

【研究報告】

自発摂餌式自動給餌飼育によるヤイトハタの 飼料及び給餌作業時間の削減効果 (おきなわ産ミーバイ養殖推進事業)

鮫島翔太*, 山内 岬¹

Effect of reducing the feed and feeding work time of malabar grouper *Epinephelus malabaricus* using self-feeding system

Shota SAMEJIMA* and Misaki YAMAUCHI¹

自発給餌は、飼育魚の学習を利用することで、魚自身の食欲を検知して給餌する手法であり、飼料や給餌労力の削減効果が期待されている。そこで、ヤイトハタ 1 歳魚について、自発給餌飼育と手まき給餌飼育で飼育成績、給餌量及び給餌作業時間を比較した。その結果、成長と生残率は、いずれの給餌条件においても差がなかったのに対し、自発給餌飼育の総給餌量と平均給餌作業時間は、手まき給餌に比べ、それぞれ 9.4%、99.2%の削減となった。これらのことから、ヤイトハタにおける自発給餌飼育は十分実用的であるとともに、自発給餌飼育の導入によって、飼料ロスと大幅な給餌作業時間の削減が見込まれると考えられた。

沖縄県の主要な養殖魚であるヤイトハタは、県栽培漁業センターで種苗生産され、全長 50~100 mm 程度で養殖漁家に供給されている。養殖ヤイトハタの主な出荷サイズは体重 1 kg 以上であることから、種苗の活け込みから出荷まで約 2 年を要す。給餌養殖において、飼料コストは、支出の大部分を占めるため、飼料コストの削減は兼ねてからの課題である。

しかし近年、養殖飼料の主原料となる魚粉価格の高騰により、飼料価格は上昇傾向にある。ヤイトハタ養殖に用いられる配合飼料の供給は本州企業に依存しているため、これらの価格変動は本県漁家にとって大きな問題となっている。さらに原油価格の高騰も重なり、飼料の輸送料や給餌のための船舶の燃料代も漁家経営に大きな影響を与えている。

また、近年は産業における環境配慮への関心の高まりから、給餌養殖による漁場環境の富栄養化が問題視されており、生産コストの削減と同時に残餌を出さない適正な給餌方法の技術開発が求められている。

現在、ヤイトハタの飼育現場で一般的な給餌方法は、手まき給餌とタイマー式自動給餌である。手まき給餌は、飼育者が魚を観察しながら給餌するため、魚の摂餌活性や餌喰いの様子に併せて給餌量を調整できる利点がある。その一方で、1 回の給餌に費やす時間が長く、給餌頻度も多くなる傾向にあるため、給餌に多大な労力が必要である。一方、タイ

マー式自動給餌は、飼育者の給餌労力を削減できるが、環境条件によって刻々と変わる魚の食欲に対応することが難しく、過剰給餌による残餌の発生や過少給餌による生産効率の悪化を招きやすい。

上記 2 手法の抱える問題点の対策として、自発摂餌式自動給餌（以下、自発給餌）が期待されている。自発給餌は、飼育魚の学習能力を利用することで、魚自身が食欲に応じて給餌装置を起動する。そのため、理論上、適正な給餌条件を実現できる手法であることから、国内では 1995 年から研究が開始された（田畑, 2001）。現在では多くの魚種で餌料効率の向上や飼料ロスの削減が報告されており、実用化に向けた取り組みが行われている（田畑, 2001; 栗山ほか, 2011）。

本県におけるヤイトハタの自発給餌に関する研究は、2012 年から開始され、これまでに稚魚の摂餌リズム（山内ほか, 2013）、適正報酬量の検討（山内, 2015a）、稚魚の飼料削減効果（山内, 2015b）などが報告されている。山内（2015b）は、ヤイトハタ当歳魚（約 60 g から 240 g まで）に対し、自発給餌を行うことで、手まき飽食給餌を毎日行った場合、手まき飽食給餌を間欠で行った場合に比べ、それぞれ約 30%、約 20%の飼料削減効果を確認し、自発給餌がヤイトハタ稚魚の給餌コスト削減に有効であることを示した。

しかし、ヤイトハタの自発給餌に関する報告は、今のところ

*E-mail : samejims@pref.okinawa.lg.jp 石垣支所（現所属：沖縄県農林水産部水産課）

¹現所属：水産海洋技術センター普及班

ろ稚魚を対象としたものが多く、実用化に向けては、出荷サイズ (1kg 以上) までの検証が必要である。そこで、自発給餌と手まき給餌について、ヤイトハタを出荷サイズまで飼育した場合における飼育成績と給餌量、作業時間について比較し、自発給餌の飼料および作業時間削減効果を検証した。

