

令和元年6月14日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05794

研究課題名(和文) 国際協働による回遊性水産重要種の初期生態解明～東シナ海のブリ属をモデルとして～

研究課題名(英文) Investigation of the early life history of migratory marine fish resource by international cooperation: case studies of genus *Seriola* species in the East China Sea

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) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：日台共同で東シナ海に分布するブリ属魚類のカンパチ(*Seriola dumerili*)の共同調査を行った。本研究期間中に、総計362個体を採集し、これらのうち産卵群の遺伝的特性を反映すると予測される当歳魚67個体を選別し、耳石による日齢査定、およびミトコンドリア調節領域DNAとDNAマイクロサテライトの解析に供した。その結果、本種は台湾北岸から東シナ海南部の陸棚縁辺部で1～4月に産卵すると考えられた。ミトコンドリアDNAおよびマイクロサテライトDNA解析(4マーカー×2セットのマルチプレックス解析)の解析から、東シナ海に出現するカンパチの当歳魚は単系群であると判断された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東シナ海は、日中韓台の4力国が海洋水産資源を利用する国際水域であるが、各々の国の利害関係や政治的關係によって国境を跨がった水産資源共同調査の実施は困難を極めてきた。この理由により、亜熱帯性ブリ類の産卵水域に我が国からアクセスすることも困難であった。本研究課題によって、台湾の水産研究機関と国際共同研究を立ち上げ、亜熱帯性ブリ類の産卵水域の調査が可能となり、謎の多かった亜熱帯性ブリ類の初期生態研究に大きな進展をみた学術的意義は大きい。さらに、このように実効性に富んだ国際水域を跨がる回遊魚の共同調査体制を構築した社会的意義も極めて大きいと自己評価している。

研究成果の概要(英文)：We conducted international collaborative survey between Taiwan and Japan for distribution and genetic variability of the greater amberjack *Seriola dumerili* in the East China Sea (ECS). We collected a total of 362 *S. dumerili* during the study period both from Taiwan and Japan. Then, we examined age of each fish by otolith daily increments and analyzed mitochondrial DNA (mtDNA) control region and microsatellite DNA markers of 67 young-of-the-year (YOY) that may reflect genetic characteristics of spawning population. *S. dumerili* was estimated to spawn near the shelf break region in the south ECS from January to April. Both mtDNA sequence data and multiplex microsatellite system (4 markers * 2 sets) showed no significant genetic differentiation among samples. Our results imply that *S. dumerili* in the ECS is mainly composed of one population. *S. dumerili* around the Japanese coast may be originated from the south ECS.

研究分野：水産増殖学

キーワード：東シナ海 初期生活史 カンパチ ミトコンドリアDNA 産卵期 産卵場 系群組成 マイクロサテライト

1. 研究開始当初の背景

東シナ海は、海洋生物資源の宝庫であり、わが国の主たる食料資源供給海域の一つであるが、気候変動と人間活動の影響を受けやすい海域でもあり、その環境と生態系は近年急激に劣化してきている。特に、地球規模の海洋温暖化により海水温が過去 100 年間で約 1.5 上昇しており、この傾向は今後加速すると予測されている。東シナ海では、アジ、マサバ、マダイの漁獲量の減少が予測される一方、亜熱帯性のフエダイやハタ類が既にこの海域に入り込んでいることが報告され、海域全体の亜熱帯化の進行が危惧されている。これらの地球規模的な気候変動を踏まえて海洋生物資源を持続的に利用していくためには、共通の研究基盤に基づく国境を越えた環境および生物のモニタリングが急務と考えた。

本研究では、このグローバルな課題に取り組む一貫として、東シナ海のブリ類に着目した。ブリ類(ブリ、カンパチ、ヒラマサ)は我が国の重要な水産魚種であり、最大の海面養殖生産量を誇る。ブリ類の養殖生産量は年間 16 万トンに及び、以前はブリが生産のほとんどを占めていたが、近年は単価の高いカンパチの養殖量が急増し、ブリ類生産量の約 30% を占めるに至った。暖海性のブリの種苗は主に九州地方で採捕されるモジャコでまかなわれているため、我が国のブリ稚魚の生態に関する研究史は古く、1950 年代からの知見の蓄積がある。一方、亜熱帯性のカンパチの養殖種苗は、そのほとんどを台湾以南で採捕されるモジャコの輸入に依存している。しかしながら、天然水域におけるカンパチやヒラマサの初期生態に関する知見は日本では皆無に等しい状況にあった。したがって、東シナ海の亜熱帯性ブリ類の初期生態を、ブリと同じレベルで研究をすることは、ブリ類の持続的利用を図る上で不可欠といえるが、様々な事情により中国においてブリ類の生態調査を実施するのは困難な状況にある。

