

北海道水産試験場研究報告

第 110 号

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES No. 110

北海道立総合研究機構水産研究本部

北海道余市町

2026年9月

Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department

Yoichi, Hokkaido, Japan

September, 2026

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

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

**地方独立行政法人
北海道立総合研究機構
水産研究本部**

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

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

北海道水産試験場研究報告

第110号

目 次

虎尾 充, 宮本真人

サケ稚魚における瞬発遊泳能力の発達と体長依存性：飼育個体と野生個体の比較…………… 1

笹岡友季穂, 辻 浩司, 高橋夢伽, 蛭谷幸司, 北谷朋也, 田中 彰, 佐々木茂文

北海道産ホッケ生食用冷凍商材のおいしさに影響をおよぼす要素及び製造条件の検討…………… 13

虎尾 充

カラフトマス稚魚の成長適水温：サケ稚魚との比較飼育実験の試み（短報）…………… 25

城 幹昌, 有馬大地

北海道留萌沖日本海で漁獲されたニシンの胃内容物（資料）…………… 31

虎尾 充, 下田和孝, 竹内勝巳, 津田(山口)文, 大磯毅晃, ト部浩一

河川横断工作物改修がサクラマスの産卵床分布および幼魚生息密度に及ぼす長期的影響（資料）…… 35

(2026年9月)

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES

No. 110
CONTENTS

MITSURU TORAO and MAHITO MIYAMOTO

Size-dependent development of burst swimming ability in juvenile chum salmon: comparisons between reared and wild juveniles 1

**YUKIHO SASAOKA, KOJI TSUJI, YUMEKA TAKAHASHI, KOJI EBITANI,
TOMOYA KITADANI, AKIRA TANAKA and SHIGEFUMI SASAKI**

Sensory and processing factors affecting the palatability of frozen atka mackerel fillets for raw consumption ... 13

MITSURU TORAO

Optimal growth temperatures of juvenile pink salmon: A trial of comparative rearing experiments with chum salmon (Short paper) 25

MIKIMASA JOH and DAICHI ARIMA

Stomach contents of Pacific herring *Clupea pallasii* caught in the Sea of Japan off Rumoi, Hokkaido (Note) ... 31

**MITSURU TORAO, KAZUTAKA SHIMODA, KATSUMI TAKEUCHI,
FUMI TSUDA-YAMAGUCHI, TAKEAKI OISO and HIROKAZU URABE**

Long-term effect of instream structure improvement on distribution of spawning redds and juvenile density of masu salmon *Oncorhynchus masou* (Note) 35

サケ稚魚における瞬発遊泳能力の発達と体長依存性： 飼育個体と野生個体の比較

虎尾 充^{*1}, 宮本真人²

¹ 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場,

² 元北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Size-dependent development of burst swimming ability in juvenile chum salmon:
comparisons between reared and wild juveniles

MITSURU TORAO^{*1} and MAHITO MIYAMOTO²

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

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

In this study, we examined the development of burst swimming ability in juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta*, comparing the swimming abilities of laboratory-reared fish, wild-caught fish, and juveniles confirmed as wild. Burst swimming was measured using an escape measurement method with sound stimuli. Across all groups, burst speed (BS) increased significantly with fork length (FL), demonstrating size dependence. However, the rate of increase differed among groups, with significant differences observed in the slopes of the BS–FL relationships. Despite these differences in developmental trajectories, no significant differences in BS were observed between groups within the body size class corresponding to the start of the downstream migration period (FL 30–45 mm). Our results suggest that, with respect to origin, there is no difference in burst swimming ability between hatchery-reared and wild fish, and that effects associated with growth and ecological processes in the wild may be involved.

キーワード : burst speed, juvenile, laboratory reared, *Oncorhynchus keta*, salmonid, swimming performance,
wild fish

The chum salmon *Oncorhynchus keta* is the most abundant species of Pacific salmon in Japan, with its primary production region located in Hokkaido. In Hokkaido, artificial hatchery stocking programs have been continuously operated since the 1880s. Currently, approximately one billion juveniles are released annually from about 150 hatcheries (Miyakoshi *et al.*, 2013b; Fig. 1a). Although these hatchery programs play a crucial role in sustaining salmon fisheries resources in Hokkaido, studies on other salmonids have suggested that domestication caused by hatchery rearing over repeated generations can potentially reduce their fitness in the wild

(Araki *et al.*, 2008).

Swimming ability is one of the most important functional traits affecting fish survival and fitness. It plays key roles in dispersal, migration, habitat selection, predator avoidance, and reproductive behavior (Tsukamoto *et al.*, 1975; Beamish, 1978; Stobutzki and Bellwood, 1997; Kolok, 1999; Wolter and Arlinghaus, 2003). Among the different components of swimming ability, burst swimming is particularly important as it is strongly associated with escape behavior from predators (Taylor and McPhail, 1985; Jayne and Lauder, 1993). Consequently, burst speed (BS) serves as an important

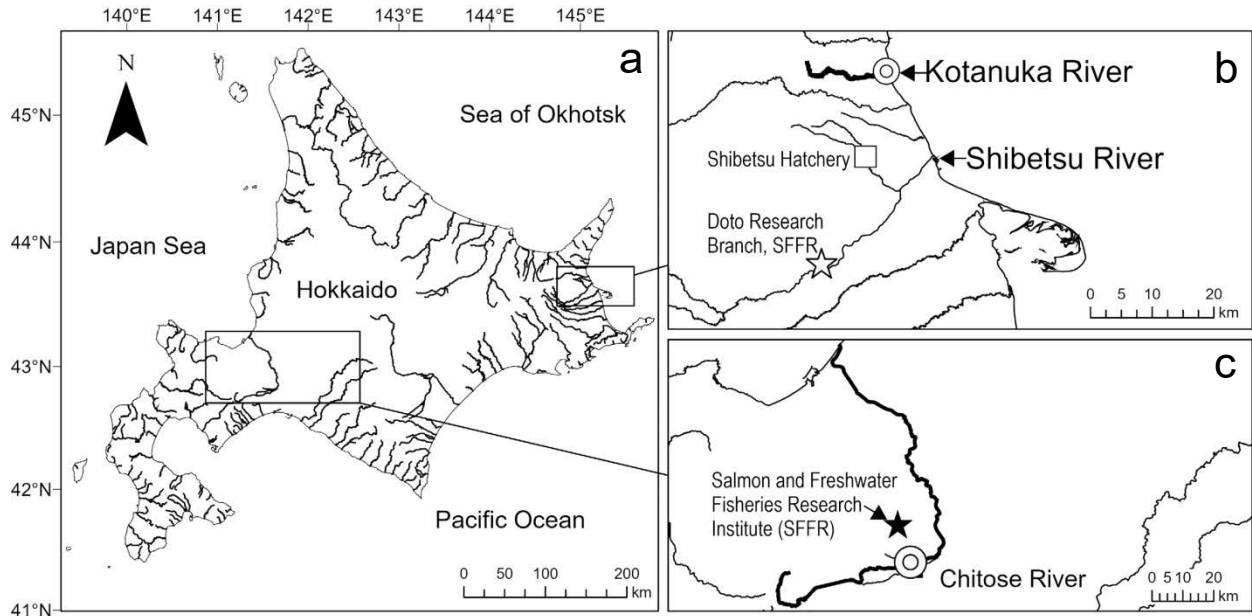


Fig. 1 Locations of recorded chum salmon release rivers in Hokkaido (a), and origins of chum salmon used in this study (b, c). Two figures on the right show origins of salmon used in burst swimming experiments. Upper right panel shows locations of Shibetsu Hatchery (□), origin of salmon used in experiments in 2013 and 2014, and Doto Research Branch of the Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute (SFFR), Hokkaido Research Organization (☆), facility where salmon were reared under laboratory conditions. These juveniles were treated as the reared group. Kotanuka River (◎) had no releases, but collected juvenile chum salmon were defined as wild-caught groups, considering the possibility of strays from other rivers. Bottom right panel shows Chitose River, a tributary of the Ishikari River, and collection sites (◎) for wild group juvenile. Fish collected in 2023 and 2024 were confirmed as wild fish based on the absence of otolith thermal markings. Juveniles collected from the Chitose River were used in experiments at the SFFR (★).

indicator of the survival potential of juvenile fish in natural environments. After emergence, juvenile chum salmon begin their downstream migration, experiencing substantial predation pressure in both riverine and coastal environments (Kubo, 1946; Hikita *et al.*, 1959; Fresh and Schroder, 1987; Takami and Nagasawa, 1996; Sturdevant *et al.*, 2009; Miyakoshi *et al.*, 2013a). Therefore, burst swimming ability during the early life stages may be closely related to their overall survival.

Previous studies have suggested that salmonids reared under hatchery conditions for longer periods, such as sockeye salmon, coho salmon, and Atlantic salmon, which are reared under hatchery conditions for more than one year and released as smolts, exhibit lower swimming ability compared to wild fish (Pedersen *et al.*, 2008; Hammenstig *et al.*, 2014). Although the rearing period for chum salmon after emergence is approximately two months—shorter than that of the aforementioned species—research on the ontogenetic development of swimming ability in juvenile chum salmon is limited (Ohkuma *et al.*, 1988). Furthermore, comparisons between hatchery-reared and wild juveniles have been previously reported only by Kobayashi and Ohkuma (1983) and Nobata *et al.* (2022), and furthermore, only within a limited

size range. Therefore, whether hatchery rearing affects the development of swimming ability in juvenile chum salmon remains uncertain.

The objective of this study was to investigate the ontogenetic development of burst swimming ability in juvenile chum salmon and to evaluate differences between hatchery-reared and wild fish. Specifically, we investigated: (1) the size-dependent relationship between fork length (FL) and BS; (2) whether the developmental patterns of BS differ among origin groups; and (3) whether differences in BS exist among groups within body sizes corresponding to the early river life stage prior to downstream migration.

MATERIALS AND METHODS

Definition and origin of experimental fish Definitions of wild and hatchery fish followed criteria proposed by Morita and Ohkuma (2015). ‘Wild fish’ were defined as individuals originating from natural spawning, regardless of whether their parents were wild or hatchery-origin fish. ‘Hatchery fish’ were defined as individuals that were produced by artificial fertilization and subsequently released from hatcheries

irrespective of whether the broodstock originated from wild or hatchery returns.

Juvenile chum salmon used in the laboratory rearing experiment originated from the Shibetsu River, a major river supporting salmon enhancement programs in the Nemuro region of eastern Hokkaido (Fig. 1b). Fertilized eggs of the 2012 brood year were obtained on 12 September and 11 December 2012, and those of the 2013 brood year were obtained on 1 October 2013 through artificial insemination conducted as part of hatchery programs in the Shibetsu River. Eyed eggs managed at the Shibetsu hatchery of the Nemuro Salmon Enhancement Association were transported to the Doto Research Branch of the Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, where they were incubated in a vertical incubator until emergence. After emergence, juveniles were placed in a plastic rearing chamber (length $\times$ width $\times$ height, 3.26 m $\times$ 0.33 m $\times$ 0.33 m). The initial rearing density was approximately 2000 fish per chamber, and the density was gradually reduced so that approximately 1000 fish remained when average body mass reached 1 g and fewer than 300 fish remained when body mass exceeded 2 g. Aerated groundwater (approximately 9.5 °C water temperature) was supplied continuously to the chamber, and the measured water flow velocity within the chamber was less than 1 cm s⁻¹. Fish were fed a commercial diet (Alpha Crumble EX Masu C 1 and C 2; Nippon Nosan Co., Ltd.). BS measurements were conducted on hatchery-origin juveniles reared in the laboratory. In 2013, measurements were performed on eight occasions between March and May with 8–12 fish per trial ($n = 84$). In 2014, measurements were conducted on 13 occasions between February and April with 4–10 fish per trial ($n = 120$). Although these fish originated from the hatchery, they were not released into natural environments. Therefore, this study defines these as laboratory-reared fish.

Juvenile chum salmon were collected from the Kotanuka River in the Nemuro region (Fig. 1b) and the Chitose River in western Hokkaido (Fig. 1c). In the Kotanuka River, sampling was conducted approximately 400 m upstream from the river mouth using a cast net and an electrofisher (Electrofisher Model 12, Smith-Root Inc.). To minimize potential impacts on fish, the electrofisher voltage was set to 200 V. Fish were collected on 25 April and 5 July 2013 (12 and 13 individuals, respectively; total $n = 25$) and on 18 May 2014 ($n = 25$). After capture, the fish were transported to the Doto Research Branch and held in a plastic rearing chamber for 24–30 h to allow

recovery prior to measuring BS. Although juvenile chum salmon had been released into the Kotanuka River until 1986, no release had occurred for 27 years at the time of this study (https://www.fra.go.jp/shigen/salmon/publications/files/hsh100thyear_stat.pdf, retrieved 16 May 2026). Therefore, juveniles collected from the Kotanuka River were considered to be primarily of wild origin. However, recent surveys have reported that some relatively large juveniles collected in the Kotanuka River were marked fish from the nearby Uebetsu River that chum salmon juveniles were released and subsequently entered the Kotanuka River after a brief marine migration (Kasugai and Saneyoshi, 2015; Miyamoto *et al.*, 2016). Consequently, the possibility that some of the fry collected from this river originated from other rivers cannot be excluded. For this reason, fish collected from the Kotanuka River were classified as wild-caught fish in this study.

The fish were also collected from the Chitose River, one of the major salmon enhancement rivers on the Sea of Japan side of Hokkaido. In the Chitose River, natural spawning by wild chum salmon has been observed even after December, when the catch operations for hatchery programs end (Hasegawa *et al.*, 2014). Since 2001, all hatchery-released juveniles in the Chitose River have been marked through otolith thermal marking by the Fisheries Resources Institute of the Japan Fisheries Research and Education Agency. Therefore, hatchery-origin and wild-origin juveniles can be completely distinguished by examining their otolith marks. Sampling was conducted in a section approximately 80 km upstream from the river mouth, where salmon spawning behavior has been confirmed. Juveniles were collected using an electrofisher after the annual hatchery release had been completed. A total of 54 juveniles were collected in 2023 (18 on 18 May, 27 on 26 May, and 9 on 7 June), and 69 juveniles were collected in 2024 (34 on 21 May, 19 on 27 May, and 16 on 3 June). After capture, fish were transported to the rearing facility of the Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Eniwa (SFFR), and held in a plastic rearing chamber until BS measurements were conducted. Following the swimming trials, the fish were dissected, and their otoliths were examined to confirm the absence of thermal marks. Because all individuals used in the analysis were confirmed to lack otolith thermal marks, they were classified as wild fish.

Burst swimming experiments BS was measured using an escape measurement method based on sound startle stimulation (Torao *et al.*, 2020). Individual juveniles were placed in a circular plastic tank (56 cm in diameter) filled with

freshwater. The water temperature during the experiment at the Doto Research Branch was 9.5 °C, while it ranged from 9.2–9.6 °C during the experiment in SFFR. Escape responses were induced by striking a weight against the outer wall of the tank to produce a sudden sound stimulus. Two sound stimuli were delivered at 10-s intervals. The escape responses were recorded using a digital video camera. Video frames were analyzed to estimate swimming speed based on the distance measured every three frames (equivalent to 0.1 s). The maximum velocity observed during the escape response was defined as the BS. After the swimming trials, the fish were anesthetized and their body weight (BW) (in g) and fork length (FL) (in mm) were measured. The condition factor (CF) was calculated as:

$$CF = 10^5 \times BW/FL^3$$

Individuals that did not exhibit any escape response to the sound stimulus were excluded from the analysis. In total, BS data were obtained from 204 laboratory-reared fish, 50 wild-caught fish, and 112 wild fish.

Statistical analysis As the primary objective of this study was to examine differences among origin groups, potential differences between sampling years within each group were not statistically tested. Data from different years were therefore pooled for subsequent analyses. All statistical analyses were conducted using the R version 4.5.0 (R Core Team, 2025). The relationships between FL and BS were evaluated separately for each group using linear regression analysis. Relative burst swimming speed (RBS, expressed in FL/s) was defined as burst swimming speed divided by fork length, and the relationship between FL and RBS was evaluated in the same manner. Pearson's correlation coefficients were calculated, and relationships were considered statistically significant at $P < 0.05$. To compare the slopes of the regression relationships among groups, analysis of covariance (ANCOVA) was conducted. Differences in slopes were tested using the *emmeans* function in the *emmeans* package (Lenth, 2019). Pairwise comparisons were then performed to evaluate differences in slopes among the groups. Because most wild juveniles collected from the Chitose River were ≤ 45 mm FL, larger individuals were assumed to have already migrated downstream. To compare burst swimming performance at body sizes corresponding to the early riverine stage, fish were grouped into two size classes: 35 mm class (30–39 mm FL) and 40 mm class (40–44 mm FL). Within each size class, differences in BS among the three groups were

tested using Welch's *t*-test. Since the objective of this study was to examine differences in BS at a stage where the effects of rearing were minimal, we limited our analysis to comparisons between reared fish and wild-caught or wild fish.

RESULTS

Body size and burst speed of experimental fish

Summary statistics of FL, BW, CF, BS, and RBS for each group are presented in Table 1. FL of the reared fish ranged from 34–71 mm, with BW ranging from 0.27–3.61 g. The mean CF was similar between sampling years (8.56–8.63). Mean BS was 105.2 ± 16.2 cm s⁻¹ in 2013 and 105.5 ± 22.4 cm s⁻¹ in 2014, and RBS ranged from 13.5–29.2 FL s⁻¹.

Wild-caught fish collected from the Kotanuka River ranged from 36.0–63.2 mm in FL and from 0.29–2.00 g in BW. Mean FL was 47.5 ± 8.64 mm in 2013 and 51.8 ± 6.14 mm in 2014, and mean BW was 0.89 ± 0.57 g and 1.06 ± 0.41 g, respectively. The mean CF values were 7.13 and 7.28, respectively. Mean BS was 97.9 ± 28.8 cm s⁻¹ in 2013 and 97.0 ± 18.6 cm s⁻¹ in 2014, corresponding to RBS of 18.7–20.3 FL s⁻¹.

Wild fish collected from the Chitose River were generally smaller than those from the other groups. Most individuals were ≤ 45 mm FL, although a few larger individuals were collected in 2024, with a maximum FL of 74 mm. Mean FL was 38.3 ± 3.67 mm in 2023 and 40.9 ± 8.91 mm in 2024, and mean BW was 0.40 ± 0.18 g and 0.59 ± 0.68 g, respectively. The mean CF ranged from 6.75–6.95. Mean BS ranged from 81.8–82.5 cm s⁻¹, and RBS ranged from 20.5–21.6 FL s⁻¹.

Relationship between BS and body size BS increased significantly with increasing FL in all three groups (Table 2; Fig. 2). In reared fish, BS showed a significant positive relationship with FL (slope = 1.64, $t = 13.34$, $P < 0.001$; Fig. 2a). Similarly, BS increased significantly with FL in wild-caught fish (slope = 2.47, $t = 9.07$, $P < 0.001$; Fig. 2b). A significant positive relationship was also observed in wild fish (slope = 0.69, $t = 5.60$, $P < 0.001$; Fig. 2c). Considerable variation in BS was observed among individuals of similar body size, particularly in the reared fish.

Relationship between relative burst speed and body size

The relationship between RBS and FL differed among groups (Table 3). In both reared and wild fish, RBS decreased significantly with increasing FL, indicating a negative relationship with body size (reared fish: slope = -0.072 ± 0.022 , $P = 0.002$; wild fish: slope = -0.226 ± 0.030 , $P <$

Table 1 Morphological traits and burst swimming performance of juvenile chum salmon from three origin groups: laboratory-reared (Shibetsu River), wild-caught (Kotanuka River), and wild (Chitose River)

Fish	Location	Year	Sample size	Fork length (FL, mm)	Body weight (W, g)	Condition factor (CF)	Burst speed (cm s ⁻¹)	Relative burst speed (FL s ⁻¹)
Laboratory-reared	Doto Research Branch	2013	84	54.90 ± 6.79 (39.45–67.00)	1.51 ± 0.66 (0.53–2.97)	8.56 ± 1.02 (5.46–10.35)	105.15 ± 16.18 (74–146)	19.31 ± 3.01 (13.53–28.46)
		2014	120	51.36 ± 9.01 (34.81–71.27)	1.33 ± 0.71 (0.27–3.61)	8.63 ± 0.96 (5.82–10.16)	105.50 ± 22.42 (63–167)	20.55 ± 2.39 (14.23–29.24)
Wild-caught	Kotanuka River	2013	25	47.51 ± 8.64 (35.98–62.20)	0.89 ± 0.57 (0.29–1.98)	7.13 ± 1.03 (5.26–8.93)	97.92 ± 28.76 (48–161)	20.29 ± 3.31 (12.26–27.08)
		2014	25	51.80 ± 6.14 (41.30–63.20)	1.06 ± 0.41 (0.47–2.00)	7.28 ± 0.50 (6.51–8.37)	97.04 ± 18.59 (65–139)	18.70 ± 2.55 (14.13–23.28)
Wild	Chitose River	2023	55	38.31 ± 3.67 (32.57–56.10)	0.40 ± 0.18 (0.23–1.48)	6.75 ± 0.56 (5.41–8.38)	82.49 ± 10.00 (58–110)	21.58 ± 2.28 (16.31–27.82)
		2024	57	40.85 ± 8.91 (33.20–74.10)	0.59 ± 0.68 (0.24–3.47)	6.95 ± 0.76 (6.01–10.83)	81.79 ± 10.21 (65–105)	20.47 ± 2.92 (11.25–26.25)

Values were expressed by means ± standard deviation.

Condition factor was calculated by the following formula: $CF = 10^5 \times W/(FL)^3$.

The values in parentheses indicate the respective ranges.

Table 2 Results of regression analysis between burst speed (cm s⁻¹) and fork length (FL) in different groups (laboratory-reared, wild-caught, wild) of juvenile chum salmon

Explanatory variables	Group	Coefficient	Estimate	Standard error	<i>t</i> value	Pr(> <i>t</i>)	<i>R</i> ²	<i>P</i> value
FL	Laboratory-reared	Intercept	18.737	6.574	2.850	0.005	0.47	< 0.001
		FL	1.640	0.123	13.340	0.000		
	Wild-caught	Intercept	-25.237	13.702	-1.842	0.072	0.63	< 0.001
		FL	2.473	0.273	9.066	0.000		
	Wild	Intercept	54.969	4.930	11.151	0.000	0.22	< 0.001
		FL	0.686	0.123	5.595	0.000		

0.001). In contrast, wild-caught fish showed a significant positive relationship between RBS and FL (slope = 0.110 ± 0.054, *P* = 0.049).

Comparison of burst speed–fork length relationships among groups Analysis of covariance revealed significant differences among groups in the slopes of the regression lines describing the relationship between BS and FL across the observed size range (Table 4). The slope of the regression line for reared fish was significantly greater than that for wild fish (difference in slope = 0.959 ± 0.212, *P* < 0.0001). In contrast, the slope for reared fish was significantly smaller than that for wild-caught fish (difference = −0.823 ± 0.266, *P* = 0.0060). The slope for wild fish was also significantly smaller than that for wild-caught fish (difference = −1.782 ± 0.301, *P* <

0.0001).

Comparison of burst speed among groups within size classes Comparisons of BS among groups within the 35 mm and 40 mm size classes are shown in Table 5. Within the 35 mm size class, mean BS was 78.8 ± 9.09 cm s⁻¹ for reared fish and 71.0 ± 17.6 cm s⁻¹ for wild-caught fish, with no significant difference between the two groups (Welch's *t*-test, *P* = 0.299). The mean BS of wild fish (79.6 ± 8.89 cm s⁻¹) also did not differ significantly from that of the reared fish (*P* = 0.734). Within the 40 mm size class, mean BS was 87.3 ± 10.1 cm s⁻¹ for reared fish and 80.0 ± 11.8 cm s⁻¹ for wild-caught fish, and the difference was not significant (*P* = 0.507). Likewise, no significant difference was detected between reared fish and wild fish (89.6 ± 9.31 cm s⁻¹; *P* = 0.128).

