

自発摂餌システムを用いたマハタ養殖の試み

栗山功・宮本敦史・田中真二・土橋靖史

Trials of aquaculture of sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus* with self-feeding system

Isao KURIYAMA, Atsushi MIYAMOTO, Shinji TANAKA and Yasushi TSUCHIHASHI

キーワード：自発摂餌，マハタ，養殖

A series of rearing trials of sevenband grouper, which is expected to be a new fish species for aquaculture, were carried out to develop rearing techniques using self-feeding systems. Firstly, indoor rearing trials with juvenile sevenband groupers were carried out. Juvenile sevenband groupers quickly started self-feeding spontaneously. In comparison among self-feeding, human-feeding and automotive feeding systems, self-feeding systems brought more efficient feeding than automotive feeding and human-feeding systems. The appropriate setting of reward for the juvenile sevenband grouper was 0.06% of total fish weight. Residual feed was generated at less than 3 lux. 13 % of total feed became residue at 0 lux. The present study indicates that self-feeding systems can give almost the same feeding performance as human-feeding even fish cage in case the self-feeding systems work properly.

魚類養殖において、給餌作業は最も重要な作業の一つである。現在はタイマーにより一定の時刻・時間に給餌できる自動給餌機の普及に伴い、給餌作業は省力化されているが、魚の食欲に応じた柔軟な給餌ができず、過大給餌あるいは過小給餌の生じる恐れがある。過剰給餌に起因する残餌は漁場環境を悪化させる一因となり、過小給餌は生産スケジュールの遅れを招く。また、近年は配合飼料の価格上昇が続いていることから、生産コストを抑えるためにも従来以上に無駄のない給餌を行うことが求められている。

自発摂餌は魚の空腹時の摂餌活動を利用した給餌方法であり、日本では1995年から研究が開始された(田畑2001)。自発摂餌は、理論的には魚の食欲に応じた給餌が実現できることから、自動給餌に比べ残餌の発生は少なくなることが期待される。また、過度の摂餌による飼料効率の悪化や、空腹によるストレス軽減などの効果も期待できる。したがって、自発摂餌はブリ、マダイおよびハタ類等の海水魚のほか、ニジマスやアユなどの淡水魚など、多くの魚種で研究が進められている(田畑2001)。マダイではすでに自発摂餌システムが実用化され、一部の養殖業者に利用されている(古川ら2009)。

マハタ *Epinephelus septemfasciatus* は体長1mを越えることもある大型のハタ科魚類である。白身で弾力のある肉質をもつマハタは大変美味とされ、新しい養殖対

象種としても注目されている。三重県ではマハタ養殖を推進するため、種苗生産技術および養殖技術の開発に取り組んできた(栗山2005)。その結果、種苗生産では、平成21年度には約10万尾の稚魚が県内の養殖業者へ出荷されるなど(三重県水産振興事業団2010)、種苗供給体制を確立しつつある。養殖技術では、基本的な養殖技術をまとめた「マハタ養殖マニュアル」を作成し、養殖業者へ配布することにより、マハタ養殖の普及を図っている。本研究では、マハタ養殖技術のさらなる高度化を図るため、自発摂餌システムを用いた給餌技術の確立を試み、マハタが自発摂餌システムを操作できるかどうかの確認、成長や増肉係数などに与える影響について検討した。

材料および方法

1. 稚魚の自発摂餌試験

1) 陸上水槽におけるマハタ稚魚の自発摂餌の可能性の検討 (試験 1-1)

試験期間は2001年10月4日から12月10日までの68日間で、10月4日から11月5日までの33日目を第1期、11月5日から12月10日までの36日目を第2期とした。試験水槽には200ℓポリエチレン製角形水槽を用い、200ℓ/hで濾過海水を注水した。試験区としては、自発摂餌システムによる給餌を行った自発摂餌区と、通常の手撒きによる手撒き給餌区の2区であり、それぞれの試験区で4水槽と2水槽を用いて試験を行った。

自発摂餌給餌の模式図を Fig.1 に示す。自発摂餌シ

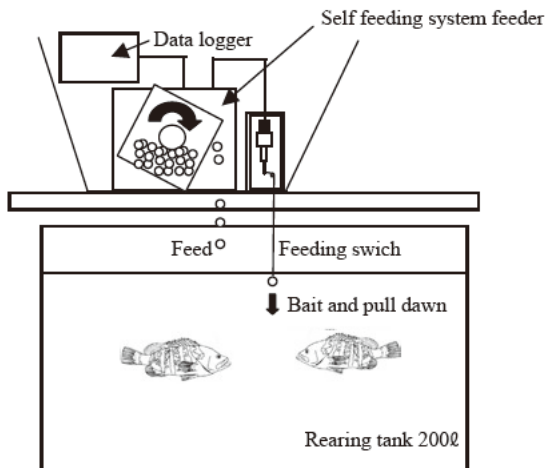


Fig.1 Schematic diagram of self-feeding systems for Experiment 1-1).

テムには、観賞魚用フードタイマー ((株)セイコー製) を改造したものを用いた。摂餌スイッチには小型の接触スイッチ (オムロン製 SS-CIGL13-E) へ釣り用のテグス (ケブラー繊維: 1号) を20cm 取り付け、そのテグスの先端に球状の釣り用の浮き止め (直径約3mm) を取り付けしたものを用いた。水槽への取り付けは、給餌機および摂餌スイッチを試験水槽上面へ設置し、摂餌スイッチのテグスの先端に取り付けた浮き止めが水面下2cm になるように調整した。スイッチの操作は、供試魚が浮き止めをくわえて引っ張ることにより行われる。

供試魚には、2001年に三重県科学技術振興センター水産技術センター尾鷲分場 (現在の三重県水産研究所尾鷲水産研究室。以下の試験への供試魚はすべて尾鷲水産研究室で種苗生産したものを用いた。) で種苗生産されたマハタ稚魚を用いた。第1期には平均体重45gのマハタ稚魚を各水槽へ20尾ずつ、第2期では平均体重81

～106gのマハタ10尾ずつを收容した。

飼料にはマダイ用のEP(マルハ製ノヴァ0号)を用い、手撒き給餌区は毎日1回日中に飽食量を給餌し、自発摂餌区では全て自発摂餌システムによる給餌とし、制限を加えることなく自由に摂餌させた。自発摂餌の報酬量(自発摂餌システムスイッチ入力1回当たりの給餌量)は第1期を0.67g、第2期を0.91gとした。自発摂餌システムの作動時刻は、データロガー (Onset社製 HOBObvent) により記録した。

魚体測定は試験開始時と終了時に行い、全供試魚の体重および体長を測定した。測定の際にはフェノキシエタノール500ppmで麻酔した。実験期間中の全給餌量は、手撒き給餌区では毎回給餌量を記録して合計し、自発摂餌区では試験終了時に給餌機内に残っている餌の重量を測定し、それまでの投入量から除することで求めた。また、水面直上にメモリー式照度計 (Onset社製 HOBObStowAway Li) を設置して光強度 (lm/m^2) を10分ごとに測定記録するとともに、メモリー式水温計 (Onset社製 StowAway) を水面直下に設置し、水温を1時間毎に測定記録した。

2) マハタ稚魚における自発摂餌給餌と自動給餌の比較 (試験 1-2)

前述の試験1-1の結果から、マハタを自発摂餌システムで飼育することが可能であることが判明したので、同システムに期待される給餌量の削減効果を確認するために試験を行った。

試験期間は2002年8月15日から9月18日の35日間とした。試験区には自発摂餌区、自動給餌機区の2区を設定し、それぞれの試験区に2水槽を用いた。自発摂餌給餌の模式図を Fig.2 に示す。自発摂餌区では松阪製作所製さんし郎 KX-01 を自発摂餌給餌機として用い、1つの水槽では報酬量を0.25gとし (報酬量多量区)、他方は0.09g (報酬量少量区) とした。実験期間中を通して、自発摂餌システムの作動時刻をデータロガーで記録した。一方、自動給餌機区ではヤマハ製自動給餌機160Sを用いた。自動給餌機の設定は、午前6～8時30分で8～12回、10～11時と13～14時では4～7回、16～18時15分では8～16回とし、成長とともに給餌回数を増加させた。1回あたりの給餌量は、1つの水槽では残餌の量から判断して適量となるように調整し (適量給餌区)、他方の水槽では残餌が発生する過給餌設定 (過給餌区) とした。

試験水槽には200ℓポリエチレン製角形水槽を用い、

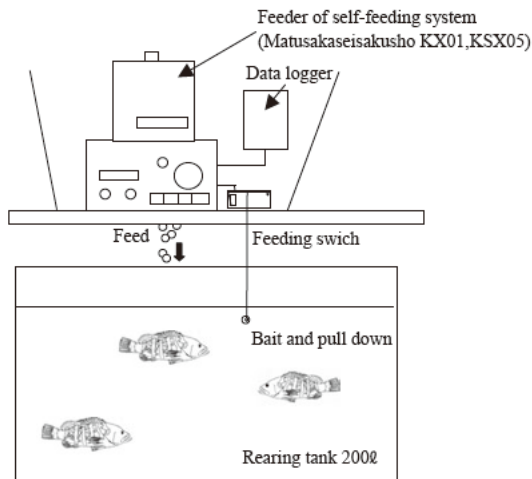


Fig.2 Schematic diagram of self-feeding systems for Experiments 1-2),2-1),2),3).

