

北海道水産試験場研究報告

第 82 号

SCIENTIFIC REPORT OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES No. 82

北海道立総合研究機構水産研究本部

北海道余市町

2012年9月

Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department

Yoichi, Hokkaido, Japan

September, 2012

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

網走市鱒浦1-1-1

(Masuura, Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan)

稚内水産試験場

(Wakkanai Fisheries Research Institute)

097-0001

稚内市末広4-5-15

(Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)

栽培水産試験場

(Mariculture Fisheries Research Institute)

051-0013

室蘭市舟見町1-156-3

(Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan)

さけます・内水面水産試験場

(Salmon and Freshwater Fisheries
Research Institute)

061-1433

恵庭市北柏木町3-373

(Kitakashiwagi-cho, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan)

北海道水産試験場研究報告

第82号

目 次

星野 昇，山口浩志，三原行雄，丸山秀佳

北海道日本海産アカガレイ，ヒレグロ，ウロコメガレイの年齢決定に関する
耳石の表面観察法と薄片観察法の比較 1

星野 昇

北海道日本海南部海域におけるベニズワイのDeLury法に基づく資源評価 9

宮腰靖之，安藤大成，藤原 真，隼野寛史，永田光博

網走川におけるサケ稚魚の降河移動19

藤原 真，實吉隼人，鈴木邦夫

サケ稚魚長距離輸送時の経時的な水質変化27

虎尾 充

ワカサギ孵化仔魚の絶食耐性および網走湖流入河川からの流下生態33

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（資料）41

（2012年9月）

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES

No. 82

CONTENTS

**NOBORU HOSHINO, HIROSHI YAMAGUCHI, YUKIO MIHARA AND
SHUKA MARUYAMA**

Comparison between surface reading and cross-section methods for age determination in the flathead flounder, Korean flounder, and scale-eye plaice in the Sea of Japan, off Hokkaido..... 1

NOBORU HOSHINO

Stock evaluation using DeLury's method for the red snow crab
in the Sea of Japan, off Southern Hokkaido 9

**YASUYUKI MIYAKOSHI, DAISEI ANDO, MAKOTO FUJIWARA,
HIROFUMI HAYANO, AND MITSUHIRO NAGATA**

Downstream migration of chum salmon released in the Abashiri River19

MAKOTO FUJIWARA, HAYATO SANEYOSHI AND KUNIO SUZUKI

Changes in water quality during long-distance transportation of chum salmon juveniles27

MITSURU TORAO

Starvation limits of newly hatched larvae of wakasagi, *Hypomesus nipponensis*,
and their downstream migration to Lake Abashiri33

KAZUTAKA SHIMODA AND HILOSHI KAWAMURA

Fish density in Dodoromai River, a tributary of Abashiri River,
before and after construction of fish ways (Note)41

(September, 2012)

北海道日本海産アカガレイ、ヒレグロ、ウロコメガレイの年齢決定に関する耳石の表面観察法と薄片観察法の比較

星野 昇*, 山口浩志, 三原行雄, 丸山秀佳

*北海道立総合研究機構中央水産試験場

Comparison between surface reading and cross-section methods for age determination in the flathead flounder, Korean flounder, and scale-eye plaice in the Sea of Japan, off Hokkaido

NOBORU HOSHINO*, HIROSHI YAMAGUCHI, YUKIO MIHARA AND SHUKA MARUYAMA

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

To establish an appropriate method for age determination of the flathead flounder (*Hippoglossoides dubius*), Korean flounder (*Glyptocephalus stelleri*), and scale-eye plaice (*Acanthopsetta nadeshnyi*) collected from the Sea of Japan, off Hokkaido, we compared the number of translucent zones on sagittal otoliths that were counted using the cross-section and surface reading methods. The translucent zones were counted by 4 researchers with experience in the observation of flatfish otoliths. For all species, we counted 1 or 2 more translucent zones by using the cross-section method than by using the surface reading method, on an average. The translucent zones formed in the otoliths of old specimens were counted more precisely by using the cross-section method than the surface method. Our results suggested that the cross-section method is more appropriate for age determination of these species. Conversely, the consistency of the count among the readers for the cross-section method was lower than that for the surface reading method. Therefore, training for age-reading is required for precise determination of age.

キーワード: age-determination, アカガレイ, ウロコメガレイ, 耳石, 日本海, ヒレグロ

北海道日本海に生息するカレイ類のなかで、アカガレイ (*Hippoglossoides dubius*)、ヒレグロ (*Glyptocephalus stelleri*)、ウロコメガレイ (*Acanthopsetta nadeshnyi*) は沖合の深みに分布している。宗谷から後志総合振興局管内の沿岸漁業で漁獲されるアカガレイ、ヒレグロの漁獲量はそれぞれ788トン、145トン (2010年値: 北海道水産現勢の基資料より)、北海道日本海の沖合底曳網漁業で漁獲されるアカガレイ、ヒレグロはそれぞれ144トン、171トン (2010年値: 水産庁北海道漁業調整事務所・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, 2011) であり、沿岸漁業、沖底漁業ともに主要な漁業資源となっている。また、ウロコメガレイについては現在ほとんど漁獲対象となっていないが、すり身原魚として活用可能であることが報告されており (蛸谷ら, 2012)、今後には有用資源となる可能性がある。

北海道日本海においては、これら3種についての漁獲

物モニタリングや資源評価などは行われていないが、今後には年齢査定や Age-Length Key の推定などが進めば、年齢-成長・成熟関係など、資源の持続的利用を図るうえで重要な情報を得ることが可能となる。

ウロコメガレイについては他海域を含め年齢査定が行われた知見はないが、アカガレイ、ヒレグロについては他海域で耳石の表面観察法 (Surface reading method) に基づき年齢査定が行われてきた (倉長, 2003; 柳下ら, 2006; 板谷ら, 2009; 米田ら, 2010) 一方、近年多くの魚種で耳石の横断薄片観察法 (Cross-section method) に基づく年齢査定が行われ、表面観察法では確認できない耳石縁辺部 (高齢部分) の輪紋が計数されることで、表面観察法に基づく年齢査定結果が過少評価となる傾向が多いことが明らかとなってきた (例えば Peltonen *et al.*, 2002; Stransky *et al.*, 2005)。カレイ類でも Yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*) (Dwyer *et al.*, 2003)、マコガレイ

(*Pseudopleuronectes yokohamae*) (Lee *et al.*, 2009) やサメガレイ (*Clidoderma asperrimum*) (稲川ら, 2011) などと同様の結果が得られている。沖合の深みに生息するアカガレイ, ヒレグロ, ウロコメガレイについては, 沿岸性のマガレイ (*Pleuronectes herzensteini*) などと比べると高齢魚の出現頻度が高いことが想定される (Cailliet *et al.*, 2001) ことから, 表面観察法では妥当な年齢を決定できない可能性がある。しかし, これら 3 種について横断薄片観察法による年齢査定方法は確立されていない。

本研究は, これら 3 種のカレイ類について年齢査定法の確立に不可欠な基礎的知見を得ることを目的として, 表面観察法と薄片観察法の両方法に基づき複数人による耳石輪紋の計数を行い, それぞれの種について, 計数結果に計数者間・観察方法間でどのような差異が生じるのかを検討した。また, 今後 Age-Length Key の推定や成長特性の研究を行う際の事前情報を得ることを目的として, それぞれの種の体長に対する透明帯数のばらつきの程度を検討した。

試料及び方法

標本採集 標本は2009年と2010年に留萌振興局沖合の水深250~270mの海域において, 北海道立水産試験場 (現北海道立総合研究機構水産研究本部) のトロール調査で採集されたものを供試した (Table 1)。いずれの種についても一回の曳網で得られた全採集物を標本とした。冷凍保存した標本を解凍し, 標準体長 (S.L.: 以下, 体長とする) を測定した後, 耳石 (扁平石) を採取してエタノール中に保存した。

耳石標本の作成 カレイ類の耳石は無眼側と有眼側で形状異なるが, 無眼側の耳石の方が中心から同心円状に輪紋が形成される傾向があり観察にも供しやすいことから, 一般的には無眼側の耳石が用いられている。そこで本研究でも耳石は無眼側のものを用いることとした。

まず, 表面を耐水ペーパー (#1000) で研磨した後, 50%グリセリン水溶液に浸漬した状態で, 実体顕微鏡下で CCD カメラによりデジタル画像として撮影し, これを表面観察に用いた。次に, その耳石を中心を通過する横断面を含んだ薄片 (Fig. 1) に加工した。加工方法は概ね高嶋 (2010) に準じた。切り抜いた薄片を約0.2mmの厚

さまで耐水ペーパー (#600) で研磨した状態で, 実体顕微鏡下で CCD カメラによりデジタル画像として撮影し, これを薄片観察に用いた。なお, 耳石はすべて黒い背景下で側射照射を行って撮影し, 画像はいずれも JPEG 形式 (1280×960pixel) として扱った。

これによって得られた耳石画像から, 種ごとに30個体分 (表面と薄片の計120画像) を無作為に選んだ。それらの画像を, 4名の, いずれも北海道周辺のカレイ類数種について表面観察法による年齢査定の実験を持つ計測者がパソコンモニタ上で観察し, これまでの読輪経験に基づいて「年輪」として計数すべきと判断する透明帯を計数した。4名の計測者は, 体サイズや性別などの個体情報を知らされていない状態で読輪を行った。

薄片観察法と表面観察法による読輪結果の差異 薄片観察法と表面観察法による計数結果の差異は, 種, 計測者ごとに Wilcoxon 検定により比較した。

表面観察法によって計数された透明帯の間に, 薄片観察法では何本の透明帯が観察されるか調べた。表面観察法で透明帯数が「*i* 輪以上」と計数された個体について, 「*i*-1輪目」と計数された透明帯の外側から「*i* 輪目」を含む範囲内に, 薄片観察法でも表面観察法で「*i* 輪目」と計数した透明帯と同一の輪のみが計数された場合は 1, くわえて表面観察法では計数されていない透明帯が *k* 輪あった場合は 1 + *k*, 表面観察法で「*i* 輪目」と計数した透明帯が計数されなかった場合は 0 として, その頻度分布を求めた。

計測者間の一致性 計測者間の一致性については, 読輪結果の比較研究で広く使われている (Campana, 2001) 指標である CV 値 (Chang, 1982) を次のように用いた。すなわち,

$$CV = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j} \times 100 \right]$$

ここで, *N* は標本数, *R* は計測者の数 (= 4), *X_{ij}* は計測者 *i* による *j* 番目の標本の計数値, *X_j* は *R* 人の計測者による標本 *j* の平均計数値を示す。計測者間の計数結果が一致するほど CV 値は 0 に近くなる。なお, 各計測者による読み始めの透明帯を, 1 名の計測者 (以降, 計測者 A

Table1 Information of samples using otolith analysis in this study

	Date	Location	Depth(m)	Total samples	S.L.mm(min-max)
<i>H. dubius</i>	21-Jul-2009	43°57'N 141°10'E	260	55	254(134-400)
<i>G. stelleri</i>	14-Sep-2010	43°57'N 141°9.5'E	269	47	196(90-351)
<i>A. nadeshnyi</i>	14-Sep-2010	43°50'N 141°8.3'E	257	63	184(89-333)

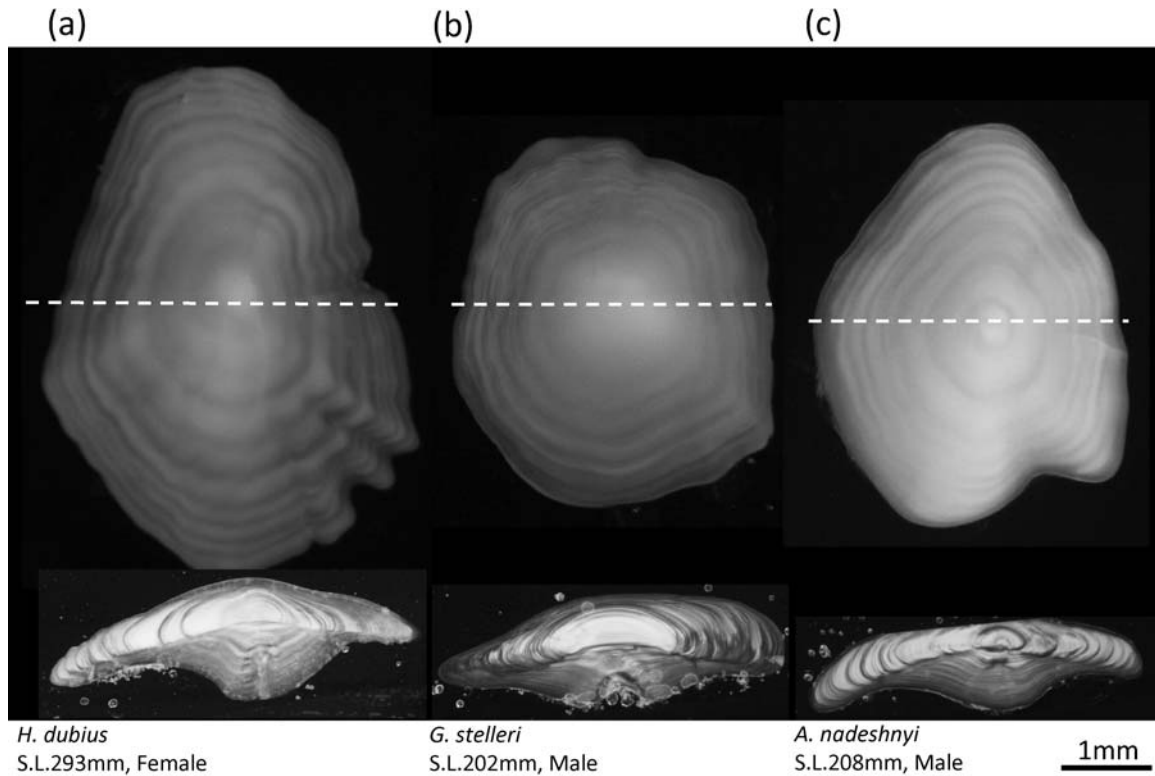


Fig. 1 Photographs of (a) *Hippoglossoides dubius*, (b) *Glyptocephalus stelleri*, and (c) *Acanthopsetta nadeshnyi* otoliths. Each broken line shows a cutting line.

と記す) による読み始めの透明帯に合わせるよう調整したうえで解析した。すなわち A 以外の計測者が A の 1 輪目より耳石中心側に 1 輪目を設定している場合は総計数値から 1 を減じ、A による 1 輪目より縁辺側に 1 輪目を設定している場合は総計数値に 1 を加えた。これにより、実際の年齢査定においては事前に定めることが必要となる読み始めの位置についての計測者間の不一致は無いことになる。また、計数値の差の有意性については種、観察方法ごとに Kruskal Wallis 検定を行った。

透明帯の形成位置に応じて計数者間の一致性がどのように変化するかを検討した。1 名の計測者 (以降、計測者 A と記す) により計数された各透明帯の外縁までに、その透明帯を含め他の 3 名が何本の透明帯を計数したか、その一致性を CV 値で示した。計測者 A が i 輪目とみなした透明帯までに他の 3 名とも i 本と計数していれば CV は 0 となり、4 名の計数値がばらつくほど CV は大きくなる。読み始めの位置を計測者 A に合わせていることから、1 輪目の CV 値はそれぞれの種、観察方法でいずれも 0 となる。解析は 3 輪目以降から行い、12 輪目以降は対象となる個体数が少ないことから、12 輪以上と計数された全個体の平均値で示した。

耳石の伸長方向 耳石の伸長方向の特性を把握するため、計測者 A の薄片観察法による読輪結果に基づいて、中心

から 1 輪目の透明帯の最外縁を通過するように伸ばした直線から、2 輪目以降の各輪の最外縁までの垂直距離を画像上で計測した (Fig. 2)。Fig. 2 の写真に向かって直線より上側に垂線が引かれた場合の計測値は正值となり、横断面からみて「反り上がる」ように伸張方向が変化したことを示す。一方、下方向に垂線が引かれた場合の計測値は負値となり、横断面からみて下側に湾曲するように伸張方向が変化したことを示す。計測値は pixel 値として記録したものを対物マイクロメータにより実寸長 (mm) に変換して解析に供した。

体長と透明帯数の関係 計測者 A の薄片観察法による透明帯数の計数値を用いて、体長に対する透明帯計数値の関係を把握した。この検討には、4 名での計測を行った各種 30 個体に加え、これに用いなかった残りの標本も同

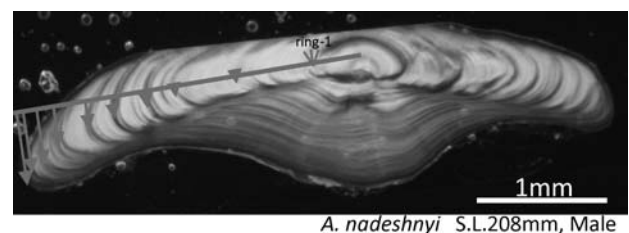


Fig. 2 Measurement line (arrowhead) for the growth direction in a cross-sectioned otolith.

様の方法で計数した結果を含めた。

結 果

薄片観察法と表面観察法による読輪結果の差異 計測者 A と B は、いずれの種でも薄片観察法の計数値が1～3本程度多いのに対し、計測者 C によるアカガレイとヒレグロ、計測者 D によるウロコメガレイでは両方法の結果に有意差はなく、計測者間の結果に一定の傾向はみられなかった (Table 2)。観察方法間で透明帯数に有意差のあった種・計測者 (Table 2) に関しては、総計数値が4～5本と少ない個体でも散布点が45°線の下側、すなわち薄片観察法の計数値の方が上回るという傾向があり (Fig. 3), 10本目前後からさらにその乖離が大きくなっていった。種間で比較すると、ヒレグロについては薄片観察法での計数結果に対する表面観察法の結果の散らばりが他種に比べ大きかった。

アカガレイとヒレグロでは表面観察による7～9本目以降の透明帯間に薄片観察法ではより多くの透明帯を年輪として計数していた (Fig. 4)。ウロコメガレイでも同様の傾向が現れ、さらに薄片観察法では計数されなかった場合も増加していた。また、アカガレイとヒレグロでは表面観察法で1輪目と計数した輪紋よりも内側に、薄片

Table 2 Mean number (minimum-maximum) of translucent zones counted by the 4 readers

The upper row shows the cross-section; the middle row shows surface reading; and the bottom row shows Wilcoxon's statistics.

	Reader A	Reader B	Reader C	Reader D
<i>H. dubius</i>	9.2 (5–17)	10.1 (5–17)	7.9 (3–15)	9.6 (5–16)
	7.4 (4–13)	7.3 (4–12)	8.1 (3–17)	7.6 (3–16)
	31.5 (p<0.01)	3.5 (p<0.01)	182 (p>0.05)	49.5 (p<0.01)
<i>G. stelleri</i>	7.2 (2–16)	8.5 (5–16)	5.8 (2–15)	11.1 (5–23)
	5.4 (2–11)	5.0 (3–9)	5.2 (1–13)	8.6 (4–15)
	16.5 (p<0.01)	3 (p<0.01)	122 (p>0.05)	54.5 (p<0.01)
<i>A. nadeshnyi</i>	9.4 (4–17)	8.7 (4–13)	10.6 (4–20)	8.1 (3–17)
	8.3 (4–13)	7.6 (4–13)	8.9 (4–13)	8.2 (4–18)
	50 (p<0.01)	44 (p<0.01)	39 (p<0.01)	117.5 (p>0.05)

観察法での第1輪目を計数している個体が約40%あり、1～2輪目の間にも薄片観察法では1本多く計数している個体もあった。2～7輪目までは両方法で同一の輪紋を透明帯とみなしている傾向があったが、ヒレグロについては、この範囲においても他種より薄片観察法の方が多くの透明帯を年輪と判断していた。

計測者間の一致性 アカガレイの表面観察法とウロコメガレイの薄片観察法では4名の計数結果に有意差はなかった (Table 3)。ヒレグロでは他種と比べて両方法ともに CV 値は著しく大きくなり、計測者間の一致性は相対的に低かった。アカガレイでは両方法ともに8輪目付近まで

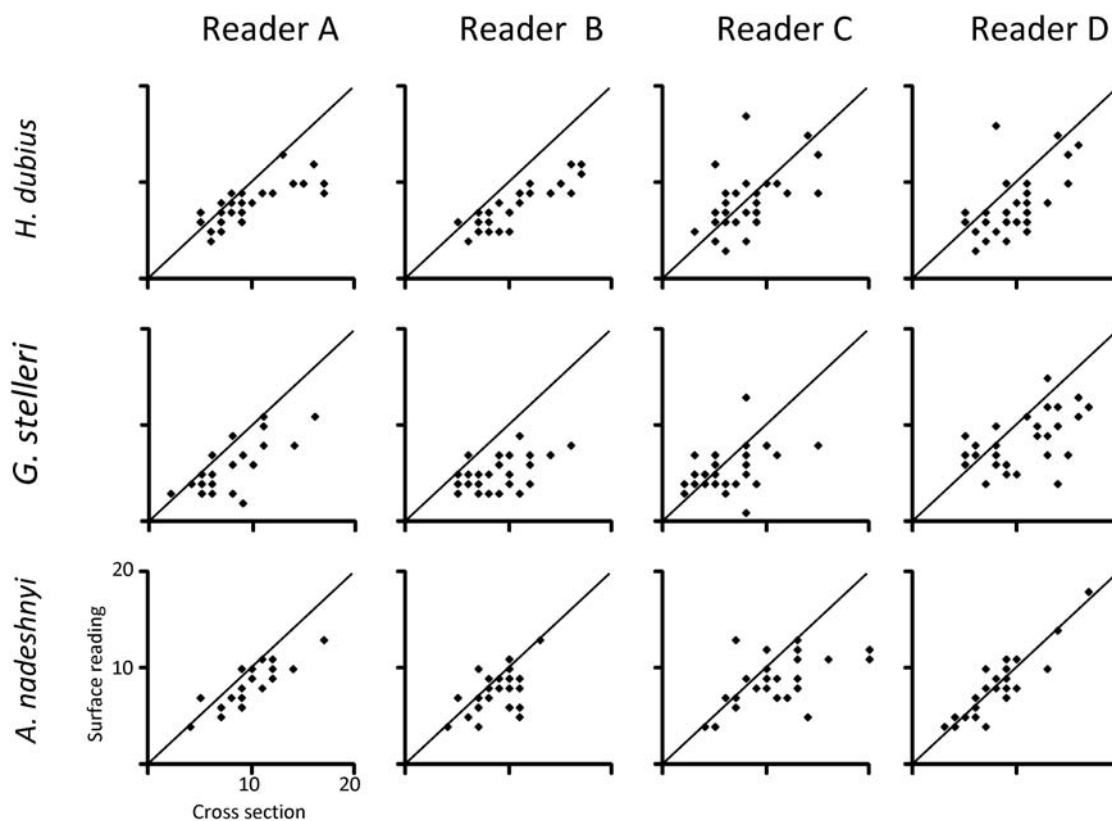


Fig. 3 Relationships between the number of translucent zones counted using surface reading and cross-section methods.

は計測者間の差異の変化は小さかったが、表面観察法では8輪目以降はCV値が増加した (Fig.5)。ヒレグロでは他種と比べ3輪目からCV値が大きく、表面観察法では7輪目にさらに大きく増加した後、徐々に低下した。薄片観察法では7輪目に低下したがそれ以降は増加した。ウロコメガレイでは、表面観察法では連続的にCVが増加したのに対し、薄片観察法では8輪目から漸増した。いずれの種でも共通して7～9輪目付近で表面観察法によるCV値が増大していた。

Table3 Precision of the translucent readings between the 2 methods
Upper row show CV, and the bottom row show Kruskal Wallis statistics

	Cross section	Surface reading
<i>H. dubius</i>	16.0%	9.2%
	11.08 ($p=0.011$)	1.67 ($p>0.05$)
<i>G. stelleri</i>	31.4%	27.7%
	29.31 ($p<0.01$)	22.28 ($p<0.01$)
<i>A. nadeshnyi</i>	13.2%	12.9%
	4.96 ($p>0.05$)	7.49 ($p=0.057$)

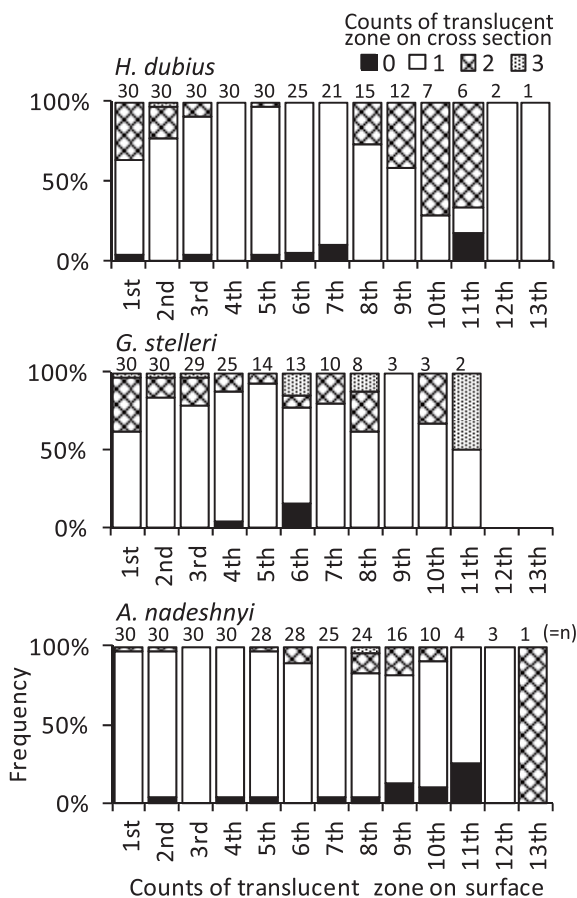


Fig.4 Differences in the number of translucent zones counted by reader A by using the surface reading and cross-section methods.

耳石の伸長方向 耳石の中心から1輪目の最外縁部を通過する直線から、各透明帯の最外縁部に引いた垂線の長さは、アカガレイでは9～11輪目にかけて値が高くなったものの、他種に比べ輪数が増加しても垂線距離の変化は小さかった (Fig.6)。ヒレグロでは7輪目くらいまでは正值で推移したが、それ以降は負値に転じてその値は急速に減少した。ウロコメガレイは当初から負値で推移しそ

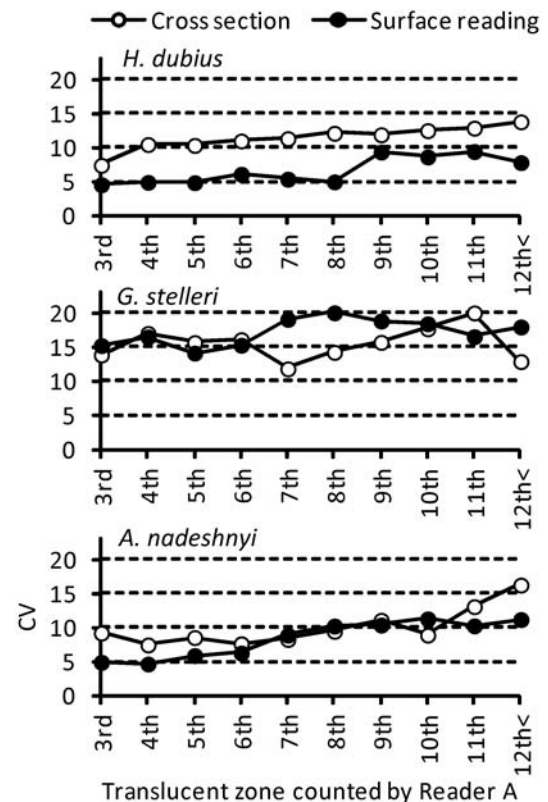


Fig.5 Changes in the CV for the number of translucent zones among the readers.

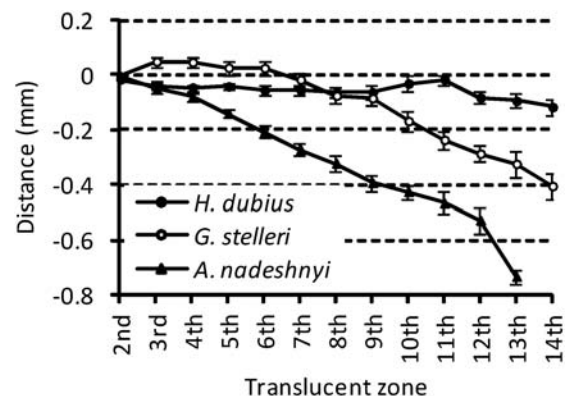


Fig.6 Changes in the average length (\pm SEM) of the perpendicular drawn from the line (broken line in Fig.2) to the edge of each translucent zone. The line set from the otolith core towards the edge of the first translucent zone. Each translucent zone was determined by reader A.

の値は直線的に減少した。

体長と透明帯数の関係 いずれの種についても、雄は約250mmより大型の標本はなく、200mm前後から大きい範囲では透明帯の計数値が大きくばらついた (Fig. 7)。雌では全体長範囲で体長が大きいほど計数値が多くなる傾向が認められたが、アカガレイについては体長約300mmより大きい範囲では透明帯の計数値は他2種と比べ大きくばらついた。

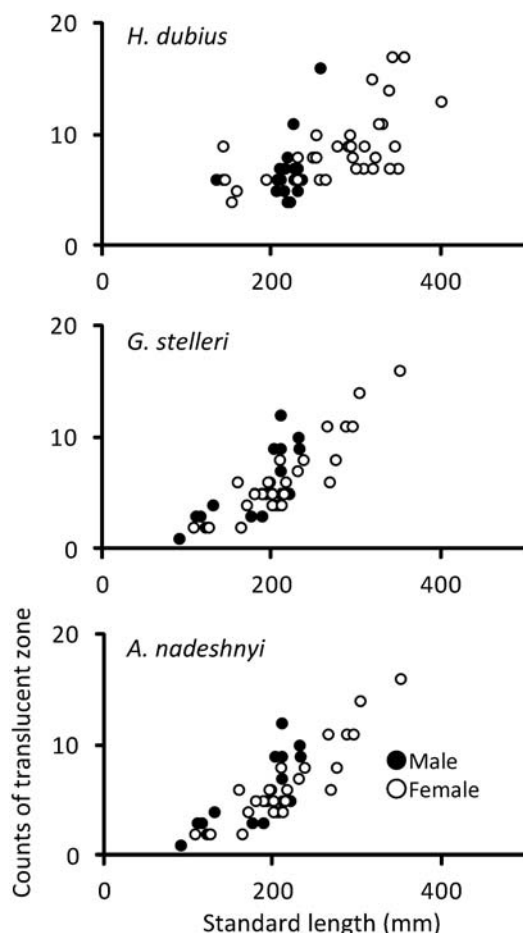


Fig. 7 Relationships between standard length and the number of translucent zones counted by reader A. Each translucent zone was counted using the cross-section method.

