

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K07927

研究課題名(和文) 仔稚魚の摂餌情報に基づいた成長評価手法の確立

研究課題名(英文) Evaluation approach for growth based on trophic information of larval and juvenile fish

研究代表者

岡崎 雄二 (Okazaki, Yuji)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(塩釜)・主任研究員

研究者番号：90392901

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、イワシ類仔稚魚3種(マイワシ、カタクチイワシ、ウルメイワシ)の成長速度変動に及ぼす栄養生態の影響を評価するために、仔稚魚の消化管内容物と窒素・炭素安定同位体比および動物プランクトンの現存量と窒素・炭素安定同位体比を用いて検討を行った。イワシ類仔稚魚3種の食性や餌資源に大きな違いは認められないことから、3種の食性の差異は小さいことが示唆された。また、仔稚魚の成長速度は環境中の餌料プランクトン密度の影響は認められなかったが、食物網構造の複雑さや餌の多様性との間に弱い負の相関関係が認められたため、食物網構造や餌の多様性がイワシ類仔稚魚の成長に影響を及ぼす可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はイワシ類仔稚魚の成長速度変動を食物網構造や餌の多様性の観点から明らかにした。イワシ類仔稚魚の成長変動は、資源の加入量に直接的に影響を及ぼすため、水産資源学分野の課題である資源量変動機構の解明に資するものである。イワシ類を含む小型浮魚類は魚種交替として知られる大規模な資源変動を引き起こし、その変動には気候変動の影響が指摘されている。本研究で提示された食物網構造と仔稚魚の成長変動の関係性の新たな知見は、気候変動に駆動される生態系変動が魚類の資源量変動に及ぼす影響を理解する上で貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：This study evaluated the effect of trophic ecology on the growth fluctuation of larvae and juvenile of three clupeiform species (sardine, anchovy, and round herring) using the gut contents and nitrogen/carbon stable isotope of fish and abundance and nitrogen/carbon stable isotope of zooplankton. There was no significant difference in the dietary habits and prey resources of the three clupeiform species, suggesting that the differences in the dietary habits of the three species were small. In addition, the growth rate of larvae and juvenile were not affected by prey plankton density in the environment, but there was a weak negative correlation with the complexity of the food web structure and prey plankton diversity. It was suggested that the food web structure and prey diversity may affect the growth fluctuation of larvae and juvenile of three clupeiform species.

研究分野：水産海洋学

キーワード：仔稚魚 食性 窒素・炭素安定同位体比 成長

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 海産魚類の資源量の増減は加入量の変動によって引き起こされることが知られており、加入量変動要因の解明が資源量変動機構解明の鍵を握るものと考えられている。魚類の加入量は発育初期の生残に影響を受ける事が知られており、特に仔稚魚期の生残過程に関してはこれまでに多くの研究がなされてきた。これらの研究により仔稚魚の生き残りの成否はその成長速度の変動が大きく影響することが分かってきた。仔稚魚の成長変動は仔稚魚が遭遇する水温や餌料環境に大きく依存すると考えられている。通常、仔稚魚の成長指標は耳石の日輪数と日輪間隔の測定で得られる採集直近の平均成長速度で表されるが、この成長速度は輪紋形成までに経験した過去数日程度の時間累積値と考えられており、仔稚魚の成長速度と環境要因を比較する際は両者の持つ時間変動性に注意を払う必要がある。水温の場合、仔稚魚が経験する数日間程度の水温の時間変化は比較的小さく、水温は成長指標となる耳石の日輪形成と同程度の時間変動性を持つことから、成長速度と水温の関係は検出しやすいと考えられる。一方、餌料環境の影響については、餌生物の不均一分布や様々な生物プロセスに起因する時空間的な変動性により、仔稚魚が経験した餌料環境の再現や指標化は困難であるため、これまで現場観測において成長と餌料環境の関係を明瞭に示す研究は非常に少なかった。

(2) 以上より現場観測において仔稚魚の成長と餌料環境の直接的な比較はあまり意味をなさないことから、仔稚魚の成長に対する餌料環境の影響評価には新たなアプローチが必要となっていた。そこで申請者は、時間変動性の違う2つの摂餌指標(窒素・炭素安定同位体比と消化管内容物)に注目して、餌料環境指標を仔稚魚自身から引き出す事を考えた。窒素・炭素安定同位体比の変化は採集までの累積的な食性を反映するため摂餌履歴を表している。一方、耳石から得られる成長履歴は数日間の累積的な変化の反映とされており、安定同位体比から予想される摂餌履歴との間に関係性が考えられるが、このような点に注目した研究はこれまで行われていなかった。また、消化管内容物は採集直近の食性を反映しており、仔稚魚の成長変動がその摂餌状態に影響を及ぼすと考えられるがそのような発想で行われた研究は少なかった。

