

広島湾における2004, 2005, 2006年夏季の養殖マガキのへい死

平 田 靖

Summer mortality of cultured Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Hiroshima bay 2004, 2005, 2006

Yasushi HIRATA

広島湾海域で行われているマガキ筏垂下式養殖において、近年、収穫時に20~30%のへい死個体が恒常的に見られる。時折、広範囲にわたり40~50%以上のへい死が見られる場合には大量へい死とされる。これらのへい死のほとんどは、産卵期である夏から秋にかけて発生し、持続的なマガキ養殖生産の障害になっている^{1,2)}。

夏から秋にかけて発生する養殖マガキのへい死は、赤潮によるものなど原因が明らかな場合はわずかで、ほとんどの場合不明であり、発生機構は解明されていない。赤繁ら²⁾は、広島県海域で発生した1979年, 1994年, 2001年, 2002年の大量へい死と環境要因である水温, 降水量との関係について検討し, 高水温でかつ7~10月の降水量が少ない年に大量へい死が発生しやすいことを示した。

夏から秋にかけて発生する養殖マガキの恒常的なへい死の発生は、へい死を見越した過剰生産による漁場過密化の原因になるほか、大量へい死発生の危険性を高めていると考えられる。しかしながら、この夏から秋にかけての恒常的な養殖マガキのへい死が、いつ頃どのような個体においてどのような環境条件下で発生しているのかといった実態は明らかになっていない。そこで、2004年, 2005年, 2006年のそれぞれ夏から秋にかけて広島湾海域の養殖マガキについて継続的なへい死実態, 漁場環境の調査を行なった、これらの調査結果に加え、養殖マガキのへい死と漁場環境およびマガキの産卵状態等の関係について考察した結果を報告する。

材料および方法

調査海域 広島湾の支湾である江田島湾内（以下湾内区）とその湾口部の長浜（以下長浜区）の2漁場（図1）にそれぞれ設置されている養殖筏のうち1台の養殖筏のマガキを、夏から秋にかけて継続して調査した。

調査対象筏 調査対象の筏は、孟宗竹製で大きさは1台が約10m×約20m、広島湾海域で一般的な筏垂下式養殖³⁾によって、長さ約10mの垂下連に、マガキ稚貝が付着したホタテガイの殻を垂下している。調査対象の筏のマガキは、前年の春に本垂下が行われた、いわゆる「ノコシ」と呼ばれる群で、次の収穫期の初期に収穫される。ただし2006年調査の長浜の筏は前年の秋以降に本垂下が行われ、いわゆる「イキス」とよばれる群の筏で、その他の筏に較べてマガキはやや小型であった。この筏の垂下連は8月30日の調査まで二つ折りで管理されていたため、垂下連の最下層までは約5mであった。

調査日時 2004年は5月21日, 6月1日, 6月15日, 7月2日, 7月16日, 8月9日, 8月17日, 10月7日の計8回, 2005年は6月3日, 7月6日, 8月5日, 9月14日の計4回, 2006年は6月28日, 8月8日, 8月30日, 9月27日の計4回の調査を行った。



図1 調査対象筏の設置場所（江田島湾（湾内）と長浜）

表1 マガキ軟体部の外套膜の栄養蓄積状態（身入り）および生殖巣・配偶子の状態（成熟）の分類

外観による外套膜の栄養蓄積状態（身入り）の分類	ポイント
1. 軟体部の全体が透明	1 ポイント
2. 軟体部のほとんどが透明	2 ポイント
3. 外套膜の一部が透明	3 ポイント
4. 外套膜に透明部分がなく白く肥厚している	4 ポイント

外観による生殖巣の配偶子の状態（成熟度）の分類	ポイント
1. 配偶子による白い部分が見えない	1 ポイント
2. 配偶子による白い部分がわずかに見える	2 ポイント
3. 配偶子による白い部分は多いが生殖輸管が明瞭でない	3 ポイント
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	4 ポイント

へい死調査 調査対象筏の垂下連を引き上げ、連の上層（水深0～2m）、中層（水深4～6m）、下層（水深8～10m）からそれぞれホタテガイ1枚に付着したマガキ1塊あるいは2塊、（1層あたり平均27.2個体）を採取して全てを呉市音戸町の水産海洋技術センター（以下当センター）に持ち帰った。

持ち帰ったマガキ塊は、まず個体別に分解して個体数を計数し、軟体部が消失し殻だけが残った個体をへい死個体とした。さらに、へい死個体の内、殻内側にホヤやゴカイ類等の付着生物がみとめられず清浄な個体をへい死直後の個体として計数した。生き残った個体は全て開殻し、軟体部重量を測定の後、産卵状況や栄養蓄積状態を把握するため、軟体部の生殖巣および外套膜の外観を肉眼で観察して表1に従って分類した。各分類を1～4ポイントとして層毎の平均ポイントを求めた。

環境調査 水温、塩分は、各調査日に、筏の中央部において、ACL208DK（アレック電子）を用いて水面から海底までの鉛直プロファイルを観測した。同時に水深0m、5m、10m、15mおよびB-1mの海水を採取して溶存酸素量を測定した。2004年6月16日から9月10日の87日間、湾内と長浜の両地点の筏において水深0.5mおよび水深5.0mにメモリー式水温計を設置し1時間毎の水温を計測した。

結 果

各調査日の各層のサンプル数、へい死率、へい死直後の個体の割合（以下へい死直後率とする）、平均殻高、軟体部平均重量、軟体部の身入り分類、成熟度分類とこ

れらの平均ポイント、各層の水温および溶存酸素を表2, 3に示した。

へい死率の推移 各年最終調査の平均へい死率は2004年（10月7日）34.1%、2005年（9月14日）28.0%、2006年（9月27日）23.5%であった。2006年長浜のへい死率は12.3%で最も低かった。へい死率は各年の調査開始から終了にかけて増加した。層別のへい死率は上層、中層、下層の順に増加する傾向を示した。2004年の湾内のへい死直後率の推移を見ると、ほぼ上層、中層、下層の順に最大値を示し、各層の最大へい死直後率は7月16日（25.0%）、8月9日（21.7%）、8月9日（43.5%）であった。

