

北海道水産試験場研究報告

第 84 号

SCIENTIFIC REPORTS
OF
HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES
No. 84

北海道立総合研究機構水産研究本部

北海道余市町

2013年9月

Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department

Yoichi, Hokkaido, Japan

September, 2013

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

(Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

函館水産試験場

(Hakodate Fisheries Research Institute)

042-0932

函館市湯川町1-2-66

(Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)

釧路水産試験場

(Kushiro Fisheries Research Institute)

085-0024

釧路市浜町2-6

(Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan)

網走水産試験場

(Abashiri Fisheries Research Institute)

099-3119

網走市鱈浦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84号

目 次

佐野 稔, 前田圭司, 高柳志朗, 和田雅昭, 畑中勝守, 菊池 肇, 宮下和士

北海道北部沿岸域におけるなまこけた網の漁獲効率の推定 1

春日井 潔

異なる保存処理およびその後のホルマリン・エタノール固定が
サケ幼稚魚の魚体サイズに及ぼす影響 11

宮腰靖之, 安藤大成, 藤原 真, 虎尾 充, 隼野寛史, ト部浩一

北海道オホツク海側の河川に遡上したサケの魚体サイズの特徴 21

虎尾 充, 工藤 智

鶴川沿岸におけるシシャモ仔稚魚の分布と魚体の生化学的性状 31

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（資料） 39

ト部浩一, 三島啓雄, 宮腰靖之

十勝川水系におけるサケ・サクラマスの産卵環境評価（資料） 47

小玉裕幸, 福士暁彦, 合田浩朗, 川井唯史

チヂミコンブの成分調査（資料） 57

(2013年9月)

SCIENTIFIC REPORTS
OF
HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES
No.84
CONTENTS

| | |
|---|----|
| MINORU SANO, KEIJI MAEDA, SHIRO TAKAYANAGI, MASAAKI WADA, KATSUMORI HATANAKA, HAJIME KIKUCHI AND KAZUSHI MIYASHITA Catch efficiency of dredge netting for sea cucumber, <i>Apostichopus armata</i> , in northern Hokkaido | 1 |
| KIYOSHI KASUGAI | |
| The effects of different methods of preservation and fixation in formalin and ethanol upon body size of juvenile chum salmon | 11 |
| YASUYUKI MIYAKOSHI, DAISEI ANDO, MAKOTO FUJIWARA, MITSURU TORAO, HIROFUMI HAYANO AND HIROKAZU URABE | |
| Characteristics of body size of chum salmon returning to Okhotsk rivers in Hokkaido | 21 |
| MITSURU TORAO AND SATOSHI KUDOU | |
| Distribution and biochemical conditions of shishamo smelt <i>Spirinchus lanceolatus</i> larvae and juvenile in coastal waters off Mukawa River mouth | 31 |
| HIROKAZU URABE, MAKOTO FUJIWARA, YASUYUKI MIYAKOSHI, YOSHIHITO SHINRIKI, KAZUTAKA SHIMODA, HIROSHI KAWAMULA, YOSHITAKA SASAKI AND HIROFUMI HAYANO | |
| Current status of naturally-spawning masu salmon (<i>Oncorhynchus masou</i>) populations in Shiribeshi region, Hokkaido, northern Japan (Note) | 39 |
| HIROKAZU URABE, YOSHIO MISHIMA AND YASUYUKI MIYAKOSHI | |
| Evaluation of spawning habitat for chum and masu salmon in Tokachi River basin (Note) | 47 |
| HIROYUKI KODAMA, AKIHIKO FUKUSHI, HIROO GOUDA AND TADASHI KAWAI | |
| Seasonal variation of various components of <i>Saccharina cichorioides</i> Miyabe (Note) | 57 |

(September, 2013)

北海道北部沿岸域におけるなまこけた網の漁獲効率の推定

佐野 稔¹, 前田圭司², 高柳志朗³, 和田雅昭⁴, 畑中勝守⁵, 菊池 肇⁶, 宮下和士⁷

¹北海道立総合研究機構稚内水産試験場, ²北海道立総合研究機構栽培水産試験場, ³北海道立総合研究機構釧路水産試験場, ⁴公立はこだて未来大学, ⁵東京農業大学, ⁶北海道水産林務部水産局水産振興課, ⁷北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

Catch efficiency of dredge netting for sea cucumber, *Apostichopus armata*, in northern Hokkaido

MINORU SANO¹, KEIJI MAEDA², SHIRO TAKAYANAGI³, MASAAKI WADA⁴, KATSUMORI HATANAKA⁵, HAJIME KIKUCHI⁶ AND KAZUSHI MIYASHITA⁷

¹Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Wakkanai, Hokkaido 097-0001,

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

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

⁴Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655,

⁵Tokyo University of Agriculture, Setagaya, Tokyo 156-8502,

⁶Hokkaido Government, Sapporo, Hokkaido 060-8588,

⁷Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

We estimated the catch efficiency of dredge netting for sea cucumber, *Apostichopus armata*, by using fishery records and GPS data for fishing boats from coastal areas of northern Hokkaido. We calculated the catch efficiency by subtracting the abundance in weight recorded on the final capture day from the abundance in weight recorded on the first capture day, and dividing the remainder by the total catch within a grid. We showed that, for high catch rates, the range of estimated catch efficiency was narrow. We superimposed the distribution map of catch efficiency onto bathymetry data, and used regression tree analysis to evaluate catch efficiencies of <1. We revealed that the estimates of catch efficiency ranged from 0.09 to 0.53 (mean 0.29), because of the complexity of the sea bottom. Our results confirm the validity of estimating the catch efficiency of dredge netting, by considering the effect of bathymetry.

キーワード：漁獲効率, 資源評価, なまこけた網, マナマコ

水産資源の資源量を推定する方法には、漁業情報を用いた方法（例えばDeLury法やVPA）と漁業から独立した方法（例えば、調査船による掃海面積法）がある。著者らは、北海道北部沿岸域においてマナマコの資源量推定を目的に、なまこけた網漁業の漁業情報（漁獲量とGPS情報）を用いた面積密度法を新たに開発した（佐野ら, 2011）。この方法は地理情報システムを用いて、なまこけた網漁船のGPS情報（緯度、経度、時刻）と操業日誌（曳網開始から終了時刻、漁獲量）から、曳網面積とその時の漁獲量を把握してマナマコの分布密度および資源量を推定する方法である。この手法は大量に得られる漁業情報を用いて、対

象漁場の全ての場所からマナマコ分布密度を直接取得するため、従来法のDeLury法より資源量を高精度で推定できる。さらに、地理情報システムを用いているため、漁期中の総曳網面積、総漁獲量、漁期初めのマナマコ密度（初期密度）の分布図を作製できる。これら空間情報は従来法のDeLuryでは得られず、マナマコ資源評価や資源管理に活用できるため、著者らはマナマコ資源評価において従来法のDeLury法よりも漁業情報を用いた面積密度法を推奨した。しかしながら、佐野ら（2011）はなまこけた網の漁獲効率を1と仮定していたため、資源量推定値は、眞の資源量に対して常に過小評価となっていた。漁獲効率の推

定は、資源量推定値の確度の向上、再生産関係の把握、適正な漁獲量の提案をしていく上で重要である。

なまこけた網の漁獲効率は、長崎県大村湾において漁場別、年別に0.206~0.482と推定されている（松宮1984）。これは、DeLury法によるマナマコ資源量推定値を真と仮定する一方で、なまこけた網の曳網面積の推定値とマナマコ漁獲量から面積密度法で資源量を推定し、その資源量推定値とDeLury法による推定値との比から、けた網の漁獲効率を推定した。畠中（1994）は福井県小浜湾において、マナマコの標識放流による再捕率からなまこぎ網の漁獲効率を推定し、泥質の海域では0.780、カキ殻が散在する海域では0.555としており、漁獲効率は海底地形や底質の影響を受けることを示している。長崎県大村湾においても、なまこけた網の漁獲効率は底質の疊密度が高くなると低下することが報告されている（松宮1984）。このように、なまこけた網の漁獲効率には、海底地形や底質が影響することが考えられる。

一方で、なまこけた網の漁獲効率の推定には、標識放流調査、写真やビデオ撮影調査などの現存量調査などが必要である。しかしながら、これら調査はなまこけた網漁業から独立して実施するため、新たな調査コストを要する。もし、なまこけた網の漁業情報だけを用いて漁獲効率を推定できれば、調査コストの軽減につながることが期待でき、

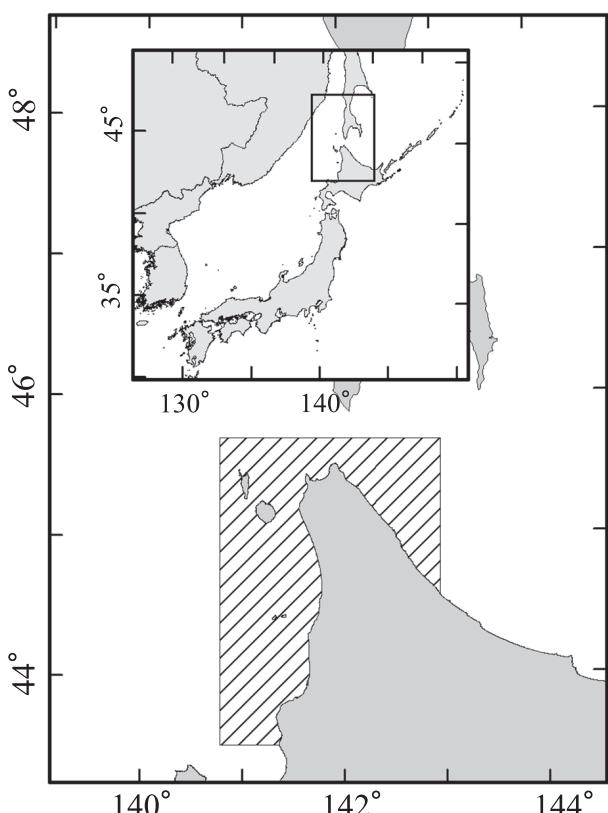


Fig. 1 Geographic location of the study site (hatched area).

なまこけた網の漁業情報を用いた資源量推定方法（佐野ら2011）の普及を促進することが考えられる。そこで、本研究ではなまこけた網の漁業情報から、海底地形や底質別に漁獲効率を推定することを目的とする。

試料および方法

海底地形や底質を考慮したなまこけた網の漁獲効率の推定は、北海道北部海域の1地区で行った（Fig. 1）。なお、現在、北海道ではマナマコの単価の高騰にともなって密漁が多発しているので、密漁を回避するため地区名を匿名とした。調査対象海域でのなまこけた網漁業は、5トン未満の漁船でけた網を1時間程度曳網し、1日の操業では6~7回の曳網を行う。桁幅は3.2mで、桁にはマナマコを海底から引きはがすためのチェーンが付けられている（Fig.2）。けた網の袋網は擦り切れ防止のため7枚に分けられている。本海域では漁業者による自主的な資源管理措置として漁獲できるマナマコの体重を制限しており、体重130g以上の個体が漁獲対象である。この地区において、2008年から2010年のマナマコ漁期である7~8月に、なまこけた網漁船全6隻の漁業情報を収集した。なまこけた網漁船には、漁船に装備してあるGPSアンテナの信号をコンパクトフラッシュ（SanDisk社製またはTranscend社製）に記録できるGPSデータロガー（和田ら2005）を搭載して、緯度、経度、時刻情報を収集した。漁期中、なまこけた網漁業者は、曳網開始時間、曳網終了時間、マナマコ漁獲量を操業日誌に記録した。漁期後に、これらデータを収集した。

収集したデータは、地理情報システム（ArcGIS, ESRI. Inc）を用いて佐野ら（2011）の方法で処理した（Fig.3）。なお、これ以降の空間データの処理では、ArcGISの標準搭載ツールに加えて、エクステンションであるArcGIS Spatial Analyst（ESRI.Inc）、ArcGIS 3D Analyst（ESRI.Inc）、ETGeo Wizards（ET Spatial Technique）ならびにHowth's Analysis Tools（Spatial Ecology.Com.）を用いた。操業日誌の曳網開始時

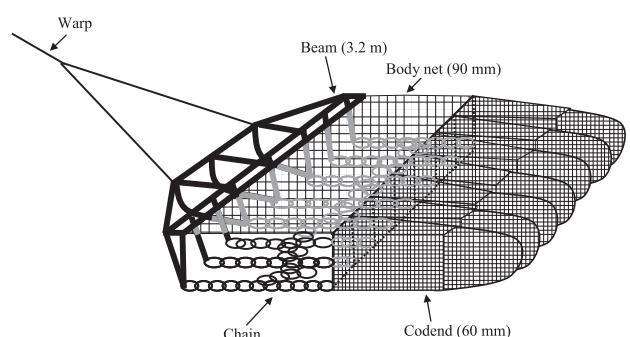


Fig. 2 Schematic diagram of a typical dredge net used for sea cucumber, *Apostichopus armata*, in coastal areas of northern Hokkaido.

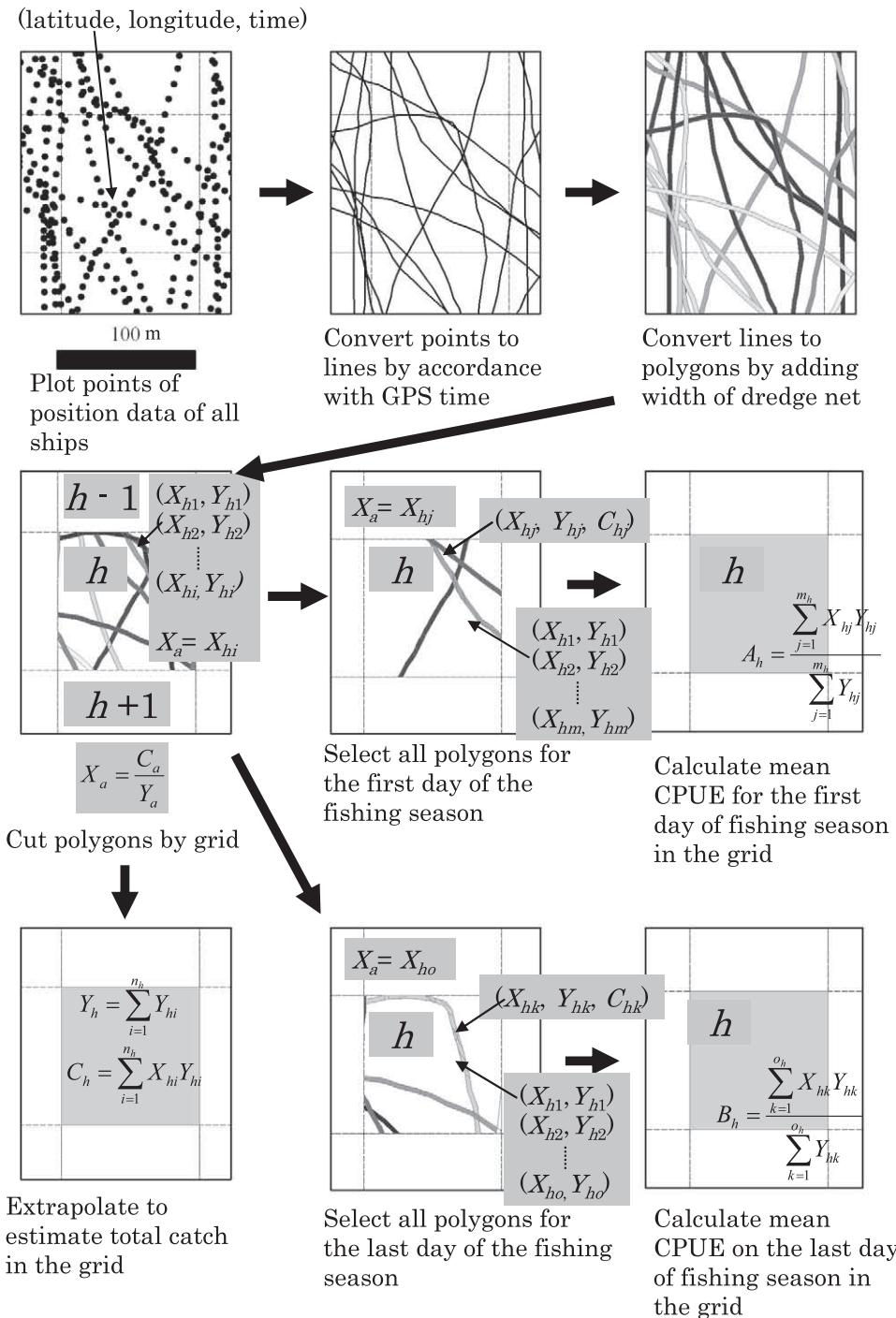


Fig. 3 Spatial data processing for estimating the catch efficiency of dredge netting for sea cucumber. n , number of polygons; X_a , CPUE (kg/m^2) in polygon a ($a = 1, 2, \dots, n$); Y_a , dredged area (m^2) in polygon a ; C_a , catch (kg) in polygon a ; L , number of grids; n_h , number of selected polygons in grid h ($h = 1, 2, \dots, L$); X_{hi} , CPUE in polygon i in grid h ($i = 1, 2, \dots, n_h$); Y_{hi} , area of selected polygon i in grid h ; Y_h , total area of polygons in grid h ; C_h , total catch in grid h ; m_h , number of polygons recorded in grid h on the first day of the fishing season; X_{hj} , CPUE of polygon j in grid h recorded on the first day of the fishing season ($j = 1, 2, \dots, m_h$); Y_{hj} , area of polygon j recorded in the grid h on the first day of the fishing season; A_h , mean CPUE (kg/m^2) in grid h ; o_h , number of polygons recorded in grid h on the last day of the fishing season ($k = 1, 2, \dots, o_h$); X_{hk} , CPUE of polygon k recorded in grid h on the last day of the fishing season; Y_{hk} , area of polygon k recorded in grid h on the last day of the fishing season; B_h , mean CPUE of catch (kg/m^2) in grid h .

刻と曳網終了時刻を用いて、曳網中の緯度、経度、時刻データを抽出し、曳網時のポイントフィーチャを作成した。ポイントフィーチャの座標系は、距離の算出が可能な投影座標のUTM座標系54系とした。このポイントフィーチャをラインフィーチャに変換し、なまこけた網の開口部の幅3.2mでバッファの作成を行い、曳網ポリゴンフィーチャにした。曳網ポリゴンフィーチャにおけるマナマコCPUE (X_a 、単位はkg/m²) を下記の式で求めた。

$$X_a = \frac{C_a}{Y_a}$$

ここで、曳網ポリゴン数を n 、曳網ポリゴン a の漁獲量を C_a ($a = 1, 2 \dots, n$ 、単位はkg)、曳網ポリゴン a の面積を Y_a (m²) とする。

漁期ごとのなまこけた網の総曳網面積、総漁獲量の分布図を作製するために、漁期中の全ての曳網ポリゴンを重ね合わせた。この全ての曳網ポリゴンと空間的に重なるベクターグリッドを作製した。グリッドサイズは100m×100mとした。このグリッドを重ね合わせて、曳網ポリゴンをグリッドごとに切り分けて、曳網ポリゴンの断片を作成した。任意のグリッド h における総曳網面積 (Y_h 、単位はm²) と総漁獲量 (C_h 、単位はkg) は下記の式で求めた。

$$Y_h = \sum_{i=1}^{n_h} Y_{hi}$$

$$C_h = \sum_{i=1}^{n_h} X_{hi} Y_{hi}$$

$$X_{hi} = X_a$$

グリッド数は L 、グリッド h ($h=1, 2, \dots, L$) における曳網ポリゴンの断片数を n_h 、グリッド h 内の曳網ポリゴンの断片 i のマナマコCPUEを X_{hi} (kg/m²)、グリッド h 内の曳網ポリゴン断片 i の面積を Y_{hi} (m²) とした。

次に、グリッド別にマナマコの曳網初日の平均CPUE (A_h 、kg/m²) と曳網最終日の平均CPUE (B_h 、kg/m²) の分布図を作製した。各グリッドにおける曳網面積の合計がグリッド面積の5% (500m²) 以上のグリッドに含まれる曳網ポリゴンの断片を抽出し、漁期中の曳網初日ならびに曳網最終日の曳網ポリゴン断片をそれぞれ抽出して、下記の式で求めた。

$$A_h = \frac{\sum_{j=1}^{m_h} X_{hj} Y_{hj}}{\sum_{j=1}^{m_h} Y_{hj}}$$

$$B_h = \frac{\sum_{k=1}^{o_h} X_{hk} Y_{hk}}{\sum_{k=1}^{o_h} Y_{hk}}$$

グリッド h における曳網初日の曳網ポリゴンの断片数を m 、これら曳網ポリゴンの断片 j のマナマコCPUEを X_{hj} (単位はkg/m²) と面積を Y_{hj} (単位はm²) とした。曳網最終日の曳網ポリゴンについては、断片数を o 、これら曳網末日ポリゴンの断片 k のマナマコCPUEを X_{hk} (単位はkg/m²) と面積を Y_{hk} (単位はm²) とした。

グリッド別の漁獲効率を Q_h 、曳網初日と曳網最終日のマナマコ分布密度の平均の差から得られる漁期中の真の資源減少量を D_h (単位はkg) として、漁獲効率 Q_h を下記の計算式で求めた。

$$D_h = \frac{1}{Q_h} (A_h - B_h) \times 100^2$$

$$D_h = C_h$$

$$Q_h = \frac{(A_h - B_h) \times 100^2}{C_h}$$

ここでは、グリッド別の真の資源減少量 D_h と総漁獲量 C_h は一致すると仮定した。

なまこけた網の漁獲効率 Q_h は計算上全てのグリッドから得られる。しかし、曳網最終日のCPUE (B_h) が曳網初日のCPUE (A_h) を上回り、資源減少量 D_h がマイナスとなる場合には、漁獲効率はマイナスとなる。また、CPUEの減少 ($A_h - B_h$) に対し漁獲量が十分に大きくな場合には、漁獲効率 Q_h は1を超える。本計算方法では、漁獲による密度の減少が顕著であることを仮定して漁獲効率 Q_h を計算しているので、資源量に対する漁獲量の割合の高いグリッドにおいて妥当な (0より大きく、1以下の) 漁獲効率 Q_h を得られると考えられる。しかし、各グリッドの資源量は明らかでない。そこで、各グリッドについて、曳網初日のCPUE (A_h) から算出される初期の資源量指数 A_k に対する漁獲量 C_h の割合 F_h を求め、漁獲効率と漁獲割合との関係を明らかにした。初期の資源量指数 A_k 、漁獲割合 F_h は下記の式で計算した。

$$A_k = A_h \times 100^2$$

$$F_h = \frac{C_h}{A_k} \times 100$$

漁獲効率のばらつきに影響を及ぼす条件として、漁獲割合に加えて海底地形や底質条件が考えられる。適正な漁獲効率を抽出するためには、これら環境条件も説明変数にする必要がある。そこで、グリッド別に水深、傾斜角、岩被度、礫被度、砂被度を算出した。水深は、海底地形デジタルデータ (D7009Ver.2.0北海道西部、日本水路協会) の等深線のラインフィーチャをもとに、始めに頂点のポイントフィーチャ、次にTIN (不整三角形網、Triangulated irregular network)、そしてセルサイズ100m×100mの水深と傾斜角のラスタデータを作成し、最後にマナマコの分布密度を推定したベクターグリッドにそれぞれ結合

した。傾斜角は海底地形の複雑さを反映した指標として用いた。底質環境は紙媒体である対象海域の底質分布図(内田ら2003)を、地理情報システム用にポリゴンデータにしてマナマコ分布密度を推定したベクターグリッドに重ね合わせて、グリッド別の岩被度、礫被度、砂被度を算出した。被度は各グリッドに占める各底質の面積比(%)である。これにより、各グリッドには漁獲効率、漁獲割合、水深、傾斜角、岩被度、礫被度、砂被度のデータセットが割り当てられている。これをもとに、漁獲効率を被説明変数、漁獲割合、水深、傾斜角、岩盤被度、礫被度、砂被度を説明変数とした回帰木解析を行い、適正な漁獲効率を抽出する条件を探索した。回帰木の分離条件に漁獲割合が認められた場合には漁獲効率のばらつきに漁獲割合が影響していると判断して、その漁獲割合以上のグリッドデータを用いて再び解析を行った。最終的に分離条件に漁獲割合が認められなくなるまで解析を繰り返した。回帰木の剪定は、交差確認法により尤離度が最も小さくなったサイズを基準にして行った。さらに、これら説明変数の重要

度を判断する基準として分離貢献度(Matsui *et al.* 2012)を算出した。これにより、漁獲効率のばらつきに影響をもたらす海底環境条件を明らかにした。回帰木の計算はR(Ihaka R, Gentleman R 1996)により行った。

結果

Fig.4からFig.6に2008年～2010年の調査対象地区におけるなまこけた網の総曳網面積、マナマコ総漁獲量、曳網初日の密度(以下、初期密度)、曳網最終日の密度(以下、末期密度)、初期資源量に対する総漁獲量の割合ならびになまこけた網の漁獲効率の分布図を示した。2008年では総曳網面積は漁場の中央部で高く、縁辺部で低かった(Fig.4)。総漁獲量の分布は総曳網面積と同様の傾向であった。マナマコの初期密度は、漁場の中央および岸側で10.1g/m²以上と高く、末期密度は漁場中央部の岸側と沖側を除いて5.1～10.0g/m²と初期密度より低くなっていた。初期資源量に対する総漁獲量の割合も漁場中央で高く、縁辺部で低かった。なまこけた網の漁獲効率が0より大きくな

Year 2008

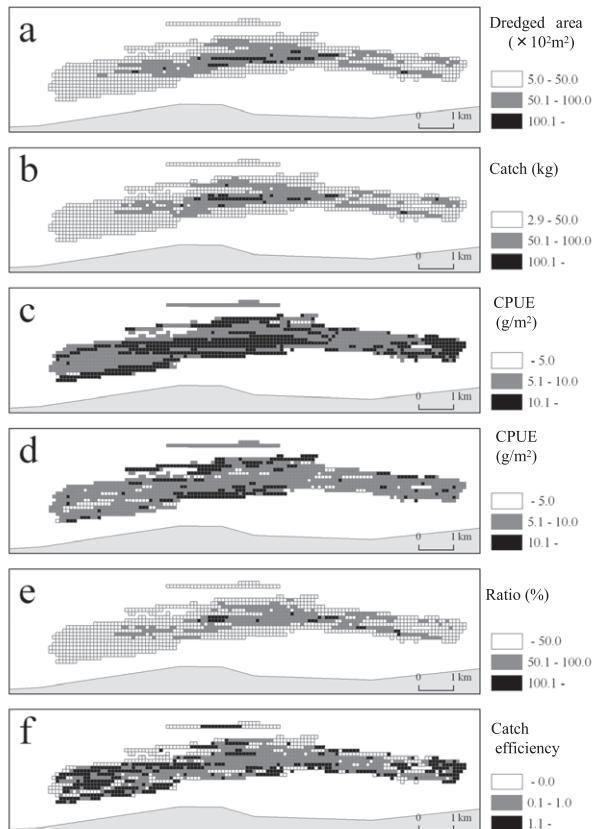


Fig.4 Distribution maps of (a) total dredged area (m^2); (b) total sea cucumber catch (kg); (c) initial sea cucumber CPUE (g/m^2); (d) final sea cucumber CPUE (g/m^2); (e) catch ratio (%) to initial catch weight; and (f) catch efficiency of dredge netting for sea cucumber in 2008

Year 2009

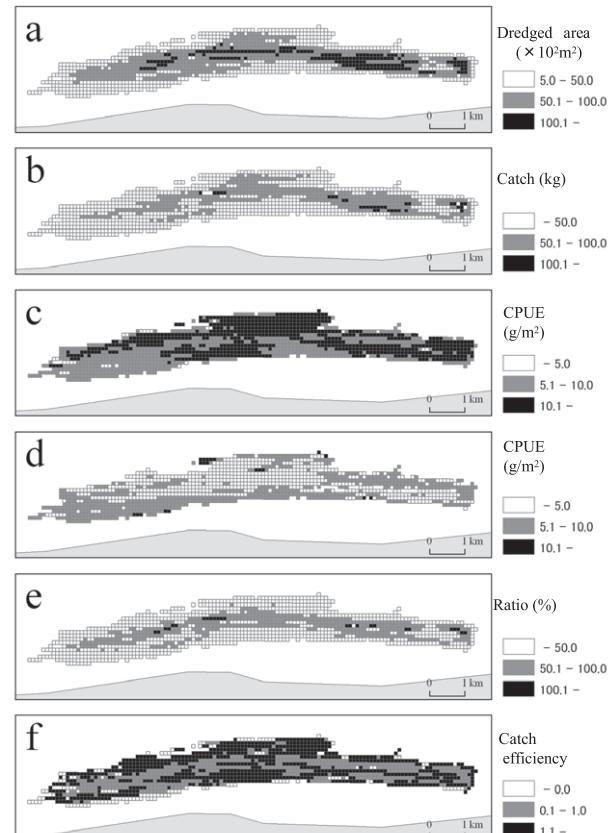


Fig.5 Distribution maps of (a) total dredged area (m^2); (b) total sea cucumber catch (kg); (c) initial sea cucumber CPUE (g/m^2); (d) final sea cucumber CPUE (g/m^2); (e) catch ratio (%) to initial catch weight; and (f) catch efficiency of dredge netting for sea cucumber in 2009.

1以下であるグリッドは, 全グリッド数1132のうち430グリッドであった。これらグリッドの分布範囲は, 漁獲割合が50%以上の範囲と重なっていた。2009年では, 総曳網面

Year 2010

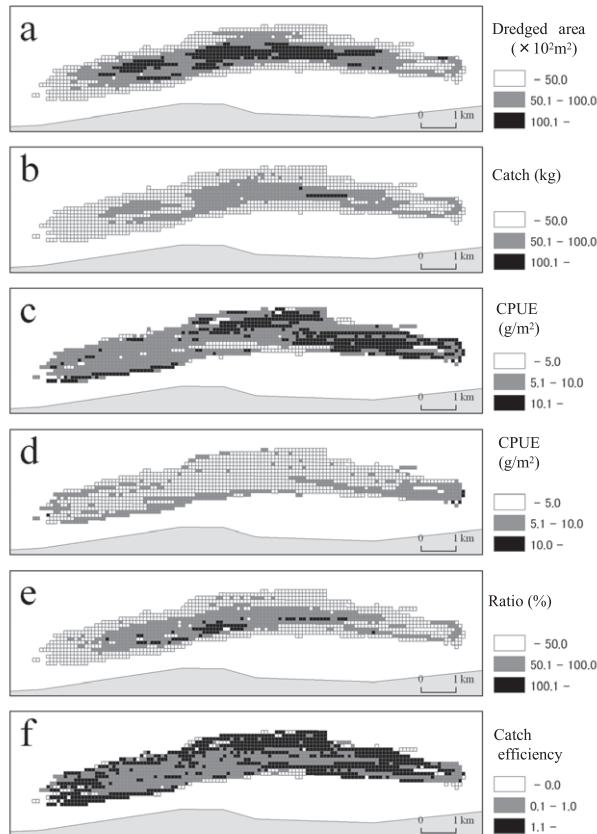


Fig. 6 Distribution maps of (a) total dredged area (m^2); (b) total sea cucumber catch (kg); (c) initial sea cucumber CPUE (g/m^2); (d) final sea cucumber CPUE (g/m^2); (e) catch ratio (%) to initial catch weight; and (f) catch efficiency of dredged netting for sea cucumber in 2010.

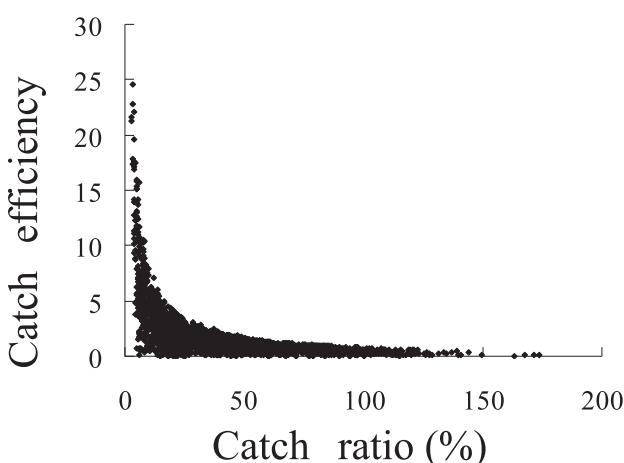


Fig. 7 Relationship between catch ratio (f_h , %) to initial weight of sea cucumber, and catch efficiency (q_h) of dredge netting for sea cucumber.

積が高い範囲は漁場の中央に位置し, 総漁獲量の高い範囲と重なっていた (Fig.5)。初期密度は漁場の沖側で高く, 末期密度は初期密度の高い範囲で低かった。漁獲割合は漁場中央部で高く, 縁部では低かった。0より大きく1以下の漁獲効率のグリッドは, 全グリッド数の1274に対して436グリッドであり, それら分布範囲は漁獲割合の高い範囲と重なっていた。2008年, 2009年と同様に, 2010年も漁獲割合が高い範囲は漁場の中央部分に認められ, 0より大きく1以下の漁獲効率のグリッドの大半がこのような範囲に含まれた (Fig.6)。

本研究では初期密度と末期密度の差から漁獲効率を算出している。そのため, マナマコの密度の減少に漁獲の影響が強く働いている場合, すなわち漁獲割合が高い場合に高精度の漁獲効率を推定できると考えられる。そこで, 3カ年分の漁獲効率データから0以下の403データを除いた3278データについて, 漁獲効率と漁獲割合の関係を見たところ, 漁獲割合が大きくなるにつれて漁獲効率のばらつきが小さくなる傾向が認められた (Fig.7)。漁獲効率の最大値が1以下となったのは漁獲割合78.2%以上であり, そのデータ数は373であった。これは, 3カ年分の全データの約10%であった。

回帰木により抽出した漁獲効率においても, 漁獲割合が

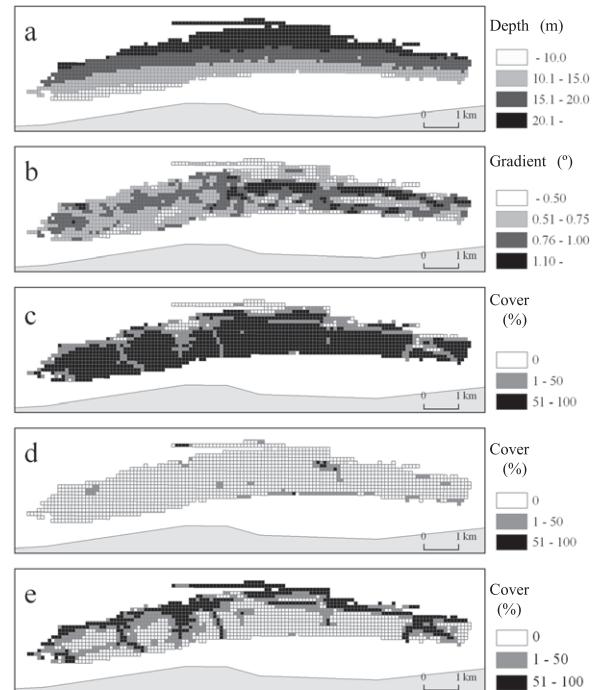


Fig. 8 Distribution maps of (a) depth (m); (b) slope gradient (°); (c) rock cover (%); (d) gravel cover (%); and (d) sand cover (%) per grid. All maps were superimposed with the catch efficiency maps of dredge netting for sea cucumber.

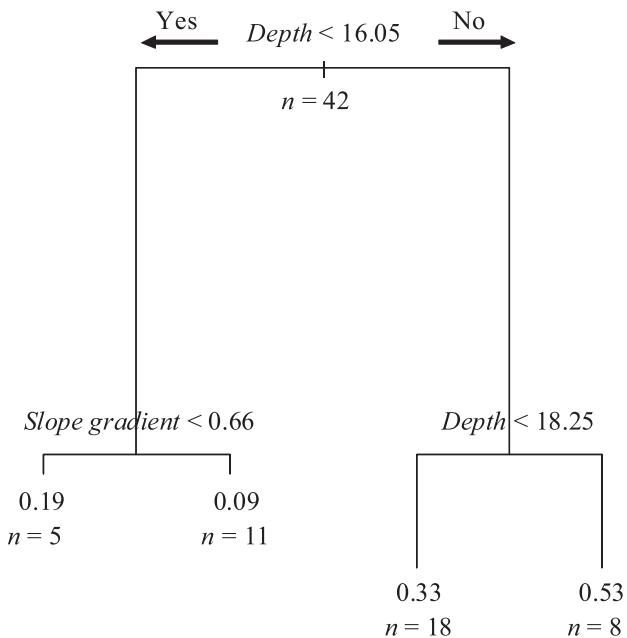


Fig. 9 Regression tree of catch efficiency of dredge netting for sea cucumber in the study area. Explanatory variables are depth (m), slope gradient (°), rock cover (%), gravel cover (%), and sand cover (%). Decimal values and n values below each node indicate the mean catch efficiency and the number, respectively.

