

No. 4

MARCH, 2013

BULLETIN
OF
KAGOSHIMA PREFECTURAL FISHERIES TECHNOLOGY
AND DEVELOPMENT CENTER

鹿児島県水産技術開発センター研究報告

第4号



平成25年3月

鹿児島県水産技術開発センター

鹿児島県水産技術開発センター研究報告

第4号

目次

報文

- 2012年春季に鹿児島県周辺海域で広域に出現した粘質状浮遊物とその分布特性
折田和三, 富安正藏, 鈴木秀和, 南雲保 1
- 2012年2月山川湾で発生した有害ディクチオカ藻 *Pseudochattonella verruculosa* 赤潮
の発生状況とブリに与える影響
折田和三, 西広海, 田原義雄, 徳永成光, 中村章彦 17
- 統計学的手法を用いた八代海の *Chattonella* 赤潮発生に関与する要因抽出と予察の
可能性
折田和三, 西広海, 田原義雄, 中村章彦 24
- アオダイ *Paracaesio caerulea* の陸上飼育試験
久保満, 神野公広, 宍道弘敏 33

資料

- 2012年春季に鹿児島県周辺海域で広域に出現した粘質状浮遊物の消長
田原義雄, 折田和三, 西広海, 小湊幸彦, 中村章彦 40
- ブリの鰓の微細構造
折田和三 45
- 2012年4月に鹿児島県沿岸浅所で見られた石灰藻の白化現象
徳永成光, 塩先尊志 55

試験研究業績

- 外部への発表 57

2012年春季に鹿児島県周辺海域で広域に出現した粘質状浮遊物とその分布特性

折田和三, 富安正蔵, 鈴木秀和¹⁾, 南雲保²⁾

1)東京海洋大学大学院 2)日本歯科大学

要 約

2012年春季, 鹿児島県本土周辺海域の広い範囲で大量の粘質状浮遊物が出現した。その原因物質は *Thalassiosira partheneia* Schrader によるコロニーと推定され, この報告が本邦における本種の初めての出現報告になると思われる。粘質状浮遊物は, Chl-a 濃度の鉛直プロファイルからその存在を認識できると考えられ, 水深 10 ~ 50m 層を中心に Chl-a 濃度が高く 50m 以深にも高濃度層が散在することから, 粘質状浮遊物が分布していた海域では, 濃淡のはっきりしたコロニーが厚い層を形成していたと推測される。また, 増殖適水温はコロニーが確認された時期の現場水温から約 16 ~ 18 °C と考えられ, 県本土周辺海域に広範囲に分布していたと推測される。さらに, 低い光環境への適応性も示唆され, 今年 2 月の九州西岸から南部の日照時間がかかり短かったことが本種の優占に影響したと考えられる。

2012年3月中旬~4月中旬, 鹿児島県薩摩半島西岸沖合から熊毛, 大隅半島に至る広い海域で, そこで操業する漁業に支障が出るほど, 漁具に粘質状浮遊物が絡みつく現象が多数報告された。¹⁾ この物質は緑色っぽい細かな繊維状の物質がかたまり, 綿のようになったもので, 光学顕微鏡で観察すると透明な不定形状の膜面に多数の小型プランクトンが確認された。

本稿は, 粘質状浮遊物原因プランクトンの特定を試みるとともに, その分布特性を推定した。

本研究で分布調査を併せて行った沖合定線調査及び甌島西水温観測は, 水産庁委託事業「我が国周辺水域資源評価等推進委託事業」で実施した。

なお, 本県沿海漁協における粘質状浮遊物の確認状況は, 本誌別途資料「2012年春季に鹿児島県周辺海域で出現した粘質状浮遊物の消長」として掲載した。

LM という) で観察するとともに, グルタルアルデヒドで固定した後, 定法²⁾によりアルコール系列脱水, t-ブチルアルコール置換, 凍結乾燥, イオンスパッタを施し, 走査型電子顕微鏡(以下 SEM という)(日立製 S-3000N)で観察した。また, サンプルの一部は定法^{3,4)}に従って処理した後, 透過型電子顕微鏡(以下 TEM という)(JEOL 社製 2000EX), 及びオスミウム導電被膜を施し, 走査型電子顕微鏡(日立製 S-5000)によりさらに精査した。本稿で用いた珪藻の形態に関する述語は小林ら⁵⁾に準拠した。

2 分布特性

2012年4月6~9日及び同年5月7~10日にかけて, 「くろしお」の沖合定線調査に併せ, 図1に

材料及び方法

1 原因プランクトンの形態及び同定

観察に供した粘質状浮遊物は, 2012年3月27日に川内市漁協所属の刺網で採取されたサンプル及び漁業調査船「くろしお」(以下「くろしお」という)が同年4月6~9日に採集したサンプルを用いた。粘質状浮遊物の形態や大きさを光学顕微鏡(以下

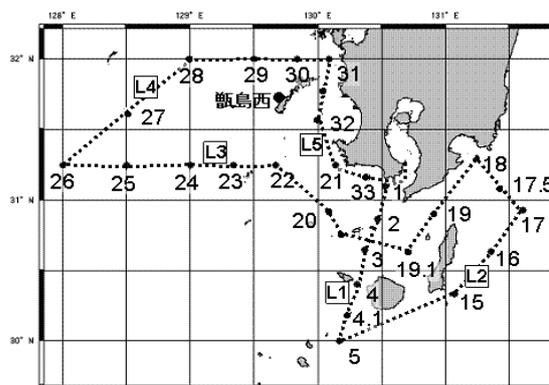


図1 沖合定線調査及び水温観測定点

示す定点で粘質状浮遊物の分布調査を行った。粘質状浮遊物をニューストーンネット（海面直下 10 中間曳網）や一部ノルパックネット（150m 鉛直曳き）への付着状況、海面目視で確認するとともに、付着物の一部をグルタルアルデヒドで固定しサンプルとして持ち帰った。

併せて、調査定点における水温及び塩分を CTD (Sea-Bird 社製 SBE19Plus) で、クロロフィル a 濃度（以下 Chl-a 濃度という）を CTD に付属した蛍光光度計 (Seapoint-Sensors 社製 Chlorophyll Fluorometer) で測定した。水温と塩分は、水深 0m 及び 50m で TS ダイアグラムを描き、粘質状浮遊物が濃密に存在したと考えられる定点群と存在しない又は密度は低いと考えられる定点群で平均値の差を検定した。検定は Microsoft 社製表計算ソフト Excel アドインで提供されている分析ツールを用い、あらかじめ F 検定で分散を比較し、母分散は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、母分散は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)」で平均値の差を検定した。Chl-a 濃度は、各定点 1m 毎の測定水深で測定値をプロットしたほか、1m 毎の全定点平均値及び各定点の 10m 毎平均値を求めた。

また、鹿児島県本土周辺水温分布は当所が受信した人工衛星 NOAA の SST 一日合成画像を、Chl-a 濃度分布は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) (http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/ADEOS/mod_nrt_new/index.html, 2013 年 3 月 31 日) が提供する NASA 地球観測衛星 AQUA 搭載センサ MODIS によって観測された 500 m 分解能 Chl-a 濃度画像の Tokara 及び Ariake を合成した九州西岸域の画像を用いた。さらに、出現期間前後の水温は、(独)水産総合研究センター西海区水産研究所が甌島西水深 8 m (図 1, 以下甌島西という) で測定した連続観測データの 2012 年 2 ~ 5 月の一日平均値を用い、1999 ~ 2012 年の 5 日間移動平均値と比較した。

気候統計値は、2012 年 2 月及び 3 月の鹿児島地方気象台 (<http://www.jma-net.go.jp/kagoshima/>, 2013 年 3 月 31 日) 枕崎及び種子島、熊本地方気象台 (<http://www.jma-net.go.jp/kumamoto/>, 2013 年 3 月 31 日) 牛深、長崎海洋気象台 (<http://www.jma-net.go.jp/nagasaki/>, 2013 年 3 月 31 日) 福江におけるそれぞれの気温、降水量、日照時間を用いた。

結 果

1 原因プランクトンの形態及び同定

LM, SEM 及び TEM で得られた粘質状浮遊物原因プランクトンの形態とその微細構造を図 2 に示す。

LM で観察された粘質状浮遊物は不定形の繊維状で (図 2-1,2), 繊維の中に小型細胞が多数散在していた (図 2-3,4)。1 つの細胞は長さ約 10 μ m, 直径約 10 μ m の大きさで、殻面 (valve face) がやや凸状に膨らんだ太鼓型をし (図 2-5), その形状から *Thalassiosira* 属の一種と推定された。さらに SEM による観察では、本種の殻はきわめて薄く、殻の中心及び殻套 (valve mantle) 部に存する有基突起 (strutted process) から粘液糸が放出されていた (図 2-5 ~ 7)。 *Thalassiosira* 属の形態概要と主な名称を図 3 に示す。

Thalassiosira partheneia Schrader, 1972, p. 59, pl. 1, figs 1-12, pl. 2, figs 1-5.

Ref. Hasle, 1983, p. 223, figs 19-36.

殻面観は円形で、直径 9-13 μ m (図 2-8 ~ 10)。殻面はやや凸状で殻套部は狭い。殻は全体的に薄く、原形質を除去した処理被殻は紙風船のようにつぶれ、殻肩 (valve shoulder) 部に環状の折れ目ができる (図 2-11, 12)。

条線 (stria) は微細であるため、LM では認められない。TEM 観察から、条線は 1 μ m あたり 4 ~ 6 本、1 列の胞紋 (areola) からなり、放射状に配列していることが分かる (図 2-11)。胞紋は小室構造を呈さず、胞紋 1 個あたり 3 ~ 8 個程度の小孔をもつ多孔篩板 (cribrum) により閉塞される (図 2-15)。胞紋構造は殻面と殻套で同じである (図 2-18)。殻のほぼ中央に中心有基突起が 1 個あり (図 2-11 ~ 13 の矢尻), その外部開口は円形で短い管をもつ (図 2-12 の矢尻)。内部開口は円柱状の管で外部開口のそれよりも長く (図 2-13 の矢尻), 明瞭な 4 個の付随孔 (satellite pore) をもつ (図 2-14, 15)。殻肩部には殻縁有基突起が環状に配列し、10 μ m あたり 4 ~ 6 個ある (図 2-11 ~ 13)。殻縁有基突起の外部開口は円形で短い管をもつ (図 2-16 の矢尻)。内部開口は円柱状の管で外部開口のそれよりも長く (図 2-17, 18 の矢尻, 図 2-19), 明瞭な 3 個の付随孔をもつ (図 2-20)。殻縁有基突起の列の中に、輪と同じ

位置,あるいはやや外側に1個の唇状突起 (labiate process)がある (図 2-11 ~ 13 の矢印)。唇状突起の外部開口はやや楕円形で縁がわずかに突出するが (図 2-16 の矢印),有基突起のそれに比べて低い。内部開口は唇状につぶれたスリットをなす (図 2-17, 18 の矢印)。

半殻帯 (cingulum) (図 2-21 ~ 26) はすべて開放型で,微細構造の差異により3タイプが認められた。殻に隣り合う接殻帯片 (valvocopula) (図 2-21, 22) は,殻縁に沿った1列の胞紋列と斜め平行に配列する胞紋列をもつ。各胞紋は殻と同様の構造である。

帯片内接部 (pars interior) は平滑で突起等はないが,中間帯片側にはその開放部の位置に小さな副小舌 (antiligula) をもつ (図 2-21 の矢印)。次に位置する中間帯片 (copula) (図 2-23, 24) は,接殻帯片と同じ幅で,同構造同配列の胞紋列をもつが,殻縁に沿った胞紋列はない。帯片内接部は平滑だが,接殻帯片の開放部の位置に,それを裏打ちするように小舌 (ligula) をもち (図 2-23 の矢印),その反対側のややずれた位置に副小舌をもつ (図 2-23 の矢印)。最も殻から離れて位置する連結帯片 (pleura) (図

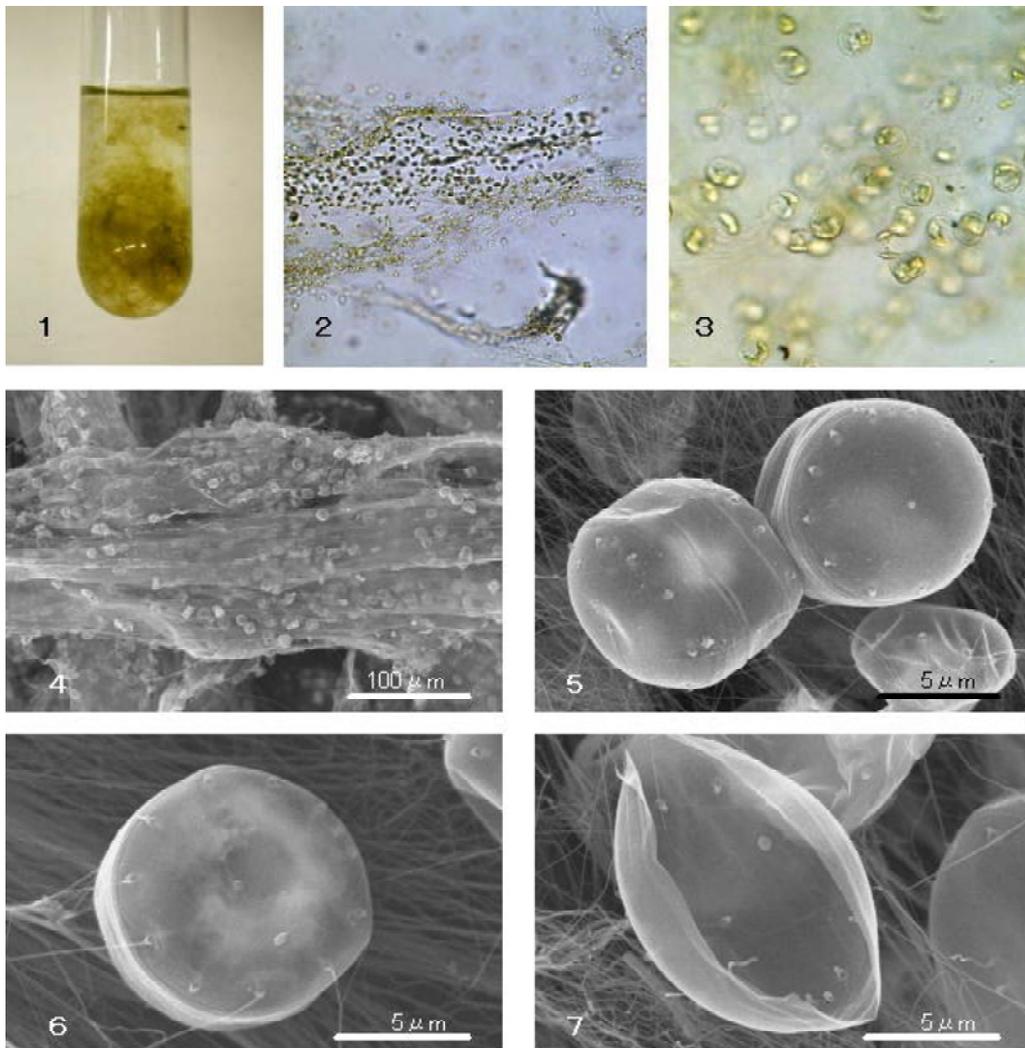


図2 粘質状浮遊物の形状

1 粘質状浮遊物 2 群体 (×40) 3 原因プランクトン (×400) 4 群体 5 単体
 6 粘液糸 7 殻の内面観 2~3:LM 4~7:SEM

2-25, 26) は, 3 タイプの中で最も幅が狭く, 接殻及び中間帯片のような胞紋列をもたない, あるいは数個の小孔がまばらに存する。中間帯片の開放部の位置にそれを裏打ちするように小舌をもつ (図 2-26 の矢尻)。

これらの構造は Schrader の原記載⁶⁾及び殻と帯片の微細構造を詳細に観察した Hasle⁷⁾の記載によく一致したので, 本種と同定した。なお, Fryxell *et al.*

(figs 2-15),⁸⁾ Herzig and Fryxell (figs 30-33),⁹⁾ Hoppenrath *et al.* (fig. 47),¹⁰⁾ 及び Park and Lee (figs 23-28)¹¹⁾で報告されている *T. partheneia* は, 原記載 (Schrader),⁶⁾ Hasle⁷⁾の記載及び本試料と比べて, 有基突起や唇状突起の構造や配列は似るが, 条線の配列や胞紋構造が異なっていたので, 別種と考えられた。

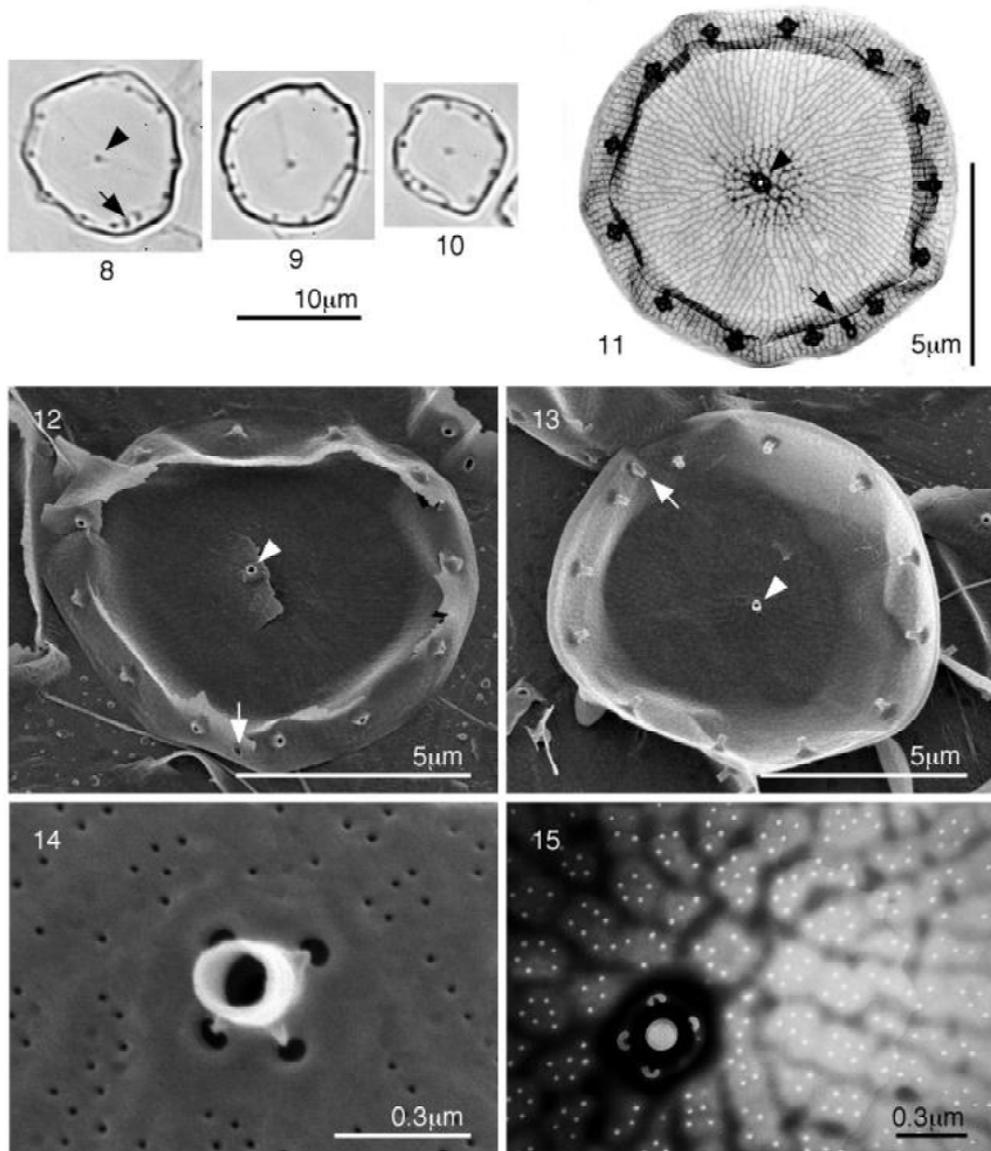


図2 粘質状浮遊物の形状 (続き)

8~11 殻面観. 12 殻の外表面観. 矢尻は中心有基突起, 矢印は唇状突起. 13 殻の内表面観. 矢尻は中心有基突起, 矢印は唇状突起. 14 中心有基突起の内表面観. 15 中心有基突起と胞紋の構造. 8~10: LM. 11, 15: TEM. 12~14: SEM.

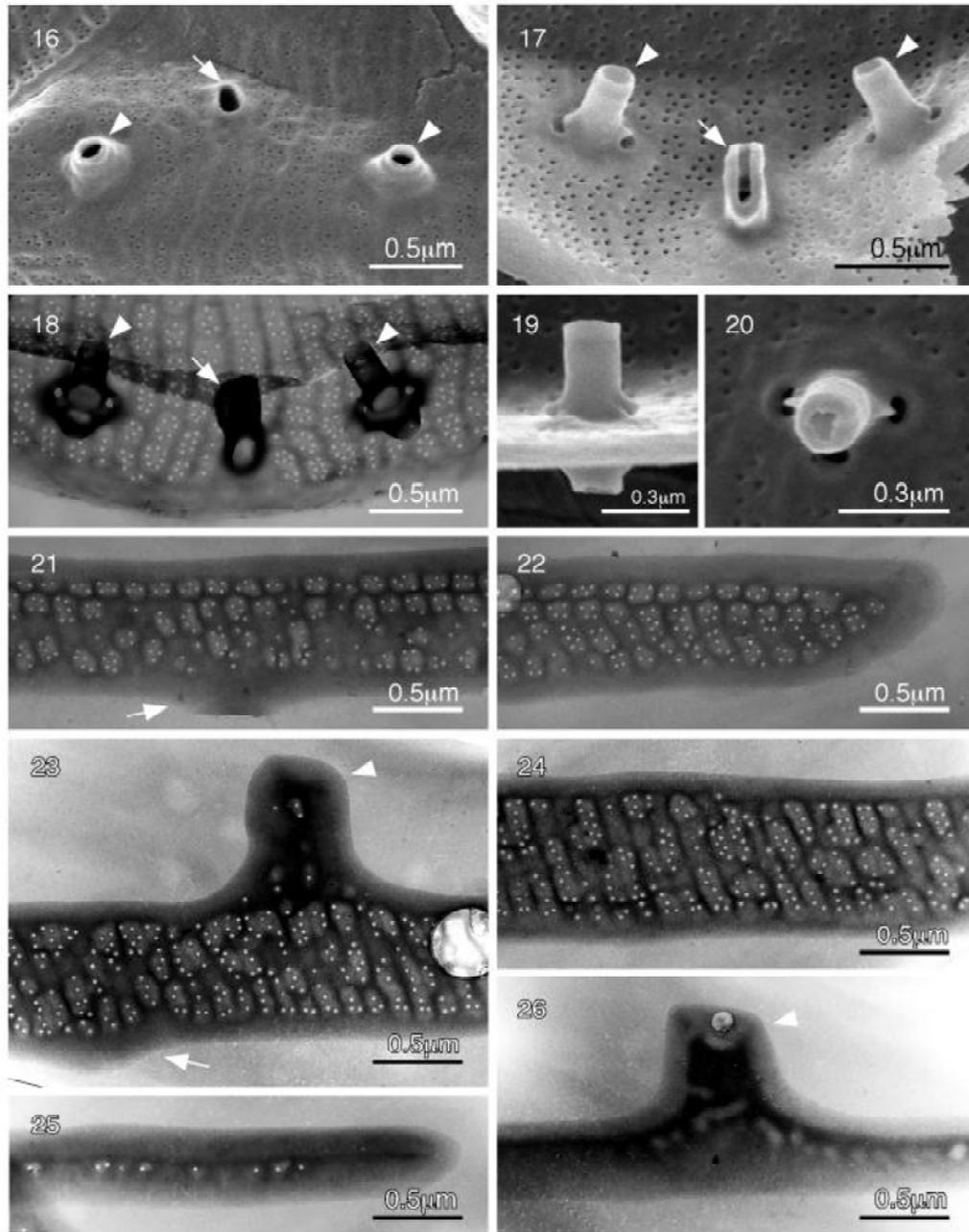


図2 粘質状浮遊物の形状 (続き)

16 殻縁有基突起 (矢尻) と唇状突起 (矢印) の外面観. 17 殻縁有基突起 (矢尻) と唇状突起 (矢印) の内面観. 18 殻縁有基突起 (矢尻) と唇状突起 (矢印). 19 殻縁有基突起. 20 殻縁有基突起の内面観. 21, 22 接殻帯片. 矢印は副小舌. 23, 24. 中間帯片. 矢尻は小舌, 矢印は副小舌. 25, 26. 連結帯片. 矢尻は小舌. 18, 21~26: TEM. 16, 17, 19, 20: SEM.

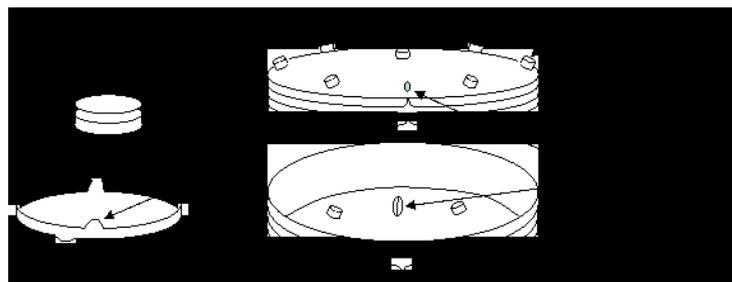


図3 *Thalassiosira* 属の形態概要と主な名称

2 分布特性

1) 分布調査

(1) 粘質状浮遊物の確認状況

「くろしお」により 2012 年 4 月 6～9 日に実施された粘質状浮遊物の確認調査結果を表 1-1 に示

す。ニューストンネットを 18 定点で曳網し, うち 17 定点で粘質状浮遊物が採取された。さらに, ノルパックネットのみで採取された 2 定点を加え, 調査定点 27 定点中 19 定点で粘質状浮遊物の存在が確認された。なお, ノルパックネットで採取されニュース

表1-1 粘質状浮遊物確認調査結果 2012年4月6～9日

St.	水深 (m)	浮遊物確認		海面状況	サンプル 色	グラフ パターン	分類
		ニューストン	ノルパック				
1	255	○	○	×	w	○	A
2	241	○	○	×	w	×	B
3	395	○	△	—	w	×	B
4	584	○	△	—	w	×	B
4.1	589	—	—	—	—	×	D
5	517	○	△	—	w	×	B
15	249	○	△	—	w	×	B
16	625	○	△	×	G	○	A
17	1062	○	△	×	G	○	A
17.5	180	—	—	—	—	○	A
18	103	○	△	○	G	○	A
19	103	—	△	—	—	×	D
19.1	166	—	△	—	—	○	A
20	395	—	○	×	w	×	B
21	179	○	△	—	w	×	B
22	142	○	△	○	G	○	A
23	794	○	△	○	G	×	B
24	692	○	○	○	w	×	B
25	483	○	△	—	w	×	B
26	151	○	△	—	w	×	B
27	548	—	—	—	—	○	A
28	784	—	—	—	—	○	A
29	684	○	—	○	G	○	A
30	146	○	△	○	G	○	A
31	67	×	△	—	—	○	C
32	173	—	△	—	—	○	A
33	226	—	○	○	w	○	A

表1-2 粘質状浮遊物確認調査結果 2012年5月7～10日

St.	水深 (m)	浮遊物確認		海面状況	サンプル 色	グラフ パターン	分類
		ニューストン	ノルパック				
1	258	×	×	×	—	×	D
2	239	×	×	×	—	×	D
3	320	×	×	×	—	×	D
4	593	×	×	—	—	×	D
4.1	569	—	—	—	—	×	D
5	618	×	×	—	—	×	D
15	213	×	×	—	—	×	D
16	616	×	×	—	—	×	D
17	1078	×	×	×	—	×	D
17.5	184	—	—	×	—	×	D
18	99	×	×	×	—	×	D
19	101	—	×	—	—	×	D
19.1	171	—	×	—	—	×	D
20	394	—	×	—	—	×	D
21	198	×	×	×	—	×	D
22	152	×	×	—	—	×	D
23	788	×	×	—	—	×	D
24	634	×	×	×	—	×	D
25	474	×	×	×	—	×	D
26	150	×	×	×	—	×	D
27	欠測	—	—	—	—	—	—
28	欠測	—	—	—	—	—	—
29	686	×	—	—	—	×	D
30	124	×	×	—	—	×	D
31	68	×	×	—	—	×	D
32	180	—	×	×	—	×	D
33	214	—	×	×	—	×	D

※浮遊物確認 ○:採取 ×:なし —:実施せず △:未確認
 海面状況 ○:目視確認又はにぎり ×:認識せず —:実施せず
 サンプル色 G:緑 W:白 —:サンプルなし
 グラフパターン ○:不連続パターン ×:連続パターン
 分類 A:浮遊物確認○or— グラフパターン:○
 B: " ○ " ×
 C: " × " ○
 D: " ×or— " ×

トンネットで採取されなかった場合、粘質状浮遊物のサンプルとして別途保存されたが、それ以外は直ちに分析機関へ送付されたため、粘質状浮遊物の有無は精査しなかった。これらの採取物は、肉眼では緑色から白っぽい色合いを呈し、LM 観察では緑色のサンプルは *Thalassiosira* の細胞が多く確認できたのに対し、白っぽいものでは *Thalassiosira* の細胞が前者に比べて明らかに少なく、粘液糸が目立っていた。また、曳網作業中に海面の状態を確認したが、作業が夜間で海面確認できなかった定点を除く 12 定点中、7 定点で海面直下の濁りや緑っぽい変色が認識された。同年 5 月 7～10 日に実施された調査結果を表 1-2 に示す。ニューストーンネット及びノルバックネットのいずれのネットでも粘質状浮遊物は採取されなかった。

