

地下浸透海水を使用したヤイトハタの養殖特性 (種苗生産・養殖への地下浸透海水利用技術開発)

岸本和雄*, 木村基文

Cultivation Characteristics of *Epinephelus malabaricus* on Land using Underground Infiltration Seawater

Kazuo KISHIMOTO*, Motofumi KIMURA

水産海洋研究センター石垣支所敷地内で取水される地下浸透海水を使用して、ヤイトハタ陸上養殖試験を行った。平均全長183.9mm, 平均体重110.68gの魚を497日間飼育したところ、平均全長356.8mm, 体重713.82gまで成長した。生残率は69.4%であった。年間を通してほぼ直線的な成長を示し、冬季低水温期に地下浸透海水を使用することで養殖利用に効果があると思われた。しかし、地下浸透海水区の全ての魚において、鱗のばらけと局所的な頭部皮膚の溶解が現れた。原水を強曝気後に飼育水として使用したところ、症状の進行はおちついたと思われたが改善までには至らず、今後、原因の究明と対処法の検討が必要であることがわかった。

沖縄県下には沿岸域を含め、その地下に琉球石灰岩層や砂・砂礫層などの帯水層が広がり(古川, 1981)、離島を含めた県内広範囲において地下に浸透した海水(以下、「地下浸透海水」)を取水できる可能性がある(黒田, 2006)。地下浸透海水は一般的に水温が安定し、有害細菌類が少なく、栄養塩類が豊富なことが知られている(江端ほか, 2007; 今田ほか, 2006)。地下浸透海水の実用例として、浦添市牧港の地下28mから得られた地下浸透海水を用いて造礁サンゴ類の飼育方法や有性生殖に関する技術開発が行われ(興儀, 2006)、それらの技術を用いて養殖した造礁サンゴ類が市場に流通するようになった(平良, 2006)。その他にも、八重瀬町(旧具志頭村)の地下50mから取水された海水(田中ほか, 2002)や、竹富町黒島の地下100mから取水された海水(今田ほか, 2006)を用いてのアワビ類養殖試験が実施され、それぞれ成果が得られている。地下浸透海水は、沖縄県にとって今後活用の期待される有望な資源の一つである。

沖縄県はサンゴ礁性の浅海に囲まれ、台風の通り道にあることから、魚類海面養殖においては恵まれた環境になく、養殖適地が不足している。現在主流の養殖対象であるヤイトハタ(*Epinephelus malabaricus*)は国外でも評価の高いハタ類の1種であり、今後需要の増加が見込める貴重な対象であるが、その養殖適地不足や種苗配布初期の魚病による初期減耗など様々な問題を抱えており、海面養殖における生産量増大の見込みは明るくない。一方、ヤイトハタは陸上水槽による高密度養殖が可能で、生残率も8割以上と非常に高い生産効率を持つ種であることがわかっている(金城ほか, 2007)。しかし、魚類陸上養殖は使用する自

然海水の濾過・殺菌施設等への投資やそのランニングコストなどの問題から参入が容易ではなく、県内では2業者が経営するにとどまっている。

地下浸透海水の示す恒温性は適水温種の安定的な成長につながり、清浄性は自然海水使用時に必要な濾過や殺菌に係るコスト削減に利用できる。この性質を活用したヤイトハタの低コスト陸上養殖技術を開発することができれば、養殖適地不足が解消され、さらに安定成長と魚病発生の危険が少ない効率のよい生産が見込まれるため、陸上養殖への参入増加による生産量増大が期待できる。

そこで、今回の試験では、ヤイトハタにおける地下浸透海水を用いた低コスト陸上養殖技術開発の基礎資料とするため、水産海洋研究センター石垣支所敷地内で取水される地下浸透海水を用いて養殖試験を行い、その飼育特性を把握することを目的とした。

材料及び方法

第1養殖試験

地下浸透海水を用いたヤイトハタの養殖試験を、2010年1月13日から2011年5月25日までの497日間行った。試験区は、地下浸透海水1区、濾過海水1区の2区を設定した。試験に用いたヤイトハタは、石垣支所で2009年5月に採卵された人工種苗で、2009年9月18日から試験を開始するまでの約4ヶ月間、大型水槽(60kL, 30kL)にモジ網(3m×3m×3m, 2m×2m×2m)を張り、地下浸透海水(平均全長183.9mm, 平均体重110.68g)と濾過海水(平均全長173.3mm, 平均体重95.18g)でそれぞれ飼育された群から200尾ずつ無作為に抽出し、それぞれ同じ

* Email: kishimkz@pref.okinawa.lg.jp

飼育水の試験区に收容した。試験魚は、魚類種苗生産棟及び飼育実験棟内に設置した 1kL 角形 FRP 水槽で飼育した (付表-1, 2)。

飼育環境に関して、毎日朝 9 時を目安に、両試験区の水槽内水温と pH をポータブル pH 計 HM-30P (東亜 DKK) で測定した。同時に、溶存酸素量 (以下、「DO」) をポータブルマルチメーター HQ30d (HACH) で、塩分濃度を海水濃度屈折計 (アタゴ) とポケット海水濃度計 PAL-06S (アタゴ) で測定した。第 1 及び第 2 取水井戸 (図 1) から取水される地下浸透海水原水の水温を、取水ポンプから水槽までの配管の途中に測定用の分岐を設け、その中に多項目水質計 MS5 (HYDROLAB) を常設して 1 時間毎に測定した。