Table 1 Deviance weighted score (DWS) of each explanatory variable for catch efficiency of dredge netting for sea cucumber.

| Explanatory variable | DWS | % |
|----------------------|-------|------|
| Depth | 0.945 | 81.5 |
| Slope gradient | 0.214 | 18.5 |
| Coverage by rock | 0 | 0 |
| Coverage by gravel | 0 | 0 |
| Coverage by sand | 0 | 0 |
| Catch rate | 0 | 0 |

大きくなれば漁獲効率のばらつきが小さくなつたことから、これら漁獲効率のばらつきに漁獲割合の影響がまだ含まれていると考えられた。一方で、これら抽出した漁獲効率のばらつきには、海底地形および底質分布の影響も含まれていると考えられる。そこで漁獲効率の説明変数に水深、傾斜角、岩被度、礫被度、砂被度を含めるために、各グリッドの水深、傾斜角、岩被度、礫被度、砂被度を明らかにした (Fig.8)。漁場では深度5m間隔の水深帯が海岸線と平行に認められ、最も浅い場所では水深7.0m、最も深い場所では水深31.9mであった。傾斜角1.01°以上のグリッドは比較的漁場の中央部や縁辺部に分布していたが、明瞭な傾向は認められず、漁場全体では傾斜角の異なるグリッドがモザイク状に分布していた。漁場における底質の大半は岩であり、礫はほとんど認められなかった。砂は岩被度が低い岸側から沖側へ溝状に横断している箇所と漁場の沖側縁辺部に認められた。

漁獲割合の影響が認められない漁獲効率を抽出するために、漁獲効率の最大値が1以下となつた漁獲割合78.2%以上のデータについて、被説明変数を漁獲効率、説明変数を漁獲割合、水深、傾斜角、岩盤被度、礫被度、砂被度とした回帰木解析を行つた。その結果、115.3%以上の漁獲割合で分離条件に漁獲割合が認められなくなり、分離貢献度は水深と傾斜角で占められた (Fig.9, Table 1)。抽出した漁獲効率データ数は42であり、解析に用いた全データ数の1.1%であった。これら漁獲効率の平均値は0.29であった。回帰木によると水深が深くなるにつれて漁獲効率は大きくなり、水深18.25m以深で漁獲効率は平均0.53、水深16.05mから18.25mで平均0.33、水深16.05m以浅では傾斜角が0.66より大きければ漁獲効率は平均0.09と低く、小さければ平均0.19となつた。この水深帯と傾斜角の条件にそつて各グリッドを漁獲効率の異なる4区分に分類し、漁場全体について、漁獲効率の分布図を作製した (Fig.10)。漁場の沖側半分は漁獲効率が0.53となり、それより浅所の帶状の場所では0.33、さらに浅所の岸側では傾斜角に応じ

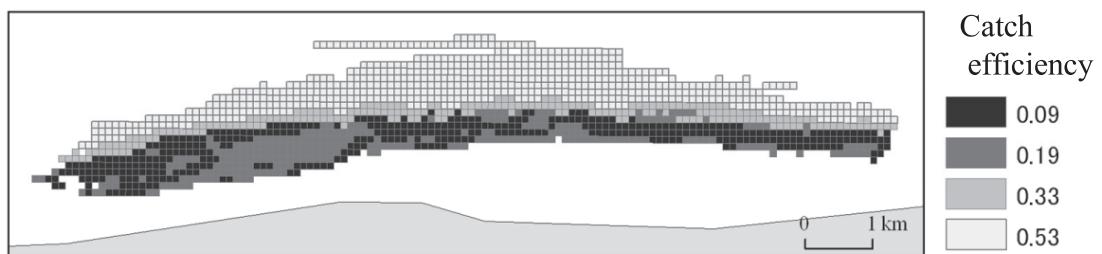
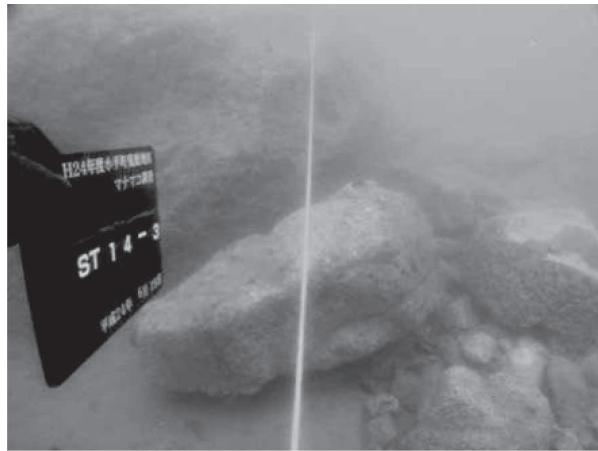


Fig. 10 Distribution map of catch efficiency of dredge netting for sea cucumber, estimated by using the regression tree shown in Figure 9.

Depth 15 m



Depth 20 m

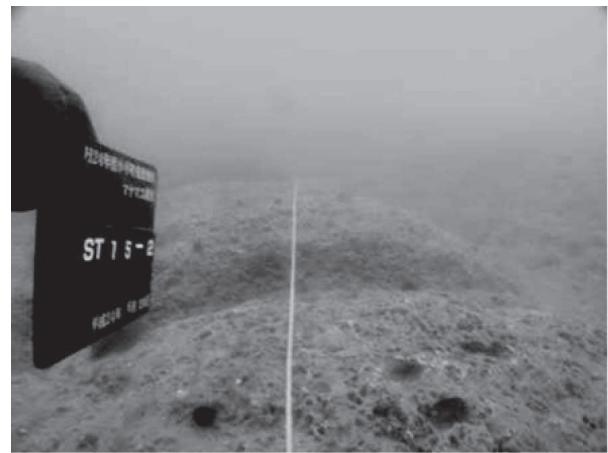


Fig. 11 Typical sea bottom at depths of 15 m and 20 m, in rocky sites of the study area.

て0.09と0.19が混在した。

考 察

本計算方法では、グリッド別に曳網初日の資源量推定値と曳網最終日の資源量推定値の差と漁獲量の比から漁獲効率を計算している。長崎県大村湾において松宮（1984）は、桁網の漁業情報を用いてDeLury法により推定した初期資源量を漁場面積で除して求めた「曳網初日の資源密度」と、桁網の網口幅、曳網速度、曳網時間から推定した曳網面積で漁獲量を除して求めた「1隻の単位面積当たりの漁獲量」の比から漁獲効率を求めていた。この計算方法でも漁獲効率は得られるが、本研究では行わなかった。それは、従来法のDeLury法による資源量推定値の誤差が面積密度法による推定値の誤差よりも大きいためである（佐野ら2011）。漁獲効率に大きな誤差が生じると、最終的に推定する初期資源量に大きな誤差をもたらすので、資源量推定誤差の小さい面積密度法による資源量推定結果だけを用いてなまこけた網の漁獲効率を推定した。ただし、グリッド別に漁獲効率を推定することはできたが、本調査海域で最終的に抽出された漁獲効率は全てのデータ数の1.1%にすぎなかった。漁獲効率のばらつきは漁獲割合が大きくなると小さくなつた（Fig.7）。さらに、回帰木によると最終的に漁獲割合の影響はなくなつた（Fig.9, Table 1）。これは、各グリッドについて十分な曳網が行われれば、漁獲によってマナマコの密度の減少が生じるので本計算方法により妥当な漁獲効率を推定できることを意味している。したがつて、他の海域で本推定手法を適用する際には強度な漁獲が行われたグリッドが認められれば、漁獲効率を推定できると思われる。ただし、本推定手法はなまこけた網の漁業情報を用いた資源量推定（佐野ら2011）に基

づいているので、他の海域に適用する際にはさらに下記の仮定が必要となる。

- ①なまこけた網漁期中は漁場内外でのマナマコの移動および加入がない。
- ②漁期が短く、マナマコの自然死亡は無視できる。
- ③漁期中のマナマコの成長は無視できる。
- ④CPUE（単位面積あたりの漁獲量）はマナマコ資源量に比例する。
- ⑤漁獲効率は漁期中一定である。
- ⑥なまこけた網は漁船の真下で曳網する。すなわち、漁船の位置がなまこけた網の位置と一致する。

本計算方法で妥当と判断したなまこけた網の漁獲効率は、海底地形によって異なつた（Fig.9）。畠中（1994）は、福井県小浜湾におけるなまこぎ網の漁獲効率は単なる泥質では0.780、かき殻が散在する底質では0.555と推定し、漁獲効率は底質が平坦でない場合には低下することを示している。石川ら（2010）は、長崎県大村湾において礫密度が高いとなまこけた網が海底からの離底や跳ね上りという挙動変化を示して、けた網の漁獲効率が低下することを推定している。本対象海域は大半が岩盤であり、礫の被度は僅かであった（Fig.7）。漁獲効率の回帰木解析において礫被度の分離貢献度は0であり（Table 1）、本対象海域で分離貢献度が高いのは水深と傾斜角である。水深が浅くなるにつれて漁獲効率は低くなり、水深16.05m以浅では傾斜角が高ければ漁獲効率はさらに低くなつた。本研究で漁獲効率と重ね合わせた水深、傾斜角は1m間隔の等深線を地理情報システムで処理して100×100mで平均化している。しかし、実際の100m×100mのグリッド内では平坦な地形ではない。さらに、本海域で底質分布が岩とされている場所は、岸近くでは起伏の多い岩盤上に大型の転石が散

在し, 深くなるにつれて平坦な形状をしている (Fig.11)。そのため, 本対象海域で深所より浅所でなまこけた網の漁獲効率が低かった理由として, グリッド内の岩盤表面の起伏の複雑さや岩盤上の転石の存在により, けた網の挙動変化が大きくなつたことが推察される。

本計算方法により, 海底地形別になまこけた網の漁獲効率を推定することができた。この方法では, 既存の底質分布図となまこけた網の漁業情報を用いて資源量推定を行う際に収集した漁業情報を用いているので, なまこけた網漁業から独立した調査を実施しなくても漁獲効率を推定でき, 調査コストの軽減につながる。しかし, 本手法で得られる漁獲効率は, なまこけた網の普遍的な漁獲効率ではない。この漁獲効率は, 調査対象海域で操業する漁船6隻で用いられているなまこけた網の漁獲効率の平均であり, グリッド別に割り振られている。さらに, 漁獲効率に影響を及ぼす海底地形の条件は漁場により異なるため, 本推定値を他の海域に適用することはできない。そのため, 本手法よりなまこけた網の漁獲効率を推定するには, 各海域でなまこけた網の漁業情報(漁獲量と位置情報)と底質分布を収集して計算する必要がある。

本研究により, 漁業から独立した調査を実施しなくても十分ななまこけた網の漁業情報があれば, なまこけた網の漁獲効率を推定でき, 真の資源量に近い推定値を算出できると考えられた。しかし, 本調査対象海域では最終的に抽出した漁獲効率のデータ数は, 全体の1.1%であった。この漁獲効率は海底地形を考慮しているものの, 抽出されなかつた約99%のグリッドについては, 回帰木より推定した漁獲効率を割り当てている。そのため, 本研究で得られた漁獲効率の推定値を用いた場合には初期資源量を真の資源量よりも過大もしくは過小評価すると思われる。本調査対象地区では漁業者が自主的な漁獲量制限を行つており, 資源評価結果を参考としている。過大な資源量推定結果は獲りすぎにつながるおそれがあるので, 本海域のように抽出される漁獲効率の推定値が少ない場合には, 経年的に妥当な漁獲効率のデータを蓄積したうえで, 資源量推定に漁獲効率の推定値を組み込んで真の資源量に近づける

必要がある。

謝 辞

本研究は, 農林水産委託研究事業「新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業(平成23-24年度), 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(平成25年度)」の「操業情報共有による北海道マナマコ資源の管理支援システムの開発とガイドラインの策定」を活用した成果である。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 畠中宏之. ナマコこぎ網の漁獲効率の推定について. 水産増殖 1994;42:227-230
- Ihaka R, Gentleman R. R: a language for data analysis and graphics. *J. Comp. Graph. Stat.* 1996; 5: 299-314.
- 石川敦士, 垣内貴志, 山口恭弘. 大村湾における海底底質によるナマコけた網の漁具能率の変化. 水産工学 2010;47:7-12.
- Matsui T, Yagihashi T, Nakaya T, Tanaka N, Taoda H. Climatic controls on distribution of *Fagus crenata* forests in Japan. *J. Veg. Sci.* 2004; 15: 57-66.
- 松宮義晴. 長崎県大村湾におけるマナマコ資源の解析. 長崎大学水産学部研究報告 1984; 55: 1-8.
- 佐野稔, 前田圭司, 高柳志朗, 和田雅昭, 畠中勝守, 本前伸一, 菊池肇, 宮下和士. 漁業情報を用いた北海道 北部沿岸域におけるマナマコの資源量推定. 日本水産学会誌2011; 77: 999-1007.
- 内田康人, 菅和哉, 嶋峨山積, 村山泰司, 濱田誠一, 川森博史, 大澤賢人, 仁科健二. 北海道沿岸域の地質・底質環境-3-日本海北部海域. 北海道立地質研究所調査研究報告 2003, 31:1-58
- 和田雅昭, 畠中勝守, 木村暢夫, 天下井清. 水産業における情報技術の活用について-1. 三次元海底地形の取得と活用-. 日本航海学会論文集 2005; 112: 189-190.

異なる保存処理およびその後のホルマリン・エタノール固定が サケ幼稚魚の魚体サイズに及ぼす影響

春日井 潔

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場 道東支場

The effects of different methods of preservation and fixation in formalin and ethanol upon body size of juvenile chum salmon

KIYOSHI KASUGAI

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

The effects of preservation (freezing & thawing, chilling, and chilling plus freezing & thawing) and fixation in formalin and ethanol upon body size (length and weight) of three different fish size groups of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* were investigated. Body size decreased in most fish of all size groups after preservation, although body size increased in some fish after chilling. Body size after fixation decreased in most fish compared to those after preservation. Decreases in body size fixed after freezing & thawing and chilling plus freezing & thawing were larger than those fixed after chilling and death. Changes in body size with preservation and fixation were different among the three size groups.

キーワード：サケ幼稚魚、体重、体長、ホルマリン・エタノール固定、冷蔵、冷凍

日本においてはサケ属魚類（サケ *Oncorhynchus keta*, カラフトマス *O. gorbuscha*, サクラマス *O. masou*）の増殖方法として人工ふ化放流が重要な位置を占めているが、近年は放流効果を高めるため、種苗性の把握が必要とされている（水野, 2009）。種苗性を把握するための方法として、体長と体重から計算される肥満度は、簡便で現在もよく用いられる主要な指標である。一方、近年では肥満度のような形態学的な指標に加えて、生化学的な指標を用いるようになり、サケ属幼稚魚についても生化学的分析による栄養状態評価が確立され、一定の成果を挙げている（Misaka *et al.*, 2001; 三坂ら, 2004; Mizuno *et al.*, 2008）。また、自然界における餌生物を通した栄養段階の解明に、従来の胃内容物組成の解析に加えて、安定同位体比による分析が用いられつつある（伊藤・掛川, 2008）。このような生化学分析に供するサンプルはホルマリン固定ができないため、生鮮、あるいは一旦冷蔵・冷凍保存し、分析前に魚体測定して分析に供する必要がある。

サケ属魚類の減耗は、放流後の河川や沿岸域で大きいことが知られていることから、その要因を明らかにするため

の調査が研究機関や増殖団体などにより行われている。これらの調査で採集された幼稚魚は、現場で魚体測定されることは少なく、標本の利用目的に応じて、冷蔵、冷凍、ホルマリン固定など様々な処理方法で保存される。固定後においてはサイズの変化が起こることが知られているが、生鮮時においても死後硬直などによるサイズの変化が知られている。魚類のホルマリンやアルコールなどの固定に伴う体サイズの変化は様々な魚類で報告されており、固定前の処理方法（Theilacker, 1980; Hunter, 1985; Jennings, 1991）、固定液の種類（Billy, 1982; Fowler and Smith, 1983; Hay, 1984; Glenn and Mathias, 1987; Kruse and Dalley, 1990; Morkert and Bergstedt, 1990; 大関ら, 1991; Hjörleifsson and Klein-MacPhee, 1992; Karjalainen, 1992; Theilacker and Porter, 1995; Shields and Carlson, 1996; Fisher *et al.*, 1998; Cunningham *et al.*, 2000; 安藤・宮腰, 2004; Joh *et al.*, 2003; Paradis *et al.*, 2007）、固定後の時間（牟田, 1951; 佐藤, 1972; Stobo, 1972; Lockwood, 1973; Lockwood and Daly, 1975; Takizawa *et al.*, 1994）、固定後の処理（小島, 1981）、体サイズ（Burgner, 1962; Farris, 1963; Engel, 1974; 福原, 1979;

Pepin *et al.*, 1998) やそれらの組み合わせによって変化が異なることが報告されている。また、冷蔵、氷蔵、冷凍・解凍に伴う体サイズの変化も様々な魚種で報告されているが、サケ属の幼稚魚を扱った報告は見あたらない (Lux, 1960; Halliday and Roscoe, 1969; Sayers, 1987; Treasurer, 1990; 夏目, 1995; Armstrong and Stewart, 1997; Blackwell *et al.*, 2003; 柳下ら, 2005; Chesnes *et al.*, 2009)。一方、冷蔵、冷凍・解凍の後にホルマリン固定した場合についてはサケ属も含めて報告がなく、これらの処理による体サイズへの影響は不明である。また、固定後の体サイズを用いて生時の体サイズ推定を行う場合、これまで前処理の方法については検討されてこなかった。

本報告では、サケ幼稚魚の冷凍や冷蔵による体サイズの変化、さらにそれらの処理後の固定による体サイズの変化を明らかにした。また、異なる成長段階の魚を用いることで、体サイズの違いが冷凍・冷蔵や固定がもたらす変化に及ぼす影響を検討した。

試料および方法

処理方法 標本の生測定時の体長および体重の測定値に対する、冷凍・解凍、冷蔵、冷蔵+冷凍・解凍（以下、保存処理）後の測定値の変化、およびその後のホルマリン・エタノール固定後の測定値の変化を明らかにするために、次の4試験区を設定した；試験区1：冷凍・解凍による変化、試験区2：冷蔵による変化、試験区3：冷蔵と冷凍・解凍による変化、対照区：ホルマリン・エタノール固定のみ。なお、本研究におけるホルマリン・エタノール固定は、ホルマリン溶液に浸漬して標本を固定した後、硬組織の脱灰を

防ぐため、70%エタノール溶液に移し替えて保存するまでの過程とし（安藤・宮腰, 2004），以後文章中では固定とのみ記す。

用いたサケ幼稚魚は、浮上した後、2008年1月20日からさけます・内水面水産試験場 道東支場において9.5°Cの水温で飼育してきた。各試験区において1回の試験で40尾の測定を行った。標本への死後硬直による影響をできる限り同じにするため20尾ずつサケ幼稚魚に麻酔（FA100, DS ファーマアニマルヘルス、大阪）をかけて殺した後、測定し、ただちに保存処理、または固定を行った。

試験区1の冷凍・解凍は、-20°Cで1週間保存した後、5°Cで24時間かけて解凍した。試験区2の冷蔵は、5°Cで24時間行った。試験区3では試験区2と同様に冷蔵した後、試験区1と同様に冷凍・解凍を行った。冷蔵または冷凍する場合には、乾燥による収縮を防ぐため、キムタオル（日本製紙クレシア、東京）上に標本を20個体並べ、霧吹きで十分湿らせた状態でチャック付きポリ袋に入れ密封して保存した。各試験区において標本は、保存処理後もしくは死後に、常温で5%中性ホルマリンに4時間浸漬して固定し、軽く水洗した後70%エタノール（アマノールNR、甘糟化学産業、東京）に移し替え、測定まで常温で1週間保存した。標本は、保存時には殺した順に並べて区別し、固定時には順に糸で綴つて1個体ずつ区別した。各試験区において、死後、保存処理後（試験区3では冷蔵後と冷凍・解凍後）、および固定後に、体長として尾叉長をデジタルノギスを用いて0.01 mmまで、体重は電子天秤を用いて0.001 gまで測定した。

各試験は、体長の違いによる変化の違いをみるため、サイズを変えて3回行った（サイズグループ 1：約43 mm, 2月

Table 1 Means and standard deviations of fork length and body weight of specimens for each experiment (40 specimens in each group).

| Experiments | Size group | Fork length (mm) | Body weight (g) |
|-------------|------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 1 | 42.98 ± 1.99 (38.15 — 47.53) | 0.570 ± 0.089 (0.365 — 0.822) |
| | 2 | 50.80 ± 2.96 (45.01 — 56.67) | 1.029 ± 0.193 (0.675 — 1.479) |
| | 3 | 67.81 ± 4.98 (58.78 — 79.37) | 2.326 ± 0.579 (1.513 — 4.244) |
| 2 | 1 | 42.96 ± 1.76 (38.11 — 45.95) | 0.568 ± 0.080 (0.366 — 0.728) |
| | 2 | 49.83 ± 2.75 (43.91 — 57.64) | 0.954 ± 0.152 (0.657 — 1.322) |
| | 3 | 68.41 ± 5.24 (57.23 — 80.43) | 2.298 ± 0.500 (1.403 — 3.444) |
| 3 | 1 | 42.60 ± 1.61 (38.93 — 46.23) | 0.548 ± 0.072 (0.391 — 0.681) |
| | 2 | 50.65 ± 2.70 (43.07 — 55.48) | 1.003 ± 0.178 (0.515 — 1.403) |
| | 3 | 69.12 ± 4.16 (60.39 — 79.41) | 2.426 ± 0.443 (1.625 — 3.674) |
| Control | 1 | 42.57 ± 2.22 (34.84 — 46.15) | 0.539 ± 0.088 (0.277 — 0.718) |
| | 2 | 49.73 ± 2.99 (42.24 — 54.30) | 0.960 ± 0.174 (0.587 — 1.287) |
| | 3 | 67.80 ± 4.20 (59.45 — 76.63) | 2.221 ± 0.370 (1.500 — 3.054) |

Experiment 1: Formalin and ethanol fixation after freezing and thawing; Experiment 2: Formalin and ethanol fixation after chilling; Experiment 3: Formalin and ethanol fixation after chilling plus freezing and thawing; Control: Formalin and ethanol fixation after death

1日測定, サイズグループ2: 約50 mm, 2月20日測定, サイズグループ3: 約70 mm, 4月2日測定; Table 1; 以降, サイズグループをSGと表記する)。各SGは体長においてほとんど重なりがなかった。

計算方法 処理前と比較した処理後の体長および体重の変化率 (Changing rate) を以下の式によって算出した。

$$\text{Changing rate (\%)} = (M_b - M_a) / M_a \times 100$$

M_a : 処理前の測定値, M_b : 処理後の測定値。aには生 (raw), 冷凍・解凍 (freeze), 冷蔵 (chill), 冷蔵+冷凍・解凍 (chill+freeze) が入る; bには冷凍・解凍 (freeze), 冷蔵 (chill), 冷蔵+冷凍・解凍 (chill+freeze), 固定 (fix) が入る。

変化率は比率であり, 正規分布を仮定できないので, non parametric検定であるKruskal-Wallis testでSG間の違いの有無を検討し, Scheffé's testで群間の事後比較を行った。有意水準は5%とした。

結果

試験区1 (冷凍・解凍後に固定) 体長では, 生測定値に対する冷凍・解凍後測定値の変化率はSG間で有意な差が認められ ($\chi^2 = 52.54, p < 0.0001$), 平均値はSG1がSG2およびSG3より2%程度大きな負の値を示し, 小さいサイズでは収縮が大きかった (Table 2)。一方, 冷凍・解凍後測定値に対する固定後測定値の変化率はSG間で差が認められなかつた ($\chi^2 = 2.48, p = 0.29$)。生測定値に対する固定後測定値の変化率は, 生測定値に対する冷凍・解凍後測定値の変化率と同様にSG間で差が認められ ($\chi^2 = 48.99, p < 0.0001$), SG1がもっとも大きな負の値を示した。

体重では, 生測定値に対する冷凍・解凍後測定値の変化

率はSG間で有意な差が見られ ($\chi^2 = 38.74, p < 0.0001$), 平均値はSG1がSG2およびSG3より有意に大きな負の値を示し, 小さいサイズでは減少が大きかった (Table 2)。冷凍・解凍後測定値に対する固定後測定値の変化率においてもSG間に有意な差が見られた ($\chi^2 = 79.55, p < 0.0001$)。冷凍・解凍後測定値に対する固定後測定値の変化率の平均値は-15~-27%と生測定値に対する冷凍・解凍後測定値の変化率の2~4倍になり, SG3, SG1, SG2の順に絶対値が大きかった。生測定値に対する固定後測定値の変化率も冷凍・解凍後測定値に対する固定後測定値の変化率と同様にSG間で差が認められ ($\chi^2 = 66.44, p < 0.0001$), 平均値の大きさも同じ順番であった。

試験区2 (冷蔵後に固定) 冷蔵したサケ幼稚魚は死後24時間後では, 腹部の皮膚が溶け, 消化管が露出している個体もあった。

体長は, 冷蔵後においては, 生測定値に対する変化率が体長の小さな個体では正の値を示し, 体長が伸長した場合もあったが, 大部分の個体は負の値を示し, 収縮した (Table 3)。生測定値に対する冷蔵後測定値の変化率はSG間で有意な差が見られ ($\chi^2 = 92.85, p < 0.0001$), 変化率の平均は大きなサイズのSGほど負に大きな値を示した。冷蔵後測定値に対する固定後測定値の変化率は, 平均値がすべての群において負の値をとり, SG間で有意な差が認められたが ($\chi^2 = 16.62, p < 0.001$), 生測定値に対する冷蔵後測定値の変化率とは異なり, SG2が有意に他の2群より小さな絶対値をとった。生測定値に対する固定後測定値の変化率もSG間で有意な差が見られ ($\chi^2 = 75.28, p < 0.0001$), 大きなサイズのSGで大きな負の値を示した。

体重では, 生測定値に対する冷蔵後測定値の変化率は, 大型の個体では負の値を示した個体があったが, 小型の個

Table 2 Means and standard deviations (ranges) of changing rate in fork length and body weight after treatments in Experiment 1 (formalin and ethanol fixation after freezing and thawing). M_{raw} : measurements after death; M_{freeze} : measurements after freezing and thawing; M_{fix} : measurements after fixation

| Changing rates | Size group | Fork length | | Multiple comparisons | Body weight | | Multiple comparisons |
|--------------------------------------|------------|------------------|----------------|----------------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| | | Mean \pm SD | Range | | Mean \pm SD | Range | |
| $M_{\text{raw}} - M_{\text{freeze}}$ | 1 | -5.07 \pm 1.08 | -7.15 — -2.87 | b | -9.89 \pm 2.40 | -15.91 — -5.56 | b |
| | 2 | -2.93 \pm 0.89 | -4.93 — -1.07 | a | -7.32 \pm 2.06 | -12.03 — -2.30 | a |
| | 3 | -2.89 \pm 1.38 | -6.38 — -0.39 | a | -6.24 \pm 1.96 | -10.66 — -2.43 | a |
| $M_{\text{freeze}} - M_{\text{fix}}$ | 1 | -3.56 \pm 1.33 | -6.81 — -0.44 | ns | -22.29 \pm 4.72 | -32.27 — -12.20 | b |
| | 2 | -3.15 \pm 1.05 | -5.44 — -0.90 | ns | -15.51 \pm 2.98 | -22.69 — -9.98 | a |
| | 3 | -3.32 \pm 1.15 | -5.43 — -0.44 | ns | -27.16 \pm 1.50 | -31.34 — -24.54 | c |
| $M_{\text{raw}} - M_{\text{fix}}$ | 1 | -8.45 \pm 1.44 | -10.81 — -5.15 | b | -29.96 \pm 4.93 | -39.47 — -18.42 | b |
| | 2 | -5.99 \pm 1.03 | -8.12 — -3.79 | a | -21.69 \pm 3.30 | -30.72 — -15.72 | a |
| | 3 | -6.13 \pm 1.08 | -8.57 — -4.41 | a | -31.72 \pm 1.74 | -35.43 — -27.38 | b |

Multiple comparisons followed by the same letter(s) did not differ significantly from each other. Letters indicate mean value, with the letter "a" indicating the largest mean value, "b" indicating next to "a," and "c" indicating the smallest mean value. ns: not significant.

Table 3 Means and standard deviations (ranges) of changing rate in fork length and body weight after treatments in Experiment 2 (formalin and ethanol fixation after chilling). M_{raw} : measurements after death; M_{chill} : measurements after chilling; M_{fix} : measurements after fixation

| Changing rates | Size group | Fork length | | Multiple comparisons | Body weight | | Multiple comparisons |
|-------------------------------------|------------|------------------|---------------|----------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| | | Mean \pm SD | Range | | Mean \pm SD | Range | |
| $M_{\text{raw}} - M_{\text{chill}}$ | 1 | 0.79 \pm 0.70 | -0.56 — 2.90 | a | 4.10 \pm 1.54 | 0.83 — 7.47 | a |
| | 2 | -1.43 \pm 0.92 | -4.49 — 0.23 | b | 2.24 \pm 1.11 | 0.25 — 5.14 | b |
| | 3 | -2.76 \pm 0.73 | -4.11 — -0.96 | c | 0.95 \pm 0.68 | -0.68 — 2.26 | c |
| $M_{\text{chill}} - M_{\text{fix}}$ | 1 | -1.82 \pm 0.76 | -3.50 — 0.38 | b | -10.55 \pm 4.76 | -20.60 — -0.67 | b |
| | 2 | -1.02 \pm 0.80 | -2.86 — 0.97 | a | -2.97 \pm 3.55 | -10.23 — 1.86 | a |
| | 3 | -1.67 \pm 1.04 | -4.39 — 0.35 | b | -4.09 \pm 3.08 | -10.09 — 1.61 | a |
| $M_{\text{raw}} - M_{\text{fix}}$ | 1 | -1.05 \pm 1.02 | -3.91 — 2.20 | a | -6.87 \pm 5.40 | -16.76 — 4.43 | c |
| | 2 | -2.43 \pm 1.21 | -5.55 — 0.26 | b | -0.81 \pm 3.67 | -8.32 — 4.22 | a |
| | 3 | -4.39 \pm 1.06 | -7.12 — -1.65 | c | -3.17 \pm 3.22 | -9.83 — 2.57 | b |

Multiple comparisons followed by the same letter(s) did not differ significantly from each other. Letters indicate mean value, with the letter "a" indicating the largest mean value, "b" indicating next to "a," and "c" indicating the smallest mean value.

体では正の値を示した (Table 3)。生測定値に対する冷蔵後測定値の変化率は、SG間で有意な差が認められ ($\chi^2 = 69.42, p < 0.0001$)、サイズが小さなSGほど正の大きな平均値を示し、サイズが小さいほど変化の度合が大きかった。一方、体重の冷蔵後測定値に対する固定後測定値の変化率は大部分が負の値を示したが、大きな個体では正の値を示す個体も見られた。体重の冷蔵後測定値に対する固定後

測定値の変化率はSG間で有意な差が認められ ($\chi^2 = 47.52, p < 0.0001$)、SG1が他の2群より有意に大きな負の値を示した。体重の生測定値に対する固定後測定値の変化率もSG間で有意な差が見られ ($\chi^2 = 28.24, p < 0.0001$)、平均値は3群とも負の値を示し、SG1, SG3, SG2の順に負に大きな値をとり、SG2がもっとも収縮が小さかった。

試験区3 (冷蔵+冷凍・解凍後に固定) 生測定値に対す

Table 4 Means and standard deviations (ranges) of changing rate in fork length and body weight after treatments in Experiment 3 (formalin and ethanol fixation after chilling plus freezing and thawing). M_{raw} : measurements after death; M_{chill} : measurements after chilling; M_{freeze} : measurements after freezing and thawing; $M_{\text{chill+freeze}}$: measurements after chilling plus freezing and thawing; M_{fix} : measurements after fixation

| Changing rates | Size group | Fork length | | Multiple comparisons | Body weight | | Multiple comparisons |
|--|------------|------------------|----------------|----------------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| | | Mean \pm SD | Range | | Mean \pm SD | Range | |
| $M_{\text{raw}} - M_{\text{chill}}$ | 1 | -0.73 \pm 0.69 | -0.64 — 1.96 | a | 4.16 \pm 1.51 | 0.97 — 7.16 | a |
| | 2 | -1.35 \pm 0.80 | -3.32 — 0.94 | b | 1.15 \pm 0.63 | -0.50 — 2.18 | b |
| | 3 | -3.18 \pm 0.71 | -4.71 — -1.80 | c | 1.13 \pm 0.55 | 0.30 — 2.28 | b |
| $M_{\text{chill}} - M_{\text{freeze}}$ | 1 | -4.05 \pm 1.56 | -6.66 — 1.36 | c | -14.59 \pm 3.34 | -26.01 — -10.03 | c |
| | 2 | -2.22 \pm 0.69 | -3.80 — -0.72 | b | -8.66 \pm 3.41 | -19.49 — -1.70 | b |
| | 3 | -1.03 \pm 0.75 | -3.04 — 0.72 | a | -3.21 \pm 2.07 | -8.38 — 1.56 | a |
| $M_{\text{raw}} - M_{\text{chill+freeze}}$ | 1 | -3.35 \pm 1.58 | -6.29 — 1.38 | a | -11.03 \pm 3.69 | -20.72 — -5.21 | c |
| | 2 | -3.55 \pm 0.88 | -5.78 — -1.71 | a | -7.62 \pm 3.41 | -18.24 — -1.48 | b |
| | 3 | -4.18 \pm 0.55 | -5.18 — -2.98 | b | -2.12 \pm 1.90 | -7.13 — 2.54 | a |
| $M_{\text{chill+freeze}} - M_{\text{fix}}$ | 1 | -3.27 \pm 1.62 | -10.43 — -0.15 | b | -18.88 \pm 5.85 | -32.34 — -4.57 | b |
| | 2 | -2.58 \pm 1.15 | -5.36 — -0.38 | b | -16.89 \pm 3.44 | -22.57 — -10.72 | ab |
| | 3 | -2.03 \pm 0.55 | -3.52 — -1.18 | a | -14.98 \pm 2.53 | -20.25 — -10.33 | a |
| $M_{\text{raw}} - M_{\text{fix}}$ | 1 | -6.53 \pm 1.27 | -9.19 — -4.19 | ns | -27.81 \pm 6.26 | -39.36 — -15.00 | b |
| | 2 | -6.04 \pm 1.19 | -8.20 — -3.03 | ns | -23.28 \pm 3.17 | -31.29 — -17.44 | b |
| | 3 | -6.13 \pm 0.72 | -8.28 — -4.67 | ns | -16.82 \pm 1.78 | -20.80 — -13.18 | a |

Multiple comparisons followed by the same letter(s) did not differ significantly from each other. Letters indicate mean value, with the letter "a" indicating the largest mean value, "b" indicating next to "a," and "c" indicating the smallest mean value. ns: not significant.

る冷蔵後測定値の変化率は、体長、体重の双方とも試験区2の保存処理と同じなので省略した。

体長では、冷蔵後測定値に対する冷凍・解凍後測定値の変化率は、SG間で有意な差が認められ ($\chi^2 = 74.70, p < 0.0001$)、生測定値に対する冷蔵後測定値の変化率とは逆に、小さなSGで負の大きな値を示した (Table 4)。生測定値に対する冷蔵+冷凍・解凍後測定値の変化率は、ほとんどの個体が負の値を示した。生測定値に対する冷蔵+冷凍・解凍後測定値の変化率は、SG間で有意な差が認められ ($\chi^2 = 13.18, p < 0.01$)、SG3がSG1およびSG2より負に大きな値を示した。冷蔵+冷凍・解凍後測定値に対する固定後測定値の変化率は、SG間で有意な差が見られ ($\chi^2 = 24.46, p < 0.0001$)、SG3がSG1およびSG2より有意に小さな負の値を示した。生測定値に対する固定後測定値の変化率はSG間に有意な差が見られず ($\chi^2 = 2.83, p = 0.2429$)、サイズによる収縮の程度に違いはなかった。

体重では、冷蔵後測定値に対する冷凍・解凍後測定値の変化率は、SG間で有意な差が認められ ($\chi^2 = 88.31, p < 0.0001$)、体長と同様に小さなSGで負の大きな値を示した (Table 4)。生測定値に対する冷蔵+冷凍・解凍後測定値の変化率は、大型の個体で正の値を示した個体もあったが、大部分が負の値を示した。生測定値に対する冷蔵+冷凍・解凍後測定値の変化率は、SG間で有意な差が見られ ($\chi^2 = 76.27, p < 0.0001$)、変化率の平均値はSG1、SG2、SG3の順に負に大きな値をとり、小さなサイズほど体重の減少が著しかった。冷蔵+冷凍・解凍後測定値に対する固定後測定値の変化率は、SG間で有意な差が見られ ($\chi^2 = 12.32, p < 0.01$)、SG1がSG3より有意に大きな負の値を示したが、それ以外の組み合わせでは有意な違いはなかった。生測定値に対する固定後測定値の変化率は、すべての個体が負の値を示し、生測定時より10%以上も重量が減少した。生測定値に対する固定後測定値の変化率は、SG間で有意な差が見られ ($\chi^2 = 71.73, p < 0.0001$)、SG3がSG1およびSG2より有意に変化率が小さく、サイズが小さいほど収縮が大きかった。

対照区（固定のみ） 体長は固定後にすべての個体で変化

率が負の値を示し、収縮した (Table 5)。体重ではSG1では大部分の個体が負の変化率を示したが、大型の個体では正の変化率を示した個体が多かった。

体長および体重の変化率は固定後においてSG間に有意な差が認められた (体長 $\chi^2 = 19.41, p < 0.0001$; 体重 $\chi^2 = 58.52, p < 0.0001$)。体長ではSG2がSG1およびSG3より、変化率が小さく、収縮が小さかった。一方、体重ではSG1がSG2およびSG3より有意に負の大きな値をとり、小さいサイズでは体重の減少が大きかった (Table 5)。

考 察

本試験の結果から、体長および体重は冷凍・解凍、冷蔵、冷蔵+冷凍・解凍による保存後またはホルマリン・エタノール固定後において、処理方法や魚体サイズの違いによって変化率が大きく異なることが明らかになった。

体長、体重の双方で、生測定値に対する固定後測定値の変化率は各保存処理後測定値の生測定値に対する変化率と保存処理後測定値に対する固定後測定値の変化率のおおよその和となっており、各保存処理および固定が体長および体重に及ぼす影響は相加的に働いていたと考えられた。

保存処理による影響

魚類の死後の筋肉に観察される変化として、死後硬直や解硬にともなう軟化が挙げられる (山中, 1991)。また、タンパク質の分子構造に変化が生じることによって起こる変性も知られている (西元, 1986)。本研究において、保存処理 (冷凍・解凍、冷蔵、冷蔵+冷凍・解凍) 後に起こった体長および体重の変化は、上記の現象が関与していると考えられる。

本研究において、冷蔵後では体長は小さい個体では伸長したのに対し、大きい個体では収縮した。一方、体重では冷蔵後にすべてのSGで平均値が増加した。魚肉は死後硬直の後に軟化し、軟化は筋原纖維の小片化などによるものと推察されている (関, 1991)。冷蔵後では自己消化が進

Table 5 Means and standard deviations (ranges) of changing rate in fork length and body weight after treatments in control (formalin and ethanol fixation after death). M_{raw} : measurements after death; M_{fix} measurements after fixation

| Changing rates | Size group | Fork length | | Multiple comparisons | Body weight | | Multiple comparisons |
|-----------------------------------|------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|---------------|----------------------|
| | | Mean \pm SD | Range | | Mean \pm SD | Range | |
| $M_{\text{raw}} - M_{\text{fix}}$ | 1 | -3.79 \pm 1.00 | -5.49 — -1.14 | b | -6.90 \pm 3.75 | -13.84 — 0.37 | b |
| | 2 | -2.86 \pm 0.80 | -4.37 — -0.38 | a | -0.31 \pm 3.15 | -6.57 — 5.09 | a |
| | 3 | -3.27 \pm 0.76 | -4.75 — -1.01 | b | 0.99 \pm 3.45 | -5.33 — 7.57 | a |

Multiple comparisons followed by the same letter(s) did not differ significantly from each other. Letters indicate mean value, with the letter "a" indicating the largest mean value, "b" indicating next to "a," and "c" indicating the smallest mean value.

