

養殖水深の変更による養殖マガキの身入り促進効果

平田 靖・村上 倫哉・赤 繁 悟

The acceleration of fatness by the artificial changes of rearing depth in Pacific oyster *Crassostrea gigas*

Yasushi HIRATA, Tomoya MURAKAMI and Satoru AKASHIGE

広島県海域の養殖マガキは、水温が上昇し始める3月頃から生殖巣の発達が始まり、5～6月に急速に肥厚する。そして、7～9月の産卵（放卵・受精を意味する）期に産卵、配偶子形成をくり返し、水温が低下し始める10月に生殖巣が退縮し、グリコーゲンの蓄積（以下身入りとする）が始まる。しかしながら、全国で養殖マガキの出荷が始まる10～11月頃、本海域のマガキは、産卵期の影響が残っており、未放出の配偶子を持ったままの個体や身入り不良の個体が多い。¹⁾ これら出荷初期の身入り不良を改善するには、収穫を延期して身入りを待つ以外に方法がなかった。

マガキのグリコーゲンは余剰栄養として蓄積されるため、十分な餌料が供給されることに加えて、栄養が配偶子形成によって消費されない必要があることから、その変動は生殖周期と密接な関係がある。²⁾ マガキの配偶子形成は、水温、光、塩分、餌料などの季節的な環境要因とホルモンなど内的要因の相互作用によって制御される³⁾ ことから、環境要因の制御によって配偶子形成を制御することが可能になっている。Chavez-Villalbaら⁴⁾は、陸上水槽でマガキを飼育する際に夏以降の水温および日照時間の変化速度を自然の2倍に早めることで生殖周期を速め、成熟卵を得ることが困難な秋から冬の期間に成熟卵を得られることを示した。この結果は、夏から秋にかけてマガキの生理状態が産卵期から身入り期へ切替わる際に水温低下あるいは日照時間短縮が重要な環境刺激であることを示唆している。

本県海域で養殖中のマガキに夏から秋にかけての環境刺激を人為的に与えることを想定した場合、日照時間を変更することは難しいが水温は限られた範囲であれば変更が可能である。本県マガキ養殖海域の水温は、春から夏にかけて表層水温上昇にともなう密度成層の形成と、秋以降の表層水温低下にともなう成層の解消を特徴とし

ており、夏季の密度成層形成時には、表層と海底の水温差が10℃近くになることもある。この水深にともなう水温差を利用すれば、養殖マガキの垂下水深を変更することで水温刺激を与えることができる。本研究では、海域で養殖中のマガキの身入り開始を早めて出荷初期の養殖マガキの身入り不良を改善することを目的として、水深にともなう水温差を利用した水温低下刺激のマガキ身入りに対する効果を検証した。

材料および方法

供試マガキ 2006年5月末に呉市音戸町の生産者から養殖開始時期の異なる2群のマガキを入手して実験に用いた。すなわち、2005年夏に広島湾で採苗、抑制の後、2005年10月頃に筏での垂下養殖を開始したいわゆるイキス（以下大型群とする）と、大型群と同じ種苗を抑制の後2006年2月頃に筏での垂下養殖を開始したいわゆるヨクセイ（以下小型群とする）を実験に供した。ホタテガイの殻に付着した状態で入手したマガキを、個体単位に



図1 実験を行なったマガキ養殖漁場

表1 マガキ軟体部目視による生殖巣および外套膜の状態の分類

生殖巣	1. 配偶子による白い部分が見えない
	2. 配偶子による白い部分がわずかに見える
	3. 配偶子による白い部分は多いが樹木状の生殖輸管が明瞭でない
	4. 配偶子による白い部分が多く樹木状の生殖輸管が明瞭に見える
外套膜	1. 軟体部の全体が透明
	2. 軟体部のほとんどが透明
	3. 外套膜の一部が透明
	4. 外套膜の透明部分が無く白く肥厚している