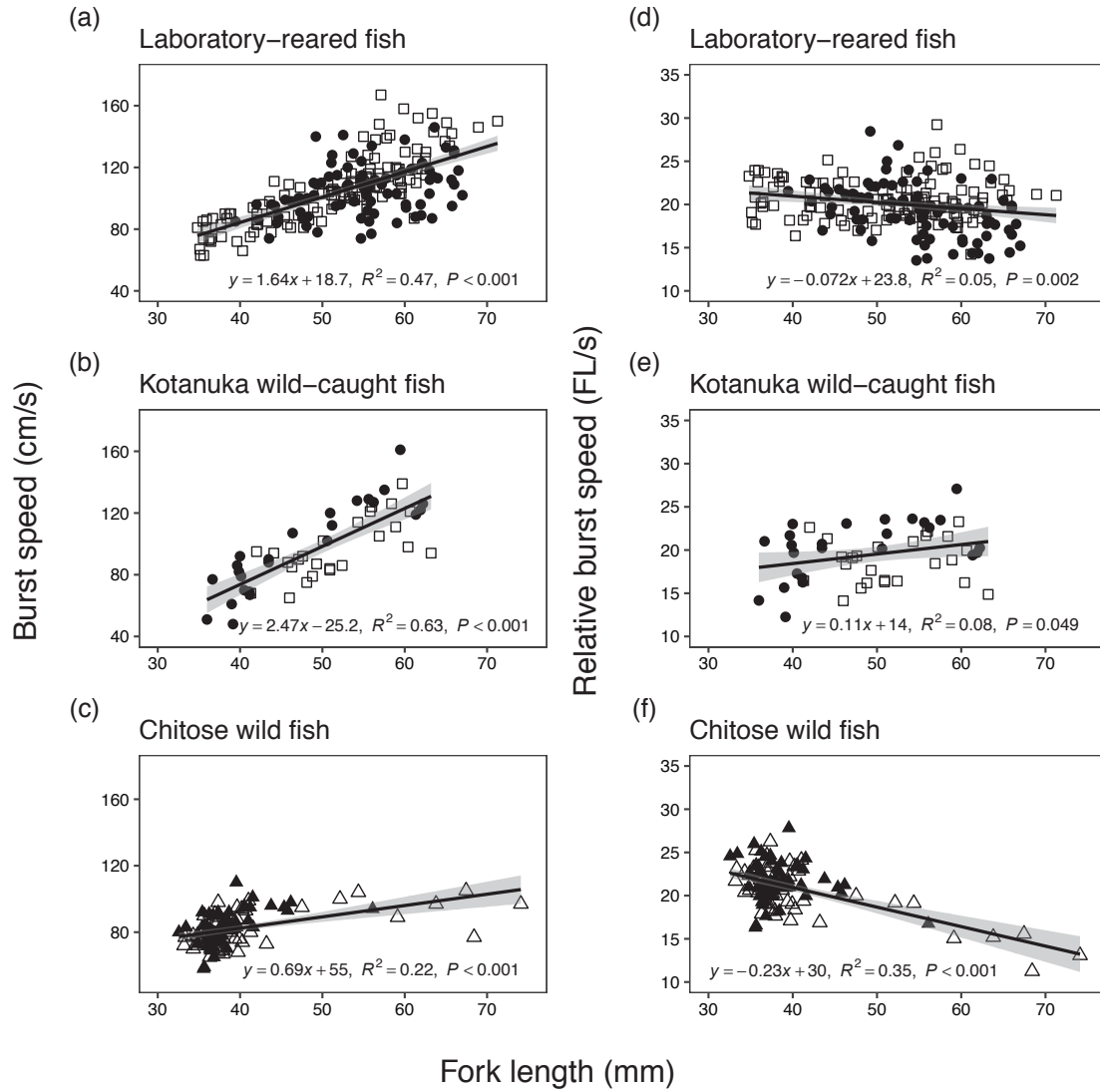


Fig.2 Relation of burst speed (left column) or relative burst speed (right column) with fork length of (a)(d) laboratory reared ($n = 204$), (b)(e) wild-caught in Kotanuka River ($n = 50$), and (c)(f) Chitose River wild juvenile chum salmon ($n = 112$). Black circles represent laboratory-reared fish or fish collected from Kotanuka River in 2013, while white squares represent those from 2014. Black triangles show wild fish from Chitose River in 2023, and white triangles show those from 2024. Correlations were evaluated using Pearson's correlation coefficient test, and multiple R-squared (R^2) and p -value (P) were calculated. $P < 0.05$ were considered significant correlation. Solid lines indicate linear regression relationships, and shaded areas represent 95% confidence intervals.

Table 3 Results of regression analysis between relative burst speed (FL s^{-1}) and fork length (FL) in different groups (laboratory-reared, wild-caught, wild) of juvenile chum salmon

Explanatory variables	Group	Coefficient	Estimate	Standard error	t value	$\text{Pr}(> t)$	R^2	P value
RBS	Laboratory-reared	Intercept	23.828	1.199	19.868	0.000	0.05	0.002
		BS/FL	-0.072	0.022	-3.195	0.002		
	Wild-caught	Intercept	14.040	2.734	5.136	0.000	0.08	0.049
		BS/FL	0.110	0.054	2.021	0.049		
	Wild	Intercept	29.955	1.192	25.132	0.000	0.35	< 0.001
		BS/FL	-0.226	0.030	-7.614	0.000		

Table 4 Pairwise comparisons of regression slopes describing the relationship between fork length and burst speed among groups (reared, wild-caught, and wild)

Comparison	Difference in slope	Standard error	df	t value	P value
Reared – (Wild-caught)	-0.823	0.266	360	-3.094	0.006
Reared – Wild	0.959	0.212	360	4.523	<0.0001
Wild – (Wild-caught)	-1.782	0.301	360	-5.914	<0.0001

Slopes were estimated using ANCOVA with an interaction between fork length and group, and pairwise differences were evaluated using post hoc comparisons of estimated marginal trends.

Table 5 Comparison of burst speed between reared, wild-caught, and wild juvenile salmon within each fork length class

Fork length class (mm)	Group	n	Burst speed (cm/s, Mean $\pm$ S.D.)	Comparison	P value
35	Reared	19	78.79 $\pm$ 9.09		
	Wild-caught	7	71.00 $\pm$ 17.57	Reared vs Wild-caught	0.299
	Wild	77	79.58 $\pm$ 8.89	Reared vs Wild	0.734
40	Reared	21	87.33 $\pm$ 10.12		
	Wild-caught	9	80.00 $\pm$ 11.83	Reared vs Wild-caught	0.507
	Wild	13	89.62 $\pm$ 9.31	Reared vs Wild	0.128

The fork length ranges for the 35 mm and 40 mm size classes were determined as 30–39 mm and 40–44 mm, respectively. *P* values indicate results of Welch's *t*-tests.

Discussion

The present study revealed three main findings. First, burst swimming performance increased significantly with body size in juvenile chum salmon. Second, the rate of increase differed among origin groups. Third, despite these differences in developmental trajectories, BS did not differ significantly between reared and wild fish within body sizes corresponding to the early riverine stage.

The juveniles examined in this study ranged from 32–74 mm FL, encompassing the majority of the typical body size range observed during the riverine life stage of chum salmon. Within this size range, BS increased significantly with increasing body length in all groups, indicative of a significant size-dependent relationship. Size dependence of swimming ability has been widely reported in fishes, as larger individuals generally show higher swimming ability (Beamish, 1978; Plaut, 2001; Wolter and Arlinghaus, 2003; Cano-Barbacid *et al.*, 2020). Ohkuma *et al.* (1998) measured the burst swimming speed of reared chum salmon with 30–50 mm FL and obtained results nearly identical to those of the present study. The present results indicate that the same pattern applies to juvenile chum salmon across the riverine life stage. In some fish species, the relationship between body size and swimming ability can change depending on the ontogenetic stage

associated with shifts in their life history (Ducos *et al.*, 2022). However, within the riverine stage examined here, burst swimming performance of juvenile chum salmon appeared to increase in a linear manner with body size. The size-dependent increase in burst swimming ability observed in the present study is consistent with previous findings on the development of other swimming abilities in juvenile chum salmon. Iino *et al.* (2021) reported that the critical swimming speed, reflecting sustained swimming ability, also increases with body size and develops particularly rapidly during early life stages. These findings suggest that both burst swimming ability and sustained swimming ability in juvenile chum salmon develop progressively with growth.

Substantial individual variation in BS was observed within similar body size ranges. Large individual variation in swimming performance has previously been reported in salmonids of a single origin (Ojanguren and Braña, 2003). Such variability may reflect differences in physiological condition, growth history, or behavioral traits among individuals. In hatchery environments, compared to natural environments where selective pressures are stronger, even individuals with relatively poor swimming ability may survive, and differences in ability among individuals may persist for a longer period.

Although BS increased with FL in all groups, the slopes of the regression relationships differed significantly among different origin groups. In particular, wild-caught fish from the Kotanuka River exhibited significant increase in BS with increasing FL compared with the other groups. This difference may reflect variation in growth history or environmental conditions rather than intrinsic differences between hatchery and wild fish. One possibility is that rearing conditions impair the development of swimming ability in hatchery fish. Juveniles reared in hatcheries typically experience relatively stable environments with low water velocities and abundant food resources. Consequently, they may have fewer opportunities to perform sustained or burst swimming behaviors associated with foraging, station holding, or predator avoidance compared with fish in natural rivers (Sundström and Johnsson, 2001; Johnsson *et al.*, 2001). Such environmental differences could influence the developmental trajectory of swimming performance. Another possible explanation for the steeper relationship observed in wild-caught fish is the results of size-selective predation. Juvenile chum salmon experience substantial predation pressure in riverine and coastal environments, and predators often select prey based on body

size and escape ability (Duffy and Beauchamp, 2008; Hasegawa *et al.*, 2021). Therefore, larger individuals may represent survivors with relatively high swimming performance. Reports indicate that the relatively large juveniles collected in the Kotanuka River include individuals from other rivers (Kasugai and Saneyoshi, 2015; Miyamoto *et al.*, 2016). This process could lead to an apparent increase in burst swimming ability with body size among larger individuals captured in wild-caught fish from the Kotanuka River. In addition, fast-growing, large-sized individuals expand their distribution into faster stream velocities (Kaeriyama, 1986). Larger individuals might improve their swimming ability by experiencing faster flow velocities. Generally, relative burst swimming ability decreases with increasing body length (Beamish, 1978). In reared fish and wild fish from the Chitose River, RBS decreased as FL increased; in contrast, wild-caught fish from the Kotanuka River demonstrated that larger individuals possessed relatively higher burst swimming ability. This suggests that large individuals with high burst swimming speeds are present in the Kotanuka River.

In contrast, wild fish from the Chitose River exhibited a significantly smaller slope in the relationship between BS and body size. Many of the individuals collected from this river were relatively small, although a few larger juveniles were also present. Previous studies have reported that most juvenile chum salmon begin downstream migration soon after emergence, whereas some individuals remain in the upper reaches of the river for an extended period and migrate at larger sizes (Neave, 1955; Kobayashi *et al.*, 1965; Mayama *et al.*, 1983; Kaeriyama, 1986). The larger juveniles observed in the present study may be such river-resident individuals. Interestingly, these larger fish exhibited relatively low BS compared with individuals of similar size in other groups, which may have contributed to the lower slope of the regression relationship. The presence of resident individuals may be related to the river environment in the upper reaches of the Chitose River. The site where the juveniles were collected appeared to have a slow current and sufficient cover. Such environments may be conducive for fry to remain in the site, potentially contributing to the presence of individuals that grow to large sizes. Kaeriyama (1986) observed that individuals that emerged early tended to remain near spawning sites for extended periods. That report also noted that the downstream migration might be related to food availability, suggesting that food shortages could trigger the migration. The downstream migration speed of hatchery *S. salar* smolt is

inversely correlated with feed intake (Lans *et al.*, 2011). This suggests that when food is readily available, fish tend to remain at that site. Although such a response has not been observed in chum salmon juveniles, it is possible that in environments where sufficient food is available, juveniles may exhibit inhibitory behavior toward downstream migration. Fast currents are less likely to be experienced by individuals in the slow-flowing environments near spawning sites, which might affect the development of their burst swimming abilities. However, the cause of the low burst swimming in large juveniles, or the relationship between low burst swimming and retention in rivers, remains unclear. The ecological significance of this phenomenon remains unclear, and further research is needed to verify the relationship between burst swimming ability and differences in downstream migration behavior.

Despite the differences in developmental trajectories among groups, no significant differences in BS were detected between reared fish and either wild-caught or wild fish within the body size classes corresponding to the early riverine stage. This finding suggests that reared juvenile chum salmon do not necessarily possess inferior burst swimming performance compared with wild fish at body sizes typical of the early downstream migration stage. Previous studies on other salmonids have reported that fish reared to the smolt stage demonstrate lower swimming ability compared to wild fish (McDonald *et al.*, 1998; Pedersen *et al.*, 2008; Van Leeuwen *et al.*, 2011; Hammenstig *et al.*, 2014). In contrast, chum salmon are generally released at much earlier life stages and experience relatively short hatchery rearing periods. The absence of clear differences in BS observed in the present study may therefore reflect the limited duration of rearing. Furthermore, when comparing flow velocities in their habitats, during the early stages of their life in natural rivers, juvenile chum salmon prefer to use locations with a gentle flow velocity of less than 10 cm/s (Hasegawa *et al.*, 2011). The difference in flow velocity experienced by reared and wild fish during these periods is relatively small, so its effect on the development of their swimming ability may be limited.

For hatchery enhancement programs for chum salmon, optimizing release size and release timing remains an important management issue. Future studies should investigate how environmental conditions during rearing, such as water velocity, structural complexity, and exercise opportunities, influence the development of swimming performance. Such information will be valuable for developing rearing methods

that enhance functional traits that are important for survival in the wild.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank The Nemuro Salmon Enhancement Association for providing the chum salmon eggs used in this study. We also thank Mr. Miki Kobayashi, former Head of the Doto Research Branch of the Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, for overseeing and coordinating this research project.

LITERATURE CITED

- Araki H, Berejikian BA, Ford MJ, Blouin MS. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. *Evolutionary Applications* 2008; 1: 342–355.
- Beamish FWH. Swimming capacity. In: Hoar WS, Randall DJ (eds). *Fish Physiology*. Volume VII. Locomotion. Academic Press, New York. 1978; 101–187.
- Cano-Barbacid C, Radinger J, Argudo M, Rubio-Gracia F, Vila-Gispert A, García-Berthou E. Key factors explaining critical swimming speed in freshwater fish: a review and statistical analysis for Iberian species. *Scientific Reports* 2020; 10: 1–12.
- Ducos S, Pugliese S, Demolliens M, Beraud L, Boussard A, Delmas A, Agostini S, Garcia J, Aiello A, Durieux EDH. Ontogeny of swimming performance of hatchery-reared post-larvae and juvenile fish: a case of two threatened Mediterranean species. *Journal of Fish Biology* 2022; 101: 846–856.
- Duffy EJ, Beauchamp DA. Seasonal patterns of predation on juvenile Pacific salmon by anadromous cutthroat trout in Puget Sound. *Transactions of the American Fisheries Society* 2008; 137: 165–181.
- Fresh KL, Schroder SL. Influence of the abundance, size, and yolk reserves of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) on predation by freshwater fishes in a small coastal stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1987; 44: 236–243.
- Hammenstig D, Sandblom E, Axelsson M, Johnsson JI. Effects of rearing density and dietary fat content on burst-swim performance and oxygen transport capacity in juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* 2014; 85: 1177–1191.
- Hasegawa K, Honda K, Yoshiyama T, Suzuki K, Fukui S. Small biased body size of salmon fry preyed upon by piscivorous fish in riverine and marine habitats. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2021; 78: 631–638.
- Hasegawa K, Miyauchi Y, Shimizu T. The status of winter-run wild chum salmon in Chitose River, Hokkaido. *Japanese Journal of Ichthyology* 2014; 61: 125–127 (in Japanese).
- Hasegawa K, Ohkuma K, Ohnuki T. Focal point selection of chum and masu salmon fry in streams. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2011; 77: 1095–1097 (in Japanese).
- Hikita T, Kameyama S, Kobayashi A, Sato Y. Some biological observations of the rainbow trout, *Salmo gairdneri irideus*, in the Nishibetsu River, with special reference to the consumption of salmon eggs and fry by predaceous fishes. *Scientific Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery* 1959; 14: 91–121 (in Japanese with English abstract).
- Iino Y, Kitagawa T, Abe TK, Nagasaka T, Shimizu Y, Ota K. Ontogeny of critical swimming speeds for juvenile chum salmon. *North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Report* 2021; 17: 50–52.
- Jayne BC, Lauder GV. Red and white muscle activity and kinematics of the escape response of the bluegill sunfish during swimming. *Journal of Comparative Physiology A* 1993; 173: 495–508.
- Johnsson JI, Höjesjö J, Fleming IA. Behavioural and heart rate responses to predation risk in wild and domesticated Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2001; 58: 788–794.
- Kaeriyama M. Ecological study on early life of the chum salmon, *Oncorhynchus keta* (Walbaum). *Scientific Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery* 1986; 40: 31–92 (in Japanese with English abstract).
- Kasugai K, Saneyoshi H. Research on the evaluation of natural reproduction resources of chum salmon. Annual Report of the Hokkaido Research Organization Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute (FY2013), Eniwa. 2015; 5–7 (in Japanese).
- Kobayashi T, Harada S, Abe S. Ecological observations on the salmon of Nishibetsu River 1. The migration and growth of chum salmon fry, *Oncorhynchus keta* (Walbaum). *Scientific Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery* 1965; 19: 1–10 (in Japanese with English abstract).
- Kobayashi T, Ohkuma K. On the device for stamina measurement of salmon fry. *Scientific Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery* 1983; 37: 41–44. (in Japanese)

- with English abstract)
- Kolok AS. Interindividual variation in the prolonged locomotor performance of ectothermic vertebrates: a comparison of fish and herpetofaunal methodologies and a brief review of the recent fish literature. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1999; 56: 700–710.
- Kubo T. On the predation of juvenile salmon and trout by various river fishes. *Scientific Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery* 1946; 1: 51–55 (in Japanese).
- Lans L, Greenberg LA, Karlsson J, Calles O, Schmitz M, Bergman E. The effects of ration size on migration by hatchery-raised Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Ecology of Freshwater Fish* 2011; 20: 548–557.
- Lenth R. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.4.3.01. 2019.
- Mayama H, Seki J, Shimizu I. Studies on the chum salmon released in the Ishikari River system II. On the seaward migration and inshore distribution of liberated fry in 1980 and 1981. *Scientific Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery* 1983; 37: 1–22 (in Japanese with English abstract).
- McDonald DG, Milligan CL, McFarlane WJ, Croke S, Currie S, Hooke B, Angus RB, Tufts BL, Davidson K. Condition and performance of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*): effects of rearing practices on hatchery fish and comparison with wild fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1998; 55: 1208–1219.
- Miyakoshi Y, Nagata M, Ando D, Fujiwara M, Aoyama T. Fish predators of juvenile chum and pink salmon in coastal waters of Abashiri region, eastern Hokkaido. *Scientific Reports of Hokkaido Fisheries Research Institutes* 2013a; 83: 41–44 (in Japanese with English abstract).
- Miyakoshi Y, Nagata M, Kitada S, Kaeriyama M. Historical and current hatchery programs and management of chum salmon in Hokkaido, northern Japan. *Reviews in Fisheries Science* 2013b; 21: 469–479.
- Miyamoto M, Omori H, Saneyoshi H. Research on the evaluation of natural reproduction resources of chum salmon. Annual Report of the Hokkaido Research Organization Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute (FY2014), Eniwa. 2016; 5–7 (in Japanese).
- Morita K, Ohkuma K. Chum salmon: existence and conservation of wild fish that have persisted under hatchery programs. *Japanese Journal of Ichthyology* 2015; 62: 189–195 (in Japanese).
- Neave F. Notes on the seaward migration of pink and chum salmon fry. *Journal of the Fisheries Board of Canada* 1955; 12: 369–374.
- Nobata S, Houki S, Kitagawa T, Hyodo S. Condition factor dependency of burst swimming ability between wild and hatchery-reared chum salmon fry (*Oncorhynchus keta*). *Ichthyological Research* 2022; 69: 280–286.
- Ohkuma K, Sasaki S, Wada A, Tojima T. Burst swimming speed of chum salmon fry measured with a simple water tunnel apparatus. *Bulletin of the National Salmon Resources Center* 1998; 1: 45–48 (in Japanese with English abstract).
- Ojanguren AF, Braña F. Effects of size and morphology on swimming performance in juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecology of Freshwater Fish* 2003; 12: 241–246.
- Pedersen LF, Koed A, Malte H. Swimming performance of wild and F1-hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts. *Ecology of Freshwater Fish* 2008; 17: 425–431.
- Plaut I. Critical swimming speed: its ecological relevance. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 2001; 131: 41–50.
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2025; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Stobutzki IC, Bellwood DR. Sustained swimming abilities of the late pelagic stages of coral reef fishes. *Marine Ecology Progress Series* 1997; 149: 35–41.
- Sturdevant MV, Sigler MF, Orsi JA. Sablefish predation on juvenile Pacific salmon in the coastal marine waters of southeast Alaska in 1999. *Transactions of the American Fisheries Society* 2009; 138: 675–691.
- Sundström LF, Johnsson JI. Experience and social environment influence the ability of young brown trout to forage on live novel prey. *Animal Behaviour* 2001; 61: 249–255.
- Takami T, Nagasawa K. Predation on chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry and masu salmon (*O. masou*) juveniles by white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) in a river in northern Japan. *Scientific Reports of the Hokkaido Fish Hatchery* 1996; 50: 45–47.
- Taylor EB, McPhail JD. Burst swimming and size-related predation of newly emerged coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. *Transactions of the American Fisheries Society* 1985; 114: 546–551.

- Torao M, Miyamoto M, Kobayashi M. A simple method for measuring the swimming speed of salmon fry using escape behavior. *Scientific Reports of Hokkaido Fisheries Research Institutes* 2020; 98: 1–10 (in Japanese with English abstract).
- Tsukamoto K, Kajihara T, Nishiwaki M. Swimming ability of fish. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI* 1975; 41: 167–174.
- Van Leeuwen TE, Rosenfeld JS, Richards JG. Adaptive trade-offs in juvenile salmonid metabolism associated with habitat partitioning between coho salmon and steelhead trout in coastal streams. *Journal of Animal Ecology* 2011; 80: 1012–1023.
- Wolter C, Arlinghaus R. Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 2003; 13: 63–89.

北海道産ホッケ生食用冷凍商材のおいしさに影響をおよぼす要素及び製造条件の検討

笹岡友季穂^{*1}, 辻 浩司², 高橋夢伽¹, 蛭谷幸司², 北谷朋也¹, 田中 彰³, 佐々木茂文³

¹ 北海道立総合研究機構中央水産試験場,

² 元北海道立総合研究機構中央水産試験場,

³ 北海道立総合研究機構食品加工研究センター

Sensory and processing factors affecting the palatability of frozen atka mackerel fillets for raw consumption

YUKIHO SASAOKA^{*1}, KOJI TSUJI², YUMEKA TAKAHASHI¹, KOJI EBITANI², TOMOYA KITADANI¹,
AKIRA TANAKA³ and SHIGEFUMI SASAKI³

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

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

³ Food Processing Research Center, Hokkaido Research Organization, Ebetsu, Hokkaido 069-0836, Japan

In this study, we aimed to identify key sensory attributes and optimal processing, freezing, and storage conditions for Atka mackerel (*Pleurogrammus azonus*) fillets intended for raw consumption. Sensory evaluation showed that perceived excess moisture and fishy odor were key attributes strongly associated with palatability. Although some physicochemical parameters showed significant differences, no consistent overall differences were observed, suggesting that subtle differences in muscle quality influenced palatability. Furthermore, brine-freezing fillets from fish processed on the day of capture, followed by storage at -40°C or below, is likely to result in limited ice crystal formation and growth. This reduced perceived excess moisture and preserved a firm and resilient texture, enabling the production of fillets that are suitable for raw consumption.