んでいると思われる個体も見られており、小さな個体では冷蔵前の測定などによるハンドリングで魚体の温度が上がりやすく、筋肉の変化が早まる予想される。大きなサイズでは筋肉の軟化が小さいサイズより相対的に少なかったため、タンパク質の変性により体長が収縮したのに対し、小さいサイズでは筋肉の軟化が進んだため、体長が伸長したと思われた。筋肉の軟化に伴い筋原纖維の保水力は低下する（関，1991）、水分の再接触により筋原纖維に水分が再吸着する（関ら，1985）。本研究では乾燥を防ぐために冷蔵前に霧吹きで充分湿らせたため、筋原纖維の小片化が進んだと思われる小さいサイズでは、水分の再吸着量が大きなサイズより相対的に大きくなつたことにより、体重が増加したと思われた。

冷凍・解凍後（冷蔵後も含む）では、体長、体重はともに処理前の状態に比べて収縮または減少しており、小さな個体では大きな個体より収縮／減少が大きかった。冷凍・解凍にともなう魚類の筋肉の変化としては、解凍硬直やタンパク質の凍結変性が知られている（山中ら，1978；西元，1986）。これらの変化は発生する機序が異なり、解凍硬直は死後硬直と同様に筋肉中のATP量が減少することにより筋纖維が伸展性を失い硬直し収縮するのに対し（山中ら，1978），タンパク質の凍結変性はタンパク質が凍結によって分子内の高次構造が不可逆的に変化する（新井，2002）。本研究では、冷蔵し、自己消化が進んだと思われた場合においても冷凍・解凍後に収縮が見られたことから、死後硬直もしくは解凍硬直による収縮ではないと考えられる。そのため、本研究における冷凍・解凍後の体長の収縮や体重の減少は、冷凍変性による筋肉の収縮と筋肉内の水分が失われたことによる重量の減少によって引き起こされたと考えられた。

冷凍・解凍後の体長収縮は、冷蔵後では死後より小さかったことは、冷蔵中の筋肉の軟化とタンパク質の変性により、冷凍変性の程度が小さくなつたことによると思われた。一方、冷凍・解凍後の体重減少は、小さいサイズにおいて冷蔵後が死後に比べて大きかった。この結果は、小さいサイズでは筋原纖維の小片化が進んだため、再吸着していた水分が冷凍・解凍により流出したのではないかと思われた。

冷凍・解凍後ではタイセイヨウサケ *Salmo salar* やイエローパーチ *Perca flavescens* の幼稚魚やシスコ *Coregonus artedii* では体長の小さい個体が大きな個体より体長が収縮することが報告され（Engel, 1974; Armstrong and Stewart, 1997; Paradis et al., 2007），本研究の結果も一致した。他魚種の大型個体の冷凍・解凍後における体長収縮では体長による収縮程度の違いは報告されていない（Lux, 1960; Halliday and Roscoe, 1969; Sayers, 1987; Treasurer,

1990; 夏目, 1995; Blackwell et al., 2003; 柳下ら, 2005; Chesnes et al., 2009）。このような相違は魚種の違い以外に、成長段階の違いが影響している可能性がある。本研究で用いたサケ幼稚魚の体長範囲（40-70 mm）では、骨格が軟骨から硬骨に置き換わる時期に当たる（帰山, 1986）。また、サケ幼稚魚は体長50~80 mmに各体部分長比が安定するが、体高比では体長50 mmまで増加し、頭長比は体長38 mmから体長56 mmまで減少する（帰山, 1986）。このことは、浮上時から体長約50~56 mmにかけて軸幹部の増大が大きく、筋肉量の増加が著しいことを示唆している。SG1（体長約43 mm）からSG2（約50 mm）にかけては上記の軸幹部の増大が著しい時期に相当しているが、SG3（約70 mm）は各部分の体長比が安定する時期に相当する。タンパク質の凍結変性による筋肉の収縮程度は体長によって差がないかもしれないが、化骨の進行程度や軸幹部の増大程度によって収縮に差が生じたのかもしれない（Jennings, 1991）。ただし、保存にともなう体サイズの変化の原因は、実際の組織観察に基づいたものではない。今後は組織観察などを通して体サイズの変化の原因を明らかにする必要があるだろう。

保存処理後の固定による影響

体長および体重の双方とも、サケ幼稚魚は、サイズが異なっても、冷凍・解凍または冷蔵+冷凍・解凍後に固定した場合に、冷蔵処理後に固定した場合もしくは固定のみの場合より収縮／減少が大きく、冷凍・解凍処理を経た後に固定した場合、サケ幼稚魚は体長、体重ともに大きく収縮／減少することが明らかになった。特に体重では冷凍・解凍を含む処理後に固定した場合は、減少が元の体重の20~30%に達する場合もあった。

ホルマリンはその中に含まれているホルムアルデヒドがタンパク質のアミノ基に結合し、架橋構造を形成することによりタンパク質の変性を起こし、収縮をもたらす。体長においては、固定前のいずれの保存方法によらず固定により保存後から収縮した。この結果は、筋肉のタンパク質の冷凍変性や軟化による筋原纖維の小片化があったとしても、固定によりさらに変性する余地があることを示している。

体重においては、保存後の固定では大部分で減少したが、冷蔵後に固定した場合やただ固定した場合では増加した場合があった。ホルマリンだけの固定においては、魚体にパラホルムアルデヒドが沈着することによって体重が増加することが示唆されている（白石ら, 1955）。一方、サケとカラフトマスをホルマリン・エタノール固定（本研究における固定と同じ）した場合においては体重が減少することが報告されている（安藤・宮腰, 2004）。安藤・

宮腰（2004）においては、ホルマリン固定後のエタノール固定期間が約70日と本研究における1週間より長い。エタノールは脱水作用があるため、長期間のエタノール固定が水分の減少を引き起こし、体重の減少をもたらしたものと思われた。一方、固定前の冷蔵処理の有無が違いをもたらした可能性もある。上述したように、冷蔵中に筋肉の筋原繊維が小片化している可能性があり、小片化したことによりパラホルムアルデヒドの沈着量が増加したのかもしれない。

冷凍・解凍後の固定では体重が大きな魚体サイズで非常に大きく減少した。同じ処理における体長では固定により顕著な収縮が認められていないので、体重の減少は筋肉全体の収縮にともなう減少とは異なる原因である可能性がある。サクラマスではスモルト化の進行にともない水分量が増加することが報告されている（永田、1997）。サケ幼稚魚は体長50 mmくらいからグアニン色素が沈着し始め（帰山、1986），スモルト化が始まるとと思われる。サケ幼稚魚においてもサクラマスと同様にスモルト化の進行にともなって水分量が増加し、固定により大きく水分が失われたのかもしれない。ただし、冷蔵を経た場合にはこのような現象は観察されていないことから、別の要因が働いている可能性もある。この原因の探求には組織学的な観察が必要であると思われる。

変化率は、保存後の変化率が固定によってさらに低下していたが、体サイズによる違いや保存による違いは保存後と固定後では傾向がほぼ同じであった。このため、固定後の変化率は保存によって傾向が決定され、固定によってさらに増大していると考えられた。このことは固定前の処理が固定後の体サイズに非常に大きな影響を与えることを示しており、固定前のたどった経過が異なる標本の体サイズを比較するときには注意する必要がある。体長においては特に小さいサイズでは収縮が大きいため、一層の注意を要する。体重においては冷凍した後、重量の減少が著しく、変動の幅も非常に大きくなつた。ホルマリン・エタノール固定のみの標本は全般的に固定に伴うサイズの変化が小さいので、可能であればこの方法を使用した方が良い。他方、冷凍・解凍を経た標本はサイズの変化が大きいので、測定値を使用する際には注意が必要である。

謝 辞

さけます・内水面水産試験場道東支場の伊藤清子氏には標本の測定を手伝っていただいた。さけます・内水面水産試験場の村上豊氏には試験魚を提供していただいた。2名の査読者と編集委員には建設的な意見を頂いた。ここに記して感謝します。

引用文献

- 安藤大成、宮腰靖之. 固定方法の違いによるサケ・マス稚幼魚の体サイズ変化. 北海道立水産孵化場研究報告 2004 ; 58 : 17-32.
- 新井健一. 水産動物筋肉タンパク質の変性と制御. 日水誌 2002 ; 68 : 137-143.
- Armstrong JD, Stewart DC. The effects of initial length and body curvature on shrinkage of juvenile Atlantic salmon during freezing. *J. Fish Biol.* 1997 ; 50 : 903-905.
- Billy AJ. The effects of formalin and isopropyl alcohol on length and weight measurements of *Sarotherodon mossambicus* Trewavas. *J. Fish Biol.* 1982 ; 21 : 107-112.
- Blackwell BG, Hubers MJ, Losco RG. Postharvest length changes of angler-caught walleyes. *N. Am. J. Fish. Manag.* 2003 ; 23 : 770-778.
- Burgner, R. L. Studies of red salmon smolts from the Wood River Lakes, Alaska. In: Koo TS (ed). *Studies of Alaska Red Salmon*. University of Washington Press, Seattle, USA. 1962 ; 247-314.
- Chesnes TC, Waldner RE, Krahforst CS. Postmortem length changes in six Florida fish species stored on ice. *N. Am. J. Fish. Manag.* 2009 ; 29 : 1242-1252.
- Cunningham MK, Granberry WF Jr., Pope KL. Shrinkage of inland silverside larvae preserved in ethanol and formalin. *N. Am. J. Fish. Manag.* 2000 ; 20 : 816-818.
- Engel S. Effects of formalin and freezing on length, weight and condition factor of cisco and yellow perch. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1974 ; 103 : 136-138.
- Farris DA. Shrinkage of sardine (*Sardinops caerulea*) larvae upon preservation in buffered formalin. *Copeia* 1963 ; 1963 : 185-186.
- Fisher SJ, Anderson MR, Willis DW. Total length reduction in preserved yellow perch larvae. *N. Am. J. Fish. Manag.* 1998 ; 18 : 739-742.
- Fowler GM, Smith SJ. Length changes in silver hake (*Merluccius bilinearis*) larvae: effects of formalin, ethanol, and freezing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1983 ; 40 : 866-870.
- 福原 修. ホルマリン固定によるマダイ卵稚仔の収縮について. 水産増殖 1979 ; 27 : 129-136.
- Glenn CL, Mathias JA. Body shrinkage in young walleye, *Stizostedion vitreum*, preserved with AFA, formalin, ethanol and quick freezing. *Can. Field-Nat.* 1987 ; 101 : 408-414.
- Halliday RG, Roscoe B. The effects of icing and freezing on

- the length and weight of groundfish species. *Int. Comm. Northwest Atlantic Fish. Res. Doc.* 1969 ; 69 : 1-13.
- Hay DE. Weight loss and change of condition factor during fixation of Pacific herring, *Clupea harengus pallasi*, eggs and larvae. *J. Fish Biol.* 1984 ; 25 : 421-433.
- Hjörleifsson E, Klein-MacPhee G. Estimation of live standard length of winter flounder *Pleuronectes americanus* larvae from formalin-preserved, ethanol-preserved and frozen specimens. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1992 ; 82 : 13-19.
- Hunter JR. Preservation of northern anchovy in formaldehyde solution. *NOAA Tech. Rep. NMFS* 1985 ; 36 : 63-65.
- 伊藤絹子, 掛川 武. 河口汽水域を利用する魚類の食物源. 「安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態-アサリからクジラまで(富永 修, 高井則之編)」恒星社厚生閣, 東京. 2008 ; 70-84.
- Jennings S. The effects of capture, net retention and preservation upon lengths of larval and juvenile bass, *Dicentrarchus labrax* (L.). *J. Fish Biol.* 1991 ; 38 : 349-357.
- Joh M, Takatsu T, Nakaya M, Imura K, Higashitani T. Body-length shrinkage of marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae* larvae preserved in formalin and ethanol solutions. *Suisanzoshoku* 2003 ; 51 : 227-228.
- 帰山雅秀. サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の初期生活に関する生態学的研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1986 ; 40 : 31-92.
- Karjalainen J. Effects of different preservation methods on total length and weight of larval vendace (*Coregonus albula* (L.)). *Nordic J. Freshwater Res.* 1992 ; 67 : 88-90.
- 小島 博. ホルマリン固定したサクラマス幼魚標本に対する水洗の影響. 北海道立水産孵化場研究報告 1981 ; 36 : 75-81.
- Kruse GH, Dalley EL. Length changes in capelin, *Mallotus villosus* (Müller), larvae due to preservation in formalin and anhydrous alcohol. *J. Fish Biol.* 1990 ; 36 : 619-621.
- Lockwood SJ. Weight and length changes of 0-group plaice (*Pleuronectes platessa* L.) after preservation in 4% neural formalin. *J. Cons. int. Explor. Mer* 1973 ; 35 : 100-101.
- Lockwood SJ, Daly CB. Further observations on the effects of preservation in 4% neural formalin on the length and weight of 0-group flatfish. *J. Cons. int. Explor. Mer* 1975 ; 36 : 170-175.
- Lux FE. Length shrinkage of yellowtail flounder between live and landed condition. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1960 ; 89 : 373-374.
- Misaka N, Koyama T, Mizuno S, Kasahara N. Analysis of glucose, triglyceride and RNA/DNA ratio to evaluate starvation in hatchery-reared and wild juvenile masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *NPAFC Tech. Rep.* 2001 ; 2 : 28-29.
- 三坂尚行, 水野伸也, 宮腰靖之, 竹内勝巳, 鷹見達也, 笠原昇. 飢餓中のサクラマス当歳魚の肝臓におけるトリグリセリドおよびグリコーゲン含量の変動. 日水誌 2004 ; 70 : 168-174.
- 水野伸也. 通し回遊性サケ目魚類の種苗生産技術向上に関する研究. 日水誌 2009 ; 75 : 644-647.
- Mizuno S, Misaka N, Teranishi T, Ando D, Koyama T, Araya K, Miyamoto M, Nagata M. Physiological effects of an iron citrate dietary supplement on chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry. *Aquaculture Sci.* 2008 ; 56 : 531-542.
- Morkert SB, Bergstedt RA. Shrinkage of sea lamprey larvae preserved in formalin. *N. Am. J. Fish. Manag.* 1990 ; 10 : 484-486.
- 牟田邦甫. マイワシのホルマリン固定による体長・体重の変化. 昭和24年度長崎県水産試験場事業報告 1951 ; 92-98.
- 永田光博. スモルト化時期におけるサクラマスの水分量およびカロリー量. 北海道立水産孵化場研究報告 1997 ; 51 : 1-9.
- 夏目雅史. 死後硬直による魚体長収縮. 北海道立水産試験場研究報告 1995 ; 47 : 1-6.
- 西元諄一. 低温貯蔵中における魚肉タンパク質変性と品質. 「魚の低温貯蔵と品質評価法(小泉千秋編)」恒星社厚生閣, 東京. 1986 ; 77-86.
- 大関芳沖, 渡辺良朗, 久慈康支, 高橋章策. サンマ仔稚魚の固定に伴う体長収縮. 東北区水産研究所研究報告 1991 ; 53 : 15-21.
- Paradis Y, Brodeur P, Mingelbier M, Magnan P. Length and weight reduction in larval and juvenile yellow perch preserved with dry ice, formalin, and ethanol. *N. Am. J. Fish. Manag.* 2007 ; 27 : 1004-1009.
- Pepin P, Dower JF, Leggett WC. Changes in the probability density function of larval fish body length following preservation. *Fish. Bull.* 1998 ; 96 : 633-640.
- 佐藤 茂. ホルマリン固定による体長体重の変化について. 神奈川県淡水魚増殖試験場報告 1972 ; 10 : 88-91.
- Sayers RE Jr. Effects of freezing in and out of water on length and weight of Lake Michigan bloaters. *N. Am. J.*

- Fish. Manag. 1987; 7: 299-301.
- 関 伸夫. 解硬に伴う筋肉の性状変化. 「魚類の死後硬直 (山中英明編)」 恒星社厚生閣, 東京. 1991; 31-41.
- 関 伸夫・松原 久・柳沢大貴・新井健一. コイ筋原繊維の保水能の加熱による変化. 日水誌 1985; 51: 793-798.
- Shields PA, Carlson SR. Effects of formalin and alcohol preservation on lengths and weights of juvenile sockeye salmon. *Alaska Fish. Res. Bull.* 1996; 3: 81-93.
- 白石芳一, 北森良之介, 北森真栄. 諏訪湖産ワカサギの成長並びにその鱗に関する研究. 淡水区水産研究所研究報告 1955; 4: 17-32.
- Stobo WT. Effects of formalin on the length and weight of yellow perch. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1972; 101: 362-364.
- Takizawa K, Fujita Y, Ogushi Y, Matsuno S. Relative change in body length and weight in several fish larvae due to formalin fixation and preservation. *Fish. Sci.* 1994; 60: 355-359.
- Theilacker GH. Changes in body measurements of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*, and other fishes due to handling and preservation. *Fish. Bull.* 1980; 78: 685-692.
- Theilacker GH, Porter SM. Condition of larval walleye Pollock, *Theragra chalcogramma*, in the western Gulf of Alaska assessed with histological and shrinkage indices. *Fish. Bull.* 1995; 93: 333-344.
- Treasurer JW. Length and weight changes in perch, *Perca fluviatilis* L., and pike, *Esox lucius* L., following freezing. *J. Fish Biol.* 1990; 37: 499-500.
- 柳下直己, 岩尾敦志, 山崎 淳. 氷上保存および解凍によるアカガレイの体長収縮. 京都府立海洋センター研究報告 2005; 27: 1-4.

北海道オホーツク海側の河川に遡上したサケの魚体サイズの特徴

宮腰靖之*, 安藤大成, 藤原 真, 虎尾 充, 隼野寛史, ト部浩一

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Characteristics of body size of chum salmon returning to Okhotsk rivers in Hokkaido

YASUYUKI MIYAKOSHI*, DAISEI ANDO, MAKOTO FUJIWARA, MITSURU TORAO, HIROFUMI HAYANO AND HIROKAZU URABE

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

Fork length, body weight, and age of chum salmon *Oncorhynchus keta* returning to 7 rivers in the Okhotsk Sea region were measured, 2010–2012. Mean fork lengths of chum salmon were larger in the western region than those in the central or the eastern regions. Also, in many rivers, fork lengths were different among run timings; larger for fish captured in earlier timing (August and September) and smaller for fish captured in the later timing (November and December). When fork lengths of chum salmon of the same ages (age-4 and age-5) captured in October were compared, the difference of fork lengths among rivers was smaller, but was significant. In 2012, body sizes of chum salmon returning to Hokkaido were small, and the differences of fork lengths among rivers were not significant for all ages and sexes. When body sizes of chum salmon returning to rivers were compared, age and run timing should be taken into account.

キーワード：オホーツク海, 魚体サイズ, サケ, 親魚

北海道へのサケ *Oncorhynchus keta* の回帰数は1970年代以降, 急速に増加し, 1990年代以降は変動しながらも歴史的に高い資源水準を維持している。最近では北海道内の海区間で来遊数変動の傾向に違いがみられ, 来遊数が低迷している海区があるものの, オホーツク海では高い資源水準が保たれている (Miyakoshi *et al.*, 2013)。サケの来遊数の増加には北太平洋の良好な海洋環境 (帰山, 2004) とふ化放流技術の向上 (小林, 2009) が大きく寄与しているものと考えられ, ふ化放流にあたっては健康な稚魚を環境が良好な時期に放流すること, いわゆる健苗の適期放流が重要であると考えられている。

北海道のサケ増殖では全道を5海区（オホーツク, 根室, えりも以東太平洋, えりも以西太平洋, 日本海）14地区（それぞれの海区を2~4地区に区分）に分けて親魚捕獲やふ化放流計画が策定され, ふ化放流事業が行われている (Fig. 1)。過去には大規模な種卵の移植による資源造成も行われたが, 最近では各海区で種卵の確保ができるようになったことや地域集団の重要性が理解されるようになっ

たことから, 現在は原則として海区間の移植は行わず, 海区内に回帰した親魚から卵を確保する努力が払われている。ただし, 河川ごとに定められた捕獲計画に満たない時には, 同じ海区内の河川間の卵の移植は頻繁に行われている。

北海道のサケには5つの地域集団があるとされており (Beacham *et al.*, 2008; Beacham *et al.*, 2009), それらの地理的分布域と増殖事業上の海区の区分はほぼ一致している。しかし, これまでの遺伝的集団解析では長年にわたり捕獲や放流が行われてきた河川や移植の履歴が少ない河川を中心に調査河川が選定されており, 必ずしも海区内あるいは地区内の多くの河川のサケの遺伝的集団解析が行われているわけではない。詳細な生物学的情報に基づいた増殖事業の地区的区域分けを考える上で, 遺伝形質の情報に加えて河川ごとのサケの表現形質に関する情報を収集することは重要である。

そこで, 本研究では北海道オホーツク海側の7河川に遡上したサケの魚体サイズを測定し, 河川間での比較を行っ

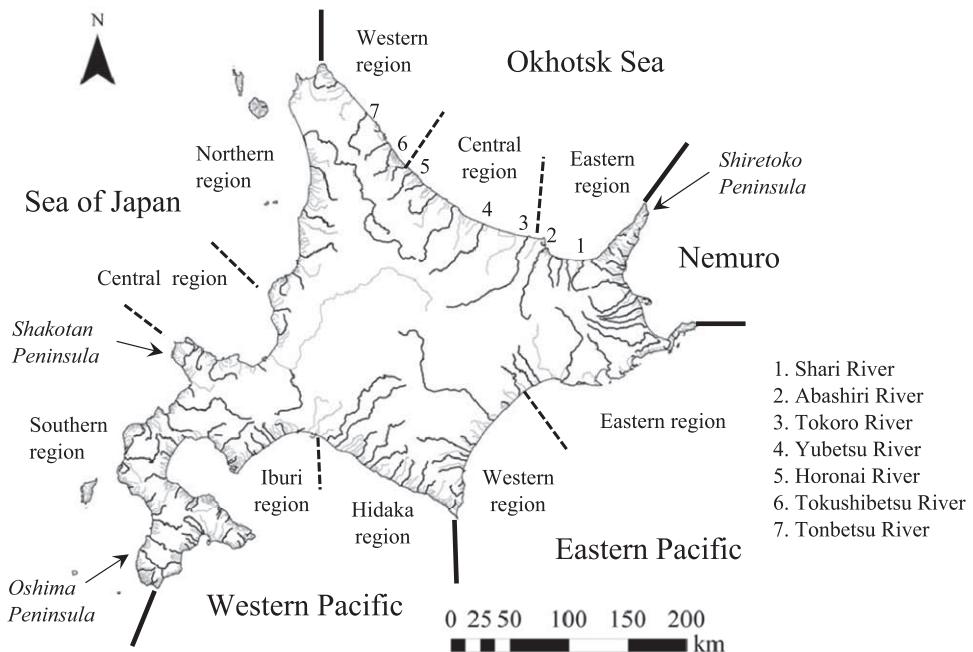


Fig. 1 Geographic regions for chum salmon enhancement program in Hokkaido. Locations of rivers where body sizes of chum salmon were measured are indicated.

た。

試料および方法

調査河川 北海道オホーツク海区（知床岬～宗谷岬）でのサケの増殖は、東部（知床岬～網走市），中部（北見市常呂～雄武町），西部（枝幸町～宗谷岬）の3地区に分けて事業が行われている（Fig. 1）。さけます・内水面水産試験場では、当海区において東部地区の斜里川、網走川、中部地区の常呂川、湧別川、西部地区の徳志別川、頓別川の6河川でサケの年齢組成および魚体サイズ（尾叉長および体重）のモニタリング調査を実施している（さけます・内水面水産試験場, 2012-2013）。これらの河川ではウライ（河川を横断して設置される捕獲施設）で捕獲された採卵用親魚のうち、毎旬1回、雌雄各50尾から鱗を採取し、年齢を査定している。本研究では2010年から2012年の3カ年に捕獲したサケを対象として、上記の河川に加えて、中部地区の最北端に位置する幌内川でも尾叉長の測定および年齢を調べ、計7河川の測定結果について分析を行った。

年齢査定と年齢別捕獲数の推定 各河川で採取した鱗は、実験室で採鱗用紙から剥してシャーレに移して蒸留水に浸し、表面の粘膜、ゴミなどを取り除いた後、ガム（水貼り）テープに貼り付けた。室温で乾燥後、ガムテープの鱗を添付した面と透明塩化ビニル板（60×120×0.5 mm）を重ね合わせて、ヒーター付プレス機を用いて鱗のレプリカ標

本を作製した。レプリカ標本作成時のプレス機のプレートの温度は約70°Cに設定し、圧力8トンで3分間加圧した後、圧力を10トンに増してさらに2分間加圧した。出来上がった鱗のレプリカを万能投影機で50倍に拡大して年齢を査定した。年齢査定の基準は小林（1961）に従った。年齢査定は2者が独立して行い、結果を照合して査定ミスを防ぐようにした。

得られた年齢組成をそれぞれ河川ごとに旬別、雌雄別に捕獲尾数に乗じて、各河川での旬別、年齢別捕獲尾数を推定した。

魚体サイズの比較 河川別、年別、年齢別に尾叉長および体重のデータをとりまとめた。平均尾叉長の比較のため次の順序で、それぞれ二元配置の分散分析を行った。

- 分析1) すべての年齢のデータを用い、雌雄別に、河川および年を因子として平均尾叉長を比較
- 分析2) 4年魚のデータを用い、雌雄別に、河川および年を因子として平均尾叉長を比較
- 分析3) 5年魚のデータを用い、雌雄別に、河川および年を因子として平均尾叉長を比較
- 分析4) 各河川の4年魚のデータを用い、雌雄別に、捕獲旬および年を因子として平均尾叉長を比較
- 分析5) 各河川の5年魚のデータを用い、雌雄別に、捕獲旬および年を因子として平均尾叉長を比較
- 分析6) 10月に捕獲した4年魚のデータを用い、雌雄別に、河川および年を因子として平均尾叉長を比較

Table 1 Numbers and age composition of chum salmon captured in the rivers in the Okhotsk region of Hokkaido, 2010-2012

| River | Year | Number of fish captured | | | Estimated number of fish by age | | | | | | | Estimated age composition (%) | | | | | | |
|-----------------|------|-------------------------|---------|---------|---------------------------------|--------|---------|---------|--------|-------|-----|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Female | Male | Total | Age-2 | Age-3 | Age-4 | Age-5 | Age-6 | Age-7 | | Age-2 | Age-3 | Age-4 | Age-5 | Age-6 | Age-7 | Total |
| Eastern Region | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Shari R. | 2010 | 384,286 | 359,430 | 743,716 | 0 | 14,263 | 378,414 | 307,070 | 43,969 | 0 | 0.0 | 1.9 | 50.9 | 41.3 | 5.9 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2011 | 243,485 | 244,912 | 488,397 | 0 | 9,009 | 262,203 | 182,968 | 32,520 | 1,697 | 0.0 | 1.8 | 53.7 | 37.5 | 6.7 | 0.3 | 100.0 | |
| | 2012 | 286,554 | 321,109 | 607,663 | 0 | 14,067 | 216,012 | 369,215 | 8,369 | 0 | 0.0 | 2.3 | 35.5 | 60.8 | 1.4 | 0.0 | 100.0 | |
| Abashiri R. | 2010 | 160,005 | 168,827 | 328,832 | 0 | 28,430 | 214,402 | 76,738 | 9,134 | 127 | 0.0 | 8.6 | 65.2 | 23.3 | 2.8 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2011 | 283,584 | 295,366 | 578,950 | 0 | 20,469 | 366,866 | 186,895 | 3,261 | 1,458 | 0.0 | 3.5 | 63.4 | 32.3 | 0.6 | 0.3 | 100.0 | |
| | 2012 | 312,833 | 366,830 | 679,663 | 0 | 16,219 | 336,175 | 321,436 | 5,832 | 0 | 0.0 | 2.4 | 49.5 | 47.3 | 0.9 | 0.0 | 100.0 | |
| Central Region | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tokoro R. | 2010 | 76,366 | 72,998 | 149,364 | 138 | 11,824 | 77,002 | 48,262 | 11,934 | 204 | 0.1 | 7.9 | 51.6 | 32.3 | 8.0 | 0.1 | 100.0 | |
| | 2011 | 77,066 | 73,057 | 150,123 | 0 | 17,362 | 92,674 | 37,983 | 2,104 | 0 | 0.0 | 11.6 | 61.7 | 25.3 | 1.4 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2012 | 99,000 | 104,950 | 203,950 | 0 | 4,207 | 132,754 | 63,855 | 3,129 | 6 | 0.0 | 2.1 | 65.1 | 31.3 | 1.5 | 0.0 | 100.0 | |
| Yubetsu R. | 2010 | 43,453 | 42,972 | 86,425 | 0 | 4,162 | 50,870 | 26,793 | 4,567 | 32 | 0.0 | 4.8 | 58.9 | 31.0 | 5.3 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2011 | 17,087 | 16,934 | 34,021 | 0 | 2,636 | 19,717 | 11,167 | 501 | 0 | 0.0 | 7.7 | 58.0 | 32.8 | 1.5 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2012 | 28,566 | 30,492 | 59,058 | 0 | 1,466 | 39,153 | 17,420 | 1,018 | 0 | 0.0 | 2.5 | 66.3 | 29.5 | 1.7 | 0.0 | 100.0 | |
| Horonai R. | 2010 | 15,013 | 15,365 | 30,378 | 0 | 404 | 6,628 | 22,832 | 514 | 0 | 0.0 | 1.3 | 21.8 | 75.2 | 1.7 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2011 | 4,769 | 5,172 | 9,941 | 0 | 225 | 2,925 | 6,073 | 718 | 0 | 0.0 | 2.3 | 29.4 | 61.1 | 7.2 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2012 | 15,016 | 16,612 | 31,628 | 0 | 339 | 7,029 | 23,412 | 848 | 0 | 0.0 | 1.1 | 22.2 | 74.0 | 2.7 | 0.0 | 100.0 | |
| Western Region | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tokushibetsu R. | 2010 | 75,196 | 76,077 | 151,273 | 0 | 2,395 | 51,591 | 95,495 | 1,793 | 0 | 0.0 | 1.6 | 34.1 | 63.1 | 1.2 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2011 | 47,847 | 47,439 | 95,286 | 188 | 4,879 | 40,060 | 45,139 | 4,848 | 172 | 0.2 | 5.1 | 42.0 | 47.4 | 5.1 | 0.2 | 100.0 | |
| | 2012 | 142,702 | 135,100 | 277,802 | 0 | 10,643 | 165,242 | 94,503 | 7,415 | 0 | 0.0 | 3.8 | 59.5 | 34.0 | 2.7 | 0.0 | 100.0 | |
| Tonbetsu R. | 2010 | 32,859 | 37,366 | 70,225 | 0 | 1,290 | 39,180 | 28,893 | 862 | 0 | 0.0 | 1.8 | 55.8 | 41.1 | 1.2 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2011 | 46,092 | 59,705 | 105,797 | 0 | 6,328 | 86,272 | 12,033 | 1,163 | 0 | 0.0 | 6.0 | 81.5 | 11.4 | 1.1 | 0.0 | 100.0 | |
| | 2012 | 90,909 | 79,927 | 170,836 | 0 | 3,888 | 72,117 | 92,614 | 2,217 | 0 | 0.0 | 2.3 | 42.2 | 54.2 | 1.3 | 0.0 | 100.0 | |

分析7) 10月に捕獲した5年魚のデータを用い、雌雄別に、河川および年を因子として平均尾叉長を比較

結果

河川遡上数と遡上時期 サケの捕獲数は河川間で大きな違いがみられ、捕獲数の多い斜里川と網走川では60万尾を超える年もみられた(Table 1)。年間の変動も大きく、2012年には捕獲数が大幅に増加した河川が多くみられた。ただし、この年の11月以降は大規模な増水のために捕獲体制が整わない河川もあり、捕獲時期後半は急激に捕獲数が減少した河川もみられた(Fig. 2)。捕獲時期にも河川間で違いがみられ、捕獲時期のピークが早いのは、8月下旬から捕獲が始まり9月下旬から10月上旬にピークを迎える徳志別川と10月上旬にピークがみられる網走川であった。その他の河川では概ね10月中下旬に捕獲数が多くなっている。

年齢組成には河川間で大きな違いがみられ、隣接する河川で似通った組成となるような傾向は必ずしもみられない。中部地区の3河川(常呂川、湧別川、幌内川)には顕著な違いがみられ、常呂川と湧別川は3カ年とも4年魚が50%以上を占めていたが、オホーツク中部の最北に位置する幌内川ではいずれの年も4年魚が30%に満たず、5年魚が全体の60%以上と高い比率を占めていた。西部地区の2河川の年齢組成にも大きな違いがみられる(Table 1)。

魚体サイズの比較結果 各河川で測定した年齢別、雌雄別の平均尾叉長と平均体重をそれぞれTable 2およびTable 3にまとめて示した。魚体サイズは、幌内川以北

の3河川(幌内川、徳志別川、頓別川)のサケの尾叉長が湧別川以東の4河川(湧別川、常呂川、網走川、斜里川)よりも大きい傾向がみられた(Table 2およびFig. 3)。年齢間で魚体サイズを比較すると3年魚が最も小さく、4年魚、5年魚と年齢が高くなるにつれて大型化する傾向がいずれの河川でもみられた(Table 2)。平均体重にも同様の傾向がみられた。年間で比較すると、2010年、2011年、2012年の順に小さくなり、2012年はいずれの河川でも魚体サイズが特に小型であった。

次に、分散分析の結果をみると、各河川のすべての年齢をプールして得られた平均尾叉長は雌雄とともに、河川間や年間で有意に異なった(分析1: $p < 0.01$)。雌雄別、年齢別に平均尾叉長を比較した場合でも、4年魚および5年魚ともに河川間、年間で有意に異なった(分析2および3: $p < 0.01$)。

次に、各河川での捕獲旬間および年間の平均尾叉長を比較した結果、ほとんどの河川、年齢で平均尾叉長は有意に異なり、同じ河川に遡上したサケでも平均尾叉長は捕獲時期により有意に異なる結果となった(分析4および5: $p < 0.05$)。例外は、頓別川の雌の4年魚、雌および雄の5年魚、幌内川の雌および雄の5年魚、常呂川の雄の5年魚のみであった。この分析では(分析4および5)、年間の差がみられない河川が多く、年による差が有意であったのは、徳志別川と湧別川のみであった。旬別の平均尾叉長の推移をみると、早期に遡上するサケが大型で、捕獲時期が遅くなるにつれて徐々に小型となる河川が多くみられた(Figs. 4a ~ 4d)。しかし、頓別川や幌内川では捕獲期間を通してサイズがあまり変化しなかった。旬を追うごとにサケの尾叉長が小さくなる傾向は東に位置する河川ほど顕著にみ

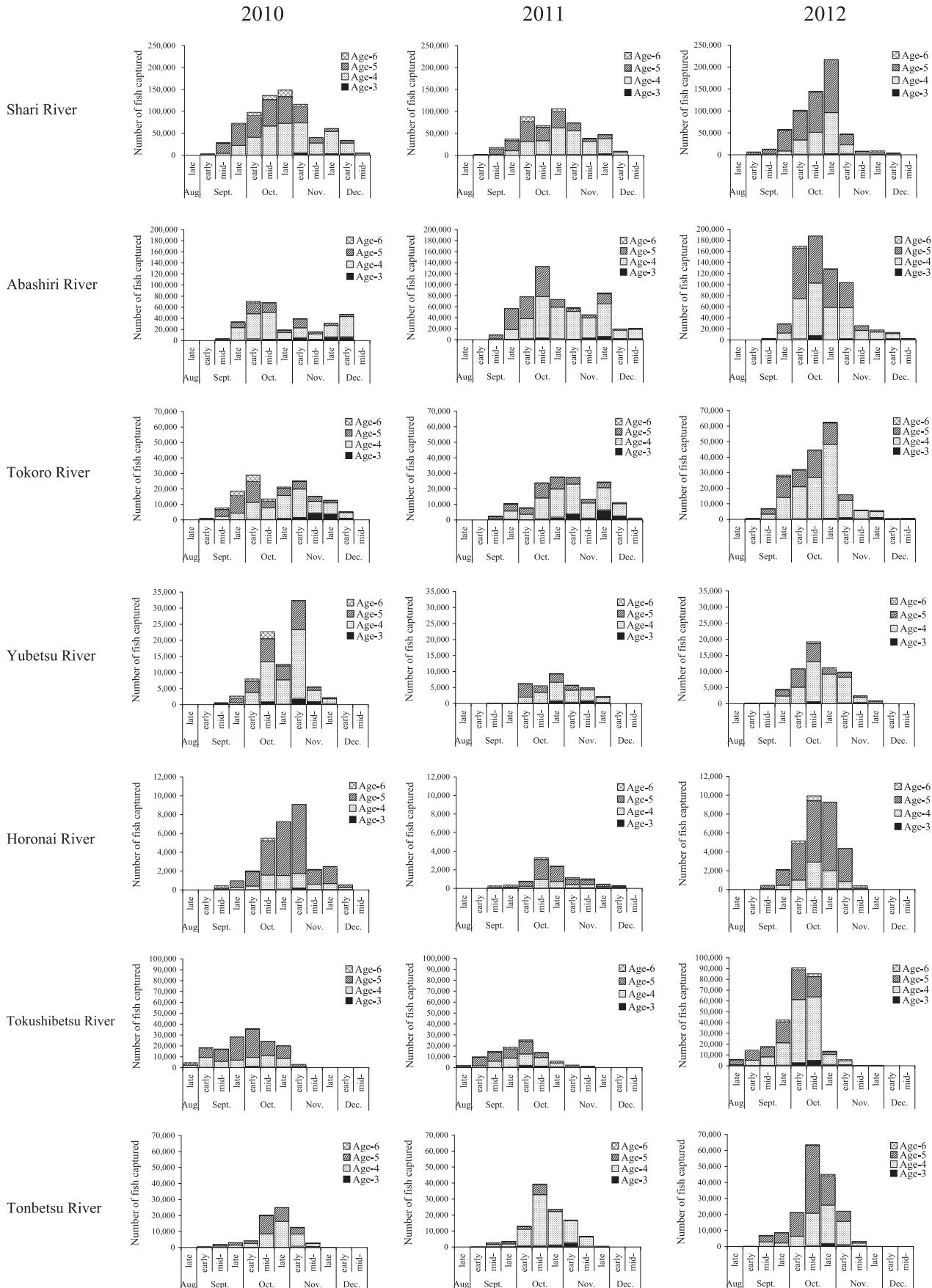


Fig. 2 Numbers of chum salmon captured in the seven rivers in the Okhotsk Sea region from 2010 to 2012.

