

令和元年5月20日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07834

研究課題名(和文) スケトウダラの資源量変動におよぼす卵サイズ、仔稚魚の成長速度、着底魚の栄養状態

研究課題名(英文) Effects of egg size, larval growth rate, and juvenile nutritional condition on population dynamics of walleye pollock

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：スケトウダラの初期生残過程を解明するために、母親効果と卵仔稚魚の栄養状態を検証した。2016-2018年級群の仔魚のふ化輪紋径には差が小さかったことから、雌親魚の年齢に由来するふ化サイズ依存的生残の年変動は検出できなかった。2月下旬から3月上旬の仔魚の体長は、低水温年ほど小型だった。6月中旬の着底稚魚の75-77%には耳石に着底輪が認められ、平均着底尾叉長は67.2-69.0mmと推定された。津軽暖流が流入して水温が上昇した8-10月には、稚魚の摂餌強度と栄養状態が低下し、その後水温低下とともに回復した。湾内で越冬する稚魚は、栄養状態と成長速度に年変動があり、加入量に影響を及ぼすと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

噴火湾のスケトウダラの初期生残に及ぼす影響は、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。従って特定の発育段階の生残率に影響を及ぼす単独の要因だけで、資源量変動を解明することはかなわないだろう。ただし実際問題として、人間が天然のスケトウダラ資源の資源量変動に介入できる機会は、資源量変動が小さい未成魚期から成魚期にかけての漁獲管理しかない。また、現状では母親効果が影響を及ぼすほど高齢な雌親魚を十分残り残していない可能性がある。従って今後は、卵質が高く生存しやすい卵を産卵する親魚の特定を急ぎ、そのような親魚の漁獲の制限が必要と考えられる。

研究成果の概要(英文)：To clarify survival processes in Japan Pacific Stock (JPS) of walleye pollock *Gadus chalcogrammus*, maternal effect and somatic condition were investigated in Funka Bay in 2016-2018. No annual difference in hatch-check diameter on larval otolith derived from maternal was observed between three year-classes. Notochord lengths in late February and early March were small in low water temperature years. The 75-77% of settled juveniles collected in mid-June have settlement checks around their otoliths and settled fork-lengths were estimated at 67.2-69.0 mm from the relationship between fork length and otolith diameter. Feeding intensities and somatic conditions of juveniles decreased in Tsugaru Warm Current water from August to October, then those recovered with water temperature decreasing after October. Annual fluctuations of somatic condition and growth rate might influence the recruitment of JPS.

研究分野：魚類生産生態学

キーワード：卵 仔魚 稚魚 栄養状態 着底 輸送 吹送流 噴火湾

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 海産魚類の資源量変動は主に、卵・仔魚・稚魚といった「初期生活期」に生じ、この時期の生息環境が生残率に多大な影響を及ぼすと考えられている。スケトウダラ *Gadus chalcogrammus* (*Theragra chalcogramma*)も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、親魚の量や卵の密度から、将来の資源量は推定できないと考えられている。本種の太平洋系群は、極端に生き残りの良い年、すなわち卓越年級群がこれまでに 1980、1981、1991、2000、1995、2005 年に発生し、その原因について、冬季の高水温や吹送流による卵の噴火湾内への移送、着底稚魚期以降の大型魚類による被食の年変動が関与していると推定されている(磯田ほか、1998; 中谷ほか、2003; Funamoto et al., 2013; Kano et al., 2015)。しかし冬季の高水温や吹送流が発達したにもかかわらず、卓越年級群が発生しない年もある。また、稚魚と1歳魚の被食は襟裳岬以東まで移動した個体を解析した結果であり、噴火湾に残存した稚魚や未成魚の生残過程は未解明である。

(2) 一方で本系群には、ほぼ5年または10年周期の卓越年級群の発生があるようにも見える。本系群の雌は一部が3歳から成熟し、4歳以上で大部分の個体が成熟に達することから、産卵群の年級群構成が高齢に偏ることも、卓越年級群発生に必要な条件なのかもしれない。このような大型・高齢・高栄養状態の雌親魚ほど生残しやすい大型卵を産む傾向は母親効果(または母系効果; maternal effect)と呼ばれ、魚類の場合は産卵期に至るまでの成長・栄養履歴が卵質・卵径に影響を及ぼし(Solemdal, 1997; Higashitani et al., 2007)、遺伝的な影響とは区別されている。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、スケトウダラ太平洋系群の初期生残率には、母親効果が影響していることを、野外採集個体から明らかにすることである。

