

広島湾におけるかき抑制漁場の環境下でのマガキ稚貝の生残および成長

平田 靖, 若野 真, 高山 恵介, 赤繁 悟

Growth and survival of oyster spat under environment of hardening process in Hiroshima Bay

Yasushi HIRATA, Makoto WAKANO, Keisuke TAKAYAMA and Satoru AKASHIGE

広島湾におけるマガキ養殖は約450年前に始まったとされ、特に戦後は孟宗竹製筏を用いた垂下養殖の普及によって漁場が湾全体に拡大し、一時、年間のむき身生産量は3万トンに達した。最近では盛時より生産量がやや減少したものの、それでも約2万トンの生産を維持し、我が国生産量の約55%を占めている。¹⁾

広島湾で養殖に用いられる種苗は、養殖が始まった当初から自給されてきた。このことは、広島湾の地理的条件や海域環境がマガキの産卵や浮遊幼生の成育に適していることを示している。しかし、種苗を確保する採苗の場所や方法は技術の発達や環境の変化に応じて変遷がみられる。採苗とは、海域に発生したマガキ幼生を、生産者が養殖用種苗として採取、確保すること指す。生産者は、マガキ幼生が基質に付着するタイミングを見計らって、かき殻、イタヤガイ殻あるいはホタテガイ殻などを基質とするコレクターを海域に垂下し、付着した稚貝を種苗として確保する。近年では大量に入手できるホタテガイ殻がコレクターとして主に利用されており、本報告でのコレクターは全てホタテガイ殻を用いたものである。コレクターに付着した状態の稚貝を種苗とよび、コレクターを約2 cmの間隔で約70枚針金に通し二つ折りにしたものを採苗連とよぶ。採苗場所は、1970年代以前は、広島湾奥部の干潟が中心であったが、1970-1980年代になると、沿岸部の開発により干潟の大半が消失した。さらにこの頃になると、夏期に赤潮や貧酸素水塊が頻発し、また付着生物による被害も目立つようになり、これを避けるため、親貝になるべき筏群が沖合の島嶼部へ避難することが慣例化するようになった。これらのことから、湾奥干潟での採苗が困難になり、筏での採苗が行われるようになった。当初の筏での採苗は宮島、能美島および江田島より以北のいわゆる広島湾北部海域で行われていたが、1990年代になると、北部海域での採苗が



図1 広島湾におけるマガキ採苗場所の推移

不調になり、さらに沖合の広島湾中央部に位置する大黒神島周辺漁場（以下大黒神漁場とする）での採苗が可能になったことから、この漁場が最近の主要な採苗漁場になっている（図1）。

広島湾北部海域で採苗が行われていた頃の採苗期間は、7月下旬から9月上旬頃まで続いていたが、大黒神漁場で採苗が行われるようになった1990年代頃からの採苗期間は7月上旬から8月上旬になった。また、採苗時期が早まり、しかも短期間で終了するようになったため、機を逸すると必要な量の種苗を確保できずにシーズンを終える不調年がしばしばあった。このような採苗不調は1990、1992、1994、1999および2004年に発生した。最近の特徴として、小型幼生は多量に発生するものの採苗に結びつかないといわれ、養殖用種苗の安定確保が難しくなっている。²⁾ さらに近年、抑制中の種苗が死滅するという事例も発生するようになり、養殖用種苗の確保をさらに不安定なものにしている。

ここでいう抑制とは、採苗連に採取した種苗を干潟に杭を打って竿を渡して作られた棚（抑制棚）に配置して管理する工程のことを指し、宮城県では「床上げ」とも呼ばれる。抑制棚では、種苗は潮の干満によって1日に1～2回空中に露出する。広島湾において、この抑制工程は、1950年以降に種苗を海外へ輸出するために干出に強い種苗を作成するのが主な目的で普及が図られた。³⁾ さらに、小笠原ら⁴⁾ が、抑制することで養殖中のへい死を防ぎ、その後の成長も優れていることを明らかにしたことから、広島湾でも必須の工程になった。抑制中の種苗は干満に応じて干潮時に海水から空中に干出するように垂下されているので、成長を抑制されるが、脆弱な個体が淘汰されるとともに、産卵による疲弊を防ぎ、成長環境へ移植した後の高成長をもたらすとされる。

