

北 水 試 研 報
Sci. Rep.
Hokkaido Fish. Exp. Stn.

CODEN: HSSHEE
ISSN : 0914-6830

北海道立水産試験場研究報告

第 45 号

SCIENTIFIC REPORTS
OF
HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION
No. 45

北海道立中央水産試験場

北海道余市町

1994年11月

Hokkaido Central Fisheries
Experimental Station

Yoichi, Hokkaido, Japan

November, 1994

北海道立水産試験場は、次の機関をもって構成されており、北海道立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ある。

北海道立水産試験場

北海道立中央水産試験場
(Hokkaido Central Fisheries Experimental Station)

046
余市郡余市町浜中町238
(Yoichi, Hokkaido 046, Japan)

北海道立函館水産試験場
(Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station)

042
函館市湯川町1-2-66
(Yunokawa, Hakodate,
Hokkaido 042, Japan)

北海道立函館水産試験場室蘭支場
(Muroran Branch, Hokkaido Hakodate Fisheries
Experimental Station)

051
室蘭市舟見町1-133-31
(Funami-cho, Muroran,
Hokkaido 051, Japan)

北海道立釧路水産試験場
(Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station)

085
釧路市浜町2-6
(Hama-cho, Kushiro,
Hokkaido 085, Japan)

北海道立網走水産試験場
(Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station)

099-31
網走市鱒浦31
(Masuura, Abashiri,
Hokkaido 099-31, Japan)

北海道立網走水産試験場紋別支場
(Monbetsu Branch, Hokkaido Abashiri Fisheries
Experimental Station)

094
紋別市港町7
(Minato-machi, Monbetsu,
Hokkaido 094, Japan)

北海道立稚内水産試験場
(Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station)

097
稚内市宝来4-5-4
(Horai, Wakkanai,
Hokkaido 097, Japan)

北海道立栽培漁業総合センター
(Hokkaido Institute of Mariculture)

041-14
茅部郡鹿部町字本別539-112
(Shikabe, Hokkaido 041-14, Japan)

北海道立水産試験場研究報告

第 45 号

目 次

吉田 英雄

1976～1980年夏季, ベーリング海中央海域における

表層性スケトウダラの食性 (英文) … 1-35

川真田憲治

サロマ湖産養殖ホタテガイの生殖巣発達過程 …… 37-44

阿部 英治, 多田 匡秀

北海道オホーツク海沿岸のエゾバフソウニの生態 …… 45-56

錦織 孝史, 高橋 玄夫

釧路沿岸で漁獲されるサケ筋肉の自己消化 …… 57-64

試験研究業績

外部刊行物への発表, 平成5年度分 …… 65-69

(1994年11月)

SCIENTIFIC REPORTS

OF

HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No. 45

CONTENTS

Hideo YOSHIDA

Food and feeding habits of pelagic walleye pollock in the central
Bering Sea in summer, 1976—1980 1—35

Kenji KAWAMATA

Gonadal development of cultured scallops, *Patinopecten yessoensis*
(JAY), in Lake Saroma, Hokkaido 37—44

Eiji ABE and Masahide TADA

The Ecology of a Sea Urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. A_{GASSIZ})
on the Coast of Okhotsk Sea in Hokkaido 45—56

Takafumi NISHIKIORI and Haruo TAKAHASHI

The muscle autolysis of chum salmon *Oncorhynchus keta*
caught along the coast of Kushiro, Hokkaido 57—64

Contributions from the Hokkaido Fisheries Experimental Station:

Papers Presented in other journals or at scientific meetings
in fiscal 1993 65—69

(November, 1994)

Food and feeding habits of pelagic walleye pollock in the central Bering Sea in summer, 1976-1980*¹

Hideo YOSHIDA*²

In order to clarify the food and feeding habits of the walleye pollock during their pelagic lives in the surface layers of the central Bering Sea in summer from 1976 to 1980, stomach contents of 1,536 adult and 111 immature pelagic pollock were examined.

The most important prey were copepods and euphausiids including such species as *Calanus cristatus*, *C. plumchrus* and *Thysanoessa longipes*. Amphipods (*Parathemisto libellula*), appendicularians (*Oikopleura labradoriensis*) and fishes (Myctophidae and Hexagrammidae) were also important food items regionally and seasonally. The average stomach fullness index of adult pelagic pollock was low and the majority of the values ranged from 0.5 to 0.9% body weight.

Judging from the histological condition of pelagic pollock ovaries and laboratory study on food consumption and gastric evacuation of adult pollock in captivity, post-spawner pelagic pollock in the surface layers of the central Bering Sea appeared to obtain sufficient food for survival, growth and reproduction. The pelagic life style of walleye pollock seemed to be an important factor in maintaining their population.

