

---

---

# 福岡県水産海洋技術センター研究報告

---

---

第 3 0 号

BULLETIN  
OF  
FUKUOKA FISHERIES AND MARINE TECHNOLOGY RESEARCH CENTER  
No. 30

福岡県水産海洋技術センター

2020年3月

# 目 次

## [栽培漁業研究]

1. 有明海福岡県地先で放流されたガザミ種苗の成長，移動，放流効果  
上田 拓・篠原 直哉・大庭 元気・上利 貴光・  
上原 大知・菅谷 琢磨・井上 誠章 …………… 1

## [資源管理研究]

2. 標識放流から推定した周防灘におけるナルトビエイの移動生態  
野副 滉・大形 拓路・伊藤 輝昭 ……………13

## [養殖研究]

3. 暗黒下低温処理によるスサビノリ殻胞子の放出抑制効果について  
徳田 眞孝・増田 浩美・石津 まりの ……………21

## [利用加工研究]

4. シバエビの冷凍保存方法と品質の変化  
後川 龍男・俵積田 貴彦・黒川 皓平・野副 滉・田中 慎也 ……………29

## 抄録

5. 福岡湾の栄養塩濃度と植物プランクトン種組成の18年間（1993-2010年）の変化  
里道 菜穂子・江崎 恭志・多田 邦尚 ……………37

## 有明海福岡県地先で放流されたガザミ種苗の成長，移動，放流効果

上田 拓・篠原 直哉<sup>1</sup>・大庭 元気<sup>2</sup>・上利 貴光<sup>3</sup>・上原 大知<sup>4</sup>・菅谷 琢磨<sup>5</sup>・井上 誠章<sup>6</sup>  
(有明海研究所・<sup>1</sup>企画管理部・<sup>2</sup>佐賀県有明水産振興センター・<sup>3</sup>長崎県総合水産試験場・<sup>4</sup>熊本県水産研究センター・<sup>5</sup>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・<sup>6</sup>国立研究開発法人水産研究・教育機構水産工学研究所)

ガザミ *Portunus trituberculatus* は重要な漁業対象種であり，有明海では 1970 年代より種苗放流が行われているが<sup>1)</sup>，放流効果や効果的な種苗放流時期等についていまだ不明な点が多い。そこで，有明海に面する 4 県（福岡県，佐賀県，長崎県，熊本県，以下有明 4 県）が連携し，放流された種苗の成長や移動，放流効果を明らかにすることを目的として，マイクロサテライト（以下 MS-）DNA 標識を用いた放流後の追跡調査を行った結果，福岡県地先において，2015 年および 2016 年の 6～8 月に全甲幅長約 10mm（C3 サイズ）で放流された種苗は，約 3 ヶ月で全甲幅長 150mm に成長し，放流当年に最大 191mm，翌年に最大 245mm で再捕された。また，放流当年には主に放流場所沖合の湾奥部で再捕され，翌年には，同海域の他，南下して，湾中部や湾口部，さらに橘湾でも再捕された。放流効果については，最大で 4.17% の回収率を示した。放流時期では 6, 7 月放流群の回収率が高く，早期放流が効果的である可能性が示唆された。

キーワード：有明海，ガザミ，種苗放流，マイクロサテライト DNA 標識，成長式，移動，放流効果

有明海および橘湾において，ガザミは重要な漁業対象種であり，主に固定式さし網，かご，小型底びき網，たもすくい網で漁獲されている。

ガザミの種苗生産技術開発の歴史は長く，1963 年に水産庁が指定研究の課題として取りあげたことに端を発し，1971 年にはガザミ研究者による「ガザミ種苗生産研究会」が発足され，ガザミ種苗生産技術向上と普及に取り組まれてきた<sup>2)</sup>。以後，ガザミの人工種苗放流は全国各地で盛んに行われ，2017 年には 267 箇所<sup>3)</sup>で 1,913 万尾が放流された<sup>3)</sup>。有明海でも 1970 年代より人工種苗放流が行われており<sup>1)</sup>，放流に対する関係漁業者の期待は大きい。

一般的にガザミの寿命は 2～3 年であるといわれているが<sup>4)</sup>，有効な年齢形質が見つかっておらず，水槽飼育下での成長に関する知見<sup>5)</sup>や，漁獲物の全甲幅長組成から推定された成長式に関する知見<sup>6)</sup>はあるが，天然海域での正確な成長はわかっていない。

また，全国各地では，全甲幅長約 10mm の小型個体が，同一海域に複数回に分けて大量に放流されている

が，成長に伴い脱皮するため，有効な標識手法がなく<sup>7-9)</sup>，放流後の成長や移動等の生態的知見や，放流効果についてはいまだ不明な点が多い。

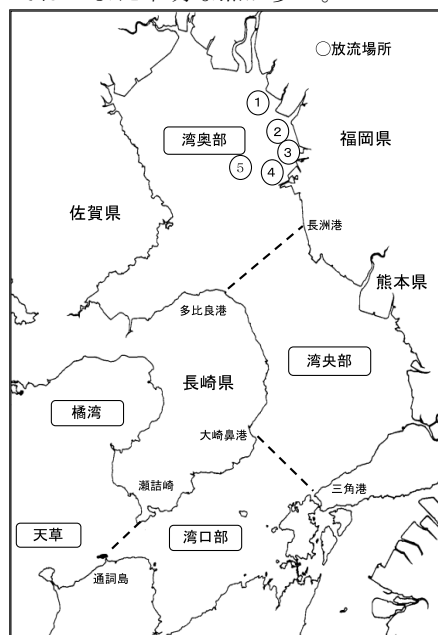


図 1 福岡県地先における種苗放流場所および海域区分

表 1 放流の状況

放流群名	放流年	放流月日	放流場所*	地盤高 (m)	底質	放流サイズ	平均全甲幅長 (mm)	平均体重 (g)	放流尾数 (千)
F1501	2015	6月20日	⑤大牟田市沖 (みねのつ)	-5	砂泥	C3	10.2	0.08	68
F1502		7月16日	①柳川市沖 (3号)	+0.5	砂質	C3	10.9	0.07	107
F1503		7月23日	①柳川市沖 (3号)	+0.5	砂質	C3	10.5	0.06	104 小計
F1504		8月10日	⑤大牟田市沖 (みねのつ)	-5	砂泥	C3	12.3	0.09	120 399
F1601	2016	6月8日	③大牟田地先 (海水浴場)	+0.5	砂質	C3	10.4	0.05	100
F1602		6月14日	⑤大牟田市沖 (みねのつ)	-5	砂泥	C3	9.9	0.06	100
F1603		6月18日	⑤大牟田市沖 (みねのつ)	-5	砂泥	C3	11.1	0.07	195
F1604		7月1日	⑤大牟田市沖 (みねのつ)	-5	砂泥	C2	6.9	0.02	173
F1605		7月9日	⑤大牟田市沖 (みねのつ)	-5	砂泥	C3	10.0	0.06	100
F1606		7月14日	③大牟田地先 (海水浴場)	+1.5	砂泥	C3	9.5	0.05	100
F1607		7月16日	②柳川市沖 (20号)	+0.5	砂質	C3	10.5	0.07	63
F1608		8月5日	④大牟田地先 (303号)	+1.5	砂泥	C3	8.0	0.03	60
F1609		8月10日	④大牟田地先 (303号)	+1.5	砂泥	C3	10.0	0.06	100 小計
F1610		8月10日	④大牟田地先 (303号)	+1.5	砂泥	C3	8.9	0.05	40 1,031
合計							9.9	0.06	1,430

\*放流場所は図1参照

一方、脱皮を行う同じ甲殻類であるクルマエビでは、近年、MS-DNA 標識を用いた親子判定方法による種苗放流効果調査手法が開発され<sup>10)</sup>、放流種苗全てを追跡し、放流効果の直接的な推定が可能となった。

そこで、2009年より有明4県が連携し、ガザミ人工種苗の放流後の成長や移動、放流効果等を明らかにすることを目的として、MS-DNA 標識を用いた追跡調査を実施している。有明4県が、それぞれ自県地先で放流した人工種苗について、その追跡調査を共同で実施し、その情報を共有することで一定の知見が得られた。本報では福岡県放流群の調査および解析結果を報告する。

## 方 法

2015年および2016年の6～8月にかけて、図1に示した福岡県地先において、ガザミ人工種苗計143万尾を放流し、追跡調査を行った。放流の状況は表1に示したとおりである。

2015～2017年に、有明4県がそれぞれ原則月1回以上、特定の漁業者等から、その日に漁獲したガザミを全数購入し、性別判定と全甲幅長 (mm)、体重 (g) を測定後、MS-DNA 分析用の肉片を採取し、95%エタノールで保存した。

あわせて、漁獲加入前の成長を把握するため、2015年8月17日に沖端川河口でシゲ網を用いた試験操業を行い、得られたサンプルについても性別判定、測定、MS-DNA 分析用の肉片採取を行った。

また、種苗生産に用いた雌親、および放流群ごとに種苗についても、放流前に MS-DNA 分析用の肉片を採取した。

その後、放流効果や生態的知見を得るため、以下の分析、解析を行った。

### 1. MS-DNA 分析

MS-DNA 分析尾数について表 2-1～表 2-5 に示した。

2015年および2016年の放流種苗の雌親19尾、種苗461尾、漁獲物および試験操業で得られた13,907尾(2015年3,041尾、2016年5,114尾、2017年5,752尾)について、以下(1)～(4)の手順によりMS-DNA分析を行い、漁獲物および試験操業で採取した個体が放流個体であるか否かを判定した。

#### (1) MS-DNA 分析およびアリル決定

エタノールで保存した肉片からDNAの抽出を行い、既報<sup>11, 12)</sup>のMS-DNA7マーカー(C5, C13, PT659, C6, PT322, PT69, PT720)を分析した。各マーカーについて、以下のプライマーを用いてPCR反応で目的領域を増幅した。増幅産物のサイズについては、DNAシーケンサーApplied Biosystems社製3730 xl DNA Analyzerを用いて電気泳動を行い、解析ソフトGeneMapperによりサイズスタンダード(GeneScan™ 600 LIZ Size Standard (Applied Biosystems社製))に対する相対値を測定し、これをもとに各個体のアリルを決定した。

(各マーカーの分析に用いたプライマー)

- C5  
Forward: 5' -TG TAGGTAGATAGGTAGGAAGG-3'  
Reverse: 5' -ATGAACTGAGCACAGGAG-3'
- C13  
Forward: 5' -CTGTCTGATGAGTGAGGCTAC-3'  
Reverse: 5' -TGACCACGAGGAAAGGAG-3'
- PT659  
Forward: 5' -TCACGGAAGGACTGAATAGAGACG-3'  
Reverse: 5' -TTTCTGGCAGTCCTTTCCTTCAA-3'

表 2-1 雌親及び種苗の分析尾数(2015年)

(尾)					
放流群名	F1501	F1502	F1503	F1504	合計
雌親	1	1	1	1	4
種苗	20	20	20	20	80

表 2-2 雌親及び種苗の分析尾数(2016年)

(尾)											
放流群名	F1601	F1602	F1603	F1604	F1605	F1606	F1607	F1608	F1609	F1610	合計
雌親	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	15
種苗	51	60	60	30	30	30	30	30	30	30	381

表 2-3 漁獲物の分析尾数(2015年)

(尾)					
県	福岡	佐賀	長崎	熊本	合計
1月	0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0
3月	0	0	0	0	0
4月	0	0	0	0	0
5月	72	21	123	0	216
6月	135	0	236	0	371
7月	84	0	173	0	257
8月	238	0	285	44	567
9月	643	181	115	109	1,048
10月	0	207	103	72	382
11月	124	0	76	0	200
12月	0	0	0	0	0
合計	1,296	409	1,111	225	3,041

表 2-4 漁獲物の分析尾数(2016年)

(尾)					
県	福岡	佐賀	長崎	熊本	合計
1月	0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0
3月	113	0	0	0	113
4月	25	0	0	0	25
5月	116	0	151	54	321
6月	0	0	52	0	52
7月	134	0	69	0	203
8月	385	0	259	479	1,123
9月	432	484	149	1,122	2,187
10月	305	243	86	168	802
11月	130	112	39	0	281
12月	0	0	7	0	7
合計	1,640	839	812	1,823	5,114

表 2-5 漁獲物の分析尾数(2017年)

(尾)					
県	福岡	佐賀	長崎	熊本	合計
1月	0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0
3月	0	0	0	0	0
4月	30	0	0	0	30
5月	122	0	17	104	243
6月	244	0	226	67	537
7月	246	13	255	29	543
8月	240	163	140	449	992
9月	313	538	137	653	1,641
10月	94	376	175	624	1,269
11月	252	0	142	0	394
12月	0	0	103	0	103
合計	1,541	1,090	1,195	1,926	5,752

- ・ C6  
Forward: 5' -CGCTACCTCTACTCATCC-3'  
Reverse: 5' -GTGTCTAGTGCCTCAAC-3'
- ・ PT322  
Forward: 5' -GCCAGTCCACTAGTCGTACGGTCA-3'  
Reverse: 5' -ATGGAGACGTGACCGAGATTGCAT-3'
- ・ PT69  
Forward: 5' -TTATAATGTAGGCGCTCGCTGGAC-3'  
Reverse: 5' -CCTTCTCTGCTGCGTCTCGTC-3'
- ・ PT720  
Forward: 5' -CAGGGAGGCTGAGACAAGGTGTGT-3'  
Reverse: 5' -TCAGTGCCTGGTGAATCATGTCA-3'

(2) 雄親推定

雌は雄との交尾後、翌年に貯精嚢内に保存した精子を用いて受精、産卵を繰り返す<sup>13)</sup>。雄は交尾後、雌と離れるため種苗の雄親のアリルは不明である。そこで、各放流群別に、種苗生産に用いた雌親、およびそれから生まれた種苗(子)のアリルからメンデルの遺伝法則より、雄親のアリルを推定した。

(3) 親子判定

親子鑑定ソフトウェア(PARFEX)を用いて<sup>14)</sup>、サンプルの漁獲物が、種苗生産に用いた雌親、および推定された雄親の子(放流個体)であるか否かを判定した。なお、PARFEXでの解析でヌルアリルが想定された場合には、雄親推定の際にもヌルアリルが検出されているかどうか確認したうえで親子関係の有無を判断した。

(4) 種苗判別率

種苗の一部に DNA マーカーの読み取りができない個体があった場合、放流効果が過小に推定される恐れがあり、補正が必要である。そこで、各放流群の種苗と、それらの雌親および推定された雄親について、PARFEXによる親子判定を行い、種苗が両親の子であると判定された割合、すなわち種苗判別率を求めた。

2. 成長

再捕された放流個体について、放流年および再捕年別に、全甲幅長と体重について、平均、標準偏差、最小、最大の集計を行った。

福岡県でガザミの種苗生産を行っている公益財団法人ふくおか豊かな海づくり協会への聞き取りでは、ふ化後、放流サイズの C3 に成長するまでに平均 24 日経過している。そこで、孵化日を種苗放流の 24 日前として、放流から再捕までの経過日数に加え、さらに 30.4 日(≒365 日/12 ヶ月)で除して再捕時の月齢を求め、月齢と全甲幅長との関係を求めた。

次に、大阪湾のガザミで成長式として用いられた、Bertalanffy 式(モデル 1)、Logistic 式(モデル 2)、Gompertz 式(モデル 3)<sup>6)</sup>により、放流個体の成長式を推定した。

モデル 1:  $L_t = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-c)})$

モデル 2:  $L_t = L_{\infty}/(1 + e^{-k(t-c)})$

モデル 3:  $L_t = L_{\infty}(e^{-k(t-c)})$

ただし、 $L_t$ : t 月齢時の推定全甲幅長 (mm)

$L_{\infty}$ : 最大到達全甲幅長 (mm)

k: 定数

c: 定数

また、本海域で操業するガザミ漁業者からの聞き取りおよび漁獲状況から、12~2月の低水温期には摂餌活動が低下し、成長が停滞することが想定される。そこで、伊予湾のマダコで用いられた季節周期を考慮した周期性 Bertalanffy 式 (モデル 4) および周期性 Logistic 式 (モデル 5)<sup>15)</sup>、モデル 5 を参考に Gompertz 式を拡張した周期性 Gompertz 式 (モデル 6) を用いて成長式を推定した。

モデル 4:  $L_t = L_\infty (1 - \exp(-A \sin(2\pi(t-s)/12) + k(t-t_0)))$

ただし、 $L_t$ : t 月齢時の推定全甲幅長 (mm)

$L_\infty$ : 最大到達全甲幅長 (mm)

A: 成長の季節変動周期幅

s: 周期関数の原点からのずれ

k: 定数

$t_0$ : 定数

モデル 5:  $L_t = L_\infty / (1 + \exp(-A \sin(2\pi(t-s)/12) - b + ct))$

モデル 6:  $L_t = L_\infty * \exp(-\exp(-A \sin(2\pi(t-s)/12) - b + ct))$

ただし、 $L_t$ : t 月齢時の推定全甲幅長 (mm)

$L_\infty$ : 最大到達全甲幅長 (mm)

A: 成長の季節変動周期幅

s: 周期関数の原点からのずれ

b: 定数

c: 定数

各モデルの推定では、Microsoft Excel のソルバー機能を用いて、最小二乗法により全甲幅長の月齢別平均値と推定値の残差平方和が最小となるパラメータを選択した。

なお、2016 年 3 月に混入率を調べるため、爪のみ採取した 17 尾については、性別が不明なため成長式の算定には用いなかった。

### 3. 移動

放流個体が再捕された海域を、図 1 に示したとおり、有明海の湾奥部、湾中央部、湾口部、橘湾に区分し、雌雄別の再捕尾数を集計し、季節変化に応じた移動状況を推定した。

### 4. 放流効果

放流群別に、MS-DNA 分析により漁獲物のうち放流個体と判定された尾数を種苗判別率で除して補正し、さらに DNA 調査尾数で除して月別混入率 (式①) を求

めた。

なお、混入率は、放流群別再捕尾数を、2015 年放流群については、2015 年 6 月から 2017 年 12 月の合計分析尾数で、2016 年放流群については 2016 年 6 月から 2017 年 12 月の合計分析尾数でそれぞれ除して求めた。

月別混入率に、漁業協同組合出荷仕切書や操業日誌等より推定した県別月別総漁獲尾数を乗じて月別回収尾数 (式②) を求めた。

さらに、月別回収尾数の合計を放流尾数で乗じて回収率 (式③) を求めた

なお、混入率、回収尾数については、海域により大きく異なるため、回収された県別に集計を行った。また、シゲ網による試験操業で得られた再捕尾数は、漁獲物ではないため、回収率の算定には用いなかった。

式①: 月別混入率 = 再捕尾数 / 種苗判別率 / 月別分析尾数

式②: 月別回収尾数 = ①月別混入率 \* 県別月別総漁獲尾数

式③: 回収率 =  $\Sigma$  ②月別回収尾数 / 放流尾数

あわせて、放流時期の違いが回収率に与える影響を検討するため、統計解析ソフト Rstudio を用いて各種検定を行った。

## 結 果

### 1. MS-DNA 分析

放流年別放流群の月別再捕尾数について表 3-1、表 3-2 に示した。

2015 年放流群は、放流当年に 3 尾、翌年に 92 尾再捕された。2016 年放流群は、放流当年に 112 尾、翌年に 41 尾が再捕された。

放流月別に見ると、6 月放流群が放流当年に多く再捕され、7 月および 8 月放流群は 6 月放流群に比べ、翌年に再捕される割合が高くなる傾向があった。

放流年および月別放流群の雌雄別再捕尾数について表 4-1、表 4-2 に示した。

2015 年放流群は、雄 29 尾、雌 49 尾、漁獲が少ない 3 月に爪のみ採取し DNA 分析を行ったため雌雄が不明の 17 尾、計 95 尾であった。2016 年放流群は、雄は 85 尾、雌は 68 尾、計 153 尾であった。2015、2016 年の雌雄別再捕尾数の合計は、雄 114 尾、雌 117 尾であり、雌雄により大きな差はなかった。

表 3-1 2015 年放流群の月別再捕尾数 (尾)

放流月	再捕年		2016									合計		
	再捕月	再捕年	8	10	3	4	5	6	7	8	9		10	11
6	再捕尾数	1	1	1		1								4
7		1	1	16	4	9	3	16	30	12				91
再捕月別合計		2	1	17	4	10	3	16	30	12	0	0	95	
再捕年別合計		3			92									95