2012 年 4 月 7 日の 1 日合成人工衛星水温分布画像と今回粘質状浮遊物が確認された定点を重ねて図 4 に示す。粘質状浮遊物は鹿児島県周辺海域に広く分布していたが、黒潮本流域には定点がないため、その粘質状浮遊物の存在は確認できなかった。なお、緑色を呈したサンプルが採取された定点は、水温分布の中でも水温がやや低い海域に分布していた。

(2) Chl-a 濃度

① 水平分布

粘質状浮遊物が確認された定点のうち、St.17, 22, 29 の 3 点について、2011 年 4 月、2012 年 4 月及び 5 月の Chl-a 濃度鉛直プロファイルを図 5 に示す。2011 年 4 月は表層から水深 100 m の間が最高で約 0.5～2.5µg/L を示し、100m 以深ではほぼ 0µg/L とする連続したプロファイルパターン（以下連続パ

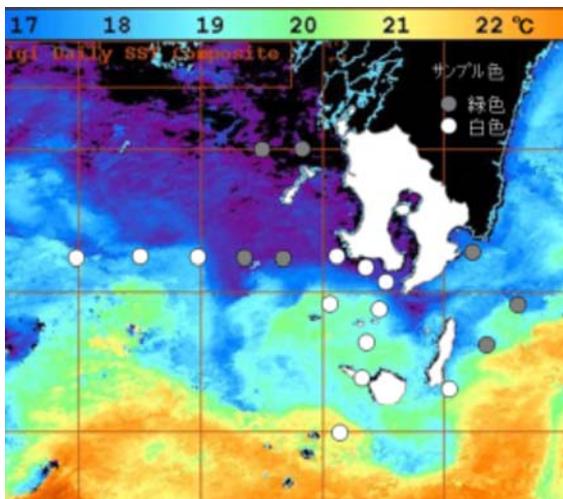


図4 水温分布と粘質状浮遊物出現定点

ーンという) を示した。2012 年 4 月は、表層から水深 150 m の間で 5～15µg/L に達するような値が散在する大きく乱れた不連続鉛直プロファイルパターン(以下不連続パターンという)を示し、このような不連続パターンを示した定点が 14 定点で確認された(表 1-1 グラフパターン)。1 ヶ月後の同年 5 月は水深 50 m 前後に 0.7µg/L 前後のなだらかなピークを持つ連続したパターンを示し、不連続パターンを示す定点はみられなかった(表 1-2 グラフパターン)。

表 1-1 のうち鉛直プロファイルパターンを図 6 に示す。不連続パターンは粘質状浮遊物の出現定点(図 4)と同様に本県周辺海域に分布しているが、より沿岸域若しくは北部にその分布が集中していた。

② 鉛直分布

2012 年 4 月 6～9 日に各定点で観測された Chl-a 濃度を表 2 に示す。各定点の Chl-a 濃度ピーク値は 1.3～20.7µg/L の範囲、ピークを示した水深は 10～172m の範囲であり、定点間で変動が大きかった。最大 Chl-a 濃度ピーク値は St.17 の水深 86m で 20.7µg/L だった。

表2 Chl-a濃度観測結果

2012年4月6～9日		
St.	Chl-aピーク値 (µg/L)	ピーク水深 (m)
1	12.3	17
2	3.7	65
3	1.7	14
4	1.3	18
4.1	8.1	41
5	2.9	72
15	7.1	53
16	18.6	70
17	20.7	86
17.5	7.3	66
18	9.8	55
19	6.0	10
19.1	12.5	112
20	10.5	63
21	3.1	20
22	15.9	77
23	6.0	172
24	3.7	30
25	2.0	43
26	1.6	13
27	17.2	41
28	15.1	21
29	18.3	27
30	15.5	45
31	4.5	53
32	3.3	68
33	14.7	96

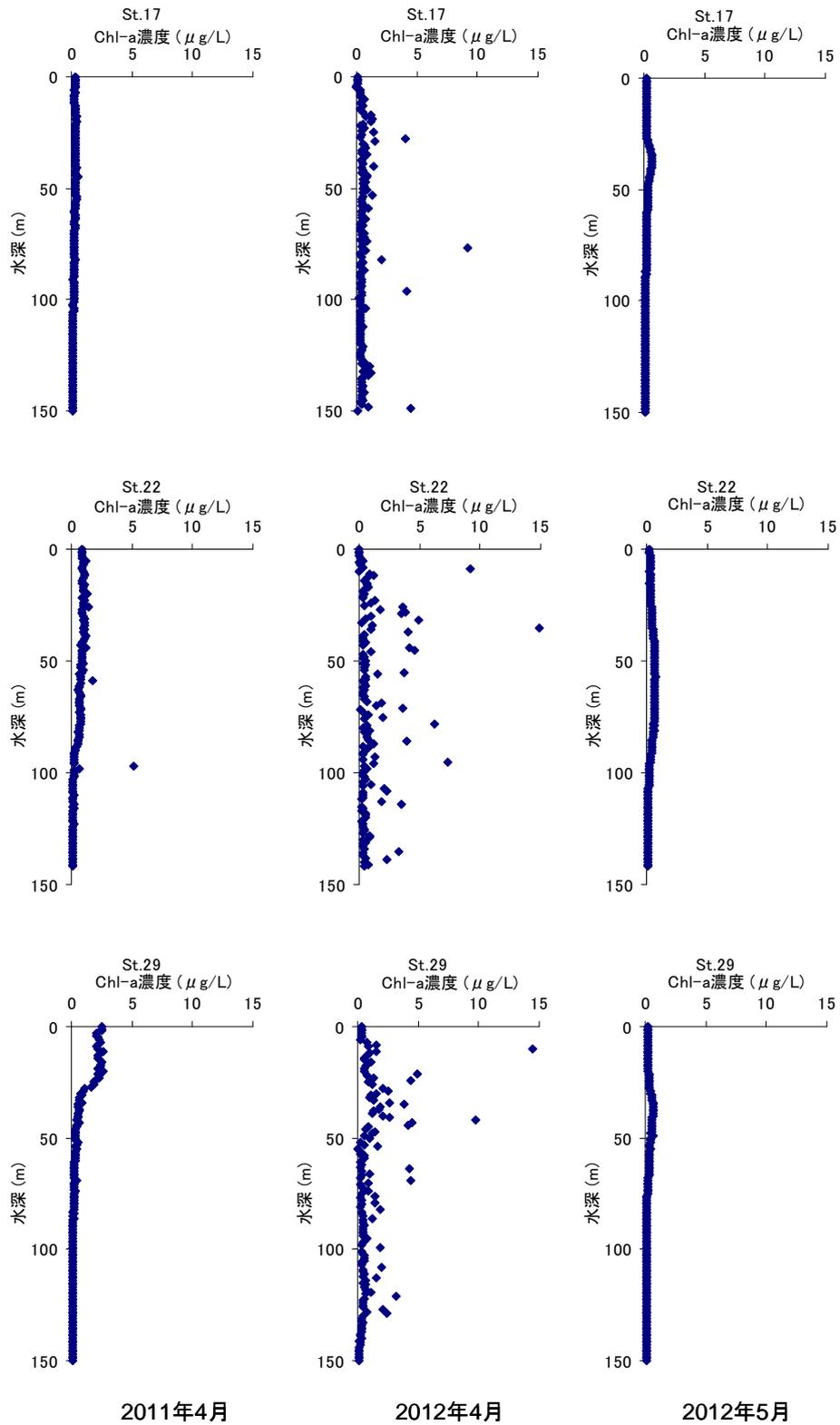


図5 Chl-a濃度鉛直プロファイル

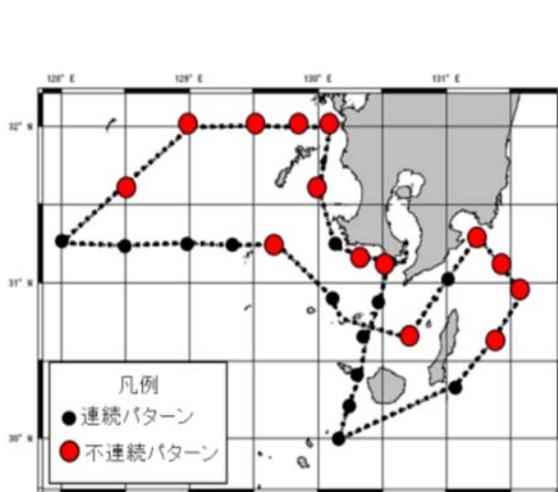


図6 Chl-a濃度鉛直プロファイルパターン

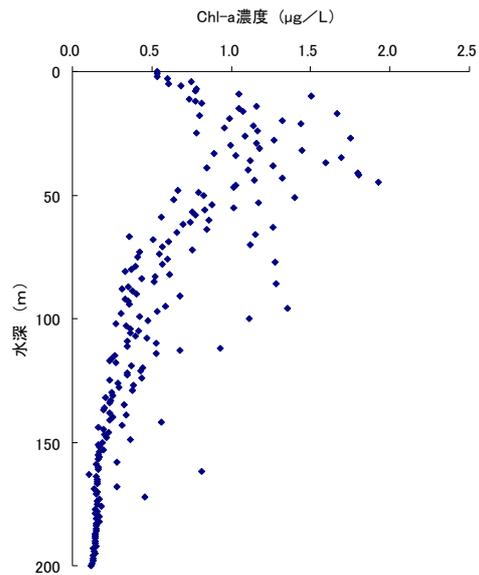


図7 1m層毎の全定点平均Chl-a濃度鉛直分布

1m層毎の全定点平均 Chl-a 濃度鉛直分布を図7に示す。Chl-a 濃度は10～50m層で高く、約0.7～1.9 $\mu\text{g/L}$ の範囲で変動が大きかった。50～150m層では水深が深くなるに従い1 $\mu\text{g/L}$ 程度から0.2 $\mu\text{g/L}$ 程度に漸次減少していくが、いくつかの水深層では1 $\mu\text{g/L}$ を超える高い値を示した。150m以深はほぼ0.2 $\mu\text{g/L}$ 以下となるが、水深170mまでは0.5 $\mu\text{g/L}$ を超える層があった。ピーク値は、水深45mの1.9 $\mu\text{g/L}$ だった。

各定点における10m層毎の平均 Chl-a 濃度鉛直分布を図8に示す。なお、沖合定線 St.1～5をL1, St.5～18をL2, St.19～26をL3, St.27～31をL4, St.31～33をL5とした(図1)。L1は本土から屋久島南西沖に伸びる定線で、本土に近い St.1の水深10～50mに2 $\mu\text{g/L}$ を超える分布層(以下分布層という)が見られた。L2は屋久島南西沖から種子島東を回って志布志湾口に至る定線で、種子島東の St.16及び17で水深60m及び80mに、志布志湾口に近い St.17.5及び St.18で水深50mまで分布層が見られた。L3は大隅海峡から県本土西方向の東シナ海に伸びる定線で、三島から宇治群島の St.19.1,20,22で水深40～120mの比較的深度に見られた。L4は東シナ海から甌島北を回って阿久根に至る定線で、甌島の西海域 St.27,28,29,30の水深30～50m付近及び St.29の90mに分布層が見られた。L5は薩摩半島沿岸となるが分布層は見られなかった。

以上のように、Chl-a 濃度は水深10～50m層で高い値が多かった。

(3) 水温・塩分

2012年4月及び同年5月調査時の水深0m及び50mのTSダイアグラムを図9に示す。

4月調査で不連続パターンを示した定点の0m水温は平均17.2 $^{\circ}\text{C}$ 、50m水温で平均17.0 $^{\circ}\text{C}$ であった。連続パターンを示した定点の0m水温は平均18.7 $^{\circ}\text{C}$ 、50m水温で平均18.4 $^{\circ}\text{C}$ であり、いずれも不連続パターンを示した定点の方が有意に約1.5 $^{\circ}\text{C}$ 低く($p < 0.01$)、両群の平均値の中央値は0m水温で17.95 $^{\circ}\text{C}$ 、50m水温で17.70 $^{\circ}\text{C}$ だった。5月調査では全ての定点で連続パターンを示し、0m水温は19.8 $^{\circ}\text{C}$ 以上、50m水温は17.5 $^{\circ}\text{C}$ 以上であった。

一方塩分は、4月調査の0mは不連続パターンを示した定点はほぼ34.20以上であったが、連続パターンを示した定点もその範囲にあるものが多く、明確に分離できなかった。50mでは不連続パターンを示した定点と連続パターンを示した定点とも34.60前後を示し、両者の違いは見られなかった。5月調査の0mの塩分は4月とほぼ同じ、50mは4月よりも低くなっているところが多かった。

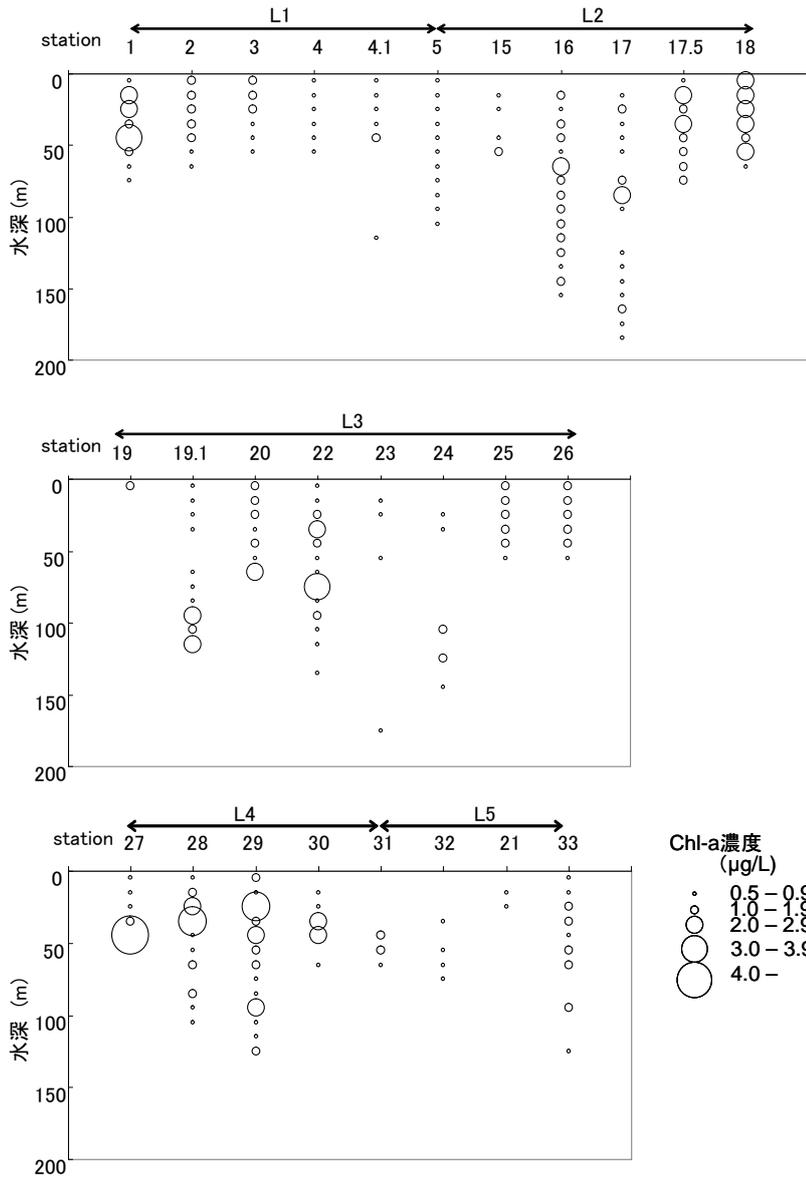


図8 各定点における10m層毎の平均Chl-a濃度鉛直分布

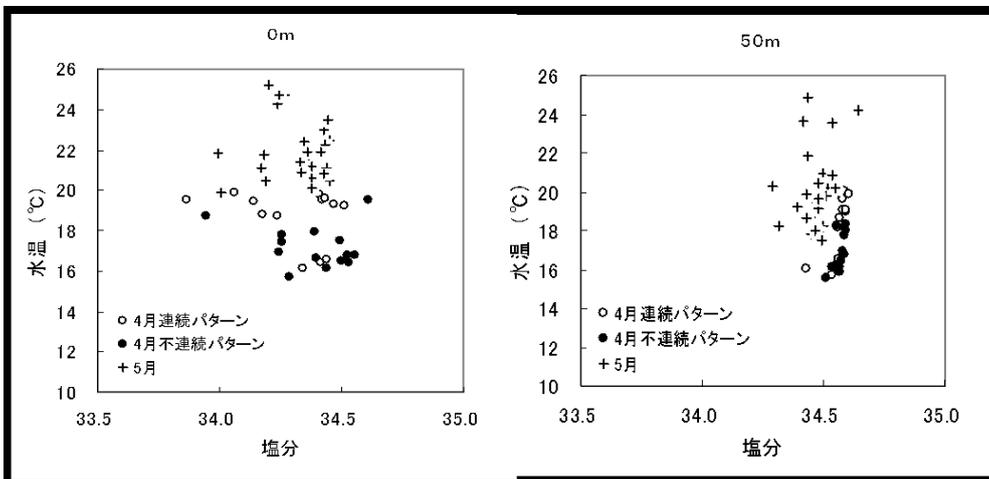


図9 水深0m及び50mのTSダイアグラム

2) 粘質状浮遊物の消長と環境

(1) 人工衛星画像

2012年2月20日～4月17日までのChl-a濃度分布画像から、比較的雲の影響が少なかった主な画像を図10に示す。県内の沿海漁協からの粘質状浮遊物の確認情報は3月中旬～4月中旬¹⁾に得られたが、この間の人工衛星画像では3月21日～4月8日にかけて九州西岸を中心にChl-a濃度が高くなっており、なかでも3月31日が最も濃度が高くなっていた。

(2) 水温変動

甌島西の水温の推移を図11に示す。2012年2月中旬は平年よりも低く推移していたが、2月から3月にかけて2℃以上急激に上昇し、3月上中旬は平年よりも1～2℃高く推移した。その後、次第に低下しはじめ、4月中旬に再び急上昇に転じるまで平年よりも約1℃低く推移し、2月から4月の3ヶ月間は大きく上昇下降を繰り返した。粘質状浮遊物が確認された3月中旬から4月中旬は、水温が約19℃から16℃に低下している時期であった。

この間の主な人工衛星水温分布画像を図12に示す。3月中旬に甌島西の水温が一時的に上昇した3月14日の画像では、九州西岸を甌島を越え天草に達する、黒潮から北に伸びる暖水域が観測されている。3月21日の画像ではこの暖水域はなくなり、それ以降も大きく北上するような暖水域は観測されなかった。

(3) 気象環境

九州西岸域の主な地点の気候統計値を表3に示す。2月の平均気温はいずれも平年並みから低め、降水量は枕崎の平年並み以外は多い又はかなり多く、日照時間はいずれも平年よりもかなり少なかった。特に種子島では月間日照時間の少ない方からの順位が1949年以降で3位であった。

3月はいずれの地点も平均気温、降水量、日照時間は平年並みが多かった。

考 察

1 原因プランクトン

Fryxell *et al.*⁸⁾ は、*T.parthenia* を含む *Thalassiosira* 属 12 種が粘質状のコロニーを形成する又は形成する疑いがあるとしている。これらのうち、本県では、

八代海で秋季に発生し、袋状群体を形成する *Thalassiosira diporocyclus* (以下 *T.diporocyclus* という) が知られているが、本種は1994年9月～翌3月には瀬戸内海の一部で赤潮を形成した。¹²⁾ *T.diporocyclus* は、細胞直径12～24μmであり、今回の粘質状浮遊物原因プランクトンよりもやや大きく、有基突起が中心付近1本、殻套部に1輪及び中央と殻套部の間にも散在するように1輪認められる¹³⁾ が、*T.parthenia* が内面観では殻縁有基突起と中心突起の間には突起物が認められないことから *T.diporocyclus* と区別できる。また、*T.diporocyclus* に近似する *Thalassiosira subtilis* は有基突起が縁辺の1輪の他、殻面の全域に散在する¹³⁾ ことから、本種とは異なる。不定形の粘質塊状に群体を形成する種には、東京湾で赤潮となり二枚貝に被害が出た *Thalassiosira mala*¹⁴⁾ (以下 *T.mala* という) も知られている。*T.mala* は細胞直径3～10μmと小さく、大きさの点では本種とほぼ重なる。しかし、中央域の有基突起は中心よりずれ、殻面中心と唇状突起の線上付近にあるとされ、ほぼ殻面中央に位置する本種と位置が異なるとともに、殻外面の小室も明らかに認められる。¹³⁾ ただし、これらの特徴は光学顕微鏡では確認が困難な場合も多く、電子顕微鏡による確認を必要とする。

T.parthenia は、隣国では中国 ([http://data.sp2000.cn/2011_cnnode_e](http://data.sp2000.cn/2011_cnnnode_e), 2013年3月31日) でその存在が報告されているが、我が国の *Thalassiosira* 属の出現記録を筆者らが確認した限りではこれまでに出現事例がなく、今回が初めての確認記録になるものと思われる。

2 分布特性

本県海域で出現した粘質状浮遊物の出現期間は正確に把握されていないが、人工衛星Chl-a濃度分布画像では、3月21日から4月8日にかけてChl-a濃度の高い海域が認められている(図10)。Chl-aは多くの植物プランクトンが持つ植物色素であり、この数値からは種の特定はできないものの、この間に行った「くろしお」による分布調査で採集したサンプルから大量の粘質状浮遊物とその主構成種が *T.parthenia* であることを確認したことから、このChl-a高濃度域は *T.parthenia* のコロニーによるものと推測される。したがって、粘質状浮遊物が出現した期間は、沿海漁協から粘質状浮遊物の確認情報があった概ね3月中旬から4月中旬¹⁾ と考えられる。

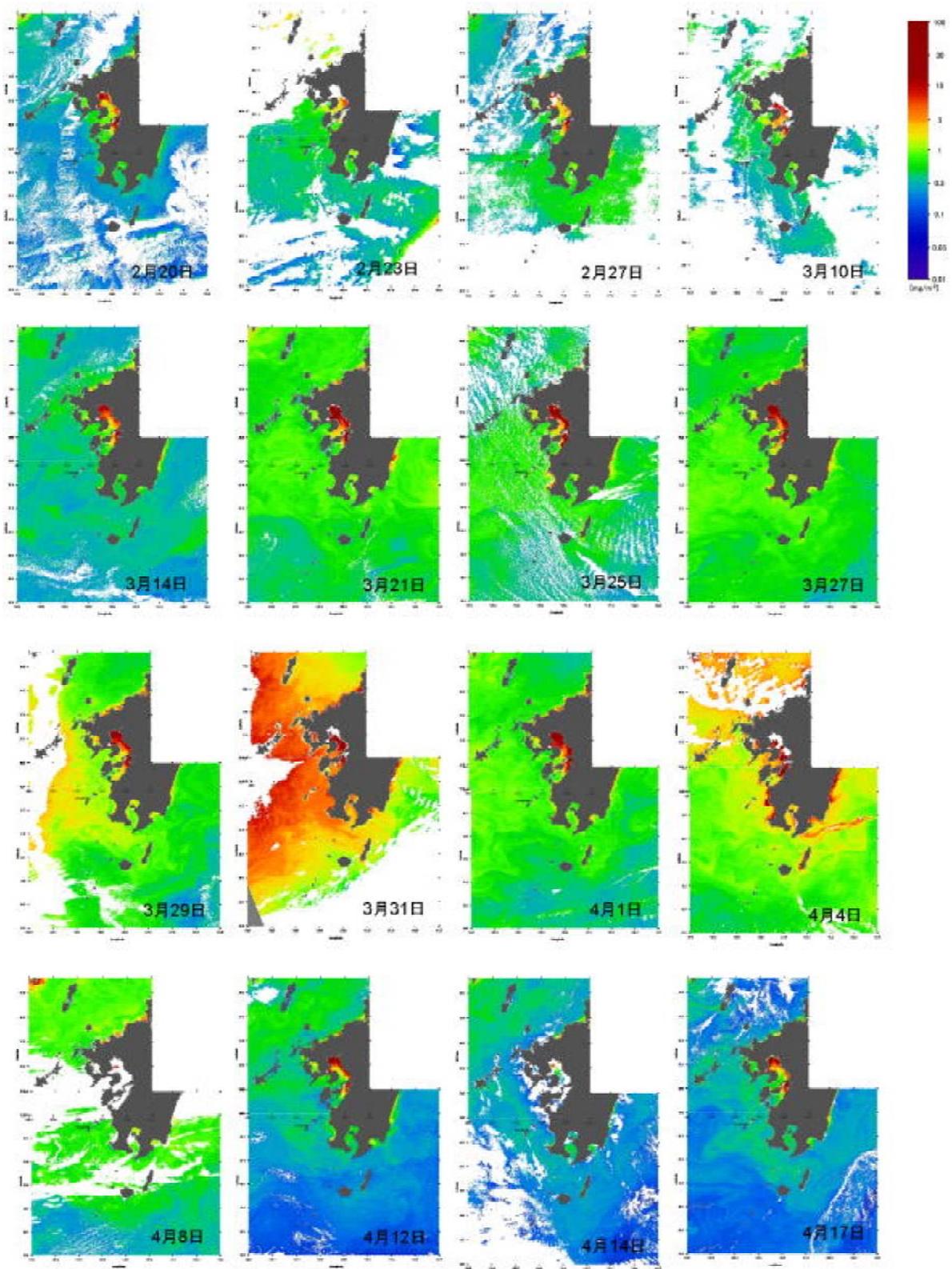


図10 粘質状浮遊物発生期における人工衛星画像Chl-a濃度分布の推移

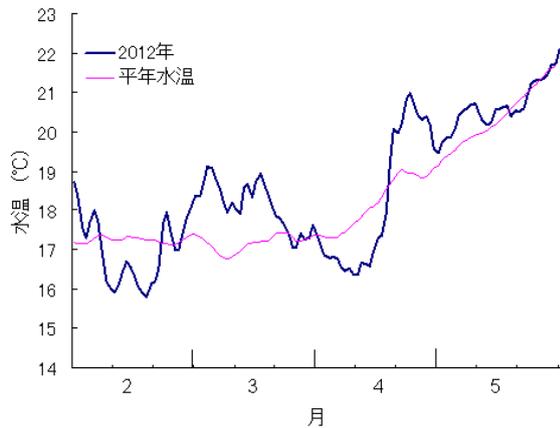


図11 甌島西の水温の推移

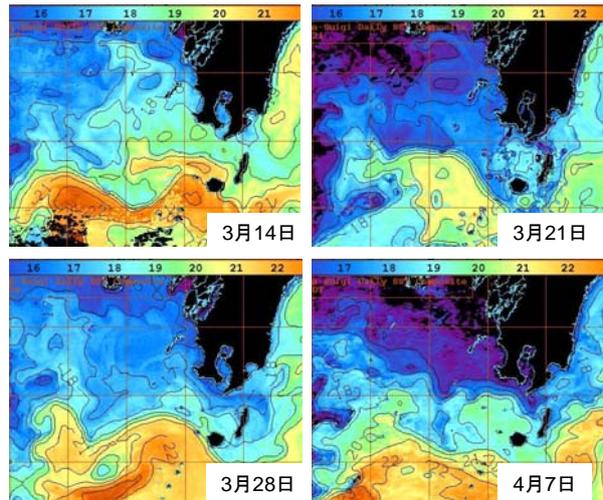


図12 人工衛星画像水温分布

表3 九州西岸域の主な地点における2~3月の気候統計値

月	地点	平均気温 (°C)	平年差 (°C)	階級	降水量 (mm)	平年比 (%)	階級	日照時間 (hr)	平年比 (%)	階級
2	枕崎	9.0	-0.7	—	87.0	81	○	68.3	58	—
	種子島	11.6	-0.4	○	238.0	211	++	71.4	63	—
	牛深	7.9	-1.3	—	198.5	217	++	75.0	63	—
	福江	7.0	-1.1	—	132.0	124	+	57.6	57	—
3	枕崎	12.6	0.2	○	178.5	98	○	151.8	108	○
	種子島	14.7	0.3	○	185.5	107	○	154.2	122	+
	牛深	12.1	0.1	○	170.5	120	+	138.5	92	○
	福江	11.0	-0.3	○	185.5	101	○	135.6	95	○

※階級 —:かなり少ない —:少ない ○:平年並み +:多い ++:かなり多い

同じ分布調査で Chl-a 濃度を観測したところ、鉛直プロファイルに通常の観測記録にない不連続パターンが観測された(図 5)。不連続パターンは、粘質状浮遊物の主構成種がコロニーを形成する上、粘液糸によって均一にばらけにくい性質を持つため、蛍光光度計のセンサー部に密度の高いコロニーが接触した場合、著しく高い数値として計測されることで生じると考えられる。不連続パターンを示した定点と実際の粘質状浮遊物が採取された定点の出現状況から A ~ D の 4 パターンに分類される(表 1-1 分類)。すなわち、パターン A は、ネットで採取又は未確認でグラフ上不連続パターンを示したもので、これは実際の出現状況と観測結果が同期していることを意味する。パターン B はネットで採取されたが、グラフには不連続パターンが現れなかったもので、その定点の粘質状浮遊物の密度が低かったためグラフ上には現れなかったものの、長い距離を曳網した結果採取されたと考えられる。また、パターン C はネットには採取されなかったが、グラフが不連続パターンを示したもので、グラフの示す分布水深と

