

伊勢・三河湾におけるニホンウナギおよびマアナゴの来遊量の変動にみられる特徴

日比野学・黒木洋明・服部宏勇・澤田知希・五藤啓二・岡本俊治

(2022年8月4日受付, 2022年10月13日受理)

Characteristics of fluctuations in the recruitment of Japanese eel *Anguilla japonica* and white spotted conger *Conger myriaster* in Ise and Mikawa Bays, central Japan

HIBINO Manabu^{*1}, KUROGI Hiroaki^{*2}, HATSUTORI Hirotake^{*3}
SAWADA Tomoki^{*4}, GOTO Keiji^{*5} and OKAMOTO Syunji^{*5}

Abstract : Japanese eel *Anguilla japonica* and white spotted conger *Conger myriaster*, have a similar early life-history, those are transported to the coastal area from offshore spawning areas, and show recent misgivings about resource depletion. We revealed and discussed long-term changes in immigrating index of Japanese eel juvenile based on collection for aquaculture and the conger larvae by-catch in sandlance fishery in Ise and Mikawa Bays, Aichi Prefecture, the central region of Japan. The Japanese eel juvenile indices were relatively high from 2002 to 2006, and remained negative in 2008 and later. Noticeable increasing ratio of late monthly (March and April) collection in Japanese eel juveniles suggested that the timing of spawning and/or larval transportation to Japanese coastal area might delay during the period being low index, including after 2008. Conger larvae indices were high, in the mid-1990s, but remained low recently since 2008. Those indices of both species showed a clear shift in those correlations trend in 1999 and 2000, from negative to positive correlation phase. It is suggested that drastic marine environmental changes, for example the 1998/99 regime shift, affected the Japanese eel spawning, due to taking the same larval transport process as the conger larvae.

キーワード:ニホンウナギ, マアナゴ, シラスウナギ, 葉型仔魚, 来遊指数, 伊勢・三河湾

ニホンウナギ *Anguilla japonica* は、東アジアの温帯域から亜熱帯域に及ぶ広範囲に分布するウナギ目魚類である。本種の産卵場は、マリアナ諸島西方の熱帯外洋域

の海嶺域とされ、¹⁻⁴⁾ 近年では産卵親魚も捕獲されている。²⁻⁴⁾ また、仔魚は北赤道海流及び黒潮により温帯域へ輸送される。^{5, 6)} 日本沿岸には、稚魚に変態したシラ

-
- *¹ 愛知県水産試験場漁業生産研究所 (Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyohama, Minamichita, Aichi 470-3412, Japan)
- *² 水産研究・教育機構水産資源研究所 (Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan)
- *³ 公益財団法人愛知県水産業振興基金栽培漁業部 (Aichi Prefectural Sea Farming Center, Konakayama, Tahara, Aichi 441-3618, Japan)
- *⁴ 愛知県東三河農林水産事務所 (Higashi Mikawa Agriculture, Forestry and Fisheries Office, Hatchodori, Toyohashi, Aichi 440-0806, Japan)
- *⁵ 愛知県農業水産局水産課 (Fisheries Administration Division, Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Aichi Prefectural Governmental Office, San-no-maru, Naka-ku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan)

スウナギの状態では冬から春に来遊し、河川遡上だけでなく湾内・汽水域にも留まる多様な生活史を持つ。^{7, 8)} 本種は、我が国の内水面漁業・養殖業における重要種であり、また中国や台湾などでも本種の養殖業が盛んに行われ、いずれの地域でも天然のスウナギが種苗として採捕され池入れされる。本種は、海洋環境の変化、スウナギの過剰採捕及び河川環境の悪化等により近年資源量が減少しているとされ、⁹⁾ 2014年には国際自然保護連合のレッドリストに絶滅危惧IB類として掲載された。一方、マアナゴ *Conger myriaster* は、東アジアの温帯域を中心とした沿岸浅海域に分布するウナギ目魚類である。産卵場は、近年の調査により沖ノ鳥島南方の九州・パラオ海嶺付近に確認されており、ニホンウナギと同様に黒潮を経由して東アジア沿岸域へと輸送されることが考えられている。¹⁰⁾ 日本沿岸には、変態前の葉形仔魚（レプトセファルス幼生）の段階で来遊し、冬から春に内湾域に加入する。わが国では、小型機船底びき網漁業をはじめ、筒や籠漁業等の沿岸漁業の重要種である。近年の漁獲量は日本海西部や東北沿岸では安定しているものの、かつて主漁場であった瀬戸内海や伊勢・三河湾、東京湾といった内湾域では減少傾向している。¹¹⁾