考 察

薄片観察法による計数値は表面観察法によるものを上回る傾向が顕著にみられ、他魚種の結果 (例えば Dwyer *et al.*, 2003) と同様であった。観察方法の違いによる計数結果の差は、表面観察法でみた場合の耳石の中心から2～3輪目までの比較的若齢期に形成される範囲と、7～9輪目以降外縁までの高齢期に形成される範囲で顕著であった (Fig. 4)。

薄片観察法では中心付近に数本の明瞭な透明帯が確認

されたが、耳石の肥厚にともなって表面観察法では確認されにくくなった。このことが、若齢期に形成される透明帯の計数結果に観察方法間で差が生じた主要因であると考えられた。

高齢期に形成される透明帯の方法間の計数差には、耳石の伸張方向の変化 (Fig. 6) が影響していると考えられた。アカガレイでは、それまでほとんど耳石中心から第1透明帯の最外縁方向に伸ばした直線とほぼ同じであった耳石の伸張方向が、8～9輪目の付近で横断面からみて「反り上がる」ように変化した後、下側に湾曲するように変化していた。ヒレグロでは7輪目付近までは反り上がるように伸長して、そこから急速に下側への湾曲が進んでいた。ウロコメガレイでは耳石の伸長は一貫して湾曲が進んでいた。3種ともに耳石の伸長方向が下側への湾曲を強めると、表面からの観察では輪紋の間隔が極端に狭く見え (Fig. 1, 2), 分離が困難であった。その結果、7～9輪目以降の範囲では薄片観察の方が多くの透明帯を読み取ったと考えられた。

7～9輪目以降外縁までの高齢期における計測者間の一致性についても耳石の伸張方向の変化が影響していると考えられた。アカガレイの表面観察では、耳石の伸長方向に変化が生じる8～9輪目付近で一致性が急に低下 (CVが増加) した (Fig. 5)。ヒレグロの表面観察では、耳石が反り上がるように伸長する7輪目まで一致性の低下は小さいが、耳石の伸長が下側に湾曲を始める7～8輪目付近で一致性は急に低下した。ウロコメガレイでは他2種と比べ伸長方向の劇的な変化はなく一貫して湾曲が進み、表面観察法による計測者間の一致性も連続して低下していった。

一方、耳石の中心から3輪目にかけても計数者間の一致性が低かった (Fig. 5)。薄片観察法では中心付近に明瞭な透明帯が数本確認されたが、薄片観察法ではこの付近の輪紋を年輪とするか否かの判断が計測者間で異なり、結果として表面観察法よりさらに大きなCV値となったと考えられた。

年齢決定に際してどの輪紋を第1輪目 (満1歳の年輪)、2輪目 (満2歳の年輪) と考えるかは、飼育魚あるいはALC (アリザリンコンプレクソン) 標識魚など実年齢が判明している個体や、採集標本のうち最も小さな体長群の耳石形状を観察するなど予備検討を行ったうえで、計測者が事前に定義しておく必要がある (Campana, 2001)。本研究でみられた若齢期の計測者間の不一致については、どの輪紋を第1輪目と扱うかを定義することで今後の解決が可能である。一方で、高齢期 (7～9輪目以降) については、耳石の形状変化により表面からの観察では輪紋の情報量自体が少なくなることが明らかであり、基本

的にこれら3種の年齢決定方法は、薄片観察法が望ましいと結論付けられる。ただし、薄片観察法でも透明帯数が増えるにしたがってCVが増加、すなわち計測者間の一致度が低くなった (Fig.5)。本研究では4名の計測者はいずれもカレイ類の薄片標本については読輪経験がなく、他種での経験に基づいていることが、計数結果の違いに現れているのかもしれない。以上のことから、これら3種の異体類については薄片観察法による年齢査定を行う前に、透明帯、不透明帯の観察に十分な習熟が必要である。

体長と透明帯数の関係について、ヒレグロとウロコメガレイでは、雌は体長が大きくなるほど透明帯計数値は多くなる傾向があるのに対し、雄では体長約200mm以上のサイズでは計数値が大きくばらつき、それ以降のサイズ範囲では標本自体が採集されなかった (Fig.7)。これは、カレイ類の一般的特徴である雄の成長停滞が200mm台前半で起こることから、いくつかの年級群がそのサイズ範囲に出現し、計数値が大きくばらついたと考えられる。同様の傾向はアカガレイの雄にもみられたが、アカガレイについては雌でも体長300mm以降で計数値のばらつきが大きくなった。その要因は雄と同様と考えられるが、他2種に比べると広い体長範囲でばらつきが大きくなっていることから、成長の個体差や年差が大きい資源である可能性がある。以上のことから、これら3種について今後 Age-Length Key や成長曲線を推定する場合には、体長に対する計数値のばらつきが大きくなったサイズ範囲で、十分な標本数を供試するとともに複数年の標本を用いるといった工夫が必要と考えられた。

謝 辞

本研究で用いたカレイ類の標本は、中央水産試験場調査船おやしお丸 (2010年に用途廃止) および稚内水産試験場調査船北洋丸によって採集された。採集調査にご尽力いただいた両船の船舶職員の皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- Cailliet GM, Andrews AH, Burton EJ, Watters DL, Kline DE, Ferry-Graham LA. Age determination and validation studies of marine fishes : do deep-dwellers live longer? *Experimental Gerontology* 2001 ; 36 : 739-764.
- Campana SE. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish. Biol.* 2001 ; 59 : 197-242.
- Chang WYB. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1982 ; 39 : 1208-1210.
- Dwyer KS, Walsh SJ, Campana SE. Age determination, validation and growth of Grand Bank yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). *ICES J. Mar. Sci.* 2003 ; 60 : 1123-1138.
- 蛸谷幸司, 菅原玲, 今村琢磨. 4. 食用としての利用の少ない地域水産資源のすり身化技術開発 (重点研究). 平成22年度道総研中央水産試験場事業報告書, 北海道立総合研究機構水産研究本部, 余市. 2012 ; 228pp.
- 北海道沖合底曳網漁業漁場別漁獲統計年報 (2010年). 北海道区水産研究所. 2011.
- 稲川亮, 服部努, 渡邊一仁, 成松庸二, 伊藤正木. サメガレイの年齢査定および成長様式. 東北底魚研究 2011 ; 31 : 64-70.
- 板谷和彦, 高嶋孝寛, 三橋正基. 留萌沖合日本海に分布するアカガレイ (*Hippoglossoides dubius*) の年齢と成長. 北水試研報 2009 ; 74 : 13-17.
- 倉長亮二. 山陰沖合のヒレグロ *Glyptocephalus stelleri* の年齢と成長. 鳥取水試報告 2003 ; 37 : 82-85.
- Lee JH, Kodama K, Kume G, Oyama M, Katayama S, Takao Y, Horiguchi T. Comparison between surface-reading and cross-section methods using sagittal otolith for age determination of the marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae*. *Fish. Sci.* 2009 ; 75 : 379-385.
- Peltonen H, Raitaniemi J, Parmanne R, Eklund J, Nyberg K, Halling F. Age determination of Baltic herring from whole otoliths and from neutral red stained otolith cross section. *ICES J. Mar. Sci.* 2002 ; 59 : 323-332.
- Stransky C, Gudmundsdottir S, Sigurdsson T, Lemvig S, Nedreaas K, Saborido-Rey F. Age determination and growth of Atlantic redfish (*Sebastes marinus* and *S. mentella*) : bias and precision of age readers and otolith preparation methods. *ICES J. Mar. Sci.* 2005 ; 62 : 655-670.
- 高嶋孝寛. II. 耳石による年齢査定. 技術資料 No.6 北海道周辺におけるホッケの資源と漁業. 北海道立水産試験場, 余市. 2011 ; 55pp.
- 柳下直己, 山崎淳, 田中栄次. 京都府沖合海域で採集されたアカガレイの年齢と成長. 日水誌 2006 ; 72(4) : 651-658.
- 米田典子, 高橋豊美, 高津哲也. 北海道噴火湾におけるヒレグロの年齢と成長. 水産増殖2010 ; 58(1) : 11-16.

北海道日本海南部海域におけるベニズワイの DeLury 法に基づく資源評価

星野 昇

北海道立総合研究機構中央水産試験場

Stock evaluation using DeLury's method for the red snow crab in the Sea of Japan, off Southern Hokkaido

NOBORU HOSHINO

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

Experimental fishing of the red snow crab was performed off the coast of Southern Hokkaido in the Sea of Japan from the late 1970s to 2011. In this study, we have reported the stock evaluation results for the red snow crab on the basis of analysis of the fishing data. The fishing grounds were divided into 4 areas, and catching efficiency and annual stock size for each area were estimated using DeLury's method. The estimates for annual stock size in every fishing area increased until the middle of the 2000's and have decreased gradually since then. The exploitation rate was estimated to be 30% on an average. These results suggest that the recent TAC was appropriately decided for the level of stock size; however, the subsequent change in stock size must be considered.

キーワード： DeLury 法, かご漁業, 漁獲効率, 資源評価, 資源量推定, 日本海, ベニズワイ

ベニズワイ (*Chionoecetes japonicus*) は、日本海、オホーツク海、犬吠埼から北海道の沖合に至る太平洋の、水深500~1,700mを中心に分布するクモガニ科の甲殻類である(三橋, 2003)。日本海の北海道南西部沖合では、1978~2011年の間、主として水深800~1,800mの海域(Fig. 1)においてベニズワイ漁業の企業化を目的として、かにかごによる試験操業が実施された。着業隻数は1~4隻、漁期は3~10月の範囲で年代によって変化し、2001年以降は松前港と江差港を根拠とする2隻の体制で、2005年以降は3月1日から8月31日までの漁期で実施された(Table 1)。近年は1,000トン以上の漁獲があ

り、経営状態も安定していることなどを踏まえ2012年漁期から知事許可漁業(本操業)に移行した。

着業者には許可の条件として、操業ごとの位置情報や銘柄別漁獲量の報告と毎月3回を原則とする漁獲物測定調査が義務づけられている。1995年からは北海道立水産試験場(現北海道立総合研究機構水産研究本部)によって、操業データに基づく資源評価と生物学的許容漁獲量(ABC: Allowable Biological Catch)の算出が行われ(佐野ら, 1996), ABCに基づき北海道庁が定める許容漁獲量(TAC: Total Allowable Catch)を超過しない範囲での陸揚げが認められている。また、陸揚げ可能な漁獲物は甲

Table1 The progress of experimental fishing of the red snow crab in the Sea of Japan, off Southern Hokkaido

Year	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Catch (t)	391	781	835	1,064	1,280	1,204	1,274	1,307	913	332	391	671	755	815
Total allowable catch (t)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	920	1,060	1,100
Number of vessels	3	3	3	4	4	4	4	4	4	1	1	2	2	2
Fishing season	Jul.-Dec.	Jul.-Dec.	Jul.-Nov.	Jul.-Oct.	Jul.-Oct.	Jul.-Oct.	Jul.-Oct.	Jul.-Oct.	Jul.-Oct.	Jul.-Oct.	Jul.-Oct.	May-Oct.	May-Sep.	May-Sep.

Year	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Catch (t)	589	499	1,006	948	762	960	1,100	1,159	1,231	1,291	1,211	1,130	1,040
Total allowable catch (t)	590	500	1,200	1,200	1,200	1,100	1,100	1,200	1,300	1,300	1,300	1,200	1,200
Number of vessels	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Fishing season	Apr.-Aug.	Apr.-Aug.	Apr.-Sep.	Apr.-Aug.	Apr.-Aug.	Apr.-Aug.	Mar.-Aug.	Mar.-Aug.	Mar.-Aug.	Mar.-Aug.	Mar.-Aug.	Mar.-Aug.	Mar.-Aug.

報文番号 A481 (2012年 6 月 4 日受理)

Tel : 0135-23-8707. Fax : 0135-23-8708. E-mail : hoshino-noboru@hro.or.jp

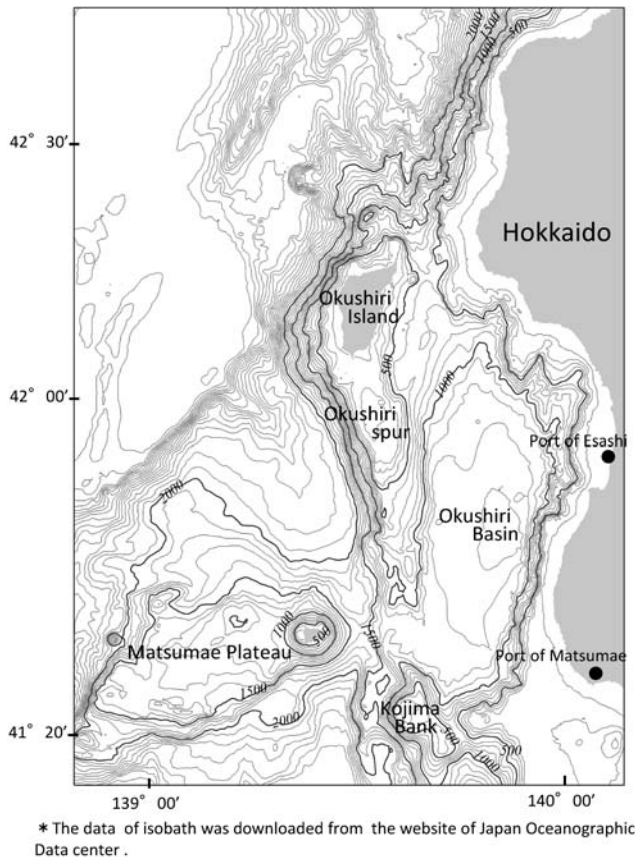


Fig. 1 A map showing the fishing area of the red snow crab in the Sea of Japan, off Southern Hokkaido.

幅95mm以上の雄のみで、漁具の連数およびかご数、網目内径についても道庁の定める試験操業実施要領の中で上限が定められ、その制限の中で操業が行われている。2隻はいずれも漁期を通し専業で着業しており、一縄に100～200個程度の籠を接続した延縄を数カ所に設置し、一回の航海で3本程度の縄を揚げる。その他の漁業による漁獲や混獲は無い。

1996～2011年の資源評価およびABCの算定は、佐野ら(1996)の方法に基づいて、毎年の漁獲物甲幅組成を正規分布分解して得た齢期群が一年ごとに加齢推移する(渡辺・鈴内, 1982)と仮定して、CPUE (Catch Per Unit Effort: 一かご当たりの漁獲尾数)と漁獲効率から計算される年齢別資源尾数の推移に基づき行われた。

一方、現行の評価方法については、近年、日本海の本州沖合海域のベニズワイで雄の最終脱皮の可能性が指摘されている(養松ら, 2007)ことから、甲幅組成を年齢組成に変換して行う方法を改める必要が生じた。また、着業者からは、毎年の好・不漁感や漁獲物のサイズ組成に大きな海域差があるという印象が報告されるとともに、細分化した海域ごとに漁獲量の上限值を定める必要性について意見が出されている。しかし、これまでの資源評

価結果からはその実態を十分に吟味することができていない。今後も持続的な資源利用を図っていくためには、資源評価方法を改善し、資源状態をより詳細に理解していく必要がある。

そこで、これまで蓄積された試験操業データに基づき、ほぼ現行の着業体制となった2001年以降 (Table 1) について、DeLury法に基づいて、漁獲効率を算定して操業の集中する海域ごとに毎年漁期初めの資源尾数を推定し、推定された資源尾数、漁獲割合、漁獲物の甲幅組成の年推移から資源評価を行った。

試料及び方法

操業場所の評価 操業位置を報告するための緯・経度5分刻みに区切られた角形の漁区ごとに操業回数を集計して、操業が多く行われている海域を検出した。

資源評価 一般にDeLury法による資源尾数の推定では、対象資源の漁期中の移出入や自然死亡が無視でき、資源尾数は漁獲によってのみ減少を続けている状態であると仮定できることが適用条件となる(山川, 2001)。結果に後記するとおり、操業が集中するのは奥尻島より北側の陸棚斜面域、奥尻海脚の東側斜面域、松前海台周辺、小島堆周辺の計4海域に大別された。これら4海域の間は起伏が大きく (Fig. 1)、約半年間の漁期中に、海域間相互の移動や一つの海域内でベニズワイの分布状態が著しく変化することは考えにくい。また、操業海域においてベニズワイ成体を捕食する生物を想定できないことから、漁期中の自然死亡は漁獲による減耗に比べると微少と考えられる。これらのことから、操業の集中する4海域ごとにDeLury法によって資源尾数を推定することは妥当と判断した。

1. 漁獲尾数の推定 着業者より操業実績として報告される漁獲重量データから、毎年の旬 (毎月の上・中・下旬)・海域別の漁獲尾数を推定した。

入籠した個体全てが出荷されるわけではなく、甲幅95mm未満サイズは海中還元され、さらに許容漁獲量に対して漁獲状況が好調な場合は、95mm以上であっても小型銘柄に相当するサイズが現場で海中還元されている。海中還元された個体の生存状態は不明であることから、資源の過大評価につながらないように死亡したもののみなし、海中還元された分を含めた95mm以上の漁獲尾数を推定した。

陸揚げされた漁獲物は甲幅の大小に応じて3銘柄に仕分けられ出荷される。松前根拠船による漁獲物の仕分け規格は、2003年まで大型が甲幅12.0cm以上、中型が10.6～11.9cm、小型が9.5～10.5cm、2004年以降は大型が12.0cm以上、中型が10.4～11.9cm、小型が9.5～10.3cm、江

差根拠船では、大型が12.0cm以上、中型が10.0～12.0cm、小型が9.5～10.0cmである。

推定の対象とする着業船・旬・海域ごとに漁獲物測定データを用いて、海中還元が無い「中型」と「大型」の漁獲量を、これらの銘柄の選別サイズ（上記）に含まれる測定データに基づいて尾数換算した。これによって得られた中～大型の漁獲尾数に、測定データのうち「中型サイズ以上の尾数」に対する「95mm以上中型サイズ未満の尾数」の割合を乗じることで、95mm未満サイズの海中還元分も含めた漁獲尾数とした。

2. 漁獲効率の設定 本来、DeLury法では漁期中のCPUEの減少傾向から初期資源尾数と漁獲効率が同時推定される。しかし、双方の推定パラメータは相関が強いいため、それらを個々に精度良く推定することは困難であり、漁獲効率と初期資源尾数の推定値は逆相関を持って推定される傾向にある（山川，2001）。年・海域ごとの資源尾数が、未知のパラメータである漁獲効率と連動して推定される状態で、その値に基づいて資源の年変動を検討することは困難と考えられた。そこで本稿では漁獲効率のみを求め、それを固定パラメータとして扱い、事後的に資源尾数を計算する手順で進めた。

まず、次のDeLury第二モデルを用いて、最小二乗法により、 l 年、 m 海域の漁獲効率 $q_{l,m}$ と初期資源尾数 $N_{0,l,m}$ を推定した。

$$\log(C_{t,l,m}/X_{t,l,m}) = \log(q_{l,m} N_{0,l,m}) - q_{l,m} \sum_{i=0}^{t-1} X_{i,l,m} \quad (1)$$

ここで、 C_t は期間 t （旬；10～11日）における漁獲尾数、 X_t は期間 t における漁獲努力量（ここでは操業回数）である。

一方、推定された $N_{0,l,m}$ （対数値）は当該年・海域の年間CPUE $_{l,m}$ （対数値）に比例することを前提として、次の値を求めた。

$$D_{l,m} = \frac{\log N_{0,l,m} - \phi \log CPUE_{l,m}}{\log CPUE_{l,m}} \quad (2)$$

$$\phi = \frac{\log N_{0,ave.}}{\log CPUE_{ave.}} \quad (3)$$

ここで、 $N_{0,ave}$ と $CPUE_{ave}$ はそれぞれ N_0 とCPUEの年・海域平均を示す。2式の分子第2項を当該年のCPUEから予測される資源尾数の期待値とみなせば、第1項 $N_{0,l,m}$ との差が0に近い年・海域の $N_{0,l,m}$ ほど妥当に推定され、必然的に1式で同時推定される漁獲効率 $q_{l,m}$ も妥当な推定値となっていると考えた。そこで、 $q_{l,m}$ を横軸に、 $D_{l,m}$ を縦軸にとった散布図より $D_{l,m} \div 0$ となる $q_{l,m}$ を求め、その値をすべての年・海域に共通の漁獲効率と

して用いた。

3. 資源尾数の推定 漁獲効率を既知パラメータとすれば、初期資源尾数は漁獲尾数と漁獲努力量を用いて漁獲方程式から計算が可能であるが、本稿では、ベニズワイの分布特性が年・海域に応じて変化することが漁獲の多寡に少なからず影響すると考え、次のDeLury一般化モデル（Phiri *et al.*, 1999）を用いることとした。DeLury一般化モデルは、対象資源の分布特性を一様分布からランダム分布、集中分布まで幅広く表現できるTaylor's Power Lawを組み入れた拡張型モデルである。その尤度関数は、

$$L(N_0, \alpha, \beta) = \prod_{i=0}^n \frac{C_{t,l,m}^{\beta_{l,m}/2}}{\sqrt{2\pi\alpha_{l,m}}} \exp \left[-\frac{\left\{ C_{t,l,m}^{1-\beta_{l,m}/2} - N_{t,l,m} p_{t,l,m}^{\frac{1-\beta_{l,m}}{2}} + \frac{\alpha_{l,m}\beta_{l,m}}{4} (1-\beta_{l,m}/2) (N_{t,l,m} p_{t,l,m})^{-1+\beta_{l,m}/2} \right\}^2}{2\alpha_{l,m} (1-\beta_{l,m}/2)^2} \right] \quad (4)$$

である。ここで、 α, β は生物の集中度を表現する推定パラメータ、また、

$$p_t = 1 - \exp(-q X_t), \quad N_t = N_0 - \sum_{i=0}^{t-1} C_i$$

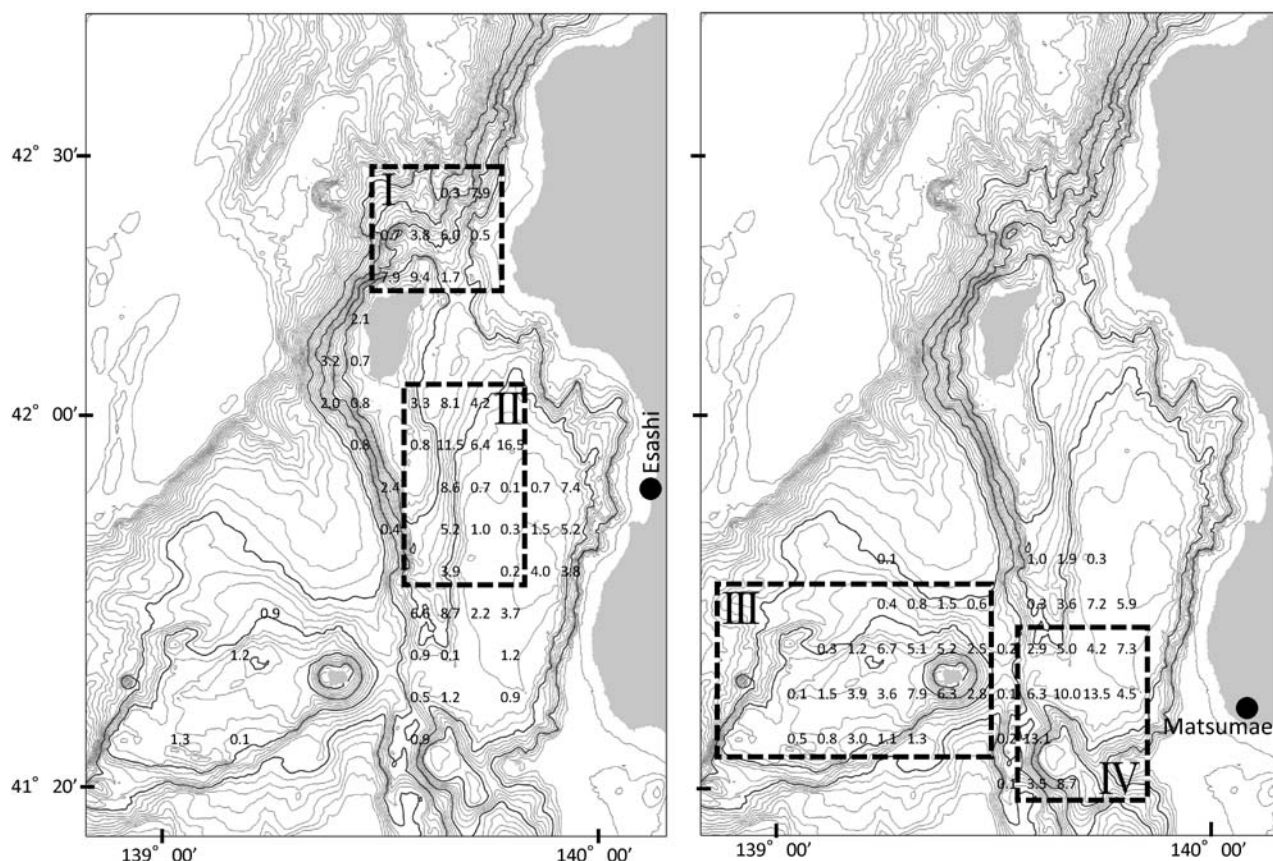
である。MS-Excelのソルバー機能を用いて4式の対数尤度を最大化する N_0, α, β を同時推定した。また推定パラメータ N_0 の95%信頼区間は尤度比検定の枠組みで求められる（平松，1992）。すなわち、

$$2 \text{Log} \left(\frac{L(\hat{N}_0, \hat{\alpha}, \hat{\beta})}{L(N_0, \hat{\alpha}, \hat{\beta})} \right) \leq \chi^2(0.95, 1) \quad (5)$$

「 $\hat{}$ 」は各最尤推定値、 $\chi^2(0.95, 1)$ は自由度1の χ^2 分布を表す。

結 果

Fig.2に、緯・経度5分刻みの漁区別に、2001～2011年の年平均操業回数を着業船別に示す。着業する2船は一部海域で入会操業があるものの、基本的には異なる海域で操業しており、概観して操業回数の多い海域は、Ⅰ．奥尻島北方の陸棚斜面域、Ⅱ．奥尻海脚の東側、Ⅲ．松前海台周辺、Ⅳ．松前小島（小島堆）周辺に大別できた。海域ⅠとⅡ、海域ⅢとⅣではそれぞれ江差根拠船と松前根拠船による操業が大半を占めていた。そこで、資源尾数の推定は、図中の太枠で示すこれらの4海域ごとに行うこととした。なお、推定を簡単にするため、海域Ⅱと海域Ⅳの間にある入会海域は対象外とし、各海域で優占する船ではない方の実績は除いた。すなわち、各海域の評価はどちらか1隻のみの実績に基づいた。これ以外に、



* The data of isobath was downloaded from the website of Japan Oceanographic Data center .

Fig. 2 Average annual number of fishing operations at each fishing site. Figures drawn on the left and right sides show the records for vessel basing at the Port of Esashi and the Port of Matsumae, respectively.

枠中に含めなかった漁区を含めた漁獲量は全体の5%程度であったことから、結果の解釈には大きく影響しないと判断し解析を進めた。

Table 2 に、2001年以降の4海域それぞれにおける漁獲尾数推定値、操業回数、前者を後者で除したCPUE値を示した。漁獲尾数は約2~170万尾の範囲で推定され、年、海域によって大きく変動していた。操業回数は海域Ⅱで最も多かった。CPUEは各海域ともに2004年頃から2007年頃にかけて増加し、その後は海域Ⅳを除いて減少傾向となった (Fig. 3)。

1式に基づき、年・海域ごとに累積漁獲努力量（操業回数）に対してCPUE対数値を直線回帰すると、2008年の海域Ⅰを除くすべての年海域で回帰直線の傾きは負値となり (Fig. 4)、2008年・海域Ⅰを除く37の年・海域について初期資源尾数と漁獲効率を推定した。その結果はFig. 5に示すとおりで、2式の計算値と漁獲効率推定値は、漁獲効率のばらつきが大きく、漁獲効率が大きいほど初期資源尾数は小さく推定された。対数関数を当てはめX軸との交点を求めたところ0.00663となった。そこで以降の資源尾数の推定では各年・海域の漁獲効率を0.006に統

一して用いることとした。

各年・海域の資源尾数とその95%信頼区間、資源源尾数推定値と漁獲尾数 (Table 2 参照) との比である漁獲割合は、Table 3 に示すとおり推定された。4式で同時推定されるパラメータ (α, β) は、 α が0.016~15.86、 β が0~1.96の範囲で推定された。資源尾数推定値についてはその年推移をグラフで示した (Fig. 6)。資源尾数はCPUEの推移 (Fig. 3) と相似的に推移しており、いずれの海域

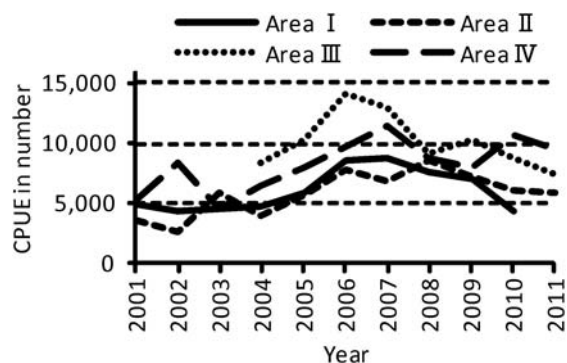


Fig. 3 Annual changes in CPUE on the basis of estimated catch.

