

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¹・大庭 元気²・上利 貴光³・上原 大知⁴・菅谷 琢磨⁵・井上 誠章⁶
(有明海研究所・¹企画管理部・²佐賀県有明水産振興センター・³長崎県総合水産試験場・⁴熊本県水産研究センター・⁵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・⁶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¹⁾，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²⁾。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³⁾で 1,913 万尾が放流された³⁾。有明海でも 1970 年代より人工種苗放流が行われており¹⁾，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⁴⁾，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⁵⁾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⁶⁾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⁷⁻⁹⁾，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¹⁰⁾、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^{11, 12)}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' -ATGA ACTGAGCACAGGAG-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¹³⁾。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

親子鑑定ソフトウエア(PARFEX)を用いて¹⁴⁾、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)⁶⁾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_{∞} : 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)¹⁵⁾、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_{∞} : 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_{∞} : 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 = Σ 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				
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		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	2016	雄	27	185.4	19.3	145.0	229.0
			雌	48	184.0	21.8	132.0	245.0
		2017	雄	69	159.9	11.7	128.0	182.0
			雌	43	158.2	14.3	130.0	191.0
体重 (g)	2015	2015	雄	2	18.2	10.5	7.7	28.8
			雌	1	244.6	-	-	-
	2016	2016	雄	27	311.9	85.5	153.0	509.9
			雌	48	303.5	93.4	122.0	521.0
		2017	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。

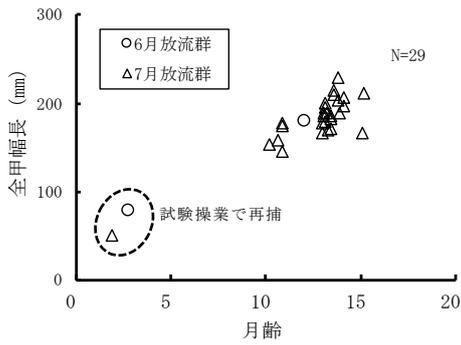


図 2-1 月齢と全甲幅長 (2015 年放流群雄)

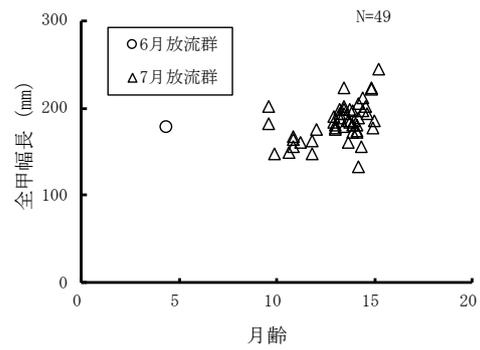


図 2-2 月齢と全甲幅長 (2015 年放流群雌)

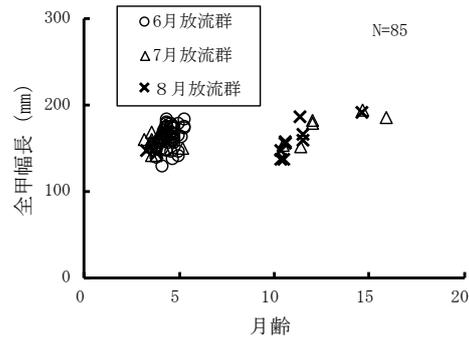


図 2-3 月齢と全甲幅長 (2016 年放流群雄)

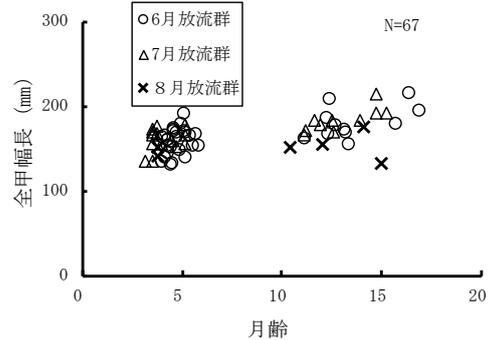


図 2-4 月齢と全甲幅長 (2016 年放流群雌)

