

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

CODEN : HSSKAJ
ISSN : 2185-3290

北海道水産試験場研究報告

第 80 号

SCIENTIFIC REPORTS
OF

HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES

No. 80

北海道立総合研究機構水産研究本部

北海道余市町

2011年12月

Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department

Yoichi, Hokkaido, Japan

December, 2011

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)

(お知らせ)

北海道水産試験場研究報告は、今般発行いたします第80号から、従前の北海道水産試験場研究報告に、さけます・内水面水産試験場研究報告 (ISSN:2185-8012) を統合いたしました。

統合後の研究報告では、水産にかかる研究と技術の向上を図り、本道水産業の発展に寄与することを目的に発行するものとし、また当研究報告の独自性も確保するため、従前の報文（原著論文、総説、短報、学位論文）の他に、新たに技術報告（水産関連の諸技術に関する新しい知見の報告や解説）と資料（水産関連の価値あるデータや記録を含むもの）を含め掲載して参ります。

当研究報告を活用いただく皆様方におかれましては、今後とも特段のご理解とご高配を賜りますよう、よろしくお願ひいたします。

北海道水産試験場研究報告

第80号

目 次

星野 昇

ハタハタ石狩群における1歳時の成熟に関する再考 1

星野 昇

ハタハタ石狩群における資源変動の特徴 9

坂口健司

北海道西部日本海および津軽海峡周辺海域に分布する雄スルメイカの性成熟と日齢 17

佐藤敦一, 竹内俊郎

ドコサヘキサエン酸 (DHA) 要求に着目したマガレイの形態異常防除技術の実証試験 25

森 立成

マヒトデ骨片の海水用循環濾材としての有効性 33

宮腰靖之, 青山智哉, 藤原 真, 實吉隼人, 楠田 聰, 川村洋司, 小山達也,

ト部浩一, 安藤大成

北海道日本海側の河川に遡上したサケの年齢組成 39

虎尾 充, 永田光博, 佐々木義隆, 竹内勝巳, 春日井潔

北海道東部当幌川水系におけるカラフトマス天然産卵集団の存在 (短報) 45

宮腰靖之, ト部浩一, 安藤大成, 實吉隼人, 青山智哉, 坂本博幸, 春日井潔, 永田光博

北海道におけるサケ自然産卵個体群の分布 (資料) 51

(2011年12月)

SCIENTIFIC REPORTS
OF
HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES
No.80

CONTENTS

NOBORU HOSHINO

- Reexamination of the maturity rate of Ishikari stock of the sailfin sandfish *Arctoscopus japonicus* at the age of one 1

NOBORU HOSHINO

- Characteristics of population dynamics in Ishikari stock of the sailfin sandfish *Arctoscopus japonicus* 9

KENJI SAKAGUCHI

- Maturation and age of the male Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait 17

NOBUKAZU SATO, TOSHIO TAKEUCHI

- Proof test of the rearing technique based on DHA requirement during larval period to prevent the morphological abnormalities in brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini* 25

TATSUNARI MORI

- Availability of sea star (*Asterias amurensis*) spicules as a marine biological filter 33

YASUYUKI MIYAKOSHI, TOMOYA AOYAMA, MAKOTO FUJIWARA, HAYATO SANEYOSHI,
SATOSHI KUSUDA, HIROSHI KAWAMURA, TATSUYA KOYAMA, HIROKAZU URABE,
AND DAISEI ANDO

- Age composition of chum salmon returning to rivers on the Sea of Japan side of Hokkaido 39

IMITSURO TORAO, MITSUHIRO NAGATA, YOSHITAKA SASAKI, KATSUMI TAKEUCHI AND
KIYOSHI KASUGAI

- Evidence for existence of wild population of pink salmon in the Tohoro River system flowing into Nemuro Strait, eastern Hokkaido, Japan (Short Paper) 45

YASUYUKI MIYAKOSHI, HIROKAZU URABE, DAISEI ANDO, HAYATO SANEYOSHI,
TOMOYA AOYAMA, HIROYUKI SAKAMOTO, KIYOSHI KASUGAI, AND MITSUHIRO NAGATA
Distribution of naturally spawning chum salmon populations in Hokkaido (Note) 51

(December, 2011)

ハタハタ石狩群における1歳時の成熟に関する再考

星野 昇

中央水産試験場

Reexamination of the maturity rate of Ishikari stock of the sailfin sandfish *Arctoscopus japonicus* at the age of one

NOBORU HOSHINO

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

The maturity rate of the Ishikari stock of the sandfish *Arctoscopus japonicus* is believed to be 100%. This study re-examined the maturity rate of this stock of fish aged 1 year to determine whether any deviations from 100% maturity could be detected. The mean values of body length of age-one fish were estimated for 2005–2008 year-classes by otolith back-calculation analysis of fish that were sampled at the age of 2 years. The maturity rate of the 2006 year-class of age-one fish was estimated 64% in females because of slower growth. These results indicate that maturity rates are not always close to 100%, particularly in females, and that the possibility of lower rates should be considered carefully when evaluating the spawning biomass of this stock.

キーワード : back-calculation, 石狩湾, 耳石, 成熟率, ハタハタ

北海道日本海に分布するハタハタ（以下、ハタハタ石狩群と称する）は、沖合底びき網漁業、えびこぎ網漁業、刺網漁業などで秋季に漁獲対象となる。かつて1,000トン以上あった漁獲量は1995年までに大きく減少し、その後は100～300トンの水準で推移している（Fig.1）。

ハタハタ石狩群は、石狩湾沿岸を主産卵場とし留萌管内の沖合にかけて分布する（Fig. 2）。2～3月頃にふ化した仔稚魚は6月頃まで産卵場付近に滞留した後、天売舟状海盆の水深250m以深に移動して、翌年の秋頃、すなわち1歳時の後半に初成熟し、石狩湾沿岸の産卵場へ移動する。その際、雄冬岬沖合に濃密に集群したところを沖合底びき網漁業やえびこぎ網漁業で漁獲され、産卵場付近では刺網漁業や小定置網漁業で漁獲される。雄では2歳、雌では3歳頃まで漁獲対象となり、それ以上の年齢群は少ない（星野・三橋、2011）。

ハタハタ石狩群の1歳時における成熟率、すなわち当該年級群の個体数に占めるその年に成熟して繁殖に加わる個体の割合については、これまでの漁獲物モニタリング調査や北海道水産試験場による秋季のトロール調査によって採集された1歳魚のほとんどが成熟していることか

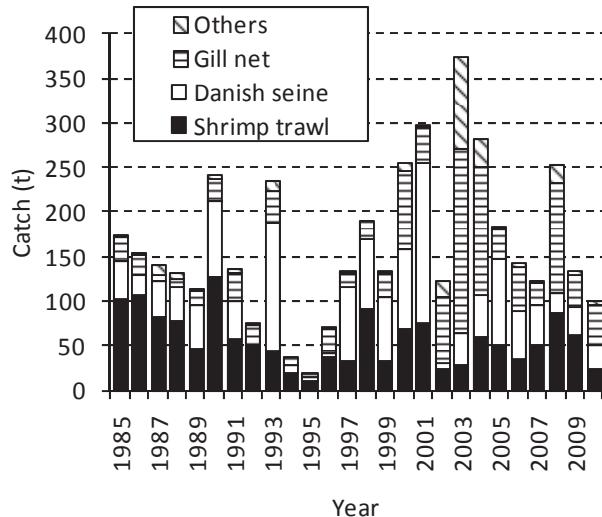
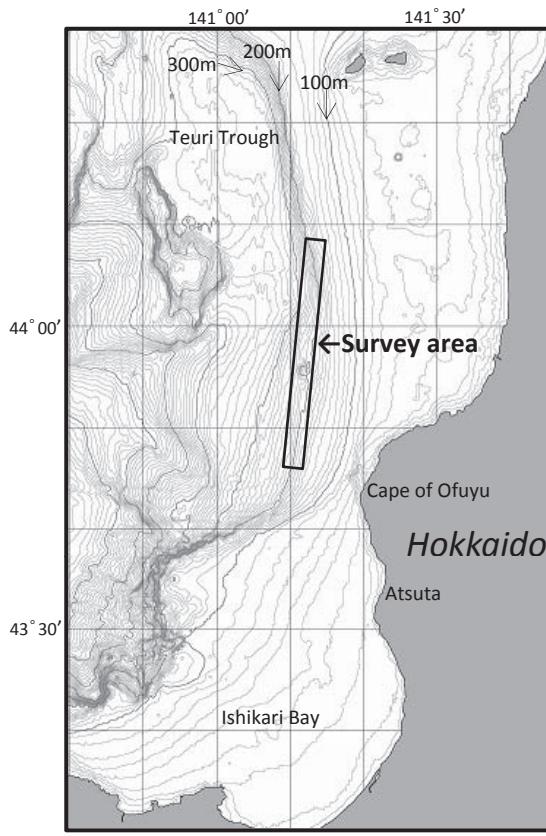


Fig. 1 Annual change in the catch of the Ishikari stock of sandfish.

ら、雌雄ともほぼ100%と考えられてきた（前田、2003）。しかし、漁業や調査船調査で対象となるのは成熟して産卵場に向かう群であり、成熟するまでは調査や漁業の行



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

Fig. 2 Map showing the survey area of the Ishikari stock of sandfish.

われていない比較的深い水深帯に分散し、海底の泥砂に潜る生態を持つ（杉山・柴田, 1989）ことから、成熟していないハタハタが存在したとしても、成熟魚と比較して採集されにくいと考えられる。実際には、秋季トロール調査で未熟の1歳魚が採集される年があり、とくに2010年10月に実施された調査では、1歳魚の採集標本のうち雄19.7%、雌34.0%が未熟個体であった（Fig.3）。また、日本海における他の系群では1歳時の成熟率は100%でないことが知られている。例えば、本州日本海西部のハタハタ資源について、産卵期に未熟な雌1歳魚が漁獲対象となっている（清川, 1989）状況などをふまえ、雌については1歳時成熟率を0%とみなしている（藤原ら, 2011）。これらの状況から、これまで慣例的に100%とみなしてきた石狩群の1歳時の成熟率については、検証を進める必要がある。

ハタハタ石狩群の1歳時の成熟状態を検証することは、その生態学的意義のほか資源変動の要因について理解を進めるうえでも重要である。本資源の産卵親魚が1歳と2歳の2つの年齢群で大半を構成する（星野・三橋, 2011）ことから、雌の成熟率の考え方次第で産卵親魚量の推定

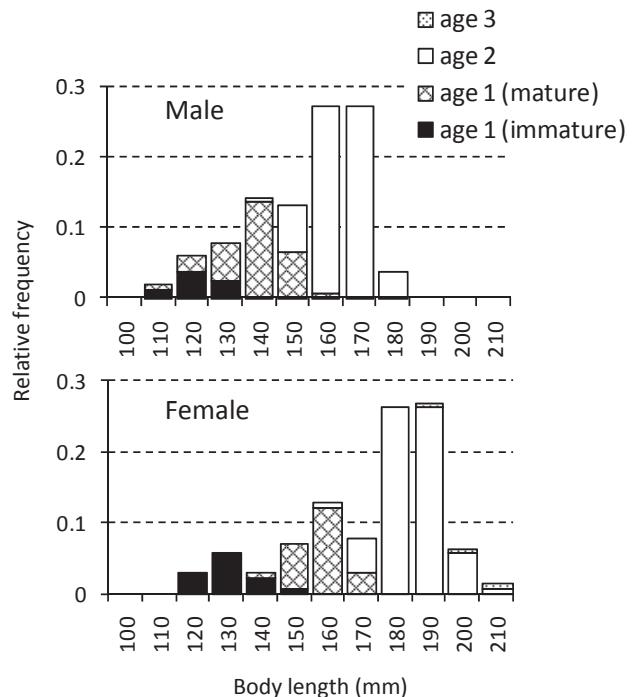


Fig. 3 Size at age distributions for the samples caught by trawl surveys conducted in October 2010.

結果が大きく変わる。また、漁業が成熟魚のみを対象としていることから、成熟率は漁業資源への加入率と等価であり、これを100%とみなすか否かで1歳の資源量に対する漁獲量の割合（漁獲率）の推定結果も大きく変わることになる。

前述のとおり、1歳魚については未熟個体が存在していたとしても、漁業やトロール調査では採集されにくい状態にあることを想定する必要があるため、1歳魚の採集物における成熟・未熟の比率から成熟率を推定することは妥当でない。一方、2歳以上については雌雄ともにこれまで未熟個体の記録がないことから、基本的には100%が成熟して漁業や調査の対象となっていると考えられる。そこで、本研究では、ハタハタ石狩群の2005, 2006, 2007, 2008年級群について、それぞれ2歳時に採集された標本の耳石輪紋から1歳時の体長を推定し、体長と成熟確率の関係から各年級群の1歳時における成熟の可能性を検討した。

試料及び方法

北海道水産試験場が北海道日本海の雄冬岬沖合海域（Fig.2）で実施している秋季トロール調査で得られた、ハタハタ石狩群の標本測定データおよび耳石標本を用いた。2007年11月の標本のみ、調査船による採集数が少なかったため、同じ海域で行われている沖合底びき網漁業

(かけまわし)による漁獲物を用いた。秋季トロール調査は、元中央水産試験場所属調査船おやしお丸(178トン)、および稚内水産試験場所属調査船北洋丸(237トン)によるオッタートロールで行われている。いずれの船舶のトロール網についてもコッドエンド目合(約35mm)はハタハタ1歳以上の体サイズに対して十分に小さいので、標本は漁具によるサイズ選択を受けずに採集されたものと考えた。採集標本は冷凍後に解凍して供試し、標準体長(以下、体長)を1mm単位で計測、性別判定、体重、内蔵除去重量および生殖腺重量を0.1g単位で計量した。

1歳時の体長推定 耳石解析に用いた標本数と標本採集情報をTable 1に示す。耳石標本の総数は961個体である。原則として体軸に対し右側の扁平石を、核を通過する横断線で切断して耳石薄片標本を作製した(Fig.4)。耳石標本は概ね高嶋(2011)の方法に準じ、10個体分を樹脂で包埋して1個のスライドガラスに接着させた状態に切り抜き、厚さ約0.15mmまで研磨して観察した。耳石径は落射光下で実体顕微鏡のCCDカメラによりデジタル撮影した薄片標本の画像をピクセル単位で計測し、対物ミクロメータを用いて0.1mm単位の実寸値に補整した値を用いた。

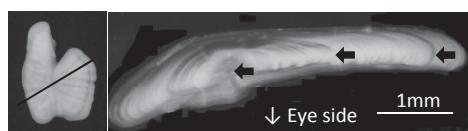


Fig. 4 A transverse section of a sagittal otolith from a 2-year-old female sandfish (190-mm body length, sampled on October 21, 2010). Annual rings and focus are indicated by arrowheads.

まず、2007年の8月から翌年3月にかけて採集された1歳魚(Table 1)の耳石薄片標本の外縁性状の変化を追跡することで、大半の個体の耳石が1歳の11月頃に不透明帯から透明帯の形成に移行することを確認した。各年10月の調査による1歳魚の採集物について、核から1歳時の不透明帯外縁までの距離と体長の関係を雌雄ごとに把握した。

次に、各年10月の調査による2歳魚の採集物について、各個体の耳石薄片標本の核から1歳時不透明帯外縁までの距離を計測した。それぞれの年級群の1歳時秋季における体長組成を、上記の耳石径-体長関係に基づいて雌雄ごとに区間推定し、年級群間で比較した。その手順の詳細は結果と併せて後記する。

体長-成熟確率曲線の推定 2002年から2010年における10月調査で得られた1歳魚について、生殖腺重量の内蔵除去重量に対する割合が、雌雄ともに5%以上の個体をその年に繁殖する成熟個体と判断した(杉山, 2002)。体長階級(1mm幅)に対する成熟個体の出現率の散布点にロジスティックモデルを最尤推定し、1歳魚の体長-成熟確率曲線を現した。

成熟率の推定 各年級群2歳魚について、その1歳時推定体長と成熟確率曲線から1歳時の成熟率を雌雄ごとに推定した。

結 果

1歳時の体長推定 Fig.5に、2007年秋季から翌年3月にかけて採集された2006年級群の耳石縁辺の状態変化を示す。8月および9月の採集物の耳石縁辺はほとんどが不透明帯であったが、10月には約30%、11月には約60%の個体の縁辺に透明帯が形成されはじめおり、翌年3月には

Table 1 Sampling data for sandfish used in otolith analyses.

Year	Month/days	Depth(m)	Vessels	Sampling information				Number of individuals used in otolith analysis							
				Male				Female				0 ⁺	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺
2007	8/20-24	196-253	Oyashio-maru	0	16	2	0	18	0	3	0	0	3	21	
	9/10-12	229-251	Oyashio-maru	0	29	12	0	41	0	4	3	0	7	48	
	10/15	245-260	Hokuyo-maru	6	25	14	0	45	2	32	32	1	67	112	
	11/14	230-250	Commercial danish-seine	0	18	16	0	34	0	30	5	0	35	69	
2008	3/3-4	224-231	Oyashio-maru	0	17	0	0	17	0	10	3	0	13	30	
	10/22-30	213-252	Oyashio-maru	0	10	34	0	44	0	22	41	9	72	116	
2009	10/23-28	200-255	Oyashio-maru	1	131	15	7	154	1	59	21	10	91	245	
			Hokuyo-maru												
2010	9/14-15	233-271	Hokuyo-maru	31	0	0	0	31	23	0	0	0	23	54	
	10/21	219-260	Hokuyo-maru	8	46	89	2	145	3	41	73	4	121	266	
Total				46	292	182	9	529	29	201	178	24	432	961	

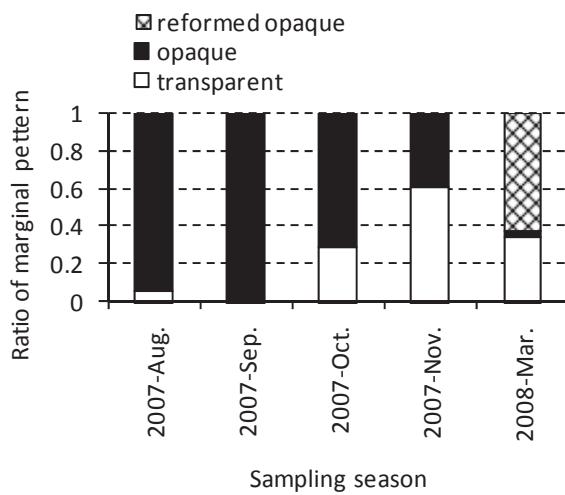


Fig. 5 Seasonal change in the marginal growth pattern for age-one sandfish.

ほぼすべての個体で、透明帯もしくは2歳期の不透明帯が形成されはじめていた状態であった。このことから、ハタハタ石狩群1歳魚の耳石の透明帯は冬季の短期間に形成され、不透明帯の外縁端は、概ね10~11月にかけて形成されると考えた。

2007~2010年の10月調査で採集された1歳魚 (Table1) の、核から耳石縁辺 (透明帯が形成され始めている個体については不透明帯外縁端) までの直線距離 (Fig.4) に対する当該個体の体長プロットを雌雄別に示す (Fig.6)。両者の関係には正の相関関係があり ($r=0.66$, $p<0.01$), 雌雄それぞれの回帰直線の傾きには差があった (ANCOVA, $p<0.01$)。

次に、2007~2010年の10月調査で採集された2歳魚について、各個体の耳石の核から1歳時不透明帯外縁端までの

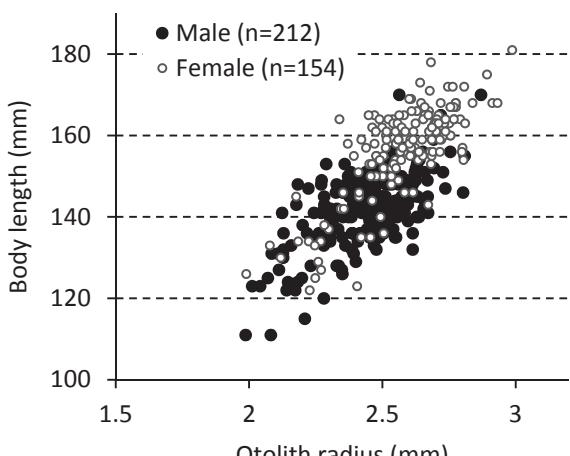


Fig. 6 Relationship between otolith radius and body length for age-one sandfish.

計測値より、Fig.6の関係に基づいて1歳秋季の体長組成を年級群ごと雌雄ごとに推定した。例えば、2007年級群の雌2歳魚の場合、まず、当該データ群から1個体分の1歳時不透明帯外縁端までの計測値を疑似乱数で抽出する。それが2.5mmであれば、その個体の1歳秋季の体長の確率分布を、Fig.6に示した耳石径計測値2.5mmの雌すべての体長平均値と標準偏差を母数とする正規分布と考え、パソコンソフトの乱数ジェネレータによりその正規分布から発生させた値を当該個体の体長とする。これを2007年級群雌2歳魚のデータ数分の回数を繰り返し、体長平均値、最大体長から10%の体長、最小体長から10%体長の3個の統計量を求める。以上を1回の工程として、これを1,000回行うことで、これら3個の統計量の平均値とその95%ブートストラップ信頼区間を求める。

これにより年級群ごとに得られた、2歳魚の1歳時推定体長組成の3個の統計値を雌雄別に示す (Fig.7)。併せて、それぞれの年級群が1年前の10月調査、すなわち1歳魚として採集された際の体長組成に関する同じ統計値を、星印で右傍に示している。体長組成の平均値は雄で137~145mm、雌で148~158mmの範囲で推定され、雌の方が雄より推定体長は大きかった。年級群間で比べると、雌雄ともに2006年級群が顕著に小さく、その他の年級群間の差は小さい。2006年級群については、2007年10月調査で1歳魚として採集された体長組成の統計値 (星印) も著しく小さいことから、これら4個の年級群の中では1歳秋季までの成長量が最も小さかったと結論できる。また、年級群ごとに1歳時推定体長組成の統計値と、1歳魚として採集された体長組成の統計値 (星印) を比較すると、各年級群、雌雄とも、上側10%体長値の差は小さいのに対し、下側10%体長値は、2歳魚の1歳時推定体長組成の方が明らかに小さく、その傾向は雌で顕著であった。

上記の1歳時体長の推定方法と同様の工程で推定した、各年級群の0歳秋季の時点での体長組成の平均値とその信頼区間をFig.8に示す。雌雄とも2007年級群の成長量が大きく、その他の年級群は雌の2006年級群が若干小さい程度であるが大差はなかった。

体長-成熟確率曲線の推定 2002~2010年の10月トロール調査で採集された1歳魚の体長階級別成熟率を雌雄別にFig.9に示す。これらの散布点に対して、ロジスティックモデルを適合させ、体長に対する成熟確率の期待値関数とした。雄個体の成熟確率 R_{male} 、雌個体の成熟確率 R_{female} は体長 BL (mm) に対して、それぞれ次式のとおり推定された。

$$R_{male} = \frac{1}{1 + e^{(22.5 - 0.19 BL)}} \quad (1)$$

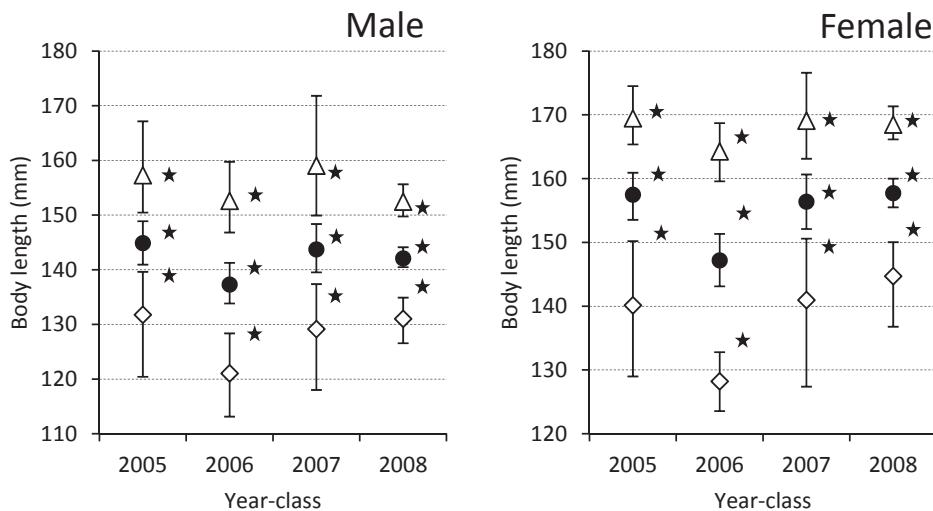


Fig. 7 Estimated statistics for body length (i.e., mean B.L., upper 10% B.L., and under 10% B.L.) at the age of 1 year for each year-class. Vertical bars represent 95% bootstrap confidence intervals around means. Stars represent the statistics of body length sampled at the age of 1 year for each year class.

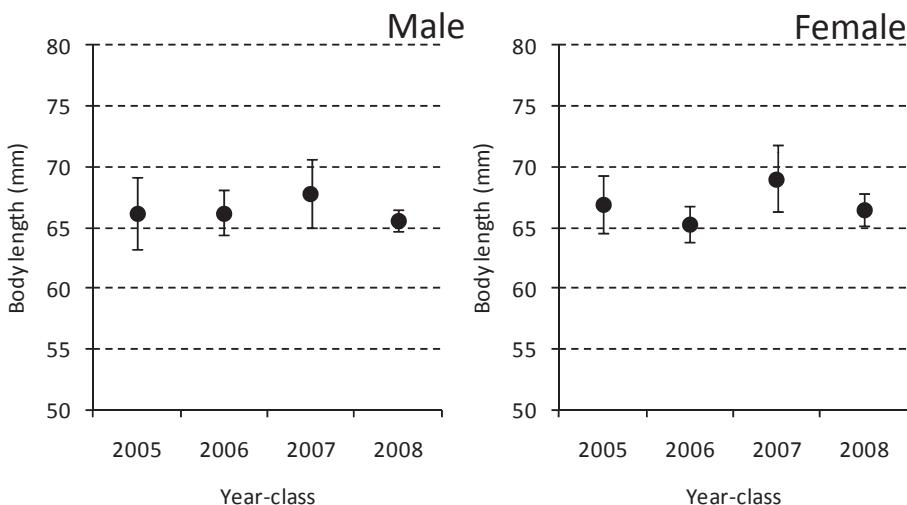


Fig. 8 Estimated mean body length at the age of 0 for each year class. Vertical bars represent 95% bootstrap confidence interval around the mean.

$$R_{female} = \frac{1}{1 + e^{(40.9 - 0.29 BL)}} \quad (2)$$

定され、雄で91.5%、雌で64.0%であった。その他の年級群では、雄が97%以上、雌が90%前後と推定された。

雄では体長約140mm以上での成熟確率はほぼ100%となるが、それ以下の体長では成熟確率は低下する。雌では体長155mm以上の成熟確率はほぼ100%，130mm以下ではほぼ0%であり、成熟するか否かは体長140mm前後を境界に劇的に変化している。

成熟率の推定 上記Fig.7を得るための一回の工程で得られる推定体長を、(1), (2)式に代入して成熟率を求めるという作業を雌雄それぞれに1,000回行つて得られた、各年級群の1歳時成熟率の平均値とその95%信頼区間を示す(Table 2)。2006年級群は推定された体長が小さいことにより、1歳時成熟率は雌雄ともに他の年級群より低く推

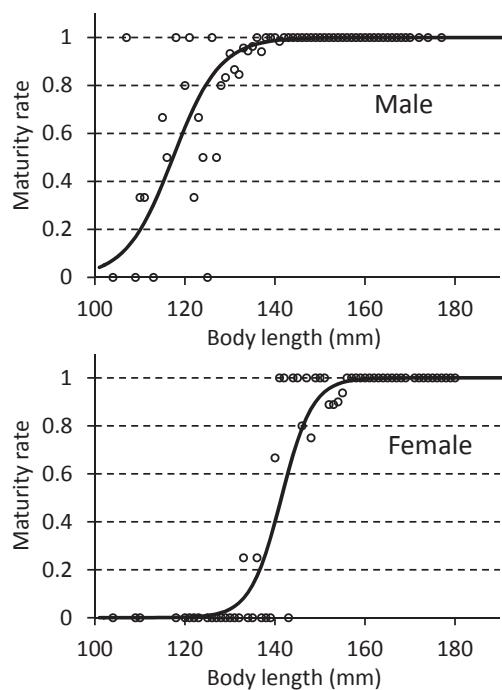


Fig. 9 Relationship between body size and maturity rate with fitted logistic curves.

考 察

本研究では、ハタハタ石狩群における1歳時の成熟状態を検証するために、まず1歳魚の耳石径と体長の関係から、2005～2008年級群のそれぞれ2歳魚について、1歳時における体長組成をBack-calculationによって推定した。次に、この体長組成に基づき、1歳魚の観察により得られた体長－成熟確率曲線から、1歳時における成熟率を推定した。

一般に、耳石径のBack-calculation法により過去の体長履歴を推定する場合に、実際より小さめに推定されることがあり、様々な角度からその原因や改善策が検討されている(Campana, 1990)。本研究では、耳石の肥厚により耳石表面からの輪紋計測に派生するバイアスを回避するため、薄片横断面の輪紋径を計測することとした。また、1歳秋季の体長を推定するために、1歳秋季の時点で大半の個体が不透明帯の形成が終わることを確認して(Fig.5)、1歳秋季の標本のみから耳石径－体長関係を得た(Fig.7)。さらに、耳石径－体長関係を一つの数式で表現することによって生じる系統誤差を回避するため、耳石径の測定値ごとにFig.7の観測値に基づく体長期待値と誤差分布を与え、その確率分布に基づいて抽出した値を当該個体の体長とし、ブートストラップ法によって区間推定した。これらの方針を用いたことにより、本研

Table 2 Estimated maturity rates at the age of 1 year for each year class. Values in parentheses represent 95% confidence intervals.

