

水槽に放流されたシマアジ人工種苗の放流直後の行動

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: 今泉, 圭之輔, 関谷, 幸生, 塩澤, 聡, 西, 明文, 小金, 隆之, 益田, 玲爾, 塚本勝巳
	メールアドレス:
URL	所属:
	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014450

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



水槽に放流されたシマアジ人工種苗の放流直後の行動

今泉圭之輔^{*1}・関谷幸生^{*2}・塩澤 聡^{*3}・西 明文^{*4}・
小金隆之^{*1}・益田玲爾^{*5}・塚本勝巳^{*5}

Behaviour of Reared Juveniles of Striped Jack *Pseudocaranx dentex* Experimental Released in a Large Tank

Keinosuke IMAIZUMI, Sachio SEKIYA, Satoshi SHIOZAWA,
Akefumi NISHI, Takayuki KOGANE, Reiji MASUDA,
and Katsumi TSUKAMOTO

1995年7月31日受理

シマアジ, *Pseudocaranx dentex* の飼付け型栽培漁業技術開発は1987年に愛媛県宇和海および熊本県牛深において開始され、愛媛県宇和海では放流されたシマアジが放流約1年後に放流漁場やその周辺で体重500 g~1 kgで漁獲され注目された¹⁾。1989年には全国9県の試験研究機関と日本栽培漁業協会（日裁協と略称）の3事業場においてこの新しい栽培技術の実用化に向け共同プロジェクトが開始され、現在6県と日裁協において技術開発が継続されている。

この飼付け型栽培漁業の技術上の重要な課題の一つに飼付け場所からの逸散の問題がある。放流後の飼付け魚の逸散には放流直後ないし放流後1週間以内に起きる初期逸散とその後数週間から数カ月以上の中・長期にわたって徐々にあるいは急に生じる逸散がある^{2,3)}。しかし、これらの逸散の過程や原因はまだ良く分かっていない。そのうち初期逸散は放流時の種苗の取扱い、放流方法によるストレスや生活環境の急変などによって生じるものと考えられるのに対して、中・長期の逸散は放流魚

の成長、発育に伴う行動範囲の拡大や気象海況の突発的な変化や季節変化によって起こされると考えられる。

本研究では、放流直後の初期逸散に的を絞り、日裁協・上浦事業場の陸上大型水槽で人工種苗を用いた放流実験を実施し、放流時の種々の要因が放流直後の行動に及ぼす影響について検討を加えた。

材料と方法

実験の組み立て 放流の手法や放流される種苗の生物学的条件がいろいろ異なる場合の放流シマアジの初発行動の違いを観察するために、4基の大型水槽を用いて人工種苗の放流実験を行った。この実験は大別して主実験と、それに先行して行った予備実験で構成されている。

(1) 予備実験の組み立て 主実験を効果的に進めるための実験基準や主実験で観察された一連の行動パターンの違いを判別する手がかりを得るためのものである。その細部については、実験の進め方の項(1)で述べる。

^{*1} 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 162-6 (Japan Sea-Farming Association Kamiura Station, Kamiura Minamiabe, Oita 879-26, Japan).

^{*2} 現, 日本栽培漁業協会玉野事業場 〒706 岡山県玉野市築港.

^{*3} 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.

^{*4} 現, 日本栽培漁業協会志布志事業場 〒899-71 鹿児島県曾於郡志布志町夏井.

^{*5} 東京大学海洋研究所 〒164 東京都中野区南台 1-15-1.

(2) 主実験の組み立て 表1にその概要を示す。ここで放流直後のシマアジの行動に大きく影響するものとして取り上げたのは以下の5要因である。

- ① 放流時の種苗の扱い方（ハンドリングストレス）
- ② 放流される集団の大きさ（放流尾数、あるいは放流密度）
- ③ 放流種苗のサイズ
- ④ 同一齢群のなかに現れる成長変異（トビ、モード、ビリ）
- ⑤ 放流前の絶食条件

これらの5要因の効果を明らかにするために、5つの実験項目を設定した。そして各実験項目毎に複数の実験区を設け、異なった放流条件のもとで、各放流群が示す初発行動の差について、放流後の遊泳速度、分布水深を計測するとともに、成群行動、摂餌関連行動等を観察した。

同時に使用できる水槽が4基であるので、上記の各実験項目毎に設定した試験区の数に3～4である。

成群行動は、群泳 (Schooling)、群がり (Aggregation) および分散 (Dispersion) に分けて記録した。摂餌行動の観察にあたっては小金ら⁴⁾の定義に従って、ツツキ行動 (Pecking)、バンシャ行動 (Splash)、さらに餌袋に対する集合と摂餌行動をあわせて餌袋への寄り付き行動 (Strike) として3類型を設けた。

供試魚 供試魚は日裁協・古満目事業場で採卵・ふ化させ、その後上浦事業場において育成したふ化日の異なる2群の当歳シマアジである。その一つは1992年2月2日にふ化したもので、実験開始の7月15日の時点で日齢164であった。これを第1群と呼称する。他の一つは3月19日にふ化したもので日齢118日のものであった。これを第2群と呼称する。第2群については、さらに実

験の約1カ月前にステンレスメッシュ網を用いて、大・中・小の3サイズに選別し、選別後はそれぞれ別の小割網に収容して実験に供試するまで飼育した。各実験の実施にあたっては、出来るだけ第2群から選別した中サイズのものを用いることとし、中サイズのものを収容した小割網からさらにサイズの揃った供試魚を選抜するように努めた。

なお、実験項目3では、第1群（2月2日ふ化群）を特大サイズ区（平均尾叉長 126 ± 2 mm）とし、さらに第2群（3月19日ふ化群）から選別した「大サイズ」（ 112 ± 2 mm）を大サイズ区とした。同様に第2群から選別した「中サイズ」から同群のほぼ平均にあたる 89 ± 2 mm のものを選び中サイズ区とし、「小サイズ」から 64 ± 4 mm のものを選んで小サイズ区とした。

また、実験項目4では、第2群（3月19日ふ化群）から選別した「中サイズ」から取り出した 99 ± 3 mm のものをトビ (T)、 74 ± 5 mm のものをビリ (B)、ほぼ平均尾叉長のもの 90 ± 2 mm をモード (M) として選んで供試した。

実験水槽 実験には、屋外 150 m^3 コンクリート水槽（八角形）4槽を使用した。水槽の底面を水槽中央部から放射状に白線で8等分して8区画を設け、真北を区画1とした。さらに水槽側面から中央部に至る距離を3等分する線で底面を分割し、外側から順に a, b, c 区画とした（図1）。実験中の水深は、水槽周囲で203 cm、中央部で230 cm、水量は 125 m^3 とした。実験中は魚の行動に与える影響を懸念して注水および通気を行わなかったが、使用海水は各実験ごとに清浄なろ過海水と交換した。実験期間中の水温は $22.4 \pm 0.7^\circ \text{C}$ であった。実験期間中の照度調節は、水槽上部にある遮光幕（寒冷紗）で行った。実験期間中はおおむね晴天がつづき野外の照度が

