

水槽実験によるアイゴ成魚の動物性餌料と 大型褐藻類の採餌パターン

野田幹雄^{1†}, 江崎裕和², 上地宏典²

Feeding pattern of animal food and overstory macroalgae by the mottled spinefoot *Siganus fuscescens* in a tank experiment

Mikio Noda^{1†}, Hirokazu Esaki² and Hironori Uechi²

Abstract : The mottled spinefoot *Siganus fuscescens*, one of representative consumers associated with deforestation of temperate seaweed beds in Japan, is nominally herbivorous fish. However, it is noted that the mottled spinefoot favors animal matters such as frozen krill and fish in the rearing tank in relation to its trophic position and overbrowsing of overstory macroalgae. This study examined feeding pattern of animal matter (frozen krill) and fucoïd algae or kelp forming seaweed beds by the mottled spinefoot in an indoor tank with the aid of artificial food uniforming different accessibility and/or texture of prey items using sodium alginate gel. In a feeding experiment with artificial foods of mixture of krill and fucoïd alga turned into fluid with a blender, krill 100% food was predominantly consumed, but fucoïd alga 100% food (krill 0%) was also consumed as much as or more than krill 20-80% mixture foods. A two-choice feeding experiment of unlimited supply of artificial foods of no processing krill or fucoïd alga was conducted for 6 hours and artificial food of fucoïd alga was also consumed constantly as well as that of krill, not based on individual variability of fish feeding. Utilization of animal matters and algae is discussed in relation to morphological features of herbivorous fishes and distributional dynamics and nutritional values of prey resources.

Key words : overbrowsing, overstory macroalgae, herbivorous fish, *Siganus fuscescens*, feeding pattern, animal matter

緒言

近年、植食性魚類の採餌行動によって、磯焼け状態が長期間にわたり維持されるだけでなく、天然藻場の衰退・消失も生じうることが明らかにされつつある。とりわけアイゴ *Siganus fuscescens* は天然藻場や造成藻場の衰退・消失に係わる植食性魚類の食害種として注目されている¹⁻¹³⁾。しかしながら、従来は典型的な植食性魚類とみなされていたアイゴの食性においては、最近では動物性の餌料も重要な餌であることが指摘されている。窒素炭素安定同位体比分析によると、窒素分の摂取において動物性餌料に対する

本種の依存度は高く、雑食性の傾向が強いことが示されている^{14,15)}。カジメ *Ecklonia cava* のみを与えて1年間にわたり飼育した結果では、成長の停滞と斃死が報告されている¹⁶⁾。また、冬季の低水温期におけるアイゴの低温耐性と餌の関係について飼育実験で調べた上田・棚田¹⁷⁾は、餌として与えた魚類（冷凍イカナゴとカタクチイワシ）をよく採餌したことを報告しており、併せて海藻も与えることで低温耐性が高まったと考察している。

一方で、採餌に係わる口部形態と消化管などの内部形態については、アイゴは典型的な植食性魚類の特徴を備えている¹⁸⁾。また、ガラモ場に出現したアイゴを対象としてそ

1 水産大学校水産学研究科 (Graduate School of Fisheries Science, National Fisheries University)

2 水産大学校生物生産学科卒業生 (Alumnus, Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

† 別刷り請求先 (corresponding author) : nodam@fish-u.ac.jp

の胃内容物を詳細に調べた最近の報告では、固着性動物やゼラチン質の動物プランクトンも摂取してはいるものの、通常は特定の大型褐藻類を選択的に大量に採餌していることが示されている¹⁹⁾。藻体の被食状況を調べた野外調査でもある特定の大型褐藻類が選択的に食害を受ける状況が確認されている²⁰⁾。さらに、飼育実験の結果でも、アラメ *Eisenia bicyclis* のみを餌として与えてもアイゴは成長することが確認されている²¹⁾。このように動物性餌料は栄養的に大きく依存している重要な餌であるとの認識が強まりつつある反面で、やはり海藻類も主要な餌料の一つであることが改めて指摘されている。

海藻だけでなく動物もかなりの比率で摂取するという事実に基づけば、本種の食性は雑食性の位置づけになる。ただし、雑食性というカテゴリーの範囲はかなり広い。一般に小規模な陸水に棲む淡水魚でよく見られる、動物性と植物性の餌の両方を日常的に利用する典型的なタイプ^{22,23)}から、主体となる餌は動物性か植物性のどちらか一方であり、状況に応じて他方の異質な餌も利用するタイプまで含まれる²⁴⁾。アイゴについては、動物性の餌の減少を補うために海藻を摂取するとの見方も示されているが¹⁵⁾、どのようなタイプの雑食性に当てはまるのかは不明である。また、動物性の餌と海藻とでは、形状も含めた素材の質感と餌の存在様式が大きく異なるため、そのまま餌を与えて採餌させる実験では野外での餌利用の実態の解釈を誤らせる可能性もある。

そこで本研究では、動物性餌料と大型海藻のアイゴの餌としての特性を検討するために、餌の形状や投与方法の条件をできるだけ均一にして、動物性餌料と大型海藻を採餌させる水槽実験を行い、アイゴによる両者の採餌パターンを解析した。

材料と方法

供試魚, 供試海藻, 供試動物性餌料及び実験水槽

アイゴは、2005年6月～2006年6月、2008年6月～2009年6月にかけて山口県下関市豊浦町室津地先の定置網で捕獲され、それぞれ平均体長 280 ± 21 mm (平均値 \pm SD)・平均体重 551 ± 161 g (平均値 \pm SD) の11個体と平均体長 274 ± 20 mm (平均値 \pm SD)・平均体重 496 ± 147 g (平均値 \pm SD) の9個体を実験に使用した。各個体には個体識別用の標識を付けた。標識は厚さ0.5 mmの塩化ビニール板を直径約10 mmの円形に切り抜いたもので(重量0.1 g未満)、

