

令和元年6月21日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07827

研究課題名(和文) 屋久島で独自の進化を遂げたアユ集団の保全生態学的研究

研究課題名(英文) Conservation studies of *Plecoglossus altivelis altivelis* in Yakushima Island

研究代表者

久米 元 (KUME, GEN)

鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・准教授

研究者番号：00554263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：屋久島のアユの現在の生息状況、個体群構造、生活史について明らかにした。今回の調査で、3河川で生息が確認され、現在、主要な生息河川である宮之浦川を含む全ての河川で資源水準は極めて低い状態にあることが分かった。生活史特性は本土のアユ、リュウキュウアユとは多くの点で違いがみられた。産卵は11月中旬から12月中旬にかけて行われており、海洋生活期間は4か月以上で、体長5-6cmで遡上を開始していた。屋久島には河川ごとに遺伝的に独立した個体群が存在する可能性が高く、今後は河川ごとに個体群を保全していく必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アユの分布の南限に位置し、鹿児島県により消滅危惧 類に指定され、日本本土のアユとは遺伝的に異なることから学術的かつ社会的にも価値の高い屋久島のアユについて、今後保全していく上で必要となる生態学的知見を多く得ることができた。遡上生態や海洋生活期間等の生活史特性には本土のアユ、近縁種であるリュウキュウアユとの間で多くの違いが確認された。屋久島では河川ごとに遺伝的に独立した個体群が存在する可能性が高く、今後は河川単位で個体群を保全していく必要がある。

研究成果の概要(英文)：We examined occurrence, genetic population structures and life history of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in Yakushima Island, southern Japan. The existences of the subspecies were confirmed in three rivers and the stock size was extremely low. The population in Yakushima showed different life history traits such as spawning season and the timing of upstream migration from that in the mainland of Japan and Ryukyu-ayu *Plecoglossus altivelis ryukyuensis* in Amami-oshima Island. The populations would be genetically independent among rivers in Yakushima Island and therefore it is needed to conserve the subspecies on a river basis.

研究分野：魚類生態学

キーワード：アユ 屋久島 島嶼個体群 リュウキュウアユ 両側回遊

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) アユは北海道以南の日本全域に広く分布し、日本の内水面漁業において極めて重要な魚種である。澤志ら(1993)は遺伝学的手法をもとに、日本列島から琉球列島におけるアユの分布域は屋久島以北であること、ただし、屋久島と九州以北の集団とでは遺伝子組成が異なること、奄美大島以南には亜種であるリュウキュウアユが分布しており、2 亜種の分布の境界が屋久島と奄美大島の間に存在することを明らかにした。屋久島集団が琵琶湖産アユの放流の影響を受けていない稀有な集団であることを併せて考えると、生物多様性、アユ資源の遺伝的多様性の保存という観点から貴重な存在である。

(2) 申請者らはこれまで、野生集団が奄美大島でしかみられない絶滅危惧種リュウキュウアユの生態研究、保全活動に従事してきた。リュウキュウアユはアユ同様、寿命が約1年で、淡水域と海水域を行き来する両側回遊魚である。1990年から毎年実施している個体数調査の結果から、一時、総生息数が数千尾にまで減少したこと、ここ数年は数万尾と比較的良好な状態にあることが明らかとなった。本亜種では年により個体数の大きな変動がみられるが、その要因としてサケ科魚類で報告されている春の増水や夏の湯水の影響よりもむしろ、海水生活期の仔稚魚の成長の良し悪しや生残率が重要であることも分かっている。地元小学校への出前授業、地域住民との産卵場の造成等のアウトリーチ活動は新聞やテレビ等のマスコミにも度々取り上げられ、地元住民を巻き込んだ本亜種の保全への意識が高まってきた。

(3) このように奄美大島ではリュウキュウアユの保全を進めていく上での体制が既に整っているのに対し、同様に島嶼集団として独自の進化を遂げた遺伝的希少性の高い屋久島のアユについては、生息数や生活史等の本集団を保全していく上での基礎的情報でさえ未だに存在しない状況である。

