

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：32645

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450281

研究課題名(和文) ウナギ属5種の初期生活史の比較による接岸回遊機構の解明

研究課題名(英文) Inshore migration mechanisms based on comparison of early life history among five species of *Anguilla*

研究代表者

篠田 章 (Shinoda, Akira)

東京医科大学・医学部・講師

研究者番号：70401297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：フィリピン・ルソン島北部のカガヤン川河口で2年に亘りシラスウナギを採集した。出現種の種組成では、ルソンウナギ、太平洋型バイカラウナギ、オオウナギの3種が優占した。ニホンウナギの出現は稀で、過去に報告のあるセレベスウナギは出現しなかった。北赤道海流中に同所的な産卵場を持つニホンウナギとオオウナギの接岸日齢は両種とも150日弱で差はなかった。産卵場が不明な太平洋型バイカラウナギは170日程度と両種よりも長い傾向がみられた。ルソンウナギの接岸日齢は、熱帯に広く分布するオオウナギと太平洋型バイカラウナギの間であり、産卵場を北赤道海流中に持つことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The anguillid glass eels were collected during two years in estuary of the Cagayan River in northern Luzon Island, the Philippines. Three anguillid species, *Anguilla luzonensis*, *A. bicolor pacifica* and *A. marmorata* were dominant, and *A. japonica* was rarely occurred. *A. celebesensis* that was reported in previous studies not occurred in study period. The spawning areas of *A. japonica* and *A. marmorata* were overlapping in the North Equatorial Current (NEC), their ages at recruitment were almost same (about 150 days). By contrast, *A. bicolor pacifica* was recruited about 170 days, which is longer than *A. japonica* and *A. marmorata*. *A. luzonensis* shows intermediate ages at recruitment between *A. marmorata* and *A. bicolor pacifica*, suggesting that spawning areas of *A. luzonensis* locates in NEC.

研究分野：魚類生態学

キーワード：ニホンウナギ 熱帯ウナギ ルソン島 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*) の養殖用種苗であるシラスウナギの漁獲量は減少を続けており、特に 2009 年以降の 3 年は記録的な不漁が連続した。この不漁の影響で、東南アジアからも成鰻や種苗用のシラスウナギを輸入する動きが広がっている。しかし、熱帯産のウナギ属魚類の資源動向に関する知見は皆無で、外国産ウナギ属魚類の産業利用による資源への影響は不明である。

フィリピンのルソン島北部に広がるカガヤン川水系は、世界で 19 種・亜種が知られるウナギ属魚類のうち、ニホンウナギを含む 5 種が同所的に接岸する希有な水系である。他の 4 種はオオウナギ (*A. marmorata*)、太平洋型バイカラウナギ (*A. bicolor pacifica*)、セレベスウナギ (*A. celebesensis*) と 2009 年に新種記載されたルソンウナギ (*A. luzonensis*) である (バイカラウナギ以下の和名は便宜的に用いた)。オオウナギとバイカラウナギは西日本が分布の北限であり、北太平洋の亜熱帯循環を利用する。すなわち、東アジア一帯に分布するニホンウナギと対照的な分布パターンを示す。一方、ルソン島に接岸するセレベスウナギについては、近年新たに記載されたルソンウナギと混同されていた可能性が高く、接岸時期や初期生活史に関する知見は大幅な再検討を要する。これら 5 種のウナギ属魚類は、それぞれ固有の産卵場で生まれた後、接岸回遊に際して部分的に同じ海流を利用する。したがって、海洋環境の変動に対する各種の応答の相違は、カガヤン川河口における接岸量や時期の変化として現れるものと考えられる。

2. 研究の目的

フィリピン・ルソン島北部のカガヤン川水系に接岸する 5 種のシラスウナギについて、それらの通年に亘る接岸生態、生物学的特性と初期生活史を明らかにすることを目的とした。具体的には、カガヤン川河口に接岸する 5 種のウナギ属魚類の組成を通年に亘り明らかにし、次に 5 種の生物学的特性と初期生活史を明らかにする。さらに、日本とカガヤン川に共通して接岸する 3 種の生物学的特性と初期生活史を比較検討する。

本研究計画から得られ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。さらには、5 種のシラスウナギの生物学的特性を詳細に調べることで、我が国に持ち込まれるフィリピン産シラスウナギの判別法の確立を可能とする。

