

ヤイトハタ稚魚を用いた自発摂餌式自動給餌の試み (県産魚介類の安定供給に向けた生産性高度化事業)

山内 岬*1, 木村基文*2, 岸本和雄*1

The Use of Self-feeders in Rearing of Malabar Grouper *Epinephelus malabaricus*

Misaki YAMAUCHI*1, Motofumi KIMURA*2 and Kazuo KISHIMOTO*1

自発摂餌システムによるヤイトハタ養殖技術開発の可能性を検討することを目的として、日齢 261 のヤイトハタ種苗を用いた自発摂餌式自動給餌機による飼育試験を実施した。ヤイトハタによる自発摂餌は、試験開始 3 日目より開始され、30 日間の飼育期間における摂餌要求頻度は計 621 回に及んだ。記録された摂餌要求頻度の 90.6 % が午前 8 時から午後 18 時半までの明期であったこと、42.6 % が午後 16～18 時の日没前に集中していたことから、本種の摂餌リズムは明期後半型である可能性が示唆された。一方、飼育水温や照度等の物理的環境要因の変化によって、摂餌要求行動が抑制されたと考えられる飼育日が、計 8 日間で確認されたことから、今後、ヤイトハタの摂餌特性に関するより多くの知見を得るためには、自発摂餌行動に影響を及ぼす外的要因を除いた環境条件下で試験を実施する必要がある。

日本国内の魚類養殖における給餌作業の自動化技術は、生餌から配合飼料への転換にともなって普及し、給餌作業の省力化や漁場環境負荷の低減に貢献してきた。近年、養魚飼料の主原料となる魚粉価格の高騰を原因として飼料価格が上昇傾向にあることから(出村, 2010)、養殖生産業のさらなる飛躍のためには、より少ないコストで最大の飼料効果を生み出す効率的な給餌システムの導入や魚粉代替原料を用いた配合飼料の開発が急務とされている(古川・山下, 2009; 山本, 2010)。自発摂餌式自動給餌(以下、自発給餌)とは任意に設定した時刻に一定量の給餌を行う従来のタイマー起動式自動給餌と異なり、飼育対象種が自ら摂餌スイッチを操作し、給餌機を起動することによって、その摂餌要求に応じた給餌を行う方法である。理論的には、飼育対象種の食欲を検知して適正な給餌環境を実現することが可能であり、タイマー起動式自動給餌機において生じ易かった過剰給餌による残餌の発生や過小給餌による生産効率の悪化といったリスクを低減させることが可能である。国内における自発給餌の研究は、1995 年から開始され、現在では、マダイ *Pagrus major*、ブリ *Seriola quinqueradiata*、ニジマス *Oncorhynchus mykiss* 等、様々な魚種で生産現場への実用化に向けた研究が行われているほか(小西, 2008; 古川・山下, 2009; 神原ほか, 2009)、摂餌に関連する魚類の行動生理機能、栄養要求などの基礎的研究の手法としても応用されている(Yamamoto et al., 2000, 2001; Endo et al., 2002; 田畑, 2002)。ハタ類では、マハタ *Epinephelus septemfasciatus* を用いた研究が実施されており、至適摂餌

スイッチの検討や海面養殖での実用化に向けた取り組みが行われている(栗山ほか, 2011)。いずれの魚種においても餌料効率の改善や残餌の減少による飼料コストの削減効果が認められており、養殖生産にかかる飼料効果の最大化と漁場環境負荷のさらなる低減を実現する新たな給餌技術として注目されている。