これを背鰭第一棘の前方にアンカータグで固定し、色や模様を変えることで個体識別した。アイゴには1日に2回(10:00と16:00)配合飼料(林兼産業株式会社, ノヴァEP-3)を給餌した。採餌実験に用いた大型褐藻類は、山口県下関市蓋井島で採集したジョロモク *Myagropsis myagroides* とアラメ *Eisenia bicyclis* 及びノコギリモク *Sargassum macrocarpum* の3種とした。ジョロモクとノコギリモクは屋外の曝気した水槽で、アラメは屋内で自然光が差し込む曝気した水槽で養成した。採餌実験に用いた動物性餌料としては市販されている冷凍のナンキョクオキアミ *Euphausia superba* (以下、オキアミという)の体長が約4～5 cm程度のものを使用した。実験に使用した水槽は、循環濾過方式で加温冷却装置を備えた角型FRP製水槽(容積1800 l, 幅2 m×奥行1 m×深さ0.9 m)で、透明なガラス張りの面を一面備えており、ここから魚の様子を観察することができる。水温は23℃に保った。

動物性餌料と大型褐藻類の餌としての特性評価

アイゴの餌としての動物性餌料と大型褐藻類の特性を検討するために、以下に記すデータ記録・解析を行った。実験中のアイゴの行動はすべてテープ仕様の家庭用ビデオカメラ(NV-GS250, パナソニック)で撮影し、採餌回数などの行動解析を行った。野田ら²⁵⁾で報告されているように、アイゴは一噛みで藻体を噛み取るのではなく、藻体に食いつくと同時に顎を小刻みに動かしながら複数回連続的に噛み切る動作を行う。本研究ではこの一連の動作を一続き採餌とし、一続き採餌の回数を採餌回数とした。

餌料の成分を保持しながら形状を均一にするため、ゲル化剤を用いた餌を作成した。ゲル化剤の選定にあたっては、熱による餌料成分の変質を避けるため、また値段や安全性を考慮し、常温の水とでも凝固するアルギン酸ナトリウムを用いた。実験に用いたアルギン酸ナトリウム・海水・餌の分量や作成方法は、以下の実験1～3の設計と方法の説明の中で示す。また、アルギン酸ナトリウム自体がアイゴによって好んで食べられることはなく、逆に常に吐き出されたりすることもない²⁶⁾。ゲル化剤を用いた餌を使用した実験1と2を2008年1月に、実験3を2010年1月に実施した。

実験1. 動物性成分と海藻成分の配合率を変えた人工餌の採餌選択性実験

海水150 mlと餌料50 gを家庭用ミキサー(National MX-X43)にかけ、ほぼ液状に近い状態まで粉碎した。その懸

濁溶液51 gとアルギン酸ナトリウム9 gを混ぜ、練り合わせたものを直径45 mmの円形のプラスチック板の土台に約30 gとなるように半球状に整形した (Fig. 1)。この人工餌を方形 (1 m×1 m) の透明なアクリル板上に2個ずつ面ファスナーで固定し水槽内に投入した (Fig. 1)。餌料にはオキアミとジョロモク藻体をそれぞれ重量比で、100:0、80:20、50:50、20:80、0:100の割合にした5種の人工餌を作成した。この実験では、空腹状態と飽食状態で採餌選択性に変化があるかどうかについても検討した。1日2回の配合餌料を給餌しなかった状態を空腹状態として、この翌日に5種の人工餌をアイゴに1時間採餌させ、これを空腹時の実験とした。空腹時の実験終了後、すぐに十分な量のジョロモク藻体を与えて2時間にわたり採餌させた後、再び5種の人工餌をアイゴに1時間採餌させ、これを飽食時の実験とした。なお実験中に人工餌がなくなった場合にはすぐに新たな人工餌を補充した。また水槽内の位置の影響を均等にするため、5種の人工餌を投入した1時間の間は、餌を取り付けた台を15分ごとに90度回転させた。ビデオ撮影した映像から5種の人工餌の採餌回数を標識個体ごとに計数することによって、空腹状態と飽食状態における動物性成分と嗜好性の高い海藻成分の配合割合の相違と採餌選択性の関係について解析した。



Fig. 1. Appearance and layout of artificial food treated with different mixing rates of krill (*Euphausia superba*) and fucoid alga (*Myagropsis myagroides*).

実験2. ゲル化剤で固定した動物性餌料と大型褐藻類の長時間給餌実験

この実験では、素材はそのままの状態ではあるが、餌の採りやすさの条件をできるだけ均一にするために、アルギン酸ナトリウムで餌を固めて団子状にした。アルギン酸ナ

トリウム10 gと海水56 ml及び餌 (オキアミかジョロモク藻体) 50 gを混ぜ合わせて人工餌で用いた直径45 mmの円形のプラスチック板の土台に団子状に盛り付け1個の餌とした (Fig. 2)。ジョロモクは2~3 cmに切断し、オキアミはそのままの形で練り合わせた。このオキアミまたはジョロモクを練り合わせた団子状の餌をそれぞれオキアミ団子餌、ジョロモク団子餌と呼称する。オキアミとジョロモク団子餌を2個ずつ上述のアクリル製の台に上述したやり方で設置して水槽内に投入し、それぞれの団子餌におけるアイゴの採餌回数を計数した。本実験は6時間連続で行い、実験中に団子餌がなくなった場合にはすぐに新たな団子餌を補充した。なお、水槽内での位置の影響を均等にするために30分ごとに180度回転させた。標識個体ごとの採餌回数を6時間の長時間にわたって比較することで、動物性餌料と嗜好性の高い大型褐藻類の餌利用の時間的な様相と個体差の影響について解析した。



Fig. 2. Appearance of dumpling-like foods of krill (*Euphausia superba*, left) or fucoid alga (*Myagropsis myagroides*, right) coated with sodium alginate gel.

