

No. 7

MARCH, 2019

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7号



平成31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7号

目次

報文

室内暴露試験による養殖ブリに対する培養 <i>Chattonella antiqua</i> の影響評価 西 広海・田原義雄・平江多績・村瀬拓也	1
---	---

<i>Dictyocha</i> sp. の培養及び養殖カンパチに対する影響 矢野浩一・中島広樹・保科圭祐・村田圭助・西 広海	10
--	----

資料

有害ラフィド藻 <i>Chattonella antiqua</i> の基礎的な大量培養技術開発 西 広海・田原義雄	25
---	----

マチ類の標識放流技術と放流及び再捕記録 宍道弘敏・久保 満・神野公広	31
---------------------------------------	----

試験研究業績

外部への発表	37
--------	----

室内曝露試験による養殖ブリに対する 培養 *Chattonella antiqua* の影響評価

西 広海・田原義雄¹・平江多績・村瀬拓也¹

¹ 商工労働水産部水産振興課

養殖ブリに対する *Chattonella antiqua* の最低致死細胞密度を把握するほか、養殖ブリを遮光飼育することによるへい死抑制効果について検討するために、大量培養した *C. antiqua* に養殖ブリを曝露し、併せて遮光して試験を実施した。曝露試験におけるブリのへい死状況から、当所が保有する *C. antiqua* 培養株の養殖ブリに対する最低致死細胞密度は、1,000 cells/mL 付近であると考えられた。また養殖ブリのへい死の有無は、遮光や非遮光の違いより、*C. antiqua* の細胞密度の影響が強かったと考えられ、遮光による養殖ブリのへい死抑制効果は確認できなかった。

鹿児島県海域における *C. antiqua* による赤潮は、1988年以降、八代海において確認され、しばしば本県の魚類養殖業に対して大きな被害をもたらしてきた。^{1, 2)} *C. antiqua* 赤潮の毒性を定量的に把握するには、*C. antiqua* が増殖した海水にブリ等の供試魚を曝露し、そのへい死状況を観察する必要があるが、この方法は *C. antiqua* を含む試験海水が大量に得られる赤潮発生時にしか実施できない。このため、*C. antiqua* を大量かつ安定的に培養することにより、*C. antiqua* 赤潮が発生しなくても試験を周年実施できる体制を構築する必要がある。当所では2009年7月から8月にかけて八代海で *C. antiqua* 赤潮が発生した後に、本種の大量培養技術開発試験を開始した。³⁾

また八代海熊本県海域の養殖業者によれば、2009年の *C. antiqua* 赤潮時に、遮光を行った生簀において、養殖シマアジのへい死が抑制された事例が示されている（長崎大学石丸惇教授私信）。そこで、本県の東町漁業協同組合の依頼により、遮光の有無がブリのへい死抑制に効果があるのか検討するため、2010年2月に当所が大量培養した *C. antiqua* を用いて養殖ブリに対する曝露試験を実施したものの、*C. antiqua* の細胞密度がへい死密度に達していなかったせいか全数生残し、遮光の効果を確認できなかった。

そこで大量培養した *C. antiqua* に養殖ブリを曝露し、へい死させる本種の最低致死細胞密度を把握するほか、養殖ブリを遮光飼育することによるへい死抑制効果について検討するために養殖ブリの曝露試験を実施したので、得られた知見をとりまとめ、

報告する。

材料及び方法

当所で飼育し、一定期間餌止めしたブリを供試魚として使用した。曝露試験は当所の魚病センター隔離実験水槽室で行った。水温は、チタン棒状ヒーター（東立電機株式会社製 nitto 投込みヒーター 100V-1kw）で加温し、サーモスタット（丸五工業株式会社製 RL-100N）により 26℃に調整した。水槽にブリを収容して *C. antiqua* に曝露し、へい死状況等を観察した。なお、*C. antiqua* の属するラフィド藻綱の細胞は、細胞壁等の外皮構造を持たないため壊れやすく、⁴⁾ 通気による気泡の物理的刺激で、*C. antiqua* の細胞の変形、破裂等が発生する可能性が考えられるので、通気量は飼育海水中の溶存酸素量（以下DOと略する）が4mg/L以上となる必要最低限とした。試験中のDOは、多項目水質計（HYDROLAB社製 DataSonde5）を用いて定期的に計測した。以下に示すように、合計4回の曝露試験を繰り返し実施した。

1 第1回試験

2009年8月4日に八代海南部で採取し当所で分離、継代培養した *C. antiqua* 株を大量培養し、養殖ブリに曝露してへい死するかを確認することを目的とした。200 L 容角型水槽にろ過海水を150 L 入れ、9日間餌止めした平均魚体重590 g のブリ5尾を収容し、エアレーションの条件で飼育した。

これに栄養強化海水培地を5 L 容平底フラスコに

5 L 収容したものに、*C. antiqua* 培養株を 100 cells/mL になるよう接種し、水温は培養室のエアコンで 24 °C に設定して調整、照度を 2,400-4,300 LX、14 時間明 10 時間暗の明暗周期、塩分 35 の条件³⁾で、大量培養していた *C. antiqua* 1.5 億個（培養 9 日目）を、最終密度が 1,000 cells/mL となるよう水槽に添加し、ブリに対する影響を観察した。

試験開始から 30 分後、60 分後に水質（DO、水温、塩分）を測定するとともに、魚体の状況（へい死、遊泳等）を観察した。へい死魚は取上げ、体測を実施するとともに、鰓組織の顕微鏡観察を行った。

2 第2回試験

養殖ブリをへい死させる *C. antiqua* の最低致死細胞密度を把握するほか、養殖ブリを遮光飼育することによるへい死抑制効果について検討することを目的とした。表 1 に試験区の設定を示す。全試験区とも 200 L 容角型水槽にろ過海水を 150 L 入れ、平均魚体重 697 g のブリ 5 尾を収容し、エアレーションの条件で飼育した。供試したブリは、餌止めから 14 日経過しており、遮光区のブリは遮光して 12 日間馴致した。

5 L 平底フラスコ 8 個で大量培養していた *C. antiqua*（培養 11 日目）を、試験区 A、D は 300 cells/mL、試験区 B、E は 600 cells/mL となるよう添加し、ブリに対する影響を観察した。なお試験区 B、E は、開始 1 時間後に試験魚のへい死が見られなかったため *C. antiqua* を再添加し、細胞密度を 1,000 cells/mL 相当に調整した。

試験開始及び開始 7、60、90、160、190、300 分及び 20 時間経過時に水質（水温、塩分、DO、DO%）を測定するとともに、魚の状況（へい死、遊泳等）を観察した。へい死魚は直ちに取上げ、体測、鰓組織の顕微鏡観察を行った。また供試魚の貧血の有無を把握するため、へい死魚及び全試験区の各 2 尾について、血液性状分析（ヘマトクリット値、ヘモグロビン量）を行った。血液性状分析は、魚体の尾部血管から 22G ステンレス針を付したヘパリン (Na 塩) 処理済みの注射器 (テルモシリンジ) を用いて採血を行い、3,000 rpm、15 分間の遠心分離 (KUBOTA 製 3200) で血漿を得、ドライケム FDC3500i (富士フイルム社製) を用いて、血液中のヘモグロビン量を分析した。なお、ヘマトクリット値は微量毛細管法 (12,000 rpm、5 分間の遠心分離 (KUBOTA 製 3200)) により測定した。

表1 第2回試験における試験区設定

試験区	遮光／非遮光	<i>C. antiqua</i> の細胞密度 (cells/ml)
A	遮 光	300
B	遮 光	600
C	遮 光	0
D	非遮光	300
E	非遮光	600
F	非遮光	0

3 第3回試験

第 2 回試験と同様の目的で、*C. antiqua* の細胞密度を変えて試験を実施した。表 2 に試験区の設定を示す。200 L 容角型水槽にろ過海水を 100 L 入れ、6 日間餌止めした魚体重約 600 g のブリ 5 尾を収容し、純酸素曝気条件下で飼育した。

5 L 平底フラスコで大量培養していた *C. antiqua*（培養 8 日目）を、1,000 cells/mL となるよう添加し、ブリに対する影響を観察した。

試験開始前及び開始 10、18、30、40、60、120 分経過時に水質（水温、塩分、DO、DO%）を測定するとともに、魚体の状況（へい死、遊泳等）を観察した。へい死魚は直ちに取上げ、体測を実施するとともに、鰓組織の顕微鏡観察を行った。

表2 第3回試験における試験区設定

試験区	遮光／非遮光	<i>C. antiqua</i> の細胞密度 (cells/ml)
A	遮 光	1,000
B	非遮光	1,000

4 第4回試験

第 2 回試験と同様の目的で、第 3 回試験とは *C. antiqua* の細胞密度を変えて試験を実施した。表 3 に試験区の設定を示す。全試験区とも 200 L 容角型水槽にろ過海水を 120 L 入れ、7 日間餌止めした平均魚体重 645 g のブリ 5 尾を収容し、通常通気と純酸素曝気併用の通気条件下で飼育した。添加する *C. antiqua* は、試験開始 1 時間前に 5 L フラスコ 6 基からパンライト水槽に移して混合し、30 L パンライト水槽 2 基に分け、26 °C のウォータバスに漬けて温度を維持し、エアレーションなしで静置した。また *C. antiqua* 細胞の活性を向上させることを目的として、この状態で 1 時間直射日光に曝した。

5L 平底フラスコ 6 個で大量培養していた *C. antiqua* (培養 9 日目) を、試験区 A, C に 1,400 cells/mL となるよう添加し、ブリに対する影響を観察した。

試験開始前及び開始 10, 30, 64, 90 分経過時に水質 (水温, 塩分, DO, DO%) を測定するとともに、魚体の状況 (へい死、遊泳等) を観察した。

表3 第4回試験における試験区設定

試験区	遮光／非遮光	<i>C. antiqua</i> の細胞密度 (cells/ml)
A	遮 光	1,400
B	遮 光	0
C	非遮光	1,400
D	非遮光	0

曝露試験に供した養殖ブリのへい死状況から、当所が保有する *C. antiqua* 培養株の養殖ブリに対する最低致死細胞密度を把握するために、養殖ブリのへい死時における *C. antiqua* の細胞密度と経過時間の関係と、へい死しなかった試験区における *C. antiqua* の細胞密度の推移について検討した。なお養殖ブリのへい死までの経過時間と *C. antiqua* の細胞密度の測定時間が異なることから、へい死時の *C. antiqua* の細胞密度は、へい死時の前後に測定した *C. antiqua* の細胞密度から、各測定時刻とへい死時刻との時間比率を元に算出した。

結 果

1 第1回試験

供試したブリの生残率の推移を図 1 の生存曲線 (カプラン・マイヤー法) に示す。ブリは *C. antiqua* 添加直後から遊泳速度が速く、鰓の開閉回数が多くなった。30 分後には泳ぎが緩やかになり、大きく口を開けるようになった。その後やや平衡感覚がなくなり、水面から鼻を出す行動が見られた。31 分後には 5 尾のうち 3 尾が腹部を上に向け、狂奔して遊泳するようになった。そして 35 分後に 2 尾、40 分後に 1 尾がへい死した。42 分後には残り 2 尾も腹を上に向け、苦悶状態となり、67 分後までにへい死した。

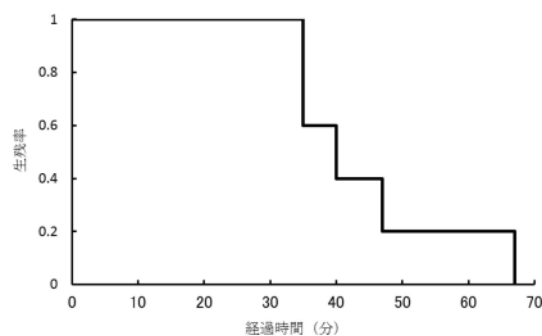


図1 第1回試験におけるブリの生残率推移

表 4 にブリの体測結果、水質及び試験中の *C. antiqua* の細胞密度の推移を示す。水温は 26.3-26.9 °C, DO は 4.5-5.6 mg/L, DO% は 68.6-86.2 % であった。また *C. antiqua* の細胞密度は、試験開始直後に 1,140 cells/mL, 60 分後には 1,050 cells/mL で推移した。鰓組織の顕微鏡観察の結果、へい死魚の鰓組織は、へい死直後はうっ血は見られなかった。

表4 第1回試験における試験期間中の水質及び *C. antiqua* の細胞密度の範囲

項 目			
水温 (°C)	26.3	—	26.9
塩分	34.2	—	34.3
DO (mg/L)	4.5	—	5.6
DO (%)	68.6	—	86.2
細胞密度 (cells/mL)	1,050	—	1,140

2 第2回試験

表 5 に供試魚の生残尾数の推移及び行動観察結果を示す。試験開始 7 分後に、試験区 E のブリの鰓蓋の開閉回数が増加した。60 分後まで全ての試験区のブリも、横たわったり、苦悶したりする行動が見られなかった。70 分後に試験区 B, E に *C. antiqua* を再添加し、細胞密度を 1,000 cells/mL 相当となるよう調整した。90 分後に試験区 E のブリの鰓蓋の開閉回数が増加した。120 分後に試験区 E の水槽に、ストックよりブリ 1 尾を追加した。360 分後には試験区 E に追加したブリが横たわり、380 分後にへい死した。顕微鏡観察の結果、へい死したブリの鰓には、一部うっ血が見られた。*C. antiqua* を追加しなかった試験区のブリは、20 時間後までへい死は見られなかった。

表5 第2回試験における供試魚の生残尾数の推移及び行動観察結果

経過時間	試 験 区						備 考
	A	B	C	D	E	F	
開始前 (13:00)	5	5	5	5	5	5	
7分後 (13:27)	↓	↓	↓	↓	↓	↓	13:23 試験区E：鰓蓋の開閉回数が増加
60分後 (14:20)	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
70分後 (14:30)	↓	↓	↓	↓	↓	↓	14:30 B, E区： <i>C. antiqua</i> を追加
90分後 (14:50)	5	5	5	5	5	5	14:43 試験区E：体色がまだらに変化，鰓の開閉が依然多い
120分後 (15:20)	5	5	5	5	6	5	15:20 試験区E：供試魚を1尾追加
160分後 (16:00)	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
190分後 (16:30)	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
300分後 (18:20)	5	5	5	5	6	5	各試験区2尾より採血し，ヘマトクリット値とヘモグロビン量を測定
360分後 (19:20)	5	5	5	5	6	5	19:20 試験区E：追加した1尾が横転
380分後 (19:40)	5	5	5	5	5	5	19:40 試験区E：追加した1尾がへい死，取上げ (魚体重 588g, 尾叉長 36.5cm)
20時間後 (9:20)	5	5	5	5	5	5	全試験区でへい死なし

表6にブリの血液性状分析結果を示す。試験に供したブリのうち，へい死魚（試験区E）のヘマトクリット値は40%，ヘモグロビン量は13.2 g/dL，ほか全試験区の各2尾のヘマトクリット値は39-58%，ヘモグロビン量は11.0-15.4 g/dLであった。

表7に試験中の水質の推移を示す。水温は25.4-28.1℃，塩分は34.4-34.6，DOは3.6-6.0 mg/L，DO%は54.6-89.8%であった。

表8に試験中の*C. antiqua*の細胞密度の推移を示す。試験区A，Dの細胞密度の設定は300 cells/mL，

試験区B，Eは600 cells/mLであったが，試験開始直後に計数したところ，試験区A，Dは233 cells/mL，試験区B，Eは490 cells/mLであった。試験開始70分後に試験区B，Eに対し*C. antiqua*を追加した結果，細胞密度は試験区Bが1,230 cells/mL，試験区Eは1,190 cells/mLに上昇した。300分経過後の*C. antiqua*の細胞は小型，球形化して細胞密度の減少がみられ，20時間後の細胞密度は試験区Aが20 cells/mL，Dが63 cells/mL，試験区Bが930 cells/mL，Eが490 cells/mLであった。

表6 第2回試験におけるブリの血液性状分析結果

試験区	ヘマトクリット (%)	ヘモグロビン (g/dL)
A	44	15.4
	52	12.5
B	39	11.7
	40	11.0
C	48	13.3
	42	14.6
D	43	11.3
	41	13.2
E	50	15.1
	58	15.3
F	40 ※	13.2 ※
	40	12.2
平均	44	13.3
	45	13.2

※ 試験区Eに追加し，へい死したブリの血液の測定値

表7 第2回試験における期間中の水質の範囲

試験区	水温 (°C)	塩分	DO (mg/L)	DO (%)
A	25.9 — 26.5	34.4 — 34.5	5.0 — 5.8	76.3 — 87.5
B	25.6 — 27.5	34.4 — 34.6	4.0 — 5.9	61.2 — 88.5
C	25.4 — 26.5	34.4 — 34.5	4.3 — 6.0	65.7 — 89.8
D	25.6 — 27.1	34.4 — 34.5	3.6 — 5.6	54.6 — 84.1
E	25.7 — 28.1	34.4 — 34.6	3.6 — 5.3	56.1 — 80.1
F	25.4 — 26.5	34.4 — 34.5	4.4 — 5.4	66.4 — 81.4

表8 第2回試験における *C. antiqua* の細胞密度の推移及び行動観察結果

(単位: cells/mL)

経過時間	試験区				備考
	A	B	D	E	
開始時 (13:20)	233	490	233	490	細胞の状況は良好
70分後 (14:30)	—	1,230	—	1,190	B, E区: <i>C. antiqua</i> を追加
300分後 (18:20)	210	1,190	245	1,090	細胞が球形化, 小型化
20時間後 (9:20)	20	930	63	490	細胞が球形で小型, 減耗が見られた

3 第3回試験

表9に供試魚の生残尾数の推移及び行動観察結果を示す。試験開始直後から、試験区A, Bともにブリの鰓蓋の開閉回数が増加した。60分後に試験区Aの1尾が腹を上に向け、66分後にへい死した。へい死したブリの鰓組織は毛羽立ったような状態が観察され、うっ血が見られた。120分後には両試験区とも生残魚は落ち着いており、へい死が見られな

かったため、試験を終了した。

表10に試験中の水質及び *C. antiqua* の細胞密度の推移を示す。期間中の水温は25.6-26.6℃, 塩分は34.1-34.3, DOは4.8-6.7 mg/L, DO%は73.2-101.7%であった。試験区A, Bの細胞密度の設定は1,000 cells/mLであったが、試験開始直後に計数したところ、900-920 cells/mLだった。80分後には750-780 cells/mLとなった。

表9 第3回試験における供試魚の生残尾数の推移及び行動観察結果

経過時間	時刻	試験区		備考
		A	B	
開始時	15:22	5	5	<i>C. antiqua</i> 添加直後から、鰓の開閉回数が増加
60分後	16:22	5	5	試験区A: 1尾が腹を上に向ける
66分後	16:28	4	5	試験区A: 1尾がへい死 (魚体重 725g, 尾叉長 38.5cm)
120分後	17:22	4	5	両試験区とも生残魚は落ち着いており、試験終了

表10 第3回試験における期間中の水質及び*C. antiqua*の細胞密度の範囲

	試 験 区					
	A			B		
水温 (°C)	25.8	—	26.3	25.6	—	26.6
塩分	34.1	—	34.2	34.1	—	34.3
DO (mg/L)	4.8	—	6.8	4.9	—	6.5
DO (%)	73.3	—	101.7	73.4	—	98.0
細胞密度 (cells/mL)	750	—	900	780	—	920

4 第4回試験

供試したブリの生残率の推移を図2の生存曲線（カプラン・マイヤー法）に示す。試験開始32分後に、試験区Cのブリ1尾が横転し、40分後には両試験区の全てのブリが苦悶し始めた。試験区Aのブリは、53、62、64、79、100分後に、試験区Cのブリは、44、47、92、94、118分後に各1尾ずつついで死した。

表11に試験中の水質及び*C. antiqua*の細胞密度の推移を示す。期間中の水温は25.1-26.3℃、塩分は34.1-34.2、DOは5.3-8.9 mg/L、DO%は79.1-135.1%であった。試験区A、Cの*C. antiqua*の細胞密度の設定は1,400 cells/mLであったが、試験開始直後に計数したところ、1,750-1,860 cells/mLだったが、110分後には1,310-1,360 cells/mLとなった。

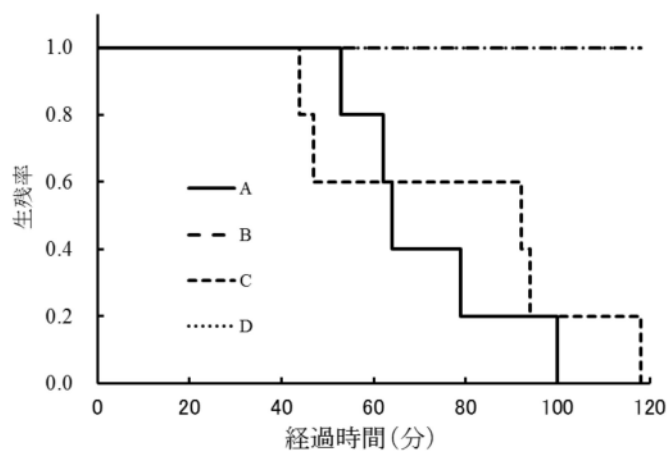


図2 第4回試験におけるブリの生残率推移

表11 第4回試験における期間中の水質及び*C. antiqua*の細胞密度の範囲

試験区	水温 (°C)	塩分	DO (mg/L)	DO (%)	細胞密度 (cells/mL)
A	25.4 — 26.2	34.1 — 34.2	5.6 — 7.3	83.6 — 111.5	1,310 — 1,750
B	25.5 — 26.2	34.1 — 34.1	5.3 — 5.7	80.3 — 85.8	
C	25.5 — 26.3	34.1 — 34.2	5.9 — 8.9	89.3 — 119.4	1,360 — 1,860
D	25.1 — 26.0	34.1 — 34.1	5.4 — 6.0	79.1 — 91.0	