200 ℓ /h で濾過海水を注水した。試験期間中には、試験 1-1 と同様に水温および光強度をメモリー式水温計および照度計で記録した。

供試魚には 2002 年産のマハタ稚魚（平均体重約 8.8g）を用い、各水槽に 50 尾ずつ収容した。飼料にはマダイ用 EP（マルハ製ノヴァ Jr2 号）を用いた。

試験開始時と終了時に、FA100（田辺製薬）を 100ppm となるように海水に添加した麻酔液を用い、全供試魚を麻酔した上で体重を測定した。

2. 適正な自発摂餌飼育のための条件の検討

1) 稚魚の適正報酬量（試験 2-1）

試験 1-1, 1-2 の結果から、自発摂餌システムによるマハタの飼育が可能であり、自動給餌機よりも良好な飼育成績が得られたことから、より効率よく飼育するために必要な報酬量を求めるために試験を行った。

試験期間は、2003 年 8 月 15 日から 9 月 16 日の 33 日間とした。供試魚には 2003 年産のマハタ稚魚（平均体重 5.3g）を用いた。試験は、Table 1 のように段階的に報酬量を設定した自発摂餌の 4 つの試験区と自動給餌機の 1 区を設定し、自発摂餌の 4 つの試験区は各 1 水槽、

自動給餌機区は 2 水槽を用いて行った。自発摂餌の 4 区には 500 ℓ パンライト水槽（水量は 500 ℓ）を用い、それ以外の水槽では 300 ℓ ポリエチレン水槽（水量は 250 ℓ）を用いた。自発摂餌の 1 区と 4 区では、総魚体重あたりの報酬量と飼育密度をほぼ同じ設定とし、水槽サイズと飼育尾数が変化した場合の影響も検討した。自発摂餌 1 区と 2 区では松阪製作所製さんし郎 KX01, 3 区と 4 区では KXSX05 を自発摂餌給餌機として用いた。自動給餌機にはヤマハ製 110S を用い、残餌が若干確認できる程度に給餌回数を調整しながら給餌設定を行った。飼料にはマダイ稚魚用 EP（マルハ製ノヴァ Jr2 号）を用いた。

試験開始時と終了時に、FA100（田辺製薬）を 100ppm となるように海水に添加した麻酔液を用い、全供試魚を麻酔した上で体重を測定した。

2) 給餌個数と残餌発生率の関係（試験 2-2）

自発摂餌の報酬量は総魚体重あたりの割合で表現されることが多い。しかしながら、飼料のサイズが小さい場合には、報酬量あたりの飼料の個数が多くなり、残餌となってしまう可能性がある。そこで、マハタが捕食可能な 1 回あたりの給餌個数について確認するために試験を行った。

平均体重 167g のマハタ 1 歳魚 10 尾を供試魚とし、500 ℓ アルテミア水槽 2 槽へそれぞれ 5 尾を収容した。そこへマダイ用 EP（マルハ製ノヴァ 3 号：沈降速度 14cm/s）を一定数投入し、摂餌されずに水槽底面まで落下し、排水口から排出される飼料を笊で受けてその個数を数え、残餌発生数とした。1 回あたりに投入する飼料の数は、1 尾あたり 1 個、2 個、3 個、4 個の 4 段階の設定とした。試験は、まず 1 尾あたり 1 個の給餌量の設定で 2 水槽同時に行い、3 日間の絶食期間の後に、1 尾当たり 2 個の給餌量設定で行った。その後と同様の手順で 1 尾当たり 3 個、1 尾当たり 4 個の給餌量設定での試験をくり返した。それぞれの試験では、飼料投入後、全

Table 1. Set up of the self-feeding experiment of 2-1)

Experimental group	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 4
Model of self-feeding system	KX01	KX01	KXSX05	KXSX05
Initial number of fish	60	60	60	120
Volume of tank(L)	300	300	300	500
Reward at setting(g)	0.147	0.294	0.48	0.36
Reward at setting (percentage of total B.W.)	0.05	0.09	0.15	0.06
Initial B.W.(av-g)	5.29	5.27	5.29	5.28

での飼料が捕食されるか水槽から排出されたことを確認してから、次の飼料を投入した。また、投入した全ての飼料が残餌となった時点で飼料の投入を終了した。

飼育期間は2006年5月10日から5月30日までの21日間で、それぞれの条件で各水槽1回ずつ試験を行った。

試験の結果は、残餌率(%) = $\{ \text{終了時まで発生した残餌の個数} \times 100 / \text{終了時まで投入した飼料の全個数} \}$ で表し、各給餌個数での残餌率を比較して残餌の発生しない飼料の個数を検討した。

3) 明るさと残餌の関係の検討 (試験 2-3)

マダイやブリなど他魚種において、夜間に給餌を行うと残餌が発生し飼料効率が低下することが知られている。マハタにおいても同様の可能性が考えられることから、明るさと残餌発生について検討を行った。

遮光幕(シーアイ化成製:ハイメタリックシルバー)を用いて、外部からの光の侵入を遮断した試験区画を設け、その中へ500ℓアルテミア水槽2水槽を設置し、それぞれ水槽へ自発摂餌システム(松阪製作所製:KSX-05)をセットした。水槽直上には投光器(1kw)を設置し、変圧器で明るさを調整して任意の照度に調整可能とした。照度の設定は0lx, 1lx, 3lx および 10lx の4段階とし、24時間連続で3日間一定照度を維持した。また、試験は10lx, 3lx, 1lx および 0lx の順で2水槽同時に実施した。各照度での試験の間には、自然状態の明暗周期下で供試魚の摂餌リズムを正常に戻す期間(3日)を置いた。

供試魚には、2006年産のマハタ稚魚(平均体重52g)50尾を用い、各水槽に25尾ずつを収容した。飼料にはマダイ用EP(マルハ製ノヴァ3号)を用い、時刻制限を設けずに自由に摂餌させた。

試験結果は、残餌発生率(%) = $(\text{試験期間中に発生した残餌個数} \times \text{飼料1個あたりの重量 } 0.0362\text{g}) \times 100 / (\text{自発摂餌1回機動あたりの報酬量 } 0.92\text{g} \times \text{試験期間中の機動回数})$ で表し、各照度での残餌発生率を比較して残餌が発生しにくい条件を明らかにした。

3. 自発摂餌システム実用化へ向けたマハタの養殖試験

試験1の結果から、陸上水槽において自発摂餌システムによるマハタの飼育が可能であり、手撒き給餌や自動給餌並みに成長することが判明した。しかしながら、自発摂餌システムを実際の養殖技術として導入するには、海面生簀において長期の養殖試験を行い、マハタの成長や飼料効率等に対する長期的な影響を明らかにする必要

がある。そこで海面生簀において自発摂餌システムを用いたマハタの養殖試験を行った。

試験は、2004年12月26日から2008年3月27日までの期間で実施した。なお、試験は、マハタの成長や飼料効率と、自発摂餌スイッチの検討を行うものの2通りで行った。

1) 海面生簀における飼育試験 (試験 3-1)

試験は第1期2004年12月26日から2005年3月22日、第2期2005年4月25日から7月25日、第3期2005年7月25日から10月24日、第4期2005年10月24日から2006年1月16日の4期に分けて行った。

