

飼育シマアジの成群行動の照度閾値

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2025-04-24
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 宮崎, 多恵子, 小金, 隆之, 塩澤, 聡, 丸山, 敬悟, 塚本, 勝巳
	メールアドレス:
URL	所属:
	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014447

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



飼育シマアジの成群行動の照度閾値^{*1}

宮崎多恵子^{*2}・小金隆之^{*3}・塩澤 聡^{*4}・
丸山敬悟^{*4}・塚本勝巳^{*2}

Critical Threshold of Light Intensity for Schooling Behaviour in Reared Striped Jack *Pseudocaranx dentex*

Taeko MIYAZAKI, Takayuki KOGANE, Satoshi SHIOZAWA,
Keigo MARUYAMA, and Katsumi TSUKAMOTO

1995年5月27日受理

シマアジの行動は視覚に依存するところが大きく、特に成群行動は視覚により仲間を視認することによって成立する¹⁾。魚類が物を見る機能は、水中照度の減少によって低下することが分かっており²⁾、照度が著しく減少する夜間には、昼間顕著な群行動を示す魚類でも、群れを維持することは困難になると考えられる。

アジ科魚類の“ものにつく”性質（寄りつき性）を利用して、シマアジの飼付け放流技術の開発が行われている³⁾。これは、放流種苗に給餌して一定の場所にとどめ、管理しようとする、いわゆる海洋牧場である。ここでは、昼間、飼付け場で群泳していたシマアジが、翌朝にはいなくなっていたという話がよく聞かれる³⁾。しかし、夜間における行動観察は困難で、シマアジが逸散する現場を見たという報告はない。したがって、仲間が見えなくなって個々に逸散したのか、寄りつき基盤が見えなくなって群れごとに別の場所に移動したのか、真相は不明である。また、この時の環境要素も、多くは測定されておらず、照度の減少の他に、どんな要因が関与したのかも明らかでない。

魚がどの程度の明るさまで群れを維持できるかは、従来より、水槽の中で群れが分散し始める照度を測定して調べられてきた。その値は魚種によって大きく異なり、アジ科の仲間 *Trachurus symmetricus*⁴⁾ やコイ科の仲間 *Notemigonus crysoleucas*⁵⁾ で約 10^{-5} lx, チャラシン科の仲間 *Astyanax mexicanus* で約 10^{-2} lx⁶⁾, トウゴロウイワシ科の仲間 *Menidia* で約 10^{-1} lx⁶⁾ と報告されている。夜間、満月の時、海面直上の明るさは 10^{-1} lx なので⁷⁾、曇天の夜や新月の夜は、後2種の魚は、群れを維持することはできないと考えられる。

そこで本研究では、まず、(1) シマアジが成群可能な照度閾値を行動実験により調べることを目的とした。また、(2) 夜間、相互に視認可能な低照度の場合 (10^{-2} lx) に、シマアジがどのような群行動をとるか、十分明るい状態 (240 lx) と暗黒状態 (0 lx) の群れ行動を比較することにより検討した。こうして得られた知見をもとに、夜間にシマアジが飼付け現場から逸散する可能性について考察した。

なお、魚の物体視認に影響を与える照度は最大で 170

^{*1} 本研究は東京大学海洋研究所と日本栽培漁業協会の間で共同で行っている「シマアジの行動特性に関する研究」の一環である。業績 No. 5.

^{*2} 東京大学海洋研究所 〒164 東京都中野区南台 1-15-1 (Ocean Reserch Institute, University of Tokyo, 1-15-1, Minamidai, Nakano, Tokyo 164, Japan)

^{*3} 日本栽培漁業協会上浦事業場 〒879-26 大分県南海部郡上浦町津井浦.

^{*4} 日本栽培漁業協会五島事業場 〒853-05 長崎県南松浦郡玉之浦町荒川郷.

lx という報告があり⁸⁾、本実験での十分明るい状態とはこの値以上とした。

材料と方法

実験装置 日本栽培漁業協会五島事業場の飼育棟内に、図1のような実験装置を作製した。広さ 1.8m²、高さ 1.8 m の暗室を 2 室、ベニア板（厚さ 1.5cm）でつくり、それぞれの中央に黒色の 0.5 m³ パンライト水槽を設置した。これらをそれぞれ実験区と対照区とし、両区の水槽外縁の直上に直列につないだ 100 W 白熱球 4 個（図中 a）を均等に配置した。これによる水槽中央の底面から 10cm の場所における下方向照度（以下、水中照度と言う）は 240lx（主波長；620 nm, 550 nm は主波長の 93%）であった。実験区にはさらに、異なる 5 段階の実験照度を設定するために、40 W 白熱球を 1 個取り付け付けた箱（縦 18 cm, 横 12 cm, 深さ 20 cm, 図中 b）5 個を暗室の天井に取り付けた。照度の調節は、箱の口に乳白色ビニールシートを枚数を変えて張ることにより行った。乳白色ビニールシートは光の波長を変えず、枚数に反比例して照度を減衰させる特性を持っている。したがってその減光率は、水中照度計の測定可能範囲（アレック製, ALM-1, レンジ；10⁻²~10⁵ lx）において実験水槽の照度

を実測して求めた（約 45%）。これより外挿し、照明箱に乳白色ビニールシートを 1, 8, 12, 16 および 20 枚張り、これらを単独で点灯した場合、水中照度がそれぞれ 2, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴ および 10⁻⁵ lx になるようにした。照明の切り替えはスイッチ ①~⑧ により遠隔操作した。

ここで、シマアジのおかれる低照度条件の 10⁻² lx という照度は、シマアジの遊泳水深を約 5 m とし、満月時の海面直上における照度 10⁻¹ lx から、次式で計算した値である。

$$E_R = E_0 \cdot \exp(-KR)$$

E_0 (lx) は水深 0 m における照度、 E_R (lx) は水深 R (m) における照度、および K (m⁻¹) は照度の消散係数である。照度の消散係数 K は、海域の濁り状態によって変化する。したがって本実験では、当事業場の飼付け現場で水深別（海面直下、5, 10, 15, 20 および 22.5 m）の海中照度を実測して求めた値を用いた（東京光学機械製, SPI-9W 使用）。すなわち、同時に測定した海面上の照度で各層の海中照度を除し、海面に同一光量が到達したときの値に換算した後、この換算値を指数回帰した直線の傾きで照度の消散係数 K (0.11 m⁻¹) が与えられる（後述、図 11）。

