

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

北川貴士 (東京大学大学院新領域創成科学研究科/大気海洋研究所)

takashik@aori.u-tokyo.ac.jp

はじめに

マグロ属 (*Thunnus*) 魚類は 8 種存在する (表 1)^{1), 2)}。総漁獲量は過去 50 年間で 15 倍増えて 400 万トン以上に達し、世界的に高需要の魚類となっている。

その一方で、乱獲の影響で資源が激減し、2010 年の通称ワシントン条約第 15 回締約国会議において、タイセイヨウクロマグロ (*T. thynnus*) を絶滅の恐れのある種のリストに載せることが提案された。この提案は否決されたが、マグロ属魚類の漁業規制の

動きは活発化している。太平洋に生息するクロマグロ (*T. orientalis*) についても国際的な資源管理の強化が求められており、そのための高精度の資源評価や動向予測につながる基礎知見が不可欠となっている。

しかしこれまで、本種の回遊生態に関する情報は限定されており、さらにそのほとんどが漁獲データにもとづく大まかなものであった。しかも根拠となる漁獲量も十分に把握できていなかったことから、従来とは異なる方法により研究を行う必要性が生じていた。そのような中、著者はアーカイバルタグと呼ばれる小型記録計による計測を世界に先駆けてクロマグロの行動研究に適用し、個体の行動・生理 (体温) と、個体が経験する海洋環境とを同時に連続計測することにより、本種の温帯水域の適応的行動を明らかにすることを目的に研究に取り組んできた。以下に得られた結果について概説する。

水温が未成魚の鉛直遊泳行動・分布に与える影響

1995 年から 1998 年冬季に対馬沖東シナ海において当歳・1 歳魚 (尾叉長 43-78cm)、2002 年、2003 年夏季東部太平洋で 2-3 歳魚 (87-120cm) の腹腔内にアーカイバルタグを装着して放流した。その後再捕された合計 50 個体のタグに約 2 分間隔で記録された遊泳深度、水温、体温

表1 マグロ属 (*Thunnus*) の標準和名, 英名, および学名^{1), 2)}

標準和名	英名	学名
クロマグロ	Pacific bluefin tuna	<i>T. orientalis</i>
タイセイヨウクロマグロ	Atlantic bluefin tuna	<i>T. thynnus</i>
ミナミマグロ	Southern blufin tuna	<i>T. maccoyii</i>
ビンナガ	Albacore	<i>T. alalunga</i>
メバチ	Bigeye tuna	<i>T. obesus</i>
キハダ	Yellowfin tuna	<i>T. albacares</i>
コシナガ	Longtail tuna	<i>T. tonggol</i>
クロヒレマグロ	Blackfin tuna	<i>T. atlanticus</i>

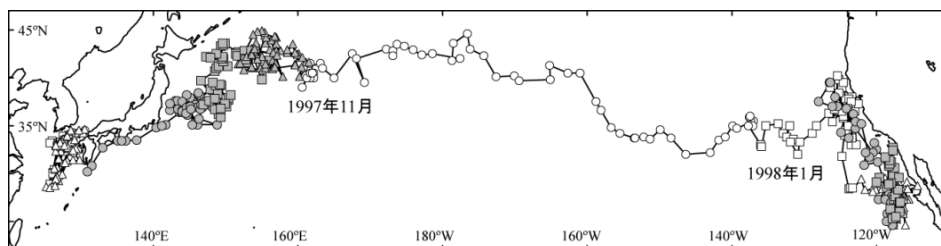


図 1 1996 年 11 月に対馬沖で放流、1997 年 11 月に渡洋回遊を始め 1998 年 8 月米国サンディエゴ沖で再捕された¹³⁾。

(腹腔温)の時系列データ、および照度データから推定された一日ごとの経緯度データを解析した³⁾⁻¹⁶⁾。

本種の鉛直行動・分布の日周期及び季節変化、それらに及ぼす水温の影響を検討した^{3), 6), 10)}。東シナ海において、冬季、本種は表層混合層内で

夜間は表層を、昼間はより深い水深を遊泳しており、遊泳深度の変化に

日周期性が認められた(図2(a))。水温躍層が形成されていた南西海域まで大きく移動した数個体は特に日周期性が顕著であったことから、躍層の発達が遊泳水深の日周期性を顕著にする要因であることが示唆された。

水温躍層の発達する夏季は、一日の大半を10m以浅で過ごしており、躍層付近での急激な水温変化を避けて表層を滞泳していると考えられた(図2(b))。しかし、昼間には水温躍層を越える短時間の鉛直移動を頻繁に行った。これらから、空間的・季節的な鉛直水温構造の変化が、本種の鉛直遊泳行動・分布を規定していることが分かった。