飼育管理について、地下浸透海水区には、第 1 取水井戸原水 (以下、「第 1 井戸原水」)、曝気槽で強曝気処理した第 1 取水井戸原水 (以下、「第 1 井戸曝気水」) 及び曝気処理した第 2 取水井戸原水 (以下、「第 2 井戸曝気水」) をそれぞれの試験実施場所で用いた (表 1)。第 1 曝気水用の曝気槽は 200 L 角形コンテナ内にユニホースを入れて強通気する仕組みとした。第 2 曝気水用の曝気槽には 300 L 貯水タンクを用い、同様の構造とした。濾過海水区には、川平湾から取水した海水を砂濾過した海水 (以下、「濾過海水」) を用いた。飼育水槽は、飛沫等により両海水の混合が生じないように、半透明ビニールシートで上面を覆った。通気はユニホースを用いて行い、DO が 5mg/L を下回らない程度に調整した。換水率は約 20 回転/日に調整した。餌は配合飼料 (鯛マーキュリー; 日本配合飼料) を使用し、魚の成長にあわせて規格 d-3 号から d-10 号まで徐々に粒径を大きくした。給餌頻度は 2 日に 1 回とし、手蒔きにより飽食量給餌した。水槽替えは毎月 1 回、体長等測定時に行った。試験期間中の 2010 年 5 月 18 日に、密度調整のための間引きを実施した。間引きは、生残個体から無作為に 100 尾を抽出して行った。

環境データ測定時と給餌時に、斃死の確認を行いながら魚の状態を観察した。斃死魚が出た場合はハダムシとエラムシの寄生の確認を行った。エラムシが確認された場合は、

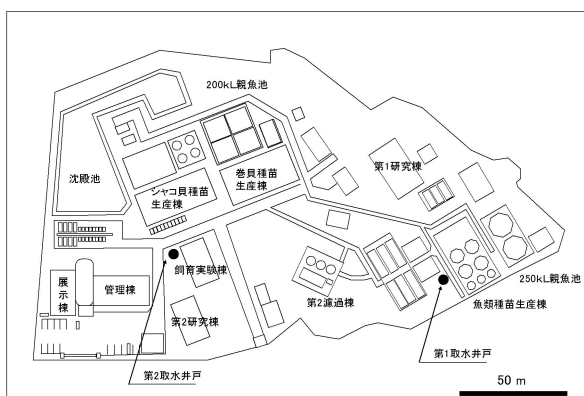


図 1. 水産海洋研究センター石垣支所の施設配置及び取水井戸位置図

マリンサワー SP30 (0.1%; 片山化学工業研究所) で発見区の全ての魚を薬浴した。また、地下浸透海水区で極端に痩せた魚が確認されたため、2011 年 1 月 28 日に 13 尾、2 月 25 日に 7 尾を間引き、粘液胞子虫性やせ病 (横山, 2004) への感染について、腸管の PCR 検査を沖縄県水産海洋研究センターに依頼した。

毎月 1 回、両試験区から無作為に 50 尾を抽出して体長 (TL) と体重を測定し、全数を計数して生残率を調べ、鱗と皮膚の状態について観察した。尾鱗の異常が進行した後は、標準体長 (SL) を測定し、濾過海水区正常魚の TL と SL より導いた次式により、体長に変換した。

$$TL = 3.0715 + 1.2234SL$$

体長等測定の際、無作為に選んだ数尾を淡水浴し、ハダムシの寄生を調べた。2010 年 10 月の体長測定時からは、無作為に選んだ数尾の鰓の一部を切除し、エラムシの有無も調べた。測定時の麻酔には、2-フェノキシエタノール (120ppm) を用いた。肥満度、日間給餌率、増肉計数、餌料転換効率等の養殖特性値の算出については、金城ら (1999) に従った。

第 2 養殖試験

2010 年 5 月 18 日の密度調整時において、地下浸透海水区魚に鱗のぼらけ症状が確認されたため、同区から間引いた魚を用いて、地下浸透海水原水低換水率区 (以下、「低換水率区」) と濾過海水移設区 (以下、「移設区」) を新たに設定し、症状の進行具合を観察した。試験は同年 12 月 21 日までの 217 日間実施した。

低換水率区には第 1 井戸原水を用い、地下浸透海水区から間引いた魚 50 尾を 500L ポリカーボネイトタンクに收容した。通気はエアーストン 1 個で行い、換水率は約 6 回転/日に調整した。移設区には濾過海水を用い、同様に 37 尾を 1kL 青色角形 FRP 水槽に收容した。移設区は 8 月 10 日に飼育水槽を 500L ポリカーボネイトタンクに交換した。通気はエアーストン 1 個で行い、換水率は約 20 回転/日に調整した。両区の餌の種類と給餌方法は第 1 試験に準じた。尾鱗ぼらけと頭部皮膚溶解の確認は、2010 年 7 月 21 日、11 月 16 日、12 月 21 日の 3 回行い、試験区別に全飼育個体に占める異常発症魚の出現率を算出した。

結果

第 1 養殖試験

地下浸透海水区と濾過海水区の飼育環境データを表 1 と図 2 に示す。第 1 及び第 2 井戸原水の水温はそれぞれ 24.9°C (最大 25.4°C - 最小 24.3°C)、24.3°C (25.0°C - 23.9°C) であった。地下浸透海水区の水槽内水温は、全試験期間を通して平均 24.7°C で変動幅は 1.7°C であり、換水率を約 20 回転/日を維持したことから、原水水温とほぼ同じであった。全試験期間を通しての濾過海水区の水槽内水温は平均 24.8°C で変動幅は 12.5°C であった。濾過海水区は 4 月後半から 5 月頃に地下浸透海水区より高くなり、10 月末頃に逆

