

北 水 試 研 報
Sci. Rep.
Hokkaido Fish. Res. Inst.

CODEN : HSSKAJ
ISSN : 2185—3290

北海道水産試験場研究報告

第 108 号

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES No. 108

北海道立総合研究機構水産研究本部

北海道 余 市 町

2025年9月

Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department

Yoichi, Hokkaido, Japan

September, 2025

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, Hokkaidou 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4-5-1 (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108号

目 次

堀井貴司

北海道太平洋沿岸および根室海峡におけるウバガイ *Spisula sachalinensis* の
外套腔に生息するヒモビル *Malacobdella japonica* について 1

干川 裕, 高谷義幸

飼育試験によるエゾアワビ餌料環境評価指標の検討 13

山崎哲也, 佐藤敦一, 高畠信一

低水温下におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* 仔魚の飼育方法
およびシオミズツボムシに対する摂餌サイズ 25

守田航大, 坂口健司

北海道西部日本海のえびかご漁業における狙い操業を考慮した
ホッコクアカエビの CPUE (短報) 33

干川 裕, 高谷義幸

磯焼けがエゾアワビの成長に影響を及ぼす季節の検討 (短報) 41

虎尾 充

油脂添加飼料の給餌が海水移行後のサケ稚魚の成長率に与える効果 (短報) 45

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES

No.108

CONTENTS

TAKASHI HORII

Occurrence of *Malacobdella japonica* in the pallial cavity of Sakhalin surf clam *Spisula sachalinensis*
along Pacific coast of Hokkaido and Nemuro Strait 1

HIROSHI HOSHIKAWA and YOSHIYUKI TAKAYA

Consideration of the parameter indicating the food condition of abalone *Haliotis discus hannai*
reared in a tank 13

TETSUYA YAMAZAKI, NOBUKAZU SATO and SHINICHI TAKABATAKE

Rearing larval Japanese smelt *Hypomesus nipponensis* fed cultured rotifer *Brachionus plicatilis*
in low temperature and food size 25

KODAI MORITA and KENJI SAKAGUCHI

CPUE of northern shrimp *Pandalus eous* considering target strategy in a shrimp pot fishery
in the Sea of Japan off western Hokkaido (Short Paper) 33

HIROSHI HOSHIKAWA and YOSHIYUKI TAKAYA

Seasonal impact of Isoyake on the growth of Ezo abalone *Haliotis discus hannai* (Short Paper) 41

MITSURU TORAO

Effect of feeding oil-supplemented diets on the growth rate of chum salmon fry after seawater
transfer (Short paper) 45

北海道太平洋沿岸および根室海峡におけるウバガイ *Spisula sachalinensis* の外套腔に生息するヒモビル *Malacobdella japonica* について

堀井貴司*

北海道立総合研究機構釧路水産試験場

Occurrence of *Malacobdella japonica* in the pallial cavity of Sakhalin surf clam *Spisula sachalinensis* along Pacific coast of Hokkaido and Nemuro Strait

TAKASHI HORII*

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

There is a high possibility that *Malacobdella japonica* lived in almost all Sakhalin surf clams caught in the fishing grounds of the Pacific coast of Hokkaido and the Nemuro Strait. The occurrence of symbiosis increased with the growth of the clam and exceeded 90% for clams with a 60 mm shell length. The maximum wet weight of *M. japonica* was 350.9 mg. The standard symbiotic style was one *M. japonica* per clam, and most of *M. japonica* was juveniles in the case of multiple individuals within one clam. I hypothesized that *M. japonica*, which lived as multiple individuals in the clam, begins living solitarily by the time the wet weight reaches approximately 30 mg, after the battle of survival.

キーワード : nemertean, ribbon worm, symbiosis, 共生率, ヒモムシ, ホッキガイ

ウバガイ *Spisula sachalinensis* は千葉県九十九里浜以北の浅海砂浜域に生息する大型二枚貝であり(佐々木, 1993; 信太, 1993), ホッキガイと通称される産業重要種である。2022年の北海道における漁獲量は4,378 t(高橋・栗原, 2024), 青森県～茨城県における漁獲量は651 tであり(水産研究・教育機構水産資源研究所ほか, 2024), 北海道は全国漁獲量の87%を占めていた。北海道では檜山振興局管内を除く海域で漁獲されるが, 近年の主要生産地は胆振, 釧路, 根室振興局管内にあり, 3海域で北海道全体の70%以上を占めている(Fig. 1)。ウバガイ漁業の特徴は, 移動性が小さくて寿命が長いために計画的な漁業が行えることにある(林, 1972)。1960年代以降, 多くの漁業協同組合が資源量調査を行って年間の許容漁獲量を決め, 北海道海面漁業調整規則以上に制限殻長や禁漁期を自主的に厳しくするなど, 徹底した資源管理に取り組んでいる(林, 1972; 高丸, 2001; 北海道資源管理指針, <https://www.jfa.maff.go.jp/form/pdf/1hokkaido.pdf>, 2024年10月15日閲覧)。このことによって, 1980年代以降の漁獲量はおおむね5,000 t前後

で推移しており, 比較的安定した生産を漁業者にもたしている(北海道資源管理指針, Fig. 1)。

ウバガイは, 刺し身や寿司, てんぷら, バター焼き, 酢の物, カレーライス等, 様々な料理に用いられ, スーパー等の小売店では, 殻付き活貝やむき身パック等で販売されている。殻付き活貝の殻を開けると, 軟体部に付

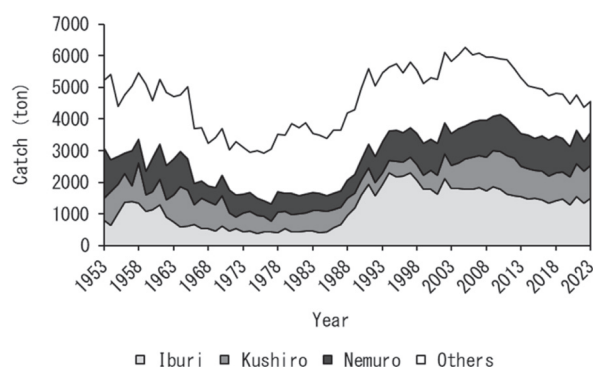


Fig.1 Change of annual catch of Sakhalin surf clam from representative areas in Hokkaido.

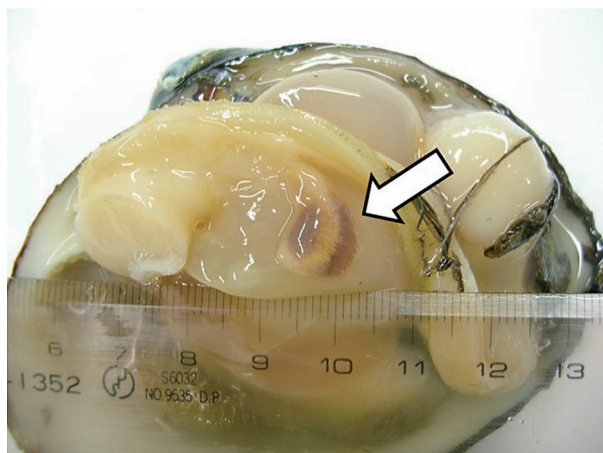


Fig.2 *Malacobdella japonica* attached to the mantle of Sakhalin surf clam.

着するヒル状の生物を見かけることがある (Fig. 2)。これは、環形動物門に属するヒルの仲間ではなく、紐形動物門ヒモビル科に属するヒモビル *Malacobdella japonica* である。

ヒモビル科は全世界で1属6種が知られているが (Gibson, 1995; Ivanov *et al.*, 2002), 国内では *M. japonica* のみが記録されている (Kajihara, 2007)。本種は, Takakura (1897) によって新種 *Malacobdella japonica* として発表された。Riepen (1933) は本種をヨーロッパに分布する *Malacobdella grossa* の地方変異型であろうと論じたが, 河合・山岡 (1940) は形態学的特徴から, Alfaya *et al.* (2015a) はDNA解析によって, 本種が *M. grossa* とは異なる種であることを報告した。また, 寄生率や寄生部位について, 千葉県九十九里浜 (高倉, 1897), 厚岸町沿岸 (Yamaoka, 1940), 小樽市および羽幌町沿岸 (木下・寺井, 1956), 青森県八戸〜三沢沿岸 (横山・須川, 1989) で採集されたウバガイ, 厚岸町の小売店で購入されたウバガイ (波々伯部, 2019) で報告されている。Hookabe (2024) は, 自由生活をする幼生から共生生活する成体への移行期間における発達過程を報告した。

ウバガイの外套腔に本種が生息していることは古くから知られており, インターネットで検索すると簡単な紹介に行き当たる (例えば, ぼうずコンニャクの市場魚貝類図鑑, <https://www.zukan-bouz.com/article/724>, 2024年9月17日閲覧)。しかし, 科学的知見は前出の9報のみであり, そのうち, 寄生率に係る知見は5報だけである。*Malacobdella* 属はすべて, 真正の寄生虫ではないと考えられており (高倉, 1897), 同属他種 (*M. grossa*, *M. arrokeana*) では, 「宿主を傷つけない」「宿主の成長や成熟に影響を及ぼさない」「宿主が吸い込んだ海水が

ら餌を得ている」と報告されている (Riepen, 1933; Gibson, 1968; Gibson and Jennings, 1969; Teso *et al.*, 2006; Alfaya *et al.*, 2015b)。しかし, 体長 34 ~ 37 mm, 体幅 10 mm になるような大きな生物 (Yamaoka, 1940) の寄生率が海域によっては 90% を超え (高倉, 1897; 横山・須川, 1989), また, ウバガイが生鮮食品として流通されている以上, 風評被害が生じる危険性から免れることはないだろう。消費者から苦情が寄せられることもあり (長澤, 2002), 筆者も消費者や漁業関係者からの問い合わせを何度か受けたことがある。しかし, 漁業者や消費者の不安を払拭するために必要な科学的知見は断片的である。

本研究では, 漁業協同組合が水産技術普及指導所の協力を得て実施している資源量調査 (北海道資源管理指針) と北海道立函館水産試験場室蘭支場 (現, 北海道立総合研究機構栽培水産試験場) が行ったウバガイに係る試験研究 (北海道立函館水産試験場, 1995 ~ 1997; 堀井ら, 2002) の中で採集したウバガイの一部を用いて, 共生率や付着部位等のヒモビルとウバガイとの関係についての知見を得たので報告する。なお, *Malacobdella* 属は寄生種ではないと考えられていることから, 本報ではこれ以降, 既往の知見で用いられてきた「寄生」ではなく, 「共生」という文言を用いる。

試料及び方法

漁獲量は, 1953 ~ 1984 年は北海道水産現勢 (北海道水産部, 1957 ~ 1986), 1985 年以降は漁業生産高報告を用いた。

1994 ~ 1996 年に室蘭市, 登別市, 白老町, 苫小牧市, 厚真町, むかわ町および門別町 (現, 日高町) のウバガイ漁場 (以降, 襟裳以西海域と称す) において, 2012 ~ 2024 年には豊頃町, 浜中町および別海町のウバガイ漁場 (以降, 襟裳以東海域と称す) において, ウバガイ 34 標本 5,491 個体を採集した (Fig. 3, Table 1)。採集したウバガイは, 測定・観察までの 1 ~ 2 日間, 海水かけ流し, あるいは, 海水に入れずに 3 ~ 5℃ で冷蔵保管した。なお, 海水かけ流し保管では, 水槽に複数のカゴを設置して, それぞれに標本を入れた。また, 冷蔵保管の標本は, 測定前にウバガイから脱落していたヒモビルを計数したが, 海水かけ流し保管の標本では計数しなかった。

ウバガイは, 北海道立水産試験場測定マニュアルに従って (吉田, 2013), 殻長, 殻高, 殻幅, 全重量, 貝殻重量, 軟体部重量を測定した。また, 1993 ~ 2019 年に採集した 29 標本のウバガイは (Sample No.1 ~ 29, Table 1), 貝殻の表面に形成される同心円輪で年齢を推

Table 1 Occurrence of *Malacobdella japonica* in Sakhalin surf clam *Spisula sachalinensis*

sample No.	date	area	Shell length and age of <i>S. sachalinensis</i>					Occurrence of <i>M. japonica</i> in <i>S. sachalinensis</i>				Rate of the habitat in <i>S. sachalinensis</i> which <i>M. japonica</i> was attached (%)										Number of <i>S. sachalinensis</i> with <i>M. japonica</i>					d2	SC					
			mean	SD	min	max	Age	n1	n2	n3	n4	n4/n3	p-value*	foot	mantle	gill	labial palp	adductor muscle	siphon	d1	M1	M2	M3	M4	M5								
1	1994/10/18	Muroran	78	25.3	32	127	6.4	5.36	1	21	61	57	94.2	0.9326	94.2	100.0	0.6817	21.1	73.7	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	57	0	0	0	0	0	×	A
2	1993/9/1	Nborbetsu	82	7.2	63	98	4.0	0.28	4	4	207	195	99.4	0.8607	99.4	92.6	0.1699			No observation					195	0	0	0	0	0	×	A	
3	1994/5/25	Nborbetsu	84	17.7	43	122	5.3	3.69	2	25	262	257	98.1	0.0181**	98.1	99.4	0.2302			No observation					257	0	0	0	0	0	×	A	
4	1994/5/26	Nborbetsu	78	8.2	60	110	5.1	1.11	5	13	176	168	95.5	0.4854	95.5	95.8	0.9065			No observation					168	0	0	0	0	0	×	A	
5	1995/6/1	Nborbetsu	91	7.6	74	107	6.0	0.00	6	6	180	177	98.3	0.0394**	98.3	98.1	0.6479	4.5	94.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	177	0	0	0	0	0	×	A	
6	1997/4/15	Nborbetsu	90	10.7	72	108	8.0	0.00	8	8	60	48	100.0	0.1403	100.0	100.0	0.5910	10.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60	0	0	0	0	0	×	A	
7	1994/6/16	Shiraoi***	93	16.6	56	119	8.4	5.16	2	21	210	188	89.5	0.0366**	89.5	90.4	0.0023**	12.9	83.1	1.6	0.8	0.0	0.0	1.6	188	0	0	0	0	0	×	A	
8	1994/6/16	Shiraoi (joiyoudama)	86	17.7	53	120	5.3	2.97	2	13	102	94	92.2	0.5888	92.2	97.1	0.8805			No observation					94	0	0	0	0	0	×	A	
9	1993/9/20	Tomakomai	95	10.4	53	113	8.4	3.60	2	12	61	60	98.4	0.2605	98.4	98.3	0.8382			No observation					60	0	0	0	0	0	×	A	
10	1993/11/30	Tomakomai	95	12.0	47	119	8.5	4.23	1	16	436	412	94.5	0.6270	94.5	95.5	0.6285			No observation					412	0	0	0	0	0	×	A	
11	1994/4/20	Tomakomai	95	18.5	50	136	8.8	5.46	1	21	210	187	89.0	0.0171**	89.0	91.5	0.0095**			No observation					187	0	0	0	0	0	×	A	
12	1994/10/6	Tomakomai	87	30.5	18	129	7.7	5.20	1	17	91	75	82.4	0.0001**	82.4	97.0	0.8881	24.0	73.3	0.0	1.3	0.0	0.0	1.3	75	0	0	0	0	0	×	A	
13	1994/11/29	Tomakomai	95	12.4	35	116	8.3	4.28	1	13	399	381	95.5	0.2649	95.5	96.7	0.9072	16.5	79.3	1.6	1.3	0.5	0.3	0.5	381	0	0	0	0	0	×	A	
14	1995/4/18	Tomakomai	99	11.8	51	121	10.3	4.17	3	23	170	169	99.4	0.0141**	99.4	99.4	0.2302	14.8	84.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.6	169	0	0	0	0	0	×	A	
15	1995/12/7	Tomakomai	89	20.2	14	118	8.3	5.12	1	14	307	292	95.1	0.4856	95.1	97.4	0.7518	11.6	85.3	1.4	0.7	0.0	0.0	1.0	292	0	0	0	0	0	×	A	
16	1996/10/23	Tomakomai	100	5.8	88	113	11.5	3.53	8	15	60	58	96.7	0.5037	96.7	96.7	0.9163	12.1	86.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	58	0	0	0	0	0	×	A	
17	1996/12/10	Tomakomai	100	5.4	87	113	11.5	3.51	8	15	159	156	98.1	0.0757	98.1	98.1	0.6102	7.7	87.8	2.6	1.3	0.6	0.0	0.0	156	0	0	0	0	0	×	A	
18	1994/7/1	Atsuma	105	13.1	70	129	9.6	5.05	3	21	112	101	90.2	0.2147	90.2	89.2	0.0012**	11.9	84.2	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	101	0	0	0	0	0	×	A	
19	1995/7/28	Atsuma	99	8.7	83	118	7.6	3.98	4	14	78	76	97.4	0.3070	97.4	97.4	0.7930	3.9	90.8	2.6	2.6	0.0	0.0	0.0	76	0	0	0	0	0	×	A	
20	1994/5/12	Makawa	97	13.9	67	127	7.2	4.20	2	17	160	155	96.9	0.2175	96.9	97.2	0.8482			No observation					155	0	0	0	0	0	×	A	
21	1995/2/13	Maebetsu	78	16.6	28	116	5.2	2.19	2	18	343	299	87.2	0.0000**	87.2	96.1	0.8646	8.0	84.9	4.3	2.3	0.3	0.0	0.0	299	0	0	0	0	0	×	A	
22	1995/2/20	Maebetsu	92	15.7	64	124	6.6	4.36	3	23	78	73	93.6	0.9358	93.6	94.8	0.7681	5.5	87.7	4.1	2.7	0.0	0.0	0.0	73	0	0	0	0	0	×	A	
23	1995/2/23	Maebetsu	84	17.3	40	132	5.7	3.72	2	23	193	187	96.9	0.1596	96.9	98.5	0.5445	10.1	85.6	1.6	1.6	1.1	0.0	0.0	186	1	0	0	0	0	×	A	
24	2013/5/28	Toyokoro	79	10.5	55	106	6.2	2.93	3	18	140	129	92.1	0.5330	92.1	98.7	0.6380	8.7	78.6	7.1	4.0	1.6	0.0	0.0	126	0	0	0	0	0	3	B	
25	2012/10/22	Hamanaka	87	13.9	40	110	10.0	4.51	2	18	79	72	91.1	0.4969	91.1	95.2	0.8496	12.2	71.6	8.1	2.7	0.0	1.4	4.1	70	2	0	0	0	0	0	B	
26	2013/10/24	Hamanaka	86	13.4	52	108	7.0	3.59	3	21	86	82	95.3	0.6235	95.3	98.3	0.8382	18.6	69.8	7.0	3.5	0.0	0.0	1.2	78	4	0	0	0	0	0	B	
27	2017/10/17	Betsukai	72	20.6	25	105	7.7	4.57	2	28	242	212	87.6	0.0004**	87.6	95.1	0.7957	22.5	56.4	11.4	5.1	0.0	0.8	3.8	200	5	3	3	1	0	0	B	
28	2019/5/27	Betsukai	85	9.9	54	105	9.3	4.13	4	25	160	156	97.5	0.1395	97.5	114	0.4630	18.2	65.6	7.1	3.2	1.3	1.3	3.2	144	1	1	0	1	1	9	B	
29	2019/10/29	Betsukai	88	9.5	39	107	8.5	4.15	2	20	112	110	98.2	0.1323	98.2	97.8	0.7579	16.5	70.6	5.5	0.9	0.0	0.0	6.4	107	1	0	0	0	0	2	B	
30	2020/5/27	Betsukai	88	8.5	51	108	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	16.8	57.1	9.2	2.0	0.0	1.0	13.8	192	2	0	0	0	0	2	B
31	2021/5/26	Betsukai	90	12.3	26	108	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	16.3	54.8	9.6	0.0	0.0	0.7	18.5	123	6	0	0	0	0	12	B
32	2021/5/26	Betsukai	42	12.6	20	64	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	31.0	33.3	26.2	9.5	0.0	0.0	0.0	42	0	0	0	0	0	0	B
33	2022/11/9	Betsukai	94	7.6	61	108	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	7.4	77.9	0.0	3.7	0.0	3.7	7.4	54	0	0	0	0	0	×	A
34	2024/5/30	Betsukai	97	16.4	46	116	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	No observation	26.7	62.8	4.7	1.2	0.0	0.0	4.7	68	6	2	0	0	0	4	B
Total			88	17.2	14	136	7.5	4.30	1	28	5,491	5,151	93.8			4,102	3,955	96.4	13.8	76.8	4.2	1.9	0.3	0.3	2.1	5,080	28	6	3	2	32		

n1 : the number of *S. sachalinensis* measured, n2 : the number of *S. sachalinensis* with *M. japonica* (the sum M1 - M5 added d2)n3 : the number of *S. sachalinensis* measured more than shell length 80 mm, n4 : the number of *S. sachalinensis* over shell length 80 mm with *M. japonica*

* p-values obtained as a result of multiple comparisons (BH method) of the residuals analysis ** There is a significant difference (significant level is 0.05)

M1 : the number of *S. sachalinensis* with one *M. japonica*, M2-5 : the number of *S. sachalinensis* with two - five *M. japonica*d1 : the number of *M. japonica* that got out of *S. sachalinensis* during measurementd2 : the number of *M. japonica* that got out of *S. sachalinensis* during storage. × in d2 : no observationSC : storage conditions before measurement, A : *S. sachalinensis* was kept in flowing natural sea water for one to two days, B : *S. sachalinensis* was kept in the refrigerator for one to two days*** in Shiraoi (No. 7), the habitats of *M. japonica* were observed only 124 of 188 *S. sachalinensis*

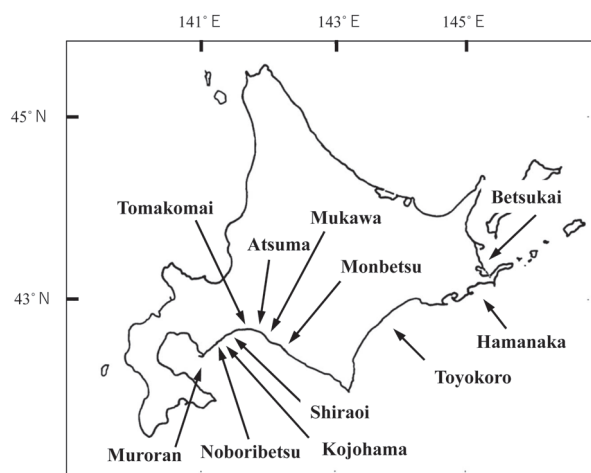


Fig.3 Map showing the sampling area of Sakhalin surf clam.

定した（林ら，1963）。測定後に共生の有無を観察したが，34標本のうちの26標本では（Sample No.1, 5～7, 12～19, 21～24, Table 1），ヒモビルが付着していた部位（足，外套膜，鰓，唇弁，閉殻筋，出入水管，付着部位不明）を併せて観察した。ただし，白老（Sample No.7）は，共生が確認されたウバガイ188個体の内の124個体のみ，付着部位を観察した。共生が確認されたウバガイの個体数を，観察したウバガイの個体数で除して100を乗じた値を共生率（%）とした。また，観察したウバガイ全数に対する共生率を示す際には，単純無作為抽出として計算した場合の標準偏差（次式）を付記した。

$$\text{標準偏差} = (p(1-p)/n)^{0.5}$$

p：共生率，n：観察数

襟裳以東海域のヒモビルの湿重量を，2012年の豊頃町と浜中町では0.01 g単位，2013年の浜中町と2013～2022年の別海町では0.1 mg単位で個体毎に測定した。なお，0.01 gを最小単位とする秤で測重したヒモビルのうち，0と表示された個体は10 mg未満として記録した。

本研究に用いたウバガイは，目的の異なる様々な調査から得たことから，採集海域や採集時期に統一性がない。しかし，ヒモビルとウバガイとの関係は，海域や時期にかかわらず，その特徴を示すものと推定し，共生率とウバガイの殻長および年齢との関係，ヒモビルの体重とウバガイの殻長および年齢との関係，ヒモビルが付着するウバガイの部位に係る解析は，標本情報を併せて実施した。ただし，ウバガイは水温の影響で南に生息する個体群ほど成長が速い傾向がある（佐々木，1993）。襟裳以西海域の苫小牧では，2歳のウバガイの平均殻長は66 mm，5歳91 mm，12歳103 mmと報告されており（堀井ら，1995），襟裳以東海域の浜中では，中川ら（2002）

によって報告された成長式から，2歳35 mm，5歳70 mm，9歳93 mm，12歳100 mmと算出される。襟裳以西海域と襟裳以東海域とでは成長速度が異なることから，共生率と殻長および年齢との関係は海域別に解析した。

標本間の共生率を比較するために χ^2 検定を行い，期待値5未満が20%を超えた場合にはイエーツ補正を行った。また，差を示した標本を検知するために残差分析を行い，Benjamini & Hochberg法（BH法）によって多重比較した。殻長範囲毎あるいは年齢毎の共生率を襟裳以西海域と襟裳以東海域とで比較するためにフィッシャーの正確確率検定を行った。有意水準は0.05とした。

結 果

共生率 ウバガイ34標本5,491個体の殻長の平均（標準偏差）と範囲は，88 mm（17.2），14～136 mm，推定年齢の平均（標準偏差）と範囲は，7.5歳（4.30），1～28歳であった（Table 1）。5,119個体の外套腔にヒモビルが認められ，そのうちの5,080個体には1個体，39個体には複数（2～5個体）のヒモビルが共生していた。共生が認められた99%が，ウバガイ1個体に対してヒモビル1個体の共生であったことから，冷蔵保管中に脱落したヒモビル32個体それぞれがウバガイ1個体に共生していたと仮定すると，ウバガイ全数（5,491個体）に対する共生率（標準偏差）は93.8%（0.325）と推定された。ただし，34標本の共生率には68.9～100%の幅があつて有意差が認められ（ $\chi^2 = 208.33$, $df = 33$, $p = 0.000$ ），3標本（98.1～99.4%，Sample No.3, 5, 14）は有意に高く，6標本（68.9～89.5%，Sample No.7, 11, 12, 21, 27, 32）は有意に低かった。

共生率とウバガイの殻長，年齢 ウバガイの殻長範囲毎の共生率は，襟裳以西海域では，殻長20 mm台から50 mm台に10%から83%へと増加して60 mm台で91%となり，その後，漸増した。襟裳以東海域では，殻長20 mm台から50 mm台に29%から79%へと増加し，60 mm台で91%となり，その後，漸増した（Fig. 4）。各殻長範囲それぞれ，海域間で共生率に有意差は認められなかった。年齢毎の共生率は，襟裳以西海域では，1～2歳に59～76%へと増加し，3歳で93%となった。襟裳以東海域では，2～4歳に23～88%へと増加し，5歳で96%となった（Fig. 5）。2歳と3歳では海域間で共生率に有意差が認められ，4歳以降，有意差は認められなかった。

ヒモビルの体重とウバガイの殻長，年齢 襟裳以東海域の11標本1,376個体のうち，ヒモビルが共生していた

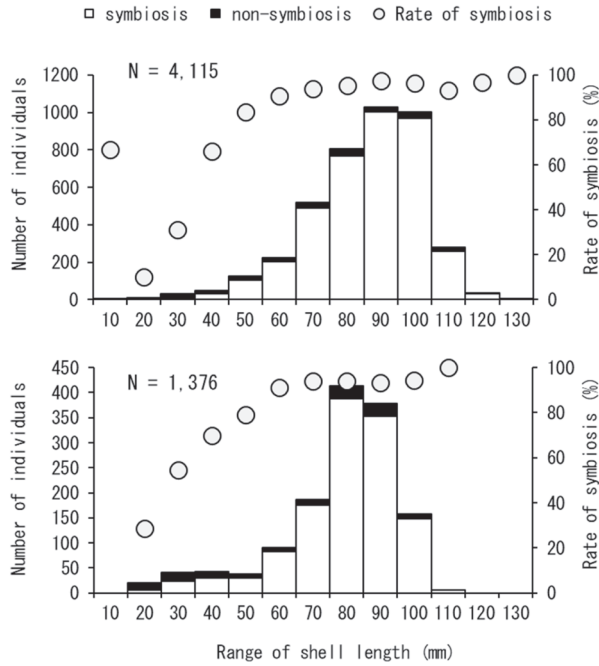


Fig.4 Shell length distribution of Sakhalin surf clam with and without *Malacobdella japonica*, and rate of Sakhalin surf clam with *M. japonica* in each shell length range. The upper and lower panels show the western and eastern waters of Cape Erimo, respectively.

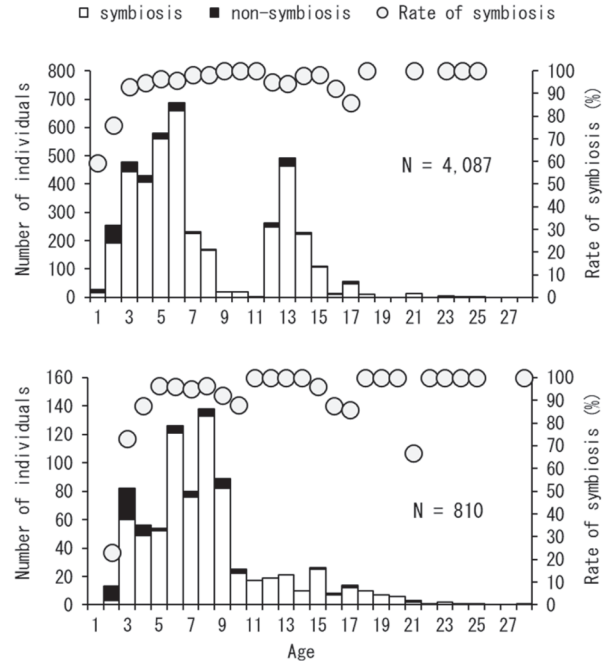


Fig.5 Age distribution of Sakhalin surf clam with and without *Malacobdella japonica*, and rate of Sakhalin surf clam with *M. japonica* in each age. The upper and lower panels show the western and eastern waters of Cape Erimo, respectively.

