

北海道水産試験場研究報告

第 102 号

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES No.102

北海道立総合研究機構水産研究本部

北海道余市町

2022年9月

Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department

Yoichi, Hokkaido, Japan

September, 2022

北海道立総合研究機構水産研究本部は次の機関をもって構成されており、北海道水産試験場研究報告は、これらの機関における研究業績を登載したものです。

Fisheries Research Department of the Hokkaido Research Organization will now comprise the following seven local Fisheries Research Institutes. The study achievements of these institutes will be published in the “Scientific reports of Hokkaido Fisheries Research Institutes”.

**地方独立行政法人
北海道立総合研究機構
水産研究本部**

(Local Independent Administrative Agency
Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department)

中央水産試験場 (Central Fisheries Research Institute)	046-8555 余市郡余市町浜中町238 (Hamanaka-cho, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)
函館水産試験場 (Hakodate Fisheries Research Institute)	040-0051 函館市弁天町20-5 函館市国際水産・海洋総合研究センター内 (Benten-cho, Hakodate, Hokkaido 040-0051, Japan)
釧路水産試験場 (Kushiro Fisheries Research Institute)	085-0027 釧路市仲浜町4-25 (Nakahama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0027, Japan)
網走水産試験場 (Abashiri Fisheries Research Institute)	099-3119 網走市鱒浦1-1-1 (Masuura, Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan)
稚内水産試験場 (Wakkanai Fisheries Research Institute)	097-0001 稚内市末広4-5-15 (Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)
栽培水産試験場 (Mariculture Fisheries Research Institute)	051-0013 室蘭市舟見町1-156-3 (Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan)
さけます・内水面水産試験場 (Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute)	061-1433 恵庭市北柏木町3-373 (Kitakashiwagi-cho, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan)

北海道水産試験場研究報告

第102号

目 次

合田浩朗, 園木詩織, 高谷義幸

北海道東部太平洋沿岸のコンブ目海藻4種ナガコンブ, ガッガラコンブ, スジメおよび
アイヌワカメ遊走子の放出盛期…………… 1

金森 誠, 夏池真史, 瀬戸啓介, 白井睦実, 河井 渉, 吉田 聡

稚貝調査と出荷貝調査により明らかとなった噴火湾養殖ホタテガイへい死の実態…………… 13

夏池真史, 西田芳則, 金森 誠, 佐藤政俊, 本家一彦

噴火湾における養殖ホタテガイ中間育成籠の動揺とその物理要因に対する現場観測の試み…………… 23

伊藤慎悟, 松田泰平, 勝又義友, 西川翔太郎, 水野伸也

マツカワで発生した*Pseudomonas anguilliseptica*の病原性…………… 31

吉村圭三, 山口浩志, 板谷和彦

マツカワ礫石の年齢形質としての有効性…………… 35

下田和孝, 藤岡 崇

ホッケ道南群における漁獲物の年齢と体サイズとの関係 (資料)…………… 41

虎尾 充

サケ稚魚の絶食時の体成分と脂肪酸組成の変化 (資料)…………… 49

(2022年9月)

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES

No.102

CONTENTS

HIROO GOUDA, SHIORI SONOKI and YOSHIYUKI TAKAYA

Timing of spore release of four kelp species, *Saccharina longissima*, *Saccharina coriacea*, *Costaria costata*, and *Alaria praelonga*, on the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan 1

MAKOTO KANAMORI, MASAFUMI NATSUIKE, KEISUKE SETO,
ATSUSHI SHIRAI, AYUMU KAWAI and SATOSHI YOSHIDA

Long-term monitoring reveal mass mortality events of cultured scallops *Mizuhopecten yessoensis* in Funka Bay, Hokkaido 13

MASAFUMI NATSUIKE, YOSHINORI NISHIDA, MAKOTO KANAMORI,
MASATOSHI SATO and KAZUHIKO HONKE

Field observations of the physical environment and behavior of culture cages during juvenile Yesso scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) culture in Funka Bay, Hokkaido, Japan 23

SHINGO ITO, TAIHEI MATUDA, YOSHITOMO KATUMATA,
SHOUTAROU NISHIKAWA and SHINYA MIZUNO

Pathogenicity of *Pseudomonas anguilliseptica* to barfin flounder *Verasper moseri* 31

KEIZO YOSHIMURA, HIROSHI YAMAGUCHI and KAZUHIKO ITAYA

Validation of annual rings on the lapilli of barfin flounder *Verasper moseri* 35

KAZUTAKA SHIMODA and TAKASHI FUJIOKA

Age -body size relationships for the Southern Hokkaido stock of the arabesque greenling, *Pleurogrammus azonus*, caught in fisheries (Note) 41

MITSURU TORAO

Changes in body and fatty acid composition of chum salmon *Oncorhynchus keta* fry by fasting (Note) 49

(September, 2022)

北海道東部太平洋沿岸のコンブ目海藻4種ナガコンブ、ガッガラコンブ、スジメおよびアイヌワカメ遊走子の放出盛期

合田浩朗^{*1}, 園木詩織², 高谷義幸¹

¹北海道立総合研究機構中央水産試験場, ²北海道立総合研究機構釧路水産試験場

Timing of spore release of four kelp species, *Saccharina longissima*, *Saccharina coriacea*, *Costaria costata*, and *Alaria praelonga*, on the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan

HIROO GOUDA^{*1}, SHIORI SONOKI² and YOSHIYUKI TAKAYA¹

¹ Central Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555,

² Kushiro Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, Kushiro, Hokkaido 085-0027, Japan

We investigated the timing of spore release of *Saccharina longissima*, *S. coriacea*, *Costaria costata*, and *Alaria praelonga* on the Pacific coast of eastern Hokkaido. This was accomplished by quantifying the number of kelp spores in seawater, using membrane filters (analyzed using real-time PCR), and by estimating the density of young sporophytes by culturing the membrane filters. The maturation progress of adult *S. longissima* (in Nemuro), and *C. costata* and *A. praelonga* (in Kushiro) was observed to compare their respective spore release periods. The peak spore release period for each species was estimated to be from June to October for *A. praelonga*, August for *C. costata*, September for *S. longissima*, and October and November for *S. coriacea*. Many released spores were detected 2–3 months after the populations of each species began to mature. Seaweed removal operations to maintain populations of edible kelps were conducted in winter (November–February) on the coast of eastern Hokkaido. The present study revealed that only edible kelps (*S. longissima* and *S. coriacea*) peaked their spore release in autumn. This suggests that the seaweed removal operations in winter may improve environmental conditions (photon and water flow conditions) for gametophyte maturation and micro-sporophyte growth rather than create space for spores to settle.

キーワード：アイヌワカメ, ガッガラコンブ, 雑海藻駆除, 子嚢斑, スジメ, ナガコンブ, 遊走子

日本沿岸は、世界で最も褐藻綱コンブ目海藻の種多様に富む地域のひとつとされている（四ツ倉, 2010）。日本沿岸には、7科15属39種のコンブ目海藻が分布しており、そのうち19種が北海道東部（以下、道東）沿岸に分布している（吉田, 1998; Sasaki and Kawai, 2007; 吉田ら, 2015; 鈴木ら, 2018）。道東太平洋沿岸では、コンブ目コンブ属のナガコンブ *Saccharina longissima* やガッガラコンブ *Saccharina coriacea*, オニコンブ *Saccharina japonica* var. *diabolica*, ネコアシコンブ属のネコアシコンブ *Arthrothamnus bifidus* 等が採藻漁業の対象種となっており、水産資源として有用な種類（以下、有用コンブ類）とされている（川嶋, 2004）。一方、コンブ目のスジメ *Costaria*

costata やアイヌワカメ *Alaria praelonga*, ヒバマタ目のウガノモク *Stephanocystis hakodatensis*, 紅藻綱イギス目のカタバベニヒバ *Neoptilota asplenioides* 等は、有用コンブ類と同所的に生育して、有用コンブ類の群落形成を妨げる種類（以下、雑海藻）とされている（名畑, 1990; 阿部, 1995）。

道東太平洋沿岸は天然コンブの一大生産地となっているが、生産量は減少傾向にある。釧路および根室管内における生産量は、1980～1989年の平均が釧路管内で8,427トン、根室管内で5,219トンであったのに対し、2010～2019年の平均がそれぞれ3,569トン、2,563トンとなり、2010年代の生産量は1980年代の半分以上に減少している

(北海道水産林務部)。生産量の減少要因は、雑海藻の繁茂(幡宮, 2014)や漁業者数の減少(佐々木, 2017)であると推定されている。

天然コンブ生産量の減少要因のひとつである雑海藻の繁茂は、流水の接岸頻度の減少に起因すると言われている(阿部, 1995; 幡宮, 2014)。釧路沿岸では、10年に1度程度の頻度で大規模な流水が接岸し、有用コンブ類を含む直立海藻が削り取られるため、当年のナガコンブ生産量は著しく減少するが、その後の数年間は生産量が増大することが経験的に知られている(佐々木ら, 1973a)。しかし近年は、オホーツク海の水水域面積が減少傾向にあり(気象庁, 2021)、1988年以降、釧路沿岸で大規模な流水の接岸は観測されていない(釧路地方気象台, 2021)。そのため、近年は専用の船舶や大型重機で人為的に雑海藻を除去し(以下、雑海藻駆除)、ナガコンブ漁場を再生する事業が各地先で行われており、その効果が確認されている(阿部, 1995)。

道東太平洋沿岸では、雑海藻の再生産時期とナガコンブ遊走子の放出時期から、ナガコンブ漁場の再生を目的とした雑海藻駆除の実施時期は11~1月が適していると推定されている(阿部, 1995; 名畑, 1995)。しかし、雑海藻駆除の適期の根拠としたナガコンブ遊走子の放出時期は、12~2月のナガコンブ胞子体の子嚢斑の面積と同期間の海水中の遊走子数(名畑・酒井, 1994)から推定したものであり、ナガコンブの遊走子数について周年に渡る調査は行われておらず、放出盛期も明らかにされていない。また、ナガコンブを含む道東太平洋沿岸のコンブ目海藻について、胞子体の成熟過程と遊走子の放出盛期との関係は十分に明らかにされていない。

海水中に存在する大型海藻の生殖細胞数の定量方法は、室内培養や吸光度測定から推定する方法と海中に設置した基質に出現する幼胞子体数から推定する方法がある(Bobadilla and Santelices, 2004)。名畑(1989)は、リシリコンブ*Saccharina japonica* var. *ochotensis*またはホソメコンブ*Saccharina japonica* var. *religiosa*の遊走子を含む海水をろ過した後、フィルターごと静置培養し、そこに発芽したコンブ目海藻の幼胞子体数が遊走子数の指標となることを明らかにした(以下、培養法)。しかし、発芽した葉長0.5~1 mmの幼胞子体は種を特定することが困難なため(名畑・酒井, 1994)、複数種のコンブ目海藻が生育する道東太平洋沿岸では、種類毎の遊走子数を推定することができない。近年、リアルタイムPCRによりコンブ目海藻の遊走子数の定量が可能となり、その有用性はホソメコンブやマコンブ*Saccharina japonica* var. *japonica*、ワカメ*Undaria pinnatifida*に加え、雑海藻であるスジメやアイヌワカメでも確認されている(高谷ら, 2016; Nagasato *et al.*, 2019; 高谷・合田, 2019)。

本手法は、適切なプライマーを用いれば、種特異的にDNA断片を増幅させることができるため、対象とする種の遊走子数を推定することができる。しかし、検出感度が高いため、汚染または混入に由来する微量なDNAも検出される可能性がある(高原ら, 2016)。また、検出されるDNAの由来が明確ではないため(坂田ら, 2021)、遊走子以外のDNAを検出する可能性もある(Nagasato *et al.*, 2020)。

本研究では、道東太平洋沿岸で行われている雑海藻駆除の生態的意義を明らかにするために、コンブ目海藻4種ナガコンブ、ガッガラコンブ、スジメおよびアイヌワカメを対象とし、培養法によるコンブ目海藻の幼胞子体数とリアルタイムPCRで推定した遊走子数の経月変化から、各種の遊走子の放出盛期を推定した。さらに、根室市落石または釧路市桂恋沿岸のナガコンブ、アイヌワカメおよびスジメ胞子体の成熟状況を調べ、胞子体の成熟期と遊走子の放出盛期の関係を明らかにした。最後に、道東太平洋沿岸で行われている雑海藻駆除とナガコンブ遊走子の放出盛期から、雑海藻駆除の効果とその適期について考察した。

材料及び方法

ナガコンブ、スジメ、アイヌワカメの葉長、葉状部重量と成熟状況の経月変化 2017年6月~2018年12月にほぼ月に1度の頻度で、根室市落石沿岸(Fig. 1 A)の水深2.5~3.5 mの岩礁域において、5~10月は船上から漁具(かぎ)を用いて、それ以外の月はスクーバ潜水により、発芽後1年以上が経過したナガコンブ8~35個体を無作為に採集し、葉長と葉状部の湿重量を測定した(以下、文中の葉長ならびに重量は平均値)。また、葉状部に形成される子嚢斑の有無と表面の付着生物の有無を記録し、採集した藻体のうち子嚢斑を形成した個体の割合(子嚢斑形成率 = (子嚢斑を形成した個体数 ÷ 採集した個体数) × 100 (%))を算出した。

2015年12月~2016年12月にほぼ月に1度の頻度で、釧路市桂恋沿岸(Fig. 1 C)の水深1.0~1.5 mの岩礁域からスジメ2~57個体、発芽後1年以上が経過したアイヌワカメ12~38個体を無作為に採集し、葉長と葉状部の湿重量を測定した。スジメは、ナガコンブと同様に葉状部の子嚢斑の有無を記録し、子嚢斑形成率を算出した。アイヌワカメは、胞子葉の有無を記録し、胞子葉のない個体の割合((胞子葉のない個体数 ÷ 採集した個体数) × 100 (%))を算出した。さらに、胞子葉を有する個体は、胞子葉の表面に形成される子嚢斑の有無を記録し、子嚢斑形成率((胞子葉に子嚢斑がある個体数 ÷ 採集した個体数) × 100

(%) を算出した。

フィルター上に発芽したコブ目海藻の幼孢子体数の経月変化 2017年6月～2019年12月にほぼ月に1度の頻度で、根室市落石沿岸の調査点AおよびB (Fig.1) の表層と底層 (深度2.5～3.5 m) から海水約2 Lを採取した。表層からはポリプロピレン製手つきビーカーを用いて、底層からはバンドーン採水器を用いて海水を採取した。採取し

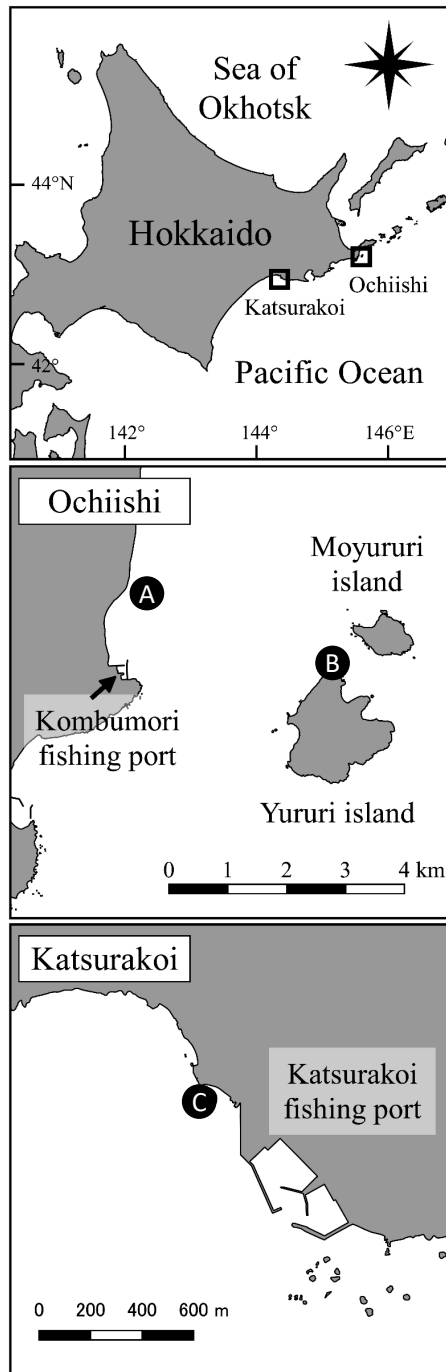


Fig.1 Study site off the coast of Ochiishi (A, B) in Nemuro and Katsurakoi (C) in Kushiro, eastern Hokkaido, Japan.

た海水はポリエチレン製の容器に入れ、保冷した状態で研究室に輸送した。調査点AおよびBの表層から採取した海水は、採水後6時間以内にメスシリンダーで200 mlを計量した後、罎線付きメンブレンフィルター (ADVANTEC, A045H047A, 直径47 mm, 孔径0.45 μm) と減圧ポンプ (ADVANTEC, 手動式吸引ポンプ HP-01) を用いて吸引ろ過し、1調査点につき5試料を作製した。培養には、国立研究開発法人水産研究・教育機構 (釧路市桂恋) で揚水した砂ろ過海水を高圧滅菌器 (SAKURA ASV-3001) で滅菌処理し、PESI (Provasoli's enriched seawater with iodine, Tatewaki, 1966) を添加した栄養強化海水を用いた。シャーレ (ADVANTEC, ペトリディッシュ PD-47A) に栄養強化海水5 mlを分注した後、それらのフィルターを浸漬し、庫温8 $^{\circ}\text{C}$ 、光子束密度約20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、光周期を明暗それぞれ12時間に設定した恒温培養庫 (SANYO グロースキャビネット MLR-350T) で静置培養した。栄養強化海水は7～10日毎に全量交換した。培養開始から21～23日目までは、珪藻の増殖を抑制するために1 mg/Lの二酸化ゲルマニウム溶液を栄養強化海水に添加した (館脇・水野, 1979)。培養開始30～32日後にフィルター上に発芽した全てのコブ目海藻の幼孢子体を実体顕微鏡下で計数し、幼孢子体数とフィルターの面積 (17.3 cm^2) から、1 cm^2 あたりの幼孢子体数を算出した。ただし、2019年9月11日の試料は、実体顕微鏡下で1試料につき5枠 (3 $\times$ 3 mm) を無作為に抽出して格子内の幼孢子体数を計数し、1 cm^2 あたりの幼孢子体数に換算した。**リアルタイムPCRにより定量したコブ目海藻4種の遊走子数の経月変化** 高谷ら (2016) に従い、前項で採取した海水の一部を採水後2時間以内に、ルアーロック付きシリンジ (容量50 ml) とセルロース混合エステルメンブレンフィルター (ADVANTEC, A080A013A, 直径13 mm, 孔径0.8 μm) でろ過した。2017年7～9月の両調査点および2017年10月の調査点Aからは海水50 mlを、2017年10月の調査点Bと2017年11月～2019年12月の両調査点からは海水30 mlを試験に供した。フィルターは直ちに保冷し、その後、-30 $^{\circ}\text{C}$ 以下の超低温フリーザー内で保存した。2017年6月～2018年1月の試料は、高谷ら (2016) の方法で、2018年2月～2019年12月の試料は高谷 (2020) の方法でフィルターからDNAを抽出した。なお、抽出方法により最終的に得られる液量が異なるため、DNA量の算出時に得られた液量に応じて補正した。

抽出したDNA試料を用いて、リアルタイムPCR (インターカレーション法) によりナガコンブ、ガツガラコンブ、スジメおよびアイヌワカメの遊走子数を推定した。アイヌワカメとスジメの検出に用いたプライマー及びPCRプロトコルは、高谷・合田 (2019) に従った。ナガコン

ブとガッガラコンブはITS1 (Internal Transcribed Spacer 1) 領域を増幅するプライマーセットを設計した (ナガコンブ: naga1-F; 5'-CCCGCTCTATAAATTGTCTGTGAG-3', naga1-R; 5'-AGCGCCCCCTTTGAGTTCAG-3', ガッガラコンブ: gatu2-F; 5'-CCGCTCTATAAATTGTCTGTGAA-3', gatu2-R; 5'-CGCTTTGATTTCGAGAGCTC-3'). ナガコンブおよびガッガラコンブのPCR反応液は, TB Green Premix Ex Taq II (タカラバイオ社製) 12.5 μ L, プライマー (10 μ M) 各2.0 μ L, DNA試料2.0 μ Lに滅菌蒸留水を加えて25 μ Lとなるように調整した。PCRサイクルは, 95 $^{\circ}$ Cで30秒間, 初期変成を行った後, 95 $^{\circ}$ Cで5秒間, 57 $^{\circ}$ Cで40秒間, 83 $^{\circ}$ Cで15秒間および蛍光強度測定を1サイクルとし, これを45サイクル行った。反応終了後, 融解曲線解析を行い, 別途用意した各種のDNA標本とTm値 (融解温度) に相違がないことを確認した。なお, PCRにはいずれもThermal Cycler Dice Real Time System Lite (タカラバイオ) を用いた。反応後, 各試料の初期鋳型量を推定するために, PCR装置に付属する解析ソフトを用いて, SDM (Second Derivative Maximum) 法によりCt (threshold cycle) 値を求めた。別途, ホソメコンブの遊走子数が既知の試料から得た検量線 ($Ct = -3.29 \log(x) - 40.2$, x : 遊走子数) (高谷, 未発表) を用いて, ホソメコンブ1個相当のコピー数に換算した値を遊走子数とした。なお本研究では, 高谷ら (2016) および高谷 (2020) から, 定量下限値を2017年6月~2018年1月は40.0個/ml (海水50 mlろ過) または66.7個/ml (海水30 mlろ過), 2018年2月~2019年12月は10.0個/ml (海水30 mlろ過) とし, 検出下限値をそれぞれ2.4 (海水50 mlろ過) または4.1個/ml (海水30 mlろ過), 0.65個/ml (海水30 mlろ過) とした。

統計解析 根室市落石沿岸で2017および2018年の6~11月に採集したナガコンブについて, 葉長または葉状部湿重量を調査年間で比較するために, 月毎に解析を行った。得られたデータに正規性 (Shapiro-Wilk 検定) がみとめられる場合は, 等分散性 (F検定) を仮定するt検定または等分散性を仮定しないWelchのt検定を行った。正規性がみとめられない場合は, Mann-WhitneyのU検定を行った。2017年と2018年の6~11月に採集したナガコンブの成熟状況を比較するために, 子嚢斑を形成した個体と未形成の個体の比率についてFisherの正確確率検定を行った。フィルター上に出現したコンブ目海藻の幼孢子体密度について, 調査期間中の変動に有意性があるかを検定した。得られたデータに正規性および等分散性がみとめられなかったため, 調査点毎にKruskal-Wallis検定を行った。

結 果

ナガコンブ, スジメ, アイヌワカメの葉長, 葉状部重量と成熟状況の経月変化

1. ナガコンブ 2017年6~8月には, 葉長は691.1~800.8 cmだったが, その後, 先端部からの枯死 (末枯れ) により9月には292.6 cm, 11月には159.7 cmに縮小した (Fig. 2)。2017年11月には, 葉状部の基部に新葉を形成した個体が採集された。2017年11月~2018年3月の葉長は150.3~194.3 cmで推移したが, 3~5月に著しく伸長し, 7月には894.1 cmとなり調査期間中で最も長くなった。2018年8~10月には, 2017年と同様に末枯れにより葉長は著しく縮小した。2017年と2018年の葉長を比較した結果, 7月と9月については, 2017年より2018年の方が有意に長かった (7月: t検定, 9月: Welchのt検定, 有意水準5%)。2017年6~11月に採集したナガコンブの葉状部湿重量は, 6~8月は662.9~846.8 gで推移したが, 9月には急激に減少して290.3 gとなった。その後も経月的に減少し, 11月には164.1 gとなった。2017年11月~2018年12月の葉状部湿重量は, 2017年11月~2018年3月は61.5~132.0 gで推移

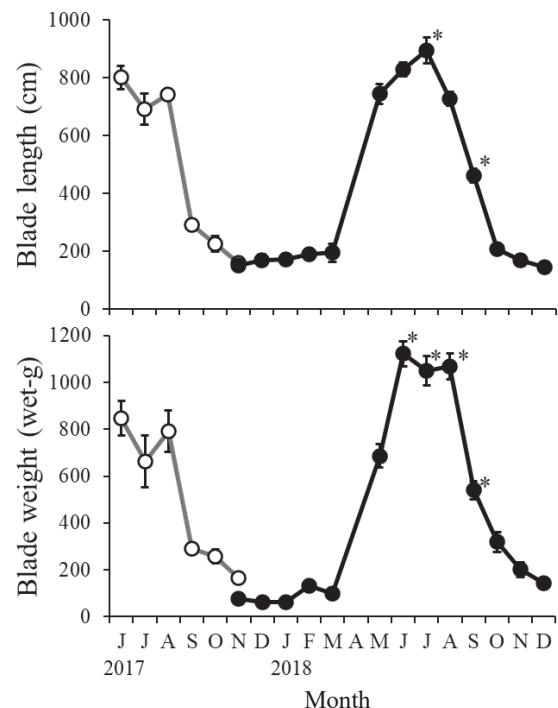


Fig. 2. Blade length (top) and weight (bottom) of *Saccharina longissima* sporophytes collected at site A in Ochiishi from June 2017 to December 2018. Open and filled circles show mean values of different year classes, respectively. Vertical bars on the symbols represent the standard errors of the means. Asterisks show significant differences between the same months of each year.

したが、3～6月にかけて著しく増加し、6～8月は1,049.5～1,122.1 gとなった。末枯れに伴い9月には著しく減少して539.8 gとなり、12月には143.2 gとなった。2017年と2018年の葉状部湿重量を比較した結果、2018年6～9月の葉状部湿重量は2017年より有意に重かった（6、7月：t検定、8月：Mann-WhitneyのU検定、9月：Welchのt検定、有意水準5%）。

2017年6月には子嚢斑を形成した個体は採集されなかった。7月には葉状部の下部付近（葉状部基部から35～135 cm）に子嚢斑を形成した個体が採集され、子嚢斑形成率は18.8%であった（Fig. 3）。8月には採集した個体の92.9%に子嚢斑が形成されており、9月以降は採集した全ての個体に子嚢斑がみとめられた。2017年10月に採集した個体では子嚢斑の一部に、2017年11月～2018年5月に採集した個体は、旧葉の子嚢斑に付着珪藻類を含む微細な生物が多数付着していた。2018年6月には葉状部下部（葉状部基部から62～173 cm）に新たに子嚢斑が形成された。子嚢斑形成率は6月に33.3%、7月に83.3%に上昇し、8～12月は採集したほぼ全ての個体に子嚢斑が形成された。2018年10月以降に採集した藻体の子嚢斑には、2017年と同様に微細な生物が多数付着していた。2017と2018年の

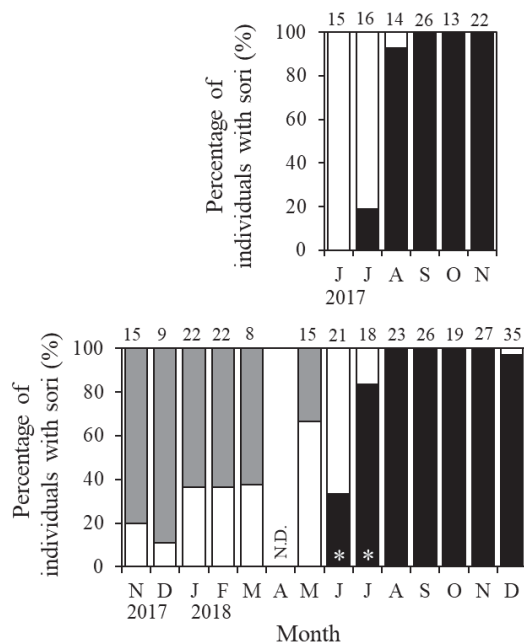


Fig. 3 Percentage of individuals with sori on the blades of *Saccharina longissima* sporophytes collected at site A in Ochiishi from June 2017 to December 2018. Open bars indicate no sori, and bars filled in gray and black indicate sori on the old and new blades, respectively. Asterisks show significant differences between the same months of each year. The numbers above each column indicate the number of specimens observed, and N.D. indicates no data.

6～11月の子嚢斑形成率を比較した結果、2018年6および7月の子嚢斑形成率は2017年より有意に高かった（Fisherの正確確率検定、有意水準5%）。

2. スジメ 2015年12月に採集したスジメの葉長は35.2 cmであったが、その後伸長し、5月には468.3 cmに達した（Fig. 4）。7月まではやや縮小し、9月には著しい末枯れにより、葉長は96.9 cmとなった。葉状部湿重量も葉長と同様の变化を示し、2015年12月の4.9 gから増加し、5月には466.8 gに達した後、9月には53.9 gまで減少した。2016年11月には、新たに加入した孢子体（葉長約13 cm、湿重量約0.7 g）を確認した。2015年12月～2016年4月は子嚢斑を形成した個体は採集されなかったが、5月には子嚢斑を形成した個体が採集された。子嚢斑形成率は5月が12.5%、6月が80.0%で、7月および9月は採集した全ての個体に子嚢斑が形成されていた。

3. アイヌワカメ 2015年12月～2016年2月は、葉長が54.1～87.8 cm、葉状部湿重量が9.6～13.6 gで推移したが、その後、経月的に伸長および増重し、5月にはそれぞれ170.8 cm、272.1 gに達した（Fig. 5）。その後、葉状部の末枯れにより葉長は縮小、葉状部湿重量は減少し、2016年12月にはそれぞれ66.0 cm、9.8 gとなった。2015年12月、2016年1、9月および12月に採集したアイヌワカメのうち23.3～33.8%の個体は孢子葉を有していなかった。子嚢斑形成個体率は、2015年12月は50.0%、2016年1月は26.3%に低下し、2月はほぼ全ての個体の孢子葉に子嚢斑がみとめられ

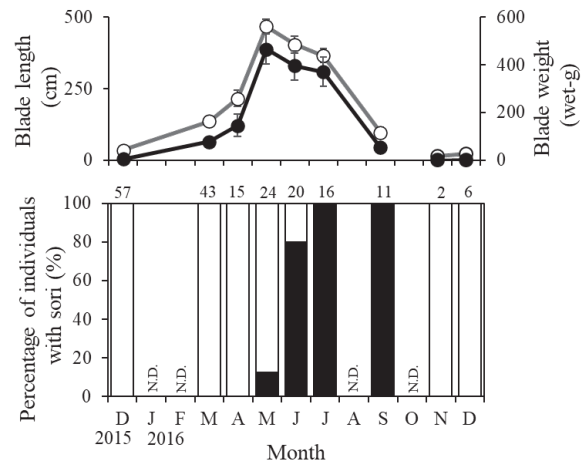


Fig. 4 Blade length and weight (top) and percentage of individuals with sori on the blades (bottom) of *Costaria costata* collected at Katsurakoi from December 2015 to December 2016. Open and filled circles in the top panel indicate the blade length and weight, and the bottom panel indicates blades with and without sori, respectively. Vertical bars on the symbols represent the standard errors of the means. The numbers above each bar indicate the number of specimens observed, and N.D. indicates no data.

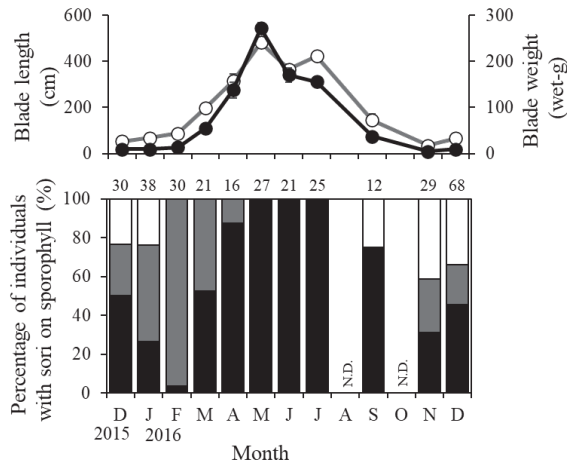


Fig.5 Blade length and weight (top) and percentage of individuals with sori on the sporophylls (bottom) of *Alaria praelonga* collected at Katsurakoi from December 2015 to December 2016. Open and filled circles in the top panel indicate blade length and weight, respectively. Filled black and gray bars in the bottom panel indicate sporophylls with and without sori, respectively. Open bars in the bottom panel indicate no sporophylls. Vertical bars on the symbols represent the standard errors of means. The numbers above each bar indicate the number of specimens observed, and N.D. indicates no data.

