

飼育下における植食性魚類ブダイの摂餌日周性，摂餌量の季節変化および摂餌選択性

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2025-04-09 キーワード (Ja): キーワード (En): Calotomus japonicus; Diel feeding pattern; Seasonal change in feeding rate; Feeding selectivity 作成者: 野田, 勉, 門田, 立 メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014023

飼育下における植食性魚類ブダイの摂餌日周性, 摂餌量の季節変化および摂餌選択性

野田 勉*・門田 立

Diurnal feeding patterns, seasonal changes in feeding rate and feeding selectivity of the herbivorous fish *Calotomus japonicus* held in aquaria

Tsutomu NODA* and Tatsuru KADOTA

Abstract: The browsing behavior of the parrotfish, *Calotomus japonicus*, was examined under tank-rearing conditions to help improve the efficiency of longline fishing. The amount of a seaweed *Sargassum fusiforme* browsed by the fish during the four periods (morning: 5:00–10:00, daytime: 10:00–15:00, evening: 15:00–20:00 and nighttime: 20:00–5:00) was 8.6 ± 4.7 g/kg-fish/h, 8.8 ± 3.4 g/kg-fish/h, 5.5 ± 2.5 g/kg-fish/h and 0.1 ± 0.1 g/kg-fish/h, respectively. Browsed rates for morning and daytime were higher than evening. Furthermore, the amount of *Ecklonia cava* subsp. *kurome* browsed by the fish ranged 76.9–224.9 g/kg-fish/day from June to August during the season of rising water temperature. The amounts in other months ranged 8.4–37.6 g/kg-fish/day. In addition, the six seaweeds species, *S. fusiforme*, *Padina arborescens*, *Dictyopteris undulata*, *Palisada papillosa*, *Gelidium elegans* and *Codium fragile*, were fed to the fish. The browsed rate of *S. fusiforme* was $87.2 \pm 19.7\%$, and the rates were higher than the other seaweeds (2.4–72.8%). Based on these results, the time period for longline fishing to remove *C. japonicus* is preferable during morning to daytime in spring to early summer, and the suitable bait is *S. fusiforme*.

Key words: *Calotomus japonicus*; Diel feeding pattern; Seasonal change in feeding rate; Feeding selectivity

西日本では大型海藻が一年中存在する四季藻場が衰退し、春から初夏に繁茂する春藻場や、直立海藻がほとんどない磯焼けの状態に変わる海域が増加している(平岡ら 2005; 吉村ら 2009; 清本ら 2018; 清本ら 2021; 門田ら 2023)。このような藻場が衰退する原因として、海水温の上昇などの環境変化によって、植食動物の摂餌量と海藻の生産量のバランスが乱れていることが指摘されている(水産庁 2021)。これまでに、ウニ類の除去などにより大型海藻藻場が回復した地先がある一方で、同様の対策だけでは藻場が回復しない地先も多く存在する(四井・前迫 1993; 吾妻ら 1997; 田井野・細木 2011; 石川ら 2017)。藻場が回復しない原因として、植食性魚類の影響が指摘されており(四井・前迫

1993; 田井野・細木 2011)、これらの魚種の効果的な除去手法の開発が強く求められている。

ブダイ *Calotomus japonicus* は千葉県から奄美大島に生息する体長40 cm 程度のブダイ科魚類(Scaridae)であり、雌から雄に性転換する雌性先熟魚である(Kusen and Nakazono 1991; Kume et al. 2010; 島田 2013)。本種はアイゴ科(Siganidae)のアイゴ *Siganus fuscescens* やイスズミ科(Kyphosidae)のノトイスズミ *Kyphosus bigibbus* と同様、日本における代表的な植食性魚類として知られており(Vergés et al. 2014)、20年ほど前から除去手法の検討が始まっている(本多 2006)。植食性魚類の効率的な除去は長らく困難であったが、近年は植食性魚類の生態解明が少し

2023年9月16日受付; 2024年3月5日受理。

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所長崎庁舎 (Nagasaki Field Station, Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 1551-8, Taira, Nagasaki 851-2213, Japan).

*連絡先 (Corresponding author): Tel, (+81) 95-860-1630; Fax, (+81) 95-850-7767; E-mail, noda_tsutomu03@fra.go.jp (T. Noda).

ずつ進展し (e.g., Yatsuya et al. 2015; 門田ら 2017), その生態を利用した除去手法の開発が始まっている (桑原ら 2015; 水産庁 2021)。ブダイに関しては, 大型個体を対象とした海藻を餌に用いる延縄と, 中型個体を対象とした刺網を組み合わせた除去が効果的とされている (水産庁 2021)。しかし, 磯焼け対策の分野で延縄が導入されたのは近年であることから, 延縄の実施時間や時期, 餌として利用する海藻の種の選択など, 効率的な運用のために検討すべき課題は多い。

上記の課題の検討には, ブダイの摂餌日周性や摂餌量の季節変化, 摂餌選択性などの摂餌生態を解明することが重要である。熱帯・亜熱帯性のニザダイ科およびブダイ科など, 多くの植食性魚類の摂餌日周性は, 正午から午後にかけて活発になることが知られている (Zemke-White et al. 2002; 山内ら 2006; Kadota et al. 2021)。一方, ニューゼalandに生息するペラ垂目 (Labroidae) オダックス科魚類 (Odacidae) の *Odax pullus* のように午前中に摂餌活動が高まる種も存在する (Choat and Clements 1993)。しかし, ブダイがどのような摂餌日周性を持つのか明らかとなっていない。また, 摂餌量の季節変化に関して, アイゴやノトイスマミなどの植食性魚類では, 水温の上昇とともに摂餌量が増加するなど, 摂餌活動は水温と密接に関係していることが知られている (e.g., 桐山ら 2001; 山内ら 2006; 野田ら 2016)。ブダイでは一般的な植食性魚類と同じように, 水温上昇とともに摂餌量が増加する報告がある (桐山ら 2001; 木村ら 2007)。しかし, 桐山ら (2001) では 8~12月の限られた期間での試験, 木村ら (2007) では加温により水温を変化させた試験となっている。このため, 現時点ではブダイの摂餌量の季節変化について, その傾向が十分に分かっていない。さらに, 植食性魚類は種によって好む海藻が異なることが知られている (野田ら 2013; 山田ら 2016)。

ブダイでは, 異なる海藻を餌にして延縄を行った結果, ヒジキ *Sargassum fusiforme* の釣獲率が最も高かったことが報告されている (水産庁 2021)。しかし, 上記の報告はヒジキやノコギリモク *S. macrocarpum* 等の一部の大型海藻とアマモ *Zostera marina* を餌にした場合に限られており, 大型海藻が消失した後も残存する小型海藻種 (門田ら 2023) の餌としての有効性については明らかになっていない。

本研究ではブダイの延縄による除去の効率化を目的として, 延縄の実施時間, 季節および餌とする海藻を検討するため, 摂餌日周性, 摂餌量の季節変化, 小型海藻を対象とした摂餌選択性に関する試験を実施したので報告する。

材料および方法

試験 I. 摂餌日周性

試験 I は 2018 年 5 月 28 日 ~ 6 月 1 日, 6 月 11 日 ~ 6 月 15 日および 2019 年 5 月 30 日 ~ 6 月 3 日に実施した。使用したブダイは, 2018 年 5 ~ 6 月および 2019 年 1 ~ 5 月に長崎県五島市沿岸の定置網および延縄で採集され, 水産研究・教育機構水産技術研究所五島庁舎 (以下, 五島庁舎) に搬入した個体である (Table 1)。

