

## 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 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20688009

研究課題名（和文）地球温暖化による海水温上昇に伴うクロマグロの産卵海域規模の変化予測

研究課題名（英文）Prediction of Pacific bluefin tuna spawning area changes caused by global warming related rises in sea water temperature

研究代表者

北川 貴士（KITAGAWA TAKASHI）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：50431804

研究成果の概要（和文）：

地球温暖化による産卵可能海域の分布や面積規模に及ぼす影響について定量的に予測するために、クロマグロ卵仔魚の飼育実験、行動計測による本種の行動生理の近縁熱帯種との比較、50-100年後の本種の産卵海域から日本沿岸の成育海域への輸送過程の数値実験を行った。その結果、飼育実験から仔魚が高成長・高生残をもたらす水温は26℃付近ときわめて限られた温度域であること、行動計測より本種は体熱を環境へ放出する能力が低いこと、今後の海水温上昇は本種分布に影響を及ぼしうること、数値実験より2100年の産卵海域から日本沿岸への本種仔魚の到達率は現在の36%程度に低下することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

The predicted changes in spawning areas due to global warming and the resulting rise in sea surface temperatures are investigated in this study. Rearing experiments of eggs and larvae to determine optimum temperatures, biologging measurements to compare behavioral physiology of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) to that of yellowfin tuna (*T. albacares*), and a simulation using an ocean model under a climate warming scenario were conducted. The results were as follows: (1) The optimum temperature for eggs and larvae were 26 °C (2) Bluefin tuna would lack the ability to radiate excess body heat thus global warming could affect their distribution in the future. (3) The predicted survival rates of larvae arriving in Japanese coastal waters in 2100 would decline to 36% of present recruitment levels.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：水産学

科研費の分科・細目：水産学一般

キーワード：水産学，クロマグロ，地球温暖化，飼育実験，数値実験，仔魚，海水温，輸送

## 1. 研究開始当初の背景

クロマグロ (*Thunnus orientalis*) の資源加入量は経年的に変動し、その変動の強度は生活史初期で決まることが知られている。ゆえに、仔・稚魚期の生残過程を明らかにすることが本種の資源変動機構を探る上でより重要な課題であると考えられる。

本種の主産卵海域は沖縄諸島東側を中心とした黒潮反流域であり、他のマグロ属魚類とは異なり非常に限定された海域にある。また、産卵期も周年産卵の他のマグロ属魚類とは異なり、5-6月に限定されている。この時期は海況の季節的転換期にあたる、黒潮が仔・稚魚の輸送手段となっていることなどから、本種の日本沿岸への輸送過程において産卵海域の海洋環境が果たす役割を解明することは、本種の生残戦略や地球規模の海洋変動に伴う資源量変動機構を探る上で重要な鍵であると考えられる。地球温暖化は、魚類に対し、水温・塩分・海流などの直接的な環境変動と、これらの環境変動が引き起こすであろう一次生産や食物連鎖などの間接的な生態系変動とが複雑に関連して、非常に大きな影響を及ぼすと考えられている。本種については、産卵海域の水温が今後50年で3°C程度上昇することが予想されているが、水温上昇が、本種の再生産過程、成魚の行動生態、およびふ化仔魚の生残に及ぼす影響について、総合的に検討された例はなかった。

## 2. 研究の目的

地球温暖化の影響で、南西諸島から台湾近海にあるクロマグロの産卵海域の水温は今後50年から100年の間に約3°C程度上昇するとされ、本種の生残環境の悪化、絶滅が懸念されている。地球温暖化に伴う海洋の水温構造の変化が本種の生残に及ぼす影響を定量的に見積もることは、21世紀の水産重要魚種の資源管理改善に向けた極めて重要な研究課題のひとつといえる。しかし、飼育実験・行動計測・数値実験(シミュレーション)によりそれを予想する試みはほとんどなされていないのが現状である。そこで本研究では(1)飼育実験による卵・仔魚の成長・生残に水温上昇が及ぼす影響の検討(2)クロマグロの熱帯近縁種と行動生態の比較(3)50年から100年後における産卵海域から日本沿岸の生育海域への輸送過程・生残状況のシミュレーションを行うことで地球温暖化による産卵可能海域の分布や面積規模に及ぼす影響について定量的に予測することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究の方法の主な柱は飼育実験、行動・体温生理計測(バイオロギング)、および数値実験(シミュレーション)である。