Year-class	Male	Female
2005	0.986 (0.962-0.995)	0.893 (0.798-0.964)
2006	0.915 (0.855-0.963)	0.640 (0.511-0.760)
2007	0.980 (0.948-0.994)	0.899 (0.790-0.977)
2008	0.971 (0.952-0.984)	0.919 (0.866-0.963)

究で推定された各年級群2歳魚の1歳時体長組成は、概ね的確に得られたものと考えられる。

体長－成熟確率の関係(Fig.9)については、用いた標本が成熟して浅い水深帯に向けて移動している群より得られたものであるため、成熟していない個体は相対的に深い水深帯に存在する可能性がある。くわえて年級群ごとの違いも想定されるが、1歳未熟魚の採集尾数は少なく、年級群間、採集水深帯間の違いなどを定量的に評価することは難しい。しかし、雌の成熟個体の割合は、体長140mm台を境界に急激に変化し、その前後では成熟率は0%か100%となっており、雄についても、140mmより大きい範囲ではほぼ100%が成熟魚である。このことを考慮すると、水深帯や年級群の違いによって体長の大きな1歳未熟個体が高頻度で出現するといった可能性は低いと考えられる。

各年級群について、2歳魚の1歳時推定体長組成と1歳魚の体長組成を比較すると、雌雄ともに、下側10%体長は2歳魚の1歳時推定体長の方が小さいという傾向が認められた(Fig.7)。もし、Back-calculation法に伴う誤差や調査漁具の選択性により大きい個体が採集されやすいといったことが原因であれば、上側10%体長にも同様の差が生じるはずであるが、各年級群・雌雄ともに大きな差はみられない。雄で130mm以下、雌で140mm以下といった小型魚のみが1歳時には採集されにくく、2歳時に初めて採集対象となっていると考えられる。漁業でもこのような小型サイズは秋季の漁獲物にはほとんどみられていない(星野・三橋, 2011)。Fig.9から、これらのサイズは1歳時に成熟しない可能性が大きい。以上から、漁獲加入していない未熟の1歳魚がある程度存在しているが、それらは調査や漁業で採集されにくいために1歳時に調査や漁業で得られた採集物中の成熟個体の割合は100%近い値を示す状況と推察される。

推定された2歳魚の1歳時成熟率は2006年級群を除いて雄で97%以上、雌では90%前後であった。ただしこの推定値は、2歳秋まで生存し採集対象となった資源についての1歳時における成熟率であり、1歳時における成熟率、すなわち1歳魚の全個体数に占める成熟魚の割合ではな

いことに留意すべきである。1歳魚の成熟率については、1歳で成熟してその後に漁獲や自然死亡した尾数を考慮することになるので、2歳魚から得られた1歳時の推定値より大きくなると考えられる。今後、本研究で得られた結果を発展させ1歳魚の成熟率を推定するとともに、2歳魚の生殖腺の組織学的観察により1歳時の成熟履歴を確認する検討などを補足すれば、本資源の成熟生態に関する理解をさらに深めることができると考えられる。

一方、2006年級群の雌については、1歳時の推定体長が他年級と比べ小さく、成熟率は64%と著しく低い値で推定された。1歳時の体長が小さかったのは、とくに0歳秋から1歳秋の新規加入までの成長量が小さかった(Fig.7,8)ことによると考えられる。また、Fig.3に示したとおり2010年10月のトロール調査で1歳魚として採集された2009年級群は、平均体長が雄で138.8mm、雌で152.9mmと2006年級群と同程度(Fig.7)に小さく、全採集物のうち、雄19.7%、雌34.0%が未熟であった。これまでの10月調査で得られた1歳魚の平均体長の推移(Fig.10)をみると、2002年の1歳魚すなわち2001年級群も、2006年級群、2009年級群と同程度に体長が小さい。2006年級群や2009年級群の1歳魚の体長と成熟率の傾向、あるいはFig.9の結果を考慮すると、2001年級群の、とくに雌については1歳時成熟率が大幅に下がったことが推察される。2006年級群、2009年級群は、いずれも近年では加入豊度の高い年級群である(星野・三橋, 2011)。このことから、ハタハタ石狩群の成長は個体数密度に依存的な側面があり、発生量の多い年級群では個体の成長が鈍化し、1歳時の成熟率が低下する可能性が示唆される。また、Fig.10からは、2001年以降の1歳魚の体長推移のトレンドは緩やかな減少傾向にあるようにもみえる。ただし、回帰直線の傾きは雌雄とも有意ではない($p>0.05$)。

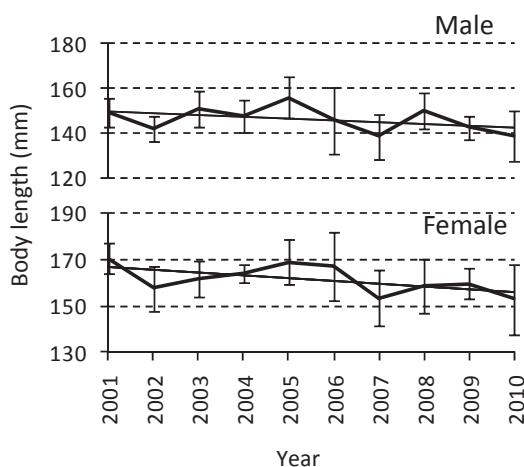


Fig. 10 Change in mean body length of sandfish at the age of 1 year sampled by trawl surveys in October. Vertical bars represent standard deviation.

今後、体長の減少傾向が進行した場合には、1歳時の成熟率が低下する可能性もあり、注視すべき点である。

以上のことから、ハタハタ石狩群に対し資源解析に基づいて産卵親魚量を推定する場合、1歳魚の雌の成熟率を年級群間で一律に100%と仮定すると、とくに高豊度の年級群が1歳となる年の産卵親魚量を過大評価する可能性がある。今後、コホート解析などの資源解析において産卵親魚量を推定する場合には留意すべき結果と考えられる。

ハタハタの他海域における成熟率については、北海道太平洋の資源では1歳以上は雌雄とも100%と考えられているが、雄は0歳で成熟し繁殖に加わるものが多くみられる(國廣, 2011)。また、朝鮮半島東岸を主産卵場とし山陰地方の沖合で漁獲対象となる日本海西部系群の雌は1歳では成熟しないと考えられている(藤原ら, 2011)。秋田を主産卵場とする日本海北部系群についても、雌の100%成熟は2歳以降とされている(藤原・後藤, 2011)。何らかの生息環境要因の海域差により、北海道のハタハタ資源は他海域と比べ成長が速くなり成熟率が高まるのかもしれないが、それを検討するための十分な情報を持たない。成長を介してではなく直接的に成熟進行に作用するような生息環境要因が存在する可能性も考えられる。また、石狩群では近年、成熟の進行自体が遅くなっている、産卵場付近での初漁日が遅れる傾向がみられている(星野・三橋, 2011)。これらのこととふまえ、今後は体長との関係だけでなく、海水温変化の影響などについても着目した検討を進める必要がある。

謝辞

本研究で用いたハタハタ石狩群の標本の多くは、2010年3月をもって用途廃止となった中央水産試験場調査船おやしお丸によるトロール調査で採集された。おやしお丸の功績を称えるとともに、おやしお丸、北洋丸の乗組員として調査にご尽力されてきた皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- Campana, S., E. How reliable are growth back-calculations based on otolith? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1990; 47: 2219-2227.
 藤原邦浩、上田祐司、廣瀬太郎、木下貴裕. 平成22年度ハタハタ日本海西部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 第2分冊. 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター、東京. 2011;

1242pp.

藤原邦浩, 後藤常夫. 平成22年度ハタハタ日本海北部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 第2分冊. 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター, 東京. 2011; 1242pp.

星野 昇, 三橋正基. II-1石狩群. 技術資料No.7北海道のハタハタ資源. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部, 余市. 2011; 118pp.

清川智之. 試験船および市場調査によって得られたハタハタの性状について. 第3回ハタハタ研究協議会報告書, 秋田県水産振興センター, 男鹿. 1989; 82pp.

國廣靖志. II-2噴火湾群. 技術資料No.7北海道のハタハタ資源. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部, 余市. 2011; 118pp.

前田圭司. ハタハタ.「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; 216-219.

杉山秀樹. II.ハタハタの生物特性. ハタハタの生物特性と種苗生産技術. 社団法人日本栽培漁業協会, 東京. 2002; 113pp.

杉山秀樹, 柴田理.「しんかい2000」によるハタハタ *Arctoscopus japonicus*の生態と生息環境に関する研究. 海洋科学技術センター試験研報 1989; 111-119.

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.

ハタハタ石狩群における資源変動の特徴

星野 昇

中央水産試験場

Characteristics of population dynamics in Ishikari stock of the sailfin sandfish *Arctoscopus japonicus*

NOBORU HOSHINO

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

The sandfish *Arctoscopus japonicus* is an important stock in the Sea of Japan, off Hokkaido. In this study, annual changes in the population size were estimated on the basis of VPA. The population size of the Ishikari stock increased gradually in the late 1990s because of high recruitment in the 1997 and 1999 year-classes. The spawning stock biomass recovered more than 200 tons in 2000; consequently, the 2001 year-class had the highest level of recruitment since 1995. However, the survival rate of juveniles, as indicated by the RPS values, decreased in the early 2000s, resulting in a decline in the population size and catch. The RPS values of this stock may be strongly affected by the water temperature in the Ishikari Bay during the early summer season.

キーワード : RPS, VPA, 石狩湾, 資源量推定, 水温, ハタハタ

北海道日本海におけるハタハタ(*Arctoscopus japonicus*)の漁獲量は、1990年代半ばまでに急減し、1995年には過去最低の15トンとなった。その後、漁獲量は増加して100~300トンの水準で推移している (Fig.1)。石狩湾西岸に位置する厚田地区周辺のごく浅い沿岸域を主要な産卵場として、天壳舟状海盆一帯で索餌期を送った後、1歳に多くの個体が成熟し秋季に雄冬岬沖の水深200m前後の海域を産卵場に向かって移動する (Fig.2)。漁期はその時期に集中しており、沖合域ではえびこぎ網漁業と沖合底びき網漁業(かけまわし)で、沿岸域では刺網漁業などで漁獲されている(星野・三橋, 2011)。分布域はこの海域範囲に限られており、「石狩群」と称して資源評価などが行われている。

ハタハタ石狩群では、1990年代後半から、漁獲量の回復を図るために関係漁業者が漁期前に資源管理方策を定め実践している。中央水産試験場では、資源管理方策の検討に必要な情報を得るために、調査船による漁期前トロール曳網試験、漁期中の漁獲物モニタリング調査、稚魚の地びき網調査などを実施して、来遊資源量や年齢・体長組成を推定している。しかし、来遊資源量の推定・

予測については、本資源の資源動態を的確に把握できていないことから、確度の高い情報を提供するには至っていない。

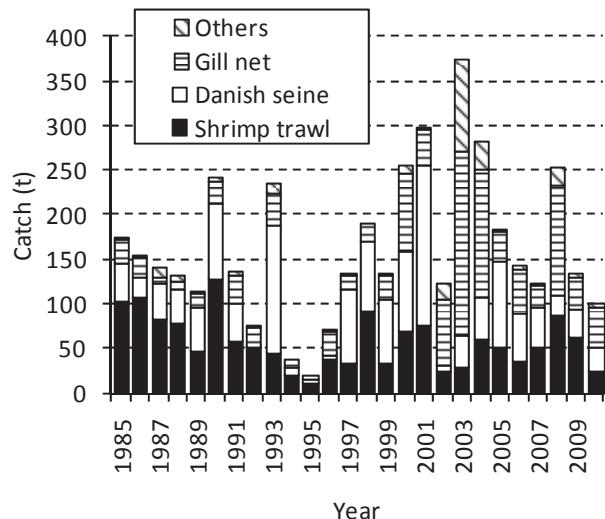


Fig. 1 Annual changes in the catch of the Ishikari stock of sandfish.

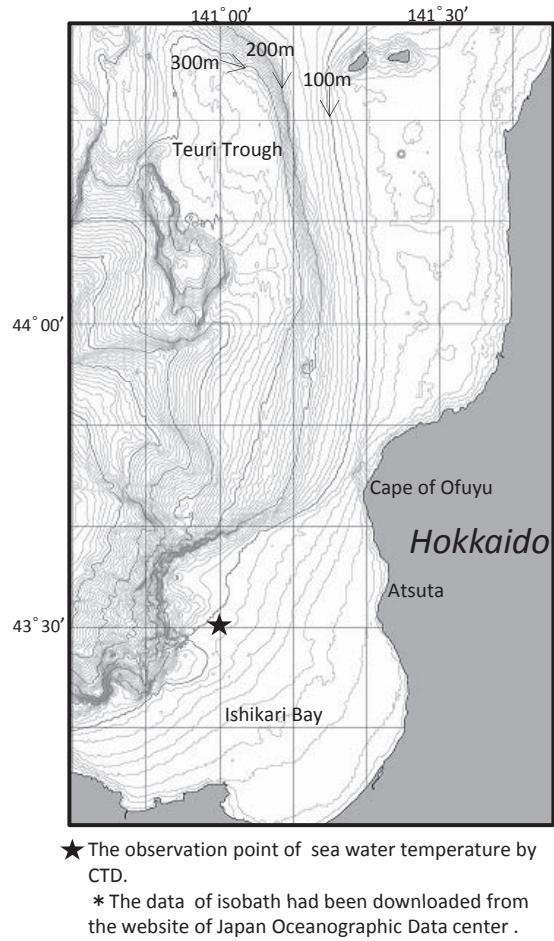


Fig. 2 Map showing the distribution of the Ishikari stock of sandfish.

一般に、資源動態を把握するためには、漁獲物年齢組成のコホート解析（VPA）やCPUE（漁獲努力量あたりの漁獲量）など資源量指標の解析、あるいは、調査船調査に基づく現存量のモニタリングなどが行われる。しかし本資源の場合、ハタハタ操業船による漁獲努力量の年推移を把握することは、いずれの漁業においても実質的に不可能であり、また調査船のトロール調査で得られる分布密度は、曳網位置や回数など操業条件の年変化が大きく、必ずしもその年の資源量を反映した値としては得られていない。そのため、VPAによって資源動態を把握することが現状では最も有効な手段と考えられる。しかし、本資源の漁獲物の大半は1歳および2歳魚の二つの年齢群で構成されており、一般的にはそのような資源にVPAを適用しても、計算の構造上、適切な推定値が得られにくく（平松, 2006），計算方法に工夫を要する点となっている。

さらに、VPAによって推定された値に基づき産卵親魚重量を算出する際に、初成熟年齢である1歳について、とくに沿岸漁業で漁獲された雄の年齢組成をこれまで十分

に継続調査することができていないという問題がある。また、1歳期の成熟率は雄でほぼ100%であるのに対し、雌では未熟の1歳魚が存在しており、それらは成熟魚のみが対象となっている本資源の漁業自体に加入しないことが想定される（本誌別稿参照）。このような状況の下では、雌雄を込みにしたデータに基づくVPAから得られる産卵親魚量の推移は、実際に産卵した親魚重量の推移と大きく異なる可能性が大きい。そのため、VPAにより資源動態を把握するためには、雌雄それぞれの年別・年齢別漁獲尾数を推定したうえで、雌のみのデータに基づいて計算を行う必要がある。

本研究では、ハタハタ石狩群の資源動態に対する理解を深めることを目的として、上記のような適用に際してのいくつかの問題点を改善したうえでVPA計算を行い、近年の資源量や加入量、産卵親魚量の推移にみられる特徴を把握した。また、資源変動と海洋環境の関係を検討する際の基礎情報を得るために、VPAの結果に基づく再生産関係と稚・幼魚期の分布域である石狩湾の水温との関連性について検討した。

試料及び方法

漁獲物年齢組成の推定 中央水産試験場が実施している毎年の漁獲物モニタリング調査で得られたデータのうち、沖合底びき網漁業、えびこぎ網漁業、刺網漁業の主要3漁業で漁獲された漁獲物標本組成を、留萌、石狩、後志の各支庁（現振興局）管内の当該漁業全体の数量でそれぞれ引きのばすことで、1月1日～12月31日までを単年の集計期とする年間の漁獲物年齢組成を得た。なお、漁獲量には漁業生産高報告（北海道庁資料）の統計値を用い、2010年は暫定値である。同じ方法でモニタリング調査が実施されている1996年から2010年のデータを本研究の解析データとして用いた。なお、漁獲物の年齢は各個体の耳石輪紋の読輪に基づいて決定しており、本稿では、1月1日を便宜的な誕生日として満年齢で標記する。漁獲物の年齢組成は雌雄別々に推定したうえで、雌のみの年齢組成データを解析の対象とした。本資源の漁獲物に出現する最高齢は4歳であり、1～4歳の漁獲物年齢組成として推定した。

資源尾数の推定 単純なVPAの基本式により雌の資源尾数を推定した。ハタハタ石狩群では、年によっては春季にえびこぎ漁業により数トン程度の漁獲があるが、大半は10～11月の盛漁期に漁獲が集中する。計算に際しては、一年間の漁獲のすべてが瞬間に起こると仮定し、次の1, 2式により毎年の資源尾数および漁獲死亡係数を推定した。これにより推定される資源尾数は、実質的に盛漁

期である10~11月の直前の資源尾数に相当することとなる。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1}e^M + C_{a,y} \quad (1)$$

$$F_{a,y} = -\log\left(1 - \frac{C_{a,y}}{N_{a,y}}\right) \quad (2)$$

ただし、 $N_{a,y}$ 、 $C_{a,y}$ 、 $F_{a,y}$ はそれぞれ、 a 歳、 y 年における雌の漁期前資源尾数、雌の漁獲尾数、漁獲死亡係数を表す。自然死亡係数 M は田内・田中の式（田中、1960）を目安に、1歳漁期初めから4歳漁期初めまでの3か年分の自然死亡係数を2.5とし、1歳漁期初め～2歳漁期初めまでを0.5、2歳漁期初め～3歳漁期初め、3歳漁期初め～4歳漁期初めまで、それぞれを1.0と配分して用いた。1歳漁期後の自然死亡係数を小さく配分したのは、例年1～2歳の漁獲尾数に対して、3歳以上の漁獲尾数が著しく小さくなること、1歳の終わりに初回繁殖した個体の2歳漁期までの生存率が比較的高いという当海域における標識放流調査の結果（星野・三橋、2011）を考慮したことによる。

各年級群の $F_{4,y}$ すなわちターミナルFについては、基本的には3、4歳の出現頻度が1、2歳に比べて小さく、さらに4歳の出現頻度は3歳に比べて相当に小さいので、ターミナルFの与え方による推定資源尾数全体への影響はさほど大きくないと考えられる。また、3歳と4歳の漁獲圧（漁獲死亡係数 F ）がいずれかの年齢に偏っているような状況は本資源の漁業の特性上考えにくい。これらのことから、各年の漁獲尾数の3歳～4歳比が資源尾数の3歳～4歳比と等しいと仮定することは合理的と考えた。そこで、次の3式を目的関数とし、これを最小化するような $F_{4,1996 \sim 2010}$ を推定することで、(1)～(2)式を計算した。

$$\phi = \sum_{y=1996}^{2010} \left(\frac{C_{4,y}}{C_{3,y} + C_{4,y}} - \frac{N_{4,y}}{N_{3,y} + N_{4,y}} \right)^2 \quad (3)$$

$$\text{なお, } N_{4,y} = \frac{C_{4,y}}{1 - e^{-F_{4,y}}}$$

目的関数 ϕ の最小化はMS-EXCELのソルバー機能を用いて、推定値の範囲を0.1～2.0と条件設定したうえで数値計算した。なお、2010年の3歳以下の漁獲死亡係数は2010年4歳の漁獲死亡係数と等しいと仮定した。2010年の1歳および2歳の資源尾数には、2010年10月に実施した稚内水産試験場所属調査船北洋丸によるトロール調査で採集された雌の標本の、3歳、4歳の合計採集尾数に対する1歳、2歳それぞれの採集尾数の相対比を、上記VPAで推定された2010年の3歳と4歳の合計資源尾数に乘じた値を便宜的に与えた。

上記で得られたVPA推定値から、毎年の産卵親魚重量

を計算した。本資源で漁獲対象となるのはほぼ全てが産卵直前の親魚であるので、産卵資源尾数は、2～4歳魚については各年齢の推定資源尾数から漁獲尾数を差し引いたものとした。1歳魚については前述のとおり資源加入率を100%と仮定できないので、1歳の漁獲尾数を同年2歳の $F_{2,y}$ より計算される漁獲率、すなわち $1 - \exp(-F_{2,y})$ で除すことにより、その年に加入し漁獲対象となった資源として求め、これから1歳魚の漁獲尾数を差し引いたものを産卵資源尾数とした。これにより得られた各年の年齢別産卵親魚数に、その年の漁期前トロール調査（中央水産試験場所属調査船おやしお丸および稚内水産試験場所属調査船北洋丸で実施）で採集された成熟魚の年齢別体重平均値を乗じて、産卵親魚重量とした。

y 年の産卵親魚から生み出される $y+1$ 年級群の1歳資源尾数（ $y+2$ 年の1歳資源尾数）を加入尾数とし、再生産関係を評価した。

再生産関係と海洋環境 VPAにより得られた再生産関係と海洋環境との関係について検討した。本種については、本州日本海や北海道太平洋において、水温環境と資源変動との相関が指摘されている（例えば、Sakuramoto et al., 1997; Sakuramoto et al., 2001; 石田ら, 2006）。そこで本研究では、主要産卵場である石狩湾西岸において産み出され、5月頃まで産卵場付近の浅海に滞留していた稚魚が、湾内そして湾外深所へと分散する時期と考えられる初夏（5月下旬～6月下旬）（星野, 2010b）の石狩湾の水温変動に着目し、再生産関係との関連性を検討した。水温データは、中央水産試験場が毎年6月初めに行っている定期海洋観測において、北緯43度30分、東経141度00分の観測定点（Fig.2参照、水深約95m）の20、30、50、75mの4層から得られたCTDによる水温計測データの平均値を用いた。

結 果

漁獲物年齢組成 推定された雌の漁獲物年齢組成の年推移をFig.3に示す。併せて、これに各年・各年齢の平均体重を乗じて計算される雌の漁獲量推定値を、雌雄込みの総漁獲量と共に示す。漁獲物は1歳および2歳でその大半が占められており、2004年のみ3歳が半数以上を占めた。雌の漁獲量推定値は平均して総漁獲量の50%程度であるが、雌雄込みの総漁獲量と相似的な年変動を示している。ただし、1歳魚が漁獲主体となった2000、2006、2007年は雌の漁獲量の割合は小さい傾向がある。これを、年級群ごとに並べ替えてFig.4に示す。1997、1999、2001年級群に対する漁獲尾数は他の年級群と比べ著しく多く、1990年代後半から2000年代前半にかけての漁獲量の回復傾向は、これら3個の年級群に起因している。それ以降

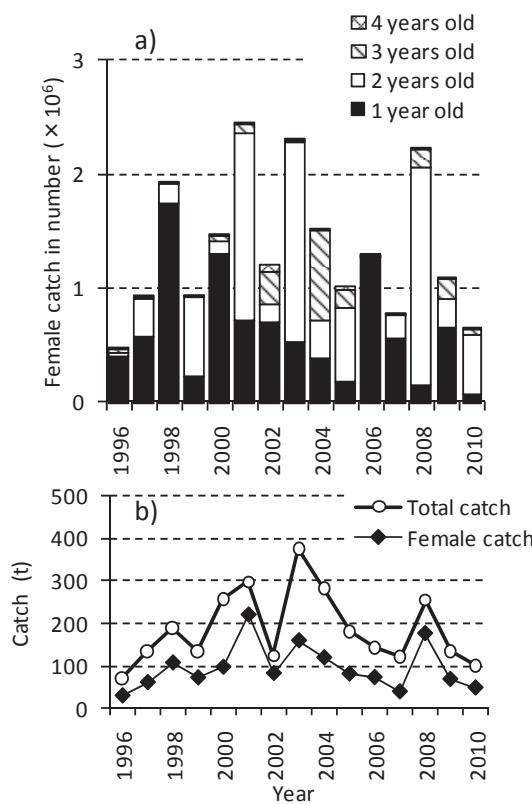


Fig. 3 Annual changes in the catch of the Ishikari stock of sandfish. Graph as measured by (a) the estimated number of females and (b) the total and female catch weight.

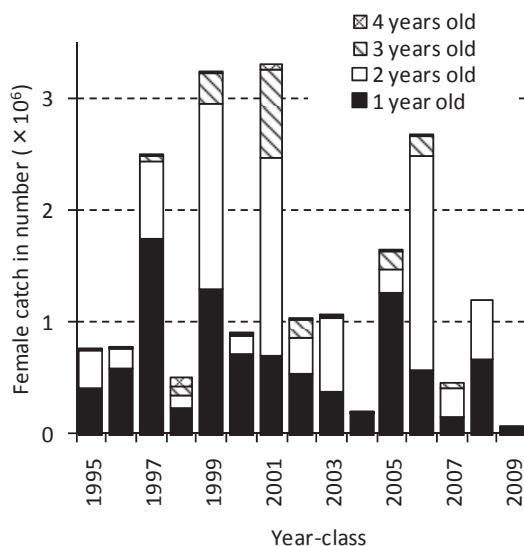


Fig. 4 Number of females caught for each year-class of the Ishikari stock of sandfish.

は2006年級群が2歳魚として2008年の漁獲量を大きくのばしたことが分かる。

資源尾数 VPAによる雌の資源尾数推定値と、これに各年・各年齢の平均体重を乗じて計算される雌の資源重量

をFig.5に示す。資源尾数は漁獲尾数と同様に1歳と2歳で大半が占められており、その総数は1996年の123万尾から徐々に増加して2002年には875万尾に達したが、その後急減し2005年には136万尾と再び最低水準にまで下がった。この10年の間に約8倍の幅で資源は増減したことになる。2007年には500万尾を超える水準に急増したものの、以降は再び減少傾向で推移している。

再生産関係を評価するため、Fig.6に各年級群の加入尾数（1歳時資源尾数）と、その親となった産卵親魚の重量の年変化を示す。また、Fig.7には両者の散布図を示す。両図から、1997年級群の加入尾数が比較的多かったことにより産卵親魚量がやや増加した状態で、1999年級群が高豊度年級群として発生したことが分かる。これにより1999年級群が1歳魚として親魚資源を構成した2001年級群の産卵親魚量（2000年秋の産卵資源量）は急激に増加し200トンを超えた。その子世代である2001年級群は高い水準で発生し、2歳時には250トンに達する親魚資源を構成したが、その子世代である2004年級群は過去最低水準の加入豊度であった。これにより、2006年級群を産する親魚資源はきわめて低い水準となつたが、2006年級群が卓越加入し、以降の資源増加に寄与した。

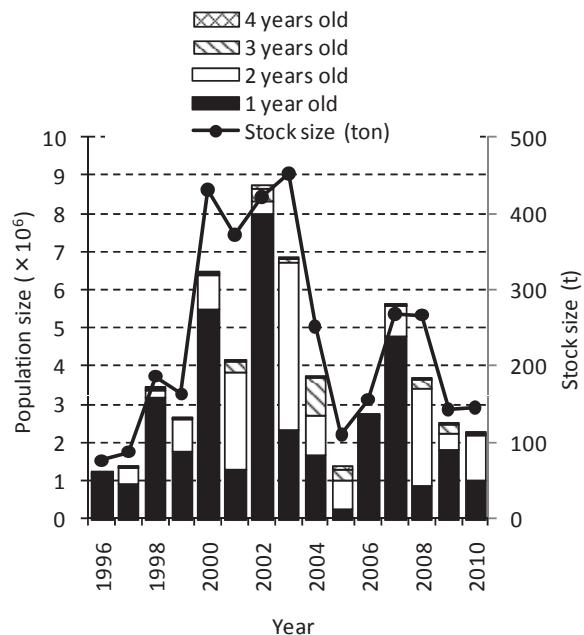


Fig. 5 Annual change in female population size and stock size of the Ishikari stock of sandfish.

Fig.8に各年齢の漁獲尾数を資源尾数で除して得た漁獲率の変化を示す。漁獲率も資源尾数同様に大きく変動しており、2歳魚では80%を超える高い値が推定された年が複数みられる。また、1歳魚に対する漁獲率は2歳魚のそれより一般的に低く推定された。

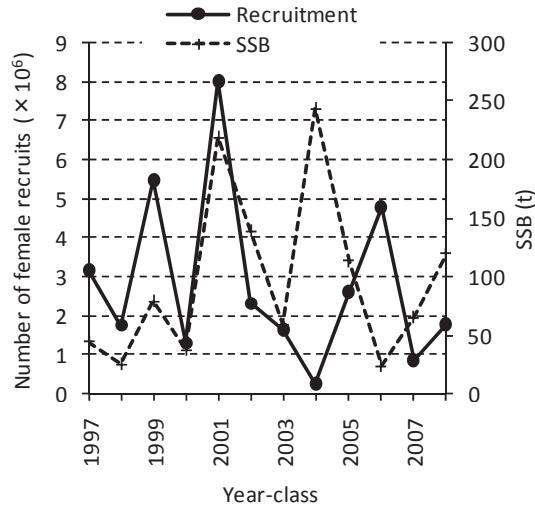


Fig. 6 Number of female recruits and spawning stock biomass (SSB) for each year-class of the Ishikari stock of sandfish.

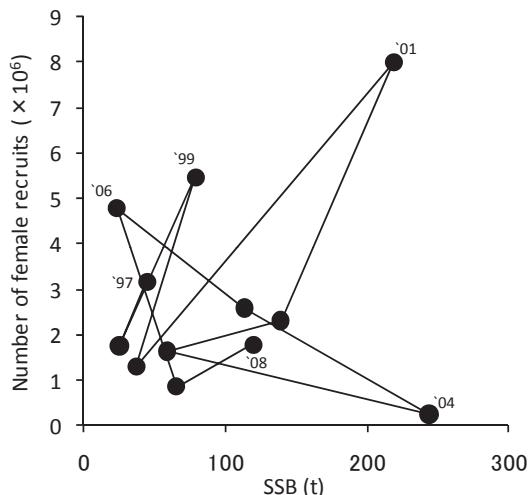


Fig. 7 Relationship between the number of female recruits and the spawning stock biomass (SSB).

再生産関係と海洋環境 Fig.9に、各年級群の加入尾数をその産卵親魚重量で除した値（以降RPS：Recruitment per Spawning stock biomass）の年変化と、石狩湾における6月初めの海水温の変化を併せて示す。RPSは1997年級群以降2004年級群にかけて漸減傾向を示している。一方、水温は1997年以降上昇傾向となり、2000年代前半は2003年がやや低かったものの2004年まで11°C以上の高水温であった。2006年は9.5°Cと低水温となり、その年に発生の2006年級群のRPSは際だって高い値を示した。これらRPSと水温の関係の散布図をFig.10に示した。Fig.9およびFig.10から、この水温範囲においては、水温が高くなるとRPS、すなわち加入までの生存率が低下する傾向が認められた。

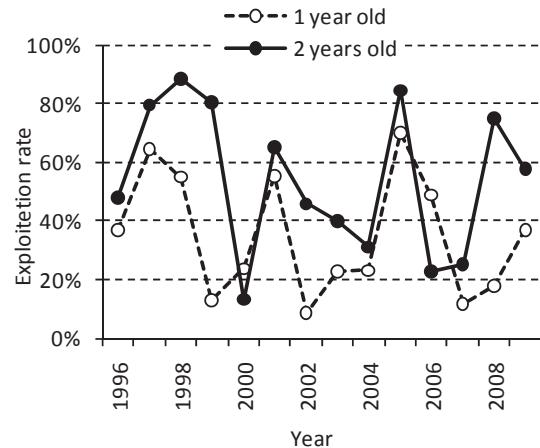


Fig. 8 Annual changes in the exploitation rates for female Ishikari stock of sandfish.

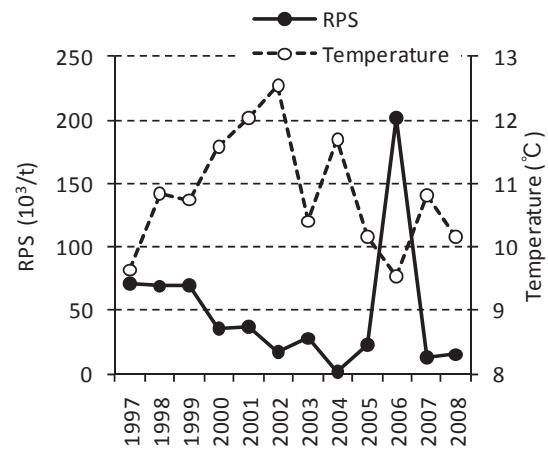


Fig. 9 Changes in the RPS value and seawater temperature of the Ishikari Bay in early June.

考 察

本研究では、ハタハタ石狩群の資源動態を把握するために、雌のみの年齢別漁獲尾数データを推定して、これを用いてVPAにより雌の資源尾数を推定した。Fig.3に示したとおり、雌の推定漁獲量は雌雄込みの総漁獲量に対し平均して50%程度であるが、1996年以降の雌のみと雌雄込みの総漁獲量の変動傾向は相似しており、増減のトレンドはほぼ同一である。また、前述のとおり、雄の年齢別漁獲尾数が不確実な状態であることをふまえると、雌のみのVPAに基づく結果は資源全体の変動傾向の特徴を捉えており、雄を込みにして解析を行うより確度が高い結果が得られたものと考えられる。また、VPA推定値から産卵親魚数を算出する際、漁獲加入しない資源が含まれると想定される1歳の産卵親魚数については、「1歳で漁業対象となった資源のうち漁獲尾数分を差し引いたも

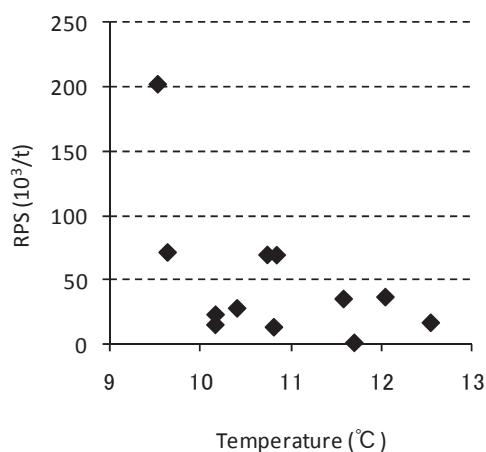


Fig. 10 Relationship between the RPS values of the Ishikari stock of sandfish and sea water temperatures of the Ishikari Bay in early June.