分離して水産海洋技術センター（以下当センターとする）地先の海面筏に約1ヶ月間垂下して、殻の破損などによってへい死した個体を取り除いた。2006年6月28日の実験開始時の殻高および軟体部重量（平均±標準偏差）は、大型群は112±12mm, 28.0±5.2g, 小型群は82±9mm, 12.2±5.4gで、生殖巣は十分に発達して産卵前の状態であった。

養殖方法 2006年6月28日に大型、小型の2群のマガキを直径約40cm, 高さ約20cm, 目合い3cmの丸カゴ1個あたり30個体を入れ、江田島湾（江田市市能美町高田地先, 図1）に設置したかき筏から水深1mに各6カゴ（上層養殖区）、水深10mに各4カゴ（中層養殖区）を垂下し、養殖を開始した。筏を設置した場所の水深は約20mであった。8月30日に上層養殖区の2カゴを中層に移動させ（移動養殖区）、9月27日まで養殖した。

生殖巣と身入り状態の評価 実験開始時（6月28日）、8月8日、養殖水深変更時（8月30日）および実験終了時（9月27日）に各養殖区1カゴを当センターに持ち帰り、マガキの殻高を測定、生死を確認後、生残個体の軟体部重量を測定した。8月30日および9月27日のサンプルについては軟体部の外観を観察して生殖巣の配偶子の見える程度、外套膜の透明度をそれぞれ4段階に分類し（表1）、成熟、産卵の状況および栄養蓄積状態を推測

した。さらに、各養殖区につき20個体の軟体部を凍結乾燥器（ALPHA2-4LSC, CHRIST社製）を用いて乾燥し、乾燥重量および含水率を求めた。凍結乾燥したマガキは個体毎に乳鉢ですりつぶして粉末化し、乾燥重量あたりのグリコーゲン含有率をアンスロン-硫酸法⁵⁾により求めた。

環境観測 2006年6月28日、8月8日、8月30日および9月27日に、供試マガキを垂下した筏において水温、塩分およびクロロフィル量の鉛直分布をメモリー式多項目水質計（ACL208DK, アレック電子社製）を用いて観測した。さらに、水温と塩分のデータから各層の海水密度（シグマティ：単位 kg/m³）を求めた。また、実験期間中にわたって水深1mおよび10mにメモリー式水温計（Starmon mini, Star-Oddi社製）を設置して、1時間間隔の水温を記録した。

統計解析 乾燥重量は一般線形モデルを用い、含水率およびグリコーゲン含有率は、リンク関数をロジット、誤差分布を二項分布とする一般化線形モデルを用いて、試験方法の違いがそれぞれの値に与える影響をANOVAおよびTukey HSD法による多重比較によって解析し、 $p < 0.05$ を有意の差として検定した。なお、解析は統計解析プログラムR（R Foundation for Statistical Computing: <http://www.r-project.org>）を用いた。

