

令和 6 年 5 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05723

研究課題名(和文) 野外採集マダラ仔稚魚を用いた母親効果の検出と資源管理への応用

研究課題名(英文) Detection of maternal effects using field-collected Pacific cod larvae and juveniles and its application to resource management

研究代表者

高津 哲也 (TAKATSU, Tetsuya)

北海道大学・水産科学研究院・教授

研究者番号：50241378

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：マダラの仔稚魚から「母親効果」を検出するとともに、初期生残にかかわる諸仮説を同時検証することで、資源量変動要因の解明を試みた。人工授精による飼育実験の結果、孵化時耳石径から野外採集個体の孵化時体長を推定できるようになった。陸奥湾で採集された仔稚魚の生残率は、2月中旬から3月上旬の水温が低いほど高く、3月下旬から5月下旬の水温が7.6℃で最も高かった。5月下旬から6月の稚魚は、相対的に大型の餌との遭遇が重要で、小型の餌は捕食しても栄養状態の向上には貢献しないと推定された。2022年には早期孵化個体の消失が観察され、仔魚の捕食者が多かった可能性が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

陸奥湾のマダラの初期生残は、各発育段階で様々な要因が影響していることが明らかとなった。しかし、雌親の年齢や体サイズ・栄養状態等の遺伝的ではない後天的な形質が、仔の生残率に影響を及ぼすと考える「母親効果」は限定的だった。そのため、マダラについては生残しやすい卵仔稚魚を産む雌親魚を重点的に残り残す資源管理はあまり期待できず、未成魚期から成魚期にかけての漁獲管理か、低資源状態での種苗放流が現実的と考えられた。今後は、近年本邦周辺海域で顕著な海洋の高水温化がマダラの初期生残におよぼす影響と、人為的漁獲強度の年変化を定量的に評価し、資源量変動予測の実現を目指す必要がある。

研究成果の概要(英文)：We attempted to elucidate the causes of stock fluctuations by detecting the "maternal effect" in Pacific cod larvae and juveniles and simultaneously examining various hypotheses related to early life survival. As a result of rearing experiments using artificial fertilization, we have been able to estimate the body length of field-collected individuals at hatching based on otolith diameter at hatching. The survival rate of larvae and juveniles collected in Mutsu Bay was higher in lower water temperature years from mid-February to early March, and was highest at 7.6°C from late March to late May. Comparison of stomach content composition of juveniles collected from late May to June between years indicated that encounters with larger-sized prey were important for improving the nutritional status of juveniles. In 2022, pelagic larvae hatched early in the spawning season were rarely survived to the juvenile stage, suggesting that there may have been many predators.

研究分野：魚類生産生態学

キーワード：母親効果 マダラ 孵化日 耳石 生残

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) マダラは我が国の産業重要種のひとつであり、2023年度をめぐり漁獲量の8割をTAC(漁獲可能量)で資源管理される魚種である。しかし、親魚が多ければ稚魚も多いといった明瞭な親子関係はないために、加入量予測は実現していない。魚類の資源量が大きく変動する要因は様々であるが、その有力な仮説として、仔稚魚期の成長率(成長速度)が高いと生残率が向上すると考える成長被食仮説がある。その高成長率の原因はこれまでに、適水温や餌密度、被食無防備度の個体差等であり、人為的にはコントロールできない要因である。また成長率の指標には、耳石日周輪の輪紋幅が用いられてきた。

(2) 一方、母親効果は広く動物でみられる現象で、雌親の年齢や体サイズ・栄養状態、子育て能力などの遺伝的ではない後天的な形質が、仔の生残率に影響を及ぼすと考える仮説である。魚類ではこれまでに、野外採集の仔稚魚から個体別に、卵質や母親の栄養状態等の属性を遡る手段はなかった。もし、母親効果による仔稚魚の成長率や生残率の向上効果を計量化できれば、生残しやすい卵仔稚魚を産む雌親魚を重点的に残り残す資源管理を行うことで、資源とその持続可能性を向上させることができると考えた。

### 2. 研究の目的

(1) 申請者らはこれまでに、マダラと同属のスケトウダラについて、成長率を意味する耳石日周輪の輪紋幅の変動を、母親効果と環境要因に区分して解析する耳石孵化チェック(輪紋径)法(Kajiwara et al., 2022)を提唱した。本研究はマダラにこの方法を適用し、母親効果による仔稚魚の成長率の向上効果の計量化を試み、生残しやすい卵仔稚魚を産む雌親魚を重点的に残り残す資源管理の提言を目指すことを目的とした。また、マダラ仔稚魚の生息密度や水温環境、餌生物密度、親魚の年齢体長組成等のパラメータも取得し、成長率と生残率の関係を検証し、従来の初期生残にかかわる諸仮説との違いの解明を目指した。