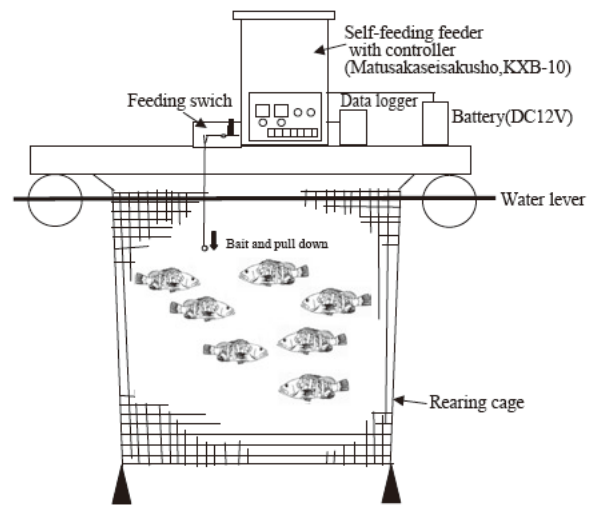


Fig.3 Schematic diagram of self-feeding systems for the rearing cage experiment

Fig.3に海面生簀試験で用いた自発摂餌システムの模式図を示した。試験に用いた自発摂餌システムは、マイクロスイッチ(オムロン製:D2V-5L2-1C2)を利用した引っ張り型の給餌スイッチと松阪製作所製の海面設置用自発摂餌給餌機(さんし郎KXB-10)から構成されている。供試魚は、マイクロスイッチへ連結したステンレス製ワイヤー(直径約0.5mm)の先端に取り付けた、飼料と同サイズの釣り用の浮き玉を、くわえて引っ張ることで給餌機を作動させる。このシステムを尾鷲水産研究室の試験生簀として用いている3つの小割りへ1台ずつ設置した。それぞれの小割りでの報酬量を供試魚の総魚体重の0.025%, 0.05%, 0.1%の3段階に設定し、報酬量少量区、中量区、多量区とした。また対照区として、同じ海域にある小割り1つを用いて、手撒き給餌区を設けた。各試験区には2.5m × 2.5m × 2.5mの生簀網を用い、各小割りには400尾のマハタ稚魚(平均体重約102g)を収容した。飼料にはマダイ用EP(マルハ製:ノヴァ

3号)を用い、自発摂餌の試験区では終日摂餌可能な状態とし、手撒き給餌区では月曜日から金曜日まで1日1回飽食量を給餌し、土曜日、日曜日および休日には前週の給餌量を参考に給餌量を設定して、午前中に自動給餌機を用いて給餌した。毎月1回各生簀の全供試魚を数回に分けてかごに入れ、棒ばかりで計量し、総魚体重、平均体重、生残率、増重率、日間給餌率および増肉係数を求めた。自発摂餌の各区の摂餌データはデータロガーにより回収し、起動時刻や摂餌パターンの解析に用いた。

2) 海面生簀における自発摂餌スイッチの検討(試験3-2)

当試験では、試験3-1の過程でマイクロスイッチを利用した引っ張り型の給餌スイッチに、誤作動や耐久性に問題が見られたため、耐久性や作動の確実性を高めるために、次の3タイプのスイッチを作成して有効性を検討した。

改良型マイクロスイッチ(オムロン製:D2V-5L2-1C2)タイプは試験3-1で用いたスイッチを収容する容器の内部構造を見直すとともに、使用したバネ線強度を高めたものである。光ファイバーセンサー(キーエンス製:FS-V30)タイプは、光ファイバーの先端部をガラス試験管に封入し、その部分を魚に触れさせることで作動する仕組みになっている。このガラス管部分を水深50cmに設置して試験に用いた。近接センサータイプは、改良型マイクロスイッチの検出部により耐久性の高い近接スイッチ(金属がスイッチの検出部の一定距離に接近すると作動する非接触型のスイッチ、キーエンス製:EM-108M)を用いたものである。

供試魚には、前述の試験3-1が終了後に継続して飼育していたマハタ1歳魚を用い、成長による過密状態を回避するために、各小割りの収容尾数を300尾として試験を行った。試験小割りには3m×3m×3mの生簀網を用い、自発摂餌区3小割りと対照として手撒き給餌区1小割りを設けた。

試験開始時には自発摂餌の各試験区とも改良型マイクロスイッチの摂餌スイッチを使用していたが、2006年3月8日から自発摂餌区小割り3で、4月7日から自発摂餌区小割り1で摂餌スイッチを光ファイバーセンサータイプへ変更した。自発摂餌区小割り2では11月2日に近接センサータイプへスイッチの変更を行った。

飼料にはマダイ用EP(マルハ製ノヴァ3号)を用い、自発摂餌区では終日摂餌可能な状態とし、報酬量を総魚体重の0.05%となるように設定した。手撒き給餌区では

月曜日から金曜日には1日1回飽食量を給餌し、土曜日、日曜日および休日には前週の給餌量を参考に給餌量を設定して、午前中に自動給餌機を用いて給餌した。毎月1回各生簀の全供試魚を数回に分けてかごに入れ、棒ばかりで計量し、総魚体重、平均体重、生残率、増重率、日間給餌率および増肉係数を求めた。

飼育試験は2006年1月30日から、自発摂餌区の小割り1、2および手撒き給餌区は2007年12月26日まで実施したが、自発摂餌区の小割り3は、使用していた自発摂餌給餌機が不調となったために、2007年10月31日で試験を終了した。飼育成績に関しては、自発摂餌区の小割り1、2と手撒き給餌区における2006年1月30日～12月26日の331日間で算出し、比較した。

結果

1. 稚魚の自発摂餌試験

1) 陸上水槽におけるマハタ稚魚の自発摂餌の可能性の検討(試験1-1)

第1期の水温は開始時25.5℃から次第に低下し、終了時には22.5℃となった(平均水温は24.1℃)。試験期間中の時刻毎の平均光強度と、試験期間中の全機動回数のうち各時刻における10分間毎の総起動回数の関係をFig4に示した。マハタ稚魚は試験開始後速やかに自発摂餌を開始し、日の出と日没の時刻前後に集中して摂餌した。Table 2に飼育成績を示した。第1期における増肉係数は自発摂餌区では 1.05 ± 0.02 (平均±SD, 以下同様)、手撒き給餌区では 1.13 ± 0.01 であり、自発摂餌給餌を行った水槽の増肉係数が優れていた。日間成長率については自発摂餌区では $2.10 \pm 0.30\%$ 、手撒き給餌区では $2.23 \pm 0.01\%$ であった。自発摂餌区の水槽4では、第1期中にスイッチや給餌機の不具合により合計5回給餌不能となった。また、飛び出しや転覆症状によりあわせて2尾が死亡した。

第2期の水温は22.5℃から19.6℃まで低下し、平均水温は21.2℃であった。第2期での増肉係数は、自発摂餌区で 1.15 ± 0.05 、手撒き給餌区で 1.26 ± 0.08 であり、日間増重率では自発摂餌区が $0.97 \pm 0.10\%$ 、手撒き給餌区が $1.19 \pm 0.10\%$ であった。

2) マハタ稚魚における自発摂餌給餌と自動給餌の比較(試験1-2)