Table2 Estimated catch in number, frequency of the fishing operation, and CPUE for every year and fishing area

Area I	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Catch in number (A)	189,524	81,524	68,659	270,383	296,402	17,254	148,569	528,896	509,092	237,715	0
Frequency of fishing operation (B)	38	19	15	56	51	2	17	70	72	55	0
CPUE (A/B)	4,987	4,291	4,577	4,828	5,812	8,627	8,739	7,556	7,071	4,322	-
Area II											
Catch in number (A)	219,615	274,837	339,067	283,805	439,204	548,737	898,426	591,509	585,447	570,340	421,271
Frequency of fishing operation (B)	62	106	57	72	76	71	132	69	81	94	71
CPUE (A/B)	3,542	2,593	5,949	3,942	5,779	7,729	6,806	8,573	7,228	6,067	5,933
Area III											
Catch in number (A)	0	0	0	507,758	653,815	1,738,355	941,235	682,018	577,020	588,513	291,197
Frequency of fishing operation (B)	0	0	0	61	64	123	72	75	56	67	39
CPUE (A/B)	-	-	-	8,324	10,216	14,133	13,073	9,094	10,304	8,784	7,467
Area IV											
Catch in number (A)	178,841	520,007	63,020	428,497	621,014	419,513	918,393	910,051	559,083	434,967	673,962
Frequency of fishing operation (B)	34	62	14	66	78	43	80	104	69	41	70
CPUE (A/B)	5,260	8,387	4,501	6,492	7,962	9,756	11,480	8,750	8,103	10,609	9,628
Total											
Catch in number (A)	587,980	876,367	470,745	1,490,444	2,010,435	2,723,859	2,906,624	2,712,474	2,230,641	1,831,534	1,386,431
Frequency of fishing operation (B)	134	187	86	255	269	239	301	318	278	257	180
CPUE (A/B)	4,388	4,686	5,474	5,845	7,474	11,397	9,657	8,530	8,024	7,127	7,702

Table3 Estimated stock size in number, upper confidence limit (95%), lower confidence limit, and exploitation rate for every year and fishing area

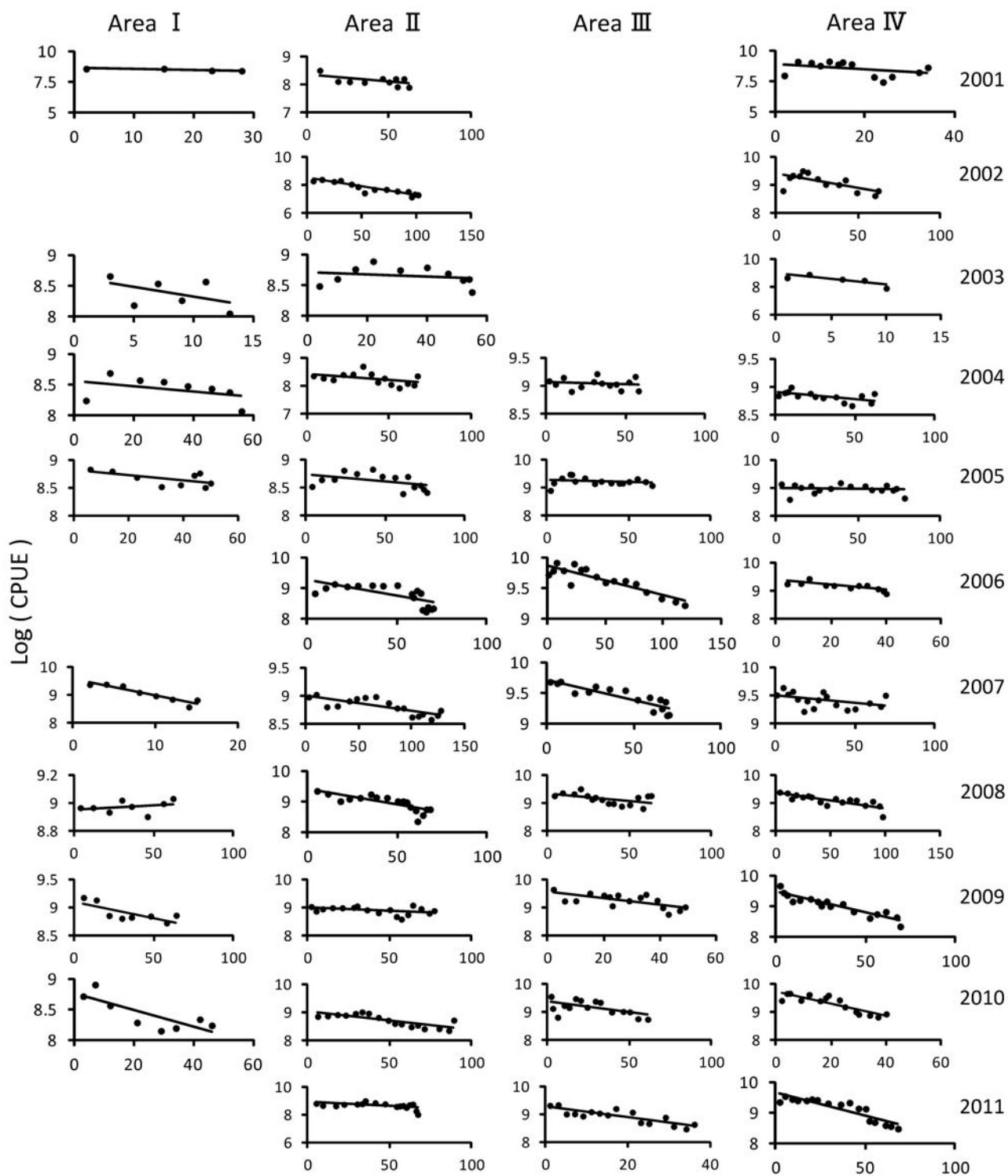
Area I	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Stock size in number ($\times 10^3$)	878		774	964	1,143		1,526	1,562	1,465	821	
Upper confidence limit	905		910	1,018	1,204		1,798	1,674	1,542	914	
Lower confidence limit	852		657	910	1,084		1,292	1,453	1,388	728	
Exploitation rate	0.22		0.09	0.28	0.26		0.10	0.34	0.35	0.29	
Area II											
Stock size in number ($\times 10^3$)	711	578	1,165	809	1,205	1,569	1,674	1,750	1,512	1,315	1,226
Upper confidence limit	758	626	1,265	871	1,278	1,684	1,755	1,839	1,578	1,370	1,298
Lower confidence limit	667	533	1,075	752	1,137	1,460	1,598	1,663	1,447	1,260	1,156
Exploitation rate	0.31	0.48	0.29	0.35	0.36	0.35	0.54	0.34	0.39	0.43	0.34
Area III											
Stock size in number ($\times 10^3$)				1,692	2,056	3,337	2,689	1,913	2,059	1,826	1,415
Upper confidence limit				1,793	2,156	3,432	2,773	2,021	2,203	1,977	1,536
Lower confidence limit				1,597	1,956	3,243	2,607	1,809	1,922	1,685	1,299
Exploitation rate				0.30	0.32	0.52	0.35	0.36	0.28	0.32	0.21
Area IV											
Stock size in number ($\times 10^3$)	982	1,744	861	1,345	1,666	1,842	2,428	1,973	1,653	2,036	2,011
Upper confidence limit	1,223	1,934	1,063	1,388	1,793	1,905	2,558	2,049	1,776	2,247	2,156
Lower confidence limit	775	1,574	669	1,302	1,548	1,780	2,306	1,898	1,536	1,839	1,866
Exploitation rate	0.18	0.30	0.07	0.32	0.37	0.23	0.38	0.46	0.34	0.21	0.34
Total											
Stock size in number ($\times 10^3$)	2,571	2,321	2,800	4,810	6,069	6,748	8,316	7,199	6,689	5,998	4,651
Exploitation rate	0.23	0.38	0.17	0.31	0.33	0.40	0.35	0.38	0.33	0.31	0.30

でも2004年頃から2007年頃にかけて増加傾向が認められたが、その後は海域Ⅳを除いて減少傾向となった。海域Ⅲにおける2006年から2007年にかけては前後の年より資源尾数が多く推定されたが、それ以外は、資源尾数の水準に海域間で大差がなかった。漁獲割合については、海域Ⅱで平均して40%前後と高く、海域Ⅰで20%前後と最も低く、資源尾数が増加した2000年代半ば以降では海域Ⅲで減少したが、他の3海域では一方向的な増減の傾向は認められなかった (Table 3)。

前年の残存尾数（前年の初期資源尾数から前年の漁獲尾数を減じた値）から当該年の初期資源尾数を減じた値

は、ほとんどの海域で正値を示したが、海域Ⅲでは2006年以降の減少傾向がみられた (Fig. 7)。

Fig. 8に、各年・海域における漁獲物測定結果のうち甲幅95mm以上のデータを当該の資源尾数推定値で引きのぼして得た甲幅組成を、Fig. 9には甲幅の平均値、甲幅95mm以上100mm未満の資源尾数、甲幅110mm以上の資源尾数の推移を海域別に示した。各海域ともに2006～2007年頃に甲幅95～100mmサイズの資源尾数が増加し、これに伴い平均甲幅は減少した。海域Ⅲ、Ⅳではそれ以降も95～100mmサイズが漸増したが110mm以上の資源尾数は著しく減少し、これに伴い平均甲幅も減少傾向となった。海域



Fishing effort (cumulative number of times of fishing operation)

Fig. 4 Relationships between fishing effort and CPUE for every year and area.

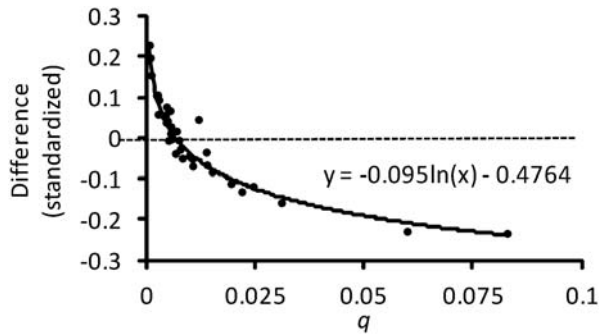


Fig. 5 Relationship between estimated catching efficiency (q) and standardized difference (see equation 2). The fitted curve indicates a logarithmic function.

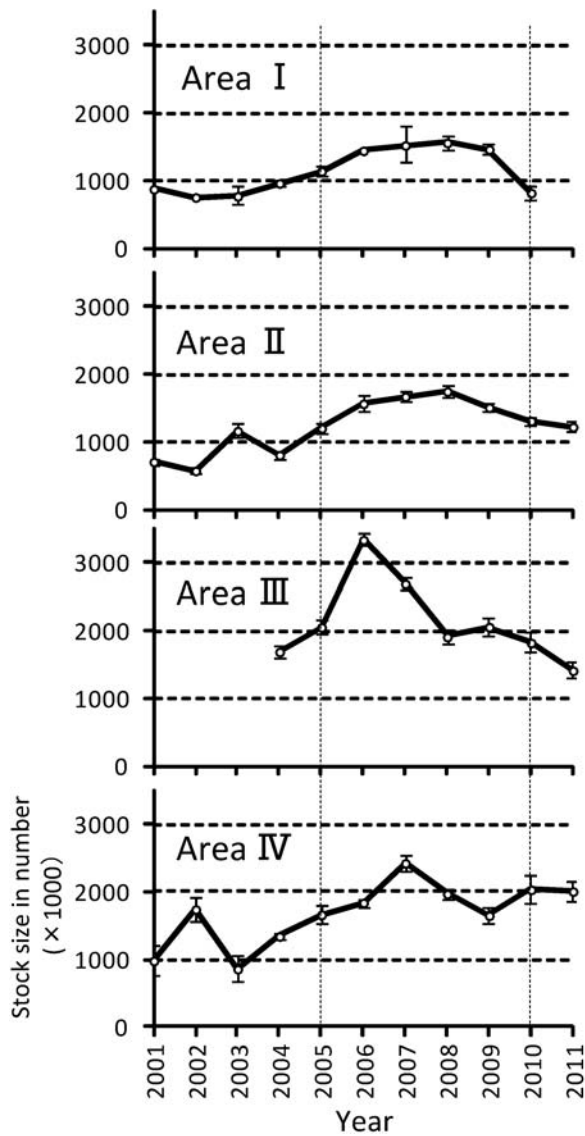


Fig. 6 Annual changes in stock size in every fishing area. The vertical lines indicate a 95% confidence limit.

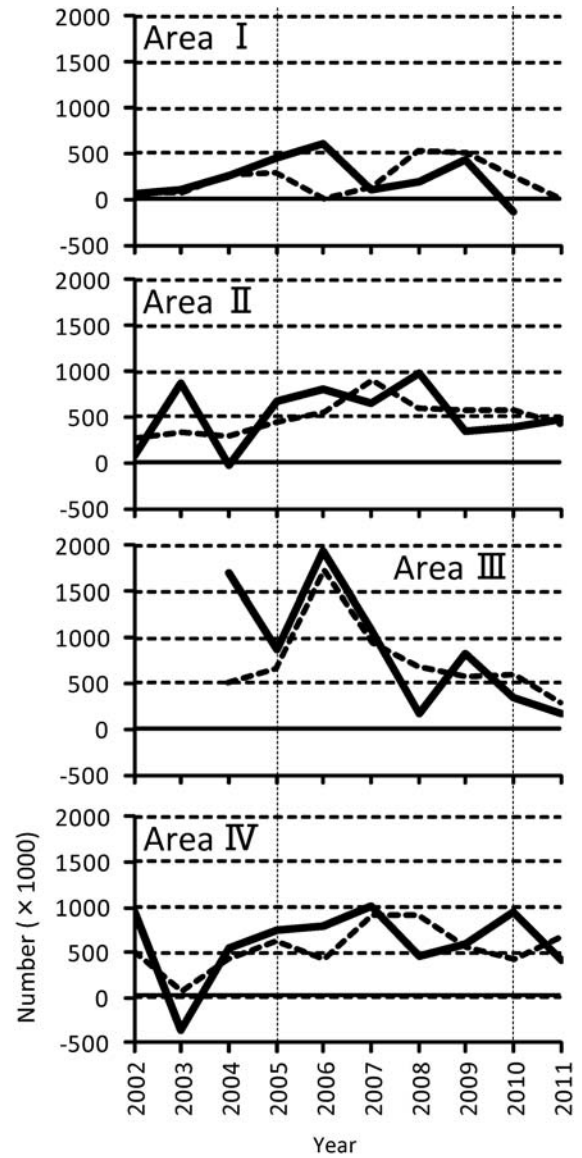


Fig. 7 Annual changes in the difference in initial stock size from the residual stock size of the preceding year (solid lines). The broken lines indicate the annual change in catch.

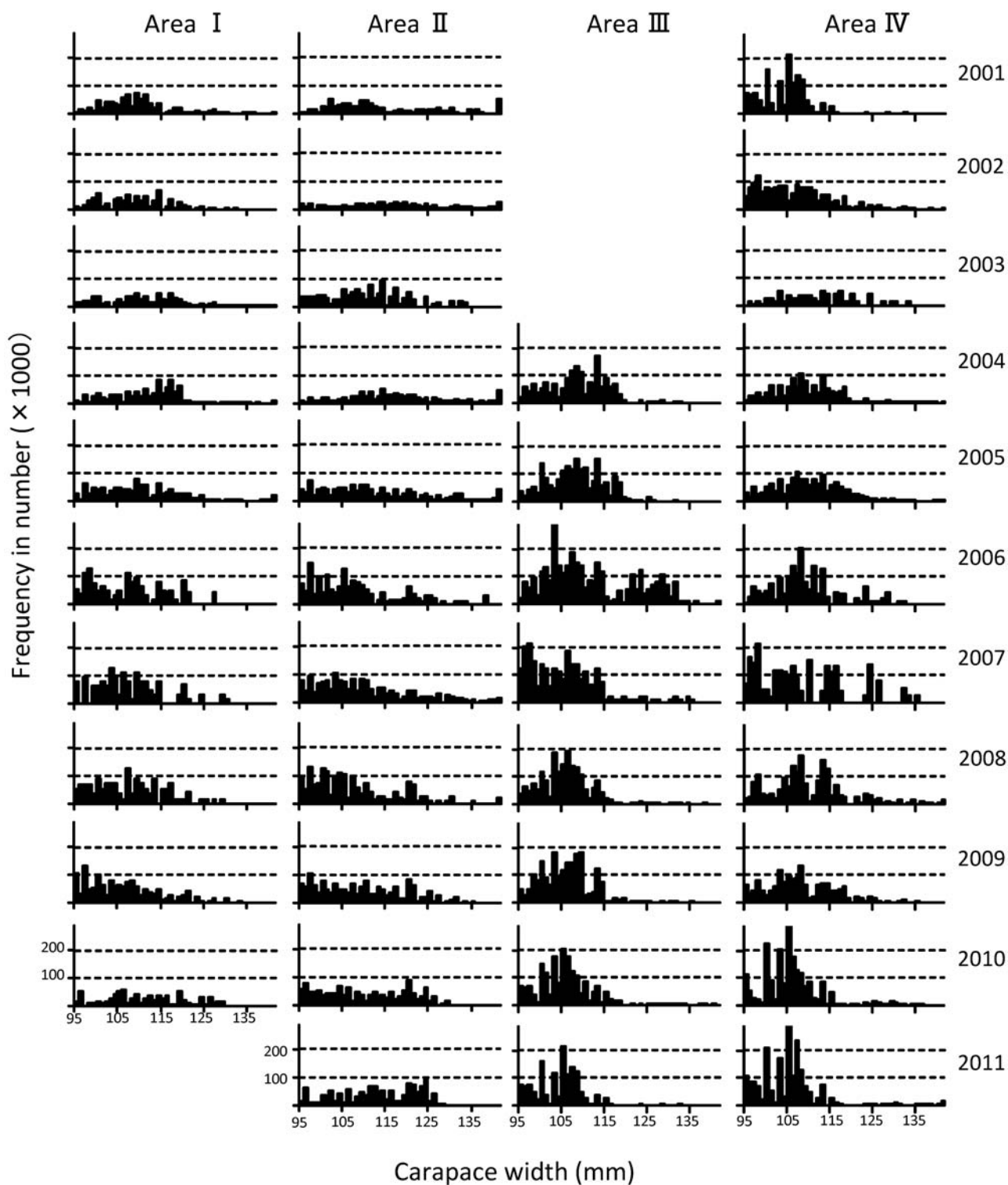


Fig. 8 Frequency distributions of carapace width of the red snow crab for every year and area.

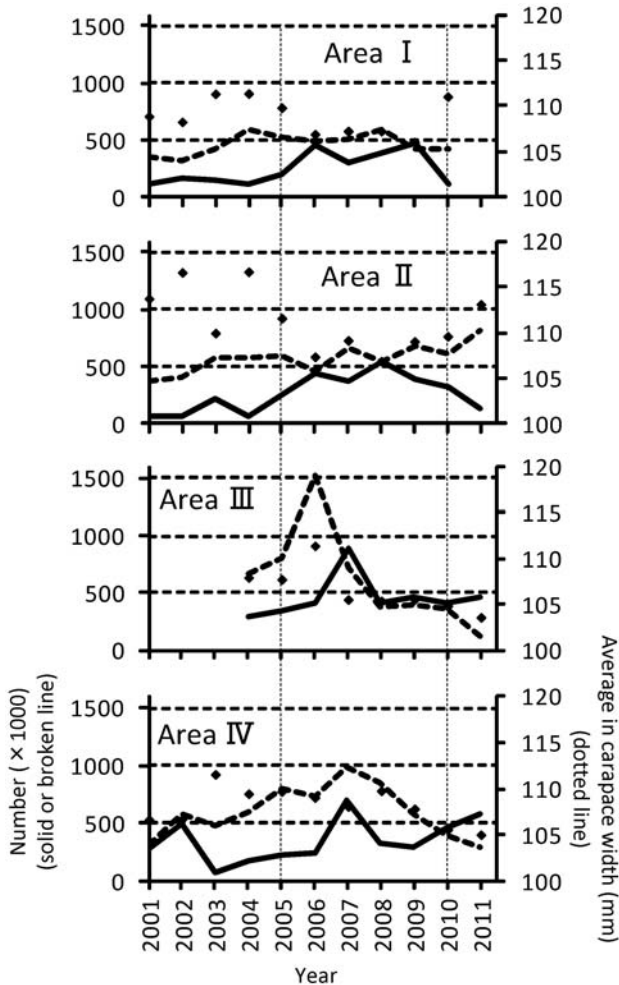


Fig. 9 Annual changes in stock number with respect to carapace width from 95 to 100 mm (solid lines) and 110 mm or more (broken lines). The dotted lines indicate change in average carapace width.

I, IIでは最近の95~100mm サイズに減少が認められた。甲幅組成の推移には、一般的な魚類資源の卓越発生群の推移にみられるような毎年のサイズ組成のモードが年とともに大型化していくような傾向は、いずれの海域においても認められなかった。

考 察

本稿では、北海道日本海南西部沖のベニズワイ資源の評価を行うために、2001年以降の試験操業で得られた漁獲量と漁獲努力量データに基づき資源尾数の推定を行った。DeLury 第二モデルを用いて漁獲効率と資源尾数を推定したところ、漁獲効率の推定値は大きな幅をもって推定された (Fig. 5)。漁獲効率は、一回の操業あたりの敷設かご数や敷設時間、籠餌料の種類、ベニズワイの摂餌要求度といった生理的状态、他種の分布量といった無数の要素が絡んだものとなる。したがって、その時々や場所

に応じて大きく変動すると考えられるが、Fig. 5の結果のような大きさで年・海域間で変動するような具体的要因は見当たらない。そこで本稿では、初期資源尾数とその年の CPUE が比例関係にあるという前提に立ち、年・海域に共通の漁獲効率を0.006として推定しこれを用いた。漁獲効率を比較検討できるような既往知見が見当たらないため、値自体の妥当性の検討はできなかった。しかし、一般に漁獲管理の場面では、漁獲効率や自然死亡係数といった本来的には未知なパラメータを用いて推定した資源量については、絶対量として運用するよりは相対資源量として捉え、その年系列を扱った方が漁業の実勢に即した現実的な対応がとりやすいと考えられる。2001年以降は操業体制に大きな変化がなく着業船も同じ特別採捕許可方針のもと操業しているため、漁獲効率の傾向的な年変化や船間での大きな違いは考えにくいことから、固定値とすることに大きな問題はないと考える。ただし、今後、具体的な ABC 算定の作業等に際して本稿の結果を用いる場合は、与える漁獲効率を変化させ感度分析を行いながら諸結果の頑健性を確認することが必要である。

推定された資源尾数の推移から、本資源は2005~2006年頃に全海域で資源水準の増加が認められた (Fig. 6)。この時期に各海域の甲幅95~100mm サイズの資源尾数が増加した (Fig. 9) ので、漁獲対象サイズにまで成長したカニの新規加入があったと考えられる。海域 I, II では2009年頃まで95~100mm サイズの加入が続き、大型ガニの資源尾数にも減少傾向がないので、安定した資源状態で推移してきたと考えられる。しかし、最近では小型ガニの資源尾数が著しく減少している推定結果となったので、今後の動向には注意を払う必要がある。海域 III, IV ではいずれも2007年に突出して小型カニの加入があり、以降も40~50万尾の水準で漸増してきた。しかし、I, II とは異なり大型ガニの資源尾数は減少を続けてきた。これらの海域だけで考えれば成長乱獲の可能性はあるが、ベニズワイは時間をかければ相当の距離を移動するという標識放流研究の結果 (山岡, 1976) を考慮すると、成長に伴い海域外に移動している可能性もあり、その実態は不明である。III, IV は一方の着業船の専有漁場であることから、今後の操業に向けては当該船の漁獲状況の注視、着業者からの聞き取りを充実させるといった取組が必要である。また、資源尾数と同時に推定されるパラメータ (4 式の α , β) は本来、対象生物の分布特性を表現した推定値となるが、本稿の検討では海域や年に応じた特徴が現れず、推定値間の関係などを含めた十分な検討ができなかったことが今後の課題となった。

本研究は11年間の資源評価であるため、今後の加入状況や資源水準の長期動向を予測することは難しいが、Table

1の漁獲量推移からは、資源水準が年代に応じて緩やかに増減を繰り返していると考えられる。以前のデータは不備も指摘されているため（長澤ら，1988），長期的な資源変動を推論することはできないが，これまでのパターンが今後も続くとなると，今後しばらくは資源水準の減少傾向が継続する可能性がある。資源量推定値やCPUEの減少局面で，許容漁獲量を十分に下げることができないと，資源水準の極端な減少につながる可能性が指摘されている（星野，2012）ので注視が必要である。

漁獲割合は20～40％程度と推定され，海域Ⅱで最も高い値であった（Table 3）。海域Ⅱは港からの航走距離も近いことから操業回数が最も多い（Table 2）ことが主要因と考えられる。また，漁期終了後から半年後の漁期開始までに増加した資源尾数（海域への加入尾数）を漁獲尾数が連続して上回る状態で推移していれば，漁獲割合が過大となっている可能性があると考えたが，平均的には漁獲尾数とはほぼ同程度の値で推移していた（Fig. 7）。このことから，近年の許容漁獲量は資源水準に対し概ね妥当な水準で設定され，漁獲管理が適切に行われていると考えられた。

謝 辞

本研究は，ひやま漁業協同組合および松前さくら漁業協同組合所属の漁業者，職員の方々と，渡島総合振興局，檜山振興局の担当職員によって集積されてきたデータを解析することで行った。これまでの長きにわたる試験操業に従事された皆様に敬意を表します。

引用文献

平松一彦．最尤法による水産資源の統計学的研究－パラ

メータ推定とモデル選択－．遠洋水研報 1992；29：57-114.

星野 昇．北海道日本海南部海域におけるベニズワイの漁獲管理について．北水試研報2012；82：117-124.
三橋正基：94.ベニズワイガニ．「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；386-389.

長澤和也，福田敏光，中道克夫，高柳志朗，渡辺安広．1.ズワイ・ツブ資源漁場調査．昭和62年度函館水産試験場事業報告書，北海道立函館水産試験場，函館．1988；434pp

Phiri H, Shirakihara K, Yamakawa T. A generalized Delury's method based on Taylor's power law and its application to a pelagic species in southern Lake Tanganyika. *Fish. Sci.* 1999；65：717-720.

佐野満廣．1.1ベニズワイ資源調査．平成7年度函館水産試験場事業報告書，北海道立函館水産試験場，函館．1996；283pp

渡辺安広，鈴木孝行．北海道西岸海域におけるベニズワイについて 第1報 齢期と成長．北水試月報 1982，39：147-162.

山洞 仁．ズワイガニおよびベニズワイの長期再捕例について．昭和49年度山形県水産試験場事業報告書 1976；26-27.

山川 卓．1.DeLury法（Leslie法・除去法）．「平成12年度資源評価体制確立推進事業報告書－資源解析手法教科書－（社団法人日本水産資源保護協会編）」社団法人日本水産資源保護協会，東京．2001；73-90.

養松郁子，白井 滋，廣瀬太郎．ベニズワイ *Chionoecetes japonicus* 雄の相対成長の変化と最終脱皮の可能性．日水誌 2007；73(4)：668-673.

網走川におけるサケ稚魚の降河移動

宮腰靖之*, 安藤大成, 藤原 真, 隼野寛史, 永田光博

*北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Downstream migration of chum salmon released in the Abashiri River

YASUYUKI MIYAKOSHI*, DAISEI ANDO, MAKOTO FUJIWARA, HIROFUMI HAYANO, AND MITSUHIRO NAGATA

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

To investigate the downstream migration of chum salmon *Oncorhynchus keta* in the Abashiri River, eastern Hokkaido, three groups of otolith-marked juveniles were released and sampled using cast nets in the lower reach of the river in 2004 and 2005. Marked chum salmon were recaptured within 2 weeks of release, and thereafter the numbers of fish recaptured quickly decreased. Our study indicates that most of chum salmon juveniles (over 0.8 g in weight) released in the Abashiri River in May migrated seaward immediately after release. Only a few of the marked fish released at the end of May were recaptured and the river water temperature exceeded 20°C in mid-June, indicating the survival of chum salmon released at that timing would be low unless they migrate immediately after release. The release timing in each river should be considered by examining the river and coastal water temperature around the release timing.