伊勢・三河湾は、本州中部に位置する我が国を代表する閉鎖性の高い内湾であり、毎年ニホンウナギとマアナゴの両種の来遊がみられる。愛知県においては、ニホンウナギの稚魚（スウナギ）は養殖用種苗として、伊勢湾東岸域及び三河湾内、渥美外海沿岸で県の特別採捕許可により採捕される。また、マアナゴの葉形仔魚（レプトセファルス幼生）は春季に当該海域で行われるイカナゴ船びき網漁業に混獲され、全長25cmから40cm程度の未成魚は湾内を中心に小型機船底びき網漁業や籠漁業で漁獲される。

以上のように、系統的及び生態的に類似しながら産卵場の位置や接岸時における発育段階の異なるウナギ目2種の来遊量の変動について、同一の海域において時系列で比較することは、日本の沿岸域への輸送過程や資源減少要因となる海域の変動を考察する上で重要な基礎知見となる。そこで本研究では、愛知県におけるスウナギ（ニホンウナギ）の採捕量及びマアナゴの葉形仔魚混獲量と未成魚漁獲量等の長期変動を明らかにし、両種の来遊量にみられる変化と要因について考察した。

材料及び方法

スウナギは愛知県では毎年12月から4月末までの期間で特別採捕許可により採捕され、その際にスウナギ採捕数量が県知事へ毎月報告されている。本研究

では、スウナギ採捕年は採捕期間の終了する4月時点を基準年とし、1990年から2019年における月ごとの特別採捕許可による数量報告値を用いた。各年のスウナギ採捕許可の従事者数を努力量とし、各解析の対象期間における採捕数量を従事者数で除したCPUEを用い、平均値と標準偏差から各年のCPUEを基準化し、本海域へのニホンウナギ来遊量指数（Japanese eel juvenile index）とした。また、月データは年合計採捕量に対する各月の採捕量の割合で示した。さらに、全国の採捕量との関係を検討するために、水産庁が公表している国内スウナギ採捕量の推定値を用いた（<http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html>, 2021年11月21日）。

マアナゴ葉形仔魚の混獲量は、機船船びき網によるイカナゴ漁業によって混獲される愛知県南知多町師崎産地市場の1992年から2015年の水揚げ数量を用いた。本海域のイカナゴ漁業は推定残存尾数から漁期を制限しているため、年によって出漁日数が異なる。本研究では、イカナゴ漁期の愛知県の機船船びき網操業日数を努力量とし、水揚げ数量から各年のCPUEを算出した。なお、マアナゴ葉形仔魚のCPUEの変数分布には偏りが見られたため、解析には各年のCPUEの常用対数を用い、それらの対象期間における平均値と標準偏差を用いて各年のCPUEを基準化した値をマアナゴ葉形仔魚指数（Conger larva Index）とした。また、2016年以降はイカナゴ伊勢・三河湾系群の資源量が著しく低下し、愛知・三重両県の漁業者により禁漁措置がとられたため、マアナゴ葉形仔魚に関するデータは得られなかった。伊勢・三河湾で漁獲されるマアナゴのほとんどは全長40cm以下の性成熟の未熟な未成魚であることが知られている。¹²⁾ また、 t 年春季に湾内へ加入した仔魚は、湾内で成長し t 年秋以降に漁獲され始め、 $t+1$ 年の春季から秋季を盛漁期とし、その後湾外へ移出すると考えられている。¹²⁾ したがって本研究では、仔魚加入の翌年 $t+1$ 年4月から $t+1$ 年10月までの盛漁期における内湾での漁獲量を、 t 年に加入したマアナゴ未成魚漁獲量（Young conger catch amount）として用いた。漁獲量には、伊勢湾で操業する小型機船底びき網漁船の多くが水揚げする愛知県南知多町豊浜産地市場、さらに伊勢・三河湾で操業する籠漁船の多くが水揚げする片名産地市場における月別水揚げ数量を用いた。さらに、全国の漁獲量との関係を検討するために、漁業・養殖業生産統計年報による全国のあなご類の漁獲量（統計値のある1995年以降）を用いた。本研究における相関関係の検討については、ピアソンの相関係数によった。

