

点滅閃光に対するアイゴの大型海藻の採餌抑制効果

野田幹雄^{1†}, 米田実由², 村瀬昇¹

Effectiveness in avoidance response of the mottled spinefoot *Siganus fuscescens* to strobe light flashing on seaweed browsing

Mikio Noda^{1†}, Miyuki Komeda² and Noboru Murase¹

Abstract : This study examined the possible use of white LED strobe light as suppression of seaweed overbrowsing for the mottled spinefoot *Siganus fuscescens*. Effectiveness in avoidance response of *S. fuscescens* to strobe light flashing was compared in relation to feeding behavior of algal baits placed in front of a waterproof strobe light emitting device in two treatments of an open feeding space and two adjacent small feeding spaces with poor visibility in an indoor tank. Strobe frequency and irradiance of the light emitting device were 5 Hz and 43 Wm⁻² (17,500 lux). Tests were videotaped, and behavioral aspects of feeding such as numbers of bites, numbers of visits to compartments with algal baits, and durations of visits were measured. In the open feeding space treatment, the fish showed little aversive responses to presence of the strobe light. In the small feeding space treatment, the fish showed remarkable avoidance to feeding within a compartment with strobe light flashed, while it showed no avoidance within another one with no light. Effectiveness of the strobe light associated with feeding space was discussed in reference to potential predation risk.

Key words : LED, strobe light, herbivorous fish, *Siganus*, browsing, seaweed, avoidance

緒言

藻場造成の成否を大きく左右する要因の一つとして、アイゴ *Siganus fuscescens*, プダイ *Calotomus japonicus*, イスズミ類 *Kyphosus* spp. のような植食性魚類の採餌行動の影響があることが理解されるようになってきた¹⁻⁸⁾。特にアワビ、サザエ、ウニなどの磯根資源の餌として重要なカジメ科海藻の造成藻場の主な消失原因が、アイゴの食害であったことを明らかにした報告は多い^{1,2,5-8)}。

さらに植食性魚類は、天然藻場の衰退や消失の引き金となりうるとともに、発生した磯焼けの持続要因にもなっていると考えられている^{2,9-15)}。特に食害種としてのアイゴの食圧の強さと影響力の大きさを指摘する報告や総説は多い^{2,9,10,12-16)}。例えば、カジメ、クロメ、アラムなどのカジメ科海藻やヒジキなどの群落の藻体に残された食痕の調査で

は、アイゴが主要な食害種であった事例が多く^{2,9,10,12-16)}、海藻のアマモ群落においても同様な食害の報告がある¹⁷⁾。また、野外での行動観察¹⁸⁾や水槽内での飼育観察^{19,21)}においても、カジメ科やヒバマタ目の大型褐藻類に対して藻体の再生が不能となるような致命的な損傷やひいては海藻群落の衰退につながるような大きな影響をアイゴの採餌行動が及ぼすことが明らかにされている。また、植食性魚類の影響は造成藻場や天然藻場のみに止まらず、海藻養殖においても魚類の食害が疑われる事例が報告されている^{4,22,23)}。

現状でもっぱら実施されている食害対策としては、網や籠などにより海藻を物理的に保護する方法が従来から行われてきた^{5,24-26)}。実験的規模で集約的な管理の下に藻場を魚類の食害から防御することは、この方法でも可能である。しかし、網などの施設の維持管理および保護した海藻の健全な生育条件の確保などのための労力・維持費などの負担

¹ 水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

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

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

が大きく、事業規模で考えると必ずしも実用的な防御技術とはいえない。そのため、植食性魚類の行動特性を利用して魚類の食害を抑制する防御技術の開発が求められており、反射板や音刺激などで魚を威嚇して分散させる方法が検討されたが、試験段階で止まっている²⁷⁾。

一方、環境保全と関係して、特に海外で水力発電所の放水施設や灌漑施設の用排水路などへ主に淡水性魚類が迷い込むのを防止するために、魚類の嫌忌反応を期待する刺激として閃光の連続発光（以後、点滅閃光と呼ぶ）の利用が検討されることが多く、室内や野外で多くの実験的な研究が行われている²⁸⁻⁴⁰⁾。我が国では光で魚群を威嚇する漁法の事例⁴¹⁾や点滅する光を嫌う習性を漁業に応用する試み⁴²⁾は古くからあるとともに、海岸線にある道路・橋などを通過する車や列車からの移動する照明の魚類への影響⁴³⁾などが実験的に検討されている。これらはいずれも点滅する光の威嚇刺激としての効果を問題にしている。複数の海産魚類については、その行動を制御するという観点から点滅する光の中でも威嚇効果の高い点滅閃光の特性や慣れの問題についての定量的な基礎研究もなされている⁴⁴⁻⁵⁰⁾。しかし、造成藻場や天然藻場の食害対策につながる技術として海産魚類の採餌行動を制御する目的で点滅閃光の利用が検討されたことはない。