Introduction

Walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), is widely distributed in the upper and middle layers in the North Pacific Ocean including the Japan Sea, Okhotsk Sea and Bering Sea in the late spring to summer after spawning (Ogata⁰, Ishigaki², Simomura *et al.*³, Yamaguchi *et al.*⁴). Walleye pollock caught incidentally by salmon gillnet at the surface in the offshore zone is called 'pelagic pollock'. In recent years, acoustic and midwater trawl surveys were conducted in summer and winter in the Aleutian Basin to estimate the biomass of pelagic pollock and to

Accepted: April 25, 1994. Contribution A240 from the Hokkaido Fisheries Experimental Station. (報文番号 A240 (平成6年4月25日受理))

*1 1976~1980年夏季, ベーリング海中央海域における表層性スケトウダラの食性

*2 Hokkaido Central Fisheries Experimental Station. Yoichi, Hokkaido 046, Japan
(吉田英雄, 北海道立中央水産試験場)

examine the relationship to the continental stocks (Suzuki⁵, Okada⁶⁻⁸, Okada and Nakayama^{10,11}, Okada and Yamaguchi¹², Yamaguchi¹³, Yoshida and Ueda¹⁴). Pelagic pollock is recognized as an important part of the pollock resources.

It is reported that pelagic pollock in the Bering Sea feed mainly on zooplankton (Kikuchi and Tsujita¹⁵, Okada⁸). However, ecological information on pelagic pollock is scarce as compared with information on walleye pollock in the continental shelf region, especially concerning food consumption to estimate food requirements.

In this report, the author examines the food and feeding habits of walleye pollock during their pelagic life in the central Bering Sea and clarifies their role in the pollock population.

Materials and Methods

The walleye pollock examined in this study were collected from 104 stations in the Bering Sea where investigations on salmon and walleye pollock were carried out by the TS *Oshoro Maru*, RV *Habomai Maru*, RV *Shinyo Maru*, RV *Shotoku Maru No.35*, RV *Hoyo Maru No.67* and RV *Hoyo Maru No.81* from early June to late July in 1976–1980 (Table 1, Fig. 1–3). These sampling stations were roughly grouped

Table 1. Cruises for pelagic walleye pollock collection in the Bering Sea and adjacent waters during June to August, 1976–1980.

Year	Vessel	Date	Latitude		Longitude		No. of stations						
			From	To	From	To	SG	Fishing gear*					Total (**)
								LL	VL	HL	MT		
							Depth(m)	0-10	0-200		25-150		
1976	<i>Habomai Maru</i>	June10-July30	55°-64°N	171°E-175°W			44(26)	12(12)				56(38)	
	<i>Oshoro Maru</i>	June11-July22	50°-63°N	174°E-175°W			20(8)						20(8)
1977	<i>Shinyo Maru</i>	June1-July20	48°-59°N	164°E-176°W			43(16)	3(2)				46(18)	
1978	<i>Oshoro Maru</i>	June13-June24	53°-60°N	178°E-170°W			4(4)			13(10)		17(14)	
1979	<i>Shotoku Maru No.35</i>	June6-June28, July24	52°-59°N	172°E-168°W						9(9)	65(31)	74(40)	
	<i>Hoyo Maru No.67</i>	July7-July30	55°-58°N	175°E-174°W			20(19)						20(19)
	<i>Oshoro Maru</i>	July19-July24	56°-58°N	179°W-175°W			6(6)						6(6)
1980	<i>Hoyo Maru No.81</i>	July11-Aug.1	55°-58°N	173°E-177°W			20(20)	7(7)				27(27)	
Total							157(99)	22(21)	13(10)	9(9)	65(31)	266(170)	

* SG:surface gillnet, LL:long line, VL:vertical long line, HL:hand line, MT:midwater trawl

**Figures in parenthesis denote numbers of stations where samples were collected

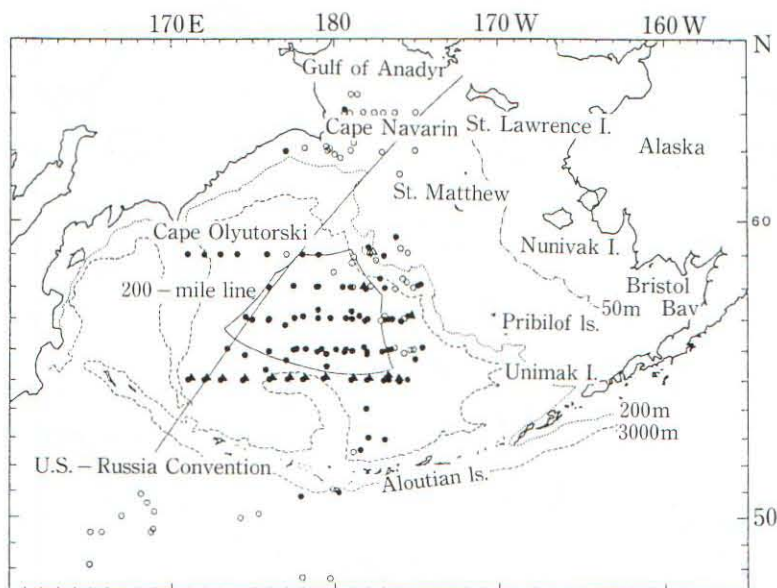


Fig. 1. Locations of stations occupied by the TS *Oshoro Maru*, RV *Habomai Maru* No.21, RV *Shinyo Maru*, RV *Hoyo Maru* No.67 and RV *Hoyo Maru* No.81 for pelagic walleye pollock collections using surface gill-net (○) and long line (△) during June to August, 1976–1980. Closed circles and closed triangles indicate stations where samples were collected.