(1) 2008, 2010, 2011年(独)水研センター奄美栽培漁業センター(現:西海区水産研究所奄美庁舎)で、2008年、2009年は東京都葛西臨海水族園で飼育実験を行った。実験には飼育親魚の自然産卵によって得られた受精卵を用いた。全設定水温は23-29°Cの間の7段階であった。水温別の孵化時間、孵化率、生残率および奇形率を算出した。発生中の卵の代謝速度をアレニウスの式から算出し、高代謝・高孵化率である水温を孵化最適水温とした。

(2) クロマグロの高水温下での体温生理状態を、熱・亜熱帯海域に生息する同属種と比較するため、沖縄・石垣島沖でキハダへの小型記録計(深度・水温・体温計測)の装着・放流試験を行った。2009年、2010年、2011年5ないし6月に沖縄県石垣島沖の人工漁礁でキハダ未成魚(2009年28個体、2010年26個体、2011年24個体)を曳縄で漁獲し、LAT1410(LOTEK, Canada)を腹腔内に装着して放流した。記録計は体温(腹腔内温度)、経験水温、水深を2分間隔で最大約37日間計測することができる。現在までに合計22個体(尾叉長:35-52cm)が再捕されている。

体温保持機構における魚体の断熱効果を調べるために、キハダの3屍体(尾叉長:40-41.5cm)の温度の加温・冷却過程を海水温23°C、28°C下で計測した。得られた結果をクロマグロの行動生理学的知見と比較した。

(3) 地球温暖化が本種の産卵海域の規模面積や輸送過程に及ぼす影響について定量的な予測を行うために、(独)海洋研究開発機構が開発した大気海洋結合モデル(MIROC: Model for Interdisciplinary Research On Climate)を用いて50年から100年後の南西諸島東方海域から日本沿岸への輸送過程をシミュレーションし、日本沿岸への仔魚の生残・到達率を予測した。

## 4. 研究成果

(1) 産卵から孵化の時間と飼育温の間には負の相関関係が認められた。飼育水温上昇に伴い孵化時間は減少する傾向にあり、水温が孵化時間に与える影響は極めて大きいと考えられた。卵の代謝速度は25-26°C付近で大きく変化したことから、この温度付近を境に卵内の酵素あるいは触媒反応系に質的变化が生じていることが分かった。また、水温上昇に伴い、孵化率は低下し、奇形率も上昇する傾向が確認された。ただし、卵はレンズ

形成期（産卵 16 時間後）以降に高水温に晒されても、奇形率が低くならないことから、産卵 16 時間後以上経過しているのであれば、高水温の影響は比較的軽減できることが分かった。以上から、孵化に適し、かつ仔魚が高成長、高生残となる水温は 26 °C 付近ときわめて限られた範囲であることが分かった。将来、地球温暖化に伴い産卵場の海水温が上昇した場合においても、26 °C 付近の水温帯が卵・仔魚にとって重要であり、卵仔魚の大量減耗を回避するには、卵仔魚にとってこの水温付近で育成することが重要であることが示唆された。

(2) クロマグロの高水温下での体温生理状態を、熱・亜熱帯海域に生息する同属種と比較するため、沖縄県石垣島沖でキハダ (*T. albacares*) への小型記録計の装着・放流を行った。回収された 22 個体から得られた深度・水温・体温データの解析を行った。体温変化から全熱交換係数および産熱速度を算出した。産熱速度はクロマグロとは同程度であったが、全熱交換係数は約一桁高い値であった。これは、キハダは放熱能が高く、クロマグロと同程度の代謝熱でも、環境水中に排出することで過度の体温上昇を避けることができることを意味する。逆にクロマグロは放熱能が低いので、今後 100 年の海水温上昇は、本種分布に影響を及ぼすと考えられた。

(3) 2007 年の気候変動に関する政府間パネル (IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) の報告に基づいて構築された大気海洋結合モデル (MIROC) によると、2100 年産卵海域から本州沿岸の成育場までの輸送に利用される場の流速は大きくなり、また産卵海域の水温も現在より約 3°C 上昇すると予測されている。このモデルを用いて本種仔魚の産卵海域から成育場までの輸送過程を予測したところ、2100 年の産卵海域から日本沿岸への本種仔魚の生残・到達率は現在の 36% 程度に低下することが示唆された。

#### 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 9 件)

- ① 北川貴土. 回遊経路はどこまでわかったか. 月刊海洋 96 : 70-78, 2012. 査読無
- ② Kato Y, Oshima M, Yamashita Y, Kitagawa T, Kimura S. Effects of larval ontogeny, turbulence, and prey density on survival in red sea bream *Pagrus major* larvae. Coastal Marine Science. 35: 262-268, 2012. 査読有
- ③ Miyake Y, Kimura S, Kawamura T, Kitagawa T, Takahashi T, Takami H.