また、これまで点滅閃光に対する魚類の嫌忌反応を調べた報告は、点滅閃光の影響のある場を回避するかどうかという実験設定であり、餌という誘引刺激を上回る嫌忌反応を引き起こすことが点滅閃光で可能かどうかという条件での実験ではなかった。仮に点滅閃光を避ける行動的な傾向があるとしても、餌に誘引される条件下でも同様に点滅閃光を避けるかどうかは不明である。磯焼けあるいは藻場の衰退が進行しつつある水域では、植食性魚類は餌不足に直面していると想定され、食害対策につながる実用的な技術にするためには、餌に対して強く動機づけられた条件下でも嫌忌反応の効果が期待できるのかどうかを改めて実験的に検証する必要がある。

そこで本研究では、消費電力および発熱量が小さく耐久性が高いことで注目を浴びている発光ダイオード(LED)の点滅閃光を用いて、アイゴの採餌行動を抑制することが可能かどうかについて検討したので報告する。

材料と方法

供試魚と供試海藻及び実験水槽

実験に使用したアイゴ成魚は、2005年6月から2006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、水産大学校内の屋内水槽で飼育していた個体である。餌として配合飼料（マルハ、ノヴァ EP3）を1日2回（10：00と16：00）与えて飼育した。平均体長 281 ± 21 mm（平均値 \pm SD）、平均体重 566 ± 153 g（平均値 \pm SD）のアイゴ10個体を実験に用い、各個体には標識を付けて個体識別した。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。なお、上述した標識を取付けた個体は、無標識の個体と同様な採餌行動を示すことを確認している。

実験に用いた大型褐藻は、山口県下関市沖合の蓋井島で採集したジョロモク *Myagropsis myagroides* であり、アイゴが最も好む大型褐藻類の一つである^{51,52)}。採集して学校に持ち帰った藻体は、直ちに屋外水槽に直立するように固定し、プロアで強く曝気しながら養成した。水槽内で養成した期間中も生長点の保持や主枝・葉状部の伸長が認められ、藻体は健全な状態で維持できた。ジョロモクは、葉や枝の部分の長さ約100 mmに切断し5 gずつに取り分けて束ね、その束の一端を結束バンドでくくり、この一束を実験時の餌として使用した。実験中に餌のジョロモクが食べ尽くされた場合は、すぐに餌を追加した。ジョロモクの餌は、発光装置の発光部前面から約100 mm離れた位置に吊るし、LED光が直射するようにした。

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25°Cに保った。

発光装置

発光装置は、水口電装株式会社（本社 山口県下関市）の開発した水中集魚灯を使用した。この発光装置は、円柱形の透明なアクリル製のハウジング（全長720 mm、直径98 mm）の中に三角柱状の発光部（全長45 mm、直径66 mm、出力6 W）が挿入されている耐水性の仕様で、海中で使うことができる（Fig. 1A）。発光部の光源には白色の

発光ダイオードが用いられており、三角柱状の発光部の3側面で発光する。各側面の中央部にはオーディオQ社製の規格AQ-L05020WC（指向特性 20° 、20 mA、3.2 V）のLED球が28個（6.35 mm間隔で配列）、各側面の上方部と下方部には規格AQ-L05120WC（指向特性 120° 、20 mA、3.2 V）のLED球が上下合わせて12個取付けられている。使用した白色LEDのピーク波長は、第1ピークが約455 nm、第2ピークが約545 nmであった。発光装置の総重量は4.6 kgで、水中重量は0.22 kgである。内部には2種類のバッテリー（EAGLE RACING製、4200 mA 7.2 VとEAGLE RACING製、3800 mA 7.2 V）がそれぞれ一基ずつ内蔵されており、光量を一定に保つため、バッテリーが満充電された状態で実験を行った。この発光装置に発光の制御をする制御盤をつないで使用した。制御盤のスイッチで白色LEDを常時点灯、点滅閃光での点灯及び消灯のいずれかの状態に切り替える。水中集魚灯の中央部直近（円柱形の透明な筐体に接して測定、光源からの距離は約15 mm）の光量は、放射照度計（Li-Cor社の放射熱センサー LI-200SAに同社のライトメーター LI-250Aを接続して測定）で 43 Wm^{-2} 、通常の照度計（SANSYO社、SLX1332）で17,500 luxであった。点滅閃光時の点滅周期は5 Hzで、点灯すると、0.2秒間隔の閃光発光を5秒間継続し、その後1秒間は消灯状態、そして再び0.2秒間隔の閃光発光を5秒間行うという動作を繰り返す。

LEDの点滅閃光によるアイゴの採餌行動への影響評価

点滅閃光に対するアイゴの嫌忌反応を検討するために、2007年11～12月に以下に記す2種の実験を行った。実験はすべてテーブル仕様の家庭用ビデオカメラ（NV-GS250、パ