本種は幼魚の時は赤褐色の体色 (イニシャルフェイズ: 以下, IP) をしているが, 成長にともなって青みがかった体色 (ターミナルフェイズ: 以下, TP) に変わることが知られている (Kusen and Nakazono 1991)。本試験では, TP を 4 個体 (40.0~45.0 cm, 個体 a~d), IP を 5 個体 (32.0~43.0 cm, 個体 e~i) 用いた (Table 1)。なお, TP の個体は全て雄であるが, IP の個体には雄と雌の両方が含まれると考えられる (Kume et al. 2010)。

試験には屋外に設置した FRP 製の円形水槽 (2 kl:

Table 1. Summary of data for *Calotomus japonicus* seaweed browsing experiments

Individual	Start rearing		Phase	TL (cm)	BW (g)	Test I date	Test III date
a	2018	5/19	Terminal	40.0	1,300	5/28-6/1	—
b		6/8	Terminal	45.0	1,800	6/11-6/15	—
c	2019	1/10	Terminal	43.5	1,674	5/30-6/3	6/6-6/7
d		4/12	Terminal	42.8	1,110	5/30-6/3	—
e		4/12	Initial	43.0	1,412	5/30-6/3	—
f		4/12	Initial	40.5	1,130	5/30-6/3	6/6-6/7
g		5/21	Initial	33.5	678	5/30-6/3	6/6-6/7
h		5/21	Initial	32.5	638	5/30-6/3	6/6-6/7
i		5/21	Initial	32.0	578	5/30-6/3	6/6-6/7
j		5/15	Initial	38.5	1,072	—	6/6-6/7

TL: total length, BW: body weight.

内径1.8 m, 深さ0.8 m) を用い, 各水槽にブダイを1個体ずつ収容した。試験に使用した水槽には, 1.0 kl/h で砂ろ過海水を供給し, 水深を0.6 m に維持するとともに, 給餌した海藻が流出しないように排水地点にネットを設置した。なお, 試験中の水温は1日1回, 午前中に測定し, その範囲は19.9~22.9°Cであった。また, 搬入から試験開始までは, 長崎県五島市沿岸に生育していたヒジキおよびウミウチワ *Padina arborescens* をステンレス製の金網 (40 cm × 62 cm) に結束バンドで固定し, 水槽の底に設置して給餌した。本試験で使用した個体は, これらの餌を十分に摂餌していた。試験開始の24時間前までは, 水槽内に微細な藻類が繁茂することを防ぐため, 各水槽の上面に寒冷紗 (#1013: Earth Corporation) をかけ, 試験開始のおよそ24時間より水槽の半面から寒冷紗を取りはずし, 水槽内の光環境を自然状態に近づけた。

試験の時間帯は, 5:00~10:00 (Period I), 10:00~15:00 (Period II), 15:00~20:00 (Period III), 20:00~5:00 (Period IV) の4つの区分に分けて実施した。本試験地の試験期間中の日出の時刻は5時16分から5時19分, 日没時刻は19時24分から19時34分であった。なお, 2019年6月1日~3日に光量子計 (DEFI-2, JFE Advantech, Inc.) を用いて, 10分間隔に計測した光量子量は, Period I が0~402 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Period II が95~1,170 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Period III が0~396 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Period IV が0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった (Fig. 1)。

ブダイは試験の24時間前から絶食させ, Period IV から試験を開始した。餌は長崎県五島市沿岸に生育していたヒジキを用い, サラダスピナーで水分を取り除いた後, 測定した。その後, 自然な状態になるようにスチール製の金網に結束バンドで固定し, 各時間帯の開始時に水槽の底に設置した。植食性魚類は海藻の葉や気胞のみではなく, 主枝も摂餌することから, 藻体の途中から切れて脱落する海藻が生じる可能性があっ

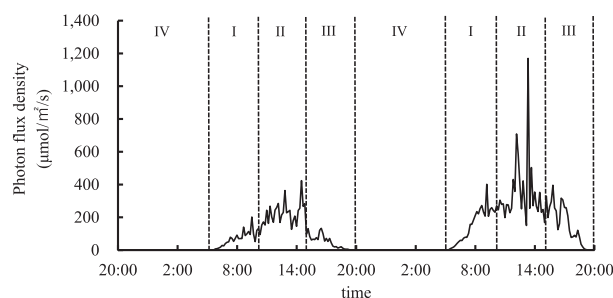


Fig. 1. Time series showing photon flux density in a tank between 1st and 3rd June 2019. Each day is divided into 4 periods: I (5:00~10:00), II (10:00~15:00), III (15:00~20:00) and IV (20:00~5:00).

た (野田ら 2002; 野田ら 2016)。このため, 各時間帯の終了時に残餌および脱落した海藻 (以下, 食散) を分けて回収し, 給餌の際と同様の方法で水分を取り除いた後にそれぞれ測定した。摂餌量は, 給餌量から残餌量および食散量を減することにより求めた。給餌量 (Mean $\pm$ 標準偏差 [SD]) は $154.6 \pm 4.6 \text{ g}$ ($n = 144$) とした。なお, 与えた餌の量はブダイが食べ尽くすことが出来ない量であった (残餌量と食散量の合計: $118.6 \pm 33.8 \text{ g}$, 範囲: 46.2~167.0 g)。

本試験では供試魚の大きさに差があったこと, Period IVとその他の区分の時間に差があったことから, 時間帯別の摂餌量に関しては, 以下の式を用いて体重1 kg, 1時間当たりの摂餌量 (g/kg-fish/h) を求めた。

$$1 \text{ 時間当たりの摂餌量 (g/kg-fish/h)} = (\text{給餌量} - \text{残餌量} - \text{食散量}) / \text{魚体重} / \text{ヒジキの設置時間}$$

また, 試験に用いた9個体における各時間帯の1時間当たりの摂餌量について, 4日間の平均値を代表値として算出した上で, 各時間帯の摂餌量の差について Wilcoxon 符号順位検定 (Bonferroni 補正) を行った。さらに, Period IV から Period III までの間を1日として, 日間摂餌量および日間食散量を求めた。加えて, 各個体の日間摂餌量の4日間の平均値を算出した上で, 体重との関係に関して Pearson の相関係数を求めた。なお, 統計解析には R (version 3.6.3) (R Development Core Team) を用いた。

試験 II. 摂餌量の季節変化

前述の試験で用いた9個体のブダイのうち, 継続飼育が可能であった IP の1個体 (個体 g, Table 1) について, 2019年6月から2020年6月まで, 2ヶ月おきに3日間 (2019年6/27~6/30, 8/24~8/27, 10/7~10/10, 12/8~12/11, 2020年2/22~2/25, 4/27~4/30および6/12~6/15) の日間摂餌量を把握した。試験に用いた水槽の形状や注水量, 海藻の重量の測定方法, 試験前の餌止め条件, 水温の測定方法は, 試験 I と同様とした。飼育期間中の水温は15.3~28.0°C であった。なお, 試験時以外は, アカモク *S. horneri* 等の流れ藻, ムラサキイガイ *Mytilus galloprovincialis* 等の貝類, イソガニ *Hemigrapsus sanguineus* 等の甲殻類を給餌し, 試験に用いたブダイはこれらを摂餌していた。また, この個体の体重は各月の試験終了後に測定したが, 563~878 g の間で増加傾向であったことから, 以下の式を用いて, 各月の測定値をもとに体重あたりの日間摂餌量 (g/kg-fish/day) を求めた。

$$\text{体重あたりの日間摂餌量 (g/kg-fish/day)} = (\text{給餌量} - \text{残餌量} - \text{食散量}) / \text{各月の魚体重}$$