殻高 調査開始時の平均殻高は、2004年（5月21日）は湾内9.3cm、長浜7.4cm、2005年（6月3日）は湾内9.5cm、長浜8.6cm、2006年（6月28日）の平均殻高は湾内9.5cm、長浜5.7cmであった。湾内に較べて長浜の個体はやや小さく、特に2006年長浜の個体は小型であった。調査期間中の殻高の変化を見ると、2006年長浜では6月28日の殻高5.7cmが9月27日に7.7cmに成長した場合を除いて成長は認められなかった。

軟体部重量 調査開始時の平均軟体部重量は、2004年（5月21日）は湾内15.0g、長浜6.0g、2005年（6月3日）は湾内16.4g、長浜11.0g、2006年（6月28日）は湾内10.7g、長浜2.8gであった。殻長と同じく軟体部重量は湾内に較べて長浜がやや少なく、2006年長浜は特に小型であった。調査期間中の軟体部重量の変化をみると、調査開始時の重量が大きいほど急激に減少した。一方、2006年長浜の軟体部重量はわずかに増加した。

表2 江田島湾内の各調査日のサンプル数へい死率、へい死直後率、平均殻高、軟体部平均重量、外観から見た軟体部の身入り分類および成熟度分類結果および平均ポイントおよび各層の水温および溶存酸素

湾内(江田島湾内)		2004								2005				2006			
項目	垂下層 水深等	5.21	6.01	6.15	7.02	7.16	8.09	8.17	10.7	6.03	7.06	8.05	9.14	6.28	8.08	8.30	9.27
サンプル数	上層	29	16	12	19	12	18	19	17	32	14	9	12	23	31	51	23
	中層	19	12	15	20	19	23	32	26	18	9	10	25	33	38	24	30
	下層	15	14	35	25	19	23	22	23	21	11	18	39	25	26	24	31
	へい死率(%)	0.0	6.3	16.7	15.8	33.3	38.9	10.5	17.6	6.3	14.3	11.1	25.0	13.0	22.6	17.6	39.1
内へい死直後(%)	上層	21.1	0.0	0.0	5.0	15.8	26.1	28.1	38.5	0.0	33.3	40.0	28.0	0.0	2.6	12.5	13.3
	中層	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	43.5	27.3	47.8	0.0	0.0	11.1	17.9	0.0	7.7	0.0	51.6
	下層	0.0	6.3	8.3	15.8	25.0	11.1	10.5	0.0	3.1	7.1	0.0	8.3	0.0	3.2	3.9	0.0
平均殻高(cm)	上層	0.0	0.0	0.0	5.0	15.8	21.7	12.5	11.5	0.0	11.1	40.0	4.0	0.0	2.6	8.3	0.0
	中層	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	43.5	13.6	13.0	0.0	0.0	5.6	5.1	0.0	3.8	0.0	6.5
	下層	9.5	9.8	9.9	10.3	9.5	9.5	10.1	10.2	9.1	11.0	9.9	10.6	10.2	8.8	8.7	8.8
軟体部平均重量(g)	上層	9.3	9.3	9.2	9.6	10.0	9.7	9.2	9.9	9.3	8.7	9.2	10.7	9.4	8.6	7.5	8.9
	中層	9.2	10.2	8.9	9.7	9.4	9.0	9.5	9.1	10.0	9.7	9.5	9.7	8.8	9.3	8.6	8.7
	下層	14.2	16.1	15.6	12.3	12.0	7.4	9.0	7.4	17.9	14.2	11.9	13.0	11.9	4.3	4.3	5.4
身入り分類頻度(%)	上層	17.2	19.3	16.3	12.8	7.0	7.9	6.6	6.3	14.4	10.7	11.1	7.6	10.9	6.7	3.4	4.4
	中層	13.6	13.6	10.3	7.5	8.4	9.3	9.9	5.4	17.0	12.0	10.4	8.2	9.2	8.5	5.0	4.8
	下層	0	0	0	0	0	45	29	100	0	0	13	11	0	63	71	86
身入り平均ポイント	上層	3	7	20	6	50	45	41	0	20	8	50	44	5	8	26	14
	2	69	53	70	69	38	9	24	0	63	75	38	44	90	29	2	0
	3	28	40	10	25	13	0	6	0	17	17	0	0	5	0	0	0
	4	0	0	0	0	25	35	65	75	0	0	0	67	0	11	57	73
	中層	0	0	0	11	50	47	35	25	6	0	0	28	0	27	29	23
	2	67	33	87	74	19	18	0	0	61	50	83	6	70	62	14	4
	3	33	67	13	16	6	0	0	0	33	50	17	0	30	0	0	0
	4	0	0	6	8	0	15	75	92	0	0	13	77	0	0	58	67
	下層	0	0	14	16	72	77	19	8	5	0	63	5	0	50	29	27
	2	73	57	66	76	28	8	6	0	90	91	25	14	80	50	13	7
	3	27	43	14	0	0	0	0	0	5	9	0	5	20	0	0	0
	4	3.2	3.3	2.9	3.2	2.6	1.6	2.1	1.0	3.0	3.1	2.3	2.3	3.0	1.7	1.3	1.1
成熟度分類頻度(%)	上層	3.3	3.7	3.1	3.1	2.1	1.8	1.3	1.3	3.3	3.5	3.2	1.4	3.3	2.5	1.6	1.3
	中層	3.3	3.4	2.9	2.7	2.3	1.9	1.3	1.1	3.0	3.1	2.1	1.5	3.2	2.5	1.5	1.4
	下層	21	0	0	13	75	0	35	100	0	50	0	44	10	100	43	86
	2	38	13	0	75	0	100	65	0	3	42	100	33	10	0	57	14
	3	14	67	70	13	25	0	0	0	13	8	0	22	55	0	0	0
	4	28	20	30	0	0	0	0	0	83	0	0	0	25	0	0	0
	中層	0	0	0	5	56	18	9	94	0	83	0	83	0	8	71	92
	2	0	0	0	47	44	82	52	6	6	17	100	17	33	41	29	8
	3	27	0	0	32	0	0	39	0	17	0	0	0	45	49	0	0
	4	73	100	100	16	0	0	0	0	78	0	0	0	21	3	0	0
	下層	0	0	3	8	0	0	0	83	0	36	0	27	4	0	13	73
	2	20	0	9	84	22	8	0	17	10	55	6	64	12	8	88	27
3	53	50	34	8	28	8	13	0	10	9	38	9	52	54	0	0	
4	27	50	54	0	50	85	88	0	81	0	56	0	32	38	0	0	
成熟度平均ポイント	上層	2.5	3.1	3.3	2.0	1.5	2.0	1.6	1.0	3.8	1.6	2.0	1.8	3.0	1.0	1.6	1.1
	中層	3.7	4.0	4.0	2.6	1.4	1.8	2.3	1.1	3.7	1.2	2.0	1.2	2.9	2.5	1.3	1.1
	下層	3.1	3.5	3.4	2.0	3.3	3.8	3.9	1.2	3.7	1.7	3.5	1.8	3.1	3.3	1.9	1.3
水温(°C)	0m	19.8	22.5	24.6	27.8	29.1	30.0	29.2	24.1	22.8	24.3	29.9	27.0	24.5	30.6	28.0	24.0
	5m	17.7	18.7	19.4	21.8	24.9	25.8	26.1	23.5	18.3	23.0	25.0	25.0	20.0	22.3	25.5	23.8
	10m	15.7	16.3	17.5	20.0	21.3	23.9	23.8	24.7	15.6	19.1	21.3	23.8	16.6	20.6	23.3	23.7
	15m	15.3	15.8	17.1	18.9	20.2	23.2	23.4	24.8	15.4	19.3	20.8	23.6	16.1	19.4	22.4	23.6
	B-1m	15.0	15.6	16.9	18.4	20.0	22.7	23.1	24.5	15.1	-	20.5	23.5	15.7	19.1	21.9	23.6
DO(mg/L)	0m	10.6	6.2	7.3	7.8	8.4	6.0	6.1	7.9	6.9	7.7	6.0	8.0	9.3	6.6	6.1	7.2
	5m	6.7	6.8	6.2	5.7	7.7	7.3	4.9	7.4	7.0	6.1	6.3	6.0	5.2	6.3	5.6	6.1
	10m	7.0	7.7	7.3	4.8	5.8	2.5	3.2	3.9	7.8	7.2	6.6	3.9	6.0	6.5	5.2	5.6
	15m	6.8	6.9	6.1	4.5	5.3	3.5	2.8	5.5	7.1	6.4	4.2	3.5	5.8	4.8	4.0	4.4
	B-1m	5.8	4.9	4.3	3.0	2.4	1.5	1.2	5.3	5.1	4.0	1.3	2.3	5.5	3.7	2.2	2.7