結 果

各年における本海域へのニホンウナギ来遊量指数は、1990年代後半に低く、2002年から2007年には2005年を除き高かったものの、2008年以降は負で推移した(Fig. 1)。月別採捕量の割合にも顕著な年変動がみられ、1990年代中期や来遊量指数の高かった2000年代前半には1月や2月に採捕される割合が高かったが、2008年以降の来遊量指数の低位となった期間には、3月と4月における採捕割合が高かった(Fig. 1)。そこで、3月と4月の採捕割合

($P < 0.05$) がそれぞれみられ、1999年と2000年を境に両種の来遊量指数の変動における位相に顕著な変化がみられた。

各年の本海域におけるマアナゴ葉形仔魚指数と未成魚漁獲量の関係を Fig. 5 に示した。マアナゴ葉形仔魚指数と未成魚漁獲量の間には有意な正の相関 ($n=24$, $r=0.657$, $P < 0.01$) がみられた。また、マアナゴ葉形仔魚指数と全国のあなご類漁獲量の間にも有意な正の相関 ($n=21$, $r=0.610$, $P < 0.01$) がみられた (Fig. 6)。

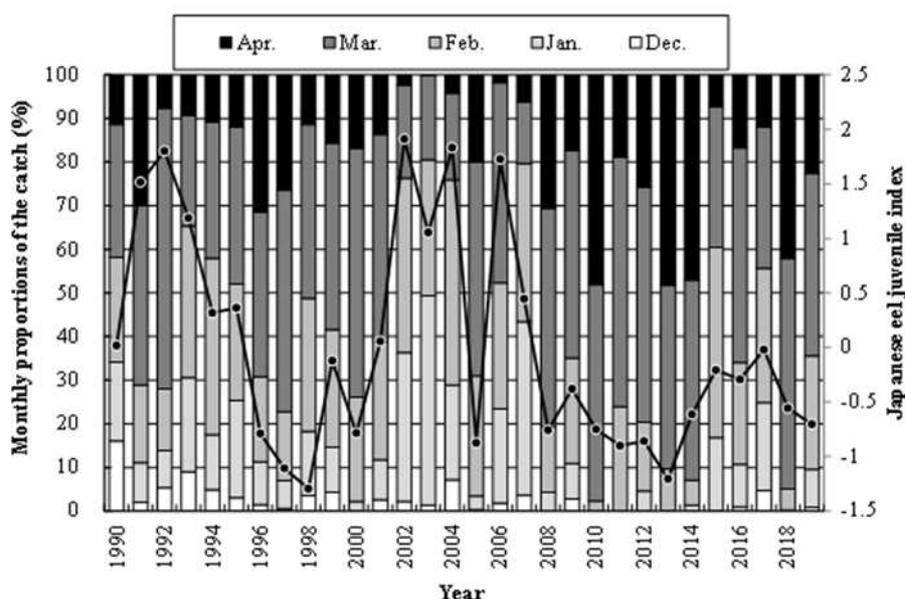


Fig.1 Fluctuation of the Japanese eel *Anguilla japonica* juvenile index based on the wild glass eel catch for aquaculture in the Aichi prefecture (solid line), and those monthly proportions of the catch (cumulative bar chart).