なかった。その後、子嚢斑形成率は経月的に上昇し、5～7月には採集したすべての個体の子嚢斑を形成した胞子葉を有していた。9月以降、子嚢斑形成率は再び低下し、12月には45.6%となった。

フィルター上に発芽したコンブ目海藻の幼胞子体数の経月変化 調査点Aでは、2019年3月を除いた全ての月でコンブ目海藻の幼胞子体が確認された (Fig. 6)。幼胞子体数は2017年9～11月、2018年12月、2019年8月および9月は5個体/cm²以上となり、月により大きく異なっていた (Kruskal-Wallis検定, 有意水準5%)。特に2017年は9月に13.2個体/cm²、2018年は12月に8.0個体/cm²、2019年は9月に416.4個体/cm²であり、各年で最も密度が高かった。調査点Bは、2019年12月を除くすべての月で幼胞子体を確認したが、調査点Aと同様に季節変化が大きく (Kruskal-Wallis検定, 有意水準5%)、2017年6月と8～11月、2018年6、8月および10月、2019年6、9月および11月に5個体/cm²以上であった。各年で最も密度が高かったのは、2017年9月、2018年10月および2019年9月であり、それぞれ47.5、29.5および62.2個体/cm²であった。

リアルタイムPCRにより定量したコンブ目海藻4種の遊走子数の経月変化 ナガコンブ、ガツガラコンブ、スジメおよびアイヌワカメの遊走子の出現時期は、調査点間で類似していたが、多数の遊走子が出現した採水層に一

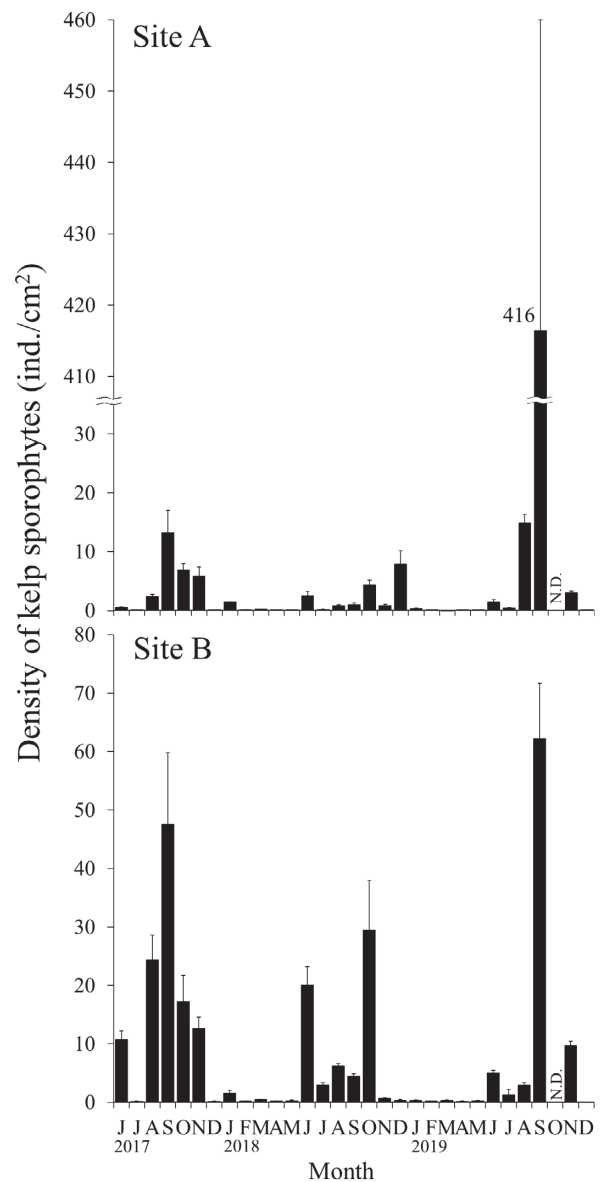


Fig. 6 Density of kelp sporophytes germinated on membrane filters obtained by filtering seawater collected from the surface at each survey site (A, B) in Ochiishi from June 2017 to December 2019. Vertical bars on each column represent the standard errors of means. N.D. indicates no data.

定の傾向はみとめられなかった (Table 1)。

1. ナガコンブ 調査点Aでは、2017年8月～11月、2018年1月、3月、2018年7月～2019年1月、3、4月、7～12月に遊走子が出検された。2017年は9月の底層において年間で最も多くの1469.9個/mlが出現し、2018年は12月の表層で151.2個/ml、2019年は9月の表層で1389.9個/mlの遊走子が出現した。調査点Bでは、2017年8～11月、2019年1月、4月、7～12月、2019年2～4月、7～12月 (10月を除く) に遊走子が出検された。2017年と2019年は9月の底層において年間で最多となり、それぞれ261.1、450.4個/mlであつ

Table 1 The relative number of kelp spores of *Saccharina longissima*, *Saccharina coricea*, *Costaria costata*, and *Alaria praelonga* obtained by filtering seawater collected from two levels at each study site (sites A and B) from June 2017 to December 2019. Gray cells indicate that recorded numbers were above the quantification lower limit. A dash (-) indicates that numbers were below the detection lower limit, and N.D. indicates no data. Bold numbers indicate the maximum number of kelp spores recorded for each year.

Kelp Species		<i>Saccharina longissima</i>				<i>Saccharina coricea</i>				<i>Costaria costata</i>				<i>Alaria praelonga</i>			
Site		A		B		A		B		A		B		A		B	
Sampling layer		surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom
Date	Jun 14, 2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	-	-	-	-	-
	Jul. 13	-	-	-	-	-	-	-	3.3	14.2	-	14.0	12.2	3.8	-	8.1	-
	Aug. 17	4.8	-	15.1	19.3	-	20.9	10.6	13.3	49.3	3.3	906.8	1007.2	34.5	5.8	14.9	31.1
	Sep. 22	62.7	1469.9	205.0	261.1	11.6	44.7	4.1	8.3	3.4	4.7	36.8	22.5	-	28.6	6.7	45.7
	Oct. 16	3.3	-	32.2	23.9	6.0	6.9	47.3	81.1	-	-	-	-	15.5	22.8	41.4	26.1
	Nov. 10	43.4	31.7	48.9	65.4	11.2	7.4	19.9	9.1	-	-	-	-	6.3	5.1	-	10.5
	Dec. 18	-	-	-	-	-	-	10.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jan. 15, 2018	6.7	44.1	26.8	5.4	31.7	23.2	-	-	-	-	-	-	4.8	9.7	-	-
	Feb. 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mar. 15	3.5	3.4	-	-	4.0	4.2	5.5	5.3	-	-	-	-	1.4	0.7	-	-
	Apr. 17	-	-	-	0.7	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	-	1.6	0.9
	May 16	-	-	-	-	-	1.4	-	1.6	-	-	1.2	-	5.1	4.1	2.3	2.5
	Jun 19	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	0.7	67.1	42.6	15.2	9.9	176.3	102.9
	Jul. 12	-	0.8	9.5	12.8	-	-	0.9	4.4	-	-	88.2	164.4	1.1	-	2.0	5.3
	Aug. 20	8.1	13.3	8.9	6.4	0.9	2.2	-	-	3.8	1.9	98.6	51.4	17.9	6.9	17.1	11.2
	Sep. 18	1.3	2.6	3.1	10.8	2.3	-	32.4	45.7	-	-	2.2	12.4	3.1	1.3	3.6	3.5
	Oct. 16	-	1.0	6.9	7.0	102.1	226.8	342.8	328.7	-	-	-	2.2	1.4	0.9	6.4	6.0
	Nov. 14	8.8	6.3	-	1.9	8.9	10.0	9.7	13.6	-	-	-	-	5.5	4.3	-	-
	Dec. 11	151.2	98.6	2.0	1.8	9.9	8.5	8.2	6.7	1.4	-	-	-	1.4	0.7	1.9	1.1
	Jan. 22, 2019	-	1.2	-	-	-	6.3	-	1.5	-	-	-	-	-	1.2	-	-
	Feb. 19	-	-	-	0.7	-	1.8	1.5	4.5	-	-	-	-	1.1	0.8	-	-
	Mar. 15	-	0.8	16.6	12.6	3.0	3.9	7.6	13.4	-	4.3	-	-	2.5	0.8	-	-
	Apr. 23	-	2.5	-	1.5	-	-	-	0.9	-	-	-	-	1.8	3.6	2.6	1.9
	May 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.9	3.6	33.1	45.4
	Jun. 21	-	-	-	-	-	-	-	-	4.9	5.7	15.2	15.0	3.2	7.0	34.8	35.0
	Jul. 26	6.8	5.0	42.9	30.4	-	-	-	-	1.6	4.5	75.1	84.6	10.0	5.7	65.7	82.2
	Aug. 27	48.6	26.1	14.6	52.9	-	-	-	0.7	7.7	5.1	109.5	397.1	16.6	3.2	32.9	129.6
	Sep. 11	1389.8	69.0	281.8	450.4	0.9	1.7	-	-	157.6	1.4	17.5	31.3	41.4	2.2	26.6	77.2
	Oct.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Nov. 7	1.8	-	38.6	36.5	91.3	108.0	399.9	425.9	0.9	-	2.6	-	-	-	3.9	11.7
	Dec. 9	1.3	0.8	-	2.6	13.7	5.8	1.5	13.8	-	-	-	-	-	-	-	-

The quantification lower limit from June 2017 to January 2018 was 40.0 (50 ml filtered) or 66.7 (30 ml filtered) ind./ml, and that from February 2018 to December 2019 was 10.0 ind./ml. The detection lower limit from June 2017 to January 2018 was 2.4 (50 ml filtered) or 4.1 (30 ml filtered) ind./ml, and from February 2018 to December 2019 was 0.67 ind./ml. Limits were calculated based on Takaya *et al.* (2016) and Takaya (2020).

た。2018年は8月の底層において、年間で最も多くの12.8個/mlの遊走子が出現した。

2. ガッガラコンブ 調査点Aでは、2017年8～11月、2018年1, 3, 5月と8～12月、2019年1～3月, 9, 11, 12月に遊走子が出検され、各年の最高値は、2017年9月、2018年10月および2019年11月の底層でそれぞれ44.7, 226.8および108.0個/mlであった。調査点Bでは、2017年6～12月、2018年3～5月, 7月, 9～12月、2019年1～4月, 8, 11, 12月に遊走子が出検された。2017年は10月の底層で、2018年は10月の表層で、2019年は11月の底層でそれぞれ81.1, 342.8, 425.9個/mlの遊走子が出現し、各年で最も多かった。

3. スジメ 調査点Aでは2017年7～9月、2018年6月, 8月, 12月、2019年3月, 6～9月, 11月に遊走子が出検されたが、定量下限値以上の遊走子が出検されたのは2017年8月の表層 (49.3個/ml) と2019年9月の表層 (157.6個/ml) のみであった。調査点Bでは、2017年6～9月、2017年5～10月、

2018年6～9月及び11月に遊走子が出検され、2017年9月、2018年7月および2019年8月の底層でそれぞれ1007.2, 164.4および397.1個/mlであり、各年で最も多くの遊走子が出現した。

4. アイヌワカメ 調査点Aでは、2017年7～11月、2018年1, 3月, 5～12月、2019年1～9月に遊走子が出検された。しかし、定量下限値以上の遊走子が出検された月は2017年6, 8月 (表層)、2019年7～9月 (表層) であり、各年の最高値は、2017年が8月の17.9個/ml、2018年が9月の41.4個/mlであった。調査点Bでは2017年7～11月、2018年4～10月と12月、2019年4～9月と11月に遊走子が出検された。各年で最も多くの遊走子が出現したのは、2017年は9月 (底層)、2018年は6月 (表層)、2019年は8月 (底層) でそれぞれ45.7, 176.3および129.2個/mlであった。

考 察

コンブ目海藻4種の子嚢斑の形成時期 道東太平洋沿岸のナガコンブは、遊走子の着生時期や胞子体の発芽時期によって「冬季発芽群」、「冬季発芽2群」および「夏季発芽群」の3群があり、この3群のうち寿命が約2年である冬季発芽群が本種の主群であると推定されている（佐々木ら, 1973a; 佐々木ら, 1973b）。ナガコンブ（冬季発芽群）の子嚢斑の形成時期は、1年目の藻体が9月～翌年3月、2年目の藻体が6～12月とされている（佐々木ら, 1973a）。根室市落石沿岸で採集したナガコンブは、形態的特徴から2年目の藻体であり、葉長または葉状部重量が最大となる6または7月から子嚢斑の形成を開始した（Fig. 2, 3）。8～12月にはほぼ全ての藻体に子嚢斑が形成されており（Fig. 3）、過去の知見（佐々木ら, 1966; 佐々木ら, 1973a; 名畑・酒井, 1994）と大きな相違はみとめられなかった。

本研究では、ガッガラコンブの子嚢斑の形成時期を明らかにできなかった。1年目ガッガラコンブが子嚢斑を形成することはまれで、形成する場合でも裏面のみであるとされている（佐々木ら, 1966; 川嶋, 2012）。佐々木ら（1966）は、釧路管内浜中町において、6、7および10月のガッガラコンブ（2または3年目）の成熟状況を調べ、10月の藻体にのみ子嚢斑を確認している。また、2または3年目のガッガラコンブは8月以降に子嚢斑の形成が始まり、その後急速に発達すると推定されている（川嶋, 2012）。

道東におけるスジメの子嚢斑の形成時期は、根室管内羅臼町および十勝管内広尾町で主に5～8月であることが報告されている（佐々木, 1978; 北海道立総合研究機構釧路水産試験場, 2019）。釧路市桂恋沿岸で採集したスジメも同様に、葉長および葉状部重量が最大となる5月から子嚢斑の形成が始まり、7月および9月には採集した全ての藻体に子嚢斑が形成されており（Fig. 4）、過去の知見と概ね一致していた。

アイヌワカメは、葉状部に子嚢斑を形成する他の3種とは異なり、茎状部に胞子葉を形成し、成熟期になると胞子葉の表面に子嚢斑を形成する。アイヌワカメの子嚢斑の形成時期は4月～翌年1月までと推定されている（名畑・酒井, 1994）。釧路市桂恋沿岸で採集したアイヌワカメは、11月から新たに胞子葉の形成が始まり、2月にはほぼ全ての藻体が未成熟の胞子葉を有していた。3月以降は葉長および葉状部重量の増大に伴って、胞子葉に子嚢斑を形成した個体の割合が上昇し、5～9月には胞子葉を持つ全ての個体が子嚢斑を形成しており（Fig. 5）、アイヌワカメの主たる子嚢斑の形成時期は3～9月であると推定される。

コンブ目海藻4種の遊走子の放出盛期 本研究では、道東太平洋沿岸に生育するコンブ目海藻のナガコンブ、ガッガラコンブ、スジメおよびアイヌワカメを対象とし、リアルタイムPCRにより遊走子数を推定した。各年でナガコンブの遊走子数が多かった月は7～9月または12月であり、年間で最高となる月は9月であることが多かった。また、ガッガラコンブの遊走子は10月と11月に、スジメの遊走子は8月に最高値となることが多かった。一方、アイヌワカメの遊走子数は6～10月に多かったが、調査年や場所により最高値となる月が異なっていた（Table 1）。培養法によりコンブ目海藻の幼胞子体数を調べた結果、両調査点とも幼胞子体は6月および8～11月に出現する傾向がみられ（Fig. 6）、リアルタイムPCRで推定したコンブ目海藻の遊走子放出時期と概ね整合していた。このことから、本研究ではリアルタイムPCRにより遊走子以外のDNAや発芽能を有していない遊走子のDNAを検出した割合は低く、リアルタイムPCRによる推定値は正常に成熟および受精し、胞子体形成が可能な遊走子数を示していると考えられる。

コンブ目海藻の幼胞子体数とリアルタイムPCRで推定した各種の遊走子数から、6月および8～11月に出現した幼胞子体は、6月はアイヌワカメ、8月はスジメ、9月はナガコンブ、10および11月はガッガラコンブが主体であると推定される（Fig. 6, Table 1）。2017年および2019年は、9月にナガコンブの幼胞子体が多数出現したが、2018年9月にはほとんど出現しなかった（Fig. 6, Table 1）。2018年は2017年よりナガコンブの成長が良好で、成熟も早期に進行していた（Fig. 2, Fig. 3）。また、2018年10月に採集したナガコンブの子嚢斑は艶や粘質を失い、子嚢斑部には微細な生物が多数付着しており、遊走子放出後の子嚢斑の特徴（佐々木ら, 1973a）を呈していた。2018年にナガコンブの遊走子数が少なかった原因は明らかではないが、本研究は1ヶ月に1度の頻度で調査したため、2018年は遊走子の放出盛期を捉えられなかった可能性が考えられる。

以上の結果から、道東太平洋沿岸におけるコンブ目海藻の遊走子の放出盛期は、ナガコンブは主に9月、ガッガラコンブは10月または11月、スジメは8月と推定された。アイヌワカメは他3種のような特定の放出盛期はみられず、6～10月に多くの遊走子を放出すると推定された。本研究で推定したスジメおよびアイヌワカメの遊走子の放出盛期は、調査海域に隣接する浜中町における放出盛期（高谷・合田, 2019）とほぼ一致していた。

ただし、本研究で使用したナガコンブ用のプライマーはトロロコンブ*Saccharina gyrata*との鑑別が困難であるとされている（高谷, 未発表）。また、リアルタイムPCR

で推定した遊走子数はホソメコンブ1遊走子あたりのDNAコピー数から換算したため、種間の遊走子数の多寡を比較することができなかった。今後、遊走子数の推定精度の向上のために、プライマーを再検討するとともに、各種類の遊走子数とDNAコピー数の関係を明らかにする必要がある。

コンブ目海藻4種の成熟時期と遊走子の放出盛期の関係
本研究の結果を整理し、コンブ目海藻幼孢子体の月別の平均密度、リアルタイムPCRで推定した遊走子数の各月の出現割合および子嚢斑の形成時期をTable2に示した。ナガコンブの子嚢斑の形成時期は、過去の知見（佐々木ら, 1966; 佐々木ら, 1973a; 名畑・酒井, 1994）と同様に、6~12月であった。ナガコンブ遊走子の放出期間は6~12月（佐々木ら, 1973a）または8~1月（名畑・酒井, 1994）と推定されているが、本研究により放出盛期は9月であることが明らかとなった。また、ガツガラコンブは8月以降に子嚢斑を形成する（佐々木ら, 1960; 川嶋, 2012）のに対し、遊走子の放出盛期は10または11月、スジメは5~9月に子嚢斑を形成するのに対し、遊走子の放出盛期は8月であり、子嚢斑の形成始期から2~3ヶ月後に遊走子の放出盛期となる点は共通していた（Table 2）。アイヌワカメは他3種のような明瞭な放出盛期はみとめられなかったが、放出する遊走子数が増加し始める6月は、子嚢斑の形成始期の約3ヶ月後であった（Table 2）。

北海道太平洋沿岸の日高管内に生育するミツイシコン

ブは、子嚢斑を有する個体は絶えず遊走子を放出し、それに伴い配偶体を生産すると推定されている（長谷川・福原, 1958）。しかし、本研究の対象としたコンブ目海藻の遊走子の放出盛期は、子嚢斑の形成始期から2~3ヶ月後であり、子嚢斑の形成初期にはほとんど遊走子を放出していなかった（Table 2）。また、ほぼ全ての藻体に子嚢斑が形成される時期は、ナガコンブが8月、スジメが7月、アイヌワカメが5月だったが（Fig. 3-5）、各種の遊走子の放出盛期はその1ヶ月後であった（Table 1, 2）。ニュージーランドの*Ecklonia radiata*は、夏季に子嚢斑を形成するが、その時期には遊走子を放出しないことが報告されている（Novaczek 1984）。また、カルフォルニア南部の*Pterygophora californica*, *Eisenia arborea*および*Laminaria farlowii*は子嚢斑の形成期間の最初の2ヶ月間は遊走子を放出せず、形成期間の後半に遊走子を放出することが明らかにされている（Graham, 1999）。本研究の対象種も同様に、成熟期の前期には遊走子をほとんど放出せず、成熟期の中~後期に多くの遊走子を放出すると考えられる。

ナガコンブ遊走子の放出盛期と雑海藻駆除適期の関係

道東太平洋沿岸で行われている雑海藻駆除の生態的意義は、基質面の更新により遊走子の着生面が増加すること、配偶体または孢子体に必要な光または流動環境が改善されることであると考えられている（名畑, 1995）。道東太平洋沿岸で行われている雑海藻駆除の適期は、ナガ

Table 2 Mean monthly density and maturation periods of sporophytes, and monthly percentages of spores in four kelp species *Saccharina longissima*, *Saccharina coriacea*, *Costaria costata*, and *Alaria praelonga*.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Mean monthly density of sporophyte (ind./cm ²)	0.9	0.1	0.3	0.1	0.2	6.7	0.8	8.6	90.8 (25.7)* ₁	14.5	5.5	1.4
<i>Saccharina longissima</i>												
Maturation period of sporophytes (>1 year old)												
Monthly percentage of spores (%) * ₂	++		+				++	++	83.0		++	5.0
<i>Saccharina coriacea</i>												
Maturation period of sporophytes (>1 year old) * ₃												
Monthly percentage of spores (%)			+						5.0	45.8	47.3	++
<i>Costaria costata</i>												
Maturation period of sporophytes												
Monthly percentage of spores (%)							++	12.3	76.7	6.9		
<i>Alaria praelonga</i>												
Maturation period of sporophytes												
Monthly percentage of spores (%)						10.5	32.5	14.3	20.7	18.0	++	+

The mean monthly density of kelp sporophytes was calculated from the density of kelp sporophytes that germinated on the membrane filters from June 2017 to December 2019.

*₁ Excluded extreme high data for site A in September 2019

*₂ Monthly percentage of spores = $\frac{\text{number of spores in each month}}{\text{total number of spores in this study}} \times 100$

*₃ Referenced from Sasaki et al. (1960) and Kawashima (2012)

+ indicates < 1%, ++ indicates 1~5%

コンブおよび雑海藻の再生産時期から冬季(11~1月)とされている(阿部, 1995; 名畑, 1995)。一方, 釧路管内浜中町のナガコンブ漁場で8~3月に雑海藻を駆除した結果, 8または9月に駆除を行った試験区では雑海藻の現存量が増加したが, 10~3月に駆除を行った試験区では雑海藻はほとんど見られず, ナガコンブの現存量が著しく増加したことが報告されている(寺井, 2016)。

本研究の結果, ナガコンブ遊走子の放出盛期は9月であることが明らかとなり, 10~3月は雑海藻であるスジメやアイヌワカメだけではなく, ナガコンブの遊走子数も少ないことが分かった(Fig. 6, Table 1)。寺井(2016)の報告と併せて考えると, 雑海藻駆除によってナガコンブ群落が形成される時期は, 遊走子放出盛期である9月ではなく, 海水中の遊走子数が少ない10~3月であると言える。10~3月に放出されたごく少数の遊走子が着生し, ナガコンブ群落が形成される可能性も考えられる。しかし, 年間に放出されるナガコンブ遊走子数の8割以上が盛期である9月に放出されること(Table 2), 天然海域において成熟が抑制された状態で長期間生存するナガコンブ配偶体の存在が示唆されていることから(佐々木ら, 1973a), 10~3月の雑海藻駆除によるナガコンブ群落の形成には, 盛期に放出された遊走子が最も寄与していると推察される。これらのことから, 道東太平洋沿岸で冬季に行われている雑海藻駆除の効果は, 遊走子の着生面増加のための基質更新効果ではなく, 駆除時にはすでに海底に存在する配偶体または幼孢子体の生育環境の改善効果であると考えられる。雑海藻駆除の適期は, 有用コンブ類または雑海藻の再生産時期から推定されていたが, 雑海藻駆除によって有用コンブ類の生活史初期の生育環境が改善される条件を考慮して再検討する必要があるだろう。

本研究では, 培養法によるコンブ目海藻の幼孢子体数とリアルタイムPCRで推定した遊走子数から, ナガコンブ, ガッガラコンブ, スジメおよびアイヌワカメ遊走子の放出盛期を明らかにし, 孢子体の成熟期との関係を明らかにした。また, 雑海藻駆除によるナガコンブ群落の再生機序や駆除適期の再検討に必要な生態的な知見が得られた。今後は, 雑海藻駆除によるナガコンブ群落の再生をより効果的に行うために, 駆除時期の水温や栄養塩環境, 雑海藻駆除により改善される光や流動環境が有用コンブ類の初期生態に与える影響や有用コンブ類の遊走子の空間分布を明らかにし, 最大効果が期待できる駆除の適期や適地の特性を明らかにする必要があると考える。

謝 辞

本研究の遂行にあたり, 野外調査, 試料採取等でご尽力を賜った落石漁業協同組合, 根室地区水産技術普及指導所, 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所釧路拠点(旧北海道区水産研究所)の関係諸氏に著者らの深甚なる謝意を表します。また本稿の作成にあたり, 丁寧な査読と貴重なご意見を賜った査読者の方々に謝意を表します。なお本研究は, 平成28~30年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(農林水産省 農林水産技術会議)「道東海域の雑海藻を原料とした水産無脊椎動物用餌料の開発と利用」, 平成29~31年度水産基盤整備調査委託事業(水産庁)「天然コンブの生育に好適な海洋環境条件の解明に基づく漁場造成適地選定手法の開発」により実施した。

引用文献

- 阿部英治. 雑海藻駆除によるコンブ漁場の再生技術. 釧路水試だより 1995 ; 72 : 4-8.
- Bobadilla M, Santelices B. A new technique for simultaneous collection of macroalgal propagules in the water column. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2004 ; 298 : 125-131.
- Graham MH. Identification of kelp zoospores from in situ plankton samples. *Mar. Biol.* 1999 ; 135 : 709-720.
- 長谷川由雄, 福原英司. コンブの増殖に関する調査(Ⅱ). 北水試月報 1958 ; 15 : 69-76.
- 幡宮輝雄. コンブ生産安定に向けた北海道の取り組み. 水産工学 2014 ; 51 : 75-77
- 北海道立総合研究機構釧路水産試験場. 11道東海域の雑海藻駆除を原料とした水産無脊椎動物用餌料の開発と利用(公募型研究). 「平成29年度道総研釧路水産試験場事業報告書」, 釧路. 2019 ; 93-95.
- 北海道水産林務部. 昭和45年度~令和元年度北海道水産現勢. 札幌. 1971~2020.
- 気象庁. “海水域面積の長期変化傾向(オホーツク海)” 気象庁ホームページ (https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a_1/series_okhotsk/series_okhotsk.html (2021)) (2022.3.18)
- 川嶋昭二. 有用海藻の生物学 6コンブ. 「有用海藻誌(大野正夫編著)」内田老鶴圃, 東京. 2004.
- 川嶋昭二. 「日本産寒海性コンブ類の形態と分類」生物研究社, 東京. 2012.
- 釧路地方気象台. “釧路の海水現象の初終日記録(統計期間:1946年~2021年)” 釧路地方気象台ホームページ (<https://www.jma-net.go.jp/kushiro/bosai/kaiyou/kaiy->

- ou.html (2021)) (2022.3.18)
- 名畑進一. コンブの遊走子の生態に関する研究 (1). 北海道立水産試験場研究報告 1989 ; 32 : 11-17.
- 名畑進一. 道東でのコンブ漁場の磯掃除. 釧路水試だより 1990 ; 63 : 10-15.
- 名畑進一. 北海道東部沿岸のコンブ類. 日本水産学会誌 1995 ; 61 : 101-102.
- 名畑進一, 酒井勇一. 雑海藻駆除によるコンブ漁場の活性化試験. 平成5年度釧路水産試験場事業報告書 1994 ; 171-176.
- Nagasato C, Kawamoto H, Tomioka T, Tsuyuzaki S, Kosugi C, Kato T, Motomura T. Quantification of laminarialean zoospores in seawater by real-time PCR. *Phycol. Res.* 2020 ; 68 : 57-62.
- Novaczek I. Development and phenology of *Ecklonia radiata* at two depths in Goat Island Bay, New Zealand. *Mar. Biol.* 1984 ; 81 : 189-197.
- 坂田雅之, 徐寿明, 源利文. 環境DNA分析の概要. 「環境DNA 生態系の真の姿を読み解く (土井秀幸, 近藤倫生編)」共立出版, 東京. 2021.
- Sasaki H, Kawai H. Taxonomic revision of the genus *Chorda* (Chordaceae, Laminariales) on the basis of sporophyte anatomy and molecular phylogeny. *Phycologia* 2007 ; 46 : 10-21.
- 佐々木正義. 北海道のコンブ漁業の現状. 北水試だより 2017 ; 94 : 5-9
- 佐々木茂. 羅臼産スジメの生活様式. 北水試月報 1978 ; 35 (11-12) : 1-10.
- 佐々木茂, 岩井肇, 中島静夫. 冬季発芽群の生活様式. 「ナガコンブ *Laminaria angustata* var. *longissima* (M.) MIYABEの生活様式に関する研究 (佐々木茂編)」北海道立釧路水産試験場ほか, 釧路. 1973a ; 1-50.
- 佐々木茂, 川嶋昭二, 黒滝茂, 上田稔. 浜中町のコンブについて. 北水試月報 1966 ; 23 : 502-513.
- 佐々木茂, 清水富士雄, 本間瑛, 金田清太郎. 冬季発芽群 (2) および夏季発芽群 (2) の生活様式. 「ナガコンブ *Laminaria angustata* var. *longissima* (M.) MIYABEの生活様式に関する研究 (佐々木茂編)」北海道立釧路水産試験場ほか, 釧路. 1973b ; 1-50.
- 鈴木雅大, 羽生田岳昭, 川井浩史. 日本周辺に分布する褐藻ツルモ属の系統地理学的解析. 藻類 2018 ; 66 : 80.
- 高原輝彦, 山中裕樹, 源利文, 土居秀幸, 内井喜美子. 環境DNA分析の手法開発の現状～淡水域の研究事例を中心にして～. 2016 ; 66 : 583-599.
- 高谷義幸. リアルタイムPCRを用いたコンブ遊走子定量法の改良 (技術報告). 北海道水産試験場研究報告 2020 ; 98 : 25-29.
- 高谷義幸, 秋野秀樹, 四ツ倉典滋. リアルタイムPCRを用いたホソメコンブ遊走子の定量法 (技術報告). 北海道水産試験場研究報告 2016 ; 90 : 13-16.
- 高谷義幸, 合田浩朗. リアルタイムPCR法で推定した北海道東部海域におけるアナメ, スジメ, アイヌワカメの遊走子放出時期 (資料). 北海道水産試験場研究報告 2019 ; 95 : 33-38.
- Tatewaki M. Formation of a crustaceous sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. *Phycologia* 1966 ; 6 : 62-66.
- 館脇正和, 水野真. 藻類各種, 特に褐藻に対する二酸化ゲルマニウムの生長阻害. 藻類 1979 ; 27 : 205-212.
- 寺井稔. 雑海藻の駆除によるコンブ漁場の保全について. 水産工学 2014 ; 51 : 55-58.
- 四ツ倉典滋. 日本産コンブ目植物の分類体系. *Algal Resources* 2010 ; 3 : 193-198.
- 吉田忠生. 「新日本海藻誌」内田老鶴圃, 東京. 1998.
- 吉田忠生, 鈴木雅大, 吉永一男. 日本産海藻目録 (2015年改訂版). 藻類 2015 ; 63 : 129-189.

稚貝調査と出荷貝調査により明らかとなった噴火湾養殖ホタテガイへい死の実態

金森 誠¹, 夏池真史², 瀬戸啓介³, 白井睦実⁴, 河井 渉⁴, 吉田 聡⁵

¹北海道立総合研究機構, ²北海道立総合研究機構函館水産試験場,

³北海道宗谷総合振興局宗谷地区水産技術普及指導所礼文支所,

⁴北海道宗谷総合振興局宗谷地区水産技術普及指導所利尻支所,

⁵北海道渡島総合振興局渡島北部地区水産技術普及指導所

Long-term monitoring reveal mass mortality events of cultured scallops *Mizuhopecten yessoensis* in Funka Bay, Hokkaido

MAKOTO KANAMORI¹, MASAFUMI NATSUIKE², KEISUKE SETO³, ATSUSHI SHIRAI⁴, AYUMU KAWAI⁴ and SATOSHI YOSHIDA⁵

¹ Hokkaido Research Organization, Sapporo, Hokkaido 060-0819,

² Hakodate Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Hakodate, Hokkaido 040-0051,

³ Rebun Branch Office, Soya Fisheries Technical Guidance Office, Soya General Subprefectural Office, Hokkaido Government, Rebun, Hokkaido 097-1201,

⁴ Rishiri Branch Office, Soya Fisheries Technical Guidance Office, Soya General Subprefectural Office, Hokkaido Government, Rishiri, Hokkaido 097-0101

⁵ North-Oshima Fisheries Technical Guidance Office, Oshima General Subprefectural Office, Hokkaido Government, Mori, Hokkaido 049-2313, Japan

We summarized the long-term monitoring data and the production records of cultured scallops in Funka Bay accumulated since the early 1990s to reveal the mass mortality events. Mortality and shell deformity rates of the scallops at the end of intermediate culture were correlated, and the average was 7.6% and 10.7%, respectively. Shell deformity was a more significant problem for the juvenile scallops, and that in the intermediate culture was a decline in the normality rate. The survival rate of scallops in harvest season can drop to below 20%. Therefore, the mass mortality events occurred after ear-hanging in Funka Bay. We observed that the normality rate of juvenile scallops was closely related to the survival rate of harvested scallops in the subsequent year. The survival rate of harvested scallops determined the production for that year. These results indicate that the mass mortality event of cultured scallops in Funka Bay had two continuous phases: 1) the decline of the normality rate in the intermediate culture period and 2) the subsequent high mortality rate in ear-hanged scallops. We conclude that maintaining the normality rate of juvenile scallops at an elevated level is the most critical factor for stabilizing scallop production in this area.