水槽内にろ過海水を深さ 30 cm まで入れ、80 ml/秒で

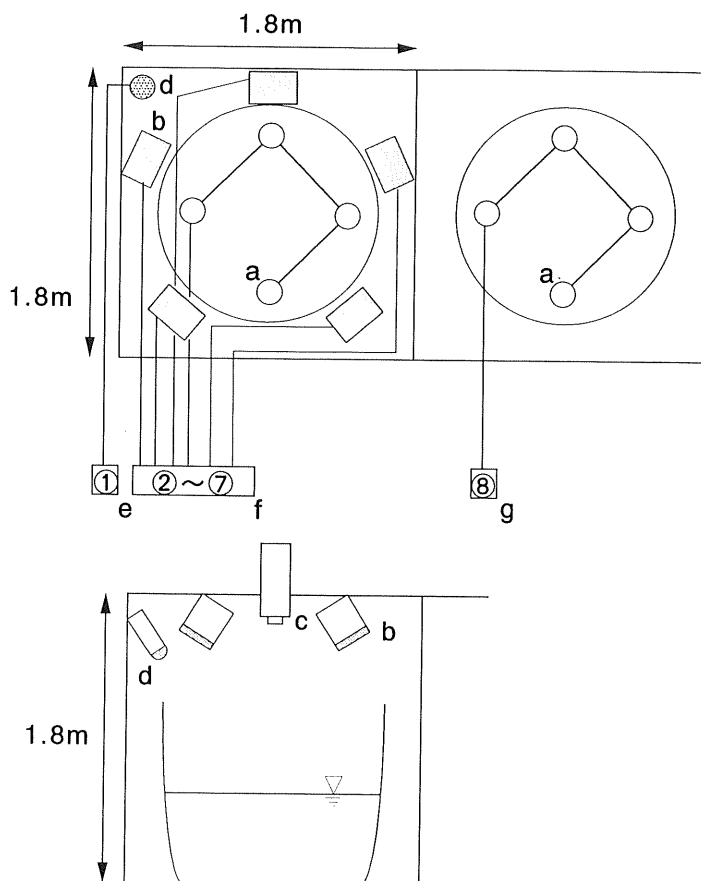


図 1. 実験装置

a; 100 W 白熱球, b; 照明装置, c; ビデオカメラ, d; 赤外線ランプ, e, f, g; スイッチ.

換水した。観察は水槽の直上に取り付けたビデオカメラ（図中c）により行った。実験区にはナイトビューア（浜松ホトニクス製）を、対照区にはアイボール（日立造船製）を用いて行動を録画した。なお、実験区には観察用の照明として、赤外線フィルターをかぶせた40W白熱球（図中d）を常時点灯した。

実験方法 実験は1994年10月28日から11月8日にかけておこなった。実験魚は、1993年4月7日に五島事業場で採卵し、陸上水槽で50日間飼育後、海上小割網で育成された日齢201日の種苗を用いた。実験ごとに、正午にシマアジを小割網から約100尾取り上げ、ほぼ同体長の個体（平均全長±SD; 119.3 ± 5.6 mm, 平均体重±SD; 19.4 ± 2.5 g）を選抜し、実験区と対照区の水槽にそれぞれ10尾ずつ収容した。なお、魚を水槽に収容してから実験終了まで無給餌とした。実験中の水温は $19.5 \sim 22.5^{\circ}\text{C}$ であった。

1. 照度閾値 $2, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ および 0lx の6段階の照度においてシマアジが群れを形成維持できるかを観察した。まず、魚を水槽に収容後、水槽に馴致するために明条件下 (2lx) で1時間放置した後、赤外線を除くすべての照明を消して暗黒条件 (0lx) にした。暗黒条件では、後述の通り、シマアジの群れは崩壊し、各個体は無秩序に遊泳するようになる。3分後、上記のある実験照度に変化させ、シマアジの成群行動を30分間観察した。以後は、明条件2分、暗黒条件3分および実験照度30分を1セットとして、実験照度のみを種々変化させて観察を繰り返した。実験は、魚を新規に入れ変えて3回おこなった。

2. 低照度条件下における群行動 明条件下 (240lx)、低照度条件下 (10^{-2}lx) および暗黒条件下 (0lx) におけるシマアジの群れ行動をビデオで連続観察した。正午に魚を水槽に収容後、実験区では 240lx で魚を4時間放置した後、16時に照度を 10^{-2}lx に低下させて実験を開始し、その後24時間の観察を行った。翌日16時に照度を 0lx に変化させ、観察を24時間継続した。対照区では、 240lx で48時間連続で観察した。この一連の実験を、魚を新規に入れ変えて3回繰り返した。

解析 ビデオを再生し、以下の項目について測定した。照度閾値の実験については、各実験照度に変化させて20分経過後の10分間を解析の対象とした。低照度下における成群行動の実験については、16, 20, 0, 4 および8時の各最初の10分間を対象とした。

1) 成群率 (%) 2分間に、シマアジの群泳（全部の魚がほぼ同じ方向に吻を向け、群れ全体が移動している状態、Schooling）が出現した時間をストップウォッチで積算計時し、2分間に占める群泳時間の割合を成群率として求めた。成群率は上記の各解析時間帯においてランダムに2回ずつ測定した。

2) 遊泳速度 (cm/秒) 解析画面上において、任意に選抜した魚が、モニターに引いた基線を通過する時間を測

定し、実験魚の平均体長と基線通過に要した時間から、選んだ個体の遊泳速度を求めた。遊泳速度は上記の各解析時間帯においてランダムに10回ずつ測定した。

3) 個体間距離 (cm) 再生ビデオを静止画面にし、10尾の実験魚それぞれについて、最も近くにいる個体との吻同士の間隔を測定し、平均値をそのときの群れの個体間距離とした。個体間距離は上記の各解析時間帯において10回ずつ測定した。

結 果

1. 照度閾値

1) 成群率 水中照度が 2lx の水槽に収容した直後のシマアジは、およそ 40cm/秒 のかなり速い速度で、水槽内を個々バラバラに動き回り、無秩序な行動をした。遊泳速度は次第に遅くなり ($15 \sim 20\text{cm/秒}$)、成群行動が見られるようになったのは収容してから約30分後であった。成群した状態から、水中照度を 0lx に減少させると、シマアジの群れは即座に崩壊し、2, 3秒後には全ての魚が水槽の壁面に沿って、時計回りまたは反時計回りで周回遊泳し始めた。この周回遊泳は、照度を短時間 (5 秒前後) で繰り返し切り替えた場合にも観察され、また、24時間放置しても続けられたことから、シマアジの視覚が効かない場合に、本実験装置内で見られる特徴的な行動と考えられた。

0lx で魚が周回遊泳している状態から 10^{-3}lx 以下のある一定の実験照度に変化させた場合、魚の行動には、 10^{-3}lx と 10^{-4}lx の間で大きな差異が認められた。成群率は 2lx で99%、 10^{-2} で98.9%、 10^{-3} で92.5%であったのに対し、 10^{-4} 、 10^{-5} および 0lx では0%となった。すなわち、 10^{-3}lx 以上の照度に変化させた場合は、魚は