2. 研究の目的

本研究では、これまで現場海域において直接的な把握が難しかった仔稚魚の成長と餌料環境の関係性について、餌料環境の指標として仔稚魚自身から得られる摂餌情報(炭素・窒素安定同位体比分析と消化管内容物分析)を用いて仔稚魚の成長変動への影響を明らかにする。これにより、成長指標と餌料環境指標がもつ時間変動性のギャップを解消して、現場海域における仔稚魚の成長変動に対する餌料環境の影響評価を行い、さらに餌料環境や食物連鎖系の違いが仔稚魚の成長変動に与える影響を解明する事で、生態系変動が魚類の初期生残に及ぼす影響を検討する事を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 2008年~2011年の1月から5月にかけて毎月土佐湾のシラスパッチ網漁で採集されたマイワシ(*Sardinops melanostictus*)、カタクチイワシ(*Engraulis japonicus*)及びウルメイワシ(*Etrumeus micropus*)の仔稚魚凍結標本を用いて仔稚魚の耳石解析、消化管内容物分析および窒素・炭素安定同位体比分析を個体毎に行った。また、仔稚魚の採集と同時期に得られたホルマリン固定動物プランクトン試料の組成や個体数密度を明らかにすると同時に、冷凍動物プランクトン試料を用いて主要餌料分類群の窒素・炭素安定同位体比分析を実施した。動物プランクトンの安定同位体比試料は、対象プランクトンのサイズに応じて分類群毎に数十個体から数百個体を集めて1試料とした。

(2) 耳石による成長解析は種間の比較を可能にするために魚種毎に各日齢の輪紋幅の平均値と標準偏差により標準化を行った後に、採集直近5日間の輪紋幅の平均値を求めこれを成長速度の指標とした。なお、成長速度は表面水温との間に正の相関関係が認められたので、水温の影響を除いた残差値を各摂餌パラメーターとの比較に用いた。

(3) 消化管内容物分析は出現したプランクトンについて可能な限り種の同定を行って計数後、消化管内容物の炭素換算のために消化管内容物の長径・短径を測定した。炭素換算した総消化管内容量は仔稚魚の体長と正の相関関係が認められたので、体長の影響を取り除くために対数変換した残差値を摂餌量の指標とした。

(4) 仔稚魚および動物プランクトンの炭素・窒素安定同位体比のデータは、統計ソフトRの安定同位体比分析パッケージSIARおよびSIBERを用いて解析を行った。仔稚魚及び動物プランクトンの同位体比から混合モデルを用いて計算することにより仔稚魚が過去に利用していた餌資源の寄与率を推定した。さらに窒素・炭素安定同位体比に基づいた食物網の長さや食物網の多様性を把握して、食物網構造の特徴を抽出した。これらの解析を採集日毎に行う事により、様々な

餌料環境下における仔稚魚の摂餌履歴や食物構造を明らかにした。

4. 研究成果

(1) 1月から5月にかけての計10採集日で得られた標本を用いて、マイワシ、カタクチイワシ及びウルメイワシの仔稚魚の窒素・炭素安定同位体比分析、食性分析および耳石分析を行った。イワシ類3種の仔稚魚の安定同位体比分析の結果より、いずれの種類も窒素安定同位体比(15N/14N)は1月から2月にかけて低く、3月以降高くなる傾向にあった(図1)。また、炭素同位体比(13C/12C)についても種間で多少傾向は異なるが、窒素同位体比と同様の挙動を示した(図1)。表面水温と安定同位体比の相関解析より両安定同位体比は表面水温と正の相関関係にあったが、窒素安定同位体比の方がより相関係数が高い傾向にあった。この様なイワシ類仔稚魚の安定同位体比の変化は栄養塩や基礎生産者の季節動態を反映していると考えられた。