本種の体温保持機構

クロマグロが水温躍層を避けて主に表層に滞泳している理由に関して、低水温環境下における体温保持機構という観点から検討した⁴⁾。

冬季、本種の体温は、昼夜ともに水温より2°Cほど高く保たれており、この温度差は水温が変化してもほぼ一定であった。一方、夏季には、体温は基本的に水温より高く保たれていたが、水温が低くなるにしたがい両者の温度差が大きくなる傾向があった。熱収支モデルを用いて体温の保持機構を検討した結果、熱的な慣性や高い産熱速度が重要な要因であることが分かった。いったん体温が下がると回復に時間がかかるため、本種は水温躍層下への長時間の進入をできるだけ避けて表層混合層内を遊泳し、進入するにしても、体温への影響の小さい短時間の進入で済ませると考えられた。鉛直行動は日照量にも左右され、照度が低下する曇りの日は鉛直移動の頻度が減少することも分かった。

摂餌に伴い体温が一時的に低下することを利用して摂餌頻度を推定し、鉛直移動との対応を検討した^{5)-7), 10)}。本種は東シナ海では鉛直移動を行いながら索餌していたが、摂餌頻度は一日1回程度であった。一方、三陸沖、カリフォルニア海流域では主に水平移動を行いながら、潮目付近に集積する大量の餌を一日平均3-5回以上も摂餌していることが分かった。特にカリフォルニア海流域では、季節風が弱まるのを契機にイワシ類が北上を開始し、これに呼応

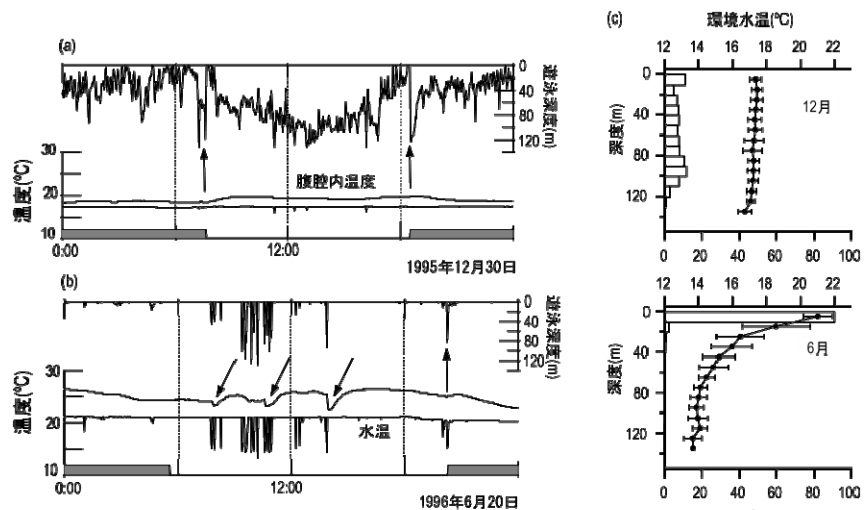


図2 東シナ海でのクロマグロの遊泳深度、体温(腹腔温)、環境水温((a)12月(b)6月、下部の影:夜間、上矢印;日没(日没)時の潜行(浮上)・急浮上(潜行)、斜矢印:摂餌時の腹腔温度低下)(c)鉛直頻度分布と水温プロファイル(mean±SD)^{3), 6)}

してクロマグロも移動を開始することが分かった。これらより、三陸沖、カリフォルニア海流域の、本種の成長の場としての重要性のみならず、海域の成層状態や餌生物のバイオマス、鉛直分布などが本種の鉛直・水平移動に大きく影響していることが定量的に示された。

温帯海域への水温適応機構

クロマグロの北太平洋の温帯水温環境への適応機構を明らかにするため、成長に伴う体温（腹腔温）の保持能力の変化について検討した⁸⁾。

体温と環境水温との差は成長に伴い大きくなる傾向があったが、温度差の増大する割合は成長に伴い小さくなり、平均体温が 30 °C を越えることはなかった。簡単な熱収支（数理）モデルを用いて体の断熱性、産熱速度を調べたところ、断熱性は成長に伴い増大したが、産熱速度は減少傾向を示した。そのため体温は致死温度までは上昇せず、成長しても温帯水域での活動が可能になっているものと推察された。ただし、この温度保持機構を可能にするためには、温帯海域の低水温環境を利用することが必要不可欠である。

ただし、本種がふ化直後の遊泳力の乏しい時期に日本南方の産卵海域に留まり続けた場合には、高水温の影響で成長に伴い体温上昇に見舞われる危険性がある。そのため、ふ化後すばやく黒潮に取り込まれることで、少ないエネルギーコストで温帯海域に逃れることができ、そこでの豊富な餌資源の利用を可能にしていると考えられた。数値実験からも、仔魚は産卵海域から温帯域へ 60 日程度で効率的に輸送されることが示唆された¹⁴⁾。