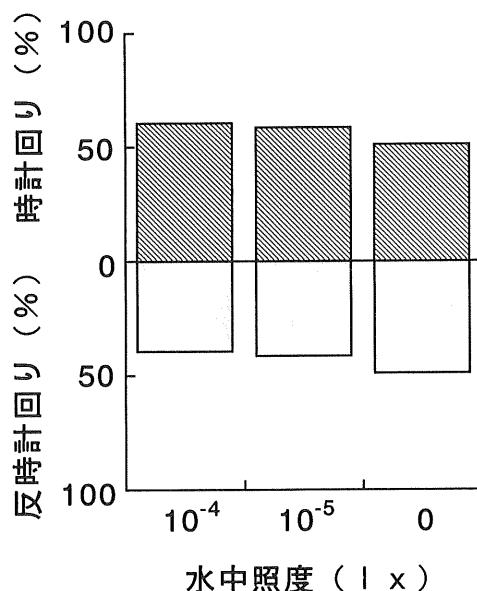


図2. 周回遊泳時の遊泳方向の割合
 斜線：時計回り，点線：反時計回り。

1～3 秒以内に水槽壁面から離れて中央に集まり、群れを形成し、即、群泳を始めた。その後も、群がり（魚の体軸の方向が揃っていない Aggregation）の状態になることが時々（観測時間内の約 10%）あったが、常に個体間距離の小さい群れ行動をすることが特徴的であった。ここでは、水槽全域に分散したり、周回遊泳したりすることはなかった（群泳 92.5% 以上、群がり 7.5% 以下）。ところが、 10^{-4} lx 以下の照度に変化させた場合には、0 lx の場合と魚の行動に変化はほとんど見られず、水槽の壁面に沿って周回遊泳する行動が継続された（成群率 0%）。なお、このとき、周回する個体の遊泳方向にはとくに偏りがなく、ランダムであった（図 2）。また、魚が互いに至近を通過する機会は頻繁にあり、中には個体同士が衝突する例も見られたが、合流して群れをつくることは皆無であった。以上の結果より、シマアジが成群可

能な照度閾値は 10^{-3} lx と 10^{-4} lx の間に存在するものと結論された。

2) 遊泳速度 各実験照度下の遊泳速度の違いを見てみると（図 3）、 10^{-3} lx 以上の照度では、分布範囲は 10～50 cm/秒と比較的狭く、明瞭なモードを有する分布を示した。これに対し、 10^{-4} lx 以下の照度では、分布範囲は 10～80 cm/秒と広く、なだらかな分布を示した。各照度で最も頻繁に出現した遊泳速度を見てみると、群れを形成した 10^{-3} lx 以上では、2 lx で 30 cm/秒、 10^{-2} lx で 23～25 cm/秒、 10^{-3} lx で 15～20 cm/秒であり、照度が低下するに伴い遅くなった。これは魚の網膜が暗順応状態になり、眼が見えにくくなったためと考えられた。これに対し、群れを形成できなかった 10^{-4} lx と 10^{-5} lx では逆に速く、35～40 cm/秒にモードが見られた。なお 0 lx では、18 cm/秒にモードがあり、 10^{-4} lx と 10^{-5} lx に比べ低い値をとった。このことは、0 lx と 10^{-4} lx、 10^{-5} lx の両条件下における魚の視力の違いを表している可能性

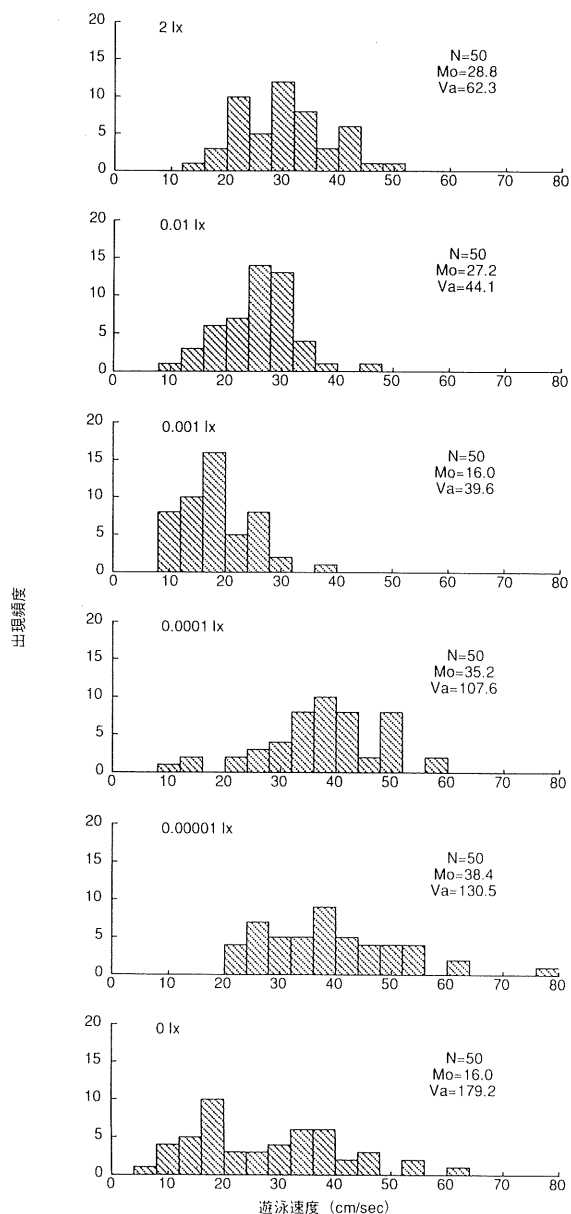


図 3. 異なる水中照度下における遊泳速度

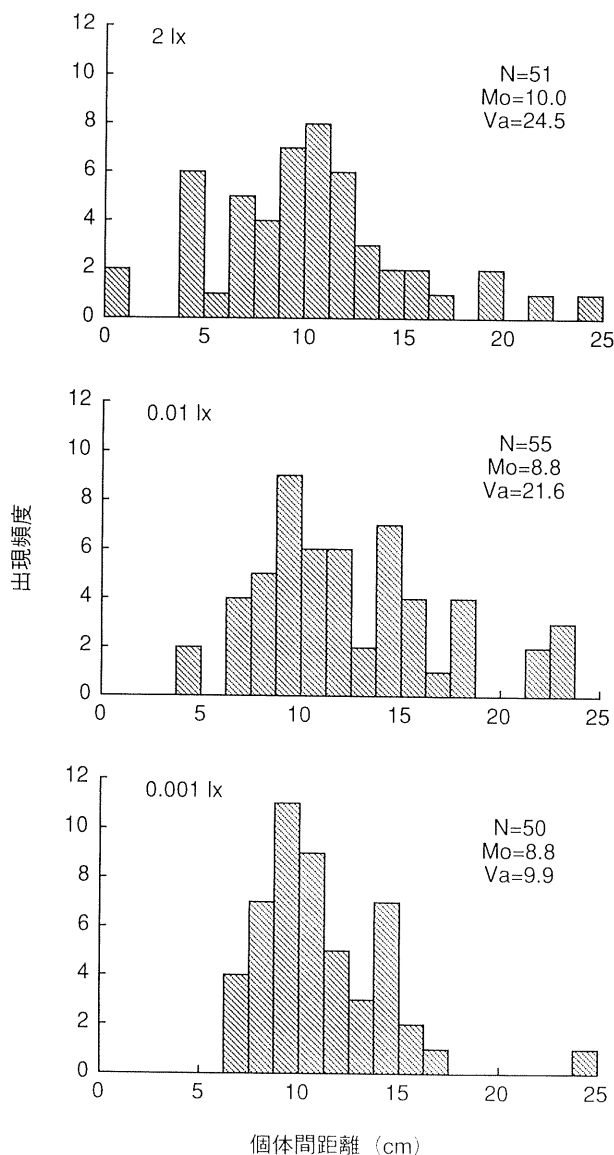


図 4. 異なる水中照度下における個体間距離

もある。すなわち、 10^{-4}lx 、 10^{-5}lx は成群できるほどの明るさではないが、何がしか見える状態なのかも知れない。

3) 個体間距離 一方、個体間距離の頻度分布(図4)では、モードはいずれの照度でも約10 cmで差がなかった。しかしながら分布範囲は異なり、照度の低下にともない個体間距離は均一にまとまる傾向があった。なお、ランダムな周回遊泳の見られた 10^{-4}lx 、 10^{-5}lx および 0lx の個体間距離は解析しなかった。