表 4-1 2015 年放流群の雌雄別再捕尾数 (尾)

放流月	再捕年	2015		2016		不明*	合計	
		性別	雄	雌	雄			雌
6	再捕尾数		1	1	1	1	4	
7			1		26	48	16	91
合計			2	1	27	48	17	95

\*雌雄が不明な個体は漁船上で爪のみ採取した個体

表 3-2 2016 年放流群の月別再捕尾数 (尾)

放流月	再捕年		2016			2017					合計			
	再捕月	再捕年	9	10	11	4	5	6	7	8		9	10	11
6	再捕尾数		40	35	3	1	4	3		1	1	1	89	
7			2	23	5	1	5	3	1	2	4		46	
8				1	3		7	3	1		2	1	18	
再捕月別合計			42	59	11	2	16	9	2	3	7	2	0	153
再捕年別合計			112			41								153

表 4-2 2016 年放流群の雌雄別再捕尾数 (尾)

放流月	再捕年	2016		2017		合計	
		性別	雄	雌	雄		雌
6	再捕尾数		51	27		11	89
7			16	14	6	10	46
8			2	2	10	4	18
合計			69	43	16	25	153

表 5 再捕された放流個体の測定結果

測定項目	放流年	再捕年	性別	測定尾数*1	平均	標準偏差	最小*3	最大
全甲幅長 (mm)	2015	2015	雄	2	64.7	13.6	51.2	78.3
			雌	1	176.5	-	-	-
		2016	雄	27	185.4	19.3	145.0	229.0
			雌	48	184.0	21.8	132.0	245.0
	2016	2016	雄	69	159.9	11.7	128.0	182.0
			雌	43	158.2	14.3	130.0	191.0
		2017	雄	16	164.7	18.3	136.6	194.0
			雌	24*2	177.0	19.1	132.0	215.0
体重 (g)	2015	2015	雄	2	18.2	10.5	7.7	28.8
			雌	1	244.6	-	-	-
		2016	雄	27	311.9	85.5	153.0	509.9
			雌	48	303.5	93.4	122.0	521.0
	2016	2016	雄	69	213.7	46.9	114.1	324.0
			雌	43	200.2	51.6	108.6	353.0
		2017	雄	16	243.0	88.2	136.2	420.6
			雌	25	328.6	95.3	183.5	596.0

\*1 爪のみ採取し、性別不明の17尾は除く

\*2 全側縁第9歯が一部欠けていた1個体を除く

\*3 全甲幅長、体重共に最小値を示した個体は試験操業のしげ網で再捕

## 2. 成長

放流年および再捕年別に、放流個体の全甲幅長と体重の測定結果を表 5 に示した。全甲幅長の最大値は、放流当年は 191mm、翌年は 245mm であった。体重の最大値は、放流当年は 353g、翌年は 596g であった。

放流年、放流月、雌雄別に、再捕時の月齢と全甲幅長の関係について図 2-1~図 2-4 に示した。4 月齢で 150 mm 程度に成長して漁獲群に加入し、放流年内に 6 月齢で 170mm 程度に成長し再捕された。さらに翌春から 10 月齢で再捕され始め、最高 17 月齢まで再捕された。月齢上昇に伴い成長していく様子が確認された。

次に、放流当年および翌年ともに再捕数が多かった 2016 年の 6 月と 7 月放流群の再捕個体の全甲幅長について、雌雄別にマンホイットニーの U 検定 (以下 U 検定) を行なった結果、両月間に有意差はなかった。そこで 6,7 月放流群を合わせて成長式を推定した。各成長式のパラメーターを表 6-1、表 6-2 に、各モデルにより推定された全甲幅長の推移を

図 3-1~図 3-4 に示した。なお、2016 年は放流直後の試験操業を行なっておらず、放流後 2 ヶ月以内の再捕個体がない。そこで、2015 年 8 月の試験操業で再捕され、MS-DNA 判定で 2015 年 6 月放流群および 7 月放流群と判定された雄 1 尾ずつ、合計 2 尾の全甲幅長データを 2016 年 6, 7 月放流群の雌雄両方に加え、成長式の推定を行った。

Bertalanffy 式, Logistic 式, Gompertz 式, 雄の周期性 Bertalanffy 式, 周期性 Gompertz 式のいずれも、放流直後から放流年内の急速な成長は実測値と比較的符合していたが、翌年春以降に再び成長する様子がうまく表せず、最大到達全甲幅長も実測値より低く推定された。

雌の周期性 Bertalanffy 式, 周期性 Logistic 式では放流直後の急速な成長および、翌年春以降の成長の様子は表せたものの、一定期間においてマイナス成長となった。

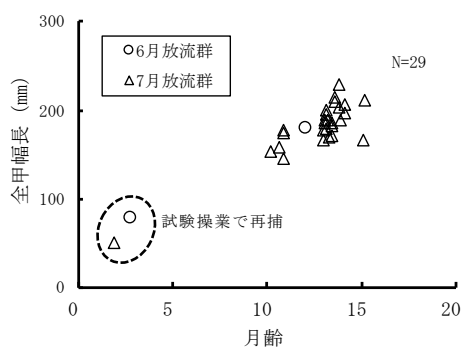


図 2-1 月齢と全甲幅長 (2015 年放流群雄)

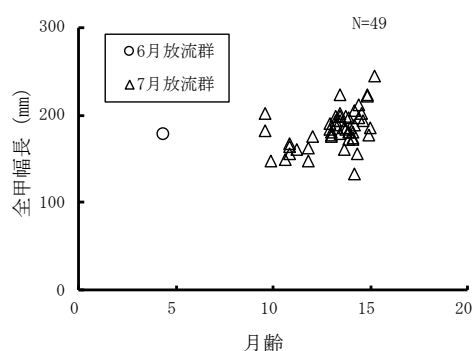


図 2-2 月齢と全甲幅長 (2015 年放流群雌)

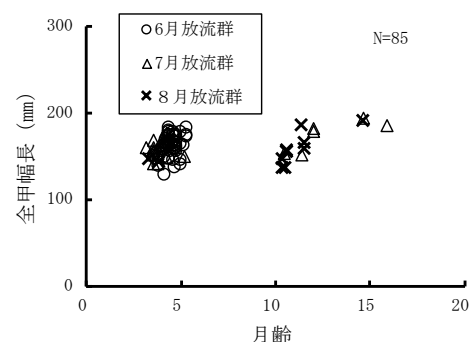


図 2-3 月齢と全甲幅長 (2016 年放流群雄)

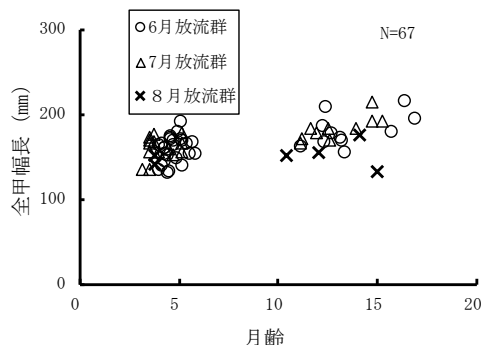


図 2-4 月齢と全甲幅長 (2016 年放流群雌)

表 6-1 推定された成長式のパラメーター

モデル	性別	$L_{\infty}$	C	s
Bertalanffy式	雄	186.5	0.29	0.36
	雌	189.0	0.29	0.36
Logistic式	雄	174.8	1.37	2.92
	雌	179.5	1.29	2.96
Gompertz式	雄	176.6	0.89	2.42
	雌	181.1	0.83	2.44

表 6-2 推定された成長式のパラメーター (周期性あり)

周期性 Bertalanffy式	性別	$L_{\infty}$	A	s	k	$t_0$
	雄	174.2	1.82	6.65	1.03	0.59
雌	201.2	0.64	4.14	0.16	-3.30	
周期性 Logistic式	性別	$L_{\infty}$	A	s	b	c
	雄	190.2	1.7	2.0	2.4	0.5
雌	187.1	1.6	2.0	2.4	0.5	
周期性 Gompertz式	性別	$L_{\infty}$	A	s	b	c
	雄	167.3	414.7	8.0	208.3	2.0
雌	174.9	171.3	8.0	86.4	2.0	

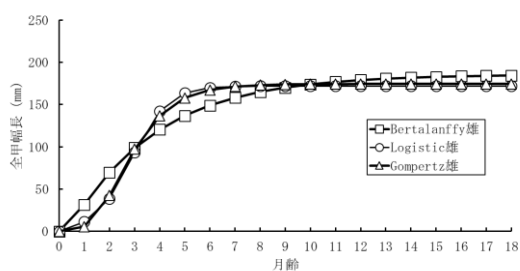


図 3-1 推定された全甲幅長推移 (雄)

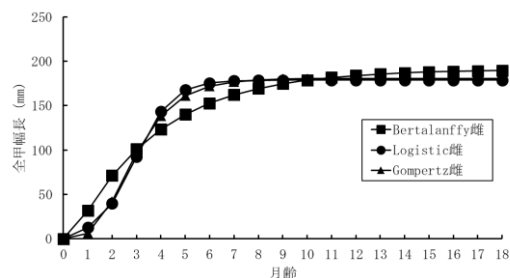


図 3-2 推定された全甲幅長推移 (雌)

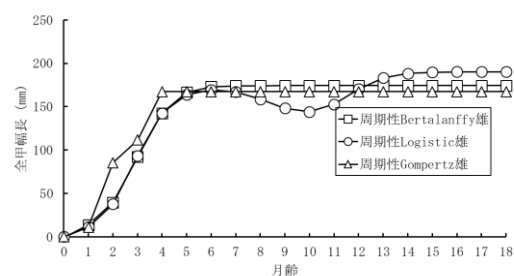


図 3-3 推定された全甲幅長推移 (周期性あり雄)

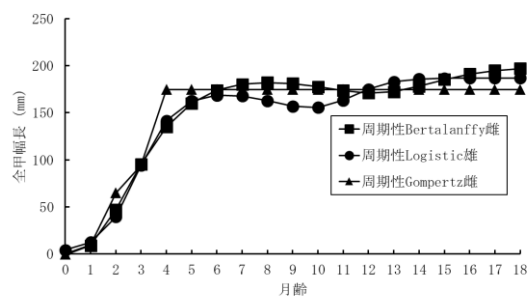


図 3-4 推定された全甲幅長推移 (周期性あり雌)



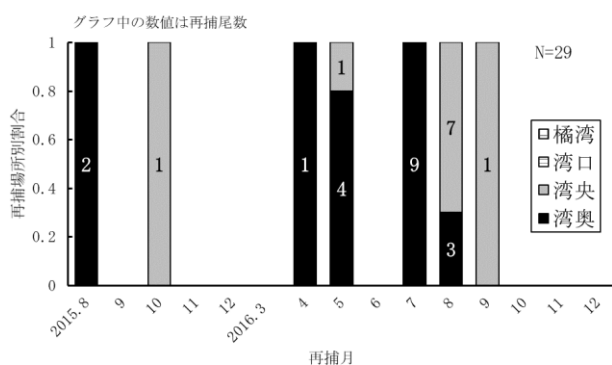


図 4-1 再捕月と再捕場所 (2015 年放流群雄)

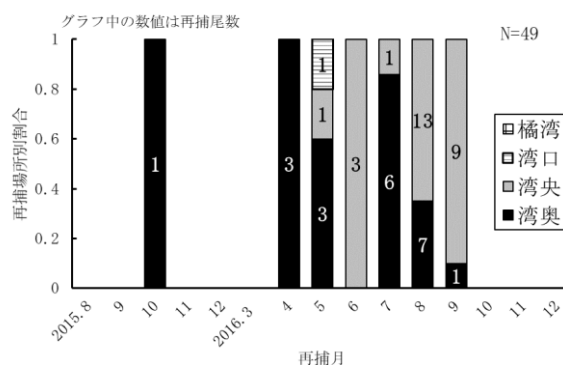


図 4-2 再捕月と再捕場所 (2015 年放流群雌)

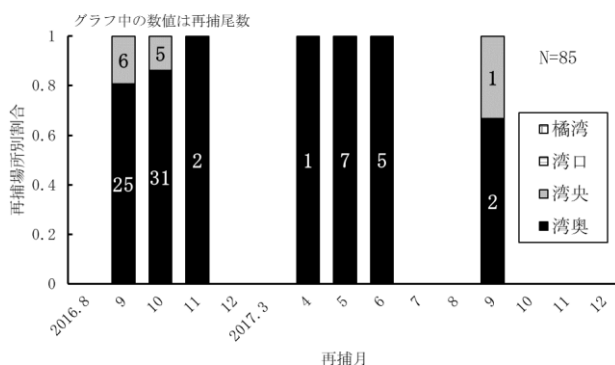


図 4-3 再捕月と再捕場所 (2016 年放流群雄)

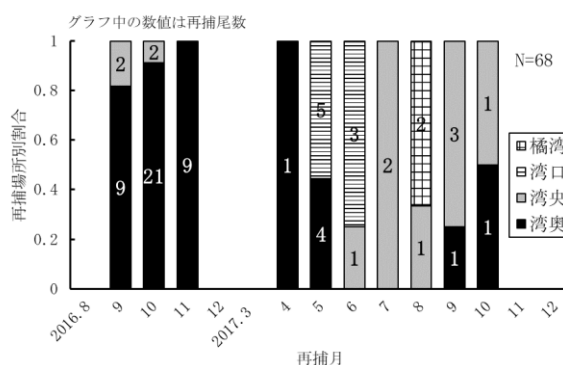


図 4-4 再捕月と再捕場所 (2016 年放流群雌)

表 7 放流群別種苗判別率

放流年	2015				2016								平均		
	放流群名	F1501	F1502	F1503	F1504	F1601	F1602	F1603	F1604	F1605	F1606	F1607		F1608	F1609
種苗判別率	94	84	88	93	79	100	100	100	100	100	100	100	97	93	95

### 3. 移動

再捕月と再捕場所の関係について、放流年および雌雄別に図 4-1~図 4-4 に示した。なお 2016 年 3 月に福岡県地先において漁船上で爪のみ採集し、MS-DNA 分析により放流個体と判定された 17 尾は、性別が不明なため図には含めなかった。

雄は放流当年には主に湾奥部で再捕され、翌年の 8 月以降に湾央部で再捕される割合が高くなる傾向があった。

一方、雌は放流当年は湾奥部で主に再捕されていたが、翌年 5 月以降には湾奥部や湾口部で再捕される割合が増加した。2017 年 8 月に、2016 年放流群が、橘湾で 2 尾再捕された。

### 4. 放流効果

#### (1) 回収率

各放流群の種苗判別率を表 7 に示した。判別率は平均 95% であり、MS-DNA 分析による親子判定が

有効であることが示された。

MS-DNA 分析による親子判定で放流個体と判定された尾数を放流年別に表 8-1、表 8-2 に示した。再捕尾数は放流群により差があり、その最高は 2015 年 7 月に放流した F1502 群の 62 尾であり、14 放流群の平均では 18 尾であった。2015 年 8 月に放流した F1504 群のみ再捕が無かった。

2015 年放流群は合計 95 尾 (2015 年 8 月の試験操業により再捕された 2 尾を含む)、2016 年放流群は合計 153 尾が再捕された。なお、この再捕尾数については種苗判別率による補正は行っていない。

次に、放流群別県別の混入率を表 9 に示した。福岡県および福岡県と漁場の多くを共有する佐賀県での混入率が高い傾向を示した。また、福岡県または佐賀県での再捕が確認された放流群の多くが、長崎県や熊本県でも再捕された。

各放流群の回収率および回収尾数を表 10 に示

した。回収率は2016年6月に放流したF1601が最高で4.17%を示し、2015年放流群の平均は0.49%、2016年放流群の平均は1.15%であった。

(2) 放流時期と回収率

放流年別に、放流月（放流日をその月の日数で除して、月に加え月の小数表示として作図した）と回収率との関係を図5-1、図5-2に示した。8月と比較して6、7月の回収率が高い傾向がみられ、回収率が1%を超えたのは6、7月放流群のみであった。

しかしながら、単年のみでは放流群数が少ないため、放流月と回収率の関係について統計的な検討が難しい。そこで、以下の手順で統計的な検討を行った。

まず、2015年と2016年放流群について、年により回収率に違いがないか確認するために、両年の回収率についてU検定を行なった結果、p値は

0.125となり年による有意差がないとみなされたため、両年を合わせて解析を行うこととした。

次に放流月により回収率に違いがあるかについて、放流月をカテゴリー変数として、U検定を行った結果、p値は0.012となり、有意水準5%で回収率と放流月には関係があると判定された。

さらに放流月と回収率の関係について、6月と7月、6月と8月、7月と8月の組み合わせで3回U検定を行う多重比較を行った。それぞれの組み合わせで検定を行って得られたp値について3を乗じるボンフェローニ補正を行い、有意水準5%以下であるか否かを判定した。

結果について表11に示した。6月と8月では補正p値は0.029であり、5%水準で有意であると判定されたが、6月と7月、7月と8月では有意差が認められなかった。

表8-1 親子判定で放流個体と判定された尾数(2015年放流群)

調査年月		2015.5	6	7	8*	9	10	11	12	2016.3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	(尾)	
分析尾数		216	371	257	567	1,048	382	200	0	113	25	321	52	203	1,123	2,187	802	281	122	合計	
放流個体数	放流群名	F1501	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
		F1502	0	0	0	1	0	0	0	0	14	3	7	1	8	21	7	0	0	0	62
		F1503	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	8	9	5	0	0	0	29
		F1504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		合計	0	0	0	2	0	1	0	0	17	4	10	3	16	30	12	0	0	0	95

\*2015年8月の2尾は試験操業で再捕した個体

表8-2 親子判定で放流個体と判定された尾数(2016年放流群)

調査年月		2016.6	7	8	9	10	11	12	2017.4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計	
分析尾数		52	203	1,123	2,187	802	281	7	30	243	537	543	992	1,641	1,269	394	103	10,407	
放流個体数	放流群名	F1601	0	0	0	25	10	1	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	41
		F1602	0	0	0	7	9	1	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	21
		F1603	0	0	0	8	16	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	27
		F1604	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	5
		F1605	0	0	0	0	2	2	0	1	2	1	0	2	0	0	0	0	10
		F1606	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
		F1607	0	0	0	2	16	1	0	0	2	2	0	0	3	0	0	0	26
		F1608	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3
		F1609	0	0	0	0	0	3	0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	11
		F1610	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	4
合計		0	0	0	42	59	11	0	2	16	9	2	3	7	2	0	0	153	

表9 放流群別県別の混入率

放流群名		F1501	F1502	F1503	F1504	F1601	F1602	F1603	F1604	F1605	F1606	F1607	F1608	F1609	F1610	(%)
再捕県	福岡県	0.04	1.52	0.69	0.00	0.43	0.25	0.44	0.10	0.17	0.10	0.75	0.07	0.34	0.07	
	佐賀県	0.09	0.00	0.00	0.00	0.99	0.41	0.57	0.05	0.10	0.05	0.10	0.00	0.00	0.11	
	長崎県	0.06	0.43	0.30	0.00	0.25	0.10	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	
	熊本県	0.00	0.93	0.50	0.00	0.41	0.11	0.05	0.03	0.05	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	
	平均混入率	0.04	0.72	0.37	0.00	0.52	0.22	0.28	0.05	0.09	0.05	0.23	0.02	0.10	0.04	

表10 放流群別県別の回収率及び回収尾数

放流群名		F1501	F1502	F1503	F1504	F1601	F1602	F1603	F1604	F1605	F1606	F1607	F1608	F1609	F1610
回収率 (%)	再捕県	福岡県	0.01	0.54	0.32	0.00	0.60	0.35	0.30	0.09	0.17	0.13	1.53	0.12	0.28
		佐賀県	0.23	0.00	0.00	0.00	2.68	0.92	0.71	0.06	0.20	0.10	0.33	0.00	0.00
		長崎県	0.06	0.46	0.32	0.00	0.58	0.37	0.03	0.00	0.25	0.06	0.00	0.00	0.06
		熊本県	0.00	0.24	0.08	0.00	0.30	0.14	0.04	0.04	0.15	0.00	0.06	0.03	0.00
		合計	0.28	1.00	0.66	0.00	4.17	1.78	1.08	0.19	0.78	0.30	1.91	0.15	0.34
回収尾数(尾)		192	1,069	687	0	4,169	1,781	2,113	328	777	299	1,204	90	343	331

