

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05739

研究課題名（和文）食性転換に着目したマグロ族仔稚魚の生残プロセスの解明

研究課題名（英文）Elucidation of survival process in tuna larvae focusing on dietary conversion

研究代表者

田和 篤史（Tawa, Atsushi）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所（横浜）・主任研究員

研究者番号：80781864

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は南西諸島海域で採集されたキハダとクロマグロ仔稚魚の食性の切り替わりのタイミングを明らかにするために、餌環境としての仔稚魚群集解析、筋肉の窒素安定同位体比分析、胃内容物の顕微鏡観察やメタバーコーディング解析を行った。キハダとクロマグロの両種で、体長6-8mmの間で橈脚類等の甲殻類食から魚食へと変化していることが明らかになった。またクロマグロよりもキハダの方が魚食を開始するタイミングがわずかに早かった。両種の稚魚は、周囲に存在する仔稚魚を日和見的に捕食していた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

キハダおよびクロマグロは我が国及び国際資源としても重要な魚種であり、今後も持続的に利用していくために、毎年漁業に加入してくる魚の量（加入量）をできるだけ正確に把握することが重要である。加入量の変動を把握するためには、生まれてから加入するまでの初期生残プロセスを解明することが課題であるが、本研究の成果はそれらを解明するための基礎的かつ重要な知見であることから、社会的意義は大きい。また、本研究は外洋生態系における最高次捕食者であるキハダとクロマグロの初期生態の一環を明らかにしており、その成果は学術的にも重要な意義を持つと言える。

研究成果の概要（英文）：In order to clarify the timing of the switch in the feeding habits of yellowfin tuna and Pacific bluefin tuna larvae and early juvenile collected in the waters of the Nansei Islands, we conducted a survey of the larval community as a feeding environment, an analysis of nitrogen stable isotope in the muscles, a microscopic observation and a metabarcoding analysis of the gastric contents in the larvae and juvenile. It has been revealed that both yellowfin tuna and Pacific bluefin tuna change feeding habit from crustaceans such as copepods and cladocerans to fish larvae during a period of 6-8 mm in body length. Furthermore, yellowfin tuna larvae started eating fish larvae slightly earlier than Pacific bluefin tuna larvae. Juvenile fish of both species opportunistically preyed on the larvae that existed around them.

研究分野：魚類初期生態

キーワード：食性の切り替わり 安定同位体分析 胃内容物 メタバーコーディング解析 クロマグロ キハダ マグロ族 初期生残

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

マグロ族(tribe)魚類は、クロマグロやキハダ、メバチ、カツオなど、そのほとんどが我が国だけでなく、国際資源としても重要な魚種である。過去 40 年間で、これらマグロ族魚類の漁獲量は 2 倍以上に増加している一方で、乱獲などによりその資源状況は悪化する傾向にある。これらマグロ族魚類を今後も持続的に利用していくためには、毎年漁業に加入してくる魚の量(加入量)をできるだけ正確に把握し、適切な資源管理を行うことが重要である。この加入量の変動を把握するためには、生まれてから加入するまでの初期生残プロセスを解明することが課題であるが、現状ではマグロ族魚類の中でそのプロセスが明らかになっている種はいない。

マグロ族魚類では体長約 10 mm までが仔魚期で、それ以降は鱭や他の器官などが発達した稚魚期となる。研究代表者はマグロ族仔魚の成長や栄養状態および生残に有利な環境要因を明らかにし、生活史のごく初期の仔魚期に成長の良い個体のみが選択的に生き残ることを示した(Tanaka et al. 2006, 2008, Tawa et al. 2020)。稚魚期における成長と生残の関係は未だ解明されていないが、研究代表者はクロマグロ仔稚魚の飼育実験によって動物プランクトン食から魚食への早期の切り替わりが著しく成長を促進させることを発見した(Tanaka et al. 2014a,b)。つまり、仔稚魚期の食性の切り替わりが“いつ、どこで、どのように起こるか”が初期生残、ひいては加入量水準を決定する要因の一つになっていると考えられる。しかしながら自然界でのマグロ族仔稚魚の食性の切り替わりのタイミングはこれまで明らかになっていない。

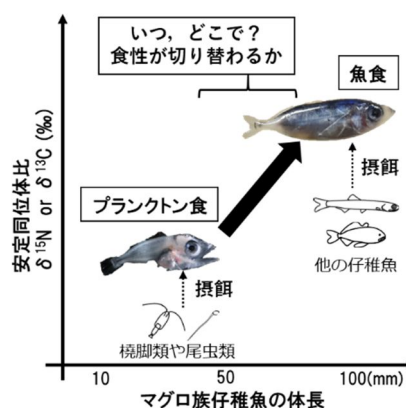


図 1 安定同位体比によるマグロ族仔稚魚の食性の切り替わりの概念図。太矢印はマグロ族仔稚魚が魚食に切り替わり、同位体比が一段階大きく変動することを示す。破線矢印は捕食被食の関係を示す。