3. 研究の方法

(1) 標本の採集

フィリピン・ルソン島北部のカガヤン川河口において、2013 年 4 月から 2015 年 2 月までの期間に原則として毎月 1 回、新月の晩に

商業漁業によって漁獲されたシラスウナギを購入した。購入したシラスウナギは各回 1,411 - 2,795 個体であり、現地で採集後ただちに 70%エタノールで固定した。その後、日本に持ち帰り、研究室において 99.5%エタノールで再固定し、後の解析に用いた。

(2) 外部形態の測定と種査定

採集したシラスウナギの全長 (TL)、背鰭始部前長 (PDL)、肛門前長 (ADL) を 0.1 mm 単位で測定した。全長に対する肛門前長と背鰭始部前長の差の割合 (AD/TL) が、5% を超えるものを長鰭型とし、それより小さいものを短鰭型とした。尾部色素の観察を行い、A 型 (バイカラウナギ型)、B 型 (オオウナギ型)、C 型 (ニホンウナギ型) の 3 型に分けた。

B 型の尾部色素を示した個体から、1,112 個体 (各月 38-48 個体) を無作為に抽出した。これらの個体のミトコンドリア 16S rRNA 遺伝子の部分塩基配列 (640 bp) を決定し、種査定を行った。得られた種組成の比率をもとに、全標本群の種組成を推定した。

(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) 種組成

フィリピン・ルソン島北部のカガヤン川河口において、2013 年 4 月から 2015 年 2 月までの期間に採集したシラスウナギ 44,286 個体の外部形態を測定・観察し、その内の 1,112 個体について遺伝子を用いた種査定を行った。その結果、出現種の種組成では、ルソンウナギ、太平洋型バイカラウナギ、オオウナギの 3 種が優占した。ルソンウナギは春から秋、太平洋型バイカラウナギは秋から冬の比較的短い期間に集中して出現したが、オオウナギは通年に亘って出現する傾向がみられた。ニホンウナギ、*A. interioris* の出現は稀で、過去に報告のあるセレベスウナギは出現しなかった。

(2) 形態情報からの種判別

尾部色素の状態から A~C の 3 型が識別でき、A 型は短鰭型と長鰭型に細分できた。遺伝子を用いた種査定の結果とあわせると、A 型 (短鰭) が太平洋型バイカラウナギ、A 型 (長鰭) が *A. interioris*、C 型がニホンウナギに対応することが明らかになった。また、B 型にはオオウナギ、ルソンウナギ、セレベスウナギの 3 種が含まれおり、これらの種判

別には遺伝子査定が必要であることが示された。

(3) 初期生活史

ニホンウナギ

2009年1月に採集したニホンウナギ(全長, 平均 ± 標準偏差; 範囲, 51.9 ± 2.2 mm; 47.2 - 56.1; n=50)について, 耳石による初期生活史推定を行った(n=12)。その結果, レプトセファルス期は 110.4 ± 20.8 日(平均 ± 標準偏差; 範囲, 77 - 146), 接岸日齢は 147.2 ± 21.3 日(111 - 185)であり, 2008年7月から10月に孵化したものと推定された。

ルソンウナギ

2009年の1月と2月に採集したルソンウナギのシラスウナギ(全長, 48.0 ± 2.0 mm; 43.1 - 50.1; n=11)について, その初期生活史を推定した。レプトセファルス期は, 129.6 ± 10.7 日(113 - 146), 接岸日齢は 165.5 ± 10.7 日(151 - 184)であった。これらの個体は2008年の8月と9月に孵化したと推定された。外洋で採集したルソンウナギのレプトセファルス3個体の推定孵化月は2月と3月とされていたため, 本種の産卵期は少なくとも半年以上にわたることが示唆された。

ルソンウナギの接岸時期を網羅した2012年の5月, 7月および10月に採集したシラスウナギ(各 n=9 - 10)を解析した。平均全長は5月群が 47.4 mm(45.9 - 49.1)で, 7月群 50.3 mm(48.0 - 51.9), 10月群 51.1 mm(48.3 - 53.1)に比べ有意に小型であった。また接岸日齢も5月群(139.8日; 128 - 154)は, 7月群および10月群のそれら(156.7日, 137 - 180; 166.6日, 136 - 194)と比べて有意に若齢であった。5月群の孵化月は2011年12月-2012年1月, 7月群は2011年12月-2012年2月, 10月群は2012年3月-5月であり, 早期に来遊した群ほど早い時期に生まれていた。

セレベスウナギ

2009年の1月に採集したセレベスウナギ(全長, 45.4 mm, 46.9 mm; n=2)の初期生活史を推定した。レプトセファルス期は, 87日と100日, 接岸日齢は121日と146日であった。これらの個体は2008年の9月に孵化したと推定された。