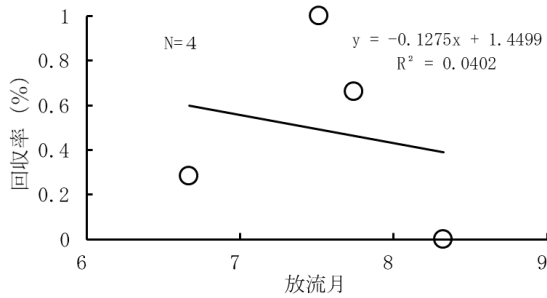


図 5-1 放流時期と回収率 (2015 年放流群)

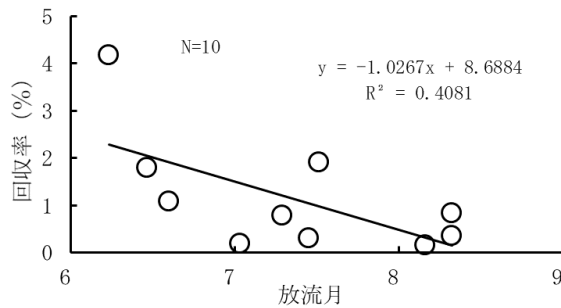


図 5-2 放流時期と回収率 (2016 年放流群)

表 11 放流月の違いによる回収率に関する検定結果

検定月	p値	ボンフェローニ補正p値	有意差
6月と7月	0.112	0.337	無し
6月と8月	0.010	0.029	5%水準で有意
7月と8月	0.046	0.139	無し

## 考 察

### 1. MS-DNA 分析

これまで、全甲幅長 10mm 程度のガザミ種苗の放流効果調査には、数値コードが刻まれたステンレス製や金製の Coded Wire Tag (CWT) を体内に埋め込む手法、甲や遊泳肢、腹節の切除等、体の一部を損傷した後に生じる奇形部分（再生痕）を利用した手法等が試みられてきた<sup>7-9)</sup>。しかしながら、放流後寿命で死ぬまでの数年間にわたって追跡する場合、ガザミは成長に伴い脱皮するため、CWT は脱落の問題、再生痕を利用した手法は脱皮を重ねることにより再生痕が判別しづらくなることや、天然にも同様の再生痕をもつ個体が見られるという問題があり、追跡調査手法としては不安定である。

また、放流個体の発見率を高めるためには、できるだけ大量の種苗に標識を行い放流する必要があるが、費用や労力面で多大な負担がかかる。あわせて、標識装着時に種苗を傷つけるため、生残率が低下するなどの課題<sup>7)</sup>もあり、これまでの調査では良好な調査結果は得られていなかった。

これらの課題に対して、甲殻類の遺伝標識では、ガザミの近縁種のトゲノコギリガザミを対象として、mtDNA の D-loop の変異を利用した標識が開発され、1997～2001 年に高知県浦戸湾を調査海域として放流効果の定量的把握が実施された<sup>16)</sup>。しかしながらこの手法では、放流後の放流種苗と同様のハプロタイプ

頻度増加分を放流種苗の混入率として推定するため、遺伝子頻度の変化が少ない閉鎖的な海域に生息する資源にしか適用できず、ガザミのような開放的な海域に生息する種への遺伝標識の適用は困難であると考えられてきた<sup>17)</sup>。

そこで、有明 4 県では、2009 年よりガザミについて、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アドバイスを受けながら MS-DNA 標識を用いた新たな放流追跡調査技術の開発に取り組んできた。2009 年の開始当初は親子判定に 3 マーカーを使用していたが、2012 年には 5 マーカー、2013 年には 8 マーカー（そのうち 7 マーカーを親子判定に使用）とマーカー数を増やし分析精度を向上させた。あわせて、有明 4 県で標識サンプルの入手時期や方法、MS-DNA 分析手法やデータ解析手法等を統一したことにより、2015 年放流群は 95 尾、2016 年放流群は 153 尾と、100 尾レベルで再捕個体が得られ、ガザミにおける MS-DNA 標識を用いた放流効果調査の有効性を明らかにできたと考える。

また、MS-DNA を用いた標識手法では、放流する種苗を傷つけることなく、種苗生産に用いた雌親とその雌親から生まれた種苗（放流種苗の兄弟）を 30 尾程度分析するだけで、理論上、健全な状態で、数十万から数百万尾の放流種苗を全て標識個体として追跡することが可能である。

一方、2016 年放流群は放流当年に 112 尾、翌年に 41 尾が再捕されたが、2015 年放流群では放流当年にはわずか 3 尾のみで、翌年には 92 尾が再捕されるなど、放流年により再捕状況にばらつきが見られた。その理由として、2015 年には、サンプル提供を依頼している漁業者の水揚げが少なかっ

たため、福岡県は10月のサンプリングができず、佐賀県も9月のサンプリング尾数が181尾と2016年の484尾と比較して少なく、放流当年に湾奥の漁場に参加した放流個体をうまく捕捉できなかつたことが推察された。

今後は、有明4県でさらに有効なサンプリング手法の統一を図るとともに、親子判定に使用する遺伝マーカーを増やす等のMS-DNA調査手法の改良により、分析精度向上に努めていく予定である。

## 2. 成長

ガザミの成長については、水槽飼育下での報告<sup>5)</sup>や大阪湾で漁獲物の測定結果をもとに推定した報告<sup>6)</sup>、静岡県浜名湖のCWTを用いた報告<sup>18)</sup>があるが、天然海域に放流された種苗について1年以上、追跡した結果は報告されていない。

本研究では、早い個体では、放流後3ヶ月(4月齢)で全甲幅長150mm程度に達し漁獲群に加わり、放流当年には最大191mm、翌年春に再び成長を始め、最大245mmに成長していることが確認できた。

一方、成長式に関しては、いずれの成長式も放流年の急速な成長は一致していたが、放流翌年の成長をうまく表す事ができなかった。現在、有明4県では有明海ではガザミ資源の回復を目的として、有明海ガザミ資源管理方針を策定し、全甲幅長120mm未満の小型個体を再放流に取り組んでいる。さらに自主的にそれ以上厳しいサイズ規制に取り組んでいる県もある。そのため、放流年に漁獲群に参加した放流個体のうち、成長が早く、規制サイズを超えた大きな個体ばかりが再捕され、その結果、放流当年の成長が過大に推定された事が、成長式の当てはまりが悪くなった要因として推察された。

また、成長式の最大体長が実測値より小さかった要因としては、過去のペイント標識放流調査結果では、湾奥部で成熟した雌は、産卵のため湾中部や湾口部に南下すると推定されたことから<sup>19)・20)</sup>、これら大型の雌をうまくサンプリングできなかったことや、今回の調査では、放流2年後以降にさらに成長した個体を確認できなかったことが推察された。

有明4県では、今後も調査を継続し、放流翌年や2年後の成長、移動についてさらに知見を蓄積していく計画である。

## 3. 移動

放流個体は、放流当年には放流場所である湾奥部を中心に再捕されたが、翌春以降は生息域を拡大し、湾奥部のほか、南下して湾中部や湾口部、橘湾でも再捕された。これは、過去に行われた背甲ペイント標識で確認された大型個体の移動<sup>19)・20)</sup>と同様の傾向であった。このことから湾奥放流群が4県の共通資源として利用されていることが明らかとなった。

なお、今回の解析結果では、雌は雄に比べ、より遠方の湾口や橘湾まで移動する傾向が見られた。この理由として、雌は繁殖生態の一環として、湾口や橘湾において、腹節に抱えた卵から孵化したゾエアを放出するために移動していることが推察された。

今後はさらに性別の移動生態の違いについても注視していきたい。

## 4. 放流効果

### (1) 回収率

これまでガザミでは、種苗への標識が困難であったため種苗放流効果に関する報告は少ない。

岡本ら<sup>18)</sup>は、静岡県浜名湖において、漁獲物の全甲幅長組成をもとに放流群を分解し、C3サイズ放流での回収率を0.3~2.2%、平均0.9%と推定し、さらに種苗にCWTを装着、放流し追跡調査を実施した結果、全甲幅長組成による放流群分解が妥当であると報告している。

しかしながら、この報告ではCWTを装着、放流した種苗はC5サイズと、実際に放流されているC3サイズより大型で、また、再捕されたCWT標識個体数は13尾と少なく、群分解により放流群とみなされた中に天然群が混在しているか、CWT標識が脱落した標識個体が天然群とみなされるという可能性を否定できない。

本研究では、放流用種苗とその雌親アリルをもとに、メンデル遺伝法則により雄親アリルを導き出し、解析ソフトPARFEXを用いて解析を行うことにより、数十万尾から数百万尾の放流種苗全てを健全な状態で標識個体として、追跡、判別することを可能とした。また、解析した14放流群の回収率は0~4.17%とばらつきはあるが、回収率が0であったのはわずか1放流群だけであり、ガザミにおいて、同時期に放流された複数放流群の回収率

を明らかにした初めての事例となった。

一方、各県で再捕された放流群別の混入率は1%未満であり、サンプリング頻度やサンプル数等により再捕結果が大きく変化する可能性も示唆されたため、今後はさらに統計的にばらつきが少ないサンプリングが必要であると考えられた。

## (2) 放流時期

放流直後の若齢ガザミの生残や成長には、水温、塩分、溶存酸素量等の環境要因が影響する<sup>21,22)</sup>。当研究所が毎月1回新月の大潮時に行っている浅海定線調査の結果では、放流月およびその翌月の6～9月において、2015年は平年値と比較して、海水温はやや低めから並、塩分はやや低めから並、溶存酸素量はやや低めから並であった<sup>23)</sup>。また、2016年は平年値と比較して、海水温はやや低めから並、塩分はかなり低めから並、溶存酸素量はやや低めから並<sup>24)</sup>であり、両年に放流後の成長や生残に大きな差が出るほどの環境面での違いはなかったと推察された。

2015年、2016年両年を合わせた検定の結果では、放流月と回収率の間には5%水準で有意な関係があり、6月と8月の回収率にも有意差があり、8月より6月に放流した方が回収率が高くなることが統計的に裏付けられた。また、1%を超える回収率を示したのは6、7月放流群のみであり、早期放流が効果的である可能性が示唆された。

今後は、さらに4県でMS-DNA標識による調査を充実させ、生態的知見の蓄積のほか、放流場所など各種条件別の放流効果を明らかにすることにより、最適な放流技術手法の開発に取り組む計画である。

## 謝 辞

当研究は水産庁補助事業有明海漁業振興技術開発事業により実施した。あわせて、分析用資料の提供や測定において甚大なる協力を頂いた福岡県の有明海ガザミ育成会の堤幸夫会長をはじめとした会員の皆様については、心より御礼申し上げる。本研究において様々な助言を頂いた公益財団法人ふくおか豊かな海づくり協会の行武 敦氏には格別の厚情と指導を賜り、厚く御礼申し上げる。

## 文 献

- 1) 小河淳一, 大津 渡, 入江 章, 曾根元徳, 相島昇, 富重信一. ガザミ種苗放流技術の開発について-I. 福岡県有明水産試験場研究業務報告 1980; 111-117.
- 2) ガザミ種苗生産研究会. 水産叢書 32 ガザミ種苗の量産技術. 社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 1983; 7-8.
- 3) 平成 29 年度栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績(全国)～総括編・動向編～. 国立研究開発法人水産研究・教育機構, 横浜. 2019; 8-9.
- 4) 岩井 保・林 勇. 基礎水産動物学 恒星社恒生閣, 東京, 1990; 266.
- 5) 有山啓之. 水槽で飼育したガザミの脱皮と成長. 日本水産学会誌 1992; 58(10): 1799-1805.
- 6) 有山啓之. 大阪湾におけるガザミの成長. 日本水産学会誌 1993; 59(8): 1269-1277.
- 7) 有山啓之, 片山 直, 松田八束, 濱野米一, 高垣裕, 浦谷文博, 大山 博. ガザミの標識法についてII. 小型個体への標識法. 大阪府立水産試験場研究報告 2001; 13: 29-43.
- 8) 鈴木洋行. 再生痕を利用したガザミ種苗外部標識の検討～背甲後端切込標識を中心に～. 長崎県水産試験場研究報告 2005; 31: 1-9.
- 9) 南浦達也. 復節の切除または切り込みによるガザミへの外部標識法の有効性. 水産増殖 2012; 60(1): 127-134.
- 10) Sugaya T, Ikeda M, Taniguchi N. Relatedness structure estimated by microsatellite DNA markers and mitochondrial DNA polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism analyses in the wild population of kuruma prawn *Penaeus japonicus*. Fishery. Science 2002; 68(4): 793-80.
- 11) Wang H, Cui Z, Wu D, Guo E, Liu Y, Wang C, Su X, Li T. Application of microsatellite DNA parentage markers in the swimming crab *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture International* 2012; 20: 649-656.
- 12) 鈴木洋行. 有明海における DNA マーカーを用いた種苗生産および放流技術開発. 水産育種 2017;

- 46 : 93-94.
- 13) 浜崎活幸. ガザミの生殖と発育に関する研究. 日本栽培漁業協会特別研究報告 1996 ; 8 : 32-34.
- 14) Sekino M, Kakehi S. PARFEX v1.0 : an EXCEL™-based software package for parentage allocation. *Conservation Genetics Resources* 2012 ; 4 : 275-278.
- 15) Sakaguchi H, Hamano T, Nakazono A. Growth of *Octopus vulgaris* in the Northeastern Iyoda of the Seto Inland Sea, Japan. *水産海洋研究* 2002 ; 66(1) : 11-15.
- 16) Imai H, Obata Y, Sekiya S, Shimizu T, Numachi K. Mitochondrial DNA Markers Confirm Successful Stocking of Mud Crab Juveniles (*Scylla paramamosain*) into a Natural Population. *Suisanzoshoku* 2002 ; 50(2) : 149-156.
- 17) Obata Y, Imai H, Kitakado T, K. Hamasaki, Kitada S. The contribution of stocked mud crab *Scylla paramamosain* to commercial catches in Japan, estimated using a genetic stock identification technique. *Fishery Research* 2006 ; 80 : 113-121.
- 18) 岡本一利, 長谷川雅俊, 御宿昭彦. Coded Wire Tag を用いた標識放流により立証された放流群分析と浜名湖におけるガザミ種苗放流効果. 静岡県水産技術センター研究報告 2014 ; 46 : 67-78.
- 19) 堀井豊充, 立石 賢, 吉田範秋. 有明海における標識放流からみた軟甲ガザミの移動と死亡係数. 長崎県水産試験場研究報告 1989 ; 15 : 47-52.
- 20) 宮本博和, 金澤孝弘. 標識放流からみたガザミ軟甲個体の移動と再放流効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; 19 : 7-12.
- 21) 原田和弘, 中村行延. ガザミ種苗の塩分および水温耐性. 兵庫県立水産試験場研究報告 1994 ; 31 : 17-23.
- 22) 下茂 繁, 秋本 泰, 高浜 洋. 海生生物の水質環境耐性について : 総説. 海洋生物研究所研究報告 2004 ; 6 : 108-109.
- 23) 小谷正幸, 江頭亮介, 井手浩美, 淵上 哲 . 資源管理体制強化実施推進事業(1) 浅海定線調査. 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2017 ; 169-173.
- 24) 小谷正幸, 安河内雄介, 井手浩美, 淵上 哲. 資源管理体制強化実施推進事業(1) 浅海定線調査. 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2018 ; 153-157.

## 標識放流から推定した周防灘におけるナルトビエイの移動生態

野副 滉・大形 拓路<sup>a</sup>・伊藤 輝昭<sup>b</sup>  
(豊前海研究所)

周防灘では近年、二枚貝類を捕食するナルトビエイの来遊により、アサリ等有用二枚貝類の食害や、漁具の破損等の被害が発生している。そのため、本県では2007年度より駆除を実施しているが、駆除を行う時期や海域など、漁業者の勘に頼っているのが現状である。そこで、知見の少ない当海域でのナルトビエイの移動生態を明らかにするため、ナルトビエイの標識放流試験を行い、再捕された個体のアーカイバルタグのデータを解析した。計測された水温は12.3~31.1℃の範囲、水深は2.5~200.1mの範囲であり、日中と比較して夜間は浅い水深帯へ移動していた。また、得られたデータの分析から、時期によって異なる海域に生息していることが示され、5月から8月までを豊前海、9月から11月までを別府湾周辺海域および別府湾奥部、12月から3月までを速吸瀬戸周辺海域および豊後水道北部、4月を豊後水道北部で過ごし、年間を通して、周防灘や別府湾、および豊後水道周辺海域を回遊する移動生態が推定された。

キーワード：ナルトビエイ、標識放流、周防灘、移動生態

ナルトビエイ *Aetobatus narutobiei* は温帯から熱帯の沿岸域に生息する板鰐類で<sup>1)</sup>、国内では有明海や周防灘等の西日本海域を中心に生息している。成体は体盤幅長が1m以上に成長し、また二枚貝類を捕食することから<sup>2)</sup>、生息域に属する県からは、二枚貝類への食害や混獲による漁具損傷など多くの漁業被害の報告があり、その被害防止・軽減のため有明海、周防灘では年間数十トンの駆除が実施されている。福岡県豊前海区においても、近年のアサリ *Ruditapes philippinarum* 漁獲量減少要因の一つとして本種による食害が挙げられていることから<sup>3)</sup>、アサリ資源保護を目的として2007年度から駆除事業が開始され、2018年度までに計414,455kgが駆除されている(表1)。

しかし、いずれの海域においても、ナルトビエイの生態については知見が少なく、駆除は漁業者の経験や勘を頼りに行われていることから、客観的なデータに基づく効率的な駆除には至っていない。そのため周防灘を所管する3県は、ナルトビエイの生態調査を実施し、当海域でのナルトビエイの生態解明を急いでいる。本報では標識放流後、再捕された1個体のデータから周防灘に来遊するナルトビエイの移動生態について解析と推定を行ったので報告する。

## 方 法

### 1. 標識放流

標識放流は、2010年7月から2017年9月までの期間中、生態調査により捕獲されたナルトビエイ計97個体(表2)にアーカイバルタグを装着して行った。調査場所は行橋市沖(図1)で、アーカイバルタグはLotek社製LAT1100(図2)を使用し、結束バンドを用いてナルトビエイの尻鰭または尾柄部に装着した(図3)。測定した項目は水温と水深の2項目で、計測間隔はそれぞれ60分に設定した。

表1 福岡県豊前海のナルトビエイ駆除実績

年度 駆除重量 (kg)		年度 駆除重量 (kg)	
2007	52,220	2014	35,000
2008	35,000	2015	35,000
2009	35,000	2016	35,000
2010	35,000	2017	31,157
2011	35,000	2018	16,078
2012	35,000	計	414,455
2013	35,000		

a現所属：農林水産部輸出促進課

b現所属：内水面研究所





## 結 果

### 1. 標識放流

調査期間中に放流した個体の平均体盤幅長は 84.0 cm (最大 125.0 cm, 最小 42.0 cm) で, 雌雄の比は, 雌 47 : 雄 50 であった。2019 年 10 月までに 2 個体が再捕され, そのうち 1 個体 (タグ No. 235) は雄の個体で, 放流後 356 日後に放流場所と同じ行橋市沖で再捕され(図 1) 体盤幅長が 10.3 cm, 体重が 1.13kg 増加していた。もう 1 個体については, 大分県地先で再捕されたが, 詳細な再捕場所が不明であったことと, 回収されたタグの故障により読み取りが困難であったことからデータを得ることができなかった。そのため本報では前者のデータを用いて解析を行った。