地下浸透海水を用いたヤイトハタ養殖試験

表1. 地下浸透海水区及び濾過海水区の飼育環境データ
各測定項目の期間毎の平均値と、カッコ内にはその最大値と最小値を示す。

飼育期間	地下浸透海水区						濾過海水区		
	2010/1/13 - 2010/11/15	2010/11/16 - 2011/1/27	2011/1/28 - 2011/5/25	2010/1/13 - 2011/5/25	2010/1/13 - 2011/1/27	2011/1/28 - 2011/5/25	2010/1/13 - 2011/5/25		
飼育施設	魚類種苗生産棟			飼育実験棟			砂濾過海水		
飼育水	第1取水井戸 原水	第1取水井戸 曝気水	第2取水井戸 曝気水	(全試験期間)					
水槽内水温 (°C)	25.0 (25.5 - 24.0)	24.5 (24.8 - 23.9)	24.2 (25.0 - 23.8)	24.7 (25.5 - 23.8)			25.4 (31.1 - 18.6)	22.8 (26.6 - 19.9)	24.8 (31.1 - 18.6)
水槽内pH	7.42 (7.72 - 7.14)	7.60 (7.78 - 7.29)	7.74 (7.95 - 7.38)	7.52 (7.95 - 7.14)			7.81 (8.24 - 7.41)	7.83 (8.10 - 7.37)	7.82 (8.24 - 7.37)
水槽内塩分濃度 (‰)	31.3 (32 - 30)	31.1 (32 - 30)	29.5 (31 - 28)	30.8 (32 - 28)			34.8 (35 - 30)	35.4 (36 - 34)	35.0 (36 - 30)
水槽内溶存酸素濃度 (mg/L)	5.50 (6.70 - 3.73)	5.96 (6.73 - 4.05)	6.11 (6.79 - 5.02)	5.73 (6.79 - 3.73)			5.71 (7.74 - 1.61)	6.11 (7.16 - 0.83)	5.81 (7.74 - 0.83)

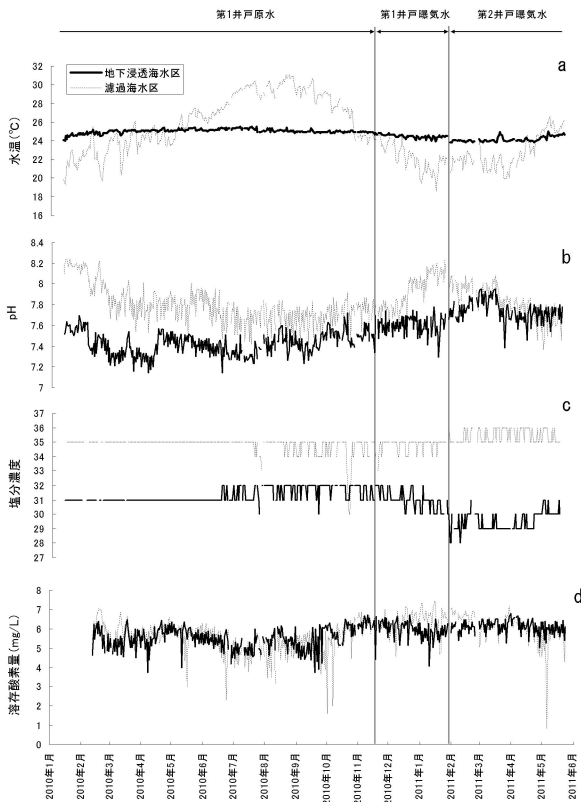


図2. 地下浸透海水区と濾過海水区における水槽内環境の変化

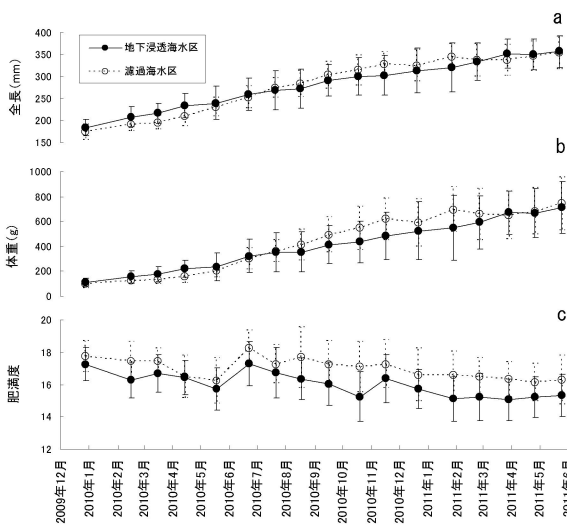


図3. 地下浸透海水区と濾過海水区における成長の推移
点は各項目の平均値を、バーは標準偏差を示す。

転した。全試験期間における両区の平均水温はほぼ等しかったが、地下浸透海水区の方は変動幅が小さく安定していた。地下浸透海水区水槽内の pH は、曝気槽を設置した2010年11月16日からやや高く維持されるようになり、試験区を飼育実験棟に移した2011年1月28日からは濾過海水区との差が小さくなった。地下浸透海水区 pH は、全試験期間を通して濾過海水区より平均値、最大値、最小値共に0.3程度低かった。水槽内塩分濃度は、地下浸透海水区で平均30.8‰、濾過海水区で35.0‰と、地下浸透海水区の方が全試験期間を通して約4%低かった。水槽内DOは、地下浸透海水区第1井戸原水使用時が平均5.50mg/Lとやや低かったものの、曝気槽設置後に改善され、全期間を通しては平均5.73 mg/Lと濾過海水区(5.81 mg/L)と比較して大差なかった。両区ともに最低値が極端に低い原因は、水槽内の魚が何らかの原因で暴れ、ユニホースの連結部分がはずれてしまったことによる通気不良であった。

地下浸透海水区と濾過海水区的全長、体重、肥満度の推移を図3に示す。地下浸透海水区では試験日数497日間(日齢732日)で、平均全長356.8mm、平均体重713.82g、平均肥満度15.31に成長した。全試験期間での生残率は69.4%であった(付表-1)。痩せ魚の検査結果はやせ病ではなく、栄養失調であった。痩せ魚は、平均全長233.27mm、平均体重173.5g及び肥満度12.92であった。濾過海水区では、平均全長354.2mm、平均体重742.78g、平均肥満度16.28に成長した。全試験期間での生残率は99%であった(付表-2)。肥満度に関して、濾過海水区では試験期間中16.12から18.23まで比較的高い値を維持したが、地下浸透海水区では試験前半は17.29まで上昇したものの、後半の6ヶ月は15.05まで下がり、16台まで達することがなかった。