2. 低照度条件下における成群行動

1) 成群率 240lx の明条件下におけるシマアジは1日のどの時刻も群泳(Schooling)か群がり(Aggregation)のいずれかを示し、常に群れを作った。しかし、群行動のパターンには、昼夜で、明らかな違いが認められた

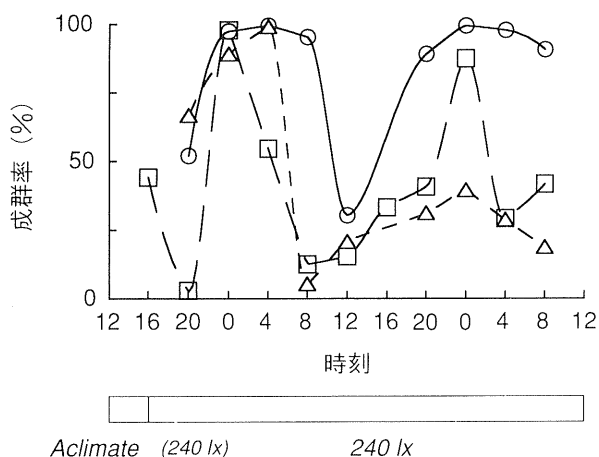


図 5. 明条件下 (240lx) における成群率の日変化

(図5)。すなわち、成群率で見ると、いずれの実験でも20時頃から増加し始め、真夜中の0時から明け方の4時にかけてほぼ100%に達した。その後は群がりの状態が多く見られるようになり、成群率は急激に減少した。成群率は、朝の8時に20~25%付近で最低となった。昼間は50%以下の低い値で推移し、夕方から再び増加を始めた。成群率の変化は2日目も真夜中前後にモードを持つ、ほぼ同様な傾向を示した。この結果より、直ちにシマアジの群行動に日周性があると結論はできないが、何らかのリズムの存在は強く示唆される。

同図を24時間周期に合成し、低照度条件下(10^{-2}lx)および暗黒条件下(0lx)における成群率と比較してみると(図6)、 10^{-2}lx における成群率は 240lx の場合と同様、真夜中の0時から4時に最大となった。また、明け方にかけて急激に減少する傾向も一致した。ただし、 10^{-2}lx の場合は、 240lx で成群率が増加の途にあった16時から20時の間にも、2例において高い成群率が認められた。これは、16時に実験照度を急変させたことにより、このことがストレスとなって警戒反応として群泳を示したと考えられる。

一方、 0lx では前述の閾値の実験同様、シマアジは群れを形成することはなかった。照度が 10^{-2}lx から 0lx に低下すると同時に、すべての魚は水槽の壁面に沿って周回遊泳を始めた。

2) 遊泳速度 遊泳速度にも群泳の出現率と同様な日周変化が見られた(図7-a, b, c)。すなわち、遊泳速度は夜間に最大になり、昼間に最低になる傾向があった。この傾向は、とくに 240lx と 10^{-2}lx で顕著であった。一方、

