

漁獲物を用いたクロマグロの生態研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 水産研究・教育機構 公開日: 2025-07-28 キーワード: 作成者: 田中, 庸介, 田中, 寛繁, 平岡, 優子, 芦田, 拓土, 田和, 篤史, 石原, 大樹, 植松, 幸希, 河津, 優紀, 佐藤, 拓也, 澤井, 悦郎 メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014918

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



漁獲物を用いた クロマグロの生態研究



くろまぐろ資源部 くろまぐろ生物グループ
 田中庸介・田中寛繁・平岡優子・芦田拓士・田和篤史・石原大樹・植松幸希・河津優紀
 佐藤拓也・澤井悦郎

はじめに

くろまぐろ生物グループでは、太平洋クロマグロ (*Thunnus orientalis*、以下クロマグロ) の生態研究に取り組んでいます。具体的には、漁獲物を扱った成長・成熟・回遊等に関する研究や、調査船による産卵場・生育場での仔稚魚期の生態に関する研究を行っています。本稿では、これらのうち主に漁獲物を用いたクロマグロの生態研究に関する近年のトピックスをいくつか紹介します。

クロマグロは、日本周辺では北海道から沖縄県までの広い海域で漁獲されます。クロマグロの資源評価では、海にいる魚の量を年齢別に推定するため、漁獲された魚の体長組成が重要な基礎データとなります。そのため、漁獲されたクロマグロの体長（主に尾叉長、後述）の測定を主要な水揚げ港で行っていますが、このとき一部の魚には頭部と尾部に年齢等各種標本調査のための札をつけています（図1）。この札は、商品となったまぐろが解体された後に、残った頭部と尾部を

サンプルとして国際水研で収集するためのものです。各地の市場関係者や小売業者のご協力の下、送って頂いたサンプルから、国際水研で耳石・脊椎骨を取り出し、年齢・生まれ海域の解析を行い、また併せて取り出した筋肉から化学分析などを行っています。また、一部の水揚げ港では卵巣を採集し、その成熟状態から産卵生態についても調べています。

耳石を用いた成長解析

①年齢の推定

魚の頭部の脳付近には、耳石（じせき）という炭酸カルシウムでできた硬組織が3対あり、それぞれ礫石、星状石、扁平石という名前がつけられています（図2）。耳石の形や大きさは魚種によって様々ですが、中心部が最も古く、成長とともに外側に新しい組織が形成されていきます。耳石の成長には季節的な周期性がみられることが多く、いろいろな魚種で、耳石のなかで一番大きい扁平石を用いて年齢推定が行われています。



図1. 年齢等各種標本調査に用いる頭部と尾部の回収用の札（左）と、札のついたクロマグロの頭部と尾部（右）

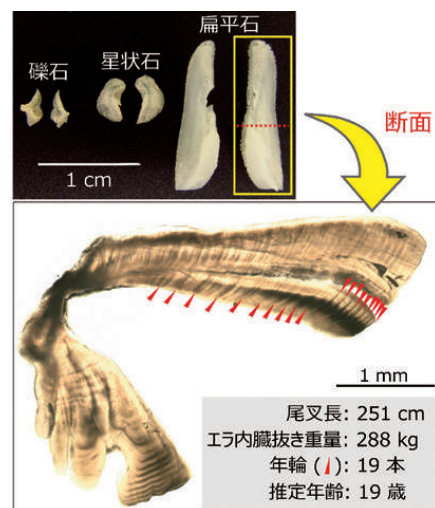


図2. クロマグロの3対の耳石(上)と、扁平石の切断面(下)

魚の年齢は、成長速度や成熟年齢、寿命など、その魚種の生活史を理解するうえで不可欠な情報です。

クロマグロの耳石断面には光の透過性の差による濃淡の繰り返し模様が見られます(図2)。この濃淡が一年に一回形成されることが証明できれば、その数からクロマグロの年齢を推定できることになります。クロマグロの耳石の濃淡は体長(尾叉長、図3) 200cm以上の大型個体で特に明瞭です。そこで、各地で漁獲された大型のクロマグロの耳石を集めて、漁獲された月ごとに耳石の最も外側の部分(最近形成された部分)の濃淡を調べました。その結果、耳石に見られる縞の濃い部分は、毎年一回、冬から初夏に形成される“年輪”であることが分かりました(Shimose *et al.* 2009)。つまり、耳石の濃淡を数えることでクロマグロの年齢を推定できることが明らかとなりました。

