

近年の「豊前海一粒かき」の成育状況と漁場環境との関係

中川 浩一・俵積田 貴彦・中村 優太
 (豊前海研究所)

豊前海でのマガキ *Crassostrea gigas* の養殖は、漁場環境に恵まれていることから成長が早く、4月頃に垂下した種苗は約半年後の11月頃より出荷が可能となるが、近年では成育に遅れが生じている。そこで、1998年から2007年にかけて実施したマガキ成育調査や漁場環境調査から、これらの経年変化や関連性について解析を行った。調査期間中の成育状況の経年変化は、殻高やへい死率はほぼ横ばいであったが軟体部重量で減少がみられ、漁場環境の経年変化は、水温はほぼ横ばい、Chl-a濃度は年変動が大きかった。成育状況と漁場環境との関係から、水温の上昇や餌料の減少はマガキの成育に負荷を与えることが示され、今後も安定したマガキ生産を維持する為には、漁場環境の変動に対応した新たな養殖管理技術を開発する必要があることが示唆された。

キーワード：マガキ・殻高・軟体部重量・へい死・水温・Chl-a濃度

福岡県豊前海のかき養殖は、1983年に恒見漁協（現豊前海北部漁協恒見支所）で試験養殖が開始されてから急速に発展し、現在では「豊前海一粒かき」というブランド名で年間1,000トンを超える生産を揚げ、冬季の主幹漁業に成長している。

当海区でのマガキの成育は、漁場環境が良好なため、他産地と比較して筏での育成期間が短く、4月頃に養殖筏へ垂下した種苗（ほぼ宮城県産）は、11月頃には殻高100mmサイズにまで成長し¹⁾、出荷が開始される。このため、殆どのかき生産者は表1に示すように、極めて効率の良い1年サイクルの養殖のみを実施している。

しかしながら、近年では成育の遅れがみられるようになり、出荷開始時期が12月へとずれ込む傾向があるため、特に11月の出荷計画に影響が生じ始めている。そこで、本研究では近年のマガキの成育状況や漁場環境の傾向や関連性について解析し、今後の養殖管理への方向性を検討した。

方 法

1. 成育状況調査

調査は1998～2007年の7～11月にかけて、各月の中旬に実施した。調査場所は、図1に示す人工島周辺、中部及び南部漁場内の特定した筏に設けた。測定試料は、原則として筏中央部の水深2m層からマガキの付着したホタテ殻コレクターを数枚採取し、その中から無作為に20個体選別したものをを用いた。測定項目は、マガキは春

表1 「豊前海一粒かき」の年間養殖スケジュール

4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
種苗垂下	育成	→	→	→	→	→	→	出荷開始	→	→	→
											出荷終了