試験1-1よりも小型の供試魚(8.8g)であったが、試験1-2においても開始直後から自発摂餌が開始された。

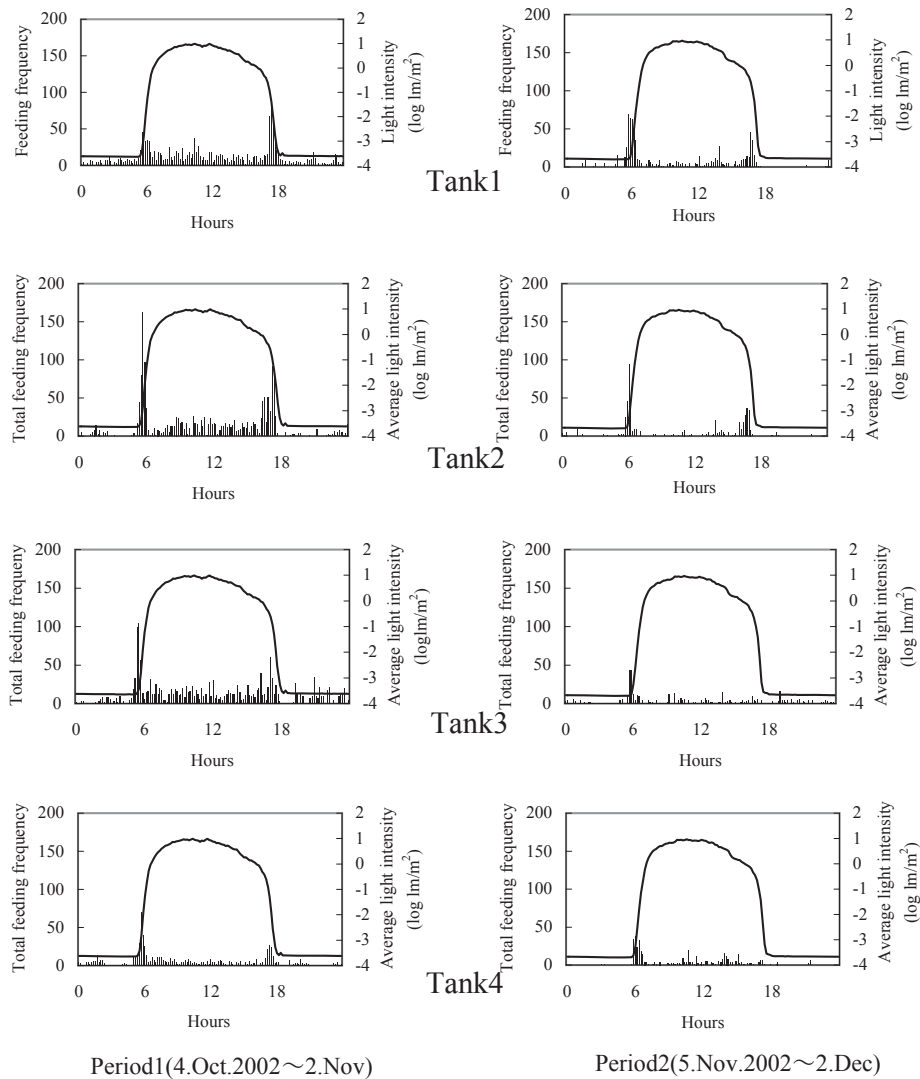


Fig.4 Relation between total feeding frequency of juvenile seven band groupers and average light intensity.

Bar:total feeding frequency(ten minutes)
Line:average light intensity(log lm/m²)

Table 2. Results of the experiment 1-1.
Period1(4 Oct. 2001-5 Nov. 2001)

Experimental group	Self-feeding	Human-feeding
Initial BW(av±sd-g)	46.2±1.4	43.5±0.4
Final BW(av±sd-g)	92.1±8.9	83.8±0.3
Increase of body weight(av±sd-g)	902.1±178.2	806.9±2.2
Increase rate of body weight(av±sd-%)	97.2±16.9	92.9±1.0
Total feed intake(av±sd-g)	944.1±184.2	907.0±0.3
Daily growth rate(av±sd-%)	2.03±0.25	1.98±0.01
Daily feeding rate(av±sd-%)	2.13±0.26	2.23±0.01
Feed conversion(av±sd)	1.05±0.02	1.13±0.01
Mortality rate(av±sd-%)	2.5±4.3	0.0±0.0

Period2(5 Nov. 2001-10 Dec. 2001)

Experimental group	Self-feeding	Human-feeding
Initial BW(av±sd-g)	98.8±10.0	90.5±0.5
Final BW(av±sd-g)	139.5±15.8	138.0±5.7
Increase of body weight(av±sd-g)	407.6±72.3	475.1±52.3
Increase rate of body weight(av±sd-%)	41.2±5.1	52.5±5.5
Total feed intake(av±sd-g)	469.3±5.1	591.9±30.9
Daily growth rate(av±sd-%)	0.97±0.1	1.19±0.1
Daily feeding rate(av±sd-%)	1.12±0.12	1.48±0.04
Feed conversion(av±sd)	1.15±0.05	1.25±0.07
Mortality rate(av±sd-%)	0.0±0.0	0.0±0.0

20日目に報酬量少量区でスイッチが作動不良となったため交換したが、多量区では一度の交換もなく試験を終了した。Fig.5に自発摂餌区の起動回数と水温推移を示した。自発摂餌起動回数は報酬量多量区、少量区とも試験開始2日目から安定していたが、試験終了前にはVNN（ウイルス性神経壊死症）の発症により起動回数が減少した。

Fig.6に試験期間中の時刻毎の平均光強度と、試験期間中の全起動回数のうち各時刻における10分間の起動回数の関係を示した。報酬量多量区、少量区ともに摂餌パターンは日の出前の薄明期に摂餌のピークを示し、日中は散発的に摂餌を行う薄明期中心の明期摂餌型であった。

Table 3に飼育成績を示した。自動給餌機による過給餌区が最も増重率が高く232.8%、次いで自発摂餌の

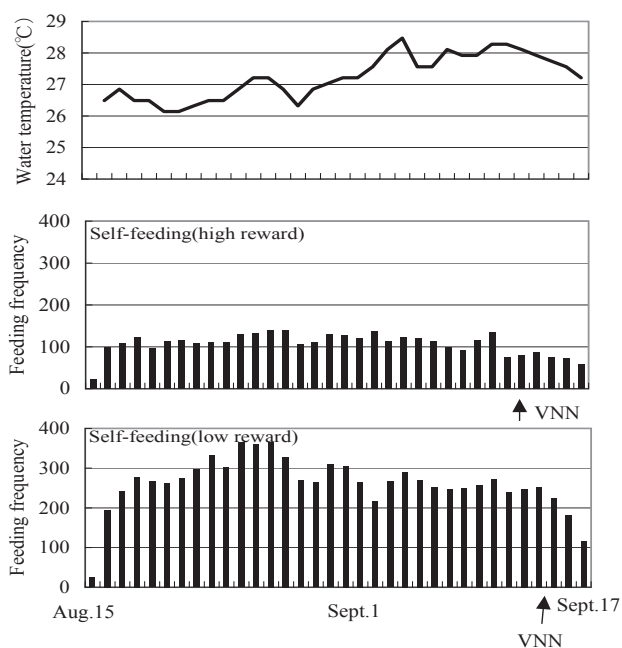


Fig.5 Changes in feeding frequency and temperature. Arrows show the day when death by viral nervous necrosis(VNN) began to occur.

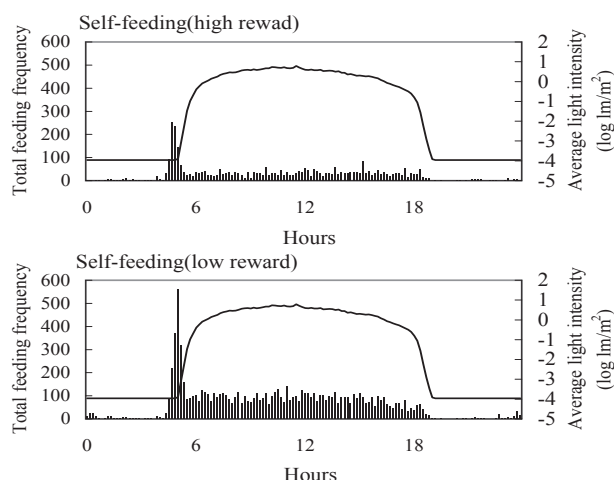


Fig.6 Relation between average feeding frequency of juvenile seven band groupers and average light intensity of Experiment 1-2.

{ Bar:total feeding frequency
Line:average light intensity(log lm/m²)

Table 3. Growth and feed conversion of sevenband grouper juvenile cultured with self-feeding and timer-controlled feeding(15 Aug. 2002-18 Sep. 2002)

Experimental group	Self-feeding		Timer-controlled feeding	
	High reward	Low reward	Suitable feeding	Excessive feeding
Initial number of fish	50	50	50	50
Initial BW(av-g)	8.75	8.78	8.90	8.70
Final number of fish	45	46	46	46
Final BW(av-g)	28.62	25.33	27.34	29.35
Increase of body weight(g)	975.2	797.1	901.6	1013.2
Increase rate of body weight(%)	222.9	181.7	202.6	232.8
Total feed intake(g)	919.7	724.4	975.2	1664
Daily growth rate(%)	3.10	2.80	2.96	3.16
Daily feeding rate(%)	2.92	2.54	3.20	5.20
Feed conversion	0.94	0.91	1.08	1.64
Mortality rate(%)	10.0	8.0	8.0	8.0

報酬量多量区が222.9%, 自動給餌機の適量給餌区が202.6%, 自発摂餌の報酬量少量区が181.7%であった。日間給餌率は高い順に自動給餌機過給区が5.20%, 自動給餌機適量給餌区が3.20%, 自発摂餌の報酬量多量区が2.92%, 報酬量少量区が2.54%となった。増肉係数では、自発摂餌区報酬量少量区が0.91, 自発摂餌報酬量多量区が0.94, 自動給餌機適量給餌区が1.08, 自動給餌機過給区が1.64で自発摂餌区が増肉係数が優れていた。

2. 適正な報酬量の検討

1) 稚魚の適正報酬量 (試験 2-1)