キーワード：官能的要素，製造条件，生食，ホッケ，冷凍

北海道周辺のホッケ漁獲量は全国の漁獲量の99.4%（海面漁業生産統計調査（農林水産省，2026）より算出）を占めており、北海道はホッケの主要生産地と言える。北海道においてホッケの漁法は多様であり、漁獲対象となるサイズは幅広い。そのため、小さな個体は魚粉やすり身原料など不定形の素材へと加工され、大きな個体は開き干しの原料や鮮魚として利用されるなど、漁獲サイズに応じてホッケの用途は多岐に発展してきた。特定のサイズに依存しない利用方法は、豊富なホッケの資源量に支えられて発展し、ホッケを量的に消費する産業構造に寄与してきたと言える（蛭谷，2023；板谷ら，2023）。しかし、2009年以降の資源量の急減をきっかけに、ホッケの資源量は低調に転じた。漁業者や関係機関の資源保護活動により回復の兆しが見えているが、資源量は不安定

に推移している（北海道，2025）。このような資源状況において、これまでと同様に量的な利用方法を同様の頻度で継続することは、成熟前の個体の資源量を減耗させ将来的な親魚数を減少させるリスクとなり得る（森田ら，2025）。ホッケ資源を持続可能に利用するためには、従来の量的な利用方法から、質的な利用方法へと産業利用の重心をずらし、資源保護と産業利用を両立させる必要がある。質的な利用方法を拡充しホッケの経済価値を向上することは、資源保護と不可分の関係にあると言えるだろう。

ホッケの質的利用において、輸入産ホッケとの競合を回避し経済価値を高く保つためには、道産ホッケが、輸入産ホッケにはないユニークな価値を提供することが必要である。ホッケに関する web アンケート（鱧水・麻生、

2022)において、消費者が道産ホッケに求める価値として鮮度が挙げた。この結果は、ホッケの価値として鮮度に潜在的な需要があることを示しており、生食のような鮮度を訴求する利用方法はホッケの経済価値向上に有効であることを示唆する。しかし、従来のホッケ加工方法は保存性の付与が重視されてきたため、漁獲されたホッケの鮮度に関する知見は不足している。加えて、ホッケはアニサキスが寄生するリスクがあり、安全に生食するためには冷凍処理が必須となるが、ホッケ魚肉について生食の品質に適した凍結方法や冷凍保管条件は明らかにされていない。そのため本研究は、道産ホッケの鮮度を訴求する加工品として生食用冷凍フィレを設定し、ホッケの生食において嗜好を決定づける官能項目と、嗜好に適う品質を実現するために必要な、原料加工の時間的制約および生食用冷凍フィレ製造時の凍結—冷凍保管条件を解明することを目的とする。

試料及び方法

試料 後志管内で漁獲された死後硬直前および硬直中のホッケを試料として用いた (Table 1)。また、ホッケの生食用冷凍フィレのおいしさに影響力を持つ官能特性の検討のため、栽培水産試験場で孵化後、中央水産試験場に移入し飼養されたホッケを比較試料として用いた。

鮮度評価 漁船の帰港後速やかに魚体を引き取り、氷冷下で試験場へ搬入し背肉普通肉を 2 g 採取した。採取した普通肉に氷冷した 5% 過塩素酸水溶液を添加し、守谷ら (2021) の方法に従い筋肉抽出液を調製した。筋肉抽出液を孔径 0.45 μm メンブレンフィルターでろ過し、魚類の鮮度 (K 値) 試験方法 (農林水産省, 2022) の方法

に従い高速液体クロマトグラフ (HPLC) (L-2000Elite 形, 株式会社日立ハイテクサイエンス) に供して核酸関連化合物を定量分析した。カラムは Asahipak GS-320HQ (7.5 mm ID $\times$ 300 mm, 株式会社レゾナック) を用いた。定量分析の結果から、ATP 含量および K 値 (Saito *et al.*, 1959) を算出した。得られた値は、データの正規性に基づいて Kruskal-Wallis 検定を行った後に、Steel-Dwass 法により多重比較検定を行い、産地間の鮮度の差の有無を統計解析した。解析には、4Steps エクセル統計 (第 4 版, オーエムエス出版) を用いた。

司厨士による官能評価 水揚げされたホッケを試験場に搬入後、漁獲当日にスキンスレスフィレを調製し、真空包装後 -25°C 静置凍結して冷凍スキンスレスフィレを調製した。業務用冷蔵庫内で静置解凍した冷凍スキンスレスフィレを刺身および寿司に調理し、北海道司厨士協会に所属する司厨士 16 名に対して試食を行った。食感, 味, においについて自由記述式アンケートを行い、テキストマイニング用ソフトウェア KH Coder (Version3.Beta.07f) を用いて解析した。質問項目 (食感, 味, におい) ごとに、回答文全文を集計単位として解析を行い、出現頻度 2 回以上の語を分析対象として採用し、Jaccard 係数を用いて語と語の共起の強さを算出し共起ネットワーク図を作成した。なお、否定語 (～ない) が肯定語として抽出されることや、語と助詞または助動詞の意図しない分断を防ぐため、強制抽出語および使用しない語を指定した (Table 2)。

ホッケの生食用冷凍フィレのおいしさに影響力を持つ官能特性の検討 異なる時期に後志管内の異なる産地で漁獲されたホッケを、漁獲当日 ($n = 26$) または氷冷貯蔵し経日的 (1, 2 日後, 各群 $n = 3$) にスキンスレスフィレ

Table 1 Sample characteristics, freezing and storage conditions of Atka mackerel used in this study

Experimental use	Origin	Sampling date	Sampling area	Fishing gear	Sampling number	Mean body length (mm)	Mean body weight (g)	Freezing condition	Storage condition	Days from capture to freezing
Measurement of ATP content and K value before freezing	Wild-caught	2022/5/19	Shiribeshi A	Bottom setnet	4	294 $\pm$ 3	447 $\pm$ 12	—	—	—
		2023/7/25	Shiribeshi B	Gill net	12			—	—	—
		2024/6/11	Shiribeshi C	Gill net	3			—	—	—
Effect of ice storage duration after capture	Wild-caught	2022/8/31	Shiribeshi B	Gill net	45	306 $\pm$ 1	419 $\pm$ 4	-25°C air freezing	-25°C	0, 1, or 2
Evaluation of sensory attributes affecting palatability for raw consumption	Wild-caught	2023/6/6	Shiribeshi C	Gill net	3	303 $\pm$ 2	479 $\pm$ 8	-25°C air freezing	-25°C	0
		2023/6/12	Shiribeshi C	Gill net	3			-25°C air freezing	-25°C	0
		2023/7/4	Shiribeshi B	Gill net	3			-25°C air freezing	-25°C	0
		2023/11/15	Shiribeshi B	Gill net	3			-25°C air freezing	-25°C	0
		2023/11/27	Shiribeshi B	Gill net	3			-30°C ethanol brine freezing	-25°C	0
		2024/6/10	Shiribeshi C	Gill net	9			-25°C air freezing	-25°C	0, 1, or 2
		2024/6/20	Shiribeshi C	Gill net	5			-30°C ethanol brine freezing	-40°C	0
		2024/9/4	Shiribeshi C	Gill net	3			-25°C air freezing	-25°C	0
	Farmed	2023/6/19	Rearing tank	Dip net	3			-30°C ethanol brine freezing	-80°C	0
Effect of freezing and frozen storage temperatures	Wild-caught	2024/6/6	Shiribeshi C	Gill net	36	321 $\pm$ 2	557 $\pm$ 8	Air freezing (-20°C , -25°C , or -40°C)	-20°C , -25°C , or -40°C	0
Effect of freezing method and frozen storage temperature	Wild-caught	2024/6/11	Shiribeshi C	Gill net	36	306 $\pm$ 2	550 $\pm$ 8	Air freezing (-25°C or -40°C) or ethanol brine freezing (-30°C)	-25°C , or -40°C	0

Table 2 Forced extraction terms and excluded terms used in the text mining analysis of chef questionnaires

Items	Texture		Taste		Odor	
	Forced extraction words	Excluded words	Forced extraction words	Excluded words	Forced extraction words	Excluded words
Shitazawari (mouthfeel)		—	Abura (fat)	To (the particle "to")	Naranai (not to be)	—
Mizuppoku (excess moisture)		Amasa (non-sugar-derived sweetness)	Na (the particle "na")	Ki (noticeable)		
Mizupposu (excess moisture)		Amami (non-sugar-derived sweetness)		Nioi (odor)		
Hagotae (firm and resilient texture)		Oishii (palatable)		Kanji (perceive)		
Yoi (favorable)		Notte (richness)		Ta (past-tense auxiliary verb)		
Ii (pleasant)		Yoi (favorable)		Nai (do not / no perceptible)		
Yoi (favorable / pleasant)		Aji (taste)		Masen (not)		
Shokkan (texture)		Bimi (pleasant taste)		Ru (the verb ending "-ru")		
Kanjirarenakatta (was not perceived)		Umami (umami)				
Kanjita (was perceived)		Kanji (perceive)				
Kanjimashita (was perceived)						
Omoe (was / was not perceived)						
Omou (perceived)						
Omoimasu (perceived)						
Nakatta (was not)						
Nai (not / no perceptible)						
Naku (no perceived)						

The upper row shows Japanese terms specified as forced extraction or excluded words; the lower row shows the corresponding English translations.

処理し、真空包装後、 -25°C 静置凍結または -30°C に冷却されたエタノール製剤を冷媒とする急速冷凍機 (S-220W, 株式会社テクニカン) を用いて凍結し試料とした。中央水産試験場にて飼養されたホッケ ($n = 3$) を、氷冷した海水中で延髄切断した後に鰓弓切断により脱血して活け締めしてスキンレスフィレ処理し、真空包装後エタノールブライン凍結して比較試料とした。また、2024/9/4 に後志 C で漁獲されたホッケから漁獲当日に調製したスキンレスフィレの片側 ($n = 3$) を、200 ppm 次亜塩素酸ナトリウム水溶液に 3 分間浸漬した後に流水洗浄し、市販脱水シート (食品用浸透圧脱水シート ピッチット, オカモト株式会社) で 20 分間覆い軽脱水した後に真空包装し、 -25°C 静置凍結して比較試料とした。加えて、道内にて製造された市販生食用冷凍ホッケフィレ 1 種類 ($n = 5$) を比較試料とした。これら 13 種類の冷凍スキンレスフィレについて、中心温度が 1°C に達するまで 4°C 恒温庫 (IQ820, ヤマト科学株式会社) にて静置解凍し、包丁を用いて筋繊維の長軸方向に対して垂直に

厚さ 0.8 cm の刺身を切り出した。順序効果を考慮し、ラテン方格法により試料の提供順序をランダム化した。訓練を行っていない水試職員 9 - 10 名により、評点法 (1: 非常に嫌い - 7: 非常に好き) により刺身の色、水っぽさ、歯ごたえ、脂のり、うまみ、生臭さ、およびおいしさ (総合評価) について評価し、受信者動作特性 (Receiver Operating Characteristic: ROC) 曲線による解析を行った。解析では、刺身の官能特性 (色、水っぽさ、歯ごたえ、脂のり、うまみ、生臭さ) を説明変数とし、総合評価にあたるおいしさを目的変数とした。目的変数は、評点に応じて二分変数 (おいしくない: 1 点 (全くそう思わない) - 4 点 (どちらでもない), おいしい: 5 点 (ややそう思う) - 7 点 (非常にそう思う)) に変換して解析に用いた。ROC 曲線解析では、説明変数と目的変数との関係が強いほど、説明変数の曲線下面積 (Area Under the Curve: AUC) は 1 に近づく。そのため本試験では、AUC の閾値を 0.80 (Swets, 1988; 中山ら, 2012; 星野ら, 2013) とし、AUC が閾値を上回った場合「ホッケの刺身のおいし

さに影響力をもつ官能特性である」と判断した。解析には、JMP (version 14.3.0, SAS Institute Inc.) を用いた。

漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価 水揚げされたホッケを試験場に搬入後、氷冷貯蔵して経日的 (0, 1, 2 日後) にスキンレスフィレを調製し、真空包装後 -25°C 静置凍結した。凍結後、試験まで -25°C で冷凍保管した。ホッケの生食用冷凍フィレのおいしさに影響力を持つ官能特性の検討と同法にて、評点法による官能評価を行った。官能評価では、刺身の生臭さにより被験者の集中力が低下することを抑制するため、被験者へ市販醤油 (しほりたて本醸造生しょうゆ, キッコーマン株式会社) を提供した。予備検討から、醤油の提供量は刺身 1 切れに対して $75\ \mu\text{L}$ とした。試験開始前に、醤油の使用量は任意であり全ての試験群で同量を使用するよう被験者へ説明した。得られた 6 つの官能特性 (色, 水っぽさ, 歯ごたえ, 脂のり, うまみ, 生臭さ) およびおいしさの評点は、分散分析により解析した。また、刺身の好ましさについて、評点の母平均を区間推定し、評点 4 点 (どちらでもない) との有意差を t 検定により求めた (長崎県, 2010)。

力学的物性値の測定は次の通り行った。すなわち、官能評価と同様に冷凍スキンレスフィレを解凍し、厚さ 1 cm の刺身を切り出した。レオメーター (CR-3000EX-S, 株式会社サン科学) に装着した $\phi 5\ \text{mm}$ の円形プランジャーに対して筋繊維が並行になるよう刺身を配置し、テーブルスピード $50\ \text{mm}/\text{min}$ で応力を測定した。測定箇所は、背肉側の水平隔膜付近と表皮付近の 2 カ所とした。刺身を噛み切ることを想定し、プランジャーが刺身の応力を検知してから貫通するまでの単位時間、単位面積当たりの応力の積算値 $\Delta F\ (\text{gf}/\text{s} \cdot \text{mm}^2)$ として解析した。

加圧ドリップ率の測定は次の通り行った。すなわち、前述と同様に厚さ 1 cm の刺身を切り出し、刺身の背肉側から $2\ \text{cm} \times 1\ \text{cm}$ のブロックを切り出した。ブロックに 1 kg の分銅を載せて 1 分, 3 分および 5 分間それぞれ加圧し、加圧前後の魚肉の重量差から加圧ドリップ率を算出した。

揮発性成分の測定は次の通り行った。すなわち、冷凍スキンレスフィレを流水解凍し、背肉を包丁で細切した。細切した魚肉 2 g をスクリュウキャップ付きバイアルに採取し、 $0.1\ \text{mg}/\text{mL}$ シクロヘキサノール溶液 $50\ \mu\text{L}$ を内部標準として添加した。スパーテルで混和後、バイアル内部の気体を窒素置換して 40°C で 20 分間予備加熱し、生じたヘッドスペースガスを固相マイクロ抽出 (SPME) ファイバー ($50/30\ \mu\text{m}$ DVB/CAR/PDMS, 長さ 2 cm, Merck) により 40°C で 30 分間捕集し、ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS) (GCMS-QP2010 Plus, 株式会社島津製作所) に供した。GC/MS 分析条件は以下のとおりとした。カラムは DB-WAX UI ($0.25\ \text{mm ID} \times 30\ \text{m}$,

膜厚 $0.25\ \mu\text{m}$, Agilent J&W 社) を用い、カラム温度は 35°C を 5 分間保持した後、 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で 145°C まで昇温し、さらに $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で 240°C まで昇温後 3 分間保持した。キャリアガスは He, キャリアガスのカラム内流量は $1.0\ \text{mL}/\text{min}$, 注入口温度は 250°C で行った。また, GC/MS のインターフェースは 250°C , イオン源温度は 200°C , 質量範囲 $29 - 300\ \text{m}/\text{z}$ についてスキャンモード ($2.0\ \text{scan}/\text{s}$) で分析した。標準物質の保持時間および質量スペクトルとの比較, ライブラリーリサーチシステム (NIST08s, Wiley9) を用いた検索により成分の同定を行った。分析に供した魚肉 2 g から検出された各同定成分の Total Ion Chromatogram (TIC) 面積を, 内部標準物質の TIC 面積で除して面積比を算出した。

遊離アミノ酸量の測定は次の通り行った。すなわち、鮮度評価に用いた筋肉抽出液を孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過し、ろ液を NaOH で中和後、塩酸 (終濃度 $0.02\ \text{N}$) を添加して測定試料とした。測定試料を高速アミノ酸分析計 (L-8900 形, 株式会社日立ハイテクノロジーズ) に供し、タンパク質加水分解物分析法により遊離アミノ酸を定量した。カラムは、たん白加水分解物分析カラム #2622 ($4.6\ \text{mm ID} \times 60\ \text{mm}$, 株式会社日立ハイテクノロジーズ) を用いた。得られた結果から、アスパラギン酸, トレオニン, セリン, グルタミン酸, グリシン, アラニン, バリン, シスチン, メチオニン, イソロイシン, ロイシン, チロシン, フェニルアラニン, リシン, ヒスチジン, アルギニン, プロリン, ヒドロキシプロリン, タウリンの 19 種のアミノ酸の合計量をもって総遊離アミノ酸量とした。

力学的物性値, 加圧ドリップ率, 同定した各揮発性成分の面積比および総遊離アミノ酸量は, データの正規性に基いて一元配置分散分析または Kruskal-Wallis 検定を行った後に, Tukey 法または Steel-Dwass 法により多重比較検定を行い, 氷冷貯蔵日数間の差の有無を統計解析した。解析には, 4Steps エクセル統計 (第 4 版, オーエムエス出版) を用いた。

凍結温度および冷凍保管温度の影響評価 水揚げされたホッケを搬入後、速やかにスキンレスフィレを調製し、真空包装後、種々の温度 (-20°C , -25°C , -40°C) で静置凍結し冷凍保管した。保管開始から 0, 1, 3, 5 カ月後に官能評価, 力学的物性値の測定, および加圧ドリップ率の測定を行った。官能評価ではノーズクリップを使用し, $150\ \text{mm}$ 直線を用いたラインスケール (アンストラクチャードスケール) 法 (Kurotobi et al., 2018; 黒飛ら, 2022) を用いて歯ごたえおよび水っぽさを評価した。力学的物性値および加圧ドリップ率の測定は, 漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価と同法にて行った。また, 力学的

物性値、加圧ドリップ率および官能評価値は、漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価と同法にて多重比較検定による統計解析を行った。

凍結方法および冷凍保管温度の影響評価 水揚げされたホッケを搬入後、速やかにスキンレスフィレを調製し、真空包装後、 -25°C 静置凍結または -30°C エタノールブライン凍結した。凍結後、 -25°C または -40°C で冷凍保管し、保管開始から0, 3, 5 カ月後に官能評価、力学的物性値の測定、および加圧ドリップ率の測定を行った。官能評価ではノーズクリップを使用した。本研究で用いた被験者は訓練されていないため、凍結温度および冷凍保管温度の影響評価で用いたラインスケール法では自由記述式のために評価が中庸になりやすく、試料群間の差が検出されにくいことが予想された。そこで、Check-All-That-Apply (CATA) 法 (Varela and Ares, 2012; 島村ら, 2017) および評点法を併用して歯ごたえおよび水っぽさを評価した。力学的物性値および加圧ドリップ率の測定は、漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価と同法にて行った。また、力学的物性値、加圧ドリップ率および官能評価値は、漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価と同法にて多重比較検定による統計解析を行った。

結果

鮮度評価 漁獲されたホッケの平均 ATP 含量は $0.13 \mu\text{mol/g}$ 以下、平均 K 値は 19% 以上であった。ATP 含量および K 値のいずれも個体間でばらつきがあり、また、同じ漁法であっても産地間でばらつきがあった。(Table 3)。

Table 3 ATP content and K value of Atka mackerel muscle from Shiribeshi region

Sampling area	Fishing gear	ATP ($\mu\text{mol/g}$)	K-value (%)
Shiribeshi A	Bottom setnet	0.027 ± 0.006	25.5 ± 2.8
Shiribeshi B	Gill net	0.129 ± 0.029	19.4 ± 1.7
Shiribeshi C	Gill net	0.018 ± 0.008	21.8 ± 2.1

Data are mean $\pm$ SEM

司厨士による官能評価 ホッケの刺身および寿司を試食した司厨士のアンケートをテキストマイニング法により解析した結果、共起して使用された語は、食感については「冷凍」と「思え」(Jaccard 係数 1.00)、「食感」と「ない」(0.67)、「舌ざわり」と「よい」(0.40)、「大変」と「美味」(1.00)、味については「脂」と「のって」(0.67)、「のって」と「甘さ」(0.50)、「のって」と「思う」(0.50)、「ホッケ」と「味」(0.50)、「美」と「味」(0.40)、においについては「気」と「ならない」(1.00)であった。(Fig. 1a-c)。

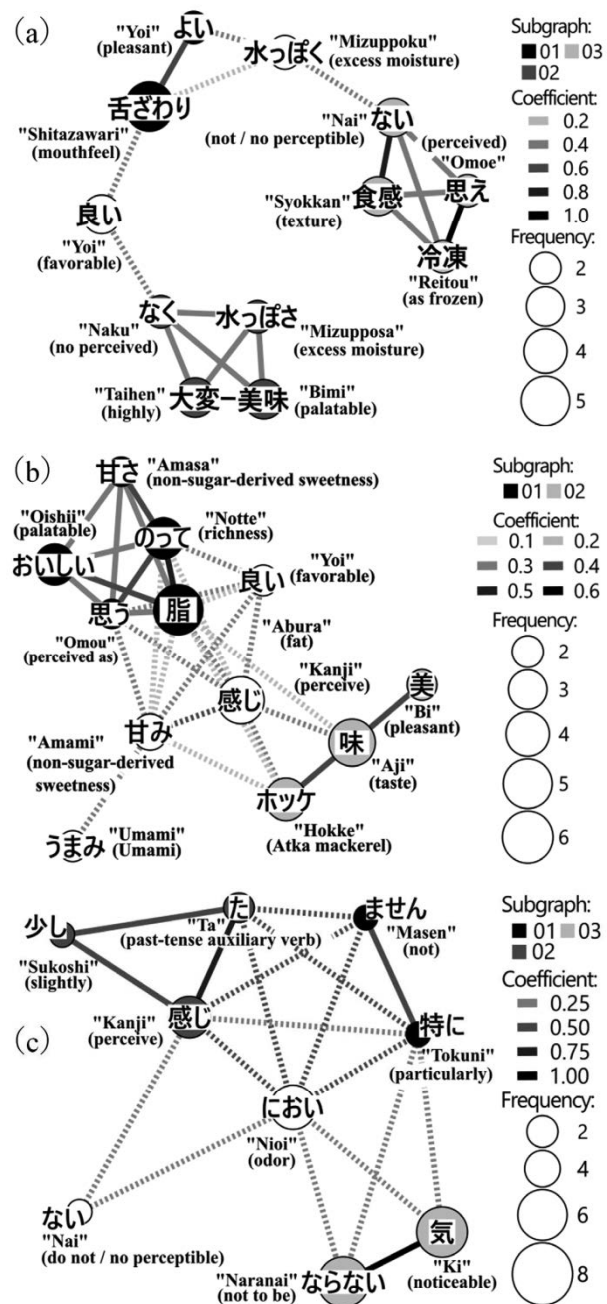


Fig. 1 Frequent terms and their co-occurrence relationships for (a) texture, (b) taste, and (c) odor in chef questionnaires analyzed using text mining ($n = 16$ panelists). Circles connected by lines indicate co-occurrence; words co-occurring within the same unit of analysis are more strongly associated when circles are closer together, and larger circles indicate higher word frequencies. Intensity of the line color represents magnitude of Jaccard coefficient (i.e., the strength of co-occurrence). Circles with same color intensity belong to the same category.

ホッケの生食用冷凍フィレのおいしさに影響力を持つ官能特性の検討 ホッケの生食用冷凍フィレの官能特性を ROC 曲線により解析した結果、AUC の値が 0.80 を上回

った官能特性は、生臭さ、色、水っぽさ、歯ごたえであった (Table 4)。

Table 4 Sensory attributes affecting the palatability of Atka mackerel sashimi identified by ROC curve analysis

Sensory attributes	AUC
Fishy odor	0.91
Favorable color	0.86
Excess moisture	0.84
Firm and resilient texture	0.80
Umami	0.78
Fat richness	0.66

漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価 漁獲後の氷冷貯蔵時間がホッケの刺身の好ましさに及ぼす影響を検討した結果、官能評価の評点は、漁獲当日に魚体をフィレ処理・凍結した場合に最も高く (5.11 ± 0.71 点, 漁獲後氷冷貯蔵 1 日後: 3.89 ± 0.71 点, 漁獲後氷冷貯蔵 2 日後: 4.33 ± 0.71 点), 評点 4 点 (どちらともいえない) より有意 ($p < 0.01$) に高値を示した (Fig. 2)。力学的物性値について、漁獲後に氷冷貯蔵した魚体に比べ、漁獲当日 (氷冷貯蔵 0 日) の魚体から調製した刺身は有意に高値を示した ($p < 0.05$) (Fig. 3)。また、水平隔膜付近より表皮付近の物性値が有意に高く (氷冷貯蔵 0 日: $p < 0.01$, 氷冷貯蔵 1 日: $p < 0.05$)、貯蔵日数に伴い両者の差は縮小した。加圧ドリップ率について、貯蔵日数間に有意差は認められなかった (Table 5)。しかし、加圧ドリップ率と加圧時間をそれぞれ対数変換してプロットし、線形近似して得た直線の傾きは、貯蔵日数に伴い緩やかになった。

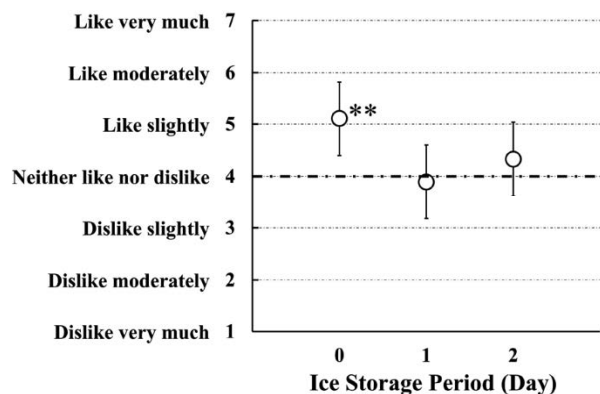


Fig. 2 Relationship between days of ice storage after capture and palatability of sashimi prepared from ice-stored fish. Data are mean $\pm$ SEM ($n = 9$ panelists). Asterisks indicate statistically significant differences from “4: Neither like nor dislike” (** $p < 0.01$; Student’s t -test).