研究代表者の所属する長崎大学は、台湾との国際交流を積極的に進めており、本研究のカウンターパートとなる行政院農業委員会水産試験所と 2012 年 6 月に学术交流協定を締結した。この国際交流の一環として、2015 年 4 月よりブリ類の初期生態に関する予備調査を実施し、同年 5 月に台湾・澎湖島近海において我が国では記録のない全長 7.4 mm (18 日齢) の仔魚を採集することに成功した。このことは、台湾澎湖島水域がカンパチの産卵場にごく近く、生活史初期の生育場であることを示す重要な知見である。一方、研究代表者は 2013-2015 年の期間に長崎大学水産学部附属練習船長崎丸および鶴洋丸で九州西方水域を調査し、4-5 月にブリ稚魚が出現した後、7 月に全長 100 mm 前後のカンパチ稚魚が出現することを確認していた。

これらの予備調査結果を総合すると、ブリの産卵場は従来の知見通り東シナ海の九州南西部にあり、稚魚は全て当該水域から加入すると思われる、「カンパチは台湾南西部で産卵し、ふ化仔魚が黒潮・対馬暖流系で輸送されて稚魚に移行して日本沿岸に出現する」という仮説が導かれる。この作業仮説を日台共同で立証することが動機となった。

2. 研究の目的

日本と台湾が協働して、国際水域である東シナ海を縦断して回遊する我が国の重要魚種のブリ類の初期生態を解明する。温暖化進行による海水温上昇などから水産対象種の大きな魚種交代が予想されており、これまで以上に国際的な漁業資源管理の必要性が高まっている。本研究では、国境を越えて東シナ海を回遊するブリ類の生息域を全て網羅するように調査水域を設定する。この水域を日本と台湾とで 3 年に亘って共同調査し、ブリ類の仔稚魚を採集し、日齢査定と食性解析に加えて生息水域の環境情報解析を行う。さらに、遺伝子解析による系群判別を実施する。以上の知見をもとに、東シナ海のブリ類、特に知見の皆無であるカンパチの初期生活史の回遊パターンを詳らかにし、さらに、資源量推定の算定基準に資することを目的とした。

3. 研究の方法

台湾との共同研究実施にあたり、まず、台北、台東および台南地域で市場調査と漁業者の聞き取り調査を実施し、ブリ属魚類の水揚げや利用の状況を調べた。その結果、ブリ(*Seriola quinqueradiata*) は台北で希に漁獲されるもののその量は少ないこと、全土でカンパチ(*S. dumerili*) とヒレナガカンパチ(*S. rivoliana*) の漁獲が多く、比較的によく利用されていることが明らかになった。我が国でも漁獲と利用が多く、かつ、両国を跨がって移動していると思われるカンパチに注力して調査を行うこととした。

予備調査より「カンパチは台湾南西部で産卵し、ふ化仔魚が黒潮・対馬暖流系で輸送されて稚魚に移行して日本沿岸に出現する」という仮説を検証するために、次に掲げる 2 つの方法で研究を行った。

(1) 東シナ海縦断の日台共同フィールド調査

ブリ類の産卵期(台湾 1-7 月、日本 2-5 月)に各々の研究機関の練習船・研究船によるブリ類仔稚魚の採集を行う。ここで、採集ギアと方法を極力統一し、ORI ネットの表層曳きを行った。同時に、ノルパックネットによるプランクトン採集と CTD による海洋環境測定を実施し、餌料および物理化学環境を調べた。また、研究代表者の所属機関と包括連携協定を締結している西海区水産研究所の協力を得て、東シナ海の調査航海でニューストーンネットで採集されたカンパチ仔稚魚の提供を受けた。採集されたブリ類仔稚魚の種査定、個体数、

体長測定、日齢査定と胃内容物調査を実施し、さらに後述する遺伝子解析に供することとした。

(2) 東シナ海に出現するブリ類の系群解析

フィールド調査で採集されたブリ類仔稚魚のゲノムを抽出して遺伝子解析を行い、系群判別を実施した。まず、大凡の系群を把握するためにミトコンドリア DNA の解析を行った。既報の知見をもとに COI 領域の増幅プライマー (GA-F: 5'-TGC TCA GAG AAA GGG GAC TT-3' and GA-R: 5'-GGA CCA AAC CTT TGT GCT TG-3') を設計して PCR 増幅し (840 bp)、これらの塩基配列をシーケンス後、ヨーロッパで採集された個体のデータ (GenBank No.: HM131827.1~HM131830.1) を外群として、近隣結合法により解析を行った。次に、DNA マイクロサテライト解析 (マルチプレックス PCR 法: 4 マーカー × 2 セット) を行い、さらに解析の精度を高めることを目指した。