試験期間中、両区ともハダムシの寄生は確認されなかった。2010年10月1日と2日に地下浸透海水区斃死魚からエラムシが確認された。10月4日に地下浸透海水区の魚をマリンサワーで薬浴した。それ以後の斃死魚や体長等測定時にもエラムシは確認されなかったが、2011年2月25日に間引いた痩せ魚からわずかにエラムシが確認された。同日と3月1日に薬浴し、その後エラムシは確認されなかった。濾過海水区では、試験期間中一度もエラムシは確認されなかった。

毎日の飼育観察において、濾過海水区の魚は成長が進むと水槽の底に定位したが、地下浸透海水区の魚は水槽中をゆっくりと漂っていることが多く見られた。曝気槽を設置

表2. 地下浸透海水区のヤイトハタに見られた尾鰭及び皮膚の異常

症状の各数は、ランダムランプリングされた50サンプル中の観察数と出現率を表す。+標記は、実数を測定しなかったが症状の確認されたことを示す。

測定日	2010												2011					
	1/13	2/15	3/16	4/13	5/18	6/22	7/21	8/17	9/16	10/19	11/16	12/21	1/28	2/25	3/29	4/26	5/25	
試験日数	0	33	62	90	125	160	189	216	246	279	307	342	380	408	440	468	497	
日齢	235	268	297	325	360	395	424	451	481	514	542	577	615	643	675	703	732	
症状																		
尾鰭のぼらけ (鰭膜の溶け)	0(0%)	0(0%)	+	49(98%)	45(90%)	49(98%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	50(100%)	
皮膚の溶解																		
鼻孔付近	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	+	+	+	50(100%)	50(100%)	50(100%)	46(92%)	46(92%)	50(100%)	48(96%)	49(98%)	
下顎		0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	+	+	+	+	+	+	30(60%)	15(30%)	22(44%)	24(48%)	18(36%)	
眼周辺から頭頂部	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	19(38%)	33(66%)	22(44%)	27(54%)	17(34%)	23(46%)	23(46%)	21(42%)	
鰓蓋 (前鰓蓋骨)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	41(82%)	49(98%)	33(66%)	44(88%)	37(74%)	31(62%)	
備考							間引き	曝気槽設置					水槽移動					

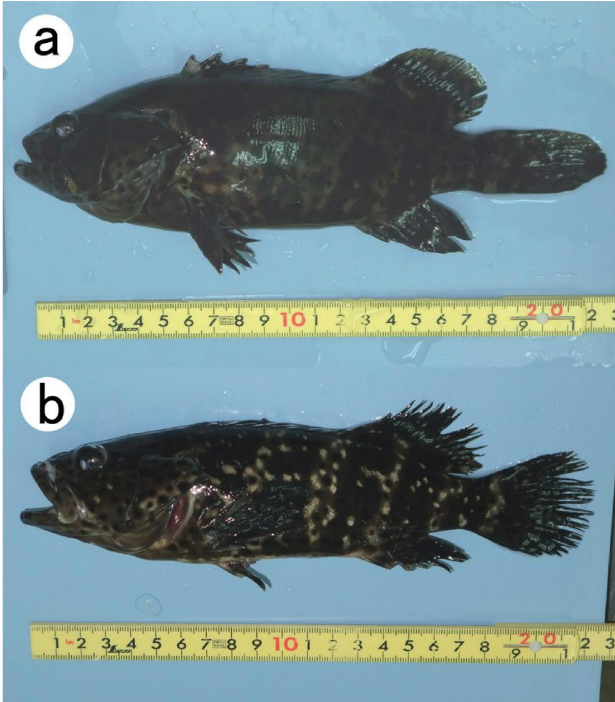


図4. 地下浸透海水区のヤイトハタに見られた鰭異常の初期段階

a ; 濾過海水区の正常魚, b ; 地下浸透海水区の鰭異常魚. 試験 62 日目に撮影.

してからは定位する魚がやや増加した。また、ヤイトハタは比較的体表に粘液物質の多い魚であるが、地下浸透海水区では体長測定時に鱗にふれる感覚があり、粘液量が少なく、ヤイトハタ特有の臭いが少なく感じられた。

地下浸透海水区で確認された鰭と皮膚の異常について、表2、図4及び図5に示す。鰭の異常は、試験開始から62日目の体長測定において初めて確認された。異常は特に尾鰭と背鰭に顕著に現れた。異常の初期段階は、鰭膜が周縁部から溶けたように欠損し始め、鰭がぼらけてしまう症状であった。尾鰭のぼらけは試験開始90日目にはほぼ100%の魚に見られ、その後、異常は頭部の皮膚の溶解に進行した。皮膚の溶解は鼻孔付近から見られ始め、同時期に下顎底部で円形の溶解も確認された。鼻孔付近の溶解は試験開始後279日には全ての魚に見られた。その後、眼周辺から頭頂部が部分的に溶解し、鰓蓋(前鰓蓋骨)の縁

では骨が露出しているように見えた。曝気槽設置後の約6ヶ月間の飼育において、尾鰭のぼらけと鼻孔付近の皮膚の溶解は全ての魚で観察されたが、その他の部位における皮膚の溶解の出現率はほぼ一定で、目立った進行が見られなかった。濾過海水区においては、このような異常は小さい観察されなかった。