を晚期割合 (Proportion of late arrivals) として来遊量指数との関係を検討したところ、有意な負の相関 ($n=30$, $r=-0.619$, $P < 0.01$) がみられた (Fig. 2)。また、ニホンウナギ来遊量指数と全国のシラスウナギ推定採捕量には、有意な正の相関 ($n=27$, $r=0.712$, $P < 0.01$) がみられた (Fig. 3)。

マアナゴ葉形仔魚指数とニホンウナギ来遊量指数の変動について Fig. 4 に示した。マアナゴ葉形仔魚指数は、1990年代後半に高く、2000年代においても2002年及び2007年に高かったが、2008年以降は低い値で推移し2012年に最低となった。両種の指数について比較すると (Fig. 4)、通期では有意な相関はみられない ($n=24$, $r=-0.037$, n. s.) が、1992年から1999年の間には有意な負の相関 ($n=8$, $r=-0.913$, $P < 0.01$) が、両種の動向が類似している2000年以降では有意な正の相関 ($n=16$, $r=0.514$,

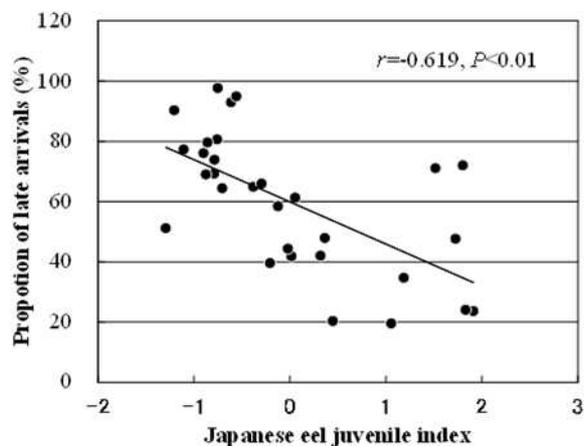


Fig.2 Relationships between the Japanese eel juvenile index and proportion of late arrivals (proportion of the catches in March and April to total).

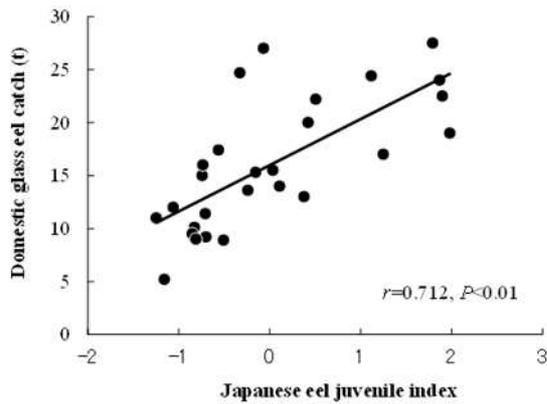


Fig.3 Relationships between the Japanese eel juvenile index and domestic glass eel catch after the official publication of the Fisheries Agency, Japan.

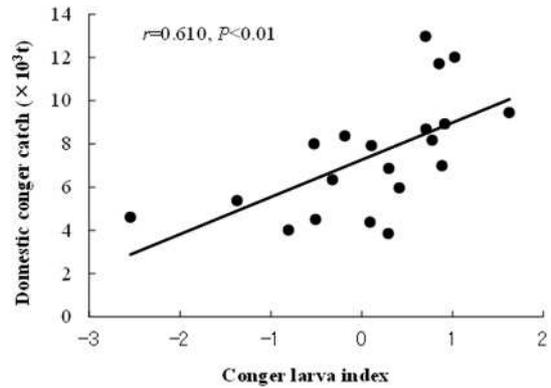


Fig.6 Relationships between the conger larva index and domestic conger catch after the official publication of the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.

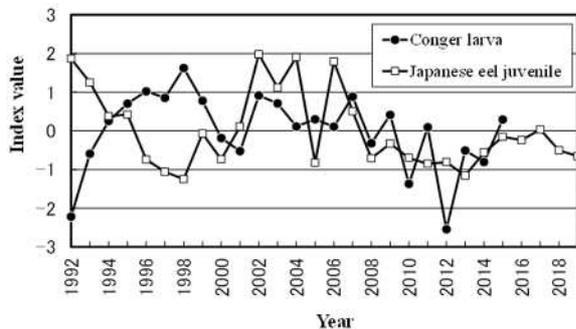


Fig.4 Fluctuation of the Japanese eel *Anguilla japonica* juvenile index, and the white spotted conger *Conger myriaster* larva index based on sand lance fisheries by-catch of conger larvae.