図3に曝露試験に供した養殖ブリのへい死時における *C. antiqua* の細胞密度と経過時間の関係を、図4に曝露試験で養殖ブリがへい死しなかった試験区における *C. antiqua* の細胞密度の推移を示す。養殖ブリがへい死した時の *C. antiqua* の細胞密度は、ほとんどが 1,000 cells/mL 以上であったのに対し、へい死しなかった試験区における *C. antiqua* の細胞密度の推移をみると、第2回試験のB区を除き、1,000 cells/mL 以下であった。

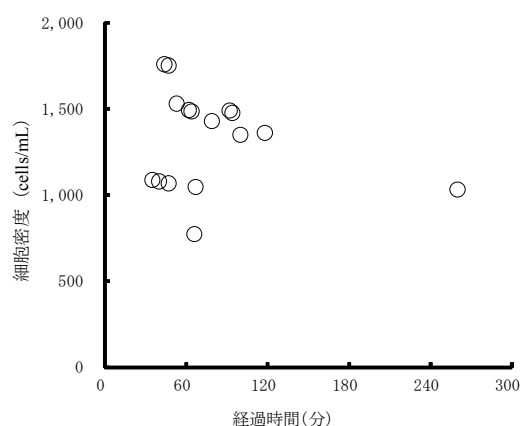


図3 曝露試験に供した養殖ブリのへい死時における *C. antiqua* の細胞密度と経過時間の関係

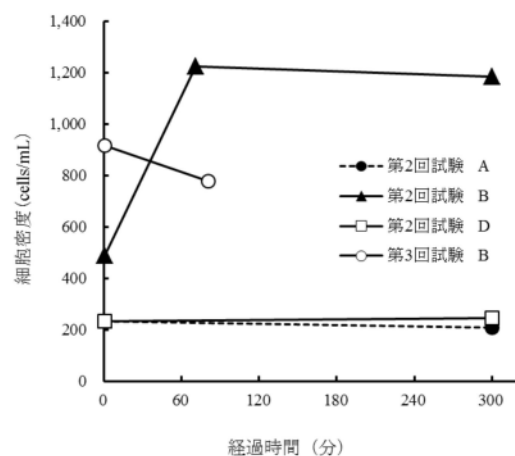


図4 曝露試験で養殖ブリのへい死しなかった試験区における *C. antiqua* の細胞密度の推移

考 察

1 養殖ブリがへい死する *C. antiqua* の最低細胞密度

第1回試験では、細胞密度 1,050-1,140 cells/mL の *C. antiqua* に曝露したところ、試験開始から約1時間で養殖ブリは全数へい死した。このことから、当所が保有する *C. antiqua* 培養株が養殖ブリをへい死させる魚毒性を有することが示唆される (図1)。

第2回試験では、開始時の *C. antiqua* の曝露試験区の細胞密度は 233 cells/mL 及び 490 cells/mL であったが、60分後までブリのへい死はみられなかった。試験開始70分後に細胞密度が 490 cells/mL の試験区に対し *C. antiqua* を追加し、細胞密度が 1,190-1,230 cells/mL となった後に追加したブリだけが、曝露260分後にへい死した (表5)。使用した *C. antiqua* は、第1回試験時は培養開始9日目に対数増殖後期、今回試験時は11日目では増殖のピークであったと考えられ、*C. antiqua* の増殖状況により毒性発現が異った可能性がある。また試験開始から300分経過後の *C. antiqua* の細胞は小型、球形化して細胞密度の減少がみられたが、これはブリの酸欠を防止するために水槽中のエア曝気が強くと、物理的刺激が影響したと考えられ、このことが *C. antiqua* の細胞が毒性を発現できなかった要因となった可能性がある。なお第2回試験でブリの血液性状分析を実施したが、池田ら⁵⁾によるとブリ (養殖) のヘマトクリット値は $41.8 \pm 2.8 \%$ 、ヘモグロビン量は 10.5 ± 0.6 g/dL とあり、この数値と比較すると、供した全てのブリの数値は概ね同等かそれ以上であり (表6)、へい死の有無にかかわらず貧血状態ではなかったと考えられる。

第3回試験で *C. antiqua* の細胞密度は開始時に 900-920 cells/mL であった (表10) が、遮光区の1尾が66分後にへい死したのみで、他のブリは生残した (表9)。そのため細胞密度が 1,000 cells/mL 以下では *C. antiqua* の毒性はブリをへい死させるまではなかったと考えられる。なお、第2回試験で見られた、通常空気の通気での *C. antiqua* 細胞へのダメージを防止するため、純酸素通気で試験したが、DO調整が難しく、今後は通常空気の通気と併用してDOを調整する必要があると考えられる。

第4回試験で曝露した *C. antiqua* の細胞密度は 1,750 ~ 1,860 cells/mL であった (表11) が、試験開始118分後までに全数へい死した (図2)。試験に使用する *C. antiqua* 細胞を常に良好な状態で維持することは、毒性を発現させ、再現性の高い結果を得るために重要と考えられる。今回の試験では、国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究

所の助言を参考に、試験開始 1 時間前から *C. antiqua* を静置し直射日光に曝したほか、試験を午前中に実施して非遮光区に直射日光があたるように考慮した。山口ら⁶⁾は、*C. antiqua* と *Chattonella marina* は光強度 $10 \mu \text{E/m}^2/\text{s}$ では増殖できず、増殖速度が飽和する光強度は $110 \mu \text{E/m}^2/\text{s}$ であること、弱光は *Chattonella* の増殖に不適であると報告していることから、前述の操作は試験前に *C. antiqua* 細胞を良好な状態に維持することに有効であったと考えられる。今後の曝露試験でも、*C. antiqua* 細胞を良好な状態に維持することが、再現性の高い知見を得るために重要であると考えられる。

今回の曝露試験に供した養殖ブリのへい死時における *C. antiqua* の細胞密度 (図 3) とへい死しなかった試験区における *C. antiqua* の細胞密度の推移 (図 4) から、当所が保有する *C. antiqua* 培養株の養殖ブリに対する最低致死細胞密度は、1,000 cells/mL 付近であると考えられる。

西ら⁷⁾は、2010 年に八代海で発生した *C. antiqua* 赤潮発生時に、赤潮海水を使用して養殖ブリに対する曝露試験を実施したところ、試験に供したサイズの養殖ブリ (魚体重 439-706g) では、*C. antiqua* の細胞密度が 150 cells/mL 程度からへい死がみられたと報告している。今回の試験でへい死した養殖ブリの魚体重は 531 ~ 758g で西ら⁷⁾の報告とほぼ同じサイズであり、今回の *C. antiqua* 培養株の最低致死細胞密度は、2010 年の *C. antiqua* 赤潮発生時における致死細胞密度の約 6.7 倍であった。養殖ブリ等に対する影響を把握するためには *C. antiqua* に曝露する必要があるが、培養株を用いる場合は、今回の試験結果から細胞密度に注意することが重要と考えられた。養殖魚等に対する曝露試験は、実際の赤潮発生時に実施しなければならないが、機会が限られてしまうので、このように *C. antiqua* の培養株を用いていつでも試験することができれば、より多くの知見を得ることができる。

黒木ら⁸⁾は、2003 年に八代海で発生した *C. antiqua* 赤潮の有害性を検討し、*C. antiqua* 赤潮海水を平均魚体重 84.6 g のブリ稚魚に曝露したところ、少なくとも 500 cells/mL でブリ稚魚を 1 時間以内に死亡させる有毒性があると報告している。また長崎県水産試験場が 1992 年 8 月に島原市新田町地先で採取した *C. antiqua* 赤潮海水に、平均魚体重 93 g と 474 g のブリ稚魚を曝露したところ、ブリのへい死は 200 cells/mL 以上の細胞密度で観察され、100

cells/mL 以下ではへい死しなかったこと、当歳魚 (平均魚体重 93g) に比べ 1 歳魚 (平均魚体重 474g) は *C. antiqua* による遊泳異常やへい死の弊害を受けやすいと推察されると報告している。⁹⁾ このように、*C. antiqua* 赤潮に対するブリの感受性は、そのサイズにより異なっている。養殖業者からは出荷サイズのブリの *C. antiqua* 赤潮に対する致死濃度を知りたいとの要望があり、今後はより大型のブリや他魚種についての影響も把握する必要がある。

2 遮光による養殖ブリのへい死抑制効果

第 2 回から第 4 回の試験では、水槽を遮光することで養殖ブリの活性が低下し、*C. antiqua* 赤潮の被害を防止することができるかを検証したが、第 2 回試験でへい死したのは非遮光区の 1 尾のみで、遮光区の全数 (5 尾) と非遮光区の残り 5 尾は生残した (表 5)。第 3 回試験でへい死したのは遮光区の 1 尾のみで、非遮光区の全数 (5 尾) と遮光区の残り 4 尾は生残した (表 9)。第 4 回試験では遮光区、非遮光区とも全数へい死し、その経過時間も遮光区が 100 分後、非遮光区が 118 分後と遮光区のほうが早かったが、大きな差は見られなかった (図 2)。

また 4 回の試験における水槽内の DO は、第 2 回試験の試験区 D (非遮光, *C. antiqua* の細胞密度 300 cells/mL) で一時的に 4.0 mg/L を下回ったもののへい死はみられず、ほかの試験区では 4.0 mg/L 以上であり (表 4, 7, 10, 11)、試験中のブリのへい死は酸欠によるものとは考えられなかった。前述の長崎県水産試験場の試験では、遮光による生残率の向上効果を屋外で試験した (遮光区は 1t 水槽 2 基のうち 1 基を 90%遮光幕で覆った) が、500 cells/mL に曝露したところ、へい死は遮光の有無、サイズの大小にかかわらず両区で交互に起こり、3 時間 50 分後には両区とも全滅したとの報告があり、⁹⁾ 今回の試験も同様の結果であった。また松山ら (2016 年 12 月 11 日 日本水産学会九州支部大会講演要旨) は、遮光によりブリの遊泳行動を抑制できるかを検証したが、少なくとも 3 週間はその遊泳行動を有意に抑制することはできないと報告している。

今回の試験においては、養殖ブリのへい死は遮光の有無より、*C. antiqua* の細胞密度の影響が強かったと考えられ、遮光による養殖ブリのへい死抑制効果は確認できなかった。一方 Ishimaru *et al.*¹⁰⁾ は、*C. marina* をブリに曝露したところ、遮光区と比べ非遮光区は生残率が低く、光の強さが生残率に影響

したと報告しており、遮光によるへい死抑制効果が見られる結果であった。これらのことから、遮光による養殖ブリのへい死抑制効果の把握のためには、さらに知見を積み重ねて検証することが必要と考えられる。

謝 辞

C. antiqua の養殖ブリへの曝露方法についてご助言いただき、また本稿をとりまとめるにあたり御校閲と御鞭撻を賜った国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所所有明海・八代海漁場環境研究センター資源培養グループ長の松山幸彦博士に心から感謝する。

養殖ブリの曝露試験にご協力いただいた水産技術開発センター職員の方々に感謝する。

文 献

- 1) 西 広海, 田原義雄, 徳永成光, 久保 満, 中村章彦. 2009 年及び 2010 年に八代海で発生した *Chattonella antiqua* 赤潮. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告. 2011; **3**: 37-44.
- 2) 鬼塚 剛, 青木一弘, 清水 学, 松山幸彦, 木元克則, 松尾 斉, 未代有樹, 西 広海, 田原義雄, 櫻田清成. 2010 年夏季に八代海で発生した *Chattonella antiqua* 赤潮の短期動態—南部海域における出現特性—. 水産海洋研究. 2011; **75**(3): 143-153.
- 3) 西 広海, 田原義雄. 有害ラフィド藻 *Chattonella antiqua* の基礎的な大量培養技術開発. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告. 2019; **7**: 25-30.
- 4) 今井一郎. ラフィド藻類における分類と同定の問題点—生態研究の立場から—. 日本プランクトン学会報 2000; **47**(1): 55-64.
- 5) 池田彌生, 尾崎久雄, 瀬崎啓次郎. VI. 各種魚類の血液性状, 血漿科学成分値及び臓器重量 1. 海水魚「魚類血液図鑑」緑書房, 東京. 1986; 243.
- 6) 山口峰生, 今井一郎, 本城凡人. 有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *Chattonella marina* の増殖速度に及ぼす水温, 塩分及び光強度の影響. 日本水産学会誌, 1991; **57**(7): 1277-1284.
- 7) 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—養殖ブリに対する曝露試験—. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告. 2011; **3**: 34-36.
- 8) 黒木善之, 吉村直晃, 吉田雄一, 小山長久, 木村武志. 2003 年に八代海で発生した *Chattonella antiqua* の有害性の検討. 熊本県水産研究センター研究報告. 2004; **6**: 69-73.
- 9) 北川安彦, 宮原治郎, 轟木重敏, 吉田範秋. シャットネラ赤潮防止対策事業. 長崎県水産試験場事業報告書. 1995: 134-178.
- 10) Atsushi Ishimaru, Tatsuya Oda, Makoto Yoshida, and Masayori Ozaki: Oxygen Radicals are Probably Involved in the Mortality of Yellowtail by *Chattonella marina*. *Fisheries Science*. 1996; **62**(5): 836-837.

Dictyocha sp. の培養及び養殖カンパチに対する影響

矢野浩一, 中島広樹,¹ 保科圭祐,² 村田圭助,³ 西 広海

1 熊毛支庁農林水産部林務水産課, 2 商工労働水産部水産振興課, 3 大島支庁農林水産部林務水産課

珪質鞭毛藻類 *Dictyocha* 属の一種 *Dictyocha* sp. の有骨格細胞の魚毒性等に関しては知見が少ないことから, 当所で本種の室内培養を試み, その培養株の養殖カンパチ *Seriola dumerili* に対する影響を検討するため, 曝露試験を実施し致死細胞密度を調べた。その結果, 養殖カンパチ小型魚 (体重約 60 g) では, 24 時間以内の最低致死細胞密度の閾値が 4,900 cells/mL から 11,100 cells/mL の間に, 養殖カンパチ中型魚 (体重約 1,700–2,000 g) では, 8 時間以内の最低致死細胞密度の閾値が 1,090 cells/mL から 3,540 cells/mL の間にあることが示唆された。

Dictyocha 属は, 鹿児島県海域や国内外の多くの海域においてよく見られるプランクトンで, 種や個体によって異なるが, 概ね 4-8 角形の骨格とそれに付随する数本の放射棘を有する珪質鞭毛藻類である。通常, 海中に多くて数十 cells/mL 程度存在するが, これまで, 赤潮化したり漁業被害をもたらす事例はあまり多くは確認されていない。

しかし, 鹿児島湾においては, 1992 年 3 月に, *Dictyocha* 属のうち概ね 8 角形の骨格を持つ種の有骨格細胞が 5,000 cells/mL に達して赤潮化しており, その際, 付近の養殖ブリが約 90,000 尾へい死し 1 億円を超える被害が発生している。¹⁾ また, 2014 年には, 県内外で本種の無骨格細胞が赤潮化し, マグロ養殖に被害をもたらしたと推察される事例²⁾ も発生し, さらに 2015 年 5-6 月にも鹿児島湾で有骨格細胞が近年になく増殖し, 一部赤潮化して, 養殖業関係者に大きな不安を与えている。このような状況において, 本種の魚毒性に関しては, サケ類に対する知見³⁾ があるものの, 本県の有用養殖魚種であるブリ類に対する知見は確認できなかったことから, 当所において本種の有骨格細胞の室内培養を試み, 得られた培養株を一定量添加した海水に対する養殖カンパチ (小型魚及び中型魚) の曝露試験を実施して, 本種の最低致死細胞密度を調べた。

材料及び方法

1 *Dictyocha* sp. の有骨格細胞の培養

2015 年 6 月 17 日に鹿児島市喜入沖で採取された *Dictyocha* sp. の有骨格細胞を, 当所で単離後培養した。なお, 本種は, 図 1 に示す培養株の写真のとおり, 骨格は概ね 8 角形を主体に 7-9 角形で骨格の各

角から放射棘が伸びており, その骨格の各辺中央部からさらに 8 本の枝骨が伸び, それらが少し小さいもう一つの 8 角形骨格につながった王冠状の立体形 (図 1e) を形作っている。骨格の長径は 15-25 μ m ほどで, 棘は 5 μ m 前後である。そして, その王冠状の骨格の内部に褐色の粒状の細胞質が入っており, そこから 1 本の鞭毛が伸びている。本種はこの鞭毛により滑るように遊泳する。当所で培養した本種 (DicKG2 株) は, 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所による rDNA LSU D1-D2 領域の配列解析に基づく分子系統解析から *Dictyocha* cf. *octonaria* と同定された。⁴⁾ 本稿では, 種小名が確定していないことから本種を *Dictyocha* sp. と表記する。

Dictyocha sp. の培養は, 当所の砂ろ過海水を孔径 3 μ m カートリッジフィルターでろ過し, 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) したものを使用して, 栄養強化培地である f/2 培地^{5,6)} から Cu と Si を除き, Se と Tris を添加して成分組成を変更した改変 f/2 培地 (表 1) を作製し, この培地と, 同様に滅菌処理した海水を使用し Si を強化して作製した PES⁷⁾ 培地 (表 2) とを 1:1 で混合したものを培地として用いた。また, 培養には, 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, 培養条件として, 水温を 22-23 °C, 光強度を 50-100 μ mol/m²/sec, 14 時間明 10 時間暗の明暗周期に設定した。

この *Dictyocha* sp. 培養株を同様の条件で大量培養し, 所定の細胞密度に調製した海水中にカンパチを曝露して, その影響を調べた。この試験に供したカンパチは, 中型魚は 2014 年に, また, 小型魚は 2015

年に公益財団法人かごしま豊かな海づくり協会において生産されたカンパチ人工種苗を、当所に搬入後育成し、試験前に 3-6 日間絶食させた後、目視によ

り健康な個体を選び使用した。

なお、試験は 2015 年 10 月から 2016 年 7 月にかけて 4 回実施した。各試験の詳細は下記に示す。

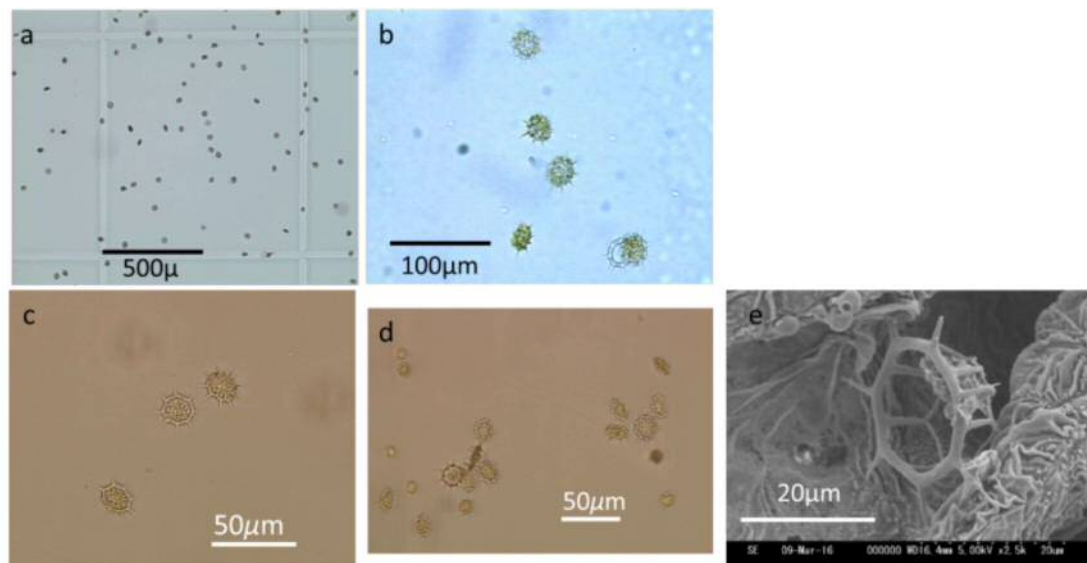


図1 *Dictyocha* sp. 有骨格 の培養株（元種：鹿児島市喜入沖産）

a-d 培養株の光学顕微鏡写真.

e 鰓に挟まった培養株骨格の電子顕微鏡写真

表1 改変f/2培地組成

成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
NaNO ₃	1mL	75g/L	$8.83 \times 10^{-4}M$
NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O	1mL	5g/L	$3.63 \times 10^{-5}M$
Trace metal-1	1mL	別表 参照	
Trace metal-2	1mL	別表 参照	
H ₂ SeO ₃	1mL	0.129mg/100mL	$1 \times 10^{-10}M$
Vitamin mix	0.5mL	別表 参照	
Sea water	1000mL		

Trace metal-1			
成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	1mL	0.63g/100mL	$2.60 \times 10^{-8}M$
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	1mL	2.2g/100mL	$7.65 \times 10^{-8}M$
CoCl ₂ ·6H ₂ O	1mL	1.0g/100mL	$4.20 \times 10^{-8}M$
MnCl ₂ ·4H ₂ O	1mL	18.0mg/100mL	$9.10 \times 10^{-7}M$
Distilled water	up to 1000mL		

Trace metal-2			
成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
FeCl ₃ ·6H ₂ O	3.15g	—	$1.17 \times 10^{-5}M$
Na ₂ EDTA·2H ₂ O	4.36g	—	$1.17 \times 10^{-5}M$
Distilled water	up to 1000mL		

Vitamin mix			
成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
Vitamin B12	1mL	0.1g/100mL	$3.69 \times 10^{-10}M$
Biotin	10mL	0.01g/100mL	$2.05 \times 10^{-9}M$
Thiamine·HCl	200mg	—	$2.96 \times 10^{-7}M$
Distilled water	up to 1000mL		

註) M = mol/L

表2 PES(Si強化)培地組成

成分	添加量
10倍濃縮PES原液	2mL (別表参照)
けい酸ナトリウム溶液希釈液※	1mL
Sea water	up to 1,000mL
※けい酸ナトリウム溶液 (Assay:(SiO ₂)35-38%, Assay(Na ₂ O)17-19%) を、distilled water 1mLに20mg含む。)	