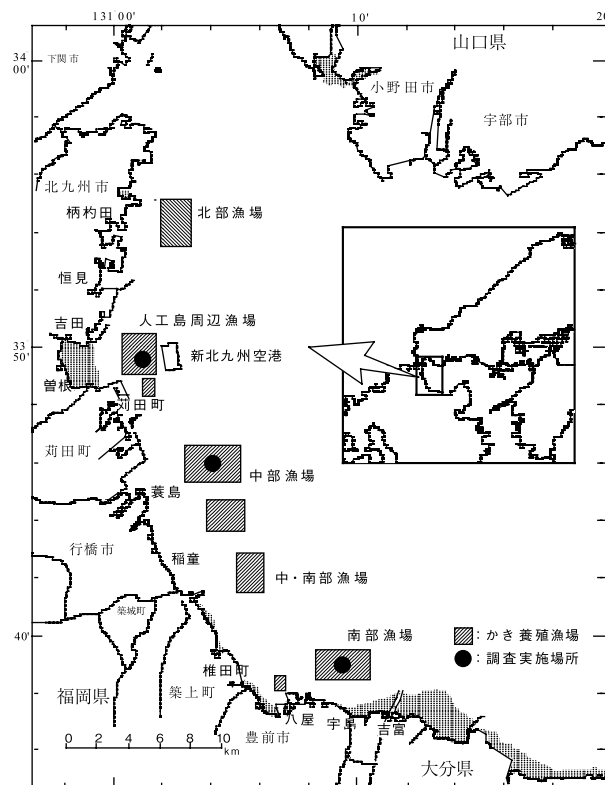


図1 漁場及び調査位置図

から夏の高水温期には主に殻が成長する一方で、秋から冬の低水温期には可食部へのグリコーゲン蓄積に伴う成長が顕著である²⁾ ために、殻高（高水温期の成長指標）、軟体部重量（低水温期の成長指標）及びへい死率（総合的なストレス指標）とした。ただし、軟体部重量の測定については、マガキがある程度成長した9月から開始した。また、へい死率が40%を超えた場合は、見かけ上へい死個体が多いと感じられるため、これをへい死の発生と定義した。なお、調査対象のマガキは、宮城県産種苗のものをを用いた。

2. 漁場環境調査

成育状況調査と並行して、各漁場内の測定筏周辺で月2回、上旬と中旬に漁場環境調査を実施した。測定項目は、水温を成育環境の指標とし、マガキの成長との間に正の相関が認められている Chl-a 濃度³⁾ を餌料環境の指標とした。測定方法は、まずマガキの垂下水深帯である表層、2.5及び5mの計3層で得られた数値を単純平均して調査ごとの測定値とした。次に、月ごとの値として、上旬と中旬の値を単純平均した。更に、季節ごとの値として、7～9月を夏季、10及び11月を秋季と区分し、該当する月の値を単純平均した。

3. 成育状況と漁場環境との関連性の把握

マガキの成育状況と漁場環境との関連性を把握するため、指標間の相関関係を求めた。また、特に関連がみられたものは、成育状況指標を目的変数、漁場環境指標を説明変数として重回帰分析を行った。

結 果

1. 成育状況調査

(1) 殻高の推移

各年の平均殻高の月別推移を図2に、出荷が開始される11月の推移を図3に示した。殻高の経年変化をみると、2002年の中部漁場や2002、2004及び2007年の南部漁場のような成長不良年がいくらか認められるものの、成長の鈍化はみられず、全漁場で7月から11月にかけて順調に成長していた。調査期間中における平均殻高を漁場間で比較すると、人工島周辺、中部及び南部漁場で7月では各々62.3、49.9及び44.4mm、11月では各々102.4、92.4及び83.0mmとなり、いずれの月も人工島周辺、中部、南部漁場の順に成育が良好であった。