実験3. 動物性餌料と嗜好性の異なる大型褐藻類の長時間給餌での比較実験

海藻の嗜好性の相違が動物性餌料の摂取に影響を及ぼすかどうかを検討するために、動物性餌料と嗜好性の高い海藻あるいは忌避傾向のある海藻の組み合わせで団子餌を作成して比較した。動物性餌料としてはオキアミ、海藻の餌料としては嗜好性の高いジョロモクと忌避傾向のあるアラメおよび忌避傾向の強いノコギリモクを使用した²⁶⁾。団子餌の作り方は、基本的に実験2と同様であるが、ノコギリモクは2~3 cm単位で切断して、アラメは葉状部を対象にして前述した2種のホンダワラ類 (ジョロモクとノコギリモク) にあわせて長さ2~3 cmで細切りにしたものをアルギン酸を用いて団子状に整形した (以後、ノコギリモク団子餌、アラメ団子餌と呼ぶ)。本実験は5時間継続して行い、そのうちの最初 (0~1時間目) と中間 (2~3時間目) と最

後(4~5時間目)の1時間について採餌の様子をビデオカメラで撮影し、採餌状況を映像で確認するとともに、採餌回数(採餌回数の計数)を行った。また、実験中の団子餌の補充や位置替えは実験2で述べた手順と同様である。大型褐藻類に対するアイゴの嗜好性の違いによって、動物性餌料と大型褐藻類との利用割合に変化が生じるかどうかについて採餌回数で比較した。

結 果

実験1. 動物性成分と海藻成分の配合率を変えた人工餌の採餌選択性実験

実験の結果をFig. 3に示した。空腹時と飽食時のいずれにおいてもオキアミ100%の人工餌で採餌回数が90回を超えているのに対して、オキアミ80~0%の人工餌の採餌回数は30回以下であった。アイゴは、空腹時と飽食時のいずれにおいてもオキアミ100%の餌を集中して採餌し、オキアミ80~0%の人工餌の採餌回数とは有意差が認められた。オキアミ80~20%の人工餌の利用について空腹時と飽食時のそれぞれで比較した。空腹時にはオキアミ50~0%の間で有意差はなく、さらに飽食時にはオキアミ80~0%の間においても有意差はなかった。このように、ジョロモク成分のみ(オキアミ0%)の人工餌も、オキアミ100%以外の

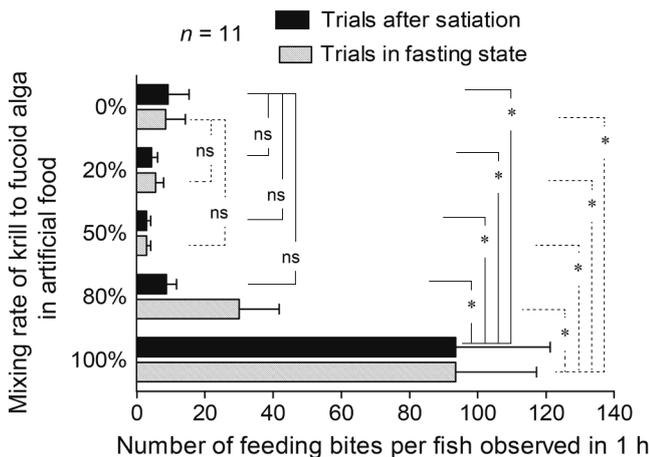


Fig. 3. Feeding preference of *Siganus fuscescens* for five artificial foods in a tank test. Artificial foods are mixtures of krill and fucoid alga (*Myagropsis myagroides*) turned into fluid with a blender and solidified in hemispherical shape using sodium alginate gel. As bites usually occur in short bout of feeding, numbers of bites are represented as bout counts. Number of bites were averaged across eleven tagged fish, thus indicating sample size of $n = 11$. Error bars represent SE. Asterisks indicate significant differences at $p < 0.05$ (Wilcoxon signed-rank test).

オキアミを含む人工餌とは同等に採餌される傾向が認められた。

実験2. ゲル化剤で固定した動物性餌料と大型褐藻類の長時間給餌実験

実験の結果をFig. 4に示した。どの時間においてもオキアミ団子餌は、ジョロモク団子餌の2~4倍高い採餌回数を示し、実験1と同様にジョロモクの餌よりもオキアミの餌がよく採餌され、4~5時間を除いて有意差が認められた。一方、ジョロモク団子餌の採餌回数は常に20回前後を維持し、オキアミ団子餌を無制限に採餌できるにもかかわらず、ジョロモク団子餌も一定の割合で採餌され続けた。また、4~5時間目にはジョロモク団子餌の採餌回数が約30回と増加した結果、オキアミ団子餌とジョロモク団子餌の採餌回数の間に有意差が認められなくなった。

上述の結果が、団子餌の好みに対する個体差が反映されたためかどうかを検討するために、オキアミとジョロモクの団子餌の6時間を合算したアイゴの個体ごとの採餌割合をFig. 5に示した。個体A~Cのジョロモク団子餌の採餌割合は45~55%にも達しており、オキアミ団子餌と同程度かそれ以上にジョロモク団子餌を採餌している。個体D~Gのジョロモク団子餌の採餌割合は30~35%で、ジョロモクも一定の割合で採餌していた。個体H~Kは、オキアミ

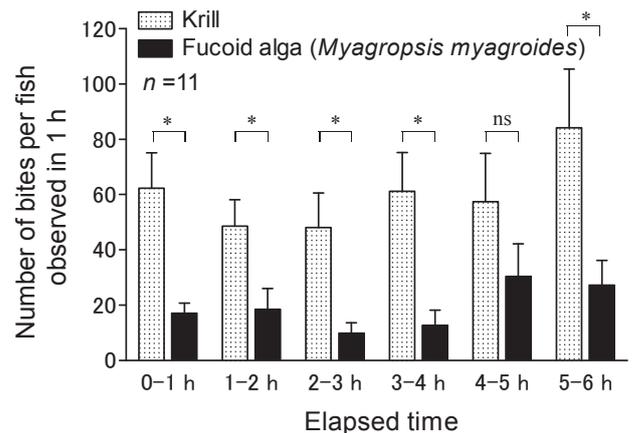


Fig. 4. Two-choice feeding experiment of *Siganus fuscescens* for testing preference of artificial foods of no processing krill (intact) or fucoid alga (cut in pieces of 2-3 cm) embedded within alginate gel. The present experiment was conducted continuously for 6 hours and artificial foods were always supplemented to have no lack of them. Asterisks indicate significant differences at $p < 0.05$ (Wilcoxon signed-rank test); ns, not significant. See captions to Fig. 3 for further details.

