

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2012

課題番号：21380119

研究課題名（和文）餌料・輸送環境解析に基づくニホンウナギの回遊生態の解明と資源管理方策の提言

研究課題名（英文）Migration behavior and stock management strategy of the Japanese eel based on diet and transport environments analyses

研究代表者

木村 伸吾 (KIMURA SHINGO)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90202043

研究成果の概要（和文）：

ニホンウナギの回遊生態と生息環境の解明を目的として、産卵域が位置する北赤道海流域および代表的な生息水域である利根川水系での調査を中心に研究を実施したものである。その結果、レプトセファルス幼生は表層で懸濁態有機物を摂餌し、同じ形態を有していても種によって摂餌する水深が異なっていること、幼生の輸送過程は大西洋と大きく異なること、成魚は餌生物が多様な自然堤防域を好んで生息することなどを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

This study was conducted to clarify migration behavior and habitat environment of the Japanese eel on the basis of survey in the North Equatorial Current where the spawning ground is located and Tone River system where the representative nursery ground is located. As the results, following matters were clarified; the leptocephali ingest particulate organic matter in the surface layer, different species of leptocephali do not take the same ingestion depth as the Japanese eel, larval transport process is largely different from it in Atlantic Ocean, and adult eels distribute preferably in the natural shore area that has high diversity of their prey organism.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2012年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度	0	0	0
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：ニホンウナギ、産卵回遊、北赤道海流、炭素窒素安定同位体比、数値シミュレーション、生息環境、利根川水系

1. 研究開始当初の背景

近年、ニホンウナギ (*Anguilla japonica*) のシラスの採捕量が減少しており、養鰻業界は極めて深刻な打撃を受けている。完全養殖が高い生残率で実現できれば、陸上でのシラ

スウナギ種苗生産がその活路を開く可能性があるものの、経済的に採算が取れる状況とはほど遠く、克服していかなくてはならない技術的な課題が数多くの残されているのが現状である。ニホンウナギの産卵場は、日本

から遠く離れた北赤道海流中の北緯 15 度東経 140 度付近のマリアナ諸島付近の海域にあり、ウナギのレプトセファルス幼生が北赤道海流から黒潮に乗り換え、シラスウナギに変態した後、日本を含む東アジアの沿岸域に到着する (Tsukamoto, 1992; Kimura et al., 1994)。その後、河川を中心とする淡水域で生息し、成熟した親ウナギとなって再びマリアナ海域に帰っていく。つまり、数千キロにもわたる大きな回遊環がウナギの再生産過程に必要なものであり、ウナギ属魚類に特徴的な不安定な回遊環のメカニズムを完全に解明することこそが、完全養殖に向けた技術的な課題の克服にも極めて大きな一助となるものと考え、本種の産卵回遊に関する研究を進めてきた。

不安定な回遊環を構成する一要素は、産卵海域がピンポイントで位置していることにあるが、生息域から遠く何千キロも離れた外洋域で雌雄が遭遇するための目印として、北赤道海流を北緯 15 度付近で南北に二分する塩分フロントが使われているとみられている。これは、過去の幼生の採集がこのフロント付近に集中分布していることに基づき、塩分フロントの南側には輸送に適した強い流れが存在するため、幼生が効率的に輸送されるための戦略として、塩分フロントに代表される水塊の違いを利用するというものである。この強流域はエルニーニョとは関連なく北緯 10~15 度に位置しているものの、塩分フロントはエルニーニョ時には大きく南下する。つまり、産卵場も一緒に南下するとすれば、輸送環境条件が極端に悪い海域で輸送されて、幼生から変態したシラスウナギが日本沿岸域で陸に向かって接岸回遊をする時期を逸してしまうことになる。事実、エルニーニョ発生年には日本沿岸でのシラスウナギの漁獲量が減る傾向にあり、上述した資源変動のメカニズムを裏付けている (Kimura et al., 2001)。

また、レプトセファルス幼生の餌と考えられる海水中の懸濁態有機物 (POM) の炭素安定同位体比は、塩分フロントを境として大きく変化しており、幼生のそれと比較すると塩分フロントの南側で摂餌していた可能性が高い (Kimura and Tsukamoto, 2006)。C-N map で比較した場合、ふ化後数ヶ月を経過した 20mm 以上の大きな個体は、ふ化後間もない 10mm 程度の個体に比較し分布がかなり分散していた。この結果は、分布海域の違いによる影響を考慮する必要はあるものの、成長するに従って多様な餌を摂取する可能性があることを示すものといえる。