Table 2 Mean and standard deviation of fork length of chum salmon captured in the rivers in the Okhotsk Sea region of Hokkaido, 2010-2012

| Female | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|----------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------|-------------|------|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|------|-------|-------|
| Year | Age | Shari R. | Abashiri R. | Tokoro R. | Yubetsu R. | Horonai R. | Tokushibetsu R. | Tonbetsu R. | | | | | | | | | | | |
| | | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD |
| 2010 | Age-3 | 6 | 56.9 | ± 3.5 | 29 | 58.6 | ± 4.8 | 35 | 58.2 | ± 4.7 | 13 | 58.5 | ± 4.8 | 3 | 52.3 | ± 2.1 | 1 | 61.0 | ± 0.0 |
| | Age-4 | 281 | 63.9 | ± 4.0 | 283 | 64.2 | ± 3.7 | 236 | 63.9 | ± 4.2 | 204 | 63.6 | ± 4.1 | 69 | 66.1 | ± 3.8 | 134 | 66.3 | ± 3.2 |
| | Age-5 | 236 | 68.3 | ± 3.7 | 120 | 68.3 | ± 3.9 | 174 | 67.7 | ± 3.7 | 135 | 67.7 | ± 3.8 | 265 | 70.1 | ± 3.8 | 248 | 69.3 | ± 3.3 |
| | Age-6 | 23 | 70.6 | ± 3.8 | 12 | 68.0 | ± 3.6 | 50 | 69.8 | ± 3.1 | 41 | 70.6 | ± 3.3 | 5 | 70.8 | ± 3.2 | 7 | 69.9 | ± 5.2 |
| | Age-7 | | | | | | | 2 | 66.9 | ± 1.2 | | | | | | | 5 | 70.8 | ± 4.3 |
| | Total | 546 | 66.0 | ± 4.6 | 444 | 65.1 | ± 4.6 | 497 | 65.4 | ± 4.9 | 393 | 65.6 | ± 4.9 | 342 | 69.8 | ± 4.4 | 390 | 68.2 | ± 3.6 |
| | | 5 | 55.4 | ± 1.2 | 13 | 57.2 | ± 2.6 | 46 | 56.5 | ± 3.1 | 20 | 57.7 | ± 2.6 | 2 | 59.5 | ± 2.5 | 17 | 58.9 | ± 3.3 |
| 2011 | Age-4 | 224 | 62.7 | ± 3.8 | 311 | 62.3 | ± 3.9 | 297 | 62.0 | ± 3.4 | 173 | 62.2 | ± 3.7 | 42 | 64.2 | ± 3.1 | 214 | 63.8 | ± 3.6 |
| | Age-5 | 219 | 68.2 | ± 3.6 | 166 | 68.6 | ± 3.8 | 136 | 66.5 | ± 3.9 | 101 | 66.7 | ± 3.6 | 89 | 68.8 | ± 3.1 | 283 | 68.2 | ± 3.5 |
| | Age-6 | 46 | 69.3 | ± 3.2 | 5 | 64.1 | ± 2.4 | 15 | 68.1 | ± 2.4 | 5 | 69.6 | ± 3.0 | 10 | 67.5 | ± 4.2 | 24 | 70.1 | ± 3.1 |
| | Age-7 | 2 | 68.8 | ± 2.8 | | | | | | | | | | | | 2 | 70.0 | ± 0.0 | |
| | Total | 496 | 65.7 | ± 4.7 | 495 | 64.3 | ± 4.9 | 494 | 62.9 | ± 4.6 | 299 | 63.5 | ± 4.5 | 143 | 67.3 | ± 4.1 | 540 | 66.3 | ± 4.3 |
| | | 27 | 55.6 | ± 3.2 | 8 | 55.4 | ± 3.0 | 27 | 55.8 | ± 2.7 | 23 | 55.7 | ± 2.6 | 3 | 58.0 | ± 2.9 | 23 | 58.1 | ± 3.8 |
| | | 165 | 61.8 | ± 3.0 | 224 | 61.7 | ± 3.7 | 341 | 61.1 | ± 3.3 | 240 | 62.0 | ± 2.9 | 82 | 62.3 | ± 3.0 | 266 | 62.2 | ± 3.2 |
| 2012 | Age-5 | 288 | 65.1 | ± 3.3 | 162 | 65.0 | ± 3.9 | 172 | 64.7 | ± 3.4 | 124 | 64.9 | ± 3.4 | 56 | 66.5 | ± 3.4 | 246 | 66.1 | ± 3.3 |
| | Age-6 | 19 | 67.9 | ± 4.1 | 2 | 66.9 | ± 1.9 | 4 | 66.2 | ± 0.8 | 8 | 66.0 | ± 2.4 | 6 | 67.7 | ± 2.6 | 13 | 70.1 | ± 2.8 |
| | Age-7 | | | | | | | 1 | 64.9 | ± 0.0 | | | | | | | 6 | 66.8 | ± 1.6 |
| | Total | 499 | 63.6 | ± 4.1 | 396 | 63.0 | ± 4.3 | 545 | 62.0 | ± 4.0 | 395 | 62.6 | ± 3.8 | 147 | 64.1 | ± 3.9 | 548 | 64.0 | ± 4.1 |
| | | 492 | 68.6 | ± 6.4 | 495 | 66.4 | ± 6.3 | 495 | 64.7 | ± 5.9 | 297 | 66.1 | ± 5.8 | 184 | 68.4 | ± 5.5 | 494 | 69.1 | ± 5.2 |
| | | 496 | 65.4 | ± 6.6 | 394 | 65.4 | ± 5.7 | 545 | 64.0 | ± 5.9 | 399 | 65.1 | ± 4.5 | 154 | 65.1 | ± 5.3 | 497 | 66.2 | ± 5.1 |
| | | 496 | 65.4 | ± 6.6 | 394 | 65.4 | ± 5.7 | 545 | 64.0 | ± 5.9 | 399 | 65.1 | ± 4.5 | 154 | 65.1 | ± 5.3 | 347 | 66.2 | ± 4.5 |

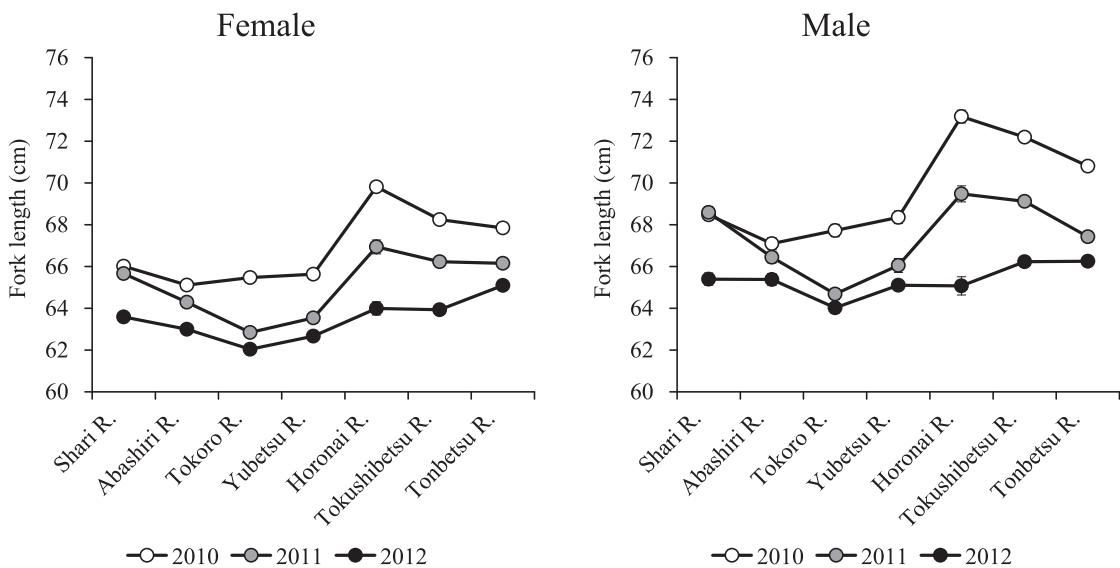


Fig. 3 Mean fork lengths of chum salmon captured in seven rivers in the Okhotsk Sea region from 2010 to 2012.

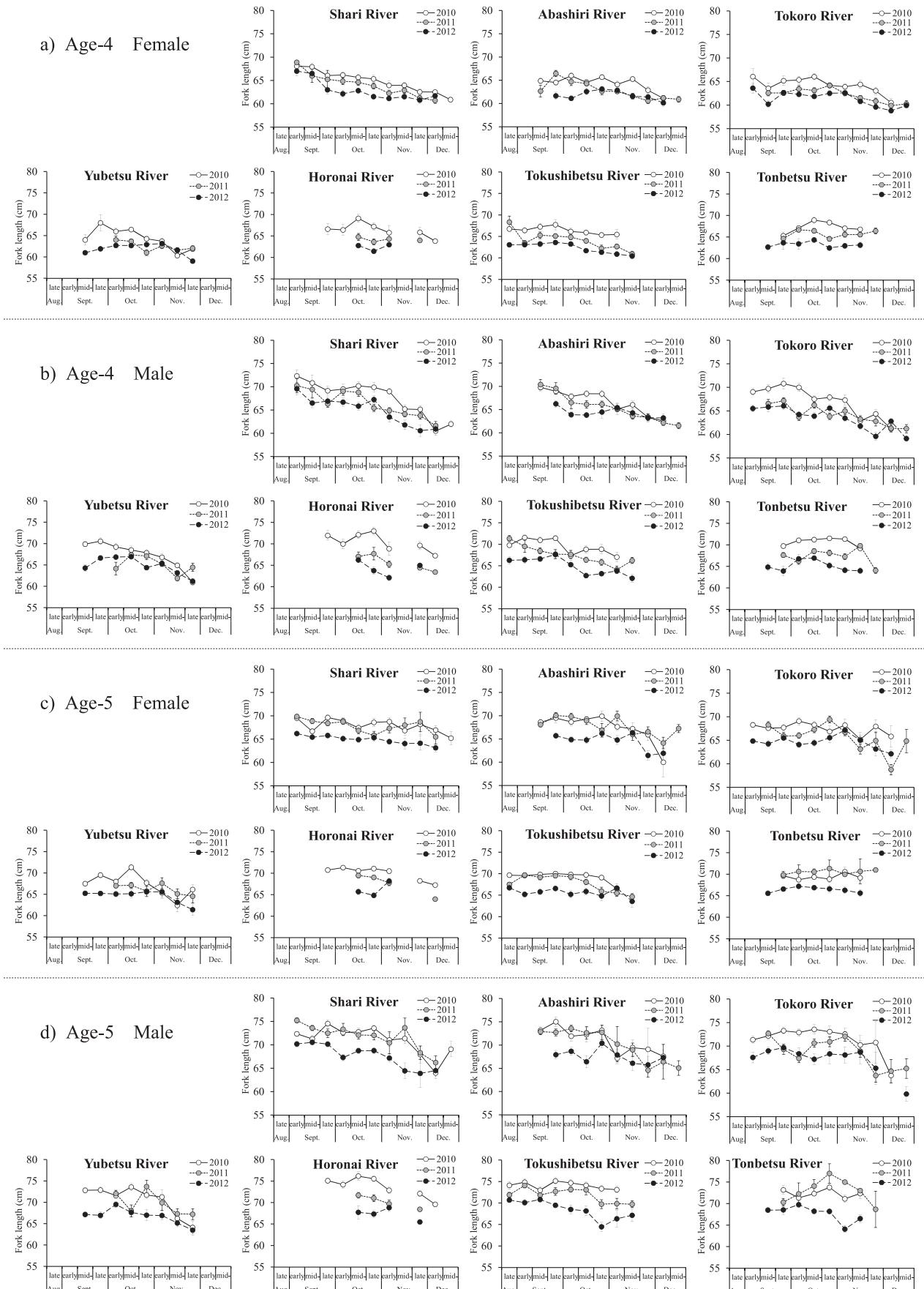


Fig. 4 Mean and standard errors of fork lengths of chum salmon by run timing captured in 7 rivers in the Okhotsk Sea region from 2010 to 2012

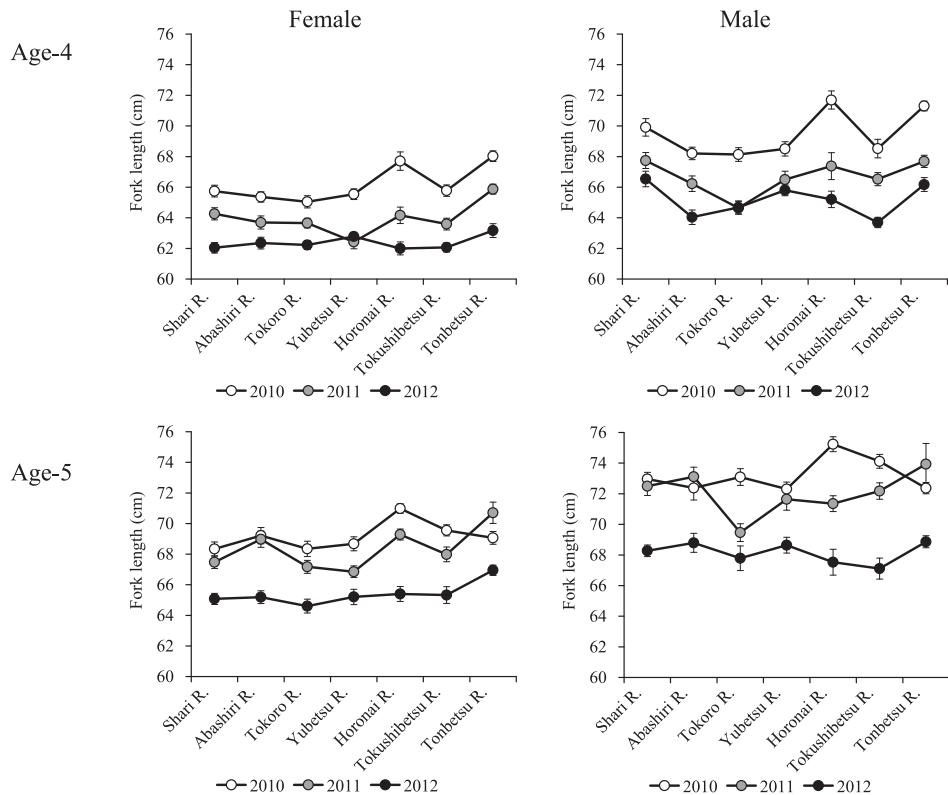


Fig. 5 Mean and standard errors of fork lengths of chum salmon captured in seven rivers in the Okhotsk Sea region in October from 2010 to 2012.

Table 3 Mean and standard deviation of body weight of chum salmon captured in the rivers in the Okhotsk Sea region of Hokkaido, 2010-2012

| Female | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|----------|------|-------|-------------|------|-------|-----------|------|----------|------------|------|-------------|------------|----------|-----------|-----------------|-------|------------|-------------|-------|------------|-------|-------|-----------------|--|--|-------------|--|--|
| Year | Age | Shari R. | | | Abashiri R. | | | Tokoro R. | | | Yubetsu R. | | | Horonai R. | | | Tokushibetsu R. | | | Tonbetsu R. | | | | | | | | | | |
| | | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | | | | | | | | |
| 2010 | Age-3 | 6 | 2.0 | ± 0.4 | 29 | 2.1 | ± 0.7 | 35 | 2.2 | ± 0.5 | 13 | 2.2 | ± 0.6 | measured | 1 | 2.6 | ± 0.0 | 21 | 2.7 | ± 0.3 | not | 134 | 3.5 | ± 0.6 | | | | | | |
| | Age-4 | 281 | 2.9 | ± 0.6 | 283 | 2.8 | ± 0.6 | 236 | 2.8 | ± 0.6 | 204 | 2.9 | ± 0.6 | | 248 | 4.0 | ± 0.7 | 185 | 3.6 | ± 0.6 | | 214 | 3.0 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-5 | 236 | 3.6 | ± 0.7 | 120 | 3.4 | ± 0.6 | 174 | 3.5 | ± 0.6 | 135 | 3.4 | ± 0.6 | | 248 | 4.0 | ± 0.7 | 136 | 4.0 | ± 0.7 | | 283 | 3.7 | ± 0.6 | | | | | | |
| | Age-6 | 23 | 3.9 | ± 0.7 | 12 | 3.4 | ± 0.7 | 50 | 3.8 | ± 0.6 | 41 | 3.9 | ± 0.6 | | 7 | 4.0 | ± 0.9 | 5 | 4.0 | ± 0.7 | | 24 | 4.0 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-7 | 2 | 3.1 | ± 0.5 | | | | 2 | 3.1 | ± 0.5 | | | | | 2 | 3.7 | ± 0.1 | 1 | 4.2 | ± 0.0 | | 13 | 3.8 | ± 0.5 | | | | | | |
| Total | | 546 | 3.2 | ± 0.8 | 444 | 2.9 | ± 0.7 | 497 | 3.1 | ± 0.8 | 393 | 3.2 | ± 0.7 | | 390 | 3.8 | ± 0.7 | 347 | 3.7 | ± 0.7 | | 540 | 3.4 | ± 0.7 | | | | | | |
| 2011 | Age-3 | 5 | 1.8 | ± 0.2 | 13 | 2.0 | ± 0.3 | 46 | 2.0 | ± 0.4 | 20 | 2.2 | ± 0.3 | measured | 17 | 2.4 | ± 0.4 | 26 | 2.9 | ± 0.4 | not | 214 | 3.0 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-4 | 224 | 2.7 | ± 0.5 | 311 | 2.5 | ± 0.6 | 297 | 2.6 | ± 0.5 | 173 | 2.7 | ± 0.5 | | 283 | 3.7 | ± 0.6 | 279 | 3.3 | ± 0.6 | | 266 | 2.7 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-5 | 219 | 3.5 | ± 0.6 | 166 | 3.4 | ± 0.6 | 136 | 3.2 | ± 0.7 | 101 | 3.3 | ± 0.6 | | 246 | 3.3 | ± 0.5 | 42 | 4.0 | ± 0.6 | | 24 | 4.0 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-6 | 46 | 3.6 | ± 0.5 | 5 | 2.8 | ± 0.5 | 15 | 3.5 | ± 0.4 | 5 | 3.9 | ± 0.9 | | 13 | 3.8 | ± 0.5 | 6 | 3.2 | ± 0.4 | | 13 | 3.8 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-7 | 2 | 3.8 | ± 0.3 | | | | 1 | 2.6 | ± 0.0 | | | | | 2 | 3.7 | ± 0.1 | 1 | 4.2 | ± 0.0 | | 548 | 3.0 | ± 0.6 | | | | | | |
| Total | | 496 | 3.1 | ± 0.7 | 495 | 2.8 | ± 0.7 | 494 | 2.8 | ± 0.7 | 299 | 2.9 | ± 0.7 | | 540 | 3.4 | ± 0.7 | 348 | 3.3 | ± 0.7 | | 540 | 3.4 | ± 0.7 | | | | | | |
| 2012 | Age-3 | 27 | 1.9 | ± 0.4 | 8 | 1.7 | ± 0.3 | 27 | 1.8 | ± 0.4 | 23 | 1.9 | ± 0.3 | measured | 23 | 2.3 | ± 0.5 | 6 | 2.6 | ± 0.4 | not | 266 | 2.7 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-4 | 165 | 2.5 | ± 0.4 | 224 | 2.4 | ± 0.5 | 341 | 2.5 | ± 0.5 | 240 | 2.7 | ± 0.4 | | 246 | 3.3 | ± 0.5 | 135 | 2.9 | ± 0.5 | | 246 | 3.3 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-5 | 288 | 2.9 | ± 0.5 | 162 | 2.8 | ± 0.6 | 172 | 2.9 | ± 0.5 | 124 | 3.1 | ± 0.6 | | 13 | 3.8 | ± 0.5 | 202 | 3.3 | ± 0.5 | | 13 | 3.8 | ± 0.5 | | | | | | |
| | Age-6 | 19 | 3.2 | ± 0.7 | 2 | 2.8 | ± 0.1 | 4 | 2.9 | ± 0.0 | 8 | 3.3 | ± 0.4 | | 8 | 3.8 | ± 0.5 | 6 | 3.2 | ± 0.4 | | 349 | 3.1 | ± 0.6 | | | | | | |
| | Age-7 | 1 | 2.6 | ± 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | | 499 | 2.7 | ± 0.5 | 396 | 2.6 | ± 0.6 | 545 | 2.6 | ± 0.6 | 395 | 2.8 | ± 0.6 | | 548 | 3.0 | ± 0.6 | 349 | 3.1 | ± 0.6 | | 548 | 3.0 | ± 0.6 | | | | | | |
| Male | | | | | | | | | | Shari R. | | | Abashiri R. | | | Tokoro R. | | | Yubetsu R. | | | Horonai R. | | | Tokushibetsu R. | | | Tonbetsu R. | | |
| Year | Age | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | no | mean | ± SD | | | | | |
| 2010 | Age-2 | | | | | | | 1 | 1.2 | ± 0.0 | measured | 10 | 2.7 | ± 0.9 | 19 | 3.2 | ± 0.5 | not | 140 | 3.8 | ± 0.7 | 210 | 3.9 | ± 0.6 | | | | | | |
| | Age-3 | 30 | 1.8 | ± 0.4 | 52 | 2.2 | ± 0.6 | 54 | 2.0 | ± 0.5 | | 33 | 2.1 | ± 0.4 | 234 | 4.7 | ± 0.9 | 112 | 4.3 | ± 0.7 | 8 | 4.1 | ± 0.4 | | | | | | | |
| | Age-4 | 264 | 4.1 | ± 1.0 | 265 | 3.2 | ± 0.8 | 248 | 3.1 | ± 0.8 | | 194 | 3.3 | ± 0.8 | 5 | 4.3 | ± 0.6 | 234 | 4.7 | ± 0.9 | 214 | 3.4 | ± 0.7 | | | | | | | |
| | Age-5 | 228 | 4.1 | ± 0.8 | 107 | 3.9 | ± 1.0 | 156 | 4.2 | ± 0.8 | | 136 | 4.0 | ± 0.8 | 223 | 4.2 | ± 0.8 | 39 | 4.2 | ± 1.0 | 214 | 3.4 | ± 0.7 | | | | | | | |
| | Age-6 | 23 | 4.5 | ± 0.9 | 15 | 4.0 | ± 0.7 | 39 | 4.1 | ± 1.0 | | 31 | 4.4 | ± 0.7 | 23 | 4.0 | ± 0.7 | 8 | 4.1 | ± 0.4 | 112 | 4.3 | ± 0.7 | | | | | | | |
| 2011 | Age-7 | 3 | 4.0 | ± 0.6 | | | | 1 | 2.3 | ± 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Total | 545 | 3.5 | ± 1.1 | 442 | 3.3 | ± 0.9 | 498 | 3.4 | ± 1.1 | | 395 | 3.5 | ± 1.0 | 392 | 4.3 | ± 1.0 | 346 | 4.0 | ± 0.7 | 494 | 3.7 | ± 0.9 | | | | | | | |
| | Age-2 | | | | | | | | | | measured | 33 | 2.7 | ± 0.8 | not | 41 | 2.8 | ± 0.6 | 261 | 3.5 | ± 0.7 | 210 | 3.9 | ± 0.6 | | | | | | |
| | Age-3 | 17 | 2.3 | ± 1.3 | 29 | 2.0 | ± 0.4 | 82 | 2.0 | ± 0.4 | | 30 | 2.5 | ± 0.5 | | 214 | 3.4 | ± 0.7 | | 261 | 3.5 | ± 0.7 | 214 | 3.4 | ± 0.7 | | | | | |
| | Age-4 | 244 | 3.0 | ± 0.8 | 310 | 2.8 | ± 0.7 | 264 | 2.9 | ± 0.7 | | 183 | 3.1 | ± 0.7 | | 223 | 4.2 | ± 0.8 | | 39 | 4.2 | ± 1.0 | 234 | 4.7 | ± 0.9 | | | | | |
| | Age-5 | 184 | 4.1 | ± 0.9 | 152 | 3.9 | ± 1.0 | 136 | 3.7 | ± 0.8 | | 81 | 3.9 | ± 1.0 | | 23 | 4.0 | ± 0.7 | | 8 | 3.9 | ± 0.8 | 23 | 4.0 | ± 0.7 | | | | | |
| | Age-6 | 45 | 4.7 | ± 0.9 | 3 | 3.1 | ± 0.2 | 13 | 3.9 | ± 0.6 | | 3 | 3.2 | ± 0.3 | | 23 | 4.0 | ± 0.7 | | 8 | 3.9 | ± 0.8 | 23 | 4.0 | ± 0.7 | | | | | |
| 2012 | Age-7 | 2 | 4.3 | ± 0.0 | 1 | 3.8 | ± 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Total | 492 | 3.6 | ± 1.1 | 495 | 3.1 | ± 1.0 | 495 | 3.0 | ± 0.9 | | 297 | 3.2 | ± 0.9 | | 494 | 3.7 | ± 0.9 | 349 | 3.5 | ± 0.8 | 497 | 3.2 | ± 0.8 | | | | | | |
| | Age-2 | | | | | | | | | | not | 44 | 2.2 | ± 0.4 | measured | 19 | 2.6 | ± 0.6 | 211 | 3.1 | ± 0.6 | 171 | 3.1 | ± 0.6 | | | | | | |
| | Age-3 | 77 | 1.7 | ± 0.3 | 23 | 1.9 | ± 0.3 | 42 | 1.8 | ± 0.4 | | 27 | 2.0 | ± 0.4 | | 238 | 3.0 | ± 0.6 | | 154 | 3.5 | ± 0.7 | 203 | 3.7 | ± 0.7 | | | | | |
| | Age-4 | 157 | 2.8 | ± 0.7 | 214 | 2.7 | ± 0.7 | 348 | 2.7 | ± 0.7 | | 237 | 3.0 | ± 0.6 | | 12 | 4.2 | ± 0.7 | | 3 | 3.6 | ± 0.9 | 171 | 3.1 | ± 0.6 | | | | | |
| | Age-5 | 244 | 3.4 | ± 0.7 | 153 | 3.2 | ± 0.9 | 142 | 3.3 | ± 0.9 | | 128 | 3.3 | ± 0.6 | | 12 | 4.2 | ± 0.7 | | 154 | 3.5 | ± 0.7 | 154 | 3.5 | ± 0.7 | | | | | |
| | Age-6 | 18 | 4.0 | ± 1.0 | 4 | 3.6 | ± 0.9 | 13 | 3.6 | ± 0.4 | | 7 | 3.1 | ± 0.6 | | 12 | 4.2 | ± 0.7 | | 3 | 3.6 | ± 0.9 | 171 | 3.1 | ± 0.6 | | | | | |
| Age-7 | | Total | 496 | 3.0 | ± 0.9 | 394 | 2.9 | ± 0.8 | 545 | 2.8 | ± 0.8 | 399 | 3.0 | ± 0.7 | 497 | 3.2 | ± 0.8 | 347 | 3.3 | ± 0.7 | 497 | 3.2 | ± 0.8 | | | | | | | |

られたが、北に位置する河川でははつきりとした傾向はみられなかった。

時期ごとのサイズの違いの影響を除くため、いずれの河川でも測定数が多い10月に捕獲された親魚の平均尾叉長を比較した分析でも、河川間、年間の差は有意であった（分析6および7： $p<0.01$ ）。捕獲時期をそろえた結果、河川間のサイズ差は小さくなったものの、全体のデータをプールした時（Fig. 3）と同様、北に行くほど尾叉長が大きくなる傾向がみられた（Fig. 5）。

考 察

本研究では北海道オホーツク海側に位置する河川のうち、7河川に遡上するサケの年齢組成を調べ、平均尾叉長を比較した。年齢や捕獲時期で分けずに全体を合計すると（Fig. 3）、幌内川以北の河川の魚体サイズが大きい傾向がみられたが、年齢や捕獲の時期を揃えて比較すると、河川間の差は小さくなつた（Fig. 5）。このため、河川間に見られるサケの魚体の違いは捕獲時期や年齢による影響が大きいものと考えられた。ただし、同一の捕獲時期（10月）のサケの平均尾叉長を年齢別に比較した場合でも河川間の差は有意となつたことから（分析6および7）、現在、北海道オホーツク海側の河川に遡上するサケでは魚体サイズに河川間で差異があるものと考えられた。

北米に遡上するサケでは緯度によって魚体サイズが異なることが報告されている（Solo, 1991）。北海道でもサケの地域系群が存在することは古くから認識されており（佐野, 1951）、オホーツク海でも常呂川群と網走川群では魚体サイズ、鱗径など特徴が異なることが調べられている（久保, 1949）。久保（1949）は常呂川と比べて網走川のサケは小型であることを記しているが、年によって異なるものの本研究ではそれとは必ずしも同じ結果とはなつてない。北海道ではこれまでのサケ増殖事業において移植放流が数多く行われ（小林, 2009）、現在も地区内での移植は行われていることから、各河川に固有の系群が維持されているとは言えない状況にある。それにも関らず、魚体サイズを比較すると幌内川以北と湧別川以南では若干ではあるが差異が認められる。一般に魚体サイズは量的形質と考えられており、遺伝的要因だけでなく環境要因によっても影響を受けることから、この差が河川系群による違いとは断言できないが、河川間の違いが見られるので、ふ化放流事業においても可能な限り河川系群の保全に配慮することが重要であると考えられる。

本研究で河川別、年齢別、捕獲時期別、年別に魚体サイズを比較すると様々な傾向がみられており、北海道のサケの魚体サイズに関してさらに分析をする必要がある。た

とえば、捕獲時期によって魚体サイズに差があり、早い時期の遡上魚が大きく、時期が遅くなるにつれて小型となる河川が多かった。同様の現象は古くから観察されている（久保, 1949）。同一河川内に遡上時期の異なる繁殖集団が存在する河川のあることが知られている（Beacham, 1984; Yokotani *et al.*, 2009），本研究で観察された魚体サイズの違いが遡上時期別の個体群の持つ特性によるものかははつきりしない。頓別川と幌内川のように捕獲旬による魚体サイズに差がみられない河川があることも興味深い。

地理的に近隣に位置する徳志別川と頓別川では魚体サイズにも違いがみられるが、徳志別川の捕獲場は河口から数百mの地点であるのに対して、頓別川の捕獲場は河口から7 km以上も上流に位置しており、捕獲場の位置が大きく異なる。その他の河川でも河口からの捕獲場までの距離はそれぞれ異なり、サケが海から河川に遡上した後、捕獲されるまでの時間や行動が河川によって異なるものと考えられる。このことが捕獲時期別の魚体サイズに影響している可能性も否定はできない。

本研究での調査河川のうち、幌内川は、Beacham *et al.* (2009) によるマイクロサテライトDNAによる系群解析において、斜里川、網走川、常呂川が構成したクラスターではなく、隣接する根室海区の河川のクラスターに位置している。本研究でも幌内川は隣接する河川やオホーツク東部あるいは中部の河川とは魚体サイズが異なる結果となつてている。この現象について本研究では深く考察できるデータはないものの、今後、様々な研究アプローチで解析すべき興味深い課題と言える。

また、魚体が顕著に小型であった2012年は河川間の差も小さかった（Table 2）。北太平洋のサケでは1970年代以降に小型化の傾向がみられ（Ishida *et al.*, 1993）、北海道で1990年代にサケの来遊数が増加し始めた頃には成熟年齢の高齢化と魚体の小型化が認められた（帰山, 2000）。2012年に斜里川に回帰した雌の4年魚の平均尾叉長は61cm台となつており、小型化が最も顕著となつた年代とほぼ同程度となつてている（帰山, 1999；Fig. 5）。河川別や時期別の魚体サイズの差も含めたサケの成長については今後のサケの資源変動や資源管理を検討する上での重要な研究課題となるものと考えられる。魚体サイズの変化を年間や河川間で比較する際には、本研究でみられたように同一河川内でも捕獲時期によって魚体サイズが異なる傾向がみられるので、そのような影響を考慮した解析が必要となるものと考えられる。

謝 辞

本研究におけるサケの魚体測定や採鱗、年齢査定の作業は、一般社団法人北見管内さけ・ます増殖事業協会の皆様、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所の各事業所の皆様、さけます・内水面水産試験場の多くの職員と共同で実施しました。これらの皆様に厚くお礼申し上げます。なお、本調査はさけます・内水面水産試験場の経常研究「さけ・ます増殖事業安定化特別対策調査」ならびに一般社団法人北見管内さけ・ます増殖事業協会との共同研究「オホーツク沿岸の海洋環境とサケ資源管理に関する研究」の一環として実施した。

引用文献

- Beacham TD. Age and morphology of chum salmon in southern British Columbia. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1984; 113: 727-736.
- Beacham TD, Sato S, Urawa S, Le KD, Wetklo M. Population structure and stock identification of chum salmon from Japan determined with microsatellite DNA variation. *Fish. Sci.* 2008; 74: 983-994.
- Beacham TD, Candy JR, Le KD, Wetklo M. Population structure of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) across the Pacific Rim determined from microsatellite analysis. *Fish. Bull.* 2009; 107: 244-260.
- 平成22年度～平成23年度事業成績書. 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場, 恵庭. 2012～2013.
- Ishida Y, Ito S, Kaeriyama M, McKinnell S, Nagasawa K. Recent changes in age and size of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the North Pacific Ocean and possible causes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993; 50: 290-295.
- 帰山雅秀. サケ属における野生魚と孵化場魚の生物学的相互作用. *水産育種* 1999; 27: 1-102.
- 帰山雅秀.「最新のサケ学」. 成山堂書店, 東京. 2000.
- 帰山雅秀. サケの個体群生態学.「サケ・マスの生態と進化 (前川光司編)」文一総合出版, 東京. 2004; 137-161.
- 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.
- 小林哲夫.「日本サケ・マス増殖史」北海道大学出版会, 札幌. 2009.
- 久保達郎. 鱗相より見た鮭の生態 (2) 網走川、常呂川のサケの成長. 北海道立水産孵化場試験報告 1949; 4: 79-94.
- Miyakoshi Y, Nagata M, Kitada S, Kaeriyama M. Historical and current hatchery programs and management of chum salmon in Hokkaido, northern Japan. *Rev. Fish. Sci.* 2013; 21: in press.
- 佐野誠三. 日本近海産鮭の系統と洄遊性. 北海道立水産孵化場試験報告 1951; 6: 1-10.
- Solo EO. Life history of chum salmon. In: *Pacific salmon life histories* (Groot C. and Margolis, L. eds.), University of British Columbia Press, Vancouver. 1991; 231- 309.
- Yokotani R, Azuma N, Kudo H, Abe S, Kaeriyama M. Genetic differentiation between early- and late-run populations of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) naturally spawned in the Yurappu River inferred from mitochondrial DNA analysis. *Fish Genet. Breed. Sci.* 2009; 39: 9-16.