### 2. タグ水温データの補正

再捕個体から回収したアーカイバルタグ(タグ No. 235) と ALEC 社製 ACT20-D で測定した実際の水温との関係を図 4 に示した。その結果, 20.1°C より低い水温ではアーカイバルタグのデータは実際の水温より高い傾向に, 20.1°C より高い水温では低い傾向となり, 両者の差は最大で 6°C であった。また, タグの記録水温と実水温の間には, 強い相関 ( $r=0.9998$ ) が見られ, 次式で示される関係が認められた。補正後はタグの記録水温と実水温の差は最大で 0.3°C と実際の水温とほぼ同等のデータを得ることができた (図 5)。

$$CWT=1.99918 \times RWT - 19.935$$

※CWT: 補正水温, RWT: 記録水温

### 3. タグデータの解析と生息海域の推定

#### (1) タグデータの解析

タグに記録された水深および水温の全データを図 6 に示した。放流から再捕までの間に欠損データは無かった。

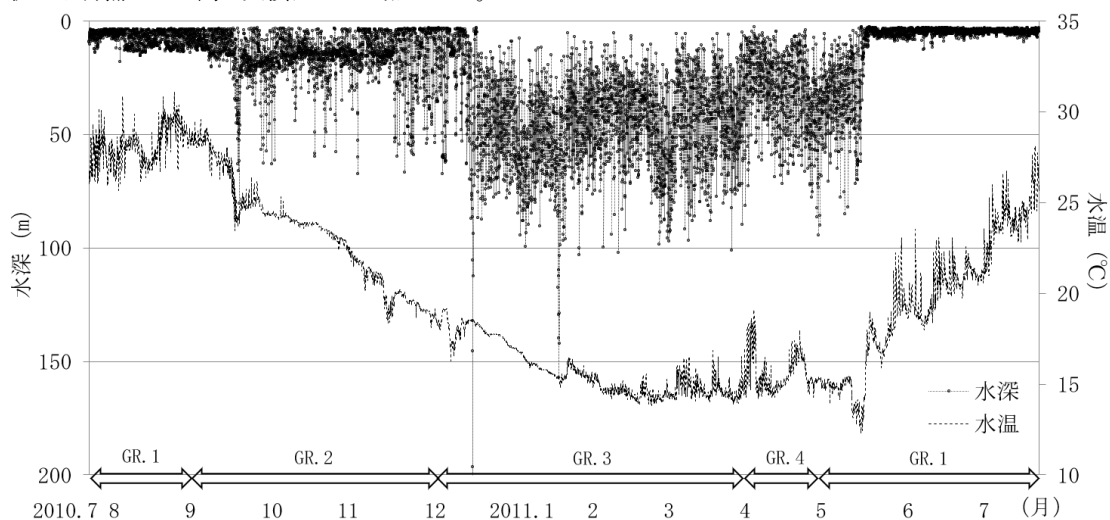


図 6 記録された水深および水温

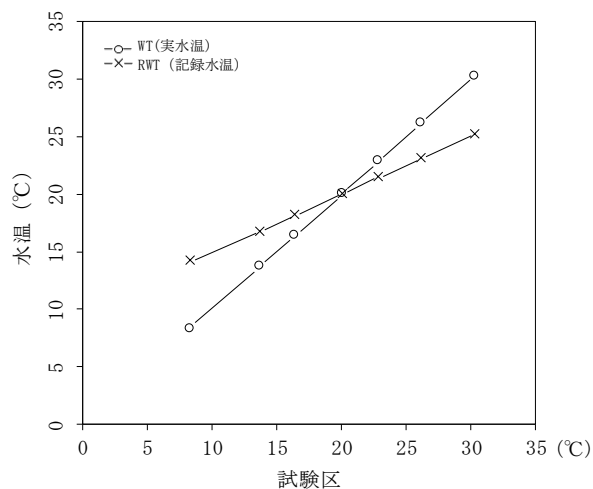


図 4 実水温と記録水温の誤差

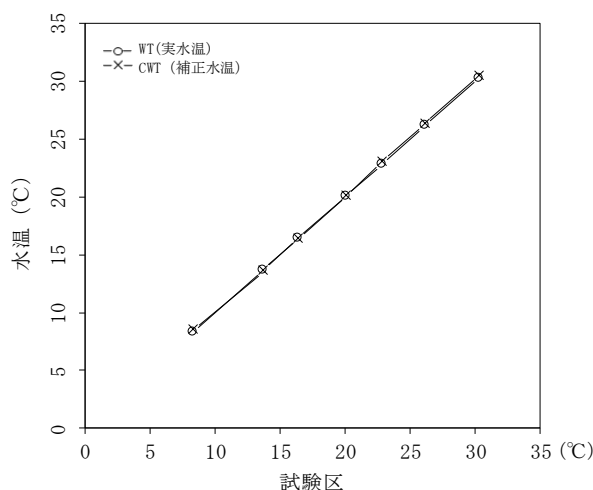


図 5 実水温と補正水温の誤差

記録水温の月別平均を図7に示した。水温の平均は、14.5(2月)~28.3℃(8月)の範囲で、最も高い月は8月、最も低い月は2月であった。

記録水深の月別平均を図8に示した。水深の平均は、4.6(6月)~49.6m(1月)の範囲で、最も深い月は1月、最も浅い月は6月であった。時期別に集計すると、春期(3~5月)が27.6m, 夏期(6~8月)が5.9m, 秋期(9~11月)が15.4m, 冬期(12~2月)が44.1mであった。

次に、春期(3~5月), 夏期(6~8月), 秋期(9~11月), 冬期(12~2月)の水深および水温のうち、各期の1日を抜粋し図9に示した。鉛直移動距離は生息海域の水深に比例し、時期によって差があったものの、どの時期においても活発な移動が確認され、夏期が最も小さく、冬期が最も大きかった。時間帯別に集計した水深を図10に示した。水深の平均は、18.0(20時)~30.7m(10時および11時)の範囲で、最も深い時間帯は10および11時、最も浅い時間帯は20時であった。昼夜別に平均水深を集計す

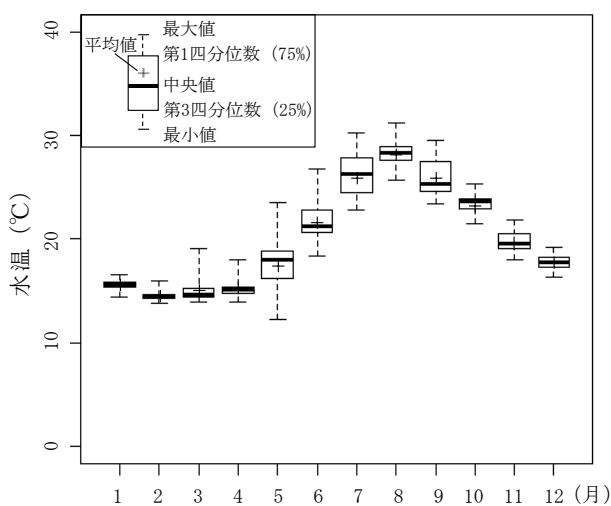


図7 記録水温の月別平均

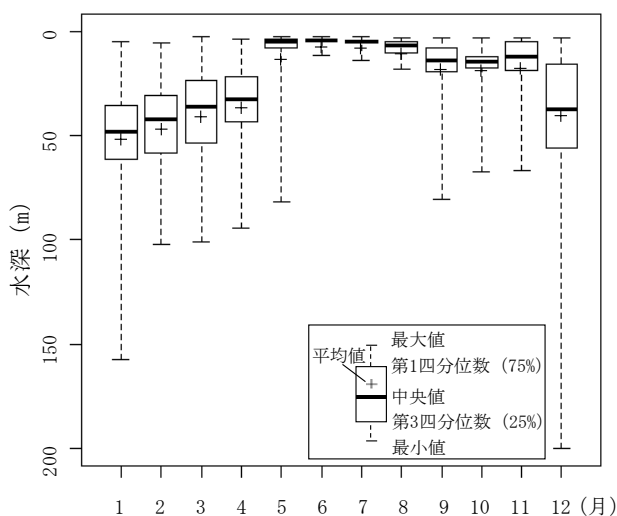


図8 記録水深の月別平均

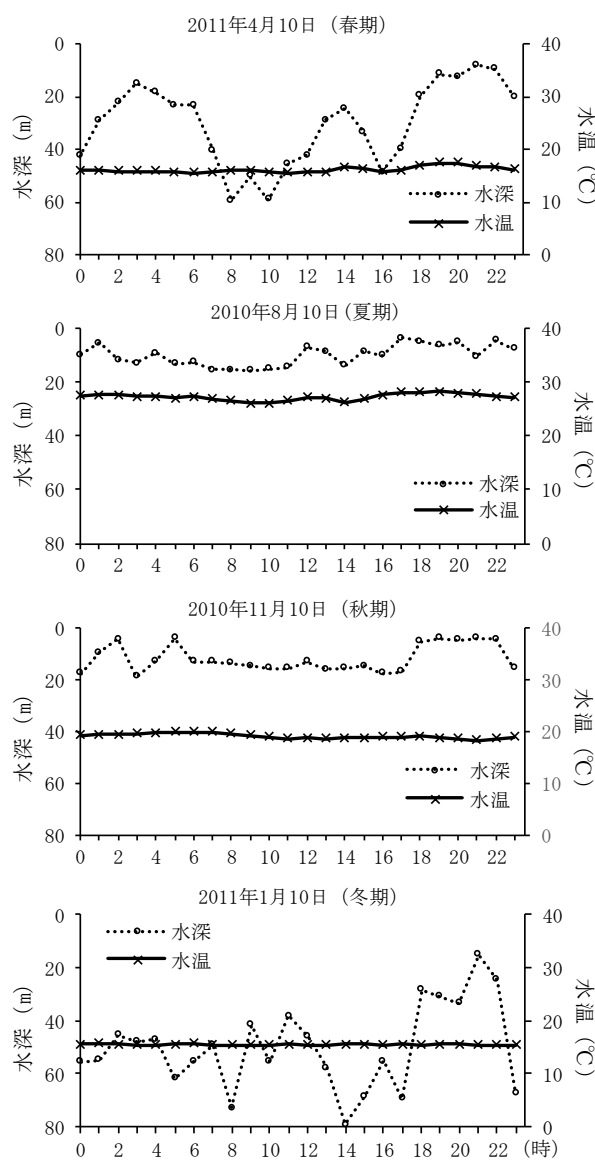


図9 各時期の水深および水温の日周変動

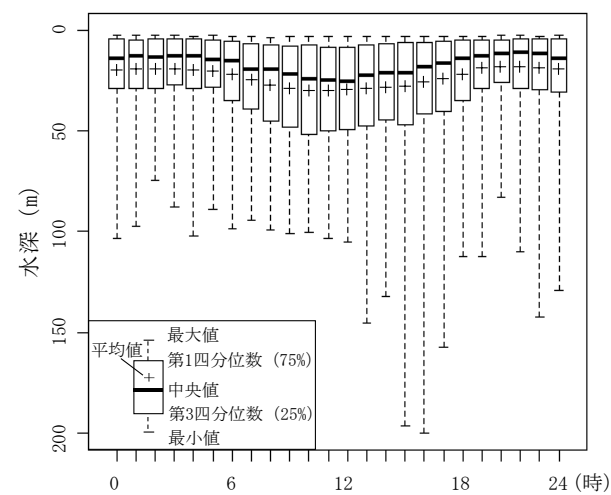


図10 記録水深の時間帯別平均

ると、昼（6～18時）が27.4m、夜（19～5時）が19.3mであり、日中に深く、夜間に浅い傾向が見られた。

時間帯別に集計した鉛直移動距離を図11に示した。鉛直移動距離の平均は、6.7（3時）～8.7m（6時）の範囲で、最も大きい時間帯は6時、最も小さい時間帯は3時であった。昼夜別に鉛直移動距離を集計すると、昼（6～18時）が8.0m、夜（19～5時）が7.5mであり、時間帯による鉛直移動距離の差はほとんどみられなかった。

月別生息海域について、各月間の水深において検定を行った結果（表3）、5～8月（以下GR.1）、9～11月（以下GR.2）、12～3月（以下、GR.3）、4月（以下GR.4）の4グループに分類され（図6）、それぞれの日別最大水深の平均と分散は、GR.1が12.2m, 176.9, GR.2が33.3m, 269.0, GR.3が75.5m, 467.5, GR4が65.9m, 124.6となり、GR.1が最も浅く、GR.3が最も深い海域であった。

**(2) 生息海域の推定**

生息海域のグループのうち、GR.1は日別最大水深の平均が12.2mと非常に浅い海域であった。記録された水深帯と豊前海への来遊時期から、本海域は豊前海であると推察された。記録水温と福岡県の浅海定線調査（9月）の水温を照合した結果、記録水温は図12に示したとおり、stn.2および15付近の水温と一致していた。隣接する大分県の浅海定線調査（9月）の水温とも照合したが、最も差が小さい調査点においても-1.2℃の差があったことから、大分県地先ではなく、豊前海に生息していたことが示唆された。

GR.2は日別最大水深の平均が33.3mとGR.1より深い海域であった。記録水深から、豊前海以外の海域に移動したことが考えられた。記録水温と大分県の浅海定線調査（10月）の水温を照合した結果（図13）、記録水温はstn.8および33付近の水温と一致していた。さらに、表層の記録水温と海上保安庁が公開している瀬戸内海全域海面水温でも照合を行ったところ、表層の記録水温は別府湾周辺海域の表層水温と一致していた（図14）。なお、12月について

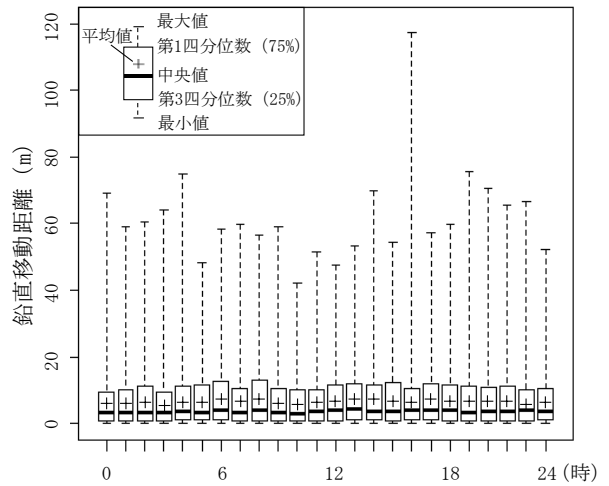


図11 鉛直移動の時間帯別平均

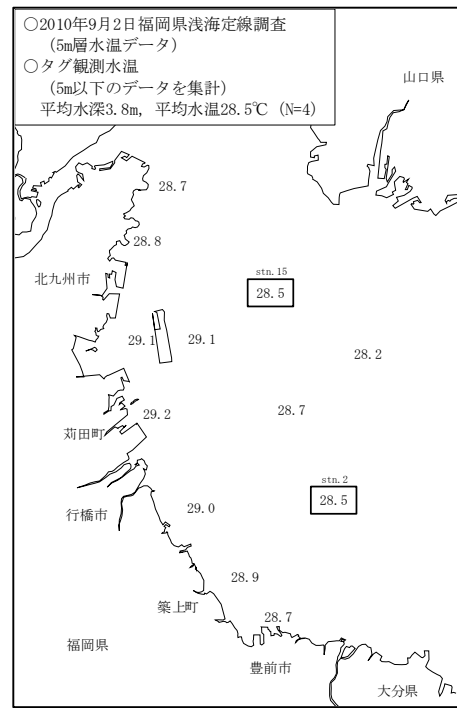


図12 福岡県の浅海定線調査結果（9月）

表3 各月間における有意差

水準1	水準2	P 値判定	水準1	水準2	P 値判定	水準1	水準2	P 値判定	水準1	水準2	P 値判定
	2010年8月	1.0000		2011年5月	0.8421	2010年10月	2011年6月	0.0000 **	2011年1月	2011年5月	0.0000 **
	2010年9月	0.0134 *	2010年8月	2011年6月	0.9507		2011年7月	0.0022 **		2011年6月	0.0000 **
	2010年10月	0.0263 *		2011年7月	0.9955		2010年12月	0.0000 **		2011年7月	0.0000 **
	2010年11月	0.0005 **		2010年10月	1.0000		2011年1月	0.0000 **		2011年3月	1.0000
	2010年12月	0.0000 **		2010年11月	0.9868		2011年2月	0.0000 **		2011年4月	0.3812
2010年7月	2011年1月	0.0000 **		2010年12月	0.0000 **	2010年11月	2011年3月	0.0000 **	2011年2月	2011年5月	0.0000 **
	2011年2月	0.0000 **		2011年1月	0.0000 **		2011年4月	0.0000 **		2011年6月	0.0000 **
	2011年3月	0.0000 **		2011年2月	0.0000 **		2011年5月	0.0050 **		2011年7月	0.0000 **
	2011年4月	0.0000 **	2010年9月	2011年3月	0.0000 **		2011年6月	0.0000 **		2011年4月	0.7617
	2011年5月	0.8183		2011年4月	0.0000 **		2011年7月	0.0000 **	2011年3月	2011年5月	0.0000 **
	2011年6月	1.0000		2011年5月	0.1878		2011年1月	0.1564		2011年6月	0.0000 **
	2011年7月	1.0000		2011年6月	0.0000 **		2011年2月	0.9037		2011年7月	0.0000 **
	2010年9月	0.0007 **		2011年7月	0.0009 **		2011年3月	0.9973		2011年5月	0.0000 **
	2010年10月	0.0021 **		2010年11月	0.9255	2010年12月	2011年4月	0.9990	2011年4月	2011年6月	0.0000 **
	2010年11月	0.0000 **		2010年12月	0.0000 **		2011年5月	0.0000 **		2011年7月	0.0000 **
	2010年12月	0.0000 **		2011年1月	0.0000 **		2011年6月	0.0000 **	2011年5月	2011年6月	0.0819
2010年8月	2011年1月	0.0000 **	2010年10月	2011年2月	0.0000 **		2011年7月	0.0000 **		2011年7月	0.4447
	2011年2月	0.0000 **		2011年3月	0.0000 **		2011年2月	0.9840	2011年2月	2011年7月	1.0000
	2011年3月	0.0000 **		2011年4月	0.0000 **	2011年1月	2011年3月	0.7505			
	2011年4月	0.0000 **		2011年5月	0.3377		2011年4月	0.0126 *			

\*\* : 1%有意 \* : 5%有意

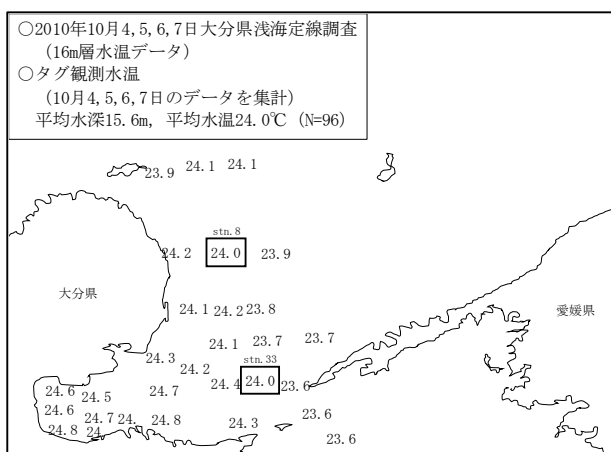


図 13 大分県の浅海定線調査結果（10月）

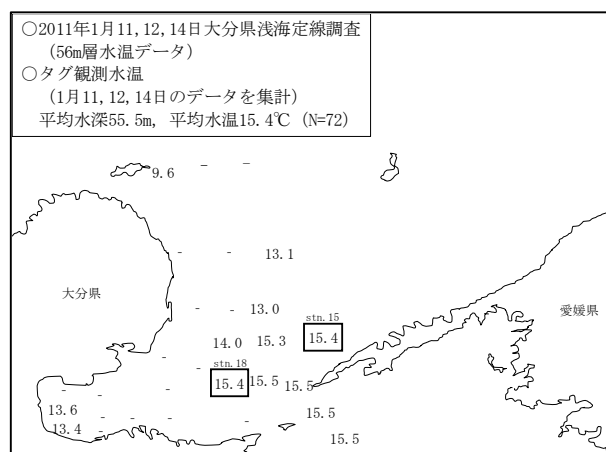


図 16 大分県の浅海定線調査結果（1月）

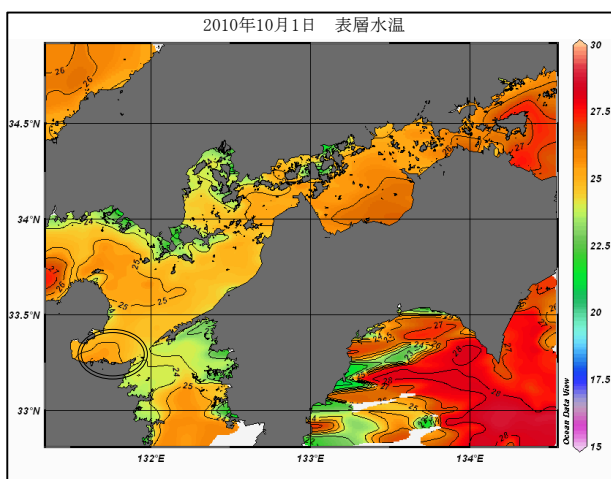


図 14 瀬戸内海全域海面水温分布（10月）

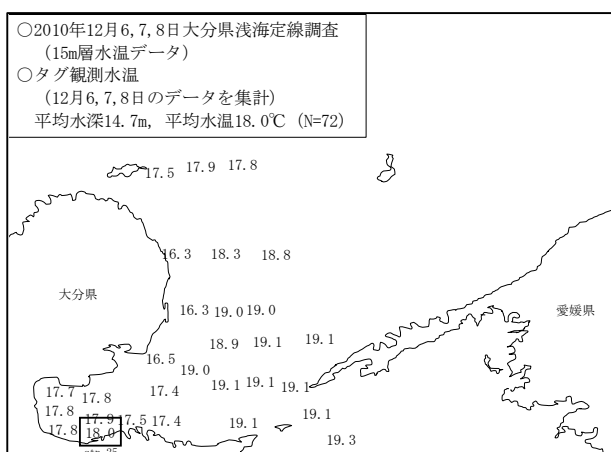


図 15 大分県の浅海定線調査結果（12月）

ては、GR. 3 に分類されているものの、上旬は GR. 2 と類似した水深帯が記録されていることから、GR. 2 海域に生息していたことが推察された。上旬について、記録水温と大分県の浅海定線調査（12月）の水温を照合したところ、