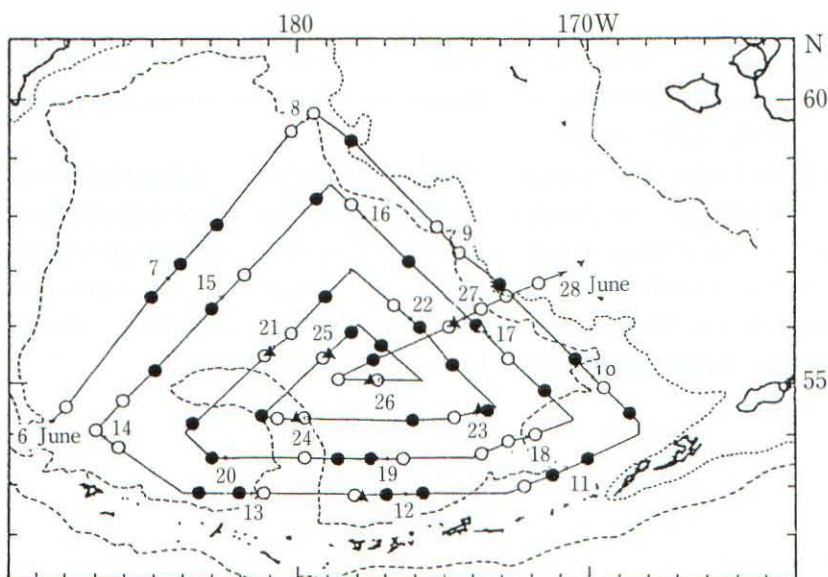


Fig. 2. Locations of stations and track of the RV *Shotoku Maru* No.35 for pelagic walleye pollock survey using midwater trawl (circle) and hand line (triangle) on the Aleutian Basin in June 1979. Closed circles indicate stations where samples were collected. Numeral: Date in Japanese standard time plus 3 hours, Dot: Noon position.

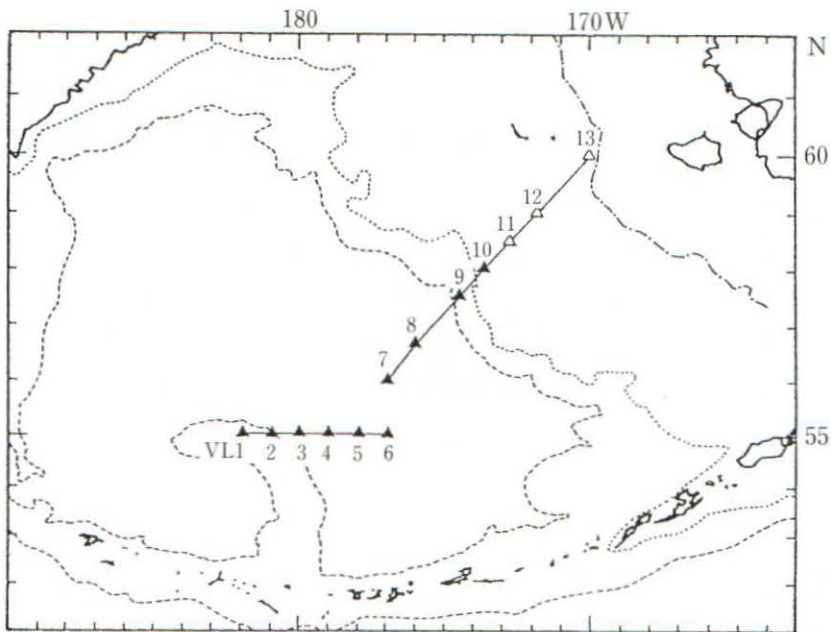


Fig. 3. Triangle: Locations of stations and track of the TS *Oshoro Maru* for pelagic walleye pollock survey using vertical long line in June 1978. Closed triangles indicate stations where walleye pollock were caught.

geographically and seasonally into 9 sea areas (shown as Area 1-9) in 1976, 3 in 1977, 4 in 1978, 17 in 1979 and 8 in 1980 (Fig. 4). A sampling station code shows sampling month (first digit) and day (last two digits).

Walleye pollock were fished mainly in the upper 100 meters by salmon research gillnet (mesh size; 48-157 mm) and commercial salmon gillnet (mesh size; 115-121 mm) and longline for salmon studies, and midwater trawl, handline and vertical longline for pollock surveys. Usually in the salmon gill netting operation the nets were set in the evening and hauled at dawn, and the soaking time was about 6 to 10 hours. Samples at different times of the day were obtained by midwater trawl.

