

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24658173

研究課題名(和文) 干潟域放流種苗の種間関係の解明～包括的な種苗放流管理を目指して～

研究課題名(英文) Interspecies relationships among seedlings released into tidal flats -aiming comprehensive management of stock enhancement-

研究代表者

阪倉 良孝 (SAKAKURA, Yoshitaka)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・教授

研究者番号：20325682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：トラフグ、クルマエビおよびアサリは干潟域で種苗放流が行われており、同所的出現の可能性はあるが、定量的な種間関係の検討は行われていない。そこで本研究では、天然水域における放流種苗の食性の再調査を行ない、メソコスムにより3種間の捕食-被食関係を調査した。さらに、異なる環境条件下での3種の種間関係を調べた。その結果、小型トラフグ稚魚は天然水域で甲殻類を選食すること、低塩分下で体長比20-118%のクルマエビと殻長10mm未満の二枚貝を捕食すること、また、クルマエビは体長の9.5%以下の殻長のアサリを捕食することが分かった。以上の知見をもとに、放流適地となるマイクロハビタットと時期に関する考察を行った。

研究成果の概要(英文)：Hatchery-reared short-neck clam (*Ruditapes philippinarum*), kuruma prawn (*Marsupenaeus japonicus*) and tiger puffer juveniles (*Takifugu rubripes*) are released into the same tidal flat, however, they can be in predator-prey relationship at the nursery area. However, it is unclear whether predator-prey relationship occur among these seedlings. We examined Exp.1) feeding habits of puffer juveniles in the wild and release-experiment of these 3 species into a mesocosm, and Exp.2) size-related predator-prey relationship between 2 species among above 3 species. Exp.1) Tiger puffer juveniles (40 mm) mainly preyed on crustaceans in the wild. In the mesocosm, small short-neck clam (3.2 mm shell-length) greatly decreased when 3 species co-existed. Exp.2) Tiger puffer (40-100 mm) preyed on both kuruma prawn (20-118% of puffer's SL) selectively than short-neck clam (about 3 mm). Kuruma prawn (23.1-141.2 mm BL) preyed on short-neck clam (1.6-10.4 mm shell-length).

研究分野：水産増殖学

キーワード：栽培漁業 トラフグクルマエビアサリ

### 1. 研究開始当初の背景

現在、水産資源の回復と増大・安定を目的とした魚介類の種苗生産と放流が約 80 種に対して実施されている。これらの放流は異なる実施機関・組織が各々の放流種に応じて実施しており、各々の放流種について、個別に放流後の生残率や再捕率、経済的効果などの試算が行われてきた。ところが実際には、放流後の生息地の重複する魚介類が、ほぼ同時期に同じ水域に放流されている場合がある。その一例に、本研究のフィールドである瀬戸内海におけるアサリ(10~30 mm)、クルマエビ(20~60 mm)およびトラフグ(70~100 mm)の放流が挙げられる。これら 3 種の幼期の生息域はいずれも河口~干潟域であり、放流時期が 6~8 月に集中していることから、放流種苗が同所的に出現する可能性がある。さらに、トラフグとクルマエビの食性はベントス食であることから、放流種苗間でトラフグ>クルマエビ>アサリの捕食・被食関係が成立し得る。すなわち、放流種間の相互作用を明確にしないと互いの放流効果を低下させかねない、という仮説に行き着いた。以上のことから、持続可能な漁業を推進する上で水産関係に利害関係のない大学が主導する形で放流種間の相互作用を調べることは重要な課題であると考えに至った。

### 2. 研究の目的

干潟域における包括的な種苗放流管理を実施するためには、これまでの放流実施体の枠組みを超えて、放流後の種間関係と、各々の種の選好するマイクロハビタットの解明が必要である。そこで、本課題では、同時期に干潟域に放流されているトラフグ、クルマエビ、アサリについて、各々異なる体サイズの個体を用いて、実験室内での行動学的な解析と、フィールドにおける調査を実施し、被食・捕食関係の強度を量る。次に、これら 3 種の選好するマイクロハビタットを実験環境で行動学的に詳らかにして、互いの種の干渉の少ない体サイズ、放流時期、および放流場所を特定することを目的とする。

### 3. 研究の方法

『干潟放流種苗(トラフグ、クルマエビ、アサリ)の間に被・捕食関係があるが、各々の種にとって最適なマイクロハビタットがあり、そこに放流することで種間干渉を軽減できる』という作業仮説のもとに、フィールドと実験室レベルの 2 面から実験・調査を実施する

