

ウナギ仔魚輸送に関わる北赤道海流域における海洋構造の 季節的・経年的変動に関する研究

2008年3月 自然環境学専攻 66716 錢本慧

指導教員;木村伸吾教授

キーワード: ウナギ, 仔魚輸送, 塩分フロント, NEC-Bifurcation, ENSO イベント

1. はじめに

ウナギ *Anguilla japonica* は日本を含めた東アジアの河川に広く分布し、北赤道海流中のマリアナ諸島西方海域まで産卵回遊する。同海域南部では降水が多いため、表層において南北方向に大きな塩分勾配(塩分フロント)が形成される。孵化直後の幼生はこの塩分フロントの南側で集中的に採集されていることから、このフロントの南側が本種の産卵場であると推定されている。孵化した仔魚は北赤道海流によって西方に輸送される。その後、フィリピン東岸で分岐した黒潮に乗り換え、黒潮中でシラスウナギに変態しながら、東アジア沿岸に輸送される。この分岐をNEC(North Equatorial Current)-Bifurcationといい、塩分フロントとともに本種仔魚の輸送に関わる環境要因として重要と考えられる。本研究では、海洋観測およびモデルデータの解析、数値シミュレーションにより、この二つの海洋環境の季節的・経年的な変動、とくに ENSO (El Nino/Southern Oscillation)に伴う変動が、仔魚の輸送に及ぼす影響について検討することを目的とした。

2. 資料と方法

2002, 2004, 2005, 2006, 2007 年にマリアナ諸島西方海域において、学術研究船白鳳丸によるウナギ仔魚の採集を行った。また、CTD 観測によって得られたデータを用いて、産卵海域各年の塩分の水平的、鉛直的な構造を調べた。また、仔魚が採集された海域の表層 100m の塩分の平均値を求め、その関連性を体長別に検討した。

NEC-Bifurcation 緯度の解析には、(独)海洋研究開発機構が開発した OFES (OGCM for the Earth Simulator) モデルによって算出された月平均 3 次元流速データのうち 1975 年から 2004 年までのものを用いた。フィリピン東岸から沖向きに経度 2 度分の南北流速を平均化し、鉛直的な流動構造を調べた。また、表層 100m の南北流速の平均値が無流となる緯度を NEC-Bifurcation 緯度と定義し、その変動を季節的・経年的に調べた。

さらに、本種の卵や仔魚が完全に受動的な粒子であると見なし、1999-2003 年において OFES の流速データを用いて粒子追跡実験を行った。粒子投入位置を 15°N, 142°E で固定した場合と、塩分フロント位置によって緯度を変化させた場合で、産卵盛期である 6 月から 7 ヶ月間、水深 50m 層で数値計算を行った。計算には水平拡散係数を $100\text{m}^2\text{s}^{-1}$ で与え、鉛直拡散係数は考慮しなかった。また、CPUE (Catch Per Unit Effort: 単位努力量あたりの漁獲量) 化された鹿児島県種子島のシラス漁獲データを用いて、本実験結果との比較・検討を行った。

3. 結果および考察

3-1. 塩分と仔魚分布の関係

全長 10mm 以下の孵化直後の小型仔魚は、34.3-34.5psu の塩分帯に出現した。このことは、塩

分フロントとその南側の海域に仔魚が分布するという過去の知見と一致した。各年の塩分鉛直分布において、2004、2006年(通常年)では、15-16°Nに勾配の大きな塩分フロントが見られた。一方、エルニーニョ年であった2002年では、塩分勾配は認められず、仔魚も通常年よりも南の12°N付近に分布していた。これはフロントの勾配が小さく、親魚が水塊構造の違いを特定できず、通常よりも南の海域で産卵したものと推察される。また、この塩分フロントの勾配の弱体化は、エルニーニョに伴う産卵海域における降水量の減少によるものであると考えられる。一方、ラニーニャ年であった2007年では、塩分フロントは18°N付近に形成されており、通常年と比べて大きく北上していることが分かった。また、孵化直後の仔魚は塩分フロント南側で採集された。これらのことから、塩分フロントによる南北の水塊の違いが産卵の条件として重要な役割を果たし、その塩分フロントの緯度やその水平勾配はENSOイベントに関連していることが示唆された。

