

平成21年 4月24日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19580209

研究課題名（和文）放流トラフグの種苗性向上のための行動学的研究

研究課題名（英文）Behavioral study on the improvement of fish quality for release in the juvenile tiger puffer

研究代表者

阪倉 良孝（SAKAKURA YOSHITAKA）

長崎大学・水産学部・准教授

研究者番号：20325682

研究成果の概要：放流種苗の小型化を最終目標として、人工種苗への種苗性付与を検討した。天然トラフグ稚魚と人工種苗の行動特性の定量・比較を通じて、放流種苗の種苗性評価の手法として、新規環境に晒されたときの稚魚の遊泳水深が有効で、種苗性の高い個体や天然稚魚は底層を泳ぐことが明らかとなった。水槽底面に砂を敷いた水槽とそうでない水槽で人工種苗を1週間馴致飼育した結果、砂を敷いた水槽で馴致した人工種苗は移槽後に底層を遊泳することが明らかとなり、さらに捕食者の居る環境に放流したところ、砂馴致種苗が生残率の高い傾向が見られた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：増養殖

1. 研究開始当初の背景

栽培漁業における人工種苗の放流後の生残は、放流時の種苗の体サイズが大きい方が小さいものよりも高いことが様々な魚種で知られている。その一方で、種苗を大型サイズにまで育てることによる費用対効果の低下に対する懸念は大きい。平成18年9月にアメリカで開催された第3回栽培漁業国際シンポジウムにおいてもこれらの問題が指摘され、「smaller optimal size for release」が今後の栽培漁業の課題としてとり上げら

れた。したがって、体サイズは小さくとも放流後の被食や環境変化に対応しうる特性をもった種苗、すなわち、より小型で種苗性の高い種苗をいかにして育成するかということは、今後の我が国の栽培漁業対象種に対して要求される課題として、これまで以上に重要な意味を持つ。

トラフグは、我が国固有の食文化を支える非常に重要な水産資源である。ところが、本種の漁獲高は近年激減し、水産庁は、平成17年度初頭に当該海域での休漁期間の設定等

による漁獲努力量削減措置を実施する「九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画」を作成するに至り、我が国のトラフグ天然資源の回復が急務となっている。トラフグ資源回復の方策として、人工種苗放流による資源添加が試みられており、長崎県などで放流効果の認められる海域も一部ある。ところが、放流効果の見られたケースは、放流時の種苗の体サイズが7~10 cmと大型であり、このサイズにまで飼育する人的・金銭的成本を考慮すると、必ずしも得策であるとは言い難い。現状では、トラフグ小型種苗の放流は放流後の減耗が大きく、放流効果を上げにくいとされているものの、人的・金銭的成本の低い小型種苗放流を望む声は大きい。トラフグの場合、天然水域での放流後の減耗要因の追跡調査が困難であることと、フグ類が捕食者等の刺激に対して吸水による腹部膨張という防衛反応を持つことから、放流後の人工種苗の減耗は逸散に起因するものと考えられていた。しかし、研究分担者の崎山は、天然海域を模したメソコスムによる放流実験により、トラフグ人工種苗の放流後の減耗要因が被食によることを初めて明らかにした。このことは、最近の三重県水産試験場の野外調査によっても確認（スズキによるトラフグの捕食）されている。したがって、放流トラフグの種苗性向上への取り組みは、種苗に被食を受けにくい特性を付与することに集約されることになる。

2. 研究の目的

以上のような背景から、本研究では、トラフグ小型放流種苗の種苗性の向上を目指し、まず、天然種苗の行動学的な比較から人工種苗の放流魚としての適正を評価する技法を開発するとともに、放流種苗としての行動学的な種苗性を付与する方法を考案、メソコスムを用いた模擬放流実験による実証試験を行い、最終的には小型人工種苗によるトラフグの放流効果を高めるための基礎とすることを目的とした。