総揮発性成分量は、氷冷貯蔵 1 日後に高値を示したが、貯蔵日数間に有意差は認められなかった (Fig. 4)。また、同定された 9 種類の揮発性成分のうち、Carbon disulfide は貯蔵日数に伴い減少し、Methylamine, N,N-dimethyl- (別名 Trimethylamine: TMA) および 1-Penten-3-ol は増加したが、いずれの成分も貯蔵日数間に有意差は認められなかった。総遊離アミノ酸量は貯蔵日数に伴い増加したが、有意差は認められなかった (Table 6)。セリン、プロリン、タウリンは氷冷貯蔵日数に伴い増加する傾向にあったが、バリンは貯蔵 2 日後に有意に減少し ($p < 0.05$)、同様にグルタミン酸およびリシンも減少する傾向にあった。

凍結温度および冷凍保管温度の影響評価 -20°C または -25°C で静置凍結し冷凍保管した群では、冷凍保管期間に伴い刺身の力学的物性値 (Fig. 5a) および加圧ドリップ率 (Fig. 5c) は有意に増加した ($p < 0.05$)。一方、

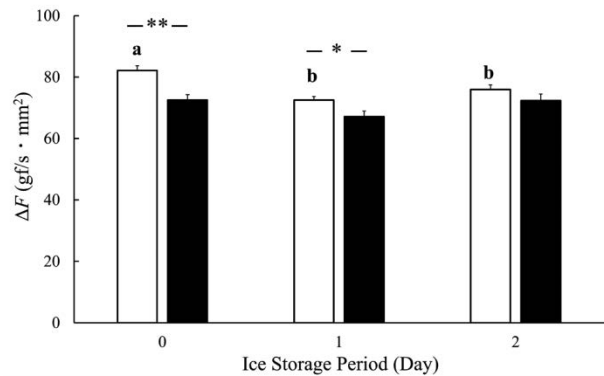


Fig. 3 Physical properties of sashimi prepared from fish stored on ice after capture. White bars indicate results for the subsurface region ($\square$), and black bars indicate results for region adjacent to the horizontal septum ($\blacksquare$). Data are mean $\pm$ SEM ($n = 8$), where n indicates the number of slices. Bars at same storage period with asterisks indicate significant differences between regions (** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; Welch’s t -test or Mann–Whitney U test). Bars with different letters indicate significant differences among ice storage periods within the same region ($p < 0.05$; Steel–Dwass test).

Table 5 Compression drip loss and slope of the fitted line from the log-transformed plot of sashimi prepared from ice-stored fish

Ice storage period (Day)	Compression time (min)			Slope
	1	3	5	
0	7.2 ± 0.4	12.7 ± 0.4	14.4 ± 0.4	0.44
1	7.3 ± 0.3	12.5 ± 0.5	14.2 ± 0.3	0.42
2	7.9 ± 0.6	12.8 ± 0.7	13.9 ± 0.7	0.37

Data are mean $\pm$ SEM ($n = 6$), where n indicates the number of blocks.

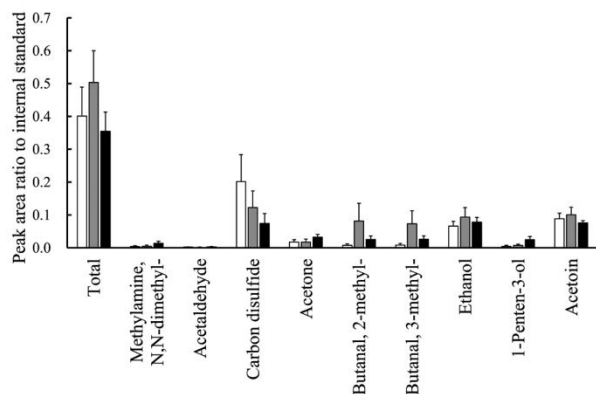


Fig.4 Peak area ratios of volatile compounds in sashimi from fish stored on ice after capture. White bars indicate 0 days of ice storage (□), gray bars indicate 1 day of ice storage (■), and black bars indicate 2 days of ice storage (■). Data are mean $\pm$ SEM ($n = 6$), where n indicates the number of fillets.

− 40℃で静置凍結し冷凍保管した群では、冷凍保管期間を通じて力学的物性値および加圧ドリップ率は同様の値を示した。また、− 20℃または− 25℃で静置凍結し冷凍保管した群に比べて、− 40℃で静置凍結し冷凍保管した群では、冷凍保管3カ月後以降に力学的物性値が、冷凍保管期間を通じて加圧ドリップ率がそれぞれ有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。

しかし、官能評価では群内および群間の有意差は検出されず、いずれの群も冷凍保管期間の経過に伴い菌ごたえは低下し (Fig. 5b)、水っぽさは増加した (Fig. 5d)。

凍結方法および冷凍保管温度の影響評価 − 25℃静置凍結またはブライン凍結後− 25℃冷凍保管した群では、冷凍保管期間の経過に伴い刺身の力学的物性値 (Fig. 6a) および加圧ドリップ率 (Fig. 6c) は有意に増加した ($p <$

Table 6 Free amino acid content in sashimi prepared from fish stored on ice after capture

(mg/100 g)

Free amino acid	Taste	Days of ice storage (day)		
		0	1	2
Asp	Umami	0.91 $\pm$ 0.12	0.76 $\pm$ 0.10	0.85 $\pm$ 0.04
Thr	Sweetness	5.67 $\pm$ 0.99	4.39 $\pm$ 0.27	6.58 $\pm$ 0.24
Ser	Sweetness	7.30 $\pm$ 1.74	7.83 $\pm$ 1.34	9.32 $\pm$ 1.96
Glu	Umami	9.94 $\pm$ 3.61	9.77 $\pm$ 1.11	9.00 $\pm$ 1.66
Gly	Sweetness	44.88 $\pm$ 9.71	55.53 $\pm$ 9.81	51.93 $\pm$ 2.28
Ala	Sweetness	47.17 $\pm$ 19.84	36.73 $\pm$ 6.48	57.05 $\pm$ 5.27
Val	Bitterness	2.33 $\pm$ 0.20 ^{ab}	3.09 $\pm$ 0.16 ^a	2.12 $\pm$ 0.26 ^b
Cys		1.84 $\pm$ 0.64	1.40 $\pm$ 0.14	2.38 $\pm$ 0.45
Met	Bitterness	2.20 $\pm$ 0.45	2.06 $\pm$ 0.16	2.24 $\pm$ 0.24
Ile	Bitterness	1.19 $\pm$ 0.25	1.23 $\pm$ 0.03	1.12 $\pm$ 0.22
Leu	Bitterness	2.35 $\pm$ 0.38	2.47 $\pm$ 0.08	2.15 $\pm$ 0.36
Tyr	Bitterness	1.46 $\pm$ 0.27	1.26 $\pm$ 0.05	1.35 $\pm$ 0.12
Phe	Bitterness	2.13 $\pm$ 0.13	2.26 $\pm$ 0.08	2.09 $\pm$ 0.21
Lys	Bitterness	20.96 $\pm$ 4.77	20.71 $\pm$ 2.55	16.60 $\pm$ 1.89
His	Bitterness	25.57 $\pm$ 8.92	18.56 $\pm$ 5.44	27.40 $\pm$ 11.32
Arg	Bitterness	1.31 $\pm$ 0.19	1.41 $\pm$ 0.18	1.09 $\pm$ 0.21
Pro	Sweetness	1.46 $\pm$ 1.46	1.80 $\pm$ 0.93	2.31 $\pm$ 0.57
Hyp		0.50 $\pm$ 0.50	1.00 $\pm$ 0.85	0.40 $\pm$ 0.22
Tau		105.55 $\pm$ 10.39	114.22 $\pm$ 11.15	135.27 $\pm$ 12.52
Total		284.72 $\pm$ 61.29	299.37 $\pm$ 35.53	331.24 $\pm$ 19.70

Data are mean $\pm$ SEM ($n = 3$), where n indicates the number of fillets. Different letters indicate significant differences in Val content among ice storage periods ($p < 0.05$; Tukey–Kramer test). Taste characteristics of amino acids were based on Kawai *et al.* (2012).

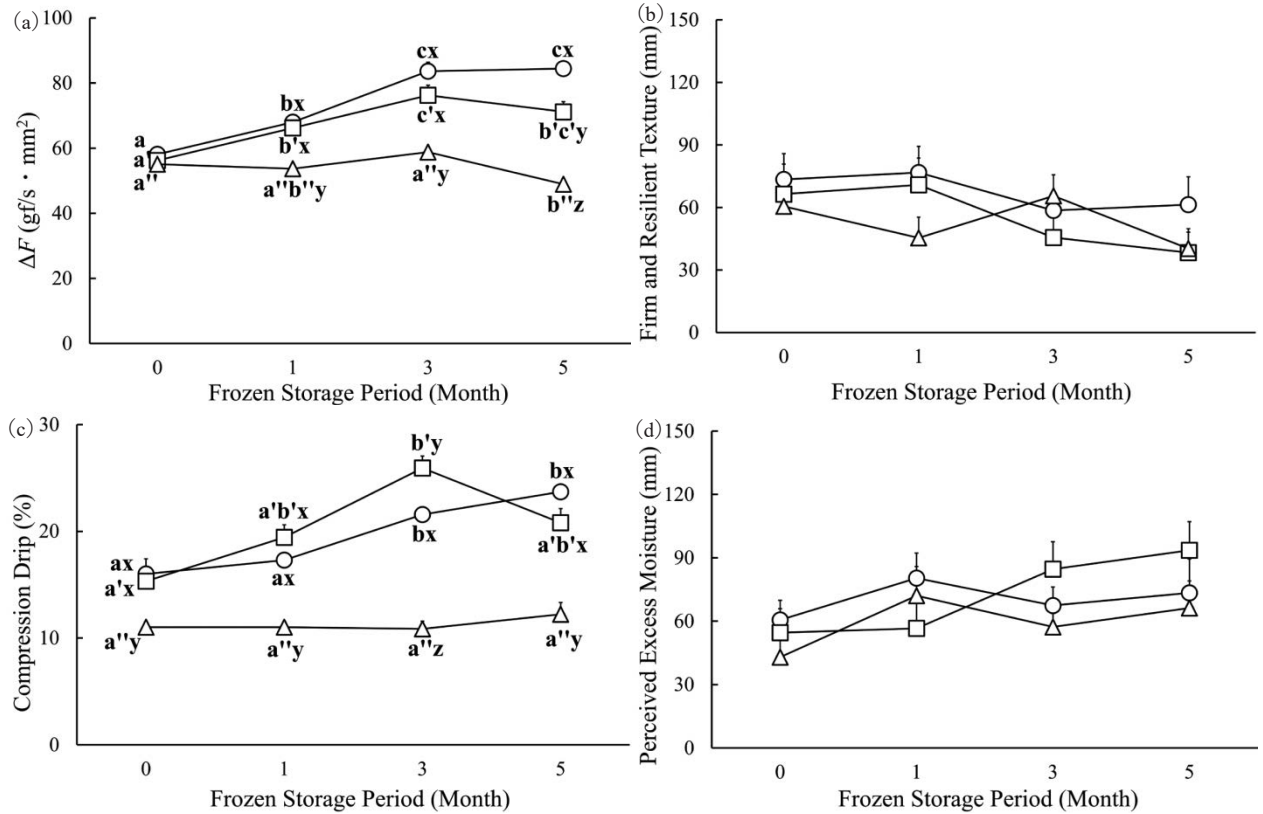


Fig.5 Quality changes during frozen storage of sashimi from skinless fillets statically frozen at different temperatures: (a) physical properties measured near the horizontal septum, (b) perceived firmness and resilience, (c) compression drip loss, and (d) perceived excess moisture. Open circles indicate the -20°C group (○), open squares indicate the -25°C group (□), and open triangles indicate the -40°C group (△). Data are mean $\pm$ SEM ((a) $n = 18$, (b) $n = 10$, (c) $n = 6$, and (d) $n = 10$), where n indicates the number of slices (a), panelists (b, d), and blocks (c). Symbols with different letters (a–c) indicate significant differences among frozen storage periods within the same group ($p < 0.05$; (a) Tukey–Kramer test; (c) Steel–Dwass test). Symbols with different letters (x–z) indicate significant differences among groups within the same frozen storage period ($p < 0.05$; (a) Tukey–Kramer test; (c) Steel–Dwass test).

0.05)。一方、 -40°C 静置凍結またはブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群では、冷凍保管期間を通じて力学的物性値および加圧ドリップ率は同様の値を示した。また、 -25°C 静置凍結またはブライン凍結後 -25°C 冷凍保管した群に比べて、 -40°C 静置凍結またはブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群では、冷凍保管3カ月後以降に加圧ドリップ率が有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。

歯ごたえについて、評点法による官能評価では、 -40°C 静置凍結後 -40°C 冷凍保管した群を除いたいずれの群も、冷凍保管5カ月後に評点が増加した (Fig. 6b)。一方で、CATA 法による官能評価では、 -25°C 静置凍結後 -25°C 冷凍保管した群を除いたいずれの群も、冷凍保

管5カ月後に刺身の歯ごたえを知覚した被験者数は減少した (Table 7a)。水っぽさについて、評点法による官能評価では、ブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群において、冷凍保管3カ月後以降に評点が減少した (Fig. 6d)。CATA 法による官能評価でも同様に、ブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群において、冷凍保管3カ月後以降に刺身の水っぽさを知覚した被験者数が減少した (Table 7b)。なお、刺身の水っぽさを知覚した被験者数は、ブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群が冷凍保管期間を通じて最も少なく、 -25°C 静置凍結後 -25°C 冷凍保管した群が最も多かった。

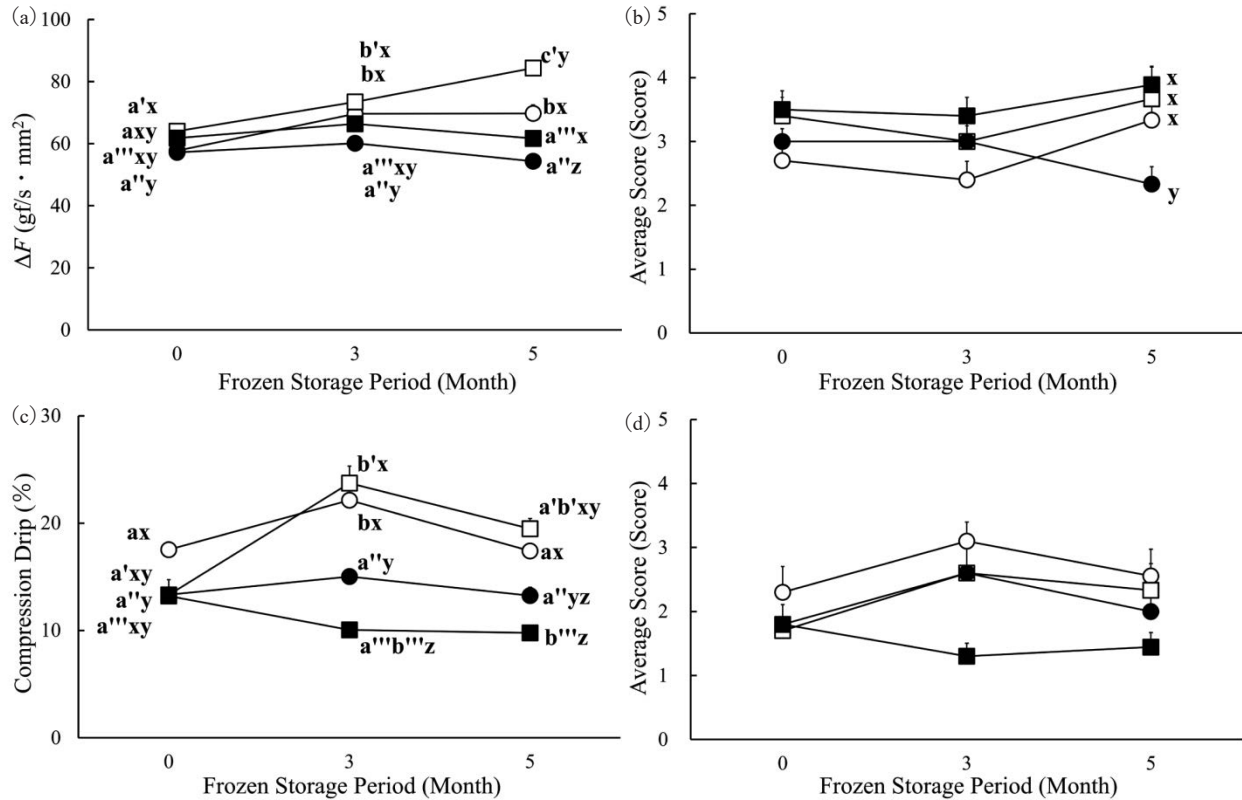


Fig. 6 Quality changes during frozen storage of sashimi from skinless fillets frozen by different methods and stored at different temperatures: (a) physical properties measured near the horizontal septum, (b) perceived firmness and resilience, (c) compression drip loss, and (d) perceived excess moisture. Open circles indicate samples statically frozen and stored at -25°C ($\circ$), open squares indicate samples brine-frozen and stored at -25°C ($\square$), closed circles indicate samples statically frozen and stored at -40°C ($\bullet$), and closed squares indicate samples brine-frozen and stored at -40°C ($\blacksquare$). Data are mean $\pm$ SEM ((a) $n = 18$, (b) $n = 10$, (c) $n = 6$, and (d) $n = 10$), where n indicates the number of slices (a), panelists (b, d), and blocks (c). Symbols with different letters (a–c) indicate significant differences among frozen storage periods within the same group ($p < 0.05$; (a) Tukey–Kramer test; (c) Steel–Dwass test). Symbols with different letters (x–z) indicate significant differences among groups within the same frozen storage period ($p < 0.05$; (a) Tukey–Kramer test; (b, c) Steel–Dwass test).

Table 7 Changes in the number of panelists detecting sensory attributes (CATA) in sashimi prepared from skinless fillets frozen and stored under different conditions: (a) perceived firmness and resilience, (b) perceived excess moisture

Freezing and storage conditions	Frozen storage period (Month)			Cochran's Q value
	0	3	5	
-25°C air freezing – -25°C frozen storage	8	8	9	0.4
-30°C ethanol brine freezing – -25°C frozen storage	10	10	7	6.0*
-40°C air freezing – -40°C frozen storage	10	9	8	2
-30°C ethanol brine freezing – -40°C frozen storage	10	10	9	2

Freezing and storage conditions	Frozen storage period (Month)			Cochran's Q value
	0	3	5	
-25°C air freezing – -25°C frozen storage	7	9	6	2.8
-30°C ethanol brine freezing – -25°C frozen storage	6	8	5	2.8
-40°C air freezing – -40°C frozen storage	5	6	6	0.3
-30°C ethanol brine freezing – -40°C frozen storage	5	2	3	1.8

(a, b) $n = 10$ panelists. Asterisk indicates significant differences among the different frozen storage periods within the same freezing and storage condition. (* $p < 0.05$; Cochran's Q test).

考 察

道産ホッケの鮮度は新たな価値と期待されるが、その実態は不明である。そこでまず、ATP 含量および K 値を指標として、後志管内で漁獲される道産ホッケの鮮度評価を試みた。しかし、他の生食用原料魚（緒方ら, 2018）と比較して、道産ホッケの ATP 含量は漁獲当日であっても著しく低く、生食に適するとされる K 値 20% 以下（松原ら, 2018）という基準を超過した個体も認められた。一方で、漁獲当日の魚体を原料とする生食用冷凍フィレから調製された刺身は司厨士から良好な評価を得た。この結果は、原料魚の ATP 含量や K 値のみでは、生食用冷凍フィレの品質を十分に説明できないことを示している。また、ATP 含量および K 値には個体間でばらつきが認められたことから、水揚げ時刻が異なる複数の網の漁獲物が区別されずに出荷されている操業実態が示された。高 ATP 含量や K 値 20% 以下を満たす原料魚を安定的に確保するためには、水揚げ後の漁獲物を船上に滞留させず、網揚げの都度帰港し出荷する必要がある。しかし、そのような操業は実態と乖離しており、道産ホッケの生食利用の実現を困難にする可能性がある。以上のことから、ATP 含量および K 値を指標として原料魚の鮮度を評価し、生食用途への適性を判定することは適当ではないと判断した。

司厨士のアンケート解析および ROC 曲線による解析から、ホッケの刺身のおいしさと強く関連する官能特性として、水っぽさおよび生臭さが抽出された。したがって、漁獲当日の魚体を原料とする生食用冷凍フィレから調製された刺身が良好な評価を得た要因として、これらの官能特性が知覚されにくかったことが示唆された。

そこで次に、力学的物性値、加圧ドリップ率、揮発性成分および遊離アミノ酸量の測定結果に基づき、その機序を検討した。しかし、漁獲当日の魚体を原料とする刺身と氷冷貯蔵した魚体を原料とする刺身との間で、力学的物性値に明瞭な差は認められなかった。同様に、加圧ドリップ率、総揮発性成分量、総遊離アミノ酸量ならびにバリンを除く各遊離アミノ酸量についても有意差は認められなかった。

一方で、加圧ドリップ率を対数変換プロットして得た近似直線の傾きから、漁獲当日の魚体を原料とする刺身では、咀嚼に伴う水分流出が少ない可能性が示唆された。一方、氷冷貯蔵を経た魚体を原料とする刺身では、咀嚼開始後の早い段階から水分が容易に流出する状態にあることが示唆された。この結果は、理化学分析においては微小な差であっても、喫食時にはホッケ刺身のおいしさに影響を及ぼす要因となり得ることを示唆する。

揮発性成分についても、微小な濃度増加が官能評価に影響した可能性が示唆された。Methylamine, N,N-dimethyl-（TMA）や 1-Penten-3-ol は腐敗臭や生臭さの原因とされる。漁獲当日の魚体を原料とする刺身では、これらの揮発性成分の内部標準比面積は低値を示した。一方、氷冷貯蔵中にこれらの内部標準比面積が増加したことから、氷冷貯蔵された魚体を原料とする刺身では、TMA (3.2×10^{-5} ppm)（永田・竹内, 1990）に代表される閾値が極めて低い揮発性成分の僅かな増加が不快臭として認識され、ホッケ刺身のおいしさに影響を及ぼした可能性がある。なお、本研究では定量分析を行っていないためホッケ刺身に含まれていた各揮発性成分の実際の濃度は不明であるが、漁獲当日の魚体を原料とする刺身では、これら揮発性成分による官能評価への影響は比較的小さかった可能性がある。

一方で、漁獲当日に最大値を示し貯蔵日数に伴い減少した Carbon disulfide（Duflos *et al.*, 2006 ; ATSDR, 2025）やその代謝物、未同定成分、ならびに貯蔵期間を通じて内部標準比面積が高値を示した Acetoin（Mahmoud and Buettner, 2017）などの揮発性成分が、単独あるいは複合的に作用し、ホッケ刺身の新鮮さを想起させる香気の形成に寄与した可能性もある。今後、刺身の新鮮さを特徴づける揮発性成分を同定するためには、微量揮発性成分の濃縮とスニッフィングによる官能評価（Cengiz *et al.*, 2023）を組み合わせた検討が必要である。

次に、生食用冷凍フィレに適した凍結温度および冷凍保管温度を検討した。その結果、 -40°C での凍結・冷凍保管では、冷凍保管開始時の物性値および加圧ドリップ率が維持された。この結果は、 -30°C 以下の冷凍保管の有効性を明らかにした既報（麻生・秋野, 2015）と一致した。一方、官能評価では、物性値と関連する歯ごたえや、加圧ドリップ率と関連する水っぽさについて、明瞭な群間差は検出されなかった。本研究の官能評価は、被験者に対して知覚感度を揃える訓練を行っていないため、自由記述式のラインスケール法では評価のばらつきが大きく、各群の官能特性の差異を十分に反映できなかった可能性がある。一方で、CATA 法は試料が示す官能特性について知覚の有無を尋ねる二者択一方式であり、各官能特性の有無を明瞭にとらえることができる。また、評点法は整数化した評点を被験者に提示して選択させる方法であり、官能特性の強度評価における被験者間差を相対的に低減できる。これらの方法を併用して凍結方法および冷凍保管温度を検討した結果、ホッケスキンスライスをブライン凍結後 -40°C 冷凍保管する条件では、水っぽさが抑制されることが明瞭に検出された。この結果は、理化学分析により得られた物性値および加圧ドリッ

ブ率の結果とも整合しており、ブライン凍結後－40℃冷凍保管する条件が生食用冷凍フィレの品質維持に有効であることを支持するものであった。

凍結や冷凍保管を経て、生食用冷凍フィレの筋組織には大小の損傷が生じていたと推測される。一般的には、凍結時に形成された氷結晶は筋組織や結合組織を物理的に破壊し、筋細胞外に生じた氷結晶は成長に伴い筋細胞内の水を細胞外へ引き抜き筋細胞を脱水させる。一連の現象は筋細胞の生化学的恒常性を不安定にし、筋細胞の健全性を著しく損なう (Leygonie, 2012)。こうして損傷した筋細胞は水を再吸収する能力を失い (Nakazawa and Okazaki, 2020)、解凍により固体から液体へ変換された水は咀嚼により口腔内へ容易に放出される (Li *et al.*, 2022)。これらの知見は、凍結および冷凍保管に伴う筋組織の損傷がホッケ刺身の品質を左右すること、ならびにその損傷の抑制が品質維持に重要であることを示している。凍結速度が速い凍結方法は微細な氷結晶の形成を促し、また、－40℃での冷凍保管は氷結晶の成長を抑制することが知られている (田中, 1969; 福田, 1996)。本研究で得られた結果も、これらの凍結・冷凍保管条件の有効性を支持するものであった。さらに、凍結されるホッケスキンスフィレが漁獲当日の魚体から調製されていることも、品質維持における重要な要素であることが示された。漁獲当日の魚体では、凍結や冷凍保管による筋組織の損傷が比較的軽微に留まる可能性がある。