以上の調査・研究で得られたパラメータを統合して解析し、東シナ海におけるブリ類の生活史初期の回遊経路を特定することとした。

4. 研究成果

本研究期間中に、総計 362 個体を両国で採集した。標本の保存状態が良好で、耳石と遺伝子の双方の解析が可能な個体のうち、産卵群の遺伝的特性を反映すると予測される当歳魚 67 個体を選別した。以後、これらの当歳魚の (1) 分布と耳石による日齢査定、および (2) ミトコンドリア調節領域 DNA とマイクロサテライト DNA の解析結果を示す。

(1) 東シナ海におけるカンパチの初期生態

本研究の採集水域と採集されたカンパチの当歳魚の分布および全長・孵化日組成を図 1 に示した。カンパチの仔稚魚は春季～夏季に東シナ海の広い水域で見られ、その分布は台湾と日本の経済水域の境界から九州西岸に及んだ。特に春季は、カンパチの仔魚および小型の稚魚 (全長 0.4-7.2 cm) は、水深 50 m 以浅の水域で採集され、主に東シナ海の南側にその分布が集中する傾向が見られた。一方、大型の稚魚 (全長 11.6-29.8 cm) は、九州西岸水域で、初夏に流れ藻に附随しているか、またはさらに大型の個体が沿岸部で釣獲により捕獲された。

カンパチの稚魚はブリ稚魚と同様に流れ藻に附随し、その餌料は浮遊性カイアシ類が主であり、流れ藻に附随する生物を摂食することはごく希であることも明らかになった (論文業績)。このことから、本種の初期生活史の生残を決定する要因の一つに、春季東シナ海のカイアシ類の豊度が挙げられる。

カンパチの耳石日周輪解析手法を確立し (論文業績)、採集標本の全長組成とともに孵化日組成を明らかにして、産卵期の特定を試みた (図 1)。その結果、東シナ海に春～夏季に出現するカンパチ仔稚魚 (<全長 20 cm) の産卵期は 1~4 月であり、そのピークは 3 月前後であることが明らかになった (一部論文業績)。

2017 年 4 月に日台を跨がる広範囲で仔稚魚の採集を行った結果、台湾側にはカンパチは採集されなかった (図 1(b))。このことは、カンパチ仔魚が台湾に分布し

ていないのではなく、台湾周辺でふ化した仔魚が 4 月には黒潮に乗って日本の領海に到達していたと考える方が合理的と考えられる。したがって、カンパチは台湾近傍の東シナ海陸棚縁辺部を産卵場とする、と結論した。

(2) 東シナ海のカンパチの系群

東シナ海で採集されたカンパチの当歳魚について、これを採集年 (2016 年, 2017 年) と採集水域 (東シナ海南部と九州西岸) とで大きく 4 群に分けた。ミトコンドリア DNA 調節

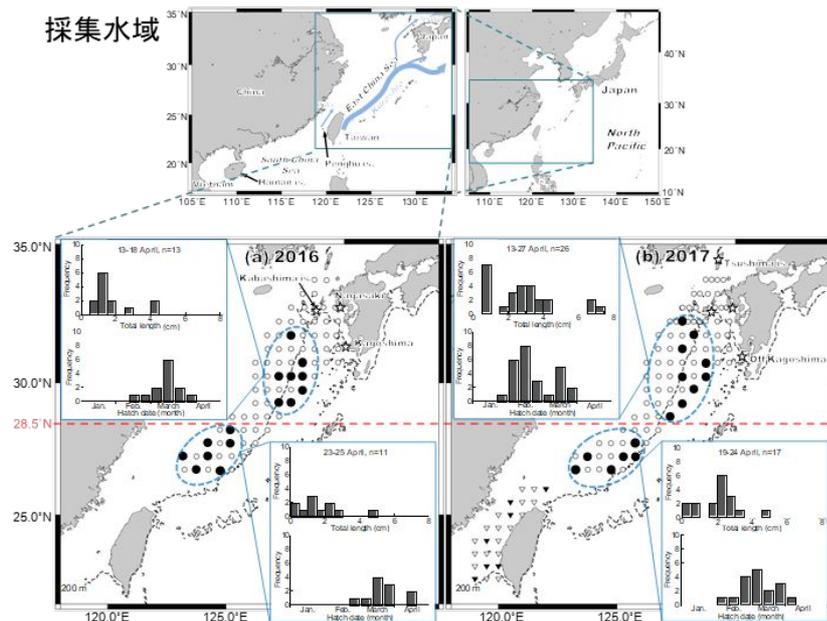


図 1. 本研究の採集水域 (上段) と採集されたカンパチ当歳魚の全長および孵化日組成 (下段)。後者は (a) 2016 年と (b) 2017 年度の 2 年に分けて示した。

