

北水試研報
Sci. Rep.
Hokkaido Fish. Res. Inst.

CODEN : HSSKAJ
ISSN : 2185-3290

北海道水産試験場研究報告

第 92 号

SCIENTIFIC REPORTS
OF
HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES
No.92

北海道立総合研究機構水産研究本部

北海道余市町

2017年9月

Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department

Yoichi, Hokkaido, Japan

September, 2017

北海道立総合研究機構水産研究本部の水産試験場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。

In addition, the 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)

085-0024

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92号

目 次

星野 昇

石狩湾系ニシンにおける刺し網の網目選択性と資源管理効果 1

飯嶋亜内

北海道日本海南部地方における標準化CPUEを用いたサクラマスの来遊資源変動の推定 13

佐藤暁之, 清水茂雅, 成田正直, 辻 浩司, 宮崎亜希子, 蛾谷幸司, 渡辺智治, 畑山 誠, 麻生真悟

蓄養水の塩分がヤマトシジミ *Corbicula japonica* の呈味性に及ぼす影響 21

畠山 誠, 下田和孝, 水野伸也, 川村洋司

朱鞠内湖に生息するイトウ *Parahucho perryi* の遺伝的集団構造（短報） 29

星野 昇, 田中伸幸, 本間隆之, 鈴木祐太郎

北海道周辺海域におけるマダラの年齢組成（資料） 33

伊藤慎悟

マツカワ神経壊死症ウイルス遺伝子検出のためのone-step RT-PCR法の検討：
従来法two-step RT-PCR法との感度の比較（資料） 43

小山達也, 下田和孝, 青山智哉, 飯嶋亜内, ト部浩一, 藤原 真, 宮腰靖之

北海道日本海側河川に遡上したサケの最近の年級別回帰尾数（資料） 47

青山智哉, 神力義仁, 大森 始, 竹内勝巳

北海道南西部厚沢部川水系における野生サクラマス幼魚の分布と生息密度（資料） 59

下田和孝, 青山智哉, 坂本博幸, 大久保進一, 畠山 誠, 竹内勝巳

北海道の10河川におけるブラウントラウトの成長と性成熟（資料） 65

(2017年9月)

**SCIENTIFIC REPORTS
OF
HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES**

No.92

CONTENTS

NOBORU HOSHINO

Gill net selectivity and the effectiveness of resource management for Pacific herring (<i>Clupea pallasii</i>) in Ishikari Bay	1
---	---

ANAI IIJIMA

Stock assessment of masu salmon in the coastal area of southwestern Hokkaido in the Sea of Japan by standardized CPUE	13
--	----

**AKIYUKI SATOU, SHIGEMASA SHIMIZU, MASANAO NARITA, KOJI TSUJI,
AKIKO MIYAZAKI, KOJI EBITANI, TOMOHARU WATANABE,
MAKOTO HATAKEYAMA and SHINGO ASOU**

Effect of Different Salinities Used for Preservation on the Taste of <i>Corbicula japonica</i>	21
--	----

**MAKOTO HATAKEYAMA, KAZUTAKA SHIMODA, SHINYA MIZUNO and
HIROSHI KAWAMURA**

The genetic population structure of the Sakhalin taimen <i>Parahucho perryi</i> in Lake Shumarinai, Hokkaido, Japan (Short paper)	29
--	----

**NOBORU HOSHINO, NOBUYUKI TANAKA, TAKAYUKI HONMA and
YUTARO SUZUKI**

Age compositions of Pacific cod (<i>Gadus macrocephalus</i>) in the coastal waters of Hokkaido (Note)	33
---	----

SHINGO ITO

A comparison of the sensitivity of one- and two-step RT-PCR methods for the detection of the barfin flounder nervous necrosis virus gene (Note)	43
--	----

**TATSUYA KOYAMA, KAZUTAKA SHIMODA, TOMOYA AOYAMA, ANAI IIJIMA,
HIROKAZU URABE, MAKOTO FUJIWARA and YASUYUKI MIYAKOSHI**

Age composition of chum salmon returning to rivers on the Sea of Japan side of Hokkaido from 2010 to 2016 (Note)	47
---	----

**TOMOYA AOYAMA, YOSHIHITO SHINRIKI, HAJIME OHMORI and
KATSUMI TAKEUCHI**

Distribution and densities of wild masu salmon juveniles in the Assabu River system, southwestern Hokkaido, Japan (Note)	59
---	----

**KAZUTAKA SHIMODA, TOMOYA AOYAMA, HIROYUKI SAKAMOTO,
SHIN-ICHI OHKUBO, MAKOTO HATAKEYAMA and KATSUMI TAKEUCHI**

Growth and sexual maturity of brown trout in ten rivers in Hokkaido, Japan (Note)	65
---	----

(September, 2017)

石狩湾系ニシンにおける刺し網の網目選択性と資源管理効果

星野 昇*

北海道立総合研究機構中央水産試験場

Gill net selectivity and the effectiveness of resource management for Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Ishikari Bay

NOBORU HOSHINO*

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

Experimental gill net fishing was performed at the end of the fishing seasons in 2015–2017 to ascertain the characteristics of Pacific herring (*Clupea pallasii*) stocks in the coastal waters of Ishikari Bay. Samples collected using gill nets with different mesh sizes were mostly composed of 2- and 3-year-old mature fish. Gill net selectivity was estimated based on direct estimation and the SELECT method. Using Akaike information criterion, a log-normal model was selected as the best-fitted selectivity curve. The modes of the selectivity curves were estimated to be 243, 269, 296, and 323 mm fork lengths for the popular mesh sizes, 55, 61, 67, and 73 mm, respectively.

Catching efficiencies of gill nets with a 61 mm mesh size, which is the lower limit for mesh size as per recent fishing regulations, were estimated to be 5% and 65% for the 2- and 3-year-old fish, respectively. These results suggest that the recent fishing regulations have considerably enhanced the spawning biomass of Pacific herring.

キーワード：SELECTモデル，網目選択性，石狩湾，刺し網，ニシン，マスターカーブ

太平洋ニシン (Pacific herring: *Clupea pallasii*) は北太平洋沿岸に広く分布する (田中, 2003)。北海道では古くから春季に産卵のため沿岸域に来遊したニシンを対象とした漁業が栄え、19世紀末には約100万トンの漁獲を記録したが、20世紀半ばにかけ来遊量が大きく減少した (田中, 2003)。一方、1990年代後半から、石狩湾沿岸域を主産卵場とするニシンの資源量が増加し、2008年以降は1~2千トンの漁獲量が続くようになった (Fig. 1)。このニシン資源は「石狩湾系ニシン」とよばれ、かつて大規模に漁獲されていたニシン資源とは集団遺伝学的特性の異なる地域集団であることが明らかとなっている (小林ら, 1990)。

石狩湾系ニシンの漁獲量の90%以上は、沿岸に産卵のため来遊したところを刺し網によって漁獲されたもので占められている。沿岸への来遊は1月上旬に始まり、初めは6歳以上の高齢・大型の個体が来遊し1月下旬には産卵が始まる。2月には5歳群、4歳群と次第に来遊群が若

齢・小型化していき、3月には3歳群、3月下旬から4月には初成熟齢である2歳群が来遊し産卵を行う (星野,

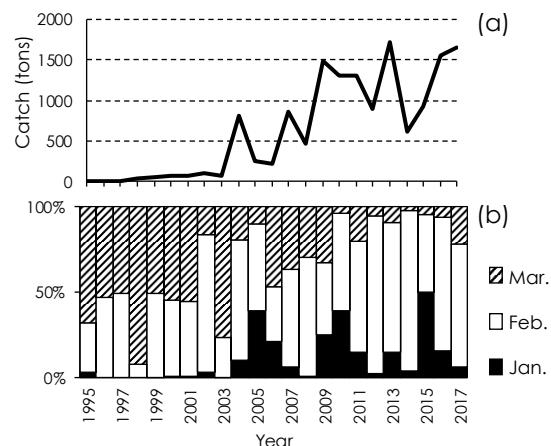


Fig.1 Annual changes in Pacific herring catch (a) and the ratio by month (b) in Ishikari Bay.

2017)。そのため、刺し網漁業では来遊群の年齢・サイズ組成に応じて、段階的に小さな目合の刺し網に切り替えて操業する。また、若齢魚の保護を目的として、目合2.0寸（網目内径約60mm）未満の刺し網の使用禁止と、3月25日以降の禁漁等の資源管理策が実践されている（星野昇・田園大樹: <http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/> (2017.7.13)）(2017.7.13)。資源量の増加は、このような資源管理の取組や卓越年級群の断続的な加入によるところが大きい（山口ら, 2010）。

資源増大に伴い高齢・大型魚の来遊量が著しく増加した一方で、2~3歳の若齢群が来遊する3月以降の漁獲が2010年頃から低調で推移するようになった（Fig.1）。その背景には、高齢・大型資源の増加にともない3歳以下のニシンが来遊する3月以降にも、比較的大きな目合の刺し網を用いて4歳以上を狙う操業が増えたことや、3歳までの成長量が低下し、2.0寸以上の網に3歳以下のニシンが漁獲されにくくなってきた可能性がある。しかし、操業では2.0寸より小さい目合の刺し網が使用できないため、来遊がありながらも網にかかりにくい状態なのか、産卵場や産卵時期の変化により来遊量そのものが少なくなったのか、明確にはわかっていない。

以上のような、来遊群の年齢・サイズ組成に応じた適正目合の営漁指導、網目規制による資源管理効果、漁獲できるサイズ範囲等を定量的に評価するには、主要漁具である刺し網の網目選択性に関する情報が必要であるが、これについては研究されていない。

そこで、2015~2017年の3か年に、2.0寸以上の刺し網にくわえ1.6, 1.8寸目合の刺し網を用いた比較採集試験を行い、漁期終盤に来遊する若齢魚を主体とした資源の年齢・尾叉長組成の把握、それらのデータを用いた網目選択性（選択性曲線）の推定、各年齢の最適目合と資源管理効果の検討を目的として本研究を行った。

試料及び方法

漁獲調査 2015, 2016, 2017年の漁期終了時期である3月末から4月初めに、石狩湾北西の沿岸域（Fig.2）の水深10~20mに、目合の異なる刺し網を複数敷設し、ニシンの漁獲調査を行った。この調査海域一帯には石狩湾系ニシンの産卵場が断続的に分布していることが知られている（干川ら, 2002）。使用した刺し網は目合1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.3寸を基本として、正午前に漁具を設置し翌日の午前7時頃に回収した。1放しの刺し網はすべて同じ目合で、長さは300間（約455m）で統一し、漁具間で漁獲努力量が大きく変わらないようにした。資源管理方策として適性目合を提言・指導するためには、着業者が実際の

操業で用いている網目選択性と漁具間でのばらつきの程度を目合ごとに把握する必要があるため、複数の漁業者がそれぞれ操業に実用しているものを用いた。そのため網糸の太さや色、縮結、浮子と沈子のバランスなどは漁業者の経験や好みに依存しており、統一されていない。網糸はすべてナイロンモノフィラメント製で青、オレンジ色、白などが用いられた。

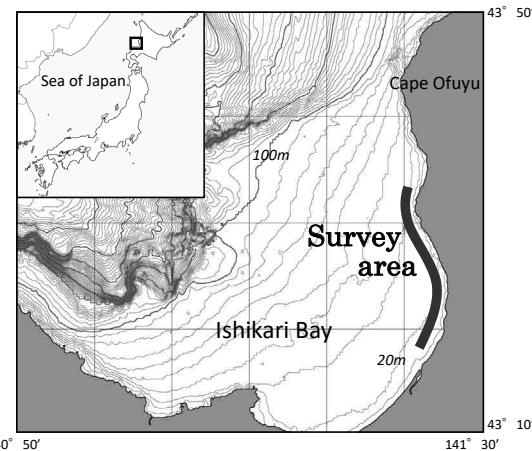


Fig.2 Location of the study area in Ishikari Bay.

漁獲されたニシンは網にかかった状態で陸揚げされ、港の荷捌き場において網から外した後、漁具ごとに目合の確認と漁獲量を計量し、その中から10kg程度を標本として無作為に抽出した。なお漁獲量が少なかった場合はすべてを標本とした。標本は生鮮状態で、尾叉長（mm）、体重・内臓除去重量（g）、生殖腺重量（0.1g）を計測し、生殖腺の外観に基づき産卵直前か産卵後もしくは未熟魚かを判断した。2017年の標本については最大胴周長（背鰭基底部の前端を通り側線と垂直に交わる位置）を計測した。また、本研究とは別目的で2017年5月に同海域において底建網で採集されたニシン産卵群について得られた、眼球中心を通る胴周長、胸鰭基底部を通る胴周長、および尾叉長のデータを参考値として活用した。

全標本から耳石を摘出し実体顕微鏡を用いて輪紋から年齢を判断した。本稿での年齢表記について、例えば「3歳」の表記は産出されてからおよそ満3年が経過した個体を指し、石狩湾系ニシンの漁業関係者に「3年魚」と呼ばれている年齢を示している。なお、本研究で採集された標本の推定年齢は2~7歳であり、7歳の標本数は2015, 2016年の調査でそれぞれ1, 3尾とわずかであったため「6歳以上」としてまとめ、計5個の年齢群とした。

年齢・尾叉長組成の把握 標本の尾叉長組成には、刺し網の網目選択性が作用しているため、来遊資源の組成とは異なる。そこで、各調査年の標本の年齢・尾叉長組成

に基づき来遊資源の年齢・尾叉長組成を以下のように推定した。

尾叉長に対する漁獲効率は目合により異なるが、調査が短期間に狭い海域範囲で行われたことから、尾叉長階級ごとの年齢比が敷設された漁具間で大きく異なるとは考えにくい。そこで、同じ調査年に採集された標本の同一尾叉長階級における年齢比は目合によらず同じと仮定し、調査年ごとにすべての網で採集された標本の各尾叉長階級の年齢相対頻度、いわゆるAge-Length Key (ALK)を作成した。各年齢群の尾叉長組成に正規分布を仮定すると、ALKは各年齢群の尾叉長平均値、標準偏差および年齢混合比で構成される相対混合正規分布となる。混合正規分布の各パラメータを同時推定することは、相当に多くの標本数があり、成長が速く年齢間で平均体長が大きく異なるようなケースでない限り、混合比と標準偏差を分離して推定することは難しい（赤嶺、1985）。そこで本研究では、3歳群、4歳群、5歳群、6歳以上群の尾叉長の平均値と標準偏差を年ごとに既知パラメータとして与えることとした。

それらの値には、毎年、魚群が石狩湾に産卵回遊を始める直前の10月下旬に、石狩湾の北端に位置する雄冬岬沖合の海域（Fig.2）で実施している試験調査船によるオッタートロール調査で採集されたニシン産卵群の全標本の尾叉長平均値および標準偏差（Table 1）を用いた。産卵期前であるが年齢表記は上記の産卵期中の表記に準じている。この調査時期以降の体成長を確認するため、同海域で11～12月にトロール調査もしくは沖合底びき網によって採集されたニシン産卵群と比較したところ、生殖腺重量平均値の増加率は3歳群で49.3%、4歳群で23.8%、5歳群で15.3%、6歳以上群で7.9%と顕著に増加していたのに対し、尾叉長平均値ではそれぞれ1.5%、-0.5%、-1.1%、-0.5%（2005～2015各年の増加率の平均値）と、産卵期前には既に体成長が停止していたことから、3歳

Table 1 The mean fork length and standard deviations of Pacific herring caught by trawl surveys off Cape Ofuyu every year at the end of October. However, the values in 2012 were substituted by estimates from offshore fishing samples.

Year	Mean value and (standard deviation) in fork length (mm)			
	age 3	age 4	age 5	age 6≤
2008	244.6 (11.5)			
2009	256.1 (21.1)			
2010	246.4(17.7)			
2011	248.8 (14.1)			
2012	245.0 (12.9)*			
2013	232.2 (20.2)			
2014	237.6 (11.4)	263.6 (15.2)	286.7 (13.4)	303.5 (9.5)
2015	258.1 (7.9)	277.6 (10.1)	292.7 (9.4)	315.8 (9.6)
2016	254.5 (13.3)	282.4 (10.4)	293.7 (11.0)	309.3 (12.6)

Unused data in this study

以上については10月下旬から本調査期までの期間における伸長方向の変化は無視できるものとした。

一方、初成熟年齢である2歳群については一部が成熟せず、成熟確率が体成長に依存的であることが報告されている（高柳ら、2010）。すなわち、2歳群については、トロール調査の採集群の尾叉長組成に比べ、本研究の漁獲調査時に産卵来遊した群は尾叉長組成は大きい方に偏っている可能性があった。そこで、2歳群については、次のとおり年齢群の混合比とあわせて同時に推定した。

ある調査年において、 a 歳群 ($a=2 \sim 6$) の平均尾叉長を m_a 、標準偏差を d_a 、その調査の標本全体に占める年齢混合比を p_a (ただし $\sum_a p_a = 1$) とすると、 a 歳群が尾叉長階級 l_j に占める割合 $g(a, l_j)$ は、

$$g(a, l_j) = \frac{p_a N(l_j; m_a, d_a)}{\sum_{a=2}^6 p_a N(l_j; m_a, d_a)} \quad (1)$$

と表せる。 $N(l_j; m_a, d_a)$ は平均値 m_a 、標準偏差 d_a の正規分布における尾叉長 l_j の確率を表す。尾叉長階級は10mm区切りとし、200mm台から320mm台の13階級とした。ただし、計算に際しては各尾叉長階級の中央値を代表値とした。

尾叉長階級 l_j において各年齢の標本尾数 c_{a,l_j} が $c_{2,l_j} \sim c_{6,l_j}$ ($\sum_a c_{a,l_j} = n$) として得られる多項分布確率 $f(a, l_j)$ は、

$$f(a, l_j) = \frac{n!}{\prod_a c_{a,l_j}!} \prod_a g(a, l_j)^{c_{a,l_j}} \quad (2)$$

となり、全ての尾叉長階級に拡張した尤度関数および対数尤度関数は、

$$L = \prod_j f(a, l_j) \quad (3)$$

$$\ln(L) = \sum_j \sum_a \left(c_{a,l_j} \ln(g(a, l_j)) \right) \quad (4)$$

である。 $m_{3 \sim 6}$ 、 $d_{3 \sim 6}$ には、上記のとおり既知パラメータとしてTable 1の値を与え、 m_2 、 d_2 、および $p_{2 \sim 6}$ の7個のパラメータを推定した。

パラメータ推定は、MS-Excelのソルバー機能を用い、初期値を制約条件のもとランダムに与えて演算を行うことを10回程度繰り返し、同一の推定値に収束するかを確認した。

網目選択性曲線の推定

1. 胴周長と成熟状態との関係 ニシンのような紡錘型の形態を呈した魚類に対する刺し網の選択性は、魚体の胴周長に対する網目の内周長が直接に作用する (Hamley, 1975; 矢野ら、2012； 佐藤ら、2015； 佐藤ら、2016)。

本研究で対象としたニシンは産卵期間中であることから、雌雄ともに産卵直前の個体と産卵を終えた直後の個体（一部は未成魚を含む）があった。産卵後の個体は産卵直前の個体と比べ、尾叉長に対する胴周長が明らかに小さい傾向が観察されたことから、網目選択性の推定に際しては、尾叉長と胴周長との関係を、産卵前の個体と後の個体、雄・雌とで比較した。尾叉長と胴周長との関係にアロメトリー式を仮定し、対数変換した尾叉長、産卵の前・後、雄・雌の3要素を説明変数とする一般化線形モデル（対数リンク、ガンマ誤差分布）を推定し、各変数の加除による赤池情報量基準（AIC）の変化に基づいて、各要素の胴周長に対する影響を検討した。

2. 直接推定法による網目選択性曲線の推定 目合 g_i を持つある漁具で漁獲される尾叉長 l_j の標本尾数 $c_{i,j}$ は次の一般式で表される。

$$c_{i,j} = f_i q_i S_{i,j} \lambda_j \quad (5)$$

f_i は当該漁具の漁獲量全体からの標本抽出率、 $S_{i,j}$ は最大値を1とする相対漁獲効率、 λ_j はすべての漁具に遭遇した尾叉長 l_j の尾数を表す。 q_i は当該漁具の相対漁獲強度で、網の長さや敷設時間などの漁獲努力量や漁具能率（単位漁獲努力あたりの漁獲効率）を内包するパラメータである。ただし、 $\sum_i q_i = 1$ である。

ここで、調査実施日（期間）に敷設された漁具すべてに遭遇した魚群の尾数を B 、そのうち尾叉長階級 l_j の確率を γ_j とすると、

$$\lambda_j = B \gamma_j \quad (6)$$

であり、5式は、

$$c_{i,j} = f_i q_i S_{i,j} B \gamma_j \quad (7)$$

$q_i B$ を a_i としてまとめ、 $S_{i,j}$ を尾叉長に対する網目選択性曲線の関数式で書くと、

$$c_{i,j} = f_i S(i,j) \alpha_i \gamma_j \quad (8)$$

となる。 γ_j には上記1～4式により推定済みの、尾叉長階級 l_j の相対頻度、 $\gamma_j = \sum_a p_a N(l_j; m_a, d_a)$ を与える。8式に基づき、得られた採集データからスケールパラメータである α_i と曲線 $S(i,j)$ の形状パラメータを推定した。選択性曲線には、マサバなど紡錘形の魚に対し採用されている（矢野ら、2012）、左右対称の正規分布型曲線と非対称の対数正規分布型曲線の2つを用いた。すなわち、

$$S(i,j) = \exp\left(-\frac{(l_j - l_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

$$S(i,j) = \exp\left(-\frac{(\ln l_j - \ln l_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

σ は曲線の横軸方向への広がりを示すパラメータ、 l_0 は最大値1を与える尾叉長で「最適体長」とよばれる（Hamley, 1975）。

8式より、ある目合 g_i の漁具で尾叉長階級 l_j の標本尾数が $c_{i,j}$ と得られるポアソン分布確率は、

$$\phi = \frac{(f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j)^{c_{i,j}}}{c_{i,j}!} \exp(-(f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j)) \quad (11)$$

であり、全ての尾叉長階級に拡張した尤度関数および対数尤度関数は、

$$L = \prod_j \frac{(f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j)^{c_{i,j}}}{c_{i,j}!} \exp(-(f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j)) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \ln L &= \ln \left(\exp(-(f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j)) \right) \sum_j c_{i,j} - \ln \prod_j c_{i,j}! \\ &\quad - 13 \left(\exp(-(f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j)) \right) \end{aligned} \quad (13)$$

13式を最大にする σ 、 l_0 および α_i を漁具ごとに推定した。

3. SELECTモデルによるマスターカーブの推定 本研究で使用のなかった目合を含め各目合の平均的な網目選択性を把握するため、SELECTモデルによりマスターカーブを推定した。SELECT法（Millar 1992; Xu and Millar, 1992）は、異なるサイズ選択性を持つ漁具の同時操業により網目選択性を推定する手法として広く活用されている。同法では、9、10式のような網目選択性曲線の形状パラメータにくわえ、5式におけるパラメータ q_i 、すなわち各網に遭遇した魚群の大きさの配分比を同時推定する（西内、2001）。刺し網では、尾叉長と目合長との関係に幾何学則を仮定（Baranovの仮定（Baranov, 1914））し、選択性曲線（9,10式）の変数を体長ではなく「単位目合長に対する体長」に置き換える（Kitahara, 1971）。これにより、目合を連続変量にした網目選択性曲線である「マスターカーブ」 $S(R(g, l) (= l / g))$ となり、任意の目合値を推定されたモデルに代入することにより、調査に用いなかった目合の選択性についても推定することができる。5式より、ある調査日（期間）について、尾叉長階級 l_j 、目合 g_i のときの単位目合長に対する尾叉長を $R(i,j)$ とすると、 l_j の標本尾数全体のうち目合 g_i による漁獲割合は次式で表される。

$$\phi(R_{i,j}) = \frac{q_i S(R_{i,j})}{\sum_i q_i S(R_{i,j})} \quad (14)$$

$S(R_{i,j})$ には、9、10式の正規分布型曲線もしくは対数正

規分布型曲線を用いた。また、本研究では、6~11式の直接推定法で、 q_i と相似するパラメータ α_i を漁具ごとに直接推定しているので、それぞれの調査年について推定された α_i の相対比を q_i として当てはめることができる。よって、推定パラメータは網目選択性曲線の形状パラメータのみとなる。14式に基づき、各目合、各尾叉長階級で採集尾数が c_{ij} となる多項分布確率の対数尤度関数は、

$$\ln L = \sum_j \sum_i \left(c_{ij} \ln \left(\frac{q_i S(R_{ij})}{\sum_i q_i S(R_{ij})} \right) \right) \quad (15)$$

である (Fujimori and Tokai, 2001)。15式は1回の調査年に対する式であるから、これを2015~2017年の調査3回分 ($y=1 \sim 3$) に拡張すると、

$$\ln L = \sum_y \sum_j \sum_i \left(c_{ij,y} \ln \left(\frac{q_{iy} S(R_{ij})}{\sum_i q_{iy} S(R_{ij})} \right) \right) \quad (16)$$

これを最大にする選択性曲線のパラメータ σ , l_0 を推定した。対数尤度もしくは赤池情報量規準 (AIC) に基づいて二つのモデルの当てはまりを比較したうえで、推定結果の妥当性については直接推定法で得られた結果と比較することで検討した。

各年齢の最適目合と資源管理効果 各年齢について、目合を変化させたときの漁獲効率の変化を、その年齢の平均的な尾叉長組成を用いて計算した。ただし、ある目合の最適尾叉長における漁獲確率を1と仮定した。 a 歳群について、目合 g に対する漁獲効率 $H(g)$ は、その尾叉長組成 (平均値 m_a 、標準偏差 d_a の正規分布 $N(m_a, d_a)$ とする) と、目合 g 、尾叉長 l に対するマスターカーブ $S(R_{g,l})$ から、

$$H(g) = \int_0^\infty N(l; m_a, d_a) S(R_{g,l}) dl \quad (17)$$

である。なお、各年齢の尾叉長組成の平均値と標準偏差

には、1~4式での推定と同じく、漁期前の調査船トロール調査の標本から得られた値 (Table 1) の2011~2016年の平均値を用いた。3歳群については、17式より2.0寸目 ($H(2.0)$) に対する漁獲効率を2009年以降の年ごとに求め、2017年までの経年変化を調べた。

結 果

年齢・尾叉長組成の把握 いずれの調査年においても2,000尾以上のニシンが漁獲された (Table 2)。2015、2016年調査では1.6寸による漁獲が比較的多かったが、2017年調査では1.6寸目で漁獲は少なく2.0寸目で最も多く採集された (Table 2, Fig.3)。なお2017年に、標本採集作業の際に使用目合を直接確認することのできなかった漁具が1件あった。この漁具の標本データについては、年齢・尾叉長組成の推定には影響がないため活用して、網目選択性の推定には用いないこととした。

推定された年齢混合比と、推定に用いた各年齢の尾叉長平均値および標準偏差に基づいて来遊群の年齢・尾叉長組成を描くと、いずれの調査年においても尾叉長220~230mmにモードのある2歳群と、240~250mmにモードのある3歳群の来遊が相対的に多かった (Fig.4)。6歳以上の高齢魚の占める割合は小さかったが、2015年と2017年は5歳群、2016年は4歳群の来遊も比較的多かった。

網目選択性曲線の推定

1. 胴周長と成熟状態との関係 胴周長に対し説明変数を、(尾叉長、雌雄、産卵前後), (尾叉長と雌雄), (尾叉長と産卵前後)とした3種類の一般化線形モデルを推定したところ、それぞれのAICは3,197, 3,445, 3,219となり、胴周長には、尾叉長だけではなく性別や産卵 (放精) したか否かが有意な決定要素となっていた。産卵前の個体データのみで胴周長に対する雌雄の影響を解析し

Table 2 Number of Pacific herring in Ishikari Bay caught using gill nets at the end of the fishing seasons in 2015–2017.

Mesh size sun*	Gear number	Sampling date	10 Apr. 2015						23 Mar. 2016						28 Mar. 2017 4 Apr. 2017					
			Age	2	3	4	5	6≤	2	3	4	5	6≤	2	3	4	5	6≤		
1.6	48.5	1					1		790	133	48			37	60	7	5			
		2		804	973	211	85	42	445	40	10			21	49	4		1		
1.8	54.5	1		231	332	81	30		233	115	31			44	107	6	6	3		
		2		70	22	5			1					10	58	5	2			
2	60.6	1		5	2	1			4	53	61	5			89	16	13			
	2			125	134	134	9		61	61	6	1			38	14	8			
	3													53	583	124	106			
2.2	66.7	1		1	4	11	6		83	221	28	24			1					
2.3	69.7	1												25	71	50	13			
Unidentified		1												73	341	41	8	8		

*Japanese traditional unit of length (1sun=30.30mm)

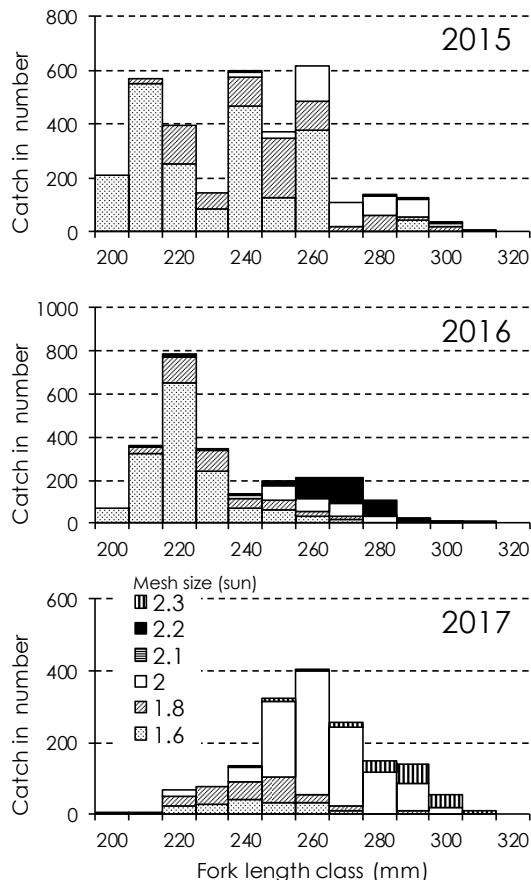


Fig. 3 Length frequency distributions of Pacific herring for each mesh size in the gillnetting experiments.

AICで比較したところ、胴周長は雄に比べて雌の方が大きかった (Fig.5)。なお、産卵後の個体データのみでは雌雄間に胴周長の違いはなかった (Fig.5)。これらの結果から、産卵親魚を対象とした刺し網の網目選択性は、産卵・放精の前か後かで異なると考えられた。産卵後の個体は市場では「ヌケ」と称され出荷されるが、漁獲量全体に占める割合は著しく少なく、これは、ニシンが産卵後に沿岸漁場を速やかに離れるためと考えられる。また、産卵前個体の胴周長の雌雄差については、産卵来遊時期が雌雄で異なる、あるいは、各年齢時の体サイズに雌雄差があるような種では、資源管理方策として適正目合を提言・指導する際、雌雄ごとの網目選択性を把握する意義があるが、本資源でそれらの生態的特徴は認められていない。くわえて、成熟進行の程度によっても胴周長の雌雄差の傾向は変化する可能性が大きく、本研究のデータのみで網目選択性の雌雄差を論じることはできない。以上の観点から、本研究では、産卵前個体のデータのみを対象とし、雌雄は区別せずに網目選択性の解析と検討を行った。

2. 直接推定による網目選択性の推定 供試標本 (Table 2) のうち、産卵前個体が10尾以下の漁具につい

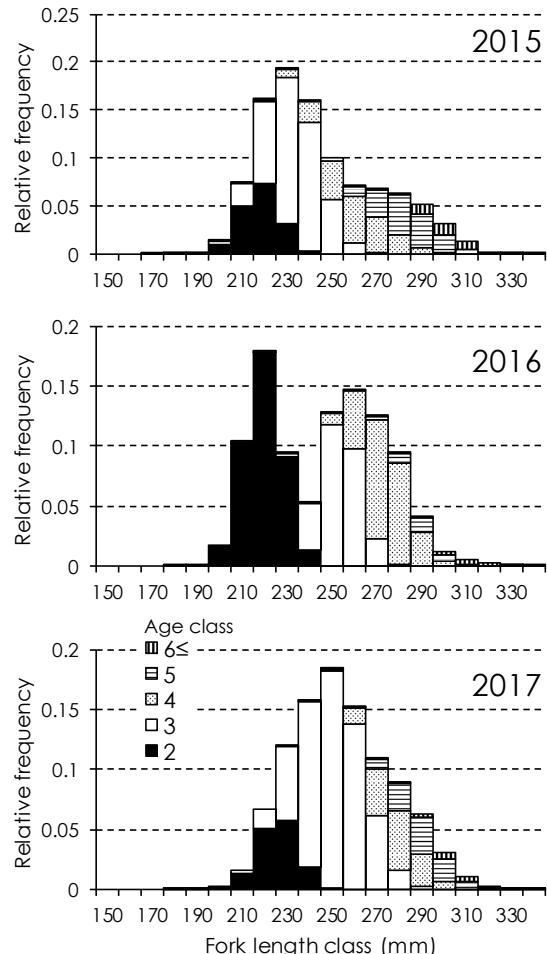


Fig. 4 Estimated annual length/age compositions of Pacific herring stock at the end of the fishing season.

てはデータ数が不十分と考え網目選択性を推定しなかった。また、2016年1.6寸目合の漁具番号2、2017年1.6寸目合の漁具番号1についてはソルバー計算による最適解が求まらず推定ができなかった。その結果、計12漁具について網目選択性が推定され、それぞれのパラメータ推定値と対数尤度 (MLL), AIC, Deviance (逸脱度) よりびその χ^2 自乗分布の確率 (p) はTable 3のとおりであった。 I_0 すなわち相対漁獲効率が1となる最適尾叉長について、1.6寸目合で228~229mm, 1.8寸目合では236~248mm, 2.0寸目合では263mm~278mm, 2.2および2.3寸目合では294mm以上と推定された。正規分布型と対数正規分布型の推定値に対するAICには顕著な差がなかったが、12漁具のうち8漁具で対数正規分布型の方がAICは小さくなかった。各漁具へ遭遇した個体数を反映する α の推定値は約2~9倍の幅で推定され、短期間かつ狭い海域においても、敷設された漁具に対する魚群の遭遇量は大きく異なった。

3.SELECTモデルによるマスターカーブの推定
SELECTモデルの配分比に用いる α の値を推定できた12

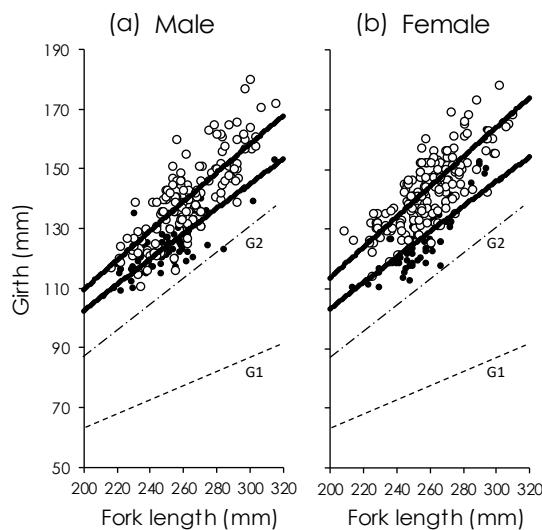


Fig.5 Relationships between fork length and body girth of (a) male and (b) female Pacific herrings. Opened and closed circles show pre- and post-spawning individuals, respectively. Bold lines show each GLM model. G1 and G2 lines show the relationships between fork length and girth across the vertical eye diameter and girth behind the gill-cover (estimated based on other samples).

漁具 (Table 3) の標本データを用いてマスターカーブを推定した。なお、2015年実施の1.8寸目合の漁具については p 値が小さく、観測値への適合が十分ではなかったが (Table 3)，曲線の形状パラメータではない α の値は概ね妥当に推定されたものと考え、マスターカーブの推定に用いた。正規分布型と対数正規分布型のマスターカーブ推定値に対する AIC は、それぞれ 364.2, 356.8 となり、直接推定法による傾向と同じく対数正規分布型の当てはまりがよかった。対数正規分布型の推定パラメータと、それらに基づき、操業で用いられることが多い目合と各尾叉長階級の代表値から計算される相対効率の値を Table 4 に示す。また、対数正規分布型マスターカーブの曲線形状と、直接推定法 (Table 3) による網目選択性曲線 (対数正規分布型) の形状を Fig.6 に示す。最適尾叉長は、直接推定法による選択性曲線とマスターカーブで目合ごとにそれぞれ近い値で推定されたが、曲線の開き (σ) については網間で比較的ばらついて推定された。1.8, 2.0, 2.2, 2.3, 2.4 寸目に対する対数正規分布型のマスターカーブによる最適尾叉長は、それぞれ 243, 269, 296, 310, 323 mm と推定された。

Table 3 Estimates of the selectivity curve parameters for each mesh size. The upper and lower values show the estimates from normal and log-normal distribution models, respectively.

Mesh size	Gear	Sampling date	10 Apr. 2015						23 Mar. 2016						28 Mar. 2017						p					
			Estimate sun*	Estimate mm	number	α	l_0	σ	MLL	AIC	Deviance	α	l_0	σ	MLL	AIC	Deviance	α	l_0	σ	MLL	AIC	Deviance			
1.6	48.5	1				#1						22818.9	229.0	14.78	-15.8	35.5	2.8	0.98								
		2				#1						23255.4	228.4	0.1	-15.4	34.8	2.1	0.99	#2							
1.8	54.5	1	7463.9	248.2	23.33	-25.0	54.0	25.3	0.00	9661.9	237.7	13.95	-18.5	41.1	7.4	0.69	2763.2	236.5	21.98	-17.1	38.2	9.3	0.51			
		2	7410.4	246.4	0.1	-25.2	54.4	25.7	0.00	9873.0	236.8	0.1	-17.7	39.5	5.8	0.83	2837.7	236.7	0.1	-16.9	37.8	8.9	0.54			
2	60.6	1				#1						2549.9	264.3	16.84	-19.7	43.5	7.9	0.64	2372.0	268.8	15.54	-13.8	31.5	5.7	0.84	
		2	16887.9	278.0	13.99	-15.7	35.3	7.5	0.68	2855.4	271.2	16.15	-18.4	40.8	7.5	0.68	2345.3	267.8	0.1	-13.6	31.2	5.4	0.86			
2.2	66.7	1	16637.8	277.1	0.1	-15.3	34.7	6.8	0.75	2818.8	270.2	0.1	-17.7	39.3	6.0	0.82	1034.8	265.0	13.50	-11.8	27.6	4.7	0.91			
		3				#1						18472.1	273.9	15.45	-16.7	37.4	9.7	0.47	1028.2	264.1	0.1	-11.7	27.4	4.5	0.92	
2.3	69.7	1										10355.8	294.6	23.63	-23.1	50.2	12.6	0.25	17898.0	273.2	0.1	-17.1	38.2	10.5	0.40	
												10032.8	294.8	0.1	-22.6	49.2	11.5	0.32	11186.2	317.5	21.92	-17.4	38.8	13.0	0.22	
												13048.7	327.3	0.1	-17.8	39.6	13.9	0.18								

*Japanese traditional unit of length (1sun=30.30mm)

Table 4 The relative efficiency of fork lengths estimated by a log-normal master curve.

$S(l/m) = \exp(-(lnl - lnR_0)^2 / 2\sigma^2)$ R ₀ =44.47, σ=0.07																
Mesh size		l=Fork length (mm)														
sun*	mm	205	215	225	235	245	255	265	275	285	295	305	315	325	335	345
1.6	48.5	0.786	0.999	0.840	0.493	0.211	0.068	0.017	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.8	54.5	0.068	0.251	0.585	0.910	0.990	0.787	0.474	0.223	0.084	0.026	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000
2	60.6	0.001	0.008	0.045	0.168	0.422	0.748	0.974	0.962	0.742	0.459	0.232	0.098	0.035	0.011	0.003
2.1	63.6	0.000	0.001	0.007	0.038	0.139	0.357	0.664	0.926	0.995	0.847	0.585	0.334	0.161	0.066	0.024
2.2	66.7	0.000	0.000	0.001	0.006	0.032	0.116	0.302	0.585	0.863	0.998	0.926	0.704	0.447	0.241	0.112
2.3	69.7	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.027	0.097	0.257	0.513	0.794	0.976	0.975	0.806	0.561	0.334
2.4	72.7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.023	0.082	0.219	0.448	0.722	0.937	0.998	0.888	0.671

*Japanese traditional unit of length (1sun=30.30mm)

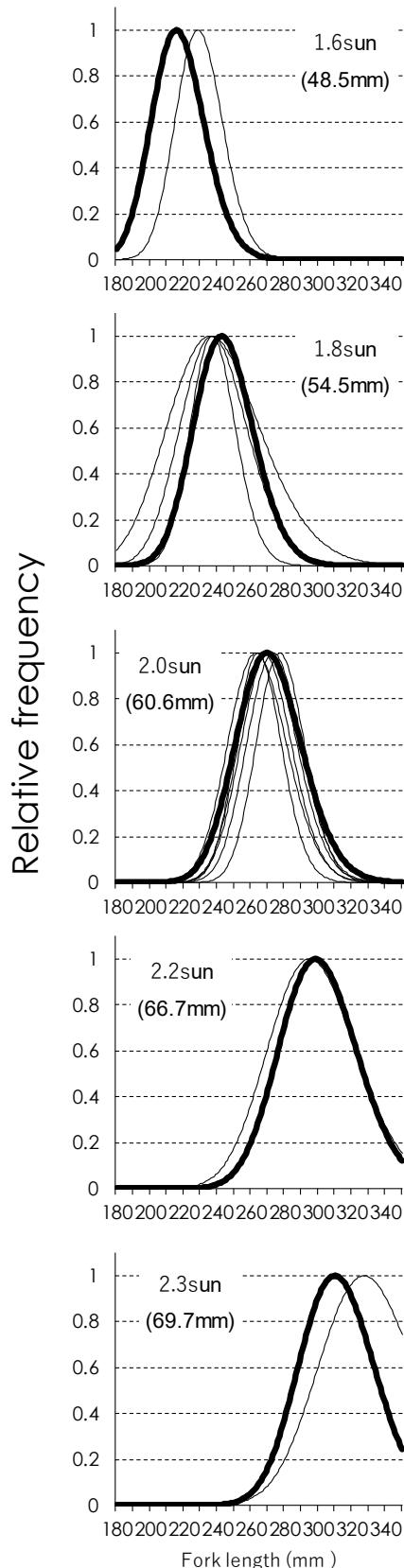


Fig. 6 Size selectivity curves for each mesh size estimated using direct estimation (narrow lines) and the master curve (bold line).