本県の主要な養殖対象種であるヤイトハタ *E. malabaricus* は、配合飼料の中でも魚粉含有量が低く、比較的安価なマダイ用 EP 飼料を用いて養殖することが可能であり、沖縄県水産海洋技術センター石垣支所では、給餌率や収容密度、シェルターの有無、魚粉含有量の異なる配合飼料が成長と生残に与える影響等について研究を実施してきた(岩井・渡辺, 2001; 大嶋ほか, 2000, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b; 金城ほか, 1998, 1999; 中村ほか, 1999, 2000; 仲盛ほか, 2004)。しかし、摂餌に関連する日周リズムの有無や、成長にともなう餌料要求量の変化、飼育水温と照度条件が餌料要求量に与える影響等については検討されておらず、効率的給餌を実現する上で必要不可欠な本種の摂餌特性に関する基礎的情報が不足している。

そこで、本研究では、自発摂餌給餌機を使用した飼育試験を、ヤイトハタ人工種苗を用いて行い、自発摂餌システムによる養殖技術開発の可能性を検討するとともに、飼育環境下における本種の摂餌特性に関する知見の収集に本システムが利用可能かどうかを検討した。

*1Email: ymuchimi@pref.okinawa.lg.jp, 支所

*2 沖縄県栽培漁業センター

材料と方法

2012年5月に水産海洋技術センター石垣支所で生産された日齢261のヤイトハタ種苗25尾(平均全長158.5 mm 平均体重59.2 g)を、2013年2月4日から3月5日にかけて、屋内に設置した容量1 kLのFRP製円形水槽に収容し自発摂餌システムによる飼育試験を行った。光条件は、90%以上の遮光環境下における自然日長とし、飼育水として砂濾過海水を用いた。自発摂餌給餌機は、有限会社松阪製作所製のさんし朗 KX-01 を使用し、摂餌スイッチの本体としてフロートスイッチ(RSF66A25B100, Cynergy3 Components 社製)を用いた。フロートスイッチの浮体部には、先端に擬餌(トーナメントガン玉 G3, 釣研社製)を取り付けた釣り糸(オールステージ1.5号, サンライン社製)を連結し、擬餌のガン玉が水面下15~30 cm に垂下されるよう設置した(図1)。

摂餌スイッチの起動操作は、供試魚が擬餌をくわえて引っ張ることで行われ、飼料落下口から投入された配合飼料を摂餌することができる。飼料は、粒径 4.2 ± 0.1 mm (平均±標準偏差)のマダイ用EP飼料(マーキュリー, 日本配合飼料社製)を用い、1回起動あたりの給餌量(報酬量)は、約0.5 g (約9粒)とした。試験期間中の給餌は全て自発摂餌システムで行い、昼夜の給餌制限等は行わなかった。給餌機の起動回数と時刻は、ペンダント式イベントロガー

(CO-UA-003-64, Onset 社製)で常時記録し、摂餌状況のモニタリングに用いた。また、水面直下の水温と照度をペンダント式データロガー(CO-UA-002-64, Onset 社製)で30分毎に記録し、飼育環境条件のモニタリングを行った。

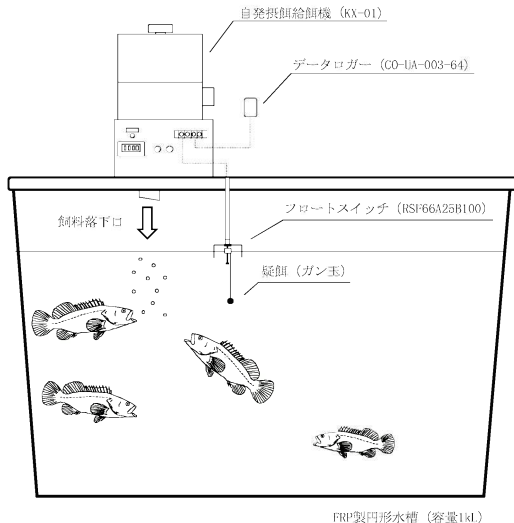
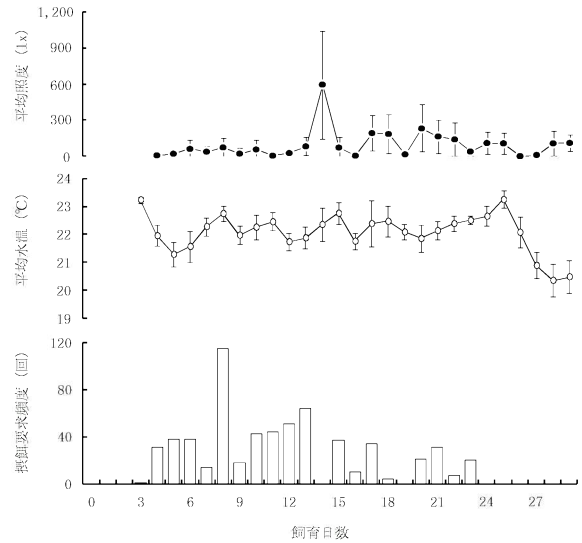