実際に曳網した水深が異なったためサンプルとしては採取されなかったと考えられる。パターン D はネットで採取されず、グラフも不連続パターンを示さなかったもので、密度が極めて低かったため認識されなかったと推測される。したがって、グラフが不連続パターンを示した A 及び C は粘質状浮遊物濃密域と考えられ、その不連続パターン適合定点は本県西方海上から薩南海域を通して志布志湾口にまで至っていた(図 6)ことから、ほぼ本県本土周辺海域全体に及ぶ極めて広い範囲で分布していたものと考えられる。また、1m 層毎の全定点平均 Chl-a 濃度は水深 10 ~ 50m 層で高く、50m 以深では水深が深くなるに従って次第に減少しており(図 7)、同じ定点でも水深により数値が大きくばらついた(図 5)。このことから、粘質状浮遊物が分布していた海域では、濃淡のはっきりしたコロニーが厚い層を形成していたと推測される。さらに、水深 50 ~ 170 m の間にも Chl-a 濃度が部分的に高い層がある(図 7)ことから、密度の高いコロニーは 50m 以深にも散在していたと考えられる。ただし、今回 4 月 6 ~ 9

日にかけて実施した分布調査は、概ね3月中旬から4月中旬と推定されている出現期間から考えれば *T.partheneia* コロニーの発生から消滅に至る過程のうち、盛期から消滅段階の一時期の状況を示していると考えられる。コロニー成長過程に基づく鉛直分布の変化は、分布調査結果からは明らかにできないが、Chl-a 濃度の高い層が水深 170m まで達していたのは、衰退期で分布層の一部が下層に沈降していた可能性も否定できない。人工衛星 Chl-a 濃度分布画像は3月31日頃が出現海域、濃度ともにピークを示していたが、才野¹⁵⁾は、衛星画像を処理して得られる植物色素濃度は有光層のおよそ1/5位の深さまでの、表層付近に重みのかかった植物色素濃度を測っていると述べている。このことから、4月1日以降の人工衛星画像の Chl-a 濃度が低下している(図10)のは、存在量自体の減少に加え、分布層が下層に広がった結果、Chl-a 濃度の測定値に影響を与えた可能性も考えられる。

増殖に適する水温及び塩分を TS ダイアグラム(図9)で検討した結果、4月調査時の不連続パターンを示した定点の平均水温は連続パターンを示した定点の平均に比べ約1.5℃低かった。すなわち、粘質状浮遊物が高密度に存在すると考えられる水塊の水温の方が、存在していないか密度が低いと考えられる水塊の水温よりも低く、その境界値はそれぞれの平均値の中央値が0m水温で17.95℃、50m水温で17.7℃であったことから、約18℃以下が本種の増殖に適する水温と考えられる。さらに、甌島西の3~5月の水温推移(図11)で、3月中旬から4月中旬の水温が一時低下した時期と粘質状浮遊物の出現期が良く一致し、その時期の水温は約16~19℃であった。前述の TS ダイアグラムから推定した増殖に適する水温を上限と考えれば、約16~18℃が増殖に適する水温と考えられる。なお、塩分については、不連続パターン、連続パターンはいずれの塩分も34台を示し、有意差は認められなかった(図9)ことから、通常の外洋水の塩分範囲内で増殖できると考えられる。

出現時期前の水温の推移を見ると、3月上旬から中旬にかけて一時的に水温が急上昇していたが、これは人工衛星の画像から黒潮の北上に伴う暖水域の波及と推測される(図12)。暖水域が北上していた3月10日は、暖水域が観測された薩摩半島南西海域の Chl-a 濃度が少ない(図10)ことから、黒潮暖水域にはコロニーは存在しないか極めて少ないものと

考えられる。その後3月21日以降、北上していた暖水域の後退とともに急速に九州西岸域に高い Chl-a 濃度分布域が広がっていることから、暖水域後退後に徐々に *T.partheneia* が増殖していったと考ええるより、既に暖水域が北上していた時期に暖水域外の水温18℃以下の沿岸水で増殖していたものが暖水域後退とともに引き込まれるように広がったと考える方が妥当と考えられる。

本種は地中海でも発生記録があり、Gould and Wiesenburg¹⁶⁾は海洋特性と合わせて述べている。それによれば、本種のコロニーは1987年11月水温16℃前後、塩分37.7前後の躍層帯で確認され、水深30~54mで特に濃密になり、水深54mで Chl-a 濃度の最大値23.1µg/L、これ以深では急激に Chl-a 濃度及び細胞密度が減少していたとしている。本県周辺海域における出現水温は約16~18℃と概ね近い水温帯であり、また、1m層毎の全定点平均 Chl-a 濃度は水深10~50mで高くそのピーク水深は45mであり(図7)、地中海の発生記録とほぼ近い水深で Chl-a 濃度が高くなっていた。

また、Elbrächter and Boje¹⁷⁾は、アフリカ西岸湧昇流域で採取した *T.partheneia* を用いて水深毎の基礎生産力を調べた結果、100%光強度の水深から採取された試験区は50%光強度の水深採取区よりも基礎生産力は劣り、明らかな強光阻害を示したとしている。Gould and Wiesenburg¹⁶⁾も *T.partheneia* のコロニー大量発生は、前段階として低い光環境があり、強まった乱流とこれに伴う富栄養化で成長が促されたと考えた。

2012年2月の九州西岸域の気象環境は長崎から鹿児島まで、降水量がかなり多く、逆に日照時間はかなり短かった(表3)。前述したように、本種は低光環境への適応が示唆されており、増殖を始める前の時期の低い光環境により、この条件下でも適応できる本種が優占した一要因となった可能性が考えられる。さらに、五島天草近海は対馬暖流の分枝流と有明海等に由来する沿岸水の影響を受ける海域と考えられている。^{18,19)} 1999年2月の五島灘表層の栄養塩濃度は窒素(NO₂+NO₃)は約2µmol/L、リン(PO₄)は約0.2µmol/L、珪素(SiO₂)は約3~4µmol/Lであり、1999年1月薩摩半島西方海域の窒素(DIN)は50m以浅で2.89~5.98µmol/L、リン(PO₄)は0.2~0.42µmol/Lであった。²⁰⁾ これらの値は、八代海で2009年7月に *Chattonella antiqua* 赤潮が発生した年の発生期における窒素(DIN)の最高値2.7µmol/L、

リン (PO₄) の最高値 0.35μmol/L²¹⁾に匹敵するかそれ以上の栄養塩濃度レベルであり、冬季における九州西岸域沖合の海域の栄養塩濃度は決して低いものではないと推定される。さらに、2012年2月は、大量の雨や雪に伴い陸水からの供給も多かったと推測され、当該海域も沿岸水の影響を受け栄養塩濃度が高くなっていた可能性があり、この富栄養化がコロニーの成長を促したことも考えられる。

T.partheneia のコロニー出現は本県はもとより本邦で初めてと考えられるが、これは本種が顕在的に本県周辺海域に分布していたがこれまで優占種となりえず確認されてこなかったのか、又は今般、他の海域から運ばれてきたのか二通りの起源が考えられる。人工衛星画像の Chl-a 濃度分布も出現時期にはコロニーと思われる高濃度海域が認められたが、増殖を始めたと思われる時期の画像は雲に覆われ記録されていない日が多く、さらに当該海域の調査も行われていないため、根拠資料に乏しく推測できなかった。

本種は、直接的な魚毒性は知られていないものの、2012年春季のコロニー形成により出現海域で操業する漁業に支障が出ている。¹⁾沖合域は頻繁にモニタリングをしている海域ではないが、今後は沖合定線調査などの情報を基に必要に応じて関係漁協等へ情報提供するのが望ましいと考える。

謝 辞

今般の粘質状浮遊物分布確認調査にあたり、沖合定線調査に併せて実施いただいた漁業調査船「くろしお」の乗組員の方々に感謝申し上げます。また、(独)水産総合研究センター西海区水産研究所種子田雄氏からは甌島西の水温データを、MODIS 観測 Chl-a 濃度分布画像は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 提供の画像を利用させていただいた。併せて御礼申し上げます。

文 献

- 1) 田原義雄, 折田和三, 西広海, 小湊幸彦, 中村章彦. 2012年春季に鹿児島県周辺海域で出現した粘質状浮遊物の消長. 鹿水技セ研報 2012; **4**: 40-44.
- 2) (社)日本電子顕微鏡学会関東支部. 走査型電子顕微鏡 共立出版, 東京. 2000.

- 3) 南雲保. 簡単で安全な珪藻被殻の洗浄法. Diatom 1995; **10**: 88.
- 4) 長田敬五, 南雲保. 珪藻研究入門. 日本歯科大学紀要 (一般教育系) 2001; **30**: 131-141.
- 5) 小林弘, 出井雅彦, 真山茂樹, 南雲保, 長田敬五. 小林弘珪藻図鑑第1巻 内田老鶴圃, 東京. 2006.
- 6) Schrader H J. *Thalassiosira partheneia*, eine neue Gallertlager bildende zentrale Diatomee. "Meteor" Forsch. -Ergebnisse, Reihe D 1972; **10**: 58-64.
- 7) Hasle G R. The Marine Planktonic Diatoms *Thalassiosira oceanica* sp.nov. and *T.partheneia*. J.Phycol. 1983; **19**: 220-229. .
- 8) Fryxell G A, Gould Jr R W, Watkins T P. Gelatinous colonies of the diatom *Thalassiosira* in Gulf Stream Warm Core Rings including *T.fragilis*, sp.nov.. Br. Phycol. J. 1984; **19**: 141-156.
- 9) Herzig W N, Fryxell G A. The diatom genus *Thalassiosira* Cleve in Gulf Stream warm core rings: taxonomy, with *T. intrannula* and *T. lineoides*, spp. nov. Bot. Mar. 1986; **29**: 11-25.
- 10) Hoppenrath M, Beszteri B, Drebes G, Halliger H, Van Beusekom J E E, Janisch S & Wiltshire K H. *Thalassiosira* species (Bacillariophyceae, Thalassiosirales) in the North Sea at Helgoland (German Bight) and Sylt (North Frisian Wadden Sea) - a first approach to assessing diversity. Eur. J. Phycol. 2007; **42**: 271-288.
- 11) Park J A, Lee J H. A study on the fine structure of marine diatoms in Korean coastal waters: Genus *Thalassiosira* 5. Algae 2010; **25**(3): 121-131.
- 12) 佐藤博之, 神菌真人, 江藤拓也. 1994年秋季に豊前海で観察された *Thalassiosira diporocyclus* 赤潮. 福岡水技研報 1996; **5**: 9-72.
- 13) 福代康夫, 千原光雄, 高野秀昭, 松岡数充. 日本の赤潮生物—写真と解説 内田老鶴圃, 東京. 1990.
- 14) 佐藤正春. 東京湾の赤潮とプランクトン. 水質汚濁研究 1987; **10**(8): 475-478.
- 15) 才野敏郎. 水色リモートセンシングと海洋の基礎生産. 沿岸海洋研究ノート 1993; **31**(1): 129-152.
- 16) Gould Jr R W, Wiesenburg D A. Single-species

- dominance in a subsurface phytoplankton concentration at a Mediterranean Sea front. *Limnol. oceanogr.* 1990 ; **35** (1) : 211-220.
- 17) Elbrachter M., Boje R. On the ecological significance *Thalassiosira partheneia* in the northwest African upwelling area. Boje R and Tomczak M(eds) . *Upwelling ecosystems* Springer, New York. 1978 : 24-31.
- 18) 辻田時美. 対馬海峡及び五島天草海峡漁場の構造と特に二重潮の発達について. 西水研研報 1954 ; **1** : 1-32.
- 19) 山本憲一, 中田実, 水田浩二. 水温/塩分の鉛直分布から見た五島灘の海況の特徴. 長崎水試研報 1999 ; **25** : 1-8.
- 20) 漁場生産力モデル開発基礎調査(九州海域)平成10年度調査・研究報告. 西海区水産研究所, 長崎. 2000.
- 21) 西広海, 田原義雄, 徳永成光, 久保満, 吉満敏, 中村章彦. 2009年及び2010年に八代海で発生した *Chattonella atiqua* 赤潮一発生期の環境特性と養殖ブリへの影響一. 鹿水技セ研報 2012 ; **3** : 5-20.

2012年2月山川湾で発生した有害ディクチオカ藻 *Pseudochattonella verruculosa* 赤潮の発生状況と ブリに与える影響

折田和三, 西広海, 田原義雄, 徳永成光, 中村章彦

要 約

2012年2月, 鹿児島県指宿市山川湾で有害ディクチオカ藻 *Pseudochattonella verruculosa* が赤潮を形成した。発生当初は明瞭な着色域はなかったが, 発生期間中ピーク時には着色し, 風の影響が弱まったことにより, 表層に細胞が集積したためと推測された。発生時の水温は, 14.2 ~ 14.4 °Cで, 低水温期での赤潮形成となった。現場海域で採取したプランクトンに養殖ブリを暴露したところ, 細胞密度 2,691cells/ml で2時間30分以内にへい死し, 極めて強い魚毒性が確認された。また, 暴露によりへい死したブリの鰓は, 一次鰓弁上皮組織が伸長し, 二次鰓弁前面を覆ったり, 二次鰓弁上面の肥大により隙間が閉塞しており, *Chattonella antiqua* によりへい死したブリの鰓と様相が異なっていた。

2012年2月, 鹿児島県指宿市山川湾で養殖ブリ及びカンパチがへい死した。当初, へい死が見られた海域には明瞭な着色域がなかったことから, 直ちにへい死原因を特定できなかったが, 現場海中には微小プランクトンが優占しており, 養殖ブリのへい死原因を解明するため, 現場海域で採取したプランクトンで暴露試験を行った結果, 供試魚がへい死し, 強い魚毒性が確認された。このプランクトンは, 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所により *Pseudochattonella verruculosa* (以下 *P.verruculosa* という) と同定された。*P.verruculosa* は, Hara *et al.*¹⁾によりラフィド藻 *Chattonella verruculosa* と命名された種であるが, Hosoi-Tanabe *et al.*²⁾によりディクチオカ藻の新属 *Pseudochattonella* へ移属された。本種は, 香川県³⁾や山口県⁴⁾など西日本の海域で赤潮を形成したことがあり, 漁業被害も発生している。

本稿では赤潮発生時の環境等を整理するとともに, *P.verruculosa* がブリに与える影響と鰓の組織学的変化を確認したので報告する。

材料及び方法

1 赤潮分布調査

2月10日に山川町漁協から持ち込まれた現場海水から赤潮プランクトンを確認後, 図1に示す山川湾の5定点で2月11~20日まで赤潮分布調査を実

施した。各定点の0,5,10m層からバケツ又は採水器((株)離合社製リゴーB号採水器)で採水し, プランクトン計数と栄養塩の分析に供した。また, 水温, 塩分, DO(溶存酸素量), クロロフィル a 濃度を多項目水質計(HYDROLABO社製 DataSonde5)を用いて測定した。栄養塩は, オートアナライザ(BL-TEC社製 AACS-4)でDIN(溶存態無機態窒素)およびDIP(溶存態無機態リン)を測定した。風向風速は, 気象庁HP(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2013年3月31日)で公表されている鹿児島地方気象台指宿アメダスの毎時データを使用した。



図1 調査定点

2 赤潮がブリに与える影響

赤潮がブリに与える影響を把握するため、暴露試験を実施した。供試魚は、当所で飼育し、5日間餌止めしたブリ *Seriola quinqueradiata* (魚体重 800 ~ 900 g) を使用した。暴露試験は *P.verruculosa* 赤潮が発生した山川湾の着色域の表層海水をバケツにより採取し、これを当所のアクリル樹脂製透明角型 180L 容水槽に移し入れた後、通気で水槽内の DO (溶存酸素量) を維持した状態でブリ 2 尾を入れて *P.verruculosa* に暴露し、24 時間後までブリのへい死状況等を観察した。試験中の水温、塩分、DO は、多項目水質計 (HYDROLABO社製 DataSonde5) を用いて定期的に確認した。なお、通常の濾過海水を入れた水槽を対照区とした。

この試験を赤潮発生期間中の 2 月 13 日及び 14 日の合計 2 回実施し、その際の細胞密度はそれぞれ約 4,000cells/ml, 2,700cells/ml だった。

また、暴露試験に供したブリは、鰓の呼吸運動が停止した時をへい死と判定し、へい死判定後速やかに取りあげ、鰓の片側全体を切除した後、さらに鰓の第一葉及び第二葉から任意に鰓弁を切り取り、0.1%リン酸バッファ 2%グルタルアルデヒドで固定した。固定された鰓弁は、定法⁵⁾によりアルコール系列脱水、t-ブチルアルコール置換、凍結乾燥、イオンスパッタを施し、走査型電子顕微鏡 (以下 SEM という) (日立製 S-3000N) で観察した。

結果

1 赤潮発生状況

現場海水から微小プランクトンが確認され (図 2)、独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所によりディクチオカ藻 *Pseudochattonella verruculosa* (Y.Hara et Chihara) Tanabe, Hosoi, Honda, Fukaya, Inagaki et Sako と同定されたが、これは本県で初めての赤潮発生であった。本種の細胞の長さは 12.6 ~ 24.9 μm (平均 17.6 μm)、球形から扁平な楕円

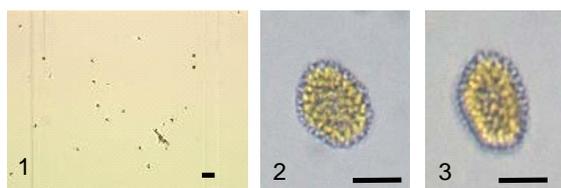


図 2 *Pseudochattonella verruculosa*
1 赤潮海水(低倍率) 2,3 細胞形態
スケールバー 1:50 μm 2,3:10 μm

形で複数の形態が存在した。その細胞表面全体はイボ状の突起で覆われ、黄褐色をしており、ゆっくりと回転しながら遊泳するが停止している細胞も多かった。

本種細胞密度と風向風速の推移を図 3 に、赤潮発生期間中の細胞とクロロフィル a 濃度の分布状況を図 4 に示す。2 月 10 日に漁協が採水した持ち込みサンプルから *P.verruculosa* 細胞が確認され、翌 11 日の調査では現場海域は濁りが認識できる程度で明瞭な着色域は確認されなかったが、0m 層の最高細胞密度は 300cells/ml で水深 10m 層まで 100cells/ml を超えているところがあった。13 日には山川湾のほぼ全域に広がって着色し、0m 層で平均細胞密度は 1,994cells/ml、最高細胞密度も 3,541cells/ml となり、赤潮分布調査外のごく一部の海域では 9,175cells/ml に達した。その後、15 日には着色域がなくなり最高細胞密度は 17cells/ml となった後は、数 cells/ml で推移し再び増殖することはなかった。クロロフィル a 濃度は、着色域の確認された 13 日は 0m 層の値が 17.8 $\mu\text{g/L}$ を超えていたが、5 m 層以深では 6.6 $\mu\text{g/L}$ 以下を示し、表層で濃度が高かった (図 4)。その間の風は、赤潮形成前は北西方向から吹くことが多かったが、ピークとなった 13 日前後は時折南西寄りの風が吹く程度で風速は弱くなった。着色域がなくなった 15 日以降は再び北西方向からの風が変わった (図 3)。

P.verruculosa 細胞が出現した際の水温・塩分・細胞密度を図 5 に示す。水温 14.2 ~ 14.4 $^{\circ}\text{C}$ 、塩分 32.8 ~ 33.1 で細胞密度が 300cells/ml 以上と高かった。

発生期間中の表層の平均水温、塩分、DO、DIN、DIP の推移を図 6 に示す。水温は 14 ~ 15 $^{\circ}\text{C}$ 、塩分は 33 ~ 34 の間にあり、大きく変動することはなかった。DO は赤潮がピークとなった 13 日が最も高く 8.9mg/L (酸素飽和度 106.5%) に達したが、その後減少した。DIN、DIP はいずれも赤潮がピークとなった 13 日が最も低く、それぞれ 5.81 $\mu\text{mol/L}$ 、0.44 $\mu\text{mol/L}$ であったが、その後上昇した。

今回の赤潮により、養殖カンパチ、ブリの 1 年魚及び 2 年魚 31,450 尾がへい死し、6,038 万円の被害が出た。

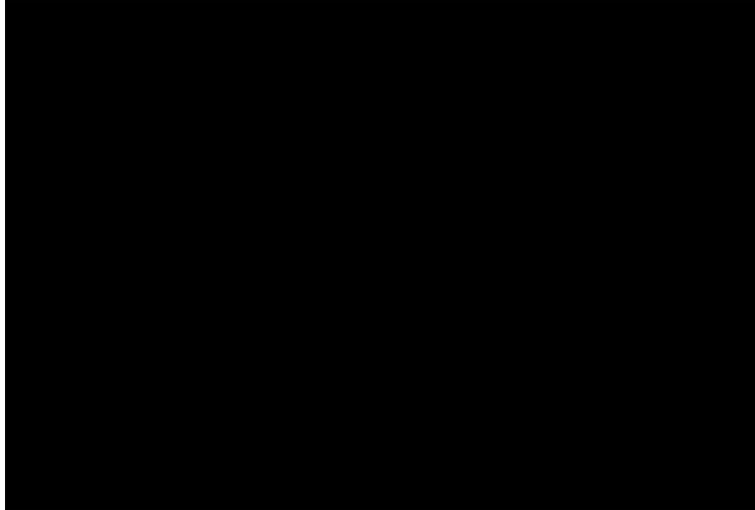


図3 *P. verruculosa* 細胞密度及び風向風速の推移

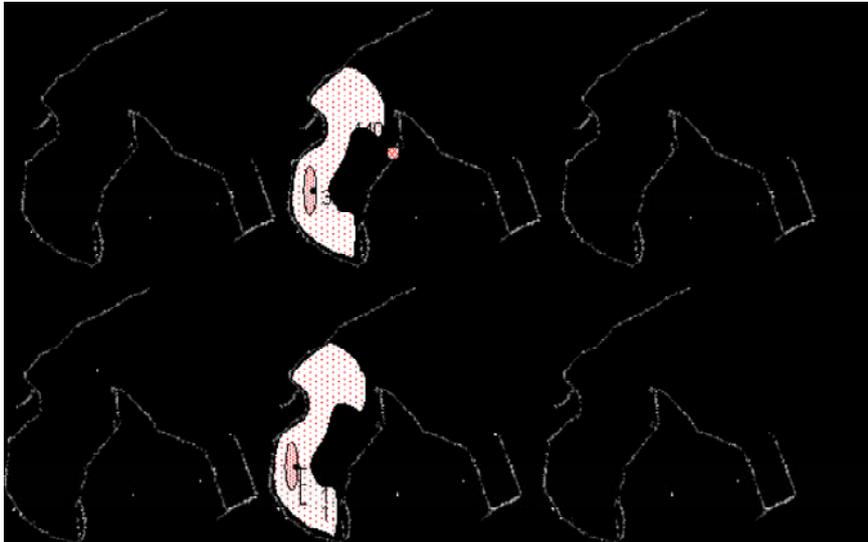


図4 *P. verruculosa* 細胞及びクロロフィルa濃度の分布状況(網掛けは着色域)
(上段:細胞密度, 下段:クロロフィルa濃度)

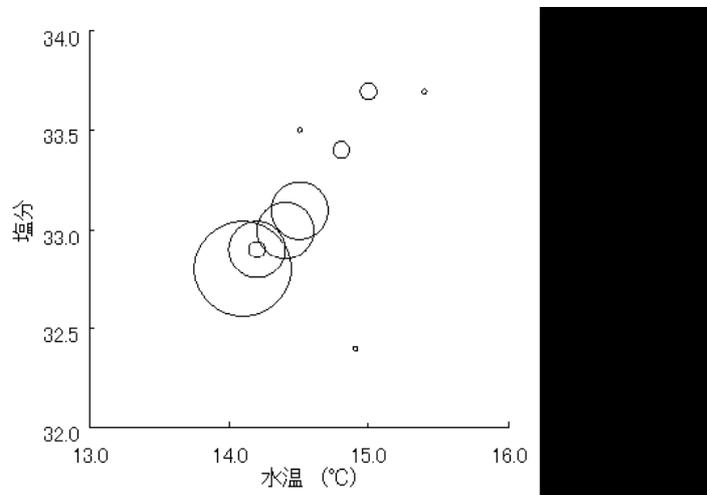


図5 *P. verruculosa* 細胞の出現水温
・塩分・細胞密度

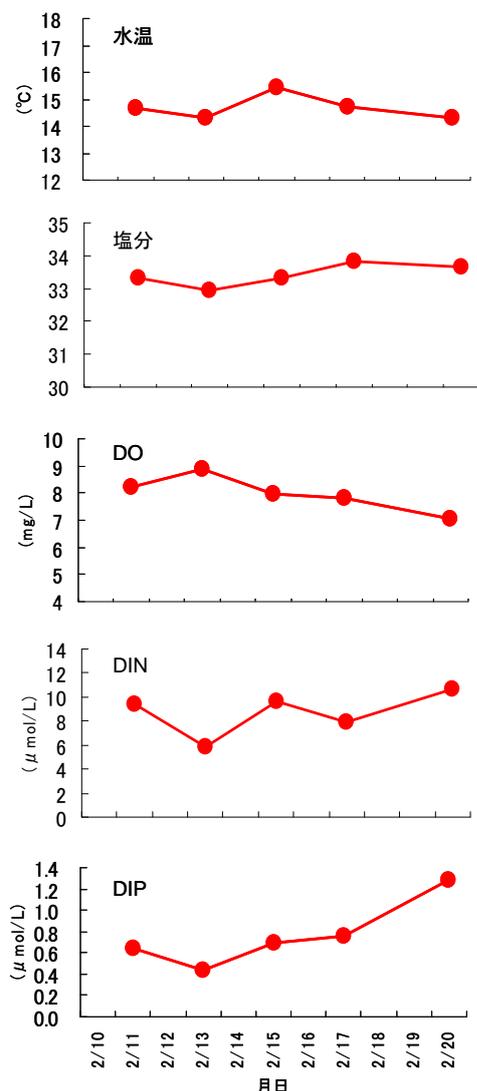


図6 表層平均水温, 塩分, DO, DIN, DIPの推移

2 赤潮がブリに与える影響

ブリに対する *P. verruculosa* の暴露試験結果を表1に示す。

1回目の試験では, *P. verruculosa* の細胞密度は4,000cells/ml前後であった。暴露した4尾は2時間後に呼吸がやや荒くなり, 細胞密度3,900cells/mlに暴露したブリ1尾が2時間30分後に横転し始め, 4時間50分後にへい死した。残る3尾は24時間後まで生残した。2回目の試験では, *P. verruculosa* の細胞密度2,691cells/mlで, 1時間30分後に横転し始め, 2時間30分以内に暴露した2尾ともへい死した。*P. verruculosa* の細胞は光学顕微鏡観察では, 1回目の試験では静止しているものが多く観察されたが, 2回目の試験では遊泳するものが1回目比べて多かった。

暴露試験時の水質の測定結果を表2に示す。1回目の試験では, 試験時間が24時間かかり, 暴露区の水温は14.3°Cから15.5°Cに上昇した。2回目試験の試験時間は2時間30分で, その間16.4°Cからほとんど変動しなかった。塩分は2回の試験とも32.7~33.0で大きな変化はなかった。また, DOは1回目, 2回目の試験とも7.6mg/L以上(溶存酸素飽和度93.4%以上)あった。

へい死したブリの鰓のSEM画像を図7に示す。ブリの鰓弁は, 一次鰓弁の小出鰓動脈側及び小入鰓動脈側の上皮細胞が伸張し(図7-1), 二次鰓弁前面を覆うように広がるとともに(図7-2), 二次鰓弁上面も肥大してその隙間が閉塞していた(図7-3)。伸張した一次鰓弁上皮細胞は破損しているわけではなく, また表面の微小隆起(microridge)も消失していなかったが, 鰓弁上皮の塩類細胞が通常よりも目立つようになっていた(図7-4 矢印)。二次鰓弁間の塩類細胞は脱落等は見られなかった(図7-5)。上皮細胞

表1 ブリに対する *Pseudochattonella verruculosa* の暴露試験結果

試験回次	試験開始日時	試験区	暴露密度 (cells/ml)	供試尾数 (尾)	結果 (へい死状況)
1回目	2月13日 13:54	暴露区1	4,125	2	24時間後に2尾とも生残
		暴露区2	3,900	2	4時間50分後に1尾(890g)へい死 24時間後に残り1尾は生残
		対照区	0	2	24時間後に2尾とも生残
2回目	2月14日 14:30	暴露区	2,691	2	2時間17分後に1尾(815g)へい死 2時間24分後に1尾(828g)へい死
		対照区	0	2	24時間後に2尾とも生残

表2 暴露試験時の水質の測定結果

試験 回次	試験区	水温(°C)	塩分	DO (mg/L)	DO (%)
1回目	暴露区1	14.3~15.5	32.8~33.0	7.7~8.6	94.8~102.5
	暴露区2	14.3~15.6	32.7~33.0	7.8~8.4	93.4~100.8
	対照区	15.2~15.8	33.5~33.9	7.3~8.1	89.8~98.8
2回目	暴露区	16.4~16.4	32.8~32.9	7.6~7.9	94.7~98.5
	対照区	15.9~16.0	33.9	7.4~7.7	91.7~96.3