第2 養殖試験

低換水率区と移設区における尾鰭及び皮膚の異常の出現状況を表3に示す。低換水率区では、第1試験の地下浸透海水区と同様、異常の進行がみられた。尾鰭のぼらけは改善せず、皮膚の溶解は試験開始後64日目から確認された。試験終了時の鼻孔付近の溶解は91.5%の魚に確認され、鰓蓋の溶解も87.2%と高い割合であった。下顎底部の溶解は23.4%、眼周辺から頭頂部においては21.3%と鼻孔付近と鰓蓋よりやや低い割合であった。移設区では試験182日目から尾鰭のぼらけに改善が見られた。試験終了時には31.4%の魚が正常な尾鰭に戻った。皮膚の溶解については、182日目に1個体のみ鼻孔下で確認されたのみで、他の部分では溶解は見られなかった。

考察

地下浸透海水の恒温性について、第1試験の結果から、通年24℃台という原水温の特性を維持したヤイトハタの飼育方法は、成長の面から養殖への利用に適さないことがわかった。濾過海水(自然海水)によるヤイトハタ飼育においては、沖縄県の気候下では冬季低水温期にその成長が停滞する(金城ほか, 1998)。この点について、地下浸透海水区の成長はほぼ直線的で目立った遅滞がなかったことから、冬季の温度補償対策としての効果が見込まれた。図3では最終的に地下浸透海水区の成長が濾過海水区に追いついているように見えるが、これは痩せ魚の間引き影響しており、本来は2011年2月頃の成長の開きが反映されたものと思われる。地下浸透海水区の冬季の安定成長は、夏季の濾過海水区との成長の差を補うほどではなく、長期的にみると成長は抑制された状態であり、結果として地下浸透海水の恒温性を維持した飼育は濾過海水飼育より成長が悪くなると判断された。ただし、今回の試験では、両区共に成長が非常に悪く、地下浸透海水と濾過海水の水温特性

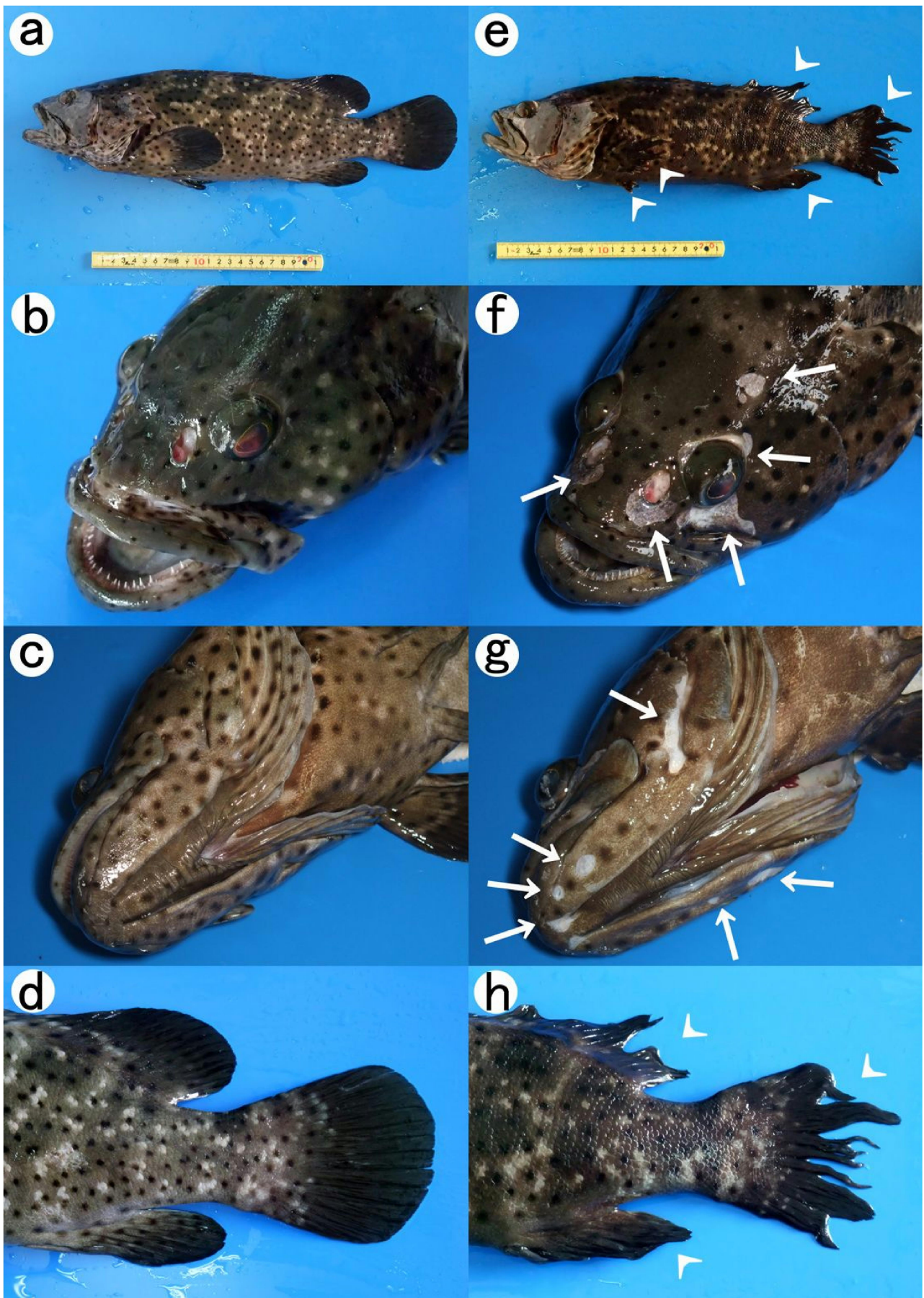


図5. 地下浸透海水区のヤイトハタに見られた鰭と皮膚の異常
a~d; 濾過海水区の正常魚, e~h; 地下浸透海水区の異常魚. 試験終了後に撮影. 矢頭は鰭の溶解部分を, 矢印は皮膚の溶解部分を示す.