記録水温は stn. 25 付近の水温と一致していた（図 15）。これらのことから GR. 2 および 12 月上旬は、別府湾周辺海域および別府湾奥部であることが示唆された。

GR. 3 は日別最大水深の平均が 75.5m と 4 グループの中で最も深い海域であった。12 月は中旬から深い水深帯へ移動しており、12 月 12 日には 200.1m を観測し、その後 3 月下旬までは 36.7～157.2m の水深帯が記録された。記録水温と大分県の浅海定線調査（1月）の水温を照合した結果（図 16）、記録水温は stn. 15 および 18 付近と一致しており、速吸瀬戸周辺海域であることが示唆された。瀬戸内海西部において水深が 200m を超える場所は同海域のみ<sup>6)</sup>であることから GR. 3 は速吸瀬戸周辺海域であることは明白である。ただし、2 月および 3 月に関しては、記録水温と大分県の浅海定線調査の水温は一致しておらず、最も近い調査点においても +1.1℃ の差があった。このことから、2 月および 3 月は浅海定線調査定点よりも南方に生息していたことが示唆された。

GR. 4 は日別最大水深の平均が 65.9m と GR. 3 よりも浅い海域であり、5.9～94.4m の水深帯が記録された。記録水温と大分県の浅海定線調査（4 月）の水温を照合した結果、最も近い調査点においても +1.9℃ の差があったため、2 月および 3 月同様、浅海定線調査定点よりも南方に生息していたことが示唆された。

GR. 1 の 5 月について、中旬以降の日別最大水深は 10m 前後であり、再び豊前海へ回遊してきたことが推察された。記録水温と福岡県の浅海定線調査（6 月）の水温を照合した結果、記録水温は stn. 10 および 12 付近の水温と +0.3℃ であり、概ね一致していた（図 17）。隣接する大分県の浅海定線調査（6 月）の水温とも照合したが、最も差が小さい調査点においても -0.8℃ の差があったことから、大分県地先ではなく、豊前海に生息していたことが示唆された。



告しており<sup>12)</sup>、周防灘と豊後水道間の交流があることは明らかとなっている。そこで大分県が豊後水道で実施している沿岸定線調査の水温データと照合したところ、いずれの月も同月の stn. 1~9 の調査点の平均水温と概ね一致していた。よってこの期間は豊後水道北部海域に生息していた可能性が高いと考えられる。

以上の結果をもとに、周防灘におけるナルトビエイの推定移動経路を図 18 に示した。周防灘におけるナルトビエイの移動生態については、5月から9月上旬までを豊前海、9月中旬から12月上旬までを別府湾周辺海域および別府湾奥部、12月中旬から3月までを速吸瀬戸周辺海域および豊後水道北部、4月を豊後水道北部で過ごし、5月中旬以降再び豊前海に回遊してくると推定された。

今回の調査では1個体のみでのデータ解析のため、移動場所や時期に関して不明瞭な部分が残っている。今後もナルトビエイによる漁業被害の軽減のため、標識放流調査を継続して標本数を増やし、より正確な移動生態が解明できるよう周防灘3県が協力していく必要があると考える。

## 謝 辞

本論文の作成にあたり、大分県浅海定線データの提供やデータの利用に関して多大なる協力を頂いた大分県農林水産研究指導センター水産研究部の大竹周作研究員(現所属:大分県東部振興局)に心より御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 中坊徹次. 日本産魚類検索「全種の同定2」(中坊徹次編), 東海大学出版会, 東京. 2000.
- 2) 山口敦子. 日本の沿岸域へのナルトビエイ *Aetobatus flagellum* の出現と漁業への影響. 月刊海洋号外

2006; 45: 75-79.

- 3) 野副 滉, 大形拓路, 俵積田貴彦, 惠崎 撰, 黒川皓平. 福岡県豊前海における網袋を用いたアサリの育成. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2019; 29: 9-15.
- 4) 第六管区海上保安本部 HP([https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN6/2\\_kaisyo/MCSST/old\\_eisei.htm](https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN6/2_kaisyo/MCSST/old_eisei.htm)) 最終検索日: 2019年12月25日.
- 5) 海上保安庁海洋情報部 HP(<https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html>) 最終検索日: 2019年12月25日.
- 6) 第六管区海上保安本部 HP([https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN6/5\\_sodan/mame/topic39.htm](https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN6/5_sodan/mame/topic39.htm)) 最終検索日: 2019年12月25日.
- 7) 有明海・八代海等総合調査評価委員会報告. 有明海・八代海等総合調査評価委員会 2017: 366-376.
- 8) 木下好治: ベラの冬眠並びに睡眠に就いて. 動物学雑誌 1935; 47: 795-799.
- 9) 科学研究費助成事業研究成果報告書. ナルトビエイの行動計測による二枚貝類の食害防除対策と沿岸生態系への影響評価 2018: 1-5.
- 10) 大形拓路, 中川浩一. 漁場環境保全対策事業(3)有害生物駆除手法実証事業(豊前ナルトビエイ). 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2013; 297-299.
- 11) 三代和樹, 樋下雄一, 畔地和久, 松並良美: 豊前海におけるアサリ資源回復に関する調査研究-4 ナルトビエイ生態調査②. 平成22年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告 2012: 208-210.
- 12) 崎山和昭, 畔地和久, 松並良美: 豊前海におけるアサリ資源回復に関する調査研究-3 ナルトビエイ生態調査. 平成25年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告 2015: 227-231

## 暗黒下低温処理によるスサビノリ殻胞子の 放出抑制効果について

徳田 眞孝・増田 浩美\*・石津 まりの  
(有明海研究所)

暗黒下低温処理によるスサビノリ *Pyropia yezoensis* の殻胞子放出抑制効果を把握すると共に、現場での実用化を検討した。暗黒下で4℃に調整した(暗黒下低温処理)試験区は、18℃で暗黒処理を行った試験区と比較して、抑制期間中の殻胞子の放出数は少なく、抑制解除後に速やかで多量の放出が確認された。また、抑制期間別の効果については、抑制処理期間が7日間までの試験区で抑制解除後に速やかで多量の殻胞子の放出が確認されたが、10日間以上の試験区では確認されず、暗黒下低温処理は7日間以下が有効であると推察された。暗黒下低温処理を行った殻胞子の有効性については、殻胞子発芽体に異常は認められず、野外試験においても一定の収穫量を得たことから、暗黒下低温処理の殻胞子の放出抑制効果とその実用性が示唆された。今後、産業的規模で行うためには殻胞子付着数のコントロール技術の開発や養殖漁業者の作業に合わせた手法での検証が必要である。

キーワード：スサビノリ，殻胞子，暗黒処理，低温

ノリ養殖において採苗は、その年の生産量を左右するとともに、製品の品質にも大きな影響を及ぼす重要な工程である。福岡県有明海区では、全ての漁場が支柱式養殖であり、支柱に張ったノリ網の下にカキ殻を基質として十分に育成させた穿孔糸状体(以下カキ殻糸状体という)を吊り下げ、放出される殻胞子をノリ網に付着させる野外採苗を行っている。現場では、海水温の低下や潮回りを考慮して、最も安定生産が可能な採苗日が決定され、養殖漁業者は採苗日に合わせて殻胞子が放出されるように約2週間をかけて殻胞子のう細胞の熟度調整を行っている。しかし、台風等の気象、海況の急変により、採苗日直前に急遽延期しなければならない場合があり、殻胞子の放出を抑制する技術が必要とされてきた。

殻胞子の放出抑制は、これまでに温度調整、暗黒処理、連続光培養、水蒸気飽和处理、塩分調整、古海水培養等の方法が研究されてきた<sup>1-8)</sup>。これらのうち、産業的規模で実施されているのは、培養海水の温度を25℃以上に保つ方法である。しかし、この方法は未成熟な殻胞子のう細胞の熟度進行を抑制する技術であり、すでに殻胞子のう細胞の熟度が進んだ段階で殻胞子の放出を抑制するには有効でない。一方、殻胞子のう細胞の熟度進行を遅くする、あるいは殻胞子の放出そのものを抑制する技術として、暗黒処理及び水蒸気飽和处理が一般的な手法と

されている<sup>9)</sup>。しかし、これらの方法は、抑制解除後、速やかに殻胞子を放出するものではなく、抑制解除後の光のあて方等の処理に注意を要し、全ての養殖漁業者が行える技術として確立するまでには至っていないのが現状である。本報告の前に予備試験として行った温度操作による殻胞子の放出抑制効果について検証した結果、暗黒下で低温処理をする方法に効果の可能性が認められた<sup>10)</sup>。暗黒下での低温処理は、佐賀県水産試験場有明分場が行った試験<sup>8)</sup>があるが、これは暗黒下低温の状態から通常の状態に戻すことで、殻胞子の放出を促進させることを目的としたもので、熟度が進んだ殻胞子のう細胞における殻胞子の放出抑制効果についての知見はない。今回、暗黒下低温処理による殻胞子の放出抑制効果を把握するとともに野外試験を行い、本技術の現場での実用化を検討したので報告する。

### 1. 暗黒下低温処理による殻胞子放出の抑制効果

#### 方 法

糸状体の培養基質には、殻胞子の放出を定量的に測定するため、形状が扁平で厚さが均一であり、一定の大きさへの裁断が容易であるマドガイ *Placuna placenta* の殻を使用した。

\*現所属：福岡県農林水産部水産局漁業管理課

マドガイを大きさ1cm×1cm に切断し、福岡有明海漁業協同組合連合会が種苗登録しているスサビノリ品種「福有」のフリーリビング糸状体をミキサーで細断し、これに蒔き付けた。このマドガイに蒔き付けた糸状体(以下、マドガイ殻糸状体という)を、地先海水(塩分30)1Lに対しNPM培地原液(表1)を2ml 加えて0.2μm のメンブランフィルター(Thermo Fisher Scientific 社)で濾過滅菌した培養液を用い、水温18℃、光強度100 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>、光周期11時間明期:13時間暗期で1カ月間静置培養した後、水温27℃、光強度20 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>、13時間明期:11時間暗期で2カ月間静置培養し、十分に殻胞子のうを形成させ、試験に供した。

試験は、暗黒下低温処理(水温4℃)で抑制したものを試験区に、暗黒処理(水温18℃)で抑制したものを対照区に設定し、各区8サンプルを用いて実施した。試験装置は、殻胞子の経日変化を把握するために、管瓶(直径2.6cm ×高さ9cm)に、0.2 μm のメンブランフィルターで濾過滅菌した地先海水を入れ、マドガイ殻糸状体の中央に直径0.5mm の穴を開け、線径0.45mm のステンレス製の針金を通してシリコ栓に装着し、管瓶の底から直上2cm の高さになるよう閉栓して吊り下げたものを用い、予め管瓶の底面に敷いたガラス板(1.8cm ×1.8cm、厚さ1mm)にマドガイ殻糸状体から放出された殻胞子を付着させる構造とし、殻胞子を計数する毎に新しいガラス板と交換した。十分に殻胞子のうを形成させたマドガイ殻糸状体を水温18℃、光強度100 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>、11時間明期:13時間暗期の条件下(以下18℃明条件という)に移し8日間培養して殻胞子のう細胞を2分裂させて、殻胞子が放出直前の状態まで成熟させた。次に、それぞれの試験条件下で5日間抑制し、抑制期間中は計数を行わず静置し、暗黒の状態を維持した。抑制開始5日目の夕刻に18℃明条件下に戻して抑制を解除して、翌日から管瓶の底面に敷いたガラス板に付着した殻胞子の計数を行った。放出した殻胞子の計数は、毎日1回、18℃明条件における明期5時間経過後に行った。ガラス板に付着した殻胞子は、落射蛍光装置付き生物顕微鏡(EC

LIPSE50i, ニコンインステック)を用いて、波長490nm、励起強度50%で照射したうえで、顕微鏡用デジタルカメラ(FLOYD, レイマー)を用いて、倍率100倍でガラス板の中央部と、中央1cm 角の四隅の計5箇所を撮影し、画像内の殻胞子数の平均値を1cm<sup>2</sup>あたりに換算し、各区8サンプルの平均を求めた。なお、抑制期間中の殻胞子の放出についても、抑制開始前に管瓶にガラス板を敷き、抑制解除日に取り出して殻胞子放出数を計数することで把握した。

## 結 果

殻胞子放出数の推移を図1に示した。暗黒下低温処理区は、抑制解除後翌日にあたる試験開始14日目に12,943 cells/cm<sup>2</sup>の放出数があり、その後減少して試験開始19日目に最低の1,281 cells/cm<sup>2</sup>となり、20日目から再び増加して、23日目に15,654 cells/cm<sup>2</sup>と最大を示し、その後減少した。一方、対照区の殻胞子の放出数は、抑制解除後1~3日目にあたる試験開始14日~16日目は、1,000~1,600 cells/cm<sup>2</sup>と低位のまま推移したが、17日目から増加して、抑制解除後9日目にあたる試験開始22日目に15,221 cells/cm<sup>2</sup>となり最大を示し、その後減少した。

次に、抑制解除直後に計数した抑制期間中の殻胞子放出数を図2に示した。暗黒下低温処理区が7,296 cells/cm<sup>2</sup>であったのに対し、対照区の放出数は21,098 cells/cm<sup>2</sup>であった。

## 2. 暗黒下低温処理期間別の殻胞子放出の抑制効果

### 方 法

試験は、暗黒下低温処理の抑制期間が、3, 5, 7, 10,

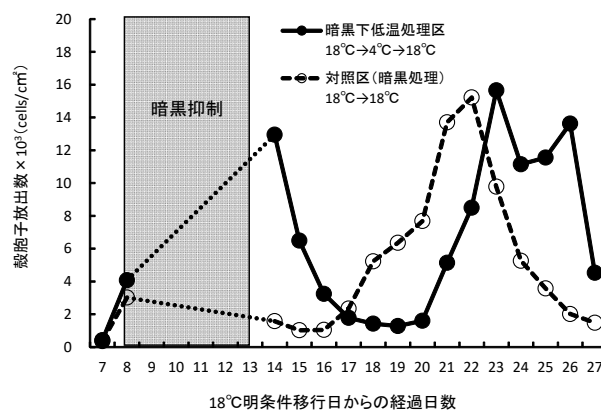


図1 暗黒下低温処理における殻胞放出数の推移

表1 NPM培地原液の組成

成分	分量
蒸留水	1L
NaNO3	35g
グリセロン酸Na	5g
PIメタル(クレワット32)	11.3g



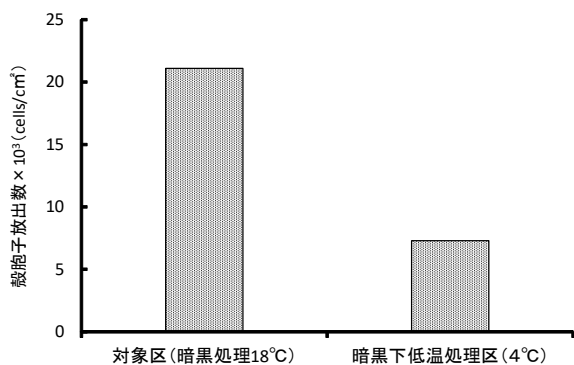


図2 抑制期間中の殻胞子放出数

20, 31日間の6区と、抑制を行わない対照区の合計7区で行った。1. と同様の方法で培養した殻胞子のう細胞の熟度が未成熟のマドガイ殻糸状体を用い、18°C明条件下で殻胞子のう細胞が2分裂し、殻胞子が放出直前の状態となった8日目まで培養し、培養8日目から暗黒下水温4°Cに置き、それぞれの試験区に設定した抑制期間の培養を行った。抑制期間中の暗黒下では計数を行わず静置した。抑制解除後は、18°C明条件下に戻して抑制を解除し、1. と同様の方法で殻胞子数を計数した。殻胞子の計数は、殻胞子放出数が減少後、増加の傾向が見られなくなるまで行った。

## 結果

試験区の抑制解除後の殻胞子放出数の推移を図3に、対照区の殻胞子放出数の推移を図4に示した。抑制期間3, 5, 7日間の区は、抑制解除1日目にそれぞれ、11,986cells/cm<sup>2</sup>, 15,492cells/cm<sup>2</sup>, 19,317cells/cm<sup>2</sup> と10,000cells/cm<sup>2</sup> を超える多くの殻胞子の放出数が認められたが、抑制期間10日間の区は3,776cells/cm<sup>2</sup> と少なく、抑制期間20, 31日間の区は、500cells/cm<sup>2</sup> 以下と非常に少なかった。抑制解除後2日目以降については、抑制解除後1日目に殻胞子の放出数が多かった抑制期間3, 5, 7日間の区は、抑制解除2日目には殻胞子の放出数が減少して5,000cells/cm<sup>2</sup> 以下となり、抑制解除3日目も同様のレベルで推移した。抑制期間10日間の区も同様に抑制解除2日目は殻胞子の放出数が減少して1,000cells/cm<sup>2</sup> 以下となり、3日目も同様のレベルで推移した。抑制期間20, 31日間の区の2日目以降の殻胞子の放出数は、抑制解除1日目と同様に非常に少なかった。なお、対照区の殻胞子の放出数は、殻胞子のう細胞が未成熟のマドガイ殻糸状体を18°C明条件下に移してから10日目（試験区で抑制開始してから2日目にあたる）に31,288cells/cm<sup>2</sup> とピークとなった後に急に減少して12日目には2,992cells/cm<sup>2</sup>

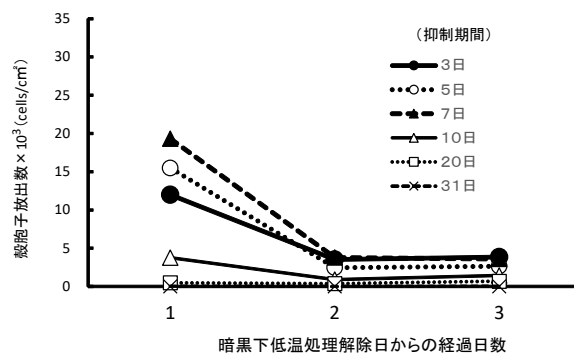


図3 暗黒下低温処理における殻胞子放出数の推移

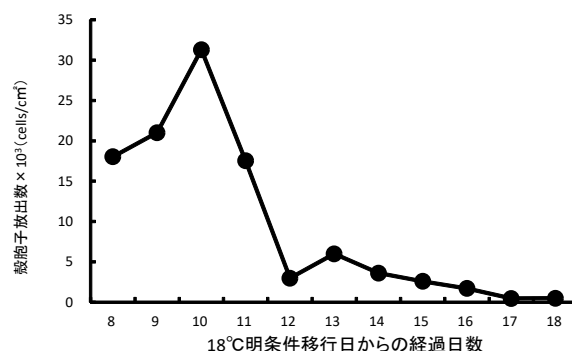


図4 対照区の殻胞子放出数の推移

となり、その後若干の増減はあるが、徐々に減少して18日目には1,000cells/cm<sup>2</sup>以下となった。

## 3. 暗黒下低温処理による殻胞子発芽体への影響

### 方法

暗黒下低温処理がノリ殻胞子発芽体に与える影響について検討した。1. の試験と同様の方法で培養したマドガイ殻糸状体を18°C明条件下で9日間培養して、殻胞子細胞が2分裂して殻胞子が放出直前の状態となったのを確認して暗黒下4°Cに7日間置き、その後、再び18°C明条件下で培養して放出させた殻胞子をクレモナ単糸に付着させたものを試験区に、共通条件で11日間培養後、自然放出させた殻胞子をクレモナ単糸に付着させたものを対照区とした。これらを500ml 丸底フラスコに移し、1/2 SWM-III改変培地（表2）を0.2μm のメンブランフィルターで濾過滅菌した培養液を用いて、水温18°C、光強度100μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>、光周期11時間明期:13時間暗期の条件下で通気培養を行い、生物顕微鏡で殻胞子発芽体の分裂状況を観察した。