## 2. 研究の目的

一般的に食性調査には、胃内容物の直接観察が有効であるが、この手法だけでは直前に捕食した餌という断片的な情報しか得られない。また、マグロ族稚魚は逃避行動によって活発に摂餌する日中に採集することが困難であり、夜間に採集した稚魚では胃内容物は消化され、正確な食性を調べることができない。近年食物網解析に利用されている炭素や窒素の安定同位体比は、同位体効果により食物網の低次から高次栄養段階に従って、その値が高くなる。このため、体を構成する栄養源の構成要素が橈脚類や尾虫類といった低次の動物プランクトンから、魚や他の動物といった高次の食物へと変化すれば、捕食者自体の同位体比も高くなるため、その変化を検出することができる(図 1)。さらに、近年は極微量の組織からでも同位体比分析が可能になった。そこで本研究では産卵場海域(南西諸島海域)におけるマグロ族仔稚魚の食性の切り替わりのタイミングを明らかにすることを目的とし、窒素安定同位体比分析を主として、顕微鏡観察やメタバーコーディング解析も踏まえてマグロ族仔稚魚の成長に伴った食物源を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 魚食転換期の餌料環境としての仔稚魚群集構造

南西諸島海域で採集されるマグロ族を含む仔稚魚を形態及び DNA バーコーディングにより種同定し、マグロ族仔稚魚が魚食へと変化する際に、周囲の環境に餌として利用される他の仔稚魚の

存在やその生物量（群集構造）を明らかにする。2018年6月19-29日に南西諸島海域の29定点において、リングネット（網口直径2m, 目合0.334mm）の表層曳網で採集された仔稚魚を分析した。

#### (2) 胃内容物の顕微鏡観察

マグロ族魚類（キハダとクロマグロを対象）の魚食が始まるタイミングを明らかにするために、胃内容物の直接観察を行った。標本には2017-2022年の5-6月に南西諸島海域で採集されたキハダ72個体（体長3.4-50.1mm）とクロマグロ253個体（3.1-111.5mm）の仔稚魚について、個体ごとに胃内容物を摘出し、実体顕微鏡下で観察した。胃内容物は、甲殻類（カイアシ類・枝角類等）、魚類・イカ類（魚の骨片、眼球、耳石等）、ヤムシ・繊毛中類、巻貝類、その他（不明な物質・卵等）の5つのカテゴリーに分類した。

#### (3) 胃内容物のメタバーコーディング解析

魚食が始まったマグロ族魚類がどのような魚種を食べているかを明らかにするために、胃内容物のメタバーコーディング解析を行った。2021年6月14日に南西諸島海域の同定点で、LCネット（網口10×10m, 目合5mm）によって採集されたクロマグロ16個体（21.4-30.1mm）とキハダ稚魚4個体（21.4-29.9mm）を分析した。これら20個体の胃を摘出し、魚類を対象としたプライマーMiFish（Miya et al., 2015）を使用してメタバーコーディング解析を行った。得られたすべての配列をOperational taxonomic unit（OUT）にクラスタリングして、各OUTを既存のゲノムデータベース（DDBJ/GeneBank）により同定した。マグロ属及びマグロ族として同定された配列は、捕食者であるキハダ・クロマグロの配列と区別することが困難であるため、これらの配列は解析から取り除いた。

#### (4) 筋肉の窒素安定同位体比分析

マグロ族仔稚魚の成長に伴う食物源の切り替わりのタイミングを明らかにするために、筋肉の窒素安定同位体比分析を行った。2018-2022年の5-6月に南西諸島海域で、リングネットおよびLCネットで採集されたキハダ498個体（4.4-209.1mm）、クロマグロ571個体（4.8-172.3mm）を用いて、個体ごとに筋肉の窒素安定同位体比（ $^{15}\text{N}$ ）を分析した。 $^{15}\text{N}$ と対数変換した体長データを基に区分回帰分析を行い、変曲点を求めた。