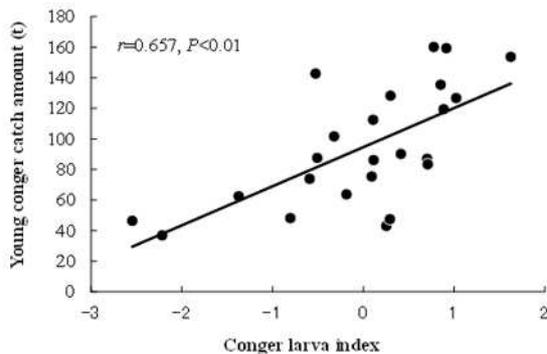


Fig.5 Relationships between the conger larva index and young conger catch amount of major fishing ports in the Aichi prefecture.

考 察

愛知県は農林水産大臣の許可に基づくうなぎ養殖業の経営体数が全国一であり、養殖生産量も全国第2位と全

国有数のうなぎ養殖業の盛んな県である。近年では人工種苗生産技術が開発されつつあるが、養殖生産を行うためには依然として温帯域へ来遊する天然シラスウナギに依存しなければならない。また、シラスウナギの来遊量の減少は、養殖種苗の池入れ単価にも大きな影響を及ぼし、持続的な養殖生産を行う上で喫緊の課題となっている。マアナゴも伊勢・三河湾海域では、小型機船底びき網及び籠漁業等の重要な漁獲対象種であるが、1990年代をピークに近年その漁獲量が減少傾向にあり、同様に来遊資源量を把握し最大の漁獲量を得るための資源管理が求められている。¹²⁾ このように、両種は伊勢・三河湾の重要種であるため、来遊量及び漁獲量に関する情報が揃っており、これらの情報は種間比較において重要といえる。

前年12月から4月までのシラスウナギ採捕量から求めた伊勢・三河湾海域へのニホンウナギ来遊量指数には顕著な年変動がみられ、全国の採捕量と高い正の相関があることから (Fig. 3)、本研究で用いた来遊量指数は概ね我が国沿岸域へのニホンウナギ来遊量の変動を反映していると考えられた。ニホンウナギの我が国周辺海域への来遊については、エルニーニョ発生時には塩分フロントの南下に対応して産卵場も南下するため日本沿岸域への来遊量が減少し、¹³⁻¹⁵⁾ 仔魚としての回遊期間も延長することがシミュレーション等から指摘されているが、¹⁵⁾ 本研究の結果では、2002年夏から2003年のエルニーニョ発生時には来遊量指数は高かった (Fig. 4)。Zenimoto *et al.* ¹⁶⁾ は、鹿児島県種子島でのシラスウナギ採捕データを用い本研究と同じ傾向を確認しており、粒子実験による推定結果との誤差を黒潮流軸の位置による滞留の影響と考察しているが、地理的に異なる位置に

において同傾向が見られたことから、これらの年の来遊量は多かった可能性が高い。また、来遊量指数の低い年には、採捕期間の晩期に採捕される割合が高くなる関係が明らかになった (Fig. 1, Fig. 2)。ラニーニャ発生時には塩分フロントが北上し北赤道海流より北側で産卵が行われるため、中規模渦に滞留しやすくなり輸送期間が長くなる可能性¹⁶⁾が指摘される一方で、エルニーニョ発生時には仔魚としての回遊期間が延長するとの推定もある。¹⁵⁾ 気象庁によると、本研究の解析期間においてエルニーニョ開始年は、1997年、2002年、2009年、2014年及び2018年、ラニーニャ開始年は1995年、1998年、2005年、2007年、2010年及び2017年とされ (https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/el_nino/learning/faq/el_nino_table.html, 2021年11月21日)、その翌年の来遊時期はエルニーニョ、ラニーニャに関わらず採捕量が少ない年には3月、4月といった晩期の採捕割合が高く、本研究からはエルニーニョ及びラニーニャと来遊時期の早晚との間に明瞭な関係は認められなかった。極表層に形成される塩分フロントを産卵場所の指標としてシミュレーション等を行った先行研究^{13, 14, 16, 17)}での推定結果は、必ずしも本研究の結果と整合しなかった。産卵親魚及びふ化直後のプレレプトセファルスの採捕水深は100 m以深²⁻⁴⁾であり、塩分フロントに加えさらに複雑な産卵場形成機構が介在することも考えられる。Aoyama *et al.*¹⁸⁾は、エルニーニョとラニーニャが連続して発生しシラスウナギ採捕量が少なかった2009年11月から2011年10月に採集調査を行い、シラスウナギの接岸ピークが顕著に遅かったことを報告しており、本研究の傾向と一致する。一方で本研究の結果において、1991年にはシラスウナギ来遊量が多かったものの晩期割合は比較的高く、全体の傾向とはやや異なった。この年の来遊期となる1990年12月まで黒潮大蛇行が発生しており (https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/sougou/html_vol2/2_2_vol2.html; 2022年9月6日)、東海海域への接岸及び内湾域への加入が遅くなった可能性も想起される。シラスウナギの来遊には、気候変動による海流と産卵場の変化やそれに伴う接岸時期の遅延¹⁷⁾、さらに日本近海においても黒潮流路等が影響している可能性が考えられる。また、採捕許可期間が毎年一定であるシラスウナギの採捕量データは、来遊の遅延の影響が加味されないため、ニホンウナギの資源量を反映しない可能性も考慮する必要がある。