餌は周年入手が可能な大分県産および五島庁舎で種

苗生産したクロメ *Ecklonia cava* subsp. *kurome* の成体を用い、試験開始日の日没後に水槽に設置した。クロメの交換は日没後に実施し、摂餌量は試験 I と同等の方法で算出した。なお、クロメは試験 I と同様、金網に結束バンドで取り付けて水槽の底に設置して給餌した。給餌量 (平均値 $\pm$ SD) は 357.3 ± 133.8 g としたが、この値はブダイが食べ尽くすことができない量であった (残餌量と食散量の合計の平均値 $\pm$ SD [範囲]: 314.1 ± 130.0 [41.0~665.1] g)。日間摂餌量と水温との関係に関しては、Pearson の相関係数を求めた。

試験 III. 摂餌選択性

試験 I で用いた 9 個体のブダイのうち、5 個体 (個体 c, f, g, h, i) と、新たに追加した 1 個体 (個体 j) の合計 6 個体を用いて (Table 1), 2019 年 6 月 6 日 ~ 6 月 7 日に本種の摂餌選択性を調べるための試験を実施した。試験に用いた水槽の形状や注水量、海藻の重量の測定方法、試験前の餌止め条件、水温の測定方法は、試験 I および II と同様とした。試験期間中の水温は、 $21.8 \sim 22.1^\circ\text{C}$ であった。

餌は長崎県五島市沿岸に生育していた大型褐藻類のヒジキおよび小型海藻 5 種 (褐藻類: ウミウチワ, シワヤハズ *Dictyopteris undulata*, 紅藻類: パピラソソ *Palisada papillosa*, マクサ *Gelidium elegans*, 緑藻類: ミル *Codium fragile*) を用いた。いずれの海藻においても湿重量が約 10.0 g になるように調整した後、試験 I および試験 II と同様、金網に結束バンドで取り付けた。この際、6 種類の海藻は等間隔かつ順不同で配置した。全種の海藻を取り付けた金網を午前 8 時から 9 時の間に水槽の底に設置して給餌した後、1 時間後、3 時間後、5.5 時間後に金網を取り上げ、金網に残った海藻を回収し、湿重量を測定した。測定終了後は各海藻を再び金網に取り付け、24 時間後まで試験を継続した。なお、一部の海藻では食散された藻体が水槽内もしくは水面に存在していたが、ブダイへの影響を考慮し、このような藻体の回収は 24 時間後の試験終了時に行った。また、ブダイの入っていない水槽に各海藻を設置する対照区を設けた。対照区を含む各水槽における各海藻の減少率は以下の式で求めた (山田ら 2016; 門田ら 2022)。

減少率 (%) = (試験開始時の重量 - 各時間帯で金網に残っていた重量) / 試験開始時の重量 $\times$ 100

加えて、試験終了時には被食率を以下の式で求め、各海藻の値に関して Steel-Dwass の方法による多重比較を行った。

被食率 (%) = (試験開始時の重量 - 試験終了時に金網に残っていた重量 + 食散量) / 試験開始時の重量 $\times$ 100 - 対照区における試験終了時の減少率

結 果

試験 I. 摂餌日周期性

ブダイの 1 時間当たりの摂餌量 (平均値 $\pm$ SD) は Period I で 8.6 ± 4.7 (範囲: 5.1~16.7) g/kg-fish/h, Period II で 8.8 ± 3.4 (4.7~13.8) g/kg-fish/h と多かった。Period III は 5.5 ± 2.5 (3.0~11.6) g/kg-fish/h であり、Period I, II と比較して有意に少なかった (Fig. 2, 3, $n = 9$, $P < 0.05$, Wilcoxon 符号順位検定, Bonferroni 補正)。また、Period IV は 0.1 ± 0.1 (0.0~0.3) g/kg-fish/h であり、摂餌は確認されず、他の時間帯との間に有意な差が見られた ($n = 9$, $P < 0.05$, Wilcoxon 符号順位検定, Bonferroni 補正)。

ブダイの各個体の日間摂餌量の平均値は、体重が重いほど多い傾向が見られたが、有意ではなかった (Fig. 4, $P = 0.084$, Pearson の相関係数)。体重あたりの日間摂餌量 (平均値 $\pm$ SD) は 110.0 ± 43.6 (範囲: 63.9~199.9) g/kg-fish/day, 日間食散量は 108.2 ± 51.8 (46.3~190.9) g/kg-fish/day であった。さらに、日間摂餌量と日間食散量の合計は 218.2 ± 85.0 (131.7~360.9) g/kg-fish/day であった。

試験 II. 摂餌量の季節変化

ブダイの体重あたりの日間摂餌量は月によって変化した (Fig. 5)。2019 年 6 月の値 (平均値 $\pm$ SD) は 107.7 ± 27.4 (範囲: 85.2~138.2) g/kg-fish/day, 8 月は 174.7 ± 66.6 (99.1~224.9) g/kg-fish/day, 2020 年 6 月は 81.6 ± 7.7 (76.9~90.5) g/kg-fish/day となり、他の月 (8.4~37.6 g/kg-fish/day) と比較して多い傾向が見られた。また、飼育水温が高いほど日間

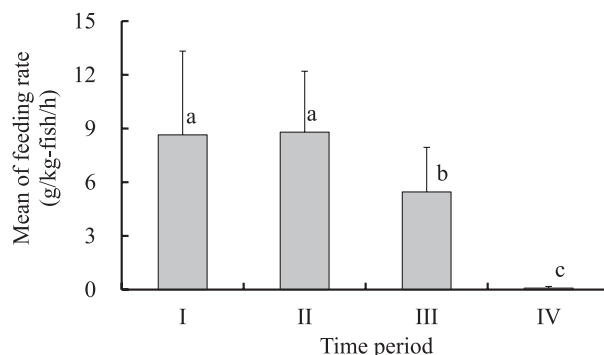


Fig. 2. Means of feeding rate (g/kg-fish/h) of *Calotomus japonicus* in each period: I (5:00 - 10:00), II (10:00 - 15:00), III (15:00 - 20:00) and IV (20:00 - 5:00). The species of seaweed was *Sargassum fusiforme*. Bars indicate standard deviations. Different superscripted letters show significant difference ($n = 9$, $P < 0.05$, Wilcoxon signed-rank tests with Bonferroni adjustment).