10倍濃縮PES原液作成	
成分	添加量
NaNO ₃	35g
グリセロリン酸ナトリウム	5g
Fe(as EDTA 1:モル)	250mg
Vitamin B ₁₂	1mg
Vitamin B ₁	50mg
Biotin	0.5mg
トリス緩衝液(アルカリ性)	50g
PII金属混液	250mL (別表参照)
Distilled water	up to 1,000mL

PII金属混液	
成分	添加量
Na ₂ EDTA	2.5g
Fe(as Cl)	0.025g
B(as H ₃ BO ₃)	0.5g
Mn(as Cl or SO ₄)	0.1g
Zn(as Cl or SO ₄)	12.5mg
Co(as Cl or SO ₄)	2.5mg
Distilled water	up to 250mL

2 Dictyocha sp. の有骨格細胞に対する小型魚の曝露試験

1) 試験①

当所で採水したろ過海水に, *Dictyocha* sp. の有骨格細胞の培養株を添加し, 細胞密度を約 15,000 cells/mL に調整した赤潮海水 14 L を, 30L ポリカーボネートタンクに収容したものを曝露区とし, 同型タンクに, ろ過海水のみ 14 L 収容したものを対照区とした。試験区毎に, 止水及びエアレーションの条件で平均体重 55g のカンパチ小型魚を各 3 尾収容し, 試験は午前 10:00 から翌日午前 10:00 までの 24 時間とし, 随時, 水質 (水温, 塩分, 溶存酸素量 (以下「DO」と記す。), pH) を多項目水質計 (JFE アドバンテック社製 AAQ-RINKO) で計測するとともに供試魚の様子を観察した。また, へい死した場合はその直後に, また, 生残した場合は 24 時間経過後に魚体測定を行うとともに, 鰓を採取し落射蛍光システム付き光学顕微鏡 (オリンパス株式会社製 BX53。以下「蛍光顕微鏡」という。) で観察した。さらに 0.1mol リン酸緩衝液 2 % グルタルアルデヒド溶液に鰓を浸漬保管し, 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。

2) 試験②

最低致死細胞密度を確認するため, 試験①よりさらに低い細胞密度で曝露試験を実施した (図 2)。試験①と同様の方法で細胞密度をそれぞれ約 16,500 cells/mL, 11,400 cells/mL 及び 6,000 cells/mL に調整した赤潮海水約 15L を 30L ポリカーボネートタンクに収容し, それぞれ曝露区①-③とした。また, 同型タンクにろ過海水のみ 15 L 収容し対照区とした。試験区毎に, 止水及びエアレーションの条件で平均体重 60g のカンパチ小型魚を各 3 尾収容した。曝露試験は午前 10:00 から翌日午前 10:00 までの 24 時間とし, 試験①と同様の計測及び観察を行った。



図2 試験②の状況

3 Dictyocha sp. の有骨格細胞に対する中型魚の曝露試験

1) 試験③

試験①及び②では, カンパチ小型魚に対して実施したが, 魚体の大きさにより最低致死細胞密度に違いがあるかを検討するため, それより大きいカンパチ中型魚の曝露試験を実施した。

試験①と同様の方法で細胞密度を約 5,000 cells/mL に調整した赤潮海水 360 L を 500L ポリカーボネートタンクに収容したものを曝露区とし, 同型タンクに, ろ過海水のみ 360 L 収容し対照区とした。試験区毎に, 止水及びエアレーションの条件で平均体重 1,728g のカンパチ中型魚を 3 尾収容した。曝露試験は午前 10:00 から翌日午前 10:00 までの 24 時間とし, 試験①と同様の計測及び観察を行った。

2) 試験④

最低致死細胞密度を確認するため, 試験③よりさらに低濃度の曝露区を 2 試験区設け曝露試験を行った (図 3)。試験①と同様の方法で細胞密度をそれぞれ約 3,500 cells/mL 及び 1,000 cells/mL に調整した赤潮海水 300-360L を 500L ポリカーボネートタンクに収容しそれぞれ曝露区①及び②とした。また, 同型タンクに, ろ過海水のみ 360 L 収容し対照区とした。止水及びエアレーションの条件で, 平均体重 2,048 g のカンパチ中型魚を曝露区に各 3 尾, 対照区に 2 尾収容した。試験は 7 月 7 日午前 10:17 から翌 8 日午前 10:17 までの 24 時間とし, 試験①と同様の計測及び観察を行った。



図3 試験④の状況

4 へい死状況の解析

試験①②の結果から小型魚について, 試験③④の結果から中型魚について, それぞれカプラン・マイヤー法により生存曲線を求め, 細胞密度の違いによるへい死状況の比較を行った。

結 果

1 *Dictyocha* sp. の有骨格細胞の培養

今回の方法により本種の継代培養が可能になったことから、次に、培地 10L で大量培養したところ、細胞密度は最高 30,000 cells/mL 程度までの大量培養が十分可能となった。

なお、培養試験中、*Dictyocha* sp. の無骨格細胞が出現し、有骨格細胞と混在したことがあったが、再度、有骨格細胞を単離し、所定の条件をしっかりと保つことで、安定的にほぼ有骨格細胞だけを培養することができるようになった。さらに、無骨格細胞についても単離し、水温を 20℃として他の培養条件は

有骨格の場合と同じにすることで、ほぼ無骨格細胞だけの継代培養も可能となった。

2 *Dyctyocha* sp. の有骨格細胞に対する小型魚の曝露試験

1) 試験①

曝露試験におけるへい死状況等を表 3 に示す。供試魚は、平均全長 165 mm, 平均体重 55g で、曝露区と対照区と全長及び体重の平均値の差はほとんどなかった。

表3 試験①における供試魚体組成及びへい死状況

試験区 (細胞密度)	供試魚	全長 (mm)	体重 (g)	へい死までの曝露時間(24時間内)			へい死: 生:● 残:○	へい死 率
				6時間	12時間	18時間		
曝露区 (約15,000 cells/mL)	s-1	170	54		●(7時間)		●	100%
	s-2	157	46		●(8時間)		●	
	s-3	171	62			●(11時間15分)	●	
	平均	166	54					
対照区	c-1	162	54				○	0%
	c-2	163	57				○	
	c-3	166	58				○	
	平均	164	56					
全体平均		165	55					

曝露区では、7、8 時間後に 1 尾ずつ、11 時間 15 分後には 3 尾全てへい死したのに対し、対照区では、全て 24 時間後まで生残した。曝露区のカンパチは、試験開始時から対照区に比べ、口や鰓の開閉速度が速く(対照区: 48 回/30 秒, 曝露区: 73 回/30 秒)、時折口や鰓を大きく開け咳き込むような様子を示すとともに、へい死直前には、突然、狂奔し鼻上げや痙攣が見られ、最後は口と鰓を大きく開けて痙攣後へい死した(図 4)。へい死後、鰓を蛍光顕微鏡で観察したところ、鰓弁の間や鰓組織周辺に付着した粘液様物質に、*Dictyocha* sp. の骨格と葉緑素を含むため蛍光照射で赤色に光る細胞質が多数付着していた(図 5)。一方、対照区の生残魚の鰓には、粘液様物質や *Dictyocha* sp. の骨格及び細胞質は確認されなかった。また、SEM 観察の結果、へい死魚では、ひだ状の二次鰓弁表面が荒れ、一部が消失し付着物が多く、二次鰓弁の間などに *Dictyocha* sp. の骨格が多く挟まっていた(図 6a-d) のに対し、生残魚では、表面に付着物がなく二次鰓弁は規則正しくきれいに並んでおり(図 6i-l)、へい死魚の鰓弁と大きく異なっていた。



図4 試験①におけるへい死魚

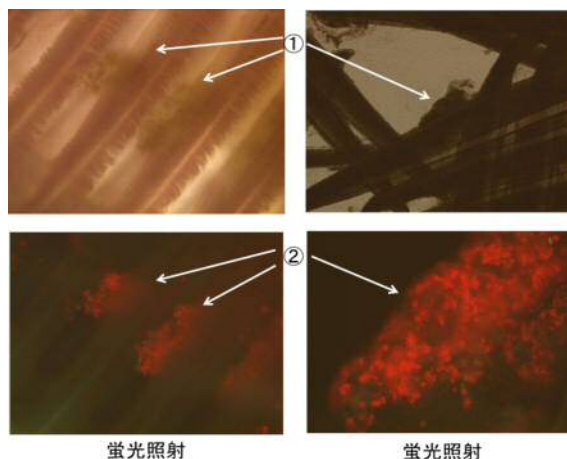


図5 へい死魚鰓の光学顕微鏡観察結果(試験①)

矢印①: 粘液様物質 矢印②: 赤色に光る細胞質

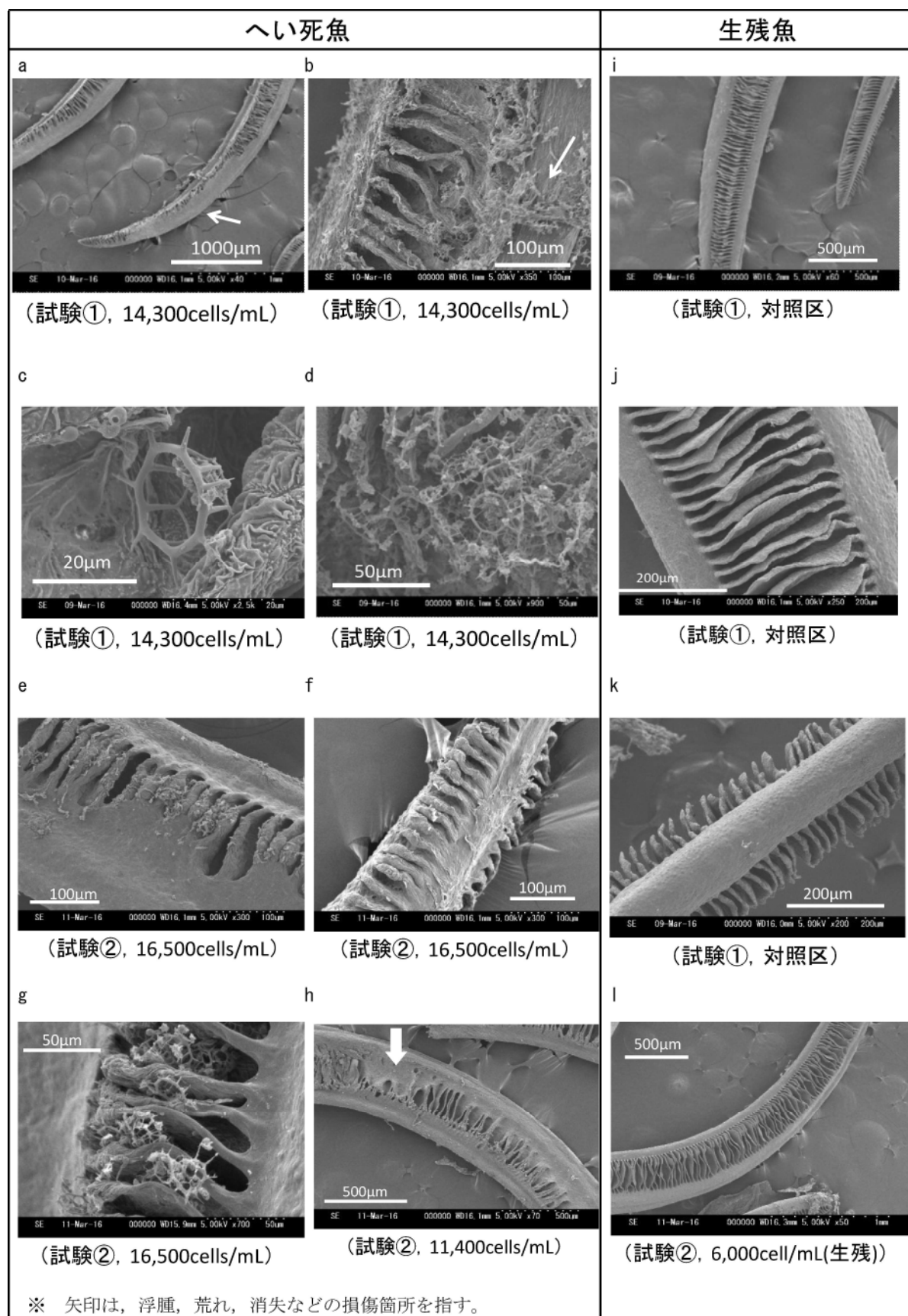


図6 試験①②におけるへい死魚及び生残魚の鰓組織のSEM観察結果

曝露試験中の *Dictyocha* sp. の細胞密度の推移を表 4 に示す。3 尾ともへい死した 11 時間 15 分後(表 3)までの間では, 概ね 13,000–15,000 cells/mL (平均 14,200 cells/mL) で推移した。

また, 試験中の水質の推移を表 5 に示す。水温は試験開始直後は対照区が 23.1 °C, 曝露区が 21.4 °C と 2 °C 弱の差があったが, 曝露区でへい死が見られた 7, 8 時間後には両区とも 22 °C 前後と差は見られなかった。塩分はともに 33 前後で差は少なく, DO は両区とも概ね 6 mg/L を超えていた。pH は, 当初, 曝露区が 8.6 と通常の天然海域の数値よりやや高かった

が, 時間の経過とともに両区とも低下し, 24 時間後には 7.6–7.8 前後となった。

表4 試験①の *Dictyocha* sp. の細胞密度の推移

経過時間	細胞密度(cells/mL)
	曝露区
開始時	14,300
4時間	14,900
7時間15分	14,400
10時間30分	13,200
平均値※	14,200
23時間40分	16,100

※ 平均値は, 10時間30分まで。23時間40分は参考

表5 試験①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)	pH
10:00	0:00	曝露区	21.4	33.1	8.8	8.6
		対照区	23.1	33.2	7.0	8.2
10:10	0:10	曝露区	21.4	33.0	7.1	8.5
		対照区	23.0	33.3	5.8	8.1
10:30	0:30	曝露区	21.5	33.0	5.8	8.4
		対照区	22.9	33.3	5.0	8.0
11:00	1:00	曝露区	21.5	32.9	6.5	8.4
		対照区	22.7	33.3	6.0	7.9
12:00	2:00	曝露区	21.5	32.9	6.7	8.2
		対照区	22.4	33.3	6.6	7.9
14:00	4:00	曝露区	21.7	32.9	6.7	8.0
		対照区	22.3	33.3	6.5	7.8
16:00	6:00	曝露区	22.0	32.9	6.7	7.8
		対照区	22.3	33.3	6.4	7.7
17:00	7:00	曝露区	22.2	32.9	6.6	7.8
		対照区	22.3	33.3	6.6	7.8
18:00	8:00	曝露区	22.3	32.9	6.7	7.8
		対照区	22.3	33.3	6.6	7.7
21:15	11:15	曝露区	22.4	32.9	6.9	7.8
		対照区	22.3	33.4	6.6	7.8
翌日 10:00	24:00	曝露区	—	—	—	—
		対照区	21.0	33.2	6.7	7.6
平均値		曝露区	21.8	33.0	6.8	8.1
		対照区	22.4	33.3	6.3	7.9
最低値-最高値		曝露区	21.4–22.4	32.9–33.1	5.8–8.8	7.8–8.6
		対照区	21.0–23.1	33.2–33.4	5.0–7.0	7.6–8.2

2) 試験②

曝露試験におけるへい死状況等を表 6 に示す。供試魚は, 平均全長 170 mm, 平均体重 60 g で, 曝露区③と対照区が曝露区①及び②に比べやや全長, 体重ともに小さかった。曝露区①では, 4 時間 10 分後から 6 時間 10 分後までの間に 3 尾全てがへい死した。曝露区②では, 3 時間 30 分後と 13 時間 20 分後に 1 尾ずつへい死したが, 残りの 1 尾は 24 時間生残した。曝露区③では, 23 時間経過後 1 尾が魚体を斜めに傾けることがあったが, 24 時間後まで 3 尾全て生残した。対照区は, 特に異状なく 24 時間後まで 3

尾全て生残した。曝露区のカンパチの口や鰓の開閉速度やへい死直前の様子は試験①と同様の状況を示し, 最後は口と鰓を大きく開け痙攣後へい死した。へい死魚の鰓の蛍光顕微鏡観察でも, 試験①と同様に *Dictyocha* sp. の有骨格細胞が多数付着している様子が確認された。また, SEM による観察でも, 試験①と同様な状況が確認され, 生残魚の鰓組織(図 6i-l)に比べ, 二次鰓弁が腫れて太くなり, 二次鰓弁の基部が腫れ上がって鰓弁の半分以上が消失したような鰓組織が数多く見られた(図 6e-h)。

表6 試験②における供試魚体組成及びへい死状況等

試験区 (細胞密度)	供試魚	全長(mm)	体重(g)	へい死までの曝露時間(24時間内)			へい死 生 残 ○	へい死 率
				6時間	12時間	18時間		
曝露区① (約16,500 cells/mL)	s.①-1	172	65	(4時間10分)			●	100%
	s.①-2	172	60	(6時間00分)			●	
	s.①-3	173	59	(6時間10分)			●	
	平均	172	61					
曝露区② (約11,400 cells/mL)	s.②-1	170	56	(3時間30分)			●	67%
	s.②-2	175	71	(13時間20分)			●	
	s.②-3	182	66				○	
	平均	176	64					
曝露区③ (約6,000 cells/mL)	s.③-1	170	62				○	0%
	s.③-2	159	51				○	
	s.③-3	171	59				○	
	平均	167	57					
対照区	c-1	162	58				○	0%
	c-2	176	67				○	
	c-3	166	52				○	
	平均	168	59					
全体平均		170	60					

曝露試験中の *Dictyocha* sp. の細胞密度の推移を表 7 に示す。曝露区①では、開始時が 16,500 cells/mL、供試魚全てがへい死した 6 時間 10 分後が 17,000 cells/mL と若干増加し、平均では 16,800 cells/mL であった。曝露区②では、開始時が 11,400 cells/mL、6 時間 10 分後には 12,700 cells/mL とやや増加したものの、11 時間 30 分後には開始時と同じ数値に減少後、24 時間後には 8,970 cells/mL まで減少し、平均では 11,100 cells/mL であった。曝露区③では、開始時が 6,000 cells/mL、その後 11 時間 30 分後までは 3-4 % 程度の増減があり、24 時間後には 1,700 cells/mL と開始時の 3 割程度まで減少し、平均では 4,900 cells/mL であった。

試験中の水質の推移を表 8 に示す。水温は試験開始直後は対照区が 19.4 °C、曝露区が約 19.6-20.3 °C であったが、時間の経過とともに差は縮まり 4 時間後には 4 試験区ともに 20 °C 台となり、その後徐々に上昇し 24 時間後には 21.7-21.8 °C と試験区間の差もほぼなくなった。塩分はともに 33 後半で差は少なく、DO は全試験区ともほぼ 6 mg/L を超え、供試魚の生存には十分な数値であった。pH は、試験当初、曝露区①-③が 8.2-8.5 で *Dictyocha* sp. の細胞密度が高い方が高かった。その後、時間の経過とともに全試験区ともに徐々に低下し、24 時間後には 7.6-7.8 前後となった。

表7 試験②の *Dictyocha* sp. の細胞密度の推移

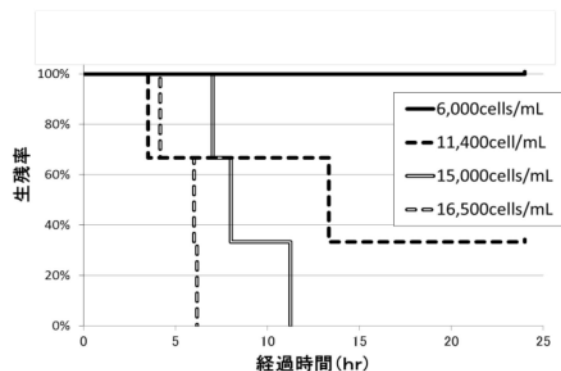
経過時間	細胞密度(cells/mL)		
	曝露区①	曝露区②	曝露区③
開始時	16,500	11,400	6,000
6時間10分	17,000	12,700	6,230
11時間30分	—	11,400	5,760
24時間00分	—	8,970	1,700
平均値	16,800	11,100	4,900