目的達成のために、以下の2つの課題を設定した。

(1) トラフグ天然種苗と人工種苗の質的評価：天然トラフグ稚魚と、同サイズの人工種苗の行動特性の定量・比較と種苗性の指標行動の抽出。

(2) トラフグ人工種苗の種苗性改善：種苗性の指標行動を付与するための育成方法の検討と、模擬放流試験による放流効果（成長・生残）の実証。

具体的には次のような作業仮説に則った実験を実施し、これらの課題を明らかにする。

① トラフグ天然種苗と人工種苗の質的評価：小型人工種苗の放流効果が上がらない主たる原因は放流直後の被食であるため、天然種苗が本来持っている対捕食者行動が人工種苗には十分に発達していないと考えられる。そこで、

実験1 = トラフグ天然稚魚（天然種苗）と人工種苗の行動比較：室内実験

天然種苗を採集し、その摂餌状況や成長率を調べるとともに、実験水槽を用いた行動観察により、対捕食者行動に直接関与する種苗の潜砂行動や成群行動の定量的比較を様々な種苗サイズに対して行う。この一連の実験から、種苗性評価の指標となる行動を検索と発現時期の特定をする（阪倉担当）。

実験2 = 天然種苗と人工種苗の放流実験：野外実験

天然種苗と人工種苗の天然水域での成長・生残及び行動の比較を実施し、種苗性指標行動の妥当性を検討する。天然域での減耗過程を定量的に追うことは非常に困難であるため、メソコスムを用いた模擬放流実験を実施する。天然種苗と人工種苗を、捕食者を収容した同一区域に放流し、各々の種苗の生残・成長および行動を比較する（崎山担当）。

② トラフグ人工種苗の種苗性改善

実験3 = 人工種苗の種苗性向上のための育成条件の検討：屋内実験

前年度に得られた成果を基に、種苗のサイズの選定と種苗性の指標行動を人工種苗に付与するための育成方法を検討し、確実に種苗性が付与されたかを行動学的に定量評価する。（阪倉担当）

実験4 = 種苗性を付与した人工種苗の放流効果の実証：野外実験

その後、種苗性付与の効率が高い育成方法で飼育した小型種苗を用いて、従来の飼育法で得られた種苗とともにメソコスムに放流する。捕食者を収容した同一区域に放流し、各々の種苗の生残・成長および行動を比較することによって、種苗性付与効果の実証を行う（崎山担当）。

以上の実験結果をもとに、種苗性向上のための具体的な方法を提案し、簡便かつ効果的な小型種苗放流技術の開発を最終目的としている（阪倉による総括）。

3. 研究の方法

研究目的の項で示した4つの実験内容を以下のデザインで実施した。

(1) 実験1 トラフグ天然稚魚（天然種苗）と人工種苗の行動比較：室内実験（業績①）

トラフグ小型放流種苗の種苗性の向上

には、放流後の被食を回避し、かつ天然水域で摂餌・成長の可能な行動学的特性を有した種苗を育成することが主眼となる。トラフグ天然稚魚は天然海域で生き残った個体であり、放流用人工種苗の究極の目標といえる。したがって、天然種苗と人工種苗の行動学的な比較が、トラフグ人工種苗の放流後の天然水域への適応に必要な形質を探す手掛りとなる。

トラフグの放流後の行動を探るために、水槽の移槽操作という放流モデルを設定した。天然及び人工種苗を飼育水槽から、小型水槽（500 L）への環境変化を伴う移槽後に、天然種苗と人工種苗の行動特性を比較・定量した。移槽後の種苗の遊泳速度、群れ形成の強度（個体間距離と頭位交角）、噛み合いなどの攻撃行動、摂餌行動といった各種行動特性の定量と、種苗間の比較をコンピュータ画像解析により行った。さらに、トラフグは砂地に潜ったり底層を遊泳することが知られているため、行動の指標として遊泳水深に着目した定量も実施した。