材料及び方法

屋外 60kL 角形水槽に $2.8 \times 2.8 \times 2.5$ m (容量 18kL) のモジ網を 2 張り設置した。そこに、ヤイトハタ 1 歳魚を 200 尾ずつ収容し、一方を自発給餌区 (以下、自発区)、もう一方を手まき給餌区 (以下、手まき区) とし、2019 年 9 月 26 日から 2020 年 3 月 18 日まで飼育した。飼育水は、砂濾過海水を注水し、約 4 回転/日となるように、掛け流し、ユニホースで 2 箇所から通気した。

自発給餌区は、自発給餌システムに接続した自動給餌機 (KC-40-BH-DT, 松坂製作所社製) に粒径 8mm のマダイ用 EP 飼料 (桜皇; ヒガシマル社製) を投入し、1 回の摂餌要求で吐出される量 (以下、報酬量) を収容魚体重 1kg あたり 0.36~0.59 g (動作時間: 10~15 秒) に設定した。給餌機の起動回数は、ペンダント式イベントロガー (UA-003-64, Onset 社製) で記録した。手まき区にも自発区と同じ EP 飼料を週 3 回 (月、水、金) 飽食給餌し、給餌量を記録した。手まき区の給餌作業時間は、給餌する EP 飼料の計量、給餌、給餌後の残った飼料の計量までとした。自発区の給餌作業時間は、給餌機に飼料 1 袋 (20 kg) を投入する時間とした。いずれの区も試験水槽まで飼料を運ぶための移動時間は除いた。給餌作業時間は、1 分単位で記録した。試験水槽の水温は、ペンダント式データロガー (UA-002-64・Water Temp Pro v2, Onset 社製) を用いて 30 分毎に記録した。

月に 1 回、両区ともに 50 尾の全長 (mm)、体重 (g) を測定し、平均値を求めた。同時に生残尾数、期間給餌量を記録した。また、手まき区は給餌量から、1 尾あたりの 1 回の摂餌量 (給餌量/体重 $\times$ 100) を、自発区はスイッチ起動回数と吐出量の関係から、1 尾あたりの 1 日の摂餌量を算出した。

結 果

(1) 養殖成績の比較

各区の試験終了時の養殖成績と試験期間中の水温推移を表 1 と図 1 に示した。自発区の最初の摂餌要求 (スイッチの稼働) は、試験開始日からみられ、その後も継続された。174 日間の試験を実施した結果、両区とも生残率は 99% 以上であり、平均体重は 1 kg を超えた。毎月の平均体重を比較すると、試験開始から 1 ヶ月後は手まき区が優位に大きかったが (ウェルチの t 検定, $p < 0.05$)、その後は差がみられなくなった (図 2)。試験期間全体の飼料転換効率は、手まき区と自発区でそれぞれ、70.9%, 72.1% となり、いずれも良好であった。

(2) 給餌量と給餌作業時間に及ぼす水温の関係

手まき給餌作業時間と給餌量を元に、飼育魚 200 尾に対し、1 kg の餌を与えた場合にかかる給餌作業時間を推定したところ、水温低下に伴い給餌作業時間は増加し、水温が 25°C 以上では 5 分程度であったものが、低水温時には 20 分以上になる場合もあった (図 3; $y = 1802.7e^{0.236x}$; $r^2 = 0.58$)。また、手まき区の場合、高水温ほど摂餌量が多く、水温低下に伴う摂餌量の減少がみられた (図 4; $y = 0.56x - 11.33$; $r^2 = 0.73$)。自発区の場合でも、水温と摂餌量には中程度の正の相関がみられ (図 4; $y = 0.19x - 3.859$; $r^2 = 0.60$)、摂餌量は水温低下にともない減少した。しかし、手まき給餌に比べると、同じ水温帯でも 1 日あたりの摂餌量は、少なかった。

測定月ごとの日間給餌率は、両区ともに試験開始時が最も高く、1 以上を示したが、その後減少し、試験終了時には両区共に 0.3 となった (図 5)。

(3) 給餌作業時間の比較

本試験で得られた給餌量及び給餌作業時間を元に、1,000 尾のヤイトハタをおおよそ体重 500 g から 1,000 g まで飼育した場合における給餌作業時間を推定した (表 2)。手まき給餌の場合、飼育魚に飽食給餌しようとする、平均約 18 時間/月 (平均 35 分/日) にかかるのに対し、自発給餌では平均 8 分/月 (20 kg の餌袋の 8 回の補充) で済み、1 月あたりの手まき給餌作業時間の 99.2% を削減できると推定された。