表8 試験②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)	pH	Chl-a	備考
9:50	0:13前	曝露区①	20.3	33.9	8.8	8.5	64.2	
		曝露区②	20.0	33.7	7.8	8.4	43.9	
		曝露区③	19.7	33.6	7.2	8.2	22.5	
		対照区	19.4	33.6	7.0	8.1	0.6	
10:03	0:00	曝露区①	20.3	33.9	7.8	8.5	66.5	
		曝露区②	19.9	33.8	7.0	8.4	46.7	
		曝露区③	19.6	33.7	6.8	8.2	21.8	
		対照区	19.4	33.6	6.6	8.0	0.6	
10:13	0:10	曝露区①	20.2	33.9	6.8	8.5	65.8	
		曝露区②	19.9	33.8	6.4	8.3	45.2	
		曝露区③	19.6	33.7	6.9	8.1	21.9	
		対照区	19.4	33.6	6.1	7.9	0.7	
10:33	0:30	曝露区①	20.2	33.9	5.7	8.4	68.5	
		曝露区②	19.9	33.8	6.0	8.2	46.9	
		曝露区③	19.7	33.7	6.1	8.1	22.5	
		対照区	19.4	33.5	6.3	7.9	0.6	
11:03	1:00	曝露区①	20.3	33.9	5.3	8.3	70.5	
		曝露区②	20.0	33.7	6.1	8.1	48.4	
		曝露区③	19.7	33.7	6.4	8.0	26.6	
		対照区	19.5	33.6	6.4	7.8	0.6	
12:03	2:00	曝露区①	20.4	33.9	5.4	8.9	81.4	
		曝露区②	20.1	33.7	6.3	8.0	51.5	
		曝露区③	19.9	33.7	6.6	7.9	26.2	
		対照区	19.7	33.5	6.7	7.8	0.8	
13:40	3:37	曝露区①						
		曝露区②	20.4	33.6	6.5	7.9	56.6	曝露区② でへい死 時に計測
		曝露区③						
		対照区						
14:03	4:00	曝露区①	20.6	33.9	6.6	8.0	79.2	
		曝露区②	20.5	33.8	6.5	7.8	58.7	
		曝露区③	20.3	33.7	6.4	7.7	31.3	
		対照区	20.1	33.5	6.5	7.7	0.6	
16:03	6:00	曝露区①	20.9	33.9	6.7	7.8	87.3	
		曝露区②	20.8	33.7	6.5	7.7	59.0	
		曝露区③	20.6	33.7	6.3	7.7	32.1	
		対照区	20.4	33.5	6.5	7.7	0.7	
19:08	9:05	曝露区①	21.2	33.8	6.4	7.7	61.0	
		曝露区②	21.0	33.7	6.3	7.6	32.3	曝露区① は3尾全て へい死の ため以後 計測せず
		曝露区③	21.0	33.6	6.2	7.6	0.5	
		対照区						
21:15	11:12	曝露区①	21.4	33.8	6.3	7.7	61.9	
		曝露区②	21.2	33.7	6.2	7.6	33.7	
		曝露区③	21.2	33.6	6.0	7.6	0.6	
		対照区						
23:26	13:23	曝露区①						
		曝露区②	21.5	33.8	6.3	7.7	64.1	曝露区② で2尾目へ い死時に 計測
		曝露区③						
		対照区						
翌日 10:03	24:00	曝露区①	21.7	33.9	6.8	7.8	48.1	
		曝露区②	21.7	33.8	5.9	7.6	17.1	
		曝露区③	21.8	33.6	6.1	7.7	0.6	
		対照区						
平均値		曝露区①	20.4	33.9	6.6	8.4	72.9	
		曝露区②	20.6	33.7	6.5	8.0	53.2	
		曝露区③	20.3	33.7	6.5	7.9	26.2	
		対照区	20.1	33.6	6.4	7.8	0.6	
最低値-最高値		曝露区①	20.2-20.9	33.9-33.9	5.3-8.8	7.8-8.9	64.2-87.3	
		曝露区②	19.9-21.7	33.6-33.9	6.0-7.8	7.7-8.4	43.9-64.1	
		曝露区③	19.6-21.7	33.6-33.8	5.9-7.2	7.6-8.2	17.1-33.7	
		対照区	19.4-21.8	33.5-33.6	6.0-7.0	7.6-8.1	0.5-0.8	

3) 細胞密度の違いによるへい死状況

試験①②で実施した曝露試験の小型魚のへい死状況を図7の生存曲線(カプラン・マイヤー法)に示

図7 *Dictyocha* sp.の細胞密度別の小型魚生存曲線

す。*Dictyocha* sp. の細胞密度 16,500 cells/mL (平均 16,775 cells/mL) では約 6 時間以内に 100 %へい死し, 細胞密度 15,000 cells/mL (平均 14,179 cells/mL) では, 12 時間以内に供試魚 100 %がへい死したが, 細胞密度 11,400 cells/mL (平均 11,138 cells/mL) では, 14 時間以内に 2 尾がへい死し, 残る 1 尾は 24 時間生残した。また, 細胞密度 6,000 cells/mL (平均 4,919 cells/mL) ではへい死はなかった。

3 *Dictyocha* sp. の有骨格細胞に対する中型魚の曝露試験

1) 試験③

曝露試験におけるへい死状況等を表9に示す。供試魚は, 平均全長 486 mm, 平均体重 1,728 g と 2 の

小型魚の試験時よりかなり大型であった。対照区は曝露区に比べやや大きさにばらつきがあったが、平均の全長と体重の差は 2 %以内であった。曝露区では、2 時間 10 分後から 3 時間 34 分後までの間に 3 尾全てがへい死したのに対し、対照区は特に異状なく 24 時間後まで全て生残した。曝露区のカンパチは、試験①②同様、対照区に比べ口や鰓の開閉速度が速

く時々咳き込むような行動が見られ、試験開始後 13 分過ぎから遊泳速度が早くなり、最も小型のカンパチは 22 分後からやや暴れるような遊泳がしばしば見られるようになった。約 1 時間 30 分後から、曝露区の 3 尾は頭部や魚体の数カ所に黒い斑紋が浮き出し(対照区では見られない。)始め、3 尾とも狂奔することが多かった。

表9 試験③における供試魚体組成及びへい死状況等

試験区 (細胞密度)	供試魚	全長(mm)	体重(g)	へい死までの曝露時間(24時間内)			へい死: ● 生 残: ○	へい死 率
				6時間	12時間	18時間		
曝露区 (約5,000 cells/mL)	s①-1	521	2,010	(2時間10分)			●	100%
	s①-2	482	1,600	(2時間30分)			●	
	s①-3	460	1,480	(3時間34分)			●	
	平均	488	1,697					
対照区	c-1	458	1,780				○	0%
	c-2	488	1,680				○	
	c-3	508	1,820				○	
	平均	485	1,760					
全体平均		486	1,728					

1 時間 50 分後からは狂奔と横転を繰り返すようになり、1 尾は横転しながら時々細かく痙攣し始め、2 時間 10 分後にはへい死した。他の 2 尾も同様に狂奔、横転、痙攣を繰り返しながら 2 時間 30 分後及び 3 時間 34 分後にへい死した。ただ、試験①②のように、へい死直前に大きく鰓や口を開けて痙攣することではなく死後も口は閉じていた。へい死魚の鰓の蛍光顕微鏡観察の結果、鰓弁の間や鰓組織周辺に付着した粘液様物質と思われるものに *Dictyocha* sp. が数多く付着している様子が観察された。また、SEM による観察では、図 8a-c のとおり、へい死魚の場合、表面が荒れて付着物が多く、二次鰓弁は生残魚(図 8h-j)に比べ少し腫れたように厚くなっており、二次鰓弁の間に *Dictyocha* sp. の骨格が挟まっていた。

曝露試験中の *Dictyocha* sp. の細胞密度の推移を表 10 に示す。曝露区では、開始時が 5,480 cells/mL で、その後、曝露区の供試魚が全てへい死した直後の約 3 時間 35 分後まで若干減少し、概ね 5,000 cells/mL 前後、平均 5,030 cells/mL で推移した。

また、曝露試験中の水質の推移を表 11 に示す。水温は、18.8-19.5 °C (開始時は対照区が曝露区より 0.6 °C ほど低かった。)、DO は 7.0-7.7 mg/L、pH は 7.4-8.0 で、対照区と曝露区の差も特になかった。

2) 試験④

曝露試験におけるへい死状況等を表 12 に示す。供試魚は、平均全長 527mm、平均体重 2,048g と試験

③よりやや大型化した。また、平均全長、体重は、対照区の 1 尾のみが平均より全長で 22 %、体重で 43 % 小さく、その他は全長で 8 % 以内、体重で 18 % 以内の差を示し、試験③に比べ個体差がやや大きかった。

24 時間の曝露試験の結果、曝露区①で、開始後 1 時間 30-46 分の間に 3 尾全てがへい死し、曝露区②と対照区は、24 時間中 3 尾全てが生残した。

表10 試験③の *Dictyocha* sp. の細胞密度の推移

経過時間	細胞密度(cells/mL)
	曝露区
開始時	5,480
1時間00分	5,250
2時間00分	4,450
3時間35分	4,930
平均値	5,030

表11 試験③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)	pH	Chl-a	備考
10:00	0:00	曝露区	19.4	34.1	7.6	8.0	29.1	
		対照区	18.8	33.8	7.6	7.7	0.3	
10:10	0:10	曝露区	19.4	34.1	7.0	7.9	30.1	
		対照区	18.8	33.9	7.2	7.6	0.4	
10:30	0:30	曝露区	19.5	34.1	7.1	7.9	28.9	
		対照区	19.0	34.1	7.5	7.6	0.4	
11:00	1:00	曝露区	19.4	34.1	7.3	7.9	28.8	
		対照区	19.0	34.3	7.6	7.6	1.3	
12:00	2:00	曝露区	19.4	34.1	7.5	7.8	28.1	
		対照区	19.0	34.2	7.6	7.6	0.8	
13:34	3:34	曝露区	19.5	34.1	7.7	7.8	29.0	13:34に1尾
		対照区	19.0	34.2	7.6	7.7	0.9	へい死
15:00	5:00	曝露区	—	—	—	—	—	曝露区は3
		対照区	19.1	34.2	7.7	7.7	3.0	へい死
16:50	6:50	曝露区	—	—	—	—	—	死のため
		対照区	19.1	34.2	7.5	7.6	3.8	後計測無し
18:52	8:52	曝露区	—	—	—	—	—	
		対照区	19.2	34.2	7.5	7.6	4.8	
10:00	24:00	曝露区	—	—	—	—	—	
		対照区	19.4	34.2	7.3	7.4	—	
平均		曝露区	19.4	34.1	7.4	7.9	29.0	
		対照区	19.0	34.1	7.5	7.6	1.7	
最低値-最高値		曝露区	10.4-10.5	34.1	7.0-7.7	7.8-8.0	28.1-30.1	
		対照区	18.8-19.4	33.8-34.3	7.2-7.7	7.4-7.7	0.3-4.8	

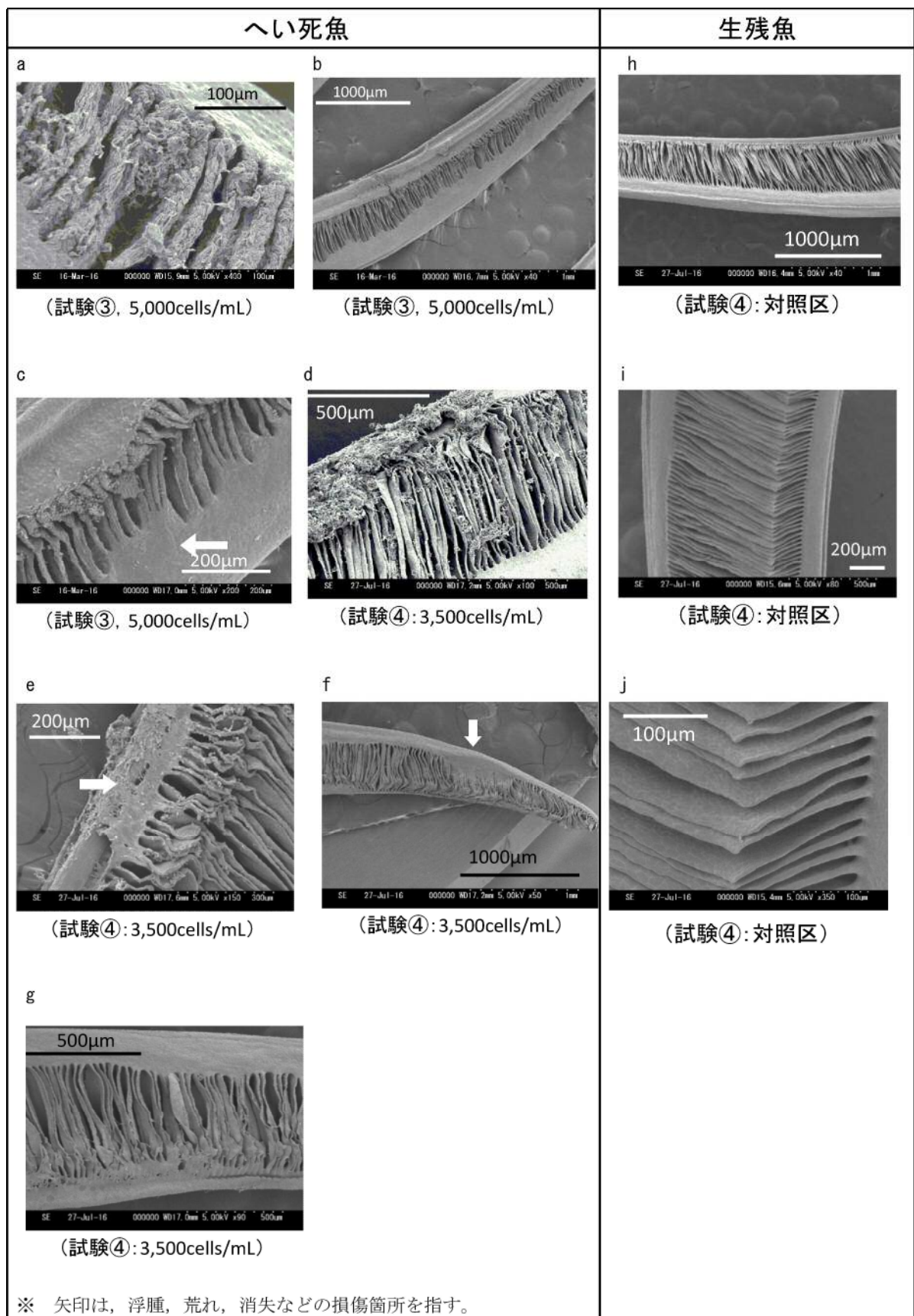


図8 試験③④におけるへい死魚及び生残魚の鰓組織のSEM観察結果

表12 試験④における供試魚体組成及びへい死状況等

試験区 (細胞密度)	供試魚	全長(mm)	体重(g)	へい死までの曝露時間(24時間内)			へい死: 生:● 残:○	へい死 率
				6	12	18時間		
曝露区① (約3,500 cells/mL)	s①-1	545	2,260	(1時間30分)			●	100%
	s①-2	560	2,260	(1時間43分)			●	
	s①-3	567	2,160	(1時間46分)			●	
	平均	557	2,227					
曝露区② (約1,000 cells/mL)	s②-1	530	1,860				○	0%
	s②-2	500	1,860				○	
	s②-3	563	2,380				○	
	平均	531	2,033					
対照区	c-1	552	2,400				○	0%
	c-2	410	1,160				○	
	平均	481	1,780					
全体平均		527	2,048					

曝露区①のカンパチのへい死までの行動状況を観察したところ、曝露開始数分後から、3尾とも対照区より体色が黒ずみ、前頭部が赤みを帯びて黒ずんできた。また、これまでの一連の試験でへい死した供試魚に見られたように、対照区に比べ口や鰓の開閉速度が速く、時々咳き込むような行動が見られ、曝露開始10分過ぎから、1尾は度々横転するようになった(図9)。40分ほど経過すると、残りの2尾も



図9 試験④において横転する中型魚

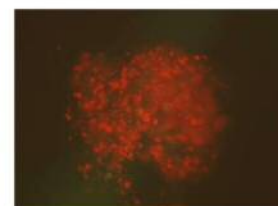
含め横転と突然の早い泳ぎを繰り返すようになり、最初に横転した1尾は腹部が黒ずみ、腹を上に向けてたり痙攣や狂奔をを繰り返すようになり、1時間30分後には、呼吸(鰓蓋の開閉)が停止しへい死した。残りの2尾も、急激に弱り最初へい死した1尾と同様な状態をくり返し、その後の16分間に相次いでへい死した。なお、へい死直前は、小型魚のように鰓や口を大きく開けて痙攣することではなく、若干あえぐように少し口と鰓を開けることがあったが、へい死後は口は閉じていた。曝露区②は、当初、3尾とも対照区に比べやや体色が黒ずみ1尾の前頭部は曝露区①と同様赤黒くなった。また、尾部を水面上に上げるような態勢になったり腹部を水槽の底につけたまま泳がなくなることがあったが、8時間を過ぎた頃から体色や泳ぎも良くなり、最終的には3尾と

も生残した。今回もへい死後、鰓を採取し蛍光顕微鏡で確認したところ、図10のとおり、鰓弁の間や鰓組織周辺に付着した粘液様物質に *Dictyocha* sp. が多く絡み付いている様子が観察された。特に肉眼で鰓を観察した際に一部に黒ずんだ部分が帯状にあったが、これを顕微鏡観察すると、かなり多くの *Dictyocha* sp. が絡み付いている様子が観察された。また、SEMによる観察では、図8d-gのとおり、試験③の場合と同様の状態であった。

曝露試験中の水質の推移を表13に示す。水温は24.0-25.1℃、DOは5.1-7.0mg/L、pHは7.4-8.2程と対照区と曝露区の差も特になかった。



鰓に黒ずんだ物質が付着



蛍光照射

図10 へい死魚鰓の光学顕微鏡観察結果(試験④)

表13 試験④の水質の推移

時刻	経過時間 (時間:分)	試験区	水温 (℃)	塩分	DO (mg/L)	pH	Chl-a	備考
10:17	0:00	曝露区①	24.9	32.5	6.6	8.2	17.2	
		曝露区②	25.0	32.2	6.2	8.0	4.3	
		対照区	25.1	32.2	6.6	7.9	0.5	
10:27	0:10	曝露区①	24.9	32.5	5.5	8.1	17.5	
		曝露区②	25.0	32.2	5.2	7.8	4.2	
		対照区	25.1	32.2	6.4	7.7	0.4	
10:47	0:30	曝露区①	24.9	32.5	5.1	7.9	16.2	
		曝露区②	25.0	32.2	5.4	7.6	5.0	
		対照区	25.1	32.2	6.6	7.7	0.6	
11:17	1:00	曝露区①	24.9	32.5	6.0	7.8	16.3	
		曝露区②	24.9	32.2	5.4	7.4	4.5	
		対照区	25.0	32.2	6.7	7.6	0.3	
11:47	1:30	曝露区①	24.9	32.5	6.3	7.7	17.1	曝露区①
		曝露区②	24.9	32.2	5.6	7.4	5.2	で経けて3
		対照区	25.0	32.1	6.7	7.5	0.5	尾へい死
12:17	2:00	曝露区①	—	—	—	—	—	
		曝露区②	24.9	32.2	5.8	7.3	4.9	
		対照区	24.9	32.1	6.8	7.5	0.5	
14:17	4:00	曝露区①	—	—	—	—	—	
		曝露区②	24.8	32.2	5.9	7.4	4.5	曝露区①
		対照区	24.8	32.2	6.8	7.6	0.5	は3尾全て
16:17	6:00	曝露区①	—	—	—	—	—	
		曝露区②	24.7	32.2	6.1	7.4	4.7	へい死した
		対照区	24.6	32.2	6.9	7.5	0.5	ため、以後
18:17	8:00	曝露区①	—	—	—	—	—	水質測定
		曝露区②	24.6	32.3	6.2	7.4	4.8	無し。
		対照区	24.5	32.2	7.0	7.6	5.7	
10:17 (翌日)	24:00	曝露区①	—	—	—	—	—	
		曝露区②	24.0	32.3	6.3	7.5	2.1	
		対照区	24.0	32.2	7.0	7.5	2.2	
平均		曝露区①	24.9	32.5	5.9	7.9	16.9	
		曝露区②	24.8	32.2	5.8	7.5	4.4	
		対照区	24.8	32.2	6.7	7.6	1.2	
最低値-最高値		曝露区①	24.0-24.9	32.5-32.5	5.1-6.6	7.7-8.2	16.2-17.5	
		曝露区②	24.0-25.0	32.2-32.3	5.2-6.3	7.3-8.0	2.1-5.2	
		対照区	24.0-25.1	32.1-32.2	6.4-7.0	7.5-7.9	0.3-5.7	

曝露試験中の曝露区①の *Dictyocha* sp. 細胞密度の推移を表 14 に示す。曝露開始直前から最初に供試魚がへい死するまでの約 1 時間 30 分間に、若干減少傾向も見られたが、概ね 3,500 cells/mL 前後、平均 3,540 cells/mL で推移した。曝露区②も減少傾向を示し、8 時間後には開始時の 6-7 割ほどの 798 cells/mL、24 時間後には極端に減少し 19 cells/mL となり、8 時間までの平均は 1,090 cells/mL であった。なお、曝露区①については、供試魚が全てへい死した 1 時間 45 分後以降曝露を止め止水状態となっていたが、約 7 割程度は残っていた。

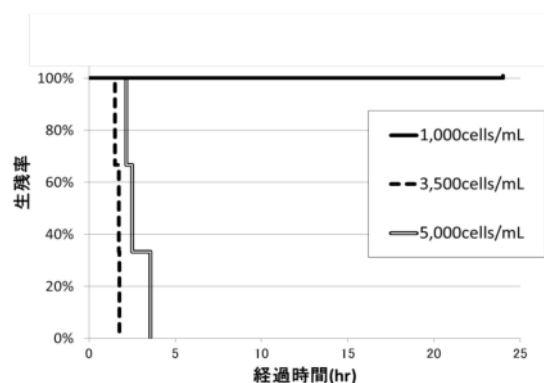
表14 試験④の *Dictyocha* sp.の細胞密度の推移

経過時間	細胞密度 (cells/mL)	
	曝露区①	曝露区②
開始時	3,670	1,280
1時間30分	3,410	1,190
8時間00分	—	798
24時間00分	—	19
平均値※	3,540	1,090

※ 平均値は8時間以内の数値の平均

3) 細胞密度の違いによるへい死状況

試験③④で実施した曝露試験の中型魚のへい死状況を図 11 の生存曲線 (カプラン・マイヤー法) に示す。*Dictyocha* sp. の細胞密度 5,000 cells/mL (平均 5,025 cells/mL) で、供試魚 3 尾全てが 2-3.5 時間ほどでへい死し、細胞密度 3,500 cells/mL (平均 3,540 cells/mL) では 2 時間以内に 3 尾全てがへい死したが、細胞密度 1,000 cells/mL (平均 1,090 cells/mL) では 24 時間 100 % 生残した。

図11 *Dictyocha* sp. の細胞密度別の中型魚生存曲線

4 へい死状況の解析 (魚体とへい死状況の関係)

試験①-④の結果から、小型魚及び中型魚のへい死までの時間と細胞密度及び魚体重の関係を調べたところ、図 12 に示すとおり、小型魚より魚体重の重い中型魚の方が、より低い細胞密度でより短時間にへい死する傾向が見られた。また、中型魚における魚体重とへい死までの時間の関係については、図 13 に示すとおり、魚体重が重いほど短時間でへい死する傾向が見られた。