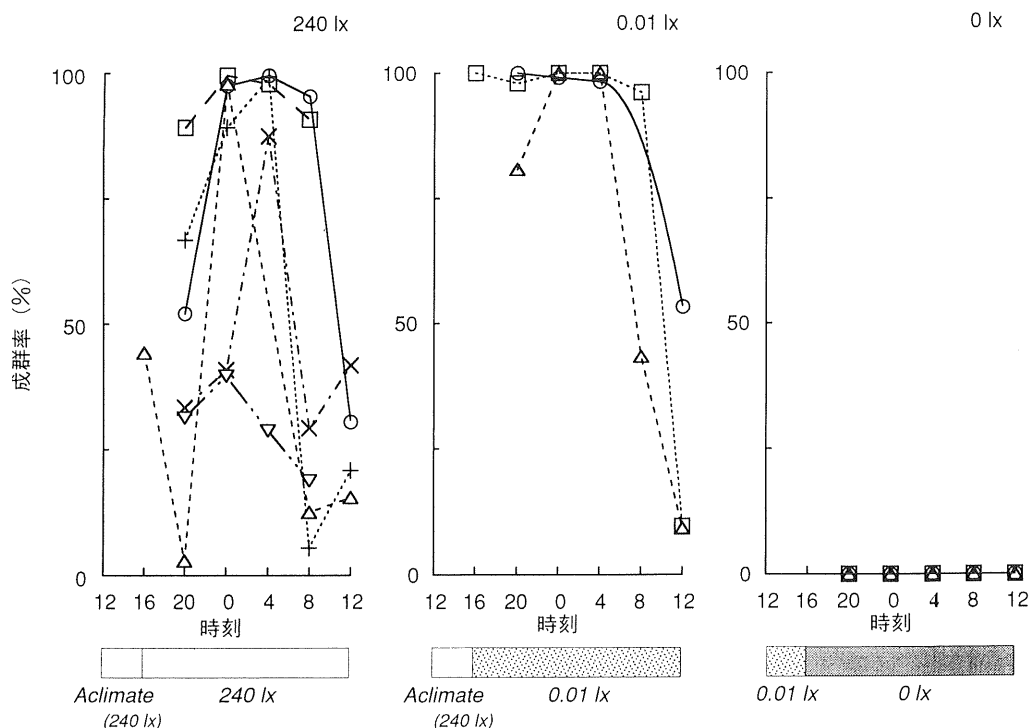


図 6. 明条件下 (240lx)、低照度条件下 (0.01lx)、暗黒条件下 (0lx) における成群率の日変化

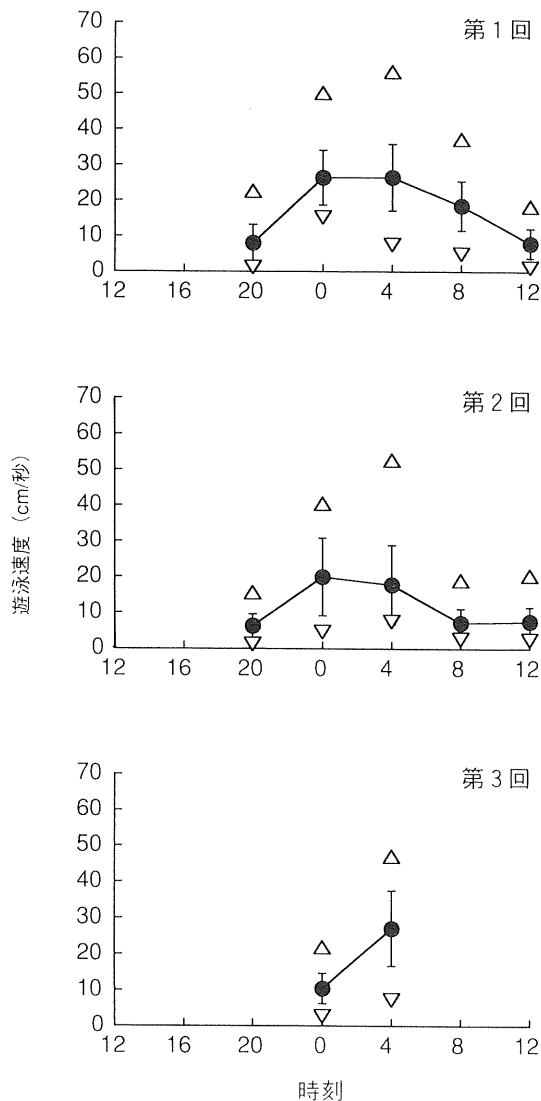


図 7a

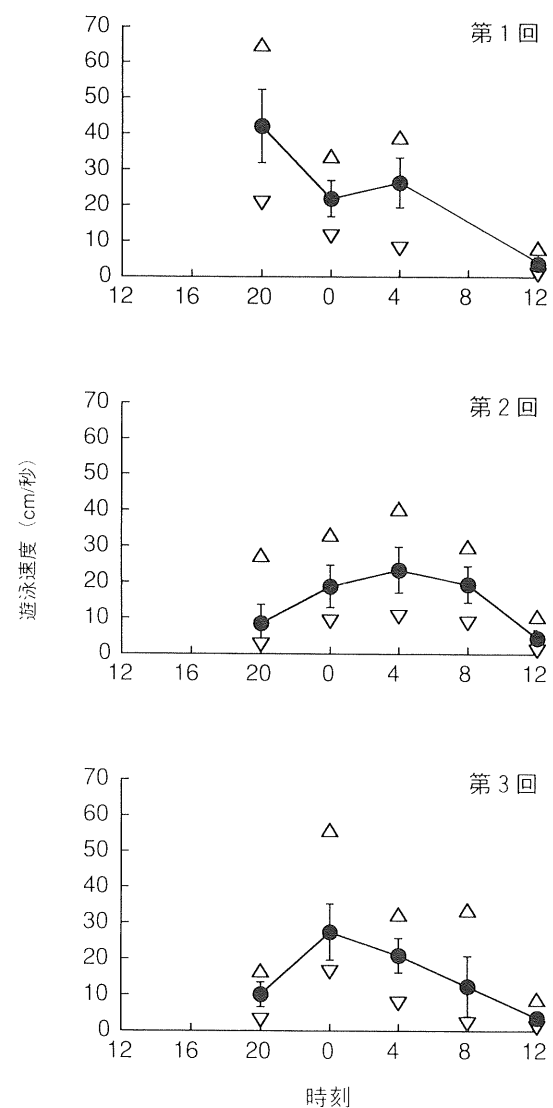


図 7b

0lx ではほぼ一定 (図 7-c) であった。また、遊泳速度を各照度間で比較すると (図 8), 240lx では 6~7cm/秒, 10^{-2} lx では 3cm/秒, 0lx では 17~18cm/秒にモードをもつ頻度分布となった。なお, 10^{-2} lx は 2 峰型で, 20cm/秒付近にも高い出現頻度がみられた。全般に, 明条件下に比べて, 低照度条件下で遊泳速度は大きくなる傾向があった。

3) 個体間距離 個体間距離には日周変化は明確に認められなかった (図 9-a, b)。頻度分布 (図 10) におけるモードは 240lx より 10^{-2} lx でわずかに大きく, それぞれ約 4cm, および約 6cm であった。低照度では個体間距離がやや大きくなるのかも知れない。

考 察

海中の照度が著しく減少し, 仲間や物体の視認が困難な夜間におけるシマアジの行動はあまり詳細には知られていない。放流現場では, 夜間もシマアジは静止するこ

となく, 群泳していたという報告が数多くある^{1,9)}。本実験では, シマアジは 10^{-3} lx では群泳できるが, 10^{-4} lx では成群できないことが明らかになった。少なくとも, 上記の放流シマアジの夜間の観察事例においては, 水中照度が 10^{-3} lx 以上であった可能性がある。

しかし一方で, シマアジが夜間, 放流現場 (小磯ら私信) や実験水槽 (小金ら私信) で, 個々バラバラの方向に向いて, 睡眠様の状態にあったという報告もある。夜間のシマアジの正常な行動として, 「群泳」か「睡眠」かのいずれかは, 現在まだ結論が得られていない。

1. 照度閾値 シマアジが成群可能な照度閾値は 10^{-3} lx と 10^{-4} lx の間に存在した。従来より, 水中照度の減少が魚の物体視認に及ぼす影響に関しては種々の魚で調べられている。魚の視認限界照度を調べた例では, European minnow, *Phoxinus laevis* で 35lx¹⁰⁾, カツオ, *Katsuwonus pelamis* で 170lx⁸⁾, Lake trout, *Salvelinus namaycush* で 50lx¹¹⁾, ブルーギル, *Lepomis gibbosus* で 10lx¹²⁾, イシダイ, *Oplegnathus faciatius* で 30lx¹³⁾ との値が報告されている。

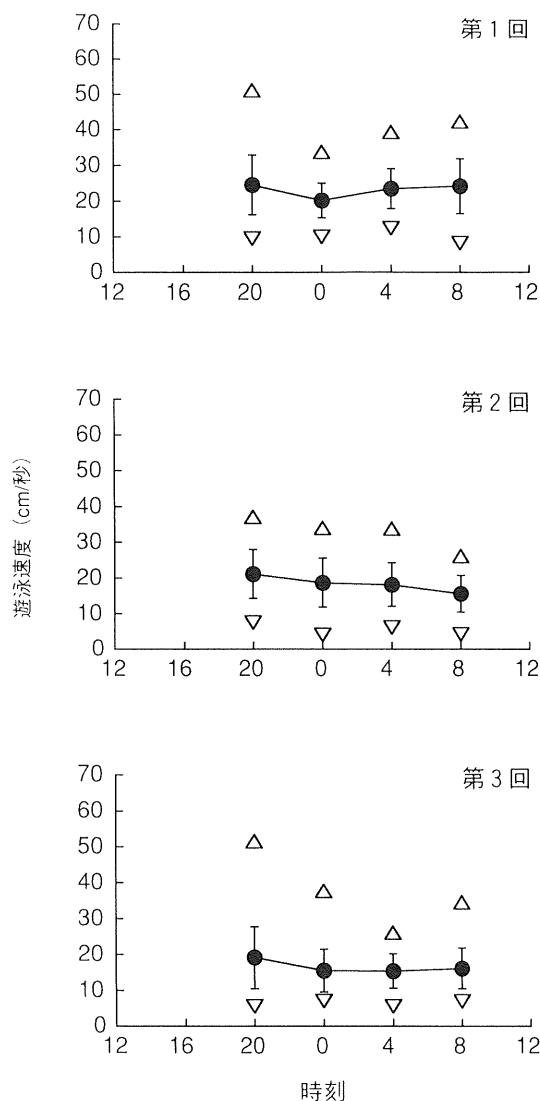


図 7c

図 7. a; 明条件下 (240lx), b; 低照度条件下 (0.01lx), c; 暗黒条件下 (0lx) における遊泳速度の日変化
△; 最大値, ▽; 最小値, ●; 平均値, —; 標準偏差.