伊勢・三河湾では春季にイカナゴ船びき網漁業が盛んに行われ、2月から4月に全長90mm~130mm程度の葉形仔魚期から変態期のマアナゴ仔魚がしばしば混獲される。

¹⁹⁾シラスウナギの来遊時期は、来遊量指数が低いと遅い傾向があるとみられたが、マアナゴ葉形仔魚においては月別の定量的なデータに乏しく、来遊時期と来遊量については検討できなかった。本海域におけるマアナゴ葉形仔魚指数とその後の未成魚漁獲量には高い正の相関がみられたことから (Fig. 5)、本種の漁獲量の変動も、初期生活史の類似するニホンウナギと同様に沿岸域への来遊量で概ね決定されると考えられる。また、伊勢・三河湾における葉形仔魚指数をモニタリングすることで、当該内湾域で行われる小型機船底びき網漁業や籠漁業の漁獲量の予測が可能と考えられる。¹²⁾ただし、近年ではイカナゴ伊勢・三河湾系群の資源量低迷によりイカナゴ船びき網漁業は禁漁措置がとられており、現在マアナゴ葉形仔魚指数の算出ができない。伊勢・三河湾におけるマアナゴ葉形仔魚指数と全国のあなご類漁獲量にも有意な正の相関がみられた。これは、伊勢・三河湾への来遊は、日本周辺海域への来遊過程の一部であることを示唆する。一方で、瀬戸内海や東京湾、そして本海域などの内湾域で漁獲量の減少が大きいなど、近年のあなご類漁獲量の変動には海域間で偏りがみられている。¹¹⁾この要因として接岸回遊に関わる流れや水温等の影響が海域によって異なる等の海洋学的要因による分配割合の海域差¹¹⁾、内湾域へ加入後における貧酸素水塊の拡大や貧栄養化等による生物生産構造の変化^{11, 20, 21)}や肥満度の低下²⁰⁾による仔魚から漁獲加入に至る過程での自然死亡率の影響も考えられる。^{20, 21)}

ニホンウナギとマアナゴの来遊指数の変動に見られる相関は、1999年と2000年を境に負から正へ変化した (Fig. 4)。マアナゴの産卵場は、沖ノ鳥島南方の九州・パラオ海嶺付近と推定され、¹⁰⁾ニホンウナギの産卵場¹⁻⁴⁾より北西に位置する海域とされる。また、ニホンウナギ仔魚が基本的には北赤道海流により西へ輸送され黒潮域に到達する経路を持つ⁵⁾のに対し、マアナゴ仔魚は産卵場周辺海域に発達する中規模渦に捕捉され、それらの西進により黒潮域へ到達する可能性が指摘されている。¹⁰⁾両種の産卵場の位置が異なることで、仔魚が異なる輸送経路をたどることにより、両種の来遊指数の変動が一致しない点は合理的である。しかし、実際には負または正の相関がみられ、特に2000年以降には両種の来遊指数の変動が一致した。北赤道海流の流軸の位置は経年的に南下する傾向が認められ、地球温暖化の進行によりさらに南下するとの予測もある。¹⁷⁾ニホンウナギ産卵場が塩分フロントに加えて例えば水温等の別の要因の影響も受けて形成されるとすれば、北赤道海流の南偏によりニホンウナギ仔魚が中規模渦域を回遊する可能性が高くなると考