採苗の不安定化に加え、抑制中の種苗の死滅といった問題によってマガキ養殖用種苗の確保が困難になってきていることから、水産海洋技術センター（以下水技センターとする）では2002～2004年度に、採苗および抑制時

における種苗の減耗要因究明を行うとともに、種苗管理指針の検討を行った。本報では、そのうち抑制漁場の環境とマガキ稚貝の成長および生残との関係について報告する。

材料と方法

抑制漁場の環境調査 調査は2003年と2004年の7月～10月の期間に行った。2003年は廿日市地御前地先（以下の調査年と地点を3-Jとする）と水技センター地先（以下の調査年と地点を3-Cとする）の抑制棚計2カ所、2004年は江田島市沖美町三高地先の抑制棚2カ所（以下の調査年と地点を4-MA, 4-MBとする）と水技センター地先橋桁1カ所（以下の調査年と地点を4-Cとする）の計3カ所で調査を行った（図2a）。抑制棚の場合は、棚の杭にメモリー式観測装置 ACL11-8 M（アレック電子(株)製）を固定し、橋桁の場合はロープで本装置を垂下して観測を行った。本装置は温度とクロロフィル a 量を観測項目とし、筒の末端、写真では下

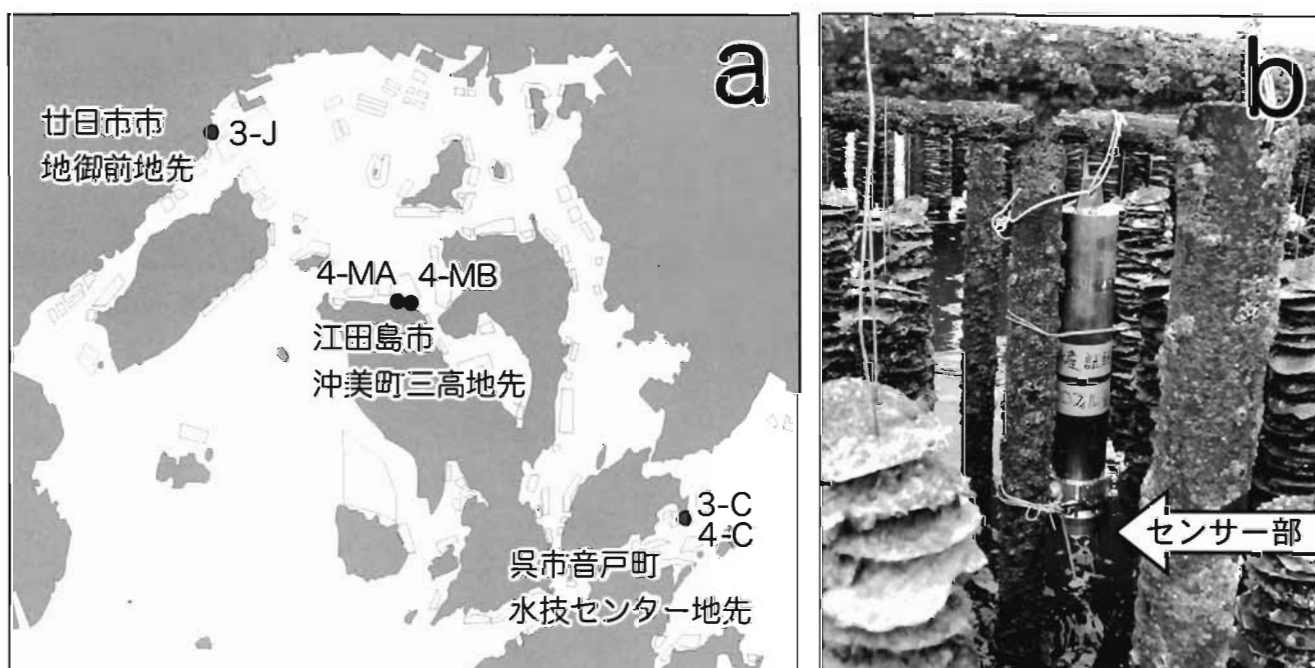


図2 抑制漁場の環境調査嫉視場所 (a) および抑制棚に設置されたメモリー式観測機器 (b)

