

漁 場 環 境 部

赤潮総合対策調査事業－I (有害・有毒プランクトン情報伝達事業)

中島広樹, 宮田翔也

【目的】

有害・有毒プランクトン等や貧酸素水塊のモニタリング調査を実施し、有害・有毒プランクトン等の出現状況、移動拡散の動向や貧酸素水塊の発生状況などを明らかにするための基礎データを収集する。さらにそれらの情報を迅速に漁協・漁業者に伝達して漁業被害等を軽減すると共に、研修会等を通じて赤潮に関する知識の普及・啓発を図る。

【方法】

1 赤潮被害防止対策調査

鹿児島湾及び八代海において、下記の方法で有害・有毒プランクトン等のモニタリング調査を実施した。

1) 鹿児島湾

調査回数：4～7月 2回/月、8～翌3月 1回/月の計16回（他事業分を含め、周年実施）

調査項目：気象、海象（水温、塩分、透明度、水色）、水質(DO,pH,NO₂-N,NO₃-N,NH₄-N,PO₄-P,DIN,DIP,Si,Chl-a、プランクトン（各層採水）

（参考）

DO	：溶存酸素量(mg/L)	DIN	：溶存無機態窒素
NO ₂ -N	：亜硝酸態窒素	DIP	：溶存無機態リン
NO ₃ -N	：硝酸態窒素	Si	：ケイ酸態ケイ素
NH ₄ -N	：アンモニア態窒素	Chl-a	：クロロフィル-a
PO ₄ -P	：リン酸態リン		

調査点（図-1）及び調査層

一般調査点(水深0,10m) : 11点

精密調査点(水深0,5,10,20,30,50,B-10m*) 1点 計12点 ※：海底より-10m

2) 八代海

調査回数：4, 5月 1回/月、6～9月 2～3回/月、10～12月、翌3月 1回/月の計17回
(他事業分を含む)

調査項目：鹿児島湾と同じ

調査点（図-2）及び調査層

一般調査点(水深0,10m) 8点

精密調査点(水深0,5,10,20,30,B-1m) 4点 計12点

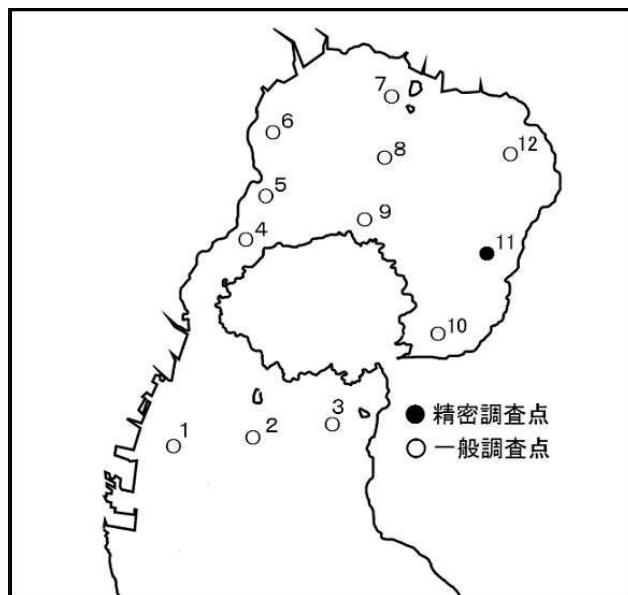


図-1 鹿児島湾調査点

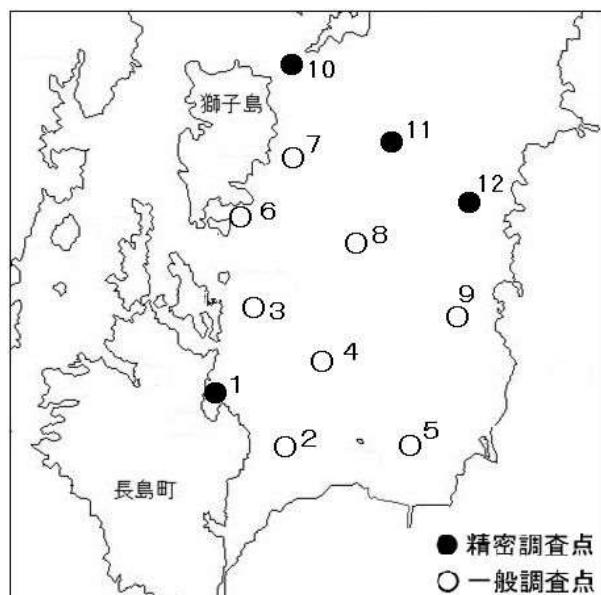


図-2 八代海調査点

2 有毒プランクトンモニタリング

貝毒原因プランクトンのモニタリング調査を、計6回、奄美大島で実施した。

3 貧酸素水塊調査

貧酸素水塊の発生時期（8～11月）に、鹿児島湾でモニタリング調査を赤潮調査時に併せて実施した。

4 赤潮情報等の発信、研修

有害・有毒プランクトンモニタリング調査の結果や注意報・警報を、FAX、当センターのホームページ、携帯電話メール等を利用して、漁協及び漁業者に情報を提供した。

また魚類養殖漁業者等を対象に、赤潮研修会を実施した。

【結果】

1 赤潮被害防止対策調査

1) 鹿児島湾

(1) プランクトンの状況

珪藻類は、湾奥部で5月末まで低水準で推移したが、6月は増加傾向となり、7月は高密度で推移した。

有害種については、赤潮の発生は確認されなかった。

シャットネラ属については、6月上旬から細胞が確認（1cell/mL）され、6月27日に湾奥部4定点で最高5cells/mLみられた。その後、散発的に低密度（最高1cell/mL）でみられ、濃縮検鏡によるモニタリングでは遊泳細胞は4～翌1月まで確認された。

山川湾では1月22日に*Psuedochattonella verruculosa*が確認された。1月26日に1cell/mL、29日に最高3cells/mLみられたが、1月31日に最高2cells/mLみられたのを最後に確認されなくなった。

(2) 海象

表層水温は7月を除き、平年並みか平年よりやや低めで推移した。表層水温の最高値は7月下旬の湾奥部で29.5°C、最低値は3月の湾奥部で15.0°Cであった。湾奥部では、表層と30m層の水温差から4月から9月にかけて成層が形成されたと考えられる。また10月以降表層と30m層の水温がほぼ等しくなっていることから、鉛直混合が活発になり成層が崩れたと考えられる（図-3、-4）。

表層塩分は、降雨の影響で湾奥部では6月下旬から7月下旬にかけて30以下となった（図-5、-6）。

透明度は、春季・夏季にかけて低下し、冬季にかけて上昇する例年と同様の傾向で推移した。最高値は4月上旬の湾央部で16.5m、最低値は7月下旬の湾奥部で3.4mであった。

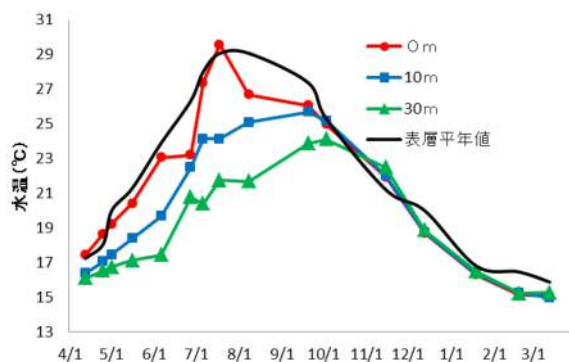


図-3 鹿児島湾奥部の水温の経月変化（9定点平均）

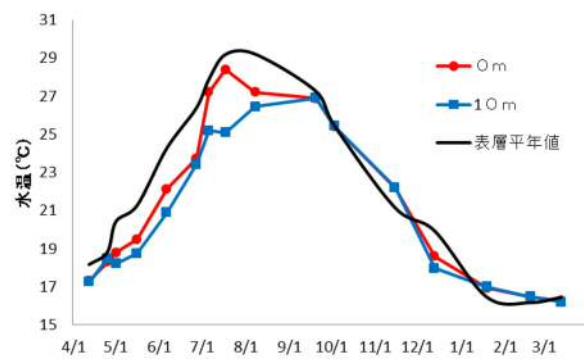


図-4 鹿児島湾央部の水温の経月変化（3定点平均）

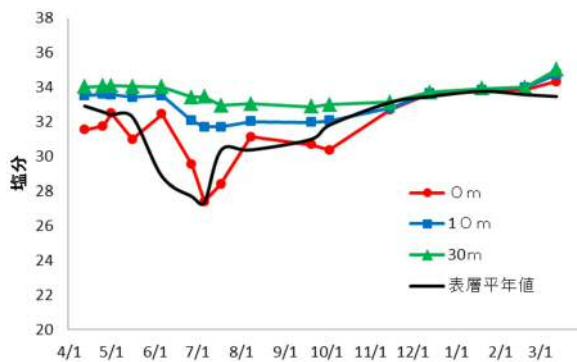


図-5 鹿児島湾奥部の塩分の経月変化（9定点平均）

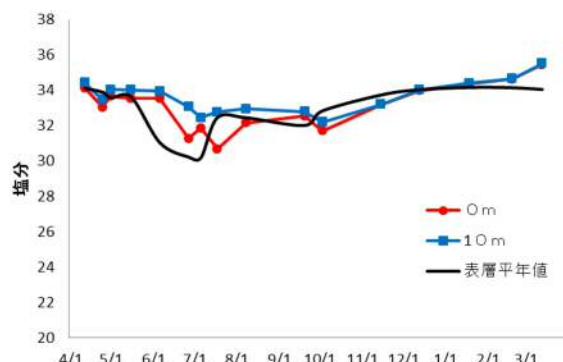


図-6 鹿児島湾央部の塩分の経月変化（3定点平均）

(3) 水質

表層DINは概ね湾奥部、湾央部ともに平年並みから低めで推移したが、4、8、9月は平年より高めとなった。8、9月については、8月上旬に台風5号、9月下旬に台風18号接近による降雨があったことが影響したと考えられた。表層DIPは概ね平年並みから平年より高めで推移した。表層での最大値は、DINが2月の湾奥部で11.6μg-at L⁻¹、DIPが1月の湾奥部で0.9 μg-at L⁻¹、最小値はDINが5月上旬の湾奥部で0.02 μg-at L⁻¹、DIPが7月下旬の湾央部で0.007 μg-at L⁻¹であった（図-7,-8,-9,-10）。

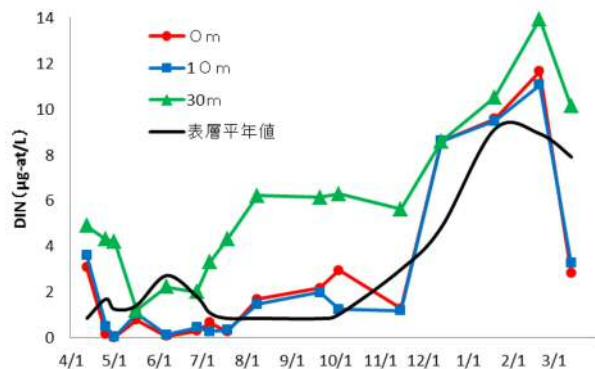


図-7 鹿児島湾奥部のDINの経月変化（9定点平均）

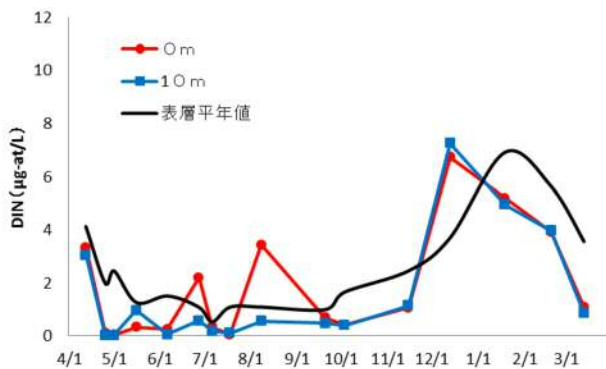


図-8 鹿児島湾中央部のDINの経月変化（3定点平均）

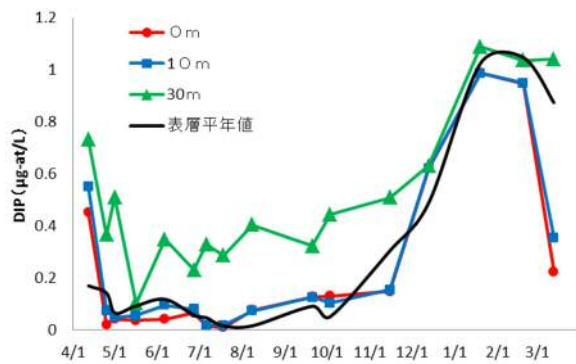


図-9 鹿児島湾奥部のDIPの経月変化（9定点平均）

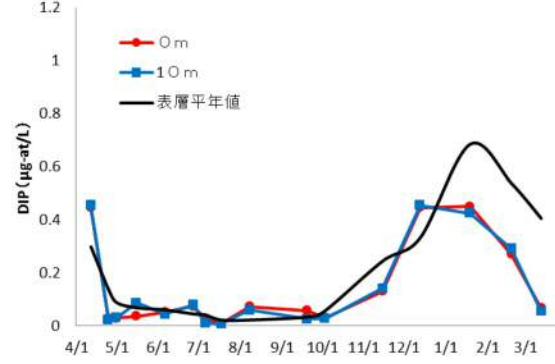


図-10 鹿児島湾中央部のDIPの経月変化（3定点平均）

2) 八代海

(1)プランクトンの状況

珪藻類は、八代海南部では4～5、8月に高密度で推移したが、それ以外の期間は低密度で推移した。

有害種は、7月に *Karenia mikimotoi* による赤潮が、8～9月に *Chattonella antiqua* による赤潮が発生した。ともに漁業被害はなかった。

(2)海象

表層水温は7、8月を除き概ね平年並みで推移した。7、8月には28℃台まで上昇し、7月下旬には成層の形成がみられたが、その後8月下旬～9月にかけて北風が連吹した影響により、成層が不明瞭となった（図-11）。

表層塩分は梅雨時期のまとまった降雨により、7月にやや低下したが、30を下回ることはなく、概ね平年並みで推移した（図-12）。

表層の溶存酸素量は、調査期間中は5mg/L以上で推移し、貧酸素は確認されなかった。

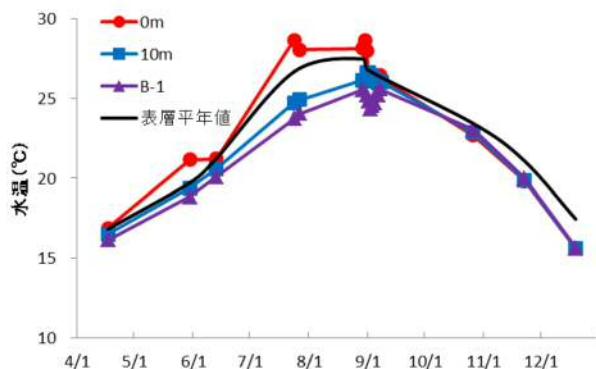


図-11 八代海南部の水温の経月変化（12定点平均）

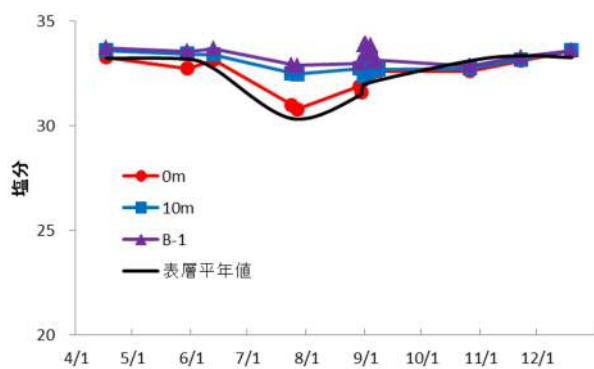


図-12 八代海南部の塩分の経月変化（12定点平均）

(3) 水質

表層 DIN は、8月下旬までおおむね平年より低めに推移した。表層 DIP は7月下旬を除き、おおむね平年並かやや低めで推移した。7月下旬の DIP の増加は、台風の接近等の影響により成層が崩され、鉛直混合が発生したことが要因と考えられる。10月以降は DIN, DIP とともに全水深層で濃度が一定となっており、活発な鉛直混合が生じていたと考えられる（図-13,-14）。

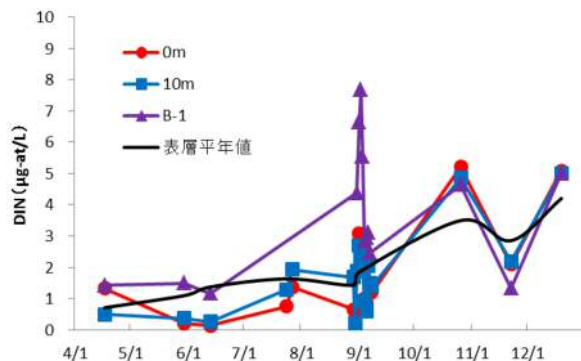


図-13 八代海南部のDINの経月変化（12定点平均）

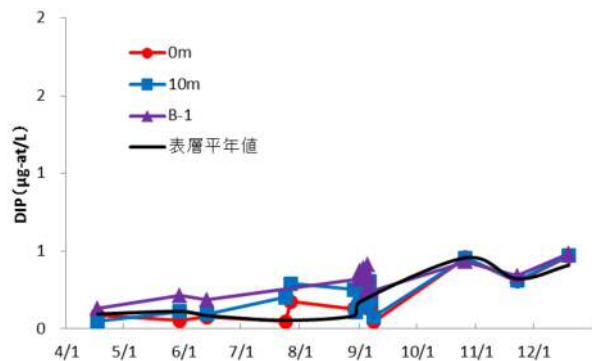


図-14 八代海南部のDIPの経月変化（12定点平均）

2 有毒プランクトンモニタリング

大島郡瀬戸内町久慈湾と篠川湾の、麻痺性貝毒の原因プランクトン(*Gymnodinium catenatum*)調査を実施したところ、4/24 採水サンプルで当該プランクトンが 70cells/L 確認された。その後、細胞が確認されることになった。

有毒プランクトンの発生については、関係機関等へ情報発信した。

3 貧酸素水塊調査

漁業者調査で、8月7日に湾奥部東側の10m以浅において溶存酸素 4.0mg/l を下回る貧酸素水塊(3.5mg/l)が確認された。8月6日に最接近した台風5号の影響により、8月2日から6日にかけて東風が吹き、底部の貧酸素水塊が上昇してきたものと思われた。なお、8月8日の当所調査では貧酸素水塊は確認されなかった。

牛根漁協の調査で、8月25日に30m以浅において貧酸素水塊が鹿児島湾奥1カ所で確認された。その後、当所調査で9月20日、10月3日調査時にも湾奥部でそれぞれ3、2カ所でみられ

た。11月以降は、30m以浅において貧酸素水塊はみられなかった。貧酸素水塊の存在の有無について、ホームページやメール等により情報発信した。

4 赤潮情報等の発信、研修

1) 赤潮情報、注意報等の発行

有害・有毒プランクトンモニタリング調査の結果は、赤潮（及び貧酸素）情報、注意報、警報としてとりまとめ、FAX、ホームページ（パソコン及び携帯電話向け）及び携帯電話のメール等を用いて情報を提供した。

今年度は、赤潮情報18回、注意報4回、警報15回、貧酸素情報2回を発行した。

期間中は、鹿児島湾関係37機関、八代海関係26機関に対し、FAXによる情報提供を延べ3,242回行った。またホームページの閲覧回数は、パソコン版が22,460回（28年度25,260回）、携帯電話版が10,900回（28年度17,896回）であった。さらにメールアドレス登録者（鹿児島湾関係で約180名、八代海関係で約120名）に対し、随時情報を提供した。

2) 研修会の実施

養殖漁協職員や魚類・貝類養殖漁業者等を対象に、赤潮等について講演した。

8月1日 東町漁協赤潮研修会

9月27日 養殖共済に係る地区調査員会議

3月5日 魚類養殖共済関係漁協会議

（参考資料）

表1 平成30年度 鹿児島県における赤潮発生状況

No	発生期間	発生海域	赤潮構成プランクトン 種名	細胞密度 (cells/ml)	最大面積 (km ²)	漁業被害 の有無
1	6月27日- 7月15日	薩摩川内市上甑町浦 内湾	<i>Karenia papilionacea</i>	3,231	不明	なし
2	7月24日-28日	長島周辺	<i>Karenia mikimotoi</i>	15,000	不明	なし
3	8月28日- 9月7日	八代海全域	<i>Chattonella antiqua</i>	533	不明	なし
4	10月12日- 11月8日	薩摩川内市上甑町浦 内湾	<i>Cochlodinium</i> sp.type-Kasasa	240	不明	なし
5	2月19日	奄美大島奄美市名瀬 港内	<i>Prorocentrum triestinum</i>	36,250	不明	なし
6	2月27日- 3月12日	奄美大島大島郡宇検 村焼内湾	<i>Mesodinium rubrum</i>	100,000	不明	なし
7	3月12日- 4月3日	鹿児島湾奥部	<i>Heterosigma akashiwo</i>	227,000	不明	なし

表2 瀬戸内町久慈湾と篠川湾における貝毒原因プランクトン検査結果

試料採取 月 日	<i>Gymnodinium catenatum</i> の最高細胞数 (cells/mL)	備 考
4月 24日	0. 070	水産技術開発センターによる採水
5月 17日	確認されず	〃
7月 4日	〃	〃
1月 30日	〃	〃
3月 6日	〃	〃
3月 29日	〃	〃

赤潮総合対策調査事業－Ⅱ (赤潮対策技術高度化事業－1) 赤潮広域モニタリング高度化

中島広樹, 宮田翔也

【目的】

Chattonella 属や *Cochlodinium* 属などの赤潮により漁業被害の発生している八代海や鹿児島湾において、有害赤潮プランクトンの発生状況及び海洋環境を広域的に監視するとともに、赤潮プランクトンの増殖特性等の把握により赤潮発生機構を解明し、漁業被害の防止に資する。

【方法】

1 漁場環境のモニタリング調査

鹿児島湾の 12 定点（赤潮総合対策調査事業- I と同じ）及び八代海全域における 9 定点（図-1）において以下の項目を調査した。

調査項目：気象、海象（水温、塩分、透明度、水色）

水質^{*}(DO,pH,NO₂-N,NO₃-N,NH₄-N,PO₄-P,
DIN,DIP,Si,Chl-a)

プランクトン（各層採水）

*水質項目の略号の説明は、別稿「有害・有毒プランクトン情報伝達事業」に記載

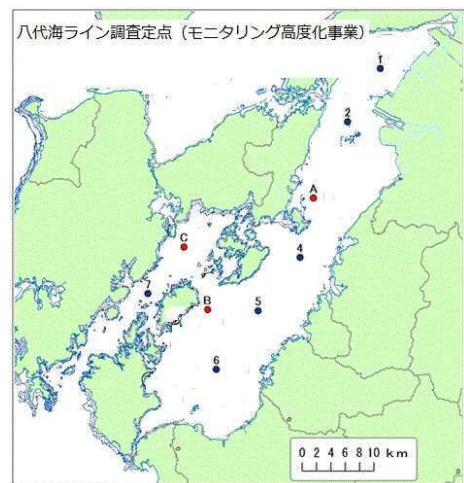


図-1 八代海全域における調査点

2 赤潮発生動向調査

(1) プランクトン発生動向調査

鹿児島湾で周年、八代海で 5～9 月にモニタリングを行った。

(2) 赤潮発生メカニズムの解明

ア 試験内容

八代海産の *Chattonella* 属 (*Chattonella antiqua*) の増殖に及ぼす水温、光強度、珪藻類の *Skeletonema* 属 (*Skeletonema* sp.) の影響及び相互作用について、人工培養した細胞株を用い、室内試験を実施した。試験区は、塩分 28 とし、水温を 18, 20, 23 °C、光強度を 10, 50, 100 μm^{ol m⁻² s⁻¹ の 3 段階に設定して組み合わせ、*Chattonella* 属の単独培養、*Skeletonema* 属の単独培養、*Chattonella* 属と *Skeletonema* 属を混合培養した区を設定した（表-1）。試験開始時の細胞密度は、*Chattonella* 属、*Skeletonema* 属ともに細胞密度 100cells mL⁻¹ の固定とした。}

各試験区は、海水をろ過して滅菌した海水を用いて調整した f/2 改変培地に、試験管に 3 本ずつ準備し *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属を設定した細胞密度となるよう接種した。照明は 14 時間明、10 時間暗周期とした。以上の条件で、14 日間の培養試験を行い、期間中の最高細胞密度及び対数増殖している期間の細胞密度を基に最小二乗法で比増殖速度を算出し、期間中の細胞密度の変化をそれぞれに対する混合割合による影響について平均値の差を検定した。

検定はフリーソフトの R を用い、あらかじめ F 検定で分散を比較し、母分散が等しいと推定

された場合は「t検定：等分散を仮定した2標本による検定（Studentのt検定）」で、母分散が等しくないと推定された場合は「t検定：分散が等しくないと仮定した2標本による検定（Welchのt検定）」で行った。

表-1 培養試験区の設定

試験区	供試株	水温	光強度 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	試験区	供試株	水温	光強度 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
A1	<i>C. antiqua</i>	18°C	10	C1	<i>C. antiqua + Skeletonema sp.</i>	18°C	10
A2	"	"	50	C2	"	"	50
A3	"	"	100	C3	"	"	100
A4	<i>C. antiqua</i>	20°C	10	C4	<i>C. antiqua + Skeletonema sp.</i>	20°C	10
A5	"	"	50	C5	"	"	50
A6	"	"	100	C6	"	"	100
A7	<i>C. antiqua</i>	23°C	10	C7	<i>C. antiqua + Skeletonema sp.</i>	23°C	10
A8	"	"	50	C8	"	"	50
A9	"	"	100	C9	"	"	100
B1	<i>Skeletonema sp.</i>	18°C	10	備 考	開始時 100cells mL ⁻¹ 塩分は28に設定		
B2	"	"	50				
B3	"	"	100				
B4	<i>Skeletonema sp.</i>	20°C	10				
B5	"	"	50				
B6	"	"	100				
B7	<i>Skeletonema sp.</i>	23°C	10				
B8	"	"	50				
B9	"	"	100				

(3) 既存データ等を用いた解析

鹿児島湾の *Chattonella marina* 赤潮発生・非発生年における環境条件の違いを検討した。既存データで将来的にも同質なデータの入手が見込めることが、海域を代表し得るデータであること、赤潮発生より以前に入手できることを念頭に、平成 12～29 年（過去 17 年）の本事業調査定点⑪（牛根境沖）で得られた 1～12 月の毎月の表層及び底層水温、表層塩分、表層 DIN 濃度、湾奥部 9 定点の月別平均透明度、気象庁統計情報による溝辺アメダスにおける毎月の降水量および年間降水量、牧之原アメダスにおける毎月の平均気温、鹿児島市で観測された月平均全日射量、鹿児島湾内で河川流量が最も多い天降川の湯田橋観測所における月別流量（河川課提供）、*C. marina* 初認日、入梅日（計 12 要素のデータ）を解析に使用した。

まず、鹿児島湾の年別赤潮発生状況から「大規模発生年」、「小規模発生年」、「非発生年」の 3 パターンに類型化し、それぞれ環境条件データとの関連性を解析した。なお、「大規模発生」は、最高細胞密度 100cells/mL 以上、赤潮継続日数 10 日以上を満たすものとした。パターン 1 では「大規模発生年」に対し「小規模発生年」と「非発生年」を合わせたグループを、パターン 2 では「大規模発生年」と「小規模発生年」を合わせたグループに対し「非発生年」を比較した。次に、類型別に各要素の差を、Welch の t 検定及び Mann-Whitney の U 検定によって統計処理した。その後、使用されたデータのうち、要素間の多重共線性を考慮し、互いの相関関係がない／弱いグループに分け、各要素の分布形状や等分散に考慮し、「線形判別分析」を行った。

【結果及び考察】

1 漁場環境のモニタリング調査

鹿児島湾、八代海の海象及び水質については、別稿「有害・有毒プランクトン情報伝達事業」に記載

2 赤潮発生動向調査

(1) プランクトン発生動向調査

鹿児島湾、八代海のプランクトンの発生状況については、別稿「有害・有毒プランクトン情報伝達事業」に記載

(2) 赤潮発生メカニズムの解明

ア 試験：*Chattonella* 属の増殖に及ぼす *Skeletonema* 属の影響及び相互作用

(最高細胞密度)

Chattonella 属で最も最高細胞密度が高かったのは水温 23 °C, 光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 単独培養区の 5,642 cells ml^{-1} で、最も低かったのは水温 18 °C, 光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 混合培養区の 1,229 cells ml^{-1} であった。*Skeletonema* 属で最も最高細胞密度が高かったのは水温 18 °C, 光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 単独培養区の 59,355 cells ml^{-1} で、最も低かったのは水温 23 °C, 光強度 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 混合培養区の 17,500 cells ml^{-1} であった（表-2）。

Chattonella 属の細胞密度の推移を見ると、単独培養区では水温に関係なく、光強度 50, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の区で増殖が早かった。光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の区では増殖はゆるやかで試験開始 5 日までの水温でも細胞密度は 1,000 cells ml^{-1} 未満であったものの、試験終了日に最も細胞密度が高くなった。また光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を除いて 18 °C 区では 11 日以降、20 °C 区では 9 日以降、23 °C 区では 7 日以降に細胞密度の減少がみられた（図-2）。

混合培養区でも、水温 18 °C, 光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の区を除いて細胞密度の減少がみられた。単独培養区と同様に光強度 50, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の区で増殖が早く、それより遅れて光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の区で増殖がみられた。水温 23 °C の試験区では光強度 50, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で試験最終日に再び細胞密度の上昇がみられた（図-2）。

Skeletonema 属の細胞密度の推移を見ると、増殖に水温の違いによる大きな差がみられなかつた。単独培養、混合培養ともに全ての水温、光強度で培養 1 日目以降に細胞密度の増加がみられ、高密度を維持した。しかし、光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では増殖がやや緩やかで 5 日まで細胞密度 10,000 cells ml^{-1} 未満であった。水温 23 °C の試験区では、単独区、培養区ともに光強度 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上で試験 5 日以降に細胞密度の減少がみられた（図-2）。

Chattonella 属と *Skeletonema* 属の最高細胞密度を水温別、光強度別に比較すると、全ての水温、光強度で *Skeletonema* 属の方が *Chattonella* 属より 7.4 倍から 21.2 倍と有意に高かった（ $p < 0.05$ ）（図-3）。

Chattonella 属単独培養の最高細胞密度は、ほとんどの区で水温が高くなるほど細胞密度が高くなつたが、光強度 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 区での増加はわずかで、20 °C が最も細胞密度が高くなつた。*Skeletonema* 属単独培養の光強度 10, 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 区は、水温が低くなるほど細胞密度が高くなつたが、光強度 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では 20 °C が最も細胞密度が高かつた（図-4）。

Chattonella 属と *Skeletonema* 属の混合培養による相互作用を水温別、光強度別に比較すると、*Chattonella* 属、*Skeletonema* 属とともに水温 20 °C 区の光強度 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を除く全ての試験

区で単独培養区のほうが有意に高かった ($p < 0.05$) (図-5)。

(比増殖速度)

Chattonella 属で最も比増殖速度が高かったのは水温 23 °C, 光強度 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 混合培養区の 1.79 ind day⁻¹ で, 最も低かったのは水温 23 °C, 光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 単独培養区の 0.39 ind day⁻¹ であった。*Skeletonema* 属で最も比増殖速度が高かったのは水温 23 °C, 光強度 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 単独培養区の 2.02 ind day⁻¹ で, 最も低かったのは水温 20 °C, 光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 混合培養区の 0.96 ind day⁻¹ であった (表-2)。

Chattonella 属と *Skeletonema* 属の比増殖速度を水温別, 光強度別に比較すると, どの水温, 光強度区とも *Skeletonema* 属の方が *Chattonella* 属より 1.4 倍から 3.6 倍と高く, 全ての区で有意に高かった ($p < 0.05$) (図-6)。

Chattonella 属単独培養の比増殖速度は, 光強度が 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の区では水温による差はそれほどなかったが, 光強度 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の区では, 水温の上昇とともに高くなった。*Skeletonema* 属単独培養の比増殖速度は, どの光強度の区でも水温 23 °C 区が最も高かった (図-7)。

Chattonella 属と *Skeletonema* 属の混合培養による相互作用を水温別, 光強度別に比較すると, *Chattonella* 属の比増殖速度は水温 18 °C, 20 °C, 23 °C でそれぞれ光強度 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 光強度 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 光強度 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の区で混合培養区の方が単独培養区より有意に高かった ($p < 0.05$) (図-8)。

Skeletonema 属は, 水温 18 °C, 光強度 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の区で単独培養区の方が混合培養区より有意に高かった ($p < 0.05$) (図-8)。

表-2 *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属の増殖に及ぼす混合割合の影響及び相互作用試験結果

試験区		設定条件			試験結果	
		水温 (°C)	光強度 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	塩分	最高細胞密度 (cells mL ⁻¹)	比増殖速度 (ind day ⁻¹)
A1	シャットネラ属(単独)	18	10	28	2,797	0.45
A2	"	"	50	"	3,394	0.43
A3	"	"	100	"	2,999	0.47
A4	シャットネラ属(単独)	20	10	28	4,988	0.59
A5	"	"	50	"	3,703	0.81
A6	"	"	100	"	3,573	0.80
A7	シャットネラ属(単独)	23	10	28	5,642	0.39
A8	"	"	50	"	3,592	1.39
A9	"	"	100	"	3,928	1.45
B1	スケレトネマ属(単独)	18	10	28	59,355	1.06
B2	"	"	50	"	47,167	1.54
B3	"	"	100	"	44,583	1.59
B4	スケレトネマ属(単独)	20	10	28	57,933	1.17
B5	"	"	50	"	46,883	1.66
B6	"	"	100	"	58,667	1.46
B7	スケレトネマ属(単独)	23	10	28	41,658	1.35
B8	"	"	50	"	46,000	2.02
B9	"	"	100	"	49,533	1.98
C1	シャットネラ属(混合)	18	10	28	1,229	0.53
C2	"	"	50	"	1,907	1.15
C3	"	"	100	"	1,844	0.90
C4	シャットネラ属(混合)	20	10	28	1,472	0.55
C5	"	"	50	"	2,086	0.85
C6	"	"	100	"	2,502	1.07
C7	シャットネラ属(混合)	23	10	28	2,267	0.99
C8	"	"	50	"	2,527	1.79
C9	"	"	100	"	2,725	1.33
C1	スケレトネマ属(混合)	18	10	28	33,966	1.06
C2	"	"	50	"	22,315	1.28
C3	"	"	100	"	20,533	1.34
C4	スケレトネマ属(混合)	20	10	28	30,817	0.96
C5	"	"	50	"	25,967	1.34
C6	"	"	100	"	23,549	1.30
C7	スケレトネマ属(混合)	23	10	28	22,461	1.36
C8	"	"	50	"	17,500	1.88
C9	"	"	100	"	19,777	1.73

※最高細胞密度は各試験管の最高細胞密度を平均したもの

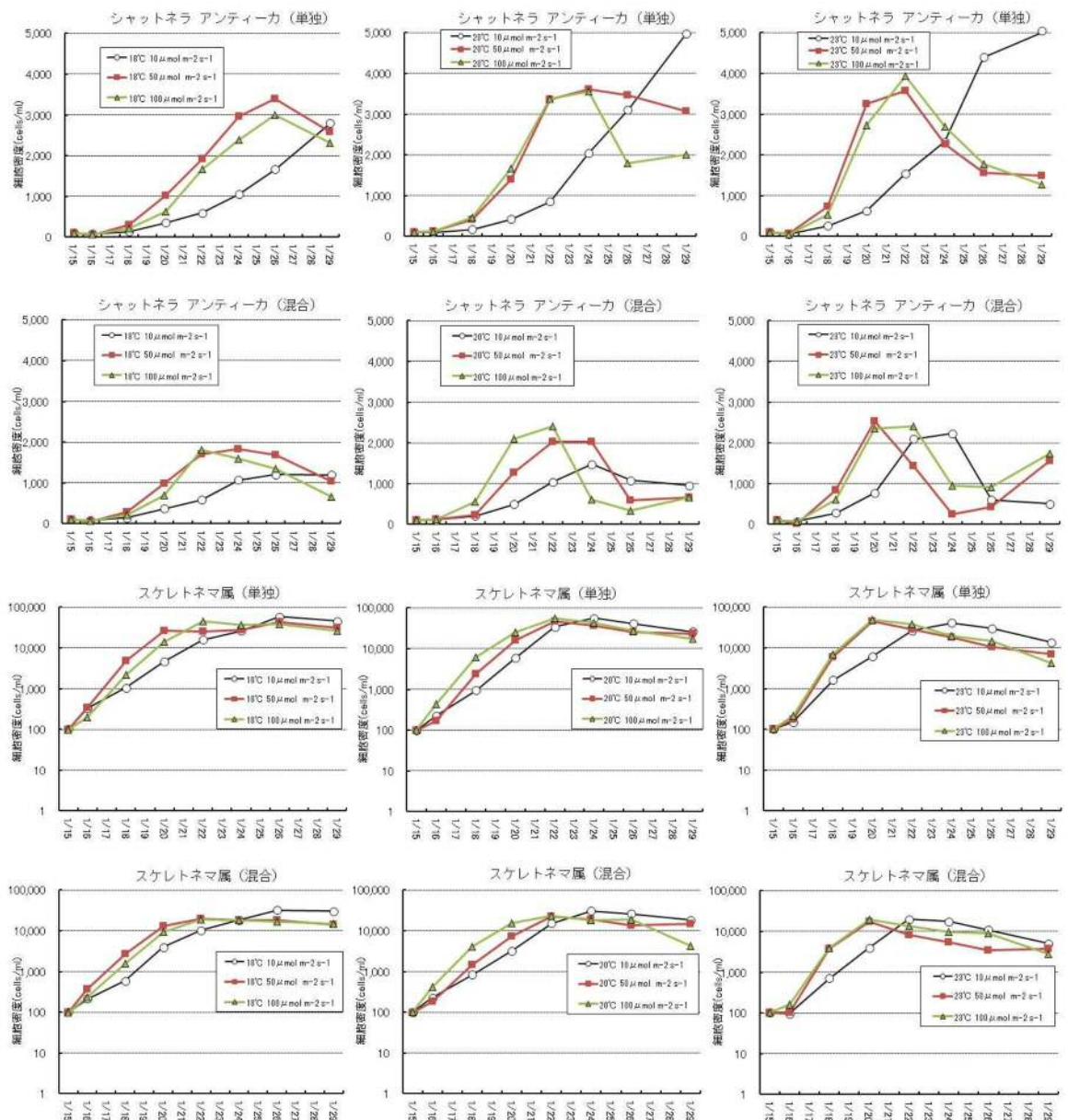


図-2 *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属の細胞密度の推移

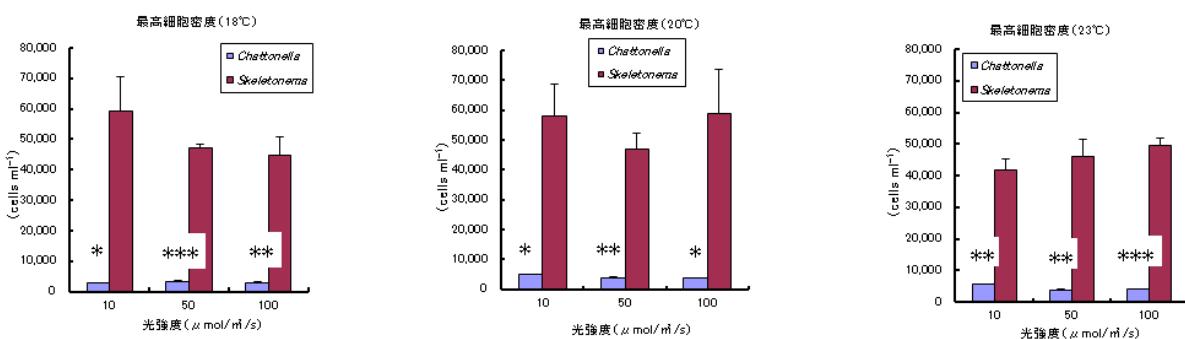


図-3 *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属の水温別、光強度別の最高細胞密度（単独区）

(* : $1 < p < 5$, ** : $0.1 < p < 1$, *** : $p < 0.1$)