一方、これまでの研究は、外洋における初期生活史、特に産卵場調査に重点が置かれ、淡水・汽水域における成長期の資源や生態に関する研究は立ち遅れている。本種資源の減

少要因として乱獲や海洋環境の変化 (Kimura et al., 2001; Kim et al., 2007; Bonhommeau et al., 2008; Han et al., 2009; Zenimoto et al., 2009)、生息環境の変化 (Tatsukawa, 2003) などがこれまでの研究によって指摘されているが、最も重要な要因は明らかにされていない。このうち、海洋環境の変化は外洋における初期生活期に影響を与える要因であるため、短期的に人間が管理することは不可能であるが、乱獲の防止や生息環境の保全で管理することはある程度可能である。とくに、人為的な生息環境の改変に焦点を当て、詳細な生態情報に基づいた効果的な管理方針の提言に資する研究が期待されている。一般に、自然状態の河岸が保たれた水域と護岸工事が行われた水域と比較した場合、護岸工事が施された水域における底生生物群集の多様性が低下することが知られている。これまでの研究から、護岸率が高い河川・湖沼ほどニホンウナギの漁獲量の減少率が高いことが明らかとなっているばかりか、自然河岸域は黄ウナギの生息密度も高いことが明らかになっている。したがって、人間活動が本種に及ぼす影響を理解することは、沿岸域における本種資源の保全策立案に極めて重要な要件であるといえる。

2. 研究の目的

本研究は、ニホンウナギの回遊生態を解明する研究の一環として、産卵域が位置する北赤道海流域での海洋観測とウナギ・レプトセファルス幼生の採集、および生息域が位置する日本を中心とする東アジア沿岸域での環境調査とシラスウナギ・ウナギ成魚の採集から、産卵海域での海洋環境が産卵回遊行動に果たす役割の解明、北赤道海流での卵・稚仔輸送がレプトセファルス幼生の生残に与える影響の評価、資源維持のために必要な生息環境およびその生態系を解明することが主な目的である。そのために、北赤道海流域における卵・仔稚魚の分布、それらの生体組織の特徴、餌となる有機物の分布と化学的組成、卵・仔稚魚を輸送する流れの水平鉛直構造、この海域の海洋気象に係わる統計量の変動特性、淡水域・汽水域・海水域に分けたウナギの摂餌特性などを明らかにする一方、河川・湖沼における護岸工事に着目し、ウナギ成魚の生態に与える影響とその資源の保全策を考察することを行った。

3. 研究の方法

(1) 学術研究船・白鳳丸を用いてニホンウナギの産卵海域周辺および卵・幼生が輸送される北赤道海流域で海洋観測と生物採集を行った。航海では、産卵海域である北緯 15 度東経 140 度から、北赤道海流の下流方向のフィリピン東部に向けてグリッドを設定し、

CTD 観測、多層採水、大型 ORI ネット採集などを実施した。採水によって得られた海水は、GF/F フィルターで濾過した後、蛍光光度計によりクロロフィル濃度を求め、また、海水中の懸濁態有機物の炭素窒素安定同位体比はフィルターでろ過した後、大型 ORI ネットで採集されたレプトセファルス幼生とともに東京大学大気海洋研究所の元素分析計付き質量分析計を用いて分析した。

(2) また、海洋研究開発科学機構が開発した流動場データ Ocean General Circulation Model for the Earth Simulator (OFES) を用いて、レプトセファルス幼生の産卵海域から東アジアへの輸送過程を再現する数値シミュレーションを行い、大西洋に生息するヨーロッパウナギと比較した。

(3) 利根川を中心とする日本でのシラスウナギのサンプリング調査を実施する一方、東アジアに分布するシラスウナギとの違いを検討するために、中国上海・長江河口域と台湾台北・宜蘭流域においてシラスウナギの採集を1月から4ヶ月にわたって中国と台湾の研究者と協力しながら実施した。それぞれ得られた試料は、北赤道海流域で得られた試料と併せて炭素窒素安定同位体比分析に供した。