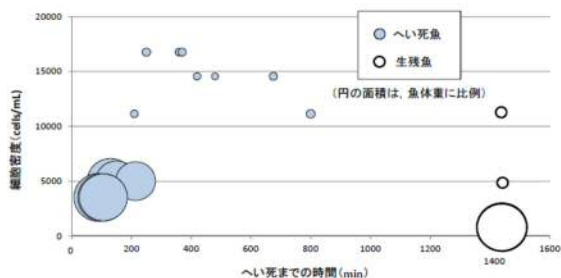


図12 魚体重別の細胞密度とへい死までの時間の関係

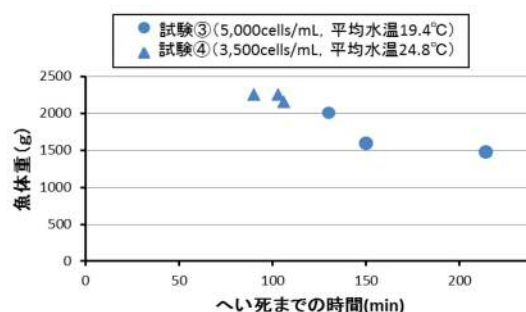


図13 魚体重とへい死時間との関係 (試験③④)

考 察

1 Dictyocha sp. の有骨格細胞の培養

本研究の結果、本種の継代培養及び一定規模(20,000-30,000 cells/mL 程度)までの大量培養は可能になった。その要因の一つとして、培地を、改変 f/2 培地と Si 強化 PES 培地とを 1 : 1 で混合したものにしたことが考えられるが、混合前の両培地の成分や量(表 1)は類似した部分が多いものの互いに欠く元素もある。改変 f/2 培地にのみある元素は、Se (H_2SeO_3 中)及び Mo ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 中)であり、Si 強化 PES 培地にのみ含まれる元素は、Si(けい酸ナトリウム溶液希釈液中)及び B (H_3BO_3 中)であることから、これらの 4 元素が一定量混在することが必要である可能性が考えられた。その他、培養条件が変わると、無骨格細胞が出現する場合があることから、有骨格細胞のみ培養する際は、培養条件の安定化に努めるとともに、本種の増殖条件をさらに詳細に調べることでより効率的で確実な培養方法確立する必要がある。また、無骨格細胞の出現に関しては、今後、これまでの試験内容を精査するとともに、さらに試験を重ねることで、有骨格及び無骨格細胞それぞれ単独の安定的な培養方法確立へつながると考えられる。なお、本種の同定に関しては、*Dictyocha* sp. としているが、今後、さらに種小名まで特定されることが望まれる。

2 最低致死細胞密度

曝露試験中の水質は、いずれの試験区においても、供試魚の生存に影響ない範囲で推移し、対照区と曝露区で大きな違いは見られなかったことや、供試魚の健康状態についても問題はなかったことから、*Dictyocha* sp. の有骨格細胞の他に供試魚のへい死に関与したと考えられる要因は見当たらない。よって、以下に、*Dictyocha* sp. の有骨格細胞の養殖カンパチに対する最低致死細胞密度について考察する。

1) 小型魚の場合

試験①②の結果から、細胞密度が高いほどへい死までの時間が短く、魚毒性が強かったことが示され、平均細胞密度 11,100 cells/mL ではへい死が見られたが、4,920 cells/mL ではへい死は見られなかったことから、24 時間以内の最低致死細胞密度の閾値は、4,920 cells/mL から 11,140 cells/mL の間にあると推察される。また、今後、より精密に最低致死細胞密度を求めるためには、細胞密度約 5,000 から 11,000 cells/mL の間の細胞密度による曝露試験が必要である。

2) 中型魚の場合

試験③④の結果から、平均細胞密度 3,540 cells/mL で 2 時間以内に 3 尾全てがへい死し、平均細胞密度 1,090 cells/mL では 24 時間で 100 % 生残したが、試験④では、曝露開始後 8 時間までは 1,000 cells/mL 前後を維持したものの、8 時間以降は細胞密度が著しく低下したことから、供試魚のダメージが回復した可能性も考えられた。以上の結果から、中型魚に対しては、*Dictyocha* sp. の最低致死細胞密度の閾値は、8 時間以内において 1,090 から 3,540 cells/mL の間にあると推察される。なお、試験④での細胞密度の低下の原因については、約 1 時間経過した時点で当該試験区の曝露海水の DO が 5 mg/L を下回ったことから、他の試験区より微細な気泡が発生するエアーストーンを用いエアレーションを強めたが、*Chattonella antiqua* など本種とは分類の異なるラフィド藻綱の細胞は、細胞壁等の外皮構造を持たないため壊れやすく⁸⁾、通気による刺激で *C. antiqua* の細胞の変形、破壊等が発生する可能性を考慮し、通気量を制限した報告⁹⁾もあることから、微細な気泡による *Dictyocha* sp. 細胞の活力低下の可能性も考えられた。

3) 魚体の大きさと最低致死細胞密度の関係

小型魚の曝露試験では、*Dictyocha* sp. の最低致死細胞密度の閾値は、4,920 cells/mL から 11,140 cells/mL の間にあると推定されたのに対し、体重は小型魚の約 30 倍であった中型魚の試験では、1,090 cells/mL から 3,540 cells/mL の間にあると推察されたことや、中型魚の試験でへい死した供試魚は、体重の重い方から順にへい死(図 12)し、さらに、試験③では平均体重 1,728 g の供試魚が、細胞密度約 5,000 cells/mL で 2-3.5 時間ほどで供試魚 3 尾全てがへい死したのに対し、試験④では、さらに大きい平均体重 2,048 g の中型魚が、細胞密度約 3,500 cells/mL と試験③より低密度であったにもかかわらず、さらに早い 2 時間以内に 3 尾全てがへい死したことから、カンパチ人工種苗の場合、魚体が大きくなるにつれて *Dictyocha* sp. 赤潮に対する耐性が低くなる傾向が示された。ただし、図 13 に示すとおり、試験④の場合、試験③の場合と比べ、試験区の水温が約 5-6 °C 高かったことから、その影響も考えられるため、今後、水温条件を同一にして確認する必要がある。また、漁業者が現場で本種赤潮への対策を講じるためには、今後、さらに大型の出荷サイズの魚体に対する最低致死細胞密度も確認する必要がある。

3 本種赤潮によるへい死機構

折田ら¹⁰⁾は, 細胞密度を 2,200cells/mL とした *C. antiqua* 培養株の赤潮海水に対する養殖ブリの当歳魚 (平均体重 800g) の曝露試験を実施した際, ブリのへい死までの行動を観察した結果, 鰓蓋の開閉運動が速くなったり, 狂奔遊泳や横転と痙攣を繰り返す状況を確認しているが, 本研究においても, いくつか共通する行動状況が確認された。

また, 鰓の蛍光顕微鏡観察で, へい死魚の鰓には, 鰓弁の間や鰓組織周辺に付着した粘液様物質に, *Dictyocha* sp. の骨格や細胞質が多数付着しているのが観察 (図 5) されたのに対し, 対照区の生残魚の鰓には, 粘性様物質や *Dictyocha* sp. は確認されなかったことや, SEM 観察 (図 6, 8) でも, へい死魚の鰓には, 付着物が多く二次鰓弁の隙間などに *Dictyocha* sp. の骨格が多く挟まっていたのに対し, 生残魚の鰓組織には, 付着物や *Dictyocha* sp. の骨格が認められなかったことから, 鰓に付着した *Dictyocha* sp. が, 鰓の機能に何らかの影響をきたし粘液等の過剰な分泌を促進した可能性が示唆された。

さらに, SEM によるへい死魚の観察 (図 6, 8) から, 一次鰓弁や二次鰓弁の表面が損傷を受け, 一次鰓弁の上皮細胞が伸長し二次鰓弁の半分以上あるいは一部が消失するとともに, 二次鰓弁は, 正常なものより厚く肥大した様子が多数見られたのに対し, 生残魚の場合, 二次鰓弁は薄く規則正しくきれいに並び, 両側の縁の上皮細胞まで十分に切れ込んでおり, 海水のろ過面積は十分確保されていたと考えられ, へい死魚の鰓弁と大きく異なっていた。折田ら¹¹⁾は, 有害ディクチオカ藻 *Pseudochattonella verruculosa* 赤潮のブリに与える影響について曝露試験を実施した際に, へい死魚の鰓組織を SEM により観察したところ, 一次鰓弁の上皮細胞の伸長や二次鰓弁の肥大によるその隙間の閉塞などがみられたことを報告しているが, 本試験においても同様の状況が確認された。

以上のことから, へい死の主な要因は, 鰓組織の損傷やガス交換を担う組織である二次鰓弁の面積の減少などで, 鰓弁の機能が低下し呼吸不全に至った窒息死であると推察される。

なお, 曝露試験中の水質や供試魚の健康状態は, 供試魚の鰓に対し問題はないものと考えられ, その他にも供試魚の鰓組織の損傷に関与したと思われる要因は考えられないことから, これらの鰓組織の損傷は, *Dictyocha* sp. の有骨格細胞の存在が主要因と考えられる。

赤潮生物による鰓組織の損傷機構については, シャットネラ (*Chattonella*) が大量に生産する活性酸素が魚類の鰓組織を損傷し, 粘液様物質を大量に生産させて死に導くという証拠を蓄積しつつあるとの報告¹²⁻¹⁵⁾がある。本種においても同様の損傷機構を有するのか, 今後さらなる研究が必要である。

今後は, 本種の無骨格細胞により養殖クロマグロがへい死したと推察される事例があることから, 無骨格細胞の魚毒性も確認する必要がある。また, 本種の培養株と天然株との毒性の違いや, 対象魚が人工種苗か天然種苗かによる本種赤潮に対する耐性の違いの検討も今後の課題として残されている。

謝 辞

本研究を行うにあたり, 使用した *Dictyocha* sp. の培養株の同定や改変 f2 培地の組成情報の提供と作製に関して, 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所の坂本節子博士にご指導, ご助言をいただいた。また, 公益財団法人かごしま豊かな海づくり協会の役職員の皆様には, 曝露試験に供したカンパチ稚魚をご提供いただいた。これらの方々には多大なるご協力をいただき, 心から感謝の意を表する。

文 献

- 1) 平成 4 年 九州海域の赤潮. 水産庁九州漁業調整事務所, 福岡, 1993.
- 2) 平成 27 年 九州海域の赤潮. 水産庁九州漁業調整事務所, 福岡, 2015.
- 3) 品田晃良, 川尻敏文. 2004 年に能取湖で大増殖した珪質渦鞭毛藻について (短報). 北海道立水産試験場研究報告 2005; 69: 159-161.
- 4) 坂本節子, 外丸裕司. ①カレニア属等有害赤潮鞭毛藻の簡易検出, 同定・定量法の開発. 平成 28 年度赤潮・貧酸素水塊対策推進事業「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書. 瀬戸内海赤潮共同研究機関, 2017; 137-148.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
 - 8) 今井一郎. ラフィド藻類における分類と同定の問題点ー生態研究の立場からー. 日本プランクトン学会報 2000; 47(1): 55-64.
 - 9) 西 広海, 田原義雄, 徳永成光, 久保 満, 吉満 敏, 中村章彦. 短報 *Chattonella antiqua* 赤潮の養殖ブリに対する影響ー養殖ブリに対する暴露試験ー. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告. 2013; 3: 34-36.
 - 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ーV (赤潮被害防止緊急対策事業). 平成 23 年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書 2012; 110-123.
 - 11) 折田和三, 西 広海, 田原芳雄, 徳永成光, 中村章彦. 2012 年 2 月山川湾で発生した有毒ディクチオカ藻 *Pseudochattonella verruculosa* 赤潮の発生とブリに与える影響. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告. 2013; 4: 17-23.
 - 12) 今井一郎. 「シャットネラ赤潮の生物学」生物研究社, 東京. 2012; 31-34.
 - 13) Tanaka, K., Muto, Y. and Shimada, M. Generation of superoxide anion radicals by the marine phytoplankton organism, *Chattonella antiqua*. *J. Plankton Res.*, 1994; 16: 161- 169
 - 14) Ishimatsu, A., Sameshima, M., Tamura, A. and Oda, T. Histological analysis of the mechanisms of *Chattonella*-induced hypoxemia in yellowtail. *Fish. Sci.*, 1996; 62: 50-58.
 - 15) Marshall, J. A., M. de Salas, T. Oda and G. M. Hallegraeff Superoxide production by marine microalgae. I. Survey of 37 species from 6 classes. *Mar. Biol.*, 2005; 147: 533- 540.

資料 有害ラフィド藻 *Chattonella antiqua* の基礎的な 大量培養技術開発

西 広海・田原義雄¹

¹ 商工労働水産部水産振興課

5 L 容フラスコを用いた *Chattonella antiqua* の大量培養試験を実施し、大量培養に適した培養条件を検討した。その結果、栄養強化海水培地の塩分は調整する必要はなく、培養開始時の本種の細胞密度が 100 cells/mL となるよう接種し、微通気によるガス交換を促すことで、本種の大量培養が可能になると考えられた。この *C. antiqua* の大量培養技術を用いることにより、赤潮発生現場でのブリに対する曝露試験だけでなく、任意の時期、細胞密度で室内試験を実施することが可能となった。

鹿児島県における有害ラフィド藻 *C. antiqua* による赤潮は、1988 年以降八代海において確認され、しばしば本県の魚類養殖業に対して被害をもたらしている。*C. antiqua* による赤潮は、1988 年に東町（現長島町）幣串地先で発生して以来、2015 年までに 13 件発生し、うち 10 件で漁業被害が発生している。なかでも 2009 年と 2010 年には、本種による赤潮が八代海だけでなく、有明海、橘湾の広い範囲で大規模に発生し、本県では 2009 年に約 20 億 3 千万円、2010 年には約 36 億 8 千万円と、2 年連続で大きな被害が発生するなど、本県のみならず、熊本県、長崎県における魚類養殖業に対し深刻な影響を与えた。

当所ではこの対策として、*C. antiqua* 赤潮の防除技術開発のために、本種を用いた魚毒性の把握、ブリ等の養殖対象種への影響、赤潮防除剤の開発といった様々な試験をこれまで実施してきた。なかでも西ら¹⁾は、ブリに対する魚毒性の把握のため、2010 年に八代海で *C. antiqua* 赤潮が発生した際、これを赤潮発生海域で採取し、その場でブリへの曝露試験を実施し、その影響を把握したが、この方法は赤潮発生時にしか *C. antiqua* を大量に使用する試験を実施できない。このため、*C. antiqua* を大量かつ安定的に培養することにより、*C. antiqua* 赤潮が発生しなくても試験を周年実施できる体制を構築する必要がある、当所ではこれまで *C. antiqua* の大量培養技術の開発に取り組んできた。その成果として眞鍋ら²⁾は、1 kL ポリカーボネートタンクを用いて *C. antiqua* を培養し、11-18 日間で本種の細胞密度が 1×10^5 cells/mL 以上に達し、タンクあたり 2×10^9 cells 以上の細胞が得られ、本種の大量培養の基

本技術が開発できたことを報告している。

本稿では、上記報告の前段階である基礎試験として実施した、5 L 容フラスコを用いた *C. antiqua* の大量培養試験について取りまとめることにより、これまで当所が実施してきた、*C. antiqua* の大量培養技術開発の過程について、理解を深める一助とする。

材料及び方法

1 *C. antiqua* の至適培養条件の検討

試験には 2009 年 8 月 4 日に八代海南部で採取した *C. antiqua* を、当所で分離培養したクローン株を用いた。

栄養強化海水培地は、当所地先の取水口から採水した砂ろ過海水を $3 \mu\text{m}$ カートリッジフィルターでろ過し、オートクレーブ (SANYO 社製 MLS-3750) により滅菌処理 (120 °C, 3min) した海水に、f/2 培地^{3,4)}から Cu と Si を除き、Se と Tris を添加した改変 f/2 培地 (表 1) を添加して調整したものを、5L 容フラスコに 5L 収容した。

温度環境は、試験を実施した飼育実験棟恒温培養室のエアコンを 24 °C に設定することで、一定となるよう調整した。

光環境は、試験に使用する 5L 容フラスコを照明付培養棚 (SANYO 社製 MLR-1546, 4 段の棚、棚当たり 40W 白色蛍光灯 2 本) に配置し、照度を 2,400 Lx から 4,300Lx に調整した。また付属のタイマーを用い、14 時間明 10 時間暗の明暗周期とした。

塩分は前述の滅菌海水の 35 を基本とした。塩分を下げる場合は、蒸留水製造装置 (ADVANTEC 社製 RFD240NA) で製造した蒸留水を混合し、海水

濃度屈折計（アズワン株式会社製 IS/Mill-E）で確認しながら目的の塩分となるよう調整した。

通気は、5L 容フラスコの口部に取り付けたシリコン栓に穴を開け、ガラス管（外径5mm，内径3mm）をフラスコの底面上1cm付近まで到達するよう配管し、ビニールチューブで飼育実験棟恒温培養室のエア配管と接続して実施した。ほかに空気抜き用のガラス管を配管した。なお通気は、*C. antiqua* がフラスコの底面に沈殿しないよう栄養強化海水培地を攪拌する目的で行ったが、*C. antiqua* の属するラフィド藻綱の細胞は、細胞壁等の外皮構造を持たないため壊れやすく、⁵⁾通気による気泡の物理的刺激で *C. antiqua* の細胞が破壊されないように考慮するため、必要最低限のごく微量とした（図 1）。

表1 改変f/2培地組成

成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
NaNO ₃	1mL	75g/1000mL	8.83×10 ⁻⁴ M
NaH ₂ PO ₄ ・H ₂ O	1mL	5g/1000mL	3.63×10 ⁻⁵ M
H ₂ SeO ₃	1mL	※1 参照	
Tris metals-1溶液	1mL	※2 参照	
Tris metals-2溶液	1mL	※3 参照	
Vitamin mix	0.5mL	※4 参照	
Tris	0.5g		
Seawater	1000mL		
pH 7.4			
※1 H ₂ SeO ₃			
成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
H ₂ SeO ₃	1mL	0.129mg/100mL	1×10 ⁻¹⁰ M
※2 Trace metals-1溶液			
成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
Na ₂ MoO ₄ ・2H ₂ O	1mL	0.63g/100mL	3×10 ⁻⁸ M
ZnSO ₄ ・7H ₂ O	1mL	2.2g/100mL	8×10 ⁻⁸ M
CoCl ₂ ・6H ₂ O	1mL	1.0g/100mL	5×10 ⁻⁸ M
MnCl ₂ ・4H ₂ O	1mL	18.0g/100mL	9×10 ⁻⁷ M
蒸留水で1000mLに定容			
※3 Trace metals-2溶液			
成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
FeCl ₃ ・6H ₂ O	3.15g	—	1×10 ⁻⁵ M
Na ₂ EDTA・2H ₂ O	4.36g	—	1×10 ⁻⁵ M
蒸留水で1000mLに定容			
※4 Vitamin mix			
成分	添加量	保存液濃度	最終濃度
Vitamin B ₁₂	1mL	0.1g/100mL	1×10 ⁻¹⁰ M
Biotin	10mL	0.01g/100mL	2×10 ⁻⁹ M
Thiamine・HCl	200mg	—	3×10 ⁻⁷ M
蒸留水で1000mLに定容			

1) 培養開始時の細胞密度及び通気の有無

開始時の *C. antiqua* の細胞密度を 1cell/mL 及び 100cells/mL になるよう接種し調整したものと、ガラス管で通気したものと無通気を組み合わせた4区を設定した。各区とも1基の 5 L 容フラスコを使用した（図 1）。

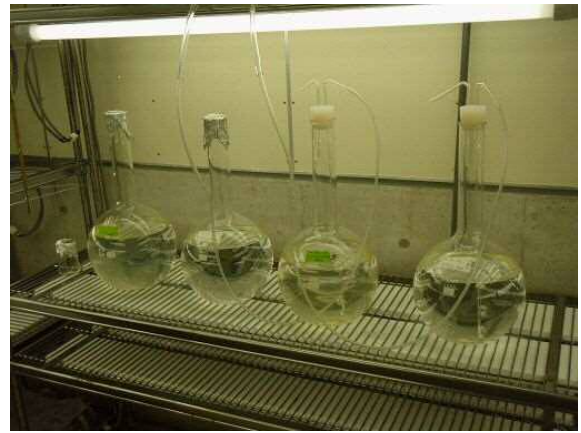


図1 *C. antiqua*の培養状況

試験は、*C. antiqua* の細胞密度 1cell/mL の2区が 2009 年 11 月 20 日から 12 月 21 日までの 31 日間、*C. antiqua* の細胞密度 100cells/mL の2区が 2009 年 11 月 26 日から 12 月 21 日までの 25 日間とし、休日以外はほぼ毎日検鏡して *C. antiqua* の細胞密度を計数した。

2) 塩分

栄養強化海水培地を 5L 容フラスコ 1 基に 5L 収容し、塩分を 35 と 30 に調整した2区を設定し、*C. antiqua* 培養株を 100cells/mL になるよう接種し、通気で培養を行った。

試験は 2009 年 12 月 11 日から 12 月 28 日までの 17 日間とし、定期的に検鏡して *C. antiqua* の細胞密度を計数した。

3) 培養開始時の細胞密度

栄養強化海水培地を 5 L 容フラスコに 1 基あたり 5 L 収容し、*C. antiqua* 培養株を 100cells/mL 及び 200 cells/mL となるよう添加した 2 区を設定し、通気で培養を行った。100cells/mL 接種区は 4 基、200 cells/mL 接種区は 2 基の 5L 容フラスコを使用した。

試験は 2010 年 1 月 29 日から 2 月 10 日までの 12 日間とし、3 日目以降は休日以外は毎日検鏡して *C. antiqua* の細胞密度を計数し、平均細胞密度を求めた。