表1 抑制棚の環境調査における観測場所および観測期間

年度	調査地点	観測機器設置方法	調査期間	記号
2003年	廿日市地御前地先	抑制棚の杭に取付	7月10日～10月6日	3-J
	呉市音戸町水技センター地先	抑制棚の杭に取付	7月16日～7月29日 8月14日～8月27日 9月9日～9月17日	3-C
	江田島市沖美町三高地先 A	抑制棚の杭に取付	9月7日～10月5日	4-MA
2004年	江田島市沖美町三高地先 B	抑制棚の杭に取付	9月7日～10月5日	4-MB
	呉市音戸町水技センター地先	橋桁から垂下	9月7日～10月5日	4-C

端にセンサーがある(図2b)。観測は10分間隔で7～90日間連続して行った。それぞれの調査点で調査を行った期間を表1示す。

各観測点の観測装置のセンサーの高さは採苗連の中央から下端付近とした。干出時間の変化からセンサー部分の高さを推定し、さらにセンサーと採苗連の位置関係から採苗連の設置高を推定した。ここでいう高さは広島港の潮位観測基準面からの高さをいい、大潮の平均的な干潮面の高さを示す。

10分間隔の水温およびクロロフィルa量のデータは、前後の変化からそれぞれのデータが浸水時のものか、干出時のものかを判別した。干出および浸水のタイミングと潮見表から得られる潮位変化を照らし合わせることでセンサー部位の基準水面からの高さを推定した。

種苗の成長と生残 2004年に天然採苗され、江田島市沖美町三高地先のAおよびBの2カ所の抑制場で抑制されていた採苗連を、水技センターの陸上水槽および橋桁に設置して成長および生残の違いを調査した。

抑制場Aで抑制されていた稚貝の平均殻高は3.8mmでコレクター1枚あたりの平均稚貝付着数は52個であった。一方、抑制場Bで抑制されていた稚貝の平均殻高は4.8mmでコレクター1枚あたりの平均付着数は106個であった(2004年9月6日)。

A, Bの2種類の採苗連それぞれ4連を水技センター

に持ち帰り、各1連を500リットル水槽へ入れ濾過海水を連続注水し、これを無給餌区とした。残りの各3連は水技センター橋桁からロープで、水技センター地先の抑制棚と同じ高さを中としてその上下になる異なる3つの高さで設置した。

31日後の10月8日に抑制場A, Bおよび水技センターの各採苗連からコレクター3枚を採取しコレクターあたりの個体数の計数および殻高の測定を行った。

結 果

抑制漁場の環境調査 図3に調査点3-J, 3-C, 4-MAおよび4-Cにおける温度(a)およびクロロフィルa量(b)の推移を示した。なおクロロフィルa量は浸水時における1日の平均値を示した。表2に各調査点のセンサー部分の高さにおける干出時の最高温度とそれを記録した月日と時刻, 平均干出時間, 最長連続干出時間, 干出, 浸水時刻から推定したセンサー部分の高さを示した。センサー部が浸水している時の水温変化に比べ干出時の気温変化が大きいため, その前後の温度変化から, 得られた温度が, 水温か気温かほぼ判別することができた。干出時の最高温度は地御前(3-J)において2003年8月9日12:40に32.17℃, 20004年では三高A(4-MA)平成16年9月14日15:20に32.57℃であった。干出時の温度は夏の昼間には水温より上昇し, 夜間