実験 I) 干潟放流種苗の種間関係の解明：トラフグ、クルマエビ、アサリ種苗が同所的に存在する場合に、種間相互作用が起こるのか、起こるとすれば、どのような体サイズと環境要因か、をフィールド調査(実験 I-1)と室内実験(実験 I-2)の双方から確認・検証する。

実験 -1

研究機関を通じて瀬戸内海水域での対象種の採集が困難であったため、増養殖研究所南伊豆庁舎との共同研究を通じて、天然水域の小型トラフグ稚魚(平均体長 40 mm)の消化管内容物を精査した。

素掘池に小割網(4×4 m)を 5 面張り、3 面は放流種苗を 3 種混合(トラフグ、クルマエビ、アサリ)、2 面は 3 種にクロダイ(体長 180.6±10.1 mm)を加えて収容し、5 日後に各種の生残個体数を計数した。

実験 -2

照度、底砂の有無、水槽の底面積および塩分の異なる水槽にトラフグ(体長 33.0-111.0 mm)とクルマエビ(体長 15.0-59.7 mm)の種苗を共存させてトラフグが捕食したクルマエビの個体数を計数した。同様に、角型水槽(85×77×20 cm)に、あらかじめ殻長(2-15 mm)を測定したアサリとホトトギスガイを単独または混合で設置し、その後トラフグ稚魚(5.4, 8.9 cm)を 5 尾収容して 1 日置いた。魚を取り上げ水槽内に残ったアサリとホトトギスガイを計数し、捕食の有無、捕食個数、捕食サイズを調べた。クルマエビ 1 個体とアサリ 5-10 個体を同所させ、24 時間後にアサリを回収してクルマエビが捕食したアサリの殻長を特定した。また、クルマエビの体長と口器の長さを測定した。角形水槽(167×75 cm)にトラフグとクルマエビの種苗、2 サイズ群のアサリ種苗(殻長 3.2, 9.0 mm)を収容し、5 日間の生残個体数の推移を調べた。

実験 II) 対象種種苗放流に適正なマイクロハビタットの解明：塩分と底質(粒径や質)に着目し、対象種 3 種に対する網羅的な行動解析から、種毎に選好性の強いマイクロハビタットを選定する。

余語(2008)の手法をもとに、塩分勾配を水槽内に形成して魚類の塩分選択を定量する技法を開発した(業績 1)。500 L 容水槽を用いて、海水を満たした対照水槽(32 psu)と鉛直的に塩分の異なる塩分勾配水槽(10~32 psu)を作成した。両水槽にトラフグ稚魚(体長 3.2, 4.9, 6.2, 9.5 cm)を 5 尾ずつ収容して 3 時間後まで遊泳水深を観察した。

底砂を敷いた 30 L 容水槽を用いて止水水槽および湧水水槽を作成し、低塩分区(15 psu)と高塩分区(32 psu)を設定した。両水槽にトラフグ稚魚(体長 5.5, 10.9 cm)を 1 尾ずつ収容して 6 時間後までの着底行動を観察した。

### 4. 研究成果

実験

実験 -1

天然水域で小型トラフグ稚魚は甲殻類を専食していた。その内訳は、カイアシ類(ハルバクチクス目)、十脚目着底幼生、ソコエビ類などの底生性の種であり、本種がベントス食であることを裏付けた。

メソコスムでの放流実験結果を図 1 に示す。

放流種苗 3 種混合区で小型のアサリ(殻長 3.2 mm) が大幅に減少したのに対してクロダイ収容区はクルマエビが激減し、小型のアサリの生残率が上がった。放流サイズのクルマエビは小型のアサリを多く捕食した。

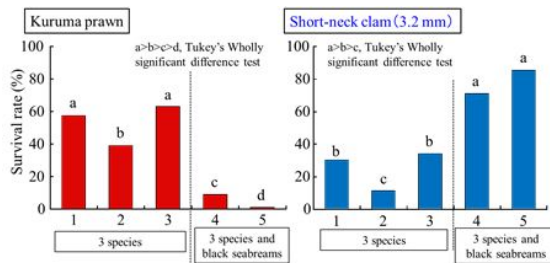


図 1 .メソコスム内に 5 日間放流したクルマエビ種苗と小型アサリの生残。1 ~ 3 はトラフグ,クルマエビ,アサリ(小型,放流サイズ)を放流した場合,4 ~ 5 はこれらにクロダイを加えた場合。