身入り分類 調査開始時のポイントを見ると、湾内の平均ポイントは3.0~3.3で身入りのよい群であることを示す一方、長浜は2.0~3.3とややポイントが低かった。2006年の長浜の群を除き、調査回次が進む毎にポイントは低下し、調査終了時には、ほとんどの場合2.0以下に減少した。2006年長浜の群では8月30日の調査時点をもっとして9月27日にポイントが増加した。

成熟度分類 2004年は、6月15日まで3.0以上と高ポイントであったが、7月2日に全層で急激に低下したこと

から、この間に一斉産卵による配偶子放出が起こったことを示した。上層ではそれ以降ポイントは増加しなかった。一方下層では7月16日、8月9日、8月17日の3回の調査にわたって再び3.0以上の高ポイントを示し、調査終了時には1.5~1.0に再び大きく減少した。これらのポイントの推移は、上層と下層で産卵の時期、回数異なることを示した。

水温の推移 調査期間中の最高水温は0mで見られ、2004年では、8月9日の湾内、長浜それぞれ30.0℃、

表3 長浜の各調査日のサンプル数へい死率、へい死直後率、平均殻高、軟体部平均重量、外観から見た軟体部の身入り分類および成熟度分類結果および平均ポイントおよび各層の水温および溶存酸素