(2) 実験 2 天然種苗と人工種苗の放流実験：野外実験（業績①）

瀬戸内海区水産研究所百島実験施設験の保有する、トラフグ天然種苗の生息域を模したメソコスム（5,300 m²、水深 2 m、砂地）で模擬放流実験を実施した。イラストマー標識により個体識別をした同サイズ（3～5 cm）の小型トラフグ種苗（天然・人工）を池に混合放流し、放流初期（放流後 5 日間）の生残と成長、および摂餌状況を把握した。メソコスムには、捕食魚としてタイリクスズキ（体長 30cm 前後）をあらかじめ放流しておいた。

上記実験デザインで、次の項目の調査を実施した；トラフグの成長と生残、摂餌状況の比較、スズキの胃内容物調査による被食減耗の定量、ライントランセクト法によるトラフグ行動の目視観察、フグ毒含有量の比較。

(3) 実験 3 人工種苗の種苗性向上のための育成条件の検討：室内実験（一部業績②）

実験 1・2 の成果を基に、種苗性の指標行動を人工種苗に付与するための育成方法を検討し、確実に種苗性が付与されたかを行動学的に定量評価した。種苗の行動を、表層遊泳から底層遊泳をするように馴致する方法として、2 kL 飼育水槽底面に砂を敷いたものとそうでないものに分けて 5 日間の飼育を行い、これらの行動比較を実施し、天然種苗と行動特性が近くなったかどうかを評価した。

また、同様の水槽を用いて 5 日間捕食者

を提示した場合、10 日間フグ毒を経口投与した場合についてもそれぞれ同様の評価を行った。

(3) 実験 4 種苗性を付与した人工種苗の放流効果の実証：野外実験

実験 3 で種苗性付与した小型種苗を用いて、従来の飼育法で得られた種苗とともにメソコスムに放流した。捕食者を収容したメソコスムに馴致種苗とそうでない種苗を同時に放流し、各々の種苗の生残・成長および行動を比較することによって、種苗性付与効果の実証を行った。

4. 研究成果

(1) 実験 1（業績①） 移槽直後には天然種苗と人工種苗の間に底層に分布する個体の割合に有意差がみられ、天然種苗（体長 51.8 ± 3.2 mm）は 75%であったのに対し、人工種苗（体長 46.9 ± 5.2 mm）は 38%であった（ANOVA, P<0.05）。

天然種苗は、移槽から夜間の観察時まで 60～80%の個体が底層に分布していたが、翌朝の観察時には底層に分布している個体の割合は 42%に減少した。一方、人工種苗は非馴致と砂馴致種苗の双方のほとんどの個体が、移送後 2 時間を経過すると表層および中層を遊泳していた。しかし、夜間および翌朝の観察時には、人工種苗もまた天然種苗と同様の分布を示した。天然種苗、人工種苗の移槽後の時間経過にともなう遊泳速度（4.0 ± 0.8 cm/sec）は、種苗および撮影時間の間での有意差はみられなかった。

(2) 実験 2（業績①）

①人工種苗と天然種苗は直ちにメソコスム中央部に向かい、陸上からはほとんど観察できなくなった。放流翌日から、水面付近に人工種苗と天然種苗が混在する 20 尾程度の群がり観察され、それは試験終了まで観察された。潜水調査では、メソコスムの壁付近の浅場で池底に定位する天然種苗が観察され、中には体の半分程度を潜砂した個体も見られた。

②生残 人工種苗の生残率（56.0%）は、天然種苗の生残率（86.0%）よりも有意に低かった（ χ^2 検定, P<0.001）。タイリクスズキの捕獲調査の結果、放流当日に捕獲したタイリクスズキ 4 尾中 3 尾がトラフグを捕食しており、人工種苗が合計 8 尾、天然種苗が 1 尾捕食されていた。その後、放流後 2 日目に捕獲したタイリクスズキ 4 尾中 1 尾が人工種苗 1 尾を捕食していた。したがって、放流期間の減耗は被食であることが示された。