キーワード： 河川, 降河, サケ, 放流

北海道におけるサケ *Oncorhynchus keta* の来遊数は1970年代以降急速に増加し、1990年代以降も高い水準で推移している（永田, 2009）。近年のサケ資源量の増加は、北太平洋の生息環境の好転と孵化放流事業の進展に因るところが大きいものと考えられている（帰山, 2002; 2004）。サケの資源量増大を実現させた放流技術進展の要素として、小林（2009）は、1）健苗生産、2）種苗性の強化、3）適期放流・生存率向上、の3つを挙げている。現在、北海道では民間のさけ・ます増殖事業協会が主体となり、適期放流を心がけた効果的な増殖事業が実施されている。

毎年春に各地のふ化場から放流されたサケ稚魚は、沿岸域で数週間程度を過ごした後、沖合へと回遊し（入江, 1990）、北太平洋で2～6年の海洋生活を経て本道へ回帰する。サケ稚魚では降海後の沿岸域での死亡率が高いことが知られている（Healey, 1982; Bax, 1983; Fukuwaka and Suzuki, 2000）。そのため、増殖事業においては沿岸環境の良好な時期にサケ稚魚が沿岸に到達でき

るよう放流日を決める必要があり、放流後の河川での滞留日数や降河生態に関する知見が重要な情報となる。

日本における河川内でのサケ稚魚の降河生態に関する調査は、放流技術の開発途上であった1960年代から1980年代始めにかけて数多く実施されている（小林, 1958; 1964; 佐野・小林, 1953; 小林ら, 1965; 小林・黒萩, 1968; 帰山・佐藤, 1979; 真山ら, 1982; 1983; など）。北海道オホーツク海側の主要な増殖河川の一つである網走川でも小林・黒萩（1968）がサケ稚魚を標識放流して降河移動などを調べている。彼らの報告では、4月上中旬に網走湖の呼人浦から放流したサケ稚魚（網走川採卵群）は放流から約一ヶ月後の5月上旬に降河移動のピークを迎えている。当時のサケの放流時期は2月から5月にかけてであり、放流数も現在より少なく、放流サイズも小型であった。そのため、現在の網走川での放流後のサケ稚魚の降河生態は当時とは大きく異なる可能性があるものと考えられる。

網走川は現在もオホーツク東部地区のサケの主要な増

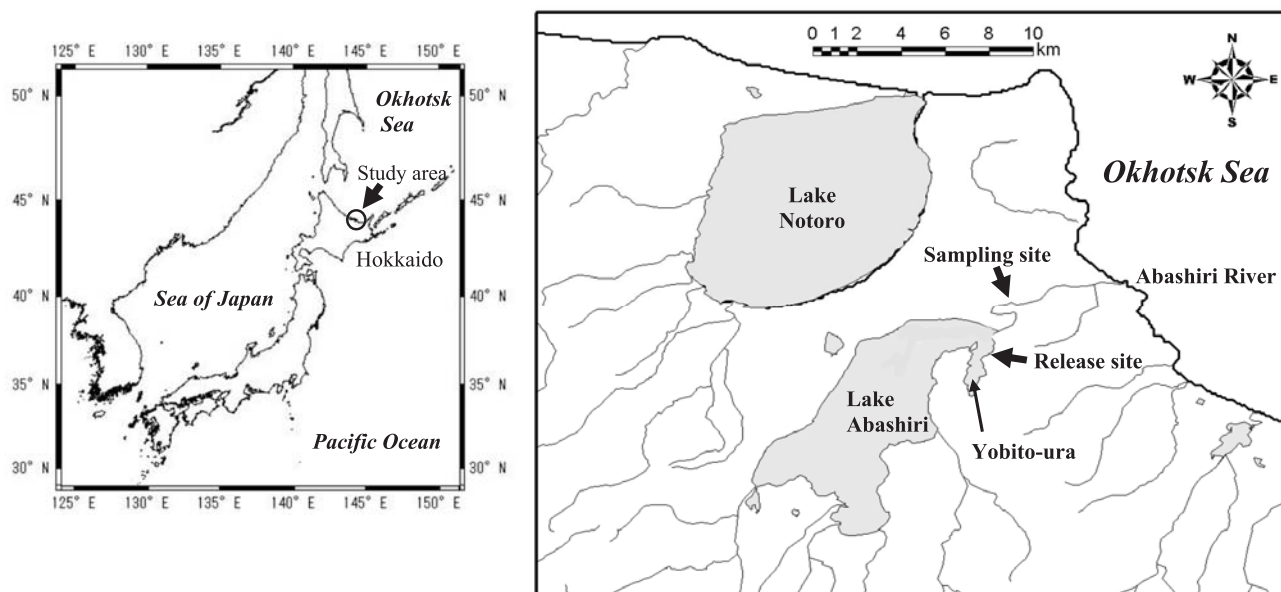


Fig. 1 Location of the Abashiri River in Hokkaido, northern Japan. The arrow in the right panel indicates the sampling site in the Abashiri River (~5 km from the river mouth).

殖河川であり、同河川におけるサケ稚魚の降河生態を調べ、放流時期の適正化を検討することは、本道における安定的なサケ資源の造成のために重要である。そこで、本研究では網走川で放流時期を変えてサケ稚魚を放流して、河川内での滞留状況や降河生態を調べたので報告する。

方 法

調査河川およびサケ稚魚の放流 網走川は流路延長93.6 km、流域面積1,380km²の一級河川で (Fig. 1), 古くからオホーツク海区におけるサケの重要な増殖河川と位置付けられている。現在、網走川に放流されるサケ稚魚は社団法人北見管内さけ・ます増殖事業協会の相生ふ化場 (津別町) および上里ふ化場 (津別町) で生産され、トラックで約60kmを輸送された後、網走湖の呼人浦から放流される。本研究を実施した2004~2007年に網走川に放流されたサケ稚魚は2,968万~3,286万尾、平均体重は0.96~1.13 g、放流時期は5月上旬から5月下旬にかけてであった (Fig. 2)。

サケ稚魚の標識放流 2003年級および2004年級の網走川への放流魚の一部を ALC (アリザリン・コンプレクソン) により標識し、これらの標識群の河川内での滞留時間や成長を追跡できるようにした。標識群は発眼期に ALC 200ppm 水溶液に24時間浸漬し、耳石に蛍光色素を沈着させた。積算水温の異なる段階で標識作業を行うことによって、2003年級、2004年級ともに3つの標識群を養成した。

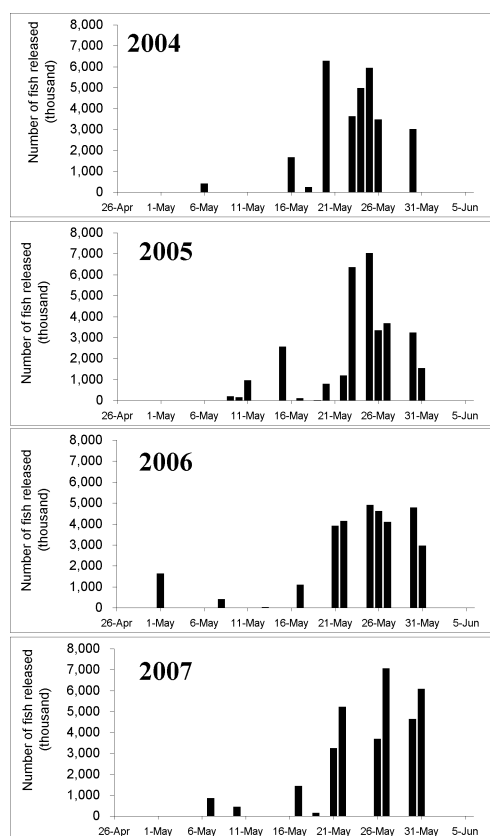


Fig. 2 Number of chum salmon released in the Abashiri River from 2004 to 2007.

実際には、積算水温が300℃前後で標識する群 (耳石に沈着する蛍光の発色部分が小さい (Small) ので S 群と呼ぶ)、積算440℃前後で標識する群 (耳石に沈着する蛍光の発色部分が大きい (Large) ので L 群と呼ぶ)、積算水温が320℃

および440℃前後の2回標識する群（耳石の標識部分が2重（Double）に発色するためD群と呼ぶ）の3つのパターンとした。

3つの標識群の採卵および放流時期は2ヵ年とも同じとし、次のように設定した。

S群： 10月中旬に採卵・5月中旬に放流

L群： 11月中旬に採卵・5月中旬に放流

D群： 11月中旬に採卵・5月下旬に放流

これらの標識した卵の管理は水温の異なる相生ふ化場と湧別ふ化場で行い、稚魚の飼育管理は相生ふ化場で実施した。各放流群の採卵月日、放流月日、放流数、放流時の尾叉長、体重をTable 1に示した。すべての群を平均体重1g程度で放流することを目標とし、卵管理での水温を調整することにより発生に差をつけて、採卵月日の異なるS群とL群を同じサイズで同一の放流日に放流し、一方、採卵日が同じL群とD群は放流月日を約2週間ずらして同じサイズで放流することを目標として飼育をした。実際には2ヵ年とも10月採卵・5月中旬放流のS群は放流時の平均体重がほぼ1gの稚魚を放流することができたが、11月中旬採卵のL群とD群では平均体重は1gには達しなかった。両年とも3群間では平均体重に有意な差が見られた（一元配置分析，2004年： $F(2, 281) = 38.04$ ，2005年： $F(2, 297) = 94.11$ ，いずれも $P < 0.01$ ）。11月中旬の同一月日の採卵で放流時期を変えた2群（L群とD群）間で比較した場合は，2004年放流の2群間では有意な差が見られたが，2005年放流の2群間では有意な差はなかった（Fisherのprotected LSD，2004年： $P < 0.01$ ，2005年： $P > 0.05$ ）。

網走川および網走湖でのサケ稚魚の採集 2004～2007年の4月下旬から6月にかけて，毎旬1回，網走川の河口から約5km上流の地点（大曲橋の直下，左岸側；Fig.1）で

投網（目合12mm，網丈2.4m）を用いてサケ稚魚を採集した。ただし，2004年は標識群を放流した5月中旬から調査を開始した。網走湖より下流側の網走川では，満潮時には海水が流入するため潮汐によって流速が大きく変化する。調査地点では下流方向への流れがある時にはサケ稚魚が群れを形成して滞泳するが，満潮で流速がほとんどなくなる時間帯には稚魚は群れを形成せず，投網ではほとんど採集できなかった。そのため満潮前後の時刻を避けて調査回ごとに調査時刻（8:00～16:30の間）を設定した。調査を実施した4年とも，サケ稚魚がほとんど採捕されなくなった6月下旬に調査を終了した。

投網の回数は稚魚の採集尾数によって調整し，稚魚の採集尾数が多い時は3投，少ない時は10投程度とした。採集されたサケ稚魚は現場で尾数を数え，最大200尾程度を測定用標本として残し，その他は放流した。測定用標本は現場にて2-フェノキシエタノールで麻酔をかけた後，5%ホルマリンで固定した。その後4～6時間経過した時点でホルマリンから取り出して70%アルコールで固定し直した。標本は北海道立水産孵化場（現さけます・内水面水産試験場）の実験室で尾叉長，体重，胃内容物の重量を測定し，さらに耳石を摘出して蛍光顕微鏡でALC標識の有無を確認した。ALC標識魚については耳石の蛍光発色部分の大きさから標識群を識別した。

稚魚採集の際には棒状温度計で河川水の水温を測定した。また，河川水温の日周変化を調べるため，2005年および2006年の4～7月には網走川の河口から5.5km上流の地点の川底から60cmの位置に水温記録計を設置し，15分間隔で水温を記録した。

放流地点である網走湖でのサケ稚魚の滞留状況を調べるため，2004年5月19日と同年6月18日，ワカサギおよびシラウオ資源量調査（北海道立水産孵化場，2006）で実施した曳網（全長55m，魚捕部の目合2mm）により混獲

Table1 Date, number of fish, size of marked chum salmon released in the Abashiri River in 2004 and 2005

Mark group	Date of release	Date of fertilization	Number of fish released (thousand)	Fork length (mm)			Body weight (g)		
				Mean	±	SD	Mean	±	SD
<i>2004 release</i>									
S	16 May 2004	15 Oct. 2003	784	48.25	±	1.97	1.08	±	0.17
L	16 May 2004	15 Nov. 2003	886	46.79	±	1.65	0.90	±	0.11
D	30 May 2004	15 Nov. 2003	671	47.83	±	2.18	0.97	±	0.15
<i>2005 release</i>									
S	15 May 2005	18 Oct. 2004	1,766	50.23	±	1.91	1.02	±	0.16
L	15 May 2005	15 Nov. 2004	810	47.27	±	1.75	0.80	±	0.10
D	31 May 2005	15 Nov. 2004	842	47.94	±	2.02	0.82	±	0.11

Table2 Number of fish, size, and stomach content index (SCI) of marked chum salmon recovered in Lake Abashiri in 2004

Sampling		Dates after release	Number of fish captured	Fork length (mm)			Body weight (g)			SCI (%)		
date	Group			mean	±	SD	mean	±	SD	mean	±	SD
19 May 2004	S	3	46	48.22	±	3.29	0.89	±	0.21	0.58	±	0.41
	L	3	33	46.61	±	2.24	0.76	±	0.11	0.57	±	0.41
	D	-	-									
	unmarked	-	112	51.03	±	4.05	1.08	±	0.27	not measured		
18 June 2004	S	34	0									
	L	34	0									
	D	19	2	52.94	±	4.84	1.25	±	0.30	1.02	±	0.26
	unmarked	-	24	51.76	±	9.26	1.27	±	0.68	not measured		

されたサケ稚魚を採集した。採集した稚魚の分析は、上に記した河川で採捕した稚魚と同様とした (Table 2)。

結 果

サケ稚魚の採捕時期と尾数 網走川の調査地点におけるサケ稚魚の投網一網あたりの採捕尾数を Fig. 3に示した。サケ稚魚は4月下旬から採捕され、概ね6月下旬にはほとんど採捕されなくなった。採捕尾数のピークは網走川でのサケ稚魚の放流時期の直後にあたる5月中旬あるいは5月下旬に見られることが多かったが年によって異なった。また、網走川への放流尾数は毎年ほぼ同じであるにもかかわらず、ピーク時の投網一網あたりの採捕尾数は大きく異なった (最大は2006年の140尾/網, 最小は2004年の40尾/網)。5月中下旬の採捕時の河川水温は10~16℃であり、稚魚の採捕数が少なくなる6月中旬以降は概ね20℃近くになっていた。ただし、網走川は満潮時には海水が流入するため、干潮時と満潮時の潮位差の大きい日には水温の日周変化も大きく、2005年および2006年に連続記録した結果を見ると、水温の日周変化の最も大きかった2005年6月23日には12.1℃ (最低12.9℃, 最大25.0℃) の水温差がみられた。稚魚採集の時刻は満潮時を避けて設定したため、本報告で示した水温は概ね干潮時の海水の影響が少ない時刻の河川水温である。

採捕される稚魚の平均尾叉長は、放流が開始される前にあたる4月下旬あるいは5月はじめの調査時には42mm台と小型であるが、放流が開始されると概ね放流サイズと同等の45~52mmの範囲にあり、調査終盤の6月中下旬に55mmを超える大型となる傾向がみられた。

標識魚の採捕時期、尾数と成長 採捕された標識魚の採捕尾数、尾叉長、胃内容量指数の推移を Fig. 4に示した。ここで、各標識群の放流数は異なるので、採捕尾数は投網一網あたり、放流数100万尾あたりの採捕尾数として表

した。

2004年5月15日および2005年5月16日に放流した標識魚 (S群, L群) は、放流から3~4日後および10~12日後にあたる5月中旬および下旬の調査時に多く採捕され、6月に入るとほとんど採捕されなくなった (Fig. 4)。2004年5月30日および2005年5月31日に放流された標識魚 (D群) は6月上旬と6月中旬の調査時に採捕されたが、その数は少なかった。6月下旬には河川水温が20℃を超えるようになり、標識魚の採捕尾数はわずかであった (Fig. 4)。また、6月下旬には未標識魚も採捕もわずかしみられなかった (Fig. 3)。

採捕された標識魚は、放流時と同程度あるいは小型の個体が多く、放流後2~3旬目には顕著に小型の個体しか採れなくなる放流群も見られた (Fig. 4; 2004年のS群および2005年のS群)。尾叉長55mm以上に成長して再捕された個体はわずかであった。放流後の日数 (t) と尾叉長の関係を指数関数で表すと

$$2004年 \quad S群: FL = 47.99e^{-0.0013t}$$

$$(R^2 = 0.004, d.f. = 121, P > 0.05)$$

$$L群: FL = 46.25e^{0.0090t}$$

$$(R^2 = 0.528, d.f. = 130, P < 0.01)$$

$$D群: FL = 47.73e^{0.0089t}$$

$$(R^2 = 0.360, d.f. = 87, P < 0.01)$$

$$2005年 \quad S群: FL = 49.68e^{0.0004t}$$

$$(R^2 = 0.002, d.f. = 223, P > 0.05)$$

$$L群: FL = 47.05e^{0.0005t}$$

$$(R^2 = 0.004, d.f. = 166, P > 0.05)$$

$$D群: FL = 47.83e^{0.0019t}$$

$$(R^2 = 0.032, d.f. = 109, P > 0.05)$$

となり、2004年のL群, D群以外では瞬間成長係数は低く、また、成長曲線は有意ではなかった。特に、平均体重1gを超えるサイズで放流したS群では2ヵ年とも瞬間成長係数は極端に低く、また決定係数も低く、河川内での成長はほとんど見られなかった。稚魚が見られなくな

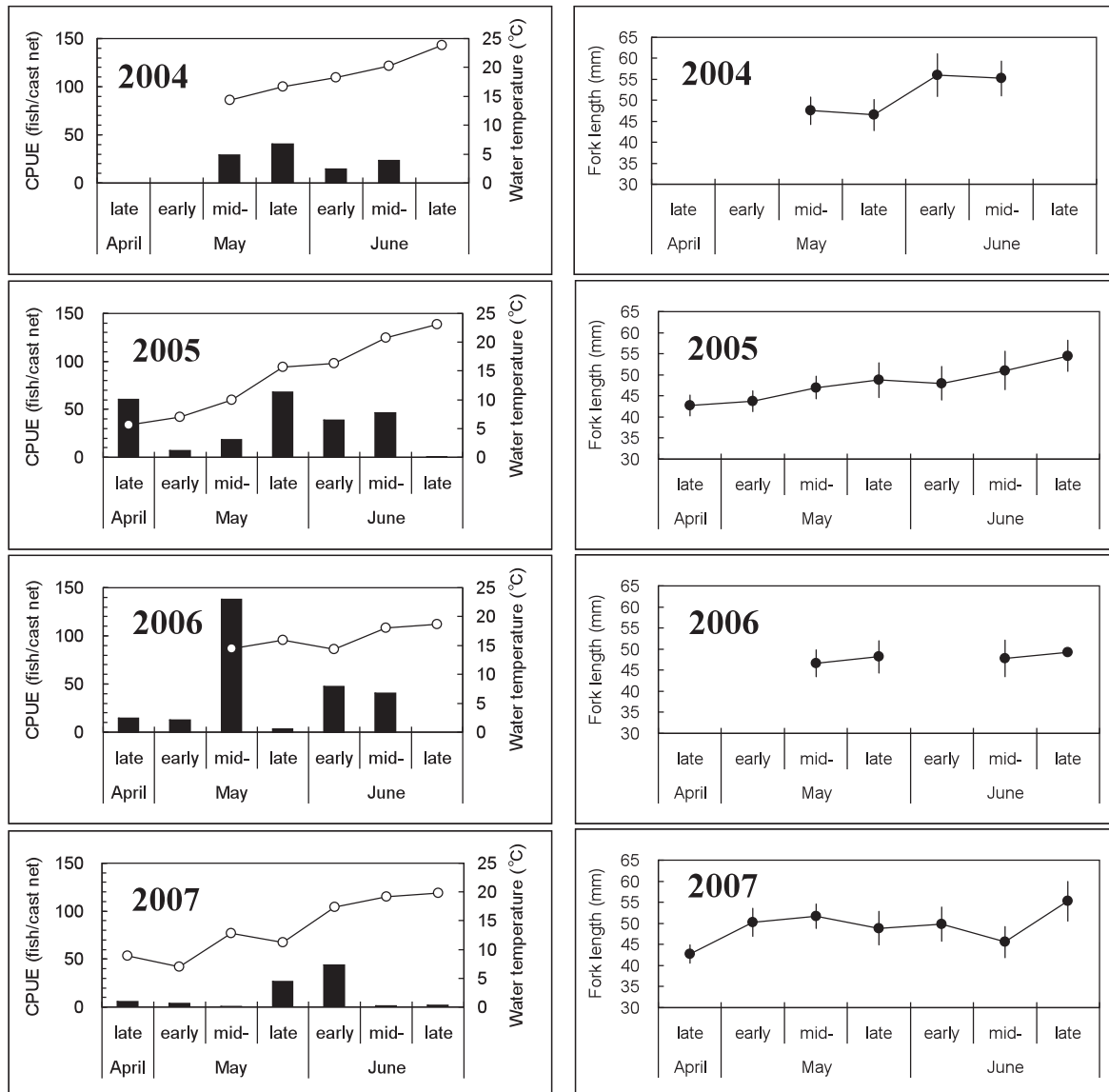


Fig. 3 Number and mean fork length of chum salmon captured in the Abashiri River from 2004 to 2007. Vertical bars indicate standard deviations. Open circles indicate river water temperature at the sampling time.

る直前の旬にわずかに大型の稚魚が採捕されたのみであった (Fig. 4)。胃内容物重量指数も大きく変動し、2%を超える群もあったが、1%を下回る群もあり、一定の傾向は見られなかった (Fig. 4)。

網走湖で2004年5月19日に実施した曳網調査では、同年5月16日に放流した稚魚が採捕された (S群46尾, L群33尾; Table 2)。湖で採捕された稚魚のサイズは、両群とも尾叉長では放流時と有意な差はなかったが (t検定, $P > 0.05$)、体重では湖で再捕された個体のほうが放流時よりも有意に小さかった (t検定, $P < 0.01$)。また、胃内容量指数は1%を下回っており胃充満度は低かった。2004年6月18日に実施した曳網調査では、同年5月16日に放流した稚魚は採捕されず、同年5月30日に放流した稚魚 (D群) がわずかに2尾採捕されたにとどまった。未標識

魚を含む全体で見ても、6月の調査時に採集されたサケ稚魚の数は少なく、この時期まで放流地点である網走湖内に滞留するサケ稚魚は少ないことが示された (Table 2)。

考 察

2004年および2005年の春、網走川においてALCを用いて耳石に標識したサケ稚魚3群 (放流サイズ0.80~1.08g) を放流したところ、河口から5 km 地点の調査定点ではいずれの群も放流直後から2旬以内に多く採捕され、放流後3旬目以降は採捕尾数が著しく減少した。このことから5月中旬以降に0.8g以上のサイズで網走川に放流されるサケ稚魚では、放流後河川内に長く滞留せずに短期間

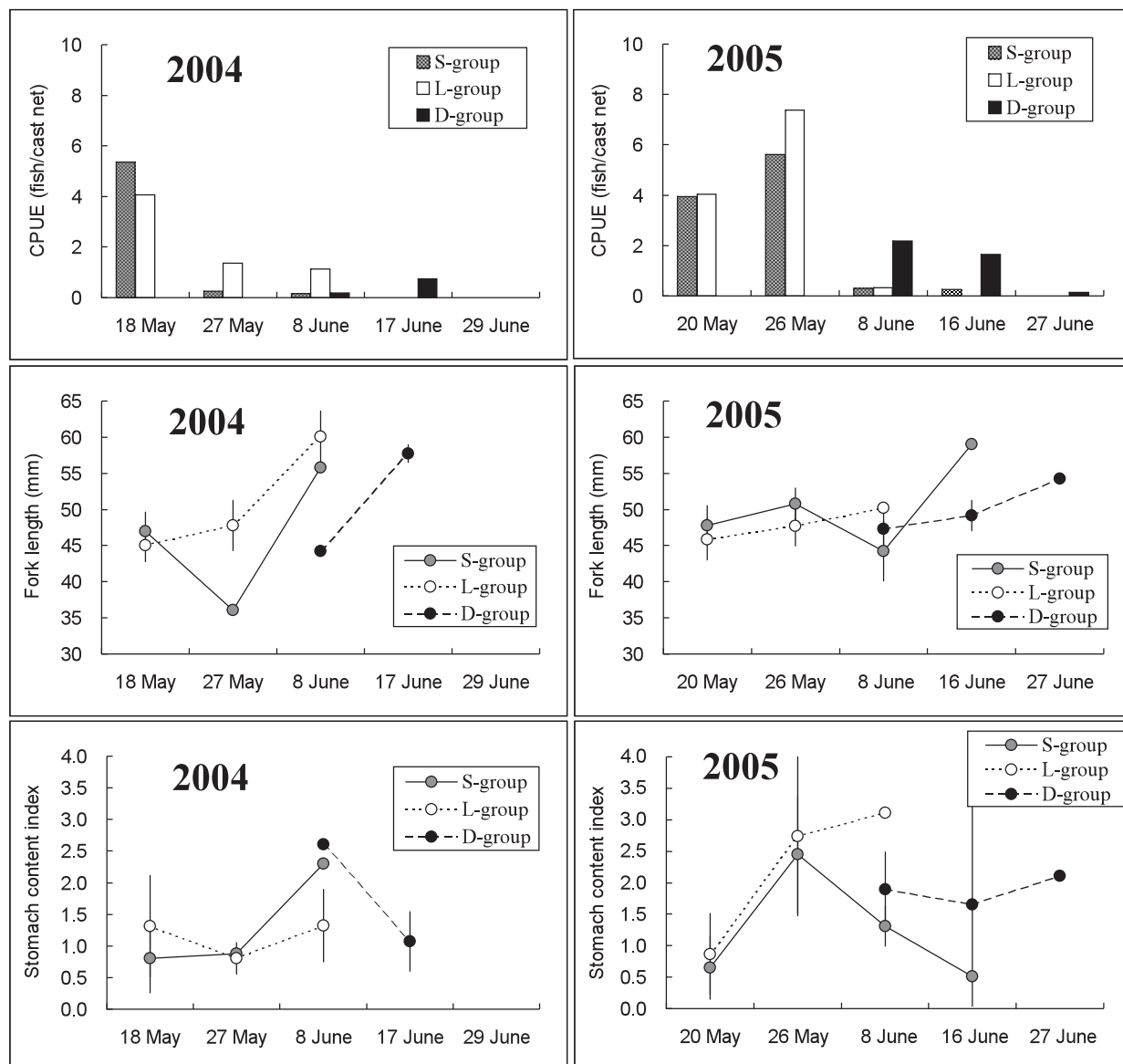


Fig. 4 CPUE (Catch Per Unit Effort; number of marked fish captured per cast net), fork length, and stomach content index of marked chum salmon captured in the Abashiri River in 2004 and 2005. Vertical bars indicate standard deviations. CPUE was expressed as the number of marked fish per release of 1 million fish to compare the CPUEs among the marked groups.

のうちに降海する個体が多いことが示唆された。本研究で放流した標識魚の一部は放流した旬（放流後3日目）のうちにすでに沿岸域に分布することが確認されており（Nagata *et al.*, 2007），このことから稚魚の一部は放流後すみやかに降海したことが実証された。

河川内で採捕された稚魚のサイズは放流時と同等あるいは小型の稚魚が多く，河川で稚魚が見られなくなる直前の旬にわずかに大型の稚魚が採捕された（Fig. 4）。このことは，放流された稚魚のうち，大型の個体の多くは速やかに降海し，小型の個体の一部が河川にとどまり，成長した後に遅れて降海した可能性もある。2004～2007年の4ヵ年の未標識魚を含む稚魚全体の採捕結果からも同様

の傾向が見てとれる（Fig. 3）。一般に，河川を降河移動するサケ稚魚の成長は著しくないことが知られており（帰山，1986），網走川においても放流魚の瞬間成長率は低い群が多く，河川内ではそれほど成長することなく降海する個体の多いことが示唆された。

天然産卵のサケでは，早期に浮上した少数の個体は産卵場所付近に長期間滞留するが，ほとんどの個体は浮上後短期間に降海移動するとされ，さらに，河川における滞留期間は稚魚の分布密度の影響を受けることが指摘されている（帰山，1986）。一方，1960年代に網走川でサケ稚魚の降河移動を調査した小林・黒萩（1968）では，放流時期は2月から5月にかけてであり，放流数は890万～

1,580万尾、体長は29~38mm となっており、現在とは放流時期、放流数、放流サイズのいずれも大きく異なる。当時、4月上旬に放流したサケ稚魚は約一ヶ月後に降海のピークを迎えたと報告されている。本研究を実施した2004年および2005年と比べ、放流サイズが著しく小型であることと、放流数が少ないために放流地点での分布密度が低いことも河川内での滞留時間の違いに影響しているものと考えられる。小林・黒萩(1968)の調査では、5月中旬以降の稚魚の胃内容量指数(摂餌率)は平均で3%を超える旬が多く、5~7%台の高い値を示す旬も見られ、本研究と比べて明らかに高い数値となっている。このことも、河川内での稚魚の分布密度の違いによるものかもしれない。ただし、網走湖より下流の網走川は満潮時には海水が流入するので、サケ稚魚は淡水性の水生昆虫のほか、沿岸性のプランクトンなど様々な餌生物を捕食していることが確認されている(佐川, 2005)。検証することは難しいが、調査日の満潮、干潮時の潮位差と採集時刻の関係によりサケの胃内容物の組成や充満度も影響を受けるものと考えられ、一般的な河川と比べて網走川下流部でのサケ稚魚の胃内容物や量には複雑な環境要因が影響しているものと考えられる。

現在、サケ稚魚の放流時期の目安として、沿岸の水温が5℃を超える頃に開始し、13℃を超える頃までに沿岸で7cm, 3gのサイズに成長できる時期が望ましいとされる(関, 2005)。これが放流適期の目安となり、概ね沿岸水温が5℃を超える頃に放流が開始される。この考え方からすると、網走川のあるオホーツク東部では概ね5月中が放流適期となる。実際に2004~2007年の網走川でのサケ稚魚の放流は5月の一ヶ月間、特に5月下旬に集中して放流が行われている(Fig.2)。ただし、2004年および2005年の5月末に放流した群(D群)では、河川あるいは湖内で放流後に採捕された稚魚はわずかであった。放流後短時間で高い率の死亡が起こったかどうかは明らかでないが、放流から2旬後には水温が20℃近くになっており、サケ稚魚が河川に滞泳できる期間も短いため、速やかに降海しなかった個体の生き残りは低くなる可能性が高い。また、放流から2旬後の6月中旬には沿岸水温が13℃を超える年もあることから(Nagata *et al.*, 2007)、沿岸での生き残りの点からも6月以降も河川内に滞留することは不利と考えられる。最近では適期放流の考え方が定着することにより、放流期間が以前より短くなる傾向が見られるが、放流期間の後半に河川や沿岸の水温が急速に高くなる地域では、遅めの放流はリスクも高くなる可能性があり、沿岸や河川環境に関する十分な情報を得た上で放流時期を検討する必要があると言える。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、社団法人北見管内さけ・ます増殖事業協会、網走漁業協同組合、西網走漁業協同組合の皆様にご協力いただきました。さけます・内水面水産試験場前場長の河村 博博士には本論文の原稿を丁寧に見ていただき、貴重なコメントをいただきました。厚くお礼申し上げます。

文 献

- Bax NJ. Early marine mortality of marked juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released into Hood Canal, Puget Sound, Washington, in 1980. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1983; 40: 426-435.
- Fukuwaka M and Suzuki T. Early sea mortality of mark-recaptured juvenile chum salmon in open coastal waters. *Journal of Fish Biology* 2000; 60: 3-12.
- Healey MC. Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1982; 39: 952-957.
- 北海道立水産孵化場. シラウオの資源管理技術の開発研究. 平成16年度事業成績書, 2006; 138-145.
- 入江隆彦. 海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究. 西海区水産研究所研究報告 1990; 68: 1-142.
- 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.
- 帰山雅秀. 最新のサケ学. 成山堂書店, 東京, 2002.
- 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; 137-163.
- 帰山雅秀, 佐藤愁一. 十勝川におけるサケ稚魚の成長と食性に関する調査-Ⅲ. 1977年, 稚魚の降海移動期と成長および摂餌活動との関係. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1979; 33: 47-73.
- 小林哲夫. サケ稚魚の生態調査(5) 降海期に於けるサケ稚魚の行動について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1958; 12: 21-30.
- 小林哲夫. サケ稚魚の生態調査-Ⅶ サケ稚魚の行動についての一知見. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1964; 18: 1-6.
- 小林哲夫. 日本サケ・マス増殖史. 北海道大学出版会, 札幌. 2009.