えられ、マアナゴに類似した輸送経路をたどることで来遊傾向が類似すると考えられる。この両種の変動位相が一致する傾向が、近年におけるニホンウナギの産卵場及び仔魚の輸送過程の変化^{1,7)}に由来するものであれば興味深い。一方、1998年から1999年において表面水温や貯熱量などで、北太平洋の中西部から亜熱帯域にかけて顕著な水温上昇がみられ、主要なレジームシフト(1998/99レジームシフト)が起きた可能性が認められている。^{2,2)}両種の来遊量指数が産卵年より1年遅れで対応することを考慮すると、両種の来遊量指数に見られた位相の逆転時期はこの海洋環境の変化とよく対応する。レジームシフトに伴う産卵場周辺海域における水温上昇は、水温・塩分フロント等をランドマークとした産卵場形成や浮遊期の生残率にも影響することが予想され、2000年以降の両種の来遊指数の類似や来遊量の減少との関連も今後の検討課題である。類似した初期生活史を持つ両種の種間比較による状況証拠を積み重ねることで、ウナギ目魚類の来遊に関してより理解を深められる可能性がある。

要 約

ニホンウナギ及びマアナゴはいずれもウナギ目に属し、外洋の産卵場から沿岸域へ輸送される共通の初期生活史を持ち、いずれも近年資源減少が指摘されている。愛知県におけるシラスウナギ(ニホンウナギ)の採捕量及びマアナゴの仔魚混獲量と漁獲量等の長期変動を明らかにし、両種の来遊量にみられる変化と要因について考察した。ニホンウナギ来遊量指数は、2002年から2006年には比較的高く、08年以降は負で推移した。月別採捕量の割合にも顕著な年変動がみられ、2008年以降の来遊量指数の低位時には晩期の採捕がほとんどであり、産卵期や接岸時期の遅延が影響している可能性が考えられた。マアナゴ葉形仔魚指数は、1990年代後半に高く、2008年以降は低い値で推移した。両種の来遊量指数について比較すると1999年と2000年を境に逆位相から順位相に変化していることが明らかとなった。1998/99年レジームシフトを始めとする近年の海洋環境の変化により、ニホンウナギ仔魚とマアナゴ仔魚の輸送経路に影響を及ぼした可能性が推定された。

謝 辞

長期にわたりデータの収集と整理に貢献された愛知県農業水産局水産課、県関係農林水産事務所及び愛知県水産試験場の歴代担当者に敬意を表す。また、データ集計にご協力頂いた西尾侑記氏、岸浩子氏、蜂須賀悠子氏、下村友季氏に御礼申し上げる。国立研究開発法人水産研