本研究の結果はこれらの値に比べ3から4桁低い値である。これは、従来の研究で対象とした物体が、餌や漁具のように小さな物体であったためである。本実験で対象とする物体は相手の「シマアジ」の魚体でかなり大きい。すなわち、仲間が見えなくなる明るさが、ほぼ群れ形成の限界照度であると考えられる。なお、Hunter は、アジ科の *Trachurus symmetricus* が 6×10^{-7} ft-L (約 7×10^{-6} lx に相当) で群れを形成できなくなったと報告している⁴⁾。

魚は視覚がきかない場合であっても、側線感覚で周囲の状況がある程度把握することができると従来から考えられている¹⁴⁾。しかし本実験では、 10^{-4} lx 以下の照度においては、個体が互いに至近を通過しても成群することはまったくなく、側線はほとんど関与しなかったものと

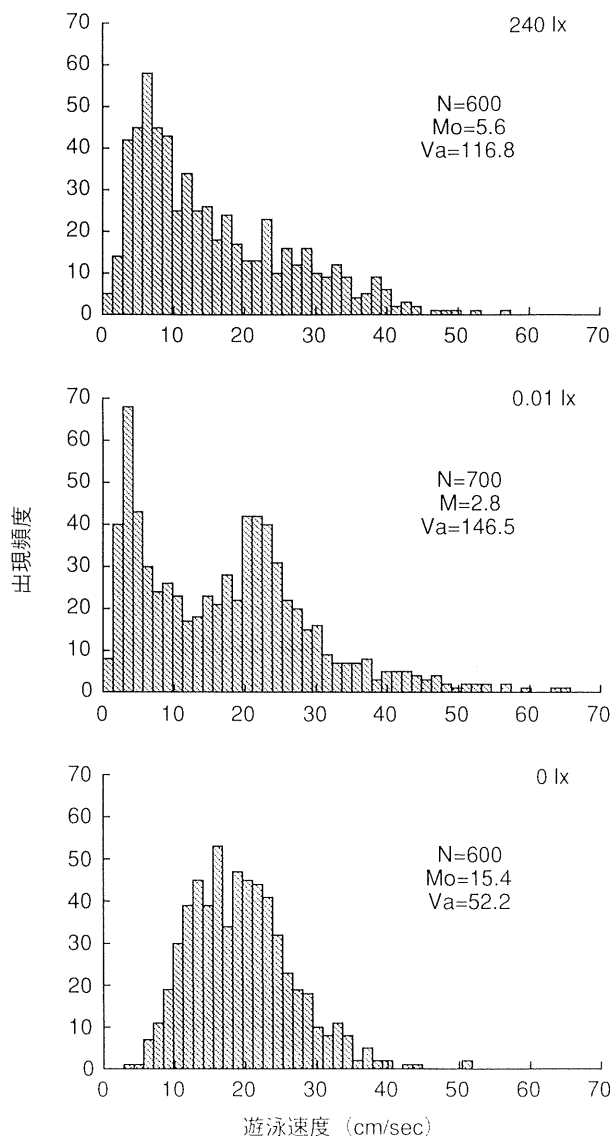


図 8. 明条件下 (240lx), 低照度条件下 (0.01lx), 暗黒条件下 (0lx) における遊泳速度

推察される。したがって、シマアジの群れ形成においては、視覚がきわめて重要な役割を果たしていることが示唆される。

ここで、五島事業場の飼付け現場において測定した水深と水中照度の関係は図 11 のようであった (●; 飼付け現場, ■; 事業場沖合い)。同図において、各水深における照度は、天空照度を 1 としたときの相対照度で示した。同図より、海面に到達した天空照度は海面直下で約 20% に減衰され、以降、水深の増加に伴い指数関数的に減衰することが判る。両者の関係は次式で表された (E_1 , E_2 ; R (m) だけ水深差のある 2 層の照度)。