鵡川沿岸におけるシシャモ仔稚魚の分布と魚体の生化学的性状

虎尾 充¹, 工藤 智²

¹北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道東支場,

²北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Distribution and biochemical conditions of shishamo smelt *Spirinchus lanceolatus* larvae and juvenile in coastal waters off Mukawa River mouth

MITSURU TORAO¹ AND SATOSHI KUDOU²

¹Hokkaido Research Organization, Doto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Nakashibetsu, Hokkaido 086-1164,

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

The spatial distribution and biochemical conditions of shishamo smelt *Spirinchus lanceolatus* larvae and juvenile were examined to elucidate the early life history of this species in the coastal waters. Shishamo smelt were collected with sledge nets in the coastal waters off Mukawa River mouth from May to July in 2004-2006. Shishamo larvae were collected from mid-May or mid-June, the highest densities in each year were observed in a range from 12 to 14 °C in water temperature. The total length of shishamo smelt collected was in a range of 9.3-42.4 mm. During the years of our study, the size distributions were unimodal. Although the RNA/DNA ratio showed a high value of 4-12 in 15-20 mmTL, it decreased rapidly to 25 mmTL. And then the ratio reached a constant level in 2-6 around 30 mmTL. The triglyceride/phospholipid ratio was in a range of 0.14-0.85, and was linearly related to total length. The biochemical state is assumed to fluctuate with the body size class of shishamo larvae and juveniles, and was not necessarily constant within the same year class.

キーワード : RNA/DNA比, *Spirinchus lanceolatus*, シシャモ, トリグリセリド/リン脂質比, 分布, 鵡川

シシャモ *Spirinchus lanceolatus* は北海道太平洋沿岸に分布する日本の固有種であり (McAllister, 1963), 地域の重要な水産資源として古くから利用されている。遡河回遊魚であるシシャモは10~12月にかけて産卵のために河川に遡上し, 河口から数kmの浅瀬の砂礫底を好んで産卵する (伊藤, 1964; 尾身, 1978; 佐川ら, 2003; 新居ら, 2006)。受精卵は沈性粘着卵で (伊藤, 1964), 砂礫底に付着し発生する (疋田, 1958a; 岡田ら, 1975, 1976; 佐川ら, 2003)。翌年の4~5月に孵化した仔魚は全長6~9mmで直ちに流下し (尾身, 1978), 沿岸域において5月上旬までの浮遊生活を経て少なくとも7月頃まで水深10m程度の海底近くに分布すると考えられている (北海道立水産孵化場・室蘭地区水産技術普及指導所, 2002; 工藤・春日井, 2004)。その後, 主に水深20~30mの沿岸域で深浅移動を繰り返しながら成長し (上田・三原, 2009), 約1年半の海洋生活を経て成熟し河川へ遡上する。

現在, シシャモはほとんどが小型底曳き網の一種のしやもこぎ網漁業によって10~12月の比較的短期間に漁獲される。1971年以前は全道で年間1,000~3,000トンの漁獲があったが, 1970年代に入り漁獲量は激減し1988年には400トンを割り込むまでになった (虎尾, 2005)。襟裳岬より西側のえりも以西海域の資源の減少は深刻で, 漁獲量はさらに落ち込み1990年には年間漁獲量がわずか49トンとなつた。このため, 漁業者が1991~1994年の4年間, 自主休漁を行うなどの資源保護対策を実施した (森, 2003; 虎尾, 2005)。この結果, 漁獲量の回復傾向が見られ安定したかに見えたが近年漁獲量の変動が大きくなつており, 原因究明が急務である。

これまでの研究によって、シシャモの卵発生過程(疋田, 1958; 尾身, 1977) や形態形質(伊藤, 1958a; 1958b), 資源動態(小林ら, 1985) などが明らかにされてきている。また、遺伝的な解析から、十勝・釧路地方を含むえりも以東海域の集団と鶴川沿岸を含む西側のえりも以西海域に分布する集団は、異なる系群と考えられている(鈴木ら, 2000)。このうち、鶴川は沙流川と並んでえりも以西海域のシシャモ資源を支える主要な産卵河川である(新居ら, 2006)。しかし、シシャモの降海後の初期生活期に関する報告は少なく、鶴川沿岸でのシシャモ仔稚魚期に関する知見は北海道立水産孵化場・室蘭地区水産技術普及指導所(2002), 工藤・春日井(2004)による分布と食性に関する報告の他には見当たらない。

一般的に魚類の減耗は初期生活期に大きく、その主要な要因は飢餓と被食、あるいはその相互作用とされる(Houde, 1987)。飢餓に陥った仔魚は捕食回避能力が低下し被食による減耗が増加する(Purcell *et al.*, 1987)ことや、飢餓が低成長率につながり(Buckley, 1982; 1984)捕食されやすい体サイズの期間を長く過ごすことによる減耗の増大も指摘されている(Folkvord and Hunter, 1986; Rice *et al.*, 1993)。シシャモにおいても仔稚魚期の栄養状態と成長率の把握は、初期生活期における減耗過程を明らかにする上で重要である。栄養状態や成長率の評価手法として、多くの魚類仔稚魚でRNA/DNA比やトリグリセリド/リン脂質比(以下、TG/PL比)などの生化学的な指標が用いられている。RNA/DNA比の仔稚魚のコンディション評価への利用は、DNA量が組織量に対して一定であるのに対し細胞内のRNA量はタンパク合成の活発さと関連することに基づいている。したがってRNA/DNA比はタンパク質合成の指標であり、魚類仔稚魚の栄養状態および成長率の有効な指標となる(Buckley, 1984; Clemmesen, 1994; Ferron and Leggett, 1994; Westerman and Holt, 1994; Bergeron, 1997; Buckley *et al.*, 2000)。充分に摂餌し速い成長を示す仔魚では、飢餓状態の仔魚より高いRNA/DNA比を示す(Wright and Martin, 1985; Hovenkamp, 1990; Hovenkamp and Witte, 1991; Clemmesen and Doan, 1996; Garcia *et al.*, 1998; Ramirez *et al.*, 2001)。また、TG/PL比は細胞膜構成物質としてのPL量に対して、貯蔵エネルギーとしてのTG量の比率を用いて仔稚魚の栄養状態を評価するもので、TG/PL比が高い方が栄養の蓄積状態が良いと考えられる(例えばHakanson, 1989; 鈴木ら, 1994; Zenitani H, 1995)。これらの生化学的指標は仔稚魚の栄養状態評価の有効なツールであるが、RNA/DNA比やTG/PL比は、発育段階によってベースラインが異なるため、栄養状態や成長率の評価に用いるためには仔稚魚の発育に伴う動態を明らかにしておく必要がある。しかし、これまでシシャモ仔稚魚の

RNA/DNA比とTG/PL比を分析した報告はない。

本研究では、鶴川沿岸におけるシシャモ仔稚魚の分布を明らかにするため2004~2006年の5~7月にシシャモ仔稚魚の採集を試み、あわせて採集されたシシャモ仔稚魚のRNA/DNA比およびTG/PL比を分析した。

試料及び方法

シシャモ仔稚魚の採集と測定 シシャモ仔稚魚の採集は2004~2006年の5~7月に原則隔週で実施した。採集地点は、鶴川河口沖と河口から約2km離れた左右両岸の3ライン上の水深約3, 6, 9mの定点とした。採集にはソリネット(開口部高さ0.3m, 幅1.5m, 網長20m, 目合いメッシュ5mm, 袋網1mm)を用い、各採集地点で300~500m底層曳きして採集した(Fig.1)。採集した魚類は10%海水ホルマリンで固定して実験室に持ち帰り、シシャモ仔稚魚を同定し選別した後、採集尾数を計数し全長の測定を行った。また、一部のシシャモ個体は選別後にドライアイスで凍結して持ち帰り、RNA/DNA比とTG/PL比の測定に用いた。仔稚魚採集時にはソリネットにデータロガー(MFS-Mk/DおよびACT-HR, アレック電子)を装着し、海洋物理環境(水深、水温、塩分)を記録した。シシャモ仔稚魚の分布密度(CPUE, 尾/100m²)はソリネットによる仔稚魚採集尾数を採集面積(ソリネット幅×曳網距離)で除して求めた。

RNA/DNA比およびTG/PL比の分析 凍結して実験室に持ち帰ったシシャモ仔稚魚を用いてRNA/DNA比とTG/PL比の分析を行った。RNAとDNAの抽出・定量は中野(1988)の記述によるSTS変法に従って行った。TGとPLは、三坂ら(2004)に従って、試料をエタノール・エーテル混液

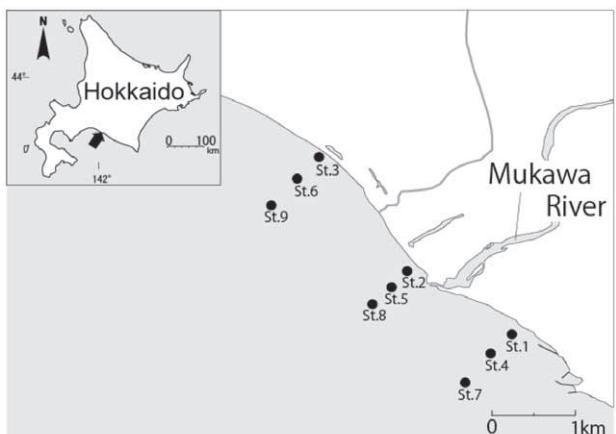


Fig. 1 Map showing the sampling site where the shishamo smelt larvae and juvenile were collected in the coastal waters off Mukawa River mouth. Solid circles indicate sampling stations.

(V/V:3/I) でホモジナイズし、遠心分離 (800G, 20分) した上澄みを市販の脂質測定キット (トリグリセリドE-テストワコー、リン脂質C-テストワコー、和光純薬工業、大阪) を用いて測定した。いずれの分析も個体別に行った。

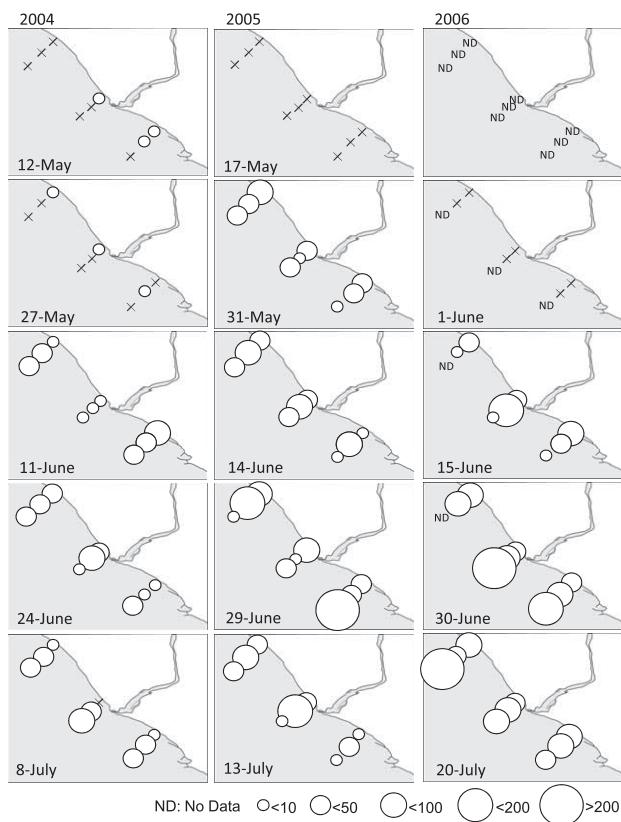


Fig. 2 Seasonal changes in horizontal distributions of shishamo smelt in the coastal waters of the river mouth from 2004 to 2006. The diameter of each circle is drawn in CPUE (fish/100m²). A density scale is shown in the figure. Crosses: not collected.

結果

仔稚魚の採集状況 シシャモ仔稚魚の出現時期は年によって異なり、2004年は5月中旬、2005年は5月下旬、最も遅い2006年には6月中旬から採集された (Fig. 2, Table 1)。6月中旬以降のCPUEを採集年ごとに比較すると (Fig. 3)、2004年には6月中旬～7月上旬まで35～46尾/100m²のCPUEであった。2005年は6月下旬に69.2尾/100m²と高いCPUEであったが6月上旬、7月中旬はそれぞれ26尾/100m²、37尾/100m²と3年間では低い値であった。2006年には、6月中旬が34.0尾/100m²とやや低いCPUEだったが、6月下旬に80.1尾/100m²、7月下旬に81.4尾/100m²と3年間の中では最も高いCPUEであった。2004年の地点別の分布状況を見ると、早い時期 (5月中～下旬) には水深3～6mの浅い地点に分布し、その後は水深9mの地点でも採集された。

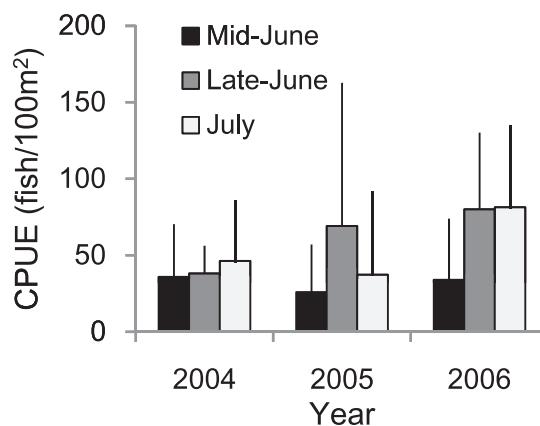


Fig. 3 Changes in CPUE of shishamo smelt larvae and juvenile captured in the coastal waters of the river mouth from mid-June to Early July in 2004-2006. Vertical bars show standard deviations between the sampling stations.

Table 1 Water temperature, salinity, and number of shishamo smelt collected in the coastal waters of Mukawa river mouth

| Year | Date | Water temperature (°C) | Salinity (psu) | Number of shishamo smelt collected | | | | | | | | | Total length | | |
|------|---------|------------------------|----------------|------------------------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|--------------|-------|------|
| | | | | St.1 | St.2 | St.3 | St.4 | St.5 | St.6 | St.7 | St.8 | St.9 | Total | mean | S.D. |
| 2004 | 12 May | 5.3 | 30.6 | 5 | 24 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | 11.48 | 1.48 |
| | 27 May | 7.2 | 31.3 | 1 | 6 | 40 | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 52 | 15.45 | 1.53 |
| | 11 June | 11.2 | 31.0 | 201 | 3 | 15 | 119 | 39 | 161 | 277 | 5 | 143 | 963 | 18.50 | 1.42 |
| | 24 June | 14.3 | 30.8 | 17 | 78 | 140 | 62 | 395 | 146 | 58 | 34 | 94 | 1,024 | 21.83 | 1.72 |
| | 8 July | 12.5 | 32.3 | 6 | 2 | 21 | 192 | 107 | 148 | 125 | 258 | 67 | 926 | 26.55 | 1.88 |
| 2005 | 17 May | 6.6 | 30.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - |
| | 31 May | 10.0 | 30.0 | 288 | 119 | 606 | 142 | 48 | 254 | 20 | 146 | 270 | 1,894 | 16.20 | 1.34 |
| | 14 June | 10.1 | 31.2 | 8 | 232 | 190 | 47 | 376 | 385 | 24 | 190 | 193 | 1,645 | 19.66 | 1.53 |
| | 29 June | 12.5 | 32.4 | 108 | 386 | 518 | 50 | 27 | 456 | 1,160 | 52 | 20 | 2,776 | 21.96 | 3.77 |
| | 13 July | 14.3 | 32.2 | 34 | 79 | 231 | 74 | 1,000 | 448 | 18 | 18 | 102 | 2,005 | 26.87 | 2.22 |
| 2006 | 1 June | 8.0 | 32.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - |
| | 15 June | 9.6 | 31.1 | 359 | 293 | 64 | 242 | 742 | 61 | 20 | 25 | 1,806 | N.D. | N.D. | |
| | 30 June | 12.0 | 31.5 | 152 | 362 | 438 | 436 | 577 | 352 | 414 | 1,070 | 3,801 | 23.12 | 1.83 | |
| | 20 July | 16.4 | 32.2 | 324 | 279 | 443 | 457 | 448 | 211 | 67 | 321 | 923 | 3,473 | 29.73 | 2.94 |

2004～2006年を通じて採集時の水温は5.3～16.4°C (Table 1) で、各年で最もCPUEが高かったときの水温は12～14°Cであった (Fig. 4)。採集時の水温が最も低かったのは2004年5月12日の5.3°Cで、St.1, 2, 4でシシャモが採集された。水温が6.6°Cだった2005年5月17日, 8.0°Cであった2006年6月1日にはいずれの地点でも仔魚が採集されなかった。2006年7月20日には16.4°Cと最も水温が高かったが全ての地点でシシャモが採集された。また、採集時の塩分は30.0～32.4psuで、調査期間中は時期による塩分濃度の違いは見られなかった (Table 1)。

仔稚魚の体長組成 各採集年で最もCPUEが高かった6月下旬のサンプルについて、採集水深 (3, 6, 9m) ごとのシシャモの全長の平均値についてTukey-Kramerの多重比較検定を行ったが、有意差は認められなかつたため (5% 水準)、採集日ごとに全地点をまとめてFig. 5に示した。3年間で最も早く採集された2004年5月12日のシシャモの平均全長は11.5±1.5mmであった。本研究で得られた最も大きな個体は全長42.4mmで、2006年7月20日に採集されたものであった。2004年5月中旬に採集されたシシャモ仔稚魚の11.48mだった平均全長は7月上旬に26.55mmとなつた。2005年は16.20～26.87mm、2006年には29.73mmまで成長した。

RNA/DNA比およびTG/PL比 RNA/DNA比の分析に用いた全長15～40mmにおいて、シシャモ仔稚魚のRNA/DNA比は

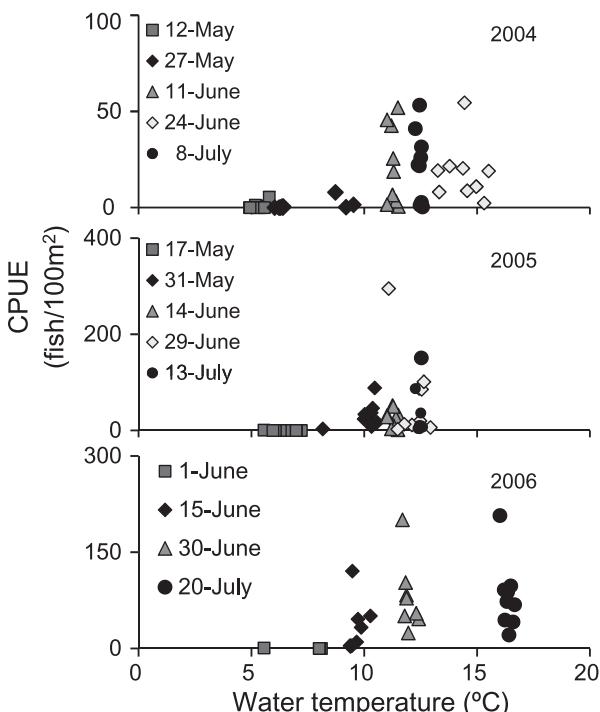


Fig. 4 CPUE of shishamo smelt larvae and juvenile and in relation to water temperature (°C) from 2004 to 2006.

成長に伴つて低下した (Fig. 6)。全長15～20mmではRNA/DNA比の個体差が大きく、4～12の範囲で高い値を示した。全長25mmにかけてRNA/DNA比は低下し、全長30mm以上では2～6の範囲で安定した。年級間で比較す

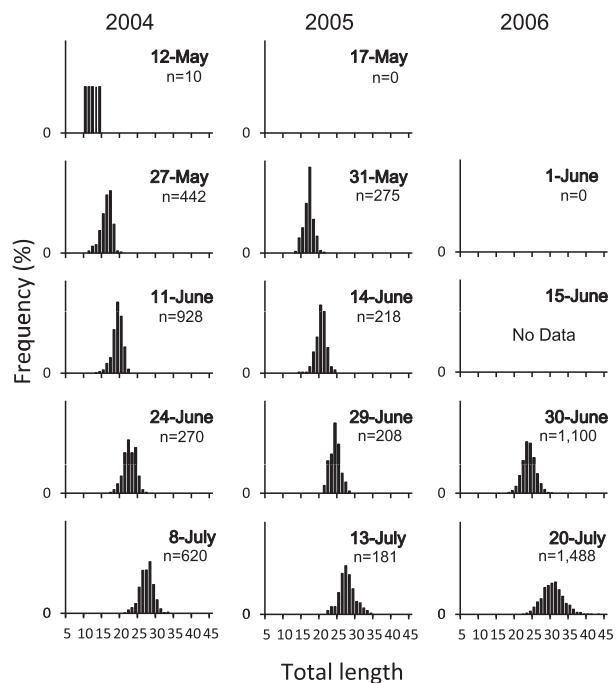


Fig. 5 Seasonal change in size distribution of shishamo smelt larvae and juvenile captured in the coastal waters of the river mouth from 2004 to 2006.

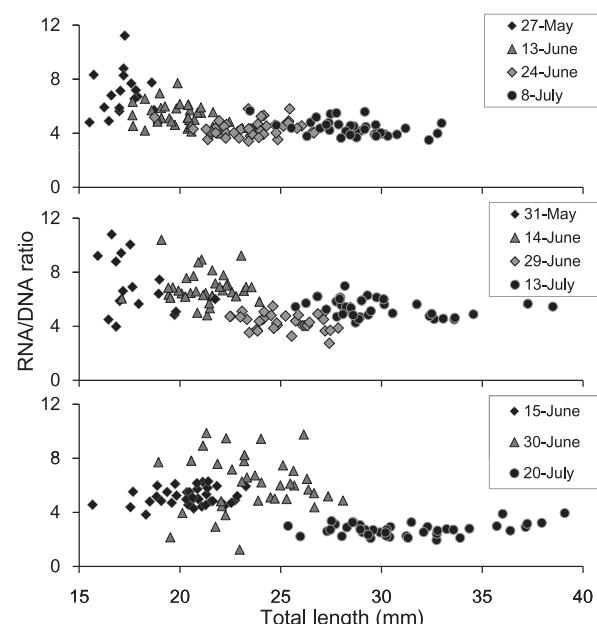


Fig. 6 Changes in the RNA/DNA ratio of shishamo smelt larvae and juvenile in 2004 (upper), 2005 (middle), and 2006 (lower).

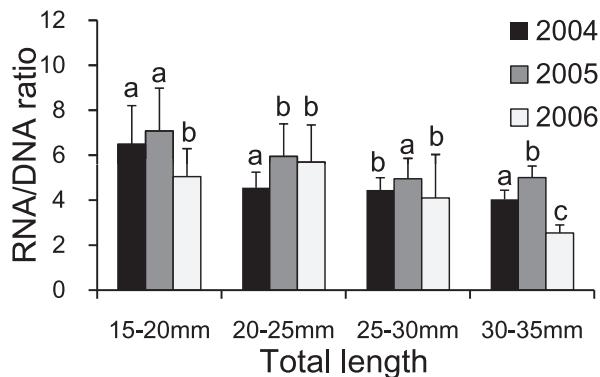


Fig. 7 Comparison between year classes of the RNA/DNA ratio of shishamo smelt by body size class. Vertical bars are expressed as the standard deviation. Columns with a different alphabetical letter at the same time are statistically different. Statistical significance was shown when $p < 0.05$.

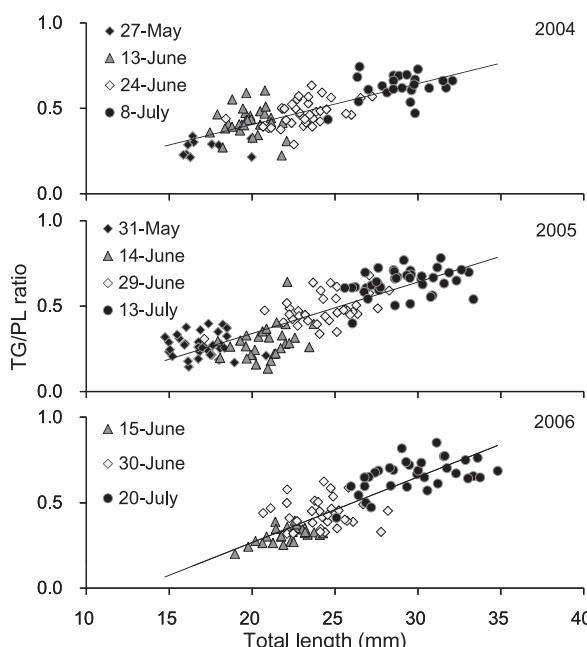


Fig. 8 Relationship between total length and TG/PL ratio for shishamo smelt larvae and juvenile from the coastal waters of Mukawa River mouth during 2004-2006. A significant correlation was observed between TL and TG/PL ratio in the three year-class.

$$\begin{aligned}
 2004: Y &= 0.021X + 0.0038, r^2 = 0.518, n = 114 \\
 2005: Y &= 0.0301X - 0.2615, r^2 = 0.727, n = 144 \\
 2006: Y &= 0.0384X - 0.4999, r^2 = 0.772, n = 108
 \end{aligned}$$

るため、便宜的に全長5mmごとにサイズクラスを区分しRNA/DNA比の比較を行った (Tukey-Kramerの多重比較検定、有意水準5%, Fig. 7)。全長15~20mmでは2006年のRNA/DNA比のみ有意に低かった。20~25mmクラスでは2004年で有意に低かった。25~30mmクラスでは2004年

と2005年、2004年と2006年に有意差はなく2005年と2006年には有意差が認められた。30~35mmクラスでは3群ともに有意差が認められ、2005年が最も高く、2006年が最も低い値であった。

一方、TG/PL比は0.14~0.85の範囲にあり、魚体が大きくなるにつれて増加した (Fig. 8)。全長をX軸にとると、Y軸のTG/PL比との間には有意な正の相関が認められ、回帰式は下記のとおりであった。

$$2004: Y = 0.021X + 0.0038, r^2 = 0.518, n = 114$$

$$2005: Y = 0.0301X - 0.2615, r^2 = 0.727, n = 144$$

$$2006: Y = 0.0384X - 0.4999, r^2 = 0.772, n = 108$$

また、全長20~25mmにおけるTG/PL比の個体差や年級間の差が大きいように見られた。

考 察

鶴川沿岸におけるシシャモ仔稚魚の分布 鶴川河口沿岸では5月中旬から遅くとも7月中旬まで水深3~9mの底層付近にシシャモ仔稚魚が分布することが確認された。沿岸域への出現時期は調査を行った3年間で異なり、2004年では5月中旬、2005年は5月下旬、2006年では6月上旬以降に出現したと考えられた。沿岸水温とシシャモ仔稚魚の出現時期には明瞭な関係性は見られず、鶴川沿岸におけるシシャモ仔稚魚の出現時期は、河川からの加入時期に依存するのかも知れない。沿岸域に加入したシシャモ仔稚魚の分布には一定の方向性は見られず、鶴川河口の沖合または左右両岸の採集地点で採集された。2004年の採集状況を見ると、早い時期ほど水深3~6mの岸に近い採集地点で仔稚魚が採集された。また、ソリネットの底層曳きによって採集を行った本研究では、全長は最小で9.5mm、最も採集の早かった2004年5月12日に平均全長11.5mmの仔魚が採集された。鶴川沿岸において、5月上旬まではシシャモ仔魚は水深2m前後の碎波帶の表層に分布することが調べられている (北海道立水産孵化場・室蘭地区水産技術普及指導所, 2002)。鶴川から沿岸域に加入したシシャモ仔魚は5月中旬~下旬にかけて、ごく沿岸に近い碎波帶において全長11mm前後で浮遊生活から底層への生活に移行すると考えられる。底層への生息場所の移行後、シシャモ仔稚魚は底層付近の浮遊性カイアシ類とその卵、底生動物のアミ類や十脚類幼生を利用しており (工藤・春日井, 2004)、生息場所の移行と餌生物の切り替えはシシャモ仔稚魚の生残にとって重要な生活史上的イベントと推察される。

シシャモ仔稚魚が採集された時の水温は5.3~16.4°Cで、各年で最もCPUEが高かったときの水温は12~14°Cであった。工藤・春日井 (2004) は、水温9~11°Cでシシャモ仔稚魚の高い分布が見られたとしている。また、シシャモ幼

魚・未成魚も比較的低水温（4～13°C）に分布し水温の上昇に伴ってより水深の深い地点へ移動することが示唆されている（上田・三原, 2009）。これらのことから、シシャモは仔稚魚・幼魚・未成魚期を通じて14°C以下の低水温を選好し分布すると推定される。しかし、水温が16°Cを越えた2006年7月20日にも多くの仔稚魚が採集されており、必ずしも水温が分布の制限要因にはなっていない。また、採集時の塩分は30～32.4psuであったがCPUEとの関係性は明瞭ではなく、シシャモ仔稚魚の分布には、この範囲での塩分であれば影響は少ないと考えられる。日本海から太平洋に流出する津軽暖流水は5～6月から渡島半島南東部から徐々に拡大し、7月には分布範囲を急速に広げ日高沿岸の陸棚縁に達する（大谷ら, 1971）。津軽暖流水の特性は温暖かつ高塩分（塩分33.6psu以上、水温6.0°C以上）であることにある（大谷, 1971）。本研究では33psu以上の高塩分の水塊は観察されず、津軽暖流水の影響はシシャモが分布するごく沿岸までは及んでいないと考えられるが、夏季以降のシシャモ仔稚魚の分布と津軽暖流水の勢力の関係についても今後の研究の中で考慮する必要がある。

RNA/DNA比およびTG/PL比の変動 RNA/DNA比やTG/PL比は栄養状態や成長率を反映するが、発育段階によってベースラインが異なり（中野, 1991），単純に比較することは出来ない。シシャモのRNA/DNA比は発育初期に高く全長25mmにかけて急激に低下した。発育初期のRNA/DNA比の低下は他魚種でも示唆されており（里見, 1969；中野ら, 1985；福田ら, 1986a；福田, 1988；虎尾, 2012），福田（1986b）は魚類の初期成長に一般的な性質かかもしれないと述べている。本研究で観察された全長25mmにかけてのRNA/DNA比の低下はシシャモの生化学的な発育特性を反映したものと考えられる。発育段階によってRNA/DNA比が大きく変動する場合、発育段階ごとに年級群比較を行うことで、栄養状態の年級群差を検討することが可能である。しかし、現時点ではシシャモの発育段階区分に関する知見はなく、体サイズごとに比較することが次善の検討方法である。体サイズ別に年級群間の比較を行ったところ、RNA/DNA比の変動には特徴的な傾向は見られなかつたが、有意な差を示す群があった。年によって異なる餌条件や水温などの環境要因にRNA/DNA比の変動が影響を受けるとすれば、RNA/DNA比がシシャモ仔稚魚のコンディションの指標となる可能性がある。一方、TG/PLは魚体が大きくなるとともに直線的に増加した。その中でも全長20～25mmではTG/PL比の個体差が大きく、2005年では低い個体が多く見られた。これら2つの生化学的指標の推移から、シシャモでは特に全長25mmまでに食性や生息場所の変化などを伴う発育段階の移行が示唆される。近縁種のワカサギでは発育段階の移行と食性移行に対応して

RNA/DNA比が大きく変化することが明らかとなっている（虎尾, 2012）。シシャモでは、3年間通じて全長15～20mmでのRNA/DNA比の個体差が大きいことや、2005年に採集されたシシャモ仔稚魚のTG/PL比が全長20mm以降に大きく低下していたことから、シシャモ仔稚魚が浮遊生活から底生生活への移行後に栄養状態が低下している可能性がある。

今後、シシャモ仔稚魚の発育段階を記載・区分し、野外で採集された仔稚魚に適用することで発育段階別の分布の情報が得られ、有効な情報が得られるであろう。また、発育に伴うRNA/DNA比の変動や摂餌状態とTG/PL比の関係を飼育実験で明らかにしておくことも必要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、胆振管内シシャモ漁業振興協議会には本調査に対して多大なご支援をいただいた。胆振地区水産技術普及指導所の当時の職員の方々には、シシャモ仔稚魚の採集に多大なご協力をいただいた。また、現北海道立総合研究機構栽培水産試験場調査研究部長前田圭司氏、同中央水産試験場資源管理部主査星野 昇氏には海産仔稚魚の調査手法についてご教示頂いた。東京大学大気海洋研究所猿渡敏郎博士にはシシャモの同定に関して貴重な助言をいただいた。厚くお礼申し上げる。査読者には原稿に対し貴重なご意見をいただき、お礼申し上げる。本研究は2003～2006年に北海道が行った「以西太平洋海域のシシャモ生残様式解明による資源安定化研究」による成果の一部である。

引用文献

- Buckley LJ. Effects of temperature on growth and biochemical composition of larval winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1982; 8: 181-186.
- Buckley LJ. RNA-DNA ratio: an index of larval fish growth in the sea. *Mar. Biol.* 1984; 80: 291-298.
- Folkvord A, Hunter JR. Size specific vulnerability of northern anchovy (*Engraulis mordax*) larvae to predation by fishes. *Fish. Bull.* 1986; 84: 859-869.
- 福田雅明, 矢野 豊, 中野 広, 杉山元彦. クロガシラガレイ稚仔魚の成長に伴うタンパク質量と核酸量の変化. 日水誌 1986a; 52: 951-955.
- 福田雅明, 中野 広, 山本和久. ニシンの発育初期における体成分の変化. 北海道大学水産学部研究彙報 1986b; 37: 30-37.

- 福田雅明. ニシン稚仔魚の発育過程－生化学的手法を用いた発育の推定－. *栽培技研* 1988; 17: 69-80.
- Hakanson JL. Analysis of lipid components for determining the condition of anchovy larvae, *Engraulis mordax*. *Mar. Biol.* 1989; 52: 313-31.
- 疋田豊治. 本邦産 *Argentinidae* の一新種について. *動物学雑誌* 1958a; 25: 1-3.
- 疋田豊治. 柳葉魚(シシャモ) *Spirinchus lanceolatus* (HIKITA)の発生について. *北海道立水産孵化場研報* 1958b; 13: 39-49.
- 北海道立水産孵化場, 室蘭地区水産技術普及指導所. 平成13年度受託研究 シシャモ仔稚魚の沿岸環境における初期生態調査結果報告書. 北海道立水産孵化場, 惠庭. 2002; 10pp.
- Houde ED. Fish early life dynamics and recruitment variability. *Am. Fish. Soc. Symp.* 1987; 2:17-29.
- 伊藤小四郎. 日高沿岸のシシャモの計測値について. *北海道立水産孵化場研報* 1958a; 13: 51-57.
- 伊藤小四郎. 柳葉(シシャモ)の生殖巣並び孕卵数について. *魚類学雑誌* 1958b; 7: 57-60.
- 伊藤小四郎. シシャモの生態III 天然産卵について. *北海道水産孵化場研報* 1964; 19: 17-26.
- 小林美樹, 杉若圭一, 岡田鳳二. 鶴川および沙流川におけるシシャモ資源の動態に関する考察. *北海道水産孵化場研報* 1985; 40: 95-101.
- 工藤 智, 春日井潔. シシャモの海洋生活初期における資源生態調査(受託研究). *魚と水* 2004; 40: 71-80.
- McAllister DE. A revision of the smelt family, *Osmeridae*. *National Museum of Canada Bulletin* 1963; 191: 1-53.
- 三坂尚行, 水野伸也, 宮腰靖之, 竹内勝巳, 鷹見達也, 笠原 昇. 飢餓中のサクラマス当歳魚の肝臓におけるトリグリセライド含量およびグリコーゲン含量の変動. *日水誌* 2004; 70: 168-174.
- 森 泰雄. 14. シシャモ. 「漁業生物図鑑 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; 86-89.
- 中野 広, 安藤義秀, 白旗総一郎. 成長にともなうサケ稚魚の酸性フォスファターゼ活性, 総蛋白質, RNA およびDNA量の変化. *北水研研報* 1985; 50: 71-77.
- 中野 広. 海産魚類初期生活史研究の手法13. 稚仔魚研究のための核酸の定量法. *海洋と生物* 1988; 54: 23-26.
- 中野 広. 生体成分の生化学的分析. 「魚類の初期発育(田中克編)」 恒星社厚生閣, 東京. 1991; 60-70.
- 新居久也・村上一夫・米田隆夫・上田 宏. シシャモ *Spirinchus lanceolatus* の遡上河川における産卵場所と物理環境条件の関係. *日水誌* 2006; 72: 390-400.
- 岡田鳳二, 工藤 智, 林 和明. シシャモ *Spirinchus lanceolatus* (HIKITA)の産卵生態 I. 北海道立水産孵化場研報 1975; 30: 31-38.
- 岡田鳳二, 工藤 智, 林 和明. シシャモ *Spirinchus lanceolatus* (HIKITA)の産卵における臀鰭の働きについて. *北海道立水産孵化場研報* 1976; 31: 155-161.
- 尾身東美. シシャモの卵発生と卵発生速度に及ぼす水温の影響. *北水試月報* 1977; 35: 10-20.
- 尾身東美. 釧路地方の河川におけるシシャモの卵分布状態と孵化仔魚の降海について. *北水試月報* 1978; 35: 12-28.
- 大谷清隆. 噴火湾の海況変動の研究: II. 噴火湾に流入・滞留する水の特性. *北海道大学水産学部研究彙報* 1971; 22: 58-66.
- 大谷清隆, 秋葉芳雄, 伊藤悦郎, 小野田勝. 噴火湾の海況変動の研究: IV. 津軽暖流水の流入・滞留期の海況. *北海道大学水産学部研究彙報* 1971; 22: 221-230.
- Purcell JE, Siferd TD, Marliave JB. Vulnerability of larval herring (*Clupea harengus pallasi*) to capture by the jellyfish *Aequorea victoria*. *Mar. Biol.* 1987; 94: 157-162.
- Rice JA, Miller TJ, Rose K, Crowder LB, Marschall EA, Trebitz AS, DeAngelis DL. Growth rates variation and larval survival: inference from an individual based size-dependent predation model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993; 50: 133-142.
- 佐川志朗, 三沢勝也, 妹尾優二, 中村太士. 北海道南部小溪流河川におけるシシャモの産卵場所選択. *魚類学雑誌* 2003; 50: 63-66.
- 里見至弘. コイ稚魚の体成分(核酸, リン脂質, 全窒素, 全燐, 水分)に及ぼす飽食と絶食の影響. *淡水研研報* 1969; 19: 47-72.
- 鈴木満平, 山下倫明, 藤田盛人, 菊地 弘, 中野 広, オルドニオ・リサ. 仔稚魚脂質の微量分析法. *中央水研研報* 1994; 6: 1-7.
- 鈴木研一, 小林敬典, 松石 降, 沼知健一. ミトコンドリアDNAの制限酵素切断型多型解析から見たシシャモの遺伝的変異性. *日水誌* 2000; 66: 269-274.
- 虎尾 充. 北海道の淡水魚類. シシャモ(柳葉魚). *魚と水* 2005; 41: 99-102.
- 虎尾 充. 網走湖におけるワカサギの形態的・生化学的初期発育過程. *北水試研報* 2012; 81: 131-140.
- 上田吉幸・三原行雄. えりも以西太平洋海域におけるシシャモの深浅移動. *北水試研報* 2009; 76: 51-53.
- Zenitani H. Analysis of lipid components for determining the

nutritional condition of sardine larvae *Sardinops melanostictus*. *Fish. Sci.* 1995; 61: 725-726.