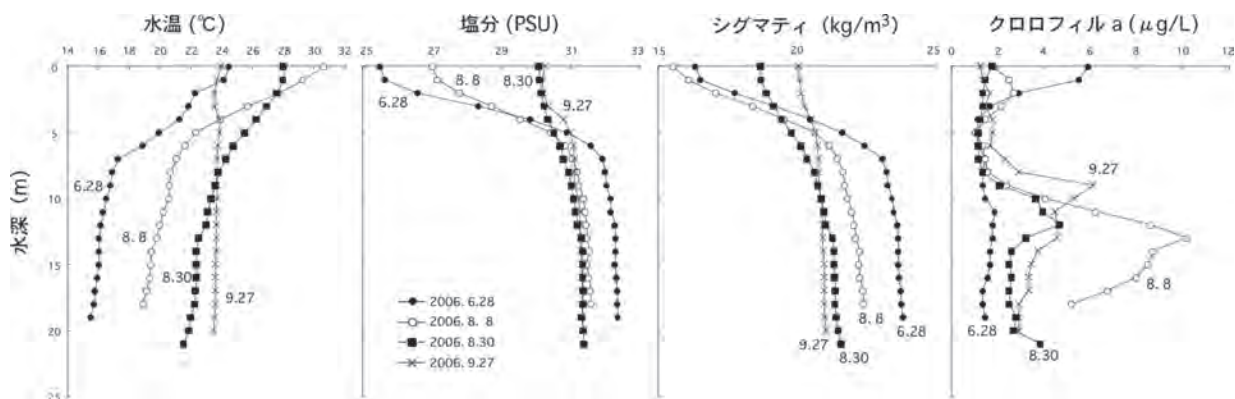


図2 実験を行なった筏における水温、塩分、シグマティおよびクロロフィルa量の鉛直分布とその経時変化

結 果

漁場環境と養殖水深変更の影響 試験開始時 (2006年6月28日) および各サンプリング日 (8月8日, 8月30日, 9月27日) の水温, 塩分, シグマティ値の鉛直分布は, 6月28日, 8月8日は強い密度成層を形成していたことを示した (図2)。8月30日には表層水温が低下し始め表層と底層の密度差は減少し, 9月27日には表層と底層の密度差はほとんど消失した。

メモリー式水温計による水深1mと10mの水温の推移をみると, 水深1mの最高水温は8月7日の29.0°Cで, 8月26日以後増減をくり返しながり, 9月13日に10m層の水温とほぼ等しくなった。一方, 水深10mの水温の変動は小さく, 6月29日の16.4°Cから徐々に上昇し, 9月22日に最高の23.9°Cに達した。水深1mと10mの水温は9月13日に最初の逆転が起こった。8月30日にマガキを入れたカゴの水深を1mから10mへ変更することによって, 養殖中のマガキに4.9°Cの水温低下刺激を与えたことがわかった (図3)。

マガキへの養殖水深変更の影響 試験開始の6月28日から9月27日の終了時までの軟体部重量とへい死状況を図

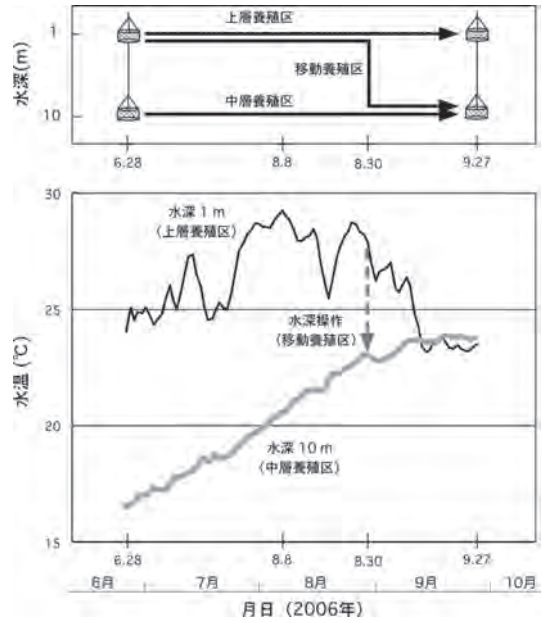


図3 各養殖区のマガキ養殖水深の模式図 (上) と水深1m, 10mの水温の推移 (下)
 上層養殖区は実験期間 (6月28日~9月27日) 中, 水深1mで養成した。中層養殖区は実験期間中, 水深10mで養成, 移動養殖区は実験期間中の8月30日に養殖水深を1mから10mに変更した。