団子餌を90~98%の比率で採餌しており、ジョロモク団子餌の採餌割合は2~10%にすぎなかった。なお、ジョロモクの採餌割合が小さかったH, I, J, Kの個体の体長は、268, 280, 249, 310 mmであり、アイゴの体サイズとの間に一定の傾向はなかった。このように、オキアミ団子餌に採餌が偏る個体は認められはしたが、ジョロモク団子餌をまったく採餌しない個体はなく、さらにジョロモク団子餌の採餌割合がオキアミ団子餌の採餌割合と同等か上回る個体も認められた。

実験3. 動物性餌料と嗜好性の異なる大型褐藻類の長時間給餌での比較実験

実験の結果をFig. 6に示した。オキアミ団子餌とジョロモク団子餌との比較では、オキアミ団子餌の採餌割合が70~80%で、ジョロモク団子餌が20~33%を占め、いずれの時間帯においても有意差が認められた。したがって、双方の団子餌の利用頻度の相対的割合と時間経過に伴う団子餌利用の推移パターンの点において、実験2の結果とほぼ同様であった。オキアミ団子餌とアラメ団子餌との比較では、双方の団子餌の採餌パターンはジョロモク団子餌の場合とほぼ同様であったが、アラメ団子餌の採餌割合は14~22%とジョロモク団子餌よりも低い値を示した。オキアミ団子餌とノコギリモク団子餌との比較では、ほぼオキアミ団子餌のみを採餌し、ノコギリモク団子餌の採餌割合は8%以下で、ほとんど採餌されなかった。ジョロモクとアラメ及びノコギリモクの団子餌の延べ3時間分の採餌回数をすべて合算して、3種の海藻と採餌回数間で多重比較検定（ス

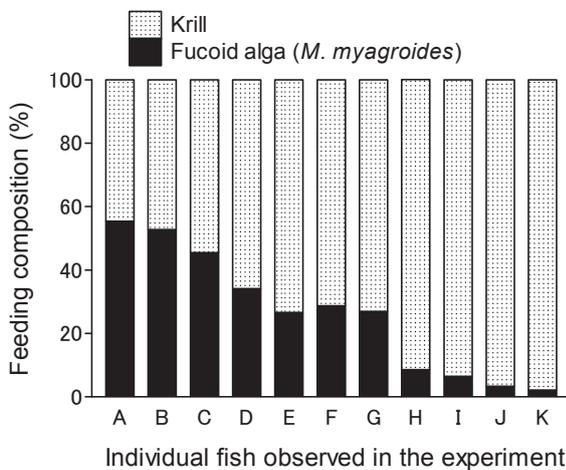


Fig. 5. Percentage compositions of two types of artificial foods (krill and fucoid algae) consumed by individual tagged (A-K) fish of *Siganus fuscescens* in the Fig. 4 experiment. Percentages are based on number of bites summed up for 6 hours.

ティール・ドゥワース検定)を行った。その結果、ジョロモクvsアラメには有意差が認められなかったが、ジョロモクvsノコギリモク、アラメvsノコギリモクの間で有意差 ($p < 0.05$) が認められた。

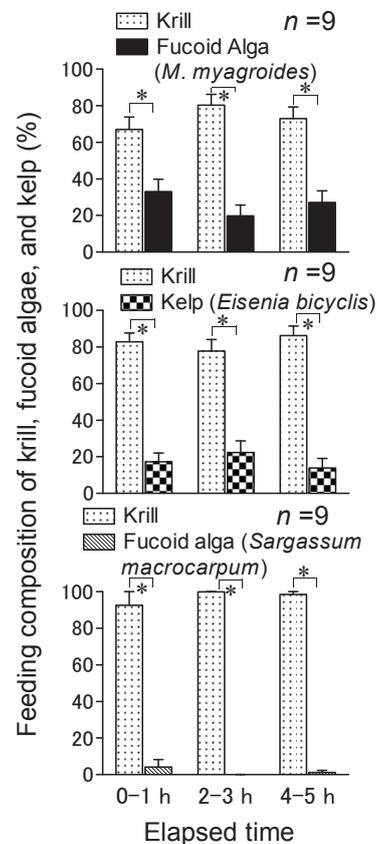


Fig. 6. Comparison of feeding compositions between animal matter and three overstory macroalgae having large differences in palatability of *Siganus fuscescens*. The present experiment was designed almost similar to the Fig. 3 experiment, but trial duration was 5 hours and data of first, middle and last 1 hour were surveyed and the results were represented as percentage of consumed artificial foods based on number of bites. Percentages were averaged across nine tagged fish, thus indicating sample size of $n = 9$. Error bars represent SE. Asterisks indicate significant differences at $p < 0.05$ (Wilcoxon signed-rank test).