(4) 利根川水系本流と同水系印旛沼において、ウナギ成魚の採集を継続して行い、胃内容物分析から胃内容物出現率、胃充満度指数、胃内容物の多様性指数を求める一方、護岸と非護岸水域を含む調査水域で捕獲した本種未成魚に超音波発信機を取り付け放流することによって、その水平位置の推定を行った。

4. 研究成果

(1) 北赤道海流域における海洋観測から、ニホンウナギのレプトセファルス幼生は水深50m 以浅の表層で懸濁態有機物を摂餌していること、また、同じ形態を有していても種によって摂餌する水深が異なっていること、成長とともに異なる懸濁態有機物を摂餌する可能性があることなどが明らかになった。一方で、沿岸に来遊するシラスウナギの炭素窒素安定同位体比には、3カ国間に大きな違いはなく、北赤道海流域における摂餌生態が大きく異なっているわけではないことが示唆された。これは、12月から4月にかけて河川遡上時期が異なっても輸送経路の違いが遡上時期の違いをもたらす原因とはならない可能性があることを示している。しかし、大西洋でのレプトセファルス幼生の輸送期間は太平洋に比べ2倍程度長く、幼生の経験水温は大きく低下することが定量的に明らかになったことから、大西洋のように長期間輸送される場合には、懸濁態有機物を同化する過程が来遊場所の変化をもたらす可能性がある。大西洋における数値シミュレーションでは、耳石輪紋の形成速度をそのモデルに

組み入れることによって、生理生態的な側面からも合理的なレプトセファルス幼生の輸送過程を初めて明らかにすることができた。一方で、シラスウナギへと変態した稚魚の日本沿岸への回遊過程はほとんど明らかになっていないが、黒潮の離接岸と浜名湖での漁獲量を解析したところ、黒潮の蛇行の形態によって来遊量に違いが起こることが明らかになり、北赤道海流域だけではなく黒潮流域においても、流動環境が資源の加入に重要な役割を果たしていることが分かった。

(2) 利根川水系におけるウナギ成魚を対象とした調査からは、護岸域における成魚の生息密度は自然堤防域に比較し有意に低く、また、胃内容物中にある餌の多様性は自然堤防域で高いことが分かった。河川における成魚の分布形態には、コンクリートによる人工護岸の有無が強く関係しており、それは餌料生物の密度や多様性に起因している可能性が示唆された。護岸水域では、非護岸水域で胃内容物の大部分を占めた陸上に生息する貧毛類が全く出現しなかったことから、護岸は水域での餌生物の多様性を低下させるだけでなく、陸から水域への餌生物の供給を遮断している可能性があることが示唆された。超音波発信機を用いた野外実験からは、移動時間帯は夜間に限定され摂餌もその時間帯に行われるとみられるが、行動範囲は河岸から河川中央に至る広い範囲であることが分かった。しかし、大部分の個体は護岸または非護岸のどちらかの水域に限定して分布する傾向が強く、両水域間の移動は極めて少なく、個体毎にどちらか一方の水域のみを利用している可能性があることが分かった。

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11件)

1. 木村伸吾 (2013) 海洋物理現象が魚類の資源変動ならびに回遊に及ぼす影響の研究、水産海洋研究、71、38-43. (査読無)
2. Kaifu, K., Miyazaki, S., Aoyama, J., Kimura, S. and Tsukamoto, K. (2013) Diet of Japanese eel *Anguilla japonica* in the Kojima Bay-Asahi River system, Japan. Environmental Biology of Fishes, 96, 439-446. (査読有)
3. Shinoda, A., Aoyama, J., Miller, M. J., Otake, T., Mochioka, N., Watanabe, S., Minegishi, Y., Kuroki, M., Yoshinaga, T., Yokouchi, K., Fukuda, N., Sudo, R., Hagihara, S., Zenimoto, K., Suzuki, Y., Oya, M., Inagaki, T., Kimura, S., Fukui, A., Lee, T.-W., and Tsukamoto, K. (2011) Evaluation of the larval distribution and migration route of the Japanese eel in the western North Pacific, Reviews in