長浜		2004								2005				2006				
項目	垂下層 水深等	5.21	6.01	6.15	7.02	7.16	8.09	8.17	10.7	6.03	7.06	8.05	9.14	6.28	8.08	8.30	9.27	
サンプル数	上層	36	37	37	39	38	40	36	26	30	20	13	14	23	50	30	42	
	中層	41	33	44	32	23	51	32	34	37	21	32	18	23	46	32	18	
	下層	37	24	45	30	17	57	42	38	20	26	26	40	16	40	44	23	
へい死率(%)	上層	2.8	2.7	2.7	7.7	5.3	10.0	16.7	34.6	6.7	0.0	23.1	28.6	4.3	2.0	23.3	7.1	
	中層	0.0	0.0	0.0	6.3	13.0	27.5	15.6	26.5	2.7	4.8	21.9	33.3	0.0	2.2	3.1	16.7	
	下層	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3	16.7	39.5	0.0	7.7	11.5	35.0	0.0	2.5	4.5	13.0	
内へい死直後(%)	上層	0.0	2.7	2.7	7.7	0.0	5.0	8.3	7.7	3.3	0.0	7.7	7.1	0.0	2.0	0.0	0.0	
	中層	0.0	0.0	0.0	3.1	4.3	13.7	12.5	5.9	0.0	4.8	12.5	0.0	0.0	2.2	0.0	11.1	
	下層	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	24.6	4.8	5.3	0.0	3.8	7.7	17.5	0.0	2.5	0.0	8.7	
平均殻高(cm)	上層	7.8	7.9	9.2	9.2	8.9	9.1	8.9	9.6	8.7	9.8	9.2	9.4	5.9	7.9	8.0	7.7	
	中層	7.3	8.6	8.0	8.3	8.5	8.9	9.0	8.3	8.1	8.1	7.8	8.6	5.9	7.3	7.6	7.1	
	下層	7.2	7.3	6.9	7.6	7.0	7.2	7.5	7.2	8.9	9.3	9.2	8.1	5.3	6.8	7.0	8.4	
軟体部平均重量(g)	上層	7.1	8.4	11.7	8.3	6.1	6.3	5.9	6.7	13.9	9.8	8.9	7.2	3.0	3.5	3.9	3.8	
	中層	6.4	8.1	7.5	7.7	6.4	6.4	6.1	4.9	9.9	6.1	6.8	6.0	3.4	3.1	3.3	3.7	
	下層	4.5	5.5	4.2	3.9	4.7	3.6	4.7	2.5	9.3	9.1	8.2	4.4	1.9	3.7	3.0	4.8	
身入り分類頻度(%)	上層	1	6	0	3	3	11	25	60	35	0	5	20	30	5	22	65	36
		2	40	39	39	31	53	67	30	53	11	40	60	50	95	73	35	56
		3	54	58	58	67	36	8	10	12	82	55	20	20	0	4	0	8
		4	0	3	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
	中層	1	2	0	0	0	5	16	85	80	0	0	20	92	0	38	77	73
		2	29	24	32	3	75	59	15	20	0	40	72	8	100	62	23	20
		3	68	76	66	90	20	24	0	0	75	60	8	0	0	0	0	7
		4	0	0	2	7	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
	下層	1	9	4	0	7	0	15	100	96	0	0	65	92	0	15	95	35
		2	44	33	33	77	94	85	0	4	25	38	35	4	75	85	5	55
		3	47	63	67	17	6	0	0	0	70	63	0	0	25	0	0	10
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	4	0	0	0	0
	身入り平均ポイント	上層	2.5	2.6	2.6	2.6	2.3	1.8	1.5	1.8	3.0	2.5	2.0	1.9	2.0	1.8	1.3	1.7
		中層	2.7	2.8	2.7	3.0	2.2	2.1	1.1	1.2	3.3	2.6	1.9	1.1	2.0	1.6	1.2	1.3
		下層	2.4	2.6	2.7	2.1	2.1	1.8	1.0	1.0	2.8	2.6	1.3	1.2	2.3	1.8	1.0	1.8
	成熟度分類頻度(%)	上層	1	11	0	0	3	53	17	0	94	0	20	90	60	5	0	39
2			31	8	0	25	39	61	100	6	0	80	10	40	18	33	52	5
3			31	17	8	56	6	22	0	0	4	0	0	0	45	43	9	0
4			26	75	92	17	3	0	0	0	96	0	0	0	32	24	0	0
中層		1	15	0	5	7	25	30	7	88	0	40	0	50	0	4	42	53
		2	22	3	2	73	75	51	81	12	8	60	24	42	9	53	55	47
		3	44	21	34	17	0	14	4	0	25	0	24	0	52	33	3	0
		4	20	76	59	3	0	5	7	0	67	0	52	8	39	9	0	0
下層		1	29	4	2	20	0	8	0	91	0	13	0	50	19	5	26	95
		2	50	29	22	73	0	13	6	9	10	67	0	46	38	13	62	5
		3	18	17	60	7	47	13	6	0	20	17	26	4	44	31	12	0
		4	3	50	16	0	53	67	89	0	70	4	74	0	0	51	0	0
成熟度平均ポイント		上層	2.7	3.7	3.9	2.9	1.6	2.1	2.0	1.1	4.0	1.8	1.1	1.4	3.0	2.9	1.7	1.1
		中層	2.7	3.7	3.5	2.2	1.8	1.9	2.1	1.1	3.6	1.6	3.3	1.7	3.3	2.5	1.6	1.5
		下層	1.9	3.1	2.9	1.9	3.5	3.4	3.8	1.1	3.6	2.1	3.7	1.5	2.3	3.3	1.9	1.1
水温(°C)		0m	20.0	21.4	23.6	26.9	29.2	30.3	28.6	24.4	21.5	24.1	29.7	27.4	23.8	28.7	27.2	24.5
	5m	16.0	18.1	18.9	21.4	24.8	24.8	25.7	23.9	17.4	21.8	24.8	26.3	18.2	22.4	24.2	3.7	
	10m	15.6	16.3	17.6	19.5	21.2	23.7	24.0	24.0	16.1	19.2	21.5	23.9	16.6	20.7	23.0	23.7	
	15m	15.5	15.9	17.1	18.7	20.0	23.3	23.6	24.4	15.6	19.6	20.7	23.9	16.0	19.9	22.5	23.7	
	B-1m	15.3	15.8	16.8	18.3	19.9	22.8	23.4	24.4	15.6	-	20.5	23.7	15.5	19.5	22.1	23.7	
DO(mg/L)	0m	12.3	6.9	7.4	7.3	8.0	6.5	5.8	7.2	7.1	7.4	6.0	7.7	9.0	6.9	6.3	6.9	
	5m	6.9	7.0	7.0	6.5	6.8	5.8	4.6	6.9	7.2	5.4	4.0	7.2	6.1	6.7	5.3	5.9	
	10m	7.1	6.5	6.6	5.5	6.3	3.5	3.8	7.1	6.9	5.9	5.2	7.6	5.7	6.4	4.5	5.7	
	15m	6.9	6.3	5.9	4.9	4.3	3.1	3.1	6.1	6.5	6.0	4.2	4.2	5.6	4.8	4.7	4.9	
	B-1m	5.7	4.7	6.6	3.8	6.0	2.5	1.7	5.8	5.9	4.9	3.0	2.6	5.1	2.7	3.7	4.5	