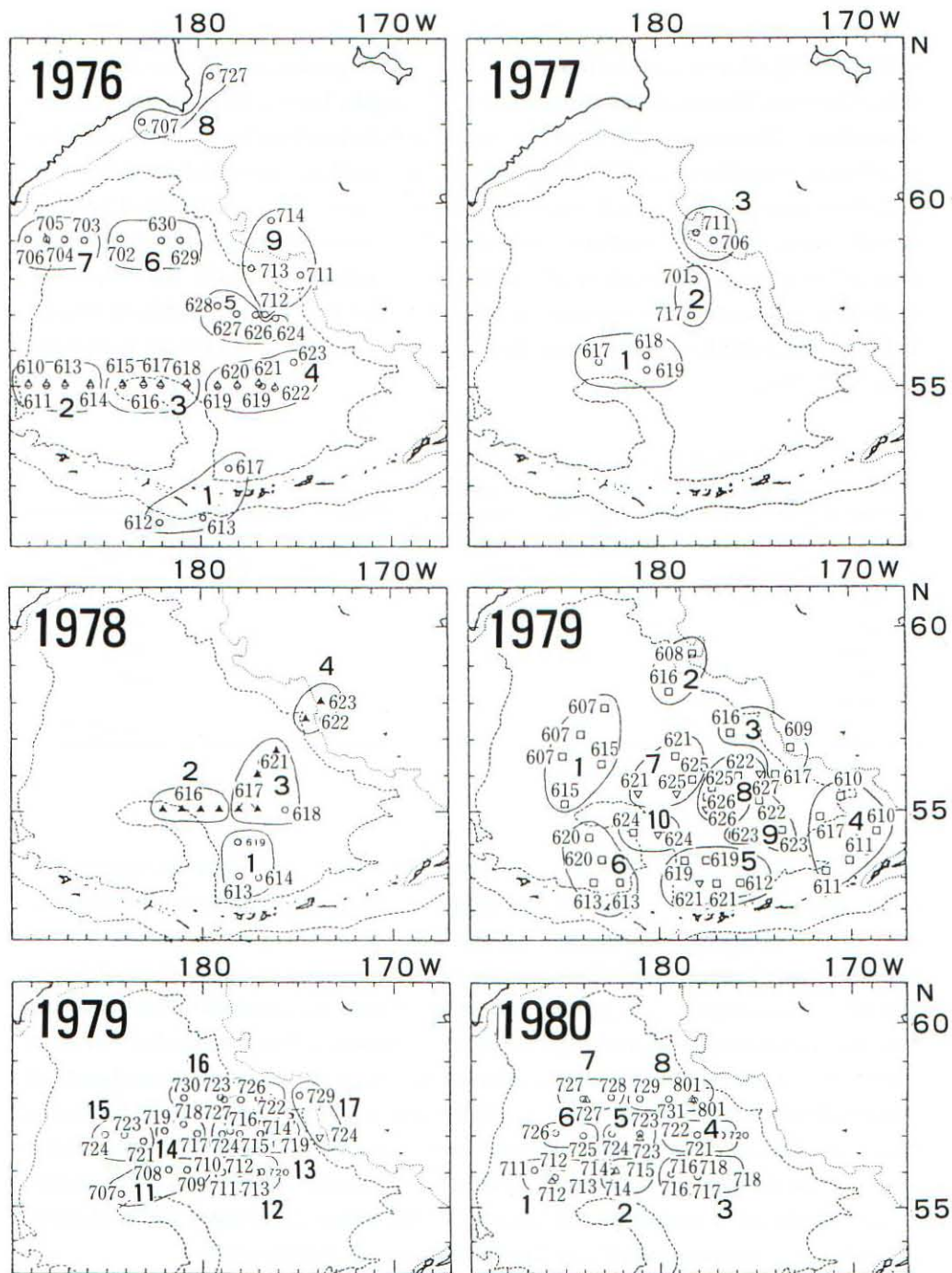


Fig. 4. Sampling stations of walleye pollock and station groups (shown as "Area") in the Bering Sea, 1976–1980.

A sampling station code shows sampling month (first digit) and day (last two digits).

○: surface gillnet, △: longline, ▲: vertical longline, ▽: hand line, □: midwater trawl.

Walleye pollock were quickly frozen on board for subsequent analysis in the laboratory. After thawing, biological measurements (body length, body weight, gonad weight) were taken. Stomach samples were randomly selected at each station from 30 specimens in 1976 and 10 specimens in 1977-1980, and were preserved in 10 percent formalin.

According to Yoshida and Yoon¹⁶⁾, post-spawner pollock were identified by their gonadosomatic index (GSI) values. Immature fishes were rare except in the shelf slope areas of 59 degrees north latitude in 1976 and 1977. Therefore in this study, the author used 1,536 stomach samples of post-spawner pollock greater than 37 cm (mainly 42-45 cm) in body length and 111 stomach samples of immature pollock from 21 to 37 cm in body length (Table 2).

Table 2. Number of pelagic walleye pollock sampled for stomach content analysis.

Year	No. of fish sampled					Total
	1st-June	2nd-June	1st-July	2nd-July	Early Aug.	
1976	126	311 + 49*	113 + 36*	68		618 + 85*
1977		29	4 + 26*	27 + 6*		66 + 26*
1978		115				115
1979	148	169	85	155		557
1980			40	132	8	180
						1536 + 111*

* Immature fish

Forty seven categories of food organisms were identified including items down to the species level (Table 3), and these were grouped into the following nine categories; copepods, amphipods, euphausiids, appendicularians, fishes, pteropods, crab larvae, squid larvae and others. The last group included such items as unidentifiable digested matter. In recent years, the genus name of *Calanus plumchrus* changed to *Neocalanus* and this species has sub-divided into two species according to differences in their life cycle (Miller¹⁷⁾). Frost¹⁸⁾ mentioned that *Calanus marshallae*, a new species of calanoid copepod was closely allied to the sibling species *C. finmarchicus* and *C. glacialis*. Also in the Bering Sea, *Parathemisto pacifica* and *P. japonica* were recorded but their taxonomic status leaves room for further examination (Fukuchi¹⁹⁾). In this study these three species groups were each treated as one species, *C. plumchrus*, *C. glacialis* and *P. pacifica* respectively. Species names follow the report of Motoda and Minoda²⁰⁾.