表 1. シマアジ人工種苗の水槽放流実験の概要（主実験の組み立て）

実験項目	試験区	供試群 ^{*1}	尾数	FL $\pm$ SD (mm) ^{*2}	日令
(1) 放流時の種苗の扱いを変えた場合の初発行動の違い（ハンドリングストレス）（バケツ、タモ、小割網などを用いて4区を設定）	① バケツ区（対照区）	第2群	30	92 ± 6	123
	② バケツ空中落下区	〃	〃	91 ± 7	〃
	③ タモ区	〃	〃	93 ± 4	〃
	④ 小割網に4日間収容区	〃	〃	91 ± 6	〃
(2) 放流される集団の大きさが異なる場合の初発行動の違い（放流尾数）（2, 10, 50 および 250 尾区を設定）	① 2尾区	〃	2	97 ± 6	128
	② 10尾区	〃	10	96 ± 6	〃
	③ 50尾区	〃	50	97 ± 9	〃
	④ 250尾区	〃	250	97 ± 6	〃
(3) 放流種苗サイズが異なる場合の初発行動の違い（特大、大、中および小区を設定）	① 特大区	第1群（特大サイズ）	30	126 ± 2	171
	② 大区	第2群（大サイズ）	〃	112 ± 2	125
	③ 中区	〃（中サイズ）	〃	89 ± 2	〃
	④ 小区	〃（小サイズ）	〃	64 ± 4	〃
(4) 同一齢群のなかに現れる成長変異の間の初発行動の違い（トビ、モード、ビリ区を設定）	① トビ (T) 区	第2群	30	99 ± 3	124
	② ビリ (B) 区	〃	〃	74 ± 5	〃
	③ モード (M) 区	〃	〃	90 ± 2	〃
(5) 放流前の絶食条件の差がもたらす初発行動の違い（3日間および7日間絶食した群と毎日給餌した群で4区を設定）	① 毎日給餌区（対照区）	〃	30	96 ± 6	132
	② 3日間絶食—a区（アミ）	〃	〃	94 ± 6	〃
	③ 3日間絶食—b区（配合）	〃	〃	97 ± 7	〃
	④ 7日間絶食区	〃	〃	96 ± 5	〃

^{*1} 第1群は2月2日のふ化月日のもの、第2群は3月19日のふ化月日のもの。

^{*2} FL（尾叉長）および日令は実験日のもの。

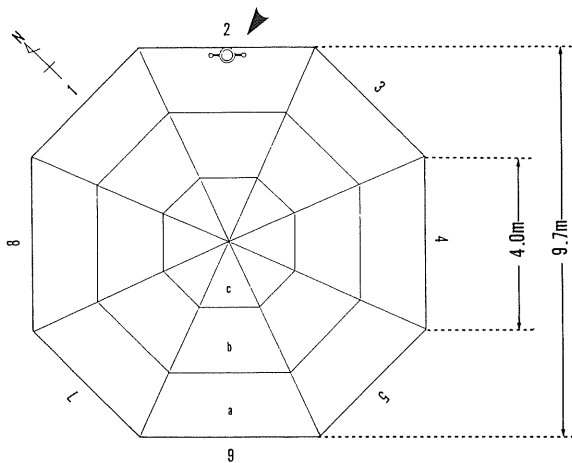


図 1. 実験に用いた 150m³ 水槽の模式図
矢印は水中広角ビデオカメラ（アイボール）の位置を表す。

80,000～100,000 Lux の時、水槽の水面上の明部で 5,000 Lux、暗部では 1,500～2,000 Lux であった。各水槽には水槽の中央部の底から 50 cm の上部にイサザアミ 20 g を入れた透明なビニール製の餌袋 (140×100×0.04 mm) を吊した。餌袋には 2 cm 間隔に 60 個の Φ1 mm の針孔を開けた。各水槽には観察用の水中広角ビデオカメラ（アイボール：日立製作所製）を 1 台ずつ、水槽区画 2a の壁側に設置した。アイボールの映像はすべてビデオテープに収録した。同時に水槽上面から観察者による目視観察を行った。

実験の進め方

(1) 予備実験

1) 本実験に先立って、水槽へ放流する場合の、放流方法、放流尾数、餌袋の構造と魚群の行動との関係について予備的な実験を試みた。これは本実験を効率的に進めるために必要な実験条件を探すためである。

まず、標準的な放流方法（ハンドリング）を検討するため、① 供試魚をバケツに収容してバケツの一部を水中に浸しながら静かに放流する方法、② バケツを空中で倒し海水ごと放流する方法、および ③ タモ網で掬って空中から放流する方法の 3 方法を比較した。その結果、① のバケツによる方法が最も簡便でかつ魚体にストレスがかからないと判断されたため、この方法を基本的な放流方法として採用し、実験項目 1 以外での放流方法とした。バケツは 20 l 容のものを使用した。

次に、標準的な放流尾数を検討するため、1 回の放流尾数を 10 尾と 100 尾としてその結果を比較した。供試魚の取扱い易さ、水槽内での群れの拡がり、観察の難易度から判断して 30 尾程度が最も適当と考えられた。そこで実験項目 2 以外の実験では供試魚数はすべて 30 尾とした。

さらに寄り付きの観察に用いる餌袋の構造についても検討を行った。アミを詰めた目の細かい餌カゴを吊した場合は、約 1 時間後でも餌への寄り付きは観察されな

かった。他方、目の荒い餌カゴの場合は、網目が大きいアミがカゴからこぼれると魚はすぐに寄り付いて狂乱状態になって摂餌し短時間の内に餌がなくなった。次に白色のナイロンネット（30 目）袋にアミを入れて嗅覚だけによる餌への寄り付きをみたが、寄り付きは見られなかった。これらの結果から、視覚および嗅覚の双方の刺激があり、広範囲にかつ長時間にわたり刺激が持続するように、餌袋は透明のビニール袋に針孔を多数あけたものとし、これを以後の実験に使用することにした。

2) 別に、上記実験中に得られた行動観察記録を用いて、行動のどの部分に放流条件の差が現れ易いか、またどのような経過で「放流時の諸要因から開放された一連の行動パターンの極相」に達するかについても考察を進めた。これは、この後の主実験のなかで観察される一連の行動パターンの解釈に資するためである。

(2) 主実験

予備実験の結果から、1 つの実験項目に必要な所要時間は約 6 時間と見積もられた。準備に必要な時間をも考慮すると、1 日に 2 つ以上の項目について実験を完了することは困難と判断され、1 つの実験項目に 1 日を要した。結局、実験は予備実験を含めて 1992 年 7 月 15 日から同 27 日の間に実施し、その間に各実験項目について 1 回の実験を行った。

