

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：32645

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2021

課題番号：16K07853

研究課題名（和文）30年間の接岸量調査と初期生活史解析に基づくニホンウナギ接岸回遊機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of recruitment mechanisms of Japanese eel based on 30 years monitoring glass eel recruitment and early life history analysis

研究代表者

篠田 章（Shinoda, Akira）

東京医科大学・医学部・准教授

研究者番号：70401297

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：近年ニホンウナギの接岸量は減少しているが、その原因は明らかでない。鹿児島県種子島において、2016年から2022年にかけてシラスウナギの接岸量調査を行い、1991年からのデータとあわせてニホンウナギの接岸回遊機構を解析した。種子島の接岸時期や接岸量の変動は、エルニーニョ・ラニーニャ現象などの外洋の環境変化だけでは説明できず、沿岸域の渦などの影響を受けることが示唆された。シラスウナギの初期生活史解析からは、世代を経るごとに全長の縮小傾向と海洋での輸送期間の増加傾向が認められた。全長の縮小と輸送期間の増大は、海洋での仔魚の生残に悪影響を及ぼし、接岸量減少の一因となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シラスウナギ漁獲量の年変動が生じる要因は明らかではない。鹿児島県種子島において、1991年から30年の長期にわたるタイムスパンでニホンウナギの接岸回遊機構を解析した。種子島の接岸時期や接岸量の変動は、外洋の環境変化だけでは説明できず、沿岸域の渦などの影響を受けることが示唆された。これは将来の漁獲量予測のための基礎知見となる。初期生活史解析からは、世代を経るごとに全長の縮小傾向と海洋での輸送期間の増加傾向が認められた。これはニホンウナギの3世代にあたる30年の解析を行った結果である。これまで知見のなかった降河回遊魚の初期生活史の数十年単位の環境応答について重要な基礎的情報が得られた。

研究成果の概要（英文）：In recent years, Japanese eels have been decreasing in the amount of recruitments, although the cause of this decrease is not clear. We conducted a monitoring glass eel recruitment on Tanegashima Island, Kagoshima Prefecture, from 2016 to 2022, and analyzed the recruitment mechanisms of Japanese eels in conjunction with data from 1991. It was suggested that fluctuations in the timing and amount of recruitment at Tanegashima cannot be explained simply by environmental changes in the open ocean, such as El Nino/La Nina events, but are influenced by eddies in the coastal zone. Early life history analysis of glass eel showed a trend of reducing total length and increasing larval migration period in the ocean with each successive generation. The reduced total length and increased duration of larval migration negatively affect the survival of larvae in the ocean and lead to a decrease in the amount of recruitment.

研究分野：魚類生態学

キーワード：ニホンウナギ シラスウナギ 初期生活史 接岸回遊 耳石

## 1. 研究開始当初の背景

ニホンウナギ (*Anguilla japonica*) は、我が国における水産重要魚種である。現在のウナギ養殖業は、すべて河口域で採集された天然のシラスウナギを種苗としている。しかし、シラスウナギの漁獲量は 1970 年代から減少を続けている。ニホンウナギ資源量の中・長期の減少要因として、乱獲や開発による河川環境の劣化などが挙げられている。一方、シラスウナギ漁獲量の年変動については、産卵場から成育場に至る海洋環境の変動が主な要因であると考えられている。近年のウナギ産卵場調査の進展は目覚ましく、親魚の採集、複数年に亘る孵化仔魚 (プレレプトセファルス) の採集、卵の採集など本種の産卵生態が次々と明らかになった。その結果、ニホンウナギの産卵場は空間的に極めて限定されており、その場所は年によって変わるだけでなく、同一産卵期でも月によって数 100 km の単位で変動することがわかってきた。ニホンウナギは西マリアナ海嶺付近で生まれ、北赤道海流によって西方へと運ばれた後に、台湾南方で黒潮に乗り換えて東アジア沿岸へと回遊する。北赤道海流はフィリピン諸島の東で北上する黒潮と南下するミンダナオ海流に 2 分するが、この分岐点 (バイファケーション) の緯度は、年によって変動することが知られている。産卵場の南方への移動やバイファケーション緯度の北方への移動、北赤道海流中に発生する中規模渦の増加などは、初期生活史や接岸域にも影響を及ぼす。こうした変化が年単位のシラスウナギ接岸量減少の要因になる可能性があるが、詳細は明らかではない。

従来、ニホンウナギのシラスウナギ接岸量は、漁獲量統計や商業的な池入れ量から推定されてきた。これは、シラスウナギ接岸量の科学的なモニタリング調査が行われてこなかったためである。我々は、シラスウナギの接岸量に関する科学的な知見を得るために、鹿児島県種子島に位置する井原川においてシラスウナギの定量的な採集調査を継続して行ってきた。種子島の採集調査は 1991 年 10 月に開始し、本研究課題の申請時 (2015 年 10 月) までに 25 年間継続している。その結果、種子島におけるシラスウナギの接岸時期は 10~6 月であり、漁期 (12 月から 3 月) よりも長期にわたって接岸すること、年変動は大きいものの、接岸量は概して少なく、全国の漁獲量統計と類似した変動傾向を示すことがわかった。しかし、これらの標本については耳石解析が行われていないため、その初期生活史は明らかになっていない。

