

# 地球温暖化がクロマグロおよびウナギの初期生活史に与える影響

2008年3月 自然環境学専攻 66734 山岡直樹  
指導教員；木村伸吾 教授

キーワード；地球温暖化，クロマグロ，ウナギ，卵・仔魚輸送，数値シミュレーション

## 1. 緒論

クロマグロ (*Thunnus orientalis*) およびウナギ (*Anguilla japonica*) はともに我が国の水産業上重要な魚種である。両種に共通する特徴として、限定的な海域で産卵を行うことが挙げられる。したがって、産卵場が非限定的な魚種の資源量に比べて、これらの資源量は産卵場の環境変動の影響を受けやすいと考えられる。一般に、魚類の資源変動の鍵を握っているのは、仔稚魚期における餌料環境と、卵・仔稚魚を産卵場から生育場に輸送する物理環境であると言われている。卵や仔稚魚は遊泳力に乏しいため、流れによって産卵海域から成育に適した場所へ適切な時間内に到達できるかどうか、卵や仔稚魚の生き残りを左右する条件の一つとなる。したがって、環境変動に伴い流動構造が変化すれば、資源への加入量の著しい変動を引き起こす可能性が生じる。これまで、エルニーニョやラニーニャ、あるいはレジームシフトといった数年、数十年スケールの短、中期的な海洋環境変動と海洋生物の資源量との関係については、様々な研究が行われてきた。しかしながら、より長期的な環境変動に関しては、その予測に伴う不確実性ゆえに、これまであまり議論されてこなかった。地球温暖化もそのような長期的な環境変動のひとつである。コンピュータ技術の飛躍的な向上に伴って、地球温暖化が進んだ場合の環境変動予測の信頼性は格段に向上した。最新の地球温暖化予測研究によると、地球温暖化が進むにつれてクロマグロおよびウナギの産卵海域や輸送過程においては、水温上昇、塩分の変化、風成循環の変化、熱塩循環の変化などの長期的かつ急激な海洋環境変動が生じることが予測されており、それが資源量に大きな影響を及ぼすことが危惧されている。

そこで本研究では、地球温暖化が有用な海洋生物の資源量に及ぼす影響を具体的に明らかにするための研究の一環として、地球温暖化予測研究から得られたデータに基づき、地球温暖化に伴う海洋環境変動がクロマグロおよびウナギの初期生活史に与える影響を予測することを目的とした。とくに両種の卵・仔魚輸送過程における水温・塩分・流動構造の変動に重点を置き、数値シミュレーションを用いて定量的な解析を行った。

## 2. データおよび解析方法

本研究では、地球温暖化予測データおよび超高解像度海洋大循環モデル (OFES) データを用いた。地球温暖化予測データは大気海洋結合気候モデル (MIROC) の中解像度版から得られた、2000年、2050年、2100年における水温・塩分・流速の予測データである。データ領域は10°S - 44.5°N、110.5°E - 179.5°E、水平解像度1.0度であるが、本研究では0.1度間隔でデータ補間して用いた。OFESデータのモデル領域は両極を除く全球 (75°S - 75°N、180°W - 180°E) で、水平解像度は0.1度である。本研究では、地球温暖化予測データの流速値の信頼性を補うために、2000年のOFESの流速データを用いて補正を行った。

地球温暖化に伴う流動構造の変化の影響を明らかにするために、本研究では、移流拡散モデルを用いて粒子追跡実験を行った。流動場として、地球温暖化予測データおよびOFESデータの流速値を用い、地球温暖化前 (2000年) と地球温暖化後 (2100年) でのクロマグロおよびウナギの卵・仔魚輸送過程を予測した。クロマグロの粒子追跡実験に先立って、水温データから産卵時期および主産卵場の変化を予測し、3つのシナリオを想定した。シナリオ1では産卵時期が変化し主産卵場は変化しない場合、シナリオ2では産卵時期は変化せず主産卵場が地理的に変化する場合、シナリオ3では産卵時期および主産卵場ともに変