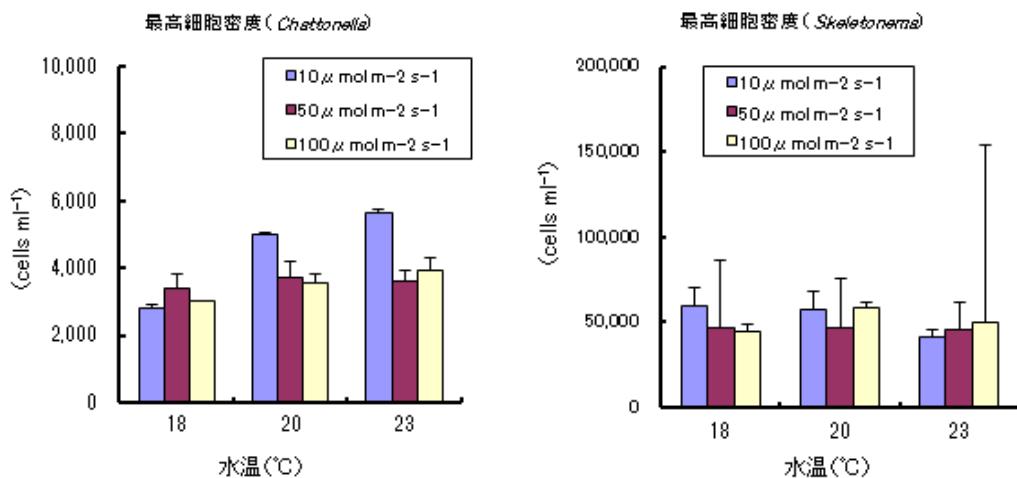


図-4 *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属の最高細胞密度の水温別、光強度別の比較
(単独区での比較)

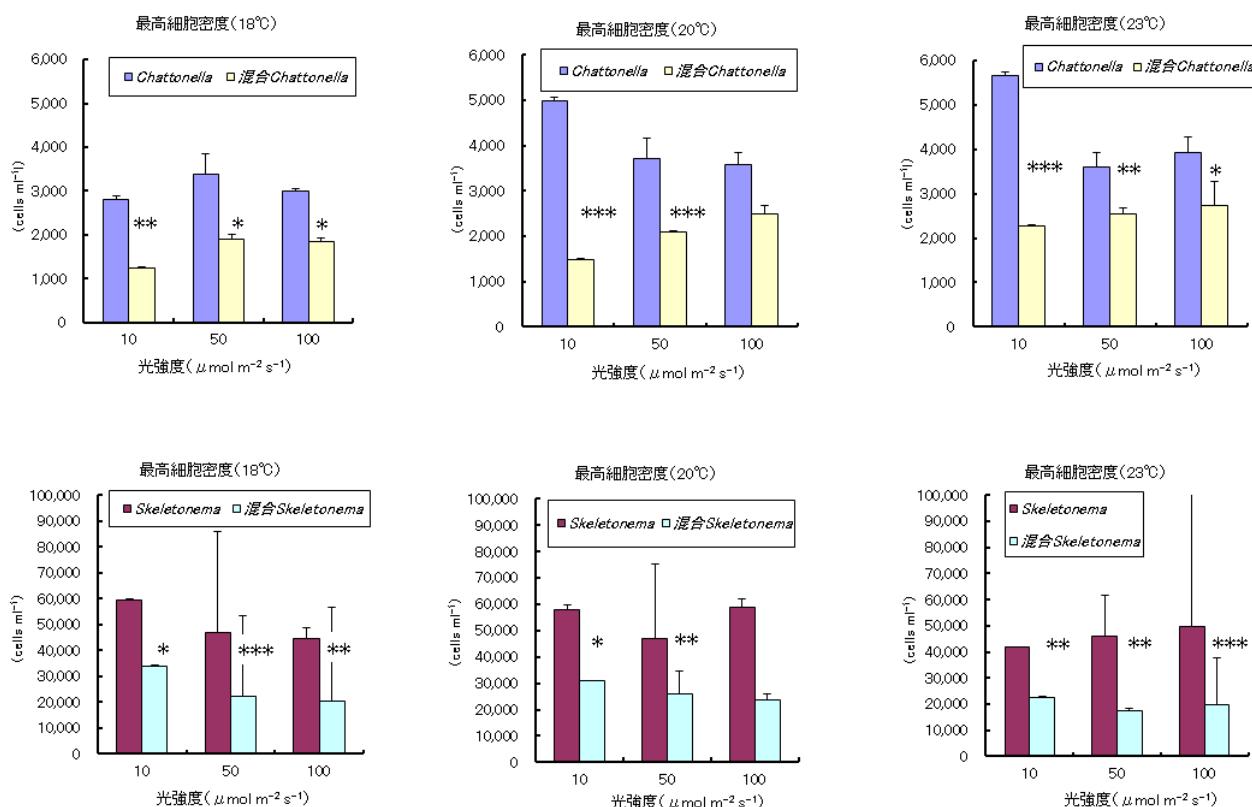


図-5 *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属の最高細胞密度に対する相互作用 (単独区と混合区の比較)
(* : 1<p<5, ** : 0.1<p<1, *** : p<0.1)

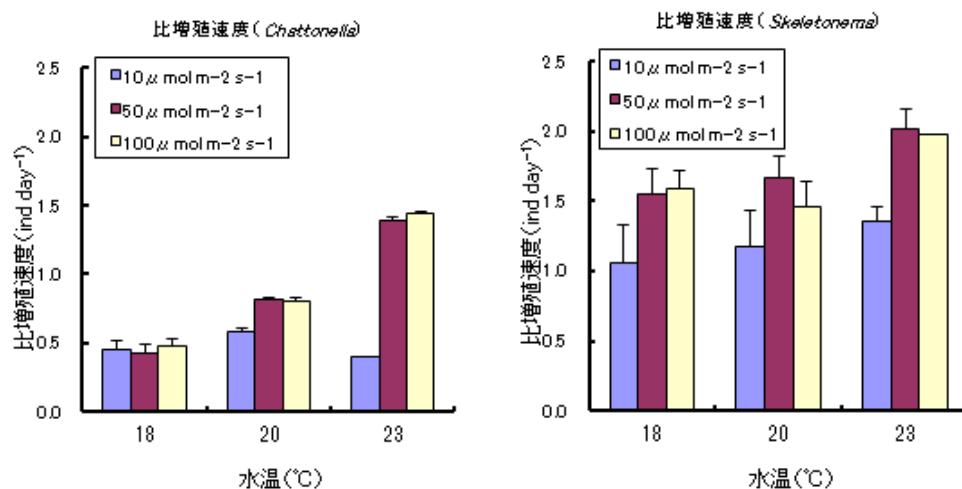


図-6 *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属の水温別、光強度別の比増殖速度（単独区での比較）

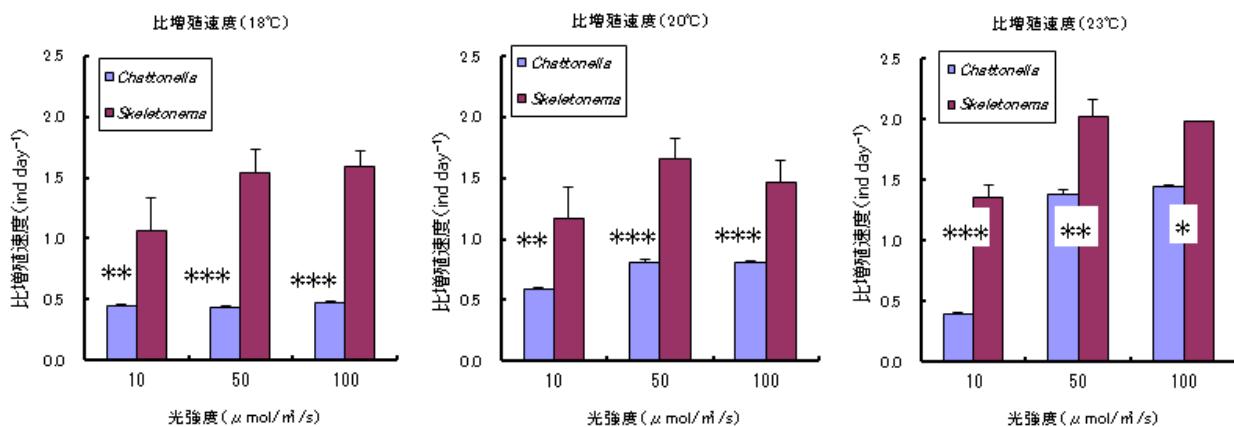
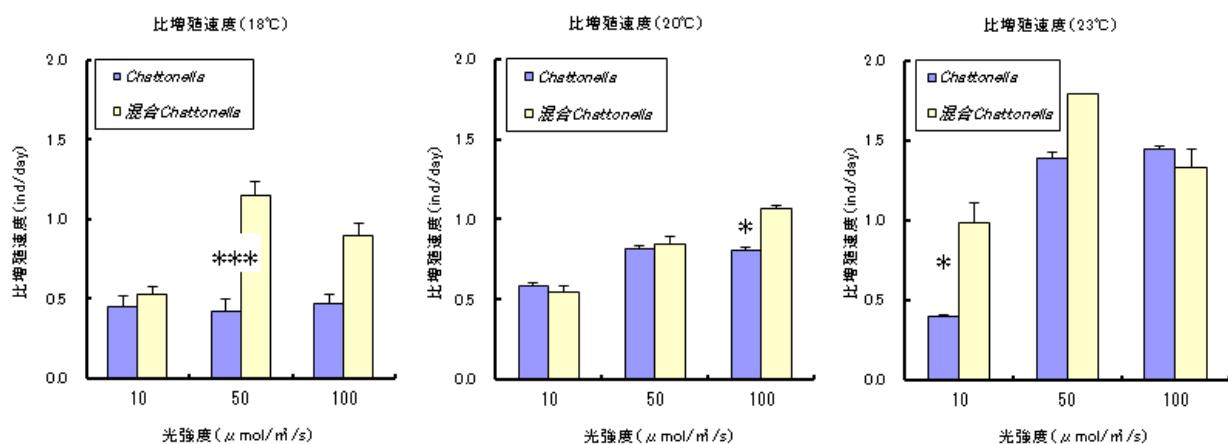


図-7 *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属の比増殖速度の光強度別の比較(単独区での比較)

(* : $1 < p < 5$, ** : $0.1 < p < 1$, *** : $p < 0.1$)



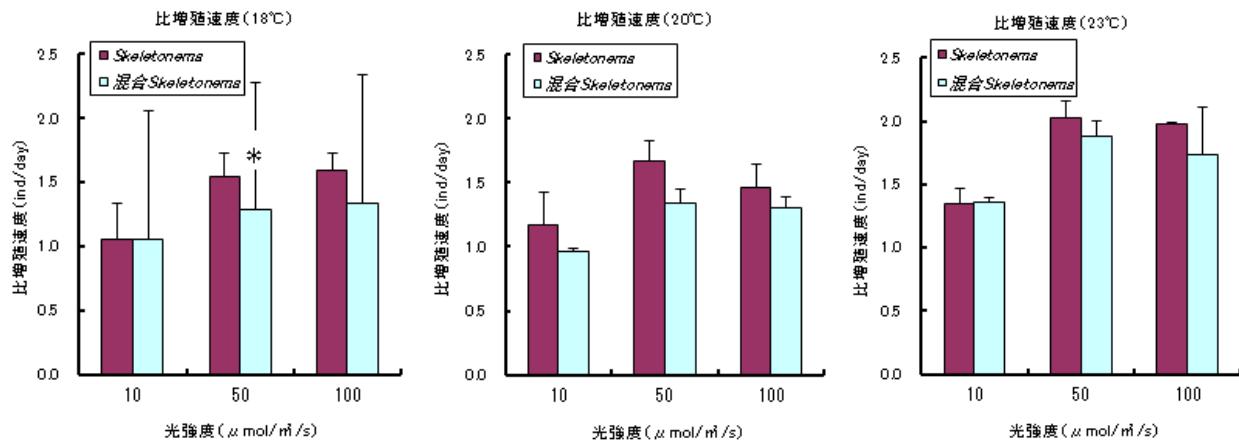


図-8 *Chattonella* 属と *Skeletonema* 属の比増殖速度に対する相互作用（単独区と混合区の比較）
(* : $1 < p < 5$, ** : $0.1 < p < 1$, *** : $p < 0.1$)

(まとめ)

今回の試験において、*Chattonella* 属の単独培養では光強度が弱いと最高細胞密度が高くなり、最高細胞密度は $3,000 \text{ cells mL}^{-1}$ 以上となった。しかし、混合培養では光強度が弱いと最大細胞密度は低くなり、最高でも $2,725 \text{ cells mL}^{-1}$ であった。

このことから、*Chattonella* 属は光強度が低く、水温が高いと、*Skeletonema* 属との混合による増殖抑制を受けやすいと考えられる。しかし、水温 20°C 、光強度 $10, 50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の区で最高細胞密度が混合培養区に比べ、単独培養区では有意に高かったものの、光強度 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の区では最高細胞密度に有意な差はみられなかった。このことから、強光下だと、*Chattonella* 属は、*Skeletonema* 属との混合による抑制効果が少ないものと考えられる。

(3) 既存データ等を用いた解析

C.marina 赤潮の発生時期は主に 5 月下旬から 7 月中旬であった。赤潮発生-非発生間で統計的に有意な差が認められたのは、パターン 1 においては、Welch の t 検定で 13 要素 ($p < 0.05$)、Mann-Whitney の U 検定で 10 要素 ($p < 0.05$)、パターン 2 においては、Welch の t 検定で 12 要素 ($p < 0.05$)、Mann-Whitney の U 検定で 8 要素 ($p < 0.05$) であった。抽出された要素は、両検定間及び両パターン間においてほぼ共通していた。

パターン 1 及びパターン 2 で両検定において有意差があった環境因子の中で 8 月及び 11 月の全日照量などいくつかの要素が抽出されたが、赤潮発生時期を過ぎた頃の環境因子であることから、赤潮発生に直接結びつく要因の可能性が低いと考え、今回の解析要素からは除いた。

両検定で有意な差が認められた要素（図-9）を確認すると、パターン 1 では、発生年・非発生年において冬季平均気温（2 月）に顕著な違いが認められた。これは昨年度の解析でも得られた結果である。2 月は年間で気温が最も低くなる時期であり、平均気温が低くなると発生年となる傾向があることから、シストの休眠解除に影響していた可能性が考えられた。また、発生年は 6 月の透明度及び平均気温、1 月の河川流量が低い傾向が認められた。今年度の解析から加えた環境因子のうち、5 月の表層塩分が発生年において有意に高い結果が得られた。以上のことから、1 月の河川流量及び 5 月の表層塩分並びに 6 月の環境要因の多少が、5 月下旬から 7 月中旬に赤潮化することが多い *C.marina* の動態に関わっていた可能性が考えられた。パターン 2 では、パターン 1 と同様に 1 月の

河川流量、6月の環境要因（透明度、平均気温）が発生年において低く、5月の表層塩分が発生年において高い傾向であった。抽出された要素が両パターン間においてほぼ共通していたことから、*C.marina*の大規模赤潮発生には他の環境因子が影響したと推察された。

使用されたデータのうち、要素間の多重共線性を考慮し、互いの相関関係がない／弱いグループに分け、各要素の分布形状や等分散に考慮し、解析方法は、「線形判別分析」とした。これらのグループから要素を選択し、判別分析を行った結果のうち、代表的な解析例として、「1月の河川流量と6月の平均気温」と「5月の表層塩分と6月の透明度」を用いた解析結果を図-10に示した。これらによると赤潮発生予測の判別率は、それぞれ100%、約94.4%であった。

今年度の解析結果から、鹿児島湾における*C.marina*赤潮の発生年は、1月の河川流量、6月の透明度及び平均気温が低く、5月の表層塩分が高いという特徴を有する可能性が高く、これらの組み合わせにより赤潮の発生を予察できる可能性が示唆された。

(要約)

鹿児島湾の*C.marina*赤潮発生・非発生年における環境条件の違いを検討した。平成12～29年（過去17年）の本事業調査定点⑪（牛根境沖）で得られた1～12月の毎月の表層及び底層水温、表層塩分、表層DIN濃度、湾奥部9定点の月別平均透明度、気象庁統計情報による溝辺アメダスにおける毎月の降水量および年間降水量、牧之原アメダスにおける毎月の平均気温、鹿児島市で観測された月平均全天日射量、鹿児島湾内で河川流量が最も多い天降川の湯田橋観測所における月別流量（河川課提供）、*C.marina*初認日、入梅日（計12要素のデータ）を解析に使用し、Welchのt検定、Mann-WhitneyのU検定及び線形判別分析を行った。

その結果、鹿児島湾における*C.marina*赤潮の発生は、1月の河川流量、5月の表層塩分、6月の透明度及び平均気温の組み合わせにより予察できる可能性が示唆された。

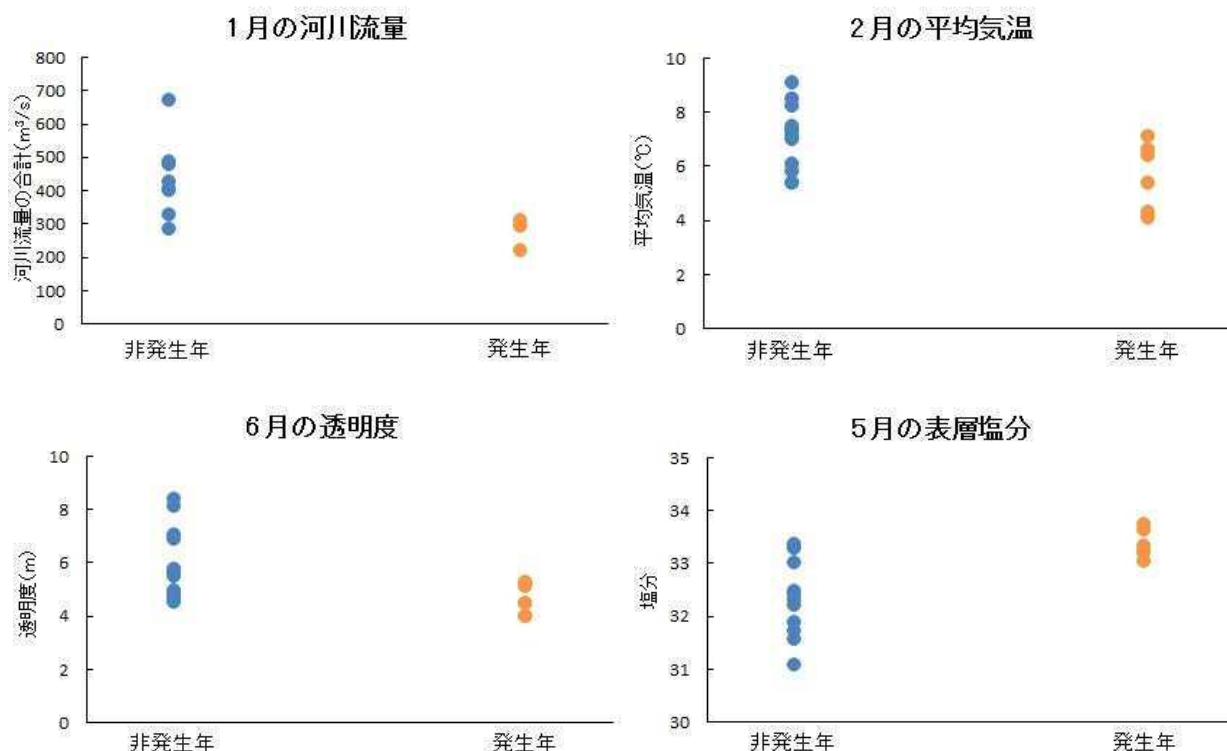




図-9 鹿児島湾における *C.marina* 赤潮発生年の特徴解析例
(2月の平均気温はパターン1のみ有意差あり)

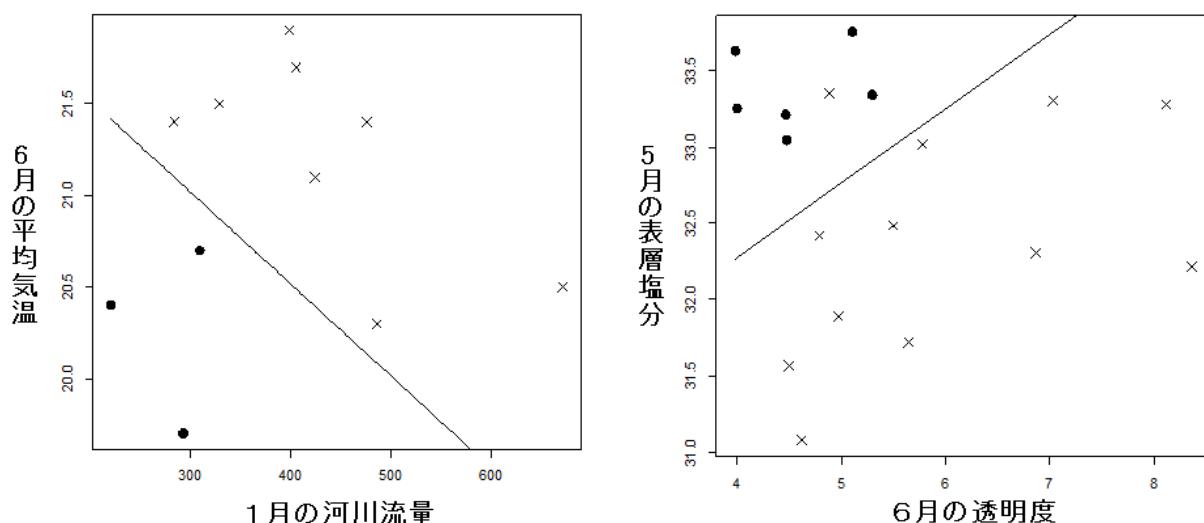


図-10 鹿児島湾における *C.marina* 赤潮の発生判別（線形判別）結果例

使用データは、天降川の湯田橋観測所における1月の流量合計と牧之原アメダスの6月平均気温、S.t. ⑪における5月の表層塩分、湾奥部9定点における6月の平均透明度。色付きが発生年、×が非発生年を示す。

**赤潮総合対策調査事業－Ⅱ
(赤潮対策技術高度化事業－2)
(シャットネラ等赤潮被害防止技術高度化)**

宮田翔也，中島広樹，矢野浩一，西 広海

【目的】

アルミニウムイオン等の溶出を強化した改良型粘土について赤潮防除効果確認試験を実施すると共に、これまでの知見を元にした改良型粘土散布マニュアルの作成を行う。

【方法】

1 改良型粘土の効果確認

(1) 改良型粘土による *Heterosigma akashiwo* (以下 *H. akashiwo*) に対する防除効果確認試験

改良型粘土（入来モンモリ＋焼ミョウバン）による *H.akashiwo* に対する防除効果を確認した。試験は平成 29 年 12 月 20～21 日に行った。培養はダイゴ IMK 培地にて、温度 19°C、14 時間明、10 時間暗のサイクルで行った。供試プランクトンは平成 13 年鹿児島湾産培養株 50,000cells/mL を、300mL フラスコに 300mL 収容した。表 1 に示す濃度で改良型粘土を供試プランクトンに散布して 5 分間攪拌した後、時間ごとの外部形態別細胞密度、pH を計数・測定した。なお、細胞密度については、遊泳、遊泳停止細胞を計数し、破裂細胞のみを死滅として扱った。

表 1 試験設定 (*H. akashiwo* への防除効果確認試験)

試験区(入来モンモリ+焼きミョウバン)	供試プランクトン	時間区分		外部形態
対照区(粘土添加なし)	<i>H.akashiwo</i> (50,000cells/mL)	・散布前	・3時間後	・遊泳細胞 ・遊泳停止細胞
試験区(1,000+100ppm)		・5分後 ・30分後 ・1時間後	・6時間後 ・24時間後	

※対照区について、30 分後のみ欠測

(2) 改良型粘土による防除後の *H.akashiwo* に対する復活試験

改良型粘土散布によって遊泳停止または凝集した *H.akashiwo* の栄養細胞が死滅しているかを確認するため、改良型粘土による防除後の *H.akashiwo* 復活試験を実施した。試験は平成 29 年 12 月 20~28 日に行った。供試プランクトンは、1) の試験で粘土散布を行った *H.akashiwo* を用いた。粘土散布を行った 1) の試験区より、散布 5 分後、30 分後、1 時間後に 2mL ずつ採取し、200mL フラスコに 98mL 収容したダイゴ IMK 培地に添加し、全量を 100mL とした。また、対象区として粘土散布前の培養株 2mL を、200mL フラスコに 96mL 収容したダイゴ IMK 培地に添加したのち、対象区の改良型粘土濃度を試験区と統一するため、改良型粘土を 1,000+100ppm の濃度となるようにダイゴ IMK 培地に添加し 5 分間攪拌したものを 2mL 加え、全量を 100mL とした（表 2）。調整した各区を温度 22°C、14 時間明、10 時間暗のサイクルで 7 日間培養し、培養後の細胞密度を計数した。

表 2 試験区及び対象区の組成 (mL)

	ダイゴIMK培地	ダイゴIMK培地 (1,000+100ppm)	<i>H.akashiwo</i> (防除後)	<i>H.akashiwo</i> (防除前)	全量
試験区	98	-	2	-	100
対象区	96	2	-	2	100

2 改良型粘土を用いた赤潮被害防止技術の取りまとめ

本事業及び前身の事業である「漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業」で得られた知見を取りまとめた。

【結果及び考察】

1 改良型粘土の効果確認

(1) 改良型粘土の防除効果確認試験

改良型粘土散布後の pH の推移を図 1、細胞密度の推移を図 2、試験中の *H.akashiwo* 細胞の様子を図 3~図 5 に示す。

pH の推移について、試験区では粘土散布前は 8.37 であったが、散布 5 分後には 6.38 まで低下した。その後はやや上昇傾向であったものの、おおむね横ばいで推移した。

細胞密度の推移について、試験区では粘土散布 5 分後に、散布前の約 25%まで減少した。その後も減少を続け、24 時間後には散布前の約 2%となった。本試験により改良型粘土 1,000+100ppm の散布は本種に対し高い防除効果を示すことが確認できた。

試験中の細胞の様子について、粘土散布前は全体の約 90%の細胞が遊泳していたが、散布 5 分後以降には遊泳細胞はほとんどみられなかった。また、粘土散布区において蛍光顕微鏡で観察したところ、粘土による凝集効果で多くの細胞が凝集している様子が確認された。このことから、本種の改良型粘土による防除には細胞破壊効果に加えて凝集効果が強く関わっていると考えられた。

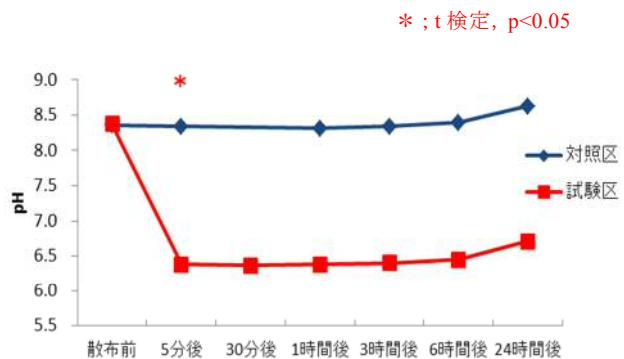


図 1 pH の推移

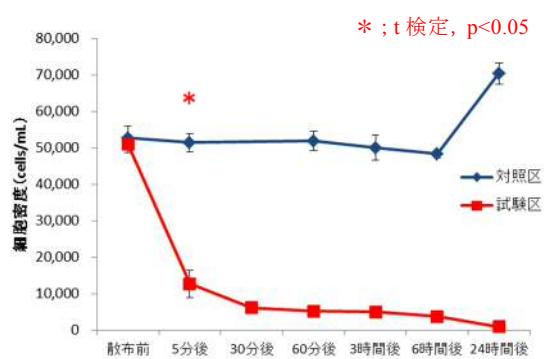


図 2 細胞密度の推移

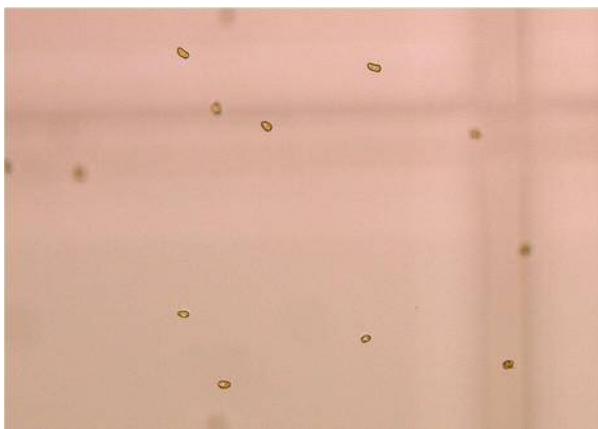


図 3 試験中の細胞（散布前）

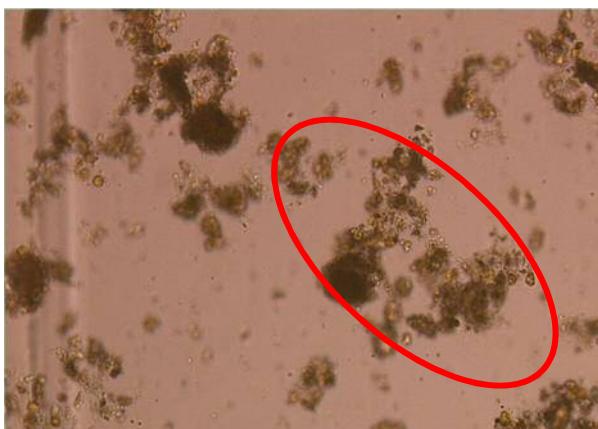


図 4 試験中の細胞（散布後）

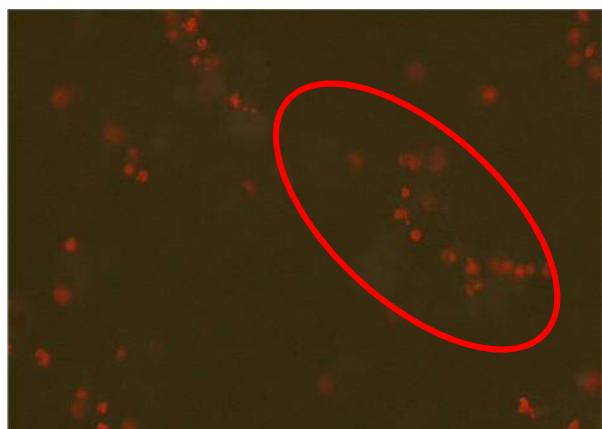


図 5 試験中の細胞（散布後：蛍光）

※図 4 と図 5 は同じ場所を撮影したもの

(2) 改良型粘土による防除後の *H. akashiwo* に対する復活試験

7 日間培養後の細胞密度を図 6 に示す。

細胞密度について、全ての試験区において、細胞の増殖が確認された。このことから、改良型粘土 1,000+100ppm の散布により遊泳停止または凝集した細胞は、完全には死滅していないと考えられる。しかし、改良型粘土への曝露時間が長くなるほど培養後の細胞密度が低かったことから、改良型粘土による殺滅効果は *H. akashiwo* に対しても有効であると考えられる。

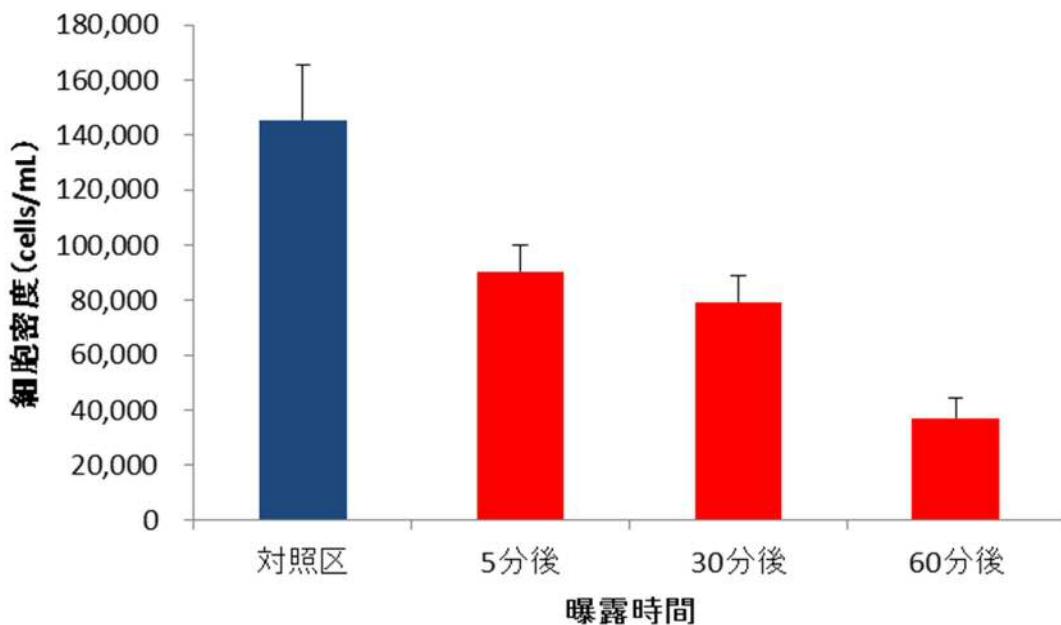


図 6 7 日後の細胞密度

○改良型粘土散布による *H. akashiwo* に対する防除効果まとめ

防除効果確認試験において、*H. akashiwo* の培養株に対して改良型粘土 1,000+100ppm を散布したところ、蛍光顕微鏡にて多くの細胞が凝集している様子が確認され、細胞密度についても大きく減少したことが確認された。また、復活試験では、改良型粘土の散布により全ての細胞が死滅したわけではないが、曝露時間が長くなるほど培養後の細胞密度が低くなる様子が確認された。

これらの結果から、改良型粘土 1,000+100ppm の散布により *H. akashiwo* は防除可能であること、またこの防除には、改良型粘土の持つ赤潮プランクトンの殺滅効果と凝集・沈殿効果が強く関わっていることが示唆された。

2 改良型粘土を用いた赤潮被害防止技術の取りまとめ

本事業及び前身の事業である「漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業」で得られた知見を元に、「改良型粘土を用いた赤潮被害防止マニュアル」を作成した。本マニュアルでは、改良型粘土の散布による赤潮防除の方法や、これまでの試験結果等を記載している。関係機関に配布するとともに、当センターホームページに掲載されており、誰でも閲覧できることから、多くの漁業者が利用し、赤潮による漁業被害の防止・軽減の一助となることを期待する（図 7）。



図 7 「改良型粘土を用いた赤潮被害防止マニュアル」(左)と水技センターHP 掲載場所(右)

赤潮総合対策調査事業－Ⅲ (赤潮被害防止対策調査事業)

矢野浩一，中島広樹，宮田翔也，西 広海

【目的】

新奇有害赤潮の調査体制を確立するとともに、県内で発生する赤潮の集中調査や養殖魚への影響調査等を実施することにより、漁業者に的確な情報を迅速に提供する体制を構築し、漁業被害の未然防止・軽減を図る。

【方 法】

1 新奇有害赤潮等調査

○ 新奇有害赤潮プランクトン等調査・試験

1) 新奇有害プランクトン培養試験

① *Karenia papilionacea*

平成(以下、「H」)29年6月27日～7月15日に、甑島の浦内湾（薩摩川内市上甑町）において、*K. p-papilionacea* が増殖、赤潮化し最高細胞密度は3,231cells/mLに達したが、漁業被害は発生しなかった。本種の増殖特性や毒性等を検討するため、分離培養試験を実施した。6月30日に甑島漁協所属の養殖業者が浦内湾で採水した海水から本種を分離し、ダイゴIMK培地（海産微細藻類用ダイゴIMK培地、日本製薬株式会社製造）、滅菌海水（オートクレーブ（テガ三洋工業株式会社製 MLS-3750）により滅菌処理（120°C, 3min））及びPES¹⁾（塩分30PSU）培地を、各約10mL入れた試験管に接種した。培養条件として、グロースチャンバー（三洋電機バイオディカル株式会社製MLR-350）を用い、水温を22°C、光強度を35 μmol/m²/sec、14時間明10時間暗の明暗周期に設定して行った。

② *Cochlodinium sp. type-Kasasa*

H29年10月12日～11月8日に甑島の浦内湾において*C. sp. type-Kasasa* が増殖、赤潮化し、最高細胞密度は240cells/mLに達したが、漁業被害は発生しなかった。甑島で発生した本種について、今後の増殖特性等の試験に資するため、分離培養試験を実施した。10月20日に甑島漁協所属の養殖業者が浦内湾で採水した海水から本種を分離し、PES、ダイゴIMK及びf/2^{2, 3)} 培地によって培養を試みた。培養条件として、グロースチャンバーを用い、水温を22°C、光強度を100 μmol/m²/sec、14時間明10時間暗の明暗周期に設定して行った。

2) *Dictyocha* sp. の増殖特性試験

*Dictyocha*藻のうち概ね8角形の骨格を持つ*Dictyocha* sp. (写真1)については、2016年に報告⁴⁾したとおり、鹿児島県海域に限らず国内外の海域でよく見かける珪質鞭毛藻類である。今回、本所で継代培養している*Dictyocha* sp. の有骨格細胞について、培養水温と塩分濃度の違いによる増殖特性試験を実施した。

試験は、水温を16, 18, 20, 23, 26°C、塩分(PSU)は各30及び34とし、合計10試験区設定した。各試験区はそれぞれ3本の試験管を用意し、事前に培養（培地⁴⁾：f/2培地からCuとSiを除き、SeとTrisを添加した成分組成へ変更を加えた改変f/2培地と、Siを強化したPESとを1 : 1で混合）した*Dictyocha* sp. を、各約100cells/mLになるよう同一の培地で調製した。また、培養条件として、グロースチャンバーを用い、水温を上記の指定温度に設定し、光強度を100 μmol/m²/sec、14時間明10時間暗の明暗周期に設定して行った。ただし、26°Cの試験区のみ、都合により上記のグロースチャンバーを使用せ

ず、別室で空調設備により温度調整し、照明器具を使用して光強度を $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ に調製し、同様の明暗周期で行った。

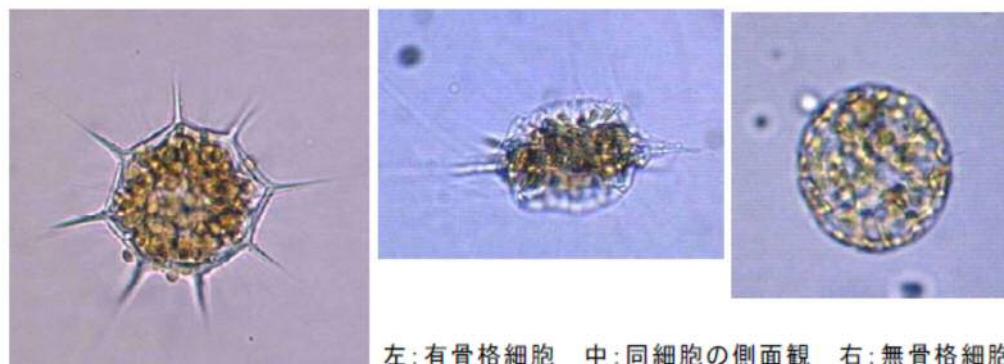


写真1 形質鞭毛藻類の1種*Dictyocha* sp. の顕微鏡写真

2 赤潮発生早期確認等調査

1) 底層水温モニタリング

長島周辺の養殖漁場のうち、脇崎、薄井、茅屋及び浜漉の計4点（図1-1、★印）で、データロガー式水温計（Onset社 Tidbit）を0m、10m層及び海底下1m層（以下「B-1m」という。）に位置するよう養殖生簀鋼管枠等に垂下し、1時間ごとに周年水温を測定した。

2) シスト発芽能確認調査

H29年4月17日に長島周辺4海域（図1-1、★印）周辺の約50m×50mの範囲内3カ所からエクマンバージ採泥器で海底泥を採取し、また、4月12日に鹿児島湾の2海域（図1-2 桜島有村地先、桜島黒神地先）から同様に海底泥を採取し、その表面から1cm程度を薙サジでくい取りサンプルとした。すくい取ったサンプルは、広口密閉容器に収容後、アルミホイルで遮光するとともに、保冷剤を入れたクーラーボックスに入れて持ち帰った。

持ち帰ったサンプルは10°Cの冷蔵庫内に10日間保管した後、MPN法⁵⁾を一部改変した方法により、確認された栄養細胞から発芽したシストの数を推定した。規定の温度で培養する際、最初の5日間はアルミホイルで包んで遮光し、アルミホイルを外してからは、14L:10Dの明暗周期、光強度約 $35 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ の光環境下でさらに10日間培養した。なお、培養温度は、最低発芽温度を確認するため、今回は、従来設定していた19°Cを取りやめ、16°Cを設定し、16, 17, 18, 20, 22°Cの5温度帯とした。