このように、喫食者の嗜好に適う良質なホッケ生食用冷凍フィレを製造するためには、原料魚を漁獲当日に加工するとともに、適切な条件で凍結・冷凍保管することが重要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ホッケ試料の調達には元余市郡漁業協同組合 坪田正幸氏、古宇郡漁業協同組合 代表理事組合長 池森力氏、同管理部課長補佐 西川由美子氏、同神恵内地区女性部長 村田由紀子氏、東しゃこたん漁業協同組合 事業部長 八幡睦夫氏のご協力を賜りました。また、ホッケ冷凍商材の製造方法や品質に関して、余市郡漁業協同組合 冷凍加工部 営業課長 藤澤祐介氏、東しゃこたん漁業協同組合 生産部長 田口芳久氏、同生産部食品工場長 本間久恵氏、松前さくら漁業協同組合 製氷冷蔵課長 石山陽介氏、同製氷冷蔵課 室田健次氏、カネシメホールディングス株式会社 総務企画部長 森本英裕氏、カネシメ高橋水産株式会社 営業第一本部営業第一部担当部長 敦賀健登氏、カクト徳島屋の皆様よりご助言を賜りました。官能評価の実施には、カネシメホールディ

ングス株式会社 総務企画部長 森本英裕氏、札幌グランドホテル 統括総料理長 舟橋裕司氏、一般社団法人全日本司厨士協会 総本部副会長兼北海道地方本部長 大江廣嗣氏ならびに所属司厨士の皆様、中央水産試験場加工利用部員の皆様のご協力を賜りました。さらに、核酸関連物質および遊離アミノ酸の分析には中央水産試験場加工利用部 麻生真悟専門研究員のご協力とご助言を賜りました。脂質分析には中央水産試験場加工利用部 連順子研究補助員のご協力を賜りました。ご多忙のところ、本研究の遂行に多大なるお力添えいただいた皆様に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 麻生真悟, 秋野雅樹. ホッケフィレの凍結条件の検討. 「戦略研究報告書 北海道の総合力を生かした付加価値向上による食産業活性化の推進 (平成22年～26年度)」, 北海道立総合研究機構, 札幌. 2015;78-80.
- ATSDR. Toxicological Profile for Carbon Disulfide. 2025; 179-180. <https://www.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=474&tid=84>, (2026.03.21)
- Cengiz N, Guclu G, Kelebek H, Selli S. GC-MS-Olfactometric characterization of key odorants in rainbow trout by the application of aroma extract dilution analysis: Understanding locational and seasonal effects. *Food Chemistry* 2023; 407: Article 135137.
- Duflos G, Coin VM, Cornu M, Antinelli J-F, Mallel P. Determination of volatile compounds to characterize fish spoilage using headspace/mass spectrometry and solid-phase microextraction/gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2006; 86: 600-611.
- 蛸谷幸司. 熱ゲル化における魚類ミオシンの架橋重合特性と鮮度. 「水産加工とタンパク質の科学」(日本水産学会監修, 大泉徹, 落合芳博, 石崎松一郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 2023; 86-87.
- 福田裕. 魚肉タンパク質の凍結変性. 中央水産研究所研究報告 1996; 8; 77-92.
- 北海道. 北海道水産業・漁村のすがた 2025. 2025; 23pp.
- 星野剛, 石井良幸, 長谷川博俊, 遠藤高志, 岡林剛史, 落合大樹, 茂田浩平, 瀬尾雄樹, 北川雄光. 大腸穿孔症例における術後リスク評価システムの有用性の検討. 日本腹部救急医学会雑誌 2013; 33; 1103-1108.
- 板谷和彦, 辻浩司, 成田正直, 蛸谷幸司. 後志地区で漁獲されるホッケの脂質含量の季節変化および魚体長

- や肥満度との関係. 北水試研報 2023 ; 103 : 19-27.
- Kawai M, Sekine-Hayakawa Y, Okiyama A, Ninomiya Y. Gustatory sensation of (L)- and (D)-amino acids in humans. *Amino Acids* 2012; 43: 2349-2358.
- 黒飛知香, 干野隆芳, 籠島梨乃, 大本奈摘, 甚田なつみ. 物理的特性を指標とした市販イチゴジャムのテクスチャーコントロールの可能性. 日本食品科学工学会誌 2022 ; 69 : 417-424.
- Kurotobi T, Hoshino T, Kazami Y, Hayakawa F, Hagura Y. Relationship between sensory analysis for texture and instrument measurements in model strawberry jam. *Journal of Texture Studies* 2018; 49: 359-369.
- Leygonie C, Britz TJ, Hoffman LC. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science* 2012; 91: 93-98.
- Li R, Guo M, Liao E, Wang Q, Peng L, Jin W, Wang H. Effects of repeated freezing and thawing on myofibrillar protein and quality characteristics of marinated Enshi black pork. *Food Chemistry* 2022; 378: Article 131994.
- Mahmoud MAA, Buettner A. Characterisation of aroma-active and off-odour compounds in German rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Part II: Case of fish meat and skin from earthen-ponds farming. *Food Chemistry* 2017; 232: 841-849.
- 松原久, 木村郷, 竹内萌, 高橋匡, 工藤謙一. 安全で美味しい刺身, 焼き魚を提供する高鮮度冷凍サバの取り扱い. 日本食品科学工学会誌 2018 ; 65 : 503-507.
- 森田晶子, 千葉悟, 境磨, 濱邊昂平, 濱津有紀, 市野川桃子. 令和6(2024)年度ホッケ道北系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京. 2025 ; 85pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2025/03/details_2024_42.pdf, (2026.03.20)
- 守谷圭介, 宮崎亜希子, 小玉裕幸, 阪本正博, 蛸谷幸司. 北海道東部地域で水揚げされたマイワシ *Sardinops melanostictus* の凍結前鮮度が解凍肉の品質に及ぼす影響. 日本水産学会誌 2021 ; 87 : 265-274.
- 長崎県. 水産物の官能検査 (水産加工技術マニュアル) 「長崎県総合水産試験場水産加工開発指導センター」, 長崎. 2010 ; 38-39.
- 永田好男, 竹内教文. 三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果. 日本環境衛生センター所報 1990 ; 17 : 77-89.
- 中山雄二郎, 小寺厚志, 宮崎直樹, 上妻精二, 瀧賢一郎, 大島秀男. 重度熱傷患者の在院死亡を予測する因子の検討. 日本臨床麻酔学会誌 2012 ; 32 : 223-231.
- Nakazawa N, Okazaki E. Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood. *Fisheries Science* 2020; 86: 231-244.
- 農林水産省. 魚類の鮮度 (K 値) 試験方法 - 高速液体クロマトグラフ法 (JAS 0023) 「日本農林規格」, 東京. 2022 ; 1-15.
- 農林水産省. 海面漁業生産統計調査令和 6 年漁業・養殖業生産統計. 2026 ; 表番号 2-2.
- 緒方由美, 岩根理歩, 木村郁夫. 高濃度のアデノシン三リン酸存在下で凍結し解凍したヒラメ肉の性状. 日本水産学会誌 2018 ; 84 : 835-842.
- Saito T, Arai K, Matsuyoshi M. A New Method for Estimating the Freshness of Fish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1959; 24: 749-750.
- 島村綾, 小泉昌子, 峯木真知子, 市原茂. 飯の官能評価の時系列変化. 日本家政学会誌 2017 ; 68 : 478-485.
- Swets JA. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 1988; 240: 1285-1293.
- 田中武夫. 北洋産冷凍スケトウダラの鮮度と品質との関係-I. 東海区水産研究所研究報告 1969 ; 60 ; 143-168.
- Varela P, Ares G. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International* 2012; 48: 893-908.
- 鎌水梢, 麻生真悟. ホッケ資源の効果的活用に向けて - 「脂乗り」で付加価値を高める !! - . 北水試だより 2022 ; 105 : 17-19.

カラフトマス稚魚の成長適水温：サケ稚魚との比較飼育実験の試み（短報）

虎尾 充

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Optimal growth temperatures of juvenile pink salmon: A trial of comparative rearing experiments with chum salmon (Short paper)

MITSURU TORAO

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

The effects of seawater temperature on feeding and growth in juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) and chum salmon (*O. keta*) were examined in a controlled rearing experiment. Fish were fed *Artemia* to satiation for 10 days at six seawater temperatures (4, 8, 10, 13, 18, and 23 °C). We estimated the temperatures at which food intake (FI), specific growth rate in body weight and fork length (SGR_{BW} and SGR_{FL}), and feeding efficiency (FE) reached their highest values. For pink salmon, maximum FI occurred at 16.1 °C, maximum SGR_{BW} at 14.8 °C, maximum SGR_{FL} at 14.4 °C, and maximum FE at 10.5 °C. For chum salmon, the corresponding temperatures were 17.7 °C, 16.3 °C, 16.7 °C, and 13.0 °C. Although both species inhabit similar coastal temperature ranges, our results suggest that the optimal growth temperature for juvenile pink salmon is slightly lower than that for chum salmon. Further studies are required to refine these temperature estimates and improve their reliability.

キーワード： *Oncorhynchus gorbuscha*, *Oncorhynchus keta*, 瞬間成長率, 水温, 摂餌効率

カラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* とサケ *O. keta* は北海道において重要な沿岸漁業資源である。しかし、2010年代以降、両種とも来遊資源は急激に減少し、近年は低水準で推移している（佐橋, 2025; 渡邊・本多, 2025）。特にカラフトマスの資源減少はサケに比べても急速で、漁業資源消失の危機的な状況である。

カラフトマスとサケを含む太平洋サケ属魚類では、海洋生活初期の減耗が年級群豊度に大きな影響を与えると考えられており（Beamish, 2022; Farley Jr, *et al.*, 2024）、この時期の生残には成長率の高さが関わっている可能性がある（Honda *et al.*, 2017, 2019）。沿岸域でのカラフトマスとサケ稚魚の分布と成長は、表面海水温（Sea surface temperature, SST）の影響を強く受け、両種とも SST 5～13 °C に分布する（Ando *et al.*, 2005; Fujiwara *et al.*, 2007; Nagata *et al.*, 2007a, 2007b）。稚魚分布時期の北海道沿岸海域の SST は 2000 年代以降に低くなる傾向が見られた

が、2010 年代に入ると低水温から高水温への急激な昇温がしばしば見られるようになった（Saito and Miyakoshi, 2018）。また、サケ稚魚の沿岸域での成長には餌生物量が密接に関係しており（Saito *et al.*, 2009）、粒子追跡シミュレーションを用いた研究では、サケ稚魚の成長率に影響する主要な要因は動物プランクトン現存量であり、海水温上昇に伴う動物プランクトンの種類と量の変化がサケの生残に影響している可能性が示唆されている（Chang *et al.*, 2025）。これらのことから、カラフトマスとサケ稚魚の成長にとっての適水温期間の短縮と、稚魚にとっての適当な餌生物の減少が稚魚の成長率を低下させ、海洋生活初期の生残率の低下につながっている可能性がある。

一般的に、摂餌量と成長には魚種によって最適な水温がある（Brett, 1979; Jobling, 1994）。サケ稚魚でも、摂餌量（Food intake, FI）、瞬間成長率（Specific growth rate, SGR）、摂餌効率（Food efficiency, FE）はいずれも低水温

で低く、閾値を超えた高水温で低下することが明らかとなっており (Torao, 2022), これらは水温と摂餌、成長の関係性を評価する指標となり得る。資源減少の著しいカラフトマスはサケ稚魚と沿岸域で同じ水温帯に分布し食性も近い (Fujiwara *et al.*, 2007; Nagata *et al.*, 2007b) が、サケ稚魚と異なる成長適水温を持つ可能性がある。しかし、カラフトマス稚魚では、Mortensen and Savikko (1993) による限られた水温条件下での報告の他には、温度と摂餌の相互作用が成長に及ぼす影響を検証した報告は見当たらない。本研究では、海水移行後のカラフトマス稚魚とサケ稚魚を対象に、水温が FI・SGR・FE に及ぼす影響を比較し、両種の成長適水温の違いを明らかにすることを目的とした。

試料及び方法

供試魚 試験に用いたカラフトマスはオホーツク西部地区の頓別川で 2024 年 9 月 6 日および 16 日に採卵された卵から得た。(一社) 宗谷管内さけ・ます増殖事業協会の頓別孵化場で管理されていた発眼卵を、北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の飼育施設に輸送し、浮上まで立体式孵化器で管理した。2025 年 1 月に浮上した稚魚は、アトキンス水槽 (長さ 3.26 m × 幅 0.33 m × 高さ 0.33 m) に収容し、給餌飼育を開始した。飼育水には河川水 (水温範囲 7.6℃～9.3℃) を掛け流しで使用し、海水飼育実験開始まで市販の仔稚魚用配合飼料 (ニューアルテック K1 および K2, 日清丸紅飼料株式会社, 東京) を飽食量与えた。サケ稚魚は、2024 年 9 月 13 日に北海道日本海側の石狩川の支流千歳川にある千歳川孵化場で採卵された卵から得た。受精卵は直ちに飼育施設に輸送し立体式孵化器に収容した。受精卵は、孵化まで冷却水循環装置 (CTP-3000, 東京理化機器株式会社) で 12℃ に加温した用水で、孵化後は河川水 (水温範囲 8.2℃～10.7℃) で管理した。12 月に浮上した稚魚は、アトキンス水槽に収容し、カラフトマスと同様に給餌飼育を行った。

海水飼育実験 飼育実験は、カラフトマスとサケそれぞれで、3 水温区ずつ 2 回に分けて合計 6 水温区を設定した。冷却水循環装置で水温を 8.5℃ (淡水飼育時の平均水温) に調整した恒温水槽内に、32% に調整した人工海水 (テトラマリンソルトプロ, スペクトラム ブランズ ジャパン株式会社, 横浜市) を満たし外部濾過装置 (テトラバリュー EX フィルタ VX75, スペクトラム ブランズ ジャパン株式会社) を備えた 38L ガラス水槽 (45 × 30 × 32 cm) を設置した。これを 3 セット作成し、1 回目の実験ではそれぞれ 4℃, 10℃, 18℃ に、2 回目は 8℃, 13℃, 23℃ に飼育水温を設定した。カラフトマスの 1 回目の試

験は、前日から絶食させたカラフトマス稚魚を麻酔して体重と尾叉長を測定し、12 時間以上淡水流水中で回復させた。回復した稚魚を 12 個体ずつ各水温区のガラス水槽に収容し、2025 年 4 月 8 日から 3 日間の水温の馴致期間を含めて 10 日間、人工海水中で飼育した。水温は、稚魚収容から 3 日間の馴致期間中に 8.5℃ からそれぞれ段階的に設定水温に調整した。同様に、2 回目の試験は 2025 年 4 月 22 日から 5 月 1 日に実施した。しかし、飼育開始 4 日目の 4 月 25～26 日に、13℃ 区で電気系統のトラブルにより冷却水循環装置と外部濾過装置が停止し、水温低下と酸欠で稚魚の状態が悪化したため、解析からは除外した。サケの飼育実験は 2025 年 1 月 15 日～24 日および 1 月 28 日～2 月 6 日に 2 回行った。1 回目の試験では、2025 年 1 月 14 日に体重と尾叉長を測定し、淡水中で 12 時間以上回復させたサケ稚魚各 30 個体を 1 月 15 日にそれぞれのガラス水槽に収容した。同様に、2 回目の試験は、1 月 27 日に稚魚の測定と回復を行い、1 月 28 日～2 月 6 日に飼育実験を行った。海水飼育開始後の稚魚には、馴致期間中を含めて 1 日 3 回、冷凍アルテミア (ビタクリンアグルトブライン, 株式会社キョーリン, 姫路市) を摂餌しなくなるまで与えた。給餌量は、給餌前後のアルテミア重量を測定して求めた。それぞれ、10 日間の海水飼育後に麻酔をして稚魚の体重と尾叉長を測定した。

最適水温の推定 摂餌量 (FI) は、10 日間に与えたアルテミア量 (湿重量, g) を各水槽の飼育稚魚数で除して算出した。体重と尾叉長の瞬間成長率 (SGR_{bw} , SGR_{FL}) は、以下の式で求めた。 $SGR = (\ln X_2 - \ln X_1) / T \times 100$ 。ここで、 X_1 は実験開始時の魚の体重または尾叉長、 X_2 は実験終了時の体重または尾叉長、 T は飼育日数である。摂餌効率 (FE) は、試験期間中の平均増重量を 1 個体当たりの総給餌量で除して求めた。それぞれ 2 回の飼育試験で得られたデータから、水温と FI, SGR および FE の関係式を得た。魚種ごとに得られた関係式に 0.1℃ ずつ水温を代入し、それぞれ最も高くなる水温 (最適水温) を求めた。

結 果

カラフトマスの第 1 回目の実験では、平均体重 1.46 g の稚魚は、10 日間の海水飼育後に 4℃ で 1.59 g, 10℃ で 1.79 g, 18℃ では 1.70 g まで成長した (Table 1)。稚魚 1 個体あたりの摂餌量は 4℃ で 0.74 g ind.⁻¹, 10℃ で 1.42 g ind.⁻¹, 18℃ で 1.47 g ind.⁻¹ であった。2 回目の試験では、平均体重が約 1.52 g で飼育を開始した稚魚の体重が 8℃ 区で 1.70 g, 18℃ 区で 1.56 g に増加した。摂餌量は 8℃ 処理では 0.95 g ind.⁻¹, 23℃ 区では 1.07 g ind.⁻¹ であった。

サケの 1 回目の実験では、収容時の平均体重 1.17 g の

Table 1 The body size and food intake of pink and chum salmon juvenile reared at different sea water temperatures before and after the experiment were measured

Species	Experimental date	Temp. (°C)	Initial			Final			Food intake (g ind. ⁻¹)
			Fork length (mm)	Wet weight (g)	Condition factor	Fork length (mm)	Wet weight (g)	Condition factor	
Pink (from Tonbetsu River)	Apr. 8 to 17, 2025.	4	60.33 ± 1.94	1.45 ± 0.11	6.63 ± 0.59	61.35 ± 1.81	1.59 ± 0.13	6.88 ± 0.37	0.74
		10	60.44 ± 2.27	1.49 ± 0.17	6.71 ± 0.21	64.08 ± 2.57	1.79 ± 0.27	6.76 ± 0.35	1.42
		18	60.47 ± 2.42	1.44 ± 0.18	6.50 ± 0.40	63.19 ± 2.58	1.70 ± 0.24	6.72 ± 0.47	1.47
	Apr. 22 to May 1, 2025.	8	61.58 ± 1.98	1.52 ± 0.15	6.50 ± 0.29	63.07 ± 1.92	1.70 ± 0.14	6.76 ± 0.29	0.95
		13	62.16 ± 2.46	1.56 ± 0.16	6.46 ± 0.18	N/A	N/A	N/A	N/A
		23	62.22 ± 2.27	1.49 ± 0.15	6.19 ± 0.35	61.73 ± 2.32	1.56 ± 0.23	6.60 ± 0.41	1.07
Chum (from Chitose River)	Jan. 15 to 24, 2025.	4	53.37 ± 1.72	1.20 ± 0.11	7.88 ± 0.44	56.09 ± 2.00	1.38 ± 0.14	7.81 ± 0.47	0.89
		10	52.76 ± 2.14	1.16 ± 0.14	7.85 ± 0.39	58.38 ± 2.62	1.59 ± 0.19	7.97 ± 0.62	1.50
		18	52.42 ± 2.32	1.14 ± 0.16	7.91 ± 0.45	60.06 ± 2.74	1.73 ± 0.24	7.97 ± 0.51	2.06
	Jan. 25 to Feb. 6, 2025.	8	53.81 ± 1.86	1.27 ± 0.12	8.15 ± 0.41	57.15 ± 1.85	1.50 ± 0.16	8.01 ± 0.43	2.86
		13	53.57 ± 1.89	1.24 ± 0.13	8.07 ± 0.34	59.20 ± 2.25	1.75 ± 0.20	8.40 ± 0.27	3.21
		23	54.00 ± 2.38	1.28 ± 0.17	8.09 ± 0.36	56.44 ± 4.90	1.34 ± 0.14	7.62 ± 1.18	2.25

The values indicate the mean ± standard deviation. The sample size for each test treatment was 12 pink salmon and 30 chum salmon.

N/A: The rearing experiment for pink salmon at 13°C was terminated prematurely due to a power supply issue.

稚魚が10日後に4℃で1.38 g, 10℃で1.59 g, 18℃では1.73 gまで成長した。稚魚1個体あたりの摂餌量は、4℃で0.89 g ind.⁻¹, 10℃で1.50 g ind.⁻¹, 18℃で2.06 g ind.⁻¹であった。2回目の試験では平均体重1.27 gで飼育を開始し、8℃区で1.70 g, 13℃区で1.75 g, 23℃区で1.34 gに増加した。摂餌量は8℃区で2.86 g ind.⁻¹, 13℃区で3.21 g ind.⁻¹, 23℃区では2.25 g ind.⁻¹であった。

カラフトマスのFIは水温が4℃から18℃まで上昇するにつれて増加し、23℃では減少した (Fig. 1a)。サケのFIも同様の傾向だが、水温が上昇するとサケのFIの上昇幅は大きかった。SGRは、カラフトマスでは4℃から10℃まで上昇したが18℃では減少した (Fig. 1b, c)。サケでは4℃から18℃までは上昇し、23℃では急激に低下した。FEは、カラフトマスでは4℃から比較的高く、10℃までは緩やかに上昇したが、18℃では低下した (Fig. 1d)。一方、サケのFEは、4℃で低く8℃から10℃にかけて高い値を示した。23℃では大きく低下した。水温と、カラフトマスおよびサケ稚魚のFI, SGR, FEには、以下の関係式が得られた。

FI

カラフトマス：

$$y = -0.0002x^3 + 0.0027x^2 + 0.0933x + 0.3049$$

$$(R^2 = 0.9595)$$

サケ：

$$y = -0.0013x^3 + 0.0382x^2 - 0.1327x + 0.8648$$

$$(R^2 = 0.9929)$$

SGR_{wg}

カラフトマス：

$$y = -0.0006x^3 + 0.0131x^2 + 0.0309x + 0.4860$$

$$(R^2 = 0.8900)$$

サケ：

$$y = -0.0032x^3 + 0.1004x^2 - 0.7096x + 2.6747$$

$$(R^2 = 0.9555)$$

SGR_{FL}

カラフトマス：

$$y = -0.0002x^3 + 0.0040x^2 + 0.0282x - 0.0322$$

$$(R^2 = 0.8754)$$

サケ：

$$y = -0.008x^3 + 0.0264x^2 - 0.1874x + 0.8336$$

$$(R^2 = 0.9173)$$

FE

$$\text{カラフトマス：} y = -0.0899x^2 + 1.8810x + 11.5313$$

$$(R^2 = 0.9302)$$

$$\text{サケ：} y = -0.1886x^2 + 4.8916x - 10.0187$$

$$(R^2 = 0.9074)$$

得られた関係式が最高値となる水温は、カラフトマスではFIは16.1℃, SGR_{wg}は14.8℃, SGR_{FL}は14.4℃, FEは10.5℃であった。サケではそれぞれ、17.7℃, 16.3℃, 16.7℃, 13.0℃であった。

考 察

本研究では、海水移行後のカラフトマスおよびサケ稚魚における摂餌量 (FI), 成長率 (SGR), 摂餌効率 (FE) の水温依存性を比較した。両種ともこれらの指標は水温に対して典型的な単峰型の応答を示したが、最適水温の位置および温度上昇に対する応答幅には違いが見られた。サケ稚魚の水温応答は、FI, SGR およびFEのいずれも先行研究 (Torao, 2022) と概ね一致しており、本研究の飼育条件および解析手法は妥当と考えられた。これに対

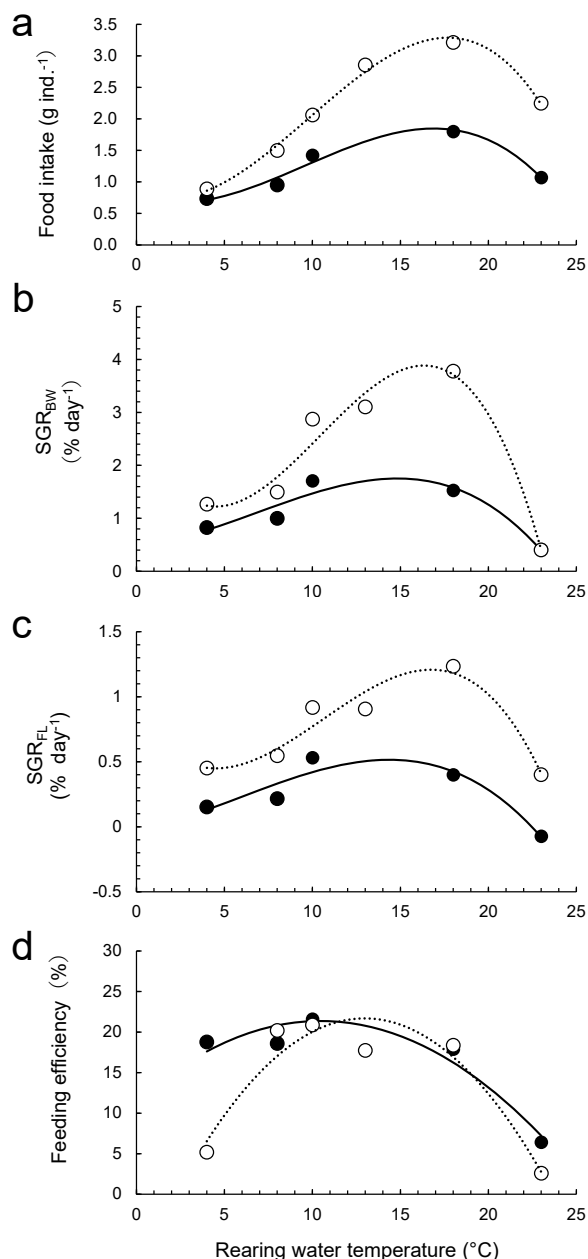


Fig. 1 Relationship between rearing water temperature and a: food intake, specific growth rates (b: wet body weight and c: fork length), and d: feeding efficiency of juvenile pink (solid circles and solid line) and chum (open circles and dotted line) salmon.