$$\text{飼付け現場 } E_2 = E_1 \cdot \exp(-0.11R) \quad (\text{相関係数 } 0.99)$$

$$\text{事業場沖合い } E_2 = E_1 \cdot \exp(-0.08R) \quad (\text{相関係数 } 0.94)$$

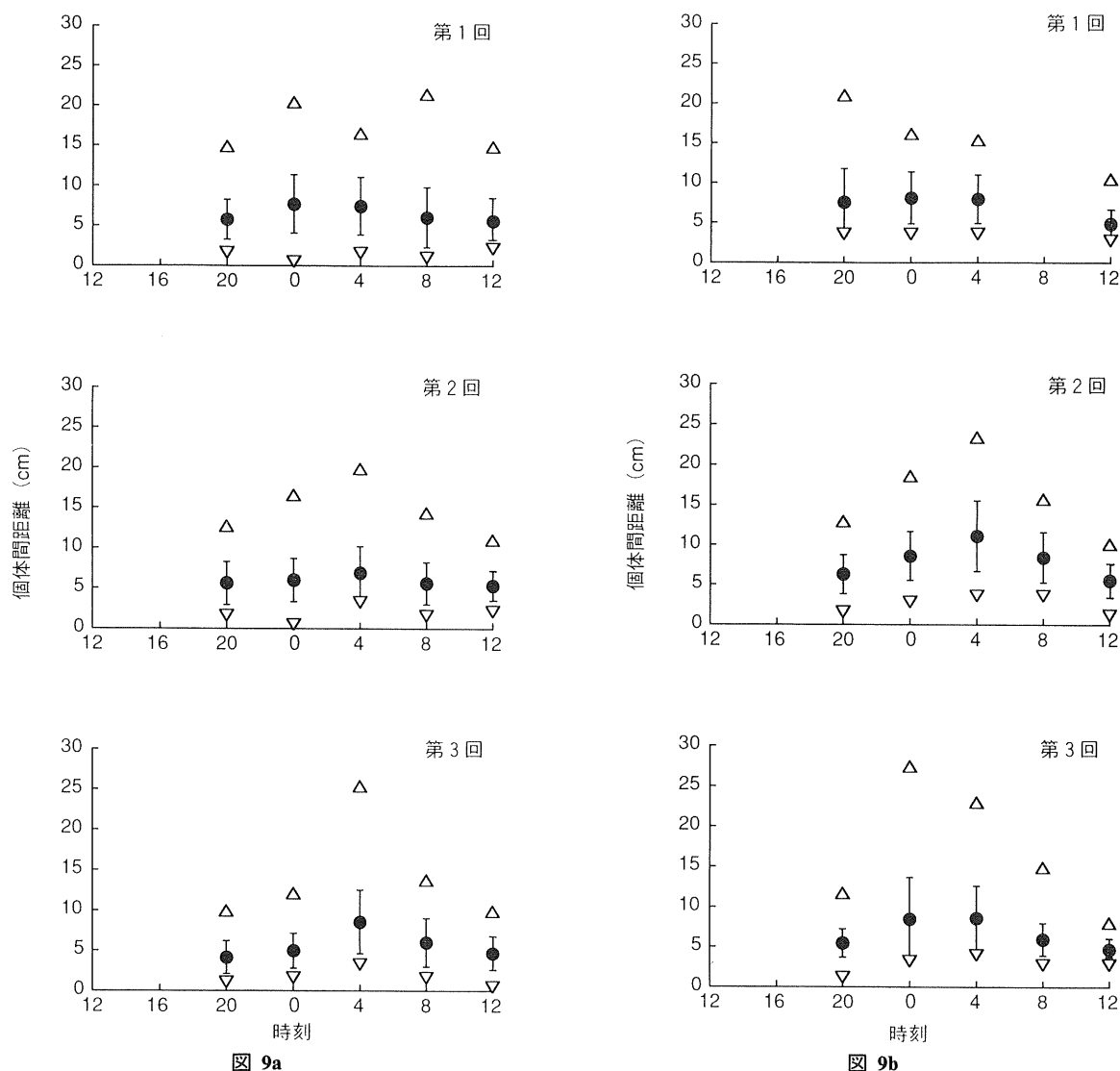


図 9. a; 明条件下 (240 lx), b; 低照度条件下 (0.01 lx) における個体間距離の日変化
△; 最大値, ▽; 最小値, ●; 平均値, —; 標準偏差.

シマアジの成群の照度閾値が存在した 10^{-3} lx と 10^{-4} lx の中間値 $5 \times 10^{-4} \text{ lx}$ を, シマアジが仲間の視認が不可能になる照度 (E_2) とし, この値を与える水深 (R) を関係式から求めると, 満月時 (海面直上における照度 (E_1): 10^{-1} lx) では約 33 m, 半月時 (同: 10^{-2} lx) では約 13 m, および三日月時 (同: 10^{-3} lx) では約 8 m となる。すなわち, これらの水深以下では, 成群できないことになる。

遊泳速度にも, 成群の照度閾値を境にして, シマアジの飼付け場からの逸散率を高める要因になり得る現象があった。すなわち, 10^{-3} lx 以上では照度の減少にともない遊泳速度が低下したのに, 10^{-4} lx 以下では逆に増したことである。これらの原因を推察すると, 10^{-3} lx 以上では仲間や周囲の様子が見えにくくなり, 警戒しながら泳ぐためであり, 10^{-4} lx 以上では, 仲間がよく見えないために心理的に不安定な状態となり, 仲間あるいは寄り添

える基盤のようなものを求めて狂奔したためと思われる。視覚が効かないときに生じる高速遊泳は, 夜間に, シマアジの棲息水深で閾値以下の低照度が生じ, 長時間続き, また, 寄り添える基盤に遭遇できなかった場合, 群れの崩壊, 飼付け場からの逸散の危険性を高める一因になると推察される。

さらに, 本実験とは別に, 成群可能な $240, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3} \text{ lx}$ および成群不可能な 0 lx の 5 段階で, 照度を短時間で変化させてみた。すると, シマアジの反応は非常に鋭敏で, 群泳から周回遊泳, 周回遊泳から群泳へと, わずか 1, 2 秒で切り換わった。ただし, 240 lx から 10^{-3} lx , 10^{-3} lx から 240 lx に変化させた場合には, 直後の約 1 分間, 行動が無秩序になることがあった。これは, 魚の眼の明順応から暗順応, また, 暗順応から明順応へ移行が, 短時間のやや大きな照度変化に対応できなかったため¹⁸⁻²⁰⁾と思われる。実際に, 飼付け現場において考えら

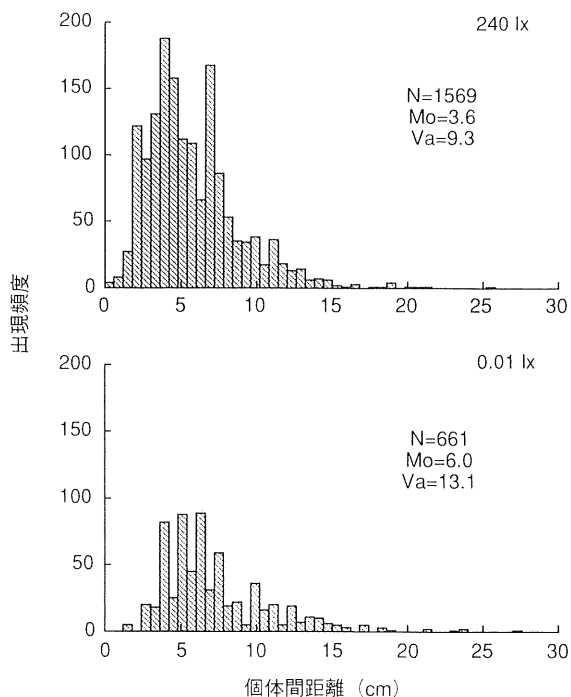


図 10. 明条件下 (240 lx), 低照度条件下 (0.01 lx) における個体間距離

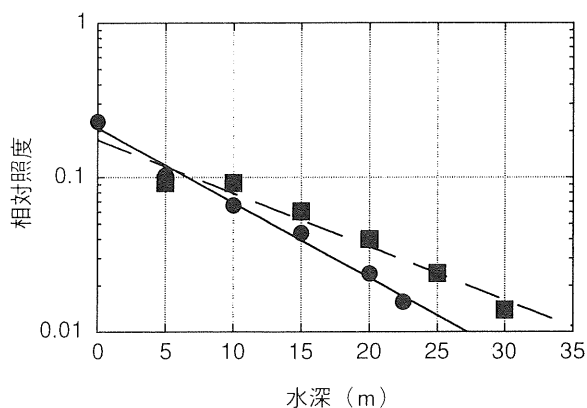


図 11. 五島事業場地先における水中照度の減衰率
●; 飼付け場, ■; 事業場沖合い.