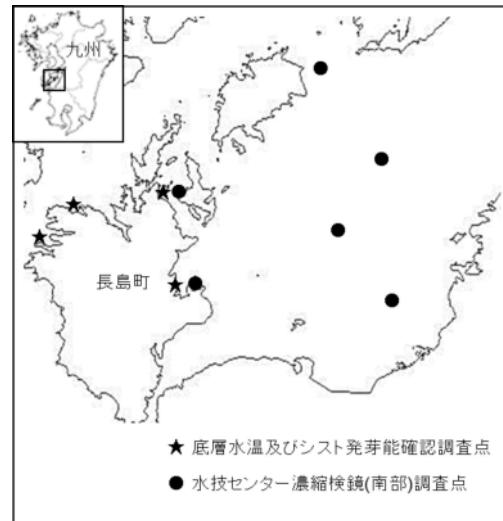


図1-1 調査定点（八代海）

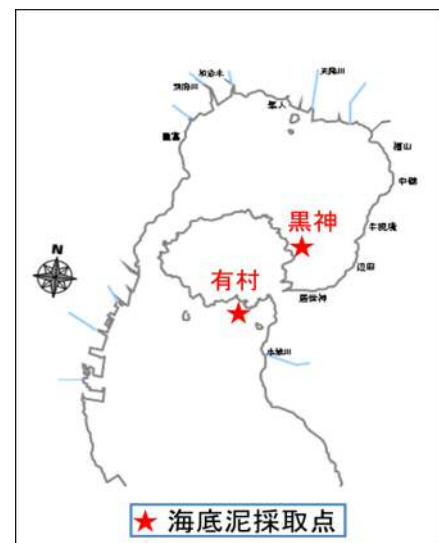


図1-2 調査定点（鹿児島湾）

3) 遊泳細胞の早期確認

八代海における遊泳細胞を早期に確認するため、当所が実施する赤潮（南部）調査点のうちの6定点（図1-1、●印）及び八代海ライン調査（水産庁委託事業の赤潮・貧酸素水塊対策推進事業で実施した。当所の他、東町漁協、熊本県水産研究センターが交替で調査）の9定点（図2）で採水した表層の海水、または、0mから水深10mまでの海水を直径40mmのプラスティック製ホースで柱状採水した海水1Lを、目合15 µmのプランクトンネットで2~5 mL程度に濃縮した後、その中の*Chattonella antiqua*属遊泳細胞を検鏡した。さらに、東町漁協の定期調査における濃縮検鏡も参考にした。

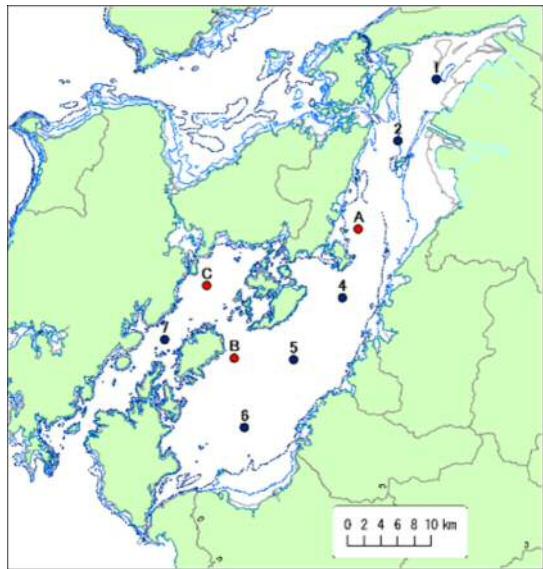


図2 調査定点（八代海ライン調査）

3 赤潮発生緊急対策試験

○ *C. antiqua*赤潮への養殖魚曝露試験

H29年8月から9月にかけ八代海に*Chattonella antiqua*赤潮が発生し、本県海域においても8月27日～9月7日に赤潮化した。*C. antiqua*赤潮に曝露された際の養殖ブリの耐性を把握するため、9月3日に、長島町地先の八代海において養殖ブリの曝露試験を実施した。

9月1日に、山川町漁協所属のブリ養殖業者から、前日より餌止めした養殖ブリの2年魚（平均体重約3kg）6尾を入手し当センターの飼育水槽に放養後、2日、1tタンク1基に収容し阿久根漁港に停泊する漁業指導取締兼調査船「おおすみ」（以下「調査船」という。）にトラックで搬送した。ただし、今回輸送中にブリ6尾中2尾が斃死したため供試魚は4尾となった。3日に調査船により八代海上に搬送し、そこで*C. antiqua*を含む海水を調査船に収容後、調査船上で曝露試験を実施した。*C. antiqua*は、3日13時20分に赤潮の集積が見られた熊本県上天草市姫戸町沖合の国立研究開発法人 水産研究・教育機構が設置、運営する自動昇降式観測ブイ付近で、採水器（株式会社離合社製 リゴーB号採水器）及びバケツにより海水を約400L採取し500Lポリカーボネートタンク1基に収容した。細胞密度を計数したところ102 cells/mLであったので当タンクを曝露区とした。また、別の500Lポリカーボネートタンク1基に、供試魚を搬送した*C. antiqua*の入っていない阿久根漁港の海水400Lを収容し対照区とした。各試験区には、供試魚のブリを2尾ずつ収容し、止水、エアレーション及び酸素ボンベによる溶存酸素の安定供給を行いながら試験を実施した。曝露試験は9月3日13：38から24時間の予定で開始した。試験中、隨時、水質（水温(°C)、塩分、DO(mg/L)）を多項目水質計（YSI社製 6600V2）で計測し、供試魚を観察した。また、へい死した場合はその直後に、また、生残した場合は試験終了後直ちに魚体測定を行うとともに、鰓を採取し、0.1molリン酸緩衝液2%グルタールアルデヒド溶液に浸漬保管し、後日、走査型電子顕微鏡（（株）日立ハイテクノロジーズ社製 S-3000N。以下「SEM」という。）による観察を行った。なお、各試験区はDOが5mg/Lを下回らないよう必要に応じエアレーション及び酸素ボンベにより調整した。

【結果及び考察】

1 新奇有害赤潮等調査

1) 新奇有害プランクトン培養試験

① *Karenia papilionacea*

表1-1に示すとおり、3種類の培地により培養を試みたが、滅菌海水を除き、*K. papilionacea*の増殖は確認されなかった。滅菌海水については、接種後13日目までは細胞数の増加が見られたものの、その後は減少した。培地のうちダイゴIMKとPESは、同じ属である*Karenia mikimotoi*を培養する際当所で使用しており順調に経代培養が可能になっていることから試したが、増殖は認められなかった。滅菌海水においても、ある程度は増殖が見られたものの、指数関数的な大きな増殖は見られなかつたことから、原因として栄養塩不足が考えられ、今後さらに他の培地を検討する必要があると考えられる。水温については、発生海域である甑島浦内湾の採水時の水温とほぼ同じ22°Cに設定したが、塩分の含め好適環境をさらに検討する必要がある。

表1-1 *K. papilionacea*培養試験の細胞数の推移

培地＼経過日数	(単位: cells/mL)								
	0	2	4	6	8	9	11	13	15
ダイゴIMK-①	10	1	1	-	1	-	0	-	-
ダイゴIMK-②	12	1	0	-	1	-	0	-	-
滅菌海水	4	3	-	18	-	23	-	37	5
PES(30)	4	0	-	0	-	0	-	-	-

② *Cochlodinium sp. type-Kasasa*

3種類の培地で培養を行い、表1-2にその結果を示した。PESの場合、ある程度増殖し最高細胞数は25日目に379cells/mLに達したが、以後、珪藻類によるコンタミネーションのため増殖試験を終了した。f/2培地で

表1-2 *Cochlodinium sp. type-Kasasa*培養試験の細胞数の状況

培地	(単位: cell/mL)		
	初発密度	最高細胞密度	培養期間(日間)
PES	1	379	25
f/2 ①	1	73	10
f/2 ②	4	522	18
f/2 ③	24	300	15
ダイゴIMK ①	30	4967	15
ダイゴIMK ②	157	6700	67
ダイゴIMK ③	2	7900	35

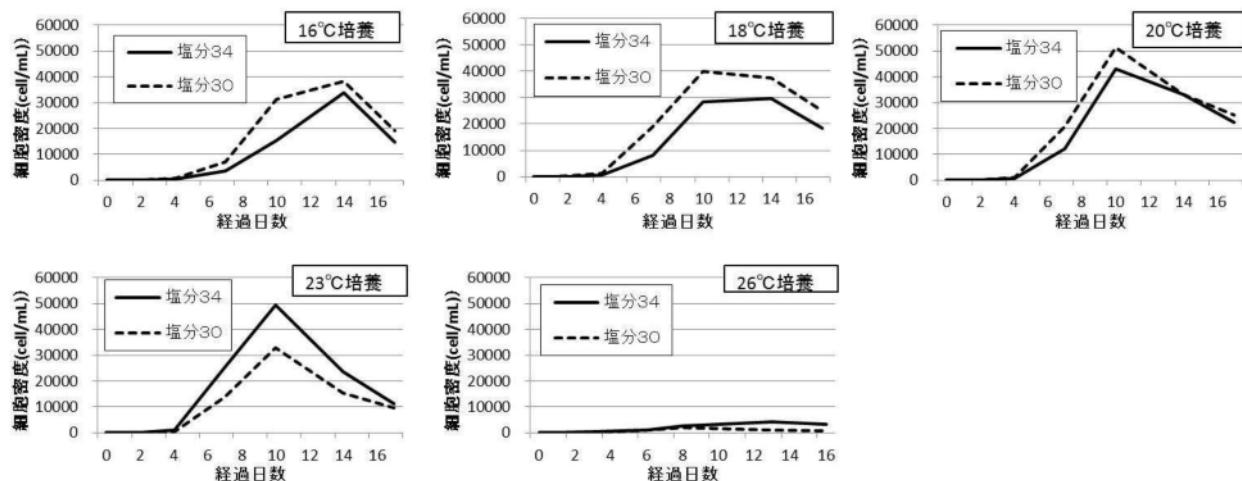
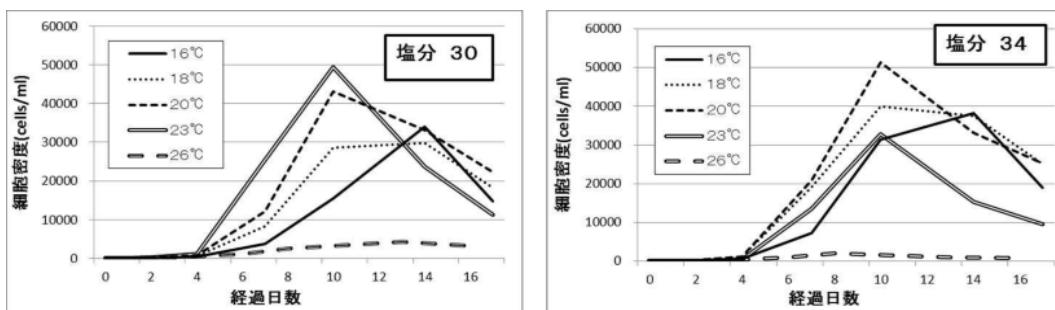
は、初発4cells/mLが18日目で最高細胞密度522cells/mLに達するなど一定の増殖が見られた。また、ダイゴIMK培地では、初発密度2cells/mLが35日目で最高細胞密度7,900cells/mLに達するなど良好な増殖が見られた。よって、f/2とダイゴIMK培地の場合は、ともに一定レベルの増殖が見られ継続した培養の可能性が示唆された。なお、ダイゴIMK培地による培養では、途中で珪藻類(*Skeletonema* spp.)によるコンタミネーションが確認されたことから、以後、珪藻類の増殖を抑制するため培地にGeO₂を1mg/Lの濃度となるよう添加した。

2) *Dictyocha* sp. の増殖特性試験

培養温度毎に塩分30と34での増殖状況を本種の細胞密度(試験区毎の平均値)で図3に示した。試験開始時にいずれの試験区も約100cells/mLであったが、16, 18, 20, 23°Cの試験区では、7~10日目以降にはいずれも10,000cells/mLを超え、最高細胞密度はほぼ30,000cells/mL以上に達して、遅くとも14, 15日目以降には衰退していったが、26°C試験区は、他の試験区と異なり、最高細胞密度は5,000cells/mL以下とかなり低かった。また、16, 18, 20°C試験区では、塩分濃度30の方が34の場合より最高細胞密度が高く、23及び26°C試験区では逆に塩分濃度34の方が高かった。

また、図4に培養塩分毎に各水温別の細胞密度(試験区毎の平均値)の推移を示した。これによると、塩分濃度30では、23, 20, 16, 18, 26°C試験区の順に最高細胞密度が高く、23°C付近に至適水温帯があると推測されたが、塩分濃度が34とやや高いと、最高細胞密度は、20, 18, 16, 23, 26°Cの順に高く、至適温度帯は20°C前後と推測された。今回の試験から、本種の至適水温帯は20あるいは23°C付近と推測されたが、16, 18°Cでもよく増殖していることから好適水温帯としては16~23°Cと比較的広範

囲と考えられた。塩分濃度は30～34ではあまり大きな違いは見られず、今後、更に低い塩分濃度での検証も必要と思われた。さらに、好適水温帯に関しても、今回は26°C試験区のみが恒温機器等の都合により条件が同一といえなかったことや16°C未満の水温での試験がなかったこと等から、さらに検証が必要と考えられた。

図3 培養水温毎の*Dictyocha* sp. の増殖状況図4 培養塩分毎の*Dictyocha* sp. の増殖状況

2 赤潮発生早期確認等調査

1) 底層水温モニタリング

長島周辺4カ所におけるH28年12月14日からH29年5月31日までの10m及びB-1m水温の1時間毎の推移を図5に示す。また、同期の冬期底層(B-1m)の最低水温は、表2に示すとおり、脇崎では底層(B-1m)が欠測であったが、薄井で3月11日に13.4°C、茅屋で3月12日に14.0°C、浜瀬で3月3日に14.1°Cといずれも12°C以下には下がらず、その後5月にかけて時間の経過とともに上昇した。この間の各海域毎の底層水温の累積低温時間は、表2のとおり13～14°Cの水温が、薄井で最も長く959時間、次に茅屋で2時間、浜瀬では14°C以下には下がらず、薄井、茅屋、浜瀬の順で底層の低温累積時間が長い傾向を示した。

表2 底層(B-1m)の海域別低温累積時間及び最低水温

水温区分	脇崎*	薄井	茅屋	浜瀬	(単位:時間)
15°C以下	-	1,792	996	567	
14°C以下	-	959	2	0	
13°C以下	-	0	0	0	
12°C以下	-	0	0	0	
最低水温(°C) (最低日)	-	13.377 (3月11日)	13.978 (3月12日)	14.146 (3月3日)	

期間: H28年12月14日～H29年5月31日

* 脇崎は、B-1mは欠測

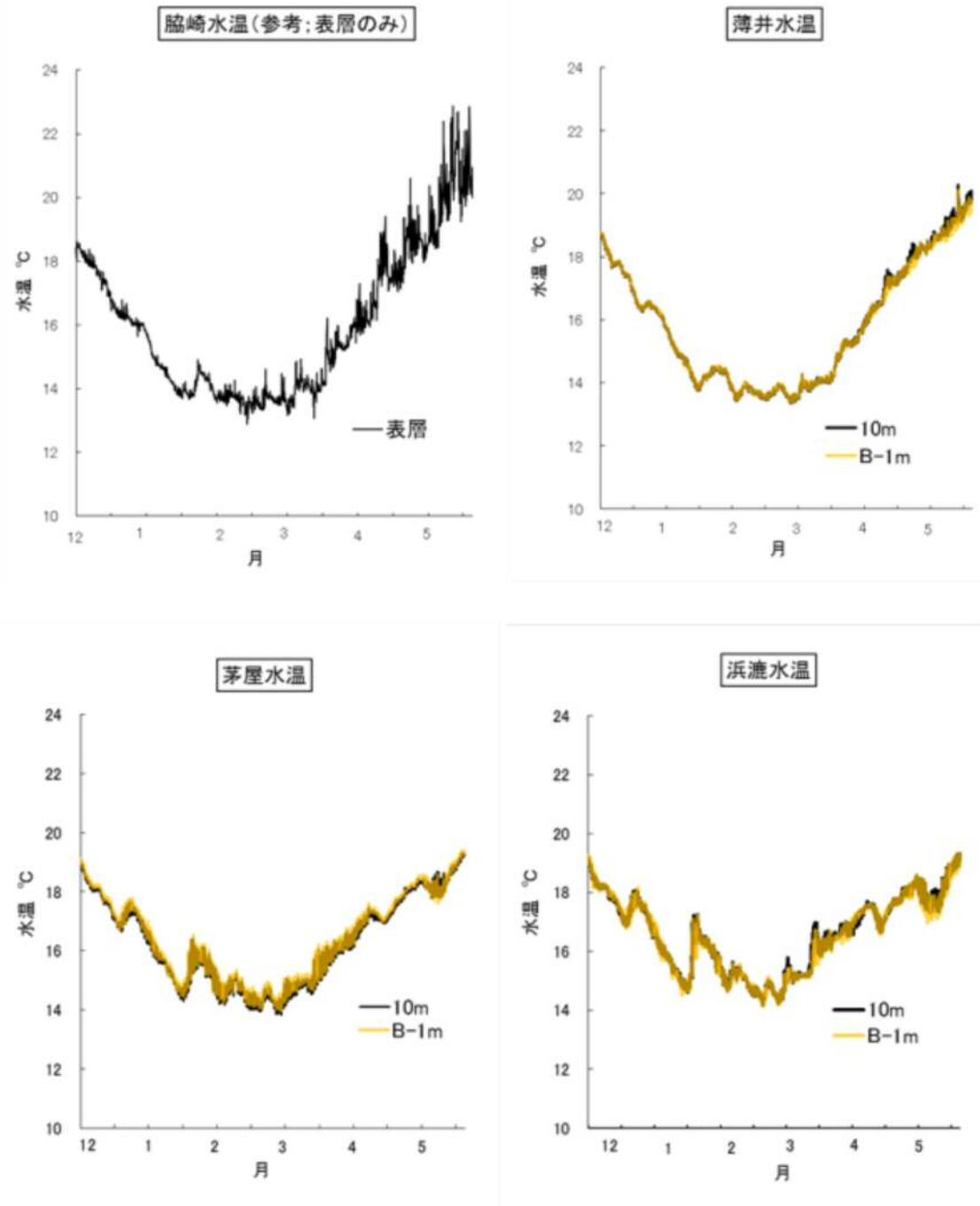


図5 長島周辺養殖漁場の冬期水温の推移(H28年12月14日～H29年5月31日)

2) シスト発芽能確認調査

八代海及び鹿児島湾における各培養温度で確認できた栄養細胞の数をそれぞれ図6及び図7に示す。八代海4定点全てで、採取されたサンプルから*Chattonella*属の栄養細胞が確認された（図6）。その内訳は、脇崎が16, 17, 18, 20及び22°Cの5温度帶全てで、薄井は16, 17, 18及び22°Cの4温度帶で、茅屋は17及び22°Cの2温度帶で、また、浜漉は16, 18, 20及び22°Cの4温度帶において確認され、推定される発芽したシスト（以下「推定発芽シスト」という。）の数は2～49MPN/g湿泥、最高は脇崎の22°Cにおける49MPN/g湿泥であった。図8に示すとおり確認された推定発芽シストの総数も124.6MPN/g湿泥とこれまで最高の数値を示した。また、図9より調査点毎の推定発芽シスト総数(H23～29年)は、昨年と順

位は変わらず、脇崎、浜漉、薄井、茅屋の順であった（経年変化の数値は最終頁の【参考】参照）。

鹿児島湾で*Chattonella*属の栄養細胞が確認されたのは、図7に示すとおり黒神のサンプルであった。内訳は、18及び22°Cにおいて各々4MPN/g湿泥及び13MPN/g湿泥であった。昨年度は鹿児島湾は湾奥の牛根地先のみの試験であったが、この際も栄養細胞の発芽が見られており、湾奥では2年連続で推定発芽シストが確認された。

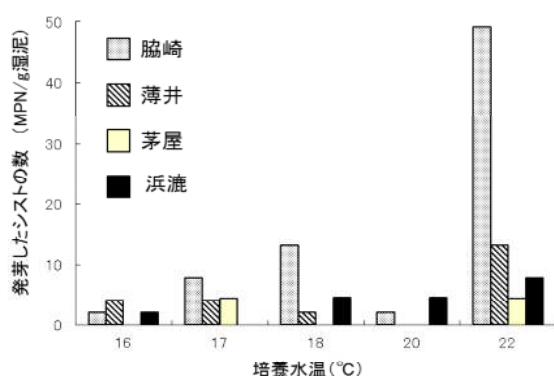


図6 培養温度別シスト発芽数（八代海4定点）

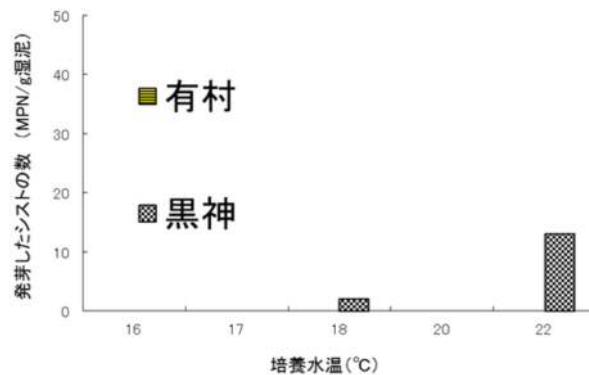


図7 推定発芽シスト総数(鹿児島湾2点)の推移

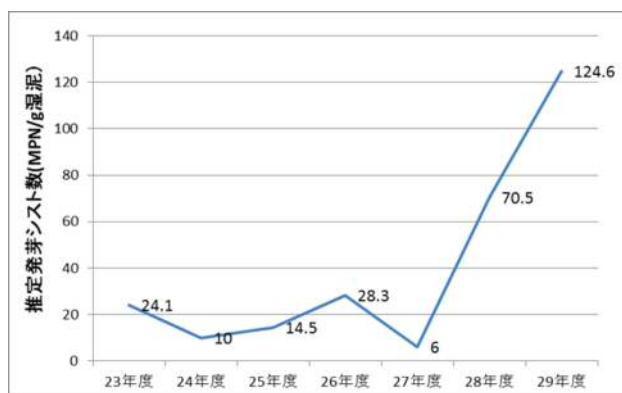
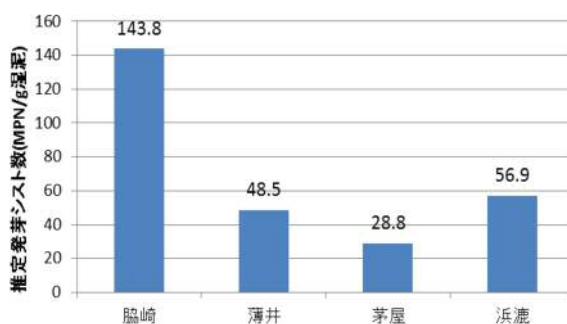


図8 推定発芽シスト総数(八代海4定点)の推移

図9 調査点毎の推定発芽シスト総数
(長島4定点, H23～29年)

なお、発芽した*Chattonella*属栄養細胞は、八代海においては、尾部が尖った形態等から*C. antequa*と推定される個体が多く見られ（写真2），鹿児島湾では、丸みのある個体は*C. marina*、また、楕円形で褐色部分がトゲ状に伸びた個体は*C. attonella marina ovata*と推定された（写真3）。

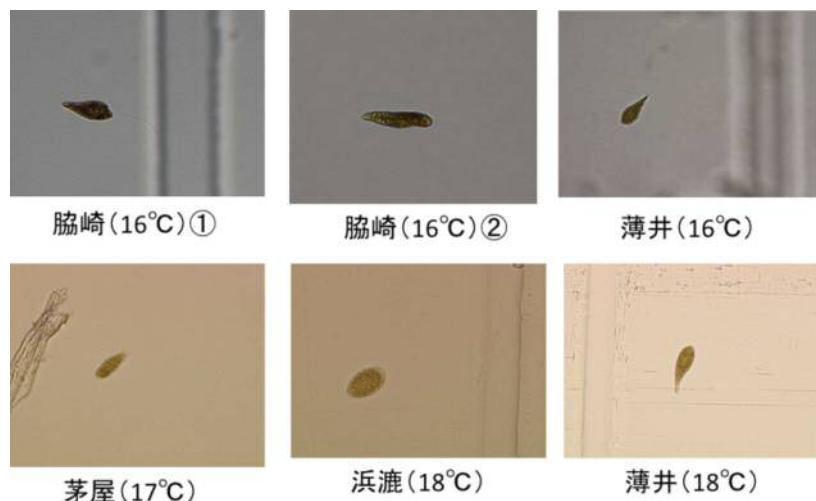


写真2 シスト発芽状況（八代海）

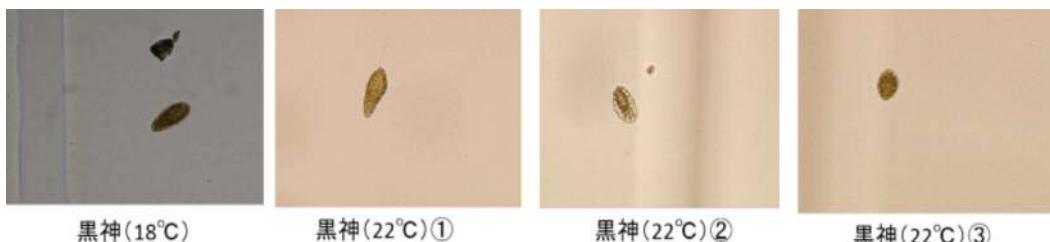


写真3 シスト発芽状況（鹿児島湾）

また、シストの直接確認は、落射蛍光顕微鏡を用いた観察法で行った。試料は多くの夾雜物（泥等の固形物やプランクトン等の生物など）を含んでいた。八代海の4定点と鹿児島湾の2点について、0.1 g 湿泥/mL（滅菌海水）の濃度の海水試料を各々合計3mLずつ検鏡した結果、脇崎の試料から1個体、薄井の試料から1個体確認され、その他の試料からは確認されなかった。ここ4年間では、昨年度と今年度の2カ年シストが確認された。

*Chattonella*属シストの分布について、国立研究開発法人 水産研究・教育機構 濑戸内海区水産研究所が、2010(H22)年から調査した八代海における*Chattonella*のシスト分布（有明海・八代海における*Chattonella*のシスト分布：<http://feis.fra.af-frc.go.jp/topics/230610-chattonella/230610-chattonella.html>, 2018年2月13日）の推移を図10に示した。これによると、2010(H22)年4月から2011(H23)年4月までのシスト平均密度は、大規模発生後間もないこともあり、50～200 cysts/cm³の間と高かったが、その後、2015(H27)年4月までは50cysts/cm³以下のかなり低いレベルで数年推移し、2016(H28)年4月再び急増し100cysts/cm³を超え、2017年(H29)4月はやや減少した。図8の本所調査の推定発芽シスト総数の経年推移グラフでも2011(H23)年以降は同様の傾向を示した。また、八代海の本県海域における*Chattonella*属の発生状況（本所調べ）を参考に表3に示した。

なお、H29年度は、八代海のライン調査により、5月9日に、湯ノ口及び大多尾で*Chattonella*属が初認されている（ともに1cell/L）。

3 赤潮発生緊急対策試験

○ 養殖魚曝露試験

1) 供試魚の魚体組成

今回の供試魚の魚体組成を表4に示す。曝露区は、平均全長673mm、平均尾叉長633mm、平均体重3.49kg、対照区は平均全長655mm、平均尾叉長598mm、平均体重3.15kgであり、体重で1割ほど曝露区が重かった。供試魚全体では、平均全長664mm、平均尾叉長615mm、平均体重3.32kgであった。

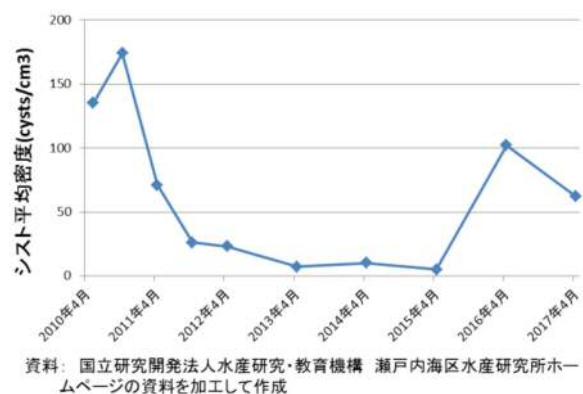


図10 八代海のシャットネラシストの平均密度

表3 八代海(本県海域)における*Chattonella*属発生状況

年	最高細胞数 (cells/ml)	赤潮化(着色) の有無	シャットネラ属による 漁業被害の有無
2009年	3,000	有	有
2010年	2,260	有	有
2011年	0.400	なし	なし
2012年	0.013	なし	なし
2013年	0.330	なし	なし
2014年	0.670	なし	なし
2015年	470	有	なし
2016年	2,000	有	有
2017年	533	有	なし

2) 水質の推移

曝露試験中の水質の推移を表5に示す。水温は、曝露区が26.5~27.7°C、対照区が28.9~29.2°Cで曝露区が区が平均で2°C低く、ともに上昇しながら推移。塩分も、曝露区の方が低く、平均32.9、対照区は平均34.7であった。これは、曝露区の海水は八代海の海水を当日くみ上げたものだが、対照区の海水は、前日から当日にかけ阿久根漁港で採水したものであることから、若干水温、塩分が異なった。DOは、曝露区が6.1~7.3 mg/L、対照区が6.3~7.0 mg/Lで推移した。以上、曝露区、対照区ともブリの生存に支障のない範囲で推移し、水温と塩分が若干差があったが、試験結果に影響を与えるものではないと考えられた。

3) *C. antiqua* の細胞密度の推移

C. antiqua の細胞密度の推移を表6に示す。開始時は102cells/mLで20分後にやや高くなったものの、ほぼ横ばいで推移し3時間後は114cells/mLであった。

4) 供試魚の状況

曝露区は、供試魚全て（2尾）とも約2時間30分後及び約3時間後に斃死したが、対照区は全て（2尾）生残し約4時間後には試験を終了した。曝露区の斃死に至るまでの挙動を以下に示す。まず、試験開始5分後から、曝露区の1尾が鼻上げや咳き込むような行動を見せ始めた。1時間30分後から、曝露区の1尾は鼻上げが頻繁になってきた。2時間10分後から、曝露区の1尾は頭部や背部に黒斑が出現し、腹部を底につけ横転と復元を繰り返す場面が増えてきた。その後、当該供試魚は素早く泳いだり水面上に跳ね上がるなど狂奔、苦悶するような行動を見せ始め、同時にもう1尾も鼻上げが頻繁になり始めた。2時間20分後には、最初に苦悶し始めた1尾は、底に付き腹部を上に向け呼吸が断続的に停止するようになり、2時間32分後には、痙攣後呼吸が停止しへい死したと考えられた。もう1尾も横転、狂奔、苦悶の様子を見せ始め、同様に3時間01分後にへい死した。対照区は、2尾とも特に異状は見られず、4時間後には試験を終了した。

試験終了後に採取した供試魚の鰓のSEM写真を図11に示す。最初に斃死した曝露区のブリの鰓の画像（曝露区T-1及びT-2）と、対照区の画像（対照区C-1及びC-2）とを比較すると、曝露区のブリの一次鰓弁の中で、棚状に数多く互生する二次鰓弁の両端の基部のうち一方が、一部盛り上がり水かき様に変形した状態が見られた。また、対照区に比べ曝露区の方が、鰓弁の表皮に損傷や腫れが見られる場合多かった。

H28年度、八代海に発生した本種赤潮によるブリ（平均体重2.85kg）曝露試験⁴⁾では、細胞密度28~58 cells/mLで実施したところ、18時間30分の試験時間中、曝露区、対照区ともに斃死は見られなかつ

表4 供試魚の魚体組成

試験区	供試魚	全長(mm)	尾叉長(mm)	体重(kg)
曝露区	T-1	700	680	3.80
	T-2	645	585	3.17
	平均	673	633	3.49
対照区	C-1	640	600	3.10
	C-2	670	595	3.20
	平均	655	598	3.15
全供試魚平均		664	615	3.32

表5 曝露試験中の水質の推移

時刻	経過時間 (時間・分)	試験区	水温 (°C)	塩分	DO (mg/L)	備考	
13:30	8分前	曝露区	26.47	32.89	7.26		
		対照区	28.88	34.26	6.95		
13:48	0:10	曝露区	26.75	32.89	6.77		
		対照区	29.08	34.34	6.71	試験開始	
14:08	0:30	曝露区	27.02	32.91	6.79		
		対照区	29.16	34.29	6.85		
14:38	1:00	曝露区	27.16	32.94	6.15		
		対照区	29.17	34.29	6.33		
15:38	2:00	曝露区	27.30	32.97	6.11		
		対照区	29.02	34.32	6.25		
16:12	2:34	曝露区	27.46	32.92	6.36	16:10曝露区	
		対照区	-	-	-	1尾斃死後	
16:40	3:02	曝露区	27.67	32.91	6.62	16:39曝露区	
		対照区	-	-	-	1尾目斃死後	
平均		曝露区	27.1	32.9	6.6		
曝露区②		曝露区	26.5~27.7	32.9~33.0	6.1~7.3		
対照区		対照区	28.9~29.2	34.3	6.3~7.0		
最低値~最高値							

表6 曝露試験中の*C. antiqua* 細胞密度の推移

経過時間	細胞密度(cells/mL)
0	102
0時間20分	141
1時間00分	111
2時間00分	109
2時間30分	103
3時間00分	114
平均値	113

たが、今回の曝露試験では、平均体重3.32kgのブリを供試し細胞密度102～141 cells/mLで実施したところ、曝露区は供試魚2尾とも2時間30分～約3時間で斃死した。また、本県における過去最大の赤潮被害を受けた平成21、22年の本種大発生の際の曝露試験⁶⁾では、体重439～706gのブリを供試したところ、細胞密度134 cells/mLでは斃死が見られなかったが、143 cells/mL以上で斃死が見られている。以上、今回の結果とこれまでの知見を総合的に考慮すると、本種のブリに対する最低致死細胞密度は概ね50～100 cells/mLにあり、魚体が大きくなるほど低密度で斃死する可能性が高く、約3kgの場合、100 cells/mL以上、439～706kg程度で140 cells/mL以上で、斃死する確率が高まると推察された。

また、今回の曝露試験におけるブリの斃死要因については、前述の供試魚が斃死するまでの行動や状態とSEMによる供試魚の鰓の状態から、鰓組織の損傷によってガス交換機能が低下し呼吸不全に陥り窒息死したと推察された。

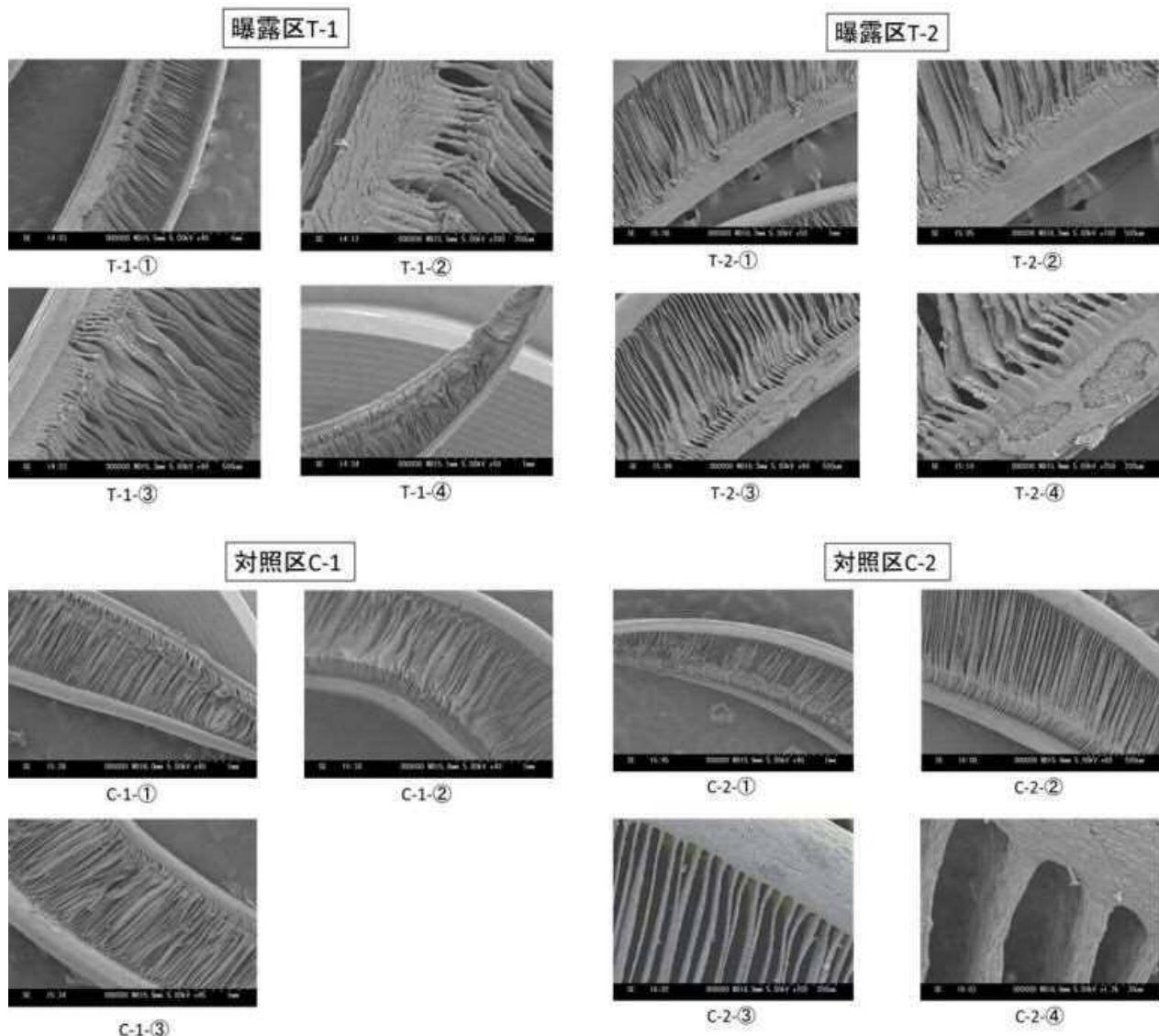


図11 供試魚の鰓の状況（SEMによる。上段：斃死魚、下段：生残魚）

文 献

- 有賀祐勝、井上勲、田中次郎、横濱康繼、吉田忠生 藻類学実験・実習 株式会社 講談社、東

京. 2000;170-171.