してカラフトマスでは FI および SGR の最適水温がサケより低温側に位置しており、水温上昇に対する成長応答の幅が比較的狭い傾向が見られた。さらに FE の最適水温は、両種とも FI および SGR の最適水温より低温側に位置しており、成長量の最大化とエネルギー利用効率の最大化が必ずしも一致しないことを示している。カラフトマスではこの傾向がより低温領域で顕著であり、低～中水温条件下で効率的に成長できる生理的特性を持つ可能性がある。一方、サケはカラフトマスに比べると

比較的高水温域で高い成長を示すが、低水温域では摂餌効率が低下しやすい傾向が示された。これらのことから、両種は沿岸域で同所的に分布するが (Ando *et al.*, 2005; Nagata *et al.*, 2007a, 2007b), 水温に対する成長応答が異なることが示唆された。

北海道沿岸域では 2010 年代以降に稚魚の分布時期の海水温の急激な昇温が発生しやすくなっている (Saito and Miyakoshi, 2018)。また、サケでは動物プランクトン現存量が成長の主要因であるとされ (Saito *et al.*, 2009; Chang *et al.*, 2025), 海水温上昇に伴う餌環境の変化が成長率を低下させる可能性が指摘されている。飼育実験では、12℃から15℃への昇温に伴い、サケ稚魚では体重維持に必要な摂餌量が約2倍になることが示されている (興石, 1980)。こうした稚魚の沿岸滞在期間中の短期的な昇温は、摂餌要求量の増加と代謝コストの上昇をもたらし、成長効率を低下させる可能性が想定される。本研究で示されたように、高水温ほど高い FI を必要とする傾向は、餌生物が減少または組成変化した条件下では十分に成長を補償できず、沿岸域での成長率の低下をさらに助長する可能性がある。特に近年、カラフトマス資源はサケ以上に急激な減少傾向を示している。カラフトマスはサケに比べ成長最適水温が低温側にあり、高水温で成長効率が低下しやすいことから、近年の沿岸水温の急変に対してより影響を受けやすい可能性がある。

ただし、本研究にはいくつかの課題もある。カラフトマスでは設備トラブルにより 13℃区間のデータが得られず、最適水温の推定精度に制約がある。また、サケに比べてカラフトマスの FI および SGR が全体的に低かったが、給餌方法や飼育管理が影響した可能性も否定できない。しかし、同一条件下における水温応答曲線の形状と最適水温の位置に着目することで、種間差の議論は可能である。また本研究では成長における体サイズの影響も評価出来ていない。人工孵化放流では、カラフトマスは尾叉長 35 mm, 体重 0.3~0.4 g 程度で放流されることが多い (虎尾ら, 2010)。本研究で対象としたカラフトマス稚魚はこれより大型のサイズであった。一方、サケ稚魚は増殖事業における放流サイズに相当する体サイズであった。いずれも沿岸域での生活期の体サイズ範囲であるが (Fujiwara *et al.*, 2007; Nagata *et al.*, 2007b), カラフトマスの放流適期を検討するには放流サイズの個体での試験が必要かもしれない。カラフトマス資源量の急減により研究材料の確保が難しい状況であるが、これらの点は今後明らかにしなければならない。

本研究で示された両種の成長適水温の違いは、沿岸生活初期の生残機構の理解に資するとともに、近年の沿岸水温変動下における資源動態や放流事業のあり方を検討

する上で重要な基礎情報となる。

謝 辞

本研究のサケに関する飼育試験は水産庁栽培養殖課委託事業「さけ・ます等栽培対象資源対策事業」の一環として実施し，一般社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会から受精卵を提供していただいた。また，カラフトマスは，一般社団法人宗谷管内さけ・ます増殖事業協会の増殖事業用種卵から提供していただいた。ここに記して深謝する。

引用文献

- Ando D, Miyakoshi Y, Nagata M, Fujiwara M, Hoshino N, Asami H. Distribution and migration of pink salmon juveniles in the coastal waters of eastern Hokkaido, Okhotsk Sea. *North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Reports* 2005; 6: 71-73.
- Beamish R. The need to see a bigger picture to understand the ups and downs of Pacific salmon abundances. *ICES Journal of Marine Science* 2022; 79: 1005-1014.
- Brett JR. Environmental factors and growth. In: Hoar WS, Randall DJ, Brett JR (eds). *Fish Physiology, Vol. 8* Academic Press, London. 1979; 599-675.
- Chang YLK, Honda K, Morita K. Beyond lethal temperatures: Factors behind the disappearance of chum salmon from their southern margins under climate change. *PLOS ONE* 2025; 20: e0330957.
- Farley Jr. EV, Yasumiishi EM, Murphy JM, Strasburger W, Sewall F, Howard K, Moss JH. Critical periods in the marine life history of juvenile western Alaska chum salmon in a changing climate. *Marine ecology progress series* 2024; 726: 149-160.
- Fujiwara M, Miyakoshi Y, Ando D, Shimada H, Sawada M, Asami H, Nagata M. Distribution and growth of juvenile pink salmon in the coastal waters of eastern Hokkaido determined with otolith-marking. *North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Reports* 2007; 7: 37-39.
- Honda K, Kawakami T, Suzuki K, Watanabe K, Saito T. Growth rate characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* originating from the Pacific coast of Japan and reaching Konbumori, eastern Hokkaido. *Fisheries Science* 2017; 83: 987-996.
- Honda K, Kawakami T, Saito T, Urawa S. First report of growth rate of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* captured in the Sea of Okhotsk offshore. *Ichthyological Research* 2019; 66: 155-159.
- Jobling M. *Fish Bioenergetics*. Chapman & Hall, London. 1994.
- 興石裕一. 海水飼育サケ稚魚の餌料要求量. 日本海区水産研究所研究報告 1980; 31: 41-55.
- Mortensen DG, Savikko H. Effects of water temperature on growth of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). *NOAA technical memorandum NMFS-AFSC* 28, 1993, 12p.
- 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. *North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin* 2007a; 4: 237-249.
- Nagata M, Miyakoshi Y, Fujiwara M, Ando D, Asami H, Kaneko T, Iwabuchi M. Spatial distribution and feeding interactions between chum and pink salmon juveniles in the coastal water of the Okhotsk Sea in the eastern Hokkaido. *North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Reports* 2007b; 7: 88-91.
- 佐橋玄記. カラフトマス日本系. 令和6年度国際漁業資源の現況. 水産庁 水産研究・教育機構, 2025. https://kokushi.fra.go.jp/R06/R06_60_PIN.pdf, (2026.03.25)
- Saito T, Miyakoshi Y. Current status of chum and pink Salmon: What is reducing adult returns in Japan? *North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Report* 2018; 11: 8-9.
- Saito T, Shimizu I, Seki J, Nagasawa K. Relationship between zooplankton abundance and the early marine life history of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* in eastern Hokkaido, Japan. *Fisheries Science* 2009; 75: 303-316.
- Torao M. Effect of water temperature on the feed intake, growth, and feeding efficiency of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* after seawater transfer. *Aquaculture Science* 2022; 70: 97-106.
- 虎尾充, 竹内勝巳, 佐々木義隆, 春日井潔, 村上豊, 永田光博. 当幌川におけるカラフトマス放流魚と野生魚の降河生態. 北海道立水産孵化場研究報告 2010; 64: 7-15.
- 渡邊久爾, 本多健太郎. サケ（シロザケ）日本系. 令和6年度国際漁業資源の現況. 水産庁 水産研究・教育機構, 2025. https://kokushi.fra.go.jp/R06/R06_61_CHU.pdf, (2026.03.25)

北海道留萌沖日本海で漁獲されたニシンの胃内容物（資料）

城 幹昌^{*1}, 有馬大地^{1, 2}

¹ 北海道立総合研究機構中央水産試験場,

² 現所属：北海道立総合研究機構釧路水産試験場

Stomach contents of Pacific herring *Clupea pallasii* caught in the Sea of Japan off Rumoi, Hokkaido (Note)

MIKIMASA JOH^{*1} and DAICHI ARIMA^{1,2}

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

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

キーワード：胃内容物，食性，ニシン，日本海，留萌沖

太平洋ニシン *Clupea pallasii* は太平洋からベーリング海を経て北極海まで分布し、日本周辺に限ると、オホーツク海、日本海、黄海北部の渤海湾、犬吠埼付近以北の太平洋に分布している（田中, 2003）。北海道において本種は重要な漁業資源となっており、特に日本海においては 2000 年代に入ってから漁獲量は増加傾向にある（図 1）。この増加には、地域性ニシンである石狩湾系群の資源量の増加、そして特に 2020 年以降においては北海道－サハリン系群の産卵来遊の増加が要因であると考えられている（中央水産試験場・稚内水産試験場, 2025）。

魚類の食性を把握することは種の生態を明らかにするために重要であるのに加えて、その海域の食物網を明らかにする上で重要な情報を提供することができる。しか

し、著者らが調べた限りでは、太平洋ニシン *C. pallasii* の食性については、北海道オホーツク海沿岸部の能取湖に生息する湖沼系ニシンに関する報告（菅野・福田, 1993）と、オホーツク海北部（主に北緯 55 度以北）における少々の報告（入江・吉田, 1982）があるのみであった。

道総研中央水産試験場と稚内水産試験場では石狩湾系ニシンの資源評価を実施しており、刺し網・沖合底曳き網の漁獲物や試験調査船でオッタートロールを用いて採取したニシンの生物測定を実施している。要因は不明であるがこういった標本のほとんどは空胃状態である。しかし、2025 年 3 月 19 日に得られた標本は、ほとんどの個体が飽食状態であることが確認できたため、急遽、胃内容物の観察・解析を行い、知見が不足している太平洋ニシンの食性に関する情報を記録することとした。

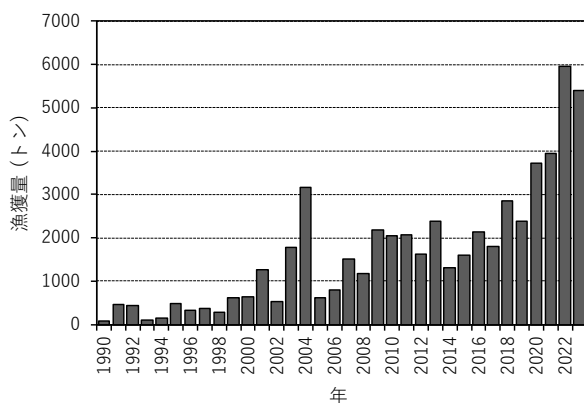


図 1 北海道日本海沿岸におけるニシンの漁獲量。

試料及び方法

標本は 2025 年 3 月 19 日に小樽機船漁業協同組合所属 かけまわし船三光丸によって漁獲されたニシンから得た（合計 65 個体）。標本が漁獲された海域は北海道留萌沖の沖底漁区 335 である（図 2）。漁獲物は生鮮状態で実験室に持ち帰り、体重、尾叉長、性別、成熟度を計測・記録した後、胃を摘出した。成熟度については北海道立水産試験場（1996）にしたがった。摘出した胃を切開して胃内容物を取り出し、胃内容物の湿重量を測定した（0.1 g 単位）。食性を詳細に検討する場合は、個体ごとに胃内容

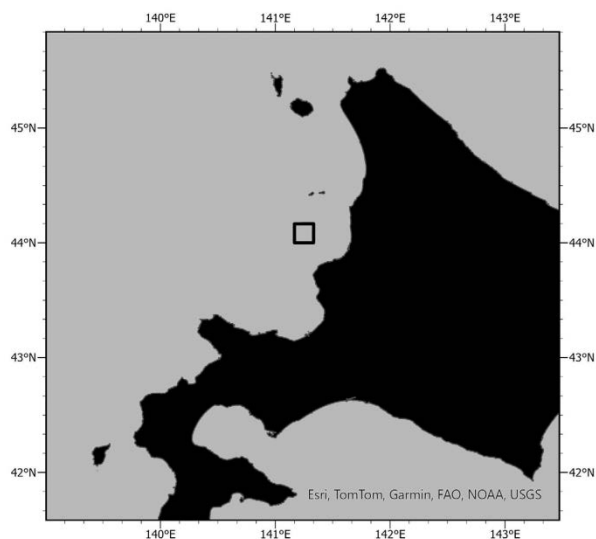


図2 ニシン標本の漁獲位置。

物を保存し、餌生物の分類群別の出現頻度 (F%) や個体数頻度 (N%), そして重量頻度 (W%) などを検討することが一般的であるが (例えば, Yamamura *et al.*, 2002, Kimura *et al.*, 2004), 肉眼観察によって各個体の胃内容物の大部分はほぼ同じ分類群の餌生物で構成されており、個体間で餌生物の分類群組成にほとんど違いがみられなかった。したがって、解析を簡便化するために、個体ごとに胃内容物の湿重量を測定した後、すべてのニシン胃内容物を1つにまとめたものからサブサンプルを採取し、そのサブサンプルに基づいて以降の解析を行うこととした。サブサンプルは、湿重量約 10 g (9.8~12.9 g) を5つ採取し、10% 中性ホルマリン溶液で固定した。

固定後、サブサンプルを実体顕微鏡下で観察し、餌生物の分類を行った。分類は千原・村野 (1997) を参照して可能な限り下位まで行った。その後、分類群ごとに、餌生物の個体数と湿重量の計数、計測を行った。湿重量の計量は濾紙を用いて余分な水分を除去して行ったが (0.001 g 単位)、サイズが非常に小型かつ個体数が少ない分類群については秤の精度から湿重量の測定はできなかった。サブサンプルごとに胃内容物の単位湿重量 (10 g) あたりの餌生物の湿重量、個体数を分類群ごとに計算し、さらに5つの値から平均値を算出した。この平均値と、ニシン標本1個体ごとの胃内容物総湿重量を用いて、ニシン1個体ごとに当日摂餌していた餌生物の分類群ごとの出現個体数と湿重量を算出した。

結 果

標本 65 個体中、オスが 30 個体、メスが 35 個体であった。雌雄ともに、すでに産卵・放精を終えた個体 (オス、

表1 標本としたニシンの概要

番号	体重 (g)	尾叉長 (mm)	性別 ^{*1}	成熟度 ^{*2}	胃内容物の湿重量 (g)
1	283	308	2	50	3.9
2	325	315	2	22	5.5
3	356	316	1	20	32.7
4	317	317	1	40	6.1
5	301	324	2	50	10.7
6	319	315	1	40	3.6
7	326	322	1	40	7.6
8	267	299	2	50	5.9
9	302	313	2	50	8.2
10	287	308	1	40	23.1
11	420	335	2	50	67.9
12	318	324	1	40	33.2
13	332	322	2	22	17.4
14	282	322	1	40	10.6
15	370	336	1	40	21.8
16	374	347	2	50	15.1
17	303	312	1	20	18.2
18	386	339	1	40	25.4
19	313	328	1	40	15.1
20	421	355	2	50	19.2
21	365	324	2	22	20.4
22	336	326	2	50	15.6
23	304	308	2	22	18.3
24	338	326	2	22	19.8
25	331	323	1	40	16.9
26	416	340	1	40	17.6
27	338	312	2	22	17.0
28	365	324	2	22	8.8
29	302	317	1	20	2.0
30	378	336	2	22	30.5
31	371	323	1	20	40.1
32	331	323	1	40	3.4
33	387	332	1	40	29.3
34	297	310	2	50	10.7
35	343	308	2	22	24.3
36	351	322	2	22	19.6
37	349	334	1	40	21.0
38	328	322	1	40	7.4
39	331	335	2	50	25.3
40	358	332	1	40	22.5
41	332	328	1	40	11.5
42	393	334	1	40	22.1
43	393	336	1	40	43.4
44	300	310	2	50	14.6
45	298	320	1	20	0
46	287	320	2	50	3.7
47	280	315	2	50	2.2
48	339	314	2	22	16.4
49	359	315	1	20	33
50	318	314	2	22	21.7
51	268	322	1	40	2.2
52	325	310	1	20	13.9
53	419	343	2	50	7.7
54	298	326	1	40	7.4
55	343	317	2	22	8.7
56	343	324	2	50	7.3
57	285	305	2	50	12.3
58	339	318	2	50	18.5
59	307	318	2	22	3.6
60	337	315	2	22	25.0
61	291	304	1	40	12.1
62	382	341	2	50	31.4
63	326	315	1	40	16.6
64	308	320	2	50	9.7
65	370	325	2	22	14.2

*1: 1 はオス、2 はメスを示す

*2: 成熟度は、北水試 魚介類測定・海洋観測マニュアル (北海道立水産試験場, 1996) に従った

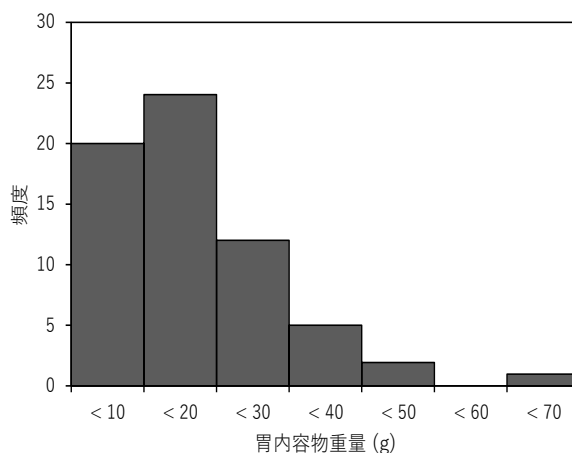


図3 ニシン胃内容物の総湿重量の頻度分布。

メス、それぞれの熟度 40, および 50) と、放精前のオス (熟度:20) と今季産卵を行うがまだ完熟状態には至っていないメス (熟度:22) が混在していた (表 1)。標本の尾叉長は 299~355 mm の範囲にあり、平均値は 322 mm であった。体重は 267~421 g の範囲にあり、平均値は 335 g であった。標本のうち空胃であったのは 1 個体のみで (1.54%), 空胃個体を除いた場合の胃内容物の湿重量は 2.0~67.9 g の範囲で、30 g 未満である個体が多かった (表 1, 図 3)。空胃個体を除いた場合の胃内容物湿重量の平均値 ($\pm$ SD) は、 16.9 ± 11.6 であった。

5 つのニシン胃内容物のサブサンプルでは、オキアミ *Thysanoessa inermis*, ニホンウミノミ *Themisto japonica*, カラヌス目カイアシ類 (Calanoida), 貝形虫類 (Ostracoda) が出現した。個体数でも湿重量でもオキアミが最も多く出現し、次いでニホンウミノミが多く出現した (表 2)。一方で、貝形虫類は 1 つのサブサンプルから 1 個体出現したのみで、カラヌス目カイアシ類も 1~11 個体しか出現しなかった。単位湿重量 (10 g) あたりの各分類群の湿重量はオキアミが 6.317 g, ニホンウミノミが 0.179 g で、その他では消化物が 3.507 g であった。単位湿重量

あたりの出現個体数は、オキアミが 65.29 個体, ニホンウミノミが 10.57 個体, カラヌス目カイアシ類が 3.55 個体, 貝形虫類が 0.16 個体であった。

胃内容物重量とサブサンプルの分析結果から算出したニシン 1 個体当たりの摂餌個体数・湿重量は以下のとおりであった。オキアミは 13~443 個体 (平均 $\pm$ SD: 110.3 ± 75.6), そして湿重量で 1.26~42.89 g (平均 $\pm$ SD: 10.7 ± 7.3) 捕食されていたと推定された。ニホンウミノミは 2~72 個体 (平均 $\pm$ SD: 17.9 ± 12.2), 湿重量で 0.04~1.21 g (平均 $\pm$ SD: 0.3 ± 0.2) 捕食されていたと推定された。また、カラヌス目カイアシ類は 0~24 個体 (平均 $\pm$ SD: 6.0 ± 4.1), 貝形虫類は 0~1 個体 (平均 $\pm$ SD: 0.3 ± 0.2) 捕食されていたと推定された。

食性の分析については 1 個体ごとに胃内容物を分析し、出現頻度 (F%) や、個体数頻度 (N%), 重量頻度 (W%) などを算出する方法が一般的である。今後、機会があればニシンについても個体ごとに解析を行い、詳細な食性解析を行うことが本種の摂餌生態を解明する上で重要である。

表 2 胃内容物のサブサンプルの概要

サブサンプル 番号	全湿重量 (g)	餌生物の分類群	出現個体数	重量 (g)
1	10.8	<i>Thysanoessa inermis</i>	74	7.919
		Unidentified	-	2.881
2	12.4	<i>Thy. inermis</i>	78	7.191
		<i>Themisto japonica</i>	42	0.591
		Calanoida	6	-
		Ostracoda	1	-
		Unidentified	-	4.618
3	11.0	<i>Thy. inermis</i>	69	6.462
		<i>The. japonica</i>	2	0.022
		Calanoida	1	-
		Unidentified	-	4.516
4	12.9	<i>Thy. inermis</i>	93	7.689
		<i>The. japonica</i>	9	0.102
		Calanoida	1	-
		Unidentified	-	5.109
5	9.8	<i>Thy. inermis</i>	59	6.487
		<i>The. japonica</i>	10	0.135
		Calanoida	11	-
		Unidentified	-	3.177
平均*	10.0	<i>Thy. inermis</i>	65.29	6.317
		<i>The. japonica</i>	10.57	0.179
		Calanoida	3.55	-
		Ostracoda	0.16	-
		Unidentified	-	3.507

*: サブサンプル 10 g あたりの各分類群の平均個体数と平均重量

引用文献

- 千原光雄・村野正昭. 「日本産海洋プランクトン検索図説」東海大学出版会, 東京. 1997.
- 中央水産試験場・稚内水産試験場. ニシン (日本海海域 (後志～宗谷湾)). 「2025 年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価書」, 道総研水産研究本部, 余市. 2025 : 292-315.
- 北海道立水産試験場. 「北水試魚介類測定・海洋観測マニュアル」北海道立中央水産試験場, 余市. 1996.
- 入江隆彦, 吉田久春. オホーツク北部水域のニシンの研究 (3). 水産庁北海道区水産研究所研究報告 1982: 47 : 23-39.
- 菅野泰次, 福田研二. 能取湖における餌生物環境と湖に生息するニシンの食性について. 北海道大学水産学部研究彙報 1993 : 44 : 158-170.
- Kimura M, Takahashi T, Takatsu T, Nakatani T, Maeda T. Effects of hypoxia on principal prey and growth of flathead founder *Hippoglossoides dubius* in Funka Bay, Japan. *Fisheries Science* 2004; 70: 537-545.
- 田中伸幸. 7. ニシン. 「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 : 60-65.
- Yamamura O, Honda S, Shida O, Hamatsu T. Diets of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto are, northern Japan: ontogenetic and seasonal variations. *Marine Ecology Progress Series* 2002; 238: 187-198.