ナソニック）で撮影し、DVD-Rにダビングして保存した。採餌回数などの解析は撮影された映像を見て行った。野田ら²⁰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い、この動作を一続き採餌とする。このアイゴの一続き採餌の回数を採餌回数とした。

実験1. 開放的な空間での採餌行動における点滅閃光の効果

この実験では、実験水槽の中央に餌を吊り下げ、アイゴが周囲をよく見渡せる状態で餌を与えた場合における点滅閃光の効果を検討した。発光装置が点滅閃光と消灯の各状態において発光装置の直近に吊り下げた餌の採餌回数を比較することによって点滅閃光の採餌行動への影響を検討した。実験1における発光装置などの実験水槽内での配置状況をFig. 1に示す。水槽上部にステンレス棒を固定し、発光装置の上端に取付けられた金属製リングにステンレス棒を通して発光装置が実験水槽の中央に垂下するように固定した。発光装置が浮力で浮き上がるのを防ぐために、発光装置の下端には沈子を2つ取付けた。餌であるジョロモクは発光部の左右両面に片面2束ずつ、計4束を垂下した。水槽のガラス窓の前に家庭用ビデオカメラを一台設置し、実験中のアイゴの行動を撮影した。

実験は2007年11月19・20日に行った。19日の実験では、最初に発光部を消灯させた状態で30分間の採餌回数を記録し、その後に餌を取り除いた状態で1時間の休息時間を置き、次に発光部を点滅閃光させた状態で30分間の採餌回数を記録した。翌日の20日には逆の順序、つまり最初に集魚灯を点灯、その後に消灯の順序で同様の実験を行い、点灯・

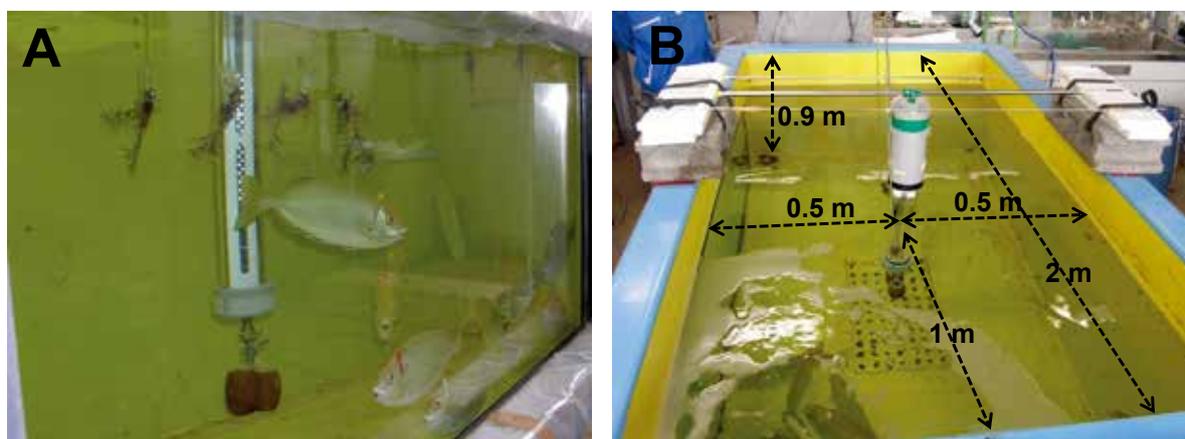


Fig. 1. Appearance of a strobe light device and the position of the light device and algal baits in an experimental tank in Experiment 1. A, side view through a glass window; B, top view.

消灯の順序の相違による影響も検討した。いずれも10:00~12:00の時間帯に実験を実施した。

実験2. 狭い空間での採餌行動における点滅閃光の効果

実験1の結果を踏まえて、この実験では狭い空間に侵入して採餌する状況での点滅閃光の効果を調べた。アイゴの侵入時に発光装置が点滅閃光する狭い空間と対照区としての発光装置が消灯したままの狭い空間でのアイゴの行動を比較することによって点滅閃光の採餌行動への影響を検討した。

実験2における小空間と発光装置及び餌などの実験水槽内での配置状況をFig. 2に示した。塩化ビニール板を700 mm×1000 mm (1枚)と700 mm×700 mm (3枚)に切断し、全面にアルミテープを貼り付けて、これを方形の水槽内に吊り下げることで隣り合う2つの小区画を作成した (Fig. 2)。一方の小区画には、直径300 mmの市販の鳥避け用反射板を3面に吊るした。それぞれの小区画に発光装置を一基ずつ垂下した。両区画の発光装置の発光部は、片面 (小区画の入口側に向けた面) を厚さ1 mmの塩化ビニール板2枚で覆い、小区画の外へ光が漏れないようにした。これら2基の発光装置の発光部前面にジョロモクを一束ずつ吊るした。実際に発光させる側の区画を発光区とし、コントロールとして発光装置を吊り下げているだけで、実際には発光させないほうの区画を非発光区とした。なお、鳥避け用反射板は、常に発光区側に垂下した。