1) 放流時の種苗の扱い（ハンドリングストレス）を変えた場合の初発行動の違い 予備実験で放流時の種苗の扱いを変えた場合に初発行動に明らかな違いが観察されたが、さらに、放流時のストレスがかからないと考えられる別の方法を加えて以下の実験区を設定した。① バケツに収容した安静状態の魚をバケツの一部を水中に浸しながら静かに水中に放流する方法（対照区）。② バケツで水面上約 1 m の空中から落下させ放流する方法。③ タモ網で掬いとった魚を約 1 分間空中露出して水面上 1 m から投げ入れて放流する方法。④ 水槽の中央に小型の生簀網 (1.2×1.2×1.0 m) を設置し、放流 4 日前に供試魚を収容して馴致（毎日給餌）するとともに実験開始にあたって静かに網を落とし放流する方法。各区とも供試魚は 30 尾とし、ほぼ同時に別々の水槽へ放流し初発行動を比較した。供試魚の平均尾叉長は 91～93 mm の範囲であった。

2) 放流される集団の大きさ（放流尾数）が異なる場合の初発行動の違い 1 回に放流する種苗の尾数を変化させた場合の放流後の魚の行動を比較した。① 2 尾群区、② 10 尾群区、③ 50 尾群区および ④ 250 尾群区の 4 区を設定した。これらをほぼ同時にバケツで別々の水槽へ静かに放流し、初発行動を比較した。供試魚の平均尾叉長は 96～97 mm の範囲であった。

3) 放流される種苗の大きさが異なる場合の初発行動の違い 特大サイズ区、大サイズ区、中サイズ区および小サイズ区の 4 区を設定した。各区の平均尾叉長はそれぞれ 126±2 mm, 112±2 mm, 89±2 mm および 64±4 mm

であった。各区ともそれぞれ30尾をほぼ同時にバケツで別々の水槽に静かに放流し初発行動を比較した。

4) 同一齢群のなかに現れる成長変異 (トビ・ビリ・モード) の間の初発行動の違い 第2群 (3月19日ふ化群) から選別した「中サイズ」から、成長良好なトビ群 (T) (尾叉長 99 ± 3 mm)、成長不良のビリ群 (B) (74 ± 5 mm) およびモード群 (M) (90 ± 2) を選別し、これら3群について放流後の初発行動を比較した。供試魚は各区とも30尾とし、バケツで静かに放流した。

5) 放流前の絶食条件の差がもたらす初発行動の違い アミを毎日給餌した群を対照区とし、3日間絶食した2群 (3日a区、3日b区) および7日間絶食した群の4区を設定した。3日a区とb区はそれぞれ絶食日まで毎日、アミを給餌した群と配合飼料を給餌した群であった。これら4群をバケツで静かに放流し、放流後の初発行動を比較した。供試魚は各区とも30尾とし、その平均尾叉長は $94 \sim 97$ mm の範囲であった。

行動観察の方法 個々の実験の実施にあたって、供試魚の水槽への放流は午前10時頃に行った。約6時間の行動観察の後、すべての供試魚を取り上げて実験を終了した。行動観察は、下記の項目について、次のような手順で行った。

- i 観察は2人一組の3組で行い、1組は実験水槽上で遊泳速度、遊泳水深、成群行動の観察、もう1組は摂餌関連行動の観察を行い、他の1組はビデオ収録の操作とモニター画面による餌袋への寄り付きの観察を行う。
- ii 個々の水槽ごとに、観察の間隔は、放流後2時間まではほぼ5分ごと、それ以降は10～30分とした。1回の観察時間は各水槽につき1分間とした。
- iii 観察時間は原則として供試魚の放流直後から「一連の行動パターンが極相に達するまで」とした。

上記の観察項目の計測方法を以下に示す。

① 遊泳速度 あらかじめ観察者が水槽内で遊泳するシマアジの遊泳速度を基準線上でストップウォッチを用いて計測し、速度段階を 80 cm/秒以上、 $50 \sim 80$ cm/秒、 50 cm/秒以下の3段階に分けて目測できるようにし、速い順に3, 2, 1のポイントを与えた。判断が難しい中間的なものは、0.5ポイントを加減した。なお、遊泳速度測定用の基準線として底面に設けたa, b区両画の境界ライン (長さ270 cm) を用いた。

② 遊泳水深 水槽の水深をほぼ3等分して $0 \sim 75$ cm、 $75 \sim 150$ cm、 $150 \sim 230$ cmの3層に分け、それぞれ表層、中層および底層とした。浅い順に3, 2, 1のポイントとして記録し、判断が難しい中間的なものには、0.5ポイントを加減した。

③ 成群行動 群泳、群がりおよび分散に分類し、5分間隔でストップウォッチによりそれぞれの成群パターンの出現時間を1分間の積算時間として記録した。

④ 摂餌関連行動 ツツキ行動 (底面をつつく行動)、キ

ラ行動 (魚体を反転させる行動) およびバシヤ行動 (水面で急激に反転する行動) に分け、5分間隔でそれぞれの行動を示した個体の1分間の積算尾数を記録した。

⑤ 餌袋への寄り付き行動 ビデオの録画から5～30分間隔で各区の餌袋に誘引されて集合したあるいは実際に摂餌した個体の最大寄り付き尾数を記録した。

結 果

(1) 予備実験 予備実験を通じて、主実験での標準的な放流魚のハンドリング手法、放流尾数および寄り付き行動に用いる餌袋の構造等を決定することができたことは既の実験の進め方の項で述べたとおりである。この予備実験ではさらに、放流直後の初発行動について以下のように基本的なパターンを引き出すことができた。

1) 放流前のハンドリングの仕方をかえながら行動パターンがどう変化するか観察した。遊泳速度についてみると、放流直後に速く、その後、やや遅くなるという傾向が共通にみられるが、同時にハンドリングの差に対応する差も多少認められた (図2)。遊泳水深については、放流直後は水槽の底沿いに行動するが、40分以降は浅くなり、125分後には底から $50 \sim 100$ cm の層を遊泳した (図3)。群がりは、40分後にピークに達した。ただし、バケツで空中から落下させて放流した群は、群がり時間は少なく、放流時のショックが示唆された (図4)。ツツキ回数は、タモ網を使って放流した場合が40分後にピークに達した (図5)。バシヤ行動の回数は、それより遅れて約60分後にピークに達した (図6)。餌袋への寄り付き尾数は、各区において差がみられ、バケツを使った2つの方法が放流約30分後にピークとなり、その後、減少した。タモ網を使った場合は、60分後でも寄り付きがなく、120後に初めて出現した (図7)。放流時に種苗が受けるストレスの度合いによって、回復時間が異なることが示唆された。

2) 他方、餌袋を透明ビニール袋に針孔を多数開けた型に固定するとともに、放流時のストレスが最も少ないと考えられるバケツで静かに放流した場合の行動パターンを観察した。この場合、放流後約15分を経過した頃から群がり状態が出現し、群がりの回数および時間は次第に多くかつ長くなり、35分後にはピークに達した。これに伴ってツツキ行動が現われ、やがて群の分散と水面でのバシヤ行動が見られるようになった。また、餌袋への寄り付き行動は約60分後になって初めて見られ、これとともに摂餌行動を示す個体が出現した (図8)。その後、個体群は粗な群がりへと移行し、全般的に静止することが多くなり、安定期に達したものと考えられた。

