

BULLETIN OF IWATE PREFECTURAL  
FISHERIES TECHNOLOGY CENTER  
No.13 March, 2026

岩手県水産技術センター研究報告

第13号 令和8年3月

岩手県水産技術センター

岩手県釜石市大字平田

IWATE PREFECTURAL FISHERIES TECHNOLOGY CENTER

HEITA, KAMAISHI, IWATE 026-0001, JAPAN

# 岩手県水産技術センター研究報告

## 第13号

### 目次

Effects of background color on seawater adaptation of masu salmon <i>Oncorhynchus masou</i> ..... Takeshi Yamanome .....	1
養殖ワカメに被害を及ぼす <i>Ephelota gigantea</i> の環境 DNA による発生予測 ..... 小林俊将, 川島拓也, 阿部陽 .....	10
岩手県に回帰したサケ資源の変動 ..... 清水勇一, 岡部聖, 及川仁, 瀬川格 .....	14

## サクラマス *Oncorhynchus masou* の海水適応能に及ぼす背景色の効果

山野目健

背景色がサクラマスの海水適応能に及ぼす効果を調べた。淡水で飼育中のサクラマスを白色もしくは黒色水槽の海水に移行し、30日間生残の推移を観察した。実験は7回行い、そのうち4回では黒色水槽に移行した魚の生残率が白色水槽移行魚より有意に低かった。黒色素胞刺激ホルモン (MSH) はサケ科魚類において黒色背景で放出が促進される典型的なペプチドホルモンである。そこで、白色水槽で海水飼育したサクラマスの生残に対するMSHの効果調べた。同ホルモンを含んだペレットを投与した結果、対照群にはへい死が認められなかったのに対し、MSH投与群は56日以内に全滅した。この結果は、黒色背景がサクラマスの海水適応能を低下させることを示唆する。

岩手水技セ研報(13), 1~9 (2026)

---

## 養殖ワカメに被害を及ぼす *Ephelota gigantea* の環境DNAによる発生予測

小林俊将・川島拓也・阿部陽

養殖ワカメに付着して商品価値を低下させる *Ephelota gigantea* の発生を予測することを目的に、環境DNAによるモニタリング調査を行った。ワカメ養殖漁場に3定点を設け、ワカメ漁期の2月~3月に約週1回の間隔で海水1Lを採取し、海水から *E. gigantea* のDNAを検出した。その結果、養殖ワカメへの *E. gigantea* の付着が確認される12~19日前に養殖漁場の海水から *E. gigantea* のDNAが検出された。このことから、環境DNAの技術を用いることにより *E. gigantea* の発生を予測できることが示唆された。

岩手水技セ研報(13), 10~13 (2026)

---

## 岩手県に回帰したサケ資源の変動

清水勇一・岡部聖・及川仁・瀬川格

岩手県におけるサケは、増殖事業により資源造成され岩手県の水産を支える重要な魚種となったが、近年の漁獲量は極端に減少している。本報告では、岩手県へ回帰したサケの年級別年齢別回帰尾数やモニタリング河川の魚体及び繁殖形質の年変化から、長期的な資源変動を整理した。その結果、①1979年級までの増大期、②1995~2005年級の高位期、③1995~2005年級の初期低位期、④2006~2014年級の中期低位期、⑤2015年級以降の後期低位期の5期に段階的な変動として整理された。資源量が減少した原因は明らかではないが、1歳魚までの生残率が大きく低下していると推定された。今後の資源回復に向けて、稚魚を放流する春季のモニタリングを継続して資源増大期のような海洋環境を観測した際には、直ちに増殖事業を強化できるように準備しておくことが重要であると考えられた。

岩手水技セ研報(13), 14~23 (2026)

# Effects of background color on seawater adaptation of masu salmon *Oncorhynchus masou*

Takeshi Yamanome

## Abstract

The present study was undertaken to evaluate whether background color modulated the seawater adaptability of masu salmon. Juvenile masu salmon that were initially reared in fresh water were transferred to seawater tanks with either black or white backgrounds. Survival of the fish in these tanks was monitored over 30 days. Among 7 independent experiments, statistically lower survival rates were observed for fish in the black tanks compared to the white tanks in four out of the seven experiments. MSH is a typical peptide hormone whose release is facilitated against a black background in salmonid fishes. Next, the effects of synthetic MSH on the survival of masu salmon reared in a white tank containing seawater were examined. Implantation of a pellet containing the hormone caused death of all experimental fish within 56 days, whereas no mortality was observed in the control fish. These results suggest that environmental black backgrounds reduce the seawater adaptability of masu salmon.

**Key words** : Masu salmon; Black background; Melanocyte-stimulating hormone; Seawater adaptability

## Introduction

In fish, neuroendocrine systems mediate changes in the photic environment as shown by the modifying effects of black and white backgrounds on the production of hormonal peptides and pigment migration and synthesis. For instance, a black background increases the plasma levels of  $\alpha$ -melanocyte-stimulating hormone ( $\alpha$ -MSH)<sup>1-4)</sup>, which darkens the body color, whereas a white background increases the production of melanin-concentrating hormone (MCH), which causes the body color to become more pale<sup>5-9)</sup>. Thus,  $\alpha$ -MSH and MCH, which are generated in the pituitary gland and hypothalamus, respectively, are representative hormones associated with body color changes in fish<sup>10)</sup>. In addition to body color changes, these peptides also participate in food intake as orexigenic and anorexigenic peptides, respectively, as has been shown in mammals<sup>11-12)</sup>.

With regard to food intake, the roles of  $\alpha$ -MSH and MCH are not yet fully understood in fish. However, some evidence suggests the possible involvement of MCH in food intake. Specifically, barfin flounder *Verasper moseri* reared in white tanks had higher *mch* expression and higher MCH levels in the brain and plasma<sup>13)</sup>, showed increased food intake<sup>14)</sup>, and grew faster<sup>15)</sup> compared to conspecifics reared against a black background. These results suggest that the white background stimulated MCH production; elevated MCH levels then stimulated food intake, and finally, increased food intake resulted in somatic growth<sup>15)</sup>.

The stimulating effects of a white background on the growth of barfin flounder led us to investigate whether this phenomenon would also occur in other fish species. This assumption was assessed using anadromous masu salmon *Oncorhynchus masou*. In northern Japan, these fish spawn in rivers mainly from spring to summer. After remaining in their natal river for approximately

1.5 years, juvenile fish migrate downstream to the ocean<sup>16)</sup>. Based on the anadromous characters, the present study was originally undertaken to know if background color - white and black - would differentially influence masu salmon growth reared in fresh water and seawater. However, during the course of experiments, it appeared that background color could affect the survival of masu salmon. Thus the present paper reports the possible effects of background color on the seawater adaptation of masu salmon.

## Materials and Methods

### ***Fish***

Masu salmon obtained from the Kamaishi Tobu Fisheries Cooperative Association (Kamaishi, Iwate, Japan) were used for fresh water to seawater transfer experiments at the Iwate Fisheries Technology Center (Kamaishi, Iwate, Japan) except for Experiment 1, which was done at the Association. Sea concentration was measured with a hand-held refractometer (IS/Mill-E, ATAGO Co., Ltd, Tokyo). Fish were fed a commercial pellet diet (Nosan Corporation, Yokohama, Japan). Measurement of fork length (FL) and body weight (BW) were performed under anesthesia with 0.05% 2-phenoxyethanol. FL and BW of the experimental fish and seawater temperature are shown in Table 1. All fish were reared under ambient photoperiod condition, i.e., these fish were reared indoor tanks and received daylight in combination with light from fluorescent lamps. Since we do not have a guideline for animal treatment in Iwate Fisheries Technology Center, all experiments were conducted according to the guideline for the care and use of animals which were used in Kitasato University where my partners shown in acknowledgement section belong to.

### ***Rearing masu salmon in white or black tanks***

*Rearing in fresh water (Experiment 1)* : Effects of

background color on somatic growth of masu salmon were examined in this experiment. In August 2004, masu salmon in a gray tank were transferred to a black or white tank (500 *l* each) at the Kamaishi Tobu Fisheries Cooperative Association. Each tank contained 10 fish. The FL and BW of fish in the black tank were  $12.5 \pm 0.2$  cm and  $24.9 \pm 1.6$  g, and those of fish in the white tank were  $12.5 \pm 0.1$  cm and  $24.6 \pm 0.9$  g. Fish were reared for 6 weeks and fed twice daily (09:30 and 15:30) until satiety. The water temperature was 11–12°C.

*Transfer from fresh water to seawater (Experiment 2)*:

Effects of background color on seawater adaptation of masu salmon were examined in this experiment at Iwate Fisheries Technology Center. In April 2005, the sea concentration of a blue tank (3,000 *l*) containing a mass of fish was increased from 0% to 30% over one day. On the following day, the sea concentration was increased to 70%. After 2 days, the sea concentration was increased to 100%, and the fish were reared for an additional 5 days at this concentration. Subsequently, 28 fish were randomly removed and divided into 2 groups, and then transferred to a black seawater tank (500 *l*) or to a white seawater tank (500 *l*), where they were reared for 30 days. During seawater adaptation in the blue tank, they were not fed. In the black and white tanks containing seawater, small amounts of pellets were given occasionally, because this rearing experiment addressed to clarify the effects of background color on survival, not on growth, in seawater. This feeding was also applied to the experiments described below.

*Transfer from fresh water to seawater (Experiment 3)*:

Effects of background color on seawater adaptation of masu salmon were examined again in this experiment at Iwate Fisheries Technology Center. In May 2005, the sea concentration of a blue tank (3,000 *l*) containing a mass of fish was increased from 0% to 30% over 7 days. After 1 week, the sea concentration was increased to

65%, and the fish were reared at this concentration for a further 7 days. On the 8th day at 65% seawater, the concentration was increased to 80%, followed by 100% on the next day (9th day). On the 10th day, 60 fish were randomly removed and divided into 2 groups, and then transferred to a black or white seawater tank (500 *l*), in which they were reared for 30 days.

*Transfer from fresh water to seawater (Experiments 4–8)*: Base on experiments 2 and 3, effects of background color on seawater adaptation of masu salmon were examined again in this experiment at Iwate Fisheries Technology Center. Initially, masu salmon reared in a blue freshwater tank (3,000 *l*) were randomly selected and transferred to a black or white tank (500 *l*) containing fresh water. Each tank contained 15 fish. Shortly after the transfer, the sea concentration of these tanks was increased to 70%, and the fish were reared for 3 days at this concentration. Subsequently, the concentration was increased to 100%, and the fish were reared for an additional 30 days. These experiments were conducted in April 2007 (experiment 4), May 2007 (experiment 5), October 2007 (experiment 6), January 2008 (experiment 7), and March 2008 (experiment 8), because we have limited number of experiment tank, so it was impossible to perform these five raising experiments simultaneously.

#### ***Administration of Des-Ac- $\alpha$ -MSH***

*Preparation of MSH pellet* : Des-Ac- $\alpha$ -MSH was synthesized according to methods described previously<sup>17-18)</sup>. A cholesterol pellet containing Des-Ac- $\alpha$ -MSH (MSH pellet) was prepared according to the method of Lee et al. (1986)<sup>19)</sup> with slight modifications. In brief, Des-Ac- $\alpha$ -MSH (13.4 mg) was dissolved in 3 *ml* of 70% ethanol and mixed completely with cholesterol powder (1 g; Wako, Osaka, Japan). After drying overnight, the resulting pellet was pulverized and then thoroughly mixed with 150 mg of cocoa butter. The resultant material was compressed into pellets weighing approximately 25 mg, which contained approximately 280  $\mu$ g of Des-Ac- $\alpha$ -MSH. It was demonstrated that this pellet was effective to enhance pigmentation of barfin flounder<sup>20)</sup>.

