合から幅 180cm 水槽程度が限界であり、³⁾⁴⁾収容できるサイズと期間が制限され、最後まで飼育できないことが普及の隘路となっている。

しかし、水槽飼育は、横から眺めることで従来の水面上からの鑑賞価値と異なる価値観を提供できるため、新たな関心と興味を惹起するきっかけとして極めて有効である。すなわち、従来の鑑賞価値では背面からみた泳姿を含む体形、色彩及び模様が主体となり、一般的に御三家といわれる紅白、大正三色及び昭和三色を中心に優劣が論じられる。²⁾³⁾⁴⁾一方、横から眺める場合は、腹面の状況が主体となるので同じ御三家でも模様の巻腹具合が重要になり、頭部の面被り模様もチャームポイントになり得る。また、腹面の色彩・模様が変化に富む浅黄系や秋翠系、鱗の光り具合によって印象が変わる黄金系、鱗の並び方に特徴があるドイツ鯉系など御三家以外の種類も鑑賞価値が高くなり、いろいろな容姿が現出する雑種は鑑賞価値の多様化に寄与するものと思われる。

現在、錦鯉は広く世界中で飼育され、楽しまれており、市場開拓も輸出に目が向けられているが、⁴⁾¹⁰⁾国内の新たな需要を掘り起こし、錦鯉文化の伝承・普及に力を入れることも重要である。

ぼんさい鯉の「横からの鑑賞を含めて、専ら身近で小さく育てて、鯉のいろいろな個性に親しむ」という飼育観は、従来、早々に選別・処分されていた鯉の価値の再発見と低コストによる有効利用、1尾当たりの輸送コストの低減、金魚や熱帯魚等と同様の小型水槽による展示・販売・鑑賞など生産、流通、販売及び消費の各立場にとってのメリットが考えられる。従って、「専ら水面上から鑑賞する品評会基準に沿って、より大きく、より美しい鯉を追究する」という従来の飼育観と相反するものではなく、それぞれの飼育趣旨に基づいて共通部分と棲分け部分を見極めて、相互補完

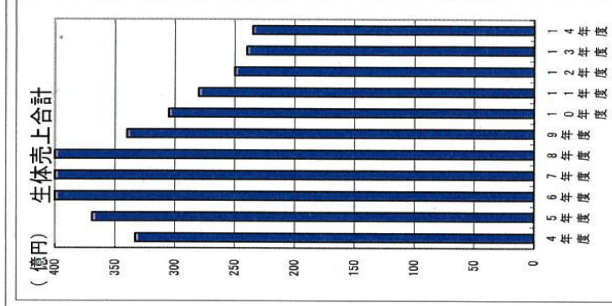
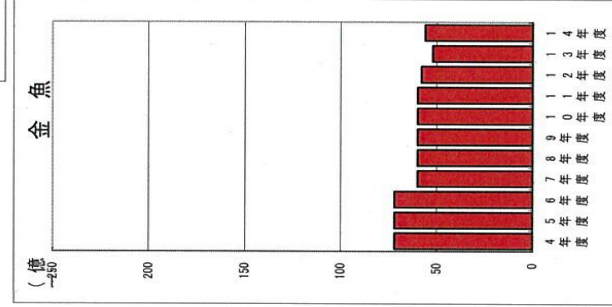
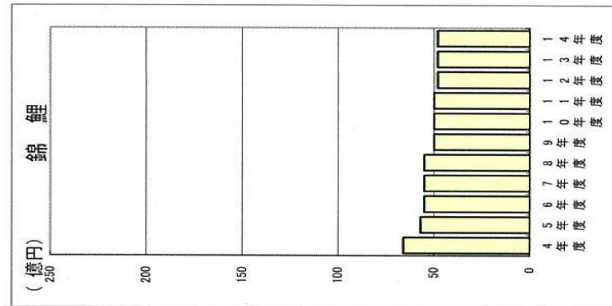
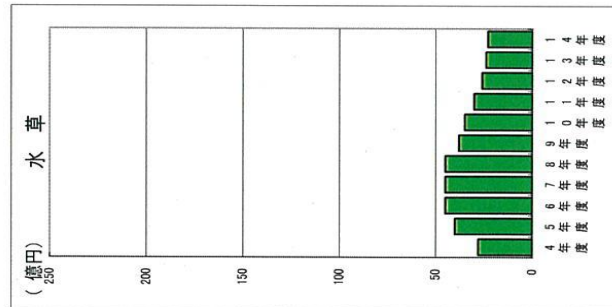
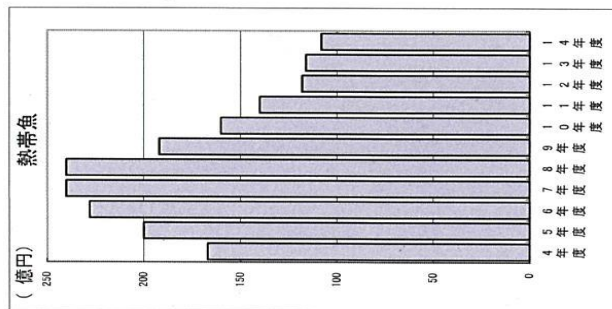
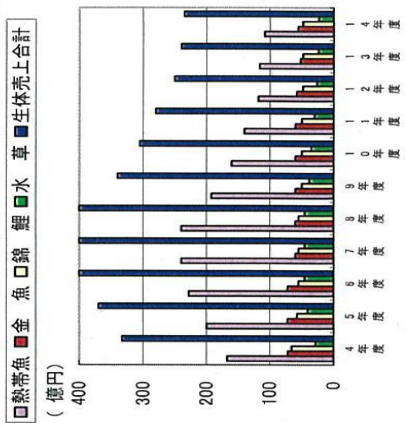
させることが大切であり、その成果として錦鯉の鑑賞と愛育の世界が広がっていくと期待される。