(2) また卵期から1歳魚までの越夏・越冬時の生残率や成長速度・栄養状態を経年的に比較して、資源量変動に決定的な時期を現場観測によって明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 北海道大学水産学部附属練習船うしお丸(179トン)を用いて、北海道噴火湾においてスケトウダラ浮遊仔稚魚のプランクトンネット採集(12~4月)・FMT ネット採集(4~5月)、着底稚魚の小型オッターロールネット採集(周年)と海洋環境調査を、2016年4月から2018年11月まで、ほぼ毎月実施した。観測地点ではCTDによって水温・塩分等を計測し、バンドン採水器とNORPAC ネットで主要餌生物であるかいあし類ノープリウスとコペポダイトを採集した。

(2) 実験室では海洋観測結果に基づく海洋構造の解析を行い、スケトウダラの卵・仔魚・稚魚の同定・抽出、発育段階区分と卵径・体長計測等を行い、一部の仔稚魚は礫石耳石による日周輪解析を行い、孵化輪紋径と成長速度の推定を行った。

(3) 本系群の産卵場が形成される噴火湾外水深100m層の旬別平均水温は、気象庁HP(https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyo/jun/t100_HQ.html?areano=1)から引用した。また、親魚と考えられる4歳魚以上の年齢別親魚重量は、境ほか(2019)から引用し、8歳以上は8歳として成魚の加重平均年齢を推定した。

4. 研究成果

(1) 2017年級群の平均卵径は、2016年級群の12-3月と2018年級群の2-3月に比べて危険率5%水準で有意に大型であった(テューキー・クレイマーの方法)。また2018年級群は12-1月に比べて2月の卵径は小型だった($p < 0.05$)。親魚の加重平均年齢(と変動係数)は、2016年級群が6.7歳(72%)、2017年級群が6.5歳(79%)、2018年級群が6.2歳(37%)、4,5,6歳の割合はそれぞれ8,19,7%、7,28,16%、15,23,21%を示し、平均卵径が大型だった2017年級群には年齢組成のばらつきが大きかった。

(2) 一方、卵密度が高かった1月ふ化個体のうち、2月下旬から3月上旬まで生残した仔魚の礫石耳石ふ化輪紋径の平均値は、18.5、18.0、18.5 μm を示し、年級群間に有意差はなかった($p > 0.05$)。この3年間の卵径の平均値は10%以内の範囲にあり、親魚はいずれも5歳魚の割合が高かったことから、雌親魚の年齢組成に由来するふ化サイズ依存的生残の年変動は、2016-2018年には小さかった可能性がある。

(3) 2月下旬から3月上旬の仔魚の平均体長は、2016-2018年級群でそれぞれ8.7、8.4、7.5 mmを示し、徐々に小型化し($p < 0.05$)、湾外から湾内にかけての水温の低下が、成長速度の低下を招いたものと推定された。また本種の摂餌開始期仔魚の飽和摂餌可能ないあし類ノープリウス密度は5-15個体/Lとされている(中谷、2017)。2018年3月上旬には、これを下回る過

去最低の平均 4.6 ± 2.3 個体/L (\pm 標準偏差) のノープリウス密度を示したことも、この年の仔魚の低成長速度の原因と考えられた。

(4) スケトウダラの全長 7 mm の仔魚から尾叉長 65 mm までの稚魚の主要餌生物であるかいあし類コペポダイトは、植物プランクトンのブルームが生じた 2 月下旬から 3 月上旬に 2~3 倍に高密度化し、その後は高水温年に高密度傾向を示した。冷水性のかいあし類の割合は、低温な沿岸親潮の湾内への流入前からすでに高くなっていったことから、北西の季節風に起因する吹送流が、湾外に生息するかいあし類を湾内へ輸送する役割を担っているものと推定された。

(5) 5 月中旬に FMT で採集された浮遊稚魚は、より大型採集器具であるトロール網傾斜曳よりも小型であったため、網口逃避が生じているものと推定した。

(6) 同時期のトロール網による採集では、傾斜曳と着底曳の平均尾叉長間に有意差はなかった(一元配置の分散分析、 $p=0.16-0.69$)。一方、採集地点間には有意差がみられ($p<0.001$)、湾奥ほど大型の個体が採集され、湾外の産卵場から湾内の成育場への輸送過程を反映していた。

(7) 6 月中旬のトロール網採集では、全地点ともに傾斜曳よりも着底曳の稚魚の方が有意に大型で(すべて $p<0.001$)、尾叉長 70 mm 以上の個体は傾斜曳で 4.2-9.5%であったのに対して、着底曳では 29.3-64.4%を占め、大型だった。従って個体発生的に着底する傾向が認められた。2017 年 6 月に着底曳で採集された尾叉長 65 mm 以上稚魚の 77%、2018 年 6 月の 75%の礫石耳石縁辺部には淡色帯が認められた。しかし傾斜曳採集の 65 mm 以下の個体には両年ともに全く認められなかったことから、この淡色帯は着底輪と推定された。輪紋径と体長のアロメトリー式から逆算した平均着底尾叉長は 2017 年が 67.2 ± 2.71 mm、2018 年が 69.0 ± 4.23 mm だった。