試験期間中の時刻毎の平均光強度と、試験期間中の全機動回数のうち各時刻における10分間毎の総起動回数の関係を Fig.7 に示した。摂餌パターンは薄明期中心の明期摂餌型であった。飼育成績を Table 4 に示した。自発摂餌給餌機に松阪製作所製 KX01 を用いた 1 区と 2 区では、給餌量と機動回数から求めた実際の報酬量が 0.02 と 0.06 となり設定よりも低くなっていった。また、自発摂餌の 1 区と 2 区では試験の後半にスイッチのロックが頻発したため、起動回数が伸び悩み、特に 1 区では大きく減少した。そのため、1 区の試験終了時の平均体重は 18.7g と、他の試験区の平均体重 25.3 ~ 31.4g よりも小さくなった。一方、作動状況が良好であった 3 区、4 区は増重率、増肉係数ともに優れていた。自動給餌 1 区、2 区では、自発摂餌 3 区、4 区と比較すると、給餌量が多い割に増重率が低く、そのために増肉係数が大きくなった。

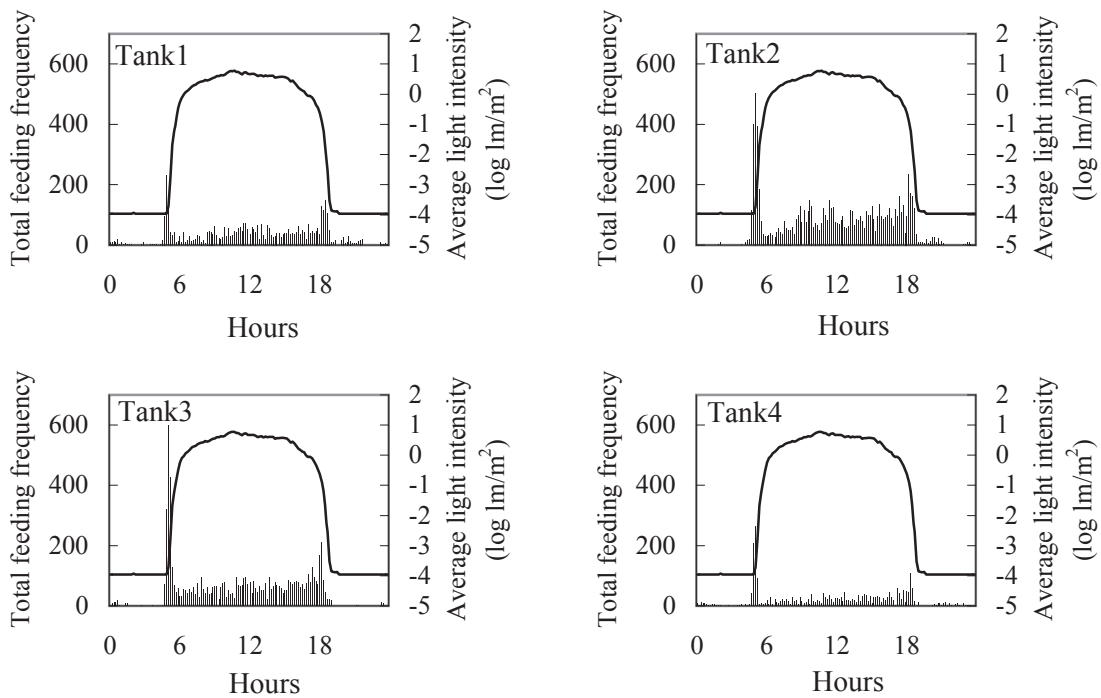


Fig.7 Relation between total feeding frequency(mean) of juvenile seven band groupers and average light intensity(mean) of Experiment 2-1. (Bar:total feeding frequency, Line:average light intensity(log lm/m²))

Table 4. Growth and feed conversion of sevenband grouper juvenile cultured with self-feeding and timer-controlled feeding(15 Aug. 2003-16 Sep. 2003)

Experimental group	Self-feeding				Timer-controlled feeding	
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 4	Tank 5	Tank 6
Actual reward(g)	0.117	0.221	0.483	0.339		
Actual reward (percentage of total B.W.)	0.02	0.06	0.15	0.06		
Initial number of fish	60	60	60	120	60	60
Initial BW(av-g)	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2	5.3
Final number of fish	60	60	60	119	58	60
Final BW(av-g)	18.7	25.3	31.4	30.2	27.8	29.2
Increase of body weight(g)	802.4	1199.3	1565.5	2961.1	1297.6	1436.4
Increase rate of body weight(%)	252.88	379.05	493.38	467.20	415.90	452.55
Total feed intake(g)	693.0	915.6	1259.0	2319.0	1234.0	1352.0
Daily growth rate(%)	3.49	4.09	4.45	4.38	4.22	4.33
Daily feeding rate(%)	3.01	3.12	3.58	3.43	4.01	4.08
Feed conversion	0.86	0.76	0.80	0.78	0.95	0.94
Mortality rate(%)	0.0	0.0	0.0	0.8	3.3	0.0

2) 給餌回数当たりの残餌発生率の検討試験 (試験 2-2)

1尾あたり1個給餌では、76回目と47回目の給餌以降に連続して残餌が発生し、105回目と104回目に与えた飼料が全て残餌となり、2つの水槽の残餌率は10.7%と19.8%であった。1尾あたり2個の場合には18回目と21回目以降に連続して残餌が発生し、71回目と59回目に全ての飼料が残餌となり、2つの水槽の残餌率は17.3%と20.5%であった。1尾あたり3個の場合には19回目と6回目以降連続して残餌が発生し、2水槽ともに50回目以降に全ての飼料が残餌となり、2つの水槽の残

餌率は25.3%と37.6%であった。1尾あたり4個の場合には1回目から連続して残餌が発生し、2水槽とも47回目で全ての飼料が残餌となり、2つの水槽の残餌率は47.4%と60.2%であった。

3) 明るさと残餌の関係

Fig.8に残餌発生率と照度の関係について示した。10lxでの残餌発生率は0.58 ± 0.05%, 3lxでは2.28 ± 0.23%, 1lxでは5.70 ± 0.40%, 0lxでは12.94 ± 0.54%となり、照度が低くなるに従って残餌発生率が高くなった。

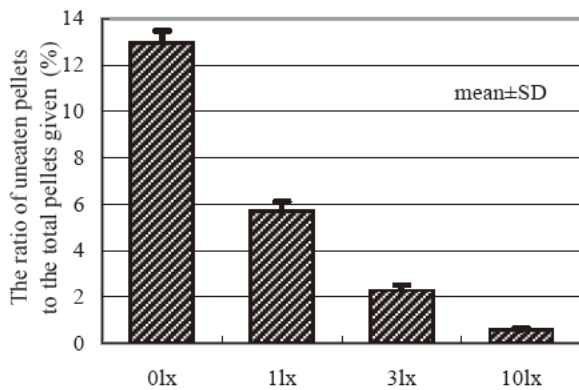


Fig.8 The relationship between brightness and the ratio of uneaten pellets to the total pellets given.

3. マハタの海面養殖試験

1) 海面生簀における自発摂餌飼育試験 (試験 3-1)

本試験に用いた自発摂餌システムは、給餌機に関しては、故障等は見受けられず良好に作動したが、供試魚の成長により摂餌スイッチを引っ張る力が次第に強くなり、第2期、第3期の報酬量少量区と中量区では、ワイヤーの切断やスイッチとワイヤーを連結する針金部分の変形により作動不良に陥る等、摂餌スイッチに関するトラブルが発生した。また、報酬量多量区において、それまで1日10回前後の作動であったものが2月5日から7日にかけて計305回の作動がみられ、給餌機内の餌が全て投入されていた。このとき、給餌機とスイッチともに正常に作動する事を確認しており、極端に多い作動の原因は不明であった。試験期間中に確認された、スイッチの異常に起因する給餌停止回数は、報酬量少量区では16回、中量区では18回および多量区では8回であった。

飼育成績を Table 5 に示した。スイッチの作動不良が発生する以前の第1期の飼育成績では、自発摂餌区では報酬量が多い順に総給餌量は多くなり、報酬量多量区が41.28kg、中量区が30.96kg、少量区が25.58kgであった。手撒き給餌区は40.95kgで報酬量多量区とほぼ同量であった。増重率についても報酬量が多いほど高く、多量区が26.6%、中量区が24.4%、少量区が20.7%であり、手撒き給餌区は24.1%であった。増肉係数についても報酬量が多いほど値が大きく、報酬量多量区で1.55、中量区で1.27、少量区で1.24であった。一方、手撒き給餌区では1.70であった。

各期間における各試験区の増重率を Fig.9 に、飼料効率を Fig.10 に示した。いずれの飼育期間においても自発摂餌の試験区と手撒き給餌区では増重率に大きな差は見られず、飼料転換効率は、自発摂餌給餌ではセンサーの動作不良で過剰給餌があったが、自発摂餌の試験区の

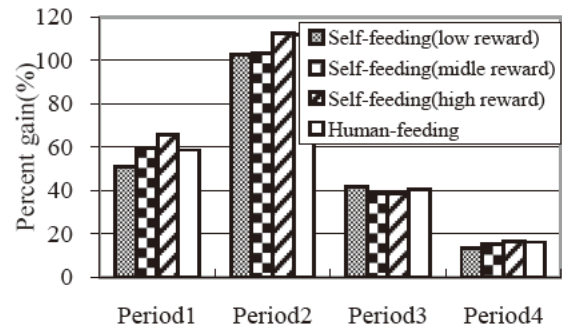


Fig.9 Percent gain in body weight for the self-feeding and the human-feeding groups.