- 小林哲夫, 原田 滋, 阿部進一. 西別川におけるサケ・マスの生態調査Ⅰ. サケ稚魚の降海移動並びに成長について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1965; 19: 1-10.
- 小林哲夫, 黒萩 尚. 網走湖, 網走川におけるサケ稚魚の生態とその保護について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1968; 22: 37-71.
- 真山 紘, 関 二郎, 清水幾太郎. 石狩川産サケの生態調査Ⅰ. 1979年春放流魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1982; 36: 1-17.
- 真山 紘, 関 二郎, 清水幾太郎. 石狩川産サケの生態調査Ⅱ. 1980年及び1981年春放流魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊. 北海道さけ・ますふ化場研究報告1983; 37: 1-22.
- 永田光博. サケ類増殖事業の歴史と将来展望. 「サケ学入門 (阿部周一編)」, 北海道大学出版会, 札幌. 2009; 19-34.
- Nagata, M., Miyakoshi, Y., Ando, D., Fujiwara, M., Sawada, M., Shimada, H., and Asami, H. Influence of coastal seawater temperature on the distribution and growth of juvenile chum salmon, with recommendations for altered release strategies. North Pacific Anadromous Fish Commission, Bulletin 2007, 4: 223-235.
- 佐野誠三, 小林哲夫. さけ稚魚の生態調査(2) 標識放流試験に於けるさけ稚魚の移動と成長について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1953; 8: 71-79.
- 佐川洋介. 網走川におけるシロザケ *Oncorhynchus keta* 幼稚魚の成長と摂餌に関する生態学的研究. 北海道東海大学卒業論文, 2005.
- 関 二郎. 北海道太平洋沿岸域におけるサケ幼稚魚の摂餌特性と餌料環境に関する研究. さけ・ます資源管理センター研究報告 2005; 7: 1-104.

サケ稚魚長距離輸送時の経時的な水質変化

藤原 真*, 實吉隼人, 鈴木邦夫

*北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Changes in water quality during long-distance transportation of chum salmon juveniles

MAKOTO FUJIWARA*, HAYATO SANEYOSHI AND KUNIO SUZUKI

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

Changes in water quality (temperature, pH, electric conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), and ammonia nitrogen $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration) in fish tanks containing chum salmon juveniles were examined during long-distance transportation by car. From March through April in 2011 chum salmon juveniles (mean body weight 0.7-0.9 g, total number 860,000) were transported while supplying oxygen from a hatchery to 4 distant rearing sites in Hokkaido, Japan. Duration of feed withdrawal for fish before transportation was one day. Densities (total fish weight per tank volume) in the fish tanks were maintained at 6.0 to 7.2%. Carrying distances were 227 to 340 km (5 to 7.1 hours by car). The water temperature was nearly constant. The pH decreased rapidly at the early stages of transportation and then remained constant. The DO increased and reached supersaturation. The concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$ increased in proportion to the transportation time (hours) and reached 6.38 mg/l (0.0009 mg $\text{NH}_3\text{/l}$) 7 hours later. Moreover, EC was proportional to the content of $\text{NH}_4\text{-N}$. The fish showed no mortality during and after transportation. These results suggest that the conditions of the long-distance transportation were appropriate for use in chum salmon juveniles and also that EC would be a useful indicator for $\text{NH}_4\text{-N}$ content.

キーワード： サケ稚魚, 水質, 長距離輸送

現在、北海道では毎年約10億尾のサケ稚魚が生産され、全道各地で放流されているが、このうち、約30%の稚魚が他の陸上施設あるいは海中飼育施設へ移動され、再飼育後、最終放流されている。このため、河川へ直接輸送して放流される稚魚を含めると少なくとも40%前後のサケ稚魚がトラックにより活魚輸送されている。

活魚輸送において留意すべき主な条件として稚魚の収容密度、タンク内の溶存酸素量および水温が挙げられる。清水（1985）は、これらの条件に加え、水質の変化（ $\text{NH}_4\text{-N}$, PO_4 ）と稚魚の生理障害の程度について検討し、収容密度が高いほど $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加率が大きいことを明らかにした。さらに、収容密度20%程度（単位容積あたりの収容重量；%）では血液性状に影響はほとんどないことから、この密度条件においては200km 前後の距離を安全に運搬できるとしている。

2010年に真狩村（後志管内）に新設された羊蹄ふ化飼育場では、生産された稚魚2,240万尾（0.7~0.8g）を留萌管内の各施設へ輸送し、再飼育後にそれぞれの川へ放流する（Fig. 1）。輸送距離は、最も南に位置する信砂ふ化場および暑寒別飼育場（増毛町）が約230km、最北の遠別飼育場（遠別町）に至っては340kmと、清水（1985）が報告した距離を大幅に上回っている。また、輸送する稚魚の数も2,240万尾と大量であることから輸送後の稚魚の健苗性にも配慮した、より安全な輸送技術の確立が急務の課題となっている。

そこで、本研究は長距離輸送において懸念される輸送タンク内の水質悪化に焦点を絞り、輸送中の水温、溶存酸素量（DO）、pH、アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）および電気伝導率（EC）を経時的に調べ、輸送方法の改善に向けた基礎データの収集を目的とした。

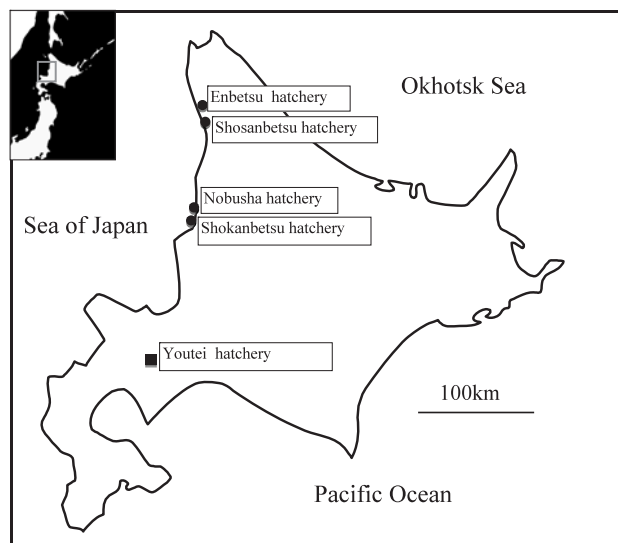


Fig. 1 Map showing producing (■) and transporting (●) sites of chum salmon juveniles.

試料および方法

羊蹄ふ化飼育場で2011年春に生産されたサケ稚魚2,240万尾のうちの86万尾を対象とし、遠別飼育場（遠別町）、初山別飼育場（初山別村）、信砂ふ化場および暑寒別飼育場（増毛町）へ輸送した。輸送した稚魚の平均体重は0.7~0.9g、輸送前の餌止め日数は1日で、これらサケ稚魚の輸送概要はTable 1に示した。なお、輸送中は酸素分散器を用いて酸素補給を行い、途中水換えは行っていない。

輸送時にタンク内の水温、DO、pH、ECを測定した。なお、水温とDOはDOメータ（WTW社製 Multi 3410）、pHは簡易水質試験器（東洋製作所製 BTB）、ECはポータブル電気伝導度・塩分・水温計（YSI社製 EC300型）を用いて測定した。また、輸送中のタンク内の水温への気温の影響を把握するため、タンク内と外に自記水温計（ティドビット v2：Onset社製）を取り付け、10分毎の水温および気温の変化を記録した。

NH₄-N濃度の分析用としてタンク内の環境水500ml

を採水した。試水はアイスボックスで氷冷しながら実験室に持ち帰り、-80℃で冷凍保存したのち、後日、水質分析し、NH₄-N濃度を求めた。なお、分析にはインドフェノール法を用いた。さらに、得られたNH₄-N濃度ならびに水温とpHの測定値からThurston *et al.* (1979)により非解離アンモニア（NH₃）濃度を求めた。

タンク内の環境水の簡易測定は、出発時（0時間）、輸送30分後、2.5時間後、5時間後および到着時に、水質分析用の採水は出発時、2.5時間後、5時間後および到着時に実施した。なお、出発時の簡易測定および採水は、信砂および暑寒別への輸送群については飼育池の注水部、初山別および遠別への輸送群についてはタンク内の水について実施した。また、到着時のタンク内の水温と水温差を把握するため、稚魚を収容する飼育池の水温についても測定した。

調査は3月19日（信砂）、3月25日（暑寒別）、4月1日（初山別）、4月14日（遠別）の4回実施した。輸送時間は信砂ふ化場と暑寒別飼育場が概ね5時間、初山別飼育場が6.4時間、遠別飼育場が最も長く7.1時間であった。また、輸送距離は信砂ふ化場と暑寒別飼育場が約230km、初山別飼育場が320km、遠別飼育場が340kmであった。輸送に用いたタンクの容量は信砂ふ化場と暑寒別飼育場が3 m³（以下、Tank Iと呼ぶ）、初山別飼育場と遠別飼育場が2 m³（以下、Tank IIと呼ぶ）であり、収容密度（（総重量/タンク容量）×100）は6.0~7.2%の範囲であった。なお、タンク I はキャンバス式であり、輸送に使用したトラックはフルハーフのウイングタイプ、タンク II は密閉式のFRPタンクであり、輸送に使用したトラックはトレーラーの平ボディタイプであった。

結 果

水温 輸送中の水温の変化をみると初山別飼育場と遠別飼育場への出発時のタンク内の水温は6℃であり、輸送中若干の上昇がみられたが、4時間後で+0.2℃、到着時

Table1 Summary of long-distance transport of chum salmon juvenile

Date	Destination	Hours	Distance (km)	No. of individuals (thousands)	Mean body weight (g)	Total weight (kg)	Tank volume (m ³)	Density ^{*3} (%)
March 19, 2011	Nobusha	5.2	234	280	0.7	196	3 (Tank I) ^{*1}	6.5
March 25, 2011	Shokanbetsu	4.9	227	270	0.7	189	3 (Tank I)	6.3
April 1, 2011	Shosanbetsu	6.4	320	160	0.9	144	2 (Tank II) ^{*2}	7.2
April 14, 2011	Enbetsu	7.1	340	150	0.8	120	2 (Tank II)	6.0

*1 Canvas tank

*2 FRP tank

*3 Density(%) = Total weight(kg) / (Tank volume(m³) × 10)

で $+0.4\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ の範囲であった (Fig. 2-a)。信砂ふ化場と暑寒別飼育場の輸送では出発時の水温として羊蹄ふ化飼育場の飼育池注水部の水温を測定しているが、共に 6.3°C であった。信砂ふ化場の輸送では輸送30分後のタンク内の水温は 5.9°C であったが、2.5時間後には 0.7°C 上昇した後、到着時にはさらに 0.4°C 低下した 6.2°C であった。また、暑寒別飼育場への輸送では輸送30分後のタンク内の水温は 5.1°C であったが、2.5時間後には 0.6°C 上昇し、到着時には 0.2°C 低下した 5.5°C であった。

到着時のタンク内の水温と稚魚を収容した飼育池の水温は、それぞれ信砂ふ化場で 6.2°C と 3.2°C 、暑寒別飼育場で 5.5°C と 2.4°C 、初山別飼育場で 6.4°C と 4.1°C 、遠別飼育場で 6.7°C と 7.3°C であった。その水温差は $+0.6\sim -3.1^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり、遠別飼育場でのみ飼育池の水温がタンク内の水温より高かった。他の3箇所では、概ね飼育池の水温がタンク内の水温より 3°C 前後低かった。

気温の水温への影響 タンク I を使用した信砂ふ化場と暑寒別飼育場への輸送中の気温は、前者で平均 7.6°C (範囲： $3.2\sim 14.3^{\circ}\text{C}$)、後者で平均 0.1°C (範囲： $-5.5\sim$

5.8°C) であったが、タンク内の水温はともに 6°C 前後で推移した (Fig. 3)。一方、タンク II を使用した初山別飼育場と遠別飼育場への輸送中の気温は、前者で平均 5.4°C (範囲： $2.6\sim 8.0^{\circ}\text{C}$)、後者で平均 7.0°C (範囲： $2.8\sim 12.0^{\circ}\text{C}$) であったが、タンク内の水温は、前者で平均 6.3°C (範囲： $6.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$)、後者で平均 6.2°C (範囲： $6.1\sim 7.3^{\circ}\text{C}$) であった。遠別飼育場への輸送群においてタンク内の水温が 7.3°C まで上昇したものの、概ね、タンク I、タンク II ともに気温の影響をほとんど受けなかった。

溶存酸素 (DO) 出発時の飼育池注水部の DO は、概ね 12 mg/l であり、出発時のタンク内の DO を測定した初山別飼育場への輸送群もほぼ同様な値を示した (Fig. 2-b)。一方で、遠別飼育場への輸送群では出発時のタンク内の DO は 8.5 mg/l であった。なお、信砂ふ化場および暑寒別飼育場への輸送群については出発時にタンク内の DO を測定しておらず、羊蹄ふ化飼育場の飼育池注水部の測定値である。輸送30分後の DO は、信砂、暑寒別、初山別への輸送群では $10\sim 13\text{ mg/l}$ の範囲であったが、遠別の輸送群では 5 mg/l まで低下した。恐らく、調整器の不具合による

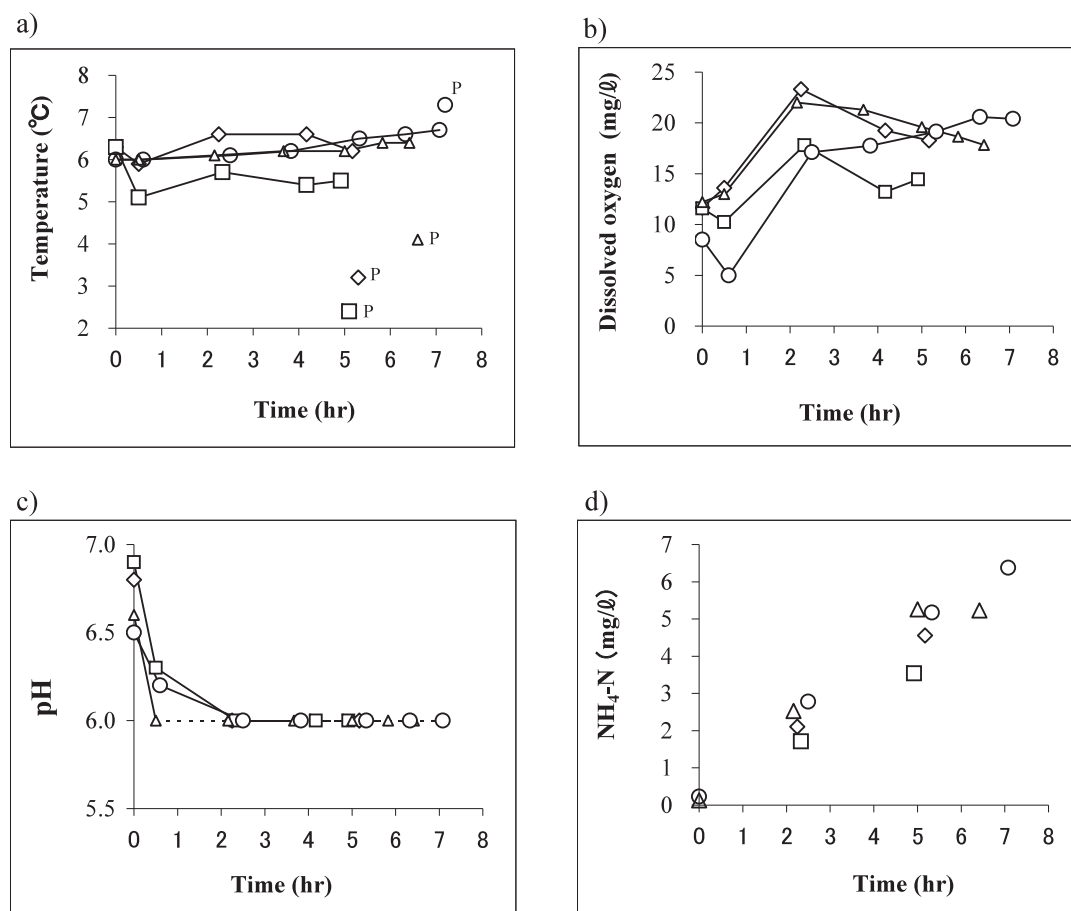


Fig. 2 Changes in water temperature (a), dissolved oxygen (b), pH (c) and $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration (d) during long-distance transportation ; Index P indicates values measured in the pool on arrival . $\text{NH}_4\text{-N}$ concentrations (—Nobusha (◇) and Shokanbetsu (□)) measured in the pool at departure were omitted. ◇ ; Nobusha, □ ; Shokanbetsu, △ ; Shosanbetsu, ○ ; Enbetsu

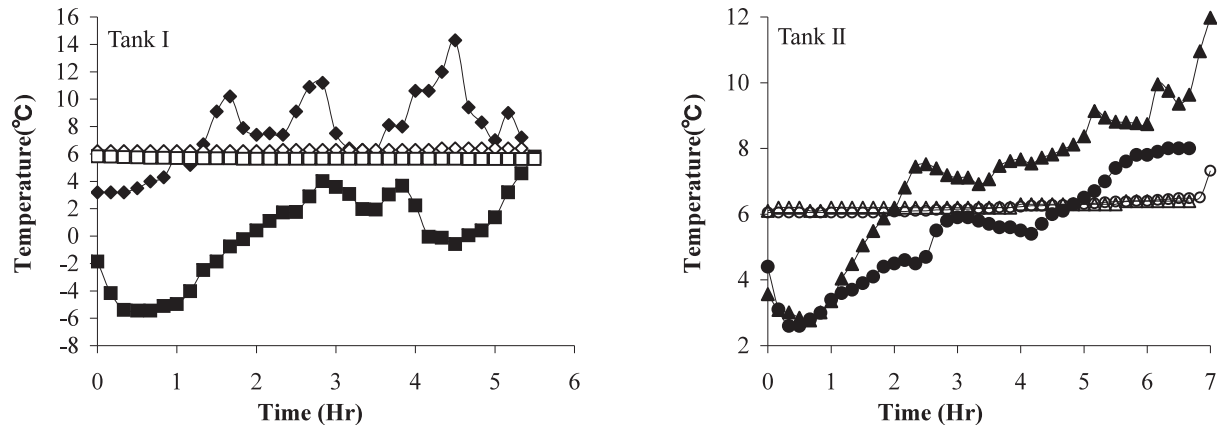


Fig. 3 Changes in air and water temperatures during long-distance transportation. (Data were recorded at ten-minute intervals). ◆; Nobusha (air), ◇; Nobusha (water), ■; Shokanbetsu (air), □; Shokanbetsu (water), ▲; Shosanbetsu (air), △; Shosanbetsu (water), ●; Enbetsu (air), ○; Enbetsu (water)

ものと考えられた。その後、適宜、酸素量を調整したが、2.5時間後には17.1~23.3mg/lと4群ともに最大値を示し、到着時には14.5~20.4mg/lの範囲にあった。DOが最大となった時の酸素飽和度は、146.5~196.2%であったが、横臥する個体等はみられなく、輸送中および輸送直後のサケ稚魚への影響は認められなかった。

pH 羊蹄ふ化飼育場の注水部では6.8~6.9であったが、出発時にタンク内のpHを測定した初山別飼育場と遠別飼育場への輸送では6.5~6.6と若干の低下がみられた (Fig. 2-c)。輸送30分後には6.0~6.3, 2.5時間後には4群すべてで6.0まで低下し、その後も中性に回復することはなかった。

アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 出発時にタンク内の環境水を採水した初山別飼育場と遠別飼育場の輸送では、0.13~0.23mg/lであった (Fig. 2-d)。なお、飼育池の注水部では $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は検出限界 (0.05mg/l) 以下であった。輸送2.5時間後には平均2.28mg/l (範囲: 1.71~2.78mg/l), 輸送5時間後には平均4.63mg/l (範囲: 3.54~5.26mg/l) まで $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が上昇した。さらに輸送時間が7.1時間に達した遠別飼育場への輸送では6.38mg/lに達した。経過時間と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度との間には有意な正の相関が認められた ($R^2=0.9479$, $p<0.005$)。

非解離性アンモニア (NH_3) NH_3 濃度を推定したところ、2.5時間後で平均0.000325mg/l (範囲: 0.0002~0.0004mg/l), 5時間後で平均0.000625mg/l (範囲: 0.0005~0.0007mg/l), 輸送時間が7.1時間に達した遠別飼育場への輸送では0.0009mg/lの最大値を示した (Fig. 4)。経過時間と NH_3 濃度との間には有意な正の相関が認められた ($R^2=0.9211$, $p<0.005$)。

電気伝導率 (EC) ECを測定した初山別飼育場と遠別飼育場への輸送について、ECと $\text{NH}_4\text{-N}$ 量 ($\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (mg/l) ×タンク内の水量 (l); mg) との関連性につ

いて検討したところ、有意な正の相関が認められた (Fig. 5 $R^2=0.9644$, $p<0.005$)。

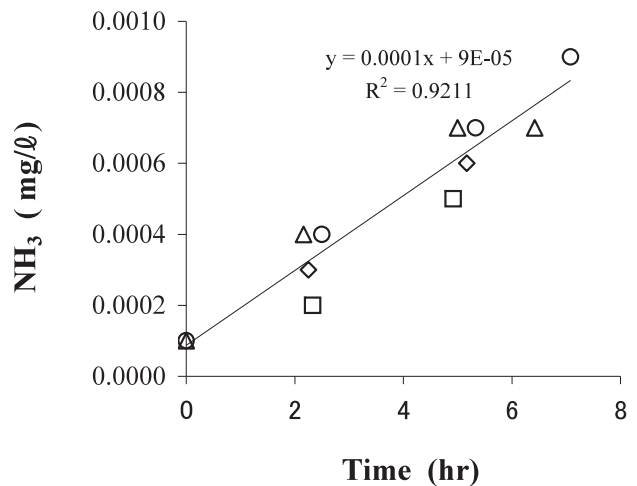


Fig. 4 Change in estimated NH_3 concentration during long-distance transportation. ◇; Nobusha, □; Shokanbetsu, △; Shosanbetsu, ○; Enbetsu

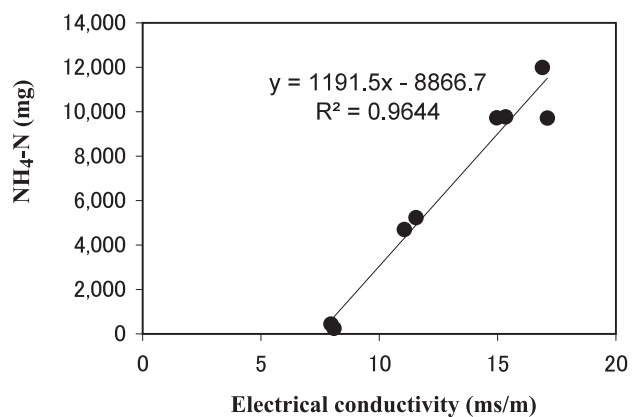


Fig. 5 Relationship between electric conductivity and $\text{NH}_4\text{-N}$ content.

考 察

水温 キャンバス式タンクは、FRP タンクに比べ密閉度が低く、気温の水温への影響が大きいと予想された。しかし、両者において水温に対する気温の影響はほとんど認められなく、羊蹄ふ化飼育場の飼育水温とはほぼ同じ6℃前後で輸送することができた。キャンバス式タンクを積載したトラックは、ウイングタイプであることからタンクが直接外気に触れないため、水温変動が少なかったと考えられた。

また、到着時のタンク内の水温と収容する飼育池の水温との水温差は、+0.6～-3.1℃の範囲にあったが、積み下ろし後のサケ稚魚に平衡感覚の欠如、鰓蓋の緩慢な開閉等の異常は特に認められなかった。水温の急激な低下は冷ショックによる死亡を起こす可能性があり (Ash *et al*, 1974), また、致死水温の下限は、馴致水温に強く左右される (Brett, 1952)。今回の試験では到着時の水温が5.5～7.3℃であり、収容する飼育池の水温が低かった場合でもその差は3℃程度であった。ただし、さらに飼育池の水温が雪解け等により0℃前後の場合も想定されることから輸送中の水温コントロール、すなわち、馴致水温を低く維持することも今後必要と考えられた。

pH 簡易水質試験器のpH指示薬として用いたBTB溶液の測定範囲は6.0～7.6である。このため、2.5時間後にはすべての群で6.0を示したが、さらに低い値であった可能性もあり、pHの変化については改めて検討する必要がある。また、今回の試験でみられたpHの低下は、魚の呼吸により水中にCO₂が溶解した結果と考えられるが、酸素消費量とも密接に関係し、特に出発時（稚魚の積み込み直後）に6.5～6.6まで低下していることから積み込み時の刺激の影響が考えられ、積み込み方法（角ザルおよびフィッシュポンプ）についても検討が必要と考えられた。

過飽和溶存酸素量 キャンバス式タンクは、FRP タンクに比べ密閉度が低いことから飽和度が低いと予想されたが、両者とも過飽和に達しており、特に明瞭な違いは認められなかった。DOは最大で23.3mg/lを示し、飽和度は196.2%であった。酸素過剰の条件下では鰓のガス交換率が減少し、CO₂排出が阻害され、血中のCO₂分圧が過剰に上昇するとされている (Heiler, 1984)。また、微細な気泡が鰓に付着して生理的障害を示す場合が指摘されており、コアユでは溶存酸素量が27～32cc/l (38～46mg/l)の水に入れると約30分で狂奔がみられ、6時間後では清水に戻しても斃死がみられるとの報告がある (山崎, 1967)。今回の試験では輸送中および輸送後に斃死等は認められなかったが、過飽和溶存酸素量のサケ稚魚への生理的な影響については、不明の点が多く、血中酸素濃度

や血液性状との関連を含め、今後の課題と考えられた。

NH₃濃度 本研究で得られたNH₃濃度の最大値は0.0009mg/lであり、サケ稚魚への影響はなかったものと判断された。ニジマスで9～12か月飼育して得たNH₃の安全濃度は0.0125ppmと報告されており (Smith and Piper, 1975), 今回の値はサケ稚魚に影響ない範囲と考えられた。一般に水溶液中のアンモニアは非解離性アンモニアNH₃とアンモニウムイオンNH₄⁺の形態で存在するが、このうち、鰓のリポ蛋白質膜を容易に透過することができるNH₃の毒性が高いことが知られている (Wuhrmann and Woker, 1948)。また、水中の総アンモニア(NH₃+NH₄⁺)中に占めるNH₃の割合は、pHと水温が高いほど大きくなるとされている (Thurston *et al*, 1979; 清水, 1982)。本研究では2.5時間後にはすべての輸送でpH値が6.0～6.3まで低下しており、また、輸送中の水温は5.1～6.7℃と低水温に維持されたことからNH₄-N濃度が最大6.38mg/lと高かったもののNH₃濃度は低い値で経過したものと考えられた。

DOとNH₃濃度 DOは、遠別飼育場への輸送において出発時から輸送30分後まで5.0～8.5mg/lであったのを除くと10mg/l以上の高い値が維持されており、NH₃濃度のサケ稚魚に対する毒性を軽減する方向に働いたと考えられた。ニジマスでは溶存酸素量が低いほど低濃度の非解離性アンモニア濃度で影響を受けることが示されており、溶存酸素量7mg/lの条件下での96時間LC₅₀ (50%死亡率濃度)は0.6mg/l前後と報告されている (Thurston *et al*, 1981)。本研究で得たNH₃濃度の最大値 (0.0009mg/l)はこの値より低く、溶存酸素量を考慮してもサケ稚魚には問題ない範囲と考えられた。

NH₄濃度 今回の試験ではNH₄-N濃度が約7時間後に6.38mg/lまで増加した。NH₄-N濃度は時間の経過とともに蓄積されることが知られており (山崎, 1967; 伊澤・今田, 1984), 本研究においても経過時間とNH₄-N濃度との間には有意な正の相関が認められた。また、輸送2.5時間後には平均2.28mg/l (範囲: 1.71～2.78mg/l)の値を示し、清水 (1985) が収容密度10%の条件下でサケ稚魚を輸送した際に得た2時間後のNH₄-N濃度 (2mg/l)にほぼ一致した。一般にアンモニア(NH₄-N)の毒性については0.3ppm以上になると血液中の酸素が減じ、炭酸ガスが増加するとされ、さらに10ppm近くになれば斃死さえ現れるとされている (山崎, 1967)。また、ニジマスではNH₄-Nの蓄積に伴うHt値の上昇から呼吸障害が起きている可能性が示唆されている (伊澤・今田, 1984)。今回の試験ではNH₄-N濃度が6.38mg/l前後でも輸送中および輸送後に斃死等が認められなかったのは、深刻な影響を与える経過時間に至っていなかったためと考えられ

た。また、pH が低い条件下において総アンモニアに占める NH_3 濃度の割合が低く、その絶対値も低かったことからサケ稚魚への毒性が低かったことも考えられた。一方で NH_4^+ が高く存在すると鰓における Na^+ 吸収が阻害され、浸透圧調節の平衡異常を招くとされており (Armstrong *et al.*, 1978), pH が低い条件下であっても $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高い場合には注意が必要と考えられる。

アンモニア態窒素の排泄量は、魚種、魚の大きさ、健康状態、水温などによって異なり、特に餌止めによる影響が著しいとされている (山崎, 1967)。この中で150gの大きさのニジマスでは、餌止め時間が72時間では24時間の場合の20%以下の排泄量に低下すると報告されている。本研究では餌止めを1日として実施したが、餌止め日数についても今後検討が必要と考えられた。

アンモニア態窒素の簡便な推定手法 EC と $\text{NH}_4\text{-N}$ 量に強い相関がみられた。水中の窒素濃度の計測としては、吸光光度法やイオンクロマト法などの室内分析が主流であるが、即時性、分析労力の面から現場での活用は難しい。このため、導電率情報を用いた全窒素濃度 (T-N) の推定が、農業や畜産の分野で試みられている (小柳, 1998; 富田ら, 2008)。サケ稚魚の長距離輸送においても EC 値が $\text{NH}_4\text{-N}$ の指標値の一つとして利用できる可能性がみられ、輸送中の簡便な測定方法として有用と考えられた。

以上より、アンモニア中に占める NH_3 の割合とその毒性は水温、pH、DO の影響を受け、さらに輸送する稚魚の健康度により NH_3 から受ける影響も異なると考えられる。また、アンモニア態窒素量を極力低く保つことも重要と考えられ、長距離輸送に際してはこれらの点に注意する必要がある。

今後、より安全なサケ稚魚長距離輸送方法の確立のため、 NH_3 濃度と餌止め日数、過飽和溶存酸素量のサケ稚魚への影響等について、さらなる検討が必要である。

謝 辞

本研究を進めるにあたりご協力頂いた社団法人留萌管内さけ・ます増殖事業協会の職員の皆様に感謝申し上げます。また、水質分析を担当し、助言頂いた、さけます・内水面水産試験場内水面資源部の中島主査、佐々木研究主査に感謝申し上げます。社団法人北海道栽培漁業振興公社の今田和史氏には本原稿に多くの有益な助言をいただきました。厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Armstrong DA, Chippendale D, Knight AW, Colt JE. Interaction of ionized and un-ionized ammonia on short-term survival and growth of prawn larvae, *Macrobrachium Rosenbergii*. Biol. Bull. 1978; 154: 15-31.
- Ash GR, Chymko NR, Gallup DN. Fish kill due to "cold shock" in lake Wabumun, Alberta. J. Fish. Res. Bd. Can. 1974; 31(11): 1822-1824.
- Brett JR. Temperature tolerance in young Pacific salmon, genus *Oncorhynchus*. Fish. Res. Bd. Can. 1952; 9: 265-323.
- Heisler N. Acid-base regulation in fishes. In: W. S. Hoar and D. J. Randall (eds.), Fish Physiology X. Part A: Anatomy, gas transfer and acid-base regulation. Academic Press, London. 1984; 315-401.
- 伊澤敏穂・今田和史. 高密度飼育ニジマスの止水条件下における血液性状と環境水の変化. 北海道立水産孵化場研究報告. 1984; 39: 75-82.
- 小柳渉. 貯留牛尿の成分と簡易測定方法. 新潟畜産研報. 1998; 12: 49-57.
- Smith CE, Piper RG. Lesions associated with chronic exposure to ammonia. In: W. E. Ribelin and H. Gigaki (eds). The pathology of fishes. Univ. Wis. Press, Madison. 1975; 497-514.
- Thurston RV, Russo RC, Emerson K. Aqueous ammonia equilibrium tabulation of percent un-ionized ammonia. Ecological Research Series. 1979; 1-123.
- 清水幾太郎. 初心者のための水質調査 (II) 飼育環境とアンモニア. 魚と卵. 1982; 152: 34-37.
- 清水幾太郎. 稚魚輸送放流技術の開発. そ河性さけます類の大量培養技術開発における総合研究. 1985; 106-107.
- Thurston RV, Phillips GR, Russo RC, Hinkins SM. Increased toxicity of ammonia to rainbow trout (*salmo gairdneri*) resulting from reduced concentrations of dissolved oxygen. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1981; 38(8): 983-988.
- 富田景子・平井康丸・別府佑一郎・濱上邦彦・森 健. 導電率情報を利用した灌漑水の全窒素濃度の推定. 九大農学芸誌. 2008; 63(2): 141-145.
- 山崎隆義. 淡水魚の活魚輸送. 水産研究叢書. 1967; 17: 1-55.
- Wuhrmann K, Woker H. Beitrage zur Toxikologie der Fische. II. Experimentelle Untersuchungen über die Ammoniak und Blausaurevergiftung. Schweiz. Z. Hydrol. 1948; 11: 210-244.