と推定されたウバガイは1,274個体、採取したヒモビルは1,330個体であった (Table 1)。平均体重 (標準偏差) は95.9 mg (62.75), 最大値は350.9 mg, 最小値は0.1 mgであった。10 mg未満の個体が全体の14%を占めて最も多く、20～30 mg台は2%と少なくなったが、40～110 mg台に4%から6%へと増え、120～200 mg台には6%から1%へと減少した (Fig. 6)。210 mg以上のヒモビルは39個体で全体の3%であり、300 mg以上の個体は2個体のみであった。また、10 mg未満の39%, 10 mg台、20 mg台それぞれの16%が、ウバガイ1個体に対して複数共生していたヒモビルであった。

ウバガイの殻長とヒモビルの体重との関係を Fig. 7 に示した。殻長20～40 mmに共生していたヒモビルは10 mg未満であったが、殻長40～60 mmでは10～30 mgが漸増した。殻長60～80 mmでは0.1～204 mg, 殻長80～100 mmには0.1～351 mgと、ウバガイが大きくなるにつれて大きなヒモビルが共生するようになるとともに、様々な大きさが認められるようになった。

ウバガイの年齢とヒモビルの体重の関係を Fig. 8 に示した。2歳に共生していたヒモビルの体重は0.6～11 mgで、3歳0.1～54 mg, 4歳0.1～105 mg, 6歳0.1～17 mg, 8歳1～312 mgと、ウバガイの年齢が上がるにつれて大きなヒモビルが共生するようになるととも

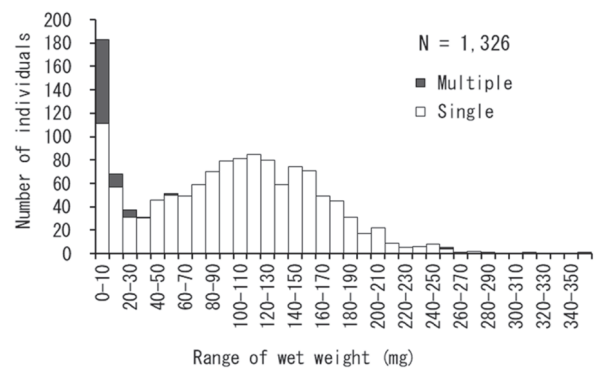


Fig.6 Wet weight distribution of *Malacobdella japonica*, living as single or multiple individuals in one Sakhalin surf clam in the eastern waters of Cape Erimo.

に、様々な大きさが認められるようになった。しかし、8歳以降、年齢に伴って大きくなることはなかった。

複数共生 複数のヒモビルが共生していたウバガイは39個体で、それらは9標本 (Sample No.23, 25～31, 34) から見つかり、2個体共生のウバガイが28個体、3個体共生が6個体、4個体共生が3個体、5個体共生が2個体であった (Table 1)。9標本の中でヒモビルが共生していたウバガイの殻長範囲は29.9～131.9 mmにあり、殻長30～40 mm台の13～15%, 50 mm台の8%, 60

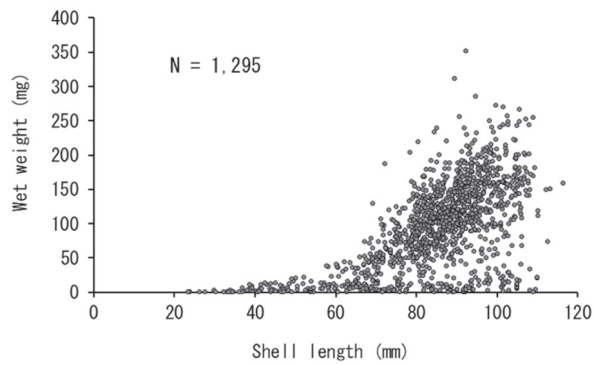


Fig.7 Relationship between shell length of Sakhalin surf clam and wet weight of *Malacobdella japonica* in the eastern waters of Cape Erimo.

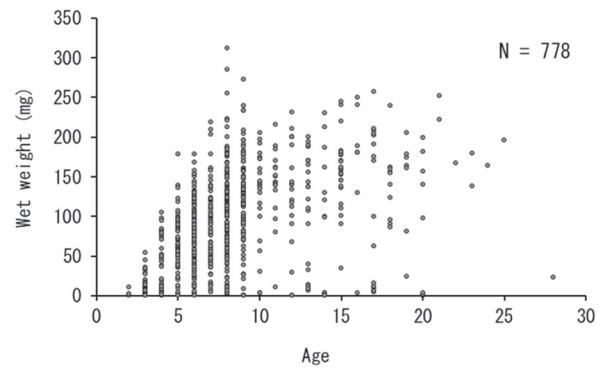


Fig.8 Relationship between age of Sakhalin surf clam and wet weight of *Malacobdella japonica* in the eastern waters of Cape Erimo.

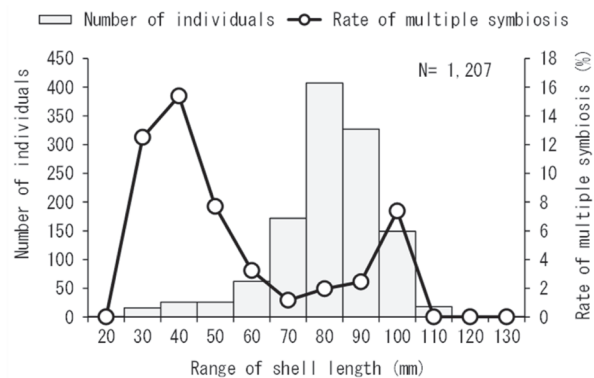


Fig.9 Shell length distribution of Sakhalin surf clam which *Malacobdella japonica* lived in, and rate of multiple symbiosis in each shell length range.

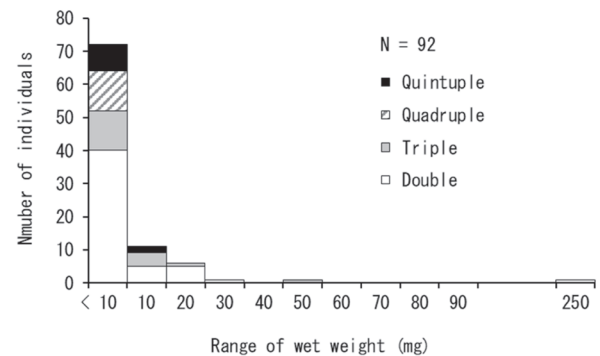


Fig.10 Wet weight distribution of *Malacobdella japonica*, with two to five individuals per Sakhalin surf clam.

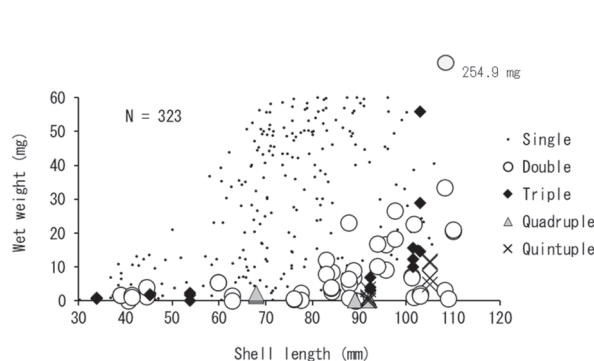


Fig.11 Relationship between shell length of Sakhalin surf clam and wet weight of *Malacobdella japonica* living in Sakhalin surf clam.

It shows *M. japonica* weighing < 60 mg.

M. japonica (254.9 mg) living in 109 mm Sakhalin surf clam is noted as an outlier.

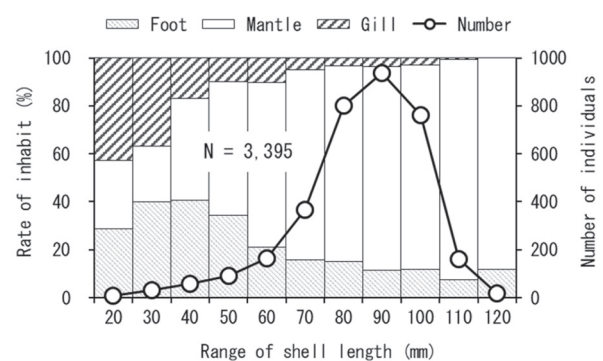


Fig.12 Relationship among foot, mantle, and gill of Sakhalin surf clam, which *Malacobdella japonica* was attached to, and shell length distribution of Sakhalin surf clam.

～90 mm 台の 1～3%，100 mm 台の 7%に、複数の共生が認められた (Fig. 9)。

ウバガイ 1 個体に複数で共生していたヒモビルの合計は 96 個体であり、そのうちの 4 個体の体重は測定されず、4 個体は 10 mg 未満であった。0.1 mg 単位で測定した 88 個体の体重の範囲は 0.1 ～ 254.9 mg にあり、外れ値の 254.9 mg を除く平均体重 (標準偏差) は 6.4 mg (9.15) であった。92 個体の体重組成は、10 mg 未満が 72 個体で全体の 78% を占めて最も多く、次いで 10 mg 台の 11 個体 12% であった (Fig. 10)。また、10 mg 未満および 10 mg 台のヒモビルはウバガイ 1 個体に対して 2 ～ 5 個体、20 mg 台以降は 2 ～ 3 個体が付着していた。

ウバガイの殻長とヒモビルの体重との関係は、30 ～ 70 mm 台に共生するヒモビルの体重は 0.6 ～ 5.5 mg、80 mm 台 0.1 ～ 12.0 mg、90 mm 台 0.1 ～ 16.8 mg、100 mm 台 1.0 ～ 254.9 mg と、殻長が伸長するにつれてヒモビルは大きくなるとともに、様々な大きさが認められるようになった (Fig. 11)。また、単独で共生するヒモビルの方が複数で共生する個体よりも大きい傾向が認められた。なお、最も大きかった 254.9 mg のヒモビルは 0.7

mg の個体とともに、殻長 108.9 mm のウバガイから採取された。

ヒモビルの付着部位 最も多くヒモビルが付着していたウバガイの部位は外套膜で全体の 76.8% を占め、足 13.8%，鰓 4.2% と続き、唇弁は 1.9%，閉殻筋と出入水管はそれぞれ 0.3% と僅かであった (Table 1)。付着割合の高かった上位 3 部位は、殻長が 20 mm から 110 mm 台へと伸長するに伴い、外套膜が 29% から 76% へと増加したのに対し、足は 29% から 7% へ、鰓は 43% から 1% へと減少した (Fig. 12)。

10 mg 未満のヒモビルは、外套膜、足、鰓に同程度の割合で付着していたが、10 mg を超えると、外套膜の割合が高くなり、足と鰓の割合は低くなった (Fig. 13a)。さらに、10 mg 未満では、1 mg 未満の 56% が鰓、30% が外套膜、7% が足に付着していた。しかし、1 ～ 3 mg 台には同程度となり、6 mg 以降、外套膜は増加し、鰓と足は減少した (Fig. 13b)。

考 察

共生率 観察したウバガイ全数に対するヒモビルの共生率は 93.8% と推定された。しかし、共生率には標本間で有意差が認められ、特に共生率が低かったのは、殻長範囲 20 ～ 64 mm の sample No.32 であった。共生率はウバガイの成長に伴って上昇することから、標本間の共生率の差には各標本を構成するウバガイの大きさの違いも影響したと考えられる。漁業者や消費者が実際に手にするウバガイは漁獲されたものである。北海道漁業調整規則では殻長 7.5 cm 未満の採捕は禁じられているが、ほとんどの海域で殻長 8 ～ 10 cm の間で自主規制が行われている (高丸, 2001)。そこで、殻長 80 mm 以上を対象として共生率を計算したところ、ウバガイ (4,102 個体) に対する共生率 (標準偏差) は 96.4% (0.290) となり、各標本の共生率は 89.2 ～ 100% の範囲にあった (Table 1)。標本間に有意差は認められたが (イエーツ補正, $\chi^2 = 59.46$, $df = 32$, $p = 0.002$)、有意差を示さなかった標本数は 30 に増え (共生率の範囲: 91.4 ～ 100%)、有意差を示した標本数は 3 (St.7, 11, 18, 共生率の範囲: 89.2 ～ 91.5%) に減じた。

ウバガイに侵入して経過時間が比較的短いと推定される体重 30 mg 未満のヒモビルは (後述)、共生率が 90% を超えた殻長 60 mm 台以降も出現し続け、殻長 70 mm 台の 19.8%，80 ～ 90 mm 台の 9.3 ～ 9.8%，100 mm 台の 18.5% を占めた。このことは、何らかの要因で先住者が退去した宿主に、新たな幼若個体が侵入したことを示唆している。また、本研究で採集されたウバガイの推

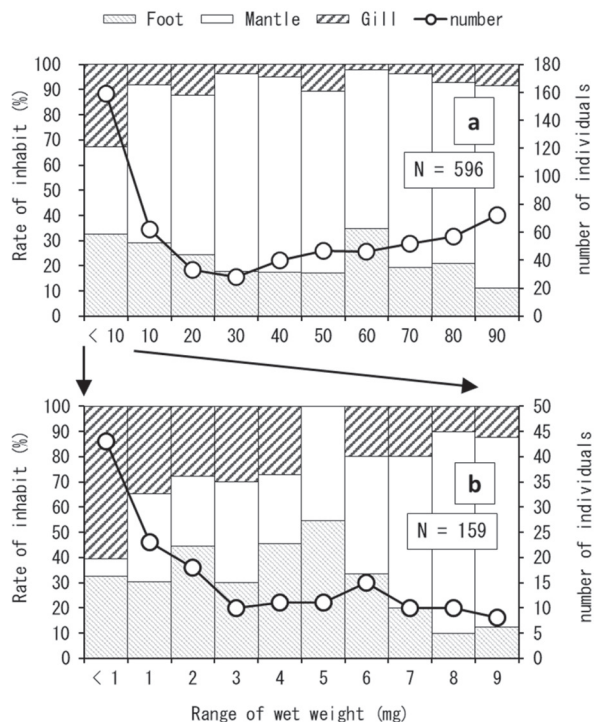


Fig. 13 Relationship among foot, mantle, and gill of Sakhalin surf clam, which *Malacobdella japonica* was attached to, and wet weight distribution of *M. japonica*.

Figure a: Weight range was 10 mg, and a weight < 100 mg is indicated.

Figure b: Weight range was 1 mg, and a weight < 10 mg is indicated.

定年齢と平均殻長（標準偏差）は、襟裳以西海域では4歳で82.6 mm (7.60)、襟裳以東海域では7歳で80.1 mm (7.52)であった。共生率が90%を超えるような海域で、4年あるいは7年を超えて生息する未共生の宿主をヒモビルが見逃すとは考え難い。殻長80 mm以上で共生が認められなかったのは、先住者退去後の個体ではないだろうか。冷蔵保管中以外の、漁獲から測定に至る過程で脱落した個体が存在する可能性もあり、漁獲されたウバガイのほとんどすべてにヒモビルが共生していた可能性は高い。

共生率とウバガイの成長との関係 共生率は、ウバガイの成長とともに高くなった。襟裳以西海域、襟裳以東海域ともに、殻長20～50 mm台に上昇して60 mm台には90%を超え、それ以降、漸増した。しかし、90%を超えた年齢は、襟裳以西海域は3歳、襟裳以東海域は5歳であり、襟裳以西海域の方が襟裳以東海域よりも若齢で高くなった。*M. grossa*では、宿主の大きさと共生率との間に正の相関があると報告されている（Gibson, 1967）。ウバガイの成長速度は襟裳以西海域の方が襟裳以東海域よりも早く（堀井ら, 1995；中川ら, 2002）、90%を超える年齢が異なるのは、殻長60 mmに達する年齢が異なるためであると考えられる。

共生率の地域差 各地の共生率は、千葉県九十九里浜で96.3%（高倉, 1897）、厚岸町で87～88%（Yamaoka, 1940）、青森県八戸～三沢沿岸では殻長7～10 cmのウバガイで平均96.2%、範囲89.8～100%（横山・須川, 1989）と報告されており、本研究で示した共生率と同程度であった。しかし、木下・寺井（1956）は殻長7 cm以上のウバガイについて、小樽市銭函では平均61.8%、範囲25.0～82.0%（1954年採集）、平均41.2%、範囲11.1～90.0%（1955年採集）、羽幌町では平均36.3%、範囲33.3～40.0%（1955年採集）と報告した。この結果は他の知見に比べて著しく低い。*M. grossa*の共生率について、Riepen（1933）は比較的狭い範囲でさえかなりの地域的変動があると述べており、ドイツ北部のキール湾で48～80%（Kennel, 1878）、キーラー・フェーラデで50～60%（Riepen, 1933）、イングランド北部のヨークシャー沿岸では17.7～56.2%（Gibson, 1967）と報告されている。したがって、本種の共生率に地域差があっても不思議ではない。

林（1972）にならって、木下・寺井（1956）と本研究でヒモビルが観察された年の海岸線1 kmあたりの平均漁獲量を換算してみると、羽幌町0.4 t/km（1955年）、小樽市0.6 t/km（1954～1955年）、苫小牧市51.5 t/km（1993～1996年）、豊頃町2.8 t/km（2013年）、浜中町5.3 t/km（2012～2013年）、別海町5.6 t/km（2017～2022年）

となる。各海域の資源量や生息密度を正確に示すものではないが、本研究の調査海域に比べて羽幌町と小樽市の資源はかなり小さいことが推測される。共生率には宿主個体群の資源規模や生息密度が影響を及ぼすのではないだろうか。しかし、共生率が低い海域の知見は北海道日本海沿岸の木下・寺井（1956）のみであり、これだけで判断することはできない。共生率の海域による相違を検討するための情報は不足している。

産卵期 ヒモビルの産卵期についてYamaoka（1940）は、生殖腺は5～6月に成熟すると報告したが、波々伯部（2019）は、9月に採集した個体によって発生実験を実施し、吸盤原基が形成されるまでの発生過程を観察した。本研究では、ウバガイに侵入して比較的経時経過が短いと推定される個体が（後述）、5月と10～11月に確認されている。Gibson（1968）は*M. grossa*の産卵期について、冬と春の年2回の繁殖ピークのある非季節性の繁殖行動を示す可能性を報告しており、本種も同様の特性を有するのかもしれない。

宿主への侵入と単独生活の時機 本種がウバガイに2個体以上共生する場合は必ず幼若個体だけであると報告され（高倉, 1897）、*M. grossa*でも同様に、宿主に複数の個体が認められる場合は全てが幼若個体であり、一定の大きさになると競争が始まると考察された（Riepen, 1933; Gibson, 1967; Gibson, 1968）。これらのことから、宿主1個体に対して複数で共生する小型の個体は、宿主に侵入して比較的経時経過の少ない個体であると推定される。本研究では、ウバガイ1個体に対して複数で共生していたヒモビルの97%は30 mg未満であり、それらは、殻長24～110 mm、2～28歳のウバガイに認められた。*M. grossa*は全ての宿主サイズ群に侵入すると報告されており（Gibson, 1968）、本種もウバガイへの侵入が、2歳以降、殻長20 mm台以降の、どの段階においても起こり得ると考えられた。また、10 mg未満の個体の39%は、宿主1個体に対して複数で共生していたが、その割合は10～30 mg台に16%から3%へと減少し、40 mg以降に他の小型個体と共生していたのは56.0 mg（14.5 mg, 29.0 mgの個体と共生）と254.9 mg（0.7 mgの個体と共生）の2個体だけであった。このことからヒモビルは、概ね30 mgまでに単独生活に入ると考えられた。

ウバガイによる捕食 最も多かったヒモビルは体重10 mg未満の個体であり、その個体数は20 mg台に急減した。また、10 mg未満の個体の61%が単独生活をしている状態にあった。これらのことは、10 mg未満の段階で既に、減耗が始まっていることを示唆している。ヒモビルは、浮遊生活期を経て潜砂している宿主との共生生活に至ることから、入水管から外套腔に侵入するものと推

測される。また、ウバガイは、入水管を通して外套腔に取り入れた海水中から、鰓の表面に密生する繊毛と粘液によって微小な生物や有機物粒子を濾し取って食物とする濾過摂食を行う（佐々木，1993）。そして、測重した中で最も軽量だった 1 mg 未満のヒモビルが最も多く付着していたのは鰓であった。このことは、入水管から取り込まれた幼若個体が鰓に補足され、ウバガイに捕食される可能性を示しており、捕食を免れて吸着に成功した個体が共生生活に移行するものと推測される。

成体による幼若個体の減耗 本研究では、殻長 108.9 mm のウバガイから、成体と考えられる 254.9 mg のヒモビルが、0.7 mg の幼若個体とともに採取された。Yamaoka（1940）も成体と幼若個体が共生したウバガイを 1 個体、報告している。このことは、成体が宿主に先住していても、幼若個体は宿主に侵入することを示唆している。しかし、成体と幼若個体が同一宿主内で確認されたのは、この 2 例しかない。*Malacobdella* 属 2 種では、成体が先住する宿主に侵入した幼若個体は成体によって捕食されると考察されており（高倉，1897；Riepen, 1933；Gibson, 1967），成体と幼若個体の同居事例が極めて少ないということは、成体が先住する宿主に侵入した幼若個体は、侵入後のかなり早い時期に駆逐されることを示唆している。

幼若個体間の競争 先住者がいなかった時、幼若個体はある一定期間共存することができるが、最後にはただ 1 個体の最優秀者を残すに至ると論述されている（高倉，1897）。しかし、*M. grossa* では、咽頭繊毛によるろ過と口吻によって非選択的に微小粒子を摂餌する雑食性であると報告されており（Gibson and Jennings, 1969），大きな個体が小さな個体を口吻によって捉えた事例は観察されているが（Gibson, 1968），この摂餌方法では、同程度のサイズの個体を捕食するとは考え難い。本種は、Riepen（1933）によって *M. grossa* の地方変異型であるとされるほどに形態が類似していることから、摂餌生態は *M. grossa* と同様であろう。ウバガイ 1 個体に共生するヒモビルの個体数が複数から単独に至る過程には、同種間の被捕食以外の要因が予想される。Gibson（1968）は採集中や水槽内における観察によって、宿主の水管が激しく収縮して排出された *M. grossa* が再び宿主に戻れなかったことを観察し、それは水管の収縮時に吸盤が離れていた場合に生ずることを示唆した。そして、採集中に自由生活する個体を発見したことから、自然界でも排出が生じていると推測し、宿主から排出された個体は斃死すると論じた。また、Riepen（1933）は、他の個体からの口吻による攻撃を受けた個体が吸盤を水槽表面から離す状況を観察した。競争相手を捕食せずとも、宿主か

ら剥がすことが出来れば排除できるのかもしれない。

最大重量 ウバガイの成長とともに、ヒモビルの体重の最大値は大きくなり、かつ、様々な重さの個体が認められるようになった。しかし、殻長 90 mm 以上、年齢 8 歳以上になると体重の最大値が大きくなる傾向は認められなくなった。210 mg 以上の個体はヒモビル全体の 3% と少なく、体重の最大値は 350.9 mg であった。ヒモビルの最大体長について、Takakura（1897）は完全に伸びきった状態で約 45 mm、Yamaoka（1940）は通常の状態では 34～37 mm と報告した。ヒモビルの体重に関する報告はなく、本報が初記載となる。

おわりに 本研究によって、北海道太平洋沿岸および根室海峡のウバガイ漁場において漁獲されるウバガイのほとんどすべてにヒモビルが共生していたことが示唆された。また、生活史の一端が以下のように推測された。

ヒモビルは浮遊生活期を経た後、先住者の有無にかかわらずにウバガイに侵入し、ウバガイの捕食から逃れた個体のみが軟体部に付着する。宿主に侵入した幼若個体は、先住者が成体の場合には早々に排除され、幼若個体の場合には競争が始まって宿主から排出されなかった個体が生き残り、30 mg に成長するまでには単独生活に至る。

成体の死亡要因はほとんど明らかになっていないが、Gibson（1968）は、宿主による排出を死亡要因の一つとして論じた。2021 年 5 月 26 日に室温でウバガイ 14 個体を 3% 食塩水（並塩 日本海水（株））によって 16 時間（17:00～9:00）畜養したところ、全てのウバガイ（平均殻長 101 mm、標準偏差 4.1、範囲 94～107 mm）からヒモビル（平均重量 143 mg、標準偏差 79.0、範囲 9～249 mg）が生きた状態で脱落した（堀井，未発表）。海水による比較試験は行っていないが、海水かけ流しで保管した標本の共生率が概ね 90% を超えていることから、市販塩が何らかの刺激を、ウバガイあるいはヒモビルもしくは双方に与えたものと推測される。これは、外的要因による刺激によってヒモビルが宿主から脱落する可能性を示している。

これまで、*Malacobdella* 属が宿主に対して負の影響を及ぼさないことは報告されてきたが、宿主個体群に対する影響が検討された知見は認められない。しかし、本研究で標本が採集された海域は古くから好漁場として知られており（林，1972），高い共生率を示したにもかかわらず、現在でも国内における主要漁場となっている。したがって、ヒモビルによる共生がウバガイ資源に負の影響を及ぼす可能性は極めて低いと考えられる。

謝 辞

標本採集等にご協力いただいた各地の漁業協同組合および水産技術普及指導所の関係各位に深謝いたします。

引用文献

- Alfaya JE, Bigatti G, Kajihara H, Strand M, Sundberg P, Machordom A. DNA barcoding supports identification of *Malacobdella* species (Nemertea: Hoplonemertea). *Zoological Studies*. 2015a; 54: 1–9.
- Alfaya JE, David F, Galván DE, Machordom A, Penchaszadeh PE, Bigatti G. *Malacobdella arrokeana*: Parasite or Commensal of the Giant Clam *Panopea abbreviata*? *Zoological Science* 2015b; 32(6): 523–530.
- Gibson R. Occurrence of the entocommensal rhynchocoelan, *Malacobdella grossa*, in the Oval Piddock, *Zirfaea crispata*, on the Yorkshire coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 1967; 47: 301–317.
- Gibson R. Studies on the biology of the entocommensal rhynchocoelan *Malacobdella grossa*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 1968; 48: 637–656.
- Gibson R, Jennings JB. Observations on the diet, feeding mechanisms, digestion and food reserves of the entocommensal rhynchocoelan *Malacobdella grossa*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 1969; 49: 17–32.
- Gibson R. Nemertean genera and species of the world: an annotated checklist of original names and description citations, synonyms, current taxonomic status, habitats and recorded zoogeographic distribution. *Journal of Natural History* 1995; 29: 405–406.
- 林忠彦, 川村一広, 斎藤勝男, 寺井勝治, 涌井卓哉. ホッキガイについて (その2). 北水試月報 1963 ; 20(1) : 16–30.
- 林忠彦. 北海道におけるホッキガイ漁業の現状と問題点. 北水試月報 1972 ; 29(7) : 2–21.
- 北海道水産部. 昭和 28 ～ 59 年度北海道水産現勢. 札幌. 1957 ～ 1986.
- 北海道立函館水産試験場. 平成 5 ～ 8 年度事業報告書. 函館. 1995 ～ 1997.
- 波々伯部夏美. ホッキガイ寄生性の紐形動物ヒモビルの繁殖生態調査. 2019 年度厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究 研究実績報告書, 厚岸水鳥観察館, 北海道. http://www.akkeshi-bekanbeushi.com/josei/report/report_r01/2019_02.pdf, (2024.09.17).
- Hookabe N. Postembryonic development and lifestyle shift in the commensal ribbon worm. *Frontiers in Zoology* 2024; 21(13): 2–13.
- 堀井貴司, 阿部英治, 多田匡秀. 苫小牧海域老齡ホッキガイ資源の現況調査. 平成 5 年度事業報告書. 函館. 1995 ; 180–185.
- 堀井貴司, 村上修, 櫻井泉. ウバガイ *Pseudocardium sachalinense* の成長に及ぼす生息密度の影響. 日本水産学会誌 2002 ; 68(5) : 666–673.
- Ivanov VA, Bigatti G, Penchaszadeh PE, Norenburg JL. *Malacobdella arrokeana* (Nemertea: Bdellonemertea), a new species of nemertean from the southwestern Atlantic Ocean entocommensal in *Panopea abbreviata* (Bivalvia, Heterodonta, Hiatellidae) in Argentina. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 2002; 115(2): 359–367.
- Kajihara H. A Taxonomic Catalogue of Japanese Nemerteans (Phylum Nemertea). *Zoological Science* 2007; 24: 308–309.
- 河合三郎, 山岡貞一. 日本産蛭紐蟲 *Malacobdella japonica* TAKAKURA に就いて. 動物学雑誌 1940 ; 52(7) : 255–259.
- Kennel J. Contributions to the knowledge of Nemertean. *Arb. zool.-zootom. Inst. Würzburg* 1878; 4: 305–381 (in German).
- 木下虎一郎, 寺井勝治. 北海道産ホッキガイにおけるヒモビル *Malacobdella japonica* の寄生について (第 1 報). 北水試月報 1956 ; 13(12) : 543–545.
- 中川義彦, 角田富男, 阿部英治, 秦安史. 北海道東海岸重要資源 (ウバガイ) の実態調査. 平成 12 年度事業報告書. 北海道立釧路水産試験場, 北海道. 2002 ; 97–100.
- 長澤和也. ヒモムシ類. 「魚介類に寄生する生物 ベルソープック 009」日本水産学会, 東京. 2002 ; 65–66.
- Riepen O. Anatomy and histology of *Malacobdella grossa*. *Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie* 1933; 143: 323–496 (in German).
- 佐々木浩一. ウバガイ (ホッキガイ) の生態と資源. 水産研究叢書 1993 ; 42 : 1–85.
- 信太雅博. 鮎子および飯岡沿岸におけるウバガイ漁業. 千葉水試研報 1993 ; 51 : 11–16.
- 水産研究・教育機構水産資源研究所社会・生態系システム部, 青森県産業技術センター水産総合研究所, 宮

- 城県水産技術総合センター，福島県水産資源研究所，茨城県水産試験場．ウバガイ太平洋北部（青森，宮城～茨城）．「令和 5（2023）年度資源評価調査報告書（新規拡大種）」．水産庁・水産研究・教育機構，東京．2024；1-11．https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/trends_2023_211.pdf, (2024.12.18)．
- Takakura, U. On a new species of *Malacobdella* (*M. japonica*). *Annotationes zoologicae Japonenses* 1897; 1: 105–112.
- 高倉卯三磨．日本産 *Malacobdella* (nov.sp?) ニ就テ．動物学雑誌 1897；9(104)：233-237.
- 高橋昂大，栞原康裕．ウバガイ（北海道周辺海域）の資源状態の概要報告．「2024（令和 6）年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価書」．北海道立総合研究機構水産研究本部，余市．2024；617-622．<https://www.hro.or.jp/upload/52198/StockAssessment2024.pdf>, (2025.06.05)．
- 高丸禮好．ホッキガイ．北水試百周年記念誌，北海道立水産試験場，北海道．2001；215-221.
- Teso VS, Bigatti G, Bazterrica MC, Ciocco NF, Penchaszadeh PE. The reproductive cycle of the entocommensal nemertean *Malacobdella arrokeana* and its symbiosis with the geoduck *Panopea abbreviata*. *Invertebrate Biology* 2006; 125(4): 314-324.
- Yamaoka T. The fauna of Akkeshi Bay IX Nemertini. *Contributions from the Akkeshi Marine Biological Station* 1940; 32: 205-263.
- 横山勝幸，須川人志．ホッキガイ 青森県．「昭和 63 年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（二枚貝グループ）」．1989；1-18.
- 吉田秀嗣．ウバガイ．「北水試魚介類測定・海洋観測マニュアル（改訂版）」．北海道立中央水産試験場，北海道．2013；貝類，ウニ類，ナマコ -23-25.