表2 1 / 2 SWM-III 改変培地の組成

成分	分量
海水	1L
NaNO <sub>3</sub> (1.0M)	1ml
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (50mM)	1ml
FeCl <sub>3</sub> (1.0mM)	0.7ml
金属混液 PI	1ml
pH	7.5

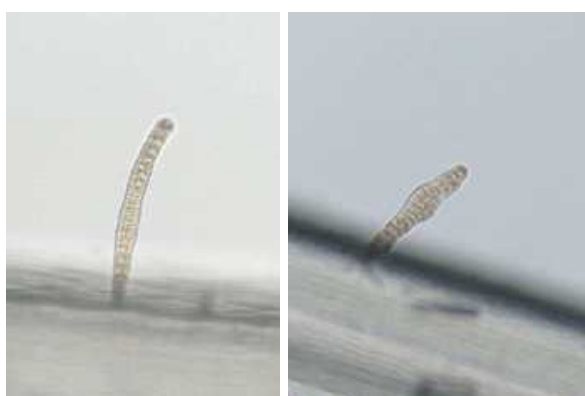


図5 殻孢子発芽体への影響の試験結果  
(左：暗黒下低温処理区，右対照区)

## 結果

殻孢子の発芽状況の経過を観察した結果，試験区，対照区ともに，単孢子細胞から7日目に縦列細胞分裂が認められ，殻孢子発芽体の形態に異常は見られなかった(図5)。

### 4. 暗黒下低温処理を施したカキ殻糸状体を用いた野外養殖試験

#### 方法

材料は，スサビノリ品種「福有」のフリーリビング糸状体を用い，4月にカキ殻に移植し，養殖現場の実態に合わせ，室温，自然光下で培養し，十分に殻孢子のうを形成させた。9月からは水温25℃を下回らないように適宜に温度調整を行い，殻孢子のう細胞を未成熟状態に保った。このカキ殻糸状体の一部を試験的に18℃明条件下に移して熟度を進めると，8日目に殻孢子の放出のピークを示すことを確認したので，ピークの2日前となる6日目から暗黒下低温処理(水温4℃)により5

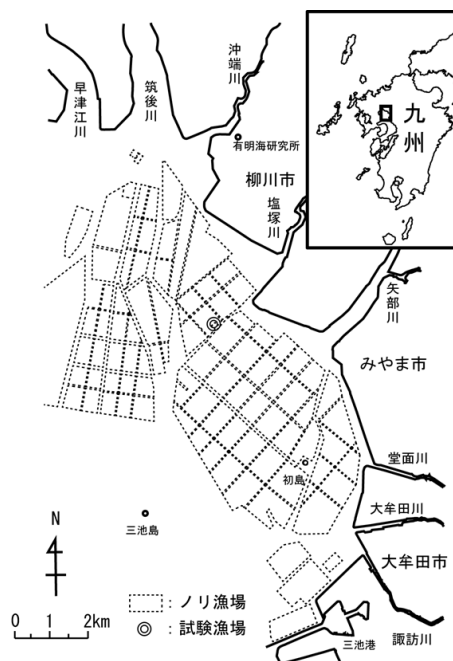


図6 試験漁場の位置

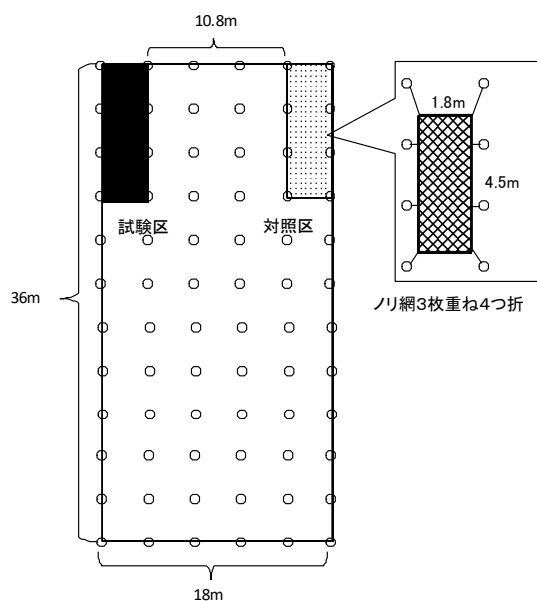


図7 養殖施設の配置図

日間抑制したものを試験区とし，18℃明条件下で8日間培養したものを対照区として野外試験を行った。試験漁場を図6に，養殖施設を図7に示した。採苗は，柳川市地先の18m × 36mの区画に，長さ10.5mのFRP製の支柱を72本建て込んだ養殖施設の両端の場所に，ノリ網(1.8m × 1.8m)3枚を重ねた上で4つ折りにして水平に張り，ノリ網の下にカキ殻糸状体を1枚入れた採苗用ポリ袋(13cm × 14cm，通称：ラッカサン)60個を均一に分散するように吊り下げて行った。両区とも2018年10月30日午前9時に沖出しし，採苗を開始した。採苗時の水温は18.9℃であった。

殻胞子の付着数は、採苗開始日から3日目まで計4回計数した。午前11時以降に各試験区のノリ網の6箇所から網糸を約10 cm 切り取り、落射蛍光装置付き生物顕微鏡を用いて、倍率100倍で網糸1本あたり20視野を観察し、当日付着したとみられる殻胞子数を計数して、それぞれの平均値を網糸1cm 当りに換算して、殻胞子付着数とした。

採苗した網は基本的に通常の養殖実態に則ったスケジュールに沿って養殖し、育苗後の11月9日に単張り育成に移行し、11月28日及び12月11日に摘採を行った。

## 結 果

殻胞子付着数の経日変化を図8に示した。暗黒下低温処理区、対照区ともに採苗開始日に若干の殻胞子の付着が確認されたが、対照区の付着数は採苗開始日以降徐々に増加して採苗開始3日目までの網糸1cm あたりの合計付着数が192個であったのに対し、暗黒下低温処理区は採苗開始2日目に1,263個と多くの殻胞子が付着し、採苗開始3日目までの合計付着数は1,994個と、対照区に比べて著しく多くの殻胞子の付着を確認した。

次に、育成したノリの収穫量を図9に示した。11月28日（採苗29日後）は、暗黒下低温処理区が1,212g、対照区が502g、12月11日（採苗42日後）は、暗黒下低温処理区が4,020g、対照区が10,340gであった。

## 考 察

殻胞子の放出を抑制する方法として、暗黒処理は過去に幾つかの報告がある。安部は暗黒処理による抑制後に速やかな殻胞子の放出を報告しているが<sup>1)</sup>、一方、三根らはこの処理が適正であったことを裏付ける詳細な情報が不足しているた

め、暗黒処理はノリ養殖技術として確立するまでには至っていないのが現状であると指摘し、7日間の暗黒処理では処理後から放出のピークを迎えるまでに時間を要することから、暗黒処理期間は2～3日間が適当であると推察している<sup>1)</sup>。今回の試験では、18°C5日間の暗黒処理は、抑制解除後に速やかな殻胞子の放出は見られず、三根らと同様の結果となった。18°Cで5日間の暗黒処理では、処理解除後に放出数がピークに達するのは抑制解除後9日目で、これは試験開始22日目にあたる。一般的なノリの殻胞子の放出数の経過は、1回目の放出のピークが過ぎた後、殻胞子放出数が急激に減少して、放出を停止し、7～10日後に再び殻胞子を放出することが知られている<sup>9)</sup>。18°C5日間の暗黒処理において、試験開始22日目の殻胞子の放出のピークは、暗黒処理期間中に相当数の殻胞子を放出した後で出現したもので、本来なら2回目の放出のピークであり、抑制解除後に新たに殻胞子のう細胞が成熟して放出されたものと考えられる。安部は殻胞子の熟度は暗黒条件下でも進み、暗期における殻胞子放出の抑制効果は絶対的なものではないと指摘している<sup>2)</sup>。暗黒処理期間が5日間近くに及ぶと、ある程度成熟していた殻胞子のう細胞は、暗黒処理中でもさらに熟度が進み、殻胞子が放出されると考えられ、暗黒処理での殻胞子の放出を抑える効果は限定的と考えられる。それに対し、暗黒下で水温4°Cに調温して5日間置いたものは、抑制期間中の放出数が18°Cで5日間の暗黒処理を行ったものと比較して少ない。これは、暗黒処理に低温処理を併用することで、殻胞子のう細胞の熟度進行を鈍らせ、18°Cでは暗黒処理中に放出してしまった殻胞子が、4°Cの条件下では放出の準備状態が維持され、抑制解除時に速やかな放出が誘発されたと考えられる。また、従来より、殻胞子の放出そのものを抑制するとされている水蒸気飽和処理は、伊藤の試験でいずれの試験区においても処理解除から放出のピークを迎えるまで6日以上の日数を要し<sup>12)</sup>、川村も飽和処理を解除後、2日間の培養期

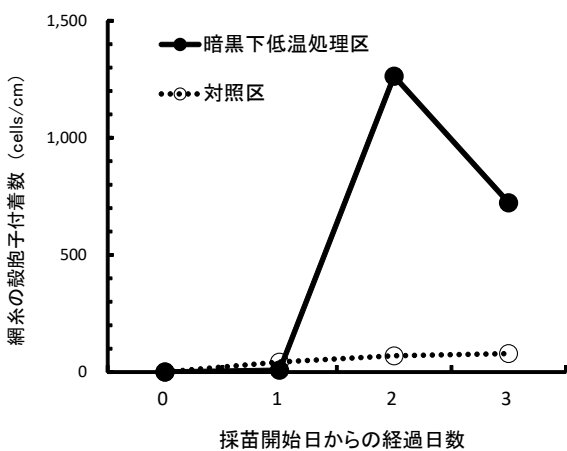


図8 野外試験のノリ芽付着数の推移

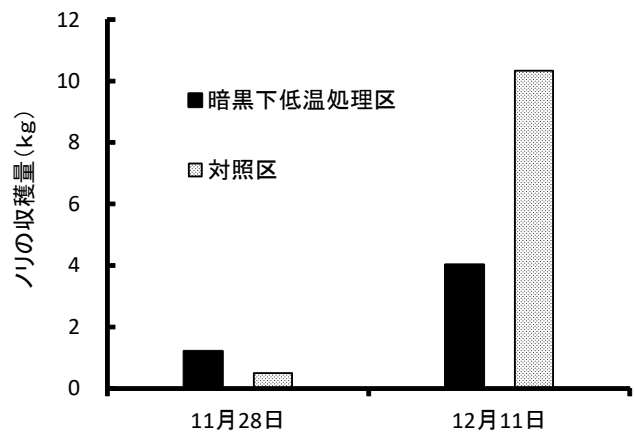


図9 野外試験のノリ収穫量

間を必要とすることを指摘しており<sup>9)</sup>、放出直前の状態で殻胞子の細胞を維持する効果は、暗黒下低温処理の方が高いといえる。

暗黒下低温処理での抑制期間別の試験では、抑制期間が7日間までの試験区で速やかな多くの殻胞子の放出を確認したが、抑制期間が10日間以上の試験区での放出数は少なかった。このことから、暗黒下低温処理の期間は7日間以下が適当であると推察された。抑制期間7日間の試験区に多量の殻胞子の放出を確認したのは、抑制解除日の翌日であり、殻胞子の細胞が未成熟のマドガイ殻糸状体を18℃明条件で培養開始後16日目にあたる。対照区で同等数の殻胞子の放出を確認したのは、11日目（放出数：17,528cells/cm<sup>2</sup>）であり、抑制期間7日間の区は実質的に殻胞子の放出開始を5日間延長できたことになる。福岡県有明海域では2014年漁期において、採苗日に台風の接近が予報されたため、当初の予定日である10月10日を10月15日へ5日間延期した事例がある。本試験のように殻胞子の放出開始を5日間延長することが可能であれば、このような採苗日変更に対応できると推察される。

暗黒下低温処理を施した殻胞子発芽体に異常は見られなかった。これは、成熟し、分裂した殻胞子の細胞及び殻胞子は低温に強く、冷蔵で保存することが可能であるため<sup>13,14)</sup>、暗黒下4℃に置くことで殻胞子の放出が停止され、殻胞子はそのまま機能を有した状態で維持されたものと推測される。

野外養殖試験では、採苗後2日目に非常に多くの殻胞子のノリ網への付着を確認した。暗黒処理では殻胞子の大量放出が起きる現象が知られており<sup>2)</sup>、暗黒下低温処理においても同様の現象が起こったものと推定される。単位面積当たりのノリ葉状体数が多いと生長が悪く<sup>15)</sup>、また、アカグサレ菌の感染増大を招いて<sup>16)</sup>生産量や品質が低下し、乾海苔についても呈味成分が少なく口溶けが悪くなることが示されている<sup>17)</sup>。今回の野外養殖試験においては、採苗29日後の収穫量は試験区が上回っていたが、採苗42日後の収穫量は対照区の40%程度となっており、非常に多くの殻胞子が付着したことで、単位面積当たりの葉状体数が多くなり、生長するに従って生育不良を起し、生産量の減少を招いたと考えられる。このように、暗黒下低温処理による抑制は、一度に大量の殻胞子を放出するため、実用化するには適正数の殻胞子が付着するように採苗方法を工夫する必要がある。また、大量の殻胞子の付着が採苗翌日ではなく採苗2日目となり、抑制解除日の翌日に殻胞子の大量放出を見た室内試験とは異なる結果となった。この原因としては、室内試験では基質にマドガイを用い、室温が一定の人工的な環境の下でマドガイ殻糸状体の培養を行ったのに対し、野外試験では、基質にカキ殻を用い、気候や気象及び時間により自然に室温が変化する環境下でカキ殻糸状

体の培養を行っていたため、試験に供した糸状体胞子のコンディションが影響を及ぼしていると推測されるが、検証が必要であろう。実際の養殖漁業者の作業は、採苗当日に採苗網にカキ殻糸状体を吊すのではなく、前日の夕方にカキ殻糸状体をのり網に吊した「ラッカサン」に入れ、翌日に漁場で展開する。本方法を実用化するには、養殖漁業者の作業に合わせた手法での検証が必要である。

今回、暗黒処理に低温処理を組み合わせることで、抑制解除後に速やかに殻胞子を放出する効果を得た。これは、突発的な採苗日の延期に適用できるだけでなく、通常の養殖時においても熟度が進みすぎたカキ殻糸状体を採苗日まで保持する技術として応用が可能である。また、冷蔵庫内に入れるという簡易な方法でもある。実用化するには前述のような課題を解決する必要があるが、速やかな放出が誘発される点で、有効な方法と言える。

今後、さらに効率的な方法を開発するためには、海水を多量に使用しない水蒸気飽和処理と低温処理との組み合わせも検討する必要がある。

## 文 献

- 1) 安部 昇. ノリの種苗生産及び育苗管理に関する研究. 福岡県有明水産試験場臨時研究報告 1986 ; 39-40.
- 2) 安部 昇. ノリ糸状体殻胞子の放出・抑制の条件とその効果について. 福岡県有明水産試験場事業報告書 昭和39年度 1965 ; 1-28.
- 3) 前川兼佑, 富山 昭. アサクサノリの人工種付けに関する研究 第6報 水温調節によるアマノリ類糸状体からの胞子放出の人為的制御について. 山口県内海水産試験場調査研究業績 1959 ; 10(1) : 17-25.
- 4) II尾張分場3. のり糸状体貝殻の胞子放出抑制試験. 昭和42年度愛知県水産試験場業務報告書 1968 ; 315-321.
- 5) 本田信夫. アサクサノリ類の養殖における人工採苗に関する研究 6) 糸状体からの単胞子放出. 岡山県水産試験場昭和36年度臨時報告 1962 ; 40-54.
- 6) 三井所正英, 中尾義房. 糸状体単胞子の抑制について. 佐賀県養殖試験場報告1966 ; 4 : 18-19.
- 7) 猪子嘉生, 下中元信, 竹内卓三. アサクサノリの単胞子放出について—光の影響に関する2,3の知見—. 水産増殖 1961 ; 8(4) : 215-219.
- 8) (糸状体の) 冷却暗室処理による胞子の任意放出の効果に就いて. 佐賀県水産試験場業務報告昭和32年度 1957 ; 224-227.

- 9) 川村嘉広. 新海苔ブック 技術編1, 海苔産業情報センター, 福岡県. 2017.
- 10) 井手浩美, 徳田眞孝, 小谷正幸, 安河内雄介. 「福岡のり」採苗安定化技術開発. 平成29年度福岡県水産海洋技術センター事業報告 2019 ; 280-284.
- 11) 三根崇幸, 森川太郎. カキ殻糸状体の暗黒処理がノリ殻胞子の放出に及ぼす影響. 佐賀県有明水産振興センター平成28年度水産研究成果情報. [https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00320325/3\\_20325\\_50750\\_up\\_ypeqy5kl.pdf](https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00320325/3_20325_50750_up_ypeqy5kl.pdf), 2019年9月30日閲覧
- 12) 伊藤龍星. 飽和露出処理で保存したノリ貝殻糸状体の使用可能日数. 大分県海洋水産研究センター調査研究報告 2003 ; 4 : 51-55.
- 13) 右田清治. 凍結アサクサノリ糸状体の生存と殻胞子放出. 長崎大学水産学部研究報告 1967 ; 22 : 33-43.
- 14) 柏崎海苔研究会, 協力 岡山県水産試験場 本田信夫, 石田公行, 片山勝介, 杉山瑛之. [2] 濃縮胞子及びその応用試験, 海苔増殖振興会会報, 財団法人海苔増殖振興会, 東京. 1967 ; 19-29.
- 15) 三根崇幸. スサビノリの生長に及ぼす芽付きの影響. 佐賀県有明水産振興センター平成27年度水産研究成果情報. [http://www.pref.saga.lg.jp/kiji00320325/3\\_20325\\_3233\\_up\\_xy276dmt.pdf](http://www.pref.saga.lg.jp/kiji00320325/3_20325_3233_up_xy276dmt.pdf), 2019年10月5日閲覧
- 16) 木下和生, 中尾義房. あかぐされ病の疫学的研究. 佐賀県養殖試験場報告 1973 ; 5 : 42-54.
- 17) 森川太郎, 三根崇幸, 柘植圭介. ノリ養殖における採苗密度が乾海苔の生産に及ぼす影響. 水産増殖 2019 ; 67 (3) : 257-264.