キーワード：出荷貝調査, 成育不良, 稚貝調査, 噴火湾, へい死, ホタテガイ, 養殖

北海道噴火湾では1970年頃からホタテガイの垂下養殖が盛んとなり, 90年代以降は年間10万トン, 金額で170億円 (1991~2015年平均) を水揚げする基幹産業となつて

いる (数値は鹿部町~室蘭市の合計値, 北海道水産林務部)。2015年以降, ホタテガイの死亡率が上昇する「へい死」と呼ばれる問題が頻繁に起きている。その結果, 年

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Cohort n	H											
Cohort n+1	IC	EH				CH					H	
Cohort n+2					SC			B			IC	

Fig.1 Typical process of scallop aquaculture in Funka Bay, Hokkaido. SC: Spat collection, B: Bunsan (size selection and adjusting density), IC: Intermediate culture, EH: Ear-hanging, CH: Culture for harvest, H: Harvest. Hatchings indicate the period when surveys for cultured scallops were conducted.

間生産量は2017年に3万5千トン、2019年に2万9千トンまで落ち込み（同上、北海道水産林務部）、漁家経営および関連産業は大きな打撃を受けた。北海道では2019年に噴火湾養殖ホタテガイへい死対策会議を設置し、へい死要因の解明および生産者への支援に取り組んでいる。

噴火湾のホタテガイ養殖では、春に採苗器を投入し、夏に採苗器に付着した天然種苗を採取する。種苗は養殖籠で翌春まで中間育成された後、耳吊りと呼ばれる方法で本養成が行われ、耳吊りを行った年の冬から翌年の春を中心に出荷される工程が主流となっている（“北海道の漁業図鑑”北海道水産業改良普及職員協議会(Web):<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/o7u1kr000000ceyo.html>, (2022年1月29日)。従って、ほぼ年間を通して、2世代が養殖されていることになる（Fig.1）。

噴火湾の養殖ホタテガイの「へい死」の問題については、1977～1980年の夏～冬にかけて採苗翌年の1年貝（現在の本養成貝に相当）で生じたことが記録されている（中川ら、1981；中川・吾妻、1982；川真田、1982、1983）。一方、1990年代以降のへい死の記録は本養成貝ではなく、中間育成期間中の稚貝で生じる死亡率や外部異常貝率の増加に関するものがほとんどである（伊藤、1995；奥村・吉村、2005；奥村ら、2007；馬場、2011；金森、2018）。有馬・吾妻（1986）は、噴火湾で養殖試験を実施し、春の稚貝の外部異常率やその症状の程度が越夏後の1年貝の生残率に大きな影響を与えたとし、種苗性を評価する上での指標となることを指摘している。また、馬場（2011）は噴火湾の養殖ホタテガイのへい死について、「稚貝で生残低下・変形貝の増加が起き、耳吊り貝の減少・耳吊り後の生残低下が生じ、問題が生じた年の2年後の生産量が著しく減少する現象」と考えている。実際に、函館水産試験場が噴火湾で実施している耳吊り貝の成長モニタリングにおいて、稚貝の死亡率や外部異常貝率が高かった年の翌年の耳吊り貝の生残率は例年よりも低いことが示されている（金森・馬場、2012）。最近では、虻田地区において2017～2019年に耳吊り時期と耳吊り貝の成長・生

残率を検証した試験においても同様の傾向が指摘されている（夏池ら、2022）。従って、噴火湾の養殖ホタテガイのへい死と呼ばれる現象は「中間育成時（稚貝）の生残低下および外部異常貝の増加」とその後生じる「本養成時（耳吊り貝）の生残低下」を経て、生産量の大きな減少をもたらす問題と考えられる。すなわち、これまでの噴火湾におけるへい死に対する諸研究は、前者の問題を扱った1990年代以降のへい死の記録（伊藤、1995；奥村・吉村、2005；奥村ら、2007；馬場、2011；金森、2018）、後者の問題を扱った1977年～1980年のへい死の記録（中川ら、1981；中川・吾妻、1982；川真田、1982、1983）、両者の関連を指摘した研究（有馬・吾妻、1986；馬場、2011；金森・馬場、2012；夏池ら、2022）に整理される。しかし、これまでこれらの2つの問題の関係を定量的に評価した例は、有馬・吾妻（1986）の1979～1981年の養殖試験のみであり、生産現場における検証は不十分である。生産現場では、毎年稚貝調査と出荷貝調査が行われ、長期モニタリングデータとして蓄積されている。それぞれの調査の目的は稚貝のできを評価すること、水揚げ歩留まりを推定することであり、漁業経営情報として活用されている。他方、それぞれの調査結果の関係解析は行われていない。

本研究の目的は、これまでの試験研究によって整理された噴火湾における養殖ホタテガイのへい死と呼ばれる現象が漁業実態に適合しているかどうかを稚貝調査、出荷貝調査および生産量の長期データを用いて検証することである。

試料及び方法

稚貝調査データ 稚貝調査データは、渡島北部地区水産技術普及指導所が管内の漁業協同組合とともに、1993年から実施している結果を用いた。調査は各年の2～3月に長万部地区、八雲地区、落部地区、森地区、および砂原地区の5地区で実施されている。本分散後の稚貝は1連10

～15簞程度のザブトン簞もしくは1連10段～20段の丸簞で育てられている。調査では各地区の複数の漁家を対象として、1連の上層、中層および下層からザブトン簞1簞もしくは丸簞1段の稚貝を採取し、正常生貝数、外部異常生貝数および死貝数が調べられている。養殖ホタテガイにおいては、貝殻の変形や欠損（欠刻）を持つ異常貝が出現することがある（Fig.2）。これらの異常貝は、生産現場において大量死が問題となるときに同時に見られることが知られている（森ら，1974；山形ら，1977；長内，1981；中川ら，1981）。そのため稚貝調査においては、貝殻の外観に異常のある生貝を外部異常生貝として正常生貝と区別して計数している。1993年～2021年までの各地区の平均調査漁家数は、長万部地区が5.0漁家、八雲地区が7.0漁家、落部地区が6.2漁家、森地区が17.1漁家、砂原地区が4.5漁家であった。データは、地区別の正常貝率（正常生貝数/調査個体数）、外部異常貝率（外部異常生貝数/調査個体数）および死貝率（死貝数/調査個体数）の平均値として整理されており、地区別の生残率は正常貝率と外部異常貝率の和として計算される（1 - 死貝率と同値）。今回は5地区の数値をさらに平均することで、その年の稚貝の正常貝率、外部異常貝率、死貝率、および生残率の代表値とした。なお、2011年の八雲地区および落部地区は2011年3月の東北地方太平洋沖地震による津波被災のため欠測となっており、この年は3地区の数値の平均とした。死亡と外部異常の発生の関連性を検証するため、各年の死貝率と外部異常貝率の相関分析を行った。検定はスピアマン順位相関検定を用い、フリーソフトウェア R (version 4.1.2) の `cor.test` 関数を使用した (R Core Team: URL <https://www.R-project.org/>. 2022.1.10ダウンロード)。

出荷貝調査データ 出荷貝調査データは、渡島北部地区

水産技術普及指導所が管内の漁業協同組合とともに1993年から実施している結果を用いた。調査は稚貝調査と同様に各年の2～3月に長万部地区、八雲地区、落部地区、森地区および砂原地区の5地区で実施されている。調査は各地区の複数の漁家を対象として、耳吊り貝1連の生貝数、死貝数を調べている。1993～2021年までの各地区の平均調査漁家数は、長万部地区が4.4漁家、八雲地区が7.0漁家、落部地区が6.3漁家、森地区が13.1漁家、砂原地区が3.9漁家であった。データは、各地区の生残率の平均値として整理されていたことから、稚貝調査結果と同様に、5地区の数値を平均することで、その年の出荷貝の生残率の代表値とした。なお、2017年の長万部地区は欠測となっており、この年は4地区の数値の平均とした。

生産量 北海道におけるホタテガイの生産量は、1～12月の暦年単位で北海道水産現勢として北海道水産林務部がとりまとめている。渡島海域では、春に耳吊りされたホタテガイは、主に12月頃から2年貝（年齢は1+齢）として出荷され、ピークは耳吊り翌年の3～4月となる。一方、春の耳吊り（3～5月）が終わってから3年貝として出荷される貝もあり、その場合、貝毒規制が度々かかる夏季およびオホーツク海の水揚げ時期（4～12月）との重複を避け（Imai *et al.*, 2014）、耳吊り翌年の12月～翌々年の1月の出荷が多くなる。また、4～6月には耳吊りに用いなかった稚貝も出荷される。そのため、暦年単位の漁獲統計データは、前年耳吊り貝の水揚げだけでなく、1月を中心に前々年の耳吊り貝（3年貝）、4～6月を中心に当年耳吊りに用いられなかった稚貝および12月を中心に当年耳吊り貝の生産量が含まれている。そこで稚貝調査及び出荷貝調査データの対象となっている5地区について渡島北部地区水産技術普及指導所に残されていた1996～2019年の銘柄別の水揚げデータを予備調査として分析した。銘

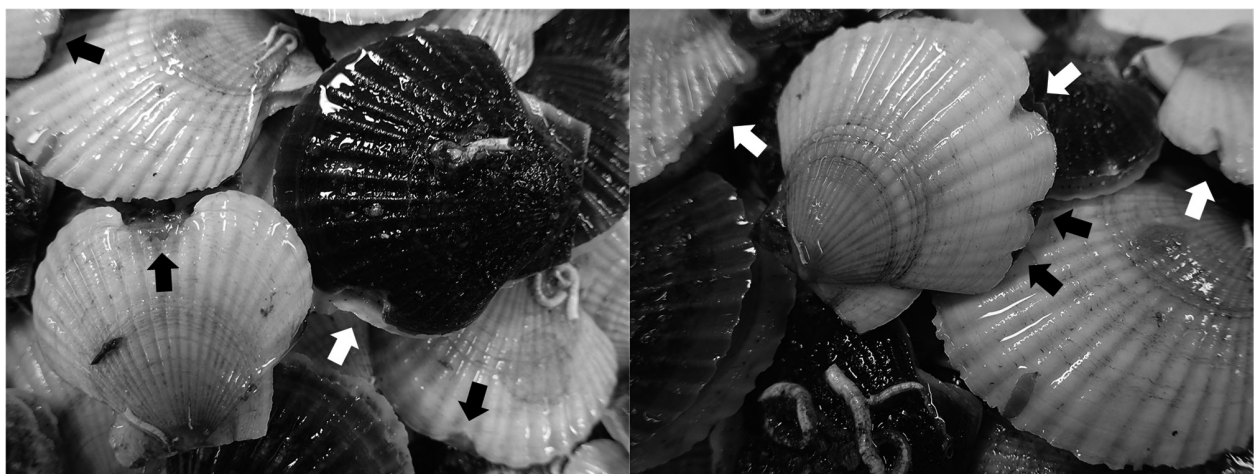


Fig.2 Intermediate cultured scallops with a high deformity rate from Funka Bay. Arrows indicate shell deformity. The images were captured on March 14, 2021, by MK.

柄の切り替え時期に不明瞭な点があり、前年耳吊り貝の水揚げを完全に区別することはできなかったが、確実に前年耳吊り貝の水揚げと考えられる1～5月の「2年貝」と6～12月の「3年貝」の年間生産量に占める割合は $82.6 \pm 10.2\%$ （平均値 $\pm$ 標準偏差）であった（金森, 未発表）。噴火湾では、平均的な年であれば、暦年の年間生産量の8割以上が前年耳吊り貝の生産となることが確認できたことから、本分析においては、暦年の生産量のデータを前年耳吊り貝の生産量を示すデータとして扱うこととした。データ集計の対象地区は、長期モニタリングデータの対象となっている5地区に対応する長万部町、八雲町（旧熊石町を除く）、森町（旧砂原町を含む）とし、その合計値を生産量とした。

稚貝調査、出荷貝調査および生産量の関係 稚貝調査と出荷貝調査のデータを確認すると、1992年生まれの稚貝を対象として1993年に稚貝調査が行われ、その世代が耳吊りされ、1年後の1994年の出荷貝調査の対象となっていることが分かる（Table 1）。従って、1993年の出荷貝調査の対象となった1991年生まれの稚貝に関しては、対応する稚貝調査のデータはないことになる。また、2021年の稚貝調査の対象となった2020年生まれの稚貝に関しては、対応する出荷貝調査はデータが含まれていないことになる。従って、世代として対応するデータは、「1993年の稚貝調査-1994年の出荷貝調査」～「2020年の稚貝調査-2021年の出荷貝調査」の28セットとなる。稚貝と出荷貝の関係は、このデータセット（ $N = 28$ ）を用いて検討した。分析は、稚貝の生残率および正常貝率のいずれかを説明変数、出荷貝の生残率を応答変数として、線形モデルによる回帰分析を行った。

次に、稚貝調査、出荷貝調査と生産量の関係を確認する。1992年生まれ世代を対象として行われた1993年の稚貝調査と対応する生産量は1994年であることが分かる、（Table 1）。従って、稚貝調査の世代に対応する生産量は、「1993年の稚貝調査-1994年の生産量」～「2019年の稚貝調査-2020年の生産量」の27セットとなる。稚貝調査と生産量の関係はこのデータセット（ $N = 27$ ）を用いて検討した。分析は、稚貝の生残率および正常貝率のいずれかを説明変数、その世代の生産量を応答変数として、線形モデルによる回帰分析を行った。1991年生まれ世代を対象として行われた1993年の出荷貝調査と対応する生産量は1993年である（Table 1）。従って、出荷貝調査の世代に対応するデータは、「1993年の出荷貝調査-1993年の生産量」～「2020年の出荷貝調査-2020年の生産量」の28セットとなる。出荷貝調査と生産量の関係はこのデータセット（ $N = 28$ ）を用いて検討した。分析は、出荷貝の生残率を説明変数、生産量を応答変数として、線形モデルによる回帰分析を行った。全ての線形モデルによる回帰分析はフリーソフトウェア R（version 4.1.2）のlm関数を用いた。また、稚貝の生残率もしくは正常貝率を説明変数とした線型モデルに関しては、両者の説明変数としての有用性を考察するため、同ソフトウェアのAIC関数を用い、赤池情報量規準（AIC）を計算した。

結 果

稚貝の生残率、正常貝率および外部異常貝率 1993～2021年の稚貝の生残率の平均値は92.4%、最高値は99.1%（2000年）、最低値は73.5%（2016年）であった（Fig.3A）。

Table 1 Long-term monitoring data set used for this study.

Cohort	Year of birth	Year of juvenile scallops survey	Year of harvested scallops survey	Year of production	Analysis 1	Analysis 2	Analysis 3
1	1991	No Data	1993	1993	-	-	○
2	1992	1993	1994	1994	○	○	○
3	1993	1994	1995	1995	○	○	○
4	1994	1995	1996	1996	○	○	○
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
27	2017	2018	2019	2019	○	○	○
28	2018	2019	2020	2020	○	○	○
29	2019	2020	2021	No Data	○	-	-
30	2020	2021	No Data	No Data	-	-	-

Analysis 1: Relationship between the juvenile scallops and the harvested scallops, Analysis 2: Relationship between the juvenile scallops and the scallop production, Analysis 3: Relationship between the harvested scallop and the scallop production. Circles indicate the cohort used for the analysis.

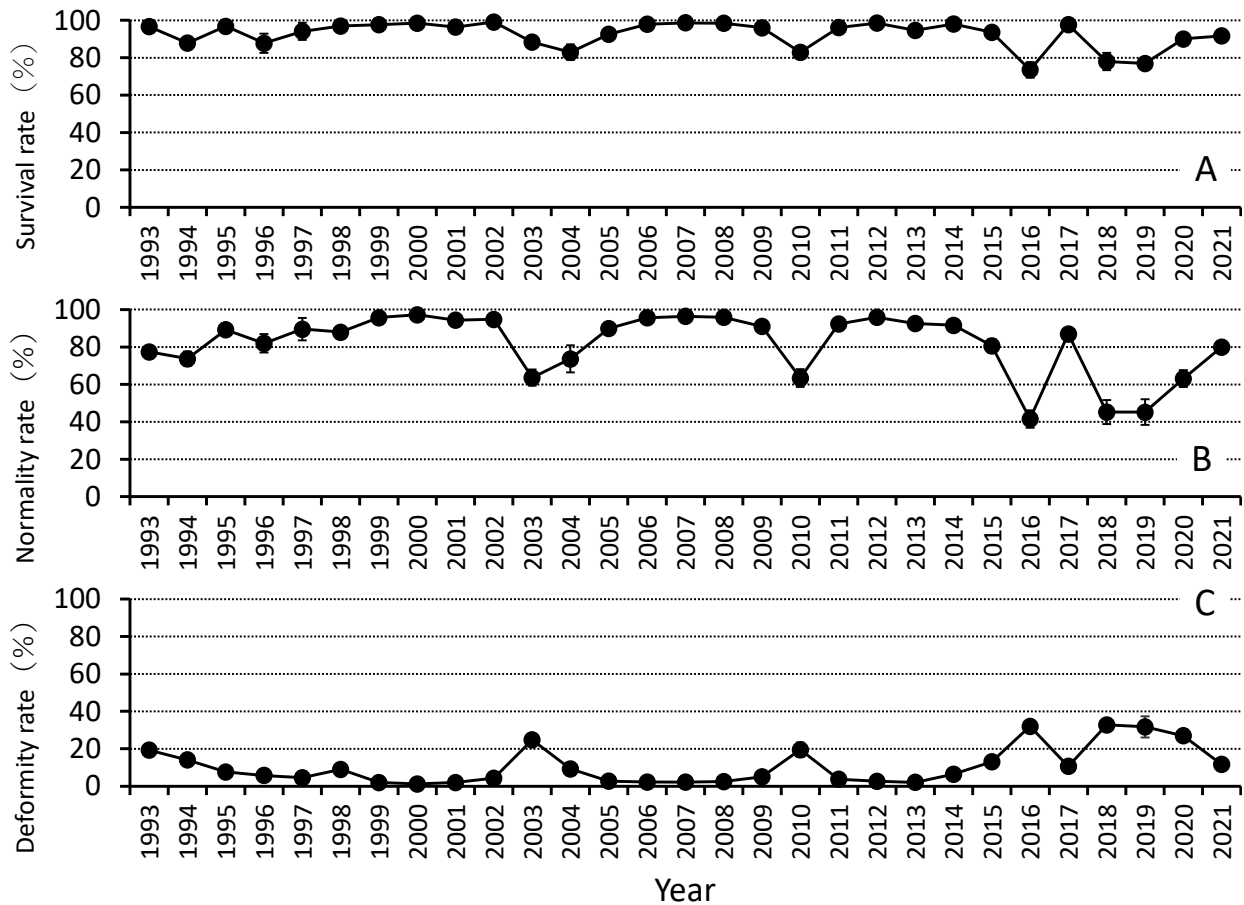


Fig.3 Annual fluctuations in the survival rate (A), the normality rate (B), and the deformity rate (C) of intermediate cultured scallops in Funka Bay from 1993–2021. Surveys were conducted from February to March in the year after the spats were collected. Bars indicate standard deviation.

1990年代（1993～1999年調査，以下同じ）の平均値±標準偏差は $94.0 \pm 4.4\%$ ，2000年代（2000～2009年調査，以下同じ）の平均値±標準偏差は $94.9 \pm 5.4\%$ ，2010年代（2010～2019年調査，以下同じ）の平均値±標準偏差は $89.0 \pm 10.0\%$ であった。同じく正常貝率の平均値は81.6%，最高値は97.3%（2002年），最低値は41.5%（2016年）であった（Fig. 3B）。1990年代の平均値±標準偏差は $85.1 \pm 7.7\%$ ，2000年代の平均値±標準偏差は $89.3 \pm 12.6\%$ ，2010年代の平均値±標準偏差は $73.6 \pm 22.4\%$ であった。外部異常貝率の平均値は10.7%，最高値は32.7%（2018年），最低値は1.2%（2000年）であった（Fig. 3C）。1990年代の平均値±標準偏差は $8.9 \pm 6.0\%$ ，2000年代の平均値±標準偏差は $5.6 \pm 8.0\%$ ，2010年代の平均値±標準偏差は $15.4 \pm 13.2\%$ であった。死貝率と外部異常貝率の関係をFig. 4に示した。死貝率と外部異常貝率の間には有意な相関関係が認められた（スピアマン順位相関検定， $P < 0.01$ ）。また，29ヵ年のうち20ヵ年で外部異常貝率の方が死貝率よりも高かった。この傾向は正常貝率が低い年に顕著であり，正常貝率80%未満の場合，9ヵ年のうち8

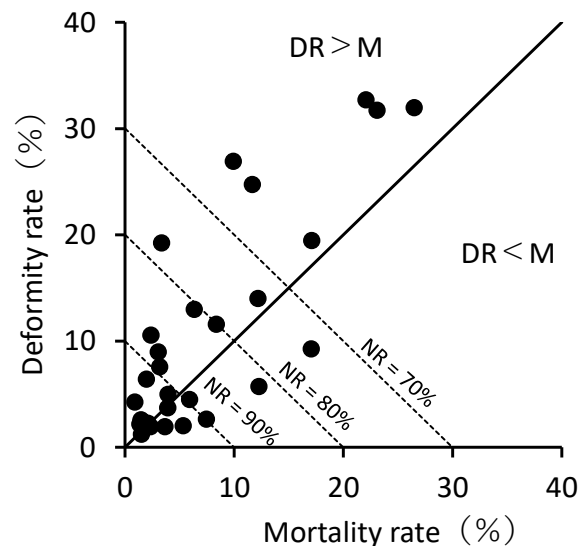


Fig.4 Relationship between the mortality and deformity rates of intermediate cultured scallops in Funka Bay from 1993–2021. NR, DR, and M indicate normality rate, deformity rate, and mortality rate, respectively.

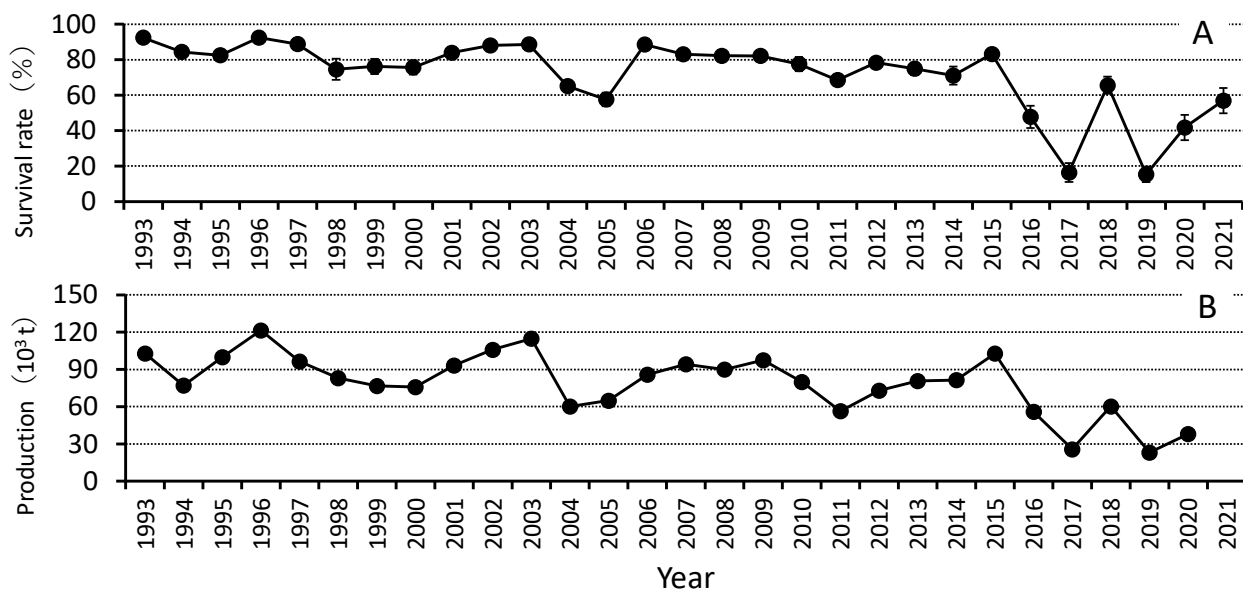


Fig.5 Annual fluctuations in the survival rate of harvested scallops (A) and scallop production (B) in Funka Bay from 1993–2021. Surveys for harvested scallops were conducted from February to March in the year following ear-hanging. Bars indicate standard deviation.

ヶ年で、正常貝率70%未満の場合、6ヵ年全てで外部異常貝率の方が死貝率よりも高かった。

出荷貝の生残率とホタテガイの生産量 29年間（1993～2021年）の出荷貝の生残率の平均値は71.9%，最高値は92.5%（1993年），最低値は15.3%（2019年）であった（Fig.5A）。1990年代の平均値±標準偏差は84.5 ± 7.3%，2000年代の平均値±標準偏差は79.5 ± 10.5%，2010年代の平均値±標準偏差は59.9 ± 25.1%であった。29年間の対象地区のホタテガイの生産量の平均値は79千トン，最高値は121千トン（1996年），最低値は23千トン（2019年）であった（Fig.5B）。1990年代の平均値±標準偏差は92 ± 15千トン，2000年代の平均値±標準偏差は88 ± 17千トン，2010年代の平均値±標準偏差は64 ± 25千トンであった。

稚貝の生残率、正常貝率と出荷貝の生残率および生産量の関係 回帰分析の結果、出荷貝の生残率に対する稚貝の生残率および正常貝率の回帰係数はいずれも有意であった（Fig.6、いずれも $P<0.001$ ）。決定係数は、稚貝の正常貝率を説明変数とした場合の方が高く、AICも稚貝の正常貝率を説明変数とした方が小さくなった。回帰分析の結果、生産量に対する稚貝の生残率および正常貝率の回帰係数はいずれも有意であった（Fig.7、いずれも $P<0.001$ ）。決定係数は、稚貝の正常貝率を説明変数とした場合の方が高く、AICも稚貝の正常貝率を説明変数とした方が小さくなった。回帰分析の結果、生産量に対する出荷貝の生残率の回帰係数は有意で（ $P<0.001$ ），決定係数は0.84と高かった（Fig.8）。

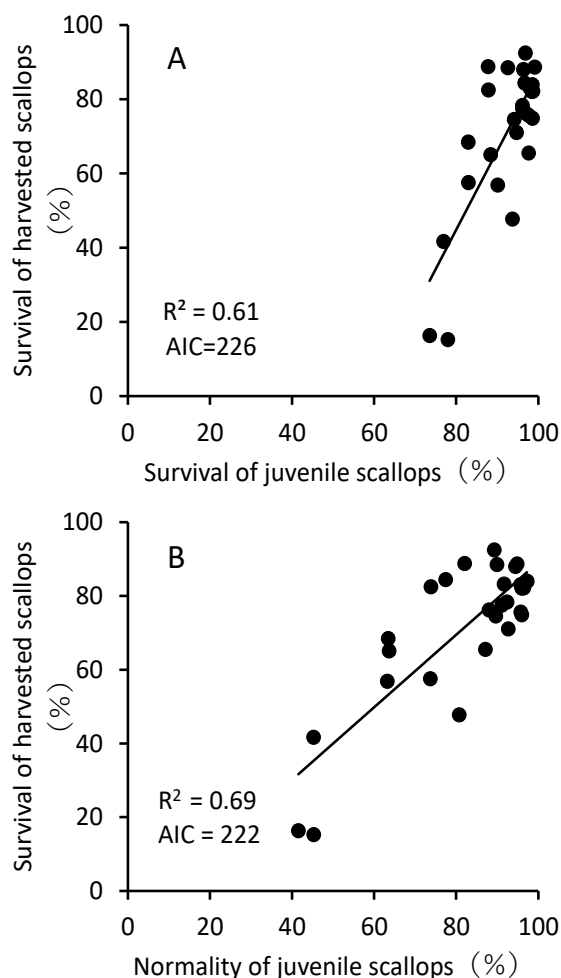


Fig.6 Relationship between the survival rate of harvested scallops and the survival rate (A) and the normality rate (B) of intermediate cultured scallops in Funka Bay.

考 察

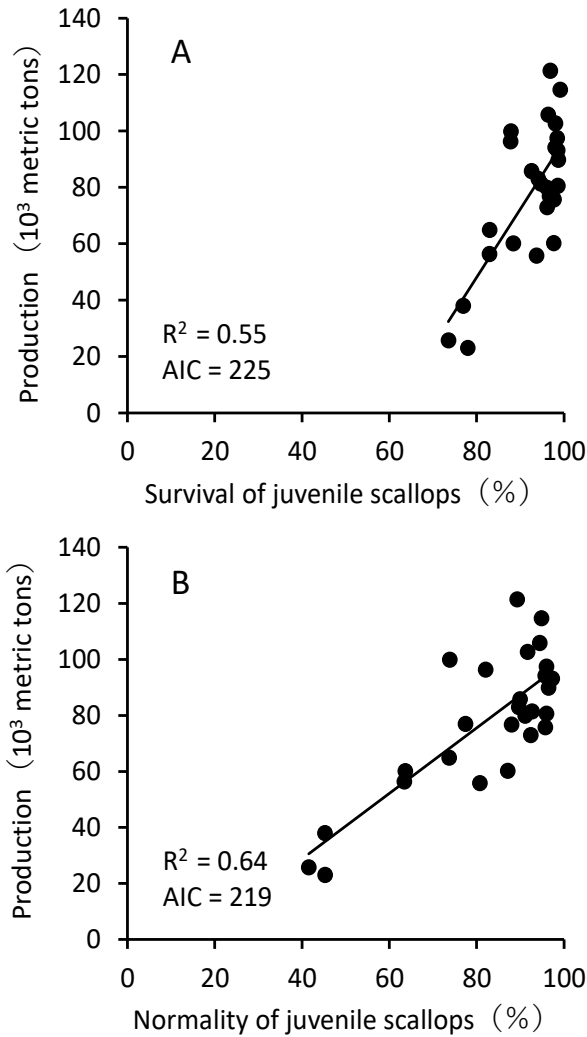


Fig. 7 Relationship between scallop production and the survival rate (A) and normality rate (B) of intermediate cultured scallops in Funka Bay.

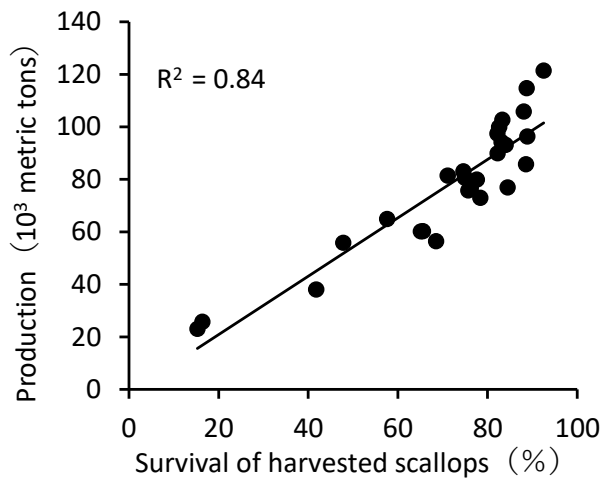


Fig. 8 Relationship between the survival rate of harvested scallops and scallop production in Funka Bay.