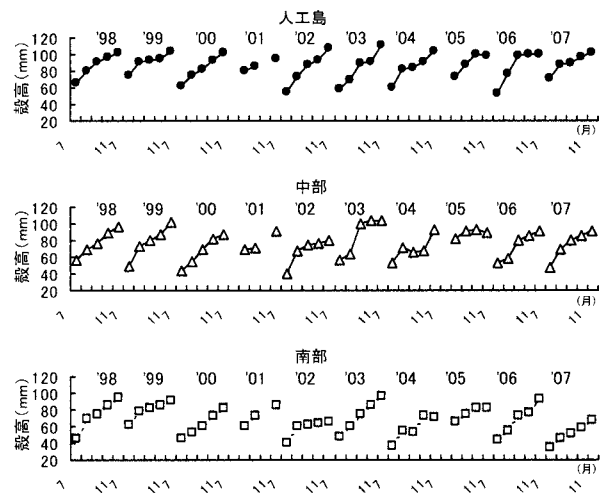


図2 平均殻高の推移（'98～'07年）

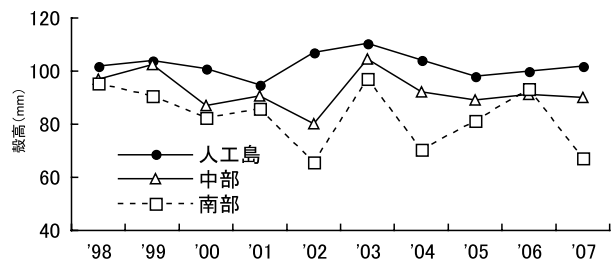


図3 平均殻高（11月）の推移

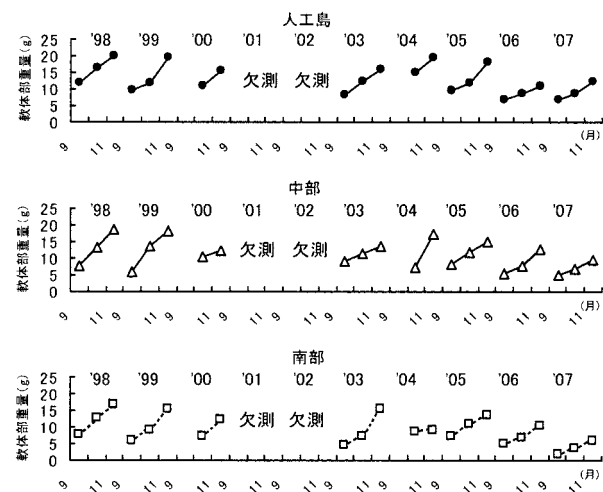


図4 平均軟体部重量の推移（'98～'07年）

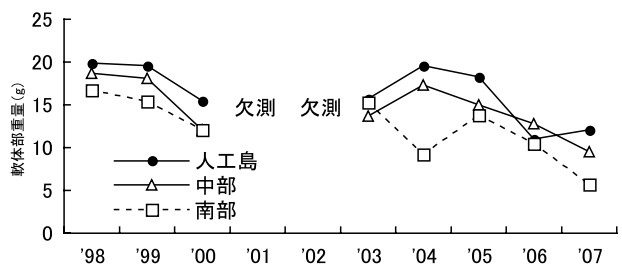


図5 平均軟体部重量（11月）の推移

(2) 軟体部重量の推移

各年の平均軟体部重量の月別推移を図4（2001, 2002年は未計測なため欠測）に、11月の推移を図5に示した。軟体部重量の経年変化をみると、近年では全漁場で身入りの鈍化が認められ、特に2006及び2007年ではそれが顕著であった。調査期間中における平均軟体部重量を漁場間で比較すると、人工島周辺、中部及び南部漁場で9月では各々8.8, 7.0及び5.4g, 11月では各々16.5, 14.7及び12.3gとなり、いずれの月も人工島周辺、中部、南部漁場の順に成育が良好であった。

(3) へい死率の推移

各年のへい死率の月別推移を図6に、11月の推移を図7に示した。へい死率の経年変化をみると、へい死の程度は年によるばらつきが大きい、全漁場でおおむね横ばいで推移していた。また、へい死率が40%を超えるへい死の発生は、10月以降の水溫低下時にみられた。調査期間中（10年）のへい死状況を漁場間で比較すると、人工島周辺、中部及び南部漁場でへい死率（11月）は各々38.7, 36.2及び25.2%、へい死発生回数は各々5, 3及び1回となり、成育が良好な人工島周辺、中部、南部漁場の順にへい死の危険性が高かった。