考 察

アイゴはもっぱら大型海藻を採餌する代表的な植食性魚類と一般には見なされてきた。しかし、水槽飼育に基づくアイゴの餌利用に関する近年の実験的知見では、動物性餌料に対する依存性が示唆されている。実験的に冷凍オキアミや乾燥ヨコエビ *Gammarus pulex* 及び魚類（冷凍イカナゴとカタクチイワシ）を与えると、活発に採餌して海藻類よりも採餌量が多くなり、強い嗜好性を示すことが報告されている^{15,17}。また、魚肉ミンチや冷凍オキアミ及び各種の配合飼料でアイゴを飼育できることも従来から報告されている^{16,21,27,28}。しかし、動物性餌料と海藻の素材の質感の違い（餌の形状や硬さなど）が、動物性餌料に対する嗜好性にどの程度影響を及ぼしているかは不明であった。本研究では、アイゴ成魚は動物性餌料に対して明確な嗜好性があることが示されただけでなく、餌の形状と投与方法を揃えた採餌実験によって、その嗜好性は餌の成分に基づく味覚的な反応であることが示唆された。

従来から植食性魚類は、総じてタンパク質含量の少ない藻類を主食とするために窒素欠乏に陥りやすく、それを補う手段として副次的に動物を摂取する必要があるとの議論がなされてきた^{29,31}。本実験でオキアミに強い嗜好性を示したのはそのことを裏付けていると考えられる。ただし、アイゴの嗜好性を調べるために使われた甲殻類や魚類などの動物性餌料は、いずれも生き餌ではないため、餌の探索や処理に要するコストは考慮されておらず、自然状態でそのような分類群の餌生物を実際に利用するかどうかは別問題である。

また、本研究の結果は餌としての海藻の重要性も併せて示している。動物と海藻の成分を混合した人工餌と海藻のみの成分からなる人工餌を比較すると、動物の成分を混合した人工餌が優先して採餌されたわけではなく、海藻のみの成分からなる人工餌も動物成分を含む人工餌と同等に採餌された (Fig. 3)。さらに、実験2の結果 (Fig. 4) では、オキアミを無制限に採餌できる状態であるにもかかわらず、多くの個体が一定の割合で安定してジョロモクをも採餌し、海藻成分に対して一定した採餌欲求があることが明らかとなった。これらのことは、海藻成分に対しても味覚的な嗜好性を持つことを示唆している。この海藻への嗜好性は、アイゴの味覚に関する電気生理学的な研究結果からも支持される。すなわち、本種は海藻や植物に多く含まれるグルタミン酸に特異的に反応し、動物性餌料を主食とす

る魚類では見られないアミノ酸の応答パターンを示すことが報告されている^{32,33}。

最近では、アイゴの体中の脂質成分として、通常の肉食性や雑食性の魚類には非常に少ないn-6系多価不飽和脂肪酸であるアラキドン酸が多量に見出されることが報告されている³⁴⁻³⁶ (Saito *et al.*³⁴が化学分析した沖縄産シモフリアイゴ *S. canaliculatus* は現在ではアイゴ *S. fuscescens* とされる)。アイゴの体中のアラキドン酸は、この脂肪酸を多量に含む海藻類を餌として摂取することを通じて蓄積されていることが明らかにされている³⁴⁻³⁶。アイゴの餌となるホンダワラ類やカジメ科海藻にはアラキドン酸が多量に含まれている^{37,38}。さらに、この脂肪酸は、アイゴの栄養状態にかかわらず、魚体中に高い含有量を保っており、エネルギー源としてだけでなく体内の生理作用に密接に係わる必須脂肪酸であることも示唆されている³⁵。同様に、他の植食性魚類（ノトイスマ *Kyphosus bigibbus* とブダイ *Calotomus japonicus*³⁶、地中海産アイゴ科の2種³⁹)の体中からも多量のアラキドン酸が見出されており、ノトイスマとブダイについては餌の海藻に由来することも確かめられている³⁶。このようにアイゴにとって重要なある種の栄養分は海藻から摂取されており、実際に餌料源として海藻が利用されていることが示唆されている。

これまでアイゴの消化管内容物を調べた報告で、消化管から動物性餌料が見出されてはいるものの^{15,19,40-44}、消化管中から動物が多量に出現して実質的に最も優占する餌生物が動物であったという報告はない。また、水中鏡を使って藻場で採集したアイゴ成魚の胃内容物調査の結果によると、大型褐藻類の藻体に着生して生活する葉上動物を目的として大型褐藻類を採餌しているわけではないことが明らかにされている¹⁹。アイゴは動物性餌料に対して明確な嗜好性を示すにもかかわらず、このようにアイゴ成魚が常に動物の獲得を主目的にして餌の探索を行っていることを裏付ける報告は現状ではない。

一方で、アイゴの主食と考えられてきた海藻類についても、実は動物性餌料を補う副次的な餌生物として摂取しているのではないかとこの視点も提起されている。柴田ら¹⁵は、餌料源として海藻とともに摂取される葉上動物（ヒドロ虫や端脚類など）を重視しており、これらの動物性餌料が不足する場合に海藻の利用度合いが高まるのではないかと推測している。上田・棚田¹⁷は、クロダイ *Acanthopagrus shlegelii* による海藻利用の意義として海藻から生理的に有効な成分の摂取と海藻摂取による越冬期の生存率向上が示唆されて

いることを引用して^{45,46)}、アイゴの海藻摂取も冬季の低水温耐性を高めるための生存戦略の可能性があると主張している。

このような一見矛盾しているようにも見える水槽での採餌実験による結果と消化管内容物の調査結果を統一的に理解するには、アイゴの採餌に係わる形態の特徴及び餌生物の動態と栄養特性を踏まえて議論する必要がある。