稚貝と出荷貝のへい死の実態 稚貝調査の結果から、稚貝の生残率の平均値は90%以上、最低値でも70%以上あり、中間育成の段階では「大量死」と呼ぶべき生残率の大きな低下は起きていないことが分かった(Fig.3A)。また、稚貝の死貝率と外部異常貝率は相関しており、過去の研究(森ら, 1974; 山形ら, 1977; 長内, 1981; 中川ら, 1981)で言及されているとおり、両者は同時に上昇するパラメータであることが確認された(Fig.4)。また、正常貝率が低い年は多くの場合、外部異常貝率の方が死貝率よりも高いことが明らかとなった。従って、中間育成時の稚貝で起きている問題は、死貝の増加とともにそれを上回る頻度で外部異常を持った生貝が増加し、その結果、生産者が耳吊りに用いることができる正常な稚貝が少なくなる現象と考えられる。これまで噴火湾の養殖ホタテガイの稚貝で起きる問題に対しては、一般に「へい死」という用語が用いられてきた(伊藤, 1995; 奥村・吉村, 2005; 奥村ら, 2007; 馬場, 2011; 金森, 2018, 2019)。しかし、稚貝で起きる問題は正常貝率の低下であることから、生死のみを示す用語である「へい死」は誤解を招きやすい。そのため、我々はこの問題については「例年よりも正常貝率が低下する現象」として「稚貝の成育不良」という用語を提案する。長期的なトレンドとしては、2010年代の稚貝の正常貝率は1990年代、2000年代と比較して約10ポイント低下している。これは2010年代に、正常貝率が50%未満となる深刻な成育不良が3回(2016, 2018, 2019年調査)起きていることが影響している。従って、近年の稚貝の成育不良は、深刻化していると言える。

出荷貝調査の結果から、出荷貝の生残率の平均値は70%以上あるのに対して、最低値は20%未満まで低下しており、「大量死」と呼ぶべき現象は本養成後の耳吊り貝で生じていることが明らかとなった(Fig.5A)。従って、本養成の段階で生じる問題は、「耳吊りから出荷までの間に生残率が大きく低下する現象」と考えられる。長期的なトレンドとしては、2010年代の出荷貝の生残率は1990年代、2000年代と比較して約20ポイント低下している。これは2010年代には、生残率が20%未満となる極めて深刻な大量死が2回(2017, 2019年調査)起きていることが大きく影響している。従って、近年は耳吊り貝の生残低下が深刻化していると言える。また、対象地区のホタテガイの生産量は1990年代と2000年代は、年変動はあるものの概ね90千トンベースラインとして±30千トンで推移していたが、2010年代は生産量の低迷する年が多く、特に2016年以降に生産量が低迷する年が集中していた(Fig.5B)。

稚貝調査, 出荷貝調査および生産量の関係 稚貝と出荷貝の長期モニタリングデータの分析から, 稚貝の生残率, 正常貝率とも出荷貝の生残率に影響していること, 決定係数およびAICのいずれの指標においても, 出荷貝の生残率の説明変数としては, 正常貝率の方が適していることが明らかとなった (Fig.6)。生産者は稚貝を耳吊りする際に, 正常貝を選別して用いる。しかし, 今回の分析から, 稚貝の正常貝率が低下した年は, 正常貝を選んだとしても, 耳吊り後に生残率が低下すると考えられる。このことは, 稚貝の正常貝率が低下した場合, 外観上, 異常が認められない稚貝もその内面に何らかの問題を抱えていると推測される。青森県陸奥湾において, 耳吊り前の外部異常貝が多い年に, 正常貝および外部異常の見られる耳吊り不適貝を耳吊りした試験では, 耳吊り不適貝のうち軽症の軽度欠刻貝の4ヶ月後の死亡率が40.4%であったのに対して, 正常貝の死亡率も34.1%に達した (吉田, 2018)。そのため, 吉田 (2018) は試験に用いた正常貝は肉眼ではダメージを確認できない「異常貝予備群」であった可能性を指摘している。噴火湾の長期モニタリングデータの分析結果はこの陸奥湾での実験結果と同様の現象が生産現場において生じていることを示している。稚貝の成育不良が原因となって, 耳吊り後の大量死が起きるとすれば, 後者は前者を経験した世代における予後不良と解釈するべきであろう。稚貝の成育不良が耳吊り貝の大量死をもたらすメカニズムについては, 本研究からは議論できないが, 近年, アワビ類に対する病原体として知られていた*Francisella halioticida*がホタテガイにも感染し, 閉殻筋の膿瘍の原因となっていること, および室内実験においてこの細菌の感染がホタテガイの死因になることが示されている (Meyer *et al.*, 2017; Kawahara *et al.*, 2018, 2019)。もし, 耳吊り後の大量死にこのような感染症が関与しているとすれば, 稚貝の成育不良が, 免疫力の低下につながり, 耳吊り後の感染症の流行や重症化を助長しているのかもしれない。

稚貝調査と生産量の分析から, 稚貝の生残率, 正常貝率とも生産量に影響していること, 決定係数およびAICのいずれにおいても, 生産量の説明変数としては, 稚貝の正常貝率の方が適していることが明らかとなった (Fig.7)。噴火湾においては, 2~3月の稚貝の正常貝率から, 翌年の生産量の見通しをある程度立てられると考えられる。出荷貝調査と生産量の分析から, 出荷貝の生残率はその年の生産量に強く影響していることが明らかとなった (Fig.8)。決定係数 R^2 値は0.8を超えており, 2~3月の出荷貝調査の結果から, その年の生産量は比較的高い精度で予測できると考えられる。ただし, Fig.8を見ると生残率が90%を超えている年は, 回帰式よりも生産量

が高くなる傾向が認められる。出荷貝の生残率が高い年は, 稚貝の正常貝率が高い年であり, 生産者は耳吊り用の正常な稚貝を例年よりも多く確保できることから, 垂下する耳吊り貝の総数が多くなり, 正常貝率から期待される以上に生産が増加しやすいのかもしれない。

噴火湾の養殖ホタテガイのへい死の実態と対策 以上の分析結果から, 噴火湾の養殖ホタテガイのへい死と呼ばれる現象は, 中間育成の稚貝の正常貝率が低下する段階 (フェイズ1), 本養成の耳吊り貝が大きく減耗する段階 (フェイズ2) を経て, 最終的に生産量が大きく低下する現象であることが生産現場の長期データから裏付けられた。先に考察したとおり, フェイズ1の段階でホタテガイが問題を内包しているとすれば, フェイズ2に進んでから, 対策に取り組んでもすでに手遅れとなっている可能性がある。噴火湾の養殖ホタテガイの生産安定化のためには, まずフェイズ1に対する対策, すなわち稚貝の成育不良対策が最も重要と考えられる。これまでの分析から, 稚貝の成育不良年には夏季の気象・海洋環境にいくつかの特徴 (気温が低い, 日照時間が短い, 海面水温が低い, 水温の成層化が弱い) が認められる (金森, 2019)。これらの特徴が稚貝の成育不良とどのように関わっているかは解明できていないが, 少なくとも環境面から, 稚貝を育てにくい年が存在すると考えられる。そして, 近年, 稚貝の成育不良が深刻化していることは, このような稚貝を育てにくい年の頻度が増加していることを示唆している。しかし, 環境の年変動に関わらず, 毎年, 管理方法をそれほど変えない生産者が多く, その結果, 稚貝を育てにくい年に稚貝の正常貝率が低下し, その後の生残率の低下と生産量の低下につながっていると推測される。1990年代以降, 野生生物の保護管理や水産資源の管理では, 順応的管理という概念が広く適用されている (鷺谷, 1998; 勝川, 2007)。これは対象に不確実性を認めた上で, 政策の実行を順応的な方法で実施しようとするシステム管理手法である。噴火湾の養殖ホタテガイの管理についても, このような概念を導入し, 環境の不確実性を前提として, 環境や稚貝のモニタリングで得られる情報から, 稚貝を育てにくい年を早期に把握して, 作業方法を調整することで稚貝の正常貝率の低下を防ぐ順応的な管理方法を確立することを目指すべきであろう。そのために, 成育不良年の稚貝の状態, 環境の特徴の分析を進めるとともに, 成育不良年に有効な管理手法の検証を進める必要がある。

最後に ホタテガイの垂下養殖に関する技術は1970年代には概ね確立され, 噴火湾では大規模な養殖産業が成立した。産業化された後, 試験研究は主に道の水産試験場が担い, 生産現場の指導や各種モニタリングは道の水産

技術普及指導所が中心となって行われてきた。今回、噴火湾の養殖ホタテガイへい死の対策として、噴火湾へい死対策会議が設置されたことで、水産試験場と水産技術普及指導所の間で長期モニタリングデータの共有化および分析が推進され、その結果をとりまとめたものが本報告となる。北海道の生産現場で長期間実施されているモニタリングデータを整理、分析し、そこで得られる知見を生産現場に還元していくことは重要であり、そのためには水産技術普及指導所と水産試験場が連携して課題に取り組む必要がある。本報告がその重要性を示す一例となれば幸いである。

謝 辞

稚貝および出荷貝の長期モニタリングを担ってきた渡島北部地区水産技術普及指導所、長万部、八雲町、落部、森および砂原漁業協同組合の歴代の担当職員、さらには調査に協力いただいた各漁協の生産者の方々に厚く御礼申し上げます。また、噴火湾養殖ホタテガイへい死対策会議の設置にあたり、組織間の連携を推進いただいた水産振興課の能登正樹前主席および予備分析に用いた銘柄別の水揚げデータの入手に協力いただいた同課の塚家一彦前主任普及指導員に感謝いたします。本報には令和元年度水産研究本部長梓「海洋環境情報を活用した噴火湾養殖ホタテ稚貝のへい死リスク低減対策の確立—データベースの構築と効果的な研究体制の設計—」で得られた成果が多く含まれおり、本課題の提案を主導した函館水産試験場の萱場隆昭前調査研究部長、提案した研究課題の意義を理解し、採択いただいた当時の水産研究本部の方々に御礼申し上げます。最後に、読者の理解を深める観点から、原稿に対して多くの有益な意見を提示いただいた査読者に感謝いたします。

引用文献

- 有馬健二、吾妻行雄. ホタテガイの種苗の育成と養殖試験. 北水試月報 1986 ; 43 : 85-94.
- 馬場勝寿. 噴火湾養殖ホタテガイのへい死要因. 試験研究は今 2011 ; No. 695.
- 北海道水産林務部. 平成5年度～令和2年度北海道水産現勢. 札幌. 1993～2020.
- Imai I, Shimada H, Baba K, Kanamori M, Sato M, Kuwahara Y, Miyoshi K, Tada M, Hirano K, Miyazono A, Itakura S. Prediction of toxic algal bloom occurrences and adaptation to toxic blooms to minimize economic loss to the scallop aquaculture industry in Hokkaido, Japan, PICES Scientific Report 2014 ; 47 : 7-16.
- 伊藤義三. 1995年噴火湾養殖ホタテガイ稚貝の斃死について (速報). 北水試だより 1995 ; 31 : 25-30.
- 金森誠. ホタテガイ養殖業の現状と課題. 北日本漁業 2018 ; 46 : 76-78.
- 金森誠. 噴火湾養殖ホタテガイのへい死年の気象・海洋環境について. 試験研究は今 2019 ; No. 888.
- 金森誠, 馬場勝寿. 養殖ホタテガイの成長モニタリング調査. 平成22年度函館水産試験場事業報告書 2012 ; 25-28.
- 勝川俊雄. 水産資源の順応的管理に関する研究. 日本水産学会誌 2007 ; 73 (4) : 656-659.
- Kawahara M, Kanamori M, Meyer GR, Yoshinaga T, Itoh N. *Francisella halioticida*, identified as the most probable cause of adductor muscle lesions in Yesso scallops *Patinopecten yessoensis* cultured in southern Hokkaido, Japan. 魚病研究 2018 ; 53(2) : 78-85.
- Kawahara M, Meyer GR, Lowe GJ, Kim I, Polinski MP, Yoshinaga N, Itoh N. Parallel studies confirm *Francisella halioticida* causes mortality in Yesso scallops *Patinopecten yessoensis*. *Dis. Aquat. Organ.* 2019 ; 135 : 127-134.
- 川真田憲治. ホタテガイへい死要因究明調査. 昭和56年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書 1982 ; 76-84.
- 川真田憲治. ホタテガイへい死要因究明調査. 昭和57年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書 1983 ; 106-108.
- Meyer GR, Lowe GJ, Gilmore SR, Bower SM. Disease and mortality among Yesso scallops *Patinopecten yessoensis* putatively caused by infection with *Francisella halioticida*. *Dis. Aquat. Organ.* 2017 ; 125 : 79-84.
- 森勝義, 菅原義雄, 小畑一臣. 三陸沿岸における養殖ホタテガイの大量斃死に関する研究-I: 貧栄養, 貧栄養+振動の両実験条件下で発生する斃死について. 魚病研究 1974 ; 9 : 10-18.
- 中川義彦, 吾妻行雄, 坂本富蔵, 吉田孝夫. 噴火湾養殖ホタテガイ斃死原因究明調査. 昭和55年度北海道立函館水産試験場事業報告書 1981 : 95-96.
- 中川義彦, 吾妻行雄. 噴火湾養殖ホタテガイ斃死原因究明調査. 昭和56年度北海道立函館水産試験場事業報告書 1982 ; 108-125.
- 夏池真史, 金森誠, 一ノ瀬寛之, 中田幸保. 噴火湾における垂下式養殖ホタテガイの生残・成長におよぼす耳吊り作業時期の影響. 北海道水産試験場研究報告 2022 ; 101 : 25-30.

奥村裕弥, 吉村圭三. 台風の通過に伴う静狩地区の環境変化－噴火湾養殖ホタテガイ稚貝斃死予備調査から－. 北水試だより 2005 ; 68 : 12-14.

奥村裕弥, 吉村圭三, 宮園章, 稲村明宏, 木戸和男, 磯田豊. 台風の通過に伴う津軽暖流水の流水と噴火湾奥部静狩での沿岸環境の急変について. 北海道水産試験場研究報告 2007 ; 72 : 1-8.

長内健治. 異常ホタテガイ発生機構の基礎研究. 青森県水産増殖センター事業報告 1981 ; 10 : 100-123.

鷺谷いづみ. 生態系管理における順応的管理. 保全生態

学研究 1998 ; 3 : 145-166.

山形実, 坪田哲, 北野英示, 西山勝蔵, 菅原勤, 佐々木鉄郎, 苫米地昭一, 横山勝幸, 熊谷登, 高橋克成, 青山宝蔵, 塩垣優, 植村康, 小田切明久. ホタテガイ異常へい死実態調査(昭和50年7月16~19日). 青森県水産増殖センター事業報告 1977 ; 6 : 12-31.

吉田達. ホタテガイ耳吊り養殖試験(耳吊り時の欠刻の程度とへい死, 成長の関係). 平成28年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告 2018 ; 398-399.

噴火湾における養殖ホタテガイ中間育成籠の動揺とその物理要因に対する現場観測の試み

夏池真史^{*1}, 西田芳則², 金森 誠³, 佐藤政俊⁴, 本家一彦⁵

¹北海道立総合研究機構函館水産試験場, ²北海道立総合研究機構中央水産試験場,

³北海道立総合研究機構, ⁴北海道立総合研究機構稚内水産試験場,

⁵北海道オホーツク総合振興局網走西部地区水産技術普及指導所

Field observations of the physical environment and behavior of culture cages during juvenile Yesso scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) culture in Funka Bay, Hokkaido, Japan

MASAFUMI NATSUIKE¹, YOSHINORI NISHIDA², MAKOTO KANAMORI³, MASATOSHI SATO⁴ and KAZUHIKO HONKE⁵

¹ Hakodate Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido 040-0051*,

² Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Yoichi, Hokkaido 046-8555*,

³ Hokkaido Research Organization, *Sapporo, Hokkaido 060-0819*,

⁴ Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Wakkanai, Hokkaido 097-0001*,

⁵ Abashiri-Seibu Fisheries Technical Guidance Office, Okhotsk General Subprefectural Bureau, *Hokkaido Government, Monbetsu, Hokkaido 094-0011, Japan*

Recently, a decline in the normality ratio of net-caged juvenile scallops and the subsequent mass mortality of adult scallops has become a serious problem in scallop aquaculture in Funka Bay. A decline in the normality ratio of juvenile scallops may result from increased vibrations of the culture net cages during summer. To reveal the relationship between physical environmental factors (such as waves and currents) and vibration of the net cages, continuous observations of the current velocity and vertical and horizontal accelerations, as well as the water levels of the net cages (pearl and lantern nets), were conducted in the scallop culture facility in Funka Bay from summer to autumn in 2020. Fluctuations in resultant acceleration and water levels of the net cages showed strong correlations with oscillating widths (as a result of wave action) of the significant current velocity. We conclude that strong wind-driven waves from the bay mouth are the leading cause of the vibration of the net cages. Furthermore, short-term meteorological disturbances due to the passage of low-pressure systems might cause vibration in the net cages without the occurrence of strong waves.

キーワード：ザブトン籠, 動揺, 波浪, ホタテガイ, 丸籠

噴火湾は北海道南西部に位置する直径50 km程度の円形に近い湾で、南東部の開口部で太平洋と接している (Fig. 1)。ホタテガイの垂下養殖漁業は、比較的静穏な海況を活用して開口部を除く湾内のほぼ全周で行われており、1990年ころから毎年10万トン前後が水揚げされる地域の基幹漁業となっている (Kosaka, 2016)。噴火湾では、春～夏に天然採苗した稚貝を約1年間、密度調整を行いな

成した後、貝殻に穿孔した穴にテグスなどを通して垂下縄に固定して本養成する「耳吊り」という手法で養殖が行われる。近年、噴火湾の養殖ホタテガイでは耳吊り後の本養成貝の大量死が頻発し、生産上の大きな問題となっている (金森, 2021; 金森ら, 2022)。著者らが、これまでに水産技術普及指導所と漁業協同組合で経年的に実施されてきた稚貝から成貝にわたる生残や成長、外部異常等に関する長期モニタリングデータを分析した結果、

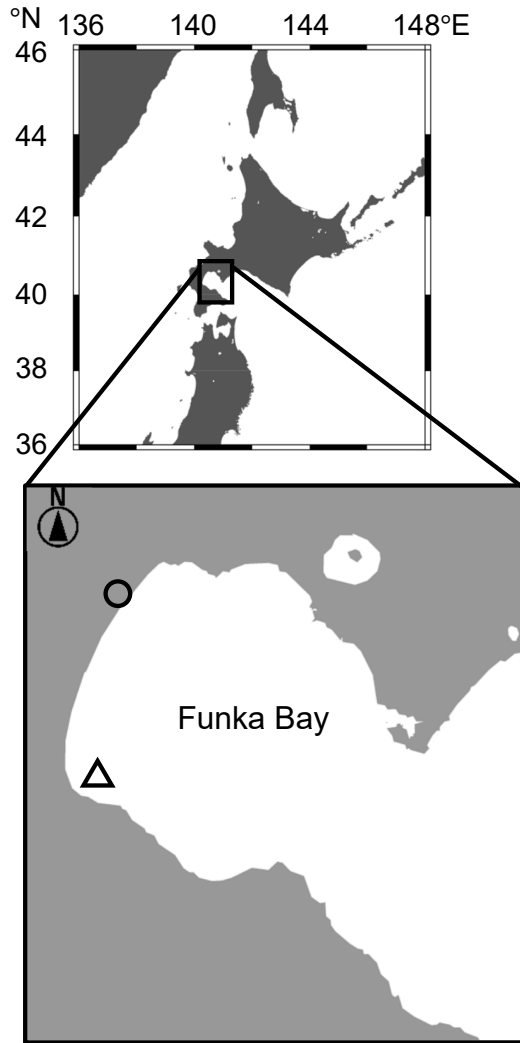


Fig. 1 Location of the field observation points in Funka Bay, Hokkaido, Japan. The open triangle and circle indicate the position of the aquaculture facilities offshore of Yakumo Town and the meteorological station in Oshamambe Town, respectively.

耳吊り後の本養成員の大量死は特定の年級で発生し、その年級における養殖籠による中間育成時の稚貝の育成不良に起因すると考えられた（金森, 2021; 金森ら, 2022）。ホタテガイを含む二枚貝養殖に関する先行研究においては、養殖籠の動揺（振動）が稚貝の成長不良や死亡につながることを示されている（松原ほか, 1993; 森, 1974）。また、噴火湾における近年の稚貝育成不良が発生した年の夏に、養殖施設の動揺が発生しやすい海洋環境が形成されている可能性が示唆されている（金森, 2019）。このように、養殖籠の動揺は籠内で飼育する二枚貝の育成に悪影響を及ぼす可能性があることから、これまでにイタヤガイなどの二枚貝養殖における延縄や筏などの垂下養殖施設を想定し、水槽実験施設や現地観測によって養殖籠の動揺を解析する研究が詳細に行われている（松原ほ

か, 1985; 1993; 明田・上北, 1990）。しかし、噴火湾のホタテガイ養殖現場において、波浪や潮流などの物理環境によって実際に養殖籠がどのように動揺しているかを実地に観測した知見が乏しいために、養殖籠の動揺が稚貝に与える影響を検討するに至っていない。そこで本研究の目的は、噴火湾のホタテガイ養殖施設において養殖籠の挙動とその周辺の物理環境の連続観測を試み、養殖籠の動揺に及ぼす物理環境、特に波浪の影響を検討することにある。

材料及び方法

物理環境 気象庁が公開している長万部における風速風向の特別データ（<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>, 2022年2月7日閲覧）を取得した。なお、気象庁の気象観測点の中で、現場観測を行った養殖施設にもっとも近傍の観測点は八雲であるが、湾内の波浪等海洋物理条件を検討するには、噴火湾の縦断（南東-北西）方向の最奥に位置する長万部が適当と判断した（磯田ほか, 2002）。湾内の八雲沖の稚貝養殖施設の幹綱から電磁流向流速計（INFINITY-EM, JFEアドバンテック株式会社）を垂下した（Fig. 2）。垂下水深は5 m深と10 m深の2層とし、観測設定は0.2秒間隔の300回バースト観測、バースト間隔は60分とした。本研究では養殖施設周辺に波高計を設置・回収することが困難であったため、波浪の指標として流向流速計から求められる有義流速振動幅を用いた。ここで有義流速振動幅とは、1バースト毎に得られる300個の流速データをゼロアップクロス法により5~6秒程度の1周期の波形に分解し、波の最大値と最小値との差分を流速の振動幅としたものである。ゼロアップクロス法で用いる平均流速は流速の15秒移動平均とした。なお、有義流速振動幅が現場海域の波浪の影響の指標として適当かどうか検証するために、沿岸波浪モデルの数値予報GPV（気象庁が作成し、(財) 気象業務支援センターを通して公開され、京都大学生存圏研究所の生存圏データベースによって収集されたデータ（<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadata/gpv-original.html>, 2022年2月9日閲覧））から、八雲の養殖施設近傍の格子点（北緯43° 18′, 東経143° 18′）における同日の午前9時と午後9時の有義波高および波向の推定データ入手し、それぞれ午前と午後の推定波高として、有義流速振動幅の南東-北西成分と相関分析を行った。波動以外の流速と養殖籠の動揺との関連を評価するために、1回のバースト観測で得られた流向・流速データを南東-北西成分と北東-南西成分に分解した上で、各成分の流速を平均して1時間ごとの流速とした。噴火湾の開口方向に従って、風速・風向データを南

Table 1 Environmental and associated factors relating to vibrations of culture net cages used for the correlation and principal component analyses.

Factors	Codes
Days	D
Indicator of wind stress in Southeast-Northwest direction	E1
Indicator of wind stress in Northeast-Southwest direction	E2
Significant oscillating width in Southeast-Northwest direction	E3
Significant oscillating width in Northeast-Southwest direction	E4
Current velocity in Southeast-Northwest direction on upper layer	E5
Current velocity in Northeast-Southwest direction on upper layer	E6
Current velocity in Southeast-Northwest direction on lower layer	E7
Current velocity in Northeast-Southwest direction on lower layer	E8
Standard deviation of resultant acceleration of pearl net	P1
Standard deviation of vertical tilt of pearl net	P2
Standard deviation of water level of upper pearl net	P3
Standard deviation of water level of lower pearl net	P4
Standard deviation of resultant acceleration of lantern net	L1
Standard deviation of vertical tilt of lantern net	L2
Standard deviation of water level of upper lantern net	L3
Standard deviation of water level of lower lantern net	L4

東-北西方向（湾の縦断方向）と北東-南西方向（湾の横断方向）に分解した。バルク式によれば風が海面に及ぼす運動量は密度、抵抗係数、風速の2乗値の積に比例することから、ここでは簡単に風速の2乗値を風応力の指標とした。各データは半日単位（午前と午後）で平均化した。これらを環境因子とした（Table 1）。

養殖籠の動揺 噴火湾では、7～8月ごろに採苗した稚貝

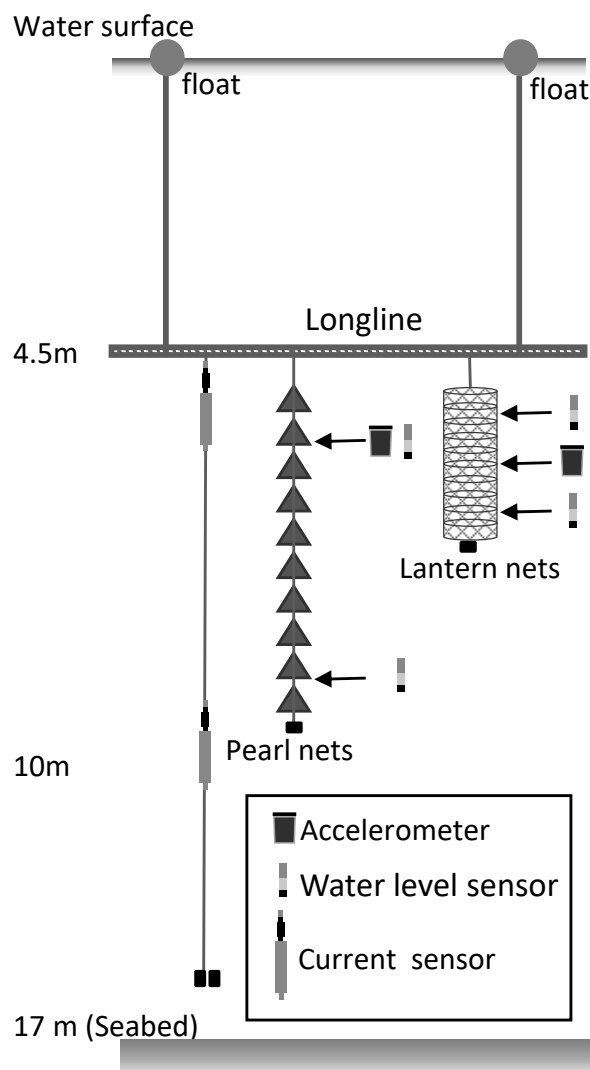


Fig.2 Schematic illustration of the culture nets, equipped with measuring instruments of physical parameters, used in the longline aquaculture facility for juvenile scallops in this study.

をサイズ選別して収容密度を1籠あたり数百個体程度に調整したうえで、ザブトン籠と呼ばれる四角錐状の養殖籠に収容して中間育成を開始する。海中への垂下時には、ザブトン籠を複数段連結して1連として幹綱から垂下する。この作業は仮分散と呼ばれる。ザブトン籠で育成された稚貝は、その後9～11月頃に再度サイズ選別され、収容密度を1籠あたり数十個体に調整されたうえで、円筒状の養殖籠の内側を10～15段の区画に仕切った丸籠に収容される。この丸籠を幹綱から垂下して翌年の春まで養成する。この作業を本分散と呼ぶ。本研究では、仮分散用のザブトン籠（目合い3 mm, 10段）と本分散用の丸籠（目合い9.1 mm, 10段）の2, 9段目に水位計（DEFI-DHG, JFEアドバンテック株式会社）およびザブトン籠の2段目と丸籠の5段目に加速度計（CO-UA-004-64, Onset社）を

取り付けた (Fig.2)。また、養殖中の籠の動きに近づけることを想定して、測器を取り付けなかった2, 9段目以外

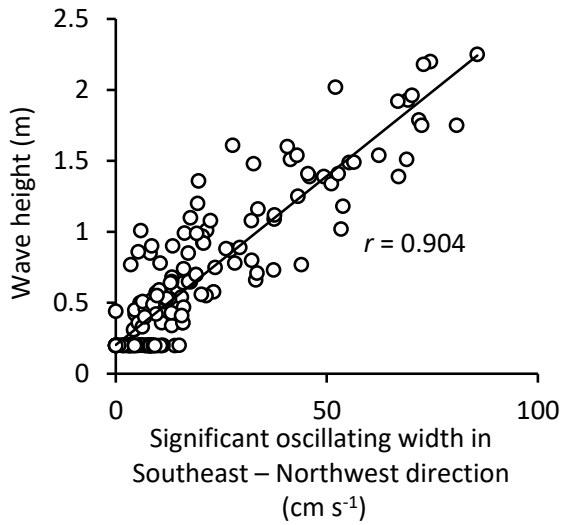


Fig.3 Relationships between simulated wave height (from GPV models from the Japan meteorological agency) and oscillating widths of significant current velocity (calculated from current velocity data collected in this study) in the Southeast–Northwest direction.

外のザブトン籠に1籠あたり150個体、丸籠に1籠あたり30個体の仮分散および本分散に用いられる稚貝を収容し、ザブトン籠と丸籠の最下部にそれぞれ 750 gと1 kgの沈子を取り付けた。これらのザブトン籠を2020年7月16日から10月26日まで、丸籠を9月11日から10月26日まで、先述の八雲沖の稚貝養殖施設の幹綱に垂下して加速度計で水平2方向と鉛直1方向の各加速度の2乗和の平方根である3軸合成加速度と鉛直方向の籠の傾きおよび水位計で2層の深度を連続観測した (Fig.2)。水位計および加速度計のデータを、それぞれ10分に1回と2分に1回の頻度で取得した。加速度計は30日間程度の連続観測でバッテリー切れになるため、籠内に複数の加速度計を設置し、1台ごとに測定期間をずらして観測して一連のデータとした。ただし、測器の不調のため、ザブトン籠の加速度計からは8月14～26日の期間、データを取得できなかった。

本研究では、籠の振動要因として波浪を想定しているが、一般的な波浪の1周期は数秒であるため、本来、加速度計や水位計の測定頻度である2分や10分間隔のデータ取得では分解しきれない。しかし、それらよりさらに長い期間で見たとき、動揺の大きな期間では、動揺の小さな期間に比べてデータのばらつきは大きくなると想定さ

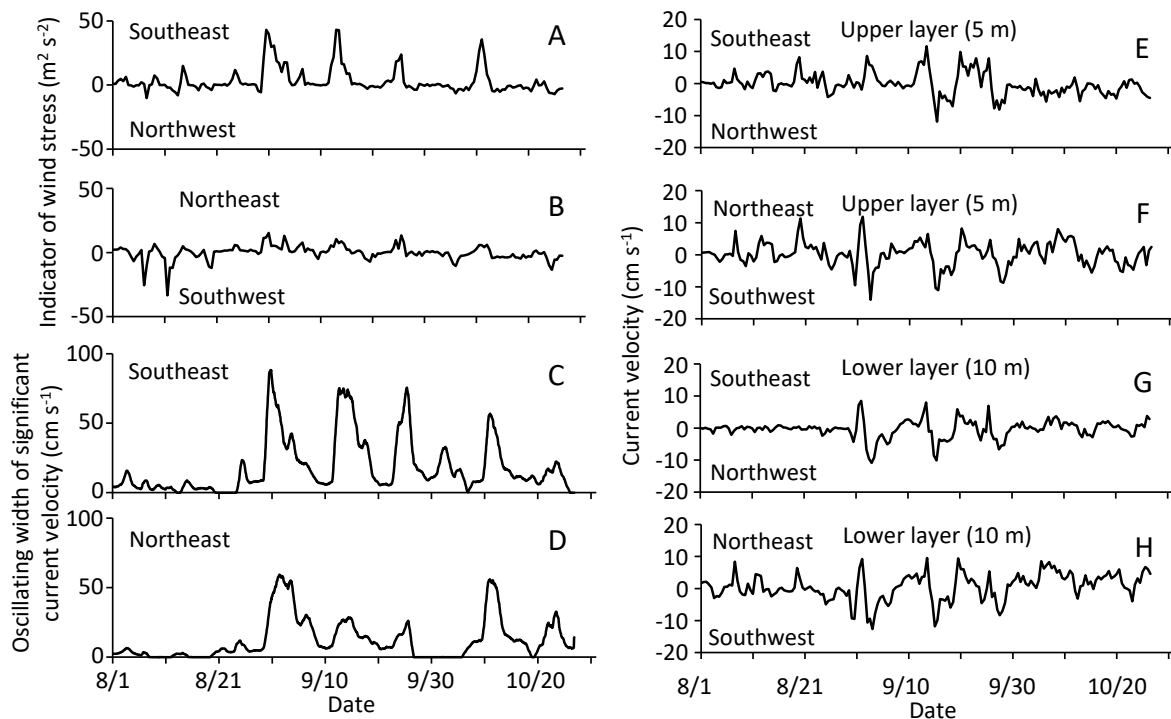
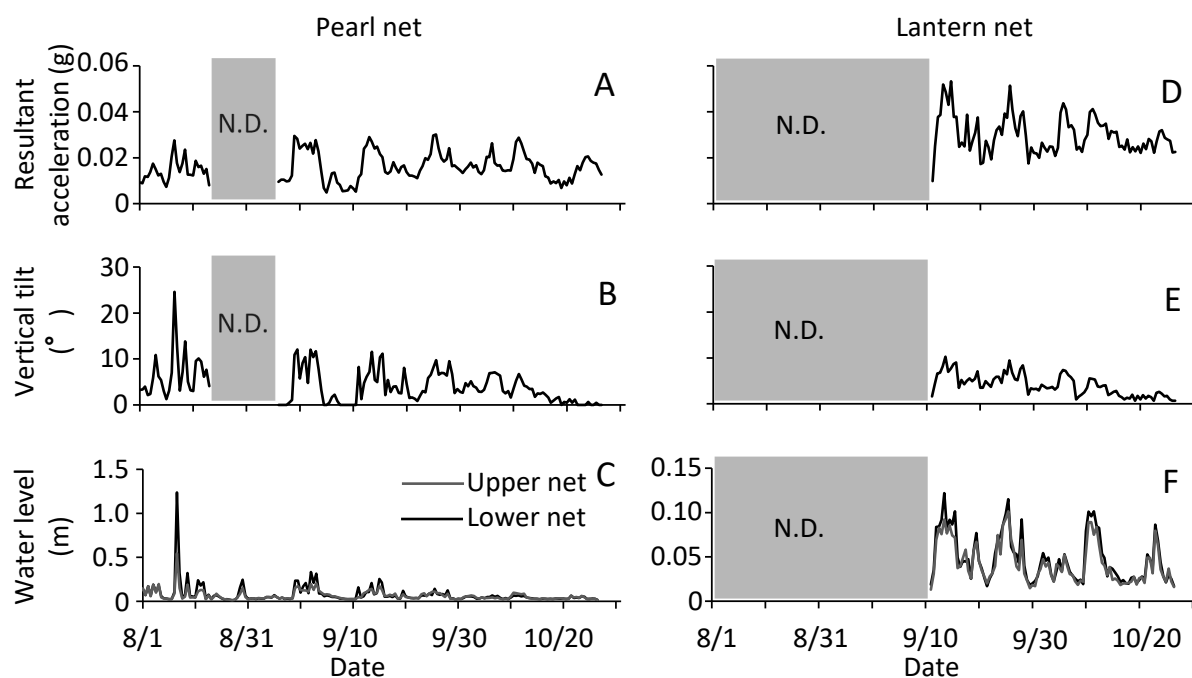


Fig.4 Temporal changes in the physical environmental factors (indicator of wind stress A and B; oscillating widths of significant current velocity C and D; current velocity E, F, G, and H) in Funka Bay, Japan, from August to October 2020. Oscillating widths of significant current velocity is quantified as follows: The difference between the maximum and minimum current velocities in any wave cycle (5–6 s) is considered the oscillating width of the current velocity. The average of the top third oscillating width of the current velocity is defined as the oscillating widths of significant current velocity. Indicator of wind stress is defined as the squared value of the wind velocity.