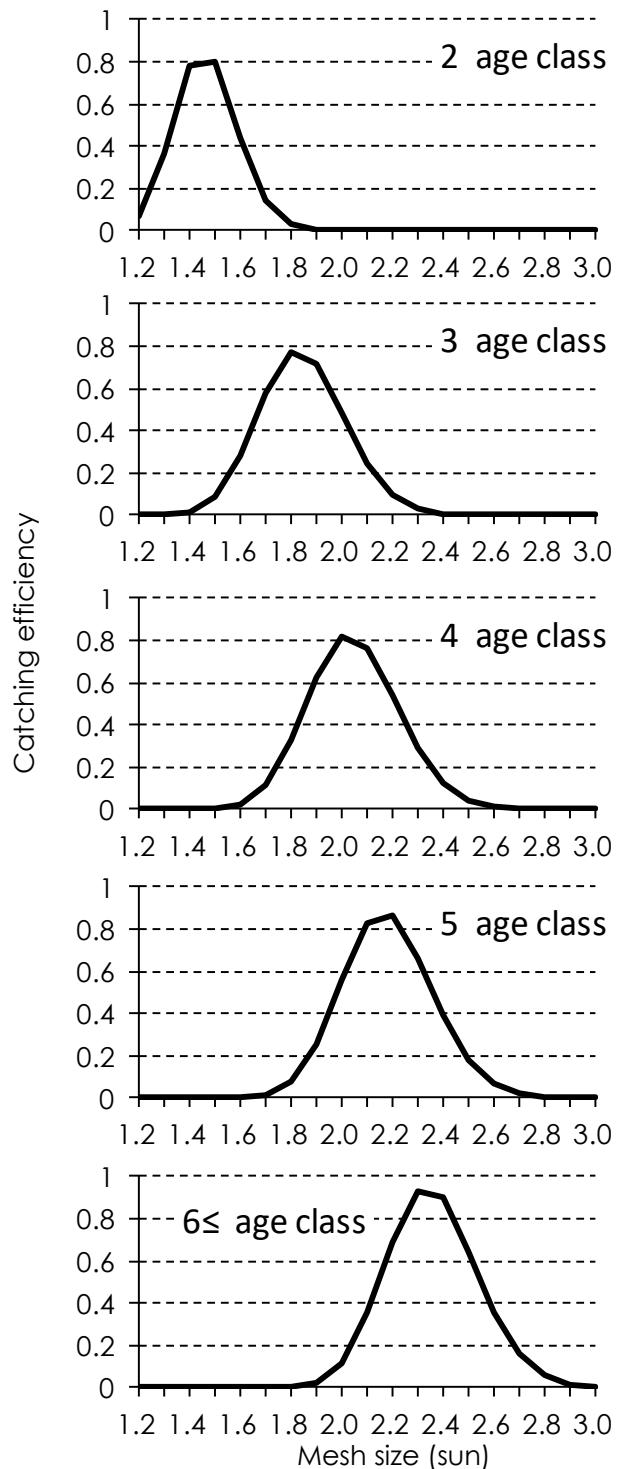


Fig. 7 Changes in catching efficiency with changes in gill net mesh size for each age class.

各年齢の最適目合と資源管理効果 対数正規分布型マスター曲線による、2~6歳以上の5年齢群ごとの目合に対する漁獲効率は、それぞれ1.5, 1.8, 2.0, 2.2, 2.3寸目で最大となった(Fig. 7)。2009年以降の3歳群に対する2.0寸目合の漁獲効率は、尾叉長の変化傾向と類似して推移し、2014年にかけ0.6前後から0.3以下にまで漸減したが、

2016, 2017年は一転して高い値となった (Fig.8)。

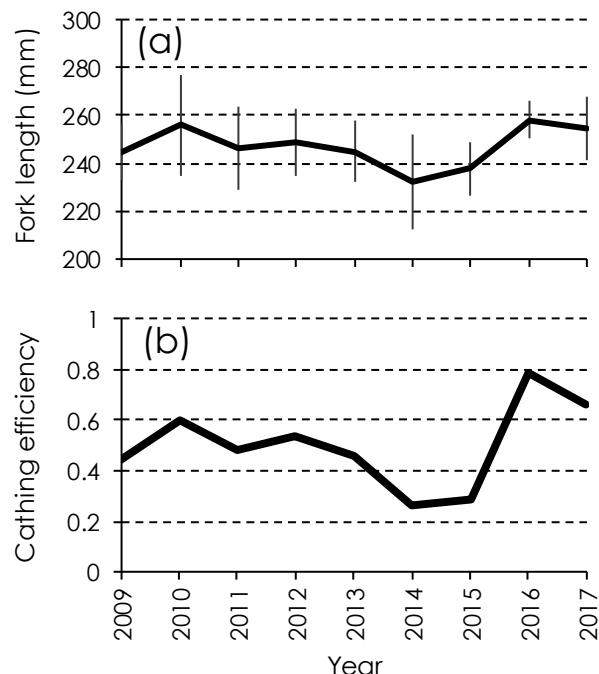


Fig.8 Annual changes in the fork length of the 3-year-old mature fish (a) and the catching efficiency of the 61 mm mesh size gill net for the 3-year-old fish (b). The vertical lines show the standard deviations.

考 察

調査を行ったいずれの年も、尾叉長200～250mmのニシンが1.6～1.8寸を主体に漁獲された。このサイズ範囲は2歳群と3歳群構成と推定され、2.0寸以上ではあまり漁獲されていないことから、現行規制の目合下限2.0寸では漁獲の対象とならずに来遊・産卵していることが確認された。

採集物の標本組成から漁具ごとに選択性曲線を推定したところ、複数の漁具で推定値が得られた1.8, 2.0寸目合の最適尾叉長は、それぞれ近い値で推定されたものの、曲線の幅は比較的ばらついた。これは、最適尾叉長には目合が大きく作用しているながらも、その目合でどの程度のサイズ範囲を漁獲対象にできるかには目合以外の要素、すなわち網糸の太さ、縮結、錘と浮子の比率などに関する着業者それぞれの判断要素が影響していることが示唆される。また、各漁具に遭遇する魚群の尾叉長組成が年ごと同一と仮定したことによる誤差も内包している。一方、SELECT法により推定されたマスターカーブは、1.8～2.2寸目では直接推定で得られた各目合の選択性曲線と大きなズレはなかった。ただし、本研究では1.6寸や2.1

寸以上の網目選択性を複数漁具で推定することができなかつたので、今後、これらの目合を用いた刺し網による調査や大型・高齢魚主体で来遊する漁期前半にも漁獲調査を実施して、目合ごとのデータを蓄積していくと、最適尾叉長や漁具間のばらつき、マスターカーブをより頑健に推定できると考えられる。

Fig.5から、例えば、尾叉長275mmの雌個体の平均胴周長は約151mmとなり、Table 3から275mを最適尾叉長とする目合は2寸（60.6mm）強と推定された。網目の内周長を目合の約2倍の122mmと考えると、これは平均胴周長151mmより小さく、眼球周りの胴周長（81mm）、鰓蓋周りの胴周長（117mm）よりは大きい。すなわち、ニシンが吻端から網目に進入すると眼球付近、鰓蓋や胸鰓基部付近までは網目を通過するが、最大胴周長に相当する背鰓前端に至る過程で網糸が体表面に接触・伸縮し通過することができなくなる。一方、2寸目の網目径122mmに対し、胴周長122mm以下となる尾叉長は約225mm以下であり、225mmに対する2.0寸目の相対効率は0に近いと推定され（Fig.6），ほぼ網目を通過できると考えられた。これらのことから、ニシン刺し網による羅網は典型的な「ささり型」であり、マサバ（矢野ら、2012）やマイワシ（佐藤ら、2015）などで報告された、紡錘型の魚類と同様の機序に基づくと考えられる。

推定された網目選択性曲線の対数尤度やAICの値から、左右非対称の対数正規分布型の当てはまりが良かったが、曲線の外観上はほぼ左右対称で、正規分布型と大きな違いはなかった（Fig.6）。対数正規分布型の当てはまりがよいのは、200～250mmの相対的に小型のサイズ範囲に最適尾叉長がある場合、来遊群の尾叉長組成がそれより大型範囲にわたるため（Fig.3, 4）、「ささり型」の羅網機序を基本としながらも、大型魚の一部が「絡み」や「鰓がかり」で漁獲されることで、選択性曲線が尾叉長の大きいデータも網羅するように推定されたためと考えられる。今回の調査では2.4寸目など大型群が対象となる目合の直接推定をしていないが、2.4寸目で漁獲されるサイズは生物学的に上限に近いので、横軸方向に曲線が広がる対数正規分布型より正規分布型の方が当てはまりがよくなる可能性が高い。

国内でニシン資源を対象に網目選択性を推定した事例をみないが、大西洋ニシン（*Clupea harengus*）では研究事例が多い（Clarke and King, 1986; Winters and Wheeler, 1990; Poulsen et al, 2000; Hay, 1986）。推定方法は異なるが、例えば、Clarke and King（1986）では、目合5.52cm（約1.9寸）の刺し網の最適尾叉長を全長28cm（尾叉長換算では約26cm）と、Winters and Wheeler（1990）は目合6.35cm（約2.1寸）の刺し網の最適尾叉長を全長32cm（尾叉長約

29cm)と推定している。本研究のマスターカーブによる1.9寸の最適尾叉長は256mm, 2.1寸では283mmと計算され、大西洋ニシンの結果と同様の値となっている。また、選択曲線の幅は効率が大小それぞれ約0.05以下となる尾叉長の範囲が80~100mm程度で推定されており、本研究の結果と類似していた。ただし、本研究で示されたように、成熟進行の度合いによって、選択性が直接作用する胸周長が大きく変化するため、本種の網目選択性については、対象とする資源の成熟状態に関する吟味が必須であり、索餌期と産卵期とでは異なる選択性曲線となると考えられる。

聞き取り調査によると、2017年時点で漁業者が用いている最も大きい目合は2.4寸目であり、近年は漁期序盤に2.4寸目合が多用されるようになった。2.4寸目の最適尾叉長、すなわち相対効率が1になるのは尾叉長約323mmと推定され、年齢別漁獲効率でもこの尾叉長に相当する6歳以上のニシンを最も効率よく漁獲できる目合は2.3~2.4寸目と推定された。すなわち、高齢群の資源量が以前より増加したため、高齢・大型群を狙った操業が増えた状況と考えられる。一方、資源管理策の下限目合である2.0寸の最適尾叉長は270mm前後と推定され、これは3~4歳群にかけての尾叉長に相当する。3歳魚に対する漁獲効率が最も高くなるのは1.8~1.9寸目で、2.0寸目では1.8寸目の50%程度にまで低下すると推定された(Fig.7)。すなわち、現行の管理策のもとでは、3歳群は相対的に成長の良い個体に偏って漁獲される傾向にあり、3歳群全体に対する漁獲強度は、各年級群の2歳期までの成長量に大きく依存している。これをふまえ、3歳群の2.0寸目に対する漁獲効率の年変化をみると、2009年以降は低下傾向となり2014年には2010年の44%にまで下がり、2016, 2017年と急増した。この推移は、2009年以降の3歳群の平均尾叉長の変化が反映されたもので、近年、3歳群主体で來遊する漁期終盤の3月に漁獲が少なくなっていたのは、主体となる3歳群の成長低下に伴い、2.0寸目以上で漁獲される割合が減少したためと考えられる。2015年の3歳群(2012年級群)まで連続して続いた成長の低下傾向は、2016年の3歳群(2013年級群)で劇的に回復したものの、2013年級群は年級群豊度自体が少なく、2016年調査での漁獲状況と同様に漁期中も漁獲がのびなかつた(星野昇・田園大樹: [http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/\(2017\)](http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/(2017).pdf)) (2017.7.13)。一方、2017年の3歳群(2014年級群)も成長が良く、2017年調査と同様に3月の漁獲増を数年ぶりにもたらした(Fig.2)。3月期の漁獲の多寡は、今後も3歳群の成長状態と年級群豊度に大きく依存して推移すると考えられる。3歳群の平均尾叉長が年変動する要因は定かではない。

いが、石狩湾系ニシンと同所に分布するハタハタ(*Arctoscopus japonicus*)でも同様の年変動が明らかとなっており(星野, 2015), 分布域における海洋環境の変化による可能性がある。

3歳群に対する刺し網の漁獲効率の変化は、その産卵量の変化と同義である。石狩湾系ニシンでは3月以降に産出された孵化群の生残が相対的に高い傾向があると考えられており(星野, 2017), 今後の資源管理においては3歳群の成長傾向と年級群豊度を早期に把握し、必要に応じ、3月以降に使用する目合を2.1寸以上とするなど臨機応変に目合選択を行い資源水準の維持を図るといった視点を、漁業関係者で共有していくことも重要であろう。

謝 辞

本研究は、石狩湾漁業協同組合青年部に所属する漁業者と同組合職員、石狩地区水産技術普及指導所の菊池肇氏、岩佐睦氏と共に、協力のもとで実施した。円滑な調査と充実したデータ収集に貢献いただいた関係の皆様に厚く御礼申し上げます。また、本稿をまとめるにあたり、2名の査読者および編集者には有意義なアドバイスをいただき重ねて御礼申し上げます。

引用文献

- 赤嶺達郎: Polymodalな度数分布を正規分布へ分解する BASICプログラムの検討. 日水研報 1985; 35: 129-160.
- Baranov FI. The capture of fish by gillnets. *Poznoniyu Russ. Rybolov.* 1914; 3: 56-99 (partially transl. from Russian by Ricker WE).
- Clarke DR, King PE. The estimation of gillnet selection curves for Atlantic herring (*Clupea harengus* L.) using length/girth relations. *J. cons. Int. Explor. Mer.* 1986; 43: 77-82.
- Fujimori Y, Tokai T. Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. *Fish. Sci.* 2001; 67: 644-654.
- Hamley JM. Review of gillnet selectivity. *J. Fish. Res. Board Can.* 1975; 32(11): 1943-1969.
- Hay DE. Experimental studies of Pacific herring gillnets. *Fish. Res.* 1986; 4: 191-211.
- 干川 裕, 田嶋健一郎, 川井唯史, 桑原久実, 金田友紀. ニシン産卵床の水温・塩分と産卵時期の推定について. 北水試研報 2002; 62: 113-118.

- 星野昇. 近年における石狩湾産ハタハタの体長変化. 北水試研報 2015; 88: 1-8.
- 星野昇. 石狩湾におけるニシン資源の変動要因. 月刊海洋 2017; 49: 357-363.
- Kitahara T. On sweeping trammel net (Kogisasiami) fishery along cast of the Sanin district-III. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 1971; 37: 289-296.
- 小林時正, 岩田宗彦, 沼知健一. 日本の北部海域で産卵するニシン地域性集団間の遺伝的分化. 日水誌 1990; 56(7): 1045-1052.
- Millar RB. Estimating the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch. *J. Amer. Stat. Assoc.* 1992; 87: 962-968.
- 西内修一. 比較操業実験法とSELECTモデル. 「漁具の選択性の評価と資源管理（東海正, 北原武編）」恒星社厚生閣, 東京. 2001; 51-61.
- Poulsen SP, Nielsen JR, Holst R, Staehr KJ. An Atlantic herring (*Clupea harengus*) size selection model for experimental gill nets used in the Sound (ICES subdivision 23). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2000; 57: 1551-1561.
- 佐藤愛美, 東海正, 川端淳. マイワシに対する調査用流し網の網目選択性について. 日水誌 2015; 81(2): 290-292.
- 佐藤愛美, 東海正, 森泰雄, 中明幸広. 太平洋道東沖マサバ資源調査に適した調査用流し網における目合の組み合わせ. 日水誌 2016; 82(3): 290-297.
- 田中伸幸. ニシン. 「漁業生物図鑑 新北のさかなたち(水島敏博, 鳥澤雅監修, 上田吉幸, 前田圭司, 鳴田宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003; 60-65.
- Winters GH, Wheeler JP. Direct and indirect estimation of gillnet selection curves of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1990; 47: 460-470.
- Xu X, Millar RB. Estimation of trap selectivity for male snow crab (*Chionoecetes opilio*) using the SELECT modeling approach with unequal sampling effort. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993; 50: 2485-2490.
- 山口幹人, 瀧谷明郎, 山口宏史, 三宅博哉, 高柳志朗. 石狩湾系ニシンのVPAに基づく種苗放流および漁業管理効果の試算. 北水試研報 2010; 77: 21-27.
- 矢野綾子, 東海正, 川端淳. 調査用流し網のマサバに対する選択性について. 日水誌 2012; 78(4): 681-691.

北海道日本海南部地方における標準化CPUEを用いたサクラマスの来遊資源変動の推定

飯嶋亜内*

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Stock assessment of masu salmon in the coastal area of southwestern Hokkaido in the Sea of Japan by standardized CPUE

ANAI IIJIMA*

Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Kitakashiwagi 3-373, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan

In this study, I used yearly catch and effort data to standardize catch per unit effort (CPUE) of masu salmon by coastal fishery in southwestern Hokkaido in the Sea of Japan, from 2003-2014, using the generalized linear models (GLM) approach. By examining the validity of the best model selected by Akaike information criterion (AIC), good fit was observed and the error structure assumed in the GLM procedure appeared appropriate. Because the standardized model accurately predicts the catch, the method used in the present study appeared effective for the stock assessment of masu salmon, which have been caught with various fishing gears widely over a long period. When annual trend of the standardized CPUE was calculated by the least squares mean, the standardized CPUE did not show a decreasing trend, suggesting that catch of masu salmon would have decreased because of decrease in the number of fishermen engaged in line fishing in this area.

キーワード：サクラマス，資源変動，標準化CPUE

サクラマス *Oncorhynchus masou* は、韓国東岸及び日本に生息し、日本の太平洋側では千葉県、日本海側では島根県以北の河川に遡上し、分布の中心は北海道である（待鳥・加藤, 1985）。本種は孵化後1-3年間の河川生活の後、外観が銀白化し海水適応能を備えたスマルトに変態した幼魚が春に降海する（久保, 1980）。幼魚は降海後約1年の海洋生活を送り、オホーツク海で越夏後（待鳥・加藤, 1985；Naito and Ueno, 1995），北海道沿岸では冬から春に漁獲される（待鳥・加藤, 1985）。北海道南西部からサクラマスの幼魚に標識を施して放流し、翌年沿岸での漁獲状況を調査したところ、母川を中心として北海道の広い範囲で漁獲されることが明らかとなっている（Ando et al., 2005；宮腰, 2006）。

北海道においてサクラマスの漁獲量は1950-60年代に1,500～4,000トンを推移していたと推定されている（玉手, 2008）。しかし、近年は500～1,000トンを前後し、

特に1980年代に漁獲量の多かった日本海側において漁獲量の減少傾向が止まらない状況にある（Fig. 1）。そのため資源の減少が懸念され、北海道では日本海側を中心として人口種苗の放流が行われてきたものの漁獲量にその効果はみられていない（宮腰, 2008）。

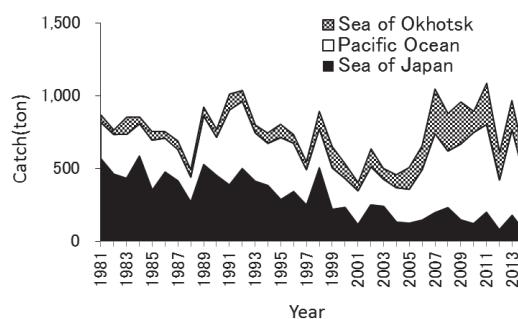


Fig.1 Annual commercial landings of masu salmon in Hokkaido from 1981-2014

サクラマスと同じサケ属のサケ *O. keta* やカラフトマス *O. gorbuscha* の主要な漁法は、漁獲努力量の年変化が比較的少ない定置網漁業であるため、資源評価は主に漁獲量によりなされている（水産庁ら, 2017）。一方、サクラマスは越冬から母川回帰する長期間に渡り沿岸域で様々な漁法により漁獲されるため、漁獲努力量の定量が困難であった（Morita *et al.*, 2006）。また、北海道においてサクラマスは、カラフトマスと合算された「ます」として漁獲統計上は集計され、サクラマス単独での漁獲量は、北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場が漁獲量の集計を開始した1981年以降しか存在しない（渡辺, 2017）。このような理由から、サクラマスの漁業資源動態に関する知見は非常に乏しく、北海道では漁獲量によって中長期的な資源状況が推察されるに留まり（玉手, 2008；宮腰, 2008），定量的な資源評価は行われなかつた。

水産資源の資源評価には、漁獲重量や漁獲尾数を漁具数や操業日数等、漁業に費やした漁獲努力量で除したCPUE（Catch Per Unit Effort: 単位努力量当たり漁獲量）が広く用いられている（田中, 2012）。しかし高度回遊性魚類等、漁獲が時空間的に広範囲に渡る魚種の漁獲データには、資源密度以外の様々な要因（季節、操業場所、漁法の効果等）が含まれているため、そこから資源密度の年変動に対応する成分を統計モデルにより取り出す過程をCPUEの標準化と呼び、単純に水揚げ尾数を漁獲努

力量で除すことにより算出したノミナルCPUEよりも資源密度の年変動を的確に表すと考えられている（庄野, 2004）。CPUEの標準化には、これまでGLM（Generalized Linear Models: 一般化線形モデル）を中心としてGAM（Generalized Additive Models: 一般化加法モデル）、GLMM（Generalized Linear Mixed Models: 一般化線形混合モデル）等の統計モデルが利用され（Maund and Punt, 2004），国内の資源評価ではマグロ類等の広域で漁獲される国際漁業資源を中心に適用され（岡村・市野川, 2016），近年の国際資源の資源評価において、標準化されていない資源量指標値が用いられることはほとんどない（水産庁ら, 2017）。

本研究は、サクラマスの漁獲量が減少している北海道南西部日本海側の檜山地方において、近年の詳細な漁獲データを収集し、漁獲努力量の定量及び統計モデルによるCPUEの標準化について手法の検討を行い、標準化CPUEにより来遊資源変動の推定を行ったので、その結果を報告する。

試料および方法

解析に用いた檜山地方におけるサクラマスの漁獲統計データは、ひやま漁業協同組合から提供された。データは檜山地方に7ヶ所所在する水揚げ場所における（Fig.2），漁業経営体・漁法・年別（2003–2014）の漁獲

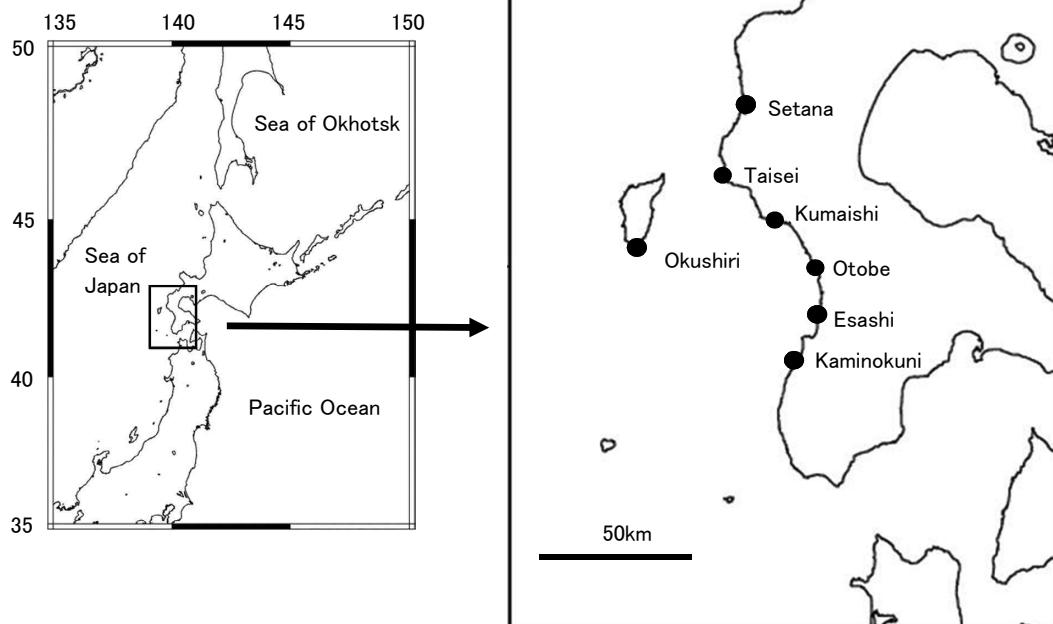


Fig.2 Locations of the fish markets (●) of Hiyama fishery cooperative in southwestern Hokkaido, northern Japan

尾数データである。

CPUEの標準化モデルの作成にあたって、モデルに用いる説明変数について検討を行った。サクラマス漁は各水揚げ場所の地先の沿岸域で行われるため、水揚げ場所で操業海域をカテゴリー化した。檜山地方においてサクラマスの大部分は、定置網漁業と釣り漁業によって漁獲されるため(Fig.3)、定置網と釣り漁業により漁法をカテゴリー化した。そして、漁獲年の効果を抽出するためには漁獲年をカテゴリーとして用いた。また、漁獲努力量指標値として漁業経営体数(各カテゴリーにおいて1尾以上サクラマスを漁獲した経営体の数)を用いた(Fig.4)。従って、ある年にサクラマス漁を行ったが漁獲尾数が0だった漁業経営体は漁獲努力量指標値には反映されない。

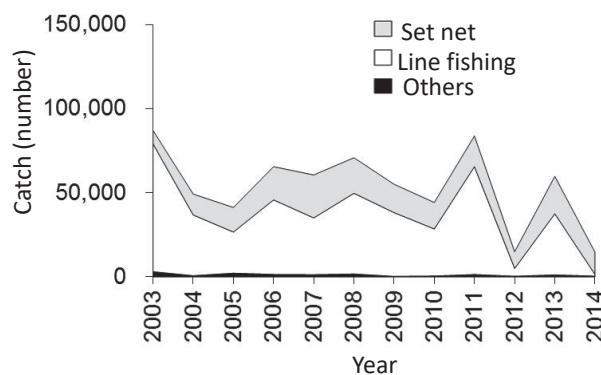


Fig. 3 Annual catch of masu salmon in the Hiyama area from 2003-2014

本研究ではGLMを用いてCPUEの標準化モデルを作成した。説明変数として、水揚げ場所、漁法、漁獲年とこれら交互作用をカテゴリカル変数として用いたほか、漁獲努力量指標値の対数値をオフセット項として用いた。応答変数には説明変数のカテゴリー別の漁獲尾数を用いた。モデルの誤差は負の2項分布に従うと仮定し、リンク関数に対数を用い、最も複雑なモデル(1)を作成した。

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{Catch}_{ijk}) = & \text{Log}(\text{Effort}_{ijk}) + \text{Area}_i + \text{Gear}_j + \text{Year}_k \\ & + (\text{Area} * \text{Gear})_{ij} + (\text{Area} * \text{Year})_{ik} + (\text{Gear} * \text{Year})_{jk} \\ & + \text{Intercept} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで記号を次のように定めた。

Catch : 漁獲尾数

Effort : 漁獲努力量指標値

Area : 水揚げ場所の効果 $i: 1-7$

Gear : 漁法(釣り・小型定置網)の効果 $j: 1-2$

Year : 漁獲年の効果 $k: 2003-2014$

Area*Gear : 水揚げ場所と漁法の交互作用

Area*Year : 水揚げ場所と漁獲年の交互作用

Gear*Year : 漁法と漁獲年の交互作用

Intercept : 切片項

(1) 式の説明変数を組み合わせて複数のモデルを作成し、情報量基準によりモデルの評価を行った。情報量基準には赤池情報量基準(Akaike information criterion: AIC)(Akaike, 1973)を用い、AICが最小となるモデルを標準化モデルとして選択した。

選択したモデルの妥当性を確認するために、モデルの残差を標準化した標準化残差を用いて、選択モデルの標準化残差の分布が正規分布から大きく逸脱していないか、予測値に対して偏っていないかを定性的に解析した。モデルの妥当性を確認した後、選択モデルの漁獲年の効果を含む説明変数の推定パラメータを用いてLSMEAN(least squares mean)を算出することによりCPUEの年トレンドを抽出し、その値を標準化CPUEとした。なおLSMEANは漁獲年と他の説明変数との交互作用を含むモデルにおけるCPUEの標準化に多く用いられており、(2)式で定義される(庄野, 2004)。

$$\begin{aligned} \text{CPUE}_k = & \exp \{ \text{Intercept} + \text{Year}_k + (\overline{\text{Area} * \text{Year}})_k \\ & + (\overline{\text{Gear} * \text{Year}})_k + \dots \} \end{aligned} \quad (2)$$

但し

$$(\overline{\text{Area} * \text{Year}})_k = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} (\text{Area} * \text{Year})_{jk}$$

$$(\overline{\text{Gear} * \text{Year}})_k = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} (\text{Gear} * \text{Year})_{ik} \quad \text{などとする。}$$

結 果

漁獲努力量指標値の年変化は、定置網漁業においては小さかったが、釣り漁業では年によって大きく変化した(Fig.4)。漁獲努力量指標値と漁獲尾数の関係をみると(Fig.5)、定置網漁業では決定係数は低かったが($R^2=0.05, p>0.05$)、釣り漁業では高かった($R^2=0.79, p<0.001$)。漁獲努力量指標値は檜山地方全体では定置網、釣り漁業とも減少傾向を示したが、その傾向は釣り漁業で顕著であった(Fig.6)。

作成した複数のモデルをAICにより選択した結果、AICが最小のモデルは、説明変数として水揚げ場所、漁法、漁獲年、水揚げ場所と漁法の交互作用項を含むモデルであり、そのモデルを標準化モデルとして採用した(Table 1)。各カテゴリーにおいて応答変数に用いた漁獲尾数とモデルにより求めた漁獲尾数との決定係数は $R^2=0.75$ ($p<0.001$)であり、あてはまりが良いモデルで

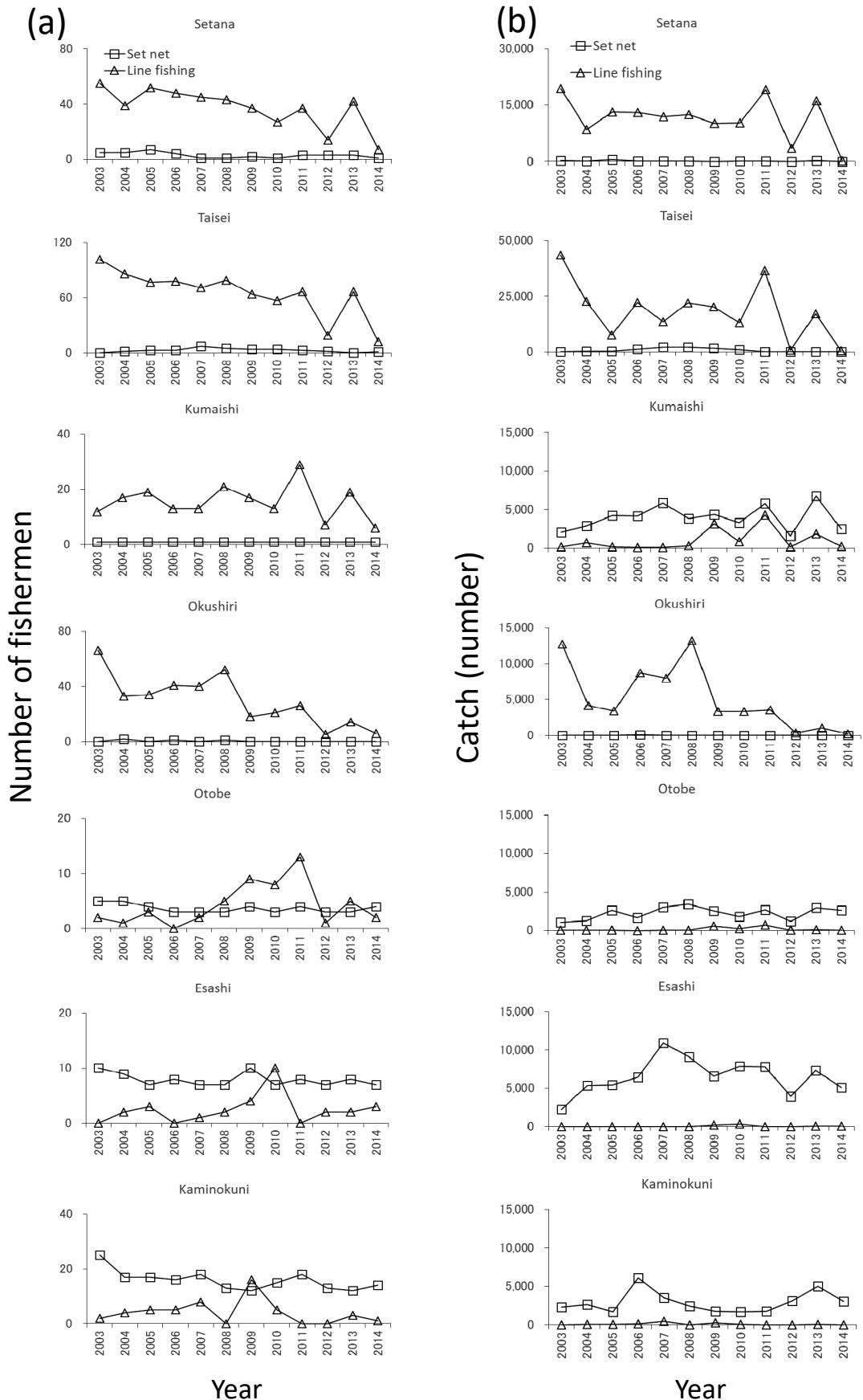


Fig.4 Annual variations in (a) the number of fishermen, and (b) catch by set net and line fishing, between the fish markets in the Hiyama area from 2003-2014

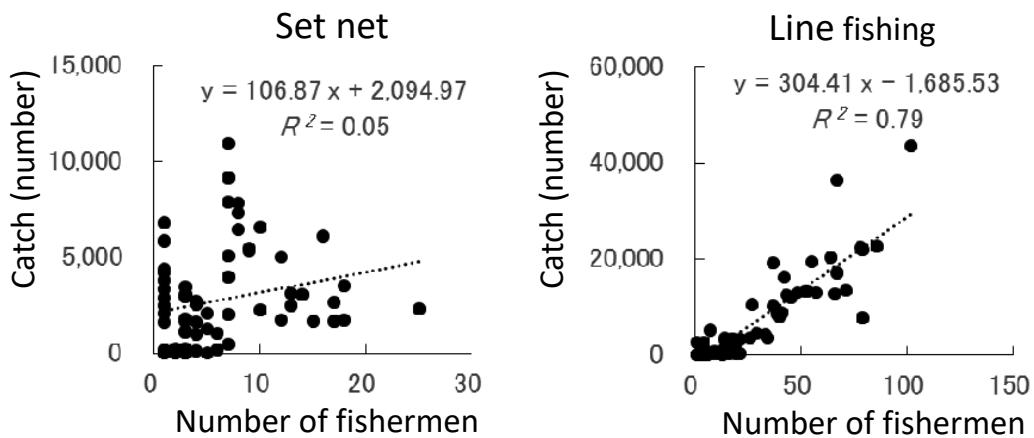


Fig.5 Relationship between effort (number of fishermen), and catch (number) by set net and line fishing, in the Hiyama area from 2003-2014

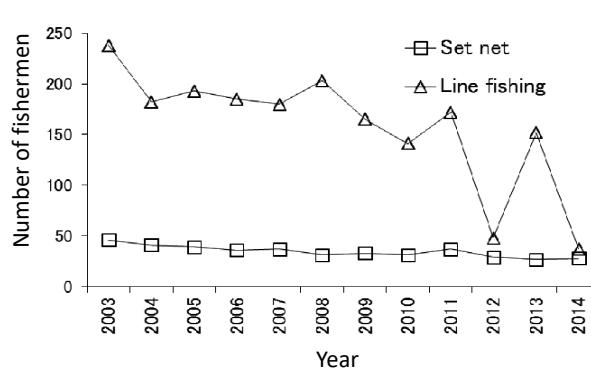


Fig.6 Annual change in effort (number of fishermen) for catching masu salmon by set net and line fishing in the Hiyama area during 2003-2014

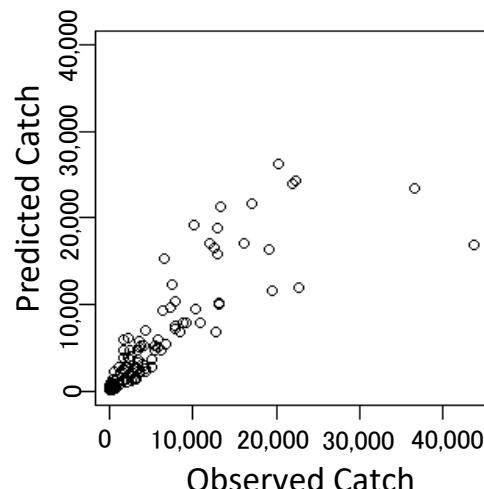


Fig.7 Plots of the observed catch (number) of masu salmon and the predicted catch of masu salmon based on the best model

Table 1 Comparison of AIC for models

Model	Source of variation						DF	AIC
	Area	Gear	Year	Area*Year	Gear*Year	Area*Gear		
1	+	+	+			+	25	2424
2	+	+				+	14	2429
3	+	+	+		+	+	36	2435
4	+	+	+	+		+	91	2516
5	+	+	+	+	+	+	102	2523
Null							1	2769

DF: Degrees of freedom.

+: The explanatory variable was included in the model.

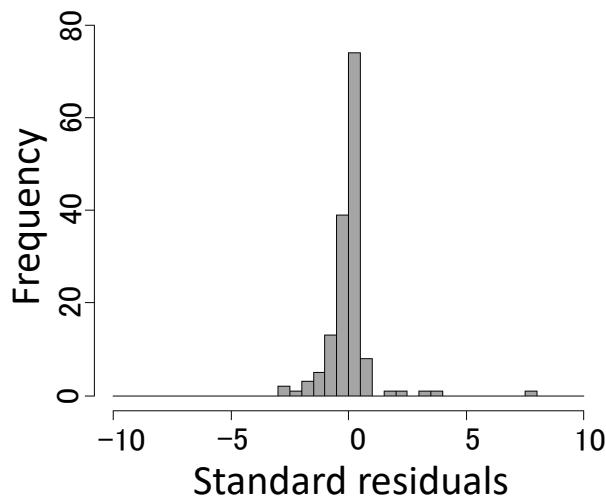


Fig.8 Distribution of the standard residuals for catch (number) of masu salmon in the best model

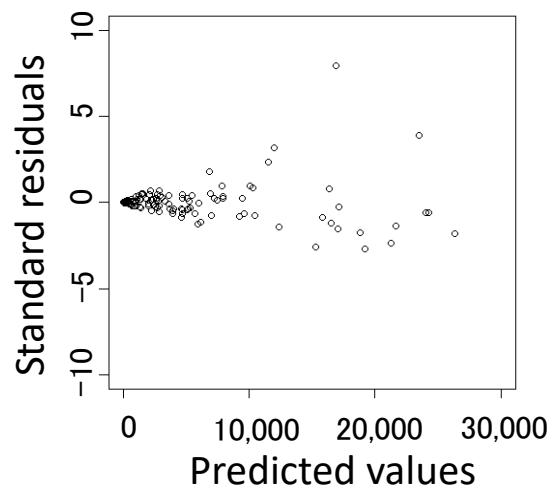


Fig.9 Scatterplots of the predicted values (catch in number of masu salmon) versus standard residuals in the best model

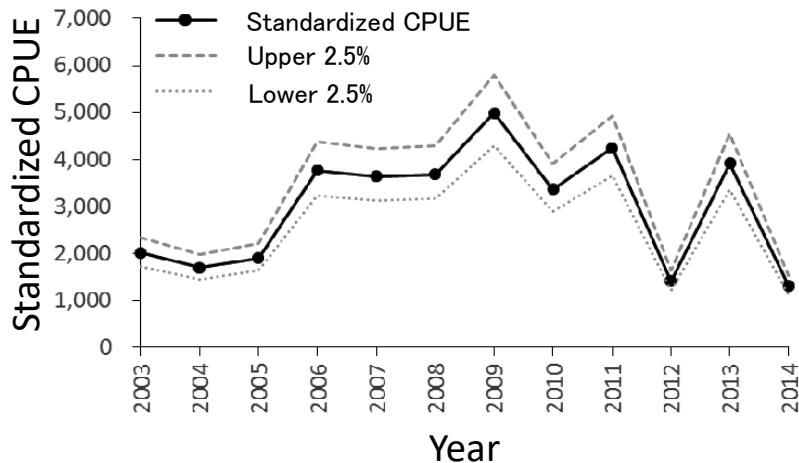


Fig.10 Annual variation in standardized CPUE with 95% confidence intervals

あると判断された (Fig. 7)。その標準化残差の頻度分布に正規分布からの大きな逸脱はみられず (Fig. 8), 予測値の変化に伴った標準化残差の著しい増減傾向や偏りは認められなかった (Fig. 9)。以上より選択したモデルは妥当であると判断し、そのモデルを用いて標準化CPUEを求めた。

檜山地方の漁獲量と標準化CPUEの変動を比較すると、檜山地方のサクラマス漁獲量には減少傾向がみられたが (Fig. 3), 標準化CPUEにはその傾向は認められなかった (Fig. 10)。

考 察

本来、漁獲努力量は網の掃過面積等から算出した幾何

学的漁獲強度を努力量の単位として用いるのが理想であるが、一般的にはこれを求めることが困難であり、漁獲努力量の単位として漁船隻数、操業日数、漁具数、曳網回数、曳網時間数等が用いられている (田中, 2012)。収集したサクラマスの漁獲データからは、このようなデータを得ることはできないため、本研究では漁獲努力量指標値として漁業経営体数を利用した。北海道において漁業経営体数は減少傾向にあり、1988–2013年の間に漁業経営体数は定置網漁業では85.9%, 渔船漁業では50.7%減少し、経営規模の小さい個人経営体でその傾向が顕著である (北海道, 2016)。檜山地方においても、漁業経営体数の減少傾向は顕著であり、漁業協同組合員数は1980年に2,744人であったが2014年には725人へと大幅に減少している (北海道檜山振興局産業振興部水産課,

2016)。本研究の漁獲努力量指標値においても減少傾向がみられ、釣り漁業でその傾向が顕著であった。定置網漁業は漁業権漁業であり、他の漁法とくらべ漁獲努力量の年変化が比較的小さい(高村ら, 2014)。本研究においても定置網漁業の漁獲努力量指標値の年変化は小さく、定置網漁業の漁獲尾数と漁獲努力指標値の決定係数は低かったのに対して、自由漁業である釣り漁業の漁獲努力量指標値の年変化は大きく、釣り漁業の漁獲尾数と漁獲努力指標値の決定係数は高かった。以上より本研究で用いた漁獲努力量指標値は、漁法の漁獲努力量の変化の特徴を的確に反映していると考えられた。

CPUEの標準化は漁獲年以外にCPUEに影響を与える要因を説明変数として用い、その影響を取り除くことで年効果の抽出を行う。海洋環境と漁獲量の関係が明瞭な魚種については表面水温や気候インデックスが説明変数として用いられ、環境要因の効果が取り除かれている(庄野, 2004)。また、漁獲の時期的な偏りを取り除くために季節や漁獲月が説明変数として用いられる(Brodziak and Walsh, 2013; 岡本ら, 2016)。檜山地方においてサクラマスは漁法により漁獲時期が異なり、釣り漁業は1-3月に、定置網漁は4-5月に行われるため、本研究では時期による効果は漁法による効果に含まれると考え、漁獲年と漁獲努力量指標値以外の説明変数として漁獲場所と漁法を使用し標準化モデルを作成した。残差解析によってモデルが妥当であると判断されたため、その他の情報は説明変数に加えなかった。

本研究では以上のように漁獲データから抽出した説明変数と漁獲努力量指標値を用い、GLMによりCPUEの標準化モデルを作成し、来遊資源の変動を推定した。標準化モデルは漁獲尾数を精度よく再現し、本種のような漁獲特性を持つ魚種の資源評価に、本研究の手法が有効であると考えられた。また、サクラマスの漁獲量は2003-2014年の檜山地方においても減少傾向を示したが、標準化CPUEに減少傾向は認められず、主要な漁法である釣り漁業の漁業経営体数の減少によって漁獲量が減少傾向にあると考えられた。

北海道日本海側北部の初山別村と檜山地方のサクラマス増殖施設において、生産した幼魚を鰓切除により標識を施して増殖施設付近から放流し、放流翌年に北海道西岸(オホーツク海側の枝幸町-日本海-太平洋-広尾町まで)のサクラマスの主要な水揚げ場所で標識調査が行われた(宮腰, 2006)。標識サクラマスの推定水揚げ尾数は、放流場所に近い地域で最も多かったが、時期によって水揚げ場所が顕著に異なり、1-2月には越冬場所と考えられる津軽海峡東部-北海道太平洋側で水揚げされ、5-6月には放流場所近くでの水揚げが顕著に多くなった。本研

究ではサクラマスが沿岸漁獲される比較的狭い範囲で標準化を行ったが、今後より正確に檜山地方のサクラマス漁業資源の変動傾向を評価するためには、少なくとも越冬場所を含めたより広域なスケールで、水揚げ場所の効果の検討を行う必要があると考えられる。

北太平洋のサケ類のバイオマスは長期的にはアリューシャン低気圧の変動と連動することが指摘されており、1970年代後半から1990年代後半までのサケ類の漁獲量の増加は、アリューシャン低気圧の強化がサケ類の環境収容力を増加させたためと解釈されている(Beamish and Bouillion, 1993; Kaeriyama *et al.*, 2012)。サケ類の死亡率が高い時期は降海直後と最初の海洋越冬時期であると考えられ(Healey, 1982; Beamish *et al.*, 2004)、石狩川系シロザケの海洋生活一年目の成長量と生残率の正の相関関係に、アリューシャン低気圧の強勢によって変動する夏-秋のオホーツク海の海水温が関与した可能性が示唆されている(Seo *et al.*, 2011)。春に幼魚の状態で降海し、極東域で1年間の海洋生活を過ごした後、母川に回帰するサクラマスの資源変動にもこのような環境変化が影響を及ぼしていることが予想される。本研究では近年の漁獲データを用いてCPUEの標準化を行ったが、今後、より長期的なスケールで資源評価を行うことにより、気候変動のサクラマス来遊資源への影響評価が期待される。また、河川環境の人為的改变に伴いサクラマスの再生産環境が消失し、沿岸漁業資源が大きく減少した可能性について以前から指摘されてきたが(玉手・早尻, 2008)、それらに関する定量的な影響評価にも長期的な資源評価の情報は不可欠であろう。

謝 辞

本報告のデータ収集にあたりまして、ひやま漁業協同組合の職員および漁業者の皆様にはご理解とご協力を賜りました。本報告の分析について、国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所の市野川桃子博士から大変有意義なご助言、ご指導を賜りました。厚く感謝の意を表します。

引用文献

- Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, In: Petrov BN, Csaki F. (eds.), *Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory*, Akademiai Kiado, Budapest. 1973: 267-281.
 Ando D, Miyamoto M, Kasugai K, Miyakoshi Y, Nagata M.

