

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06823

研究課題名(和文) 群れを形成する魚類における配偶システム・性様式の可塑性に関する研究

研究課題名(英文) Studies on mating system and plasticity of sexual pattern in a fish of group living

研究代表者

須之部 友基 (Sunobe, Tomoki)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：00250142

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：雌性先熟の魚類では配偶システムが大型雄が複数の小型雌とつがいになる一夫多妻で、社会順位の変化に伴い雌が雄に性転換する。しかし、生息密度が高くなり、雄が雌の性転換をコントロールできなくなると、雌を経ない一次雄の出現が予測されている。ハタ科アカオビハナダイは群れを形成し、群れの中で雄が複数の雌と産卵する一夫多妻である。雄は非産卵期でも雌の性転換を抑えるため求愛する。100個体程度の群れでは性比は雄：雌=1：5で、新たに加わった幼魚は全て雌として成熟し、性転換して雄になる。ところが10,000個体を越す大型群では一次雄が出現した。これは大型群の性比は1：7で、求愛行動の効果が薄れるためと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

魚類では生息密度の異なる個体群間で、性様式に違いがあることがいくつかの種で知られていた。本研究における群れを形成する魚類の性様式が、同じ個体群でも群れの大きさによって異なることが示されたことは学術的に大きな意義がある。本研究で得られた成果は、雌雄同体現象を示す有用魚種の性をコントロールする上で重要な知見となるものである。

研究成果の概要(英文)：In fishes exhibiting polygyny which a larger male mates with smaller females, female changes sex to male by alteration of social dominance. However, it is predicted that a primary male appears in the condition of high density which dominant male can not control sex of females. *Pseudoanthias rubrizonatus* (Serranidae) was a species of group living, and exhibited polygynous mating system. The males exhibited courtship behavior in spite of non-spawning season, that may prevent female from sex change. In the group of 100 individuals (sex ratio; male : female = 1 : 5), all newly settled juveniles matured firstly as female by growing and later change sex to secondary male, while the primary males appeared in the group about 10,000 individuals. Because sex ratio of this large group was 1 : 7, the effect of courtship may be diluted.

研究分野：魚類行動生態学

キーワード：性転換 配偶システム 性比 雌性先熟 ハタ科 アカオビハナダイ

1. 研究開始当初の背景

魚類では、体長調和配偶・一夫多妻・一夫一妻といった配偶システムのタイプによって性様式（雌雄異体・雌性先熟・双方向性転換）を予測でき、このような配偶システム・性様式は種毎に決まっていると考えられてきた。しかし、沿岸域の環境は様ではなく同種でも場所ごと異なる配偶システムを採用し、複数の性様式が出現すると考えられる。魚類の性様式は雌雄異体、雌性先熟（雌雄に性転換）、雄性先熟（雄雌）あるいは双方向性転換（雌雄）が知られており、数理モデル化された「体長有利性モデル」が種ごとの配偶システムのタイプにより、性転換の有無と方向が予測できることを示した（須之部 2017）。すなわち大きな雄が雌を独占する一夫多妻の種では、小型個体の繁殖成功は雄よりも雌が高く、逆に大型個体では雌よりも雄が高いので、自然選択は雌性先熟が進化するように働く。雌雄の繁殖成功が体サイズに応じて同じように変化する体長調和配偶においては、性転換しない雌雄異体が進化する。双方向性転換は一夫一妻の配偶システムにおいて、ペアを組んだのが同性の場合、雄どうしなら片方が雌に、雌どうしなら片方が雄になり雌雄のペアになる。

このように魚類の性様式は配偶システムに依るところが大きい。魚類における配偶システムについては、個体の分布パターンにより様々な配偶システムが知られている（須之部 2017）。繁殖集団を形成するような種では高密度となり、大型雄が雌を独占できず小型雄もスニーキングにより繁殖に参加するので体長調和配偶となり雌雄異体になる。資源がパッチ状に分布している種では中密度となり大型雄が資源や雌を独占し一夫多妻となり雌性先熟である。資源がまばらに分布する場合は密度が低くなり一夫一妻となる。この場合は先に述べたように双方向性転換を示す（図1）。