- 2) Guillard, R. R. L., Ryther, J. H. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Husttedt, and *Detonula confervacea*(Cleve)Gran. *Can. J. Microbiol.*, 1962; **8**: 229-239
- 3) Guillard, R. R. L. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. pp In Smith W. L. and Chanley M. H(Eds.) *Culture of Marine Invertebrate Animals*. Plenum Press, New York. 1975; 26-60.
- 4) 矢野浩一, 村田圭助, 中島広樹, 西広海. 赤潮総合対策調査事業－III（赤潮被害防止対策調査事業）. 鹿児島県水産技術開発センター平成28年度事業報告書 2017
- 5) 伊藤克彦, 今井一郎(1987) : 第6章 ラフィド藻, 赤潮生物研究指針, 日本水産資源保護協会, 122-130.
- 6) 西広海, 田原義雄, 徳永成光, 久保満, 吉満敏, 中村章彦. Chattonella antiqua 赤潮の養殖ブリに対する影響－養殖ブリに対する暴露試験－. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告, 3: 2012; 34-36

【参考】 シスト推定発芽数の経年変化(H23~29年)

調査年	培養温度	脇崎	薄井	茅屋	浜瀬	合計
H23年	17°C					0
	18°C				2	2
	19°C		2		7.8	9.8
	20°C				4.5	4.5
	22°C				7.8	7.8
	小計	0	2	0	22.1	24.1
H24年	17°C				2	2
	18°C					0
	19°C		2			2
	20°C	2	2			4
	22°C	2				2
	小計	4	4	0	2	10
H25年	17°C					0
	18°C					0
	19°C			4.5	2	6.5
	20°C	2			2	4
	22°C				4	4
	小計	2	4.5	0	8	14.5
H26年	17°C					0
	18°C					0
	19°C			6.8		6.8
	20°C	4	2			6
	22°C	11		4.5		15.5
	小計	15	2	11.3	0	28.3
H27年	17°C					0
	18°C					0
	19°C					0
	20°C	2				2
	22°C	2				4
	小計	4	0	2	0	6
H28年	17°C	4.5	2	4.5		11
	18°C	4.5	4.5		2	11
	19°C	23	2			25
	20°C	2		2		4
	22°C	11	4.5		4	19.5
	小計	45	13	6.5	6	70.5
H29年	16°C	2	4	0	2	8
	17°C	7.8	4	4.5	0	16.3
	18°C	13	2	0	4.5	19.5
	19°C	—	—	—	—	—
	20°C	2	0	0	4.5	6.5
	22°C	49	13	4.5	7.8	74.3
(7ヶ年)	小計	73.8	23	9	18.8	124.6
	16°C	2	4	0	2	2
	17°C	12.3	6	9	2	29.3
	18°C	17.5	6.5	0	8.5	32.5
	19°C	23	10.5	6.8	9.8	50.1
	20°C	14	4	2	11	31
	22°C	75	17.5	11	23.6	127.1
	合計	143.8	48.5	28.8	56.9	278
	2011年	x	○	x	○	○
	2012年	○	○	x	○	○
	2013年	○	○	x	○	○
	2014年	○	○	○	x	○
出現年	2015年	○	x	○	x	○
	2016年	○	○	○	○	○
	2017年	○	○	○	○	○
	出現年数	6	6	4	5	7

鹿児島海藻パーク推進事業一Ⅱ (藻場定期モニタリング調査事業)

高杉朋孝, 猪狩忠光, 平江多績

【目的】

これまで当センターでは藻場や磯焼けの現状把握や磯焼けの継続原因、各環境における藻場回復技術の開発を行ってきた。

本事業では、それらの知見を活かし、水産多面的機能発揮対策事業等により各地域の藻場保全活動組織が環境・生態系保全活動に取り組む中で必要となる定期的なモニタリング調査を行い、藻場を維持、回復するための活動を支援する。

【方法】

1 定期モニタリング調査

指宿地区水産振興会、山川地区藻場保全会(以下、活動組織)が実施する藻場造成海域において、潜水によるモニタリング調査を行った。

調査内容

活動組織が設定した調査ライン(図1, 2)及び離石型藻礁(図1)において、調査を実施した。

調査ラインは一定距離(下記の調査場所参照)周辺、離石型藻礁は委託元が指定した地点(指宿海港地先及び指宿岩本地先における各4地点)にて、方形枠(50cm×50cm)を設置し、方形枠内において下記の調査項目について調査した。

なお、方形枠は周辺環境として平均的な地点を選んで設置した。このため、調査水深については調査毎に異なる場合がある。

(調査場所…ライン)

海 域	調査箇所	調査ライン	ライン長 (m)	調査点(始点からの距離(m))	
				※方形枠を設置する地点	
指 宿	指宿港地先	指宿北	38	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 38	
		指宿南	30	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30	
	指宿岩本地先	岩本沖	250	0, 50, 100, 150, 200, 250	
山 川	山川港地先	牧場下	138	5, 17, 32, 110, 130, 138	
	浜児ヶ水地先	竹山下	139	0, 5, 37, 66, 75, 100, 139	
		浜児ヶ水沖	165	0, 7, 72, 152, 165	
	赤水鼻地先	児ヶ水定置横	150	0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 150	

(調査場所…離石型藻礁)

指宿港地先…北側藻礁にて2地点(北側, 南側), 南側藻礁にて2地点(北側, 南側)

指宿岩本地先…沖側藻礁にて2地点(西側, 東側), 岸側藻礁にて2地点(西側, 沖側)

- (調査項目等)
- ・水温、水深、底質、浮泥の堆積状況
 - ・海藻草類被度、種類
 - ・植食性魚類の食痕の有無、ウニ類、小型巻貝密度

(調査回数) 年2回 (各調査ライン及び各離石型藻礁)

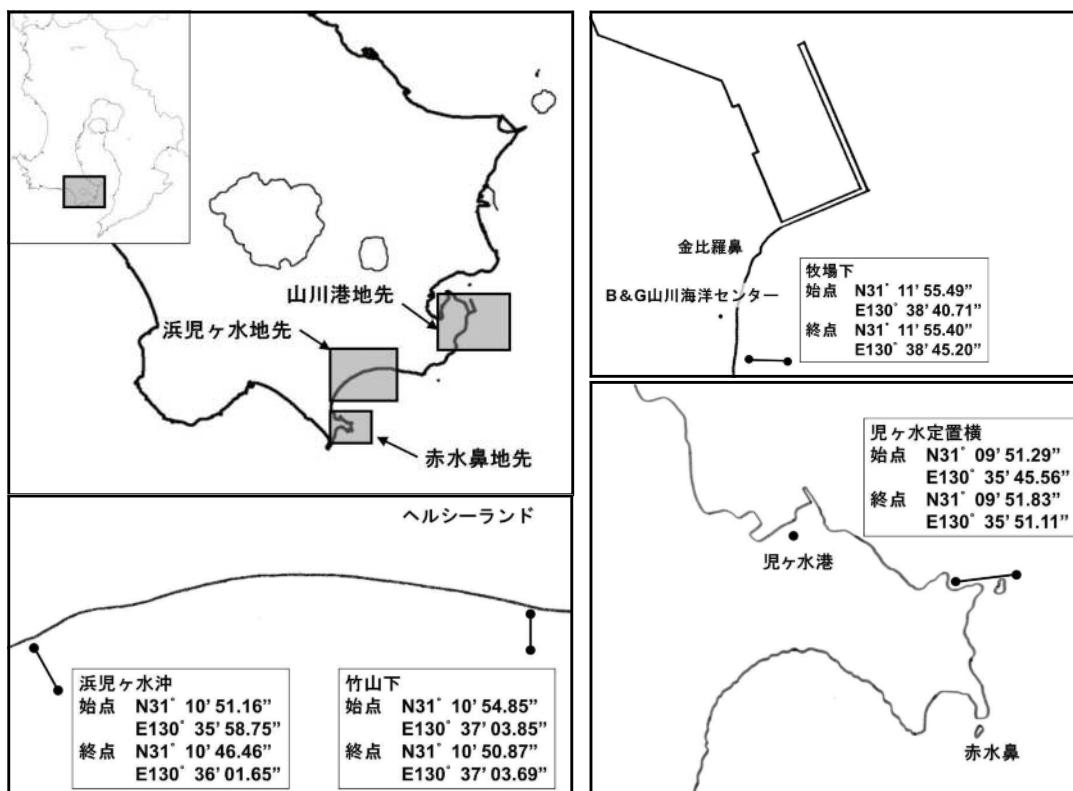
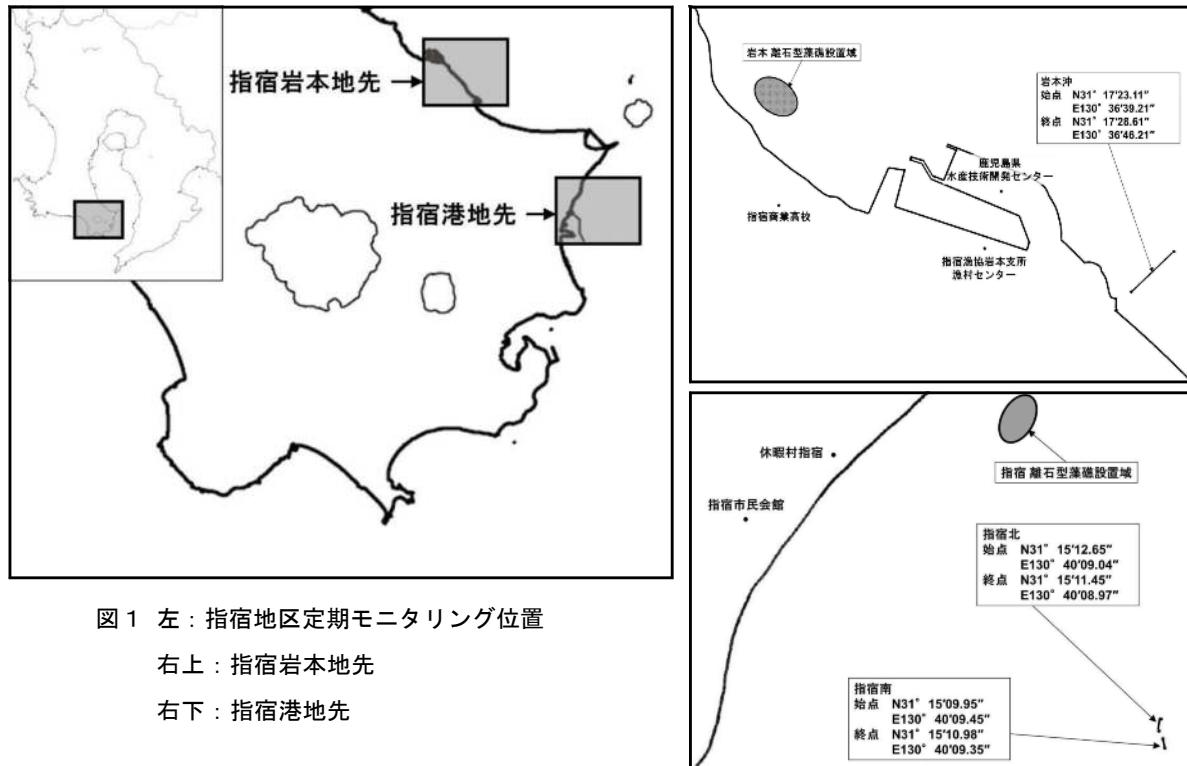


図2 左上 : 山川地区定期モニタリング位置

左下 : 浜ケ水地先

右上 : 山川港地先

右下 : 赤水鼻地先

(調査時期)

調査箇所	第1回	第2回
指宿港地先	平成29年 6月 1日	平成29年11月29日
指宿岩本地先	平成29年 5月29日	平成29年12月15日
山川港地先	平成29年 7月20日	平成29年11月30日
浜児ヶ水地先	平成29年 7月20日	平成29年11月30日
赤水鼻地先	平成29年 7月20日	平成29年11月30日

2 藻場の維持、回復手法の指導

佐多岬地区藻場保全活動組織が間泊港で遮光シート（4m×50m）設置と磯掃除によりソフトコーラル駆除を行ったので調査した（図3）。遮光シートは6月12日に設置、9月7日に撤去。磯掃除は潜水作業により、ヘラ状の道具でソフトコーラルを削り落とす方法により9月4日及び6日に実施。調査は6月12日と10月26日に行った。

調査内容

ソフトコーラルの着生状況の経過を目視により調査した。

(調査回数) 年2回

(調査時期) 1) 平成29年6月12日

- ・遮光シートの設置箇所とその周囲の状況を調査

2) 平成29年10月26日

- ・遮光シートを設置していた箇所4ヶ所と非設置箇所4ヶ所について、方形枠（50cm×50cm）を設置し調査

- ・磯掃除の実施箇所4ヶ所と非実施箇所4ヶ所について、方形枠（50cm×50cm）を設置し調査

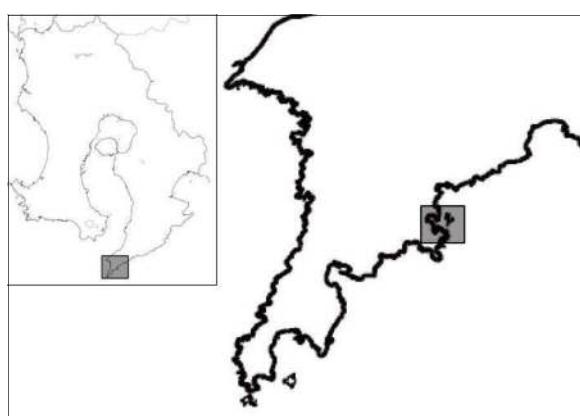


図3 遮光シート及び磯掃除によるソフトコーラル駆除地

【結果】

1 定期モニタリング調査（ライン調査）

1) 指宿海域

(1) 指宿港地先

a 指宿北（図1参照）

a) 平成29年6月1日調査

調査水深は1.7～3.3m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（マジリモク、コナフキモク、コブクロモク、ウミウチワ、イトアミジ、ワカメ）、紅藻（ミゾオゴノリ、オオオゴノリ、無節石灰藻）であった。

マジリモクが主体でコナフキモク、コブクロモクが混成した藻場が基点から3～33mに形成され、平成28年度と構成種が若干異なっていた（平成28年度は上記3種以外にマメタワラとヒイラギモクも確認）（図4）。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類は平成28年度と異なり、0～4個/m²と少なかった。

巻貝類は平成28年度と同様に、少なかった（0個/m²）。

ウニ類… 20m：ナガウニ 4個/m², 125m：ガンガゼ 4個/m²

※記載していない調査点のウニ類及び巻貝類の密度は0個/m²（以下同じ）



図4 左：マジリモク主体の藻場(10m付近), 右：15m付近はコナフキモク主体

b) 平成29年11月29日調査

調査水深は0.8～2.4m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ホンダワラ類幼体、ウミウチワ、アミジグサ科）、緑藻（ボウアオノリ）、紅藻（イバラノリ科、テングサ科、ウスカワカニノテ、ピリヒバ、無節石灰藻）であり、藻場の形成は見られなかった。ホンダワラ類の幼体を平成28年度とほぼ同様、基点から10～38mで確認した（図5）。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類及び巻貝類は平成28年度と同様、多く確認された

ウニ類… 10m：ナガウニ 12個/m², ガンガゼ 8個/m², 15m：ナガウニ 12個/m²,
20m：ナガウニ 12個/m², ガンガゼ 4個/m²,
25m：ナガウニ 4個/m², ガンガゼ 8個/m²

巻貝類… 0m：4個, 10m：4個, 15m：12個, 20m：4個



図5 左：ホンダワラ類の幼体を確認(10m付近)、右：ウニ類が多い(25m)

b 指宿南（図1参照）

a) 平成29年6月1日調査

調査水深は3.2～4.3m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（マジリモク、コブクロモク、ウミウチワ、イトアミジ、ヤハズグサ、ワカメ、フクロノリ）、緑藻（クロミル、ナガミル）、紅藻（ミゾオゴノリ、オオオゴノリ、無節石灰藻）であった。

マジリモクが主体の藻場が基点から4.2～12.5m、16～30mに形成され、4.2～12.5m、16～20mは濃密な藻場だった。形成状況は平成28年度とほぼ同様で、平成28年度には確認されなかったコブクロモクが確認された。

平成28年度と同様、ワカメが21～25mで多く確認された（図6）。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類は、平成28年度と同様、一部で多く確認された（30m:20個/m²）が、他は少なかった（0個/m²）。

巻貝類は平成28年度には確認されなかつたが、30mで8個/m²確認された。

ウニ類…30m：ガンガゼ 16個/m²、ナガウニ 4個/m²

巻貝類…8個/m²

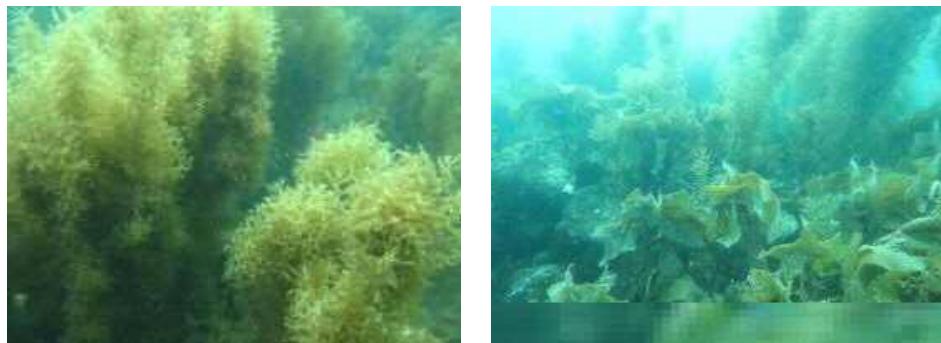


図6 左：マジリモク主体の濃密な藻場(16～20m)、右：ワカメが繁茂(25m付近)

b) 平成29年11月29日調査

調査水深は2.0～2.7m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ホンダワラ類幼体、ウミウチワ、アミジグサ）、緑藻（ボウアオノリ）、紅藻（イバラノリ科、テングサ科、ヒメモサズキ、無節石灰藻）であり、藻場の形成は見られなかつた。

ホンダワラ類の幼体は基点から5～15m、25mで確認され、ウニ類が多かつた20mでは確認されなかつた（図7）。

浮泥堆積物は全体的に少なかつた。

ウニ類は20～25mで20～24個/m²と平成28年度より少し多かつた。

巻貝類は平成28年度は確認されなかつたが、25mで12個/m²確認された。

ウニ類…5m：ナガウニ 4個/m²、20m：ガンガゼ 12個/m²、ナガウニ 4個/m²、ムラサキウニ 4個/m²、タワシウニ 4個/m²、25m：ガンガゼ 8個/m²、ナガウニ 12個/m²

巻貝類…12個/m²

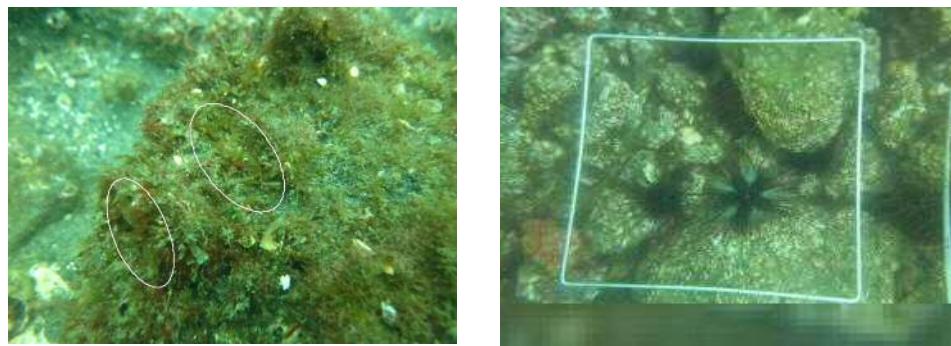


図7 左：ホンダワラ類の幼体(15m付近), 右：ウニ類が多い(20m付近)

c 指宿港地先離石型藻礁(図1参照)

a) 平成29年6月1日調査

調査水深は3.0～3.9m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（マジリモク， ウミウチワ， アミジグサ， フクロノリ， ワカメ）， 紅藻（カニノテ）であった。

北側藻礁の全体， 南側藻礁の北でマジリモクによる藻場が確認された。北側藻礁の南では濃密な藻場が形成されていた。平成28年度は藻礁全体で藻場が形成されたが， 今年度は南側藻礁の南では形成されなかった（図8）。

浮泥堆積物は北側藻礁の南で多く， 他は少なかった。

ウニ類はガンガゼが局的に多かった(0～60個/m²)。

巻貝類は確認されなかった。



図8 左：マジリモク主体の藻場（北側：北）， 右：藻場が形成されず（南側：南）

b) 平成29年11月29日調査

調査水深は3.0～3.9m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ホンダワラ類幼体）， 緑藻（アオサ科， ハネモ）， 紅藻（イバラノリ科， テングサ科， 小型紅藻）であった。

平成28年度は離石型藻礁全体でホンダワラ類の幼体が確認されたが， 今年度は南側藻礁の北でのみ確認された。

浮泥堆積物は全体的に多かった。

北側藻礁， 南側藻礁とも， ウニ類はガンガゼが多く， 局的に分布しているのが確認された（図9）。

巻貝類は確認されなかった。



図9 左：ホンダワラ類の幼体（北側）、右：ガンガゼが局所的に分布（南側）

(2) 指宿岩本地先（図1参照）

a 岩本沖

a) 平成29年5月29日

調査水深は0.2～2.8m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ヤツマタモク、マメタワラ、ウミウチワ、ワカメ）、緑藻（ナガミル）、紅藻（オバクサ、イバラノリ、ウスカワカニノテ、無節石灰藻）であった。

ヤツマタモク主体でマメタワラが混成したホンダワラ類が60～240mに確認された。

220～240mでは藻長が長いものの、それ以外では枯れた個体や伸長していない個体が多く、藻長が短かった（図10）。平成28年度は60～239mにホンダワラ類が確認され、60～95m、160～175m、200～239mでは藻長が長かったことから、今年度は平成28年度と比べて全体的に藻長が短かった。また、アマモ場（コアマモ）は、平成28年度と同様に確認されなかった。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類は平成28年度と同様少なかった（0～4個/m²）。

巻貝類は平成28年度と同様少なかったが、200mでのみ64個/m²確認された。

ウニ類… 200m : ナガウニ4個/m²

巻貝類… 200 m : 64個/m²



図10 左：ヤツマタモク主体の藻場だが藻長が短い（75m付近）、右：藻長が長い（224m付近）

b) 平成29年12月15日調査

調査水深は0.6～3.2m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ヤツマタモク、マメタワラ、ウミウチワ、フクロノリ、アミジグサ科）、緑藻（ハネモ）、紅藻（オバクサ、ピリヒバ、ウスカワカニノテ、カニノテ、イバラノリ科、無

節石灰藻)であった。

ヤツマタモクとマメタワラの混成藻場が基点から50～240mに形成された。藻長は長いもので60cm。154m～207mは砂地が多くなり、ホンダワラ類は他地点と比べて少ないが、平成28年度よりは多く見られた。172m以降はホンダワラ類の長さが短くなった。190m、215m地点では食害が見られたが、平成28年度と比べて今年度の方が少なかった(図11)。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類は平成28年度と同様、0～4個/m²であった。

巻貝類は平成28年度は確認されなかつたが、今年度は0～4個/m²であった。

ウニ類…190 m : シラヒゲウニ 4個/m²

巻貝類…125m : 4個/m², 190m : 4個/m²



図11 左：転石上にヤツマタモクが繁茂(75 m付近)，右：食害にあった藻体(215 m付近)

b 指宿岩本地先離石型藻礁(図1参照)

a) 平成29年5月29日調査

調査水深は1.5～2.2 m (潮位換算後) であった。

出現種は褐藻(ヤツマタモク、マメタワラ、ワカメ)、紅藻(ウスカワカニノテ、無節石灰藻)であった。

転石上はヤツマタモク主体でマメタワラが混成した藻場が確認された(藻長0.1～2m)。平成28年度は濃密な藻場(1～4m)が確認されたが、今年度はそれよりも密度が低く、藻長も短かった(図12)。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類はガンガゼ、ムラサキウニが多く、基質の間隙に確認された(4～24個/m²)。

巻貝類は1箇所のみ48個/m²で他は見られなかつた。



図12 左：ヤツマタモク主体の藻場(岸側藻礁西)，右：密度が低い(岸側藻礁東)

b) 平成29年12月15日調査

調査水深は0.8～1.4m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ヤツマタモク。マメタワラ），紅藻（ミゾオゴノリ，ウスカワカニノテ，無節石灰藻）であった。

離石型藻礁全体でヤツマタモクを中心としたホンダワラ類の藻場が確認された（藻長10～30cm）。平成28年度は濃密な藻場が形成されたが、それより少なかった。岸側、沖側ともに東よりも西側の方が繁茂していた（図13）。

浮泥堆積物は全体的に多かった。

ウニ類はムラサキウニが多く、基質の間隙に確認された（0～20個/m²）。平成28年度は（0～16個/m²）であり、それに比べて今年度はやや多かった。

平成28年度と同様巻貝類は確認されなかった。



図13 ホンダワラ類が繁茂（左：岸側藻礁西、右：沖側藻礁西）

2) 山川海域

（1）山川港地先

a 牧場下（図2参照）

a) 平成29年7月20日調査

調査水深は-1.5～0.2m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻、（コナフキモク，ホンダワラ科，ヘラヤハズ，ウミウチワ），緑藻（ナガミル，アオサ科），紅藻（マツノリ，ムカデノリ科，オバクサ，ピリヒバ，カニノテ，ウスカワカニノテ，無節石灰藻）であった。

コナフキモクの藻場が基点から50～56m，コナフキモク，ヘラヤハズの混成藻場が110m，120～125mに形成された。平成28年度は110m，120m周辺でコブクロモクが確認されたが、今年度は確認されなかった。また、ホンダワラ類幼体を平成28年度と同様、5～17mで多く確認した（図14）。

浮泥堆積物はほとんどなかった。

ウニ類は平成28年度と同様、転石帶で多く確認された（17m地点：ムラサキウニ12個/m²）。

巻貝類は平成28年度は確認されなかったが、今年度は5～32mで確認された（2～12個/m²）。

ウニ類… 17m：ムラサキウニ 12個/m²， 32m：ムラサキウニ 12個/m²

巻貝類… 5m：2個/m²， 17m：12個/m²， 32m：4個/m²



図14 左：コナフキモク、ヘラヤハズの混成藻場(125m付近), 右：ムラサキウニが多い(22m付近)

b) 平成29年11月30日調査

調査水深は-1.5～0.3 m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ホンダワラ類幼体, アミジグサ科）、緑藻（ボウアオノリ, アオサ科）、紅藻（オバクサ, テングサ科, ピリヒバ, ウスカワカニノテ, ムカデノリ科, 無節石灰藻）であり、藻場の形成は見られなかった。

ホンダワラ類の幼体を82m, 116～130mで確認した、平成28年度は5～70mでも確認されたが、今年度は確認されなかった。

浮泥堆積物はほとんどなかった。

ウニ類は平成28年度と同様、転石帯で多く確認された（32m地点：ムラサキウニ8個/m²）（図15）。

巻貝類は平成28年度と同様、一部で多く確認された（5m地点：84個/m², 32m地点：12個/m²）が、他は少なかった（0～4個/m²）。

ウニ類…32m：ムラサキウニ 8個/m²

巻貝類…5m：84個/m², 17m：4個/m², 32m：12個/m²



図15 ホンダワラ類の幼体を確認(左：130 m), ウニ類が多い(右：110 m)

(2) 浜尻ヶ水地先

a 竹山下（図2参照）

a) 平成29年7月20日調査

調査水深は-0.2～4.1 m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（コブクロモク, コナフキモク）、紅藻（テングサ科, トサカノリ, ウスカワ

カニノテ, カニノテ, ヒメモサズキ, ピリヒバ, 無節石灰藻)であった。

ヒイラギモク, コブクロモク, コナフキモクの混成藻場が基点から48~50mに, コナフキモク, コブクロモクの混成藻場が87~93m, 100~112mに確認されたが, 密度は低かった(図16)。また 5mの転石帶にコナフキモク, 20mの岩上にコブクロモクが散見された。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類は0, 5, 75mで20~28個/m²で平成28年度より多かった。

巻貝類は75mで20個/m², それ以外は0~4個/m²で, 平成28年度より多かった。

ウニ類… 0 m : ムラサキウニ 20個/m², ナガウニ4個/m², 5 m : ムラサキウニ 20個/m²,

75m : ナガウニ8個/m², タワシウニ 20個/m²

巻貝類… 75 m : 20個/m², 100 m : 4個/m², 115m : 4個/m²



図16 コナフキモク, コブクロモクが繁茂(左 : 87m, 右 : 100m)

b) 平成29年11月30日調査

調査水深は0.0 ~4.4 m (潮位換算後) であった。

出現種は褐藻(ホンダワラ類幼体, ヤハズグサ類, アミジグサ類), 紅藻(オバクサ, テングサ類, イバラノリ属, ピリヒバ, ウスカラカニノテ, ヒメモサズキ, カニノテ, 無節石灰藻)であり, 藻場の形成は見られなかった。

ホンダワラ類の幼体を基点から0, 5, 27, 37, 100mで確認した(図17)。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類は0~12個/m²で平成28年度より少なかった。

巻貝類は0~8個/m²。平成28年度は0mでのみ確認された (16個/m²) が, 今年度は0, 5, 37, 100mで確認された。

ウニ類… 0 m : ムラサキウニ 12個/m², 5 m : ムラサキウニ8個/m², 100m : タワシウニ8個/m²

巻貝類… 0 m : 8個/m², 5m : 8個/m², 37m : 4個/m², 100m : 4個/m²

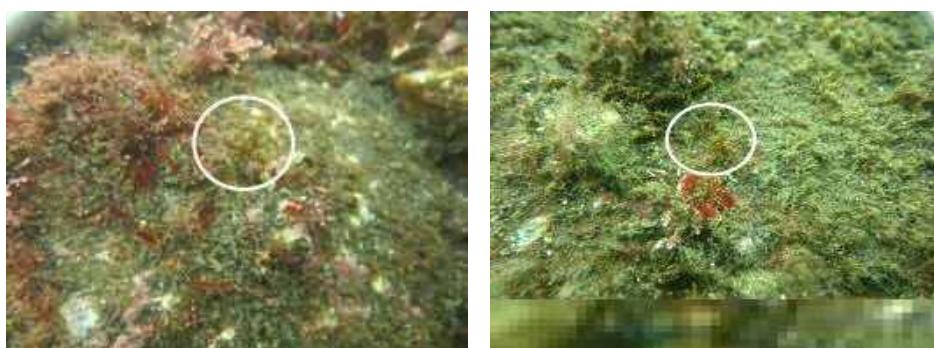


図17 ホンダワラ類の幼体を確認 (左 : 5m, 右 : 37m)

b 浜児ヶ水沖 (図2参照)

a) 平成29年7月20日調査

調査水深は-0.1～3.9m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（コブクロモク、コナフキモク、ヘラヤハズ）、緑藻（ヒメイチョウ）、紅藻（スジムカデ、マクサ、テングサ類、小型紅藻、ピリヒバ、ウスカワカニノテ、ヒメモサズキ、無節石灰藻）であった。

コブクロモクの藻場が基点から32～77m、100～143mに形成され、平成28年度より範囲が広く、食害も少なかった。食害は瀬の上部の方に生えているものに多かった（図18）。

浮泥堆積物は0mのみ多く、他は少なかった。

ウニ類及び巻貝類は平成28年度と同様に確認されなかった。



図18 左：食害にあった藻体(58m付近)、右：コブクロモクが繁茂(134m付近)

b) 平成29年11月30日調査

調査水深は0.5～3.8m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ホンダワラ類幼体）、紅藻（テングサ類、ウスカワカニノテ、ピリヒバ、無節石灰藻）であり、藻場の形成はみられなかった。

ホンダワラ類の幼体を基点から20, 37, 58, 72, 100～143mなど所々で確認した。58, 72mでは数が多く（図19）。

浮泥堆積物は152mで多く、他は少なかった。

ウニ類及び巻貝類は平成28年度と同様に確認されなかった。



図19 ホンダワラ類の幼体を確認（左：58m付近、右：72m付近）

(3) 赤水鼻地先

a 児ヶ水定置横 (図2参照)

a) 平成29年7月20日調査

調査水深は-0.7～6.7m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（マメタワラ、シマオオギ、シワヤハズ、アミジグサ類）、緑藻（ナガミル）、紅藻（オバクサ、テングサ科、イバラノリ、アヤニシキ、糸状の紅藻、ウスカワカニノテ、ガラガラ、無節石灰藻）であった。

昨年度はホンダワラ類は確認されなかったが、今年度は0、30、46mでホンダワラ類を確認した。ソフトコーラルは平成28年度と同様、10m付近で多く確認された（図20）。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類は0～8個/m²と平成28年度より少なかった。

巻貝類は平成28年度と同様、数地点で確認され、個体数が多い箇所があった。

ウニ類… 40m : タワシウニ 4個/m², 60m : ガンガゼ 8個/m², 80m : ガンガゼ4個/m²

巻貝類… 20m : 8個/m², 60m : 20個/m², 80m : 72個/m², 120m : 4個/m², 140m : 28個/m²

150m : 4個/m²



図20 ホンダワラ幼体を確認（左:46m）、ソフトコーラルが多い（右:10m）

b) 平成29年11月30日調査

調査水深は-0.7～7.0m（潮位換算後）であった。

出現種は褐藻（ホンダワラ類幼体、シマオオギ、ウスユキウチワ、アミジグサ科）、紅藻（オバクサ、テングサ科、ユカリ、ウスカワカニノテ、ピリヒバ、ヒメモサズキ、無節石灰藻）であり、藻場の形成は見られなかった。

ホンダワラ類の幼体を基点から20、40mで確認した（図21）。

ソフトコーラルは平成28年度と同様、5～20mで多く確認された。

浮泥堆積物は全体的に少なかった。

ウニ類は平成28年度と同様に、数地点で確認された（0～16個/m²）。

巻貝類は0～24個/m²と平成28年度より少なかった。

ウニ類… 40m : ナガウニ 4個/m², 80m : ガンガゼ 16個/m², 120m : ラッパウニ 4個/m²,

140m : タワシウニ 4個/m²

巻貝類… 80m : 24個/m², 140m : 12個/m²



図21 左：ホンダワラ類の幼体を確認（20m）、右：ウスユキウチワ、テングサ類等(100m)

2 藻場の維持、回復手法の指導

南大隅町佐多間泊（図3参照）

1) 平成29年6月12日（遮光シート設置）

佐多岬地区藻場保全活動組織が、間泊港内に4m×50mの遮光シートを設置。シートを設置した箇所とその周囲にはソフトコーラルとカギケノリが多く繁茂していた（図22）。



図21 左：遮光シート設置状況、右：設置箇所の状況、設置箇所付近の状況

2) 平成29年10月26日

(1) 遮光シート追跡調査（遮光シート撤去から136日経過）

9月7日に撤去した遮光シートの追跡調査について、遮光シート設置区ではソフトコーラルは見られず、海藻被度は50～100%であった（図22）。これに対し、遮光シート非設置区では1ヶ所のみソフトコーラルが見られなかったものの、他は被度が70～80%，海藻被度は20～50%と設置区より低かった（図23）。

平成27、28年度の調査結果からしても、遮光シートによるソフトコーラル駆除は有効であり、基質にソフトコーラルが発生する前に、ホンダワラ類の幼胚を播種することで藻場造成が可能と思われた。



図22 遮光シート設置区の状況（調査した4ヶ所ごとの状況）

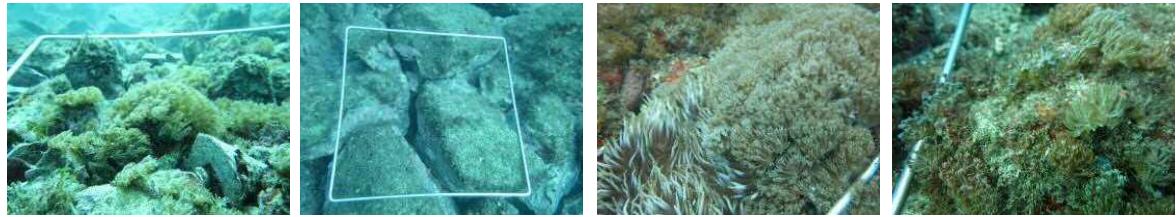


図23 遮光シート非設置区の状況(調査した4ヶ所ごとの状況)

(2) 磯掃除追跡調査(磯掃除実施から44日経過)

佐多岬地区藻場保全活動組織が間泊港内で9月4及び6日に実施した磯掃除について追跡調査を実施。

磯掃除区ではソフトコーラルは見られず、海藻被度は70～80%であったのに対し(図24)、磯掃除非実施区ではソフトコーラルの被度は5～50%，海藻被度は10～30%であり(図25)、磯掃除についてもソフトコーラルを駆除する手法として有効であると思われた。



図24 磯掃除実施区の状況(調査した4ヶ所ごとの状況)

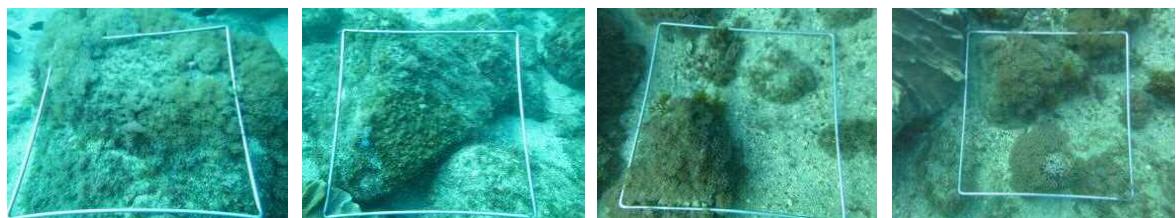


図25 磯掃除非実施区の状況(調査した4ヶ所ごとの状況)

奄美等水産資源利用開発推進事業 (沿岸域資源利用開発調査－磯根資源開発調査)

高杉朋孝, 猪狩忠光

【目的】

奄美海域においてホンダワラ藻場(ガラモ場)の造成手法を開発し、奄美群島の水産資源増殖に資する。

【方法】

調査・試験地は、内湾性藻場を瀬戸内町嘉鉄、リーフ性藻場を奄美市笠利町佐仁、用とした(図1)。

* 内湾性藻場：

波当たりの弱い内湾に形成される藻場。

底質は人頭大の石が混じる砂地で、リーフ性藻場に比べて構成種は少なく、主にマジリモクで構成される場所が多く見られる。主に3～4ヶ月にかけて成熟し幼胚を放出する。

* リーフ性藻場：

リーフ内に形成される藻場

底質はサンゴ由来の岩盤で、薄く砂(有孔虫やその死骸等が由来)が被っている。

キレバモク、チュラシマモクなど8～10種で藻場が構成され、7～9月に成熟し幼胚を放出する。藻体は周年確認できるが、毎年伸長して藻場を形成するとは限らない。



図1 試験地

1 モニタリング調査

1) 環境(水温・水質)調査

嘉鉄、佐仁、用に水温ロガー(オンセット社製小型防水式自動計測器：ティドビットv2)を設置し、1時間毎に水温測定を行った。また、調査の際に採水したものを持ち帰り、水質分析を行った。

2) 天然藻場調査

佐仁、用の天然藻場において、ホンダワラ類の藻長、着生密度の調査・測定を行った。

2 小規模藻場造成試験

内湾性藻場における核藻場型造成試験(嘉鉄)

* 核藻場：藻場を維持するに足る種苗(胞子や幼胚等)を供給できる最小単位の海藻群落

1) 階段状藻礁におけるステンレス籠設置試験

嘉鉄においては平成27年3月に階段状の基質(基質面の高さ－1段目：42 cm, 2段目：36 cm,

3段目: 30cm, 4段目: 18cm, 5段目: 12cm×2面, 以下, 階段状藻礁と呼ぶ)を設置したが, これまで核藻場は形成されていない。この原因として, 植食性生物による食害の影響が考えられ, それを確認するため, 平成29年4月に階段状藻礁の4段目的一部に, ステンレスの籠(縦20cm×横20cm×高さ20cm, 目合7mm, 以下, ステンレス籠と呼ぶ)を設置(図2)。籠内と籠外のマジリモクの幼体(藻体)について平成30年1月まで追跡調査を行った。

2) 階段状藻礁におけるポリエチレンネット設置試験

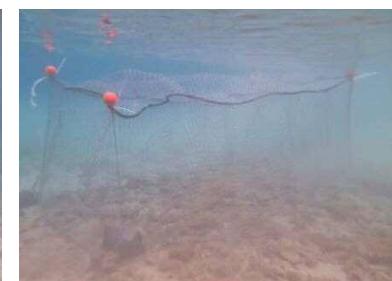
平成30年1月30日に1)のステンレス籠を撤去し, 同日に階段状藻礁全体を覆うポリエチレン製のネット(縦2m×横4m×高さ2m, 目開き5cm 上部は浮きロープを使用し四隅にフロートを設置, 底部は沈みロープを使用し四隅をサンドバッグで固定)を設置した(図3)。ネット内にある山石とネット外の山石に着生しているマジリモクの幼体(藻体)について3月末まで追跡調査を行った。

3) 西側転石地帯におけるポリエチレンネット設置試験

嘉鉄の西側の転石地帯には平成27年4月に母藻を入れたサンドバッグの設置によりキレバモクが定着しているが, 数cm程度しか藻体が伸びないことから, 食害の影響を確認するため, 平成30年1月30日に転石地帯の一部にポリエチレン製のネット(縦2m×横4m×高さ1.5m, 以下, 2)の網と同様)を設置した(図4)。ネット内にある山石とネット外の山石に着生している藻体について3月末まで追跡調査を行った。



図2 ステンレス籠設置状況

図3 ポリエチレンネット設置状況
(階段状藻礁)図4 ポリエチレンネット設置状況
(西側転石地帯)

3 食害対策試験

1) 食害防除試験

おとり海藻(モズク)による食害圧分散試験

佐仁にモズク網を設置することで, リーフ性藻場を構成するホンダワラ類に対する植食性魚類への食圧を軽減できないか検証するため, 同町のモズク業者からモズクが約20cmに繁茂した1.5m×18mの網2枚を購入し, それぞれを5等分ずつにし, 佐仁に設置した。

2) 植食性生物の特定調査

リーフ性藻場における植食性生物を特定するため, 1)で設置したモズク網及びその周辺にインターバルカメラ(KINGJIM: recolo IR7)(図5)を設置し, 植食性生物が藻体を摂餌する様子を撮影した。撮影は1分間インターバルとし, 6月2日に設置した。



図5 インターバルカメラ

【結果及び考察】

1 モニタリング調査

1) 環境(水温・水質)調査

水質について、佐仁、用の直近10年間におけるリーフ性藻場の栄養塩(無機態リン、無機態窒素)の変動を図6、7に示す。また、藻場を形成した年と、形成しなかった年それぞれの無機態リン及び無機態窒素の平均濃度を図8、図9に示す。佐仁の無機態リンについては、非形成年が形成年と比べて高い傾向が見られたが、用ではその傾向は見られなかった。また無機態窒素については佐仁、用とも傾向は見られなかった。