- Seasonal distribution of yearling masu salmon released from the Sea of Japan side of southwestern Hokkaido, Japan. *N. Am. J. Fish. Manage.* 2005; 25: 22–37.
- Beamish RJ, Bouillon DR. Pacific salmon production trends in relation to climate. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993; 50: 1002–1016.
- Beamish RJ, Mahnken C, Neville CM. Evidence that reduced early marine growth is associated with lower marine survival of coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2004; 133: 26–33.
- Brodziak J, Walsh WA. Model selection and multimodel inference for standardizing catch rates of bycatch species: a case study of oceanic whitetip shark in the Hawaii-based longline fishery. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2013; 70: 1723–1740.
- Healey MC. Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1982; 39: 952–957.
- 北海道。「北海道水産業・漁村のすがた2016～北海道水産白書～」, 札幌. 2016.
- 北海道檜山振興局産業振興部水産課。「平成26年度版 檜山の水産」, 江差. 2016.
- Kaeriyama M, Seo H, Kudo H, Nagata M. Perspectives on wild and hatchery salmon interactions at sea, potential climate effects on Japanese chum salmon, and the need for sustainable salmon fishery management reform in Japan. *Environ. Biol. Fish.* 2012; 94: 165–177.
- 久保達郎. 北海道のサクラマス生活史に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1980; 34: 1–95.
- 待鳥精治, 加藤史彦. サクラマス(*Oncorhynchus masou*)の産卵群と海洋生活. 北太平洋漁業国際委員会研究報告 1985; 43: 1–118.
- Maunder MN, Punt AE. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fish. Res.* 2004; 70: 141–159.
- 宮腰靖之. 北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究. 北海道立水産孵化場研究報告 2006; 60: 1–64.
- 宮腰靖之. 種苗放流効果と資源増殖-北海道のサクラマスを事例として-. 「水産資源の増殖と保全（北田修一, 帰山雅秀, 浜崎活幸, 谷口順彦編）」成山堂書店, 東京. 2008 ; 48–65.
- Morita K, Saito T, Miyakoshi Y, Fukuwaka M, Nagasawa T, Kaeriyama M. A review of Pacific salmon hatchery programmes on Hokkaido Island, Japan. *ICES J. Mar. Sci.* 2006; 63: 1353–1363.
- Naito K, Ueno Y. The first recovery of tagged masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in waters offshore of the Sea of Okhotsk. *Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery* 1995; 49: 59–62.
- 岡本 俊, 山下紀生, 加賀敏樹. 小型いか釣り漁業データを用いたスルメイカ冬季発生群のCPUEの標準化. 日本水産学会誌 2016; 82: 686–698.
- 岡村 寛, 市野川桃子. 水産資源学における統計モデリング. 統計数理 2016; 64: 39–57.
- Seo H, Kudo H, Kaeriyama M. Long-term climate-related changes in somatic growth and population dynamics of Hokkaido chum salmon. *Environ. Biol. Fish.* 2012; 94: 165–177.
- 庄野 宏. CPUE標準化に用いられる統計学的アプローチに関する総説. 水産海洋研究 2004; 68: 106–120.
- 水産庁, 国立研究開発法人水産研究・教育機構. 平成28年度国際漁業資源の現況. 東京. 2017.
- 高村正造, 片山俊之, 木下淳司. 相模湾沿岸域定置網漁業における漁獲魚種の変遷と主要魚種の資源動向. 神奈川県水産技術センター研究報告 2014; 7: 65–72.
- 玉手 剛. 1980年以前の北海道沿岸におけるサクラマス漁獲量の推定. 水産増殖 2008; 56: 137–138.
- 玉手 剛, 早尻正宏. 北海道における河川横断工作物基數とサクラマス沿岸漁獲量の関係-河川横断工作物とサクラマスの関係から河川生態系保全を考える-. 水利科学2008; 52: 72–84.
- 田中栄次. 「新訂水産資源解析学」成山堂書店, 東京. 2012.
- 渡辺智治. マス資源動態・生物統計調査. 「平成27年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書」, 恵庭. 2017; 14 – 17.

蓄養水の塩分がヤマトシジミ*Corbicula japonica*の呈味性に及ぼす影響

佐藤暁之^{*1}, 清水茂雅¹, 成田正直², 辻 浩司², 宮崎亜希子³, 蛭谷幸司³, 渡辺智治⁴, 畠山 誠⁵, 麻生眞悟¹

¹北海道立総合研究機構 網走水産試験場, 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 釧路水産試験場, ⁴北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場,

⁵北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場道東センター

Effect of Different Salinities Used for Preservation on the Taste of *Corbicula japonica*

AKIYUKI SATOU^{*1}, SHIGEMASA SHIMIZU¹, MASANAO NARITA², KOJI TSUJI², AKIKO MIYAZAKI³, KOJI EBITANI³, TOMOHARU WATANABE⁴, MAKOTO HATAKEYAMA⁵ and SHINGO ASOU¹

¹ Abashiri Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Mombetsu, Hokkaido, 094-0011,

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

³ Kushiro Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Kushiro, Hokkaido, 085-0024,

⁴ Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido, 061-1433,

⁵ Doto Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Nakashibetsu, Hokkaido, 086-1164, Japan

Corbicula japonica was preserved using different salinities to improve its taste. *C. japonica* caught at Lake Abashiri was preserved in artificial seawater of 10 practical salinity unit (psu) or 5 psu for 24 h. A decrease in the water content and increase in free amino acids (mainly glutamic acid, alanine, beta-alanine, and proline) in the soft tissue was observed. Therefore, these osmolytes could possibly be primarily responsible for osmoregulation. Similar to the soft tissue, preservation in a salinity of 10 psu for 24 h resulted in an increase in four free amino acids in the extract. The taste of *C. japonica* was enhanced by preservation in artificial seawater of 10 psu for 24 h, possibly because alanine and proline taste sweet and glutamic acid has an umami taste.

キーワード：オスモライト, ヤマトシジミ, 塩分, 蓄養, 呈味成分, 煮汁, 遊離アミノ酸

ヤマトシジミは北海道の内水面漁業において重要種であり、河川漁業及び湖沼漁業における2014年度の全道の漁獲量は833.7t、生産金額は約6億2千万円と内水面の漁獲対象種では第1位であった（内藤ら, 2016）。道内におけるヤマトシジミの漁場は網走湖、天塩川、網走川、シブノツナイ湖などで、特に網走湖は全道のヤマトシジミ漁獲量の83.6%を占める主要な漁場となっている。また、網走湖、網走川、シブノツナイ湖、藻琴湖などを含めたオホーツク総合振興局管内の占める割合は93.2%となり、地域の重要な水産資源となっている。

ヤマトシジミは、海水と淡水が入り混じる汽水域の砂

泥底に生息する広塩性生物であるが、海水の流入量が多く恒常に高塩分となる場所では生息することが出来ず、70%海水（海水:淡水=7:3）以上の塩分ではへい死してしまうことが報告されている（石田・石井, 1971；内田・佐藤, 1978；佐藤・内田, 1978）。具体的には、塩分0.3～21psuがヤマトシジミの生息可能な塩分範囲であるといわれている（田中, 1984；中村ら, 1996；中村ら, 1997）。

環境の塩分の変化に対し、貝類をはじめとした軟体動物は浸透圧を調整して環境適応を行っているといわれている（鴻巣・品川, 1988）。この性質を利用し、塩分を

変えて蓄養することにより付加価値を向上させる試みとして、辻ら（2012）は脱塩深層水（ミネラルウォーター）製造の際に排出される濃縮海洋深層水を活用し、高塩分海水によるホタテガイの蓄養技術を検討した。濃縮海洋深層水と海水を混合し45psuに調製した高塩分海水で蓄養したホタテガイの貝柱は、刺身による官能検査で「塩味」、「うま味」、総合的な「美味しさ」の点でそれぞれ有意に好まれることを明らかにし、ホタテガイの呈味性強化技術を確立した。

ヤマトシジミは一般的に、調理加工前に水へ数時間から一昼夜程度浸して砂出しをすることから、この砂出しの条件が呈味性に影響を及ぼしていることが想定される。しかし、塩分とヤマトシジミ軟体部の呈味性に関する知見が少ないことから、本研究では塩分や蓄養時間といった蓄養条件と呈味成分量について比較検討した。また、ヤマトシジミの主な喫食形態は味噌汁などの汁物であるが、塩分別の蓄養がヤマトシジミの煮汁の呈味性へ及ぼす影響に関する知見はほとんど無いため、蓄養水の塩分と煮汁の呈味成分量について比較検討した。

試料及び方法

2014年5月及び2015年10月、さけます・内水面水産試験場の網走湖ヤマトシジミ分布調査の11定点のうち、分布量の多いLine11（北緯43度58.974分、東経144度9.884分）の水深2m地点にてヤマトシジミを採取するとともに、水質計（YSI, 6600V2, 650MDS）を使用して採取地点の湖底直上の水温、塩分、溶存酸素量、酸素飽和度を測定した（Fig.1）。採取したヤマトシジミは湖水ごとクーラーボックスに入れて持ち帰り、直ちに蓄養試験に供した。

2014年5月の試料を用いた蓄養試験は、人工海水（イワキ、レイシーマリン）と蒸留水で塩分0, 1, 5, 10psuにそれぞれ調製した蓄養水を20°Cのインキュベーター内で24時間静置して予め恒温化し、試料重量の約5倍量の蓄養水を用いて、20°Cのインキュベーター内で1, 2, 3, 6, 24時間、静水で蓄養して分析に供した。エアレーションは、気泡やモーターの振動の影響なのか貝殻を閉じてしまい十分な砂出しが期待できることから行わなかった。なお、2015年10月の試料に関しては0, 10psuで24時間、同様に蓄養を行った。

試料は重量などを測定（n = 10）し、軟体部20個体分を均一に細切・混合して分析に供した。なお、軟体部指数は次の式により求めた。

$$\text{軟体部指数} = \frac{\text{軟体部重量}}{\text{殻重量} + \text{軟体部重量}} \times 100$$

試料の成分分析は、軟体部指数を測定した後、軟体部の水分、遊離アミノ酸、コハク酸について行った。

2015年10月に採取した試料を用いて0psu及び10psuで24時間蓄養したものに関し、塩分別の蓄養が煮汁の遊離アミノ酸組成へ及ぼす影響を比較検討した。ヤマトシジミの煮汁の調製は岡本ら（2012）の方法を改変して行った。すなわち、試料50個について、全重量から推定した軟体部重量の5倍量の蒸留水を沸騰させ、そこへ投入し、再沸騰後1分間加熱してから冷却した。冷却した煮汁をろ紙（ADVANTEC, No.5A）でろ過し、試料液とした。

軟体部からの遊離アミノ酸及びコハク酸の抽出は、試料約2gを秤量し、6%過塩素酸20mlを加えてホモジナイズ（10,000rpm, 1分間）し、遠心分離（3,000rpm, 10分間）した。上清をろ紙（ADVANTEC, No.5A）でろ過し、ろ液10mlに10N及び1Nの水酸化カリウム水溶液を加えて中和し、50mlにメスアップした。これを一晩静置し、生成した沈殿をろ紙（ADVANTEC, No.5C）で除去し、分析に供した。抽出液は、アミノ酸分析計で分析するためには、0.1N塩酸を加えて0.01N塩酸相当に調整したのち、フィルター（ザルトリウス, 0.45μm）でろ過して分析に供した。また、煮汁はアミノ酸分析計で分析するために軟体部の抽出液と同様に0.01N塩酸相当に調整したのち、フィルター（ザルトリウス, 0.45μm）でろ過して分析に供した。

水分は105°C常圧乾燥法、グリコーゲンはアンスロン硫酸法（福井, 1982）、遊離アミノ酸は高速アミノ酸分析計（日立L-8900）を用いて分析した。コハク酸は以

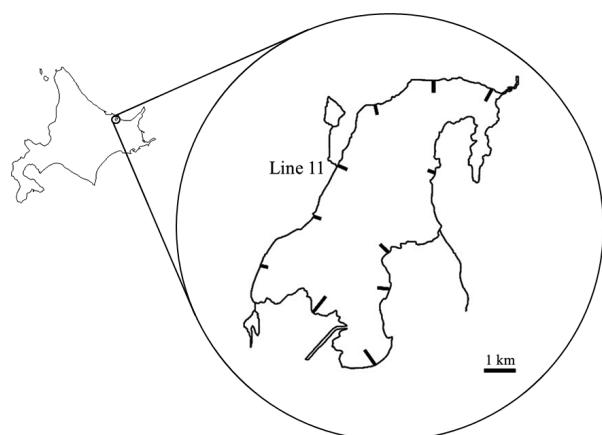


Fig.1 Distribution study lines of *Corbicula japonica* at Lake Abashiri. Black bars in the lake represent study lines. *C. japonica* caught at Lake Abashiri Line 11 (N43°58.974' E144°09.884') at a depth of 2 m

下の条件の高速液体クロマトグラフ (HPLC) で分析した。HPLC：日立LaChrom Elite, カラム：日立Gelpack GL-C610H (10.7mmI.D.×300mm), 溶媒：0.1%リン酸水溶液, 流速0.5ml/min., カラム温度：60°C, 検出波長：UV 210nm。

なお、軟体部の遊離アミノ酸及びコハク酸は無水物換算値で表し、煮汁の遊離アミノ酸は軟体部100g当たりとした。また、有意差検定はTukey-Kramer法による多重比較検定を行った。

結果

ヤマトシジミの原料性状 2014年5月及び2015年10月の試料採取地点の水質はそれぞれ、水温14.7, 8.9°C, 塩分1.3, 2.4psu, 溶存酸素量9.7, 9.1mg/L, 酸素飽和度91.3, 79.2%であった (Table 1)。また、採取したヤマトシジミの平均殻長±標準偏差は26.1±2.3, 28.4±2.0mm, 全重量7.7±2.0, 8.1±1.3g, 軟体部指数20.2±4.0, 19.4±2.5であった (Table 2)。

今回の水質調査において、2015年10月の酸素飽和度が79.2%と低くなっているが、これは採取日直前の低気圧により貧酸素底層水の湧昇があったためと推察された。しかし、この時の溶存酸素量は9.1mg/Lであり、ヤマトシジミは溶存酸素量1.5mg/L以上 (水温28°C) あれば生存に影響が無いことが報告されている (中村, 1998)。よって、本研究で用いるに当たって、今回の酸素飽和度の低下によるヤマトシジミへの影響は特段無いと考えられた。

Table 1 Water temperature, salinity, dissolved oxygen, and oxygen saturation at Lake Abashiri Line 11 (N43°58.974' E144°09.884') at a depth of 2 m in 2014 and 2015

	Water Temperature (°C)	Salinity (psu)	Dissolved Oxygen (mg/L)	Oxygen Saturation (%)
May, 2014	14.7	1.3	9.7	91.3
October, 2015	8.9	2.4	9.1	79.2

Table 2 Shell length, total weight, and soft tissue index of *Corbicula japonica* caught at Lake Abashiri Line 11 (N43°58.974' E144°09.884') at a depth of 2 m in 2014 and 2015. Values are mean ± S.D. (n = 10)

	Shell Length (mm)	Total Weight (g)	Soft Tissue Index
May, 2014	26.1±2.3	7.7±2.0	20.2±4.0
October, 2015	28.4±2.0	8.1±1.3	19.4±2.5

塩分別の蓄養によるヤマトシジミ軟体部への影響 塩分別に24時間蓄養したヤマトシジミの軟体部指数を比較したところ、0psuで蓄養したものは27.0±2.2で蓄養前の21.6±4.7より有意に高くなっていたが、5, 10psuでは各々20.4±3.1, 20.8±3.9で蓄養前と有意差が無く、変化はみられなかった (Fig. 2)。なお、0psu蓄養による軟体部指数の上昇に関しては、追試を実施したが必ずしも再現性はみられなかった。

水分は、蓄養1時間後から差がみられ、10psuで蓄養したものは3時間後に82.7%から76.4%へ減少した後、6時間後に77.8%と微増し、24時間後まで77.5%と変わらなかつた。5psuで蓄養したものは6時間後には78.8%まで低下した (Fig. 3)。

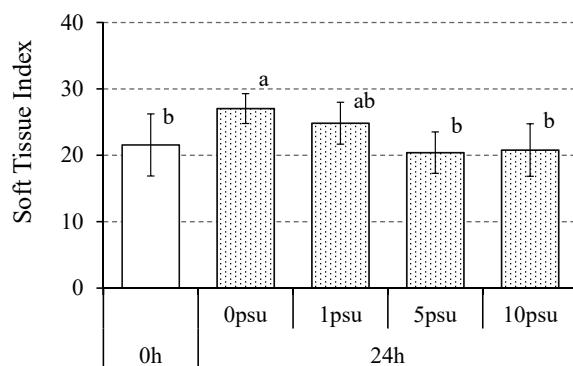


Fig. 2 Soft tissue index of *Corbicula japonica* preserved in different salinities for 24 h. Different salinities (0, 1, 5, and 10 psu) were achieved using artificial seawater. Samples were caught at Lake Abashiri in May 2014. Average values were calculated for 10 samples. Error bars indicate \pm S.D. Means with the same letter are not significantly different (Tukey-Kramer test, P < 0.01)

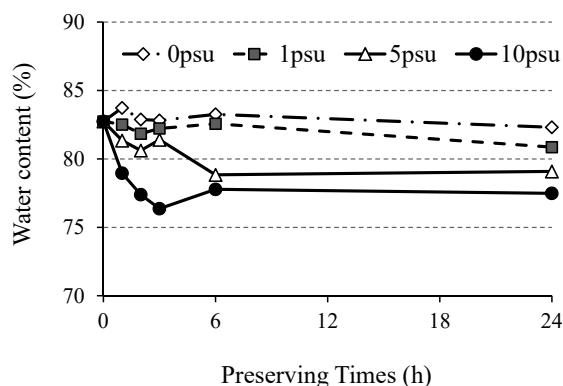


Fig. 3 Water content of *Corbicula japonica* preserved in different salinities for 24 h. Different salinities (0, 1, 5, and 10 psu) were achieved using artificial seawater. Twenty samples were mixed uniformly for analyses. The reduction in water content was measured using the drying method (105°C, 24 h)

コハク酸は、各塩分ともおおむね1,000~1,500mg/100gで推移し、塩分や蓄養時間による顕著な傾向はみられなかった (Fig.4)。

遊離アミノ酸は、10psuでは蓄養1時間後から増加し、蓄養24時間後では、蓄養前の1,488mg/100gから2,820mg/100gと約1.9倍になった。5psuは6時間後までは増加せず、6~24時間後の間で増加し、24時間後では1,804mg/100gと約1.2倍になった。一方、0psu及び1psuでは遊離アミノ酸の増加は全くみられなかった (Fig.5)。

遊離アミノ酸を個別にみると、10psu, 5psuでの蓄養により増加した主な遊離アミノ酸はグルタミン酸、アラニン、 β -アラニン、プロリンの4種類であった。10psuで24時間蓄養したものと蓄養前と比較すると、グルタミン酸が2.2倍、アラニンが4.6倍、 β -アラニンが19.3倍、プロリンが9.2倍となった。この4種類の遊離アミノ酸を合

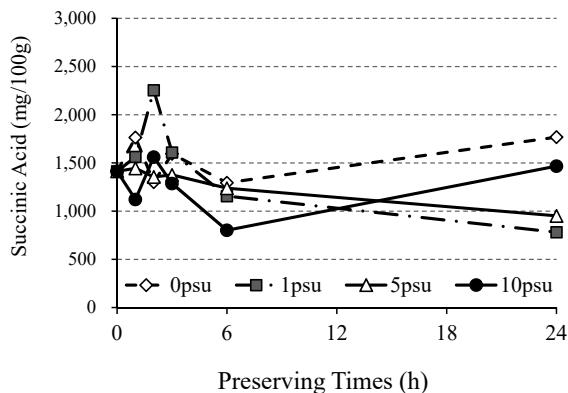


Fig. 4 Succinic acid content of *Corbicula japonica* preserved in different salinities for 24 h. Different salinities (0, 1, 5, and 10 psu) were achieved using artificial seawater. Twenty samples were mixed uniformly and measured by HPLC. Data are shown as dry basis

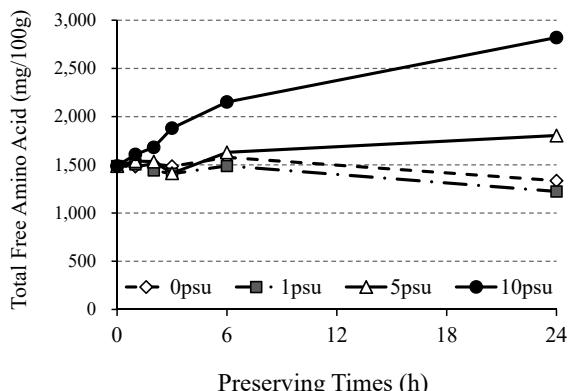


Fig. 5 Total free amino acid content of *Corbicula japonica* preserved in different salinities during 24 h. Different salinities (0, 1, 5, and 10 psu) were achieved using artificial seawater. Twenty samples were mixed uniformly and measured by a High-speed Amino Acid Analyzer L-8900 (Hitachi High-Technologies). Data are shown as dry basis

計すると、蓄養前は遊離アミノ酸全体に占める割合は20.7%であったのに対し、10psuで24時間蓄養後は59.3%となっており、この4種類で遊離アミノ酸増加量の92.2%を占めていた。

各遊離アミノ酸の増加速度は蓄養時間によって異なり、10psu蓄養によるアラニンの増加量は蓄養3時間後までは1時間当たり53.0~69.4mg/100gであったが、3~6時間後では38.6mg/100g、6~24時間後では17.4mg/100gと減少した。

また、プロリンは6時間後までは24.3~42.0mg/100gであったが、6~24時間後では5.1mg/100gと減少した。 β -アラニン及びグルタミン酸は3時間後まではそれぞれ21.4~28.4mg/100g、11.1~16.6mg/100gであったが、3~24時間後では13.5~14.5mg/100g、2.7~4.3mg/100gとなつた (Fig.6)。

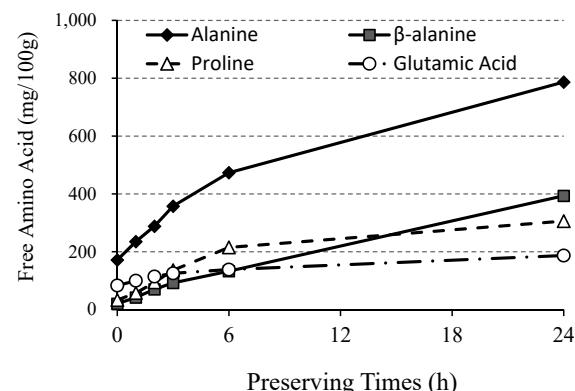


Fig. 6 Free amino acid content of *Corbicula japonica* preserved in a salinity of 10 psu for 24 h. The salinity was prepared using artificial seawater. Twenty samples were mixed uniformly and measured using a High-speed Amino Acid Analyzer L-8900 (Hitachi High-Technologies). Data are shown as dry basis

塩分別の蓄養によるヤマトシジミ煮汁への影響 0psu, 10psuで24時間蓄養した試料について、煮汁を調製する前の軟体部の遊離アミノ酸を測定し、塩分別に遊離アミノ酸量を比較したところ、遊離アミノ酸全体では0psuが2,119mg/100gであったのに対し、10psuでは3,583mg/100gとなり、塩分により約1.6倍の差がみられた。また、先の実験で特異的に増加した4種類の遊離アミノ酸の合計量は0psuが611mg/100gであったのに対し、10psuでは1,926mg/100gであり約3.2倍の差がみられたが、逆にそれら4種類以外の遊離アミノ酸量はそれぞれ1,589mg/100g、1,657mg/100gであり、ほとんど差はみられなかった (Fig.7)。

煮汁の遊離アミノ酸も軟体部と同様に塩分による影響がみられており、10psuでは0psuと比較してアラニンが4.4

倍の103.2mg/100g、プロリンが19.4倍の27.6mg/100g、 β -アラニンが3.4倍の24.4mg/100g、グルタミン酸が3.2倍の31.2mg/100gとなった。遊離アミノ酸全体では、0psuと10psuはそれぞれ122.3mg/100gと307.7mg/100gで2.5倍の差があるが、上記4種類の合計量では4.5倍の差があり、また、上記4種類の全体に占める割合も0psuと10psuでは34.0%と60.6%となっており、蓄養水の塩分により煮汁の遊離アミノ酸組成が大きく変化していた (Fig. 8)。

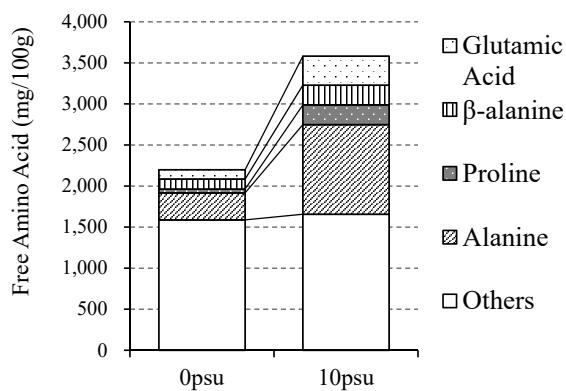


Fig. 7 Free amino acid compositions of *Corbicula japonica* preserved in different salinities for 24 h. Different salinities (0 and 10 psu) were achieved using artificial seawater. Samples were caught at Lake Abashiri in October 2015. Twenty samples were mixed uniformly and measured using a High-speed Amino Acid Analyzer L-8900 (Hitachi High-Technologies). Data are shown as dry basis

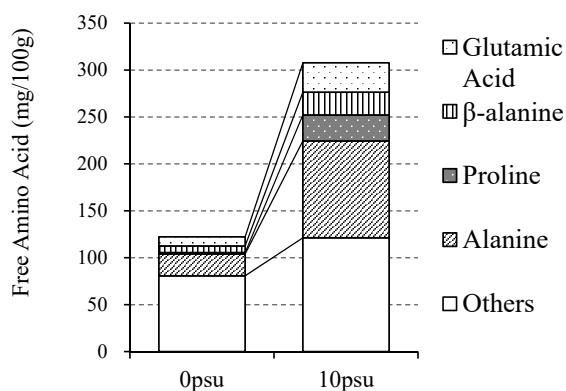


Fig. 8 Free amino acid compositions of *Corbicula japonica* extracts preserved in different salinities for 24 h. Different salinities (0 and 10 psu) were achieved using artificial seawater. Extracts were prepared by boiling 50 samples with distilled water and measured them using a High-speed Amino Acid Analyzer L-8900 (Hitachi High-Technologies)

考 察

海産生物は外部の塩分に対し、浸透圧を調整して環境適応するため、浸透圧調整物質（オスモライト）を活用していることが知られている。例えば、サメ、エイなどの板鰓類では無機イオン、尿素、トリメチルアミノキシドで体液浸透濃度を調整していることが報告されている（大黒、2002）。海産無脊椎動物では遊離アミノ酸をオスモライトとして使用しており、高塩分環境下では細胞内でその濃度を増加させて環境適応していることが報告されている（阿部、2008；鴻巣・品川、1988；中村、1998）。

本研究において、蓄養水の塩分を上げることにより特異的に増加した遊離アミノ酸はグルタミン酸、アラニン、 β -アラニン、プロリンの4種類であり、これらがヤマトシジミの浸透圧調整に関与しているオスモライトであると考えられた。中村（1998）は、ヤマトシジミの高浸透圧馴致ではアラニン、グルタミン酸、プロリンが、まず環境水の浸透圧の変化に即座に応答して上昇し、高浸透圧環境が持続されると、アラニン、プロリンが徐々に増加するとしている。本研究ではそれに加え β -アラニンも初期の浸透圧調整に関与していることが示唆された。また、蓄養3時間後までに4種類の遊離アミノ酸が増加する初期の応答がみられ、その後3~6時間後でアラニン及びプロリンが主に増加し、6~24時間後までアラニン及び β -アラニンが徐々に増加して、高浸透圧適応を行っていると考えられた。

ヤマトシジミの初期の浸透圧調節反応は、塩分10psuについては軟体部の水分にも影響がみられ、蓄養開始から3時間後で一気に減少し浸透圧を高めたと推察された。その後、3~6時間後でわずかに増加したあとは24時間後まで変わらなかった。

β -アラニンは他の海産無脊椎動物でもオスモライトとして作用していることが報告されており、ヤマトシジミと同じ二枚貝のタイラギ、アカガイ、マガキの他、シロボヤやイソギンチャクでも浸透圧調整に使われていることが観察されている（鴻巣・品川、1988）。

Fig. 6の結果より、アラニンは、蓄養前には軟体部の全遊離アミノ酸に占める割合は11.5%であったが、10psuで24時間蓄養することにより27.9%へと上昇し、遊離アミノ酸組成の中で最も比率が高くなった。また、Fig. 7の結果より0psuと10psuでそれぞれ24時間蓄養した軟体部のアラニン量を比較すると、0psuでは328.4mg/100gであったのに対し、10psuでは1091.3mg/100gと約3.3倍多くなった。中村（1998）も0psu、10psuに調製した20℃の蓄養水でヤマトシジミをそれぞれ24時間馴致させたとこ

る、水分1kg当たりのアラニン量はオスが5.20mmolと31.72mmolで約6.1倍、メスは6.29mmolと29.24mmolで約4.6倍の差がみられており、ほぼ同様の結果であった。アラニンも海産無脊椎動物の主要なオスモライトの一つであり、ハマグリ、クルマエビ、アメリカザリガニ、モクズガニで浸透圧調整に重要な役割を担っていることが報告されている（阿部、2008）。

遊離アミノ酸は、核酸関連物質などと並びヤマトシジミの呈味性にも大きく寄与していることが報告されている（武、1969）。また、呈味性に関し、遊離アミノ酸はそれぞれ固有の味を持っていることが知られている。今回、オスモライトとして増加することが明らかとなったアラニン、プロリンは甘味を呈し（二宮、1968；金子、1940）、グルタミン酸はうま味に関与する（鴻巣、1973；前田ら、1958）。また、各アミノ酸について、どの程度の濃度差があれば味の強さの識別が可能であるかを知るため、二宮（1968）は官能検査により水溶液中ににおける各アミノ酸の弁別閾の測定を行った。その結果、L-アラニンは10%、L-プロリンは50%、L-グルタミン酸は20%の濃度差があれば有意に識別しうるとした。本研究における各遊離アミノ酸の、0psuと10psuで24時間蓄養したヤマトシジミの煮汁における濃度差は、アラニンが343%、プロリンが1,844%、グルタミン酸が223%であり、各アミノ酸の弁別閾を大きく上回っていた。このことから、ヤマトシジミを10psuで蓄養することにより、煮汁の呈味性が向上するものと考えられた。また、今回の煮汁を数名で官能評価したところ、蓄養水の塩分によって甘味などに差が感じられた。今後、一定のパネル数を確保した上で官能評価を行い、統計学的な有意差を明らかにする必要がある。

これらより、ヤマトシジミを10psuで24時間蓄養することにより軟体部指数、すなわち歩留まりを大きく変化させずに軟体部の呈味性を向上させること、更にその呈味性の向上は煮汁にも反映されることを明らかにした。

なお、軟体部の遊離アミノ酸の増加及び水分の減少から示唆される、ヤマトシジミにおける浸透圧調整の初期反応は3時間後までに起こると考えられたことから、家庭で調理加工する前の砂出しは、呈味性の観点から3時間以上が妥当であると推察された。

本研究では、蓄養によるコハク酸の顕著な増加はみられなかったことから、コハク酸は浸透圧調整に関与していないと考えられた。また、コハク酸は嫌気呼吸の代謝産物として空中放置や無酸素水蓄養により増加するといわれていることから（鴻巣ら、1967；中村、1998）、本研究の蓄養条件では差がみられなかつたと推察された。一方、コハク酸はヤマトシジミの呈味性において、遊離

アミノ酸など主となる呈味成分の相乗効果があるとされている（武、1969；鴻巣ら、1967）。このため、今後は遊離アミノ酸だけではなく、コハク酸も増加させる蓄養条件を検討する必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、試料の採取などに多大なるご尽力をいただいた西網走漁業協同組合川尻敏文氏、末澤海一氏に心より感謝いたします。

引用文献

- 阿部宏喜. 水生動物における遊離D-アミノ酸の存在、生合成および生理的意義. 生化学 2008;80(4):308-315.
- 石田 修, 石井俊雄. ヤマトシジミの塩分に対する抵抗性、ならびに、地域による形態の相違. 水産増殖 1971;19(4):167-182.
- 内田 晃, 佐藤直紀. ヤマトシジミの環境変化（塩分量）に伴う影響について－Ⅱ（低塩分から高塩分への移行における鰓織毛運動の変化について）. 千葉県内水面水産試験場試験調査報告第2号 1978;2:24-26.
- 大黒トシ子. 魚類の浸透圧調節とトリメチルアミノオキシドの役割. 山陽論叢 2002;9:1-17.
- 岡本成司, 山口洋子, 小山寛喜, 中谷操子, 米田千恵, 渡部終五. 生息域を異にする涸沼川水系産ヤマトシジミ *Corbicula japonica* のエキス成分および潮汁の食味の比較. 日本水産学会誌 2012;78(3):444-453.
- 金子武夫. プロリン及びオキシプロリンの立體化學的構造に就て. アミノ酸の立體化學的研究(III). 日本化學會誌 1940;61(3):207-219.
- 鴻巣章二, 柴生田正樹, 橋本芳郎. 貝類の有機酸、とくにコハク酸含量について. 栄養と食糧 1967;20(3):186-189.
- 鴻巣章二. 魚貝類の味—呈味成分を中心にして— 日本食品工業学会誌. 1973;20(9): 432-439.
- 鴻巣章二, 品川 明. 無脊椎動物の含窒素エキス成分、「魚介類のエキス成分（坂口守彦編）」恒星社厚生閣、東京. 1988;9-24.
- 佐藤直紀, 内田 晃. ヤマトシジミの環境変化（塩分量）に伴う影響について－Ⅲ（低塩分から高塩分への移行におけるへい死の変化について）. 千葉県内水面水産試験場試験調査報告第2号 1978;2:27-30.
- 武 恒子. 各種食品中の呈味成分に関する研究. 調理科

- 学 1969;2(4): 231-237.
- 田中彌太郎. ヤマトシジミの塩分耐性について. 養殖研究所研究報告 1984;6:29-32.
- 辻 浩司, 櫻井 泉, 野俣 洋. ホタテガイの飼育塩分制御による呈味性強化. 「沿岸漁獲物の高品質化 - 短期蓄養と流通システム」(福田 裕, 渡部終五編) 恒星社厚生閣, 東京. 2012;76-88.
- 内藤一明, 安富亮平, 中島美由紀. 平成26年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書. 北海道立総合研究機構水産研究本部さけます・内水面水産試験場, 恵庭. 2016;63-71.
- 中村幹雄, 乞川 明, 氣橋文子, 山根恭道, 向井哲也, 安木 茂, 松本洋典. ヤマトシジミの「うま味」を増す砂抜き・保存方法について. 島根県水産試験場 平成5年度 (1993) 事業報告 1993;167-175.
- 中村幹雄, 安木 茂, 高橋 文, 品川 明, 中尾 繁. ヤマトシジミの塩分耐性. 水産増殖 1996;44(1):31-35.
- 中村幹雄, 品川 明, 戸田顯史, 中尾 繁. 宍道湖および中海産二枚貝4種の環境耐性. 水産増殖 1997;45(2):179-185.
- 中村幹雄, 宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIMEと環境との相互関係に関する生理生態学研究. 島根県水産試験場研究報告第9号 1998.
- 二宮恒彦. アミノ酸の呈味に関する研究. 調理科学 1968;1(4):185-197.
- 福井作蔵. 「生物化学実験法1. 還元糖の定量」学会出版センター, 東京, 1982;47-50.
- 前田清一, 江口貞也, 佐々木 裕. 食品中の遊離Lグルタミン酸含有量について. 家政学雑誌 1958;9(4):163-167.

朱鞠内湖に生息するイトウ*Parahucho perryi*の遺伝的集団構造（短報）

畠山 誠*, 下田和孝, 水野伸也, 川村洋司

北海道立総合研究機構さけ・ます内水面水産試験場

The genetic population structure of the Sakhalin taimen *Parahucho perryi* in Lake Shumarinai, Hokkaido, Japan
(Short paper)

MAKOTO HATAKEYAMA*, KAZUTAKA SHIMODA, SHINYA MIZUNO and HILOSHI KAWAMULA

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

The genetic population structure of the Sakhalin taimen *Parahucho perryi* in Lake Shumarinai Hokkaido, Japan, and in the rivers draining into the lake was investigated by nucleotide sequencing of a part of the mitochondrial cytochrome b gene (695 bp). Based on the data of 211 Sakhalin taimen specimens, three haplotypes (A, B2 and C) were observed from three permutation sites. The haplotype frequency of Sakhalin taimen collected from the lake was constantly consisted of haplotypes A, B2 and C. The haplotype frequency of Sakhalin taimen collected from each river had the unique characteristic fixed over years. Those results indicate that the population of Sakhalin taimen in the lake was constructed by the distinct breeding groups of the rivers.