(8) 6 月の着底稚魚には個体発生的な食性の変化がみられ、小型個体がかいあし類コペポダイトを主食としていたのに対して、尾叉長 55-94 mm の範囲でかいあし類よりも大型な浮遊性端脚類 *Themisto japonica* の出現頻度が最大 36%を示し、65 mm 以上ではツノナシオキアミ *Euphausia pacifica* の出現頻度が 41-81%を示した。噴火湾ではツノナシオキアミは、昼間海底直上に集中分布することから(山本ほか、2004)、昼間の海底直上は好適な餌生物環境と推定した。一方、栄養状態の指標である相対体重(尾叉長と胃内容物除去重量のアロメトリー式からの偏差の割合)は、着底個体の方が遊泳個体よりも相対的に低体重で(2017 年: $p<0.001$; 2018 年: $p=0.049$)、地点間のばらつきも着底個体の方が大きかった(変動係数: 22%に対して 31%)。FMT で採集されたツノナシオキアミの海底直上の密度は、地点間で差が大きかったことから、稚魚は着底後は餌探索時間が増加し、水平移動距離が長くなったために栄養状態が悪化したものと推定した。

(9) 着底後の稚魚は、湾内では 2016 年 9 月から 12 月までは 6.4-8.6 の水温を経験し、その後 2017 年 3 月下旬までに 4.6 度 水温を経験していた。胃内容物重量の体重に対する割合は、6 月に平均 2.5-3.1%を示した後 8 月下旬から 10 月上旬まで低く(0.54-1.08%)、10 月下旬から 11 月には 1.44-5.4%に回復していた。相対体重は 10 月以降低下せず、2018 年級群に較べて 2017 年級群の方が高く、成長も早かった。

(10) スケトウダラ太平洋系群にとって、沿岸親潮によって 4-8 月に低水温が維持される噴火湾は、代謝を抑制可能であると同時に、ツノナシオキアミ等の餌を利用できる成育場として機能している。一方、着底に伴う栄養状態の悪化と、高水温な津軽暖流水が 8 月以降に流入してから水温が低下し始める 11 月までの海洋環境は、餌利用度の低下と代謝の上昇を招き、湾外への移動を促すと考えられた。また湾内に残留して越冬する個体については、10 月以降の栄養状態と成長速度の年変動も、生残率に影響を及ぼす要因と考えられた。今後はふ化輪紋径の測定個体数を増やして、母親効果がいつまで継続するのか、母親効果と環境要因のいずれが生残過程に強く働くか、具体的な数値で示す必要がある。

< 引用論文 >

Funamoto, T., O. Yamamura, T. Kono, T. Hamatsu, A. Nishimura. Abiotic and biotic factors affecting recruitment variability of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Fisheries Oceanography*, 22:293-206 (2013)

Higashitani, T., T. Takatsu, M. Nakaya, M. Joh, T. Takahashi. Maternal effects and larval survival of marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae*. *J. Sea Research*, 58:78-89 (2007)

磯田 豊、清水 学、上岡 敦、松尾康弘、大谷清隆、中谷敏邦：北海道南部太平洋海域におけるスケトウダラの資源量変動に係わる海洋環境の経年変化．水産海洋研究、62:1-11 (1998)

Kano, Y., T. Takatsu, Y. Hashimoto, Y. Inagaki, T. Nakatani. Annual variation in otolith increment widths of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) larvae in Funka Bay, Hokkaido, Japan. *Fisheries Oceanography*, 24:325-334 (2015)

中谷敏邦 . 1991 年から 2013 年に至る冬季北海道噴火湾の海洋環境とスケトウダラ walleye pollock *Gadus chalcogrammus* 北海道太平洋個体群の年級群強度との関係 . 北海道大学大学院水産科学研究紀要、59:19-43 (2017)

中谷敏邦、杉本晃一、高津哲也、高橋豊美 . スケトウダラの年級豊度に与える噴火湾の環境要因 . 水産海洋研究、67: 23-28 (2003)

境 磨、山下夕帆、石野光弘、千村昌之、山下紀生 . 平成 30 (2018) 年度スケトウダラ太平洋系群の資源評価 . 「平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価・TAC 種)」、水産庁増殖推進部、国立研究開発法人水産研究・教育機構 pp. 419-470 (2019) <http://abchan.fra.go.jp/>

Solemdal, P. Maternal effects - a link between the past and the future. J. Sea Res. 37:213-227 (1997)

山本 潤、向井 徹、岩森利弘、木村 修、桜井泰憲 : ROV を用いた音響散乱層の観察の試み . 海洋調査技術、16:25-30 (2004)