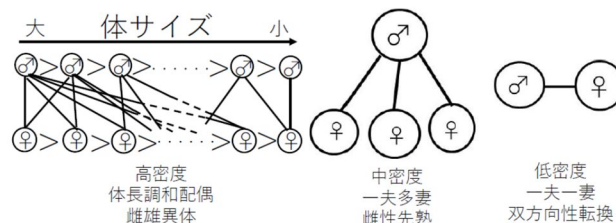


図1 密度と配偶システム・性様式。——：配偶関係

これまで性様式は種ごとに決まっていると考えられてきた。しかし、沿岸域は環境が複雑で同一種であっても生息密度は様ではなく、個体群によって異なる配偶システムを採用し、雌雄同体と雌雄異体の双方が出現することが予測できる。Kuwamura et al. (2017)は「同一種であっても生息密度に応じて配偶システムと性様式が可塑的に変化する」と予測した。この予想はミスジリュウキュウスズメダイで示されているのみで(Kuwamura et al. 2016)、他の種でも示される課題である。

2. 研究の目的

ハタ科アカオビハナダイ *Pseudoanthias rubrizonatus* は、雄はピンク色で体側部に大きな赤色班を持ち腹鰭、臀鰭、尾鰭の先端が延長し、雌は地味な橙色で鰭の延長はない。先行研究で雌性先熟の性転換をすること確認されている(Hayasaka et al. 2019)。鹿児島湾桜島における予備調査では、本種は群れを形成し、10,000 個体を超す大型群、150 個体程度の中型群、10 個体程度の小型群まで群れのサイズは様々であ

る。

本研究では上記の予測に基づき、アカオビハナダイは群れサイズにより図2で示すような「大型群は体長調和配偶・雌雄異体，中型群は一夫多妻・雌性先熟，小型群は一夫一妻・双方向性転換になる」という仮説を立て，これを示すことを目的とした。

3. 研究の方法

アカオビハナダイの産卵期，性転換をする時期とサイズ，年齢を明らかにするため，2019年7月から2020年10月まで桜島においてカーテンネットを用いて月例採集を実施した。その後，2021年12月から2022年7月まで追加採集し，全部で721個体を採集した。全長，標準体長，体重を測定し，生殖腺および耳石を摘出した。生殖腺は重量を測り生殖腺指数を計算し，組織学的観察をするためブワン液で固定した後70%エタノールで保存した。耳石は研磨し年齢査定に用いた。

繁殖行動，配偶システムを明らかにするため2018年10月から2022年10月にかけてスクーバ潜水による野

外観察を821回実施した。潜水は午前五時から午後7時までの間に行った。観察場所は主に桜島南部の斜面であった。ここに出現した大型群1つ，中型群2つを観察した(図2)。雄1個体(n = 166)に付き1分間観察

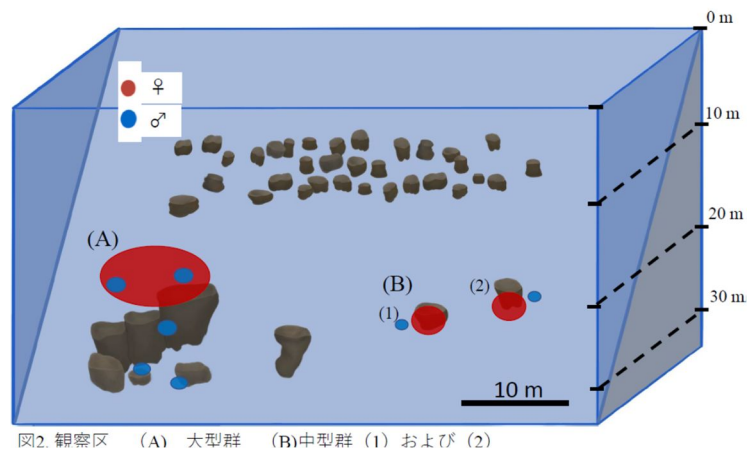


図2. 観察区 (A) 大型群 (B)中型群 (1) および (2)