これらのことから、水質と藻場形成についての関係性は確認できなかった。

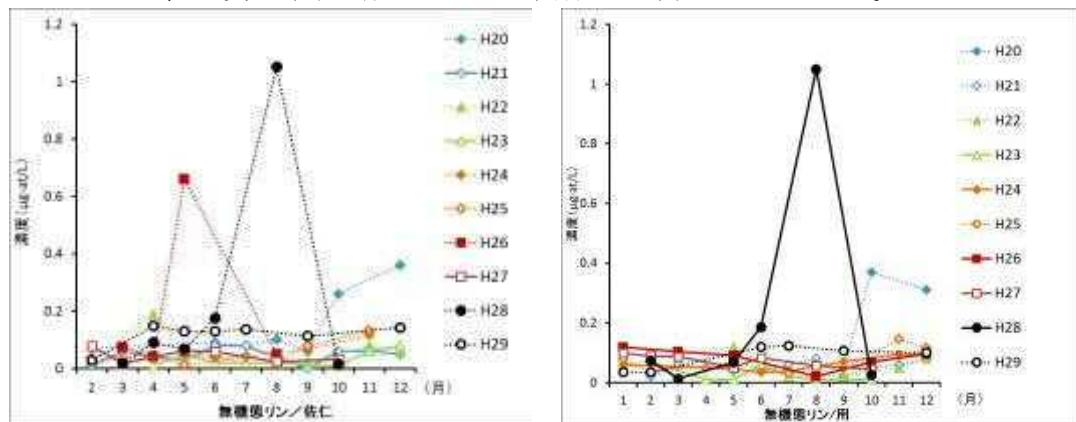


図6 各調査地における無機態リン濃度(左：佐仁、右：用)(年別)

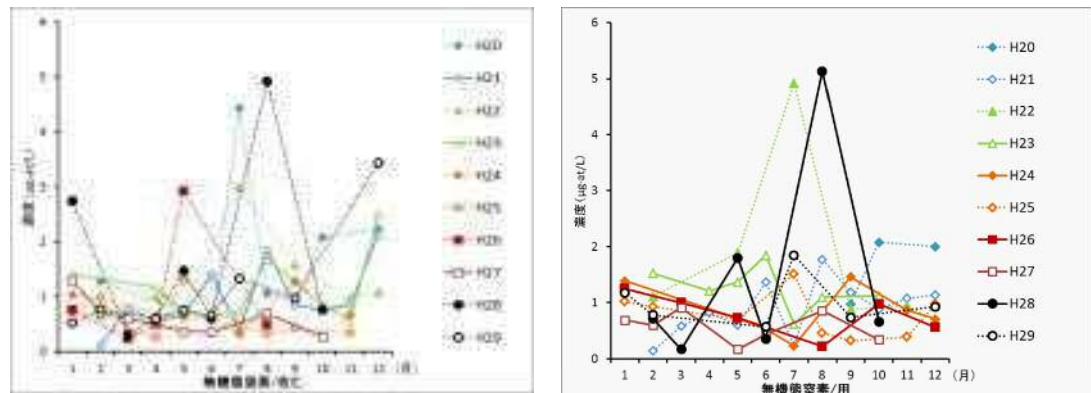


図7 各調査地における無機態窒素の濃度(左：佐仁、右：用)(年別)

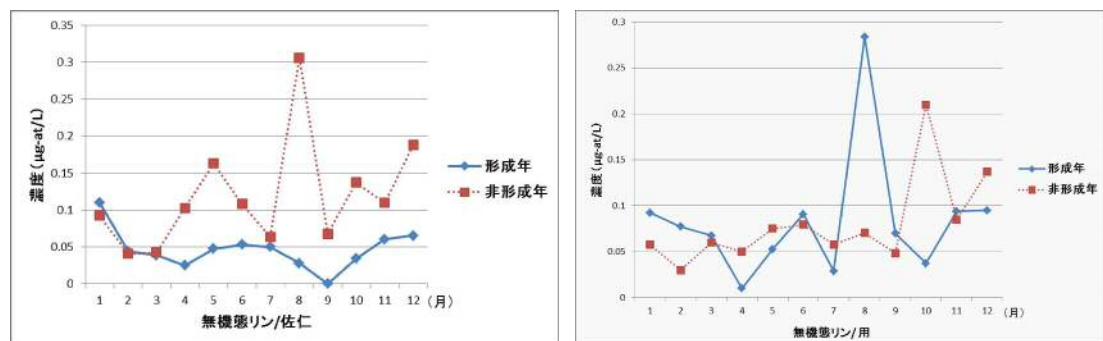


図8 藻場形成年と非形成年の無機態リンの平均濃度(左：佐仁、右：用)

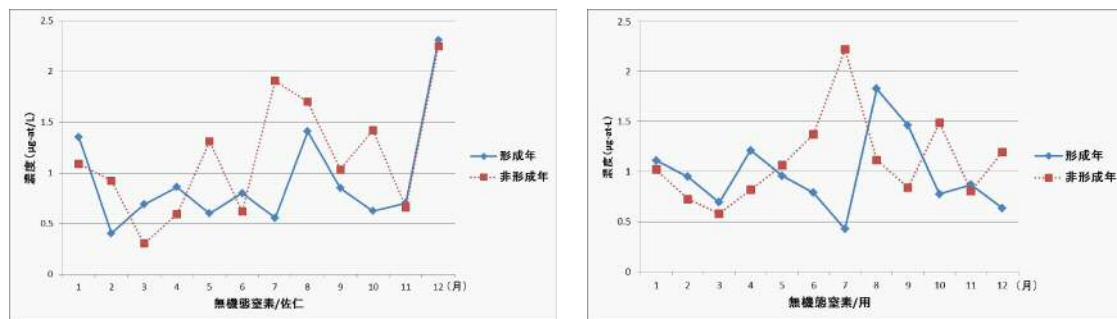


図9 藻場形成年と非形成年の無機態窒素の平均濃度(左：佐仁，右：用)

次に、平成20年度以降の佐仁、用の藻場形成年と非形成年の日間平均水温について図10に示す。これによると、1月1日から3月31日にかけて、藻場形成年は非形成年に比べて水温が低い傾向が見られた。

そこで、この期間の形成年と非形成年の水温について解析を行ったところ、佐仁、用とともに有意な差があることが確認された(Welchのt検定、 $P < 0.05$)。この期間における各年の平均水温を、形成年を○、非形成年を×としてプロットしたところ、佐仁では20.0°C未満、用では20.3°C未満であれば藻場が形成される可能性が高いと考えられた(図11)。

これについては、これまで本事業においてリーフ性藻場形成の阻害要因として植食性魚類による食害の影響を上げているが、20°C前後が植食性魚類の摂餌活性の高低の境になっていると考えられた。

また、この期間の水温を把握することで、その年の夏の繁茂期に藻場が形成されるか否かの予測手法として使用できる可能性があると考えられた。

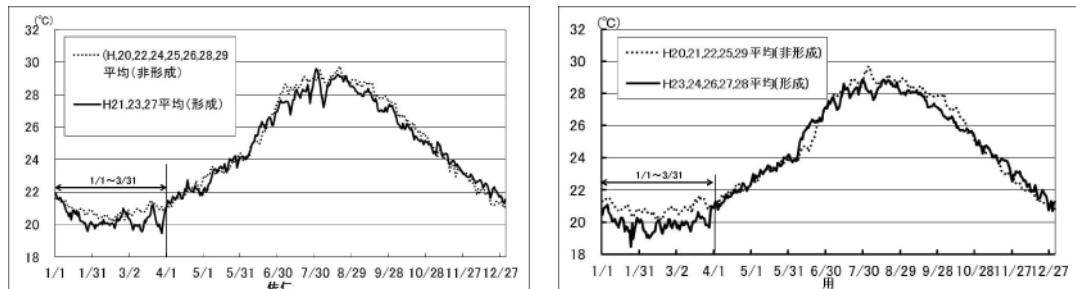


図10 藻場形成年と非形成年の日間平均水温の比較(左：佐仁，右：用)

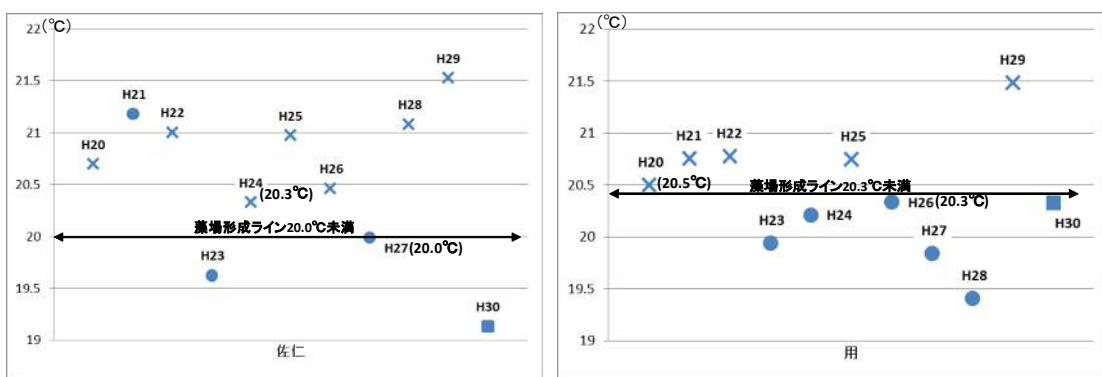


図11 各年の1/1～3/31の平均水温(左：佐仁，右：用)

※平成30年の平均水温は1/1～3/29の値

2) 天然藻場調査

佐仁、用における藻場の形成状況を表1に示す。

表1 佐仁・用における藻場形成状況(○：形成年、-：非形成年)

年度	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
佐仁(西海岸)	-	○	-	○	-	○	-	○	-	○	-	○	-	-	-	○	-	-
用(東海岸)	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	○	○	-	○	○	○	-

a. 佐 仁

佐仁(岸側)における平均藻長の推移を図12に示す。

佐仁はほぼ隔年で藻場が形成されていたが、平成21年以降は藻場形成年と非形成年との藻長差が小さくなっている。

平成29年度は、6月の平均藻長が3.1cm(岸:3.2cm、沖:3.0cm)、7月の平均藻長が1.6cm(岸:1.2cm、沖:1.9cm)であり、藻場は形成されなかった(図13)。

藻体には食害痕が確認され、平成28年度から設置している目開き6cmまたは7cmのステンレスネット(96cm×96cm×8cm)の内部でのみ伸長していたことから食害の影響と考えられた(図14)。

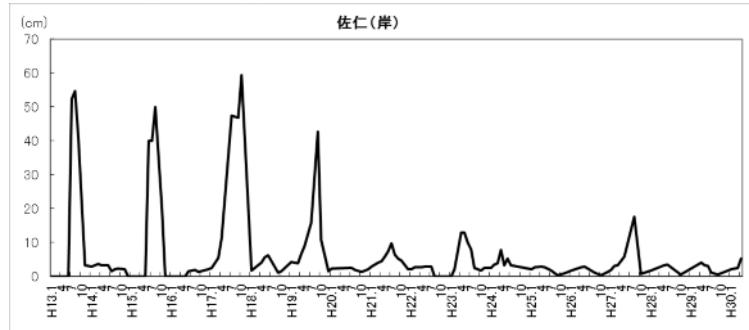


図12 佐仁(岸側)における平均藻長の推移



図13 佐仁の藻場非形成状況(H29. 7. 5)



図14 ネット内の藻体の状況(H29. 7. 5)

b. 用

用(岸側)における平均藻長の推移を図15に示す。

用は佐仁と異なり、藻場が不定期に形成されている。

平成29年度は、6月の平均藻長が3.7cm(岸:4.3cm、沖:2.9cm)、7月の平均藻長が2.4cm(岸:3.5cm、沖:1.1cm)であり、藻場は形成されなかった(図16)。佐仁と同様、藻体には食害痕が確認され、食害の影響が考えられた。

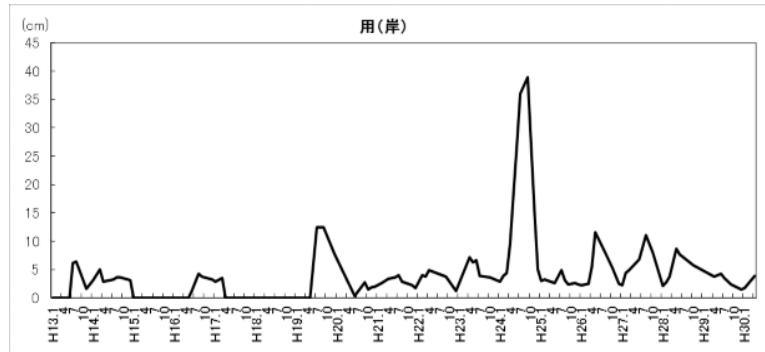


図15 用(岸側)における平均藻長の推移



図16 用の藻場非形成状況(H29. 7. 5)

2 小規模藻場造成試験

内湾性藻場における核藻場型造成試験(嘉鉄)

1) 階段状藻礁におけるステンレス籠設置試験

籠を設置した階段状藻礁4段目の試験開始時の平均藻長は平均2.8cm(無作為に抽出した10本の平均)。試験終了時の籠外の藻長は平均2.8cm(最高3.7cm, 最低2.2cm), 篠内の藻長は平均9.4cm(最高15.3cm, 最低3.7cm)で籠内が有意に長かった(Welchのt検定 $P < 0.05$, 図17(左))。また、籠内では食害痕が見られなかったのに対し、籠外では食害痕が見られた(図18, 19)。

なお、7月4日の調査では籠内にのみ生殖器床が確認された(図20)。

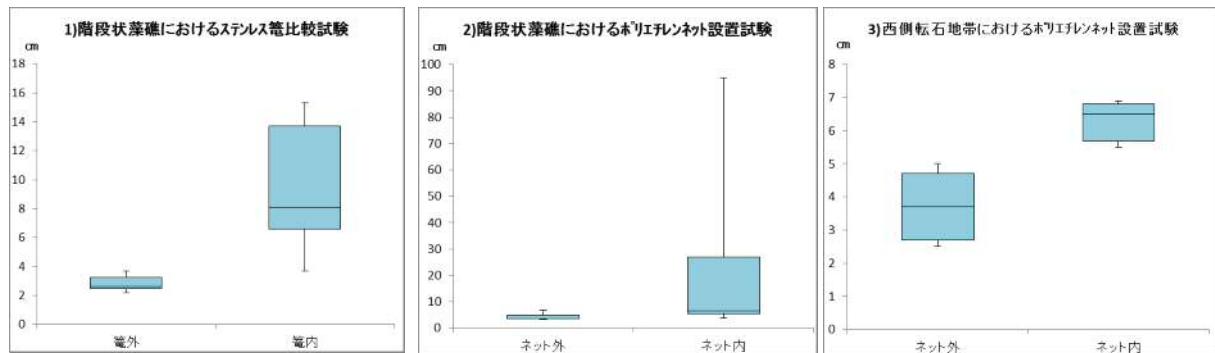


図17 各試験の試験区と対照区の試験終了時の藻長の比較

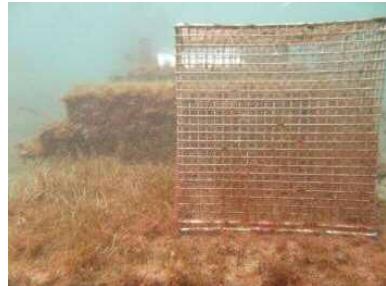


図18 試験終了時の籠の設置状況(左)と撤去後の状況(右)



図19 食害状況(籠外)



図20 生殖器床(籠内)

2) 階段状藻礁におけるポリエチレンネット設置試験

試験開始時のネット外、ネット内の平均藻長はそれぞれ1.8cm, 1.3cm。試験終了時のネット外の藻長は平均4.4cm(最高6.8cm, 最低3.4cm), ネット内の藻長は平均24.3cm(最高95cm, 最低3.8cm)でネット内が有意に長かった(Welchのt検定 $P < 0.05$, 図17(中))。ネット内の95cmと45cmの藻体には気泡が形成されており、それ以外には気泡は形成されていなかった。ネット外の藻体には食害痕が見られた(図21)。



図21 (左)(中)試験終了時のネット内の状況、(右)ネット外で見られた食害痕(H30. 3. 29)

3) 西側転石地帯におけるポリエチレンネット設置試験

試験開始時のネット外、ネット内の平均藻長はそれぞれ1.9cm, 2.3cm。試験終了時のネット外の藻長は平均3.7cm(最高5.0cm, 最低2.5cm), ネット内の藻長は平均6.3cm(最高6.9cm, 最低5.5cm)でネット内が有意に長かった(Welchのt検定 $P < 0.05$, 図17(右))。②と同様、ネット内の藻体にのみ気泡が形成されていた(図22)。



図22 (左)(中)試験終了時のネット内の状況、(右)ネット外の状況(H30. 3. 29)

4) まとめ

瀬戸内町嘉鉄は、同町白浜で過去に成功した核藻場造成試験の実証試験地として、平成26年度に食害の確認試験を行い、食害の影響がないことを確認した上で、平成27年度から試験が開始された。

しかし、1), 2), 3)の結果から、瀬戸内町嘉鉄においてマジリモク、キレバモクとともに伸長しない要因は食害の影響が大きく、籠やネットで囲いをすれば、藻体が伸長することが確認された。このことから、過去には食害の影響がなかった地域においても、食害を受けるようになったことが考えられ、藻場造成を実施する際には食害対策も併せて検討する必要があると思われた。なお、本試験で設置したネットについては流失や破損はなく、また浮力や水交換を妨げるほどの付着物もつかず、試験期間中は安定しており、内湾で1シーズン(成熟に向けて伸長し始める1月頃～成熟して幼胚を放出し藻体が枯れる5月頃まで)使用するには耐久性の問題はないと思われた。

3 食害対策試験

1) 食害防除試験

おとり海藻(モズク)による食害圧分散試験

5月18日に設置していたモズク網を6月2日に調査したところ、時化等により網がばらばらになっているものもあったが、モズクへの大きな食害は見られず、設置時と変わらず20cmの藻長を保っていた。しかし、7月5日に行った調査では、モズクは消失しており、モズク網を設置した箇所のホンダワラ類も伸長していなかった(図23)。原因は波浪によるちぎれと後述するテングハギ等の植食性魚類による食害と思われた。このことから、本試験程度での規模の設置では

ホンダワラに対する食害圧分散としての機能は果たさないことが把握された。

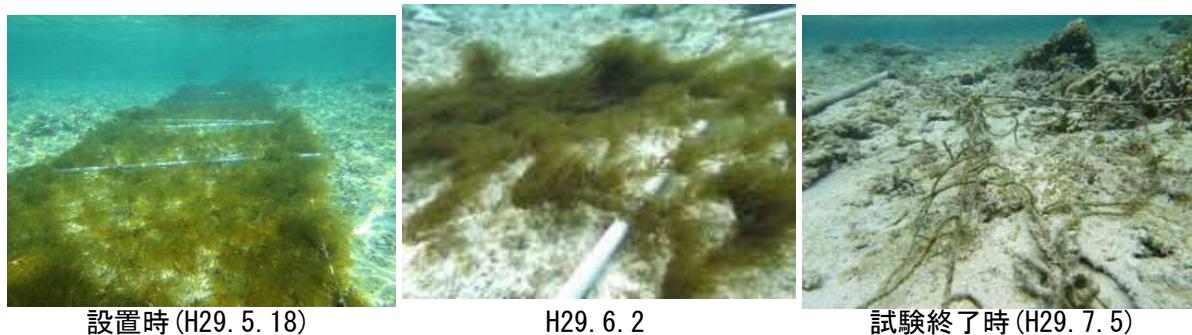


図23 設置したモズクの状況

2) 植食性生物の特定調査

佐仁に平成29年6月2日にカメラを設置し、7月4日にカメラを回収した。今回の調査では設置から4日間程度の海中の様子を撮影することができ、平成28年度と同様、テングハギ、アイゴ、ムラサメモンガラが撮影された。

上記3種の撮影状況を表2に示す。テングハギが最も頻繁に出現し、モズクを摂餌している様子も撮影された(図24)。午後から撮影が始まった6月3日を除くと、6月4日から6日はいずれも午前、午後とも撮影され、午前は概ね日の出から2時間以内の比較的早い時間帯に撮影された。

アイゴは、海藻の種類は特定できないが、摂餌する様子が撮影された(図25)。

ムラサメモンガラについては、摂餌している様子は撮影されなかった。

また、テングハギについては平成30年3月30日のモニタリング調査中の10時45分に、ホンダワラ類を摂餌しているところを目視で確認した(図26)。

これらのことから、テングハギ、アイゴがリーフ性藻場における植食性生物の一種であり、そのうちテングハギについては過去の本事業でも多数確認されていることから、特に食圧が大きいと考えられた。また、同種のインターバルカメラによる撮影では連続した4日間で午前、午後とも比較的同じ時間帯に撮影されたことから、今後、駆除することを検討するとすれば、その際の一つの材料になると思われた。

表2 インターバルカメラによる植食性魚類の撮影状況

魚種	撮影日	時刻	撮影枚数
テングハギ	6月3日	15時37分～15時42分	3枚
		6時34分～7時51分	3枚
	6月4日	14時26分	1枚
		5時56分～7時19分	4枚
	6月5日	16時13分	1枚
		6時33分～7時38分	5枚
		15時10分～16時15分	7枚
アイゴ	6月5日	16時8分, 16時14分	2枚
ムラサメモンガラ	6月4日	11時47分, 12時12分	2枚
	6月5日	15時54分	1枚



図24 テングハギ(H29. 6. 6 15:10)



図25 アイゴ(H29. 6. 5 16:14)



図26 テングハギ(H30. 3. 30 10:15)

○今後の課題

これまでの試験結果から、奄美海域においては、植食性生物による食害が藻場形成を阻害する大きな要因となっていると考えられた。このため、漁業者等が藻場造成を行う際には、食害対策も併せて行うことが必要であり、より広大な藻場を造成するためには、作業性、価格、耐久性等の面でより効率的かつ広範囲に食害を防除する手法の技術開発が必要であると思われた。

内水面漁業総合対策研究－I (内水面魚病対策推進事業：魚介類の異常へい死)

中島広樹，宮田翔也，柳 宗悦，福留慶

【目的】

県内の湖沼河川で発生する魚介類の異常へい死事故に対し、魚病診断等により原因究明とその対策についての指導を行う。

【結果】

今年度は異常へい死事故の発生はなく、魚病診断等は行っていない。

内水面漁業総合対策研究－Ⅱ (アユ資源増殖技術開発事業)

高杉朋孝, 猪狩忠光, 平江多績

【目的】

アユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)の産卵場造成手法を検討することにより、資源の維持増大及び持続的利用を図る。

【材料及び方法】

1 調査場所

調査場所は、主に、天降川の中流域とし、天降川と霧島川の合流点(河口から約9km)から泉帶橋下流の堰周辺(河口から約6km)までの約3kmとした(図1)。

St. Aは日当山天降川漁業協同組合の鹿内共第13号第5種共同漁業権行使規則によってアユの産卵保護区の下流側境界であり、平成27, 28年度調査にてアユの産着卵を確認した地点である。St. Bは泉帶橋の真下であり、平成28年度調査にてアユの産着卵を確認した地点である。St. Cは泉帶橋から約300m下流の州が形成された地点であり、州の河川中央側をSt. C1, 右岸と州の間の上流側をSt. C2, 左岸と州の間の下流側をSt. C3とした。St. C1は平成27, 28年度調査にて、St. C3は平成26年度にてアユの産着卵を確認した地点である。なお、St. AからSt. C(1, 2, 3)の各調査地点は潮汐の影響を受けない地点である。

また、平成29年10月11日に新燃岳が噴火し、調査河川に濁りが見られたことから、その影響を確認するため、霧島市霧島総合支所から約2km下流の地点から泉帶橋下流の堰までの6地点を定点として調査した(図2)。

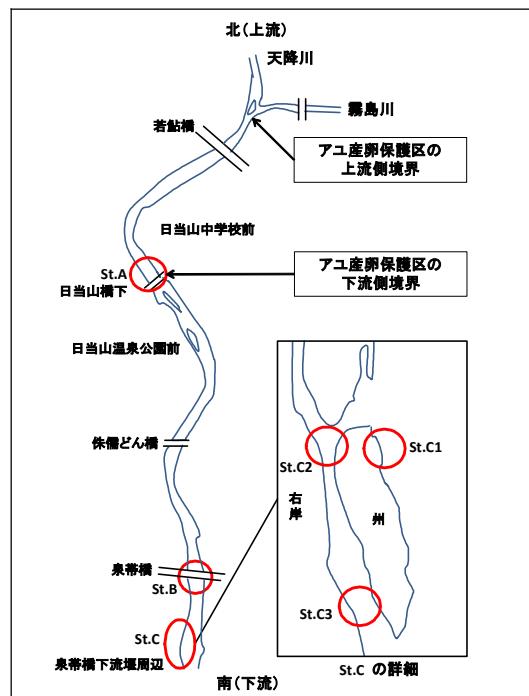


図1 アユ産卵状況等調査位置図



図2 新燃岳噴火のアユへの影響調査位置図

2 調査方法

1) 産卵状況等調査

調査場所、調査状況の写真を図3に示す

St. AからSt. C(1, 2, 3)において、ショベルによって河床表層から約15cm下までの砂礫等を採取し、バットに広げて目視する方法と水中メガネを用いて直接河床を目視する方法により、産着卵の確認を行った。また、流速、水深、河床状況も併せて調査した。流速は電磁流速計(電磁式：JFEアドバンテック社製 AEM1-D)，水深はコンベックスを用いて測定した。河床状況は、産着卵調査の際に河床状況を目視するとともに調査地点を踏み歩き、浮き石状態¹⁾かどうかを確認した。

調査はSt. AからSt. Cは10月17日、25日、11月9日、17日、20日、12月4日、14日、25日、1月16日の計9回実施した。

また、11月17日は、天降川と霧島川の合流点から約700m上流の湯田橋(天降川)から、ホテル京セラまでの約5kmの区間をシュノーケリングにより、産卵状況や水深、流速、河床状況の調査を泳ぎながら行った。



St. A 日当山橋直下



St. B 泉帯橋直下



St. C1 泉帯橋下流堰



St. C2 泉帯橋下流堰近くの州上流



St. C3 泉帯橋下流堰近くの州下流



ショベルによる調査状況



水中メガネによる調査状況



シュノーケリングによる調査状況

図3 調査場所、調査状況

2) 産卵保護区機能評価

1) の調査の際に、産卵保護区(霧島川と天降川の合流点から日当山橋までの区間)の産卵場としての機能性を確認した。

3) 産卵場造成試験

(1) 産卵場造成

1) の調査において、産卵に適した環境¹⁾ (以下、産卵環境条件※とする) に概ね適合することが確認されたSt. C3において産卵場造成を行った。11月17日に人力で5m×20mの範囲のはまり石や大石を取り除くとともに耕耘を行った。

※産卵環境条件(水深：10～60cm, 流速：60～120cm/秒, 河床：礫の大きさが0.5～3cmで砂を被っておらず浮き石状態)

(2) 産卵状況調査

造成箇所において、11月20日, 12月4日, 14日, 25日, 1月16日の計5回、産卵状況を調査した。

4) 産卵親魚調査

11月1日から12月13日にかけて計5回、1回当たり20～30尾の天然アユを日当山天降川漁協から購入し、生殖腺指数 (GSI：生殖腺重量/体重×100) を調べ、成熟状況の確認を行い、産卵状況の目安にするとともに、過去の成熟状況との比較を行った。

5) 新燃岳噴火のアユへの影響調査

10月17日, 25日, 11月1日, 9日, 20日, 12月4日, 14日, 25日, 1月16日, 3月1日, 3月13日の計11回、影響調査を実施した。

11月20日までは図2に示す6定点で、12月4日以降はSt. 1, St. 5, St. 6に集約して濁りの状況確認、水温, DO, pH, SS等の水質測定を行った。

3. 結果及び考察

1) 産卵状況等調査

調査期間中のSt. C1の水温の推移を図4に、調査結果を表1に、産着卵(以下、卵とする)、河床状況等の写真を図5に示す。

アユは水温が20°C以下になると産卵が始まる²⁾が、10月17日から11月20日にかけての調査では、卵が確認されず、調査した箇所で卵が確認されたのは12月4日, 14日, 25日であった。

St. Aでは、中央から少し左岸寄りの場所で12月4日, 14日, 25日に卵を確認した。卵が確認された石は0.5～3cm未満のものが多かったが、直径10cm程度の石にも卵が確認された。St. B, St. Cでも卵が確認されたが、St. Aで確認された卵が最も多かった。14日, 25日の調査では発眼卵も確認され、14日と比べて25日の方が発眼卵の割合が高かった。卵が確認された場所の流速は産卵環境条件よりも速く、水中メガネによる目視調査では卵が付着した石が、見ている間に流されていくほどであった。水深は産卵環境条件に適合しており、河床の状況は0.5～3cm未満の石の割合が多く、立っているだけで崩れるほどの浮き石状態であった。卵が確認されなかった中央部より右岸側は水深、流速は左岸側とほぼ同じような環境であったが、はまり石が多く、河床が固く締まっていた。

St. Bでは泉帶橋の下流側で12月14日に局所的に卵を確認し、一部は発眼卵であった。卵の数はSt. A, St. Cと比べて少なかった。水深、流速は産卵環境条件内であったが、河床は、はまり石が多く全般的に固く締まっていた。3cm以上の石の割合も高かったが、卵が確認された場所は3cm未満の石の割合が高く、浮き石状態であった。

St. C1では12月14日、25日に卵を確認した。14日、25日とも発眼卵が確認され、14日と比べて25の方が発眼卵の割合が高かった。水深、流速は概ね産卵環境条件内で、河床は固く締まっている場所もあったが、卵が確認された場所は浮き石状態であった。

St. C2では卵は確認されなかった。水深は産卵環境条件内であったが、流速は産卵環境条件より遅い場所があった。河床は、3cm未満の石の割合が高く、浮き石状態の場所もあったが、卵は確認されなかった。

St. C3は11月17日に、はまり石や大石の除去と耕耘による産卵場造成を行った場所であるが、卵を確認することはできなかった。水深は概ね産卵環境条件内であったが、12月14日、25日には造成時よりも水位が下がっており、一部で水深が10cm未満の場所も確認された。流速は概ね産卵環境条件に適合していたが、産卵環境条件より遅い場所があった。河床は、3cm未満の石の割合が高く、浮き石状態であったが、卵は確認されなかった。

11月17日にシユノーケリングで行った調査では、調査した5kmの区間で所々にアユの食み痕が確認されたが、卵は確認されなかった。日当山橋直下の右岸側など流れや水深が産卵環境条件に適合していると思われた箇所は全般的に河床が締まっていた。日当山温泉公園前は河床が柔らかく、礫の大きさも適していると思われたが、流速が遅かった。泉帶橋下流堰周辺は河床が柔らかく、流速や礫の大きさも適しており調査区間の中で最も産卵環境条件に近いと思われた。河床への灰の積もり状況は、流れが速いところにはほとんど積もっておらず、流れが遅いところには積もっていた。

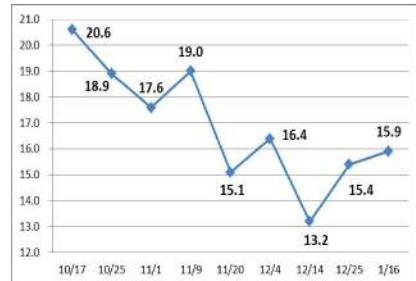


図4 St. C1の水温の推移

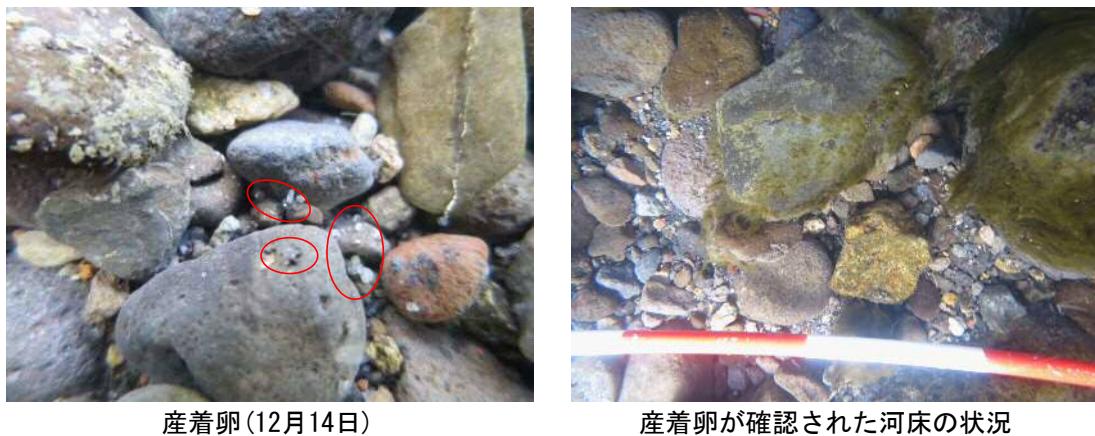
表1 産卵状況等調査結果

St	調査日	産着卵の有無	水深(cm)	流速(cm/秒)	河床状況
A	11月9日	×	13-15	109.3-115.1	
	11月20日	×	-	-	
	12月4日	○	20-22	131.7-134.1	固く締まっている場所もあるが、卵が確認された場所は立っているだけで崩れるほど浮き石状態
	12月14日	○	33-44	131.7-137.2	固く締まっている場所もあるが、卵が確認された場所は立っているだけで崩れるほど浮き石状態
	12月25日	○	30	137.8-156.3	固く締まっている場所もあるが、卵が確認された場所は立っているだけで崩れるほど浮き石状態
B	11月9日	×	24-28	-	
	11月20日	×	-	-	
	12月4日	×	17-24	69.1-98.9	全般的に固く締まっているが、一部は浮き石状態
	12月14日	○	20-26	111.5-117.1	全般的に固く締まっているが、卵が確認された場所は浮き石状態
	12月25日	×	25-27	85.1-92.2	全般的に固く締まっているが、卵が確認された場所は浮き石状態
C1	11月9日	×	28-30	103.0-126.7	
	11月20日	×	-	72.6-126.2	
	12月4日	×	21-25	93.9-111.4	全般的に固く締まっているが、一部は浮き石状態
	12月14日	○	29	107.6-136.5	全般的に固く締まっているが、卵が確認された場所は浮き石状態
	12月25日	○	22-28	104.1-113.4	全般的に固く締まっているが、卵が確認された場所は浮き石状態
C2	11月9日	×	-	91.4-131.3	
	11月20日	×	-	72.2-83.2	
	12月4日	×	12-19	54.5-77.8	立っているだけで崩れるほどではないが、浮き石状態の場所が多い
	12月14日	×	20-25	71.6-88.2	浮き石状態
	12月25日	×	17-23	57.1-75.8	浮き石状態
C3	11月9日	×	-	-	
	11月20日	×	-	39.0-92.5	立っているだけで崩れるほどではないが、浮き石状態
	12月4日	×	-	-	立っているだけで崩れるほどではないが、浮き石状態
	12月14日	×	17-19	78.9-94.6	立っているだけで崩れるほどではないが、浮き石状態
	12月25日	×	16-26	52.0-103.2	立っているだけで崩れるほどではないが、浮き石状態

St. A



St. B



St. C1



図5 各調査点での産着卵、河床状況等写真

2) 産卵保護区機能評価

産卵保護区内で産卵環境条件に適合していた箇所は、日当山橋直下よりやや上流の左岸側のみであった。その他の場所では、流速が遅かったり、河床が固く締まっているなどで産卵環境条件に適合している箇所は確認されなかった。

日当山橋直下よりやや上流の右岸側は、河床が固く締まっていたものの、流速、水深は産卵環境条件に適合していたことから、はまり石の除去や耕耘、適度の大きさの砂利の投入を行うことにより、産卵環境条件に適合させることができるとと思われた。他県でも自然の産卵場に併設する形で人工産卵場を造成した事例があり¹⁾、日当山橋直下よりやや上流の右岸側で造成することにより、既存の産卵場所よりも、広い範囲を産卵可能な環境にすることができると思われた。

3) 産卵場造成試験

(1) 産卵場造成

11月17日に5m(幅)×20m(長さ)の範囲のはまり石や大石を取り除くとともに耕耘を行った(図6)。

(2) 産卵状況調査

造成場所のすぐ上流でアユの食み痕が確認され(図7)、アユも採捕されているが、1)のとおり、卵は確認されなかった。

これについては、河床に新燃岳噴火による灰の混ざりが確認されたこと、また造成時より水量が少なくなっており、水深が10cm未満になった部分も多くなつたことにより、産卵場所として選択されなかつたと考えられた。



図6 造成した産卵場



図7 造成場近くで確認された食み痕

4) 産卵親魚調査

過去の調査により、天降川では例年、雄は9月下旬以降、雌は10月中旬以降に生殖腺指数(GSI)が高くなり、10月下旬から11月下旬にかけて高い値を示すことが確認されている。

平成29年度におけるアユ親魚のGSIの推移を図8に示す。

雄のピークは11月27日、雌のピークは11月17日、27日であり、どちらも例年より遅かった。これについては、春の稚アユの遡上時期が例年より遅かった(地元漁協からの聞き取り調査)ことや、新燃岳噴火の影響による石への灰の付着や濁りにより、例年よりも摂餌がうまく行えず、成熟が遅れた可能性が考えられた。

12月中旬になると雄、雌ともGSIが低くなり、産卵期の終わりに近いと考えられ、12月下旬になると、アユが採捕されなくなった。12月25日に行った産卵状況調査では発眼卵の割合が高かったことから、12月下旬には産卵はほぼ終了したと考えられた。

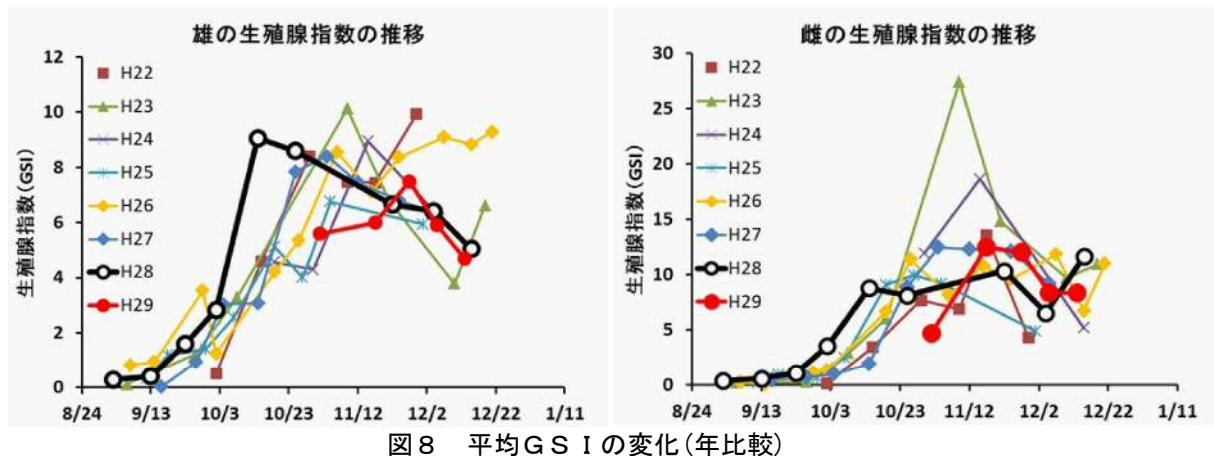


図8 平均GSIの変化(年比較)

5) 新燃岳噴火のアユへの影響調査

各定点の水温、DO、pH、SSの推移を図9に示す。

水温の最高は20.6°C(10/17, St. 6), 最低は12.0°C(12/14, St. 1)で、異常な水温変化は見られなかった。

DOの最高は12.6mg/L(12/14, St. 5), 最低は8.4mg/L(11/1, St. 1)で調査期間をとおして水産用水基準内であった³⁾※。

pHの最高は8.5(12/14, St. 5), 最低は4.7(3/1, St. 5)であった。10月17日の調査でSt. 1が4.8, St. 2が6.2と低かったが、10月25日から12月14日は概ね水産用水基準内であった。しかし、降雨の直後に行った12月25日、3月1日の調査では、それぞれ5.6(St. 1), 4.7(St. 5)と水産用水基準を下回った。岸側に貯まっていた灰が降雨により河川に流入したことによるものと思われた。

SSの最高は12,560mg/L(10/17, St. 1), 最低は2mg/L(11/20, St. 6及び3/13, St. 1)であった。10月25日から12月14日にかけて徐々に低下していくが、降雨の直後に行った12月25日、3月1日は高く、3月1日のSt. 5は5,640mg/Lであった。これもpHと同様に、岸側に貯まっていた灰が降雨により河川に流入したことによるものと思われた。

pH、SS等の水質について、3月13日時点では概ね水産用水基準内であり調査を開始した10月17日時点よりも改善されている。しかし、河岸や流れの緩やかな箇所には火山灰がまだ堆積しており、雨の直後は一時的に濁る状況である。

産卵状況調査において、昨年と同様の3箇所で卵を確認し、3月にはアユの遡上も確認されている(地元漁協からの聞き取り調査)。しかし、雨の直後は濁る状況であり、3月15日現在では未だに河床に灰が堆積している箇所もある。そのため、新燃岳噴火による影響を把握するためには、今後も、餌料環境やアユの成長、成熟状況などの調査を続ける必要があると思われた。