一般にブダイ科・ニザダイ科・アイゴ科・イスズミ科の植食性魚類は、小刻みに連続して口を開閉する一連の口の動きによって藻類を摂取し、その口の動きを滑らかに行える構造の顎を持っている^{30,47,48)} (ただし、ニザダイ科には動物プランクトン食の種が複数あり、それに適した体型と口部形態をもつ⁴⁷⁾)。このような形態の顎は、藻類を効率よく採餌するには非常に適している。しかし、逃避能力の高い敏捷な動物の捕獲には、多くの魚類で見られる伸出性のある顎で吸い取るという捕獲方法が効果的であるが^{49,50)}、上述した植食性魚類の顎は、顎の伸出がほとんどできないかわずかで逃避能力の高い動物の捕獲には向いておらず、アイゴも同様である。このような植食性魚類の顎の特性を考慮すると、実際に野外でアイゴが主体的に採餌できる生きた動物は、ゼラチン質の動物プランクトン (大型のカイアシ類やヤムシ類などは高い逃避能力があり、動物プランクトン食魚類でも特別な採餌手法を使う⁵¹⁾) と固着性動物に限られると考えられる。事実、ニザダイ科とアイゴ科の中の植食性傾向の強い種によるクラゲ類の主体的な採餌が野外で観察されている⁵²⁾。本邦産のニザダイ *Prionurus scalprum* でもゼラチン質動物プランクトンが消化管から見出し出されている⁵³⁾。また、サンゴ礁水域では動物プランクトン食魚類によって排泄された浮遊中の新鮮な糞 (したがって動物性の糞) が、植食性魚類によって選択的に水中から摂取されることが報告されている⁵⁴⁾。アイゴについてもゼラチン質動物プランクトンと固着性動物の摂取が報告されており¹⁹⁾、台湾南部ではアイゴによるソフトコーラルの採餌も報告されている⁵⁵⁾。ただし、動物プランクトンは集中分布する量的質的に不安定な変動しやすい餌資源であり⁵⁶⁻⁵⁸⁾、ゼラチン質動物プランクトンを採餌できる機会は不規則と考えられる。また、固着性動物は一般に形態的・化学的防御 (硬い殻、刺胞、骨片、忌避物質や毒など^{59,64)}) を備え、分布も集中する傾向があるため、餌の処理や探索にコストがかかり⁵⁰⁾、日常的に多量に摂取できるとは考えにくい。

以上のことを考慮すると、やはりアイゴにとって生活の

基本となる餌生物は海藻類であり、日常的に大量に採餌していると考えられ、消化管内容物の結果とも一致する¹⁹⁾。大量に採餌する必要があるため、生理的に障害を起こす恐れがある化学的な防御物質を含む海藻類の摂取はできるだけ避ける。本実験3 (Fig. 6) においても、忌避物質を含むために嗜好性が非常に低いノコギリモクはほとんど採餌されなかった。その一方で、海藻類だけでは窒素不足に陥りがちな状況を改善するために動物の摂取は有効である。逃避能力の低いゼラチン質動物プランクトンの流入時や固着性動物のパッチに遭遇したときのように、低コストで動物を採餌できる状況では、その機会を逃さず集中採餌していると考えられる。本実験2で際限なくオキアミを採餌したのはそのことの表われと解釈する。少なくともアイゴは単に動物性餌料が少なくなるとその餌を補充する、あるいは生理的能力に係わる機能性成分を摂取するために、海藻を採餌しているのではないと推察する。

謝 辞

本研究の実験材料の採集と収集にあたり、御協力頂くとともに種々の便宜を図って頂いた山口県漁業協同組合蓋井島支店と室津支店の各位に心から感謝申し上げます。また、有益な情報を提供して頂いた広島大学大学院生物圏科学研究科藤本将也氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 長谷川雅俊, 小泉康二, 小長谷輝夫, 野田幹雄: 静岡県榛南海域における磯焼けの持続要因としての魚類の食害. 静岡水試研報, **38**, 19-25 (2003)
- 2) 坂本龍一: 餌料藻場回復試験 - 門川地先でみられたカジメ群落の衰退現象について -. 平成6年度宮崎県水産試験場事業報告書, 108-112 (1996)
- 3) 清水 博, 渡辺耕平, 新井章吾, 寺脇利信: 日向灘沿岸におけるクロメ場の立地環境条件について. 宮崎水試研報, **7**, 29-41 (1999)
- 4) 長谷川雅俊: 3.4日本最大の磯焼けは魚の影響? 藤田大介, 野田幹雄, 桑原久実 (編), 海藻を食べる魚たち - 生態から利用まで -. 成山堂書店, 東京, 76-89 (2006)
- 5) 荒武久道, 清水 博, 渡辺耕平: 門川町地先クロメ藻場のアイゴによる過剰採食からの回復機構. 宮崎水試研報, **10**, 8-13 (2006)