し，直接産卵に結びつかない仮求愛，産卵に繋がる本求愛，産卵の回数を記録した。また，群れを構成する個体数，性比も併せて記録した。

4. 研究成果

産卵期は5月から10月と推定された。雌に分化した個体(体長38.0-77.0 mm, 1-3歳, n=197)，性転換途中の両性生殖腺を持つ個体(体長52.0 - 79.3 mm, 2-3歳, n=14)および雄(体長50.2-95.1mm, 1-5歳, n=83))であった。雄は全ての個体は卵巣腔を有していた。しかし，9個体の雄は体長50.2-65.5 mmと小型で年齢は1歳であった。また，全ての幼魚は性分化の後は卵巣腔を有し，体長22.6-46.9 mm(1歳以下)の24個体の幼魚において，primary-growth stageの卵母細胞と共に精母細胞が出現した。性転換個体は全て2-3歳であったこと，幼魚の中に精母細胞を持つ個体が出現したことかた，1歳以下の雄は雌を経ずに雄になった一次雄と考えられる。すなわち極めて近い距離にある群れどうしても，その大きさによって異なる性様式が出現した。

野外観察は42-180個体(雌:雄=5:1)から成る中型群および約10000個体(7:1)から成る大型群で行った(個体数が10個体以下の小型群は観察しなかった)。産卵は午前5時から7時に観察された。配偶システムはどちらのサイズの群れでも雄が複数の雌とペア産卵する一夫多妻であった。中型群の雄は大型群の雄よりもサイズが大きかった。大型群は大きな岩の周辺に形成され，群れの広がりが大きく深さ20-30 mに広がっていた。20-23 m付近には雌の濃密な群れがあり大型雄が縄張りを形成し，小

型雄は 24-30m 付近に縄張りを形成した (図 2)。餌のプランクトンが深い方に流れたときに雌も移動し小型雄が求愛した。そのため小型雄の繁殖成功は大型雄に比べて低かった。

仮求愛は年間を通じて観察された。例えば雄性先熟であるクマノミ類では雌の攻撃行動が雄の性転換を妨げていると考えられるが (Fricke and Fricke 1977), アカオビハナダイにおいても仮求愛は雌の性転換を抑えていると思われる。先に述べたように一次雄は大型群にのみ出現した。仮求愛の頻度は小型群と大型群とでは差が無かったが, 大型群では性比が偏っているため雌や未成熟個体への仮求愛頻度が低下し, 結果的に一次雄が出現したと考えられる。

本研究の結果は, 大型群では体調調和配偶となり雌雄異体となるという当初の仮説どおりにはならなかった。しかし, ベラ科魚類では生息密度の高い個体群において群れ産卵を示す一次雄が出現する (Kuwamura et al., 2020)。アカオビハナダイの大型群では群れ産卵は確認できなかったものの, ベラ科以外でも密度の高い状態では一次雄が出現したことが示された。今後は計画通りに観察できなかった小型群の研究を進めていきたい。

参考文献

- Fricke H, Fricke S (1977) Monogamy and sex change by aggressive dominance in coral reef fish. *Nature* 266:830-832
- Hayasaka, O., H. Matsui, M. Matsuoka, M. Yamada, and T. Kotani. 2019. Sex Change in Protogynous Fish Red-Belted Anthias *Pseudanthias rubrizonatus* (Serranidae) in Kagoshima Bay, Japan. *J Ichthyol* 59: 366-71
- Kuwamura T, Sunobe T, Sakai Y, Kadota T, Sawada K (2020) Hermaphroditism in fishes: an annotated list of species, phylogeny, and mating system. *Ichthyol Res* 67:341-360
- Kuwamura T, Suzuki S, Kadota T (2016) Male-to-female sex change in widowed males of the protogynous damselfish *Dascyllus aruanus*. *J Ethol* 34:85-88