考 察

飼育魚が自発給餌装置のスイッチを学習するまでの時間は、魚種によって様々である。最初の摂餌要求までの時間 (自発給餌飼育開始から、飼育魚がスイッチを初めて稼働させるまでの時間) は、マダイで 1~3 日 (古川, 2001)、ブリで 1~12 日 (神原・日高, 2011)、クエで 1~10 日 (島, 2011)、マハタで 1 日 (栗山ほか, 2011) である。ヤイトハタの場合、最初の摂餌要求は 1 日目が多く、遅くても 3 日であるため (山内ほか, 2013; 鮫島, 未発表)、これらの魚種の中でも比較的速いと考えられる。自発給餌の場合、飼育群が十分な摂餌を行うためには、最初の摂餌要求からスイッチと餌の吐出の関係を学習する必要がある。そのため、本試験でみられた開始から 1 ヶ月後自発区の成長遅れは自発給餌システムに対する学習と環境馴致期間の影響だと考えられる (図 2)。一方、継続飼育するうちに、手まき区との成長差はなくなったことから、長期的飼育の場合は飼育初期の学習・環境馴致期間の影響は、大きな問題にならないと考えられる。自発区の成長推移及び、各種の飼育成績は手まき給餌区と同等であったことから、ヤイトハタにおける出荷サイズまでの自発給餌飼育は十分実用的だと考えられる (図 2, 表 1)。本試験での餌料転換効率及び増肉計数は、自発区と手まき区でそれぞれ、72.1%, 1.39; 70.9%, 1.41 であり、両区とも良好な成績であった。本試験の飼育成績は、

体重 1 kg まで飼育した中村ほか (2000) の結果 (餌料転換効率: 80%, 増肉計数: 1.25) と遜色なかったことから, ヤイトハタの陸上におけるこれまでの飼育成績と同等であったと考えられる。

手まき給餌の利点は, 飼育者が魚の摂餌状況を観察しながら, 給餌量の調整ができることである。本試験では, 手まき区と自発区の日間給餌率は類似した推移を示したため, 自発区は飼育魚自身によって, 手まき区と同様の給餌量調整が行われたと考えられる (図 5)。

ヤイトハタ 0 歳魚では, 間欠の飽食給餌に比べ, 自発区の総給餌量が約 20%削減されている (山内, 2015b)。本試験においても総給餌量が約 10%削減できたことから, 出荷サイズまで飼料コスト削減の効果が期待できると考えられる。しかし, 0 歳魚と比較すると削減幅が小さかったため, 成長段階や飼育時期によって削減できる飼料量が変動すると推察される。

魚類の飼料消化速度は水温の影響を受けることが知られており, EP を給餌したブリでは水温低下に伴い, 摂餌量と消化速度が減少する (佐藤ほか, 2000)。ヤイトハタにおいても同様の傾向を示すことから (鮫島, 未発表), 水温低下に伴う摂餌量の減少と給餌時間の増大は, 生理的活性の低下によるものと考えられる (図 3, 4)。また, 低水温時は, 摂餌量のばらつきが大きい (図 4), 魚が摂餌しない場合は, 余剰飼料を戻す作業が発生し, より多くの時間が必要になるだろう。

本試験では, 給餌にかかる時間のみを比較したが, 実際には飼料保管場所から飼育現場までの移動時間や移動に伴う燃料費が生じるため, さらなる時間及びコストの削減が期待でき得る。一方で, 本試験期間中, 自発給餌装置や自動給餌機に大きなトラブルは生じなかったが, 自発給餌飼育は機械を用いた手法であることから, 機械トラブルが生じた場合は, その対応に時間を要す可能性も考慮に入れる必要があるだろう。

給餌作業時間は飼育密度や飼育者の経験・判断によるところが大きい。本試験において, 手まき区の給餌の際, 残餌を出さないように, 飼育魚の摂餌ペースを観察しながら給餌を行ったため, 飼料ロスが少ない代わりに給餌作業時間は長くなった可能性がある。一方, 一度に多量の餌を給餌

し, 給餌作業時間を短縮した場合は, 飼料ロスが本結果より多くなると予想される。いずれにせよ, 自発給餌飼育を採用することで, 時間及びコストの削減が期待できると考えられる。

本県では, ヤイトハタ養殖と兼業して, 沿岸漁業や海藻養殖を営んでいる漁家も多い。そのため, ヤイトハタの給餌作業時間や飼料コスト削減は, 他の水産業振興にも間接的に貢献する可能性がある。