②年齢推定結果の検証

耳石の年輪から推定されたクロマグロの年齢と、他の方法から推定された年齢を比較し、両者が一致すれば、推定された年齢の信頼性は高くなります。そこで、もう一つの年齢推定法として、「Bomb radiocarbon dating法」を用いました。この方法は、耳石の中心部分を化学的に分析し、1950~60年代に行われた核実験で地球上に多量に放出された放射性炭素同位体(^{14}C)をマーカーとして、耳石の形成年代を推定するものです。これら二つの方法から推定された年齢を比較した結果、0~28歳の各年齢において、両方法による年齢

推定結果が一致し、耳石の年輪による推定年齢の信頼性が高いことが確認されました(Ishihara *et al.* 2017)。

③クロマグロの成長

クロマグロの成長はとても速く、体長(脊索長) 3mm程度で卵から孵化した仔魚は、1歳で尾叉長約50cm、2歳で約80cm、3歳で100cm以上に成長すると推定されました。また、9歳で尾叉長約200cmに達した後は成長が遅くなり、寿命は20歳以上、最大の尾叉長は250cm程度と考えられています。これまでに当グループで確認した最高年齢は28歳でした。これらの成長特性を数学的に表した成長式(尾叉長と年齢の関係式、図3)は、資源評価の過程で、漁獲されたクロマグロの尾叉長・体重組成から年齢組成を推定するのに用いられており、とても重要な知見となります。

脊椎骨を用いた生まれ地域推定

耳石と同様に、クロマグロの尾柄部(尾びれに向かって胴体が一番細くなっている部分)の脊椎骨にも年輪が形成されることが分かり(図4)、この年輪の大きさを測定することで、そのクロマグロが生まれた海域が推定できるようになりました(Uematsu *et al.* 2018)。現在、クロマグロの産卵場としては、南西諸島(沖縄・石垣島周辺海域)と日本海の2箇所が主であると推定されています(後述)。脊椎骨の年輪は冬に形成されますが、南西諸島の産卵期(4~7月)は日本海(6~8月)よりも早いため、南西諸島生まれのほ

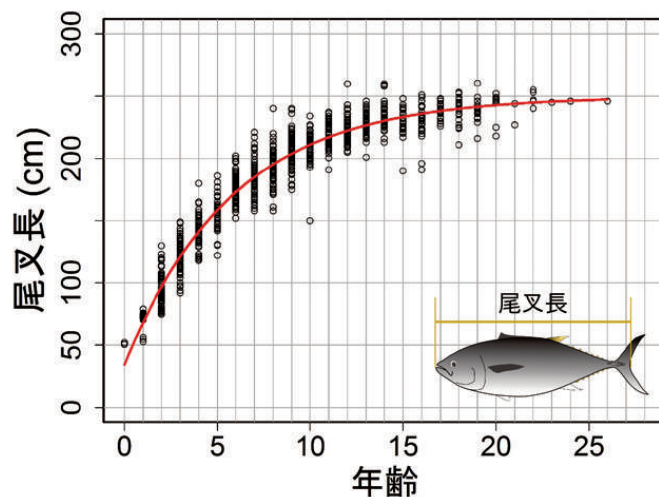


図3. クロマグロの尾叉長と年齢の関係。丸は観測値で赤線はvon-Bertalanffyの成長式

うが生まれてから最初に迎える冬までに成長できる期間が長くなります。このため、脊椎骨の中心からひとつめの年輪までの距離が大きい個体は南西諸島生まれ、小さい個体は日本海生まれと推定できるようになりました。まだ分析個体数が十分ではありませんが、南西諸島と日本海で産卵期に漁獲された産卵親魚（以下、親魚）の脊椎骨を調べた結果、どちらの海域でも、南西諸島生まれと日本海生まれの親魚が混ざって来遊していると推定されました。それぞれの産卵場で生まれたクロマグロが、どのように資源全体へ寄与しているのかを明らかにすることが今後の課題です。

生殖腺（卵巣）の解析

卵巣の解析からは、魚の産卵期、産卵量および年齢別の成熟率（何歳で何割が成熟するのか）などの情報が得られます。これまでに南西諸島や日本海の産卵場での研究（Ashida *et al.* 2015, Okochi *et al.* 2016, Shimose *et al.* 2018）から、クロマグロは同じ産卵期に1匹の雌が複数回産卵する多回性産卵魚であること、主な産卵期は南西諸島において4~7月、日本海では6~8月であること、親魚の年齢は南西諸島で8歳魚以上であり、3~6歳魚が主体である日本海に比べて高齢であることなどが分かりました（図5）。1回あたりの平均的な産卵数は南西諸島