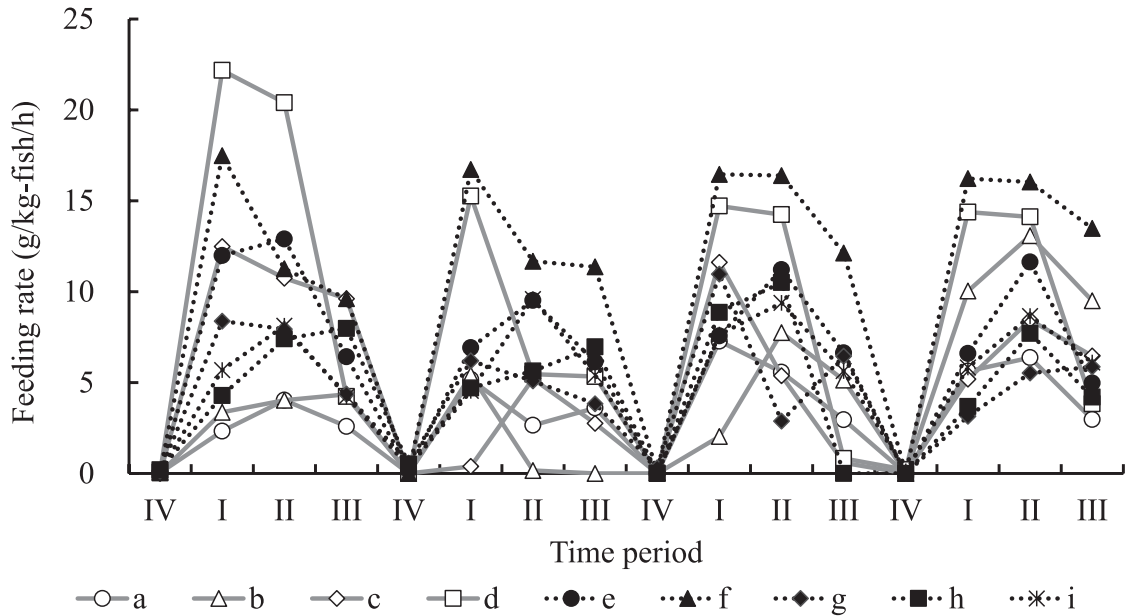


Fig. 3. Change of feeding rate (g/kg-fish/h) of *Calotomus japonicus* during each period ($n = 9$). The species of seaweed was *Sargassum fusiforme*. Each day is divided into 4 periods: I (5:00–10:00), II (10:00–15:00), III (15:00–20:00) and IV (20:00–5:00). Open shapes and solid line: terminal phase fish. Black shapes, cross marks, and dotted line: initial phase fish (refer to Table 1).

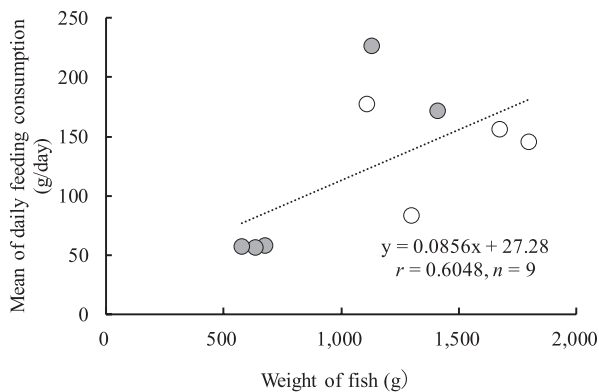


Fig. 4. Relationship between weight of *Calotomus japonicus* and means of daily feeding consumption ($P = 0.084$, Pearson correlation coefficient). The species of seaweed was *Sargassum fusiforme*. Open dots indicate terminal phase fish. Grey dots indicate initial phase fish.

摂餌量が多いという有意な相関が見られた (Fig. 6, $P = 0.001$, Pearson の相関係数)。

試験Ⅲ. 摂餌選択性

ヒジキとウミウチワは、試験開始から3時間後にかけて急激に減少し、前者の減少率 (平均値 $\pm$ SD) は $90.6 \pm 9.2\%$ 、後者は $64.5 \pm 33.4\%$ に達した (Fig. 7)。一方、シワヤハズとパピラゾゾの減少率は $19.5 \pm 22.5\%$ および $16.8 \pm 38.1\%$ であり、減少は緩やかであった。また、マクサは $9.7 \pm 13.9\%$ 、ミルは $6.8 \pm 6.7\%$ であり、減少率は低い値であった。なお、対

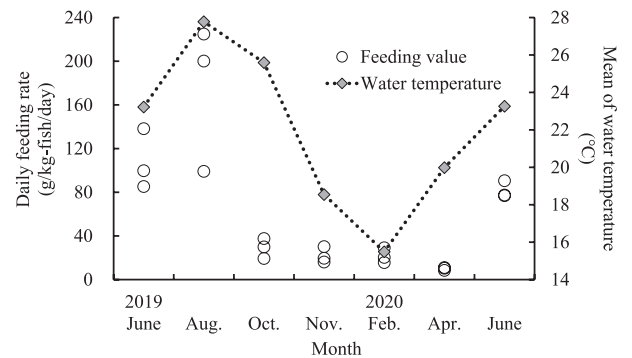


Fig. 5. Seasonal change in daily feeding rate of *Calotomus japonicus* and mean of water temperature during the experiment. The species of seaweed was *Ecklonia cava* subsp. *kurome*.

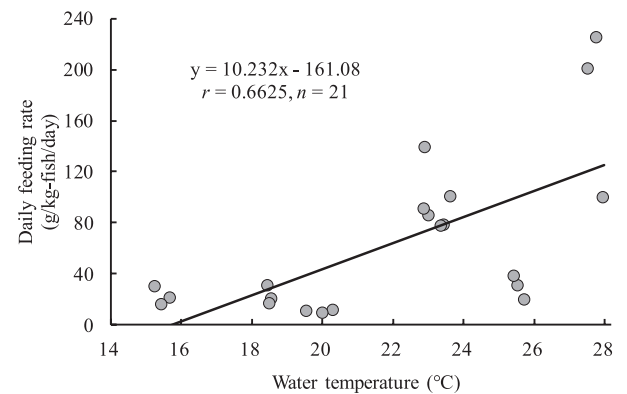


Fig. 6. Relationship between water temperature and daily feeding rate ($P = 0.001$, Pearson correlation coefficient). The species of seaweed was *Ecklonia cava* subsp. *kurome*.

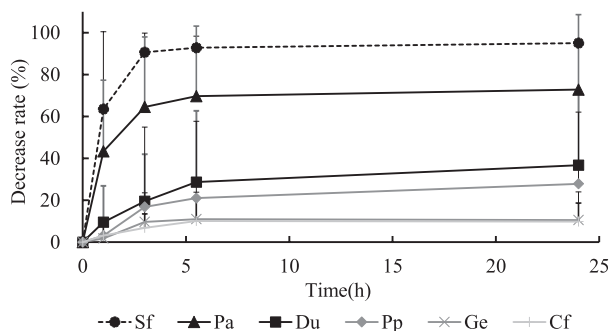


Fig. 7. Changes in decrease rate of algal species under browsing pressure from *Calotomus japonicus*. Black, dark gray and gray lines indicate Phaeophyceae, Rhodophyta and Chlorophyta, respectively. Species name abbreviations: Sf: *Sargassum fusiforme*, Pa: *Padina arborescens*, Du: *Dictyopteris undulata*, Pp: *Palisada papillosa*, Ge: *Gelidium elegans*, Cf: *Codium fragile*. Bars indicate standard deviations.