※水産用水基準(河川): DO サケ、マス、アユ 7mg/L以上, pH 6.7~7.5, 懸濁物質(SS) 25mg/L以下

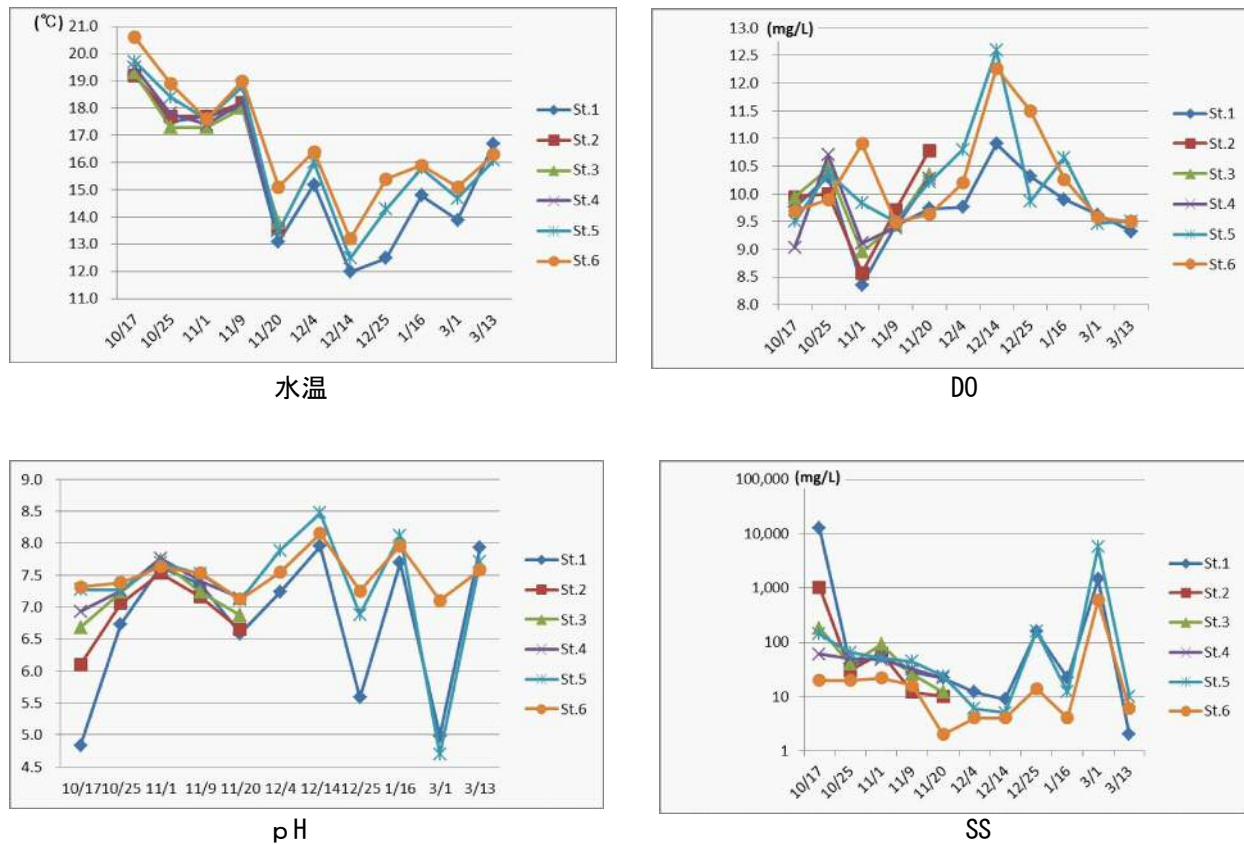


図9 各調査地点における水温, DO, pH, SSの推移

参考文献 :

- 1) 中村智幸・柳生将之 編 (2009) :アユの人工産卵床のつくり方 水産庁.
- 2) 谷口順彦・池田実 著(2009) :アユ学 アユの遺伝的多様性の利用と保全 築地書館
- 3) 社団法人 日本水産資源保護協会(2013) :水産用水基準 第7版 (2012 年版)

ウナギ資源増殖対策事業－I (鰻来遊・生息調査事業)

高杉朋孝, 平江多績, 猪狩忠光

【目的】

指宿市二反田川の河口域においてウナギ属シラスの採捕調査を行い、来遊時期や来遊量を把握するとともに、全長、体重、色素発達段階を測定・判定し、二反田川河口域におけるウナギ属シラスの来遊状況を把握する。

また、鹿児島市八幡川においてニホンウナギの採捕調査を行い、河川に加入したニホンウナギの生息及び移動状況等を把握する。

【方法】

1 シラスウナギ来遊状況調査

指宿市二反田川の河口域(図1)において、手すくい網による周年調査を行った。

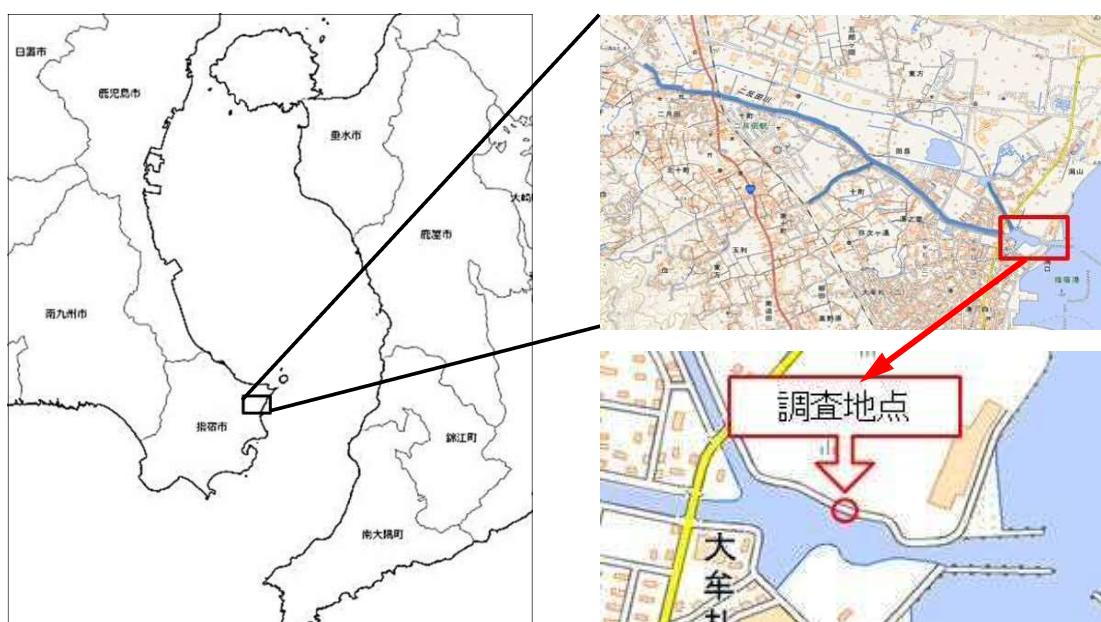


図1 指宿市二反田川における調査地点

調査は原則として毎月の新月前後の連続した2日間、日没後から満潮までの2時間とし、2名で実施した。調査漁具は、「鰻生息状況等緊急調査事業」等(統一的手法に関するガイドライン)シラスウナギ・クロコ編に基づき、白熱電球100ワット相当のLEDライト(水中に投入)、縦20cm、横15cmのステンレス製メッシュのタモを用いた。なお、平成27年度調査よりメッシュからシラスウナギが抜け落ちるのを防止するために網戸用の網を重ねづけしている。

環境調査として調査開始時、開始1時間後、終了時に、水温・塩分の測定を行った。

採捕したウナギ属シラスは調査時別に採捕尾数を集計するとともに、採捕個体の全長、体重の測定、肥満度の算出及び色素発達段階の判定を行った。色素発達段階は低いほうから V_A , V_{B1} , V_{B2} , VI_{A0} , VI_{A1} , VI_{A2} , VI_{A3} , VI_{A4} , VI_B の9段階とした¹⁾。

また、本調査においては、9月から翌年8月までをシラスウナギ漁期とし、平成25年9月から平成26年8月までをH25-26期、平成26年9月から平成27年8月までをH26-27期、平成27年9月から平成28年8月までをH27-28期、平成28年9月から平成29年8月までをH28-29期、平成29年9月から平成30年8月までをH29-30期と呼称する。

2 ニホンウナギ採捕調査

鹿児島市八幡川において、河口から約2km上流を基点とし、約910m上流の堰までの流域面積8206m²を調査範囲とした(図2)。



図2 鹿児島市八幡川における調査範囲

調査は、平成29年5月、6月、8月、10月、12月の計5回、調査員3~6名で実施した。

調査漁具には、電気刺激漁具(有限会社フロンティアエレクトリック製：FISH SHOCKERⅢS)を1基用い、調査範囲全域において採捕を実施した。

各調査月別に採捕した尾数を集計するとともに、採捕地点の河床状況、基点からの距離(5m間隔)を記録した。また、河床状況は目視により判別した。

採捕個体は全長、体重を測定後、DNAサンプルとして胸鰓の一部を採取・保存するとともに、小型個体(20cm未満)はPITタグ(biomark社製：BI08.B.03)、大型個体(20cm以上)はPITタグ(biomark社製：BI012B)にて標識後、採捕地点に放流した。

なお、採取したDNAサンプルは、国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所が行うDNAによる個体識別に供するとともに、同委託事業におけるニホンウナギ個体識別技術開発に用いるために採捕した個体のデータを共有した。

【結果及び考察】

1 シラスウナギ来遊状況調査

1) 調査日における潮汐・満潮・調査・日没時刻

平成29年4月から平成30年3月調査までの各調査時における潮汐・満潮・調査・日没時刻を表1に示す。

表1 調査日における潮汐・満潮・調査・日没時刻

調査	年	月	日	潮汐	満潮時刻	日没
第1回	平成29年	4月	28日	中	20:48	18:55
			29日		21:33	18:56
第2回		5月	29日	中	22:15	19:16
			30日		23:07	
第3回		6月	27日	中	21:59	19:27
			28日		22:41	
第4回		7月	26日	中	21:31	19:18
			27日		22:06	
第5回		8月	22日	大	19:53	18:54
			23日		20:25	18:53
第6回		9月	21日	中	19:52	18:16
			22日		20:21	18:15
第7回		10月	19日	大	18:49	17:42
			20日		19:18	17:41
第8回		11月	20日	中	19:48	17:17
			21日		20:18	17:16
第9回		12月	19日	大	19:31	17:18
			20日		20:03	
第10回	平成30年	1月	17日	大	19:18	17:38
			18日		19:51	17:39
第11回		2月	19日	中	21:22	18:08
			20日		22:01	
第12回		3月	18日	大	19:57	18:28
			19日		20:32	

2) 水温・塩分

平成29年4月から平成30年3月調査までの調査時の水温及び塩分の推移を図3に示す。

水温の最低値は平成29年12月19日に14.0°C、最高値は平成29年8月23日に34.0°Cを示した(図3左)。塩分の最低値は平成29年9月22日に6.0、最高値は平成30年2月19、20日に33を示した(図3右)。

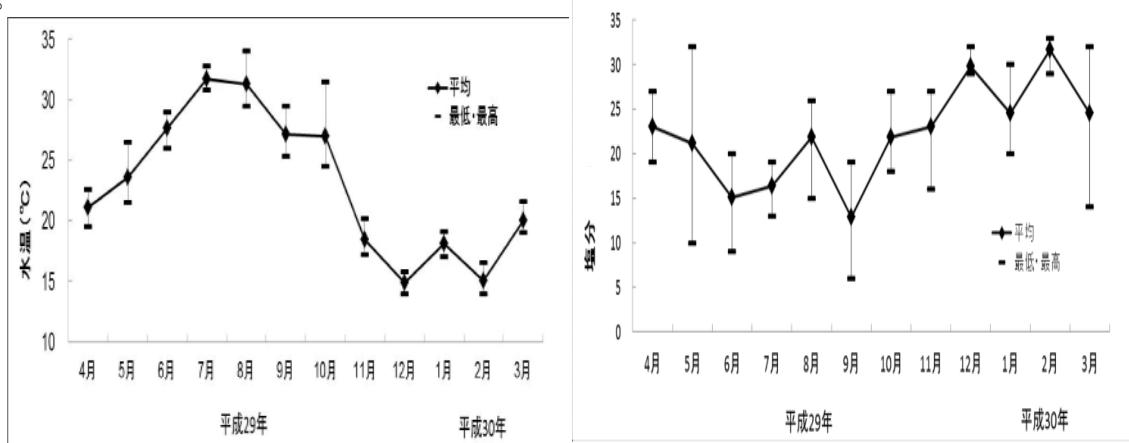


図3 二反田川調査地点における調査時の水温(左)及び塩分(右)の推移

3) 採捕尾数

平成29年4月から平成30年3月までの採捕調査結果を図4、表2に示す。

ニホンウナギシラス194尾、ニホンウナギ(黄ウナギ)1尾、オオウナギシラス7尾を採捕した。

漁期ごとの各月の採捕実績を図5に示す。H29-30期は、採捕され始めたのが1月であり、過去4漁期と比べて最も遅かった。2月19日の調査では1日の採捕尾数としてはこれまで最高の157尾が採捕された（これまでの過去最高は平成29年1月30日の141尾）。

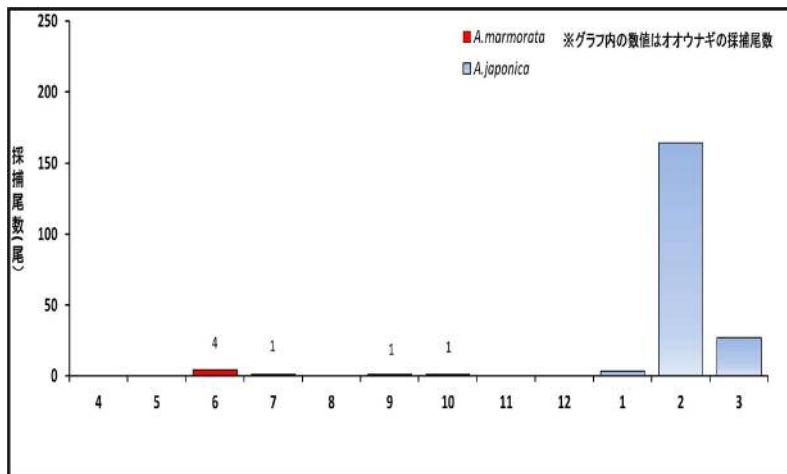
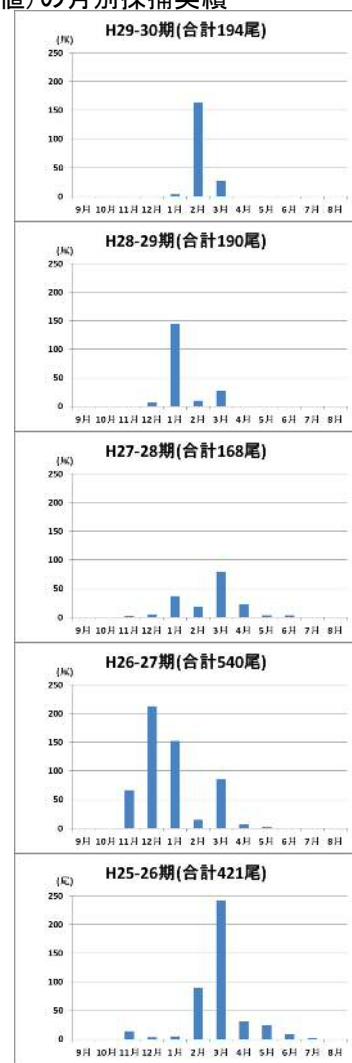


図4 平成29年度ニホンウナギシラス及びオオウナギシラス(数値)の月別採捕実績

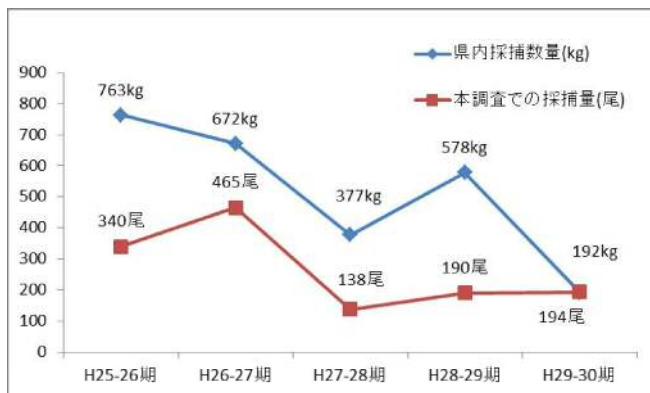
表2 平成29年度ニホンウナギシラス来遊状況調査の採捕実績

漁期区分	H28-29						H29-30			合計		
	年	平成29年						平成30年				
月		4	5	6	7	8	9	10	11	12		
ニホンウナギシラス									3	164	27	194
ニホンウナギ(黄)					1						1	
オオウナギシラス				4	1		1	1			7	



※H29-30期は3月末までのデータ
図5 漁期ごとの各月の採捕実績

H25-26期からH29-30期までの5漁期における12月から翌年3月までの県内のシラスウナギ採捕数量(本県水産振興課調べ)と本調査におけるシラスウナギ採捕尾数については、図6のとおりで、県内採捕数量と本調査採捕尾数に明確な関係はみられなかった。また、県内採捕について、太平洋側、鹿児島湾内、東シナ海側、種子島の地区ごとに採捕量を集計し、本調査での採捕量と比較したが、どの地区と比較しても明確な関係は見られなかった。



※各漁期における本県のシラスウナギ採捕期間

- ・H 25-26期：12月21日～3月31日
- ・H 26-27期：12月16日～3月15日
- ・H 27-28期：12月15日～3月14日
- ・H 28-29期：12月 1日～3月 1日
- ・H 29-30期：12月10日～3月31日

図6 シラスウナギの県内採捕数量と本調査での採捕尾数 ※比較する期間は12月から翌年3月

4) 色素発達段階

各漁期の月ごとのニホンウナギシラスの採捕数と色素発達段階の割合を図7に示す。また、各漁期ごとの採捕数全体に占める色素発達段階の割合を図8に示す。

H29-30期は、1月に初めて来遊が確認されたが、当初から、色素発達段階がVI_{A0}以上の割合が高かった。

また、各漁期のニホンウナギシラス総採捕数に占めるVI_{A0}以上の割合は過去の漁期と比べて、H29-30期が64%と最も高かった(H25-26期：39%， H26-27期：38%， H27-28期：39%， H28-29期：54%）。

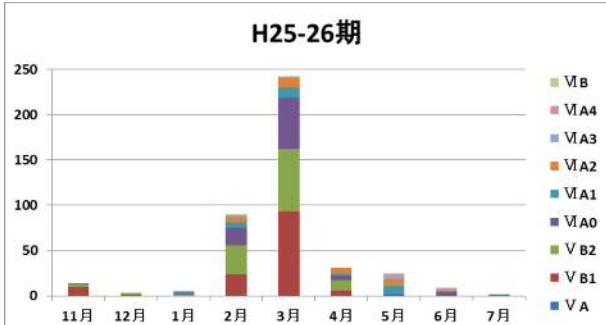
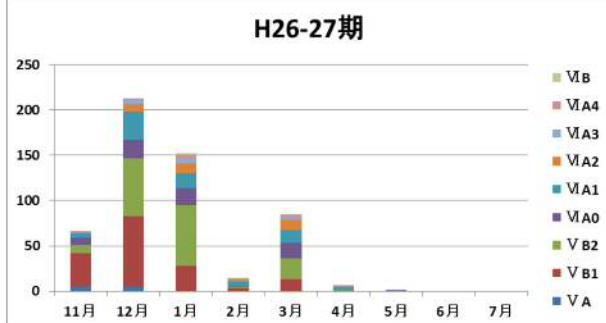
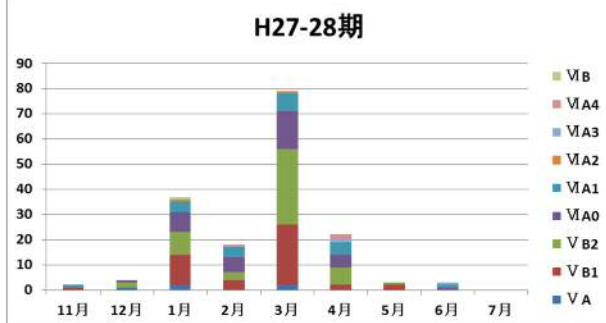
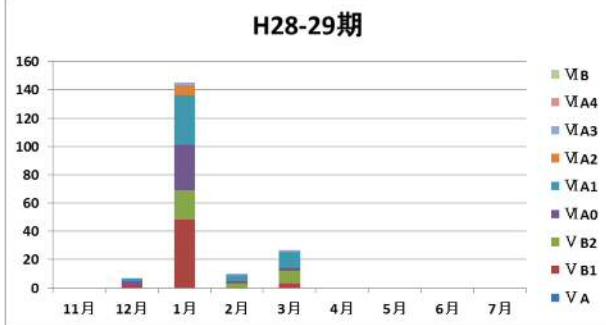
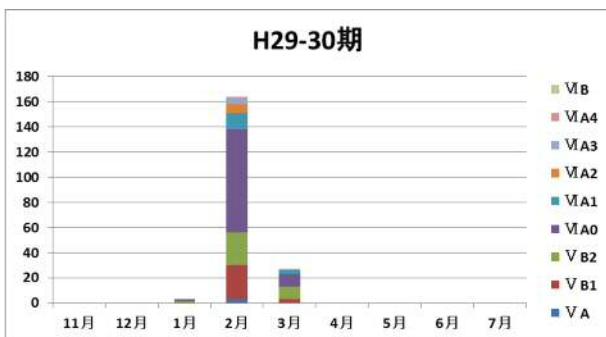


図7 月ごとのニホンウナギシラスの採捕数と色素発達の段階の割合
※H29-30期は3月末までのデータ

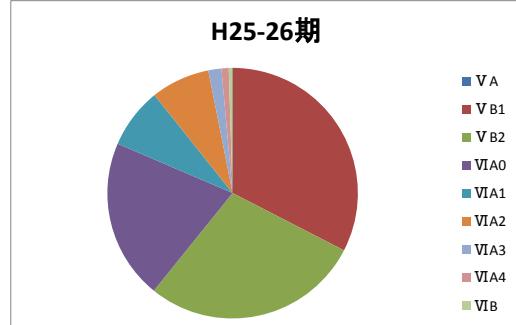
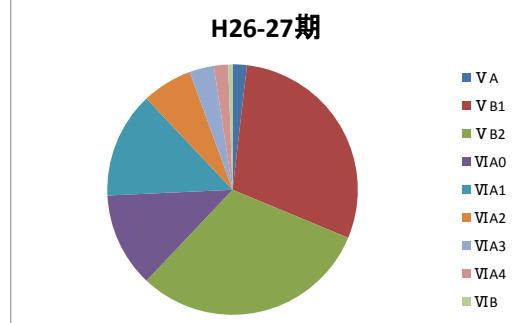
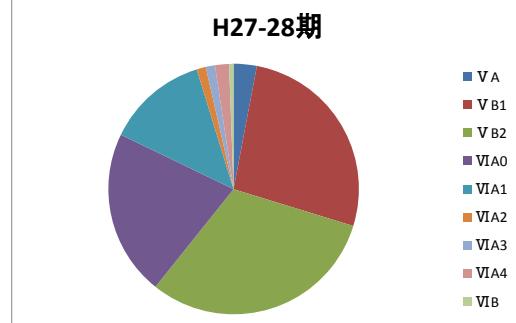
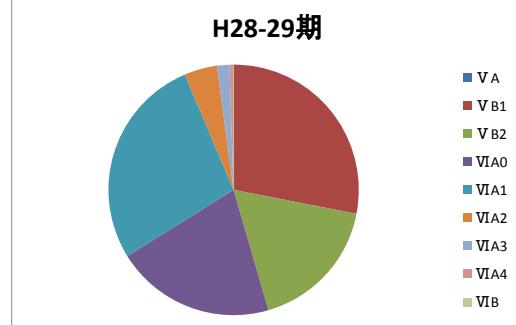
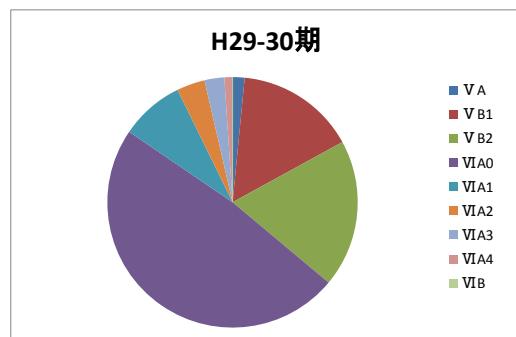


図8 漁期ごとの採捕数全体に占める色素発達段階の割合
※H29-30期は3月末までのデータ

5) 全長、体重、肥満度

平成25年9月から平成29年8月までに採捕したニホンウナギシラスの全長、体重、肥満度の測定結果を表3に示す(H29-30期は漁期途中のため記載していない)。

H28-29期は、平均全長58.42mm±2.34mm、平均体重0.141g±0.021g、平均肥満度0.706±0.082であった。

表3 ニホンウナギシラスの測定結果

漁期	採捕尾数	全長(mm)			体重(g)			肥満度		
		平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
H25-26	421	57.54	64.38	50.69	0.115	0.174	0.065	0.603	0.864	0.418
H26-27	540	58.87	65.23	50.36	0.145	0.238	0.077	0.703	1.011	0.463
H27-28	168	58.49	64.50	51.65	0.138	0.212	0.079	0.685	0.869	0.489
H28-29	192	58.42	63.75	48.86	0.141	0.199	0.093	0.706	1.131	0.546

次に、各漁期の平均全長、平均体重、平均肥満度を色素発達段階別に検体数が確保できるV_{B1}、V_{B2}、V_{IAO}の3段階で比較した(図9)。

平均全長について、各漁期及び色素発達段階別とも、概ね55 mmから60 mmの範囲で推移していた。平均体重について、各色素発達段階ともH26-27期は漁期始めに高い値を示したが、その点を除けば各漁期とも概ね0.10 gから0.15 gの範囲を推移していた。平均肥満度について、各漁期及び色素発達段階別とも、概ね0.6から0.8の範囲で推移していた。

全長と体重は、H25-26期を除けば、漁期が進むにつれて、低下する傾向が見られた。肥満度は全漁期とも漁期が進むにつれて、低下する傾向がみられた。H29-30期は1月から来遊が確認されているが、当初から全長・体重・肥満度とともに低かった。

H29-30期はこれまでで最も来遊の始まりが遅れていた。原因としては産卵時期が遅れた可能性²⁾や産卵場からの仔魚の輸送経路の変化³⁾などが考えられるが、現時点では明確な根拠がなく、今後も継続してニホンウナギシラスの来遊状況について調査を続けていくことが重要である。

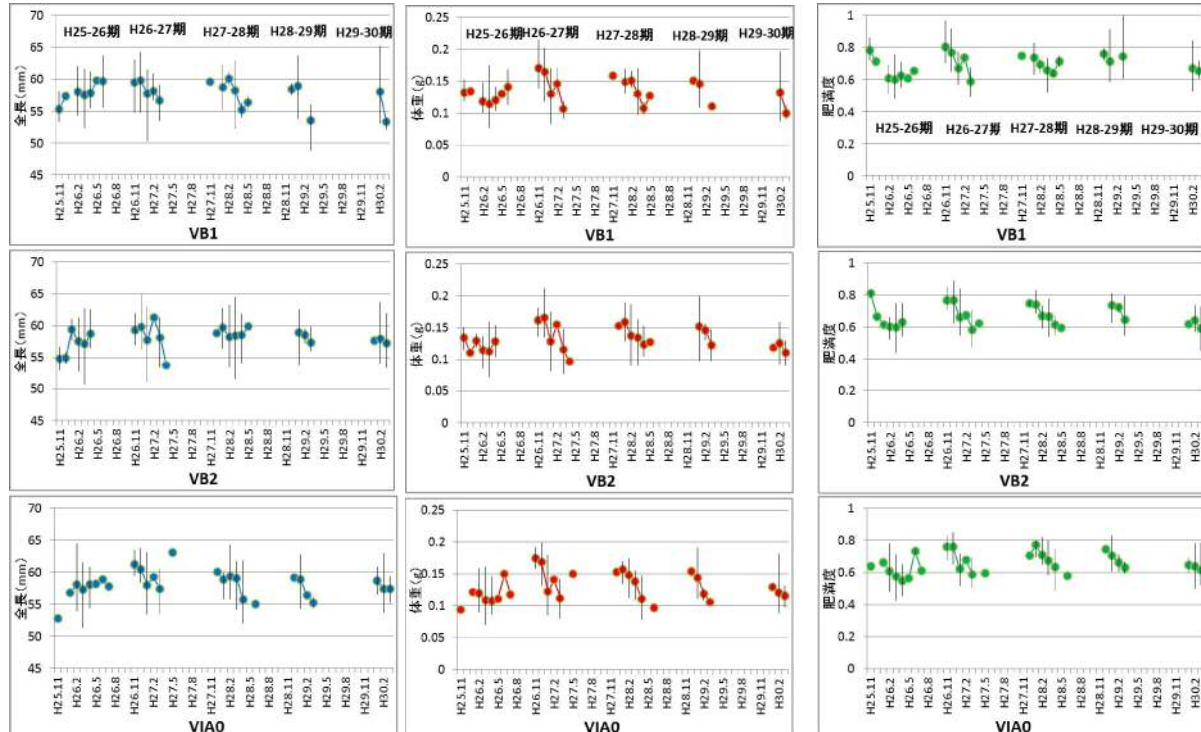


図9 色素発達段階における平均全長、平均体重、平均肥満度の推移

6) シラスウナギの来遊量と天候の関係

昨年度の本事業報告書において、連続した2日間の採捕尾数に大きな差(20尾以上かつ2倍以上)がみられた際は、採捕尾数の多い日の調査開始前24時間以内に降雨が確認されていることを報告している(表4)。今年度についても2月の調査で1日目に157尾、2日目に7尾と大きな差が見られた。この時の天候は、昨年度の報告と同様、採捕尾数の多かった1日目の調査開始前24時間以内に降雨が確認されている。2日目についても24時間以内に4.5mmの降雨が確認されているが、1日目よりは少なく、12時間以内でみると降雨量は0mmとなっている。これについては、平成29年度の『水産庁委託 ウナギ供給安定化事業のうち「河川及び海域での鰐来遊・生息調査事業』平成29年度報告書』でシラスウナギが海水よりも河川水を有意に選択することが述べられているが、降雨により河川水が海域に多く流れしたことにより遡上が誘因されたと考えられた。また、風や波の状況も昨年度と同様で、シラスウナギの採捕が多かった1日目は、風があり、水面が波打つ時化の状態であり、採捕が少なかった2日目は穏やかな凪の状態であった。水については1日目は濁っており透明度が低く、2日目は水が透き通っている状態であった。

表4 採捕尾数に大きな差が見られた調査日の天候

年 (平成)	月	日	採捕 尾数	調査までの降水量		平均風速 (m/秒)	最多風向	調査時の水温(°C)			調査までの塩分(‰)		
				24h以内	12h以内			0h	1h	2h	0h	1h	2h
26	2	1	20	0.0	0.0	3	南	18.2	18.1	18.1	30	30	30
	1	2	70	36.5	0.0	0.7	北西	19.0	19.6	19.0	32	21	30
26	11	25	44	62.0	23.0	1.9	西南西	22.5	22.2	25.5	20	22	25
	11	26	22	1.5	1.5	1.4	北西	23.9	21.5	21.0	15	20	24
27	1	21	49	0.0	0.0	1.4	東北東	16.8	17.2	18.0	15	20	20
	1	22	103	41.5	1.0	2.6	北西	17.8	16.8	16.0	22	25	28
29	1	30	141	2.5	0.5	4.5	北北西	16.5	16.5	15.5	28	30	31
	1	31	5	0.0	0.0	0.9	北北西	18.5	18.5	18.5	26	27	27
30	2	19	157	8.5	8.0	2.2	北北東	14.7	14.3	14.0	30	32	33
	2	20	7	4.5	0.0	0.85	東南東	15.8	16.5	15.0	33	29	33

2 ニホンウナギ採捕調査

1) 採捕調査(採捕尾数, 生息場所, 季節変動)

(1) 採捕尾数

採捕尾数は5月が34尾, 6月が22尾, 8月が29尾, 10月が25尾, 12月が30尾で, 合計140尾であった。採捕サイズ毎に見ると201-300mmが44尾と最も多く, 次いで401-500mmの33尾, 301-400mmの27尾の順に多かった(図10)。

銀ウナギは10月の調査時に5尾採捕されたのみで, その他の月には採捕されなかった。

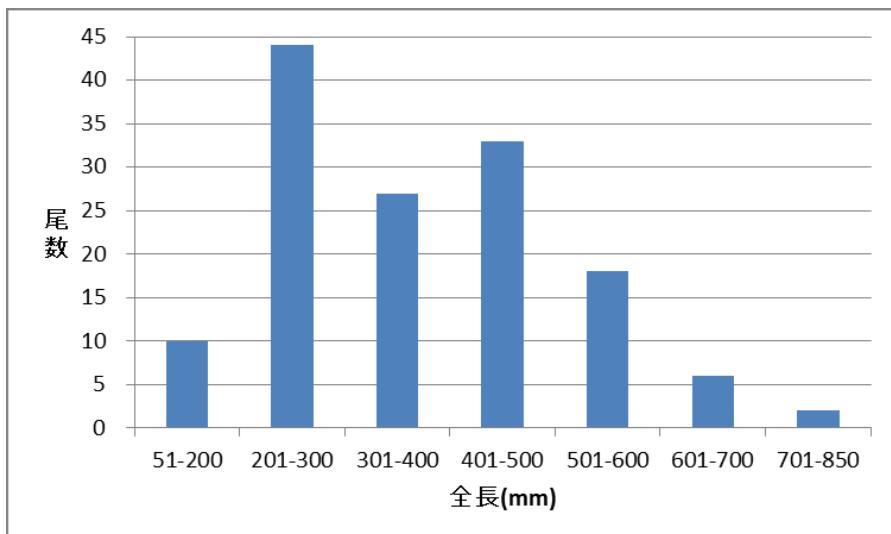


図10 ニホンウナギのサイズ別採捕尾数

(2) 採捕地点の環境

採捕された環境は, 全体では石29%, 碓21%, 砂11%の順に割合が高かった(図11)。

サイズ別に見ると(図12), 51-200 mmは全体では割合が高かった石で採捕されず, 碓, 落葉, 水際の砂泥, 砂等から採捕された。201-300 mmは石でも採捕されるようになり, 301-400mm, 401-500mm, 501-600 mm, 601-700mmは, それぞれ石から最も多く採捕され, サイズが上がるにつれて石の割合が高くなる傾向が見られた。701-850mmは2個体のみの採捕ではあるが, 水際の木の根の隙間からが100%であった。これらの結果から, 成長とともに体のサイズに合った隙間を求めて生息環境を変えているものと思われた。

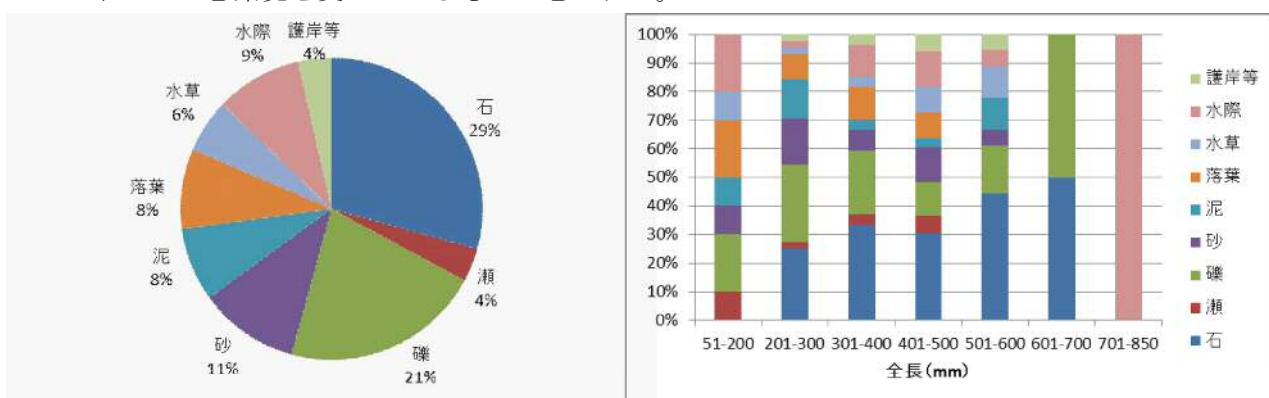


図11 採捕された環境の割合(全体)

図12 サイズごとの採捕された環境の割合

(3)季節変動（全長、体重、生息地点）

各調査時に採捕された個体の全長、体重、生息地点について図13～図15に示す。

全長については、5月から10月にかけてより大型の個体が見られるようになったが、全体としては大きな変動は見られなかった。

体重については、5月から10月にかけてより大型の個体が見られるようになり、最大の個体は10月に採捕された1262 g の銀ウナギだった。10月の全個体の平均体重は153 g であり、5月、6月の2.3倍であった。12月は10月と比べて最大の個体が小型になり、平均体重は10月の0.5倍であった。これについては、10月に採捕された銀ウナギが他の月では採捕されなかつたことが大きな要因と考えられる。

生息地点については、年間を通して大きな変動は見られなかった。夏から冬にかけ低水温になるにつれて、水温の高い下流側に移動すると思われたが、今回の調査結果からはそれについては確認できなかった。調査区間が910mと短いため上流から下流まで水温の変動があまりなく、移動しないことが考えられた。

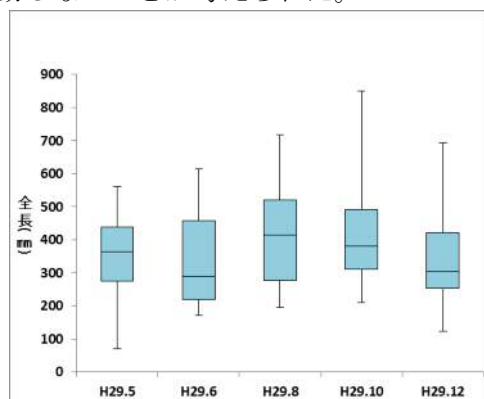


図13 各調査時に採捕された個体の全長 (mm)

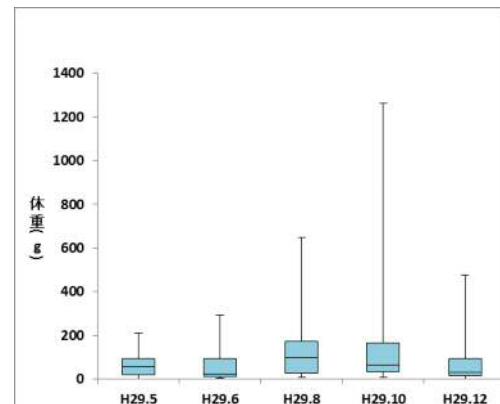


図14 各調査時に採捕された個体の体重 (kg)

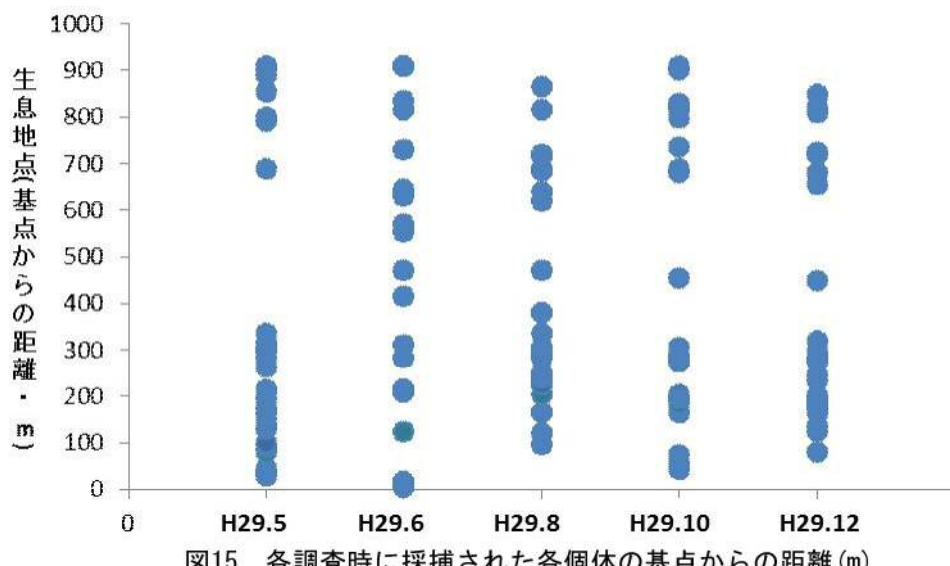


図15 各調査時に採捕された各個体の基点からの距離 (m)

2) 標識放流調査(成長, 移動状況, 個体数推定)

(1) 放流個体の成長

再採捕された個体の全長及び体重の推移をそれぞれ図16, 図17に示す。

全長について、再採捕までの期間が300日以上の16個体（最大611mm, 最小193mm, 平均383mm）について、成長率を以下の式で計算したところ、年間で最大100.2mm, 最小4.3mm, 平均39.1mmの成長だった。※成長率 (cm/年) = { (再採捕時全長 - 放流時全長) ÷ 再採捕までの日数 } × 365