飼育試験によるエゾアワビ餌料環境評価指標の検討

干川 裕*, 高谷義幸

元北海道立総合研究機構中央水産試験場

Consideration of the parameter indicating the food condition of abalone *Haliotis discus hannai* reared in a tank

HIROSHI HOSHIKAWA* and YOSHIYUKI TAKAYA

Formerly: Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

We investigated the relationship between actual food intake and the obesity level calculated from each weight (total weight, soft body weight, muscle weight, and muscle dry weight) and shell length, muscle moisture content, muscle glycogen content of Ezo abalone *Haliotis discus hannai* reared individually using raw kelp *Saccharina japonica* as bait and varying the amount of feeding to identify indicators suitable for evaluating the feed environment of abalone fishing grounds. The obesity level accurately reflected the amount of food consumed during a state of food shortage, however but no difference in food intake was detected when the amount of food increased. However, the moisture and glycogen contents more accurately reflected the amount of food consumed under a range of feeding conditions, from starvation to satiation.

キーワード：磯焼け，エゾアワビ，筋肉含水率，グリコーゲン含有率，飼育試験，餌料環境評価指標

日本海南西部の積丹半島から渡島半島西岸は北海道におけるエゾアワビ *Haliotis discus hannai* の主漁場の一つである。これらの漁場では 1950 年代から磯焼けが拡大し、海藻群落の消失による餌不足のためウニ類の身入り不良やエゾアワビの成長不良が起こっており (Saito, 1979; 藤田, 1987; 吾妻, 1995, 1997; 赤池ら, 2002; 干川, 2012), 対策として、ウニ類の食圧制御や、施肥及び栄養塩フラックスの増加によりコンブなどの海藻群落を回復させる取り組みが行われている (吾妻, 1997; 川井ら, 1999; 川井ら, 2002; 桑原, 2003; 栗林・赤池, 2014)。

このような磯焼け対策事業の効果を検討する際に、ウニ類では可食部である生殖巣重量が全重量に占める割合 (生殖巣指数) の改善を調べることで藻場回復効果を評価することができる (川井ら, 2002; 金田, 2009) のに対し、アワビ類では肥満度 (重量を殻長の 3 乗で除した指数) が飢餓や餌の量など餌料環境を反映しているという報告があるものの (川尻ら, 1981; 橋本ら, 2006; 滝尾ら, 2009), 餌料の種類による成長差を反映しないことや、飢餓の程度が小さい場合には餌の量に対応し

ていない等の問題点も指摘されている (Carefoot *et al.*, 1993; Jackson *et al.*, 2001; Qi *et al.*, 2010; 干川, 2012; 清本ら, 2019)。

一方、グリコーゲン等のアワビの体成分を生化学指標として、飢餓などのストレスや、漁場の餌料環境などの評価に用いた報告がある (Watanabe *et al.*, 1992; Carefoot *et al.*, 1993; 渡辺ら, 1993; Takami *et al.*, 1995; 中野ら, 1996; 橋本ら, 2006)。グリコーゲンは軟体動物の筋肉中に蓄積されエネルギー源として利用される重要な物質であり (Gddard and Martin, 1966; Carefoot *et al.*, 1993; 宮園・中野, 2000), 筋肉含水率と逆の季節変化を示すことが知られている (Watanabe *et al.*, 1992; 木村, 2003; 零石ら, 2004)。

そこで我々は、無給餌を含む異なる給餌条件下でエゾアワビを長期間飼育し、これまで報告されている全重量肥満度、軟体部重量肥満度、筋肉重量肥満度、筋肉乾燥重量肥満度および生化学的指標として筋肉含水率と筋肉グリコーゲン含有率について、実際に摂餌した餌の量との比較検討を行い、餌料環境評価指標としての有効性を評価した。

試料及び方法

供試アワビ 公益社団法人北海道栽培漁業振興公社で種苗生産され、松前町の漁港内で約2年間養殖されたエゾアワビ（以下、アワビとする）を試験に用いた。2014年に実施した実験1-1および実験1-2に供試したアワビは2014年6月4日に中央水産試験場に搬入し、砂濾過海水を掛け流したFRP製の1トン水槽（内寸縦175 cm, 横90 cm, 深さ70 cm, 水深60 cm）に設置したトリカルネット製のカゴ（縦70 cm, 横70 cm, 高さ50 cm, 水面までの深さ40 cm, 目合2 cm, シェルターあり）に収容して、試験開始（6月18日）まで無給餌で蓄養した。2015年の実験2に用いたアワビは同年5月15日に搬入し、試験開始（6月23日）まで2014年と同様に蓄養した。いずれの実験とも飼育試験開始時に全ての供試貝の殻長と全重量を測定した。また、各肥満度および生化学的指標の開始時の値を得るために、飼育試験に供試しなかったアワビから2014年7月2日と7日に合計20個体、2015年6月30日と7月6日に合計16個体をそれぞれ無作為に抽出し、殻長、全重量、軟体部重量、筋肉重量、筋肉含水率および筋肉グリコーゲン含有率（2015年のみ）を測定した。

実験1-1 アワビの成熟・産卵時期にあたる2014年6月18日から9月16日まで90日間飼育を行った。飼育試験では前述の1トン水槽にトリカルネット製の小カゴ（縦13 cm, 横10 cm, 高さ22 cm, 水面までの深さ15 cm, 目合5 mm, シェルターなし）を計64個配置し、搬入したアワビから無作為に抽出した計64個体を1個体ずつ収容した。餌は噴火湾で養殖された生鮮マコブ *Saccharina japonica* を用い、無給餌の0%と、1日当たりの給餌量を開始時平均全重量の1%、3%および5%に調整した3給餌区の計4区（各16個体）を設定し、1週間に1回7日分を給餌した。給餌時にカゴ内に残餌があった場合は、取り出してその重量を測定し、給餌量との差を摂餌量とした。各個体の総摂餌率（Total food intake ratio : TFIR）および日間摂餌率（Daily food intake ratio : DFIR）を下記の式で求めた。

$$\text{総摂餌率} = \text{総摂餌量} / ((\text{開始時全重量} + \text{終了全重量}) / 2) \times 10^2$$

$$\text{日間摂餌率} = \text{総摂餌量} / ((\text{開始時全重量} + \text{終了全重量}) / 2) / \text{給餌日数} \times 10^2$$

これらは後述する実験1-2および実験2においても、同様に算出した。

水温調整をしていない砂濾過海水を、1トン水槽全体での日間換水率が約15回になるように掛け流し、エアーストーンで通気した。水温は飼育開始時に14℃であっ

Water temperature 2014 and 2015

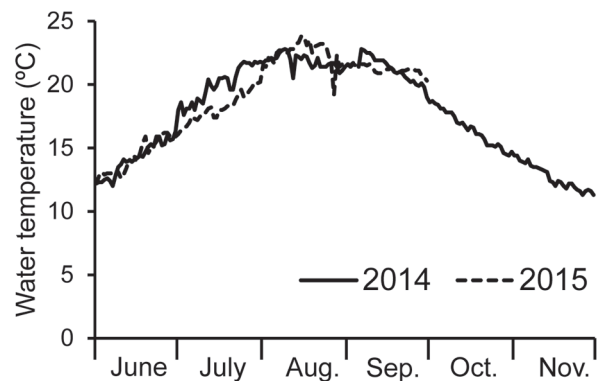


Fig.1 Temperature of the seawater used for *Haliotis discus hannai* rearing experiments in 2014 (Experiment 1-1 and Experiment 1-2) and 2015 (Experiment 2). The temperature was measured at seawater intake equipment at 10:00 every morning.

たがその後徐々に上昇し、8月上旬には22℃、試験終了時の9月中旬には21℃であった（Fig. 1）。

実験1-2 飼育開始時期と試験施設および給餌方法は実験1-1と同様であったが、飼育期間は実験1-1を延長して成熟から産卵後の回復時期を含む2014年11月25日までの160日間とした。9月中旬以降、飼育水温は下降を続け11月下旬には12℃となった（Fig. 1）。

実験2 飼育方法は実験1-1および実験1-2と同様だったが、給餌量をさらに増やした場合の各指標の変化を調べるために開始時平均全重量の1%、3%、5%および10%となる給餌区を設定した。飼育期間は実験1-1とほぼ同様に2015年6月23日から9月25日の94日間だった。飼育水温は試験開始時には15℃だったが、8月には23℃まで上昇し、試験終了時の9月下旬には21℃であった（Fig. 1）。

各肥満度 全重量肥満度（condition index : CI）、軟体部重量肥満度（condition index of soft body : CIS）、筋肉重量肥満度（condition index of muscle : CIM）、筋肉乾燥重量肥満度（condition index of dried muscle : CIDM）を下記の式で求めた。開始時のCIは、各実験に供試した全個体（64個体）の値を用いた。CISとCIMおよびCIDMの開始時の値は、前述したように供試貝とは別に測定したアワビの値を用いた。

$$CI = \text{全重量 (g)} / SL^3 \times 10^5$$

$$CIS = \text{軟体部重量 (殻以外の軟体部重量 (g))} / SL^3 \times 10^5$$

$$CIM = \text{筋肉重量 (軟体部の筋肉重量 (g))} / SL^3 \times 10^5$$

$$CIDM = \text{筋肉乾燥重量 (筋肉重量 (g) \times (1 - \text{筋肉含水率} / 100))} / SL^3 \times 10^5$$

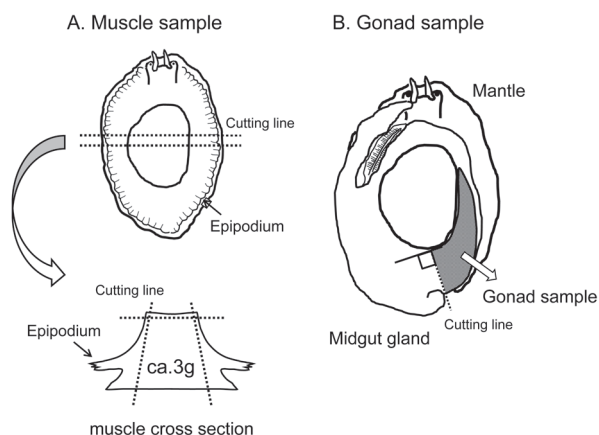


Fig.2 Sampling method and position for muscle and gonad sampling of *Haliotis discus hannai*.

ただし、SLは殻長（mm）を示す。

筋肉含水率（以下、含水率とする） アワビの筋肉は、殻についている閉殻筋と移動や海底への付着に用いる足部筋肉からなっており（Olaechea *et al.*, 1996）、含水率は閉殻筋と足部筋肉の中央部で低く、足部筋肉縁辺部では高い（渡辺ら, 1993）。部位によるばらつきを避けるため、含水率が低い閉殻筋と足部筋肉の中央部付近で正中線に直交するように厚さ約3 mmで切断した筋肉小片を含水率測定に用いた（Fig. 2）。この筋肉小片が殻に付着していた面には殻内部の真珠層の碎片を含む個体があったため、Fig. 2に示したように閉殻筋上面を厚さ1 mmほど切除した。また、上足突起に付着する水分の影響を除去するために上足を含む両側面も取り除いた。これらの処理を行った筋肉小片（湿重量で約3 g）を、事前に乾燥重量を測定した市販のアルミカップに入れ湿重量を小数点以下4桁まで電子天秤（AE240, メトラー社製）で測定した後に乾燥機（DS64, ヤマト科学株式会社製）により60℃で24時間乾燥後、恒量に達するまで105℃で72時間以上乾燥した。冷却後に乾燥重量を測定し、下記の式で含水率を求めた。

含水率 = (筋肉小片湿重量 - 筋肉小片乾燥重量) / 筋肉小片湿重量 × 10²

筋肉グリコーゲン含有率（以下、グリコーゲン含有率とする） 閉殻筋から別の筋肉小片（湿重量0.2 g程度）を切り出し、秤量済みラウンドチューブ（14 mLポリプロピレンラウンドチューブBDファルコン型番352059）に入れて湿重量を測定した。その後、真空凍結乾燥して乾燥重量を求めた。これに30% KOHを加えて加温溶解し、Watanabe *et al.*, (1992)の方法でグルコースを抽出した。グルコースは、臨床用検査キット（グルコースC IIテストワコー, 和光純薬製）を用いて定量したが、

定量の際には試薬の容量を調整の上、マイクロプレートを用いてマイクロプレートリーダー（INFINITE F50, TECAN社製）の波長490 nmで測定した。これに0.9を乗じてグリコーゲン量とし、乾燥重量当たりの含有率（%）を算出した。

生殖腺指数 中腸腺および生殖腺の体積を求めるために、中腸腺と生殖腺を含む角状突起をFig. 2に示したように筋肉部分から取り外し、70%エタノールで固定した。この標本を切断部から先端にかけて長さ約1 cmごとに分割し、断面の長径と短径を測定した。清本ら（2016）の手法と同様に、先端は楕円錐とし、基部は楕円錐台として体積を求めた。全体体積から中腸腺体積を引いた値を生殖腺体積とし、下記の式で生殖腺指数（GI）を求めた。

$$GI = \text{生殖腺体積 (mm}^3\text{)} / SL^3 \times 10^4$$

殻長と重量の成長 殻長の成長については、下記に示した終了時と開始時の差を飼育日数で除した日間成長量（DGA）を用いた。

$$DGA (\mu\text{m/日}) = (SL_b - SL_a) / \text{飼育日数} \times 10^3$$

ただし、SL_aは開始時殻長（mm）、SL_bは終了時殻長（mm）を示す。

体重の成長については、下記に示した瞬間成長率（SGR）を用いた。

$$SGR = (\ln W_b - \ln W_a) / \text{飼育日数} \times 10^4$$

ただし、W_aは開始時湿重量（g）、W_bは終了時湿重量（g）を示す。

統計検定 開始時の各給餌区の殻長と全重量、全重量肥満度（CI）では正規性と等分散が認められたため、一元配置分散分析（以下ANOVA）により給餌区間の平均値の差を検定した。有意差が検出された実験2の肥満度については多重比較としてTukey-Kramer検定を行った。飼育試験終了時における給餌区間の日間摂餌率、各肥満度、含水率、グリコーゲン含有率、殻長日間成長量、体重の瞬間成長率および生殖腺指数では、正規性あるいは等分散が認められなかったため、Kruskal-Wallis検定を行い、給餌区間および開始時との間で有意差が認められた場合には、多重比較としてSteel-Dwass検定を行った。総摂餌率と各肥満度、含水率およびグリコーゲン含有率との相関分析にはPearsonの積率相関係数を用いた。その際に、各指標値の有効性をさらに詳しく調べるため、4給餌区を対象にした場合、最少給餌区を除く3給餌区（実験1-1と1-2では1%区、3%区および5%区、実験2では3%区、5%区および10%区）を対象にした場合、そして最少給餌区と次に少なかった給餌区を除く2給餌区だけを対象とした場合に分けて、相関関係の有意性を検討した。これらの計算には、フリー統計ソ

フト R ver.4.3.3 (R Core Team. R Foundation for Statistical Computing, Vienna) を用い, 有意水準は 5% とした。

結 果

供試員の開始時殻長, 重量および全重量肥満度 両年の試験開始時に測定したアワビの殻長, 全重量および全重量肥満度 (CI) を Table 1 に示した。実験 1-1 と 1-2 に用いたアワビの平均殻長は 63.1 ~ 64.5 mm, 平均全重量は 35.9 ~ 39.9 g, 平均 CI は 13.9 ~ 14.8 であり, 両実験とも給餌区間では差はなかった (ANOVA $p > 0.05$)。実験 2 に用いたアワビの平均殻長は 67.6 ~ 68.6 mm, 平均全重量は 43.7 ~ 46.3 g, 平均 CI は 13.8 ~ 14.4 であった (Table 1)。殻長と全重量では給餌区間で差は認められなかった。平均 CI は給餌区間で有意差が検出されたが (ANOVA $p < 0.05$), 多重比較では有意差のある給餌区の組み合わせはなかった (Tukey-Kramer 検定, $p > 0.05$)。

給餌率と摂餌率 Fig. 3 に各実験における給餌率と日間摂餌率の関係を示した。設定された給餌率に応じて日間摂餌率は変化し, 各給餌区間で有意な差が認められた (Steel-Dwass 検定, $p < 0.01$)。日間摂餌率は給餌率 1% では給餌率とほぼ同様であったが, 給餌率が高くなるのに伴いそれを下回り, 給餌率 5% に対して 3.4 ~ 4.4%, 10% に対して 5.1% (いずれも中央値) であった (Fig. 3)。

供試員の生残率, 給餌率と各肥満度, 含水率およびグリコーゲン含有率の関係 各実験における供試員の生残率は, 実験 1-1 では全ての給餌区で 100%, 実験 1-2 では 1% 区と 5% 区が 100%, 0% 区が 81.3%, 3% 区が 93.8%, そして実験 2 では 1% 区と 3% 区が 100%, 5% 区と 10% 区が 93.8% だった。

Fig. 4 に各実験における給餌率と各指標値の関係を示した。各指標の傾向は以下のとおりであった。

各肥満度

実験 1-1 および実験 1-2

給餌率 0% 区は開始時および他区に対して有意に低く (CI, CIS, CIM, CIDM), 特に実験 1-2 で顕著であった。

給餌率 1% 区は CIM のみ開始時と同等だったが, それ以外は開始時より低下した (CI, CIS, CIDM)。

給餌率 3 ~ 5% 区は開始時と同等の肥満度が多かったが (実験 1-2 の CI, CIS, CIM, CIDM), 低下したもの (実験 1-1 の CI, CIS) もあった。

給餌率 1 ~ 5% 区では給餌率の増加に応じて増加傾向を示した (CI, CIS, 実験 1-2 の CIM, CIDM) が, 傾向が不明瞭な場合 (実験 1-1 の CIM) もあった。

実験 2

CI は給餌率 1 ~ 10% の全区で開始時より有意に低下した。

給餌率 1% 区は他区よりも低い傾向が顕著であった (CI, CIS, CIM の 3% 区および 5% 区, CIDM)。

いずれの肥満度でも給餌率 3 ~ 10% 区の差が検出されなかった (CI, CIS, CIM, CIDM)。

含水率 (MC)

Table 1 Initial size and condition index of *Haliotis discus hannai* used in the experiment with four food-ratio treatments ($n = 16$ in each treatment)

Experiment	Treatment	Shell length	Wet weight	Condition index (CI)
		Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
1-1	0%	64.11 $\pm$ 2.34	37.83 $\pm$ 4.43	14.43 $\pm$ 1.21
	1%	64.19 $\pm$ 1.40	39.25 $\pm$ 4.44	14.82 $\pm$ 1.04
	3%	64.11 $\pm$ 2.12	37.90 $\pm$ 3.90	14.39 $\pm$ 1.32
	5%	63.48 $\pm$ 1.25	35.95 $\pm$ 4.11	14.03 $\pm$ 1.18
1-2	0%	63.70 $\pm$ 2.39	36.09 $\pm$ 4.25	13.93 $\pm$ 1.10
	1%	64.53 $\pm$ 1.75	39.08 $\pm$ 2.58	14.55 $\pm$ 0.90
	3%	63.15 $\pm$ 1.91	36.80 $\pm$ 3.77	14.60 $\pm$ 1.06
	5%	64.15 $\pm$ 1.75	37.10 $\pm$ 4.56	14.04 $\pm$ 1.44
2	1%	68.13 $\pm$ 1.39	43.78 $\pm$ 2.87	13.84 $\pm$ 0.67
	3%	68.49 $\pm$ 1.39	46.35 $\pm$ 2.69	14.43 $\pm$ 0.73
	5%	67.66 $\pm$ 1.71	44.79 $\pm$ 2.54	14.47 $\pm$ 0.70
	10%	68.68 $\pm$ 1.09	45.29 $\pm$ 2.55	13.98 $\pm$ 0.63

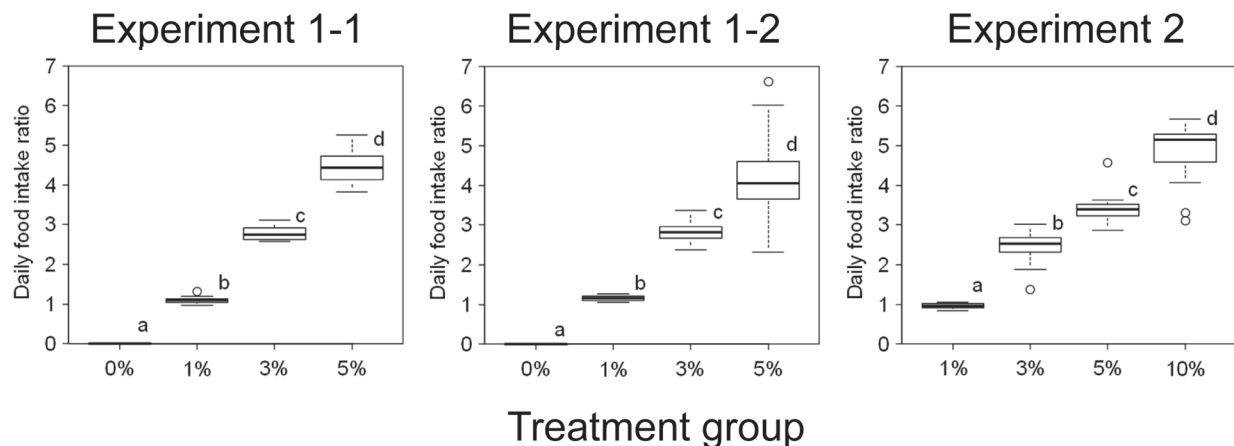


Fig. 3 Food intake ratio of *Haliotis discus hannai* in each treatment group.

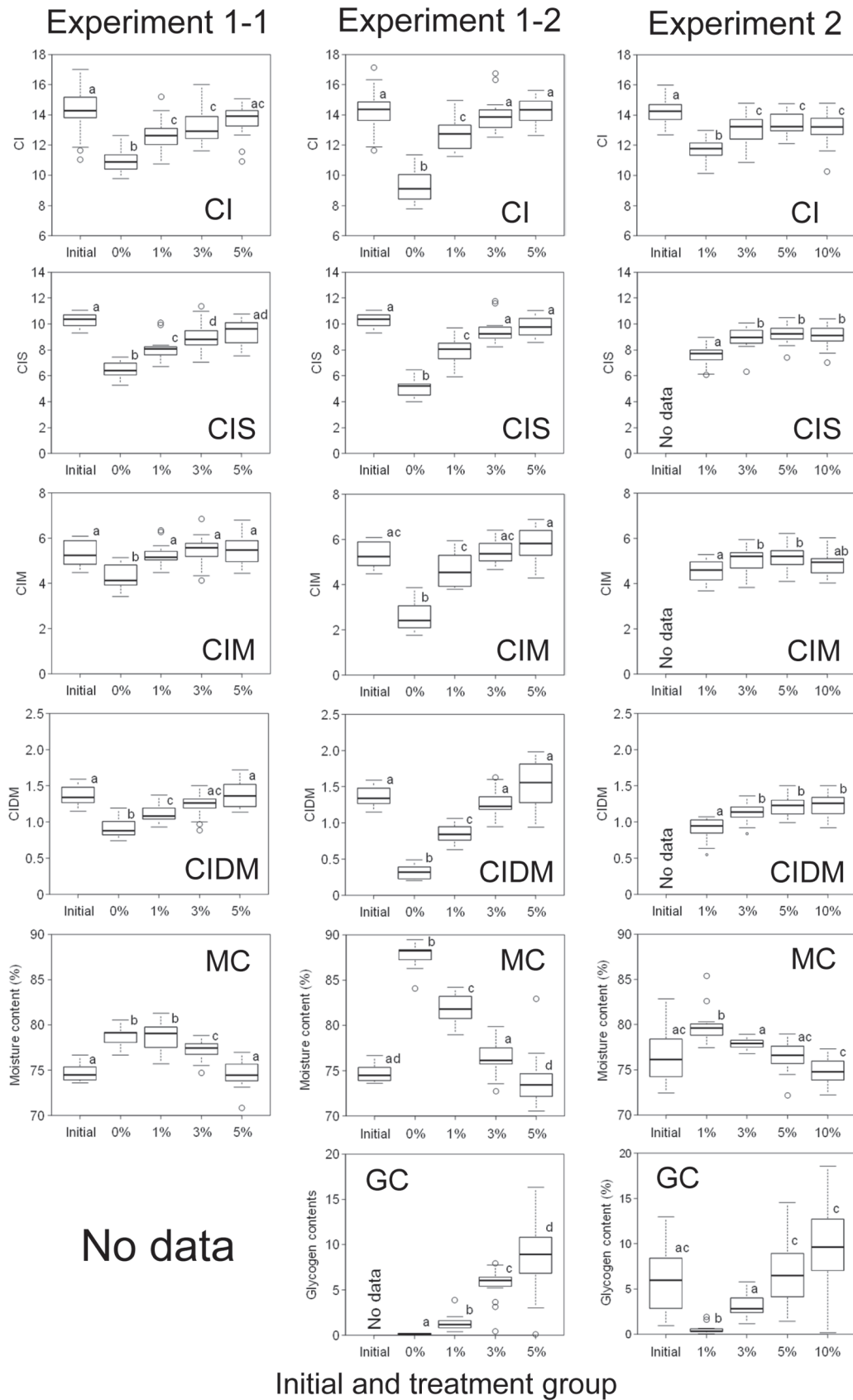


Fig.4 Condition index (CI), Condition index of soft body (CIS), Condition index of muscle (CIM), Condition index of dried muscle (CIDM), moisture content (MC), and glycogen content (GC) of *Haliotis discus hannai* reared in each treatment group. Superscript letters indicate significant differences among groups ($p < 0.05$, Steel–Dwass test).