Table 3. Summary of all food organisms found in all walleye pollock sampled in the Bering Sea.

Annelida	Euphausiacea
Polychaeta	28 Euphausiacea
1 Polychaeta	29 <i>Thysanoessa longipes</i>
Chaetognatha	30 <i>T. inermis</i>
2 <i>Sagitta</i> sp.	31 <i>T. raschii</i>
Mollusca	32 <i>T.</i> sp.
Gastropoda	Decapoda
Pteropoda	33 Decapoda
3 Pteropoda	34 Macrura
4 <i>Limacina helicina helicina</i>	35 Macrura larvae
5 <i>Clione limacina limacina</i>	36 Crab zoea
Cephalopoda	37 Crab megalopa
6 Squid	Protochordata
7 Squid (Beak)	Appendicularia
8 Squid (Eye)	38 <i>Oikopleura labradoriensis</i>
9 Squid larva	Vertebrata
Arthropoda	Pisces
Crustacea	39 fish
10 Crustacea	40 Fish larvae
Copepoda	41 Myctophidae
11 Copepoda	42 Myctophidae scale
12 <i>Calanus plumchrus</i>	43 Fish scale
13 <i>C. glacialis</i>	Others
14 <i>C. cristatus</i>	44 Pebble
15 <i>C.</i> sp.	45 Others
16 <i>Eucalanus bungii bungii</i>	46 Unidentified material
17 <i>Pareuchaeta elongata</i>	47 Digested matter
18 <i>Metridia pacifica</i>	
19 <i>Candacia columbiae</i>	
Amphipoda	
20 Amphipoda	
21 <i>Parathemisto pacifica</i>	
22 <i>P. libellula</i>	
23 <i>P.</i> sp.	
24 <i>Hyperia galba</i>	
25 <i>H. medusarum</i>	
26 <i>Hyperoche kroyeri</i>	
27 <i>Primno macropa</i>	

All items were weighed to the nearest 0.001g. Body size measurements of prey were taken in 1976 if an item was whole. For each sampling station, percent composition by weight of the food items and mean stomach fullness index ((total wet weight of food items/body weight) $\times 10^2$) were examined and combined within sampling station groups.

To examine the diel cycle of feeding, food items collected by the midwater trawl survey were divided into four groups by degree of digestion (Yoshida *et al.*²¹⁾).

As there was no statistical difference between the stomach fullness index of female and male walleye pollock (Table 4, Fig. 5), these data were combined.

Table 4. Comparison of the mean stomach content weight index between the male and the female of pelagic post-spawner walleye pollock collected by midwater trawl survey. Calculation was carried out using the values converted into square root.

	Number of Sample	Mean	Variance	F	t
Female	155	0.812	0.0681	1.0673	0.0059
Male	162	0.813	0.0638	(0.3 < P < 0.4)	(0.5 < P)

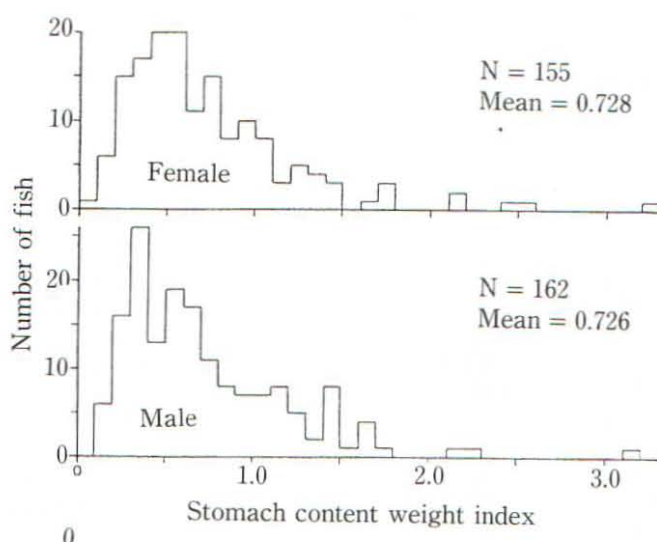


Fig. 5. Stomach content weight index composition of pelagic post-spawner walleye pollock collected by midwater trawl survey on the Aleutian Basin in summer of 1979.

Results

1. Stomach fullness index

The average stomach fullness index values of 41 station groups for post-spawner pollock were 0.301-1.251 (Table 5). Empty stomachs were rarely found. The values in 1976 and July of 1979 were smaller than those of other years and seasons. A value of less than 0.5 was found in 13 station groups, 0.5-0.6 in 4 station groups and greater than 0.6 in 24 station groups.

In immature fish, average stomach fullness indices of 6 station groups were 0.404-2.276 which are higher than those of post-spawner pollock.