れる低照度下での急激な照度変化としては、曇天の月夜に月が雲に隠れたり、再び月が出たりする状況がある。このような自然による短期的な照度変化は、群れを短時間で崩壊させることもあり、シマアジの飼付け場からの逸散要因になるものと推察される。

2. 低照度条件下における群行動 低照度条件下 (10^{-2} lx) での遊泳速度は、頻度分布に 3 cm/秒と 20 cm/秒の 2 つのモードがあった。前者は、明条件下におけるモード (6~7 cm/秒) よりも遅く、低照度のために魚の視機能が低下し²⁾、シマアジが警戒して行動した影響であると推察される。また、後者は、見えにくいために仲間との距離が離れ、急いで合流しようとする際に生じる瞬発的な遊泳速度が反映したものと思われる。状況をこのように判断すると、夜間でも、水深 5 m 以浅の海域で、

満月時程度の照度があれば、仲間とかなり離れてしまわない限り、シマアジの群れが崩壊することはないと考えられる。

本項のシマアジの昼夜における群行動と、前項の成群可能な照度閾値の結果を合わせて考えると、飼付け場の水中照度が 10^{-1} lx 以上であれば、シマアジは群れを形成・維持することが可能であると判断できる。そこで、飼付け場の基盤や筏等に豆球ほどの照明を付けて、シマアジがおかれた場所の水中照度を同値程度に保つことは、シマアジを滞留させる手段として、非常に簡便で、かつ有効ではないかと考える (桑田私信)。

シマアジの群行動は、昼間は Aggregation が多く出現したのに対し、夜間は活発な Schooling が見られた。飼付け場では、昼間は十分明るく、他個体と少し離れても十分視認ができ、たとえ何らかの要因で群れが崩壊したとしても、シマアジは即座に群れを再生することが可能である。したがって、Aggregation でいることは、シマアジが群れを維持するのにそれほど不都合ではないと解釈できる。一方、暗くなる夜間は視覚が効きにくくなり、他個体とはぐれないようにするために、Schooling が強くなるのではないかと考えられる。一定の照度下でも、成群行動に昼夜で変化が見られたのは、シマアジにこのようなリズムが記憶されているためと推察される。

また、シマアジの群行動が明条件下でも、低照度条件下でも夜間に活発になった結果からは次のような推論ができる。シマアジは、昼間は視界が十分効き、群れを形成することはもとより、飼付け場付近の海底地形や岩礁、人工構造物等との相対位置を知ることができる。しかし夜間は、たとえ群れを維持できる照度であっても、前述の、離れた位置にある物体は見えにくくなり、周囲の状況が把握できなくなる。こうしたときに、シマアジの群れ行動が活発になった場合、飼付け場にある程度の大きさの目標物が存在しないならば、シマアジは方向性を失い、群れはかなりの距離を移動してしまう可能性が高いと言えよう。すなわち、飼付け場の照度を考慮するのみならず、シマアジがそこにとどまる目標となり得る大きさ、発見しやすい形の寄り付き基盤を設置しなければならないことは明らかである。

以上のように、成群可能な照度閾値以下の逸散の可能性はかなり大きい。しかしながら、実際の飼付け場における日照量は、ごく緩やかな照度勾配で変化する。この場合、シマアジが側線感覚によりコンパクトな群れとなり、かつ、微妙な遊泳速度を保ったならば、群を維持し得る可能性もないとは言えない。カタクチイワシ *Engraulis encrasicolus* は、仲間が発する渦や音波等によって遊泳方向を同調させると言われている¹⁵⁾。しかし、これら機械刺激を受容する側線感覚の機能が成群行動、寄りつき行動における役割については詳細な研究はなされておらず、不明な点が多々残される。さらに、魚の視機能は成長に伴い変化することが知られており^{16,17)}、各成

長段階における成群行動の照度閾値を調べることも、種苗放流技術を向上させていく上で無視できない課題であろう。

今後は飼付け現場において、満月、曇天および新月時における夜間観察を行い、本実験結果の検証を行う必要がある。これまでも、シマアジが夜間の飼付け現場でどのような行動をしているかに関しての報告がいくつかあるものの、必ずしも天然の状態を見ておらず、人間が何らかの刺激を与えた状態を見ている可能性が高い。シマアジの夜の生態を詳細に調べ、その時の現場の環境条件を正確に把握し、逸散との関連を検討していくことが、シマアジを夜間も基盤に留めておく上で非常に重要であると考ええる。

文 献

- 1) 益田玲爾・塚本勝巳・塩澤 聡・今泉圭之輔 (1993) 九州および小笠原沿岸におけるシマアジの生態。栽培技研, **22**, 55-65.
- 2) 田村 保 (1970) 視覚, 「魚類生理」(川本信之編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 451-479.
- 3) 岡 雅一 (1991) 飼付け放流試験, 飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (1), 日裁協特別研究報告, **1**, 64-70.
- 4) HUNTER, J. R. (1968) Effects of light on schooling and feeding of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **25**, 393-407.
- 5) JOHN, K. R. (1964) Illumination, vision and schooling of *Astyanax mexicanus* (Fillipi). *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **21**, 1453-1473.
- 6) SHAW, E. (1961) Minimal light intensity and the dispersal of schooling fish. *Bull. Inst. oceanogr. Monaco*, **1231**, 1-8.
- 7) BLAXTER, J. H. S. (1970) Light. in "Marine ecology" (ed. by O. Kinne), John Wiley and Sons Ltd., London, pp. 213-320.
- 8) NAKAMURA, E. L. (1968) Visual acuity of two tunas, *Copeia*, **1**, 41-49.
- 9) 今泉圭之輔 (1991) 上浦, 古満目事業場におけるシマアジの飼付け試験, 飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (1), 日裁協特別研究報告, **1**, 23-44.
- 10) BRUNNER, G. (1934) Über die sehscharfe der elitze bei verschiedenen helligkkeiten, *Zeit vergl. phisiol.*, **21**, 297-316.
- 11) CONFER, J. L., HOWICK, G. L., CORZETTE, M. H., KRAMER, S. L., FITZGIBBON, S., and LANDESBERG, R. (1978) Visual predation by planktivores, *Oikos*, **31**, 27-37.
- 12) VINYARD, G. L. and O'BRIEN, W. J. (1976) Effects of light and turbidity on the reactive distance of bluegill. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **33**, 2845-2849.
- 13) 宮崎多恵子 (1993) 物体に対する視認距離への環境要素の影響, 「イシダイの視力および物体視認距離とこれらへの海中の明るさ・濁りの影響に関する研究」, 東京水産大学博士学位論文, 40-47.
- 14) 井上 実 (1978) 魚の行動と漁法, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 119-120.
- 15) OMANNEY, F (末廣恭雄訳) (1969) 魚類, タイムライフブックス, 東京.
- 16) 石田健一 (1984) 海産魚類の仔稚魚期における感覚器と行動の分化発達に関する研究, 東京大学博士論文, 東京.
- 17) 宮崎多恵子 (1992) イシダイ仔稚魚の成長に伴う視力の変化, 日本水産学会誌, **59**, 437-440.
- 18) 羽生 功 (1970) 魚類の対光行動とその生理, 日本水産学会誌, **38**, 919-920.
- 19) 羽生 功 (1972) 光刺激と海洋動物の行動, 海洋科学, **4**, 60-65.
- 20) 川村軍蔵 (1979) ゴマサバの視覚とその釣漁法への応用に関する基礎的研究—III, 日本水産学会誌, **45**, 553-555.