N.D. indicates no data.

Fig.5 Temporal changes in standard deviations of resultant acceleration in the horizontal and vertical directions (A and D), vertical tilt (B and E), and water levels at the upper and lower levels (C and F) of the pearl (A, B, and C) and lantern nets (D, E, and F) for the intermediate culture of juvenile scallops.

れる。そこで、加速度計の合成加速度、および鉛直方向の傾き、上層段と下層段の水位計データを半日単位で1つのデータ群としたうえで、それらの標準偏差を籠の動揺に関するパラメーターとした (Table 1)。

データ解析 環境因子 (観測日数, 風応力, 有義流速振動幅) とザブトン籠の動揺に関するパラメーター, 環境因子と丸籠の動揺に関するパラメーターで相関分析とともに主成分分析を行った。相関分析および主成分分析には統計解析ソフト (エクセル統計Ver.3.23, 株式会社社会情報サービス) を用いた。

結果

有義流速振動幅と推定波高の関係 有義流速振動幅の南東-北西成分を説明変数, GPVから推定された波高を応答変数とする相関分析の結果, 両者には相関係数が0.9を超える強い正の相関があり, 有義流速振動幅は現地の波浪による周期性をもった流速変動を示す指標として有効であると考えられた (Fig.3)。

物理環境および養殖籠の振動の時間変動 8月上旬と中旬に南西方向 (浜なり) の風応力の影響の指標が一時的に強まり, 同時に, 表層および底層で南西方向の流速の上昇も観測された (Fig.4)。このとき, ザブトン籠の傾きと水位計の標準偏差も顕著に高い値を示した (Fig.5)。

Table 2 Coefficients of correlation (r) between physical environmental factors and the factors related to vibrations of culture net cages. Grey hatchings indicate weak ($|0.2| < r < |0.5|$), moderate ($|0.5| < r < |0.8|$), and strong ($|0.8| < r$) correlations (from light to dark).

A													
	D	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	P1	P2	P3	
E1	-0.13												
E2	-0.08	0.65											
E3	0.07	0.82	0.58										
E4	0.13	0.66	0.47	0.69									
E5	-0.29	0.34	0.21	0.18	0.22								
E6	-0.02	0.12	-0.01	-0.07	-0.02	0.35							
E7	0.10	0.09	-0.06	-0.11	-0.17	0.25	0.78						
E8	0.26	-0.13	-0.35	-0.28	-0.26	0.12	0.72	0.83					
P1	0.09	0.62	0.26	0.70	0.50	0.21	-0.04	-0.11	-0.13				
P2	-0.36	0.37	0.09	0.38	0.17	0.18	-0.05	-0.17	-0.16	0.69			
P3	-0.40	0.36	0.17	0.38	0.29	0.28	-0.01	-0.20	-0.19	0.53	0.78		
P4	-0.35	0.16	-0.01	0.17	0.12	0.22	0.02	-0.15	-0.07	0.42	0.78	0.93	

B													
	D	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	L1	L2	L3	
E1	-0.37												
E2	-0.46	0.78											
E3	-0.48	0.80	0.73										
E4	0.06	0.61	0.45	0.60									
E5	-0.29	0.46	0.39	0.27	0.20								
E6	-0.02	0.29	0.17	-0.03	0.10	0.52							
E7	0.13	0.26	0.08	-0.12	0.04	0.58	0.82						
E8	0.30	0.02	-0.25	-0.34	-0.11	0.35	0.71	0.84					
L1	-0.25	0.60	0.41	0.70	0.48	0.16	-0.10	-0.05	-0.13				
L2	-0.70	0.54	0.45	0.66	0.19	0.20	-0.11	-0.16	-0.28	0.78			
L3	-0.35	0.73	0.62	0.83	0.65	0.33	0.02	-0.05	-0.24	0.76	0.69		
L4	-0.35	0.76	0.62	0.83	0.67	0.30	-0.02	-0.06	-0.27	0.76	0.71	0.96	

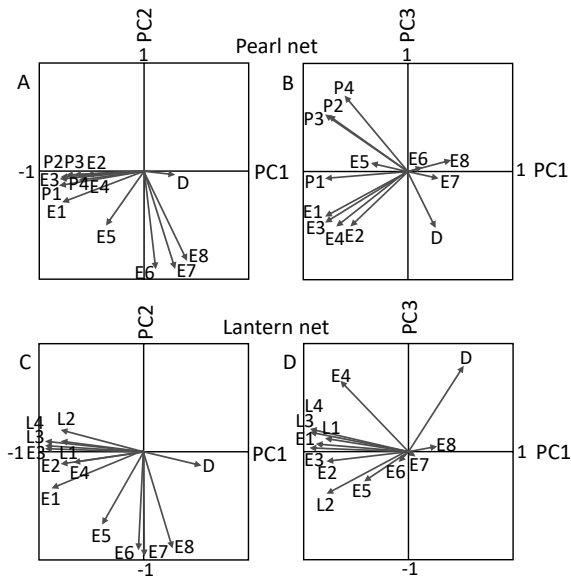


Fig. 6 Factor loadings of the first three principal components (PC1, PC2, and PC3) of the principal component analysis of the environmental factors and those related to vibrations of the culture net cages are indicated in Table 1.

8月末から10月中旬にかけて、南東方向（沖方向から岸方向）で風応力の指標の顕著な増加がスパイク状に数日間連続することが間欠的に観測され、同様に沖方向から岸方向の有義流速振動幅も増加した。同時期に流速も大きな変動を見せた。同時にザブトン籠および丸籠の動揺に関する因子も高い値を示した。

相関分析 ザブトン籠では、合成加速度の標準偏差（P1）は、南東-北西方向の風応力の指標（E1）や有義流速振動幅（E3）と相関係数が0.6を超える正の相関を示した（Table 2A）。籠の傾き（P2）および上層の水位計の標準偏差（P3）も、南東-北西方向の風応力の指標（E1）や有義流速振動幅（E3）と弱い正の相関を示した。合成加速度と水位計の標準偏差（P1, P3, P4）は、南東-北西方向の上層の流速と弱い正の相関を示した（E5）。また、経過日数（D）と籠の傾き（P2）や水位計の標準偏差（P3, P4）は、弱い負の相関を示した。次いで、丸籠ではすべての籠の動揺に関する因子（L1~L4）は、南東-北西方向の風応力の指標（E1）や有義流速振動幅（E3）と正の相関を示した（Table 2B）。水位計の標準偏差（L3, L4）は、南東-北西方向の上層の流速（E5）と弱い正の相関を示した。また、経過日数（D）は籠の傾きの標準偏差（L2）と負の相関を、合成加速度と水位計の標準偏差（L1, L3, L4）と弱い負の相関を示した。

主成分分析 環境因子とザブトン籠の動揺に関する因子における第1, 2, 3主成分の寄与率は、それぞれ35.1, 20.3, 17.2%（累積寄与率72.7%）であった。第1主成分では、南

東-北西方向の風応力の指標（E1）および有義流速振動幅（E3）などの環境因子と籠の動揺に関する各因子（P1~P4）における因子負荷量がともに負の高い値を示し、第2主成分では流速に関する各因子（E5~E8）が負に高い値を示した（Fig. 6A）。第3主成分の因子負荷量では経過日数（D）、北東-南西方向の風応力の指標（E2）と有義流速振動幅（E4）が負の、籠の傾きと水位計の標準偏差（P2~P4）が正の値で大きくなる傾向を示した（Fig. 6B）。環境因子と丸籠の動揺に関する因子における第1, 2, 3主成分の寄与率は、それぞれ46.9, 23.8, 10.2%（累積寄与率80.9%）であった。第1主成分では、ザブトン籠と環境因子による主成分分析と同様に、南東-北西方向の風応力の指標（E1）および有義流速振動幅（E3）などの環境因子と籠の動揺に関する各因子（L1~L4）における因子負荷量がともに負の高い値を示し、第2主成分では流速に関する各因子（E5~E8）が負に高い値を示した（Fig. 6C）。第3主成分の因子負荷量では経過日数（D）と北東-南西方向の有義流速振動幅（E4）が高い正の値を示し、籠の傾きの標準偏差（L2）が負でやや高い値を示した（Fig. 6D）。

考察

観測期間中の南東方向の風応力の指標の強まりと同じ向きの有義流速振動幅の増加が対応しており（Fig. 4）、南東方向の風により強い波浪が生じた事を示している。これは、噴火湾では吹送距離の長い湾口からの南東風で強いうねりが生じる過去の知見と対応する（阿部島ほか, 1995）。主成分分析における第1主成分には、南東方向の風応力の指標および有義流速振動幅とザブトン籠と丸籠の動揺に関するすべての因子の寄与が大きく（Fig. 6A and C）、これらの因子は強い正の相関を示した（Table 2）。従って第1主成分は、南東風によって波浪が強まり、波浪によって籠が強く動揺するという一連の環境変化による籠の動揺を示した指標と考えられる。噴火湾における近年のホタテガイ稚貝の成育不良年級が経験する夏の環境の特徴の一つとして、最大風速の風向が湾口方向である日数が長いことが挙げられている（金森, 2019）。また養殖籠の振動はホタテガイ成貝の成長や生残に悪影響を及ぼすことが報告されている（森ほか, 1974）。夏季に南東方向の風の連吹で波高が高まり、養殖籠の振動が強まることによって、噴火湾におけるホタテガイ稚貝の成育不良が引き起こされている可能性がある。今後、籠の動揺が稚貝の成育に及ぼすストレスを評価することは、稚貝の成育不良のメカニズムを明らかにする上で重要な課題と考えられる。

環境因子とザブトン籠および丸籠の動揺に関する主成分分析では、ともに第2主成分で流速に関連した因子が高い因子負荷量を示すことから、第2主成分は観測期間中の流速変動に関連した指標と考えられる。この第2主成分において、籠の動揺に関する因子負荷量はさほど高くなく (Fig. 6A and C)、相関分析において各流速因子は、籠の動揺に関する因子と強い相関を示さないことから、潮流が籠の動揺に及ぼす影響は波浪ほど大きくないと考えられる。

ザブトン籠と環境因子による主成分分析における第3主成分の因子負荷量は、養殖日数が負、籠の動揺に関する因子で正の高い値を示していることから、第3主成分は観測期間中の早い時期の強い籠の動揺を示した指標と考えられる。この第3主成分の主成分得点は、8月7日の午後の数値のみ顕著に高くなっており (8月7日午後の主成分得点11.4で、それ以外は-2.7から4.6の範囲)、さらにザブトン籠の傾きと水位の標準偏差が観測期間中最も高い値を示しており、この一時的な強い籠の動揺が第3主成分に強く反映されていると考えられる。しかし、有義流速振動幅はさほど高くなく (Fig. 4)、波浪では説明できない強い籠の動揺であったと言える。8月7日には台風から変わった低気圧が北海道を通過しており (気象庁ホームページ, <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>, 2022年3月7日閲覧)、南西風が強まるとともに北東向きへの流速が強まったため、一時的な気象攪乱が籠の動揺に関連したと推察される。沿岸域で突発的に発生し、漁具などの破損を引き起こす強流現象は「急潮」と呼ばれ、低気圧の通過によっても生じ得ることが知られている (松山, 2013)。8月7日に生じた環境変動と籠の動揺は、このような強流現象によって引き起こされた可能性がある。しかし、観測期間中の1例のみなので、一時的な気象攪乱が籠の動揺にどのように影響するかは今後の検討課題となろう。

経過日数と丸籠の傾きの変動は、負の相関を示した (Table 2)。これに加え、丸籠の動揺に関する因子と環境因子による主成分分析における第3主成分では、養殖日数の因子負荷量が正の大きい値をとる一方で、籠の傾きの変動が負の値を示した (Fig. 6)。このような経過日数と籠の傾きの変動の負の相関関係はザブトン籠でも認められ、これらの結果は稚貝の成長に伴う籠全体の重量の増加などによって籠が傾きにくくなっていることを示唆している。他方、丸籠の動揺に関する因子と環境因子による主成分分析における第3主成分では、籠の傾きが経過日数と異なる符号のベクトルであるのに対し、籠が受ける加速度は小さいながら同じ符号である。時間が経過するとともに、籠は水平方向に揺れにくくなるものの、鉛直

方向の揺れは時間の経過にさほど影響されないと考えられる。

本研究では、ホタテガイ稚貝養殖施設に垂下したザブトン籠と丸籠の動揺を噴火湾において現地観測した。その結果、観測期間における調査対象施設では、湾の開口方向から吹送する風にもなって強まる波浪が籠の動揺を引き起こす重要な因子であると結論された。

筆者らは、本研究で行った養殖籠の動揺の観測に加えて、タイムラプス撮影を用いた養殖籠中のホタテガイ稚貝の行動観察を試みている (夏池ほか, 2021; Natsuike et al., 2022)。噴火湾におけるホタテガイ稚貝の成育不良の発生メカニズムを明らかにするという目標においては、養殖籠の動揺に対して稚貝の行動や成育がどのように影響されるのかを検討していくことが重要になろう。

謝 辞

八雲町漁業協同組合、同組合の阿チ谷大輔氏、渡島総合振興局渡島地区水産技術普及指導所、渡島北部地区水産技術普及指導所所員の皆様、北海道立総合研究機構函館水産試験場の北川雅彦氏ならびに同栽培水産試験場の渡野邊雅道氏に現場調査にご協力頂いたことを御礼申し上げます。

引用文献

- 阿部島直哉, 天下井清, 木村暢夫, 大越金蔵. 船舶観測による噴火湾の波浪特性について. 日本航海学会論文 1998; 98: 93-101.
- 明田定満, 上北征男. 延縄養殖施設の動揺に関する研究. 水産工学研究技報 1990; 12: 57-78.
- 磯田 豊, 齊田季実治, 鈴木 恒. 噴火湾石倉沖の数日周期水温変動. 水産海洋研究 2002; 39: 151-161.
- 金森 誠. 試験研究は今No.888「噴火湾養殖ホタテガイのへい死年の気象・海洋環境について」. 2019; <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/work1/ima888.html>
- 金森 誠. 試験研究は今No.924「噴火湾養殖ホタテガイの稚貝成育不良の実態-生産現場における長期モニタリングデータの分析から-」. 2021; <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/work1/ima924.html>
- 金森 誠, 夏池真史, 瀬戸啓介, 白井睦実, 河井 渉, 吉田 聡. 稚貝調査と出荷貝調査により明らかとなった噴火湾養殖ホタテガイへい死の実態. 北海道水産試験場研究報告 2022; 102: 13-22.
- Kosaka Y. Scallop fisheries and aquaculture in Japan. In;

- Shumway SE, Parsons GJ (eds) *Scallops: Biology, Ecology, Aquaculture, and Fisheries*. Elsevier, Amsterdam, 2016 : 891-936.
- 松原雄平, 平尾 章, 川原秀昭, 野田英明. 波による延縄式養殖施設の動的応答に関する研究. 海岸工学講演会論文集 1985 ; 32 : 647-651.
- 松原雄平, 野田英明, 黒岩正光, 阿部信弥. 沖合養殖筏施設の波浪動揺に関する研究. 海岸工学論文集 1993 ; 40 : 916-920.
- 松山優治. 急潮・・・沿岸強流災害. 東京海洋大学研究報告 2013 ; 9 : 1-4.
- 森 勝義, 菅原義雄, 小畑一臣. 三陸沿岸における養殖ホタテガイの大量斃死に関する研究 - I 貧栄養, 貧栄養+振動の両実験条件下で発生する斃死について. 魚病研究 1974 ; 9 : 10-18.
- 夏池真史, 金森 誠, 山崎千登勢, 西田芳則, 本家一彦. 安価なタイムラプスカメラを用いた中間育成中のホタテガイ稚貝の行動観察(技術報告). 北海道水産試験場研究報告 2021 ; 100 : 55-62.
- Natsuike M, Natsuike Y, Kanamori M, Honke K. Semi-automatic recognition of juvenile scallops reared in lantern nets from time-lapse images using a deep learning technique. *Plankton and Benthos Research* 2022 ; 17 : 91-94.

マツカワで発生した*Pseudomonas anguilliseptica*の病原性

伊藤慎悟^{*1}, 松田泰平², 勝又義友¹, 西川翔太郎¹, 水野伸也¹

¹北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場, ²北海道立総合研究機構栽培水産試験場

Pathogenicity of *Pseudomonas anguilliseptica* to barfin flounder *Verasper moseri*

SHINGO ITO^{*1}, TAIHEI MATUDA², YOSHITOMO KATUMATA¹, SHOUTAROU NISHIKAWA¹ and SHINYA MIZUNO¹

¹ Salmon and Freshwater Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido 061-1433,

² Mariculture Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan

Rod bacteria were observed in the brains, kidneys, and spleens of barfin flounder, following a mass mortality event. Biochemical properties and genetic analysis of bacteria from the kidney identified the bacterial species as *Pseudomonas anguilliseptica*. We examined the pathogenicity of the isolated *P. anguilliseptica* in barfin flounder using immersion tests. Mortality rates (within 35 days from the start of the test) were 74% at 2.1×10^5 CFU/ml, 86% at 2.1×10^6 CFU/ml, and 73% at 2.1×10^7 CFU/ml. The onset of mortality occurred earlier when the number of bacterial counts was higher.

P. anguilliseptica was reisolated from the brains of all the dead fish. Since Koch's postulates were satisfied, we conclude that *P. anguilliseptica* is pathogenic to barfin flounder.

キーワード：病原性, マツカワ, *Pseudomonas anguilliseptica*, 生化学的性状

2019年に北海道内のマツカワの飼育施設で大量死が発生した。瀕死魚の腎臓から細菌が分離されたため、同定したところ*Pseudomonas anguilliseptica*であった。

マツカワ*Verasper moseri*はカレイ目カレイ科マツカワ属のカレイである(坂本 1986)。えりも以西太平洋海域には全長8 cmのマツカワ種苗が100万尾放流されており(川下・今 2007)、現在、天然魚も漁獲されるものの、漁獲物のほとんどが放流種苗由来である(吉村 2020)。

*P. anguilliseptica*はWakabayashi and Egusa (1972)によってニホンウナギの赤点病として命名された報告が最初であり、その後、国内ではアユ(中井ら 1985, Shimahara et al. 2018)、シマアジ(Kusuda et al. 1985)など、海外ではニジマス、ターボット、ヒラメなど広範囲の魚種の病原体として報告されている(Wiklund and Bylund 1990, Berthe et al. 1995, Kang et al. 2015)。

マツカワからの*P. anguilliseptica*の分離は今回が初めてであり、分離した菌株の同定の詳細、薬剤感受性試験、マツカワに対する病原性について報告する。

材料と方法

供試魚 2019年8月8日に北海道内の施設で瀕死のマツカワ(平均全長69 mm)を取り上げ、宅急便で冷蔵輸送されてきた魚を検体とした。なお、輸送には1日を要した。この魚体の外観と解剖による症状の観察を行った。

細菌の分離 腎臓、脾臓、脳の塗抹標本を作製し、グラムサフラニン溶液(BD)で染色し、生物顕微鏡で菌の有無を検鏡した。また、Marine Agar 2216培地(Difco)、パールコアTCBS寒天培地(栄研)、SS寒天培地(顆粒)「ニッスイ」(日水製薬)に腎臓と脾臓を塗抹し、15℃で7日間培養した。腎臓から単離した菌を*P. anguilliseptica* Kd-1株とし、以下の試験に供した。

細菌の同定 細菌の性状検査はAPI20E(バイオメリュー)で調べた。なお、グラム染色はグラム染色キット(日本ベクトン・ディッキンソン)で、運動性とOF試験は絵面・清水(1990)の簡易同定法で調べた。鞭毛染色はKodaka et al. (1982)の方法を使用した。チトクローム・オキシダーゼ試験はチトクローム・オキシダーゼ試験用ろ紙「ニ

ッスイ」(日水製薬)で判定した。カタラーゼ試験は1%塩化ナトリウム(富士フィルム和光純薬)となるように調整したトリプチケースソイ寒天培地(以下1%塩化ナトリウム含有TSA, 日水製薬)で培養した新鮮培養菌体に3%過酸化水素水を滴下し判定した。DNA分解性試験はDNA寒天培地「ニッスイ」(日水製薬)で行った。塩分耐性および温度耐性試験は中井ら(1985)の方法で調べた。16SrDNA領域の解析はBacterial 16S rDNA PCR Kit(タカラバイオ)を用い, キットのマニュアルに従いPCR法で増幅させた。得られたPCR産物のシーケンスは株式会社ファスマックに委託し, 解析した。また, 得られたシーケンスデータはアメリカ国立生物工学情報センターのオンライン(https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE_TYPE=BlastSearch&LINK_LOC=blasthome)を利用し, ホモロジー検索した。

ディスク拡散法による薬剤感受性試験 今回分離した*P. anguilliseptica* Kd-1株を終濃度が1%塩化ナトリウム含有TSAで15℃, 10日間培養後, 100 mlの終濃度が1%塩化ナトリウムとなるように調整したトリプチケースソイ液体培地(以下, 1%塩化ナトリウム含有TSB, 日水製薬)に1白金耳懸濁し, 15℃で5日間振盪培養した。菌液を1白金時採取し, 1%塩化ナトリウム含有TSAに塗抹後, BD センシ・ディスク オキシテトラサイクリン30(日本ベクトン・ディッキンソン)を載せ, 15℃で10日間培養後, ディスクの周りにできた阻止円の直径を測定し, 添付資料から結果を判定した。

抗*P. anguilliseptica* Kd-1株ウサギ血清の作製 今回分離した*P. anguilliseptica* Kd-1株を1%塩化ナトリウム含有TSAで15℃, 10日間培養後, 100 mlの1%塩化ナトリウム含有TSBに1白金耳懸濁し, 15℃で5日間振盪培養した。次に, 50 mlの培養液を4℃下で3,000×gで15分間遠心分離し, 上清を捨てた。沈殿した菌体を25 mlの0.85%塩化ナトリウム溶液に懸濁し, 4℃下で3,000×gで15分間の遠心分離を行った。この作業を3回繰り返し, 洗浄した菌体1mgを採取し, 1 mlの0.85%塩化ナトリウムに懸濁した液を11本作製後, 0, 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 31, 35日後にウサギ(日本白色種)へ1回あたり1本を静注した。42日後に全採血し, スライド凝集法で凝集価を測定した。なお, ウサギの飼育・抗原接種・全採血はユーロフィンジェノミクス株式会社に委託した。

感染試験の供試魚 栽培水産試験場で飼育した全長50~60 mmのマツカワ種苗を使用した。感染試験開始前に全長を測定した。

マツカワに対する病原性 感染試験は中央水産試験場の隔離飼育施設で実施した。60 L水槽で流水飼育し, 流水量は毎時1換水とした。配合餌料を1日1回飽食量給餌し

た。菌液の調整には継代数6の菌を使用した。1%塩化ナトリウム含有TSAに菌を塗抹し, 15℃で10日間前培養した。菌を1白金耳とり, 100 mlの1%塩化ナトリウム含有TSBに懸濁し, 15℃で5日間振盪培養した。この菌液を抗*P. anguilliseptica* Kd-1株ウサギ血清の作製と同様に洗菌後, 0.85%塩化ナトリウム溶液でMacFarland No.3の濁度に調整した。生菌数は1%塩化ナトリウム含有TSAで測定した。 2.1×10^5 , 2.1×10^6 , 2.1×10^7 CFU/mlの菌数の海水を調整し, 室温で1時間浸漬攻撃した。死亡魚の脳からは菌の再分離を実施し, 抗*P. anguilliseptica* Kd-1株ウサギ血清で分離菌の凝集試験を行った。感染試験中の水温はペンダント温度データロガー(HOBO)で1時間に1度水温を測定した。

結果

供試魚 マツカワは平均全長68.7 mm, 平均体重は4.3 g (n=32)であり, 外観的な症状として鰭基部や頭部の発赤が観察された。解剖したところ, 肝臓出血, 腎臓や脾臓の肥大が観察された。

細菌の分離 サフラニン溶液染色した腎臓, 脾臓, 脳の塗抹標本中には桿菌が多数観察された。Marine Agar 2216培地では腎臓と脾臓からほぼ単一の菌が増殖したが, TCBS寒天培地とSS寒天培地では増殖しなかった。

細菌の同定 供試菌の生化学的性状を調べた結果を表1に示した。グラム陰性桿菌でOF試験は糖を発酵せず, 運動性があり, 鞭毛は極毛であった。また, チトクロームオキシダーゼ試験とカタラーゼ試験は陽性であり, 糖分解性を調べたところ, 供した糖はすべて分解しなかった。DNA分解性は陰性であり, ゼラチン分解性は陽性であった。塩分耐性を調べたところ, 今回の試験で上限とした5%まで菌は発育した。生育温度は4~30℃まで発育したが, 37℃では発育しなかった。なお, これらの生化学的性状はKang *et al.* (2015)で報告されている*P. anguillisepti-*

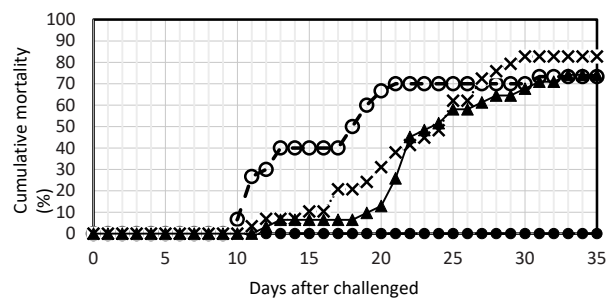


Fig.1 Cumulative mortality of barfin flounder after *P. anguilliseptica* immersion exposure.

● : Control(n=29), ○ : 2.1×10^7 CFU/ml(n=30),
× : 2.1×10^6 CFU/ml(n=29), ▲ : 2.1×10^5 CFU/ml(n=31)

caの性状とすべて一致した。シーケンス結果から16SrDNA(34-1,325番)は既知の*P. anguilliseptica*の配列(LC194236)と100%一致した。

薬剤感受性試験 添付資料にあるオキシテトラサイクリンでは感性があるという判断基準が阻止円直径19 mmに対して、供試菌では阻止円直径が44.6 mmであり、感性があると判断された。

抗 *P. anguilliseptica* Kd-1株ウサギ血清の作製 血清は約50 ml採取でき、*P. anguilliseptica* Kd-1株に対するスライド凝集価は1:16であった。

感染試験の供試魚 平均全長53.7 mm ± 3.8 (n=30)であった。

マツカワに対する病原性 感染試験の結果を図1に示した。2.1 × 10⁷ CFU/mlの菌液に浸漬した場合、10日目から死亡が開始し、14日目までに30尾中12尾が死亡し、21日目までに21尾が死亡し、試験終了時の35日目までに22尾が死亡した。2.1 × 10⁶ CFU/mlの菌液に浸漬した場合、11日目から死亡が開始し、14日目までに29尾中2尾が死亡し、21日目までに11尾が、試験終了時の35日目までに24尾が死亡した。2.1 × 10⁵ CFU/mlの菌液に浸漬した場合、12日目から死亡が開始し、14日目までに31尾中2尾が死亡し、21日目までに8尾が死亡し、試験終了時の35日目までに23尾が死亡した。また、死亡魚には発症時と同様に鰭基部の発赤などが観察され、死亡魚の脳からは抗*P. anguilliseptica* Kd-1株ウサギ血清により凝集反応を示す菌が全個体で確認された。一方、対照区での死亡はなく、生残魚からは同ウサギ血清に凝集反応を示す菌は分離されなかった。なお、感染試験時の水温は18.0~20.4℃、平均水温は19.1℃であった。

考 察

Table 1に示したとおり、今回分離された*P. anguilliseptica* Kd-1株はKang *et al.* (2015) がヒラメから分離した*P.*

*anguilliseptica*と性状が一致し、かつShimahara *et al.* (2018) で報告されているアユの*P. anguilliseptica*の16SrDNAの配列と今回分離された菌の部分配列(1,292塩基)が100%一致したことから、*P. anguilliseptica*と同定した。現在、マツカワの細菌病としてはエドワジェラ病、ビブリオ病等が知られているが、*P. anguilliseptica*の分離事例は北海道内の過去の事業報告書や診断記録、論文などにも記載がなく、マツカワでは初めての事例となる。今回分離した*P. anguilliseptica*の生化学的性状を中井・室賀(1982)と中井ら(1985)によって報告されているアユとウナギの*P. anguilliseptica*の性状と比較すると、ゼラチン分解性があること、塩分耐性が高いことから本菌はアユから分離された株よりもウナギから分離された株に近い性状を持っていると推察される。

本研究で菌濃度が2.1 × 10⁵~10⁷ CFU/mlの1時間の浸漬攻撃後、35日間飼育したところ、供試魚の73~86%が死亡した。死亡魚では鰭基部の発赤など症状が再現された。死亡魚の脳からはほぼ単一のコロニーが分離され、これらの菌は抗*P. anguilliseptica* Kd-1株ウサギ血清で凝集反応を示した。以上のことから、コッホの原則が満たされ、この菌はマツカワに対して病原性を示すものと考えられた。また、室賀(2008)によると偏性病原体の特徴として浸漬攻撃が成立するということが挙げられているから、この菌は偏性病原体の可能性が高いと考えられる。

マツカワで発生する細菌病の治療方法は水産用医薬品としてカレイ目への投与が認可されている塩酸オキシテトラサイクリンもしくはアルキルトリメチルアンモニウムカルシウムオキシテトラサイクリンの投与が考えられる。今回の試験では*P. anguilliseptica* Kd-1株に対して、塩酸オキシテトラサイクリンに感性があると判断された。治療には有効であると考えられた。しかし、平均体重約50 gのマツカワには水産用医薬品として認可されている塩酸オキシテトラサイクリンやアルキルトリメチルアンモニウムカルシウムオキシテトラサイクリンを規定量投

Table 1 Comparison of the biochemical properties of the bacteria isolated in this study and *P. anguilliseptica* isolated from Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*), Ayu (*Plecoglossus altivelis*), and European eel (*Anguilla anguilla*).