#### ***Implantation of MSH pellet and rearing in seawater***

Masu salmon were reared in a blue seawater tank (3,000 *l*) 4 months prior to implantation of MSH pellets. Fourteen fish were randomly selected; on the day of implantation in October 2005, the FL and BW were 16.0  $\pm$  0.5 cm and 51.2  $\pm$  5.1 g. These fish were divided into two groups. In one group ( $n = 7$ ), the MSH pellet was implanted intramuscularly (one pellet/fish) using a Tag injector (K-Engineering, Tokyo, Japan) under anesthesia with 0.05% 2-phenoxyethanol. Control fish

**Table 1. Experimental conditions and survival rate of masu salmon in seawater under white and black background.**

Experiment	age	Folk length	Body weight	The number of fish	Seawater temperature (°C)	Date	Survival rate (%) at day15 in background		Survival rate (%) at day 30 in background	
		(cm)	(g)				white	black	white	black
2	0+	19.9 $\pm$ 0.2	77.1 $\pm$ 2.3	28	6.9–9.1	April 2005	100	29 ***	93	7 ****
3	1+	10.8 $\pm$ 0.2	15.4 $\pm$ 0.4	60	8.9–10.9	May 2005	57	27 *	57	20 **
4	0+	18.7 $\pm$ 0.2	74.6 $\pm$ 6.3	30	7.7–9.6	April 2007	67	20 *	53	20 (NS)
5	1+	19.7 $\pm$ 0.3	84.4 $\pm$ 5.2	30	9.4–10.9	May 2007	80	33 *	73	7 ***
6	1+	12.5 $\pm$ 0.1	21.5 $\pm$ 0.5	30	14.3–16.9	October 2007	33	13 (NS)	20	7 (NS)
7	1+	17.4 $\pm$ 0.4	62.8 $\pm$ 3.8	30	6.5–9.1	January 2008	73	33 (NS)	53	7 *
8	1+	19.0 $\pm$ 0.4	81.0 $\pm$ 4.6	30	4.6–5.6	March 2008	40	40 (NS)	20	27 (NS)

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*\*\*  $p < 0.0001$ , Yates' chi-square test or Fisher's exact test. Statistical difference was analyzed on days 15 and 30.

received cholesterol pellets without De-Ac- $\alpha$ -MSH. Fish were reared in white indoor running seawater tanks (500 l) for 56 days. They were fed twice daily (8:30 and 16:00) until satiety. The seawater temperature during this experiment was 13.0–18.5°C.

### Statistics

All data are shown as means  $\pm$  SEM. Statistical analyses were performed using StatView for Windows 5.0 (SAS Institute, Cary, NC, USA). Student's *t*-test was used for statistical analysis of the effect of tank color on FL and BW. Differences in survivability were determined by Yates' chi-square test when all expected values of the cases were  $>5$ , or by Fisher's exact test when any expected values were  $<5$ . Statistical significance was determined at the 5% level.

## Results

### Effects of tank color on somatic growth

Initially, the effects of tank color on the somatic growth of masu salmon in fresh water were examined (Experiment 1). After rearing in fresh water for 6 weeks, no significant difference was observed in both the FL and BW between the fish reared in white tank and black tank of the fish (FL;  $13.9 \pm 0.2$  cm, BW;  $29.4 \pm 1.3$  g ( $n = 8$ ) for the fish in a white tank, and FL;  $13.5 \pm 0.2$  cm, BW;  $27.4 \pm 1.5$  g ( $n = 10$ ) for the fish in a black tank). The effects of tank color on the somatic growth of masu salmon were also examined using fish in seawater (Experiment 2). Unexpectedly, most of the fish reared in the black tank died during the 30 days in seawater in experiment 2 (Fig. 1A). The survival rate in the black tank on days 15 and 30 were 29% and 7%, respectively, which was significantly lower ( $P < 0.001$ ) than that (100% and 93%, respectively) of fish in the white tank (Table 1). A possible cause of this high mortality was that the acclimatizing procedure in experiment 2 was inappropriate to facilitate the survival of masu salmon

in seawater; therefore experiment 3 using a modified acclimatizing procedure was done in May. Subsequently, similar results were obtained as in experiment 2 (Fig. 1B), in which fish reared in the black tank showed lower survival rates than those in the white tank (Table 1).

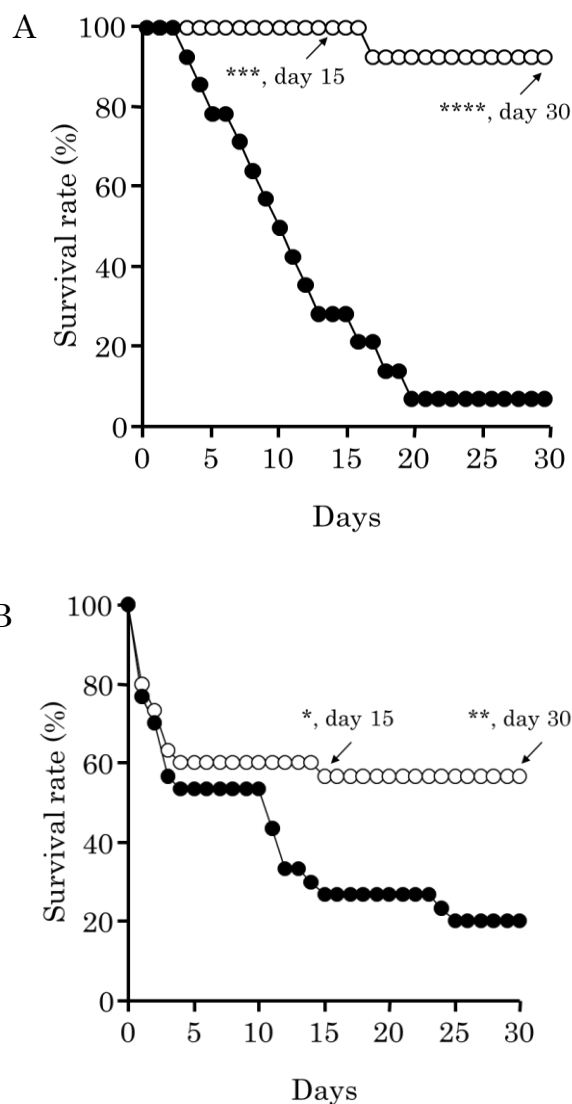


Fig. 1. Survival rate of masu salmon in black or white seawater tanks in experiment 2. Black and white circles show the survival rates in black and white tanks, respectively. Statistical analysis was done on days 15 and 30. (A) Initially, each tank contained 14 fish. Significant differences were observed between the black and white tanks on days 15 ( $p < 0.001$ ) and 30 ( $p < 0.0001$ ). (B) Initially, each tank contained 30 fish. Significant differences were observed between the black and white tanks on day 15 ( $p < 0.05$ ) and 30 ( $p < 0.01$ ). \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ , \*\*\*\*:  $p < 0.0001$ .

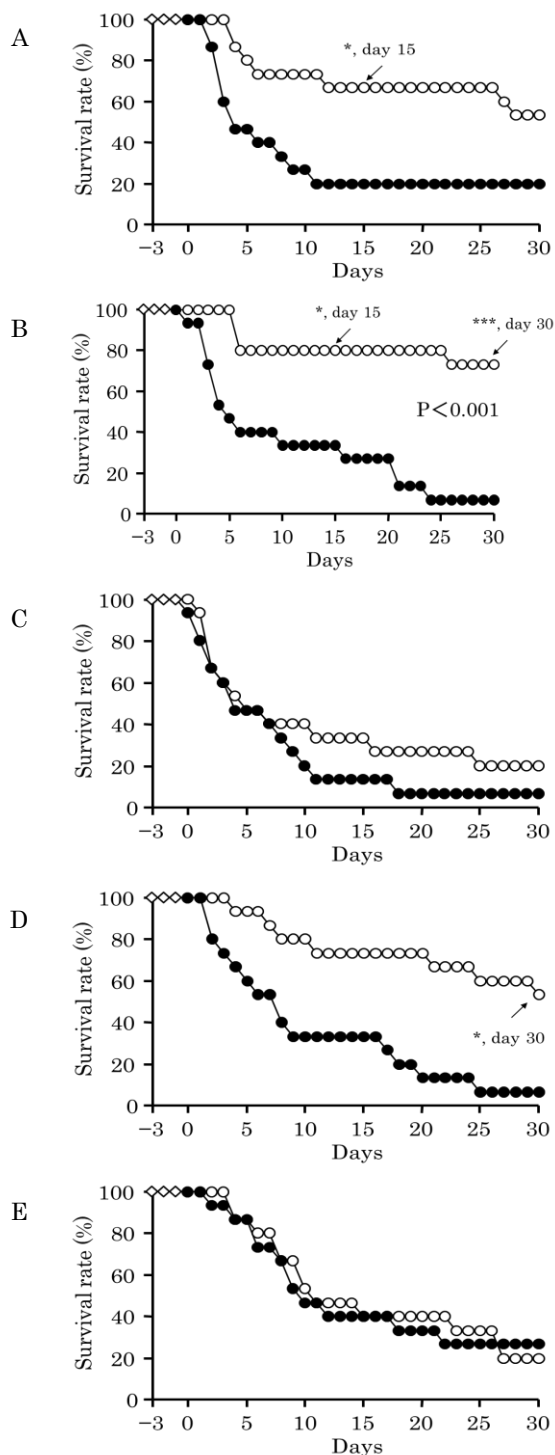


Fig. 2. Survival rate of masu salmon in black or white seawater tanks in experiments 4 (A), 5 (B), 6 (C), 7 (D), and 8 (E). Diamonds show the survival rate in 70% seawater. Black and white circles show the survival rates in black and white tanks, respectively. Statistical analysis was done on days 15 and 30. Initially, each tank contained 15 fish. Significant differences were observed on days 15 and 30 in experiments 4, 5 and 7. \*:  $p < 0.05$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ .

### Effects of tank color on seawater adaptation

Fish were transferred from fresh water to seawater following the same procedures used for experiment 2 and 3. The major differences were the seasons during which the experiments were conducted and the body size of fish (Table 1). Excluding experiment 8 (Fig. 2E), which was performed in March, all the results of rearing fish in seawater showed lower survival rates among fish reared in black tanks than those reared in white tanks (Figs. 2A–D). Significant differences in the survival rates were observed in experiments 4 and 5 on day 15, and experiments 5 and 7 on day 30.

### Effects of Des-Ac- $\alpha$ -MSH on seawater adaptation

After implanting MSH pellets, masu salmon were reared in a white tank containing running seawater. No deaths were observed over 56 days in control fish with implanted pellets containing no Des-Ac- $\alpha$ -MSH (Fig. 3).

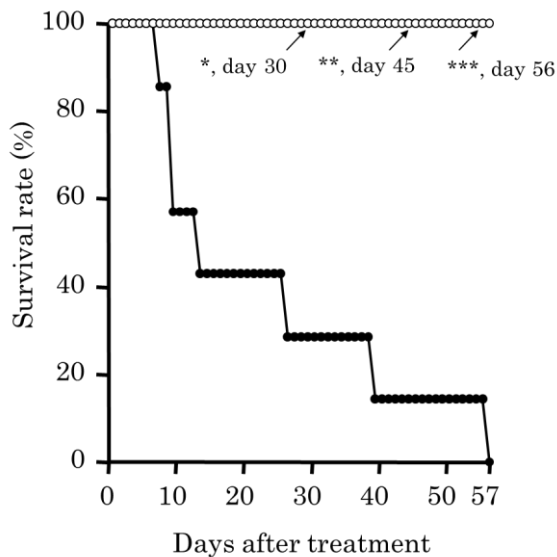


Fig. 3. Survival rate of masu salmon implanted with MSH pellets in a seawater tank with a white background. Black and white circles show the survival rates of MSH-treated and control fish, respectively. Statistical analysis was done on days 30, 45 and 56. Initially, each tank contained 7 fish. Significant differences were observed between the two groups on days 30 ( $p < 0.05$ ), 45 ( $p < 0.01$ ), and 56 ( $p < 0.001$ ). \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ .

In contrast, the fish with implanted MSH pellets were unable to survive in seawater. Fish died intermittently on days 7, 9, 13, 26, 39, and finally no fish survived. Statistical analyses done on days 30 ( $P < 0.05$ ), 45 ( $P < 0.01$ ) and 56 ( $P < 0.001$ ) showed significant difference between MSH-implanted fish and control fish. These results indicated that Des-Ac- $\alpha$ -MSH had negative effects on the seawater adaptation of masu salmon.

### Discussion

The present study reports the effects of tank color (black or white) on the somatic growth and seawater adaptability of masu salmon. In fresh water, difference in tank color (white or black) did not affect the growth of masu salmon during 6 week raising. These results are different from previous results obtained using barfin flounder<sup>15)</sup>, in which barfin flounder reared in white tank grew faster than those reared in black tank. Although experiment 2 and 3 were performed to compare the effects of background color on the growth of masu salmon in seawater, it was unable to accomplish these because of the remarkably high mortality of fish in the black tank. However, these results did suggest the alternative possibility that background color may affect seawater adaptation of masu salmon. Both in the experiment 2 (Fig. 2A) and 3 (Fig.2 B), masu salmon reared in white tank showed higher survival rates than those reared in black tank. In other words, black background could reduce survival rates of masu salmon compared to the fish reared in white tank. Thus, similar examinations were repeated an additional 5 times to evaluate the effects of tank color on fish survival.