の」と考え、便宜的に同年2歳に対する漁獲率で1歳漁獲尾数を除して1歳資源尾数とし、そこから1歳漁獲尾数を引いたものとして計算した。そのため、例えば、漁期終盤になり、ほとんど漁獲対象とならずに産卵場へ移動し繁殖に参加するといった群を想定した場合には、産卵親魚量は過小評価となるので、この点については改善の余地を残した。しかし、各推定値の相対的な時系列変化を検討するといった、実用面においての問題は少ないと考え検討を進めた。

結果に基づいて、1990年代半ばから2010年までの本資源の資源・漁獲の動態を以下のとおり推論する。漁獲量が過去最低となった1995年以降、1997年および1999年に発生した年級群の豊度が比較的高くなつたことで資源量が増加した。2001年級群は1995年以降最大の資源量と推定されたが、豊度を高めたのはその親魚資源量、すなはち2000年秋の資源量が1999年級群に支えられ、きわめて大きかったことが一要因と考えられる (Fig.7)。さらに、2001年級群が1歳として加入した2002年は、沖合域の漁業が操業の自主規制（狙い操業の禁止、一部海域の禁漁など）を行ったため、2001年級群への漁獲圧力が下がつた (Fig.1, Fig.8) ことにより、取り残された資源が2003年に2歳、2004年に3歳として漁獲物の主体となり、資源量、漁獲量は比較的高水準を保つた。産卵親魚量は2003年に最高水準となつたが、その子世代である2004年級群の資源量は著しく小さく、2001年級群の潰えた2005年には、資源量は再び1996年の水準まで下がつた。しかし、2005年の資源から産み出された2006年級群の加入までの生存率は高く (Fig.7, Fig.9)、2008年に2歳魚として漁獲量を大きく増加させた。また、2006年級群は2007年に1歳魚として親魚量を増加させたことで、2008年級群が比較的高

い資源量で加入して2009～2010年の漁獲を支えたのではないかと考えられる。

以上のように、近年のハタハタ石狩群は、1990年代後半および2006年にみられた再生産関係の好転による加入尾数の増加と、それに伴う親魚資源量の増加により、2000年代前半にかけての漁獲量の回復傾向や2008年前後の漁獲増につながつたと考えられる。再生産関係の好転をもたらす要因について、本研究では石狩湾における6月初めの水温分布の影響を強く受けている可能性が明らかとなつた (Fig.9, Fig.10)。水温が低めであった1997年や2006年のRPSは比較的高く、高めで推移した2000年代前半は減少傾向を示している。秋田県沿岸を主産卵場とするハタハタ秋田群では、沿岸域の稚魚は11°C前後の水温帯に沿って次第に下層へと移動し、水温躍層が形成されると躍層下の低水温帯に集中するとされる (杉山, 2002)。また、より深い水深帯ほど体サイズの大きな稚魚が採集される傾向が明らかにされている (杉山, 1987)。これらのことから、沖合移動に必要な遊泳力を持つサイズに成長するまでに、石狩湾内が11°C以上というような高水温状態になる年には生残が下がり、湾内が比較的低い水温下にある場合には、多くの稚魚が深所に移動でき生残が高まる状態になるのではないかと推察される。

秋田県沿岸を主産卵場とするハタハタ秋田群の漁獲物年齢構成 (柴田, 2010) からは、石狩群と同様に、1999年級群、2001年級群、2006年級群の豊度が顕著に高いことが伺える。また、2006年上半期の日本海の低水温傾向は、他の日本海沿岸で産卵する資源、例えばスケトウダラにも卓越発生をもたらしている (板谷ら, 2009)。スケトウダラでは加入動向が石狩湾の冬季表面水温と負の相関関係にあることも報告されている (Funamoto, 2007)。一般的には、日本海海域の春季沿岸水温は対馬暖流の影響を強く受けることから、東北から北海道にかけての日本海に分布するハタハタ稚魚期の生残において、春から初夏にかけての対馬暖流の状態が深く関わっていることが示唆される。

一方で、秋田群では漁獲量の長期動向と、水深200-300mの水温動向との間に正の相関がみられ (Sakuramoto et al., 1997; Sakuramoto et al., 2001), 北海道釧路沖に分布する資源では、本稿の結果とは逆に、調査における0歳採集尾数と、十勝管内広尾町海岸の夏季水温との間に正の相関が報告されている (石田ら, 2006)。これらのことからふまると、今後は、産卵場周辺や未成魚期の索餌場である天売舟状海盆の環境条件が加入までの生存にどのように影響するのか、検討を進める必要がある。

引用文献

- Funamoto, T. Temperature-dependent stock-recruitment model for walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) around northern Japan. *Fish. Oceanogr.* 2007; 16: 515-525.
- 平松一彦. 国際漁業委員会におけるVPAおよび関連手法について. 水産資源管理談話会報 2006; 37: 14-33.
- 星野 昇, 三橋正基. II-1石狩群. 技術資料No.7北海道のハタハタ資源. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部, 余市. 2011a; 118pp.
- 星野 昇. Iハタハタの生物・生態的特徴. 技術資料No.7 北海道のハタハタ資源. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部, 余市. 2011b; 118pp.
- 石田良太郎, 平野和夫, 森岡泰三. 銚路産卵群ハタハタ資源はどうして変動するのか? 北水試だより 2006; 72: 7-12.
- 板谷和彦, 三宅博哉, 和田昭彦, 宮下和士. 北海道日本海・オホーツク海沿岸域におけるスケトウダラ仔稚魚の分布. 水産海洋研究 2009; 73(2): 80-89.
- Sakuramoto, K., Kitahara, T., Sugiyama, H. Relationship between temperature and fluctuations in sandfish catch (*Arctoscopus japonicus*) in the coastal waters off Akita Prefecture. *ICES J. Mar. Sci.* 1997; 54: 1-12.
- Sakuramoto, K., Sugiyama, H., Suzuki, N. Models for forecasting sandfish catch in the coastal waters off Akita prefecture and the evaluation of the effect of a 3-year fishery closure. *Fish. Sci.* 2001; 67: 203-213.
- 柴田理. はたはた. わが国の水産業. 社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 2010; 15pp.
- 杉山秀樹. 秋田県沿岸におけるハタハタ卵塊および稚仔の出現状況. ハタハタ研究協議会議事録(ハタハタ研究協議会) 1987; 1: 20-25.
- 杉山秀樹. IIハタハタの生物特性. 栽培漁業技術シリーズNo.8ハタハタの生物特性と種苗生産技術. 社団法人日本栽培漁業協会, 東京. 2002; 113pp.
- 田中昌一. 水産生物のpopulation dynamics と漁業資源管理. 東海水研報 1960; 28: 1-200.

北海道西部日本海および津軽海峡周辺海域に分布する雄スルメイカの性成熟と日齢

坂口健司

釧路水産試験場

Maturation and age of the male Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait

KENJI SAKAGUCHI

Kushiro Fisheries Research Institute, Hama, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan

The relationship between maturation and age for males (in days) of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* was investigated using counts of statolith daily growth increments. Squid were collected from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait in 1991–2003 and ranged from 165 to 339 days in age. The maturity rate increased with age, and 50% maturity was estimated to occur at approximately 255 days (eight and half months). The youngest mature squid and oldest immature squid were found to be 220 and 297 days old, respectively. Therefore, the age at maturation for male *T. pacificus* spanned over 2 months.

キーワード : *Todarodes pacificus*, 雄, スルメイカ, 性成熟, 日齢, 平衡石, 北海道

スルメイカ *Todarodes pacificus* は、日本周辺海域で広く漁獲される重要な水産資源であり、北海道では2009年に約6万7千トンが漁獲された（北海道水産林務部, 2011）。本種は、日本海南西部から東シナ海にある産卵場（森, 2008; 後藤, 2009）から暖流による輸送の影響をうけて北海道周辺海域などの索餌海域まで北上回遊し、その後、産卵場へ向けて南下回遊することが知られている（例えば、新谷, 1967；坂口, 2010）。本種は回遊しながら成長し漁獲対象となるため、いつ、どこに、どのような大きさの個体が集群し、漁場が形成されるのかを予測するための研究が続けられてきた（例えば、農林水産技術会議事務局, 1972; 坂口, 2010）。その中心的課題のひとつが、索餌・産卵回遊に伴う成長と性成熟に関する研究である。

スルメイカは雄が先に性成熟し、雌が未熟な段階から交接行動が行われるが（添田, 1956; Ikeda *et al.*, 1993），索餌海域から産卵場へ向けて南下回遊を始めるきっかけは、雄の性成熟の進行や交接行動が関係している可能性が指摘されている（村田ら, 1973；中田, 1984；Takami and Suzu-uchi, 1993）。したがって、本種の性成熟について

ての研究は、生態一般だけでなく、移動特性や漁場形成を考える上でも重要な課題になっている。

これまでに報告されているスルメイカの性成熟についての研究は、生殖腺の重量測定および肉眼観察（林, 1970；安達, 1982；芝田, 1984）と、組織切片の顕微鏡観察（池田ら, 1991, Ikeda *et al.*, 1993）によって、主に性成熟の進行時期や過程を調べるものであった。しかし、本種が約1年（木所ら, 1999）とされる寿命のなかで、孵化後およそ何日齢で性成熟し、産卵場へ回遊し始めるのかという課題については充分に検討されていない。

そこで本研究では、スルメイカの索餌海域である北海道周辺海域において、雄スルメイカの性成熟と日齢の関係を明らかにすることを目的とした。なお、雌スルメイカについては、本海域のような索餌海域では性成熟に達した個体がわずかしか採集されないため、本研究では扱わなかった。

試料及び方法

1991年～2003年の5月～11月に、北海道西部日本海およ

Table 1 Year, months and sample size of immature and mature male *Todarodes pacificus* collected from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait.

Year	Month	Sample size		
		Immature	Mature	Total
1991	June	30	1	31
1992	June and October	28	2	30
1993	June	34		34
1994	June	43		43
1995	June	37	1	38
1996	June and August	87	10	97
1997	June and August	78	34	112
1998	June	22	7	29
1999	June	23		23
2000	June	22	4	26
2001	June to November	51	52	103
2002	May to October	118	13	131
2003	June and July	19	1	20
Total		592	125	717

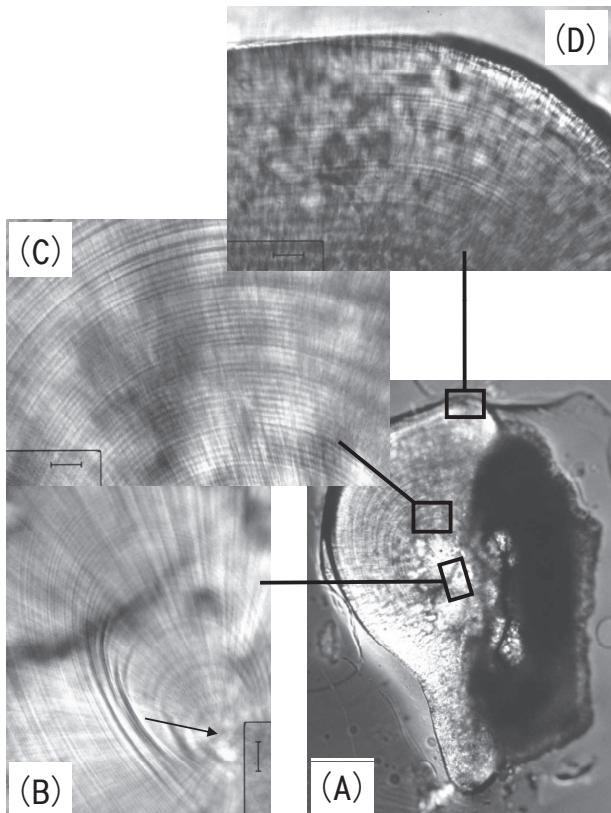


Fig. 1 Light micrographs of a statolith from *Todarodes pacificus* showing daily growth increments.

(A) Whole view of the statolith, (B) postnuclear zone, (C) dark zone, and (D) peripheral zone. Scale bar = 10 μ m in (A), (B), and (C). Arrow in (C) indicates the nucleus of the statolith. Figure modified from sakaguchi (2005).

び津軽海峡周辺海域において、函館水産試験場試験調査船金星丸、稚内水産試験場試験調査船北洋丸、中央水産試験場試験調査船おやしお丸（2010年1月用途廃止）および一般の漁船によって釣獲された717個体の雄スルメイ

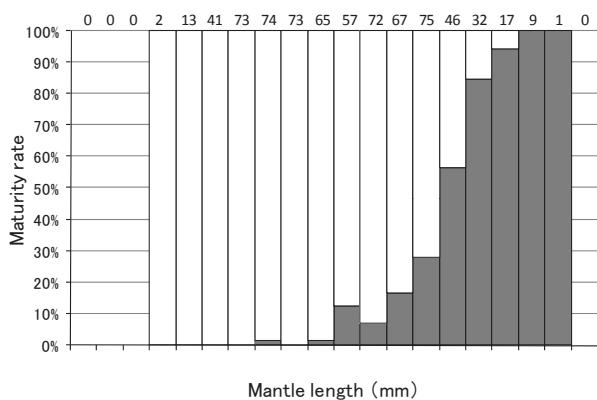


Fig. 2 Relationship between mantle length and maturity rate of male *Todarodes pacificus* collected from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait.

Open and solid bars indicate immature and mature males, respectively. Numbers above each bar indicate sample sizes.

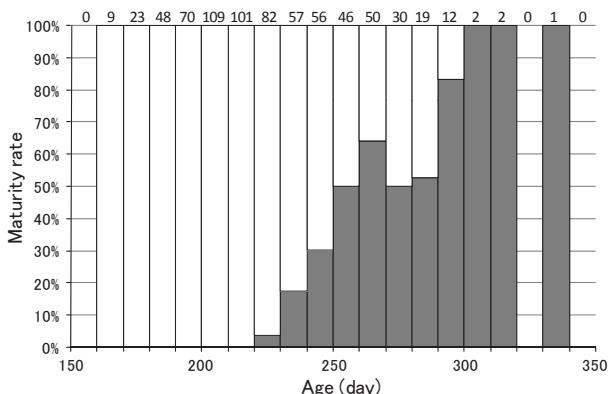


Fig. 3 Relationship between age and maturity rate of male *Todarodes pacificus* collected from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait. Bars and numbers indicate the same as that in Fig. 2.

力を標本に用いた (Table 1)。各個体について、外套長 (mm), 体重 (g), 生殖腺重量 (g), 付属腺重量 (g) の測定, および生殖腺の目視観察による成熟度判別を行った。付属腺は輸精管, 貯精囊, 精莢囊をまとめて測定した。成熟度は中田 (1996) を参考に, 精莢囊内に精莢が観認される個体を成熟とし, 観認されないものは輸精管が白化した個体も含めて未熟に区分した。生殖腺重量指数としてTSI [(精巢重量/体重) $\times 100$] とAGSI [(付属腺重量/体重) $\times 100$] を計算した (池田ら, 1991)。ただし, 標本の一部は, 船上測定のため体重が未測定であったため, 外套長と体重の関係式 (村田, 1978) から推定した体重を用いて, 生殖腺重量指数を計算した。

スルメイカの平衡石に見られる輪紋は, 日周性が確認されているため (Nakamura and Sakurai, 1991), 平衡石による日齢査定 (中村, 2000; 坂口, 2005) を行った

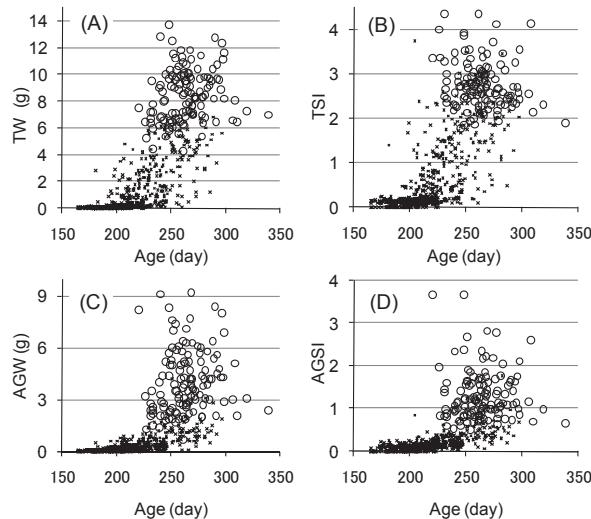


Fig. 4 Relationships between age and (A) testis weight (TW), (B) testis somatic index (TSI), (C) accessory gland weight (AGW), and (D) accessory gland somatic index (AGSI) of male *Todarodes pacificus* collected from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait.
(×): immature, (○): mature with spermatophores.
TSI = testis weight/body weight $\times 100$
AGSI = accessory gland weight/body weight $\times 100$

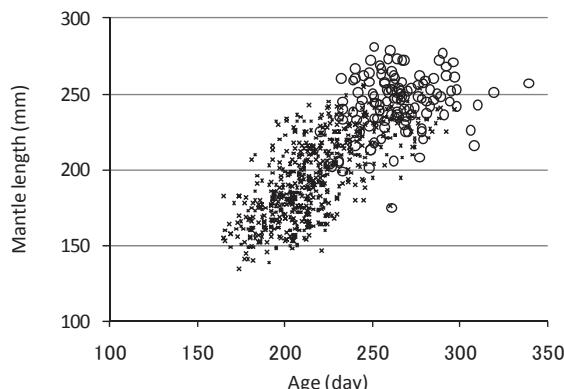


Fig. 5 Relationship between age and mantle length of male *Todarodes pacificus* collected from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait.
(×): immature, (○): mature with spermatophores.

(Fig. 1)。平衡石は、後部面が上になるようにスライドグラスの上に接着剤で固定し、実体顕微鏡下で観察しながら耐水性紙やすり、および酸化アルミニウム研磨シートを用いて平衡石の表面を研磨した。倍率100倍の油浸対物レンズを備えた光学顕微鏡の接眼部にCCDカメラを取り付け、モニター上で核から背丘部までの輪紋を計数した。1個体の輪紋の計数は3回以上とし、その平均値を日齢とした。

頭足類の性成熟には水温や光などの生息環境が影響することが報告されているため (Mangold, 1987; 三森・

桜井, 2010), スルメイカの性成熟のパターンは系群によって異なる可能性がある。そこで、本研究では秋季発生系群 (木所ら, 2010) を対象とした。北海道周辺海域の秋季発生系群の発生時期は1月上旬以前と報告されている (坂口・中田, 2006; 坂口ら, 2009) ことから、本研究で解析に用いた個体は、漁獲日から日齢を差し引いて推定した孵化日が、9月12日から1月10日までの個体に限った。

結 果

解析に用いた雄スルメイカは、外套長の範囲が135~281mm、日齢の範囲が165~339日、未熟が592個体 (82.6%)、成熟が125個体 (17.4%) であった。成熟率は外套長が大きくなるほど高くなり、外套長240~249mmで50%を超える、270mm以上の階級で100%となつた (Fig. 2)。最も小型の成熟個体の外套長は175mm、最も大型の未熟個体の外套長は265mmであった。

日齢による成熟率の変化を見ると、日齢219日以下の階級はすべて未熟であり、日齢220日以上の階級で成熟個体が見られた (Fig. 3)。成熟率は高齢になるにしたがつて高くなり、250~259日で50%、260~269日で64%と增加了。その後、270~289日で少し低下したが、290~299日で80%を超え、300日以上の階級では標本数が5個体と少ないものの全て成熟していた。最も若齢の成熟個体の日齢は220日、最も高齢の未熟個体の日齢は297日であった。

日齢と生殖腺重量および生殖腺重量指数の関係を見ると、高齢個体ほど生殖腺重量およびその指数が大きい傾向が見られた。200日齢未満は全て未熟個体で、精巣重量とTSIは比較的小さい値であったが、200日齢を過ぎると精巣重量が1g、TSIが0.5を超える個体が増えた (Fig. 4)。さらに230日齢を過ぎると、精巣重量が5g、TSIが2.0を超える成熟個体が見られるようになり、同じ時期に付属腺重量がそれまでよりも高い値を示し、AGSIが1.0を超える個体が見られるようになった。ただし、250日齢を過ぎても精巣重量が5g未満、TSIが2.0未満の未熟個体も見られた。

日齢と外套長の関係を見ると、両者には正の相関関係が見られた (Fig. 5)。特定の日齢以上の個体が外套長に関係なく成熟していたり、特定の外套長以上の個体が日齢に関係なく成熟していたりする傾向は見られなかった。

考 察

本研究で用いた外套長135~281mm、日齢165~339日の

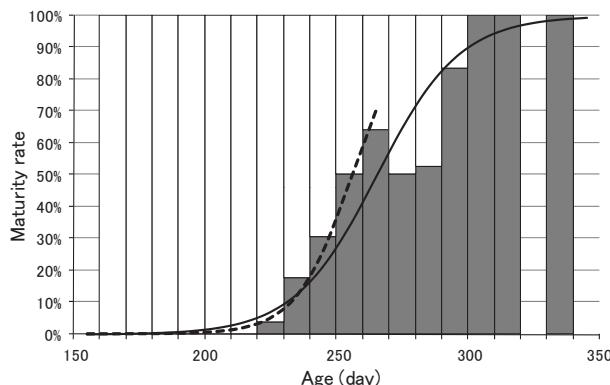


Fig. 6 Relationship between age and maturity rate of male *Todarodes pacificus* collected from the Japan Sea off Hokkaido and the waters around the Tsugaru Strait. Solid and broken lines indicate logistic curves fitted to all data and a subset of males aged less than 269 days, respectively. Bars indicate the same as that in Figs. 2 and 3.

雄スルメイカは、体サイズが大きいほど、また高齢なほど成熟率が高くなっていた (Fig. 2, 3)。これらの標本は10年以上にわたって収集したものであるため、年による変動傾向が含まれているが、一般に想定される性成熟の特徴が認められた。

しかし、日齢270～289日の範囲では、成熟率が増加しなかつた (Fig. 3)。本研究で対象とした北海道西部日本海および津軽海峡周辺海域のような索餌海域においては、雄スルメイカは性成熟した個体から先に南下回遊を開始するため、未熟個体が残される傾向が想定される。その結果、索餌海域に分布する高齢個体は、性成熟の遅れた未熟個体の割合が高くなると考えられる。これらのことから、本研究において日齢270～289日で成熟率が増加しなかつた要因として、成熟個体が南下回遊し調査海域へ移出したことにより、高齢での成熟率が過小評価されていることが考えられる。同じ要因によって、290日齢以上でも成熟率が過小評価される傾向が想定されるが、300日齢以上の標本数が少ないため、これ以上の検討は困難であった。

一方、日齢260～269日で成熟率が64%に達するまでの若齢期間では、高齢になるほど成熟率が順に高まっていた (Fig. 3)。若齢期間においても、前述の要因により成熟率が過小評価されていることが想定されるが、そのような傾向が明確に表れなかった。その原因の一つとして、若齢の成熟個体は、高齢の成熟個体に比べて、性成熟に達し南下回遊を開始して間もない個体が多いために、調査海域外への移出が充分に進んでいないことが考えられる。この推察が妥当であれば、若齢期間では、成熟個体の移出による成熟率への影響が比較的小さいために、高

齢になるほど成熟率が順に高まっていたと考えることができる。

また、別の原因として、雄スルメイカは性成熟に達するとすぐに南下回遊を開始するのではなく、ある程度のタイムラグをおいた後に南下回遊を開始する可能性も考えられる。このように考えた場合、若齢の成熟個体は、性成熟に達して間もなく、まだ南下回遊を開始していない個体が多いために、調査海域外への移出が充分に進んでいないことになる。この推察が妥当であった場合でも、若齢期間では、成熟個体の移出による成熟率への影響が比較的小さかったと考えることができる。

これらのことから、若齢期間の成熟率の誤差は比較的小ないと考えられ、性成熟と日齢の関係の指標の一つである50%成熟日齢として、成熟率が50%に達した日齢階級である250～259日の中間の255日（8カ月半）を示すことができる。ただし、若齢期間であっても成熟個体の移出による影響は残っていると考えられるため、この50%成熟日齢も過大評価されていると考えられる。この問題を解決するには、本研究よりも広域で標本を収集し、解析する必要がある。

一般に、成熟日齢を求める方法として、データに成熟曲線を当てはめて算出する方法がある。本研究で得られた日齢階級別の成熟率のデータを用いて、二項分布を仮定した一般化線形モデルにより、ロジスティック曲線を当てはめた。全てのデータに当てはめた成熟曲線と、日齢260～269日階級以下のデータに当てはめた成熟曲線をFig. 6に示した。全てのデータに当てはめた成熟曲線は、269日齢以下のデータに当てはめた曲線に比べて、成熟の進行が高齢方向へずれる誤差を生じていると考えられた。したがって、本研究のように特に高齢で成熟率が過小評価されていると考えられるデータに、成熟曲線を当てはめて50%成熟日齢を推定することは適切でないと考えられた。

本研究で雄スルメイカの精巣重量とTSIが増加し始めた日齢200日前後の時期は、池田ら（1991）が区分した成熟開始期（TSIが0.5以上、AGSIが0.1以上）の始まりにはほぼ一致し、活発な精子形成が開始される時期とされる。また、成熟個体が見られるようになった日齢230日前後は上記区分の放精期（TSIが2.0以上、AGSIが1.0以上）の始まりにはほぼ一致し、交接可能な状態であると同時に、活発な精子形成が続いている時期とされる。本研究の結果から、成熟開始期の始まりから1カ月程度で放精期が始まり、その後も交接可能な状態が続くと考えられる。ただし、本研究では精巣が少数でも認められれば成熟個体に区分したが、どの程度の量の精巣が形成された時点で雄スルメイカが交接して放精するのかは明らかでない。

次に、雄スルメイカが平均的に孵化後8カ月半で性成熟すると考えた場合の、本種の生活史のスケジュールを概観し、大きな矛盾が生じないかどうかを検討する。本種の1世代の期間は約1年と考えられているため（木所ら、1999），約1年間で、産出された卵から孵化し、北上回遊した後、南下回遊して産卵場に戻らなければならない。まず、産卵から孵化までの期間は、人工授精および孵化実験の結果から15~23°Cで4~9日程度と報告されている（Sakurai *et al.*, 1996）。次に、孵化してから南下回遊を始めるまでの時間は、本種が雄の性成熟をきっかけに南下回遊始めると仮定すると（Takami and Suzu-uchi, 1993），本研究結果から約8カ月半と想定できる。この場合、索餌海域で成熟した雄スルメイカが、南下回遊を始めてから産卵場に戻るまでの残り時間は3カ月余りとなる。南下回遊を開始してから産卵場に戻るまでの時間を調べたデータはないが、過去の標識放流調査の結果から推察することが可能である。北海道西部日本海で成熟した雄スルメイカが多く出現する8~9月（Takami and Suzu-uchi, 1993）に放流されたスルメイカは、10~12月に山陰沿岸や対馬周辺などの産卵場と考えられる海域で再捕されている（坂口、2010）。このことは、3カ月余りの間に、北海道西部海域から産卵場へ移動することが充分あり得ることを示している。ただし、雄スルメイカが雌と同じく産卵場に戻り、産卵直前まで交接するのか、あるいは産卵場に戻る前に交接を終えて死亡するのかについては明らかになっていない。いずれにしても、本研究で得られた雄スルメイカの性成熟日齢は、現段階で考えられる本種の生活史において、矛盾がないと考えられる。

日齢220日ですでに性成熟した個体と、日齢297日で未熟な個体が見られたことから、雄スルメイカが性成熟に達する日齢には、少なくとも2カ月以上の個体差があると考えられる。生殖腺重量やその指數が増加する日齢にも、同程度の個体差が見られた。性成熟に達した雄スルメイカは南下回遊時に雌と交接を繰り返すと考えられているため（新谷、1967），雄スルメイカが性成熟する日齢の個体差は、交接時期にも個体差を生じさせると予想される。コウイカ類の交接では、雄が雌に精子を付着させる前に、過去の交接によって雌の口の周りに付着させられた精子塊を腕で除去する様子が観察されている（Wada *et al.*, 2005；Wada *et al.*, 2006）。この行動は雄が自身の精子をより多くの卵と受精させるための精子置換戦略であると考えられている。また、ヤリイカにおいては、雌1個体と複数の雄を飼育して産卵させ、親イカとその卵から孵化した幼生の遺伝子解析を行い、幼生の父親のイカを特定する研究が報告されている（Iwata *et al.*, 2005）。その結果から、複数の雄と交接した雌が産んだ卵において、産卵直前に

交接した雄が父親になっていることが最も多いことが示されている。これらのことから、雄の交接時期の個体差は卵への受精割合に影響を及ぼす要素の一つと考えられる。

一方、雄スルメイカの性成熟に達する体サイズにも、外套長で90mm以上の個体差が見られた。ヤリイカの雄は、外套長と精莢の長さに二型があり、それぞれが異なる様式で交接することから、大型雄と小型雄が異なる繁殖戦略を持っていると考えられている（Iwata and Sakurai, 2007）。本研究で対象とした雄スルメイカの繁殖戦略については、これまでほとんど知られていないが、性成熟に達する日齢と体サイズの個体差がスルメイカの繁殖戦略に影響する可能性があるため、これらは生態学上の興味深い課題と考えられる。

本研究で扱わなかった雌スルメイカの成熟日齢については、これまで平衡石の日齢査定結果からは、ほとんど検討されていない。雌の成熟日齢の変化は、産卵期の変化に影響を及ぼす可能性のある要素であり、季節発生系群の区分や資源変動とも関連するため、今後解明すべきスルメイカ資源研究における重要な課題である。

本研究では、雄スルメイカの性成熟が日齢と外套長の両方に関連していることが示された。頭足類の性成熟を管理する要素として、眼柄腺で作り出されるホルモンなどの内的要因と、光、水温、栄養摂取などの外的要因が考えられている（Mangold, 1987；三森・桜井、2010）。雄スルメイカにおいて、これらの要因がどのように影響して性成熟が進行するのかは明らかでないが、これらの要因が日齢の増加とともに、外套長の成長と性成熟の進行に影響を与えていていることが想定される。今後、スルメイカの性成熟についてさらに理解を深めるには、性成熟を直接コントロールしている機能について研究を進める必要がある。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、ご校閲と貴重なご意見をいただいた北海道大学の桜井泰憲教授と、査読者の方々にお礼申し上げる。海上調査に協力を頂いた函館水産試験場試験調査船金星丸、稚内水産試験場試験調査船北洋丸、中央水産試験場試験調査船おやしお丸（2010年1月用途廃止）の乗組員の皆様に感謝を申し上げる。また、標本収集や貴重なご意見をいただいた中央水産試験場の佐藤充氏をはじめとする道総研水産試験場の浮魚類研究グループの皆さんにお礼申し上げる。

引用文献

- 安達二郎. スルメイカの生殖腺発達についての統計学的考察. 水産海洋研究会報 1982; 40: 9-15.
- 新谷久男. 「水産研究叢書 16 スルメイカの資源」 日本水産資源保護協会, 東京. 1967.
- 後藤常夫. 初期生態から見たスルメイカ秋季発生群の再 生産構造に関する研究. 博士論文, 北海道大学, 函館. 2009.
- 林泰行. スルメイカの熟度に関する研究—I 成熟状態数 量化の一方法. 日水誌. 36(10), 1-5 (1970)
- 北海道水産林務部: 平成21年 北海道水産現勢. (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/indexfiles/suitoukei/suitoukei.htm>) (アクセス日: 2011年3月23日)
- 池田譲, 桜井泰憲, 島崎健二. 雄スルメイカの成熟にとも なう精巣および付属腺の発達について. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; 57(12): 2237-2241.
- Ikeda Y, Sakurai Y, Shimazaki K. Maturation process of Japanese common squid *Todarodes pacificus* in Captivity. In: Okutani T, O'Dor R K, Kubodera T (eds). *Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology*, Tokai University Press, Tokyo, 1993; 179-187.
- Iwata Y, Munehara H, Sakurai Y. Dependence of paternity rates on alternative reproductive behaviors in the squid *Loligo bleekeri*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2005; 289: 219-228.
- Iwata Y, Sakurai Y. Threshold dimorphism in ejaculate characteristics in the squid *Loligo bleekeri*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2007; 345: 141-146.
- 木所英昭, 後藤常夫, 田永軍. 平成21年度スルメイカ秋 季発生系群の資源評価. 「平成21年度我が国周辺水域 の漁業資源評価（漁種別系群別資源評価・TAC種） 第1分冊」 水産庁増殖推進部, 独立行政法人水産総 合研究センター, 東京. 2010; 611-641.
- 木所英昭, 和田洋蔵, 四方崇文, 佐野勝雄, 氏良介. 平衡石 の日周輪解析をもとにした1996年の日本海における スルメイカの成長. 日水研報 1999; 49; 129-135.
- Mangold K. Reproduction. In: Boyle, P R (eds). *Cephalopod life cycles volume II comparative reviews*, Academic Press, London, 1987; 157-200.
- 三森明人, 桜井泰憲. スルメイカ *Todarodes pacificus* の成 長と成熟に対する水温の影響. 「スルメイカ資源評価 協議会報告（平成21年度）」 日本海区水産研究所, 新潟. 2010; 53-54.
- 森賢. スルメイカ冬季発生系群の初期生態と資源変動機 構に関する研究. 博士論文, 北海道大学, 函館. 2008.
- 村田守. スルメイカの体長・体重関係について. 北水研報 告 1978; 43: 33-51.
- 村田守, 小野田豊, 田代征秋, 山岸吉弘, 鈴内孝行. 北 部日本海沖合域におけるスルメイカの生態学的研究 (1971). 北水研報告 1973; 39: 1-25.
- 中村好和. 平衡石によるいか類の日齢査定方法. 「特定水 産資源評価技術開発調査成果集1. いか類, 小型浮魚 類日齢査定マニュアル」 中央水産研究所, 横 浜. 2000; 1-17.
- Nakamura Y, Sakurai Y. Validation of daily growth increments in statolith of Japanese common squid *Todarodes pacificus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; 57: 2007-2011.
- 中田淳. 北海道東部太平洋海域におけるスルメイカの南 下移動. 北水試研報 1984; 26: 1-9.
- 中田淳. スルメイカ. 「北水試 魚介類測定・海洋観測マニ ュアル（丸山秀佳編）」 北海道立中央水産試験場, 余 市. 1996; 頭足類-1-4.
- スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に關 する研究. 農林省農林水産技術会議事務局, 東京. 1972.
- 坂口健司. 「技術資料No.4 スルメイカの平衡石の採取お よび輪紋計数マニュアル」 北海道立釧路水産試験 場釧路. 2005.
- 坂口健司. 北海道周辺海域で標識放流されたスルメイカ の移動. 北水試研報 2010; 77: 45-72.
- 坂口健司, 中田淳. 2001年の北海道北部海域におけるスル メイカの日齢と群構造. 水産海洋研究 2006; 70: 16-22.
- 坂口健司, 佐藤充, 三橋正基, 木所英昭. 北海道周辺海 域におけるスルメイカの日齢と発生時期. 日水 誌 2009; 75(2): 204-212.
- Sakurai Y, Bower JR, Nakamura Y, Yamamoto S, Watanabe K. Effects of temperature on development and survival of *Todarodes pacificus* embryos and paralarvae. *Amer. Mal. Bull.* 1996; 13(1/2): 89-95.
- 芝田健二. 房総海域に分布するスルメイカの生態に關す る研究—I 成熟と集合様式. 千葉水試研究報告 1984; 42: 13-21.
- 添田潤助. スルメイカ *Ommastrephes sloani pacificus* (Steenstrup) の生態並びに繁殖に關する研究. 北水研 報告 1956; 14: 1-28.
- Takami T, and Suzu-uchi T. Southward migration of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) from northern Japanese waters. In: Okutani T, O'Dor R K, Kubodera T (eds). *Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology*, Tokai University Press, Tokyo, 1993; 537-543.