3) これらの観察をまとめると以下になる。

- ① 放流直後は群遊 (Schooling) 状態で遊泳速度は速く、時間経過とともに遅くなる。
- ② 遊泳水深は初期に深く、次第に浅くなる。

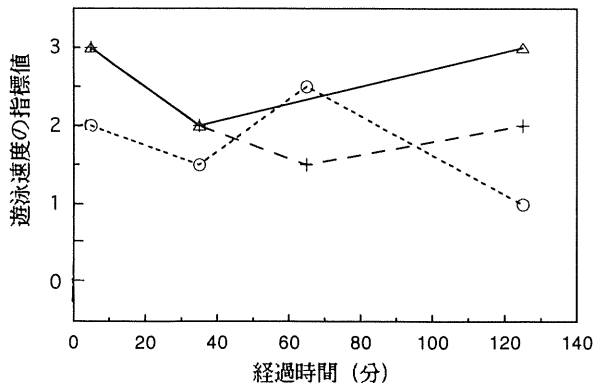


図 2. 予備実験で放流法を種々に変えた場合に観察された放流後の経過時間に伴う遊泳速度の変化
△: 30尾をバケツに収容してバケツを水中に浸しながら静かに放流する方法, +: 30尾をバケツに収容してバケツで水面上1mの空中から落下させ放流する方法, ○: 30尾をタモ網で掬いとり, 水面上1mの空中から落下させ放流する方法.

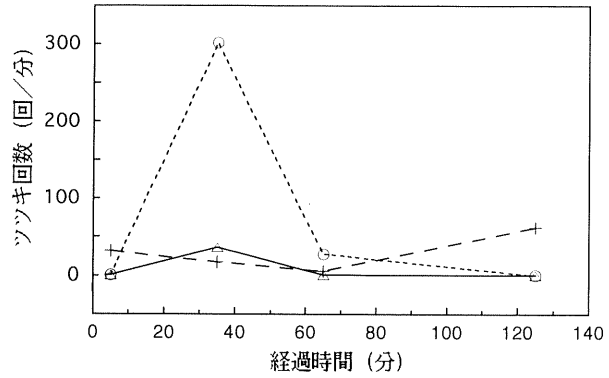


図 5. 予備実験で放流法を種々に変えた場合に観察された放流後の経過時間に伴うツツキ回数の変化
△: 30尾をバケツに収容してバケツを水中に浸しながら静かに放流する方法, +: 30尾をバケツに収容してバケツで水面上1mの空中から落下させ放流する方法, ○: 30尾をタモ網で掬いとり, 水面上1mの空中から落下させ放流する方法.

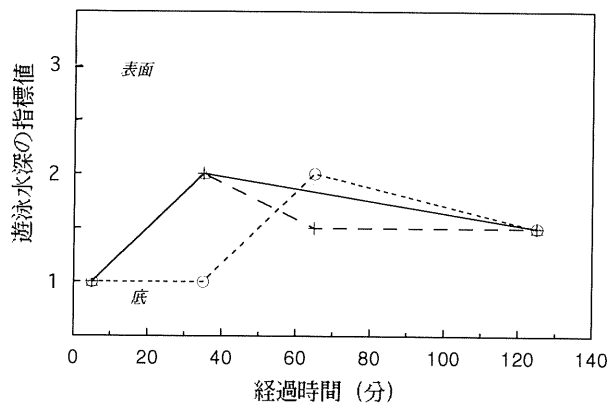


図 3. 予備実験で放流法を種々に変えた場合に観察された放流後の経過時間に伴う遊泳水深の変化
△: 30尾をバケツに収容してバケツを水中に浸しながら静かに放流する方法, +: 30尾をバケツに収容してバケツで水面上1mの空中から落下させ放流する方法, ○: 30尾をタモ網で掬いとり, 水面上1mの空中から落下させ放流する方法.

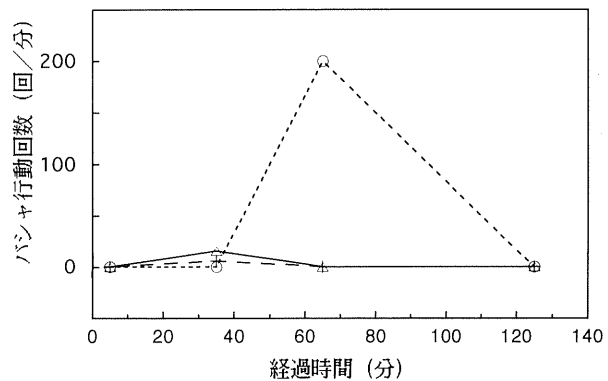


図 6. 予備実験で放流法を種々に変えた場合に観察された放流後の経過時間に伴うバシャ行動回数の変化
△: 30尾をバケツに収容してバケツを水中に浸しながら静かに放流する方法, +: 30尾をバケツに収容してバケツで水面上1mの空中から落下させ放流する方法, ○: 30尾をタモ網で掬いとり, 水面上1mの空中から落下させ放流する方法.

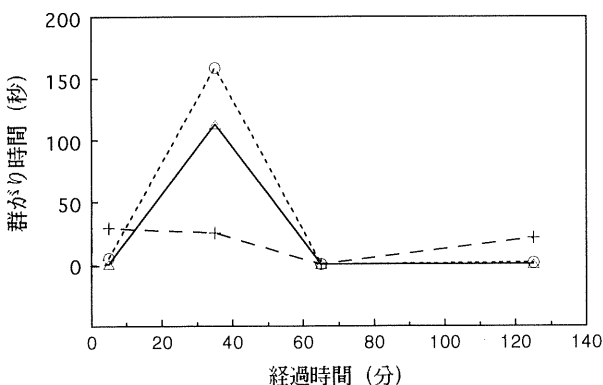


図 4. 予備実験で放流法を種々に変えた場合に観察された放流後の経過時間に伴う群がり時間の変化
△: 30尾をバケツに収容してバケツを水中に浸しながら静かに放流する方法, +: 30尾をバケツに収容してバケツで水面上1mの空中から落下させ放流する方法, ○: 30尾をタモ網で掬いとり, 水面上1mの空中から落下させ放流する方法.

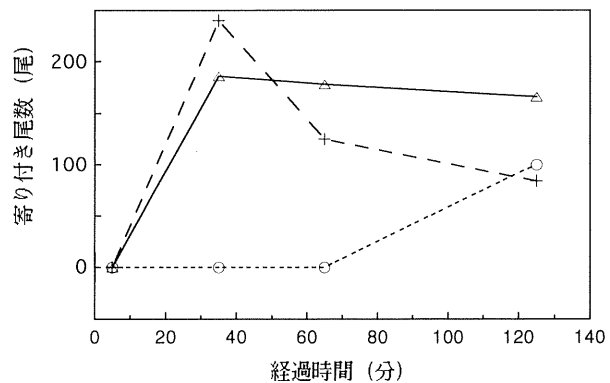


図 7. 予備実験で放流法を種々に変えた場合に観察された放流後の経過時間に伴う餌袋への寄り付き尾数の変化
△: 30尾をバケツに収容してバケツを水中に浸しながら静かに放流する方法, +: 30尾をバケツに収容してバケツで水面上1mの空中から落下させ放流する方法, ○: 30尾をタモ網で掬いとり, 水面上1mの空中から落下させ放流する方法.