文 献

- 1) 錦鯉飼育サイトコイパーク Koipark, *錦鯉の問題点・課題*, [//www.koipark.net/talk/problem/problem.html](http://www.koipark.net/talk/problem/problem.html), インターネット, 2017
- 2) 黒木健夫, *錦鯉*, 保育社, 大阪, 昭和43年; 1-153
- 3) 大森松男, *錦鯉図鑑NISHIKI-GOI*, 池田書店, 東京, 昭和46年, 1-231
- 4) 吉田廣, *最新錦鯉カタログ*, 成美堂出版株式会社, 1992, 東京, 1-135
- 5) 環境省, *観賞魚の市場規模業界(推定)*, [//www.env.go.jp/council/former2013.pdf](http://www.env.go.jp/council/former2013.pdf), インターネット, 2017
- 6) ジェックス株式会社, *国立大学法人岐阜大学とジェックス社の共同研究*, [//www.gex-fp.co.jp/fish/healing/labo.html](http://www.gex-fp.co.jp/fish/healing/labo.html), インターネット, 2017
- 7) 日本観賞魚振興事業協同組合, *J O F a* について, [//www.Jafa-net.org/](http://www.Jafa-net.org/), インターネット, 2017
- 8) 観賞魚水槽レンタル・観賞魚水槽メンテナンス専門店「金魚屋」, *癒しの水景演出*, [//www.kingyo-ya.net/category/1326176.html](http://www.kingyo-ya.net/category/1326176.html), インターネット, 2017
- 9) 株式会社アクア環境システム T O J O, *アクアリウムセラピー*, [//www.aqua-tojo.co.jp/rentalaquarium-therapy.html](http://www.aqua-tojo.co.jp/rentalaquarium-therapy.html), インターネット, 2017
- 10) 国際錦鯉普及センター, *I N P C* について, [//www.japan-nishikigoi.org/Japanese/appreciationmethod.html](http://www.japan-nishikigoi.org/Japanese/appreciationmethod.html), インターネット, 2017

観賞魚の市場規模業界(推定)

	平成4年度	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度	平成13年度	平成14年度
熱帯魚	167億円	200億円	228億円	240億円	240億円	192億円	160億円	140億円	118億円	116億円	108億円
金魚	72億円	72億円	72億円	60億円	60億円	60億円	60億円	60億円	58億円	52億円	56億円
錦鯉	66億円	57億円	55億円	55億円	55億円	50億円	50億円	50億円	48億円	48億円	48億円
水草	28億円	40億円	45億円	45億円	45億円	38億円	35億円	30億円	26億円	24億円	23億円
生体売上合計	333億円	389億円	400億円	400億円	400億円	340億円	305億円	280億円	250億円	240億円	235億円



資料1 観賞魚の市場規模業界(推定)⁵⁾

REPORT OF KUMAMOTO PREFECTURAL FISHERIES RESEARCH CENTER

No. 1 1 MARCH 2019

- Koki Nagayama, Tsuyoshi Saito, Mamoru Sameshima, and Yukihiisa Yamashita.....1
Development of a method for breeding *Sargassum fusiforme*
- Hiroaki Gunjikake, Takashi Shinozaki, Naoaki Yoshimura, Yukihiisa Yamashita..... 6
Paralytic Shellfish Poisoning toxins monitoring using Enzyme-Linked Immunosorbent Assay in Kumamoto Prefecture coastal zone
- Seisuke Tajimi, Naoaki Yoshimura, Yuji Masuda, Shinji Kawasaki.....10
Long –term transtition of Water Quality in Ariake Sea and Yatushiro Sea, off Kumamoto Prefecture, Japan
- Seisuke Tajimi, Naoaki Yoshimura, Shinji Kawasaki.....22
Appearance movement of *Eucampia zodiacus* in 2013 in the Ariake Sea, off Kumamoto Prefecture, Japan
- Seisuke Tajimi, Naoaki Yoshimura, Shinji Kawasaki.....28
About the impact of *Heterosigma akashiwo* for *Portunus trituberculatus* larvae
- Seisuke Tajimi, Takanori Morokuma, Shinji Kawasaki.....32
About the relationship of the disappearance of *Chattonella* red tide and the predation by *Gyrodinium dominans* in the Ariake Sea (Kamiamakusa Ohyanoshima around) , off Kumamoto Prefecture, Japan
- Takanori Morokuma, Jun-ichi Uchikawa and Shinji Kawasaki.....35
The variation in the population density of the Japanese hard clam *Meretrix lusoria* on sandy tidal flats at the mouth of Midori River, Kumamoto, Japan.
- Shinji Kawasaki, Takanori Morokuma, Shinya Takahi.....47
Studies on Mass mortality of the clam *Ruditapes philippinarum* ai the river mouth of yatusirio sea
- Ikuo Hirata57
An attempt of the small-sized Nishiki-goi “Bonsai-goi” culture for the development of the fancy fish industry in kumamoto prefecture

発 行 者 : 熊 本 県 所 属 : 水 産 研 究 セ ン タ ー 発 行 年 度 : 平 成 3 0 年 度