30.3°C, 2005年では8月5日の湾内, 長浜それぞれ29.9°C, 29.7°C, 2006年では8月8日の湾内, 長浜それぞれ30.6°C, 28.7°Cであった。最高水温を示した後の水温は低下に転じた。調査期間中の5mの最高水温は, 26.3°C (2005年9月14日長浜) で0mと5mの水温差は最大8.3°C (2006年湾内8月8日) に達した。10m以上の水深の水温差は0mと5mと比較して小さく1.5°C以下であった。水深10mの水温は調査期間中上昇を続け, 2004年は, 10月7日に層毎の差が消失した時に最高水温

を示した。水温の上昇から下降に転じる時期は上層, 中層, 下層の順に早かった。

溶存酸素の推移 海底 (B-1m) の溶存酸素量は, 調査開始時から減少し, 2004年8月17日に湾内1.2mg/L, 長浜1.7mg/Lと最低値を示した。2005年8月5日の湾内においても1.3mg/Lを示した。一方, 0mおよび5m層では4.0mg/Lを下回る値は認められなかった。10mおよび15m層はその中間の動きを示した。垂下連の下層の養殖かきとほぼ同じ水深の10m層の溶存酸素量は, 2004年8

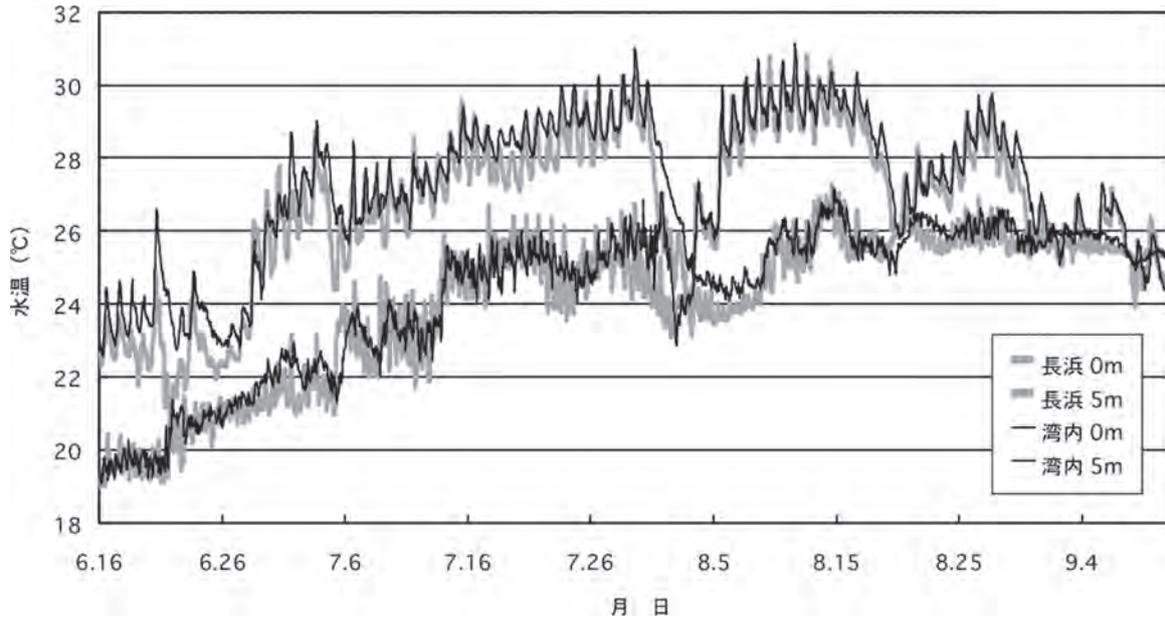


図2 メモリー式水温計による2004年夏の水深0.5m, 5mの1時間毎の水温変動

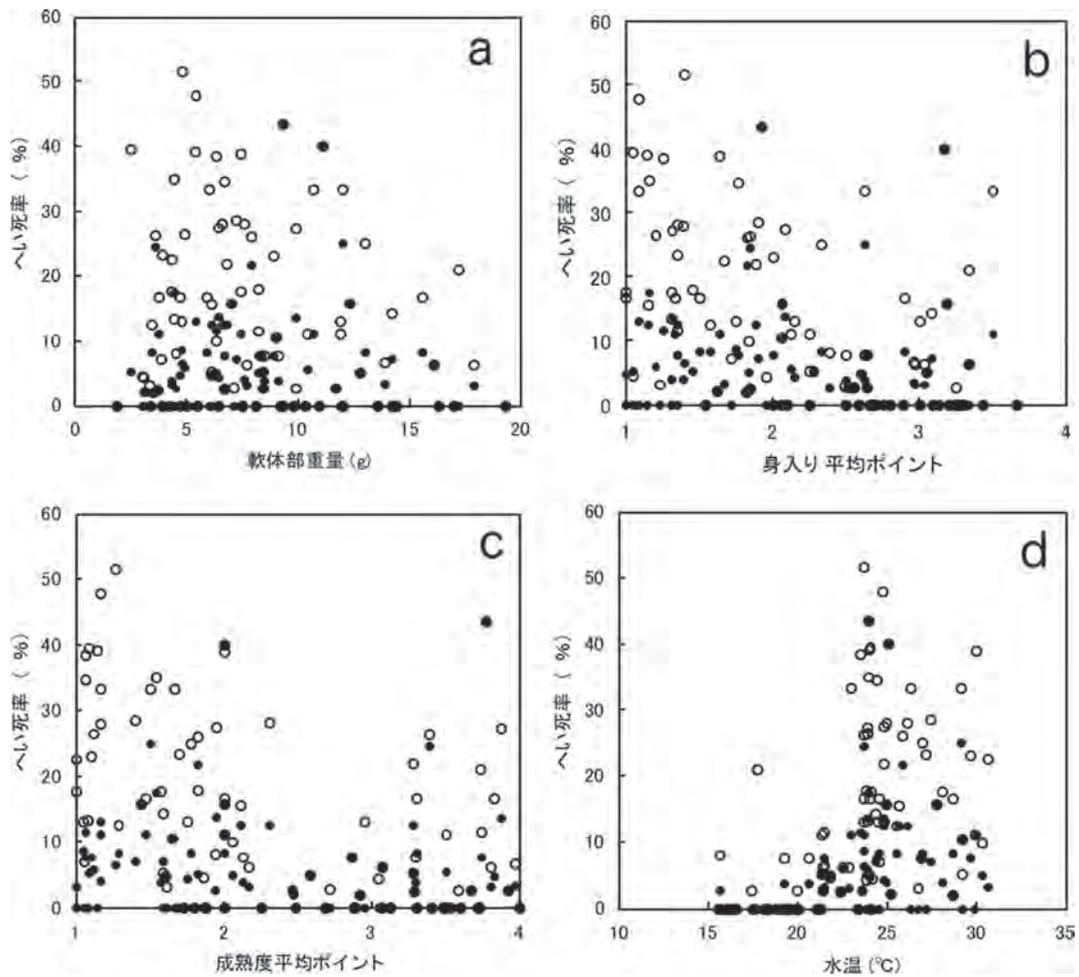


図3 軟体部重量 (a), 身入り平均ポイント (b), 成熟度平均ポイント (c) および水温 (d) とへい死率 (○), へい死直後率 (●) の関係

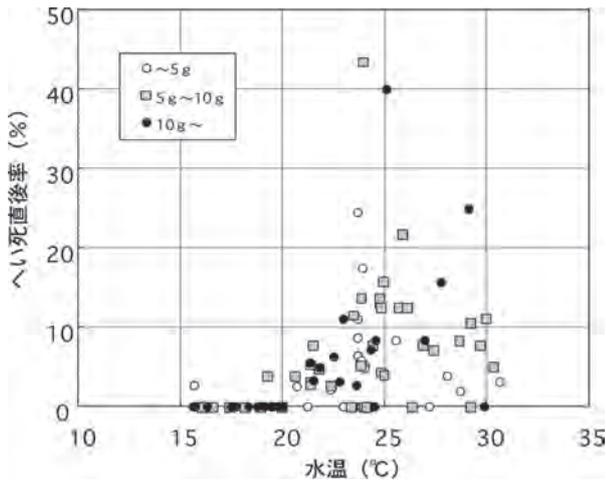


図4 軟体部重量別の水温とへい死直後率の関係

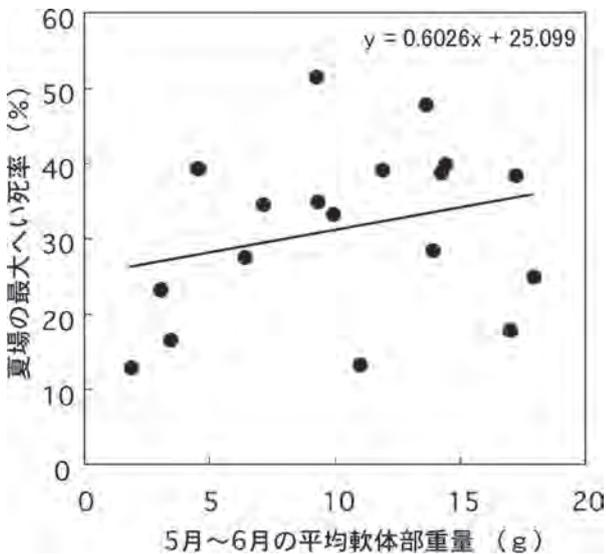


図5 5月～6月の平均軟体部重量と夏場のへい死率の関係