A series of data showed that the survival rates of fish reared in black tanks were relatively low compared to those reared in white tanks, although the results obtained from all experiments did not always show statistically significant differences in the survival rates between the fish reared in black tanks and white tanks.

Seasonal differences related to the timing of seaward migration may be related to this inconsistency. For example, in southern Hokkaido, juvenile masu salmon begin to develop the characteristic silver and white coloration of smolts in March and rapidly turns into smolts in April<sup>16)</sup>. According to this morphological changes, juvenile masu salmon may have better ability of seawater adaptation in spring than other seasons. The present study indicate white background well contribute to seawater adaption of masu salmon in April and May (Table 1), which may partially be related to timing of smoltification. Nevertheless, the black background color showed negative effects on the seawater adaptability of masu salmon in all experiment points.

$\alpha$ -MSH is a typical peptide hormone whose release is facilitated against a black background in salmonid fishes<sup>1-4)</sup>, suggesting that this hormone may be associated with relatively high mortality of masu salmon in black tank; therefore, the effects of  $\alpha$ -MSH on the seawater adaptability of masu salmon was examined in the present study. Des-Ac- $\alpha$ -MSH was used because MSH pellets transplanted into barfin flounder were previously shown to work well<sup>20)</sup> and amino acid sequence of the peptide is well conserved among teleosts<sup>21)</sup>. The result—high mortality of the fish received exogenous MSH—suggests that a black background color possibly inhibits the seawater adaptation of masu salmon by way of Des-Ac- $\alpha$ -MSH.

Des-Ac- $\alpha$ -MSH is generated from the precursor protein proopiomelanocortin (POMC) in the pituitary gland<sup>10, 22)</sup>. In addition to Des-Ac- $\alpha$ -MSH, which has no acetyl group,  $\alpha$ -MSH and diacetyl (Di-Ac)- $\alpha$ -MSH, which have one and two acetyl groups at the N-terminal, respectively, are also generated in teleost fishes<sup>18, 23-25)</sup>. These peptides exhibit their activities via melanocortin receptors, which are widely distributed throughout the body<sup>21, 26, 27)</sup>, suggesting that Des-Ac- $\alpha$ -MSH as well as  $\alpha$ -MSH and Di-Ac- $\alpha$ -MSH could modulate the functions

of cells in the tissues that participate in ion and water movement, although, to my knowledge, no reports demonstrating relationship between MSH and osmoregulation have been published. Additional interpretation could be proposed for the effects of Des-Ac- $\alpha$ -MSH. In this experiment, all of the experimental fish were reared in white background color, and hence these fish probably increased MCH levels. Thereafter, MSH levels were artificially increased by the implantation. Thus it is speculated that the fish had high levels of both MCH and MSH, and such unnatural hormone levels influenced the survival of the fish. In this context, MSH alone is not the mediator for the death of fish in the seawater. Further experiments are necessary to confirm the function of MSH.

The present investigation suggests that background color may modulate the seawater adaptability of masu salmon. Specifically, the survival rates of masu salmon reared in a black tank containing seawater were low compared to those of fish reared in a white tank. When Des-Ac- $\alpha$ -MSH was administered via implantation of an MSH pellet to masu salmon reared in a white tank containing seawater, all fish died within 57 days. This result suggests that the peptide lowered the ability of the fish to adapt to seawater by directly or indirectly modulating the functions of tissues or cells associated with ion and water movement.

### Acknowledgments

I am deeply grateful to Prof. Akiyoshi Takahashi, Prof. Masafumi Amano, Prof. Hiroaki Chiba, and Prof. Kanta Mizusawa of Kitasato University for their generous and patient guidance over many years, which has been invaluable in shaping my research foundations. I record my sincere appreciation here with the utmost respect. I also acknowledge Mr Daisuke Kato, Iwate Fisheries Technology Center, and Mr Toshiki Satodate, Kamaishi Tobu Fisheries Cooperative Association, for their

technical assistance.

### References

- 1) Rodrigues K., and J. P. Sumpter (1984). Effects of background adaptation on the pituitary and plasma concentrations of some pro-opiomelanocortin-related peptides in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Endocrinol.*, 101, 277-284.
- 2) Gilham, I. D. and B. I. Baker (1985) A black background facilitates the response to stress in teleosts. *J. Endocrinol.*, 105, 99-105.
- 3) Sumpter, J. P., A. D. Pickering and T. G. Pottinger (1985) Stress-induced elevation of plasma  $\alpha$ -MSH and endorphin in brown trout, *Salmo trutta* L. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 59, 257-265.
- 4) Pickering, A. D., T. G. Pottinger and J. P. Sumpter (1986) Independence of the pituitary-interrenal axis and melanotroph activity in the brown trout, *Salmo trutta* L., under conditions of environmental stress. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 64, 206-211.
- 5) Kawauchi, H., I. Kawazoe, M. Tsubokawa, M. Kishida and B. I. Baker (1983) Characterization of melanin-concentrating hormone in chum salmon pituitaries. *Nature*, 305, 321-323.
- 6) Baker, B. I., D. J. Bird and J. C. Buckingham (1986) Effects of chronic administration of melanin-concentrating hormone on corticotrophin, melanotrophin, and pigmentation in the trout. *Gen. Comp. Endocrinol.* 63, 626-629.
- 7) Kishida, M., B. I. Baker and A. N. Eberle (1989) The measurement of melanin-concentrating hormone in trout blood. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 74, 221-229.
- 8) Green, J. A., B. I. Baker and H. Kawauchi (1991) The effect of rearing rainbow trout on black or white backgrounds on their secretion of melanin-concentrating hormone and their sensitivity to stress. *J. Endocrinol.*, 128, 267-274.
- 9) Suzuki, M., Y. K. Narnaware, B. I. Baker and A. Levy (1995) Influence of environmental colour and

- diurnal phase on MCH gene expression in the trout. *J. Neuroendocrinol.*, 7, 319-328.
- 10) Takahashi, A. and H. Kawauchi (2006a) Diverse structures and functions of melanocortin, endorphin and melanin-concentrating hormone in fish. In “*Fish Endocrinology*” (ed. by G. Zaccone, M. Reinecke and B.G. Kapoor), Science Publishers, Enfield, NH, pp. 325–392.
  - 11) Tritos, N. A. and E. Maratos-Flier (1999) Two important systems in energy homeostasis: melanocortin and melanin-concentrating hormone. *Neuropeptides*, 33, 339-349.
  - 12) Barsh, G. S. and M. W. Schwartz (2002) Genetic approaches to studying energy balance: perception and integration. *Nat. Rev. Genet.*, 3, 589-600.
  - 13) Amiya, N., M. Amano, A. Takahashi, T. Yamanome, H. Kawauchi and K. Yamamori (2005) Effects of tank color on melanin-concentrating hormone levels in the brain, pituitary gland and plasma of the barfin flounder as revealed by a newly developed time-resolved fluoroimmunoassay. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 143, 251-256.
  - 14) Sunuma, T., T. Yamanome, M. Amano, A. Takahashi and K. Yamamori (2009) White background stimulates the food intake of a pleuronectiform fish the barfin flounder, *Verasper moseeri* (Jordan et Gilbert). *Aquacult. Res.*, 40, 748-751.
  - 15) Yamanome, T., M. Amano and A. Takahashi (2005) White background reduces the occurrence of staining, activates melanin-concentrating hormone and promotes somatic growth in barfin flounder. *Aquaculture*, 244, 323-329.
  - 16) Machidori, S. and F. Kato (1984) Spawning Populations and Marine Life of Masu Salmon. International North Pacific Fisheries Commission No. 43, Vancouver, Canada. pp. 1-138.
  - 17) Takahashi, A., K. Tsuchiya, T. Yamanome, M. Amano, A. Yasuda, K. Yamamori and H. Kawauchi (2004) Possible involvement of melanin-concentrating hormone in food intake in a teleost fish, barfin flounder. *Peptides*, 25, 1613-1622.
  - 18) Takahashi, A., M. Amano, T. Itoh, A. Yasuda, T. Yamanome, Y. Amemiya, K. Sasaki, M. Sakai, K. Yamamori and H. Kawauchi (2005) Nucleotide sequence and expression of three subtypes of proopiomelanocortin mRNA in barfin flounder. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 141, 291-303.
  - 19) Lee, C.-S., C. S. Tamaru and C. D. Kelley (1986) Technique for making chronic-release LHRH-a and 17 $\alpha$ -methyltestosterone pellets for intramuscular implantation in fishes. *Aquaculture*, 59, 161-168.
  - 20) Yamanome, T., H. Chiba and A. Takahashi (2007) Melanocytostimulating hormone facilitates hypermelanosis on blind side of barfin flounder, a pleuronectiform fish. *Aquaculture*, 270, 505–511.
  - 21) Takahashi, A., K. Mizusawa, and M. Amano (2014) Multifunctional roles of melanocyte-stimulating hormone and melanin-concentrating hormone in fish: evolution from classical body color change. *Aqua-BioSci. Monogr.* 7, 1-46.
  - 22) Takahashi, A. and H. Kawauchi (2006b) Evolution of melanocortin systems in fish. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 148, 85–94.
  - 23) Lamers, A. E., G. Flik, W. Atsma and S. E. Wendelaar Bonga (1992) A role for di-acetyl  $\alpha$ -melanocyte-stimulating hormone in the control of cortisol release in the teleost *Oreochromis mossambicus*. *J. Endocrinol.*, 135, 285–292.
  - 24) Arends, R. J., J. Rotllant, J. R. Metz, J. M. Mancera, S. E. Wendelaar Bonga and G. Flik (2000)  $\alpha$ -MSH acetylation in the pituitary gland of the sea bream (*Sparus aurata* L.) in response to different backgrounds, confinement and air exposure. *J. Endocrinol.*, 163, 427-435.
  - 25) Yasuda, A., L. S. Jones and Y. Shigeri (2013) The multiplicity of post-translational modifications in pro-opiomelanocortin-derived peptides. *Front. Endocrinol.*, doi: 10.3389/fendo.2013.00186.

- 26) Haitina, T., J. Klovins, J. Andersson, R. Fredriksson, M. C. Lagerström, D. Larhammar, E. T. Larson and H. B. Schiöth (2004) Cloning, tissue distribution, pharmacology and three-dimensional modeling of melanocortin receptor 4 and 5 in rainbow trout suggest close evolutionary relationship of these subtypes. *Biochem. J.*, 380, 475-486.
- 27) Metz, J. R., J. J. M. Peters and G. Flik (2006) Molecular biology and physiology of the melanocortin system in fish: a review. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 148, 150-162.

# 養殖ワカメに被害を及ぼす *Ephelota gigantea* の環境 DNA による発生予測

小林俊将\*1・川島拓也\*2・阿部陽\*3

## Prediction of the occurrence of *Ephelota gigantea* damaging cultured wakame seaweed by environmental DNA analysis

Toshimasa Kobayashi\*1, Takuya Kawashima\*2 and Akira Abe\*3

### Abstract

To mitigate the damage caused by *Ephelota gigantea* parasitism on cultivated wakame seaweed, *Undaria pinnatifida*, we attempted to predict the occurrence of *E. gigantea* infestation. At three wakame seaweed cultivation sites, seawater samples were collected approximately once a week during the harvest season from February to March, and *E. gigantea* DNA was detected from the seawater. The results showed that *E. gigantea* DNA had been detected in seawater from the aquaculture sites from 12 to 19 days before the actual occurrence of *E. gigantea* parasitism on the cultivated wakame was confirmed. This suggests that the occurrence of *E. gigantea* parasitism can be predicted using environmental DNA analysis.