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

K. Orino, K. Ishigane, K. Suzuki, H. Izumiura, M. Nakaya, T. Takatsu. Growth of the brittle star *Ophiura sarsii sarsii* (Echinodermata: Ophiuroidea) in Funka Bay, Hokkaido, Japan. Fish. Sci. 査読有、(印刷中)

高津哲也 . 亜寒帯域における多獲性底生魚類の生活史の解明と資源変動機構に関する研究 . 水産海洋研究、査読なし、(印刷中)

Y. Shimizu, A. Ooki, H. Onishi, T. Takatsu, S. Tanaka, Y. Inagaki, K. Suzuki, N. Kobayashi, Y. Kamei, K. Kuma. Seasonal variation of volatile organic iodine compounds in the water column of Funka Bay, Hokkaido, Japan. J. Atmos. Chem. 査読有、73:1-12 (2017). DOI:10.1007/s10874-016-9352-6

〔学会発表〕 (計 10 件)

梶原慧太郎、中屋光裕、鈴木孝太、鹿野陽太、○高津哲也 . スケトウダラ仔魚の扁平石孵化チェック径を用いた母親効果の検証、平成 30 年度稚魚研究会、2018 年

○高津哲也 . 亜寒帯域における多獲性底生魚類の生活史の解明と資源変動機構に関する研究、平成 30 年度水産海洋学会研究発表大会 (招待講演)、2018 年

○中脇鴻陽、納谷晃弘、鈴木孝太、中屋光裕、高津哲也 . スケトウダラ太平洋系群の着底前後における食性、栄養状態および着底サイズの推定、平成 30 年度日本水産学会北海道支部大会、2018 年

○高津哲也、鈴木孝太、中谷敏邦、中脇鴻陽、山岡秀圭、納谷晃弘、中屋光裕 . スケトウダラ太平洋系群の卵密度が 1 月後半に高い理由、平成 30 年度年度日本水産学会春季大会、2018 年

○中脇鴻陽、鈴木孝太、納谷晃弘、中屋光裕、高津哲也 . スケトウダラ太平洋系群稚魚の着底前後における食性と栄養状態、平成 30 年度年度日本水産学会春季大会、2018 年

○山岡秀圭、鈴木孝太、中屋光裕、高津哲也 . 北海道噴火湾における沿岸親潮流入期のかいあし類及び尾虫類の密度と種組成の経時・経年変化、平成 30 年度年度日本水産学会春季大会、2018 年

Keitaro KAJIWARA, Kota SUZUKI, Yota KANO, Mitsuhiro NAKAYA, ○Tetsuya TAKATSU. Verification of maternal effect on larval walleye pollock *Gadus chalcogrammus* using otolith hatch check diameters. The JSFS 85th Anniversary-Commemorative International Symposium "Fisheries Science for Future Generations" (国際学会)、2017 年

鈴木孝太、○高津哲也、中脇鴻陽、武藤卓志、向井 徹、藤森康澄、中屋光裕 . 噴火湾で採集されたアカガレイ *Hippoglossoides dubius* 眼球移動期仔魚から稚魚の形態と分布層の変化、2017 年度日本魚類学会年会、2017 年

○梶原慧太郎、鈴木孝太、鹿野陽太、中屋光裕、高津哲也 . スケトウダラ仔魚の孵化輪紋を用いた母親効果仮説の検証、平成 29 年度日本水産学会春季大会、2017 年

○高津哲也、鈴木孝太、稲垣祐太、亀井佳彦、小林直人、中屋光裕 . 噴火湾と陸奥湾におけるスケトウダラ着底稚魚平均密度の年変動、平成 28 年度日本水産学会秋季大会、2016 年

〔図書〕 (計 2 件)

高津哲也 . 魚類の資源量変動の謎に迫る . 「知のフロンティア - 北海道大学の研究者は、いま - 第 4 号 (北海道大学アドミッションセンター編)」、北海道大学アドミッションセンター、札幌、156-157 (2018)

中屋光裕、高津哲也 . 魚類・ベントス測定 . 「練習船による水産科学・海洋環境科学実習 (おしよる丸教科書編纂委員会編)」、五稜出版社、函館 . 24-36 (2016)

〔その他〕

受賞（計2件）

2018年度日本水産学会北海道支部大会（釧路）最優秀学生講演賞「スケトウダラ太平洋系群の着底前後における食性，栄養状態および着底サイズの推定」、筆頭；中脇鴻陽、2018年11月

水産海洋学会第23回宇田賞「亜寒帯域における多獲性底生魚類の生活史の解明と資源変動機構に関する研究」、高津哲也、2018年3月

(2)研究協力者

研究協力者氏名：中屋 光裕

ローマ字氏名：（NAKAYA Mitsuhiro）

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、研究者個人に帰属されます。