おわりに

アーカイバルタグを用いることにより、環境の作用と、それに対する個体の生理的变化を介したクロマグロの応答行動を、同時的に計測することが可能となった¹⁵⁾。本種の生態に関する新たな知見は、我が国が責任ある漁業国・消費国として世界の主導的立場に立って資源管理を適正に進めていくための生態学的基礎をなすばかりでなく、日本人の、消費者としてのモラルやそれに伴う行動などにも繋がっていくと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり終始親切なるご指導と激励をいただきました現長崎大学水産学部中田英昭教授に深く感謝申し上げます。東京大学大学院新領域創成科学研究科/海洋研究所木村伸吾教授には、終始あたたかいご支援を賜りました。（独）水産総合研究センター山田陽巳氏をはじめとする皆様には、貴重で質の高いデータの解析を行う機会を与えて頂きました。新田朗氏（株）日本 NUS）には、数多くのご助言を賜りました。心より感謝申し上げます。東京大学大気海洋研究所海洋研究連携領域の皆様には物心両面からご支援を頂きました。深く御礼申し上げます。

引用文献

1. Collette BB, Reeb C, Block BA. Systematics of the tunas and mackerels (Scombridae). In: Block BA, Stevens ED (eds). *Fish physiology*, Vol. 19. Academic Press, San Diego. 2001; 1-33.
2. 北川貴士, 木村伸吾, 加藤慶樹. マグロ属 3 種 *Thunnus orientalis*, *T. thynnus*, *T. atlanticus* の標

- 準和名. 魚類学雑誌 2007 ; **54** : 245-246.
3. Kitagawa T, Nakata H, Kimura S, Itoh T, Tsuji S, Nitta A. Effect of ambient temperature on the vertical distribution and movement of Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*). Mar. Ecol. Prog. Ser. 2000; **206**: 251-260.
 4. Kitagawa T, Nakata H, Kimura S, Tsuji S. Thermoconservation mechanism inferred from peritoneal cavity temperature recorded in free swimming Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*). Mar. Ecol. Prog. Ser. 2001; **220**: 253-263.
 5. Kitagawa T, Nakata H, Kimura S, Sugimoto T, Yamada H . Differences in vertical distribution and movement of Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) among areas: the East China Sea, the Sea of Japan and the western North Pacific. Mar. Freshwater Res. 2002; **53**: 245-252.
 6. Kitagawa T, Nakata H, Kimura S, Yamada H (2002). Diving behavior of immature Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) recorded by an archival tag. Fish. Sci. **68** Supplement I: 427-428.
 7. Kitagawa T, Kimura S, Nakata H, Yamada H. Diving behavior of immature Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) for feeding in relation to seasons and areas: the East China Sea and the Kuroshio-Oyashio transition region. Fish. Oceanogr. 2004; **13**: 161-180.
 8. Kitagawa T, Kimura S, Nakata H, Yamada H. Thermal adaptation of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* to temperate waters. Fish. Sci. 2006; **72**: 149-156.
 9. Kitagawa T, Sartimbul A, Nakata H, Kimura S, Yamada H . Effect of water temperature on habitat use of young Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in the East China Sea. Fish. Sci. 2006; **72**: 1166-1176.
 10. Kitagawa T, Boustany AM, Farwell CJ, Williams TD, Castleton MR, Block BA. Horizontal and vertical movements of juvenile bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in relation to seasons and oceanographic conditions in the eastern Pacific Ocean. Fish. Oceanogr. 2007; **16**: 409-421.
 11. Kitagawa T, Kimura S, Nakata H, Yamada H. Why do young Pacific bluefin tuna repeatedly dive to depths through the thermocline? Fish. Sci. 2007; **73**: 98-106.
 12. 北川貴士. バイオロギングによるクロマグロの行動生態研究の現状. 「水生動物の行動と漁具の運動解析におけるテレメトリー手法の現状と展開」山本勝太郎, 山根 猛, 光永 靖編, 恒星社厚生閣 2006; 45-55.
 13. 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. Environ. Biol. Fish. 2009, **84**: 193-196.
 14. 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. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2010; **393**: 23-31.
 15. 北川貴士. マグロ類の遊泳と回遊. 「海洋生命系のダイナミクス・シリーズ第4巻 海の生物資源—生命は海でどう変動しているか—」渡邊良朗編, 東海大学出版 2005 ; 37-53.
 16. 北川貴士. 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, 京都大学出版会 2010 ; 411-412.

Studies on the behavioral ecology and thermal adaptation mechanisms of Pacific bluefin tuna

Takashi Kitagawa (Graduate School of Frontier Sciences/Atmosphere and Ocean Research Institute,

The University of Tokyo)

takashik@aori.u-tokyo.ac.jp