実験はアイゴの動きを観察する者 (以下、観察者) と制御盤の操作をする者 (以下、操作者) の二人で行った。観察者はアイゴが発光区内に侵入したと判断したときに操作

者に合図を送り、操作者は合図を受けたらスイッチを入れ、LEDを点滅閃光させた。発光区内に侵入したすべてのアイゴが発光区から出て行ったと観察者が判断したときに、観察者は操作者に合図を送り消灯した。発光区と非発光区でのアイゴの採餌回数・1回侵入当りの滞留時間 (小区画内に入ってから出るまでの時間)・侵入回数を比較した。ビデオカメラを2つの小区画の45度上方に一台設置し、小区画内に侵入したアイゴの行動を撮影した。最初の実験は2007年12月18日14:00~16:00に行い、小区画の位置に対してアイゴの寄りつきやすさが異なる可能性を考慮し、翌日19日11:00~13:00に発光区と非発光区の位置を入れ替えて同様の実験を行った。

データ解析

実験結果は、標識個体ごとのデータを平均して示した。実験1では点灯・消灯の順序の入れ替え、実験2では発光区と非発光区の小区画の位置の入れ替えをして、それぞれ2回分の実験データを標識個体ごとに収集したが、2回の結果を平均せずに入れ替えの前後の結果をそれぞれ示した。実験結果の有意差の判定は、ノンパラメトリック法であるウィルコクソン符号順位検定法で行った。

結果

実験1. 開放的な空間での採餌行動における点滅閃光の効果

アイゴの行動を目視観察すると、点滅閃光時であろうと消灯時であろうと餌を吊り下げるとすぐにアイゴは採餌し始め、点滅閃光の状態を警戒しているようには見えなかつ

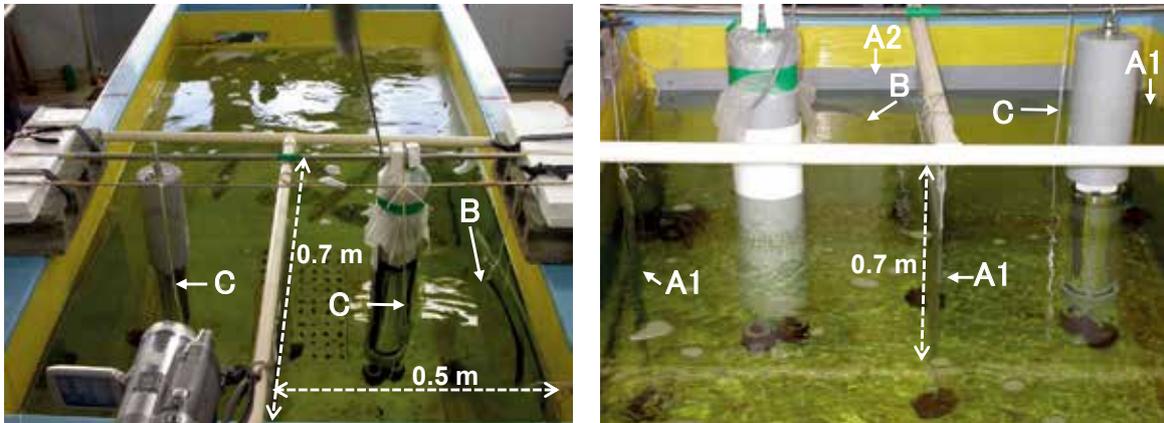


Fig. 2. The layout of two adjacent compartments within the tank and the position of the light devices and baits within the compartments in Experiment 2. A1, three medium PVC partition plates (700 × 700 mm in each plate size); A2, a large PVC partition plate (1000 × 700 mm); B, one of three disk-shaped reflector plates; C, a transparent acrylic bar for pinching a bunch of algal bait.

た。点滅閃光中に餌に近づいた個体がLED光の照射を浴び、餌の前でひるんだように硬直するような行動が観察されることもあった。しかし、アイゴは数秒ひるんだ後にすぐに採餌行動に移るなど、採餌行動を中止するまでには至らなかった。

点灯時・消灯時での平均採餌回数を比較した結果をFig. 3に示した。上述した行動観察の結果を裏付けるように、2回の実験において点灯時・消灯時ともにアイゴは活発に採餌し、点灯時には消灯時よりもむしろ採餌回数が有意に高かった（ウィルコクソン符号順位検定法, $p < 0.05$ ）。