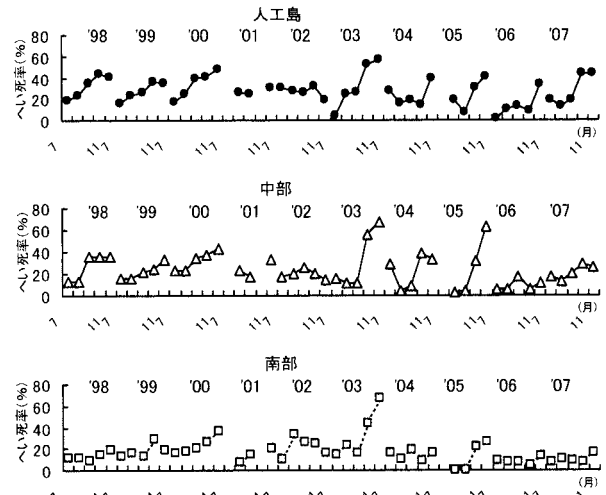


図6 へい死率の推移（'98～'07年）

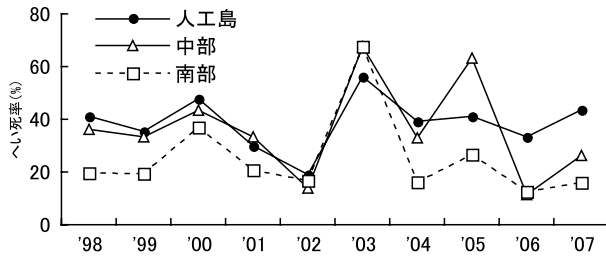


図7 へい死率（11月）の推移

2. 漁場環境調査

(1) 水溫の推移

各年の水溫の月別推移を図8に、季節別の推移を図9に示した。水溫の経年変化をみると、全漁場で顕著な水溫変動はみられず、ほぼ横ばいで推移していた。調査期間中の平均水溫を漁場間で比較すると、人工島周辺、中部及び南部漁場で夏季では各々26.6, 26.7及び26.9℃, 秋季では各々20.8, 20.9及び20.9℃となり、南部、中部、人工島周辺漁場の順に若干高めであった。

また、水溫の長期変動を予測するため、全漁場の季節ごとの水溫を単純平均してまとめ、得られた各年の数値から線形近似式を求めた。その結果、直線の傾きは図9に示すように夏季及び秋季で各々+0.048及び+0.049となり、どちらも上昇傾向を示したが、有意水準を検定した結果、p値は夏季及び秋季で各々0.479及び0.604となり、いずれの季節でも統計的有意性はなかった(p>0.05)。

(2) Chl-a 濃度の推移

各年のChl-a濃度の月別推移を図10に、季節別の推移を図11に示した。Chl-a濃度の経年変化をみると、各漁場ともに一定の傾向は伺えず、年変動が大きかった。調査期間中の平均Chl-a濃度を漁場間で比較すると、人工島周辺、中部及び南部漁場で夏季では各々5.6, 3.8及び2.7µg/l, 秋季では各々3.9, 3.5, 3.6µg/lとなり、特に夏

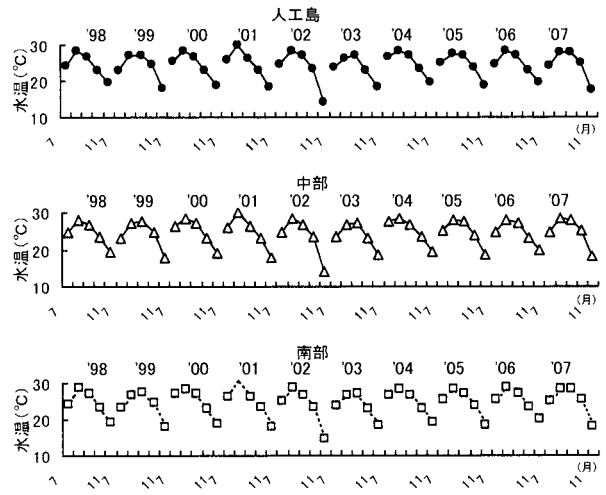


図8 水溫の推移（'98～'07年）

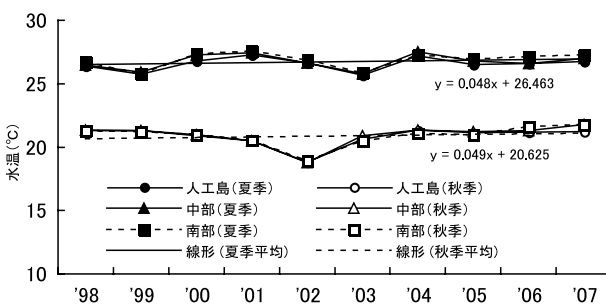


図9 水溫（季節別）の推移

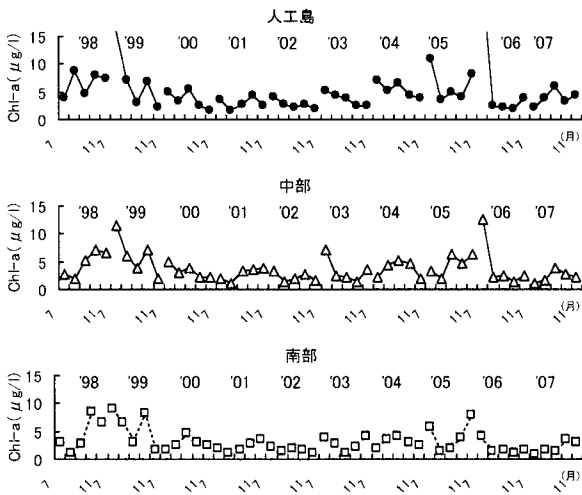


図10 Chl-a 濃度の推移 ('98 ~ '07年)