文 献

- 神原淳, 日高磐夫, 2001: ブリの自発摂餌, 「魚類の自発摂餌ーその基礎と応用」(田畑満生編), 恒星社厚生閣刊, 東京, 20-33.
- 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. 三重県水産研究所研究報告 20, 9-22.
- 古川清, 2001: マダイの自発摂餌, 「魚類の自発摂餌ーその基礎と応用」(田畑満生編), 恒星社厚生閣刊, 東京, 9-19.
- 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ーⅢ. 平成 10 年度沖縄県水産試験場事業報告書 159-161.
- 佐藤公一, 日高悦久, 木本圭輔, 2000: ブリ若齢魚の配合飼料および生餌主体餌料のタンパク質消化率に及ぼす水温の影響. 日本水産学会誌 66, 243-248.
- 島隆夫, 2001: ハタ類の自発摂餌, 「魚類の自発摂餌ーその基礎と応用」(田畑満生編), 恒星社厚生閣刊, 東京, 35-42.
- 田畑満生(編), 2001: 魚類の自発摂餌ーその基礎と応用, 恒星社厚生閣刊, 東京.
- 山内岬, 2015a: 自発摂餌式自動給餌におけるヤイトハタ 0 歳魚の適正報酬量, 平成 27 年度普及に移す技術(沖縄県).
- 山内岬, 2015b: 自発摂餌式自動給餌におけるヤイトハタ 0 歳魚の給餌量削減効果, 平成 27 年度普及に移す技術(沖縄県).
- 山内岬, 木村基文, 岸本和雄, 2013: ヤイトハタ稚魚を用いた自発摂餌式自動給餌の試み, 沖縄県水産海洋技術センター研究報告 74, 79-82.