- Fish Biology and Fisheries, 21, 591-611. (査読有)
4. Zenimoto, K., Sasai, Y., Sasaki, H. and Kimura, S. (2011) Larval duration of the European eel (*Anguilla anguilla*) and the Japanese eel (*Anguilla japonica*): ambient temperature estimation based on numerical particle-tracking experiments, Marine Ecology Progress Series, 438, 219-228. (査読有)
 5. 木村伸吾・板倉光・銭本慧 (2011) ニホンウナギ資源の変動特性、海洋と生物、192、24-29. (査読無)
 6. Miyazaki, S., Kim, H., Zenimoto, K., Kitagawa, T., Miller, M.J. and Kimura, S. (2011) Stable isotope analysis of two species of anguilliform leptocephali (*Anguilla japonica* and *Ariosoma major*) relative to their feeding depth in the North Equatorial Current region, Marine Biology, 158, 2555-2564. (査読有)
 7. Yoshinaga, T., Miller, M.J., Yokouchi, K., Otake, T., Kimura, S., Aoyama, J., Watanabe, S., Shinoda, A., Oya, M., Miyazaki, S., Zenimoto, K., Sudo, R., Takahashi, T., Ahn, H., Manabe, R., Hagihara, S., Morimoto, H., Itakura, H., Machida, M., Ban, K., Shiozaki, M., Ai, B. and Tsukamoto, K. (2011) Genetic identification and morphology of naturally spawned eggs of the Japanese eel *Anguilla japonica* collected in the western North Pacific, Fisheries Science, 77, 983-992. (査読有)
 8. Tsukamoto, K., Chow, S., Otake, T., Kurogi, H., Mochioka, N., Miller, M.J. Aoyama, J., Kimura, S., Watanabe, S., Yoshinaga, T., Shinoda, A., Kuroki, M., Oya, M., Watanabe, T., Hata, K., Ijiri, S., Kazeto, Y., Nomura, K. and Tanaka, H. (2011) Oceanic spawning ecology of freshwater eels in the western North Pacific. Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms1174. (査読有)
 9. Chow, S., Kurogi, H., Katayama, S., Ambe, D., Okazaki, M., Watanabe, T., Ichikawa, T., Kodama, M., Aoyama, J., Shinoda, A., Watanabe, S., Tsukamoto, K., Miyazaki, S., Kimura, S., Yamada, Y., Nomura, K., Tanaka, H., Kazeto, Y., Hata, K., Handa, T., Tawa, A. and Mochioka, N. (2010) Japanese eel *Anguilla japonica* do not assimilate nutrition during the oceanic spawning migration: evidence from stable isotope analysis. Marine Ecology Progress Series, 402, 233-238. (査読有)
 10. Miller, M.J., Kimura, S., Friedland, K.D., Knights, B., Kim, H., Jellyman, D.J. and Tsukamoto, K. (2009) Review of Ocean-Atmospheric Factors in the Atlantic and Pacific Oceans Influencing Spawning and Recruitment of Anguillid Eels, In "Challenges for Diadromous Fishes in a Dynamic Global Environment", American Fisheries Society Symposium, 69, 231-249. (査読有)
 11. Zenimoto, K., Kitagawa, T., Miyazaki, S., Sasai, Y., Sasaki, H. and Kimura, S. (2009) The effects of seasonal and interannual variability of oceanic structure in the western Pacific North Equatorial Current on larval transport of the Japanese eel (*Anguilla japonica*), Journal of Fish Biology, (査読有) 74, 1878-1890.
- [学会発表] (計 20 件)
1. 木村伸吾・板倉光・永沼翼・北川貴士 河川における環境変化がニホンウナギの分布に与える影響 日本水産学会春季大会 2013年3月27日 東京海洋大品川キャンパス
 2. 板倉光・永沼翼・北川貴士・木村伸吾 バイオテレメトリーを用いたニホンウナギの河川における分布と移動 日本水産学会春季大会 2013年3月27日 東京海洋大品川キャンパス
 3. Itakura, H., Kitagawa, T. and Kimura, S. Effects of the habitat environmental degradation on distribution of the yellow phase Japanese eel in the Tone river system, Japan. The 15th Annual Meeting of East Asia Eel Resource Consortium, November 28, 2012, Taipei, Taiwan
 4. Kimura, S. Environmental characteristics of the Japanese eel migration from spawning grounds to nursery grounds. The 15th Annual Meeting of East Asia Eel Resource Consortium, November 28, 2012, Taipei, Taiwan
 5. 板倉光・北川貴士・木村伸吾 人為的環境変化がニホンウナギの分布や成長に与える影響 水産海洋学会研究発表大会 2012年11月17日 東京大学本郷キャンパス
 6. 板倉光・北川貴士・木村伸吾 利根川水系における環境変化がニホンウナギの分布や成長に与える影響 日本水産学会秋季大会 2012年9月15日 下関水産大学校
 7. Itakura, H., Kitagawa, T. and Kimura, S. Distribution characteristics of the Japanese eels in relation to habitat destructions. Aquatic Sciences Meeting of Association for the Sciences of Limnology and Oceanography, July 10, 2012, Otsu, Japan
 8. Itakura, H., Kitagawa, T. and Kimura, S. Fluctuation in the adult Japanese eel catches in relation to habitat destruction. The 6th World Fisheries congress, May 9, 2012, Edinburgh, UK