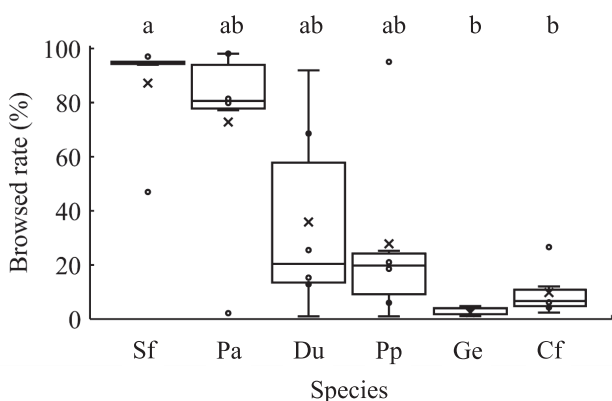


Fig. 8. Browsed rates of algal species in 24 hours after exposure to browsing pressure from *Calotomus japonicus*. The cross marks indicate the mean. The central line represents the median, the edges of the box represent the outermost values within the range of 1.5 times the respective quartiles. Species name abbreviations: Sf: *Sargassum fusiforme*, Pa: *Padina arborescens*, Du: *Dictyopteris undulata*, Pp: *Palisada papillosa*, Ge: *Gelidium elegans*, Cf: *Codium fragile*. Different superscripted letters show significant difference ($n = 6$, $P < 0.05$, Steel-Dwss test).

照区の海藻の試験終了時の減少率は、ヒジキで1.0%、ウミウチワで1.9%、シワヤハズおよびパピラソゾで0.0%、マクサで-2.0%、ミルで-6.2%であった。

24時間後の被食率（平均値 $\pm$ SD）は、ヒジキで $87.2 \pm 19.7\%$ であり、マクサ ($2.4 \pm 3.2\%$) およびミル ($9.8 \pm 8.9\%$) と比較して有意に高かった (Fig. 8, $P < 0.05$, Steel-Dwss test)。ウミウチワ ($72.8 \pm 35.8\%$)、シワヤハズ ($35.9 \pm 36.0\%$) およびパピラソゾ ($27.8 \pm 34.2\%$) は、ヒジキとの有意差は見られなかった ($P > 0.05$, Steel-Dwss test)。

考 察

多くの植食性魚類の摂餌活動は、光合成により海藻の栄養価が高まる正午から午後にかけて活発になるとされている (Zemke-White et al. 2002)。この傾向は、少なくとも熱帯・亜熱帯性のニザダイ科8種、ブダイ科5種およびアイゴ科のアイゴやイスズミ科のノトイスズミなどで報告がある (Zemke-White et al. 2002; 山内ら 2006; Kadota et al. 2021)。日本で磯焼けに強く関与する植食性魚類のうち、アイゴは午後 (13:00~15:00, 次いで15:00~17:00)、ノトイスズミは夕方 (14:00~18:00および18:00~22:00) に摂餌量が多くなることが明らかになっている (山内ら 2006; Kadota et al. 2021)。一方、本試験の結果から、ブダイは前述の植食性魚類とは異なり、朝 (5:00~10:00) から昼 (10:00~15:00) に摂餌量が多く、夕方 (15:00~20:00) には減少することが明らかとなった。類似した傾向は、午前中 (6:00~8:00, 次いで8:00~12:00) に摂餌活動が活発になり、その後 (12:00~15:00および15:00~18:30) は不活発になるオダックス科の *O. pullus* でしか知られておらず (Choat and Clements 1993)、日本沿岸に生息する植食性魚類では初めての報告になる。現時点ではこの特異的な日周性が持つ生態学的な意味は分かっていないが、延縄を午前中に実施することで、本種を効率的に除去できる可能性が示唆された。

前述の通り、ブダイの摂餌の季節変化に関しては、水温の上昇に伴い増加する報告があるが (桐山ら 2001; 木村ら 2007)、本試験では約1年に渡って1個体を自然水温で飼育した結果、水温が上昇するほど摂餌量が多くなる傾向が見られ、過去の試験結果を支持することとなった。アイゴでは15~27°C、ノトイスズミでは12~30°Cの範囲において、水温が高くなるほど摂餌量が多くなることが報告されており (山内ら 2006; 野田ら 2016)、ブダイも同様の傾向を持っている可能性があると考えられた。磯焼けに関する植食性魚類の除去は、再生産に寄与する親魚数を減少させるために、産卵期の直前が効果的であるとされている (本多 2006; 本多ら 2010)。ブダイの産卵期は、静岡県伊豆半島沿岸で7~8月 (河尻 1975)、長崎県沿岸で7~10月 (Kume et al. 2010)、鹿児島県口永良部島で5~8月 (洪野ら 1994) と報告されている。以上のことから、本州や九州の沿岸で延縄などにより本種の除去を行う時期は、水温の上昇に伴い摂餌量が増加し、なおかつ産卵期の前である春から初夏が望ましいと考えられた。

一方、本試験では、10月は水温が約26°Cと高かつ

たにも関わらず、ブダイの摂餌量が低下した。アイゴやノトリスズミでは、産卵期に消化管内容物重量指数が減少することが報告されている（秋山ら 2009; Yatsuya et al. 2015）。前述の通り、10月は長崎県におけるブダイの産卵期の後半にあたることから、摂餌量の減少は産卵期も関係している可能性があるが、本試験では試験に使用した個体の生殖腺の状態は確認していない。加えて、ブダイは動物性の餌も摂餌することが確認されており（Homma et al. 2022）、飼育していたブダイは貝類や甲殻類も摂餌していた。以上のことから、成熟が本種の摂餌量の増減に与える影響や、季節によって食性が変化する可能性に関しては、今後さらに検討する必要がある。

試験 III では、ブダイの摂餌選択性はヒジキで高く、小型海藻に対して低い傾向が見られた。なお、対照区のマクサおよびミルでは試験終了時に重量が増加したが、これは海藻の成長によるものと推察された。また、試験 III で与えた海藻の総量は 61.1 ± 0.8 g であり、試験 I におけるブダイの摂餌量は 110.0 ± 49.5 (27.5~219.5) g/kg-fish/day であったことから、ブダイが飽食の状態になり、海藻を食べ残した可能性は低い。以上のことから、アイゴやノトリスズミと同様（野田ら 2013; 山田ら 2016; 門田ら 2022）、ブダイにおいても摂餌選択性があることが明らかとなった。また、他のホンダワラ類を用いたブダイの釣獲調査でも、ヒジキが最も釣獲率が高かったことから（水産庁 2021）、ブダイの延縄における餌は、大型海藻、小型海藻を含めた中でもヒジキが最も適していると推察された。なお、本試験では小型海藻の中でウミウチワが最も高い摂餌選択性を示した。このことから、ヒジキが手に入らない状況下では、ウミウチワを延縄の餌として利用することで、除去の効率を高めることができる可能性が示唆された。一方、水産庁（2021）および本試験で用いられた海藻および海草は合わせて 9 種と限られていることから、今後はより摂餌選択性が高い種の探索についても検討する必要があると考えられる。

Terazono et al. (2012) は、ブダイの胃内容物の調査において、褐藻類が占める割合が他の海藻に比べ高いことを報告している。一方、本試験において、褐藻類であるシワヤハズに対する摂餌選択性は、ヒジキやウミウチワと比較して有意差は無かったものの、低い傾向が見られた。野田ら（2013）はアラメ・カジメ類を対象にアイゴの摂餌選択性を評価し、ポリフェノールの含有量がその嗜好性に影響する可能性を示唆している。また、シワヤハズは摂食阻害物質としてセスキテルペン誘導体を有し、エゾアワビ *Haliotis discus hannai* などの植食動物に対する化学的防御機構を備えていると考えられている（谷口ら 1993）。さらに、