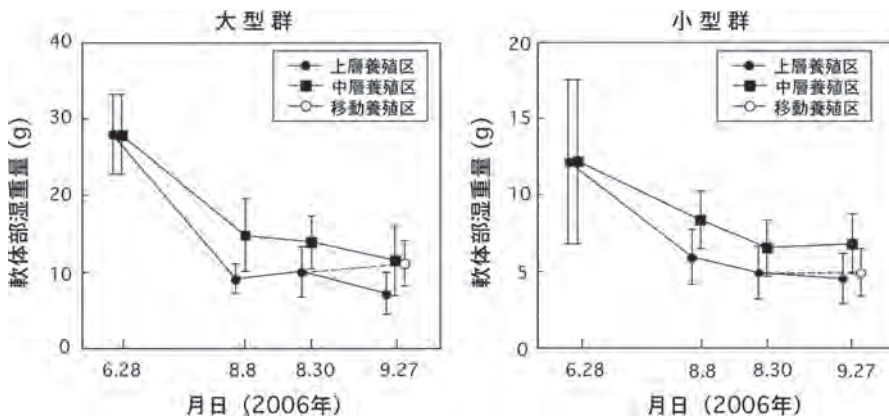


図4 マガキ大型群 (左) および小型群 (右) における, 各養殖区の軟体部重量の推移エラーバーは標準偏差を示す。

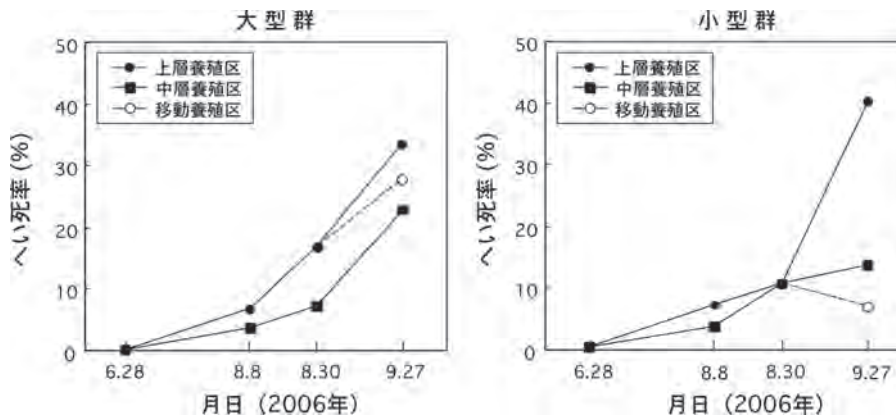


図5 マガキ大型群 (左) および小型群 (右) における各養殖区のへい死率の推移

4, 5に示した。軟体部重量は、大型群、小型群ともに8月8日の調査以前に大きく減少し、その減少率は、小型群より大型群、中層養殖区より上層養殖区の方が大きい傾向を示したが、8月8日以降は大きく変化しなかった(図4)。これらの軟体部重量の変化は、実験開始した6月28日から8月8日の間に上層養殖区、中層養殖区ともにその年最初の産卵があったことを間接的に示している(図4)。各区のへい死率は時間経過とともに増加した。9月27日のへい死率は、大型群では上層養殖区、中層養殖区、移動養殖区の順に33%、23%、28%、小型群では40%、13%、7%であった(図5)。上層養殖区のへい死率は中層養殖区および移動養殖区よりも高く、特に小型群でその傾向が顕著であった。

8月30日および9月27日に各養殖区の軟体部の外観から表1の生殖巣の状態と外套膜の透明度によって分類し

た結果を図6に示した。9月27日の上層養殖区では大型群および小型群ともに配偶子がほとんど認められず、全ての個体の軟体部全体が透明であった。一方中層養殖区では、大型群の25%、小型群の12%で配偶子の蓄積が認められたが、ほとんどの個体の軟体部全体が透明であった。これらに対して移動養殖区では、生殖巣には上層養殖区と同じく配偶子はほとんど認められなかったが、軟体部全体が透明の個体の割合は大型群の33%、小型群の50%と少なかった(図6)。

9月27日の軟体部平均乾燥重量は、大型群、中型群ともに上層養殖区が中層および移動養殖区より有意に少なく、大型群の場合、上層養殖区0.8gに対して中層および移動養殖区はそれぞれ1.4、1.6gであった。大型群の含水率は、移動養殖区が上層および中層養殖区より有意に小さく、移動養殖区の含水率85%に対して上層および中層