表 6-1 推定された成長式のパラメーター

モデル	性別	L_{∞}	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_{∞}	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_{∞}	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_{∞}	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	

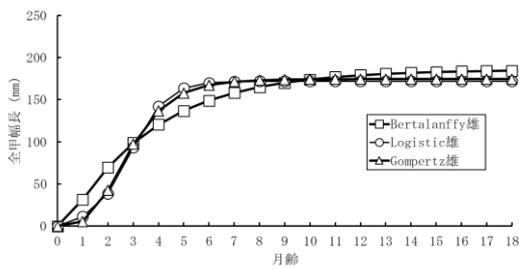


図 3-1 推定された全甲幅長推移 (雄)

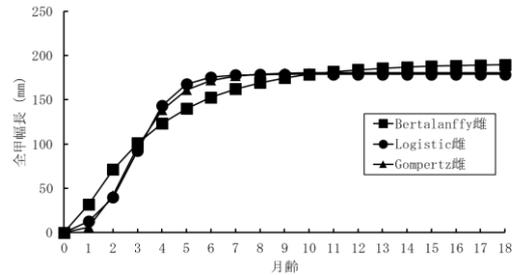


図 3-2 推定された全甲幅長推移 (雌)

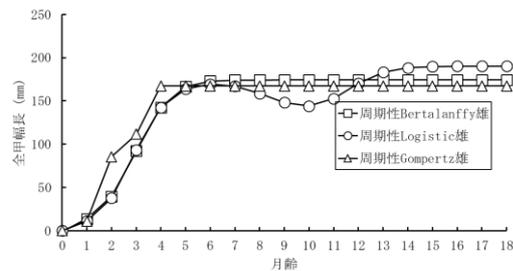


図 3-3 推定された全甲幅長推移 (周期性あり雄)

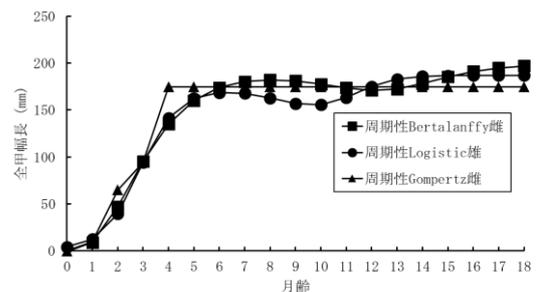


図 3-4 推定された全甲幅長推移 (周期性あり雌)

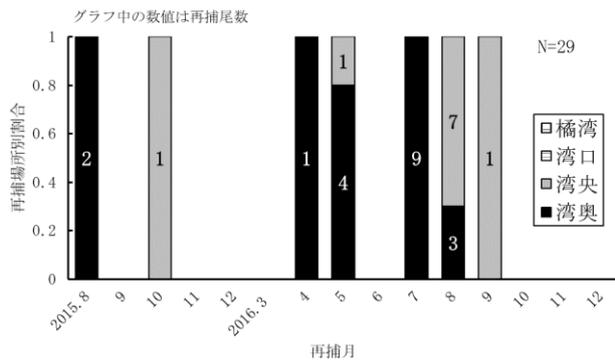


図 4-1 再捕月と再捕場所 (2015 年放流群雄)

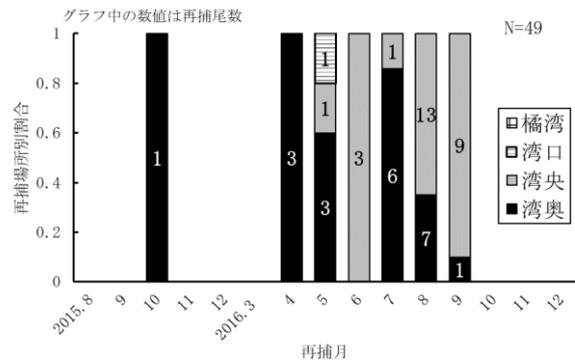


図 4-2 再捕月と再捕場所 (2015 年放流群雌)