キーワード：遺伝的集団、イトウ、朱鞠内湖、ミトコンドリアDNA

イトウ*Parahucho perryi*は北海道、南千島、沿海州に生息する太平洋西部域では最大となるサケ科魚類である(Fukushima, 1994)。本種は多回産卵魚で、成熟年齢は北海道では雌が5歳以上、雄が3歳以上とされており、最高年齢は日本で10歳以上、ロシアでは16歳の記録がある(山代, 1965; Gritsenko *et al.*, 1974; Fukushima, 1994)。また、環境省レッドリスト(2013年)で絶滅危惧1B類、北海道レッドリスト(2001年)で絶滅危機種、国際自然保護連合のレッドリスト(2006年)で最も絶滅の危険性が高いCritically Endangeredの指定を受けている希少種である。日本におけるイトウの個体群について、安定的な集団は7集団、絶滅が危惧される集団は5集団、東北地方を含む絶滅集団は36集団と推測されており、その中で北海道幌加内町の朱鞠内湖およびその流入河川に生息するイトウは安定的な集団の1つとされている(Fukushima *et al.*, 2011)。朱鞠内湖は石狩川水系最北部に位置し、雨竜第1ダムおよび第2ダム(1943年完成)により形成された人工湖である。朱鞠内湖のイトウには地元の漁業協同組合

に漁業権が設定され、主に遊漁用資源として利用されており、その管理、保護については漁業関係者、遊漁者の関心が高い。希少な安定的集団である朱鞠内湖およびその流入河川のイトウは、遺伝的多様性を保持しながら管理、保護することが重要と考えられる。そこで、本研究では、ミトコンドリアDNAチトクロムb領域の一部を解析し、遺伝的集団構造を推測した。

材料および方法

2004年、2010年および2011年に湖内で定置網により未成魚および成魚を、2010年および2011年に流入河川である陰の沢川でウライにより遡上親魚を、2008年および2012年に流入河川の陰の沢川、ブトカマベツ川、泥川、ウツナイ川で電気漁具(Smith-root)により稚魚(全長40mm前後)をそれぞれ捕獲した(Fig. 1)。現場で脂鰭を採取し、99%エチルアルコール中で保存し、後日、SepaGene(エーディア)を用いDNAを抽出した。塩基

報文番号A547 (2017年8月4日受理)

*Tel: 0123-32-2135. Fax: 0123-34-7233. E-mail: hatakeyama-makoto@hro.or.jp

Table 1 Relationships among sampling location, sampling date and haplotype data of captured fish

Sampling location	Sampling date	Captured fish (Range of fork length in mm)	Haplotype frequency			Haplotype diversity ($H \pm SD$)
			A	B2	C	
Set net in the lake	1-25 May 2004	Juvenile or adult (542-882)	10	11	4	0.647 ± 0.047
	15 Nov. 2010	Juvenile or adult (504-895)	9	9	8	0.692 ± 0.027
	18 Oct. 2011 - 11 Nov. 2011	Juvenile or adult (522-885)	8	8	7	0.696 ± 0.031
	Fry (ND*)		6			0.000 ± 0.000
Kagenosawa R.	21 Aug. 2008	Returning adult (523-860)	29			0.000 ± 0.000
	24-29 May 2010	Returning adult (530-881)	29		1	0.067 ± 0.061
Butokamabetsu R.	13-19 May 2011	Fry (ND)	2	2	5	0.667 ± 0.132
	22 Aug. 2008	Fry (ND)	14	8	9	0.667 ± 0.038
Uthunai R.	11 Aug. 2012	Fry (ND)		9		0.000 ± 0.000
	22 Aug. 2008	Fry (ND)		10		0.000 ± 0.000
Doro R.	11 Aug. 2012	Fry (ND)		2		0.000 ± 0.000
	21 Aug. 2008	Fry (ND)		11		0.000 ± 0.000

*Not determined

配列決定の錆型としてPCR産物を利用した。PCR反応液は総量50 μLとし、試料DNAを50 ng, AmpliTaq Gold® 360 PCR Master Mix (Thermo fisher scientific) を25 μL, 既知のイトウのチトクロムb領域の塩基配列(Accession: D58396)をもとに作成したプライマー, 5'-aaaccaccccccctcataaaaa-3'および5'-cttggccatgtataataatg-3'を最終濃度4 μMとなるよう加えた。反応液はGeneAmp 2400 system (Thermo fisher scientific) を用い, 95°Cで10分間加熱した後に, 94°Cで30秒間, 55°Cで30秒間, 72°Cで45秒間を40サイクル繰り返し, 最後に72°C, 7分間加熱した。得られたPCR産物はPCR purification kit (Qiagen) により精製し, 塩基配列決定用の錆型とした。塩基配列は既知の塩基配列情報(前出)より作成したプライマー, 5'-atctcccageaccatctaata-3'および5'-ttggatacgtgttccatga-3'を用い, BigDye terminator v.3.1 (Thermo fisher scientific) の反応後, ABI PRISM Genetic Analyzer 3100 (Thermo fisher scientific) により決定した。得られた塩基配列はMEGA5 (Tamura *et al.*, 2011) により多重アライメントを行い, 一部の標本間ではArlequin ver. 3.1 (Excoffier *et al.*, 2006) を用い, 分化程度を示すペアワイス F_{st} 値の算出および検定を行った。

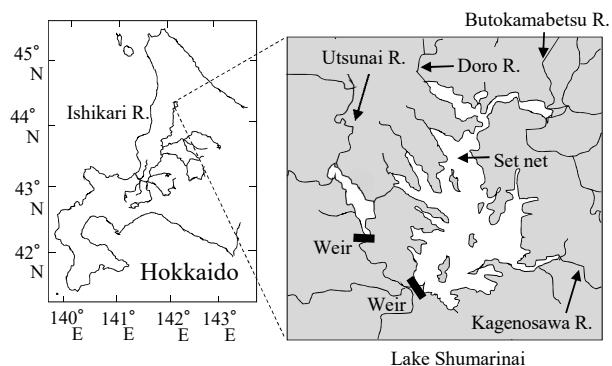


Fig. 1 Maps of Lake Shumarinai in the Ishikari river system in Hokkaido, Japan. Arrows indicate the sampling localities (rivers draining into the lake and the set net in the lake).

結 果

イトウ211個体のミトコンドリアDNAチトクロムb領域の一部695塩基配列 (D58396における100番-794番)から確認できたハプロタイプは3種で, その内訳は他の2種の派生元と考えられるハプロタイプA (Accession: AB982229), ハプロタイプAの466番がGからAに1塩基置換したハプロタイプC (Accession: AB982232), ハプロタイプAの366番がCからA, 784番がTからCに2塩基置換したハプロタイプB2 (Accession: AB982231) であった。捕獲されたイトウのハプロタイプデータをTable 1に示す。湖内で2004年, 2010年および2011年に捕獲されたイトウは各年においてハプロタイプA, B2, Cが混在しており, ハプロタイプ多様度は0.647から0.696であった。陰の沢川では, 2008年に捕獲された稚魚の全て, 2010年および2011年に捕獲された遡上親魚合計59個体のうち58個体がハプロタイプAであった。ブトカマベツ川で2008年, 2012年に捕獲された稚魚は各年, ハプロタイプA, B2, Cが混在しており, ハプロタイプ多様度は両年とも0.667であった。また, ウツナイ川および泥川で2008, 2012年に捕獲された稚魚は全てがハプロタイプB2であった。稚魚のデータのみを対象に河川間でのペアワイス F_{st} の計算および検定を行ったところ, 2008年捕獲分ではウツナイ川と陰の沢川間およびウツナイ川とブトカマベツ川間に有意な分化が認められた。2012年捕獲分ではブトカマベツ川とウツナイ川間およびブトカマベツ川と泥川間に有意な分化が認められた (Table 2)。

Table 2 Pairwise estimates of F_{st} based on cytochrome b sequence data

	1	2	3	4
1: Kagenosawa R.		-	-	-
2: Butokamabetsu R.	0.263		0.553*	0.545*
3: Uthunai R.	1.000*	0.684*		0.000
4: Doro R.	1.000	0.494	0.000	

Upper and lower triangles indicate pairwise estimates of F_{st} among the fish captured in 2012 and 2008, respectively.

*Significant difference from zero ($P < 0.05$, after Bonferroni correction)

考 察

朱鞠内湖はダム湖であるため、生息するイトウは道東の厚岸湖（川村ら, 1983; Honda *et al.*, 2010）や道北沿岸（Edo *et al.*, 2005; Suzuki *et al.*, 2011）の個体群で報告されているような降海生態は持たないと推測される。イトウは多回産卵魚であるが、過去に陰の沢川にて行われた遡上親魚に対する標識放流試験の結果から、産卵のための河川遡上は数年に1回と推測されている（北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場, 2013）。また、同河川にて行われたイトウの生息状況調査では、5月に親魚の遡上と産卵床が認められ、8月には当歳魚が多く出現するが、10月にはその密度が大きく減少することから、多くは1⁺幼魚までの間に湖内に移動すると推測されている（北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場, 2011, 2012）。これらの調査から、この水域のイトウは流入河川で孵化したのち、1⁺幼魚までの間に湖内に移動し、成熟まで湖内にとどまり、数年に一度、産卵のために流入河川に遡上し、産卵後は再び湖に戻ると考えられる。本研究において、2008年8月および2012年8月にブトカマベツ川、泥川、ウツナイ川で捕獲されたイトウ稚魚は湖に移動する前の当歳魚と考えられ、そのハプロタイプ頻度は河川毎に両年に共通する特徴があった。また、陰の沢川においては、2008年8月に捕獲された稚魚、2010年5月および2011年5月に捕獲された遡上親魚のほぼ全てがハプロタイプAであった。これらのことから、朱鞠内湖に生息するイトウは母川回帰性が強く、流入河川毎に分化した遺伝的集団から構成されていると考えられる。

畠山・川村（2013）は北海道内で捕獲されたイトウを対象に本研究と同様の解析を行っており、大きくは日本海側の河川で構成されハプロタイプAの出現率が高いグループ、太平洋側の河川で構成されハプロタイプB2の出現率が高いグループ、および北海道北部のオホーツク海側の河川で構成され、朱鞠内湖では出現しなかったハプロタイプD（Accession: AB982233）の出現率が高いグループの3つに分化していると推測している。朱鞠内湖のイトウはハプロタイプA、ハプロタイプB2に加え、他の水域では発見されていないハプロタイプCが出現するなど北海道内にあっては特に遺伝的多様度の高い集団と考えられる。

イトウの生息域を制限している要因の一つとして河川の樹木による被覆等本種の生息に適した環境を消失させる農地の広がりが指摘されている（Fukushima *et al.*, 2011）。山田ら（2008）は森林の開発により河川に堆積する細粒土砂がイトウの産卵環境に与える影響について

調査し、産卵床が細粒土砂で形成された場合、河川水温が卵に伝導しにくくなり、発育に障害をもたらす可能性があることを示唆している。福島ら（2008）は河川毎にイトウの捕獲が記録された最新年度を各種文献で調査し、その生息河川数は1960年代から減少し始め、80年代に激減したと推測している。鷹見・川村（2008）も北海道のイトウに関して遊魚雑誌の記述をもとに、土地改良事業が急速に進み始めた1970年前後から約10年後にイトウが激減したと推測している。これらの報告から、北海道においては1960年代から続く各種開発に伴う河川環境の変化がイトウの生息域を狭めた可能性があり、朱鞠内湖も1940年代に形成されたダム湖であるため、この流域に生息するイトウは湖下流への移動が不可能になる等の分布の制限を受けてきた。一方、本湖について、その流域の多くが北海道大学の演習林であることや、漁業権の設定に伴い漁業関係者の環境保全に対する関心が高まったことにより、イトウにとって比較的好適な環境が維持されてきた可能性がある。その結果、朱鞠内湖の各流入河川では個体群の再生産が維持され、湖内では現在でも高い遺伝的多様度が保たれていると考えられる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、朱鞠内湖淡水漁業協同組合ならびにNPO法人シュマリナイ湖ワールドセンターの皆様に多大なご協力を頂きました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Edo K, Kawaguchi Y, Nunokawa M, Kawamura H, Higashi S. Morphology, stomach contents and growth of the endangered salmonid, Sakhalin taimen *Hucho perryi*, captured in the Sea of Okhotsk, northern Japan: evidence of an anadromous form. *Environ. Biol. Fish.* 2005; 74: 1–7.
- Excoffier L, Laval G, Schneider S. Arlequin (version 3.0): An integrated software package for population genetics data analysis. *Evol. Bioinform. Online* 2005; 1: 47–50.
- Fukushima M. Spawning migration and redd construction of Sakhalin taimen, *Hucho perryi* (Salmonidae) on northern Hokkaido island, Japan. *J. Fish Biol.* 1994; 44: 877–888.
- 福島路生, 畠山雅秀, 後藤 晃. イトウ: 巨大淡水魚をいかに守るか. 魚類学雑誌2008; 55: 49–53.
- Fukushima M, Shimazaki H, Rand PS, Kaeriyama M. Reconstructing Sakhalin taimen *Parahucho perryi* his-

- torical distribution and identifying causes for local extinctions. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2011; 140: 1–13.
- Gritsenko OF, Malkin EM, Churikov AA. Sakhalinskii taimen' *Hucho perryi* (Brevoort) reki Bogatoi (vostochnoe pobrezh'e Sakhalina). *Izvestiya TINRO* 1974; 93: 91–100. (日本語訳 魚と卵1976; 143: 25–34.)
- 畠山誠, 川村洋司. 北海道に生息するイトウ*Hucho perryi*について. 北水試だより2013; 86: 19–21.
- 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場. 漁業権設定湖沼におけるイトウ資源の利用と維持に関する研究. 「平成22年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書」, 恵庭. 2011; 109.
- 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場. 漁業権設定湖沼におけるイトウ資源の利用と維持に関する研究. 「平成23年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書」, 恵庭. 2012; 100.
- 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場. 漁業権設定湖沼におけるイトウ資源の利用と維持に関する研究. 「平成24年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書」, 恵庭. 2013; 71–73.
- Honda K, Arai T, Takahashi N, Miyashita K. Life history and migration of Sakhalin taimen, *Hucho perryi*, caught from Lake Akkeshi in eastern Hokkaido, Japan, as revealed by Sr: Ca ratios of otoliths. *Ichthyol. Res.* 2010; 57: 416–421.
- 川村洋司, 馬淵正裕, 米川年三. 道東の汽水湖・厚岸湖で漁獲されたイトウ*Hucho perryi* (Brevoort). 北海道立水産孵化場研究報告1983; 38: 47–55.
- Suzuki K, Yoshimotomi T, Kawaguchi Y, Ichimura M, Edo K, Otake T. Migration history of Sakhalin taimen *Hucho perryi* captured in the Sea of Okhotsk, northern Japan, using otolith Sr: Ca ratios. *Fish. Sci.* 2011; 77: 313–320.
- 鷹見達也, 川村洋司. 北海道におけるサケ科魚イトウ (*Hucho perryi*) の減少過程. 野生生物保護2008; 11: 1–5.
- Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, Kumar S. Mega5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Mol. Biol. Evol.* 2011; 28: 2731–2739.
- 山田裕之, 河口洋一, 江戸謙顕, 小宮山英重. 北海道北部山地河川における細粒土砂の堆積がイトウの産卵環境および発眼卵生残率に及ぼす影響. 応用生態工学 2008; 11: 29–40.
- 山代昭三. 北海道東北部におけるイトウ*Hucho perryi*の年齢と成長. 日水誌1965; 31: 1–7.

北海道周辺海域におけるマダラの年齢組成（資料）

星野 昇^{*1}, 田中伸幸², 本間隆之³, 鈴木祐太郎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稚内水産試験場

³北海道立総合研究機構釧路水産試験場

Age compositions of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the coastal waters of Hokkaido (Note)

NOBORU HOSHINO^{*1}, NOBUYUKI TANAKA², TAKAYUKI HONMA³ and YUTARO SUZUKI²

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

² Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization

³ Kushiro Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization

キーワード：Age-Length Key, 耳石, 成長, 年齢, 北海道, マダラ

マダラ (Pacific cod; *Gadus macrocephalus*) は北海道周辺の海域で年間約2万トンの水揚げがある重要種である。沖合底びき網、刺し網、はえなわ、底建網、釣りなど漁法も多様で、それぞれの漁業体において経営面での依存度も高い。通年漁獲があるが、盛漁期は産卵期前後の12～2月頃であり、主に産卵のため索餌期より浅い水深帯に集群する過程で漁獲対象となっている。

北海道立総合研究機構水産試験場（旧北海道立水産試験場）では、1990年代から資源評価のための漁獲物モニタリングや、漁礁敷設事業の事前調査などで本種の生物測定を実施してきた。資源評価を行う際には、盛漁期の漁獲物年齢・体長組成を推定し、毎年の年齢別漁獲量を得てコホート解析などに基づいて資源動向を把握することが多い。一般に、漁獲物年齢・体長組成は、出荷に際して魚体や雌雄などの出荷規格別に選別・箱入れされる前の段階で無作為に標本採集するか、規格別に選別・箱入れされた後、各規格を標本採集しそれぞれの規格の漁獲量でひきのばしたものを合算して推定される。マダラの成魚については一個体の体長が50～100cm、体重は数kgから10kg以上と非常に大型であるため、これを偏りなく無作為に標本採集することは実質的に不可能である。そのうえ大半の産地市場では、魚箱に総重量が8～15kgになるよう数尾を収め、「2尾入」等の収容尾数ごとの規格名で出荷されている。そのため、全ての規格を一度に標本採集することは困難なうえに、魚価も高価であるこ

とから一つの規格の標本数が少なくならざるをえず、適切な漁獲物組成を得ることが難しい。これを踏まえ、北海道日本海のマダラについては、少数標本の年齢データに基づき漁獲物年齢組成を把握する簡便法が提案され（星野, 2010），実用されてきたが、他の海域では十分な標本数や漁獲統計が得られていないため、漁獲物調査の標本データがあまり活用されてこなかった。しかし、漁獲物全体の年齢・体長組成を推定することができなくとも、漁獲物から任意に採集した標本の体長階級ごとの年齢頻度分布、いわゆるAge-Length Key (ALK) を推定することは可能である。ALKが得られると、荷受け伝票など産地市場の漁獲統計等を用いて体長組成を把握できれば、それを年齢組成に変換することで資源評価の高度化を図ることができる。また、ALKから成長傾向の海域や年代の違いといった生態学的な考察も可能となるため、これまでの漁獲物調査で得られた標本データに基づいた海域ごとのALKを作成することの意義は大きい。

一方、上記のような漁獲物標本組成を推定する難しさに加え、マダラ資源評価の進展を阻むもう一つの要素として、個体の年齢決定の難しさがある。マダラの年齢は耳石（扁平石）の横断薄片に観察される輪紋を計数する手法が広く用いられている。国内では陸奥湾産マダラについて、桜井ら（1984）が同手法を用いた輪紋観察の有効性を示し、服部ら（1992）が北海道や東北海域産のマダラについて、継続サンプリング標本の耳石観察から輪

紋の年周性を確認したうえで読輪方法を提案した。マダラの資源研究を行う国内の研究機関では同手法が用いられている（成松ら, 2017）。服部ら（1992）の方法は、耳石の横断薄片を厚さ0.2~0.5mmに研磨処理し、肥厚方向（体幅方向）に刻まれる規則的な輪紋を計数する。北海道水産試験場によるマダラの資源評価（田中伸幸 [http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/\(2017\)](http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/(2017))）（2017年6月9日）においても基本的には同法に準じ年齢を決定してきた。しかし、北海道では、日本海、オホーツク海、太平洋のそれぞれに耳石の形成パターンが大きく異なるうえに、服部ら（1992）が示した輪紋は高齢になるほど外縁部が不明瞭で、細かい輪紋（偽輪）と見分けられない場合が多かった。

そこで本資料は、これまで北海道周辺の海域における各種調査により得られたマダラの耳石断面標本から、服部ら（1992）の方法と耳石の伸長方向に形成される輪紋パターンの観察を併用することにより、これらマダラの年齢を決定した。この年齢と生物測定データを用いて体長-年齢関係（ALK）を作成するとともに、体成長に関する情報を海域、年代ごとに整理して、今後の北海道におけるマダラ資源評価の発展に資することを目的とした。

試料及び方法

漁獲物標本データ 本資料で取り扱ったマダラ標本は、水産庁受託事業「我が国周辺水域の漁業資源評価」、北海道資源管理協議会受託事業「北海道資源総合対策事業（前進事業を含む）」、その他、北海道庁による漁礁設置事業に関わる事前調査等に基づき、対象の漁業により採集された。十分なデータ数のある海域を5海域にまとめ（図1）、それぞれの海域で得られたデータは水揚げ港や漁法によらず同一の資源が対象となっているとみなした。各海域の主漁場や主な漁業は表1のとおりである。対象となるデータが存在している年度は海域により異なり、「後志南部」については継続的な調査を実施していないため、1992~1994年度と2006年度の2年代分で、それ以外の海域は2000年度前後から2015年度までである。資料



図1 マダラ漁獲物が採集された海域の区分

にとりまとめたデータは、体長と年齢との関係を海域や年代間で対比するときに同時期に得られたものである必要があるため、いずれも11月から3月までの盛漁期（産卵期）において漁獲されたものに限定した。この期間中の成長変化は成長の停滞する冬季（産卵期）であるため無視できるものとみなした。本資料における西暦の表記は4月1日を切り替え日とする年度表記とした。

年齢決定 年齢の表記は、本稿で扱ったデータをすべて産卵期とその前後期のものに限定したことから、満年齢とした。例えば「5歳」の表記は、産出・ふ化からおよそ5年間が経過した個体を指している。

耳石（偏平石）の薄片標本は、耳石中心を短軸方向に薄く切り出し、スライドガラスに接着後、厚さ0.2~0.5mm程度に研磨して作成した。実体顕微鏡による暗視野下で、シャーレに水を入れスライドガラスを浸漬した状態で倍率を適宜変えながら観察した。年齢は、服部ら（1992）の方法で年周性が確認された肥厚方向の輪紋と、それに対応している伸長方向の輪紋形成パターンの計数により決定した。道西日本海において幼魚期からの追跡サンプリングで得られた2014年級群について、2015年4月に採集された満1歳を経過した個体の耳石薄片標本を例にみると（図2-a），図中の丸印で示した箇所には明瞭な透明帯が観察される。この丸印と中心の間には細い輪紋が複数形成されており、個体や海域によっては比較的太い透明帯が観察される場合もある（図2-aの三角印）。こ

表1 マダラの生物測定データの概要

海域名称	主な漁場	主な漁業	対象期間（年度）	標本数	尾叉長（mm）			平均体重 (g)
					平均値	最小値	最大値	
釧路沖	釧路市～厚岸町沖合	沖合底びき網	1996～2015	989	556.7	269	1,110	2,525
網走沖	北見大和堆南縁	沖合底びき網	2000～2015	1,409	536.9	298	880	2,086
道北日本海	稚内市、礼文島沖～武蔵堆	沖合底びき網・刺し網	1999～2015	1,062	614.0	285	1,095	3,126
道西日本海	雄冬岬沖	沖合底びき網・刺し網	1998～2015	1,178	684.7	282	1,045	4,385
後志南部沖	島牧村沖	刺し網・底建網	1992～1994, 2006	186	721.6	351	1,079	4,022

これらの輪紋は、1歳輪（丸印）までの距離が相対的に短いことから読輪しないとされる（服部ら、1992）。この年級群がほぼ2歳となる2015年12月に採集された個体の耳石薄片標本（図2-b）では、満1歳時と比べ両端が顕著に伸長し外縁に透明帯が形成されている（図中の矢印）。個体や海域によっては、これら矢印までの伸長がさほど大きくななく3歳輪にかけ大きく伸長している場合もある。以上の2歳輪までの読輪ポイントは服部ら（1992）と同様であるが、服部ら（1992）が3歳以降の読輪ポイントを耳石肥厚方向（図2に向かって上側）に規則的に形成される透明帯を示しているのに対し、本資料で用いた薄片標本では、とくに高齢魚において観察が困難であった。そこで、本資料における3歳以上の読輪は、図2-cに矢印で示すとおり、図に向かって右方向に細かい輪紋が不透明帯を形成した後、輪紋の配列方向が変化して透明帯を形成していく一連のパターンを観察することで、透明帯の位置を見定めることとした。これにより観察される透明帯は服部ら（1992）が示す肥厚方向の輪紋と対応していることから、これを3歳以上の読輪方法とした。

マダラの体長については、一般的には被鱗体長を計測する場合が多いが、北海道水産試験場では、マダラの被

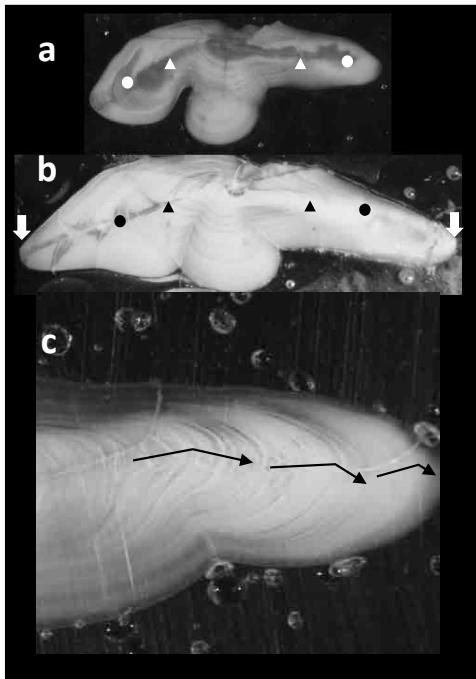


図2 マダラの耳石横断薄片

図中の丸印は1歳時の透明帯の位置、三角印は読輪しない透明帯の位置、矢線は3歳期以降の輪紋の形成パターンを示している。

a:1歳 (2015年4月道西日本海・体長203mm)

b:2歳 (2015年12月道西日本海・体長326mm)

c:5歳 (2015年12月道西日本海・体長585mm)

鱗体長は尾柄部付近の後端位置を定義にくいため、業務を担当する職員の変更などにより人為的な測定バイアスが生じる可能性を考慮して、尾叉長（mm）を計測している場合が多く、本資料における体長には尾叉長を用いた。一方、尾叉長ではなく被鱗体長や全長データのみの年もあり、また、本資料での結果を道外の被鱗体長計測に基づく知見と対比することを想定して、尾叉長に対する被鱗体長および全長との関係を、それらすべての項目を計った標本のデータに基づき、それぞれ次式により推定して用いた。

$$\text{尾叉長 (mm)} = 1.07 \times \text{被鱗体長 (mm)} + 3.72$$

$$\text{尾叉長 (mm)} = 0.98 \times \text{全長 (mm)} + 1.29$$

ALKの体長階級幅は5cmと定めた。性別は生殖腺の外観観察に基づいて決定した。以降、本資料では尾叉長を単に「体長」と称する。

雌雄間で成長や寿命に差がある場合、それがALK全体に及ぼす影響が大きくなるため、各階級の雌雄比を比較した。

漁獲物の各年齢と体長との関係を検討した。ひとつの年齢の体長範囲は複数の出荷規格にまたがっているため、その体長平均値は、標本採集時に出荷が多く標本購入し易かった規格の体長範囲に偏っている可能性がある。そのバイアスを軽減させるため、各年・各年齢に対する体長の代表値には、平均値ではなく中央値（median）を用いた。

結 果

本資料で対象としたマダラ標本の年齢は、最も若い個体は1歳で、10歳以上と判断された個体が23個体あった。すべての期間を通した体長階級に対する年齢頻度分布（ALK）について、標本数の多い主要な漁獲サイズである尾叉長400mm台から700mm台の年齢は、主に3~7歳で構成されていた（図3）。標本採集数の少ない400mm未満のサイズでは2歳が多くを占めており、海域や年代によっては400mm未満の漁獲量が相対的に多い場合があることをふまえると、漁獲物の年齢としては2~7歳が中心といえる。8歳以上の高齢魚は概ね700mm台より大きいサイズにみられた。

ALKは海域ごとに特徴があった。釧路沖、網走沖、道西日本海のALKは比較的類似していたが、道北日本海のALKは同じ体長階級で比較した場合、これらの海域よりも高齢魚の割合が高く、前者で7歳以上が大半を占めたのは800mm台より大型であったのに対し、道北日本海では650mm台からであった。後志南部海域は最も高齢に偏った組成となっており、500mm台以上で50%

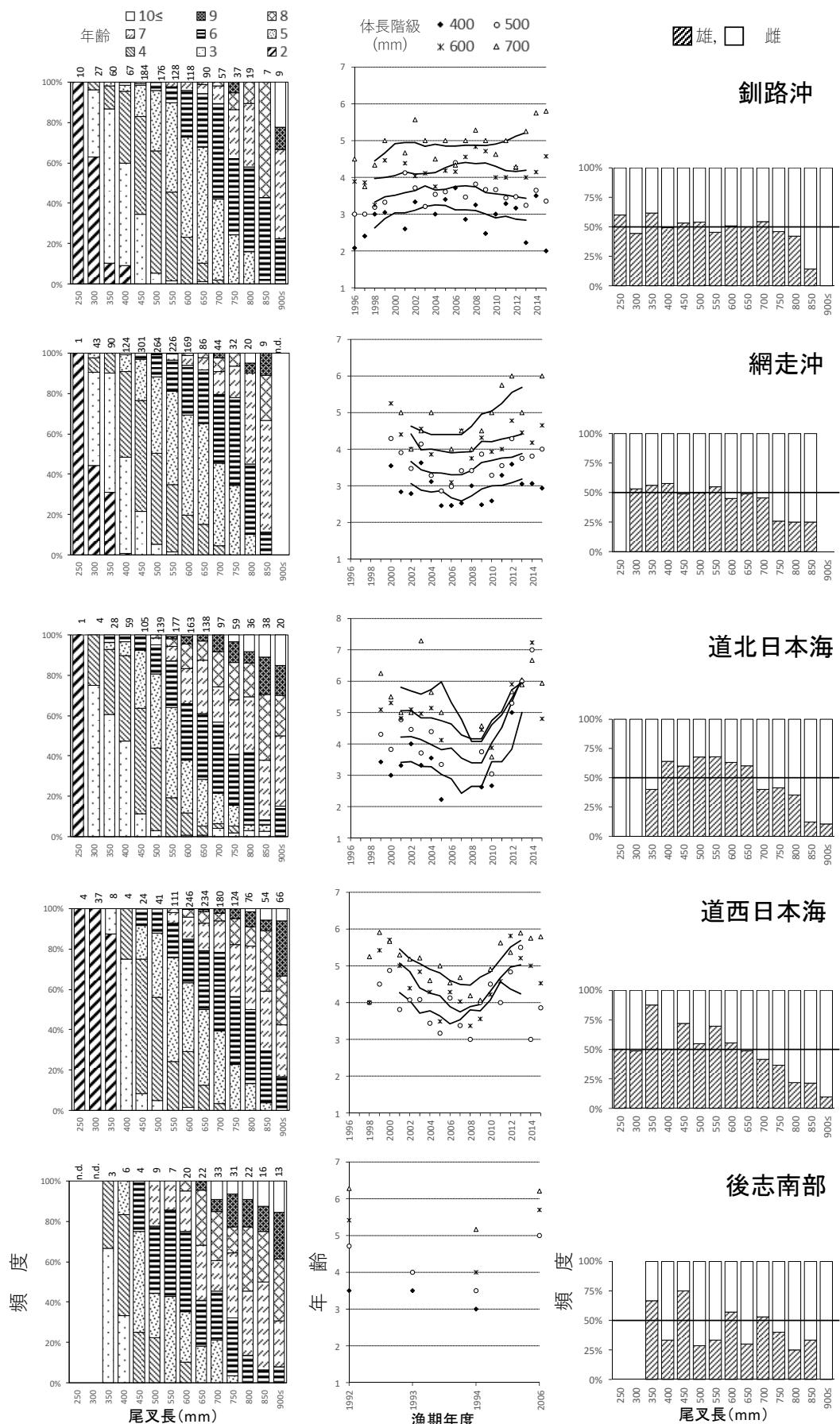


図3 北海道周辺海域におけるマダラ漁獲物の体長、年齢、および雌雄比。左列：体長-年齢関係（Age-Length Key）。中央列：体長階級（400, 500, 600, 700mm台）ごとの平均年齢（点）とその5年移動平均（線）の推移。右列：体長階級ごとの雌雄比。なお、左列各図の上部の数値は標本数、ndは標本数がないことを示す。

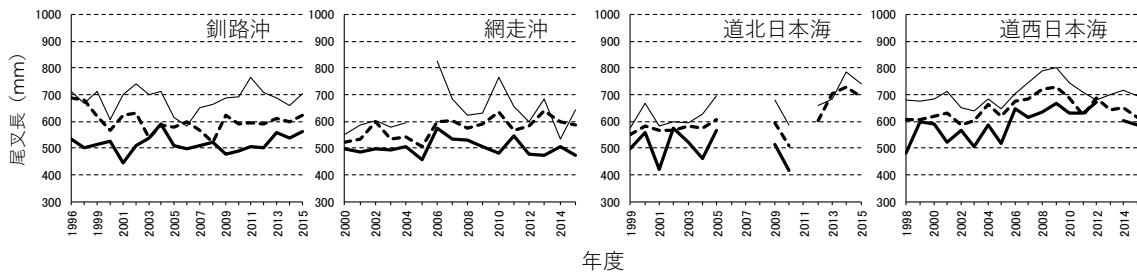


図4 主要な年齢群の体長範囲における中央値の年変化
太線：3歳、破線：4歳、細線：5歳

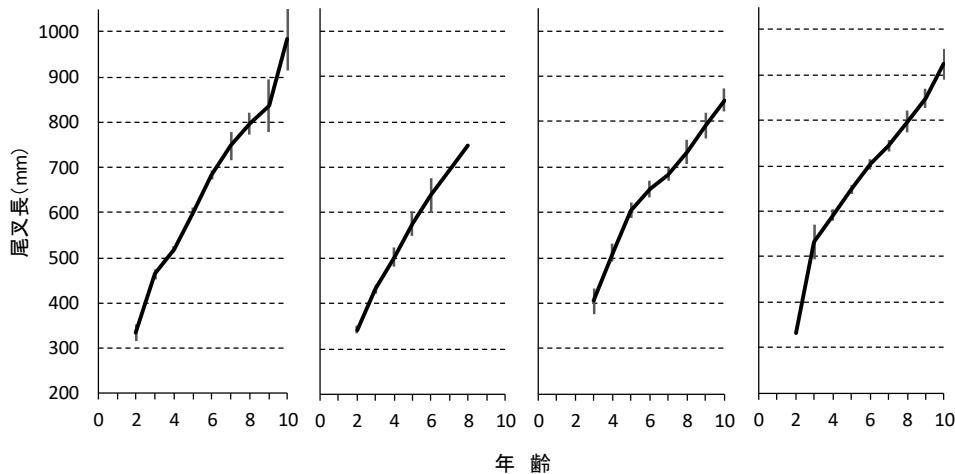


図5 各海域の漁獲物の成長傾向（縦線は平均値の標準誤差）

前後が6歳以上と、マダラ成魚としては中～小型の個体についても比較的高齢であることが多かった。

釧路沖では2000年代半ばにかけて400mm台から順に緩やかに平均年齢が高くなる傾向がみられ、2000年代半ば以降は700mm台を除き平均年齢が低くなる傾向があった（図3）。網走沖、道西日本海の2000年以降の変動傾向は似ており、釧路沖とは反対に、2000年代半ばにかけて平均年齢が低下し、それ以後は急激に高くなる傾向がみられた。道北日本海については平均年齢が低下から増加に転じた2000年代後半の標本データがないため、推移の詳細な特徴はわからないが、道西日本海と同様に2012年に顕著に各階級の高齢化がみられた。

各階級の雌雄比は、700mm前後までは、標本数の少ない階級でばらつきはあるものの概ね1対1であった。ただし、道北日本海では400～600mmで雄の割合がやや高い傾向があった。700mm以上ではいずれの海域でも雌の割合が高くなる傾向があった。

年齢ごとの体長中央値の経年変化からは、いずれの海域も傾向的な変化は見られなかった（図4）。海域ごとに各年の体長中央値を平均して年齢に対する体長の変化を

みると、網走沖と道北日本海の違いは小さく、それらに比べ道西日本海では3歳時点での体長は大きいが、その後の成長量は小さかった。釧路沖では5歳以上でも成長はほとんど鈍化していなかった（図5）。

考 察

資料活用に際しての留意点 マダラの耳石断面の観察による年齢決定が難しいことは広く認識されており、ある程度の確度で年齢を決定するためには相当の熟練や経験を要し、北海道水試が研究対象とする主要資源のなかでは最も年齢決定の難しい種の一つであると考えられる。アラスカ産の太平洋マダラでは、耳石に蓄積された酸素安定同位体分析により得られた“正解”の年齢と薄片断面の観察によって決定した年齢の合致率は約61%であり、1齡分を過大もしくは過小に判断していた個体が多くいた（Kastelle et al, 2017）。そのため、本資料にとりまとめた年齢情報にもある程度の誤差が伴っていると考えられる。今後、Kastelle et al. (2017)と同様の耳石成分分析に基づく方法や、標識放流により経過年数が既知の個体

の輪紋パターンを分析するなど、別の年齢決定方法を併用していくと、年齢情報の確度をより高めていくことが可能である。

本資料では定法に基づいて暗視野下で耳石薄片を観察したが、これを明視野下（プレパラート下側からの透過光）で観察すると、不透明帯と透明帯とのコントラストが鮮明になり、服部ら（1992）が示した耳石肥厚方向に形成される年輪も比較的明瞭に観察できる。一方で、不規則な細かい輪紋まで観察されるようになるため、観察に不慣れな場合は輪紋を過大に計数する可能性もある。複数名による読輪結果や同一個体に対する両方法での読輪結果を対比することで、結果の再現性が高い観察方法を吟味していく必要がある。

本資料に示したALKや体成長の特徴を解釈する際に、漁獲物標本の採集方法に伴うバイアスを考慮する必要がある。用いた標本の中で最も若い年齢は2歳であったが、各海域では1歳魚を含むさらに小型の漁獲物が水揚げされることがあり、これを標本採集していない場合が多いことから、2歳の体長組成や平均値は、標本採集できた小さい出荷規格の体長範囲に偏った値となっている可能性がある。そのため、2歳期までの成長傾向を論じるには、調査船によるトロール調査でサイズ無選択に採集された標本の体長組成を分析するなど、新たな情報を補完する必要がある。また、大型魚の雌雄比が雌に偏る傾向が各海域でみられたが、これには、「1尾入」など大型個体では雌雄別に規格化されたものが多く、雄より市場価値の低い雌の方が標本購入しやすいといった標本抽出のバイアスが生じている可能性がある。そのため、700mmより大型の個体の雌雄比については、各産地の荷受け資料などから雌雄別の漁獲尾数を把握し改めて分析する必要がある。

今後の研究展望について 北海道周辺で漁獲されるマダラのALKは、海域間、年代間で一様でないこと、日本海およびオホーツク海と、道東太平洋海域とでは、いずれも2000年代半ばを境に相反する傾向で変化したことが示された。これら各海域のALK数値を、今後の資源評価や研究展開に資する情報として、2005年以前と2006以後について、また、年齢に対する平均尾叉長（図5）の数値を、付表1、2にそれぞれ記す。

各海域のALKは年代で大きく異なった。ALKが年代で変化する要因としては、個体の成長傾向が年代で変化する、年級群豊度が年代で変化する、他海域との大規模な移出入などが挙げられる。各海域ともに年齢と体長中央値との関係に傾向的な年変化は認められなかったことから（図4）、成長傾向の年代変化は大きくないと考えられる。一方、釧路沖では各体長階級の平均年齢が2000年

代半ばから低下傾向になっていたが（図3）、同海域では2000年代半ば以降に漁獲量が著しく増加した。これらの状況から、年級群豊度（新規加入量）が増加傾向となつたことで、資源の年齢構成が相対的に若齢魚に偏り、小さい体長階級の平均年齢が低下傾向となって、それが年を経るごとにより大きい階級での変化傾向として伝搬していく可能性がある。網走沖、道北日本海、道西日本海の平均年齢は、2000年代半ばに低下し、それ以降は顕著に高齢化していた。日本海では、2005年級群が高豊度で発生したものの、後続年級の豊度は低調で推移したことがわかつており（田中伸幸[http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/\(2017\)](http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/(2017))）（2017年6月9日），このような年齢構成の変化がALKに反映されたと考えられる。また、道北・道西日本海における2012年頃の平均年齢の上昇は、上記のような年齢構成の変化では説明できない急激な変化であるため、他海域との移出入を考慮する必要がある。これについては、後志南部海域のALKが他海域より著しく高齢に偏っていることから、後志南部海域に分布する資源がこの時期に突発的に道西・道北日本海に分布を移した可能性を指摘できる。後志南部海域における漁獲物の年齢組成情報は2年代分しか得られていないため、今後は同海域での情報の充実を図る必要がある。以上のことから、ALKを資源評価に際し年齢別漁獲尾数の算定等に活用する場合には、体長階級に対する年齢構成比が年代によって大きく変化することを踏まえて、できるだけ年・年代ごとのALK情報に基づき体長組成を分解することが望ましいと考えられる。

年齢と漁獲物体長との関係には海域間で違いが認められ、とくに道西日本海は3歳にかけての成長量が他海域より大きく、5歳以降では釧路沖の漁獲物の成長量が大きかった。道北日本海では2歳の体長推定値が得られなかつたが、主漁場である武蔵堆周辺で採集された標本に対し、服部ら（1992）、三宅・中山（1991）が年齢・成長関係を報告している。服部ら（1992）は武蔵堆の満2歳時の平均体長を約300mmと記しており、尾叉長では300mm台前半に相当する。三宅・中山（1991）は、冬季のはえなわ漁業による漁獲物体長組成の混合正規分解により、最も小さい体長モードを標準体長34.5cm（尾叉長300mm台後半）としていることから、この値が満2歳に対応しているとみられる。

北海道周辺のマダラ仔稚幼魚の成長生態に関する研究事例はないため、幼魚期の成長傾向や、成長に影響する餌生物の条件などの詳細は不明であるが、陸奥湾産のマダラ仔稚魚は*Pseudocaranus*や*Oithona*のノープリウスを摂食し70mm以上からヨコエビや魚類にシフトし成長し

ていくことが明らかとなっており (Takatsu et al, 1995), 北海道においても若齢期はこれと同様の生活史を送ると考えられる。また、飼育実験によりマダラ稚幼魚の成長におよぼす水温の影響を調べた事例では、水温10°C台前半までは水温が高いほど代謝と摂食行動が活発となり成長速度が大きくなるが、それ以上の水温では斃死やストレスを受ける個体が増えるため、概ね8°C台が成長と生残のバランスの観点で最適水温帯であることが報告されている (Hurst, 2010; Park and Kim, 2016)。マダラは北海道周辺の漁獲状況から若齢期は大陸棚以浅に分布するとみられるが、道西日本海は対馬暖流の影響でオホーツク海（網走沖）や太平洋（釧路沖）より、陸棚以浅の年間水温推移が高い（気象庁：http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index_subt.html (2017)）（2017年6月9日）。また、太平洋北東岸（カナダからアラスカ沖）のマダラでは、低緯度海域の資源が高緯度海域に比べて若齢期の成長・成熟が早く、成長の鈍化も早いことが明らかになっている (Ormseth and Norcross, 2009)。同属の大西洋マダラでも同様の傾向があり、生息水温の違いが原因とされているが（例えばBrander, 1994），Ormseth and Norcross (2009) は、水温の直接作用よりは成長できる季節の長短の違いが大きいと指摘している。これらのことから、北海道周辺のマダラにおいても若齢期の体成長に生息水温等が影響し、成長量に海域差をもたらしている可能性がある。

釧路沖の5歳以上の成長量が他海域より大きい傾向があった。マダラは魚食性であるため、大型になるほど体成長には生息海域での餌生物量が豊富であることが必要条件になると考えられる。これまでの漁獲物調査で胃中からは、スケトウダラ、ホッコクアカエビ、ニシンなど底生生物が確認されている。なかでも出現頻度の高いスケトウダラ (Yamamura, et al, 1993) の資源量は、本資料の対象期間である1990年代後半以降、太平洋では100万トン前後で安定して推移しているのに対し（船本ら, 2017），日本海では1990年代に約50万トンから急減し2015年度には10万トン以下と推定されている（山下ら, 2017）。釧路沖の漁獲物に認められた5歳以降の大きな成長は、スケトウダラを初めとした主要餌種の生物量に起因しているかもしれない。

以上のように、漁獲物の成長傾向にみられた特徴と背景について研究を展開していくことは、本種の生態への理解を深化させるうえで大きな意義があろう。若齢期に形成された耳石輪紋パターンの比較検討や水温分布の経年値との対応分析、本資料で示した海域以外で漁獲量の多い、根室海峡海域や道南太平洋での漁獲物の成長特性を把握して、さらには東北太平洋・本州日本海海域の傾

向と比較するなど、周辺海域全体での検討を進めていくことが重要である。

謝 辞

本資料にとりまとめたマダラの生物測定データを長年にわたり継続収集してきた、北海道水産試験場の歴代担当職員の労に敬意と謝意を表します。また、本稿のとりまとめにあたり、査読者および編集者には多くのアドバイスをいただきましたことを重ねて感謝します。

沖合底びき網の漁獲物の多くは、水産庁委託事業「我が国周辺水域漁業資源調査」の契約に基づき購入したものである。

引用文献

- Brander KM. Patterns of distribution, spawning, and growth in North Atlantic cod: the utility of inter-regional comparisons *ICES mar. Sei. Symp.* 1994; 198: 406–413.
 船本鉄一郎, 千村昌之, 山下夕帆, 田中寛繁, 石野光弘. 平成28 (2016) 年度スケトウダラ太平洋北部系群の資源評価. 平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊. 水産庁増殖推進部・国立研究開発法人水産研究・教育機構, 東京. 2017; 407–453.
 服部 努, 桜井泰憲, 島崎健二. マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. 日水誌 1992; 58(7): 1203–1210.
 星野 昇. 北海道日本海産マダラにおける漁獲物年齢組成の推定方法. 北水試研報 2010; 77: 35–44.
 Hurst TP, Laurel BJ, Ciannelli L. Ontogenetic patterns and temperature-dependent growth rates in early life stages of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *Fish. Bull.* 2010; 108: 382–392.
 Kastelle CR, Helser TE, McKay JL, Johnston CG, Anderl DM, Matta ME, Nichol DG. Age validation of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) using high-resolution stable oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) chronologies in otoliths. *Fish. Res.* 2017; 185: 43–53.
 三宅博哉・中山信之. 日本海武藏堆海域のマダラの年齢と成長. 北水試研報 1991; 37: 7–25.
 成松庸二, 服部 努, 鈴木勇人, 柴田泰宙, 永尾次郎. 平成28 (2016) 年度マダラ太平洋北部系群の資源評価. 平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価第2分冊. 水産庁増殖推進部・国立研究開発法人水産研究・教育機構, 東京. 2017; 958–985.
 Ormseth OA, Norcross BL. Causes and consequences of

- life-history variation in North American stocks of Pacific cod. *ICES J. Mar. Sci.* 2009; 66: 349–357.
- Park J, Kim PK. The effect of water temperature on growth performance and hematology of Pacific cod *Gadus macrocephalus* reared in land-based culture tanks. *Fish. Sci.* 2016; 82(6): 953–960.
- 桜井泰憲, 福田慎作. 陸奥湾に来遊するマダラの年齢と成長. 青森水増セ研報 1984; 3: 9–14.
- Takatsu T, Nakatani T, Mutoh T, Takahashi T. Feeding habits of Pacific cod larvae and juveniles in Mutsu Bay, Japan. *Fish. Sci.* 1995; 61: 415–422.
- 山下夕帆, 田中寛繁, 千村昌之, 石野光弘. 平成28 (2016) 年度スケトウダラ太平洋北部系群の資源評価. 平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊. 水産庁増殖推進部・国立研究開発法人水産研究・教育機構, 東京. 2017; 299–362.
- Yamamura O, Watanabe K, Shimazaki K. Feeding habits of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, off eastern Hokkaido, north Japan. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 1993; 6: 44–54.