③フグ毒 天然種苗からは全ての個体で TTX

が検出 (0.14±0.05 MU/g) されたのに対し, 人工種苗からは検出されなかった (< 0.05 MU/g; t-test, P<0.01)。

(3) 実験 3 (一部業績②)

①砂馴致

移槽直後には対照で 71.8%, 砂馴致で 73.9%の個体が底層を遊泳していた。1 時間後は対照で 71.8%, 砂馴致で 66.7%, 2 時間後は対照で 62.1%, 砂馴致で 61.8% となり, 移槽から 3 時間が経過するまで, 底層を遊泳していた頻度は両区で同等であった。

②捕食者提示

②-1: 捕食者の運動を制限した場合 (図 1)

移槽直後には対照で 55.0%, 捕食者提示で 75.0%の個体が底層を遊泳していた。1 時間後は対照で 0%, 捕食者提示で 55.0%となり, 捕食者提示で高い値を示した (t-test, p<0.05)。2 時間後はそれぞれ 5.0%, 50.0%となり, さらに 3 時間後はそれぞれ 30.0%, 35.0%となった。

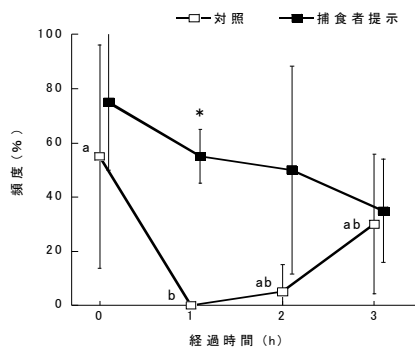


図 1 移槽から 3 時間後までに稚魚が底層を遊泳する頻度の経時変化。プロットは平均値(n=6), バーは標準偏差を示す。アルファベットは同一実験区内で底層を遊泳していた個体数に統計的な有意差があることを示す (a>b, ANOVA, p<0.05)。アスタリスクは同一時間での両区で底層を遊泳していた個体数に統計的な有意差があることを示す (t-test, p<0.05)。

②-2: 捕食者を自由に移動させた場合

移槽直後に対照区の稚魚が捕食者提示区より多く底層に分布していた。また, 有意差は無かったが底層を遊泳する個体数の平均値は, 移槽直後から 3 時間が経過するにつれて減少した。

③フグ毒の投与

フグ毒を 10 日間経口投与した場合, 移槽直後には対照で 78.2%, TTX 給餌で 80.6%の個体が底層を遊泳していた。1 時間後は対照で 66.4%, TTX 給餌で 67.9%, 2 時間後は対照で 56.4%, TTX 給餌で 51.2%となり, 3 時間後は対照で 61.2%, TTX 給餌で 56.7%となった。移槽から 3 時間が経過するまで, 底層を遊泳していた頻

度は両区で同等であった。

(4) 実験 4

①砂馴致

生残率は砂馴致では 91%, 対照では 82% で, 砂馴致の方が生残率は高い傾向となった (χ^2 検定, p=0.06)。

②捕食者提示

捕食者の自由度の高い条件で模擬放流試験を行った場合の生残率は, 対照区が 48.0% (75 尾中 36 尾), 捕食者提示区が 30.7% (75 尾中 23 尾) となり, 対照区の生残率が有意に高かった。

③フグ毒の投与 (図 2)

生残率は TTX 給餌で 88.9%, 対照で 74.4%となり, TTX 給餌の方が有意に高くなった。 (χ^2 検定, p<0.05)。

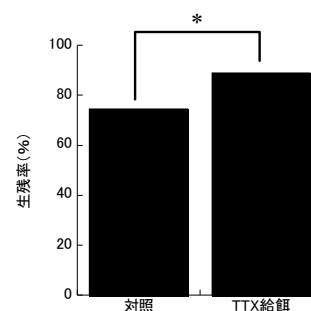


図 2 放流期間中のトラフグ稚魚の生残率。カラムは生残個体の割合, アスタリスクは各実験区間に統計的な有意差があることを示す (χ^2 検定, p<0.05)。

トラフグの放流後の減耗要因は被食によるものであり, 人工種苗は天然種苗よりも被食率が圧倒的に高く, 種苗性の欠除がこの原因であることが再確認された (業績①, ②)。