図1 自発摂餌システムの模式図。

結果

ヤイトハタ稚魚による自発摂餌は、試験開始3日目から観察され、4日目の摂餌要求頻度は31回に及んだ(図2)。30日間の飼育期間中における摂餌要求頻度は合計621回記録され、1日あたりの最大摂餌要求頻度は115回であった。一

方、摂餌要求が記録されなかった飼育日が、計8日間記録され、特に試験開始24~29日目にかけての6日間は1度も記録されなかった。飼育開始3~25日目の飼育水温は、 22.3 ± 0.5 °Cでほぼ安定的に推移したが、25~29日目にかけて



は、23 °C台前半から20 °C台前半へ急激に低下した(図2)。各試験日の明期における平均照度は、天候による日照条件の変化により、0.5~595.6 lxの範囲で大きく変動した(図2)。飼育期間中に斃死魚は発生しなかった。

飼育期間中に記録された摂餌要求頻度を30分毎に集計し各時間帯における平均照度と比較した結果、記録された摂餌要求頻度の90.6%が午前8時から午後18時半までの明期に記録され、9.4%が午後18時半から午前8時までの暗期に記録されたことが確認できた(図3)。明期における摂餌要求は、全ての時間帯で記録されたが、30分あたり平均0.2~4.0回と幅があり、特に午後16~18時の夕刻にかけて集中していた。また、暗期の一部の時間帯でも摂餌要求が記録され午前7時から午前8時までの日の出直前と、午後8時から8時半までの日没後に平均0.5~0.6回の摂餌が確認された。