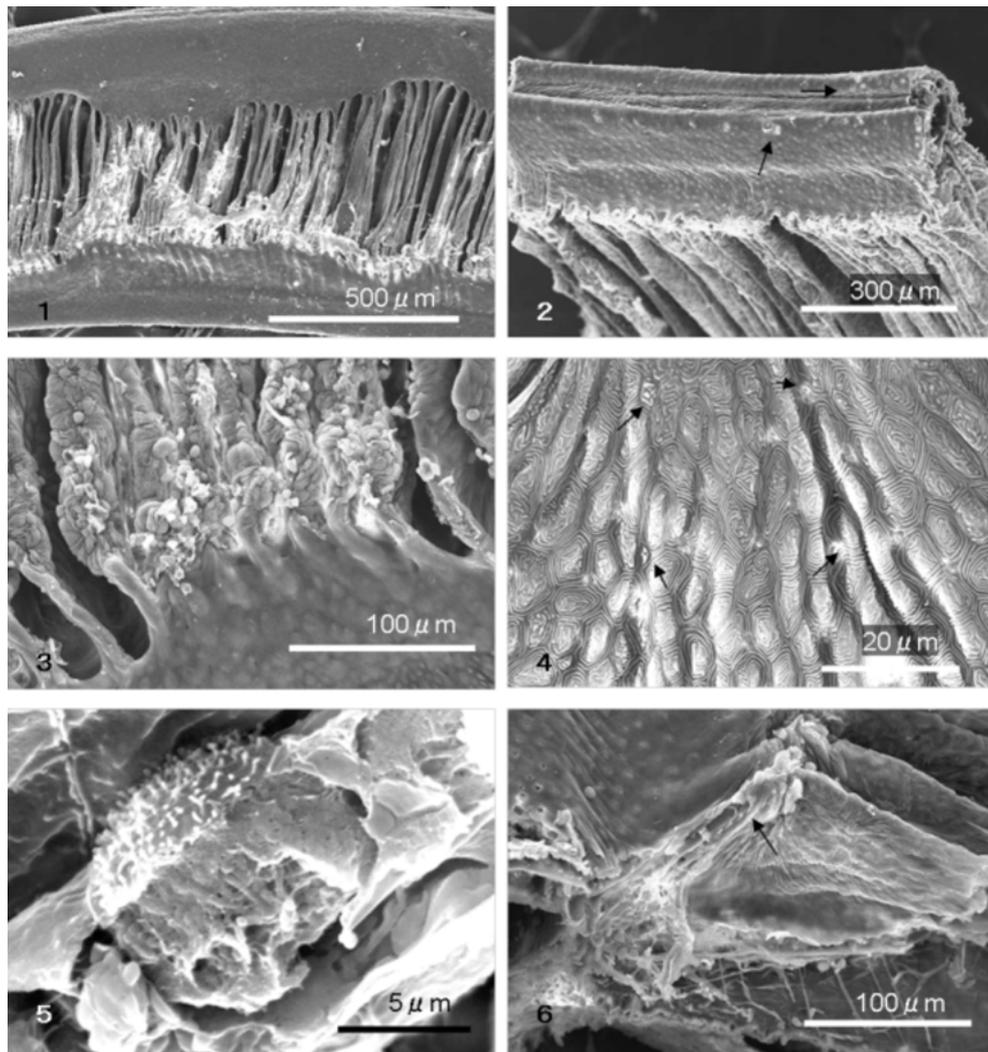


図7 へい死したブリの鰓 SEM 画像
 1 一次鰓弁 2 一次鰓弁小出鰓動脈側(矢印:粘液細胞放出痕) 3 二次鰓弁 4 一次鰓弁上皮細胞(矢印:塩類細胞) 5 塩類細胞 6 変性部位拡大(矢印:上皮細胞伸長部位)

胞が伸長しているところは上皮組織と基底膜が剥離し、外に面している上皮細胞を含む上皮組織が二次鰓弁の頂点付近にまで引き延ばされている状態にあ

った(図 7-6 矢印)。なお、小出鰓動脈側の上皮細胞表面には、粘液細胞の放出痕が多数見られた(図 7-2 矢印)。

考 察

1 赤潮の特徴

鹿児島県の有害赤潮⁶⁾は、鹿児島湾では6月に *Chattonella marina*, 八代海では7～8月に *Chattonella antiqua* (以下 *C.antiqua* という), 8月に *Cochlodinium polykrikoides* と、春季から夏季の水温上昇期に発生する傾向がある。*Heterosigma akashiwo* (以下 *H.akashiwo* という) は鹿児島湾で4月⁷⁾に、山川湾で2月末～3月⁸⁾に赤潮を形成したことがあり、本県で発生する有害赤潮の中では比較的低温期に赤潮となる。今般、赤潮を形成した *P.verruculosa* はさらに低い2月の水温14℃台で赤潮となっており、一年を通じて最低水温期における赤潮形成となった。松本³⁾は、1989年1～2月に香川県内海湾で当時未同定仮称イガグリとして本種赤潮が発生したと記録し、発生時の表層水温は示されていないが、近隣の表層水温⁹⁾が9.6～10.2℃であったことから約10℃前後と推定される。また、馬場⁴⁾は1993年6月に山口県徳山市で本種赤潮が発生した際の水温は、表層で21.2～21.5℃だったとしている。

一方、室内試験では、Yamaguchi *et al.*¹⁰⁾ は、*P.verruculosa* を水温6段階(5, 10, 15, 20, 25, 30℃)、塩分6段階(10, 15, 20, 25, 30, 35)で培養したところ、水温15℃塩分25の組み合わせで最も良く増殖し、水温25℃以上又は塩分10以下では増殖しなかったと報告している。また、本田・吉松¹¹⁾ は水温を4段階(10, 15, 20, 25℃)、塩分を7段階(13, 16, 19, 23, 25, 28, 32)で培養したところ、水温10～25℃、塩分16～32で増殖し、水温20℃塩分28の組み合わせで最も良く増殖したが、水温23.5℃以上では比増殖速度が低くなり、25℃では塩分32以外は増殖しなかったことから、本種は有害プランクトンの中では比較的低温域で増殖しやすい種と考えている。これらのことから、山川湾で本種赤潮が発生した際の水温14℃台は、*P.verruculosa* にとっては適水温の範囲内であったと推測される。

また、今回の赤潮は2月11日まで明瞭な着色域がなかったが、その2日後の13日に高密度となり着色域が確認され(図4)、これには風の影響が強かったと推測される(図3)。すなわち、11日までは北西方向からの風が続き、鉛直混合が起こり、10m

層付近までほぼ均一の状態であったと思われる。その後、12日夜間から風が静穏となり、風浪による鉛直混合が弱くなると *P.verruculosa* は表層付近に集積し、高密度になったと推測される。このプランクトンの表層性は、香川県においても観察されている(吉松未発表)。さらに、13日の表層DOは100%を超えていたが、植物プランクトンである *P.verruculosa* の光合成により過飽和になったものと考えられる。

その後、急速に細胞密度が低下したが、水温、塩分、栄養塩に赤潮発生期間中、大きな変動がなかった。また、2月13日のピーク後再び15日午後から北西寄りの風に転じる前から、表層から10m層まで一様に細胞密度が低下していることから、拡散による減少よりも個体群として細胞密度自体が減少したと考えられるものの、赤潮終息に転じた直接の要因についてはこれらの状況からは推測できなかった。

2 赤潮がブリに与える影響

今回の暴露試験では、1回目の試験で *P.verruculosa* の細胞密度が4,000cells/ml前後で暴露したところ、4尾のブリのうち1尾が4時間50分後にへい死し、残りは24時間後まで生残した。2回目の試験では、*P.verruculosa* の細胞密度は1回目の試験より低い2,691cells/mlであったものの、暴露した2尾とも2時間30分以内にへい死した。1回目の試験では赤潮が発生した山川湾の変色域の表層海水をバケツにより採取し当所に搬入した後、搬入用水槽の海水を攪拌して暴露試験用の水槽に収容したのに対し、2回目の試験では、搬入用水槽の中で *P.verruculosa* が遊泳し、パッチ状に蟻集している表層を選択的にすくい取り、暴露試験用の水槽に収容して試験に用いた。赤潮発生時の *P.verruculosa* は、顕微鏡で観察すると活発に遊泳する細胞と静止した細胞が観察されたが、細胞密度としては1回目より2回目の試験の方が少ないにもかかわらず2回目の方が短時間に2尾ともへい死したのは、細胞自体に遊泳力があり活力が高かったためと推察される。

有害赤潮プランクトンとして知られている *C.antiqua* は、本県では100cells/ml以下の少ない細胞密度でも漁業被害が発生⁹⁾しているが、*C.antiqua* の細胞の大きさは50～130μmと有害赤潮プランクトンの中では比較的大きく、*P.verruculosa* の約3～5倍の長さがある。一方、*P.verruculosa* とほぼ同じ細胞の

大きさである *H.akashiwo* は 2011 年 3 月山川湾で赤潮を発生した際、細胞密度 18,570cells/ml で漁業被害が発生⁸⁾しているが、今般の暴露試験よりも明らかに細胞密度は高い。これらのことから、*P.verruculosa* は小型の細胞にもかかわらず 3,000cells/ml 以下でも短時間でブリをへい死させるほどの極めて強い魚毒性を持つことが明らかとなった。

折田ら¹²⁾は *C.antiqua* に暴露してへい死したブリの鰓を SEM で観察しているが、*P.verruculosa* に暴露したブリの鰓には *C.antiqua* に暴露してへい死したブリで見られたような二次鰓弁上皮細胞の剥離や破損は見られなかった。その一方で、一次鰓弁上皮組織が伸長して二次鰓弁前面を覆うとともに、二次鰓弁上面も肥大してその隙間が閉塞しており、このため、二次鰓弁間の海水通過が妨げられ、ガス交換が低下し窒息によりへい死に至ったと推測される。このことから *C.antiqua* とは毒成分やへい死に至る機序が異なる可能性も考えられ、さらに精査していく必要がある。

また、今回試験に供したブリの魚体重は 800 ~ 900 g と 1 年魚サイズであったが、実際の養殖現場では出荷作業時に着色していない細胞密度でもへい死しており、今後は最低致死細胞密度を把握するとともに、出荷サイズである 2 年魚のブリやカンパチについてもその影響を把握していく必要がある。

謝 辞

本種の同定に協力して頂いた独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 山口峰夫博士、赤潮発生状況等本種に関する情報を提供頂いた香川県赤潮研究所 吉松定昭博士に感謝申し上げます。

文 献

1) Hara Y, Doi K, Chihara M. Four new species of *Chattonella* (Raphidophyceae, Chromophyta) from Japan. *Jpn. J. Phycol* 1994 ; **42** : 407-420.

- 2) Hosoi-Tanabe S, Honda D, Fukaya S, Otake I, Inagaki Y, Sako Y. Proposal of *Pseudochattonella verruculosa* gen. nov., comb. nov. (Dictyochophyceae) for a former raphidophycean alga *Chattonella verruculosa*, based on 18S rDNA phylogeny and ultrastructural characteristics. *Phycological Research* 2007 ; **55**(3) : 185-192.
- 3) 松本紀男, 吉松定昭, 香川哲, 本田恵二, 宮川昌志, 一色正. 平成元年の赤潮発生状況. 香赤潮研年報 1990 ; 3-10.
- 4) 馬場俊典, 桃山和夫, 平岡美登里. 徳山市戸田地先で発生した有害赤潮プランクトンについて. 山口内海水試報 1995 ; **24** : 121-122.
- 5) (社)日本電子顕微鏡学会関東支部. 走査型電子顕微鏡 共立出版, 東京. 2000.
- 6) 鹿児島県の赤潮生物 (増補版). 鹿児島県水産試験場, 鹿児島. 1995.
- 7) 折田和三, 上野貴治, 中村章彦. 1995 年 4 月鹿児島湾奥部に発生した *Heterosigma akashiwo* 赤潮. 平成 9 年度鹿水試事報生物部編 1999 ; 117-127.
- 8) 西広海, 田原義雄. 赤潮総合対策調査事業-I (有害・有毒プランクトン対策研究). 平成 22 年度鹿水技セ事報 2012 ; 98-102.
- 9) 昭和 63 年度香川県水産試験場事業報告. 香川県水産試験場, 香川. 1989 ; 119.
- 10) Yamaguchi M, Itakura S, Nagasaki K, Matsuyama Y, Uchida T, Imai I. Effects of temperature and salinity on the growth of the red tide flagellates *Heterocapsa circularisquama* (Dinophyceae) and *Chattonella verruculosa* (Raphidophyceae). *J.Plan.Res.* 1997 ; **19**(8) : 1167-1174.
- 11) 本田恵二, 吉松定昭. *Pseudochattonella verruculosa* (Y.Hara et Chihara) Tanabe,Hosoi, Honda,Fukaya,Inagaki et Sako の増殖に及ぼす水温, 塩分, 光強度の影響. 香赤潮研報 2009 ; **7** : 1-8.
- 12) 折田和三, 西広海, 田原義雄, 中村章彦. 赤潮総合対策調査事業-V (赤潮被害防止緊急対策事業). 平成 23 年度鹿水技セ事報 2012 ; 110-123.

統計学的手法を用いた八代海の *Chattonella* 赤潮発生に関する要因抽出と予察の可能性

折田和三, 西広海, 田原義雄, 中村章彦

要 約

八代海の *Chattonella* 赤潮発生に関する要因を抽出するため、日照時間や風など気象要因や水温・塩分といった海象要因等について赤潮発生年グループと非発生年グループの平均値の差を検定したところ、32 の項目で有意差が認められ、八代海の *Chattonella* 赤潮には初期発生期の環境要因が大きく影響していることが示唆された。また、これらのうち5月末時点で日照時間（5月下旬水俣）、ベクトル平均風速（主軸、直交軸）（5月水俣）の3因子を用いた予測式の正判別率は100%、6月末時点で日照時間（6月中旬水俣）、平均風速（北東方向）（6月八代）、入梅日の3因子を用いた予測式の正判別率は100%となり、赤潮発生を予測することができる可能性があることが分かった。

赤潮の発生には、水温・塩分といった海象要因、気温・日照時間・降水量といった気象要因、栄養塩・微量元素などの化学的要因、競合生物や捕食生物による生物的要因、集積や拡散といった物理的要因などが関与し、これらの要因が複雑に赤潮生物の群成長に影響を与え、ある特定の組合せを増殖の最適条件とする植物プランクトンの種が増殖、集積し赤潮を形成すると考えられている。¹⁾ 気象情報や赤潮調査結果を基に赤潮発生を予測しようとする試みは、大内・高山,²⁾ 大内,³⁾ 櫻田ら,⁴⁾ 櫻田ら,⁵⁾ 山本・岡井⁶⁾ などによって行われ、赤潮発生への関与と中期的予察が検討されてきた。本稿は、同様な統計手法を用いて八代海における *Chattonella* 赤潮発生に関する要因の抽出と予察の可能性を検討した。

なお、調査の一部は水産庁委託事業（漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業のうち赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「八代海・鹿児島湾における有害赤潮等分布拡大防止」）で実施した。

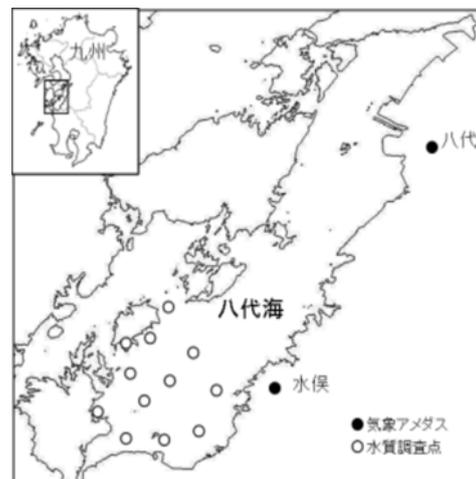


図1 観測点位置図

材料及び方法

検討に用いた項目を表1に、気象アメダスおよび赤潮調査の観測点位置を図1に示す。

表1 平均値の差検定の検討項目

要因	地区	項目	使用データ	項目数
気象	水俣, 八代	平均気温, 日照時間合計, 降水量合計	2~6月旬, 月集計	120
	水俣, 八代	北東風率, 平均風速(全方位, 北東, 南西) ベクトル平均風速(主軸, 直交軸)	5~6月日毎集計	96
海象	九州南部	入梅日, 梅雨明け日, 梅雨期間		3
	八代海南部	0m平均水温, 10m平均水温	6~7月, 12定点平均値	4
	八代海南部	0m平均塩分, 10m平均塩分	6~7月, 12定点平均値	4
	薄井	水温(3m又は底層)	4~5月東町漁協	1
生物	八代海南部	珪藻類最高細胞密度, 定点平均細胞密度最高値	6~7月プランクトン組成	2
合計				230

気象要因は、熊本地方気象台が1988～2012年に水俣及び八代で観測した気温、日照時間、降水量、風及び梅雨とし、気象庁HP (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2013年3月31日)で公表されている2月から6月までの日及び旬並びに月毎集計資料、九州南部梅雨入り及び梅雨明け日を使用した。気温は旬及び月間平均、日照時間及び降水量は旬及び月間合計を用いた。風は、日毎集計資料の風向風速のうち、平均風速と最多風向を用いた。風向は、八代海が北東から南西方向に長い地形であることからこれを主軸と考え、北北西から東南東を北東方向、南南東から西北西を南西方向と区分し、日毎の最多風向から北東及び南西方向からの風に占める北東方向からの風の頻度（以下、北東風率という）を求めた。平均風速は、日毎の平均風速から全方位（以下、平均風速(全方位)という）、北東及び南西方向からの風の平均風速（以下、平均風速(北東)、平均風速(南西)という）を求めた。ベクトル平均風速は、通常風速の南北成分及び東西成分を求め、それぞれ平均化したもの^{7,8)}であるが、本稿では次式より求めた主軸方向（以下、ベクトル平均風速(主軸)という）及び直交軸方向（以下、ベクトル平均風速(直交軸)という）の成分をそれぞれ旬及び月間で平均化した。

$$V_n = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos\left(\frac{\pi}{8} W_{di} - \frac{\pi}{4}\right) W_{si}$$

$$V_e = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin\left(\frac{\pi}{8} W_{di} - \frac{\pi}{4}\right) W_{si}$$

V_n : ベクトル平均風速(主軸)

V_e : ベクトル平均風速(直交軸)

W_{di} : i 日における最多風向16方位
(北0～北北西15)

W_{si} : i 日における平均風速

n : 期間内データ数

梅雨に関しては、入梅日、梅雨明け日を5月1日からの積算日数とした。

海象要因は、当所が6～7月に実施した八代海赤潮予察調査等で測定した水深0m及び10mの12定点平均水温、平均塩分から月平均値を求めた。なお、水温については、測定日が月1～2回で上旬又は下旬に偏っている場合は、測定値の勾配から各月15日付近の値を算出し、月平均値とした。さらに、東町漁協が薄井で測定している水温は、18℃の到達時期を4月1日からの積算日数で求めた。

表2 八代海における*Chattonella*赤潮発生状況

年	発生 月日	終息 月日	期間 (日)	赤潮生物種名	場所	細胞密度 (cells/ml)	被害	区分	発生 パターン
1988	9/9	9/11	3	<i>Chattonella antiqua</i>	東町幣串地先	41	有	小発生	II
1989	7/31	8/2	3	<i>Chattonella antiqua</i>	脇崎地先	100	有	小発生	II
1990	7/19	8/7	20	<i>Chattonella antiqua</i>	東町沿岸一円	533	有	発生	I
1991								非発生	
1992	7/25	8/3	10	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海東町地先	282	有	発生	I
1993								非発生	
1994								非発生	
1995								非発生	
1996								非発生	
1997								非発生	
1998								非発生	
1999								非発生	
2000								非発生	
2001								非発生	
2002	7/28	7/28	1	<i>Chattonella antiqua</i>	東町脇崎	2,800	無	小発生	II
2003	7/15	7/22	8	<i>Chattonella antiqua</i>	東町沿岸	14,000	有	発生	I
2004	8/9	8/14	6	<i>Chattonella antiqua</i> <i>C.marina</i>	八代海南部	140	有	発生	III
2005	8/1	8/26	26	<i>Chattonella antiqua</i> <i>C.polykrikoides</i>	八代海南部	3,500	有	発生	I
2006	6/28	6/29	2	<i>Chattonella antiqua</i> <i>C.polykrikoides</i>	長島町伊唐	1,000	無	小発生	II
2007								非発生	
2008	8/25	8/26	2	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海	138	有	小発生	III
2009	7/28	8/10	14	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海南部	3,000	有	発生	I
2010	6/30	8/2	34	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海南部	2,260	有	発生	I
2011								非発生	
2012								非発生	

※発生パターン I:地元成長広域型 II:地元成長限定型 III:流入型 (図6参照)

生物要因は、従来の赤潮予察調査の期間が7月から9月だったことから、データが不足している。このため、調査が6月からの実施されるようになった2001年以降、当所が行った6月～7月までのプランクトン組成検鏡結果から、期間内における珪藻類の最高細胞密度及び定点平均細胞密度の最高値を用いた。

Chattonella antiqua による赤潮は、表2に示すように1988年以降発生しているが、今回の解析では発生期間6日以上、最高細胞密度100cells/ml以上を *Chattonella* 赤潮発生年(以下、発生年という)とし、*Chattonella* 赤潮が発生しなかった年(以下、非発生年という)及びそれ以外の小発生年の3グループに分けた。赤潮発生に關与する要因抽出は、表1に示す230項目について発生年グループと非発生年グループの平均値の差を検定することで行った。検定はMicrosoft社製表計算ソフトExcelアドインで提供されている分析ツールを用い、あらかじめF検定で分散を比較し、母分散は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、母分散は等しくないと推

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)」で平均値の差を検定した。さらに平均値に有意な差が認められた項目を説明変数に、目的変数には赤潮発生年を1、非発生年を-1とし、Excel分析ツールで重回帰分析による2群の判別⁹⁾を行い、その適合具合により予察の可能性を検討した。

なお、*Chattonella* 赤潮は、主に7月下旬に発生することが多いため、解析に用いる要因は基本的に6月までのデータとした。

結果

1 関与要因の抽出

各要因について検定した結果、32の項目で平均値に有意差が認められた(表3)。

気象要因のうち、気温では2月及び3月中旬に八代で発生年が非発生年よりも平均で約1.5℃高かった。日照時間では、5月下旬から6月中旬にかけて水俣、6月又は6月中旬に八代で、発生年が非発生年よりも平均で1.3～1.9倍多かった。降水量は2

表3 平均値に有意差のあった項目

要因	項目	単位	時期	地域	平均値			
					非発生年	発生年		
気象	気温	平均気温	(°C)	2月	八代	7.25	8.71	*
				3月中旬	八代	10.03	11.57	*
	日照時間	日照時間計	(hr)	5月下旬	水俣	47.08	70.77	*
				6月	水俣	94.78	145.07	**
				6月	八代	95.11	127.04	*
				6月上旬	水俣	40.5	60.96	*
				6月中旬	水俣	28.26	53.47	**
				6月中旬	八代	28.21	49.59	*
	降水量	降水量計	(mm)	2月下旬	八代	20.42	42.21	*
				6月	八代	486.23	290.5	*
				6月上旬	水俣	103.85	52.5	*
				6月中旬	八代	204.65	74.57	*
				6月中旬	水俣	0.45	0.64	*
				5月下旬	水俣	1.42	1.74	*
風	北東風率	平均風速(全方位)	(m/s)	5月	水俣	1.34	1.88	**
				5月下旬	八代	0.99	1.32	*
	平均風速(北東)	(m/s)	6月上旬	水俣	1.26	1.57	*	
			5月下旬	水俣	1.31	1.81	*	
			6月	八代	0.75	1.19	**	
			6月上旬	水俣	1.15	1.65	**	
	平均風速(南西)	(m/s)	6月	八代	1.74	1.35	*	
			ベクトル平均風速(主軸)	(m/s)	5月	水俣	-0.04	-0.32
	ベクトル平均風速(直交軸)	(m/s)	6月中旬	水俣	0.28	-0.12	*	
			5月	水俣	-0.11	-0.36	*	
5月上旬			水俣	-0.07	-0.58	*		
6月			水俣	-0.13	-0.34	*		
梅雨	入梅日	(日)	5月25日	6月4日	**			
			梅雨期間	(日間)	49	40	*	
海象	塩分	0m平均塩分	6月	31.46	32.79	*		
		10m平均塩分	7月	31.78	32.56	*		
水温	薄井18°C到達日	(日)	5月12日	5月5日	*			

※*: (p<0.05), **: (p<0.01)

月下旬に八代で発生年が非発生年よりも平均で約 2 倍多く、6 月上旬に水俣、6 月又は 6 月中旬に八代で発生年が非発生年よりも平均で 0.5 ~ 0.6 倍少なかった。

風に関しては、北東風率では 6 月中旬に水俣で発生年 0.64 と非発生年 0.45 に比べ高かった。北東風率は、北東風と南西風が同頻度で吹けば 0.5 になるので、発生年は北東方向からの風の頻度が高かったことを示している。平均風速(全方位)は、5 月下旬から 6 月上旬にかけて水俣で、5 月下旬に八代でも発生年の方が非発生年に比べて平均で 1.2 ~ 1.4 倍強かった。平均風速(北東)は、5 月下旬から 6 月上旬にかけて水俣、また 6 月の八代でも発生年の方が非発生年に比べて平均で 1.4 ~ 1.6 倍強かった。逆に平均風速(南西)は、6 月下旬に八代で非発生年の方が発生年よりも約 1.3 倍強かった。ベクトル平均風速(主軸)は、5 月及び 6 月中旬に水俣で発生年の方が一値が高かった。また、ベクトル平均風速(直交軸)も 5 月及び 6 月の水俣で発生年の方が一値が高かったが、6 月下旬の八代では非発生年の方が一値が高かった。

梅雨に関しては、入梅日では発生年は 6 月 4 日頃、非発生年は 5 月 25 日頃で、発生年の方が 10 日ほど遅く、梅雨の期間は発生年が非発生年より 9 日ほど短かった。

海象要因のうち、平均水温では水深 0m 及び 10m いずれの水深でも有意差が認められなかった。塩分では発生年が 6 月の 0m で非発生年よりも平均で約 1.3 高く、7 月の 10m は発生年が非発生年よりも平均で 0.78 高かった。

薄井漁港の水温 18 °C 到達時期は、発生年が非発生年よりも 1 週間ほど早い平均 5 月 5 日だった。

生物要因では、発生年は 6 ~ 7 月の珪藻類の最高細胞密度及び定点平均細胞密度の最高値は、非発生

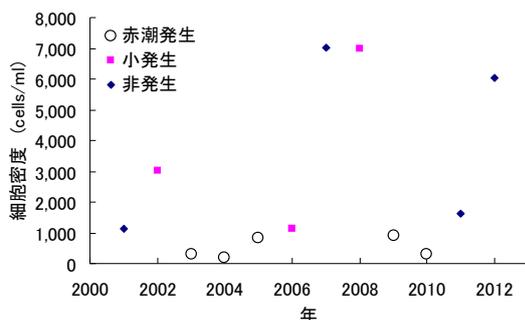


図2 珪藻類の期間最高細胞密度 (6~7月)

年に比べとも少ない傾向にある(図 2) が、有意差は認められなかった。

2 予察の可能性

平均値に有意差が認められた要因には、前述のように 5 月末時点で得られる情報と 6 月末時点まで分からないものがある。これらを分けて検討した。

表 3 に示す 5 月末時点で平均値に有意差のあった日照時間 (5 月下旬水俣)、平均風速(全方向) (5 月水俣、5 月下旬水俣、5 月下旬八代)、平均風速 (北東) (5 月下旬水俣)、ベクトル平均風速(主軸) (5 月水俣)、ベクトル平均風速(直交軸) (5 月水俣、5 月上旬水俣)、薄井水温 18 °C 到達日の 9 因子を説明変数に重回帰式を求め、式に用いる全ての説明変数の p 値が 0.05 未満になるように独立した説明変数を変数増減法により選択したところ、次式が得られた。なお、選択された説明変数の多重共線性を相関行列及び回帰係数と相関行列の符号から確認した。

$$\begin{aligned} \text{赤潮発生} = & 0.026 \text{ 日照時間 (5 月下旬水俣)} \\ & - 1.683 \text{ ベクトル平均風速(主軸) (5 月水俣)} \\ & - 1.625 \text{ ベクトル平均風速(直交軸) (5 月水俣)} \\ & - 2.288 \\ \text{補正 } R^2 = & 0.690 \quad F = 15.116 \quad (p < 0.001) \end{aligned}$$

予測式で+値が出れば発生、-であれば非発生を示す。本予測式で得られた予測値により判別した結果を表 4 に示す。正判別率は 100 % であった。

同様に、表 3 に示す 6 月末時点で平均値に有意差の見られた 32 項目のうち、2,3 月の平均気温及び降水量の 3 項目、塩分 2 項目を除く 27 因子を説明変数に重回帰式を求め、式に用いる全ての説明変数の p 値が 0.05 未満になるように独立した説明変数を変数増減法により選択したところ、次式が得られた。なお、選択された説明変数の多重共線性を相関行列及び回帰係数と相関行列の符号から確認した。

$$\begin{aligned} \text{赤潮発生} = & 0.015 \text{ 日照時間 (6 月中旬水俣)} \\ & + 1.378 \text{ 平均風速 (北東) (6 月八代)} \\ & + 0.056 \text{ 入梅日} \\ & - 3.723 \\ \text{補正 } R^2 = & 0.734 \quad F = 18.48 \quad (p < 0.001) \end{aligned}$$