2 プリ曝露試験用の大量培養

1 の結果を踏まえ、プリの曝露試験に供する目的で *C. antiqua* 培養株の大量培養を 2 回実施した。1 の 1) と同じ海水に栄養強化海水培地の改変 f/2 培地を添加して調整したものを 5L 容フラスコに 5L

収容し, *C. antiqua* 培養株を 100cells/mL 及び 158 cells/mL になるよう接種し, 通気, 塩分 35 で培養を行った。1 回目は 11 日間, 2 回目は 9 日間の培養を行った。それぞれ 5L 容フラスコ 10 基を使用した。

結 果

1 *C. antiqua* の至適培養条件の検討

1) 培養開始時の細胞密度及び通気の有無

C. antiqua 培養株を 1cell/mL になるよう接種した区 (通気区及び無通気区) の細胞密度の推移を図 2a に, 100cells/mL になるよう接種した区 (通気区及び無通気区) の細胞密度の推移を図 2b に示した。

1cell/mL 接種区は, 通気区, 無通気区とも 10 日目まではほとんど細胞密度の差は見られなかったが, その後通気区の細胞密度が急激に増加し, 21 日目には 50,000cells/mL に達し, その後減少した。一方無通気区の細胞密度は, 11 日目以降は増加したものの, 最高細胞密度は 18 日目の 3,010cells/mL であり, その後減少した (図 2a)。

100cells/mL 接種区は, 通気区, 無通気区とも 4 日目まではほとんど細胞密度の差は見られなかったが, その後通気区の細胞密度が急激に増加し, 12 日目には 41,600cells/mL に達し, その後減少した。一方無通気区は, 5 日目以降は細胞密度は増加したものの通気区と比較して低調であり, 最高細胞密度は 7 日目の 3,200cells/mL であり, その後減少した (図 2b)。

2) 塩分

試験区の *C. antiqua* の細胞密度の推移を図 3 に示した。培養開始 5 日目に, 塩分 30 区の細胞密度は 28,500cells/mL, 塩分 35 区は 17,000cells/mL となったが, 6 日目には塩分 30 区の細胞密度は 1,470 cells/mL, 塩分 35 区は 10,100cells/mL と減少した。その後両区とも細胞密度が再び増加したが, 7 日目以降で細胞密度が最も高くなったのは 14 日目で, 塩分 30 区は 17,700cells/mL, 塩分 35 区は 27,700 cells/mL であった。

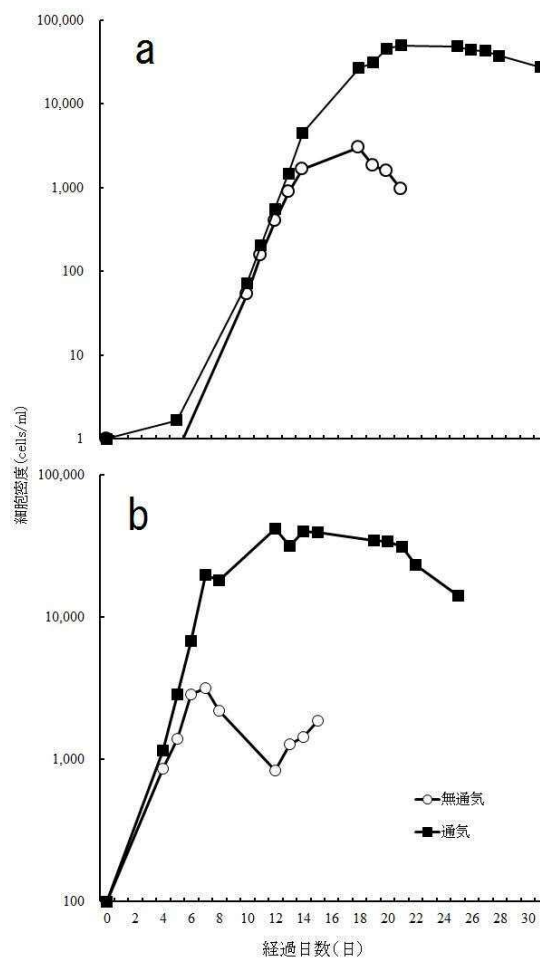


図2 通気の有無による *C. antiqua* の細胞密度の推移

- a. 開始時の細胞密度 1 cell/mL
b. 開始時の細胞密度 100 cells/mL

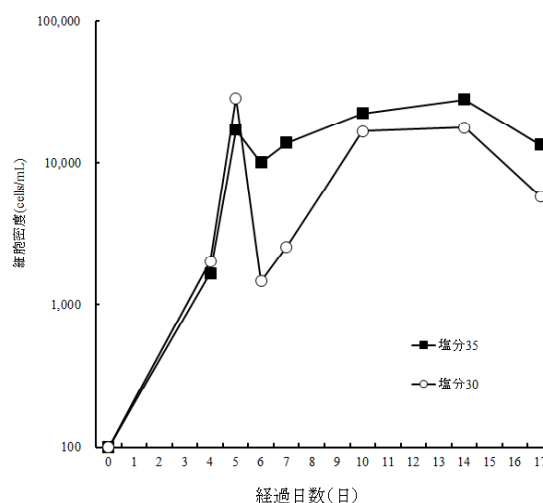


図3 塩分の違いによる *C. antiqua* の細胞密度の推移

3) 培養開始時の細胞密度

試験区の *C. antiqua* の平均細胞密度の推移を図4に示した。100cells/mL 接種区は、概ね順調に細胞密度が増加し、最高細胞密度は実験終了時である12日目の、18,300cells/mL であった。200cells/mL 接種区は、7日目までは100cells/mL 接種区を上回る細胞密度を示したが、その後2日間は細胞密度の増加が停滞し、その後再び増加した。最高細胞密度は100cells/mL 接種区と同じく実験終了時である12日目の17,900cells/mL であった。各試験区の5L容フラスコのうち、最高細胞密度となったものの推移を比較をしたものを図5に示した。12日目の最終的な細胞密度は100cells/mL 接種区が24,700cells/mL で200cells/mL 接種区が23,600cells/mL とほぼ同等であったが、200cells/mL 接種区は7日目以降の増殖速度が緩やかになったのに対し、100cells/mL 接種区は12日目までほぼ同様の増殖速度を示した。

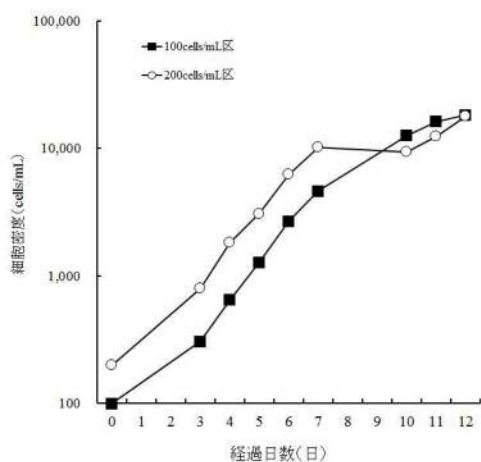


図4 *C. antiqua*の細胞密度の推移 (平均細胞密度)

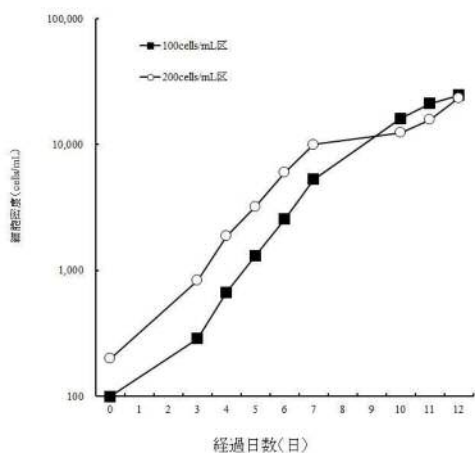


図5 *C. antiqua*の細胞密度の推移 (両区の最高細胞密度)

2 プリ曝露試験用の大量培養

1回目培養及び2回目培養の細胞密度の推移を図6に示した。1回目は、9日目に平均細胞密度が10,500cells/mL (7,170cells/mL-15,900cells/mL) となった。ここで10本の5L容フラスコのうち2本はブリの曝露試験に供したため、培養を終了した。その後残りの8本は培養を継続し、11日目には平均細胞密度が13,400cells/mL (11,100cells/mL-16,400cells/mL) となった。10本の5L容フラスコによる *C. antiqua* の総培養細胞数は、681,000,000cellsであった。2回目は、8日目に平均細胞密度が9,870cells/mL (6,280cells/mL-13,600cells/mL) となった。ここで10本の5L容フラスコのうち4本はブリの曝露試験に供したため、培養を終了した。その後残りの6本は培養を継続し、9日目に平均細胞密度が11,200cells/mL (7,900cells/mL-15,800cells/mL) となった。10本の5L容フラスコによる *C. antiqua* の総培養細胞数は、542,000,000cellsであった。

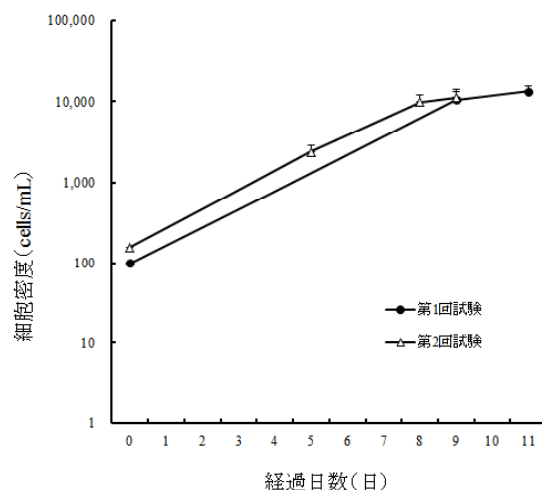


図6 *C. antiqua*の細胞密度の推移 (大量培養試験)
バーは標準偏差を示す

考 察

1 *C. antiqua* の至適培養条件の検討

1) 通気の有無

通気の有無で比較すると、1cell/mL 接種区、100 cells/mL 接種区とも、通気区は培養当初は増殖が低調だったものの、その後急激に増殖し、到達した最高細胞密度は、無通気区と比較して圧倒的に高かった (図 2a, 2b)。Yamamoto and Nakahara⁶⁾ は、ラ

ン藻の *Mycrocystis aeruginosa* Kutzing の増殖におよ

ばす曝気の影響を調べたところ、曝気をしない条件では速やかに定常状態に達したが、曝気をした場合は増殖し続け、この結果は溶存無機炭素が静置条件では制限因子になりやすく、CO₂の取込効率が *M. aeruginosa* の優位性を考察する上で重要なことを示唆していると述べている。このようにガス交換の程度が培養容器中における植物プランクトンの増殖に大きな影響を与えることから、今回の試験でも通気により *C. antiqua* の増殖に影響を与えたものと考えられる。

2) 塩分

6日目に塩分30区、35区とも細胞密度が減少し、特に塩分30区は5日目の細胞密度と比較して大きく減少した。6日目前後の光環境は、明暗周期の当初の設定(14時間明10時間暗)は変更しておらず、機器の故障等も見られなかった。水温は5日目が24.8℃、6日目が24.1℃と、ほぼ設定した水温を保っていた。また7日目以降は細胞密度は徐々に高くなり、*C. antiqua*の細胞が変形する等の状態変化は観察されず、細胞密度が急激に減少した理由は不明である。

7日目以降では、塩分30区、35区とも14日目に最も細胞密度が高くなり、塩分35区の方が最高細胞密度は高かった(図3)。山口ら⁷⁾は、室内培養試験により *C. antiqua* の増殖に及ぼす水温と塩分の影響について調べ、*C. antiqua* の最大増殖速度を与える水温と塩分の組み合わせは、25℃と25‰(塩分25)であったとし、最大増殖温度である25℃における *C. antiqua* の増殖は10から35‰(塩分35)と極めて広い塩分範囲にわたって観察されたとしており、総合すると *C. antiqua* は広塩分性種であると判断されると述べている。今回の試験で塩分35のほうが高細胞密度が高かったが、これは *C. antiqua* が広塩分性種である特性によると考えられ、培養に用いる塩分35の滅菌海水を塩分30に調整するには蒸留水を加える必要があり手間がかかることから、あえて塩分を調整する必要はなく、通常得られる塩分35の滅菌海水をそのまま使用することで、大量培養に係る労力を軽減できるものと考えられる。

3) 培養開始時の細胞密度

培養開始時の *C. antiqua* の接種細胞密度を通気区同士と比較すると、最高細胞密度が1cell/mL接種区で50,000cells/mL、100cells/mL接種区が41,600

cells/mL とほぼ同等であったが、最高細胞密度に到達するまでの日数を比較すると、1cell/mL接種区が21日目であったのに対し、100cells/mL接種区は12日目と早かった(図2a, 2b)。岡市⁸⁾は、生物にとっての集合の利点について、繊毛虫の *Oxytricha* で、単独個体より複数個体の方が増殖率が高くなるというわれ、魚類などを含め、多くの生物について生態学的な観察がされていると述べている。

以上のことから今回の培養条件のうち、*C. antiqua* を栄養強化海水培地に100cells/mL接種し、通気して培養するのが有効と考えられる。

100cells/mL接種区と200cells/mL接種区とで比較した結果では、200cells/mL接種区は100cells/mL接種区より平均細胞密度が高くなると予想していたが、実際には200cells/mL接種区は一時増殖が停滞したこともあり、最終的な平均細胞密度は100cells/mL接種区とほぼ同等であった(図4)。200cells/mL接種区の増殖が一時停滞したが、培養した2基の細胞密度を比較すると、7日目は10,000cells/mLと10,400cells/mLでほぼ同等であったが、10日目に1基は12,400cells/mLと増加したが、もう1基は6,350cells/mLと細胞密度が約61%に減少した。それ以降は2基とも細胞密度が増加したが、この1基の細胞密度の減少が平均細胞密度に影響し、最終的な平均細胞密度が100cells/mL接種区とほぼ同等となった要因であった。測定した室温を見ると7日目が26.6℃であったのに対し、10日目は24.3℃と低下しており、このことが増殖に影響した可能性はあるが、200cells/mL接種区の残り1基と100cells/mL接種区の4基の細胞密度は増加していることから原因は不明である。

100cells/mL接種区と200cells/mL接種区の、最高細胞密度となったフラスコ同士を比較すると、両区の最終的な細胞密度はほぼ同等であったが、100cells/mL接種区は200cells/mL接種区より対数増殖期が長い傾向があった(図5)。そのため実際の *C. antiqua* の大量培養の際は、100cells/mLを接種して培養開始するほうが、*C. antiqua* 細胞の増殖活性の高い状態の期間が長く、曝露試験に供するのに適していると考えられる。

以上のとおり、*C. antiqua* の5L容フラスコを用いた大量培養に適した培養条件を検討した。

今回の試験結果から、栄養強化海水培地の塩分は調整する必要はなく35のままで使用し、培養開始

時の本種の細胞密度が 100cells/mL となるよう接種し、弱い通気によりガス交換を促すことで、本種の大量培養が可能になった。

また、*C. antiqua* をブリの曝露試験に供する際は、本種の活性が高いことが望ましいが、*C. antiqua* が最高細胞密度となる前の、増殖が活発である対数増殖期の細胞を使用することが望ましいものと考えられる。

2 ブリ曝露試験用の大量培養

2 回の培養では、それぞれ 5 L 容フラスコ 10 基を使用した、1 回目培養では総計 681,000,000cells、2 回目培養では総計 542,000,000cells の *C. antiqua* が得られた。これをブリに曝露することにより、ブリの *C. antiqua* に対する耐性を把握することができた。ブリに対する曝露試験を実施したのは 2010 年 3 月で、*C. antiqua* が通常赤潮化しない冬季である。*C. antiqua* を大量培養することにより、赤潮の発生の有無にかかわらず、任意の時期に曝露試験を実施することが可能となった。さらに、*C. antiqua* を大量に培養することで、より大型の水槽で曝露試験を実施できる。大型の水槽であれば、ブリも大型魚を供試することが可能となる。今回培養した *C. antiqua* は、200L 容角型水槽に海水を 100-150L 収容したものに、細胞密度が 300-1,400cells/mL になるよう収容した。ブリは体重約 600g のものを各 5 尾収容して試験を実施した。例えば海水 100L を *C. antiqua* の細胞密度が 1,000cells/mL になるようにするには、100,000,000cells の *C. antiqua* が必要となる。今回培養した細胞数では、5 水槽程度をまかなえることになる。

この *C. antiqua* の大量培養技術を用いることにより、赤潮発生現場でのブリ等に対する曝露試験だけでなく、任意の時期、任意の細胞密度で室内試験を実施することができ、*C. antiqua* 赤潮が発生しなくても、より多くの知見を得ることが可能となった。

しかしながら養殖業者は、赤潮に対する養殖魚の耐性、特に実際に彼らが養殖しているサイズの養殖魚（1kg 以上）についての知見を求めており、より大容量の水槽での曝露試験を実施する必要がある。現在では本稿による *C. antiqua* の培養試験による知見を進展させ、眞鍋ら²⁾によって 1kL ポリカーボネートタンクを用いた *C. antiqua* の大量培養の基本技術が確立するに至った。今後はこの技術を用い、より大型のブリを用いた曝露試験を実施して、*C.*

antiqua のブリに対する魚毒性の知見を蓄積することが重要と考えられる。

謝 辞

C. antiqua の大量培養試験に協力していただいた、当センター漁場環境部の皆様、及び栄養強化海水培地を作製するのに必要な、ろ過海水の滅菌処理作業に従事していただいた臨時職員の皆様に心から感謝申し上げます。

文 献

- 1) 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—養殖ブリに対する曝露試験—. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告. 2012; **3**: 34-36.
- 2) 眞鍋美幸, 西 広海, 川口吉徳. 有害ラフィド藻類 *Chattonella antiqua* の大量培養技術開発. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告. 2014; **5**: 15-17.
- 3) Guillard R R L. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In Smith W L and Chanley M.H (Eds.) *Culture of Marine Invertebrate Animals*. Plenum Press, New York, USA. 1975; 26-60.
- 4) Guillard R R L and Ryther J H. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve. *Can. J. Microbiol.* 1962; **8** : 229-239.
- 5) 今井一郎. ラフィド藻類における分類と同定の問題点—生態研究の立場から—. 日本プランクトン学会報 2000; **47**(1): 55-64.
- 6) Yamamoto Y and Nakahara H. Competitive dominance of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in nutrient-rich culture conditions with social reference to dissolved inorganic carbon uptake. *Phycological Research*. 2005; **53**: 201-208.
- 7) 山口峰生, 今井一郎, 本城凡夫. 有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C. marina* の増殖速度に及ぼす水温, 塩分および光強度の影響. 日本水産学会誌 1991; **57**: 1277-1284.
- 8) 岡市友利. 培養中にみられる鞭毛藻類のパッチ形成について. 海洋科学 1979; **11**: 650-654.