主要餌料生物となるカイアシ類、枝角類、尾虫類などの窒素・炭素安定同位体比分析の結果より、これら動物プランクトンの窒素・炭素安定同位体比はイワシ類仔稚魚3種と同様に1月から2月にかけて低く、3月以降に高くなる傾向にあった。また各動物プランクトン分類群の窒素・炭素安定同位体比に違いはあるが、季節的な変動パターンはほぼ同期していた。さらにこれら動物プランクトンとイワシ類仔稚魚の窒素・炭素安定同位体比より、各採集日における仔稚魚の餌資源を混合モデルを用いて推定した。その結果、イワシ類仔稚魚は、主にカラヌス目カイアシ類を餌資源としていたが、採集日によってはポエキロストム目カイアシ類や尾虫類を主な餌資源にしていた。一方、同時に採集されたイワシ類3種の餌資源に大きな違いは認められないことから、3種の餌資源の差異は小さいことが示唆された。

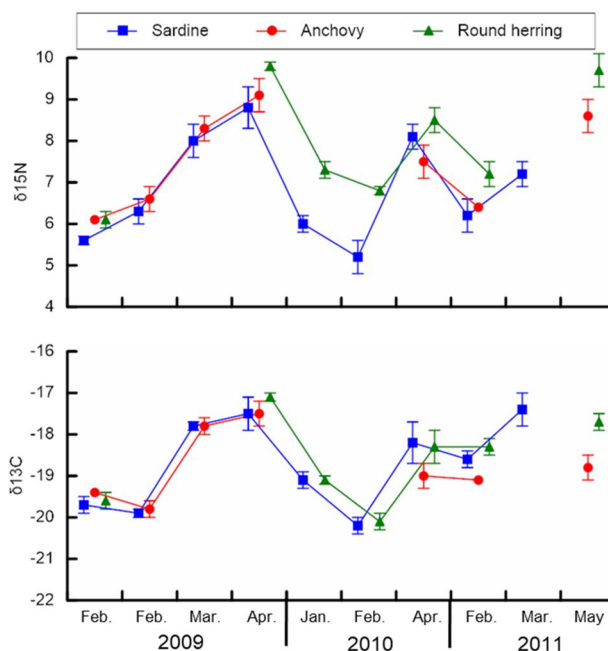


図1 イワシ類3種の窒素・炭素安定同位体比の変化

(2) 消化管内容物の分析結果よりイワシ類3種の仔稚魚は *Paracalanus* 属などのカラヌス目カイアシ類を主に摂餌しており、採集日によっては *Oncaea* 属や *Corycaeus* 属などのポエキロストム目カイアシ類を多く摂餌していた(図2)。これらの結果は安定同位体比から得られた餌資源推定の結果とも整合的であり、小型カイアシ類がイワシ類仔稚魚の主な餌生物と考えられた。安定同位体比から推定される餌資源は過去の累積的な摂餌状態、また消化管内容物は採集直近の摂餌状態を表すことから、両者の類似性は過去から採集直近まで同じような餌生物を利用していたことが推測された。また仔稚魚の成長速度が摂餌量に及ぼす影響を検討したところ明瞭な相関関係は見いだせなかった。一方環境中の餌料プランクトンの個体数密度は、調査期間通して *Paracalanus* 属が最も高く、次に *Oithona* 属カイアシ類が高くなった。*Oithona* 属はイワシ類仔稚魚の消化管内容物からはほとんど出現していないことから、イワシ類仔稚魚は選択的な摂餌を行っていると考えられた。

(3) イワシ類3種の日齢毎の耳石輪紋幅の平均値を算出して、各日齢の輪紋幅のラグ相関を魚種別に求めた。その結果ウルメイワシの自己相関係数はマイワシ・カタクチイワシより高い値が長い期間続く傾向にあった。高い自己相関の継続は成長の良否を長く引きずる事を意味しており、ウルメイワシは他2種と比較して個体間の成長差が拡大しやすいと考えられた。イワシ類3種の耳石輪紋幅の自己相関性の差異は、異なる分類群の種(例えば冷水性種)と比較すると僅かな違いではあるが、このような種間での成長応答性の違いはイワシ類資源のダイナミクスと関連している可能性があり興味深い。即ち、類似した摂餌生態や栄養段階を持つにも関わらず、大きな資源変動をするマイワシ・カタクチイワシ資源と安定的であるが資源量は前2種に比べて