- 6) 荒武久道: 3.2食われても平気な藻場. 藤田大介, 野田幹雄, 桑原久実 (編), 海藻を食べる魚たち - 生態から利用まで -. 成山堂書店, 東京, 52-62 (2006)
- 7) 野田幹雄, 木下淳司, 棚田教生, 村瀬 昇: 短期間で発生したカジメ科海藻の磯焼けにおけるアイゴの食痕の特徴. 水大校研報, **66**, 111-122 (2018)
- 8) 堀内俊助, 中山恭彦: 御前崎における漂着サガラメの葉状部消失. 藻類, **48**, 109-112 (2000)
- 9) 増田博幸, 角田利晴, 林 義次, 西尾四良, 水井 悠, 堀内俊助, 中山恭彦: 藻食性魚類アイゴの食害による造成藻場の衰退. 水産工学, **37**, 135-142 (2000)
- 10) 増田博幸, 鈴木敬道, 水井 悠, 西尾四良, 堀内俊助, 中山恭彦: 静岡県榛南磯焼け海域におけるカジメ生育への食害防除網の効果. 水産工学, **44**, 119-125 (2007)
- 11) 二村和視, 高辻裕史, 増田 傑, 冨本淳司: 静岡県榛南海域へ移植したカジメ・サガラメ種苗の生長・成熟とアイゴによる食害. 水産増殖, **55**, 541-546 (2007)
- 12) 木下淳司: 人工リーフへのカジメ藻場移植と群落の拡大に関する研究. 水産工学, **45**, 169-178 (2009)
- 13) 木下淳司: 6.3.西湘海岸大規模人工リーフの20年間. 藤田大介, 村瀬 昇, 桑原久実 (編), 藻場を見守り育てる知恵と技術. 成山堂書店, 東京, 148-152 (2010)
- 14) 石樋由香, 横山 寿: 炭素・窒素安定同位体比を指標とした藻場造成効果の算定手法の開発. 平成14年度水産基盤整備調査事業 (直轄) 報告書, 水産庁漁港漁場整備部計画課, 東京, 167-176 (2004)
- 15) 柴田玲奈, 片山知史, 渡部諭史, 荒川久幸: アイゴ成魚に対する動物性餌料の重要性. *La mer*, **48**, 103-111 (2010)
- 16) 山田博一: 水槽飼育におけるアイゴ成魚のカジメ採食量とカジメ脱落量の季節変化ならびにアイゴ成魚の生残・成長におよぼす餌料の影響. 静岡水試研報, **41**, 15-19 (2006)
- 17) 上田幸男, 棚田教生: 飼育下のアイゴの生残および摂餌に及ぼす冬季の低水温と餌の影響. 徳島水研報, **12**, 11-19 (2018)
- 18) Suyehiro Y: A study on the digestive system and feeding habits of fish. *Japan J Zool Transactions and Abstracts*, **X**, 1-303 (1942)
- 19) 野田幹雄, 大原啓史, 浦川賢二, 村瀬 昇, 山元憲一: 響灘蓋井島のガラモ場に出現したアイゴ成魚の餌利用 - 大型褐藻類の採餌との関連 -. 日水誌, **77**, 1008-1019 (2011)
- 20) 野田幹雄, 大原啓史, 村瀬 昇, 池田 至, 山元憲一: アイゴによるアラメおよび数種のホンダワラ類の被食過程と群落構造の関係. 日水誌, **80**, 201-213 (2014)
- 21) 磯野良介, 島 隆夫, 渡邊幸彦, 長谷川一幸, 馬場将輔: アラメ *Eisenia bicyclis* を摂餌したアイゴ *Siganus fuscescens* の成長. 水産工学, **52**, 185-187 (2016)
- 22) 佐原雄二: 3.1食性. 谷内 透, 中坊徹次, 宗宮弘明, 谷口旭, 青木一郎, 日野明德, 渡邊精一, 阿部宏喜, 藤井建夫, 秋道智彌 (編), 魚の科学事典. 朝倉書店, 東京, 158-171 (2005)
- 23) 佐原雄二: 18章採餌生態. 塚本勝巳 (編), 魚類生態学の基礎. 恒星社厚生閣, 東京, 204-213 (2010)
- 24) Bond CE: *Biology of Fishes*, second edition. Brooks/Cole Thomson Learning, Australia (1996)
- 25) 野田幹雄, 長谷川千恵, 久野孝章: 水槽内のアイゴ *Siganus fuscescens* 成魚によるアラメ *Eisenia bicyclis* の特異な採食行動. 水大校研報, **50**, 151-159 (2002)
- 26) 野田幹雄, 熊本修太, 村瀬 昇, 池田 至, 田上保博, 山元憲一: アイゴの採餌選択性に影響を及ぼす大型褐藻類の二次代謝産物と形態的要因の評価. 講演番号967. 平成19年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 東京 (2007)
- 27) 永岡哲雄, 前川兼佑: 有用鹹水魚の冬季における摂餌ならびに致死限界水温に関する研究. 山口県内海水試調研業績, **13**, 93-99 (1963)
- 28) 新畑孝信, 島 康洋: アイゴの種苗生産. 栽培技研, **9**, 75-80 (1980)
- 29) Horn MH: *Biology of marine herbivorous fishes*. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, **27**, 167-272 (1989)
- 30) Choat, JH: The biology of herbivorous fishes on coral reefs. *In*: Sale PF (ed) *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic Press, San Diego, 120-155 (1991)
- 31) Gerking SD: *Feeding ecology of fish*. Academic Press, San Diego (1994)
- 32) Ishida Y, Hidaka I: Gustatory response profiles for amino acids, glycinebetaine, and nucleotides in several marine teleosts. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 1391-1398 (1987)
- 33) 日高磐夫: 15. 味覚. 板沢靖男, 羽生 功 (編), 魚類生理学. 恒星社厚生閣, 東京, 489-518 (1991)
- 34) Saito H, Yamashiro R, Alasalvar C, Konno T:

- Influence of diet on fatty acids of three subtropical fish, subfamily Caesioninae (*Caesio diagramma* and *C. tile*) and family Siganidae (*Siganus canaliculatus*). *Lipids*, **34**, 1073-1082 (1999)
- 35) Osako K, Saito H, Kuwahara K, Okamoto A: Year-round high arachidonic acid levels in herbivorous rabbit fish *Siganus fuscescens* tissues. *Lipids*, **41**, 473-489 (2006)
- 36) Jiarpinijnun A, Benjakul S, Pornphatdetaudom A, Shibata J, Okazaki E, K Osako: High arachidonic acid levels in the tissues of herbivorous fish species (*Siganus fuscescens*, *Calotomus japonicus* and *Kyphosus bigibbus*). *Lipids*, **52**, 363-373 (2017)
- 37) Takagi T, Asahi M, Itabashi Y: Fatty acid composition of twelve algae from Japanese waters. *Yukagaku*, **34**, 1008-1012 (1985)
- 38) Khotimchenko SV: Fatty acid composition of seven *Sargassum* species. *Phytochemistry*, **30**, 2639-2641 (1991)
- 39) Öksüz A, ÖzyiImaz A, Sevimli H: Element compositions, fatty acid profiles, and proximate compositions of marbled spinefoot (*Siganus rivulatus*, Forsskal, 1775) and dusky spinefoot (*Siganus luridus*, Ruppell, 1878). *J Fisheries Sciences.com*, **4**, 177-183 (2010)
- 40) 尾上静正, 内海訓弘, 三浦慎一, 日高悦久, 山本義博, 寿久文: 藻場再生緊急対策事業. 平成12年度大分県海洋水産研究センター事業報告, 223-253 (2002)
- 41) 桐山隆哉, 大橋智志, 藤井明彦, 吉村 拓: 藻場に対する食害実態調査. 平成13年度長崎水試事報, 85-91 (2002)
- 42) 山口敦子: 4.3食性と行動生態を調べる. 藤田大介, 野田幹雄, 桑原久実(編), 海藻を食べる魚たち－生態から利用まで－. 成山堂書店, 東京, 126-137 (2006)
- 43) 野田幹雄, 北山和仁, 新井章吾: 響灘蓋井島の秋季と春季における成魚期のアイゴの食性. *水産工学*; **39**, 5-13 (2002)
- 44) 秋山清二, 長沼美和子, 片山知史. 千葉県館山湾におけるアイゴの生活年周期. *水産工学*, **46**, 107-115 (2009)
- 45) 中川平介, 笠原正五郎, 杉山瑛之, 和田 功: クロダイに対するアオサ添加餌料の効果. *水産増殖*, **32**, 20-27 (1984)
- 46) 海野徹也: ベルソープックス033クロダイの生物学とチヌの釣魚学. 成山堂書店, 東京 (2010)
- 47) Jones RS: Ecological relationships in Hawaiian and Johnston Island Acanthuridae (surgeonfishes). *Micronesica*, **4**, 309-361 (1968)
- 48) Clements KD, Bellwood DR: A comparison of the feeding mechanisms of two herbivorous labroid fishes, the temperate *Odax pullus* and the tropical *Scarus rubroviolaceus*. *Aust J Mar Freshwater Res*, **39**, 87-107 (1988)
- 49) Motta PJ: Mechanics and functions of jaw protrusion in teleost fishes: a review. *Copeia*, **1984** (1), 1-18 (1984)
- 50) Helfman GS, Collette BB, Facey DE, Bowen BW: The diversity of fishes: biology, evolution, and ecology second edition. Wiley-Blackwell, UK (2009)
- 51) Coughlin DJ, Strickler JR: Zooplankton capture by a coral reef fish: an adaptive response to evasive prey. *Env Biol Fish*, **29**, 35-42 (1990)
- 52) Bos AR, Cruz-Rivera E, Sanad AM: Herbivorous fishes *Siganus rivulatus* (Siganidae) and *Zebrasoma desjardini* (Acanthuridae) feed on Ctenophora and Scyphozoa in the Red Sea. *Mar Biodiv*, **47**, 243-246 (2017)
- 53) 藤本将也, 坂井陽一: 口永良部島におけるニザダイの採餌生態. ポスター発表番号7, 第29回魚類生態研究会, 国立江田島青少年交流の家, 江田島 (2018)
- 54) Robertson DR: Fish feces as fish food on a pacific coral reef. *Mar Ecol Prog Ser*, **7**, 253-265 (1982)
- 55) Kuo F-W, Fan T-Y, Liu M-C, Kuo C-Y, Chen CA: Hidden ecosystem function of rabbitfishes? *Siganus fuscescens* feeds on the soft coral, *Sarcophyton* sp. *Coral Reefs*, **34**, 57 (2015)
- 56) Noda M, Kawabata K, Gushima K, Kakuda S: Importance of zooplankton patches in foraging ecology of the planktivorous reef fish *Chromis chrysurus* (Pomacentridae) at Kuchinoerabu Island, Japan. *Mar Ecol Prog Ser*, **87**, 251-263 (1992)
- 57) 野田幹雄: サンゴ礁・岩礁域における動物プランクトン食魚類の採餌戦略. *生物科学*, **45**, 74-86 (1993)
- 58) Noda M, Ikeda I, Ueno S, Hashimoto H, Gushima K: Enrichment of coastal zooplankton communities by drifting zooplankton patches from the Kuroshio front. *Mar Ecol Prog Ser*, **170**, 55-65 (1998)
- 59) Harvell CD, Fenical W, Greene CH: Chemical and structural defenses of Caribbean gorgonians

- (*Pseudopterogorgia* spp.). I. Development of an in situ feeding assay. *Mar Ecol Prog Ser*, **49**, 287-294 (1988)
- 60) Wylie CR, Paul VJ: Chemical defenses in three species of *Simularia* (Coelenterata, Alcyonacea): effects against generalist predators and the butterflyfish *Chaetodon unimaculatus* Bloch. *J Exp Mar Biol Ecol*, **129**, 141-160 (1989)
- 61) 伏谷伸宏: 防御行動の化学. 北川 勲, 伏谷伸宏 (編), 海洋生物のケミカルシグナル. 講談社, 東京, 47-125 (1989)
- 62) Van Alstyne KL, Wylie CR, Paul VJ, Meyer K: Antipredator defenses in tropical pacific soft corals (Coelenterata: Alcyonacea). I. Sclerites as defenses against generalist carnivorous fishes. *Biol Bull*, **182**, 231-240 (1992)
- 63) Van Alstyne KL, Paul VJ: Chemical and structural defenses in the sea fan *Gorgonia ventalina*: effects against generalist and specialist predators. *Coral Reefs*, **11**, 155-159 (1992)
- 64) Harper MK, Bugni TS, Copp BR, James RD, Lindsay BS, Richardson AD, Schnabel PC, Tasdemir D, VanWagoner RM, Verbitski SM, Ireland CM: Introduction to the chemical ecology of marine natural products. *In*: McClintock JB, Baker BJ (ed) Marine chemical ecology. CRC Press, Boca Raton, 3-69 (2001)