Wada T, Takegaki T, Mori T, Natsukari Y. Sperm displacement behavior of the cuttlefish *Sepia esculenta* (Cephalopoda: Sepiidae) *J. Ethol.* 2005; 23: 85-92.

Wada T, Takegaki T, Mori T, Natsukari Y. Reproductive behavior of the Japanese spineless cuttlefish *Sepiella japonica*. *VENUS* 2006; 65(3): 221-228.

ドコサヘキサエン酸(DHA)要求に着目したマガレイの形態異常防除技術の実証試験

佐藤敦一^{*1}, 竹内俊郎²

¹栽培水産試験場, ²東京海洋大学

Proof test of the rearing technique based on DHA requirement during larval period to prevent the morphological abnormalities in brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini*

NOBUKAZU SATO^{*1}, TOSHIO TAKEUCHI²

¹Mariculture Fisheries Research Institute, Muroran, Hokkaido, 051-0013, Japan

²Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo, 108-8477, Japan

The purpose of this study was to evaluate the suitability of a rearing technique and to prevent morphological abnormalities in juveniles of the brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini* by fulfilling their DHA requirements during the larval period. Treatments of enriched larval food included 4 different rotifer preparations and only 1 preparation of *Artemia* nauplii with a commercial product. Larvae at 15 days after hatching (D developmental stage) were fed for 11 days with rotifers that were treated with different materials and enriched-*Artemia*. During developmental stages F-I, larvae were fed solely with enriched-*Artemia*. The incidence of normal morphology and survival rate in larvae fed with rotifers containing enough DHA to meet the DHA requirements during the D-E stages were significantly higher than those in larvae fed with rotifers containing insufficient DHA. Therefore, these results confirmed that this rearing technique, based on providing enough DHA to meet requirements of larval brown sole during the D-E stages, successfully reduced morphological abnormalities to approximately 10%, yielding a normal morphology rate of 90-94%. This study also indicated that the rearing technique may be used to prevent morphological abnormalities in juvenile brown sole regardless of the enrichment material used, since both commercial product and DHA oil were effective.

キーワード:栄養強化, 形態異常, 生物餌料, 市販栄養強化剤, ドコサヘキサエン酸 (DHA), 発達ステージ, マガレイ

マガレイの種苗生産において、有眼側体色異常および眼位異常に代表される形態異常が発生しやすく、その防除技術として高水温飼育による手法が開発され、形態正常率は8割となり（有瀧ら, 1996）、形態異常防除技術が一応の確立をみた。しかし、その後も本種の形態正常率は23~69%と安定しないことが報告されており（日本栽培漁業協会1999~2002），これらの防除策の改善が必要である。

ヒラメ (Takeuchi 2001), マコガレイ (Kanazawa 1993),

ターボット (Reitan *et al.*, 1994) など他の異体類では、餌料中のドコサヘキサエン酸 (DHA) など高度不飽和脂肪酸含量と形態正常化など健苗性との関係が調べられている。しかし、マガレイで餌料中のDHA含量と健苗性との関係を調べた知見がなかった。そこで、私たちは質の高いマガレイ種苗を効率よく生産する技術を確立するために、これまでにDHAあるいはエイコサペンタエン酸 (EPA) を高純度に含む油脂を用いて、餌料中のDHAが形態異常発現に影響する感受期 (Satoh and Takeuchi, 2009a),

マガレイの形態異常発現に餌料中のDHAやEPAが及ぼす影響 (Satoh *et al.*, 2009b), 発達段階ごとのDHA要求量 (Satoh *et al.*, 2009c) を明らかにしてきた。これらの結果から、有瀧と青海の区分 (Aritaki and Seikai, 2004) の各発達段階でのマガレイ仔魚に給餌する生物餌料の栄養強化 (以下強化) 適正量が決定され、DHAオイルによる強化で形態正常率が8割以上となる条件が見いだされた (佐藤2009)。

現在、種苗生産の現場では、生物餌料へのDHA強化は市販の栄養強化剤を使って実施されている。DHAオイルは、マイナス30°C以下で保存する必要があり、そのような設備がない場合、新たな設置に伴うコスト増が懸念される。また、DHAオイルのメーカーは国内に少なく、入手が市販の栄養強化剤より難しい。そのため、これまでに得られたマガレイの形態異常防除に関する知見を現場で速やかな活用を図るために、DHAオイルではなく、市販栄養強化剤を用いた実験で知見結果を再現する必要がある。

また、市販の栄養強化剤は、国内外で数多く製造されており、ユーザーが求めるDHA強化レベルに生物餌料を処理できるよう、いろいろな製品が販売されている。そこで、本研究ではマガレイに適した市販栄養強化剤で処理し、生物餌料中のDHA含量を適正に管理した場合に、本種の形態異常防除が可能であることを実証するために実験を行った。

試料及び方法

実験区は、マガレイ種苗生産のシオミズツボワムシ (L型・S型混合タイプ、以下ワムシ) に対してDHA強化する際に、使用されている市販栄養強化剤 (商品名スーパーV12、クロレラ工業 (株) 製) で処理した区を対照区に設定した (3水槽)。そしてDHA強化を目的として販売されている他社メーカーの2種類の栄養強化剤A, Bを用い (A, B区)、各区それぞれ2水槽設定した。さらに、DHAオイル (DHA70: DHA 70.7 %, EPA 5.2 %, vitamin E 0.3 %,

太陽油脂製) を使用した実験区 (C区) を1水槽設定した。

対照区のスーパーV12は、ワムシの餌料になる淡水クロレラに対してマイクロカプセル化したDHAオイルを取り込ませた濃縮タイプの製品である。そのため、ワムシの維持管理と同時にワムシに対してDHA強化 (約0.6%程度) できるように製品化されている。一方、A区とB区でワムシの処理に用いた市販栄養強化剤は、栄養強化のみを目的とした製品であり、メーカーによる自社分析結果によると、処理することによってワムシ中のDHA含量を約2~3%に調整できるとされている。

各区の餌料の処理条件を、Table 1に示した。対照区は、1,000L水槽内にてワムシの個体密度が800~1,000個体/mlに対して800~1,000mlのスーパーV12を1日2回投与して、継続的に飼育しているワムシを供試した。A区、B区およびC区で処理するワムシには、濃縮淡水クロレラを投与して継続的に飼育したものを使用した。A区、B区およびC区におけるワムシの処理では、飼育水槽に30L水槽 (水量20L), ワムシ個体密度は1,000個体/ml, 飼育水温は20°C, 処理時間は18~22時間にそれぞれ共通設定した。各区の市販栄養強化剤の添加量はそれぞれ異なり、A区が40ml, B区が4g, C区が2mlであった。A区の市販栄養強化剤は液体タイプなので製品をそのまま投与し、B区の市販栄養強化剤は粉末状なので濾過海水とともに1分間程度家庭用ミキサーで良く攪拌したのちに投与した。A区およびB区の添加量および添加方法はメーカーの推奨法に準じ、C区における処理方法の詳細は、既報の方法に準じて行った (佐藤・竹内, 2009)。

実験に供したふ化仔魚は、苦小牧産マガレイ親魚から自然産卵法により採卵した受精卵を15°Cで卵管理し、ふ化してから3日経過 (3日齢、平均体長3.1 mm) したものである。これらの仔魚を飼育水温15°Cに設定した500L円形水槽8水槽に23,000尾ずつ収容し、Dステージ (平均体長6.0mm) になるまで全ての実験区にスーパーV12で強化したワムシを給餌して予備飼育した。約9割の個体がDステージに発達したことを確認した翌日 (15日齢) から25日齢までTable 1の条件で処理したワムシを給餌し

Table 1 Design of experimental treatments

Enrichment conditions	Rotifers				Artemia nauplii
	Control	Group A	Group B	Group C	
Treatment tank (L)	1,000	20			500
Addition volume	800-1,000 ml	40 ml	4 g	2 ml	35 g
Density (ind./ml)	800-1,000	1,000			100-150
Temperature (°C)	21	20			20
Time (h)	Constant	18-22			

た。さらに全区共通の市販栄養強化剤（スーパー カプセル、クロレラ工業（株）製）で処理したアルテミア（Table 1）を全ての実験区に併用給餌し、Table 2の条件で飼育した。26日齢以降では、強化アルテミアのみを全ての実験区に給餌し、52日齢まで飼育した。

飼育期間中26日齢には体長、発達ステージ（各水槽20尾）を、52日齢には生残率、体長（各水槽30尾）および形態正常率（各水槽から804～1,341尾）を調べた。発達ステージおよび形態異常魚の分類は、有瀧・青海の基準（Aritaki and Seikai, 2004）に従った。すなわち、発達ステージを、Cステージ（開口、上届前仔魚期）、Dステージ（尾鰭原基出現、上届前仔魚期）、Eステージ（上届仔魚期）、Fステージ（変態前、上届後仔魚期）、Gステージ（変態開始、上届後仔魚期）、Hステージ（変態中期、上届後仔魚期）、Iステージ（変態完了期、稚魚期）に区分した。また、形態異常魚のタイプは、体色正常かつ眼位正常（タイプA）、体色白化かつ眼位が軽度の異常（タ

Table 2 Rearing conditions for larval brown sole

Body length of initial fish (mm)	6.0
Initial developmental stage	C stage:13%;D stage:87%
Tank volume (L)	500
Water temperature (°C)	15.5±0.3
Water exchange (%/ day)	200-300
Density of live food (ind./ml)	Rotifers:8
15- 25 days post hatching	<i>Artemia</i> nauplii:0.3
26-52 days post hatching	<i>Artemia</i> nauplii:0.8-2.0
Feeding frequency	Twice/ day

イブB）、体色白化かつ眼位が重度の異常（タイプB'）、両面有色の異常（タイプC）に分類した。本研究における形態異常防除効果は、タイプAすなわち形態正常率で評価した。

生残率、形態正常率の解析では、シェッフェの群比較法で平均値の差について検定した（有意水準5%）。B区は、2水槽のうち1水槽が17日齢で全滅したため（後で詳述）、1水槽のみ生残率および形態正常率を他の実験区と比較した。各実験区の体長については、チューキーの多重比較検定を行った（有意水準5%）。なお、比率データは逆正弦変換したのちに解析（山田・北田, 2003）を行った。

ワムシとアルテミアおよび仔魚中の脂肪酸含量を調べるために、次のようにサンプリングを行った。生物餌料は、強化が完了したものを試験期間中に2度サンプリングし、それらをプールして分析に供した。仔魚は、26日齢の時点で各実験区1水槽から午前の給餌前に2,000尾サンプリングした。生物餌料および仔魚のサンプルは、分析に供するまでマイナス80°Cのフリーザーで冷凍保存した。後日これらのサンプルから粗脂肪を抽出した後、ケン化、メチル化の処理を行い、ガスクロマトグラフを用いて脂肪酸含量の定量を行った。分析手法の詳細は既報に準じた（佐藤ら2006）。

結 果

Table 3に各実験区の餌料中の総脂質含量、EPA含量およびDHA含量を示す。4実験区のワムシの総脂質含量は11.0～18.1%，同EPA含量は0.5～1.1%であった。ワムシ

Table 3 Crude lipid and fatty acid contents in rotifers and *Artemia* nauplii

	Rotifers				<i>Artemia</i> nauplii
	Control	Group A	Group B	Group C	
Crude lipid (% d.b. [†])	18.1	11.9	11.0	16.6	26.0
Fatty acid content (g/100g d.b. [†])					
EPA	1.0	0.6	0.5	1.1	1.6
DHA	1.7	2.3	0.6	2.6	1.9

[†] Dry weight basis

Table 4 Crude lipid and fatty acid contents of fish at 26 days post hatching

	Control	Group A	Group B	Group C
Crude lipid (% d.b. [†])	18.8	19.6	19.7	22.7
Fatty acid content (g/100g d.b. [†])				
EPA	1.7	1.2	0.7	1.0
DHA	2.9	3.6	1.5	3.6

[†] Dry weight basis

Table 5 Survival rate, body length and incidence of normal morphology in each group

	Control	Group A	Group B	Group C
Survival rate at 52 days post hatching (%) (22.7, 21.2, 15.9) ²	19.9 B ¹ (22.7, 21.2, 15.9) ²	55.5 A (49.2, 61.7)	21.3	23.2
Body length (mm)				
26 days post hatching	7.8±0.4 a ³	7.7±0.4 a	7.7±0.3 a	7.8±0.4 a
52 days post hatching	12.3±2.1 a	12.3±1.9 a	11.3±1.7 a	12.4±2.0 a
Normal morphology at 52 days post hatching (%)	83.6 B ¹ (85.7, 83.4, 81.7) ²	92.4 A (90.6, 94.2)	37.2	90.2

*1 Significant differences between Control and Group A are indicated with different letters (Scheffé's test, $p<0.05$)

*2 Values in parentheses indicate rate for each replicate trial

*3 Values having the same letters in the same line are not significantly different (Tukey's test, $p>0.05$)

のDHA含量はA区とC区が高く、それぞれ2.3%と2.6%であった。対照区の同含量は1.7%であった。B区の同含量は、実験区間で最も低く0.6%であった。この含量は、メーカー公表値の約2~3%よりも低かった。アルテミアの総脂質含量、EPA含量およびDHA含量は、それぞれ26.0%，1.6%および1.9%であった。

Table 4に各実験区の26日齢におけるマガレイ仔魚の総脂質含量、EPA含量およびDHA含量を示す。総脂質含量およびEPA含量は、それぞれ18.8~22.7%および0.7~1.7%であった。DHA含量はワムシ中のDHA含量の実験区間における差を反映し、A区とC区が3.6%と高く、対照区が2.9%と続き、B区は1.5%と最も低かった。

52日齢における生残率は、A区が対照区よりも有意に高かった (Table 5)。B区は2水槽のうち1水槽が15日齢から16日齢にかけて大量斃死し、17日齢で全滅した。C区は対照区と同様の生残率であったが、死亡が多く観察さ

れた時期は予備飼育期間である14日齢までであり、その後は対照区と同様の死亡状況であった。

体長は、26日齢および52日齢においても実験区間で差は認められなかった (Table 5)。各実験区の26日齢における発達ステージ組成は、いずれの実験区もEステージ以降まで発達が進んでおり、良好な発達を示した (Fig. 1)。

各実験区の形態正常率は、A区が対照区よりも有意に高く、C区と同様に9割以上の値を示した。一方、B区は37%と顕著に低く、実験区間で最低となった (Table 5)。

考 察

マガレイの形態異常防除では、仔魚の発達速度を遅延させないように飼育水温等を調整したり (Aritaki and Seikai, 2004; 有灌2008)、餌料中のDHAが形態異常発現に影響する感受期(D~Eステージ)の仔魚に対して高濃度のDHAを与えること (Satoh *et al.* 2009a,b) が重要である。特にマガレイでは、他の異体類とは異なり、仔魚の発達段階によってDHA要求量が変化するため (Fig.2)，その変化に対応するようDHAの強化量を調整する必要がある (Satoh *et al.* 2009c)。A区およびC区のワムシ中のDHA含量は、D~Eステージの要求量を十分満たし、形態正常率も90~94%と極めて高かった。また、A区の形態正常率は、対照区よりも有意に高かった。さらにB区の強化ワムシのDHA含量は0.6%とメーカー公表値 (約2~3%) より低く、形態正常率も低かった。これらは、市販強化剤によるワムシ中のDHA含量の調整が、A区のように本種のDHA要求に対応している場合は形態正常率が90%以上と高く安定し、B区のように適していないと形態正常率が極めて低くなることを明確に示している。

本試験の対照区と同じ市販品のスーパーV12で強化したワムシのDHA含量は0.6%で、それを給餌した場合の平均形態正常率は63%になることが報告されている

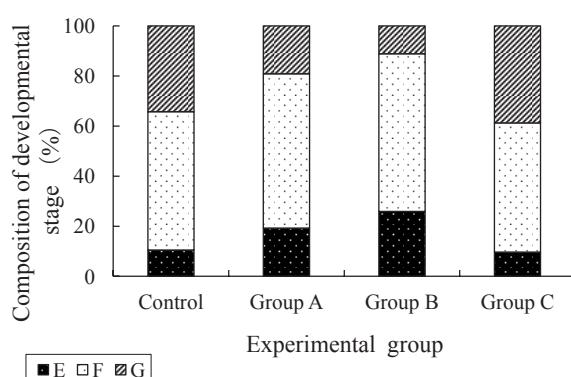


Fig. 1 Developmental stage of fish at 26 days after hatching in each treatment.

Developmental stages (E-G) were modified from the study by Aritaki and Seikai (2004) and were classified into 3 categories (Stage E: flexion larva; Stage F: post-flexion larva, onset of metamorphosis; Stage G: post-flexion larva, early phase of metamorphosis).

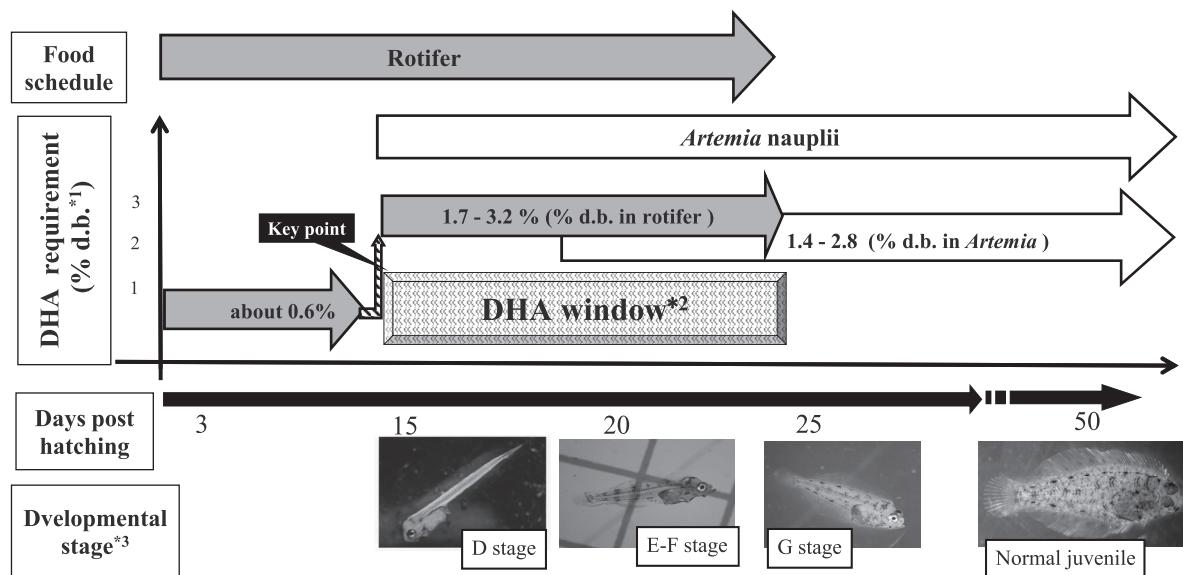


Fig. 2 Proposed DHA content necessary in live foods to achieve normal morphology for brown sole (Satoh 2009 in Japanese).

*1 Dry-weight basis.

*2 Feeding period of DHA that affects morphology.

*3 Each classification of developmental stage was modified from the study by Aritaki and Seikai (2004). Stage D indicates pre-flexion larva and the other developmental stages (E-G) are shown in Fig.1.

(Satoh *et al.* 2009b)。本実験では平均形態正常率が83%と約20ポイント高くなつたが、これは今回の対照区のワムシのDHA含量がD～Eステージの要求量 (Fig.2) の下限値1.7%になつてゐるためと考える。

本試験の予備飼育と対照区で用いた栄養強化剤スーパーV12は、ワムシの一次培養と栄養強化を両方同時に達成することを目的として開発されており、一次培養と二次培養と2種類の水槽を準備しなくとも良いことから、労力の削減という点で優れている。一方、最近ワムシの増殖状態に着目したワムシの栄養価について新たな研究(友田ら2005)が進み、ワムシの増殖ステージが栄養強化レベルに影響することが明らかにされた。そのため、今回の対照区の強化ワムシが既報(Satoh *et al.* 2009b)よりもDHA含量が高かつた原因として、増殖率も影響してゐる可能性がある。今後は対照区のような一次培養と二次培養同時に行うことができる栄養強化剤を使うときは、ワムシの増殖率と栄養レベルの関係についてモニタリングが必要である。特に、マガレイのようにワムシ給餌期におけるDHA要求量が少ない魚種の場合は注意を要する。

A区の形態正常率は、対照区よりも有意に高くなつた。本種の形態正常率は、DHA要求量の下限値1.7%のDHAを含有するワムシを給餌するよりも3.2%のワムシを給餌した方が、統計的有意差はないものの平均値で約10ポイント高くなることが報告されている(Satoh *et al.* 2009c)。

本研究でもA区のワムシおよび仔魚中のDHA含量は対照区よりも高いことから、このことが影響し、A区の形態正常率が対照区よりも有意に高くなつたと推察する。

A区の生残率は、対照区よりも有意に高かった。マガレイ種苗生産では、先述したとおり、ワムシのDHA含量の調整にスーパーV12が使われている。Dステージ以降から市販栄養強化剤でワムシのDHA含量を調整する場合、形態異常防除の観点からだけではなく、生残率からみても、対照区のスーパーV12ではなく、A区の市販栄養強化剤によるワムシの処理が効率的であると考えられた。

B区の体長および発達ステージの進行度は、他の実験区と同様であった (Table 5, Fig.1)。以前我々はマガレイの形態異常防除に重要なファクターが、発達速度を遅延させないことと、D～Eステージにおいて要求量のDHAを仔魚に与えることの2つであるとの仮説を示した (Satoh *et al.* 2009b)。B区のように、発達ステージや成長に遅延が生じていなくても、要求量のDHAを摂取していないと形態正常率が著しく低下することは、この仮説を強く支持する。

B区の強化ワムシ中のDHA含量が低かつた原因については明らかにできなかつた。しかし強化剤の原料の違いが生物餌料におけるDHAなどの取り込み度合いに影響することが知られている (Takeuchi 2001)。今回の実験でも対照区、A区およびB区では原料が異なるため、これら

のことが栄養強化レベルに影響したかもしれない。

B区の生残率は2水槽間で大きくばらつき、一方は全滅し、もう一方は大量斃死することなく対照区と同様になった。その理由は不明である。しかし、生き残った方の水槽も形態正常率が極めて低くかったことから、B区のワムシがマガレイのD～EステージのDHA要求量を満たしていないことが、B区の仔魚に影響して大量斃死が生じたり、形態異常率が高くなつた可能性がある。

今回の予備飼育段階のDステージに到達する直前の発達段階では、例年より多くの個体が死亡する傾向が観察された。今回予備飼育で使用している強化剤は、対照区のものと同じスーパーV12であり、その強化ワムシ中のDHA含量は既報 (Satoh *et al.* 2009b) の数値0.6%より約3倍高かった。そのため、ワムシ給餌期のDHA要求量0.6% (Fig.2) より、対照区の強化剤で処理したワムシのDHA含量が高かったことが影響し、Dステージでの生残率が低くなつたと推察される。しかしながら、A区の取り上げ時の生残率は、種苗生産における生残目標の目安である稚魚期までで20%以上のライン (竹内2008) はクリアしているので、生残率からみた生産効率についてもA区の管理手法は問題ないと推察する。

以上のように、市販栄養強化剤を用いてワムシのDHA含量を調整した場合でも、DHAオイルを使用してワムシを処理した時と同様に、形態正常率が著しく改善することが明らかとなつた。一方、B区のように処理の条件によってはメーカー公表値にDHA含量が及ばないケースがあることも分かったので、実際に使用する餌料のDHA含量が、期待通りに栄養強化されているかどうか調べることが必要であろう。

今後マガレイの種苗生産では、本種の特徴的なDHA要求に対応するように市販栄養強化剤を用いて生物餌料を処理し、形態正常率の高い種苗を効率よく生産することが期待される。

謝 辞

本研究を行うにあたり、採卵用親魚の入手にご協力いただいた北海道苫小牧漁業協同組合の吉田昭二氏に深謝する。また、飼育に関する有益な情報を教えていただいた北海道えりも町役場の三戸充氏並びに芳賀恒介氏に深謝する。さらに、飼育管理にあたつてご協力いただいた道総研栽培水産試験場の高谷義幸氏 (現道総研中央水産試験場) をはじめ関係者の皆様に感謝致します。

参考文献

- 有瀧真人, 青海忠久, 小林真人. マガレイ仔魚の高水温飼育とアルテミア幼生早期給餌による形態異常の出現防除. 日本水産学会誌 1996; 62: 857-864.
- Aritaki M and Seikai T. Temperature effects on early development and occurrence of metamorphosis-related morphological abnormalities in hatchery-reared brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini*. *Aquaculture* 2004; 240: 517-530.
- 有瀧真人. 異体類における形態異常の発現機序の解明とその防除技術の開発. 日本水産学会誌 2008; 74: 772-775.
- Kanazawa A. Nutritional mechanisms involved in the occurrence of abnormal pigmentation in hatchery-reared flatfish. *Journal of The World Aquaculture Society* 1993; 24: 162-166.
- 日本栽培漁業協会事業年報平成9年度～12年度. 日本栽培漁業協会, 東京. 1999～2002.
- Reitan KI, Rainuzzo JR, Olsen Y. Influence of lipid composition of live feed on growth, survival and pigmentation of turbot larvae. *Aquaculture International* 1994; 2: 33-48.
- 佐藤敦一, 藤岡崇, 清水洋平, 竹内俊郎. マガレイの生残, 成長, 白化出現, 飢餓耐性に及ぼす栄養強化餌料の影響. 水産増殖 2006; 54: 305-312.
- 佐藤敦一, 竹内俊郎. マガレイ仔魚のドコサヘキサエン酸 (DHA) 要求. 日本水産学会誌 2009; 75: 28-37.
- 佐藤敦一. マガレイの健苗性向上を図る餌料の改善に関する研究. 博士論文, 東京海洋大学, 東京. 2009.
- Satoh N, Takeuchi T. Estimation of the period sensitive for the development of abnormal morphology in brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini* fed live food enriched with docosahexaenoic acid. *Fisheries Science* 2009; 75: 985- 991.
- Satoh N, Takaya Y, Takeuchi T. The effect of docosahexaenoic and eicosapentaenoic acids in live food on the development of abnormal morphology in hatchery-reared brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini*. *Fisheries Science* 2009; 75: 1001-1006.
- Satoh N, Takaya Y, Takeuchi T. Docosahexaenoic acid requirement for the prevention of abnormal morphology in brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini* during D-E larval stages. *Fisheries Science* 2009; 75: 1259-1266.
- Takeuchi T. A review of feed development for early life

stages of marine finfish in Japan. *Aquaculture* 2001;
200: 203-222.

竹内俊郎. イセエビ・マダコの種苗生産. 食品と容器2008;
49: 510-518.

友田 努, 小磯雅彦, 陳 昭能, 竹内俊郎. 増殖ステージが異なるシオミズツボワムシのヒラメ仔魚に対する餌料価値. 日本水産学会誌2005; 71: 555-562.

山田作太郎, 北田修一 (共著).「生物資源統計学」成山堂書店, 東京. 2003.

マヒトデ骨片の海水用循環濾材としての有効性

森 立成

栽培水産試験場

Availability of sea star (*Asterias amurensis*) spicules as a marine biological filter

TATSUNARI MORI

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

To elucidate the possibility of using spicules from the sea star *Asterias amurensis* as a marine biological filter, changes in water quality were examined in experimental tanks containing coral sand versus sea star spicules after adding NH₄Cl. In addition, to test the effectiveness of sea star-spicule filtration for fish cultivation, the black rockfish *Sebastes schlegeli* was reared for 40 days, and water was circulated through sea star filters under the 3 stocking densities of 10, 20, and 40 fish per tank. In both tanks containing sea star spicule and those containing coral sand, ammonium nitrogen (NH₄-N) concentration decreased to 0 mg/L 19–20 days after the addition of NH₄Cl. Nitrite (NO₂-N) concentration increased and reached a maximum at 20–24 days and thereafter dropped to 0 mg/L at 45–53 days in tanks containing sea star spicules and at 44–48 days in tanks containing coral sand. In the stocking density of 10 and 20 fish per tank, NH₄-N and NO₂-N were maintained at less than 0.5 mg/L. Final body weight of fish in tanks with the stocking density of 40 fish per tank was significantly lower than that of fish from tanks with lower stocking densities. These results suggest that the nitrification ability of sea star spicules is similar to that of coral sand and that sea star spicules could be useful for filtration during fish cultivation.