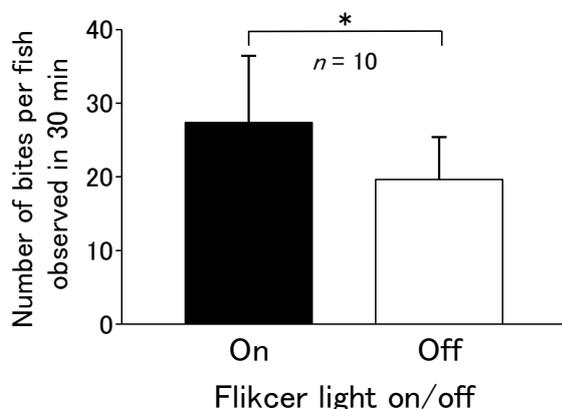


Fig. 3. Feeding intensity of adult *Siganus fuscescens* when the strobe light is either active or inactive (control) in the open feeding space treatment. As bites usually occur in short bouts of feeding, number of bites are represented as bout counts. Estimates of feeding intensity were averaged across ten tagged fish, thus indicating sample size of $n = 10$. Error bars represent 1 SE. An asterisk indicates a significant difference at $p < 0.05$ (Wilcoxon signed-rank test).

実験2. 狭い空間での採餌行動における点滅閃光の効果

小区画内に配置された餌に対するアイゴの反応の相違を目視観察した結果を以下に述べる。実験開始後、アイゴは両区に採餌のために侵入した。しかし、LEDを点滅閃光

させると発光区内のアイゴはただちに採餌をやめ、ゆっくりと後退しながら発光区から退出した (Fig. 4A,B)。このアイゴが発光区から後退しながらゆっくりと退出する行動は、実験を通して観察され、点滅閃光しても区画内から退出しない個体はいなかった。これとは対照的に、非発光区では頻繁にアイゴが侵入して、小区画内に留まり、餌を食べ続けた。さらに、実験開始後、時間の経過とともに発光区に侵入しようとする個体は少なくなり、多くの個体が非発光区を選択して採餌するようになった (Fig. 4C)。また、発光区に侵入してもまったく採餌を行わずに退出した事例や発光区に侵入しない個体（位置替え前3個体、位置替え後4個体）もいた。

発光区と非発光区における各個体の採餌回数を比較した結果をFig. 5に示した。非発光区での採餌回数は実験の1回目2回目ともに40回程度で、アイゴが活発に採餌していた。これとは対照的に、発光区での採餌回数は10回程度と極めて低く、発光区では非発光区の約1/4にまで採餌回数が低下し、有意な差が認められた（ウィルコクソン符号順位検定法, $p < 0.05$ ）。

次に、発光区と非発光区における各個体の1回侵入当りの滞留時間を比較した結果をFig. 6に示した。非発光区での1回侵入当りの滞留時間は実験の1回目2回目ともに14秒程度と長時間滞留していた。これに対して発光区では6秒程度であり、非発光区に比べて著しく低い値を示し、有意な差が認められた（ウィルコクソン符号順位検定法, $p < 0.05$ ）。

さらに、発光区と非発光区での各個体の侵入回数を比較した結果をFig. 7に示した。非発光区での侵入回数は実験の1回目は約15回、実験の2回目は約23回と小区画内に頻繁に侵入した。これとは対照的に発光区では、実験の1回目は約6回、実験の2回目は約4回と、非発光区の1/4~1/3まで侵入回数が低下し、有意な差が認められた（ウィルコクソン符号順位検定法, $p < 0.05$ ）。



Fig. 4. Escape of *Siganus fuscescens* from a strobe-light emitting compartment (A, B) and aggregating fish within the compartment of an inactive light device (C) in Experiment 2.

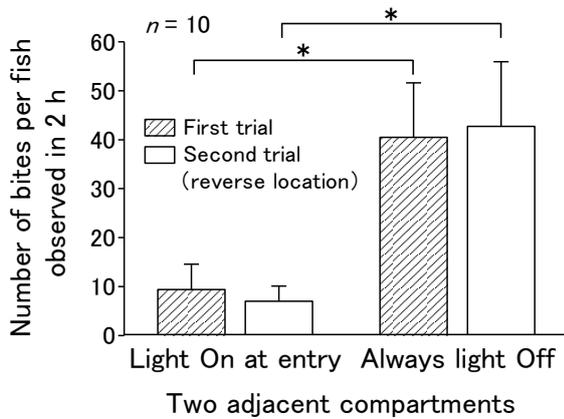


Fig. 5. Feeding intensity of adult *Siganus fuscescens* in two adjacent compartments with the strobe light devices in the small feeding space treatment, with poor visibility compared to the open feeding space treatment. In one compartment the strobe light become active when the fish enter it and in another compartment the light is always inactive (control). See caption to Fig. 3 for further details.