人工種苗と天然種苗の行動比較実験より, 天然種苗は移槽直後に底層を遊泳したのに対し, 人工種苗は表層を泳ぐ個体が多いことが明らかになった。この結果は, 放流実験時のメソコスム中の各々の種苗の行動と一致しているため, 小型水槽を用いた移槽操作でも種苗の放流後の行動を推測可能であることが示された。

捕食者が自由に遊泳できる環境に稚魚を置いた場合, 稚魚は移槽操作後に水面付近に浮上するようになり, この種苗の被食率は非常に高かった。

以上のことから, 放流種苗の種苗性の指標は新規環境に晒されたときの稚魚の遊泳水深で判断できると結論した。一連の実験を通して, 移槽操作後の底層遊泳を指標とした場合, 底層遊泳する個体が 70%以上であると種苗性が高いと判断される。

種苗性付与についてみると, 底質馴致, 捕食者の提示, フグ毒の投与のいずれも, もともと種苗性の高い個体に対しても放流効果

が見られた。現時点では、フグ毒の投与は現実的な放流施策としては穏当ではないと考えられる。底質馴致か捕食者の提示、あるいはこれらを併せた方法が最も現実的な種苗性付与の方法であると考えられる。ただし、捕食者の提示には注意を要し、捕食魚の自由度が高い場合には望むような種苗性付与に至らない可能性があり、捕食者の提示方法の検討が今後の課題となる。さらに、実際のフィールドにおいても種苗性付与を行った稚魚の放流による検証が必要であろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Shimizu, D., Sakiyama, K., Sakakura, Y., Takatani, T. & Takahashi, Y.: Quantitative evaluation of post-release mortality using salt pond mesocosm: Case studies of hatchery and wild juvenile tiger puffer. *Reviews in Fisheries Science* 16(1-3), 195-203, (2008). 査読有
- ② 清水大輔・崎山一孝・阪倉良孝・高谷智裕・高橋庸一: トラフグ人工種苗の減耗要因の検討; 天然魚と人工種苗の比較. *日本水産学会誌*. 73(3), 461-469, (2007). 査読有

[学会発表] (計 3 件)

- ① 角南慶卓・高谷智裕・佐藤哲哉・阪倉良孝・中安純一・山崎英樹・崎山一孝・谷山茂人・荒川 修: フグ毒のトラフグ稚魚に対する作用-1: フグ毒の組織内動態. 平成 21 年度日本水産学会春季大会, 平成 21 年 3 月 27-31 日 東京海洋大学
- ② 中安純一・山崎英樹・角南慶卓・佐藤哲哉・崎山一孝・阪倉良孝・高谷智裕・萩原篤志: フグ毒のトラフグ稚魚に対する作用-2: 対捕食者行動に対する影響. 平成 21 年度日本水産学会春季大会, 平成 21 年 3 月 27-31 日 東京海洋大学
- ③ 佐藤哲哉・阪倉良孝・池田光壺・高谷智裕・角南慶卓・中安純一・山崎英樹・崎山一孝・荒川 修: フグ毒のトラフグ稚魚に対する作用-3: フグ毒の中樞神経内の蓄積. 平成 21 年度日本水産学会春季大会, 平成 21 年 3 月 27-31 日 東京海洋大学

[その他]

ホームページ等

<http://feis.fra.affrc.go.jp/event/h20se>

[ika_happyoukai/h20seika_houkoku.html](#)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長崎大学・水産学部・准教授

阪倉 良孝 (SAKAKURA YOSHITAKA)

研究者番号: 20325682

(2) 研究分担者

(独) 水産総合研究センター・瀬戸内海区水産研究所・主任技術開発員

崎山 一孝 (SAKIYAMA KAZUTAKA)

研究者番号: 90426312

(3) 連携研究者

なし