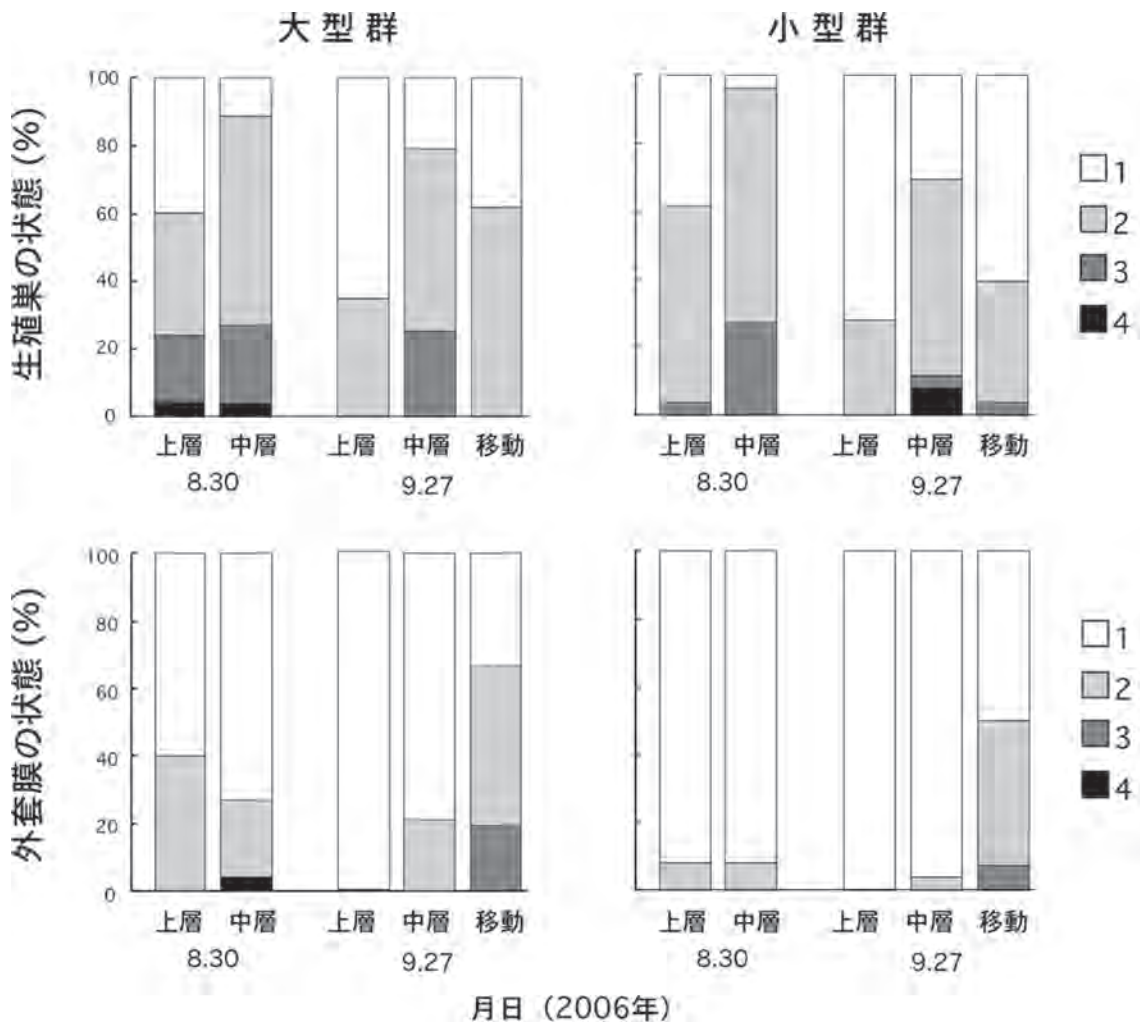


図6 マガキ大型群(左)および小型群(右)における、養殖水深変更時(2006年8月30日)と実験終了時(9月27日)の各養殖区のマガキ生殖巣の発達状況(上)と外套膜の身入り状況(下) 生殖巣の発達状態(上)は表1、外套膜の身入り状態(下)は表2により分類した。

養殖区の含水率はそれぞれ88, 87%であった。グリコーゲン含有率は大型群では上層および中層養殖区のグリコーゲン含量がそれぞれ2.9%, 3.0%に対して移動養殖区は5.8%, また小型群においても上層および中層養殖区のグリコーゲン含量がそれぞれ1.3%, 1.9%に対して移動養殖区は6.1%と大型群, 小型群ともに移動養殖区のグリコーゲン含量が上層および中層養殖区より有意に高かった。(図7)。