表3. 低換水率区及び移設区のヤイトハタに見られた尾鰭及び皮膚の異常

全ての生残個体のうち、各症状の見られた個体数とその出現率を表す。+標記は、実数を測定しなかったが症状の確認されたことを示す。

試験区/測定日	低換水率区 (地下浸透海水)				移設区 (濾過海水)			
	2010/5/18	7/21	11/16	12/21	2010/5/18	7/21	11/16	12/21
試験日数	0	64	182	217	0	64	182	217
生残尾数	50	49	47	47	37	37	36	35
正常魚	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	9(25.7%)	11(31.4%)
異常魚								
尾鰭のぼらけ (鰭膜の溶け)	50(100%)	49(100%)	47(100%)	47(100%)	37(100%)	37(100%)	27(77.1%)	24(68.6%)
皮膚の溶解								
鼻孔付近	0(0%)	+	47(100%)	43(91.5%)	0(0%)	0(0%)	1(2.9%)	0(0%)
下顎	0(0%)	+	28(59.6%)	11(23.4%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
眼周辺から頭頂部	0(0%)	0(0%)	8(17.0%)	10(21.3%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
鰓蓋 (前鰓蓋骨)	0(0%)	0(0%)	37(78.7%)	41(87.2%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)

をヤイトハタの成長に反映できたとはいえない。給餌量や餌料転換効率、ばらつきが大きく、安定しなかった (付表-1, 2)。地下浸透海水区で痩せ魚間引きを行う前の、2011年1月28日 (日齢615日) 時のデータを用いて金城ほか (2007) の結果と比較してみると、濾過海水区では平均全長で約84%、平均体重で56%、地下浸透海水区では平均全長で約79%、平均体重で約45%の成長しかみられなかった。この原因は、飼育管理にあると考えられた。実験施設の制限から両区を非常に近接して設置したため、飛沫等による飼育水の混入を防ぐ目的から飼育水槽上面を半透明ビニールで覆ったこと、給餌が手撒きで2日に1回であったことなどが既報と異なっている。魚が物音や人の影に驚くことも多く、環境ストレスにより魚の成長を抑制した可能性がある。さらに地下浸透海水区では、エラムシの発生と、後述する鰭異常等の影響が成長の悪さに反映していることも考えられる。エラムシについては、同時期に同じ地下浸透海水を使用して飼育したスジアラでは発生しなかったことから (岸本・木村, 未報告)、給餌や体長測定時に人為的に持ち込んだ可能性が高い。以上から、ヤイトハタ飼育における地下浸透海水の恒温性の効果を判断するには、再度、飼育環境を改善して試験する必要がある。夏季の地下浸透海水の水温は換水率を下げることによって多少上昇が見込めるため、その効果も併せてその水温特性として評価する必要がある。

一方、地下浸透海水の清浄性についても問題がみられた。今回の試験では、地下浸透海水で飼育したヤイトハタに鰭のぼらけや皮膚の溶解という異常が生じ、その症状は外見的に商品価値が失われる程度にひどかった (図4, 5)。第2試験の結果から、症状が初期であれば濾過海水での飼育に変更することで、200日程度で約3割の魚の症状が改善することがわかったが、一度症状が出ると地下浸透海水への暴露量を減らしても症状の改善または進行をおさえることはできなかった。今回の飼育環境データでは、濾過海水区と比較してpHやDOには特に問題がみられず、塩分濃度のみ4‰ほど低い。ヤイトハタの幼魚は汽水域でも見られるため (瀬能, 1997)、今回飼育時の28%程度の塩分濃

度には十分耐性があると思われることから、鰭等の異常は低塩分濃度によるものではないと考えられた。石垣支所で実施された2009年度のヤイトハタ種苗生産では、第1井戸原水を使用して親魚養成やふ化仔魚の飼育が行われている (木村ほか, 2010a; 木村ほか, 2010b)。その結果、濾過海水より高い生産効率が得られており、今回の様な異常は確認されていない。種苗生産時の地下浸透海水の利用状況をみると、親魚養成で約3ヶ月、種苗生産では約1ヶ月間飼育に使用されており、各飼育中の換水率はそれぞれ1回転/日以下と0.2-2.7回転/日である。今回の試験は、1年以上の飼育期間で換水率も20回転/日と高く維持していた点が種苗生産時と大きく異なっていた。これは異常原因の物質又は状況への試験魚の暴露量の違いを示すもので、今後、症状改善を目指す上で考慮すべき要素であると思われる。また、これ以外にも、飼育方法による水槽内環境の違い (珪藻類等の繁茂、細菌相) や餌の種類 (生餌、栄養強化された初期配合餌料) による栄養状態の違いが異常の発現に関係している可能性もあると思われ、検討の余地がある。今回のこの症状は、電解処理海水で飼育したクエ稚魚に出現する頭部の皮膚異常に酷似しており、クエ稚魚の症状の原因としてはオキシダントの影響が指摘されている (井手ほか, 2010)。岸本・木村 (2011) による地下浸透海水の水質分析結果からは、今回の異常につながるような問題は特に見られないが、未調査の溶存物質による中毒症状の可能性が考えられることから、分析項目を増やして調査する必要がある。

異常への対処法としては、第1試験の結果、曝気槽設置後に症状の進行がおちついたことから (表2)、水質改善方法として原水の強曝気処理の有効性が示唆された。強曝気処理には、異常の原因物質の酸化による無害化や空気中への排出効果が見込まれる。地下浸透海水による他魚種の飼育例として、スジアラでは、地下浸透海水原水使用時にスレなどでできた体の傷が癒えず、傷が確認されてから数日後に斃死することが観察された。しかし、今回の試験と同様に曝気槽を設置したところ、その直後に状態が改善され、以後、濾過海水区と遜色なく飼育できている (岸本・木村,

未報告)。今後、飼育当初からの曝気槽設置の有効性を検証する必要がある。

以上、今回の試験により、地下浸透海水をヤイトハタ陸上養殖に利用することについて、その水温特性に関しては冬季低水温時の飼育に使用することで成長遅滞を防ぐ効果があると思われたが、恒温性を維持した周年飼育はヤイトハタに適しておらず、また、清浄性に関しては長期間飼育すると鰭のばらけや皮膚の溶解という異常が発生したため、その原因の究明と対処法の検討を早急に行う必要があることがわかった。

文献

江端弘樹, 佐藤義夫, 寫田 智, 四ツ倉典滋, 平岡雅規, **2007**: 地下海水を用いた緑藻スジアオノリ陸上養殖の可能性. 水産増殖 **55**, 103-108.