オオウナギ

2009年1月(全長, 46.6 ± 1.7 mm; 43.3 - 51.8; n=45), 2011年11月(47.9 ± 1.8 mm; 42.0 - 52.7; n=45), 2012年11月(48.5 ± 2.0 mm; 44.0 - 52.3; n=45), 2013年8月(50.2 ± 1.6 mm; 47.5 - 52.5; n=10)と11月(46.7 ± 2.3 mm; 42.0 - 50.7; n=30)に採集したオオウナギについて, 耳石による初期生活史推定を行った(それぞれ n=4, 5, 4, 10, 9)。レプトセファルス期の長さは2013年8月群(111.3 ± 9.4 日; 90 - 123)および2013年11月

群(104.0 ± 6.0 日; 96 - 115)であった。接岸日齢は, 2009年1月群(147.0 ± 21.1 日; 126 - 182), 2011年11月群(145.0 ± 15.3 日; 122 - 160), 2012年11月群(136.0 ± 9.9 日; 122 - 145), 2013年8月群(146.8 ± 6.5 日; 130 - 168)および11月群(137.0 ± 9.0 日; 127 - 157)であった。推定孵化日は, それぞれ2008年7~9月, 2010年6~7月, 2011年6~7月, 2013年2月~3月と5月~6月であった。接岸年, 時期の違いにもかかわらず, オオウナギはおおよそ一定の日齢で接岸することが明らかになった。

太平洋型バイカラウナギ

2011年11月(全長, 47.7 ± 1.6 mm; 44.2 - 50.2; n=10), 2012年11月(49.5 ± 1.8 mm; 47.0 - 51.9; n=10)に採集した太平洋型バイカラウナギ(n=9, 10)について, 耳石による初期生活史推定を行った。レプトセファルス期の長さは2011年群(132.4 ± 15.1 日; 110 - 156)および2012年群(141.9 ± 19.7 日; 105 - 172)であった。接岸日齢は, 2011年群(168.3 ± 14.9 日; 150 - 191)および2012年群(176.2 ± 19.8 日; 139 - 207)であり, それぞれ2013年2月~3月と5月~6月に孵化したものと推定された。2011年群と2012年群では, 初期生活史に大きな違いは認められなかった。

(4) 5種の初期生活史の比較

2009年1, 2月にカガヤン川河口に接岸したウナギ属3種の接岸日齢を比較すると, ニホンウナギとオオウナギが150日弱であるのに対して, ルソンウナギは165日と2週間程度長い傾向が認められた。同時期に同地点に来遊したニホンウナギとオオウナギの接岸日齢に差がみられないことは, 両種が北赤道海流中に同所的に産卵場を持つことで説明できる。すなわち, 2008年の7月から10月に西マリアナ海嶺付近で孵化した仔魚が北赤道海流によってルソン島北部に来遊したものと考えられた。接岸域が広域な両種と異なり, ルソンウナギの分布域はルソン島に限定されている。分布域の狭さは局所的な回遊を示唆するが, 広域分布のニホンウナギやオオウナギよりもルソンウナギの方が接岸回遊に長時間を要していた。また, 2012年採集個体の接岸時期を網羅した解析でも比較的長い回遊期間を示した。本研究の結果は, ルソンウナギの産卵場がルソン島北部近辺ではなく, 北赤道海流中にあるとの推定(Kuroki et al. 2012)を支持するものと考えられる。

広域に分布する熱帯種であるオオウナギと太平洋型バイカラウナギの接岸日齢を2011年と2012年の2年にわたって比較したところ, 太平洋型バイカラウナギの方が20 - 40日程度長い傾向がみられた。太平洋型バイカラウナギの小型仔魚は北赤道海流中で採集されておらず(Miller et al. 2009), その産卵場は不明である。本研究の結果は, 太平洋

型バイカラウナギがオオウナギとは異なる産卵場と回遊ルートを持つとの推定 (Aoyama et al. 2015) を支持した。

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 6件)

S. Nakazato, T. Minagawa, F. Shiratori, A. Shinoda, J. Aoyama, T. Yoshinaga. (印刷中). Ages of the giant mottled eel *Anguilla marmorata* recruited at the northern Luzon Island, the Philippines between 2009 and 2011. *Coast. Mar. Sci.* (査読有り).

A. Shinoda, T. Yoshinaga, J. Aoyama, G. Tsuchida, S. Nakazato, M. Ishikawa, Y. Matsugamoto, S. Watanabe, R. V. Azanza, K. Tsukamoto. 2015. Early life history of the Luzon mottled eel *Anguilla luzonensis* recruited to the Cagayan River, Luzon Island, the Philippines. *Coast. Mar. Sci.* 38, 21-26. (査読有り).