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（資料）

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

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Current status of naturally-spawning masu salmon (*Oncorhynchus masou*) populations in Shiribeshi region, Hokkaido, northern Japan (Note)

HIROKAZU URABE*, MAKOTO FUJIWARA, YASUYUKI MIYAKOSHI, YOSHIHITO SHINRIKI,
KAZUTAKA SHIMODA, HIROSHI KAWAMURA, YOSHITAKA SASAKI AND HIROFUMI HAYANO

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

キーワード：工作物，サクラマス，自然再生産，遡上障害，放流魚

サクラマス (*Oncorhynchus masou*) 資源の増殖は、北海道水産業の重要施策の一つであり、日本海の漁業振興を担うものとして期待されてきた。当場では、池産サクラマス回帰率向上試験（平成2～8年度）、サクラマス回帰率安定化試験（平成9～12年度）で種苗養成技術の開発と並行して、放流手法と放流効果の検証を行った。その結果、人工種苗放流が漁業資源に一定程度、貢献していることが明らかとなるとともに、一定サイズに達したスマルト幼魚の放流が高い回帰率を期待できる手法であることが明らかにされた（Miyakoshi *et al.*, 2001; Miyakoshi *et al.*, 2002）。また、サクラマス資源の復元と安定化に関する研究（平成15～19年度）においては、放流効果の高いスマルト種苗養成技術の向上を図るとともに、放流効果と海洋環境との関係、さらには河川の生息環境復元による資源回復に関する研究を進めてきた。これらの結果、放流魚の回帰率は回遊経路の海洋環境に影響される可能性があるものの（飯嶋・宮腰, 2012），増殖効果を高めるにはスマルト種苗養成・放流技術の向上が肝要であることが明らかにされた（Miyakoshi *et al.*, 2001; Miyakoshi *et al.*, 2002）。ただし、スマルト幼魚放流は春稚魚、秋幼魚放流に比べ飼育期間が長く、種苗生産コストが高いという課題も残された（宮腰, 2006）。

これら、放流効果に関する研究を進めていく中で、サクラマス資源の大半が天然魚に由来することも明らかにされたことにより（宮腰, 2008），サクラマス資源の増殖を進める上で、補完的な役割と位置づけられてきた天然資源の保全・回復の重要性に対する認識が急速に高まった。本

道における天然サクラマス資源の減少には、河川工作物の設置による産卵遡上の阻害が強く影響していると考えられていることから（福島・亀山, 2006; Fukushima *et al.*, 2007; 玉手・早尻, 2008），今後はその回復が急がれる。そのような中、工作物上流域の生息環境の復元による天然資源の回復効果が、種苗放流による増殖努力に匹敵する場合があることが示されるとともに（Urabe *et al.*, 2010），河川改修により劣化した生息環境の修復が天然サクラマス個体群の回復に有効であることも明らかにされた（下田・川村, 2012; 下田ら, 2012）。このように、河川環境の修復によるサクラマス資源の増殖効果は高いと考えられることから、近年、漁業関係者の間でも天然資源の繁殖促進への関心が高まっている（ト部・宮腰, 2010）。

以上のことから、今後のサクラマス資源の増殖には種苗放流による資源造成技術の向上や低コスト化に向けた取り組みに加え、河川環境の修復・復元により天然資源の再生産を促進する取り組みが非常に重要と考えられている。しかしながら、これまでの研究の多くが放流効果に着目したものであり、天然資源の現状については殆ど明らかにされておらず、その回復策の検討を進めるには情報が不足している。このため、本研究では、サクラマス資源の増殖に取り組んでいる後志管内の主要河川において、サクラマスの自然再生産状況に関する情報を蓄積するとともに、天然資源を活用したサクラマス資源の増殖手法開発に必要な諸条件について検討を行った。

材料および方法

調査地 2007年から2009年の3カ年にわたって、合計12水系の24河川（97地点）でサクラマス当歳魚の生息数調査を実施した（表1）。なお、本調査の対象河川には放流河川も含まれており、それらの河川では例年5月下旬から6月上旬頃にサクラマスの当歳魚（春稚魚）が放流されている。このため、放流河川における調査は春稚魚の放流が実施される直前である5月中旬から6月上旬頃の間に実施した（表1）。放流が行われていない河川でも放流河川と概ね同時期に調査を行った。

生息数調査に際して、各調査河川の主な産卵域付近に長さ30mの調査区間を最低1箇所設けた。但し、河川によっては調査時期が融雪出水時期に当たり、調査の安全性確保の観点から調査区間を短くせざるを得ない場合もあった。逆に、河道形状の都合から長くなる場合もあった。なお、主な産卵場所が事前に把握できていない河川や産卵場所が比較的広範囲にわたると考えられる河川については複数の調査地点を設定した（表1）。また、現地踏査により遡上障害となる河川工作物が設置されていることが確認された河川においては、可能な限り河川工作物の上下流にそれぞれ1箇所ずつ調査地点を設定した。なお、河川横断工作物は国土地理院発行の2万5000分の1地形図に記載されている情報に基づき、現地確認を行ったが、必ずしも全ての工作物を把握できていない可能性があることは否定できない。確認された全ての工作物について、落差や工作物直下の水深とサクラマスの遡上率との関係を検討した調査結果（ト部ら、2008）に基づき以下の基準で遡上障害の有無を判定した。（1）魚道が設置されていない施設については、水面間落差が2m以上ある場合は遡上障害が生じていると判定した。（2）水面間落差が2m未満で全落差（水面間落差+工作物直下の水深）が1.3m以上の施設については、工作物直下の水深と全落差の比が1未満の場合に遡上障害が生じていると判定した。（3）全落差が1.2m以下の施設については、工作物直下が床固めされているなど、増水時でも遡上するために必要な水深が確保されない場合は遡上障害が生じていると判定し、（4）上記の基準に該当しない場合は遡上障害が生じていないと判定した。魚道が設置されている施設については、魚道内に適正な通水量が確保されており、魚道の入口に到達するまでの水深が20cm以上ある場合は遡上障害が生じていないと判定し、それ以外は遡上障害が生じていると判定した。

調査方法 サクラマス当歳魚は浮上から融雪出水がおさまる6月までの間、流速の緩い川岸付近にのみ分布することが知られている（永田ら、1998）。このため、生息数の

評価に当たっては、調査区間の両岸に幅1mの採捕区間を設定し、その区間に生息するサクラマス当歳魚を電気漁具により採捕した。なお、2007年に行った調査では、サクラマス稚魚の生息が確認された全ての調査地点において3回除去法（Carle and Strub, 1978）により生息数の評価を行ったが、当該手法では採捕に多くの時間が必要とされたため、調査地点数は6箇所に留まった。そこで、2007年の堀株川、積丹川および2008年の千走川水系で行った3回除去による生息数調査データ（表1）をもとに1回採捕で得られた採捕数と3回除去法により推定された生息数との関係について回帰分析を行い、1回採捕法で得られる採捕数が生息数の指標として有効であるか検討を行った。その結果、1回採捕法が生息数の指標として有効であることが確認されたことから（結果を参照のこと）、2008年以降は1回採捕による採捕数を生息数の指標とした。

自然再生産に由来する稚魚の生息数が遡上障害の有無、河川区分（保護水面または一般河川）および放流の有無によって異なるかどうかについて一元配置分散分析を用いて比較した。

結 果

1回採捕による推定法 1回目の採捕で捕獲されたサクラマス稚魚の尾数とCarle and Strub (1978)により推定した3回除去法による生息数との間には密接な関係が認められ（図1）、電気漁具を用いた1回採捕による捕獲数がサクラマス稚魚の生息数の指標として有効であることが明らかになった。なお、両者の関係は以下の式で表される。

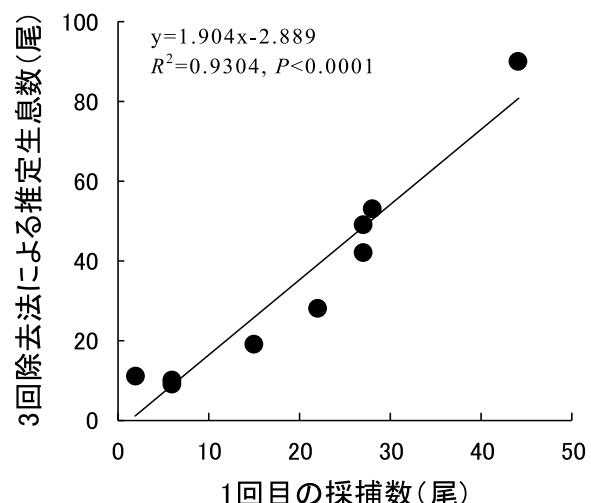


図 1 3回除去法による推定生息数と1回目の採捕数との関係

3回除去法を用いた推定個体数=1.904×1回目の採捕数-2.889 ($R^2=0.9304$, $p<0.0001$) (式1)

サクラマスの自然再生産状況 2007年に実施した調査では、1回採捕により、自然再生産に由来するサクラマス当歳魚が30~27尾採捕され、その数を調査区間1m当たりに換

算した値は(以後、この数値を生息数指標値と呼ぶ)0~0.90尾/mであった(表1)。2008年の生息数指標値は0~7.89尾/mで、2009年の調査では0~12.47尾/mであった。調査河川のうち、積丹川水系と尻別川水系で高い生息数指標値が確認されたが、同時に同一水系であっても調査地点や調査年によってその値は大きく変動することも

表1. 調査地点情報と生息数指標値の一覧

| 調査年 | 調査月日 | 河川区分*1 | 放流/非放流*2 | 水系名 | 河川名 | 支流名 | 調査区間距離(m) | 採捕方法 | 緯度(°) | 経度(°) | 遡上障害*3 | 工作物との位置関係 | 生息数指標値(尾/m) |
|-------|-------|--------|----------|-----|--------|----------|-----------|------|----------|-----------|--------|-----------|-------------|
| 2007 | 5月17日 | 一般河川 | 放流 | 余市 | 白井 | | 13 | 1回 | 43.01069 | 140.88432 | 無し | | 0.00 |
| | 5月17日 | | | | | | 30 | 1回 | 43.00988 | 140.88656 | 無し | | 0.00 |
| | 5月17日 | | | | 堀株 | 上ビラ | 30 | 3回 | 42.95387 | 140.68810 | 無し | | 0.07 |
| | 5月17日 | | | | | | 30 | 3回 | 42.95561 | 140.69036 | 無し | | 0.50 |
| | 5月17日 | | | | | | 30 | 3回 | 42.95772 | 140.69222 | 無し | | 0.90 |
| | 5月18日 | 保護水面 | 非放流 | | 鳥居の沢 | | 30 | 3回 | 43.33119 | 140.47298 | 無し | | 0.90 |
| 2008 | 5月21日 | 一般河川 | 放流 | 沖村 | 沖村 | | 14 | 1回 | 43.24352 | 140.68008 | 有り | 下 | 0.14 |
| | 5月21日 | | | | | | 21 | 1回 | 43.24208 | 140.67821 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 5月21日 | | | | 古平 | 下二股川 | 19 | 1回 | 43.18417 | 140.58892 | 無し | | 1.63 |
| | 5月21日 | | | | 泥の木沢 | | 35 | 1回 | 43.22930 | 140.59111 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 5月21日 | | | | 美國 | 無名沢 | 31 | 1回 | 43.27179 | 140.57691 | 無し | | 0.32 |
| | 5月22日 | | | | 珊瑚 | 珊瑚 | 19 | 1回 | 43.20598 | 140.35981 | 有り | 上 | 3.58 |
| | 5月22日 | | | | 堀株 | 堀株 | 32 | 1回 | 42.94972 | 140.71786 | 無し | | 1.78 |
| | 5月29日 | | | | 折 | 折 | 31 | 1回 | 42.71743 | 140.15022 | 有り | 下 | 0.16 |
| | 5月29日 | 資源保護水面 | | | 大平 | 大平 | 22 | 1回 | 42.70400 | 140.10843 | 有り | 下 | 1.27 |
| | 5月29日 | 保護水面 | | | 泊 | カモイ | 28 | 1回 | 42.66668 | 140.08766 | 無し | | 0.07 |
| | 5月28日 | | | | 千走 | 九助 | 25 | 3回 | 42.66403 | 140.02272 | 有り | 下 | 0.24 |
| | 5月28日 | | | | | | 30 | 1回 | 42.65102 | 140.00757 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 5月29日 | | | | 千走 | | 36 | 3回 | 42.64685 | 140.04064 | 無し | | 1.22 |
| | 5月28日 | | | | 湯ノ沢 | | 38 | 3回 | 42.64414 | 140.04181 | 有り | 下 | 0.16 |
| | 5月29日 | | | | 賀老 | | 15 | 3回 | 42.64937 | 140.03343 | 無し | | 1.47 |
| | 5月28日 | | | | | | 26 | 1回 | 42.63063 | 140.02043 | 無し | | 0.00 |
| | 6月13日 | 資源保護水面 | | 尻別 | 尻別 | 目名 | クシリの沢 | 1回 | 42.80103 | 140.43904 | 無し | | 0.35 |
| | 6月13日 | | | | | ツバメの沢 | 28 | 1回 | 42.81011 | 140.43810 | 有り | 上 | 0.64 |
| | 6月12日 | | | | | 貝殻沢 | 21 | 1回 | 42.74631 | 140.43007 | 有り | 下 | 1.19 |
| | 6月12日 | | | | | | 37 | 1回 | 42.74647 | 140.39965 | 有り | 上 | 0.30 |
| | 6月12日 | | | | | | 21 | 1回 | 42.74781 | 140.39321 | 有り | 上 | 0.71 |
| | 6月12日 | | | | 下賀老 | | 34 | 1回 | 42.74636 | 140.47383 | 有り | 下 | 0.06 |
| 6月12日 | 6月12日 | | | | | | 19 | 1回 | 42.73815 | 140.48699 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 6月12日 | | | | 上賀老 | | 22 | 1回 | 42.73750 | 140.45276 | 有り | 下 | 0.14 |
| | 6月12日 | | | | | | 16 | 1回 | 42.72824 | 140.46534 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 6月13日 | | | | 三之助 | | 20 | 1回 | 42.76783 | 140.43556 | 無し | | 0.30 |
| | 5月21日 | 保護水面 | 非放流 | 積丹 | 積丹 | 鳥居の沢 | 25 | 1回 | 43.33119 | 140.47298 | 無し | | 1.68 |
| | 6月10日 | 一般河川 | | | 尻別 | オサンナイ | 30 | 1回 | 42.84312 | 140.41730 | 有り | 下 | 1.70 |
| | 6月10日 | | | | | | 25 | 1回 | 42.84592 | 140.42013 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 6月5日 | | | | パンケ目国内 | | 40 | 1回 | 42.82708 | 140.44921 | 有り | 下 | 4.80 |
| | 6月5日 | | | | | | 31 | 1回 | 42.82857 | 140.45480 | 有り | 上 | 0.84 |
| | 6月5日 | | | | パンケ目国内 | | 31 | 1回 | 42.83468 | 140.49707 | 有り | 上 | 5.26 |
| 6月5日 | 6月5日 | | | | | | 40 | 1回 | 42.84410 | 140.51580 | 有り | 上 | 1.45 |
| | 6月4日 | | | | 白井 | | 55 | 1回 | 42.82611 | 140.48375 | 有り | 下 | 3.91 |
| | 6月4日 | | | | | | 45 | 1回 | 42.83028 | 140.48805 | 有り | 上 | 1.13 |
| | 6月5日 | | | | | | 46 | 1回 | 42.83507 | 140.49405 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 6月4日 | | | | | | 37 | 1回 | 42.83960 | 140.49783 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 6月6日 | | | | 逆 | | 32 | 1回 | 42.77750 | 140.49254 | 有り | 下 | 3.34 |
| | 6月6日 | | | | | 名無沢 | 13 | 1回 | 42.77741 | 140.49266 | 有り | 下 | 3.54 |
| | 6月6日 | | | | | 五十戸 | 32 | 1回 | 42.77901 | 140.49296 | 有り | 下 | 2.56 |
| | 6月12日 | | | | 蘭越第一川 | | 18 | 1回 | 42.79630 | 140.53380 | 有り | 上 | 0.00 |
| | 6月12日 | | | | 南部 | | 26 | 1回 | 42.81801 | 140.53427 | 有り | 下 | 0.50 |
| | 6月11日 | | | | 昆布 | シイボンドベッビ | 16 | 1回 | 42.78591 | 140.59973 | 有り | 上 | 2.38 |
| 6月10日 | 6月10日 | | | | | イヌフレベツ | 32 | 1回 | 42.77448 | 140.60152 | 有り | 下 | 1.63 |
| | 6月10日 | | | | | 桂の沢 | 33 | 1回 | 42.76277 | 140.59645 | 有り | 下 | 4.73 |

表1. つづき

| 調査年 | 調査月日 | 河川区分*1 | 放流/非放流*2 | 水系名 | 河川名 | 支流名 | 調査区間距離 (m) | 採捕方法 | 緯度(°) | 経度(°) | 遡上障害*3 | 工作物との位置関係 | 生息数指標値 (尾/m) | |
|------|-------|--------|----------|-----|-------|--------|------------|------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|------|
| | 6月10日 | | | | | | 33 | 1回 | 42.75548 | 140.59693 | 有り | 上 | 3.00 | |
| | 6月11日 | | | | | 矢筈の沢 | 10 | 1回 | 42.75637 | 140.57585 | 無し | | 5.90 | |
| | 6月11日 | | | | | | 22 | 1回 | 42.75637 | 140.57564 | 無し | | 1.86 | |
| | 6月10日 | | | | | 丸山の沢 | 34 | 1回 | 42.74713 | 140.58016 | 無し | | 2.15 | |
| | 6月11日 | | | | | 柳の沢 | 22 | 1回 | 42.71500 | 140.56797 | 無し | | 5.91 | |
| | 6月11日 | | | | | | 17 | 1回 | 42.71571 | 140.57440 | 無し | | 3.76 | |
| | 6月11日 | | | | | | 19 | 1回 | 42.71067 | 140.56416 | 無し | | 7.89 | |
| | 6月11日 | | | | | | 17 | 1回 | 42.68205 | 140.57183 | 無し | | 8.12 | |
| | 6月11日 | | | | | | 33 | 1回 | 42.66127 | 140.59263 | 無し | | 2.09 | |
| | 6月11日 | | | | | 幌別 | 23 | 1回 | 42.67142 | 140.55806 | 無し | | 2.04 | |
| | 6月11日 | | | | | 幌別支流 | 12 | 1回 | 42.67153 | 140.55794 | 無し | | 2.00 | |
| | 6月11日 | | | | | 新富 | 22 | 1回 | 42.67055 | 140.58086 | 有り | 下 | 3.27 | |
| | 6月6日 | | | | | 泥 | 35 | 1回 | 42.79631 | 140.60527 | 有り | 下 | 3.66 | |
| | 6月6日 | | | | | | 28 | 1回 | 42.79576 | 140.60919 | 有り | 上 | 3.32 | |
| | 6月13日 | | | | | 名無 | 28 | 1回 | 42.77405 | 140.64288 | 有り | 上 | 0.39 | |
| | 6月6日 | | | | | 真狩 | 26 | 1回 | 42.75939 | 140.83134 | 有り | 上 | 0.00 | |
| | 6月6日 | | | | | カシュンベツ | 15 | 1回 | 42.79741 | 140.72435 | 有り | 上 | 0.00 | |
| | 6月6日 | | | | | ルベシベ | 30 | 1回 | 42.76300 | 140.68322 | 有り | 下 | 1.10 | |
| 2009 | 6月1日 | 保護水面 | 放流 | 千走 | 九助 | | 28 | 1回 | 42.66403 | 140.02272 | 有り | 下 | 0.00 | |
| | 6月1日 | | | 千走 | | | 40 | 1回 | 42.64685 | 140.04064 | 無し | | 2.47 | |
| | 6月1日 | | | 湯ノ沢 | | | 38 | 1回 | 42.64414 | 140.04181 | 有り | 下 | 0.00 | |
| | 6月9日 | 資源保護水面 | | 尻別 | 目名 | 貝殻沢 | 35 | 1回 | 42.74647 | 140.39965 | 有り | 上 | 0.63 | |
| | 6月9日 | | | | | | 40 | 1回 | 42.74781 | 140.39321 | 有り | 上 | 0.05 | |
| | 6月2日 | 保護水面 | 非放流 | 積丹 | 積丹 | | 32 | 1回 | 43.32509 | 140.51158 | 無し | | 9.75 | |
| | 6月2日 | | | | | 鳥居の沢 | 24 | 1回 | 43.33119 | 140.47298 | 無し | | 1.33 | |
| | 6月2日 | | | | | 積丹 | 39 | 1回 | 43.31648 | 140.54771 | 無し | | 4.00 | |
| | 6月2日 | | | | | 焼野 | 27 | 1回 | 43.29969 | 140.54786 | 無し | | 0.00 | |
| | 6月9日 | 一般河川 | | 尻別 | オサンナイ | | 22 | 1回 | 42.84312 | 140.41730 | 有り | 下 | 0.00 | |
| | 6月9日 | | | | | パンケ目国内 | 21 | 1回 | 42.82708 | 140.44921 | 有り | 下 | 1.95 | |
| | 6月9日 | | | | | | 28 | 1回 | 42.82857 | 140.45480 | 有り | 上 | 0.07 | |
| | 6月9日 | | | | | 逆 | 22 | 1回 | 42.77750 | 140.49254 | 有り | 下 | 2.09 | |
| | 6月9日 | | | | | 南部 | 33 | 1回 | 42.81801 | 140.53427 | 有り | 下 | 0.70 | |
| | 6月10日 | | | | | 昆布 | イヌフレベツ | 25 | 1回 | 42.77333 | 140.60501 | 有り | 上 | 0.60 |
| | 6月10日 | | | | | 桂の沢 | 24 | 1回 | 42.76277 | 140.59645 | 有り | 上 | 5.04 | |
| | 6月10日 | | | | | 矢筈の沢 | 21 | 1回 | 42.75565 | 140.58160 | 無し | | 2.67 | |
| | 6月10日 | | | | | 丸山の沢 | 25 | 1回 | 42.74713 | 140.58016 | 無し | | 1.48 | |
| | 6月10日 | | | | | 柳の沢 | 22 | 1回 | 42.71500 | 140.56797 | 無し | | 3.09 | |
| | 6月10日 | | | | | | 15 | 1回 | 42.68205 | 140.57183 | 無し | | 12.47 | |
| | 6月10日 | | | | | | 39 | 1回 | 42.66127 | 140.59263 | 無し | | 1.23 | |
| | 6月10日 | | | | | 幌別 | 32 | 1回 | 42.67142 | 140.55806 | 無し | | 1.41 | |
| | 6月10日 | | | | | 新富 | 26 | 1回 | 42.67055 | 140.58086 | 有り | 下 | 1.73 | |
| | 6月10日 | | | | | 尻別 | 15 | 1回 | 42.79997 | 140.60069 | 無し | | 7.60 | |
| | 6月10日 | | | | | 泥 | 32 | 1回 | 42.79631 | 140.60527 | 有り | 下 | 3.25 | |
| | 6月11日 | | | | | 名無 | 22 | 1回 | 42.79371 | 140.64963 | 有り | 下 | 1.73 | |
| | 6月11日 | | | | | | 25 | 1回 | 42.77405 | 140.64288 | 有り | 上 | 0.00 | |
| | 6月11日 | | | | | | 27 | 1回 | 42.78788 | 140.64982 | 有り | 上 | 0.00 | |

*1 保護水面では周年にわたって全ての水産動物の採捕が禁じられている。資源保護水面のうち、尻別川水系目名川では周年、大平川では4~12月の期間やまべの採捕が禁止されている。

*2 放流は日本海さけ・ます増殖事業協会、北海道、北海道区水産研究所が実施しているものを対象としている。

*3 魚類の遡上に必要な措置が講じられていない河川横断工作物、または、講じられていてもその機能が十分に発揮されていない工作物を遡上障害があると判定した。判定基準は本文を参照のこと。

明らかになった。

全ての調査年のデータをプールした分析では、全調査地点の平均生息数指標値は1.85尾/mとなった。遡上障害の有る調査地点(1.34尾/m)では、遡上障害が無い地点

(2.64尾/m)に比べて生息数指標値が有意に低かった(図2, $F_{1,95} = 7.8088, p = 0.0063$)。遡上障害の無い河川について、一般河川(3.07尾/m)と保護水面(1.81尾/m)で生息数指標値を比較したところ両者には有意な差は認められな

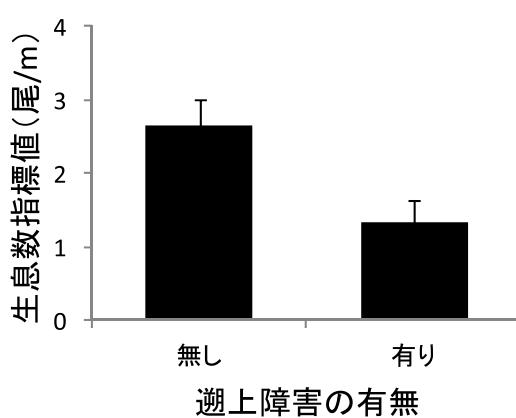


図2 遡上障害の有無と生息数指標値の関係

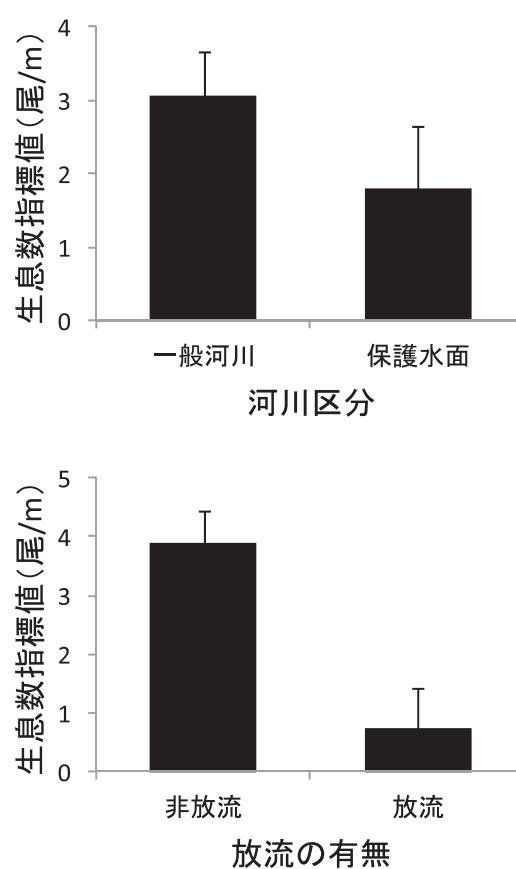


図3 遡上障害の無い河川において、河川区分および放流の有無により生息数指標値を比較した結果 上の図は保護水面と一般河川で生息数指標値を比較している。下の図は遡上障害の無い河川において、放流河川と非放流河川で生息数指標値を比較している。なお、資源保護水面は保護水面の区分に含まれる。

かった（図3, $F_{1,36} = 1.5234, p = 0.2251$ ）。同様に遡上障害の無い河川で、放流河川（0.74尾/m）と非放流河川（3.88尾/m）で生息数指標値を比較したところ、非放流河川で有意に高かった（図3, $F_{1,36} = 13.1123, p = 0.0009$ ）。

遡上障害は97の調査地点のうち59地点で確認され、その割合は60.8%であった（表1）。河川区分ごとに遡上障害の有無を調べたところ、保護水面では29の調査地点のうち16地点で遡上障害が確認され、その割合は55.2%であった。一般河川では68地点のうち43地点で遡上障害が確認され、その割合は63.2%であった。同様に放流の有無で区分した場合、放流河川では36地点のうち21地点で遡上障害が確認され、その割合は58.3%であった。非放流河川では61地点のうち38地点で遡上障害が確認され、その割合は62.3%であった（表1）。

考 察

本調査により、後志管内の主要河川におけるサクラマスの自然再生産状況が明らかになった。生息数指標値は調査年や河川および地点によって大きく異なり、0~12.47尾/mの範囲でばらついた。本調査と同様の時期に自然再生産由来のサクラマス稚魚を定量採集した事例は、著者らが知る限り永田ら（1998）が積丹川本流上流（本調査とは異なる調査地点）で行った調査しかないと（81尾/40m = 2.0尾/m），過去の報告と比較しての議論は困難である。

生息数指標値は遡上障害の有る河川では、無い河川より有意に低く、採捕数が0尾だった調査地点に着目すると、そのほぼ全てにおいて、工作物による顕著な遡上障害が生じていた。但し、千走川支流の賀老川と余市川については顕著な遡上障害となる要因が認められなかったにもかかわらず、稚魚は採捕されなかった。賀老川については、その名称のとおり、峡谷状の河川であることから、上流の調査地点までの間にサクラマスが遡上不可能な自然滝が存在していると思われる。一方、余市川については、本流の中下流部に2基の頭首工が設置されているものの、魚道が安定的に機能しており、さらに調査地点の上流域では自然産卵も確認されているにもかかわらず（ト部、未発表）、サクラマス稚魚は採捕されなかった。理由は明らかでないが、余市川は他の河川に比べて融雪増水の程度が大きく、調査時には激流の様相を呈しており、他河川と比較して採捕効率が非常に低かったであろうことは容易に想像される。このような調査条件が影響し、本来は生息している稚魚を採捕できなかったのではないかと思われる。

遡上障害が生じていない調査地点を対象に行った分析では、保護水面（資源保護水面を含む）と一般河川の間で生息数指標値は有意に異ならなかった。但し、保護水面で

の平均値は1.81尾／mと一般河川の3.07尾／mに比較して40%以上も低く, 2009年に積丹川本流で得られた9.75尾／mという, 突出した値を外れ値として除外すると保護水面の方が有意に低いという結果が得られた ($F_{1,35} = 4.1337, p = 0.0497$)。また, 放流の有無により生息数指標値を比較すると, 非放流河川の平均値は放流河川で得られた値の5倍以上であった。これらの結果から, 本調査を行った地域では, 保護水面および放流河川で生息数指標値が低いことが確認された。保護水面の調査地点で遡上障害が発生している割合は一般河川より低かったことから, 遡上障害が保護水面での低い生息数指標値の原因となっているとは考えられない。一方, 放流の有無に着目すると, 保護水面では55.2%の地点で放流が行われていたのに対し, 一般河川の調査地点で放流が行われていたのは7.4%に過ぎなかつた。このことから, 放流が自然再生産に何らかの影響を与えていた可能性も否定できない。これ以外に, 資源保護水面に区分されている尻別川水系目名川では, 種卵生産のため遡上親魚が捕獲されていることから, 捕獲を行っていない河川に比べて自然再生産由来の稚魚生息数が低くなるのは当然であり, これが保護水面で低い値が得られた要因の一つであろう。過去の研究では, 繼代飼育した池産系放流魚の降下行動が天然魚と異なること (Koyama *et al.*, 2007) や池産系放流魚の回帰率が遡上系由来の放流魚に比べて低い (青山ら, 2010) など, 池産系放流魚の種苗特性が天然魚に比べて劣っている可能性が示唆されている。また, 環境収容量を超える過密な稚魚放流が放流魚だけでなく, 天然魚の生き残りをも低下させる可能性が示唆されている (杉若ら, 1994)。水系全体で良好な環境が維持されており, 親魚捕獲も行われていない泊川で非常に低い値が確認されていることから, 何らかの理由により放流が自然再生産資源の低下を招く要因となっているのかもしれない。

今回の調査から, 後志管内の主要水系のうち, 余市川を除く全ての水系において自然再生産個体群が存在することが明らかとなり, 今後の資源増殖における天然資源の利活用方法を検討する上で重要な情報が得られた。一方, 遡上障害により自然再生産資源が枯渇している河川区間も多数存在することが明らかとなり, サクラマス資源増殖を進めていく上で, 遡上障害の解消が重要であることが改めて確認された。今後は遡上障害の解消に向けた取り組みが急がれるが, 魚道の設置・改修や工作物本体の改修 (例えばスリット化)には多くの時間が必要となる場合が多く, 自然再生産個体群の回復・再生による資源増殖には長期的な視点で取り組まざるを得ない。短期的な資源回復策としては自然再生産資源が消失した河川工作物上流域(潜在的な環境収容量)を稚魚放流場所として活用する方法が有

効であろう。また, 本調査において遡上障害が生じている河川では個体群が極めて低い水準にまで低下している事例も多く見受けられ, そのような河川では遡上障害を解消しても自然再生産個体群の回復は期待できないと考えられる。この場合, 遡上環境の修復と合わせて種苗を添加することで, 個体群の回復促進が期待される。

謝 辞

本調査のうち, 尻別川水系における野外調査および河川横断工作物の情報収集に当たっては, 後志支庁木村 篤産業振興部長, 斎藤幸男水産課長, 金崎伸幸水産課長, 松枝直一漁業管理係長, 竹内秋義主事, 田中慶子主事, 木谷 淳主任, 菅原敬展主事, 畠山保弘主事 (いずれも当時の所属, 職名, 氏名) らにご協力いただいた。ここに記してお礼申し上げる。

引用文献

- 青山智哉, 大森 始, 飯嶋亜内, 村上 豊, 伊澤敏穂, ト部浩一, 宮腰靖之. 池産系および遡上系サクラマスから生産されたスマルトの河川回帰率の比較. 北海道立水産孵化場研究報告 2010; 64: 1-6.
- Carle FL, Strub MR. A new method for estimating population size from removal data. *Biometrics* 1978; 34: 621-630.
- 福島路生, 亀山 哲. サクラマスとイトウの生息適地モデルに基づいたダムの影響と保全地域の評価. 応用生態工学 2006; 8: 233-244.
- Fukushima M, Kameyama S, Kaneko M, Nakao K, Steel ED. Modelling the effects of dams on freshwater fish distribution in Hokkaido, Japan. *Freshwater Biol.* 2007; 52: 1511- 1524.
- 飯嶋亜内, 宮腰靖之. サクラマスのスマルト放流魚の生き残りについて. 北水試だより 2012; 85: 7-11.
- Koyama T, Nagata M, Miyakoshi M, Hayano H, Irvine JR. Altered smolt timing for masu salmon *Oncorhynchus masou* resulting from domestication. *Aquaculture* 2007; 273: 246- 249.
- 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.
- Miyakoshi Y, Nagata M, Kitada S. Effect of smolt size on postrelease survival of hatchery-reared masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Fish. Sci.* 2001; 67: 134-137.