ワカサギ孵化仔魚の絶食耐性および網走湖流入河川からの流下生態

虎尾 充

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道東支場

Starvation limits of newly hatched larvae of wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, and their downstream migration to Lake Abashiri

MITSURU TORAO

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

After hatching in the rivers flowing into Lake Abashiri, it is vital for the survival of Wakasagi (*Hypomesus nipponensis*) larvae to arrive at Lake Abashiri with yolk storages. The present study aims to estimate the time required for the newly hatched larvae of wakasagi to arrive at Lake Abashiri. Yolk absorption and starvation tolerance were examined in the reared yolk-sac larvae, and sampling surveys of drifting larvae were conducted at the inflowing river. Newly hatched larvae completed yolk absorption by six days after hatching at 13°C. The point-of-no-return (PNR) of yolk-sac larvae was found by the five day mark. The results of a 24-hour sampling survey for the drifting larvae show the larvae hatched just after sunset and immediately migrated to Lake Abashiri. Judging from the yolk volume of these larvae, the time required to reach the lake was estimated to be from 0-1 day after hatching. Newly hatched wakasagi larvae are considered to have sufficient yolk volume for starvation tolerance at the time of entering the lake, even though arrival and first feeding at the lake are required within four days of hatching for survival.

キーワード： *Hypomesus nipponensis*, 網走湖, 仔魚, 絶食耐性, 孵化仔魚, 卵黄吸収, 流下流入河川, ワカサギ

ワカサギ *Hypomesus nipponensis* は、北海道および本州の利根川以北と島根県以北の河川湖沼、内湾や沿岸に自然分布する冷水性の遡河回遊魚である（白石, 1961; 濱田, 1980; Saruwatari *et al.*, 1997）。環境に対する適応性が高いことから日本各地の河川や湖沼、ダム湖に移植され（濱田, 1980; 落合・田中, 1986）、内水面漁業や遊魚にとって重要な魚種となっている。

ワカサギは生活史の一時期に降海するものや汽水域を利用するもの、淡水域で生活史を完結するものなど回遊型の多型を持つが（浜田, 1953; Arai *et al.*, 2006; Katayama *et al.*, 2007）、その産卵場所は淡水域に限られ、生息水域によって湖沼や河川あるいはその両方に形成される（矢口, 1956; 岡田・伊藤, 1960; 寺尾・今井, 1960; 片山ら, 1996; 原ら, 2002; 久下, 2006; 富永・野内, 2006; 藍・尾崎, 2008; 富永, 2009）。

網走湖はワカサギの主要な原産地の1つである。網走

湖は下層の嫌気層と上層の好気層の二層構造からなる汽水湖であるため（今田ら, 1995; 安富ら, 1995）、ワカサギの産卵場所は主に流入河川に形成され（宇藤・坂崎, 1984）、湖内における産卵は河川でのそれに比べて著しく少ないと考えられている（鳥澤, 1999）。河川改修等による流入河川の産卵環境悪化がワカサギ資源の減少につながる事例もあり（松本, 1994）、網走湖産ワカサギにおいても流下仔魚の動態を明らかにすることは資源変動要因を検討する上で重要な課題である。

網走湖への流入河川である網走川・女満別川などで5～6月に孵化したワカサギ仔魚は、ただちに湖に流下し網走湖内で成長する（宇藤・坂崎, 1983; 宇藤, 1988）。孵化後に河川を降下するワカサギ流下仔魚は発育段階的には卵黄仔魚期に相当し、内部栄養から外部栄養への移行期として初期発生の中でも大きな転換点である。一般に魚類では、内部栄養から外部栄養への速やかな移行が

個体の成長や生残にとって重要であり（岩井，1972；Miller and Kendall，2009），ワカサギでも給餌開始の遅れが初期減耗を増加させることが実験条件下で知られている（岩井・柘植，1986）。したがって，河川で孵化したワカサギ仔魚が餌となるプランクトンの豊富な湖内へ到達するのに要する時間は，摂餌開始の遅延や飢餓による成長不良と関連して初期減耗の要因となる可能性がある。また，網走湖では5月中旬ないし下旬に微小動物プランクトン密度の極大があり，その密度は年によって大きく変動する（浅見，2004）。流下時期の年変動は湖内のプランクトンの発生時期との match/mismatch を通じて初期減耗の要因となる可能性がある。このような視点から，卵黄仔魚期の卵黄吸収過程と絶食耐性の評価，孵化仔魚の湖内への到達時間や流下時期の年変動などの流下生態を合わせて明らかにすることが必要である。

本研究では，飼育実験によってワカサギ卵黄仔魚の卵黄吸収過程と飢餓を経験した場合の回復不能点（Point-of-No-Return）を検討するとともに，網走湖流入河川におけるワカサギ孵化仔魚の流下の日周期性や時期について調査し，卵黄の保持（吸収）状態から湖内への到達時間を推定した。

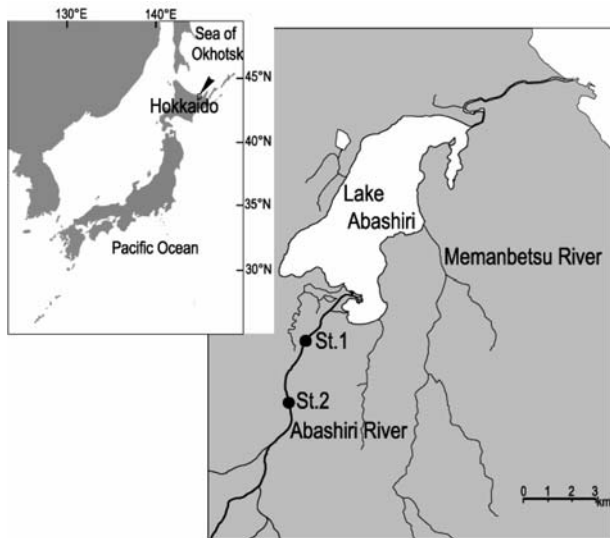


Fig. 1 Map showing the sampling stations at Abashiri River. Solid circles indicate the sampling sites.

試料及び方法

飼育実験 実験には，1998年5月20日に女満別川で捕獲したワカサギ親魚から得た受精卵を用いた。受精卵を目合0.5mmのネットで作成した孵化枠に付着させ，30L円形FRP水槽3個に収容した。飼育水温はワカサギ孵化期の女満別川の河川水温に合わせ13℃（±1℃）に設定した。飼育は止水条件とし，スポンジフィルターを用

いてエアレーションを行った。仔魚が孵化した1998年5月31日に孵化枠を取り出し観察を開始した。斃死個体はスポイトで吸い取って取り除き，無給餌で全個体が斃死するまで飼育した。孵化仔魚は孵化日から1日1回各水槽から10尾ずつ，合計30個体を無作為に取り上げ5%中性ホルマリンで固定後に万能投影機で全長を測定し，卵黄の有無を確認し測定個体数に対して卵黄を保持している個体数の比率（卵黄保持率）を求めた。卵黄を保持している個体は，卵黄長（ l , mm）と卵黄高（ h , mm）を計測した。ワカサギ卵黄仔魚の卵黄嚢は回転楕円体に近似であると見なして，Heming and Buddington（1988）にしたがって卵黄体積（ V , mm³）を次式で求めた。

$$V = \pi/6 \times l \times h^2$$

網走湖流入河川における流下仔魚の採集 ワカサギ仔魚の流下の日周期性を検討するため，網走川の網走湖流入口から約2 km上流の治水橋付近（St.1）において，24時間の仔魚採集を2回実施した（Fig. 1）。1回目は1998年5月18～19日に1時間ごとに計25回，2回目は6月1～2日に2時間ごとに計13回，仔魚を採集した。1998年はSt.1に加えて，網走湖流入口から約5 km上流の豊郷橋（St.2）においても仔魚の採集を行なった。St.1とSt.2の間にある国土交通省網走川本郷観測所のデータ（国土交通省水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp/>，2012年6月7日）によると，5月18～19日の流量は15.1～15.9 m³/秒，6月1～2日は10.0～11.4 m³/秒と安定しており，時間による流量の変化は小さかった。

仔魚の流下時期の年変動 仔魚の流下時期の年変動を検討するため，1998～2000年の5～6月にSt.1で仔魚の採集を行った。採集時刻は1998年には7：00～8：00，1999年と2000年は19：00～20：00とした。原則的に1998年は2日に1回，1999年と2000年には4日に1回の採集を行なった。調査回数はそれぞれ19回，22回，18回であった。流下仔魚はNORPACネット（北太平洋標準プランクトンネット，口径45cm，ネット長180cm，GG54）を調査地点の流心部で吹流し状に5分間定置して採集した。濾水計は装着しなかった。国土交通省網走川本郷観測所のデータによると，各年調査日の平均流量は13.6±4.0，27.2±19.9，37.2±23.8 m³/秒であった。採集した仔魚は直ちに5%中性ホルマリンで固定した後，測定に供した。採集したサンプルは1サンプルにつき100個体を上限に無作為に抽出し，万能投影器で全長を測定した。1998年に採集されたサンプルについては，卵黄長と卵黄高を計測し卵黄体積を求めた。また，採集時に河川の表層水温を測定した。

結 果

飼育実験 飼育試験は無給餌で行ったため、水質の悪化は見られなかった。孵化後3日目まで、仔魚が水槽中を活発に遊泳する様子が観察されたが、孵化後4日目になると斃死個体や水槽底面で動かない個体があらわれた。孵化後6日目には遊泳している個体が減少し（各水槽55, 40, 57個体）、動かない個体が増加した（229, 209, 229個体）。7日目には遊泳する個体はまったく見られなくなった。8日目には全個体の斃死が確認された。

孵化直後の仔魚の全長平均は $4.9 \pm 0.3\text{mm}$ であった（Fig. 2, Table 1）。孵化直後から1日目にかけて特に伸長し、平均全長は $5.2 \pm 0.3\text{mm}$ となった。その後は5日目まで緩やかに伸長し $5.5 \pm 0.3\text{mm}$ に達したが、6日目以降には平均全長は縮小した。日齢ごとの体長には有意差が認められた（分散分析, $F=9.118$, $p<0.01$ ）。

孵化後3日目まで96.7%の個体が卵黄を保持していた（Fig. 2）。卵黄体積は孵化直後に $0.0459 \pm 0.0235\text{mm}^3$ で

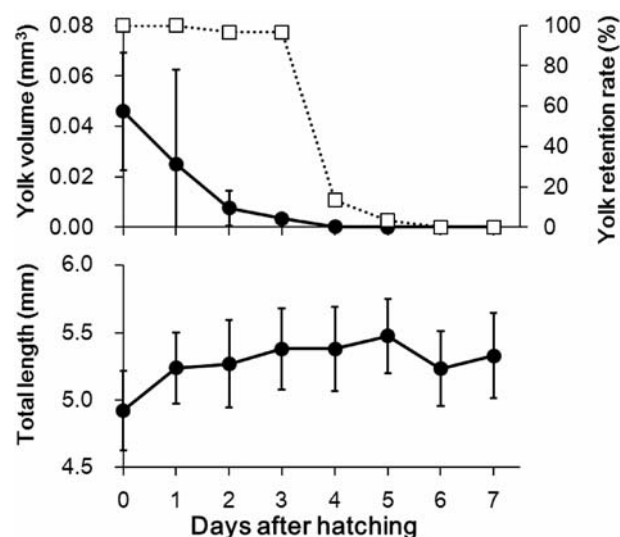


Fig. 2 Daily changes in the total length, yolk volume, and yolk retention rate in newly hatched larvae of wakasagi reared at a water temperature of 13°C. Solid circles show the yolk volume. Open squares show the yolk retention rate; the number of individuals having yolk by the number of samples examined ($n=30$). Vertical bars are expressed as the standard deviation.

Table1 Total length and yolk volume of rearing larvae during the rearing experiment

Date	Age (Days after hatching)	Total length in mm mean \pm SD	Yolk volume in mm^3 mean \pm SD	Yolk retentive rate
May 31	0	4.924 ± 0.295	0.0459 ± 0.0235	100.0 (30/30)
June 1	1	5.240 ± 0.264	0.0251 ± 0.0372	100.0 (30/30)
June 2	2	5.270 ± 0.327	0.0076 ± 0.0069	96.7 (29/30)
June 3	3	5.382 ± 0.302	0.0034 ± 0.0019	96.7 (29/30)
June 4	4	5.382 ± 0.313	0.0003 ± 0.0007	13.3 (4/30)
June 5	5	5.477 ± 0.276	0.0001 ± 0.0007	3.3 (1/30)
June 6	6	5.233 ± 0.278	-	0.0 (0/30)
June 7	7	5.330 ± 0.317	-	0.0 (0/30)

あったが、急激に吸収が進み孵化後1日目の卵黄体積平均は $0.0251 \pm 0.0372\text{mm}^3$ 、2日目は $0.076 \pm 0.0069\text{mm}^3$ 、3日目には $0.0034 \pm 0.0019\text{mm}^3$ となった。孵化後3日目から4日目にかけて卵黄を持つ仔魚の割合は急速に減少し4日目には13.3%、孵化後5日目には3.3%まで減少し、6日目には卵黄を持つ個体は観察されなかった。

流下仔魚数の日周性と年変動

仔魚採集尾数の日周性 網走川 St.1における24時間の仔魚採集尾数および水温変化の日周変動を Fig. 3に示した。1998年5月18～19日の採集では19時以降に採集尾数が急激に増加し、20時には5分あたりの採集尾数が4,272個体で最大となった。それ以外の時間帯では単位時間当たりの仔魚採集尾数は比較的少なく5分当たり77～1,400尾であった。6月1～2日の採集では、21時に5分あたり採集量が119個体と最大値を示しそれ以外の時間の採集尾数は著しく少なかった。調査時の水温は5月18～19日には12.4～15.2°C、6月1～2日には9.6～13.8°Cであり、水温変化と仔魚採集尾数には明瞭な関係は認められなかった。

Table 2に24時間調査で採集された仔魚の採集数、全長および卵黄体積を示した。採集された仔魚の採集時間ごとの全長平均値は4.35～4.96mmの範囲にあり、全長平均値に採集時間による有意差は認められなかった（分散分析, 分散比 $F=2.109$, $p>0.05$ ）。一方、卵黄体積は $0.0133 \sim 0.0449\text{mm}^3$ の範囲にあり、採集時間によって有意差が認められた（分散分析, $F=7.956$, $p<0.001$ ）。しかし、採集時間に伴う卵黄指数の変化に一定の傾向は認められなかった。

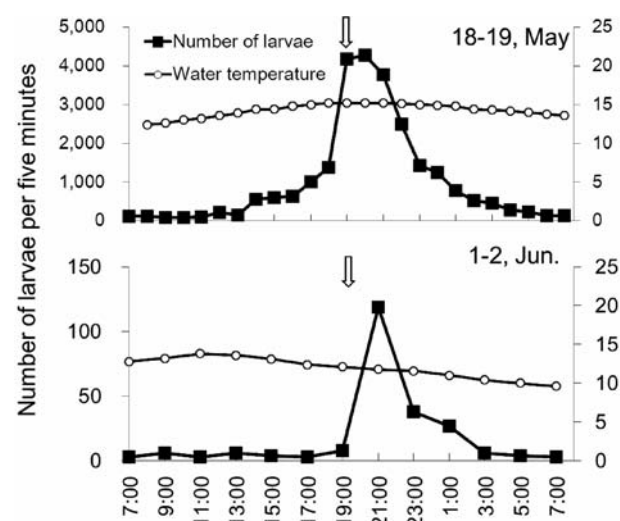


Fig.3 Diurnal fluctuation of the number of drifting larvae collected with a NORPAC net in Abashiri River (St.1) on May 18-19 (upper), and June 1-2 (lower), 1998. Arrows show sunset (18:45 and 18:58, respectively).

Table2 Diurnal changes in the number of larvae, and mean total length and yolk volume of wakasagi larvae collected in Abashiri River St.1

Date	Sampling Time	Number of larvae collected	Total length in mm mean±SD	Yolk volume in mm ³ mean±SD
May 18, 1998	7:00	112	4.829 ± 0.315	0.0234 ± 0.0130
	8:00	110	4.848 ± 0.308	0.0242 ± 0.0200
	9:00	77	4.890 ± 0.301	0.0218 ± 0.0132
	10:00	86	4.783 ± 0.335	0.0250 ± 0.0228
	11:00	106	4.733 ± 0.308	0.0312 ± 0.0166
	12:00	209	4.844 ± 0.225	0.0218 ± 0.0141
	13:00	149	4.889 ± 0.273	0.0257 ± 0.0141
	14:00	557	4.959 ± 0.274	0.0279 ± 0.0153
	15:00	606	4.878 ± 0.316	0.0366 ± 0.0226
	16:00	640	4.916 ± 0.293	0.0290 ± 0.0128
	17:00	1,004	4.888 ± 0.300	0.0345 ± 0.0135
	18:00	1,371	4.841 ± 0.299	0.0359 ± 0.0191
	19:00	4,176	4.857 ± 0.322	0.0291 ± 0.0140
May 19, 1998	20:00	4,272	4.953 ± 0.312	0.0367 ± 0.0182
	21:00	3,770	4.857 ± 0.292	0.0349 ± 0.0149
	22:00	2,501	4.822 ± 0.319	0.0327 ± 0.0138
	23:00	1,423	4.900 ± 0.289	0.0388 ± 0.0156
	0:00	1,247	4.888 ± 0.260	0.0377 ± 0.0183
	1:00	777	4.874 ± 0.302	0.0346 ± 0.0158
	2:00	516	4.841 ± 0.246	0.0344 ± 0.0167
	3:00	454	4.917 ± 0.292	0.0449 ± 0.0240
	4:00	276	4.838 ± 0.324	0.0334 ± 0.0152
	5:00	237	4.835 ± 0.277	0.0319 ± 0.0206
June 1, 1998	6:00	131	4.836 ± 0.320	0.0337 ± 0.0159
	7:00	128	4.809 ± 0.345	0.0324 ± 0.0140
	7:00	3	4.350 ± 0.312	0.0313 ± 0.0010
	9:00	6	4.642 ± 0.331	0.0218 ± 0.0190
	11:00	3	4.917 ± 0.382	0.0255 ± 0.0183
	13:00	6	4.470 ± 0.373	0.0321 ± 0.0091
	15:00	4	4.763 ± 0.206	0.0293 ± 0.0127
	17:00	3	4.750 ± 0.132	0.0243 ± 0.0110
June 2, 1998	19:00	8	4.681 ± 0.285	0.0417
	21:00	119	4.477 ± 0.226	0.0288 ± 0.0178
	23:00	38	4.505 ± 0.184	0.0258 ± 0.0210
	1:00	27	4.639 ± 0.226	0.0255 ± 0.0120
	3:00	6	4.450 ± 0.574	0.0133 ± 0.0053
	5:00	4	4.425 ± 0.393	0.0411 ± 0.0248
	7:00	3	4.650 ± 0.304	-

流下仔魚採集時期の年変動 網走川 St. 1における1998～2000年の流下仔魚採集尾数および調査時の水温を Fig. 4に示した。1998年には5月6日から流下仔魚が採集された。5月13日に5分当り130個体、5月18～21日にも5分当り100個体以上が採集され5月中旬に採集盛期が認められた。その後、採集数は急激に減少し6月11には採集されなくなった。1999年は5月21日から仔魚が採集され、5月24日に802個体の仔魚が採集されピークが認められた。仔魚の流下の期間が比較的長く続き、3つの採集尾数のピークが認められた。仔魚が採集されなくなったのは6月25日であり、採集期間は約1ヶ月であった。2000年には5月17日から仔魚の流下が認められ5月29日にもっとも採集尾数が多かった。その後、仔魚の採集量は激減し6月15日を最後に採集されなかった。3年間通じて、流下時期と水温には直接的な関係は見出せなかった。

網走川 St. 1と St. 2の採集尾数の比較 網走川 St. 1と St. 2では採集尾数の変動パターンがほぼ一致していたが、上流にある St. 2の仔魚流下数は下流側の St. 1と比較して著し

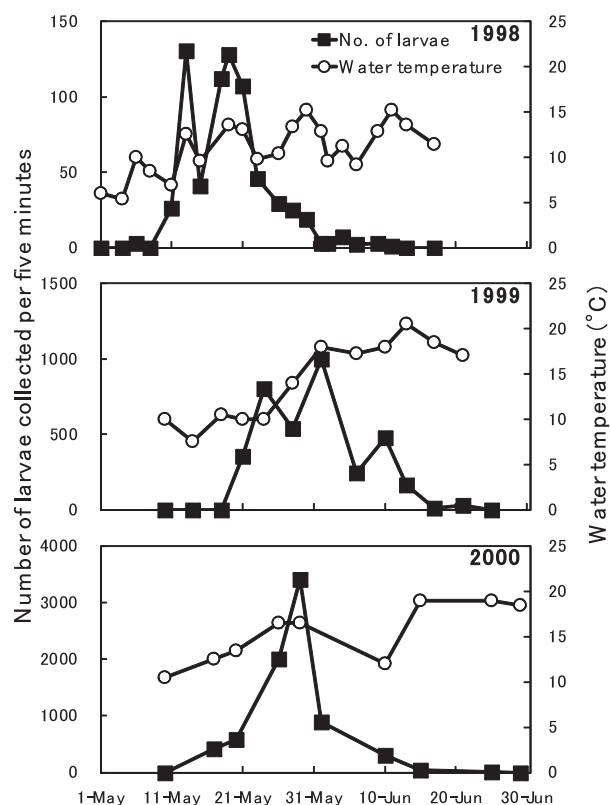


Fig.4 Temporal changes in the number of wakasagi drifting larvae collected in Abashiri River (St.1) during May - June 1998 (upper), 1999 (middle), and 2000 (lower). Solid squares show the number of collected larvae in five minutes. Open circles are water temperature (°C).

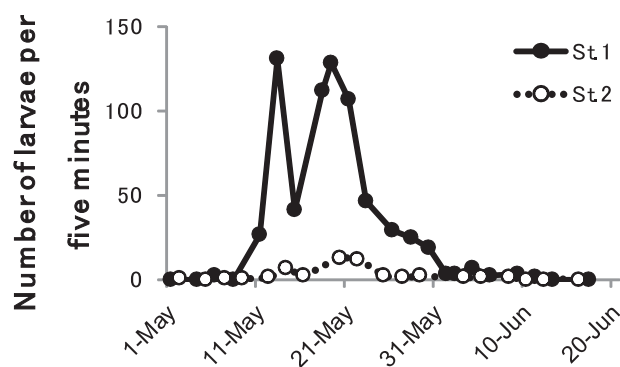


Fig.5 Comparison of the number of wakasagi larvae collected at St.1 and St.2 in 1998. Solid circles show the samples at St.1. Open circles are the collected larvae at St.2.

く少なかった (Fig. 5)。St.2では流下仔魚は採集を開始した5月2日から採集され、5月14日と5月20～22日にピークが見られた。このときの流下仔魚の採集数は最大で5分当り13個体であった。このピーク以外の流下仔魚採集数は著しく少なく、5分当り0.2～6.3個体であった。6月8日を最後に流下仔魚は採集されなくなった。それぞれ採集盛期に網走川 St. 1と St. 2で採集されたワカサギ仔魚の体長および卵黄体積を比較したところ (Table 3), 有

Table3 Total length and yolk volume of wakasagi larvae collected at St.1 and St.2 in Abashiri River, 1998

Station	Sampling date	Number of larvae collected	Total length in mm mean±SD	Yolk volume in mm ³ mean±SD
St.1	May 1	0		
	May 4	0		
	May 6	15	-	-
	May 8	0		
	May 11	79	-	-
	May 13	392	-	-
	May 15	41	-	-
	May 18	112	4.829 ± 0.315	0.0234 ± 0.0130
	May 19	128	4.848 ± 0.345	0.0324 ± 0.0140
	May 21	107	4.478 ± 0.358	0.0251 ± 0.0142
	May 23	46	4.657 ± 0.346	0.0198 ± 0.0119
	May 26	29	4.766 ± 0.283	0.0166 ± 0.0071
	May 28	25	4.636 ± 0.212	0.0217 ± 0.0096
	May 30	19	4.709 ± 0.257	0.0166 ± 0.0093
	June 1	3	4.350 ± 0.312	0.0313 ± 0.0010
	June 2	3	4.767 ± 0.154	-
	June 4	7	4.425 ± 0.154	0.0148 0.0114
	June 6	2	4.533 ± 0.177	0.0073
	June 9	3	5.250 ± 0.289	0.0147 0.0028
	June 11	1	-	-
	June 13	0		
	June 17	0		
St.2	May 2	1	-	-
	May 5	0		
	May 7	1	-	-
	May 9	1	-	-
	May 12	3	-	-
	May 14	19	-	-
	May 16	7	-	-
	May 20	13	4.767 ± 0.293	0.0264 ± 0.0103
	May 22	12	4.757 ± 0.318	0.0138 ± 0.0060
	May 25	2	4.725 ± 0.530	0.0180
	May 27	1	4.600 ± 0.035	-
	May 29	2	4.790	-
	June 3	1	4.000	0.0461
	June 5	1	4.650	0.0236
	June 8	1	4.500	
	June 10	0		
	June 12	0		
	June 16	0		

-: No data caused by sample breakage.