古川博恭, **1981**: 九州・沖縄の地下水. 九州大学出版会, 福岡, 393pp.

井手健太郎, 岩崎隆志, 渡辺研一, **2010**: 電解処理海水で飼育したクエ稚魚に出現する頭部の皮膚異常. 栽培漁業センター技報 **12**, 23-27.

今田 克, 前田広人, 田中淑人, **2006**: 沖縄琉球石灰岩島の地下海水の取水・性状・養殖特性. 日本海水学会誌 **60(2)**, 119-124.

金城清昭, 伊差川哲, 野甫英芳, **2007**: ヤイトハタの高密度養殖試験-II. 平成17年度沖縄県水産試験場事業報告書 **68**, 126-134.

金城清昭, 中村博幸, 大嶋洋行・仲本光男, **1999**: ヤイトハタの養殖試験-II. 平成9年度沖縄県水産試験場事業報告書 **59**, 160-164.

金城清昭, 中村博幸, 仲本光男, **1998**: ヤイトハタの養殖試験-I. 平成8年度沖縄県水産試験場事業報告書 **58**,

126-129.

木村基文, 岸本和雄, 仲本光男, **2010a**: 2009年度のヤイトハタの親魚養成・採卵と種苗生産の餌料培養結果. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 **71**, 85-88.

木村基文, 岸本和雄, 仲本光男, **2010b**: 2009年度のヤイトハタの種苗生産・二次飼育・出荷. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 **71**, 89-93.

岸本和雄, 木村基文, **2011**: 沖縄県水産海洋センター石垣支所敷地内で取水された地下浸透海水の性状. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 **72**, 78-81.

黒田登美雄, **2006**: 浸透地下水採取のため深井戸掘削適地と地質構造に関する研究, 亜熱帯研究プロジェクトの可能性調査および開発調査報告書(平成17年度内閣府委託調査研究). (財) 亜熱帯総合研究所, 那覇, 9-32.

瀬能 宏, **1997**: ハタ科. 日本の海水魚(岡本 収・尼岡邦夫 編), 山と溪谷社, 東京, 251-277.

平良栄康, **2006**: 浸透地下水を利用したサンゴ養殖販売事業, 亜熱帯研究プロジェクトの可能性調査および開発調査報告書(平成17年度内閣府委託調査研究). (財) 亜熱帯総合研究所, 那覇, 85-87.

田中淑人, 今田 克, 諸石 博, **2002**: 沖縄における井戸海水を用いたクロアワビの養殖試験. 水産増殖 **50(1)**, 119-120.

與儀明文, **2006**: 浸透地下水を利用したサンゴ及び水産魚介類の養殖技術の開発に関する研究の紹介, 亜熱帯研究プロジェクトの可能性調査および開発調査報告書(平成17年度内閣府委託調査研究). (財) 亜熱帯総合研究所, 那覇, 88-113.

横山 博, **2004**: 魚類に寄生する粘液胞子虫の生活環と起源. 原生動物学雑誌 **37(2)**, 1-9.

付表-1. 地下浸透海水区ヤイトハタの試験経過と養殖特性値

	09/12/28	10/01/13	10/02/15	10/03/16	10/04/13	10/05/18	10/06/22	10/07/21	10/08/17
日齢	219	235	268	297	325	360	395	424	451
試験日数		0	33	62	90	125	160	189	216
測定間隔 (日)				29	28	35	35	29	27
平均全長 (mm)	183.9		208.3	216.1	234.0	239.1	258.9	269.1	272.0
平均体重 (g)	110.68		153.96	175.64	219.90	233.94	322.16	352.74	354.68
平均肥満度	17.24		16.28	16.69	16.42	15.72	17.29	16.72	16.35
収容尾数		200	193	193	193	190	100	100	100
生残率(%)		100	96.5	96.5	96.5	95	100	100	100
生残率(%) (補正值)		100	96.5	96.5	96.5	95	95	95	95
総重量 (g)			29,714	33,898	42,441	44,449	32,216	35,274	35,468
期間増重量(g)				21.7	44.3	14.0	88.2	30.6	1.9
期間給餌量(g)			4,993	6,977	6,225	9,600	6,925	4,740	4,764
期間飼量転換効率				0.60	1.37	0.28	1.27	0.65	0.04
期間増肉計数				1.67	0.73	3.57	0.78	1.55	24.56
日間増重量(g)				0.75	1.58	0.40	2.52	1.05	0.07
日間給餌率(%)				0.76	0.58	0.63	0.71	0.48	0.50
日間増重量率(%/day)				0.45	0.80	0.18	0.91	0.31	0.02
収容密度(kg/kl)			38.64	44.08	55.19	57.80	41.89	45.87	46.12
飼育管理		試験開始時 魚類種苗生産棟内 1kl青色角形水槽					100尾に 間引き		
観察記録				鱗異常魚 発見	100%の個体 鱗異常				