実験終了時の上層養殖区の軟体部は透明で生殖巣に配偶子がほとんど認められなかったこと(図6), また低

い乾燥重量および高い含水率(図7)から, 産卵によって軟体部のほとんどが透明化した, いわゆる水ガキであることを示した。また, 中層養殖区は上層養殖区と比較して配偶子を保持している個体の割合が高い(図6)ことから軟体部湿重量および乾燥重量(図7)が上層養殖区より有意に高い値を示した。一方, 移動養殖区の乾燥重量は中層養殖区と比較して有意な差は認められなかった(図7)が, 生殖巣の発達状態は上層養殖区と同様であり配偶子はほとんど認められなかった(図6)。また, 栄養蓄積によって外套膜に不透明部分が形成された個体

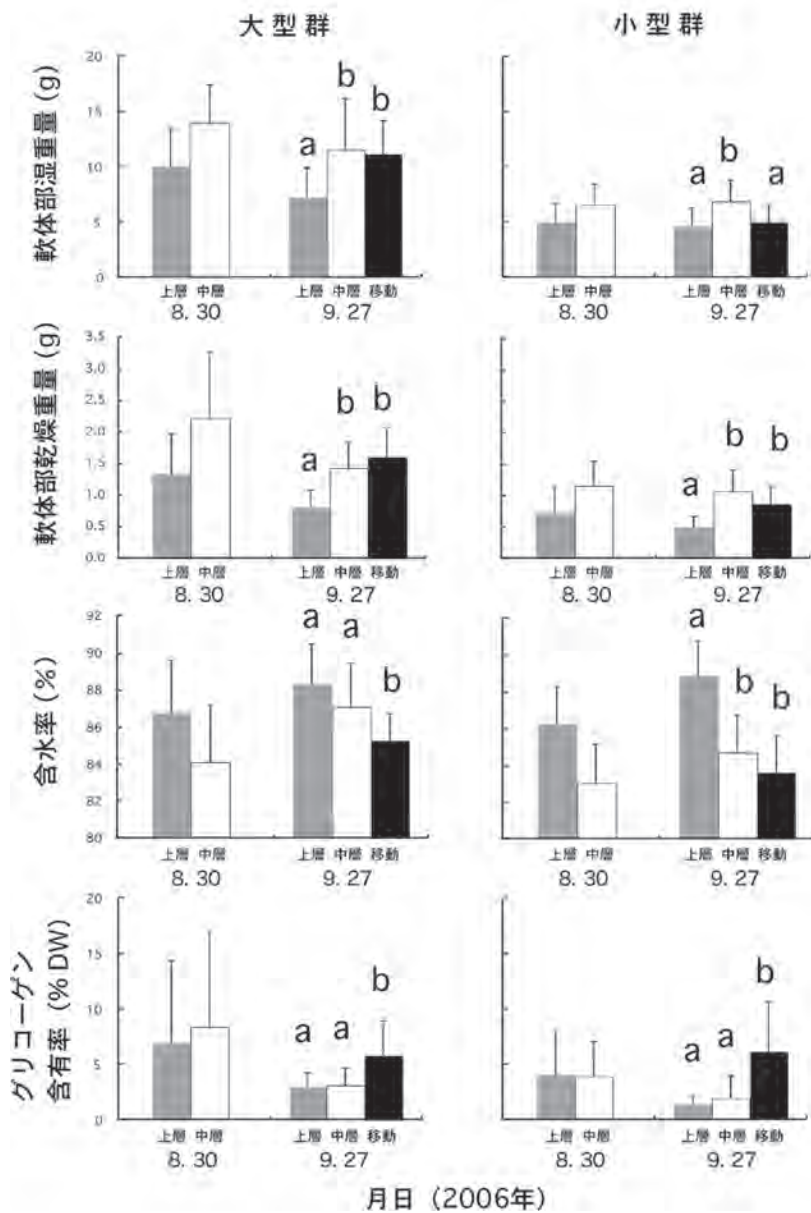


図7 マガキ大型群(左)および小型群(右)における, 養殖水深変更時(2006年8月30日)と実験終了時(9月27日)の各養殖区の乾燥重量, 含水率およびグリコーゲン含有率
エラーバーは標準偏差を, 異なるバーの文字は有意の差 ($p < 0.05$) があることを示す。左列は大型群, 右列は小型群の結果を示す。