**Key words** : *Ephelota gigantea*, *Undaria pinnatifida*, environmental DNA

キーワード : スイクダムシ, ワカメ, 環境 DNA

### はじめに

ワカメ *Undaria pinnatifida* は岩手県の水産業において重要な養殖対象種となっている。岩手県沿岸のワカメ養殖では、夏にメカブを用いて採苗し、芽が出た後にはえ縄式の養殖ロープに巻き込んで成長させ、主に2月~4月に収穫している。しかし、この収穫時期にハリヤマスイクダムシ属の絨毛虫の1種である *Ephelota gigantea* が養殖ワカメに大量に付着することがあり、問題となっている<sup>1-2)</sup>。*E. gigantea* は岩手県のワカメ養殖業者の間では通称スイクダムシと呼ばれており、長い柄と扁平な虫体からなり、柄の長さは200~1000  $\mu$  m, 虫体幅は200~700  $\mu$  m程度で、ハリヤマスイクダムシ属では最大の種である。

*E. gigantea* はワカメの生育には影響を及ぼさないものの、大量に付着するとワカメの光沢が失われ、収

穫後に *E. gigantea* 由来の褐色の液体が染み出して異臭を放つことから、商品価値が大幅に低下する。岩手県の養殖ワカメの多くはボイル加工されるが、ボイル加工後も *E. gigantea* の柄や付着痕が残るため、加工しても商品価値の低下は避けられない。

発生年が不定期なうえに発生漁場が岩手県中北部及び北海道南部のワカメ養殖漁場に限られることから、研究事例が少なく、培養技術が確立されていないことから生態に不明な点が多い。岩手県沿岸のワカメ養殖漁場では3月~5月に出現するが、それ以外の時期は生息場所も不明である。

再生産は無性生殖である外生出芽により行われ、遊走細胞により増殖する。岩手県沿岸では遊走細胞が基質に付着してから成長して出芽するまで約5日、出芽した遊走細胞が放出されて基質に付着するまでが1日以内であり、一世代に要する期間は6日前後と推察さ

\*1 岩手県内水面水産技術センター(Iwate Inland Fisheries Technology Center)

\*2 岩手県水産技術センター(Iwate Fisheries Technology Center)

\*3 公益財団法人岩手生物工学研究センター(Iwate Biotechnology Research Center)

れている<sup>1)</sup>。1回に4~5個の遊走細胞を放出することから、ワカメ養殖漁場で発生すると短期間に付着数が増加して被害が拡大することが多い。長年にわたり対策が求められているが、今のところ付着を防ぐ方法はなく、早期発見、早期収穫以外に有効な対策が無いのが現状である。しかし、前述のとおり発生が確認されてから短期間に付着数が増加するため、付着が確認される前に発生を予測する技術の開発が求められている。

近年、環境水中に含まれる微量のDNAを検出することにより、周囲に生息する生物の種類や量を把握する環境DNAの技術が発達し、魚病研究の分野では環境水中から病原体を検出する手法として利用され始めている<sup>3-5)</sup>。ワカメ養殖漁場で*E. gigantea*が増殖する際には、遊走細胞が海水中に浮遊すると考えられる。そこで、本研究では環境DNAの技術を用いて、海水サンプルから*E. gigantea*のDNAを検出することにより、*E. gigantea*の発生を事前に予測することを試みた。

## 材料と方法

### 検体の採取

2023年の養殖ワカメ漁期に合わせて、2023年2月1日~3月30日に岩手県北部のワカメ養殖漁場内でモニタリング調査を実施した。調査地点は同一のワカメ養殖漁場内の岸側、中央、沖側の3点で、海岸線からの距離は、岸側が約0.4km、中央が約1.6km、沖側が約2.7kmだった。

調査日は概ね1週間間隔で、2023年2月1日、2月8日、2月17日、2月24日、3月1日、3月8日、3月20日、3月30日の計8回実施した。

各調査地点で海水1Lを採水瓶に採取した。海水中のDNAの劣化を防止するために、海水1Lあたり1mlの10%塩化ベンザルコニウム液を採水直後に添加した。採取した検体は冷蔵のうえ、その日のうちに岩手県水産技術センターに持ち帰り、分析に供した。

各調査地点では海水のサンプリングと併せて、周辺の養殖桁から各調査地点3本ずつのワカメを採取した。採取したワカメは基部、中央部、先端部の3カ所に分け、更に各部の葉の先端部、中央部、中肋付近の3カ所、1本につき計9カ所の葉体を約2cm<sup>2</sup>ずつ切り取り、99%エタノールが入ったサンプル瓶に入れて固定した。

エタノール固定したワカメの葉体はろ過海水で置換した後に実体顕微鏡で検鏡し、*E. gigantea*の付着の有無を確認し、付着密度を計測した。各調査地点のワカメ3本の

3部位、計9カ所の計測結果の平均値を各調査地点での*E. gigantea*の付着密度(個/cm<sup>2</sup>)とした。

なお、2023年2月8日は中央、沖側の定点は波浪により欠測とした。また、2023年3月30日の中央の調査地点は養殖ワカメの収穫が終了していたため、海水のみサンプリングした。

### *E. gigantea*に特異的なリアルタイムPCR用プライマーの設計

岩手県内のワカメ養殖漁場で採取し、99%エタノールで固定した*E. gigantea*からDNAを抽出してプライマーの設計に用いた。東北大学から*E. gigantea*のプライマー(西谷:未発表)の情報提供を受け、同プライマーで増幅させたPCR産物の配列をシーケンスし、NCBI BLASTでの検索で*Ephelota gemmipara*のrRNA遺伝子配列がトップヒットしたことから、*E. gemmipara*と多型がある箇所をプライマーを設計した。設計したリアルタイムPCR用プライマーの配列は以下のとおり。

Egi-qPCR-1-F 5'-ATCCGATCGCAGAACTTAGTTGA-3'

Egi-qPCR-1-R 5'-ATCCAAGAAGCTCGACTCTGT-3'

これらのプライマーについて、*E. gigantea*から抽出したDNAでの増幅を確認したうえで、本研究に用いた。

### 海水サンプルからの*E. gigantea*のDNAの検出

真空アスピレーターを用いて、各検体の海水1Lを0.22μmのメンブレンフィルター(メルク社製 Millipore Express PLUS)でろ過した。その後、DNeasy Power Water Kit(QIAGEN社製)を用いてフィルターからDNAを抽出した(最終容量100mL)。抽出したDNAサンプルはStepOne Plus™ Real-Time PCR system(Applied Biosystems社製)によりリアルタイムPCRを行った。リアルタイムPCRの試薬にはKAPA SYBR FAST qPCR Master Mix Kit(KAPA BIOSYSTEMS社製)を使用した。試薬組成はqPCR Master Mix10μL、Egi-qPCR-1-F(10pmol)0.4μL、Egi-qPCR-1-R(10pmol)0.4μL、DNA template 1.0 μL、超純水 8.2 μLで総量が20 μLになるように調整した。

リアルタイムPCRの反応は、98°Cで10秒、52°Cで20秒、60°Cで20秒を40サイクルの条件で実施した。

*E. gigantea*由来のDNA量は以下の手順で定量した。まず、99%エタノール固定された*E. gigantea*30個体をマイクロチューブに集め、DNeasy Blood and Tissue

Kits (QIAGEN社製) によりDNAを抽出し、スタンダードとした(最終容量200 $\mu$ L)。スタンダードを6段階に希釈してリアルタイムPCRを行い、検量線を作成した。希釈前のスタンダードのDNA濃度(8.27ng/mL)はQubit4 Fluorometer (ThermoFisher SCIENTIFIC社製)で測定した。検量線から各サンプルのDNA濃度を算出し、海水1Lあたりの*E.gigantea*のDNA濃度を推定した。

## 結 果

各調査日、調査定点での海水中の*E.gigantea*のDNA濃度と*E.gigantea*のワカメへの付着密度をTable1に示した。2023年2月1日及び2月8日の調査ではいずれの調査定点でも*E.gigantea*のDNAは検出されず、養殖ワカメへの付着も確認されなかった。2023年2月17日の調査では3定点で51~197ng/Lの*E.gigantea*のDNAが検出されたが、ワカメへの付着は確認されなかった。2023

年2月24日の調査でも3定点で18~35ng/LのDNAが検出されたが、ワカメへの付着は確認されなかった。2023年3月1日の調査では3定点で18~112ng/LのDNAが検出され、中央の定点のワカメで3.33個/cm<sup>2</sup>の*E.gigantea*の付着が確認された。一方で、沖側、岸側の定点では*E.gigantea*の付着は確認されなかった。2023年3月8日の調査では3定点で190~308ng/LのDNAが検出された。中央の定点でのワカメへの付着密度は4.93個/cm<sup>2</sup>に増加し、沖側及び岸側の定点でも0.04個/cm<sup>2</sup>及び0.08個/cm<sup>2</sup>と低密度ながら*E.gigantea*の付着が確認された。2023年3月20日の調査では各調査定点のDNA濃度、付着密度とも急増し、3定点で453~12,010ng/LのDNAが検出され、28.33~262.22 個/cm<sup>2</sup>の付着が確認された。2023年3月30日の調査ではDNA濃度は3定点で405~1,363ng/Lと減少したが、沖側と岸側の定点での付着密度はそれぞれ292.44個/cm<sup>2</sup>及び200.78個/cm<sup>2</sup>まで増加した(中央定点は欠測)。

**Table 1. Changes in *E.gigantea* DNA concentration in seawater and *E.gigantea* parasite density on wakame seaweed at three collection sites.**

Collection site	Items	Collection date							
		2023/2/1	2023/2/8	2023/2/17	2023/2/24	2023/3/1	2023/3/8	2023/3/20	2023/3/30
Offshore site	DNA concentration (ng/L)	0	—	197	18	18	308	453	405
	Parasite density (number/cm <sup>2</sup> )	0.00±0.00	—	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.04±0.05	28.33±15.76	292.44±206.49
Central site	DNA concentration (ng/L)	0	—	51	25	112	190	12,010	1,363
	Parasite density (number/cm <sup>2</sup> )	0.00±0.00	—	0.00±0.00	0.00±0.00	3.33±4.02	4.93±11.23	226.22±146.38	—
Nearshore site	DNA concentration (ng/L)	0	—	53	35	33	258	1,039	289
	Parasite density (number/cm <sup>2</sup> )	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.08±0.08	48.78±45.15	200.78±74.24

## 考 察

本研究において、いずれの定点においても周辺の海水から初めて*E.gigantea*のDNAが検出されたのは2023年2月17日であった。一方で、顕微鏡観察により養殖ワカメへの*E.gigantea*の付着が初めて確認されたのは中央定点で2023年3月1日、沖側定点及び岸側定点で3月8日であり、各調査定点で*E.gigantea*の付着が確認される12~19日前に周辺の海水から*E.gigantea*のDNAが検出されたことになる。また、今回の事例では、*E.gigantea*の付着が初めて確認された際の付着密度は0.04~3.33 個/cm<sup>2</sup>であり、顕微鏡観察では確認できるものの、肉眼では付着は認識できない程度であった。実際に養殖ワカメの商品価値に影響が出たのは、付着密度が28.33~226.22 個/cm<sup>2</sup>まで

急増した2023年3月20日前後であり、初めて海水から*E.gigantea*のDNAが検出された2月17日からは約1カ月の期間があったことになる。これらの結果から、いわゆる環境DNAの手法を利用することにより*E.gigantea*の発生を事前に予測し、早期収穫等の対策に利用できることが示唆された。

*E.gigantea*は発生後に急激に増殖して被害が拡大することが知られているが、これまでに実際の養殖漁場での増殖の速さを定量的に把握した事例はない。本研究において、沖合定点では2023年3月20日に28.33 個/cm<sup>2</sup>だった付着密度が3月30日には292.44 個/cm<sup>2</sup>と10日間で約10倍に急増している。同様に中央定点では2023年3月8日に4.93 個/cm<sup>2</sup>だった付着密度が3月20日には226.22 個/cm<sup>2</sup>と12日間で約45倍に急増している。今回の事例で養殖業者が肉眼での観察で

養殖ワカメへの *E. gigantea* の付着を認識してから、養殖ワカメの商品価値が大幅に低下する約 200 個/cm<sup>2</sup> のレベルまで付着が増加するのに要した日数は 10 日程度の短期間であったと考えられる。養殖ワカメの観察や収穫作業は波浪条件により制約されることを考慮すると、環境 DNA 技術を使わずに、これまでの養殖管理の中で *E. gigantea* の発生を確認してから早期収穫により対応しようとしても、収穫前に蔓延してしまう可能性が高いと考えられる。

本研究において養殖ワカメへの *E. gigantea* の付着密度の増加に伴い海水中から検出される DNA 量も増加した。しかし、2023 年 3 月 20 日から 3 月 30 日にかけては付着密度が増加しているにもかかわらず、いずれの調査定点でも DNA 濃度は減少した。これは、調査定点周辺での養殖ワカメの収穫が進んだこと、及び *E. gigantea* の発生により収穫を中止したワカメの廃棄作業が進んだことで、漁場全体での *E. gigantea* の現存量が減少したためと推察される。

*E. gigantea* はハリヤマスイクダムシ属の繊毛虫の中でも最も大型の種であり、大きさと形状により種を特定し、検体を収集することが可能であったが、その他のハリヤマスイクダムシ属の繊毛虫は種を特定したうえで研究用の検体を採集することは容易ではなく、本研究において使用したプライマーセットの *E. gigantea* に対する種特異性は十分に検証できていない。しかし、本研究において、*E. gigantea* の付着密度の増加に同調して周辺海域から検出される DNA 量の顕著な増加が認められたことから、今後、データを蓄積しながら精度を検証していく必要はあるものの、今回用いた手法はワカメ養殖の現場における *E. gigantea* の発生予測に利用可能であると考えられる。

and Ecological Characteristics of the Suctorian Ciliate *Ephelota gigantea* (Ciliophora, Phyllopharyngea, Ephelotidae) Found on Cultured Wakame Seaweed in Northeastern Japan. *Acta Protozool*, 54, 295-303 (2015).