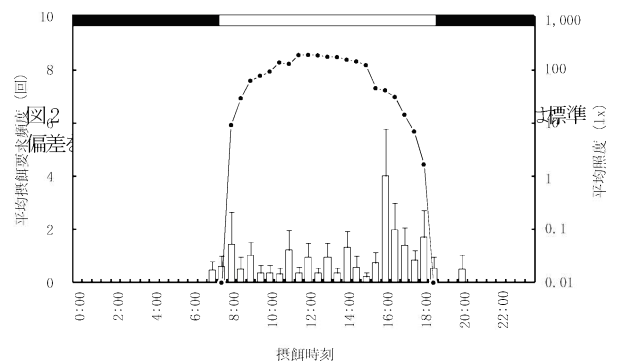


図3 平均摂餌要求頻度と平均照度の経時変化。折れ線グラフは照度、棒グラフは摂餌要求頻度を示し、誤差範囲は標準偏差を示す。

考察

魚類の自発給餌は、行動心理学でオペラント条件付けと呼

ばれる学習行動を利用することで行われる。飼育対象種は給餌機と連動した摂餌スイッチ（センサー）と落下する餌の関係を徐々に学習することで、継続的にスイッチ起動ができるようになる。多種多様な摂餌特性を持つ魚類において、自発給餌に利用される摂餌スイッチには、これまでに様々なセンサーが開発されており、安定した自発摂餌行動の発現には飼育対象種の摂餌特性に応じたセンサーを選定する必要がある。底性で遊泳力の乏しいハタ類においては、センサーと連動した疑餌を飼育水槽内に垂下し、対象魚が疑餌をくわえて直接引っ張ることで起動する引っ張り型の摂餌スイッチが適していることから（栗山ほか、2011）、本研究では同様の手法を用いて試験を実施した。その結果、ヤイトハタにおいても、自発給餌をすることが報告されている他の魚種と同様の自発給餌行動が確認され、本システムによる飼育が可能であることがわかった。また、条件付けに要した期間は、試験開始 3~4 日後であり、マダイ、ブリ、ニジマス、ヨーロッパスズキ *Dicentrarchus labrax* の自発摂餌開始時期と比較しても同程度の結果であったことから（田畑、2001）容易に学習可能な能力を有すると考えられる。

本種の摂餌リズムは、明暗周期と明瞭に同調しており、摂餌要求の 90.6 % が明期に記録されていたこと、記録された摂餌要求の 42.6 % が日没前の数時間に集中していたことから明期後半型の摂餌リズムを持つことが示唆される。一般的に、動物の生理機能や行動の多くは、普遍的な周期性を持つとされ、魚類における自発摂餌も日周リズムによって制御されると考えられている（田畑、2002）。これまでに自発給餌が確認されたほとんどの魚種において、摂餌リズムは明暗周期に同調した日周性を示し、光が主な外的要因とされているが、マダイやニジマス、ブリでは、個体によって異なるリズムが発現したり、同一種または個体ごとにリズムが変化したりするなどの報告があることから（田畑、2001）、摂餌リズムの個体差や成長にともなう変化について、種ごとの検証が必要である。また、ヨーロッパスズキでは、季節変化による水温や日長条件の変化と同期して摂餌時間帯も変化すると報告されており（Azzaydi et al., 2000）、飼育中の水温や照度環境が摂餌リズムに与える影響について評価することが必要である。さらに、なわばり行動を持つ魚種の自発給餌においては、なわばり個体による摂餌スイッチの占有が生じ群れの中の社会的階層性が生じることが知られていることから（Alanärä, 2001）、飼育対象種の社会性についても検討しなければならない。本研究でも、摂餌要求が記録されなかった飼育日において、急激な照度変化（14 日目）や水温低下（25~29 日目）、飼育施設の修繕作業による水槽周辺での騒音（16~29 日目）が生じており、これらの物理的環境要因が、摂餌要求行動を抑制した可能性がある。また、種苗生産中の共食いが激しく、他個体に対する攻撃行動が散見されるヤイトハタにおいては、自発給餌条件下での餌場の占有とそれによる成長のばらつきが生じ易いと予想されることから、このような社会的階層性が発現しにくい飼育条件を考案

する必要があるかもしれない。

今後、自発給餌システムを用いてヤイトハタの摂餌特性に関するより多くの知見を得るためには、摂餌行動に影響を及ぼす外的要因を除いた環境条件下で飼育試験を行い、安定した自発摂餌が可能な飼育環境を整備することが必要不可欠であり、より長期の飼育が可能なシステムを構築する必要がある。