付表1 北海道周辺主要海域におけるマダラの体長階級ごとの年齢割合

釧路沖 (全期間)									(~2005年度)									(2006~2015年度)								
尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤	尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤	尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤			
250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	250-300	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
300-350	0.630	0.333	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	300-350	0.630	0.333	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	300-350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
350-400	0.100	0.767	0.117	0.017	0.000	0.000	0.000	350-400	0.102	0.763	0.119	0.017	0.000	0.000	0.000	350-400	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000	0.000			
400-450	0.090	0.507	0.358	0.030	0.015	0.000	0.000	400-450	0.097	0.516	0.339	0.032	0.016	0.000	0.000	400-450	0.000	0.247	0.562	0.180	0.000	0.011	0.000			
450-500	0.000	0.342	0.489	0.152	0.011	0.005	0.000	450-500	0.000	0.432	0.421	0.126	0.021	0.000	0.000	450-500	0.000	0.065	0.674	0.239	0.022	0.000	0.000			
500-550	0.000	0.051	0.608	0.301	0.040	0.000	0.000	500-550	0.000	0.053	0.443	0.475	0.033	0.016	0.000	500-550	0.000	0.000	0.433	0.418	0.119	0.030	0.000			
550-600	0.000	0.016	0.438	0.445	0.078	0.023	0.000	550-600	0.000	0.000	0.267	0.450	0.250	0.033	0.000	600-650	0.000	0.000	0.190	0.552	0.207	0.052	0.000			
600-650	0.000	0.000	0.229	0.500	0.229	0.042	0.000	650-700	0.000	0.011	0.089	0.578	0.267	0.044	0.011	650-700	0.000	0.000	0.045	0.500	0.364	0.068	0.023			
700-750	0.000	0.000	0.018	0.404	0.474	0.088	0.018	700-750	0.000	0.000	0.038	0.423	0.538	0.000	0.000	700-750	0.000	0.000	0.000	0.387	0.419	0.161	0.032			
750-800	0.000	0.000	0.000	0.243	0.378	0.243	0.135	750-800	0.000	0.000	0.000	0.286	0.429	0.143	0.143	750-800	0.000	0.000	0.000	0.217	0.348	0.304	0.130			
800-850	0.000	0.000	0.000	0.158	0.421	0.316	0.105	800-850	0.000	0.000	0.000	0.214	0.429	0.214	0.143	800-850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000			
850-900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.429	0.000	0.571	850-900	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.500	0.000	850-900	0.000	0.000	0.000	0.333	0.000	0.667	0.000			
900-950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.222	0.444	0.333	900-950	0.000	0.000	0.000	0.286	0.429	0.286	0.000	900-950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000			
網走沖 (全期間)									(~2005年度)									(2006~2015年度)								
尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤	尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤	尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤			
250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	250-300	0.475	0.475	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000			
300-350	0.442	0.465	0.070	0.023	0.000	0.000	0.000	300-350	0.000	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	300-350	0.475	0.475	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000			
350-400	0.311	0.589	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	350-400	0.091	0.455	0.455	0.000	0.000	0.000	0.000	350-400	0.342	0.608	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000			
400-450	0.008	0.476	0.427	0.081	0.008	0.000	0.000	400-450	0.000	0.370	0.543	0.065	0.022	0.000	0.000	400-450	0.013	0.538	0.359	0.090	0.000	0.000	0.000			
450-500	0.000	0.216	0.548	0.206	0.030	0.000	0.000	450-500	0.000	0.188	0.550	0.228	0.034	0.000	0.000	450-500	0.000	0.243	0.546	0.184	0.026	0.000	0.000			
500-550	0.000	0.053	0.451	0.379	0.110	0.004	0.004	500-550	0.000	0.027	0.381	0.449	0.129	0.007	0.007	500-550	0.000	0.085	0.538	0.291	0.085	0.000	0.000			
550-600	0.000	0.013	0.336	0.460	0.155	0.031	0.004	550-600	0.000	0.000	0.270	0.440	0.240	0.040	0.010	550-600	0.000	0.024	0.389	0.476	0.087	0.024	0.000			
600-650	0.000	0.000	0.195	0.497	0.249	0.047	0.012	600-650	0.000	0.000	0.158	0.447	0.316	0.053	0.026	600-650	0.000	0.000	0.206	0.511	0.229	0.046	0.008			
650-700	0.000	0.000	0.151	0.500	0.267	0.058	0.023	650-700	0.000	0.000	0.000	0.769	0.154	0.000	0.077	650-700	0.000	0.000	0.178	0.452	0.288	0.068	0.014			
700-750	0.000	0.000	0.045	0.409	0.341	0.114	0.091	700-750	0.000	0.000	0.000	0.333	0.500	0.167	0.000	700-750	0.000	0.000	0.053	0.421	0.316	0.105	0.023			
750-800	0.000	0.000	0.000	0.344	0.438	0.156	0.063	750-800	0.000	0.000	0.000	0.300	0.250	0.200	0.250	750-800	0.000	0.000	0.000	0.300	0.467	0.167	0.067			
800-850	0.000	0.000	0.000	0.100	0.350	0.450	0.100	800-850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	800-850	0.000	0.000	0.000	0.100	0.350	0.450	0.100			
850-900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.556	0.333	850-900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	850-900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.167	0.667	0.167			
900-950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	0.350	0.500	900-950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	900-950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.231	0.385	0.385			
道北日本海 (全期間)									(~2005年度)									(2006~2015年度)								
尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤	尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤	尾叉長 (mm)	2	3	4	5	6	7	8≤			
250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	250-300	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
300-350	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	300-350	0.000	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	300-350	0.475	0.475	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000			
350-400	0.000	0.607	0.321	0.036	0.036	0.000	0.000	350-400	0.091	0.455	0.455	0.000	0.000	0.000	0.000	350-400	0.342	0.608	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000			
400-450	0.000	0.475	0.424	0.068	0.034	0.000	0.000	400-450	0.000	0.325	0.525	0.100	0.050	0.000	0.000	400-450	0.013	0.538	0.359	0.090	0.000	0.000	0.000			
450-500	0.000	0.114	0.524	0.284	0.076	0.000	0.000	450-500	0.000	0.090	0.512	0.305	0.085	0.000	0.000	450-500	0.000	0.243	0.546	0.184	0.026	0.000	0.000			
500-550	0.000	0.029	0.410	0.367	0.144	0.036	0.014	500-550	0.010	0.353	0.402	0.176	0.039	0.020	0.000	500-550	0.000	0.085	0.538	0.291	0.085	0.000	0.000			
550-600	0.000	0.000	0.192	0.446	0.232	0.073	0.056	550-600	0.000	0.022	0.225	0.442	0.246	0.065	0.007	550-600	0.000	0.000	0.077	0.462	0.179	0.103	0.077			
600-650	0.000	0.006	0.111	0.259	0.284	0.173	0.167	600-650	0.000	0.015	0.264	0.321	0.189	0.066	0.009	600-650	0.000	0.018	0.036	0.250	0.214	0.143	0.339			
650-700	0.000	0.007	0.043	0.232	0.326	0.268	0.123	650-700	0.000	0.038	0.228	0.392	0.291	0.025	0.025	650-700	0.000	0.017	0.051	0.237	0.237	0.237	0.220			
700-750	0.000	0.041	0.021	0.155	0.175	0.175	0.028	700-750	0.000	0.023	0.186	0.349	0.209	0.209	0.023	700-750	0.000	0.074	0.019	0.130	0.352	0.148	0.278			
750-800	0.000	0.017	0.034	0.102	0.254	0.271	0.177																			

付表2 北海道周辺主要海域におけるマダラ漁獲物の年齢別平均体長 (mm)

海域	年齢									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10≤	
釧路沖	334	463	518	602	683	748	798	836	984	
網走沖	343	431	503	576	638	695	747			
道北日本海		405	511	605	652	683	733	791	847	
道西日本海	331	531	592	648	704	744	798	849	924	

マツカワ神経壊死症ウイルス遺伝子検出のためのone-step RT-PCR法の検討；従来法two-step RT-PCR法との感度の比較（資料）

伊藤慎悟*

北海道立総合研究機構中央水産試験

A comparison of the sensitivity of one- and two-step RT-PCR methods for the detection of the barfin flounder nervous necrosis virus gene (Note)

SHINGO ITO*

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

キーワード：マツカワ神経壊死症ウイルス， one-step RT-PCR法， two-step RT-PCR法， 感度

北海道立総合研究機構中央水産試験場（旧北海道立中央水産試験場）では1994年からマツカワ神経壊死症ウイルス（以下BFNNV）のT4領域の検出にtwo-step RT-PCR法が採用されてきた（北海道立中央水産試験場 1995）。しかし、two-step RT-PCR法は操作が煩雑なため、人為的なコンタミネーション（タカラバイオ 2017）や操作手順のミスなどを起こす危険性がある。そこで、操作が簡易なone-step RT-PCR法に移行するために、現在実施しているtwo-step RT-PCR法と感度を比較し、one-step RT-PCR法の条件を検討した。

材料と方法

従来のtwo-step RT-PCR法とキットの説明書の条件で実施したone-step RT-PCR法の感度の比較 two-step PCR 法にはGeneAmp[®] RNA PCR Core Kit（ライフテクノロジーズ）を使用した。プライマーはNishizawa et al.(1994)に記載のT4領域を検出するためのForward primer (F2)とReverse primer (R3)を使用した。逆転写は以下の手順で実施した。10×PCR Buffer II 0.975μLに、塩化マグネシウムを終濃度0.975μM、dATP、dCTP、dGTP、dTTPを 各0.975μM、RNase Inhibiterを1U/μL、MuLV Reverse Transcriptaseを0.49U/μL、Reverse primer (R3)を0.51μM、テンプレート1μLを加え、RNase Free dH₂Oで10μLとした後、42℃で15分間逆転写した。その後、99℃で5分間の処理で逆転写酵素を失活させた後、PCR

法に供するまで4℃で保冷した。PCR法は以下の手順で実施した。逆転写後のサンプル10μLに10×PCR Buffer II を3.925μL加え、塩化マグネシウム濃度を0.985μM、AmpliTaq[®] DNA Polymeraseを0.025U/μL、Forward primer(F2)を0.985μMとなるように添加し、RNase free dH₂Oで50μLとしてPCR反応液とした。このPCR反応液に対し、Initial denaturationを95℃で2分間実施した後、PCRサイクル（Denatureを95℃で15秒、Annealを60℃で30秒）を35回実施し、Final extensionを72℃で7分間行い、4℃で冷却した。その後、電気泳動を行うまで-25℃で保存した。

One-step RT-PCR法にはPrimeScript[™] One Step RT-PCR Kit Ver.2（タカラバイオ）を使用した。プライマーはtwo-step RT-PCR法と同じプライマーを使用した。逆転写及びPCR法は以下の手順で実施した。Prime Script 1step Enzyme Mixを2μL、2×1 step Bufferを25μL加え、Forward primer(F2)とReverse primer(R3)を各0.4μMとなるように添加し、テンプレートを1μL加え、RNase free dH₂Oで50μLにして反応液とした。この反応液を50℃で30分間逆転写を行い、94℃で2分間加熱して、逆転写酵素を失活させたのち、PCRサイクル（Denatureを94℃で30秒、Annealを55℃で30秒、Extensionを72℃で1分間）を35回実施後、4℃に冷却した。その後、電気泳動を行うまで-25℃で保存した。ここでAnneal温度はNishizawa et al.(1994)に従った。

なお、テンプレートはBFNNVに罹患したマダラ脳か

らセパジーン（エーディア）で抽出した核酸をDW₂で10⁰（原液）～10⁶倍希釈したものを用いた。また、陰性対照としてはRNase free dH₂Oを加えたものを使用した。電気泳動は2%アガロースゲルで泳動を行い、標的遺伝子の増幅状況を確認した。

one-step PCR法のAnneal温度の検討 one-step RT-PCR法のAnneal温度を55℃、58℃、60℃、62℃に変えて増幅を行い、標的遺伝子の増幅状況を確認することで、非特異増幅産物の増幅されないアニーリング温度を検討した。なお、テンプレートはBFNNVに罹患したマダラ脳からセパジーン（エーディア）で抽出した核酸をDW₂で10⁰（原液）～10⁶倍希釈したものを用いた。

one-step PCR法のプライマー濃度の検討 one-step PCR法のプライマー濃度を0.15, 0.2, 0.4μMとし、標的遺伝子の増幅状況を確認することで、非特異増幅産物の増幅されないプライマー濃度を検討した。使用したテンプレートはBFNNVに罹患したマダラ脳からセパジーン（エーディア）で抽出した核酸をDW₂で10⁰（原液）～10⁶倍希釈したものを用いた。なお、さらに手順を簡便化するために、ここではPCRサイクルをtwo-step PCR法と同様の条件で行った（Denature温度95℃ 15秒、Anneal 温度60℃ 30秒、Extensionを省略）。

結 果

従来のtwo-step RT-PCR法とキットの説明書の条件で実施したone-step RT-PCR法の感度の比較 従来法であるtwo-step RT-PCR法と簡易法のone-step RT-PCR法で両者とも10⁴倍希釈したサンプルまで増幅産物が確認された。one-step RT-PCR法では目的とした増幅産物以外にも2本の非特異増幅産物が検出された（図1）。

one-step PCR法のAnneal温度の検討 Anneal温度を58～60℃にした場合においても、説明書条件の55℃の時と同じ位置に実験1と同様に非特異増幅産物が検出された（データ略）。また、62℃ではBFNNVのRNAのT4領域に相当するバンドの濃さが他に比べて薄かった。

one-step PCR法のプライマー濃度の検討 プライマーの終濃度0.15μMでは、従来のtwo-step PCRと同様に、非特異バンドもなく、テンプレートの希釈率10⁰～10⁴倍希釈まで特異増幅産物のバンドが確認された（図2）。一方、プライマー終濃度0.2と0.4μMでは「従来のtwo-step RT-PCR法とキットの説明書の条件で実施したone-step RT-PCR法の感度の比較」同様の非特異増幅産物が検出された（データ略）。今回確立したone-step PCR法の概要を図3と表1に示した。

なお、今回の実験は最終液量50μLで実施したが、追加試験で、最終液量20μLでも同様の結果が得られた。

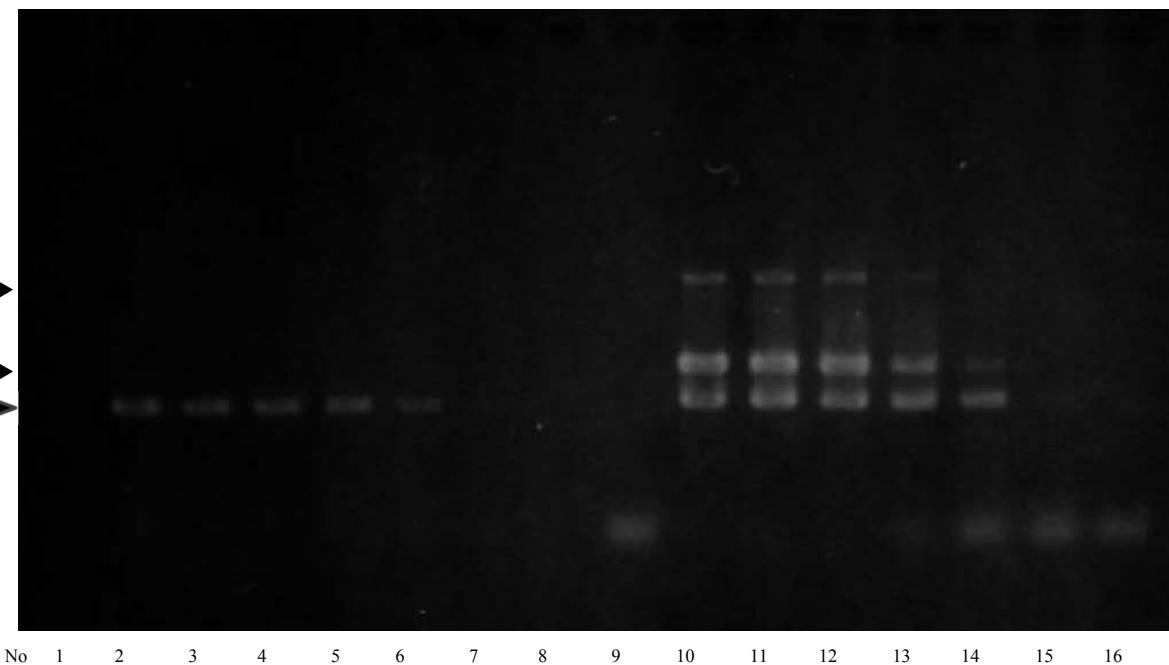


図1 プライマー濃度0.4μMのone-step RT-PCR法と従来法のtwo-step RT-PCR法との感度比較。

No 1～8はtwo-step RT-PCR産物の泳動結果（No 1：陰性対象、No 2～8：テンプレート希釈倍率10⁰～10⁶）、No 9～16はone-step RT-PCR産物の泳動結果（No 9：陰性対象、No 10～16：テンプレート希釈倍率10⁰～10⁶）、矢頭標的の増幅遺伝子、矢印 非特異増幅産物。

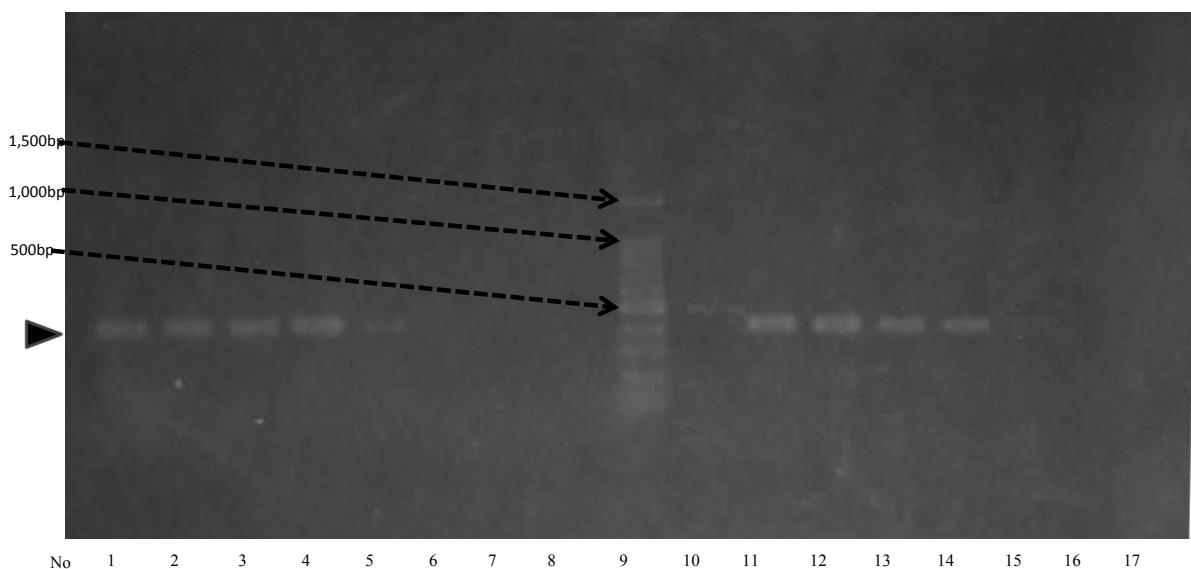


図2 One Step RT-PCR法のプライマー濃度を $0.15\mu\text{M}$ にしたときの既存の2step RT-PCR法との感度の比較
No1～7. One Step RT-PCR法での核酸抽出物の希釈倍率が原液 (No.1) $\sim 10^6$ 倍希釈 (No.7)、No8 空ウエル、
No9 マーカー (TaKaRa 100bp)、No10 隆性対照、No11～17.2step RT-PCR法での核酸抽出物の希釈倍率が原液
(No.11) $\sim 10^6$ 倍希釈 (No17), 矢頭 標的増幅産物 (426bp)

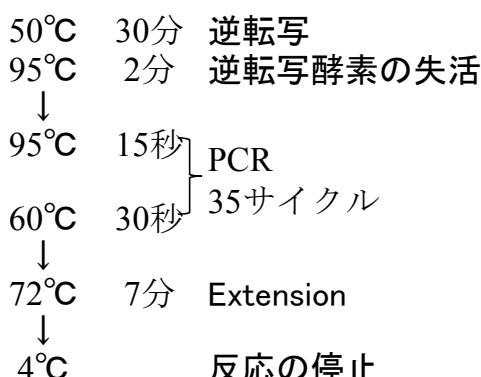


図3 PrimeScriptTM One Step RT-PCR Kit Ver.2 (タカラバイオ) を用いた場合のBFNNVのRT-PCR法の反応条件

表1 PrimeScriptTM One Step RT-PCR Kit Ver.2 (タカラバイオ) を使用したBFNNV のRT-PCR法の反応液の試薬

試薬名	添加量(μL)	終濃度
PrimeScript 1 step Enzyme Mix	2	0.8
2×1 step buffer	25	10
Forward primer($10\mu\text{M}$)	0.75	0.3
Reverse primer($10\mu\text{M}$)	0.75	0.3
RNase Free DW2	20.5	7.6
テンプレート	1	1
合計	50	20

考 察

現在、中央水産試験場のマツカワ種苗のBFNNV検査では渡辺と吉水（2002）によって発表された細胞培養法とtwo-step RT-PCR法を組み合わせた方法でウイルスの感染を確認している。two-step RT-PCR法の試薬キットは混ぜる試薬の濃度を個別に変更できるという利点がある一方で、マスターミックスなど自分で試薬の調製を行う必要があるため煩雑であり、あらかじめ大部分の試薬の調整が済んでいるone-step RT-PCRキットは作業的に簡易である。

これまで中央水産試験場では、two-step RT-PCRのマスターミックスを調整する際の試薬の入れ忘れで反応しなかったことが疑われ、検査が遅れたことがある。one-step RT-PCR法に移行することで作業が簡略化され、試薬の入れ忘れなどの危険性の減少も見込まれる。

今回の検討内容で一番重要なことは検出感度が従来の方法と遜色ないかである。one-step RT-PCR法でも感度については問題がないという結果が得られた。また、プライマー濃度が高い場合は、非特異増幅産物の増幅が確認できた。このように、濃度が不適切な場合は結果が曖昧になるという危険性もあると考えられる。今回の実験では、プライマーの終濃度が $0.15\mu\text{M}$ であれば、従来のtwo-step PCR法と同じ感度でおかつ非特異増幅産物が検出されないことが判った。これらの事から、BFNNVの検出手法をtwo-step RT-PCRからone-step RT-PCR法へ移行することが可能である。

引用文献

北海道立中央水産試験場, 6. 海産魚介類の原因不明疾病の究明と防除に関する研究「平成6年度北海道立中央水産試験場事業報告書」, 余市. 1995 : 171-174
タカラバイオ株式会社：“TaKaRa PrimeScriptTM One Step RT-PCR Kit Ver.2 説明書” Download from(http://catalog.takara-bio.co.jp/PDFS/rr055a_j.pdf) (2017.5.15)

Nishizawa T, Mori K, Nakai T, Furusawa I, Muroga K. Polymerase chain reaction (PCR) amplification of RNA of striped jack nervous necrosis virus (SJNNV). *Dis. Aquatic.Org.* 1994; 18 : 103-107
渡辺研一, 吉水守.細胞培養法とRT-PCR法を組み合わせた神経壞死症ウイルスの検出.日本水産学会誌 2002 ; 68(2) : 197-200

北海道日本海側河川に遡上したサケの最近の年級別回帰尾数（資料）

小山達也¹, 下田和孝¹, 青山智哉², 飯嶋亜内¹, 卜部浩一¹, 藤原 真¹, 宮腰靖之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さけます・内水面水産試験場道南支場

Age composition of chum salmon returning to rivers on the Sea of Japan side of Hokkaido from 2010 to 2016 (Note)

TATSUYA KOYAMA^{*1}, KAZUTAKA SHIMODA¹, TOMOYA AOYAMA², ANAI IIJIMA¹, HIROKAZU URABE¹, MAKOTO FUJIWARA¹ and YASUYUKI MIYAKOSHI¹

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

² Donan Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yakumo, Hokkaido 043-0402, Japan

キーワード：河川回帰尾数, サケ, 年級, 北海道

北海道日本海側のサケ *Oncorhynchus keta* の来遊数は全道の5パーセント前後とそのシェアは低いものの、秋の主要な漁業資源の一つとして重要であり、同地区における最近のサケ資源低迷要因を解明することは緊急を要する課題である。北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場では、サケの資源変動や放流魚の回帰状況をモニタリングするため、毎年、全道の28河川に遡上するサケの年齢組成を調べている（北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場, 2012～2017）。2010年以降は日本海側でのサケの年齢組成を調査する河川を増やし、同海区におけるサケの資源構造の把握に努めてきた。この取り組みを始めた当初の年齢組成を調べた結果、地理的に近い河川間では似通った年齢組成を示すことなどが報告されている（宮腰ら, 2011）。2010年からこうした年齢組成調査を続けた結果、2007年級から2010年級までの3年魚から6年魚までの回帰資源量のデータが蓄積してきた。本報告では、2010年以降の日本海側捕獲河川へのサケの年齢組成や回帰尾数について報告し、同地区的資源の低迷要因や今後の資源回復に向けた検討を行う上で資料を提供する。

材料と方法

調査河川と年齢査定 日本海側の捕獲河川におけるサケ

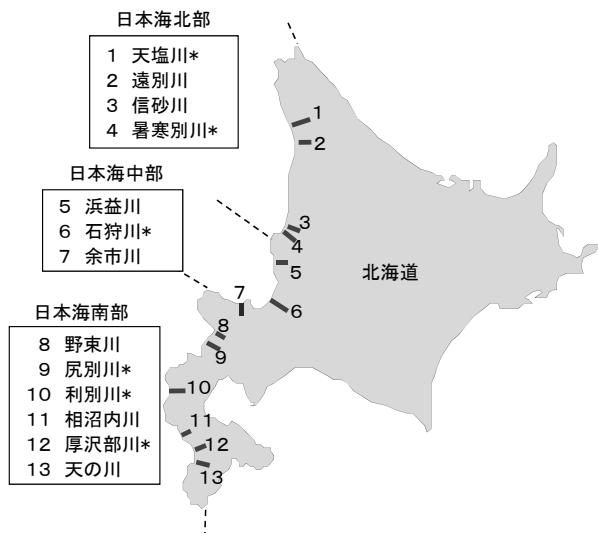


図1 北海道日本海側調査河川の位置

の遡上親魚を対象とした（図1）。日本海北部地区の天塩川、遠別川、信砂川、暑寒別川、中部地区の浜益川、石狩川、余市川、そして、南部地区の野東川、尻別川、利別川、相沼内川、厚沢部川、天の川、これら合計13河川について調べた。これらの河川のうち、図1中で*をつけた6河川はサケの資源評価のため、さけます・内水面水産試験場において「サケ資源動態・生物統計調査」として毎年、年齢組成を調査している河川であり（北海道

報文番号A550 (2017年8月4日受理)

*Tel: 0153-72-6141. Fax: 0153-72-5188. E-mail: koyama-tatsuya@hro.or.jp

表1 北海道日本海側における捕獲河川でのサケの捕獲期間と捕獲尾数

地区	河川 (捕獲場)	区分*1	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
			捕獲実施期間	捕獲尾数(尾)	捕獲実施期間	捕獲尾数(尾)	捕獲実施期間	捕獲尾数(尾)	捕獲実施期間	捕獲尾数(尾)	捕獲実施期間	捕獲尾数(尾)	捕獲実施期間	捕獲尾数(尾)	捕獲実施期間	捕獲尾数(尾)
雄宗北岬冬谷部	(天塩)	8.26-11.5	76,883	8.26-10.31	28,635	8.26-11.7	64,964	8.26-11.10	41,355	8.18-11.12	51,990	8.28-10.31	35,539	9.3-11.4	39,259	
	天塩川 (中川) 捕獲河川	9.20-10.31	14,303	9.19-11.1	24,888	9.24-11.7	19,924	9.13-11.10	17,716	9.9-11.11	15,784	9.22-11.7	11,819	9.22-11.4	4,379	
	(美深)	10.12-11.5	10,439	10.12-11.8	9,019	10.5-11.5	7,441	10.15-11.10	3,593	9.12-11.11	8,207	10.8-11.19	11,111	10.5-11.8	8,121	
	遠別川 捕獲河川	9.14-10.31	32,177	9.14-10.31	62,651	9.14-10.31	38,980	9.12-10.31	23,659	9.12-10.31	48,348	9.14-11.5	49,692	9.9-10.31	26,668	
	信砂川 捕獲河川	9.13-10.25	13,988	9.15-10.25	15,156	9.10-10.29	15,733	9.10-10.31	9,707	9.10-10.29	18,575	9.1-11.3	11,910	9.1-10.28	11,083	
	暑寒別川 捕獲河川	9.15-10.27	16,286	9.10-10.28	21,862	9.6-10.29	22,648	9.13-10.31	15,391	9.10-10.29	22,598	9.1-11.3	14,749	9.1-10.29	13,923	
神威岬雄宗中岬冬谷部	浜益川 捕完河川	9.14-10.25	3,299	9.16-10.28	3,275	9.18-10.31	3,243	9.8-10.29	819	9.15-10.30	1,354	9.16-10.27	1,149	10.9-10.28	63	
	厚田川 捕完河川	—	—	—	—	—	—	—	—	9.26-10.30	940	9.25-10.20	374	9.20-10.31	248	
	石狩川 (千歳) 捕獲河川	8.21-12.18	113,422	8.21-12.17	203,515	8.21-12.15	422,517	8.21-12.14	186,956	8.21-12.13	136,605	8.21-12.12	279,793	7.19-12.10	164,711	
	余市川 捕獲河川	9.6-11.13	22,876	9.20-10.31	17,806	9.13-11.3	41,549	9.13-11.1	13,387	9.11-10.25	24,686	9.8-11.5	19,528	9.12-11.11	15,108	
	古平川 捕完河川	10.7-11.7	2,009	9.20-11.9	1,644	10.2-11.6	4,001	9.18-11.2	569	9.10-10.31	196	9.18-11.13	845	10.5-10.31	234	
	古宇川 捕完河川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.18-9.19	0	—	—	
白神南岬	野東川 捕完河川	9.21-10.31	7,165	9.19-10.25	5,732	10.1-11.9	3,020	9.17-10.29	3,802	9.22-11.1	1,963	9.25-10.30	4,653	9.26-10.31	2,175	
	尻別川 捕獲河川	8.23-11.2	9,348	8.24-10.26	11,984	8.21-10.31	8,427	8.23-10.25	4,832	8.22-10.30	6,616	8.23-10.26	15,740	8.25-11.3	7,899	
	朱太川 捕完河川	9.6-11.5	1,955	9.11-10.31	1,686	9.28-11.10	2,810	9.15-10.31	2,289	9.4-11.7	3,529	9.8-11.18	17,792	9.7-11.2	5,226	
	泊川 捕完河川	—	—	—	—	—	—	—	—	9.26-10.31	324	—	—	—	—	
	利別川 捕獲河川	9.7-11.6	19,642	9.7-11.8	40,426	9.9-11.11	15,572	9.8-11.6	19,321	9.9-11.5	15,526	9.12-11.5	13,053	9.16-11.6	7,854	
	相沼内川 捕完河川	9.18-10.31	5,343	9.15-10.30	4,664	9.22-11.2	4,805	9.13-11.5	6,435	9.15-11.3	8,289	9.8-10.31	5,681	9.20-10.31	248	
厚沢部川	捕獲河川	9.11-10.31	7,387	9.10-10.30	9,642	9.12-11.2	2,713	9.12-11.5	4,565	9.8-11.3	6,449	9.5-10.31	1,511	9.21-10.27	2,161	
	天の川 捕獲河川	9.7-10.31	5,233	9.7-10.30	6,073	9.12-11.2	3,856	9.6-11.5	4,518	9.1-11.3	5,495	8.29-10.31	3,130	9.3-10.28	2,270	

*1 捕獲河川／補完河川の区分については北海道林務部が策定する「さけます人工ふ化放流計画」で定められている

捕獲河川：増殖事業に必要な種卵を供給する主要な河川

補完河川：種卵が不足するときは採卵を実施する河川

立総合研究機構さけます・内水面水産試験場, 2017), 図1中で*のついていない7河川（遠別川, 信砂川, 浜益川, 余市川, 野東川, 相沼内川, 天の川）は本研究により新たに調査を実施した河川である。北海道水産林務部が毎年策定する「さけます人工ふ化放流計画」では、日本海側の10河川がサケの捕獲河川、その他に8河川が補完河川（捕獲河川だけでは増殖事業用の種卵が足りない場合に捕獲を実施する河川）に位置付けられている（表1）。補完河川のうち、ほぼ毎年捕獲を実施しているのは、浜益川、古平川、朱太川、相沼内川であり、他の補完河川は地区全体で親魚が大きく不足する場合を除き稼働していない。そのため本報告は、最近の日本海側でサケの捕獲を実施している河川の大部分を調査したこととなっている。

調査河川のうち、浜益川を除くすべての河川では、基本的にサケの遡上時期を通じて河川にウライを設置して親魚を捕獲した。一方、浜益川ではウライは設置せず、稚魚を放流したふ化場の飼育池まで遡上してきた親魚を捕獲するとともに、ふ化場近くにある堰堤（農業用水用頭首工）の直下にて曳網により親魚を捕獲した。これらサケの捕獲作業は、北部地区では一般社団法人留萌管内さけ・ます増殖事業協会、中部および南部地区では一般社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会および漁業協同組合が実施した。

これらの調査河川において、原則として捕獲旬ごとに毎旬1回、雌雄それぞれ50尾から鱗を採取し年齢組成に供した。鱗を用いた年齢査定の基準は小林（1961）に従い、宮腰ら（2011）と同様の作業手順により実施

した。

年齢別推定捕獲尾数と年級別回帰尾数 2010年から2016年の各年毎に旬別の年齢組成に捕獲尾数を乗じて各旬の年齢別捕獲尾数を雌雄別に算出した。なお、採鱗が出来なかった旬については前後の旬の年齢組成の平均値を用いた。それら旬別雌雄別の値を合計することにより各年の各調査河川の年齢別捕獲尾数を推定した。なお、2016年の相沼内川は捕獲尾数が少なく採鱗できなかったので近隣の厚沢部川の年齢組成から尾数を算出した。これら数値をもとに3, 4, 5, 6年魚の捕獲数を年級別に合計し、2007年級から2010年級の各河川への年級別回帰尾数を求めた。

これらの結果と他海区の河川への回帰状況を比較するため、さけます・内水面水産試験場事業報告書（2012～2017）に報告された数値を用い、他海区の主要河川で2007～2010年級の3, 4, 5, 6年魚からなる回帰尾数を計算した。

結 果

各河川、調査日の年齢組成を表2-1～表2-7に示した。これらのデータを用いて計算した各河川への年級別回帰尾数を北部について図2aに、中部について図2bに、南部について図2cに示した。北部の4河川はごく近隣に位置する信砂川、暑寒別川で同じ様な傾向を示した。4カ年の年級において2009年級の回帰が4河川とも低かった。中部の3河川も北部同様に2009年級の回帰が低かった。また、石狩川では2010年級も2009年級に引き続き低い回

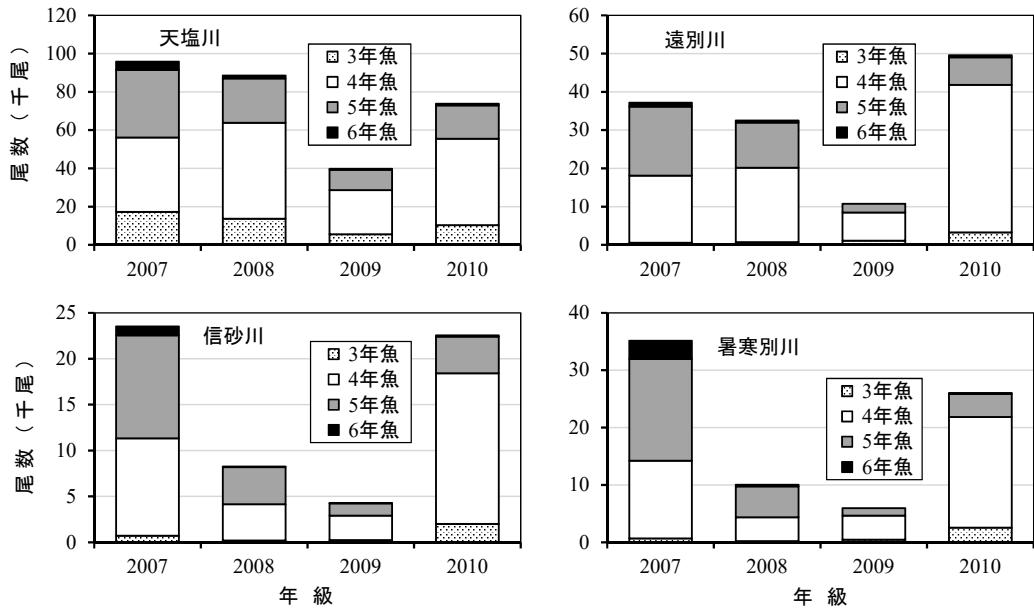


図 2a 北海道日本海北部調査河川における3～6年魚をもとにした2007～2010年級のサケ回帰尾数

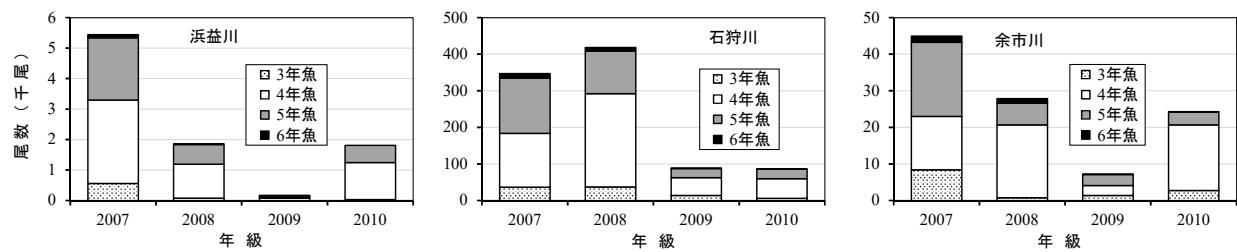


図 2b 北海道日本海中部調査河川における3～6年魚をもとにした2007～2010年級のサケ回帰尾数

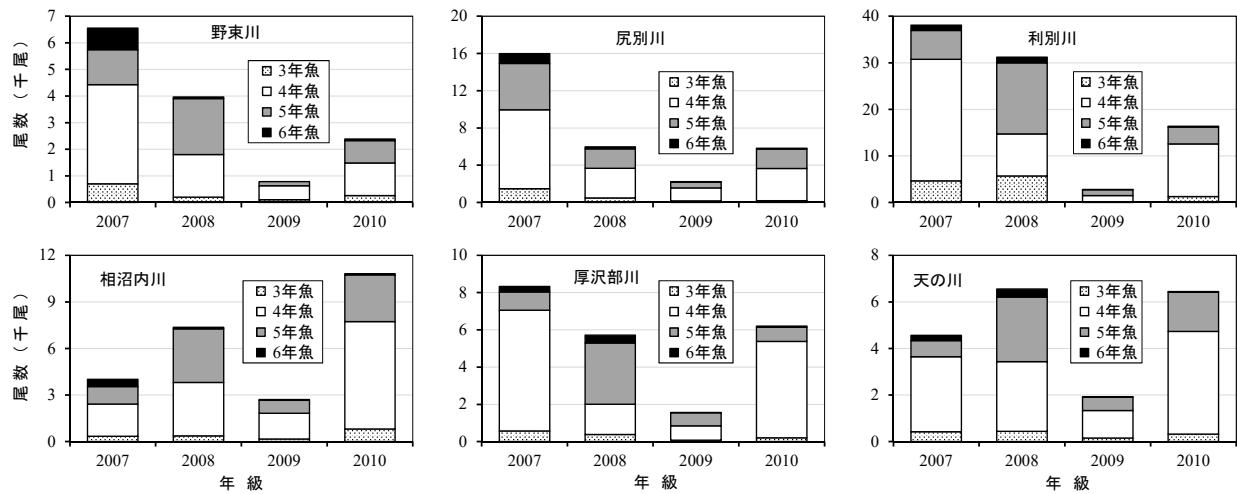


図 2c 北海道日本海南部調査河川における3～6年魚をもとにした2007～2010年級のサケ回帰尾数

帰レベルであった。南部の河川では相沼内川、天の川で2007年級が低い傾向を示したが、北部および中部と同様に2009年級が6河川とも4年級間で最も低い結果となった。このように北海道日本海区という広範囲において共通し