### 4. 研究成果

#### (1) 魚食転換期の餌料環境としての仔稚魚群集構造

全部で10,283個体の仔稚魚が出現し、その内9,950個体が同定された。全299タクサ、18目84科83属60種239タイプが認められ、平均密度は218.7匹/1000m<sup>3</sup>であった。出現割合(%A)の高かった上位5種は、クサヤモロ(31.2%)、キハダ(5.8%)、ソウダガツオ属 spp.(4.9%)、オアカムロ(4.4%)、フグ科 spp.(3.4%)で、その他マグロ族ではカツオ(2.0%)が10位、クロマグロ(1.5%)が12位であった。また、出現頻度(F)の上位5種は、キハダ(0.86)、サヨリ科 spp.(0.79)、ソウダガツオ属 spp.(0.79)、フグ科 spp.(0.64)、シイラ(0.61)であり、その他マグロ族では、カツオ(0.57)が6位、クロマグロ(0.5)が8位であった。キハダとソウダガツオ属 spp.、フグ科 spp.は、%AとFの両方で上位であり、クサヤモロは%Aが他種に比べて明らかに高く、Fでも8位であった。以上の結果から、南西諸島海域の夏季表層域では、キハダ、ソウダガツオ属 spp.、フグ科 spp.、クサヤモロが特徴的な種として出現することが明らかになった。

(2) マグロ稚魚の成長に伴う食物源の切り替わりのタイミング

キハダとクロマグロ仔稚魚の窒素安定同位体比は、黒潮の流軸上(流速が2 knot 以上)で採集された個体と、その外側で採集された個体間で、大きく  $^{15}\text{N}$  の値が異なった。そのため、黒潮流軸上と外側でそれぞれ分けて区分回帰分析を行った。クロマグロの区分回帰分析で得られた変曲点は、黒潮流軸上

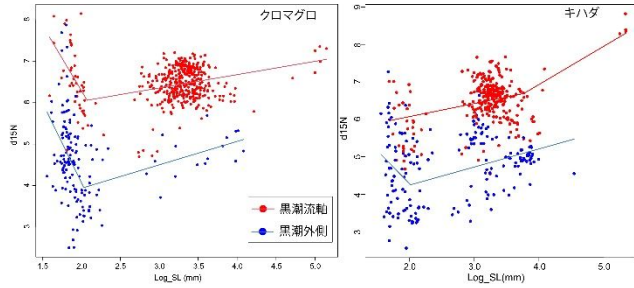


図 2 南西諸島海域で採集されたクロマグロとキハダ仔稚魚の成長に伴う窒素安定同位体比の変化

で 2.073(=体長 7.95mm), 黒潮外側 2.031(=7.62mm) であり, 同様にキハダではそれぞれ 3.765(=43.16mm), 2.016(=7.51mm) だった。黒潮流軸上のキハダを除くと, 体長 7.5-8.0mm の間に  $^{15}\text{N}$  値の変化するタイミングが認められたことから, 両種ともにこの体長ではすでに餌の切り替わりが起きていることが示唆された(図 2)。キハダの黒潮流軸上でのみ, 40mm を超えた体サイズで変曲点がみとめられたが, これは体長 40mm 前後でさらに栄養段階の高い餌に変化したことを示唆している。

胃内容物の顕微鏡観察では, クロマグロの魚食は体長 7-8mm, キハダの魚食は 6-7mm で初めて観察されており, 少し早い段階でキハダの魚食が始まっていた(図 3)。この結果は窒素安定同位体比の結果ともよく一致していることから, クロマグロとキハダが体長 6-8mm ですでに魚食に転換していることを示唆している。また, 両種とも 15mm 以上の稚魚期では, ほとんどの個体で胃内容物から魚食が確認されたことからこの体長以上では魚食が主となっていると考えられる。

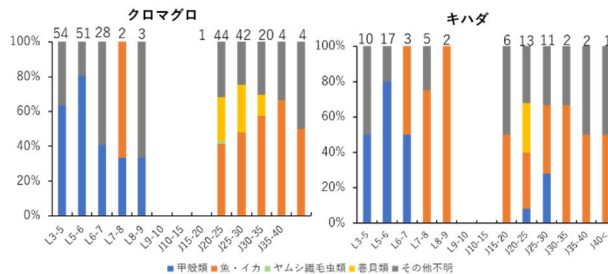


図 3 南西諸島海域で採集されたクロマグロとキハダ仔稚魚の胃内容物組成

稚魚期(20-30mmSL)の胃内容物のメタバーコーディング解析では, 16 科 28 種の魚類が検出された(図 4)。出現頻度では, クロマグロ(捕食者)で, マルソウダ, オアカムロ, クサヤモロ, ハチビキが頻出し, キハダ(捕食者)で, マルソウダ, ハチビキ, クサヤモロが頻出した。仔稚魚群集構造解析の結果から, 仔稚魚の出現割合や出現頻度が高いマルソウダ(ソウダガツオ属), クサヤモロなどがこの解析でも検出され, 出現頻度の低いハチビキなども検出されることは, クロマグロとキハダが日和見的な魚類の摂餌をしていることを示唆している。