化しない場合をそれぞれ設定した。卵・仔魚期間を 30 日間とし、各シナリオに沿って粒子追跡を行った。また、日本海での輸送過程についても粒子追跡を行い、日本海の産卵場及ぼす地球温暖化の影響についても検討した。ウナギの粒子追跡実験においては、北赤道海流域の水塊の境界に形成される 34.5psu の塩分フロントと 142°E の経線の交点を産卵場とし、塩分データからその位置を予測した。また、産卵場から成育場である日本沿岸までの卵・仔魚期間を 200 日とした。地球温暖化前後（2000 年および 2100 年）の推定産卵場から産卵期間である 6 - 10 月に 200 日間の粒子追跡を行った。

地球温暖化に伴う水温構造の変化の影響を検討するために、両種の卵・仔魚の経験水温と最適水温との差を一日ごとに算出し、輸送期間を通して乗じたものを最適水温からの逸脱指数として表した。

### **3. 結果および考察**

#### **3-1. クロマグロへの影響**

卵・仔魚期間内に成育場に輸送され、なおかつ生残した個体数は、シナリオ 1 では地球温暖化前後で顕著な差はみられなかった。一方シナリオ 2 および 3 ではいずれも地球温暖化前後で減少し、それぞれ 1/2 と 1/3 になった。これは地球温暖化に伴う水温上昇のために、産卵時期によっては輸送過程で死亡する個体が増加したことに起因する。逸脱指数から、シナリオ 1 では、地球温暖化前の方が、卵・仔魚がより最適水温に近い水温を経験したことが示された。一方でシナリオ 2、3 では、地球温暖化後の方が、卵・仔魚がより最適水温に近い水温を経験したことが示された。以上の結果から、地球温暖化に伴って主産卵場からの輸送環境が高温化することによりクロマグロの初期生残は減少し、最悪の場合、すなわち親魚が地球温暖化に対して応答を行わない場合には、現在の 1/3 になる可能性があることがわかった。

日本海においては、適切な期間内に成育場に輸送され、なおかつ生残した個体数と、卵・仔魚輸送過程における最適水温からの逸脱指数に、地球温暖化前後で顕著な差が認められなかった。このことから、クロマグロ卵・仔魚輸送過程および初期生残に影響を及ぼすような流動構造および水温構造の変化は生じないものと考えられる。

#### **3-2. ウナギへの影響**

卵・仔魚期間内に成育場に輸送され、なおかつ生残した個体数は、地球温暖化前後でわずかに増加した。これは、地球温暖化に伴う流動構造の変化によって北赤道海流北側および黒潮源流域の流速が強化されたことによって産卵場の地理的变化に有利に作用したこと、さらに、塩分構造の変化に伴う産卵場の北上によってミンダナオ海流ではなく黒潮に取り込まれる個体数が増えたことに起因する。逸脱指数から、地球温暖化後の方が、輸送過程において卵・仔魚がより最適水温に近い水温を経験したことが示された。これらの結果より、地球温暖化に伴う産卵場および輸送過程での塩分と流動構造の変化ならびに水温上昇は、ウナギの初期生残に有利に作用する可能性が示された。

その一方で、塩分フロントの北上に伴う産卵場の北上は、新魚の産卵回遊の指標となる海山の遷移をもたらし、親魚の産卵行動に影響を及ぼすと考えられる。現在、産卵場の緯度は 15°N 付近であり、3 つの海山がその指標の候補であるとされている。これらの海山はその形状から、他の海山と比べて、ピンポイントでの親魚の集場所や隠れ家として限定的な産卵場形成に適しており、再生産の効率化に寄与していると考えられる。しかしながら、これら 3 つの海山と同様の明確な指標となりうる海山がそれよりも高緯度では乏しいことから、地球温暖化に伴って産卵場の緯度がさらに北上した場合、親魚の産卵回遊および再生産行動に変化をもたらす、ひいては再生産の効率を低下させることが懸念される。

以上のことから、地球温暖化後のウナギの生残は、卵・仔魚の輸送過程よりも親魚の産卵回帰行動に大きく依存するものと考えられる。

# Effects of global warming on the early life stages of the bluefin tuna and the Japanese eel

Mar. 2008, Department of Natural Environmental Studies, 66734, Naoki Yamaoka  
Supervisor ; Professor, Shingo Kimura

Keywords : Global warming, bluefin tuna, Japanese eel, larval transport, numerical simulation