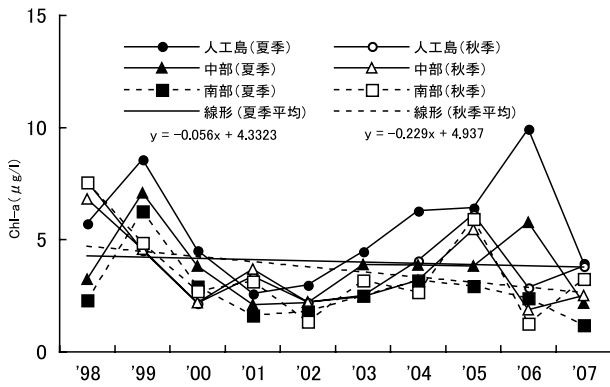


図11 Chl-a 濃度 (季節別) の推移

表2 成育指標 (11月) と環境指標との相関係数

殻高 (11月)	水温				Chl-a濃度			
	7月	8月	9月	10月	7月	8月	9月	10月
人工島	-0.60	-0.72	0.28	0.17	-0.06	0.57	-0.06	0.17
中部	-0.53	-0.60	0.12	0.18	0.43	0.49	0.05	0.32
南部	-0.46	-0.27	-0.05	-0.32	0.49	0.14	-0.11	0.34

軟体部重量 (11月)	水温				Chl-a濃度			
	7月	8月	9月	10月	7月	8月	9月	10月
人工島	0.15	-0.19	-0.57	-0.04	-0.26	0.71	0.25	0.74
中部	-0.06	-0.15	-0.60	-0.15	0.09	0.55	0.43	0.79
南部	-0.54	-0.44	-0.41	-0.44	0.60	0.22	0.06	0.56

へい死率 (11月)	水温				Chl-a濃度			
	7月	8月	9月	10月	7月	8月	9月	10月
人工島	-0.16	-0.57	0.26	-0.03	-0.17	0.29	0.57	-0.05
中部	-0.08	-0.38	0.05	-0.07	-0.14	0.05	0.37	0.04
南部	-0.28	-0.52	0.01	-0.38	0.03	0.08	-0.14	-0.15

表3 軟体部重量 (11月) の重回帰分析結果

目的変数	Y1, Y2, Y3 切片	X1, X2 9月水温 (°C)	X3 10月水温 (°C)	X4, X5, X6 10月Chl-a濃度 (μg/l)	自由度 修正済 決定係数	有意 F
人工島	90.67	-2.90		1.05	0.61	0.041
中部	105.86	-3.50		1.02	0.87	0.002
南部	67.90		-2.53	1.05	0.62	0.039

季の人工島周辺漁場で高かった。

また、Chl-a 濃度の長期変動を予測するため、季節ごとの全漁場の Chl-a 濃度を単純平均してまとめ、得られた各年の数値から線形近似式を求めた。その結果、直線の傾きは図11に示すように夏季及び秋季で各々 -0.056 及び -0.229 となり、どちらも減少傾向を示したが、有意水準を検定した結果、p 値は夏季及び秋季で各々 0.779 及び 0.261 となり、いずれの季節でも統計的有意性はなかった (p>0.05)。