河川横断工作物改修がサクラマス産卵床分布および幼魚生息密度に及ぼす長期的影響（資料）

虎尾 充^{*1}, 下田和孝¹, 竹内勝巳², 津田（山口）文², 大磯毅晃¹, 卜部浩一¹

¹ 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場,

² 元北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Long-term effect of instream structure improvement on distribution of spawning redds and juvenile density of masu salmon *Oncorhynchus masou* (Note)

MITSURU TORAO^{1*}, KAZUTAKA SHIMODA¹, KATSUMI TAKEUCHI², FUMI TSUDA-YAMAGUCHI²,
TAKEAKI OISO¹ and HIROKAZU URABE¹

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

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

キーワード：河川横断工作物，環境修復，魚道，サクラマス，産卵床，スリット化，遡上障害

サクラマス *Oncorhynchus masou* は遡河回遊性のサケ属魚類で、北海道においても重要な水産資源として利用されてきた。北海道におけるサクラマスは、河川で孵化・浮上し1～2年間の河川生活期を経て、ほぼ全ての雌と雄の半数がスモルト化し降海する（隼野, 2003）。降海後は約1年間の海洋生活を経て、降海翌年の春～夏に母川に回帰・遡上し、夏～秋に成熟・繁殖する（真山, 1992）。サクラマスはサケ属魚類の中でも母川回帰性が強く、支流単位で母川回帰する傾向が明らかにされている（宮腰ら, 2012）。長い河川生活期と高い母川回帰性を持つことから、河川生息環境と、海域・河川の生息地間の連続性が保たれていることが、本種の繁殖にとっては重要である。

北海道におけるサクラマス漁獲量は1970年代以前には毎年1,500トン以上であったと推定されているが（玉手, 2008）、1970年代以降急激に減少した。サクラマスでは人工孵化放流も積極的に行われてきたが、北海道で漁獲されるサクラマスの多くは自然産卵に由来すると推定されている（宮腰, 2006）。資源減少の要因の1つとして、砂防ダムや頭首工などの河川横断工作物（以下、河川工作物）の設置による遡上障害が自然再生産を妨げた

可能性が指摘されている（福島・亀山, 2006; Fukushima *et al.*, 2007; 玉手・早尻, 2008）。北海道後志管内の河川を調査した結果では、自然再生産個体群が確認されなかったほぼ全ての地点で遡上障害となる河川工作物が確認され、河川工作物が再生産を妨げた可能性が高い（卜部ら, 2013）。また、ダムによる上流の生息地の喪失と下流域の生息環境の劣化が、幼魚生息数を減少させることも示唆されている（Urabe *et al.*, 2014）。このため、サクラマス資源の増殖には、放流だけでなく河川環境の修復を含む野生資源の保全が重要であり、近年では河川工作物への魚道整備やダムのスリット化が進められている（馬谷・奥田, 2017; 下田ら, 2019）。実際に、河川工作物改修による生息環境の修復が、野生サクラマス個体群の回復に有効であった事例も報告され（下田・川村, 2014; 下田ら, 2019; 佐藤ら, 2021）、遡上障害の解消による産卵域拡大が、幼魚の分布域拡大と生息密度の緩和を通じて、サクラマス資源の増加につながる資源回復過程が示唆された（下田ら, 2019）。

このように、河川工作物改修によるサクラマス資源回復過程が明らかとなってきたが、その回復過程は、サクラマス現存量や河川規模、種苗放流の有無などの条件に

よって異なることが予想され, より多くの事例の蓄積が必要である。また, 環境修復に伴うサクラマス資源の回復過程は 10 年以上の長期間にわたることが予想され, 調査データの記録が重要である。本資料では, 河川工作物の改修が行われた河川において改修前後のサクラマスの産卵床分布, 幼魚密度の変化を記載し報告する。

試料及び方法

調査河川と河川工作物の概要 調査は, 北海道南西部の尻別川水系ペンケ目国内川の支流白井川, 千走川水系の支流九助川, および折川で行った(図 1a)。各河川の河川工作物を付図 1 に示した。白井川は流路延長 8.5 km, 流域面積 13.4 km² の河川で, ペンケ目国内川との合流点から 2 km 上流で支流黒井川が合流する(図 1b)。白井川には 11 基の落差工と 2 基の頭首工が設置されており, 落差工は 1952~1963 年にかけて建設された。最上部にある第 11 号落差工を除く 10 基に 2007 年末から 2009 年末にかけて, 下流側から順次魚道が設置された。また, 白井川

頭首工は 1987~1989 年にかけて設置され, 2008 年末に魚道が設置された。支流黒井川には吉国頭首工があるが, サクラマス産卵期には河道堰が倒されており, 遡上可能となっている(下田ら, 2019)。白井川における遡上障害による産卵床の分布上限は, 魚道設置前の 2007 年には第 5 号落差工の直下, 2008 年秋には第 6 号落差工の直下, 2008 年末から 2009 年末にかけて第 6~10 号落差工に魚道が設置されると, 2010 年秋以降は白井川本流では落差 2.8 m の第 11 号落差工の直下であった(下田ら, 2019)。

九助川は島牧村を流れる千走川の支流で, 流路延長 8.3 km, 流域面積 12.0 km² の河川である(図 1c)。1964 年に治山ダムが設置され, 後に魚道も設置されたが頻繁に土砂で閉塞し機能不全となっていた。地元の要望を受けて, 2011 年 6 月にスリット化が行われた(大串, 2014)。

折川は, 島牧村にある流域面積 43.9 km², 流路延長 18.2 km の河川である(図 1d)。河口から約 5.5 km 上流に 1968 年に完成した折川第 1 砂防ダムがあり, 2014~2016 年にかけて段階的にスリット化が行われた。また, 下流には 2 基の頭首工があるが, 2018~2019 年にスリット化工事

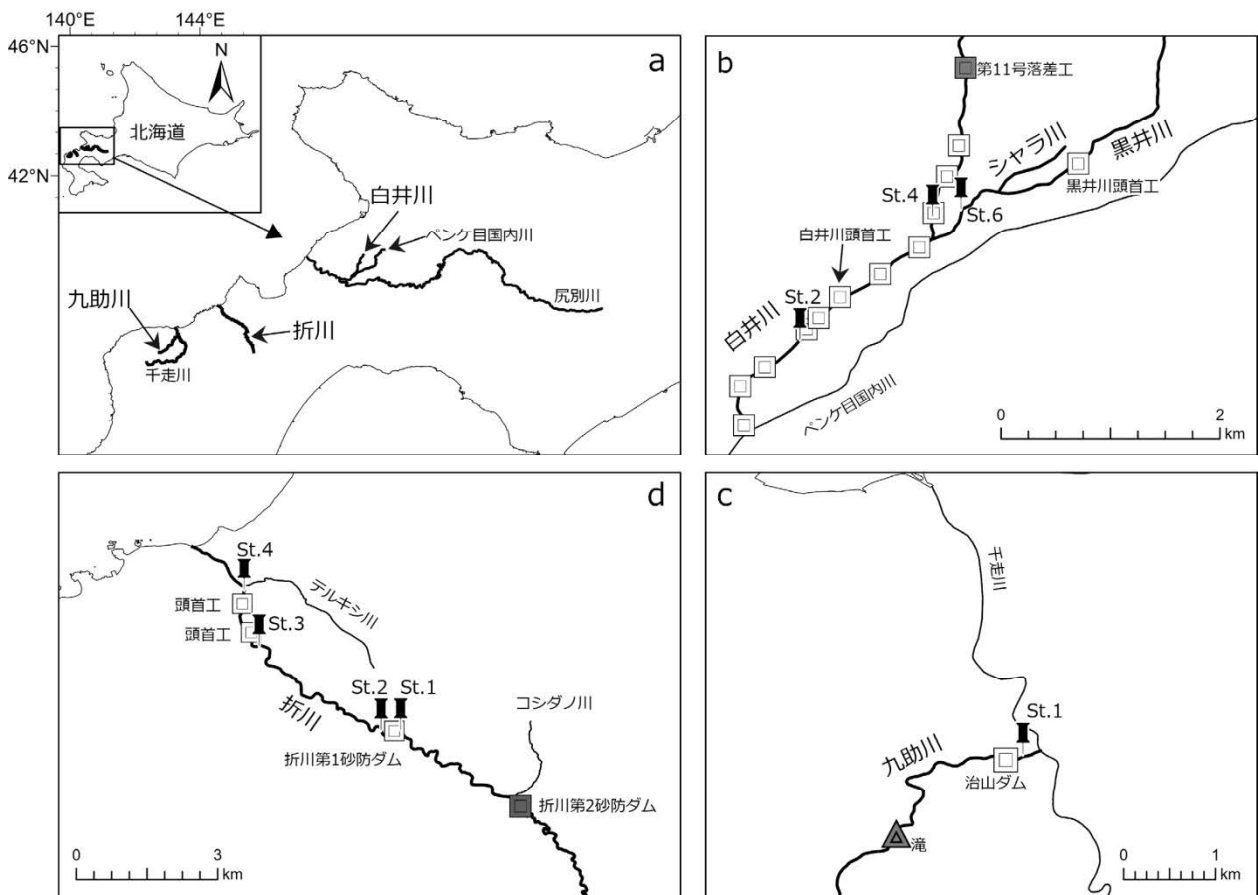


図 1 調査河川の位置 (a) と白井川 (b), 九助川 (c) および折川 (d) の河川横断工作物の位置と調査区。白抜き四角: 2025 年時点で遡上可能な河川工作物。灰色四角: 遡上不可能な河川工作物。ピン: 幼魚調査区。灰色三角: 遡上不可能な自然の滝。

が完了し（島牧漁業協同組合，私信），現在サクラマスの遡上限界となっているのは，上流部の折川第2砂防ダムである。

産卵床調査 サクラマスの産卵期直後の9月下旬～10月上旬に，各河川の調査範囲を踏査し，発見した産卵床の位置をGPS（eTrex，GPSMAP 6sSCJと64s，すべてGARMIN社製）で記録した。記録した産卵床の位置は，ArcGIS pro（Esri Japan Corporation，東京）で地図上に表示し産卵床数の計数と分布を記載した。白井川における調査範囲は，ペンケ目国内川との合流点から第11号落差工までの白井川本流と，支流黒井川および黒井川の支流シャラ川とした（図1b）。白井川における産卵床調査は2017～2022年に実施し，下田ら（2019）の2007～2016年のデータと合わせて記載した。九助川の産卵床調査は2018～2022年に実施し，これに加えて「遡上系種苗の導入と天然資源の回復によるサクラマス資源増殖研究（経常研究，2013～2017年）」および事前の予備調査で得られた2010～2017年のデータも使用した。調査範囲は，九助川と千走川との合流点から遡上限界と考えられる滝までとした（図1c）。折川の産卵床調査は2018～2022年に実施し，スリット化工事前の2013年と2014年の予備調査で得られたデータも使用した。折川の調査範囲は，テルキシ川との合流地点から，遡上限界となっている折川第2砂防ダムまでとした。

幼魚の生息密度および成長率 サクラマスの再生産の指標として，幼魚生息密度と夏季の成長率を調査した。幼魚採集調査を各年2回，春季（6月上～中旬）と秋季（10月中～下旬）に実施した。白井川では，2007～2022年に調査を行い，白井川と支流黒井川の合流点より下流のSt2，黒井川との合流点より上流の白井川本流に設定したSt4，および黒井川のSt6の3調査区で実施した。なお，調査区名は7地点で調査を実施していた下田ら（2019）を踏襲した（図1b）。九助川における幼魚調査は2018～2022年に実施し，九助川治山ダムの下流に設定したSt1で調査を実施した（図1c）。折川では2018～2022年に幼魚調査を実施し，スリット化した第1砂防ダムの上流側に設定したSt1，下流側のSt2，頭首工の上流のSt3，および頭首工下流のSt4の4つの調査区を設定して採集調査を行った。幼魚は，電気漁具（Electrofischer Model 12，Smith-Root社製）を用いて2回の繰り返し採集を行い，2回除去法（Seber and Le Cren, 1967）により生息密度を推定した。採集された個体は現地でFA100（DSファーマアニマルヘルス株式会社，大坂）で麻酔後，尾叉長を0.1 cm単位で測定した。測定した個体は麻酔から覚醒後に現地で放流した。6月の調査時には幼魚の尾叉長分布が明瞭な二峰型に分離していたことから，小型群を年

齢0+，大型群を年齢1+以上とした。10月の採集では0+個体と1+個体の尾叉長範囲が重複していたため，尾叉長10 cm以上の個体は体側から鱗を採取し実体顕微鏡下で休止帯数を確認し年齢を判定した。年齢0+と判定された個体について，生息個体数を推定した。各調査区の流路長と平均流路幅（各調査区で10点以上を測定）を測定し，これらの積を調査区の面積とした。推定された0+幼魚生息数を調査区面積で除してサクラマス0+個体の生息密度を算出した。また，6月から10月にかけての夏季の0+幼魚の日間成長率（GR：mm day⁻¹）を次式で求めた。

$$GR = (FL_2 - FL_1) / D$$

ただし， FL_1 ：6月の0+幼魚の平均尾叉長， FL_2 ：10月に採集された0+幼魚の平均尾叉長， D ：6月の調査日から10月の調査日までの経過日数である。

結 果

産卵床分布 白井川における魚道設置前の2007年の産卵床数は34床で（図2），すべて遡上障害となっていた河川工作物の下流側で確認された（図3）。2008年以降，下流側から魚道の設置が開始され2010年までに段階的に産卵可能域が拡大した。これにともない，産卵床数が段階的に増加するとともに，魚止めとなっていた河川工作物の上流側に形成された産卵床数が増加した。2016年には全体で114床の産卵床が確認され，そのうち76床は上流側で観察された。これまで利用が少なかった黒井川，シュラ川でも産卵床が多く確認された。その後，2017年には産卵床数は29床に急激に減少したが，産卵床は支流を含む調査範囲全域で確認された。2018年にはこれまでで最大となる167床が確認され，調査区間の下流域から上流域まで全域で産卵床が確認された。その後，白井川全体における産卵床数は2019年に79床，2020年に54床，2021年46床，2022年には22床と減少傾向にあるが，比較的上流域に形成された産卵床の割合が高く推移した。2022年には産卵床が黒井川で多く確認された。

九助川では治山ダムのスリット化工事以前の2010年には，産卵床は9床で，全てダム下流側で確認された（図2，4）。スリット化工事直後の2011年にはダム下流側で11床，ダム上流側に22床の産卵床が確認された。2013年には観察された産卵床89床のうち，82床が上流側で確認された。その後は，2014年には24床，2015年15床，2016年には94床，2017年には8床と九助川における産卵床数は大きく変動した。調査期間中に最も多くの産卵床が確認された2016年は，調査区間の全域に広く分散して産卵床が分布していた。2017年の産卵床は8床

に留まったが、いずれもダムの上流側で確認された。2021年と2022年は20床程度で推移しているが、いずれも砂防ダム上流側でも産卵床が確認された。

折川では、スリット化工事前の2013年、2014年に第1砂防ダムの下流側でそれぞれ7床、21床の産卵床が確認された(図2)。スリット化工事完了後の2018年の調査では、第1砂防ダム下流側で24床が確認されたが、上流側では産卵床は確認されず、下流域に多く分布していた(図5)。特に最も下流の頭首工の下に分布が集中していた。2019年以降、少数ではあるがダム上流での産卵床が確認された(2018年3床;2020年1床;2021年5床)。2022年には36床のサクラマス産卵床が確認され、そのうち22床がダムの上流で確認された。

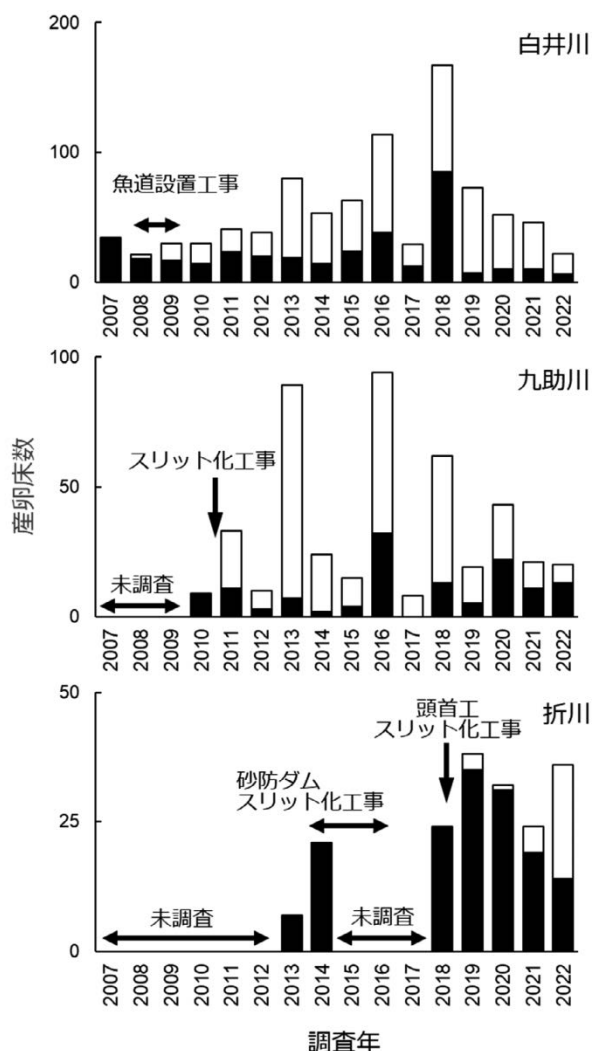


図2 白井川、九助川および折川における河川横断工作物改修前後のサクラマス産卵床数の推移。■は魚止めとなっていた河川工作物の下流側、□は上流側で観察された産卵床を示す。

幼魚生息密度と成長率 白井川では、白井川本流と黒井川の合流点より下にあるSt.2においてサクラマス幼魚の生息密度が比較的高く推移した(図6)。St.2の生息密度は2007年には0.02個体/m²と極めて低密度であったが、2008年以降は2016年まで0.22~1.11個体/m²で推移した。2017年から2019年の幼魚生息密度は、前年の産卵床数の増減に対応して大きく変動し、2017年には2.70個体/m²、2018年には0.16個体/m²、2019年には3.29個体/m²であった。この3年間の日間成長率は2017年0.17mm/日、2018年には0.40mm/日、2019年には0.16mm/日と生息密度と相反的に変動した。2020年以降、生息密度は0.99個体/m²、0.82個体/m²、0.55個体/m²と徐々に低下傾向にある。これに対して成長率は0.3~0.4mm/日で推移している。St.4および6でも2017年から2019年の生息密度と成長率には顕著な相反的対応が見られた。

九助川における幼魚の生息密度はスリット化後の2018年に0.54個体/m²と比較的高かったが(図7)、2019年0.46個体/m²、2020年0.32個体/m²と徐々に低下した。2021年、2022年は0.007個体/m²、0.068個体/m²と低密度となった。この間、日間成長率は、2018年に0.53mm/日、2019年0.31mm/日、2020年0.27mm/日と低下した後、2021年と2022年には上昇した。

折川は他の2河川に比べて全体的に幼魚の生息密度が低いが(図8)、2022年のSt.2で3.1個体/m²、2020年のSt.3で16.9個体/m²と極めて高い生息密度が記録された。これは、調査直前にサクラマス幼魚放流が行われたためである。それ以外では、いずれの調査区間・調査年でも生息密度は低く、0.5個体/m²以下であった。成長率は0.2~0.4mm/日で、他の調査河川と比べて高くはなかった。スリット化された第1砂防ダムの上流側のSt.1では2019~2021年に尾数は少ないものの、稚魚が採集されたが、2022年には稚魚が採集されず、飼育密度と成長率の対応関係も不明瞭であった。

考 察

本研究では、北海道南西部の3河川を対象に、河川工作物の魚道整備やスリット化が、サクラマスの産卵床分布および幼魚生息密度に及ぼす影響を長期的に記載した。その結果、いずれの河川においても河川工作物の改修後には産卵床の分布域が上流側へと拡大し、産卵床数の増加が認められた。しかし、その後の幼魚生息密度の変化は河川ごとに異なり、河川の特長や工作物の規模、改修前の個体群状態などがサクラマスの資源増加過程を左右する可能性がある。

白井川では、2007~2010年にかけて下流側から順次魚

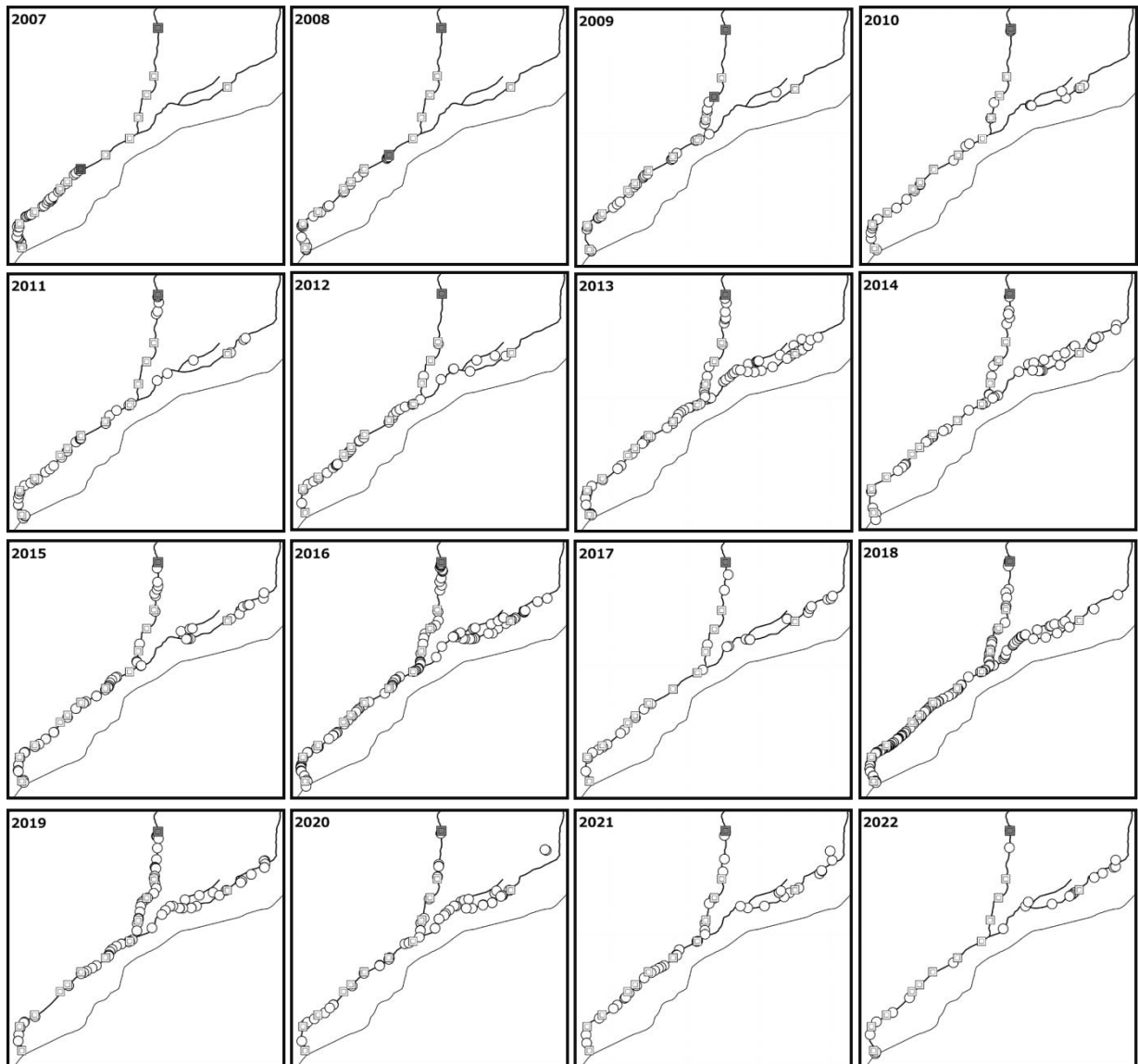


図3 白井川におけるサクラマス産卵床の分布の年変化。白四角は河川構造物、白丸は産卵床を示す。灰色四角はサクラマス親魚が通過不可能な河川構造物を示す。

道が整備された結果、産卵床数は増加し、産卵床の分布場所は魚止めとなっていた落差工直下から上流側へと段階的に拡大した。2017年には産卵床数自体は減少したものの、産卵床は上流域まで確認され、産卵可能域の回復した状態が維持されていると考えられる。九助川では、魚道が機能していなかった治山ダムのスリット化により、改修直後の2011年からダムの上流側で多数の産卵床が確認された。年度間変動は大きいものの、上流側で産卵が継続して確認されていることは、スリット化が長期的にサクラマスの産卵域拡大に有効であることを示している。折川では、第1砂防ダムがスリット化された後の2018年には上流側では産卵床がほとんど確認されなかったが、2019年以降徐々に上流域でも産卵床が確認され、2022年には上流側での産卵床が全体の6割以上を占

めた。これは、砂防ダムのスリット化後も、下流にある2つの頭首工が遡上の障害となっており、2019年にこれらの頭首工のスリット化工事が完了したことで遡上障害が解消され、産卵床分布域の拡大につながったと考えられる。また、折川は降雨による増水が頻発する河川のため、砂防ダム下流に流木が堆積し、親魚の遡上障害になっていた可能性があり（付図1f）、地元漁業協同組合による流木の撤去が上流域での産卵床増加に寄与したと考えられる。以上のように、遡上障害が解消されれば、サクラマスは速やかに上流に遡上して産卵域を拡大し、その産卵域は遡上数が少ない場合でも広く利用されることが示された。

白井川では、環境修復によって産卵床分布域が拡大後、数世代を経て産卵床数が増加した。この間、遡上障害よ

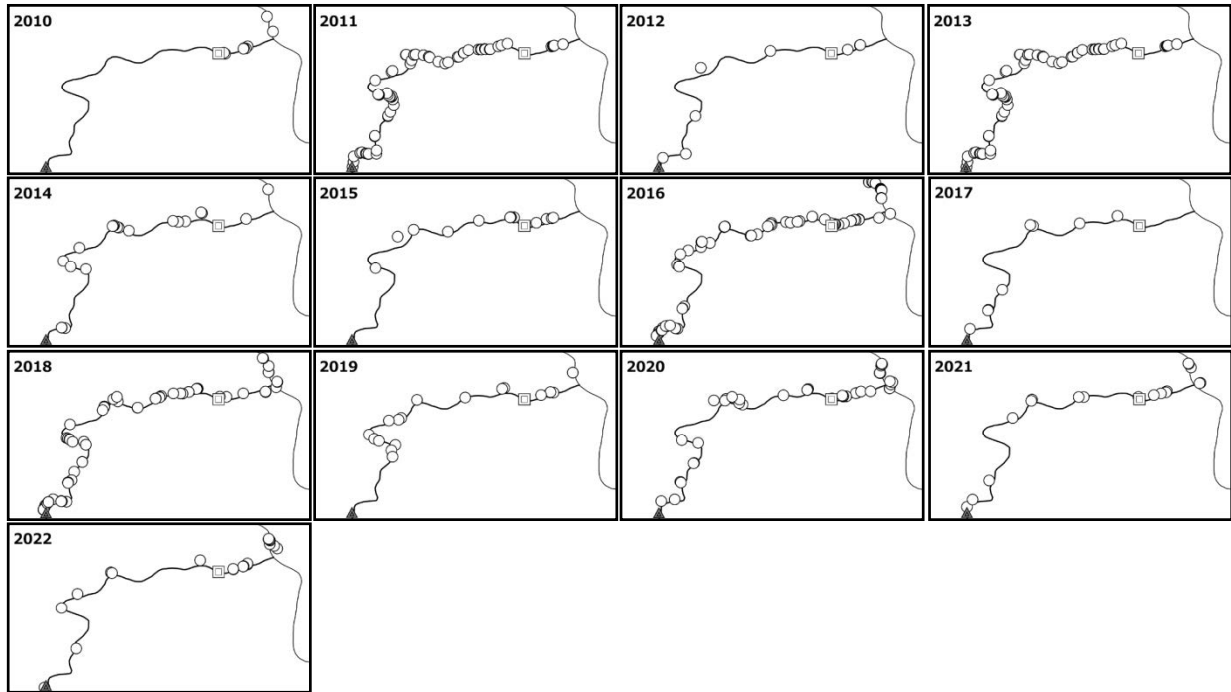


図4 九助川におけるサクラマス産卵床の分布の年変化. 四角は河川構造物, 三角は滝, 白丸は産卵床を示す.