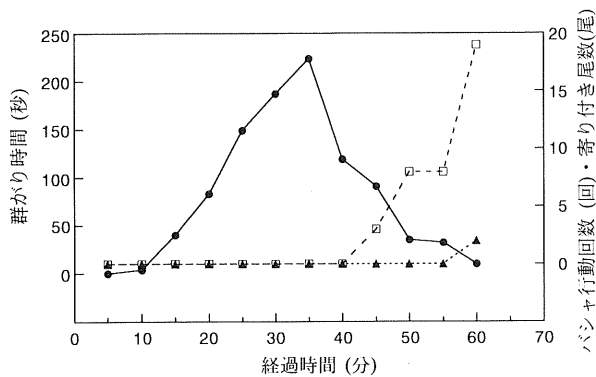


図 8. 餌袋に関する予備実験で観察された放流後経過時間に伴う群がり、バシヤ行動および寄り付き尾数の例

●: 群がり時間 (秒), □: バシヤ行動の回数, ▲: 寄り付き回数.

- ③ 遊泳速度が遅くなるにつれて群がり (Aggregation) が起こり、次第に群がり時間が長くなる。
- ④ これに伴ってツツキ行動 (Pecking) が発現し、やがて群の分散 (Dispersion) とバシヤ行動 (Splash) が起こる。
- ⑤ その後、餌袋への寄り付き (Strike) が見られるとともに摂餌する個体が現れ、群全体として安定期に入る。

以上のことから、放流後の遊泳速度と遊泳水深、さらに成群行動については群泳 (Schooling)、群がり (Aggregation) および分散 (Dispersion) に至るまでの時間、およびその過程で出現するツツキ回数、バシヤ回数および餌袋への寄り付き尾数等の行動が初発行動を特徴づける指標になり得ることが分かった。これらの指標を用いて放流条件が異なる場合の初発行動の差を把握することができると思われる。

シマアジ種苗を水槽に放流した場合に観察される一連の基本行動パターンを図示すると図 9 の如くなる。すなわち、「シマアジは放流直後は緊密な群をつくり水槽底部に向かって急速に潜降し、底面に添って水槽内を大きく周回する。11~12 分後に群がり状態が出現し、90~91 分後には疎な群泳または分散状態に入る」。

(2) 主実験

1) 放流時の種苗の扱い (ハンドリングストレス) を変えた場合の初発行動の違い バケツを水中に浸し、水中で静かに放流した区 (対照区) および 4 日間放流種苗を生簀網に収容し馴致した区では、空中からバケツで放流した区やタモ網で空中から放流した区に比べて早期に群がり、それに続いてツツキ行動、バシヤ行動が現われた。また、生簀網への収容区は他の 3 つの区に比べて餌袋への寄り付きも最も早く、かつその頻度も圧倒的に多かった (図 10)。しかし、遊泳速度と遊泳水深には 4 つの区の間で差は見られなかった。一方、バケツで空中より落下放流した区とタモ網で空中から放流した区では 120 分経過後もほとんど餌袋への寄り付きはみられなかった。こ

のことから放流時の魚の取扱い方法によるハンドリングストレスは放流後の初発行動に大きな影響を与えることが明らかになった。

2) 放流される集団の大きさ (放流尾数) が異なる場合の初発行動の違い 各区とも実験開始直後に底層を遊泳する。時間の経過と共に 250 尾区、50 尾区および 10 尾区では、遊泳水深が浅くなり、中層から表層までの全層を遊泳するようになった。しかし 2 尾区では実験期間を通じて常に底層にいた。250 尾区においては放流 10 分後に既に分散状態が出現したが、他区では全く分散状態は観察されなかった。他方、群がりは、放流 20 分後から各区とも観察された。2 尾区では、放流直後から観察終了時まで一貫して水槽中央付近の底部に静止している群がり状態が続き、2 尾で群泳することはなかった。50 尾区は時間の経過と共に群がり時間が増加する傾向にあった。

餌袋への寄り付き状態についてみると、放流 100 分後に 250 尾区で寄り付きが始まり、続いて 10 尾区で始まった。その後、150 分後に両区ともピークに達した。一方、2 尾区、50 尾区では寄り付きは最後まで全く観察されなかった (図 11)。

以上の結果から、2 尾区の行動が他に比べ異常であったこと、10 尾以上の 3 つの区において遊泳層が早期に浅くなること、また 10 尾区においても餌袋への寄り付きが出現したことなどを考えれば、放流尾数としては最小 10 尾程度あれば正常な行動を示すことが示唆された。

3) 放流される種苗の大きさが異なる場合の初発行動の違い 各区とも遊泳速度は放流直後から放流 180 分後まではおよそ 60 cm/秒以上と速く、以後遅くなる傾向にあったが、特大群は他区より早期に遊泳速度が低下する傾向を示した。遊泳層は、各区とも放流直後は底層、20~50 分後には中層に移行した。120 分後には表層を遊泳する個体も現れた。150 分以降になると再び中層へ沈み、中サイズ群は 200 分以降底層へ移った。小サイズ群は比較的早期 (20 分後) から中、表層へ浮く傾向が見られた。20 分経過した後、各群で群がり状態が出現し、30 分から 60 分後にはその頻度が最大となった。ツツキ行動は放流 20 分後には現われ、小サイズ群以外の他の群では頻繁に見られた。特に、大サイズ群のツツキ回数は多く、2 時間後には 80 回前後/分の回数であった。バシヤ行動は 40 分以降、小サイズ群で初めて現われ 2 時間後に頻発した。バシヤ行動の回数は、小サイズ群、中サイズ群、大サイズ群の順に多かったが、特大サイズ群では見られなかった。

餌袋への寄り付きは、放流 45 分後に中サイズ群で初めて 1 例 (1 尾) 見られ、65 分後には小サイズ群で 10 例 (10 尾) 現われた。特大サイズ群と大サイズ群では 100 分以降、数尾の寄り付きがみられたのみであった (図 12)。このように小さいサイズほど、餌袋へ寄り付きやすく、放流時のストレスからの解放が早いことが明らかに