	Kang <i>et al.</i> (2015)	Nakai <i>et al.</i> (1985)	Shimahara <i>et al.</i> (2018)	Nakai&Muroga (1982)	This study
	Japanese flounder	Ayu	Ayu	European eel	Barfin flounder
Gram stain	-	-	-	-	-
Shape	rod	No record	rod	No record	rod
pigment	No record	-	-	-	-
O/F	-	-	-	-	-
Growth temperature (°C)	5~30	10~30	No record	10~30	4~30
Mobility	+	+	+	+	+
Flagellation	Single polar	Single polar	+	Single polar	Single polar
Cytochrome oxidase	+	+	+	+	+
Catalase	+	+	+	+	+
Gelatin degradation	No record	-	-	+	+
Sugar examined	-	-	-	-	-
Growth in TSA with NaCl(%)	0-3 (4-5:Not detectede)	0-3	No record	0-4(4%: + or-)	0-5

与しても、治療に十分な体内濃度に達しないことがわかっている(西原ら2004)。今回発症した個体の大きさは平均体重4.3 gであったが、4 g前後のマツカワへの規定量の塩酸オキシテトラサイクリンの投与についても同様に治療に十分な体内濃度に達しないことがわかっている(未公表データ)。マツカワに発症する*P. anguilliseptica*の化学的治療方法に関しては、今後、最小阻止濃度の検証や治療試験を行う必要があると考えられる。

謝 辞

試験を実施するにあたり、マツカワ受精卵を分与していただいた北海道栽培漁業振興公社伊達事業所今満人所長に感謝申し上げます。

引用文献

- Berthe, F.C.J., C.Michel and J.F.Bernardet. Identification of *Pseudomonas anguilliseptica* isolated several fish species in France. *Dis. Aqua.Org.*, 1995 ; 21 (2) : 151-155.
- 絵面良男・清水潮：“水質・微生物篇”，日本海洋学会(編)，沿岸環境調査マニュアルⅡ。東京，恒星社厚生閣，東京，1990；9-20.
- Kang, B.J.,D.Subramanian, Y.H.Jang, S.H.Won and M.S.Heo. Detection of *Pseudomonas anguilliseptica* from olive flounder *Paralichthys olivaceus* using real-time with TaqMan fluorescent probe. *Fish Pathology*. 2015 ; 50(1) : 1-7
- 川下正己，今満人：マツカワ種苗生産事業。平成18年度種苗生産事業報告書。社団法人 北海道栽培漁業振興公社。札幌。2007；77-87.
- Kodaka, H., A.Y.Armfield, G.L. Lombard and V.R.Dowell. Practical procedure for demonstrating bacterial flagella. *J.clin. Microbiol.* 1982 ; 16 : 948.
- Kusuda, R., N.Dohata, Y.Fukuda and K.Kawai. *Pseudomonas anguilliseptica* infection of striped jack. *Fish Pathology*. 1985 ; 30(2) : 121-122
- 室賀清邦. 第4章細菌病. §2. 魚類病原細菌. 「改訂・魚病学概論(小川和夫・室賀清邦編)」恒星社厚生閣, 東京. 2008 ; 56-59
- 中井敏博・室賀清邦. スコットランドのヨーロッパウナギ(*Anguilla Anguilla*)から分離された*Pseudomonas anguilliseptica*. 魚病研究 1982 ; 17(2) : 147-156
- 中井敏博, 花田 博, 室賀清邦. 養殖アユに発生した *Pseudomonas anguilliseptica*感染症. 魚病研究 1985 ; 20 (4) : 481-484
- 西原豊, 三浦宏紀, 伊藤慎悟: 1.8 海産魚介類の魚病診断及び防疫対策事業(一般試験研究費: 国費補助). 平成14年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 北海道立中央水産試験場. 余市. 2004 ; 92-98.
- 坂本一男：マツカワ。日本産魚類大図鑑(益田一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝弥・吉野哲夫編)，東海出版，東京。1986；P. 337.
- Shimahara, Y, Y.Kawamoto, I.Kiryu, T.Nishioka, T.Kamaishi, K.Yuasa, S.Miwa, M.Hosaka R.Matsumoto, T.Nakai and N.Oseko. Mass mortality caused by *Pseudomonas anguilliseptica* in the pond-cultured Ayu *Plecoglossus altivelis*. *Fish Pathology*, 2018 ; 53(3) : 101-104
- Wakabayashi, H and S. Egusa. Characteristic of a *Pseudomonas* sp. from an epizootic of pond-cultured eel(*Anguilla japonica*). *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 1972 ; 38 : 577-588
- Wiklund, T.and G.Bylund. *Pseudomonas anguilliseptica* as a pathogen of salmonid fish in Finland. *Dis.Aqua.Org.* 1990 ; 8 : 13-19.
- 吉村圭三. 資源管理・海洋環境シリーズ 人工種苗放流により構築されたマツカワ資源の現在. 北水試だより 2020 ; 101 : 11-13

マツカワ礫石の年齢形質としての有効性

吉村圭三^{*1}, 山口浩志¹, 板谷和彦²

¹北海道立総合研究機構中央水産試験場, ²北海道立総合研究機構函館水産試験場

Validation of annual rings on the lapilli of barfin flounder *Verasper moseri*

KEIZO YOSHIMURA^{*1}, HIROSHI YAMAGUCHI¹ and KAZUHIKO ITAYA²

¹ Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046–8555,

² Hakodate Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Hakodate, Hokkaido 040–0051, Japan

The annual ring structure on the lapillar otolith of the barfin flounder (*Verasper moseri*) was validated, using juveniles and adults from the Pacific coast of Hokkaido. Microscopy of the left lapilli embedded in resin, revealed thin and clear growth lines resembling the outline of the otolith. The formation cycle of these growth lines was observed in 1–2-year-old fish, suggesting annual formation from May to June. The age-determination accuracy based on the lapilli was compared to two standard methods based on the sagittal otoliths using fishery-caught adults. In 2–10-year-old fish, ages estimated from sectioned sagittae closely coincided with the number of growth lines on the lapilli. However, among $\geq$ four-year-old fish, the number of growth lines on the lapilli did not match the age estimated based on the surface of sagittae in more than half of the assessed fish. These disagreements were probably caused by the difficulty in observing the surface of sagittae in older fish, as reported in other species. These results indicate that the growth lines on lapilli can be used for age determination of barfin flounder and are, comparable to the annuli on transverse-sectioned sagittae.

キーワード：年輪，年齢査定，扁平石，マツカワ，礫石

マツカワ *Verasper moselli* は北海道の重要な栽培漁業対象種である。2006年に開始された年間100万尾規模の人工種苗放流事業により全道の漁獲量は大幅に増加し、2018年には過去最高の196トンに達するなど大きな放流効果が得られている（萱場，2013；吉村，2020）。水産試験場では北海道周辺海域で漁獲されたマツカワについて、市場調査および漁獲物標本採集を実施し、データを収集している。それらのデータを用いて、資源量や放流効果を推定し、結果を公表している（吉村，2020）。これらの解析の根幹となるのは、漁獲された個体の放流年や年齢・成長関係など、年齢に基づく情報である。従って、解析の精度を担保するためには、正確な年齢査定技術を用いることが極めて重要である。

マツカワでは、扁平石（sagitta）の不透明帯を表面観察により計数する年齢査定技術（以下扁平石表面観察法）が用いられており、これによれば3歳まで高い精度で年齢

査定を行うことが可能である（高谷ら，2004）。しかし、近年は4歳以上の個体が増加しているため（吉村，2020）、扁平石表面観察法だけで正確な年齢データを得ることが困難になってきている。

そこで筆者らはマツカワの礫石（lapillus）に観察される明瞭な成長線構造に着目し、年齢形質としての有効性について明らかにするため、その形成周期を調べるとともに、既存の扁平石表面観察法との比較に加えて、特に高齢魚に対する年齢査定の精度が高いとされる扁平石横断薄片法（星野ら，2012；星野，2015；高嶋ら，2013）を加えた比較検討を行った。

試料及び方法

2016年4～7月に北海道浜中町霧多布地先（Fig. 1）の水深0～1 mにおいて小型地曳網（長さ5 m，幅5 m，目合6

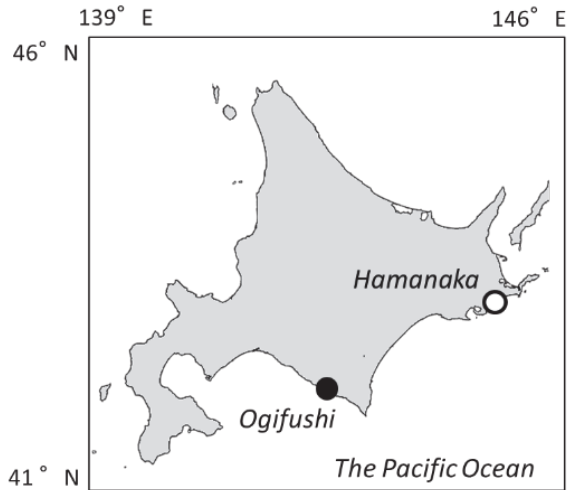


Fig.1 Specimen-collection site in Hokkaido, Japan: Hamanaka (open circle) and Ogifushi (black circle)

mm) により採集されたマツカワ未成魚計39尾 (Table 1) および2018年12月に北海道様似町荻伏沖 (Fig.1) で刺網漁業により漁獲された全長370~618 mmのマツカワ計23尾 (Table 1) を用いた。これらの左の礫石 (以下礫石) および左の扁平石 (以下扁平石) を, 実体顕微鏡 (Olympus SZX10) の検鏡下で採取した。採取された礫石は90%エタノール中で, 扁平石は乾燥状態で保存した後, 以下の処理を行った。なお, 扁平石横断薄片標本の作成は様似町荻伏の漁獲物標本についてのみ行った。

礫石成長線数 保存された礫石を熱可塑性樹脂 (AREMCO Crystalbond™509) を用いて以下の手順により包埋した。まずアルコールランプで数秒間熱した樹脂をスライドガラスに1~2滴滴下し, 常温で硬化させた。硬化した樹脂の上に礫石を載せ, スライドガラスごと200℃のホットプレートに約30秒置き, 軟化した樹脂内に礫石を沈

Table 1 Collection date and area, number of specimens, total length range and age range of barfin flounder, *Verasper moseri*, assessed in this study

Collection date	Collection area	Number of specimens	Total length range (mm)	Age range
21 Apr. -26 Jul. 2016	Hamanaka	39	99 - 275	1 and 2
2-23 Dec. 2018	Ogifushi	23	370 - 618	2 to 10

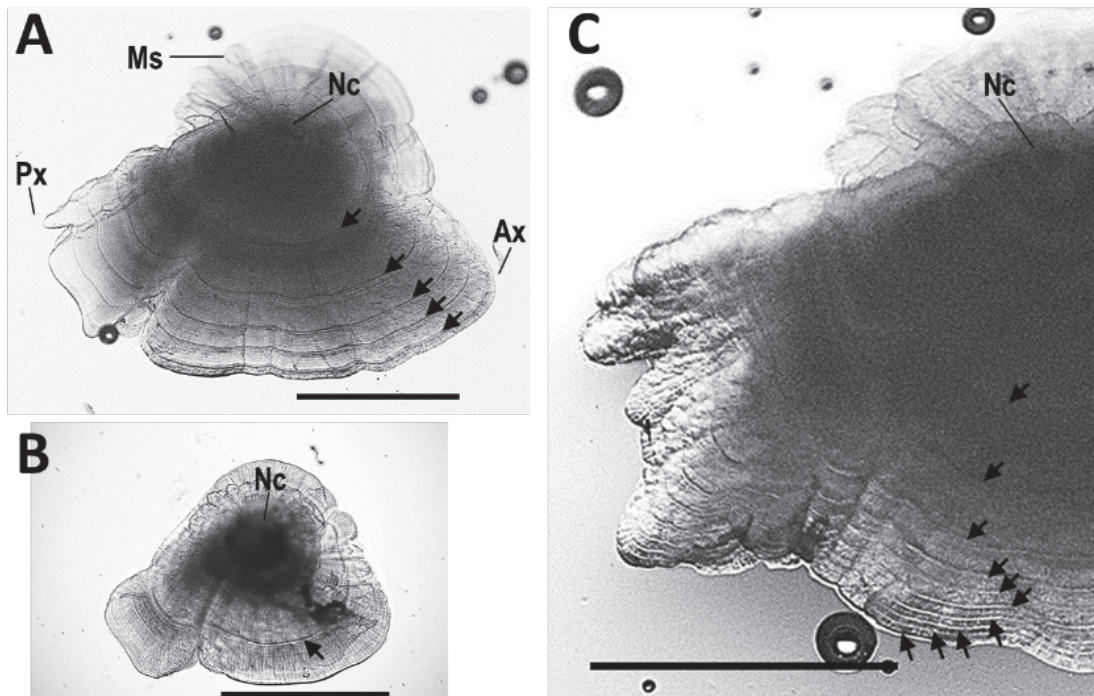


Fig.2 Dorsal view of the left lapillus of barfin flounder, mounted in thermoplastic resin (anterior surface is on the right). A: Lapillus of a female collected from Ogifushi, total length 607 mm, five-year-old, with five growth lines. B: Lapillus of a juvenile from Hamanaka, 231 mm, two-year-old, with a single growth line. C: Lapillus of a male from Ogifushi, 546 mm, nine-year-old, with ten growth lines. Ages (birth date = 1 April) were estimated using the sectioned sagittae (A,C) or by surface observation of the sagittae (B). Ax: anterior extreme. Px: posterior extreme. Ms: marginal swelling. Nc: nucleus. Arrows indicate the growth lines. Scale bar = 500 μ m.

下させた後、常温で再び硬化させた。さらにアルコールランプでスライドガラスの裏側から数秒間熱して樹脂を再び軟化させ、熱した柄付針で礫石の包埋位置を調整した。位置の調整は実体顕微鏡 (Olympus SZX10) 下で透過照明により行い、礫石の背側を表、前方を右向きとした。

礫石の観察、成長線の計数および写真撮影は実体顕微鏡 (Nikon SMZ1270) の40倍または正立顕微鏡 (Nikon ECLIPSE 80i) の100倍で、透過照明または偏斜照明により行い、各部の計測は撮影した写真上で行った。礫石各部の名称はAssis (2005) に従った。

扁平石表面観察法 保存された扁平石を90%エタノールに浸した状態で黒色アクリル板に体外側を表として置き、実体顕微鏡 (Nikon SMZ1270) の5~10倍で落射照明により観察および写真撮影を行った。年齢査定は高谷ら (2004) に準じて次のとおり行った。4月1日を加齢基準日とし、観察された不透明帯数 (縁辺部に形成中のものを含まない) に基づき、浜中町霧多布の未成魚標本 (4~7月) では不透明帯数+1、様似町荻伏の漁獲物標本 (12月) では不透明帯数を満年齢とした。

扁平石横断薄片法 扁平石表面観察法で処理後の扁平石をアクリル樹脂 (Kulzer Technovit 4004) に包埋し、切断機 (マルトー MC-201N) を用いて核部分を含み体軸に直交する厚さ約1 mmの横断薄片を包埋樹脂ごと切り出した。切り出した横断薄片を熱可塑性樹脂 (AREMCO CrystalbondTM509) によりスライドガラスに貼付し、さらに回転研磨機 (マルトー ML-182SL) を用いて約200 μm の厚さまで研磨した。観察および写真撮影は実体顕微鏡 (Nikon SMZ1270) の20倍で透過照明または偏斜照明により行い、各部の計測は撮影した写真上で行った。年齢査定は横断面に観察された不透明帯数に基づき、扁平石表面観察法と同様の方法により行った。

礫石成長線の形成周期および年齢形質としての有効性

礫石成長線の形成周期の解明には、浜中町霧多布で採集された未成魚標本を用いた。同標本における礫石の成長線数を年齢別および採集月別にとりまとめ、それらの推移から礫石成長線の形成周期について推察した。なお、同標本については、全長範囲 (99~275 mm : Table 1) から確実に2歳以下であると見込まれたこと、3歳以下では扁平石表面観察法でも十分な精度の年齢査定が可能である (結果参照) ことから、扁平石表面観察法による年齢を真の年齢とした。

礫石成長線の年齢形質としての有効性の検証には、様似町荻伏で漁獲された標本を用いた。同標本について、扁平石横断薄片法により得られた推定年齢を真の年齢とし、礫石成長線数および扁平石表面観察法に基づく年齢推定結果を個体別に評価した。

結果

礫石の形態的特徴 礫石の背面からみた外形は歪な三角形を呈し (Fig. 2A, B), 前端 (anterior extreme) から後端 (posterior extreme) までの長さ (以下長径) は約600~1,500 μm で、大型魚ほど大きかった。側方 (体外側) への張り出し (marginal swelling) の表面に近い内部に核 (nucleus) が観察され、核の周りに長径300 μm 程度のやや前後に長い楕円形の暗色部があった (Fig. 2A, B)。

浜中町霧多布で採集された1歳魚の一部の礫石を除き、暗色部の外側に礫石外形輪郭と相似形の細くて明瞭な成長線 (growth line) が1~10本観察された (Fig. 2A, B, C)。成長線の長径は、最も内側のものが600~750 μm , 内側から2本目が900~1,100 μm で、成長線どうしの間隔は外側に行くほど狭くなった (Fig. 2A, C)。

礫石成長線の形成周期 Fig. 3に浜中町霧多布で採取された未成魚における年齢別、月別の礫石成長線数の推移を示した。月により観察個体数が異なるが、1歳、2歳ともに4月は全個体の成長線数は年齢より1少なく、5月は多くが年齢より1少ないが一部は年齢と同数、6月および7月は全個体が年齢と同数であった (Fig. 3)。

礫石成長線の年齢形質としての有効性 様似町荻伏の漁獲物標本は扁平石横断薄片法により満2~10歳と年齢査定された (Table 1, Fig. 4A)。同標本の礫石における成長線数は2~10本で (Fig. 2A, C), 個体別にみると1個体 (9歳に対し8本) を除きすべて扁平石横断薄片法による年齢と一致した (Fig. 5上)。これに対し、扁平石表面観察法による推定年齢は2~7歳で (Fig. 4B), 扁平石横断薄片法

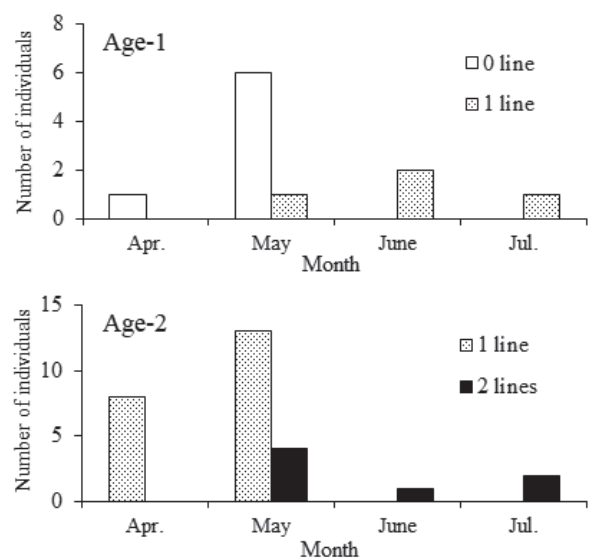


Fig. 3 Monthly records of the number of growth lines on the lapilli of one- (top) and two-year-old (bottom) barfin flounder juveniles collected from Hamanaka.

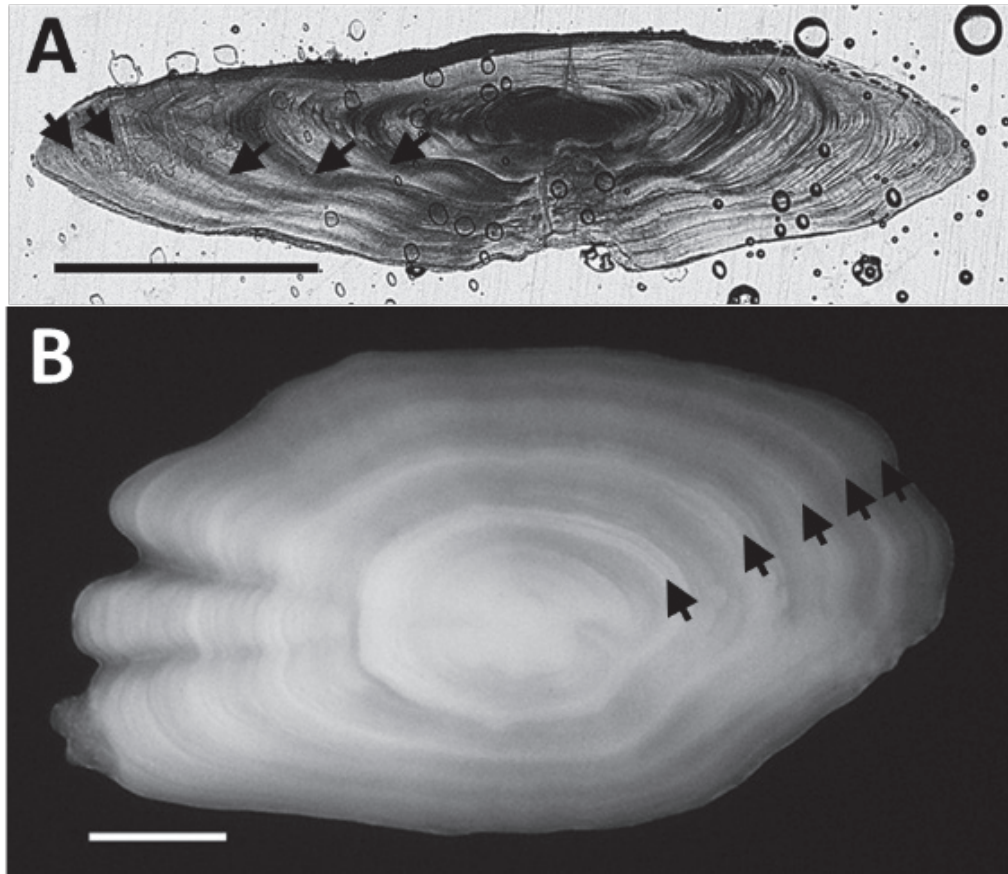


Fig.4 Left sagittal otolith of the barfin flounder individual, represented in Fig.2A. A: Transverse section with five annual rings (dorsal surface is on the right). B: Lateral surface view submerged in 90% ethanol (ventral surface is on the right). Arrows indicate the annual rings. Scale bars = 1 mm

によるそれらに対し, 2歳および3歳の計10個体ではすべて一致したが, 4歳以上の計13個体では半数以上となる8個体で一致しなかった (Fig.5下)。

考 察

浜中町霧多布で採取された未成魚の礫石に観察された成長線が1歳および2歳ともに, 5月を境に年齢-1本から年齢と同数に増加したことから, これらの成長線は年に1回, 5~6月に形成される年輪と考えられる。従って, 礫石の成長線は有効な年齢形質であると考えられる。さらに, 様似町荻伏で漁獲された2~10歳魚において礫石の成長線数が扁平石横断薄片法による年齢とほぼ一致したことから, 礫石を用いることにより高齢魚においても正確な年齢査定が可能と考えられる。礫石の年輪形成時期は扁平石のそれ (不透明帯, 6~7月) に近いことから (高谷ら, 2004), 礫石による年齢査定手順は扁平石によるものとはほぼ同様である。すなわち, 4月1日を加齢基準日とすると4~6月は縁辺に形成中のものを含めない成長線数+1が, 7~12月および1~3月は成長線数が満年齢を表す

ことになる。

扁平石表面観察法では4歳以上の半分以上の個体で扁平石横断薄片法と推定年齢が一致せず, 先行研究において本法は高齢魚で誤差が大きくなるとの指摘どおりとなった (星野ら, 2012; 高谷ら, 2004)。扁平石横断薄片を観察すると, 内側の2~4本程度 (個体により異なる) の年輪 (不透明帯) は最大幅100 μm 以上と太いが, それらより外側の年輪ほど細くなり, 年輪どうしの間隔も狭くなる (Fig.4A, B)。また, 内側の太い年輪は, 一部だけが分岐した偽輪状の構造を伴うことがある。これらの年輪構造の特性により, 扁平石表面観察法による年輪計数は, 内側で重複が, 外側で見落としが起りやすく, 特に高齢魚では正確な計数が困難になると推察された。従って, 扁平石表面観察法による年齢査定結果には一定の誤差が含まれることを想定する必要がある。これに対し, 扁平石横断薄片法では高齢個体でも正確な年輪の計数が可能であり, 偽輪の判別も容易であることから正確な年齢査定が可能と考えられる。しかし, 同方法は樹脂包埋, 切断, 研磨等, 標本作成に多くの工程があり, 耳石の採取から年齢査定までに少なくとも数日かかることが不利

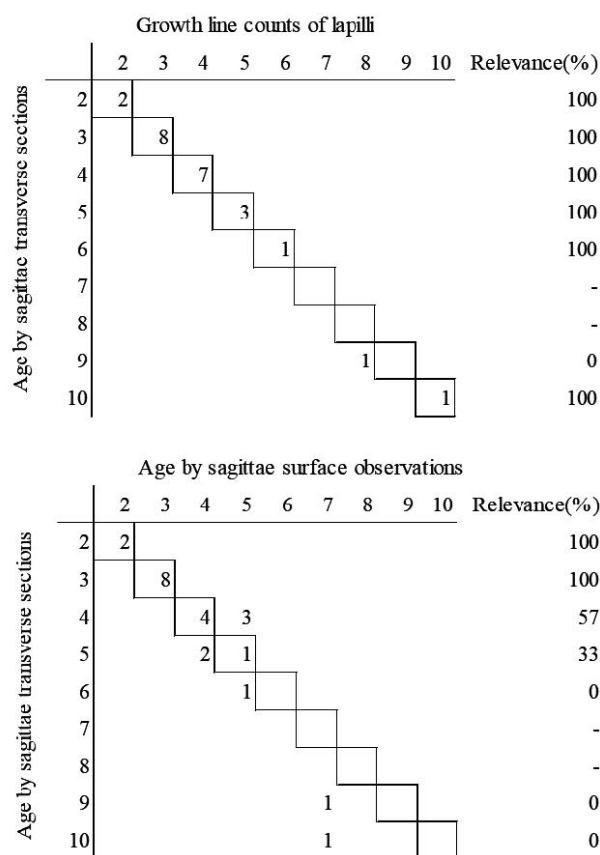


Fig.5 Comparison of the growth line counts on the lapilli with age determined by the sagittae transverse sections of the adult barfin flounder collected from Ogifushi (top), Comparison of the “annual ring” counts from the sagittae surface with the age (bottom). Numbers indicate the individuals.

な点である。

礫石は成魚でも長径1.5 mm程度と小さいため、採取や標本処理は実体顕微鏡下で行う必要があり、耳石を採取するまでの作業性では扁平石に比べて不利な面がある。しかし、採取後は複雑な処理を必要とせず、樹脂に包埋し、透過光観察の障害となる表面の微細な凹凸の影響を軽減するだけで、詳細な構造を観察することができる。また、すべての年輪が明瞭な線状であるため、計数が容易である。これらが扁平石横断薄片法に比べて有利な点である。

礫石はこれまで様々な魚種の仔稚魚期における日周輪解析に用いられ（例えばPeters and Schmidt, 1997; Fey et al., 2018）、マツカワでも礫石に日周輪が形成されることが明らかにされている（城ら, 2020）。しかし、礫石を成魚の年齢査定に用いた例は少なく、扁平石の形状が特殊なため年齢査定に適さないコイ科魚類（飯塚・片山, 2008）において、わずかにみられる程度である（Li et al., 2009; Lackmann et al., 2019）。本研究でマツカワの礫石に年輪

構造が見出されたことにより、礫石は仔稚魚の孵化日や初期成長だけではなく、稚魚期以降の生活履歴の解析においても重要な基盤となることが示唆された。礫石の明瞭な線状の年輪構造は扁平石の帯状のそれらと異質であり、その形成機構については今後明らかにする必要がある。一方、その特性を利用し、これまで扁平石の年輪構造が不鮮明である等の理由により年齢査定が困難であった他魚種について、礫石の解析により年齢査定が可能となり、年齢成長に関する新たな知見が得られる可能性がある。

謝 辞

マツカワ未成魚の採集調査において多大なご協力をいただいた浜中漁業協同組合の中山慶則氏、北海道釧路地区水産技術普及指導所の諸氏、国立研究開発法人水産研究・教育機構北海道水産研究所の中川亨氏に深謝する。また、漁獲物標本の確保と測定に多大なご協力をいただいた北海道日高地区水産技術普及指導所の諸氏に深謝する。

引用文献

- Assis C A. The utricular otoliths, lapilli, of teleosts: their morphology and relevance for species identification and systematics studies. *Scientia Marina*. 2005; 69: 259–273.
- Fey D P, Lejk A M, Greszkiewicz M. Daily deposition of growth increments in sagittae and lapilli of laboratory-reared larval northern pike (*Esox lucius*). *Fish. Bull.* 2018; 116: 302–309.
- 星野 昇, 山口浩志, 三原行雄, 丸山秀佳. 北海道日本海産アカガレイ, ヒレグロ, ウロコメガレイの年齢決定に関する耳石の表面観察法と薄片観察法の比較. 北水試研報 2012; 82: 1–7.
- 星野 昇. 耳石横断薄片法を用いた石狩湾産ヒラメの年齢査定. 北水試研報 2015; 88: 9–15.
- 城 幹昌, 松田泰平, 吉村圭三. マツカワ *Verasper moseri* 仔稚魚の耳石日周輪形成の確認および輪紋形成開始と水温の関係. 水産海洋研究 2020; 84(1): 27–35.
- 萱場隆昭. 北海道におけるマツカワの栽培漁業. 「沿岸魚介類資源の増殖とリスク管理－遺伝的多様性の確保と放流効果のモニタリング－（有瀧真人編）」恒星社厚生閣, 東京. 2013: 9–21.
- Lackmann A R, Andrews A H, Butler M G, Bielak-Lackmann E S, Clark M E. Bigmouth Buffalo *Ictiobus cyprinellus* sets freshwater teleost record as improved age analysis

- reveals centenarian longevity. *Commun. Biol.* 2019 ; 2 : 197.
- Li X, Chen Y, He D, Chen F. Otolith characteristics and age determination of an endemic *Ptychobarbus dipogon* (Regan, 1905) (Cyprinidae: Schizothoracinae) in the Yarlung Tsangpo River, Tibet. *Environ. Biol. Fish.* 2009 ; 86 : 53-61.
- Peters J S, Schmidt D J. Daily age and growth of larval and early juvenile Spanish mackerel, *Scomberomorus maculatus*, from the South Atlantic Bight. *Fish. Bull.* 1997 ; 530-539.
- 高嶋孝寛, 星野 昇, 板谷和彦, 前田圭司, 宮下和土. 耳石断面観察によるホッケ道北群の年齢査定法と年齢-サイズ関係. 日本水産学会誌 2013 ; 79(3) : 383-393.
- 高谷義幸, 松田泰平, 吉田秀嗣. マツカワ若齢魚の耳石輪紋の年齢形質としての有効性(短報). 北水試研報 2004 ; 66 : 11-13.
- 吉村圭三. 人工種苗放流により再構築されたマツカワ資源の現在. 北水試だより. 2020 ; 101 : 11-13.