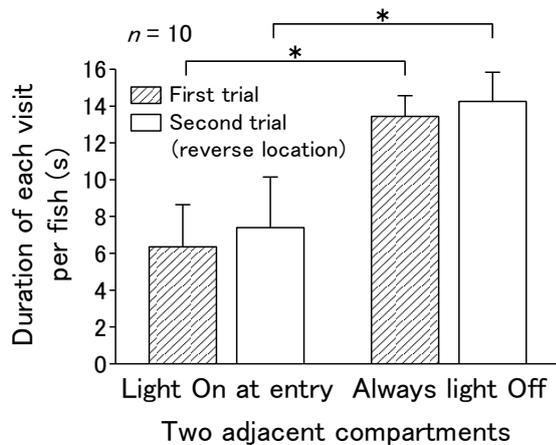


Fig. 6. Duration of each visit of adult *Siganus fuscescens* in two adjacent compartments with the strobe light devices in the small feeding space treatment, with poor visibility compared to the open feeding space treatment. In one compartment the strobe light become active when the fish enter it and in another compartment the light is always inactive (control). See caption to Fig. 3 for further details.

考 察

点滅する光はその点滅周期によって魚類の嫌忌反応に相違があることが明らかにされているが、本実験で使用した点滅周期5 Hzの点滅閃光は、複数の他の魚類で顕著な回避行動が報告されている^{30,31,48,50}。また、一般的な傾向とし

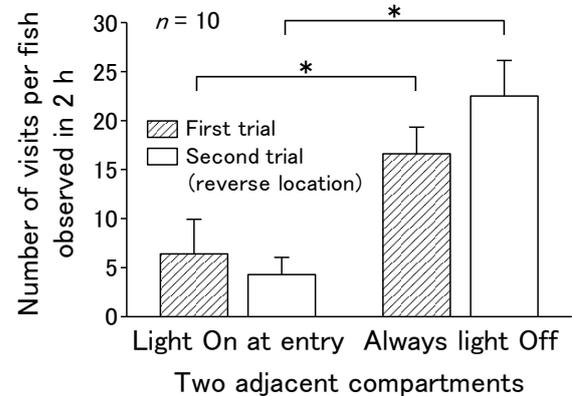


Fig. 7. Number of visits of adult *Siganus fuscescens* in two adjacent compartments with the strobe light devices in the small feeding space treatment, with poor visibility compared to the open feeding space treatment. In one compartment the strobe light become active when the fish enter it and in another compartment the light is always inactive (control). See caption to Fig. 3 for further details.

て照度の減少に伴って魚類の嫌忌反応も低下する^{44,48}。本実験で使用した発光装置の発光中央部直近の光量は、先述したように放射照度 43 Wm^{-2} (照度 $17,500 \text{ lux}$)であった。魚類の視覚が明順応状態での実験であり、光源から約100 mm離れた位置に餌は吊り下げられたが、過去の点滅閃光を利用した実験と比較して、餌の位置における点滅閃光の照度が特に低いとは考えられず、むしろかなり高かったと推定される。しかし、水槽の中央で周囲に遮るものがない開放的な空間で行った実験1では、アイゴは消灯時と比べて点灯時に餌から離れて点滅閃光を避けるような行動は示さず、その採餌回数も減少することはなかった。点滅閃光を浴びたときのアイゴの行動の様子から判断すると、実験で使った点滅閃光それ自体は好ましくない刺激と感知しているようには見えなかったけれども、海藻の採餌を止めるまでには至らなかったと考えられた。緒言で述べたように点滅する光が魚類に回避行動を起こす効果があるとの報告は多いが、これらは餌という誘引刺激がない条件での実験であった。点滅する光のもつ嫌忌反応だけで、餌に対する誘引反応である採餌行動の抑制を期待するのは難しいのかもしれない。

これとは対照的に、反射板で覆われた狭い空間にアイゴを導き入れて同様に点滅閃光を照射した実験2では、アイゴは明確な回避行動を示し、その採餌回数は対照区に比べて顕著に減少した。これは、空間の広さの相違による被食リスクの相違が影響した結果ではないかと推察される。つ

まり、見通しの悪い狭い空間では天敵の接近などをすぐに察知することが難しく、また素早い逃避行動が妨げられやすい。このような場所は、見通しのよい広い空間に比べて被食リスクが相対的に高く、アイゴの警戒心が高まるためではないかと考えられる。野田ら⁵³⁾、野田・岡本⁵⁴⁾では、アイゴ稚魚を使った実験において狭い空間で採餌させるときにはアイゴ稚魚の警戒心が高まり、それがアイゴ稚魚の採餌行動等に影響を及ぼすことを明らかにしている。そして野田ら⁵³⁾、野田・岡本⁵⁴⁾は、捕食者の出現を察知しにくいあるいは捕食者に襲撃されたときに逃避行動が起これにくいなど、ひとたび捕食者が出現すると被食される危険性が増す状況をアイゴ稚魚は強く警戒する傾向があり、この状況を潜在的な被食リスクと呼んだ。本実験で対象としたのは成魚であるが、狭い空間で警戒心の高い状態での採餌行動であったために、点滅閃光が威嚇効果をもつようになり、回避行動を示したと考えられる。