て2009年級の低回帰がみられた。

次に、日本海以外の海区と比較するため、全道主要河川の年級別捕獲尾数を図3に示した。各年級の捕獲尾数は近隣する河川間で似通った傾向が認められたが、今回

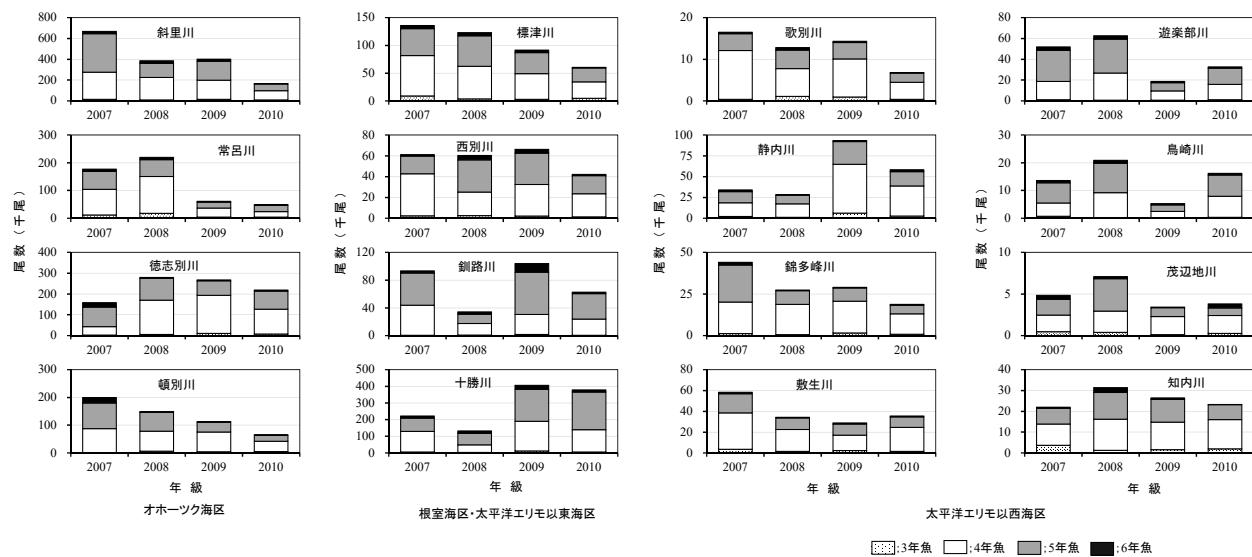


図3 北海道の日本海区を除いた各海区主要河川における3~6年魚をもとにした2007~2010年級のサケ回帰尾数

日本海で見られたように海区全体に共通した変動がみられるというわけではなかった。また、道南噴火湾に位置する遊樂部川、鳥崎川で2009年級が低回帰であったが、多くの河川では2009年級が特別に低い回帰とはなっていなかった。

考 察

本報告では、近年資源低迷が続く北海道日本海側の13河川に邇上したサケの年齢組成の情報を収集した。2007~2010年級の各河川への回帰尾数をみると、すべての河川で2009年級が低い回帰を示した。近年、秋期の北海道沿岸海水温が高いことからサケの来遊時期の遅れやその数の減少が報告されている（宮腰、2014）。特に2012年9月の日本海沿岸は記録的な高水温となった（藤原ほか、2015）。記録的高水温となった2012年には本研究において回帰尾数が少なかった2009年級の3年魚が回帰しているが、サケの回帰年齢は4、5年魚が大部分を占めることから、2012年の記録的高水温は2009年級の低回帰尾数に大きな影響を与えていないと考えられる。

他海区の主要河川の年級別回帰尾数をみると、2009年級が必ずしも顕著に低い回帰を示したわけではなかった。寒流の影響が強いオホーツク中東部からえりも以東太平洋については降海した稚魚が経験する沿岸水温と資源変動に一定の関連性が見いだされているが、暖流の影響が強い日本海区については沿岸水温という環境因子だけでは資源の増減に関わる原因を特定するのは難しいことが指摘されている（Nagata *et al.*, 2017）。飼育や放流の実施状況を精査して資源の増減原因を考察する必要があるが、日本海北部、中部、南部と広い範囲において共通し

て2009年級の低回帰が見られたことは、放流後の河川から沿岸に至り北上回遊する稚幼魚に対し、広範囲に掛かる大きな影響があったと考えるのが妥当であろう。最近、リモートセンシングの発達により沿岸水温を広範囲に把握観測するは比較的容易となっている（Miyakoshi *et al.*, 2007）。2009年級の飼育状況や放流時期、サイズを検証するとともに、放流年にあたる2010年春期の沿岸水温を比較することで日本海の資源変動要因を解く鍵が見つかるかもしれない。

本報告の資料が日本海側のサケ資源低迷の要因の解明に向けた今後の研究に活用されることを期待する。

謝 辞

本研究を行うにあたりご協力いただいた一般社団法人留萌管内さけ・ます増殖事業協会、日本海さけ・ます増殖事業協会の職員の皆様に感謝申し上げます。採鱗、標本作製、年齢査定の各種作業はさけます・内水面水産試験場の多くの職員の協力の下で行うことが出来ました。心から感謝を申し上げます。なお、本調査は公益社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会からの受託研究「秋サケ資源低迷の原因を解明するためのモニタリング調査」の一環として進めました。

引用文献

- 藤原 真, 隼野寛史, 宮腰靖之. 成熟期のサケ親魚への高水温の影響に関する基礎的調査. 北海道立水産試験場研究報告 2015 ; 88 : 25-31.
北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場. サ

- ケ資源動態・生物統計調査、「平成22～27年度事業報告書」、恵庭市。2012～2017。
- 小林哲夫。サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の年齢、成長並びに系統に関する研究。北海道さけ・ますふ化場研究報告 1961；16：1-102。
- 宮腰靖之、北海道における最近のサケの資源動向。北日本漁業 2014；42：12-19。
- Miyakoshi Y, Saitoh S, Matsuoka A, Takada M, Asami H, Fujiwara M, Nagata M. Comparison of release timing of hatchery-reared juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) to spring coastal sea surface temperature during high and low survival period. In: Nishida T, Kailola PJ, Caton AE (eds.) *GIS/Spatial Analyses in Fishery and Aquatic Sciences (Volume 3)*, Fisheries-Aquatic GIS Research Group, Saitama, 2007: 227-239.
- 宮腰靖之、青山智哉、藤原 真、實吉隼人、楠田 聰、川村洋司、小山達也、卜部浩一、安藤大成。北海道日本海側河川に遡上したサケの年齢組成。北海道立水産試験場研究報告 2011；80：39-44。
- Nagata M, Miyakoshi M, Fujiwara M, Kasugai K, Ando D, Torao M, Saneyoshi H, Irvine JR. Adapting Hokkaido hatchery strategies to regional ocean conditions can improve chum salmon survival and reduce mortality. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.*, 2017; 6: 73-85.

表2-1 河川別、捕獲旬別のサケ年齢別個体数

2010年											単位(尾)						
河川名	捕獲旬	♀								♂							
		2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計	2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計
天塩	8月下旬			37	13			50			39	9					48
	9月上旬			40	9			49			39	10	1				50
	9月中旬	1	42	6	1			50		3	32	14	1				50
	9月下旬	3	38	8			49		7	33	10						50
	10月上旬	4	32	12	1			49		13	29	7					49
	10月中旬	11	31	7				49		26	17	6	1				50
	10月下旬																
	合計	0	19	220	55	2	0	0	296	0	49	189	56	3	0	0	297
遠別	9月下旬																
	10月上旬	0	34	15	1			50		1	32	16	1				50
	10月中旬	1	29	20	0			50		0	32	18	0				50
	10月下旬	3	39	6	0			48		4	41	5	0				50
	合計	0	4	102	41	1	0	0	148	0	5	105	39	1	0	0	150
信砂	9月中旬	0	17	28	5			50		1	20	23	6				50
	9月下旬	0	32	16	2			50		0	30	17	3				50
	10月上旬	0	33	16	1			50		1	31	16	2				50
	10月中旬	7	28	14	1			50		9	30	10	1				50
	10月下旬	3	30	14	2			49		3	33	11	2				49
	合計	0	10	140	88	11	0	0	249	0	14	144	77	14	0	0	249
暑寒別	9月中旬			16	33	1			50			27	22	1			50
	9月下旬	28	22					50		1	26	23					50
	10月上旬		37	13				50			36	13	1			50	
	10月中旬	2	40	8				50		6	35	9				50	
	10月下旬	10	34	6				50		15	31	4				50	
	合計	0	12	155	82	1	0	0	250	0	22	155	71	1	1	0	250
浜益	9月上旬																
	9月中旬	1	53	5	1			60		0	65	8	2				75
	9月下旬																
	10月上旬	2	31	15	2			50		8	24	10					42
	10月中旬	8	15	33	1			57		18	12	12					42
	合計	0	11	99	53	4	0	0	167	0	26	101	30	2	0	0	159
石狩	8月下旬			22	32	1			55		2	22	24				48
	9月上旬	1	24	24	1			50		1	21	27					49
	9月中旬			11	37	1			49		7	16	25	1	1		50
	9月下旬	9	13	27	1			50		5	20	24					49
	10月上旬	9	14	26	1			50		1	12	16	20	1			50
	10月中旬	12	52	34	2			100		1	20	21	6	1			49
	10月下旬	21	23	6				50		2	27	16	5				50
	11月上旬	35	13	2				50		2	34	12	2				50
	11月中旬	25	13	12				50		3	24	16	7				50
	11月下旬	1	22	15	11			49		1	22	19	8				50
	12月上旬	5	18	26	1			50		5	30	14	1				50
	12月中旬	12	29					41		7	8						15
	合計	1	139	230	266	8	0	0	644	10	159	216	170	4	1	0	560
余市	9月中旬			40	52	6			98			52	48				100
	9月下旬	3	30	17				50		4	39	6					49
	10月上旬	10	34	6				50		15	34	1					50
	10月中旬	22	24	4				50		1	25	23	1				50
	10月下旬	26	20	4				50		1	39	7	3				50
	11月上旬	0	61	148	83	6	0	0	298	2	83	155	59	0	0	0	299
野東	9月中旬																
	9月下旬			19	30	1			50		1	9	28				38
	10月上旬	3	22	23	1			49		1	18	28	2				49
	10月中旬	9	30	11				50		7	27	16					50
	10月下旬	0	12	71	64	2	0	0	149	0	9	54	72	2	0	0	137
尻別	9月上旬											7	42	1			50
	9月中旬	1	9	39				49			16	33					49
	9月下旬	1	12	37				50		1	20	28					49
	10月上旬	5	25	20				50		1	11	22	16				50
	10月中旬	9	20	19				48		19	16	13					48
	10月下旬	12	20	17	1			50		1	23	13	12				49
利別	9月中旬	20	28	1				49			23	27					50
	9月下旬	25	24					49		6	7	14	23				50
	10月上旬	13	25	12				50		1	17	22	10				50
	10月中旬	8	27	15				50		1	19	16	14				50
	10月下旬	13	24	12				49		1	22	18	8				49
	合計	0	34	121	91	1	0	0	247	9	65	93	82	0	0	0	249
相沼内	9月上旬																
	9月中旬																
	9月下旬			17	20				37		7	40	31				78
	10月上旬																
	10月中旬			6	29	13	2		50		2	35	13				50
	10月下旬	0	6	46	33	2	0	0	87	0	9	75	44	0	0	0	128
厚沢部	9月中旬																
	9月下旬	2	34	13				49			31	18	1				50
	10月上旬	10	20	20				50			22	26	1				49
	10月中旬	9	28	13				50		7	26	17					50
	10月下旬	0	21	110	67	0	1	0	199	0	8	109	80	2	0	0	199
天の	9月上旬																
	9月中旬																
	9月下旬	4	68	30	1				103		5	72	19				96
	10月上旬																
	10月中旬																
	10月下旬	9	24	15	1	0	0	48		0	11	21	18				50
	合計	0	13	92	45	1	0	0	151	0	16	93	37	0	0	0	146

表 2-2 河川別、捕獲旬別のサケ年齢別個体数

河川名	捕獲旬	♀							♂							単位(尾)	
		2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計	2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計
天塩	8月下旬		1	11	36				48			16	34			50	
	9月上旬																
	9月中旬	1	32	16					49	2	34	13				49	
	9月下旬	5	35	10					50	1	9	34	5			49	
	10月上旬	7	37	6					50	1	14	31	4			50	
	10月中旬	16	31	3					50	20	26	4				50	
	10月下旬	19	20	8					47	18	28	4				50	
	合計	0	49	166	79	0	0	0	294	2	63	169	64	0	0	0	298
	9月下旬											16	30	4			50
	10月上旬		36	14					50	1	43	6					50
遠別	10月中旬	1	47	1					49	2	45	3					50
	10月下旬	5	44	1					50	4	41	4					49
	合計	0	6	145	47	1	0	0	199	0	7	145	43	4	0	0	199
	9月中旬																
	9月下旬		31	19					50			31	18				49
信砂	10月上旬	40	8	1					49		3	18					50
	10月中旬	37	9	1					47	1		37	12				50
	10月下旬	1	39	7	1				48			38	12				50
	合計	0	1	147	43	3	0	0	194	1	3	135	60	0	0	0	199
	9月中旬																
暑寒別	9月下旬	25	23	1					49			19	29	2			50
	10月上旬	34	14	1					49			26	21	2			49
	10月中旬	38	12						50		3	38	9				50
	10月下旬	2	42	5					49		3	41	6				50
	合計	0	2	139	54	2	0	0	197	0	6	124	65	4	0	0	199
浜益	9月上旬																
	9月中旬	22	15						37			24	23				47
	9月下旬	27	21	1					49			34	15	1			50
	10月上旬	43	5	1					49		1	42	4	2			49
	10月中旬	1	40	3	1				45		3	49					52
	10月下旬	2	47						49	1	3	34					38
石狩	合計	0	3	179	44	3	0	0	229	1	7	183	42	3	0	0	236
	8月下旬	21	25	3					49	1	27	19	3				50
	9月上旬	28	19	3					50	1	33	9	5				48
	9月中旬	40	8	2					50		42	5	3				50
	9月下旬	1	44	5					50	2	46	1	1				50
	10月上旬	3	41	5	1				50	9	39	2					50
	10月中旬	15	81	3	1				100		10	36	4				50
	10月下旬	4	44	2					50		33	62	5				100
	11月上旬	24	23	3					50	2	48	48	2				100
	11月中旬	30	20						50		28	19	2	1			50
余市	11月下旬	19	20	11					50		16	20	11	3			50
	12月上旬	12	19	18	1				50		17	19	13	1			50
	12月中旬	13	12	22	2				49		11	14	24	1			50
	合計	0	121	393	121	13	0	0	648	2	176	405	97	18	0	0	698
	11月上旬											44	6				50
野東	9月上旬		37	12	1				50								
	9月下旬	1	36	12	1				50			41	8				49
	10月上旬	1	39	10					50		1	43	6				50
	10月中旬	3	41	5					49		5	42	2				49
	10月下旬	3	38	6					47		5	40	4				49
尻別	合計	0	8	191	45	2	0	0	246	0	11	210	26	0	0	0	247
	9月中旬																
	9月下旬		25	22	1				48			31	16	2			49
	10月上旬	1	35	13	1				50		3	27	14	3			47
	10月中旬	5	36	8					49		2	39	7				48
利別	10月下旬	5	43	4					52		4	36	6				46
	9月上旬	0	9	165	67	4	0	0	245	0	15	189	38	5	0	0	247
	9月中旬	3	26	17	4				50	2	32	16					50
	9月下旬	3	27	16	1				47	9	31	7	2				49
	10月上旬	10	34	4	1				49	8	37	5					50
相沼内	10月中旬	9	28	13					50	9	39	2					50
	10月下旬	9	40	1					50	11	33	6					50
	11月上旬	15	31	4					50	20	25	4	1				50
	合計	0	49	186	55	6	0	0	296	0	59	197	40	3	0	0	299
	9月上旬																
厚沢部	9月中旬																
	9月下旬		31	18					49			31	18				49
	10月上旬		29	21					50		2	31	16	1			50
	10月中旬		37	13					50		5	32	12	1			50
	10月下旬		1	39	8	2			50		4	35	11				50
天の	合計	0	6	173	68	2	0	0	249	0	26	158	62	3	0	0	249
	9月上旬																
	9月中旬		49	50	1				100		5	52	39	3			99
	9月下旬																
	10月上旬																
	10月中旬																
	10月下旬		24	63	29	2			118		15	67	23	1			106
	合計	0	24	112	79	3	0	0	218	0	20	119	62	4	0	0	205

表 2-3 河川別、捕獲旬別のサケ年齢別個体数

2012年													単位(尾)				
河川名	捕獲旬	♀							♂								
		2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計	2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計
天塩	8月下旬	3	44	3			50			5	42	3				50	
	9月上旬	8	39	3			50			2	15	30	3			50	
	9月中旬	21	28	1			50			21	28	1				50	
	9月下旬	25	25				50	1	3	27	19					50	
	10月上旬	3	30	17			50			3	31	16				50	
	10月中旬	2	35	11			48			10	34	6				50	
	10月下旬	8	36	6			50			6	39	5				50	
	合計	0	13	158	170	7	0	0	348	1	24	172	146	7	0	0	350
	遠別											15	32	2		49	
	9月下旬																
信砂	10月上旬																
	10月中旬	1	30	18			49			3	26	20				49	
	10月下旬	2	35	13			50			2	34	14				50	
	合計	0	3	79	64	1	0	0	147	0	5	75	66	2	0	0	148
	9月中旬																
	9月下旬	1	5	44			50					12	36	1		49	
	10月上旬	11	36	2			49					11	39			50	
	10月中旬	1	29	66	3		99			5	34	60	1			100	
	10月下旬	2	27	21			50			1	5	24	19	1		50	
	合計	0	4	83	204	7	0	0	298	1	10	94	187	5	0	0	297
暑寒別	9月中旬	4	42	2			48					5	40	4		49	
	9月下旬	7	42	1			50					8	41			49	
	10月上旬	7	42				49			2	10	37				49	
	10月中旬	11	38	1			50			5	15	29	1			50	
	10月下旬	1	18	28	1		48			2	13	33	1			49	
浜益	合計	0	1	47	192	5	0	0	245	0	9	51	180	6	0	0	246
	9月上旬																
	9月中旬	11	38	1			50					19	30			49	
	9月下旬	12	36	2			50					16	34			50	
	10月上旬	10	39				49			1	19	30				50	
石狩	10月中旬	2	22	26			50			2	16	32				50	
	10月下旬																
	合計	0	2	55	139	3	0	0	199	0	3	70	126	0	0	0	199
	8月下旬	7	43				50			3	11	36				50	
	9月上旬	5	44				49				10	40				50	
余市	9月中旬	11	38				49				9	40				49	
	9月下旬	23	27				50				8	41				50	
	10月上旬	2	20	26	1	1	50			2	21	27				50	
	10月中旬	4	64	32			100			2	32	15				49	
	10月下旬	30	19	1			50			1	75	23				99	
	11月上旬	5	39	6			50			6	40	4				50	
	11月中旬	1	47	2			50			6	43	1				50	
	11月下旬	2	46				48			3	45	1				49	
	12月上旬	49					49				46	4				50	
	12月中旬	42	7				49			1	48	1				50	
野東	合計	0	14	383	244	2	1	0	644	0	24	388	233	0	1	0	646
	9月上旬	8	40				48			1	1	9	36				47
	9月下旬	16	32	1			49			1	17	31				49	
	10月上旬	1	18	31			50				19	31				50	
	10月中旬	3	21	26			50			1	29	20				50	
尻別	10月下旬	1	35	13			49			4	33	13				50	
	合計	0	5	98	142	1	0	0	246	1	7	107	131	0	0	0	246
	9月上旬																
	9月下旬																
	10月上旬	29	21				50			2	28	19				49	
利別	10月中旬	3	25	19			47			1	23	25				49	
	10月下旬																
	合計	0	3	54	40	0	0	0	97	0	3	51	44	0	0	0	98
	9月上旬	9	40	1			50			1	10	36	1			48	
	9月中旬	12	36	2			50			4	15	30	1			50	
相沼内	9月下旬	1	12	36	1		50			2	14	34				50	
	10月上旬	21	28	1			50			2	21	26	1			50	
	10月中旬	18	32				50			1	18	29				50	
	10月下旬	34	15				49				29	21				50	
	合計	0	1	106	187	5	0	0	299	1	11	107	176	3	0	0	298
厚沢部	9月上旬	21	27	1			50					33	16				49
	9月中旬	23	24	2			49					23	25	1		49	
	9月下旬	28	21	1			50			1	38	11				50	
	10月上旬	33	16				49			1	42	7				50	
	10月中旬	43	7				50			5	43	2				50	
天の	合計	0	1	148	95	4	0	0	248	1	6	179	61	1	0	0	248
	9月上旬																
	9月中旬																
	9月下旬	2	20	33			55			2	26	15				43	
	10月上旬	2	39	8			49			3	32	14	1			50	
10月中旬	5	140	54				199			4	104	37	2			147	
	10月下旬	41	9				50			7	36	2				48	
	合計	0	9	240	104	0	0	0	353	7	12	198	68	3	0	0	288
	9月上旬																
	9月中旬																
10月中旬	9月下旬	2	32	16			50			4	32	13				49	
	10月上旬	2	31	14	1		48			1	38	10				49	
	10月中旬	1	82	15			98			6	83	10				99	
	10月下旬	4	39	6			49			2	44	4				50	
	合計	0	9	184	51	1	0	0	245	0	13	197	37	0	0	0	247

表2-4 河川別、捕獲旬別のサケ年齢別個体数

河川名		捕獲旬	♀								♂								単位(尾)	
			2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計	2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計		
天塩	8月下旬		16	20	13		0	49		3	19	21	7					50		
	9月上旬		22	20	8		0	50		2	20	18	10					50		
	9月中旬	2	20	21	5	1		49		5	15	26	4					50		
	9月下旬	4	20	22	3			49	1	7	18	23	1					50		
	10月上旬	16	22	9	3			50	9	23	6	11	1					50		
	10月中旬	5	18	23	4			50	4	10	21	11	3					49		
	10月下旬	6	25	14	5			50	3	9	29	8	1					50		
	合計	0	33	143	129	41	1	0	347	17	59	128	118	27	0	0	349			
	遠別		2	11	29				42		1	12	29	8				50		
	10月上旬	1	5	15	24				45		2	15	29	4				50		
信砂	10月中旬									2	16	17	14					49		
	9月中旬	1	8	30	11				49	1	16	22	10					49		
	9月下旬	2	7	30	10				49	3	10	30	7					50		
	10月上旬	8	17	16	6				47	12	22	12	4					50		
	10月中旬	19	13	16	1	1			50	18	15	17						50		
	10月下旬	19	18	12	1				50	1	25	13	11					50		
	合計	0	49	63	104	29	1	0	246	1	62	66	102	19	0	0	250			
	暑寒別		3	13	18	14			48	6	13	13	17	1				50		
	9月下旬	1	9	25	15				50	9	12	21	7					49		
	10月上旬	6	13	19	10				48	11	11	18	9					49		
浜益	10月中旬	15	21	9	5				50	17	21	7	5					50		
	10月下旬	21	25	41	13				100	3	23	29	31	13	1			100		
	合計	0	46	81	112	57	0	0	296	3	66	86	90	51	2	0	298			
	9月上旬	1	1	47	1				50		2	42	3					47		
	9月中旬	4	36	8	2				50	1	3	39	7					50		
	9月下旬																			
	10月上旬																			
	10月中旬																			
	10月下旬																			
	合計	0	5	1	83	9	2	0	100	0	1	5	81	10	0	0	97			
石狩	8月下旬		20	26	4				50	1	17	26	6					50		
	9月上旬		20	26	4				50	19	23	7						49		
	9月中旬		14	30	6				50	1	11	26	12					50		
	9月下旬	1	6	30	12				49	14	28	7						49		
	10月上旬	8	37	5					50	1	2	16	31					50		
	10月中旬	5	18	73	3				99	4	6	14	24	2				50		
	10月下旬	1	13	35	1				50	1	2	14	30	2				49		
	11月上旬	2	15	33					50	3	3	16	27	1				50		
	11月中旬	2	16	30	2				50	5	3	10	31	1				50		
	11月下旬	1	11	37	1				50	1	13	35	1					50		
余市	12月上旬	1	6	40	3				50	1	2	9	38					50		
	12月中旬	9	91						100	2	17	79	2					100		
	合計	0	13	156	488	41	0	0	698	15	23	170	398	41	0	0	647			
	9月中旬		6	26	17				49	1	8	29	12					50		
	9月下旬	5	7	27	11				50	2	18	18	12					50		
	10月上旬	5	13	28	4				50	5	12	28	4					49		
	10月中旬	12	6	29	2				49	5	23	11	9	2				50		
	10月下旬	15	9	25	1				50	2	26	8	13	1				50		
	11月上旬	15	9	25	1				50	2	26	8	13	1				50		
	合計	0	52	50	160	36	0	0	298	9	83	65	110	32	0	0	299			
野東	9月中旬		8	21	19				48		7	28	14					49		
	9月下旬	4	32	13					49		11	29	9					49		
	10月上旬	5	9	27	9				50	7	6	25	11	1				50		
	10月中旬	2	3	40	4				49	6	10	4	25	5				50		
	10月下旬	0	7	24	120	45	0	0	196	6	17	28	107	39	1	0	198			
尻別	9月上旬																			
	9月中旬		18	22	10				50	2	16	20	10					48		
	9月下旬	2	14	24	10				50	2	18	15	15					50		
	10月上旬	2	12	20	16				50	1	4	7	20	17				49		
	10月中旬	1	1	12	28	7			49	5	2	13	23	4				47		
利別	10月下旬	6	6	34	3				49	5	1	11	27	5				49		
	9月中旬	5	39	4					48		6	38	4					48		
	9月下旬		48	2					50		6	3	38	2				49		
	10月上旬	4	5	36	5				50	3	3	4	35	3				48		
	10月中旬	7	7	31	4				49	2	9	6	31	1				49		
相沼内	10月下旬	13	3	29	3				48	3	12	5	25	4				49		
	11月上旬	6	12	26	4				48	2	6	9	33	5				50		
	合計	1	11	62	128	46	0	0	248	11	11	65	105	51	0	0	243			
	9月中旬																			
	9月下旬																			
厚沢部	9月上旬	1	12	18	1				32	2	26	60	10					98		
	9月中旬	6	51	79	12				148	3	23	67	132	19				244		
	9月下旬	5	13	27	3				48	6	76	45	146	21				294		
	10月上旬																			
	10月中旬																			
天の	10月下旬	0	9	51	219	17	0	0	296	2	17	49	192	23	0	0	283			
	9月中旬	3	14	29	4				50		3	16	29	1				49		
	9月下旬	4	27	61	8				100	1	12	23	58	5				99		
	10月上旬	3	15	28	4				50		2	13	33	2				50		
	10月中旬	4	8	36	2				50	6	10	33	1					50		
合計	合計	0	14	64	154	18	0	0	250	1	23	62	153	9	0	0	248			

表2-5 河川別、捕獲旬別のサケ年齢別個体数

河川名		捕獲旬	♀								♂								単位(尾)	
			2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計	2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計		
天塩	8月下旬																			
	9月上旬	1	37	10						48	1	39	10						50	
	9月中旬	2	38	10						50	4	40	6						50	
	9月下旬	4	34	8	4					50	17	29	2	1					49	
	10月上旬	15	28	5	1					49	24	23	3						50	
	10月中旬	31	12	4	1					48	22	16	11	1					50	
	10月下旬	24	14	7	4					49	19	19	9	2	1				50	
	合計	0	77	163	44	10	0	0	294	0	87	166	41	4	1	0	299			
遠別	9月下旬	1	40	6	1					48	46	3	1						50	
	10月上旬	6	41	1	1					49	4	41	4	1					50	
	10月中旬										21	26	1						48	
	10月下旬	7	42	1	0					50	6	43	1						50	
	合計	0	14	123	8	2	0	0	147	0	31	156	9	2	0	0	198			
信砂	9月中旬	1	44	4						49	2	46	2						50	
	9月下旬		44	3						47	1	44	4						49	
	10月上旬		47	2						49	2	37	6	1					46	
	10月中旬	1	2	44	2			1		50	5	40	5						50	
	10月下旬	3	41	2						46	6	38	5						49	
	合計	1	6	220	13	0	1	0	241	0	16	205	22	1	0	0	244			
暑寒別	9月中旬	2	39	5	2	1				49	1	46	3						50	
	9月下旬		47	1	2					50	45	3	1						49	
	10月上旬	2	46	2						50	9	37	3						49	
	10月中旬	9	38	3						50	7	39	3						49	
	10月下旬	12	34	3						49	9	39	1	1					50	
	合計	0	25	204	14	4	1	0	248	0	26	206	13	2	0	0	247			
浜益	9月上旬																			
	9月中旬	1	64	6	4					75	4	90	4	1					99	
	9月下旬	2	73	2						77	5	93							98	
	10月上旬	4	52	3						59	10	75	5						90	
	10月中旬	5	43		1					49	8	52	3						63	
	10月下旬	12	232	11	5	0	0	260	0	27	310	12	1	0	0	350				
石狩	8月下旬										3	24	17	4	2				50	
	9月上旬	3	22	17	6	1				49	25	20	4	1					50	
	9月中旬	4	33	12	1					50	5	32	10	1	1				49	
	9月下旬	4	38	5	3					50	4	26	14	5	1				50	
	10月上旬	5	32	9	4					50	9	31	4	5					49	
	10月中旬	27	54	12	7					100	23	15	6	6					50	
	10月下旬	23	14	10	3					50	31	12	7						50	
	11月上旬	35	8	5	2					50	37	4	6	2					49	
	11月中旬	36	4	8						48	30	9	6	4					49	
	11月下旬	23	9	4	12					48	19	13	8	10					50	
	12月上旬	5	18	12	15					50	3	21	12	13					49	
	12月中旬	7	11	15	15					48	7	17	17	9					50	
	合計	0	172	267	129	73	2	0	643	0	171	229	127	63	5	0	595			
余市	9月中旬	1	32	13	2					48	2	28	14	5					49	
	9月下旬	2	37	8	1					48	6	38	5		1				50	
	10月上旬	3	38	4	4	1				50	3	39	3	3					48	
	10月中旬	9	36	4	1					50	12	33	3	2					50	
	10月下旬	11月上旬	0	15	143	29	8	1	0	196	0	23	138	25	10	1	0	197		
野束	9月中旬																			
	9月下旬	4	33	9	4					50	2	18	12		1				33	
	10月上旬	9	37	1	3	2				52	10	32	3	2					49	
	10月中旬	21	29							50	14	32	2	2					50	
	10月下旬	0	34	99	10	7	2	0	152	0	26	82	17	4	3	0	132			
尻別	9月上旬										2	40	5		1				48	
	9月中旬	7	35	7	1					50	10	31	7	2					50	
	9月下旬	11	31	5	1					48	13	19	5	3	2			42		
	10月上旬	17	26	5						48	26	18	2	1					49	
	10月中旬	29	18	1	1					49	30	15	2	2					49	
	10月下旬	30	16	1						47	18	12	2	1					33	
	合計	0	94	164	26	7	0	0	291	0	99	135	23	9	5	0	271			
利別	9月中旬										2	37	2	5	1				47	
	9月下旬										4	40	2	3					49	
	10月上旬	4	39	5	1					49	11	30	3	4					48	
	10月中旬	9	36	1	3					49	3	34	3	2					49	
	10月下旬	7	39	1	1	1				49	10	38	1	1					50	
	11月上旬	0	20	180	24	20	1	0	245	3	34	179	11	15	1	0	243			
相沼内	9月上旬																			
	9月中旬																			
	9月下旬	1	39	7	1					48	3	38	7	1					49	
	10月上旬	4	43	1	1					49	3	43	2	1					49	
	10月中旬	45	2	1						48	4	45							49	
	10月下旬	6	40	1	1	1				49	2	47	1						50	
	合計	0	11	205	23	4	1	0	244	0	16	206	18	2	1	0	243			
厚沢部	9月上旬																			
	9月下旬	3	39	2	5						40	7	2						49	
	10月上旬	4	36	4	6						1	33	7	6	1				48	
	10月中旬	2	35	3	9	1					1	35	6	8					50	
	10月下旬	0	9	149	16	23	1	0	198	1	5	198	25	11	0	0	240			
天の	9月上旬																			
	9月中旬	1	45	1	3						50	2	44	4					50	
	9月下旬	3	39	4	3						3	33	9	3					48	
	10月上旬	1	41	4	2						49	38	5	6					49	
	10月中旬	4	39	6	1						48	47	2	1					50	
	10月下旬	0	9	199	23	16	0	0	247	1	5	198	25	11	0	0	240			

表2-6 河川別、捕獲旬別のサケ年齢別個体数

		♀										♂										単位(尾)	
河川名	捕獲旬	2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計	2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計						
天塩	8月下旬		13	36	1			50		1	17	30	1				49						
	9月上旬		22	27	1			50		29	19	1					49						
	9月中旬		25	23	1			49		1	35	13					49						
	9月下旬		34	15				49		1	36	13					50						
	10月上旬																						
	10月中旬		7	36	7			50		5	37	8					50						
	10月下旬		4	37	10			51		8	33	5	1				47						
	合計	0	11	167	118	3	0	0	299	0	16	187	88	3	0	0	294						
遠別	9月下旬																						
	10月上旬																						
	10月中旬		39	11				50		1	40	8					49						
	10月下旬	1	39	10				50		3	88	8					99						
	合計	0	1	78	21	0	0	0	100	0	4	128	16	0	0	0	148						
信砂	9月中旬		9	39	1			49		17	30						47						
	9月下旬	1	34	15				50		32	16						48						
	10月上旬		39	9	1			49		2	38	10					50						
	10月中旬		46	4				50		4	40	6					50						
	10月下旬																						
	合計	0	1	128	67	2	0	0	198	0	6	127	62	0	0	0	195						
暑寒別	9月中旬		14	36				50		30	19						49						
	9月下旬		41	8				49		34	15						49						
	10月上旬		3	39	7			49		1	37	10					48						
	10月中旬	3	43	3				49	1	48	1						50						
	10月下旬	0	6	137	54	0	0	0	197	1	1	149	45	0	0	0	196						
浜益	9月上旬																						
	9月中旬		23	76				99		1	63	79	1				144						
	9月下旬	1	32	37				70		32	57	1					90						
	10月上旬		50	31				81		3	56	27					86						
	10月中旬	3	44	11				58		5	47	12					64						
	10月下旬		32	3				35		12	39	6					57						
	合計	0	4	181	158	0	0	0	343	0	21	237	181	2	0	0	441						
石狩	8月下旬		28	20	2			50		1	26	21	1	1			50						
	9月上旬	2	20	27	1			50		2	25	23					50						
	9月中旬	2	30	18				50		3	28	19					50						
	9月下旬	3	38	9				50		2	38	10					50						
	10月上旬	3	39	7	1			50		1	45	2	2				50						
	10月中旬	2	43	5				50		9	38	2					49						
	10月下旬	10	85	4				99		7	40	3					50						
	11月上旬	8	42					50	3	10	37	1					51						
	11月中旬	10	33	3				46	1	16	33	1					51						
	11月下旬	5	37	8				50		7	40	3					50						
	12月上旬		82	15	1			98		5	77	15	2				99						
	合計	0	45	477	116	5	0	0	643	4	63	427	100	5	1	0	600						
余市	9月中旬																						
	9月下旬	1	37	11	1			50		36	12						48						
	10月上旬		4	40	6			50		4	7	34	5				50						
	10月中旬	6	43	1				50	9	13	28						50						
	11月上旬	0	11	120	18	1	0	0	150	13	20	98	17	0	0	0	148						
野東	9月中旬																						
	9月下旬	1	35	13				49		38	11						49						
	10月上旬		39	11				50		43	7						50						
	10月中旬	1	48	2				51		2	36	11					49						
	10月下旬	0	2	122	26	0	0	0	150	0	2	117	29	0	0	0	148						
尻別	9月上旬		25	23				48		37	12						49						
	9月中旬		44	6				50		35	12						47						
	9月下旬	1	44	5				50		42	8						50						
	10月上旬		45	3				48		1	41	4	1				47						
	10月中旬	1	40	3				44	1	3	40	3					47						
	10月下旬	5	42	3				50	4	3	40	2					49						
	合計	0	7	240	43	0	0	0	290	5	7	235	41	1	0	0	289						
利別	9月中旬		36	13	1			50		1	34	15					50						
	9月下旬		36	14				50		1	35	13					50						
	10月上旬		31	19				50		1	4	29	14				48						
	10月中旬	5	30	14				49	2	8	31	6					47						
	10月下旬	4	29	14				47	1	5	28	16					50						
	11月上旬	0	9	162	74	1	0	0	246	5	19	157	64	0	0	0	245						
相沼内	9月上旬		14	27				41		25	23	1					49						
	9月中旬		21	26	1			48		1	23	26					50						
	9月下旬		18	30				48		49	42	1					92						
	10月上旬	2	22	25				49		6	16	27	1				50						
	10月中旬	3	18	27				48	1	6	19	23	1				50						
	10月下旬	13	20	13				46	1	14	13	20					48						
	合計	0	18	113	148	1	0	0	280	2	27	145	161	4	0	0	339						
厚沢部	9月中旬		14	27				41		25	23	1					49						
	9月下旬		27	19	1			47		17	29						47						
	10月上旬		34	15				49		1	19	19					39						
	10月中旬	13	15	19	1			48	3	12	17	18					50						
	10月下旬	0	13	90	80	1	1	0	185	3	13	78	89	1	1	0	185						
天の	9月上旬																						
	9月中旬																						
	9月下旬	1	15	31	1			50		3	18	27			</								

表2-7 河川別、捕獲旬別のサケ年齢別個体数

河川名		捕獲旬	♀								♂								単位(尾)	
			2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計	2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚	7年魚	8年魚	合計		
天塩	8月下旬																			
	9月上旬		10	37	1				48			10	38	2					50	
	9月中旬		11	36	2				49			11	39						50	
	9月下旬		1	12	35	1			49		3	9	35	2					49	
	10月上旬		12	14	21				47		19	12	16	1					48	
	10月中旬		19	22	9				50		24	20	5						49	
	10月下旬		20	17	13				50		19	12	19						50	
	合計		0	52	86	151	4	0	0	293	0	65	74	152	5	0	0	296		
遠別	9月下旬																			
	10月上旬																			
	10月中旬		6	10	32	1			49		3	11	33	1					48	
	10月下旬																			
	合計		0	6	10	32	1	0	0	49	0	3	11	33	1	0	0	48		
信砂	9月中旬																			
	9月下旬		5	45					50			8	38	4					50	
	10月上旬		2	8	38				48		3	12	34						49	
	10月中旬		9	15	26				50		14	15	21						50	
	10月下旬		25	15	10				50		11	4							15	
	合計		0	36	43	119	0	0	0	198	0	28	39	93	4	0	0	164		
暑寒別	9月中旬																			
	9月下旬		3	45	1				49		1	2	43	3					49	
	10月上旬		1	5	43				49		4	9	36						49	
	10月中旬		11	4	34				49		10	12	25						47	
	10月下旬		22	15	9	1			47		24	14	12						50	
	合計		0	34	27	131	2	0	0	194	0	39	37	116	3	0	0	195		
浜益	9月上旬																			
	9月中旬																			
	9月下旬																			
	10月上旬		6	2					8		1	2	5						8	
	10月中旬		6	1					7		1	9	2						12	
	10月下旬		3	6	3				12		3	8	2						13	
	合計		0	3	18	6	0	0	0	27	0	5	19	9	0	0	0	33		
石狩	8月下旬																			
	9月上旬		27	22	1				50		1	20	24	3					48	
	9月中旬		33	15	2				50		4	19	26						49	
	9月下旬		27	23					50		3	17	28	2					50	
	9月上旬		1	29	19				49		6	21	23						50	
	10月中旬		4	27	19				50		3	34	13						50	
	10月下旬		2	49	25				76		3	39	8						50	
	11月上旬		2	37	11				50		9	29	12						50	
	11月中旬		9	26	15				50		21	19	9						49	
	11月下旬		11	32	7				50		11	28	11						50	
	12月上旬		9	31	10				50		21	21	8						50	
	合計		0	40	337	193	5	0	0	575	0	87	267	186	5	0	0	545		
余市	9月中旬																			
	9月下旬		12	36	1				49		4	14	31						49	
	10月上旬		1	24	25				50		5	31	12	2					50	
	10月中旬		12	33	4				49		15	26	8	1					50	
	10月下旬		24	23	3				50		30	16	3						49	
	11月上旬		24	23	3				50		30	16	3						49	
	合計		0	61	115	71	1	0	0	248	0	84	103	57	3	0	0	247		
野東	9月中旬																			
	9月下旬																			
	10月上旬		1	20	29				50		2	19	26	2					49	
	10月中旬		5	25	20				50		11	16	17	4					48	
	10月下旬		19	20	11				50		20	17	13						50	
	合計		0	25	65	60	0	0	0	150	0	33	52	56	6	0	0	147		
尻別	9月上旬																			
	9月中旬		6	39	3				48		1	1	47	1					50	
	9月下旬		4	6	39				49		8	7	34						49	
	10月上旬		5	20	24				49		15	8	27						50	
	10月中旬		10	21	18				49		16	8	21	1					46	
	10月下旬		15	29	6				50		18	22	10						50	
	合計		0	34	82	126	3	0	0	245	0	58	46	139	2	0	0	245		
利別	9月中旬																			
	9月下旬		10	36	3				49		14	36							50	
	10月上旬		10	38					48		12	35	1						48	
	10月中旬		2	11	32	1			46		2	18	25	1					46	
	10月下旬		4	23	21	2			50		8	22	17	1					48	
	11月上旬		13	28	8	1			50		21	16	8	2					47	
	合計		0	19	82	135	7	0	0	243	0	31	82	121	5	0	0	239		
相沼内	9月上旬																			
	9月中旬																			
	9月下旬																			
	10月上旬																			
	10月中旬																			
	10月下旬																			
	合計		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
厚沢部	9月中旬																			
	9月下旬		20	26	2				48		1	24	24	1					50	
	10月上旬		27	22	1				50		2	26	18	2					48	
	10月中旬		1	34	11	2			48		3	36	9	1					49	
	10月下旬		0	1	81	59	5	0	0	146	0	6	86	51	4	0	0	147		
天の	9月上旬																			
	9月中旬																			
	9月下旬		5	70	28	4			107		1	26	11						38	
	10月上旬		3	38	8				49		28	9							37	
	10月中旬		3	45	2				50		4	22	2	1					29	
	10月下旬		1	9	38	2			50											
	合計		1	20	191	40	4	0	0	256	0	5	76	22	1	0	0	104		

10月上旬 シーズンを通して採鱗できなかったので厚沢部川の年齢組成を用いる

北海道南西部厚沢部川水系における野生サクラマス幼魚の分布と生息密度 (資料)

青山智哉¹, 神力義仁², 大森 始³, 竹内勝巳¹

¹北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道南支場

²北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

³北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道東センター

Distribution and densities of wild masu salmon juveniles in the Assabu River system, southwestern Hokkaido, Japan
(Note)

TOMOYA AOYAMA¹, YOSHIHITO SHINRIKI², HAJIME OHMORI³ and KATSUMI TAKEUCHI¹

¹ Donan Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization,
Yakumo, Hokkaido, 043-0402,

² Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Eniwa, Hokkaido, 061-1433,*