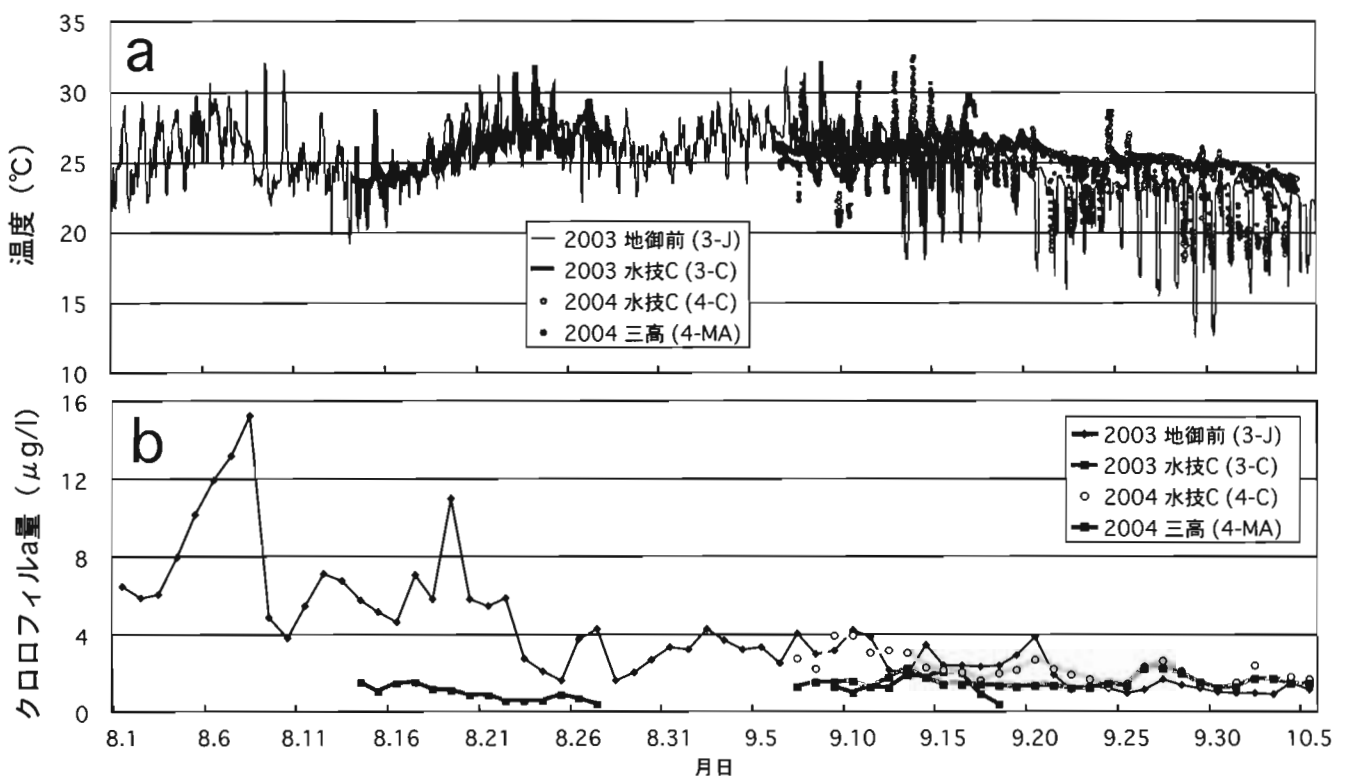


図3 抑制棚の温度変化 (a) およびクロロフィル a 量 (b) の推移

表2 抑制柵の環境調査における最高温度と干出時間

記号	最高温度 (°C)	最高温度を記録した月日時刻	1日あたりの平均干出時間	最長連続干出時間	最長連続干出時間を記録したときの潮名	センサー部分の基準水面からの推定高さ (cm)
3-J	32.2	2003/8/9 12:40	6:58	6:00	小潮	160
3-C	32.1	2003/9/9 15:50	3:54	4:50	中潮	110
4-MA	32.6	2004/9/14 15:20	8:13	7:00	長潮	170
4-MB	30.9	2004/9/14 15:40	6:33	5:30	小潮	150
4-C	29.6	2004/9/14 15:30	3:37	3:40	長潮	110