3. 成育状況と漁場環境との関連性の把握

出荷を控えた11月のマガキの成育状況指標と漁場環境指標との相関係数を表2に示した。殻高についてみると、主に7, 8月の高水温期において水温との間に負の相関、Chl-a 濃度との間に正の相関がみられた。一方、軟体部重量では主に9, 10月の水温下降期において、殻高と同様に水温との間に負の相関、Chl-a 濃度との間に正の相関がみられた。また、へい死率についてみると、へい死の発生が比較的少ない南部漁場では Chl-a 濃度との間に高い相関はみられなかったが、殻高や軟体部重量との関係にみられたように、おおむね水温 (8月) との間に負の相関、Chl-a 濃度 (9月) との間に正の相関がみられた。

次に、成育状況指標のなかで近年の身入りの鈍化が認められた軟体部重量について、漁場環境指標を説明変数として変数減法による重回帰分析を実施した。その結果、表3に示すとおり人工島周辺及び中部漁場では9月の水温と10月の Chl-a 濃度との間に、南部漁場では10月の水温と10月の Chl-a 濃度との間に、最も当てはまりの良い以下の数式が得られた。

$$Y1 = -2.90X1 + 1.05X4 + 90.67$$

(t 値: X1 = -1.48, X4 = 2.60 p 値: X1 = 0.200, X4 = 0.048)

$$Y2 = -3.50X2 + 1.02X5 + 105.86$$

(t 値: X2 = -3.68, X5 = 5.43 p 値: X2 = 0.014, X5 = 0.002)

$$Y3 = -2.53X3 + 1.05X6 + 67.90$$

(t 値: X3 = -2.75, X6 = 3.14 p 値: X3 = 0.040, X6 = 0.025)

但し Y1: 軟体部重量 (人工島周辺, 11月)

Y2: 軟体部重量 (中部, 11月)

Y3: 軟体部重量 (南部, 11月)

X1: 水温 (人工島周辺, 9月)

X2: 水温 (中部, 9月)

X3: 水温 (南部, 10月)

X4: Chl-a 濃度 (人工島周辺, 10月)

X5: Chl-a 濃度 (中部, 10月)

X6: Chl-a 濃度 (南部, 10月)

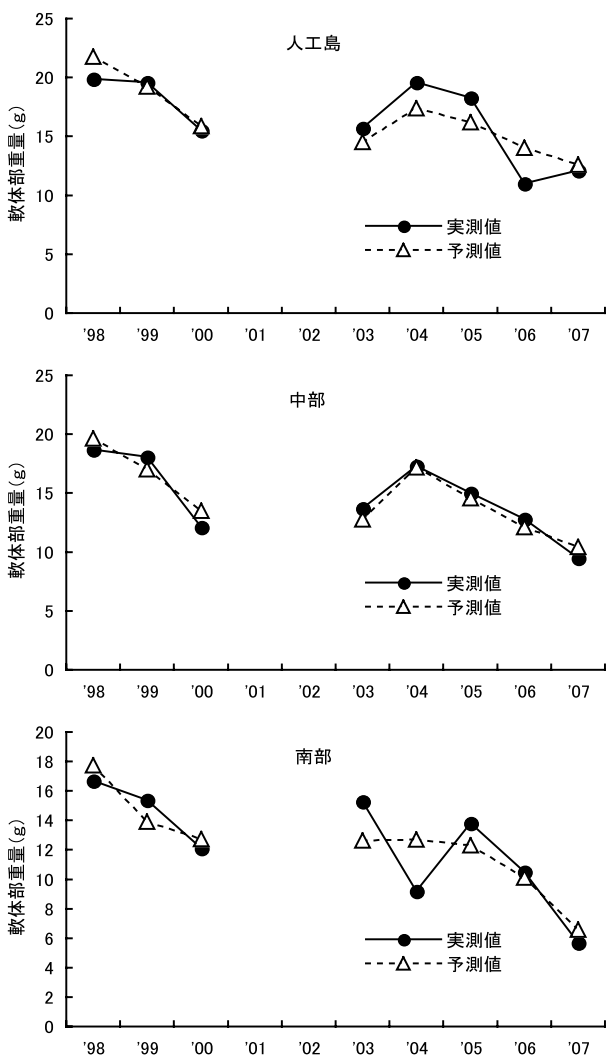


図12 軟体部重量（11月）の重回帰分析予測結果

これら数式は、マガキの軟体部重量は9月又は10月の水温が低く、10月のChl-a濃度が高いほど増加する傾向があることを意味した。

数式の精度については、説明変数ではX1のp値が0.200と高かったが、他の変数のp値は0.05以下で5%有意水準を満たし、かつ変数相互の多重共線性はみられなかった。また、得られた重回帰式については、すべての数式で自由度修正済決定係数は0.5以上と高い相関がみられ、かつ有意Fは0.05以下と5%有意水準を満たした。なお、実測値と予測値との関係は図12に示すとおり、多少当てはまりの悪さは見受けられるが、おおむね一致した。