9. Kimura, S., Kitagawa, T., Miyazaki, S., Zenimoto, K. and Miyake Y. Characteristics of spawning migration and larval transport of the Japanese eel based on stable isotope analyses, The 6th World Fisheries congress, May 8, 2012, Edinburgh, UK
10. 板倉光・北川貴士・木村伸吾 ニホンウナギ漁獲量変動に及ぼす人為的環境変化の影響 水産海洋学会 2011年11月12日 函館市公民館
11. 銭本慧・木村伸吾・中田英昭・笹井義一・佐々木英治 大西洋ウナギ属魚類の卵仔魚輸送に影響する海洋環境変動 水産海洋学会 2011年11月12日 函館市公民館
12. 木村伸吾 海洋物理現象が魚類の資源変動ならびに回遊に及ぼす影響の研究 水産海洋学会 2011年11月12日 函館市公民館
13. Itakura, H., Kitagawa, T. and Kimura S. Fluctuation in the adult Japanese eel catches in relation to habitat destruction. The 14th Annual Meeting of East Asia Eel Resource Consortium, October 30, 2011, Qingdao, China
14. 板倉光・北川貴士・高橋鉄哉・木村伸吾 人為的環境変化に伴うウナギ漁獲量の変動特性 水産海洋学会研究発表大会 2010年11月20日 東京海洋大品川キャンパス
15. 銭本慧・笹井義一・佐々木英治・木村伸吾 粒子追跡シミュレーションを用いた太平洋・大西洋ウナギの仔魚期間の推定 水産海洋学会研究発表大会 2010年11月19日 東京海洋大品川キャンパス
16. 木村伸吾・宮崎幸恵・銭本慧・北川貴士 安定同位体解析に基づくニホンウナギ幼生の摂餌と分布 水産海洋学会研究発表大会 2010年11月19日 東京海洋大品川キャンパス
17. 張成年・黒木洋明・岡崎誠・木村伸吾・宮崎幸恵・塚本勝巳・望岡典隆 ウナギ産卵生態調査7.-降りウナギは産卵場まで餌を食べない- 日本水産学会春季大会 2010年3月27日 日本大学生物資源学部
18. 木村伸吾・宮崎幸恵・北川貴士 ウナギ産卵生態調査10.-ウナギ目幼生の摂餌と深度- 日本水産学会春季大会 2010年3月27日 日本大学生物資源学部
19. 銭本慧・北川貴士・笹井義一・佐々木英治・木村伸吾 大西洋と太平洋に生息するウナギ属魚類3種の卵稚仔輸送過程 水産海洋学会研究発表大会 2009年11月18日 長崎大学坂本キャンパス
20. 宮崎幸恵・北川貴士・木村伸吾 安定同位体比によるウナギ親魚の生息域解明に関する研究 日本水産学会秋季大会 2009年10月2日 岩手県民情報交流センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村伸吾 (KIMURA SHINGO)
東京大学・新領域創成科学研究科・教授
研究者番号：90202043

(2) 研究分担者

北川貴士 (KITAGAWA TAKASHI)
東京大学・大気海洋研究所・准教授
研究者番号：50431804

(3) 研究協力者

銭本慧 (ZENIMOTO KEI)
東京大学・新領域創成科学研究科・学生

板倉光 (ITAKURA HIKARU)
東京大学・新領域創成科学研究科・学生

宮崎幸恵 (MIYAZAKI SACHIE)
東京大学・新領域創成科学研究科・学生