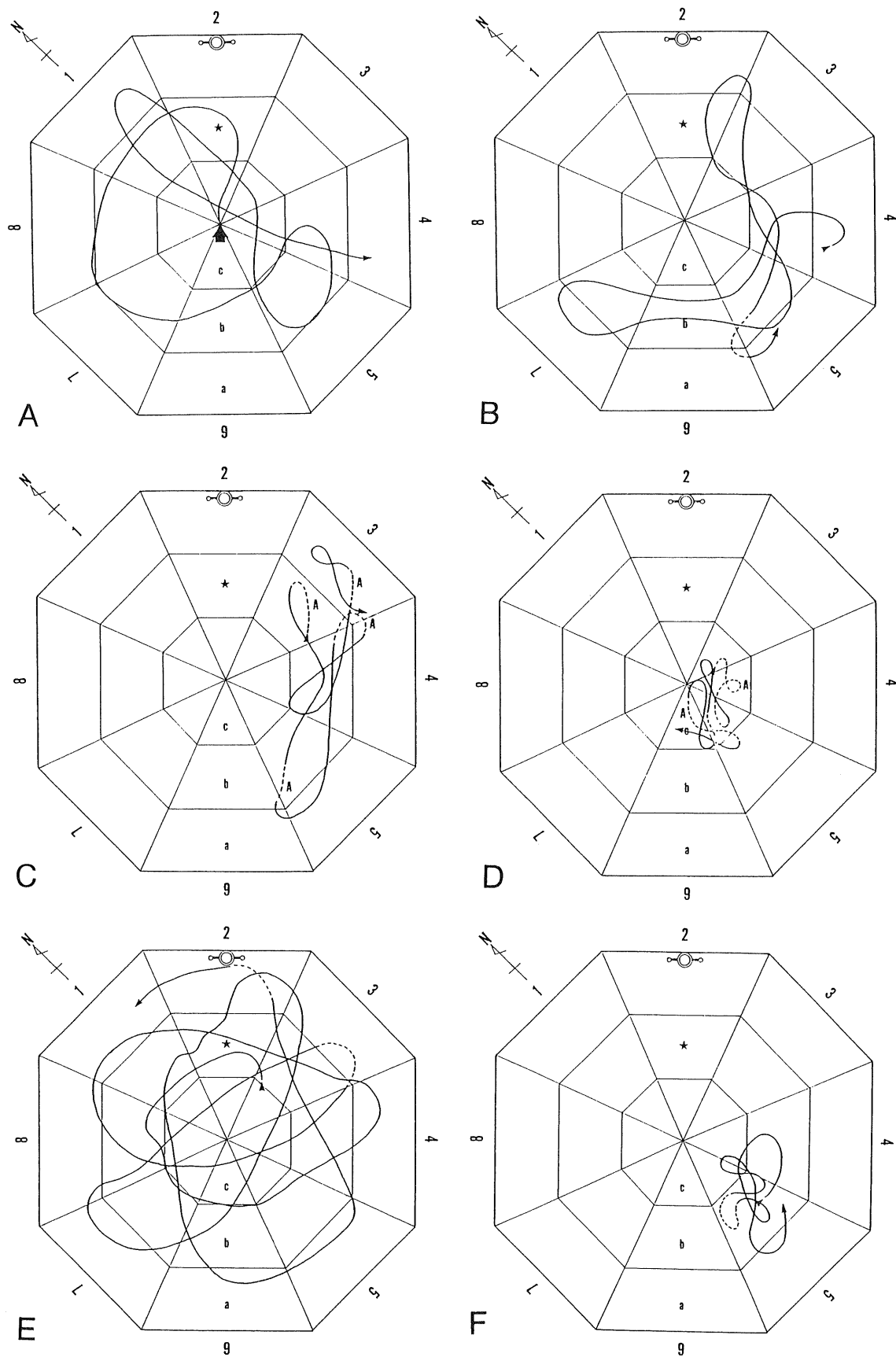


図 9. 予備実験で観察されたシマアジの行動軌跡の一例（放流した 30 尾の群れの中心部の動きをトレースした。トレース中の点線は群がり状態を示す。）
 A: 放流後 0～1 分（密な群泳），B: 放流後 1～2 分，C: 放流後 11～12 分，D: 放流後 40～41 分，E: 放流後 90～91 分（疎な群泳または時折、分散状態），F: 放流後 180～181 分。

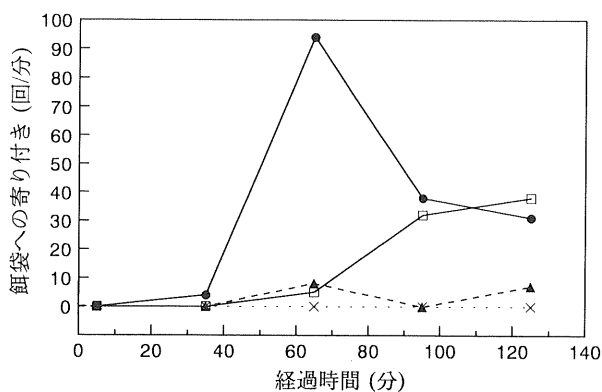


図 10. 放流時の種苗の取扱いを変えた場合の餌袋への寄り付き状況 (主実験)

●: 4 日前に生簀に収容して放流時は網を落として静かに放流する方法, □: バケツに収容してバケツを水中に浸しながら静かに放流する方法 (標準), ▲: バケツで水面上 1 m の空中から落下させ放流する方法, ×: タモ網で掬いとり、水面上 1 m の空中から落下させ放流する方法。

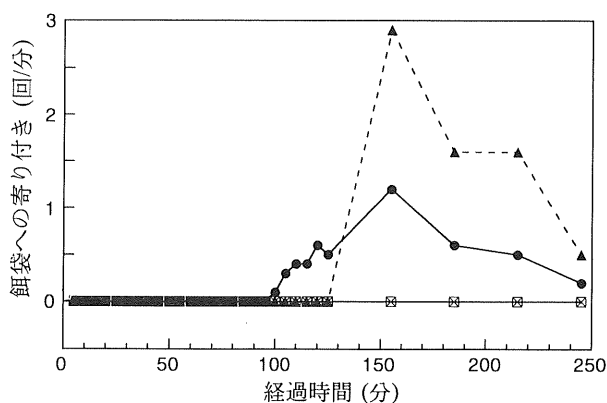


図 11. 放流される集団の大きさが異なる場合の餌袋への寄り付き状況 (主実験)

●: 250 尾放流群, □: 50 尾放流群, ▲: 10 尾放流群, ×: 2 尾放流群。

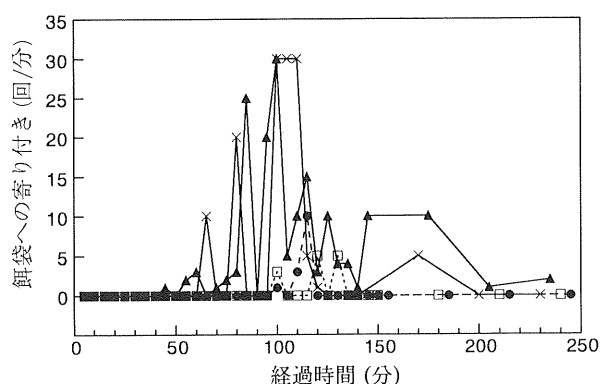


図 12. 放流種苗のサイズが異なる場合の餌袋への寄り付き状況 (主実験)