本予測式で得られた予測値により判別した結果を

表5に示す。正判別率は100%であった。

考 察

1 *Chattonella* 赤潮発生に関する要因

本稿では、*Chattonella* 赤潮発生に関する要因を赤潮発生年と非発生年のグループで平均値の差から検討した。

表4 5月末時点の発生予測結果

年	赤潮発生	日照時間 5月下旬水俣	ベクトル 平均風速(主軸) 5月水俣	ベクトル 平均風速(直交) 5月水俣	予測値	判定※
1988	小発生	67.6	-0.3	-0.6	0.9	—
1989	小発生	63.5	-0.1	0.1	-0.7	—
1990	発生	67.2	-0.1	-0.8	1.0	A
1991	非発生	7.4	0.0	-0.2	-1.8	B
1992	発生	99.6	0.1	-0.2	0.4	A
1993	非発生	43.9	-0.2	-0.3	-0.2	B
1994	非発生	48.6	0.3	-0.4	-0.8	B
1995	非発生	51.6	-0.2	-0.2	-0.4	B
1996	非発生	54.5	0.1	0.2	-1.4	B
1997	非発生	65.2	0.2	0.0	-0.9	B
1998	非発生	59.6	-0.2	0.0	-0.4	B
1999	非発生	43.9	0.1	-0.2	-1.0	B
2000	非発生	42.6	-0.1	-0.1	-0.8	B
2001	非発生	29.2	-0.4	-0.3	-0.5	B
2002	小発生	76.4	-0.4	0.0	0.5	—
2003	発生	43.9	-0.6	-0.5	0.6	A
2004	発生	76.8	-0.1	-0.8	1.1	A
2005	発生	80.2	-0.4	-0.1	0.7	A
2006	小発生	41.9	-0.2	0.0	-0.8	—
2007	非発生	83.2	0.2	0.2	-0.7	B
2008	小発生	63.6	-0.5	0.2	-0.2	—
2009	発生	65.7	-0.6	-0.1	0.5	A
2010	発生	62.0	-0.5	0.0	0.3	A
2011	非発生	25.7	0.0	-0.2	-1.4	B
2012	非発生	56.7	-0.4	0.1	-0.2	B

※判定 A:発生予想 B:非発生予想 —:判定対象外

表5 6月末時点の発生予測結果

年	赤潮発生	日照時間 6月中旬水俣	平均風速(北東) 6月八代	入梅日 5月1日起算	予測値	判定※
1988	小発生	26.6	0.7	31.0	-0.6	—
1989	小発生	46.3	0.5	35.0	-0.4	—
1990	発生	67.7	1.3	29.0	0.7	A
1991	非発生	12.8	0.7	18.0	-1.5	B
1992	発生	55.2	0.9	35.0	0.3	A
1993	非発生	16.2	1.1	16.0	-1.0	B
1994	非発生	16.2	0.8	24.0	-1.1	B
1995	非発生	40.5	0.7	24.0	-0.8	B
1996	非発生	9.4	0.7	26.0	-1.2	B
1997	非発生	47.1	0.9	32.0	0.0	B
1998	非発生	35.2	0.5	27.0	-1.0	B
1999	非発生	31.1	0.7	32.0	-0.4	B
2000	非発生	44.4	0.4	25.0	-1.1	B
2001	非発生	55.9	0.8	20.0	-0.6	B
2002	小発生	47.4	1.0	40.0	0.6	—
2003	発生	19.0	1.2	39.0	0.4	A
2004	発生	70.4	1.3	28.0	0.7	A
2005	発生	52.7	1.5	41.0	1.5	A
2006	小発生	44.6	0.9	25.0	-0.3	—
2007	非発生	31.6	0.4	31.0	-1.0	B
2008	小発生	27.6	0.6	27.0	-1.0	—
2009	発生	77.1	1.1	32.0	0.7	A
2010	発生	31.9	1.1	42.0	0.7	A
2011	非発生	5.8	0.9	22.0	-1.2	B
2012	非発生	21.2	1.2	30.0	-0.1	B

※判定 A:発生予想 B:非発生予想 —:判定対象外

気象要因では、5～6月の日照時間、降水量、風及び入梅日で有意差が見られた。発生年は5月下旬から6月中旬の1ヶ月間、水俣で日照時間が多く、6月上旬の降水量は少なかった(表3)。八代でも6月又は6月中旬の日照時間が多く降水量が多かった(表3)ことから、光環境が赤潮発生に関与していると推測される。風は、5月下旬から6月上旬にかけて水俣で、5月下旬から6月にかけて八代でも平均風速(全方位及び北東)が発生年では強く(表3)、風の強さも赤潮発生に関与していると推測される。さらに、5月及び6月の月ベクトル平均風速から合成したベクトル平均風を図3に示す。図3では主軸が上下方向になるように表示した。水俣のベクトル平均風は、発生年では5月は鹿児島県長島方向、6月は熊本県御所浦島方向を指すのに対し、非発生年では5月は風速が弱く、6月は八代海北部方向を指している。八代では発生年、非発生年ともに5、6月は八代海北部方向を指した。このように、5～6月の八代海中央部付近の風は八代海鹿児島県海域方向に風が吹いており、風の方向も赤潮発生に関与していると推測される。また、平均入梅日は非発生年の平均入梅日に比べ10日ほど遅く、このためこの時期の日照時間も多くなっていたと推測される。以上のことから、気象要因では光環境と風が赤潮の発生に強く関与していることが考えられる。山本・岡井⁶⁾は三河湾の夏季における渦鞭毛藻類の赤潮発生と風速との相関を検討し、赤潮形成約30日前に風速と正の相関がみられ、風が水柱の混合による栄養塩供給とシストの巻き上げなどを高めると推測している。八代海の風も発生年の方が強いことから、三河湾と同様の影響を及ぼしていることが考えられる。

一方、海象要因では、平均水温では有意差が見ら

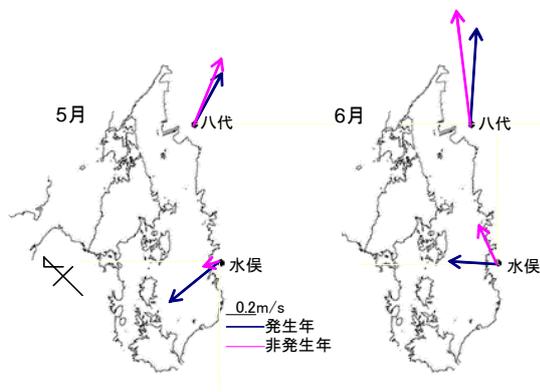


図3 ベクトル平均風(月平均)

れなかったものの、薄井水温 18℃到達時期が5月上旬にあり、非発生年よりも1週間ほど早い傾向が見られた。鹿児島県長島周辺海域で採取された底泥を温度別に培養すると、水温 18℃から *Chattonella* シストの発芽が確認されている。¹⁰⁾ *Chattonella* 栄養細胞はシストから発芽すると水柱に供給されて、その年の個体群に加入するとともに、増殖する時期の環境条件が好適であれば自身も次第に増殖して個体群として成長していく¹¹⁾が、シスト発芽が早ければ加入及び自己増殖する期間が長くなるため、より多くの栄養細胞となることができると考えられ、赤潮形成には有利に働くものと推測される。

生物要因では有意差が認められなかったものの、非発生年では6～7月の珪藻類が概ね 1,000cells/ml を超えており、その年の気象や海象環境が珪藻類の増殖を促していたものと考えられる。紫加田ら¹²⁾は八代海における植物プランクトンの増殖に与える水温、塩分及び光強度の影響を調べ、*Skeletonema* の光半飽和定数は 34.6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で *Chattonella* の 61.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ に比べ小さいとしており、少ない光環境では *Skeletonema* の方が増殖には有利と考えられる。前述したように赤潮発生には光環境の関与が考えられており、非発生年の特徴である5月下旬から6月中旬の短い日照時間は、珪藻類の増殖を促し *Chattonella* の増殖を抑える要因の一つとなっていると考えられる。

気象要因は、対象と考える地域にまず変化が生じる要因であり、これが水温や塩分、潮流などの海象要因に影響を与え、さらに赤潮生物を含む生物要因に影響を及ぼすと考えられる。このことを踏まえ、八代海における *Chattonella* 赤潮発生と環境との相関モデルを推定した(図4)。八代海の *Chattonella* は未だに冬期の越冬細胞が確認されていないことから、毎年シストからの発芽により栄養細胞が供給されると考えられる。現場の底層水温が概ね 18℃を超えると発芽が開始される。この頃に八代海全域に風が強く吹くと水柱の混合により海底泥の巻き上げが起これ、海底表面及び直下のシスト発芽が促されると推定される。さらに、八代海中央部付近の風の向きが鹿児島県海域方向を指す時、発芽して表層に浮上した栄養細胞は吹送流により鹿児島県海域に流入しやすくなると考えられる。*Chattonella* はシスト発芽と栄養細胞の分裂により次第に細胞密度が増してくるが、日照時間が長いと *Chattonella* の増殖が促され、さらに入梅時期が遅ければ、より長い時間

をかけて個体群が成長し得ると考えられる。一方、入梅が早まったり、日照時間が短いと光環境は珪藻有利となり *Chattonella* の増殖は鈍くなると推測される。6月の梅雨の間は、陸水から八代海に栄養塩が供給される。¹⁰⁾ 梅雨の期間に一定以上の細胞密度が維持されたとき、降雨により供給された栄養塩を利用して増殖は活発になりやがて赤潮に成長していくものと考えられる。今井^{11,12)}は、シストが発芽した初期個体群が増殖する期間の環境条件が極めて重要な意味を持ち、珪藻類との混合が発生した時点で *Chattonella* 細胞密度が 1cell/ml のオーダー以上で存在していることが赤潮の発生に必要な条件としている。八代海鹿児島県海域で発生する *Chattonella* 赤潮においても、以上のような初期発生期の環境が強く赤潮形成に関与していると推察される。

2 予察の可能性

有意差が認められた要因から予測式により予察の可能性を検討した結果、5月末時点で日照時間（5月下旬水俣）とベクトル平均風速（主軸、直交軸）（5月水俣）の3因子で正判別率は100%、6月末時点では日照時間（6月中旬水俣）と平均風速（北東）（6月八代）並びに入梅日の3因子で正判別率は100%となり、中期的に赤潮発生を予察することができる可能性があることが分かった。

櫻田ら⁹⁾は、八代海熊本県海域で発生する *Chattonella* 赤潮を多変量解析し、5月末で降水量と気温の2因子で正判別率82.0%、6月末では降水量と底層水温、DINの3因子で正判別率97.1%、7月中旬で気温、降水量、底層水温、表層塩分の4因子で正判別率99.1%の予測式を算出している。

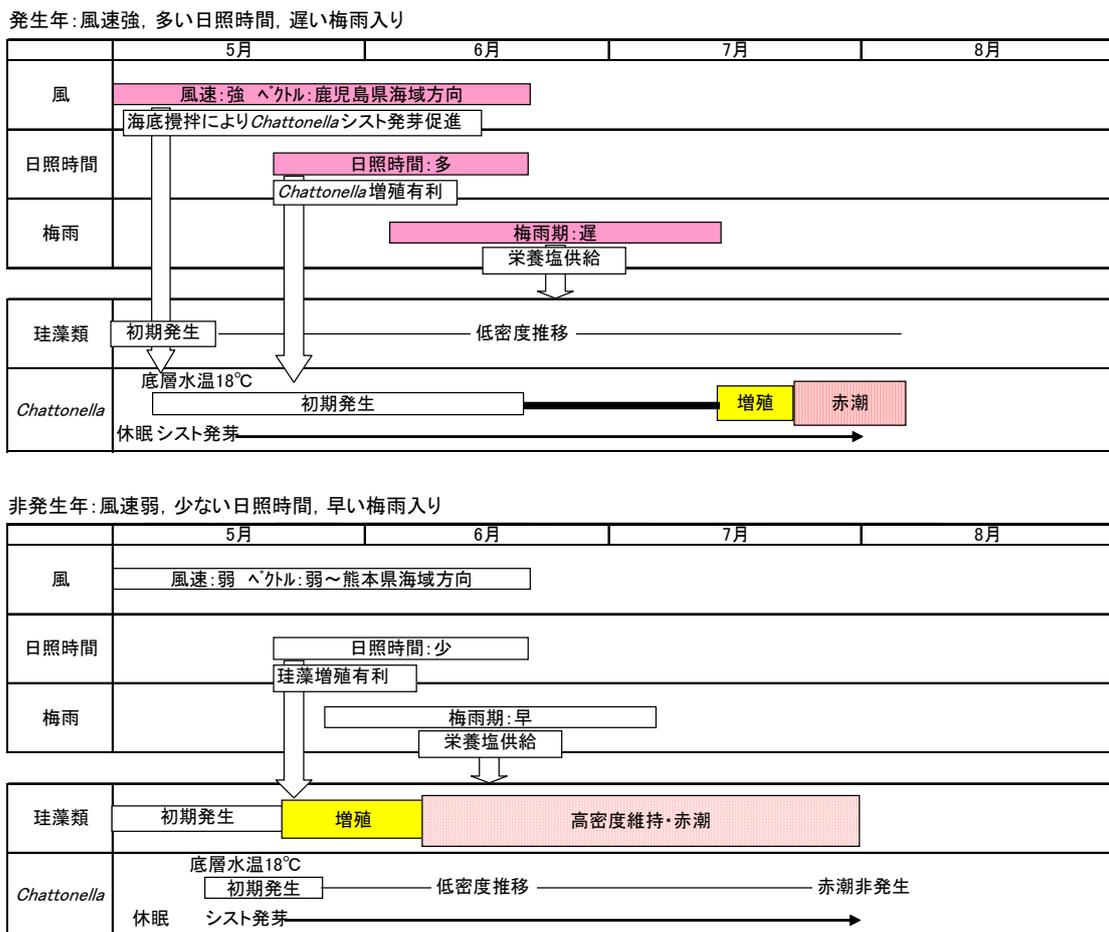


図4 *Chattonella* 赤潮発生と環境相関モデル

このように6月末までの環境要因から高い確率で赤潮発生を予察できる可能性が示されたが、では予測式で赤潮発生年と判定された場合、発生時期はいつ頃になるのか。その手がかりの一つに入梅日が考えられる。入梅日(5月1日からの経過日数)と赤潮形成日(6月1日からの経過日数)の関係を図5に示す。赤潮発生年の入梅日とその年の赤潮形成日の関係について回帰分析を行ったところ、統計学的には有意でない($p>0.05$)が、 $R^2=0.3151$ と弱いながら負の相関が見られる。すなわち、入梅日が遅い方が赤潮形成日が早い傾向にあると考えられる。

これまで八代海で発生した赤潮は、その分布範囲や着色域の移動等を考えた時、図6に示すような本県海域で発生し大規模に赤潮化する「地元成長広域型」、発生域が限定的な「地元成長限定型」、地域外からの赤潮流入による「流入型」の3タイプに大別できる(表2)。このうち、今回検討した発生年の

タイプはほとんどが地元成長広域型であり、その発生予測は正判別率100%であったが、小発生は5例ある内、5月末時点で3例(表4)が、6月時点で4例(表5)が一値を示した。すなわち、予測式が非発生年を示す場合には「地元成長限定型」や「流入型」の小発生が含まれている。このことから小発生には、今回検討した以外の要因が働いていることが考えられ、今後は非発生年の特徴をさらに分離し、小発生赤潮形成の要因を抽出する必要がある。また、珪藻等の競合藻類でやや赤潮発生年との傾向が見られた(図2)が、データとして十分でなかったり、他の赤潮生物との関係や栄養塩等化学的的要因など検討していない要因もある。今後、さらに赤潮発生に関与する要因を精査し選択することで、発生時期までを含めたより精度の高い予察も可能になると考えられる。

謝 辞

本研究で解析に用いた薄井漁港の水温を提供していただいた東町漁業協同組合に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 池田三郎, 中田英昭. 7. 赤潮発生現象のシステム分析. 赤潮の科学第二版(岡市友利編) 恒星社厚生閣, 東京. 1997; 293-329.
- 2) 大内晟, 高山晴義. 主成分分析による赤潮図について. 日水誌 1981; 47: 1275-1279.
- 3) 大内晟. 重回帰式による赤潮発生予測. 日水誌 1982; 48: 1245-1250.

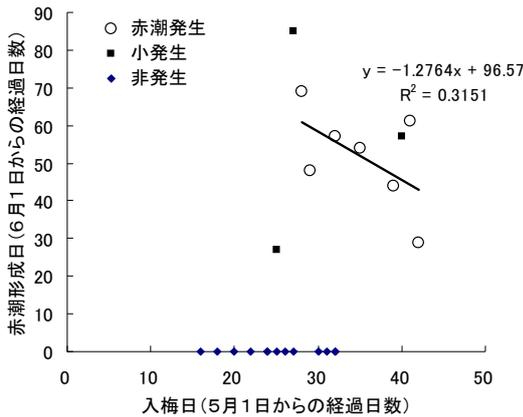


図5 入梅日と赤潮形成日の関係

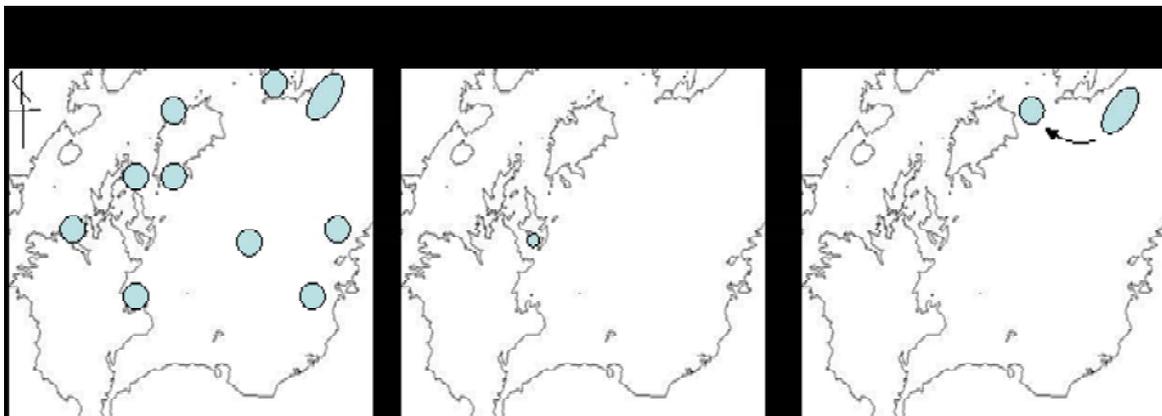


図6 八代海鹿児島県海域における赤潮発生パターン(網掛けは発生域)

- 4) 櫻田清成, 木野世紀, 小山長久, 糸山力夫. 八代海における有害プランクトンの発生状況と予察法の検討. 熊水研セ研報 2006 ; 7 : 31-44.
- 5) 櫻田清成, 山形卓, 小山長久, 糸山力夫. 八代海における有害赤潮 *Chattonella antiqua* の発生予察. 熊水研セ研報 2007 ; 8 : 35-45.
- 6) 山本民次, 岡井満. 三河湾における赤潮形成と気象要因に関する統計的解析. 水産海洋研究 1996 ; 60(4) : 348-355.
- 7) 気象観測の手引き 第4章 風. 気象庁. 1998 ; 16-21.
- 8) 気象観測統計の解説. 気象庁. 2005 ; 110.
- 9) 内田治. すぐわかる EXCEL による多変量解析. 東京図書, 東京. 2000.
- 10) 折田和三, 西広海, 田原義雄, 中村章彦. 赤潮総合対策調査事業-V (赤潮被害防止緊急対策事業). 平成 23 年度鹿水技セ事報 2012 ; 110-123.
- 11) 今井一郎. シャットネラ赤潮の生物学 生物研究社, 東京. 2012.
- 12) 紫加田知幸, 櫻田清成, 城本祐助, 生地暢, 吉田誠, 大和田紘一. 八代海における植物プランクトンの増殖に与える水温, 塩分および光強度の影響. 日水誌 2010 ; 76(1) : 34-45.
- 13) 今井一郎. ラフィド藻赤潮の発生機構と予知. 有害・有毒赤潮の発生と予知・防除 水産研究叢書 48, 日本水産資源保護協会, 東京. 2000 ; 29-70. .

アオダイ *Paracaesio caerulea* の陸上飼育試験

久保満, 神野公広, 宍道弘敏

要 約

標識放流技術の向上及び天然魚と飼育魚の成長比較を目的として、平成 17 年 7 月 12 日及び 18 年 9 月 2 日に奄美大島北東沖で漁獲されたアオダイ各 7 尾, 32 尾を用いて飼育試験を行った。最長飼育記録は 17 年度の 2 尾で 1008 日, 18 年度の 1 尾で 592 日だった。斃死要因を水槽からの“飛び出し”と“飛び出し以外”に分けると、飼育開始後 2 週間は後者、それ以降は前者の割合が多かった。“飛び出し以外”で斃死したサンプルには、100m 以深から釣り上げられた際に活魚として蘇生させるための処置の失敗等によると考えられる内臓の破損が認められ、これによりサンプルの活力が低下し、比較的短期間に斃死したと推察された。成長に関する情報は限定的だが、比較的長期間生残した個体は日間成長率も高い傾向があった。飼育魚の日間成長率は、標識放流再捕魚のそれに及ばなかった。標識の脱落は比較的短期間のうちに発生し、その間に脱落しなかった標識は比較的長期間残留した。また二重標識の両方が脱落した例はなかったことから、二重標識の有効性が示唆された。

主に水深 100m 以深に生息し、南西諸島海域で資源回復計画（平成 24 年 1 月 31 日以降、広域資源管理）の対象となっているマチ類（アオダイ・ハマダイ・ヒメダイ・オオヒメ）は、成長、成熟、移動回遊等の生態が十分把握されておらず、限られた生物情報や漁業者らの経験に基づいて資源保護の取り組みが行われている。筆者ら¹⁾はこれまで、マチ類の移動回遊生態を解明するため標識放流調査を実施してきた。これは、漁船または県漁業調査船によりマチ類を活かしたまま釣り上げ、水圧変化による胃反転や脱腸を元に戻し、標識を装着して放流するというものである。これまでにアオダイ、ヒメダイ、オオヒメで漁業者による再捕が確認されており、標識放流手法としては一定の技術が確立されつつある。¹⁾一方、釣獲から放流までのハンドリングや標識装着がサンプルの生残に与える影響、標識の脱落率等、標識放流技術の向上に向けて、飼育試験を通じて解決すべき多くの課題が残されている。しかし、100m 以深に生息するマチ類の飼育記録はこれまでほとんど報告されておらず、わずかに沖縄美ら海水族館におけるハマダイの飼育事例²⁾が紹介されているほか、マチ類 4 種の飼育実績が確認できるのみである（<http://oki-churaumi.jp/book/>, 平成 25 年 3 月 1 日）。

ここでは、これらの課題解決及び天然魚と飼育魚の成長比較を目的として行ったアオダイの陸上飼育試験の結果について報告する。

なお、本飼育試験に用いたサンプルは、水産庁委託事業（資源評価調査事業）により採集された。

材料及び方法

平成 17 年 7 月 12 日及び 18 年 9 月 2 日、奄美大島北東沖に設定されている保護区「アッタ曾根」（図 1）において実施した標識放流調査¹⁾の際、漁船により釣獲されたアオダイ各 19 尾, 37 尾を漁業調査船「くろしお」の魚槽に収容し、当所に持ち帰った。運搬中の魚槽内水温を、サンプルの生息水深帯の水温に合わせて 20℃以下に保つため、平成 17 年度は海水氷により、18 年度は調査船搭載の冷却装置により海水の冷却を行った。活魚での運搬に成功した各 7 尾, 32 尾を、当所内恒温循環式 FRP 水槽（2m × 1m × 水深 1m）に収容し、平成 17 年 7 月 14 日及び 18 年 9 月 3 日に飼育試験を開始した。水槽は平成 17 年度は 1 基、18 年度は 2 基使用した。飼育水温は 17 ± 0.2℃に設定し、水槽は遮光幕で覆った。循環濾過飼育とし、換水は適宜行った。餌料にはオキアミとキビナゴを使用した。飽食給餌とし、適宜ビタミン強化を行った。キビナゴはサイズに応じて 2-3 片に切断して与えた。斃死魚は発見次第取り上げ、可能な限り尾又長測定、標識脱落の確認、及び魚体の解剖観察を行った。

個体識別のため、スパゲッティ型アンカータグ 2 本を背鰭基部付近に装着した。平成 17 年度は、漁獲時にサンプルの一部に標識を装着したが、飼育開始時に生残していた標識装着魚は 1 尾（A-01057 & A-01058：標識番号、以下“A-01058”という）であった。また、飼育開始 27 日後に、その時点で

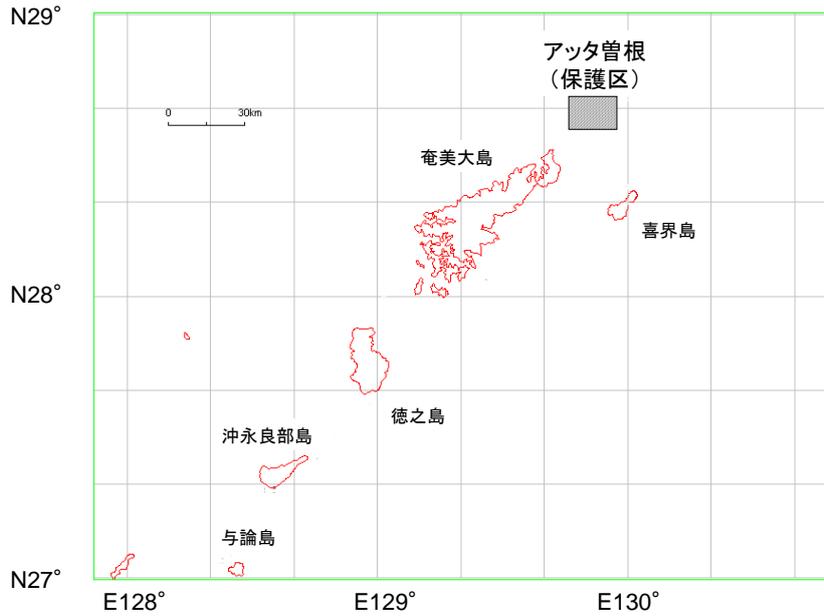


図1 アオダイ陸上飼育試験サンプル漁獲位置(網掛け部)

生残していた残りの 2 尾にも標識を装着した (A-00307 & A-00308, A-00309 & A-00310, 以下それぞれ “A-00308”, “A-00310” という)。平成 18 年度は漁獲時に全サンプルに標識を装着した。

後に 1 尾, 6 日後に 2 尾, 7 日後に 1 尾の斃死が確認され, 生残尾数は 3 尾 (生残率 42.9 %) と生残率 50 % を下回った。その後, 610 日後に 1 尾 (A-00308) の斃死が確認され, 残りの 2 尾 (A-00310, A-01058) は 1008 日後に取り上げた (表 1)。

結果

1 飼育尾数の経過と斃死状況

1) 平成17年度

平成 17 年 7 月 14 日に 7 尾で飼育を開始後, 2 日

摂餌は, 12 日後に 3 尾のうちの 1 尾で, さらに 14 日後にはもう 1 尾で確認された。この際の餌料はオキアミであった。3 尾全ての摂餌が同時に確認されたのは 28 日後であった。この後の摂餌量は, アオダイ 1 尾 1 回当たりキビナゴ 3-5 尾程度であった。

表1 飼育開始後の生残尾数の経過

年度	日付	飼育開始後日数	生残尾数	斃死尾数	生残率(%)	備考
H17	H17. 7. 14	0	7	—	100.0	
	H17. 7. 16	2	6	1	85.7	
	H17. 7. 20	6	4	2	57.1	
	H17. 7. 21	7	3	1	42.9	
	H19. 3. 16	610	2	1	28.6	
	H20. 4. 17	1008	2	0	28.6	
H18	H18. 9. 3	0	32	—	100.0	
	H18. 9. 4	1	31	1	96.9	
	H18. 9. 6	3	29	2	90.6	
	H18. 9. 7	4	26	3	81.3	
	H18. 9. 8	5	19	7	59.4	
	H18. 9. 12	9	15	4	46.9	
	H18. 9. 17	14	10	5	31.3	
	H18. 10. 3	30	6	4	18.8	
	H18. 10. 4	31	5	1	15.6	
	H18. 11. 15	73	3	2	9.4	
	H19. 3. 27	205	2	1	6.3	
	H20. 4. 17	592	1	1	3.1	斃死日不明

256 日後には、生残していた 3 尾のうちの 1 尾に左眼突出の症状が認められた。この個体は 284 日後には両眼突出となった。またこの個体は、一時的に摂餌がみられなくなりやせ細るなど、活力が低下した期間 (H18.4.4 ~ 5.8) があったが、次第に摂餌できる状態まで回復した。298 日後にはさらにもう 1 尾に左眼突出が認められた。なお、眼球突出個体の標識番号は確認できなかった。

2) 平成18年度

平成 18 年 9 月 3 日に 32 尾で飼育を開始後、1 日後に 1 尾、3 日後に 2 尾、4 日後に 3 尾、5 日後に 7 尾、9 日後に 4 尾の斃死が確認され、生残尾数は 15 尾 (生残率 46.9%) と生残率 50% を下回った。その後も少しずつ斃死が確認され、30 日後には 6 尾、73 日後には 3 尾の生残となった。その後 205 日後に 1 尾 (B-00774) の斃死が確認され、残りの 2 尾のうち 1 尾 (B-00759) は、592 日後に取り上げた (表 1)。残りの 1 尾の斃死状況については確認できなかった。