Period 1:26 Dec.2004-22 May.2005 Period 2:25 Apr.2005-25 Jul.2005
 Period 3:25 Jul.2005-24 Oct.2005 Period 4:24 Oct.2005-16 Jan.2006

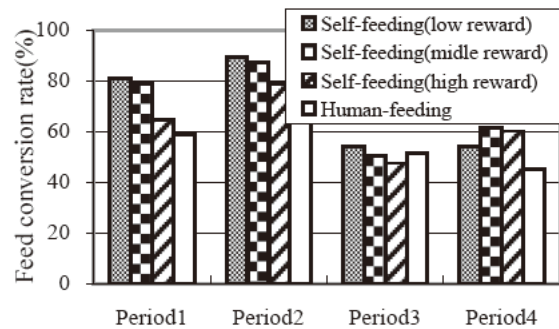


Fig.10 The feed conversion rate of the self-feeding and the human-feeding groups.

Period 1:26 Dec.2004-22 May.2005 Period 2:25 Apr.2005-25 Jul.2005
 Period 3:25 Jul.2005-24 Oct.2005 Period 4:24 Oct.2005-16 Jan.2006

方が手撒き給餌区よりも高くなっていた。

2) 海面生簀における自発摂餌スイッチの検討 (試験 3-2)

改良型マイクロスイッチタイプの摂餌スイッチでは、スイッチ本体の強度を高めたことから作動不良は見られず、安定した作動状況であった。また、同様の機構を持つ近接センサータイプでも作動は良好であり、誤作動は見られなかった。一方、光ファイバーセンサータイプでは、誤作動と考えられる異常な給餌や、感度設定の難しさから作動不良や異常作動が多発し、過剰な給餌が行われた。

試験期間中の飼育成績を Table 6 に示した。光ファイバーセンサーを用いた自発摂餌区の小割り1の増肉係数は3.68で、改良型マイクロスイッチと近接スイッチを用いた小割り2の2.48、手撒き給餌区の2.83よりも値が大きくなった。

試験 3-1 と試験 3-2 では、試験内容は異なるものの、

Table 5-1. Growth and feed conversion of sevenband grouper cultured with self-feeding and human-feeding (Period1:26 Dec. 2004-22 Mar. 2005)

Experimental group	Self-feeding			Human feeding
	Low	Reward Medium	High	Excessive feeding
Initial number of fish	400	400	400	400
Initial BW(av-g)	101.9	102.1	101.5	102.5
Final number of fish	398	398	397	399
Final BW(av-g)	153.8	163.8	163.7	163.2
Increase of body weight(kg)	20.7	24.4	26.6	24.1
Increase rate of body weight(%)	50.80	59.73	65.52	58.78
Total feed intake(kg)	25.58	30.96	41.28	40.95
Daily growth rate(%)	0.42	0.47	0.51	0.47
Daily feeding rate(%)	0.52	0.60	0.79	0.80
Feed conversion	1.24	1.27	1.55	1.70
Mortality rate(%)	0.5	0.5	0.8	0.3

Table 5-2 Growth and feed gain ratio of sevenband grouper cultured with self-feeding and human-feeding(Period2:25 Apr 2005-25 Jul. 2005)

Experimental group	Self-feeding			Human feeding
	Low	Reward Medium	High	Excessive feeding
Initial number of fish	400	400	400	400
Initial BW(av-g)	201.0	200.3	194.3	201.5
Final number of fish	391	396	396	399
Final BW(av-g)	412.0	408.6	414.4	425.8
Increase of body weight(kg)	82.7	82.7	87.4	90.1
Increase rate of body weight(%)	102.86	103.25	112.48	111.79
Total feed intake(kg)	92.53	94.77	110.94	117.82
Daily growth rate(%)	0.71	0.71	0.75	0.75
Daily feeding rate(%)	0.79	0.81	0.95	0.98
Feed conversion	1.12	1.15	1.27	1.31
Mortality rate(%)	2.3	1.0	1.0	0.3

Table 5-3. Growth and feed conversion of sevenband grouper cultured with self-feeding and human-feeding(Period3:25 Jul. 2005-24 Oct. 2005)

Experimental group	Self-feeding			Human feeding
	Low	Reward Medium	High	Excessive feeding
Initial number of fish	391	396	396	399
Initial BW(av-g)	412.0	408.6	414.4	425.8
Final number of fish	379	391	385	386
Final BW(av-g)	584.43	562.92	579.22	607.51
Increase of body weight(kg)	67.3	62.6	63.4	68.9
Increase rate of body weight(%)	41.78	38.66	38.63	40.55
Total feed intake(kg)	124.26	124.72	133.5	134.3
Daily growth rate(%)	0.61	0.57	0.57	0.59
Daily feeding rate(%)	1.12	1.13	1.20	1.15
Feed conversion	1.85	1.99	2.11	1.95
Mortality rate(%)	3.1	1.3	2.8	3.3

Table 5-4. Growth and feed gain ratio of sevenband grouper cultured with self feeding and human-feeding(Period4:24 Oct. 2005-16 Jan. 2006)

Experimental group	Self-feeding			Human feeding
	Low	Reward Medium	High	Excessive feeding
Initial number of fish	379	391	385	386
Initial BW(av-g)	584.4	562.9	579.2	607.5
Final number of fish	374	384	383	378
Final BW(av-g)	663.9	649.0	676.2	706.6
Increase of body weight(kg)	29.9	33.5	37.2	38.3
Increase rate of body weight(%)	13.49	15.22	16.68	16.33
Total feed intake(kg)	55.15	54.39	61.82	85.31
Daily growth rate(%)	0.22	0.24	0.27	0.26
Daily feeding rate(%)	0.40	0.40	0.44	0.58
Feed conversion	1.85	1.62	1.66	2.23
Mortality rate(%)	1.3	1.8	0.5	2.1

Table 6. Growth and feed conversion of sevenband grouper cultured with self-feeding and human-feeding(30Jan. 2006-26 Dec. 2006)

Experimental group	Self-feeding		Human-feeding
	Cage1 ^{※1} Optical fiber sensor	Cage2 ^{※2} Miniature switch	Excessive feeding
Initial number of fish	300	300	300
Initial BW(av-g)	696.3	705.3	704.3
Final number of fish	229	222	222
Final BW(av-g)	1018.8	1026.1	1065.3
Increase of body weight(kg)	94.9	86.6	100.2
Increase rate of body weight(%)	45.4	40.9	47.4
Total feed intake(kg)	349.2	214.7	284.0
Daily growth rate(%)	0.11	0.10	0.12
Daily feeding rate(%)	0.41	0.25	0.33
Feed conversion	3.68	2.48	2.83
Mortality rate(%)	7.7	10.0	10.0

※1 Cage1 used the fiber optic sensor from 7.Apr 2006.

※2 Cage2 used the proximity sensor from 2.Nov.2006 .