Population connectivity of Ezo abalone on the northern Pacific coast of Japan in relation to harvest refugia establishment: a modeling approach to larval dispersal processes. Marine Ecology Progress Series. 440: 2011:137-150

- ④ Kitagawa T, Nakagawa T, Kimura R, Niino, H, Kimura S. Vortex flow produced by schooling behavior of arabesque greenling *Pleurogrammus azonus*. Fisheries Science 77: 217-222, 2011. 査読有
- ⑤ Kitagawa T, Kato Y, Miller MJ, Sasai Y, Sasaki H, Kimura S. The restricted spawning area and season of Pacific bluefin tuna facilitate use of nursery areas: a modeling approach to larval and juvenile dispersal processes. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 393: 23-31, 2010. 査読有
- ⑥ Kimura S, Kato Y, Kitagawa T, Yamaoka N. Impacts of environmental variability and global warming scenario on Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) spawning grounds and recruitment habitat. Progress in Oceanography 86: 39-44, 2010. 査読有
- ⑦ Kitagawa T, Kimura S, Nakata H, Yamada H, Nitta A, Sasai Y, Sasaki H. Immature Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, utilizes cold waters in the Subarctic Frontal Zone for trans-Pacific migration. Environmental Biology of Fishes, 84:193-196, 2009. 査読有
- ⑧ Kato Y, Takebe T, Masuma S, Kitagawa T, Kimura S. Turbulence effect on the survival and feeding of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, larvae on the basis of a rearing experiment, Fisheries Science, 74: 48-53, 2008. 査読有
- ⑨ 北川貴土. クロマグロ *Thunnus orientalis* の行動生態と水温適応機構に関する研究. 日本水産学会誌, 74: 580-583. 2008, 査読有

[学会発表] (計 5 件)

- ① 北川貴土・石村豊穂・魚里怜那・白井厚太郎・天野洋典・篠田章・角皆潤・木村伸吾. 水温環境履歴の解明に向けたクロマグロの耳石  $\delta^{18}\text{O}$  の有効性の検討. 平成 23 年度日本水産学会秋季大会. 2011 年 9 月 29 日, 長崎大学水産学部
- ② 北川貴土. クロマグロ, 熱い血潮をもつ魚. 第 1 回魚類テレメトリー国際会議, 2011 年 6 月 18 日, 北海道大学学術交流会館
- ③ 北川貴土. クロマグロ *Thunnus orientalis* の行動生態と水温適応機構に関する研究. 日本農学進歩賞受賞講演, 2010 年 11 月

- 22日, 東京大学
- ④ Kitagawa T, Okuyama J, Zenimoto K, Kimura S, Arai N, Sasai Y, Sasaki H. Trans-Pacific migration of Loggerhead turtle hatchlings inferred from a numerical simulation. The 30th Sea Turtle Symposium, 27-29 April, 2010, Goa, India.
  - ⑤ 北川貴士・溝呂木奈緒・木村伸吾・加藤慶樹・塩澤聡・武部孝行・三森亮介・雨宮健太郎・森真朗・坂本和弘. クロマグロの卵発生の環境水温固執性. 平成22年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

[図書] (計5件)

- ① 北川貴士. 講談社. マグロはおもしろい美味のひみつ, 生き様のなぞ. 2012, 272pp
- ② 北川貴士. 朝倉書店. 資源環境研究の視座から. 環境世界創成第1巻「自然環境の創る世界」, 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学研究系編, 2011, 143-152.
- ③ 北川貴士. 京都大学出版会. クロマグロの渡洋回遊. 「水産の21世紀-海から拓く食料自給」, 田中克・川合真一郎・谷口順彦・坂田泰造編, 2010, 411-412.
- ④ 北川貴士. 京都通信社. 照度センサ付きデータロガー. 「バイオロギング」日本バイオロギング研究会編, 2009, 116-116.
- ⑤ 北川貴士. 京都通信社. クロマグロは水温変化に敏感だった. 「バイオロギング」日本バイオロギング研究会編, 2009, 108-111.

[その他]

○ホームページ

<http://mbe.aori.u-tokyo.ac.jp/index.html>

○シンポジウム

東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「電子標識を用いた高度回遊性魚類の生態研究の現状」コンビーナー：北川貴士・木村伸吾. 東京大学大気海洋研究所. 平成23年12月8日-9日

○アウトリーチ活動情報

市民講座：「熱い血潮のマグロたち」東京私立中学合同相談会, 2010年5月9日, 東京国際フォーラム

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

北川 貴士 (KITAGAWA TAKASHI)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教  
研究者番号：50431804