### 実験 -2

トラフグは、高照度 ( $711.1 \pm 252.7$  lx) で底砂がなく、水槽の底面積が狭い ( $0.64 \text{ m}^2$ ) 場合に、より多くのクルマエビを捕食した。このとき、塩分の影響はなかった。トラフグ ( $25.7\text{-}100.3$  mm) は  $18.6\text{-}52.2$  mm のクルマエビを捕食し、体長比にして  $20.7\text{-}118.4$  %であった。トラフグは 24 時間で最大 25 個体のクルマエビを捕食することが分かった。トラフグ稚魚の二枚貝の捕食個体率は体長  $5.4$  cm ( $41.7\%$ ) より  $8.9$  cm ( $83.3\%$ ) の個体の方が高く、底砂がある場合の捕食個体率はいずれの体長でも大きく低下した。トラフグ稚魚による二枚貝の捕食個数は、成長に伴って多くなる傾向があり、捕食サイズも成長に伴って幅広くなった(業績 2)。

クルマエビ(体長  $23.1\text{-}141.2$  mm) は殻長  $1.6\text{-}10.4$  mm のアサリを捕食し,その体長比は  $1.3\text{-}9.5$  %となった。クルマエビの第 2 顎脚長は捕食したアサリの最大殻長と一致した(図 2; 業績 3)。

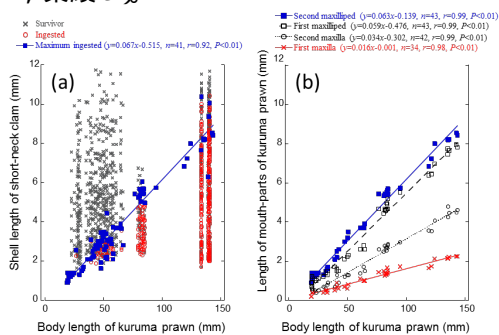


図 2 .クルマエビの成長とともに(a)摂餌したアサリの殻長と生残したアサリの殻長,(b)各種口器長の変化。

以上のことから、干潟域に放流した種苗同士は体サイズによって捕食 - 被食関係になり得ることがわかった。

放流サイズ(殻長 10 mm以上)のアサリは、他種の放流種苗からの捕食を受ける可能性は低いと思われた。一方、トラフグと特に

クルマエビは着底直後の殻長のアサリを積極的に捕食することが明らかになり、特にクルマエビは放流水域で他種の被食による減耗が大きいことが予測された。

### 実験

トラフグ稚魚の成長とともに塩分選択性的変化を図 3 に示す(業績 2)。体長  $3.2$ ,  $4.9$  cm の稚魚は観察時間を通して低塩分 ( $10.0\text{--}16.0$  psu) の水深に  $0\text{--}89\%$  が分布し、対照区と差は見られなかった。一方、体長  $6.2$  cm 以上の稚魚は収容後 1 時間以降に低塩分の水深に  $27\text{--}89\%$  が分布し、有意な低塩分選択を示した ( $p < 0.05$ )。

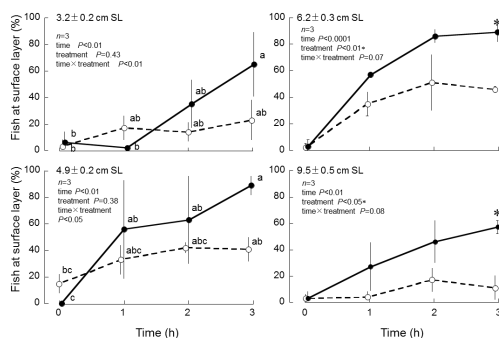


図 3 .トラフグの成長とともに塩分選択性的変化。黒丸は塩分勾配水槽の低塩分層(約 12ppt),白丸は対照水槽の同一水層(35ppt)を表す。

トラフグ稚魚の着底行動を誘起する条件を図 4 に示す(業績 2)。環境条件に関係なく体長  $5.5$  cm よりも  $10.9$  cm の個体が多く着底していた ( $p < 0.0001$ )。湧水があると止水より多くの個体に着底し、体長  $5.5$  cm でも着底する個体が現れた ( $p < 0.01$ )。いずれの体長でも高塩分より低塩分の方が着底が多くみられた ( $p < 0.05$ )。