意差は認められなかった ($F=0.850$, $F=0.019$, $p>0.05$)。

考 察

卵黄を持つ仔魚の割合から、水温13℃の条件で半数の個体が卵黄吸収を終えるのは孵化後3.5日と考えられた (Fig.2)。孵化後5日目には96.7%、孵化後6日目には全ての個体が卵黄を吸収し終えた。観察では6日目には遊泳している個体が16%程度と減少しており、水槽飼育のため卵黄が吸収されても外部の餌を摂れないことにより衰弱した個体が増加したと考えられた。その2日後の8日目にはすべての個体が斃死したことから、卵黄吸収後の絶食耐性時間は48時間以内であると考えられる。しか

し、それ以前の孵化後5日目の時点でそれまで伸長していた全長が縮小に転じており、卵黄が消費され飢餓状態に陥った結果、体細胞の消費へと移行したと考えられる。仔稚魚が体細胞消費へ移行した場合、その段階で摂餌を開始したとしても回復の可能性は著しく低下する (Blaxter and Ehrlich, 1974)。したがって、ワカサギ卵黄仔魚期における回復不能点は、孵化後5日目に存在すると推定される。流入河川で孵化したワカサギ仔魚が比較的高い生存率を維持するためには、孵化後4日以内に湖内へ加入することが必要になるだろう。

網走湖流入河川においてワカサギ仔魚は日没後に集中的に孵化し、0～1日齢で湖に到達する可能性が高いと考えられる。網走川での流下仔魚24時間連続採集による採集ピークは日没 (5月18日, 18時45分; 6月1日, 18時58分) 直後の20時, 21時に明瞭に認められた。網走湖のワカサギ孵化場における観察でも、ワカサギが日没直後に集中的に孵化したことが確認されており (鳥澤, 1999), 流入河川である網走川で日没後に孵化した仔魚は直ちに流下したと考えるのが妥当である。

流入河川で採集された仔魚の発育段階は全て卵黄仔魚期であった。採集された仔魚の卵黄体積は、飼育実験で得られた日齢0～1日の仔魚のそれとほぼ等しい値であった。飼育実験では、孵化仔魚の体成長は孵化から1日目にもっとも大きく、卵黄吸収の割合も孵化直後から3日目にかけて最も大きいことが明らかとなった。24時間連続採集で得られた仔魚の全長には採集時間による有意差は認められず、さらに網走川 St.1とより上流の St.2で採集された仔魚の体長と卵黄体積に有意差は認められなかった。もし孵化仔魚が河川内で数日を経過してから採集されたとすれば、体長や卵黄体積に採集時間と採集場所によって差があるはずである。したがって、日没後に集中的に孵化した仔魚は、その後体成長や卵黄を消費するほどの時間を経ずに直ちに流下していると推定される。

長良川におけるアユは産卵場から40～140kmの流程を2～4日で流下する (塚本, 1991)。また、庄川におけるアユ孵化仔魚の大部分は夜間に孵化し、翌朝までには5～11km程度の流程を降下し日齢0日で河口域に達すると推定されており (田子, 1999), アユやワカサギのような仔魚では、産卵場所から数十kmの流程を流下するのに要する時間は長くても数日以内であると考えられる。網走川におけるワカサギの主要な産卵場所は、湖からおおよそ9km上流までの範囲にあることがわかっている (北海道栽培漁業振興公社, 1998) が、本研究では網走湖流入口から2km上流にある St.1と比較すると、同5km上流にある St.2の仔魚流下数は著しく少なかった。このことは、ワカサギの産卵場が網走川流入口から5km以内に多くあっ

たことを推測させる。網走川におけるワカサギ産卵場における流速範囲は10~80cm/秒、平均流速は40cm/秒であった(北海道栽培漁業振興公社, 1998)。産卵場から湖内流入口までを仮に平均流速40cm/秒で下るとすると、St.2からは5 kmの距離を約4時間程度で流下する計算になる。網走川におけるワカサギが日没後に孵出し直ちに流れに乗って流下すれば、翌朝までには十分な卵黄体積保持した状態で湖に流入することが可能である。

淡水魚の沈性卵仔魚は器官形成が進んだ状態で孵化し、卵黄・油球を残した状態で摂餌を開始する(田中, 1969a; 1969b)。ワカサギ仔魚の本格的な摂餌開始は孵化後4日目(佐藤, 1954)とされるが、ワカサギは孵化した時点ですでに比較的発育が進んでおり顎は未発達ながらも開口が認められる(Yamada, 1963; Torao, 2000)。卵黄仔魚期のワカサギ消化管内にも植物プランクトンが観察されたことが報告されている(白石, 1961)。また、網走湖内で採集された卵黄仔魚の消化管内にも珪藻が観察されることがあり、環境中に十分な餌生物が存在すれば、卵黄仔魚も摂餌が可能であると考えられる。一方で、本調査において流入河川で採集された個体の消化管内には内容物は観察されず、河川流下中には摂餌できていない可能性が高い。いくつかの魚種では、卵黄を保持している段階で摂餌を開始することが生残、成長に重要であることが明らかとなっている(Blaxter, 1963; Lasker, 1970; May, 1971; 福原, 1974)。ワカサギ仔魚の飼育実験では、給餌開始時期を孵化後3日目以降にすると生残率が著しく低下する(岩井・柘植, 1986)ことや、孵化直後からワムシの給餌を行った場合に給餌密度が高いほど生残率が向上する(久下, 2006)ことが知られており、卵黄を持つ段階での摂餌開始が生残に重要であることが明らかである。さらに、初期餌料発生密度が高い時期のワカサギ孵化仔魚の生残率が高い(熊丸, 2003)ことや、湖内の初期餌料密度がワカサギの生残に影響する(佐々木, 1981)ことが指摘されており、これらの野外調査の結果からは摂餌可能な餌料生物の量が生残に関わると考えられる。したがって、ワカサギの初期生残は、孵化後の出来るだけ早い時期に高密度の餌に遭遇することで向上すると考えられる。本調査の結果では、網走川におけるワカサギ仔魚の流下開始の時期やその期間、盛期の出現などの流下パターンには年変動が認められ、年によっておよそ2週間の違いがあった。これが湖内の餌料プランクトンの発生との時期的適合に関わる可能性もある。今後、網走湖内での餌料生物の発生時期や分布密度などの発生状況とワカサギ仔魚の加入時期の年変動とのマッチングに注目し研究を進める必要がある。

また、本調査の24時間連続採集で得られた仔魚の卵黄

体積には、一定の傾向はないものの、有意差が認められた。網走川では孵化から網走湖に流入するまでの時間が短いと考えられることから、卵黄体積の差は孵化時の個体差を反映しているのかもしれない。卵サイズの差に由来する卵黄体積の大きさは、絶食耐性に強く関連する(Blaxter, 1963)ことが知られており、湖内加入後の絶食耐性時間に個体差を生じることも考えられ、今後の研究課題として重要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、終始御指導いただいた東京農業大学名誉教授桑原連博士、元東京農業大学教授(故)鈴木淳志博士に感謝申し上げる。社団法人北海道栽培漁業振興公社の今田和史氏には本原稿を査読していただき、多くの有益な助言をいただいた。厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 藍憲一郎, 尾崎真澄. 千葉県高滝湖(人工湖)におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* の自然産卵. 千葉県水産総合研究センター研究報告 2008; 3: 15-20.
- Arai T, Yang J, Miyazaki N. Migration flexibility between freshwater and marine habitats of the pond smelt *Hypomesus nipponensis*. *J. Fish Biol.* 2006; 68(5): 1388-1398.
- 浅見大樹. 網走湖産ワカサギの初期生活に関する生態学的研究. 北海道立水産試験場研究報告 2004; 67: 1-79.
- Blaxter JHS and Ehrlich KF. Changes in behavior during starvation of herring and plaice larvae. In: Blaxter JHS (eds). *Early Life History of Fishes*. Springer-Verlag, Heidelberg. 1974; 575-588.
- Blaxter JHS, Hempel G. The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.* 1963; 28: 211-240.
- 福原修. 初期の飢餓がマダイ仔魚の生残り、成長および発育に及ぼす影響について. 南西海区水産研究所研究報告 1974; 7: 19-29.
- 浜田啓吉. ワカサギの生態学的研究Ⅲ. 網走湖産ワカサギに於ける鱗相による年齢査定の不確実性とその原因. 北大水産彙報 1953; 4(1): 46-53.
- 濱田啓吉. ワカサギー弱いものは強い. 「日本の淡水生物侵略と攪乱の生態学(川合禎次・川那部浩哉・水野信彦編)」東海大学出版会, 東京. 1980; 49-55.
- 原徹, 森美津雄, 都竹仁一. 人工湖の水産利用に関する

- 研究 伊自良湖におけるワカサギの増殖研究. 岐阜県淡水魚研究所研究報告 2002; 47: 5-11.
- Heming TA, Buddington RK. Yolk absorption in embryonic and larval fishes. In: Hoar WS, Randall DJ (eds). *Fish Physiology*. Academic Press, New York. 1988; 407-445.
- 北海道栽培漁業振興公社. 平成9年度網走川産卵床調査業務報告書. 北海道栽培漁業振興公社, 札幌市. 1998; 1-95.
- 今田和史, 坂崎繁樹, 川尻敏文, 小林耕一. 網走市4湖沼(網走湖, 能取湖, 涛沸湖, 藻琴湖)の湖盆形態と塩分環境. 北海道立水産孵化場研究報告 1995; 49: 37-48.
- 岩井寿夫, 柘植隆行. ワカサギ孵化仔魚の生残・成長に及ぼす給餌開始期の影響. 水産増殖 1986; 34(2): 103-106.
- 岩井保. 仔魚の摂食について. うみ 1972; 10(2): 71-82.
- 片山智史, 大森迪夫, 大方昭弘. 小川原湖におけるワカサギ産卵群の産卵場選択. 海洋 1996; 28(5): 308-314.
- Katayama S, Saruwatari T, Kimura K, Yamaguchi M, Sasaki T, Torao T, Fujioka T, Okada N. Variation in migration patterns of pond smelt, *Hypomesus nipponensis*, in Japan determined by otolith microchemical analysis. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, 2007; 71(3): 175-182.
- 久下敏宏. 群馬県におけるワカサギの増殖に関する研究. 群馬県水産試験場研究報告 2006; 12: 1-128.
- 熊丸敦郎. 霞ヶ浦における近年のワカサギ資源変動要因について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 2003; 38: 1-18.
- Lasker R, Feder HM, Theilacker GH, May RC. Feeding, growth, and survival *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. *Mar. Biol.* 1970; 5: 345-353.
- 松本洋典. 宍道湖におけるワカサギ資源の変動. 島根県水産試験場研究報告 1994; 8: 171-183.
- May RC. Effects of delayed initial feeding on larval of the Grunion, *Leuresthes tenuis* (AYRES). *Fish. Bull.* 1971; 69(2): 411-425.
- Miller BS, Kendall AW Jr. *Early Life History of Marine Fishes*. University of California Press, London. 2009.
- 岡田雋, 伊藤小四郎, 石狩古川産ワカサギ魚群の生態研究. 水産孵化場研究報告 1960; 15: 29-40.
- 落合明, 田中克. ワカサギ. 「新版魚類学(下)」(落合明・田中克編) 恒星社厚生閣, 東京. 1986; pp. 477-488.
- 佐藤隆平. ワカサギの漁業生物学. 水産増殖叢書 1954; 5: 1-99.
- 佐々木道也. 霞ヶ浦の最近におけるワカサギ (*Hypomesus olidus*) 資源の動向について— II 資源変動要因. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 1981; 18: 6-25.
- 白石芳一. ワカサギの水産生物学的ならびに資源学的研究. 淡水区水産研究所研究報告 1961; 10(3): 1-263.
- 田子泰彦. 庄川におけるアユ仔魚の河口域への到達時間の推定. 水産増殖 1999; 47(2): 215-220.
- 田中克. 仔魚の消化系の構造と機能に関する研究 I. 前期仔魚の消化系の発達. 魚類学雑誌 1969; 16(1): 1-9.
- 田中克. 仔魚の消化系の構造と機能に関する研究 II. 摂餌開始時の仔魚の消化系の特徴. 魚類学雑誌 1969; 16(2): 41-49.
- 寺尾俊郎, 今井輝. 桂沢人工湖のワカサギ生態調査 (第2報). 水産孵化場研究報告 1960; 15: 63-70.
- 富永敦. 北浦潮来地先における1980年頃と2007年のワカサギとシラウオ産卵状況の比較. 茨城県内水面水産試験場研究報告 2009; 42: 15-19.
- 富永敦, 野内孝則. 霞ヶ浦の流入河川におけるワカサギの産卵. 茨城県内水面水産試験場研究報告 2006; 40: 23-27.
- Torao M. Early developmental phase of Wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, in Lake Abashiri. *Fish. Sci.* 2000; 66: 605-607.
- 鳥澤雅. 網走湖産ワカサギの生活史多型分岐と資源変動機構. 北海道立水産試験場研究報告 1999; 56: 1-117.
- 塚本勝巳. 長良川・木曽川・利根川を流下する仔アユの日齢. 日本水産学会誌 1991; 57(11): 2013-2022.
- Saruwatari T, Lopez JA, Pietsch TW. A revision of the osmerid genus *Hypomesus* Gill (Teleostei: Salmoniformes), with the description of a new species from the southern Kuril Islands. *Species Diversity*. 1997; 2: 59-82.
- 宇藤均. 網走湖の湖環境変動と漁業生物. 陸水学雑誌 1988; 49(4): 293-301.
- 宇藤均, 坂崎繁樹. 網走湖産ワカサギの生活史第1報. 網走湖におけるワカサギ漁業の歩みと生活史研究の現状. 北水試月報 1983; 40: 147-156.
- 宇藤均, 坂崎繁樹. 網走湖産ワカサギの生活史第2報. 産卵期に産卵河川および湖内で採捕されるワカサギについて. 北水試月報 1984; 41: 447-459.
- Yamada J. The normal developmental stage of the pond smelt, *Hypomesus olidus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1963; 14(3): 121-135.
- 矢口正直. 霞ヶ浦におけるワカサギの漁業生物学的研究 II ワカサギの産卵場について. 茨城県水産振興場調

査研究報告 1956；1：29-32.

安富亮平，今田和史，伊澤敏穂，坂崎繁樹，川尻敏文，
小林耕一．網走市 4 湖沼（網走湖，能取湖，涛沸湖，

藻琴湖）の水質環境の特徴．北海道立水産孵化場研
究報告 1995；49：25-36.

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（資料）

下田和孝*, 川村洋司

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Fish density in Dodoromap River, a tributary of Abashiri River, before and after construction of fish ways (Note)

KAZUTAKA SHIMODA* AND HILOSHI KAWAMURA

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

キーワード： 魚道，魚類密度，サクラマス，モニタリング

治山ダムや砂防ダムなどの落差を有する河川工作物は、魚類の河川内移動を阻害し種多様性の低下や回遊性の喪失など様々な影響を及ぼす（森田・山本，2004）。北海道では河川と海洋とを行き来する通し回遊魚の多くがダムによる分断の影響を受け、ダムの上流域では魚類の種数が減少することが知られている（福島，2005）。近年こうした影響を緩和するために道内各地の河川で魚道の建設が進められ、その数は1990年代以降急増している（谷瀬ら，2006）。

網走川支流のドードロマップ川では2001年から2006年にかけて網走東部森づくりセンター（現オホーツク総合振興局東部森林室）によって1基の治山ダムと2基の床固工に魚道が設置された。北海道立水産孵化場（現さけます・内水面水産試験場）では網走東部森づくりセンターと共同で、2006年から2009年にかけてドードロマップ川の全域で魚類の生息密度とサクラマス *Oncorhynchus masou* の産卵床分布を調査し、魚道設置後にサクラマス幼魚やアメマスの分布範囲が上流域へと拡大したことや、河川工作物の上流側でもサクラマスの産卵が行われるようになったことを確認した（オホーツク総合振興局ホームページ：<http://www.okhotsk.pref.hokkaido.lg.jp/sr/tsr/>）。

しかし、これまでに道内で設置された魚道の中には、土砂の堆積や流路の変化によって機能低下している場合が見られることから（例えば、北海道立水産孵化場，1994）、ドードロマップ川の魚道についても今後の経過を観察し、機能低下が認められる場合にはその回復策

が必要になるかもしれない。魚道建設時点での状態は、魚道効果の経年変化を明らかにする際の基準となることから、魚道機能のモニタリングに不可欠な情報である。本報告ではモニタリングに向けた基礎資料として、魚道設置の前後計4年間における魚類の生息密度を記載する。

調査方法

河川工作物と魚道の概要 ドードロマップ川には魚類の遡上を妨げる規模の河川工作物が5基設置されている（図1）。最も下流に位置する昭和44年（1969年）設置の治山ダム（以下、S44治山ダム）は落差約2.0mで、2001年にカラマツ *Larix leptolepis* Gordon 材製の魚道が設置された（図2）。S44治山ダムの1.8km上流で左岸側から支流のポンドードロマップ川が合流し、ポンドードロマップ川には本流との合流点から約0.1km上流の地点に平成11年（1999年）建設の床固工（以下、H11床固工）が設置されている。H11床固工は落差約1.5mで、2005年末にコンクリート製の魚道が設置された（図2）。H11床固工の1.6km上流にも平成13年（2001年）設置の落差約2.0mの床固工（以下、H13床固工）があり、ここには2006年末にコンクリート製の魚道が設置された（図2）。ポンドードロマップ川の最上流部には昭和62年（1987年）設置の治山ダム（以下、S62治山ダム）があり、また本流の上流部にも昭和42年（1967年）設置の床固工（以下、S42床固工）があるが、これらについては2011年末の時点では魚道が未設

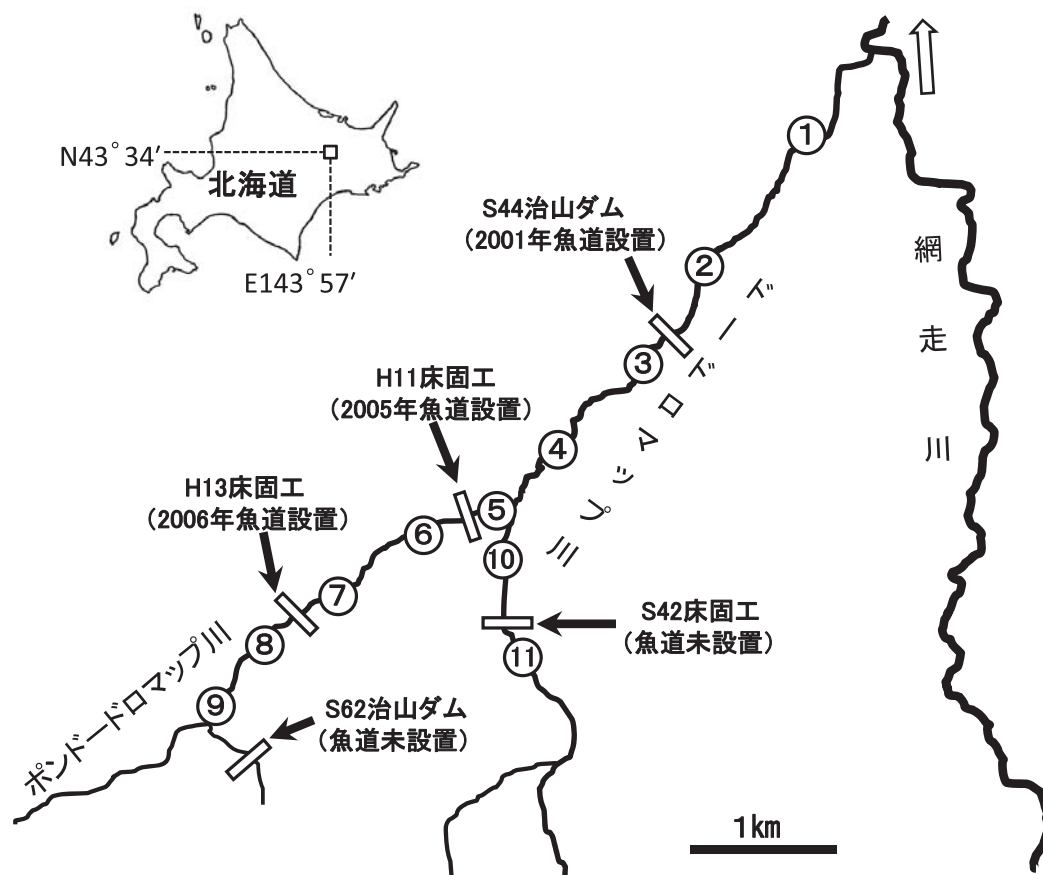


図1 ドードロマップ川の河川工作物および調査区の位置.



図2 河川工作物と魚道の概観.

置であった。S62治山ダムは2段構造で、下段の落差は約1.5m、上段の落差は約3.0mである。S42床固工も2段構造で、下段の落差は約0.6m、上段の落差は約3.2mである。**魚類の生息密度の推定** 調査は2006年6月26～27日、2007年6月26～27、2008年6月23～24日および2009年6月22～23日に実施した。調査初日に流程約1km間隔で流路長50～100mの調査区を7～10箇所設定し、各調査区の流路幅、中州の幅および流心部の水深を縦断方向5m毎に測定した。ただし、2006年は調査区1、4、9および10で調査を実施せず、2007～2009年は調査区11で調査を行っていない。また、2007年は調査区9でも調査は未実施である。各調査区の位置は基本的には毎年同じ地点とした(図1)。ただし、2006年の調査区2および7は、他の年の調査区よりも約0.3km上流に位置し、また同年の調査区8は他の年よりも約0.1km下流に位置していた。調査区の面積は平均流路幅と流路長の積から中州の面積を差し引いて求めた。ただし、中州の面積については、中州幅を底辺、高さを5mの台形の集合体とみなして算出した。

調査2日目に各調査区でエレクトリックフィッシャー(Smith-Root, 12型)を用いて魚類を3回繰り返し採捕した。採捕回毎に魚種別の採捕個体数を記録し全個体について体長(サケ科魚類は尾叉長、その他魚類は全長)を1mm単位で測定した。魚種毎に除去法(Carle and Strub, 1978)で生息個体数を算出し、これを調査区面積で割っ

て生息密度とした。

結果および考察

本調査を通じてサクラマス、アメマス *Salvelinus leucomaenis*、ハナカジカ *Cottus nozawae* およびフクドジョウ *Noemacheilus barbatulus toni* の3科4属4種の魚類が採捕された。サクラマスおよびアメマスについては、体長分布(図3)に基づいて0歳魚と1歳以上の個体を識別し、サクラマスは8cm未満の個体を0歳、8cm以上の個体を1歳以上、アメマスは7cm未満の個体を0歳、7cm以上の個体を1歳以上とみなし、年齢別に生息密度を求めた。ハナカジカとフクドジョウは、調査年により体長分布が大きく異なり(図3)、一定の基準で年齢を判別することができなかったため年齢を区分せずに生息密度を求めた。各魚種の生活史および魚道設置前後における生息密度の変遷は以下のとおりである。なお、各調査区の流路幅や面積、各魚種の平均体長および推定生息密度の値については、それぞれ付表1、2および3に記載した。

サクラマス 北海道のサクラマスは遡河回遊型の生活史を送り、春季に産卵床から泳ぎ出た幼魚は、約1年間(一部は2～3年間)河川内で生活した後海へと下る。降海したサクラマスは、北海道周辺やオホーツク海を回遊

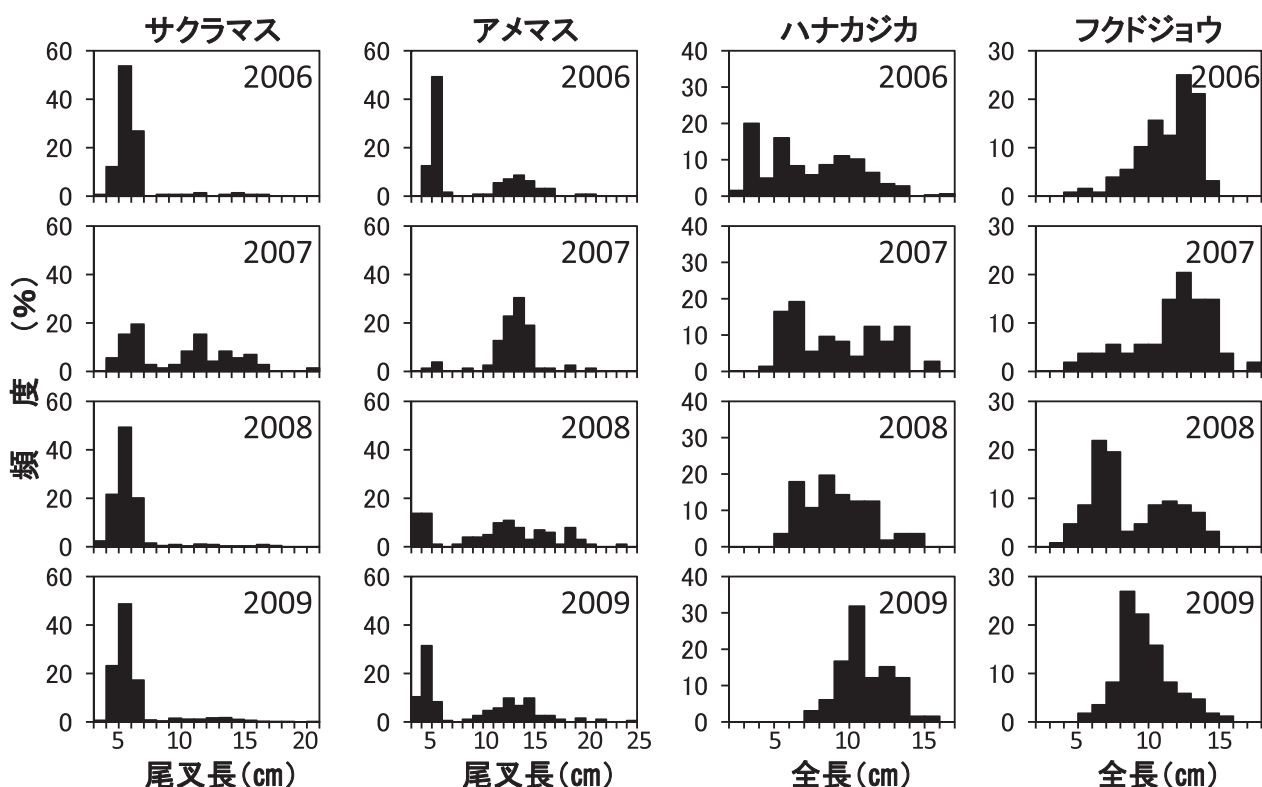


図3 サクラマス、アメマス、ハナカジカおよびフクドジョウの体長頻度分布。

し、降海翌年の春から夏にかけて母川に回帰し秋に産卵を行う（隼野，2003）。北海道では雄の約半数が海へ下らずに一生を河川内で生活するが、雌ではこうした生活を送る個体は少なく、ほぼすべての個体が降海する（隼野，2003）。このため、遡上不可能な河川工作物が設置されると、その上流では産卵が途絶え数年後に個体群は消滅すると考えられる。実際、北海道では広大な湛水域を持つ人工湖や天然湖沼にサクラマスが陸封された事例はあるものの（例えば、朱鞠内湖；Tamate and Maekawa, 2000），広い湛水域を持たない治山・砂防ダムや床固工によってサクラマスが陸封された水域はこれまで見つっていない。

ドードロマップ川では最も下流に位置する S44 治山ダムの建設された1969年以降、サクラマスの産卵はこの治山ダムよりも下流側に限定されていた可能性が高く、2001年に魚道が設置されるまでの約30年間サクラマスは S44 治山ダムよりも下流にだけ分布していたと推測される。一方、今回の調査では S44 治山ダムの上流に位置する調査区 3 において2006年の時点でサクラマスの 0 歳魚が確認され（図 4），前年に S44 治山ダムの上流で産卵が行われたことが示唆された。2006年に別途実施したサクラマスの

産卵床分布調査でも、ドードロマップ川で見つかった産卵床のうち半数以上が S44 治山ダムよりも上流で確認されたことから（下田・川村，2008），S44 治山ダムの魚道はサクラマスの産卵場と幼魚の生息場の拡大に貢献していると結論づけられる。

H11 床固工では2005年の末に魚道が設置されたため、その上流では2006年に産卵が始まり2007年から幼魚が確認できるようになるものと予想された。しかし、今回の調査結果では2006年6月の時点で H11 床固工の上流に位置する調査区 6 および 7 においてサクラマスの 0 歳魚が採捕され（図 4），魚道設置以前から H11 床固工の上流で産卵が行われたことが明らかになった。H11 床固工の落差は約 1.5 m であるのに対し（図 2），サクラマス親魚の遡上限界は 1.8 m 程度であるため（岡本ら，2008），魚道が設置される以前から H11 床固工を遡上することも不可能ではなかったと推測される。また魚道を施工する際、H11 床固工の右岸側に水通し用の斜路が作られたことから、この部分を遡上した親魚がいたのかもしれない。

H13 床固工では2006年末に魚道が設置され、2007年から親魚が遡上できるようになった。H13 床固工の上流に位置する調査区 8 では2007年以前、サクラマス 0 歳魚は採捕