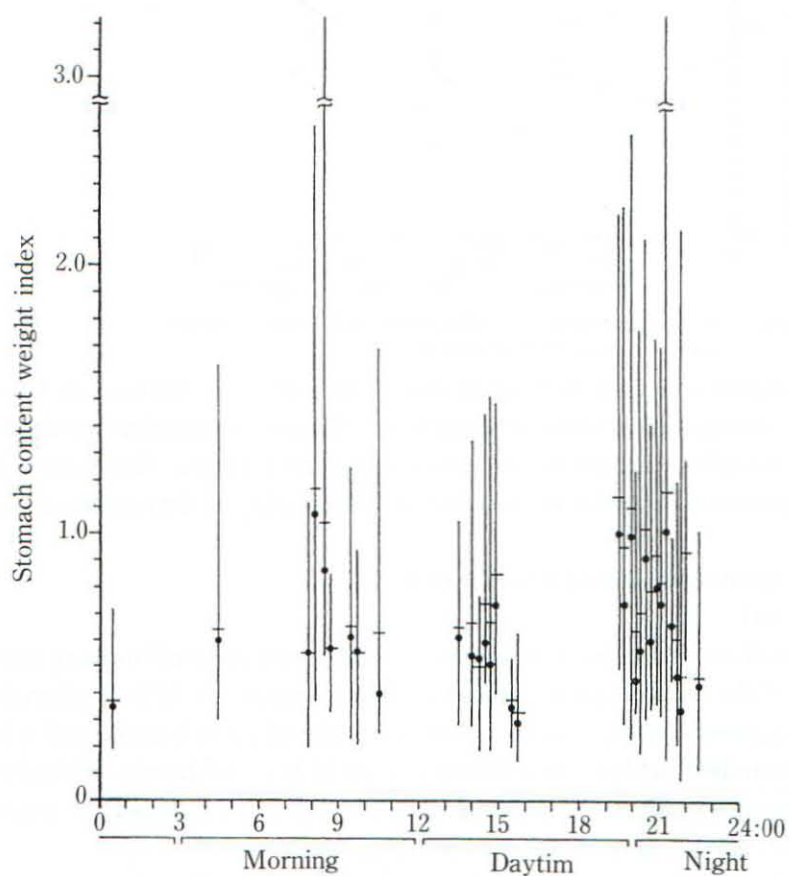
2. Feeding chronology

Fig. 6 shows the medians, means and ranges of the stomach fullness index of pollock

Table 5. Mean stomach fullness index of pelagic walleye pollock in the Bering Sea in summer, 1976 – 1980.

Area (St.Groups)	Mean stomach content weight index (number of fish)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Year	10	11	12	13	14	15	16	17	
1976	0.551 (17)	0.640 (100)	0.407 (98)	0.809 (74)	0.332 (110)	0.736 (46)	0.185 (79)	0.833 (30)	0.910 (67)
June-July					1.067 (11)**	0.404 (16)**	0.619 (10)**		0.676 (6)**
					1.370 (7)***	0.817 (17)***	1.247 (8)***		1.727 (10)***
1977	0.627 (29)	0.538 (27)	0.430 (4)						
June-July		0.714 (6)*	2.276 (26)*						
1978	1.224 (30)	0.729 (24)	0.867 (40)	0.639 (21)					
June									
1979	0.747 (49)	0.877 (19)	0.726 (30)	0.916 (50)	0.637 (40)	0.626 (40)	0.494 (20)	0.874 (30)	0.638 (29)
June-July	0.460 (10)	0.425 (35)	0.433 (30)	0.419 (59)	0.391 (30)	0.301 (30)	0.565 (37)	0.866 (19)	
1980	0.424 (20)	1.251 (20)	0.793 (27)	0.878 (27)	0.755 (19)	0.570 (20)	0.305 (20)	0.849 (27)	
July									

* Immature fish, ** Immature fish (middle size), *** Immature fish (small size)

**Fig. 6.** Medians (●), means (—), and ranges of stomach content weight index throughout the diel cycle for pelagic walleye pollock.

collected by 32 midwater trawl surveys in relation to collection time. The ranges of the stomach fullness index were very wide and minimum values were not different among the trawls, however maximum values in the morning and about sunset were much higher. Medians and means of the stomach fullness index in daytime were low. From midnight to early morning these values were very low in the limited number of stomachs examined.

The food items in the pollock stomachs were found in various degrees of digestion, distributed in the stomach by degree of digestion with the most digested prey in the posterior portion of the stomach. Fig. 7 shows the weight percentages of undigested food

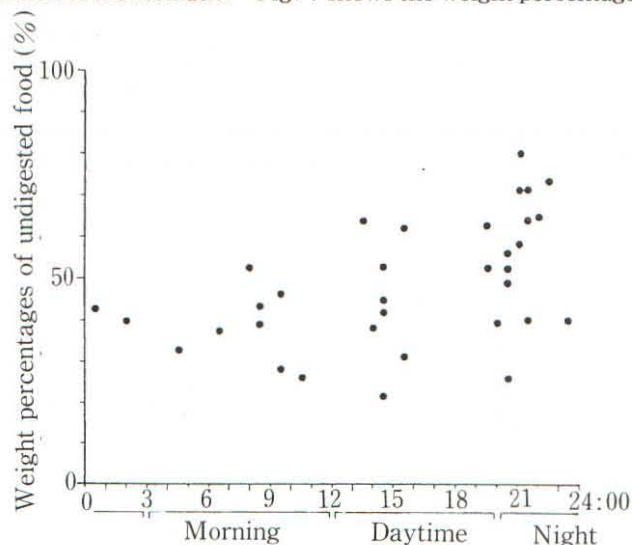


Fig. 7. Weight percentages of undigested food by time of pelagic walleye pollock by midwater trawl.