で1500万粒、日本海で641万粒と推定されています。また、日本海でのクロマグロの産卵は、これまでマグロ類の産卵適水温と考えられてきた表面水温24℃以上よりも低い19℃台から起こることが明らかになりました（Okochi *et al.* 2016）。

最近の解析からは、日本海のクロマグロでは親魚の栄養状態が良いと生み出す卵が大きくなる事が示唆されました（Ohshimo *et al.* 2018a）。大きい卵からは大きい仔魚が生まれる傾向がありますので、親魚の栄養状態が仔魚の生き残りに影響を及ぼす可能性があります。また、最近新たに、5~7月に伊豆諸島周辺から常磐・三陸沖で漁獲されたクロマグロからも、産卵状態にある個体が確認され、それらの親魚の年齢は6~8歳が主体であることが分かりました（図5）（Ohshimo *et al.* 2018b）。しかし、伊豆諸島周辺から常磐・三陸沖で観察されたクロマグロの産卵個体が南西諸島や日本海のように濃密な産卵場を形成しているのか、また、この海域で生まれた卵が孵化し、仔稚魚期における生残過程を経て、どの程度クロマグロ資源の加入量変動に寄与しているのかはいまだ不明です。今後も調査船調査等と組み合わせてこれらの海域における産卵生態についてさらに詳しく調べていく予定です。

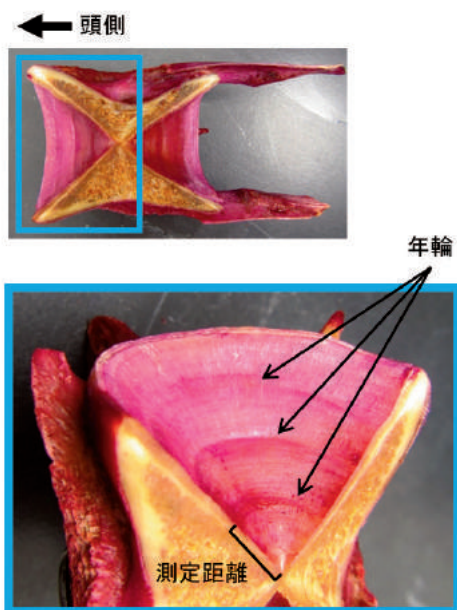


図4. クロマグロの脊椎骨を縦に切った断面(上)および断面の一部を拡大したもの(下).脊椎骨には染色処理を施している

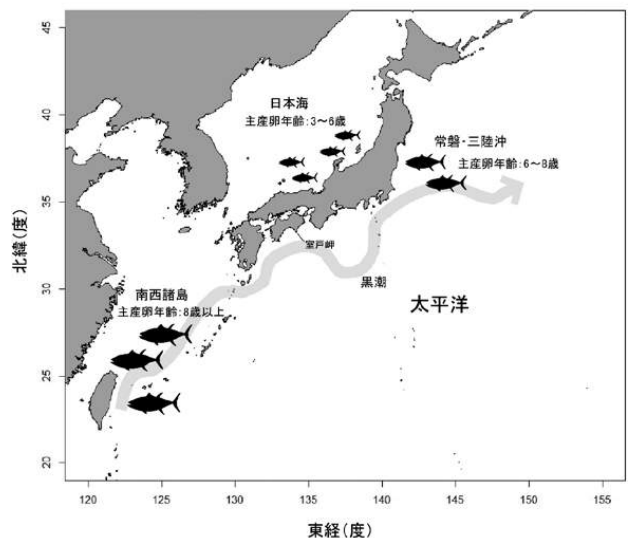


図5. クロマグロの産卵場と産卵親魚の年齢組成のイメージ

筋肉の安定同位体比分析

クロマグロの一部の個体は成熟する前に東部太平洋（アメリカ西海岸沖）まで渡洋し、再び日本近海へ帰ってきた後、産卵に加わることが知られています（図6）。クロマグロの回遊生態や成長段階別の分布様式を推定することは、本種の資源管理に大きく貢献します。クロマグロにアーカイバルタグ（記録型電子標識）を取り付けた調査から、本種の行動が徐々に明らかになってきましたが（Fujioka *et al.* 2018a, Fujioka *et al.* 2018b）、アーカイバルタグは高価であるため、サンプルの数を大幅に増やすことは困難です。そこで、生化学的な手法を開発することにしました。