キーワード：骨片、循環濾過飼育、硝化細菌、ヒトデ、有効性、濾材

近年、道内で駆除されるヒトデ類は、年間15,000 tにのぼる。陸揚げされたヒトデ類は、焼却または堆肥化されるが、焼却・埋め立てには限界があり、新たな受け入れが困難となっている。また、堆肥化処理にはコストがかさむことが課題となっている。

そのため北海道では、駆除したヒトデ類を有効に利用する技術開発が進められており、2005年から2007年にかけて重点領域研究「ヒトデの有効利用に関する研究」が行われた(麻生ら, 2009)。この研究では、ヒトデに含まれるコラーゲン材料及び免疫賦活物質の製造技術開発と、その残渣である骨片の有効利用が課題であった。本研究は、2つ目の課題であるヒトデ骨片の有効利用方法の検討を行なわれた。

ヒトデ骨片は、多孔質という特徴をもつ(鎌田ら, 2009)ことから、硝化細菌の増殖基質として有効であると思われる。さらに、濾材としては軽量であるという利点もある

ため、生物濾材としての有効利用が考えられる。

鎌田ら(2009)は、ヒトデ骨片の有効利用法として、水処理における微生物担体としての有効性を示した。また、吉田ら(2011)は、ヒトデ成型骨片と市販の濾材を比較し、サケ養殖場排水処理施設由来の細菌付着性について差がみられないことを明らかにした。

現在までに、ヒラメ、マダイ及びトラフグ等の養殖や種苗生産を目的に様々な濾材を用いた循環飼育試験が行われている(齊藤ら, 1993; Kikuchi *et al.*, 1994; 丸山ら, 1999; 瞳谷ら, 2001; 鴨志田ら, 2006; 今井ら, 2010)。しかし、これまでにヒトデ骨片を海水用循環濾材として用いた例はない。そこで本研究では、ヒトデ骨片の海水用循環濾材としての有効性を検証するため、ヒトデ骨片における硝化細菌の繁殖期間の把握に関する試験と、これを濾材として用いたクロソイの循環濾過飼育を行なったので、その結果を報告する。

試料及び方法

試験1 硝化細菌の繁殖期間の把握 試験濾材として、ヒトデ骨片（図1a, 平均長径2.4mm），道総研工業試験場において、樹脂と混合して10mm程度に成型したヒトデ骨片成型品（図1b），サンゴ砂・小（図1c, 平均長径2.3mm）及びサンゴ砂・大（図1d, 平均長径9.8mm）の4種類を用いた。これら濾材の特徴は表1に示した。

試験水槽として、60ℓアクリル水槽を用い、水槽上部に海水用スライドフィルター600S（NISSO）を設置して、循環ポンプ（流量；約10ℓ/分）により飼育水55ℓを上部濾過した。なお、用いた海水は、北海道余市町沖から揚水し、粒径0.8mm～35mmの砂濾過機を通過した濾過海水である。

試験濾材は、試験前に水道水でよく洗浄した。濾材の容量は500mℓとし、ポリエチレン製の網袋（目合526μm）に入れ、上部スライドフィルター内にセットした。濾材をセットした後、アンモニア態窒素（NH₄-N）濃度で10～12mg/ℓとなるように塩化アンモニウム（NH₄Cl）を海水に添加した。このとき、市販の硝化菌（スーパーバイコム78（株）バイコム）を飼育水10当たり0.1mℓ添加した。NH₄Cl添加後、毎日～1日おきに、海水のpHをpHメ

ーター（IM-22P, TOA DKK）を用いて測定した。また、アンモニア態窒素（NH₄-N）をインドフェノール法（河合ら, 1988）で、硝酸態窒素（NO₂-N）をジアゾ化法（河合ら, 1988）により測定し、NH₄-N及びNO₂-N濃度が0mg/ℓになるまでの期間を硝化細菌繁殖までの期間とし、これを求めた。なお、試験期間中の溶存酸素濃度は平均7.45mg/ℓ、平均水温は17.3℃（16.5～18.0℃）であった。

試験2 クロソイの循環濾過飼育 試験水槽には、60ℓアクリル水槽を用い、濾材は、試験1の終了後2週間、NH₄Clの添加を継続してさらに熟成させたヒトデ骨片濾材（図1a）を使用した。ヒトデ骨片濾材の容量は、400mℓとした。試験水槽に、クロソイ稚魚（平均体重2.3g）を10尾、20尾及び40尾/水槽の密度で収容し、40日間の飼育を行った。配合飼料（（株）ヒガシマル）を用いて週に5回の頻度で給餌し、底掃除は週に2回行った。飼育期間中の水換えは行わなかったが、週に1回、蒸発及び底掃除により失われた分の水量（1～2ℓ/水槽）の濾過海水を補充した。

各試験区のpH、NH₄-N濃度及びNO₂-N濃度を試験1と同様の方法で、硝酸態窒素（NO₃-N）を水質分析器（DR-2000, HACH社）により定期的に測定した。試験終了後、各試験区から5尾ずつを取りあげ、尾柄部血管から、ヘパリン処理1mℓシリンジを用いて採血し、遠心分離（10,000rpm, 5分間処理）により血球と血清を分離してヘマトクリット（Ht）値を求めた。また、ヘモグロビンB-テストワコー（（株）和光純薬）によりヘモグロビン（Hb）量を測定した。さらに、各試験区の体重を測定した。なお、試験期間中の平均水温は18.4℃（17.4～19.0℃）であった。

結 果

試験1 硝化細菌の繁殖期間の把握 NH₄-N濃度は、各濾材とともに試験開始後10～12日目（10～12 mg/ℓ）から減少し、19～20日目で0 mg/ℓとなった（図2）。一方、NO₂-N濃度は、NH₄-N濃度の減少に伴い、各濾材とともに12日目頃から増加し、20～24日で14～16 mg/ℓを示した。その後徐々に減少し、サンゴ小区で44日、骨片区で45日、サン

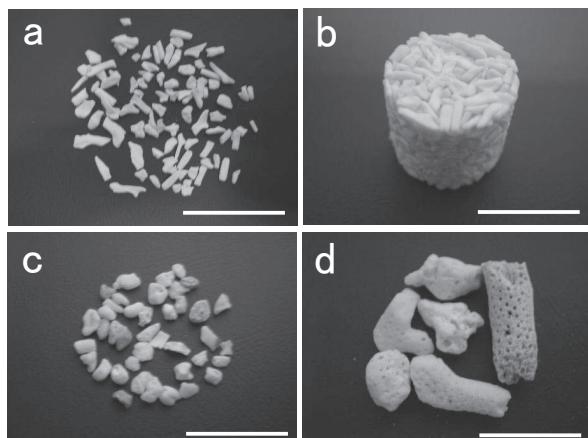


Fig. 1 Photographs of the filter media used in Experiment 1. a, Sea star spicules; b, molded product using sea star spicules; c, coral sand (small); and d, coral sand (large). Scale bar = 10 mm.

Table 1 Characteristics of filter media used in experiment-1

Filter media	Major axis (mm) mean \pm S.D*	Minor axis (mm) mean \pm S.D	Volume (mℓ) / filter media	Weight (g) / filter media
Sea star spicules	2.4 \pm 0.83	1.1 \pm 0.44	500	256
Molded product using sea star spicules	12.0 \pm 0.29	10.9 \pm 0.44	500	196
Coral sand (small)	2.3 \pm 0.45	1.6 \pm 0.43	500	627
Coral sand (large)	9.8 \pm 3.32	4.5 \pm 1.16	500	532

*: standard deviation

ゴ大区で48日、骨片成型品区では53日でそれぞれ0 mg/l となった(図2)。飼育水のpHは、ヒトデ骨片、サンゴ砂とともにアンモニアの減少及び亜硝酸の増加に伴って7.4~7.5まで低下したが、4~6日目で8.1前後まで回復し、その後は変化がなかった(図2)。

試験2クロソイの循環濾過飼育 NH₄-N濃度は、高密度区ほど高く推移した。飼育期間中の平均濃度は、10尾区で0.10 mg/l、20尾区で0.33 mg/l、40尾区では0.69 mg/lであった(図3)。NO₂-N濃度は、10尾区及び20尾区で概ね0.5 mg/l以下であった。一方、40尾区では、1 mg/lを超える場合もあり、平均0.64 mg/lであった(図3)。NO₃-N濃度は、各区とも試験開始から試験終了時まで漸増し、試験終了時の値は、10尾区で60.5 mg/l、20尾区で119.5 mg/l、40尾区では155.9 mg/lであった(図3)。また、pHは飼

育開始時の8.0から徐々に低下し、試験期間中、高密度区ほど常に低く経過した。

試験終了時の平均体重、Ht値及びHb量を表2に示した。平均体重は、10および20尾区で差がなかったが、40尾区で他区に比べて有意に小さい値を示した($p<0.05$, Tukey's-test)。Ht値およびHb量の値は、各区間で差がみられなかった($p>0.05$, Steel-Dwass test)。なお、全区で試験終了時までの死亡はなかった。

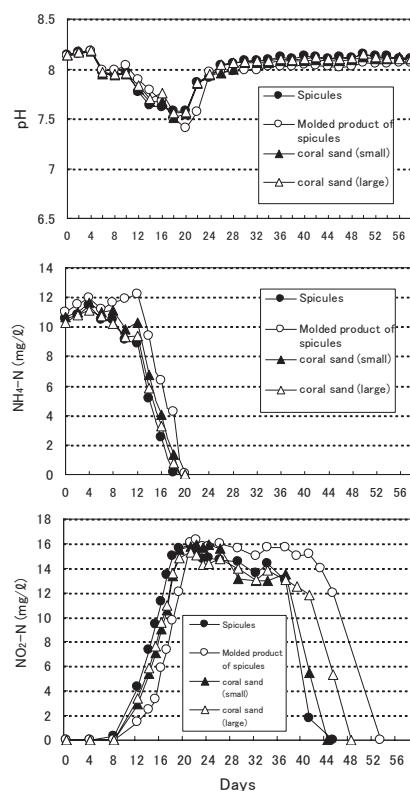


Fig. 2 Changes in pH, NH₄-N, and NO₂-N in the rearing water of Experiment 1.

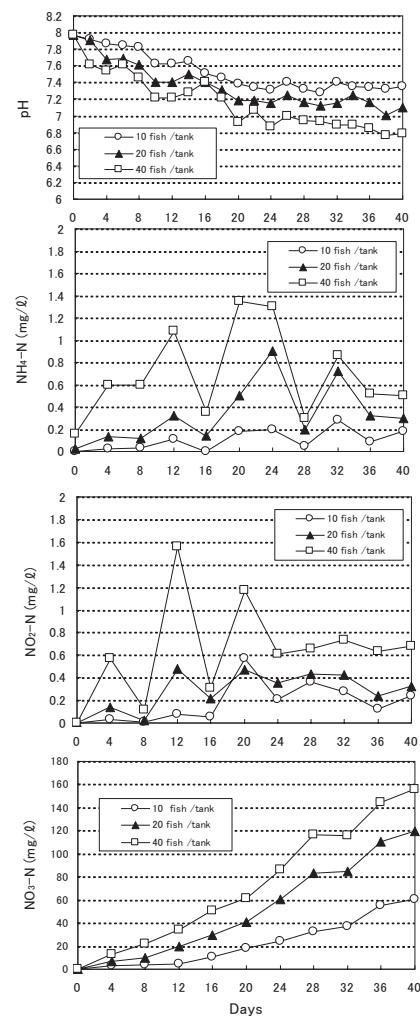


Fig. 3 Changes in pH, NH₄-N, NO₂-N, and NO₃-N in the rearing water of Experiment 2.

Table 2 Growth, survival and hematological characteristics of black rock-fish in the rearing experiment

Group	Body weight (g)		Hematocrit (%)	Hemoglobin (g/dl)	Survival (%)
	Initial	Final			
10 fish / tank	2.3±0.22a	10.1±1.72a	28.5±4.98a	6.25±0.79a	100
20 fish / tank	2.3±0.43a	9.4±1.61a	26.8±7.12a	6.11±1.64a	100
40 fish / tank	2.3±0.34a	6.6±1.02b	25.2±6.82a	5.00±1.01a	100

* Different letters indicate a significant difference ($p<0.05$)

考 察

試験1 硝化細菌の繁殖期間の把握 硝化細菌による硝化過程の大部分は、濾過床内で進行しているとされており(河合, 1990), NH₄Cl 添加後の海水中のNH₄-N濃度の減少は、アンモニア硝化細菌が骨片及びサンゴ砂に着床して増殖し、アンモニアが亜硝酸に酸化された結果を示すと考えられる。試験1において、NH₄-N濃度は、各濾材ともにほぼ同様の減少傾向を示したことから、アンモニア硝化細菌の増殖の速さは、各濾材間で差がないと判断された。一方、NO₂-N濃度の増減から、亜硝酸硝化細菌も濾材内で増殖したと考えられた。NO₂-N濃度が0mg/lとなるまでの期間には、ややバラツキはみられたが、ヒトデ骨片、サンゴ砂とともにサイズが小さいほど、その期間が短い傾向を示した。この理由については、おそらく濾材の表面積の大小等が関係していると思われる。

一般に、生物学的硝化作用に適した濾材とは、多孔質で単位体積当たりの表面積が広く、閉塞しにくい構造で、耐久性があり、有害物質が含まれないものとされている(田中, 1994)。ヒトデ骨片は、サンゴと同様に多孔質であることが特徴である。また、表1に示したようにサンゴ砂と比較して軽量で、かつ2~4mm程度とサイズも小さいため、用途に応じては、扱い易いよう大型に成型する必要がある。今回の試験では、骨片成型品、骨片どちらも濾材としての有効性が確認された。

サンゴ砂は、濾材として広く用いられ、pH調整用としても効果があるため、種々の濾材と組み合わせて使用されている例が多い。本研究でヒトデ骨片区は、サンゴ砂区と同様のpH変化を示した。これは、ヒトデ骨片の主成分である炭酸カルシウムが、サンゴと同様にpH低下の抑制に作用したためと考えられる。

今回得られた結果から、アンモニア硝化細菌、亜硝酸硝化細菌の繁殖期間は、濾材サイズの違いによる差はあるものの両濾材ともにほぼ同様であり、ヒトデ骨片はサンゴ砂と比べても増殖基質として遜色ないものと考えられた。

試験2 クロソイの循環濾過飼育 これまでの海産魚における閉鎖循環飼育試験では、NH₄-N濃度及びNO₂-N濃度の値を、0.5~1 mg/l以下で維持することで、順調な飼育結果が得られている(齊藤ら, 1993; 丸山ら, 1999; 畠谷ら, 2001; 鴨志田ら, 2006)。

本試験の高密度区(40尾区)におけるNH₄-N及びNO₂-N濃度は、平均で0.69 mg/l及び0.63 mg/lとなったが、1 mg/lを超えることもあった。一方、10~20尾/水槽の密度では、NH₄-N、NO₂-N濃度ともにおよそ0.5 mg/l以下の低いレベルで維持された。このことから、少なく

とも10及び20尾区では、骨片濾材内でアンモニア及び亜硝酸の硝化作用が順調に行われたことを示していると考えられた。

今回、40尾区の平均体重は他区に比べて有意に小さく、血液性状に有意差はないものの、稚魚の観察結果では体色黒化の個体がみられ、健康状態の悪化が予想された。これは、過密に伴う水質悪化が原因と考えられ、40尾区では、飼育数量に比較して、濾材量が少なく、濾材内で十分な硝化が行われなかつたと考えられる。ヒラメの循環飼育試験では、収容密度低下後(間引き後)、顕著な水質改善が認められている(齊藤ら, 1993)。今後、適正な水質環境を保つための濾材量と魚の飼育重量の関係の把握等、さらなる検討が必要である。なお、今回は水換えや脱室を行っておらず、NO₃-N濃度は徐々に増加した。NO₃-N濃度増大の魚体への影響は明らかではないが、今回の短期飼育試験では大きな影響はなかつたと考えられる。

一般に、硝化細菌の増殖活性は、酸性化に伴って低下し、pHの低下は、直接魚類に対して悪影響を及ぼすだけでなく硝化反応も阻害する(河合ら, 1990)。マダイ(鴨志田ら, 2006)及びヒラメ(齊藤ら, 1993)の循環飼育では、pH7.0以上の維持が必要と考えられるが、今回の試験で、特に高密度区では、pH7.0を下回り、魚体や硝化反応に悪影響を及ぼした可能性がある。従って、pHの低下を抑制するための濾材量や持続効果の把握が今後の課題である。

今回の結果は、骨片濾材が、実際の魚類循環飼育でも使用可能であることを示している。ヒトデ骨片は、将来的な種苗生産・養殖の循環飼育用濾材としての利用だけでなく、観賞魚用濾材としても利用可能と考えられる。そのためには、長期使用による耐久性等の検討も必要と思われる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、ヒトデ骨片濾材の作製で協力を頂いた道総研工業試験場の鎌田樹志氏並びに三津橋浩行氏に感謝いたします。

引用文献

麻生真悟, 北川雅彦, 宮崎亜希子, 2-1 ヒトデの有効利用に関する研究.平成19年度釧路水産試験場事業報告書 2009:164.

今井 正, 荒井大介, 森田哲男, 小金隆之, 山本義久, 千田直美, 遠藤雅人, 竹内俊郎, 閉鎖循環式種苗生

産におけるトラフグの成長、生残および飼育水の浄化に及ぼす低塩分の影響.水産増殖, 2010;58(3):373-380.

鎌田樹志, 内山智幸, 三津橋浩行, 浦 晴雄, 松嶋景一郎, 平野繁樹, 篠島裕典, 釧路水産試験場, 中央水産試験場, ヒトデ骨片利用方法の開発. 北海道立工業試験場成果発表会発表要旨2009:17.

鴨志田正晃, 山崎英樹, 山本義久, 閉鎖循環システムを用いたマダイの種苗生産. 栽培技研 2006;33(2):67-76.

河合 章, 生物化学的浄化機構. 活魚大全(本間昭朗編), フジ・テクノシステム, 東京. 1990:325-331.

河合 章, 杉田治男, 出口吉昭, II. 水及び底泥の化学分析. 水族環境学実験, 恒星社厚生閣, 東京, 1988:20-24.

Kikuchi K, Honda H, Kiyono M. Ammonia oxidation in marine biological filters with plastic filter media. Fish.Sci. 1994; 60(2):133-136.

丸山俊朗, 鈴木祥広, 佐藤大輔, 神田 猛, 道下 保, 泡沫分離・硝化システムによるヒラメの閉鎖循環式高密度飼育.日本水産学会誌1999;65(5):818-825.

睦谷一馬, 中瀬玄徳, 柳 秀林, オニオコゼの種苗生産に関する研究—II. 栽培技研 2001; 29(1): 1-7.

齊藤節雄, 高丸禮好, 森 立成, 生物濾過処理による魚類飼育海水の高度利用技術開発試験. 平成4年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書1993:45-51.

田中智浩, 3 生物学的硝化作用とろ材. 海水魚の飼い方基礎編, 朝日ソノラマ, 1994:84-89

吉田夏子, 石田一晃, 笠井久会, 吉水 守, ヒトデ成型骨片への魚類飼育排水処理施設由来細菌の付着性.日本水産学会誌2011;77(1):94-96.

北海道日本海側の河川に遡上したサケの年齢組成

宮腰靖之*, 青山智哉, 藤原 真, 實吉隼人, 楠田 聰, 川村洋司, 小山達也, 卜部浩一, 安藤大成

さけます・内水面水産試験場

Age composition of chum salmon returning to rivers on the Sea of Japan side of Hokkaido

YASUYUKI MIYAKOSHI*, TOMOYA AOYAMA, MAKOTO FUJIWARA, HAYATO SANEYOSHI,
SATOSHI KUSUDA, HILOSHI KAWAMULA, TATSUYA KOYAMA, HIROKAZU URABE, AND DAISEI ANDO

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

Numbers of chum salmon *Oncorhynchus keta* returning to Hokkaido have been at a historically high level since the 1990s; however, recent return rates in the Sea of Japan area fluctuated within a low level. To assess the difference in the return rates of juveniles released in each river, we began to assess the age compositions of chum salmon returning to rivers in the Sea of Japan area. Scales of chum salmon in 10 rivers and 14 rivers were sampled in 2009 and 2010, respectively, and ages were determined. Similar trends were generally observed among the age compositions of chum salmon captured in rivers in the same regions in both years. In 2009, rivers in the same regions generally clustered together in the cluster analysis. Post-release survivals of hatchery-reared juveniles are different among rivers, hatcheries, and fish quality. This study indicates environmental factors, e.g. coastal sea water temperature, would affect the survivals of hatchery-reared chum salmon commonly within each region of the Sea of Japan area.

キーワード：サケ, 日本海, 年齢組成, ふ化放流

北海道へのサケ *Oncorhynchus keta* の回帰数は1970年代以降, 急速に増加し, 1990年代以降は変動しながらも歴史的に高い資源水準を維持している。このように北海道のサケが近年高い資源水準を保っていることには, 北太平洋の良好な海洋環境(帰山, 2004)とふ化放流技術の向上(小林, 2009)が大きく寄与しているものと考えられている。現在北海道に回帰するサケの多くは放流魚であるとされ, 北海道のサケのふ化放流事業は資源増殖の世界的な成功例とされる(Kaeriyama, 1999)。現在, 北海道内の140河川および海中に設置された80地点の生簀から毎年春に合わせて約10億尾の稚魚が放流され, 秋には約5,000万尾(2001~2010年の10カ年平均5,014万尾)の成魚が回帰する。北海道のサケ増殖では全道を5海区(オホーツク, 根室, えりも以東太平洋, えりも以西太平洋, 日本海)14地区(それぞれの海区を2~4地区に区分)に分けて親魚捕獲やふ化放流計画が策定され, ふ化放流事業

が行われている。各地区での放流効果を検証あるいは資源評価をするため, 北海道立水産孵化場(現さけます・内水面水産試験場)では各地区で捕獲尾数の多い1~3河川を調査河川として抽出し, 捕獲されたサケの年齢組成を毎年調べている(北海道立水産孵化場, 2001~2010)。調査河川の年齢組成を基に地区内の河川に遡上したサケの年齢組成が推定され, さらに, その年齢組成を各地区的沿岸漁獲尾数にも乗じることにより, 各地区的年齢別回帰数が推定される。

このようにして各地区的年齢別回帰尾数が評価されるため, 調査河川の年齢組成が当該地区に回帰するサケの年齢組成に強く反映されることとなる。ふ化放流を主体とする現在のサケの増殖では, 放流河川ごと, 放流群ごとに稚魚の生き残りは異なるものと考えられる。そのため, 同一地区内の河川間でも年齢組成は異なる可能性がある。しかし実際には, 鱗を採取して年齢組成を調べる

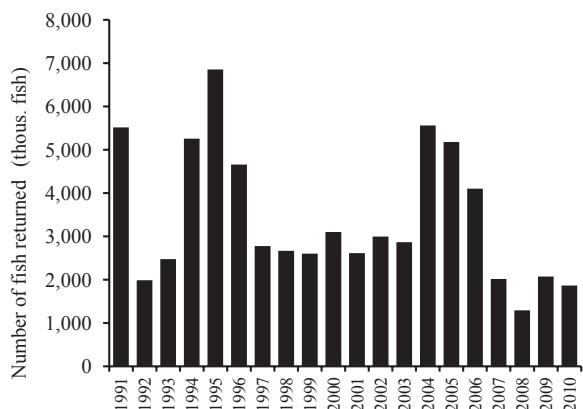


Fig. 1 Recent number of chum salmon returned to the Sea of Japan area of Hokkaido

ことには労力的にも限界があり、地区内の多くの河川間で年齢組成を比較した研究例はみられない。

近年、資源水準が以前と比べて低く推移している日本海区でも (Fig. 1) (Miyakoshi *et al.*, 2007), 5~6河川で年齢組成が調べられてきた。日本海区では資源回復に向けた方策の検討が急がれており、これらの調査河川以外に遡上したサケの年齢組成も調べてそれぞれの河川の放流魚の回帰率を調べることにより、資源回復に向けた方策を検討することが重要であるものと考えられる。そこで、著者らは2009年から日本海側の複数の河川で年齢組成調査を開始した。調査は各河川からの放流魚の生き残りを評価することを目的としており数年間のデータの蓄積が必要であるが、本報告では2009年および2010年の2年分の調査結果から日本海区の各河川でのサケの年齢組成の特徴について報告する。

方 法

調査河川 北海道日本海側でのサケの増殖は、北部（宗谷岬～雄冬岬）、中部（雄冬岬～神威岬）、南部（神威岬～白神岬）の3地区に分けて事業が行われている (Fig. 2)。北海道立水産孵化場による日本海区におけるサケの年齢組成の調査は、2000～2001年は天塩川、暑寒別川、千歳川、野東川、利別川の5河川、2002～2003年は天塩川、暑寒別川、千歳川、野東川、利別川、厚沢部川の6河川、2004年以降は天塩川、暑寒別川、千歳川、尻別川、利別川、厚沢部川の6河川で実施されている（北海道立水産孵化場, 2002-2011）。これらの河川ではウライ（河川を横断して設置される捕獲施設）で捕獲された採卵用親魚のうち、毎旬1回、雌雄各50尾から鱗を採取し、年齢を査定している。

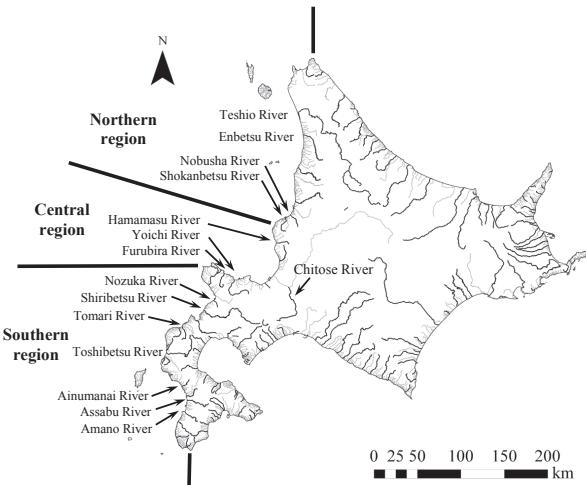


Fig. 2 Locations of rivers where scales of chum salmon were sampled to examine the age composition.

本研究ではこれらの河川に加え、2009年は余市川、古平川、野東川、泊川の4河川、2010年は遠別川、信砂川、浜益川、余市川、古平川、野東川、相沼内川、天の川の8河川でも鱗を採取し、年齢組成を調査した (Table 1)。これらの河川のうち、浜益川、古平川、泊川の3河川を除く河川ではウライを設置し、遡上した親魚の大部分を捕獲した。一方、浜益川、古平川、泊川の3河川では曳網により数回の捕獲が行われた。これらの各河川では、2000年以降毎年調査を実施している河川と同様に、原則として毎旬、雌雄各50尾から年齢査定用の鱗を採取するようにしたが、実際には親魚の蓄養の際に捕獲した親魚を区分できない場合や毎旬捕獲を行わない場合もあり、旬ごとの採鱗ができない河川もあった (Table 1, *印)。

年齢査定 各河川で採取した鱗は、実験室で採鱗用紙から剥してシャーレに移して蒸留水に浸し、表面の粘膜、ゴミなどを取り除いた後、ガム（水貼り）テープに貼り付けた。室温で乾燥後、ガムテープの鱗を添付した面と透明塩化ビニル板 (60×120×0.5 mm) を重ね合わせて、ヒーター付プレス機を用いて鱗のレプリカ標本を作製した。レプリカ標本作成時のプレス機のプレートの温度は約70°Cに設定し、圧力8トンで3分間加圧した後、圧力を10トンに増してさらに2分間加圧した。出来上がった鱗のレプリカを万能投影機で50倍に拡大して年齢を査定した。年齢査定の基準は小林 (1961) に従った。年齢査定は2者が独立して行い、結果を照合して査定ミスを防いだ。

年齢別捕獲数の推定と分析 得られた年齢組成をそれぞれ河川ごとに、旬別、雌雄別に捕獲尾数に乘じた。それらを合計することにより、河川ごとの年齢別捕獲尾数を推定した。

推定された各河川の年齢組成や年齢別捕獲尾数を用い

Table 1 List of rivers where chum salmon were sampled for scale to determine age composition in 2009 and 2010

Region	No.	River	Gear to collect broodstock	2009			2010		
				Duration of broodstock collection	Number of fish captured	Number of days scale sampled	Duration of broodstock collection	Number of fish captured	Number of days scale sampled
Northern region	1	Teshio River	Weir	26 Aug.- 4 Nov.	51,935	7	26 Aug.- 5 Nov.	101,625	6
	2	Enbetsu River	Weir	11 Sep.- 30 Oct.	18,103	-	14 Sep.- 31 Oct.	32,177	3
	3	Nobusha River	Weir	10 Sep.- 23 Oct.	17,366	-	13 Sep.- 25 Oct.	13,988	5
	4	Shokanbetsu River	Weir	13 Sep.- 24 Oct.	25,048	4	15 Sep.- 27 Oct.	16,286	5
Central region	5	Hamamasu River	Seine	4 Oct.- 20 Oct.	108	-	14 Sep.- 25 Oct.	3,164	4
	6	Chitose River	Weir	21 Aug.- 18 Dec.	78,735	9	21 Aug.- 18 Dec.	113,422	12
	7	Yoichi River	Weir	10 Sep.- 7 Nov.	12,775	2	* 6 Sep.- 13 Nov.	22,876	6
	8	Furubira River	Seine	19 Sep.- 24 Oct.	2,910	2	17 Oct.- 7 Nov.	2,009	1
Southern region	9	Nozuka River	Weir	9 Sep.- 23 Oct.	12,136	2	* 21 Sep.- 31 Oct.	6,736	3
	10	Shiribetsu River	Weir	21 Aug.- 27 Oct.	20,511	6	23 Aug.- 2 Nov.	9,348	6
	11	Tomari River	Seine	17 Sep.	393	1	-	-	-
	12	Toshibetsu River	Weir	3 Sep.- 5 Nov.	33,786	5	7 Sep.- 6 Nov.	19,642	6
	13	Ainumanai River	Weir	8 Sep.- 31 Oct.	7,804	-	18 Sep.- 31 Oct.	5,343	2 *
	14	Assabu River	Weir	5 Sep.- 31 Oct.	9,613	5	11 Sep.- 31 Oct.	7,387	4
	15	Amano River	Weir	30 Aug.- 31 Oct.	7,247	-	7 Sep.- 31 Oct.	5,233	2 *

* Asterisks indicate scales were not sample every 10 days

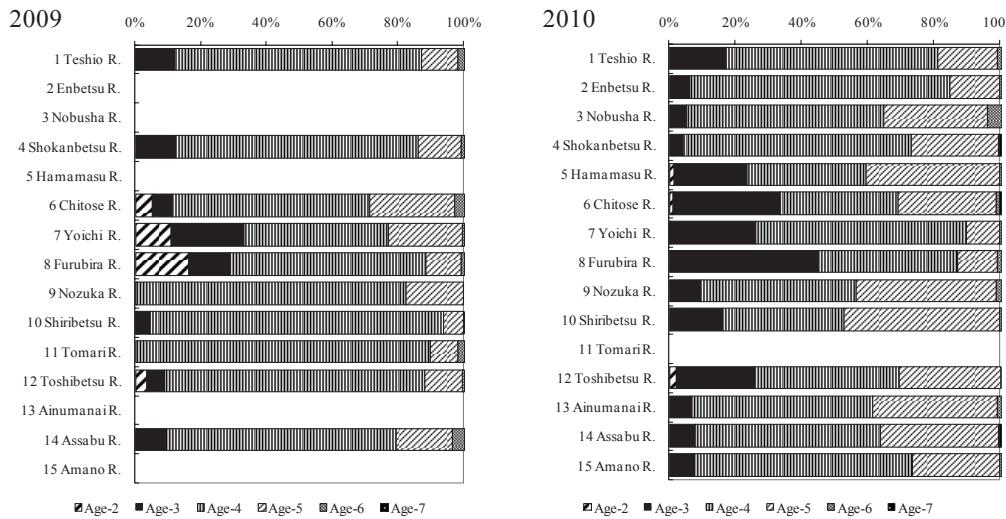


Fig. 3 Age composition of chum salmon returning to rivers in the Sea of Japan area in 2009 and 2010.