の割合が高く（図6）、グリコーゲン含有率は、上層養殖区および中層養殖区より有意に高い値を示した（図7）。これらの分析結果は、移動養殖区のマガキは上層および中層養殖区に比べて身入りが進行したことを示した。

考 察

本研究の結果、海域の水深にともなう水温差を利用した水温低下刺激によって養殖マガキの身入り開始が早まったことを確認できた。今回の結果は、これまで10～11月の出荷初期の身入り不良を改善するためには収穫を延期するしか方法がなかった中で、新たな道筋を示した。

Chavez-Villalba⁴⁾は、夏以降の水温および光周期を短縮することで配偶子形成の周期を加速して、秋から冬に成熟卵を確保できることを示した。このことは、環境要因のうち水温あるいは光周期どちらか、あるいは両者が生殖周期を制御する因子であることを示している。本研究では、夏から秋にかけての環境刺激のうち自然状態より約2週間早く約5℃の水温低下刺激を与えた結果（図3）、刺激を与えない場合に比べて早期にグリコーゲン含量の増加を認めることができた。水温は配偶子形成において重要な環境要因のひとつである³⁾ことから、夏から秋にかけて水温低下刺激がマガキの生理状態を産卵期から身入り期へと変化させる重要な環境刺激となった可能性が高い。今後はマガキに生理学的な変化を起こすために必要な水温低下刺激の詳細、すなわち水温差、絶対水温、あるいは持続時間などの閾値を明らかにすることで、水深による温度差を利用した身入り促進をより確実に実施することができる。

産卵期の終了とこれに続く身入り期の開始というマガキの生理状態の変化は、それまで配偶子形成に使われていた余剰の栄養がグリコーゲンとして組織内に蓄積されるようになることを示す。本研究ではこの生理状態の変化を把握するため、軟体部湿重量の変化（図4）と生殖巣の状態（図6）から産卵および配偶子形成の状態、乾燥重量（図7）、含水率、グリコーゲン含有率（図7）および外套膜の状態（図6）から栄養蓄積状態を把握して総合的に判断した。これらの間接的な方法では、いつ身入りが始まったのかの判断が難しい。今後は、グリコーゲン合成あるいは分解酵素遺伝子の発現⁶⁾をとらえる手法を活用できれば温度刺激に対する生理状態の応答をより明確に評価できると考えられる。

本研究で開発した手法の実用化に際して予想される問題点について考察する。第一に付着生物の影響があげら

れる。春から初夏にかけて広島湾海域の表層部ではムラサキイガイ、カサネカンザシ、フジツボといった有害付着生物が付着する。これら付着生物が養殖マガキの周囲を覆った場合、餌の競合によるマガキの身痩せや大量への死に至る⁷⁾。このため垂下養殖工程では、この時期に5mほどの継ぎ手によって垂下水深を深くして付着生物が付着しやすい上層を避ける「深吊り」といった手法が行われている⁸⁾。本研究で養殖を実施した江田島湾は付着生物の付着が少ない海域として知られており、付着生物は大きな障害にはならなかった。江田島湾以外で春から初夏にかけて上層（水深1m）で養殖した場合には多くの付着生物が付着することが予想されることから、各漁場の特性に応じて外敵生物の付着が最大となる時期および水深の回避、あるいは干出などによる付着生物防除法⁷⁾と組み合わせる必要がある。

第二に海域の水深にともなう水温差を利用した場合、身入り開始を最大どのくらい早めることができるかについて。今回観測された上層と中層の水温変動（図3）がほぼ同じパターンで毎年繰り返されるとすると、8月中旬に水深1mと10mの水温差が最大に達するので、このときマガキ養殖水深を変更すると、水深1mでの養殖を継続した場合より約1ヶ月早く水温低下刺激を与えることができる。水温データから約1ヶ月身入り開始を早めることができると予想されるが、確認のための試験が必要である。