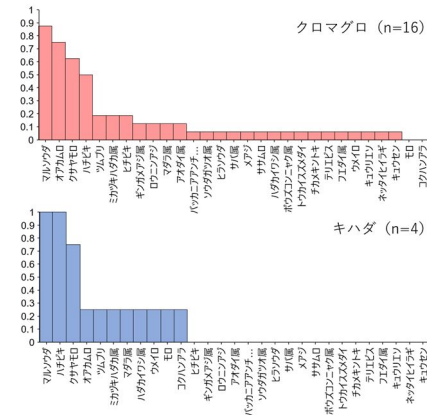


図 4 クロマグロとキハダ稚魚のメタバーコーディング解析による胃内容物(魚種)の出現頻度

(3)まとめ

本研究によって, 南西諸島海域におけるキハダとクロマグロ仔稚魚期の食性の切り替わりのタイミング及びその食性が明らかになった。両種の魚食の開始が仔魚期(6-8mm)の比較的早い段階で始まっていることは, 自然界において発育段階のこのタイミングが 2 種の生残を決定する最も重要期間であることを意味している。また, 窒素同位体比と胃内容物分析の両方の結果が

ら、クロマグロよりもキハダの方が魚食への転換が早いタイミングで起こっていることが示唆された。2種の仔稚魚は南西諸島海域において同所的に分布していることから(Tawa et al 2020, Tanabe et al 2022), 食性の切り替わりのタイミングの違いは、2種間の仔稚魚期の競合や初期生残に影響している可能性が考えられる。また魚食へ転換後の餌となる仔稚魚は、周囲に生息する仔稚魚を日和見的に捕食していることが明らかになった。本研究の成果は南西諸島海域に出現する主要なマグロ族魚類(キハダとクロマグロ)の初期生残プロセスを明らかにするための基礎的かつ重要な知見である。これらの成果の一部はすでに学会等で報告しているが、今後論文として報告していく予定である。

#### 引用文献

- Tanaka Y, Satoh K, Iwahashi M, Yamada H (2006) Marine Ecology Progress Series 319: 225-235.
- Tanaka Y, Satoh K, Yamada H, Takebe T, Nikaido H, Shiozawa S. (2008) Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 354: 56-64.
- Tanaka Y, Minami H, Ishihi Y, Kumon K, Higuchi K, Eba T, Nishi A, Nikaido H, Shiozawa S. (2014a) Aquaculture Research 45: 537-545.
- Tanaka Y, Minami H, Ishihi Y, Kumon K, Higuchi K, Eba T, Nishi A, Nikaido H, Shiozawa S, (2014b) Fisheries Science 80: 1205-1214.
- Tanabe, T., Miyazaki, Y., Nohara, K., Suzuki, N., & Yoshimatsu, T. (2022). First report on the use of the larval catcher type trawl net for the efficient sampling of juveniles of two tuna species (*Thunnus orientalis* and *T. albacares*) in the offshore waters of the Nansei Islands, Japan. Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ, 56(2), 199-209.
- Tawa A, Kodama T, Sakuma K, Ishihara T, Ohshimo S (2020) Marine Ecology Progress Series 636: 123-137
- Miya, M., Sato, Y., Fukunaga, T., Sado, T., Poulsen, J. Y., Sato, K., ... & Iwasaki, W. (2015). MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. Royal Society open science, 2(7), 150088.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yosuke TANAKA, Atsushi TAWA, Taiki ISHIHARA, Yosuke MOCHIZUKI, Hiroshi HASHIMOTO and Kazunori KUMON	4. 巻 -
2. 論文標題 Prey availability for larval and juvenile Pacific bluefin tuna <i>Thunnus orientalis</i> estimated from the mouth gape size in relation to their piscivory	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japan Agricultural Research Quarterly	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田和篤史・田中寛繁・児玉武稔・岡崎誠・石原大樹・西本 篤史・武島弘彦・野原健司
2. 発表標題 常磐沖 における クロマグロ 稚魚の分布と生物特性
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田和篤史・中村康平・武島弘彦・野原健司
2. 発表標題 クロマグロとキハダの初期稚魚期における形態形質の違い
3. 学会等名 稚魚研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中庸介・石原大樹・田和 篤史・田中寛繁・佐藤力・児玉武稔・武島弘彦・野原健司
2. 発表標題 南西諸島周辺海域におけるクロマグロ稚魚の分布、日齢および成長
3. 学会等名 稚魚研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	田中 庸介  (Tanaka Yosuke)  (70454626)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横 浜)・グループ長   (82708)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------