- 3) 今城雅之・森光一幸・助田将樹・梅崎拓也・門野真弥・合田暉・久保栄作・大嶋俊一郎：高知県野見湾における *Cryptocaryon irritans* の TaqMan リアルタイム PCR 検出と分子系統解析. *魚病研究*, 51(3), 103-111 (2016).
- 4) H. Tenma, K. Tsunekawa, R. Fujiyoshi, H. Takai, M. Hirose, N. Masai, K. Sumi, Y. Takihana, S. Yanagisawa, K. Tsuchida, K. Ohara, T. Jo, M. Takagi, A. Ota, H. Iwate, Y. Yaoi and T. Minamoto: Spatiotemporal distribution of *Flavobacterium psychrophilum* and ayu *Plecoglossus altivelis* in rivers revealed by environmental DNA analysis. *Fisheries science*, 87(3), 321-330 (2021).
- 5) 中村永介：ニジマス養魚場の飼育水における細菌性冷水病原菌の定期的モニタリング. *静岡水技研研報*, 55, 11-16 (2022).

## 文 献

- 1) T. Kobayashi, N. Nakano, T. Muto and Y. Endo: Growth Characteristics of *Ephelota gigantea*: Pest to Seaweed Culture along the Northeastern Coast of Japan. *Acta Protozool*, 50, 339-343 (2011).
- 2) Y. Sato, T. Muto, Y. Endo, T. Kobayashi, N. Nakano, H. Sato, G. Nishitani and W. Sato-Okoshi: Morphological, Developmental,

## 岩手県に回帰したサケ資源の変動

清水勇一<sup>\*1</sup>・岡部聖<sup>\*1</sup>・及川仁<sup>\*1</sup>・瀬川格<sup>\*2</sup>

### Stock changes of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) returning to Iwate Prefecture

Yuichi Shimizu<sup>\*1</sup>, Akira Okabe<sup>\*1</sup>, Jin Oikawa<sup>\*1</sup> and Itaru Segawa<sup>\*2</sup>

#### Abstract

Chum salmon in Iwate Prefecture became an important species supporting the prefecture's fisheries through stock enhancement programs, but recent catches have declined dramatically. This report summarizes long term resource fluctuations based on the age- and year-class-specific return numbers of salmon in Iwate Prefecture, as well as the annual changes in fish body weight and reproductive traits observed in same monitored rivers. As a result, the trend was organized into five distinct phases of gradual change: ① The expansion phase up to the 1979 cohort, ② The high-level phase from the 1980 to 1994 cohorts, ③ The initial low-level phase from the 1995 to 2005 cohorts, ④ The middle low-level phase from the 2006 to 2014 cohorts, ⑤ The late low-level phase from the 2015 cohort onwards. The cause of the decline in resource abundance is unclear, but it is estimated that the survival rate to age 1 has significantly decreased. To enhance future resource recovery, it is considered important to continue monitoring the coastal environment at spring, juvenile release periods. This will enable immediate reinforcement of stock enhancement efforts and whether ocean conditions in future resemble those during resource growth phases should be observed.

**Key words** : Iwate Prefecture, chum salmon, age composition, stock changes, survival rate to age 1

**キーワード** : 岩手県, サケ, 年齢組成, 資源変動, 1歳魚生残率

#### はじめに

サケ (*Oncorhynchus keta*) は北太平洋に広く分布するサケ科の一種で、北太平洋での資源量はカラフトマス (*O. gorbuscha*) について多く<sup>1)</sup>、産業上きわめて重要な種である。本邦系サケ資源の造成は、官民一体となって取り組んだ給餌飼育や適期放流等の技術により飛躍的に進み<sup>1-3)</sup>、その資源のほとんどが人工ふ化放流技術による増殖事業に依存している。

サケの河川への回帰年齢は鱗によって推定され、寿命はサケ属のなかでも長い2~7歳であり、3~5歳魚を中心

に産卵のために母川に回帰することが知られる<sup>3-5)</sup>。北太平洋とその近隣海域のサケの漁獲量は、40~50年周期で変動し、人工ふ化放流の効果に加え、長期的な気候変動のなかで海洋環境が好転した1980年代以降に急激に増加した<sup>1),6)</sup>。それにもなると、母川への回帰年齢すなわち成熟年齢の高齢化と成熟魚体の小型化が進み、とくに成長量の減少がベーリング海で起こったと推定され、資源量増大による密度依存的効果が指摘されている<sup>1),6)</sup>。成熟魚体は加齢とともに大きくなるが、鱗を用いた成長モデル解析から、成長速度が低下することにより成熟開始年齢が遅くなり、成熟魚体が小さくなることが推定された<sup>7),8)</sup>。また、

\*1 岩手県水産技術センター (Iwate Prefectural Fisheries Technology Center)

\*2 一般社団法人岩手県さけ・ます増殖協会 (Iwate Prefectural Salmon and Trout Propagation Association)

回帰の主群となる 4,5 歳魚の成熟年齢について、魚体、年齢、性別、各年齢の成長量の要因を検討した結果、3 年目の成長量が大きいと 4 歳で成熟に達するというように、成長履歴が成熟に対して重要な要因であることが明らかとされた<sup>9)</sup>。さらに、1993 年以降北太平洋においてサイズ選択性のある刺網漁業が行われなくなっており、その影響について成長モデル解析を行った結果、漁業が成熟年齢や成熟魚体の変化に影響することが指摘された<sup>10)</sup>。

このように、サケの成熟年齢や魚体は、海洋環境や漁業の影響を受けて変化する。岩手県では、母川に近い沿岸部において定置網漁業を中心にサケを漁獲しており<sup>11)</sup>、近年、極端に漁獲量が減少している。今後、漁獲量を回復するためには、年齢組成や魚体を継続して調査し、資源変動を的確に把握して増殖事業を展開することが、これまで以上に不可欠となっている。

渡辺(1999)は、北海道系のサケについて、回帰尾数と年齢組成から資源構造を推定し、サケ稚魚の生残率の算定と増殖事業の効果を評価した。その結果、給餌放流、適期放流により 1 歳魚の生残率が上昇し、増殖効果が上がったと評価している<sup>12)</sup>。本報告では、岩手県へのサケの回帰尾数と年齢組成から年級別年齢別の回帰尾数を推定して資源構造を把握し、モニタリング河川における魚体および繁殖形質の年変化を含めて、長期的な資源変動を整理することを目的とした。

## 材料と方法

### 年齢査定および年齢別回帰尾数の推定

岩手県沿岸部の 29 河川と北上川水系の 14 河川、合計 43 のサケ増殖河川を対象として調査した。1977 年から 2024 年にかけて、各増殖河川にそ上したサケ親魚から旬毎に雌雄各 200 尾を目標として鱗を採集した。鱗の採集方法およびレプリカの作製方法、年齢査定方法は、既往の方法<sup>4)</sup>に従った。岩手県におけるサケの放流尾数、沿岸および河川への回帰尾数に関する統計データは、さけますに関する資料<sup>13)</sup>を用い、2020 年から 2024 年については速報値を用いた。

岩手県全体の年齢別回帰尾数は次の手順により推定した。河川  $r$  の旬  $s$  における年齢  $i$  の組成比率  $P_{r,s,i}$  は、

$$(1) \quad P_{r,s,i} = a_{r,s,i} \div A_{r,s}$$

ここで、 $A_{r,s}$  は年齢査定尾数、 $a_{r,s,i}$  は年齢査定したうち年齢  $i$  の尾数とする。なお、鱗が採集できず、データが欠測する旬があった 2005 年までは、河川そ上の前期を 11 月上旬まで、中期を 11 月中旬から 12 月上旬、後期を 12 月中旬以降として、欠測した旬はそれぞれの期別のうち近い旬の比率を代用した。また、2006 年以降は、欠測した旬の組成比率  $P_{r,s,i}$  を年齢査定できた前の旬  $s-d$  と後の旬  $s+d$  より計算して、組成比率  $P_{r,s,i}$  の代用とした。

$$(2) \quad P_{r,s,i} = (a_{r,s-d,i} + a_{r,s+d,i}) \div (A_{r,s-d} + A_{r,s+d})$$

式(1)と河川  $r$  の旬  $s$  におけるそ上尾数  $B_{r,s}$  により、旬別の年齢  $i$  のそ上尾数  $B_{r,s,i}$  は、

$$(3) \quad B_{r,s,i} = B_{r,s} \times P_{r,s,i}$$

ただし、 $B_{r,s,i}$  は整数で、端数が生じた場合はもともと組成比率が高い 4 歳 ( $i=4$ ) に含めた。河川  $r$  における、年齢  $i$  の年間のそ上尾数  $B_{r,i}$  は、

$$(4) \quad B_{r,i} = \sum_s B_{r,s,i}$$

となり、県全体の年齢  $i$  の河川そ上尾数  $B_i$  は、

$$(5) \quad B_i = \sum_r B_{r,i}$$

県全体の河川そ上尾数を  $B$  とすると年齢  $i$  の組成比率  $C_i$  は、

$$(6) \quad C_i = B_i \div B$$

と計算され、岩手県への沿岸漁獲尾数を  $G$  として年齢  $i$  の沿岸回帰尾数  $G_i$  を、

$$(7) \quad G_i = G \times C_i$$

と推定した。ここで  $G_i$  は整数で、端数が生じた場合は 4 歳 ( $i=4$ ) に含めた。

以上の計算は、式(1)から式(5)までを雌雄別に行い、雌雄の  $B_i$  を合計して  $C_i$  および  $G_i$  を求めた。

### 河川における魚体および繁殖形質のモニタリング

津軽石川、織笠川、片岸川の 3 河川を調査河川とした。調査は 1982 年から 2024 年の 10 月から 12 月にそ上のピークを中心として行い、2004 年までは各河川 3~4 回、雌雄 200 尾ずつを基本として体重(BW)および尾又長(FL)を測定し、鱗の採集と年齢査定<sup>4)</sup>を行った。時期により魚体および年齢組成が変化することから、各河川の魚体と年

年齢組成の偏りを少なくするために、2005年以降は、各河川週1回を基本として年間6~13回、雌雄100尾ずつ調査した。

また、3河川において、1996年から2023年の10月から12月にかけて年2回、繁殖形質の調査を行った。なお、その上親魚が不足したため片岸川では2021年以降、織笠川と津軽石川では2024年の調査ができなかった。調査毎に、雌の親魚50尾を目標に体重(BW)および尾叉長(FL)を測定し、鱗の採集と年齢査定を行うとともに1尾ごとに生殖腺重量(Gn)を測定して100粒程度の卵を採集した。卵は実験室に持ち帰り、採集した卵重量(Ew)を測定した後2時間程度吸水した。吸水卵は、個体毎に卵数(En)を数え、メスシリンダーに水を入れて吸水卵を入れて増えた容積を計測することにより、採集した卵全体の容積(Ev)を測定した。これらの計測結果をもとに、間接法により孕卵数(EN)、生殖腺指数(GSI)、卵容積(EV)を個体毎に計算した。

$$(8) \quad EN = Gn \div Ew \times En$$

$$(9) \quad GSI = Gn \div BW \times 100$$

$$(10) \quad EV = Ev \div En$$

## 結 果

岩手県におけるサケの放流尾数と回帰尾数の推移を図1に示した。放流尾数は、1971年から増加し、1984年には4億尾を越えて以降、およそ4億3千万尾で推移した。放流尾数の増加にともなって、回帰尾数も増加し、1996年の2,447万尾を最大として、1984~1998年は平均1,454万尾となった。その後、1999~2009年に平均860万尾、2010~2018年に平均380万尾、2019年以降に平均29万尾と段階的に急激に減少した。特に、2023、2024年は4万尾台となり、記録が残る1963年以降で最も少なくなった。また、2011年春までは4億尾以上の放流が継続されたが、2011年3月11日の東日本大震災津波による岩手県のふ化放流事業への甚大な被害<sup>13)</sup>により、その後の放流尾数は増減しながら減少し、2019年以降は河川にそ上する親魚が不足したため、放流尾数も急激に減少した。