実験2の点滅閃光を照射した処理区では、採餌回数と1回侵入当りの滞留時間だけでなく、侵入回数も顕著に減少した点も注目になる。処理区における採餌回数と1回侵入当りの滞留時間の減少は、点滅閃光を照射されたことに反応してその場から退出した結果である。しかし、侵入回数も並行して減少したということは、侵入すると点滅閃光が照射される場であることをアイゴが学習したことを示唆している。おそらく被食リスクの高い場所は学習されやすい可能性があるとともに、点滅閃光が学習効果をより高めるのに寄与している可能性もある。食害対策に応用するうえで示唆に富む結果である。

また実験2では、個体ごとの採餌行動のデータを細かく解析すると、非発光区だけでなく発光区もよく利用する個体が少数ながら認められた。これは、餌をめぐる競争に関する戦術的行動だと考えられる。他の個体が非発光区を優先して選択して採餌をするため、非発光区では餌の取り合いが激しくなる。一方、発光区内で採餌する個体は稀であるから、発光区では十分に餌が採れる。そこであえて被食リスクのある発光区を選択し、競争相手の少ないところで採餌をしようという戦術をとる個体が現れたのではないかと推察する。このことから、他個体との餌をめぐる相互干渉の結果が餌場の利用の仕方にも影響を及ぼす可能性があり、ひいては食害対策の手法にも係わってくる可能性があることも認識する必要があるだろう。

本研究では潜在的な被食リスクを高める状況と組み合わせで点滅閃光を利用することによって、アイゴの回避行動

を引き出すことができた。このような被食リスクを活用した食害対策を検討することが効果的と考えられ、今後の課題である。

謝 辞

本研究で使用した水中集魚灯とその制御盤の作成については、水口電装株式会社代表取締役の水口千津雄様と水口昭弘様に多大な御協力を頂き、厚く御礼申し上げます。本研究は、文部科学省知的クラスター創生事業（第1期）の「高輝度LED技術を基盤とする医療用光源システムの開発（平成19年度、宇部地域）」の一環として実施されたもので関係各位に謝意を表する。

文 献

- 1) 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)
- 2) 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. 静岡県水産試験場研究報告, **38**, 19-25 (2003)
- 3) 桑原久実, 綿貫 啓, 青田 徹: 7.1これまでの取り組みと要素技術. 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, 206-218 (2006)
- 4) 木村 創: 3.3造成藻場も養殖海藻も食われる. 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, 62-76 (2006)
- 5) 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)
- 6) 二村和視, 高辻裕史, 増田 傑, 寫本淳司: 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) 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)
 - 11) 桐山隆哉, 藤井明彦, 吉村 拓, 清本節夫, 四井敏雄. 長崎県下で1998年秋に発生したアラメ類の葉状部欠損現象. 水産増殖, **47**, 319-323 (1999)
 - 12) 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)
 - 13) 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)
 - 14) 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)
 - 15) 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)
 - 16) 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)
 - 17) 中山恭彦, 幸塚久典, 新井章吾: 漂着アマモに認められた藻食性魚類の採食痕. 藻類, **53**, 141-144 (2005)
 - 18) 中山恭彦, 新井章吾: 南伊豆・中木における藻食性魚類3種によるカジメの採食. 藻類, **47**, 105-112 (1999)
 - 19) 桐山隆哉, 野田幹雄, 藤田明彦: 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 (2001)
 - 20) 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)
 - 21) 野田幹雄, 小林孝平, 荒木めぐみ, 安倍大地, 村瀬 昇: アイゴの採餌による大型海藻の藻体欠損量に影響する要因について - 水温別の日間採餌量の見積と群れの大きさの影響 -. 海苔と海藻, **85**, 20-33 (2017)
 - 22) 桐山 隆哉, 永谷 浩, 藤井 明彦: 島原半島沿岸の養殖ワカメに発生した魚類の食害が疑われる葉状部欠損現象. 長崎水試研報, **26**, 17-22 (2000)
 - 23) 木村 創, 山内 信, 能登谷正浩: 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 (2007)
 - 24) 綿貫 啓. 水産工学と藻場研究. 水産工学, **39**, 1-4 (2002)
 - 25) 桑原久美, 綿貫 啓, 青田 徹, 安藤 亘, 川井唯史, 寺脇利信, 横山 純, 藤田大介: 文献から見た磯焼け対策研究の歩み. 水産工学, **43**, 81-87 (2006)
 - 26) 桑原久美, 綿貫 啓, 青田 徹, 安藤 亘, 川井唯史, 寺脇利信, 横山 純, 藤田大介: 磯焼け対策における要素技術の整理. 水産工学, **43**, 89-97 (2006)
 - 27) 山内 信, 木村 創, 藤田大介: 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 (2006)
 - 28) Patrick PH, Sheehan RW, Sim B: Effectiveness of a strobe light eel exclusion scheme. *Hydrobiologia*, **94**, 269-277 (1982)
 - 29) Patrick PH, Christie AE: Responses of fish to a strobe light/ air-bubble barrier. *Fish Res*, **3**, 157-172 (1985)
 - 30) Sager DR, Hocutt CH, Stauffer Jr JR: Estuarine fish responses to strobe light, bubble curtains and strobe light/bubble-curtain combinations as influenced by water flow rate and flash frequencies. *Fish Res*, **5**, 383-399 (1987)
 - 31) Nemeth RS, Anderson JJ: Response of juvenile coho and chinook salmon to strobe and mercury vapor lights. *N Am J Fish Manage*, **12**, 684-692 (1992)
 - 32) Sager DR, Hocutt CH, Stauffer Jr JR: Avoidance behavior of *Morone americana*, *Leiostomus xanthurus* and *Brevoortia tyrannus* to strobe light as a method of impingement mitigation. *Environ Sci Poli*, **3**, S393-S403 (2000)
 - 33) Königson S, Fjälling A, Lunneryd S-G: Reactions in individual fish to strobe light. Field and aquarium experiments performed on whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Hydrobiologia*, **483**, 39-44 (2002)
 - 34) Johnson PN, Bouchard K, Goetz FA: Effectiveness of strobe lights for reducing juvenile salmonid entrainment into a navigation lock. *N Am J Fish Manage*, **25**, 491-501 (2005)
 - 35) Richards NS, Chipps SR, Brown ML: Stress response and avoidance behavior of fishes as influenced by high-frequency strobe lights. *N Am J Fish Manage*, **27**, 1310-1315 (2007)
 - 36) Mesquita FO, Godinho HP, Azevedo PG, Young RJ: A preliminary study into the effectiveness of stroboscopic light as an aversive stimulus for fish. *Appl Anim Behav Sci*, **111**, 402-407 (2008)
 - 37) Hamel MJ, Brown ML, Chipps SR: Behavioral responses