実験 1-1 および実験 1-2

給餌率 0%区および 1%区で開始時 (約 75%) よりも顕著に上昇した (最大 88.2%)。

給餌率 1 ~ 5%区では給餌率の増加に応じて明瞭に低下した。

給餌率 3%区 (実験 1-2 のみ) および 5%区では開始時と同等まで低下した。

実験 2

給餌率 1%区は開始時および他区より有意に上昇した (79.6%)。

給餌率 1 ~ 10%区では給餌率の増加に応じて明瞭な低下傾向を示した。

給餌率 10%区は 3%区よりも有意に低下した。

グリコーゲン含有率 (GC)

実験 1-2

給餌率 0 ~ 5%区で給餌率の増加に伴い 0.1% から 8.9%まで明瞭に増加し, 各給餌区間で有意差があった。

実験 2

給餌率 1%区 (0.3%) は開始時 (5.9%) および他区より有意に低下した。

給餌率 3 ~ 10%区では給餌率の増加に伴い 2.8% から 9.6%まで増加し, 5%区および 10%区は 3%区よりも有意に高かった。

Fig. 5 に実験 1-2 および実験 2 における含水率とグリコーゲン含有率の関係を示した。両者の間には強い負の相関関係が認められた ($p < 0.001$)。

成長と成熟に及ぼす給餌率の影響 給餌率別の殻長日間成長量 (以下, DGA とする) と体重瞬間成長率 (以下, SGR とする), および生殖腺指数 (以下, GI とする) を Fig.6 に示した。

DGA

実験 1-1 では 1.1 ~ 8.3 $\mu\text{m}/\text{日}$ と全般に低く, 給餌率間でも差は認められなかった。

実験 1-2 では給餌率の増加に応じて増加し, 3%区と 5%区は約 10.0 $\mu\text{m}/\text{日}$ で 1%区 (0.9 $\mu\text{m}/\text{日}$) より有意に高かった。

実験 2 でも同様に 3 ~ 10%区では 13.3 ~ 21.2 $\mu\text{m}/\text{日}$ と高く, 5%区と 10%区では 1%区 (4.2 $\mu\text{m}/\text{日}$) よりも有意に高かった。

SGR

-30 から 10 程度の間で変化した。

各実験ともに給餌率の増加に伴い増加した。

中央値が 0 以上の値となったのは実験 1-1 の 5%区, 実験 1-2 の 3%区と 5%区, および実験 2 の 5%区と 10%区のみであった。

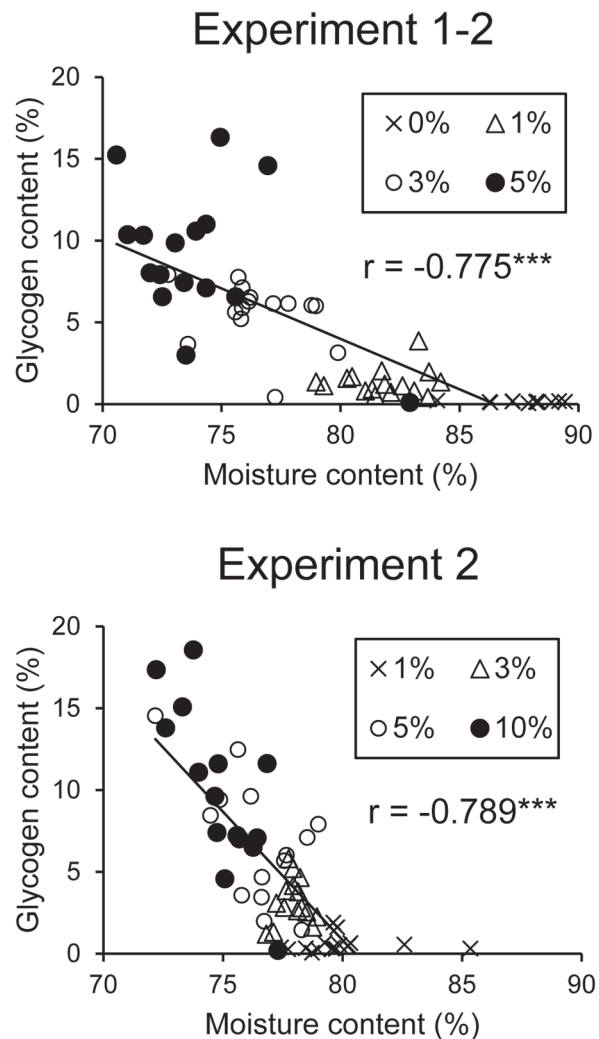


Fig.5 Relation between the moisture and the glycogen contents in Experiment 1-2 and Experiment 2. (***: $p < 0.001$)

GI

0 から 60 程度の間で変化した。

各実験ともに給餌率の増加に伴い増加した。

飼育期間が異なる実験もあるが, ある給餌率に対する GI は各実験とも似た値であった。

総摂餌率と各肥満度, 筋肉含水率およびグリコーゲン含有率との関係 各実験における個体ごとの総摂餌率に対する, 各肥満度, 筋肉含水率および筋肉グリコーゲン含有率の関係を Fig. 7 に示した。また, Table 2 に 4 給餌区全てを対象にした場合, 最少給餌区を除く 3 給餌区を対象にした場合および最少給餌区と次に少なかった給餌区を除く 2 給餌区を対象とした場合の, 総摂餌率と各指標との相関係数および p 値を示した。4 給餌区全てを対象にした場合は, 総摂餌率と全ての指標との間に有意な相関関係が認められた ($p < 0.05$)。含水率だけが負の

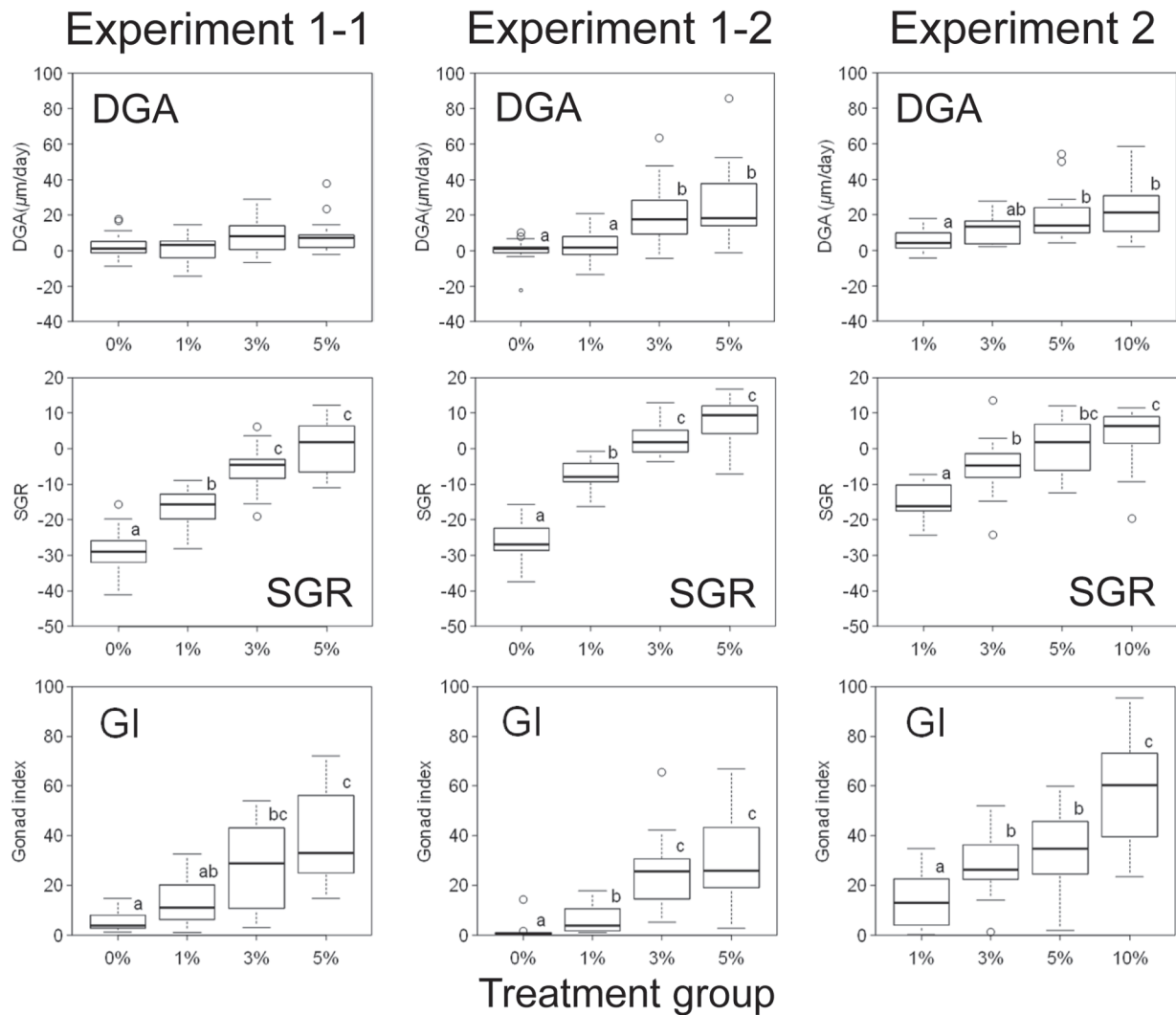


Fig.6 Daily growth amount in shell length (DGA), growth ratio in body weight (SGR), and gonad index (GI) of *Haliotis discus hannai* reared in each treatment group. Superscript letters indicate significant differences among groups ($p < 0.05$, Steel-Dwass test).

相関関係を示し、他の指標は正の相関関係を示した。また、実験 1-1 では 0% 区を除く 3 給餌区での相関関係は CIS と CIDM および含水率でのみ有意であり、0% 区と 1% 区を除く 2 給餌区では筋肉含水率のみが有意であった。実験 1-2 では、3 給餌区ではすべての指標が有意であったが、2 給餌区では CIDM、含水率およびグリコーゲン含有率だけが有意であった。実験 2 では 1% 区を除く 3 給餌区で有意であったのは CIDM と含水率およびグリコーゲン含有率で、さらに 2 給餌区では実験 1-1 と同様に含水率とグリコーゲン含有率だけが有意であった (Table 2)。これらの結果は、各肥満度 (実験 1-2 の CIDM を除く) は総摂餌率が 300 ないし 400 以上になると頭打ちとなり変化が少なくなる一方、含水率とグリコーゲン含有率は総摂餌率の全範囲にわたり、それに応じて有意に変化することを示している。

考 察

本研究で設定した給餌区は実験 1-1 および 1-2 が 0% 区 (無給餌) から 5% 区まで、実験 2 が 1% 区から 10% 区までのそれぞれ 4 段階だったが、給餌区に対する実際の日間摂餌率は 5% 区以上では減少し、特に実験 2 の 10% 区の日間摂餌率は 5.1% と設定値の半分だった (Fig. 3)。このことから、5% 区と 10% 区における給餌量はアワビにとって飽食量かそれ以上であったと考える。

飼育実験実施期間の水温は、開始時の 6 月下旬は 15°C であったが 8 月には 23°C になり、実験 1-1 と実験 2 が終了した 9 月は 21°C、実験 1-2 が終了した 11 月下旬には 12°C まで低下した (Fig. 1)。エゾアワビは水温が 8.2°C から 20°C の範囲では、水温の上昇に伴い摂餌率が増加することが報告されている (Uki and Kikuchi,

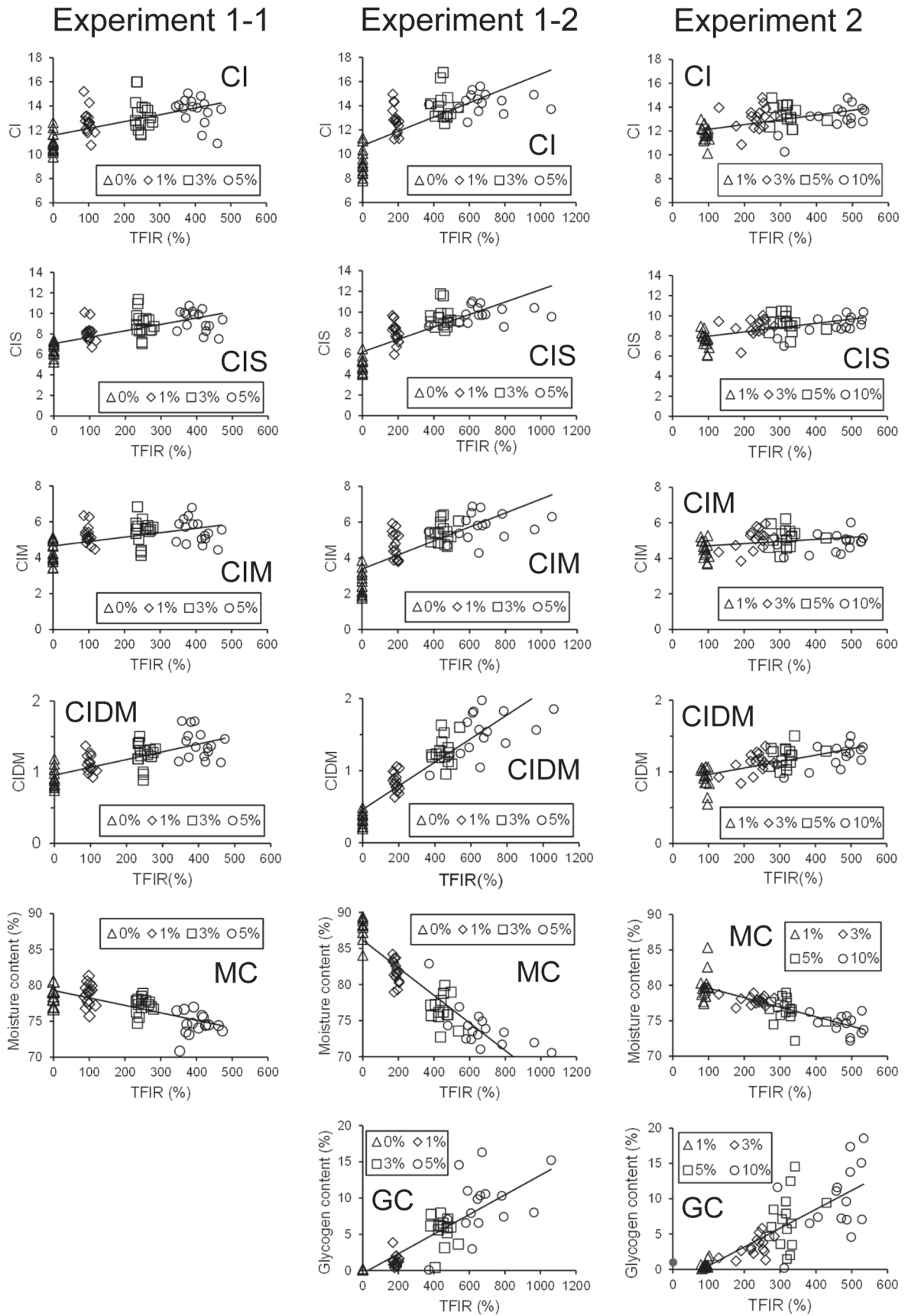


Fig.7 Relationship between the total food intake ratio (TFIR) and each parameter (CI, CIS, CIM, CIDM, moisture content, and glycogen content).

Table 2 Correlation efficiency between total food intake ratio and each parameter (CI, CIS, CIM, CIDM, moisture content, and glycogen content) in three groups as the full model, without the minimum treatment group, and without the minimum and next fewer treatment group with *p*-value for the correlation efficient

		Full model		Without "0%"		Without "0%" & "1%"		
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	
Experiment 1-1	Parameter	CI	0.597	1.894E-07	0.106	0.471	-0.044	0.8079
		CIS	0.681	5.768E-10	0.388	0.0063	0.041	0.8235
		CIM	0.493	3.44E-05	0.259	0.075	0.013	0.9412
		CIDM	0.722	1.26E-11	0.538	7.94E-05	0.312	0.082
		Moisture content	-0.746	1.457E-12	-0.767	2.025E-10	-0.677	2.08E-05
		Full model		Without "0%"		Without "0%" & "1%"		
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	
Experiment 1-2	Parameter	CI	0.730	3.365E-11	0.557	4.78E-05	0.099	0.5947
		CIS	0.788	7.484E-14	0.582	1.76E-05	0.209	0.2571
		CIM	0.792	6.956E-13	0.460	0.0011	0.323	0.0754
		CIDM	0.902	2.2E-16	0.820	1.63E-12	0.591	0.00046
		Moisture content	-0.924	2.2E-16	-0.874	6.25E-17	-0.692	1.56E-05
	Glycogen content	0.848	2.2E-16	0.798	1.822E-11	0.578	0.00069	
		Full model		Without "1%"		Without "1%" & "3%"		
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	
Experiment 2	Parameter	CI	0.517	1.66E-05	0.158	0.2930	0.172	0.3611
		CIS	0.566	1.69E-06	0.246	0.0986	0.208	0.2692
		CIM	0.289	0.02252	0.007	0.9635	-0.042	0.8237
		CIDM	0.666	3.26E-09	0.455	0.00145	0.336	0.0694
		Moisture content	-0.801	5.65E-15	-0.748	2.30E-09	-0.611	3.30E-04
	Glycogen content	0.800	1.01E-14	0.687	1.82E-07	0.508	0.00408	

Bold letter shows the significant correlation ($p < 0.05$)

1982)。水温の変化は飼育実験におけるアワビの摂餌活動に影響を及ぼしたと推察されるが、全ての給餌区が同じ水温条件であったことから、実験結果に大きく影響したとは考えにくい。

アワビ類では飢餓状態になると筋肉や中腸腺に含まれるグリコーゲンやトリグリセライドが5～10日で減少し、その後は筋肉内のタンパク質を分解してエネルギー源とし長期間の飢餓に耐える（瀬川，1991；Carefoot *et al.*, 1993；Takami *et al.*, 1995）。静岡県下田市沿岸で報告された黒潮の大蛇行による磯焼けでは、沿岸のカジメ群落の著しい枯死とアワビの死亡が起こった（川尻ら，1981）。下田市沿岸の磯焼け漁場から採集されたアワビは採集直後から水分と体液が滲み出して軟体部が委縮しており、飢餓に起因する筋肉内のタンパク質分解が起こっていたと推察される。

川尻ら（1981）は、飽食および絶食条件で飼育したアワビの肥満度と、カジメ群落および磯焼け漁場から採集

したアワビの肥満度を比較した結果、肥満度が餌料条件を反映していることを報告している。造成人工礁のカゴ内に放流したアワビ稚貝について給餌区と無給餌区で肥満度を調べた報告では、給餌区の肥満度が無給餌区より高い値を示した（滝尾ら 2009）。一方、北海道南西部沿岸で、海藻が生育している漁場と磯焼け漁場から採集したアワビの CIS を季節別に調べた報告（干川，2012）では、海藻が繁茂する6月の CIS が産卵期の9月および産卵後の11月に比べて高かったが、いずれの季節でも餌料環境の異なる漁場間で CIS に差は認められなかった。滝尾ら（2009）の飼育試験では無給餌区のアワビは摂餌行動がカゴ内に制限されていたのに対して、干川（2012）が調査した漁場では磯焼けの場所でも無節サンゴモ上の付着珪藻類や小型の海藻、流れ藻などの餌料が存在したことと、アワビ自身が摂餌のために移動したことで CIS に差を生じるほど摂餌量に違いがなかった可能性が考えられる。本研究では各肥満度とも給餌率0%区の値が他の

給餌区に比べて有意に低かった (Fig. 4)。特に飼育期間が 160 日と長かった実験 1-2 ではその傾向が顕著であった。このように飢餓状態の期間が長くなると、各肥満度が低下することは、川尻ら (1981) および滝尾ら (2009) の結果と一致していた。以上のことから、各肥満度は飢餓状態のアワビを判定する有効な指標であると考えられる。

一方、3%以上の給餌率では、いずれの実験においても各肥満度に給餌区間の差は検出されず、総摂餌率との相関関係も CIDM 以外では認められなかった (Fig. 4, Table 2)。DGA および SGR を検討すると (Fig. 6)、1%以下の給餌率では DGA は 0 前後、SGR はマイナスの値であるのに対し、3%以上では概ね両者ともプラスに転じていた。したがって、0%区および 1%区では殻長は変化せず重量だけが減少したため両者を元に算出した各肥満度は低下したのに対し、給餌率が 3%区以上の給餌区では殻長と重量の両方が成長した結果、各肥満度の変化が少なくなり給餌率や総摂餌率の差を反映しなかったと推察される (Fig. 7)。すなわち、飢餓などの過酷な条件下では各肥満度はその状況をよく反映するが、藻場が回復して餌条件が改善された場合には、その程度の差を肥満度で評価することは困難であることを示唆している。なお、CIDM は筋肉湿重量を筋肉含水率で補正しており、実験 1-2 では飼育期間の長期化に伴い給餌区間での含水率の差が大きくなった (Fig. 4) ことにより、総摂餌率との間に他の肥満度では確認できなかった有意な相関関係が認められたと推察される。

アワビと同じ植食性腹足類のサザエでは、飢餓状態の評価で RNA/DNA 比やグリコーゲン含有量など生化学的指標の有効性が示唆された (Okumura *et al.*, 2002)。アワビのヤセ貝は正常貝に比べ水分が多く、グリコーゲン含有量が少ない (橋本ら, 2006)。クロアワビの含水率は餌のある春から夏にかけて 59.1 ~ 61.5%と低くなり、餌が少ない冬には 75.2 ~ 76.5%と高くなった (Watanabe *et al.*, 1992)。また、同報告ではグリコーゲンは逆に夏に 6%以上と高く、冬には 3.2%と低かった。岩手県沿岸の漁場から採集したエゾアワビ足部筋肉の構成成分は水分、タンパク質およびグリコーゲンで、特に水分は約 69%と最も多かった (中野ら, 1996)。本研究で飢餓状態の 0%区の含水率は 79.0 ~ 88.2%, 飽食状態の 5%区および 10%区の含水率は 73.4 ~ 74.8%であった (Fig. 4)。これらの値は中野ら (1996) や Watanabe *et al.*, (1992) に比べると高かった。この理由として、アワビ類の含水率を求める方法の違いが影響している可能性が挙げられる。本研究では、アワビが生きている状態で軟体部を殻から外し、ただちに足部筋肉小片を切り出して分析用サ

ンプルとしたが、中野ら (1996) は岩手県で採集したアワビを -50°C の冷凍庫で一旦凍結してから東京に搬送し、解凍後に腹足筋を採取した。また、その腹足筋を液体窒素で再び急速凍結し分析を行うまで -40°C で保存した。一方、海洋深層水を利用して飽食給餌で 1 年間養殖したアワビの筋肉含水率は 72.9 ~ 74.4%であり (原田ら, 2012)、我々の結果と同様の値だった。

ホタテガイ閉殻筋の一般成分について季節変化を調べた研究 (木村, 2003; 雫石ら, 2004) では、Watanabe *et al.*, (1992) や本研究の結果と同様にグリコーゲン量と水分量は逆の変動を示した。ホタテガイの閉殻筋はエネルギー蓄積器官として重要であり、主な蓄積物質はグリコーゲンとタンパク質で、特にグリコーゲンは優先的に蓄積と消費される特性がある (宮園・中野, 2000)。アワビでも前述したように飢餓状態ではグリコーゲンはエネルギー源としてすぐに消費されるため、餌条件の違いを検出する指標として有効であると考ええる。また、含水率はアワビだけでなくホタテガイでもグリコーゲン量と逆の変動を示すことから、主要なエネルギー源であるグリコーゲン量を間接的に評価する指標となると考える。

アワビでは餌の量が成長だけでなく、成熟にも影響を及ぼすことが知られている (Uki and Kikuchi, 1982; 高見ら, 2012; 清本ら, 2016)。本研究でも 3%区以上の飼育区で生殖腺指数の値が明瞭に上昇し (Fig. 6)、成熟に伴い生殖腺の体積が増加したことを示している。一方で、無給餌の 0%区でも実験 1-1 で僅かだが生殖腺が発達した個体が含まれていた。エゾアワビでは無給餌でも成熟して卵数は少ないが産卵に至ったという報告がある (高見ら, 2012)。殻長や重量の成長量が 0 に近い 3%区でも生殖腺指数が増えたことは、自らの成長よりも再生産に優先的にエネルギーを配分している可能性が考えられる。

今回検討した 6 種類の指標と総摂餌率との相関関係を調べた結果、全給餌区を対象とした場合には各指標とも有意な正もしくは負の相関関係が認められた (Table 2) が、総摂餌率が増加するに伴い、各肥満度は総摂餌率との相関関係が弱くなったのに対し、筋肉含水率および筋肉グリコーゲン含有率は総摂餌率によく対応していた (Table 2, Fig. 7)。したがって、これらの 2 指標は、生息場所の餌量が減少した場合だけでなく増加した場合でも、その変化を評価することが可能であると推察される。筋肉グリコーゲン含有率はサンプルの処理過程が複雑であり、分析機器が必要なことに加えて分析に要する時間も長い。一方、同等の検出力がある筋肉含水率の測定は電子天秤と乾燥機があれば可能である。そのため、アワビの餌料環境をより簡便に評価する指標として含水率が

有効であると考え。今後は、餌料環境が異なる漁場から採集したアワビについて筋肉含水率および筋肉グリコーゲン含有率を調べ、漁場における有効性を確認する必要がある。

謝 辞

本研究の実施にあたり試験用アワビの入手等でご協力を賜った、松前さくら漁業協同組合ならびに松前町役場、北海道渡島地区水産技術普及指導所松前支所の職員の方々に厚くお礼申し上げます。本研究は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「生態系ネットワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発」の一環として実施された。

引用文献

- 吾妻行雄. 北海道における磯焼けの現状と対策. 「地球環境シンポジウム “磯焼けの現状と課題” (佐々木達編)」株式会社エコニクス, 札幌. 1995 ; 31-47.
- 吾妻行雄. キタムラサキウニの個体群動態に関する生態学的研究. 北海道立水産試験場研究報告 1997 ; 51 : 1-66.
- 赤池章一, 津田藤典, 桑原久実. 北海道岩内沿岸における天然コンブ群落の形成と維持. 北海道立水産試験場研究報告 2002 ; 63 : 41-54.
- Carefoot TH, Qian PY, Taylor BE, West T, Osborne J. Effect of starvation on energy reserves and metabolism in the Northern abalone, *Haliotis kamtschatkana*. *Aquaculture* 1993 ; 118 : 315-325.
- 藤田大介. 北海道大成町の磯焼けに関する聞き取り調査. 水産増殖 1987 ; 35 : 135-138.
- Goddard CK, Martin AW. Carbohydrate Metabolism. In *Physiology of Mollusca. Vol. II*, 1966 ; 275-308. Ed. Wilbur KM, Yonge CM. Academic press Inc., New York • London.
- 原田恭行, 熊谷敬之, 小善圭一, 横井健二. 異なる餌料で養殖したアワビ F1 交雑種の肉質の比較. 日本水産学会誌 2012 ; 78 : 945-950.
- 橋本加奈子, 田中種雄, 田中邦三, 石田修, 河西伸治, 池上直也, 清野英明. 千葉県におけるアワビ「ヤセ貝」の出現状況とその性状 (資料). 千葉県水産総合研究センター研究報告 2006 ; 1 : 139-151.
- 干川裕. 北海道の磯焼け海域における群集構造の特徴とエゾアワビの再生産に及ぼす磯焼けの影響. 日本水産学会誌 2012 ; 78 : 1208-1212.
- Jackson D, Williams KC, Degnan BM. Suitability of Australian formulated diet for aquaculture of the tropical abalone *Haliotis asinina* Linnaeus. *J. Shellfish Res.*, 2001 ; 20 : 627-636.
- 金田友紀. 北海道南西部日本海沿岸における磯焼けの修復技術. 北水試だより 2009 ; 77 : 18-21.
- 川井唯史, 金田友紀, 桑原久実. 北海道南西部日本海の磯焼け地帯でホソメコンブ群落を維持するための条件. 平成 11 年度 日本水産工学会 学術講演会講演論文集 1999 ; 9-10.
- 川井唯史, 金田友紀, 新井章吾, 桑原久実. 磯焼け地帯におけるウニ侵入防止フェンスによるホソメコンブ群落の造成とキタムラサキウニ生殖巣の発達. 水産工学 2002 ; 39 : 15-20.
- 川尻正博, 佐々木正, 影山佳之. 下田市田牛地先における磯焼け現象とアワビ資源の変動. 静岡県水産試験場研究報告 1981 ; 15 : 19-30.
- 木村稔, 今村琢磨, 成田正直, 潮秀樹, 山中英明. ホタテガイ貝柱成分の季節変化. 日本水産学会誌 2002 ; 68 : 72-77.
- 清本節夫, 村上恵祐, 木村量, 丹羽健太郎, 薄浩則. 給餌水準を変えた飼育条件下におけるメガイアワビの生殖腺の体積変化. 日本水産学会誌 2016 ; 82 : 315-320.
- 清本節夫, 渡邊庄一, 前野幸男, 吉村拓, 玉置昭夫. 海藻群落の優占種の差異がクロアワビとメガイアワビの再生産と成長に与える影響. 水産増殖 2019 ; 67 : 65-79.
- 栗林貴範, 赤池章一. ホソメコンブ $\delta^{15}\text{N}$ を指標とした藻場再生への施肥効果とウニ類密度管理の検証. 水産工学 2014 ; 51 : 47-54.
- 桑原久実. 北海道南西部沿岸域における磯焼けの機構解明とその対策に関する研究. 水産工学 2003 ; 39 : 197-204.
- 宮園章, 中野広. 北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイの閉殻筋中のタンパク質量とグリコーゲン量の季節変化. 北海道立水産試験場研究報告 2000 ; 58 : 23-32.
- 中野広, 鈴木満平, 山下倫明. アワビ類の生体成分からみた造成漁場と天然礁の漁場評価法の確立. 平成 4 年度沿岸漁場整備開発事業に関する水産庁研究所研究報告書. 1996 103 pp. : 47-52.
- Okumura T, Nagasawa T, Hayashi I, Sato Y. Effect of starvation on RNA:DNA ratio, glycogen content, and C:N ratio in columellar muscle of the Japanese turban shell *Turbo (Batillus) cornutus* (Gastropoda). *Fish. Sci.*,

- 2002 ; 68 : 306-312.
- Olaechea RP, Ushio H, Watanabe S, Takada K, Hatae K. Toughness and collagen content of abalone muscles. *Biosci. Biotech. Biochem* 1993 ; 57 : 6-11.
- Qi Z, Liu H, Li B, Mao Y, Jiang Z, Fang J. Suitability of two seaweeds, *Gracilaria lemaneigoris* and *Sargassum pallidum*, as feed for the abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture* 2010 ; 300 : 189-193.
- Saito K. Study on propagation of Ezo abalone, *Haliotis discus hannai* INO-I Analysis of the relationship between transplantation and catch in Funka bay coast. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 1979 ; 45 : 695-704.
- 瀬川進. トコブシの酸素消費量およびアンモニア態窒素排出量に及ぼす絶食の影響. 日本水産学会誌 1991 ; 57 : 2001-2006.
- 雫石志乃舞, 大西千賀子, 田中淳也, 成田清一. ホタテガイ閉殻筋成分の季節変化. 青森県ふるさと食品研究センター研究報告 2004 ; 1 : 19-24.
- Takami H, Yamakawa H, Nakano H. Survival and physiological stress of juvenile disk abalone *Haliotis discus discus* during long-term starvation. *Fish Sci* 1995 ; 61 : 111-115.
- 高見秀揮, 深澤博達, 河村知彦, 村岡大祐. エゾアワビの成熟に及ぼす餌料の質・量の影響. 日本水産学会誌 2012 ; 78 : 1205-1207.
- 滝尾健二, 安藤和人, 川辺勝俊, 駒澤一朗, 有馬孝和. 伊豆大島差木地漁港内における石詰め型生簀「養殖礁」によるクロアワビ *Haliotis discus discus* およびメガイアワビ *Haliotis gigantea* の養殖試験. 東京都水産海洋研究報告 2009 ; 3 : 7-12.
- Uki N, Kikuchi S. Influence of food levels on maturation and spawning of the abalone, *Haliotis discus hannai* related to effective accumulative temperature. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab* 1982 ; 45 : 45-53.
- Watanabe H, Yamanaka H, Yamakawa H. Seasonal variations of extractive components in the muscle of Disk Abalone. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1992 ; 58 : 921-925.
- 渡辺裕子, 山中英明, 山川紘. クロアワビ成貝および稚貝の部位によるエキス成分の差異. 日本水産学会誌 1993 ; 59 : 501-506.