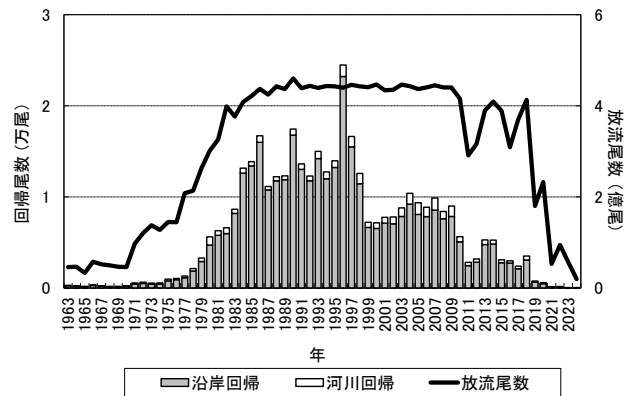


図1. 岩手県に回帰したサケの漁獲尾数と放流尾数の年変化※  
※回帰尾数は河川捕獲と沿岸漁獲を色分けした。

年級別年齢別回帰尾数と年級回帰率の推移を図2(a)に示した。1975~1979年級の回帰尾数は、3,4歳魚を中心に779万尾まで増加し、年級回帰率は平均3.0%で安定していた。1980年級に回帰尾数が2,231万尾、年級回帰率が調査期間で最高の7.4%と急激に高くなり、それ以降、1994年級まで4,5歳魚を中心に回帰尾数が820~2,427万尾、年級回帰率が2.2~5.5%の範囲で推移した。その後、1995

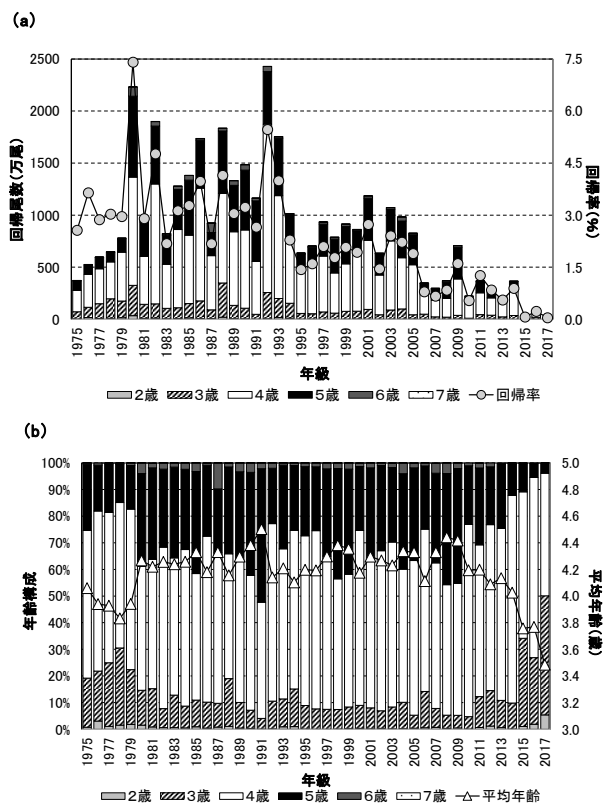


図2. (a)年級別年齢別の回帰尾数と年級回帰率、及び(b)年級別年齢構成と平均年齢の年変化

～2005年級が633～1,185万尾, 1.4～2.7%, 2006～2014年級が216～707万尾, 0.5～1.6%, 2015年級以降が16～71万尾, 0.04～0.2%と段階的に減少した。年級別年齢組成と平均年齢(図2(b))は, 1975～1979年級では3,4歳魚の割合が高く, 平均年齢が3.8～4.1歳であったが, 1980～2014年級では4,5歳魚の割合が高くなり, 平均年齢が4.0～4.5歳と上昇した。2015年級以降は, 3歳魚の割合が著しく上昇し, 平均年齢も3.5～3.8歳と低下した。

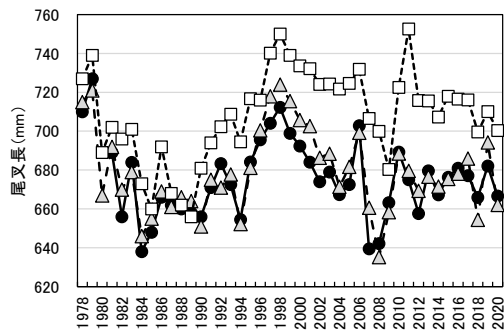
以上のように, 1980年級, 1995年級, 2006年級, 2015年級が回帰尾数の変化点となり, 1984年から1998年までの高位な漁獲量から1999～2009年, 2010～2018年, 2019年以降の段階的な漁獲量の減少につながっていた。

河川にそ上したサケ4歳魚の尾叉長と体重の推移を図3に示した。尾叉長と体重は, 雌雄ともに河川によらず類似した経年変化を示した。すなわち, 1978年級から1990年級にかけて減少傾向を示し, 以降, 1998年級に向けて増加した後, 2008年級にかけて再び減少した。2009年級以降

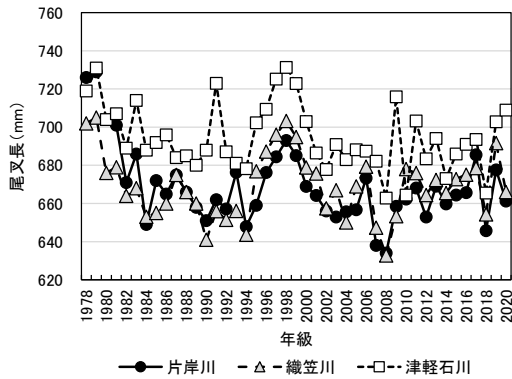
はわずかな増加傾向を示したが, 1990年代前半の小型のサイズにとどまった。河川間を比較すると, 津軽石川が, 片岸川及び織笠川と比べて大きい傾向があり, 特に1998年級以降, 顕著であった。魚体については, 1990年級, 1998年級, 2008年級が変化点となり, 増減を繰り返していた。

一方, 4歳魚の平均孕卵数, 生殖腺指数, 卵容積の推移を図4に示した。孕卵数は, 2017年級のように極端に多くなる年もあったが, 概ね2,400～3,400粒/尾の範囲で変化し, 津軽石川が片岸川や織笠川よりも多い傾向があった。生殖腺指数は, 概ね18～22%の範囲で変化し, 2010年級以降は15%から24%まで年変動が大きい傾向が見られた。また, 卵容積は, 1992年級から2001年級にかけて増加し, それ以降低下傾向を示したが, その変化は河川によらず, 0.24～0.36mL/粒の範囲で緩やかであった。このように, 繁殖形質については, 回帰尾数や魚体の変化ほど明確な変化が見られなかった。

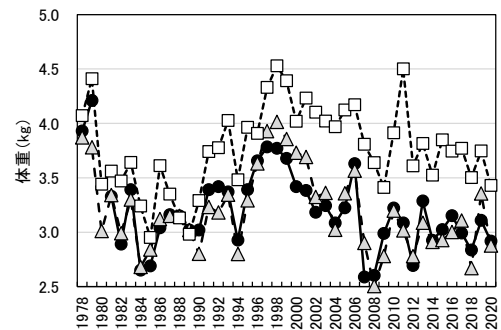
(a) 雄



(b) 雌



(c) 雄



(d) 雌

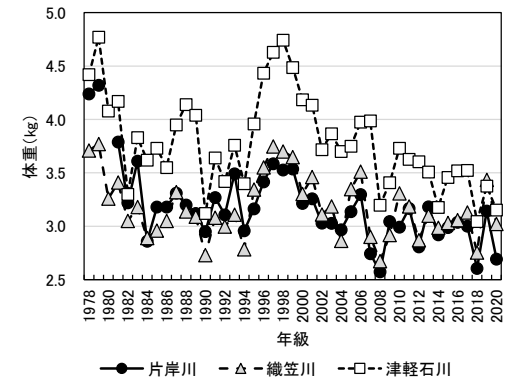


図3. 津軽石川, 織笠川, 片岸川にそ上した4歳魚の雄 (a) と雌 (b) の尾叉長, 及び雄 (c) と雌 (d) の体重の年変化

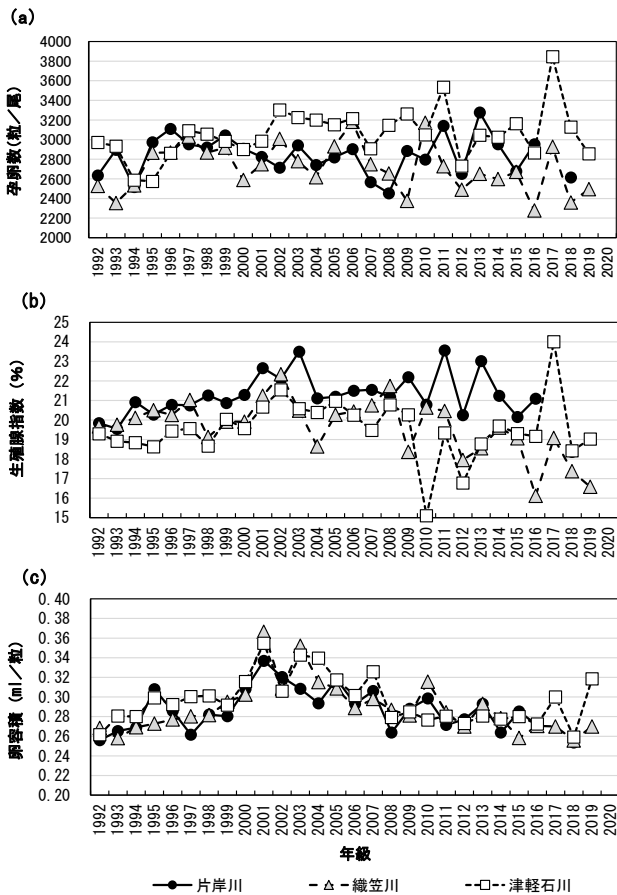


図4. 津軽石川, 織笠川, 片岸川にそ上した雌4歳魚における  
(a) 卵数, (b) 生殖腺指数, (c) 卵容積の年変化

## 考 察

岩手県の資源変動について川島ら(2018)は, 2009年級までの年級別回帰尾数と平均年齢, 魚体の変化から, 岩手県のサケの資源を「増大期」, 「高位期」, 「低下期」の3期に分けた<sup>14)</sup>。調査を継続した本研究では, 現状の低下期をさらに細分化して次のように再整理した。

- ① 増大期 (1979年級まで) : 年級回帰尾数が年々増加, 平均年級回帰率が3.0%となり, 平均年齢が3.9歳と低く, 魚体が大型の時期
- ② 高位期 (1980~1994年級) : 年級回帰尾数が大きく変動しながらも平均1,482万尾, 平均年級回帰率が3.6%, 平均年齢が4.3歳と高くなり, 魚体が小型化した時期
- ③ 初期低位期 (1995~2005年級) : 年級回帰尾数が平均867万尾, 平均年級回帰率が1.0%まで低下し, 平均年齢は4.3歳と4歳を上回ったままであるが, 魚体

が1998年級に一時的に大型となり, その後小型に転じた時期

- ④ 中期低位期 (2006~2014年級) : 年級回帰尾数が平均351万尾, 平均年級回帰率が0.9%まで低下し, 平均年齢が4.2歳と4歳を上回ったままであるが, 魚体が2008年級に最小となり, 以降は増加傾向にあるものの, 高位期並みに小型の時期
- ⑤ 後期低位期 (2015年級以降) : 年級回帰尾数が平均37万尾, 平均年級回帰率が0.1%まで低下し, 平均年齢が3.7歳まで下がり, 魚体重は増加傾向にあるものの, 高位期並みに小型の時期

このように, 岩手県のサケの資源を年級回帰尾数の段階的な変動として整理した。いずれの時期においても繁殖形質は魚体の変化とは相関が無く, 変化は小さかった。また, 年級回帰尾数と平均年齢及び魚体には明確な関係が無く, 本研究では, ベーリング海の成魚や他地区の回帰親魚で見られるような密度依存効果による小型・高齢化現象<sup>1), 6)</sup>は認められなかった。

河川に主群として回帰する4歳魚の卵数は2,800粒/尾程度(付表3)であり, この中から雌雄1尾ずつ合計2尾が河川回帰して産卵できれば資源は維持される。近年の河川回帰率は30%程度(付表1), 卵から稚魚までの生残率は85%程度<sup>14)</sup>であることから, 河川回帰率は,  $2 \div (2,800 \times 0.85) \times 100 = 0.084\%$ , 年級回帰率では  $0.084\% \div 30\% = 0.28\%$ が最低限の資源維持の目安となる。ここで, 河川回帰率は, 資源の高位期では10%程度であり, この場合0.84%が資源維持のための目安である。いずれの場合も, 2015年級以降の年級回帰率は0.28%を大きく下回っており(図2(a)), 資源減少が加速したと考えられた。