小さいウルメイワシ資源の生物特性の違いを示している可能性が示唆された。

(4) 動物プランクトンとイワシ類仔稚魚の窒素・炭素安定同位体比を用いて各種食物網構造の指標を算出した。動物プランクトンと仔稚魚の窒素・炭素安定同位体比は季節的な変動パターンを示していたが、食物網構造の各種指標に顕著な季節性は無かった。さらにこの食物網構造の指標と成長速度との関係を調べたところ、成長速度はNR (15Nの範囲)とCD (CNプロットの中心からの平均距離)と負の相関関係にあることが分かった。NRは食物連鎖の長さ、CDは食物網構造の多様性を示すことから、食物連鎖長が短く、食物網構造の多様性が低い食物網において仔稚魚の成長が良くなる傾向が示唆された。また成長速度は、環境中の動物プランクトン(カイアシ類と尾虫類)の密度との間に相関性は認められないが、多様性指数(H')との間に弱い負の相関関係があるため、食物網構造や餌の多様性がイワシ類仔稚魚の成長に影響を及ぼす可能性が示唆された。

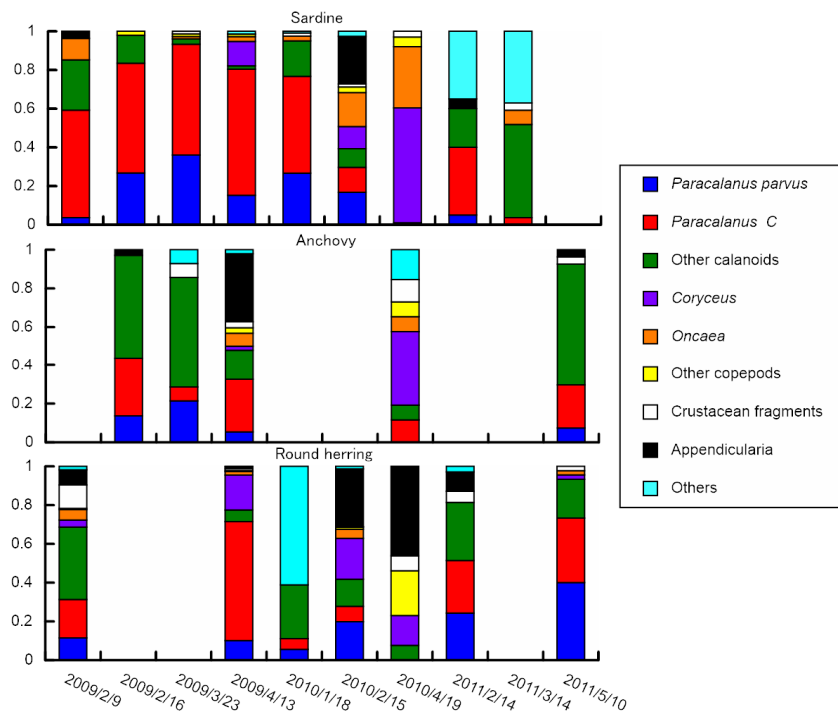


図2 イワシ類3種の消化管内容物組成

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 0件）

1. 著者名 Okazaki Y, Tadokoro K, Kubota H, Kamimura Y, Hidaka K	4. 巻 630
2. 論文標題 Dietary overlap and optimal prey environments of larval and juvenile sardine and anchovy in the mixed water region of the western North Pacific	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Marine Ecology Progress Series	6. 最初と最後の頁 149 ~ 160
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3354/meps13124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Okazaki, Y., Miyamoto, H., Suzuki, K., Saito, H., Hidaka, K., and Ichikawa, T.
2. 発表標題 The feeding habits and trophodynamics of larval and juvenile fishes in the Kuroshio off Japan
3. 学会等名 43th Larval Fish Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuji Okazaki, Hiroomi Miyamoto, Koji Suzuki, Hiroaki Saito, Kiyotaka Hidaka and Tadafumi Ichikawa
2. 発表標題 Feeding habits of multiple larval and juvenile fish taxa collected in the Kuroshio off Japan
3. 学会等名 2018 PICES Annual meeting（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡崎雄二, 宮本洋臣, 福田秀樹, 齊藤宏明
2. 発表標題 秋季の黒潮周辺海域における 仔稚魚を支える食物網構造
3. 学会等名 2018年度水産海洋学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡崎雄二、田所和明、上村泰洋、日高清隆
2. 発表標題 混合水域における近年のマイワシ稚魚の食性
3. 学会等名 水産海洋学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuji Okazaki, Hiroomi Miyamoto, Kiyotaka Hidaka and Hideaki Fukuda
2. 発表標題 Trophodynamics of fish larvae and juveniles in the Kuroshio region
3. 学会等名 2018 Ocean Science Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018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

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