低水温下におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* 仔魚の飼育方法およびシオミズツボワムシに対する摂餌サイズ

山崎哲也*, 佐藤敦一, 高畠信一

北海道立総合研究機構栽培水産試験場

Rearing larval Japanese smelt *Hypomesus nipponensis* fed cultured rotifer *Brachionus plicatilis* in low temperature and food size

TETSUYA YAMAZAKI*, NOBUKAZU SATO and SHINICHI TAKABATAKE

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

The activity and feeding size of L-type rotifers on Japanese smelt larvae were investigated under low-temperature and salinity conditions. Additionally, the rearing methods of Japanese smelt at low temperatures (approximately 10°C) were compared between running and stagnant water trials. The long-term activity of the rotifers was confirmed in a culture test at a salinity of 1 PSU. Larvae of hatching after 1 d fed rotifers whose sizes were 194 µm in average lorica length (range 107–265 µm) and average lorica width 128 µm (range 93–156 µm). The survival rate of larvae in the stagnant-water trial (46.0%) was higher than that in the running-water trial (20.6%). These results suggested that high rotifer activity contributes to the high survival rates of larvae in stagnant water-rearing systems.

キーワード：シオミズツボワムシ, 仔魚, 低水温, ワカサギ

ワカサギ *Hypomesus nipponensis* は、人為的に導入された湖沼を含め沖縄県を除く日本各地に分布し（浜田, 1980）、冬期に結氷する網走湖や大沼など北海道各地にも生息する冷水魚である（落合・田中, 1986）。本種は漁業のみならず遊漁としても利用され、産業価値が高い。しかし、漁獲量は1957年の7,341 tをピークに減少を続け、2022年には過去最低の675 tまで低迷した（農林水産省内水面漁業生産統計調査, https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/naisui_gyosei/, 2024年11月13日）。そのため、全国各地で資源の増大および安定化を目的としたふ化仔魚放流が実施されており（井塚, 2005；橘川ら, 2006）、これに用いる卵の多くを北海道から入手している。主な種卵の供給地である網走湖のワカサギは全国各地の湖沼への種卵供給源として重要な役割をはたしている（隼野ら, 2016）。一方で、北海道においても漁獲量は減少傾向にあり、それに伴い、卵の供給量も減り（網走水産試験場, 2020）、全国各地で種卵の入手が難しくなっている。

ワカサギの産卵盛期は、西日本で2月中旬、中部日本で2月上旬から3月下旬、東北地方で3月下旬から4月上旬、北海道で5月から6月である（落合・田中, 1986）。卵のふ化適温は6.0～17.5°Cと広く、ふ化日までに要する日数は水温に依存し概ね11～38日である（稲葉, 1967）。ふ化直後から仔魚は摂餌をはじめ、3週間後まで約90～290 µmの動物プランクトンを摂餌する（堀・位田, 1977）ことが報告されている。この時期における初期餌料の多寡が資源量に大きく関与し（浅見, 2004）、特にふ化後約2週間の減耗が大きい（熊丸, 2003）。この初期減耗を回避するため、これまでに、汽水環境で止水（岩井・田中, 1989）および閉鎖循環式飼育（小林ら, 1999, 2000；増田・宮本, 2020；Masuda *et al.*, 2023）などで仔魚の飼育技術開発が行われてきた。また、これら事例の飼育水温は14～26°Cと高く、ワカサギ資源が多くふ化時期の水温が低い北日本で飼育する場合、飼育水温を加温する必要がある、加温コストがかかることや閉鎖循環式飼育を用いる場合、設備コストが

かかるなどの課題がある。

ワカサギ仔魚の飼育には、多くの海産魚および淡水魚の仔魚同様に、初期餌料として汽水性であるシオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex (以下、ワムシ) が用いられた (小林ら, 1999, 2000; 新井・松原, 2001; 増田・宮本, 2020; Masuda *et al.*, 2023 など)。ワムシはサイズが異なる SS 型, S 型, L 型があり、それぞれの培養最適水温は 35°C, 30°C, 20~25°C である (伊藤ら, 1981; Hagiwara *et al.*, 1995)。この中でも L 型は 16°C 以下でも増殖が可能であり、低水温に適応している (伊藤ら, 1981)。産卵期が 4~6 月と最も遅い北海道において本種の仔魚を飼育する場合、飼育水に用いる湖水や河川水等の水温は低く、ワムシの培養水温との差が生まれ、この差が給餌後のワムシの活力 (遊泳力) を低下させる (Fielder *et al.*, 2000)。同じキュウリウオ科のアカ *Plecoglossus altivelis* は、活力が低下したワムシよりも活力の高いワムシへの積極的な摂餌行動を示し (山本, 2008)、摂餌活動にはワムシの活性が重要であると考えられる。

ワカサギ仔魚は低水温に加え、淡水あるいは人工海水を加えた低塩分で飼育される。低水温で培養可能な L 型は、自然海水と同程度の塩分 34 よりも 7~20 で増殖率が高くなることが報告されている (小磯・日野, 2001)。しかし、ワカサギ仔魚の飼育を行う、より低塩分環境におけるワムシの活性については不明である。以上から、ワムシの培養水温とワカサギの飼育水温を近づけ、低塩分においても活力が高いワムシを用いることで、仔魚の生残率を向上できる可能性がある。

ワカサギ仔魚は小型のワムシに対し高い選択性が認められ (井塚, 2005)、生物餌料として SS 型 (増田・宮本, 2020; Masuda *et al.*, 2023) あるいは S 型ワムシ (井塚, 2005) が用いられた。しかし、これらワムシは 15°C で減耗がみられ (小磯ら, 2013)、低水温での培養には不適である。そのため、低水温で培養が可能な L 型ワムシを用いたワカサギ仔魚の飼育技術の開発は仔魚の飼育成績の向上のみならず飼育にかかるコストの低減に寄与すると考えられる。一方で、L 型ワムシは SS 型および S 型よりも大きく、L 型に対する摂餌選択性は不明である。

本研究では、飼育するワカサギ仔魚の餌料としての有用性を評価するため、低水温、低塩分環境下における L 型ワムシの活力を調べた。また、低水温下におけるワカサギ生産技術開発のため、L 型ワムシを用いて仔魚の摂餌サイズを選択性を調べ、低水温環境におけるワカサギ仔魚の飼育方法、特に掛け流し飼育および止水飼育について比較した。

試料及び方法

ワムシの培養 北海道立総合研究機構栽培水産試験場 (以下、栽培水試) において、水温 20°C で継代培養している L 型ワムシを、2020 年 4 月 2 日に北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場 (以下、さけます内水試) に移送した。移送後は生クロレラ (スーパー V12, クロレラ工業株式会社) を給餌し、水温 18°C から 14°C まで徐々に水温を低くした。2020 年 5 月 1 日以降は水温 14°C、塩分 10.9~17.2 で培養し、以下の試験すべてに供した。

ワムシの培養可能な低塩分濃度の比較試験 14°C で培養したワムシを本試験に使用した。試験区は淡水で培養水を 10 倍希釈 (10 倍 1 PSU 区) および 100 倍希釈 (100 倍 0.1 PSU 区) した 2 区を設けた。各試験区は 50 mL の細胞培養フラスコ (Falcon 社製, γ 線滅菌済) を 3 個用い、Table 1 に示した溶液にワムシを含む培養水 (以下、試料) を計 50 mL になるよう加えた。希釈前における培養水の塩分は 10 倍 1 PSU 区および 100 倍 0.1 PSU 区それぞれ塩分 15.3 および 14.8 であり、希釈後の塩分はそれぞれ 1 および 0.1 に調整した。試料を入れた細胞培養フラスコを、9°C に設定したインキュベーター (MIR-151, 三洋電機株式会社製) 内に設置した振とう機 (SK-L180-E, DLAB 社製, 回転数 60 rpm) の上に置いた。細胞培養フラスコに培養水を入れた直後から 1 日に 1 回、試料を 1 mL 取り、実体顕微鏡でワムシの生存個体数および抱卵個体数を計数した。また活力の指標として遊泳の有無を観察した。遊泳している個体数が 2 日連続 0 となった時点で実験を終了し、全滅日は同 2 日間のうち、1 日目とした。

ワカサギ仔魚のワムシサイズに対する摂餌選択性 ワカサギ卵は 2020 年 4 月 23 日に洞爺湖漁業協同組合 (壮瞥町) で入手し、さけます内水試に移送した。卵管理水槽は 30 L 円形水槽を使用し、淡水の止水環境で管理した。ウォーターバス方式で水温を約 10°C に管理し、ふ化した仔魚を供試魚とした。仔魚は卵管理水槽から 8 L の角型水槽 (実水量 5 L) に 300 個体収容し、飼育期間は 2020 年 5 月 19 日から 6 月 9 日とした。ウォーターバス

Table 1 Breakdown of cultured solution for culturing rotifer experiment under low temperature and low salinity conditions

Trials	Solution (mL)		Chlorella (mL)	Sample* (mL)	Salinity (PSU)
×10 (1 PSU)	DW	44.8	0.2	5	1
×100 (0.1 PSU)	DW	49.3	0.2	0.5	0.1

DW; distilled water

*; Culture solution including rotifers

方式で水温を約 14℃ (13.8 ~ 14.3℃) に管理した。通気は仔魚の遊泳を妨げないよう、弱通気とした。餌料はワムシを用いて、給餌前に水槽内のワムシについて生存状況を確認し、水槽内の個体数密度が 5 ~ 30 個体/mL になるよう給餌した。試験期間中は、仔魚投入直前、1 ~ 3 日後、5 日後、6 日後、15 日後、17 日後、19 日後および 20 日後の計 10 日給餌した。収容から 1 日後、4 日後、10 日後、21 日後 (以下、Day 1, Day 4, Day 10, Day 21) に仔魚および飼育水中のワムシを無作為に抽出し、仔魚の脊索長、ワムシの背甲長および背甲幅を測定した。仔魚はサンプリング後直ちに万能投影機で投影し、脊索長を測定した。その後、光学顕微鏡を用いて、虎尾 (2010) に従い発育ステージを識別した。仔魚の消化管内および飼育水中のワムシの背甲長および背甲幅はイメージングソフトウェア cellSens (Olympus 社製) を用いて測定した。

仔魚の消化管内におけるワムシはすべての個体について、仔魚の消化管に対し、ワムシの長軸が平行になっている状態で観察された。そのため、背甲幅は消化管の幅に規定され、背甲長と背甲幅の関係から摂餌されたワムシの背甲幅を推定した。ワムシの背甲長と背甲幅の関係を求めるため、Day 1, Day 4, Day 10, Day 21 で測定した飼育水槽中のワムシの背甲長および背甲幅を用いて、両者の関係について回帰直線を求めた。その後、回帰直線の有意性を単回帰分析で検定した (有意水準 1%)。また、飼育日数別において仔魚に摂餌されたワムシの背甲長および背甲幅について、Shapiro-Wilk 検定で正規分布を、Bartlett 検定で項目間の等分散性を確認し、一元配置分散分析 (one-way ANOVA) を用いた。多重比較には Tukey-Kramer 法 (等分散の場合) あるいは Dunnett T3 法 (不等分散の場合) を用いて項目間の有意性を判定した。仔魚の脊索長サイズグループ別に摂餌されたワムシの背甲長および背甲幅については正規性 (Shapiro-Wilk 検定) および等分散性 (Bartlett 検定) が認められなかったため、クラスカル・ウォリス検定を用いた。多重比較にはスティーラ・ドゥワス法を用いて項目間の有意性を判定した。摂餌試験におけるサンプリング時の仔魚が摂餌したワムシおよび飼育水槽中のワムシの背甲長と背甲幅は F 検定で項目間の等分散を確認し、Student's *t* 検定を用いて有意差を確認した。

ワカサギ仔魚の止水飼育の有効性評価 ワカサギの受精卵は西網走漁業協同組合 (網走市) で入手し、2020 年 4 月 17 日にさけます内水試に移送した。到着後直ちに、30 L 円形水槽に受精卵を収容した。収容した卵は淡水止水環境で水温 14℃ に管理し、得られたふ化仔魚を供試魚とした。30 L の円形水槽 (実水量 20 L) 2 基にそれぞれ

仔魚を 1000 個体収容し、飼育期間は 2020 年 5 月 5 日から 5 月 26 日とした。試験区として注水量を 20 L/日 (1 回転/日) の淡水掛け流し (掛け流し区) と、止水 (止水区) とした 2 つを設けた。両試験水槽はウォーターパス方式により水温を約 10℃ に管理した。通気は仔魚の遊泳を妨げないよう、弱通気とした。餌料はワムシを用いて、飼育水槽内のワムシ個体数が 5 ~ 13 個体/mL になるよう 1 日に 1 回、午前 8 ~ 9 時にワムシを含む培養水を両試験水槽に投入した。実験開始 1 日後以降、給餌前に飼育水槽内におけるワムシの個体数および抱卵数を計数した。実験開始 11 日後、水槽内をゆっくりとかき混ぜ、2 L すくい上げて仔魚を計数し、容積法で生存個体数を推定した。実験終了時には、全数計数で生残率を求めた。また無作為に仔魚を抽出し、直ちに万能投影機に投影して仔魚の脊索長を測定した。その後、光学顕微鏡を用いて、虎尾 (2010) に従い発育ステージを識別した。実験終了時における飼育方法別の仔魚の脊索長を F 検定で項目間の等分散を確認し、Student's *t* 検定を用いて有意差を確認した。

結 果

ワムシの培養可能な低塩分濃度の比較試験 両試験区における個体数密度、抱卵率、遊泳率それぞれの推移を Fig. 1 に示した。投入直後の個体数密度が 34.0 ± 9.1 個体/mL であった 10 倍 1 PSU 区は、2 日後まで増加し (43.0 ± 4.5 個体/mL)、その後、減少傾向を示し、10 日後 (9.0 ± 2.9 個体/mL) に 10 個体/mL を下回った。さらに減少を続け、14 日後 (2.7 個体/mL) には 5 個体/mL を下回り、その後横ばい傾向を示した。10 倍 1 PSU 区的全滅は 22 日後、27 日後および 28 日後にそれぞれ確認した。100 倍 0.1 PSU 区は、投入直後は 7.0 ± 2.2 個体/mL だったが、1 日後に 3 試行すべて全滅した。10 倍 1 PSU 区の抱卵率は投入直後 ($3.2 \pm 1.2\%$) から 2 日後 ($22.4 \pm 10.6\%$) にかけて増加し、12 日後までは $3.2 \sim 16.7\%$ で推移した。13 日後以降は $25.0 \sim 61.1\%$ であった。投入直後の 10 倍 1 PSU 区の遊泳率は $22.7 \pm 22.7\%$ で低かったものの、翌日以降、 $50.0 \sim 100.0\%$ と向上した。

ワカサギ仔魚のワムシサイズに対する摂餌選択性 収容時における仔魚の脊索長 (±標準偏差) は 5.4 ± 0.6 mm、その後、Day 1, 2, 10, 21 でそれぞれ 5.6 ± 0.2 mm, 6.2 ± 0.4 mm, 7.5 ± 0.5 mm, 9.0 ± 0.9 mm に成長した (Fig. 2)。また発育ステージは各サンプリング日で Phase A (ふ化から卵黄吸収の完了まで) および B (卵黄吸収の完了から背鰭原基の出現直前まで) のみが観察され、Day 1 ではすべて Phase A であった。Day 4 は

Phase A および B はそれぞれ 62.5%, 32.5% であり, Day 10 は 68.8% および 31.3% であった。Day 21 はすべて Phase B であり, 飼育日数が増すについて, Phase B の割合が増加した。

Day 1, Day 4, Day 10 および Day 21 それぞれにおける飼育水中におけるワムシの背甲長および背甲幅の組成を Table 2 に示した。背甲長 (x) と背甲幅 (y) の関係式は $y = 0.399x + 50.375$ (単回帰分析, $N = 170, p < 0.01$) であった。各サンプリング日に仔魚が摂餌したワムシの背甲長および上記式で算出した推定背甲幅を Fig. 3 に示した。Day 1, 4, 10 の背甲長はそれぞれ $194 \pm 39 \mu\text{m}$ ($107 \sim 265 \mu\text{m}$), $211 \pm 24 \mu\text{m}$ ($161 \sim 252 \mu\text{m}$), $195 \pm 32 \mu\text{m}$ ($127 \sim 272 \mu\text{m}$) で日数間に有意差は認められなかった (one-way ANOVA, $p > 0.05$)。Day 21 は $240 \pm 35 \mu\text{m}$ ($177 \sim 313 \mu\text{m}$) で Day 1 と Day 10 との間に有意差が認められた (one-way ANOVA, $p < 0.01$)。また, 仔魚が摂餌したワムシの背甲長は Day 1, 4, 10 において, 背甲幅は Day 1, 4 において飼育水槽内のワムシより有意に小さく (Student's t -test, $p < 0.01$), 同種の中でも選択的により小さなワムシを食べる傾向があった。一方で, 背甲長では Day 21, 背甲幅では Day 10, 21 で有意差はな

く (Student's t -test, $p > 0.05$), 無作為に食べていた。

ワムシの推定背甲幅 (平均 $\pm$ 標準偏差 (最小 $\sim$ 最大)) は Day 1, 2, 10, 21 でそれぞれ $128 \pm 16 \mu\text{m}$ ($93 \sim 156 \mu\text{m}$), $134 \pm 10 \mu\text{m}$ ($115 \sim 151 \mu\text{m}$), $128 \pm 13 \mu\text{m}$ ($101 \sim 159 \mu\text{m}$) および $146 \pm 14 \mu\text{m}$ ($121 \sim 175 \mu\text{m}$) であった。背甲長同様に Day 21 は Day 1 および Day 10 との間に有意差が認められた (one-way ANOVA, $p < 0.01$)。また仔魚の空胃率はそれぞれ 0.0%, 25.0%, 56.3%, 0.0% であり, ワムシに対する平均摂餌個体数は 3.3 ± 1.6 個体, 1.4 ± 1.8 個体, 1.5 ± 2.3 個体, 3.7 ± 1.5 個体であった。

仔魚の脊索長を 5 以上 6 mm 未満, 6 以上 7 mm 未満, 7 以上 8 mm 未満, 8 以上 9 mm 未満, 10 以上 11 mm 未満の 5 グループに分け, 摂餌されたワムシの背甲長および推定背甲幅を Fig. 4 に示した。背甲長は脊索長 10 以上 11 mm 未満グループが最も大きく ($232 \pm 22 \mu\text{m}$), 次いで 8 以上 9 mm 未満グループであった ($227 \pm 50 \mu\text{m}$)。他の 3 グループの背甲長は $197 \sim 202 \mu\text{m}$ でほとんど差がなく, 5 グループ間に有意差はなかった (one-way ANOVA, $p > 0.05$)。推定背甲幅は各グループそれぞれ $130 \pm 15 \mu\text{m}$, $131 \pm 8 \mu\text{m}$, $129 \pm 13 \mu\text{m}$, $141 \pm 20 \mu\text{m}$ および $143 \pm 9 \mu\text{m}$ で, 背甲長同様にグループ間

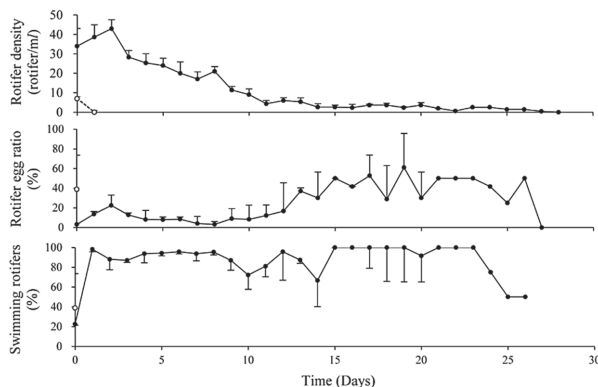


Fig.1 Changes in rotifer density, rotifer egg ratio, and swimming rotifer ratio in rotifer activity experiments. Solid circles, $\times 10$ (1 PSU) trial; Open circle, $\times 100$ (0.1 PSU) trial. Each vertical bar represents the standard deviation of the mean.

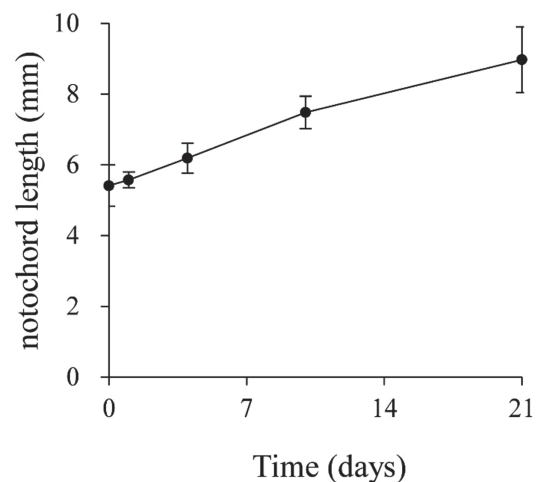


Fig.2 Changing in notochord length of Japanese smelt larvae. The vertical bar indicates the standard division of the mean ($n = 3-16$).

Table 2 Lorica size (lorica length and width) distribution of *Brachionus plicatilis* in breeding water on Days 1, 4, 10, and 21

Samling day	Day 1	Day 4	Day 10	Day 21
N	50	40	40	40
lorica length* (Min~Max))	$240 \pm 36 \mu\text{m}$ (119~348 μm)	$222 \pm 41 \mu\text{m}$ (114~315 μm)	$221 \pm 35 \mu\text{m}$ (151~310 μm)	$241 \pm 37 \mu\text{m}$ (163~305 μm)
lorica width* (Min~Max))	$144 \pm 20 \mu\text{m}$ (107~199 μm)	$143 \pm 25 \mu\text{m}$ (77~179 μm)	$136 \pm 21 \mu\text{m}$ (102~180 μm)	$148 \pm 20 \mu\text{m}$ (107~181 μm)

*; μm , Mean $\pm$ SD

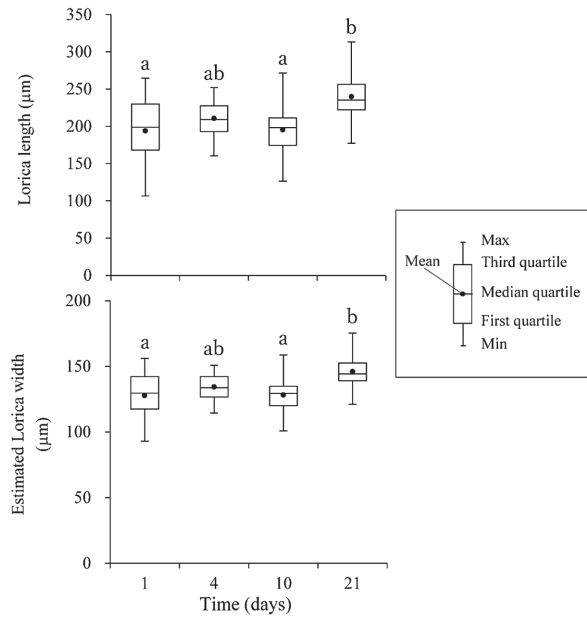


Fig. 3 Box plot of lorica size (upper: lorica length, below: estimated lorica width) of Japanese smelt fed with rotifer to compare the rearing days. Different letters over the bars indicate significant differences between the groups.

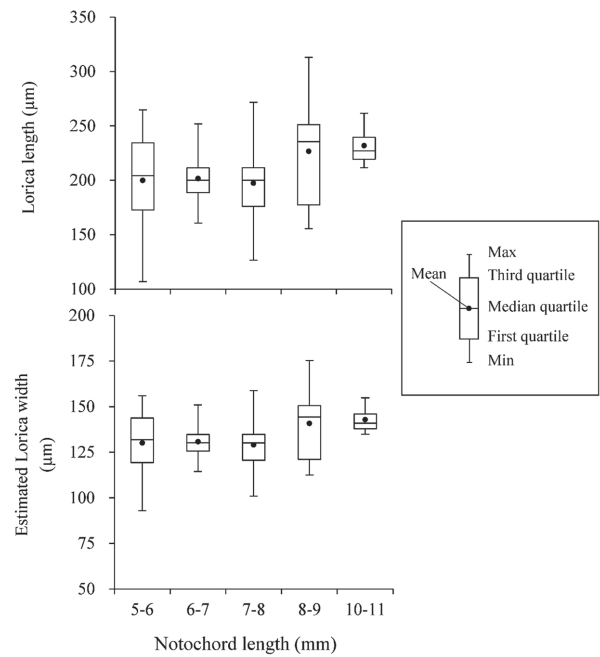


Fig. 4 Box plot of lorica size (upper: lorica length, below: estimated lorica width) in Japanese smelt in different size classes (notochord length).

に有意差はなかった (one-way ANOVA, $p > 0.05$)。

ワカサギ仔魚の飼育方法の比較 試験期間中の水温および塩分の推移を Fig. 5 に示した。掛け流し区は試験期間を通し、平均水温 10.3°C ($9.8 \sim 12.0^{\circ}\text{C}$)、塩分 0 であった。止水区の平均水温は 10.3°C ($9.5 \sim 10.9^{\circ}\text{C}$)、塩分は 11 日後まで 0.0 であったが、給餌した培養水に含まれる塩分の蓄積により、12 日後から上がり始め実験終了時には 3.1 に上昇した。

ワムシの給餌量、飼育水中のワムシ個体数密度および抱卵率を Fig. 6 に示した。掛け流し区は、3 日後に初めてワムシを確認し、0 ~ 2.7 個体 /mL であったが、抱卵個体は確認されなかった。止水区では 11 日後以降、徐々に増加し 0 ~ 70.7 個体 /mL であった。また 6 日後以降に抱卵個体を確認され、飼育期間を通して抱卵率は 0.0 ~ 66.7% であった。また飼育 16 日後、17 日後および 20 日後は前日の給餌前の個体数 (個体数 /mL) と給餌個体数を足した個体数よりも 6.0 ~ 18.0 個体 /mL 多く、飼育水槽内で増殖したと考えられる。

実験期間中の仔魚の生残率を Fig. 7 に示した。止水区の生残率は 11 日後で 59.0%、実験終了時で 46.0% であった。掛け流し区ではそれぞれ 38.0% および 20.6% で、止水区の生残率が高かった。実験終了時における脊索長は、止水区 (7.5 ± 0.8 mm) と掛け流し区 (7.4 ± 0.7 mm) で、有意差は認められなかった (Student's t -test,

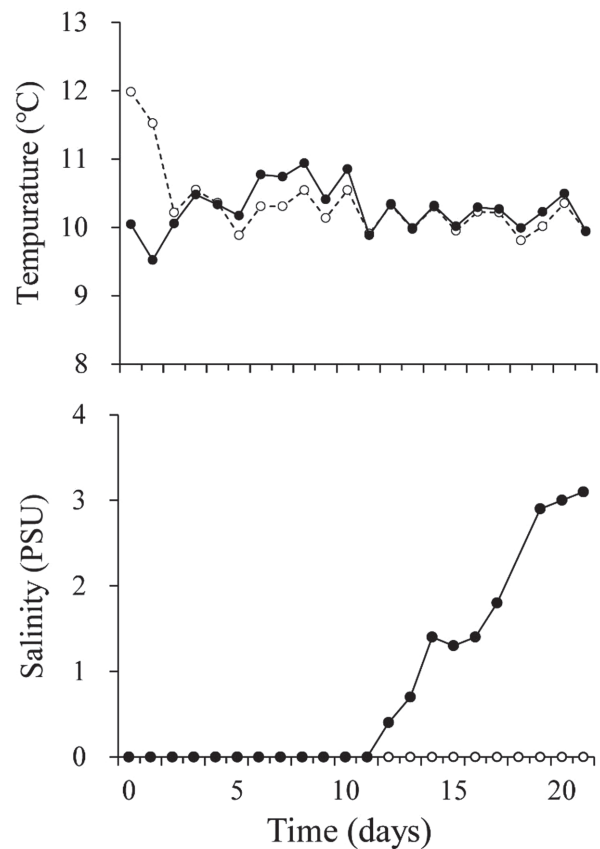


Fig. 5 Daily temperature (upper) and salinity (below) of two experimental trials (Open circle: Running water trial, Solid circle: Stagnant water trial).

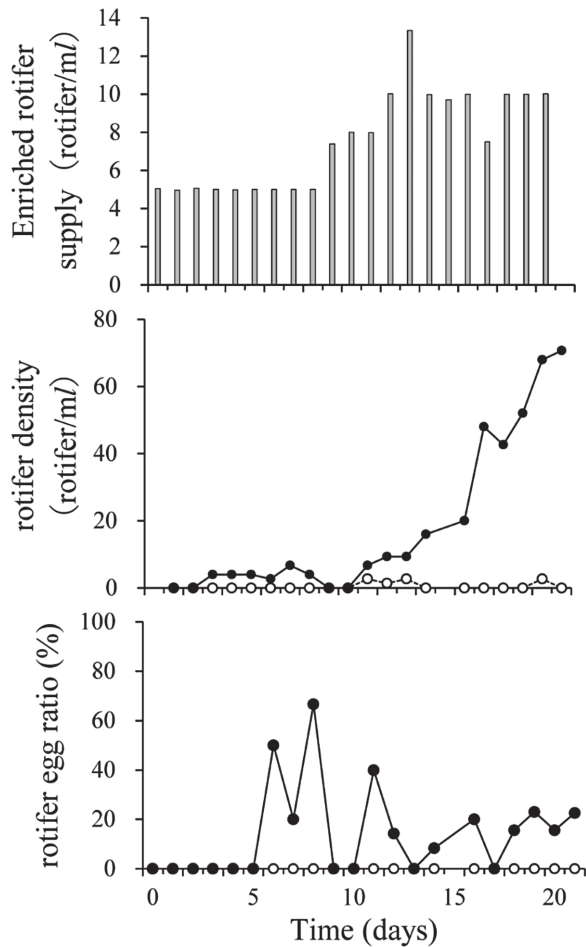


Fig.6 Enriched rotifer supply to the experiment tanks (upper) changes in rotifer density (middle), and changes in rotifer egg ratio (below) in the experiment tanks. Open circles indicate the running water trial. Solid circles indicate the stagnant water trial.