付表-1. つづき

	10/09/16	10/10/19	10/11/16	10/12/21	11/01/28	11/02/25	11/03/29	11/04/26	11/05/25
日齢	481	514	542	577	615	643	675	703	732
試験日数	246	279	307	342	380	408	440	468	497
測定間隔 (日)	30	33	28	35	38	28	32	28	29
平均全長 (mm)	291.4	299.6	302.3	313.6	320.2	333.8	352.1	349.4	356.8
平均体重 (g)	414.40	435.08	482.42	525.00	548.30	591.70	670.00	666.32	713.82
平均肥満度	16.04	15.24	16.36	15.72	15.10	15.21	15.05	15.22	15.31
収容尾数	100	98	98	98	96	82	74	73	73
生残率(%)	100	98	98	98	96	82	74	73	73
生残率(%) (補正值)	95	93.1	93.1	93.1	91.2	77.9	70.3	69.4	69.4
総重量 (g)	41,440	42,638	47,277	51,450	52,637	48,519	49,580	48,641	52,109
期間増重量(g)	59.7	20.7	47.3	42.6	23.3	43.4	78.3	-3.7	47.5
期間給餌量(g)	5,762	3,018	5,518	7,793	6,985	2,592	4,294	5,147	8,410
期間飼量転換効率	1.04	0.68	0.84	0.54	0.32	1.49	1.42	-0.05	0.41
期間増肉計数	0.96	1.47	1.19	1.87	3.09	0.67	0.70	-19.03	2.43
日間増重量(g)	1.99	0.63	1.69	1.22	0.61	1.55	2.45	-0.13	1.64
日間給餌率(%)	0.50	0.22	0.44	0.45	0.35	0.18	0.27	0.37	0.58
日間増重量率(%/day)	0.52	0.15	0.37	0.24	0.11	0.27	0.39	-0.02	0.24
収容密度(kg/kl)	53.89	55.45	61.48	66.91	68.45	63.09	64.47	63.25	67.76
飼育管理			曝気槽設置		1/28水槽移動 飼育実験棟内 1kl白色角形水槽 痩せ魚13尾間引き	2/25水槽移動 飼育実験棟内 1kl青色角形水槽 痩せ魚7尾間引き			
観察記録		10/4薬浴 10/1,2斃死魚より エラムシ確認				3/1薬浴 2/25体長等測定時 エラムシ確認			

地下浸透海水を用いたヤイトハタ養殖試験

付表-2. 自然海水区ヤイトハタの試験経過と養殖特性値

	09/12/28	10/01/13	10/02/15	10/03/16	10/04/13	10/05/18	10/06/22	10/07/21	10/08/17
日齢	219	235	268	297	325	360	395	424	451
試験日数		0	33	62	90	125	160	189	216
測定間隔 (日)			49	29	28	35	35	29	27
平均全長 (mm)	173.3		191.4	195.0	208.8	229.9	251.9	274.1	283.2
平均体重 (g)	95.18		123.52	131.58	155.18	200.50	299.64	361.94	411.86
平均肥満度	17.74		17.43	17.42	16.47	16.22	18.23	17.25	17.66
収容尾数		200	200	200	200	200	99	99	99
生残率 (%)		100	100	100	100	100	99	99	99
生残率 (%) (補正值)		100	100	100	100	100	99	99	99
総重量 (g)			24,704	26,315	31,036	40,100	29,664	35,832	41,186
期間増重量(g)				8.06	23.60	45.32	99.14	62.30	49.92
期間給餌量(g)			2,828	4,244	5,547	9,484	8,673	8,074	7,568
期間飼量転換効率				0.38	0.85	0.96	1.14	0.76	0.65
期間増肉計数				2.63	1.18	1.05	0.88	1.31	1.52
日間増重量(g)				0.28	0.84	1.29	2.83	2.15	1.85
日間給餌率(%)				0.57	0.69	0.76	1.00	0.85	0.73
日間増重量率(%/day)				0.22	0.59	0.73	1.13	0.65	0.48
収容密度(kg/kl)			32.12	34.22	40.36	52.15	38.58	46.60	53.56
飼育管理		試験開始時 魚類種苗生産棟内 1kl青色角形水槽				100尾に 間引き			

付表-2. つづき

	10/09/16	10/10/19	10/11/16	10/12/21	11/01/28	11/02/25	11/03/29	11/04/26	11/05/25
日齢	481	514	542	577	615	643	675	703	732
試験日数	246	279	307	342	380	408	440	468	497
測定間隔 (日)	30	33	28	35	38	28	32	28	29
平均全長 (mm)	309.3	314.0	327.3	325.0	344.8	337.5	337.7	345.5	354.2
平均体重 (g)	487.22	547.90	618.64	588.84	694.92	657.52	648.66	682.72	742.78
平均肥満度	16.94	17.09	17.24	16.59	16.58	16.47	16.31	16.12	16.28
収容尾数	99	99	99	99	99	99	99	99	99
生残率 (%)	99	99	99	99	99	99	99	99	99
生残率 (%) (補正值)	99	99	99	99	99	99	99	99	99
総重量 (g)	48,235	54,242	61,245	58,295	68,797	65,094	64,217	67,589	73,535
期間増重量(g)	81.52	54.52	70.74	-29.80	106.08	-37.40	-8.86	34.06	60.06
期間給餌量(g)	11,065	8,075	8,030	7,568	5,102	3,548	4,982	5,996	12,434
期間飼量転換効率	0.73	0.67	0.87	-0.39	2.06	-1.04	-0.18	0.56	0.48
期間増肉計数	1.37	1.50	1.15	-2.57	0.49	-0.96	-5.68	1.78	2.09
日間増重量(g)	2.72	1.65	2.53	-0.85	2.79	-1.34	-0.28	1.22	2.07
日間給餌率(%)	0.82	0.47	0.50	0.36	0.21	0.19	0.24	0.32	0.61
日間増重量率(%/day)	0.60	0.32	0.43	-0.14	0.43	-0.20	-0.04	0.18	0.29
収容密度(kg/kl)	63.52	70.54	79.64	75.81	89.46	84.65	83.51	87.89	95.62
飼育管理					1/28水槽移動 飼育実験棟内 1kl白色角形水槽	2/25水槽移動 飼育実験棟内 1kl青色角形水槽			