の干出時や秋以降は水温より低下する傾向を示した (図3a)。

クロロフィル a は水温において浸水と干出を判別した浸水時のデータを用いたが、センサーが水面付近に位置した時にしばしば現れる異常値は除外した。2003年の8月14~27日では水技C地先(3-C)の値が0.35~1.50µg/lと変動が小さかったのに対して地御前(3-J)地先の値は、1.59~10.96µg/lと大きく変動した。ただ、9月9~18日では地御前地先の値は小さくなり、水技C地先との差が小さくなった。2004年9月7日~10月5日の三高地先の値は水技C地先とほぼ同程度かそれより低めに推移した (図3b)。

1日あたりの平均干出時間は三高A(4-MA)の8時間13分を最長に、地御前(3-J)、三高B(4-MB)、水技センター(3-C、4-C)の順に長かった。最大連続干出時間も三高A(4-MA)が最長で7時間、次いで地御前(3-J)では6時間であった。連続干出時間は小潮または長潮の干満差が小さい時期に長くなる傾向がみられた (表2)。

図4に広島港の4大分潮(M2, S2, K1, O1)の調和定数⁵⁾をから求めた潮位の変化、および各高さでの1日あたりの浸水時間を示した。さらに、今回の実験における抑制時の採苗連推定設置高を合わせて示した。採苗連の最上のコレクターの位置が最も高いのは4-C

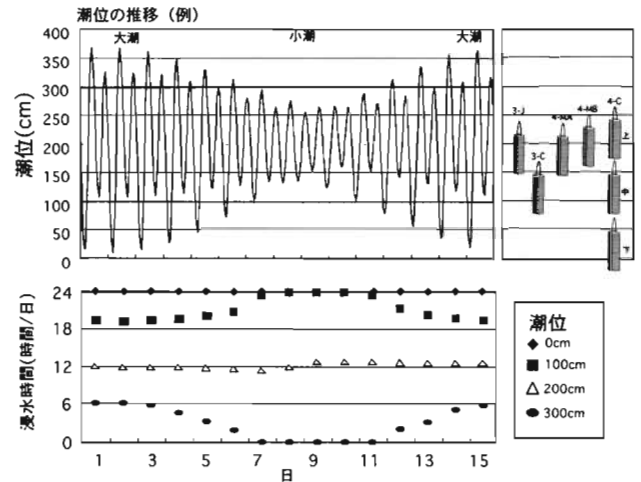


図4 潮位変化にともなう1日あたりの浸水時間の変化と推定した採苗連の設置高

上の約240cm、最も低いのは4-C下の50cmであった。
種苗の成長と生残 表3に各試験区における稚貝の平均殻高とコレクターあたりの稚貝数の推移を示す。三高地先の抑制漁場では実験開始9月7日には採苗連A、Bの平均殻高はそれぞれ3.8mm、4.8mmであったが、31日後の10月8日にはともに約5mm成長し、それぞれ8.5mm、9.7mmになった。無給餌区では採苗連A、Bとも変化がなく、ほとんど成長しなかった。水技センター地先では設置高—上、中、下の間の顕著な差はみとめられず、採苗連A、Bともに約10mm成長した。

表3 採苗連を用いた実験における稚貝の成長と生残

種苗種類	実験区	実験開始時 2004.9.7		31日後 2004.10.8	
		平均殻高±標準偏差 (mm)	個体数/コレクター	平均殻高±標準偏差 (mm)	個体数/コレクター
A	無給餌抑制場A			4.1±1.2	48
	水技C上	3.8±1.2	52	8.5±2.8	50
	水技C中			13.3±2.6	25
	水技C下			17.5±5.1	38
B	無給餌抑制場B			5.0±1.7	108
	水技C上	4.8±1.6	106	9.7±3.7	64
	水技C中			12.9±3.8	45
	水技C下			15.9±4.8	56
				16.0±5.3	42