2. 研究の目的

(1) 屋久島に生息するアユは、日本本土とは異なる独自の進化を遂げた集団で、鹿児島県により「消滅危惧類」に指定されている。本土および他の島嶼集団とは異なり、種苗放流の影響を全く受けていない屋久島集団は生物多様性、アユ資源の遺伝的多様性の保存という観点から貴重な存在であるが、今後保全していく上で必要となる生態学的情報が存在しない。

(2) 本研究では、アユ屋久島集団の保全を目指し、(1) 屋久島に生息するアユの現在の生息状況について把握すること(2) 遺伝学的情報に基づき、島内におけるアユ集団の個体群構造について明らかにし、優先的に保護すべき生息場所(河川)について特定すること(3) 生活史について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、奄美大島のリュウキュウアユを対象とした野外調査で培ってきた手法をベースに、屋久島のアユの生息状況について把握し、個体群構造と生活史の解明を行う。現在の分布状況について把握するために、各河川の上中流域で個体数密度(100m²当たりの個体数)を記録する。

(2) 1986年、2010-2011年に合計2回実施された調査により、複数の河川でアユの生息が確認されている(澤志ら1993; Kano et al., 2014)。両年の調査を通して生息が確認されているのは宮之浦川のみであることから、屋久島には一つ、または複数のメタ個体群が存在、もしくは河川ごとに独立した個体群が存在する可能性が考えられる。そこで、遺伝学的手法を用いてこの仮説を検証し、優先的に保護すべき生息場所(河川)を特定する。また、保全を進めていく上で重要となる生活史特性値(産卵期、初期生態等)について明らかにする。

(3) アユ属にとって分布の南限に位置する島嶼環境への適応様式について検討するために、生活史特性について奄美大島に生息するリュウキュウアユのものと比較する。

4. 研究成果

(1) 先行研究により、これまでにアユが確認されている一湊川、宮之浦川、安房川、栗生川の4河川で現在の生息状況について明らかにした(図1)。一湊川と安房川の全ての定点で成魚及び食み跡を確認することはできなかった。また、宮之浦川の最上流の一定点で成魚を確認することができ、個体数密度はそれぞれ2016年7月に4.8尾(100m²)、2017年8月に2.8尾(100m²)と推定した。宮之浦川の別の定点では、2016年7月に成魚、食み跡ともに確認することはできなかったが、2017年8月に成魚を確認することができ、個体数密度は3.0尾(100m²)と推定された。最も下流に位置する一定点では、2年間を通じて成魚、食み跡ともに確認することはできなかった。栗生川の支流である小楊枝川の一定点でも成魚を確認することができ、個体数密度は2016年9月に1.6尾(100m²)、2017年8月に4.0尾と推定された。各定点の個体数密度は、先行研究と比べ著しく低い値を示していた(5.0-50尾/100m²)(澤志ら1993)。

(2) Awata et al. (2014) は、同じ島嶼個体群であり、環境省により絶滅危惧 IA 類に指定されているリュウキュウアユについて、主要な生息河川の一つである役勝川の中流域で目視調査を行い、個体数密度を 74 尾 (100m^2) と推定した。このことから、リュウキュウアユに比べ、屋久島アユ集団の生息密度は極めて低いことが明らかとなった。およそ 30 年間にわたり実施されている個体数調査の結果から、リュウキュウアユの個体数は年毎に大きく変動することが分かっている(奄美リュウキュウアユ保全研究会 未発表)。