●: 特大群, □: 大サイズ群, ▲: 中サイズ群, ×: 小サイズ群。

なった。

4) 同一齢群のなかに現れる成長変異 (トビ・ビリ・モード) 間の初発行動の違い 遊泳速度は、トビ群が

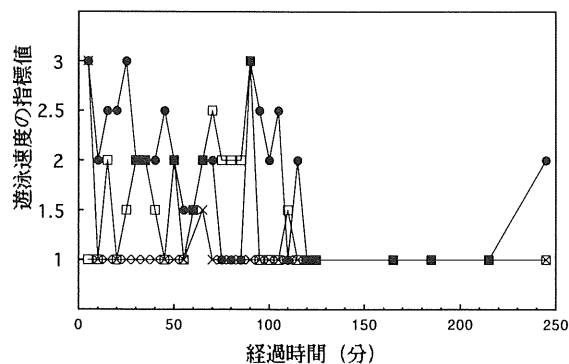


図 13. 同一齢群のなかに現れる成長変異 (トビ・ビリ・モード) 群の放流後の遊泳速度 (主実験)

●: トビ群, □: モード群, ×: ビリ群。

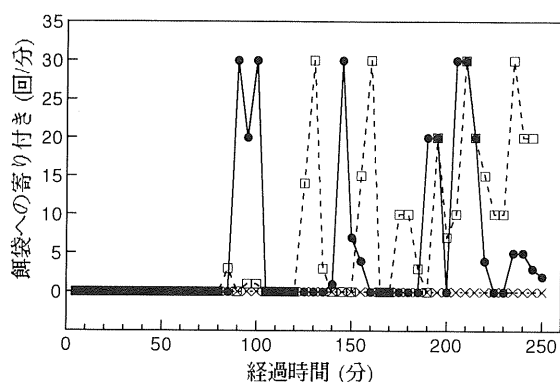


図 14. 同一齢群のなかに現れる成長変異 (トビ・ビリ・モード) 群の放流後の餌袋への寄り付き状況 (主実験)

●: トビ群, □: モード群, ×: ビリ群。

最も大きく、モード群と続いた。ビリ群は放流 5 分後に一時的に大きな値を示したが、以後は低い値で推移した (図 13)。遊泳層はトビ群とモード群が中層まで頻繁に浮上したのに対し、ビリ群は 240 分後まで終始、底部にいた。群がりはビリ群に多く現われトビ群には少なかった。ツッキ行動はモード群に多く、次いでトビ群であった。ビリ群は 20 分後に 2 例 (2 尾) 観察されたのみで、以降は見られなかった。バシャ行動は 100 分後にトビ群に多く見られ、ビリ群では 80 分後に 2 例 (2 尾) 観察されたのみであった。餌袋への寄り付きは、約 90 分後にトビ群とモード群に初めて現われ、以後両区で頻繁にみられた。しかし、ビリ群では実験中 1 度も観察されなかった (図 14)。このように同じ日齢の同一群の中での成長差に対応して、放流後の初発行動が大きく異なることが分かった。

5) 絶食条件と初発行動の関連 遊泳速度は放流前の絶食条件とは無関係に、全区とも 50~80 cm/sec. と中程度の値をとることが多かったが、放流 80~100 分後にかけて対照区 (毎日給餌群) が 80 m/sec. 以上の高い値を示したのが特徴的であった。遊泳層は 7 日絶食区と 3 日絶食 a 区 (アミ給餌) および b 区 (配合給餌) で浅く、対

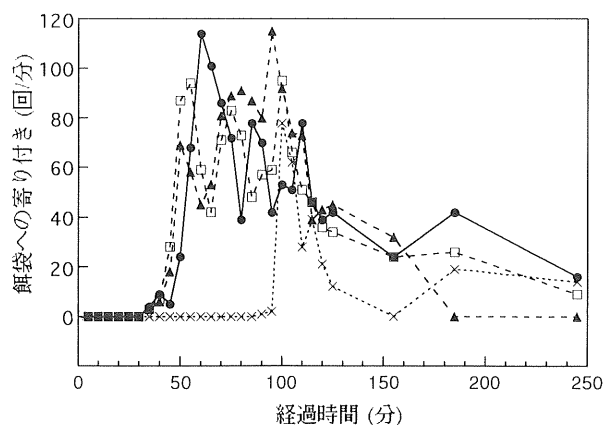


図 15. 放流前の絶食条件の異なる群の餌袋への寄り付き状況（主実験）
●：7日間絶食させた群，□：3日間絶食させた群（それまで配合給餌），▲：3日間絶食させた群（それまでアミ給餌），×：アミを毎日給餌した群。

照区では深い傾向が見られた。群がりは対照区において他区と比べ圧倒的に高い頻度で見られた。他方，7日絶食区では10～15分後に群がり状態が顕著に現われたが，以後は見られなかった。分散は，放流10分後に初めて3日絶食a区においてみられ，以後80分まで3日絶食a区とb区，および7日絶食区で頻繁に現われた。ツツキ行動は全区とも放流1時間以内に多く現われ，以後減少した。バシャ行動は7日絶食区が最も多く，次いで3日絶食b区であった。

餌袋への寄り付きは，毎日給餌した対照区と他の絶食区では特に顕著な差が見られた。すなわち，放流して約40分経過した後，3日間絶食の2区（aおよびb）と7日間絶食区が初めて寄り付き，その後，急速にピークに達したのに対し，対照区では90分後になってようやく最初の1例（1尾）が寄り付き，100分後にピークになった。一方，3日絶食のa区（アミ）とb区（配合）の差は少なかった（図15）。

以上のことから，放流前の絶食条件の差は，放流後の初発行動にかなりの影響を与えることが明らかになった。

考 察

塩澤ら⁹⁾の実験からシマアジは特に視覚器官が優れていることが指摘されている。今回の水深1.8mの150m³水槽はシマアジにとって十分大きいとはいえず，放流直後にすぐ水槽底や壁を視認すると考えられる。この閉鎖されたコンクリート水槽は，野外の放流現場とは大きく条件の異なる環境であったが，シマアジはこれに対して一連のパターン化した行動を示した。すなわち放流された種苗は放流直後は遊泳速度は速く，遊泳水深は深い状態で群泳する。しかし時間経過とともに遊泳速度は遅くなり，群がりが起こりその時間も長くなる。これに伴っ