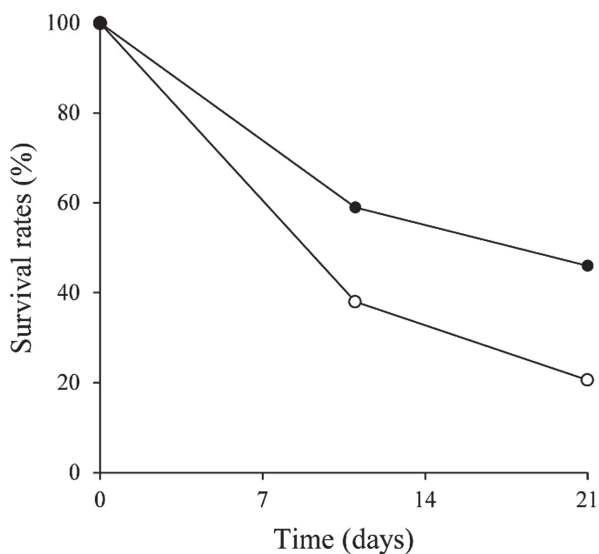


Fig.7 Survival rates of Japanese smelt larvae under different rearing methods (Open circles: flowing water; Solid circles: stagnant water).

$p > 0.05$). また実験終了時における発育ステージは、両実験区ともにすべての個体で Phase B であった。

考 察

代田 (1970) は、ワカサギは摂餌開始時に 170 μm 未満の餌料が摂餌可能であること、また井塚 (2005) はふ化後 30 日以内では背甲長 140 μm 以下のワムシを選択的に摂餌することを報告した。そのため、増田・宮本 (2020) および Masuda *et al.* (2023) は SS 型ワムシを、井塚 (2005) は S 型ワムシを餌料に用いた。本研究では、低水温での培養が可能な L 型ワムシを用いた。堀・位田 (1977) はワカサギ仔魚が摂餌した動物プランクトンの頭部が消化管の後端部に向けて一列に並んでいたことから、仔魚が摂餌可能な大きさとして体幅を用いている。本研究においても、仔魚が摂餌したワムシの長軸は消化管に対し平行して並んでいた。飼育開始翌日 (Day 1) の仔魚は背甲長が 170 μm を超えたワムシを摂餌しており、背甲幅は 156 μm 未満であったことから、ふ化後 1 日以内の仔魚は L 型ワムシのうち比較的小型の個体の摂餌が可能であった。

脊索長 5 ~ 11 mm の仔魚において、特定のサイズのワムシを選択的に摂餌する傾向はみられなかった。初期減耗が大きく、資源量の多寡に大きく関与するふ化後 2 ~ 3 週間 (熊丸, 2003; 浅見, 2004) において、仔魚の餌料サイズは体幅 90 ~ 290 μm (堀・位田, 1977) と報告されている。本研究の摂餌試験において、仔魚が摂餌した L 型ワムシの背甲長は 107 ~ 313 μm 、背甲幅は 93 ~ 175 μm であった。背甲幅は、堀・位田 (1977) が報告した摂餌サイズ範囲内になっていた。低水温条件で 3 週間程度の飼育期間である場合、SS 型ワムシや S 型ワムシに比べ低水温耐性を持っている L 型ワムシを給餌することも可能であると考えられる。

本研究では、約 10℃ の低水温環境において止水区は、掛け流し区よりも生存率が高かった。両試験区は淡水で試験を開始し、仔魚にワムシを給餌する際に塩分を含む培養水も飼育水槽に投入された。それにより、止水区では 11 日目から塩分の増加が確認され、試験終了時には 3.1 となった。一方で、掛け流し区では 1 回転/日で淡水を注水したため、試験期間中は 0.0 であった。ワムシの個体数密度は、掛け流し区が 0.0 ~ 2.7 個体/mL であったのに対し、止水区では 0 ~ 70.7 個体/mL と多かった。止水区では塩分が増加したことによりワムシの活性が下がりやすく、給餌翌日も水槽内でワムシを確認することができたと考えられる。掛け流し区では淡水の注水により塩分が上がらなかったことによるワムシの活力低

下や、排水とともにワムシが流出したと考えられる。

止水区において給餌後に飼育水槽内でワムシの増殖が確認された。ワムシの低塩分培養試験において、10倍1 PSU区では2日後まで個体数は増加し、22～28日間の生存を確認した。1 PSUに希釈した場合、より低塩分の0.1に希釈した場合と異なり、長期間の生存および活力の維持が確認された。アユ仔魚では活発に遊泳するワムシに対し積極的な摂餌行動を示す(山本, 2008)ことが報告されている。止水区では給餌後1日経過してもワムシが生存している日数と個体数は掛け流し区よりも多く確認され、仔魚の摂餌機会が増加したと考えられる。このことから、止水飼育において、飼育水の塩分を1以上に維持することで給餌から翌日あるいは数日間、ワムシの活力を維持し、給餌回数の削減が可能であると考えられた。

本研究では、大型のワムシであるL型を用いてワカサギ仔魚を止水環境で飼育することで、かけ流し環境よりも生残率の向上およびワムシの活力維持が確認された。また低水温環境に耐性が強いL型ワムシに対する摂餌サイズを明らかにした。霞ヶ浦においてワカサギは、ふ化後2週間以内の減耗が大きいことが報告されている(熊丸, 2003)。さらに、網走湖では、初期餌料であるワムシからカイアシ類に食性が変化する時の餌生物量(カイアシ類)と初期生残に相関がみられたことが報告されている(浅見, 2004)。また、これまで行われてきたふ化仔魚放流では、ふ化直後における餌生物量とのマッチ・ミスマッチがその後のワカサギ仔魚の生残に大きく影響するとされる(宮本ら, 2016)。現在、ミスマッチを軽減するために、短期的に飼育した仔魚の放流が試験的に始まっている。今後、効率的な資源増殖に向けた放流用仔魚の適正な飼育期間および放流サイズの検討が望まれる。

謝 辞

ワカサギ卵を供して頂いた洞爺湖漁業協同組合および西網走漁業協同組合の皆様、本研究を行うにあたり北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の浅見大樹博士、楠田聡博士および水産研究・教育機構水産技術研究所宮本幸太博士から様々な助言を頂きました。本研究は令和2年度環境収容力推定手法開発事業の一環として行った。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

網走水産試験場. ワカサギ・シラウオ. 「平成30年度道

総研網走水産試験場事業報告書」, 網走. 2020 ; 41-45.

新井肇, 松原利光. ワカサギふ化仔魚における初期餌料試験. 群馬県水産試験場研究報告 2001 ; 7 : 55-58.

浅見大樹. 網走湖産ワカサギの初期生活に関する生態学的研究. 北海道水産試験場研究報告 2004 ; 67 : 1-79.

Fielder DS, Purser GJ, Battaglene SC. Effect of rapid changes in temperature and salinity on availability of the rotifers *Brachionus rotundiformis* and *Brachionus plicatilis*. *Aquaculture* 2000; 189: 85-99.

Hagiwara A, Kotani T, Snell TW, Assava-Aree M, Hirayama K. Morphology, reproduction, genetics, and mating behavior of small, tropical marine *Brachionus* strains (Rotifera). *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.* 1995; 194: 25-37.

浜田啓吉. ワカサギー弱いものは強い. 「日本の淡水生物 侵略と攪乱の生態学 (川合禎次, 川那部浩哉, 水野信彦編)」東海大学出版会, 東京. 1980 ; 49-55.

隼野寛史, 佐藤一, 眞野修一. 網走湖におけるワカサギの資源監視型漁業. 「海洋と生物」生物研究社, 東京. 2016 ; 35 : 490-495.

堀直, 位田俊臣. ワカサギの人工種苗生産技術の開発に関する研究ー1 仔魚が摂餌可能な餌の大きさなどについて. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 1977 ; 14 : 11-19.

稲葉伝三郎. ワカサギの増殖. 「淡水増殖学 (稲葉伝三郎編)」恒星社厚生閣, 東京. 1967 ; 246-253.

伊藤史郎, 坂本久, 堀正和, 平山和次. シオミズツボワムシの形態および増殖適温. 長崎大学水産学部研究報告 1981 ; 51 : 9-16

岩井寿夫, 田中秀具. ワカサギ稚仔の初期飼育について. 水産増殖 1989 ; 37 : 49-55.

井塚隆. ワカサギ. 「淡水魚 (隆島史夫, 村井衛編)」恒星社厚生閣, 東京. 2005 ; 103-113.

橘川宗彦, 大場基夫, 工藤盛徳. 粘着性除去したワカサギ卵の孵化器による孵化管理. 水産増殖 2006 ; 54 : 231-236.

小林保博, 黒沢静男, 吉沢和俱. ワカサギ飼育試験ー1. 群馬県水産試験場研究報告 1999 ; 5 : 84-86.

小林保博, 松原利光, 黒沢静男, 茂木実. ワカサギ飼育試験ーII. 群馬県水産試験場研究報告 2000 ; 6 : 59-63.

小磯雅彦, 日野明徳. 培養水の塩分がシオミズツボワムシの増殖, 培養コスト, 栄養強化に及ぼす影響. 水産増殖 2001 ; 49 : 41-46.

小磯雅彦, 手塚信弘, 榮健次. 国内の種苗生産期間で利用されている主要なシオミズボウムシ複合種6株の異なる水温と塩分での日間増殖率. 水産増殖 2013 ; 61 : 1-7.

熊丸敦郎. 霞ヶ浦における近年のワカサギ資源変動について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 2003 ; 38 : 1-18.

増田賢嗣, 宮本幸太. ワムシと配合飼料のみによるワカサギ初期飼育. 水産増殖 2020 ; 68 : 327-335.

Masuda Y, Miyamoto K, Sekine S. Recirculation rate of rearing water affects growth of Japanese smelt *Hypomesus nipponensis* larvae. *Fish.Sci.* 2023; 89: 53-60.

宮本幸太, 沢本良宏, 河野成実, 星河廣樹, 花里孝

幸. 温暖化影響対策からみえてきたワカサギの効率的な増殖方法. 「海洋と生物」生物研究社, 東京. 2016 ; 35 : 544-548.

落合明, 田中克. ワカサギ. 「魚類学 下 (落合明, 田中克編)」恒星社厚生閣, 東京. 1986 ; 477-488.

代田昭彦. 魚類稚仔期の口径に関する研究. 日本水産学会誌 1970 ; 36 : 353-368.

虎尾充. 網走湖産ワカサギ降海移動期の発育段階と栄養状態. 北海道立水産孵化場研究報告 2010 ; 64 : 23-27.

山本章造. 飼育実験によるアユの摂食生態を探る. 「稚魚学 多様な生理生態を探る (田中克, 田川正朋, 中山耕至編)」生物研究社, 東京. 2008 ; 167-173.

北海道西部日本海のえびかご漁業における狙い操業を考慮した ホッコクアカエビの CPUE (短報)

守田航大*, 坂口健司

北海道立総合研究機構中央水産試験場

CPUE of northern shrimp *Pandalus eous* considering target strategy in a shrimp pot fishery in the Sea of Japan off western Hokkaido (Short Paper)

KODAI MORITA* and KENJI SAKAGUCHI

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

The catch of the northern shrimp *Pandalus eous* by shrimp pot fisheries in the Sea of Japan off western Hokkaido has been declining. We showed that the ratio of the catch of the coon stripe shrimp *Pandalus hypsinotus* and others was high in 2015–2022 because of target changes from northern shrimp to other species. We calculated the directed CPUE as an index for the stock assessment of northern shrimp to remove the bias caused by target species changes.

キーワード : directed CPUE, *Pandalus eous*, えびかご漁業, 日本海, 狙い操業, ホッコクアカエビ

ホッコクアカエビ *Pandalus eous* は日本海, オホーツク海, 北海道の太平洋岸からベーリング海, アラスカ湾, カナダ西岸の北部太平洋に分布する冷水性の十脚類である (星野, 2003)。本種は重要な水産対象種であり, 北海道では主に日本海で漁獲される。当海域の漁獲量のうち 90% 以上が留萌振興局および後志総合振興局におけるえびかご漁業による漁獲で占められる。当海域の漁獲量は, 1990–2000 年代は 2,000–3,000 トンで推移していたが, 2010 年以降, 資源状況の悪化に伴い減少傾向となり, 2023 年は 500 トンを下回った (稚内水産試験場・中央水産試験場, 2024)。そのため, 精度の高い資源評価結果に基づいた資源管理措置が求められている。

北海道立総合研究機構水産研究本部では, 北海道における主要水産種について資源状態や動向を分析した「資源評価書」を毎年作成しており, 日本海海域のホッコクアカエビでは, 2023 年度まではえびかご漁業の単位努力量当たり漁獲量 (CPUE) (稚内水産試験場・中央水産試験場, 2023), 最新の 2024 年度は Virtual Population Analysis (VPA) を用いて評価されている (稚内水産試験場・中央水産試験場, 2024)。VPA は年齢別漁獲尾数から資源尾数と漁獲係数を推定する手法であるが, 最近

年については漁獲係数に何らかの仮定を置く必要があり, 資源尾数推定結果の信頼性が低くなる問題がある (平松, 1996)。これを解消する方法として, CPUE 等の資源量指標値をチューニング指標値として利用するチューニング VPA が広く用いられている (和田・時村, 1999)。したがって, 本資源において高精度な資源評価を行うためにはチューニング VPA による資源評価への移行が望ましく, これにはチューニング指標値の検討が必要となる。

資源評価に用いられる CPUE は漁業データから算出されることが多く, 本資源では 2023 年度資源評価書 (稚内水産試験場・中央水産試験場, 2023) まで資源量指標値として用いられていたえびかご漁業の CPUE はチューニング指標値の有力な候補となる。一般に複数種を漁獲対象とする漁業においては, 対象資源の多寡や経営面での判断から, 漁業者がどの種を狙うかによって各種の漁獲効率が変化する。例えば, 日本海海域のマダラは主に沖合底びき網漁業により漁獲されるが, 本種が混獲種として漁獲されていた年代と狙い対象種として漁獲されていた年代があり, 狙いを考慮せずに算出された CPUE ではマダラの資源状況を正しく評価できていない可能

性が生じていた。これに対し、佐藤 (2021) はマダラ狙いの操業データを抽出して CPUE を算出することで、本種の資源状況を反映した CPUE になることを示した。えびかご漁業ではホッコクアカエビの他に漁獲されるエビ類としてトヤマエビ *Pandalus hypsinotus* がある。本漁業は餌を入れたえびかごを縄に繋げて海底に設置し、誘引されたエビ類を漁獲するという、受動的な漁獲形態であるが、日本海におけるホッコクアカエビの生息域は水深 200–600 m であるのに対し (星野, 2003), トヤマエビは水深 100–300 m とされ (中明, 2003), 操業日誌調査からこれらの漁獲割合は水深によって異なることが示されている (山口, 2015)。したがって、えびかご漁業では漁場 (水深) を変えることによって狙いを変化させることが可能と考えられ、ホッコクアカエビの漁況悪化に伴い、その代替としてトヤマエビを含むホッコクアカエビ以外を狙った操業が増加している可能性が想定される。他種を狙う操業ではホッコクアカエビの CPUE は低くなると予想されるため、狙いを考慮していない CPUE ではホッコクアカエビの資源指標値として過小評価となる可能性がある。

以上より本研究では、北海道日本海海域のえびかご漁業における狙いの変化を把握するとともに、ホッコクアカエビについて狙いの影響を考慮した CPUE の一つである directed CPUE (Biseau, 1998) を算出し、狙いを考慮したことによる CPUE の変化について検証することを目的とした。

試料及び方法

漁獲量、努力量および CPUE の解析にはえびかご漁業者から北海道知事に提出される漁獲成績報告書を、単価の解析には漁業生産高報告のえびかご漁業に該当するデータを用いた。えびかご漁業の操業期間は地区によって異なるが 9–10 か月間であり、漁獲成績報告書は操業日数、種別漁獲量 (ホッコクアカエビ, トヤマエビ, その他エビ類, その他の 4 種) の月別合計値が漁船別に記録されている。漁業生産高報告は漁業協同組合別の種別漁獲量および金額の月合計値が記録されている。漁業生産高報告の種は漁獲成績報告書より詳細であり、後述集計範囲のえびかご漁業におけるホッコクアカエビ, トヤマエビ, その他エビ類以外の漁獲量の 70–90% がミズダコおよびヤナギダコとなっていることから、漁獲成績報告書のその他は主にタコ類の漁獲量に相当する。データの集計範囲はえびかご漁業の CPUE を資源量指標値として用いていた 2023 年度資源評価書の評価期間である 2000–2022 年とし、主要水揚げ地域である古平町, 余市

町, 小樽市, 増毛町, 留萌市, 羽幌町, 苫前町を抽出して用いた (Fig. 1)。これらの地域について、振興局や漁業協同組合の区分, 許可の取り扱いの違いから判断して、以降は北後志 (古平町, 余市町, 小樽市), 増毛 (増毛町), 北留萌 (留萌市, 羽幌町, 苫前町) の 3 地区として扱った。

Biseau (1998) に基づき、狙いの変化について検証した。漁獲成績報告書に記載されている種ごとに月別船別の漁獲量に占める漁獲割合を求め、この漁獲割合を横軸, 累積漁獲割合を縦軸として曲線を作成した。狙い対象種では曲線の形状が指数関数型となり、狙い対象種であるが他種も一部漁獲される場合は S 字型曲線となる。混獲種では飽和型になるとされ、これらに基づいて曲線の形状から視覚的に狙いの変化を判断した。

狙いデータの抽出には Biseau (1998) の説明レベル (EL) を用いた。本方法は操業データ (本研究では漁獲成績報告書の月別船別漁獲量) を目的とする種 (本研究ではホッコクアカエビ) の漁獲割合が高い順に並べ、当該種の累積漁獲量が任意の累積漁獲割合に達するまでのデータを狙い操業データとして抽出する方法で、この任

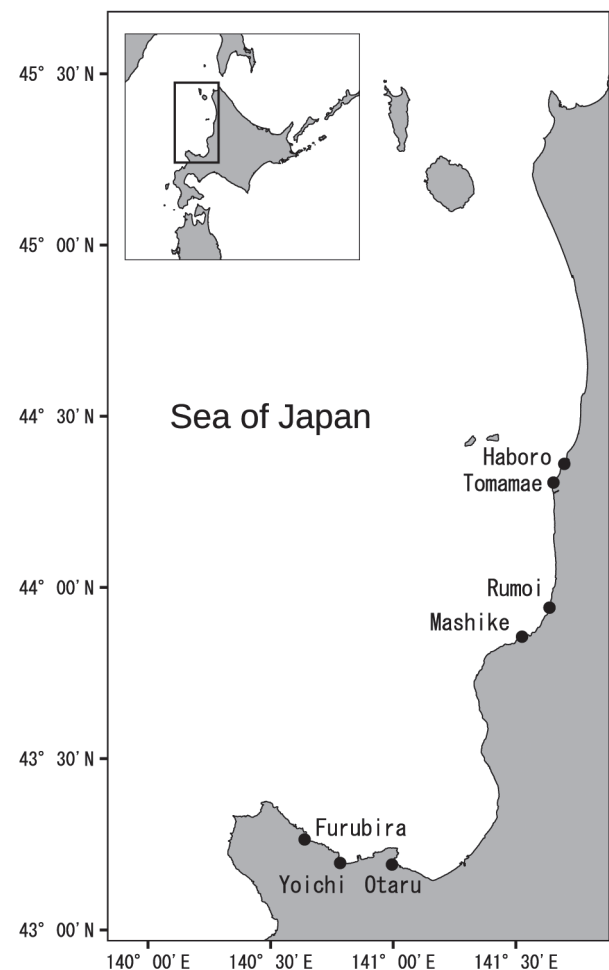


Fig.1 Main landing region of the shrimp pot fishery.

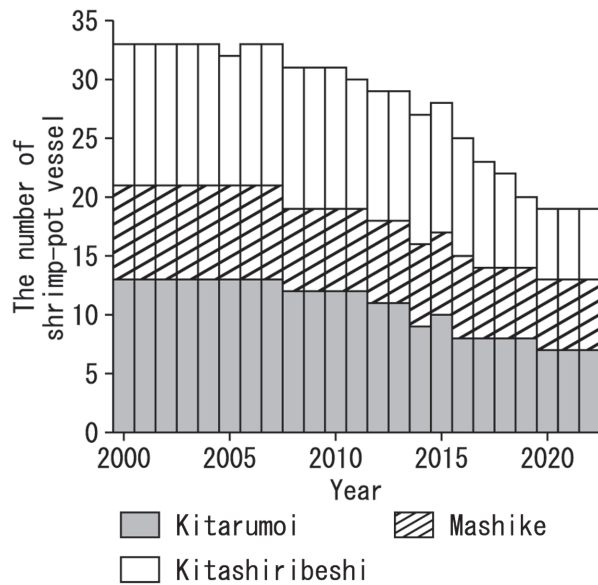


Fig.2 Annual changes in the number of shrimp pot vessels in the Sea of Japan, off western Hokkaido.

意の累積漁獲割合がELである。EL90%および75%を基準とし、ホッコクアカエビ狙いのデータを年ごとに抽出した。

えびかご漁船の着業隻数は経年的に減少しているものの (Fig. 2), 1隻当たりの使用かご数はおおむね2,000かご程度で変化していないことから、ホッコクアカエビCPUEは1日1隻当たりの漁獲量 ($\text{kg 日}^{-1} \text{ 隻}^{-1}$) とし、抽出されたデータからCPUE (directed CPUE) を算出した。狙いを考慮しないノミナルCPUEおよびELが異なる2つのdirected CPUEについて、2023年度資源評価書と同様に2000–2019年を基準年とし、この期間のCPUEの平均で各年のCPUEを除した値に100を乗じて規格化した値を資源水準指数とした。資源水準指数が140以上を高水準、140未満60以上を中水準、60未満を低水準として資源水準を判別した。

結果及び考察

地区別に年別漁獲量と漁獲割合の推移を見ると、共通して2015年前後を境にホッコクアカエビの漁獲量および漁獲割合が減少する傾向が見られ、各地区70%を超えていたホッコクアカエビの漁獲割合がこれを下回るようになった (Fig. 3)。北後志、増毛ではそれぞれ20–30%、10–20%前後で推移していたその他の割合が40–60%、20–30%前後に増加し、北留萌ではその他の割合が増加しているものの、他地区と比較してトヤマエビの増加が大きく、10%から20–30%に増加した (Fig. 3)。

月別船別の漁獲量に占める各種の漁獲割合と累積漁獲割合から作成した曲線の形状は2015年前後を境に変化が見られた (Fig. 4)。具体的には、ホッコクアカエビは2010–2014年までは指数関数型であったのに対し、2015–2019年以降S字型へ変化した。トヤマエビおよびその他は全期間で飽和型ではあるものの、2015–2019年以降凸度が小さくなりS字型に近づいている傾向が見られた。以上の結果から全期間を通じて基本の狙い対象種はホッコクアカエビであるものの、2015年頃から狙い対象種としてのホッコクアカエビの重要度が下がり、その代替としてトヤマエビやその他を狙うようになったと判断できる。さらに、以上のような狙いの変化が起こった時期とホッコクアカエビの漁獲量および漁獲割合が減少し他種が増加した時期が一致することから、各種の漁獲量および漁獲割合の変化の一因として狙いの変化があったと考えられる。2015年前後からホッコクアカエビの漁獲量は減少したが (Fig. 3)、同時期から単価は上昇している (Fig. 5)。しかし、1隻当たりのホッコクアカエビの漁獲金額は減少し (Fig. 5)、これを補うために他種を漁獲するように狙いの変化したと推察される。

EL90%およびEL75%で抽出されたデータにおいて、基準レベル (抽出されたデータにおける月別船別のホッコクアカエビの漁獲割合の最小値) (Biseau, 1998) は2015年までは50%を上回っていたが、2015年以降は50%を下回る年が多くなった (Fig. 6)。これはホッコクアカエビ以外を狙った操業が増加したことにより、月別船別のホッコクアカエビの漁獲割合が低いデータもホッコクアカエビ狙いデータとして採用されるようになったためと考えられる。

各CPUEを用いて算出された資源水準指数は、2000–2015年はいずれも同調した推移となっていたが、2016年以降ではノミナルCPUEはdirected CPUEと比較して低くなる傾向が見られ、EL90%に対しては最大16%、EL75%に対しては18%低くなった (Fig. 7)。この傾向が見られた時期とホッコクアカエビを狙い対象種とした漁業形態がトヤマエビやその他も狙い対象種とする操業形態へ変化した時期が一致し、狙いの変化によってノミナルCPUEが低下したと考えられる。資源水準は、ノミナルCPUEとdirected CPUE (EL90%) では2020年以降低水準となるのに対し、directed CPUE (EL75%) では2020年は中水準、2021年以降低水準となった (Fig. 7)。ELによるデータ抽出は簡便な方法であるがバイアスの少ないデータを抽出できることから (Okamura et al., 2018)、狙いの変化によるデータのバイアスを除いた資源水準を算出できたと判断できる。

本研究で用いたえびかご漁業の漁獲成績報告書は月別

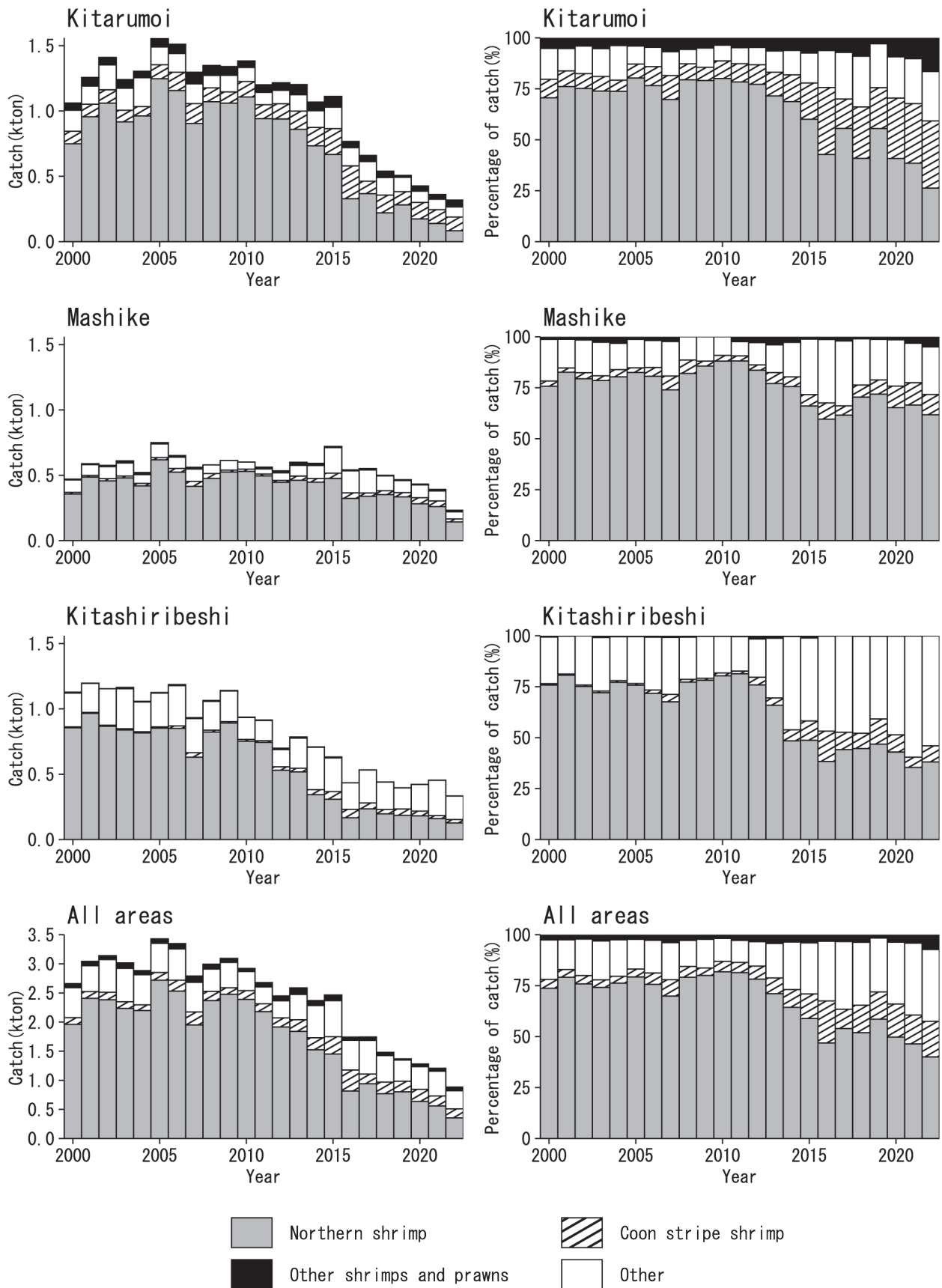


Fig.3 Annual changes in catch (left) and percentage of catch (right) by species in potted shrimp fishery in the Sea of Japan off western Hokkaido.