ブダイが生息する長崎県野母町地先では、クロメやノコギリモクの大形海藻が消失した後でもシワヤハズは残存することが確認されている（門田ら 2023）。加えて、パピラソソと同じフジマツモ科紅藻類のマギレソソ *Laurencia saitoi* は、エゾアワビなどに対する摂食阻害物質としてジテルペンやトリテルペンを含有していることが確認されている（谷口ら 1994）。本試験では、紅藻類のパピラソソおよびマクサ、緑藻類のミルの被食率は、シワヤハズより低い傾向があった。この理由に関しては今後検討が必要であるが、ブダイは摂食阻害物質を持つ海藻類を忌避している可能性があり、このような種は延縄の餌として適さないと考えられた。

日本における代表的な植食性魚類 3 種のうち、アイゴおよびノトリスズミは飼育試験によって日間摂餌量および日間食散量が調べられており（Table 2）、これらの値は藻場への影響を把握するために重要な指標となる。本試験では、ブダイにおいても両者の値を把握したことから、3 種間の比較が初めて可能となった。これまでの報告に基づく、各魚種の体重あたりの日間摂餌量の範囲は、アイゴが $2.7 \sim 43.0$ g/kg-fish/day、ノトリスズミが $2.0 \sim 61.9$ g/kg-fish/day、ブダイが $3.0 \sim 199.9$ g/kg-fish/day となり、同じ種内でも差異が見られた（Table 2）。そこで、潜在的な藻場への影響を比較するため、過去の報告の日間摂餌量について最大値を比較した結果、ブダイが最も高く（ 199.9 g/kg-fish/day）、ノトリスズミ（ 61.9 g/kg-fish/day）、アイゴ（ 43.0 g/kg-fish/day）の順となった。また、日間食散量の最大値は、ブダイが最も高く（ 190.9 g/kg-fish/day）、アイゴ（ 75.0 g/kg-fish/day）、ノトリスズミ（ 36.6 g/kg-fish/day）の順となった（Table 2）。植食性魚類の摂餌量は馴致期間、試験に使用した海藻の種や試験水温、水槽内の個体数なども影響すると考えられていることから（野田ら 2002; 野田ら 2013; 野田ら 2016; Kadota et al. 2021）、飼育試験の条件の違いが影響している可能性は否定できないが（Table 2）、ブダイはアイゴやノトリスズミと比較して、日間摂餌量、日間食散量ともに多いと考えられた。桐山ら（2001）は、ブダイにクロメを給餌した結果、海藻を引きちぎるようにして噛み取る行動を確認しており、ブダイの日間食散量が多い理由は前述のような行動に起因していると推察される。また、本試験の結果から、有意ではないものの、体重が重いほど日間摂餌量が多い傾向が見られた。この傾向について、本試験では供試魚数が 9 個体と少なかったことから、今後、個体数を増やして検討することにより、より明確な傾向が得られる可能性がある。以上のことから、ブダイは 1 尾あたりの潜在的な藻場への影響が大きく、磯焼け対策において本種の大個

Table 2. Food intake and scattered seaweed values of harviborous fish

Herbivorous fish	Seaweed species	Water temperature (°C)	Size of TL (cm)	Weight (g)	Number of fish	Number of tanks	Feeding rate (g/kg-fish/day)	Scattered rate (g/kg-fish/day)	Reference
<i>Calotomus japonicus</i>	<i>Sargassum fusiforme</i>	19.9 - 22.9	32.0 - 45.0 (39.2 ± 5.1)	578 - 1,800 (1,147 ± 448)	1	9	63.9 - 199.9 (110.0 ± 43.6)	46.3 - 190.9 (108.2 ± 51.8)	This experiment
	<i>Sargassum fusiforme</i>	15.3 - 24.7	30.2 - 39.4 (-)	542 - 1,243 (-)	1	6	- (3.0 ± 3.0)*1	More than feeding value	Kiriyama et al. 2005
	<i>Undaria undarioides</i>	16.0 - 25.0	- (-)	360 (-)	1	1	90.0 - 160.0*1 (-)	- (-)	Kimura et al. 2007
<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Sargassum fusiforme</i>	15.3 - 24.7	19.7 - 32.0 (-)	78 - 446 (-)	1	6	- (43.0 ± 29.0)*1	More than feeding value	Kiriyama et al. 2005
	<i>Ecklonia cava</i>	25.7 - 28.8	- (-)	800 - 1,400 (-)	8	1	2.7 - 39.7*2 (-)	- (-)	Yamauchi et al. 2006
	<i>Eisenia bicyclis</i>	23.0	- (33.0 ± 1.6)	- (607 ± 120)	15	1	16.4 - 17.6*1,3 (-)	20.9 - 75.0*1,3 (-)	Noda et al. 2002
<i>Kyphosus bigibbus</i>	<i>Sargassum fusiforme</i>	15.3 - 24.7	38.4 - 47.0 (-)	935 - 1,933 (-)	1	6	- (2.0 ± 2.0)*1	Not observed	Kiriyama et al. 2005
	<i>Sargassum patens</i>	16.0 - 30.0	- (46.8 ± 2.7)	- (2,403 ± 363)	3	1	24.0 - 45.0*1 (-)	4.0 - 5.0*1 (-)	Noda et al. 2016
	<i>Eisenia bicyclis</i>	18.0 - 30.0	- (46.8 ± 2.7)	- (2,403 ± 363)	3	1	6.0 - 13.0*1 (-)	1.0 - 11.0*1 (-)	Noda et al. 2016
	<i>Padina arborescens</i>	24.6 - 26.7	42.0 - 43.1*2 (42.5 ± 3.3)	1,390 - 1,520*2 (1,469 ± 344)	10	3	48.4 - 61.9*2 (57.2 ± 9.2)	26.2 - 36.6*2 (30.2 ± 11.3)	Kadota et al. 2021 (Including unpublished data)

In the table, the range of data (the mean value ± standard deviation) is described. TL: total length.

The table is based mainly on data for temperatures ranging 15 - 30 °C in previous studies.

*1 The data calculated from text, table and figure of past study.

*2 The data described the range of the mean.

*3 The experiment was performed for 10 hours.