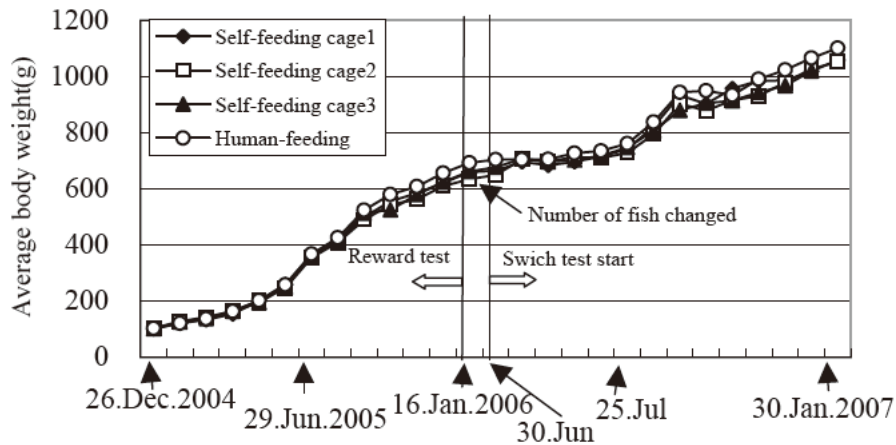


Fig.11 Growth curves of sevenband groupers cultured with self-feeding and human-feeding systems.

継続的に自発摂餌による飼育を行ったものであることから、Fig.11に試験 3-1 と試験 3-2 の期間を通しての各試験区における平均体重の推移を示した。自発摂餌による給餌のみの生簀と手撒き給餌を行った生簀の平均体重はほぼ同様の推移を示し、100g サイズから 1kg の出荷サイズまで、自発摂餌システムによる給餌のみで飼育することができた。試験 3-2 で安定した作動をした自発摂餌区の小割り 2 と手撒き給餌区の、試験 3-1 と 3-2 を通した総給餌量と総増重量について Fig.12 に、増肉係数は Fig.13 に示した。総増重量では自発摂餌区小割り 2 が 289kg、手撒き給餌区が 316.3kg と手撒き給餌がやや成長が良く、総給餌量については自発摂餌区小割り 2 が 472.4kg で手撒き給餌区が 591.2kg と手撒き給餌が多かった。一方、増肉係数では自発摂餌区小割り 2 が 1.63 で手撒き給餌区の 1.87 よりも低く、自発摂餌の方が効率的な給餌が行われていた。

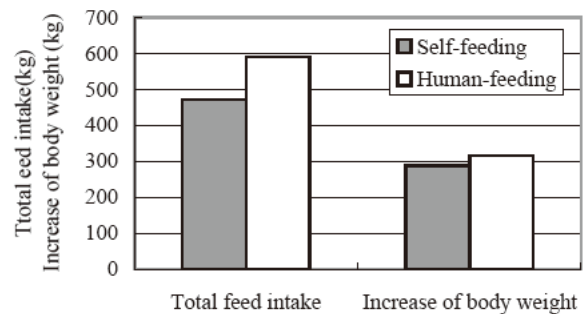


Fig.12 Total feed intake and increase of body weight of self-feeding and human-feeding

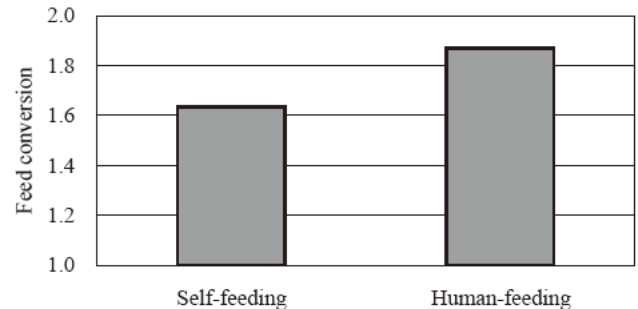


Fig.13 Feed conversion of self-feeding and human-feeding

考察

水槽実験での自発摂餌システムによるマハタ養殖の可能性の検討

試験 1-1, 1-2 および 2-1 では、魚体重 8.8g から 100g 程度のマハタ稚魚を用いた飼育試験を行った。いずれの試験においても、試験開始後すみやかに自発摂餌が開始されており、マハタ稚魚は容易に自発摂餌の摂餌スイッチを学習し、操作できることが明らかになった。また、試験 1-1 で発生したような自発摂餌システムの故障がなければ、手撒き給餌や自動給餌機と同等、もしくはより効率的な給餌が可能であると考えられた。

自発摂餌システムは魚の摂餌要求に合わせた給餌方法であるため、突発的な環境変化や疾病の発生など、予測が難しい変化に対応した給餌ができることと期待される。試験 1-2 では、試験期間中に VNN の発生がみられ、その発生前後で、自発摂餌給餌機の機動回数の減少が確認された。これは VNN によるマハタの摂餌活性の低下を反映した結果である。疾病の発生と自発摂餌の機動回数における同様の関係は、マダイの白点病について、古川 (2002) が示している。このように、自発摂餌システムは単に給餌技術としてだけでなく、養殖魚の健康状態を把握するツールとしても利用できる。

マハタの摂餌パターン

自発摂餌システムを用いた魚の日周期的な摂餌リズムについては様々な魚種で報告がなされている。ブリ (神原ら 2006) では、薄明期と暗期中心の摂餌パターンを示し、マダイ (古川 2001) では、特に定まった摂餌パターンを示さないことが報告されている。本研究の試験 1-1, 1-2 および 2-1 において、マハタ稚魚は日の出、日の入り時のいわゆる「まずめ時」中心の明期摂餌型の摂餌パターンを示した。これは同じハタ科のクエ稚魚の摂餌パターン (島 2001) と同様であった。しかし島 (2001) は、稚魚よりも大きな魚体重 500 g のマハタを水槽で 1 尾ずつ個別飼育したときには、暗期開始直後に集中した暗期摂餌型であったとしており、サイズによって摂餌パターンが変動する可能性が示唆された。

試験 3-1 では海面生簀において、魚体重約 100g から約 700g までの飼育を行った。第 1 期の 100g から 160g では、全体の給餌機機動回数のうち 35-54% が日の出の時間帯で、日中に散発的に摂餌を行い、暗期の摂餌はほとんど見られなかったが、第 2 期と第 3 期では、暗期で

の摂餌が 21-32% と 18-30% 確認された。その後、第 4 期では再び暗期の摂餌回数が減少し、日中か夕暮れ時に集中した摂餌を行うなど、海面での飼育試験では、一貫した摂餌パターンを得られなかった。成長や季節による摂餌時刻の変動も考えられるが、海面で数百尾規模での集団飼育においては、水槽で単独飼育する場合と異なり、個体間の社会構造的な要因や外部環境の不安定さなどにより、安定した摂餌パターンが得られないのかもしれない。

マハタに適した自発摂餌の報酬量の検討

試験 1-2 において、自発摂餌報酬量少量区 (給餌 1 回あたり 0.09g, 総魚体重の 0.02%) と多量区 (給餌 1 回あたり 0.25g, 総魚体重の 0.06%) の給餌機の機動回数をみると、それぞれ試験期間中の合計で 8,884 回と 3,644 回となっていた。報酬量少量区では、1 回あたりの給餌量が少ないため、必要量の飼料を得るために、機動回数を増加させたと考えられる。しかしながら、報酬量少量区の日間給餌率は 2.54% であり、報酬量多量区の 2.92% に比べて低く (Table3), また、日間成長率も報酬量多量区 2.92%, 少量区 2.80% と違いがみられた。これらのことから、報酬量少量区では、機動回数を増やしても給餌量が不足しており、最適な給餌量を補うことができなかったと考えられる。この原因としては、特定の魚がスイッチを作動させていた場合には、一度の作動で給餌される飼料の個数が少ないと、スイッチを作動させない魚が、充分量の餌を確保できなかったことが推測される。

試験 2-1 の自発摂餌区では、試験開始時の総魚体重あたりの報酬量設定のずれが生じ、実際の報酬量が 0.02% (1 区), 0.06% (2 区と 4 区) および 0.15% (3 区) の 3 段階の報酬量設定となった。この試験においても、報酬量が 0.02% であった 1 区は、日間給餌率が他の水槽よりも低く、日間成長率についても最も劣っていた。試験 1-2 と試験 2-1 の結果から、総魚体重の 0.02% の報酬量は少なすぎると考えられた。0.06% と 0.15% では、飽食給餌した自動給餌機の水槽と変わらない成長と、低い増肉係数が得られており、魚体重が 5-30g のマハタの報酬量は、総魚体重の 0.06% に設定すればよいと考えられた。ただし、サイズによって、適正な報酬量設定が異なる可能性も考えられるので、様々なサイズでの検討を行う必要がある。

報酬量の設定については、飼育尾数あたりの飼料の個数も関係すると考えられる。試験 2-2 では、飼育尾数あたり飼料 1 個から 4 個までの 4 段階で飼料を投入し、残