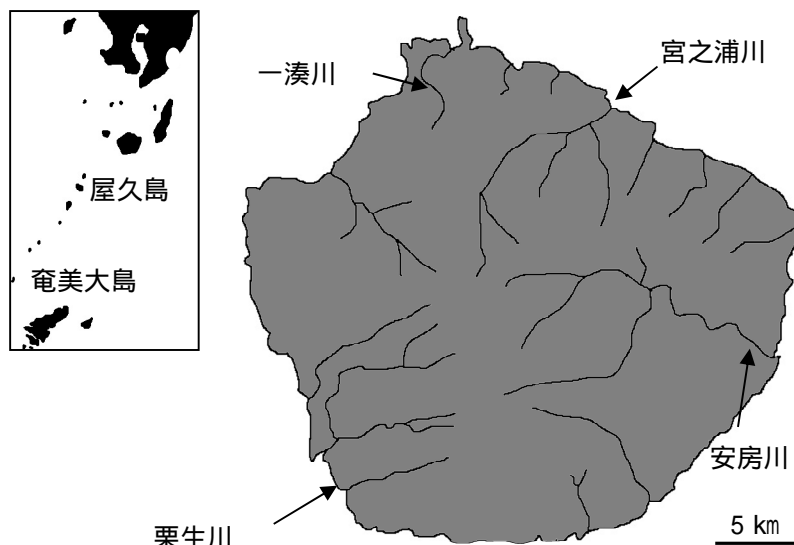


図 1. これまでにアユの生息が確認された 4 河川

今回得られた屋久島のアユの個体数密度の低さが、年毎の個体数の変動の範疇にあるのか、それとも、資源が危機的状態にあることを示しているのか、今後、注視していく必要がある。

(3) 十分な個体数の仔稚魚を採集することのできた宮之浦川と栗生川の両個体群を対象として遺伝学的解析を行った。それぞれの河川から、48 個体についてミトコンドリア (mt) DNA の調節領域の塩基配列を決定し、64 個体についてマイクロサテライト (SSR) 領域 6 遺伝子座における多型を検出した。mtDNA の解析には、すでに塩基配列が決定されている他の 11 河川産個体群の塩基配列データ (Iguchi and Nishida 2000; Takeshima et al. 2005) を加えた。その結果、mtDNA の解析では、宮之浦川個体群には遺伝的に分化したいくつかの系統が認められ、本土産 (ハプロタイプ多様度 $h = 0.9905 - 1.000$) よりも若干低いものの遺伝的多様性がみられた ($h = 0.8176$)。一方、栗生川個体群では遺伝的多様性はみられなかった ($h = 0.0000$)。SSR の解析では、宮之浦川個体群の遺伝的多様性 (ヘテロ接合度の期待値 $H_e = 0.66$) は、既知の本土産個体群における多様性 ($H_e = 0.74 - 0.77$; Yamamoto et al. 2007) よりもやや低く、栗生川個体群でも多様性は見られたもののさらに低かった ($H_e = 0.46$)。屋久島産アユの遺伝的多様性は本土産よりも低く、特に栗生川個体群の遺伝的多様性が低かったのは、本河川では過去に重度なボトルネックが起こった可能性が高く、個体群が小さいためであると考えられた。また、mtDNA および SSR の両解析において、宮之浦川個体群 栗生川個体群間には有意な遺伝的分化がみられ [固定指数 $F_{ST} = 0.5826$, $P < 0.001$ (mtDNA), 0.1877 , $P < 0.001$ (SSR)], 現在、両河川間の個体の移動はほぼないと考えられた。

(4) 海洋生活期の仔稚魚の生態について明らかにするために、一湊川、宮之浦川、栗生川の三河川の河口および砕波帯で、小型地曳網を岸に沿って 3 分間曳網することにより仔稚魚標本を採集した。調査は 2016 年 12 月から 2017 年 3 月、2017 年 12 月から 2018 年 1 月にかけて 2 年にわたり実施した。なお、安房川では河口域に採集に適した場所がなかったため、調査は行わなかった。標本採集の際には、水温と塩分を測定した。水温は両年ともに、栗生川河口では常に 20 度を下回っており、月ごとに大きな変化は見られなかった。一方、宮之浦川河口と一湊川河口の砕波帯では 2016 年 12 月には水温は 20 度を超えていた。特に宮之浦川は栗生川と比べておよそ 5 度高かった。塩分は、宮之浦川、栗生川、一湊川の順に低く、宮之浦川はほぼ海水、栗生川と一湊川は汽水環境であると考えられた。