## シバエビの冷凍保存方法と品質の変化

後川 龍男・俵積田 貴彦<sup>a</sup>・黒川 皓平・野副 滉・田中 慎也  
(豊前海研究所)

豊前海で特定の時期に大量に漁獲されることから単価が低くなるシバエビについて、冷凍保存による出荷方法の改善策を検討した。漁獲直後の鮮度保持方法を検討した結果、漁獲直後に漁業者が通常行う真水氷+海水による冷却を行い、帰港直後に冷凍すれば冷凍後も鮮度が維持された。また冷凍前に1時間程度室温処理を行うことで、エビ筋肉中のAMPが、よりうま味強度の高いIMPに変化し食味が向上することが確認された。消費者ニーズの高い頭部の除去や殻むき処理を行った場合でもIMPが増加し冷凍後も品質が維持されたが、頭部の除去や殻むき処理の時間が室温処理と同様の効果を発揮したものと考えられた。今後こうした結果を活用して、消費者や外食事業者が使用しやすい無頭エビやむきエビの冷凍品を漁業者自ら生産・販売し、単価の向上につなげていく取り組みが期待される。

キーワード：シバエビ，冷凍，IMP

福岡県豊前海区のシバエビは主に秋期から春期にかけて浮びき網もしくは小型底びき網で漁獲される。盛漁期には漁獲量が多くなり市場価格が低くなる傾向があることから、漁業者の収入向上を図るには、価格の低い時期に冷凍して保存し、シバエビが少なく高価格が期待できる時期に出荷することが考えられるが、冷凍によるシバエビの品質変化に関する知見はなく、冷凍に必要な条件は不明である。一方、バナメイエビでは常温で処理した後に冷凍することで、うま味成分のIMPが増加するとの知見がある<sup>1)</sup>。

そこで本研究では、漁業者でも可能な簡易なシバエビの冷凍保存方法の確立と、冷凍によるシバエビの品質変化について検討した。

### 方 法

冷凍後のシバエビについて、核酸関連物質含量，色調，破断強度，一般生菌数，食味の5項目を品質評価指標とした。

核酸関連物質含量は、各種冷凍処理方法で冷凍したシバエビ200g以上を1サンプルとし、1試験区あたり1または3サンプルについて、解凍後可食部を取り出し、冷却した6%過塩素酸中でホモジナイズし、遠心分離とメンブランフィルターで抽出液を作成し、高速液

体クロマトグラフでATP(アデノシン三リン酸)，ADP(アデノシン二リン酸)，AMP(アデニル酸)，IMP(イノシン酸)，HxR(イノシン)，Hx(ヒポキサンチン)の含有量を測定した。なお核酸関連物質の解析に当たっては、含有割合が高くうま味成分としても重要であるAMPおよびIMP<sup>2)</sup>を指標としてt検定を行った。

色調は、背景が白色になるよう白色のプレートに解凍直後のシバエビを置き、図1に示すとおり第2腹肢付近の腹部の体色と鰓付近の頭部の頭色について、色彩色差計(コ

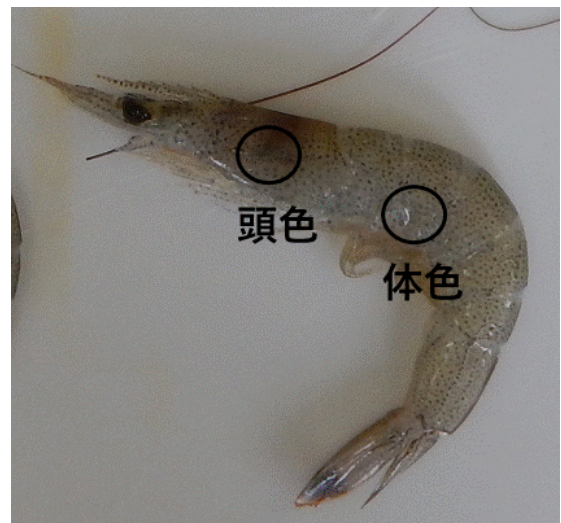


図1 体色および頭色の測定箇所

<sup>a</sup>現所属：水産局水産振興課

ニカミノルタ CM-508d または CM-700d) を用いて  $L^*a^*b$  値を測定した。1 箇所につき 3 回測定した平均値をそれぞれの個体の体色及び頭色とし、10 尾について同様の測定を行った。なおシバエビは赤や黄の呈色がほとんどないことから、解析に当たってはサンプル 10 尾分の  $L^*$  値の平均値を指標とし  $t$  検定を行った。

破断強度は、解凍後に殻を除去し、腹節の遊泳脚付近を測定箇所として、YAMADEN 社製クリープメーター RE-3305 を用いて測定した。ロードセルは 2kgf、プランジャーは直径 8mm の円柱形、試料台上昇速度は 1mm/s とし、サンプルを押しつぶした時の値を破断強度とした。解析に当たっては、測定した 10 尾分の破断強度の平均値を指標とし  $t$  検定を行った。

一般生菌数は、各種冷凍処理方法で冷凍したシバエビ 100g を 1 サンプルとし、検査直前に解凍し、1 試験区あたり 1 サンプルについて平板寒天培地法で分析した。

食味試験は、豊前海研究所職員 11 名を対象として実施した。サンプルを解凍後、殻をむいた鮮魚の状態でもらい、「色」「食感」「うま味」をそれぞれ 1~5 の得点で評価した。解析に当たっては、試験区別の平均得点を求め、 $t$  検定を行い対照区の得点と比較した。

シバエビの冷凍保存方法の検討のため、次のとおり条件を設定し、比較試験を行った。

### 1. 漁獲直後の鮮度保持方法の検討

2015 年 10 月に漁獲されたシバエビを用いて、漁獲直後から帰港までの鮮度保持方法について検討した。底びき網で漁獲されたシバエビを船上で選別し、発泡スチロール箱に収容した後、冷却剤として海水氷+海水、海水氷のみ、海水氷+塩、および対照区として漁業者が通常用いる真水氷+海水を収容した 4 試験区を設定した。収容から帰港までの間、水温ロガー (HOBO ペンダントロガー UA001-64) で各試験区の箱内温度を 1 分間隔で連続測定した。帰港後、冷凍媒質として常温海水で満たした一般用のタッパーにシバエビを約 30~50 尾収容し、蓋をして  $-30^{\circ}\text{C}$  で冷凍した。冷凍期間は漁獲直後、1 ヶ月、3 ヶ月および 5 ヶ月 (色調は 6 ヶ月) とし、漁獲直後の試料としては帰港後速やかにドライアイスで即時冷凍したものを使用した。各冷凍期間経過後に解凍し、核酸関連物質含量と色調を測定した。

### 2. 冷凍媒質の検討

2016 年 10 月に漁獲されたシバエビを用いて、冷凍時の媒質の違いによる品質の差を調べた。漁獲直後に真水氷+海水で帰港まで保存し、帰港後直ちに冷凍した。冷凍方法は、媒質を海水、真水、1/2 海水、媒質なしの 4 試験区、冷凍期間を 1 ヶ月、3 ヶ月および 5 ヶ月とした。漁獲直後お

よび各冷凍期間経過後に解凍し、核酸関連物質含量と色調および破断強度を測定した。

### 3. 冷凍前処理方法の検討

冷凍前の常温処理により、バナマイエビと同様に<sup>1)</sup>うま味成分の IMP がシバエビでも増加するか検討した。2017 年 9 月に漁獲されたシバエビを帰港まで真水氷+海水で保存し、帰港後直ちに頭部と中腸腺を除去した。室温  $25^{\circ}\text{C}$  で 1, 3, 5, 8 時間静置し、その後媒質なしで  $-30^{\circ}\text{C}$  で冷凍した。翌日冷水によるグレーズ処理を行ってから 0.1kg/袋で包装し、再び  $-30^{\circ}\text{C}$  で冷凍したものをサンプルとした。対照区として、頭部を除去せず室温静置なしでグレーズ処理して冷凍したものと及び海水を媒質として冷凍したものを準備した。冷凍 2 ヶ月後に破断強度と体色を、冷凍 6 ヶ月後に核酸関連物質含量と生菌数を測定した。

また、冷凍前処理を行った場合の適正な冷凍期間を検討する試験を行った。2018 年 10 月に漁獲されたシバエビを船上で真水氷+海水で冷却して帰港まで保存し、帰港後直ちに頭部および中腸腺を除去した。室温  $25^{\circ}\text{C}$  で 1 時間静置し、その後媒質なしで  $-30^{\circ}\text{C}$  で冷凍した。翌日冷水によるグレーズ処理を行ってから 0.1kg/袋で包装し、再び  $-30^{\circ}\text{C}$  で冷凍したものをサンプルとした。対照区として、頭部を除去せず室温静置なしでグレーズ処理して冷凍したものを準備した。冷凍 1 ヶ月、3 ヶ月および 6 ヶ月後に核酸関連物質含量、破断強度および生菌数を測定した。また冷凍 1 ヶ月後に食味試験を実施した。

### 4. 殻むき処理および再冷凍手法の検討

むきエビは、調理が簡易なため外食事業者や消費者のニーズが高く高単価での販売が期待されることから、殻むき処理及び再冷凍品の品質を確認する試験を行った。

2018 年 10 月に漁獲されたシバエビを、真水氷+海水で冷却して帰港まで保存し、帰港後直ちに  $-30^{\circ}\text{C}$  で冷凍した。翌日解凍し、頭部、中腸腺および殻を室温下で除去後に  $-30^{\circ}\text{C}$  で再冷凍したものをサンプルとした。対照区として、頭部を除去せず室温静置なしでグレーズ処理して冷凍したものを準備した。冷凍 3 ヶ月後に核酸関連物質含量、破断強度および生菌数を測定し、冷凍 6 ヶ月後に食味試験を実施した。

## 結 果

### 1. 漁獲直後の鮮度保持方法の検討

試験区別の漁獲直後から帰港までの出荷箱内の温度を図 2 に示した。海水氷+海水と、対照区の真水氷+海水では  $-2^{\circ}\text{C}$  を維持した。海水氷+塩、海水氷のみでは  $-20^{\circ}\text{C}$  まで



低下後に $-5^{\circ}\text{C}$ まで上昇したものの対照区等よりやや低い温度を維持した。

冷凍品のAMPとIMPの含量の推移を図3,4に示した。AMPは概ね横ばいで推移した。IMPは漁獲直後に対照区で最も高く、冷凍期間が長くなるにつれて海水氷+海水区で1.4倍増加したが、他は概ね横ばいで推移した。

色調の変化を図5,6に示した。対照区を含む全ての試

験区で体色・頭色とも冷凍期間の長期化に伴いL\*値が増加する傾向、すなわち白化する傾向が見られた。同一期間経過後に、L\*値が対照区より有意に高かったのは、体色では1ヶ月後の海水氷、3ヶ月後の海水氷+海水、6ヶ月後の海水氷+海水および海水氷+塩であり(t検定: $p<0.05$ )、頭色では漁獲直後の海水氷+海水、1ヶ月後の海水氷および海水氷+塩であった(t検定: $p<0.01$ )。

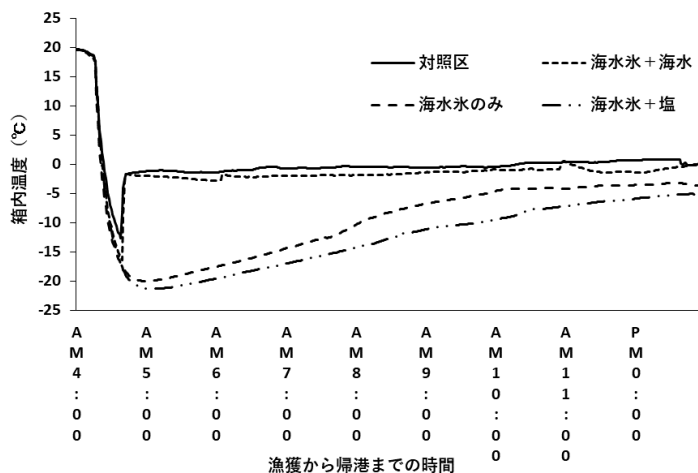


図2 シバエビの漁獲直後から帰港時までの箱内温度変化

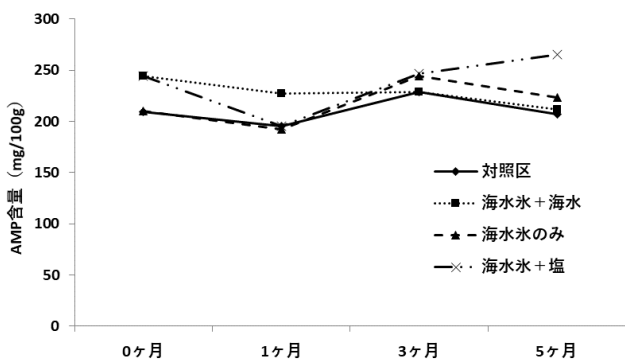


図3 鮮度保持方法別冷凍品のAMP含量の変化

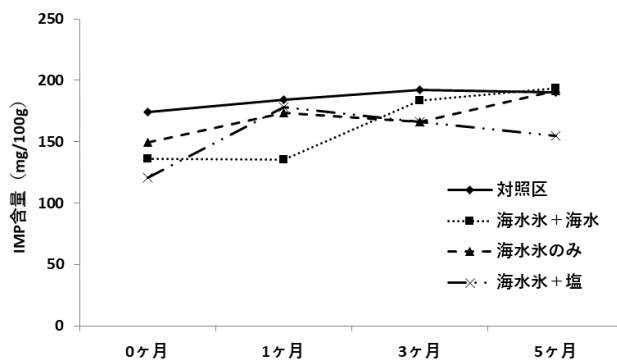


図4 鮮度保持方法別冷凍品のIMP含量の変化

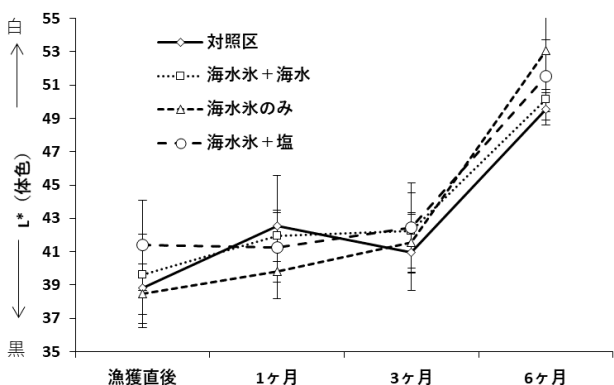


図5 鮮度保持方法別冷凍品の体色の变化

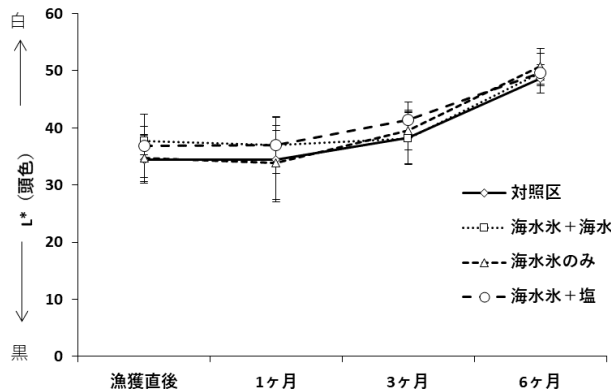


図6 鮮度保持方法別冷凍品の頭色の变化

## 2. 冷凍媒質の検討

試験区別の AMP, IMP 含量および色調と破断強度の変化を図 7~11 に示した。AMP については漁獲直後と比較して減少する傾向が, IMP については増加する傾向が見られた。色調では, 冷凍期間が長くなるにつれて体色は全体的に白くなる傾向, 頭色は全体的に黒くなる傾向が見られた。また破断強度は概ね横ばいであった。

## 3. 冷凍前処理方法の検討

常温処理時間の異なる試験区別の AMP, IMP 含量を図 12 に示した。AMP は静置時間が長いほど有意に低下した (t 検定:  $p < 0.01$ ) が, AMP よりもうま味強度が 5 倍程度強いとされる IMP<sup>3)</sup> は, 常温処理をしたすべての試験区で対照区と比較して 1.5 倍程度の含量となり差が生じた (t 検定:  $p < 0.01$ )。色調および破断強度は, 図 13, 14 に示したとおり各試験区と対照区の間で差がなかった (t 検定:  $p > 0.05$ )。試験区別の試験区別の生菌数は表 1 に示したとおり  $3.7 \times 10^2 \sim 1.2 \times 10^3 / \text{g}$  であり, すべての試験区で食品衛生法に定める生食用冷凍鮮魚介類の基準値である  $1.0 \times 10^5 / \text{g}$  を大幅に下回った。

冷凍前に常温処理したサンプルの冷凍期間別の AMP, IMP 含量, 破断強度および生菌数の結果を図 15, 16 およ

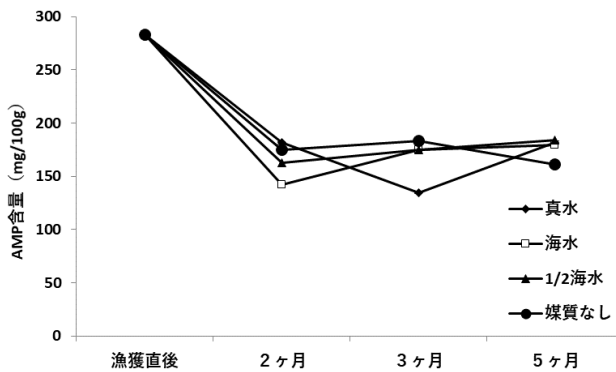


図 7 媒質別冷凍品の AMP 含量の変化

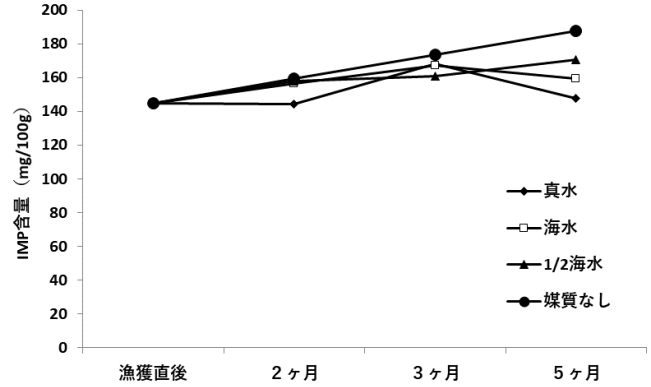


図 8 媒質別冷凍品の IMP 含量の変化

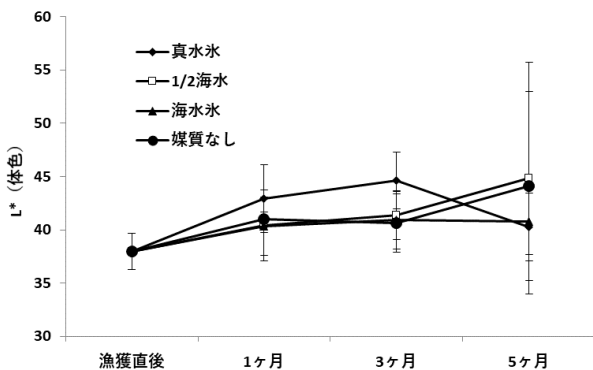


図 9 媒質別冷凍品の体色の変化

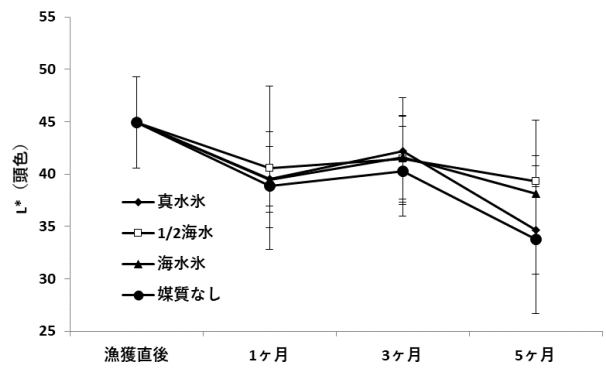


図 10 媒質別冷凍品の頭色の変化

び表 2 に示した。AMP は対照区の約半分, IMP が対照区の約 2 倍の含量となり差が生じた (t 検定:  $p < 0.01$ ) が, 試験区内での顕著な増減はなく, 冷凍期間による差は認められなかった (t 検定:  $p > 0.01$ )。また破断強度は対照区と差がなく (t 検定:  $p > 0.05$ ) , 冷凍期間の長期化による影響も認められなかった。生菌数は, 試験区および対照区とも食品衛生法に定める生食用冷凍鮮魚介類の基準値である  $1.0 \times 10^5 / \text{g}$  を大幅に下回った。食味試験については表 3 に示したとおり, 色, 食感, うま味の評価について試験区と対照区で有意差はなかった (t 検定:  $p > 0.05$ )。