³ Doto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization,
Nakashibetsu, Hokkaido, 086-1164, Japan

キーワード：一般河川, サクラマス, 生息密度, 分布, 野生魚

サクラマス *Oncorhynchus masou* の資源増殖は、内水面漁業調整規則による河口規制や河川内禁漁措置による親魚の保護、保護水面河川の指定による幼魚の保護の他、人工ふ化した0+春稚魚（田中ら, 1971; 坂本ら, 1984）、0+秋幼魚、1+スマルト幼魚（真山ら, 1985; 太田ら, 1986）などの種苗放流によってなされてきた。だが、人工ふ化放流には種苗生産コストが高く経済回収率が低い（宮腰, 2006）ことや、遺伝的な多様性が低下するなどの生態系へ与える影響（Edpalina *et al.*, 2007）の問題も浮上してきている。このようなことを背景に、近年はサクラマスの生息環境を改善し、サクラマス資源の大部分を占める野生魚の保護増大に取り組む事例が増えてきた。例えば、後志管内の千走川や檜山管内の良瑞石川で行われた治山、砂防ダムのスリット化が挙げられる（ト部・宮腰, 2010）。今後も生息環境改善のための提言は広く求められるものと思われ、河川内におけるサクラマス幼魚の生息状況情報は必要性を増すであろう。

保護水面河川におけるサクラマス幼魚の生息密度は、保護水面管理事業によってある程度把握されている（北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場、

2017）。しかしながら保護水面河川に指定されていない、いわゆる一般河川においては、石狩管内の濃屋川（下田ら, 2005）、網走管内の網走川支流（下田・川村, 2012）、後志管内の複数河川（ト部ら, 2013）の報告例があるに過ぎない。本報告では檜山管内において流域面積が比較的広い厚沢部川の、本流および主だった支流のほぼ全域に渡ってサクラマス幼魚の生息状況を3年間に渡り調査したので、その結果をここに記録として残す。

材料と方法

調査河川 調査を行った厚沢部川は、檜山管内厚沢部町と一部河口近くで江差町を流れる流域面積491.7 km²、流路延長43.5kmの河川で、檜山管内では後志利別川に次ぎ2番目に流域面積が広い。中、下流域は馬鈴しょ、水稻の栽培が盛んで、厚沢部川には大小数多くの灌漑用頭首工等が設置されている。中でも支流鶴川の上流域にある灌漑用の鶴ダムは堤高52.2mの大型であり、魚道は無い。他の中小の頭首工には確認できる範囲では魚道が併設されていた。

報文番号A551 (2017年8月4日受理)

*Tel: 01398-2-2370. Fax: 01398-2-2375. E-mail: aoyama-tomoya@hro.or.jp

厚沢部川は一般河川であり、周年サクラマス親魚の採捕が禁止されている他、4、5月の降海前の幼魚の採捕が禁止されている（北海道内水面漁業調整規則による）。したがって、6月から年を跨いで3月までの間はサクラマス幼魚の採捕が可能となっている。

厚沢部川下流域へは2014年まで10,000~70,000尾の1+スマルト幼魚放流が行われていたが、過去に0+幼稚魚の放流は行われたことはない。

調査定点 厚沢部川の本流、一次支流目名川、古佐内川、沼の沢、糠野川、鶴川および安野呂川にそれぞれ5, 1, 1, 1, 4, 2および2か所の合計16か所の定点を設けた（図1）。2013, 2014年は16か所すべてで調査を行ったが、2015年は鶴ダム直下の定点を除く15か所で調査を行った。各定点の区間流路長は30~100mで、鶴ダム直下の定点を除

く平均川幅は1.8~6.0mであった（表1）。鶴ダム直下の定点は川幅が12mと広く、水深もあったため両岸から2mの範囲のみで採捕を行った。

採捕方法と生息密度の推定 2013, 2014および2015年のそれぞれ6月の25~28, 24~26および22~24日に調査を行った。電気漁具（Model 12 Electro fisher, Smith-Root Inc.）と枠径約40cm、目合約5mmのたも網を用いてサクラマス幼魚を採捕した。採捕したサクラマス幼魚をFA100（DSファーマアニマルヘルス株式会社）で麻酔後、尾叉長（2013を除く）と尾数を記録し、見た目で年齢が分からぬ個体についてのみ鱗を数枚採取し、すべての採捕が終わった後に元の場所へ放流した。採取した鱗は実験室へ持ち帰り、万能投影機を用いて年齢を確定した。なお、0+幼魚以外の中には2+以上の個体が含まれる可

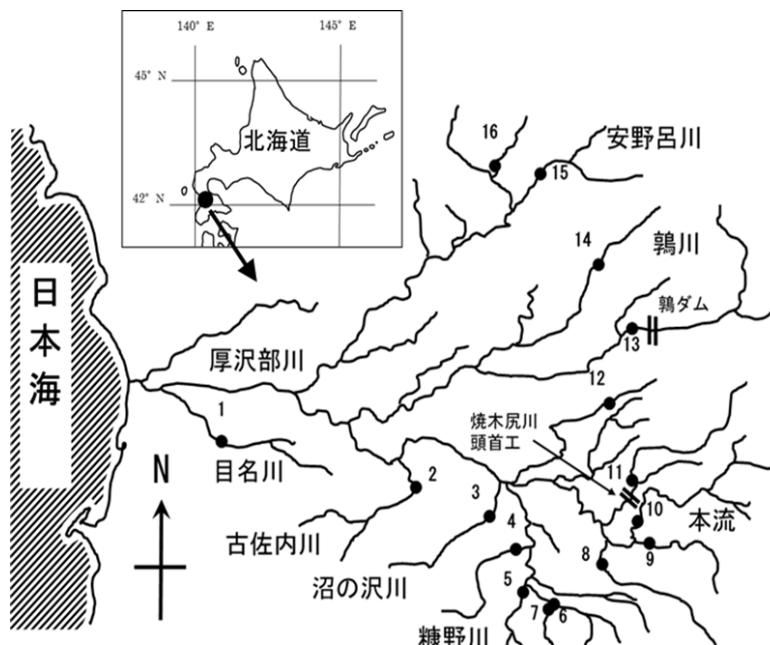


図1 厚沢部川の位置と調査定点（●）

表1 調査定点の位置と調査区間の流路長、川幅（単位：m）

調査定点	1次支流	2次支流	3次支流	位置情報(WGS系)		2013年		2014年		2015年	
				緯度	経度	流路長	平均川幅	流路長	平均川幅	流路長	平均川幅
1 目名				N41° 54' 04.07"	E140° 11' 09.16"	47	1.8	47	1.8	47	1.8
2 古佐内				N41° 52' 57.07"	E140° 16' 54.75"	80	6.4	80	5.4	80	5.4
3 沼の沢				N41° 52' 16.33"	E140° 19' 06.12"	67	3.0	67	3.0	67	3.0
4 糠野	矢櫃沢			N41° 51' 26.83"	E140° 19' 45.44"	50	3.0	50	3.0	50	3.0
5 糠野	笹毛堂沢			N41° 50' 19.52"	E140° 20' 03.94"	48	4.0	48	2.0	48	2.0
6 糠野				N41° 50' 07.45"	E140° 20' 58.88"	43	3.0	43	2.7	43	2.7
7 糠野	頬雪沢			N41° 50' 06.71"	E140° 20' 58.41"	61	2.0	61	2.5	61	2.5
8 泉沢				N41° 51' 03.33"	E140° 22' 24.82"	48	4.0	48	3.0	60	4.0
9 佐助沢				N41° 51' 38.38"	E140° 23' 50.88"	87	4.0	87	3.4	100	1.8
10 濁				N41° 52' 06.32"	E140° 23' 29.54"	55	5.0	55	5.3	75	5.0
11 焼木尻				N41° 53' 04.08"	E140° 23' 12.58"	53	5.0	53	3.5	75	3.0
12 泥				N41° 55' 06.62"	E140° 22' 34.70"	55	3.0	55	3.0	46	2.5
13 鶴				N41° 57' 00.64"	E140° 23' 17.63"	28	12.0	28	12.0	-	-
14 鶴	小鶴			N41° 58' 31.97"	E140° 22' 12.56"	26	5.0	26	5.5	44	4.5
15 安野呂	上濁			N42° 00' 55.84"	E140° 20' 39.29"	46	7.0	46	5.7	70	6.0
16 安野呂	清水	佐太郎沢		N42° 00' 52.39"	E140° 19' 13.05"	30	5.0	30	1.8	56	3.5

能性もあるが、本報告ではすべて1+幼魚として扱った。

2013年は各定点1回採捕であったが、2014、2015年は各定点2回採捕を行い、除去法により生息個体数 (N) を推定した (Seber and LeCren, 1967)。この方法によると、

1回目の採捕数 (C_1) が2回目の採捕数 (C_2) より多い場合は下の(1)式で生息個体数が推定される。

$$N = \frac{C_1^2}{C_1 - C_2} \quad (1)$$

ここで、 C_2 が C_1 より多い、あるいは同数の場合は(1)式では生息個体数を推定できないので、便宜的に、

$$N = C_1 + C_2 \quad (2)$$

により推定した。

2013年については2014年の定点別、年齢別採捕効率

$(C_1 - C_2) / C_1$ を用いて生息個体数を推定し、採捕効率が計算できない場合は近隣の定点の採捕効率を用いた。また、推定された生息個体数を区間流路長と平均川幅との積で除して生息密度を算出した。

結果および考察

各年とも調査を行ったすべての定点において、少なくとも0+あるいは1+のサクラマス幼魚のいずれかが採捕された(表2)。厚沢部川へは0+幼稚魚の放流は行われていないことから、採捕された0+幼魚は自然産卵由来の野生魚であると考えられる。一方、1+幼魚の放流は厚沢部川の下流域で行われているが、採捕された1+幼魚には放流魚特有の鰓が短くなった状態は見られなかつたので、1+幼魚についても野生魚である可能性が高い。

表2 厚沢部川で採捕されたサクラマス幼魚尾数 (単位: 尾)

調査定点	2013年						2014年						2015年					
	0+幼魚		1+幼魚		0+幼魚		1+幼魚		0+幼魚		1+幼魚		0+幼魚		1+幼魚		0+幼魚	
	1回目	2回目	計	1回目	2回目	計	1回目	2回目	計	1回目	2回目	計	1回目	2回目	計	1回目	2回目	計
1	8	-	8	5	-	5	8	2	10	4	1	5	1	0	1	4	1	5
2	2	-	2	8	-	8	19	14	33	2	0	2	0	0	0	18	4	22
3	0	-	0	2	-	2	6	1	7	1	0	1	7	1	8	3	0	3
4	2	-	2	4	-	4	7	3	10	1	0	1	4	1	5	7	1	8
5	4	-	4	2	-	2	8	5	13	1	0	1	1	0	1	6	0	6
6	11	-	11	6	-	6	20	2	22	0	0	0	5	2	7	6	2	8
7	3	-	3	14	-	14	16	4	20	1	0	4	5	0	5	5	0	5
8	16	-	16	13	-	13	31	19	50	6	1	7	3	0	3	23	0	23
9	24	-	24	10	-	10	87	43	130	3	2	5	6	0	6	29	10	39
10	18	-	18	4	-	4	52	38	90	2	0	2	2	3	5	15	6	21
11	0	-	0	19	-	19	20	9	29	1	2	3	5	2	7	10	4	14
12	0	-	0	18	-	18	19	3	22	2	1	3	3	1	4	5	1	6
13	3	-	3	7	-	7	9	2	11	2	2	4	-	-	-	-	-	-
14	2	-	2	9	-	9	86	43	129	1	0	1	3	0	3	29	2	31
15	1	-	1	10	-	10	33	21	54	0	0	0	4	2	6	10	2	12
16	1	-	1	5	-	5	11	7	18	0	1	1	0	0	0	9	1	10

表3 各定点におけるサクラマス幼魚の推定生息密度 (単位: 尾/ m^2)

調査定点	2013年			2014年			2015年		
	0+幼魚	1+幼魚	0+幼魚	1+幼魚	0+幼魚	1+幼魚	0+幼魚	1+幼魚	0+幼魚
1	0.126	0.079	0.126	0.063	0.012	0.063			
2	0.015	0.016	0.167	0.005	0.000	0.054			
3	0.000	0.010	0.036	0.005	0.041	0.015			
4	0.023	0.027	0.082	0.007	0.036	0.054			
5	0.056	0.010	0.222	0.010	0.010	0.063			
6	0.095	0.047	0.191	0.000	0.072	0.078			
7	0.033	0.115	0.140	0.007	0.033	0.033			
8	0.215	0.081	0.556	0.050	0.013	0.096			
9	0.136	0.086	0.582	0.030	0.033	0.246			
10	0.243	0.015	0.663	0.007	0.013	0.067			
11	0.000	0.143	0.196	0.016	0.037	0.074			
12	0.000	0.218	0.137	0.024	0.039	0.054			
13	0.011	0.021	0.034	0.012	-	-			
14	0.031	0.069	1.203	0.007	0.015	0.157			
15	0.009	0.031	0.346	0.000	0.019	0.030			
16	0.018	0.033	0.560	0.019	0.000	0.052			
平均	0.063	0.063	0.328	0.016	0.025	0.076			
最高	0.243	0.218	1.203	0.063	0.072	0.246			
最低	0.000	0.010	0.034	0.000	0.000	0.015			

ただし、厚沢部川で自然産卵に加わった親魚の中には放流魚が回帰した個体が混じっている可能性は否定できない。厚沢部川の約30km北にある見市川の下流域へ1+幼魚放流されて、見市川へ親魚として回帰したサクラマスの一部は、上流の支流において産卵後の個体として確認されている（青山、未発表データ）。厚沢部川においても同様の現象が起きていると推測できる。なお、1+幼魚放流は2014年で終了しているため、2016年秋以降はすべて自然再生産由來の親魚により産卵が行われている。

0+幼魚の生息密度は2013、2014および2015年でそれぞれ0.000～0.243（平均0.063）、0.034～1.203（平均0.328）および0.000～0.072（平均0.025）尾/m²と、定点によって、年によって大きく変化した。また1+幼魚の生息密度も定点および年により大きく変化した（表3）。2013～2015年に調査を行った檜山管内の保護水面河川におけるサクラマス0+幼魚の各年平均生息密度は0.049～0.362（3か年平均0.192）尾/m²であり（北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場、2015～2017），その流域面積は34.2～176.6（平均69.6）km²であることを考慮すると（表4），流域面積が491.7km²の厚沢部川は檜山管内において、サクラマスの種川として重要な役割を果たしていると考えられた。ただし、2013年の定点11、12のように、1+幼魚は採捕されても0+幼魚が採捕されない定点が見られた（表2）。定点11（焼木尻川）の約1km下流には落差約1mの頭首工があり（図1），魚道が併設されているが、2013年の調査時にはその魚道へは通水していなかった。頭首工下流には0+幼魚が確認されたが、灌漑

期のため転倒式ゲートは倒立しており、幼魚や親魚のそれより上流への移動は難しいと判断された。そのため、2012年秋にも親魚が頭首工より上流へ遡上できず、2013年には0+幼魚が採捕されなかつた可能性が高い。厚沢部川のサクラマス種川としての機能を十分に果たすためには、頭首工の管理が必要不可欠であると言えよう。

6月下旬時点での各定点における0+幼魚の平均尾叉長は、2014および2015年でそれぞれ6.72～9.23（平均7.43）および6.60～8.01（平均7.16）cmであった（図2）。この値は久保（1974）が示した翌年スマルトになり得る6月下旬の体サイズ（約6cm）を超えており、良好な成長をしていたと考えられる。

以上のように、一般河川である厚沢部川でも多くの野生サクラマスが再生産していることが確認された。本道の重要な漁業資源としてのサクラマスの資源管理を検討する上でも、一般河川におけるサクラマス資源に関する情報の蓄積と生息環境の保全が重要と考えられる。

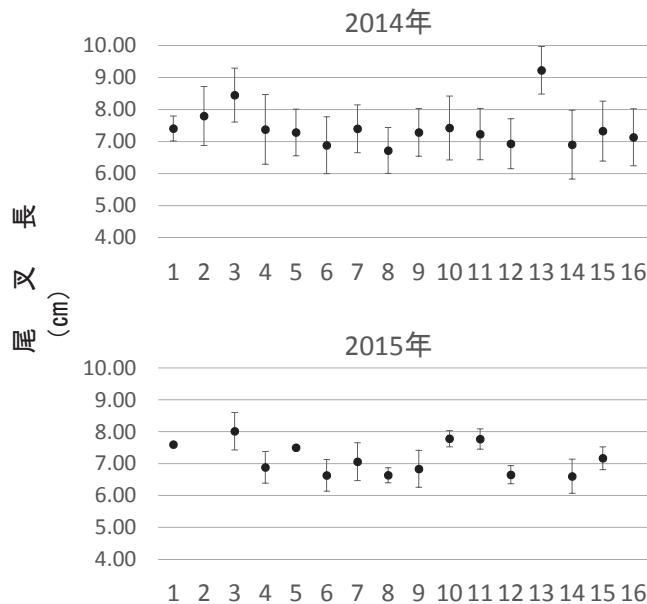
引用文献

Edpalina RR, Yoon M, Urawa S, Kusuda S, Urano A, Abe S. Genetic variation in wild and hatchery populations of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) inferred from mitochondrial DNA sequence analysis. *Fish Genetics and Breeding Science* 2004; 34: 37–44.

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場. 保護水面管理事業調査. 「平成25年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書」, 恵庭. 2015; 18–19.

表4 檜山管内の保護水面河川におけるサクラマス0+幼魚の生息密度（単位：尾/m²）

河川名	流域面積	定点番号	調査年														定点平均	
			2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
須築川	34.2	1	0.220	0.180	0.000	0.000	0.014	0.004	0.024	0.452	0.117	0.112	0.112	0.205	0.205	0.205		
		2	0.390	0.650	0.020	0.048	0.028	0.000	0.033	0.255	0.418							
利別川		1					0.336		0.311		0.139		0.262					
支流	70.9	2					0.840		0.632		0.799		0.739		0.702		0.753	
メップ		3					0.202		1.079		0.968		0.623		0.624		0.718	
川		5					0.421		0.910		1.119		0.490		0.536		0.735	
大檜川		1	0.000			0.875		0.475		0.189		0.079		0.161		0.324		
支流	44.3	2	0.060			0.275		0.401		0.134		0.084		0.108		0.191		
小川		3	0.000			0.304		0.083		0.002		0.060				0.090		
					0.480	0.157		0.038		0.113		0.020		0.106		0.162		
臼別川	48.4	1				0.760		0.343		0.427		0.589		0.382		0.095	0.500	
		2				0.210		0.044		0.040		0.314		0.688		0.074	0.259	
		3																
		1	0.280	0.070	0.420	0.000	0.120	0.116	0.196	0.152	0.088	1.388	0.491	0.676	0.086	0.314		
		2	0.010	0.170	0.940	0.000	0.020	0.114	0.401	0.142	0.422	0.018	0.357	1.337	0.303	0.326		
見市川	70.3	3	0.020	0.070	0.160	0.000	0.020	0.082	0.077	0.088	0.219	0.005	0.425	0.164	0.008	0.103		
		4	0.270	0.480	1.090	0.000	0.020	0.128	0.613	0.198	0.519	0.048	0.285	0.182	0.055	0.299		
		5	0.140	0.160	0.250		0.280	0.017	0.143	0.412	0.033	0.729	0.697			0.285		
		1	0.030				0.411		0.439		0.053		0.518		0.020	0.290		
突符川	59.3	2	0.070				1.812		1.967		0.732		2.095		0.022	1.335		
		3	0.000				0.189		0.486		0.177		0.231		0.008	0.217		
		1																
姫川	52.8	2	0.020			0.000		0.000		0.061		0.006		0.055		0.042	0.024	
		3	0.010			0.000		0.031		0.640		0.541		0.176		0.036	0.233	
		3	0.080			0.510		0.157		0.276		0.258		0.305		0.319	0.264	
		1																
石崎川	176.6	2	0.610			0.229		0.390	0.111	0.063					0.003	0.281		
		3	0.240			0.676		0.677		0.401					0.019	0.499		
		4	0.100			0.297		0.334		0.159						0.223		
		4	0.000			0.037		0.000		0.021						0.015		
年平均			0.143	0.102	0.422	0.000	0.188	0.356	0.267	0.355	0.356	0.211	0.424	0.525	0.362	0.165	0.049	0.282



調査定点

図2 厚沢部川の各定点における0+サクラマス幼魚の6月下旬の平均尾叉長と標準偏差

- 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場. 保護水面管理事業調査. 「平成26年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書」. 恵庭. 2016; 19-20.
- 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場. 保護水面管理事業調査. 「平成27年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書」. 恵庭. 2017; 21-22.
- 真山 純, 大熊一正, 野村哲一, 松村幸三郎. 尻別川におけるサクラマスのスマルト放流試験 -1981年春放流標識魚の回帰-. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1985; 39: 1-16.
- 宮腰靖之. 北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究. 北海道立水産孵化場研究報告 2006; 60: 1-64.
- 太田博巳, 神力義仁, 西村 明, 本間正男, 松原敏幸, 佐藤長蔵. 突符川に放流された池産1+スマルトサクラマスの降海行動. 北海道立水産孵化場研究報告 1986; 41: 47-54.
- 坂本博幸, 河村 博, 田中寿雄. 池産サクラマス標識魚の回帰（予報）. 北海道立水産孵化場研究報告 1984; 39: 105-111.

- Seber GAF, Le Cren ED. Estimating population parameters from catches large relative to the population. *J. Animal Ecol.* 1967; 36: 631-643.
- 下田和孝, 中島美由紀, 伊藤富子. 北海道石狩北部の濃昏川下流域における魚類群集の月変化. 北海道立水産孵化場研究報告 2005; 59: 1-9.
- 下田和孝, 川村洋司. 網走川支流ドードロマップ川における魚道設置前後の魚類生息密度. 北海道水産試験場研究報告 2012; 82: 41-50.
- 田中哲彦, 石田昭夫, 松川 洋, 石川嘉郎, 薫田道雄. 人工ふ化サクラマス稚魚の河川放流に関する研究 -1報 目名川とその支流における分散と定着についての観察. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1971; 25: 1-17.
- ト部浩一, 宮腰靖之. サクラマスフォーラム2009in島牧 -サクラマス資源の持続的利用を考える-. 魚と水 2010; 46: 6-8.
- ト部浩一, 藤原 真, 宮腰靖之, 神力義仁, 下田和孝, 川村洋司, 佐々木義隆, 隼野寛史. 後志管内におけるサクラマス自然再生産個体群の現状について. 北海道水産試験場研究報告 2013; 84: 39-45.

北海道の10河川におけるブラウントラウトの成長と性成熟（資料）

下田和孝*, 青山智哉, 坂本博幸, 大久保進一, 畑山 誠, 竹内勝巳

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Growth and sexual maturity of brown trout in ten rivers in Hokkaido, Japan (Note)

KAZUTAKA SHIMODA*, TOMOYA AOYAMA, HIROYUKI SAKAMOTO, SHIN-ICHI OHKUBO,
MAKOTO HATAKEYAMA and KATSUMI TAKEUCHI

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

キーワード：成熟年齢，成長曲線，ブラウントラウト

ヨーロッパおよび西アジア原産のブラウントラウト *Salmo trutta* は、明治から昭和初期に日本へ移入され（青山, 2003），北海道では1978年に日高地方の河川に初めて放流された（米川, 1981）。その後、分布河川は急速に拡大し、1997年までに道内の18水系で生息が確認され（鷹見・青山, 1999），2012年の時点で30水系以上に達した（下田, 2012）。ブラウントラウトは在来生物へ及ぼす影響が大きく、生物多様性や人間活動に対する影響の深刻さと生物学的侵入の事例を規準に、国際自然保護連合（IUCN）の種の保全委員会で2000年に「世界の侵略的外来種ワースト100」に選出されている（村上・鷺谷, 2002）。北海道では、人為的な分布拡大を防ぐ目的で2003年から北海道内水面漁業調整規則により移殖放流が禁止された。

これに加えて北海道ではブラウントラウトへの対策として、数河川を対象に試験的な駆除が実施されている。なかにはブラウントラウトの個体数の大幅な減少と在来魚群集の復元に成功した河川がある一方、河川規模が大きいため河川全域での駆除が難しく駆除の効果が判然としない河川もあった（下田, 2012）。こうした河川の中には、河川全域での駆除の実施に必要な人的コストが試算された例もあるが（下田, 2012），駆除によりブラウントラウトの個体群に対してどの程度のインパクトを与えることができるか検討されているわけではない。

近年、外来魚の駆除対策では再生産関係に基づく個体群モデルを用いて駆除の効果を予測し、複数の駆除方法

を比較検討することが提案されている（岩崎ら, 2012）。この報告によると、駆除する個体の割合が一定以下だと密度効果の作用により駆除を実施しない場合よりも平衡個体数（個体数増加率と駆除割合が釣り合って、個体数が時間的に変化しない状態に達した時の個体数）が多くなる場合があるという。こうした検討を行うには、個体群モデルの構築に必要な成長や成熟年齢など再生産に関わる基礎的知見が不可欠である。今後、ブラウントラウトの対策を効果的に進めるにあたり、各分布河川におけるこうした基礎的知見が必要になると予想される。本報告では道内の10河川を対象にブラウントラウトの年齢と尾叉長を調べるとともに、このうちの4河川については成熟年齢と成熟サイズおよび成熟時期についても調べた。さらに、これら4河川では、ブラウントラウトとの間で交雑が起きることが報告されているアメマス *Salvelinus leucomaenoides* (Kitano et al., 2009) についても成熟年齢と成熟サイズおよび成熟時期を調べた。

材料と方法

調査河川と調査年月日 調査河川は、豊畠川、昆布川、紋別川、ママチ川、濁川、鳥崎川、森川、茅部中の川、戸切地川および頃内川とした（図1）。

豊畠川は静内川の一次支流で、流域面積は 15.5km^2 、流路延長は8.7kmであり、静内川の河口から約6.6km上流の地点に左岸側から流入する。豊畠川では下流域の4地

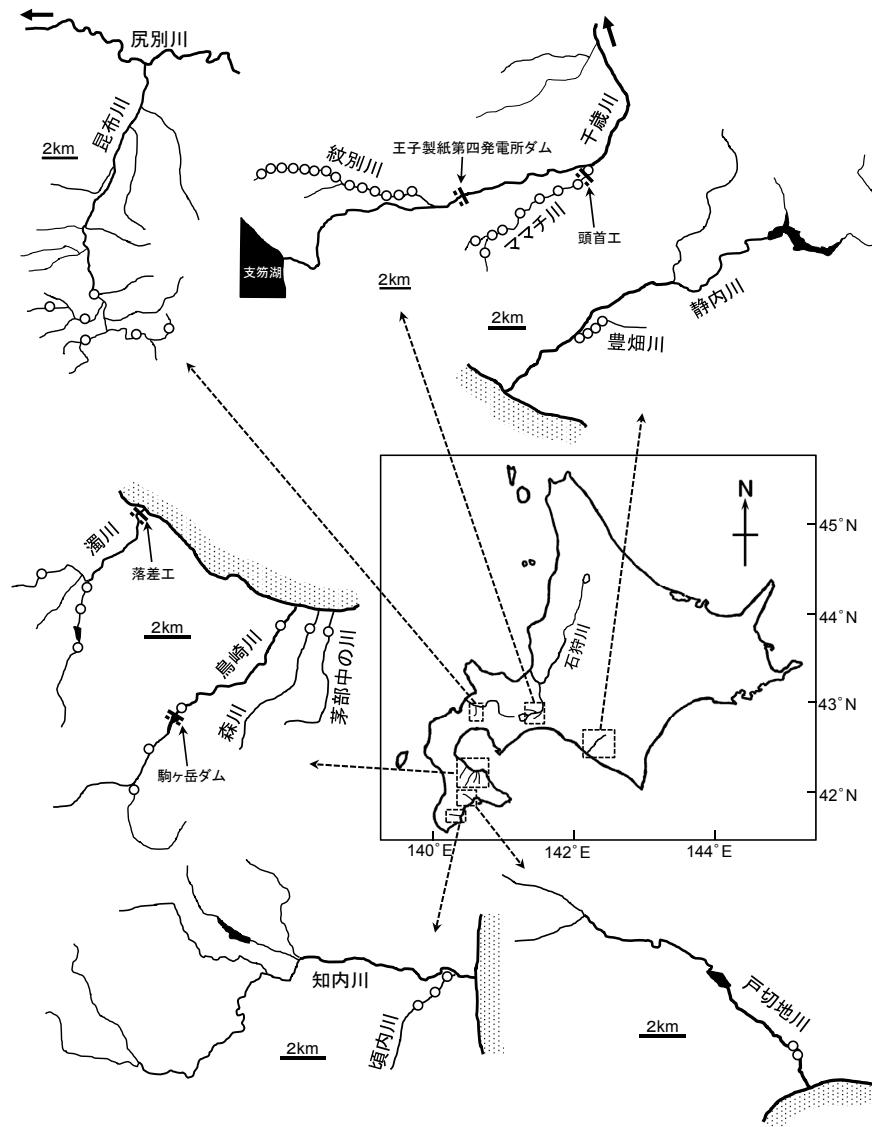


図1 調査河川と調査地点（○）の位置

点で2012年7月30日, 2013年1月16日, 4月25日, 5月1日, 7月29日, 2014年1月24日および2月25日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。豊畑川の調査地点には秋期から冬期にかけてサケ *Oncorhynchus keta*が遡上してくることから、ブラウントラウトも河川と海洋とを行き来することが可能であると推測される。

紋別川は流域面積 22.0 km^2 , 流路延長 15.1 km の規模で、千歳川と石狩川の合流点から約 55 km 上流で千歳川に注ぐ二次支流である。紋別川では本流全域の14か所で2011年9月12日, 16日, 20日, 10月24日および11月24日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。このうち10月24日および11月24日の調査の際には性成熟についても調べた。千歳川には紋別川との合流点から約 3.1 km 下流の地点に王子製紙第四発電所

のダムがあるため、紋別川のブラウントラウトは河川と海洋とを行き来することはできない。

ママチ川は流域面積 65.0 km^2 , 流路延長 20.5 km の規模で、千歳川と石狩川の合流点から約 42 km 上流の地点で千歳川に注ぐ二次支流である。ママチ川には千歳川との合流点から約 0.5 km 上流の地点に魚道付きの頭首工が設置されている。ママチ川の各調査地点では遡河回遊型の生活史を持つサクラマス *Oncorhynchus masou*の幼魚が採捕されたことから、ブラウントラウトも河川と海洋とを行き来できると推測される。ママチ川では本支流全域の9か所で2011年8月1日, 2日, 3日, 10月28日, 11月24日および12月13日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。このうち10月28日, 11月24日および12月13日の調査の際には性成熟についても調べた。

昆布川は尻別川の一次支流で、流域面積は 134.1km^2 、流路延長は 24.4km であり、尻別川の河口から約 32km 上流に左岸側から流入する。昆布川では、上流域の本支流6か所で2012年8月1日および2日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。昆布川の各調査地点では遡河回遊型の生活史を持つサクラマスの幼魚が採捕されたことから、ブラウントラウトも河川と海洋とを行き来できると推測される。

濁川は噴火湾に注ぐ流域面積 35.9km^2 、流路延長 10.6km の規模の河川で、本河川では本支流の中・上流域の4か所で2011年6月16日、10月20日、11月30日および2012年2月20日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。このうち2011年10月20日、11月30日および2012年2月20日の調査の際には性成熟についても調べた。濁川には河口から約 0.3km 上流の地点に落差 2m 以上の河川工作物があるため、ブラウントラウトは河川と海洋とを行き来することはできない。

鳥崎川は噴火湾に注ぐ流域面積 72.4km^2 、流路延長 20.8km の規模の河川で、本河川では本支流全域の4か所で2011年6月15日、17日、8月26日、2012年6月18日および7月23日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。鳥崎川には河口から約 10km 上流地点に堤高 43.6m の駒ヶ岳ダムがある。このダムの直下に位置する調査地点ではサクラマス幼魚が採捕されることから、ダムよりも下流に生息するブラウントラウトは海と川を行き来できると推測される。

森川は噴火湾に注ぐ流域面積 8.4km^2 、流路延長 9.7km の規模の河川で、本河川では本流の下流1か所で2012年8月29日および12月18日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。森川の調査地点では両側回遊型の生活史を持つカンキヨウカジカ *Cottus hangiongensis*が採捕されたことから、ブラウントラウトも海と川を行き来できると推測される。

茅部中の川は噴火湾に注ぐ流域面積 11.2km^2 、流路延長 9.1km の規模の河川で、本河川では本流の下流1か所で2012年8月30日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。茅部中の川の調査地点では両側回遊型の生活史を持つカンキヨウカジカが採集されたことから、ブラウントラウトも海と川を行き来できると推測される。

戸切地川は津軽海峡に注ぐ流域面積 63.5km^2 、流路延長 22.8km の規模の河川で、本河川では本流の下流2か所で2011年6月16日、8月25日、2012年5月29日、6月19日および12月19日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。戸切地川の調査地点では遡河回遊型の生活史を持つサクラマスの幼魚や両側回

遊型の生活史を持つカンキヨウカジカが採捕されたことから、ブラウントラウトも河川と海洋とを行き来できると推測される。

頃内川は知内川の一次支流で、流域面積は 5.1km^2 、流路延長は 7.5km であり、知内川の河口から約 1.2km 上流に右岸側から流入する。頃内川では、本流の中・下流の3か所で2011年7月27日、10月21日、11月29日、2012年2月21日、6月27日、7月24日、8月31日および12月20日にブラウントラウトを採捕して尾叉長を測定し年齢査定用の鱗を採取した。このうち2011年10月21日および11月29日の調査の際には性成熟についても調べた。頃内川では遡河回遊型の生活史を持つサクラマスの幼魚が採捕されたことから、ブラウントラウトも河川と海洋とを行き来できると推測される。

調査方法 各河川においてエレクトロフィッシャー (Smith-Root社製、12型または24型) を用いてブラウントラウトを採捕し、1mm単位で尾叉長を測定するとともに体側部から鱗を採取した。後日、採取した鱗の休止帯数を実体顕微鏡下で数え各個体の年齢を判定した。北海道のブラウントラウトでは4月から5月にかけて鱗の休止帯が完成することから (青山ら、2002)，本報告では4月1日を年齢加算日とした。紋別川、ママチ川、濁川および頃内川の10月下旬から2月下旬の調査では、以下の基準に従って外観から性別および性成熟を判定した。

成熟雄：排精が認められる個体、成熟見込み雄：排精は認められないが上顎の先端が下方に屈曲し外観から雄であると判断できる個体、繁殖後雄：成熟雄が確認された以降の調査において採捕された個体のうち外観から雄であると判断できるものの排精が認められない個体、成熟雌：排卵が認められる個体、成熟見込み雌：排卵は認められないが腹部の触診により成熟卵を持つものと判断できる個体、産卵後雌：腹部が萎縮し産卵を終えたと判断できる個体。なお、これらのいずれにも該当しない個体は、性別不明個体とした。

10月下旬から2月下旬の調査の際には、混獲されたアメマスについてもブラウントラウトと同様に尾叉長の測定と鱗による年齢査定、性別および性成熟の判定を実施した。

データ解析 本研究は周年にわたって調査を実施したため、同一年齢であっても調査時期により体サイズが大きく異なっていた。そこで、各個体の年齢と採捕年月日から日齢を判定し、年齢加算日である4月1日を起点とした整数で日齢を表した (0+の4月1日を日齢では1とした)。この日齢を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て成長解析に用いた。ただし、調査地点を多数設定した河川では各月の調査に2

日間以上を要する場合があったことから平均尾叉長は調査月毎に集計し、日齢としては月の中日である15日を充てた。

年齢と平均尾叉長との関係を式(1)のベルタランフィの成長式にエクセル(マイクロソフト社)のソルバー機能を用いて当てはめた。ただし、 t は年齢、 Lt は年齢 t における尾叉長、 L_∞ は最大到達尾叉長、 K は成長係数、 t_0 は $Lt=0$ 時の年齢である。ソルバー機能の使用に際しては尾叉長の実測値と式(1)により算出される Lt の値との残差平方和が最小になるように、 L_∞ 、 K および t_0 を

変化するように設定した。

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

成長曲線への当てはめは河川毎に行うとともに全河川のデータを用いた当てはめも行い、得られた成長曲線を各河川の成長の良否を判断する際の基準として用いた。

結 果

年齢と尾叉長 各河川で採捕された個体の尾叉長と年齢との関係を図2に示した。図2では各河川のベルタラン

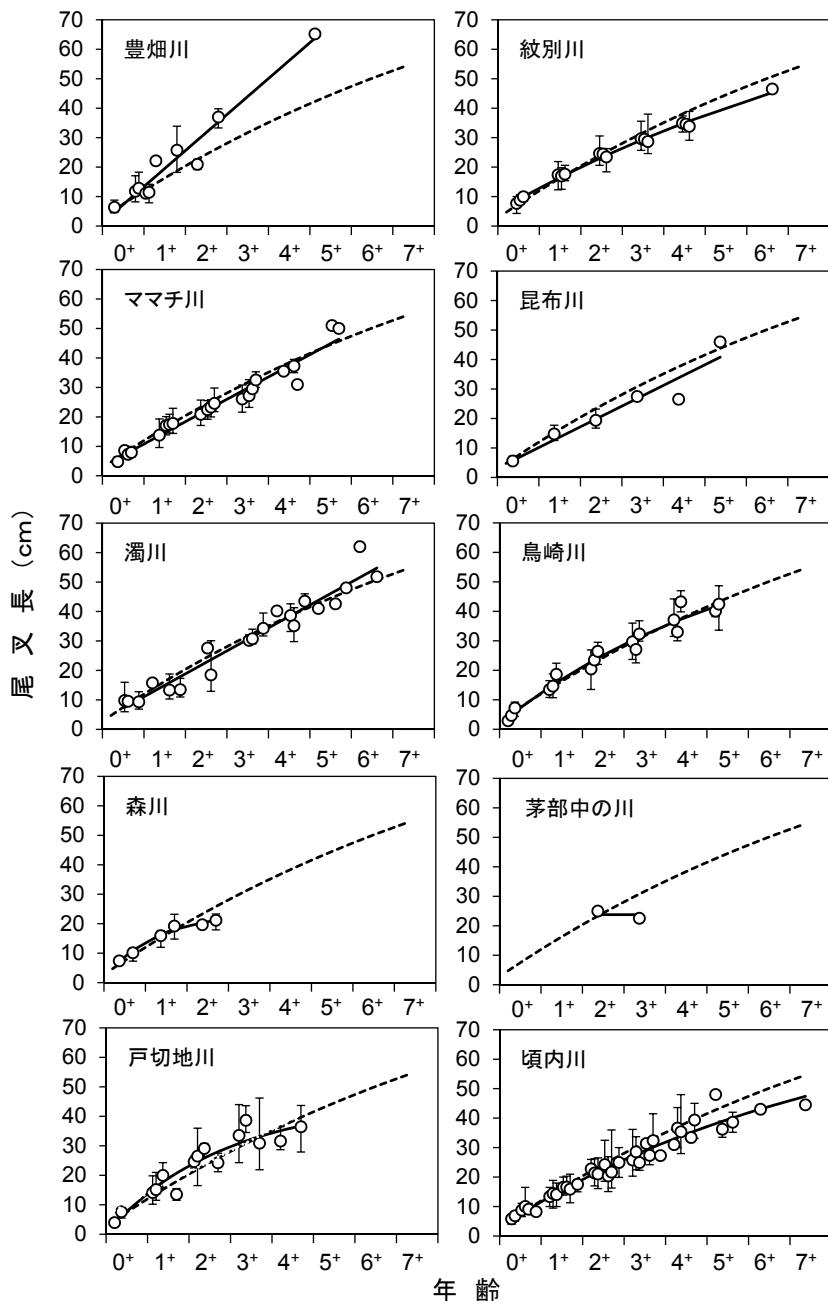


図2 各河川におけるブラウントラウトの年齢と平均尾叉長との関係

バーは尾叉長の範囲を、実線は各河川のベルタランフィの成長曲線、破線は全河川の測定データによるベルタランフィの成長曲線を示している。

イの成長曲線を実線で、全河川の測定データに基づく成長曲線を破線で示した。各成長曲線のパラメータは表1に示した。全河川の測定データに基づく成長曲線によると、年齢加算日の4月1日時点における尾叉長は、1+で12.4cm、2+で20.8cm、3+で28.4cm、4+で35.4cm、5+で41.8cm、6+で47.6cm、7+で53.0cmであった。

河川毎にみると、豊畠川の成長曲線は全河川による成長曲線よりも大きなサイズで推移した。豊畠川では本調査を通じて最大の個体（年齢5+、尾叉長65.2cm）が採

表1 ベルタランフィの成長式のパラメータ

河川	L_{∞}	K	t_0
豊畠川	66323.1	0.00018	-0.098
紋別川	92.1	0.09365	-0.608
ママチ川	5149.3	0.00148	-0.418
昆布川	8685.5	0.00081	-0.443
濁川	16640.1	0.00047	-0.422
鳥崎川	71.3	0.16341	-0.162
森川	23.6	0.81407	-0.063
茅部中の川	23.8	12.66153	-0.332
戸切地川	45.5	0.34661	-0.050
頃内川	78.8	0.11946	-0.333
全河川	109.4	0.09040	-0.286

捕された。この個体により豊畠川の成長曲線は直線状となり、最大到達尾叉長は過大な値となった（表1）。

紋別川の成長曲線は2+までは全河川による成長曲線とほぼ一致していたが、3+以降は成長が鈍化し全河川による成長曲線よりも低く推移した。

ママチ川の成長曲線は1+から3+にかけて全河川による成長曲線よりも僅かに低く推移したが、4+以降は全河川による成長曲線に準じた推移を示した。ママチ川では5+で50cm台の個体が2尾採捕されたことにより成長曲線は直線状となり、最大到達尾叉長は過大な値となった（表1）。

昆布川の成長曲線は、2+から4+にかけて全河川による成長曲線よりも小さな値を示したが、5+で採捕された尾叉長46.0cmの個体は全河川による成長曲線よりも僅かに大きかった。この個体により成長曲線は直線状となり、最大到達尾叉長は過大な値となった（表1）。

濁川の成長曲線は6+以降に全河川による成長曲線よりも高くなった。ただし、これは尾叉長62.0cmの6+の個体が成長曲線に大きな影響を及ぼしているためと推察される。成長曲線はこの個体により直線状となり、最大到達尾叉長は過大な値となった（表1）。