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kuwamura T, Sunobe T, Sakai Y, Kadota T, Sawada K	4. 巻 67
2. 論文標題 Hermaphroditism in fishes: an annotated list of species, phylogeny, and mating system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ichthyological Research	6. 最初と最後の頁 341-360
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10228-020-00754-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hara N, Sunobe T	4. 巻 68
2. 論文標題 Mating system and protandrous sex change in “Magochi” <i>Platycephalus</i> sp. 2 (Platycephalidae)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ichthyological Research	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10228-021-00808-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimizu S, Endo S, Kihara S, Sunobe T.	4. 巻 69
2. 論文標題 Size, age and social control of protogynous sex change in the labrid fish <i>Pteragogus aurigarius</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ichthyological Research	6. 最初と最後の頁 75-81
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10228-021-00815-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Oyama T, Tomatsu S, Manabe H, Sakurai M, Matsuoka M, Shinomiya A, Dewa S, Sunobe T	4. 巻 70
2. 論文標題 Monogamous mating system and protandrous-like sexuality in the goby <i>Trimma taylori</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ichthyological Research	6. 最初と最後の頁 287-292
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10228-022-00876-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sunobe, T., Iwata S., Shi C., Kuwamura T.	4. 巻 40
2. 論文標題 Monogamy and protandry caused by exclusion of the same sex and random pairing in anemonefishes: a simulation model and aquarium experiments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Ethology	6. 最初と最後の頁 256-272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10164-022-00759-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oomori, N., Hamasaki, K., Sunobe T.	4. 巻 70
2. 論文標題 Reproductive ecology, age, and growth of the Kidako moray <i>Gymnothorax kidako</i> from Tateyama Bay, Chiba, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ichthyological Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10228-022-00902-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oyama, T., Sonoyama, T., Kasai, M., Sakai, Y., Sunobe T.	4. 巻 102
2. 論文標題 Bidirectional sex change and plasticity of gonadal phases in the goby <i>Lubricogobius exiguus</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Fish Biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jfb.15363	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 古川洋之介・須之部友基
2. 発表標題 千葉県館山湾におけるカミナリベラTP雄の繁殖戦術: 群れ産卵かペア産卵か?
3. 学会等名 2020年度日本魚類学会年会 (ウェブ大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田祐二・須之部友基
2. 発表標題 双方向性転換をするハゼ科ミサキスジハゼにおける生殖腺の個体発生
3. 学会等名 2020年度日本魚類学会年会（ウェブ大会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂井遥・清水庄太・長谷部謙介・大森尚也・須之部 友基
2. 発表標題 館山湾において同所に長期滞在するウツボのペアリング
3. 学会等名 2020年度日本魚類学会年会（ウェブ大会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子知宏・須之部友基
2. 発表標題 ベラ科ホンベラTP雄の繁殖戦術：ペア産卵か群れ産卵か？
3. 学会等名 2020年度日本魚類学会年会（ウェブ大会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中翔大・須之部友基
2. 発表標題 ハゼ科イレズミハゼ属3種の仔稚魚
3. 学会等名 2020年度日本魚類学会年会（ウェブ大会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森年 エマ 日向子・松岡 翠・久米 元・出羽 慎一・須之部 友基
2. 発表標題 アカオビハナダイの成熟と性転換
3. 学会等名 2021年度日本魚類学会年会（ウェブ大会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Emma Hinako Moritoshi, Midori Matsuoka, Gen Kume, Shinichi Dewa and Tomoki Sunobe
2. 発表標題 The Impact of Social Structure and Female Population Density on Mating Behaviour and Sexual Pattern, Protogynous <i>Pseudanthias rubrizonatus</i>
3. 学会等名 Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Emma Hinako Moritoshi, Midori Matsuoka, Gen Kume, Shinichi Dewa and Tomoki Sunobe
2. 発表標題 Mating Systems and Sexual Patterns of Red-belted anthers <i>Pseudanthias rubrizonatus</i> in Different-sized Groups in Kagoshima, Japan
3. 学会等名 The North Pacific Marine Science Organisation (PICES) Annual Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森年 エマ 日向子, 松岡 翠, 久米 元, 出羽 慎一, 須之部 友基
2. 発表標題 アカオビハナダイにおける雌の密度が配偶システムと性様式に与える影響
3. 学会等名 2022年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾山匠, 須之部友基, 園山貴之, 谷聖太郎, 河合幸一郎, 坂井陽一
2. 発表標題 低密度分布に適応したミジンベニハゼの性様式
3. 学会等名 2022年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内海遼介, 須之部友基
2. 発表標題 千葉県館山湾におけるキュウセンの配偶システムと性様式
3. 学会等名 2022年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北沢宏貴, 須之部友基
2. 発表標題 スズメダイ科ソラスズメダイにおける群れの機能
3. 学会等名 2022年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 斉藤洪成, 須之部友基
2. 発表標題 伊豆諸島に分布するミミズハゼ属群魚類とその生物地理学的特性
3. 学会等名 2022年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kuwamura, T. Sawada, K., Sunobe T., Sakai, Y., Kadota, T.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 250
3. 書名 Hermaphroditism and mating system in fish	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	久米 元 (Kume Gen) (00554263)	鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・准教授 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------