- of rainbow smelt to in situ strobe lights. *N Am J Fish Manage*, **28**, 394-401 (2008)
- 38) Noatch MR, Suski CD: Non-physical barriers to deter fish movements. *Environ Rev*, **20**, 1-12 (2012)
- 39) Elvidge CK, Ford MI, Pratt TC, Smokorowski KE, Sills M, Patrick PH, Cooke SJ: Behavioural guidance of yellow-stage American eel *Anguilla rostrata* with a light-emitting diode device. *Endang Species Res*, **35**, 159-168 (2018)
- 40) Hansen MJ, Cocherell DE, Cooke SJ, Patrick PH, Sills M, Fanguie NA: Behavioural guidance of Chinook salmon smolts: the variable effects of LED spectral wavelength and strobing frequency. *Conserv Physiol*, **6**, 1-12 (2018)
- 41) 有元貴文, 安 永一: 第5章第3節 【2】 -②光による行動制御の技術. 平野敏行 (監), 沿岸の環境圏. フジ・テクノシステム, 東京, 443-449 (1998)
- 42) 黒木敏郎, 中馬三千雄: 漁業用嫌忌灯光の研究 I. 振廻し光束について. 日水誌, **18**, 26-29 (1953)
- 43) 宮崎千博: 4.灯火と騒音の魚群の行動に及ぼす影響. 水産海洋研究会報, **32**, 100-107 (1978)
- 44) 高橋 正: 移動光膜の魚類行動に及ぼす影響について. 日水誌, **44**, 869-874 (1978)
- 45) 小池 隆: 断続光に対する魚類の反応. 日水誌, **51**, 1097-1102 (1985)
- 46) Koike T, Matsuike K: Response of a fish school to different blinking frequencies and intensity ratios of intermittent light. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 925-932 (1987)
- 47) Koike T, Matsuike K: Response of a fish school to different wavelengths of intermittent lights and different background irradiances under projected light. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 829-835 (1988)
- 48) 安 永一, 有元貴文: ストロボ光に対するマアジの回避行動. 日水誌, **60**, 713-718 (1994)
- 49) 安 永一: 8.心電図による光刺激効果の判定. 有元貴文, 難波憲二 (編), 水産学シリーズ108魚の行動生理学と漁法. 恒星社厚生閣, 東京, 86-95 (1996)
- 50) 松本太朗, 川村軍蔵, 西 隆昭, 高田吉雄, 杉村暢昭, 山下佑介, 栗原 梢: LED点滅光によるマダイの侵入抑制効果. 日水誌, **71**, 188-197 (2005)
- 51) 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)
- 52) 野田幹雄, 大原啓史, 村瀬 昇, 池田 至, 山元憲一: アイゴによるアラム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)
- 53) 野田幹雄, 安田真旺, 村瀬 昇: 潜在的な被食リスク条件下におけるアイゴ稚魚の採餌行動と行動制御要因. 平成28年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 東京, p142 (2016)
- 54) 野田幹雄, 岡本訓明: アイゴ稚魚による嗜好性の低い海藻の利用と被食リスクの関係～日和見採餌の検証～, 平成30年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 東広島, p6 (2018)