鳥崎川の成長曲線は全河川による成長曲線とほぼ完全に一致し、10河川のなかで平均的な成長を示した。

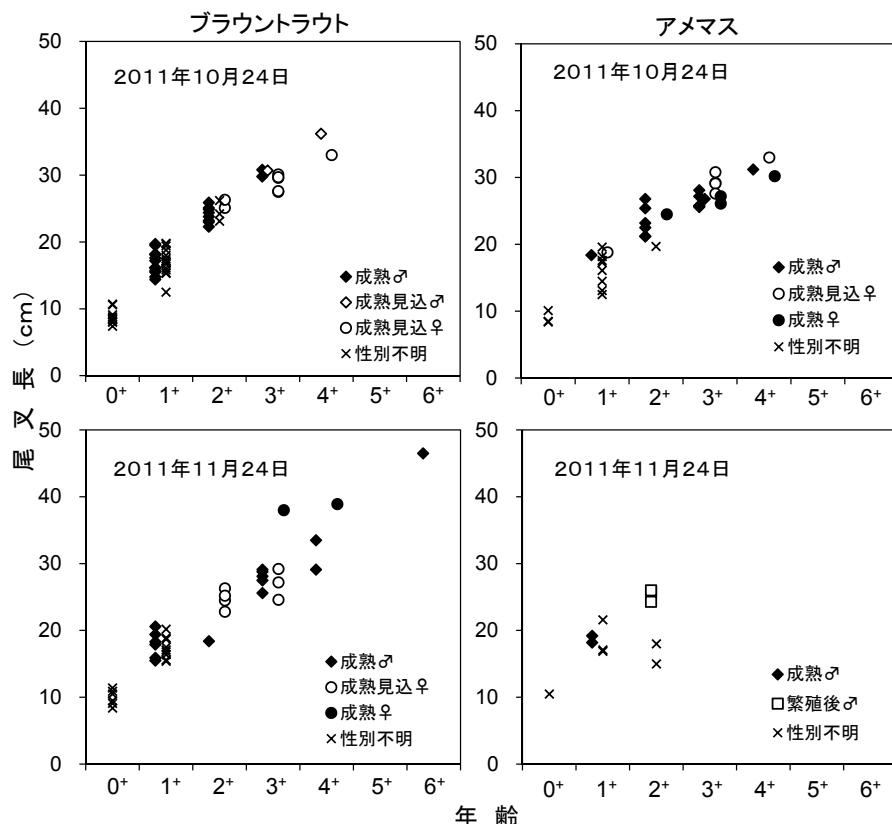


図3 紋別川におけるブラウントラウトとアメマスの成熟年齢と尾叉長

森川では2+以下の個体が採捕された。1+までは全河川による成長曲線とほぼ一致していたが、2+では低い値を示した。

茅部中の川では2+と3+の個体が採捕されたが、2+の個体の尾叉長の方が大きかったため、有用な成長曲線は得られなかった。

戸切地川の成長曲線は2+以下の年齢では全河川による成長曲線よりも高く推移し、3+以降は全河川による成長曲線に準じていた。

頃内川の成長曲線は2+までは全河川による成長曲線に準じた値を示したが、3+以降は全河川による成長曲線よりも小さなサイズで推移した。

性成熟 紋別川におけるブラウントラウトとアメマスの年齢、尾叉長および性成熟の関係を図3に示した。ブラウントラウトは、10月24日の時点での雄の成熟個体が確認されたが、雌の成熟個体は認められなかった。11月24日になると、ブラウントラウト雌の成熟個体が2個体確認された。成熟見込みの個体も含めると、紋別川におけるブラウントラウトの最小成熟尾叉長（および最低年齢）は、雄14.4cm (1+)、雌24.5cm (2+) であった。アメマスは10月24日の時点で雌雄ともに成熟個体が確認された。

ママチ川におけるブラウントラウトとアメマスの年齢、尾叉長および性成熟の関係を図4に示した。ブラウントラウトは、10月28日および11月24日の時点での雄の成熟個

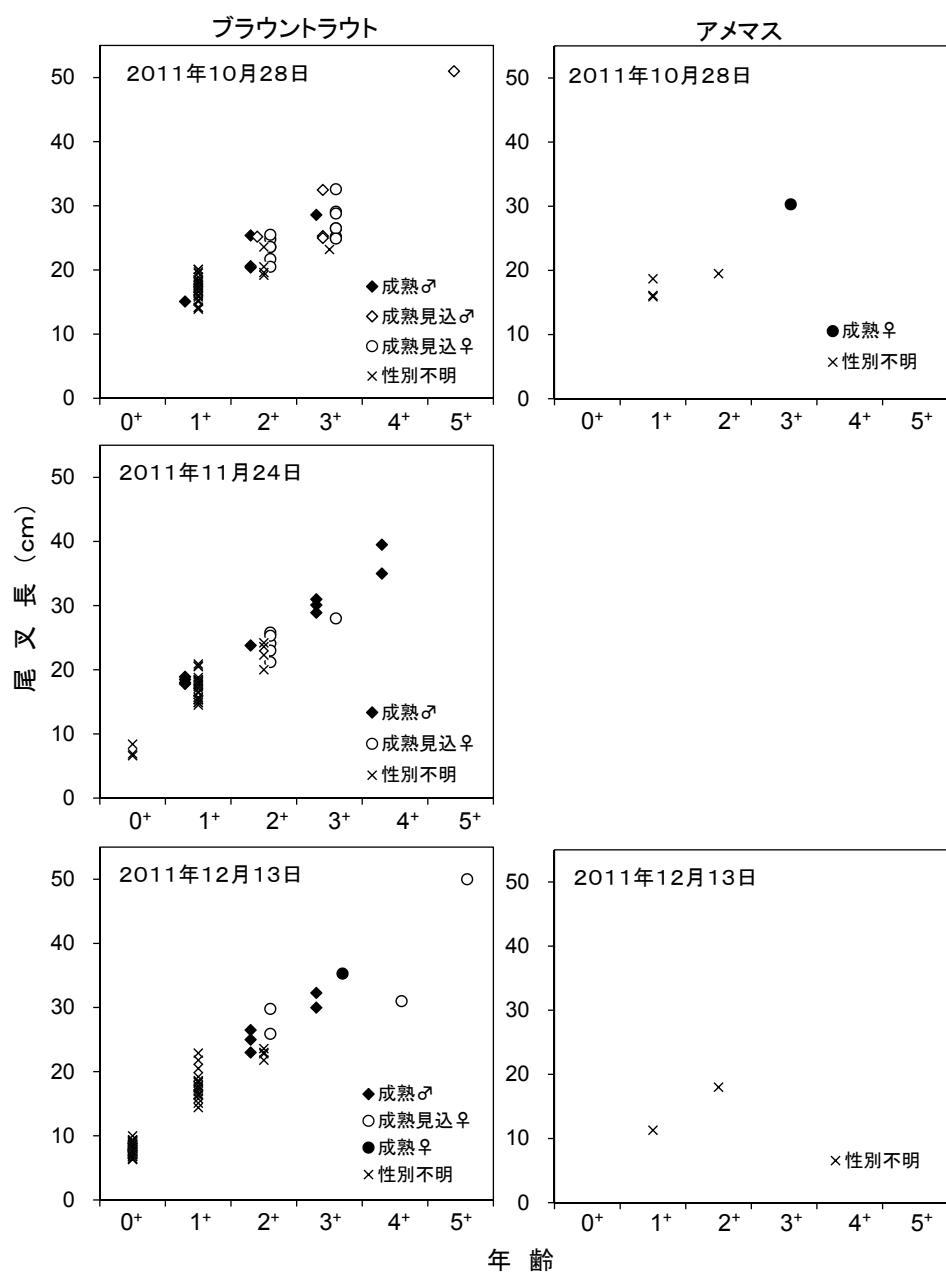


図4 ママチ川におけるブラウントラウトとアメマスの成熟年齢と尾叉長

体が確認されたが、雌の成熟個体は認められなかった。12月13日の調査では、ブラウントラウト雌の成熟個体が1個体確認された。成熟見込みの個体も含めると、ママチ川におけるブラウントラウトの最小成熟尾叉長（および最低年齢）は、雄15.1cm（1+）、雌20.5cm（2+）であった。アメマスは10月28日の時点での成熟個体1尾が確認された。

濁川におけるブラウントラウトとアメマスの年齢、尾叉長および性成熟の関係を図5に示した。ブラウントラウトは、10月20日の時点で雌雄ともに成熟個体は確認されなかつたが、11月30日の調査では雌雄ともに成熟個体が確認され、翌年2月20には成熟雌と産卵後雌が確認された。成熟見込みの個体も含めると、濁川におけるブラ

ウントラウトの最小成熟尾叉長（および最低年齢）は、雄25.4cm（2+）、雌29.0cm（3+）であり、他の河川と比べて雌雄ともに1歳高齢で約10cm大型であった。アメマスは10月20日に雄の成熟個体と雌の産卵後の個体が確認された。

頃内川におけるブラウントラウトとアメマスの年齢、尾叉長および性成熟の関係を図6に示した。ブラウントラウトは、10月21日の時点で雄の成熟個体が確認されたが、雌の成熟個体は認められなかつた。11月29日になると、ブラウントラウト雌の成熟個体が1個体確認された。成熟見込みの個体も含めると、頃内川におけるブラウントラウトの最小成熟尾叉長（および最低年齢）は、雄15.3cm（1+）、雌19.2cm（2+）であった。アメマスは

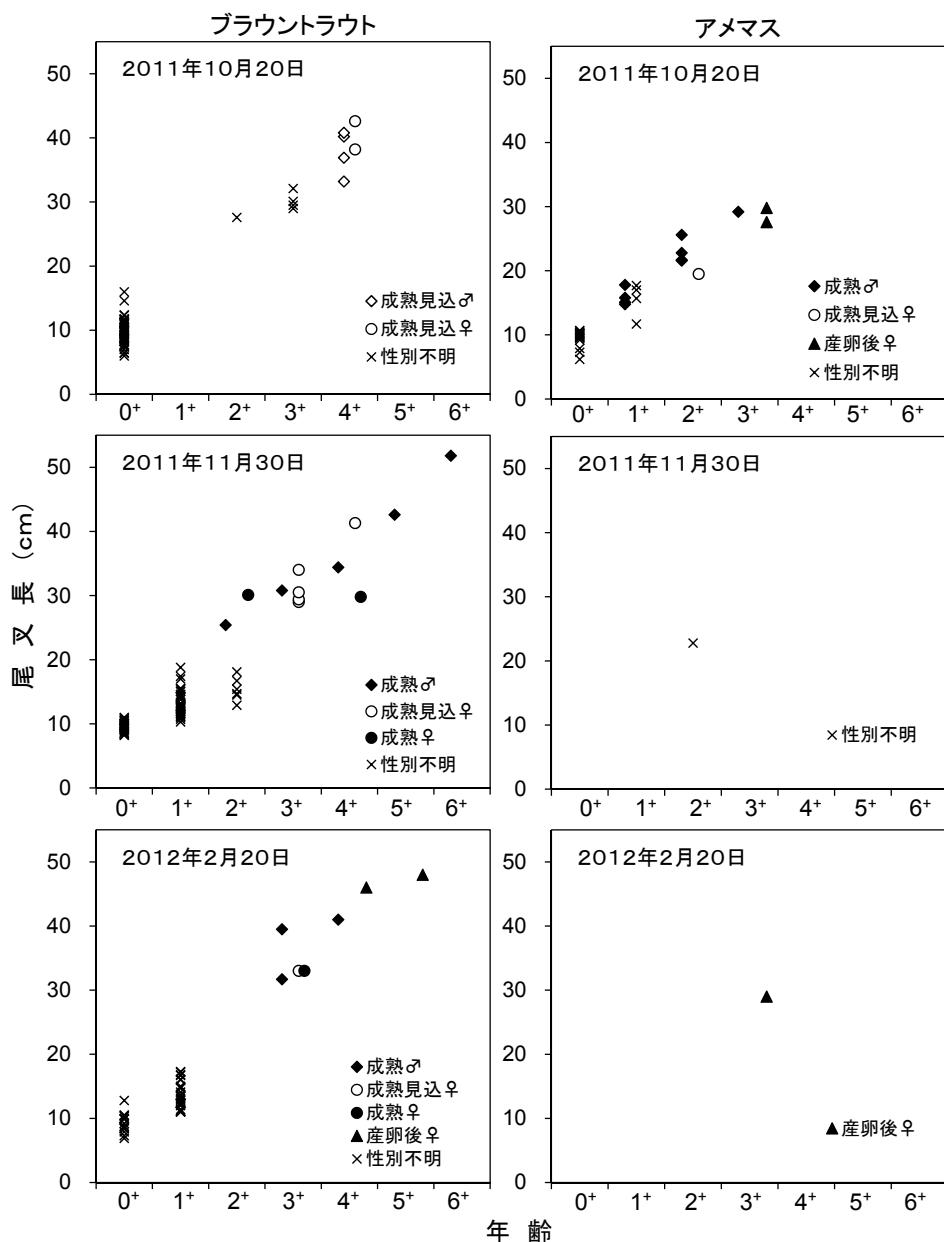


図5 濁川におけるブラウントラウトとアメマスの成熟年齢と尾叉長

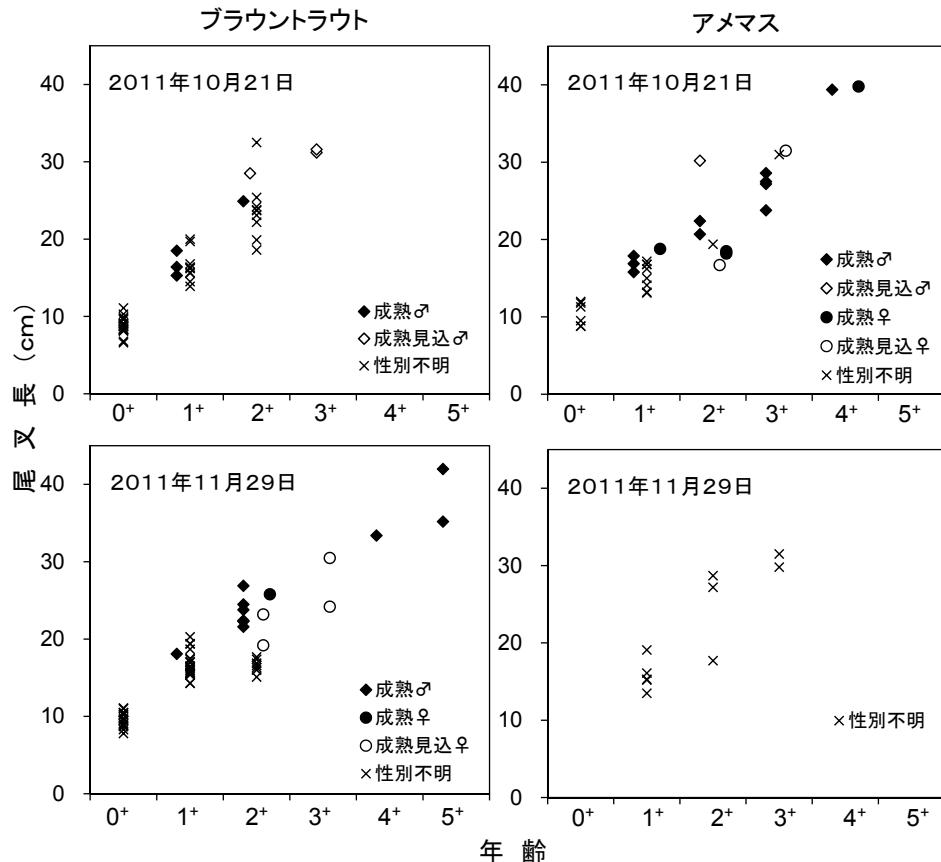


図6 塙内川におけるブラウントラウトとアメマスの成熟年齢と尾叉長

10月21日の時点で雌雄ともに成熟個体が確認された。

考 察

北海道ではこれまでに静狩川と千歳川水系でブラウントラウトの年齢と体サイズとの関係が報告されている(北海道立水産孵化場, 2005; 青山ら, 2002)。これらの報告によると静狩川の3~4月時点の平均尾叉長は、1+で11.3cm, 2+で16.7cm, 3+で28.2cm, 4+で29.1cm, 5+で34.3cmとされ、また千歳川水系の4~5月時点の平均尾叉長は、1+で9.1cm, 2+で19.4cm, 3+で26.4cm, 4+で30.6cm, 5+で38.4cm, 6+で59.9cmとされている。一方、本研究の結果によると、全河川の測定値から求めた4月時点の尾叉長は、1+で12.4cm, 2+で20.8cm, 3+で28.4cm, 4+で35.4cm, 5+で41.8cm, 6+で47.6cm, 7+で53.0cmであった。これらの値と比べると静狩川と千歳川水系の各年齢における体サイズは全般的に小型である。ただし、本研究の結果を河川毎にみると、全河川による成長曲線と比べて豊畠川では全般的に高成長、塙内川や紋別川では低成長であり、その他の河川も特定の年齢で大型であったり小型であったりするなど河川毎に特徴が見られた。前述の既往知見も考慮すると北海道のブラウ

ントラウトは河川によって成長に違いがあると考えられる。この背景として、河川による水温や餌条件の違いやブラウントラウトや競合種の生息密度の違いなどが想定されるが、本研究では成長差の原因の解明までは至らなかった。

豊畠川、ママチ川、昆布川および濁川では大型の個体が採捕されたことにより、成長曲線が直線状になり最大到達尾叉長が過大な値を示した。ブラウントラウトは降海すると成長が良くなることが知られ、例えば、北海道の厚田川で採捕された降海個体は2+の9月の時点で尾叉長37.5cmに達していたと報告されている(青山ら, 2002; Arai *et al.*, 2002)。本研究で大型個体が採捕された河川のうち、豊畠川、ママチ川および昆布川の調査地点は河川と海洋とを行き来できる場所に位置することから、大型個体の中には降海個体が含まれている可能性が考えられる。

一方、濁川の調査地点は遡上不可能な河川工作物よりも上流に位置することから降海個体が調査地点まで遡上してきたとは考え難い。濁川では尾叉長40cmを超える個体が14個体採捕され、最大の個体は尾叉長62.0cmであった。このことは、一生を河川内で生活する個体であっても、河川によっては大型に成長する場合があることを

示している。同様に降海することなく河川内で尾叉長60cm前後に成長した個体は千歳川でも確認されている(Arai et al., 2002)。ブラウントラウトは体サイズの大きな個体ほど魚食性が高くなる傾向があることから(北海道立水産孵化場, 2011), 河川内で大型化した個体は、成長する過程で多くの在来魚を捕食している可能性があり河川魚類群集に大きな影響を及ぼしているかもしれない。

本研究では4河川でブラウントラウトの成熟年齢と成熟尾叉長および成熟時期に関する資料が得られた。最低成熟年齢と最小成熟尾叉長は雌雄や河川による違いが見られ、紋別川、ママチ川および頃内川では雄で1+, 雌で2+であったのに対し、濁川では雌雄ともに1歳高齢で他河川よりも雌雄ともに約10cm大きかった。サケ科魚類の性成熟は成長との関連性が認められる場合もあるが(玉手・山本, 2004), 濁川における3+までの成長を他の3河川と比べると、頃内川よりは高成長であるものの紋別川とママチ川と比べると顕著な違いがあるわけではない(図2)。サケ科魚類では性成熟に遺伝的な影響が関係する場合もあることから(玉手・山本, 2004), 成熟年齢の河川差の解明にはさらに詳しい研究が必要である。

成熟個体の出現状況から、紋別川と頃内川では10月下旬にブラウントラウト雄の成熟が始まり、産卵は11月下旬以降に始まるものと推測される。一方、ママチ川では10月下旬に雄の成熟が始まるものの、成熟雌の出現状況から産卵期は12月中旬以降と推測される。また濁川では雌雄ともに11月下旬と2月下旬に成熟個体が確認されたことから、この期間が産卵期であると考えられる。既存の知見によると、支笏湖に流入する美笛川におけるブラウントラウトの産卵時期について佐川ら(2000)は12月中旬から1月上旬と報告している。今回、各河川で確認された成熟個体は数個体と少ない場合もあるため明言することは難しいが、本道のブラウントラウトは雌雄や河川により成熟の開始時期が異なる可能性があると考えられる。

ブラウントラウトはアメマスと交雑することが知られ、遺伝学的研究によると北海道で採捕された交雑個体は、アメマスの雌とブラウントラウトの雄の交雑によるものと報告されている(Kitano et al., 2009)。本研究では、紋別川と頃内川では10月下旬に雌雄ともにアメマスの成熟個体が確認され、ママチ川では10月下旬に雌の成熟個体が確認された。これらの河川では、10月下旬にブラウントラウト雄の成熟個体が確認されていることから、10月下旬にアメマス雌とブラウントラウト雄との間で交雑が起きる可能性がある。実際、頃内川では外観から両種の交雑魚と推定される個体が採捕されている(下田,

2012)。一方、濁川では10月下旬にアメマスの雄の成熟個体と雌の産卵後の個体が確認されたが、ブラウントラウトの成熟個体が確認されたのは雌雄ともに11月下旬以降であった。濁川ではこれまでに両種の交雑個体が確認されたことは無いが、両種の成熟時期が重複していないことが一因かもしれない。

本研究により北海道のブラウントラウトは、河川によって成長に違いがあり、成熟年齢や成熟サイズ、成熟時期も河川により異なる場合があることがわかった。このことは、個体群によって再生産関係に違いがあることを示唆し、駆除効果を予測するには河川毎に個体群モデルを構築する必要があると考えられる。北海道のブラウントラウトの駆除対策を効率的に進めるには、こうした個体群モデルをもとに複数の駆除方策の効果を予測し、在来の魚類群集や漁業資源へ及ぼす影響の大きさ、さらには費用対効果も鑑みて、完全駆除を目指すのか個体数の抑制に止めるか判断する必要がある。

謝 辞

本研究の実施にあたり、一般社団法人渡島管内さけ・ます増殖事業協会および一般社団法人日高管内さけ・ます増殖事業協会の職員の皆様に多大なご協力を頂きました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 青山智哉. ブラウントラウト. 「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; 112-115.
- 青山智哉, 鷹見達也, 下田和孝, 小山達也. 北海道におけるブラウントラウトの年齢と成長および性成熟. 北海道立水産孵化場研報 2002; 56: 115-123.
- Arai T, Kotake A, Aoyama T, Hayano H, Miyazaki N. Identifying sea-run brown trout, *Salmo trutta*, using Sr:Ca ratios of otolith. *Ichthyol. Res.* 2002; 49:380-383.
- Kitano S, Hasegawa K, Maekawa K. Evidence for interspecific hybridization between native white-spotted charr *Salvelinus leucomaenoides* and non-native brown trout *Salmo trutta* on Hokkaido Island, Japan. *J. Fish Biol.* 2009;74:467-473.
- 北海道立水産孵化場. 内水面外来魚実態調査. 「平成15年度事業成績書」, 恵庭. 2005; 126-136.
- 北海道立水産孵化場. 内水面外来魚実態調査. 「平成21年度事業成績書」, 恵庭. 2011; 74-77.
- 岩崎雄一, 秋田鉄也, 加茂将史. ブルーギル (*Lepomis*

- macrochirus*) の個体群モデルを用いた駆除対策への示唆. 応用生態工学2012; 15: 207–212.
- 村上興正・鶴谷いづみ. 世界の侵略的外来種ワースト100. 「外来種ハンドブック (日本生態学会編)」. 地人書館, 東京. 2002; 364–365.
- 佐川志朗, 山下茂明, 青山裕俊, 西田和功, 佐藤公俊, 岡本健太郎. 支笏湖におけるイトヨ, アメマスおよびブラウントラウトの自然繁殖に関する一知見. かばつちえぶ2000; 11: 56–60.
- 下田和孝. 北海道における外来魚問題 – 外来サケ科魚類 –. 日水誌2012; 78: 754–757.
- 鷹見達也, 青山智哉. 北海道におけるニジマスおよびブラウントラウトの分布. 野生生物保護1999; 4: 41–48.
- 玉手剛, 山本祥一郎. サケ科魚類における二つの生活史 ~生活史分岐と生活史多型に関する進化現象について~. 「サケマスの生態と進化 (前川光司編)」文一総合出版, 東京. 2004; 43–69.
- 米川年三. 北海道にブラウントラウト出現. 魚と水1981; 19: 43–44.

付表1 各河川のブラウントラウトの平均尾叉長(cm), 標準偏差, 最小個体, 最大個体およびサンプル数

河川	調査年月日	年齢						
		0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+
2012.7.30	平均値	7.6		21.0				
	標準偏差	0.8		1.8				
	最小個体	5.9		19.2				
	最大個体	8.8		22.7				
	サンプル数	18		2				
2013.1.16	平均値	11.4	26.1	38.2				
	標準偏差	1.7	5.6	2.2				
	最小個体	8.2	18.2	35.1				
	最大個体	15.2	33.9	39.8				
	サンプル数	41	4	3				
2013.4.25	平均値		11.1					
	標準偏差		0.9					
	最小個体		10.0					
	最大個体		12.1					
	サンプル数		5					
2013.5.1	平均値		11.4				65.2	
	標準偏差		1.9					
	最小個体		7.9					
	最大個体		14.2					
	サンプル数		11				1	
2013.7.29	平均値	5.7	22.1					
	標準偏差	0.6	1.1					
	最小個体	4.6	20.9					
	最大個体	7.8	23.5					
	サンプル数	34	3					
2014.1.24	平均値	12.5	25.5	33.3				
	標準偏差	1.8	3.5					
	最小個体	9.5	21.8					
	最大個体	17.1	29.7					
	サンプル数	26	4	1				
2014.2.25	平均値	12.9						
	標準偏差	2.4						
	最小個体	10.6						
	最大個体	18.3						
	サンプル数	10						
2011.9.12 9.16 9.20	平均値	7.7	17.4	24.6	29.6	34.9		
	標準偏差	1.1	2.3	2.4	2.5	2.1		
	最小個体	4.3	12.3	20.6	25.7	31.9		
	最大個体	10.0	21.9	30.6	35.6	37.4		
	サンプル数	103	31	22	13	5		
2011.10.24	平均値	8.8	17.0	24.4	29.5	34.6		
	標準偏差	1.0	1.8	1.2	1.2	1.6		
	最小個体	7.4	12.5	22.3	27.5	33.0		
	最大個体	10.7	19.8	26.3	30.8	36.2		
	サンプル数	10	27	13	8	2		
2011.11.24	平均値	10.0	17.6	23.4	28.7	33.8	46.5	
	標準偏差	1.1	1.7	2.8	3.6	4.0		
	最小個体	8.4	15.4	18.4	24.6	29.1		
	最大個体	11.4	20.6	26.3	38.0	38.9		
	サンプル数	6	15	5	9	3	1	
2011.8.1 8.2 8.3	平均値	4.8	13.8	20.9	26.0	35.5		
	標準偏差	0.8	2.0	2.0	2.8			
	最小個体	3.2	9.6	17.1	21.6			
	最大個体	6.5	19.3	25.7	30.8			
	サンプル数	137	66	25	23	1		
2011.10.28	平均値	8.6	17.1	22.4	27.2	51.0		
	標準偏差		1.7	2.2	2.8			
	最小個体		13.9	19.2	23.2			
	最大個体		20.1	25.5	32.6			
	サンプル数	1	32	14	13	1		
ママチ川	平均値	7.3	17.4	23.3	29.5	37.3		
	標準偏差	0.8	1.7	1.7	1.1	2.3		
	最小個体	6.6	14.5	20.0	28.0	35.0		
	最大個体	8.4	20.9	25.8	31.0	39.5		
	サンプル数	3	30	10	4	2		
2011.11.24 2011.12.13	平均値	7.9	17.8	24.6	32.5	31.0	50.0	
	標準偏差	0.8	2.1	2.3	2.2			
	最小個体	6.3	14.4	21.8	30.0			
	最大個体	10.0	22.9	29.8	35.3			
	サンプル数	48	19	9	3	1	1	

付表1(続き) 各河川のブラウントラウトの平均尾叉長(cm), 標準偏差, 最小個体, 最大個体およびサンプル数

河川	調査年月日	年齢						
		0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+
昆布川	2012.8.1 8.2	平均値	5.5	14.8	19.4	27.5	26.5	46.0
		標準偏差	0.7	1.8	2.4	0.4		
		最小個体	4.1	12.5	16.7	27.0		
		最大個体	7.2	17.7	23.2	27.9		
渦川	2011.6.16 2011.10.20 2011.11.30	サンプル数	69	14	4	2	1	1
		平均値		15.8			40.2	41.0
		標準偏差		0.7				62.0
		最小個体		15.1				
鳥崎川	2012.2.20 2011.6.15 6.17	最大個体		16.5				
		サンプル数		2			1	1
		平均値	9.8		27.6	30.2	38.7	
		標準偏差	1.9			1.2	3.0	
森川	2011.8.26 2012.6.18 2012.7.23	最小個体	6.0			29.0	33.2	
		最大個体	16.0			32.1	42.6	
		サンプル数	56		1	4	6	
		平均値	9.6	13.3	18.5	30.7	35.2	42.6
茅部中の川	2012.8.29 2012.12.18	標準偏差	0.8	1.9	5.7	1.8	4.7	51.8
		最小個体	8.2	10.3	12.9	29.0	29.8	
		最大個体	11.0	18.8	30.1	34.0	41.3	
		サンプル数	26	38	8	5	3	1
茅部中の川	2012.8.30	平均値	9.3	13.5		34.3	43.5	48.0
		標準偏差	1.4	1.9		3.0	2.5	
		最小個体	6.9	11.0		31.7	41.0	
		最大個体	12.8	17.3		39.5	46.0	
森川	2012.8.29 2012.12.18	サンプル数	16	30		4	2	1
		平均値	2.9	13.4	19.8	29.8	40.2	38.2
		標準偏差	0.1	1.2	2.4	3.1	3.3	
		最小個体	2.8	11.0	13.5	24.6	35.0	
茅部中の川	2012.8.30	最大個体	3.0	16.1	25.0	35.1	44.2	
		サンプル数	2	42	25	7	4	1
		平均値	7.2	18.6	26.4	32.3	43.3	
		標準偏差	1.0	1.8	2.2	2.7	2.9	
鳥崎川	2011.8.26 2012.6.18	最小個体	4.4	15.6	22.0	29.9	39.8	
		最大個体	9.2	22.4	29.5	36.8	47.0	
		サンプル数	37	19	10	5	3	
		平均値		13.5	26.1	29.6	34.0	42.0
森川	2012.6.18 2012.7.23	標準偏差		1.9	0.8	4.4	2.0	
		最小個体		10.8	25.0	23.7	31.5	
		最大個体		16.5	26.9	36.0	37.0	
		サンプル数		25	3	4	4	1
茅部中の川	2012.8.29 2012.12.18	平均値	4.7	14.6	23.5	27.1	33.0	42.5
		標準偏差	0.4	1.5	1.8	3.3	3.2	4.8
		最小個体	4.0	10.7	21.7	22.5	30.0	33.6
		最大個体	5.7	18.8	26.0	30.3	37.5	48.7
森川	2012.8.29 2012.12.18	サンプル数	18	48	4	3	3	7
		平均値	7.4	15.9		19.7		
		標準偏差	0.5	1.7		0.6		
		最小個体	6.5	12.0		18.8		
茅部中の川	2012.8.30	最大個体	8.3	17.7		20.2		
		サンプル数	11	15		3		
		平均値	10.1	19.2		21.2		
		標準偏差	1.4	2.1		2.1		
茅部中の川	2012.8.30	最小個体	7.3	14.8		17.9		
		最大個体	11.7	23.2		23.3		
		サンプル数	10	11		4		
		平均値			25.0	22.6		
茅部中の川	2012.8.30	標準偏差				0.3		
		最小個体				22.3		
		最大個体				22.8		
		サンプル数			1	2		

付表1(続き) 各河川のブラウントラウトの平均尾叉長(cm), 標準偏差, 最小個体, 最大個体およびサンプル数

河川	調査年月日	年齢						
		0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+
2011.6.16	平均値	3.9	15.6	27.6	38.9			
	標準偏差	0.7	1.5	4.8	3.8			
	最小個体	3.1	12.4	19.2	33.8			
	最大個体	5.0	18.7	36.0	44.0			
	サンプル数	11	40	16	5			
2011.8.25	平均値	7.6	19.9	29.1	38.6			
	標準偏差	0.9	2.2	1.3	3.5			
	最小個体	5.5	15.9	26.4	34.5			
	最大個体	9.0	24.3	30.8	43.6			
	サンプル数	25	25	7	4			
戸切地川 2012.5.29	平均値	14.1	24.6					
	標準偏差	2.3	1.4					
	最小個体	10.2	22.5					
	最大個体	19.8	26.5					
	サンプル数	31	4					
2012.6.19	平均値	14.9	20.4	30.2	31.6			
	標準偏差	1.9	4.2	3.7	2.5			
	最小個体	11.5	16.5	24.3	28.7			
	最大個体	21.0	26.2	35.0	36.5			
	サンプル数	76	3	8	7			
2012.12.19	平均値	13.5	24.2	30.9	36.4			
	標準偏差	2.0	2.3	7.6	5.0			
	最小個体	11.5	21.2	21.9	27.9			
	最大個体	15.5	27.5	46.2	43.7			
	サンプル数	2	8	11	7			
2011.7.27	平均値	5.8	15.1	21.2	30.4	41.2		
	標準偏差	0.7	1.7	2.6	1.8	2.6		
	最小個体	4.0	10.7	17.0	27.9	37.0		
	最大個体	7.3	18.9	26.2	33.7	43.6		
	サンプル数	97	122	23	12	4		
2011.10.21	平均値	8.8	16.6	24.3	31.4			
	標準偏差	1.0	1.8	3.6	0.2			
	最小個体	6.6	13.9	18.6	31.2			
	最大個体	11.1	20.0	32.5	31.6			
	サンプル数	20	13	11	2			
2011.11.29	平均値	9.6	16.6	20.4	27.4	33.4	38.6	
	標準偏差	0.9	1.5	3.8	3.1		3.4	
	最小個体	7.8	14.3	15.1	24.2		35.2	
	最大個体	11.1	20.3	26.9	30.5		42.0	
	サンプル数	16	25	16	2	1	2	
2012.2.21	平均値	8.3	17.5	25.0	27.3			
	標準偏差	0.0	1.3	5.1				
	最小個体	8.2	15.0	19.9				
	最大個体	8.3	18.7	30.0				
	サンプル数	2	5	2	1			
頃内川 2012.6.27	平均値	13.4	22.8	25.8	31.0	48.0		
	標準偏差	1.5	1.9	5.6	1.0			
	最小個体	10.0	20.8	20.3	30.0			
	最大個体	16.5	26.0	36.2	32.0			
	サンプル数	34	7	5	2	1		
2012.7.24	平均値	5.5	13.8	21.6	25.8	33.6	43.0	
	標準偏差	0.3	1.6	2.4	2.5	2.2		
	最小個体	5.0	9.5	17.5	22.5	30.0		
	最大個体	6.0	17.5	26.0	29.5	36.9		
	サンプル数	14	134	19	8	6	1	
2012.8.31	平均値	6.9	14.1	21.0	24.9	35.4	36.3	44.5
	標準偏差	0.7	1.8	2.6	2.0	6.2	2.8	
	最小個体	5.0	10.0	16.1	22.3	28.0	33.5	
	最大個体	8.0	18.0	26.5	28.0	48.0	39.0	
	サンプル数	30	108	23	11	7	2	1
2012.12.20	平均値	9.1	15.9	21.7	32.4	39.4		
	標準偏差	0.7	1.8	4.3	5.3	4.9		
	最小個体	8.3	11.3	16.3	26.9	33.1		
	最大個体	11.1	21.0	36.0	41.5	45.0		
	サンプル数	15	47	20	8	3		

石狩湾系ニシンにおける刺し網の網目選択性と資源管理効果

星野 昇

石狩湾系ニシンを対象に、2015~2017年に刺し網による試験操業を実施し、漁期の終盤に来遊する群の年齢・尾叉長組成や成熟状況を把握するとともに、刺し網の網目選択性曲線を推定した。各調査年とも、2~3歳魚を主体とする産卵親魚の来遊があった。推定された網目選択性曲線から、1.8, 2.0, 2.2, 2.4寸に対する最適尾叉長は、それぞれ243mm, 269mm, 296mm, 323mmと推定された。資源管理策に基づく下限目合2.0寸では、初回産卵である2歳群の漁獲効率は約5%, 3歳群は約65%と推定され、産卵量を増大させるための資源管理効果が高いことがわかった。

A544 北水試研報 92, 1–11 2017

蓄養水の塩分がヤマトシジミ *Corbicula japonica* の呈味性に及ぼす影響

佐藤暁之, 清水茂雅, 成田正直, 辻 浩司, 宮崎亜希子, 蛭谷幸司, 渡辺智治, 畑山 誠, 麻生真悟

本研究はヤマトシジミの呈味性向上を図ることを目的に、塩分別の蓄養試験を行った。網走湖で採取したヤマトシジミを塩分10psu及び5psuの人工海水で24時間蓄養したところ、軟体部の水分減少と遊離アミノ酸の増加が観察された。増加した主な遊離アミノ酸はグルタミン酸、アラニン、 β -アラニン、プロリンであり、これらがヤマトシジミの浸透圧調整の初期に関与しているオスモライドであると考えられた。また、ヤマトシジミの煮汁においても10psuの蓄養により軟体部同様4種類の遊離アミノ酸が増加した。アラニン及びプロリンは甘味を呈し、グルタミン酸はうま味に関与することから10psu人工海水の蓄養によりヤマトシジミの呈味性向上が期待された。

A546 北水試研報 92, 21–27 2017

北海道日本海南部地方における標準化CPUEを用いたサクラマスの来遊資源変動の推定

飯嶋亜内

北海道南西部日本海側において、2003–2014年に沿岸漁獲されたサクラマスの年別の漁獲尾数と漁獲努力量指標値を用い、GLMを用いてCPUEの標準化を行った。AICにより選択し、妥当性を確認した標準化モデルは漁獲尾数を精度よく再現し、広域で長期間に渡り多様な漁法で漁獲される本種の資源評価に、本研究の手法が有効であると考えられた。標準化モデルからleast squares meanにより算出した標準化CPUEの年トレンドは減少傾向を示さず、当地域において主要な漁法である釣り漁業の漁業者数の減少に伴い、漁獲量が減少している可能性が示唆された。

A545 北水試研報 92, 13–20 2017

朱鞠内湖に生息するイトウ *Parahucho perryi* の遺伝的集団構造（短報）

畠山 誠, 下田和孝, 水野伸也, 川村洋司

朱鞠内湖に生息するイトウの遺伝的集団構造を推測するため、湖内と流入河川で捕獲された個体のミトコンドリアDNAチトクロムb遺伝子の一部を解析した。イトウ211個体から確認されたハプロタイプは変異点3点による3種（A, B2, C）であった。湖内で採取された個体のハプロタイプ頻度は常に3種が混在していた。流入河川で捕獲されたイトウのハプロタイプ頻度は河川毎に複数年にわたる一定の特徴が認められた。このことから、朱鞠内湖内に生息するイトウは母川回帰性があり、流入河川毎の繁殖集団により構成されていると推測された。

A547 北水試研報 92, 29–32 2017

北海道周辺海域におけるマダラの年齢組成（資料）

星野 昇，田中伸幸，本間隆之，鈴木祐太郎

北海道周辺において、1990年代から実施されてきたマダラの生物測定標本データから、体長－年齢関係と成長傾向を年代別・海域別に集計、比較して、今後の資源評価や生態研究に資する基礎資料としてとりまとめた。体長－年齢関係（Age-Length Key）には海域別・年代別の違いが認められた。また、道西日本海の漁獲物では若齢期の、釧路沖の漁獲物では5歳以降の成長量が大きい可能性が示唆された。

A548 北水試研報 92, 33–42 2017

北海道日本海側河川に遡上したサケの最近の年級別回帰尾数（資料）

小山達也，下田和孝，青山智哉，飯嶋亜内，卜部浩一，藤原 真，宮腰靖之

本報告では2010年から2016年に北海道日本海側河川の13河川に遡上したサケの年齢組成を調べた。3年魚から6年魚を対象として各河川での2007年級から2010年級の回帰尾数を推定したところ、これら4年間の年級では全ての河川で2009年級の回帰尾数が少ない結果となった。全道の他海区の河川での2007年級から2010年級の回帰尾数を見ると2009年級が低い回帰尾数であるという傾向は窺えず、日本海側にのみ見られた現象であった。これらの結果を資料として報告する。

A550 北水試研報 92, 47–58 2017

マツカワ神経壊死症ウイルス遺伝子検出のためのone-step RT-PCR法の検討；従来法two-step RT-PCR法との感度の比較（資料）

伊藤慎悟

現在、マツカワ神経壊死症ウイルスの検査で用いられているtwo-step RT-PCR法は、操作が煩雑なため、試薬の入れ忘れなどのミスを起こす危険性がある。そこで、操作が簡易なone-step RT-PCR法へ移行するために、罹患したマダラ脳の核酸抽出物を使用し、両手法の感度を比較した。One-step RT-PCRでも同じレベルの感度まで検出できた。one-step RT-PCR法の条件を検討した結果、プライマーの終濃度を0.15μMとすることで非特異増幅産物の増幅も見られず、従来と同じ結果が得られた。

A549 北水試研報 92, 43–46 2017

北海道南西部厚沢部川水系における野生サクラマス幼魚の分布と生息密度（資料）

青山智哉，神力義仁，大森 始，竹内勝巳

厚沢部川水系の15あるいは16か所の定点において、2013年から3年間サクラマス幼魚の生息状況を調査した。各年とも調査を行ったすべての定点において、少なくとも0+あるいは1+幼魚のいずれかが採捕されたが、生息密度は定点間において大きく変化した。また年間においても大きく変化し、各年における0+幼魚の生息密度は2013, 2014および2015年でそれぞれ0.063, 0.328および0.024尾/m²であった。2013～2015年の檜山管内の保護水面河川における0+幼魚の平均生息密度は0.192尾/m²であったことと比較すると、厚沢部川はその水系規模の大きさからサクラマスの重要な種川の一つであると考えられた。ただ、年によっては親魚が遡上できない支流があることが確認された。

A551 北水試研報 92, 59–63 2017

北海道の10河川におけるブラウントラウトの成長と性成熟（資料）

下田和孝，青山智哉，坂本博幸，大久保進一，畠山 誠，
竹内勝巳

北海道の10河川でブラウントラウトの年齢と尾叉長を調べ、ペルタランフィの成長曲線に当てはめた。全河川の測定データから求めた4月時点における各年齢の尾叉長は、1+で12.4cm, 2+で20.8cm, 3+で28.4cm, 4+で35.4cm, 5+で41.8cm, 6+で47.6cm, 7+で53.0cmであった。この成長曲線と各河川の成長曲線を比べたところ、年齢によって大小関係が変化するなど河川毎に特徴が見られた。4河川を対象に性成熟を調べたところ、雄は10月下旬以降に、雌は11月下旬以降に成熟個体が確認され、最低成熟年齢は雄1+, 雌2+であったが、いずれも河川による違いが見られた。

A552 北水試研報 92, 65-77 2017

水産研究本部図書出版委員会

委員長 夏目 雅史
委 員 三橋 正基 蟻谷 幸司 赤池 章一
山口 幹人 森 立成 宮腰 靖之
事務局 木村 稔 池田 秀樹 野俣 洋

水産研究本部出版物編集委員会

委員長 木村 稔
委 員 志田 修 星野 升 馬場 勝寿 清水 洋平
辻 浩司 武田 忠明 宮腰 靖之 春日井 潔
佐々木義隆 中島美由紀
事務局 池田 秀樹 野俣 洋 (作業補助:大下 芹香)

北海道水産試験場研究報告 第92号

2017年9月29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
〒065-0021 札幌市東区北21条東1丁目4番6号
電話 011(731)9500