(degree of digestion 1 and 2 from Yoshida *et al.*²⁰⁾) in pollock stomachs collected by midwater trawl surveys in relation to collection time. The values were distributed widely from morning to night. The maximum value occurs at about sunset. The mean value of the weight percentage of undigested food in the stomach using all data was about 50 %.

3. Stomach content composition by weight in each year

1) 1976 (Fig. 8a)

The main food organisms for post-spawner pollock from early to late June in the southern part of the Aleutian Basin (Areas 1-5) were copepods (35-50 %), euphausiids (10-39 %) and appendicularians (4-14 %). Amphipods were of minor importance (1-8 %).

In the northern shelf and basin areas (Areas 6, 8 and 9) from late June to middle July, amphipods were quantitatively the most important prey (62-90 %), followed by copepods (<28 %), fishes (<10 %), squids (<4 %) and pteropods (<1 %).

Stomach contents of immature pollock in these area were similar to those of post-spawner pollock, though copepods were more dominant. In Area 6, post-spawner pollock fed on fishes, while immature pollock fed on fish larvae.

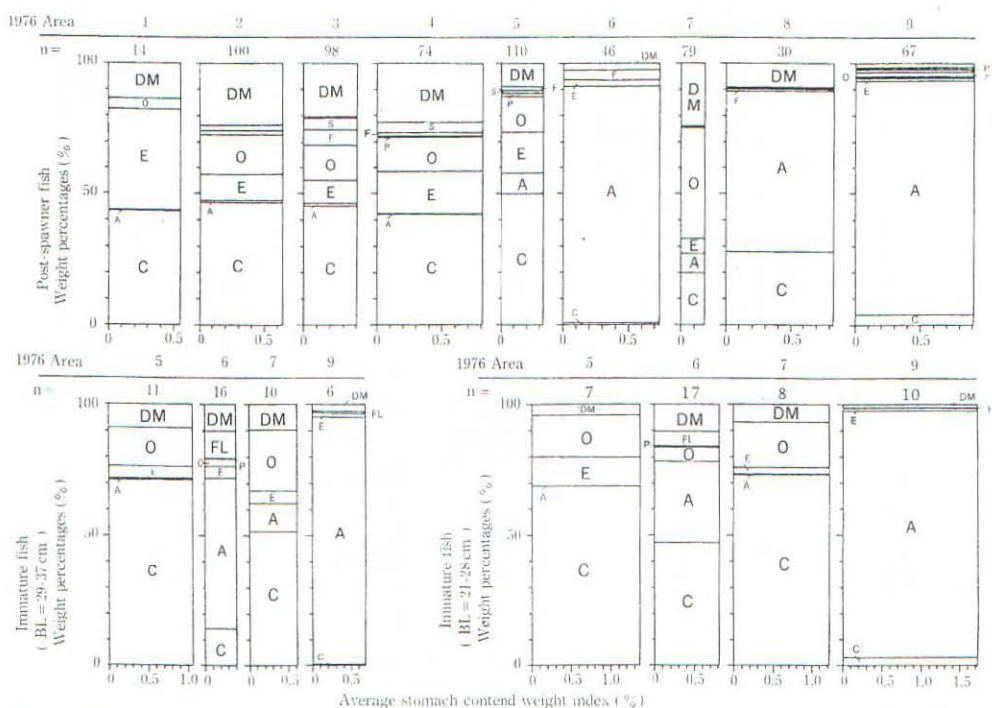


Fig. 8a. Food composition by weight percentage and mean stomach content weight index for pelagic walleye pollock in the Bering Sea. A: Amphipods, C: Copepods, E: Euphausiids, O: Appendicularians (*Oikopleura*), F: Fishes, FL: Fish larvae, P: Pteropods, S: Squids, SL: Squid larvae, Sa: Chaetognaths, CL: Crab larvae, DM: Digested matter.

2) 1977 (Fig. 8b)

Appendicularians were the dominant prey (66 %) of post-spawner pollock in the basin area (Area 1) in mid-June followed by copepods (17 %) and euphausiids (10 %). In the slope area (Area 2) in mid-July, crab larvae (mainly megalopae) were the dominant prey (41 %) followed by fishes (15 %), euphausiids (15 %), appendicularians (8 %), pteropods (7 %) and copepods (3 %). In the shelf area (Area 3) in early July, amphipods were the dominant prey (72 %) followed by crab zoea (5 %).

In the stomach contents of immature pollock, amphipods were the most dominant prey (30-75 %) followed by crab larvae (23 %) in Area 2 and copepods (13 %) in Area 3.