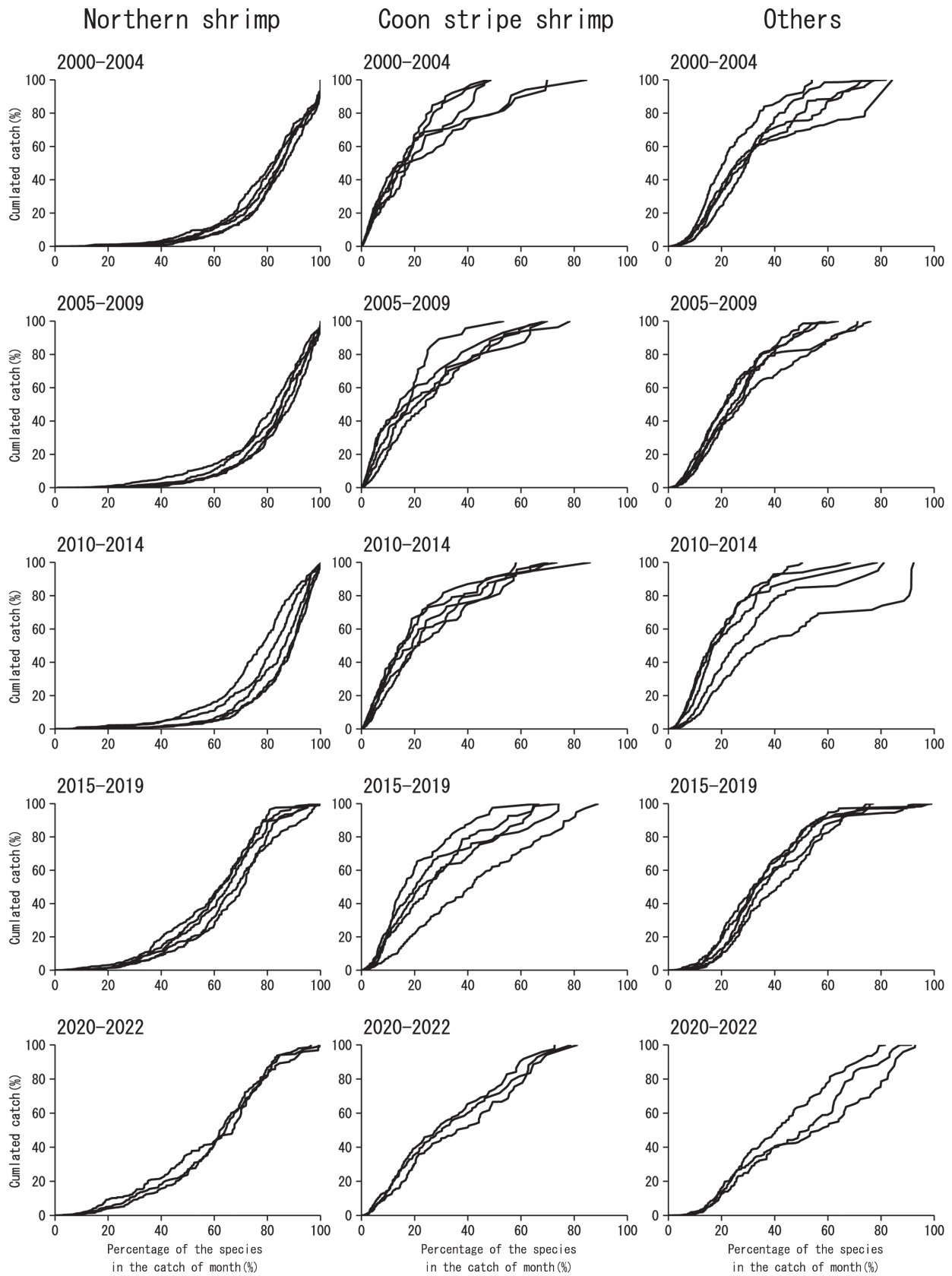


Fig.4 Relationships between the percentage of catch and cumulative catch by species in the shrimp pot fishery in 2000–2022.

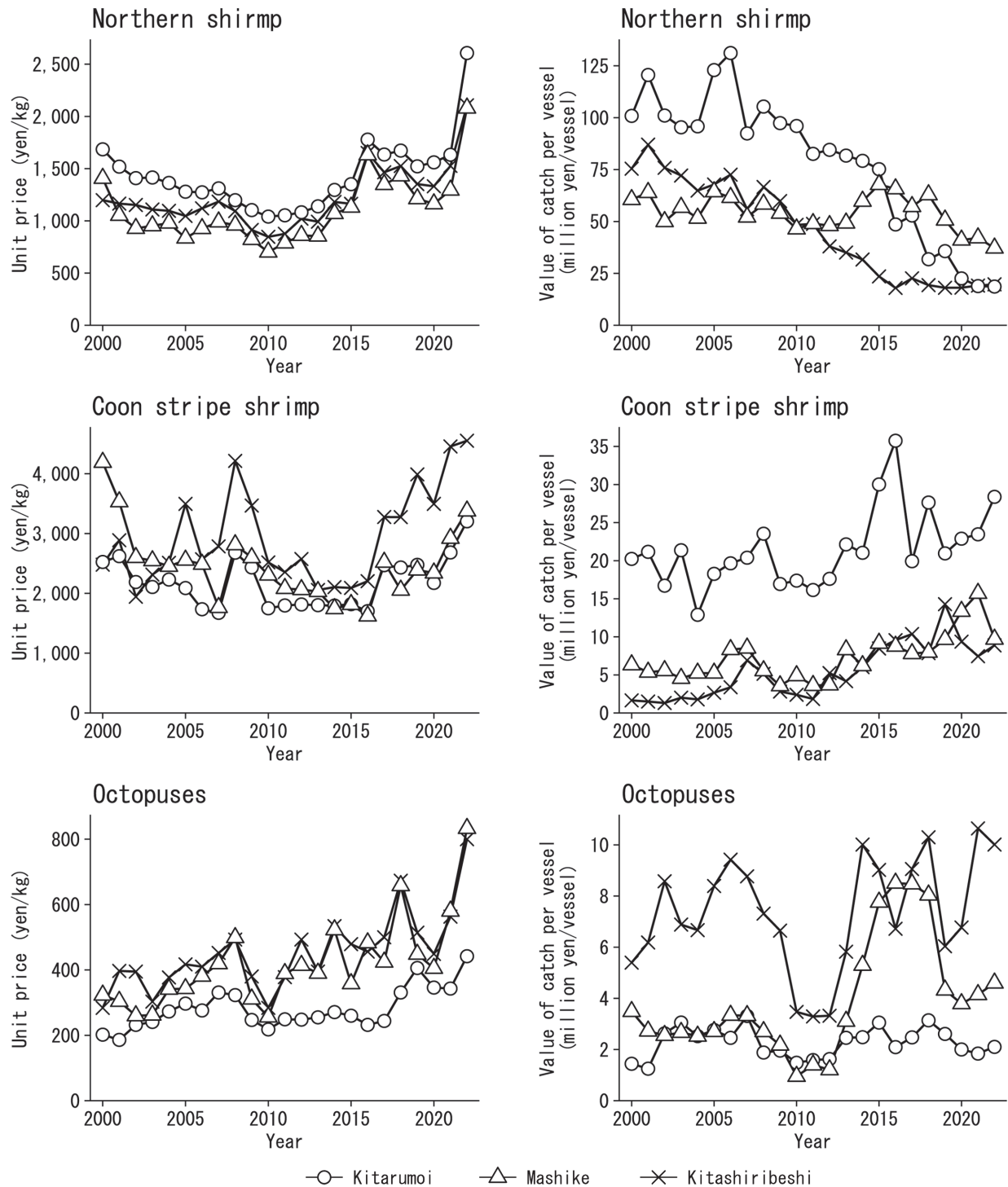


Fig.5 Annual changes in unit price (left) and value of catch per vessel (right) by species in the potted shrimp fishery in the Sea of Japan off western Hokkaido.

船別の漁獲統計であり、日ごとに狙いが変化している場合は月合計値では狙いの影響が正確に反映されない可能性がある。さらに、えびかご漁業は複数の縄を用いて操業しているため各日の中でも縄ごとに狙いが異なる可能性もある。より高精度に狙いの影響を反映するには日別や縄別といった詳細な操業データを用いることが望まれ

る。

ホッコクアカエビとトヤマエビは漁場が異なることが明らかになっている (山口, 2015)。ミズダコおよびヤナギダコの漁獲水深はそれぞれ 200 m 以浅 (城ら, 2017), 100–400 m (北海道立釧路水産試験場漁業資源部, 1980) とされており, これはホッコクアカエビの

200–600 m よりも浅く、タコ類についてもホッコクアカエビと漁場が異なる可能性がある。また 2015 年以降、北留萌ではトヤマエビ、増毛および北後志ではタコ類(その他)の漁獲割合が増加し、地区によってホッコクアカエビの代替として選択される漁獲対象種が異なる (Fig. 3)。特に、全地区で単価が最も高いのはトヤマエビであるが (Fig. 5)、増毛および北後志ではタコ類の漁獲割合が増加していることから、狙いには市場価値以外の要因も影響していると考えられる。したがって、狙いの判別には漁場の情報が重要な要素になり得る。

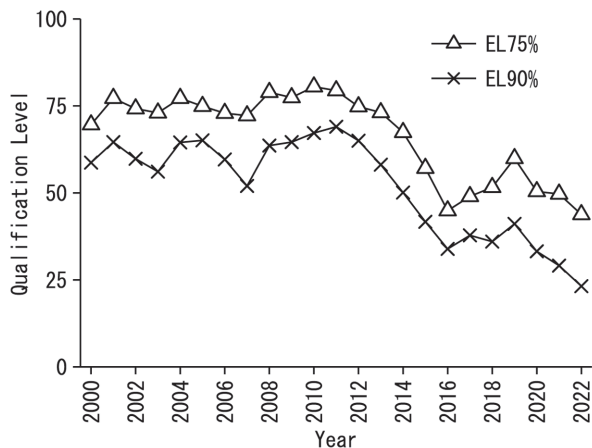


Fig.6 Annual changes in qualification levels at the 90% and 75% explanatory levels by Biseau (1998).

以上のようなデータを収集するには操業日誌調査や漁業者への聞き取り調査といった方法が必要であり、これによりさらにバイアスの少ない狙いデータの抽出が可能になるほか、漁場をはじめとする漁獲量以外の観点から狙いの変化についてより詳細な検証が可能になる。

謝 辞

漁獲統計の整理にご協力いただいた稚内水産試験場の井上愛氏、原稿執筆に際しご助言いただいた稚内水産試験場の佐藤政俊氏、堀本高矩氏に感謝申し上げます。

引用文献

- Biseau A. Definition of a directed fishing effort in a mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessments. *Aquat. Living Resour.* 1998 ; 11 : 119–136.
- 平松一彦. 国際会議で用いられる資源評価手法について. 水産資源管理談話会報 1996 ; 15 : 3–24.
- 北海道立釧路水産試験場漁業資源部. 白糠沖のヤナギダコ増養殖造成事業調査. 釧路水試だより 1980 ; 46 : 2–10.
- 星野昇. ホッコクアカエビ. 「漁業生物図鑑 新 北のさかなたち (上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003 ; 358–363.

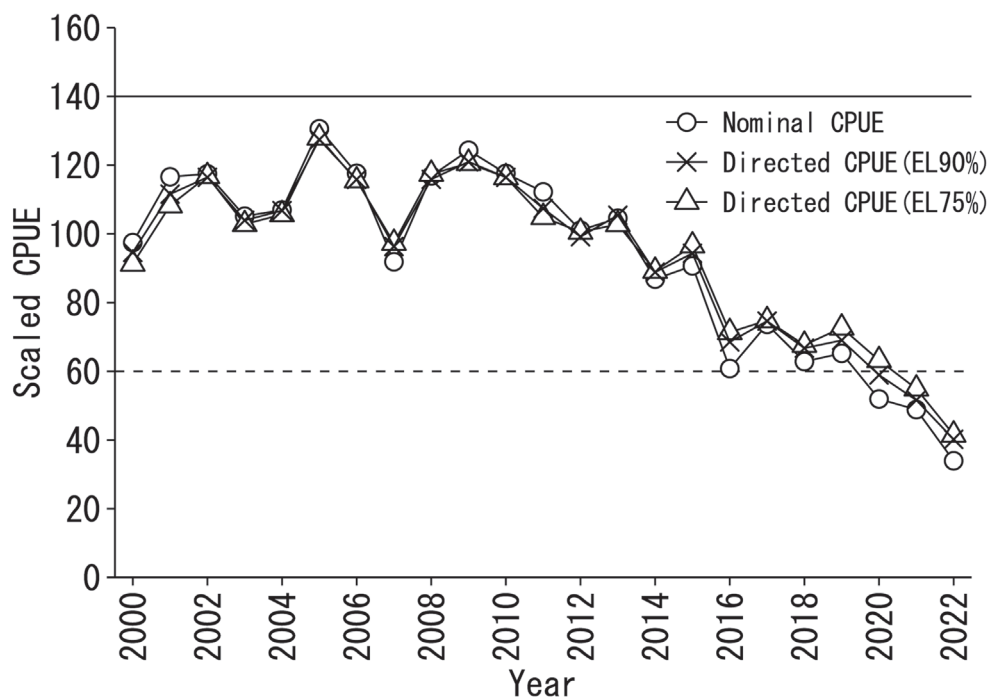


Fig.7 Annual changes in the scaled CPUE of northern shrimp in shrimp pot fisheries.

城幹昌, 三好晃治, 佐藤政俊, 佐野稔. 標識放流による北海道オホーツク海沿岸における未成熟ミズダコの移動, 成長, 経験水温および漁場水温の季節変化. 水産海洋研究 2017 ; 81 : 50–59.

中明幸広. トヤマエビ. 「漁業生物図鑑 新 北のさかなたち (上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003 ; 364–365.

Okamura H, Morita S, Funamoto T, Ichinokawa M, Eguchi S. Target-based catch-per-unit-effort standardization in multispecies fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2018 ; 75 : 452–463.

佐藤充. 道西日本海のマダラ資源量指標について. 北水試だより 2021 ; 102 : 1–4.

和田恵子, 時村宗春. チューニング VPA について. 月刊海洋 / 号外 1999 ; 17 : 81–86.

稚内水産試験場, 中央水産試験場. ホッコクアカエビ日本海海域. 2023 年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価. 道総研水産研究本部, 余市. 2023 ; 447–460.

稚内水産試験場, 中央水産試験場. ホッコクアカエビ日本海海域. 2024 年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価. 道総研水産研究本部, 余市. 2024 ; 452–465.

山口浩志. 北海道日本海海域におけるホッコクアカエビの資源評価と資源管理方策に関する研究. 博士論文, 北海道大学, 札幌. 2015.

磯焼けがエゾアワビの成長に影響を及ぼす季節の検討（短報）

干川 裕*, 高谷義幸

元北海道立総合研究機構中央水産試験場

Seasonal impact of Isoyake on the growth of Ezo abalone *Haliotis discus hannai* (Short Paper)

HIROSHI HOSHIKAWA* and YOSHIYUKI TAKAYA

Formerly: Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

We collected Ezo abalones *Haliotis discus hannai* in spring, summer, and autumn from Furubira in the Sea of Japan, where seaweed denudation is prominent, and from Toyoura in Funka Bay, where kelp *Saccharina japonica* grows until autumn. We investigated condition index (CI), condition index of soft body (CIS), condition index of muscle (CIM), condition index of dried muscle (CIDM), muscle moisture content, and muscle glycogen content, and examined seasonal and inter-fishing ground differences. Furubira summer obesity levels, autumn CIS, and CIDM were lower than those of Toyoura during the same period. The moisture content was higher than that in the other seasons and in Toyoura in autumn in Furubira only. The glycogen content was significantly higher only in autumn in Toyoura. These results suggested that the amount of food consumed in autumn and the recovery period after spawning may be strongly related to the growth differences between the fishing grounds.

キーワード：磯焼け，エゾアワビ，季節，餌料環境評価指標，成長，藻場

北海道におけるエゾアワビ *Haliotis discus hannai*（以下、アワビとする）の成長は海域によって異なる（斎藤・富田，1965；斎藤ら，1969；Saito，1979）。磯焼けが顕著な日本海南西部沿岸の奥尻島では成長が遅く6歳で平均殻長 63.9 mm であるのに対して，移殖により人為的にアワビ資源が造成された噴火湾の豊浦町では同じ6歳でも平均殻長 119.5 mm と大型になることが知られている（Saito，1979）。アワビの成長には水温と餌料環境が影響する（酒井，1962a，1962b；斎藤・元谷，1972）。積丹半島北側に位置する古平町を含む後志沿岸では，近年，磯焼けが進行し海藻群落の形成は春に限られている（吾妻，1977；阿部ら，1982；藤田，1987；干川，2012）。一方，豊浦町沿岸では春から秋にかけてマコンブなどの大型海藻が生育している（結城ら，1968；船野，1974）。このように漁場における海藻群落の状態がアワビの成長に影響していることを示す報告はあるが，実際にどの季節の餌料環境が成長において重要かについては詳しい研究は少ない。我々は，Fig. 1 に示した，磯焼けが顕著な日本海南西部古平町沿岸の漁場（以下，古平とする）と，

マコンブが2年コンブへ移行するため秋まで生育している噴火湾豊浦町沿岸の漁場（以下，豊浦とする）から，春，夏および秋にアワビを採集し，干川・高谷（2025）を引

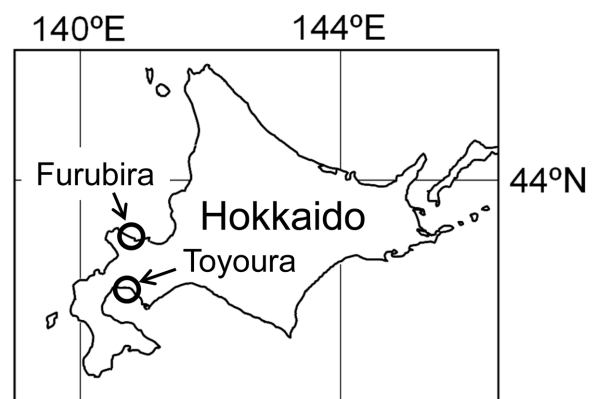


Fig.1 Abalone (*Haliotis discus hannai*) were sampled from the Isoyake-affected area (Furubira) and a healthy seaweed bed (Toyouura) to compare parameters indicative of food conditions.

用して、餌料環境を評価する指標とされている各肥満度、筋肉含水率および筋肉グリコーゲン含有率を測定し、季節間および漁場間で比較した。その結果、秋の餌料環境が成長において重要である可能性が示唆されたので報告する。

試料及び方法

分析に用いたアワビは、両海域とも SCUBA 潜水により水深 1 ～ 8 m の海底から採集した。採集時期および個体数は、古平では春、夏および秋の採集をそれぞれ 2015 年 5 月 28 日 (22 個体)、同年 8 月 28 日 (29 個体) および同年 11 月 30 日 (20 個体) に、豊浦では 2015 年 6 月 17 日 (25 個体)、同年 9 月 1 日 (30 個体) および同年 11 月 4 日 (30 個体) に実施した。採集したアワビは中央水産試験場に持ち帰り、殻長、重量、軟体部重量、筋肉重量を測定後、千川・高谷 (2025) の手法により、全重量肥満度 (CI)、軟体部重量肥満度 (CIS)、筋肉重量肥満度 (CIM) および筋肉乾燥重量肥満度 (CIDM) を求めた。また、筋肉含水率 (MC) および筋肉グリコーゲン含有率 (GC) も同様に千川・高谷 (2025) に従って測定した。得られた 6 つの餌料環境評価指標および殻長は 2 漁場 3 季節の計 6 群間で有意差が認められたため (Kruskal-Wallis 検定, $p < 0.05$), 多重比較として Steel-Dwass 検定を行った。これらの計算には、フリー統計ソフト R ver.4.3.3 (R Core Team. R Foundation for Statistical Computing, Vienna) を用い、有意水準は 5% とした。

結果と考察

公益社団法人北海道栽培漁業振興公社 (2020) が公表している沿岸水温データを基に、古平と豊浦の 2009 年から 2018 年の沿岸平均水温の周年変化を Fig. 2 に示した。アワビの成長が停止する水温 7°C 以下 (酒井 1962b) の期間は、古平が 1 月から 3 月であるのに対して豊浦は 1 月から 5 月と長く、かつ最低水温は 2.8°C まで低下した。しかし、アワビが成長する水温 (富田・斎藤, 1966) の期間は両地点とも 5 月下旬から 11 月であり、その水温変化にはほとんど差はなかった。

採集時の殻長は各季節とも古平 (中央値で 63.5 ～ 68.7 mm) に対して豊浦 (中央値 73.9 ～ 80.9 mm) の標本が大型であった (Steel-Dwass 検定, $p < 0.05$, Fig. 3)。各肥満度は 4 指標ともに春には両漁場で差がなかったが、夏には古平の CI と CIS は春に比べ減少し、同時期の豊浦に比べても低かった (Fig. 4)。両漁場の CIM には季節による差は認められなかったが、古平の夏の値

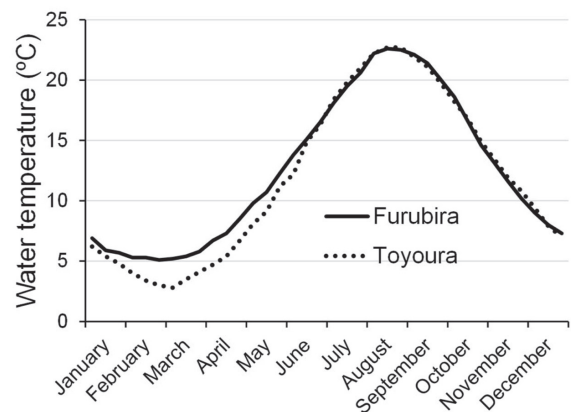


Fig.2 Seasonal change of mean water temperature during 2009 and 2018 measured along the coast of the Isoyake area (Furubira) and the seaweed bed (Toyoura).

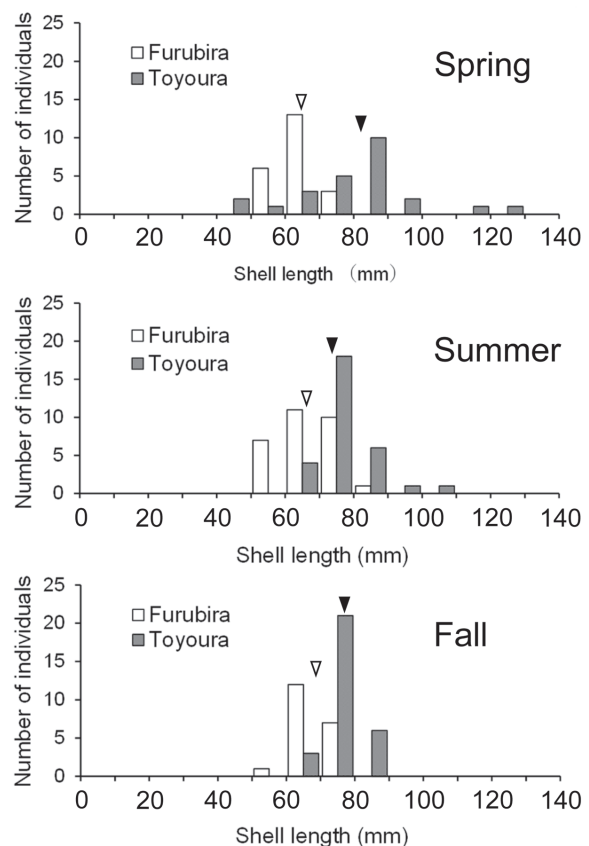


Fig.3 Seasonal change of shell length distribution of abalone *Haliotis discus hannai* collected from the Isoyake area (Furubira) and the sea weed bed (Toyoura).

The marks on the bar show the median of Furubira (▽) and Toyoura (▼) in each season.

は豊浦の春と夏、および秋に比べて低かった。CIDM も CIM と同様に両漁場とも季節による差はなかったが、古平の値は同時期の豊浦に比べて低く、特に秋では顕著であった。筋肉含水率は豊浦の夏に中央値が 69.5% に低下したことと、古平で秋に 74.0% まで増加した以外

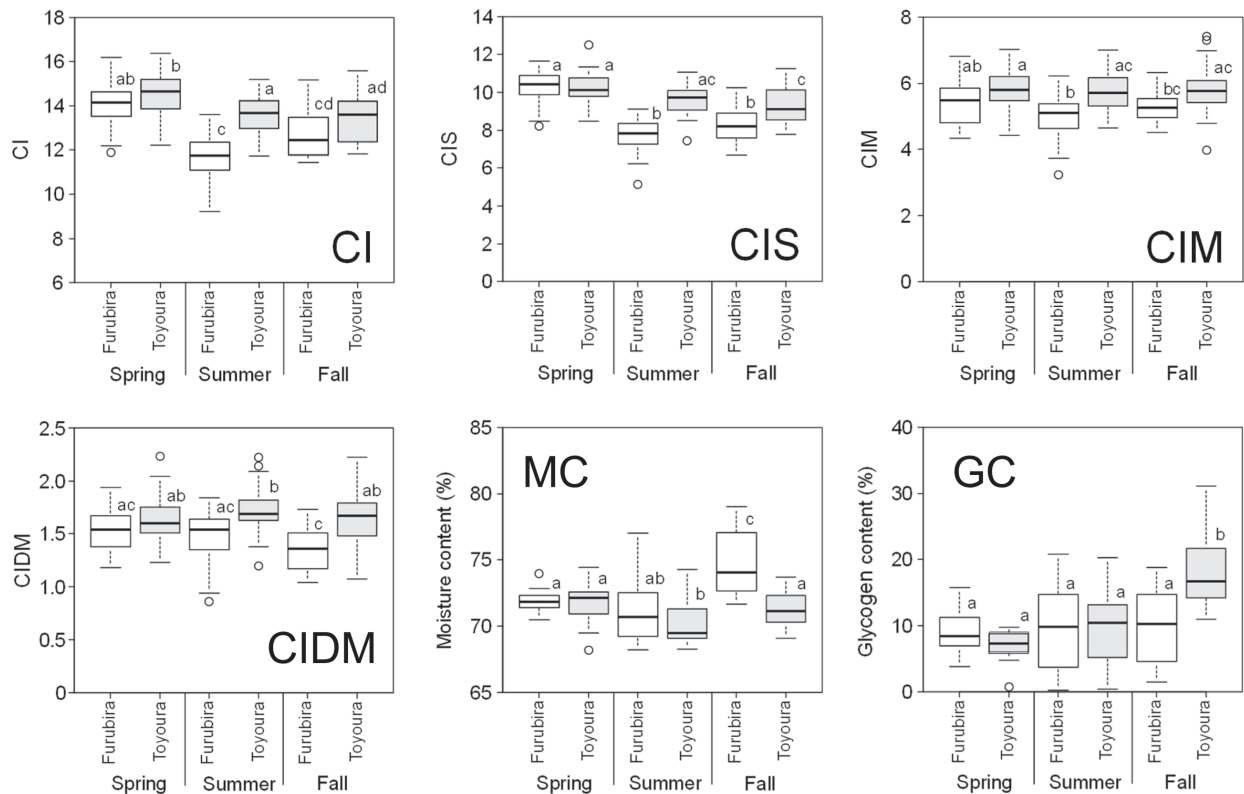


Fig.4 Seasonal change of the parameter indicates the food condition of abalone *Haliotis discus hannai* collected from the Isoyake area (Furubira) and the sea weed bed (Toyouura).