体重については、長期的には増加している個体が多いが、採捕、運搬、標識等のストレス等が原因かは不明であるが、再採捕された46個体のうち8個体に一時的な体重の減少が見られた。

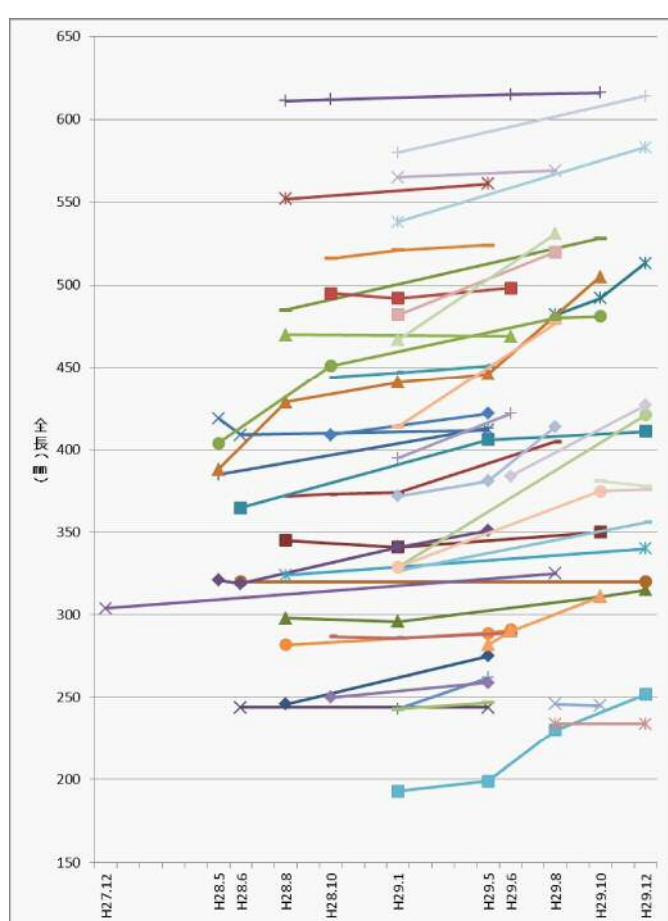
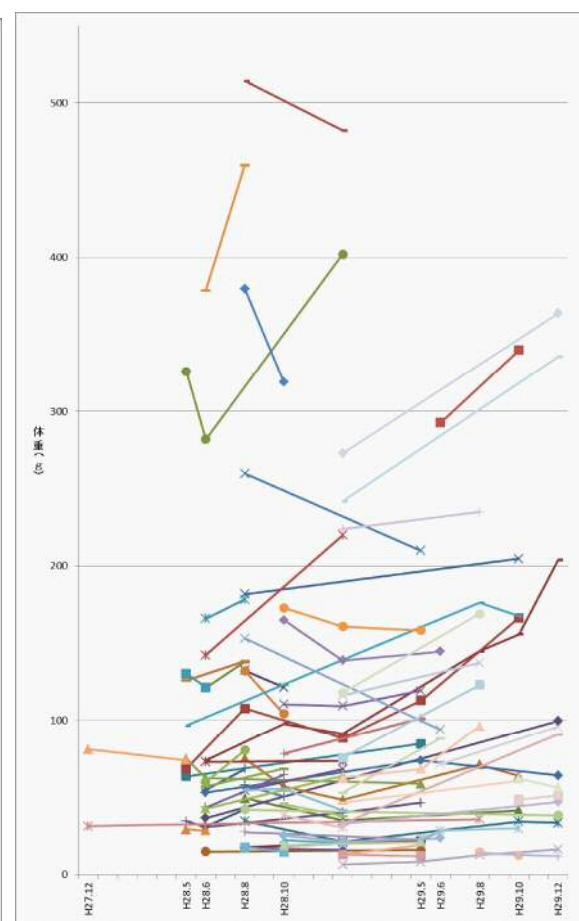


図16 再採捕された個体の全長(mm)の推移



(2) 放流個体の移動状況

再採捕された個体の移動状況について図18、19に示す。

16尾の平均移動距離は57mであり、10尾が上流に平均50m移動しており、6尾が下流に68m移動していた。遡上、降下ともに傾向は見られず比較的、定住性が高いと思われた。

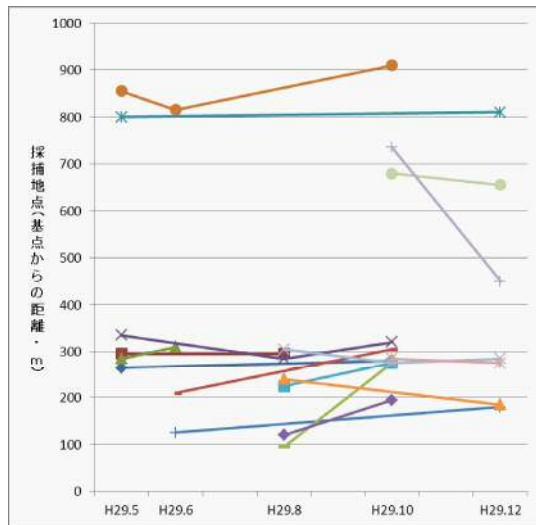


図18 再採捕された個体の移動状況(m)

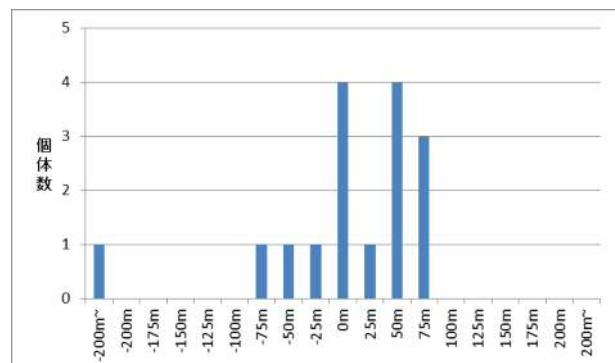


図19 再採捕された個体の移動状況
(放流地点からの距離)

(3) 個体数推定

採捕、標識放流、再採捕の結果から、Jolly-Seber法によって調査範囲におけるニホンウナギの生息数推定を行うと、5～10月時点は135～799尾で推移し、10月が135尾と最も少なかった(図20)。

この原因として電気刺激漁具を用いた採捕や標識作業がウナギに負荷を与えており、電気刺激による餌生物の減少などにより資源が減少傾向にあることが考えられるが、これについては現時点では判断できない。生息密度は調査範囲の流域面積が8206m²であることから、10月時点で1.6尾/100m²と考えられた。

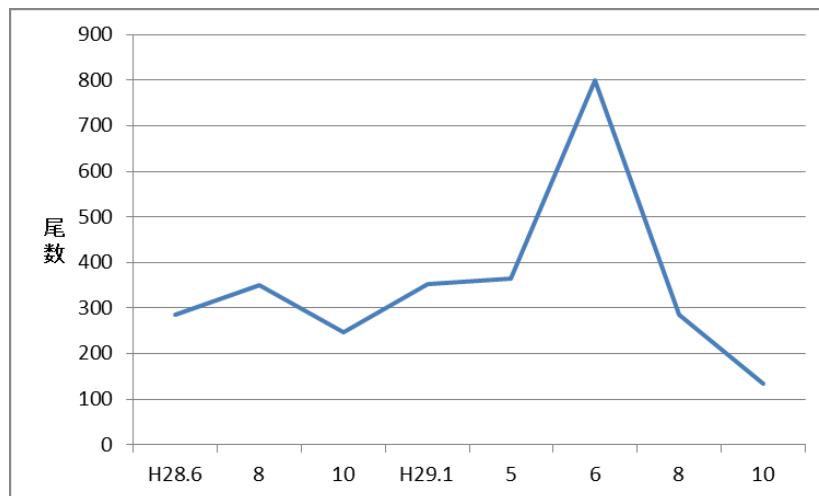


図20 調査区間における推定生息数(Jolly-Seber法による)

※この事業は水産庁委託事業である「河川及び海域での鰻来遊・生息調査事業」にて実施した。

参考文献：

- 1) Fukuda N., Miller M. J., Aoyama J., Shinoda A., and Tukamoto K. (2013) Evaluation of the pigmentation stages and body proportions from the glass eel to yellow eel in *Anguilla japonica*. Fish Sci (2013) 79:425–438.
- 2) Jun Aoyama · Akira Shinoda · Tatsuki Yoshinaga · Katsumi Tsukamoto (2012) Late arrival of *Anguilla japonica* glass eels at the Sagami River estuary in two recent consecutive year classes: ecology and socio-economic impacts Fish Sci (2012) 78:1195–1204.
- 3) N. Fukuda, H. Kurogi, D. Ambe, S. Chow, T. Yamamoto, K. Yokouchi, A. Shinoda, Y. Masuda, M. Sekino, K. Saitoh, M. Masujima, T. Watanabe N. Mochioka and H. Kuwada (2018) Location, size and age at onset of metamorphosis in the Japanese eel *Anguilla japonica* Journal of Fish Biology (2018) 92, 1342–1358.

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ (放流用種苗育成手法開発事業)

平江多績, 猪狩忠光, 高杉朋孝

【目的】

河川に放流した養殖ニホンウナギウナギ（以下「養殖ウナギ」と標記）の再捕率や成長について、放流サイズ（50gと200gサイズ）、飼育餌料の種類（活餌と配合）、放流後の天然ニホンウナギ（以下「天然ウナギ」と表記）との成長差、一点放流と分散放流、についてそれぞれ比較し、より生残率の高いウナギの放流手法について検討する。

なお、本事業は平成25年度からの5カ年間において、水産庁委託による「放流用種苗育成手法開発事業」で実施した。

【方法】

1. 養殖ウナギの放流

平成29年7月25日に、枕崎市の花渡川及び支流の中州川（図1）において、養殖ウナギ50gサイズ（大隅隅養まん漁業協同組合より購入）に、PITタグ（Biomark社製BI012B）を腹腔内に装着し、St. 1～St. 10の10カ所に各60尾600尾を、石倉2カ所（4基に各25尾）に100尾、合計700尾を分散放流（護岸の隙間や浮き石状態の隠れ家がありそうな場所に数尾ずつを放流し、河床や泥、石倉への潜行を目視確認しながら放流）した。

放流群の性比は、27尾をランダムサンプリングし、解剖の上、生殖腺の観察により判定した。



図1 調査地点

2. 越冬後の再捕率

過去に放流した養殖ウナギおよび天然ウナギについての採捕は、昨年度までと同様に、竹筒（長さ80cm、内径約3.5～4.5cm：3本）を延繩式で6セット（St. 8のみ2カ所）計11カ所198本、St. 6は竹筒に加え小型の石倉2基（30cm×30cm×深さ40cm）及び、St. 1、St. 7付近に石倉籠（100cm×120cm）を各2基設置し、毎月1回採捕した（石倉籠は7月～12月のみ実施）。

採捕個体は麻酔薬FA100で麻酔後、全長、体重を測定し、デジタルカメラで撮影、PITタグ番号を記録し、麻酔の回復を待って採捕地点に放流した。

再捕率の算出は、放流直後の再捕尾数を算入すると、一時的に滞留したウナギを再捕することになることから、これらを除外し、放流後にその年の冬を越え、春以降に再捕された割合（以後「越冬後の再捕率」と表記）を求め、フィッシャーの直接確率計算法により比較した。

なお、平成27年4月から平成30年3月までに再捕されたもので評価した。

3. 再捕時の体重変化と外観

養殖ウナギについては、過去に放流した200gサイズの越冬後の再捕率がほぼ0%であったため、本報告では、平成26年度以降にPITタグで個体識別を行った50gサイズのみについて記載することとし、放流年度別に評価し、成長差が大きな2者の例を写真で示した。

また、天然ウナギは養殖ウナギ50gサイズと同等サイズの写真で比較した。

4. 放流ウナギの瞬間成長率

養殖ウナギと天然ウナギの成長差の比較は、瞬間成長率（Specific Growth Rate : SGR (%)）
 $=100 \times (\ln(L_2) - \ln(L_1)) / T$, L1：放流時の体重(g) L2：再捕時の体重(g) T：再捕までの期間(日)で算出した。

なお、再捕された天然ウナギは推定1才以上の個体であることから、養殖ウナギについては放流後1年以上経過した個体を抽出し、体サイズを揃えるために、天然ウナギについては、養殖ウナギ50gサイズと同等サイズを抽出して、それぞれをスチューデントのt検定により比較した。

5. 放流ウナギの採捕尾数

竹筒において、調査毎月の採捕尾数を養殖ウナギ、天然ウナギ別で合計し、それぞれの採捕尾数の割合を調べた。

6. 放流ウナギの移動状況

放流後、3ヶ月以上経過した個体を、放流・再捕の時期および場所について調べ、放流地点から上流で再捕された個体をU (UP) で、下流で再捕された個体をD (DOWN)、同じ場所で再捕されたものをR (RESIDENT : 100m以内の移動についてはR) で表し、一点放流と分散放流および天然ウナギについての移動状況をχ²検定で比較した。

【結果及び考察】

1. 養殖ウナギの放流

平成29年度に放流した養殖ウナギ700尾の平均全長356mm、平均体重52g、平均肥満度1.16で、メスの割合は30%であった。

放流後の養殖ウナギは、河床や河岸の間隙に速やかに潜行した（図2、3）。



図2 分散放流風景（石積護岸）



図3 分散放流風景（石倉籠）

2. 越冬後の再捕率

(1) 養殖ウナギ50gサイズと200gサイズの比較

養殖ウナギ50gサイズと200gサイズの越冬後の再捕率は、平成25年度放流は、養殖ウナギ50 g が2. 0%（450尾中9尾）に対し、200gが0. 2%（450尾中1尾），平成26年度放流は、養殖ウナギ50 g が3. 5%（399尾中14尾）に対し、200gが0%（300尾中0尾），平成27年度放流は、養殖ウナギ50 g が4. 1%（345尾中14尾）に対し、200gが0%（398尾中0尾）

で、全ての年度で、越冬後の再捕率は、養殖ウナギ50gが養殖ウナギ200gより有意に高かった（図4）。

(2) 養殖ウナギ50gサイズの活餌給餌と配合飼料給餌の比較

養殖ウナギ50gサイズ（放流前6週間活餌給餌）と50サイズ（放流前6週間配合飼料給餌）の越冬後の再捕率は、活餌給餌が3. 9%（203尾中8尾），配合給餌が3. 1%（196尾中6尾）で、両者に有意な差はみられなかった（図5）。

(3) 天然ウナギと養殖ウナギ50gサイズの比較

天然ウナギと養殖ウナギの越冬後の再捕率は、平成27年度放流養殖ウナギ50gが4. 1%（345尾中14尾）で、平成27年度以降に採捕、放流した天然ウナギが4. 3%（675尾中29尾）で、両者に有意な差はみられなかった（図6）。

(4) 養殖ウナギ50gサイズの一点放流と分散放流の比較

越冬後の再捕率は、分散放流を行った平成28年度の養殖ウナギが4. 4%（700尾中31尾）に対して、一点放流を行った平成25年度の2. 0%（450尾中9尾）および平成26年度の3. 5%（399尾中14尾）ならびに、平成27年度の4. 1%（345尾中14尾）とそれぞれ比較して有意な差はみられなかった（図7）。

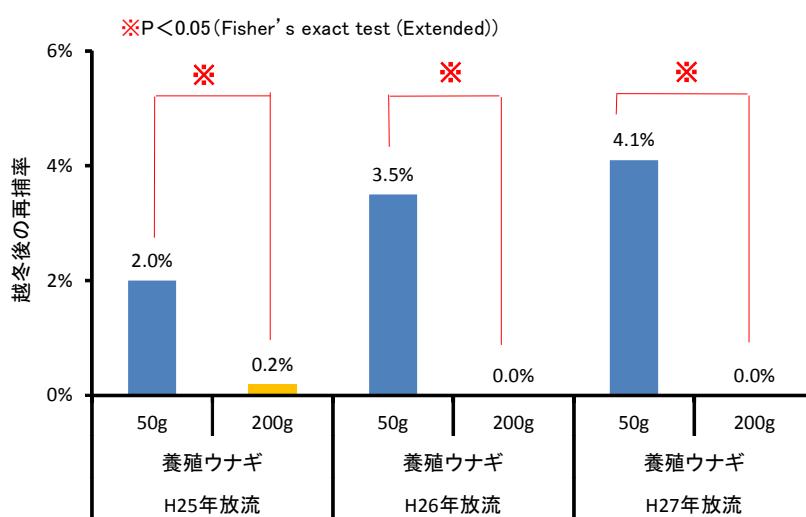


図4 サイズ別養殖ウナギの再捕率

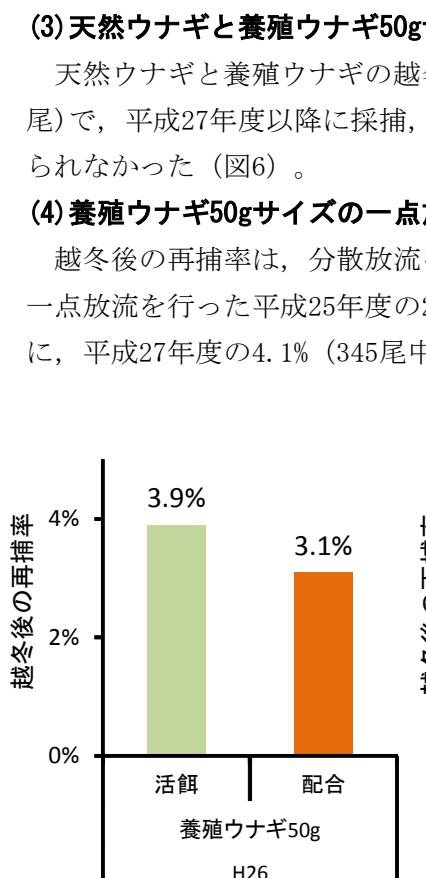


図5 餌料別養殖ウナギの越冬後の再捕率

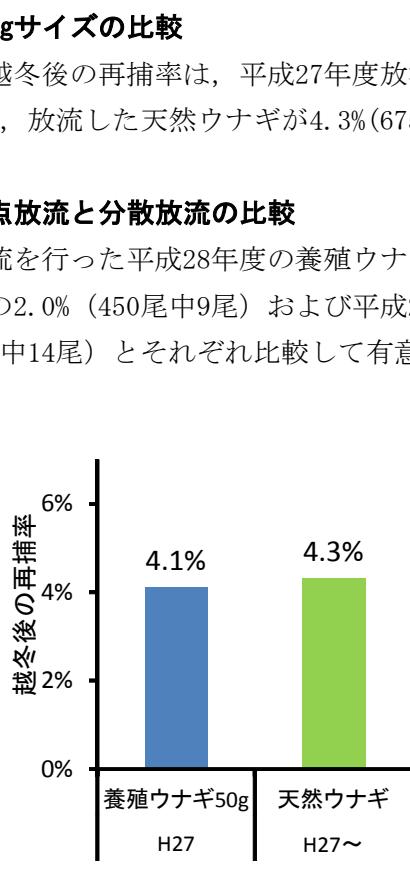


図6 養殖ウナギと天然ウナギの越冬後の再捕率

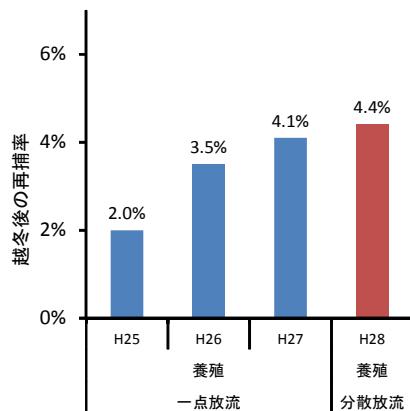


図7 養殖ウナギの一点放流と分散放流の再捕率

3. 再捕時の体重変化と外観

(1) 平成26年度養殖ウナギ50gサイズ

平成26年7月に放流した養殖ウナギ399尾のうち、これまでに34尾が再捕された。なお、同じ個体が複数回再捕された場合、再捕回数として（43回）と記載した（図8）。

放流後、翌年の4月頃までに再捕された個体の体重は減少、または横ばいであったが、平成27年7月以降に再捕された9個体はすべて増加していた。中でも、最大は、図8中の個体Aで、放流時42.8gが、2年後の平成28年8月には179g、肥満度1.29に成長し、体色も黄色になり天然ウナギと見分けがつかなかった（写真：図8A）。

また、図8中の個体Bは、放流時44gが、平成28年7月には69g、肥満度1.17に成長していたが、個体Aと比べると体重は約3分の1で、頭部以外は黒色または灰色（養殖ウナギの色調と類似）で（写真：図8B）、同じ期間を経過した個体であっても、両者の差は大きいことがわかった。

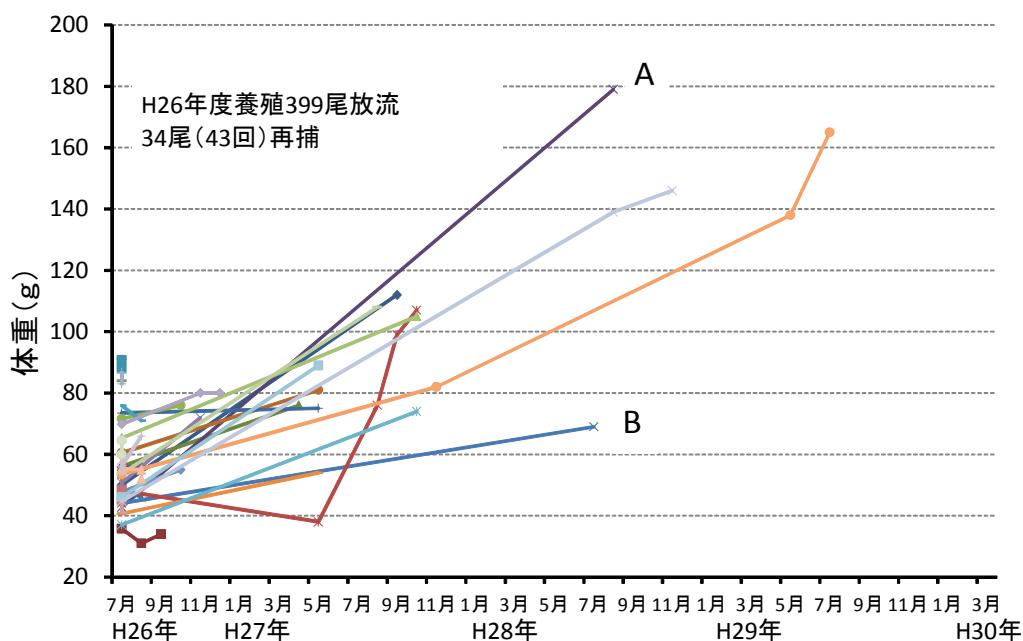


図8 平成26年度養殖ウナギ再捕時の体重



図8A H28.8.28 下流石倉 518mm 179g (1.29) ※()内は肥満度「以下同じ」



図8B H28.7.20 St.9 389mm 69g (1.17)

(2) 平成27年度養殖ウナギ50gサイズ

平成27年7月に放流した養殖ウナギ368尾のうち29尾が43回再捕された。

放流後、翌年5月までに再捕された個体の体重は減少、または横ばいが多かったが、翌年6月以降に再捕された10個体中9個体は増加していた（図9）。なお、放流後2年3ヶ月経過した平成29年11月に再捕された個体Aは放流時60gが127g、肥満度1.34に成長し、体色も黄色になり天然ウナギと見分けがつかなかったが（写真：図9A），同時期に再捕された個体Bは、放流時60gが、49g、肥満度0.71で個体Aと比べると体重は約2分の1以下で、頭部以外は黒色または灰色（養殖ウナギの色調と類似）で、肛門より尾部にかけて著しくやせており（写真：図9B），同期間を経過した個体であっても、両者の差は大きいことがわかった。

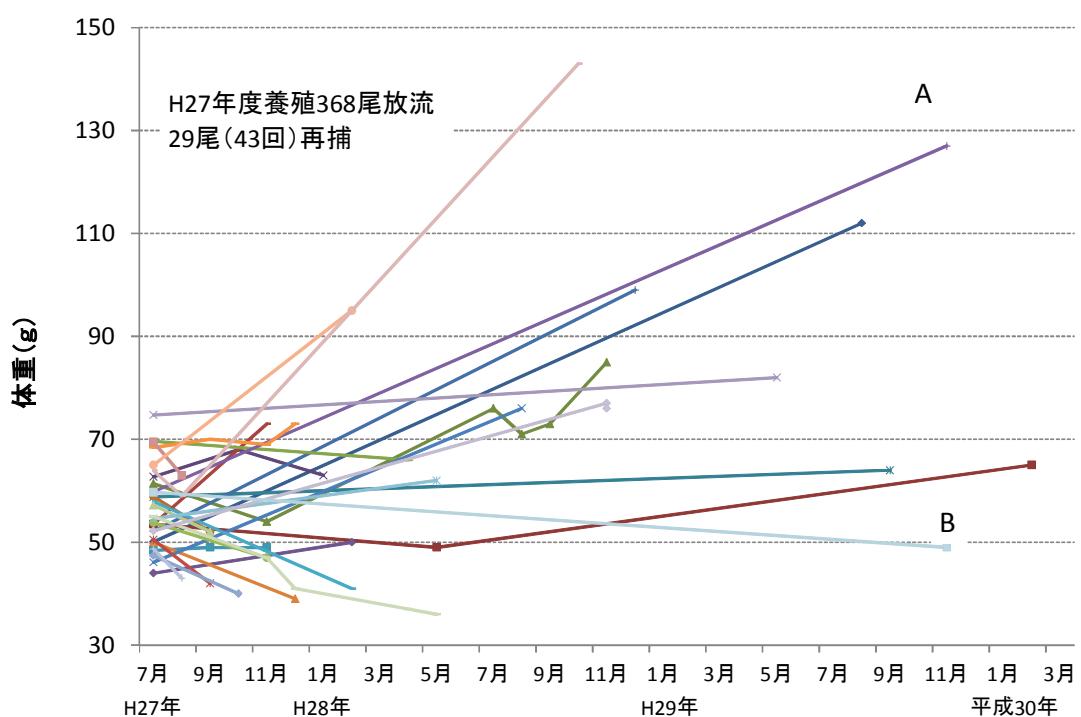


図9 平成27年度養殖ウナギ再捕時の体重



写真：図9A H29.11.15 下流石倉かご 456mm 127g (1.34) No. 13



写真：図9B H29.11.2 St. 2 410mm 49g (0.71) No. 9

(3) 平成28年度養殖ウナギ50gサイズ

平成28年7月に放流した養殖ウナギ700尾のうち79尾が101回再捕された。

放流後、年内に再捕された個体の体重は、減少または、横ばいが多かったが、翌年5月以降は増加している個体が多くみられた（図10）。

最大は、図10中の個体Aで放流時52gが、1年2ヶ月後の9月には133g、肥満度1.48に成長し、胴回りが太かった（写真：図10A）。しかし同日に再捕された個体Bは、放流時38gが再捕時は48g、肥満度1.00と成長が悪く、個体Aと比較して細く、特に肛門から尾びれにかけてやせていた（写真：図10B）。放流後の成長は個体差が大きかった。

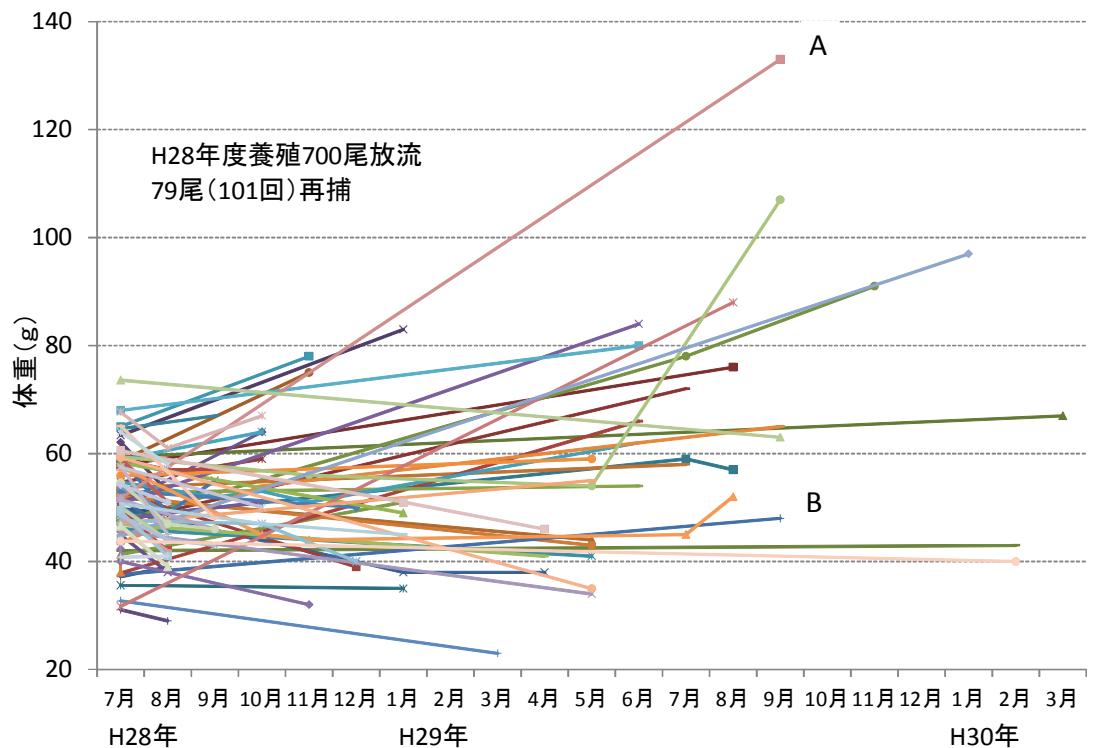


図10 平成28年度養殖ウナギ再捕時の体重



写真：図10A H29.9.8 St. 1 448mm 133g (1.48)



写真：図10B H29.9.8 St. 5 364mm 48g (1.00)

(4) 平成29年度養殖ウナギ50gサイズ

平成29年7月に放流した養殖ウナギ700尾のうち32尾が37回再捕され、32尾中3尾の体重は増加していたが、その他は減少していた（図11）。

増加したもので最大は、図11中の個体Aで、放流時60gが8ヶ月では69g、肥満度1.06で（写真：図11A）。また、2月に再捕された個体Bは、放流時64.2gが再捕時は46g、肥満度1.04であった（写真：図11B）。

個体AとBは肥満度が同等なため比較が難しいが、個体Aは若干ではあるが、頭部から胸鰓にかけて黄色のラインがみられていた。なお、全体的に、放流から短期間であるため体重が減少する個体が多く、過去の傾向と同じであった。

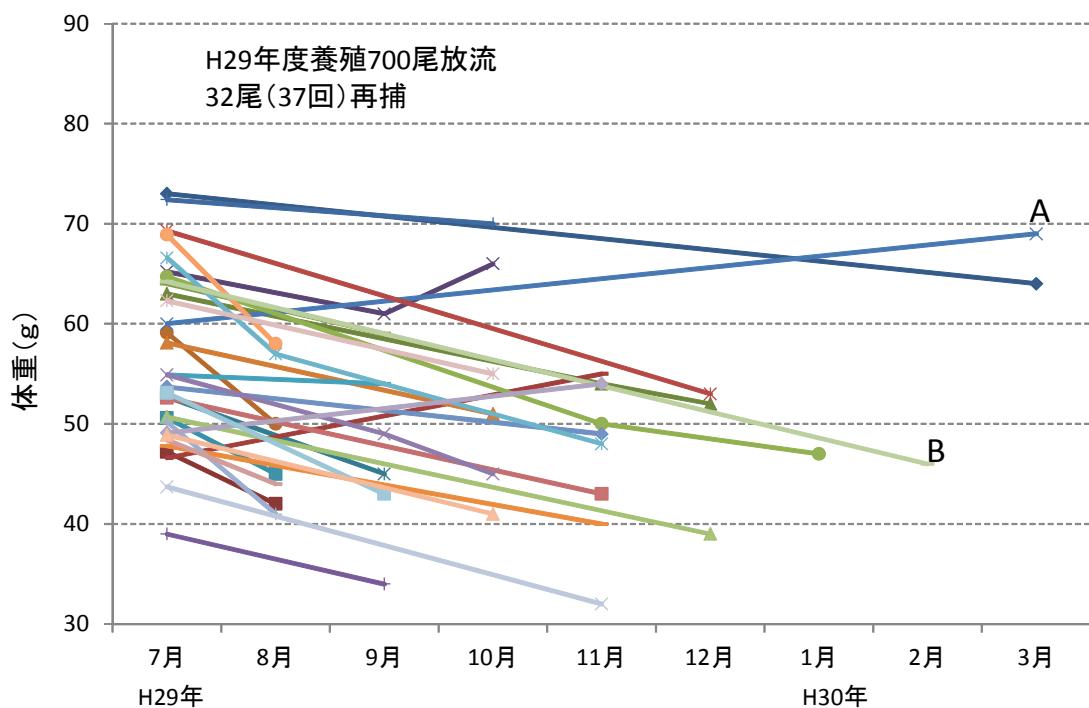


図11 平成29年度養殖ウナギ再捕時の体重



写真：図11A H30.3.14 St. 1 402mm 69g (1.06)



写真：図11B H30.2.14 St. 4 354mm 46g (1.04)

(5) 天然ウナギ

平成27年5月から平成29年2月までに、天然ウナギ688尾を放流し、平成30年3月14日までに80尾が108回再捕された。再捕時の体重は、増加傾向のものが多かった（図12）。

なお、養殖ウナギと比較のために、前述した養殖ウナギと同等サイズの2尾について、再捕時の写真を図12A、12Bに示した。

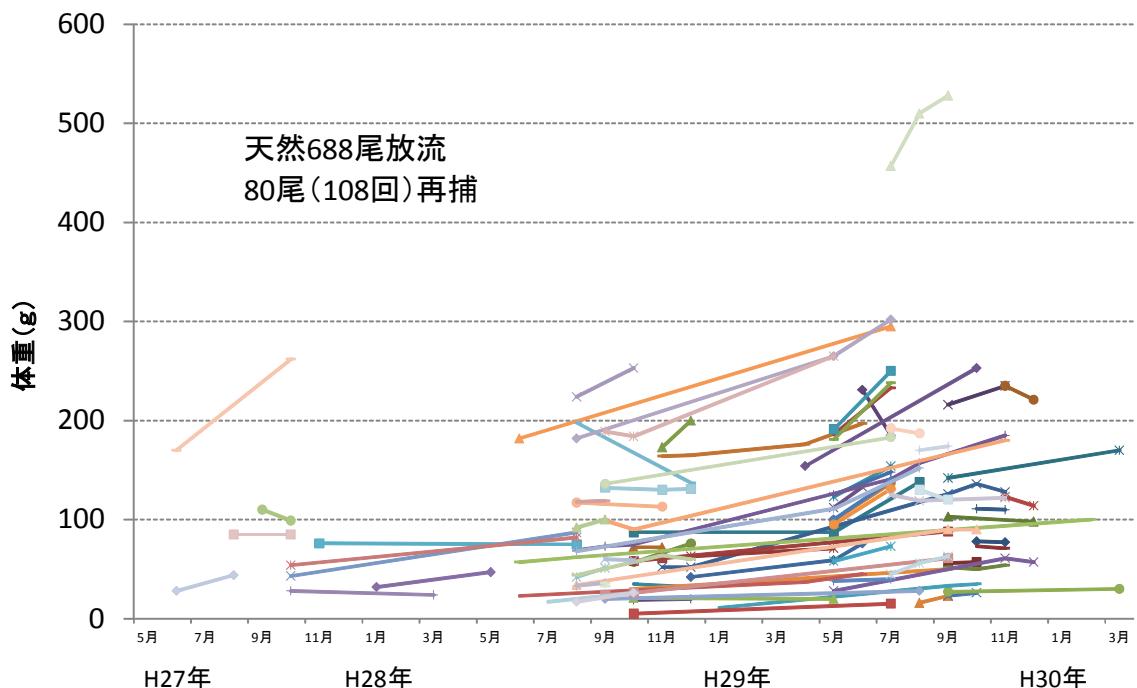


図 12 天然ウナギ再捕時の体重



写真：図12A H28.8.28 下流石倉 411mm82g(1.18) (放流時H27.10.13下流石倉 367mm54g(1.09))



写真：図12B H28.5.23 St. 7 337mm47g(1.23) (放流時H28.1.21 St. 7 296 mm32g (1.23))

4. 放流ウナギの瞬間成長率

瞬間成長率（体重）の平均値は、天然ウナギが0.23%で、養殖ウナギの平均値0.07%より有意に高かった（図13）。

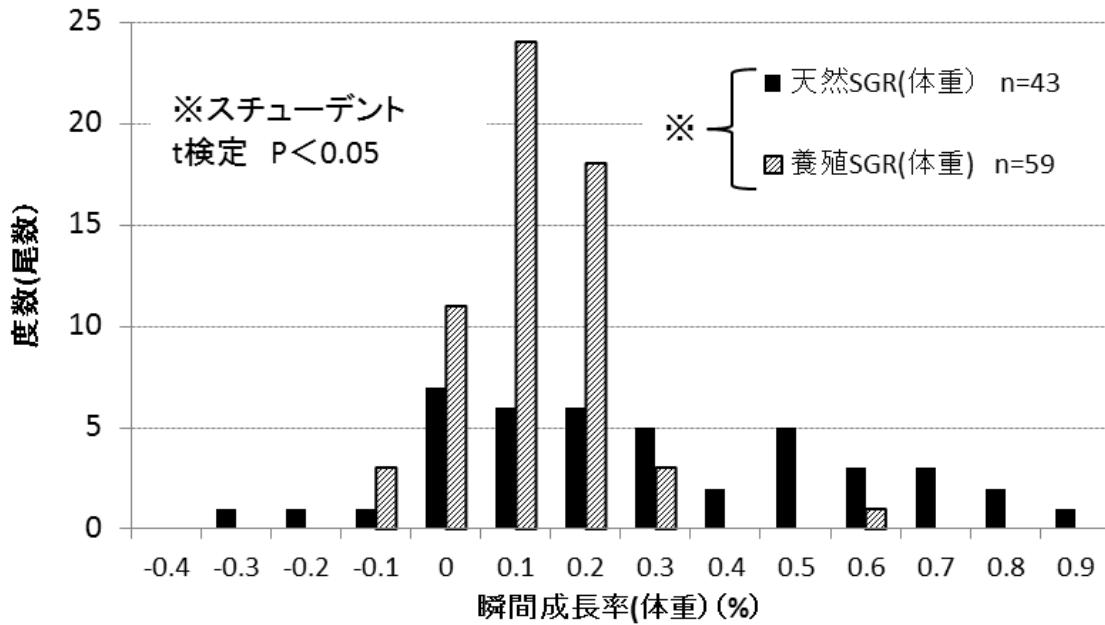


図13 天然ウナギと養殖ウナギ（体重）の瞬間成長率

5. 放流ウナギの採捕尾数

調査月ごとに、全地点の竹筒で漁獲された天然ウナギと養殖ウナギの尾数を図14に示した。

各年とも8月に養殖ウナギの漁獲尾数が多かったことは、毎年7月に養殖ウナギを数百尾放流していることから一時的な滞留によるものと考えられた。

なお、養殖ウナギの竹筒での採捕率は、平成26年度が16%、平成27年度が27%、平成28年度が26%、平成29年度が22%で4年間の合計尾数では23%で、毎回の調査で約2割～3割の割合でコンスタントに養殖ウナギが採捕されており、天然ウナギが多い中でも養殖ウナギが生息できることがわかった。

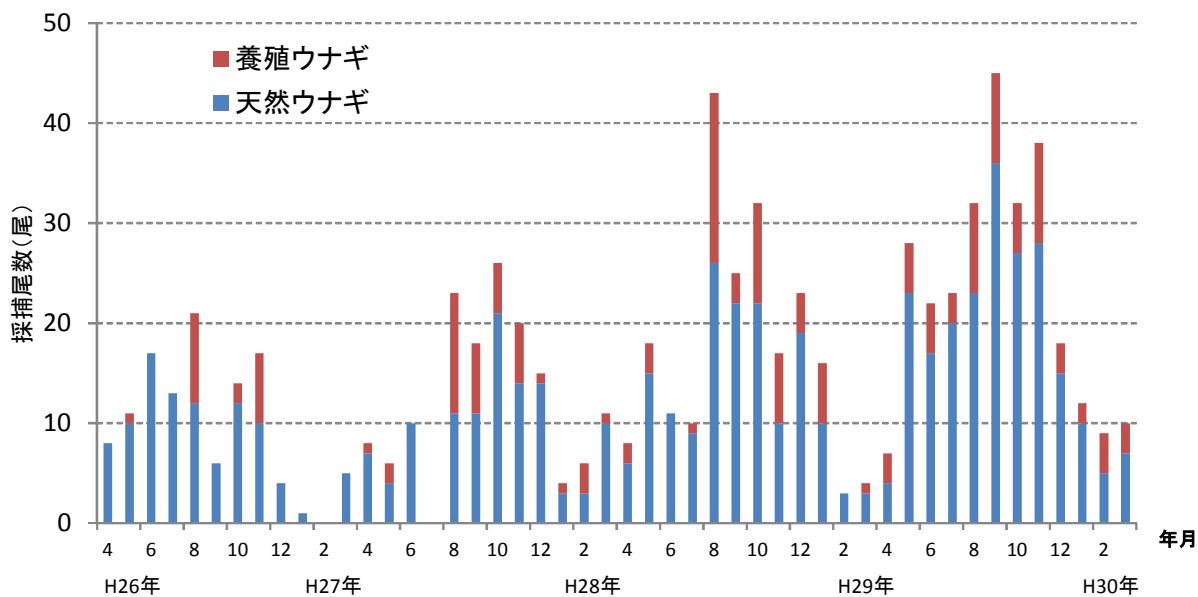


図14 天然ウナギと養殖ウナギの竹筒漁獲尾数

6. 放流ウナギの移動状況

平成26, 27年度養殖ウナギは、すべてSt. 8（花渡橋から上流へ2,760m地点）で一点放流したところ、平成26年度は88%（図15），平成27年度は83%（図16）が放流地点より下流で再捕された。