## 1. Introduction

The bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) and the Japanese eel (*Anguilla japonica*) are important fisheries resources. Since they have limited spawning grounds, it is considered that environmental changes in the spawning area probably effect larger impacts on their stock abundance. Major physical environmental factors such as temperature, salinity and flow structure affect survival and growth of the fisheries resources. A great numbers of studies about the effect of short and middle-term environmental fluctuations such as El Niño, La Niña and regime shift on fisheries resources have been conducted, while studies regarding of global warming were sparse because of difficulty of predictions. Recent years, studies about global warming are exponentially progressing together with the advance of computer technology, and its predictions have become more reliable. It is considered that global warming caused by the elevation of temperature, the long-term and rapid change of salinity, wind-driven and thermohaline circulation largely impacts on the stock abundance of the bluefin tuna and the Japanese eel.

This study was conducted to clarify how changes of physical factors caused by global warming affect early life stages of the bluefin tuna and the Japanese eel. By using numerical simulation, this study focused on changes of temperature, salinity and flow structure during their larval transport in particular.

## 2. Data and Methods

For numerical simulation, predicted values of temperature, salinity and current velocity data in 2000, 2050 and 2100 of MIROC (Model for Interdisciplinary Research on Climate) were used. Current velocity data in 2000 of OFES (Ocean General Circulation Model for the Earth Simulator) was also used.

To clarify effects of changes of flow structures, Lagrangian model was used to simulate larval transports in this study. Three scenarios about the bluefin tuna, based on the prediction about changes of the spawning season and the location of the main spawning ground, were assumed. Scenario 1 : spawning season begins earlier, while the main spawning ground will not shift geographically. Scenario 2 : spawning season does not change, while location of the main spawning ground shifts. Scenario 3 : both spawning season and location of the main spawning ground do not change. The numerical simulation was conducted according to these scenarios. The larval transport

in the Japan Sea was also simulated. For the Japanese eel, the location of the spawning ground was prescribed by the salinity data. The larval transport for 200 days from the predicted spawning grounds before and after global warming to nursery the ground was simulated.

To clarify effects of changes of the temperature, an index of deviation from optimal temperature (henceforth L(I)) was calculated. The L(I) was defined as values multiplied differences between optimal temperature and experienced temperature of eggs and larvae day by day during larval transport.

### **3. Results and Discussion**

#### **3 – 1. Effects of global warming on the bluefin tuna**

In scenario 1, there was little difference in the number of survived larvae (henceforth SL) which transported to the nursery ground within larval period between before and after global warming. In scenario 2 and 3, SL became 1/2 and 1/3 after global warming, respectively as larval mortality increased with temperature increase. The L(I) indicated that larvae experienced less optimal temperature during larval migration after global warming in scenario 1. In scenario 2 and 3, L(I) indicated that larvae experienced more optimal temperature after global warming than before. These suggest that, result from the elevation of temperature by the effect of global warming, survival of the bluefin tuna in the early life stage will get worse after global warming. For the worst case, if the bluefin tuna makes no behavioral response to any changes caused by global warming, the survival will become 1/3 of those before global warming.

In the Japan Sea, there was not so remarkably difference in SL and L(I) between before and after global warming. It is probably because temperature and flow structure will not substantially change after global warming.

#### **3 – 2. Effects of global warming on the Japanese eel**

The SL became slightly larger than those before global warming. This reason is not only the current velocity of the north part of the North Equatorial Current and the Kuroshio became higher, but also the northward shift of spawning ground allowed more larvae to be transported into the Kuroshio. The L(I) indicated that larvae experienced more optimal temperature after global warming. These results show that the survival in the early life stage of the Japanese eel will increase in number by the effect of changes of salinity and flow structure and the elevation of temperature during the larval transport. These changes caused by global warming will affect positively survival of the Japanese eel in the early life stage. Since it seems that the Japanese eel uses three sea mounts near 15°N as a milestone of the spawning migration, the northward shift of the spawning ground will probably make it difficult for them to seek the milestone which affects their spawning migration and causes inefficient reproduction.

These suggest that the survival of the Japanese eel in the early life stage depend larger on the adult spawning migration rather than the larval transport.