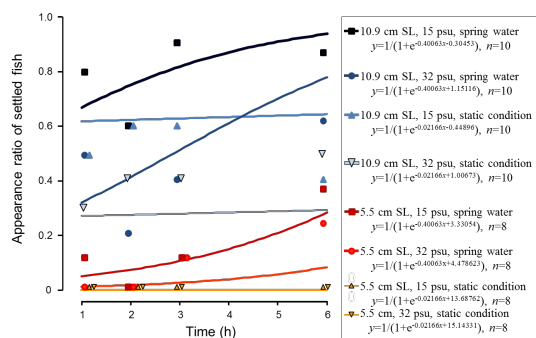


図 4 .トラフグ(体長  $5.5$ ,  $10.9$  cm) の着底行動を誘起する環境要因(塩分,底砂からの湧水の有無)を一般化線型モデルで解析した結果

これらより、トラフグ稚魚は体長  $6$  cm から低塩分の選択性と底棲性を示し、利用できる餌生物が増えると考えられた。一方、クルマエビとアサリについては、底砂の有無以外

に被食回避の条件や行動を規定する環境要因を特定することは困難であった。

以上のことから、放流サイズのトラフグ(70 mm以上)、クルマエビ(40 mm前後)およびアサリ(殻長 10 mm以上)が干潟域に同所的に出現した場合、トラフグがクルマエビを捕食する可能性が考えられた。

トラフグは全長 75 mm で放流することが採算性を考慮した最適放流条件とされており(松村 2005)、今後もそれに近い体長まで成長させた種苗が放流されると予想される。一方、クルマエビは潜砂能力が高くなる体長 30 mm 以上で放流するのが望ましいとされており(山口県水産振興課 2012)、現状では体長 30-50 mm で放流されることが多い。本研究の結果では、トラフグは自身よりも大きな体長のクルマエビを捕食することが分かった。よって、クルマエビ放流種苗がトラフグ放流種苗による捕食を回避するには、体長 70 mm 以上のクルマエビを放流する必要があると見積られる。しかし、クルマエビを 70 mm にまで成長させるには飼育期間が長くなり、種苗生産コストが高くなるため実施するのは難しいと考えられた。そこで、これら 2 種の放流する時期に着目してみると、トラフグは 7 月から 9 月に、クルマエビは 6 月から 8 月の間に干潟域や河口域で種苗放流が行われていることが多く、トラフグとクルマエビの放流期間は重なる部分が多い。ここで、各種の体長と生息域の関係をみると、トラフグは砕波帯で全長 10-30 mm (5 月下旬~6 月)、干潟域(河口域)で全長 30-60 mm (7 月)、水深 10 m 以浅で全長 60-120 mm (7~8 月)(中島ら 2008)と体サイズが大きくなるにつれて生息域が沖合に広がる。これは本研究で示されたトラフグの塩分選択性と着底条件に符合する。一方、クルマエビは、放流後から体長 70 mm 程度までは干潟域に生息し、その後成長に伴い沖合へ移動する(後川ら 2005)。これらの知見から、30-50 mm のクルマエビをトラフグよりも先に放流した場合、クルマエビは放流後しばらくの間は干潟域に留まっており、トラフグを放流した場合にクルマエビを捕食する可能性が考えられる。そのため、トラフグとクルマエビの放流を行う場合は、まず全長 60 mm 以上のトラフグを 7 月以前に放流し、水深 10 m までの広範囲にトラフグが分散した 7 月以降にクルマエビを放流することが好ましいと考えられた。

出典：

松村靖治. 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗の当歳時の放流効果と最適放流方法. 日水誌 2005; 71: 805-814.

中島博司, 津本欣吾, 沖大樹. 伊勢湾の砂浜海岸砕波帯に出現したトラフグ稚魚について. 水産増殖 2008; 56: 221-229.

後川龍男, 深川敦平, 池内仁. 福岡湾における天然クルマエビの発生状況. 福岡水研技セ

研報 2005; 15: 1-6.

余語 滋 (2008) 人工種苗の管理方法. 特許第 4091965 号.

山口県水産振興課 (2012). クルマエビ (山口県水産情報システム海鳴りネットワーク栽培漁業のてびき (改訂版)) <http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cmsdata/f/1/4/f14ff391c06ba1bae088be96f8ceaf69.pdf>.