考 察

豊前海全域で本格的な「豊前海一粒かき」の養殖が開始されて間もない1989～1991年にかけて、徳田ら¹⁾はマガキの育成状況及び漁場環境調査を実施し、以下のよ

うに報告している。すなわち、人工島周辺漁場は調査を実施した3漁場のなかで最も育成が良好な漁場で、11月の殻高及び軟体部重量は各々100mm及び15～25g、へい死率は20～50%である。中部漁場は次に育成が良好な漁場で、11月の殻高及び軟体部重量は各々90mm及び15～20g、へい死率は20～50%である。南部漁場は最も育成が悪い漁場で、11月の殻高及び軟体部重量は各々80mm及び10～20gであるが、へい死率は30%以下と最も少ない。漁場環境は、水温は南部、中部、人工島周辺漁場の順に高め傾向がみられるが漁場間の差は小さく、Chl-a濃度は人工島周辺、中部、南部漁場の順に高め傾向がみられ、おおむね2～10 μ g/lの範囲内であるが、年によって濃密度となる漁場は異なる。ここで、前述した徳田の報告を各漁場が本来備えている漁場特性として、今回の調査結果と比較してみた。

殻高については、漁場によっては育成不良年がみられるものの、成長の鈍化傾向はみられず、人工島周辺、中部及び南部漁場における11月の平均殻高は過去の調査結果と同様に、各々100、90及び80mm程度に達していた。一方、軟体部重量については、すべての漁場で育成の鈍化が認められた。特に11月における人工島周辺、中部及び南部漁場の軟体部重量は、2006年で各々11.0、12.8及び10.5g、2007年で各々12.1、9.5及び5.7gと過去の調査値に遠く及ばなかった。これらの結果から、近年の「豊前海一粒かき」の傾向として、11月の時点では見かけは以前とあまり変わらないが、身入りが遅れているために出荷を控えざるをえない状況にあることが分かった。

身入りの良さを左右する要因については、環境指標との関係を調べるために重回帰分析を実施した結果、得られた数式から、特に秋季の水温が低く、Chl-a濃度が高いと身入りが良好となる傾向が強いことが明らかとなった。そこで、今後の漁場環境の変動を予察することで、マガキの育成状況の将来予測について考察を行った。

豊前海の長期的な海況変動について佐藤ら⁴⁾は、主に外洋水である伊予灘の影響を強く受けて高水温化・高塩分化の傾向を示すことや、餌料環境の悪化に伴う基礎生産力の低下が危惧されることを報告している。また、今回の漁場環境調査の結果では主にサンプル数の不足により有意な傾向は示せなかったが、全漁場平均値を基にした線形近似式の傾きから、夏季及び秋季を通じて水温の上昇やChl-a濃度の減少が認められた。従って、身入りについては年による良否の変動はみられるものの、今後も減少傾向が継続される可能性が強いものと思われる。更に、マガキの大きさについても今のところは成長が維持されているが、殻高の成長は軟体部重量と同じく秋季