## 2. 研究の目的

ニホンウナギの接岸量変動の要因を初期生活史の解析から 30 年のタイムスパンで明らかにすることを本研究の目的とした。具体的には、鹿児島県種子島井原川河口に接岸するシラスウナギの量を 30 年にわたって明らかにする、接岸したシラスウナギの生物学的特性と初期生活史を明らかにする、シラスウナギ接岸量の変化の要因を初期生活史の視点から検討する、の 3 点である。これらの成果と海洋環境のデータを併せて解析することにより、シラスウナギの年単位の資源変動メカニズム解明に寄与することが期待される。

## 3. 研究の方法

### (1) シラスウナギの接岸量調査

鹿児島県種子島伊原川河口 (2021 シーズンより大牟礼川河口) において、10 月~5 月までの期間は 10 日に 1 回、それ以外の期間については 1 ヶ月に 1 回程度の採集調査を行った。1 回の採集調査は 2 時間以上とし、各回 1 名以上が手網を用いてシラスウナギを採集した。それぞれの採集調査では、サンプルとするシラスウナギの数は最大 30 尾とした。採集時には、採集個体数・採集時間 (採集開始と終了の時間)・採集人数を野帳に記録し、CPUE を算出できるようにした。同時に水温などの環境データの測定も行った。シラスウナギは採集後ただちに冷凍もしくは 99.5% エタノールで固定し、(2) 生物学的特性の解析と (3) 初期生活史の推定の材料とした。

### (2) 生物学的特性の解析

採集した全てのシラスウナギについて、外部形態の測定を行った。測定項目は全長 (TL)、背鰭始部前長 (PDL)、肛門前長 (PAL)、色素発達段階の項目とした。全長に対する肛門前長と背鰭始部前長の差の割合 ( $AD/TL$ ) は、ウナギ属の種判別に用いる基準となっている。種子島に接岸するウナギ属魚類はニホンウナギ、オオウナギ (*Anguilla marmorata*)、ニューギニアウナギ (*Anguilla bicolor*) の 3 種である。ニューギニアウナギは  $AD/TL$  が 0 前後の短鰭型であるため、他 2 種 (5~19) とは容易に区別できる。また、シラスウナギの尾部色素の発現パターンは、 $AD/TL$  と同様に種判別を行うための識別形質である。出現が予想される 3 種は尾部色素の発現パターンによって判別可能であるため、外部形態によって種査定を行った。色素発達段階は、全長とともにシラスウナギの接岸時の状態を表す指標として解析に供した。

### (3) 初期生活史の推定

魚体から扁平石を摘出し、エポキシ樹脂に包埋して、耳石核が露出するまで研磨および琢磨を施した。露出した矢状断面を 50 mM の塩酸で腐食した後、白金-パラジウムコーティングを施

し、走査型電子顕微鏡 (SEM) で写真を撮影した。輪紋数の計数と輪紋間隔の測定を行い、レプトセファルス期の期間、接岸日齢、孵化日の推定を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) シラスウナギの接岸量

鹿児島県種子島伊原川河口 (2021 シーズンより大牟礼川河口) において、2016 年 10 月から 2022 年 3 月までの期間に計 100 回の接岸量調査を行った。接岸時期は概ね 11 月から翌年 5 月までで、CPUE は 0~120 と変動を示した。

1991 年から 2018 年にかけて伊原川河口に接岸したシラスウナギの採集データ 480 回分から接岸量を解析した。27 年間の調査で採集されたシラスウナギの総数は 57,757 個体で、月ごとの採集個体数は 0 - 4,152 と大きな差が見られた。接岸時期や単位努力量当たり漁獲量 (CPUE) と海洋環境の変動 (エルニーニョ現象発生年、ラニーニャ現象発生年、通常年) との対応と接岸時期の変化を検討した。各シーズンの 11 月から 4 月にかけてはいずれの年も接岸が確認され、接岸時期に大きな変化はなかった。CPUE はエルニーニョ・ラニーニャ現象発生年と通常年の間で明瞭な関係はみられず、各調査回の CPUE は採集地点の周辺海域で発生する渦などの局所的な現象が強く影響することが考えられた。

##### (2) 生物学的特性

1992 年から 2018 年の 1 月に採集したシラスウナギ各 30 個体について、全長、背鰭前長、肛門前長、色素発達段階を測定した。測定した 793 個体は、外部形態により、ニホンウナギ 780 個体、オオウナギ 10 個体、ニューギニアウナギ 2 個体、その他 1 個体となった。以下の解析はニホンウナギのみを対象にした。色素の発達段階は 5A から 6A4 まで出現したが、5B の個体が全体の 6 割を占めていた。全長は  $57.5 \pm 2.5$  mm (平均値  $\pm$  標準偏差; 範囲, 50.4 - 65.3;  $n = 779$ ) であった。全長を年級群間で比較すると有意な差が認められ、1990 年代と 2010 年代で比較すると約 5 % の縮小率となった。ニホンウナギの世代時間に相当する 5 - 10 年ごとの比較で特に変化が顕著であったことから、世代を経るごとに種子島に接岸したシラスウナギが小型化した可能性が示唆された。