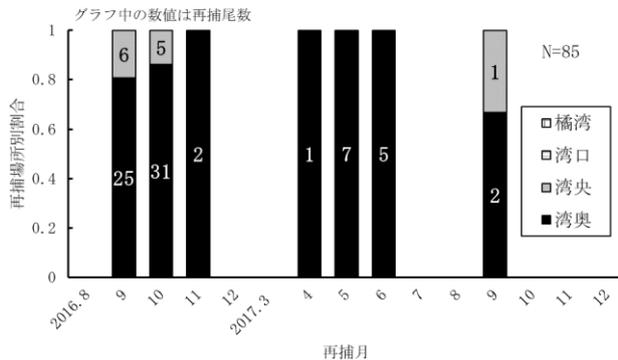


図 4-3 再捕月と再捕場所 (2016 年放流群雄)

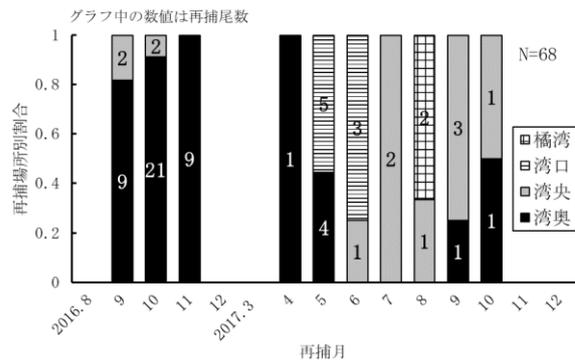


図 4-4 再捕月と再捕場所 (2016 年放流群雌)

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	F1610
種苗判別率	94	84	88	93	79	100	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、橋湾で 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	F1501	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	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	0	62
	F1503	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	8	9	5	0	0	0	0	29
	F1504	0	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	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	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 (%)	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	0.14
	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	0.69
	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	0.00
	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	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	0.83
回収尾数(尾)		192	1,069	687	0	4,169	1,781	2,113	328	777	299	1,204	90	343	331

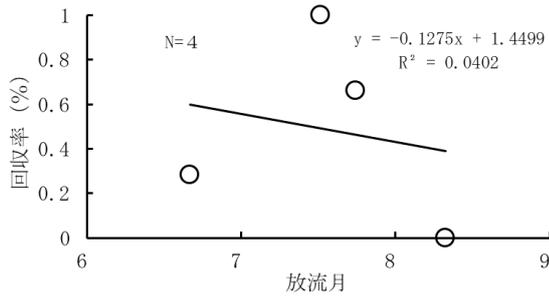


図 5-1 放流時期と回収率 (2015 年放流群)

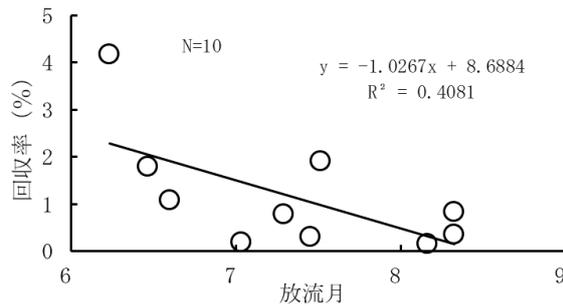


図 5-2 放流時期と回収率 (2016 年放流群)

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⁷⁻⁹⁾。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⁷⁾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¹⁶⁾。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¹⁷⁾。

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っ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⁵⁾や大阪湾で漁獲物の測定結果をもとに推定した報告⁶⁾、静岡県浜名湖のCWTを用いた報告¹⁸⁾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^{19)・20)}、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^{19)・20)}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¹⁸⁾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^{21,22)}。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²³⁾。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²⁴⁾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.