領域のハプロタイプ多様度 (Hd) は採集年と採集水域のいずれの組合せでも 0.99 を超えた (表 1)。

表 1. 東シナ海で採集されたカンパチ当歳魚のミトコンドリアDNA調節領域の塩基配列を採集年および採集水域で比較した結果
16は2016年, 17は2017年に採集した標本を表し, SECSは東シナ海南部, Japanは九州西岸をそれぞれ示す。

Statistics	16SECS	16Japan	17SECS	17Japan	Pooled
Sample size	21	39	38	58	156
No. of polymorphic sites	56	59	71	80	98
No. of haplotypes	20	34	37	56	128
Nucleotide diversity π (\pm SD)	0.019 (\pm 0.001)	0.017 (\pm 0.001)	0.018 (\pm 0.001)	0.017 (\pm 0.001)	0.018 (\pm 0.001)
Haplotype diversity Hd (\pm SD)	0.995 (\pm 0.016)	0.993 (\pm 0.007)	0.999 (\pm 0.006)	0.999 (\pm 0.003)	0.997 (\pm 0.011)

さらに, 近隣結合法による系統樹を精査した。総計 128 のハプロタイプが検出され, そのうちの 3 つは全ての採集水域に見られた。ハプロタイプ多様度と同様に, 系統樹からも明瞭に分かれるクレードは検出されなかった。

次に, DNA マイクロサテライト解析について述べる。総計 8 マーカー (4 マーカー \times 2 セット) で, Hardy-Weinberg test を行ったところ, 全てのマーカーの組合せでカイ二乗値 = 14.5727 (df = 16), P-value = 0.55613 となり, 解析に用いた遺伝子マーカーが正常にデータを収集していると判断された。また, Fst 値も -0.0017 と非常に低い値を示し, 遺伝的分化は小さいと考えられた。さらにこのデータセットを用いて, Structure 解析を行ったが, 標本が 2 群以上に分かれるとは結論できなかった。

以上のことから, 東シナ海に出現するカンパチは台湾近傍の東シナ海陸棚縁部を産卵場とする単系群より成ることが示された。この成果は, 現在国際学術誌に投稿し, 査読審査の段階にある。

本研究課題により, 謎の多かった亜熱帯性ブリ類の初期生態研究に大きな進展をみた学術的意義は大きいと考える。さらに, 日台の研究者の研究船乗り入れや研究手法の統一などの意思疎通を図りながら同時期に同一の調査を実施することが可能な研究体制を構築したことは, 水産科学的な意義も当然のことながら, 国際協働のよきロールモデルとなったと自己評価している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

- Hasegawa T., Takatsuki N., Kawabata Y., Kawabe R., Nishihara GN., Ishimatsu A., Soyano K., Okamura K., Furukawa S., Yamada M., Shimoda M., Kinoshita T., Yamawaki N., Morii Y., **Sakakura Y.** (2017) Continuous behavioral observation reveals the function of drifting seaweeds for *Seriola* spp. juveniles. Marine Ecology Progress Series 573: 101-115. 査読有
- Hasegawa T., Yeh H-M., Chen J-R, Kuo C-L., Kawabe R., **Sakakura Y.** (2017) Collection and aging of greater amberjack *Seriola dumerili* larvae and juveniles around the Penghu Islands, Taiwan. Ichthyological Research, 64(1), 145-150. 査読有
- Hasegawa T., Manda A., Takatsuki N., Kawabata Y., Nishihara GN., Fujita S., Kawabe R., Yamada M., Kinoshita T., Yamawaki N., Morii Y., **Sakakura Y.** (2016) Feeding habit of juvenile fishes associated with drifting seaweeds in the East China Sea with reference to oceanographic parameters. Aquaculture Science, 64(2), 157-172. 査読有

〔学会発表〕 (計 11 件)