(5) 2016 年 12 月に宮之浦川で 247 個体 (10.6-23.1mm BL)、栗生川で 143 個体 (12.1-22.8mm BL)、一湊川で 5 個体 (13.2-15.4mm BL) の仔稚魚を採集することができた。2017 年 1 月は栗生川で 2 個体 (26.2-29.8mm BL) のみを採集した。2017 年の 2、3 月には、全ての河川で仔稚魚を採集することは出来なかった。2017 年 12 月は宮之浦川で 79 個体 (11.2-21.9mm BL)、栗生川で 5 個体 (12.1-15.3mm BL)、一湊川で 6 個体 (9.3-24.2 mm BL) の仔稚魚を採集することができた。2018 年 1 月は宮之浦川でのみ 2 個体 (18.8-21.6mm BL) を採集した。以上のように、多くの個体が河口浅所および砕波帯に 12 月に出現していた。なお、河川上中流域の全ての定点で成魚及び食み跡を確認することのできなかつた一湊川の河口で、少数ではあるが仔稚魚が採集できたことから、依然として一湊川には資源量は低い個体群が存在していることが明らかとなった。

(6) 2016 年 12 月から 2017 年 1 月に宮之浦川と栗生川で採集した標本を対象とし、耳石をもとに日齢査定を行った。その結果、宮之浦川のアユの孵化日は 11 月 18 日から 12 月 6 日、栗生

川のアユの推定孵化日は11月20日から12月13日と推定された。宮之浦川と栗生川とで比較した場合、栗生川の方が孵化日は若干遅かった。Biological-intercept法により両個体群の成長について推定した。その結果、耳石径と体長の関係には個体群間で違いが見られ、栗生川の方が宮之浦川よりも同じ耳石径でも体長が大きいことが分かった。10日齢ごとに平均日間成長率を比較したところ、いずれの日齢区間においても栗生川のほうが有意に成長率が高いことが分かった(t 検定、 $P < 0.05$)。

(7)屋久島と同じ低緯度の島嶼環境である奄美大島に生息するリュウキュウアユは体長2-4cmの未発達な個体が河川へと遡上を開始する。これに対し、屋久島のアユは本土のアユと同じく発達した体長5-6cmで遡上を開始していた。産卵開始期は11月中旬と、本土の個体群と比べると最も遅く、リュウキュウアユとほぼ同時期であった。しかし、産卵期間が2月初旬まで長期間に渡り継続するリュウキュウアユに比べ、圧倒的に短かった。これには個体群のサイズの違いが大きく影響していると考えられる。海洋生活期間がおよそ2か月であるリュウキュウアユに対し、屋久島のアユでは4か月以上とおよそ2倍に達していた。このように遡上生態や海洋生活期間等の生活史特性には両亜種間で違いがみられ、リュウキュウアユとは異なる適応様式を示すことが確認された。これら形質の違いが、異なる環境への適応によるものなのか、系統の違いを反映したものであるのか、検討することは今後の課題である。一湊川、宮之浦川、安房川、栗生川は距離的に離れており、海洋生活期に分散し、相互に交流することは困難であると考えられる。宮之浦川と栗生川の個体群が遺伝的に異なる集団であることから、屋久島には河川ごとに独立した個体群が存在する可能性が高く、今後は河川ごとに保全していく必要がある。