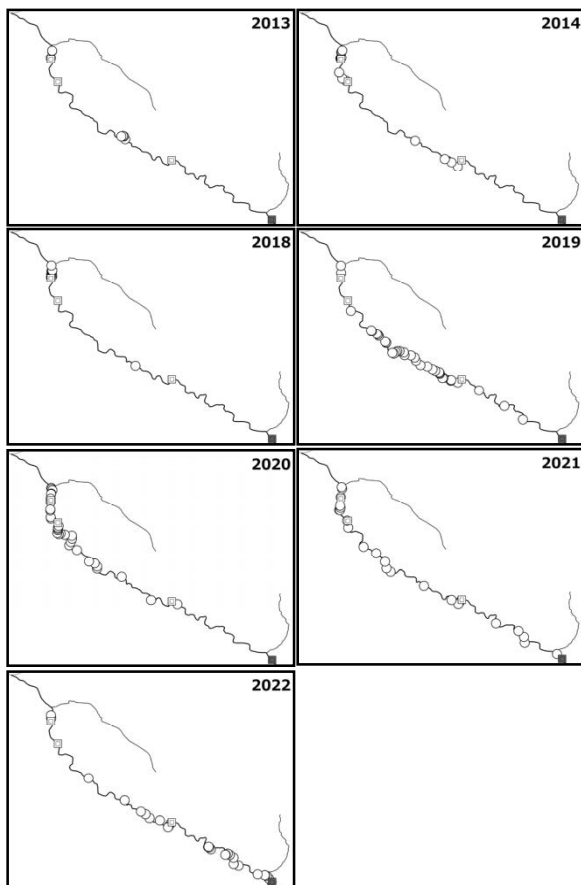


図5 折川におけるサクラマス産卵床の分布の年変化. 四角は河川構造物, 白丸は産卵床を示す.

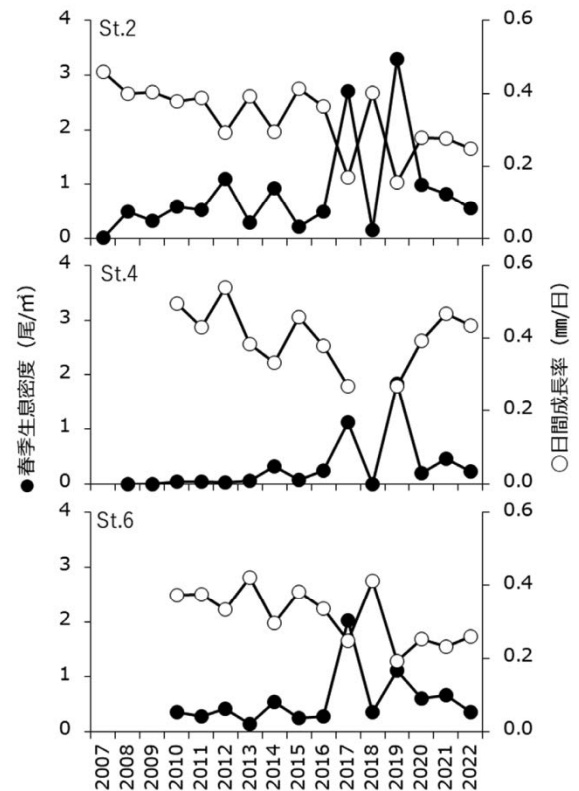


図6 白井川におけるサクラマス幼魚の生息密度と成長率. 黒丸は生息密度, 白丸は日間成長率を示す.

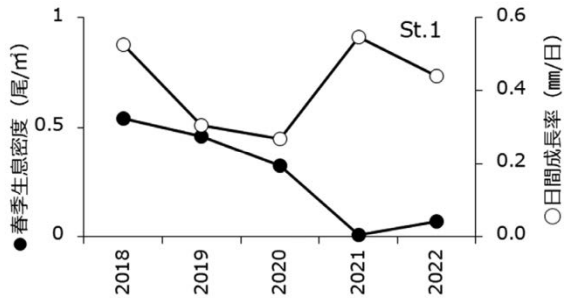


図7 九助川におけるサクラマス幼魚の生息密度と成長率。黒丸は生息密度、白丸は日間成長率を示す。

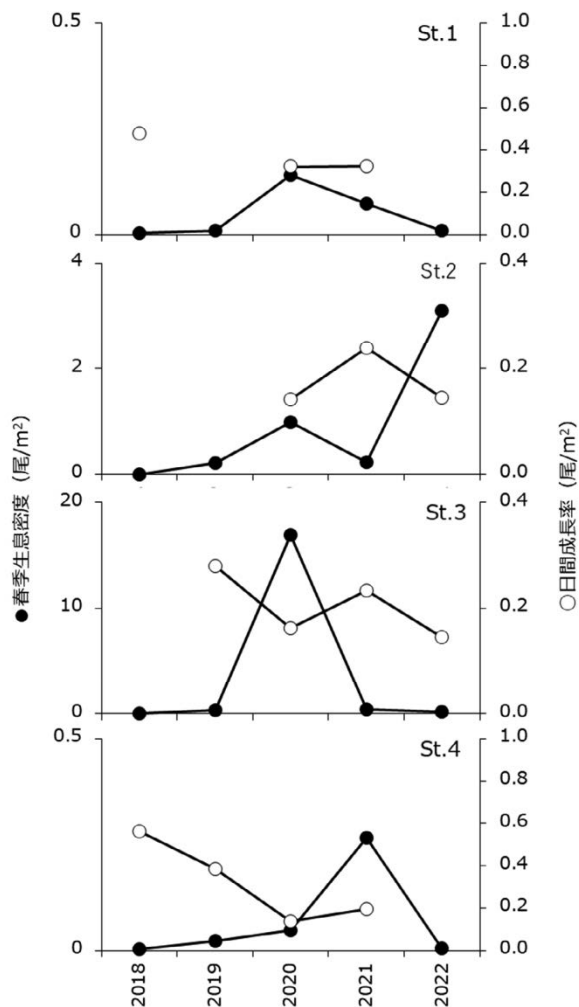


図8 折川におけるサクラマス幼魚の生息密度と成長率。黒丸は生息密度、白丸は日間成長率を示す。

りも下流域の調査区では幼魚密度の低下と成長率の向上が観察された(下田ら, 2019)。夏季の成長率が高いと秋季に体サイズが大きくなり、越冬期の生残率の向上につながる可能性がある。さらに、秋季の体サイズが大きいと翌春の降海時期のスモルトサイズが大きい傾向があり、降海サイズの大形化は海洋生活期の生残率向上につながる

る(下田ら, 2003)。このように、白井川の調査事例では、魚道設置による産卵域と幼魚分布の分散化が幼魚期の生息密度と成長率を変化させ、資源増加の契機となった可能性がある。しかし、産卵床数が増加した結果、2017年と2019年には高い生息密度が観察され、これと相反して成長率が低下した。これ以降、産卵床数は減少傾向にある。下田ら(2019)は産卵床数が増加して幼魚密度が上昇すると資源増加を抑制する方向で密度効果が働く可能性を指摘し、長期的には産卵床数や幼魚個体数が産卵場や生息場などの空間的制限、餌の量などの河川的环境条件に見合う数量の上限に達し、その後は海洋環境などの影響も受けながらある程度の範囲で変動すると予想している。白井川のサクラマス個体群では下田らが予想したような生態的過程を経て環境収容力に達した可能性があり、今後の個体群動態を長期的に観察する必要がある。九助川では幼魚の生息密度は白井川に比べると低い傾向にあるが、生息密度が大きく減少した2021年には日間成長率の増加がみられ、密度がやや上昇した2022年には成長率が低下する相反的な応答が見られた。一方、折川では全体的に成長率が低く、産卵床数と幼魚分布密度、成長率の関係性も明瞭ではなかった。なお、2022年のSt.2と2020年のSt.3で著しく密度が高かったのは稚魚放流が行われた直後の状況を捉えたためである。一方で、その他のほとんどの調査年で0.5尾/m²以下の低密度が観測されており、稚魚放流が必ずしもその後の稚魚の定着につながっていないと考えられる。環境収容力を超える過密な稚魚放流は放流魚だけでなく天然魚の生残も低下させる可能性が指摘されており(杉若ら, 1994)、適正な放流数の検討が必要かもしれない。また、改修後の稚魚の生息密度の増加過程が異なる一つの要因として、改修前の現存個体数の違いが影響すると思われる。白井川のようにもともと河川遡上数が多く、遡上障害により、産卵域が制限されていた河川では、遡上障害の解消効果が早期に顕在化しやすい一方で、折川のように遡上数が少ない河川では遡上障害解消の効果が現れるのに長期間を要するのかもしれない。むしろ、稚魚・幼魚の生息環境が資源増加の制限要因になっている可能性があり、上流域での産卵が幼魚の増加につながるかどうか、資源回復の指標になると考えられる。

これまでの調査結果から河川構造物の改修に伴うサクラマス資源の回復過程の解明には相当な長期間の調査が必要であることが示唆された。特に九助川や折川のように幼魚の増加過程が緩やかな河川では、環境修復効果の評価にはより長期的なモニタリング調査が必要である。

謝 辞

本研究は「サクラマス資源の持続的利用に向けた環境修復効果の評価と資源評価手法の開発に関する研究」(経常研究, 2018~2022年度)の成果の一部であり, 調査に参加した道総研さけます内水試さけます資源部の石田良太郎研究主幹(当時), 渡辺智治主査(当時), 神力義仁専門研究員(当時), 小亀友也研究職員に感謝する。また2017年以前の産卵床と幼魚のデータは先行課題と予備調査で得られたデータであり, 調査を行った関係者に感謝する。また, 島牧村漁業協同組合の佐々木義英部長には, 九助川と折川の河川工作物スリット化の経緯についてご教示頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

福島路生, 亀山 哲. サクラマスとイトウの生息適地モデルに基づいたダムの影響と保全地域の評価. 応用生態工学 2006; 8: 233-244.

Fukushima M, Kameyama S, Kaneko M, Nakao K, Steel A. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. *Freshwater Biology* 2007; 52: 1511-1524.

隼野寛史. サクラマス(ヤマメ) *Oncorhynchus masou masou* (Brevoort). 「新 北のさかなたち(上田吉幸, 前田圭司, 嶋田 宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003; 148-153.

真山 紘. サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究. さけ・ますふ化場研究報告 1992; 46: 1-156.

宮腰靖之. 北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究. 北海道立水産孵化場研究報告 2006; 60: 1-64.

宮腰靖之, 高橋昌也, 大熊一正, ト部浩一, 下田和孝, 川村洋司. 標識魚の遡上状況からみた北海道尻別川水系内でのサクラマスの母川回帰. 北海道水産試験場研究報告 2012; 81: 125-129.

大串伸吾. 北海道におけるサクラマス資源の利用と保全に関する多角的研究: 複合的資源利用の構造と河川

環境修復による資源保全の関係. 博士論文, 北海道大学, 札幌. 2014.

佐藤正人, 湊屋啓二, 坪井潤一. サクラマスの遡上範囲拡大を目的とした簡易魚道の開発. 日本水産学会誌 2021; 87: 160-162.

Seber GAF, Le Cren ED. Estimating Population Parameters from Catches Large Relative to the Population. *Journal of Animal Ecology* 1967; 36: 631-643.

下田和孝, 川村洋司. 網走川支流ドードロマップ川における魚道設置前後のサクラマス産卵床の分布. 北海道水産試験場研究報告 2014; 85: 41-46.

下田和孝, 内藤一明, 中島美由紀, 佐々木義隆, 三坂尚行, 今田和史. サクラマスのスモルトサイズと関連した海洋生活期の生残および成長. 日本水産学会誌 2003; 69: 926-932.

下田和孝, ト部浩一, 川村洋司. 魚道設置後のサクラマス資源の増加過程. 日本水産学会誌 2019; 85: 305-313.

杉若圭一, 鈴木研一, 竹内勝巳, 大久保進一, 河村博, 永田光博. 余別川 0+ 稚魚放流における生息密度と成長, 生残率の関係. 魚と水 1994; 31: 171-178.

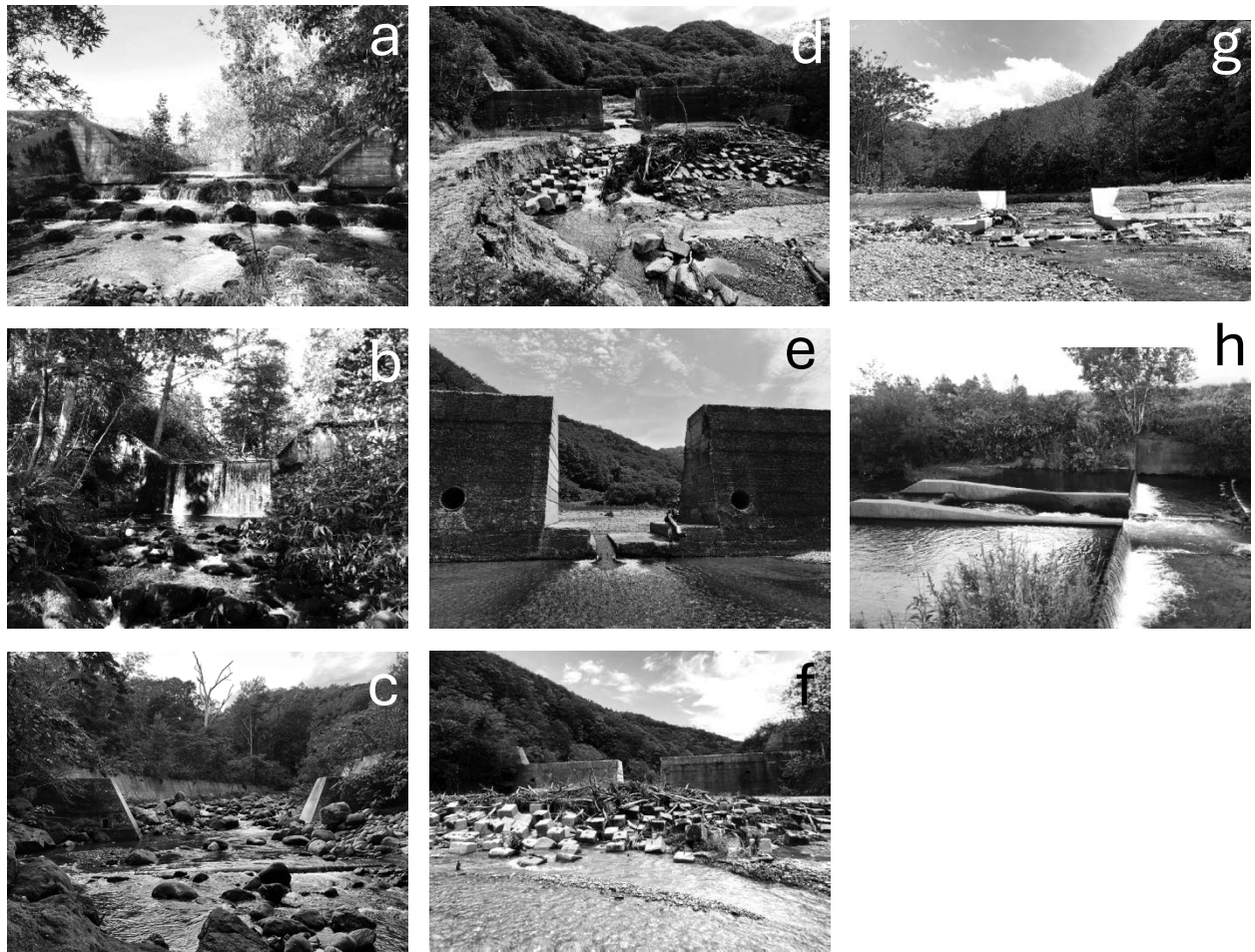
玉手 剛. 1980年以前の北海道沿岸におけるサクラマス漁獲量の推定. 水産増殖 2008; 56: 137-138.

玉手 剛, 早尻正宏. 北海道における河川横断工作物基数とサクラマス沿岸漁獲量の関係. 水利科学 2008; 52: 72-84.

馬谷佳幸, 奥田篤志. 天塩川水系琴平川における治山ダムのスリット化にともなう魚類相の変化. 北方森林保全技術 2017; 34: 10-20.

Urabe H, Nakajima M, Torao M, Aoyama T. Application of a bioenergetics model to estimate the influence of habitat degradation by check dams and potential recovery of masu salmon populations. *Environmental Biology of Fishes* 2014; 97: 587-598.

ト部浩一, 藤原 真, 宮腰靖之, 神力義仁, 下田和孝, 川村洋司, 佐々木義隆, 隼野寛史. 後志管内におけるサクラマス自然再生産個体群の現状について. 北海道水産試験場研究報告 2013; 84: 39-45.



付図1 調査対象河川における河川構造物. a 2008年に魚道が設置された白井川の落差工. b 現在, 魚止めとなっている白井川の第11号落差工. c 2010年にスリット化された九助川の治山ダム. d 2014~2016年にスリット化された折川第1砂防ダム. e 折川第1砂防ダムのスリットの近影. f スリット化された砂防ダムの下流側に堆積した流木 (2022年撮影). g 2018年にスリット化された折川の下流側の頭首工. h 2018年に魚道が設置された折川の上流側頭首工.

サケ稚魚における瞬発遊泳能力の発達と体長依存性：
飼育個体と野生個体の比較

虎尾 充, 宮本真人

サケ稚魚の瞬発遊泳能力の発達を検証し、実験室飼育魚、野外採集魚および野生魚の突進速度を比較した。突進速度は音刺激による逃避測定法で測定した。全群において突進速度は尾叉長に比例して有意に増加し、サイズ依存性を示した。しかし増加率は群間で異なり、突進速度と尾叉長の関係における傾きに有意差が認められた。このような発達過程の差が認められたが、降河開始時期に相当するサイズクラス（尾叉長 30～45 mm）では、群間で突進速度の有意差は認められなかった。これらの結果は、孵化場魚と野生魚の起源による瞬発遊泳能力の差はなく、成長に伴う影響および野外での生態的過程が関連する可能性を示唆する。

A649 北水試研報 110, 1–11 (2026)

北海道産ホッケ生食用冷凍商材のおいしさに影響をおよぼす要素及び製造条件の検討

笹岡友季穂, 辻 浩司, 高橋夢伽, 蛭谷幸司,
北谷朋也, 田中 彰, 佐々木茂文

ホッケ (*Pleurogrammus azonus*) を原料とした生食用冷凍フィレについて、おいしさに影響を及ぼす官能項目の解明を試み、それらの官能項目が保持される製造条件を検討した。官能評価の結果、生食用冷凍フィレの嗜好と強く関連する官能項目として、水っぽさおよび生臭さが抽出された。漁獲後に氷冷貯蔵された魚体より、漁獲当日の魚体から調製した生食用冷凍フィレは官能的な評価が高く、一方で理化学的指標に有意差は見られないことから、微小な肉質の差がおいしさに影響を及ぼすと示唆された。ブライン凍結し -40°C 以下で冷凍保管された生食用冷凍フィレは、氷結晶の形成と成長が抑制され、保管 5 カ月後においても官能的な水っぽさが低く生食に適した品質を示した。

A650 北水試研報 110, 13–24 (2026)

カラフトマス稚魚の成長適水温：サケ稚魚との比較飼育実験の試み（短報）

虎尾 充

海水温がカラフトマスとサケ稚魚の摂餌と成長に及ぼす影響を飼育実験で比較した。 4°C ～ 23°C の 6 海水温区で 10 日間、アルテミアを飽食量給餌し、摂餌量 (FI)・体重と尾叉長の瞬間成長率 (SGR_{wg} , SGR_{FL})・摂餌効率 (FE) が最大になる水温を検討した。カラフトマスでは、FI は 16.1°C , SGR_{wg} は 14.8°C , SGR_{FL} は 14.4°C , FE は 10.5°C で最大となった。サケではそれぞれ 17.7°C , 16.3°C , 16.7°C , 13.0°C であり、いずれもカラフトマスの方が低水温に最大値があった。カラフトマスの成長適水温はより低い領域にある可能性が示唆されたが、限られた実験結果のため追試験が必要である。

A651 北水試研報 110, 25–29 (2026)

北海道留萌沖日本海で漁獲されたニシンの胃内容物（資料）

城 幹昌, 有馬大地

北海道留萌沖日本海で漁獲されたニシン標本の胃内容物を観察した。空胃であったニシンは全 65 個体中 1 個体のみであった。空胃個体は除いた胃内容物の湿重量は $2.0\sim 67.9\text{ g}$ の範囲で、平均値は 16.9 g であった。解析の簡便化のためすべてのニシンの胃内容物を 1 つにまとめ、その中から湿重量約 10 g 程度のサブサンプルを 5 つ採取した。優占して出現したのはオキアミであり、ニシン 1 個体あたり $13\sim 443$ 個体 (平均 110.3 個体)、湿重量で $1.26\sim 42.9\text{ g}$ (平均 10.7 g) 捕食されていたと推定された。次にニホンウミノミが多く出現し、ニシン 1 個体あたり $2\sim 72$ 個体 (平均 17.9 個体)、そして湿重量で $0.04\sim 1.21\text{ g}$ (平均 0.3 g) 捕食されていたと推定された。

A652 北水試研報 110, 31–34 (2026)

河川横断工作物改修がサクラマス産卵床分布および幼魚生息密度に及ぼす長期的影響（資料）

虎尾 充, 下田和孝, 竹内勝巳,
津田(山口)文, 大磯毅晃, ト部浩一

北海道南西部の3河川（白井川・九助川・折川）において、砂防ダムなどの河川横断工作物への魚道整備やスリット化がサクラマスの産卵床分布と幼魚生息密度に及ぼす影響を長期的に調査した。いずれの河川でも改修後に産卵床分布は上流側へ拡大し、産卵床数の増加が確認された。一方、幼魚生息密度と成長率の変化は河川ごとに異なり、白井川では資源増加過程に密度依存的な効果が示唆された。九助川と折川では産卵床数の増加は比較的緩やかであり、幼魚密度の顕著な上昇は見られなかった。河川横断工作物の改修はサクラマスの産卵域拡大と資源増加に有効であるが、その増加過程は河川によって異なると考えられ、長期的なモニタリングが必要である。

A653 北水試研報 110, 35-43 (2026)

水産研究本部図書出版委員会

委員長 佐々木 剛

委 員 板谷 和彦 吉村 圭三 武田 浩郁 山口 浩志
石田良太郎 佐野 稔 後藤 陽子 佐藤 敦一
安藤 大成

事務局 美坂 正 岡田のぞみ 小林 学 稲川 亮

水産研究本部出版物編集委員会

委員長 美坂 正

委 員 板谷 和彦 栗林 貴範 吉村 圭三 福田 裕毅
武田 浩郁 三上加奈子 藤原 真 下田 和孝
安藤 大成 渡辺 智治

事務局 岡田のぞみ 小林 学 稲川 亮

(作業補助：武田奈緒子)

北海道水産試験場研究報告 第110号

2026年9月11日発行 ISSN: 2185-3290

編集兼 北海道立総合研究機構水産研究本部
発行者 〒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

印刷所 Hamanaka-cho 238, Yoichi-cho, Hokkaido 046-8555, Japan
株式会社 総北海 札幌支社
〒065-0021 札幌市東区北21条東1丁目4番6号
電話 011(731)9500