て、次の二つの解析を行った。はじめに、各河川の年齢組成を用いてWard法によるクラスター分析を行った。2009年と2010年では調査河川が異なることから分析は年毎に行った。次に、各河川での年齢別捕獲尾数について2009年と2010年との間の数的な関係を調べるために、2009年の2年魚と3年魚の捕獲尾数の比と翌2010年の3年魚と4年魚の捕獲尾数の比の関係、2009年の3年魚と4年魚の捕獲尾数の比と翌2010年の4年魚と5年魚の捕獲尾数の比の関係について線形回帰分析を行った。ここで、2009年と2010年の2カ年とも調査を実施した9河川のうち、曳網で捕獲をした古平川では、2カ年で捕獲回数が異なることから捕獲数の量的な比較は適当ではない可能性があるため分析から除外した。

結 果

地理的に近い河川間では似通った年齢組成を示すことが多く見られた(Fig. 3)。2009年に調査した北部の2河川(天塩川および暑寒別川)は3年魚が11.7%および12.0%，4年魚が75.5%および73.7%，5年魚が10.9%および13.4%と極めて近い値を示した。一方、中部の3河川では2年魚の比率(5.1~16.4%)が高く、4年魚の比率が低い(44.2~60.1%)傾向が見られた。南部の4河川(野東川、尻別川、泊川、利別川)では4年魚の比率が極めて高く(79.3~90.0%)、3年魚の比率が低い(0~5.5%)傾向が見られた。

調査河川の中で最南部に位置する厚沢部川は南部の他の4河川と比べて4年魚の比率がやや低めで(70.3%), 3年魚の比率が高い(9.0%)傾向が見られた。

2010年は前年とは大きく異なる結果となった。北部の3河川(遠別川, 信砂川, 暑寒別川)は3年魚の比率が低く(4.2~6.2%), 4年魚の比率が高めであった(59.7~78.7%)。ただし、最北部に位置する天塩川は3年魚の比率が高く、他の3河川とはやや異なる年齢組成を示した。中部の4河川は3年魚の比率が高い(22.0~44.7%)傾向が見られた。南部の河川では3年魚の比率が低く、5年魚の比率が高い傾向が見られた。ただし南部の中でも利別川のみ3年魚の比率が高く、他の河川とはやや異なる年齢組成であった。

このように地理的に近い河川間では年齢組成も近い値を示すことが多く、クラスター分析でも2009年は中部の千歳川, 余市川, 古平川が一つのクラスターを形成し、北部の2河川や南部の河川もほぼ同一のクラスターに含まれた(Fig. 4)。この年の調査河川のうち最南部に位置する厚沢部川のみ、北部の河川とクラスターを形成したのが唯一の例外であった。2010年も地区内では似通った年齢組成がみられたが、クラスター分析では2009年のように明確な地区ごとのクラスターは形成されなかった。

次に、年齢別捕獲尾数について2009年と2010年との間の数的な関係を見てみると、2009年の2年魚と3年魚の捕獲尾数の比と翌2010年の3年魚と4年魚の捕獲尾数の比の関係、2009年の3年魚と4年魚の捕獲尾数の比と翌2010年

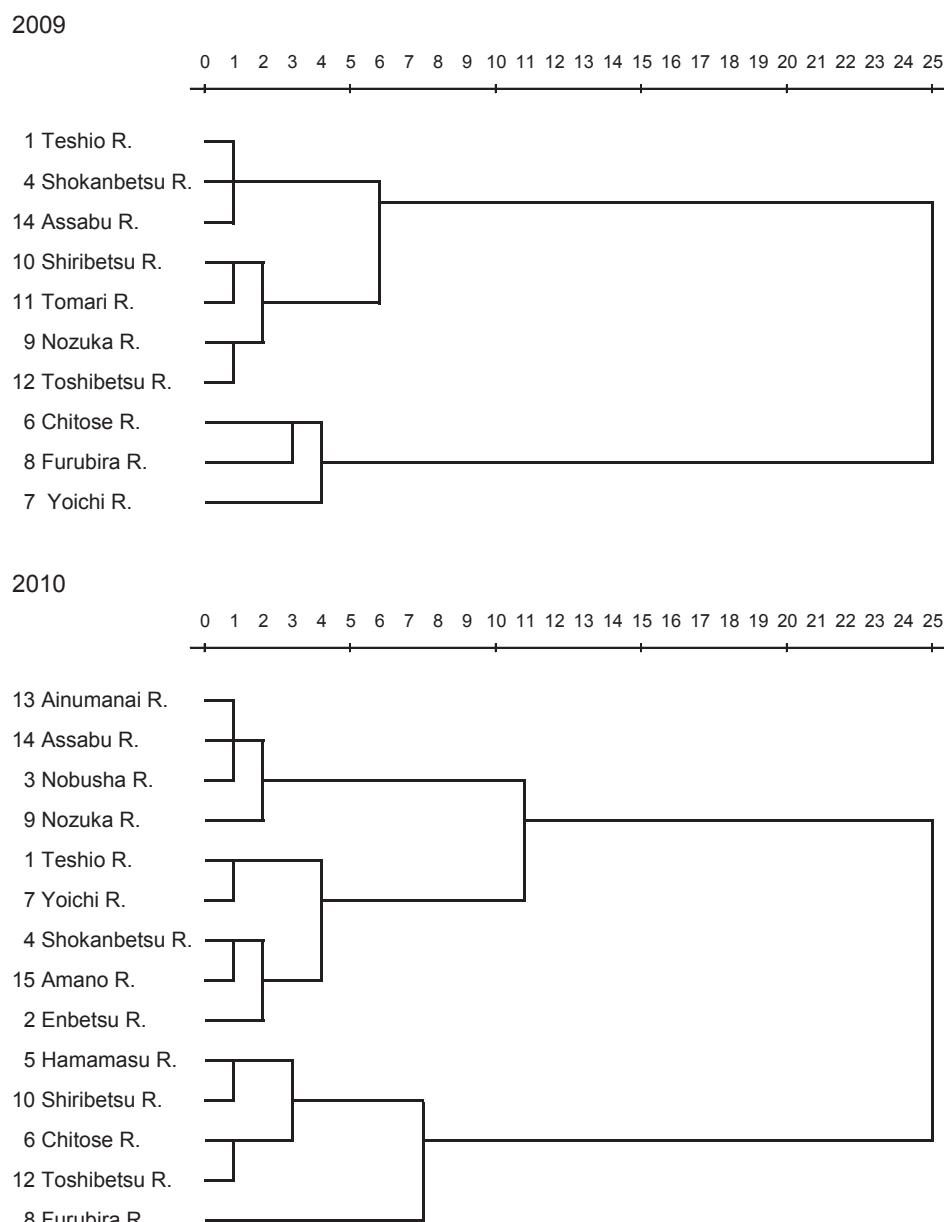


Fig. 4 Dendrogram for rivers surveyed for age composition of chum salmon in 2009 and 2010.

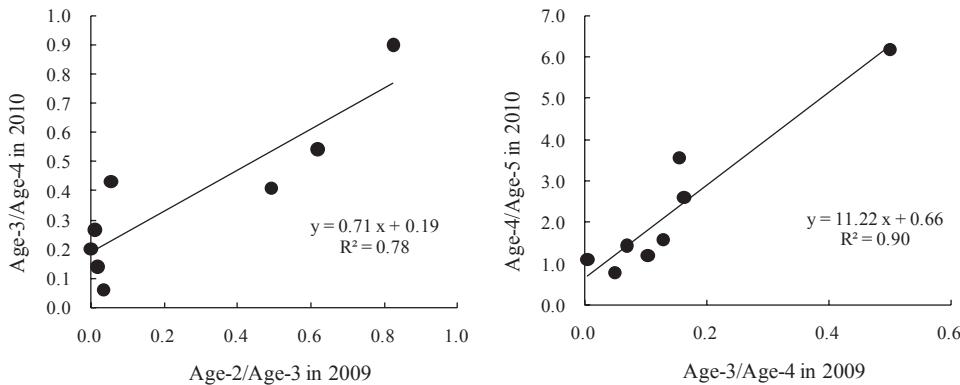


Fig. 5 Relationships between the ratio of number of age-2 chum salmon to number of age-3 fish in 2009 and that of number of age-3 fish to number of age-4 fish in 2010 in each river (left panel) and the ratio of number of age-3 fish to number of age-4 fish in 2009 and that of number of age-4 fish to number of age-5 fish in 2010 in each river (right panel).

の4年魚と5年魚の捕獲尾数の比の関係を見ると有意な正の相関がみられ、連続する2つの年級群の捕獲尾数の比は翌年の捕獲尾数の比に反映することが示された (Fig. 5)。

考 察

本研究では北海道日本海側に位置する河川のうち、2009年には10河川、2010年には14河川に遡上するサケの年齢組成を調べた。現在、北海道日本海側で増殖用のサケ親魚を毎年捕獲している河川は14河川あるが、漁期前に不漁が予測されたため、それら14河川に加えて2009年は6河川、2010年には3河川で補完的に親魚捕獲を実施した。ただしそれらの河川での捕獲数は少なく、本研究では、すべてではないものの日本海側の捕獲河川の多く、特に2010年はほとんどの河川で調査を実施し、河川間および地区間のサケの年齢組成を調べたこととなる。

調査を実施した河川はいずれも毎年放流が行われている河川であり、自然産卵由来のサケの遡上尾数が多くないとすれば、各河川のサケの年齢組成は各年級の放流魚の生き残りの相対的な比により変動する。本研究では2カ年の調査結果しかないと各河川での年級間の生残率に関して多くの議論はできないが、3年魚に対する2年魚の比が高い年の翌年は4年魚に対する3年魚の比も高く、同様に4年魚に対する3年魚の比が高い年の翌年には5年魚に対する4年魚の比が高い結果が得られた (Fig. 5)。このことは海洋生活初期の生き残りが高く、若齢魚の回帰が相対的に良好な年級群は翌年以降の回帰も良好である傾向を示すものと言える。

各河川から放流される稚魚はそれぞれ異なる施設で飼育され、放流月日、場所、サイズ、種苗性など様々な条件が異なる。そのため、各河川の年齢組成からサケの資源評価をする際には飼育ならびに放流の実施状況を詳し

く精査することが不可欠と言える。本研究で年齢組成を調べた河川における放流の実施状況の分析は今後の課題であるが、本研究において、地理的に近い河川が似通った年齢組成を示したことから (Fig. 3)、種苗性の違いはあるにせよ、放流後の沿岸環境などの環境要因が同一地区の異なる河川から放流された稚魚に同じように作用している可能性を示唆するものと推測される。

また、2カ年とも積丹半島を境に年齢組成が大きく異なったことに代表されるように、年齢組成の違いが見られる境界が現在のサケの増殖地区の境界とも概ね一致していた。現在のサケのふ化放流事業では、日本海中部と南部のように地区間の種卵の移植が毎年行われる事業計画となっている地区もあり、サケの増殖に用いる種卵の系群が必ずしも地区ごとに厳格に管理されているわけではない。同じ河川で採卵した種卵の移植放流なども行われているため、そのような措置が地区間あるいは地区内の河川間の年齢組成の類似度に影響している可能性もある。本研究では2カ年分のデータしかなく深い議論はできないが、今後、回帰資源の年齢組成のデータを蓄積し、ふ化放流事業の実施状況 (放流時期、種苗性など)、さらには沿岸環境などのデータも蓄積して、地区間、河川間での放流効果、資源評価を詳しく行うことによって、近年低迷している日本海区のサケの資源回復に向けた方策が検討可能となるものと考えられる。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会の安藤雅規業務課長、佐藤献二郎場長、留萌管内さけ・ます増殖事業協会の小笠原寛事業部長ならびに両協会の職員の皆様に便宜を図っていただいた。遠別、増毛、石狩湾、余市郡、東しゃこたん、古宇郡、

岩内郡, 寿都町, 島牧村, ひやまの各漁業協同組合の職員の皆様には採鱗にあたりご協力いただいた。調査の一部は独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター（現 北海道区水産研究所）天塩事業所および千歳事業所と共同で実施した。年齢査定では林祐子氏, 富長啓伸氏, 高嶋春子氏にご協力いただいた。社団法人北海道栽培漁業振興公社の真山 紘博士には本原稿に対し有益なコメントをいただいた。これらの皆様に厚くお礼申し上げる。なお, 本調査の一部は社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会からの受託研究として実施した。

引用文献

平成12年度～平成21年度事業成績書. 北海道立水産孵化場, 恵庭. 2002～2011.

帰山雅秀. サケの個体群生態学.「サケ・マスの生態と進化（前川光司編）」 文一総合出版, 東京. 2004 ; 137-161.

Kaeriyama M. Hatchery programmes and stock management of salmonid populations in Japan. In: Howell BR, Moksness E, Svåsand T (eds). *Stock Enhancement and Sea Ranching*, Blackwell Science, Oxford, 1999; 153-167.

小林哲夫. サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の年齢, 成長並びに系統に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1961 ; 16 : 1-102.

Kobayashi T. Salmon ranching in Japan. In: Thorpe JE (ed). *Salmon Ranching*, Academic Press, London, 1980; 91-107.

小林哲夫.「日本サケ・マス増殖史」 北海道大学出版会, 札幌. 2009.

Miyakoshi Y, Saitoh S, Matsuoka A, Takada M, Asami H, Fujiwara M, Nagata M. Comparison of release timing of hatchery-reared juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) to spring coastal sea surface temperature during high and low survival period. In: Nishida T, KailolaPJ, Caton AE (eds). *GIS/Spatial Analyses in Fishery and Aquatic Sciences (Volume 3)*, 2007; 227-239.

北海道東部当幌川水系におけるカラフトマス天然産卵集団の存在(短報)

虎尾 充*, 永田光博, 佐々木義隆, 竹内勝巳, 春日井潔

さけます・内水面水産試験場

Evidence for existence of wild population of pink salmon in the Tohoro River system flowing into Nemuro Strait, eastern Hokkaido, Japan (Short Paper)

MITSURU TORAO*, MITSUHIRO NAGATA, YOSHITAKA SASAKI, KATSUMI TAKEUCHI AND KIYOSHI KASUGAI

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

The homing migration behavior of the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* was investigated in the Tohoro River system in eastern Hokkaido. Juvenile pink salmon were released into the Tohoro River after their otoliths were marked with alizarin complexone (ALC). For this study, the number of returned living adult pink salmon and their post-reproduction carcasses were visually counted, and fork lengths of the carcasses were measured. Otoliths were collected from the carcasses in the Tohoro River, where the marked juvenile fish had been released and from the Sakura River, its tributary. It was concluded that the marked fish selectively returned to the Tohoro River and that unmarked fish selectively returned to the Sakura River. Furthermore, unmarked fish were significantly smaller in body size than marked fish. These results therefore suggest that the unmarked fish were a wild population that had been reproducing independent of the released fish.

keywords : ALC otolith marking, homing, *Oncorhynchus gorbuscha*, pink salmon, wild population,

Pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) form an important fishery resource in eastern Hokkaido. There have been increasing population fluctuations in these waters in recent years, and resource management technique is therefore needed. However, biological information on pink salmon in Japan for realizing the management is insufficient. Because pink salmon generally have a fixed two-year life cycle, it has been suggested that odd and even-year populations of pink salmon do not interbreed and have different life history traits (Heard, 1991), and two-year cycle dominance in pink salmon fisheries tends to persist (Nagata *et al.*, 2008). The population size of pink salmon started sharply increasing in the 1990s and this is believed to be mainly due to an increase in the wild population (Morita *et al.*, 2006). While, salmonid fishes

tend to return to their natal site for reproduction, but among salmonids, pink salmon have a greater tendency to stray (Quinn, 1984). However, a distribution of wild population and degree of straying of pink salmon in Japan are still poorly understood. We attach importance that knowledge of information of wild population and a straying is important for the resource management of a pink salmon. To investigate whether a wild population was present or not in the Tohoro River system and the homing behavior of pink salmon, we released the marked fish and studied their homing behavior.

Materials and Methods

This study was conducted at the Tohoro River system in

Accepted: May, 18, 2011. Contribution A469 from the Hokkaido Fisheries Research Department

* Tel: 0153-72-6141. Fax: 0153-72-5188. Email: torao-mitsuru@hro.or.jp

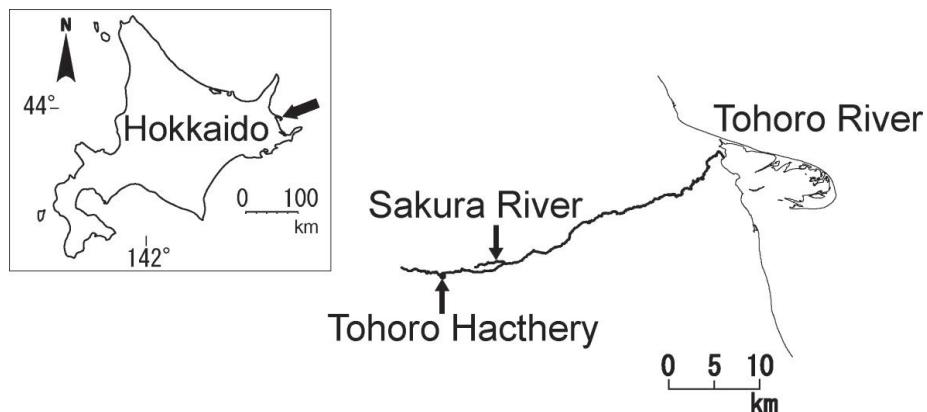


Fig. 1 Area surveyed for adult pink salmon in the Tohoro River and Sakura River (a tributary) during July–October 2008 and 2009. Marked juvenile pink salmon were released from the Tohoro Hatchery in 2007 and 2008.

eastern Hokkaido, where it flows into Nemuro Bay (Fig. 1). To enable identification of the released fish, the otoliths of all 2006-class and 2007-class pink salmon to be released were marked at the eyed egg stage using alizarin complexone (ALC). Altogether, 4.8 million fish of 2006-class were released to Tohoro River, 2.3 million fish (48.0%) of which derived from the Tohoro River adult pink salmon. Non-natal fish ratio was 52% (Nishibetsu River; 26.8%, Shunbetsu River; 25.3%). Of the 2007 year class, 4.4 million released fish were comprised of 21.2% (0.9 million) of Tohoro River fish and 78.8% (3.4 million) of juvenile originated from the transplanted eggs from Nishibetsu River. Between late March and early April in 2007 and between early and mid-April in 2008, the marked fish were released into the Tohoro River from the Tohoro Hatchery of the Nemuro Salmon Enhancement Programs Association.

Surveys on the adult returning were conducted every 10 days between early September and late October in 2008 and between late July and late October in 2009. Two river sections were surveyed: an 800-m section of the Tohoro River including the release point at the Tohoro Hatchery and an 800-m section of the Sakura River (tributary) starting at the confluence of the two rivers (approx. 10 km downstream of the former section). Along these sections, visual counts of live adult fish and post-reproduction carcasses were conducted. The sex and fork length of all the carcasses found were recorded and their otoliths were collected. The otoliths were observed under a fluorescence microscope to check for the presence of ALC marking. Temporal differences in the sightings of the returning pink salmon in the Tohoro River and the Sakura River were analyzed by the chi-square

test. Differences in the mix rate of ALC-marking of the otoliths collected from the two rivers were also analyzed by the chi-square test.

Results and Discussion

Figure 2 shows changes in the sightings of adult pink salmon and the counts of post-reproduction carcasses. Based on these trends, the peaks of reproduction in the two rivers are inferred to have occurred approximately 10 days apart from each other. In 2008, the number of sightings was the highest in the Tohoro River in late September at 166, which decreased rapidly to 98 in early October, to 18 in mid-October and to 0 in late October. On the other hand, in the Sakura River, the highest number of sightings was recorded in early October at 1,014, which rapidly decreased to 388 in mid-October and to 20 in late October. Counts of the carcasses peaked between early and mid-October, approximately 10 days after the peak of the sightings. Based on these results, it was suggested that the peak spawning period in the Sakura River occurred approximately 10 days after the peak spawning period in the Tohoro River. In 2009, however, few adult pink salmon were seen in the Tohoro River (two sightings and two carcasses). On the other hand, in the Sakura River where a sufficient number of live adult fish was sighted and post-reproduction carcasses counted, the peak reproduction in 2009 was approximately a month earlier when compared to that in 2008.

Figure 3 shows changes in the number of ALC-marked and unmarked pink salmon among the carcasses. The number of marked fish that returned was significantly higher in the

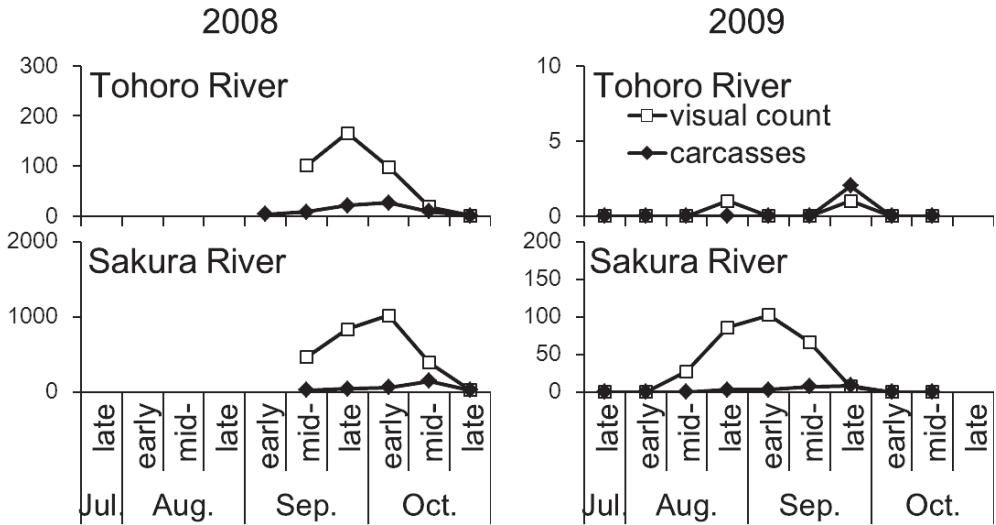


Fig. 2 Changes in the number of adult pink salmon observed and carcasses collected in Tohoro River and Sakura River in 2008 and 2009. Open squares show the number of fish from visual counts. Solid diamonds show the number of carcasses.

Tohoro River when compared to the Sakura River in 2008, indicating that the released (marked) fish selectively returned to the Tohoro River and that the unmarked fish selectively returned to the Sakura River in 2008. In 2008, otoliths were collected from 80 fish in the Tohoro River, 47 of which were ALC-marked (58.8%). On the other hand, in the Sakura River, otoliths were collected from 175 fish, nine of which were ALC-marked (5.1%). In 2008, returns of marked fish were significantly different between the two rivers (chi-square test, $p<0.05$). In 2009, the number of adult pink salmon returned was much smaller than that in 2008 both the Tohoro and Sakura Rivers. The two carcasses found in the Tohoro River was a no tagged fish in 2009. A total of 23 carcasses found in the Sakura River in 2009, of which seven fish were marked fish (30.4%). In 2008, therefore, although a small number of marked fish appear to have strayed into the tributary, the marked fish seem to have selectively returned to the Tohoro River (where they had been released) for spawning. There was also a significant difference in the percentage of marked fish found in the Sakura River between 2008 and 2009 (chi-square test, $p<0.05$). These results may indicate that the proportion of stray fish differed between year classes. Meanwhile, based on the sightings of returned fish and the counts of carcasses, we infer that the peak spawning period differed between the two rivers. This was because unmarked fish spawned later than marked fish, and returns of unmarked fish were higher in the Sakura River.

The unmarked fish were smaller in size than the marked fish (Fig. 4). In 2008, the average fork length of the female carcasses was 45-51 cm for the ALC-marked fish and 37-46 cm for the unmarked fish in both the Tohoro River and Sakura River. Of the male carcasses, the average fork length was 48-57 cm for the ALC-marked fish and 37-47 cm for the unmarked fish. For both females and males, the average fork length was significantly higher in the marked fish than in the unmarked fish. On the other hand, in 2009, when the marked fish were larger in the case of males only, the fork length was not significantly different in females between the marked and the unmarked fish. This is because, in 2009, in both females and males, the average fork length of the returned fish was 10 cm longer than in 2008, thereby reducing the relative size difference between the marked and unmarked fish. In both females and males, the unmarked fish tended to be smaller than the marked fish. Also, there was a size difference between fish of different year classes and the even-year fish were larger than the odd-year fish.

In this study, it is suggested that the marked fish mainly ran the Tohoro River and the unmarked fish mainly ran the Sakura River for spawning although there was straying each other. There is a notion that pink salmon are more tend to stray than other Pacific salmon species (Quinn 1984). The unmarked fish found in the Tohoro and Sakura Rivers in this study may be the strays of the hatchery fish released to other rivers. But, the Sakura River population had life-history traits

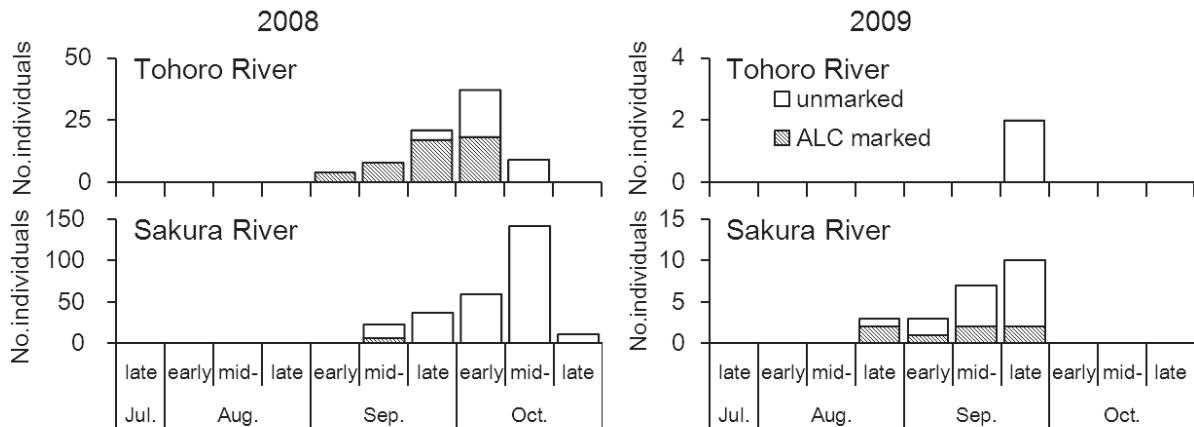


Fig. 3 Changes in the number of ALC-marked and unmarked adult pink salmon carcasses collected in the Tohoro and Sakura Rivers in 2008 and 2009.

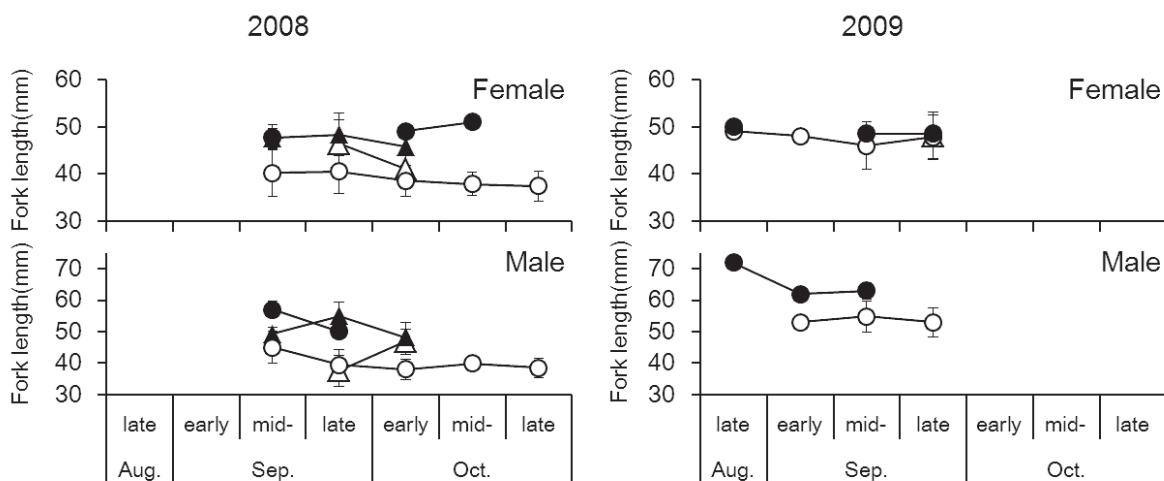


Fig. 4 Comparison of the mean fork length between ALC-marked and unmarked pink salmon carcasses in the Tohoro and Sakura Rivers in 2008 and 2009. Solid and open triangles show ALC-marked and unmarked fish in the Tohoro River respectively. Solid and open circles show ALC-marked and unmarked fish in the Sakura River, respectively.

differing from those of the marked fish (i.e., body size and reproduction timing). Therefore, we conclude that the population of smaller pink salmon in the Sakura River was a population derived from naturally spawned eggs. It is possible that such populations have been reproducing independently of the current artificial hatching and stocking program, and it is necessary in the future to quantitatively monitor these populations and identify how they contribute to the fishery.

LITERATURE CITED

- Heard WR. Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). In: Groot C, Margolis L (eds). *Pacific Salmon Life Histories*. UBC Press, Vancouver, Canada. 1991; 119-230.
- Morita K, Morita SH, Fukuwaka M. Population dynamics of Japanese pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*): are recent increases explained by hatchery programs or climatic variations? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2006; 63: 55-62.
- Nagata M, Ando D, Fujiwara M, Miyakoshi Y, Sawada M, Shimada H, Asami H. A shift in pink salmon dominance

in the Okhotsk Sea of Hokkaido in relation to coastal environments during early sea life. *NPAFC Bulletin* 2008, 4; 237-249.

Quinn TP. A review of homing and straying of wild and hatchery-produced salmon. *Fisheries Research* 1993; 18: 29-44.