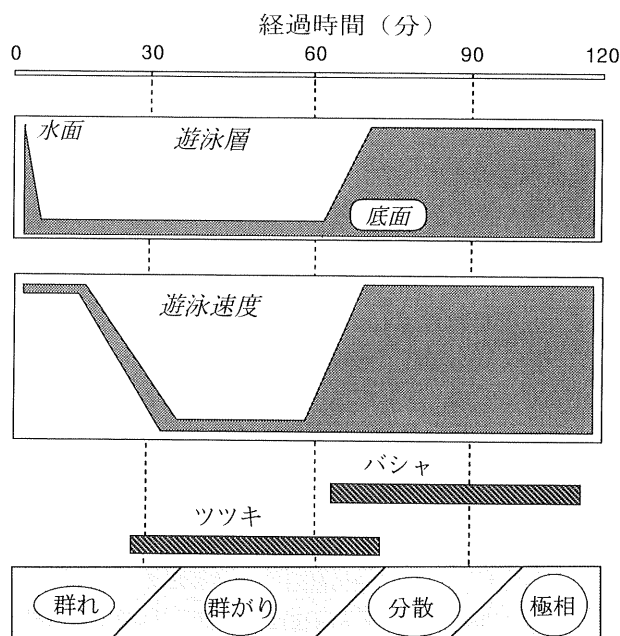


図 16. 150m³水槽へ放流されたシマアジの行動様式にあらわれる時間的推移の模式的表示

てツツキ行動が現われ，やがて群は分散状態となりバシャ行動が起きる。その後，初めて餌への寄り付きが現われる。この状態が放流時の諸要因から解放された行動パターンの極相と判断された。これらの一連の行動パターンを模式的に図16に示した。さらに今回の実験結果によればこれらの行動パターンに達するまでの時間あるいは出現頻度は，放流時のストレスや放流時の条件によって左右されるものと考えられた。逆にいうと，放流直後の行動に特に大きく影響すると考えられる3～4の条件を抽出することができたともいえる。

他方，益田ら⁶⁾の野外放流実験の観察からも分かるように，水槽内での模擬放流で見られたシマアジの行動のすべてが天然海域で見られるものでないことは明らかである。ただし，小笠原海域や五島福江島高浜で観察された天然シマアジの成群行動やツツキ行動⁷⁾は今回の結果と良く似たものであった。

今回の実験で，放流直前の種苗の取扱い方法によって種苗が受けるストレスに大きな差があり，これが放流後の魚の行動を大きく支配することが明らかになった。これらの結果は放流の現場技術の改善にもつながるものである。すなわち，生簀網馴致群のように放流現場への馴致をすすめると同時にストレスをかけないで放流する方法は放流直後の逸散防止に極めて有効であると言える。実際に飼付け放流試験⁸⁾では，放流7～10日前に標識装着作業を終えておくこと，また飼付け場所へあらかじめ搬入し生簀網などのなかで馴致しておくことなどが実行されている。逆の場合，輸送直後に放流したり，何らかのストレスがかかった状態で放流する場合には，放流直後から逸散がおこることは容易に考えられる。

また今回の実験では，10尾放流区と250尾放流区の間

で初発行動に大きな差はみいだせなかったが、実際の飼付け放流の場合には数千あるいは数万尾の群を放流する場合もあり、その際にどのような行動が起こるかは本実験からは予想し難い。今後の課題である。

放流種苗のサイズについては、尾叉長 64~126 mm の範囲において小さいサイズほど環境への順化が早い傾向が見られた。同様な結果がシマアジの学習実験⁹⁾でも得られており、10~20 cm の範囲では小サイズほど学習しやすく、条件付けされたことを忘れにくいとされている。一方、同日齢群でも成長が遅れたビリ群は餌への寄り付きがわるく、トビ群は良かった。このように育ちの差がその後の行動に及ぼす影響は無視できるものではなさそうで、今後、種苗生産技術とも関連させつつ検討する必要がある。

現在、現場で実施されている飼付け放流^{10,11)}では放流日まで毎日給餌し、放流に際しては餌を撒きながら網を静かに落とす方法が取られている。今回の実験では数日間絶食させた方が餌への寄り付きは良いという結果が得られたが、これがそのまま飼付け基盤に滞留させる条件となり得るかは、今後さらに、野外放流実験を通じて検討すべきであろう。

放流直後の逸散行動に関係する要因として上記以外にも放流に至るまでの生息密度すなわち中間育成段階での飼育密度も重要な要因と考えられる。津村ら¹²⁾が指摘しているようにマダイは飼育密度によって放流後の種苗の行動に著しく差が生じるといわれている。シマアジとマダイでは性質が違うとはいえ中間育成期間の飼育密度についても今後検討の必要があろう。

一般に、種苗の放流効果を決定する要因として、放流技術、種苗性および環境条件の3つが挙げられている¹³⁾。本実験により、シマアジの飼付け型栽培漁業の放流技術に関して多くの示唆が得られた。今後は飼付けに適したシマアジの種苗性について研究を進めると同時にこれを人為的に向上させる技術、例えば学習による条件付けなどの実用化が求められる。さらに比較的小規模な野外放流実験により、放流環境についても検討を加えて

いく必要があろう。

文 献

- 1) 佐野隆三 (1989) 宇和海におけるシマアジ放流結果について、さいばい, **51**, 13-18.
- 2) 静岡県水産試験場伊豆分場他 (1990) 平成元年度飼付け型栽培漁場管理技術開発事業報告書, 3-16.
- 3) 静岡県水産試験場伊豆分場他 (1992) 平成3年度飼付け型栽培漁場管理技術開発事業報告書, 1-19.
- 4) 小金隆之・塩澤 聡・塚本勝巳・水田洋之介 (1993) 絶食条件がシマアジの群行動に及ぼす影響. 栽培技研, **22**, 39-47.
- 5) 塩澤 聡・益田玲爾・小金隆之・塚本勝巳・水田洋之介・今泉圭之輔 (1993) シマアジの行動特性に関する研究. 平成3年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (3), 日裁協特別研報, **5**, 15-47.
- 6) 益田玲爾・塚本勝巳・今泉圭之輔・塩澤 聡・関 谷幸生・西 明文 (1993) 放流直後のシマアジ稚魚が示すきりもみ状潜降行動と水平移動. 栽培技研, **22**, 49-53.
- 7) 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.
- 8) 関谷幸生・虫明敬一 (1992) 宇和海における飼付け試験. 平成2年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (2), 日裁協特別研報, **4**, 43-55.
- 9) 塩澤 聡・関谷幸生・小金隆之・西 明文・益田玲爾・水田洋之介・今泉圭之輔・塚本勝巳 (1995) シマアジの行動特性に関する研究. 平成4年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (4), 日裁協特別研報, **6**, 37.
- 10) 関谷幸生 (1993) 宇和海における飼付け試験. 平成3年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (3), 日裁協特別研報, **5**, 55.
- 11) 小磯雅彦 (1993) 五島事業場におけるシマアジの飼付け試験. 平成3年度飼付け型栽培漁業技術開発報告書 (3), 日裁協特別研報, **5**, 79.
- 12) 津村誠一・山本義久 (1993) 飼育方法と健苗性. 「放流魚の健苗性と育成技術」(北島 力編). 恒星社厚生閣, 東京, 84-91.
- 13) 塚本勝巳 (1993) 種苗の質. 「放流魚の健苗性と育成技術」(北島 力編). 恒星社厚生閣, 東京, 102-113.