生物の組織（筋肉や骨、内臓）における炭素（C）や窒素（N）には、重さが異なる同位体と呼ばれる元素が存在し、その比から得られる「安定同位体比」は、餌として食べた生物の安定同位体比を反映することが知られています。また、海域によって生物の安定同位体比には違いがあることが知られています。従って、広い海域を回遊する魚では、安定同位体比を調べることで、その個体がどこの海域の生物を食べていたのか、つまり、どこの海域にいたのかを推定することができます。クロマグロでは、筋肉の窒素安定同位体比

（ $\delta^{15}\text{N}$ ）から、渡洋経験の有無を検討できるようになりました（Tawa *et al.* 2017）。この結果、日本海で漁獲されたクロマグロは3歳から渡洋回遊経験のある個体（高い $\delta^{15}\text{N}$ の値をもつ個体）が出現しはじめ、高齢魚になるに従ってその割合は高くなっていると推定されました（図6）。今後も電子標識や他の化学分析などの手法と組み合わせ、渡洋回遊の実態や意義について解明していく予定です。

クロマグロ幼魚の成長・食性

クロマグロの漁業資源への加入量は毎年変動するため、その原因解明は本種の資源変動機構を解明するうえで重要な研究テーマの一つです。そのため、加入直後の0歳魚（その年生まれの幼魚、ヨコワとも呼ばれる）の漁獲物の生物特性についても経年的にデータを取得し、調査船調査と組み合わせながら、0歳魚の生残過程を研究しています。

0歳魚の耳石には1日1本形成される日輪が確認できます。従って、日輪の本数や耳石の大きさの変化を観察することで、その個体が卵から孵化した日や、成長の良し悪しを調べることができます。最近の分析から、クロマグロでは標準体長15mm未満の仔魚期の成長がそ

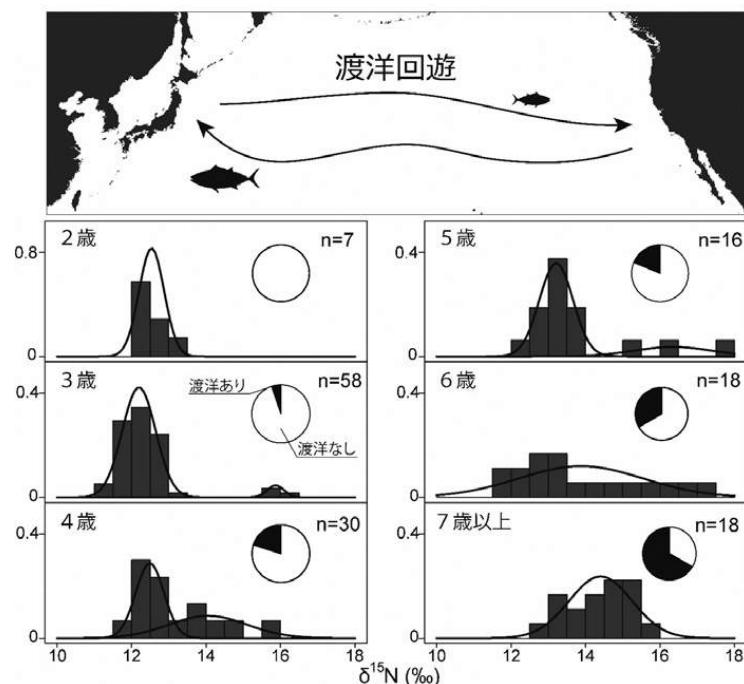


図6. クロマグロの渡洋回遊のイメージ（上）と、日本海で採集されたクロマグロの筋肉中の窒素安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）による年齢別の渡洋個体割合の推定結果（下）。 $\delta^{15}\text{N}$ が高い値を示す個体が渡洋ありと推定される

の後の稚魚期の生残に大きく関わっていることが示唆されました (Watai *et al.* 2017)。また、0歳魚の仔魚期と稚魚期における成長を生育海域間で比較したところ、仔魚期では日本海の成長の年変動が南西諸島に比べて激しい一方、標準体長約15cm以上の稚魚の段階では、日本海側の成長が太平洋側よりも良いことが分かりました (Watai *et al.* 2018)。

生残や成長の過程では、餌の質や量が重要となる可能性があります。高知沖で採集される尾叉長15~25cmの0歳魚の胃内容物調査からは、黒潮 (図5) の流路が室戸岬 (図5) に近い年ほど、餌となるカタクチイワシなどの小魚とクロマグロの生息域が重なるため、多くの餌を食べ、より太っている個体が多いことが分かりました (Hiraoka *et al.* 2019)。ただし、この研究で調査した時点の餌環境は体長の成長そのものとは関係がなく、成長には生息域の水温が影響することが分かりました。さらに幅広くデータを解析し、0歳魚の生息環境と成長・生残過程の関係について明らかにしていきたいと考えています。