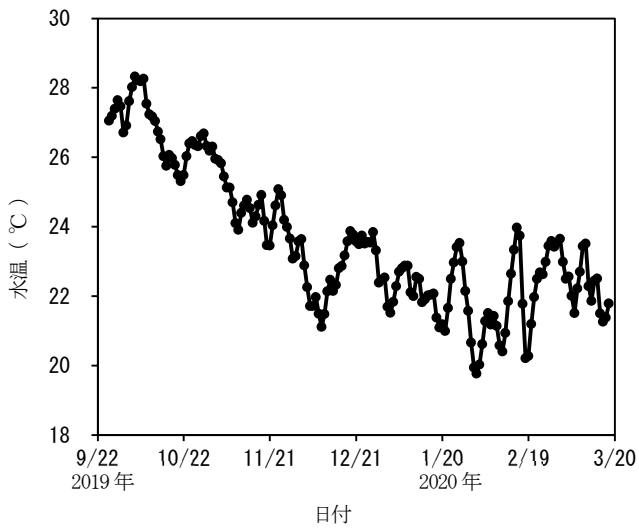


図1. 飼育水温の推移

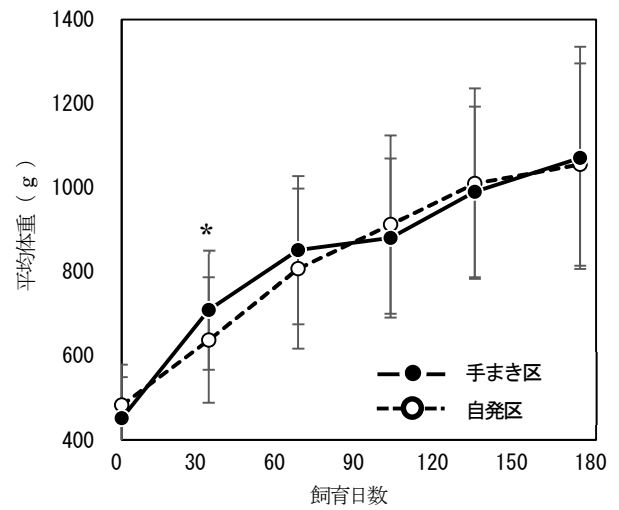


図2. 両区の平均体重の変化と比較

誤差範囲は標準偏差を示す。*: ウェルチのt検定, $p < 0.05$

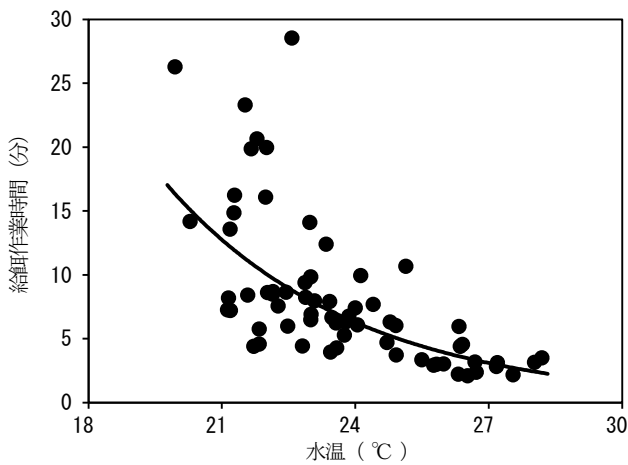


図3. 1回の手まき給餌作業時間と水温の関係

飼料1,000gを給餌した場合の時間とした

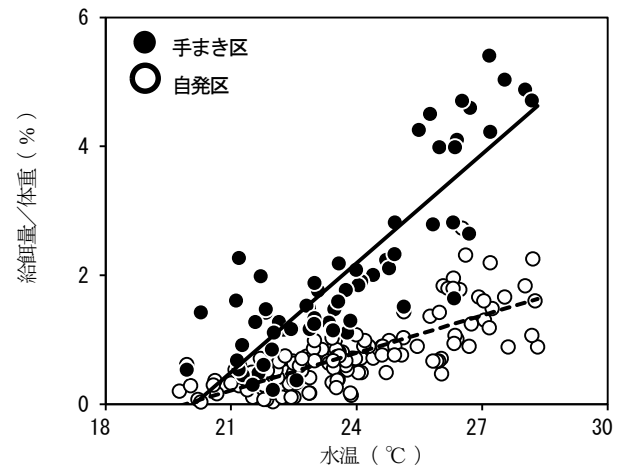


図4. 1尾あたりの摂餌量と水温の関係

手まき給餌区は、給餌1回あたりの給餌量・体重比を示す

自発給餌区は、給餌1日あたりの給餌量・体重比を示す

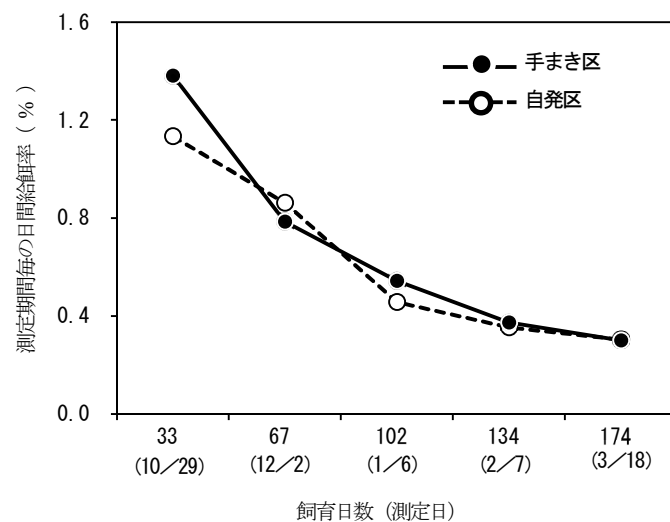


図5. 両区の日間給餌率の推移

表 1. 試験終了時の飼育成績

	手まき区	自発区
生残率 (%)	99.5	99.0
平均全長 (mm)	383	386
平均体重 (g)	1,071	1,055
日間給餌率 (%)	0.66	0.59
日間増重率 (%)	0.47	0.43
飼料削減率 (%)	0	-9.4
飼料転換効率 (%)	70.9	72.1
増肉係数	1.41	1.39

飼料削減率 (%) は手まき区を 0 とした時の値とした

表 2. 給餌作業時間の比較

		10月	11月	12月	1月	2月	3月	平均
手まき区	平均体重 (g)	451	709	851	880	990	1,071	
	1日給餌時間 (分)		26	36	32	38	44	35
	1ヶ月給餌時間 (分)		768	1,080	966	1,134	1,321	1,054
自発区	平均体重 (g)	483	638	807	912	1,009	1,055	
	1ヶ月補充回数		10.5	10.5	6.9	5.5	6.3	7.9
	1ヶ月補充時間 (分)		11	11	7	6	6	8
	手まきからの削減率 (%)		98.6	99.0	99.3	99.5	99.5	99.2

給餌作業時間は手まき区を飼料の計量、飽食給餌、余剰飼料の計量の合計時間とし、自発区は給餌機への飼料補充回数から 1 回あたりを 1 分として計算した。自発区の給餌機は、1 回で飼料 1 袋 (20kg) が補充できるものを使用した

1ヶ月給餌時間は、ヤイトハタ 1,000 尾を体重約 500g から 1,000g まで飼育した場合の推定値を示す。このとき、1ヶ月あたり 30 回の給餌として、1 日の給餌時間から算出した