コレクターあたりの個体数は、9月7日の開始時、採苗連Aが52個体に対して、Bは106個体であった。31日後10月8日の個体数は、三高地先の抑制漁場では、採苗連Aがほぼ同数に対して、採苗連Bは6割の64個体に減少した。無給餌区では採苗連A、Bともに変化しなかった。水枝C地先では採苗連A、Bともに設置高—中での減少率が低い傾向がみられた。採苗連AとBの減少率を比較した場合、種苗Bの減少率が高かった。

考 察

かき養殖の成績は、良い種苗を確保することにかかっており、生産者の間では優良な種苗が確保できた時点でかき養殖の半分は終了したという意味で、「種半（たねはん）」ということばが使われている。ここでいう優良な養殖種苗の条件は、まず、付着した稚貝が健全であり、筏からの垂下養成に移行した場合、へい死せずによく成長することはいうまでもないが、収量に大きく影響するコレクターあたりの稚貝数や、稚貝の大きさが条件として重要になる。

コレクターあたりの稚貝数は収穫時の個体数から、⁴⁾種苗の段階ではコレクターあたり40—80個体、最低30個は必要だと考えられる。それより少ないと、1個体の大きさは大きくなるが、筏あたりの収穫量が少なくなるばかりでなく、他の付着生物の影響を受けやすくなると考えられる。逆に稚貝数が多すぎる場合、コレクター上の空間が限られているため、全ての個体が商品サイズに成長できず、競合によって最終的には個体数が減少する。また、その過程において成長停滞を引き起しやすいといえる。さらに、個体数が多いことは、各個体がコレクターへ接着する面を少なくすることから、かきが脱落やすくなる面も持つ。次に稚貝の大きさも問題になる。採苗連の状態つまり、各コレクターの間隔が1cm程度での成長過多は、接着部分の少ないコレクター外縁部の個体だけが成長し、外部と遮断することによって内側の稚貝をへい死させる現象が起こる。このような場合、コレクターあたりの個体数の減少を招くほか、脱落しやすい種苗になると推測される。

以上のことから、成長を抑制された稚貝約60個がコレクター上下両面にはほぼ均一に付着し、個々の稚貝のコレクターへの接着面が十分で脱落しにくいという種苗が一般的な理想形であろう。このような種苗にするためには、採苗から抑制工程におけるコレクターあたりの稚貝数の制御、つまり採苗時の稚貝数とその後の生残と稚貝の成長の制御が管理上の重要なポイントになる。

今回の約4mmサイズの稚貝では、陸上水槽に垂下し濾過海水を注水した無給餌区では、全く成長せず、また個体数が減少することがなかった（表3）。木村ら⁶⁾も陸上水槽にかき種苗を放置したところ、成長がみられずへい死することもなかったと述べており、殻高4mm程度のマガキ稚貝は、少なくとも1ヶ月程度の期間であれば無給餌は生残に影響することはないと考えられる。よって、稚貝の成長を抑制することだけが目的であれば、常時種苗を海水中に浸漬したままでも餌を与えなければよい。また、濾過海水を飼育に使用すれば、付着生物を防ぐこともできる。ただ実際には広島湾周辺海域で、餌料生物や付着生物およびその幼生が存在しない環境は考えにくく、また、抑制のもう一つの目的である干出に弱い稚貝を淘汰することも困難である。したがって現状では、干出および浸水を繰り返す潮間帯での抑制は、きわめて合理的な方法であるといえる。