おわりに

以上のようにくろまぐろ生物グループでは様々な側面からクロマグロの生態を研究しています。漁獲物を用いたこれらの研究は漁業者、市場関係者、小売業者などの皆さんをはじめ、様々な方々のご協力の上に成り立っています。この場を借りて改めて御礼申し上げます。今後もより良い成果が出せるよう努力していく所存です。(本研究は水産庁国際資源調査・評価推進事業の一環として行われています。)

引用文献

Ashida, H., Suzuki, N., Tanabe, T., Suzuki, N. and Aonuma, Y. 2015. Reproductive condition, batch fecundity, and spawning fraction of large Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* landed at Ishigaki Island, Okinawa, Japan. *Environ. Biol. Fish.* 98 : 1173-1183.

Fujioka, K., Fukuda, H., Tei, Y., Okamoto, S., Kiyofuji, H., Furukawa, S., Takagi, J., Estess, S., Farwell, C. J., Fuller, D. W., Suzuki, N., Ohshimo, S. and Kitagawa, T. 2018a. Spatial and temporal

variability in the trans-Pacific migration of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) revealed by archival tags. *Prog. Oceanogr.* 162:52-65.

- Fujioka, K., Fukuda, H., Furukawa, S., Tei, Y., Okamoto, S. and Ohshimo, S. 2018b. Habitat use and movement patterns of small (age-0) juvenile Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) relative to the Kuroshio. *Fish. Oceanogr.* 27:185-198.
- Hiraoka, Y., Fujioka, K., Fukuda, H., Watai, M. and Ohshimo, S. 2019. Inter-annual variation of the diet shifts and their effects on the fatness and growth of age-0 Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) off the southwestern Pacific coast of Japan. *Fish. Oceanogr.* doi:10.1111/fog12421
- Ishihara, T., Abe, O., Shimose, T. and Takeuchi, Y. 2017. Use of post-bomb radiocarbon dating to validate estimated ages of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, of the North Pacific Ocean. *Fish. Res.* 189:35-41.
- Ohshimo, S., Sato, T., Okochi, Y., Ishihara, Y., Tawa, A., Kawazu, M., Hiraoka, Y., Ashida, H. and Suzuki, N. 2018a. Long-term change in reproductive condition and evaluation of maternal effects in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in the Sea of Japan. *Fish. Res.* 204 : 390-401.
- Ohshimo, S., Sato, T., Okochi, Y., Tanaka, S., Ishihara, T., Ashida, H. and Suzuki, N. 2018b. Evidence of spawning among Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in the Kuroshio and Kuroshio-Oyashio transition area. *Aquat. Living Resour.* 31 : 33.
- Okochi, Y., Abe, O., Tanaka, S., Ishihara, Y. and Shimizu, A. 2016. Reproductive biology of female Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in the Sea of Japan. *Fish. Res.* 174 : 30-39.
- Shimose, T., Tanabe, T., Chen, K. S. and Hsu, C. C. 2009. Age determination and growth of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, off Japan and

- Taiwan. Fish. Res. 100 : 134-139.
- Shimose, T., Aonuma, Y., Tanabe, T., Suzuki, N. and Kanaiwa, M. 2018. Solar and lunar influences on the spawning activity of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in the south-western North Pacific spawning ground. Fish. Oceanogr. 27 : 76-84.
- Tawa, A., Ishihara, T., Uematsu, Y., Ono, T. and Ohshimo, S. 2017. Evidence of westward transoceanic migration of Pacific bluefin tuna in the Sea of Japan based on stable isotope analysis. Mar. Biol. 164 : 94.
- Uematsu, Y., Ishihara, T., Hiraoka, Y., Shimose, T. and Ohshimo, S. 2018. Natal origin identification of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) by vertebral first annulus. Fish. Res. 199 : 26-31.
- Watai, M., Ishihara, T., Abe, O., Ohshimo, S., Strussmann, C. A. 2017. Evaluation of growth-dependent survival during early stages of Pacific bluefin tuna using otolith microstructure analysis. Mar. Freshw. Res. 68 : 2008-2017.
- Watai, M., Hiraoka, Y., Ishihara, T., Yamasaki, I., Ota, T., Ohshimo, S., Strüssmann, C. A. 2018. Comparative analysis of the early growth history of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* from different spawning grounds. Mar. Ecol. Prog. Ser. 607 : 207-220.