<引用文献>

- 澤志泰正, 藤本治彦, 東幹夫, 西島信昇, 西田睦. 琉球列島北部におけるアユの分布ならびにその遺伝的・形態的特徴. 日本水産学会誌 59, 1993, 191-199
- Kano Y, Iida M, Tetsuka K, Saitoh T, Kato F, Sato T, Nishida S. Effect of waterfalls on fluvial fish distribution and landlocked *Rhinogobius brunneus* populations on Yakushima Island, Japan. Ichthyol Res 61, 2014, 305-316
- Awata S, Tsuruta T, Abe S, Tamaki Y, Iguchi K. Feeding territory and variations in behavioural modes of algae-grazing fish *Plecoglossus altivelis ryukyuensis* (Ryukyu-ayu) in subtropical island streams. Ecol Freshw Fish 21, 2012, 1-11
- Iguchi K, Nishida M. Genetic biogeography among insular populations of the amphidromous fish *Plecoglossus altivelis* assessed from mitochondrial DNA analysis. Conserv Genet 1, 2000, 147-156
- Takehisa H, Iguchi K, Nishida M. Unexpected ceiling of genetic differentiation in the control region of the mitochondrial DNA between different subspecies of the Ayu *Plecoglossus altivelis*. Zool Sci 22, 2005, 401-410
- Yamamoto S, Uchida K, Sato T, Katsura K, Takasawa T. Population genetic structure and effective population size of ayu (*Plecoglossus altivelis*), an amphidromous fish. J Fish Biol 70, 2007, 191-201

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3件)

- 久米元. 屋久島におけるアユの出現状況. 南太平洋海域調査研究報告 59, 2018, 95-96 (査読無)
- Aritomi A, Andou E, Yonezawa T, Kume G. Monthly occurrence and feeding habits of larval and juvenile Ryukyu-ayu *Plecoglossus altivelis ryukyuensis* in an estuarine lake and coastal area of the Kawauchi River, Amami-oshima Island, southern Japan. Ichthyological Research 64, 2017, 159-168 (査読有)
- 久米元. リュウキュウアユの保全生態学的研究. 南太平洋海域調査研究報告 57, 2016, 99-100 (査読無)

[学会発表](計 11件)

- 久米元. 奄美大島におけるリュウキュウアユの生活史. 生物多様性シンポジウム「奄美群島の海と川の生き物たち～未来に残したい宝物」, 2019
- 久米元. 温暖化あるいは海水温上昇が内水面生物資源に及ぼす影響: リュウキュウアユをモデルとして. 日本水産学会九州支部例会シンポジウム, 2018
- 岡紗也佳, 関口一平, 久米元. 屋久島におけるアユの初期生活史. 日本水産学会九州支部大会, 2018
- 石田慎, 黒木亮太郎, 久米元. 奄美大島東部の住用湾に注ぐ役勝川, 住用川, 川内川の河口域における魚類稚魚の出現様式. 日本魚類学会年会, 2018
- 久米元. リュウキュウアユの初期生活史と摂餌生態. 日本生態学会年会, 2018
- 中田あずみ, 川上達也, 安藤恵美子, 米沢俊彦, 久米元. 奄美大島の川内川河口域におけ

るリュウキュウアユ仔稚魚の成長．日本魚類学会年会，2017
中野寛，小針統，山口敦子，久米元．奄美大島におけるリュウキュウアユと同所的に生息する魚類の食性．日本魚類学会年会，2017
久米元．魚類の成育場としての河口・沿岸域の重要性：離島のアユを中心に．環境水理部会研究集会，2017
黒木亮太郎，久米元．奄美大島住用湾に出現する魚類仔稚魚の出現様式と摂餌生態．日本魚類学会年会，2016

〔図書〕(計 2件)

久米元，米沢俊彦，鈴木廣志，寺田竜太．奄美群島の水生生物，南方新社，2019，245
興克樹，米沢俊彦，久米元．奄美群島の外来生物，南方新社，2017，246

〔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：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

なし

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：柳下 直己

ローマ字氏名：(YAGISHITA, naoki)

所属研究機関名：長崎大学

部局名：水産・環境科学総合研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：50434840

(2)研究協力者

なし

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。