摂餌は、14 日後に、生残していた 10 尾のうち 6 尾で確認された。この際の餌料はオキアミであった。この後の摂餌量は 17 年度と同程度であった。

飼育開始後の死因は、水槽からの“飛び出し”と“飛び出し以外”に大別された。両者の割合の推移をみると、“飛び出し”による斃死は飼育開始 7 日後までは 15%、8 ~ 14 日後は 0%、15 ~ 30 日後は 100%、31 日後以降は 75% で、長期間経過後に増加する傾向が認められた (図 2)。

また、斃死魚の観察結果から、死因別に外傷及び内臓破損の併発割合をみると、“飛び出し”により斃死した個体のうち、体表にスレが認められた個体の割合は 33% で、“飛び出し以外”の 89% に比べて低かった。同様に、眼球異常 (眼球突出, 眼球潰れ, 充血) 及び鰓破損が認められた個体の割合は 11% で、“飛び出し以外”のそれぞれ 42%, 63% より低かった。また“飛び出し以外”による斃死個体に 16% の割合でみられた胃破損及び腸破損は、“飛び出し”ではみられなかった (図 3)。

解剖観察による鰓・胃・腸破損の状態として、鰓は破れもしくは針で突いたような小孔が数個認められる、胃は破れて腹腔内に水が溜まっている、腸は破れもしくは原形を留めていない、などが確認された。

なお、当所まで搬入したものの、陸上水槽に収容

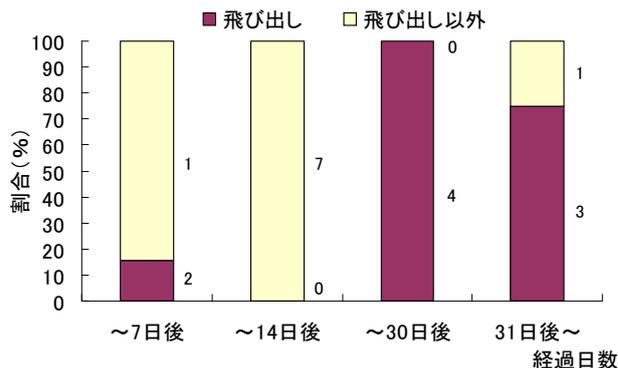


図2 死因別斃死割合の推移(H18年度)
 (図中の数字は各死因の個体数を示す)

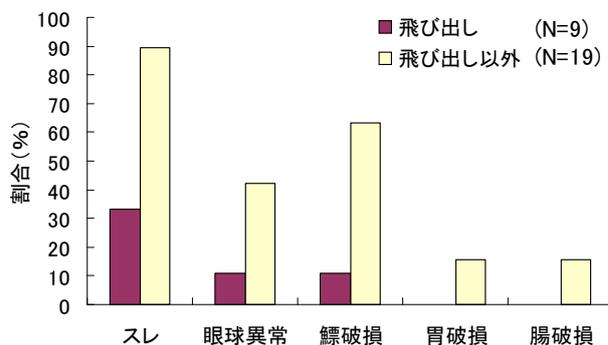


図3 死因別外傷及び内臓破損併発割合(H18年度)

する前に斃死していた 5 尾には全て鰓破損がみられ、またそのうちの 2 尾は、腸破損もみられた。

2 成長

1) 平成17年度

7 日後以降生き残った 3 尾の、飼育開始時の尾叉長は 250 ~ 255mm であった。このうちの 1 尾 (A-00308) は 400 日後に 253mm、斃死が確認された 610 日後には 254mm と、飼育開始時の 250mm からほとんど成長していなかった (表 2, 図 4)。1008 日後の取り上げ時まで生残した 2 尾 (A-00310, A-01058) は、それぞれ飼育開始時の 255mm から、400 日後には 269mm (14mm 成長), 282mm (27mm 成長), 取り上げ時には 286mm (31mm 成長), 302mm (47mm 成長) に成長していた (表 2, 図 4)。

斃死または取り上げ時までの日間成長率は 0.01-0.05mm/day となり、3 尾のうちで最も早く斃死した A-00308 が最も低かった (表 2)。

2) 平成18年度

592 日後の取り上げ時まで生残した 1 尾 (B-00759) を含め、測定した 4 尾の飼育開始時の

尾叉長は 190 ~ 290mm であった。このうち、73 日後に斃死が確認された 2 尾 (B-00259, B-00268) の斃死時の尾叉長はそれぞれ 290mm, 228mm で、それぞれ飼育開始時の 290mm, 230mm からほとんど成長していなかった (表 2, 図 4)。205 日後に斃死が確認された 1 尾 (B-00774) の斃死時の尾叉長は 195mm で、飼育開始時の 190mm から 5mm 成長し

ていた。取り上げ時まで生残した 1 尾 (B-00759) は、取り上げ時には 217mm となり、飼育開始時の 200mm から 17mm 成長していた (表 2, 図 4)。

斃死または取り上げ時までの日間成長率は 0.00-0.03mm/day となり、4 尾のうちで最も早く斃死した B-00259, B-00268 が最も低かった (表 2)。

表2 飼育開始後の成長の経過 (尾叉長:mm)

年度	日付	飼育開始後日数	個体番号		
			A-00308	A-00310	A-01058
H17	H17. 7. 14	0	250	255	255
	H18. 8. 18	400	253	269	282
	H19. 3. 16	610	254	—	—
	H20. 4. 17	1008	×	286	302
斃死(取り上げ)時成長(mm)			4	31	47
日間成長率(mm/day)			0.01	0.03	0.05

年度	日付	飼育開始後日数	個体番号			
			B-00259	B-00268	B-00774	B-00759
H18	H18. 9. 3	0	290	230	190	200
	H18. 11. 15	73	290	228	—	—
	H19. 3. 27	205	×	×	195	—
	H20. 4. 17	592	×	×	×	217
斃死(取り上げ)時成長(mm)			0	-2	5	17
日間成長率(mm/day)			0.00	0.00	0.02	0.03

※B-00268は飼育開始時より小さくなっているが、測定誤差と判断し、日間成長率0.00mm/dayとした
 —:未測定, ×:斃死のため測定不可

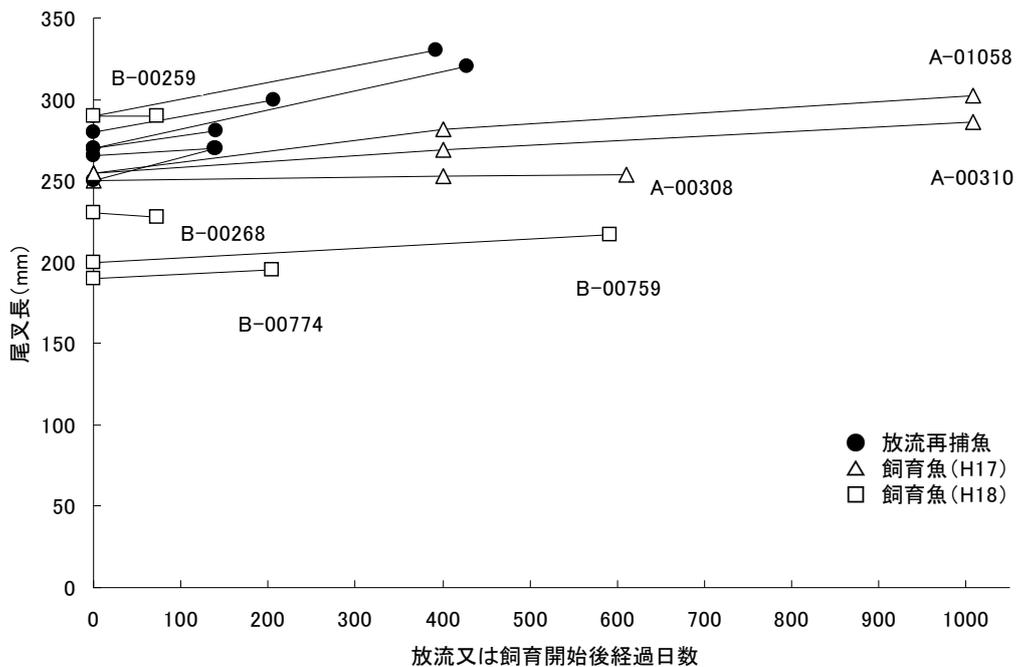


図4 放流再捕魚と飼育魚の成長比較 (放流再捕魚のデータは宍道他³⁾より引用)

表3 累積斃死尾数と累積標識脱落尾数の推移(H18年度)

日付	標識装着後 経過日数	累積斃死 尾数	累積標識 脱落尾数	標識脱落 率(%)	備考
H18. 9. 2	0	—	—	—	漁獲 飼育開始
H18. 9. 3	1	5	1	20.0	
H18. 9. 4	2	6	2	33.3	
H18. 9. 6	4	8	3	37.5	
H18. 9. 7	5	11	5	45.5	
H18. 9. 8	6	18	5	27.8	
H18. 9. 12	10	22	5	22.7	
H18. 9. 17	15	25	5	20.0	
H18. 10. 3	31	29	5	17.2	
H18. 10. 4	32	30	5	16.7	
H18. 11. 15	74	32	6	18.8	
H19. 3. 27	206	33	6	18.2	
H20. 4. 17	593	34	6	17.6	取り上げ

3 標識の脱落

考察

1) 平成17年度

A-01058 は、標識装着から 290 日後に一方の標識が脱落していた。回収した標識の状況を観察すると、アンカー部の爪が折れていた。その後、標識装着から 1010 日後に取り上げるまで、もう一方の標識が残っていた。

A-00308 は、標識装着から 583 日後に斃死が確認されるまで、両方の標識が残っていた。

A-00310 は、標識装着から 373 日後には両方の標識が残っていることが確認されているが、981 日後に取り上げた時には一方が外れていた。これがどの時点で外れたのかについては確認できなかった。

2) 平成18年度

当所まで搬入したものの、陸上水槽に収容する前に斃死していた 5 尾のうち、1 尾で片方の標識が脱落していた。

飼育開始後も同様に斃死魚（及び平成 20 年 4 月 17 日の取り上げまで生残した 1 尾）における標識脱落状況をみると、データが得られた 34 尾のうち、片方の標識が脱落していたのは 6 尾で、標識脱落率（累積標識脱落尾数/累積斃死尾数×100）は 17.6%であった（表 3）。標識が両方とも脱落していた個体はなかった。標識脱落個体 6 尾のうち 5 尾は、標識装着から 5 日後までに標識脱落がみられ、6 日後～593 日後の間に脱落が確認されたのはわずか 1 尾であった（表 3）。標識脱落率は、標識装着から 5 日後まで徐々に増加して 45.5%で最大となり、その後減少して 31 日後以降は 17%前後で推移した（表 3）。

1 短期斃死と長期生残の要因

両年度とも、飼育開始後 7～9 日と比較的短期間のうちに生残率が 50%を下回り、その後は徐々に減少する傾向であった（表 1）。この短期間の斃死が飢餓によるものかどうかを検証する。魚類の飢餓耐性に関して、天然魚では、ハマチ（平均体重 31.47g、体長 150mm 未満）30 尾を用いて行った飢餓実験の結果、試験開始後約 1 ヶ月から斃死が始まったとの報告がある。³⁾人工種苗では、ヒラメ、⁴⁾サクラマス、⁵⁾マツカワ、⁶⁾ニシン⁷⁾などの報告がある。ヒラメ⁴⁾では、飢餓実験開始後餓死個体が出現するまでの日数は、平均全長 58mm で 21 日、77mm で 32 日、88mm で 40 日であった。サクラマス⁵⁾（平均尾叉長 12.4cm）では、絶食 171 日目までの斃死は 400 尾中 3 尾であった。マツカワ⁶⁾では、無給餌飼育開始から全長 50mm で 48 日後、全長 80mm で 83 日後に斃死がみられ始め、全長 100mm では 120 日間の無給餌飼育期間中に斃死は認められなかった。ニシン⁷⁾では、無給餌飼育開始後生残率が 50%となったのは、平均全長 47mm 群で 19 日目、68mm 群で 27 日目であった。またヒラメ、⁴⁾マツカワ、⁶⁾ニシン⁷⁾の報告例から、体サイズが大きな個体ほど飢餓耐性は高いと考えられる。本飼育試験で用いたサンプルは尾叉長 180mm 以上であり、これらの報告に用いられたサンプルより十分大きいといえる。また、両年度で飼育開始後最初に摂餌が確認された時期は平成 17 年度で 12 日後、18 年度で 14 日後であったことから、本飼育試験で用いたサンプルは、2 週間程度の飢餓には耐え得る活力を本来有していたと考えられる。以上のことから、この短期間にみられた斃死は飢餓

によるものではないと判断するのが妥当と考える。

飼育開始後比較的短期間にみられた斃死は“飛び出し以外”によるものが多く(図2)，“飛び出し以外”で斃死した個体には、スレを伴う個体が、“飛び出し”で斃死した個体より多く認められた(図3)。また観察の結果、活力の低い個体は水槽底に横たわっていることが多く、刺激すると泳ぎ出すが、しばらくすると再び水槽底に横たわることが多かった。このように活力の低い個体は水槽底と接触し、体表が擦れることによりスレが生じると考えられるほか、当所までの運搬中にも既にスレが生じていた可能性が考えられる。

また、平成18年度の調査で、陸上水槽に搬入する前に斃死が認められた5尾の全てに鰓破損が認められ、且つそのうちの2尾は腸破損も認められた。さらに、“飛び出し以外”で斃死した個体には、鰓破損、胃破損、腸破損などの内臓の破損が、“飛び出し”で斃死した個体より多く認められた(図3)。

以上のことから、内臓の破損を伴う個体は活力が低く、体表にスレを伴い、“飛び出し以外”の死因で比較的短期間に斃死すると推察される。

内臓の破損状態として確認された鰓の破れ、また針で突いたような小孔、胃や腸の破れは、漁獲及びエア抜き、胃反転戻し等¹⁾の、活魚としてサンプルを蘇生させる過程で発生したものと考えられる。すなわち、100m以深から釣り上げられる過程における水圧変化に伴う鰓の膨張による破裂、膨張した鰓からの注射針を用いたエア抜き作業の失敗による破損、鰓膨張に伴う胃反転や脱腸を戻す作業の失敗による破損などである。

一方、両年度とも1年以上の長期間生残した個体も確認された(表1)。長期間経過後に斃死した個体は、“飛び出し”によるものが多かった(図2)。また“飛び出し”により斃死した個体には、胃及び腸の破損は全くみられなかった(図3)。鰓の破損が確認された個体が9尾中1尾確認されたが、これは飼育開始4日後に斃死した個体であった。すなわち、飼育開始から15日後以降に“飛び出し”により斃死した個体には、内臓破損は認められなかったことから、これらは、活魚としての蘇生に成功した、活力の良好な個体であったと考えられる。筆者らが行っている標識放流調査においても、これまで1年以上経過後の再捕例が確認されており、¹⁾これらも同様に、活魚としての蘇生に成功した、活力の良好な個体であったと考えられる。以上のことから、標

識放流作業にあたる作業員の習熟度が増し、放流技術が向上することにより、活力の良好な個体を放流できる割合が増加することが期待される。

両年度で観察された眼球突出と斃死との関係は不明であった。眼球突出の要因の一つとして、飼育水深が浅いことによる水圧不足(佐藤圭一、私信)が考えられた。

なお、本飼育試験では、標識装着が原因で斃死したと思われる観察例はなかった。

2 成長

尾叉長測定データが得られているサンプルが少なく、成長に関して充実した議論を行うことは困難であるが、両年度ともに、最も長期間生残した個体が最も日間成長率が高く(平成17年度:0.05mm/day、平成18年度:0.03mm/day)、比較的早期に斃死した個体は日間成長率が低い場合が多かった(表2)。長期間生残した個体が成長も比較的良好であったことから、標識放流調査に際しては、活力の良好な個体の放流が重要であると考えられる。

当所が「アッタ曾根」において平成17、18年度に標識放流したアオダイの再捕魚⁸⁾と本飼育試験における飼育魚の成長を比較すると(図4)、放流再捕魚6例の日間成長率は、1例が0.04mm/day、その他の5例が0.08-0.14mm/dayであるのに対し、飼育魚は平成17年度が0.01-0.05mm/day、平成18年度が0.00-0.03mm/dayで(表2)、1例を除いて放流再捕魚の方が成長がよかった。前述のとおり、本飼育試験で長期間生残した個体は、活魚としての蘇生に成功した、活力の良好な個体であったと考えられ、飼育魚の中では最も成長がよかったが、放流再捕魚の成長には及ばない場合が多かった。この要因としては、飼育中の餌料、照度、水圧(前述)、水質、飼育環境下におけるストレス等、様々な可能性が考えられるが、本飼育試験の結果からはこれ以上詳細な議論を行うことはできない。種苗生産技術開発まで視野に入れた飼育技術確立のためには、今後より詳細な研究が必要である。

3 標識の脱落

平成18年度の調査の結果、標識脱落個体が確認された6尾のうち5尾は、標識装着から5日後までにみられ、6日後～593日後の間に確認されたのはわずかに1尾であった(表3)。平成17年度の試験では、最長1008日(約2年9ヶ月)にわたって標

識が残っていた。これらのことから、標識が脱落する場合は比較的短期間のうちに脱落し、短期間で脱落しなかった標識は、2年以上の長期間にわたって残存すると考えられる。ただし、この結果は飼育環境下のものであり、自然界においても同様の結果になるかどうかは分からない。

両年度とも、標識が2つとも脱落していた個体は全く確認されなかった。従って、今回用いたスパゲッティー型アンカータグの場合、今回のように二重標識を施すことにより、仮に一方が脱落しても、もう一方が残ることが期待され、長期間追跡可能な標識となり得ると考えられる。

また、今回はスパゲッティー型アンカータグを用いた試験であったが、平成20年度から筆者ら¹⁾が標識放流調査で用いている標識はダートタグ (Hallprint社製, PDX型) と呼ばれるものである。これは、矢尻の返し部分を魚体の骨に引っ掛けて固定するタイプの外部標識であり、アンカー型に比べて脱落しにくいといわれている (<http://www.tanaka-sanjiro.com/tag/product/darttag.phtml>, 平成25年3月31日)。そのため現在は標識を1本しか装着していない。ダートタグを用いた放流群についても、これまでに再捕例が確認されている¹⁾が、脱落率については未調査であり、今後、今回と同様の試験を実施して確認する必要がある。

謝 辞

マチ類の活魚釣獲及び輸送に関する技術を提供して頂き、懇切丁寧にご指導頂いた佐藤圭一氏をはじめ、沖縄美ら海水族館職員の皆様に深謝の意を表す。サンプルの確保に協力して頂いた奄美漁業協同組合所属漁業者の皆様衷心よりお礼申し上げます。

サンプルの確保と運搬に協力して下さった漁業調査船「くろしお」乗組員諸氏に感謝申し上げます。マチ類の飼育において、給餌作業を手伝って頂いた上西園恵美氏、七夕恭子氏、梅北佐和子氏をはじめ、筆耕諸氏にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 宍道弘敏, 久保満, 神野公広. フェダイ科魚類3種の標識放流技術と放流再捕記録. 2009年度水産海洋学会大会講演要旨集 2009; 90.
- 2) 佐藤圭一. 熱帯の深海に挑む—沖縄におけるハマダイ飼育の記録—. 「水族館の仕事」. (西源二郎・猿渡敏郎編) 大学出版部協会, 東京, 2007.
- 3) 藤谷超, 塚原宏子. 養魚餌料の研究—第VIII報 飢餓魚に現れた症状. 南西水研研報 1969; 1: 63-69.
- 4) 反田實. 人工生産ヒラメ稚魚の飢餓耐性と体長との関係. 水産増殖 1989; 37(4): 259-265.
- 5) 四方崇文, 高門光太郎, 四登淳, 柴田敏. 長期絶食時のサクラマス¹⁾の体重, 尾叉長, 体成分および肝臓酵素活性の変化. 石川水総セ研報 2000; 2: 13-18.
- 6) 高谷義幸, 川真田憲治. マツカワ人工種苗の飢餓耐性. 水産増殖 2000; 48(3): 517-522.
- 7) 佐々木正義, 高島信一. ニシン人工種苗の飢餓耐性予備試験. 北水試研報 2002; 62: 161-166.
- 8) 宍道弘敏, 調査船くろしお, おおすみ乗組員一同. 200カイリ水域内資源総合調査事業—II (資源評価調査委託事業: マチ類). 平成20年度鹿水技セ事報: 22-29.

資料 2012 年春季に鹿児島県周辺海域で広域に出現した粘質状浮遊物の消長

田原義雄, 折田和三, 西広海, 小湊幸彦, 中村章彦

要 約

2012 年の春季に鹿児島県周辺海域で粘質状浮遊物が大量に出現し、まき網や刺網等に付着し、操業に支障を与えた。粘質状浮遊物は 3 月中旬から、薩摩半島や種子島の沖合の広い範囲に出現した。3 月下旬にはさらに分布範囲を拡大し、長島西岸や甕島海域、屋久島海域、大隅半島東岸に至る沿岸から沖合の広い海域で確認された。4 月中旬になると沈静化の兆しをみせはじめ、4 月 17 日に確認されたのを最後に、それ以降は確認情報はなくなった。複数の漁協で採取された試料から *Thalassiosira partheneia* Schrader (以下「*T.partheneia*」という) が確認されたことから、原因は同一のプランクトンによるものと推定された。

操業への支障の報告があった漁業種類は小型機船底びき網、まき網、刺網、とびうおロープ曳浮敷網、定置網、ごち網、一本釣り、ひき縄釣りであり、網漁業を中心に沿岸から沖合で営まれるほとんどの漁業種類で影響が報告された。

粘質状浮遊物の出現は鹿児島県海域だけではなく、九州西岸では五島沖、長崎半島の江島～高島～野母崎沖及び熊本県牛深沖で、九州東岸では日向灘沖の広い海域で出現が報告された。

2012 年の春季 (3 月中旬から 4 月中旬) に本県の薩摩半島西岸沖合～熊本海域～大隅半島東岸沖合にかけて粘質状浮遊物が大量に出現し、漁具に付着して、その海域で操業する漁業へ支障が生じるなど、県内漁協、漁業者から広範囲にわたって漁業への影響が報告された。

本稿では、調査船による分布調査や沿海漁業協同組合等への聞き取り調査を基に粘質状浮遊物の出現から衰退までの経緯と漁業への影響を記録した。

なお、調査に基づく粘質状浮遊物とその分布状況に関する詳細な結果については、本誌の別稿「2012 年春季に鹿児島県周辺海域で広域に出現した粘質状浮遊物とその分布特性」として掲載した。

材料及び方法

2012 年 3 月 19 日から 5 月 10 日まで、9 回にわたり本県内の沿海 9 漁協 (図 1) から、粘質状浮遊物の出現状況と漁業への影響について聞き取り調査を実施した。また、漁協または当所が採取した試料から原因物質を特定するとともに、漁業調査船「くろしお」(以下「くろしお」という) による分布調査を 2 回、漁業指導取締兼調査船「おおすみ」(以下「おおすみ」という) による分布調査を 1 回実施した。

さらに隣県の状況についても長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、宮崎県水産試験場から聞き取りを行った。



図 1 聞き取り情報が得られた漁業協同組合位置図

結 果

1 粘質状浮遊物出現状況 (出現から衰退までの経緯)

粘質状浮遊物の出現状況を表 1, 2 に示す。

粘質状浮遊物に関する情報の第一報は、かい簾漁協から 3 月 19 日にあり、「緑色がかかった色の粘質状の物質が浮遊し、それらが、一本釣りやまき網の漁具に付着し、操業に支障をきたしている」との内容であった。持ち込まれた試料を光学顕微鏡で検鏡したが、試料は既に乾燥していたため、原因物質の特定に至らなかった。その後、同様の内容の報告が薩摩半島の西岸の複数の漁協や漁業者から相次いで寄せられた。そのため、各漁協へ聞き取り調査を行ったところ、これらの現象は、薩摩半島や種子島の沖合の広い範囲に及んでいることがわかった。

3 月下旬にはさらに分布範囲が拡大し、長島西岸や甌島海域、屋久島海域、大隅半島東岸に至る沿岸から沖合の広い海域に及んだ。原因把握のため、3 月 27 日に川内市漁協で現地調査を行い、漁協が採取した試料を検鏡したところ *Thalassiosira* sp. が確認された。また、北さつま漁協、種子島漁協が 3 月 29 日に採取した試料からも川内市漁協と同様の *Thalassiosira* sp. が確認され、のちに *T. partheneia* と同定された。¹⁾ これらのことから、広域に出現している粘質状浮遊物の原因は同一のプランクトンによるものであると推定された。この粘質物質の性状は、外観は白色、緑色、黒色を呈し、繊維状であり、漁具に強力に絡みつき、洗浄するのが困難なほど粘性が非常に高い物質であることが特徴であった(図 2, 3)。



図2 粘質状浮遊物 (北さつま漁協提供)

4 月 6 ~ 9 日に「くろしお」によりプランクトン採集ネットでの分布調査を行ったところ、本県周辺海域に広い範囲で分布していた(表 2)。一方、4 月 6 ~ 13 日に「おおすみ」により行った分布調査では粘質状物質は確認されなかった(表 2)。4 月中旬に



図3 漁具に付着した粘質状浮遊物
(北さつま漁協提供)

なると沈静化の兆しがみられ、4 月 17 日に南さつま漁協で確認されたのを最後に、それ以降は確認情報はなくなった(表 1)。また、5 月 7 ~ 10 日に行った「くろしお」による分布調査でも同浮遊物は確認されなかった(表 2) ことから、本県海域では粘質状浮遊物の出現は 4 月下旬から 5 月上旬には終息したものと考えられた。

粘質状浮遊物の分布水深については、報告では出現初期の 3 月中旬は表層付近であったが、4 月以降は中層から底層に分布しているとの報告が増加した。中には、300 ~ 400m の水深で操業する小型機船底びき網にも粘質状浮遊物が付着したとの報告もあった(表 1)。

2 漁業への影響

影響の報告があった漁業種類は小型機船底びき網、まき網、刺網、とびうおロープ曳浮敷網、定置網、ごち網、一本釣り、ひき縄釣りであり、網漁業を中心に沿岸から沖合で営まれるほとんどの漁業種類で影響が報告され(表 1)、その内容をまとめると、以下のとおりであった。

- 粘質状浮遊物が網に付着し、その重みで漁具の巻き上げ作業等、漁労作業に支障をきたした。
- 浮遊物の粘性は非常に高く、漁具に絡みつくと、高圧洗浄で除去するのが困難であった。
- 粘質状浮遊物が網目を塞ぐほど付着し、魚が網にかからなくなるにより漁獲量が減少した。

3 他県での出現状況

近隣の各県水産研究機関から得られた情報から、粘質状浮遊物の出現は鹿児島県海域だけではなく、九州の広い海域に及んでいることが明らかになった。出現時期は3月下旬から4月中旬までで、出現海域は九州西岸では五島沖、長崎半島の江島～高島～野母崎沖及び熊本県牛深沖で、九州東岸では日向灘沖で出現が報告された。採取試料からは *Thalassiosira* sp. が確認されている(表2)が、同一種であるかは精査されていない。

謝 辞

本調査に関し、聞き取り調査への協力やサンプル提供並びに写真提供していただいた関係漁業協同組合の職員の方々に感謝申し上げます。本調査にご協力

いただいた北薩、鹿児島、南薩、大隅地域振興局、熊毛支庁及び当所資源管理部の職員の方々に感謝申し上げます。粘質状浮遊物分布調査にご協力いただいた漁業指導取締兼調査船「おおすみ」、漁業調査船「くろしお」の乗組員の方々に感謝申し上げます。また、粘質状浮遊物の出現状況に関し情報提供していただいた長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、宮崎県水産試験場の皆様に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 折田和三, 富安正藏, 鈴木秀和, 南雲保. 2012年春季に鹿児島県周辺海域で広域に出現した粘質状浮遊物とその分布特性. 鹿水技セ研報 2012 ; 4 : 1-16.