資料 マチ類の標識放流技術と放流及び再捕記録

宍道弘敏, 久保 満, 神野公広¹

¹ 商工労働水産部水産振興課

マチ類 4 種（アオダイ *Paracaesio caerulea*, ヒメダイ *Pristipomoides sieboldii*, オオヒメ *Pristipomoides filamentosus*, ハマダイ *Etelis coruscans*）の標識放流技術を確立し, 移動回遊生態の把握を試み, 資源回復計画の円滑な推進に資することを目的として 2005-2017 年度に標識放流調査を実施した。その結果, アオダイ 1,581 尾, ヒメダイ 64 尾, オオヒメ 79 尾, ハマダイ 108 尾を放流し, アオダイ 11 尾（再捕率 0.7 %）, ヒメダイ 1 尾（同 1.6 %）, オオヒメ 3 尾（同 3.8 %）の再捕報告が得られた。これまでに再捕報告が得られていないハマダイは, 他の 3 種よりも生息水深が深いため, 生息水深と海面との急激な水圧差や水温差の影響で活力の良好なサンプルの確保が難しく, 放流実績そのものが少ないことに加え, 放流後生息水深帯まで潜行する際も他の 3 種より減耗しやすいことから, 漁業者の再捕に繋がりにくいものと推察された。本調査により, アオダイ, ヒメダイ, オオヒメの標識放流技術はある程度確立できたものと考えられた。今後はハマダイの放流技術を確立するため, 放流後の行動追跡調査などを実施する必要がある。

主に水深 100 - 400 m で漁獲される深海性フエダイ科魚類のアオダイ, ヒメダイ, オオヒメ, ハマダイの 4 種はマチ類と呼ばれ, 我が国では伊豆諸島, 紀伊半島以南, 種子島・屋久島以南の南西諸島周辺に分布しており, ¹⁾これら島嶼域の沿岸漁業にとって重要な水産資源である。マチ類は, 南西諸島海域において資源回復計画（現 広域資源管理）の対象となっており, ²⁾漁業者らの自主的取組として, 鹿児島及び沖縄県の地先海域に合計 24 箇所の保護区が設定されている（2018 年 11 月現在）。しかし, マチ類の移動回遊生態については, 沖縄県が標識放流したオオヒメ 2 尾の再捕例 ³⁾などわずかな知見しかなく, ほとんど解明されていない。そのため, 成長に伴う保護区からの移動の可能性や最適な保護区設定のあり方等について議論に資する情報はほとんどない。当センターは, これらマチ類 4 種の標識放流技術を確立し, 移動回遊生態の把握を試み, 資源回復計画の円滑な推進に資することを目的として 2005 年から標識放流調査を開始した。ここでは, これまでの調査結果から, 現時点で最良と考えられるマチ類の標識放流技術と, これまでの放流及び再捕の実績を整理し, 併せて報告する。

材料及び方法

2005 - 2017 年度に, 奄美海域のアッタ曾根, 国頭岬沖, ファーゾネ及び熊毛海域の屋久新曾根, オジカ瀬, 下のだんとうにおいて, アオダイ 1,581 尾, ヒメダイ 64 尾, オオヒメ 79 尾, ハマダイ 108 尾を標識放流した（表 1, 図 1）。使用船舶はのべ 13 隻（2.8-7.9t）の漁船と鹿児島県漁業調査船「おおすすめ（総トン数 63 トン）」及び「くろしお（総トン数 260 トン）」で, 方法は以下によった。

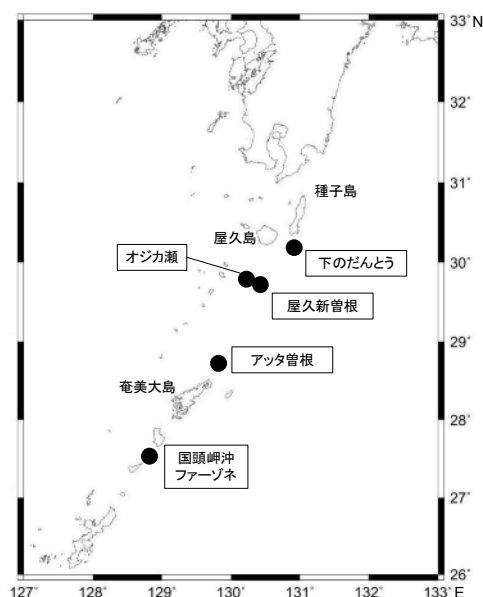


図 1 鹿児島県海域におけるマチ類標識放流位置

表1 鹿児島県海域におけるマチ類標識放流実績

放流年月日	放流場所	使用船舶	魚 種			
			アオダイ	ヒメダイ	オオヒメ	ハマダイ
2005.7.10-12	奄美大島北東沖 (アッタ曾根)	奄美漁協所属漁船	226	1	-	-
2006.8.30-9.2	奄美大島北東沖 (アッタ曾根)	奄美漁協所属漁船	346	-	9	-
2006.9.28	屋久島南沖 (屋久新曾根)	鹿児島県漁業調査船 「おおすみ」	-	-	-	4
2007.7.20-22	奄美大島北東沖 (アッタ曾根)	奄美漁協所属漁船	269	15	11	-
2007.10.2-3	屋久島南沖 (屋久新曾根)	鹿児島県漁業調査船 「おおすみ」	-	-	-	9
2008.8.22-26	種子島南沖 (下のだんとう)	南種子町漁協所属漁船	112	5	1	-
2009.7.27-8.31	種子島南沖 (下のだんとう)	南種子町漁協所属漁船	263	34	45	-
2010.9.29-10.1	種子島南沖 (下のだんとう)	南種子町漁協所属漁船	198	5	10	-
2011.8.21-24	沖永良部島北東沖 (国頭岬沖)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	48	1	1	-
2012.9.8-12	沖永良部島北東沖 (国頭岬沖)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	100	2	2	-
2013.9.12-13	沖永良部島北東沖 (国頭岬沖)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	18	-	-	-
2014.9.17-19	屋久島南西沖 (オジカ瀬)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	-	-	11
2015.9.4-5	屋久島南西沖 (オジカ瀬)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	-	-	16
2015.11.12-14	沖永良部島北東沖 (ファーズネ)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	-	-	3
2015.12.19-20	屋久島南西沖 (オジカ瀬)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	-	-	16
2016.10.20	沖永良部島北東沖 (ファーズネ)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	-	-	1
2016.12.8-9	屋久島南西沖 (オジカ瀬)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	-	-	12
2017.3.12	沖永良部島北東沖 (ファーズネ)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	-	-	1
2017.5.18-19	沖永良部島北東沖 (ファーズネ)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	1	-	7
2017.8.23-24	屋久島南西沖 (オジカ瀬)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	-	-	-	18
2017.9.26	屋久島南西沖 (オジカ瀬)	鹿児島県漁業調査船 「くろしお」	1	-	-	10
合 計			1,581	64	79	108

1 サンプルの収集

一本釣り漁法によりサンプルを釣獲した。マチ類は水深 100 m 以深に生息するため、急激な水圧変化による眼球突出等の活力低下または斃死要因をなるべく除去するため、釣糸の巻き上げ速度を通常の釣獲時より遅い約 1ms^{-1} とした。魚体への負担軽減の観点から、船上への取り上げには極力タモ網を用いた。

2 エア抜き

釣獲したサンプルを 18°C 以下に冷却した海水中に収容し、水圧差による鰾の膨張が認められる場合は、体側から注射針（テルモ株式会社製テルモカテラン針、 $0.65 \times 32\text{mm}$ (NN-2332S)、 $0.70 \times 70\text{mm}$ (NN-2270C)、 $0.90 \times 70\text{mm}$ (NN-2070C)) を穿刺し、延長チューブ（テルモ株式会社製テルモサフィード延長チューブ、SF-ET0525）で接続した注射器（テルモ株式

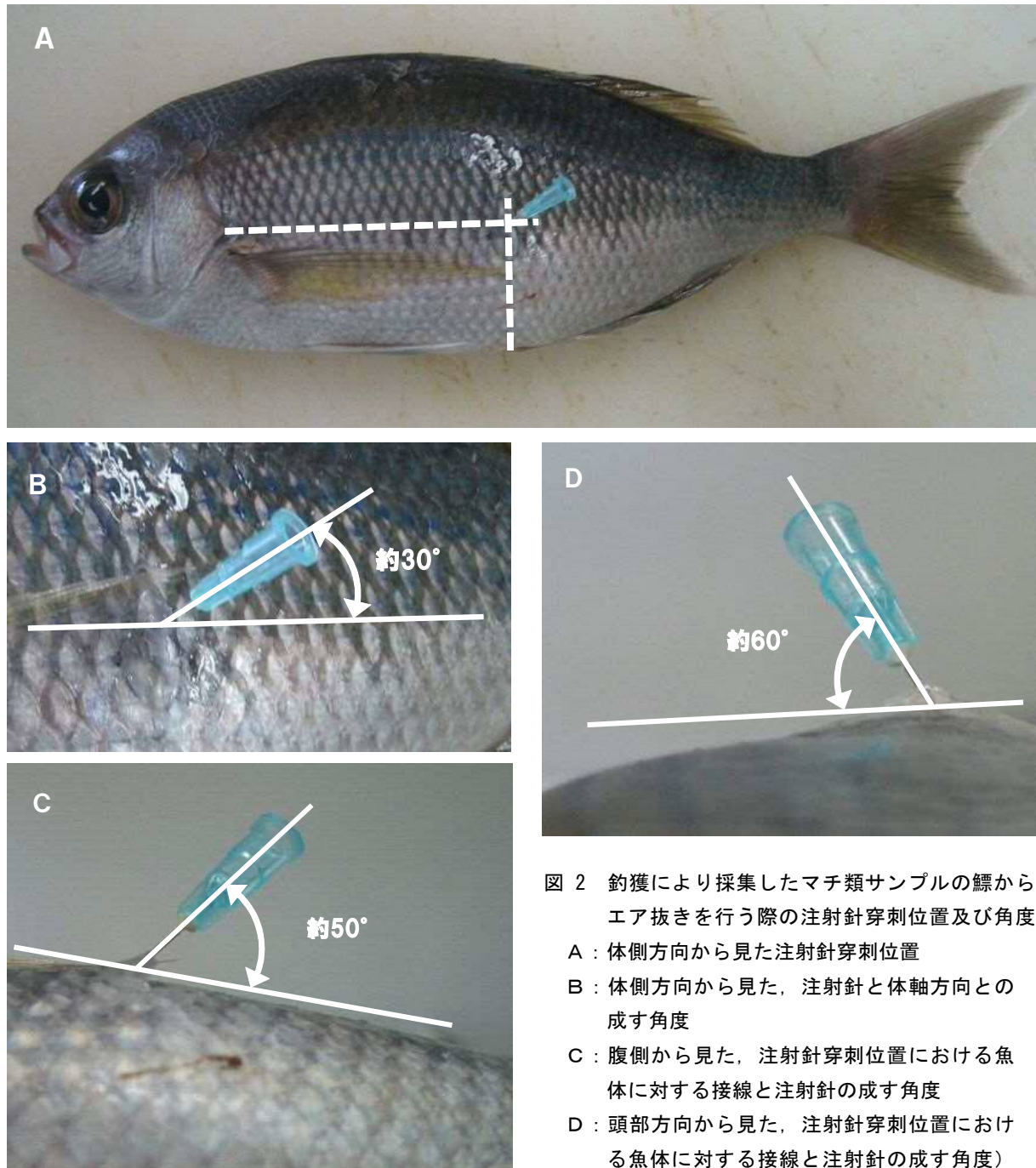


図 2 釣獲により採集したマチ類サンプルの鰾からエア抜きを行う際の注射針穿刺位置及び角度
A : 体側方向から見た注射針穿刺位置
B : 体側方向から見た, 注射針と体軸方向との成す角度
C : 腹側から見た, 注射針穿刺位置における魚体に対する接線と注射針の成す角度
D : 頭部方向から見た, 注射針穿刺位置における魚体に対する接線と注射針の成す角度)

会社製テルモシリッジ, SS-50ESZ) を用いて鰾からエアを抜いた。注射針のサイズは魚体サイズに応じて適宜選択した。注射針の穿刺にあたっては内臓を傷付けぬよう慎重に行った。

注射針の穿刺位置及び角度を図 2, エア抜きの様子を図 3 に示す。エア抜きは注射針を魚体に穿刺する者と注射器でエアを抜く者の 2 者がペアになって行った (図 3)。針の先端を穿刺する位置は、鰾蓋骨後端から後方に延ばした線と肛門から体軸に下ろし

た垂線の交点付近を目安とした (図 2A)。この位置に注射針の先端を穿刺するため、これよりやや後方の鱗と鱗の隙間から針を寝かせて差し込み、注射針の先端が穿刺位置に達したら、図 2B-D の角度を目安として、鱗を持ち上げつつ注射針を立てて体内に穿刺した。針の先端が鰾に達すると、針先でプツンと膜を突き破る感覚が指先に伝わる場合があった。注射針の先端が鰾内部に達すると、注射器のプランジャーを引くことによって容易にエアが抜けるよう

になった。注射器のプランジャーを引いても全くエアが抜ける感覚が得られない場合や、注射針が骨に当たってそれ以上穿刺できない場合は、注射針の穿刺位置を変えて穿刺をやり直した。

なお、ハマダイの場合、釣獲後に収容する冷海水の温度を他の3種と同様の18℃以下に設定すると、収容直後に硬直し斃死する場合があった。そのような場合は、海面水温との温度差を4℃程度に設定することにより硬直死を回避できる場合があった。

3 胃反転戻し・脱腸戻し

鰯の膨張に伴う胃の反転が認められる場合は、樹脂製の棒数種（アズワン株式会社製、PFA 攪拌棒φ7×202mm、ケミフロン攪拌棒φ7×200mm、φ9×300mm、POM 製攪拌棒φ8×250mm、φ10×300mm、φ12.5×300mm）を魚体サイズに応じて使用し、胃を体内に押し戻した。胃を戻す際に力を入れすぎると胃を突き破る場合があったため、慎重に行

った（図4）。また、肛門から腸が突出している場合（脱腸）も同様に押し戻した。内臓を傷付けてしまった個体や復元に失敗した個体は放流しなかった。

胃反転戻しの際、スムーズに反転を戻せる場合と戻せない場合があった。後者の場合、2のエア抜きを再度行くとスムーズに胃反転を戻せる場合があった。

なお、調査開始当初は胃反転戻しにガラス製の棒を用いていたが、サンプル魚が暴れて棒が折れ、危険を伴う場合があったため、樹脂製の棒に変更した。

4 標識装着

冷海水中でしばらく静置した後、活力が良好と思われる個体のみ標識を施した（図5）。標識にはスパゲティ型アンカータグ2本（Hallprint 社製、TBF-2（タグ長50mm））又はダートタグ1-2本（Hallprint 社製、PDX（タグ長60mm）、PDS（同90mm）、PDA（同140mm））を用い、背鰭基部付近に装着した。



図3 エア抜きの様子



図5 標識装着の様子



図4 胃反転戻しの様子



図6 尾叉長測定及び傷口消毒の様子

5 尾叉長測定及び消毒

尾叉長を1 cmまたは0.5 cm単位で測定し、標識装着部と注射針穿刺部に0.1 %アクリノール液（大成薬品工業株式会社製）を滴下して傷口を消毒した（図6）。

6 放流

なるべく頭部から入水するように直接又はタモ網で静かに放流した。放流後はサンプルの潜行を確認し、潜行できずに浮上した個体は回収した。

なお、釣獲後から放流までの作業は、手からサンプル魚への体温の伝導や雑菌の伝播を防ぐため、ビニール又はゴム製手袋を装着して行った。

結 果

2018年12月までに、アオダイ11尾、ヒメダイ1尾、オオヒメ3尾が漁業者によって再捕され、再捕率はそれぞれ0.7 %、1.6 %、3.8 %であった。ハマダイは再捕がなかった（表2）。

再捕されたアオダイ11尾のうち2尾、オオヒメ3尾のうち2尾は、放流地点から40 - 150 km離れた遠隔地での再捕であったが、その他は放流地点周辺での再捕であった（表2、図7）。

再捕されたアオダイ11尾のうち4尾、オオヒメ3尾のうち2尾が、放流後1年以上経過後の再捕であったが、再捕までの期間が1,046日と最も長かった

アオダイは、放流地点周辺での再捕であった（表2）。

放流から再捕までの経過日数が100日を超える再捕魚に着目すると、再捕魚の日間成長はアオダイで0.04 - 0.19 mm/日、オオヒメで0.28 - 0.30 mm/日となり、オオヒメの日間成長はアオダイより大きかった（表2）。

考 察

マチ類のうちアオダイ、ヒメダイ、オオヒメについては、再捕率は低いものの、異なる海域、船舶、標識、施術者で放流を実施し、再捕が確認されたことから、これら3種の標識放流技術は概ね確立できたものと考えられる。アオダイ及びオオヒメでは放流後1年以上経過した後に再捕された事例も確認されており（表2）、この標識放流技術により放流後長期間生存可能であることが分かった。この標識放流技術は、深海に生息する他魚種への応用も期待される。今後は、引き続き放流を継続するとともに、他の海域でも同様の放流調査を実施し、再現性を検証する必要がある。

これまでに放流したハマダイが再捕されていない要因として、ハマダイが他の3種よりも生息水深が深い¹⁾ため、生息水深と海面との急激な水压差や温度差の影響で活力の良好なサンプルの確保が難しく放流実績そのものが少ないこと、放流後生息水深帯まで潜行する際も他の3種より減耗しやすいこと等が考えられる。ハマダイの標識放流技術を確立するには、超音波テレメトリー手法やアーカイバルタグ

表2 鹿児島県海域で標識放流したマチ類の再捕実績

魚種	放流日	放流場所	放流サイズ 尾叉長 (cm)	再捕日	再捕場所	再捕サイズ 尾叉長 (cm)	経過日数	移動距離	日間成長 (mm/日)
アオダイ	2005. 7. 12	アッタ曾根	26.5	2005. 11. 27	アッタ曾根	27.0	138	ほとんどなし	0.04
アオダイ	2005. 7. 10	アッタ曾根	25.0	2005. 11. 27	アッタ曾根	27.0	140	ほとんどなし	0.14
アオダイ	2005. 7. 12	アッタ曾根	27.0	2005. 11. 29	アッタ曾根	28.1	140	ほとんどなし	0.08
アオダイ	2006. 8. 31	アッタ曾根	28.0	2007. 3. 26	アッタ曾根	30.0	207	ほとんどなし	0.10
アオダイ	2006. 8. 30	アッタ曾根	29.0	2007. 9. 26	シビ曾根	33.0	392	150km	0.10
アオダイ	2006. 8. 31	アッタ曾根	27.0	2007. 11. 1	大島新曾根	32.0	427	40km	0.12
アオダイ	2009. 7. 27	下のだんとう	28.5	2009. 8. 16	下のだんとう	28.5	20	ほとんどなし	0.00
アオダイ	2009. 7. 31	下のだんとう	24.5	2009. 9. 10	下のだんとう	24.5	41	ほとんどなし	0.00
アオダイ	2009. 8. 30	下のだんとう	26.0	2010. 9. 17	下のだんとう	30.8	383	ほとんどなし	0.13
アオダイ	2010. 9. 29	下のだんとう	21.0	2013. 8. 10	下のだんとう	41.2	1,046	ほとんどなし	0.19
アオダイ	2011. 8. 22	国頭岬沖	28.5	2012. 8. 14	国頭岬沖	31.7	358	ほとんどなし	0.09
ヒメダイ	2009. 8. 1	下のだんとう	25.5	2009. 8. 24	下のだんとう	不明	23	ほとんどなし	-
オオヒメ	2007. 7. 22	アッタ曾根	23.0	2008. 8. 6	白浜曾根	33.6	381	93km	0.28
オオヒメ	2007. 7. 20	アッタ曾根	22.0	2008. 12. 18	アッタ曾根南	37.4	517	ほとんどなし	0.30
オオヒメ	2011. 8. 21	国頭岬沖	43.0	2011. 10. 25	伊平屋島西沖	42.5	65	86km	-

等の記録型標識を用いたバイオリギング技術を活用して放流後のハマダイの行動を観察し、本手法によるハマダイ放流魚が釣獲前の生息水深帯まで到達できているか、またその後生残できているか等について確認する必要がある。

アオダイでは放流地点から 40 km 及び 150 km, オオヒメでは 86km 及び 93km 離れた遠隔地での再捕が確認された(表 2, 図 7)。これは、マチ類は瀬付きの魚で大きな移動回遊はしないと考えられてきた漁業者の認識とは異なる結果であったため、本知見は資源回復方策を検討するうえで重要な示唆を与える。

なお、これら遠隔地での再捕事例を、放流地点と再捕地点の間の海底形状の観点から考察すると、アッタ曾根で放流し大島新曾根やシビ曾根で再捕されたアオダイの事例では、放流地点と再捕地点の間に通常アオダイが生息しない 400m 以深の水深帯が存在する(図 7)。また、オオヒメにおける、アッタ曾根で放流し白浜曾根で再捕された事例及び国頭岬沖で放流し沖縄県伊平屋島西沖で再捕された事例では、

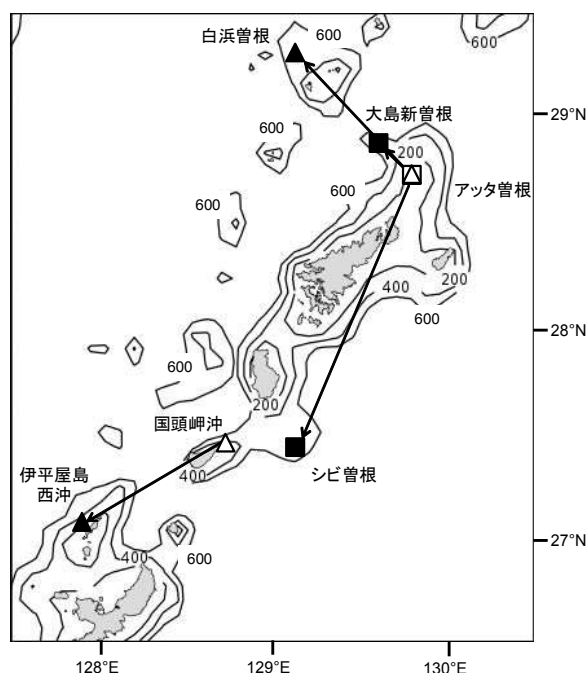


図 7 アオダイ及びオオヒメの遠隔地再捕事例における放流・再捕位置

□ : アオダイ放流位置, ■ : アオダイ再捕位置
△ : オオヒメ放流位置, ▲ : オオヒメ再捕位置
等深線は 200m 間隔で 600m まで表示した。

放流地点と再捕地点の間に通常オオヒメが生息しない 600m 以深の水深帯が存在する(図 7)。この間を、これらアオダイやオオヒメ放流魚がどのように移動したのか、すなわち、海底に沿って移動したのか、海底を離れて中層を移動したのか、今回用いたダートタグなどの通常標識による標識放流調査では明らかにすることはできない。この点は、今後、標識魚の生息水深や環境水温などの移動回遊履歴を記録できるアーカイバルタグなどの記録型標識を用いた研究を行うことにより解明されることが期待される。

謝 辞

マチ類標識放流調査に着手するにあたり、佐藤圭一氏をはじめとする沖縄美ら海水族館職員の皆様からマチ類の活魚釣獲及び輸送に関する基礎技術を提供して頂き、懇切丁寧にご指導頂いた。心より深謝の意を表す。マチ類標識放流調査の実施にあたり、格別のご理解とご協力を賜った奄美漁業協同組合及び南種子町漁業協同組合の職員及び所属漁業者の皆様に、心より厚く御礼申し上げる。また、本調査にご協力頂いた、鹿児島県漁業調査船くろしお及び鹿児島県漁業調査船(現 漁業指導取締兼調査船)おおよみの乗組員の皆様に、心より感謝申し上げます。本研究の大部分は、水産庁の我が国周辺水域資源評価等推進委託事業により実施された。

文 献

- 1) 下瀬 環, 青沼佳方, 林原 毅. 平成 29 年度マチ類(奄美・沖縄・先島諸島)の資源評価. 平成 29 年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 第 3 分冊, 水産庁・水産総合研究センター. 2018 ; 1314-1347.
- 2) 宋道弘敏. マチ類資源回復に向けた取り組み I . 沿岸域における漁船漁業ビジネスモデル研究会ニュースレター, 水産総合研究センター開発調査センター, 横浜. 2015 ; 18 : 2-3.
- 3) 上原匡人, 青沼佳方, 山田真之, 中村博幸, 平手康市, 岩本健輔, 太田 格, 海老沢明彦. 北大九曾根保護区の試験操業結果 II (アオダイ等資源回復推進調査, マチ類資源評価・資源回復調査, 資源管理体制推進事業, 生物情報収集調査). 平成 24 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書. 2013 ; 74 : 61-65.