今回の調査結果から、潮間帯における抑制工程において、マガキ稚貝がさらされる環境変動の一部が明らかになった。抑制中の稚貝の生残を左右する要因の一つとして、真夏の炎天下にさらされた時の温度上昇が考えられた。今回抑制場で観測された最高気温は32.6℃で当初予想していたものより低かった。これは、コレクターの間隔が約2cmと狭い上、さらに各連が密集して抑制棚から垂下されていることから、直射日光が当たる場所が上部あるいは側面の一部に限られ、大半が日陰になること。また、採苗連に付着した海水が蒸発する際に気化熱が奪われ気温が下がることも推測される。広島県水産試験場⁷⁾の調査では、採苗後10日程度経過したもので推定1—4mmの稚貝の付着したコレクターを直射日光のもとで日乾すると2時間で25%、4時間で90%以上がへい死したが、日影においたものは6時間放置してもへい死率は10%前後であったとされている。この時の気温は直射日光下で最高36℃に達したが、日陰では32℃にしかならなかったと述べている。これらのことから実際の抑制場では、採苗連の最上部など長時間直射日光にさらされる部分を除き、温度は種苗の生残にほとんど影響を与えないと考えられた。

抑制場において種苗を潮間帯に設置することによって、干出そのものがストレスになるほか、干出による摂餌時間の短縮による成長抑制の効果が考えられる。この干出程度の制御は設置高によって行うが、高さや干出時間の関係に関する記述は、床上げには大体1日10—15時間露出する場所³⁾という記述があるほか、小笠原ら⁴⁾は1日の平均干出時間が18時間（256cm）では干出による

影響によって7-8月には分減りが大きく、それ以上だと生残数が極度に減少すると述べている。今回実施した調査からセンサー部分の基準水面からの高さを推定したところ、地御前160cm, 三高 (A) 170cm, 三高 (B) 150cm, 水技 C は110cm であった (表2)。この結果から推定した採苗連の設置高と、広島港の潮汐を照合したところ、図4のような高さで垂下されていたことになった。水技 C を除いた3地点の採苗連 (高さ約70cm) はすべて小潮の満潮線と干潮線の間である150~250cm に位置しており、1日あたりの干出時間にすると、ほぼ6~18時間であった。さらに図4から、基準水面からの高さが200cm のとき、1日の干出と浸水がほぼ1:1 になることがわかる。また、高さが小潮時の最高水位である約260cm を越えると小潮の期間中、常に干出し、小潮時の最低水位である約120cm 以下になると常に浸水することを示している。これらのことから、小潮時の満潮線を越えない高さが抑制における種苗設置上限であり、干出時間の調整はそれ以下の高さで行わなければならない。

今回調査した抑制場のクロロフィル a 量は、地御前地先 (3-J) の8月に4 $\mu\text{g/l}$ 以上の高い値を示したが、他の地点 (3-C, 4-MA, 4-C) は4 $\mu\text{g/l}$ 以下で推移した。抑制中のかき餌料環境を考える場合、干潟特有の底生性の微細藻類の影響が大きい⁸⁾ ことも考えられるが、今回の調査結果からは議論できず、少なくとも、時期や場所によって抑制場の餌料量が大きく異なることのみが示唆された。種苗の成長を抑制するには、稚貝の摂餌量を制限しなければならないことから、干出時間の調整による摂餌時間の制限は現場の餌料量に応じて行う必要がある。

三高地先 A, B の2カ所の抑制場と、水技センターの陸上水槽および橋桁で2種類の種苗の成長と生残状況を比較した。この実験は、コレクターあたりの稚貝数の異なる種苗を、異なる環境下に置くことで、種苗の成長および生残の特徴を明らかにするものである。

陸上水槽の無給餌区ではほとんど成長がみられず、抑制場 A, B と橋桁上中下では両種苗がそれぞれ約5mm, 約10mm 成長した (表3)。この成長の差は、図3bによると、9月7日から24日まで水技センター橋桁のクロロフィル a の値が抑制場 A を上回っていることから、クロロフィル a 量の差によるものと考えられる。橋桁での上中下の成長の差は顕著ではなかった。上中下の各設置高は図4に示したように、250cm 以下の小潮の満潮線以下に設置され、干出時間が異なることから、31日