## 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 3 件)

吉田 歩・山崎英樹・伊藤 篤・崎山一孝・阪倉良孝 (2015) クルマエビの成長に伴う被食アサリの殻長の変化. 水産増殖 査読後再審査中 (査読あり)

山根 晃・吉田 歩・山崎英樹・崎山一孝・河端雄毅・阪倉良孝 (2015) トラフグ人工種苗の成長に伴う行動と食性の変化. 水産増殖 印刷中 (査読あり)

Sakakura, Y., Andou, Y., Tomioka, C., Yogo, S., Kadomura, K., Miyaki, K. & Hagiwara, A. (2014) Effects of aeration rate and salinity gradient on the survival and growth in the early life stages of the devil stinger *Inimicus japonicus*. *Aquaculture Science* 62(1), 99-105. (査読あり)

[学会発表](計 9 件)

Yoshida, A., Yamane, H., Yamazaki, H., Itoh, A., Sakiyama, K., Sakakura, Y.: Predator-prey relationship among 3 species (short-neck clam, kuruma prawn, tiger puffer) for stock enhancement program at tidal flat in Japan. The Third International Symposium on Manila (Asari) Clam-International Collaboration for Manila clam (Asari) Studies-, June 1-2, 2015, Tsu, Mie, Japan.

Yoshida, A., Yamane, H., Yamazaki, H., Itou, A., Sakiyama, K., Sakakura, Y. Predator-prey Relationship Among 3 Species (Tiger Puffer, Kuruma Prawn, Short-Neck Clam) for Stock Enhancement Program at Tidal Flat in Japan. 11th Korea-Japan, Japan-Korea Joint Symposium for Aquaculture, October 31- November 1, 2014, Kunsan, Korea.

Sakakura, Y., Yamane, H., Yamazaki, H., Sakiyama, K. Evaluation of Fish Quality for Release in the Hatchery-Reared Tiger Puffer Juveniles. 11th Korea-Japan, Japan-Korea Joint Symposium for Aquaculture, October 31- November 1, 2014, Kunsan, Korea.

吉田 歩・井上猛・岡野将大・山崎英樹・伊藤篤・崎山一孝・阪倉良孝: クルマエビが捕食する二枚貝の殻長の成長に伴う変化. 日本水産増殖学会大会第 13 回,

平成 26 年 10 月 18-19 日, 広島大学大学院生物圏科学研究科, 広島  
吉田歩・黒澤明日香・日高成陽・山崎英樹・伊藤篤・崎山一孝・阪倉良孝: 干潟域放流種苗 3 種 (トラフグ, クルマエビ, アサリ) の捕食・被食関係. 日本水産増殖学会大会第 13 回, 平成 26 年 10 月 18-19 日, 広島大学大学院生物圏科学研究科, 広島  
吉田 歩・山根 晃・井上 猛・井上英理香・崎山一孝・山崎英樹・阪倉良孝: トラフグ稚魚のクルマエビ捕食条件. 平成 26 年度日本水産学会春季大会, 平成 26 年 3 月 27-31 日 北海道大学函館キャンパス, 北海道  
山根晃・吉田歩・井上英理香・井上猛・山崎英樹・崎山一孝・阪倉良孝: トラフグ稚魚の成長に伴う塩分選択と二枚貝に対する食性の変化. 日本水産増殖学会第 12 回大会, 平成 25 年 10 月 14 日, 鹿児島大学, 鹿児島  
山根晃・沖田光玄・高谷智裕・阪倉良孝・山崎英樹・崎山一孝: トラフグ稚魚の塩分選択性. 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 平成 25 年 3 月 26-30 日 東京海洋大学, 東京  
Yamane, H., Okita, K., Sakiyama, K., Yamasaki, H., Takatani, T. & Sakakura, Y. Salinity selectivity of tiger puffer juveniles. 10th Japan-Korea, Korea- Japan Joint Symposium on Aquaculture 2012, December 8-9, 2012, Nagasaki, Japan

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

阪倉 良孝 (SAKAKURA, Yoshitaka)  
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・教授  
研究者番号: 20325682

### (2) 研究分担者

崎山 一孝 (SAKIYAMA, Kazutaka)  
国立研究開発法人水産総合研究センター・瀬戸内海区水産研究所・グループ長  
研究者番号: 90426312