- Miyakoshi Y, Nagata M, Shimoda K, Sugiwaka K, Kitada S. Assessment of stocking effectiveness of hatchery-reared age-0 and age-1 masu salmon smolts through a fish market survey in Hokkaido. *Fish. Sci.* 2002; 69: 908-911.
- 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.
- 永田光博, 柳井清治, 宮本真人, 大久保進一, 青山智哉, 鷹見達也, 川村洋司, 長坂 有, 佐藤弘和. サクラマス稚魚の分布と生息環境. *魚と水* 1998; 35: 67-83.
- 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.
- 下田和孝, 神力義仁, 川村洋司, 佐藤弘和, 長坂晶子, 長坂 有. 魚類の生息環境の改善を目的とした河川修復事業の長期的効果. 応用生態工学 2012; 14: 123-137.
- 杉若圭一, 鈴木研一, 竹内勝巳, 大久保進一, 河村 博, 永田光博. 余別川0+稚魚放流における生息密度と成長, 生残率の関係. *魚と水* 1994; 31: 171-178.
- 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 一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一. *水利科学* 2008; 52: 72-84.
- ト部浩一, 下田和孝, 川村洋司, 宮腰靖之, 高田雅之, 三島啓雄. 北海道尻別川水系における魚類および水生生物の分布に関する研究一小規模工作物群がサクラマスの産卵遡上に与える影響一. *ELR2008福岡講演要旨集* 2008; 16.
- ト部浩一, 宮腰靖之. サクラマスフォーラム2009 in 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.
- Urabe H, Nakajima M, Torao M, Aoyama T. Evaluation of habitat quality for stream salmonids based on a bioenergetics model. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2010; 139: 1665- 1676.

十勝川水系におけるサケ・サクラマスの産卵環境評価（資料）

ト部浩一^{*1}, 三島啓雄², 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北海道大学大学院農学研究院

Evaluation of spawning habitat for chum and masu salmon in Tokachi River basin (Note)

HIROKAZU URABE^{*}, YOSHIO MISHIMA² AND YASUYUKI MIYAKOSHI¹

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

²Hokkaido University, Graduate School of Agriculture, Sapporo, Hokkaido, 060-8589, Japan

キーワード：河道地形, 工作物, サクラマス, サケ, 産卵環境, 浸透流, 遷上障害, 十勝川

十勝川では、縄文期である1万4000年前からサケ・マスが利用されており (Craig *et al.*, 2013), 本格的なサケ・マス漁業が行われた開拓期以降は十勝・釧路地区のサケ・マス漁業に重要な増殖河川として位置づけられてきた。漁獲量についてみると、明治24年（1891年）には、まだ人工孵化放流が行われておらず、また、現在と比較すると非常に効率の悪い漁法が用いられていた当時においてさえ、十勝川水系内で35万尾以上のサケ (*Oncorhynchus keta*) が漁獲されたという記録が残されている（北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会, 1988)。大正期の記録によると、本流中流部に加え、支流の芽室川、然別川、音更川、帶広川、札内川、メム川、途別川において、合計20箇所以上で捕獲が行われていた（北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会, 1988)。これらの記録を総合すると、十勝川水系の中流域まで大量のサケが遡上し自然再生産していたこと、また、その資源の維持、増殖に古くから積極的に取り組まれてきたことがうかがわれる。

しかしながら、高度成長期における水質汚濁の急激な進行や防災事業に伴う河道の直線化や横断工作物の設置により、1950年代以降自然再生産資源を中心とするサケ資源増殖の取り組みは多くの制約を受けるようになった。ちょうどこの頃、人工孵化放流技術の飛躍的な向上が進み、高い放流効果が得られるようになってきたことから (帰山ら, 1978; 小林, 2009), サケ資源の維持、増殖は人工孵化放流を中心に進められるようになった。効率的な人工孵化放流体制の確立が進むと、自然再生産資源の減少や消失は、それまでほどには顧みられなくなり、代わりに本流

中下流部に位置する千代田堰堤および支流猿別川下流の捕獲施設で遡上親魚の大半を捕獲、採卵し、人工孵化放流を用いることにより、中流域での自然再生産資源の消失分を補うという方法が採用されてきた。

このような背景により、現在の十勝川水系におけるサケ資源の人工増殖が行われてきた。しかし、1997年には河川法の改正が契機となり河川生態系に配慮した河川整備が行われるようになるとともに、2003年に施行された自然再生法に基づき、標津川や釧路川水系において河川生態系を復元するための事業も行われるようになると、多くの関係機関や市民がサケの自然繁殖に関心を寄せるようになった。また、近年では、持続可能な食料生産に対する世界的なニーズの高まりを受け、エコラベル認証を受けた水産物の価値が向上する中、サケ漁業や資源増殖に携わる関係者らの間でもエコラベル認証取得に対する関心が強まり、自然再生産サケ資源とその生息環境の保全と回復への関心が急速に高まっている。このような水産サイドからの河川生態系保全へのニーズはますます高まることが予想され、今後、十勝川水系の河川管理を進める上で重要なポイントになり得るであろう。

自然再生産サケ資源の保全には河口から産卵域における河川の連続性の保持、回復はもちろんのこと、遡上区間ににおける産卵に適した環境の保全、復元が必要とされる。一般にサケの産卵場所選択には水深、流速、河床材料組成が関与することが知られていることから (Bjornn and Reiser, 1991), サケの自然再生産にはそれらの環境要素が良好な状態に維持されている必要がある。また、サケでは

初秋に産卵する群（前期群）と晩秋に産卵する群（後期群）との間では産卵場所として利用する水温が異なり、前者は河川表流水の浸透が卓越し、冬季には0°C近くまで水温が低下する場所を、後者は地下水の湧出が卓越し冬季も比較的高い水温が保たれる場所を選択的に利用していることが明らかにされている（鈴木, 2008）。河床間隙水の温度は表流水と地下水との相互作用によって決定され（White, 1993），両者の相互作用には河道地形が影響することが知られていることから（Leman, 1993 ; Geiger and Dauble, 1998），多様な自然産卵サケ個体群を保全するには河道地形も考慮した河川管理が必要とされる。

以上のことを背景とし、本研究では十勝川水系にサケの自然産卵可能な場所がどの程度あるのか、また、どこで消失しているのかを特定し、自然再生産サケ資源の保全に必要な情報を収集することを第一の目的としている。なお、十勝地域において、漁業資源としてのニーズはサケほど高くはないが、漁獲対象とされているサクラマス（*Oncorhynchus masou*）もこの調査対象としている。また、自然再生産サケ資源の保全には、河川の連続性の維持、回復にとどまらず、河床間隙水の温度特性に影響を与えると考えられる河道内の地形要素（砂礫堆）の保全という観点も不可欠であることから、砂礫堆と河床間隙水の性質およびサケの産卵場所選択との関係について明らかにすることを第二の目的としている。

試料および方法

サケ、サクラマスの産卵可能域の推定 本調査は、北海道立総合研究機構環境科学研究センターと共同で構築した河川工作物情報データベースを用いてGIS解析を行い、サケ、サクラマスの遡上可能範囲を特定する調査および目視による遡上状況確認と再生産環境評価に関する調査の2項目からなる。

1. GIS解析による遡上可能範囲の評価 十勝川水系における工作物位置情報を収集し、潜在的なサケまたはサクラマスの産卵場所の下流に工作物がある場合、産卵遡上はその工作物によって阻害され上流への遡上は不可能と判定した。潜在的産卵場所の分布上限域（産卵遡上限界）については次のように推定した。サケについては1934年に清水町御影で報告された捕獲記録が最上流に当たり（北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会, 1988），その地点の標高が99mであることから、標高100m以下の河川区間を潜在的なサケの産卵場所として定義した。サクラマスについては、1984年に行われた佐幌川での調査結果によると、標高約170m地点でサクラマス稚魚が高密度に生息していることが確認されていることから（川村, 未発表），

標高200mまで産卵遡上すると仮定した。また、杉若ら（1999）が日本海側の厚田川で行った調査結果では、標高270m付近においても産卵床および稚魚の生息が確認されていることから、標高300mを産卵遡上の限界と仮定した場合の解析も行った。

工作物の位置情報は国土交通省、土地・水資源局、国土調査課のホームページ上からダウンロードしたもの（<http://tochi.mlit.go.jp/tockok/inspect/landclassification/download/index.html>）に、環境科学研究センターと共同で独自に入手した情報を加え解析に使用した。その結果、合計219基（内訳：貯水ダム14基、砂防ダム45基、治山施設160基）の工作物が解析の対象となっている。

2. 遡上状況確認と再生産環境の評価 調査に先立ち、水辺の国勢調査や公表済みの資料等に基づき、サケおよびサクラマスの再生産場所として適しているであろうと思われる地点52箇所を選定し（付表）、2011年8月29～31日および同年11月14～15日にかけて現地で目視調査を実施した。目視調査は、河川規模に応じて長さ50-150mの調査区間を設定し、産卵遡上親魚、産卵後の斃死個体、産卵床の有無を確認するとともに、それぞれの調査地点における産卵環境について以下の方法により定性的に評価した。既往の研究成果からサケおよびサクラマスは水深20cm以上、流速0.5m/秒前後（概ね0.3-1.0m/秒程度）であり、かつ中礫が優占する平瀬を産卵場所として選択的に利用することが知られている（Bjornn and Reiser, 1991；鈴木, 1999；ト部ら, 2004）。産卵に適した環境特性を有する場所の面積が調査区間全体の面積に占める割合を目測により推定し、その値が5%未満の場合は産卵に「不適」、5-10%の場合は「可」、10-25%の場合は「適」、25%以上存在する場合は産卵に「最適」と評価した。なお、流速は瀬付近で発生する水泡が水面上を流下する速度から推定した。

サケの産卵場所選択と河道地形との関係 本調査では十勝川水系に遡上する前期群と後期群のサケを対象に産卵環境特性の評価を行う予定であったが、千代田堰堤下流に設定した調査区間でサケの産卵が確認されなかった。このため、調査地を過去に多数の自然産卵が確認されている石狩川水系千歳川支流の漁川（宮腰ら, 2011；宮腰ら, 2012）の中流に形成された長さ約101mの砂礫堆周辺（北緯42.881039度、東経141.569878度）に変更した。この砂礫堆上には河道から隔離された場所に位置する窪地には河川表流水とは水温や電気伝導率が明らかに異なる水溜まりが確認されており、調査地は湧水が卓越するポテンシャルを有する河川区間であると考えられた。

2011年9月20日から11月17日にかけて、概ね3～4日に1回の頻度で調査区間内を目視調査し、サケの産卵床の形成状

況を確認した結果、9月23日（前期）と11月17日（後期）にサケの産卵床が確認された。11月17日には全ての産卵床内の水温および電気伝導率を計測するとともに、産室付近に自動記録水温計を設置した後埋め戻し、翌年4月11日まで産卵床内の水温変化を観測した。但し、後期群の産卵床のうち調査区間の最下流で確認された2個の産卵床は隣接していたため、そのうちの1個にのみ水温計を設置した。また、砂礫堆の上流部および下流部縁辺部における河床中の水温と電気伝導率も計測し、河床微地形と河床間隙水の性質との関係についても検討した。2012年4月11日には産卵床内に設置した水温計の回収を行い、得られたデータに基づき積算水温を算出し、その時間変化について検討を行った。なお、サケの平均的な産室深さが20cm程度であることが知られていることから（Burner, 1951; Smith, 1973）、産卵床および河床内での水温および電気伝導率の計測ならびに水温計の設置は河床を20cm掘り下げた位置で行っている。

結 果

サケ・サクラマスの産卵可能域の推定

1. GIS解析による遡上可能範囲の評価 サケの遡上可能範囲である標高100m、サクラマスの遡上上限である標高200mおよび300mの等高線を結び、サケおよびサクラマスの潜在的な産卵適地と工作物の位置情報を記載したしたものを図1に示した。この図を基に、標高100m以下の河川区間のうち遡上が阻害されている区間を図2に、標高200m以下の河川区間のうち遡上阻害が発生している区間を図3に、標高300m以下の河川区間のうち遡上阻害が発生している区間を図4に示した。それぞれの図から読み取れる情報は以下のとおりである。サケおよびサクラマスの産卵域となる標高100mまでの河川区間では、打内川の一部区間および仙美里ダム上流域が遡上障害発生区間として抽出された。サクラマスの遡上上限を標高200mとした場合の解析では、打内川水系の大半、芽室川水系、然別川水系、猿別川水系および利別川水系の一部が遡上障害によりサクラマスの再生産が阻害されている区間として抽出された。さらに、遡上上限を標高300mに拡大すると、

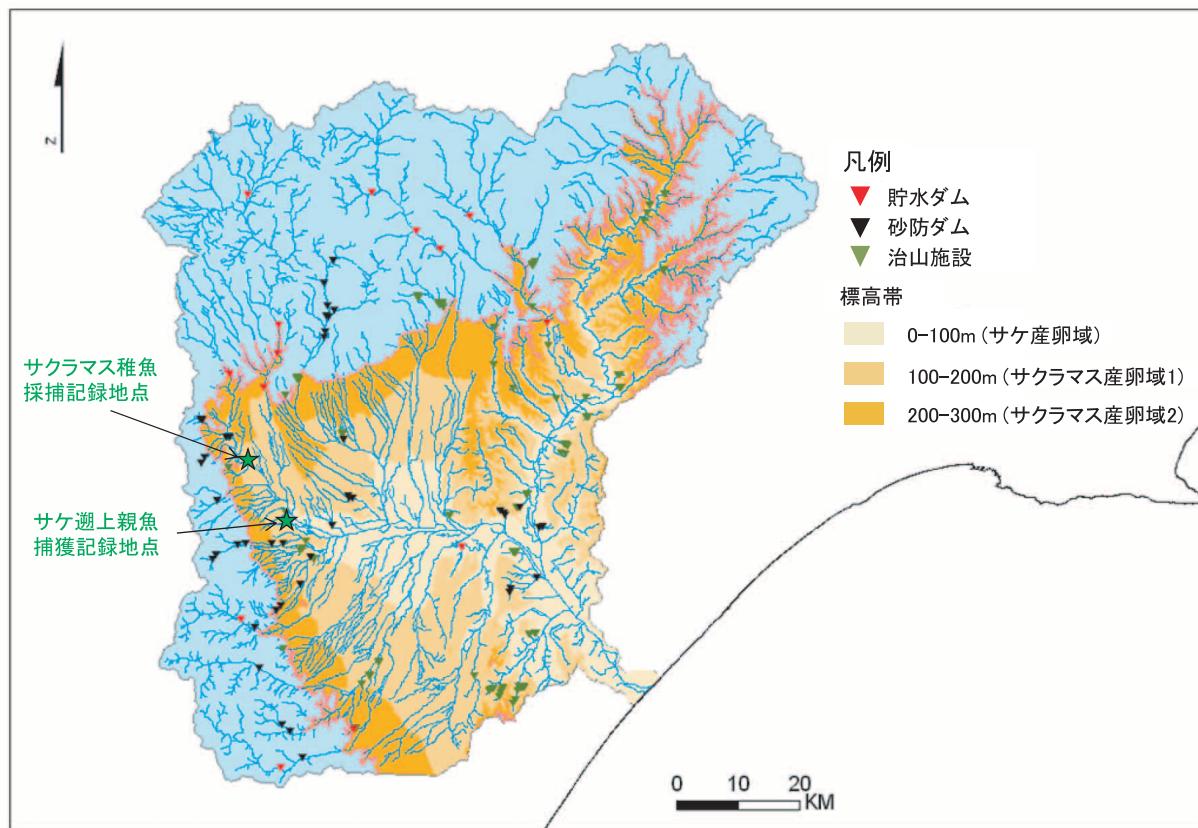


図1 十勝川水系におけるサケおよびサクラマスの潜在的な産卵適地と工作物の位置。赤色、黒色、緑色のシンボルはそれぞれ貯水ダム、砂防ダム、治山施設を示す。乳白色のエリアは標高0-100mでサケの産卵区域を示す。薄いオレンジ色のエリアは標高100-200mで杉若ら（1999）を参考に設定したサクラマスの産卵域を、濃いオレンジ色のエリアは標高200-300mで川村（未発表）を参考に設定したサクラマスの産卵域を示す。詳細は本文を参照のこと。

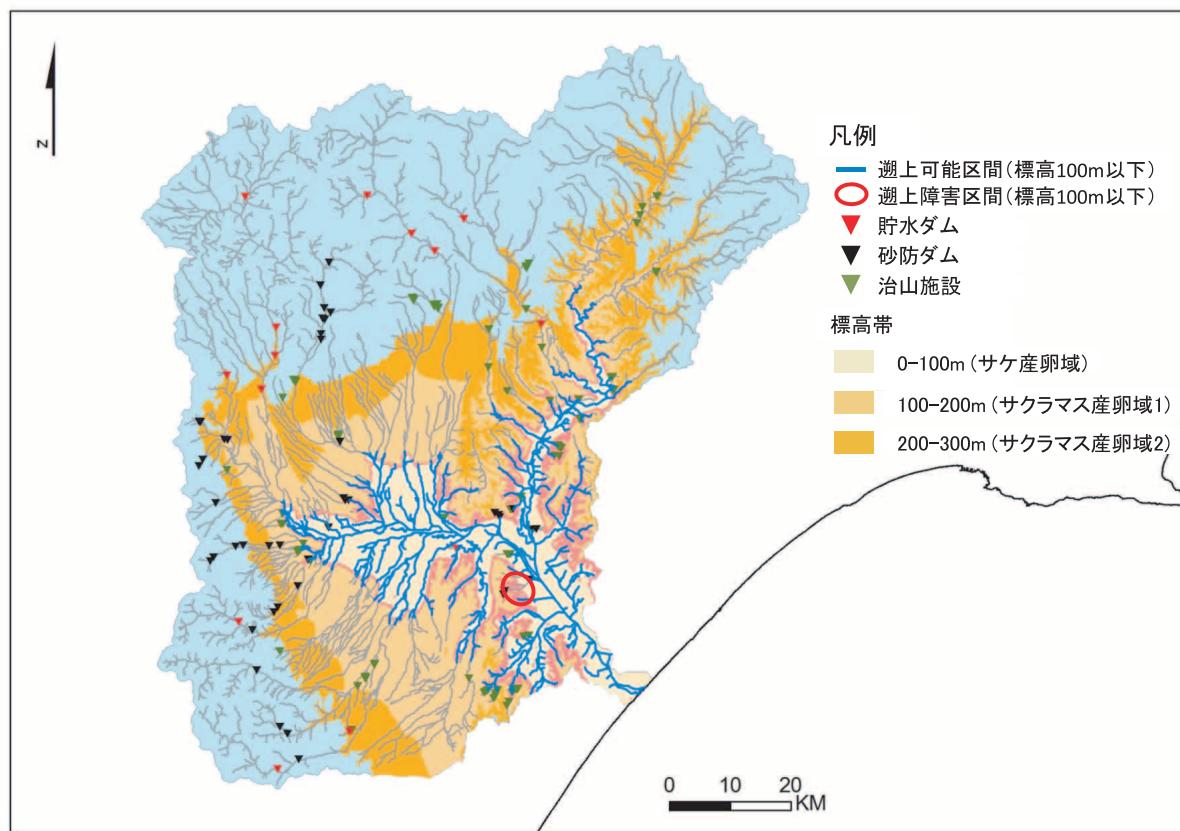


図2 標高100m以下の河川区間（乳白色のエリア）のうち、工作物により遡上阻害が生じている河川区間を抽出した結果。乳白色の範囲を流れる河川区間のうち、遡上障害が生じている区間を灰色の線で表示し、赤線で囲んでいる。

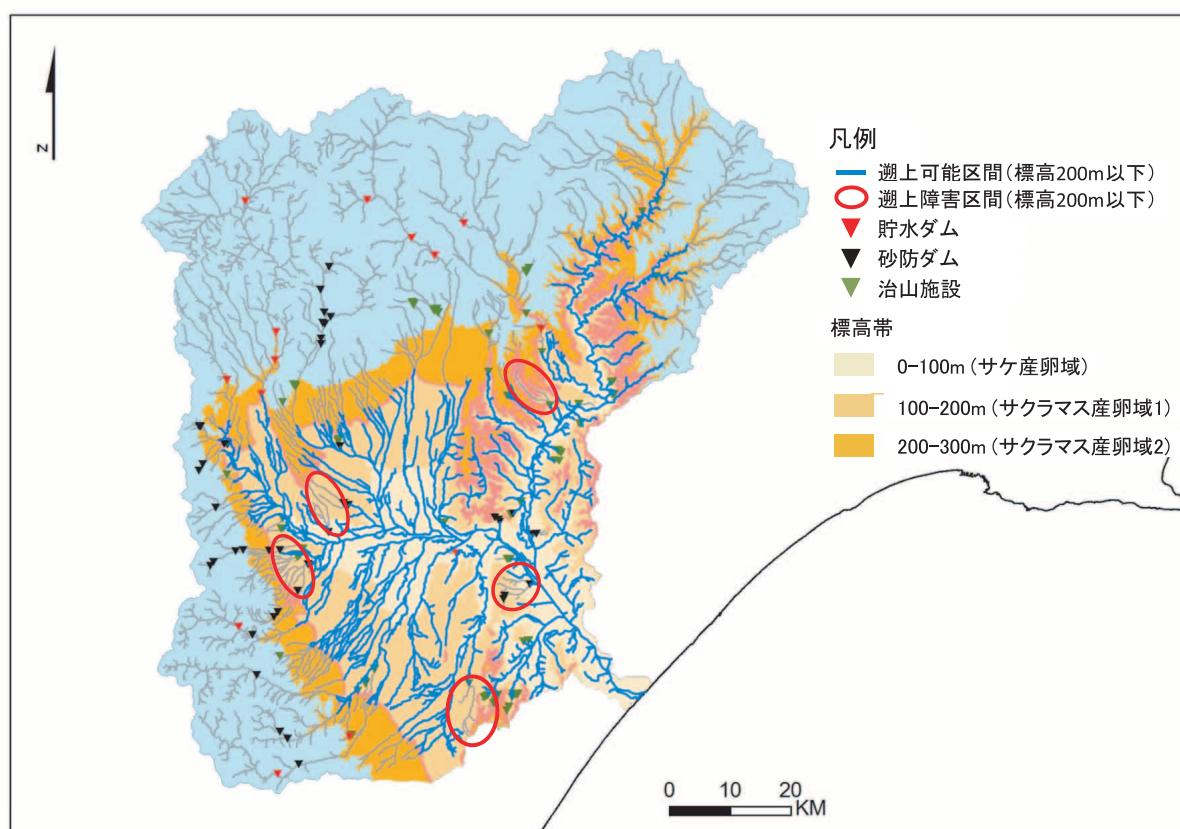


図3 標高100m以上、200m以下の河川区間（薄いオレンジのエリア）のうち、工作物により遡上阻害が生じている河川区間を抽出した結果。乳白色の範囲を流れる河川区間のうち、遡上障害が生じている区間を灰色の線で表示し、赤線で囲んでいる。

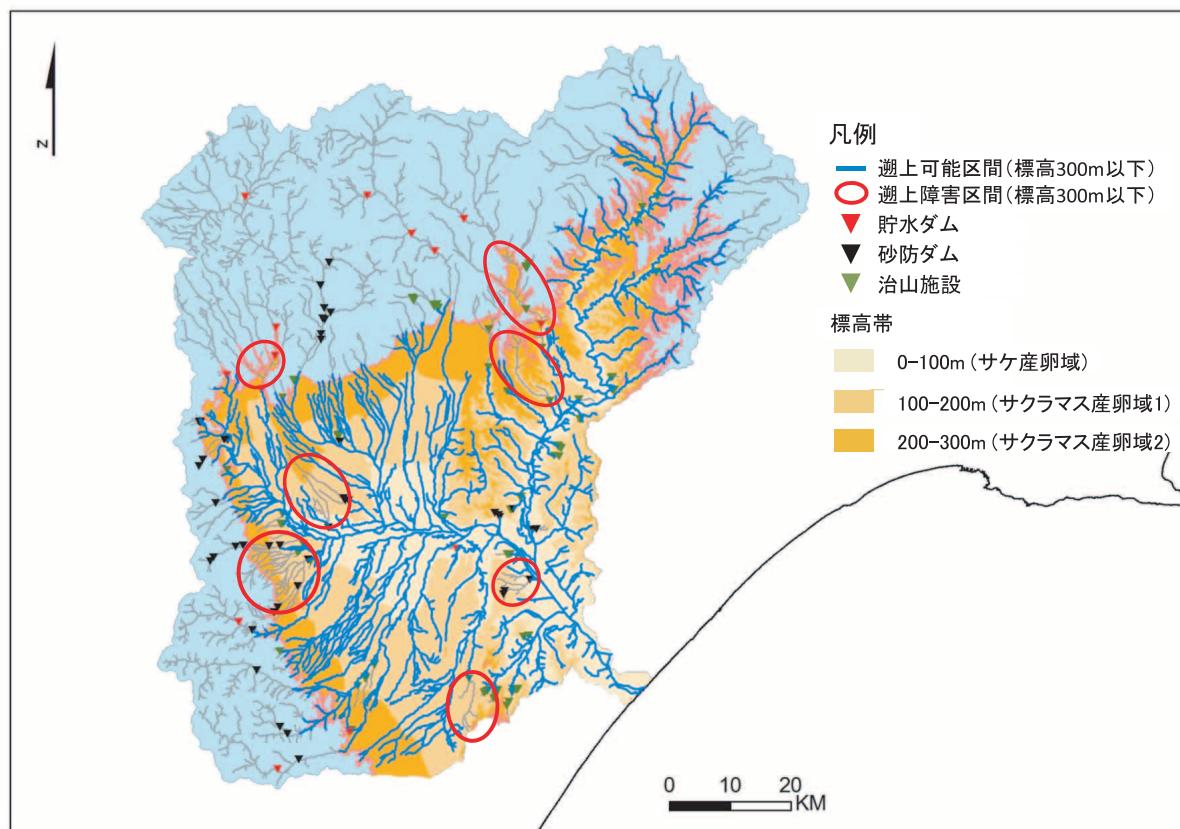


図4 標高200m以上、300m以下の河川区間（薄い橙色のエリア）のうち、工作物により遡上阻害が生じている河川区間を抽出した結果。乳白色の範囲を流れる河川区間のうち、遡上障害が生じている区間を灰色の線で表示し、赤線で囲んでいる。

利別川水系の支流と本流の上流部にも新たに遡上障害区間が発生した。

2. 現地調査による再生産環境の評価 52の調査地点のうち、サケの遡上が確認された地点は十勝川本流の千代田堰堤下流および猿別川下流の合計2地点、サクラマスについては利別川支流居辺川上流の1地点のみで確認された（付表）。産卵環境についてみると、52地点のうち産卵可能と

判定された地点が45地点にのぼり（調査地全体の86.5%）、不適と判定された箇所は合計7地点であった（13.5%）。不適と判定された地点のうち利別川支流と芽室川支流で確認された6地点は河床低下に伴い河床が岩盤化した区間であり、残りの1ヶ所は帶広川支流下流域の3面護岸されている区間であり、いずれも水深と流速は好適な範囲内にあるものの、産卵に必要な河床材料が存在しないことが不適と判定された要因である（表1）。

表1 調査地点における産卵環境評価の結果。評価基準については本文を参照のこと。

| 河川 | 最適 | 適 | 可 | 不適 | 総計 |
|---------|----|----|----|----|----|
| 十勝川（本流） | | | 3 | | 3 |
| 利別川 | 1 | 8 | 11 | 4 | 24 |
| 猿別川 | 5 | 2 | | 1 | 8 |
| 士幌川 | | | 1 | | 1 |
| 札内川 | | 3 | 1 | | 4 |
| 帶広川 | | | 2 | 1 | 3 |
| 音更川 | 3 | 3 | | | 6 |
| 然別川 | 1 | 1 | | | 2 |
| 芽室川 | | | | 1 | 1 |
| 合計 | 10 | 17 | 18 | 7 | 52 |

サケの産卵場所選択と河道地形との関係 調査期間中に千歳川水系漁川で発見されたサケの産卵床は2011年9月23日に2床、11月17日に3床が確認され、9月に形成された産卵床（以下、前期群産卵床）は砂礫堆の上流部分に、11月に形成された産卵床（以下、後期群産卵床）は砂礫堆の下流部に位置した（図5）。産卵床内の水温および電気伝導率を前期群と後期群で比較すると、前期群産卵床は後期群に比べて水温、電気伝導率ともに低く、その値は河川表流水とほぼ一致したが、後期群産卵床は水温、電気伝導率ともに河川表流水と湧水溜まりの中間の値を示した（図6）。砂礫堆の上流部に10地点、下流部に5地点設置した調査地点における河床間隙水温は、砂礫堆上流部では全て河川水

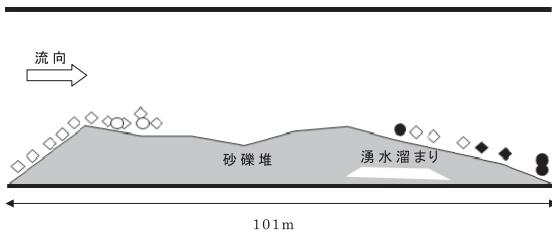


図5 漁川に設定した調査区間の概略および前・後期群のサケ産卵床の分布位置ならびに河床間隙水の特性調査地点。白抜きの丸は前期群産卵床、黒塗りの丸は後期群産卵床。菱形は河床間隙水の測定地点を示し、白抜きは河床間隙水の特性（水温、電気伝導率）が前期群産卵床内の水に近かったことを、黒塗りの菱形は後期群産卵床の水に近かったことを示す。詳細は本文および図6を参照のこと。

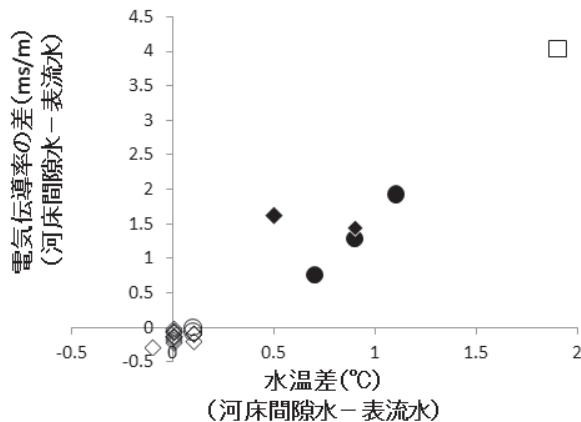


図6 河床間隙水の水温および電気伝導率の特性。縦軸、横軸ともに河床間隙で計測した値から近傍の河川表流水の値を差し引いた値。白抜きの四角は湧水溜まりの水温および電気伝導率の特性を示している。それ以外のシンボルの説明については図5の説明を参照のこと。

と同じかそれよりも若干低い値となっていた。一方、砂礫堆下流部では5地点中2地点で河川水よりも水温、電気伝導率ともに高い値を示した（図5、図6）。砂礫堆の窪地に形成された湧水溜まりでは水温が7.6°C、電気伝導率は13.02ms/mと、河川水に比べて高い値を示した（図6）。

産卵床および河床内に設置した水温計の記録を見ると、前期群の産卵床内水温は河川表流水温とほぼ一致し、1月下旬には0°C近くにまで低下した。一方、後期群の産卵床内水温は最低でも4°Cまでしか下がらず、その変化様式は河川表流水と大きく異なった（図7上段）。この水温記録に基づいて、産卵時期から翌年4月11までの積算水温を算出したところ、産卵時点で両群の積算水温は541°Cであったが、4月11日には188°Cにまで縮小していた（図7下段）。なお、全ての産卵床内に水温計を設置したのは11月17日であるため、前期群の産卵床については産卵日の9月23日か

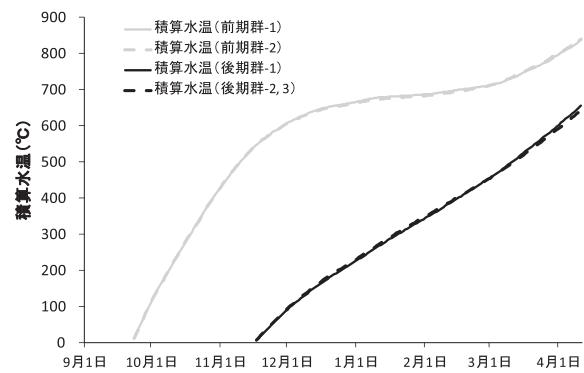
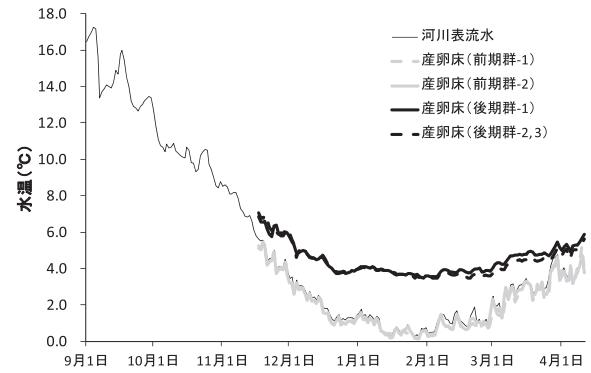


図7 河川表流水と産卵床内の水温変化（上段）および産卵床内の積算水温の変化（下段）。なお、前期群の産卵床が形成された日から水温計を設置するまでの期間の産卵床内水温は河川水温に一致すると仮定している。詳細は本文を参照のこと。

ら11月16日の水温データが欠足していたが、11月17日以降の前期群産卵床の水温変化が河川表流水とほぼ同じ値を示したことから、積算水温を算出する際、欠測期間の産卵床内水温は河川表流水に一致すると仮定している。

考 察

GIS解析を用いて十勝川水系におけるサケおよびサクラマスの遡上障害区間を評価した結果、サケの産卵域である標高100m以下の河川区間については、打内川の一部と利別川の仙美里ダム上流域に遡上障害区間が認められたが、水系全体でみた場合、ほぼ全域への遡上が可能であると推定された。次にサクラマスについてみると、産卵遡上域の限界標高を300mとした時、流域内の多くの支流および本流に遡上障害区間が発生し、その流路延長も相当程度に上ることが示されたことから、該当区間での遡上促進策の検討が必要である。ただし、本解析では魚道の有無を考慮せず、工作物より上流には遡上出来ないと一律に仮定しているため、今回抽出された遡上阻害域を個別に調査した上で、対応方法を検討する必要がある。また、十勝川水系

は本道有数の農業地帯であり、農業用頭首工や用排水路の改修に伴う落差工も支流の中下流域に多数設置されているが、それらの位置情報を入手することができなかつたため、農業関連工作物による遡上障害は考慮されていない。このため、本研究で提示した遡上障害区間が過小推定になっていることは明らかである。農業用施設の情報が公表されていないという問題は他の地域でも魚類の遡上環境評価を行う上での障害となっていることから、今後は関係機関の協力を得ながら、農業関連施設の位置情報の取得を行っていく必要がある。

遡上状況の確認調査の結果、十勝川水系におけるサケ、サクラマスの主要な潜在的産卵域と思われる千代田堰堤の上流域において、サケは1尾も確認することができず、サクラマスについては1尾の確認にとどまった。広大な十勝川水系に遡上する親魚を発見するには努力量が小さかったことは否定できないが、十勝川水系におけるサケ資源は基本的に人工孵化放流により維持するという資源管理システムを採用していることを考慮すると、捕獲事業期間中に千代田堰堤より上流に遡上するサケの絶対数はそれほど多くないのかもしれない。サクラマスは同堰堤の捕獲施設が運用されるより前の、春季から夏季にかけてが遡上時期の中心と考えられることから上流域まで遡上している個体も多いと推察されるが、サケと同様に、広大な十勝川水系においてその状況を正確に把握するには、今回の調査規模とは比較にならないほどの大規模な調査が必要と考えられた。

以上のように、十勝川水系におけるサケ、サクラマス親魚の遡上状況に関する情報は殆ど得られなかつたものの、サケについては産卵域までの遡上環境は比較的良好な状態で維持されており、産卵に適した河床礫も広く分布していることから、十勝川水系内における自然再生産のポテンシャルは高いと推察された。サクラマスについては、遡上障害の解消が必要な区間が相当程度認められたが、産卵に適した礫も広く分布していること、また水系規模が非常に広大であることから、サケ同様に自然再生産のポテンシャルは高いと推察され、産卵遡上障害の解消が進むことで、個体群の増加が期待される。ただし、一部の支流では河床低下に伴う岩盤化が生じており、今後、その深刻化や同様の問題が他の支流で発生することも懸念される。このため、遡上障害の解消を進めると同時に、河床環境を適切に保全するための配慮も必要であろう。

代替調査地として設定した石狩川水系漁川におけるサケ産卵場所の水温調査の結果から、過去の知見（鈴木、2008）と同様に前期群と後期群で河床間隙水温に対する選択性が異なることが示唆された。産卵床内の水温の違いは積算水温（発生速度）の差を生むことから（Brannon,

1987；帰山、2002），水温への選択性の違いは産卵期の異なる群の浮上期を生残率の高い時期に同調させる役割を果たしていると考えられている（Godin, 1980；Tallman, 1986；Brannon, 1987；Burgner, 1991）。北海道のサケは幅広い産卵期を持つことが知られているが（大屋、1954），稚魚の降海適期は比較的短いと考えられており（佐野・小林、1952；宮腰ら、2007），産卵時期が異なる群であっても浮上時期は比較的狭い範囲に収斂する必要がある。このため、前期群では冬季に水温が低下する河川浸透流が卓越する場所を、後期群では逆に地下水が卓越し冬季にも高い水温が維持される場所を産卵場所として選択することで、浮上時期を同調させているものと推測される。