北海道におけるサケ自然産卵個体群の分布(資料)

宮腰靖之*, ト部浩一, 安藤大成, 實吉隼人, 青山智哉, 坂本博幸, 春日井潔, 永田光博

さけます・内水面水産試験場

Distribution of naturally spawning chum salmon populations in Hokkaido (Note)

YASUYUKI MIYAKOSHI*, HIROKAZU URABE, DAISEI ANDO, HAYATO SANEYOSHI,
TOMOYA AOYAMA, HIROYUKI SAKAMOTO, KIYOSHI KASUGAI, AND MITSUHIRO NAGATA

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

キーワード：サケ，自然産卵，分布，北海道

北海道へのサケ *Oncorhynchus keta* の来遊数は1970年代以降急速に増加し、1990年代以降も変動はありながらも高い資源水準を維持している。近年のサケの来遊数の増加には北太平洋の良好な海洋環境（帰山, 2004）とふ化放流技術の向上（小林, 2009），さらに公海での沖獲り漁業の終了（Morita *et al.*, 2006）も影響しているものと考えられている。現在北海道に来遊するサケの多くは放流魚であるとされ、北海道のサケのふ化放流事業は資源増殖の世界的な成功例とされる（Kaeriyama, 1999）。現在では北海道内の140河川および海中に設置された80地点の生簀から、毎年春に計約10億尾の稚魚が放流され（図1），

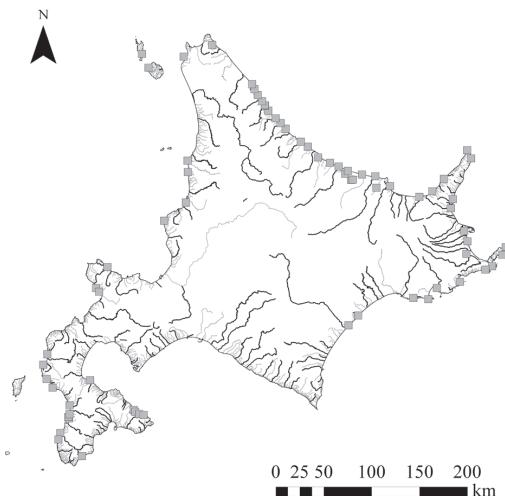


図1 北海道におけるサケの放流実施場所。太線が放流実施水系（本流のみを示す），は海中飼育放流地点を示す。

秋には毎年約5,000万尾の成魚が来遊する。将来的にもふ化放流事業は北海道におけるサケの主要な増殖手法となることは間違いないものと思われるが、一方で、長期間にわたってサケ資源を適切に管理し、持続的に利用するためには、自然再生産個体群とそれを支える良好な産卵環境の保全が不可欠であるとの指摘もある（Mobrand *et al.*, 2005）。

最近も北海道内の河川でサケの自然産卵が確認され、報告事例も見られる（鈴木, 1999；岡本, 2000；斎藤, 2000）。しかしながら、北海道全域でのサケの自然再生産の状況を包括的に調査した事例は見られていない。そこで、著者らは2008年および2009年に北海道全域を対象としてサケの遡上と自然産卵の有無の調査を実施した（Miyakoshi *et al.*, 2011）。その調査結果を取りまとめた論文の中で、彼らはサケの自然産卵が確認された河川数などを報告しているが、実際に自然産卵が確認された河川名や確認地点はほとんど記載されていない。また、放流や親魚捕獲の行われていない河川を中心にサケの自然産卵の有無の状況を記載しており、放流や捕獲が行われている河川での自然産卵状況の記載は省略されている（Miyakoshi *et al.*, 2011）。

今後、サケの自然産卵個体群と産卵環境を保全していくためには、サケの自然産卵の見られた河川や確認地点の情報を蓄積していくことが重要であると考えられる。そこで、本報告では2008年および2009年に北海道立水産孵化場（現さけます・内水面水産試験場）が実施した調査においてサケの自然産卵が確認された河川名と確認地

点を記載する。また、2005年以降に実施された他の調査においてサケの遡上が確認された年月日と地点も記載し、サケの自然産卵状況のデータベース化について提案する。

方 法

調査河川の選定 2008年および2009年、サケの自然産卵個体群の有無を調べるために、北海道内の1,500の河川のうち流路延長8 km以上の河川を対象として調査を実施した。流路延長8 kmを河川選定の基準とした理由は、調査にかけられる時間に制約があり調査河川数を絞り込む必要があったことと、2006年および2007年に日高管内で実施した予備調査（宮腰、未発表）において、流路延長8 km未満の小規模河川では流量が少ない河川が多く、それらの河川ではサケが毎年遡上できる可能性は高くないと考えられたためである。ただし、8 km未満であっても過去にサケの放流履歴のある河川については調査対象に加えることとした。一方、礼文島、利尻島、奥尻島の河川は調査対象から除外した。

調査を実施するにあたり、サケの増殖を目的とする稚魚放流や親魚捕獲の有無を基準として下記のように河川を区分し、調査対象の河川リストを作成した。

河川区分1) 非放流・非捕獲河川（放流履歴なし）：現在、稚魚の放流も親魚捕獲も実施しておらず、過去に放流を実施した履歴（記録）のない河川。

河川区分2) 非放流・非捕獲河川（放流履歴あり）：現在、稚魚の放流も親魚捕獲も実施していないが、過去に放流を実施した履歴（記録）のある河川。

河川区分3) 放流・非捕獲河川：現在、稚魚の放流を実施しているが、親魚の捕獲は実施していない河川。

河川区分4) 放流・捕獲河川：現在、稚魚の放流を実施しており、採卵用親魚の捕獲も実施している河川。

現地調査にあたっては時間的な制約があり8 km以上の河川すべてを調査することはできなかったので、非放流・非捕獲河川（河川区分1および2）、放流・非捕獲河川（河川区分3）の調査を優先させ、放流・捕獲河川（河川区分4）は優先順位を下位とした。また、放流・捕獲河川（河川区分4）では捕獲場より下流側での調査は実施せず、水系内で放流をしていない支流を中心に調査を実施した。2009年の調査では、前年の調査において産卵環境が損なわれサケの自然再生産の可能性が極めて低いと考えられた河川を調査対象から除外した。

調査方法 各調査河川ではアクセスが良く、見通しのいい

い場所を中心として1～8箇所の調査地点を設け、目視によりサケ親魚および死骸、産卵床を確認した。調査地点は橋の上下流に設定する場合が多く、その場合には橋の上から川を見下ろしてサケの自然産卵の有無を確認した。調査地点ではハンディGPSで緯度・経度を記録した後、時刻、親魚数、死骸数、産卵床の数を記録し、さらに川幅、河床材料（砂、細礫、中礫、大礫、巨礫、岩盤、護岸）を記録した。調査時期は9月から12月の間、各地区でのサケの増殖用の親魚捕獲の盛期前後とし、各河川で1～2回の調査を実施した。

データ集計 2008年および2009年の2カ年の調査結果から、流路延長8 km以上の非放流・非捕獲河川（河川区分1および2）と放流・非捕獲河川（河川区分3）についてサケの自然産卵の確認された河川数を集計した（表1）。次に、流路延長8 km未満の河川と放流・捕獲河川を含むすべての河川について、サケの自然産卵の有無が確認された地点数を河川ごとに示した（表2）。表2では、河川（水系）別、支流別に調査年月日、地点数を示し、サケの自然産卵が確認された場合には、確認された最上流地点の緯度・経度も示した。また、北海道立水産孵化場の他の調査においてサケの自然産卵が確認された箇所についても同様に記載した。表2に記した水系名、河川（支流）名、水系番号、河川番号は北海道土木協会（1995）に従った。

結 果

2008年および2009年に全道規模で実施したサケの自然産卵状況調査の結果を流路延長8 km以上の河川について整理すると（表1）、非放流・非捕獲河川（河川区分1および2）と放流・非捕獲河川（河川区分3）を合わせた238の調査河川のうち、2008年は104河川、2009年は89河川でサケの自然産卵が確認された（Miyakoshi *et al.*, 2011）。非放流・非捕獲河川では、2008年は59河川（調査河川中の31.4%）、2009年は50河川（同37.6%）で、放流・非捕獲河川では、2008年は45河川（同の90.0%）、2009年は39河川（同86.7%）でサケの自然産卵が確認された。

流路延長8 km未満の河川を加えると、非放流・非捕獲河川では2008年は64河川（82地点）、2009年は53河川（80地点）でサケの自然産卵が確認された（図2）。2008年および2009年にはそれぞれ76河川および84河川で増殖用の親魚捕獲が実施されており、これらを合計すると2008年に北海道内の191河川、2009年は175河川でサケの遡上が確認されたこととなる。

さらに、2005年以降の北海道立水産孵化場が実施した他の調査においてサケが確認された河川も含めると、307

河川（水系）442支流のデータが集まり（表2），その結果，北海道内の85の非放流・非捕獲河川（河川区分1および2）

でサケの自然産卵が確認され，増殖用の親魚捕獲河川と合わせると計206河川へのサケの遡上が確認された。

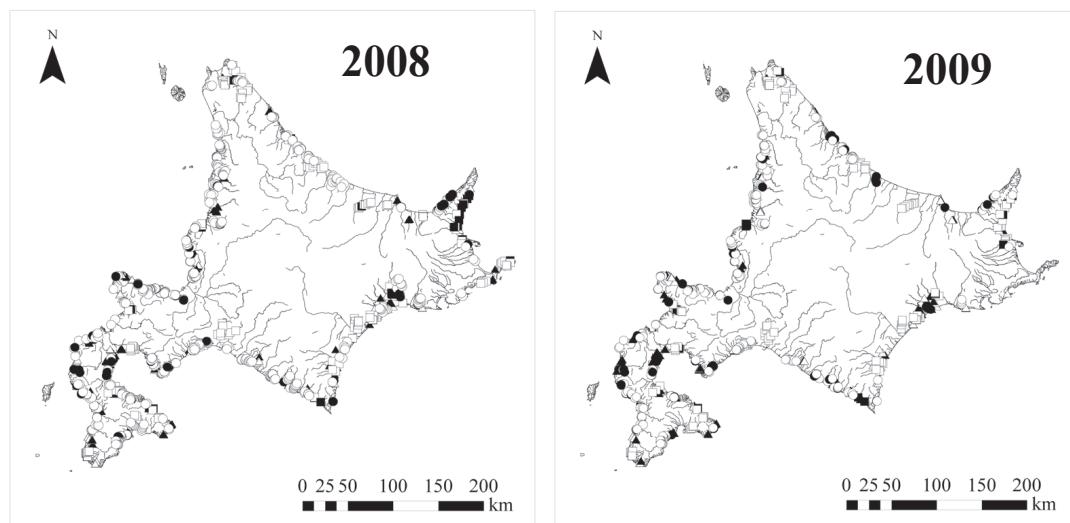


図2 北海道におけるサケの自然再生産の分布状況。

○は非放流・非捕獲河川（放流履歴なし；河川区分1），□は非放流・非捕獲河川（放流履歴あり；河川区分2），△は放流・非捕獲河川（河川区分3），それぞれ黒は再生産確認地点，白は確認できなかった地点を示す。

表1. 2008年と2009年にサケの自然産卵状況を調査した河川数および自然産卵が確認された河川数（流路延長8 km以上）

海区	非放流・非捕獲河川								放流・非捕獲河川*1								
	放流履歴なし*1				放流履歴あり*1				計				放流・非捕獲河川*1				
	調査河川数*2	自然産卵が確認された河川数*3	調査河川数*2	自然産卵が確認された河川数*3	調査河川数*2	自然産卵が確認された河川数*3	調査河川数*2	自然産卵が確認された河川数*3	調査河川数*2	自然産卵が確認された河川数*3	調査河川数*2	自然産卵が確認された河川数*3	調査河川数*2	自然産卵が確認された河川数*3	調査河川数*2	自然産卵が確認された河川数*3	
オホーツク	26 {12}	10 8	8 {1}	2 1	34 {13}	12 9	3 {1}	2 1	37								
		(38.5) (57.1)		(25.0) (14.3)		(35.3) (42.9)											
根室	3 {0}	2 0	7 {0}	7 4	10 {0}	9 4	4 {2}	3 2	14								
		(66.7) (0.0)		(100.0) (57.1)		(90.0) (40.0)											
えりも以東	10 {7}	3 1	7 {5}	1 1	17 {12}	4 2	10 {1}	8 7	27								
		(30.0) (33.3)		(14.3) (50.0)		(23.5) (40.0)											
えりも以西	46 {15}	11 11	12 {2}	3 4	58 {17}	14 15	14 {0}	14 14	72								
		(23.9) (35.5)		(25.0) (40.0)		(24.1) (36.6)											
日本海	63 {13}	15 18	6 {0}	5 2	69 {13}	20 20	19 {1}	18 15	88								
		(23.8) (36.0)		(83.3) (33.3)		(29.0) (35.7)											
全道計	148 {47}	41 38	40 {8}	18 12	188 {55}	59 50	50 {5}	45 39	238								
		(27.7) (37.6)		(45.0) (37.5)		(31.4) (37.6)											

*1 非放流・非捕獲河川（放流履歴なし）は本文中の「河川区分1」，非放流・非捕獲河川（放流履歴あり）は「河川区分2」，放流・非捕獲河川は「河川区分3」に相当する

*2 { }内の数値は，2008年の調査で産卵環境が劣悪と判断されたため2009年の調査から除外した河川数を示す

*3 ()の数値は，調査河川のうちサケの自然産卵が確認された河川のパーセントを示す

表2. サケ自然産卵の調査河川, 調査年月日, 調査地点数および自然産卵確認月日および地点.

支庁	水系名	河川区分番号*1	水系番号	河川名(支流名)	2008年					2009年					その他調査						
					調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	確認年月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	
石狩	新川	1	1001	163 琴似堺寒川	10/6	4	10/6	2	43.08661	141.30286	10/14	1	10/14	1	43.08687	141.30272					
石狩川	4 1002 300	当別川			10/6	2															
	1002 490	豊平川			10/6	1	10/6	1	43.01149	141.44010											
	1002 510	厚別川			10/6	3															
	1002 2190	島松川															2010/10/27	1	42.92323	141.53830	
	1002 2490	漁川			9/4~12/8	8	9/4~12/8	8	42.86222	141.55916	8/31~12/25	6	8/31~12/25	6	42.87586	141.57226					
	1002 2500	茂漁川			9/4~12/9	2	10/6~11/28	1									2007/12/21	3	42.88501	141.55937	
	1002 2730	長都川			11/5	6	11/5	1	42.86147	141.61492											
	1002 2750	ユカンボシ川			11/5	1															
	1002 2820	ママチ川			11/5	1															
	1002 2980	夕張川			10/6	5															
	1002 4320	幾春別川			10/6	5															
正利冠川	1 1004 10	正利冠川			9/30	4					10/15	3									
望来川	1 1005 10	望来川			9/30	5					10/15	3									
古潭川	1 1007 10	古潭川			9/30	3					10/15	2									
厚田川	3 1009 10	厚田川			9/30, 10/29	5	9/30	2	43.44045	141.50756	10/15	1	10/15	1	43.40526	141.47713					
	1009 120	左股川			9/30, 10/29	1	10/29	1	43.44065	141.50568	10/15	1	10/15	1	43.44066	141.50568					
濃星川	1 1018 10	濃星川			9/30, 10/29	3	10/29	1	43.47832	141.39163	10/15	2	10/15	1	43.47818	141.39182					
昆砂別川	1 1020 10	昆砂別川			9/30, 10/29	3	9/30, 10/29	2	43.55518	141.40778	10/15	2	10/15	1	43.55788	141.37831					
浜益川	3 1021 10	浜益川			9/30	2	9/30	1	43.58392	141.41747	10/15	2	10/15	2	43.58325	141.42866					
群別川	1 1024 10	群別川			9/30, 10/29	4	9/30	1	43.62207	141.37881	10/15	2	10/15	1	43.62326	141.36488					
幌川	1 1025 10	幌川			9/30, 10/29	2	10/29	1	43.64578	141.35266	10/15	2									
床丹川	1 1027 10	床丹川			9/30	2					10/15	2									
千代志別川	1 1028 10	千代志別川			9/30, 10/29	3					10/15	1									
留萌	大別刈川	1 2011 10	大別刈川		10/8	3															
	箸別川	2 2020 10	箸別川		9/30, 10/8	6	10/8	2	43.82178	141.54940	10/7	3	10/7	3	43.83220	141.55106					
		2020 20	小川ノ沢川		9/30	3	9/30	1	43.84484	141.56288	10/7	1	10/7	1	43.84357	141.56733					
	2020 30	湯ノ沢川			10/8	1															
留萌川	1 2029 10	留萌川			9/30	3															
	2029 150	桜庭川			9/30	1					10/6	1									
	2029 170	中幌熊川			9/30	1					10/6	1									
	2029 190	チバベリ川			9/30	1					10/6	1									
	2029 260	ポンルモッペ川			9/30	6					10/6	4									
小平葵川	3 2033 10	小平葵川			10/8	2															
	2033 110	ポン沖内川			10/8	2	10/8	1	43.99920	141.75594	10/6	1									
	2033 120	沖内川			10/8	3					10/6	2									
	2033 150	オトイチセロ川			10/8	1															
大般子川	1 2035 10	大般子川			10/8	3					10/6	3									
小般子川	1 2037 10	小般子川			10/8	4					10/6	4									
温寧川	1 2044 10	温寧川			10/8	4					10/6	4									
古丹別川	1 2054 10	古丹別川			10/8	6	10/8	1	44.24170	141.77184	10/8	5	10/8	2	44.23057	141.78946					
	2054 100	三毛別川			10/8	1															
	2054 230	アノトロマ川			10/8	1															
羽幌川	3 2060 10	羽幌川			10/3	1															
	2060 60	二股沢川			10/3	5	10/3	2	44.33277	141.77052	10/7	3	10/7	2	44.33278	141.77052					
	2060 100	計那詩川			10/3	1															
築別川	1 2065 10	築別川			10/3	4					10/7	2									
	2065 90	三毛別川			10/3	3					10/7	3									
茂築別川	1 2068 10	茂築別川			10/3	2					10/7	2									
	2068 40	七線沢川			10/3	1					10/7	1									
セタキナイ川	1 2069 10	セタキナイ川			10/3	3					10/7	3									

*1 河川区分 1: 非放流・非捕獲河川 (放流履歴なし), 2: 非放流・非捕獲河川 (放流履歴あり), 3: 放流・非捕獲河川, 4: 放流・捕獲河川

*2 ここで「確認」とはサケの親魚、死骸、産卵床のいずれかが確認されたことを示す

*3 確認地点の緯度・経度は、サケの自然産卵が確認された最上流地点の緯度・経度 (世界測地系: WGS84) を示す

表2. つづき

支庁	水系名	河川				2008年				2009年				その他調査						
		水系区分	河川番号	河川名(支流名)	調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	確認年月日*2	確認地点数	確認緯度(°)	確認経度(°)
留萌	初山別川	1	2075	10 初山別川	10/3	3					10/7	3	10/7	1	44.51480	141.79567				
	茂初山別川	1	2076	10 茂初山別川	10/3	3					10/7	3								
	風連別川	3	2078	10 風連別川	10/3	3	10/3	3	44.55287	141.82993	10/7	3	10/7	3	44.55288	141.82993				
	登駒内川	1	2081	10 登駒内川	10/1	2					10/7	2								
	オタコシベツ川	1	2083	10 オタコシベツ川	10/1	5					10/7	3								
		2083	20	サラボオマナイ川	10/1	1					10/7	1								
	モオタコシベツ川	1	2084	10 モオタコシベツ川	10/1	2					10/7	3								
	ウツツ川	1	2091	10 ウツツ川	10/1	3					10/7	3								
	バロマウツナイ川	1	2092	10 バロマウツナイ川	10/1	3														
	サラキタナイ川	1	2094	10 サラキタナイ川	10/1	2														
	トコツナイ川	1	2095	10 トコツナイ川	10/1	1														
	天塩川	4	2096	1050 雄信内川	10/1	1														
		2096	1230 間寒別川		10/1	1														
		2096	4080 サンル川		11/11	5														
宗谷	勇知川	1	3003	10 勇知川	10/1	2														
		3003	110 勇知支流川		10/1	1														
	声問川	2	3015	290 タツニウシュナイ川	10/1	2					10/8	2								
		3015	300 ニタロオマナイ川		10/1	2					10/8	2								
		3015	460 宇流谷川		10/1	3					10/8	3								
	増幌川	3	3016	10 増幌川	10/1	2	10/1	1	45.33710	141.86020	10/8	2	10/8	2	45.33412	141.86536				
	目梨川	1	3027	10 目梨川	10/1	1														
	時前川	2	3028	10 時前川	10/1	1														
		3028	30 一の沢川		10/1	1														
	下苗太路川	2	3029	10 下苗太路川	10/1	1					10/20	1	10/20	1	45.39297	142.04852				
		3029	20 上苗太路川		10/1	1					10/20	1								
	鬼志別川	2	3032	10 鬼志別川	10/2	4	10/2	2	45.30323	142.01782	10/20	2								
	猿骨川	1	3033	10 猿骨川	10/2	2					10/20	1								
		3033	20 エコペ川		10/2	3					10/20	1								
		3033	30 一号線川		10/2	1					10/20	1								
		3033	40 エコペー号線川								10/20	1								
		3033	60 タンネペナイ川		10/2	1														
	猿払川	2	3034	10 猿払川	10/2	3					10/20	2								
		3034	50 狩別川		10/2	3					10/20	1								
		3034	70 一号線川		10/2	1														
		3034	190 成田川		10/2	1					10/20	1								
		3034	320 セキタンベツ川		10/2	1					10/20	1								
	間牧川	3	3042	10 間牧川	10/2	3	10/2	1	44.98924	142.53986	10/20	3	10/20	1	44.98924	142.53986				
		3042	30 口無川		10/2	1					10/20	1								
	エサシウエンナイ川	1	3049	10 エサシウエンナイ川	10/2, 11/11	4	11/11	1	44.92282	142.55231	10/20	3								
	フーレップ川	1	3071	10 フーレップ川	10/2, 11/11	3	11/11	1	44.73261	142.74049	10/19	3	10/19	3	44.72882	142.73061				
	音標川	1	3075	10 音標川	10/2, 11/11	3	10/2, 11/11	2	44.69466	142.78410	10/19	3	10/19	2	44.69433	142.78391				
	トイナイ川	1	3076	10 トイナイ川	10/2, 11/11	2														
		3076	20 ゴメ川		10/2	1														
	網走 音稚府川	1	4008	10 音稚府川	10/2, 11/10	3					10/19	3					2010/9/13~12/21	4	44.58285	142.86626
		4008	20 音稚府第1支線川		10/2	1					10/19	1					2010/10/11~11/24	1	44.62340	142.89609
	元稚府川	1	4010	10 元稚府川	10/2, 11/10	3					10/19	2	10/19	1	44.59938	142.94028	2010/11/24	1	44.59938	142.94028
		4010	20 モンモトイネップ川		10/2	1					10/19	1								
	雄武川	4	4014	10 雄武川	10/2, 10/7, 11/10	2	11/10	1	44.54784	142.95352							2010/9/7~12/1	3	44.54925	142.91376
		4014	20 当沸川		10/7	1											2010/10/1~11/24	1	44.54986	142.98725
	オタコムシュベツ川	1	4016	10 オタコムシュベツ川	10/7	2														
	元沢木川	1	4018	10 元沢木川	10/7, 11/10	3					10/19	5					2010/11/24	1	44.52481	144.04307

表2. つづき

支庁	水系名	河川区分 *1	河川 番号 *1	河川名(支流名)	2008年					2009年					その他調査					
					調査 月日	調査 地点 数	確認 月日*2	確認地点 地点 数	緯度(°)	経度(°)	調査 月日	調査 地点 数	確認 月日*2	確認地点 地点 数	緯度(°)	経度(°)	確認 年月日*2	確認 地点 数	確認地点 緯度(°)	確認地点 経度(°)
網走	御西川	1	4019	10 御西川	10/7, 11/10	4					10/19	3								
	興部川	3	4020	10 興部川	10/7, 11/10	4	11/10	1	44.44979	143.08108	10/16	4								
	藻興部川	2	4021	10 藻興部川	10/7, 11/10	5					10/16	4					2010/11/24	1	44.44798	143.13563
	沙留川	2	4024	10 沙留川	10/7, 11/10	4					10/16	3					2010/11/24	1	44.42677	143.22679
			4024	40 ボン沙留川	11/10	1														
	恩沙留川	1	4025	10 恩沙留川	10/7	1														
	藻別川	1	4028	10 藻別川	10/7, 11/10	6	11/10	2	44.30971	143.36677	11/12, 11/17	5	11/12, 11/17	44.25380	143.36699	2010/9/16~12/17		44.30966	143.36683	
	ヤツシュウシナイ川	1	4031	10 ヤツシュウシナイ川	10/7	4														
	オンネコムケナ川	1	4032	10 オンネコムケナ川	10/7	1														
	シブツナイ川	1	4033	10 シブツナイ川	10/7	2														
	佐呂間別川	2	4036	10 佐呂間別川	10/9	8	10/9	1	44.00190	143.75449	10/16	8				2010/9/12~12/17	5	44.00202	143.75460	
			4036	1100 仁倉川												2010/10/29~12/17	1	44.04760	143.91188	
			4036	1490 武士川	10/9	1					10/16	1								
	常呂川	4	4037	80 トコロホロナイ川												2007/9/18	3	44.01494	144.01789	
			4037	230 仁頃川												2007/10/3	1	43.89186	143.88734	
			4037	750 無加川												2007/9/18	1	43.79649	143.82632	
	卯原内川	1	4039	10 卯原内川	10/8	3										2010/11/25	1	43.97840	144.10603	
	バイラギ川	3	4043	10 バイラギ川	10/8	3	10/8	1	44.04862	144.25671	10/16	3				2010/10/5, 11/25	2	44.05242	144.24579	
	網走川	4	4046	230 サラカオマキキン川												2007/9/19	1	43.91799	144.11743	
	勇仁川	1	4050	10 勇仁川	10/8	3					10/5	1	10/5	1	43.97966	144.30175				
	藻琴川	4	4051	10 藻琴川	10/9	2	10/9	2	43.82743	144.30294	10/5	2	10/5	2	43.82759	144.30278	2010/9/16~12/23	12	43.79213	144.30030
	浦士別川	3	4053	10 浦士別川	10/8	2					10/16	2	10/16	1	43.85370	144.40514	2010/9/21~12/15	1	43.90558	144.42830
			4053	190 イチャンバオマニ川	10/8	1					10/16	1								
	止別川	4	4054	10 止別川	10/8	1	10/8	1	43.91161	144.47321										
			4054	20 東幹線川	10/8	1														
	ウエンベツ川	2	4055	10 ウエンベツ川	10/8	3										2010/11/25	1	43.88759	144.59810	
	奥葵別川	4	4058	10 奥葵別川	10/9	1	10/9	1	43.91481	144.75084										
			4058	20 海別川	10/8~9	1	10/9	1	43.91982	144.77781										
	シマツカリ川	1	4059	10 シマツカリ川	10/8	3														
	糠真布川	1	4060	10 糠真布川	10/8, 10/21	2	10/8, 10/21	1	43.93993	144.81127	10/16	2	10/16	1	43.93989	144.81124	2010/9/21~12/15	4	43.93294	144.82094
	オライネコタン川	1	4061	10 オライネコタン川	10/8, 10/21	1														
	オチカバケ川	1	4062	10 オチカバケ川	10/8, 10/21	2	10/21	1	43.97317	144.84983	10/16	2				2010/10/5, 11/25	1	43.97307	144.84993	
	金山川	1	4065	10 金山川	10/9, 10/21	1	10/21	1	43.99013	144.88802	10/16	1	10/16	1	43.99022	144.88817	2010/10/5, 11/25	1	43.99022	144.88817
	オンネベツ川	4	4067	10 オンネベツ川	10/9	1	10/9	1	44.01269	144.91916										
	オベケブ川	1	4069	10 オベケブ川	10/9	1														
	チャラッセナイ川	1	4070	10 チャラッセナイ川	10/9	1														
	オショコマナイ川	1	4071	10 オショコマナイ川	10/9	1														
	フンベ川	1	4072	10 フンベ川	10/9, 10/21	1	10/21	1	44.06000	144.97392	10/16	1	10/16	1	44.05999	144.97391	2010/11/25	1	44.05999	144.97391
	ベレケ川	1	4073	10 ベレケ川	10/9, 10/21	1	10/9, 10/21	1	44.06975	144.99431	10/16	1				2010/10/5, 11/25	1	44.06950	144.99426	
	ホロベツ川	1	4075	10 ホロベツ川	10/9, 10/21	1	10/21	1	44.08523	145.01064	10/16	1				2010/9/15~12/16	3	44.08149	145.02280	
	イワウベツ川	4	4076	10 イワウベツ川	10/9	1	10/9	1	44.10770	145.04304										
	ルシャ川	3	4086	10 ルシャ川												2010/9/22~11/23	3	44.18539	145.21176	
	テッパンベツ川	1	4087	10 テッパンベツ川												2010/9/19~11/23	1	44.19973	145.20557	
根室	ルサ川	3	5012	10 ルサ川	10/21, 11/18	1	10/21, 11/18	1	44.13904	145.26485	10/17	1								
	モセカルベツ川	3	5017	10 モセカルベツ川	10/21, 11/18	1	10/21, 11/18	1	44.08526	145.23947	10/17	1								
	オツカバケ川	1	5018	10 オツカバケ川	10/21, 11/18	2	10/21, 11/18	1	44.07478	145.24279	10/17	1								
	サシリイ川	2	5019	10 サシリイ川	10/21, 11/18	1	10/21, 11/18	1	44.06133	145.23737	10/17	1	10/17	1	44.06133	145.23737				
	知徳来川	2	5021	10 知徳来川	10/21, 11/18	1	10/21	1	44.03300	145.20979	10/17	1								
	松法川	2	5026	10 松法川	10/21, 11/18	2					10/17	1	10/17	1	43.98886	145.16189				
	知西別川	2	5027	10 知西別川	10/21, 11/18	1	10/21, 11/18	1	43.97954	145.15347	10/17	1								
	ポン春苅古丹川	2	5030	10 ポン春苅古丹川	10/21, 11/18	1	10/21, 11/18	1	43.94754	145.12753	10/17	1								

表2. つづき

表2. つづき

支庁	水系名	河川区分	水系番号	河川番号	河川名(支川名) *1	2008年				2009年				その他調査								
						調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点数	確認地点*3	調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点数	確認地点*3	確認年月日*2	確認地点数	確認緯度(°)	確認経度(°)			
十勝	十勝川	4	6009	10	十勝川	10/7	2	10/7	1	42.94177	143.34332											
			6009	210	下牛首別川	10/8	1															
			6009	250	牛首別川	10/8	2															
			6009	260	農野牛川	10/8	1															
			6009	310	久保川	10/8	1															
			6009	5140	猿別川	10/8	2															
長筋川		2	6010	10	長筋川	10/7	1															
湧洞川		1	6015	10	湧洞川	10/7	1															
生花苗川		1	6016	10	生花苗川	10/7	2															
生花苗沼川		1	6017	10	生花苗沼川	10/7	1															
当縁川		3	6019	10	当縁川	10/7	3	10/7	2	42.53066	143.38286	10/22	3	10/22	1	42.50564	143.41813					
アイボシマ川		1	6020	10	アイボシマ川	10/7	2															
歴舟川		4	6021	10	歴舟川	10/8	6	10/8	1	42.49395	143.27561											
紋別川		2	6022	10	紋別川	10/8	3					10/22		4								
			6022	20	リュウ川	10/8	1															
小紋別川		4	6023	10	小紋別川	10/8	3															
豊似川		3	6024	10	豊似川	10/8	3					10/22	3	10/22	1	42.39107	143.30093					
			6024	20	二線川	10/8	1															
野塚川		2	6025	10	野塚川	10/8	2					10/22		2								
楽古川		3	6027	10	楽古川	10/8	1					10/23	2	10/23	1	42.31258	143.32159					
広尾川		4	6028	10	広尾川	10/8	1	10/8	1	42.28129	143.31763											
美幌川		1	6029	10	美幌川	10/8	2	10/8	1	42.25309	143.30977	10/23		1								
音調津川		3	6030	10	音調津川	10/8	2	10/8	1	42.22532	143.31703	10/23		2								
日高	猿留川	4	7003	10	猿留川	10/15	1	10/15	1	42.12472	143.31612	10/28	1	10/28	1	42.12472	143.31612					
	シトマン川	1	7005	10	シトマン川	10/15	2	10/15	2	42.04245	143.28706	10/28		3								
	歌別川	4	7016	10	歌別川	10/15	3	10/15	2	42.00408	143.19005	10/28	1	10/28	1	41.99548	143.16309					
	アベヤキ川	2	7025	10	アベヤキ川	10/15	2	10/15	2	42.03941	143.12343	10/28	2	10/28	2	42.03941	143.12343					
	ニカンベツ川	4	7031	10	ニカンベツ川	10/15	2	10/15	1	42.06297	143.06895	10/28	2	10/28	2	42.07319	143.08244					
	幌満川	2	7033	10	幌満川	10/15	2	10/15	1	42.08241	143.03995	10/28	1	10/28	1	42.08241	143.03995					
	ボロサヌベツ川	1	7040	10	ボロサヌベツ川	10/15	1					10/28		1								
	門別川	1	7042	10	門別川	10/15	3					10/28		3								
	様似川	3	7044	10	様似川	10/15	4	10/15	1	42.15557	142.94259	10/27	2	10/27	1	42.15557	142.94259					
	海辺川	1	7045	10	海辺川	10/15	2					10/27		1								
	日高幌別川	4	7048	10	日高幌別川	10/15	1	10/15	1	42.22909	142.90580	10/28	1	10/28	1	42.22909	142.90580					
	向別川	1	7054	10	向別川	10/15, 11/4	7					10/27	3	10/27	1	42.17828	142.76672	2007/10/17	1	42.20742	142.78311	
	絵笛川	1	7055	10	絵笛川	10/15	4					10/27		1								
	元浦川	3	7056	10	元浦川	10/15	3	10/15	2	42.24688	142.75963	10/27	2	10/27	2	42.24603	142.75648					
	ケリマイ川	1	7059	10	ケリマイ川	10/15, 11/4	7	10/15, 11/4	1	42.25041	142.63815	10/27	5	10/27	2	42.27030	142.68536					
	三石川	4	7060	10	三石川	10/14	4	10/14	3	42.29460	142.62040	10/27	1	10/27	1	42.27545	142.60913					
	布辻川	1	7065	10	布辻川	10/14	2					10/27		1								
	捫別川	1	7068	10	捫別川	10/14, 11/4	9	10/14, 11/4	3	42.32359	142.48682	10/27, 11/10	7	10/27, 11/10	4	42.32359	142.48682					
	静内川	4	7073	10	静内川	10/14	2					10/27		1				2006/9/27	1	42.38202	142.44139	
			7073	40	日高目名川	10/14	2					10/27		1				2007/10/17	3	42.36390	142.38891	
			7073	60	豊畠川	10/14	1	10/14	1	42.36850	142.43052											
	新冠川	4	7075	10	新冠川	10/14	2					10/27	2	10/27	1	42.48046	142.42570					
			7075	110	セブ川	10/14	1					10/27		1	10/27	1	42.47987	142.42794	2006/9/29	1	42.47789	142.42980
	厚別川	2	7078	10	厚別川	10/14	4	10/14	3	42.47317	142.30513	10/27		2								
			7078	70	元神部川	10/14	2	10/14	2	42.46469	142.31382	10/27	4	10/27	1	42.46415	142.31736					
	賀張川	1	7080	10	賀張川	10/14	2					10/27		1								
	慶能舞川	1	7081	10	慶能舞川	10/14	3					10/27		2								
	波恵川	1	7082	10	波恵川	10/14	3					10/27		2								