月9日に湾内で2.5mg/Lの最低値を示した。次いで同年の湾内で8月17日に3.2mg/Lであった。養殖中のマガキの最下層においてへい死の要因となる2.0mg/Lを下回らなかった。

メモリー式水温計による2004年の水深0mおよび5mの水温変動 水深0.5mの水温は午後最高水温を示す日周変動をくり返す傾向が強かったが、水深5mでは顕著な日周変動は認められなかった(図2)。2004年の観測期間中の湾内の最高水温は、0.5mで31.13°C(8月11日14:00)、5mでは27.15°C(8月14日21:00)であった。2004年の観測期間中の長浜の最高水温は、0.5mで30.78°C(8月12日16:00)、5mでは27.27°C(8月14日16:00)であった。水深0.5mと5mの水温差をみると、

湾内では最大6.97°C(6月20日15:00)、長浜においても6.96°C(7月3日16:00)であった。観測期間中の湾内と長浜の平均水温差は0.5mでは0.50°C、5mでは0.25°Cで湾内の水温がわずかに高かった。湾内と長浜の最大水温差は0.5mで3.30°C(6月21日10:00)、5mで2.77°C(7月31日23:00)であった。

軟体部重量、身入り、成熟度および水温とへい死率の関係 軟体部重量、身入り平均ポイント、成熟度平均ポイントおよび水温とへい死率およびへい死直後率の関係を図3に示した。へい死率は水温が20°Cを越えると高い値を示した。身入り平均ポイントは低いほど高いへい死率を示した。一方、成熟度平均ポイントは中間程度で低いへい死率を示した。水温とへい死直後率の関係を軟体部重量別にみると、軟体部重量が大きいほど水温に対するへい死直後率の傾きが大きくなる傾向が認められた(図4)。また、5月～6月の平均軟体部重量と夏季の最大へい死率との関係を見ると、調査開始時に2.8gと小型であった2006年の長浜はへい死率が低かったが、その他の場合、5月～6月の軟体部重量が大きいほど夏場のへい死率が高まる傾向が認められた(図5)。