3-2. 季節的・経年的な NEC-Bifurcation 緯度の変動

1975年から2004年までの30年間のNEC-Bifurcation緯度の年毎の平均は14.5°Nで、12.8°Nから16.2°Nの間で変動した。また、南方振動指数SOI(Southern Oscillation Index)との相関を調べた結果、大きな負の相関が認められ($r = -0.4$, $p < 0.01$)、とくにエルニーニョ年に北上傾向を示した。一方、月毎の平均については、6月に最南(13.2°N)、12月に最北(15.4°N)となり、季節的にも大きく変動することが分かった。

3-3. 粒子追跡実験とシラスウナギ CPUE との比較

粒子投入位置を15°N、142°Eに固定し、通常年であった2000年とエルニーニョであった2002年で実験を行った。その結果、2000年では投入した粒子の35%が黒潮に取り込まれたのに対し、2002年では16%に減少した。このことはエルニーニョ時にNEC-Bifurcation緯度が北上し、より多くの仔魚がミンダナオ海流に取り込まれやすい環境となることを示している。また、2002年については、変化させた場合(13.2°N)、黒潮に取り込まれる粒子数は4%にまで減少した。しかしながら、種子島でのシラスCPUEは、2002年に最高値を示し、粒子追跡実験結果と大きく異なった。2002年は他の年に比べ、種子島南方の黒潮流軸が南下していたことから、沿岸域における黒潮の流れの影響が小さく、シラスウナギが沿岸に滞留しやすい環境となり、このことが2002年に高いCPUEを示した要因であるものと考えられる。

一方、ラニーニャ傾向のあった1999年では、粒子投入位置を固定した場合と塩分フロントによって変化させた場合で、黒潮に取り込まれる粒子は投入粒子全体のそれぞれ31%、20%となった。この到達率は粒子追跡実験における通常年とエルニーニョ年のほぼ中間の値であり、種子島でのCPUEも、1999年は同様の傾向が見られた。通常年では、5-8月に孵化し、平均20cm/sの西向きの流れに乗って仔魚が輸送される。そのため、NEC-Bifurcation緯度が比較的南にある8-11月にフィリピン東岸に到達するので、黒潮に乗り換えやすくなる。一方で、ラニーニャ年は、塩分フロントが北上するため、北赤道海流北側の西向きの流速の比較的弱い海域で産卵される。また、この海域は低気圧性中規模渦が多く発生する場所でもあるので、仔魚は渦に取り込まれて滞留し、結果的にNEC-Bifurcation域への輸送期間は長くなる。そのため、黒潮への乗り換えに不適な冬季にフィリピン東岸に到達することになり、その結果日本への来遊量は減るものと考えられる。しかし、産卵位置が北偏していることから、エルニーニョ年に比べると、黒潮に取り込まれる割合は多く、日本沿岸へのシラス加入量に与える影響は小さいものと考えられる。

以上より、本研究において、ENSOイベントに伴い、塩分フロントの緯度とその勾配、NEC-Bifurcation緯度の変動し、特にエルニーニョ年では仔魚の輸送環境に影響を与えるため、日本のシラスウナギ加入量が大幅に減少することが明らかになった。

Seasonal and interannual variability of oceanic structure in the North Equatorial Current related to larval transport of the Japanese eel

March, 2008, Department of Natural Environmental Studies, 66716, Kei ZENIMOTO
Supervisor ; Professor Shingo KIMURA

Keywords : Japanese eel, larval transport, salinity front, NEC-Bifurcation, ENSO events

1. Introduction

The Japanese eel (*Anguilla japonica*) is widely distributed in rivers of the East Asia including Japan. The spawning area was identified in the North Equatorial Current (henceforth NEC) to the west of the Mariana Islands. In this area, a large gradient of salinity (salinity front) is formed at the surface in the north-south direction due to high precipitation in the southern area and high salinity water in the northern area. Since small larvae have been collected at and on the south side of the salinity front, the front is considered as a landmark for detection of the spawning. After hatching, leptocephali are transported westward by the NEC. The NEC bifurcates into the north-flowing Kuroshio and the south-flowing Mindanao Current at the east coast of the Philippines. The leptocephali only entered into the Kuroshio are migrated to the East Asia. This bifurcation referred to as NEC-Bifurcation seems to be an important oceanic structure related to larval transport of the Japanese eel. Objectives of this study are, therefore, to investigate seasonal and interannual variability of this two oceanic condition related to the larval transport.

2. Material and data processing

The Japanese eel leptocephali were collected during the research cruises of *RV Hakuho Maru* in the west of the Mariana Islands in 2002, 2004, 2005, 2006, and 2007. The horizontal and vertical salinity structure along 137°E were investigated using observational data. Mean salinity at depths from 10m to 100m in the area where the leptocephali were collected, were calculated, and relationships between the mean value and size of the leptocephali were discussed.