の水温が低く、Chl-a濃度が高いと良好となる傾向が強いことから、長期的には成長不良が表面化する可能性が考えられる。

マガキのへい死については、筏式垂下養殖時において夏季から初秋にかけて「原因不明の大量へい死」が時折発生することが19世紀の終わり頃から世界的に報告されている⁵⁾。このへい死は一般的に、成長・肥満状態の良い漁場、成長・肥満状態の良い年、さらには大型のマガキからへい死する傾向があるのが特徴的⁶⁾であり、豊前海においても同様に図7に示すように成育が良好な人工島周辺、中部、南部漁場の順にへい死の危険性が高いことや、表2に示すように成育には良好な条件となる低水温、高Chl-a濃度の年にへい死の割合が高いことが認められた。へい死要因の1つとしては、冠水あるいは干出すべきマガキ本来の生体を見捨てた垂下養殖の技法によるもので、終日水面下にあつて摂餌し、本来の姿からすれば異常ともいふべき発育を遂げた結果、産卵も大量となり、産卵後に衰弱したマガキが高水温や海況変化に対応しきれなかったとの推察⁶⁾がなされており、特に40%近くへのい死が恒常的に発生している人工島周辺及び中部漁場においては、身入り向上への代償としてへい死発生危険性が潜在的に潜んでいるものと推察される。

今回の結果から、近年の「豊前海一粒かき」の成育状況の特徴として身入りの遅れが目立ち始めたことが挙げられ、将来的にもその傾向が継続される可能性があることから、身入り向上への対策が急務であることが明らかとなった。具体的な対策としては、まず現状の養殖方法よりも低密度での飼育を行うことで、1個体あたりの摂餌効率を向上させることが考えられる。このためには、1筏あたりの垂下本数を減少させたり、育成中のある程度成長させた段階で一度収穫して、附着物を除去した後にカゴを用いて低密度で再垂下を行うこと等が考えられる。また、垂下開始時期をより早めて成長を促進させる方法も考えられる。

一方で、マガキの身入り向上を図ると、それに伴ってへい死率の上昇が懸念される。現在の豊前海では、種苗は冷水系の宮城県産に依存しており、この種苗の特色として、大きく成長するが高水温域での養殖でへい死率が高い⁷⁾ことが報告されている。そこで、へい死率を軽減させる方策の1つとして、当海域の環境への適応能力が

高いと考えられる当海域産種苗（地種）や、温暖系の広島県産種苗を用いた養殖への転換を図ることが考えられる。

いずれにしても、身入り向上とへい死防止を両立させる新たな養殖管理技術を開発するには、実際に漁場での養殖試験をくり返し実施し、蓄積した観測記録から精度の高い解析を行うことが必要である。赤繁ら⁸⁾は、漁場での水温の連続観測結果を基にして、広島県における養殖マガキ（広島県産種苗）の大量へい死は水温が20℃を超えた日が140日以上で、かつ7～10月の4ヶ月間の降水量が600mm以下の年に発生し易いことを最近明らかにし、その原因として20℃超過日数が長いことは産卵後に再成熟そして産卵という生理状態がより長期にわたり繰り返されるためであることを示した。当海区においても、漁場でこの様な観測を実施し、得られた結果を解析することで、現在の漁場環境に対応した新たな養殖管理技術を開発することが可能となろう。

文 献

- 1) 徳田真孝・濱田弘之・神菌真人・江藤拓也：豊前海における養殖カキの特性と環境要因との関係。福岡県水産海洋技術センター研究報告，第1号，155-163（1993）。
- 2) 今井丈夫：カキの生物学的研究。浅海完全養殖，改訂版，恒星社厚生閣，東京都，1976，pp.100-102。
- 3) 楠木豊：マガキの成育とクロロフィルa量との関係。広島県水産試験場研究報告，第9号，28-36（1977）。
- 4) 佐藤利幸・神菌真人・江藤拓也：豊前海の水温・塩分変動と漁獲量の変動。福岡県水産海洋技術センター研究報告，第16号，155-163（1993）。
- 5) 今井丈夫：カキの生物学的研究。浅海完全養殖，改訂版，恒星社厚生閣，東京都，1976，pp.136-139。
- 6) 大島泰雄：各論編カキ。浅海養殖，第1版，株式会社大成出版社，東京都，1986，pp.403-404。
- 7) 今井丈夫：カキの生物学的研究。浅海完全養殖，改訂版，恒星社厚生閣，東京都，1976，pp.92-99。
- 8) 赤繁悟・平田靖・高辻秀之・相田聡：養殖マガキの大量へい死と水温，降水量との関係。広島県水産海洋技術センター研究報告，第1号，9-13（2006）。