##### (3) 初期生活史

形態計測を行った標本群について、耳石に形成される日周輪を SEM で観察し、初期生活史の特性値を求めた。全標本の接岸日齢は  $169.9 \pm 13.9$  日 (128 - 216;  $n = 257$ ) であった。レプトセファルス期は  $134.2 \pm 13.0$  日 (96 - 169;  $n = 257$ ) であり、変態期とシラスウナギ期を合わせた能動回遊期間は  $35.5 \pm 7.8$  日 (10 - 57;  $n = 257$ ) であった。レプトセファルス期の期間を年級群および世代時間を考慮した時間単位で比較したところ、世代を経るごとに延長していた。

##### (4) 海洋環境との対応

接岸時のシラスウナギの全長と海洋環境の変動の関係を調べると、エルニーニョ現象発生年で、シラスウナギの全長が大きくなる傾向がみられた。しかしながら、初期生活史の各パラメータ (接岸日齢、レプトセファルス期間、変態仔魚期とシラスウナギ期の合算日数) とエルニーニョ現象、ラニーニャ現象との間に明瞭な関係はみられず、エルニーニョ現象発生年の全長の増大は栄養状況などの違いに起因するものと考えられた。

##### (5) 経年変化

本研究はニホンウナギの 3 世代にあたる 27 年分のシラスウナギを解析し、1990 年代初めから現在までに全長の小型化と接岸までに要する時間が長期化していることを明らかにした。全長の小型化の原因として、生息環境の劣化や個体群サイズの縮小により、親魚の繁殖が若齢かつ小さな体サイズでおこり、その結果としてシラスウナギが小型化していった可能性が考えられた。レプトセファルス期の全長の短縮化は、浮力調整能、初期成長、および鉛直移動の低下を引き起こすため、死亡率が増大する可能性があると考えられる。初期生活史の解析から認められた海洋における輸送期間の長期化も、レプトセファルスの体サイズの小型化に起因すると考えることができる。輸送期間の長期化は、輸送過程における無効分散や被食率の増加を招き、海洋輸送期における生残率を低下させている可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Miller Michael J., Itoh Sachihiko, Watanabe Shun, Shinoda Akira, Saruwatari Toshiro, Tsukamoto Katsumi, Yasuda Ichiro	4. 巻 159
2. 論文標題 Distribution of leptocephali and wintertime hydrographic structure in the Kuroshio Extension and northern subtropical gyre	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers	6. 最初と最後の頁 103240 ~ 103240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr.2020.103240	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 Han Yu-San, Hsiung Kuan-Mei, Zhang Heng, Chow Lai-Yin, Tzeng Wann-Nian, Shinoda Akira, Yoshinaga Tatsuki, Hur Sung-Pyo, Hwang Sun-Do, Iizuka Yoshiyuki, Kimura Shingo	4. 巻 11
2. 論文標題 Dispersal Characteristics and Pathways of Japanese Glass Eel in the East Asian Continental Shelf	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 2572 ~ 2572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su11092572	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 該当する

1. 著者名 Fukuda N., Kurogi H., Ambe D., Chow S., Yamamoto T., Yokouchi K., Shinoda A., Masuda Y., Sekino M., Saitoh K., Masujima M., Watanabe T., Mochioka N., Kuwada H.	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Location, size and age at onset of metamorphosis in the Japanese eel <i>Anguilla japonica</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Fish Biology	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jfb.13590	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5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 呉 青逸, 吉永龍起, 塚本勝巳, 篠田 章
2. 発表標題 ニホンウナギの初期生活史の年変動
3. 学会等名 うな井の未来 VI 世界の中のニホンウナギ (東アジア鰻学会公開シンポジウム)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 呉 青逸, 吉永龍起, 塚本勝巳, 篠田 章
2. 発表標題 二ホンウナギの生物学的特性と接岸生態に生じた長期的な変化
3. 学会等名 東アジア鰻学会 第2回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 呉 青逸, 吉永龍起, 塚本勝巳, 篠田 章
2. 発表標題 二ホンウナギの初期生活史の長期変動：エルニーニョの影響
3. 学会等名 うな井の未来 行政はウナギを救えるか
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 呉 青逸, 吉永龍起, 塚本勝巳, 篠田 章
2. 発表標題 種子島に接岸した二ホンウナギの 初期生活史にみられる 15 年間の変動
3. 学会等名 東アジア鰻学会 第1回研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 篠田章
2. 発表標題 シラスウナギの来遊状況からみた鰻消費の課題
3. 学会等名 うな井の未来 IV 丑の日のあり方を考える
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 塚本 勝巳、篠田 章 他	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 240
3. 書名 ウナギの科学	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------