Analyses of NEC-Bifurcation latitude was based on monthly mean value of 3D flow-data by OFES (OGCM for the Earth Simulator) model developed by the Frontier Research System for Global Change. Meridional velocity structure averaged within the 2° longitude band along the east coast of the Philippines were investigated. The NEC-Bifurcation latitude was defined as latitude where mean meridional velocity from 0m to 100m depth has no motion. Seasonal and interannual variability of the latitude were also calculated on the basis of these data.

Moreover, using OFES velocity data, a numerical simulation for particle-tracking was conducted in cases of fixed spawning site (15°N, 142°E) and changed spawning site according to change in latitude of the salinity front. Duration of the simulation was seven months from June, and the larval inhabiting depth was fixed at a depth of 50 m. The $100\text{m}^2\text{s}^{-1}$ was adopted as a horizontal diffusivity coefficient. CPUE (Catch Per Unit Effort) of grass eels in Tanegashima Island was compared with results of the experiments.

3. Results and discussion

The small larvae below 10mm in TL appeared within a salinity range from 34.3 to 34.5psu. This

result supports past findings that smaller larvae were distributed at and on the south of the front. In 2004 and 2006, the front was located in 15-16°N with a large salinity gradient. In contrast, an indistinct salinity gradient appeared in 2002 when El Niño was occurred and larvae were distributed much southern area at 12°N in this year. It suggests that adult eel could not detect the difference of water masses because of the indistinct gradient of the front, and they probably spawned in the southern area. This weaken salinity gradient was caused by disicit of precipitation in the spawning area during El Niño. In contrast, the salinity front in 2007 (La Niña year) was located at 18°N and larvae were distributed on the south of the front. Therefore, it indicated that two different water masses separated by the salinity front play an important role as a spawning condition, and latitude of the front and intensity of the frontal gradient related to ENSO (El Niño/Southern Oscillation) events are significant for further understanding of spawning behavior.

Interannual NEC-Bifurcation latitude fluctuated from 12.8°N to 16.2°N from 1975 through 2004, and the movement was well correlated with the southern oscillation index ($r = -0.4$, $p < 0.01$). In addition, it is showed that seasonal NEC-Bifurcation latitude occurs at the southernmost position (13.2°N) in July and the northmost position (15.4°N) in December.

According to numerical particle-tracking simulation for cases in 2000 (regular year) and 2002 (El Niño year), particles were transported to the Kuroshio in 2002 (16%), which were fewer than those in 2000 (35%) (when the particles were released at a fixed). The difference of particle number transported to the Kuroshio between regular and El Niño year suggests that a great number of larvae tend to be transported to the Mindanao current caused by northward shift of the NEC-Bifurcation latitude during El Niño. Furthermore, particles transported to the Kuroshio decreased to 4% when the particles were released considering change of the salinity front position. However, CPUE of grass eel in Tanegashima Island were at the maxmum in 2002. The Kuroshio axis located more south during 2002 than usual. It was suggested that a condition keeping grass eel inshore caused by southward shift of the Kuroshio axis led high CPUE in 2002.

In contrast, particles were transported into the Kuroshio at rates of 31% (fixed spawning location) and 20% (changed spawning location) in 1999 (La Niña year). These rates show intermediate circumstance between regular and El Niño years. CPUE also indicated a similar tendency. In regular years, larvae hatced in May-August were transported to westward by the NEC and arrived near the east coast of the Philippines in August-November when the larvae were readily transported into the Kuroshio. In La Niña years, the larvae hatched on the north side of the NEC due to northern shift of the salinity front were transported by relatively weaker westward flow. Many mesoscale eddies occur usually in this area. If the larvae are entrained by the eddies, the larvae would arrive at the east coast of the Philippines in winter due to prolonged migrating duration in the NEC. In this case, since the NEC-Bifurcation latitude moves northward, the larvae transported into the Kuroshio is decreased. On the other hand, since the salinity front moves northward during La Niña, it is suggested that the larvae transported into the Kuroshio is relativery large and effects on recruitment of grass eel is small.

This study clarified that latitude of the salinity front, intensity of the frontal gradient, and the NEC-Bifurcation latitude are fluctuated by ENSO, and that recruitment of grass eel in Japan drastically decreases caused by changes in ocean condition during El Niño.