試 験 研 究 業 績

外 部 へ の 発 表
(平成 27, 28, 29, 30 年度)

【学会誌】

柳 宗悦・前野幸二・今岡慶明・嶋原佳子・三輪 理・大迫典久 (2015). 鹿児島県内における養殖カンパチの眼球炎の発生傾向について. 魚病研究 **50**(1), 29-32.

小路口拓輝 (2017). 鹿児島県の事例～フェリー情報等～. 水産海洋研究 **81**(2), 65-66.

Mochizuki Y, Yamada R, Shishido H, Masuda Y, Nakai S, Takai N, Itoi S, Sugita H. (2017) Complete mitochondrial genome of the genus Scombrops (Teleostei, Scombroidae) from southern waters off Kyushu Island, Japan. Mitochondrial DNA Part B, **2**(1), 106-108.

保 聖子, 折田和三, 木村郁夫 (2017). ゴマサバの蓄養可能期間の検討. 日本水産学会誌 **83**(3), 392-399.

保 聖子, 里見正隆, 舊谷亜由美, 仁部玄通, 稲盛重弘, 木村郁夫 (2017). うるめいわし丸干における柑橘精油添加によるヒスタミン蓄積抑制効果について. 日本水産学会誌 **83**(5), 769-776.

宋道弘敏 (2018). ブリの資源変動と環境変動の関係. 水産海洋研究 **82**(1), 37-38.

水野紫津葉, 小松輝久, 宋道弘敏 (2018). 太平洋側へのモジャコの輸送. 水産海洋研究 **82**(1), 46-47.

天野裕平 (2018). 鹿児島県海域におけるマイワシ資源の状況. 水産海洋研究 **82**(2), 72-73.

Itoi S, Mochizuki Y, Tanaka M, Oyama H, Tsunashima T, Yamada R, Shishido H, Masuda Y, Nakai S, Takai N, Fukushima H, Abe K, Kojima T, Sugita H. (2018). Species composition of the genus Scombrops (Teleostei, Scombroidae) in the waters around the Japanese archipelago: detection of a cryptic species. Mitochondrial DNA Part A, **29**(8), 1293-1300.

仁部玄通 (2018). メダイ凍結保管中の品質変化について－離島における急速凍結技術の活用－. 冷凍, **93**(1089), 437-440.

保 聖子, 藤田 聡, 緒方由美, 木村郁夫 (2018). イワシ類稚仔魚の冷蔵保存中の自己消化. 日本水産学会誌 **84**(1), 103-110.

Terada R, Nakahara K, Ann Borlongan I, Watanabe Y, Mine T, Morikawa T, Igari T, Nishi H, Endo H, Gregory N. Nishihara (2018). Combined effects of irradiance and temperature on the *PSII* photochemical efficiency in the heteromorphic life history stages of cultivated *Pyropia* (Bangiales): *P. yezoensis* *F. narawaensis* and *P. tenera* from Japan. *Journal of*

【書籍・雑誌等】

宍道弘敏, 亘 真吾, 田 永軍, 水野紫津葉, 小松輝久 (2016). 鹿児島県海域におけるモジャコ来遊量変動とブリ新規加入量の関係. 月刊海洋 **48**(11), 487-489.

宍道弘敏, 水野紫津葉, 小松輝久 (2016). 鹿児島県海域における流れ藻来遊量・来遊時期の変動とその要因. 月刊海洋 **48**(11), 490-493.

水野紫津葉, 宍道弘敏, 小松輝久 (2016). 晩冬から初春の東シナ海流れ藻分布と輸送シミュレーション. 月刊海洋 **48**(12), 512-516.

保 聖子 (2016). サバ類への短期蓄養の有効性と鹿児島県における付加価値販売の取り組み. 月刊養殖ビジネス **669**, 14-15.

柳 宗悦 (2016). *Lactococcus garvieae* II (非凝集型) の発生動向とワクチン開発の方向性. 月刊養殖ビジネス **670**, 22-25.

柳 宗悦 (2016). 鹿児島県におけるニホンナマズの魚病発生動向と対策. 月刊養殖ビジネス **672**, 22-26.

亘 真吾, 米沢純爾, 武内啓明, 加藤正人, 山川正巳, 萩原快次, 越智洋介, 米崎史郎, 藤田 薫, 酒井 猛, 猪原 亮, 宍道弘敏, 田中栄次 (2017). キンメダイの資源生態と資源管理. 水産機構研報 **44**, 1-46.

宍道弘敏 (2017). ブリの資源変動要因と近年の動向. 月刊海洋 **49**(7), 349-351.

村田圭助 (2017). 粘土散布による赤潮防除効果のメカニズムと改良粘土の開発. 月刊養殖ビジネス **679**, 17-19.

矢野浩一 (2018). 八代海における赤潮モニタリング. 月刊養殖ビジネス **691**, 49-53.

柳 宗悦 (2018). よくわかる！魚病対策と水産用医薬品―第1章魚種別にみる疾病発生動向と対策, 月刊養殖ビジネス臨時増刊号 **693**, 15-18.

【学会発表】

(口頭)

柳 宗悦, 今岡慶明, 米加田徹, 西岡豊弘, 藤本 宏, 有元 操, 森広一郎. ブリ類養

殖におけるべこ病原因微胞子虫のモニタリング-IVーカンパチべこ病の感染を軽減できる時期・種苗サイズの把握ー. 平成 28 年度年度日本魚病学会春季大会.

柳 宗悦, 今岡慶明, 川上秀昌, 原川翔伍, 南 隆之, 嶋原佳子, 湯浅 啓, 森広一郎. カンパチ眼球炎の薬剤治療効果に関する研究. 平成 28 年度年度日本魚病学会春季大会.

柳 宗悦, 今岡慶明, 嶋原佳子, 湯浅 啓. カンパチ眼球炎の発症要因に関する研究ーイソギンチャクの刺傷による影響試験ー. 平成 28 年度年度日本魚病学会秋季大会.

笠間康広, 柳 宗悦, 吉田照豊. DGGE 解析を用いた *Nocardia seriolae* 16-23S rRNA ITS の多様性に関する研究. 平成 28 年度年度日本魚病学会秋季大会.

大林和哉, 福田 穰, 柳 宗悦, 南 隆之, 西木一生, 吉田照豊. *Lactococcus garvieae* II 型の疫学情報. 平成 28 年度年度日本魚病学会秋季大会.

保 聖子, 里見正隆, 本田亜由美, 仁部玄通, 稲盛重弘, 木村郁夫. イワシ丸干品製造工程におけるヒスタミンの蓄積及びその抑制方法. 平成 28 年度年度日本水産学会秋季大会.

水野紫津葉, 宍道弘敏, J. B. Filippi, 田中 潔, 広瀬直毅, 小松輝久. 東シナ海大陸棚上に分布する流れ藻の DREAMS DR_M を利用した起源推定. 2016 年度日本海洋学会秋季大会.

水野紫津葉, 宍道弘敏, 小松輝久. 春季鹿児島県海域に出現する流れ藻の起源推定. 2016 年度水産海洋学会研究発表大会.

宍道弘敏. 深海性フエダイ科魚類ハマダイの移動回遊生態解明 1 ～標識放流技術と放流実績～. 平成 29 年度日本水産学会春季大会.

奥山準一, 宍道弘敏, 田邊智唯. 深海性フエダイ科魚類ハマダイの移動回遊生態解明 2 ～超音波テレメトリーによる行動追跡～. 平成 29 年度日本水産学会春季大会.

芦田拓士, 中野正明, 竹井光広, 東 明浩, 平山仁斗, 市原 肇. 薩南・九州西方沖海域におけるカツオ雌の産卵生態. 平成 29 年度日本水産学会春季大会.

保 聖子, 仁部玄通, 和田和彦, 小路口拓輝, 稲盛重弘, 木村郁夫. シラス（イワシ稚魚）の冷凍保存における魚体の自己消化. 平成 29 年度日本水産学会春季大会.

宍道弘敏, 斎藤真美, 中川雅弘. 奄美海域産スジアラの資源管理に向けた基礎生態研究

1 ～成長と成熟～. 2017 年度水産海洋学会研究発表大会.

大脇瑠莉, 加古真一郎, 宍道弘敏, 広瀬直毅. 奄美海域産スジアラの資源管理に向けた基礎生態研究 2 ～粒子追跡モデルによる卵仔魚輸送過程の推定～. 2017 年度水産海洋学会研究発表大会.

脇谷量子郎, 今吉雄二, 海部健三. 天然および養殖ニホンウナギの競合試験. 平成 30 年度日本水産学会春季大会

柳 宗悦, 福留 慶, 和田和彦, 川上秀昌, 原川翔伍, 白樫正(近大水研), 佐藤 純, 坂井貴光, 米加田徹, 山崎雅俊, 伊東尚史, 西岡豊弘, 森広一郎. ブリ類のべこ病治療薬の探索. 平成 30 年度日本魚病学会春季大会.

尾山 輝, 糸井史朗, 上田紘之, 望月裕香子, 田中みの梨, 杉田治男, 宍道弘敏, 増田育司. ミトコンドリア DNA 塩基配列に基づくムツ属魚類の分類に関する研究. 平成 30 年度日本水産学会秋季大会.

庄野 宏, 天野裕平, 櫻井正輝. ディープラーニングを利用した鹿児島県におけるシラス漁況予測の試み. 平成 30 年度日本水産学会秋季大会.

岩下航大, 加古真一郎, 宍道弘敏, 広瀬直毅. 奄美海域産スジアラの資源管理に向けた基礎生態研究 3 ～双方向粒子追跡モデルによる産卵場推定～. 2018 年度水産海洋学会研究発表大会.

宍道弘敏, 亘 真吾. 奄美海域産スジアラの資源診断. 2018 年度水産海洋学会研究発表大会.

石川和雄, 伊藤幸彦, 渡邊千夏子, 亀田卓彦, 福元亨介, 渡慶次力, 堀江ひかり, 橋田大輔, 大河俊之, 武田崇史, 久野正博, 鈴木勇己, 高村正造. マアジ卵稚仔の黒潮沿岸域への輸送過程－漁獲資料解析による推定－. 2018 年度水産海洋学会研究発表大会.

庄野 宏, 西 広海, 高杉朋孝, 宮田翔也, 森島義明. 気象データを利用した機械学習・深層学習による八代海の赤潮予測. 2018 年度水産海洋学会研究発表大会.

(ポスター)

Mochizuki Y, Tanaka M, Tsunashima T, Shishido H, Masuda Y, Nakai S, Takai N, Itoi S, Sugita H. Undescribed gnomefish species found from the waters around Japanese Islands. 7th World Fisheries Congress. Busan. South Korea, 2016.

望月裕香子, 山田理子, 糸井史朗, 増田育司, 宍道弘敏, 高井則之, 中井静子, 杉田治男. ムツ属魚類未記載種の mtDNA 全塩基配列の決定. 平成 29 年度日本水産学会春季大会.

柳 宗悦, 福留 慶, 稲盛重弘, 和田和彦, 今岡慶明, 有元 操, 米加田徹, 藤本 宏, 森広一郎. ブリ類のべこ病のシスト形成に関する疫学調査. 平成 29 年度日本魚病学会春季大会.

糸井史朗, 望月裕香子, 田中みの梨, 宍道弘敏, 増田育司, 中井静子, 高井則之, 杉田治男. ムツ属魚類の簡易種判別法の開発. 第 19 回マリンバイオテクノロジー学会, 2017.

Tamotsu S, Hujita S, and Kimura I. Postmortem autodigestion of juvenile body of sardines during cold storage. 2017 International Symposium (Fisheries Science for Future Generations) .

福元亨介, 黒田啓行. 薩南海域の旋網におけるゴマサバの漁況予測手法の検討. 2018 年度水産海洋学会研究発表大会.

【シンポジウム等発表】

宍道弘敏. ブリの資源変動と環境変動の関係. 第 4 回南九州水産海洋研究集会「ブリ資源について考える～資源研究と漁業の視点から～」, 2016.

水野紫津葉, 小松輝久, 宍道弘敏. 太平洋側へのモジャコの輸送. 第 4 回南九州水産海洋研究集会「ブリ資源について考える～資源研究と漁業の視点から～」, 2016.

小路口拓輝, 種子田雄. 志布志湾への外洋水流入に伴う海況変動. 第 105 回対馬暖流系アジ・サバ・イワシ長期漁海況予報会議, 2016.

宍道弘敏. ブリの資源変動要因と近年の動向. 東京大学大気海洋研究所共同利用シンポジウム「変動期に入った日本周辺海域の漁業資源」, 2016.

小路口拓輝, 天野裕平. 鹿児島県海域におけるマイワシの漁獲変動. 平成 28 年度九州・山口ブロック漁業・資源分科会.

天野裕平. 海上馴致による放流マダいの種苗性向上の検討. 平成 28 年度九州・山口ブロック海面増殖分科会.

柳 宗悦, 福留 慶. 養殖カンパチで確認された真菌症. 平成 28 年度九州・山口ブロック魚病分科会.

柳 宗悦, 福留 慶. ブリ類のべこ病の疫学調査の取組事例. 平成 28 年度九州・山口ブロック魚病分科会.

柳 宗悦. ブリ類のべこ病の疫学情報について. 平成 28 年度ブリ類の難治癒疾病連絡協議会.

柳 宗悦, 福留 慶. ブリ類のべこ病の疫学情報について. 平成 28 年度魚病症例研究会

柳 宗悦, 福留 慶. 養殖カンパチで確認された真菌症. 平成 28 年度魚病症例研究会

柳 宗悦, 福留 慶. ノカルジア症 α -グルコシダーゼ陽性株及び *Lactococcus garvieae* II 型の疫学情報. 平成 28 年度南中九州・西四国水族防疫会議.

保 聖子, 里見正隆, 本田亜由美, 仁部玄通, 稲盛重弘, 木村郁夫. イワシ丸干品製造工程におけるヒスタミン蓄積とその抑制方法. 平成 28 年度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.

仁部玄通. メダイ凍結保管中の品質変化について. 平成 28 年度九州・山口ブロック利用加工分科会.

猪狩忠光. 奄美海域で見られたホンダワラの増殖方法と植食性魚類. 平成 28 年度九州・山口ブロック磯焼け・藻場造成分科会

東條智仁. 奄美のリーフ性藻場における藻場形成について. 平成 28 年度瀬戸内海ブロック水産業関係研究開発推進会議生産環境部会藻類情報交換会

猪狩忠光. 鹿児島県指宿市岩本地区の藻場回復（造成）の取組. 平成 28 年度磯焼け対策全国協議会

矢野浩一. 鹿児島産 *Dictyocha octonaria* の養殖魚に対する影響試験結果について. 平成 28 年度九州・山口ブロック漁場環境分科会

小路口拓輝・種子田雄. 西薩海域におけるカタクチシラス春漁と暖水波及との関係. 平成 29 年度中央ブロック資源海洋調査研究会.

福元亨介. 鹿児島県海域におけるマサバの漁獲に関する一考察. 平成 29 年度中央ブロック資源海洋調査研究会.

宍道弘敏. 都道府県別ブリ類漁獲量の変動係数と緯度の関係. 平成 29 年度中央ブロッ

ク資源海洋調査研究会.

天野裕平. 鹿児島県海域におけるマイワシ資源の状況. 第5回南九州水産海洋研究集会
「マイワシ資源について考える～今後の資源動向を見越した有効活用の視点から～」,
2017.

櫻井正輝. 鹿児島県海域におけるバショウカジキ漁と海況の関係. 平成 29 年度九州・
山口ブロック漁業・資源分科会.

仁部玄通. 鮮魚の低酸素水浸漬処理について. 平成 29 年度九州・山口ブロック利用加
工分科会.

仁部玄通. 水産技術開発センターの機能紹介とマグロ類の血合肉すり身化技術. 平成 29
年度鹿児島県食品加工研究機関成果発表会.

今吉雄二. スジアラ種苗生産技術開発について. 平成 29 年度九州・山口ブロック海面
増殖分科会.

柳 宗悦, 福留 慶. ベコ病の疫学情報について. 平成 29 年度九州・山口ブロック魚
病分科会.

柳 宗悦, 福留 慶. ブリ稚魚で確認された真菌症. 平成 29 年度九州・山口ブロック
魚病分科会.

柳 宗悦. ブリ類のベコ病の疫学情報について. 平成 29 年度ブリ類の難治癒疾病連絡
協議会.

柳 宗悦, 福留 慶, 今岡慶明. 海産魚のベコ病の疫学情報について. 平成 29 年度魚
病症例研究会.

柳 宗悦, 福留 慶. ブリ類のレンサ球菌症の疫学情報について. 平成 29 年度魚病症
例研究会.

柳 宗悦, 福留 慶. ブリのフィレで確認された黒色異物について (*Hirudinella* 属の幼
虫移行症). 平成 29 年度南中九州・西四国水族防疫会議.

柳 宗悦, 福留 慶, 今岡慶明. ブリ類の近年の主要感染症について. 平成 29 年度南
中九州・西四国水族防疫会議.

福留 慶. アユ疾病の防疫体制の再構築取組事例について. 平成 29 年度南中九州・西

四国水族防疫会議.

福留 慶. アユ疾病の防疫体制の再構築取組事例について. 平成 29 年度九州・山口ブロック内水面分科会.

高杉朋孝. 新燃岳噴火がアユに与える影響. 平成 29 年度九州・山口ブロック内水面分科会.

猪狩忠光. ウニ駆除によるガラモ場回復試験. 平成 29 年度瀬戸内海ブロック水産業関係研究開発推進会議生産環境部会藻類情報交換会.

猪狩忠光. ウニ駆除がもたらすもの. 平成 29 年度九州・山口ブロック磯焼け・藻場造成分科会.

中島広樹. 2015年, 2017年に発生した *Karenia mikimotoi* 赤潮について. 平成 29 年度九州・山口ブロック漁場環境分科会.

宮田翔也. 改良型粘土の実用化と今後の課題. 平成 29 年度漁場環境保全関係研究開発推進会議赤潮・貝毒部会.

天野裕平. 鹿児島県海域におけるキビナゴの漁獲特性と生物学的特性. 第 107 回対馬暖流系アジ・サバ・イワシ長期漁海況予報会議, 2017.

福元亨介, 黒田啓行. 薩南海域のまき網におけるゴマサバの漁況予測手法の検討. 平成 30 年度中央ブロック資源海洋調査研究会.

天野裕平. 北薩海域におけるウルメイワシの発生時期と漁況予測の検討. 平成 30 年度中央ブロック資源海洋調査研究会.

亙 真吾, 辻 俊宏, 廣畑二郎, 及川利幸, 池上直也, 御宿昭彦, 久野正博, 猪原 亮, 堀江ひかり, 田中耕治, 久保田洋, 古川誠志郎, 阪地英男. 日本周辺水域のブリの年齢と成長. 平成 30 年度中央ブロック資源海洋調査研究会.

櫻井正輝. 鹿児島県におけるカツオの漁獲動向. 第 6 回南九州水産海洋研究集会「カツオ資源・漁業・利用加工の現状と課題」, 2018.

堀江ひかり, 天野裕平. 南九州におけるマイワシ資源について. 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「変化拡大するマイワシ資源」, 2018.

福元亨介, 黒田啓行. 薩南海域の旋網におけるゴマサバ漁況予測手法の検討. 平成 30

年度九州・山口ブロック漁業・資源分科会.

天野裕平. 栽培漁業の事業効果マニュアルによる鹿児島湾マダイの再生産効果. 平成 30 年度九州・山口ブロック海面増殖分科会.

宋道弘敏. ブリの資源変動要因と近年の動向. 第 5 回三陸地域研究集会「三陸沿岸における定置網漁業と海洋環境」, 2018.

久保 満. 養殖ブリ輸出促進のための高品質冷凍流通技術開発. 平成 30 年度鹿児島県食品加工研究機関成果発表会.

久保 満. 異なる発酵法で製造したエビ醬の品質. 平成 30 年度九州・山口ブロック利用加工分科会.

久保 満. 「農林水産省革新的技術開発緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）」における鹿児島県でのセレノネイン含有血合肉すり身化技術開発. WELLNESS FOOD JAPAN 2018「DHA・EPA を超える？魚の新規機能性成分セレノネイン」.

柳 宗悦, 福留 慶, 今岡慶明. 鹿児島県におけるブリ類の主要細菌感染症. 平成 30 年度九州・山口ブロック魚病分科会.

柳 宗悦. 海産養殖魚で確認された黒色異物と黒色真菌の症例. 平成 30 年度九州・山口ブロック魚病分科会.

柳 宗悦, 福留 慶. 鹿児島県におけるブリ類の難治癒疾病対策研究. 平成 30 年度九州・山口ブロック魚病分科会.

福留 慶. カンパチ養殖におけるハダムシ対策技術の確立に向けて. 平成 30 年度九州・山口ブロック魚病分科会.

柳 宗悦. べこ病の疫学調査. 平成 30 年度ブリ類の難治癒疾病連絡協議会.

柳 宗悦. 海産養殖魚で確認された黒色異物と黒色真菌の症例. 平成 30 年度魚病症例研究会.

柳 宗悦, 福留 慶, 今岡慶明. ブリ類のべこ病の疫学調査. 平成 30 年度魚病症例研究会.

猪狩忠光. ドローンによる鹿児島湾の藻場モニタリングについて. 平成 30 年度九州・山口ブロック磯焼け・藻場造成分科会.

市来拓海．硫黄山噴火における川内川への影響．平成 30 年度九州・山口ブロック内水面分科会．

高杉朋孝．2018 年に鹿児島湾で発生した *Heterosigma akashiwo* 赤潮について．平成 30 年度九州・山口ブロック漁場環境分科会．

宮田翔也．改良型粘土を用いた赤潮被害防止マニュアルの概要について．平成 30 年度第 17 回シャットネラ等赤潮対策推進協議会．

編集委員

矢野浩一，森島義明，猪狩忠光，宍道弘敏，福元亨介，柳 宗悦，仁部玄通，立石章治

平成 31 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 7 号 (2019)

<http://kagoshima.suigi.jp/KenkyuHoukoku/kenpou-no7.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 小 湊 幸 彦

印刷所 株式会社 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