### 3. 研究の方法

(1) 2023年と2024年の1月に津軽海峡に面する定置網で漁獲されたマダラ雌親魚から採卵し、人工授精による飼育実験を行った。卵は母親ごとに孵化率、卵径、孵化仔魚の体長と孵化時の耳石径を計測し、一部の仔魚は無給餌飼育実験に供して生残日数を記録した。また雌親魚の体長体重測定と、耳石横断薄片法による年齢査定を行った。

(2) 北海道大学水産学部附属練習船うしお丸を用いて、青森県陸奥湾においてマダラ浮遊仔稚魚のプランクトンネット採集(2022~2024年の2月)と、着底稚魚の小型オッターロールネット採集(2022~2023年の5月)および海洋環境調査を実施した。また1989年から2019年の5~6月に同様の方法で採集されたマダラ稚魚も用いた。陸奥湾内の水温は、地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所が管理する、青森市沖ブイの底層水温データに提供を依頼し、使用した。

(3) 実験室ではマダラの仔魚と稚魚の同定・抽出、発育段階区分と体長計測等を行い、一部の仔稚魚は磯石耳石による日周輪解析を行い、孵化輪紋径と輪紋幅(成長率)の推定を行った。また稚魚の胃内容物を同定・計数し、分類群ごとに重量を計測した。

### 4. 研究成果

(1) 人工授精による飼育実験の結果、卵径は雌親魚の体長や体重、年齢とは有意な相関はなく(体長: $p=0.49$ 、体重: $p=0.59$ 、年齢: $p=0.24$ )孵化仔魚の飢餓耐性とも相関がなかった( $p=0.79$ )。卵径と孵化体長の間には有意な相関はなかった( $p=0.15$ )。しかし、孵化体長と孵化時耳石径の間には正の相関があったことから( $r=0.61$ ,  $p<0.01$ )飼育を行えた標本の範囲内では、母親の属性よりも、受精後の発生過程の個体差の方が胚の大型化に影響しやすいと判定した。また、この耳石径-体長の関係を利用して、野外採集した仔稚魚の孵化時体長を推定できるようになった。

(2) 陸奥湾ではマダラは12月から3月に産卵回遊し、仔魚は主に1月から3月に孵化する。海底で孵化した仔魚は浮上して浮遊生活を送り、5月下旬以降稚魚として湾内に着底し、12以上に昇温する前に湾外に移動する(高津, 1998; Takatsu et al., 2001; 2002)。1989年から2023年の35年のうち、データが存在する31年間の5~6月の稚魚の平均体重は、浮遊仔魚期にあたる2月中旬から3月上旬の青森市沖の陸奥湾底層水温が低いほど軽く( $r^2=0.18$ ,  $p=0.016$ )、冬季の低水温は仔魚の成長率低下をもたらす、稚魚を小型化させることがわかった。一方親魚の漁獲量と5月稚魚の豊度から推定した仔稚魚期を通じた生残率(InRPS)は、2月中旬から3月上旬の水温が低いほど高かったことから( $r^2=0.26$ ,  $p=0.003$ )、低水温環境は低成長率をもたらす

すが、生残率は向上させることがわかった。次に3月下旬から5月下旬の平均水温は、7.6 で最も高い生残率を示す2次回帰式の当てはまりが良かった ( $r^2=0.18$ ,  $p=0.019$ )。この7.6 は稚魚の餌である冷水性かいあし類の環境中の密度が高い水温に相当し、陸奥湾では高いプランクトン密度が加入量の増加に貢献していると判定した。

(3) 2015-2019, 2022年の5月採集された稚魚の胃内容物組成を、既往の1991, 1993, 1995, 1997年の結果(高津, 1998)とともに、計10年分の食性を比較した。年によって餌生物の分類群と餌サイズは大きく異なり、稚魚期までの累積的生残率は胃内容物中の平均体重1mg以上の大型の餌(アナジャコ・ヤドカリ・カニ類メガロパ幼生、底生ヨコエビ亜目、稚魚、*Neocalanus* 属かいあし類、等)の重量割合が高いほど高かった。また稚魚の採集時の相対肥満度は、この大型餌の割合が高いほど、0.1mg未満の小型の餌(主に小型カラヌス目と尾虫目)の重量割合が低いほど高かった。従って5月下旬以降の着底期のマダラ稚魚の栄養状態や生残率の向上には、大型の餌との遭遇が重要で、小型の餌は多く捕食しても栄養状態の向上には貢献しないと推定された。