体を除去できる延縄の効果も大きいと推察された。前述の通り、本試験の結果からブダイの除去のための延縄は、春から初夏の午前中に、餌としてヒジキを用いて実施することが望ましいと考えられたことから、今後は磯焼け海域において、この条件でブダイの効率的な除去が可能かを実証する必要がある。

要 約

海藻を餌とした延縄によるブダイの除去の効率化を検討するため、摂餌生態に関する飼育試験を行った。朝 (5:00~10:00)、昼 (10:00~15:00)、夕方 (15:00~20:00)、夜間 (20:00~5:00) の本種のヒジキの摂餌量を調べた結果、朝は 8.6 ± 4.7 g/kg-fish/h、昼は 8.8 ± 3.4 g/kg-fish/h と多く、夕方は 5.5 ± 2.5 g/kg-fish/h に減少した。なお、夜間は 0.1 ± 0.1 g/kg-fish/h であり、摂餌していないと考えられた。また、ブダイを1年間飼育し、2ヶ月に1回クロメの摂餌量を把握した結果、6~8月の摂餌量は $76.9 \sim 224.9$ g/kg-fish/day であり、他の月 ($8.4 \sim 37.6$ g/kg-fish/day) と比較して多かった。さらに、ヒジキ、ウミウチワ、シワヤハズ、パピラソゾ、マクサ、ミルの6種の高藻をブダイに給餌した結果、24時間後の被食率はヒジキが $87.2 \pm 19.7\%$ となり、他の海藻 (2.4~72.8 %) と比較して高い値であった。以上の結果から、延縄でブダイの除去を行う場合、春から初夏の午前中にヒジキを餌として

実施すれば効率が良いと考えられた。

謝 辞

本試験の実施にあたり、国立研究開発法人 水産研究・教育機構水産技術研究所の吉田吾郎博士、藤浪祐一郎氏には有益な御助言を頂いた。また、水産技術研究所技術開発第4グループおよび温帯浅海域第2グループの方々には、ブダイの飼育管理等への御協力を頂いた。さらに、同研究所漁場生産力グループの島袋寛盛博士には海藻の同定に関して御教示を頂いた。加えて、オフィス MOBA の中嶋 泰氏、五島漁業協同組合玉之浦支所の漁業者である平松勝利氏および五島ふくえ漁業協同組合崎山支所の漁業者である松尾利治氏には、試験に用いたブダイの採集に御協力いただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

文 献

吾妻行雄・松山恵二・中多章文・川井唯史・西川信良 (1997) 北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移. 日本水産学会誌, **63**, 672-680. [Agatsuma, Y., K. Matsuyama, A. Nakata, T. Kawai and N. Nishikawa (1997) Marine algal succession on coralline flats after removal of sea urchins in Suttusu Bay on the Japan Sea coast of Hokkaido, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **63**, 672-680 (in Japanese with English

- abstract).]
- 秋山清二・長沼美和子・片山知史 (2009) 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. [Akiyama, S., M. Naganuma and S. Katayama (2009) Annual life cycle of rabbitfish *Siganus fuscescens* in Tateyama Bay, Chiba Prefecture. *Fis. Eng.*, **46**, 107-115 (in Japanese with English abstract).]
- Choat, J. H. and K. D. Clements (1993) Daily feeding rates in herbivorous labroid fishes. *Mar. Biol.*, **117**, 205-211.
- 平岡雅規・浦吉徳・原口展子 (2005) 土佐湾沿岸における水温上昇と藻場の変化. 海洋と生物, **27**, 485-493.
- 本多直人 (2006) 植食性魚類の効果的な漁獲方法について. 水産工学, **43**, 59-64. [Honda, N. (2006) The effective fishing method for the herbivorous fishes. *Fis. Eng.*, **43**, 59-64 (in Japanese with English abstract).]
- 本多直人・藤田薫・秋山清二 (2010) 音響カメラ DIDSON による水槽内でのアイゴの日周行動の観察. 水産工学, **47**, 47-51. [Honda, N., K. Fujita and S. Akiyama (2010) Observation of diurnal behavior of rabbit fish by acoustic camera DIDSON in the tank. *Fis. Eng.*, **47**, 47-51 (in Japanese with English abstract).]
- Homma, C., D. Inokuchi, Y. Nakamura, K. Ohnishi, H. Funaki, H. Yamaguchi and M. Adachi (2022) Comparison of the diets of the parrotfishes *Scarus ovifrons* and *Calotomus japonicus* using rDNA metabarcoding. *Fish. Sci.*, **88**, 539-553.
- 石川達也・戸瀬太貴・阿部真比古・岩尾豊紀・森田晃央・前川行幸・倉島彰 (2017) 三重県早田浦におけるガンガゼ除去に伴う海藻植生の変化. 日本水産学会誌, **83**, 599-606. [Ishikawa, T., T. Tose, M. Abe, T. Iwao, T. Morita, M. Maegawa and A. Kurashima (2017) Changes in algal flora by removing *Diadema* in Haidaura Bay, Mie Prefecture. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **83**, 599-606 (in Japanese with English abstract).]
- 門田立・清本節夫・福田紘士・吉村拓 (2017) 植食性魚類ノトイズミ *Kyphosus bigibbus* の消波ブロックへの蟬集とその季節変化. 日本水産学会誌, **83**, 74-76. [Kadota, T., S. Kiyomoto, H. Fukuda and T. Yoshimura (2017) Temporal patterns of aggregation formation around wave-dissipating blocks in the grey sea chub *Kyphosus bigibbus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **83**, 74-76 (in Japanese).]
- 門田立・清本節夫・増田佳子・宮野哲平・吉村拓 (2022) 長崎県壱山町地先におけるウニの密度管理による小型海藻藻場の造成. 日本水産学会誌, **88**, 49-57. [Kadota, T., S. Kiyomoto, Y. Masuda, T. Miyano and T. Yoshimura (2022) Restoration of a small-sized macroalgal bed through the removal of sea urchins in Kashiya, Nagasaki Prefecture. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **88**, 49-57 (in Japanese with English abstract).]
- Kadota, T., T. Noda and T. Yoshimura (2021) Diel feeding patterns in the herbivorous fish *Kyphosus bigibbus* held in aquaria. *Aquacult. Sci.*, **69**, 135-142.
- 門田立・八谷光介・吉村拓・邵花梅・清本節夫 (2023) 2010年代の10年間にわたる長崎県野母町地先の藻場の変化. 日本水産学会誌, DOI: 10.2331/suisan.22-00054. [Kadota, T., K. Yatsuya, T. Yoshimura, H. Shao and S. Kiyomoto (2023) Ten years of monitoring the seaweed community in Nomo, Nagasaki Prefecture, Southwestern Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, DOI: 10.2331/suisan.22-00054 (in Japanese with English abstract).]
- 河尻正博 (1975) 静岡県沿岸の重要魚類資源の研究 II: ブダイの年令と成長. 静岡県水産試験場研究報告, **9**, 17-26.
- 木村創・山内信・能登谷正浩 (2007) 魚類の捕食回避に網生簀を利用したヒロメ早期収穫技術の開発. 水産増殖, **55**, 467-473. [Kimura, H., M. Yamauchi and M. Notoya (2007) Early harvests of *Undaria undarioides* using net cages prevention of fish consumption. *Aquacult. Sci.*, **55**, 467-473 (in Japanese with English abstract).]
- 桐山隆哉・藤井明彦・藤田雄二 (2005) 藻食性魚類によるヒジキの摂食と摂食痕の特徴. 水産増殖, **53**, 355-365. [Kiriya, T., A. Fujii and Y. Fujita (2005) Feeding and characteristic bite marks on *Sargassum fusiforme* by several herbivorous fishes. *Aquacult. Sci.*, **53**, 355-365 (in Japanese with English abstract).]
- 桐山隆哉・野田幹雄・藤井明彦 (2001) 藻食性魚類数種によるクロメの摂食と摂食痕. 水産増殖, **49**, 431-438. [Kiriya, T., M. Noda and A. Fujii (2001) Grazing and bite marks on *Eclonia kurome*, caused by several herbivorous fishes. *Aquacult. Sci.*, **49**, 431-438 (in Japanese with English abstract).]
- 清本節夫・門田立・種子田雄一・吉村拓 (2018) 九州西岸域における藻場の変遷. 海洋と生物, **236**, 210-219.
- 清本節夫・山仲洋紀・吉村拓・八谷光介・邵花梅・門田立・玉置昭夫 (2021) 九州北西部壱岐島和歌地先におけるカジメ科海藻藻場の消失までの長期変動. 日本水産学会誌, **87**, 642-651. [Kiyomoto S., H. Yamanaka, T. Yoshimura, K. Yatsuya, H. Shao, T. Kadota and A. Tamaki (2021) Long-term change and disappearance of Lessoniaceae marine forests Off Waka, Ikishima Island, Northwestern Kyushu, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **87**, 642-651 (in Japanese with English abstract).]
- Kume G., Y. Kubo, T. Yoshimura, T. Kiriya and A. Yamaguchi (2010) Life history characteristics of the protogynous parrotfish *Calotomus japonicus* from northwest Kyushu, Japan. *Ichthyol. Res.*, **57**, 113-120.
- Kusen J. D. and A. Nakazono (1991) Protogynous hermaphroditism in the parrotfish, *Calotomus japonicus*. *Japan. J. Ichthyol.*, **38**, 41-45.
- 桑原久実・南里海児・吉村拓・野田幹雄・安藤亘 (2015) ノトイズミ除去対策の取り組み. 月刊海洋, **47**, 284-289.
- 野田幹雄・長谷川千恵・久野孝章 (2002) 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. 水産大学校研究報告, **50**, 151-159. [Noda, M., C. Hasegawa and T. Kyuno (2002) Unique feeding behavior of thallus of the kelp *Eisenia bicyclis* by adult *Siganus fuscescens* captive in an experimental tank. *Journal of National Fisheries University*, **50**, 151-159 (in