岩手県におけるサケ資源は, 稚魚の放流尾数の増加と同期して増加したが, 2011年3月11日に発生した東日本大震災津波によりふ化場が被災し, 種苗生産が困難となった2012年級以降, 放流尾数が急減するとともに資源も激減した(図1, 2)。日本のサケ資源の減少は, 地球温暖化の影響を受けて, 稚魚の沿岸滞泳期における成長不良や生残率の低下, その後のベーリング海における適水温海域の縮小等が原因となっていることが指摘されている<sup>15)</sup>。

そこで, 本研究で得られたデータを用いて, 渡辺(1999)に従って1歳魚までの生残率を計算した(図5)。1歳魚

までの生残率は、1975～1994年級までは10～35%まで大きく変動しながらも、平均16%にとどまったが、1995～2005年級は平均9%、2006～2014年級は平均4%、2015～2017年級は平均0.5%と段階的に低下した。岩手県のサケ資源の激減について、具体的な原因は本研究からは明らかにできないが、放流された稚魚が1歳に至るまでの初期生残率の低下について、今後、詳細な検討が必要である。

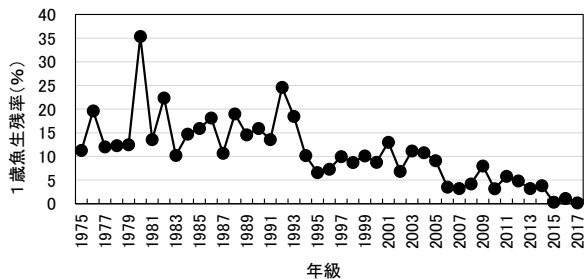


図5. 岩手県におけるサケ資源の1歳までの生残率の推移

※ 渡辺(1999)に従い、加入数を放流尾数、死亡を漁獲数(河川回帰数を含む)と自然死亡数の和とし、自然死亡係数Mは $2.5 \div t \lambda$  ( $t$ は各年級の最大年齢、6歳または7歳)として計算した。

岩手県の水産業は、サケ資源の増大期から高位期にかけて、その水揚金額により支えられてきたが、資源の低位期に入って20年以上が経過し、近年では増殖事業の維持が難しくなっている。サケ資源の回復には増殖事業が不可欠であることは、これまでの経過から疑う余地もなく、今後、人為的に制御可能な稚魚の適期・適サイズ放流技術の精度を向上させていくことが鍵となる。2022年度から官民一体となり、放流尾数が少ないながら大型で強い稚魚を適期に放流する取り組みが進められている。本報告のように回帰親魚調査を継続して資源動向を的確に把握していくことに加え、稚魚を放流する春季のモニタリングを継続し、資源増大期のような海洋環境を観測した際には、直ちに増殖事業を強化できるように準備しておくことが重要であると考えられた。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたって、(一社)岩手県さけ・ます増殖協会技術部会には年齢査定に係る鱗採集及び処理にご協力いただいた。また、津軽石川、織笠川、片岸川の回帰親魚調査には、各河川の漁業協同組合の担当者の方々にご

協力をいただいた。北里大学海洋生命科学部の林崎健一博士、(国研)水産研究・教育機構水産技術研究所 宮古庁舎の職員の方々には、それぞれが対象としている調査河川のデータを提供いただいた。心から深く感謝申し上げます。

最後に、本研究は岩手県水産技術センター漁業資源部の職員の支えによって、長期にわたって継続することができた。ここに記して謝意を表します。

## 文 献

- 1) 帰山雅秀:最新のサケ学. 成山堂書店, 東京, 128(2002).
- 2) 宇部稔:岩手県を中心とした本州太平洋沿岸におけるサケの増殖と資源動態. 魚と卵, 161, 17-27(1992).
- 3) 小林哲夫:日本サケ・マス増殖史. 北海道大学出版会, 札幌, 310(2009).
- 4) 小林哲夫:サケ *Oncorhynchus keta*(Walbaum)の年齢, 成長並びに系統に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研報, 16, 1-102(1961).
- 5) E.O.Salo :Life history of chum salmon., in “Pacific salmon life history” (ed.by C.Groot and L.Margolis), *Univ. of British Columbia Press, Vancouver*, 231-309(1991).
- 6) 帰山雅秀:サケの個体群生態学.「サケ・マスの進化と生態」(前川光司編). 文一総合出版, 東京, 137-163(2004).
- 7) K.Morita, S.H.Morita, M.Fukuwaka, and H.Matsuda : Rule of age and size at maturity of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) : implications of recent trends among *Oncorhynchus* spp. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*, 62, 2752-59(2005).
- 8) K.Morita, M.Fukuwaka : Why age and size at maturity have changed in Pacific salmon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 335, 289-294(2007).
- 9) K.Morita, M.Fukuwaka : Does size matter most? The effect of growth history on probabilistic reaction norm for salmon maturation. *Evolution*, 60(7), 1516-1521(2006).
- 10) M.Fukuwaka, K.Morita : Increase in maturation size after the closure of a higy seas gillnet fishery

on hatchery-reared chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Evol.Appl.*, 1, 376-387(2008).

- 11) 岩手県：さけますに関する資料（昭和 40 年度～令和元年度）. 岩手県, 盛岡（1975～2023）.
- 12) 渡辺一俊：北海道系サケ稚魚の生残率の算定と人工孵化放流事業の効果の評価. さけ・ます管理センター研報, 2, 29-37 (1999).
- 13) 小川元, 清水勇一：東日本大震災からの岩手県さけ増殖事業の復興と資源回復の課題. 日水誌, 78 (5), 1040-1043 (2012).
- 14) 川島拓也, 清水勇一, 太田克彦, 山根広大：三陸沿岸におけるサケ幼稚魚の分布, 生息環境と親魚回帰. 海洋と生物, 237, 40 (4), 342-345 (2018).
- 15) K.Kaeriyama : Warming climate impacts on production dynamics of southern populations of Pacific salmon in the North Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography*, 32(1), 121-132(2023).

付表1 回帰数量, 放流尾数, 漁獲金額の年推移

年	回帰尾数(尾)			河川その上率 <sup>※1</sup> (%)	回帰重量(トン)			平均体重 (kg)	放流尾数(千尾)			単純回帰率 <sup>※2</sup> (%)	金額 (千円)
	河川	海面	合計		河川	海面	合計		河川	海中飼育	全体		
1970	52,348	182,285	234,633	22.3	157	638	795	3.39	46,028		46,028		n.d
1971	128,863	431,714	560,577	23.0	387	1,511	1,898	3.39	97,274		97,274		n.d
1972	134,126	501,142	635,268	21.1	402	1,754	2,156	3.39	120,321		120,321		n.d
1973	113,260	417,428	530,688	21.3	340	1,461	1,801	3.39	137,670		137,670		n.d
1974	104,381	451,142	555,523	18.8	313	1,579	1,892	3.41	127,577		127,577	1.21	n.d
1975	188,570	778,858	967,448	19.5	641	2,670	3,311	3.42	144,712		144,712	0.99	n.d
1976	132,290	909,768	1,042,058	12.7	436	3,002	3,438	3.30	135,930	8,500	144,430	0.87	n.d
1977	202,263	1,114,382	1,316,645	15.4	784	4,323	5,107	3.88	192,211	15,699	207,910	0.96	n.d
1978	262,278	1,876,056	2,138,334	12.3	966	6,913	7,879	3.68	197,677	15,936	213,613	1.68	n.d
1979	376,592	2,901,414	3,278,006	11.5	1,318	10,161	11,479	3.50	241,203	22,151	263,354	2.27	n.d
1980	901,248	4,714,878	5,616,126	16.0	3,055	15,983	19,038	3.39	262,184	39,085	301,269	3.89	n.d
1981	522,072	5,777,177	6,299,249	8.3	1,708	18,905	20,613	3.27	278,328	47,890	326,218	3.03	n.d
1982	641,784	5,973,862	6,615,646	9.7	2,158	20,091	22,249	3.36	338,908	59,814	398,722	3.10	14,465,735
1983	456,710	8,188,201	8,644,911	5.3	1,584	28,407	29,991	3.47	309,277	67,060	376,337	3.28	10,624,198
1984	543,881	12,611,859	13,155,740	4.1	1,722	39,664	41,386	3.15	330,857	77,704	408,561	4.37	22,410,157
1985	453,479	13,406,006	13,859,485	3.3	1,647	47,450	49,097	3.54	324,506	96,723	421,229	4.25	19,877,114
1986	708,094	16,000,623	16,708,717	4.2	2,094	47,488	49,582	2.97	330,598	106,363	436,961	4.19	17,678,756
1987	380,504	10,762,648	11,143,152	3.4	1,287	36,110	37,397	3.36	319,348	105,111	424,459	2.96	22,158,109
1988	438,910	11,768,489	12,207,399	3.6	1,288	33,932	35,220	2.89	343,838	98,931	442,769	2.99	22,612,841
1989	418,464	11,895,727	12,314,191	3.4	1,291	36,429	37,720	3.06	355,479	81,237	436,716	2.92	21,938,934
1990	657,246	16,786,857	17,444,103	3.8	2,075	52,308	54,383	3.12	390,361	69,527	459,888	3.99	17,588,589
1991	606,441	13,024,952	13,631,393	4.4	1,919	40,934	42,853	3.14	378,718	59,613	438,331	3.21	18,055,122
1992	532,000	11,758,967	12,290,967	4.3	1,571	34,717	36,288	2.95	390,636	53,250	443,886	2.78	24,127,123
1993	786,013	14,209,390	14,995,403	5.2	2,586	46,742	49,328	3.29	391,755	47,550	439,305	3.43	20,812,094
1994	737,766	11,995,077	12,732,843	5.8	2,078	33,789	35,867	2.82	395,264	48,150	443,414	2.77	12,487,838
1995	728,867	13,227,499	13,956,366	5.2	2,279	41,295	43,574	3.12	410,798	31,950	442,748	3.18	8,760,802
1996	1,258,042	23,212,841	24,470,883	5.1	3,792	69,734	73,526	3.00	416,567	22,950	439,517	5.51	10,746,477
1997	1,140,576	15,483,381	16,623,957	6.9	3,650	49,164	52,814	3.18	428,228	17,900	446,128	3.78	13,815,133
1998	1,133,414	11,443,959	12,577,373	9.0	3,361	33,210	36,571	2.91	426,346	16,400	442,746	2.84	12,120,438
1999	564,959	6,639,312	7,204,271	7.8	1,906	21,858	23,764	3.30	424,320	16,400	440,720	1.63	10,528,480
2000	609,411	6,544,811	7,154,222	8.5	2,042	21,663	23,705	3.31	435,170	11,700	446,870	1.63	10,018,529
2001	633,036	7,116,207	7,749,243	8.2	2,201	24,490	26,691	3.44	415,256	18,700	433,956	1.74	7,486,766
2002	755,686	7,036,816	7,792,502	9.7	2,867	25,977	28,844	3.70	422,112	13,000	435,112	1.76	7,650,837
2003	932,293	7,851,037	8,783,330	10.6	3,378	28,083	31,461	3.58	429,795	16,400	446,195	1.99	5,036,735
2004	1,173,856	9,212,427	10,386,283	11.3	3,930	30,403	34,333	3.31	425,155	17,850	443,005	2.32	5,951,078
2005	1,272,589	8,083,014	9,355,603	13.6	4,324	27,132	31,456	3.36	415,862	20,800	436,662	2.16	7,299,149
2006	1,029,748	7,833,271	8,863,019	11.6	3,275	25,147	28,422	3.21	414,948	25,390	440,338	1.80	9,595,442
2007	1,340,444	8,548,159	9,888,603	13.6	4,180	26,149	30,329	3.07	417,615	27,300	444,915	1.92	9,886,918
2008	796,580	7,609,543	8,406,123	9.5	2,504	24,079	26,582	3.16	409,356	31,100	440,456	1.90	10,146,041
2009	1,150,874	7,843,642	8,994,516	12.8	3,827	25,714	29,541	3.28	389,000	38,500	427,500	2.06	6,992,905
2010 <sup>※3</sup>	556,427	5,069,073	5,625,500	9.9	1,885	17,126	19,011	3.38	376,402	39,300	415,702	1.28	7,548,352
2011	353,436	2,459,775	2,813,211	12.6	1,106	7,657	8,763	3.11	269,366	21,900	291,266	0.63	4,629,525
2012	361,211	2,825,479	3,186,690	11.3	961	7,557	8,519	2.67	287,640	28,800	316,440	0.72	4,441,336
2013	519,660	4,763,769	5,283,429	9.8	1,555	14,277	15,833	3.00	358,853	30,900	389,753	1.24	5,728,218
2014	445,254	4,819,105	5,264,359	8.5	1,505	16,077	17,582	3.34	372,781	36,440	409,221	1.27	8,056,057
2015	326,307	2,775,063	3,101,370	10.5	1,022	8,514	9,535	3.07	354,172	34,600	388,772	1.06	5,161,800
2016	235,868	2,738,613	2,974,481	7.9	704	8,041	8,746	2.94	275,575	33,600	309,175	0.94	6,209,989
2017	290,383	2,115,702	2,406,085	12.1	890	6,398	7,288	3.03	331,462	38,100	369,562	0.62	6,395,047
2018	433,565	3,074,146	3,507,711	12.4	1,264	9,005	10,269	2.93	372,758	40,100	412,858	0.86	5,614,624
2019	113,985	652,217	766,202	14.9	346	1,945	2,292	2.99	168,116	12,100	180,216	0.20	1,482,008
2020 <sup>※4</sup>	105,397	485,597	590,994	17.8	311	1,423	1,734	2.93	211,507	20,930	232,437	0.19	1,286,494
2021 <sup>※4</sup>	39,782	99,621	139,403	28.5	118	296	413	2.97	50,979	2,100	53,079	0.04	373,431
2022 <sup>※4</sup>	49,265	119,845	169,110	29.1	130	315	445	2.63	91,394	3,009	94,403	0.04	349,037
2023 <sup>※4</sup>	14,933	29,367	44,300	33.7	45	89	134	3.02	55,008	1,644	56,652	0.02	128,941
2024 <sup>※4</sup>	19,663	23,419	43,082	45.6	53	64	117	2.72	19,690	100	19,790	0.02	98,650