第三に十分な身入りの確保について。今回の9月27日の移動養殖区のマガキの平均グリコーゲン含量は約6%で、同時期の他の養殖区より有意に高かったが目視で容易に判るほど十分に身入りしたとは言えなかった（図7）。水温低下刺激によってマガキの生理的状态が変化したとしても、余剰栄養が不足していれば十分な身入りには至らない。したがって、十分な身入りを確保するためには、水温低下刺激の後、より餌料の多い水深あるいは海域を選択して養殖する必要がある。

第四にへい死の危険性である。今回の実験期間中のへい死率は9月27日において大型群では26～33%、小型群では7～40%で、ともに高水温に長期間さらされる上層養殖区のへい死率が高い一方、中層あるいは移動養殖区はへい死率が低下した。この傾向は小型群で顕著であった（図5）。広島湾の養殖マガキは、夏から秋にかけて大型になるほどへい死率が高まり、大型個体の場合毎年30%程度がへい死するとされる⁹⁾。水温差を確保して水温低下刺激を与えるためには上層で高水温に曝したほうが有利であるが、水温が高い夏季上層を利用した養殖は

へい死の危険性が増すことを考慮に入れなければならない。

最後に、垂下連への応用について。今回の実験はカゴを用いて行なったが、広島県海域のマガキ養殖は筏式垂下養成法がほとんどで、垂下連の長さは約10mに達する。このため、まず垂下連の水深操作には多大な労力がかかる。次に垂下連の上下ですでに水温差の影響を受けているので、垂下連全てのマガキに同等の水温刺激を与えることは難しい。長さが短い連を利用することも考えられるが、現状の垂下養殖への応用は難しい。

以上のとおり本研究の成果を広く実用化するには問題点が多いが、10～11月の出荷初期に収穫する目的でカゴ養殖するマガキを対象を限定すれば有効な手法だと考えられる。

謝 辞

本研究の実施にあたって協力いただいた、広島県漁業青年連絡協議会（かき）養殖部会および柳川政憲氏に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 赤繁 悟 (1990) : 広島湾におけるマガキ血清成分の季節変化. 日水誌, **56**, 963-958.
- 2) 今井丈夫・沼地健一・森 勝義・菅原義雄 (1971) : カキの生物学的研究「改訂版 浅海完全養殖」(今井丈夫監修), 恒星社厚生閣, 東京, pp.85-152.
- 3) 森 勝義 (1989) : 二枚貝の成熟, 発生, 成長とその制御「水族繁殖学」(隆島史夫, 羽生 功編), 緑書房, 東京, pp.327-363.
- 4) Chavez-Villalba, J., Barret, J., Mingant, C., Cochard, J. C., Le Pennec, M.(2002): Autumn conditioning of the oyster *Crassostrea gigas*: a new approach. *Aquaculture*, **210**, 171-186.
- 5) 菅原龍幸・青木隆子・伊藤輝子・佐々木弘子・青柳康夫・石井裕子・春日敦子 (2002) : 「新版 食品学実験書」(菅原龍幸, 青柳康夫編著), 建帛社, 東京, pp.100-102.
- 6) Bacca, H., Huvet, A., Fabioux, C., Daniel, J.-Y., Delaporte, M., Pouvreau, S., Van Wormhoudt, A. and Moal, J.(2005): Molecular cloning and seasonal expression of oyster glycogen phosphorylase and glycogen synthase genes. *Comp. Biochem. Physiol., B*, **140**, 635-646.
- 7) 荒川好満 (1973) : 養殖カキ付着生物の予防と駆除の手引き. 広島県水産試験場, 1-28.
- 8) 楠木 豊・赤繁 悟 (1984) : カキ連引き上げによる大量カキ産卵誘発. 広水試研報, **14**, 11-24.
- 9) 赤繁 悟・平田 靖・高辻英之・相田 聡 (2006) : 養殖マガキの大量へい死と水温, 降水量との関係. 広水試研報, **19**, 1-20.