表2. つづき

支庁	水系名	河川区分 *1	水系番号	河川番号	河川名(支流名)	2008年					2009年					その他調査							
						調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	確認年月日*2	確認地点数	緯度(°)	経度(°)		
日高	日高門別川	1	7083	10	日高門別川	10/14, 11/4	5					10/27~28	2					2007/10/16	1	42.49779	142.08934		
沙流川	4	7084	10	沙流川		10/16	1					10/28	1	10/28	1	42.52705	142.06001						
		7084	60	福満川		10/16	1	10/16	1	42.52705	142.06001												
		7084	160	二風谷川		10/16	1																
胆振	鶴川	4	7086	10	鶴川	10/9	2	10/9	1	42.58034	141.99637												
		7086	60	モイベツ川		10/9	1																
入鹿別川	1	7087	10	入鹿別川		10/9	2																
		7087	40	長沼川		10/9	1																
厚真川	2	7088	10	厚真川		10/9	5					11/9	4										
安平川	2	7089	10	安平川		10/9, 11/4	4					11/9	5										
		7089	140	遠浅川		10/9	1																
		7089	270	支安平川		10/9	1																
幌内川	1	7090	10	幌内川		10/14	4	10/14	1	42.67174	141.60863	11/9	3										
苦小牧川	2	7093	10	苦小牧川		10/14	4					11/9	3										
		7093	30	有珠川		10/14	2					11/9	2										
小糸魚川	1	7094	10	小糸魚川		10/14	3					11/10	3										
錦多峰川	4	7096	10	錦多峰川		10/14	2	10/14	1	42.60813	141.50077												
覚生川	1	7097	10	覚生川		10/14	3					11/10	3										
樽前川	1	7098	10	樽前川		10/14, 11/5	3					11/10	3										
別々川	1	7099	10	別々川		10/14, 11/5	2					11/10	3										
社台川	3	7100	10	社台川		10/14	3	10/14	1	42.57002	141.39494	11/10	3	11/10	1	42.57646	141.38343						
白老川	4	7102	10	白老川		10/14	3	10/14	1	42.54682	141.34120												
		7102	20	ウヨロ川		10/14	2	10/14	2	42.54269	141.29242												
		7102	30	ブウベツ川		10/14	3																
		7102	100	ウトカンベツ川		10/14	3	10/14	1	42.55894	141.34478												
敷生川	4	7104	10	敷生川		10/14	1	10/14	1	42.50795	141.27276												
		7104	20	メッブ川		10/14	1	10/14	1	42.49412	141.26553												
		7104	40	飛生川		10/14	2																
アヨロ川	4	7106	10	アヨロ川		10/14	1	10/14	1	42.45622	141.20606												
ボンアヨロ川	1	7107	10	ボンアヨロ川		11/5	2																
登別川	4	7110	10	登別川		10/14	2	10/14	2	42.44955	141.16992												
岡志別川	1	7113	10	岡志別川		10/14	1																
胆振幌別川	1	7114	10	胆振幌別川		10/14, 11/5	2	10/14, 11/5	2	42.41399	141.08132	11/10	2	11/10	1	42.41376	141.08109						
		7114	30	来馬川		10/14, 11/5	6	10/14, 11/5	5	42.42392	141.09660	11/10	3	11/10	2	42.42392	141.09660						
鶯別川	1	7116	10	鶯別川		10/15	3					11/10	3										
知利別川	1	7119	10	知利別川		10/15	1																
チマイベツ川	3	7127	10	チマイベツ川		10/15	4	10/15	3	42.38791	140.93383	11/10	2	11/10	2	42.38791	140.93383						
		7127	20	ペトトル川		10/15	4	10/15	2	42.38517	140.93386	11/10	2	11/10	2	42.38517	140.93386						
氣仙川	3	7128	10	氣仙川		10/15	4	10/15	2	42.40061	140.92647	11/10	3	11/10	2	42.40061	140.92647						
牛舎川	1	7130	10	牛舎川		10/15	2																
谷藤川	1	7131	10	谷藤川		10/15	2																
気門別川	1	7133	10	気門別川		10/15	3	10/15	1	42.46798	140.85969	11/11	2	11/11	1	42.46797	140.85969						
		7133	20	紋別川		10/15	1																
		7133	120	支門気川		10/15	1																
長流川	4	7134	10	長流川		10/15	1	10/15	1	42.49042	140.84992												
貴氣別川	4	7143	10	貴氣別川		10/15	1	10/15	1	42.59769	140.70113												
小鉢岸川	2	7144	10	小鉢岸川		10/15	4					11/11	3	11/11	1	42.59454	140.64041						
礼文華川	2	7146	10	礼文華川		10/15	3					11/11	3										
渡島 静狩川	3	8001	10	静狩川		10/30	3					11/11	3	11/11	1	42.59071	140.45003						
		8001	20	金山川		10/30	2	10/30	1	42.59519	140.46210												
長万部川	3	8004	10	長万部川		10/30	4	10/30	2	42.56033	140.34058	11/11	3	11/11	3	42.56033	140.34058						

表2. つづき

表2. つづき

支庁	水系名	河川区分 *1	水系番号	河川番号	河川名(支流名)	2008年					2009年					その他調査				
						調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)	経度(°)	確認年月日*2	確認地点*3 地点数	緯度(°)
渡島	平田内川	1	8278	10	平田内川	10/17	3					10/15	3	10/15	1	42.12234	140.00109			
	閨内川	1	8283	10	閨内川	10/17	3	10/17	2	42.14075	139.93382	10/15	3	10/15	1	42.13460	139.93184			
檜山	石崎川	3	8244	10	石崎川	10/9	5	10/9	4	41.63337	140.08393	10/16	3	10/16	1	41.66856	140.07362			
			8244	130	左股川	10/9	2	10/9	1	41.66999	140.08041									
	大安在川	1	8250	10	大安在川	10/9	3					10/15~16	2	10/16	1	41.77135	140.07250			
	轍川	1	8254	10	轍川	10/9	3					10/15	3							
	田沢川	1	8259	10	田沢川	10/9	2	10/9	1	41.89831	140.14098	10/15	2							
			8259	20	真狩川	10/9	1					10/15	1							
	厚沢部川	4	8260	20	鰐川	10/16	3	10/16	1	41.93310	140.16045									
	姫川	3	8263	10	姫川	10/16	4	10/16	3	41.96639	140.17992	10/15	3							
			8263	30	小川	10/16	1													
	小茂内川	1	8264	10	小茂内川	10/16	2					10/15	3							
	突符川	2	8265	10	突符川	10/16~18	1	10/16~17	2	42.00080	140.12666	9/9	1	9/9	1	42.00101	140.12643			
			8265	20	来拵川	10/19	1	10/19	1	42.00156	140.12613									
	可笑内川	1	8266	10	可笑内川	10/16	2													
	白別川	1	8307	10	白別川	10/17	2	10/17	1	42.21757	139.86810	10/15	2	10/15	1	42.21757	139.86810			
			8307	30	太櫛越川	10/17	1					10/15	1							
	小川	1	8308	10	小川	10/17	3					10/15	3	10/15	2	42.22568	139.86433			
	良瑠石川	3	8342	10	良瑠石川	10/15	3	10/15	3	42.36324	139.80562	10/15	3	10/15	3	42.36324	139.80562			
	太櫛川	1	8348	10	太櫛川	10/15	4	10/15	4	42.35143	139.90883	10/15	4	10/15	2	42.35143	139.90883			
			8348	20	小川	10/15	1	10/15	1	42.38032	139.83358	10/15	1	10/15	1	42.38032	139.83359			
	馬場川	3	8352	10	馬場川	10/15	4	10/15	4	42.48148	139.87421	10/14~15	4	10/14~15	4	42.48148	139.87421			
	島歌川	1	8359	10	島歌川	10/15	2													
	須築川	1	8368	10	須築川	10/15	2	10/15	1	42.60582	139.83707	10/14	2							
後志	小田西川	1	9006	10	小田西川	10/1	1					10/14	1							
	フモンナイ川	1	9013	10	フモンナイ川	10/1	1													
	千走川	3	9016	10	千走川	10/2	4	10/2	1	42.68675	140.01518	9/17	1	9/17	1	42.68661	140.01476			
			9016	60	九助川	10/2	1													
	泊川	3	9020	10	泊川	10/2	2	10/2	1	42.69908	140.05760	9/17	1	9/17	1	42.69911	140.05741			
	ホンベツ川	1	9021	10	ホンベツ川	10/2	1													
	大平川	1	9023	10	大平川	10/2	2	10/2	1	42.72424	140.07443	10/14	2	10/14	1	42.72424	140.07443			
	折川	1	9030	10	折川	10/2	2					10/14	2							
	コベチャナイ川	1	9031	10	コベチャナイ川	10/2	1					10/14	1							
	朱太川	4	9056	10	朱太川	10/1	3	10/1	2	42.67603	140.30596									
			9056	70	金が沢川	10/1	1													
			9056	80	一木の川	10/1	1													
			9056	90	ウエンベツ川	10/1	1													
			9056	220	中の川	10/1	1													
			9056	270	添別川	10/1	1													
			9056	280	熱鄂川	10/1	1													
			9056	400	黒松内川	10/1	1													
	幌別川	1	9076	10	幌別川	10/1	1					10/14	2							
	尻別川	4	9087	130	志根津川	10/1	2													
			9087	200	オサンナイ川							9/28	2							
			9087	180	フルチャツナイ川											2006/10/31	1	42.83363	140.41082	
			9087	280	パンケ目国内川							9/28	2	9/28	1	42.82638	140.44572			
			9087	590	貝殻沢川							9/28	2							
			9087	660	逆川							9/28	2							
			9087	750	南部川							9/28	2	9/28	1	42.81804	140.53408			
			9087	870	昆布川							9/28~29	10							
			9087	1160	ドロ川							9/28	2							

表2. つづき

支庁	水系名	河川区分 *1	水系番号	河川番号	河川名(支流名)	2008年				2009年				その他調査			
						調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 緯度(°) 経度(°)	調査月日	調査地点数	確認月日*2	確認地点*3 緯度(°) 経度(°)	確認年月日*2	確認地点数	確認緯度(°)	確認経度(°)
後志	尻別川		9087	1240	名無川				9/29	2							
			9087	1400	真狩川									2007/10/26	1	42.80093	140.68062
精神川	1	9088	10	精神川		10/1	1										
野束川	4	9099	10	野束川		10/1	2	10/1	1 42.97564 140.50035								
		9099	20	運上屋川		10/1	3										
		9099	30	ポン岩内川		10/1	1										
堀株川	2	9100	10	堀株川		10/1	2			10/14	5	10/14	2 42.97719 140.64121				
		9100	20	発足川		10/1	1			10/14	1						
		9100	200	ソコナイ川		10/1	1										
		9100	260	中の川		10/1	1	10/1	1 42.99465 140.58884	10/14	1						
玉川	1	9103	10	玉川		10/1	2										
モヘル川	1	9106	10	モヘル川		10/1	3	10/1	1 43.06844 140.49619	10/14	3	10/14	2 43.06907 140.49720				
益川	3	9110	10	益川		10/1	2	10/1	1 43.10107 140.46127	9/17	1	9/17	1 43.10128 140.46118				
古宇川	3	9119	10	古宇川		10/2	2	10/2	2 43.15253 140.44233	9/17	1	9/17	1 43.14236 140.43376				
珊瑚内川	1	9126	10	珊瑚内川		10/2	2	10/2	1 43.19565 140.34818	10/14	2	10/14	1 43.19565 140.34818				
余別川	1	9134	10	余別川		9/30	2	9/30	2 43.32390 140.38125	10/14	2	10/14	1 43.32873 140.38119				
幌内府川	1	9136	10	幌内府川		9/30	1			10/14	1						
積丹川	3	9138	10	積丹川		9/30	2	9/30	1 43.34467 140.46155	10/13	3	10/13	1 43.34468 140.46155				
		9138	20	ウエント川		9/30	1			10/13	1						
		9138	110	クエドスベツ川													
美國川	3	9142	10	美國川		9/30, 10/2	2	9/30, 10/2	1 43.29554 140.60286	10/13	3	10/13	2 43.29208 140.59733				
古平川	4	9145	10	古平川		9/30, 10/2	2	9/30	1 43.25874 140.64494								
沖村川	1	9148	10	沖村川		9/30, 10/28	3	10/28	1 43.24985 140.68266	10/13	3	10/13	1 43.24978 140.68257				
梅川	1	9153	10	梅川		9/30	2										
ヌッチ川	1	9155	10	ヌッチ川		9/30	3			10/13	3	10/13	1 43.19243 140.76352				
余市川	4	9156	10	余市川		9/30	1	9/30	1 43.16646 140.77077								
登川	1	9157	10	登川		9/30	5			10/13	5						
畚部川	1	9158	10	畚部川		9/30	1			10/13	3						
蘭島川	1	9159	10	蘭島川		9/30	4										
塩谷川	1	9161	10	塩谷川		9/30	5			10/13	4						
勝納川	1	9170	10	勝納川		9/30	3			10/13	3						
朝里川	1	9173	10	朝里川		9/30, 10/28	5			10/13	4						
錢函川	1	9179	10	錢函川		10/28	2										
星置川	1	9180	10	星置川		10/6, 10/28	5			10/13	3						

考 察

本報告では2008年および2009年の北海道立水産孵化場による調査で確認されたサケの自然産卵河川および箇所を記載した。サケの遡上が確認された非放流河川の数は、2008年が64河川、2009年が53河川であった(Miyakoshi *et al.*, 2011)。2カ年の調査に加え、他の調査も含めてサケの自然産卵が一度でも確認された河川は85河川あり、そのうち過去に放流履歴のない河川(河川区分1)は58河川であった。これらの河川に遡上するサケは野生魚である可能性が高い、すなわち、ふ化放流の影響を受けている可能性が少ないものと考えられることから、保全すべき価値の高い河川であると考えられる。

一方、放流河川の多くでもサケの自然産卵が確認された。本調査では時間や調査労力の都合上、すべての放流河川を調査することはできなかったが、放流を実施している水系内の非放流の支流でも自然産卵が確認できたことから、放流河川でも野生のサケが自然再生産している可能性があるものと考えられた。

流路延長8 km未満の河川や増殖用の捕獲河川の数を合計すると、2008年には北海道内の191河川、2009年は175河川でサケの遡上が確認され、他の調査も含めると2005年以降の調査で計206河川へのサケの遡上が確認された。Kobayashi (1980) は200河川に個体群が存在するとし、また、水産庁北海道さけ・ますふ化場(1964)では自然産卵河川が107河川あると記載されているが、いずれもその調

査方法は明確に記載されていない。1970年には84河川であった放流河川の数は1980年には166河川に増加し、その後は増殖事業の効率化が図られ、2009年には140河川となっている。放流河川の数は減少し、放流が中止された河川もあるものの、現在も約30年前と比べてサケの遡上する河川は少なくなっていることが確認された。

ただし、本報告の調査で確認されたサケには自然産卵由来の個体のほかに、放流魚が迷入した個体も含まれる可能性がある。迷入の度合いは、河川、ふ化場、放流地点、放流魚の起源などによって異なることが知られており (Quinn, 1993; Quinn, 2005)，放流時に輸送放流した幼魚の迷入は現地で飼育されそのまま放流された幼魚よりも多いことが知られている (Quinn, 1993)。北海道における放流事業では、輸送され河川の下流域から放流されたり、漁港に設置した生簀で飼育後に放流されることも多い。このような実情を考えると、迷入も当然起こると考えられるが、現時点ではその度合いを具体的に示すデータは得られておらず今後の研究課題と言える。

本調査は全道における自然産卵サケの分布状況を示したが、調査方法には制約があったため、調査結果の評価や今後の調査を進める上では留意すべき点がいくつもある。それらを下記に列挙する。

1) 調査河川の選定: 調査時間と労力の制約があったことから、放流河川の調査の優先順位を低くし、その結果、調査をしていない河川や支流も多い。また、調査河川を選定する際、流路延長8 km未満の河川を原則として調査から除外したが、それらの河川にもサケが遡上する可能性がある。さらに、調査時間の都合上、8 km以上の河川の中にも調査を実施できなかった河川もあった。

2) 調査地点の抽出: 1河川あたり調査地点数は数箇所であり、1箇所で見通せる範囲も数十mの区間に過ぎず、サケの自然産卵の有無を評価するには1河川あたりの調査区間の抽出率は十分とは言えない河川もあるかもしれない。特に、規模の大きな河川では調査地点の抽出率が低くなっている。

3) 目視効率: 各地点でのサケの自然産卵の確認は目視により行ったが、本調査での目視効率が不明である。湿地帯を流れる河川など透明度の低い河川や水深が深い地点では目視効率が低いことが予想される。天候や時間帯により水面の反射度合いが変わり、目視効率にも影響した可能性がある。橋の上から川を見下ろす場合には、日没が近い時間帯になると明らかに目視効率が低下しているものと感じられた。

4) 調査時期および回数: 調査は原則として、各地区の増殖用親魚捕獲の盛期近くの時期に実施した。沿岸漁業の開始前や終了後、あるいは親魚捕獲の盛期後に遡上

が増える河川もみられるので (Miyakoshi *et al.*, 2011)，親魚捕獲の時期前 (8月以前) や後 (12月後半以降) に遡上、産卵する個体が多く残る可能性も高いものと考えられる。そのため、本報告とは異なる時期に調査を実施した場合には遡上が確認される河川が増える可能性がある。

これらのことから、実際にサケが遡上する河川は本報告で述べた数よりも多いものと考えられる。サケの遡上状況をより的確に把握するには、上に列記した事項などを考慮して調査方法を統一した全道規模での調査が望ましいが労力も極めて大きくなる。遅い時期の遡上を調べる場合には日長も短いことから一日で調査できる河川数も少なくなる。そのため、陸上を移動して目視を行うという調査では大規模な調査体制を組むことが必要となるであろう。サケ科魚類の遡上尾数を調べる方法は古くから検討されており (Cousens *et al.*, 1982)，広い調査対象でサケの遡上尾数を調べる方法としては、北米などでも主流となっているヘリコプターなどを利用した空中からのカウント (Jones *et al.*, 2007) も含め調査方法を検討する必要があるのかもしれない。

全道一斉の調査が望ましいのは言うまでもないが現実的には困難であり、様々な調査等で確認された情報を記録、蓄積していくことが北海道におけるサケの自然産卵状況を把握する上で大きな意義を持つ。表2の最右欄に示したようにサケの遡上が目視で確認された年月日、場所の情報だけでも一つ一つ蓄積することが重要であり、さけます・内水面水産試験場ではサケの自然産卵状況についての情報を集め、データベース化を進めている。それらのサケの遡上状況のデータベースの整備とともに、産卵場所に関する河川環境のデータベース整備も不可欠である。

北海道内で規模の大きな河川の多くではふ化放流事業が実施されており、自然産卵が見られた河川は比較的規模の小さな河川が多く含まれている。それらの河川の中にはダムで流路が分断化されたり、産卵環境の劣化した河川も多く見られる。サケの自然再生産個体群を保全していくためにはそれら河川の産卵環境を保全していく必要があり、河川環境の修復に向けた実地の研究も行われている (Nagata *et al.*, 2002; Nakamura and Komiyama, 2010)。

さらに、地理情報システム (GIS) を活用した河川環境の把握も今後益々重要な役割を果たすものと考えられる (亀山ら, 2004)。

以上、本報告では北海道における自然産卵サケの分布について報告し、遡上状況や産卵環境に関するデータベース整備の重要性を提案した。これらのデータベースの整備に加え、遡上したサケの遺伝構造の解析や放流魚の迷入 (放流河川以外への遡上) 状況の調査などが進展す

ることにより、放流魚および野生魚を含めたサケの資源管理方策が検討されることが望まれる。

謝 辞

本報告の現地調査にあたり、さけます・内水面水産試験場の多くの職員にご協力いただいた。また、2009年の現地調査は社団法人北海道栽培漁業振興公社の岡田鳳二氏、今田和史氏、中尾勝哉氏、飯村幸代氏ほか多くの職員の皆様のご協力を得て実施した。また、2010年に社団法人北見管内さけ・ます増殖事業協会と共同で実施した調査結果の一部も表中に記載した。調査データの整理にあたっては林 祐子氏にご協力いただいた。これらの皆様に厚くお礼申し上げる。本調査は北海道水産林務部および北海道漁業協同組合連合会から調査予算を受けて実施した。

引用文献

- Cousens NB, Thomas GA, Swann SG, Healey MC. A review of salmon escapement estimation techniques. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 1982; 1108.
- 北海道土木協会.「北海道河川一覧（北海道土木部河川課監修）」. 社団法人北海道土木協会, 札幌. 1995.
- Jones EL, Heinl S, Pahlke K. Aerial counts. In: Johnson DH, Shrier BM, O'Neal JS, Knutzen JA, Augerot X, O'Neil TA, Pearsons TN. (eds) *Salmonid Field Protocols Handbook: Techniques for Assessment Status and Trends in Salmon and Trout Populations*. American Fisheries Society, Bethesda, 2007; 399-409.
- 帰山雅秀. サケの個体群生態学.「サケ・マスの生態と進化（前川光司編）」文一総合出版, 東京. 2004; 137-161.
- Kaeriyama M. Hatchery programmes and stock management of salmonid populations in Japan. In: Howell BR, Moksness E, Svåsand T (eds). *Stock Enhancement and Sea Ranching*, Blackwell Science, Oxford, 1999; 153-167.
- 亀山哲, 福島路生, 島崎彦人, 高田雅之, 金子正美. 流域圏環境管理のためのGISの活用—河川構造物による流域の分断化と河川生態への影響—. 資源環境対策 2004; 40: 41-47.
- Kobayashi T. Salmon ranching in Japan. In: Thorpe JE (ed). *Salmon Ranching*, Academic Press, London, 1980; 91-107.
- 小林哲夫.「日本サケ・マス増殖史」北海道大学出版会, 札幌. 2009.
- Miyakoshi Y, Urabe H, Saneyoshi H, Aoyama T, Sakamoto H, Ando D, Kasugai K, Mishima Y, Takada M, Nagata M. The occurrence and run timing of naturally spawning chum salmon in northern Japan. *Environmental Biology of Fishes*, 2011; in press.
- Mobrand L, Barr J, Blankenship HL, Campton DE, Evelyn TTP, Flagg TA, Mahnken CVW, Seeb LW, Seidel PR, Smoker WW. Hatchery reform in Washington State: principles and emerging issues. *Fisheries*, 2005; 30 (6): 11-23.
- Morita K, Saito T, Miyakoshi Y, Fukuwaka M, Nagasawa T, Kaeriyama M. A review of the Pacific salmon hatchery programs on Hokkaido Island, Japan. *ICES Journal of Marine Science*, 2006; 63: 1353-1363.
- Nagata M, Omori H, Yanai S. Restoration of spawning and rearing habitats for masu salmon, *Oncorhynchus masou* in a channelized stream. *Fisheries Science*, 2002; 68 (Suppl. II): 1707-1710.
- Nakamura F, Komiya E. A challenge to dam improvement for the protection of both salmon and human livelihood in Shiretoko, Japan's third Natural Heritage Site. *Landscape and Ecology Engineering*, 2010; 6: 143-152.
- 岡本康寿. 豊平川におけるシロザケ産卵床の分布 (1998,1999年度) —魚道の設置による分布状況の変化—. 札幌市豊平川さけ科学館館報, 2000; 12: 20-31.
- Quinn TP. A review of homing and straying of wild and hatchery-produced salmon. *Fisheries Research*, 1993; 18: 29-44.
- Quinn TP. The behavior and ecology of Pacific salmon and trout. University of Washington Press, Seattle, 2005; p.379.
- 斎藤寿彦. 幌内川におけるサケの自然繁殖: 他のサケ科魚類との産卵床形成の空間的隔離. さけ・ます資源管理センター研究報告, 2000; 3: 15-24.
- 水産庁北海道さけ・ますふ化場. 北海道の河川にそ上する鮭総数の推定. 昭和37年度事業成績書, 水産庁北海道さけ・ますふ化場, 1964; 95-99.
- 鈴木俊哉. 遊楽部川におけるサケの自然産卵環境調査. さけ・ます資源管理センターニュース, 1999; (4): 1-4.

ハタハタ石狩群における1歳時の成熟に関する再考

星野 昇

ハタハタ石狩群の1歳時における成熟率については、漁獲物や調査船による採集物の大半が成熟魚であることから、雌雄ともにほぼ100%と考えられている。本研究では、2005～2008年級群の2歳魚について、耳石径のBack-calculationにより1歳秋季の体長組成を推定し、体長と成熟確率の関係式から1歳時の成熟率を推定した。その結果、2006年級群は他の年級群に比べて1歳時の体長が小さく、成熟率は雌で64%程度と推定され、体成長の遅い年級群では、とくに雌で成熟率が大きく下がる可能性が指摘された。産卵親魚量を評価する際には注意を要する結果である。

A463 北水試研報 80 1-8 2011

ハタハタ石狩群における資源変動の特徴

星野 昇

ハタハタ石狩群の漁獲量は1995年以降、大きく変動しながら推移している。その背景にある資源の変動傾向を把握するためにVPAによる資源量推定を行った。資源は、1997、1999年級群の豊度が比較的高くなつたことにより2000年には親魚資源量が著しく増加し、その結果、2001年級群が高い豊度で発生して、以降の漁獲量の増加をもたらしたと考えられる。2004年級群の豊度がきわめて低かったことで資源量は急減したが、2006年級群が卓越発生したため再び増加に転じた。本資源の再生産成功には、石狩湾内の初夏の水温が影響している可能性がある。

A464 北水試研報 80 9-15 2011

北海道西部日本海および津軽海峡周辺海域に分布する雄スルメイカの性成熟と日齢

坂口 健司

1991～2003年に北海道西部日本海および津軽海峡周辺海域において採集された雄スルメイカについて、平衡石による日齢査定を行い、性成熟と日齢の関係について検討した。

標本の日齢範囲は165～339日で、高齢になるほど成熟は高くなり、50%成熟日齢は約255日（約8カ月半）と推定された。220日齢ですでに性成熟に達した個体と、297日齢で未だ性成熟に達していない個体が見られたことから、雄スルメイカの性成熟が進行する日齢には2カ月以上の個体差があると考えられた。

A465 北水試研報 80 17-23 2011

ドコサヘキサエン酸 (DHA) 要求に着目したマガレイの形態異常防除技術の実証試験

佐藤敦一、竹内俊郎

マガレイのDHA要求に基づいた形態異常防除技術の実用性を評価するために試験を行った。4種の栄養強化剤（市販品3種、高純度DHAオイル、計4区）で処理したワムシをふ化後15～25日齢まで給餌し、その際栄養強化アルテミア（各区共通）も給餌した。26日齢～稚魚期までは強化アルテミアのみ給餌した。形態正常率および生残率は、DHA要求に対応したワムシを給餌した場合、対応していない場合と比べて顕著に高くなつた。市販栄養強化剤でもDHA要求量に対応するように調製すれば、DHAオイルで強化した時と同様に、形態異常魚の出現を1割以下に抑制できることを実証した。これらは、DHA要求に着目した形態異常防除技術の実用性が高いことを示している。

A466 北水試研報 80 25-31 2011

マヒトデ骨片の海水用循環濾材としての有効性

森 立成

ヒトデ骨片の海水用濾過材としての有効性を検証するため、硝化細菌繁殖までの期間の把握とこれを濾材としたクロソイの密度別循環濾過飼育を行った。骨片区、サンゴ砂区とともにアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 濃度は、 NH_4Cl 添加後19~20日で低下し、硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) 濃度は、骨片で45~53日、サンゴ砂で44~48日で低下した。クロソイ循環濾過飼育では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は、低密度区で概ね0.5mg/l以下で推移した。全密度区で、クロソイの死亡はみられなかった。以上から、骨片区では、アンモニア硝化細菌及び亜硝酸硝化細菌が増殖し、繁殖期間はサンゴ砂区とほぼ同様であると考えられた。また、実際の魚類循環濾過飼育にも使用可能であることが示唆された。

A467 北水試研報 80 33-37 2011

北海道日本海側の河川に遡上したサケの年齢組成

宮腰靖之、青山智哉、藤原 真、實吉隼人、楠田 聰、川村洋司、小山達也、ト部浩一、安藤大成

北海道日本海側のサケの捕獲河川のうち、2009年には10河川、2010年には14河川に遡上したサケの年齢組成を調べた。地理的に近い河川間では似通った年齢組成を示すことが多く、クラスター分析でも2009年はほぼ地区ごとのクラスターが形成された。このことは、沿岸環境などの要因が同一地区の異なる河川から放流された稚魚に同じように作用している可能性を示唆するものと推測される。

A468 北水試研報 80 39-44 2011

北海道東部当幌川水系におけるカラフトマス天然産卵集団の存在(短報)

虎尾 充、永田光博、佐々木義隆、竹内勝巳、春日井潔

北海道東部根室海峡に面する当幌川水系において、カラフトマス稚魚に耳石アリザリンコンプレクソン (ALC) 標識を施して放流し、回帰調査を行った。回帰調査は放流場所である当幌川と支流サクラ川において、親魚の目視尾数と繁殖後斃死個体の計数、斃死個体の尾叉長の測定と耳石の回収を行った。相互に迷入はあるが標識魚は放流場所である当幌川に、無標識魚はサクラ川に選択的に遡上する傾向が強いと考えられた。無標識魚は体サイズが有意に小型であり遡上時期および遡上場所が標識魚とは異なることから、放流魚とは独立して再生殖を行っている野生魚であると考えられた。

A469 北水試研報 80 45-49 2011

北海道におけるサケ自然産卵個体群の分布(資料)

宮腰靖之、ト部浩一、安藤大成、實吉隼人、青山智哉、坂本博幸、春日井潔、永田光博

2008年および2009年に北海道全域でサケの自然産卵状況調査を実施し、確認された河川名ならびに支流名と確認地点を記載した。種苗放流の行われていない河川でも、2008年は64河川、2009年は53河川でサケの自然産卵が確認された。2005年以降に実施された他の調査も含めると85の非放流河川でサケの自然産卵が確認され、親魚捕獲が実施されている河川と合計すると206河川でサケの遡上が確認された。

A470 北水試研報 80 51-64 2011

第80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）

眞山 紘

北海道水産試験場研究報告 第80号

2011年12月27日発行 ISSN:2185-3290

編集兼
発行者 北海道立総合研究機構水産研究本部
〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町238
電話 総合案内 0135(23)7451 (総務部総務課)
図書案内 0135(23)8705 (企画調整部企画課)
FAX 0135(23)3141
Hamanaka-cho 238, Yoichi-cho, Hokkaido 046-8555, Japan
印刷所 株式会社 おおはし
〒046-0004 余市郡余市町大川町14丁目14番地
電話 0135(23)4591