河床間隙中における表流水と地下水の相互作用は河道地形の影響を受けることが知られており（White, 1993；Dahm and Vallet, 1996），一般的には砂礫堆の上流部では河川表流水が浸透する（鉛直方向下向きに移動する）ポテンシャルが高く、逆に下流部では地下水が湧出する（鉛直方向上向きに移動する）ポテンシャルが高い傾向にあることが報告されている（Leman, 1993；White, 1993；Geist and Dauble, 1998）。本調査地でも同様の傾向が確認され、砂礫堆が河床間隙水の動態に影響を与えていていることが示唆された。遡上時期や産卵時期の個体群内変異の大きな個体群は個体群全体の水準を高く、安定的に維持することに寄与することが知られていることから（Schindlar *et al.*, 2010），砂礫堆は河床間隙水の特性への影響を介して多様な産卵群の維持に重要な役割を果たしている可能性があると考えられた。但し、本研究の調査対象とした産卵床数は少なく、また、産卵環境特性調査は石狩川水系漁川で実施したことから、追加調査により本考察の検証を行う必要がある。

以上、本調査により、十勝川水系におけるサケ、サクラマスの自然再生産ポテンシャルの高いことが明らかとなり、自然再生産資源の保全、回復に向けた取り組みが期待される。今後、漁業生産の観点からも河川生態系保全の観点からも十勝川水系の自然再生産サケ、サクラマス個体群の保全、管理への関心は高まるものと考えられるが、そのためには河川の連続性の維持、回復への配慮にとどまらず、適切な低水路幅の設定や蛇行流路の維持により、河床環境および河道地形を保全するという観点も不可欠であると推察された。

謝 辞

工作物データベースの入手に当たっては北海道環境科学センターの高田雅之博士（現在の所属は法政大学）に便宜を図っていただいた。北海道立総合研究機構さけます・

内水面水産試験場の川村洋司氏からは十勝川水系に生息する魚類やその分布に関する情報を提供いただいた。ここにお礼申し上げる。本研究は平成23年度国土交通省河川砂防技術研究開発公募, 地域課題分野(河川生態)「河川景観ネットワークの連結性と時空間変化システムの脆弱性と頑強性の解明ー」の一部として実施した。

引用文献

- Bjornn TC, Reiser DW. Habitat requirements of salmonids in streams. In: Meehan WR (ed). *Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitat*. American Fisheries Society, Special Publication 19, Bethesda, Maryland. 1991; 83- 138.
- Brannon EL. Mechanisms stabilizing salmonids fry emergence timing. Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) population biology and future management. *Can. Spec. Publ. Fish. and Aquat. Sci.* 1987; 96: 120-124.
- Burgner RL. Life history of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). In: Groot C, Margolis L (eds). *Pacific salmon life histories*, UBC Press, Vancouver. 1991; 1-117.
- Burner CJ. Characteristics of spawning nests of Columbia River salmon. *U.S. Fish and Wildlife Service Fishery Bulletin* 1951; 61:97- 110.
- Craig OE, Saul H, Lucquin A, Nishida Y, Taché K, Clarke L, Thompson A, Altoft DT, Uchiyama J, Ajimoto M, Gibbs K, Isaksson S, Heron CP, Jordan P. Earliest evidence for the use of pottery. *Nature* 2013; 496: 351-354.
- Dahm CN, Vallett HM. Hyporheic zones. In: Hauer FR, Lamberti GA. (eds). *Methods in stream ecology*. Academic Press, San Diego, California. 1996; 107-119.
- Geist DR, Dauble DD. Redd site selection and spawning habitat use by fall chinook salmon: the importance of geomorphic features in large rivers. *Env. Management* 1998; 655-669.
- Godin, JGJ. Temporal aspects of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum) emergence from a simulated gravel red. *Can. J. Zool.* 1980; 58: 735-744.
- 北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会. 四, 十勝・釧路地方「北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史(木村鎌郎編)」北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会, 札幌. 1988 ; 315-351.
- 帰山雅秀, 佐藤愁一, 小林明弘. 十勝川におけるサケ稚魚の成長と食性に関する調査—I. 稚魚の成長と食性に及ぼす融雪増水の影響. 北海道さけ・ますふ化場研究報告1978 ; 32 : 27-41.
- 帰山雅秀. 2-4サケの発育.「最新のサケ学」成山堂書店, 東京. 2002 ; 38-45.
- 小林哲夫. サケ・マス資源動態.「日本サケ・マス増殖史」北海道大学出版会, 札幌. 2009 ; 9-27.
- 国土交通省. 平成14年全国一級河川の水質現況. インターネットウェブよりダウンロード : (http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/05/050708_.html (2003)) (2013. 5.28)
- Leman VN. Spawning sites of chum salmon, *Oncorhynchus keta*: microhydrological regime and variability of progeny in redds (Kamchatka River basin). *Journal of Ichthyology* 1993; 33: 104-117.
- 宮腰靖之, 永田光博, 齊藤誠一. 衛星リモートセンシングにより観測したオホーツク海東部地区の春季の沿岸水温とサケの回帰率との関係. 北海道水産孵化場研究報告 2007 ; 61 : 1-10.
- 宮腰靖之, ト部浩一, 安藤大成, 實吉隼人, 青山智哉, 坂本博幸, 春日井潔, 永田光博. 北海道におけるサケ自然産卵個体群の分布(資料). 北海道水産試験場研究報告 2011 ; 80 : 51-64.
- 宮腰靖之, ト部浩一, 安藤大成. 都市近郊河川で観察されたサケとサクラマスの産卵床密度(短報). 北海道水産試験場研究報告 2012 ; 81 : 141-143.
- 大屋善延. 河川間の鮭遡上形態の類似性について. 水産孵化場試験報告 1954 ; 9 : 113-125.
- 佐野誠三, 小林哲夫. サケ稚魚の生態調査(1) 予報. 水産孵化場試験報告 1952 ; 7 : 1-10.
- Schindler DE, Hilborn R, Chasco B, Boatright CP, Quinn TP, Rogers LA, Webster MS. Population diversity and the portfolio effect in an exploited species. *Nature* 2010; 465: 609-612.
- Smith AK. Development and application of spawning velocity and depth criteria for Oregon salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1973; 102: 312-316.
- 杉若圭一・竹内勝巳・鈴木研一・永田光博・宮本真人・川村洋司. 厚田川におけるサクラマス産卵床の分布と構造. 北海道水産孵化場研究報告 1999 ; 53 : 11-28.
- 鈴木俊哉. 遊楽部川におけるサケの自然産卵環境調査. さけ・ます資源管理センターニュース 1999 ; 4 : 1-4.
- 鈴木俊哉. 自然再生産を利用したサケ資源保全への取り組み. SALMON情報 2008 ; 2 : 3-5.
- Tallman RF. Genetic differentiation among seasonally distinct spawning populations of chum salmon, *Oncorhynchus keta*. *Aquaculture* 1986; 57: 211- 217.
- ト部浩一, 村上泰啓, 中津川誠. サクラマスの産卵環境

特性の評価. 北海道開発土木研究所月報 2004 ; 613 : 32-44.

hyporheic zones. *J. North Am. Benthol. Soc.* 1993; 12: 61-69.

White DS. Perspectives on defining and delineating

付表 親魚の遡上状況と産卵環境の現地調査結果および調査地点の位置情報. サケおよびサクラマスの欄には親魚（産卵後の斃死個体含む）または産卵床が確認された場合にY, されなかった場合にはNと記載している.

| 河川名 | 調査月日 | 緯度 (°) | 経度 (°) | サケ | サクラマス | 産卵環境 |
|-----|-----------|----------|-----------|----|-------|------|
| 利別 | 2011/8/30 | 43.02469 | 143.4192 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.01868 | 143.43835 | N | N | 適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.06776 | 143.46417 | N | N | 適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.09005 | 143.42001 | N | N | 適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.10212 | 143.38508 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.12008 | 143.37461 | N | N | 不適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.12766 | 143.36973 | N | N | 不適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.17705 | 143.36759 | N | N | 最適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.20959 | 143.37168 | N | N | 適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.10482 | 143.46126 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.08056 | 143.48443 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.09581 | 143.50891 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.10242 | 143.50067 | N | N | 適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.11372 | 143.49519 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.12719 | 143.4899 | N | N | 適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.12951 | 143.4717 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.1666 | 143.4232 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.23328 | 143.47925 | N | N | 不適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.21698 | 143.48073 | N | Y | 不適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.18467 | 143.48628 | N | N | 適 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.15905 | 143.53605 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.18419 | 143.58528 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.18516 | 143.58999 | N | N | 可 |
| 利別 | 2011/8/30 | 43.17633 | 143.58868 | N | N | 適 |
| 帶広 | 2011/8/29 | 42.93222 | 143.22901 | N | N | 可 |

付表 つづき

| 河川名 | 調査月日 | 緯度 (°) | 経度 (°) | サケ | サクラマス | 産卵環境 |
|-----|------------|----------|-----------|----|-------|------|
| 帶広 | 2011/8/29 | 42.93144 | 143.20764 | N | N | 可 |
| 帶広 | 2011/8/29 | 42.92343 | 143.19078 | N | N | 不適 |
| 十勝 | 2011/8/29 | 42.92995 | 143.32584 | N | N | 可 |
| 十勝 | 2011/8/29 | 42.94065 | 143.34003 | Y | N | 可 |
| 芽室 | 2011/8/29 | 42.89405 | 142.98585 | N | N | 不適 |
| 札内 | 2011/8/29 | 42.881 | 143.17583 | N | N | 可 |
| 札内 | 2011/8/29 | 42.93089 | 143.24261 | N | N | 適 |
| 札内 | 2011/8/29 | 42.92534 | 143.23089 | N | N | 適 |
| 札内 | 2011/8/29 | 42.79796 | 143.15354 | N | N | 適 |
| 音更 | 2011/8/29 | 42.99297 | 143.21326 | N | N | 最適 |
| 猿別 | 2011/8/31 | 42.70547 | 143.21925 | N | N | 不適 |
| 猿別 | 2011/8/31 | 42.69899 | 143.24881 | N | N | 最適 |
| 猿別 | 2011/8/31 | 42.69454 | 143.27648 | N | N | 最適 |
| 猿別 | 2011/8/31 | 42.78599 | 143.32327 | N | N | 最適 |
| 猿別 | 2011/8/31 | 42.78316 | 143.32646 | N | N | 適 |
| 猿別 | 2011/8/31 | 42.82568 | 143.34926 | N | N | 最適 |
| 猿別 | 2011/8/31 | 42.87164 | 143.34029 | N | N | 最適 |
| 猿別 | 2011/8/30 | 42.92506 | 143.36875 | Y | N | 適 |
| 十勝 | 2011/11/14 | 42.93147 | 143.29351 | N | N | 可 |
| 士幌 | 2011/11/14 | 42.94677 | 143.26796 | N | N | 可 |
| 音更 | 2011/11/15 | 43.1664 | 143.21529 | N | N | 適 |
| 音更 | 2011/11/15 | 43.16275 | 143.21576 | N | N | 適 |
| 音更 | 2011/11/14 | 43.0435 | 143.19507 | N | N | 最適 |
| 音更 | 2011/11/14 | 43.00847 | 143.20054 | N | N | 最適 |
| 音更 | 2011/11/14 | 42.94761 | 143.21187 | N | N | 適 |
| 然別 | 2011/11/14 | 42.9674 | 143.14172 | N | N | 最適 |
| 然別 | 2011/11/14 | 42.95234 | 143.14785 | N | N | 適 |

チヂミコンブの成分調査（資料）

小玉裕幸¹, 福士暁彦², 合田浩朗², 川井唯史³

¹北海道立総合研究機構中央水産試験場,

²北海道立総合研究機構釧路水産試験場,

³北海道立総合研究機構稚内水産試験場

Seasonal variation of various components of *Saccharina cichorioides* Miyabe (Note)

HIROYUKI KODAMA¹, AKIHIKO FUKUSHI², HIROO GOUDA² AND TADASHI KAWAI³

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

²Hokkaido Research Organization, Kushiro Fisheries Research Institute, Kushiro, Hokkaido 085-0024,

³Hokkaido Research Organization, Wakkanai Fisheries Research Institute, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan

キーワード：アルギン酸, チヂミコンブ, 天然, フコース, 養殖, ラミナラン

チヂミコンブ *Saccharina cichorioides* Miyabe は北海道日本海沿岸の石狩湾付近から宗谷地方を経てオホーツク海沿岸の網走, さらに知床半島から根室に至る沿岸に分布し, 長さが1mほどに成長する2年生の褐藻類である (神田, 1946; 川嶋, 1998a, 1998b)。また, リシリコンブ *Saccharina ochotensis* に比べて葉体が小さく扱いやすいことから, 漁業者の減少や高齢化が進行している地域における養殖対象種として適しているといえる。

現在, チヂミコンブは主に天然の拾いコンブに依存して生産されており, 松前漬やおぼろこんぶの加工原料として道内に出荷されている。しかし, 宗谷漁協における生産量は1998年の81.9トンから2009年では4.4トンと大きく低下し, 問題となっている。このため, 漁業現場からは, チヂミコンブの安定生産に向けた養殖技術の開発が強く望まれている。

ところで, チヂミコンブは, 褐藻類に含まれる硫酸多糖の一種で抗血液凝固活性や抗腫瘍活性等を有する (山田, 2000) フコイダンを多く含むといわれている。しかし, チヂミコンブの成分含量に関しては, フコイダンを含めてこれまで詳細に調べた報告はない。そこで著者らは, チヂミコンブの機能性成分等の含量を明らかとし, その付加価値向上を図るとともに, 安定生産の一助とすることを目的として, 北海道北部沿岸で採取した天然及び養殖チヂミコンブの成分調査を行った。その結果, フコイダンの主要構成成分であるフコース, アルギン酸及びマンニトール等の

含量について若干の知見を得たので報告する。

試料及び方法

表1に, 本調査に用いたチヂミコンブの採取場所と時期を示した。天然チヂミコンブの試料として, 2008~2010年に稚内市宗谷 (北緯45°30' 04", 東經141°57' 55") の定点で月別に採取した。また, 養殖チヂミコンブの試料として, 利尻富士町鬼脇の漁業者の養殖施設にて2009~2010年に実施した2年養殖及び促成(1年)養殖試験で生育したものを月別に採取した。

チヂミコンブの分析にはそれぞれ葉状部を用いた。各試料は50°Cで乾燥後, 分析用粉碎器 (A10, Janke & Kunkel社) により粉末化し, さらに60メッシュ (250μm) 篩に通して, たんぱく質, 脂質, 灰分, アルギン酸, マンニト

表1 成分調査に用いたチヂミコンブ試料

| 天然, 養殖 | 産地 | 採取年月 |
|----------|----------|------------|
| 天然(2年) | 稚内市宗谷 | 2008年4~12月 |
| " | " | 2009年3~12月 |
| " | " | 2010年3~11月 |
| 2年養殖 | 利尻富士町鬼脇* | 2009年4~8月 |
| 促成(1年)養殖 | 利尻富士町鬼脇* | 2009年4~8月 |
| " | " | 2010年4~9月 |

* 利尻富士町鬼脇の漁業者のコンブ養殖施設

表2 2008~2010年に採取した天然チヂミコンブの月別成分含量

| ・2008年 | | (g/100g乾物) | | | | | | | | | |
|--------|---|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 成分 | | 採取月 | | | | | | | | | |
| | | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| たんぱく質 | — | 6.0 | 3.9 | 4.5 | 4.4 | 4.8 | 3.6 | 3.6 | 3.1 | 3.2 | |
| 脂質 | — | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 2.3 | 2.5 | 2.6 | |
| 灰分 | — | 25.4 | 28.1 | 25.5 | 21.7 | 22.3 | 13.5 | 15.4 | 16.8 | 19.8 | |
| アルギン酸 | — | 34.7 | 30.7 | 31.6 | 29.7 | 26.5 | 22.0 | 19.7 | 20.8 | 22.2 | |
| マンニトール | — | 24.7 | 22.9 | 24.0 | 23.1 | 27.3 | 17.8 | 17.4 | 10.8 | 18.1 | |
| 粗纖維 | — | 5.4 | 5.9 | 5.9 | 5.0 | 4.6 | 3.1 | 3.3 | 3.6 | 3.9 | |
| フコース | — | 2.4 | 3.2 | 3.1 | 3.0 | 2.7 | 3.1 | 3.3 | 3.4 | 2.7 | |

| ・2009年 | | (g/100g乾物) | | | | | | | | | |
|--------|------|------------|------|----|------|----|------|----|-----|-----|------|
| 成分 | | 採取月 | | | | | | | | | |
| | | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| たんぱく質 | 9.7 | 6.0 | 3.9 | — | 4.3 | — | 3.6 | — | — | — | 3.6 |
| 脂質 | 1.5 | 1.1 | 1.0 | — | 1.0 | — | 0.9 | — | — | — | 3.5 |
| 灰分 | 30.4 | 32.2 | 30.4 | — | 16.7 | — | 15.7 | — | — | — | 20.6 |
| アルギン酸 | 29.5 | 34.3 | 35.6 | — | 25.0 | — | 26.5 | — | — | — | 26.8 |
| マンニトール | 14.3 | 17.6 | 19.1 | — | 20.6 | — | 22.4 | — | — | — | 14.5 |
| 粗纖維 | 4.0 | 5.5 | 5.3 | — | 4.1 | — | 3.7 | — | — | — | 3.5 |
| フコース | 2.3 | 2.5 | 2.5 | — | 2.2 | — | 2.3 | — | — | — | 3.1 |

| ・2010年 | | (g/100g乾物) | | | | | | | | | |
|--------|------|------------|------|------|----|------|------|------|------|-----|-----|
| 成分 | | 採取月 | | | | | | | | | |
| | | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| たんぱく質 | 9.3 | 8.6 | 6.0 | 4.9 | — | 4.2 | 3.3 | 4.0 | 4.7 | — | |
| 脂質 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 1.2 | — | 1.3 | 0.9 | 1.0 | 2.2 | — | |
| 灰分 | 33.9 | 30.9 | 28.6 | 20.3 | — | 14.7 | 14.1 | 16.9 | 23.3 | — | |
| アルギン酸 | 35.7 | 32.7 | 36.7 | 29.2 | — | 24.7 | 26.2 | 24.4 | 25.3 | — | |
| マンニトール | 12.4 | 18.7 | 16.3 | 24.9 | — | 17.0 | 16.5 | 21.7 | 20.2 | — | |
| 粗纖維 | 5.7 | 5.3 | 5.7 | 5.1 | — | 4.0 | 3.8 | 4.1 | 4.5 | — | |
| フコース | 2.4 | 1.9 | 3.3 | 2.3 | — | 2.6 | 2.5 | 3.1 | 3.4 | — | |

— : 試料採取なし

ル、粗纖維及びフコースの含量測定に供した。たんぱく質は、ケルダール法により定量した。脂質は、ソックスレー抽出器によりエーテル抽出を行って定量した。灰分は、550°Cで乾式灰化後の残渣量から定量した。アルギン酸は、1%炭酸ナトリウム溶液で抽出後、カルバゾール硫酸法の改良法であるGalambos法（瀬野ら、1972）により比色定量した。マンニトールは、Cameronら（1948）に準じたLarsenの方法（1978）により定量した。粗纖維は、1.25%硫酸及び1.25%水酸化ナトリウム溶液で煮沸処理後の不

溶性残渣量から算出した。フコースは、50mM塩化カルシウム溶液で抽出後、2倍量のエタノールを添加し、生成した沈殿を蒸留水に溶解し、Gibbonsの方法（1967）により定量した。なお、各成分含量とも、試料毎に105°C常圧乾燥法で測定した水分を用いて無水物換算値で算出した。

結果及び考察

天然チヂミコンブの成分含量

表2に2008~2010年に採取した天然チヂミコンブの月別

成分含量を示した。たんぱく質含量は3.1~9.7g/100gで、3~4月が高く、以降7月にかけて低下した。脂質含量は0.7~3.5g/100gで、11~12月でやや高かった。灰分は13.5~33.9g/100gで、若干の年変動はあるが、3~5月が高く、以降9月にかけて大きく低下した。アルギン酸含量は19.7~36.7g/100gで、若干の年変動はあるが、ほぼ年間を通して測定した成分中で最大であった。時期別では3~5月が高く、以降10月にかけて低下した。マンニトール含量は10.8~27.3g/100gで、若干の年変動がみられたが、6~9月に最も高くなった。粗纖維含量は3.1~5.9g/100gで、3~6月でやや高かった。フコース含量は1.9~3.4g/100gで、採取月による変動は小さかった。

養殖チヂミコンブの成分含量

1.2年養殖チヂミコンブ

表3に2009年4~8月に採取した2年養殖チヂミコンブの月別成分含量を示した。たんぱく質含量は5.3~13.5g/100g、脂質含量は1.3~1.6g/100g、灰分は11.2~26.1g/100g、アルギン酸含量は18.5~27.2g/100g、マンニトール含量は11.5~22.6g/100g、粗纖維含量は2.7~4.4g/100g、フコース含量は2.3~3.3g/100gであった。4月から8月にかけて、たんぱく質、灰分、アルギン酸及びマンニトール含量は低下したが、脂質、粗纖維及びフコース含量は変動が小さかった。また、アルギン酸含量は各月とも測定した成分中で最大であった。

2.促成養殖チヂミコンブ

表4に2009~2010年に採取した促成養殖チヂミコンブの月別成分含量を示した。たんぱく質含量は5.2~16.3g/100gで、4月から8月にかけて低下した。脂質含量は1.0~3.6g/100gで、2009年の4~5月でやや高かったものの、その他の時期では大きな変動はなかった。灰分は22.7~44.5g/100gで、6月から8月にかけて大きく低下した。アルギン酸含量は24.0~30.3g/100gで、各年とも採取月による大きな変動

表3 2009年に採取した2年養殖チヂミコンブの月別成分含量

| 成分 | (g/100g乾物) | | | | |
|--------|------------|------|------|------|------|
| | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 |
| たんぱく質 | 13.5 | 11.9 | 8.7 | 6.7 | 5.3 |
| 脂質 | 1.3 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 1.6 |
| 灰分 | 25.0 | 26.1 | 21.1 | 13.3 | 11.2 |
| アルギン酸 | 27.2 | 27.0 | 26.4 | 21.7 | 18.5 |
| マンニトール | 22.6 | 19.5 | 22.2 | 15.9 | 11.5 |
| 粗纖維 | 4.0 | 4.4 | 4.3 | 3.0 | 2.7 |
| フコース | 2.3 | 2.8 | 3.3 | 2.7 | 3.0 |

はなかった。マンニトール含量は7.1~26.6g/100gで、6月から8月にかけて著しく高くなかった。粗纖維含量は4.4~7.0g/100gで、採取月による大きな変動はなかった。フコース含量は1.0~3.2g/100gで、4月から8月にかけて高くなかった。

これらの結果から、チヂミコンブの成分含量について、天然及び養殖ともほとんどの時期でアルギン酸含量が最も高く、天然で20~37g/100g、2年養殖で19~27g/100g、促成養殖で24~30g/100gと、天然と養殖の間で大きな差はみられなかった。また、夏季に採取されるチヂミコンブには天然及び養殖とも2~3g/100gのフコースが含まれており、この値は北海道南部沿岸に分布するガゴメコンブ *Saccharina sculpera*のフコース含量（福士ら、2009）と比べて同等かそれ以上である可能性が示唆された。

夏季に急増する成分について

2008~2009年に採取したチヂミコンブの成分調査では、天然及び養殖ともに、春季から夏季にかけて灰分が大きく低下したが、その低下ほど他成分の含量は上昇しなかった。マコンブやナガコンブの時期別成分変化においては、春季から夏季にかけて灰分が低下し、併行してマンニトール含量が同程度上昇する傾向がある（例えば、船岡ら、1972；

表4 2009~2010年に採取した促成（1年）養殖チヂミコンブの月別成分含量

| 成分 | (g/100g乾物) | | | | | |
|--------|------------|------|------|----|------|----|
| | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
| たんぱく質 | 15.6 | 11.8 | 7.5 | — | 5.2 | — |
| 脂質 | 2.0 | 3.6 | 1.1 | — | 1.0 | — |
| 灰分 | 44.5 | 44.5 | 42.4 | — | 23.2 | — |
| アルギン酸 | 24.3 | 27.8 | 25.3 | — | 24.0 | — |
| マンニトール | 9.5 | 7.1 | 11.5 | — | 26.6 | — |
| 粗纖維 | 4.4 | 5.7 | 7.0 | — | 5.4 | — |
| フコース | 1.0 | 1.5 | 2.0 | — | 2.2 | — |

—：試料採取なし

| 成分 | (g/100g乾物) | | | | | |
|--------|------------|----|------|----|------|------|
| | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
| たんぱく質 | 16.3 | — | 9.6 | — | 8.2 | 9.0 |
| 脂質 | 1.2 | — | 0.9 | — | 0.8 | 1.1 |
| 灰分 | 40.1 | — | 40.1 | — | 22.7 | 25.3 |
| アルギン酸 | 25.5 | — | 30.3 | — | 24.9 | 28.0 |
| マンニトール | 10.1 | — | 8.4 | — | 22.2 | 20.6 |
| 粗纖維 | 5.5 | — | 6.8 | — | 5.8 | 5.9 |
| フコース | 1.6 | — | 2.6 | — | 3.2 | 2.7 |

—：試料採取なし

福士, 1988; 飯田ら, 2000)。一方, チヂミコンブではそのような傾向はみられず, 2年養殖では灰分の低下とともにマンニトール含量も低下した。このことから, チヂミコンブには, 当初は調査の対象としなかった何らかの成分が存在すると推察された。そこで, 2010年に採取した天然及び促成養殖チヂミコンブについて, 西出らの方法(1994)により, 褐藻類に含まれる貯蔵多糖であるラミナランの含量を測定した。図1にその結果を, 灰分及びマンニトール含量とともに示した。チヂミコンブのラミナラン含量は天然(3~11月)で0.2~19.8g/100g, 促成養殖(4~9月)で0.04~9.4g/100gで, いずれも灰分が低下する6月から8月にかけて高くなった。また, 2010年の天然では6月から8月にかけてマンニトール含量も低下しており, ラミナラン含量の上昇が顕著であった。Nishizawa (1940) は, 褐藻類のアラメ *Eisenia bicyclis*について, ラミナランとマンニトールの季節変化を検討し, 6月から8月にかけ, 光合成産物であるマンニトールからのラミナランの生合成が盛んに行われることを明らかにしている。したがって, 夏季のチヂミコンブにおいてもアラメと同様, ラミナランが生合成されていることが推察された。

本調査における, ラミナランを含めた8種の成分含量の合計は, 促成養殖では各月とも概ね100%に近い値であったが, 天然では6~11月で85~95%程度にとどまった。この含量の不足分が生じた理由について, マンニトールから

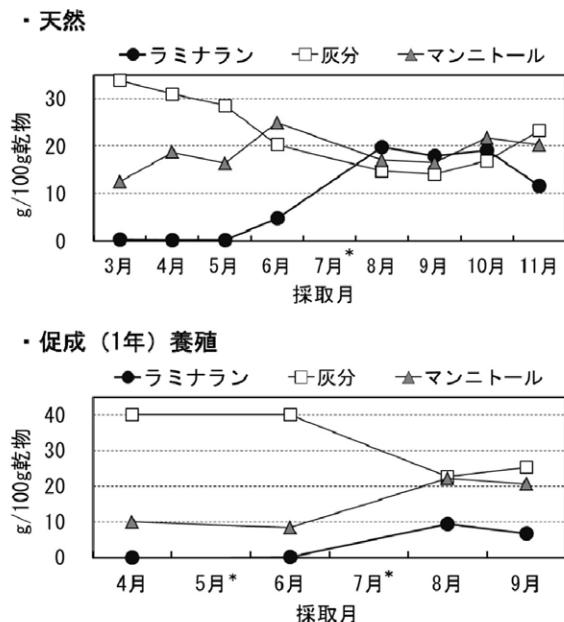


図1 2010年に採取したチヂミコンブのラミナラン含量, 灰分及びマンニトール含量変化

* 天然の7月, 促成(1年)養殖の5月及び7月は試料採取なし

ラミナランが合成される際に生じる副産物や, ラミナランの代謝産物等による可能性が推察されたが, 詳細は不明である。

チヂミコンブは, 養殖技術が確立し, 安定生産が見込めるようになることで, 道北地域の新たな特産品として定着することが期待され, さらに, その栄養的価値の立証により, 道北地方の地域ブランドづくりに繋がるものと思われる。

謝 辞

分析試料の採取に関して御理解と御協力を賜った宗谷漁業協同組合, 利尻漁業協同組合の各位に深謝します。

引用文献

- 神田千代一. 北海道沿岸産コンブ属植物の発生学的研究. 函館水産専門学校水産科学研究所報告 1946; 1: 1-44.
- 川嶋昭二. 日本産コンブ類の分類と分布(68)コンブ科—コンブ属(47)—チヂミコンブ(1). 海洋と生物 1998a; 116: 217-221.
- 川嶋昭二. 日本産コンブ類の分類と分布(69)コンブ科—コンブ属(48)—チヂミコンブ(2). 海洋と生物 1998b; 117: 294-299.
- 山田信夫. 海藻利用の科学. 成山堂書店. 東京. 2000: 130-134.
- 瀬野信子, 河合由美子, 阿武喜美子. 3. 定量実験法. 化学の領域増刊96号 ムコ多糖実験法. 南光堂. 東京. 1972: 85-125.
- Cameron MC, Ross AG, Percival EGV. Methods for the routine estimation of mannitol, alginic acid, and combined fucose in seaweeds. *J.Soc.Chem.* 1948; 67: 161-164.
- Larsen B. Brown seaweeds: analysis of ash, fiber, iodine and mannitol. In: Hellebust JA, Craigie JS (eds). *Handbook of Phycological Methods*. Cambridge Univ. Press, London 1978; 181-188.
- Gibbons MN. The determination of methylpentoses *Analyst* 1967; 80: 268.
- 福士暁彦, 小玉裕幸, 川井唯史, 合田浩朗. チヂミコンブ養殖技術開発試験. 平成20年度中央水産試験場事業報告書. 余市. 2009; 159-160.
- 船岡輝幸, 坂本正勝. コンブの利用加工試験 第1報 1年マコンブと2年マコンブの相違について. 北水試月報 1972; 29(9): 23-29.
- 福士暁彦. 養殖マコンブの各部位における成分の季節変化. 北海道立水産試験場研究報告 1988; 31: 55-61.

飯田訓之, 船岡輝幸, 釧路東部水産技術普及指導所. 浜
中町アゼチ岬前浜で採取したナガコンブの成分調査.
平成11年度釧路水産試験場事業報告書. 釧路. 2000 :
127.

西出英一, 吉原正美, 加藤正, 箱根保, 鎌田裕, 安斎寛,
内田直行. DEAE-セファデックスカラムクロマト
グラフィーによるラミナランとフコイダンの分別.

日本大学農獸医学部学術研究報告. 1994 ; 51 : 103-
107.

Nishizawa K. Physiological studies on laminarin and
mannitol of brown algae. II .The seasonal variation of
their content in *Eisenia bicyclis*. *Sci.Rept.Tokyo
Bunrika Daigaku*,SECTION B 1940;Nos,79-80:1-9,10-
15.

北海道北部沿岸域におけるなまこけた網の漁獲効率の推定

佐野 稔, 前田圭司, 高柳志朗, 和田雅昭,
畠中勝守, 菊池 肇, 宮下和士

北海道北部沿岸域において、マナマコに対するなまこけた網の漁獲効率を推定した。漁船の操業日誌とGPSデータから面積密度法により、グリッド別に漁期初めと漁期終わりのCPUE(kg/m^2)から資源量指指数を求め、この差を漁期中の延べ漁獲量で除して漁獲効率を算出した。このグリッド別の漁獲効率のばらつきは、初期の資源量指指数に対する漁獲量の割合が大きくなれば小さくなつた。漁獲効率の分布図と海底地形の空間情報と重ね合わせて、回帰木により精度の高い漁獲効率を抽出した。漁獲効率は海底地形別で0.09～0.53、平均で0.29となつた。本手法では、海底地形を考慮してなまこけた網の漁獲効率を推定することが可能である。

A493 北水試研報 84 1-9 2013

北海道オホーツク海側の河川に遡上したサケの魚体サイズの特徴

宮腰靖之, 安藤大成, 藤原 真,
虎尾 充, 隼野寛史, 卜部浩一

2010～2012年に北海道オホーツク海側の7河川に遡上したサケの尾叉長、体重および年齢を調べた。サケの魚体サイズは北部の河川ほど大きい傾向がみられた。また捕獲旬によっても魚体サイズは異なり、早い時期に捕獲されたサケほど大きく、遅い時期に捕獲されたサケほど小さい河川が多かった。捕獲時期を揃えて10月に捕獲されたサケのサイズを比較すると差は小さくなつたものの、河川差は有意であった。ただし、2012年はいずれの河川のサケも小型であり、年齢別、雌雄別に比較すると河川差が見られない場合もあった。サケの魚体サイズの河川間や年による違いを比較する際には、年齢や捕獲時期を考慮する必要があるものと考えられた。

A495 北水試研報 84 21-29 2013

異なる保存処理およびその後のホルマリン・エタノール固定がサケ幼稚魚の魚体サイズに及ぼす影響

春日井 潔

サケ *Oncorhynchus keta* 幼稚魚の保存処理（冷凍・解凍、冷蔵、冷蔵+冷凍・解凍）、およびその後のホルマリン・エタノール固定が体サイズ（体長、体重）に与える影響を、異なる3サイズ群で検討した。体サイズは、保存処理後では冷蔵した場合に増加した標本が見られたが、大部分の標本では減少した。固定により体サイズはほとんどの標本が保存後から減少した。生時と比較した固定後の体サイズの減少は冷凍を経た場合に冷蔵後の固定、もしくは固定のみより大きかった。保存または固定による体サイズの変化の程度は魚体サイズにより異なつた。

A494 北水試研報 84 11-19 2013

鵡川沿岸におけるシシャモ仔稚魚の分布と魚体の生化学的性状

虎尾 充, 工藤 智

2004～2006年の5～7月に鵡川河口沿岸においてソリネット底層曳きでシシャモ仔稚魚の採集を行い、分布特性と生化学指標の変化を調べた。シシャモ仔稚魚の出現時期は5月中旬ないし6月中旬で、水温12～14°Cで最も高いCPUEを示した。採集されたシシャモの全長は9.3～42.4mmの範囲にあり、体長組成は単峰型を示した。RNA/DNA比は全長15～20mmで4～12と比較的高い値を示したが全長25mm程度にかけて急激に低下し、全長30mm以上で2～6の範囲で安定した。TG/PL比は0.14～0.85の範囲で、3年間とも全長とともに直線的に増加する傾向があった。生化学指標は同一年級内でも一定ではなく、サイズクラスによって変動した。

A496 北水試研報 84 31-38 2013

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（資料）

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

後志管内の主要河川において、サクラマス自然再生産個体群の現状に関する調査を行った。自然再生産個体群が確認されなかつたほぼ全ての地点で工作物による遡上障害が確認された。また、自然再生産が確認された地点におけるサクラマス当歳魚の生息密度について放流している河川としていない河川で比較すると、放流河川の方が低いことも明らかになった。以上のことから、自然再生産資源の向上には遡上障害の解消に加え、放流河川で自然再生産個体群の水準が低下する原因の究明、さらには自然再生産資源の造成に有効な放流手法の開発が重要であると考えられた。

A497 北水試研報 84 39-45 2013

チヂミコンブの成分調査（資料）

小玉裕幸, 福士暁彦, 合田浩朗, 川井唯史

北海道北部沿岸で採取した天然及び養殖（2年及び促成）チヂミコンブについて、各種成分含量の時期別変化を調査した。アルギン酸は天然及び養殖ともほぼ年間を通して主要成分で、その含量は19~37g/100gであった。たんぱく質及び粗纖維含量は春季に、脂質含量は冬季に若干高い傾向であったが、顕著な時期別変化はみられなかった。フコース含量は1~3g/100gで、天然及び2年養殖は大きな変化はなかったが、促成養殖では6月以降上昇し、8月に最大となった。また、天然及び養殖とも春季から夏季にかけて灰分が大きく低下し、貯蔵多糖であるラミナランの含量が上昇した。

A499 北水試研報 84 57-61 2013

十勝川水系におけるサケ・サクラマスの産卵環境評価（資料）

ト部浩一, 三島啓雄, 宮腰靖之

十勝川水系において、サケとサクラマスの産卵環境評価を行った。サケについては産卵域までの遡上環境は比較的良好な状態で維持されており、産卵に適した河床礫も広く分布していることから、十勝川水系内における自然再生産のポテンシャルは高いと推察された。サクラマスについては、遡上障害の解消が必要な区間が相当程度認められたが、産卵に適した礫も広く分布していること、また水系規模が非常に広大であることから、サケ同様に自然再生産のポテンシャルは高いと推察され、産卵遡上障害の解消が進めば個体群の増加が期待される。サケの産卵床内水温は産卵期群によって異なり、河床間隙中の水温特性には河道地形（砂礫堆）が影響していることが示唆された。

A498 北水試研報 84 47-56 2013

第84号の編集にあたり、下記の方に原稿の校閲でご尽力いただきました。

ここに記してお礼申し上げます（敬称略）

今田和史

北海道水産試験場研究報告 第84号

2013年9月24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