※1 河川その上率＝河川回帰尾数÷全回帰尾数×100

※3 網掛けは、東日本大震災津波によりふ化場が流失し、その影響を受けた

※2 単純回帰率＝当年の回帰尾数÷4年前の放流尾数×100

※4 2020～2024年は速報値



付表3 津軽石川, 織笠川, 片岸川の尾又長及び繁殖形質の年推移

調査年	年級	尾又長(mm)									孕卵数(粒/尾)			生殖腺指数(GIS, %)			卵容積(ml/粒)		
		雄			雌														
		片岸川	織笠川	津軽石川	片岸川	織笠川	津軽石川	片岸川	織笠川	津軽石川	片岸川	織笠川	津軽石川	片岸川	織笠川	津軽石川			
1996	1992	平均	683	671	702	657	651	687	2,635	2,528	2,972	19.8	19.7	19.3	0.26	0.27	0.26		
		標準偏差	45	53	53	33	40	38	603	618	521	2.0	2.5	2.4	0.03	0.05	0.03		
		調査個体数	425	309	373	371	365	481	71	48	70	71	48	70	71	48	70		
1997	1993	平均	673	678	709	676	656	681	2,895	2,354	2,933	19.5	19.8	18.9	0.27	0.26	0.28		
		標準偏差	53	49	60	41	36	46	568	467	584	2.5	2.4	2.0	0.03	0.03	0.04		
		調査個体数	230	348	286	224	469	378	26	64	57	26	64	57	26	64	57		
1998	1994	平均	654	652	695	648	644	678	2,517	2,535	2,587	20.9	20.1	18.8	0.27	0.27	0.28		
		標準偏差	42	44	43	33	34	34	433	438	506	2.1	2.3	2.4	0.03	0.03	0.04		
		調査個体数	425	146	307	448	263	364	55	45	28	55	45	28	55	45	28		
1999	1995	平均	684	681	717	659	677	702	2,974	2,867	2,575	20.3	20.5	18.6	0.31	0.27	0.30		
		標準偏差	46	46	49	35	36	39	523	501	430	2.6	2.3	3.2	0.03	0.04	0.04		
		調査個体数	147	112	205	179	164	158	5	14	24	5	14	24	5	14	24		
2000	1996	平均	696	700	716	676	687	709	3,110	2,869	2,862	20.8	20.3	19.4	0.29	0.28	0.29		
		標準偏差	44	43	44	37	37	34	707	481	525	2.3	2.2	2.2	0.04	0.04	0.03		
		調査個体数	364	193	293	503	289	295	67	61	38	67	61	38	67	61	38		
2001	1997	平均	704	718	740	684	696	725	2,952	3,031	3,091	20.8	21.0	19.6	0.26	0.28	0.30		
		標準偏差	41	46	43	36	35	30	571	446	514	2.5	1.6	3.3	0.03	0.04	0.05		
		調査個体数	347	374	341	412	478	446	58	72	66	58	72	66	58	72	66		
2002	1998	平均	712	724	750	693	703	731	2,920	2,868	3,056	21.3	19.1	18.7	0.28	0.28	0.30		
		標準偏差	51	47	51	39	38	35	533	522	445	3.1	2.8	1.9	0.03	0.05	0.04		
		調査個体数	187	236	309	253	284	335	34	33	48	34	33	48	34	33	48		
2003	1999	平均	699	716	739	685	695	723	3,043	2,918	2,982	20.9	19.9	20.0	0.28	0.30	0.29		
		標準偏差	51	45	52	40	39	36	494	511	641	2.3	2.1	2.0	0.05	0.04	0.03		
		調査個体数	423	326	194	508	393	160	69	74	18	69	74	18	69	74	18		
2004	2000	平均	692	706	734	669	679	703	2,908	2,589	2,901	21.3	19.9	19.6	0.31	0.30	0.32		
		標準偏差	51	48	50	43	40	41	487	501	635	2.3	2.4	2.5	0.05	0.05	0.06		
		調査個体数	446	303	287	464	315	336	74	46	35	74	46	35	74	46	35		
2005	2001	平均	684	703	732	664	676	686	2,824	2,749	2,985	22.7	21.2	20.7	0.34	0.37	0.35		
		標準偏差	47	49	40	41	38	38	599	456	615	2.7	2.4	2.0	0.04	0.05	0.05		
		調査個体数	350	402	434	390	378	485	48	76	62	48	76	62	48	76	62		
2006	2002	平均	674	686	724	656	657	678	2,714	3,008	3,303	22.1	22.3	21.5	0.32	0.31	0.31		
		標準偏差	49	47	41	37	37	41	581	575	743	3.0	2.7	3.5	0.05	0.04	0.04		
		調査個体数	398	281	161	405	322	187	54	48	25	54	48	25	54	48	25		
2007	2003	平均	679	688	724	653	667	691	2,942	2,780	3,226	23.5	20.5	20.6	0.31	0.35	0.34		
		標準偏差	42	49	43	36	37	41	528	529	567	2.5	2.5	2.2	0.05	0.05	0.04		
		調査個体数	722	329	418	766	337	432	65	56	63	65	56	63	65	56	63		
2008	2004	平均	667	671	722	656	650	683	2,742	2,617	3,199	21.1	18.6	20.4	0.29	0.32	0.34		
		標準偏差	49	49	54	38	42	51	627	804	636	3.6	4.6	3.2	0.04	0.05	0.04		
		調査個体数	587	369	256	566	422	249	47	40	28	47	40	28	47	40	28		
2009	2005	平均	673	682	725	657	669	688	2,820	2,932	3,153	21.2	20.3	21.0	0.32	0.31	0.32		
		標準偏差	43	46	43	35	38	33	586	643	442	2.5	3.2	2.0	0.10	0.04	0.04		
		調査個体数	351	315	459	317	301	413	38	67	56	38	67	56	38	67	56		
2010	2006	平均	703	699	732	673	679	687	2,903	3,181	3,215	21.5	20.4	20.2	0.29	0.29	0.30		
		標準偏差	43	44	48	33	37	37	459	517	559	2.9	2.1	2.2	0.04	0.05	0.03		
		調査個体数	354	424	233	398	388	280	30	54	45	30	54	45	30	54	45		
2011	2007	平均	640	661	707	638	647	682	2,568	2,749	2,908	21.5	20.7	19.5	0.31	0.30	0.33		
		標準偏差	48	53	60	38	40	38	592	668	525	2.3	2.5	2.7	0.05	0.06	0.05		
		調査個体数	496	250	302	493	214	301	53	26	23	53	26	23	53	26	23		
2012	2008	平均	642	635	700	634	633	663	2,453	2,654	3,147	21.2	21.7	20.8	0.26	0.29	0.28		
		標準偏差	40	41	49	34	35	44	437	453	566	2.3	2.2	1.9	0.03	0.04	0.04		
		調査個体数	332	314	297	313	326	332	50	55	37	50	55	37	50	55	37		
2013	2009	平均	663	658	680	658	653	716	2,884	2,376	3,262	22.2	18.4	20.3	0.29	0.28	0.28		
		標準偏差	45	48	42	37	35	46	772	703	502	3.3	4.6	2.1	0.02	0.03	0.04		
		調査個体数	492	328	481	428	387	446	36	58	43	36	58	43	36	58	43		
2014	2010	平均	689	689	723	662	678	664	2,796	3,172	3,049	20.8	20.6	15.1	0.30	0.32	0.28		
		標準偏差	41	45	50	37	38	37	579	506	256	2.8	2.1	1.3	0.06	0.04	0.05		
		調査個体数	175	293	131	154	366	351	14	53	3	14	53	3	14	53	3		
2015	2011	平均	675	680	753	668	676	703	3,141	2,728	3,534	23.6	20.5	19.3	0.27	0.28	0.28		
		標準偏差	46	47	51	34	43	45	625	694	1,493	6.4	5.8	3.1	0.03	0.04	0.05		
		調査個体数	453	165	308	490	222	301	38	44	42	38	44	42	38	44	42		
2016	2012	平均	658	669	716	653	664	683	2,651	2,490	2,731	20.2	18.0	16.8	0.28	0.27	0.27		
		標準偏差	46	49	57	41	42	44	576	594	623	5.3	3.1	3.0	0.04	0.04	0.04		
		調査個体数	305	350	473	289	405	677	44	64	57	44	64	57	44	64	57		
2017	2013	平均	680	677	716	669	672	694	3,277	2,651	3,045	23.0	18.6	18.8	0.29	0.29	0.28		
		標準偏差	47	54	56	32	39	40	426	639	609	2.1	3.1	2.5	0.04	0.05	0.04		
		調査個体数	350	192	359	331	202	359	54	34	45	54	34	45	54	34	45		
2018	2014	平均	667	672	707	660	666	673	2,953	2,598	3,024	21.2	19.6	19.7	0.26	0.28	0.28		
		標準偏差	44	47	52	35	40	48	628	613	558	2.6	3.1	3.0	0.07	0.03	0.03		
		調査個体数	435	646	500	529	664	596	80	92	66	80	92	66	80	92	66		
2019	2015	平均	676	676	718	664	673	686	2,677	2,672	3,162	20.2	19.1	19.3	0.29	0.26	0.28		
		標準偏差	46	45	66	36	36	48	739	557	410	3.6	3.3	1.6	0.02	0.03	0.03		
		調査個体数	81	154	113	50	185	171	15	30	14	15	30	14	15	30	14		
2020	2016	平均	681	678	717	666	675	691	2,954	2,278	2,865	21.1	16.1	19.2	0.27	0.27	0.27		
		標準偏差	43	44	53	37	37	36	690	780	630	3.5	4.2	2.5	0.05	0.05	0.05		
		調査個体数	277	470	624	227	558	664	91	71	80	91	71	80	91	71	80		

岩手県水産技術センター研究報告第13号

令和8年3月

発行 岩手県水産技術センター  
〒026-0001 岩手県釜石市大字平田 3-75-3  
Tel. (0193)26-7914 Fax. (0193)26-7920

編集 岩手県水産技術センター研究報告編集委員会  
Tel. (0193)26-7914 Fax. (0193)26-7920

印刷 (株)興版社  
〒020-0816 岩手県盛岡市中野一丁目 4 番 14 号  
Tel. (019)624-3456 Fax. (019)625-3456

# BULLETIN OF IWATE PREFECTURAL FISHERIES TECHNOLOGY CENTER

No.13 March, 2026

## CONTENTS

Effects of background color on seawater adaptation of masu salmon <i>Oncorhynchus masou</i> Takeshi Yamanome · · · · ·	1
Prediction of the occurrence of <i>Ephelota gigantea</i> damaging cultured wakame seaweed by environmental DNA analysis Toshimasa Kobayashi, Takuya Kawashima and Akira Abe · · · · ·	10
Stock changes of chum salmon ( <i>Oncorhynchus keta</i> ) returning to Iwate Prefecture Yuichi Shimizu, Akira Okabe, Jin Oikawa and Itaru Segawa · · · · ·	14