放流地点より下流で再捕された個体の割合は、分散放流した平成28年度が48%，29年度が53%で、一点放流した平成26, 27年度よりも下流で再捕される割合が有意に低かった（図17, 18）。

なお、天然ウナギは89%が同一地点で再捕された（図19）。

養殖ウナギの分散放流は、一点放流より下流に移動する個体の比率が有意に低かったが、天然ウナギよりは高かった。つまり、養殖ウナギの分散放流は天然ウナギの定位性には及ばないが、一点放流よりは定位している個体の比率が高いことから、分散放流は、天然ウナギの生息状況により近い放流手法と思われた。

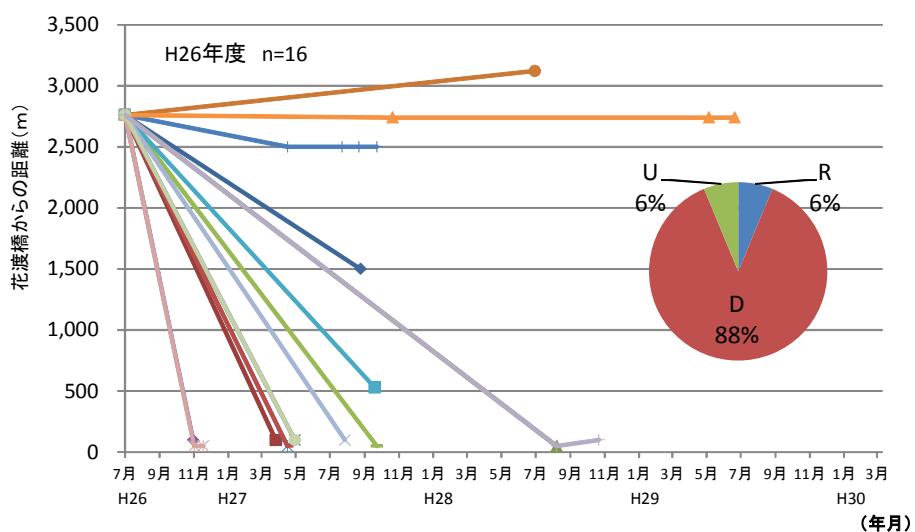


図 15 平成 26 年度養殖ウナギ 50g サイズの移動状況

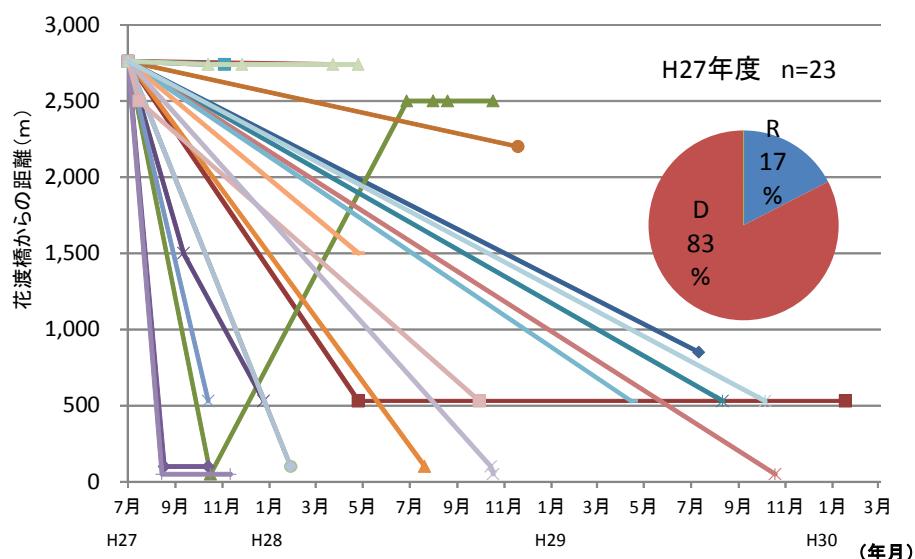


図 16 平成 27 年度養殖ウナギ 50g サイズの移動状況

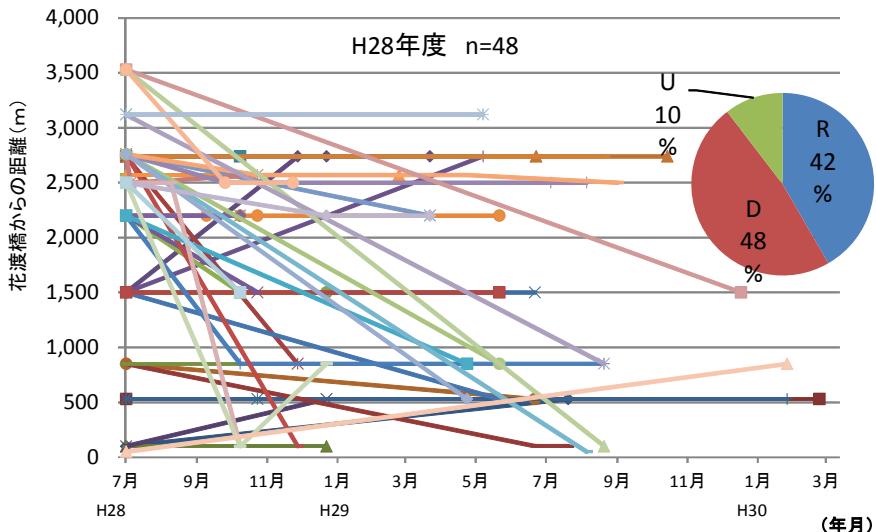


図17 平成28年度養殖ウナギ50gサイズの移動状況

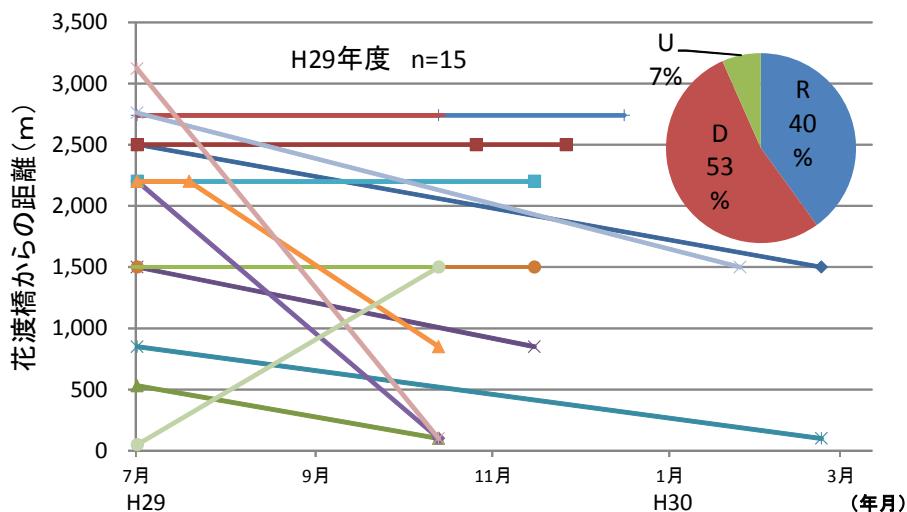


図18 平成29年度養殖ウナギ50gサイズの移動状況

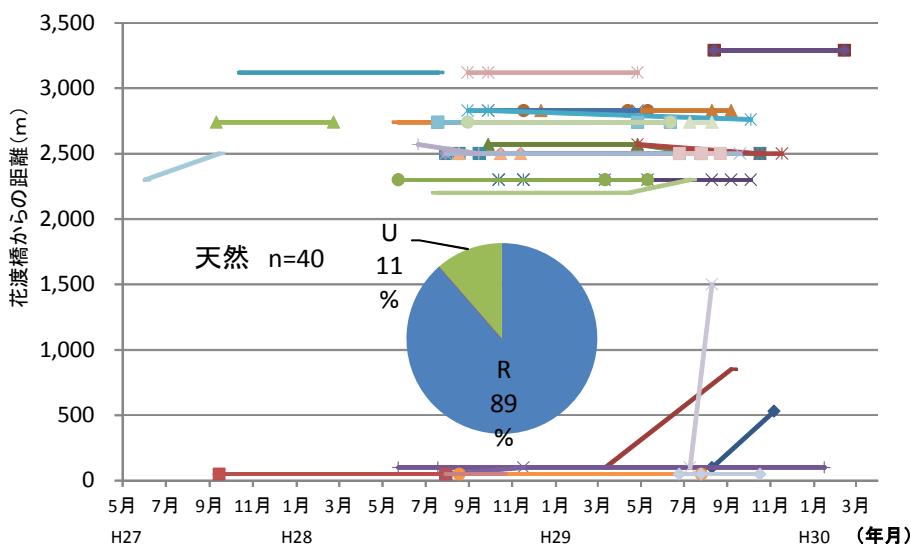


図19 天然ウナギの移動状況

【まとめ】

放流サイズ（50gと200gサイズ）の比較では、200gの養殖ウナギは越冬後の再捕率はほぼ0%であり、
へい死または食害などが原因であれば、200gの放流効果は望めないであろう。

一方、50gは越冬後の再捕率が2.0%～4.1%であること、雌の割合が30%であったことから、養殖ウナギを放流するのであれば200gではなく50gの方が良いと思われる。

飼育餌料の種類（ミミズ、ゴカイの活餌と配合飼料をそれぞれ6週間給餌して比較）では、両者に再捕率に差はみられなかった。6週間手間ひまをかけて活餌を与えても再捕率に差が無いのであれば、さらに長期間の給餌が必要であるため、困難である。

天然ウナギと養殖ウナギの成長では、50gサイズの養殖ウナギの体重は、放流後短期間では減少傾向にあるが、長期間では増加に転じ、色調も天然ウナギに類似しているものもみられた。しかし、それらの成長は、同一群の稚苗でも、体重差では2～3倍、体色も異なるなど個体差が大きいことから、現時点では、群として一様の評価は困難である。

瞬間成長率は、天然ウナギの方が、養殖ウナギより高いことがわかったが、養殖ウナギの体重は一定期間経過後に増加へ転じていることから、今後、河川で長期間滞在し環境に順応した時点で天然と同等になる可能性もあり、調査の継続が必要である。

平成28年度から実施している養殖ウナギの分散放流は、放流直後の局所的な密度増加を分散することで、住処や餌の競合を避けることを目的に実施し、再捕率（生残率）の向上を目的としたが、現時点の再捕率は一点放流との間に有意差はみられなかった。

しかし、天然ウナギは放流地点と同じ場所での再捕が89%を占め、その場からほとんど動かず、定位性が高いことがわかり、天然ウナギの動態に近づける放流方法という意味では、分散放流がより自然な方法であろう。

なお、ニホンウナギは産卵行動までに5年から15年間を要することから、養殖ウナギの放流の是非については、今後、銀化した養殖ウナギを再捕し、成熟度を確認することが必要であるとともに、放流が在来の天然ウナギへ与える影響調査等の課題が残されている。

参考 放流調査結果一覧 平成30年3月14日現在

放 流 前								放流直後～現在		放流後(越冬後～現在)			
放流年月日		サイズ	餌	平均全長 (mm)	平均体重 (g)	平均 肥満度	放流尾数 (尾)	雌の割合 (%)	標識	再捕尾数 (尾)	再捕率(%)	再捕尾数(尾)	再捕率(%)
H25	10/11	50g	—	345	45	1.09	450	59%	左目下黄	39	8.7%	9	2.0%
		200g	—	495	195	1.61	450	0%	右目下黄	57	13%	1	0.2%
H26	7/22	50g	活餌	353	46	1.05	203	60%	PITタグ	15	7.4%	8	3.9%
		50g	配合	370	59	1.14	196			19	9.7%	6	3.1%
		50g計	—	361	53	1.09	399			34	8.5%	14	3.5%
	10/28	200g	活餌	501	184	1.47	150	0%	PITタグ	7	4.7%	0	0.0%
		200g	配合	504	188	1.47	150			3	2.0%	0	0.0%
		200g計	—	501	192	1.53	300			10	3.3%	0	0.0%
H27	7/29	50g	—	368	55	1.10	345	30%	PITタグ	29	8.4%	14	4.1%
		200g	—	438	192	1.34	398	0%		16	4.0%	0	0.0%
H28	7/20	50g	—	372	50	0.97	700	23%	PITタグ	79	11.3%	31	4.4%
H29	7/25	50g	—	356	52	1.16	700	29%	PITタグ	32	4.6%		
H27年5月～H28年2月		天然	不明	381	93	1.24	689	不明	PITタグ	80	11.6%	29	4.3%
計（※天然ウナギを除く）							3,742			311	8.3%	107	2.9%

参考文献

平成25年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ（放流用種苗育成手法開発事業） 塩先尊志，久保満，猪狩忠光
神野公広（企画栽培養殖部）

平成26年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ（放流用種苗育成手法開発事業） 平江多績，猪狩忠光，東條智仁
今吉雄二（企画栽培養殖部）

平成27年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ（放流用種苗育成手法開発事業） 平江多績，猪狩忠光，東條智仁

平成28年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ（放流用種苗育成手法開発事業） 平江多績，猪狩忠光，東條智仁

ウナギ資源増殖対策事業一Ⅲ (内水面資源生息環境改善手法開発事業)

平江多績, 猪狩忠光, 高杉朋孝

【目的】

ウナギの生息環境の維持保全のため、漁獲調査を実施し、生息場所や生息環境等を調査する。また、ウナギ分布の制限要因について調査し、その改善策について検討する。平成29年度は、天然ニホンウナギの分布調査、芝マット魚道でのニホンウナギ採捕と動画撮影、芝マット魚道の耐久性試験、芝マット魚道上流での標識ウナギ再捕調査を行った。なお、本事業は、平成25年度からの5カ年間において、水産庁委託事業「内水面資源生息環境改善手法開発事業」により実施した。

【方法】

1. 天然ニホンウナギ分布調査

平成29年4月から翌年3月に図1の花渡川及び支流の中州川に設置した竹筒(St. 1~10の10カ所)と石倉(St. 6の1カ所)により天然ニホンウナギを採捕し、分布や消長を毎月1回調べた。また、銀ウナギの出現について、Okamura Aらによる方法により、頭部、魚体中央部の黒色化、胸鰭縁辺部までの黒色化を指標に、S1, S2 (S2はS1より黒色化の範囲が広く、銀化が進んだもの)で判定した。

2. 芝マット魚道でのニホンウナギ採捕と動画撮影

平成29年7月から8月にかけて7回、図2の中州川第2堰堤に、芝マット魚道及びトラップを設置し、うち5回は監視デジタルレコーダー (QT914-4N4, 4チャンネルAnalogHDセキュリティシステムQTA8027B: 以下監視カメラと表記) で連続撮影を行い、芝マット魚道でのニホンウナギの捕獲および動画撮影を試みた。1回の観察は日没から翌朝までとした。



図1 分布調査地点



図2 ニホンウナギ遡上調査地点 (中州川: 上記図1の□部分拡大)

3. 芝マット魚道の耐久性試験

平成29年7月から翌年3月末まで、第2堰堤のコンクリート壁に芝マットをオールアンカーまたはコンクリートビスで設置し、その後8ヶ月間の耐久性について調べた。

芝マットは1枚30cm×30cm、厚み2cmの市販品で、堰堤の高さに合わせて複数枚を既設の固定器具で連結し、さらにインシュロックで4カ所を補強のために結束した。

連結した芝マットは、堰堤斜面部と上部水平部分のコンクリートに、電動ドリルで数カ所に直径6mm、深さ40mmの穴を空け、オールアンカーと芝マットの間に直径20mm、穴径6.5mmのワッシャーを挟み込んで固定した。コンクリートビスの場合は5mm×60mmをコンクリートの穴に直接ねじ込んで固定した。

4. 芝マット魚道上流での標識ウナギ再捕調査

平成29年5月26日および平成29年7月11日に、図2の中州川第1堰堤から下流方向の200m範囲において、ニホンウナギを電気ショッカー(FISH SHOCKERⅢS)で採捕し、採捕当日に体測後、全長20cm以上はPITタグ(Biomark社製BI08.B.03またはBI012B)で標識し、20cm未満の小型個体はDNA標識として、胸鰓の一部を採取保存し、芝マット魚道直下に放流した。なお、採取した胸鰓の一部は、国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所日光庁舎内水面研究センターへ送付し、遺伝子型分析による個体識別を依頼した。

放流から2ヶ月後の平成29年9月11日、および8ヶ月後の平成30年3月16日に、芝マット魚道上部の第2堰堤と第3堰堤の間で電気ショッカーにより標識放流ウナギの再捕を試みた。

【結果及び考察】

1. 天然ニホンウナギ分布調査

10定点で合計215尾の天然ニホンウナギが採捕され、平均全長は410mm、最小184mm、最大635mm、平均体重は104g、最小5g、最大442g、平均肥満度は1.28、最小0.80、最大1.80であった(表1)。

平成29年度の天然ニホンウナギの分布調査における全長と体重の関係は $y=2.6601e^{0.0084x}$ ($r=0.9481$ $y=\text{体重g}$, $x=\text{全長mm}$)で表された(図3)。

天然ニホンウナギの全長組成は350~449mmが最頻値で、正規分布していた(図4)。

定点別採捕尾数はSt.1~St.4が多く、これら4カ所は河口から近く、潮汐の影響が大きく、河床は砂泥で類似の河川環境であった。これに対して、上流での採捕尾数は少なくなり、St.8下と9は2尾、St.10では1尾であった(図5)。また、St.5は堰堤の直下で採捕尾数は多かった。

平成29年度の月別採捕尾数では、9月が36尾と最も多く採捕され、4月、1月、2月、3月は10尾以下と少ない傾向であった(図6)。

表1 天然ニホンウナギの採捕結果

場所	個体数 (尾)	全長(mm)			体重(g)			肥満度		
		平均	最小値	最大値	平均	最小値	最大値	平均	最小値	最大値
St.1	54	423	299	582	108	29	301	1.30	0.93	1.61
St.2	25	395	263	544	88	18	235	1.23	0.99	1.51
St.3	23	392	260	520	88	15	253	1.29	0.85	1.80
St.4	49	403	184	598	93	5	305	1.22	0.80	1.67
St.5	21	448	293	590	142	29	328	1.34	1.01	1.74
St.6	10	398	266	540	98	24	231	1.28	1.00	1.47
St.6石倉	11	461	313	635	158	37	442	1.41	1.17	1.73
St.7	7	356	206	515	81	11	206	1.30	1.18	1.51
St.8上	10	348	264	447	52	21	100	1.18	0.99	1.38
St.8下	2	396	276	515	124	67	180	1.29	1.26	1.32
St.9	2	471	387	555	177	70	284	1.43	1.21	1.66
St.10	1	481	481	481	125	125	125	1.12	1.12	1.12
総計	215	410	184	635	103	5	442	1.28	0.80	1.80

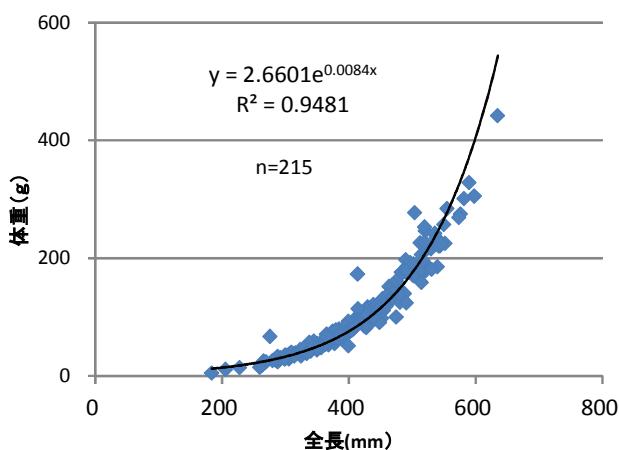


図3 ニホンウナギの全長と体重の関係

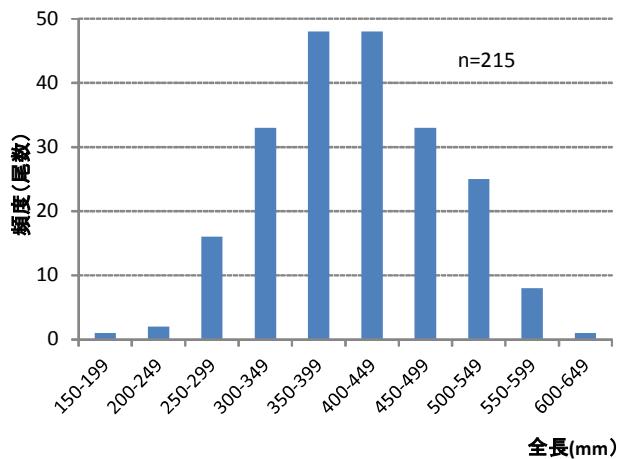


図4 ニホンウナギの全長組成

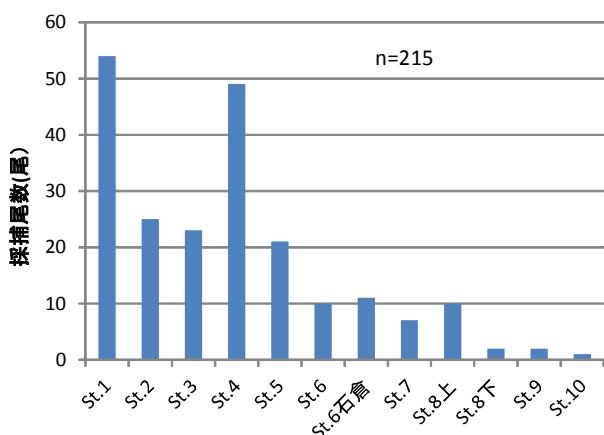


図5 定点別採捕尾数

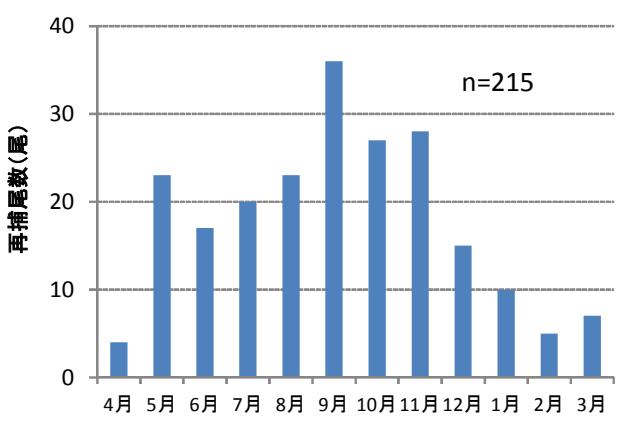


図6 月別採捕尾数

銀ウナギは、10月～12月にかけて10尾採捕された。平均全長514mm、平均体重205g、平均肥満度1.50で、S1が9尾、S2が1尾であった（表2）。

採捕場所はSt. 1～St. 4の河口から近い場所であった。なお、採捕後は、PITタグ装着し、その場に放流したため、雌雄については確認していない。

図7-1～3に採捕された銀ウナギの一部の写真（札番号は表2左の写真番号）を示す。

表2 ニホンウナギ（銀ウナギ）の体測結果

No	測定日	全長(mm)	体重(g)	肥満度	採捕場所	成長段階	写真番号
1	H29.10.5	497	192	1.56	St.4	S1	4
2	H29.10.5	513	226	1.67	St.4	S2	11
3	H29.10.5	520	253	1.80	St.3	S1	14
4	H29.11.2	506	172	1.33	St.1	S1	1
5	H29.11.2	520	227	1.61	St.1	S1	8
6	H29.11.2	538	235	1.51	St.2	S1	11
7	H29.11.2	475	161	1.50	St.3	S1	16
8	H29.11.2	552	225	1.34	St.4	S2	26
9	H29.12.5	542	221	1.39	St.2	S1	6
10	H29.12.5	480	139	1.26	St.3	S1	9
平均		514	205	1.50			



図7-1 銀ウナギS1 H29.10.5 (写真番号11)

St. 1 全長513mm, 体重226g 肥満度1.67



図7-2 銀ウナギS2 H29.11.2 (写真番号26)

St. 4 全長552mm, 体重225g 肥満度1.34



図7-3 銀ウナギS1 H29.12.5 (写真番号9)

St. 1 全長480mm, 体重139g 肥満度1.26

2. 芝マット魚道でのニホンウナギ採捕と動画撮影

監視カメラでニホンウナギの姿は撮影されず、トラップでもニホンウナギは採捕されなかった（表3）。なお、監視カメラとトラップの設置状況は図8のとおりであった。トラップではオイカワ、テナガエビ類のみが採捕された（図9）。

表3 平成29年度の第2堰堤 魚道トラップ、撮影調査日（7月～8月）

調査日	トラップ	カメラ	満潮時刻	月齢	潮	備考
H29.7.3	×		15:36	10	長	トラップのみ
H29.7.4	×		16:41	11	若	トラップのみ
H29.7.5	×	×	17:31	12	中	
H29.7.6	×	×	18:12	13	中	
H29.7.11	×	×	20:59	18	中	トラップ改良1
H29.8.8	×	×	20:04	17	大	
H29.8.23	×	×	20:57	2	大	トラップ改良2



図8 芝マット魚道とトラップ（左） ラップ部分拡大（右）

図9 トラップの採捕生物
(オイカワ, テナガエビ)

3. 芝マット魚道の耐久性試験

敷設時の状況は図10のとおりであった。設置後8ヶ月後は図11のとおりで、堰堤からの脱落はなく安定状態を保っており、芝マット表面には落ち葉などが付着していたが、魚道としての機能は保たれていた。

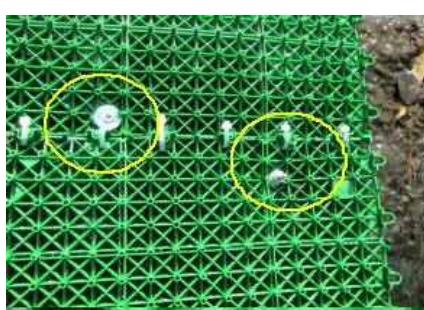


図10 敷設状況



図11 8ヶ月経過後の上部（左）及び 側面（右）

4. 芝マット魚道上流部での標識ウナギ再捕調査

標識放流用のニホンウナギの採捕結果は表4のとおりで、5月に107尾、7月に77尾の計184尾が採捕され、体測後、PITタグまたはDNA標識後に、芝マット魚道直下に放流した。

採捕場所は、図12左、中央のように、自然石やコンクリートの隙間や岸周辺の河床（浮き石、砂）、図12右の堰堤（毎年4月から7月まで倒立）の直下で、多いところは、1回あたりの電気ショックで3～4尾のニホンウナギが隙間から飛び出した。

この場所は石積護岸が崩壊し、隙間が多いことや、直上に堰堤があることから、遡上を妨げられ

たニホンウナギがせき止められたことで、ウナギの密度が高くなつたと考えられた。

表4 ニホンウナギの採捕尾数と体測結果(標識放流)

採捕日	採捕尾数		全長(mm)	体重(g)	肥満度
H29.5.26	107尾	最小	133	2	0.806
		最大	561	265	1.526
		平均	298	46	1.178
H29.7.11	77尾	最小	130	3	0.790
		最大	591	360	1.763
		平均	309	66	1.292
計	184尾	平均	303	54	1.226



図12 自然石の乱積み(左)

コンクリート隙間(中央)

可動堰(右)

芝マット魚道上部での採捕調査地点は図13のとおりであった。

調査範囲において、18尾のニホンウナギおよび2尾のオオウナギを採捕した(表5)。そのうち3尾は、堰堤の下流域で標識放流した個体であったことから、これらは芝マット魚道を通過して遡上したものと思われた。理由として、昨年度の行動観察では全長約15cm、体重2~3gのクロコサイズのニホンウナギは、剥離したコンクリート溝部に体を密着させながら遡上していたが、全長30cm、体重30gを越える上記サイズのニホンウナギは、コンクリートの溝に体が収まらないことや自重を支えられるだけの突起物がないことから、芝マット以外のコンクリート斜面は上れないと推定した。

なお、芝マットを設置前の調査では、堰堤の上で全長30cm、体重30g以上の天然ニホンウナギを10尾採捕しているが、これらはクロコサイズ時代にコンクリートの小さな凹凸を利用して堰堤上部に到達し、その後上流で定着し、成長したものと思われる。

さらに、芝マット設置以前に花渡川を含む下流域でPITタグで標識放流した養殖および天然ウナギが堰堤の上で再捕された事例はない。

再捕された3尾は平成29年5月、7月に電気ショッカーで採捕した表4の184尾には含まれておらず、別事業にて標識放流した養殖ウナギ2尾と、平成28年に同事業で標識放流した天然ウナギ1尾であった(図13-1, 2, 3)。

図13-1は、平成29年7月21日にSt. 5に全長366mm、体重39g、肥満度0.79で放流した養殖ウナギが約2ヶ月後に中州川第2堰堤の上で再捕されたもので、再捕時の全長は364mm、体重は34g、肥満度は0.7であった。

図13-2は、平成29年7月21日に花渡川St. 9に全長375mm、体重53.1g、肥満度1.00で放流した養殖ウナギが約2ヶ月後に支流の中州川第2堰堤の上で再捕されたもので、再捕時の全長は370mm、体重は43g、肥満度は0.85であった。

図13-3は、平成28年10月12日に第2堰堤直で採捕し、同日、同場所で標識後放流した全長307mm、

体重30g、肥満度1.04の天然ウナギが、約一年後に中州川第2堰堤の上で再捕されたもので、再捕時の全長は350mm、体重は50g、肥満度は1.17であった。

なお、平成29年7月3日に芝マット魚道を設置したことから、これらのニホンウナギは、平成29年7月3日～9月11日の間に芝マット魚道を遡上したと考えられた。



図13 芝マット魚道上部の調査地点（右：下流方向、左：上流方向）

表5 芝マット魚道上流で採捕したウナギの体測結果(平成29年9月11日)

No	由来	全長(mm)	体重(g)	肥満度	備考
1	天然	318	47	1.46	
2	天然	305	32	1.13	
3	天然	489	142	1.21	
4	天然	245	19	1.29	
5	天然	481	73	0.66	
6	天然	136	3	1.19	
7	H29養殖	364	34	0.70	※再捕
8	H29養殖	370	43	0.85	※再捕
9	天然	496	177	1.45	
10	天然	321	43	1.30	
11	天然	285	27	1.17	
12	天然	425	92	1.20	
13	天然	406	80	1.20	
14	天然	350	50	1.17	※再捕
15	天然	261	20	1.12	
16	天然	294	26	1.02	
17	天然	263	21	1.15	
18	天然	199	17	2.16	オオウナギ
19	天然	200	16	2.00	オオウナギ
20	天然	247	14	0.93	

※再捕：過去に芝マット魚道より下流で放流したニホンウナギが堰堤より上流で再び採捕されたもの



図13-1 芝マット魚道の上で再捕された養殖ウナギ（平成29年9月11日撮影）

全長364mm、体重34g、肥満度0.70

(H29年7月21日放流時：全長366mm、体重39g、肥満度0.79)



図13-2 芝マット魚道の上で再捕された養殖ウナギ（平成29年9月11日撮影）

全長370mm, 体重43g, 肥満度0.85

(H29年7月21日放流時：全長375mm, 体重53.1g, 肥満度1.00)



図13-3 芝マット魚道の上で再捕された天然ウナギ（平成29年9月11日撮影）

全長350mm, 体重50g, 肥満度1.17

(H28年10月12日放流時：全長307mm, 体重30g, 肥満度1.04)

【まとめ】

1 天然ニホンウナギの分布調査における採捕尾数は、河口から近い場所で多く、遠い場所で少なかった。また、季節変動では、秋に多く、冬に少なかった。

河口周辺は、上流と比較して冬場でも海水の影響が大きく水温が高いことや、餌や隠れ家が多いことが推察され、周年にわたりニホンウナギの生育にとって重要な場所であると思われた。また、冬は水温低下により、ニホンウナギの活性が低くなり竹筒での採捕尾数が減少したと思われ、これらの分布や季節消長の傾向は、例年と同様であった。

なお、秋には銀ウナギを確認しており、花渡川は産卵に寄与できるニホンウナギが生育できる河川であることを再確認した（これまで、毎年銀ウナギを確認してきた）。

2 芝マット魚道でのニホンウナギ採捕と動画撮影ができなかつたことは、設置のタイミングが遡上の日時と合致しなかつたことが考えられた。（なお、平成28年度調査では、芝マット魚道を遡上するニホンウナギの動画を撮影し報告した。）

3 芝マット魚道は、オールアンカーやコンクリートビスで堰堤に固定することで、8ヶ月以上の安定を保つことができたことから、設置が容易で耐久性のある簡易魚道として有効性が示唆された。

4 芝マット魚道の下流で放流したニホンウナギがその上流で3尾再捕された。これらは体サイズから推測して芝マット魚道を遡上したと思われた。なお、5月、7月に電気ショッカーで採捕し芝マット魚道直下に放流したニホンウナギが9月に堰堤の上流で再捕されなかつた原因の一つは、電気ショックとPITタグ装着によるハンドリングストレスの影響が考えられた。

本事業は平成25年度から29年度の5年間にわたり実施され、ニホンウナギの生息分布や季節消

長を把握し、好適な生息場所は間隙のある護岸や浮き石の河床であること、堰堤はウナギの遡上を阻害していることを明らかにし、その対策として簡易魚道の開発を行った。

今年度は、中州川第1堰堤直下の石積み護岸周辺でニホンウナギが多数採捕される場所を新たに発見した。この場所は、「堰堤の遡上阻害」＝「堰き止め効果による集積」と「隙間の多い石積み護岸」＝「隠れ家の確保」の条件が重なる場所で上記内容を裏付けた。

また、堰堤に芝マットを敷設することで魚道としての効果と耐久性を確認し、これにより堰堤の上流域をニホンウナギの生息域として拡大できる可能性が示唆された。

参考

Okamura A.、Yamada Y.、Yokouchi K.、Horie N.、Mikawa N.、Utoh T.、Tanaka S.、and Tukamoto K. (2007) A silverling index for the Japanese eel *Anguilla japonica*. Environmental Biology of Fishes 80:77-89

平成25年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業Ⅲ(内水面資源生息環境改善手法開発事業) 塩先尊志、久保満、猪狩忠光
平成26年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業Ⅲ(内水面資源生息環境改善手法開発事業) 平江多績、猪狩忠光、
東條智仁

平成27年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業Ⅲ(内水面資源生息環境改善手法開発事業) 平江多績、猪狩忠光、東條智仁
平成28年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業Ⅲ(内水面資源生息環境改善手法開発事業) 平江多績、猪狩忠光、東條智仁
平成25年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ(放流用種苗育成手法開発事業) 塩先尊志、久保満、猪狩忠光
神野公広(企画栽培養殖部)

平成26年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ(放流用種苗育成手法開発事業) 平江多績、猪狩忠光、東條智仁
今吉雄二(企画栽培養殖部)

平成27年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ(放流用種苗育成手法開発事業) 平江多績、猪狩忠光、東條智仁
平成28年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

ウナギ資源増殖対策事業－Ⅱ(放流用種苗育成手法開発事業) 平江多績、猪狩忠光、東條智仁

川内原子力発電所温排水影響調査事業

宮田翔也, 西 広海, 稲盛重弘

【目的】

昭和57年度からの継続調査で、川内原子力発電所から排出される温排水が周辺海域に与える影響を調査する。

【方 法】

調査の日程、項目は下記のとおりである。調査項目は、水温・塩分、流況、海生生物(海藻類、潮間帯生物(動物))、主要魚類及び漁業実態調査で、調査定点、方法とも前年と全て同じである。

調査項目	調査の内容	実 施 時 期		
		春 季	夏 季	冬 季
1 水温・塩分	(1)水平分布		平成29年7月22日	平成30年2月15日
	(2)鉛直分布		平成29年7月22日	平成30年2月15日
2 流 況	(1)25時間調査		平成29年7月22～23日	平成30年2月15日～16日
	(2)15日間調査		平成29年7月21日 ～8月4日	平成30年2月14日 ～3月1日
3 海 生 生 物	(1)海藻類	平成29年5月25～26日		
	(2)潮間帯生物	平成29年5月25～26日		
4 主 要 魚 類 及 び 漁 業 実 態	(1)イワシ類(シラス) バッヂ網		平成29年1月～12月(周年)	
	(2)マダイ,チダイ ごち網		平成29年4月～12月	

【結 果】

今年度は、平成28年度冬季調査、平成28年の主要魚類及び漁業実態調査、平成29年度春季・夏季調査について、平成29年7月25日(第1回)及び11月14日(第2回)に開催された鹿児島県海域モニタリング技術委員会で検討した。その結果、温排水の拡散範囲は、放水口周辺に限られていた。また、海藻類については主に食害により過去の調査結果「昭和59年度(発電所稼働開始後)～平成28年度」の変動の範囲を下回ったものもあったが、潮間帯生物(動物)、水温、塩分、流況、主要魚類及び漁業実態については過去の調査結果の変動の範囲内であった。なお、詳細な結果については、平成29年度鹿児島県海域モニタリング技術委員会に提出した調査結果報告書及び『平成28年度温排水影響調査報告書』に記載したとおりである。

なお、平成29年度冬季調査、主要魚類及び漁業実態調査結果については、平成30年度第1回鹿児島県海域モニタリング技術委員会にて検討を行う予定である。

公募型研究事業- I (藻場回復高度化事業)

猪狩忠光, 高杉朋孝, 平江多績

【目的】

海藻の幼胚（タネ）をより確実に供給する手法の開発を通じて、多大な経費と労力を要するこれまでの藻場造成手法の低コスト化・低労力化を図る。

今年度は、過年度に行った藻場造成に必要な母藻量について、再検証を行うことを目的とした。

【方 法】

幼胚供給には、昨年度考案した改良型スポアバッグ（約27×75cm, 角目1.5cm（上部は数カ所3cmに拡大し藻体を引き出せるようにした。）の網内に直径40cmの円柱を固定し、直径92mmの浮子（浮力298g）を上部に取り付け、水中で紡錘形に保持できるようにした：図1）を使用し、海底から約1.5mの高さになるように設置した。試験は指宿市岩本地先及び湯の浜地先の底質が砂である2カ所で行った（図2）。



図1 改良型スポアバッグでの母藻設置状況



図2 試験地

幼胚着底基質として頭大の山石を用いた。母藻設置位置を中心とし、石を八方向（東西南北及びその中間）に1m間隔で10個ずつ並べた。岩本地先ではマメタワラ及びヤツマタモクを母藻とし、両者の間は約50m離した。母藻は、5月22日に鹿児島市喜入瀬々串地先で採取し、雌雄は区別せず2kgを当日に設置した。また、湯の浜地先では、マジリモクを母藻とし、6月1日に同地区から採取した2kgを当日に設置した。

1～2ヶ月に1回、基質上の藻体の着生状況調査及び埋没防止のメンテナンスを行った。

【結果及び考察】

7月6日に岩本地先で初めての調査を行ったが、ホンダワラ類藻体は確認されなかった。湯の浜地先は7月14日に行い、半径5m内のいくつかの石にホンダワラ類藻体が確認された（図3）。

その後、台風が2回通過したことなどから、岩本地先では9月28日に2回目の調査を行ったが、ほぼすべての石が埋没し、掘り起こしたもの、石表面に藻体は確認されなかった。また、湯の浜地先では10月6日に2回目の調査を行った。すべての石が完全には埋没してはいなかつたが、ほとんどが埋も

れていた。5m内の9個の石にホンダワラ類藻体が確認され、密度は18～48個体/m²であった。その後、10月に台風が2回通過し、岩本地先は11月10日の調査で再度石がすべて埋没したため、この段階でここでの試験は中止した。湯の浜地先については、11月29日、翌年1月19日、3月16日と調査を行ったが、台風後の石の埋没も激しく、その後はホンダワラ類藻体が増えることはなく、減少していった。

今年度については、台風が4回通過し、頭大の小さな石だったため、海底の砂に埋没してしまい、結果を出すには至らなかった。



図3 湯の浜地先で7月14日に確認された個体