考 察

2004, 2005, 2006年の夏から秋にかけて広島湾海域の筏垂下式養殖マガキ調査の結果、養殖マガキのへい死は最終的には2～4割程度に達した。このへい死率は近年の通常のへい死率の範囲と考えられた。

へい死は垂下連の上層の個体でまず発生し、続いて中層、下層の個体で発生した。この垂下水深によるへい死発生時期の差は、広島湾海域では夏季に水温躍層が発達し、水深によって最高水温および水温の変動が異なっていることから、垂下養殖中のマガキが水深によって異なる水温や水温変動に曝された結果、成熟の進行、産卵の時期が異なることによって生じると考えられた。

まず、水温とへい死の関係を見ると、水温が上昇し20°C以上に達するとへい死が見られ、水温30°Cにかけて高いへい死率を示す場合があった(図3d)。水温20°C以上でへい死率が高まる傾向について、赤繁ら²⁾は長期的な視点で、1970年から2004年までの当センター地先の日々の水温について20°C超過日数と大量へい死発生年との関係から高水温傾向の年であれば大量へい死の可能性が大きいという傾向を示しており、今回の結果と一致した。水深別のへい死の危険性についてみると、筏の上層のマガキは下層より高い水温に長期間曝されるため、常に高いへい死率を示すと予想される。赤繁ら¹⁾は1979年

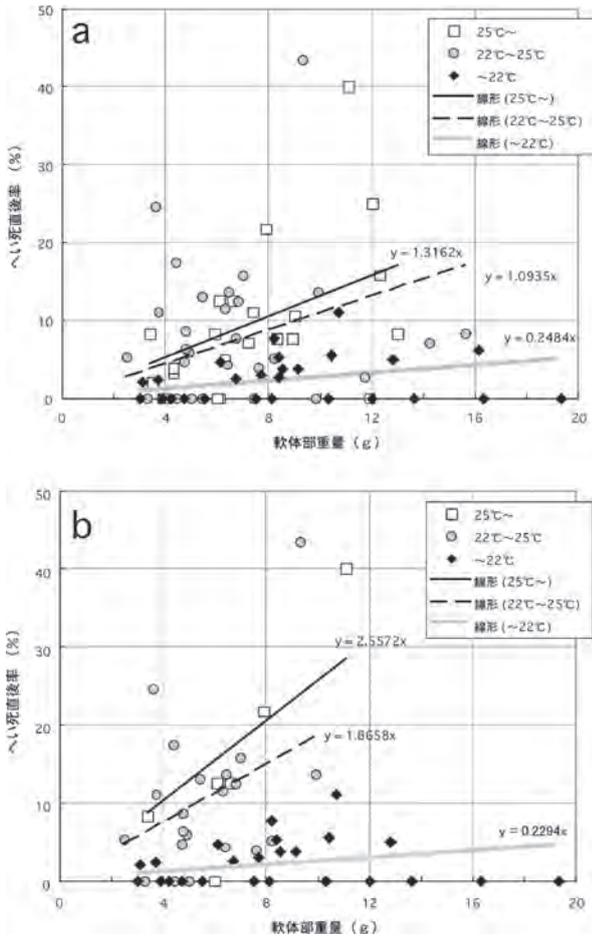


図6 軟体部重量とへい死直後率の関係、上、中、下層の場合 (a) と中、下層の場合 (b)

と1981年のへい死調査結果から垂下上層で明らかにへい死率が高いことを示している。ただし、1980年の場合は冷夏のため表層の最高水温が25℃を越えておらず10m層の水温差が1979年、1981年とくらべて小さかったことが原因であろうとしている。しかし、今回の調査期間中は、冷夏ではなく上層と下層で十分な水温差があったが、中層、下層のマガキにおいても上層と同程度のへい死率を示した。このことは、垂下連上層のへい死は水温の影響が強く受けるが、中層および下層のへい死は、水温に加え別の要因がへい死の発生に関与していることを示唆している。

次に、水温以外のへい死に関係する要因として、へい死発生時の軟体部重量があげられる (図3 a)。この結果は、正の相関が見られるもののバラつきが大きく、赤繁ら¹⁾が1979、1980、1981年の秋に行なった調査の結果、生残ったマガキの生肉重量とへい死率の間には有意の正の相関が認められるがその寄与率は低くそれだけでは説明できないとしている結果と同様に明確な相関は認められなかった。前項において上層のかきは水温の影響を大

きく受けることを示したことから、上層を除いた中層、下層のマガキの軟体部重量とへい死率の関係をみたところ、上層を含む場合より明確な相関が示された (図6)。このことから、中層および下層では、軟体部重量とへい死直後率に正の相関が示され、水温が高く、軟体部重量が大きいマガキほどへい死の危険性が高まることが示された。

マガキの軟体部重量は、通常冬期に栄養を蓄積し増加、この蓄積された栄養をもとに卵・精子を形成、これら配偶子を放出することで大きく減量する。つまり産卵状況によって軟体部重量が大きく変化することから、産卵状況がへい死に大きく関与するといえる。マガキは、浮遊幼生の出現状況⁴⁾からみても夏季に複数回の産卵をする。今回の調査結果から水深毎の産卵時期および産卵回数を推定した結果、一斉産卵の時期および回数は垂下層によって異なり、上層にくらべて下層のマガキの産卵回数は少ないことが示された。2004年の各調査日の生殖巣の状態から、各調査日間の産卵の有無を推定したところ、上層では少なくとも5回、中層では4回、下層では2回の一斉産卵があったと推定された。また、これらの一斉産卵の時期をメモリー式水温計による水深0mおよび5mの水温変動のデータ (図2) と照合したところ、産卵は、急激な水温変動、つまり上層水温の急激な低下が見られた時期とほぼ一致した。さらに、この急激な水温の変動は、台風の接近にともなう強風の影響で一時的な海水の上下混合が起こった結果だと考えられる。また、降雨による一時的な塩分低下も産卵刺激になると思われる。広島湾海域では、水温成層が発達するため上層では水温、塩分の変動も大きく、上層のマガキは多回産卵を行なう一方、下層では水温、塩分の変動がわずかであることからマガキの産卵回数は少ないと考えられる。