餌の発生率を調べた。その結果、給餌個数が増えるに従って、残餌の発生率が高くなり、残餌が連続して発生し始める給餌回数も早まった。1尾当り4個の給餌では明らかに給餌量過多であると考えられた。また、残餌の発生には、飼料の沈降速度の影響も考慮する必要がある。今回の試験に用いた飼料の沈降速度は、14cm/sであり、沈降速度がより速い飼料を用いれば、より残餌の発生率が高くなると考えられる。

残餌の発生を抑えながら完全に飽食させるためには、マハタのサイズごとに、最も効率的な飼育成績が得られる報酬量設定をもとめ、その報酬量に対して飼育尾数あたりの飼料個数を1個程度になるよう、飼料の沈降速度も考慮しつつ調整すれば良いと考えられた。

明るさと残餌の関係

照度が高くなるに従って残餌の発生率が低下したことから、確実な飼料の捕捉には10lx以上の明るさが必要と考えられる。本試験の結果では、0lxにおいて給餌された飼料の約13%が残餌となっており、暗期に自発摂餌をさせると給餌した飼料の1割以上が残餌になる可能性がある。自発摂餌での飼育成績を向上させるには、残餌が少ない給餌設定を明らかにすることが重要である。古川(2002)によると、マダイでは暗期に自発摂餌を行うと残餌が発生するとしており、暗期の自発摂餌を抑制することで、残餌の発生を抑制することができたとしている。マハタは、まずめ時の比較的暗い時間帯から摂餌を開始するため、マダイと同様に残餌が発生する可能性がある。マハタを飼育する際に、自発摂餌システムをより効率的に運用するためには、マダイ同様に暗期の摂餌を抑制した方がよいと考えられる。

自発摂餌システムによるマハタの海面養殖試験

海面養殖試験に用いた給餌機には、スイッチの故障による誤作動を防ぐため、一定時間の間に給餌スイッチから連続した入力があると、装置を停止させる仕組みが備わっている。試験3-1においては、スイッチ自体の故障や構造上の問題によりこの仕組みが作動し、報酬量少量区で、試験期間中に計13回、報酬量中量区で、3回の給餌機が停止した。また、供試魚の成長に伴い、破損頻度が高くなるなど、スイッチの耐久性に問題が見られた。

そこで、試験3-2では、試験3-1で用いたスイッチの強度を上げたもの、その検出部に耐久性の高い近接センサーを用いたもの、および光ファイバーセンサーを用いた摂餌スイッチを用いて飼育試験を行った。強度を上げ

たこれまでのスイッチと、近接センサーのスイッチでは破損や誤作動もなく、良好な作動状況であった。一方で、光ファイバーセンサーでは、誤作動や作動不良が頻発した。誤作動の原因としては、生簀内に侵入したビニールや海藻などの浮遊物がセンサーに付着したことと、マハタが摂餌と関係なくセンサースイッチに体を接触させる行動が観察されることから、その際に誤ってセンサーが作動したことが推測された。さらに、センサー先端部から赤い光が照射されることから、暗期にはよく目立つために、通常ではあまり確認されなかった暗期に摂餌するようになった。このように光ファイバーセンサー自体には耐久性があるものの、マハタの摂餌に確実に対応することが難しく、残餌の発生しやすい暗期の摂餌頻度があがることから、マハタ用の摂餌スイッチとしては不向きと考えられた。古川(2008)は、光ファイバーセンサーが、作動の安定性や耐久性などの面で、マダイの摂餌スイッチとして有効であったとしており、摂餌センサーについては、魚種によって仕様を変更する必要があるかもしれない。これらのことから、マハタ用摂餌スイッチとしては、引っ張り型が適していると考えられた。また、内部に用いるスイッチについては、マイクロスイッチよりも物理的な作動部位が無く、完全に密封された構造の近接センサーが、より耐久性に優れ安定作動すると考えられる。

海面生簀でのマハタの自発摂餌に関する飼育成績について見てみる。Fig.11に試験3-1と3-2を通した約2年間の各試験区の平均体重推移を示した。これを見ると、自発摂餌、手撒き給餌の間に大きな差は見られず、約2年間ほぼ連続して自発摂餌による給餌のみで、マハタを飼育できた。このことから、自発摂餌システムによる海域でのマハタの養殖は、十分に可能であると考えられた。ここで、全飼育期間を通して作動不良が少なかった、自発摂餌区小割り2の増重量と給餌量を手撒き給餌と比較すると(Fig.12)、増重量はそれほど変わらないが、給餌量は自発摂餌の方が少なかった。増肉係数では、自発摂餌区小割り2が1.63、手撒き給餌区が1.87となり(Fig.13)、自発摂餌システムの方が、効率良く給餌できたと考えられた。古川(2008)は、マダイを自発摂餌システムで飼育したところ、自動給餌機による飼育よりも1割の飼料を削減できたとしており、マハタでも同様の効果が期待される。給餌量の削減は、養殖漁家の収益性の向上や、環境負荷の低減につながる。これからの魚類養殖のあり方として、自動給餌機の更新の際に、自発摂餌システムの導入を検討するメリットは十分あると考え

られる。

本研究で用いた海面用の自発摂餌システムは、試験を通じて、給餌機の作動の安定性が確認され、スイッチの改良を行うことで海面での利用にめどをつけることができた。

今後は、自発摂餌システムへのソーラーパネル設置によるバッテリー交換の省力化、1日当たりの給餌回数の上限を設定し、過剰給餌を防止するための機能の付与といった給餌機の改良、より長期間にわたる給餌機の耐久性の確認、マハタのサイズごとの適切な報酬量の検討、養殖現場規模での実証試験といった課題が残されている。

要約

新しい養殖対象種であるマハタについて、自発摂餌システムを用いた養殖技術開発を目的とした試験を行った。稚魚（魚体重 5.2g ~ 157.7g）を用いた室内での飼育試験では、稚魚が速やかに自発摂餌を開始すること、さらに対照区である手撒き給餌や自動給餌と飼育成績を比較したところ、より効率の良い給餌が可能であることが明らかになった。また、稚魚における適正な報酬量設定は、総魚体重の 0.06% と考えられた。

マハタ 1 歳魚（魚体重 167g）を用いた試験では、残餌の発生を防ぐための報酬個数は、1 尾あたり 1 個程度が目安であること、魚体重 52g の稚魚を用いた、明るさと残餌の関係を調べた試験では、照度が低いほど残餌発生率が大きくなり、0lx では 13% 近くが残餌となることから、残餌の発生をできるだけ防ぐには 10lx 以上の明るさが必要であることが明らかになった。

これらの結果を受け、自発摂餌システムの実用化を目指した海面飼育試験を行ったところ、海面生簀においても自発摂餌システムの作動の安定性を確保することで、手撒き給餌並みの飼育成績を残せることが明らかになった。

謝辞

本研究を実施するに当たって、ご指導いただいた国立大学法人三重大学生物資源学部神原淳教授、自発摂餌給餌機に関して便宜を図っていただいた独立行政法人水産研究総合センター養殖研究所生産システム部飼餌料研究グループ山本剛史グループ長、試験実施について終始ご協力いただいた尾鷲水産研究室の皆様にお礼申し上げます。

引用文献

- 古川清・山下光司 (2009) : マダイ養殖における実用規模自発摂餌給餌システムの開発. 日本水産学会誌. 75(5), 775-778.
- 古川清 (2008) : マダイ養殖における自発摂餌実用化の取り組み (次世代型魚類養殖給餌システム開発の現状と展望, ミニシンポジウム記録). 日本水産学会誌. 74(5), 902-903.
- 古川清 (2007) : 開発研究 自発摂餌によるマダイ養殖 - 事業規模の海面生簀で 10% 以上の「無駄餌」削減効果. アクアネット. 10(7), 38-42.
- 古川清 (2002) : 自発摂餌式給餌への試み (5) マダイ養殖に自発摂餌を利用する. 養殖. 39(12), 84-87.
- 神原淳・栗山功 (2006) : 尾鷲湾におけるブリの自発摂餌パターン. 三重大学フィールド研究・技術年報. 5, 7-14.
- 栗山功 (2005) : マハタを用いた自発摂餌研究 (II. 新しい給餌法について考える, 日本水産学会水産増殖懇話会). 日本水産学会誌. 71(3), 383-384.
- 島隆夫 (2001) : ハタ類の自発摂餌行動. 魚類の自発摂餌 - その基礎と応用. 恒星社厚生閣, 東京, 35-42.
- 田畑満生 (2001) : 自発摂餌のリズム. 魚類の自発摂餌 - その基礎と応用. 恒星社厚生閣, 東京, 61-69.