表1 鹿児島県沿海9漁協における粘質状浮遊物の出現状況と漁業への影響

聞き取り日・通報日	北さつま漁協	甕島漁協	川内市漁協	羽島漁協	加世田市漁協	南さつま漁協	かいゑい漁協	内之浦漁協	種子島漁協
3月19日							<ul style="list-style-type: none"> 一本釣りに粘質物質による汚れ。海面～3-4m層に分布。 まき網に汚れ。種子島沖まで緑がかかった浮遊物が海面～3-4m層に分布。 		
3月23日				<ul style="list-style-type: none"> 3月中旬頃から白い浮遊物が刺網にびっしりつく。 					
3月26日			<ul style="list-style-type: none"> 3月10日頃から緑っぽい浮遊物が刺網にびっしりつく。漁獲量減。洗浄しても落ちない。 		<ul style="list-style-type: none"> 3月中旬頃らごち網、刺網に黒っぽい浮遊物が網に絡まる。 	<ul style="list-style-type: none"> 甕～野間池に濁り。ひき縄釣りの漁具に汚れ。 			
3月27～28日	<ul style="list-style-type: none"> 3月下旬から刺網、まき網に汚れ。重量増により操業に支障。 	<ul style="list-style-type: none"> 3月下旬から平良、里沖で刺網、定置網に汚れ。 3/27 甕島駐在が検鏡したところ、<i>Thalassiosira diporocyclus</i>かその近縁種が群体を形成。 							<ul style="list-style-type: none"> 3月下旬から東シナ海、太平洋側の両方の海域で、とびうおロープ曳浮敷網の漁具に浮遊物が絡まるなど操業に支障。
3月30日								<ul style="list-style-type: none"> 3月下旬から定置網に汚れ。 	
4月3日						<ul style="list-style-type: none"> 宇治・草垣周辺で刺網、ヒゲナカエビを漁獲する小型機船底びき網の漁具に汚れ。 			
4月9日	<ul style="list-style-type: none"> 4月に入り被害の情報はなし。 	<ul style="list-style-type: none"> 4月に入り被害の情報はなし。 	<ul style="list-style-type: none"> 4/9現在も状況は継続している。粘質物質は底層に分布。 	<ul style="list-style-type: none"> 4/9現在も状況は継続している。粘質物質は底層に分布。 	<ul style="list-style-type: none"> 4月に入り被害の情報はなし。 		<ul style="list-style-type: none"> 4月に入り被害の情報はなし。 	<ul style="list-style-type: none"> 4/9現在も状況は継続している。まき網は10-40m層、定置網でも水深の深い場所の網が汚れる。 	<ul style="list-style-type: none"> 4/9現在も上記の状況が継続している。
4月16日		<ul style="list-style-type: none"> 4/15 沈静化しかけた粘質物質が再び分布。定置網に影響。 							
4月17日						<ul style="list-style-type: none"> 一本釣り、ヒラメ、キビナゴ、タルメ(メダイ)刺網の漁具に汚れ。 			

表2 当所の調査結果及び近隣各県水産研究機関から得られた情報

聞き取り日・調査日	鹿児島県水産技術開発センター	長崎県総合水産試験場	熊本県水産研究センター	宮崎県水産試験場
3月19日	・3/19かいぬい漁協採取サンプルを検鏡するが、試料の状態悪く、原因特定に至らず。			
3月22日			・3/22牛深から甌海域にかけて糸状の浮遊物を確認。まき網に多量に付着、 <i>Thalassiosira</i> 属の群体を確認。	
3月27～28日	・3/27川内市漁協が採集した海水を検鏡したところ、 <i>Thalassiosira</i> 属の一種と推定。 ・本種が産出する粘液物質が原因であるとみられる。			
3月29～30日	・3月29日に北さつま漁協、熊毛支庁が採集した海水を水技が検鏡したところ、川内市漁協のサンプルと同一種であった。			
4月9日		・3月下旬から長崎市沖の江島～高島～野母崎沖で粘質状物質の発生がみられる。		
4月11日	・4/6～9に「くろしお」で実施した調査では、依然として、本県周辺海域の広い範囲に分布していることを確認。			
4月13日	・4/6～13に「おおすみ」で実施した調査では、粘質状物質は確認されず。	・五島沖、長崎市沖の江島～高島～野母崎沖で発生。地先の刺網は漁を控えている。五島沖の定置は、水深13m以深に設置している網が汚れる。	・4/9牛深沖で <i>Thalassiosira</i> 属の群体をごく少量確認。	・3月下旬からの日向灘沖の宮崎市より南側でまき網、刺網に網の汚れ(表層～数十m)→ <i>Thalassiosira</i> 属を確認。4月からは日向灘沖の全域に分布域が拡大。 ・沿岸域では情報なし、沖合側に存在か。
5月10日	・5/7～10に「くろしお」で実施した調査では、粘質状物質は確認されず。			

資料 ブリの鰓の微細構造

折田和三

要 約

正常なブリの鰓を走査型電子顕微鏡で観察し、上皮細胞、粘液細胞、塩類細胞等の画像が得られ、今後の病理学的変化の基準として利用可能となった。また、ブリの鰓を基に他魚種の鰓とその形状を比較した結果、二次鰓弁の形状は魚種によって異なり、この形状の違いにより赤潮に対する感受性に差が生じている可能性が示唆された。

鹿児島県海域の鹿児島湾では *Chattonella marina* が、また八代海では *Chattonella antiqua* (以下 *C.anriqua* という) がたびたび赤潮を形成し、時に甚大な漁業被害を招くことがある。*Chattonella* 赤潮が魚介類をへい死させるメカニズムは現在でも明確に示されていないが、*Chattonella* 細胞が持つ活性酸素などの毒成分がブリやカンパチなどの養殖魚の鰓に作用して鰓の細胞を損傷させ、ガス交換能が低下するため窒息死に至ると考えられている。^{1,2)} また、*Ceratium spp.*などほかの赤潮生物では、物理的に鰓組織を損傷させた結果、同様の窒息死を招くと考えられている³⁾ ものもあり、鰓に与える影響や程度は一樣でないと推測される。魚類の鰓の微細構造は、マダイ⁴⁾ やブリ⁵⁾ では走査型電子顕微鏡や組織切片画像で紹介されているが、ブリの鰓の各組織全てを走査型電子顕微鏡で観察した画像は少ない。

そこで、本稿ではブリの鰓の微細構造を組織学的に観察し、平時の鰓の状態を把握しておくことで赤潮による鰓への影響を比較検討する際の一助とする。さらに、他の魚種との鰓形状の違いを比較し、赤潮に対する感受性について考察した。

なお、本研究の一部は水産庁委託事業「我が国周辺水域資源評価等推進委託事業」で得られたサンプルを使用した。

材料及び方法

1 ブリ鰓の微細構造の観察

当所で飼育されたブリ *Seriola quinqueradiata* 2年魚(体重 3,250 g)を頭部打撃により即殺した後、直ちに鰓全体を摘出し、片方の鰓の第一葉及び第二葉から任意に鰓弁を切り取り、0.1%リン酸バッファ2%グルタルアルデヒドで固定した。また、一

部は固定後にカミソリで二次鰓弁を任意の方向に切断し、その断面を露出させた。なお、鰓組織には偽鰓も含まれるが、今回はこの観察は行わなかった。

固定された鰓弁は、定法⁶⁾によりアルコール系列脱水、t-ブチルアルコール置換、凍結乾燥、イオンスパッタを施し、走査型電子顕微鏡(以下 SEM という)(日立製 S-3000N)で観察した。

2 鰓構造の魚種間の比較

漁業資源調査や飼育試験等で入手した8種の真骨魚(カンパチ、マサバ、ゴマサバ、マアジ、マイワシ、カタクチイワシ、ウルメイワシ、ネブツダイ)の未成魚又は成魚から鰓全体を摘出し、小型魚の鰓はそのまま、大型魚のものは第一及び第二鰓弓を切り出し、0.1%リン酸バッファ2%グルタルアルデヒドで固定した。固定された鰓は、さらに観察しやすい大きさに切り出した後、定法⁶⁾により試料を作製して SEM で観察し、一次鰓弁の先端部付近及び中央から基部付近の2カ所について、二次鰓弁の形状を SEM 画像及び観察からスケッチし比較した。

結 果

1 ブリ鰓の微細構造の観察

生標本及び SEM 画像を図1に示す。なお、組織及び部位名称は、田村⁷⁾及び Endo⁸⁾に従った。

1) 一次鰓弁(primary lamellae 又は filament)

ブリの鰓弁は、薄板が密に重なった構造で、一本の湾曲した鰓弓にこれらが2列並びその基部は密着する(図 1-2,3)。一枚の一次鰓弁は、一頂点を伸長したやや湾曲の長三角形を呈している(図 1-4)。

鰓弁外側の小出鰓動脈側は角の丸い四角形をしており(図 1-6)、鰓弁内側の小入鰓動脈側は丸い円筒

状(図 1-8)で、いずれも鰓弁基部で広く、先端部に行くに従い細くなる。両動脈の間には基部から先端部まで二次鰓弁がある(図 1-7)。

2) 二次鰓弁 (secondary lamellae 又は lamellae)

一枚の一次鰓弁の両面には、それぞれ三角形をし

た二次鰓弁が並んでいる。一枚の二次鰓弁の厚みは周縁部が約 7～10 μm 、中央部は 3～5 μm で、先端部に近いほど鰓弁からはみ出すように良く伸張する(図 1-5,9)が、先端部から 1mm ほどの位置から鰓弓との接続部にかけては、二次鰓弁の頂点が小出鰓動脈側に偏り、張り出す高さ及び頂点から小出鰓動脈

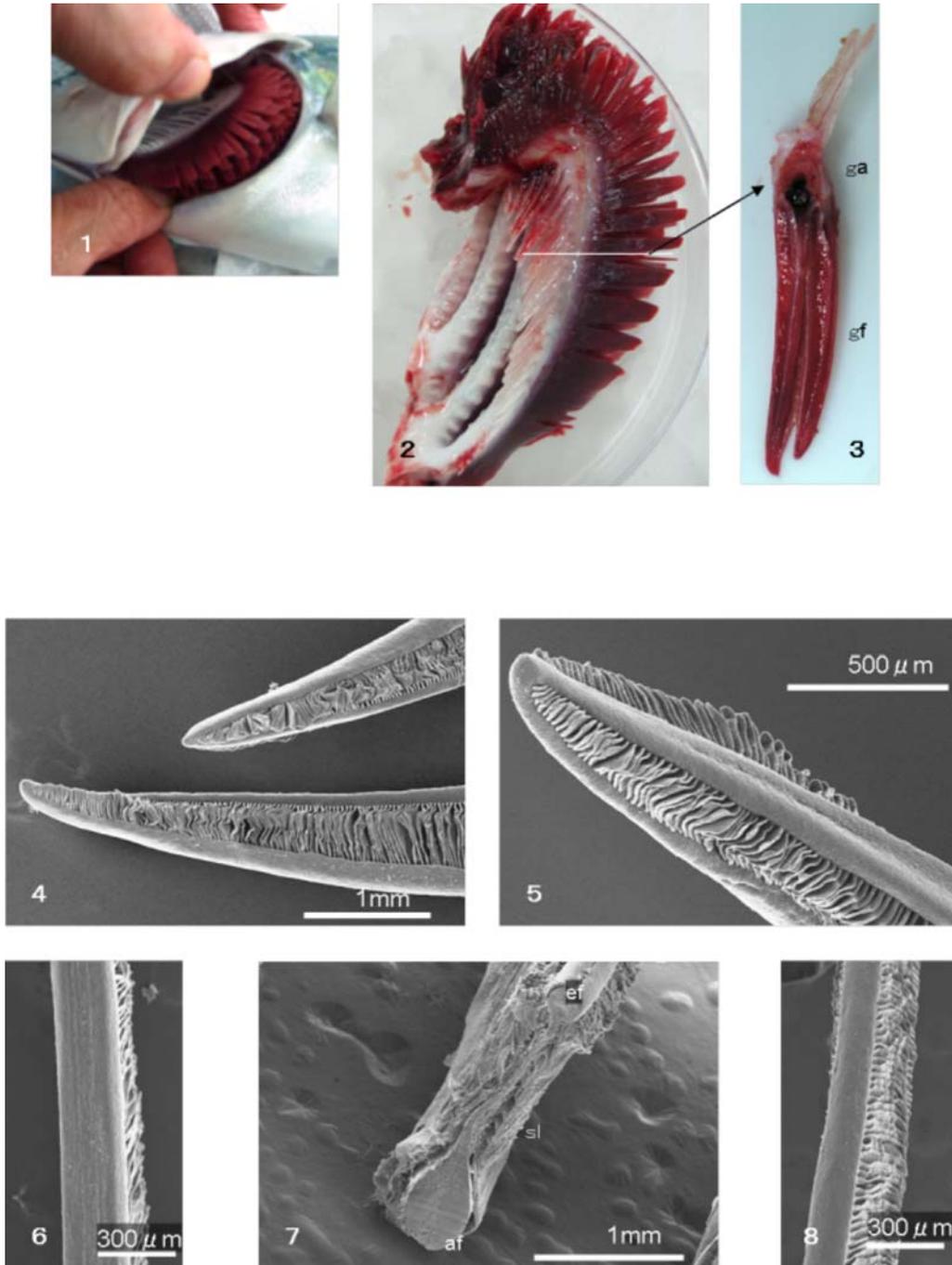


図1 ブリの鰓微細構造

1 生体内の鰓 2 摘出した鰓の左側半分 3 鰓横断面 (ga:鰓弓, gf:鰓弁)
4 一次鰓弁 5 鰓弁先端部 6 小出鰓動脈側 7 一次鰓弁断面 (ef:小出鰓動脈, sl:二次鰓弁, af:小入鰓動脈) 8 小入鰓動脈側

側の距離がほぼ一定となるため、一次鰓弁の幅が広くなるに従って、あたかも一方向に裾野が長くなった山のような形状になる(図 1-10)。それぞれの二次鰓弁は、等間隔に隙間が空いて規則正しく配列される。

二次鰓弁の表面は薄い上皮細胞で覆われ、皮下には基底膜、毛細血管、壁柱細胞がある(図 1-11)。毛細血管は、網の目状に二次鰓弁全体に広がり、一本の毛細血管は直径 2 ~ 8 μ m と変化に富み、きわめて細い毛細血管の場合、赤血球は細長く変形して

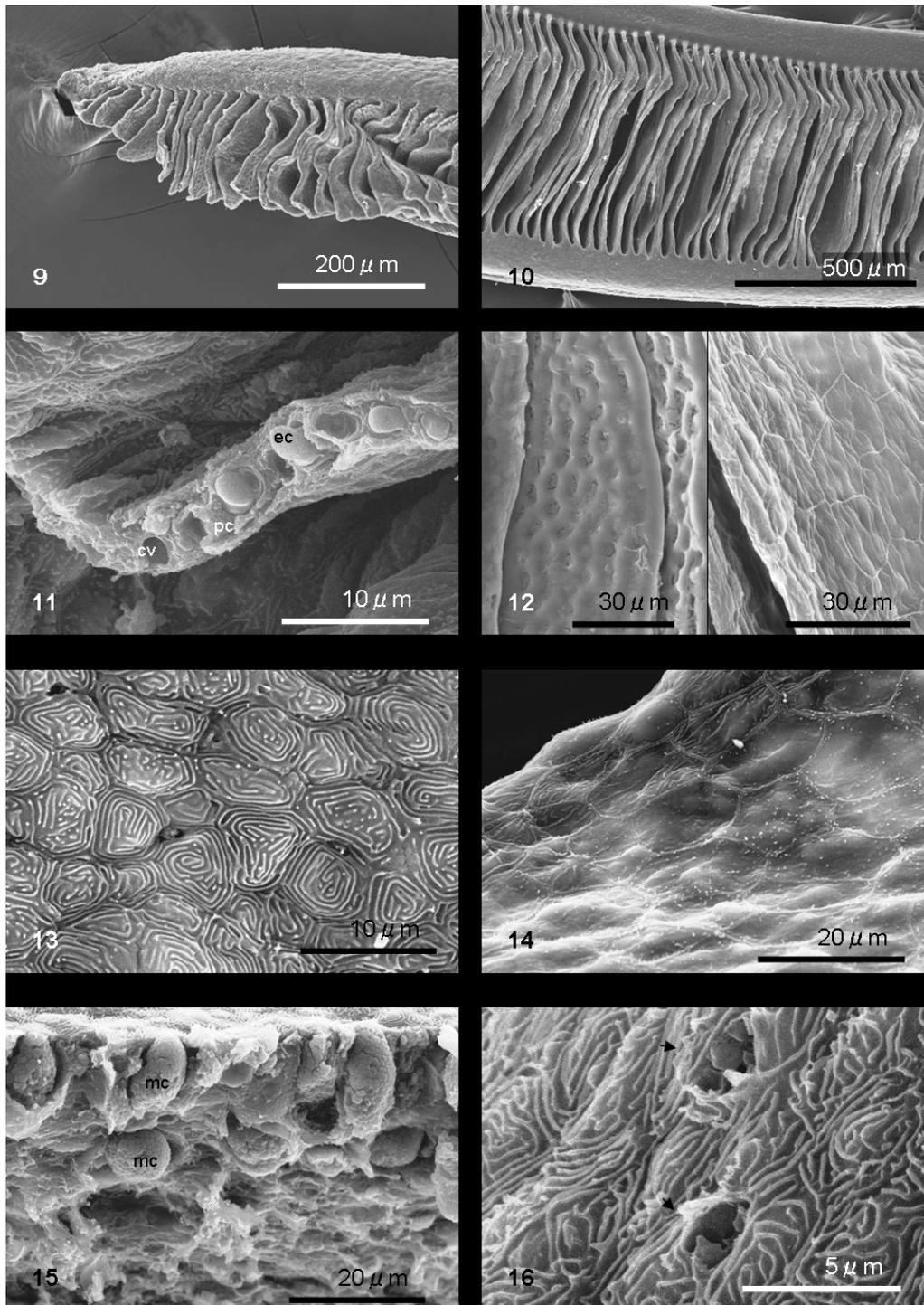


図1 ブリの鰓微細構造(続き)
 9 二次鰓弁(鰓弁先端部) 10 二次鰓弁 11 二次鰓弁横断面(cv:毛細血管, pc:壁柱細胞, ec:赤血球) 12 毛細血管網(左:充血時, 右:平時) 13 一次鰓弁上皮細胞
 14 二次鰓弁上皮細胞 15 上皮組織断面(mc:粘液細胞) 16 粘液細胞放出痕(矢印)

ようやく一つが通過できるほどの大きさとなる。このため、平時では外見からその分布状態は把握しがたいが、充血等で血管が拡張するとその存在が確認できるようになる(図 1-12)。

3) 上皮細胞 (epithelium)

一次鰓弁の表面は、微小隆起 (microridge) が迷路のように迂曲し指紋状になった上皮細胞で覆われ、小出鰓動脈側及び小入鰓動脈側の外側に向かって皮下組織が厚くなる(図 1-13)。

二次鰓弁の上皮細胞は薄く、その表面は比較的平坦で、微小突起 (microvilli) と微小隆起による縁取りのため多角形の石を敷き詰めたような模様に見える(図 1-14)。

4) 粘液細胞 (mucous cell)

粘液細胞は、直径 $10\mu\text{m}$ ほどの球形から長球形を呈しており、中に顆粒が詰まった状態で上皮細胞下に数層にわたり埋没している(図 1-15)。放出の際は、順次上皮細胞を押し上げ、球状の塊が突出して破裂し、中の顆粒が放出され、その痕跡は分泌痕として残る。分泌痕は、噴火口状に周辺がめくれ、その中には放出後残された顆粒が認められる(図 1-16)。

5) 塩類細胞 (chloride cell)

塩類細胞は、一次鰓弁上皮細胞の二次鰓弁基部付近及び二次鰓弁間に多く分布している(図 1-17)。

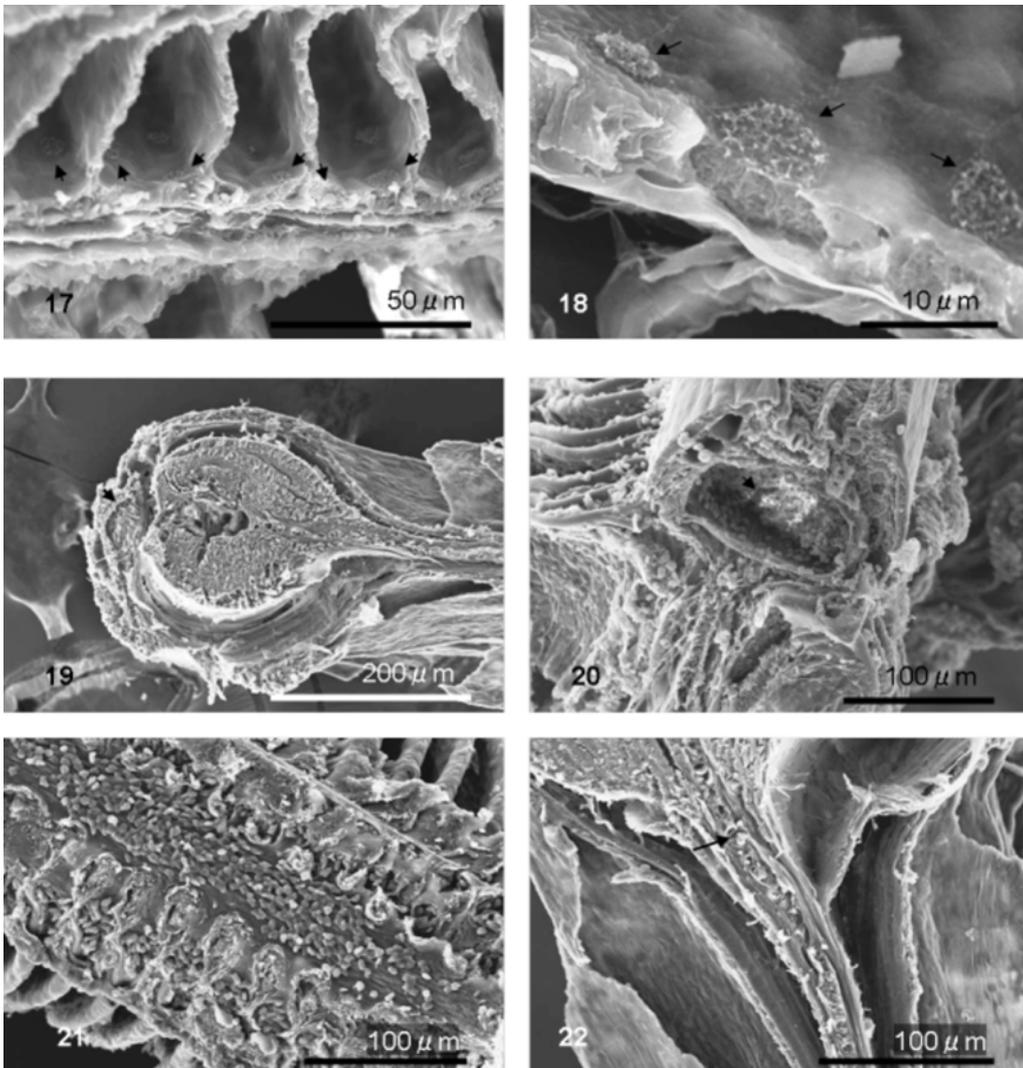


図1 ブリの鰓微細構造(続き)

17 二次鰓弁間の塩類細胞(矢印) 18 塩類細胞(矢印) 19 小入鰓動脈(矢印) 20 小出鰓動脈(矢印) 21 小出鰓動脈縦断面 22 鰓弁軟骨(矢印)

一つの塩類細胞の大きさは、直径 10 μ m ほどの球形をしており、細胞の大部分は、上皮細胞下に埋没している。上皮細胞に露出している塩類細胞の表面は、微小突起でおおわれ、緩やかに隆起する。一方、細胞の内側は微小顆粒物と網目状構造物が充満している(図 1-18)。

6) 血管系

魚類の鰓の血管系には動脈系 (arterio-arterial system) と動静脈系 (arterio-venous system) の 2 系統あるとされている。⁵⁾ 動脈系は、鰓弓の入鰓動脈から一次鰓弁の小入鰓動脈に入る。小入鰓動脈は、一次鰓弁を形作る軟骨の上面に接するように位置し、軟骨の外側を通過して二次鰓弁に通じる(図 1-19)。二次鰓弁内には網目状をした毛細血管網があり、上皮細胞と基底膜を介してここで海水とのガス交換が行われる。毛細血管を通った血液は、軟骨組織で囲まれ四角から台形の空間となった小出鰓動脈に入り(図 1-20,21)、元の鰓弓の出鰓動脈に戻る。

動静脈系は、ウナギ⁸⁾で一次鰓弁中央に軟骨ではさまれた狭い空間にある中心静脈洞 (central venous sinus) が知られているが、ブリではその場所に小泡状の鰓弁軟骨が発達し、小入鰓動脈軟骨内から二次鰓弁基底を通過して小出鰓動脈基部まで通じている(図 1-22)。

2 鰓構造の魚種間の比較

魚種毎の一次鰓弁先端部付近及び中央から基部付近における二次鰓弁の形状を図 2 及び Plate に示す。

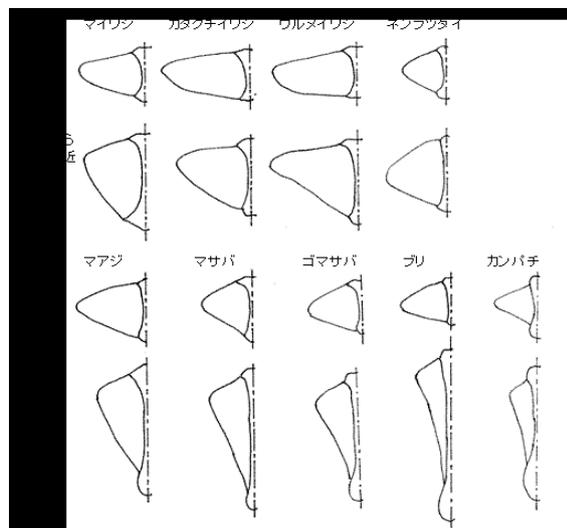


図2 魚種別の二次鰓弁形状模式図

図 2 はいずれも上方が小出鰓動脈側とした。一次鰓弁先端部付近の二次鰓弁の形状は、いずれ魚種も三角形でよく張り出し、イワシ類は特によく伸張していた。一方、中央から基部付近ではイワシ類及びネンブツダイでは先端部付近の形状と似ておりよく張り出しているが、マアジ、マサバ、ゴマサバでは相対的に二次鰓弁基部が長くなるとともに、二次鰓弁の頂点が小出鰓動脈側に偏っていた。ブリでは、二次鰓弁の頂点部周辺が張り出す程度で、小入鰓動脈側の二次鰓弁の高さは低くなり、さらに、カンパチでは同様の形状を呈するが、鰓弁の小出鰓動脈側の軟骨が大きくなり、その結果相対的に二次鰓弁基部の長さはブリに比べ小さかった。

考 察

今回の SEM を用いた観察で、ブリの鰓の平時における画像が得られた。これを基に鰓弁断面模式図を図 3 に示す。Endo⁹⁾ は、魚類の鰓は多くの原因によって二次鰓弁上皮組織の浮腫、空胞化、壊死や鰓弁における粘液細胞の脱落などが起こり、深刻な場合は二次鰓弁の上皮細胞の剥離や出血が生じたり、循環器異常では毛細血管が拡張するなどの変化が生じるとしている。有害赤潮生物による化学的、又は

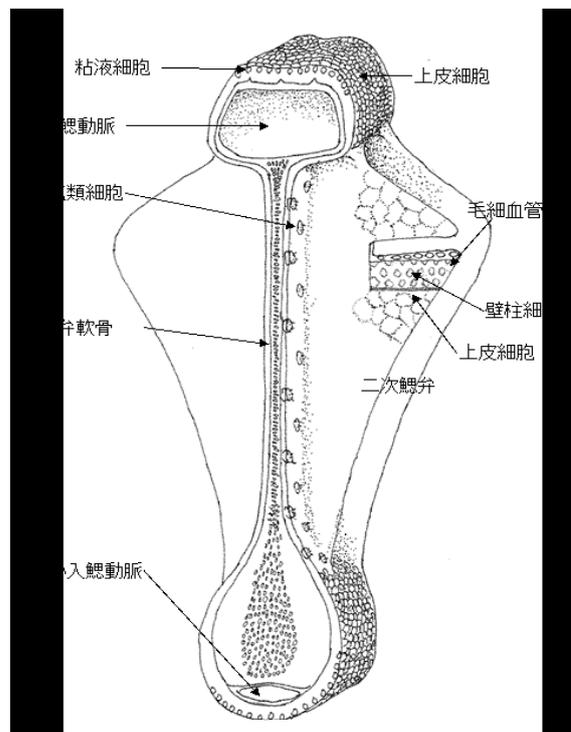


図3 ブリの一次鰓弁断面模式図

物理的刺激によっても、同様の変化が生じている可能性があり、小野・吉松⁹⁾は、*C.antiqua* に暴露したハマチの一次鰓弁小出、小入鰓動脈側及び二次鰓弁上の粘液細胞が空胞化した多数の孔を観察しており、木村・延東¹⁰⁾は *Chattonella* sp. に暴露したハマチの一次鰓弁上皮細胞表面の膨化や隆起、二次鰓弁の微小隆起や微小突起の消失を観察している。赤潮生物の影響を検討する際には、これらの病理的変化を正常な場合と比較すれば、へい死機序を解明する際の手がかりとなり得ると期待できる。

また、鰓の形状を比較した魚種のうち、マアジ、マサバ、ゴマサバ、ブリ、カンパチの二次鰓弁は、二次鰓弁の頂点が小出鰓動脈側に偏り、その高さは相対的に低くなる形状を呈しており、特にブリ、カンパチでは顕著だった(図 2)。Hughes¹¹⁾ は真骨魚類の二次鰓弁の形状は多様で、マグロのような遊泳速度が速い外洋性魚類は、小さな二次鰓弁が密に並ぶことで鰓の総表面積を大きくし、活動の鈍い魚類では二次鰓弁が相対的に大きくそれらの間隔も広いことを報告している。さらに小林・杉山¹²⁾ はブリの二次鰓弁を計測し、二次鰓弁の形が底辺のやや長い緩い山型で密度が大きい方であることから遊泳型魚種の特徴を示していると考えた。これらのことは、生息環境や遊泳の仕方により二次鰓弁の形状に違いが見られることを示している。

赤潮によるへい死機序は、未だ明らかにされていないが、*C.antiqua* では小出鰓動脈側の二次鰓弁上皮細胞が剥離したり、¹³⁾ *Pseudochattonella verruculosa* では一次鰓弁の小出鰓動脈側上皮組織が二次鰓弁まで伸長して閉塞する¹⁴⁾などの病理学的変化が生じるため海水交換能が低下し、ガス交換がうまくできなくなるにより窒息し、死に至ると考えられている。このように二次鰓弁の周辺部が病理学的変化により腫大化や破損が生じた場合、ブリのように二次鰓弁の高さが低いと上皮細胞伸長による閉塞や上皮細胞剥離による詰まりの影響を受けやすいと考えられ、二次鰓弁の形状が赤潮への感受性に差が生じる一要因になっている可能性がある。

今後、前述した正常時の鰓組織の状態を基に、赤潮でへい死、または暴露された各魚種の鰓の状態を比較することで、ブリやカンパチが赤潮に弱いとされる要因についても明らかにできるものと考えられる。

謝 辞

本資料をとりまとめるにあたり、鰓微細構造の組織名称や記述でご指導、ご校正いただいた東京海洋大学の延東教授に厚くお礼申し上げます。また、各魚種の鰓形状を比較するに際し使用したサンプルのほとんどは、当所漁業資源調査で入手したサンプルから提供頂いた。資源管理部の職員の方々にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 岡市友利, 本城凡夫, 福代康夫. 6. 赤潮種と発生環境 6.1 シャットネラ. 赤潮の科学 第二版(岡市友利編) 恒星社厚生閣, 東京. 1997 ; 247-255.
- 2) 小田達也. 赤潮プランクトンの毒性因子に関する生理学および生化学的研究. 日水誌 2012 ; 78(3) : 368-371.
- 3) 鹿児島県の赤潮生物(増補版). 鹿児島県水産試験場, 鹿児島. 1995.
- 4) 橋本知子, 鈴木義孝, 杉村誠, 阿閉泰郎. マダいの鰓及び偽鰓の微細構造. 岐阜大農研報 1987 ; 52 : 173-181.
- 5) Endo M. V.Gills. *An Atlas of Fish Histology* Kodansha International, Tokyo. 1995 ; 66-71.
- 6) (社)日本電子顕微鏡学会関東支部. 走査型電子顕微鏡 共立出版, 東京. 2000.
- 7) 田村保. 魚類生理学概論 恒星社厚生閣, 東京. 1977.
- 8) 江草周三, 田中真, 大上皓久, 岡英夫. 養殖ニホンウナギの鰓の強度鬱血の病理組織学的観察. 魚病研究 1989 ; 24(1) : 56.
- 9) 小野知足, 吉松定昭. 赤潮対策技術開発試験 魚介類のへい死防止に関する技術開発試験. 香水試事報 1982 : 107-109.
- 10) 木村正雄, 延東真. 昭和 57 年度赤潮対策技術開発試験報告書 7 - (1)魚介類へい死防止技術開発試験 (B). 鹿児島県水産試験場. 鹿児島. 1983 : 45-48.
- 11) Hughes G M. General anatomy of the gills. In: Hoar WS, Randall DJ(eds). *Fish Physiology X. Part A.* Academic Press, NewYork and London. 1984; 1-72.
- 12) 小林博, 杉山昭博. ブリの鰓構造, とくに二次

- 鰓弁に関する計測学的知見. 水大校研報 1980 ; **28** : 89-99.
- 13) 折田和三, 西広海, 田原義雄, 中村章彦. 赤潮総合対策調査事業-V (赤潮被害防止緊急対策事業), 平成 23 年度鹿水技セ事報 2012 ; 110-123.
- 14) 折田和三, 西広海, 田原義雄, 徳永成光, 中村章彦. 2012 年 2 月山川湾で発生した有害ダイクチオカ藻 *Pseudochattonella verruculosa* 赤潮の発生状況とブリに与える影響. 鹿水技セ研報 2013 ; **4** : 17-23.