(4) 陸奥湾で2019, 2022-2023年の5月に採集されたマダラ着底稚魚の平均体重は、2018年以前に採集された稚魚の-57~-72%を示し、小型だった。2022年2月に採集したマダラ浮遊仔魚と5月稚魚の孵化日を比較したところ、仔魚は1月下旬以降に孵化していたが、稚魚は2月中旬以降に孵化した個体しか出現せず、早期孵化個体の消失(高い死亡率)が生じていた。その結果、5月の着底稚魚は小型化したと推定した。2022年冬季の水温は平年並みであったことから、高い死亡率をひき起こすような不適な水温ではなかった。小型化の原因として、例年よりも仔魚の捕食者が多かった可能性が考えられた。

(5) 今後は、近年本邦周辺海域で顕著な海洋の高水温化(海洋熱波)が、マダラの初期生残におよぼす影響と、人為的漁獲強度の年変化を定量的に評価し、本種の資源量変動の鍵となる要因と発育段階をさらに絞り込む必要がある。

#### <引用文献>

- K. Kajiwara, M. Nakaya, K. Suzuki, Y. Kano, T. Takatsu. Effect of egg size on the growth rate and survival of wild walleye pollock *Gadus chalcogrammus* larvae. *Fish. Oceanogr.* **31**: 238-254 (2022). DOI: 10.1111/fog.12575
- 高津哲也. 陸奥湾におけるマダラ *Gadus macrocephalus* の初期生活史に関する研究. 博士(水産学) 北海道大学大学院水産学研究科 (1998). DOI: 10.11501/3146391
- T. Takatsu, Y. Yoshida, K. Kooka, K. Sugimoto, T. Takahashi. Spatial and temporal distribution of Pacific cod *Gadus macrocephalus* juveniles in Mutsu Bay, Japan. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, **65**: 6-14 (2001).
- T. Takatsu, T. Nakatani, T. Miyamoto, K. Kooka, T. Takahashi. Spatial distribution and feeding habits of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) larvae in Mutsu Bay, Japan. *Fish. Oceanogr.*, **11**: 90-101 (2002). DOI: 10.1046/j.1365-2419.2002.00193.x

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高津哲也, 渡邊一生, 松谷紀明, 野呂恭成, 中屋光裕
2. 発表標題 陸奥湾産マダラ稚魚2022年級群が小型であった理由
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 董 安然, 高津哲也, 中屋光裕
2. 発表標題 陸奥湾における2016年以降のマダラ着底稚魚の食性
3. 学会等名 令和4年度稚魚研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊一生, 高津哲也, 中屋光裕
2. 発表標題 陸奥湾におけるマダラ仔稚魚2022年級群の成長履歴
3. 学会等名 令和4年度稚魚研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 董 安然, 高津哲也, 渡邊一生, 中屋光裕
2. 発表標題 陸奥湾におけるマダラ稚魚の食性と加入量の関係
3. 学会等名 令和5年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高津哲也, 野呂恭成, 菊谷尚久, 吉田 達, 伊藤欣吾, 三浦太智, 松谷紀明, 董 安然, 中屋光裕
2. 発表標題 陸奥湾のマダラ着底稚魚期までの累積生残率の推定
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊一生, 高津哲也, 松本涼太郎, 中屋光裕
2. 発表標題 マダラ雌親の体重と卵径・ふ化仔魚の体長と耳石径の関係
3. 学会等名 2023年度水産海洋学会研究発表大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 董 安然, 高津哲也, 石川智也, 中屋光裕
2. 発表標題 陸奥湾におけるマダラ資源増加期の稚魚の胃内容物組成
3. 学会等名 令和6年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 高津哲也	4. 発行年 2022年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 128
3. 書名 卓越年級群－カレイとタラの生残戦略－	

1. 著者名 井尻成保, 今村 央, 浦 和寛, 河合俊郎, 工藤秀明, 清水宗敬, ジョン・パウアー, 高津哲也, 東藤孝, 富安 信, 中屋光裕, 平松尚志, 藤本貴史, 宗原弘幸, 山村織生, 山本 潤	4. 発行年 2023年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 98
3. 書名 道南おさかな図鑑	

〔産業財産権〕

〔その他〕

魚類の食性解析 <a href="https://reun-app.fish.hokudai.ac.jp/course/view.php?id=687&amp;lang=ja">https://reun-app.fish.hokudai.ac.jp/course/view.php?id=687&amp;lang=ja</a>
--

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	中屋 光裕  (NAKAYA Mitsuhiro)  (80604313)	北海道大学・水産科学研究院・准教授    (10101)	

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
---------	---------