- Japanese with English Abstract).]
- 野田幹雄・川野正弘・岡本訓明・村瀬 昇 (2016) 飼育下におけるノトリスズミの日間採餌量の見積と採餌日周性の検討. 水産大学校研究報告, **64**, 219-225. [Noda, M., M. Kawano, K. Okamoto and N. Murase (2016) Estimation of daily feeding rate and diel feeding rhythm of herbivorous fish *Kyphosus bigibbus* in captivity. *Journal of National Fisheries University*, **64**, 219-225 (in Japanese with English Abstract).]
- 野田幹雄・大神賢志・大原啓史・村瀬 昇・池田 至・田上保博 (2013) アイゴの嗜好性に及ぼすアラメ・カジメ類5種 (コンブ目レソニア科) のポリフェノール含有量と藻体の硬さの効果. 水産増殖, **61**, 113-117. [Noda, M., T. Ogami, H. Ohara, N. Murase, I. Ikeda and Y. Tanoue (2013) Effects of polyphenol content and thallus toughness of five species of kelp (Laminariales, Lessoniaceae) on the feeding preference of the Japanese temperate rabbitfish *Siganus fuscescens*. *Aquacult. Sci.*, **61**, 113-117 (in Japanese with English abstract).]
- 渋谷拓郎・緒方信一・橋本博明・具島健二 (1994) 口永良部島におけるブダイの繁殖行動. 広島大学生物生産学部紀要, **33**, 37-42. [Shibuno, T., S. Ogata, H. Hashimoto and K. Gushima (1994) Reproductive behavior of the parrotfish *Calotomus japonicus*, at Kuchierabu-jima. *J. Fac. Appl. Biol. Sci. Hiroshima Univ.*, **33**, 37-41 (in Japanese with English abstract).]
- 島田和彦 (2013) ブダイ科. 日本産魚類検索 全種の同定 第三版 (中坊徹次編), 東海大学出版会, 神奈川, pp. 2056-2057.
- 水産庁 (2021) 第3版磯焼け対策ガイドライン, 水産庁, 東京, 250 pp.
- 田井野清也・細木光夫 (2011) 植食動物の除去による藻場回復の実践, 高知県での試み. 水産工学, **48**, 47-50. [Taino, S. and M. Hosogi (2011) Practical approaches to restoration of seaweed beds by the removal of herbivores in Kochi Prefecture. *Fis. Eng.*, **48**, 47-50 (in Japanese with English abstract).]
- 谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 (1994) 海藻のケミカルシグナルー生存戦略としての化学的防御ー. 化学と生物, **32**, 434-442.
- 谷口和也・山田潤一・蔵多一哉・鈴木 稔 (1993) 褐藻シワヤハズのエゾアワビに対する摂食阻害物質. 日本水産学会誌, **59**, 339-343. [Taniguchi, K., J. Yamada, K. Kurata and M. Suzuki (1993) Feeding-deterrents from the brown alga *Dictyopteris undulata* against the abalone *Haliotis discus hannai*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 339-343 (in Japanese with English abstract).]
- Terazono, Y., Y. Nakamura, Z. Imoto. and M. Hiraoka (2012) Fish response to expanding tropical Sargassum beds on the temperate coasts of Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **464**, 209-220.
- Vergés, A., P. D. Steinberg, M. E. Hay, A. G. B. Poore, A. H. Campbell, E. Ballesteros, K. L. Heck, D. J. Booth, M. A. Coleman, D. A. Feary, W. Figueira, T. Langlois, E. M. Marzinelli, T. Mizerek, P. J. Mumby, Y. Nakamura, M. Roughan, E. van Sebille, A. S. Gupta, D. A. Smale, F. Tomas, T. Wernberg and S. K. Wilson (2014) The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proc. R. Soc. B*, **281**, doi.org/10.1098/rspb.2014.0846.
- 山田秀秋・島袋寛盛・早川 淳・中本健太・河村知彦・今 考悦 (2016) 亜熱帯藻場構成植物に対するアイゴ幼魚の摂食選択性評価. 日本水産学会誌, **82**, 631-633. [Yamada, H., H. Shimabukuro, J. Hayakawa, K. Nakamoto, T. Kawamura and K. Kon (2016) Assessment of feeding preference for subtropical macrophytes in young *Siganus fuscescens*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **82**, 631-633 (in Japanese with English Figures).]
- 山内 信・木村 創・藤田大介 (2006) アイゴ (*Siganus fuscescens*) の摂餌生態と音刺激による摂餌抑制効果について. 水産工学, **43**, 65-68. [Yamauchi, M., H. Kimura and D. Fujita (2006) Seasonal and diurnal feeding patterns of the herbivorous fish *Siganus fuscescens* and scaring by optic and auditory stimuli. *Fis. Eng.*, **43**, 65-68 (in Japanese with English abstract).]
- Yatsuya, K., S. Kiyomoto and T. Yoshimura (2015) Seasonal changes in dietary composition of the herbivorous fish *Kyphosus bigibbus* in southwestern Japan. *Fish. Sci.*, **81**, 1025-1033.
- 吉村 拓・清本節夫・八谷光介・中嶋 泰 (2009) 長崎市沿岸に広がる”春藻場”とは?ーその実態と今後の課題についてー. 月刊海洋, **41**, 629-636.
- 四井敏雄・前迫信彦 (1993) 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験. 水産増殖, **41**, 67-70. [Yotsui, T. and N. Maesako (1993) Restoration experiments of *Eisenia bicyclis* beds on barren grounds at Tsushima Islands. *Aquacult. Sci.*, **41**, 67-70 (in Japanese with English abstract).]
- Zemke-White L. W., J. H. Choat and K. D. Clements (2002) A re-evaluation of the diel feeding hypothesis for marine herbivorous fishes. *Mar. Biol.*, **141**, 571-579.