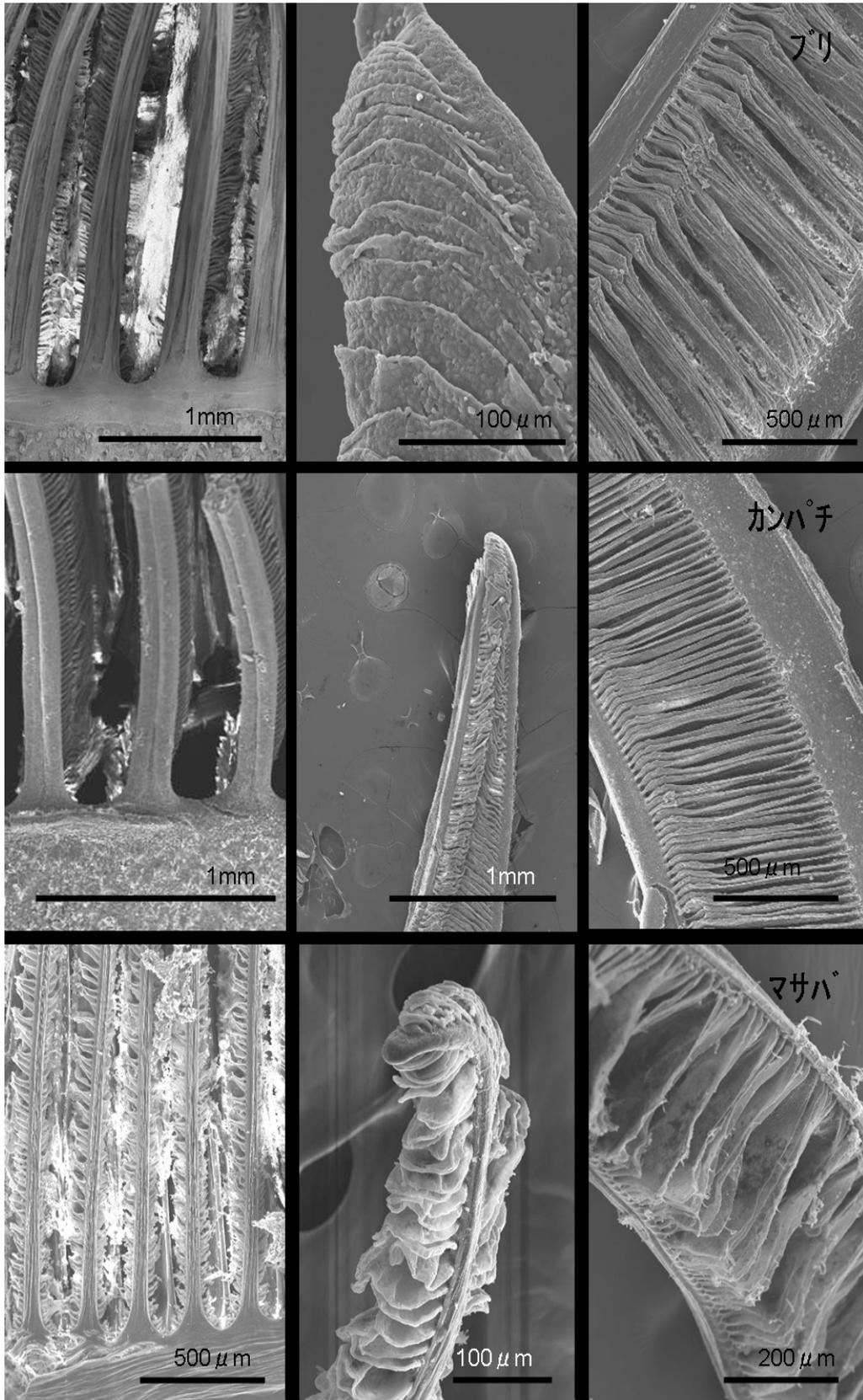


Plate 魚種別の鰓の形状

上段：ブリ 中段：カンパチ 下段：マサバ

(左：一次鰓弁基部 中央：一次鰓弁先端部 右：一次鰓弁中央部付近)

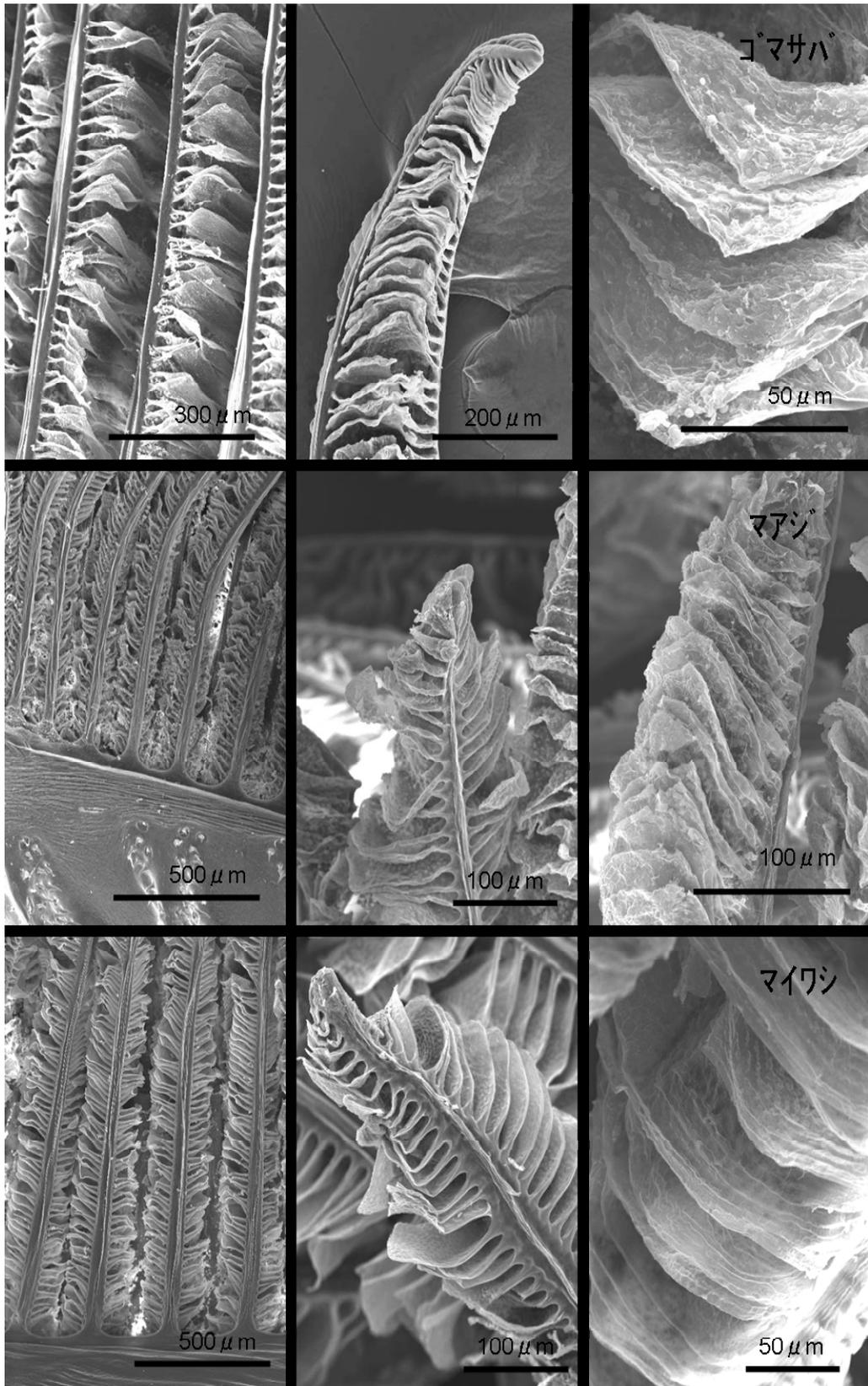


Plate 魚種別の鰓の形状(続き)
上段:ゴマサバ 中段:マアジ 下段:マイワシ
(左:一次鰓弁基部 中央:一次鰓弁先端部 右:一次鰓弁中央部付近)

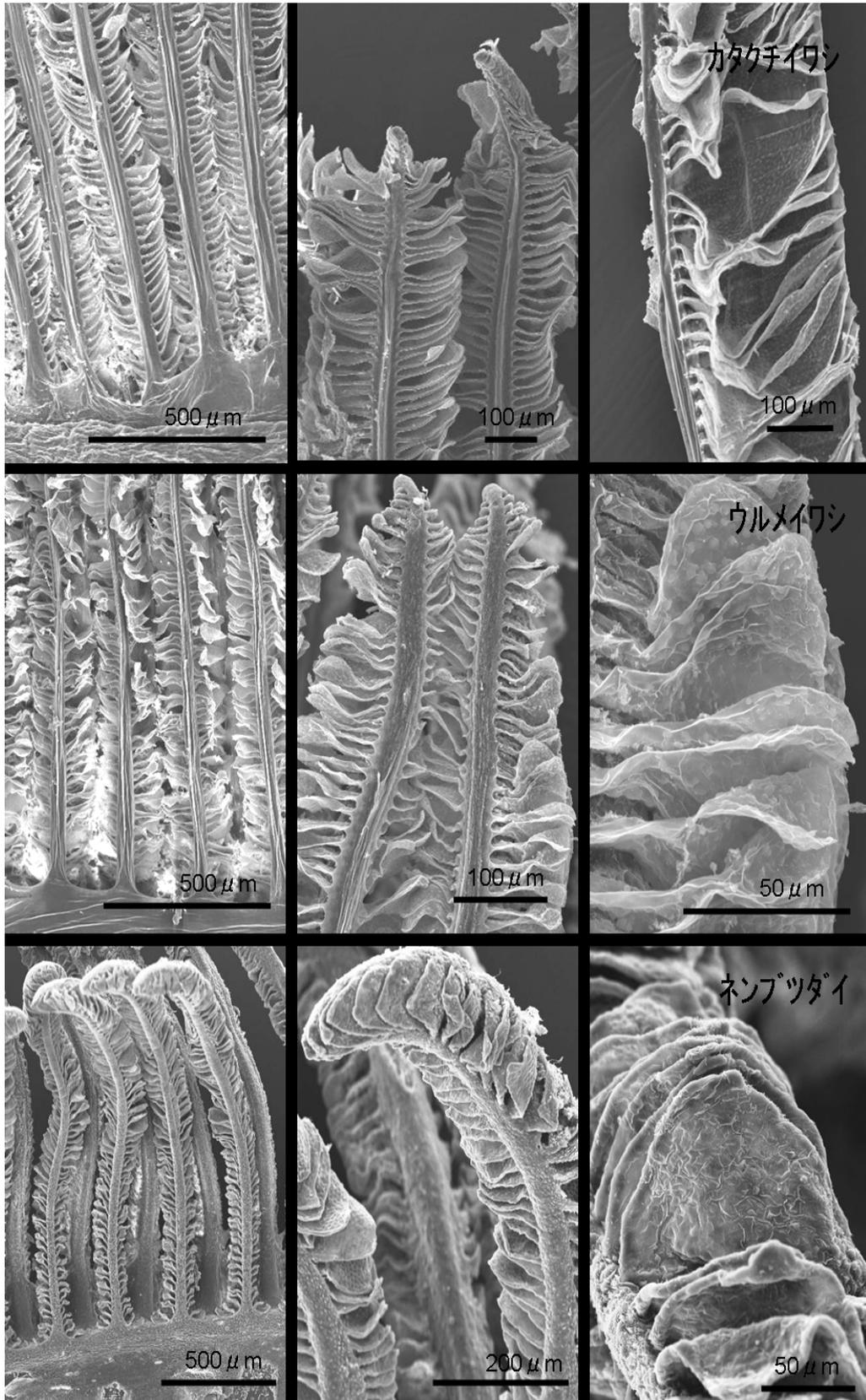


Plate 魚種別の鰓の形状(続き)

上段:カタクチイワシ 中段:ウルメイワシ 下段:ネンブツダイ
(左:一次鰓弁基部 中央:一次鰓弁先端部 右:一次鰓弁中央部付近)

資料 2012年4月に鹿児島県沿岸浅所で見られた 石灰藻の白化現象

徳永成光, 塩先尊志

要 約

2012年4月, 阿久根市から指宿市に至る本県西岸域を中心に岸と平行に帯状に白く見える現象が発生した。現地調査を実施したところ, 白く見えたものは石灰藻が白化したものであり, その発生水深は概ね潮位表基準面から-10cm ~+30cm と推測された。この水深帯は, 大潮干潮時に干出する潮間帯下部に位置することから, 白化には潮汐の影響が考えられる。

2012年4月, 阿久根市から指宿市に至る本県西岸域を中心に, 海岸が帯状に白く見えるとの通報や問い合わせが市町や漁協等からあった(図1)。沿岸浅所が白化する現象は, サンゴ分布域において高水温によりサンゴ体内の共生藻が抜けだしてサンゴ骨格が白く見える白化現象¹⁾が知られているが, 今回確認された場所はサンゴが生息しない浅所であった。また, ほぼ同じ時期である2012年3月から4月に九州西南部の広範囲で出現し, 漁業の操業に支障を来した粘質状浮遊物²⁾との関連を心配し, 漁業への影響を懸念する声も聞かれた。本県では, これまでに同様な白化現象に関する報告例はなく, その白化状況や発生原因は不明であったため, 現地調査を行い白化現象の状況等を記録した。

材料及び方法

現地調査は, 2012年4月19日に指宿市宮ヶ浜港で, 4月23日に阿久根市大川, 薩摩川内市唐浜漁港, いちき串木野市土川漁港及び戸崎漁港で実施した。海岸域の白化域を確認後, 調査時刻とその時の水面から白化域下部及び上部の高さを測定した。さらに, 潜水による目視観察と写真撮影により状況把握し, 白化部を一部持ち帰り, 物質の特定を試みた。

結 果

指宿市宮ヶ浜においては, 緩い傾斜で設置された護岸に用いられた石の表面に白化が確認された。白化していたのは, 主に有節石灰藻であるウスカワカキノテ *Amphiroa zonata* Yendo とピリヒバ *Corallina pilulifera* Postels et Ruprecht であった。無節石灰藻も一部に白化が見られたが, 種は特定できなかった。白化の見られた水深は-20cm以浅で, 潮位-10~-20cm付近には, 白化部と非白化部の明瞭な境界が見られる箇所があった(図2)。なお, 白化の見られた同じ水深帯には石灰藻以外にヒジキ *Sargassum fusiforme* やワカメ *Undaria pinnatifida* が分布していたが, 特に異状は確認されなかった(図3)。

阿久根市からいちき串木野市戸崎漁港付近にかけては, 大礫が重なる海岸付近に白化が確認された(図4)。白化していたのは, 主に大礫上に薄く張り付いたように着生している無節石灰藻であったが, 種の特定はできなかった。白化の見られた水深は潮位-10cm以浅で, 潮位1~-10cm付近に白化部と非白化部の明瞭な境界が見られる箇所があった(図5)。



図1 沿岸浅所の白化を確認した場所及び報告があった場所



図2 白化部の有節石灰藻（上側）と非白化部（下側）の境界（宮ヶ浜港）



図3 白化した水深帯に分布するヒジキとワカメ（宮ヶ浜港）

また、大潮干潮時に干出す大礫上の窪み内部の無節石灰藻には白化は見られなかったが、窪み外部の干出す部分の無節石灰藻には全体的に白化が見られた（図 6）。なお、いちき串木野市土川漁港付近においては、白化の見られた水深帯に有節石灰藻と小型紅藻類が混在するように分布しており、有節石灰藻には白化は見られたものの、小型紅藻類には異状は確認されなかった。

白化の見られた各地区において、白化水深の最上部は、石灰藻の分布密度が低いことからその境界は明瞭でなかったが、概ね潮位 30cm 程度と判断された。

現地調査により、石灰藻の白化が見られたのは潮位-10cm から 30 cm 程度の水深帯であり、この水深帯は大潮干潮時に干出す潮間帯下部に位置することから、本白化現象には潮汐の影響が考えられる。



図4 岸と平行に帯状に見られた白化（唐浜漁港）



図5 白化部の無節石灰藻（上部）と非白化部（下部）の境界（戸崎漁港）



図6 白化した大礫上に確認された白化していない窪み（戸崎漁港）

文 献

- 1) 海中公園センター．平成 10 年度造礁サンゴ群集の白化が海洋生態系に及ぼす影響とその保全に関する緊急報告書．環境庁．東京．2000．
- 2) 田原義雄，折田和三，西広海，小湊幸彦，中村章彦．2012 年春季に鹿児島県周辺海域で発生した粘質状浮遊物の消長の記録．鹿水技セ研報 2012 ; 4 : 40-44．

試 験 研 究 業 績

外部への発表

【学会誌】

- 斉藤勉, 秋山秀樹, 今脇資郎, 市川香, 奥野章, 瀬藤聡, 馬谷紳一郎, 田中耕治 (2008). 九州南方での水温前線の北上に伴う水温・流速変動. *海の研究* **17**(3), 163-178.
- 保聖子, 杉田毅, 鶴田和弘, 福田裕, 木村郁夫 (2012). 漁獲ストレスを受けたゴマサバの短期蓄養によるストレス回復. *日水誌* **78**(3), 454-460.
- 島袋寛盛, 堀正和, 吉満敏, 徳永成光, 猪狩忠光, 佐々木謙介, 仲岡雅裕, 川根昌子, 吉田吾郎, 浜口昌己 (2012). 鹿児島湾に生育する一年生アマモ局所個体群間の遺伝的分化. *日水誌* **78**(2), 204-211.
- 寺脇利信, 島袋寛盛, 徳永成光, 久保満, 新村巖, 吉村拓 (2012). 腊葉標本によるアントクメとクロメ, カジメおよびアラメとの正逆交雑養殖藻体の形態的特徴. *Algal Resources* **5**, 83-88.
- 長澤和也, 村瀬拓也, 柳宗悦, 前野幸二 (2012). 九州初記録の魚類寄生虫チョウとコイ科魚類における重度寄生例. *生物圏科学* **51**, 15-20.
- T. F. Ismail, A. Nakamura, K. Nakanishi, T. Minami, T. Murase, S. Yanagi, T. Itami and T. Yoshida (2012). Modified resazurin microtiter assay for in vitro and in vivo assessment of sulfamonomethoxine activity against the fish pathogen *Nocardia seriolae*. *Fisheries Science* **78**(2), 351-357.
- 田中敏博, 吉満敏, 今吉雄二, 石賀好恵, 寺田竜太 (2013). 鹿児島湾における藻場の分布と特性. *日水誌* **79**(1), 20-30.

【書籍・雑誌等】

- 榊純一郎 (2011). 遠洋カツオ一本釣り船が対象とするビンナガの漁場及び来遊資源豊度の予測手法の検討. *黒潮の資源海洋研究* **12**, 159-167.
- 保聖子. 通電加熱によるシラスの旨味向上 (2012). *日水誌* **78**(4), 800.
- Kazuhiro Aoki, Goh Onitsuka, Manabu Shimizu, Hiroshi Kuroda, Yukihiro Matsuyama, Katsunori Kimoto, Hitoshi Matsuo, Yuuki Kitadai, Kiyonari Sakurada, Hiromi Nishi, Yoshio Tahara (2012). Factors controlling the spatio-temporal distribution of the 2009 *Chattonella antiqua* bloom in the Yatsushiro Sea, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **114**, 148-155.
- 富安正藏 (2013). 大隅半島東部海域の海況について. *西海ブロック漁海況調査研究報*

告 20, 7-11.

【学会発表】

口頭発表

増田育司, 片山雅子, 浅野龍也, 久保満, 神野公広, 斎藤真美. 薩南諸島周辺海域におけるヒメダイとオオヒメの年齢と成長. 平成 20 年度日本水産学会春季大会.

増田育司, 浅井武範, 藤浦智裕, 亀田龍介, 久保満, 神野公広, 斎藤真美. 薩南諸島周辺海域におけるヒメダイとオオヒメの成熟と産卵. 平成 20 年度日本水産学会春季大会.

増田育司, 片山雅子, 浅野龍也, 入野敬介, 久保満, 神野公広, 宍道弘敏, 斎藤真美. 薩南諸島周辺海域におけるハマダイの年齢と成長. 平成 22 年度日本水産学会秋季大会.

梶達也, 平井一行, 片山俊之, 岡田誠, 中瀬優, 福田博文, 宍道弘敏, 阪地英男. 2010, 2011 年漁期の高知県におけるブリ漁況とその遊泳生態. 2011 年度水産海洋学会研究発表大会.

藤田聡, 木村郁夫, 保聖子. 冷蔵保蔵におけるシラスの自己消化活性の変化. 平成 24 年度日本水産学会秋季大会.

阿部寧, 土井航, 清水庄太, 石原大樹, 橋本有紀子, 長田暁子, 鈴木伸明, 青沼佳方, 森本晴之, 井口直樹, 稲掛伝三, 瀬川恭平, 岡崎誠, 増島雅親, 安倍大介, 木本昭紀, 石原幸雄, 柳昌之, 安部譲, 堀江昌弘, 平手康市, 毛利雅彦. 2011 年度に実施した大規模クロマグロ仔魚分布調査. 平成 24 年度日本水産学会春季大会.

庄野宏, 堀江昌弘, 東剛志. 統計学的機械学習理論に基づく漁獲量予測. 平成 24 年度日本水産学会秋季大会.

増田育司, 片山雅子, 浅野龍也, 入野敬介, 前門正俊, 上園夕里奈, 久保満, 神野公広, 宍道弘敏, 斎藤真美. 薩南諸島周辺海域におけるアオダイの年齢と成長. 平成 24 年度日本水産学会秋季大会.

宍道弘敏, 水野紫津葉, 小松輝久. 鹿児島県海域における春季流れ藻及びモジャコ来遊量変動. 水産海洋学会創立 50 周年記念大会.

阪地英男, 片山俊之, 平井一行, 中瀬優, 梶達也, 福田博文, 宍道弘敏. アーカイバルタグを用いて推定したブリの太平洋東北海域からの回遊様式. 水産海洋学会創立 50

周年記念大会.

徳永成光, 久保満, 塩先尊志, 吉満敏, 川俣茂. コンクリート製藻礁の核藻場機能低下要因について. 平成 24 年度日本水産工学会学術講演会.

川俣茂, 吉満敏, 田中敏博, 徳永成光, 久保満. 鹿児島県笠沙町崎ノ山の造成藻場はなぜ長期間, 広域に維持, 拡大したのか. 平成 24 年度日本水産工学会学術講演会.

Nobuharu Inaba, Kiyu Araki, Shinji Kawasaki, Hiroshi Nishi, Yoshio Tahara and Ichiro Imai (2012). Distribution of algicidal bacteria targeting the fish-killing raphidophyte *Chattonella antiqua* in seawater and eelgrass bed. 15th International Conference on Harmful Algae (ICHA15).

ポスター発表

種子田雄, 富安正藏. 九州西岸域における台風接近時の水温の低下現象について. 2012 年度日本海洋学会春季大会.

中村洋路, 安池元重, 重信裕弥, 大久保誠, 藤原篤志, 長井敏, 安東秀徳, 西広海, 田原義雄, 小林敬典, 佐野元彦. 海洋メタゲノム解析におけるデータ処理フローの開発. 平成 24 年度日本水産学会春季大会.

水野紫津葉, 小松輝久, 鯨坂哲朗, 國分優孝, Natheer M. Alabsi, 阪本真吾, 青木優和, 宍道弘敏. 東シナ海における流れ藻とモジャコの分布. 水産海洋学会創立 50 周年記念大会.

【シンポジウム等発表】

柳宗悦. 養殖ブリ類の再興感染症（ノカルジア症）に関する研究. H23 南中九州・西四国水族防疫会議.

宍道弘敏. 鹿児島県海域におけるブリ類漁獲量変動. H24 中央ブロック資源海洋調査研究会.

堀江昌弘. 鹿児島県沿岸域におけるバショウカジキの漁獲量変動. H24 九州・山口ブロック漁業・資源分科会.

宍道弘敏, 水野紫津葉, 小松輝久. モジャコと流れ藻の来遊予測を目指して. 2012 年度九州沖縄地区合同シンポジウム.

西広海. 平成 24 年に鹿児島県で発生した赤潮について. 平成 24 年度九州・山口ブロック漁場環境分科会.

徳永成光. 鹿児島県沿岸で見られた石灰藻の白化現象. 平成 24 年度九州・山口ブロック磯焼け・藻場造成分科会.

保聖子. ヒスタミン食中毒リスク低減化に関する基礎研究. H24 水産利用関係研究開発推進会議利用加工技術部会研究会.

保聖子. ヒスタミン食中毒リスク低減化に関する基礎研究. H24 九州・山口ブロック利用加工分科会.

加治屋大. イワシ類稚魚の非加熱食品化に向けた取り組みについて. H24 九州・山口ブロック利用加工分科会.

柳宗悦, 前野幸二. 鹿児島県における脳粘液胞子虫症（クドアヤスナガイ）とカンパチ眼潰れ症（仮称）の発生傾向について. H24 九州・山口ブロック魚病分科会.

柳宗悦, 前野幸二. カンパチ 2 歳魚で見られた鰓及び幽門垂の異常肥大に関する症例について. H24 九州・山口ブロック魚病分科会.

柳宗悦, 前野幸二. 養殖ブリ類の再興感染症（ノカルジア症）の薬剤治療に関する研究. H24 養殖衛生管理問題への調査・研究成果報告会.

柳宗悦. 養殖ブリ類の再興感染症（ノカルジア症）の薬剤治療に関する研究. H24 南中九州・西四国水族防疫会議.

柳宗悦. 鹿児島県におけるカンパチ眼潰れ症（仮称）の発生傾向について. H24 南中九州・西四国水族防疫会議.

柳宗悦. 水産養殖の現状と水産用医薬品. H24 動物用医薬品販売既認定者研修会.

前野幸二. 台湾向け輸出うなぎの健康証明について. H24 九州・山口ブロック内水面分科会.

編集委員

中村章彦，折田和三，織田康平，西広海，宍道弘敏，加治屋大，山本伸一

平成25年3月31日発行

鹿児島県水産技術開発センター研究報告 第4号 (2013)

<http://kagoshima.suigi.jp/KenkyuHoukoku/kenpou-no4.html>

発行所 鹿児島県水産技術開発センター

〒891-0315 鹿児島県指宿市岩本字高田上160番10号

電話 0993-27-9200

発行者 所長 福留己樹夫

印刷所 有限会社 指宿新生社印刷

〒891-0404 鹿児島県指宿市東方8068番3号

電話 0993-24-2002