間では顕著な差とならなかったとは考えにくく、成長差があったが、下段大型個体が脱落し結果的に成長差が小さくなった可能性が高い。

コレクターあたりの個体数は、無給餌区では採苗連 A, B ともに減少しなかったが、抑制場では、採苗連 A はほとんど減少しなかったのに対して、採苗連 B は60%に減少した。水技センター橋桁の採苗連 A, B は、ともに個体数が減少したが B の減少率が高い傾向を示した (表3)。大きく成長するほど減少率が大きくなる傾向はあるが、成長程度と減少率は必ずしも一致せず、抑制場の採苗連 A と B を比較した場合、成長量はそれぞれ4.7mm と4.9mm とほぼ等しいが、減少率は4%, 40%と大きく異なった。この採苗連 B の減少率が高い原因は、実験開始時の稚貝数が採苗連 B は A の約2倍の106であることによると考えられる。かき種苗の個体数を検討する場合、生活空間がホタテガイ殻の表面として限られているため、成長にともなって、表面を覆い尽くすと次に鉛直方向高へ生活空間を拡大する。競合に敗れ表面を覆い尽くされて小型の個体がへい死し、あるいは物理的な刺激で大型個体が脱落するなどして個体数が減少する。これは干出や疾病などのストレスが引き起こす稚貝のへい死による個体数の減少とは区別して考えるべきであろう。

今回の実験結果は、供試稚貝の平均殻高が3.8あるいは4.8mm であったことから、マガキ稚貝の成長、生残に関する議論はそれ以降のサイズに限られるが、個体数の減少は干出、温度および餌不足などのストレスによるものではなく、成長にともなう稚貝同士の競合や脱落によるものであることを示唆している。種苗の段階での成長の過多は養殖用種苗としての品質の低下を招くといえる。

成長を抑制された稚貝約60個がコレクター上下両面にほぼ均一に付着し、個々の稚貝のコレクターへ強く接着して脱落しにくいという種苗の条件を満たすには、今回の供試種苗のサイズに限っていうと、できるだけ成長を抑制する管理が必要である。これには各抑制漁場の餌料濃度などの条件を考慮し、餌が豊富な漁場の場合には、設置高を高くして干出時間を長くするほか、採苗連を密に配置することも必要であろう。採苗連を密に配置することは、採苗時に個体数が多すぎた場合に、意識的に採苗連同士の接触の機会を増やし、個体数を減少させるうえにおいても有効だと考えられる。

今後、採苗あるいは抑制開始直後、殻高5mm 以下の種苗のへい死の原因については、室内実験の結果など

を交え、さらに詳しく検討を行う予定である。

文 献

- 1) 広島県農林水産部水産振興室・漁業調整室：平成17年度広島かき出荷指針，広島県農林水産部水産振興室・漁業調整室，広島，2005，pp.12
- 2) 木村知博・兼保忠之：広島かきの養殖，広島かき生産者協同組合，広島，2003，pp.86-122
- 3) 広島県水産試験場：種牡蠣の床上げ（抑制）について．水試だより，**10**，104-107（1950）
- 4) 小笠原義光・小林歌男・岡本 亮・古川 厚・久岡 実・野上和彦：カキ養殖における抑制種苗の使用とその生産的意義．水産庁内海区水産研究所研究報告，**19**，1-153（1962）
- 5) 海上保安庁水路部：日本沿岸潮汐調和定数表，1992
- 6) 木村知博・楠木 豊・尾上邦武：カキ筏採苗試験－採苗後の種苗の管理について－．広島県水産試験場報告，**24(2)**，12-18（1962）
- 7) 広島県水産試験場：一年生牡蠣養殖に関する調査．水試だより，**25**，332-337（1952）
- 8) 門谷 茂：瀬戸内海の現状と干潟域における物質循環．海洋と生物，**129(22)**，323-331（2000）