## 4. 殻むき処理および再冷凍手法の検討

殻むき試験における冷凍 3 ヶ月後の AMP, IMP 含量, 破断強度, 生菌数を図 17, 18 および表 4 に示した。AMP は対照区と比較して約半分, IMP は対照区の約 2 倍の含量となり差が生じた (t 検定:  $p < 0.01$ )。一方破断強度は対照区と有意差がなかった (t 検定:  $p > 0.05$ )。生菌数は試験区, 対照区とも食品衛生法に定める生食用冷凍鮮魚介類の基準値である  $1.0 \times 10^5 / \text{g}$  を大幅に下回った。食味試験に関しては表 5 に示したとおり, 試験区の色とうま味の評価が, 対照区と比較して有意に高かった (t 検定:  $p < 0.05$ )。

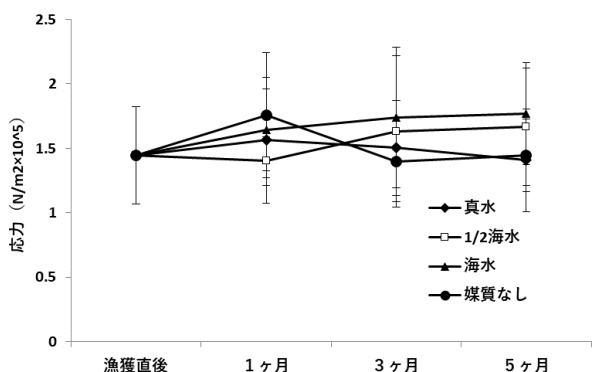


図 11 媒質別冷凍品の破断強度の変化

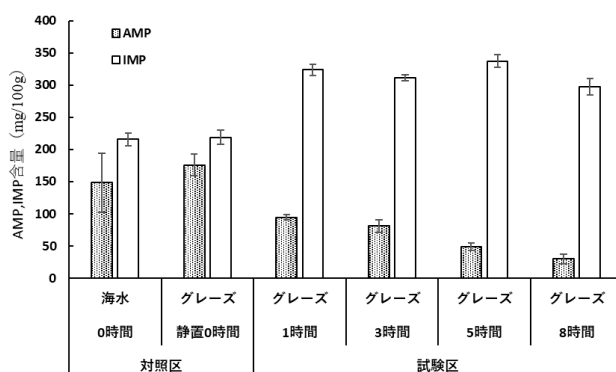


図 12 冷凍 2 ヶ月後の常温処理時間別 AMP, IMP 含量

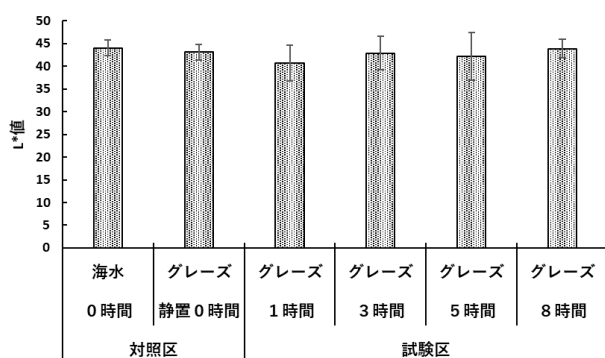


図 13 冷凍 2 ヶ月後の常温処理時間別体色

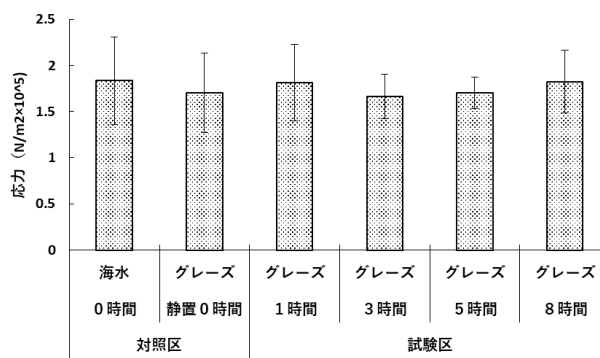


図 14 冷凍 2 ヶ月後の常温処理時間別破断強度

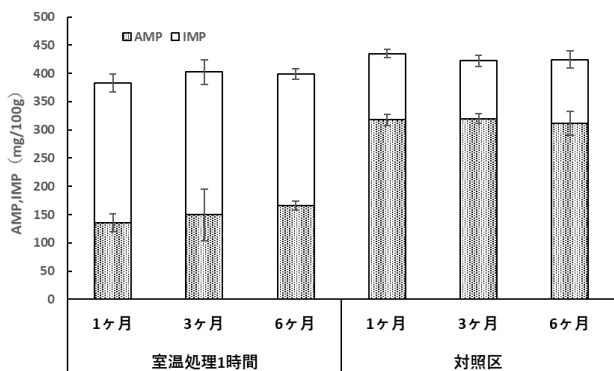


図 15 常温処理の有無別の AMP, IMP 含量

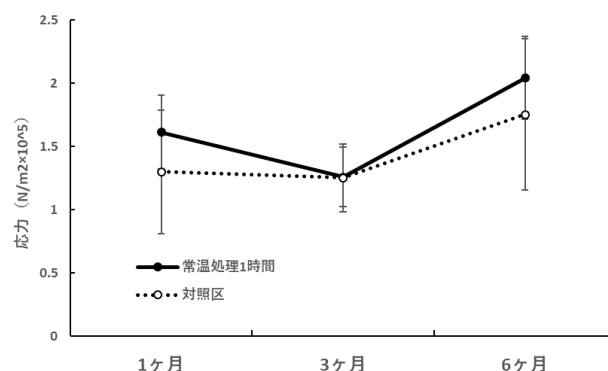


図 16 常温処理の有無別の破断強度

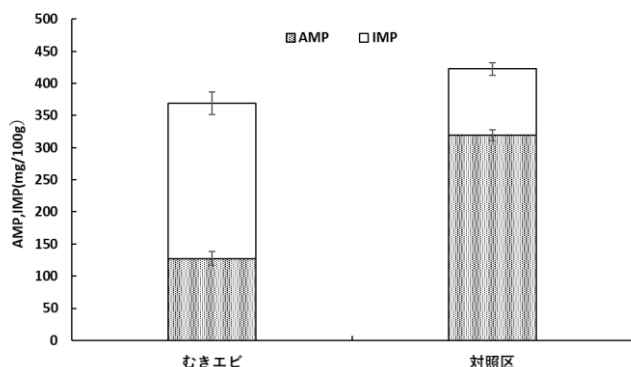


図 17 殻むきエビの AMP, IMP 含量 (冷凍 3 ヶ月経過)

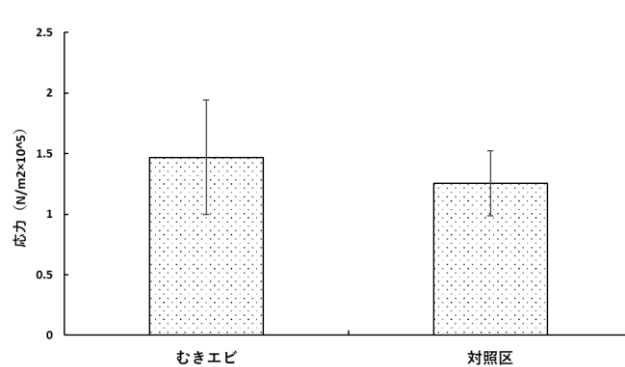


図 18 殻むきエビの破断強度 (冷凍 3 ヶ月経過)

表1 室温静置時間別の生菌数（冷凍6ヶ月経過）

	静置時間	冷凍方法	生菌数
対照区	0時間	グレーズ	$1.2 \times 10^3$ /g
対照区	0時間	海水	$4.0 \times 10^2$ /g
試験区	1時間	グレーズ	$3.7 \times 10^2$ /g
試験区	3時間	グレーズ	$4.3 \times 10^2$ /g
試験区	5時間	グレーズ	$4.4 \times 10^2$ /g
試験区	8時間	グレーズ	$3.7 \times 10^2$ /g

表2 冷凍期間別の生菌数（室温静置1h）

	(/g)	
	常温処理	対照区
冷凍1ヶ月	$3.8 \times 10^2$	<300
冷凍3ヶ月	$3.1 \times 10^2$	$3.8 \times 10^2$
冷凍6ヶ月	$5.2 \times 10^2$	$4.5 \times 10^2$

表4 殻むき処理の有無と生菌数

	(/g)	
	むきエビ	対照区
生菌数	$7.3 \times 10^3$	$4.5 \times 10^2$

表3 常温処理の有無別食味試験の平均得点

	常温処理	対照区	差	t検定
色	3.73	3.73	0.00	-
食感	3.73	3.55	0.18	-
旨み	3.55	3.27	0.27	-

表5 殻むき処理の有無と食味試験の平均得点

	むきエビ	対照区	差	t検定
色	4.08	3.17	0.92	p<0.05
食感	3.50	3.50	0.00	-
旨み	3.83	3.17	0.67	p<0.05

## 考 察

漁獲直後から帰港までの鮮度保持方法として、従来から漁業者が実施している真水氷+海水を対照区として、より冷却効果が高いと考えられるいくつかの方法を試験したが、冷凍品の品質に関して鮮度保持方法の違いによる明瞭な差はなく、鮮度低下に伴う体色や頭色の黒化はどの方法でも見られなかった。すなわち帰港までの鮮度保持は従来通りの方法で十分であることが示された。また冷凍時の媒質としていくつかの方法を試行したが、結果的にはどの媒質でも差がなかった。ただしその後の試験で媒質なしとする場合は、バナメイエビでの試験方法<sup>1)</sup>を踏まえて、冷凍翌日にグレーズ処理を行った。なおグレーズ処理とは一旦冷凍した後、冷水にくぐらせて再冷凍することにより冷凍品の表面に薄い氷の膜を張って冷凍期間中の品質劣化を防ぐ処理であり、現場で実施する場合でもそれほど手間がかからないと思われる。

冷凍期間が長くなるほど体色が白化する傾向が見られたが、これは鮮度保持方法や常温処理の時間にかかわらず共通の傾向であった。このため食味試験における「色」の評価では、様々な処理をした試験区と、試験区と同じ期間冷

凍されている対照区の間で差が出なかった。新鮮なシバエビと比較した場合に目視で色調の差が判別できる可能性のある試験区もある<sup>4)</sup>ものの、黒変ではない上、食味試験での「色」の評価値も対照区と同等で低い値とはならなかったことから、冷凍による白化が品質低下と見なされる可能性は低いものと考えられた。

アカエビでは、活魚と比較して冷凍品のIMPが高くなることが報告されている<sup>5)</sup>。この要因は冷凍前処理や解凍の際にAMPがIMPに変化したためであると考察されており、本研究の結果とも合致した。一方本研究では冷凍期間が長くなるほどAMPが減少しIMPが増加する傾向が見られたことから、AMPが冷凍期間中緩やかにIMPに変化することも示唆された。冷凍期間が6か月程度であれば破断強度や生菌数は漁獲直後と大差なかったことから、品質面で冷凍品が劣ることはないと考えられる。

IMPはAMPよりうま味強度が5倍高いとされる<sup>3)</sup>ことから、IMPを人為的に増加させる処理が出来れば付加価値向上につながる可能性がある。このため、常温処理によるIMPの増加と、常温処理の影響について試験した結果、冷凍前に常温で1~5時間静置することでIMPが当初の1.5~2倍となることが判明した。全ての食味試験で差がつ

いたわけではなかったものの、食味試験でも味の違いを認識できる差が生じた試験区があったことから、常温処理の有効性がうかがわれた。静置5時間でも破断強度や色調、生菌数に差はなかったが、頭部ありで5時間の常温処理をした場合には図19のとおり肉眼で判別可能な頭部の赤変化が見られた<sup>6)</sup>。見た目上の品質低下の他にも、食中毒の発生リスクや静置の手間、IMP含有量の変化率を考慮すると、室温静置時間は1時間程度で十分だと判断された。

また、単に室温静置するだけではなく、販売単価の向上につながる処理、例えば頭をとる、殻をむく、という処理によって、身質の低下はなく、むしろうま味成分が増強することが確認された。今回殻むき処理したシバエビは、一旦冷凍した後解凍して殻むきし再冷凍したものであるが、本研究の成果を踏まえ、「熟成処理」等の文言を用いて食味の良さをPRするのも有効ではないかと考えられる。

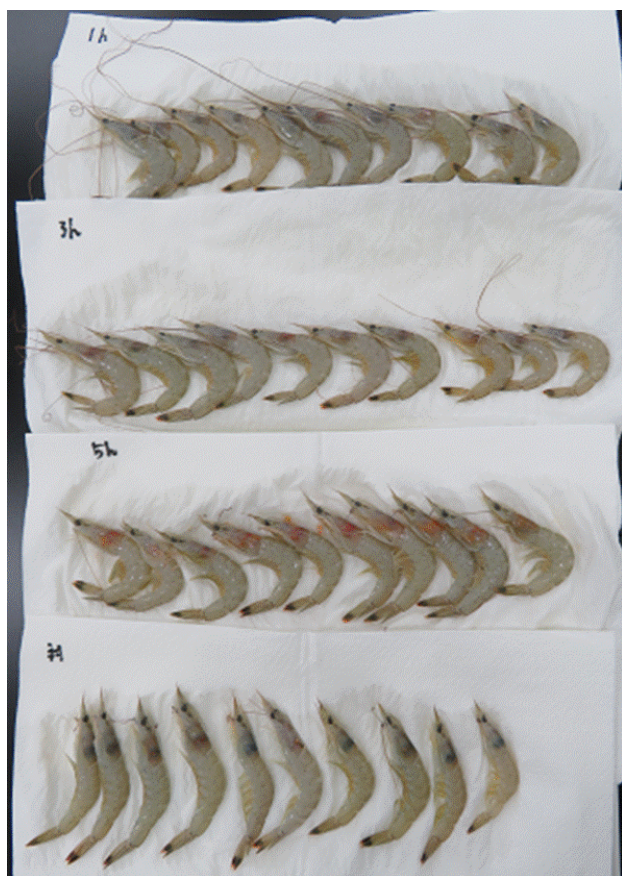


図19 未処理および常温処理1, 3, 5hの有頭エビの体色  
(冷凍3ヶ月経過後)

シバエビが大量に漁獲された場合、そのほとんどが産地卸売市場に出荷され単価が下落するのが豊前海の現状である。冷凍によって品質が維持されることを踏まえると、大量に漁獲されるシバエビの一部を冷凍して時期をずらして出荷することで、市場出荷量が平準化し単価の維持につながる可能性がある。しかし、実際に冷凍シバエビを市場出荷したところ、生鮮シバエビより低価格で取引される結果となった。地元漁業者が出荷するせり場で冷凍品が取り扱われることは通常ないことから評価が低くなったものと思われる。このように卸売市場を経由した流通による単価の向上は難しいと思われることから、冷凍品の販売においては、直売所の活用や、外食事業者等への直接販売ルートの開拓などが求められる。こうした顧客が利用しやすく高付加価値化が期待できる無頭エビやむきエビを漁業者自ら生産、販売することで、漁業所得の向上につなげていく取り組みが必要である。

## 文 献

- 1) 小山法希, 松川雅仁, 島田昌彦. バナメイエビの冷凍貯蔵性に及ぼす冷凍前 20°C処理の影響. 日本水産学会誌 2011; 77 (2) : 223-229.
- 2) 竹内昌昭, 藤井健夫, 山沢正勝. 水産食品の事典, 朝倉書店, 東京. 2000 : 138-144.
- 3) Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, Ninomiya T. Measurement of the relative taste intensity of some L- $\alpha$ -aminoacids and 5'-nucleotides. J. Food Sci 1971; 36 : 846-849.
- 4) 俵積田貴彦, 野副 澁. 福岡の魚競争力強化促進事業 (2) シバエビ鮮度保持技術開発. 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2015 : 364-367.
- 5) 篠原満寿美, 筑紫康博, 濱田弘之. 冷凍処理後の小型エビの旨味成分及び品質について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2010; 20 : 91-93.
- 6) 俵積田貴彦, 黒川皓平. シバエビの高付加価値出荷技術の開発. 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2018 : 317-321.



## 福岡湾の栄養塩濃度と植物プランクトン種組成の 18年間（1993–2010年）の変化

里道菜穂子<sup>1</sup>・江崎恭志<sup>1</sup>・多田邦尚<sup>2, 3</sup>

(<sup>1</sup>研究部・<sup>2</sup>香川大学農学部・<sup>3</sup>香川大学瀬戸内圏研究センター)

福岡湾の1993年から2010年までのデータセットを精査し、福岡湾の栄養塩濃度と植物プランクトンの種組成の変化について検討した。また、既往文献と先行研究を参照して福岡湾が植物プランクトンの増殖に対してリン制限になっていることを立証した。さらに、植物プランクトンの種組成変化とクロロフィル $a$ （以下Chl  $a$ ）濃度の変化についても考察した。

溶存態無機窒素（DIN）濃度はおおむね横ばいで推移したが、溶存態無機リン（DIP）濃度は経年的に低下し、1996年以降は $0\mu\text{M}$ を示す月が見られるようになった。さらに1999年以降は年間を通して実質的リン制限の状態に陥りやすくなった。DIP濃度の経年的な低下は、8–1月に顕著であった。クロロフィル $a$ （Chl  $a$ ）濃度は1993–2000年には低下傾向を示し、2001–2005年は低位横ばいで推移したが、2006–2010年の期間は上昇した。

珪藻の細胞密度については、1993–2001年に主な優占種であった *Skeletonema* spp. および *Thalassiosira* spp. , *Chaetoceros* spp. は2002年以降減少した。*Chaetoceros* spp. の細胞密度は *Skeletonema* spp. や *Thalassiosira* spp. ほど減少しなかったため、*Chaetoceros* spp. が優占する頻度は増加した。2007年以降は *Leptocylindrus* spp. および *Nitzschia* spp. の優占頻度が細胞密度の増加に伴って増加

した。これらの細胞密度の変動は、Chl  $a$ 濃度が1993–2000年に低下傾向を示し、2001–2005年は低位で推移した後2006–2010年に上昇したと1年以内のずれで符合していた。細胞密度変化と海水中のChl  $a$ 濃度変化との関係性を考察するには種毎の細胞当たりChl  $a$ 含量を考慮する必要があるため、主要珪藻5属の細胞当たり平均Chl  $a$ 含量を推算した。その結果、2002年以降、*Skeletonema* spp. および *Thalassiosira* spp. の細胞密度の減少幅以上にChl  $a$ 濃度が押し下げられた可能性が示唆された。また、2006–2010年には *Leptocylindrus* spp. および *Nitzschia* spp. の細胞密度の上昇幅以上に海水中のChl  $a$ 濃度が押し上げられた可能性が示唆された。

DIP濃度の低下によるDIN/DIPの増加は福岡湾や大阪湾、東京湾をはじめとする全国の沿岸域で確認されているが、福岡湾はDIPの絶対濃度が大阪湾や東京湾に比べ低いいため、植物プランクトンはリン制限に陥りやすく、その結果としてChl  $a$ 濃度の低下（1993–2005年）や赤潮原因プランクトンの種の変化（2000年代以降）が起き、さらに珪藻の種組成の変化とともにChl  $a$ 濃度が上昇（2006–2010年）したものと推察される。

沿岸海洋研究第56巻（2）, 133–141（2019）





福岡県水産海洋技術センター研究報告 第30号

編 集 委 員

委員長	林	宗徳
委員	篠原	直哉
	松井	繁明
	吉岡	武志
	池浦	繁
	濱崎	稔洋
	藤井	直幹
	佐野	二郎
	宮本	博和
	中川	清
	伊藤	輝昭

---

---

発 行 2020年3月

発行者 福岡県水産海洋技術センター  
所長 有江 康章

福岡県水産海洋技術センター

企画管理部 〒819-0165 福岡市西区今津 1141-1  
TEL 092-806-5251 FAX 092-806-5223

研 究 部 〒819-0165 福岡市西区今津 1141-1  
TEL 092-806-0876 FAX 092-806-5223

有明海研究所 〒832-0055 柳川市吉富町 728-5  
TEL 0944-72-5338 FAX 0944-72-6170

豊前海研究所 〒828-0022 豊前市大字宇島 76-30  
TEL 0979-82-2151 FAX 0979-82-5599

内水面研究所 〒838-1306 朝倉市山田 2449  
TEL 0946-52-3218 FAX 0946-52-3324

---

---

福岡県行政資料

分類記号  
P G

所属コード  
4 7 1 3 1 0 6

登録年度  
3 1

登録番号  
0 0 0 1