- 河邊 玲, 長崎佑登, 刀祢和樹, 長谷川隆真, Wei-Chuan Chiang, Sheng-Tai Hsiao, Hsin-Ming Yeh, 中村乙水, 米山和良, 中村暢佑, Ching-Ping Lu, Sheng-Ping Wang, **坂本 崇**, **阪倉良孝**. 東シナ海および台湾周辺海域におけるカンパチの回遊生態 産卵期の雄親魚に見られた特異的鉛直遊泳. 平成 31 年度日本水産学会春季大会, 2019.
- 長谷川隆真, 内野 翼, 佐々千由紀, Ching-Ping Lu, Sheng-Tai Hsiao, Hsin-Ming Yeh, 米山和良, 河邊 玲, **坂本 崇**, **阪倉良孝**. 東シナ海のカンパチ当歳魚の分布. 平成 30 年度日本水産学会春季大会, 2018.
- 中村暢佑, 米山和良, 刀祢和樹, 高木 力, Wei-Chuan Chiang, Hsin-Ming Yeh, Ching-Ping

Lu, Sheng-Ping Wang, **阪倉良孝**, 中村乙水, 河邊 玲. 東シナ海および台湾周辺海域におけるカンパチの回遊生態 ~台湾周辺海域における水平および鉛直遊泳行動. 平成 30 年度日本水産学会春季大会, 2018.

刀祢和樹, 中村暢佑, 米山和良, Wei-Chuan Chiang, Hsin-Ming Yeh, Sheng-Ping Wang, **阪倉良孝**, 中村乙水, 河邊 玲. 東シナ海および台湾周辺海域におけるカンパチの回遊生態 ~ 経験水温と体温変化について. 平成 30 年度日本水産学会春季大会, 2018.

Sakakura Y. Current status in R&D strategy for aquaculture in north-east Asia and perspective to the offshore wind energy. Japanese/Scotland Workshop on Future Offshore Renewables, 2018.

Kawabata Y., Hasegawa T., Takatsuki N., Kawabe R., Nishihara G.N., Ishimatsu A., Soyano K., Okamura K., Furukawa S., Yamada M., Shimoda M., Kinoshita T., Yamawaki N., Morii Y., **Sakakura Y.** Continuous behavioral observation reveals the function of drifting seaweeds for *Seriola* spp. juveniles. The 11th International Workshop on the Oceanography and Fisheries Science of the East China Sea, 2017.

Hasegawa T., Uchino T., Sassa C., Yeh H-M., Komeyama K., Kawabe R., **Sakamoto T.**, **Sakakura Y.** Population structure analysis of the greater amberjack (*Seriola dumerili*) in the East China Sea. The 11th International Workshop on the Oceanography and Fisheries Science of the East China Sea, 2017.

Tone K., Nakamura I., Lin S-J., Chiang W-C., Wang S-P., Komeyama K., **Sakakura Y.**, Kawabe R. Sailfish is cooled down from both outside and inside. The 11th International Workshop on the Oceanography and Fisheries Science of the East China Sea, 2017.

Uchino T., Hasegawa T., Sassa C., Yeh H-M., Komeyama K., Kawabe R., **Sakamoto T.**, **Sakakura Y.** Population structure analysis of the greater amberjack (*Seriola dumerili*) from three areas in the East China Sea. Fisheries Science for the Future Generations, 2017.

Chiang W-C., Furukawa S., Watanabe S., Lin H-C., Tone K., Hasegawa T., Lu C-P., Su N-J., Wang S-P., Yeh H-M., Komeyama K., Nakamura I., Morita Y., Nishihara GN., Soyano K., **Sakakura Y.**, Kawabe R. International cooperative marine science: examining the impacts of climate change on fisheries dynamics in the East China Sea. Fisheries Science for the Future Generations, 2017.

刀祢和樹, Shian-Jhong Lin, Sheng-Ping Wang, Wei-Chuan Chiang, 米山和良, **阪倉良孝**, 中村乙水, 河邊 玲. 外温性魚類の遊泳行動が体温変化に及ぼす影響. 平成 29 年度日本水産学会春季大会, 2017.

〔図書〕(計 2 件)

宍道弘敏・**阪倉良孝**・塩澤聡 (2019) 第 4 章 飼育(養殖) 4.2 天然種苗と人工種苗. シリーズ水産の科学 プリ類の科学, 虫明敬一 編著, 朝倉書店, 62-71.

阪倉良孝 (2018) 6 章 行動. 攻撃行動. 魚類学の百科事典, 日本魚類学会 編, 丸善出版, 東京, 270-271.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nagasaki-u.ac.jp/ja/about/info/science/science135.html>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：坂本 崇

ローマ字氏名：(SAKAMOTO, Takashi)

所属研究機関名：東京海洋大学

部局名：学術研究院

職名：教授

研究者番号(8桁)：40313390

(2)研究協力者

研究協力者氏名：河邊 玲

ローマ字氏名：(KAWABE, Ryo)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。