ホッケ道南群における漁獲物の年齢と体サイズとの関係（資料）

下田和孝^{*1}, 藤岡 崇²

¹北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場, ²北海道立総合研究機構函館水産試験場

Age -body size relationships for the Southern Hokkaido stock of the arabesque greenling, *Pleurogrammus azonus*, caught in fisheries (Note)

KAZUTAKA SHIMODA^{*1} and TAKASHI FUJIOKA²

¹ Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Eniwa, Hokkaido, 061-1433*,

² Mariculture Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido, 040-0051, Japan*

キーワード：漁法, 成長式, 地区, 道南群, ホッケ

ホッケ *Pleurogrammus azonus* は、茨城県以北から千島列島周辺の北太平洋、対馬海峡以北の日本海、黄海、沿海地方およびオホーツク海に分布するアイナメ科魚類で、北海道の全域で漁獲される重要な水産資源である（夏目, 2003）。北海道に分布するホッケ資源は、北部日本海～オホーツク海系群（以下、道北群）、道南～本州系群（以下、道南群）および羅臼～太平洋系群（以下、太平洋群）の3系群に区分され、このうち道南群は北海道南部日本海から北海道南部太平洋岸および本州北部沿岸にかけて分布する（夏目, 2003）。道南群と道北群の境界については2通りの見解があり、入江（1983）は雄冬岬を境に両群を区分することを提唱したが、夏目（2004）は後志海域の漁獲量の変動傾向が道北海域と同調していることを示し、後志海域の資源は道北群の一部とみなせると述べている。現在の資源評価では後者の見解に従って檜山海域以南を道南群としている。

ホッケ道南群は主に日本海南部の岩礁域で産卵し、稚・幼魚期を日本海や太平洋の沖合で生活した後日本海から津軽海峡および太平洋の沿岸に遡上して1歳の春から漁獲対象となる（星野ら, 2009）。ホッケの成長は海域によって違いがあり、満4歳時点の体長はオホーツク海や日本海では31～34 cmであるのに対し太平洋では33～36 cmとされている（夏目, 2003）。また、日本海と太平洋に跨がって分布する道南群は、系群内でも海域による成長差があることが指摘されている（星野ら, 2009）。

北海道では周辺海域で漁獲される24魚種47系群を対象

に資源状態を評価し、その評価結果を公開している（<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/>）（2022.1.19）。ホッケ道南群の資源評価では評価基準として資源重量を用い、また、親魚の資源重量とその子世代の数量との関係をもとに再生産の良否を判断している。このため、資源解析により求めた年齢別の資源尾数を資源重量に換算する必要があり、その際、年齢と体重との関係は不可欠な情報である。また、資源評価書には基礎的な生態的知見として各年齢での体長も記述することから、年齢と体長との関係も必要な情報である。本報告では道南の7地区の漁獲物について年齢と体長との関係を記載し、サンプルの偏りが比較的少ないと判断された地区について年齢と体重および体長との関係を von Bertalanffy の成長式に当てはめ満年齢時点での値を求めた。さらに海域間で成長を比較し、資源評価で適用する体サイズについて検討した。

材料および方法

2006年から2018年にかけて北海道南部の7地区（図1）で水揚げされた漁獲物を銘柄毎に5～30 kg購入し、生物測定用のサンプルとした。漁獲物の水揚げ地区は、ひやま漁業協同組合奥尻支所（以下、奥尻地区）、ひやま漁業協同組合上ノ国支所（以下、上ノ国地区）、松前さくら漁業協同組合（以下、松前地区）、えさん漁業協同組合本所（以下、尻岸内地区）、えさん漁業協同組合榎法華支所（以

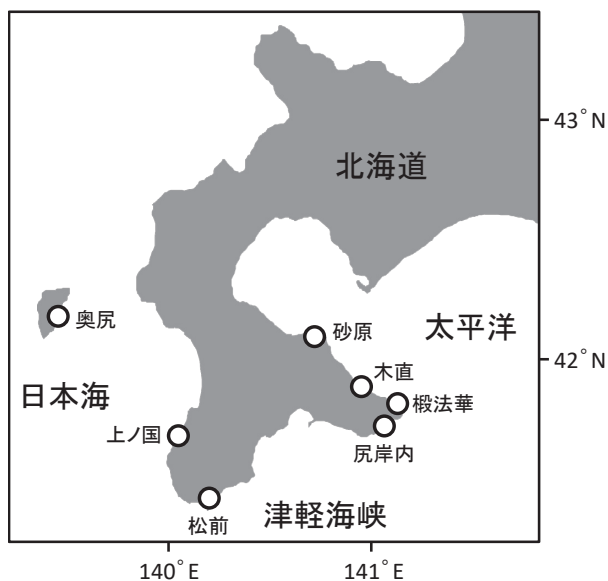


図1 生物測定を行ったホッケの水揚げ地区

下、榎法華地区), 南かやべ漁業協同組合木直支所 (以下, 木直地区) および砂原漁業協同組合 (以下, 砂原地区) とした。サンプルを漁獲した漁法は, 奥尻地区および砂原地区は底建網, 松前地区は刺し網とかご, 上ノ国地区は底建網と刺し網, 尻岸内地区はまき網, 榎法華地区は刺し網, 木直地区は定置網であった。

生物測定は計12,255個体実施した。これらのうち年齢不明の11個体と性別不明の2個体の測定値については解析に用いなかった。また, 対数変換した体重と標準体長の散布図で99.9%信頼確率楕円の棄却域に属する個体については外れ値とみなし解析に用いなかった。外れ値の判定では小椋 (2001) の付属ソフトを用いた。このソフトで利用できるサンプル数の上限が1,000個体であったことから外れ値の判定は年毎に雌雄別に行い, 計44個体が外れ値と判定された (図2)。外れ値を除いた計12,198個体の水揚げ地区別の測定個体数は表1の通りであった。

生物測定の項目は, 標準体長 (以下, 体長), 体重, 性別, および年齢とした。年齢査定は耳石断面の薄片標本を観察する手法 (高嶋ら, 2013) により行った。

年齢と平均体長との関係から漁法や漁場によるサンプルの偏りの有無を判定し, 偏りが少ないと考えられる地区・漁法について年齢と体長および体重の関係を成長式に当てはめた。高嶋ほか (2013) によるとホッケ道北群では von Bertalanffy の成長曲線よりも Logistic 曲線の当てはまりが良いとされているが, AIC の違いは僅差であることも示されているため (前者: 41,333~41,412, 後者: 41,208~41,291), ここでは魚類の成長曲線としてより広く用いられている von Bertalanffy の成長式を採用した。サンプルによっては漁獲日が同じ月の複数日に跨る場

合があったことや, 漁獲日が不明で漁獲月のみの情報に限られる場合があったことから, 便宜的に月の中日である15日を漁獲日として適用した。各個体の年齢と漁獲月から月齢を求め, この月齢にひと月の平均日数である30.4日をかけて日齢とし, これを1年間の日数である365で除すことにより小数点以下の値を持つ年齢に換算した (下式1)。ただし, t_1 は換算前の年齢, t_2 は換算後の年齢, m は漁獲月である。この換算では便宜的に各月の15日を漁獲日として適用したことから, 閏年や月による日数の違いについて考慮しなかった。なお, 本報告では現行の資源評価の手法に従って1月1日を年齢加算日とした。

$$t_2 = (30.4(12 t_1 + m) - 15) / 365 \cdots \cdots (1)$$

下式 (2) および (3) の von Bertalanffy の成長式のパラメータを Excel (マイクロソフト社) のソルバー機能を用いて求めた。ただし, t_2 は上式 (1) で求めた年齢, W_{t_2} お

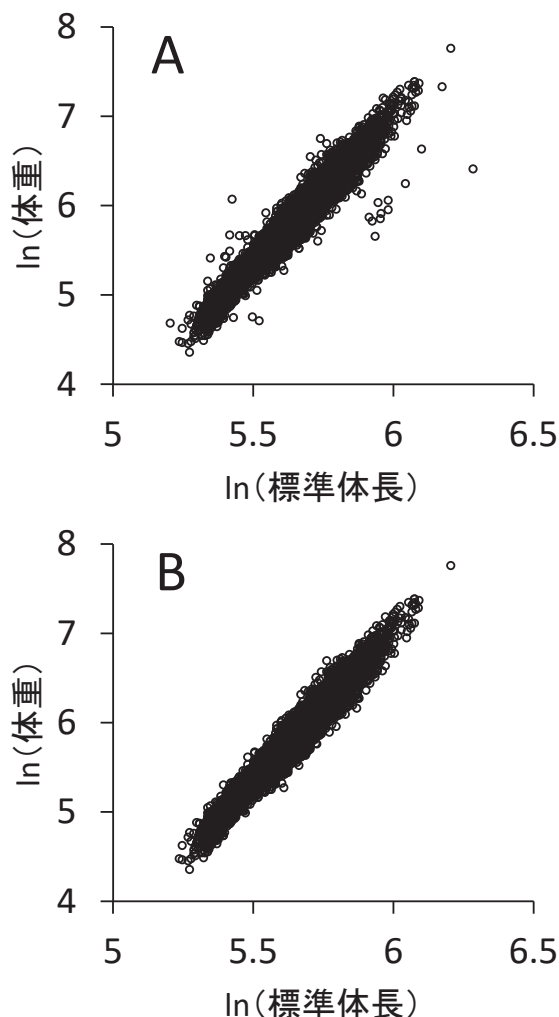


図2 対数変換した標準体長と体重との関係 A: 全ての生物測定結果 (ただし, 年齢不明の11個体と性別不明の2個体を除く) に基づく両者の関係 ($n=12,242$), B: 外れ値と判定された44個体を除去した場合の両者の関係 ($n=12,198$)

表1 生物測定したホッケの漁獲年、漁獲時期、性別、地区および漁法毎の個体数

年	時期	性別	測定個体数(地区・漁法)								
			奥尻 底建網	上ノ国 底建網	上ノ国 刺し網	松前 刺し網	松前 かご	尻岸内 まき網	樫法華 刺し網	木直 定置網	砂原 底建網
2006	春期	♂						107			88
		♀					43			68	
	秋期	♂								58	
		♀								65	
2007	春期	♂	161								46
		♀	128								77
	秋期	♂	49								
		♀	157								
2008	春期	♂	224			32	40	132			68
		♀	195			63	57	102			56
	秋期	♂	109								30
		♀	171							17	
2009	春期	♂	169					145			129
		♀	140					75			124
	秋期	♂	107								
		♀	87								
2010	春期	♂	154			56	41				52
		♀	145			48	115				29
	秋期	♂	53								43
		♀	141							38	
2011	春期	♂	51			54		53	90		35
		♀	83			145		7	34		38
	秋期	♂	77								
		♀	169								
2012	春期	♂				85			95	63	34
		♀				183			44	84	28
	秋期	♂				30			63		
		♀				147		56			
2013	春期	♂	101			77		95		22	
		♀	98			123		15		39	
	秋期	♂	8			115			47	60	
		♀	138			85		67	77		
2014	春期	♂				111					
		♀				101					
	秋期	♂	31		29					11	
		♀	106	20	82				42		
2015	春期	♂	216			82					27
		♀	211			41					29
	秋期	♂	17	12		171				58	19
		♀	208	101		47			96	15	
2016	春期	♂	219			127					
		♀	210			84					
	秋期	♂	38							53	
		♀	170						121		
2017	春期	♂	215			105					
		♀	198			77					
	秋期	♂	9			122					
		♀	132			128					
2018	春期	♂	218			151				82	
		♀	158			127				59	
	秋期	♂	27								69
		♀	190							77	
計		♂	2,253	12	29	1,318	81	532	295	349	698
		♀	3,235	121	82	1,399	172	242	201	518	661
		♂♀計	5,488	133	111	2,717	253	774	496	867	1,359

よび L_{t_2} は年齢 t_2 における体重 (g) および体長 (mm), W_{∞} および L_{∞} は極限体重および極限体長, K は成長係数, t_0 は $W_{t_2}=0$ または $L_{t_2}=0$ の時の年齢である。ソルバー機能の使用に際しては、体重または体長の実測値と下式 (2) および (3) により算出される W_{t_2} または L_{t_2} との残差平方和が最小になる W_{∞} , L_{∞} , K および t_0 を求めるように設定した。

$$W_{t_2} = W_{\infty} (1 - e^{-K(t_2 - t_0)})^3 \dots \dots (2)$$

$$L_{t_2} = L_{\infty} (1 - e^{-K(t_2 - t_0)}) \dots \dots (3)$$

結果及び考察

各年齢における漁獲物の平均体長を図3に示した。前述したように本研究では銘柄毎にサンプルを抽出して測定を行ったことから、図3に示した各年齢のサンプル数の構成は漁獲物全体の年齢組成とは異なるが、サンプルの体サイズの範囲は漁獲物の範囲に近く、年齢の範囲も近いものと仮定して以下の記述を行った。

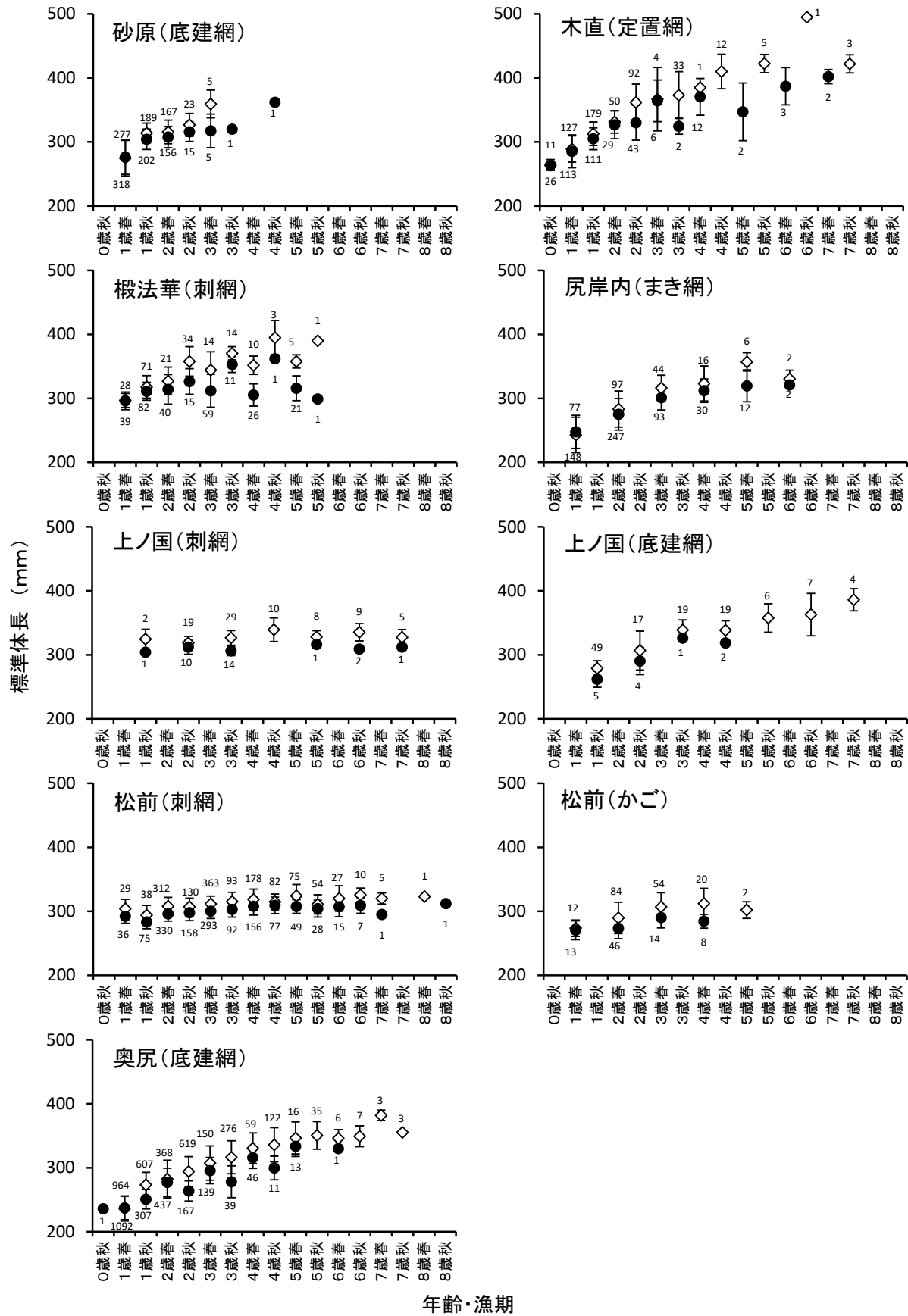


図3 各地区で漁獲されたホッケの年齢と平均体長との関係 ●：雄，◇：雌，バーは標準偏差，マーカー上の数値は雌のサンプル数を，マーカー下の数値は雄のサンプル数を示す

砂原地区の底建網による漁獲物は3歳以下の個体に偏っていた（図3）。同じ底建網の漁獲物でも奥尻地区や上ノ国地区では4歳以上の個体も多いことから、砂原地区での漁獲年齢の偏りは漁法による影響ではないと推測される。ホッケは岩礁域で産卵し、上ノ国地区の属する檜山海域や奥尻島周辺海域は大規模な産卵場の一つとされ（高嶋・星野，2010），高齢魚を含む成熟魚が来遊し漁獲対象となる。一方、砂原地区の沖合には産卵場となる岩礁域は少なく、索餌のために来遊した未成年が漁獲対象の主群となることから（星野ら，2009），サンプルの年齢組成が若齢に偏った可能性が考えられる。

サンプルの年齢組成が若齢に偏る現象は、松前地区のかごによる漁獲物でも見られた（図3）。魚類を対象とし

たかご漁業は、餌を入れた箱状のかごを海底近くに設置してホッケ等の根魚を漁獲する漁法で、いったんかごに入った魚が逃避しないようにかごの入り口は返し状に狭くなっている（鳥澤，2003）。このため、かごにもサイズ選択性があることが推察され、サンプルの組成が小型若齢個体に偏った可能性が考えられる。

上ノ国地区と松前地区の刺し網の漁獲物では年齢による平均体長の違いがほとんど見られず、全ての年齢で300 mm前後であった（図3）。一般に、刺し網による漁獲は網目選択性の影響を受けることから（梨本，1979），若齢では成長の良い個体が選択的に漁獲される一方、低成長の個体は高齢で漁獲されたことで年齢間での体長の違いが生じにくかったと推測される。樺法華地区の刺し網に

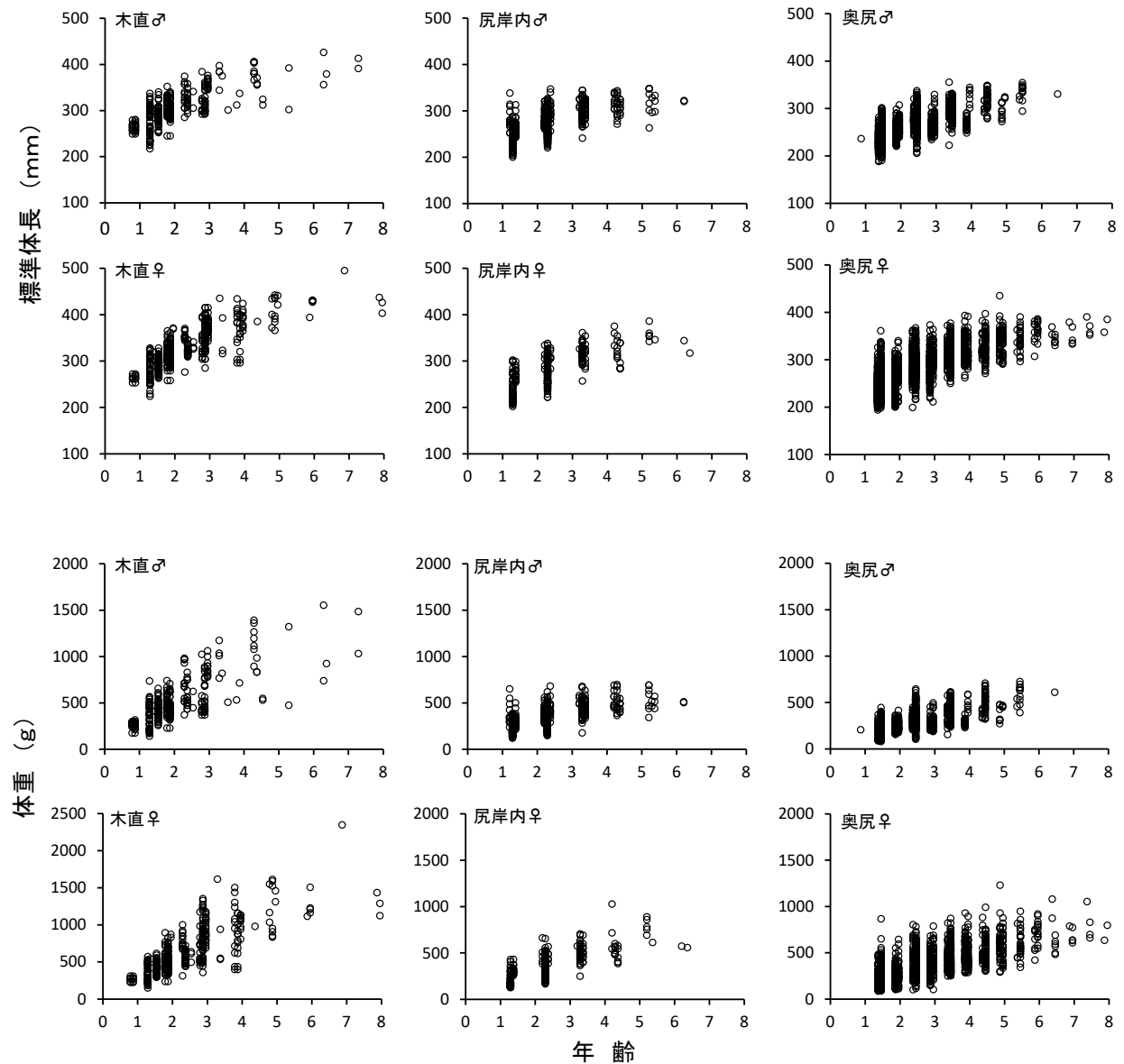


図4 成長式を推定した木直，尻岸内および奥尻の各地区で水揚げされたホッケの年齢と標準体長および体重との関係

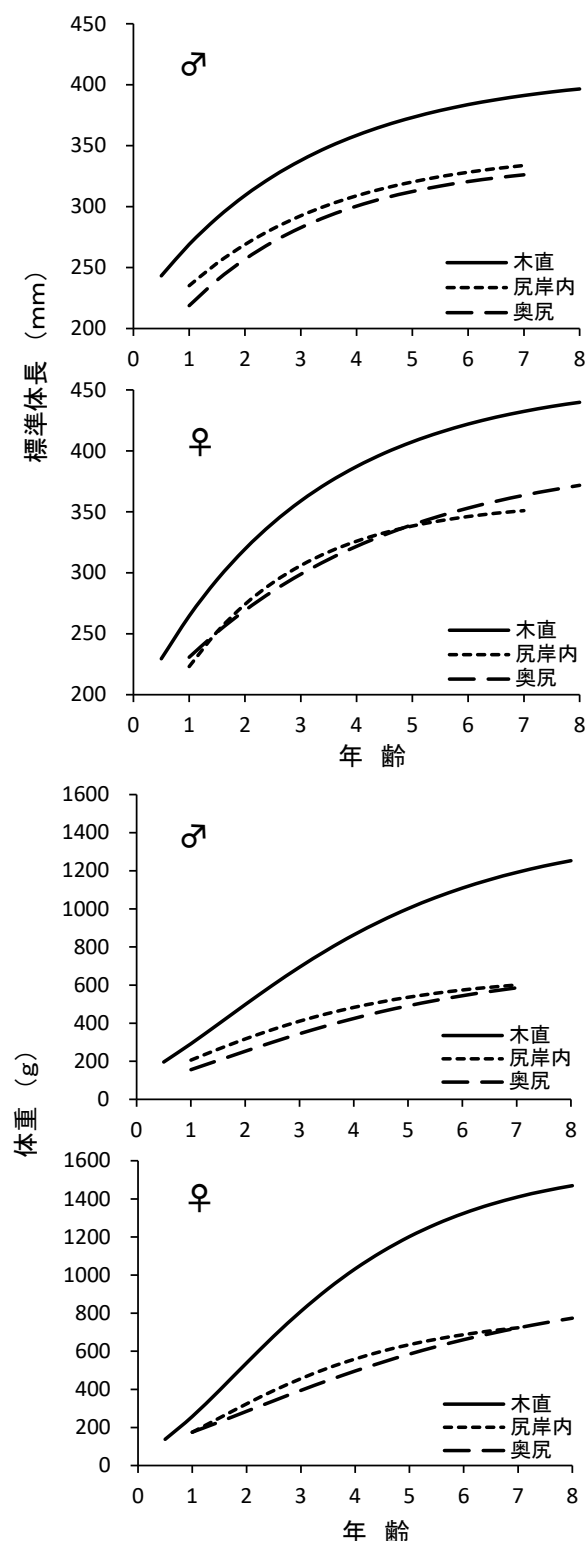


図5 木直, 尻岸内および奥尻の各地区で水揚げされたホッケのvon Bertalanffyの成長曲線

よる漁獲物でも, 雄の平均体長は3歳秋を除くと300 mm前後であり網目選択性の影響が示唆された(図3)。一方, 雌では年齢とともに平均体長が大きくなる傾向が認められた。道南太平洋海域のホッケは高成長なため(星野ら,

表2 木直, 尻岸内および奥尻の各地区で水揚げされたホッケのvon Bertalanffyの成長式のパラメータ

	地区	性別	パラメータ		
			L_{∞}	K	t_0
標準体長 (mm)	木直	♂	410	0.335	-2.183
		♀	459	0.332	-1.585
	尻岸内	♂	346	0.363	-2.131
		♀	359	0.471	-1.064
	奥尻	♂	338	0.385	-1.707
		♀	399	0.259	-2.331
体重 (g)	木直	♂	1,422	0.328	-1.716
		♀	1,593	0.407	-0.935
	尻岸内	♂	658	0.394	-1.883
		♀	793	0.428	-1.165
	奥尻	♂	711	0.308	-2.000
		♀	959	0.262	-2.203

2009), 樞法華地区では高齢で漁獲される個体の中にも高成長な個体が含まれていると推測され, 特に成長の良い雌においてこうしたことが起きやすく年齢とともに体サイズが大きくなる傾向を示したのかもしれない。

木直地区の定置網や奥尻地区の底建網および尻岸内地区のまき網による漁獲物では, 刺し網やかごによる漁獲物にみられるような漁具の選択性の影響を示唆するような頭打ちの傾向は見られず, 平均体長は年齢とともに大きくなる傾向を示した(図3)。また砂原地区のように漁獲物が若齢に偏ることも無かった。そこで木直地区, 奥尻地区および尻岸内地区の漁獲物は, それぞれ太平洋, 日本海および津軽海峡における成長様式を代表できる可能性があると判断し各地区の成長式を求めることとした。なお, 上ノ国地区の底建網による漁獲物も年齢とともに平均体長が大きくなる傾向を示しサンプルの偏りが少ない可能性があるが, 奥尻地区と比べるとサンプル数がないことから, 日本海の代表としては奥尻地区を選択した。

木直, 尻岸内および奥尻の各地区における漁獲物の年齢と体長および体重の散布図を図4に, von Bertalanffyの成長曲線を図5に示した。また, 成長式のパラメータを表2に, 成長式から算出した資源評価上の満年齢時点(各年齢の1月1日時点)およびその半年後(各年齢の6月1日時点)における体長と体重を表3に示した。

成長曲線式によると, 木直地区では雌雄ともに満2歳で体長300 mmを超え, 雌は満3歳, 雄は満4歳で体長350 mmに達した(表3)。極限体長は雌では459 mm, 雄では410 mmであった(表2)。漁獲物の測定結果によると, 雌で

表3 木直、尻岸内および奥尻の各地区で水揚げされたホッケのvon Bertalanffyの成長式から求めた満年齢時点の標準体長と体重

	満年齢	地区		
		木直	尻岸内	奥尻
♂ 標準体長 (mm)	1.0	269	235	219
	1.5	291	254	240
	2.0	309	269	257
	2.5	325	282	271
	3.0	338	293	283
	3.5	349	301	292
	4.0	358	309	300
	4.5	366	315	307
	5.0	373	320	312
	5.5	379	325	317
	6.0	384	328	321
	6.5	388	331	324
	7.0	391		326
♀ 標準体長 (mm)	7.5	394		
	8.0			
	1.0	265	223	231
	1.5	294	252	251
	2.0	320	274	269
	2.5	341	292	285
	3.0	359	306	299
	3.5	374	317	311
	4.0	387	326	322
	4.5	398	333	331
	5.0	407	338	339
	5.5	415	343	347
	6.0	422	346	353
♂ 体重 (g)	6.5	428	349	359
	7.0	432		364
	7.5	436		368
	8.0	440		372
	1.0	292	206	156
	1.5	394	263	204
	2.0	498	317	252
	2.5	598	366	300
	3.0	694	410	344
	3.5	783	449	386
	4.0	864	483	425
	4.5	936	511	460
	5.0	1001	536	491
♀ 体重 (g)	5.5	1059	557	519
	6.0	1109	574	544
	6.5	1153	588	566
	7.0	1191		585
	7.5	1225		
	8.0			
	1.0	257	175	175
	1.5	395	250	229
	2.0	539	324	285
	2.5	679	393	340
	3.0	809	456	394
	3.5	928	512	447
	4.0	1033	560	496
	4.5	1124	600	542
	5.0	1202	635	585
	5.5	1268	664	625
	6.0	1324	687	661
	6.5	1371	707	693
	7.0	1410		723
	7.5	1443		749
	8.0	1470		773

は3歳春以降で体長400 mmを超える個体が現れ、最も大きな個体は体長495 mm（体重2,346 g、年齢6.9歳）であった。一方、奥尻地区の成長曲線式によると体長300 mmを超える年齢は、雄で満4歳、雌で満3.5歳であった。雌では満6歳で350 mmに達し、極限体長は399 mmと算出さ

れたが、雄では体長350 mmに達することはなかった。奥尻地区で漁獲された最も大きな個体は体長435 mm（体重1,230 g、年齢4.9歳）の雌であったが、この個体は同年齢の他個体と比べて顕著に大きかった（図4）。木直地区と奥尻地区の体長および体重の成長曲線を比べると、満1歳の時点で既に木直地区の方が大きかった（表3、図5）。その差は年齢とともに拡大し満3歳以降では雌雄ともに木直地区の方が体重で約2倍重くなった（表3）。一般に太平洋は海域の生産力が高く日本海側と比べてホッケの成長が良いとされており（星野ら、2009）、木直地区と奥尻地区の間にみられた体サイズの違いは、この見解を支持するものであった。

尻岸内地区の体長および体重の成長曲線は、地理的に近い木直地区よりはむしろ奥尻地区に類似し、満5歳までは雌雄とも奥尻地区よりもわずかに大型で、満6歳以上ではほとんど差が見られなかった（図5）。尻岸内地区のまき網漁業は津軽海峡に回遊してくる魚群を漁獲するため、岩礁域に定着する大型の個体は漁獲対象になり難いと推測され、サンプルが小型の個体に偏った可能性が考えられる。また、本研究で使用した尻岸内地区のデータの多くは資源状態が比較的良かった2009年以前の期間に得られているが（表1）、本種では加入量が多い年級ほど体重が軽くなる傾向があることから（坂口ほか、2018）、測定を実施した年代の資源状態が成長曲線に影響した可能性も考えられる。これらのことから、尻岸内地区のまき網による漁獲物は津軽海峡における成長様式を代表できるとは言い難く、本海域における成長様式については再検討する必要がある。

以上の検討に基づき、ホッケ道南系群の資源評価で用いる体サイズは、太平洋側（木直地区）と日本海側（奥尻地区）の成長曲線式から算出した満年齢時点（1月1日）における平均値を用いることとなった（<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/shigen/j12s2200000004ss.html>）（2022.2.4）。その際、太平洋側と日本海側の資源規模は等しいものと仮定して便宜的に両地区の単純平均値を適用したが、この仮定が適切か否かについては今後検討する必要がある。また、本研究では銘柄毎に抽出したサンプルの組成を漁獲重量で引き延ばさなかったため、漁獲物全体の組成やその地区間での相違については言及できなかった。各地区で新規加入群が漁獲される時期や成長・成熟に伴う魚群の移動を明らかにするには漁獲物全体の組成を地区間や漁期間で比較することが必要で、こうした解析は太平洋側と日本海側の各集団の資源規模や相互移動の解明に繋がるものと期待される。

謝 辞

本研究の実施にあたり、関係漁業協同組合の方々には生物測定用サンプルの収集にご尽力いただきました。本研究では函館水産試験場の歴代のホッケ担当者が収集したデータを用いました。ここに記して感謝申し上げます。なお、本報告で利用したデータの一部は、水産庁の水産資源調査・評価推進委託事業により得られたデータを用いた。

引用文献

星野 昇, 高嶋孝寛, 渡野遼雅道, 藤岡 崇. 北海道南部沿岸域におけるホッケ資源の年齢構造および漁獲動向. 北海道水産試験場研究報告2009; 76: 1-11.
入江隆彦. ホッケの資源評価について. 「最近のホッケの調査研究」北海道立水産試験場, 余市. 1983; 79-82.
梨本勝昭. 刺網の漁獲選択性. 「漁具の漁獲選択性(日本水産学会編)」恒星社厚生閣, 東京. 1979; 65-81.
夏目雅史. ホッケ *Pleurogrammus azonus* Jordan and Metz.

「新 北のさかなたち(上田吉幸・前田圭司・嶋田 宏・鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003; 196-201.
夏目雅史. ホッケの漁獲量変動から見た道北群と道南群の境界線. 北水試だより2004; 66: 15-18.
小椋将弘. 「Excelで簡単統計」講談社サイエンティフィック, 東京. 2001.
坂口健司, 鈴木祐太郎, 秦 安史, 浅見大樹, 高嶋孝寛. 北海道北部海域に分布するホッケの資源量減少にともなう体サイズの変化とその親魚量への影響. 北海道水産試験場研究報告2018; 93: 51-57.
高嶋孝寛, 星野 昇. 資源生態的特徴および資源評価の方法・問題点. 「北海道周辺におけるホッケ資源と漁業-資源評価の高度化にむけて-」北海道立水産試験場, 余市. 2010; 1-9.
高嶋孝寛, 星野 昇, 板谷和彦, 前田圭司, 宮下和士. 耳石断面観察によるホッケ道北群の年齢査定法と年齢-サイズ関係. 日本水産学会誌2013; 79: 383-393.
鳥澤 雅. 北海道における主な漁具・漁法. 「新 北のさかなたち(上田吉幸・前田圭司・嶋田 宏・鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003; 450-460.