<http://hdl.handle.net/2261/57166>

J. Aoyama, T. Yoshinaga, A. Shinoda, F. Shiratori, A. V. Yambot, YS. Han. 2015. Seasonal changes in species composition of glass eels of the genus *Anguilla* (Teleostei: Anguillidae) recruiting to the Cagayan River, Luzon Island, the Philippines. *Pac. Sci.* 69, 263-270. (査読有り).

doi: <http://dx.doi.org/10.2984/69.2.8>

C. Tanaka, F. Shiratori, M. Sato, M. Ishikawa, A. Shinoda, J. Aoyama, T. Yoshinaga. 2014. Genetic identification method for two subspecies of the Indonesian short-finned eel, *Anguilla bicolor*, using an allelic discrimination technique. *Zool. Stud.* 53, 17. (査読有り). doi: 10.1186/s40555-014-0057-8

T. Yoshinaga, J. Aoyama, A. Shinoda, S. Watanabe, R. V. Azanza, K. Tsukamoto. 2014. Occurrence and biological characteristics of glass eels of the Japanese eel *Anguilla japonica* at the Cagayan River of Luzon Island, Philippines in 2009. *Zool. Stud.* 53, 13. (査読有り).

doi: 10.1186/1810-522X-53-13

J. Aoyama, S. Watanabe, M. J. Miller, N. Mochioka, T. Otake, T. Yoshinaga, K. Tsukamoto. 2014. Spawning sites of the Japanese eel in relation to oceanic structure and the West Mariana Ridge. *PLoS ONE* 9(2): e88759. (査読有り).

doi: 10.1371/journal.pone.0088759

[学会発表](計 14件)

A. Shinoda, T. Yoshinaga, N. Amiya, S. Tsutsui, S. Nakazato, M. Ishikawa, Y. Tanaka. Eel Fisheries and Resources in Japan, Eel River Project: Monitoring glass eel recruitment during 6 seasons at Sagami River. 2015.8.6-9. 2015 annual meeting of East Asia Eel Resource Consortium. Shanghai (China).

C. Tanaka, F. Shiratori, A. Shinoda, J. Aoyama, T. Yoshinaga. Identification method for two subspecies of *Anguilla bicolor* by an allelic discrimination technique. International Eel Symposium Eel Planet. 2015.6.18. 日本大学本部 (東京・千代田区).

中里翔, 篠田章, 青山潤, 吉永龍起. フィリピン北部に局所的に分布するルソンウナギの接岸回遊生態. 2015.3.27-29.平成27年度日本水産学会春期大会. 東京海洋大学. (東京・品川区).

A. Shinoda, J. Aoyama, N. Mochioka, T. Yoshinaga, K. Kaifu, Y. Kaji, H. Kurogi, R. Wakiya, T. Yada, N. Amiya, S. Tsutsui, M. Ishikawa, Y. Tanaka, K. Matsushita, M. Matsushita, S. Hidaka, YS. Han, K. Tsukamoto. Eel river project. 2013.12.10. The 16th EASEC International Symposium on Japanese eel conservation. 東京大学. (東京・文京区).

T. Yoshinaga. Tropical eels in market. 2013.12.10. The 16th EASEC International Symposium on Japanese eel conservation. 東京大学. (東京・文京区).

J. Aoyama. Glass eels in Philippines. 2013.12.10. The 16th EASEC International Symposium on Japanese eel conservation. 東京大学. (東京・文京区).

[図書](計 2件)

篠田章. 2013. 研究者の役割—東アジア協働へ向けた鰻川計画. うな井の未来. 東アジア鰻資源協議会日本支部. 青土社. 220-233.

吉永龍起. 2013. 異種ウナギは救世主になれるのか. うな井の未来. 東アジア鰻資源協議会日本支部. 青土社. 123-135.

6. 研究組織

(1)研究代表者

篠田章 (SHINODA, Akira)

東京医科大学・医学部・講師

研究者番号: 70401297

(2)研究分担者

青山 潤 (AOYAMA, Jun)
東京大学・大気海洋研究所・教授
研究者番号：30343099

吉永 龍起 (YOSHINAGA, Tatsuki)
北里大学・海洋生命科学部・准教授
研究者番号：30406912

阿見彌 典子 (AMIYA, Noriko)
北里大学・海洋生命科学部・講師
研究者番号：202588503