究・教育機構水産資源研究所の横内一樹氏、西三河農林水産事務所水産課の岩田友三氏には本稿を改善するにあたり有益な御助言をいただいた。各氏に心より御礼申し上げます。

文 献

- 1) Tsukamoto K (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, 356, 789-791.
- 2) Chow S, Kurogi H, Mochioka N, Kaji S, Okazaki M and Tsukamoto K (2009) Discovery of mature freshwater eels in the open ocean. *Fisheries Sci.*, 75, 257-259.
- 3) Kurogi H, Okazaki M, Mochioka N, Jinbo T, Hashimoto H, Takahashi M, Tawa A, Aoyama J, Shinoda A, Tsukamoto K, Tanaka H, Gen K, Kazeto Y and Chow S (2011) First capture of post-spawning female of the Japanese eel *Anguilla japonica* at the southern West Mariana Ridge. *Fisheries Sci.*, 77, 199-205.
- 4) Tsukamoto K, Chow S, Otake T, Kurogi T, Mochioka N, Miller MJ, 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* 2:179 (doi: 10.1038/ncomms1174).
- 5) Kimura S, Tsukamoto K, Sugimoto T (1994) A model for the larval migration of the Japanese eel: roles of the trade winds and salinity front. *Marine Biology*, 119, 185-190.
- 6) Shinoda A, Aoyama J, Miller MJ, 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 TW and Tsukamoto K (2011) Evaluation of the larval distribution and migration of the Japanese eel in the western North Pacific. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21, 591-611.
- 7) Tsukamoto K, Nakai I and Tesch WV (1998) Do all freshwater eels migrate?. *Nature*, 396, 635.
- 8) Kotake A, Okamura A, Yamada Y, Utoh T, Arai T, Miller MJ, Oka HP and Tsukamoto K (2005) Seasonal variation in the migratory history of the Japanese eel *Anguilla japonica* in Mikawa Bay, Japan. *Marine Ecology Progress Series*, 293, 213-221.
- 9) Kaifu K and Yokouchi K (2019) Increasing or

- decreasing? - Current status of the Japanese eel stock. *Fisheires Research*, 220, 105348.
- 10) Kurogi H, Mochioka N, Okazaki M, Takahashi M, Miller MJ, Tsukamoto K, Ambe D, Katayama S. and Chow S. (2012) Discovery of a spawning area of the common Japanese conger *Conger myriaster* along the Kyushu-Palau Ridge in the western North Pacific. *Fisheries Sci.*, 78, 525-532.
- 11) 黒木洋明 (2019) マアナゴの産卵場と仔魚の接岸回遊機構. 月刊海洋, 51, 10-16.
- 12) 横内一樹・澤山周平・山本敏博 (2021) 令和2 (2020) 年度マアナゴ伊勢・三河湾の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 25pp, (<http://abchan.fra.go.jp/digests2020/index.html>).
- 13) Kimura S, Inoue T and Sugimoto T (2001) Fluctuation in distribution of low-salinity water in the North Equatorial Current and its effect on the larval transport of the Japanese eel. *Fisheries Oceanography*, 10, 51-60.
- 14) Kim H, Kimura S, Shinoda S, Kitagawa T, Sasai Y and Sasaki H (2007) Effect of El Niño on migration and larval transport of the Japanese eel (*Anguilla japonica*). *ICES Journal of Marine Science*, 64, 1387-1395.
- 15) Hsiung KM, Kimura S, Han YS, Takeshige A and Iizuka Y (2018). Effect of ENSO events on larval and juvenile duration and transport of Japanese eel (*Anguilla japonica*). *PLoS One* 13:e0195544. (doi: 10.1371/journal.pone.0195544)
- 16) 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*, 74, 1878-1890.
- 17) Hsiung KM and Kimura S (2019) Impacts of global warming on larval and juvenile transport of Japanese eels (*Anguilla japonica*). *Deep Sea Research Part II*, 169 - 170. (doi: 10.1016/j.dsr2.2019.104685)
- 18) Aoyama J, Shinoda A, Yoshinaga T and Tsukamoto K (2012) Late arrival of *Anguilla japonica* glass eels at the Sagami River estuary in two recent consecutive year classes: ecology and socio-economic impacts. *Fisheries Sci.*, 78, 1195-1204.
- 19) 日比野学 (2016) 愛知県におけるマアナゴ葉形仔魚 (のれそれ)の来遊と加入. マアナゴ資源と漁業の現状, 3, 168-169.
- 20) 曾根亮太・日比野学・下村友季・鶴寄直文・横内一樹 (2022) 伊勢・三河湾におけるマアナゴの資源動態と肥満度, 胃内容物組成及び餌料環境の変化. 愛知水試研報, 27, 10-21.
- 21) 田島良博・久保島康子 (2013) 東京湾生物相モニタリング調査-2. マアナゴ (*Conger myriaster*) の餌生物の動向について. 神奈川県水産技術センター研究報告, 6, 25-33.
- 22) 見延庄士郎 (2003) Major regime shift の可能性を秘める北太平洋の1998/99年の変化. 月刊海洋, 35, 45-51.