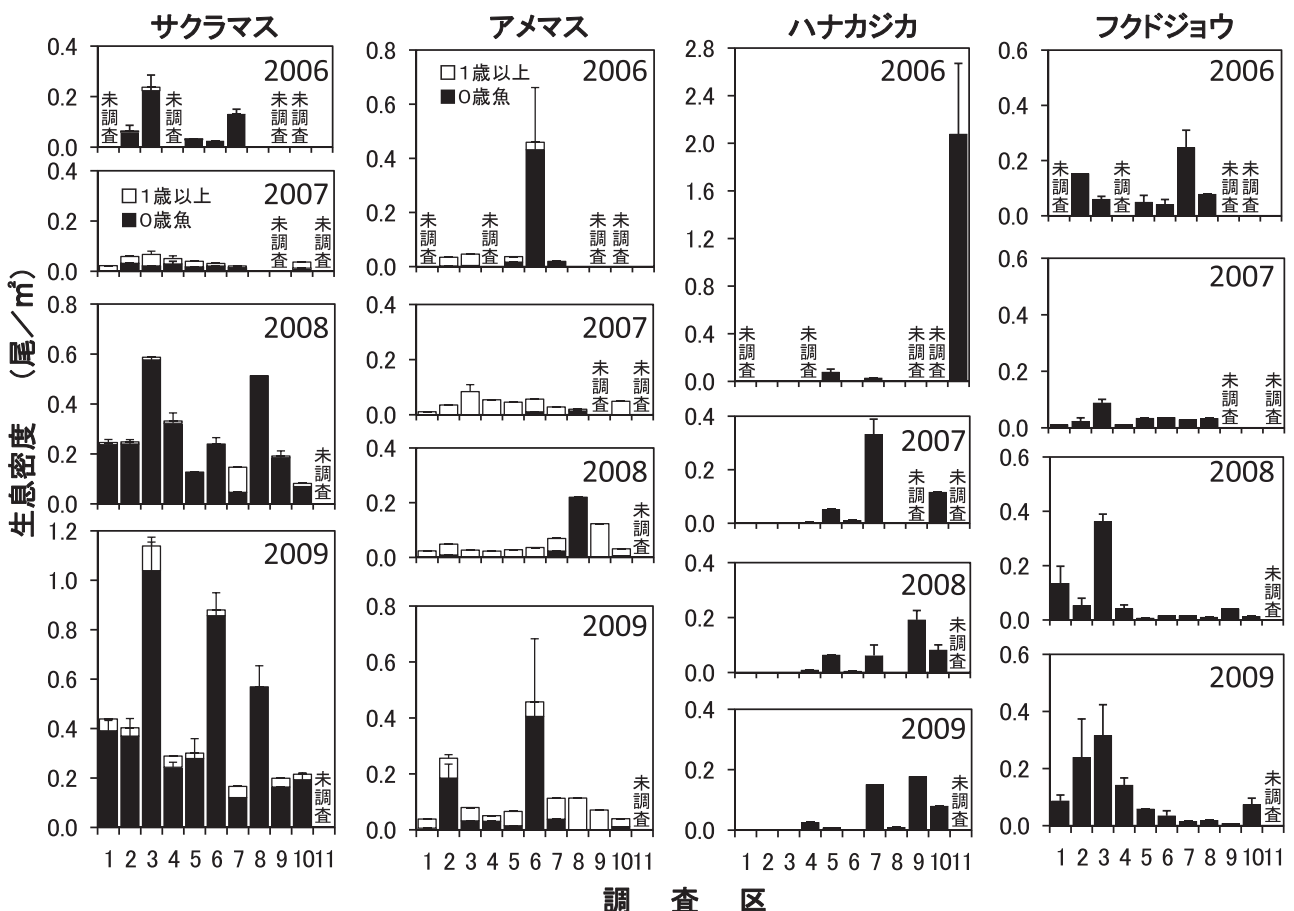


図4 各調査区におけるサクラマス、アメマス、ハナカジカおよびフクドジョウの推定生息密度とその95%信頼幅。

されなかったが、2008年以降1 m²あたり0.5尾以上の比較的高い密度で生息するようになった（図4）。サクラマスの産卵床分布調査でも2007年の産卵期にH13床固工の上流でサクラマスの産卵床が確認されていることから（下田・川村，2008），H13床固工の魚道は，上流域における産卵場と幼魚の生息場の拡大に貢献したと判断できる。

0歳魚の生息密度は，調査開始年（2006年）と最終年（2009年）との間で平均11倍の上昇を示していた（両年に共通する調査区2，3，5，6および7の値を用いた比較：付表3参照）。北海道のサクラマスは産卵された翌々年の春に降海する個体が多く（杉若・小島，1984；真山，1992），降海翌年に河川回帰し繁殖を行う（真山，1992）。ドードロマップ川のサクラマスの生活史を3年と仮定すると，調査最終年（2009年）の0歳魚は開始年（2006年）の0歳魚の子世代に相当することになる。2006年から2009年にかけて幼魚の分布範囲が上流へと拡大したことも考慮すると，資源尾数が1世代で大幅に増加したことは明らかである。2008年の幼魚密度も2009年の70%程度と高く，2008年の資源も増加傾向にあると推測される。

こうした急速な資源増加がドードロマップ川に特有の現象か判断するために，オホーツク海に面する4つの保護水面河川（幌内川，止別川，奥薬別川および遠音川）におけるサクラマス幼魚の生息密度の経年変化を参照したところ，奥薬別川では2005年から2010年にかけて約2倍の密度上昇が記録されていた（さけます・内水面水産試験場，2012）。また，網走支庁管内（現オホーツク総合振興局管内）におけるサクラマスの漁獲量についても参照したところ，沿岸来遊時期に相当する4月から7月の漁獲総重量は2005年の48.7tから2006～2007年の70t台，2009年の83.4tに増加していた（北海道立水産孵化場，2007，2008，2010，2011）。したがって，オホーツク海沿岸の河川では近年サクラマスの資源量が増加傾向にあると推測されるが，ドードロマップ川における資源増加は特に顕著であると考えられる。ドードロマップ川ではオホーツク海沿岸の河川に共通の資源増加傾向に加えて，魚道設置により産卵域や生息場が拡大したことで，大幅な資源増加が起きているのかもしれない。

本調査では2009年の調査区3，6および8で特に幼魚密度が高く，これらの調査区はいずれも河川工作物の直上に位置していた（図1）。この結果は，魚道の設置により河川工作物の上流域が利用可能になることの重要性を示している。目視観察によるとこれらの河川工作物の上流には土砂が満砂状態に堆積し川床勾配が緩やかになっていたことから，上流の産卵床から流下してきた稚魚が河川工作物の上流側に滞留しやすいものと推測され，幼魚密度の上昇に繋がった可能性が考えられる。調査区3，

6および8で採捕された幼魚の尾叉長は他の調査区と比べて小さくはなく（付表2参照），河川工作物の上流は幼魚の生息場としても適していることが推察される。また，別途実施した卵の生残率調査によると，上流に形成された産卵床では下流のものと比べて発眼期までの生残率が高い傾向があったことから（下田・川村，2008），魚道の設置により上流域で産卵できるようになったことで，生残する卵の数が多くなり幼魚密度が上昇した可能性も考えられる。

一方，2007年の0歳魚は他の年と比べて著しく低密度であり（図4），尾叉長分布でも0歳魚の割合が他の年よりも低かった（図3）。この原因として前年の産卵数が少なかったことが想定されるが，2006年に行われた産卵床の分布調査によるとドードロマップ川全体で277床の産卵床が確認され，この数は2007年の206床よりも多かった（下田・川村，2008）。したがって，2007年の生息密度が低い原因としては，産卵から浮上までの間に大幅な減耗が起きたことが考えられる。永田・坂本（1989）によると人工産卵床を作ってサクラマスの卵を埋没放流をした場合，放流後に大雨が降ると増水により産卵床が破壊され，翌年の稚魚の発生数が極端に少なくなるという。ドードロマップ川流域を含む津別町では，2006年10月7日から9日にかけて総雨量200mm近い降雨があり（気象庁ホームページ，<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>），網走川は平水時の数10倍の流量に増水した（国土交通省水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp>）。実際，2007年の生息密度調査の際，前年と比べて流路や河床地形が変化したと思われる箇所が随所に見られた。2006年の産卵群では降雨に伴う増水の影響により産卵床が破壊され卵が大幅に減耗し，幼魚密度の低下をもたらした可能性が考えられる。こうした自然災害の影響を受けた後のサクラマスの資源動態を観察した事例としては，大雨直後における幼魚の密度変化や成長への影響が報告されているものの（小島，1984），長期的な資源動態についてはこれまで明らかにされていない。ドードロマップ川ではサクラマスの産卵床の分布数量が継続調査されていることから（オホーツク総合振興局ホームページ：<http://www.okhotsk.pref.hokkaido.lg.jp/sr/tsr/>），今後，資源回復の過程が明らかになるものと期待される。

アメマス 北海道のアメマスはサクラマスと同様に遡河回遊型の生活史を送るものの，雌雄ともに河川に残留する個体が現れる（山本ら，1996）。このため，遡上不可能な河川工作物が建設されてもその上流側だけで再生産を繰り返し，生活史を陸封型に変えて個体群を維持する場合がある（Morita *et al.*, 2000）。しかし，河川工作物の建設から数10年経過すると上流の集団が絶滅する場合があ

り、特に小規模の集団では絶滅するリスクが高いことが知られている（森田・山本，2004）。今回の調査結果でも魚道未設置の S42床固工の上流に位置する調査区11においてアメマスの生息が確認されず、この水域のアメマスは S42床固工の建設後に絶滅した可能性がある。

一方、支流のポンドードロマップ川の H11床固工の上流に位置する調査区 6 および 7 では、2005年の産卵期の時点で魚道未設置であったにも関わらず2006年にアメマスの 0 歳魚が採捕されている（図 4）。これらが H11床固工によって陸封されたものか前述したサクラマスの場合と同様に魚道設置以前に遡上した親魚に由来するものか今回の結果から判断することは難しい。いずれにせよ、魚道が設置される以前から H11床固工の上流にアメマスが分布していたという結果は、H11床固工の魚道の効果について分布の有無から判定できないことを意味している。

H13床固工では2006年末に魚道が設置されたことから、2007年の産卵期から魚道を利用できるようになった。H13床固工の上流に位置する調査区 8 では2008年に 0 歳魚の生息密度が前年の10倍以上に上昇していることから（付表 3 参照）、魚道設置によって H13床固工の上流で産卵する親魚の数が増加したことが考えられる。ただし、2009年の調査では調査区 8 で 0 歳魚は採捕されず、換わって調査区 2 と 6 で生息密度が上昇している（図 4）。アメマスの産卵場や稚魚の定着場所は年によって変化すること考えられ、生息密度の上昇には魚道設置以外の要因も関係しているかもしれない。

ハナカジカおよびフクドジョウ 2006年の調査結果によると、魚道未設置の S42床固工の上流に位置する調査区11ではハナカジカのみが極めて高密度に生息し、フクドジョウは全く採捕されなかった（図 4）。フクドジョウの生息密度は調査区 2 や 3 など下流に位置する調査区で高いものの、ポンドードロマップ川では本流の調査区11よりも上流に位置する 7～9 でフクドジョウが採捕されていることから（図 4）、調査区11の位置がフクドジョウの生息上限を超えているとは考え難い。フクドジョウとハナカジカはともに水生昆虫などを餌とする底生性魚類であることから、餌や生息場所が競合する関係にあると推測される。S42床固工の上流ではハナカジカが高密度に生息することでフクドジョウが生息しない可能性があるが、このことと S42床固工の建設との因果関係は不明である。

ハナカジカとフクドジョウはいずれも河川内で一生を過ごす純淡水魚である。河川内での移動習性についてはほとんど解明されていないが、治山・砂防ダム等の建設によって分布域が狭められたような事例はこれまで報告されていない。両種の場合、治山・砂防ダム等による移動の制限が河川内分布に直接的な影響を及ぼさない可能

性があるため、魚道の効果を分布密度から推定することは難しく、個体の移動追跡など、より直接的な手法による調査が適していると考えられる。

謝 辞

網走東部森づくりセンター（現オホーツク総合振興局東部森林室）の虎谷和敏係長（現宗谷総合振興局林務課主査）、長山祐治係長（現釧路総合振興局林務課治山係長）、喜多耕一主任（現檜山振興局林務課調整主査）および立木祥子技師（現北海道立総合研究機構林業試験場研究職員）には本調査の全般にわたりご尽力いただいた。北海道立水産孵化場（現さけます・内水面水産試験場）道東内水面室の隼野寛史主幹、眞野修一研究主査、渡辺智治研究主任および田村亮一研究職員（現栽培水試研究主任）には現地調査にご協力いただいた。網走支庁（現オホーツク総合振興局）経済部林務課、網走東部森づくりセンター、網走西部森づくりセンター（現オホーツク総合振興局西部森林室）および北海道水産林務部治山課の方々には調査の実施にあたり多大なご協力をいただいた。各位に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- Carle FL, Strub MR. A new method for estimating population size from removal data. *Biometrics* 1978 ; 34 : 621–630.
- 福島路生. ダムによる流域分断と淡水魚の多様性低下—北海道全域での過去半世紀のデータから言えること. 日本生態学会誌 2005 ; 55 : 349–357.
- 隼野寛史. サクラマス（ヤマメ）*Oncorhynchus masou masou* (Brevoort). 「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 ; 148–153.
- 北海道立水産孵化場. サケ・マス通路整備事業調査. 平成 4 年度事業成績書. 北海道立水産孵化場，恵庭. 1994 ; 24–28.
- 北海道立水産孵化場. 平成17，18，20および21年度事業成績書. 北海道立水産孵化場，恵庭. 2007，2008，2010，2011.
- 小島博. 記録的な大雨は川のサクラマス幼魚に何をしたか. 魚と水 1984 ; 22 : 5–11.
- 眞山紘. サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1992 ; 46 : 1–156.
- Morita K, Yamamoto S, Hoshino N. Extreme life history change of white-spotted char (*Salvelinus leucomaenis*)

- after damming. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2000 ; 57 : 1300-1306.
- 森田健太郎, 山本祥一郎. ダム構築による河川分断化がもたらすもの～川は森と海をつなぐ道～. 「サケ・マスの生態と進化 (前川光司編)」文一総合出版, 東京. 2004 ; 281-312.
- 永田光博, 坂本博幸. サクラマスの卵放流について. 魚と水 1989 ; 26 : 12-21.
- 岡本哲志, 柳井清治, 宮腰靖之, 川村洋司, ト部浩一, 下田和孝. 河川構造物がサクラマス遡上に与える影響～尻別川水系の支流を事例として～. 平成20年度砂防学会研究発表会概要集. 社団法人砂防学会, 東京. 2008 ; 66-67.
- さけます・内水面水産試験場. 平成22年度サケ・マス保護水面管理事業調査実績書. さけます・内水面水産試験場, 恵庭. 2012 ; 19pp.
- 下田和孝, 川村洋司. 魚道設置によるサクラマス資源の回復. 北海道の治山林道 2008 ; 10 : 13-16.
- 杉若圭一, 小島博. 厚田川におけるサクラマス幼魚のモルト化に及ぼす生息密度の影響. 北海道立水産孵化場研究報告 1984 ; 39 : 19-37.
- Tamate T, Maekawa K. Life cycle of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in Shumarinai Lake, northern Hokkaido, Japan. *Eurasian J. For. Res.* 2000 ; 1 : 39-42.
- 谷瀬敦, 矢部浩規, 山下彰司. 北海道の魚道データベースの作成について. 河川技術論文集 2006 ; 12 : 381-384.
- 山本祥一郎, 高橋芳明, 北野聡, 後藤晃. 北海道南部の河川におけるアメマスの河川残留型雌. 魚類学雑誌 1996 ; 43 : 101-104.

付表1 各調査区の概要

調査年/月/日	項目	調査区										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2006/6/26	平均流路幅 (m)	未調査	4.1	5.0	未調査	2.6	2.9	2.1	1.9	未調査	未調査	2.5
	平均水深 (cm)	未調査	19.1	20.1	未調査	15.0	15.4	16.3	10.8	未調査	未調査	18.5
	流路長 (m)	未調査	100.0	100.0	未調査	93.0	100.0	100.0	100.0	未調査	未調査	100.0
	中州面積 (㎡)	未調査	0.0	0.0	未調査	0.0	0.0	0.0	0.0	未調査	未調査	0.0
	調査区面積 (㎡)	未調査	405.5	497.3	未調査	242.6	287.3	206.4	191.8	未調査	未調査	246.4
	調査区緯度 (北緯*)	未調査	43°34'28.03"	43°34'10.29"	未調査	43°33'34.86"	43°33'29.24"	43°33'08.12"	43°33'00.15"	未調査	未調査	43°32'58.75"
2007/6/26	調査区経度 (東経*)	未調査	143°57'19.87"	143°57'02.22"	未調査	143°56'24.74"	143°56'05.65"	143°55'26.26"	143°55'11.07"	未調査	未調査	143°56'22.79"
	平均流路幅 (m)	7.2	5.1	5.9	5.6	3.5	3.9	2.8	3.0	未調査	3.3	未調査
	平均水深 (cm)	28.5	25.2	26.8	29.9	16.8	17.2	18.5	13.3	未調査	18.0	未調査
	流路長 (m)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	未調査	50.0	未調査
	中州面積 (㎡)	0.0	0.0	57.7	5.5	0.0	1.5	0.0	0.0	未調査	0.0	未調査
	調査区面積 (㎡)	360.5	255.5	238.2	276.8	175.5	193.5	141.4	150.5	未調査	163.6	未調査
2008/6/23	調査区緯度 (北緯*)	43°35'03.33"	43°34'37.40"	43°34'10.29"	43°33'49.08"	43°33'34.86"	43°33'29.24"	43°33'11.03"	43°32'55.09"	未調査	43°33'28.01"	未調査
	調査区経度 (東経*)	143°57'54.02"	143°57'26.54"	143°57'02.22"	143°56'39.10"	143°56'24.74"	143°56'05.65"	143°55'34.44"	143°55'05.42"	未調査	143°56'23.29"	未調査
	平均流路幅 (m)	6.7	4.5	5.8	4.7	2.8	4.0	2.6	1.9	3.0	3.2	未調査
	平均水深 (cm)	26.3	21.5	16.3	22.4	13.3	14.3	13.1	9.9	14.5	19.4	未調査
	流路長 (m)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	未調査
	中州面積 (㎡)	0.0	0.0	104.0	18.0	0.0	6.5	0.0	0.0	6.3	0.0	未調査
2009/6/22	調査区面積 (㎡)	333.6	225.5	187.4	217.0	141.4	192.1	129.5	95.5	146.0	158.6	未調査
	調査区緯度 (北緯*)	43°35'03.33"	43°34'37.40"	43°34'10.29"	43°33'49.08"	43°33'34.86"	43°33'29.24"	43°33'11.03"	43°32'55.09"	43°33'38.74"	43°33'28.01"	未調査
	調査区経度 (東経*)	143°57'54.02"	143°57'26.54"	143°57'02.22"	143°56'39.10"	143°56'24.74"	143°56'05.65"	143°55'34.44"	143°55'05.42"	143°54'54.17"	143°56'23.29"	未調査
	平均流路幅 (m)	6.8	4.8	6.2	3.9	2.7	3.9	2.7	2.1	3.1	3.5	未調査
	平均水深 (cm)	29.0	24.4	19.6	26.3	15.0	17.2	15.2	13.5	15.7	20.6	未調査
	流路長 (m)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	未調査
2009/6/22	中州面積 (㎡)	5.0	0.0	62.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	11.9	0.0	未調査
	調査区面積 (㎡)	335.0	238.2	250.3	197.3	136.4	172.7	132.7	105.5	140.8	176.4	未調査
	調査区緯度 (北緯*)	43°35'03.33"	43°34'37.40"	43°34'10.29"	43°33'49.08"	43°33'34.86"	43°33'29.24"	43°33'11.03"	43°32'55.09"	43°33'38.74"	43°33'28.01"	未調査
	調査区経度 (東経*)	143°57'54.02"	143°57'26.54"	143°57'02.22"	143°56'39.10"	143°56'24.74"	143°56'05.65"	143°55'34.44"	143°55'05.42"	143°54'54.17"	143°56'23.29"	未調査

*: 調査区の緯度・経度はWGS84測地系で表記

付表2 採捕した魚類の平均体長, 標準偏差および測定尾数

魚種	調査区	平均体長 (cm)*				標準偏差 (cm)*				測定尾数			
		2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009
サクラマス (0歳魚)	1	未調査	—	5.80	5.56	未調査	—	0.57	0.66	未調査	—	74	116
	2	5.68	5.93	5.96	5.71	0.58	0.46	0.67	0.68	18	8	52	73
	3	5.52	6.08	5.77	5.48	0.58	0.57	0.64	0.67	82	5	107	211
	4	未調査	6.26	5.53	5.68	未調査	0.79	0.53	0.64	未調査	7	63	46
	5	5.83	5.83	5.57	5.50	0.44	0.53	0.49	0.63	7	3	18	31
	6	6.14	5.75	5.40	5.44	0.43	0.38	0.53	0.62	7	4	43	130
	7	6.12	4.95	4.95	5.34	0.43	0.15	0.72	0.51	25	2	6	16
	8	—	—	4.68	5.44	—	—	0.49	0.45	—	—	49	53
	9	未調査	未調査	4.52	5.18	未調査	未調査	0.48	0.62	未調査	未調査	25	23
	10	未調査	5.55	5.35	5.20	未調査	0.55	0.49	0.71	未調査	2	11	31
	11	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査
サクラマス (1歳以上)	1	未調査	11.58	11.93	11.33	未調査	2.05	2.64	1.93	未調査	8	3	16
	2	13.00	12.94	14.00	11.54	3.10	1.66	2.80	1.52	2	7	2	8
	3	12.50	13.22	14.65	13.00	2.18	2.92	1.65	2.38	7	10	2	23
	4	未調査	12.60	12.30	14.09	未調査	2.50	2.40	1.70	未調査	5	2	9
	5	14.70	13.38	—	13.37	0.00	0.97	—	0.98	1	4	—	3
	6	—	15.05	—	13.90	—	0.05	—	3.37	—	2	—	4
	7	—	15.50	11.73	11.36	—	0.00	2.49	2.63	—	1	13	6
	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	未調査	未調査	16.10	11.36	未調査	未調査	0.00	2.48	未調査	未調査	1	5
	10	未調査	11.55	15.75	13.23	未調査	1.94	1.95	0.89	未調査	4	2	4
	11	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査
アメマス (0歳魚)	1	未調査	—	—	5.50	未調査	—	—	0.50	未調査	—	—	2
	2	4.40	—	5.00	4.29	0.00	—	0.30	0.44	1	—	2	36
	3	4.80	—	—	4.93	0.00	—	—	0.33	2	—	—	8
	4	未調査	—	—	4.15	未調査	—	—	0.19	未調査	—	—	6
	5	5.63	—	—	4.45	0.40	—	—	0.05	4	—	—	2
	6	5.38	5.45	—	4.67	0.37	0.05	—	0.69	70	2	—	37
	7	5.55	—	4.67	4.50	0.36	—	0.26	0.15	4	—	3	5
	8	—	5.05	3.97	—	—	0.35	0.32	—	—	2	21	—
	9	未調査	未調査	—	—	未調査	未調査	—	—	未調査	未調査	—	—
	10	未調査	—	3.50	3.50	未調査	—	0.00	0.50	未調査	—	1	2
	11	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査
アメマス (1歳以上)	1	未調査	13.90	16.78	14.12	未調査	0.74	1.94	2.64	未調査	4	8	11
	2	14.46	13.17	17.09	14.21	2.02	0.80	3.32	2.82	13	9	9	16
	3	13.60	14.30	14.04	14.76	1.57	2.08	1.24	3.53	21	17	5	12
	4	未調査	12.63	16.42	12.90	未調査	1.11	2.64	1.23	未調査	15	5	4
	5	13.54	14.13	13.43	13.04	1.65	2.09	2.18	1.47	5	8	4	7
	6	13.36	11.98	13.07	12.41	3.18	1.54	4.29	1.48	8	9	7	9
	7	—	14.78	11.50	12.97	—	0.89	3.51	1.41	—	4	6	10
	8	—	13.20	—	10.57	—	0.00	—	1.17	—	1	—	12
	9	未調査	未調査	10.95	14.73	未調査	未調査	2.00	2.93	未調査	未調査	27	10
	10	未調査	12.71	17.90	15.78	未調査	0.89	1.14	3.14	未調査	8	4	5
	11	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査
ハナカジカ	1	未調査	—	—	—	未調査	—	—	—	未調査	—	—	—
	2	12.45	—	—	—	0.85	—	—	—	2	—	—	—
	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	未調査	11.70	12.90	13.44	未調査	0.00	1.60	0.89	未調査	1	2	5
	5	12.77	12.61	11.61	12.70	1.69	0.93	1.20	0.00	16	9	10	1
	6	—	10.75	14.70	—	—	1.45	0.00	—	—	2	1	—
	7	12.68	7.95	11.43	11.02	1.61	2.86	3.16	1.10	6	42	6	20
	8	—	—	—	13.60	—	—	—	0.00	—	—	—	1
	9	未調査	未調査	9.04	9.91	未調査	未調査	1.93	1.13	未調査	未調査	25	25
	10	未調査	10.03	10.49	12.45	未調査	2.49	1.00	1.36	未調査	19	12	14
	11	6.92	未調査	未調査	未調査	2.80	未調査	未調査	未調査	301	未調査	未調査	未調査
フクドジョウ	1	未調査	12.03	9.32	9.94	未調査	0.82	2.73	1.08	未調査	4	31	25
	2	10.20	11.42	8.13	9.53	1.96	0.64	2.47	1.55	25	5	9	35
	3	10.37	10.87	7.64	9.15	1.17	3.48	2.12	1.76	27	20	65	57
	4	未調査	13.73	9.59	10.68	未調査	1.33	2.93	2.35	未調査	3	8	25
	5	12.34	9.63	12.40	10.33	1.08	2.53	0.00	1.22	9	6	1	8
	6	9.81	12.56	12.83	9.86	2.73	1.39	0.95	2.72	10	7	3	5
	7	12.72	13.45	12.65	7.55	0.93	0.72	1.05	0.05	42	4	2	2
	8	12.32	13.92	2.70	14.00	2.27	1.09	0.00	1.10	15	5	1	2
	9	未調査	未調査	13.57	13.40	未調査	未調査	0.82	0.00	未調査	未調査	6	1
	10	未調査	—	13.70	10.55	未調査	—	1.30	1.55	未調査	—	2	11
	11	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査	—	未調査	未調査	未調査

*: サクラマスとアメマスは尾叉長, ハナカジカとフクドジョウは全長で示す

—: 採捕無し

北海道日本海産アカガレイ、ヒレグロ、ウロコメガレイの年齢決定に関する耳石の表面観察法と薄片観察法の比較

星野 昇, 山口浩志, 三原行雄, 丸山秀佳

北海道沖合日本海で漁獲されるアカガレイ、ヒレグロ、ウロコメガレイについて、年齢決定方法を確立するための一環として、耳石の表面観察法と薄片観察法による輪紋計数結果を比較した。4名が同じ耳石をそれぞれの方法によって読輪した結果、いずれの種でも薄片観察法で平均して1～2本程度、透明帯を多く計数する傾向があった。耳石形状の特性に依存して、耳石の中心から約3本目の透明帯までの範囲と、7～9本目の透明帯から縁辺にかけての範囲で、表面観察では確認しづらい透明帯が計数されていた。年齢決定は薄片観察が適当と考えられたが、現状では計測者間の計数結果のばらつきが表面観察法より大きく、読輪方法の習熟が今後の課題である。

A480 北水試研報 82 1-7 2012

網走川におけるサケ稚魚の降河移動

宮腰靖之, 安藤大成, 藤原 真
隼野寛史, 永田光博

2004年および2005年、北海道東部の網走川において3群の標識サケ稚魚を放流し、降河生態を調査した。放流した標識魚は概ね2旬以内に採捕され、3旬日以降の採捕尾数は著しく減少した。この結果、5月に平均0.8g以上のサイズで網走川に放流されるサケ稚魚の多くは、放流後すみやかに降河するものと考えられた。5月末に放流した標識群では採捕尾数も少なく、放流から2旬後の6月中旬には河川水温は20℃近くなる年が多いことから、放流後速やかに降海しない個体の生き残りは低くなるものと考えられた。

A482 北水試研報 82 19-26 2012

北海道日本海南部海域におけるベニズワイのDeLury法に基づく資源評価

星野 昇

北海道日本海南部海域では1970年代後半から2011年までの間、ベニズワイかご漁業の試験操業が実施されてきた。2001～2011年の間に得られた操業データに基づき資源評価を行った。主な操業海域は4海域に大別され、これら4海域ごとにDeLury法により漁獲効率と年別資源尾数を推定した。資源尾数はいずれの海域でも2000年代半ばにかけて増加、その後は漸減傾向にあると推定された。漁獲割合は平均30%と推定され、近年の許容漁獲量は資源水準に対し概ね適切に設定されていると考えられたが、今後の各海域の資源動向を注視する必要がある。

A481 北水試研報 82 9-18 2012

サケ稚魚長距離輸送時の経時的な水質変化

藤原 真, 實吉隼人, 鈴木邦夫

サケ稚魚の長距離輸送において輸送タンク内の水温、溶存酸素量、pH、電気伝導率、アンモニア態窒素濃度などの水質変動を調べた。2011年の3～4月にサケ稚魚86万尾（平均体重0.7～0.9g）を遠距離に位置する飼育場4箇所へトラックにより酸素補給しながら輸送した。輸送前の餌止め日数は1日であった。単位容積あたりの収容重量から求めた輸送時のタンク内の収容密度は6.0～7.2%、輸送距離は227～340km、輸送時間は4.9～7.1時間であった。タンク内の水温はほぼ一定であった。また、pHは輸送開始直後に低下がみられた後、中性に回復することはいなかった。溶存酸素量は増加し、2.5時間後にはすべての輸送群で過飽和に達した。NH₄-N濃度は輸送時間に比例して増加し、7時間後には6.38mg/ℓに達した（その際のNH₃濃度は0.0009mg/ℓ）。さらに電気伝導率とNH₄-N量には相関関係が認められた。なお、輸送中と輸送後において稚魚の減耗はなかった。このことから今回の長距離輸送の条件はサケ稚魚に影響のない範囲であったと考えられ、また、NH₄-N量の増加の指標として、現場で容易に推測する手段に電気伝導率が有効であると考えられた。

A483 北水試研報 82 27-32 2012

ワカサギ孵化仔魚の絶食耐性および網走湖流入河川からの流下生態

虎尾 充

網走湖産ワカサギ *Hypomesus nipponensis* は流入河川で孵化し、卵黄保持期間中に湖に到達することが仔魚の生残に重要である。本研究では、飼育試験と流下仔魚採集調査によって、ワカサギ孵化仔魚の湖への到達時間を推定した。ワカサギ仔魚の卵黄吸収は6日目までに終了し、回復不能点は孵化後5日目と考えられた。流入河川では仔魚は日没後に集中的に孵化・流下しており、卵黄体積から判断して0～1日齢で網走湖内に達すると推定された。流入河川で孵化したワカサギは孵化後4日以内に湖に到達し摂餌を開始することが必要であるが、十分な卵黄を保持した状態で網走湖に加入している可能性が高い。

A484 北水試研報 82 33-40 2012

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（資料）

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の前後計4年間の魚類生息密度の変遷を記載した。生息が確認された魚種は、サクラマス、アメマス、ハナカジカおよびフクドジョウであった。サクラマスの生息密度は調査開始年（2006年）と最終年（2009年）の間で平均約11倍の上昇が認められた。サクラマスの生息密度は特に魚道の設置された河川工作物の上流で高くなった。アメマスの生息密度は魚道設置後に上流域で上昇する場合が見られた。一方、ハナカジカとフクドジョウについては、魚道設置による効果と思われる現象は確認できなかった。

A485 北水試研報 82 41-50 2012

第82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。

ここに記してお礼いたします（敬称略）

河村 博

今田和史

北海道水産試験場研究報告 第82号

2012年9月28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

岩橋印刷(株)
〒063-8580 札幌市西区西町南18丁目1番34号
電話 (011)669-2500