サケ稚魚の絶食時の体成分と脂肪酸組成の変化（資料）

虎尾 充*

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Changes in body and fatty acid composition of chum salmon *Oncorhynchus keta* fry by fasting (Note)

MITSURU TORAO*

Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan

キーワード：DHA, *Oncorhynchus keta*, 脂肪酸組成, 種苗性, 魚油

近年、北海道に來遊するサケ *Oncorhynchus keta* 資源は急激に減少し、現在その資源量は低位水準にある（渡邊ら, 2022）。そのため、増殖事業における資源回復の対策が求められている。

放流されたサケ稚魚は短期間で河川を降下し河口域に達する（小林・石川, 1964; 眞山ら, 1983; 虎尾ら, 2010; Hasegawa and Takahashi, 2013）。しかし、長距離河川を降下するサケ稚魚の中には1ヶ月程度河川に滞在する個体もあり（Kasugai *et al.*, 2013）、降河中に栄養状態が低下する個体もみられる（水野・三坂, 2012; 清水ら, 2016）。また、実験条件下では淡水飼育時の絶食が海水移行後の成長率低下（Nakamura *et al.*, 2019）や遊泳力低下（Torao *et al.*, 2021）につながる事が示唆されている。

現在、放流前のサケ稚魚に油脂を添加した飼料を給餌し、河川内や沿岸域での栄養状態の低下を軽減する試みが行われている。絶食時の体成分の変化の把握は、添加する油脂の種類や量を検討する上で基礎的な知見として必要である。また、絶食時の脂肪酸消費は魚種によって選択性が異なることから（竹内・渡辺, 1982）、サケ稚魚の絶食時の脂肪酸組成と、飼料の脂肪酸組成を把握しておく必要がある。

本試験では、配合飼料を与えて飼育したサケ稚魚を20日間絶食させ、絶食による魚体の体成分と脂肪酸組成の変化を調べた。また、配合飼料と、配合飼料にフィードオイルないし亜麻仁油を添加した飼料の成分と脂肪酸組成を調べた。

材料と方法

供試魚 試験に用いたサケ稚魚は、2020年10月7日に千歳川ふ化場で人工授精された卵から得た。受精卵は北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の飼育施設に輸送し、立体的孵化器に収容して浮上まで管理した。2021年1月20日に浮上したサケ稚魚約1,000尾をアトキンス式水槽（長さ3.26 m × 幅0.33 m × 高さ0.33 m）に収容した。稚魚には、A社市販のサケ稚魚用配合飼料を与え、飼育を開始した。給餌率はサケ稚魚用の給餌率表（北海道さけ・ます増殖事業協会, 2007）に従った。飼育用水は掛け流しで使用し、飼育期間中の水温は 8.1 ± 0.3 °C（範囲7.4 °C ~ 8.7 °C）であった。

絶食試験とサンプリング 2021年3月21日から給餌を停止し、絶食試験を開始した。絶食1日目（3月22日）、絶食10日目（3月31日）、絶食20日目（4月10日）に各30個体をサンプリングし、尾叉長と体重を測定し、肥満度を求めた。絶食期間によってこれらが変化するかどうかTukey-Kramer法によって多重比較検定を行った。

同時に、湿重量で160~260 gのサケ稚魚をプールしてサンプリングし、流水で洗浄した後、軽く水気を切って-80 °Cで冷凍保存し、成分分析に供した。絶食期間中（3月21日~4月10日）の水温は、 9.0 ± 0.2 °C（範囲8.5~9.2 °C）であった。

また、飼料の成分分析のため配合飼料150 gを冷凍保存し、分析に供した。さらに、配合飼料に外割5%の水産養魚用魚油（ハイカロールE, 兼松新東亜食品株式会社）、あるいは亜麻仁油（食用アマニ油, 日清オイリオグループ

株式会社)を混合した飼料(以下、それぞれFeed Oil;FO添加飼料, Linseed Oil;LO添加飼料)を作成し、サンプルバッグに密封して-80℃で冷凍保存後に分析に供した。

一般成分と脂肪酸組成の分析 サケ稚魚, 配合飼料, FO添加飼料, LO添加飼料の一般成分と脂肪酸組成の分析を, クロレラ工業株式会社(筑後市, 福岡県)に委託した。一般成分分析は, 水分・灰分・粗タンパク質・全脂質・炭水化物を定量し, 全湿重量に対する比率(%)で示した。水分は105℃乾燥法, 灰分は直接灰化法, タンパク質はミクロ・ケルダール法, 全脂質はクロロホルム・メタノール混液抽出法, 炭水化物は全量から水分・灰分, タンパク質, 全脂質を差し引いて求めた。また, 脂肪酸は塩酸メタノールで抽出し, ガスクロマトグラフィー法で測定した。

結 果

絶食に伴う体サイズの変化 絶食期間中のサケ稚魚の尾又長, 体重, 肥満度の変化を表1に示した。絶食開始時の

サケ稚魚の尾又長は55.6 mmであった。絶食10日目には54.3 mm, 絶食20日目には54.6 mmであった。尾又長には絶食期間による変化は認められなかった(Tukey-Kramer法, $P > 0.05$)。体重は絶食開始時の1.24 gから, 絶食10日目には1.12 gとなった。絶食20日目には1.02 gとなり, 絶食開始時および絶食10日目に対して有意に低下した(Tukey-Kramer法, $P < 0.05$)。肥満度は開始時の7.17から絶食10日目6.89, 絶食20日目6.18に低下し, 絶食期間によって有意差が認められた(Tukey-Kramer法, $P < 0.05$)。

サケ稚魚の一般体成分の変化 魚体中の水分は, 開始時と10日目には約80%であったが, 絶食20日目に83%となった。タンパク質は, 絶食開始時と絶食10日目に14%であったが, 絶食20日目には12.9%となった。全脂質は絶食開始時に3.7%であったが, 絶食10日目に2.7%, 絶食20日目に1.9%となった。

サケ稚魚の脂肪酸組成の変化 絶食に伴うサケ稚魚魚体中の脂肪酸組成の変化を表2に示した。また, 脂肪酸の絶食に伴う減少率を表3に示した。絶食前のサケ稚魚に含まれる湿重量100 g当たりの脂肪酸含有量は, C18:1 (オレ

表1 絶食に伴うサケ稚魚の尾又長, 体重, 肥満度の変化と一般成分の変化

絶食後日数	尾又長 (mm)	体重 (g)	肥満度	水分 (%)	灰分 (%)	タンパク質 (%)	全脂質 (%)	炭水化物 (%)
イニシャル	55.63 ± 3.39	1.24 ± 0.20	7.17 ± 0.49	80.1	1.8	14.0	3.7	0.4
10	54.35 ± 3.73	1.12 ± 0.27	6.89 ± 0.93	80.8	2.1	14.0	2.7	0.4
20	54.6 ± 3.41	1.02 ± 0.19	6.18 ± 0.24	83.0	2.0	12.9	1.9	0.2

表2 絶食に伴うサケ稚魚魚体中の脂肪酸組成と含有量の変化

脂肪酸		イニシャル		絶食10日目		絶食20日目	
		組成 (%)	含有量 (mg/100g)	組成 (%)	含有量 (mg/100g)	組成 (%)	含有量 (mg/100g)
C14: 0	ミリスチン酸	2.7	332.8	2.4	230.1	1.9	144.9
C16: 0	パルミチン酸	17.3	2,105.9	17.0	1,628.2	16.1	1,248.6
C16: 1	パルミトレイン酸	3.7	454.8	3.2	307.0	2.5	193.3
C16: 2		0.4	45.2	0.4	34.8	0.3	26.1
C18: 0	ステアリン酸	4.6	561.2	4.9	470.4	5.1	399.2
C18: 1	オレイン酸	18.3	2,225.0	17.6	1,688.1	16.6	1,287.8
C18: 2 (n-6)	リノール酸	8.0	975.5	7.6	728.5	6.7	523.4
C18: 3 (n-3)	α -リノレン酸	1.0	120.7	0.9	83.4	0.7	55.2
C20: 0	アラキジン酸	0.5	61.8	0.5	52.3	0.5	40.7
C20: 1	エイコセン酸	0.3	36.6	0.3	28.2	0.3	24.4
C20: 4 (n-6)	アラキドン酸	1.2	150.0	1.4	130.0	1.7	130.0
C20: 5 (n-3)	エイコサペンタエン酸	5.2	630.7	4.7	449.6	4.6	355.0
C22: 0	ベヘン酸	1.1	132.3	1.3	124.1	1.6	127.0
C22: 1	エルカ酸	1.7	201.8	1.6	150.0	1.4	106.6
C24: 0	リグノセリン酸	0.8	102.9	1.1	104.0	1.4	110.8
C22: 5 (n-3)	ドコサペンタエン酸	1.6	200.0	1.7	163.4	1.9	148.7
C22: 6 (n-3)	ドコサヘキサエン酸	17.2	2,090.7	19.1	1,833.3	22.7	1,762.8
未同定		14.1	1,710.9	14.3	1,369.4	14.0	1,086.9
合計		100.0	12,138.8	100.0	9,574.8	100.0	7,771.4

イン酸) 2225 mg, C16:0 (パルミチン酸) 2106 mg, C22:6 n-3 (ドコサヘキサエン酸, DHA) 2090.7 mg, C18:2 n-6

表3 絶食に伴うサケ稚魚体中の脂肪酸の減少率 (イニシャルを100とした場合の比率)

脂肪酸		イニシャル	絶食10日目	絶食20日目
C14: 0	ミリスチン酸	100.0	69.1	43.5
C16: 0	パルミチン酸	100.0	77.3	59.3
C16: 1	パルミトレイン酸	100.0	67.5	42.5
C16: 2		100.0	77.0	57.7
C18: 0	ステアリン酸	100.0	83.8	71.1
C18: 1	オレイン酸	100.0	75.9	57.9
C18: 2 (n-6)	リノール酸	100.0	74.7	53.7
C18: 3 (n-3)	α -リノレン酸	100.0	69.1	45.7
C20: 0	アラキジン酸	100.0	84.6	65.9
C20: 1	エイコセン酸	100.0	77.0	66.7
C20: 4 (n-6)	アラキドン酸	100.0	86.7	86.7
C20: 5 (n-3)	エイコサペンタエン酸	100.0	71.3	56.3
C22: 0	ベヘン酸	100.0	93.8	96.0
C22: 1	エルカ酸	100.0	74.3	52.8
C24: 0	リグノセリン酸	100.0	101.1	107.7
C22: 5 (n-3)	ドコサペンタエン酸	100.0	81.7	74.4
C22: 6 (n-3)	ドコサヘキサエン酸	100.0	87.7	84.3
未同定		100.0	80.0	63.5
合計		100.0	78.9	64.0

表4 配合飼料, フィードオイルおよび亜麻仁油添加飼料の一般成分組成

一般成分 (湿重量比)	配合飼料	配合飼料 +フィードオイル5%	配合飼料 +亜麻仁油5%
水分 (%)	9.1	8.5	8.7
灰分 (%)	15.1	14.2	14.4
タンパク質 (%)	50.5	48.6	48.5
全脂質 (%)	9.4	13.2	13.5
炭水化物 (%)	15.9	15.5	14.9

表5 配合飼料, フィードオイルおよび亜麻仁油添加飼料の脂肪酸組成と含有量

脂肪酸		配合飼料のみ		配合飼料+フィードオイル5%		配合飼料+亜麻仁油5%	
		組成 (%)	含有量 (mg/100g)	組成 (%)	含有量 (mg/100g)	組成 (%)	含有量 (mg/100g)
C14: 0	ミリスチン酸	3.2	194	3.7	328	1.9	187
C14: 1	ミリストレイン酸	0.0	0	0.2	17	0.0	0
C16: 0	パルミチン酸	19.3	1,164	16.1	1,437	13.0	1,266
C16: 1	パルミトレイン酸	3.6	215	4.5	404	2.1	202
C16: 2		0.6	35	0.4	35	0.3	34
C18: 0	ステアリン酸	4.8	291	3.8	335	4.1	401
C18: 1	オレイン酸	14.7	885	14.3	1,271	15.3	1,484
C18: 2 (n-6)	リノール酸	10.3	618	6.8	604	12.5	1,213
C18: 3 (n-3)	α -リノレン酸	1.3	78	1.1	97	26.2	2,547
C20: 0	アラキジン酸	0.0	0	0.2	18	0.0	0
C20: 1	エイコセン酸	0.0	0	0.0	0	0.0	0
C20: 4 (n-6)	アラキドン酸	1.0	63	0.7	61	0.6	61
C20: 5 (n-3)	エイコサペンタエン酸	7.5	451	10.0	891	4.3	414
C22: 0	ベヘン酸	1.0	61	0.8	67	0.6	56
C22: 1	エルカ酸	2.4	143	5.2	459	1.4	133
C24: 0	リグノセリン酸	1.1	64	0.9	78	0.6	60
C22: 5 (n-3)	ドコサペンタエン酸	1.3	79	1.4	123	0.7	73
C22: 6 (n-3)	ドコサヘキサエン酸	12.9	778	11.3	1,007	7.3	714
未同定		15.0	901	18.8	1,677	9.1	880
合計		100.0	6,020	100.0	8,911	100.0	9,724

(リノール酸) 976 mg, C20:5 n-3 (エイコサペンタエン酸, EPA) 631 mgなどが高かった。サケ稚魚の必須脂肪酸 (EFA) であるC18:3 n-3 (α -リノレン酸) は脂肪酸組成比で1.0%, C20:4 n-6 (アラキドン酸) は同1.2%であった。

絶食に伴って, ほとんど全ての脂肪酸が減少した。これらのなかでも, 含有量の多いオレイン酸は絶食10日目には1688 mg, 絶食20日目には1288 mgと減少し, 絶食開始時の58%まで低下した (表3)。パルミチン酸の含有量は絶食10日目には1628 mg, 絶食20日目には1249 mgとなり, 絶食開始時の59%まで低下した。リノール酸, EPAも絶食20日目にそれぞれ絶食開始時の54%, 56%まで低下した。DHAは84.3%と比較的減少率は小さかった。

配合飼料とFO添加飼料, LO添加飼料の一般成分組成と脂肪酸組成 一般成分組成では, 配合飼料に比べてFO添加飼料とLO添加飼料で全脂質が9.4%から13%以上に増加した (表4)。タンパク質含量は50.5%からそれぞれ48.6%, 48.5%に低下した。

配合飼料中の脂肪酸で比較的組成が大きい脂肪酸は, パルミチン酸 (19.3%), オレイン酸 (14.7%), リノール酸 (10.3%), EPA (7.5%), DHA (12.9%) などであった (表5)。FO添加飼料では配合飼料に比べて, パルミチン酸, オレイン酸, EPA, ドコサペンタエン酸, DHAが顕著に増加していた (表6)。LO添加飼料では, 配合飼料に比べてオレイン酸, リノール酸, α -リノレン酸が顕著に増加していた。

表6 フィードオイルおよび亜麻仁油添加による脂肪酸組成の変化（配合飼料の組成を100とした場合の比率）

脂肪酸	配合飼料	配合飼料	
		+フィードオイル	+亜麻仁油
		5%	5%
C14: 0	ミリスチン酸	100.0	169.3
C14: 1	ミリストレイン酸		96.5
C16: 0	パルミチン酸	100.0	123.5
C16: 1	パルミトレイン酸	100.0	108.8
C16: 2		100.0	94.0
C18: 0	ステアリン酸	100.0	101.7
C18: 1	オレイン酸	100.0	97.1
C18: 2 (n-6)	リノール酸	100.0	137.7
C18: 3 (n-3)	α -リノレン酸	100.0	143.6
C20: 0	アラキジン酸	100.0	97.8
C20: 1	エイコセン酸		196.4
C20: 4 (n-6)	アラキドン酸	100.0	123.4
C20: 5 (n-3)	エイコサペンタエン酸	100.0	3,257.0
C22: 0	ベヘン酸	100.0	
C22: 1	エルカ酸	100.0	96.8
C24: 0	リグノセリン酸	100.0	96.8
C22: 5 (n-3)	ドコサペンタエン酸	100.0	91.9
C22: 6 (n-3)	ドコサヘキサエン酸	100.0	109.3
未同定		100.0	320.4
合計		100.0	121.9
		100.0	93.3
		100.0	91.3
		100.0	91.8
		100.0	97.7
		100.0	161.5

考 察

20日間の絶食期間中にサケ稚魚は体重と肥満度が有意に低下した。この間、稚魚の一般成分の中では、特に脂質含量の低下が顕著であった。これは、絶食時のエネルギー源としての脂質の重要性を示唆する。絶食時にはまずグリコーゲンが速やかに消費され、その後脂質が消費されることが、コイ (Shimeno *et al.*, 1990) やサケ稚魚 (Akiyama and Nose, 1980; 虎尾, 2020) で明らかにされている。サケ稚魚では脂質は体重の0.7~0.9%程度になるまで利用され、その後はタンパク質が主なエネルギー源となる (Akiyama and Nose, 1980)。タンパク質は筋肉などの組織を分解して得られるので、脂質からタンパク質の利用に切り替わる段階（絶食20~30日後）に至ると死亡個体も出現する（伴ら, 1996; 虎尾, 2020）。本研究では絶食20日目にタンパク質が減少しており、タンパク質の分解が始まったことを示唆するのかもしれない。これらのことから、魚体中に蓄積する脂質含量を増やすことでタンパク質分解に到る段階を遅らせ、サケ稚魚の飢餓耐性の向上に寄与する可能性がある。

脂質の構成成分である脂肪酸には、魚種によって消費選択性がある。絶食時にコイではパルミチン酸が、ニジマスではオレイン酸が顕著に減少し（竹内・渡辺, 1982）、飢餓時にエネルギーとして利用されやすい脂肪酸は魚種によって異なると考えられる。秋山ら（1983）は、放流後のサケ稚魚でオレイン酸が顕著に減少していることを発見し、オレイン酸がエネルギー源としてサケ稚魚に利用されやすい可能性を指摘している。本研究では、魚体中の含有量が多く絶食時の減少率が高い脂肪酸はサケ稚魚絶食時の利用度が高いと考えた。オレイン酸やパルミチン酸、リノール酸はサケ稚魚魚体中の脂肪酸の中でも

含有量が多く、絶食時の減少率も大きかったことから、飢餓時のエネルギー源として重要である可能性が高い。ドコサヘキサエン酸は含有量は多いが、減少率はパルミチン酸、オレイン酸に比べると高くない。飢餓耐性の面から脂肪酸組成を考えるとパルミチン酸、オレイン酸の蓄積量が高いことが重要かも知れない。また、脂肪酸の量的な重要性に加えて、魚類では成長・発育に不可欠なEFAの要求量がある。サケ稚魚はニジマスなどに比べてEFA欠乏に著しく敏感で、不足した場合には死亡や顕著な成長停滞が起こる（竹内ら, 1979）。淡水飼育期のサケ稚魚のEFA要求量は、リノール酸およびリノレン酸を各1%、 ω 3HUFA（高度不飽和脂肪酸、DHA、EPAなど）なら0.5~1%とされる（竹内ら, 1979）。サケ稚魚用の配合飼料、およびFO添加飼料、LO添加飼料の脂肪酸組成は、EFA要求量を満たしており成長には問題ないと判断される。

魚体の脂質含量、脂肪酸組成は給餌飼料の組成を反映することが知られている。油脂添加飼料は、サケ稚魚の魚体中の脂質蓄積量を増加させる（村井ら, 1983; 酒本・大橋, 2012a; Misaka *et al.*, 2014）。添加した油の脂肪酸組成を反映して、FO添加飼料を給餌したサケ稚魚ではDHAやEPAが、LO添加飼料の給餌では α -リノレン酸がそれぞれ顕著に増加する（宮腰ら, 2020）。本研究でも、FO添加飼料の脂肪酸組成では、DHA、EPA、オレイン酸、パルミチン酸などの含有量が増加した。LO添加飼料では、 α -リノレン酸の増加が顕著である一方、DHAとEPAはほとんど増加していなかった。パルミチン酸、オレイン酸を十分に含むことが飢餓耐性に関係するかも知れないとの仮説に立てば、サケ稚魚にはFO添加飼料を給餌することで、パルミチン酸、オレイン酸の蓄積に効果が見込める。

配合飼料へのFO添加量について、酒本・大橋（2012b）は飼料効率の面から飼料中脂質含量で12%が適当であるとしている。また、興石（1980）も飼料中の脂質含量12%程度で稚魚の蓄積脂質増加が最大化するとしている。この基準に照らせば、配合飼料単独では脂質含量が不足しており（9.4%）、FOとLOについては今回実施した外割5%で十分な脂質含量になっている（それぞれ13%以上）。

以上のように、サケ稚魚魚体中の脂質含量を高めることで飢餓耐性が向上する可能性があり、飼料中の脂質含量を高めることで魚体への脂質蓄積が可能である。脂肪酸組成からは、パルミチン酸、オレイン酸の蓄積がサケ稚魚の飢餓耐性に係わる可能性があり、このためには配合飼料へのFO5%の添加が効果的である。一方で、脂肪酸はエネルギー源として利用されるものに加えて少量でも機能的に働くものがある。リノール酸、アラキドン酸、EPA、DHAはサケ稚魚のEFAであり、餌中の含量が不足しないよう注意が必要である。また、海産魚では、DHA

やEPAが脳の発達や行動に影響することが示唆されている（古板，2004）。サケ稚魚でもDHAの欠乏は死亡や成長不良につながる事が明らかになっているが，運動能や行動に与える影響は充分明らかになっていない。遡河回遊魚の特性である母川記銘や母川回帰性などに影響することも考えられる。今後は，脂肪酸のサケの行動面への影響や，様々な添加油脂の配合割合など，効果的な添加方法を検討していく必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり，一般社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会からサケ授精卵を提供していただきました。また，本稿の執筆にあたり，栽培水産試験場栽培技術部佐藤敦一博士には，脂肪酸に関して有益なご助言をいただきました。ここに記して感謝します。

引用文献

- Akiyama T, Nose T. Changes in body weight, condition factor and body composition of fingerling chum salmon with various sizes during starvation. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture* 1980 ; 1 : 71-78.
- 秋山敏男, 村井武四, 能勢健嗣. 放流シロザケ稚魚の体成分の変化. 養殖研究所研究報告1983 ; 4 : 107-112.
- 伴 真俊, 長谷川裕康, 江連睦子. 絶食と再給餌がさけ幼魚に与える生理学的影響. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1996 ; 50 : 117-123.
- Hasegawa K, Takahashi S. Microscale environments along the seaward migration route of stocked Chum salmon fry. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2013 ; 142 : 1232-1237.
- 北海道さけ・ます増殖事業協会. V.稚魚の飼育管理. 「さけ・ますふ化放流事業実施マニュアル」(社) 北海道さけ・ます増殖事業協会, 札幌市. 2007 ; 59-68.
- Kasugai K, Torao M, Nagata M, Irvine JR. The relationship between migration speed and release date for chum salmon *Oncorhynchus keta* fry exiting a 110-km northern Japanese river. *Fish. Sci.* 2013 ; 79 : 569-577.
- 小林哲夫, 石川嘉郎. サケ稚魚の生態調査-VIII. 千歳川, 石狩川のサケ稚魚の生長と食性について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1964 ; 18 : 7-15.
- 古板博文. 種苗生産過程における魚類の必須脂肪酸要求. 日本水産学会誌 2004 ; 70 : 512-515.
- 興石裕一. 海水飼育サケ稚魚の餌料要求量. 日本海区水産研究所研究報告 1980 ; 31 : 41-55.
- 真山 紘, 関 二郎, 清水幾太郎. 石狩川産サケの生態調査II. 1980年及び1981年春放流稚魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1983 ; 37 : 1-22.
- 宮腰靖之, 渡辺智治, 虎尾充, 佐藤敦一, 清水宗敬. 餌料への油脂等添加によるサケ稚魚の種苗性向上に関する研究. 水産研究補助事業報告(平成30年度)公益財団法人北水協会 2019 : 1-8.
- Misaka N, Mizuno S, Ando D, Koyama T, Teranishi T, Koide N. Effects of cottonseed oil in diets on growth, feed efficiency and health parameters of chum salmon *Oncorhynchus keta* fry. *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Res. Inst.* 2014 ; 85 : 25-32.
- 水野伸也, 三坂尚行. 5.サケ稚魚の種苗性評価. 「根室南部沿岸調査(H19-22)結果報告書」(社) 根室管内さけ・ます増殖事業協会, 標津町. 2012 ; 106-108.
- 村井武四, 平澤康弘, 秋山敏男, 能勢健嗣. 種々の飼料で飼育したシロザケ稚魚の海水中での絶食に対する抵抗性. 養殖研究所研究報告 1983 ; 4 : 79-86.
- Nakamura S, Kaneko N, Nonaka T, Kurita D, Miyakoshi Y, Shimizu M. Fasting in freshwater severely affects growth of juvenile chum salmon when entering cold seawater. *Fish. Sci.* 2019 ; 85 : 655-665.
- 酒本秀一, 大橋勝彦. シロザケ飼料の魚油添加効果-1. *New Food Industry* 2012a ; 54 : 49-58.
- 酒本秀一, 大橋勝彦. シロザケ飼料の魚油添加効果-3. *New Food Industry* 2012b ; 54 : 41-49.
- Shimeno S, Kheyyali D, Takeda M. Metabolic adaptation to prolonged starvation in carp. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI*. 1990 ; 56 : 35-41.
- 清水智仁・伴真俊・宮内康行・梅田勝博・中尾勝哉・藤井真・真山紘. 千歳川を降河するふ化場産および野生産サケ稚魚の栄養状態. 水産技術 2016 ; 8 : 89-94.
- 竹内俊郎, 渡辺武, 能勢健嗣. 淡水期間中におけるシロザケの必須脂肪酸. 日本水産学会誌 1979 ; 45 : 1319-1323.
- 竹内俊郎, 渡辺武. コイおよびニジマスの体成分および脂肪酸組成に及ぼす絶食および水温の影響. 日本水産学会誌 1982 ; 48 : 1307-1316.
- 虎尾 充, 竹内勝巳, 佐々木義隆, 春日井潔, 村上豊, 永田光博. 当幌川におけるカラフトマス放流魚と野生魚の降河生態. 北海道立水産孵化場研究報告 2010 ; 64 : 7-15.
- 虎尾 充. サケ稚魚の魚体中トリグリセリド含量と肝臓中グリコーゲン含量の栄養状態評価指標としての有効性. 北海道水産試験場研究報告 2020 ; 97 : 29-36.
- Torao M, Miyakoshi Y, Shimizu M. Low nutritional status in

the freshwater phase and temperature at seawater entry
reduce swimming performance of juvenile chum salmon.
N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep. 2021 ; 17 : 58-59.
渡邊久爾・水本寛基・本多健太郎・佐藤俊平. サケ（シ

ロザケ）日本系. 令和3年度国際漁業資源の現況
2022 ; 61 : 1-8. [http://kokushi.fra.go.jp/R03/R03_61_](http://kokushi.fra.go.jp/R03/R03_61_CHU.pdf)
CHU.pdf (2022年3月29日)

北海道東部太平洋沿岸のコンブ目海藻4種ナガコンブ、ガッガラコンブ、スジメおよびアイヌワカメ遊走子の放出盛期

合田浩朗, 園木詩織, 高谷義幸

道東太平洋沿岸で行われている雑海藻駆除の生態的意義を明らかにするために、ナガコンブ、ガッガラコンブ、スジメおよびアイヌワカメ遊走子の放出時期を推定した。野外から胞子体を採集し、その成熟状況を記録した。同時に採取した海水をろ過したフィルターを培養し、そこに発芽した幼胞子体数を調べた。さらに、リアルタイムPCRにより海水中の遊走子数を定量した。その結果、各種に共通して、胞子体の成熟開始から2~3ヶ月後に遊走子が多数検出された。遊走子の放出盛期は、ナガコンブが9月、ガッガラコンブが10~11月、スジメが8月であり、アイヌワカメは6~10月に多くの遊走子を放出すると考えられた。ナガコンブは秋季に多くの遊走子を放出することから、道東太平洋沿岸で冬季に行う雑海藻駆除は、遊走子の着生面を増加させる効果より、配偶体または幼胞子体の生育環境を改善する効果があると推定される。

A605 報文番号 102, 1-11 (2022)

噴火湾における養殖ホタテガイ中間育成籠の動揺とその物理要因に対する現場観測の試み

夏池真史, 西田芳則, 金森 誠, 佐藤政俊, 本家一彦

近年の噴火湾のホタテガイ養殖では、稚貝の成育不良が問題となっており、夏季に稚貝の養殖籠の動揺が強まることがストレスとなり、成育不良が引き起こされる可能性が指摘されている。そこで、波浪や定常的な流れなどの物理環境と養殖籠の動揺の関連を明らかにすることを目的に、2020年の夏季から秋季に噴火湾内のホタテガイ稚貝の養殖施設において、それらの物理環境と養殖籠の加速度や水位など籠の動揺に関するパラメーターを連続観測した。その結果、湾口方向からの南東風により強い波浪が生じた時に籠も大きく動揺することが確認された。また、低気圧の通過に伴う気象攪乱に伴って波浪以外の要因で籠が大きく動揺する場合があることも示唆された。

A607 報文番号 102, 23-30 (2022)

稚貝調査と出荷貝調査により明らかとなった噴火湾養殖ホタテガイへい死の実態

金森 誠, 夏池真史, 瀬戸啓介, 白井陸実,
河井 渉, 吉田 聡

噴火湾渡島海域の養殖ホタテガイに関する稚貝調査、出荷貝調査の長期データと生産量の関係をとりとまとめた。中間育成終了時の稚貝の死貝率と外部異常貝率は相関し、稚貝で生じる問題は死貝率と外部異常貝率が同時に上昇することによる正常貝率の低下（成育不良）であった。稚貝と比較して出荷貝の平均生残率は低く、2割未満となる年もあり、大量死は本養成時に生じていた。稚貝の正常貝率は翌年の出荷貝の生残率に、出荷貝の生残率は生産量に影響していた。噴火湾の養殖ホタテガイへい死の実態は、ある世代において1) 中間育成時の稚貝で正常貝率の低下が発生し、2) 本養成後に大量死が起きることで生産量が減少する現象であることが示された。

A606 報文番号 102, 13-22 (2022)

マツカワで発生した*Pseudomonas anguilliseptica*の病原性

伊藤慎悟, 松田泰平, 勝又義友, 西川翔太郎, 水野伸也

2019年にマツカワの飼育施設で大量死が発生し、腎臓から細菌を分離した。この細菌は生化学的性状と遺伝子解析から*Pseudomonas anguilliseptica*と同定された。単離した*P. anguilliseptica*による病原性を浸漬試験で調べたところ、試験開始から35日までに、 2.1×10^5 CFU/mlで供試魚の74%が、 2.1×10^6 CFU/mlでは86%が、 2.1×10^7 CFU/mlでは73%が死亡した。なお、死亡開始は菌数が多いほど早かった。また、全ての死亡魚から*P. anguilliseptica*が再分離された。コッホの原則が満たされたため、この細菌はマツカワに病原性があった。

A608 報文番号 102, 31-34 (2022)

マツカワ礫石の年齢形質としての有効性

吉村圭三, 山口浩志, 板谷和彦

マツカワの礫石に観察される年輪構造を検証した。樹脂包埋した左礫石を顕微鏡観察すると、細く明瞭な成長線が観察された。成長線の形成周期について1歳および2歳魚を用いて検討したところ、5月から6月に毎年形成されると考えられた。漁獲物を用いて、礫石成長線の年齢推定精度を扁平石表面観察法および扁平石横断薄片法と比較した。扁平石横断薄片によって推定された年齢は2歳から10歳で、礫石成長線数はこれらにほぼ一致したが、扁平石表面観察では4歳以上の半数以上でこれらに一致しなかった。礫石成長線は扁平石横断薄片法と同等の有効な年齢形質であると結論され、樹脂に包埋するだけで観察できることが利点である。

A609 報文番号 102, 35-40 (2022)

ホッケ道南群における漁獲物の年齢と体サイズとの関係(資料)

下田和孝, 藤岡 崇

道南の7地区で行っているホッケ資源のモニタリングデータを用いて年齢と体サイズとの関係を整理した。松前地区、上ノ国地区および榎法華地区の刺し網の漁獲物は年齢によらずほぼ一定の体長を示し、網目選択性による影響が示唆された。この影響が少ないと考えられる木直地区の定置網と奥尻地区の底建網を対象にvon Bertalanffy成長曲線を比べたところ、前者は後者と比べて3歳以上では同じ年齢でも体重で約2倍重く海域間で成長に違いがあることが再確認された。これらの結果に基づきホッケ道南群の資源評価では両地区の平均体サイズを用いることとした。

A610 報文番号 102, 41-48 (2022)

サケ稚魚の絶食時の体成分と脂肪酸組成の変化(資料)

虎尾 充

配合飼料を与えて飼育したサケ稚魚を20日間絶食させ、絶食による魚体中の一般体成分と脂肪酸組成の変化を調べた。また、配合飼料と、配合飼料にフィードオイル外割5%ないし亜麻仁油外割5%を添加した飼料の一般成分と脂肪酸組成も調べた。サケ稚魚の一般成分では、絶食による脂質の減少が顕著であった。サケ稚魚の脂肪酸はオレイン酸やパルミチン酸、リノール酸の含有量が多く、絶食時の減少率も大きかった。配合飼料にフィードオイルを添加することで、飼料中の脂質含量は13%となった。またパルミチン酸、オレイン酸の含有量が増加した。フィードオイル添加飼料の給餌がサケ稚魚の飢餓耐性の向上に寄与する可能性がある。

A611 報文番号 102, 49-54 (2022)

水産研究本部図書出版委員会

委員長 中多 章文

委員 高嶋 孝寛 萱場 隆昭 武田 忠明 板谷 和彦
美坂 正 奥村 裕弥 高畠 信一 佐野 稔
楠田 聡

事務局 隼野 寛史 加藤 健司 小宮山健太

水産研究本部出版物編集委員会

委員長 隼野 寛史

委員 高嶋 孝寛 山口 浩志 萱場 隆昭 金田 友紀
武田 忠明 渡邊 治 畑山 誠 下田 和孝
楠田 聡 安藤 大成

事務局 加藤 健司 小宮山健太 (作業補助：鈴木 裕)

北海道水産試験場研究報告 第102号

2022年9月22日発行 ISSN:2185-3290

編集兼
発行者 北海道立総合研究機構水産研究本部
〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町238
電話 総合案内 0135(23)7451 (総務部総務課)
図書案内 0135(23)8705 (企画調整部企画課)
FAX 0135(23)3141
Hamanaka-cho 238, Yoichi-cho, Hokkaido 046-8555, Japan
印刷所 株式会社 総北海 札幌支社
〒065-0021 札幌市東区北21条東1丁目4番6号
電話 011(731)9500