は70.7～72.1%で推移した。筋肉グリコーゲン含有率は、豊浦の秋には16.7%と高かったが、それ以外は7.3～10.5%の範囲で漁場や季節による差は認められなかった (Fig. 4)。

アワビ採集時の潜水観察から、磯焼けが顕著な古平では、春には浅所にホソメコンブやワカメ、スジメなどの海藻群落が形成されるが、夏には水深1 m付近まで群落は縮小し、秋にはほとんど残っていなかった。一方、噴火湾の豊浦では春には水深4 m付近までマコンブが生育し、秋になっても密度は下がるものの生長した大型のマコンブが生育していた。古平でも春には藻場が形成されていたため豊浦との間で各餌料環境指標に有意な差は検出されなかったが、夏には餌である海藻が少なくなったことを反映し各肥満度の値が有意に低くなったと考えられる。また、餌不足に加えて産卵の影響も考慮する必要がある。北海道におけるエゾアワビの産卵時期は8月下旬から9月で (富田, 1967, 1968), 放精放卵により重量が減少した結果、肥満度が下がることは富田・斎藤 (1966) も報告している。古平の秋のCIとCIMは同時期の豊浦との間に差は認められなかった。しかし古平では秋の筋肉含水率が顕著に高いことから重量に占める水分量が増加したために、これらの肥満度に差が検出さ

れなかった可能性がある。筋肉含水率の影響を除いたCIDMを比較すると秋に古平が豊浦に比べて顕著に低かったこともこの仮説を支持している。また、秋に古平で筋肉含水率が増加したことは産卵後の餌不足を筋肉タンパク質の分解等で補っている可能性が考えられる (瀬川, 1991; Carefoot *et al.*, 1993; Takami *et al.*, 1995)。一方、豊浦では春に比べ秋のCISが低いこと以外は各肥満度に明らかな変化は認められなかった。産卵期の夏でも筋肉含水率が低い値を示したことから、豊浦ではその時期の餌料環境も良好であったことが伺える。そのため、産卵に伴う体重の減少を補う成長があったために産卵期でも各肥満度が低下しなかったと推察される。クロアワビでは中腸腺ではなく筋肉部位がグリコーゲンの貯蔵部位であることが知られており、アラメを給餌した場合は無給餌に比べグリコーゲン含有量は約5倍になるとの報告がある (渡辺ら, 1993)。産卵後の回復期にあたる秋に筋肉内グリコーゲン含有率が上昇していることは、マコンブなど餌となる海藻が十分に供給されていることを示しており、これらの蓄積されたグリコーゲンが成長にも使われていたと考えられる。

干川・高谷 (2025) の室内試験では、2014年6月から9月の飼育期間では給餌率5%区でも殻長の成長は認

められなかったが、飼育期間を 11 月まで延長した試験結果では、給餌率 3% 区および 5% 区で約 20 μm /日（中央値）の成長が確認された。このことは、9 月から 11 月の間、すなわち産卵後から水温が低下して成長が停滞するまでの期間（酒井, 1962b; 富田・斎藤, 1966）の餌の多寡がエゾアワビの殻長における成長にとって重要であることを示唆している。

本研究の結果から、北海道におけるエゾアワビの成長には産卵後の秋の餌料環境が強く影響し、磯焼けが顕著な漁場ではその時期の深刻な餌不足が低成長の原因になっている可能性が示唆された。今後は、アワビを介した餌料環境評価により、藻場の餌料供給範囲を考慮した漁場造成やアワビ資源の保全が可能になると考える。

謝 辞

本研究の実施にあたり試験用アワビの採集等でご協力を賜った、東しゃこたん漁業協同組合といぶり噴火湾漁業協同組合豊浦支所の職員ならびに漁業者の方々、豊浦町、北海道胆振地区水産技術普及指導所の職員に厚くお礼申し上げます。本研究は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「生態系ネットワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発」の一環として実施された。

引用文献

- 吾妻行雄. キタムラサキウニの個体群動態に関する生態学的研究. 北海道立水産試験場研究報告 1997 ; 51 : 1-66.
- 阿部英治, 松山恵二, 辻寧昭. 忍路湾におけるホソメコンブの群落形成. 北海道立水産試験場報告 1982 ; 24 : 41-50.
- Carefoot TH, Qian PY, Taylor BE, West T, Osborne J. Effect of starvation on energy reserves and metabolism in the Northern abalone, *Haliotis kamtschatkana*. *Aquaculture* 1993 ; 118 : 315-325.
- 藤田大介. 北海道大成町の磯焼けに関する聞き取り調査. 水産増殖 1987 ; 35 : 135-138.
- 船野隆. 茅部郡鹿部村出来潤崎沿岸における海藻の生態. 北水試月報 1974 ; 31(5) : 1-6.
- 千川裕. 北海道の磯焼け海域における群集構造の特徴とエゾアワビの再生産に及ぼす磯焼けの影響. 日本水産学会誌 2012 ; 78 : 1208-1212.

- 千川裕, 高谷義幸. 飼育試験によるエゾアワビ餌料環境評価指標の検討. 北海道水産試験場研究報告 2025 ; 108 : 13-24.
- 斎藤勝男, 富田恭司. 礼文島船泊のエゾアワビについて. 北水試月報 1965 ; 22(5) : 9-25.
- 斎藤勝男, 元谷怜, 沢崎達孝. 松前町（小島, 松前, 大沢各漁協管内）のエゾアワビについて. 北水試月報 1969 ; 26(2) : 13-32.
- 斎藤勝男, 元谷怜. アワビ漁場の育成に関する研究. 指定調査研究総合助成事業昭和 46 年度報告書（44・45・46 年度総括）, 北海道立函館水産試験場. 1972, 48pp.
- Saito K. Study on propagation of Ezo abalone, *Haliotis discus hannai* INO-I Analysis of the relationship between transplantation and catch in Funka bay coast. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 1979 ; 45 : 695-704.
- 酒井誠一. エゾアワビの生態学的研究—I. 食性に関する実験的研究. 日本水産学会誌 1962a ; 28 : 766-779.
- 酒井誠一. エゾアワビの生態学的研究—IV. 成長に関する研究. 日本水産学会誌 1962b ; 28 : 899-904.
- 瀬川進. トコブシの酸素消費量およびアンモニア態窒素排出量に及ぼす絶食の影響. 日本水産学会誌 1991 ; 57 : 2001-2006.
- Takami H, Yamakawa H, Nakano H. Survival and physiological stress of juvenile disk abalone *Haliotis discus discus* during long-term starvation. *Fish Sci* 1995 ; 61 : 111-115.
- 富田恭司, 斎藤勝男. 礼文島におけるエゾアワビの成長. 北水試月報 1966 ; 23 : 555-560.
- 富田恭司. 礼文島産エゾアワビの卵巣の成熟. 北海道立水産試験場報告 1967 ; 7 : 1-7.
- 富田恭司. 礼文島産エゾアワビの精巣の成熟. 北海道立水産試験場報告 1968 ; 9 : 56-61.
- 結城了伍, 斎藤勝男, 沢崎達孝, 元谷怜. エゾアワビ磯根資源調査. 昭和 42 年度指定調査研究総合助成事業磯根資源調査研究報告書. 北海道立函館水産試験場. 函館市 1968, 36 pp.
- 公益社団法人北海道栽培漁業振興公社. 令和元年北海道沿岸漁業環境観測取りまとめ 第 49 号. 札幌. 2020, 150pp.
- 渡辺裕子, 山中英明, 山川紘. 海藻餌料および無給餌によるクロアワビエキス成分の変化. 日本水産学会誌 1993 ; 59 : 2031-2036.

油脂添加飼料の給餌が海水移行後のサケ稚魚の成長率に与える効果（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

Effect of feeding oil-supplemented diets on the growth rate of chum salmon fry after seawater transfer (Short paper)

MITSURU TORAO

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

The effect of feeding diets supplemented with oil on the growth rate of chum salmon fry, *Oncorhynchus keta*, after seawater transition was examined in a rearing experiment. Supplementation of the commercial diet with fish oil or salmon liquid during freshwater rearing increased the storage of lipids in chum salmon fry. The growth rate of these chum salmon fry was compensated only under extremely poor feeding conditions after the seawater transition. However, the difference in the growth rate was small, at approximately 0.1 mm/day. It is unclear whether this difference in growth rate affects survival, and further investigation is required.

キーワード： *Oncorhynchus keta*, 魚油, 日間成長率, サーモンリキッド

近年、北海道に来遊するサケ *Oncorhynchus keta* 資源は急激に減少し、現在その資源量は低位水準にある（渡邊ら, 2025）。そのため、増殖事業において回帰率向上のための様々な対策が試みられている。

放流されるサケ稚魚の栄養状態低下の対策は、その一つである。栄養状態の悪いサケ稚魚は海水移行後の死亡率が高い傾向がある（橋本, 1979）。淡水飼育時の絶食は海水移行後の成長率低下（Nakamura *et al.*, 2019）や遊泳力低下（Torao *et al.*, 2021）につながる実験的に示唆されており、減耗につながる可能性がある。また、野外調査では降河中に稚魚の栄養状態が低下する場合があることが明らかとなっている（水野・三坂, 2012；清水ら, 2016）。栄養状態低下の対策としては、油脂を添加した飼料の給餌がサケ稚魚の魚体中の脂質蓄積量を増加させ（村井ら, 1983）、絶食耐性を向上させる可能性があると考えられている。

一方、サケ科魚類の海洋生活初期には成長率と関連した減耗機構が知られ（Beamish, 2022）、北海道で放流されたサケ稚魚でも成長率の高い個体が生残しやすい傾向が認められている（Honda *et al.*, 2017）。しかし、油脂添

加飼料の給餌が海水移行後のサケ稚魚の成長率に与える影響は不明であり、本試験では飼育試験によって検証を試みた。

試料及び方法

供試魚 試験には、石狩川支流千歳川由来の2022年級と2023年級のサケ稚魚を用いた。両年とも9月に採卵された受精卵を直ちに（地独）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、立体式孵化器に収容した。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、市販の配合飼料（EXます1号および2号、日本農産工業株式会社、横浜市）を給餌して飼育した。飼育用水には河川水（水温範囲7.5℃～8.7℃）を掛け流しで使用した。

油脂添加飼料の給餌飼育 同一条件下で飼育したサケ稚魚を用いて、配合飼料を給餌した対照群と、油脂添加飼料を給餌した試験群を設けた。いずれも飽食量を与えた。2022年級サケ稚魚を用いた試験を試験1とし、2023年1月6日に250 L FRP水槽2本にそれぞれ600尾を収容

し、1月20日までの15日間の給餌飼育を行った。一方には配合飼料を給餌し、対照群とした。もう一方には配合飼料に重量比5%の魚油（ナイスフィードオイルC、植田精油株式会社、神戸市）を添加した飼料を給餌し、FO5%群とした。

2023年級は試験2と試験3に用いた。試験2では、60 Lアクリル水槽（幅60 cm×長さ30 cm×高さ36 cm）3本にサケ稚魚を350尾ずつ収容した。2023年12月21日から2024年1月3日までの15日間、それぞれ配合飼料・魚油5%添加飼料・魚油10%添加飼料を給餌し、対照群・FO5%群・FO10%群とした。試験3では、2024年2月12日に60 Lアクリル水槽3本にサケ稚魚を320尾ずつ収容し、2月25日までの15日間、配合飼料・魚油10%添加飼料・サーモンリキッドMM（長岡実業株式会社、西宮市、兵庫県）を2%添加した飼料を与え、それぞれ対照群・FO10%群・SL2%群とした。飼育開始時と終了時に各30尾を無作為に抽出して尾叉長と体重を測定し、肥満度を算出した。

給餌飼料および給餌飼育後のサケ稚魚の成分分析 給餌した飼料と、給餌飼育後のサケ稚魚魚体の成分分析を行った。給餌飼料はサンプルバッグに密封し-80℃で冷凍保存後に分析に供した。サケ稚魚は消化管内容物を排出させるため、36時間以上の絶食後にそれぞれの試験群からサンプリングし、-80℃で冷凍保存後に分析に供した。分析は、試験1ではクロレラ工業株式会社（筑後市、福岡県）に、試験2と3では一般社団法人日本食品分析センター（東京都）に委託した。分析した成分の項目は水分・灰分・粗タンパク質・粗脂肪・炭水化物で、それぞれの数値は湿重量に対する比率（%）で示した。水分は常圧加熱乾燥法、灰分は直接灰化法、タンパク質はミクロ・ケルダール法（2022年級）または燃焼法（2023年級）、脂質はソックスレー抽出法によって測定した。炭水化物は全量から水分、タンパク質、脂質、灰分を差し引いて求めた。また、サケ稚魚魚体のエネルギー量を、食品表示基準によるエネルギー換算係数（kcal/g；タンパク質，4；脂質，9；炭水化物，4）を乗じて概算した。

海水飼育成長試験 各試験において15日間の油脂添加飼料の給餌を行ったサケ稚魚を用いて、14日間の海水飼育成長試験を行った。水温調整装置（CTP-3000、東京理化器械株式会社、東京）で水温を8℃に調整した400 L角型FRP水槽内に、ガラス水槽（海水飼育水槽：45×30×32 cm，容量38 L）3本を設置した。海水飼育水槽には塩分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ドジャパン株式会社、横浜市）を満たし、それぞれ外部濾過器（テトラバリューエックスパワーフィルターVX-75、スペクトラム

ブランドジャパン株式会社）1基を設置し、閉鎖循環系を確立した。海水飼育中にサケ稚魚に与える餌量を3段階設定し、海水飼育水槽3本はそれぞれ飽食群、1/2量給餌群、1/4量給餌群とした。これらのセットを淡水飼育時の対照群と試験群の数に合わせて設置した。試験1では、対照群とFO5%群、各12尾を海水飼育水槽に収容した。2023年1月20日に、麻酔したサケ稚魚の尾叉長を1.5倍の拡大鏡下でデジタルノギスを用いて0.01mm単位で測定した。その後、脂鰭・背鰭・尾鰭上葉・尾鰭下葉と、胸鰭左右・腹鰭左右を組み合わせた12種類の鰭切除標識を施し、個体識別した。測定・施標後のサケ稚魚は18時間以上淡水中（流水条件下）で回復させた後、海水飼育水槽に収容した。海水飼育開始後のサケ稚魚には、冷凍アルテミア（クリーンブラインシュリンプ、株式会社キョーリン、東京）を与えた。給餌は1日1回とし、飽食群には摂餌状況を見ながらアルテミアを与え、摂餌しなくなった時点で終了とした。給餌量は給餌前後のアルテミア重量を測定し、その差から求めた。1/2量給餌群、1/4量給餌群には、それぞれ飽食群の給餌量の1/2重量、および1/4重量を計量して与えた。海水飼育終了後に稚魚を取り上げ、麻酔後に尾叉長を測定し、鰭切除標識から個体を同定して、個体ごとの日間成長率を次式で求めた。

$$\text{日間成長率 (mm/day)} = (FL_2 - FL_1) / D$$

FL_1 ：開始時の尾叉長 (mm)

FL_2 ：終了時の尾叉長 (mm)

D ：測定日間の日数

試験2では、2024年1月4日に収容時の尾叉長の測定と鰭切除による個体識別を行った。海水飼育水槽にはそれぞれ20個体を収容した。1月5日から1月18日まで14日間の海水飼育を行い、個体別の日間成長率を求めた。試験3では、2024年2月26日に各20個体の尾叉長の測定と鰭切除標識を行った。2月27日に海水飼育を開始し、14日後の3月11日に稚魚を取り上げて尾叉長の測定を行い、個体別に日間成長率を求めた。

統計解析 淡水での給餌飼育終了時の給餌飼料（対照群と試験群）の違いによる体サイズの差、および海水飼育試験の給餌量区ごとの日間成長率の差は、試験1ではMann-WhitneyのU検定で、試験2と試験3ではSteel-Dwass法の多重比較検定で検定した。

結果および考察

対照群に給餌した配合飼料の脂質含量は9.1%ないし

6.3%であったのに対し、魚油を添加した飼料では脂質含量がいずれも10%以上となった (Table 1)。サーモンリキッド2%の添加飼料でも、脂質含量が8.2%まで増加した。一方、水分量、灰分、炭水化物、タンパク質は、組成比としては油脂の添加によって低下した。これらのことから、魚油、サーモンリキッドともに、配合飼料への添加によって飼料中の脂質含有量が増加したことが確認された。飼料効率や脂質蓄積の効率から、サケ稚魚の飼料中の脂質含量は12%程度が適当であるとの報告があり (興石, 1989; 酒本・大橋, 2012)、魚油添加飼料はこの値を上回っていた。

配合飼料および油脂添加飼料を15日間給餌したサケ稚魚の成分分析の結果 (Table 2)、配合飼料のみを給餌した対照群に比べて、油脂添加飼料を給餌した試験群ではいずれも魚体の脂質含量が増加していた。対照群の脂質組成が4%程度であるのに対し、FO5%群では4.5%程度、FO10%群では5.0%程度まで増加した。SL2%群

でも4.4%まで増加した。また、脂質含量の増加に伴い、魚体のエネルギー量も対照群に比べて全ての油脂添加群で高かった。これらのことから、油脂添加飼料の給餌が魚体の脂質蓄積量を増加させたことが確認された。サケ稚魚では絶食時のエネルギー源としての脂質の重要性が指摘されており (Akiyama and Nose, 1980; 虎尾, 2020)、魚体の脂質蓄積量の増加は絶食耐性の向上に寄与する可能性がある。一方、淡水飼育終了時のサケ稚魚の尾叉長、体重および肥満度には顕著な差は見られなかった (Table 3)。試験2のFO5%群とFO10%群の肥満度で有意差が認められたが ($p < 0.05$)、その他の対照群と油脂添加群では有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)。したがって、本試験では油脂添加飼料の給餌は、魚体への脂質の蓄積にはつながるものの、サケ稚魚の成長を向上させる効果は認められなかった。言い換えれば、成長への悪影響も認められなかったといえる。

海水飼育成長試験の日間成長率の結果を Fig.1 に示し

Table 1 Proximate nutrient composition of experimental diets

Expt.	Diet	Moisture (%)	Ash (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Carbo-hydrates (%)
#1	CD	9.7	12.1	53.2	9.1	16.0
	CD+FO5%	9.1	12.7	49.4	13.0	15.8
#2	CD	8.4	13.4	54.8	6.3	17.1
	CD+FO5%	8.2	12.8	52.1	10.7	16.2
	CD+FO10%	7.9	12.1	49.9	14.8	15.3
#3	CD	9.5	13.3	53.4	6.3	17.5
	CD+FO10%	8.9	12.0	48.5	14.7	15.9
	CD+SL2%	9.3	13.0	52.4	8.2	17.1

The acronyms CD, FO, and SL denote commercial feed, fish oil, and salmon liquid, respectively

Table 2 Whole-body proximate nutrient composition of chum salmon fry after freshwater rearing trials

Expt.	Treatment group	Moisture (%)	Ash (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Carbohydrates (%)	Energy (kcal/100g)
#1	Cont.	79.8	1.7	14.6	4.0	0.0	94.4
	FO5%	79.1	1.7	14.6	4.6	0.0	99.8
#2	Cont.	80.6	1.6	13.6	3.8	0.4	90.0
	FO5%	79.7	1.7	13.8	4.5	0.3	97.0
	FO10%	79.0	1.7	14.1	4.9	0.3	102.0
#3	Cont.	79.3	1.9	14.8	4.1	0.0	96.0
	FO10%	78.2	1.9	14.7	5.3	0.0	107.0
	SL2%	78.9	1.9	14.6	4.4	0.2	99.0

Controls were fed commercial diets, FOs were fed diets supplemented with fish oil, and SLs were fed

Table 3 Fork length, body weight, and condition factor of chum salmon fry fed oil-supplemented diets during freshwater rearing trials.

Expt.	Initial			Final			
	Fork length (mm)	Weight (g)	Condition factor	Treatment group	Fork length (mm)	Weight (g)	Condition factor
#1	46.09 ± 2.89	0.76 ± 0.14	7.66 ± 0.48	Control	54.22 ± 3.26	1.27 ± 0.26	7.84 ± 0.44
				FO5%	54.86 ± 3.18	1.32 ± 0.22	7.96 ± 0.45
#2	47.06 ± 2.03	0.80 ± 0.11	7.62 ± 0.50	Control	55.77 ± 2.26	1.42 ± 0.16	8.15 ± 0.40
				FO5%	55.13 ± 2.98	1.42 ± 0.26	8.38 ± 0.41
				FO10%	55.34 ± 1.98	1.36 ± 0.14	8.03 ± 0.27
#3	51.19 ± 2.90	1.11 ± 0.19	8.23 ± 0.44	Control	60.98 ± 2.85	1.83 ± 0.30	8.00 ± 0.49
				FO10%	63.42 ± 3.22	1.99 ± 0.33	7.72 ± 0.23
				SL2%	62.69 ± 3.57	1.96 ± 0.36	7.88 ± 0.25

Values are mean ± SD

The values in bold italics indicate that a statistically difference was found.

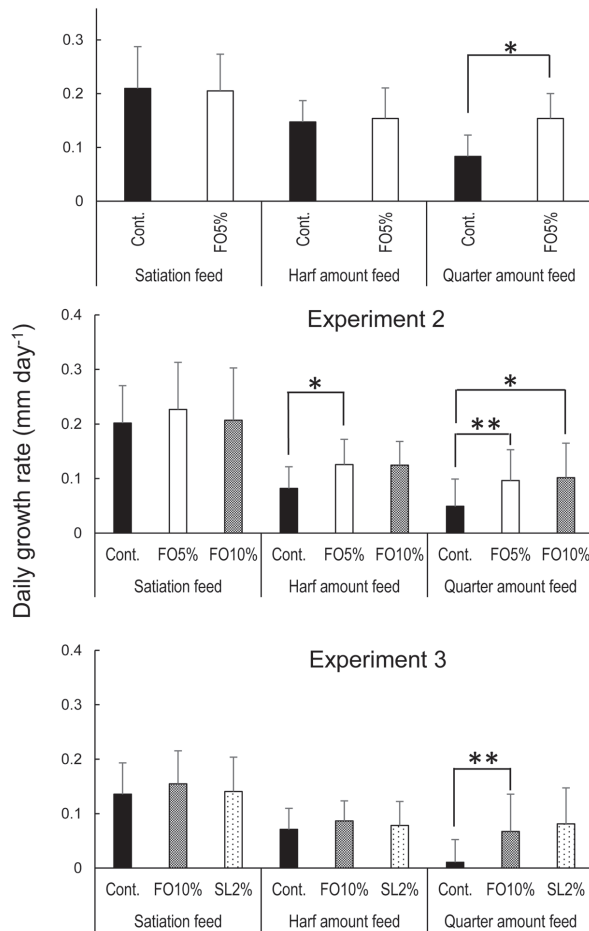


Fig.1 Daily growth rate of chum salmon in the control and oil-supplemented feed groups in seawater growth trials with three levels of *Artemia* feeding. The data are means $\pm$ SD. Significant differences between groups are indicated by * p < 0.05 and ** p < 0.01.

た。いずれの試験でも、アルテミア飽食給餌区では、配合飼料を与えた対照群と油脂添加群の間で、日間成長率に有意差は認められなかった。1/2量給餌区では、試験2で対照群に比べてFO5%群で成長率が有意に高かったが、試験1、試験3では差は認められなかった。1/4量給餌区では、ほとんどの試験で対照群よりも油脂添加群の日間成長率が有意に大きく、1/2量給餌区の日間成長率に近い成長率を示した。したがって、海水移行後の成長率は、基本的に餌量の影響を大きく受けると考えられる。そして、極めて餌が少ない条件において、油脂添加飼料の給餌による魚体中の脂質蓄積が成長率低下を補償する可能性が示された。しかし、対照群と油脂添加群の日間成長率の差は0.1mm/day以下であり、このような小さな成長差が生残に寄与するかどうかは不明であり、今後の標識放流・回帰調査の結果を待ちたい。また、脂質よりもタンパク質含量を高める飼料の方が海水移行後の

絶食耐性向上の可能性があると指摘もあり（村井ら，1983），生残や成長にとってより効果的な油脂添加濃度や期間を検証する必要がある。

謝 辞

本研究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た。本研究を行うにあたり、一般社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会からサケ受精卵を提供していただいた。ここに記して深謝する。

引用文献

- Akiyama T, Nose T. Changes in body weight, condition factor and body composition of fingerling chum salmon with various sizes during starvation. *Bull.Natl.Res.Inst. Aquaculture* 1980; 1: 71-78.
- Beamish R (2022) The need to see a bigger picture to understand the ups and downs of Pacific salmon abundances. *ICES J.Mar. Sci.*, 79; 1005-1014.
- 橋本進. 放流サケ稚魚の飼育に関する研究-1. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1979 ; 33 : 25-30.
- 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. *Fish, Sci.*, 2017; 83; 987-996.
- 水野伸也, 三坂尚行. 5. サケ稚魚の種苗性評価. 「根室南部沿岸調査 (H19-22) 結果報告書」(社) 根室管内さけ・ます増殖事業協会, 標津町. 2012 ; 106-108.
- 村井武四, 平澤康弘, 秋山敏男, 能勢健嗣. 種々の飼料で飼育したシロザケ稚魚の海水中での絶食に対する抵抗性. 養殖研究所研究報告 1983 ; 4 : 79-86.
- Nakamura S, Kaneko N, Nonaka T, Kurita D, Miyakoshi Y, Shimizu M. Fasting in freshwater severely affects growth of juvenile chum salmon when entering cold seawater. *Fish. Sci.* 2019; 85: 655-665.
- 清水智仁・伴真俊・宮内康行・梅田勝博・中尾勝哉・藤井真・真山紘. 千歳川を降河するふ化場産および野生産サケ稚魚の栄養状態. 水産技術 2016 ; 8 : 89-94.
- 虎尾 充. サケ稚魚の魚体中トリグリセリド含量と肝臓中グリコーゲン含量の栄養状態評価指標としての有効性. 北海道水産試験場研究報告 2020 ; 97 : 29-

36.

Torao M, Miyakoshi Y, Shimizu M. Low nutritional status in the freshwater phase and temperature at seawater entry reduce swimming performance of juvenile chum salmon. *N. Pac. Anadr. Fish Comm.Tech. Rep.* 2021; 17:

58-59.

渡邊久爾・水本寛基・本多健太郎・佐藤俊平. サケ（シロザケ）日本系. 令和5年度国際漁業資源の現況 2022 ; 61 : 1-10. http://kokushi.fra.go.jp/R05/R05_61_CHU.pdf (2025.3.20)

北海道太平洋沿岸および根室海峡におけるウバガイ
Spisula sachalinensis の外套腔に生息するヒモビル
Malacobdella japonica について

堀井貴司

ヒモビルは、北海道太平洋沿岸および根室海峡のウバガイ漁場で漁獲されたウバガイのほとんどすべてに共生していた可能性が高い。共生率は宿主の成長とともに上昇し、殻長 60 mm で 90% を超えた。ヒモビルの体重の最大値は 350.9 mg であった。共生が認められた 99% は、宿主 1 個体に対してヒモビル 1 個体の共生であった。宿主に 2 個体以上共生していたヒモビルのほとんどは幼体であり、生存競争の結果、概ね 30 mg までに単独生活に入ると考えられた。

A641 北水試研報 108, 1-11 (2025)

飼育試験によるエゾアワビ餌料環境評価指標の検討

干川 裕, 高谷義幸

アワビ漁場の餌料環境評価に適した指標を明らかにするために、生のマコンブを餌として給餌量を変えて個別に飼育したエゾアワビについて、各重量（全重量、軟体部重量、筋肉重量、筋肉乾燥重量）と殻長から計算した各肥満度、筋肉含水率および筋肉グリコーゲン含有率と実際の摂餌量の関係を調べた。その結果、各肥満度は餌不足の状態では摂餌した餌の量を正確に反映したが、餌の量が増加した場合には、摂餌量の差を検出できなかった。一方、含水率とグリコーゲン含有率は、飢餓状態から飽食状態まで様々な餌料環境において、実際に摂餌した餌の量をより正確に反映することが明らかになった。

A642 北水試研報 108, 13-24 (2025)

低水温下におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* 仔魚の
飼育方法およびシオミズツボワムシに対する摂餌サイズ

山崎哲也, 佐藤敦一, 高畠信一

低水温で培養した L 型ワムシを用い、低水温・低塩分環境下におけるワムシの活性およびワカサギ仔魚の摂餌サイズを調べた。また、約 10℃ の冷水環境下におけるワカサギの飼育手法を掛け流しと止水で比較した。仔魚は、ふ化直後から平均背甲長 194 μm (107 ~ 265 μm) および平均背甲幅 128 μm (93 ~ 156 μm) のワムシを摂餌していた。ワムシ培養試験では塩分 1 において長期間の活性を確認した。飼育試験では掛け流し区 (20.6%) よりも止水区 (46.0%) の生残率が高かった。止水飼育はワムシの活力を維持できるため、ワカサギ仔魚の生存に有効であることが確認された。

A643 北水試研報 108, 25-32 (2025)

北海道西部日本海のえびかご漁業における狙い操業を考慮したホッコクアカエビの CPUE (短報)

守田航大, 坂口健司

北海道西部日本海でえびかご漁業によって漁獲されるホッコクアカエビの漁獲量は減少傾向にある。種別漁獲量では、2000-2014 年はホッコクアカエビの割合が 70% 以上と高かったが、2015-2022 年はトヤマエビおよびその他の割合が 30-70% と高くなった。この要因として狙い対象種がホッコクアカエビからトヤマエビやその他に変化したことを示した。狙いの影響を考慮した CPUE の一つである directed CPUE を算出し、狙いの変化によって生じるバイアスを除いたホッコクアカエビの資源量指標値を算出した。

A644 北水試研報 108, 33-40 (2025)

磯焼けがエゾアワビの成長に影響を及ぼす季節の検討
(短報)

干川 裕, 高谷義幸

磯焼けが顕著な日本海の古平と、秋までマコンブが生
育する噴火湾の豊浦から春、夏および秋に採集したエゾ
アワビについて、全重量肥満度 (CI), 軟体部重量肥満
度 (CIS), 筋肉重量肥満度 (CIM), 筋肉乾燥重量肥満
度 (CIDM), 筋肉含水率および筋肉グリコーゲン含有
率を調べ、季節ならびに漁場間の違いを検討した。古平
の夏の各肥満度と、秋の CIS および CIDM は同時期の
豊浦に比べ低かった。含水率は、古平の秋だけが他の季
節および豊浦に比べて高かった。グリコーゲン含有率は、
豊浦の秋だけが顕著に高かった。これらの結果は、産卵
後の回復期にあたる秋の餌の多寡が漁場間の成長差に強
く関係している可能性を示唆している。

A645 北水試研報 108, 41-44 (2025)

油脂添加飼料の給餌が海水移行後のサケ稚魚の成長率に
与える効果 (短報)

虎尾 充

飼育実験によって、油脂添加飼料の給餌が海水移行後
のサケ稚魚の成長率向上に寄与するかどうかを検証し
た。淡水飼育時に配合飼料に魚油ないしサーモンリキッ
ドを添加して給餌することで、魚体に脂質が蓄積される
ことが確認された。これらのサケ稚魚の成長率は海水移
行後の極めて悪い餌条件下で補償される可能性が認めら
れた。しかし、成長率の差は 0.1 mm/day 程度と小さく、
この成長差が生残に影響するかは不明であり、今後の調
査が必要である。

A646 北水試研報 108, 45-49 (2025)

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
嶋田 宏 佐野 稔 後藤 陽子 三坂 尚行
楠田 聡

事務局 美坂 正 金森 誠 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 城 幹昌 吉村 圭三 岡田 のぞみ
武田 浩郁 三上 加奈子 藤原 真 下田 和孝
楠田 聡 伊藤 慎悟

事務局 金森 誠 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108号

2025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
Hamanaka-cho 238, Yoichi-cho, Hokkaido 046-8555, Japan
印刷所 株式会社 毛利印刷
〒046-0003 余市郡余市町黒川町4丁目93番地
電話 0135(22)5640