これらの産卵状況を、マガキの軟体部重量の変動としてとらえると、上層では、産卵刺激が多く産卵が繰り返されることで速やかに軟体部重量が減少する一方、中下層では、産卵刺激が少なく軟体部重量を減少させる機会が限られている。夏季に台風の接近などがなく穏やかな晴天が続いた場合、中下層では産卵刺激がなく、産卵をしないまま、つまり軟体部重量が大きいまま水温だけが上昇するため、へい死の危険性は高まるといえる。赤繁ら²⁾は、1941年以降の7~10月の広島地方気象台の降水量と大量へい死発生年との関係から、大量へい死の発生年は少雨傾向の年であることを示した。この少雨傾向の年は、台風の接近や大雨等のマガキの産卵刺激が少ない年であったと考えれば、軟体部重量とへい死の関係から

説明することができる。

夏季にマガキがへい死しやすいメカニズムについて、赤繁ら²⁾は、換水量との関係から、産卵期のマガキは非産卵期のマガキと比べて高水温におかれ生理機能維持に必要なエネルギーは増大しているにもかかわらず、ろ過水量は非産卵期に比べて低く抑えられ、摂餌量も減少していることが直接あるいは間接的な原因であろうと推測している。この推測では直接、軟体部重量との関係について触れていないが、生理機能維持に必要なエネルギーは軟体部重量の増加にともなって増加すると考えられるため、産卵期のマガキにおいて軟体部重量が大きいとへい死の危険性がより高まると考えられる。垂下養殖マガキは、天然のマガキにくらべ常に餌を食べられる環境下にあるため成長が早く身入りが良い。このことは冬季には経済的メリットになる一方、夏季には天然マガキでは通常見られない肥満度のまま高水温期を迎えることになる。産卵によって肥満度が解消されるとしても、過度の栄養蓄積によって1～2回の産卵では肥満度の解消に至らないため、水温の上昇にともなって産卵前で生殖巣が充実しているような大型個体からへい死すると考えられる。また、今回2006年長浜の小型の個体のへい死が少なかったこともこの仮説を支持している。

広島湾におけるマガキ養殖の夏場のへい死リスク回避のためには、高水温を避けることと軟体部重量の大きい個体での夏越しを避けることがあげられる。広島湾のマガキ垂下養殖では、主にムラサキイガイなどの付着生物の回避を目的として垂下連の水深を4～5m下げる「深吊り」⁵⁾が行われている。この方法は上層の高水温回避においても有効だが、産卵刺激が少なく軟体部重量が大きい場合、水温20℃以上になった時にへい死の危険性が高まるためへい死対策としては万全ではない。まず、軟体部重量のできるだけ少ない個体での夏越しを基本にすべきである。

夏場のマガキへい死の数式化 今回の調査結果をもとに夏場の養殖マガキのへい死の数式化を試みた。水温と軟体部重量の増加にともないへい死率が増加すること、産卵にともない軟体部重量が減少することから、産卵日に平均軟体部重量10g以上の時、次式のへい死率で発生すると考えた(図7)。

$$\begin{aligned} \text{へい死率}(\%) \\ = 0.0125 \times \text{軟体部重量}(\text{g}) \times (\text{水温}(\text{℃}) - 10)^2 \end{aligned}$$

ただし、産卵は2004年の中層で4回程度起こったことから、積算水温(最低水温(約10℃)の日から続く各日の(水温-10℃)値の総和)が600, 900, 1200, 1500の時に産

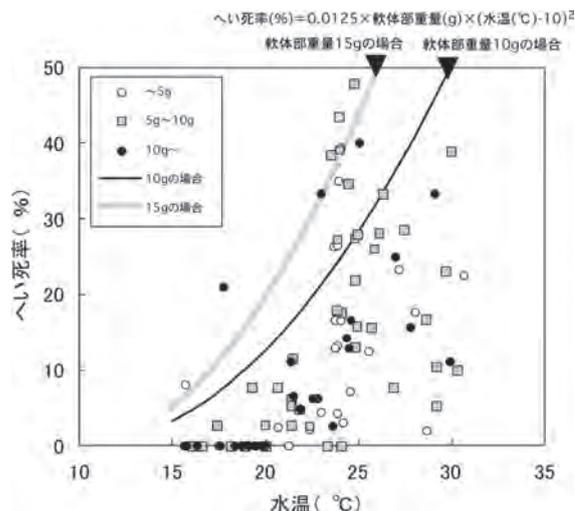


図7 水温、軟体部重量とへい死率の関係

卵すると考えられ、当センター地先の1971～2000年の平均水温 (<http://www2.ocn.ne.jp/~hfes/current.html>) から求めた場合、7月5日、7月28日、8月17日、9月5日に該当する。図7において式によって示したへい死率曲線は、実測値より高いへい死率に見えるが、実測値は生残った個体の平均軟体重量におけるへい死率であることを考慮した結果である。この式はさらに詳細な調査によって修正する必要がある。

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・楠木 豊・橋本俊将(1983): 1979～1981年の広島県下のカキへい死. 広島水試研報, 13, 35-51.
- 2) 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. 広水技セ研報, 1, 9-13.
- 3) 大泉重一・伊藤 進・小金沢昭光・酒井誠一・佐藤隆平・菅野 尚(1971): カキ養殖の技術. “改訂版 浅海完全養殖”(監修 今井丈夫), 恒星社厚生閣, 東京, pp.153-189.
- 4) 兼保忠之(2003): かき採苗. “広島かきの養殖-主として昭和の発展と問題-”, (木村知博・兼保忠之著), 広島かき生産者協同組合, 広島, pp.86-122.
- 5) 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.