文 献

- Alanärä A. 2001: 摂餌行動の社会性。「魚類の自発摂餌—その基礎と応用—」. 東京, 恒星社厚生閣: 43-60.
- Azzaydi M., Martínez F. J., Zamora S., Sánchez-Vázquez F. J., Madrid V. A. 2000: The influence of nocturnal vs. diurnal feeding under winter conditions on growth and feed conversion of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Aquaculture* 182: 329-338.
- 出村雅晴, 2010: 魚粉価格の動向と養殖漁業への影響. *農林金融* 63(10): 45-49.
- 岩井憲司, 渡辺丈子, 2001: ヤイトハタ種苗の給餌量と成長試験. 平成 11 年度沖縄県水産試験場事業報告書 159-161.
- Endo M., Kumahara C., Yoshida T., Tabata M. 2002: Reduced stress and increased immune responses in Nile tilapia kept under self-feeding conditions. *Fisheries Science* 68: 253-257.
- 大嶋洋行, 中村博幸, 仲盛淳, 仲本光男, 2000: ヤイトハタ人工種苗の養殖初期における育成密度試験. 平成 10 年度沖縄県水産試験場事業報告書 156-158.
- 大嶋洋行, 仲盛淳, 岩井憲司, 仲本光男, 渡辺丈子, 2001a: ヤイトハタ人工種苗の給餌方法別成長試験. 平成 11 年度沖縄県水産試験場事業報告書 152-155.
- 大嶋洋行, 仲盛淳, 岩井憲司, 仲本光男, 渡辺丈子, 2001b: ヤイトハタ人工種苗の成長試験Ⅳ. 平成 11 年度沖縄県水産試験場事業報告書 156-158.
- 大嶋洋行, 仲盛淳, 仲本光男, 伊禮父日, 2002a: ヤイトハタ人工種苗の養殖初期の給餌率別成長試験. 平成 12 年度沖縄県水産試験場事業報告書 182-185.
- 大嶋洋行, 仲盛淳, 岩井憲司, 仲本光男, 伊禮父日, 2002b: ヤイトハタ人工種苗の成長試験Ⅴ. 平成 12 年度沖縄県水産試験場事業報告書 186-188.
- 金城清昭, 中村博幸, 仲本光男, 1998: ヤイトハタの養殖試験Ⅰ（海産魚類増養殖試験）. 平成 8 年度沖縄県水産試験場事業報告書 126-129.
- 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（海産魚類増養殖試験）. 平成 9 年度沖縄県水産試験場事業報告書 160-164.
- 栗山功, 宮本敦史, 田中真二, 土橋靖史, 2011: 自発摂餌システムを用いたマハタ養殖の試み. 三重水産研究所研究報告 20: 9-22.
- 神原淳, 日高磐夫, 田畑満生, 2009: 自発給餌式給餌法によ

- るブリ 0 歳魚および 1 歳魚の成長. 水産増殖 57, 219-226.
- 小西浩司 2008: 淡水魚養殖における自発摂餌型給餌システムの実用化. 日本水産学会誌 74, 904-905.
- 田畑満生 (編) 2001: 魚類の自発摂餌—その基礎と応用—. 東京, 恒星社厚生閣: 1-127.
- 田畑満生, 2002: 魚類の日周リズムと自発摂餌への展開研究. 日本水産学会誌 68(3): 305-308.
- 中村博幸, 大嶋洋行, 金城清昭, 仲本光男, 1999: ヤイトハタ餌料別養殖試験 (海産魚類増養殖試験). 平成 9 年度沖縄県水産試験場事業報告書 168-170.
- 中村博幸, 大嶋洋行, 仲盛淳, 仲本光男, 2000: ヤイトハタの養殖試験—Ⅲ. 平成 10 年度沖縄県水産試験場事業報告書 159-161.
- 仲盛淳, 多和田真周, 狩俣洋文, 仲本光男, 道清勇介, 2004: ヤイトハタ人工種苗の餌料別成長試験 (ヤイトハタ種苗量産養殖技術開発試験). 平成 14 年度沖縄県水産試験場事業報告書 166-168.
- 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.
- Yamamoto T., Shima T., Unuma T., Shiraishi M., Akiyama T., Tabata M. 2000: Voluntary intake of diets with varying digestible energy contents and energy sources, by juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, using self-feeders. Fisheries Science 66, 528-534.
- Yamamoto T., Shima T., Furuita H., Shiraishi M., Sanchez-Vázquez F. J., Tabata M. 2001: Influence of decreasing water temperature and shortening of the light phase on macronutrient self-selection by rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and common carp *Cyprinus carpio*. Fisheries Science 67, 420-429.
- 山本剛史, 2010: 養殖用飼料における植物性原料の利用性とその改善に関する研究. 日本水産学会誌 76, 344-347.