3) 1978 (Fig. 8b)

Copepods were the most dominant prey (78-95 %) of post-spawner pollock in the southern basin area of mid-June followed by euphausiids (2-11 %). In the shelf area (Area 4), copepods and fishes were the dominant prey (36 and 28 % respectively). However this value includes large pollock collected by vertical longline near the bottom which fed on young pollock (11-17 cm in body length). The body length of these young pollock was calculated from the undamaged otolith length found in the stomach contents (Hashimoto and Koyachi²²⁾, Yoshida and Kato²³⁾).

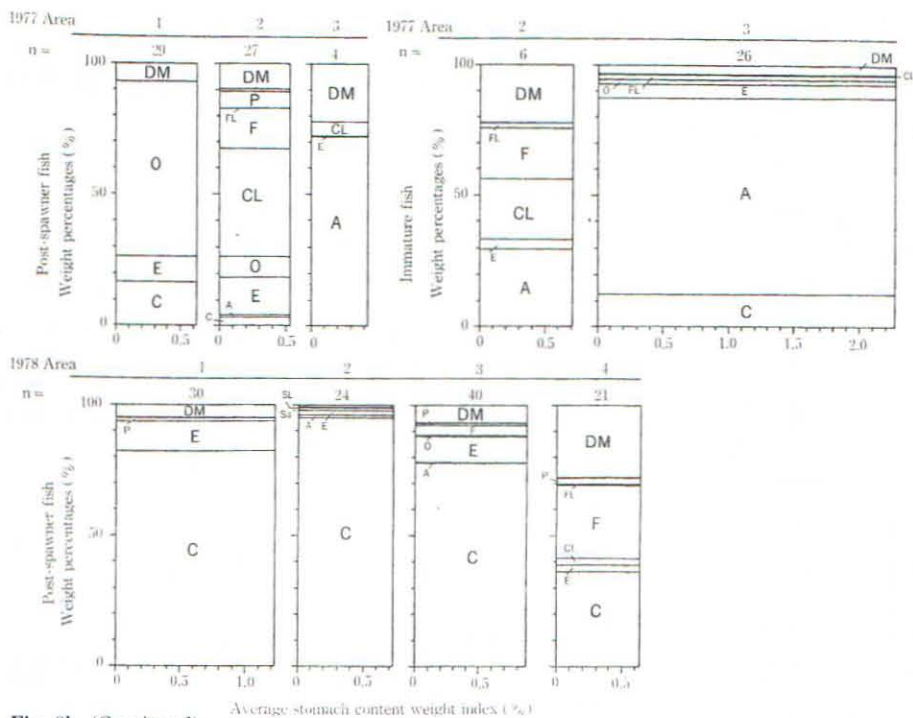


Fig. 8b. (Continued)



Fig. 8c. (Continued)

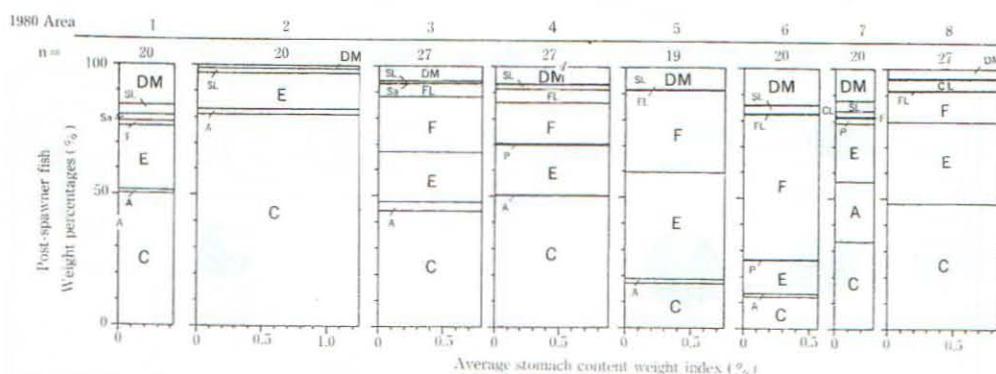


Fig. 8d. (Continued)

4) 1979 (Fig. 8c)

In June (Area 1-10), copepods were the most dominant prey (57-85 %) in the basin and shelf area followed by euphausiids (3-27 %) and appendicularians (0-22 %). Pteropods and chaetognaths were important food items regionally (14 % in Area 7 and 7-8 % in Area 2 and 7, respectively).

In July (Area 11-17), fishes were the most dominant prey (17-64 %) followed by euphausiids (14-25 %), copepods (1-38 %) and pteropods (0-14 %). Crab larvae composed 3 and 8 % of the weight percentage in the shelf and slope area (Area 13 and 17).

5) 1980 (Fig. 8d)

In July of 1980, stomach contents of post-spawner pollock were almost similar to those in July of 1979. Copepods were the most important prey (12-51 %, especially 81 % in Area 2) followed by euphausiids (13-41 %) and fishes (12-56 %, however only 0-2 % in Area 1, 2 and 7). Appendicularians were unimportant.

Overall diet compositions of post-spawner pollock during 1976-1980 in summer were dominated by copepods followed euphausiids (Fig. 9). Amphipods, fishes and appendicularians were also important food items regionally and seasonally. Pteropods, crab larvae and others were of minor importance except at a few stations.

4. Geographic distribution of food items in the stomachs of post-spawner pollock

The total weight of 27 prey categories per 10 post-spawner pollock at each sampling station, all years combined, are shown in Fig. 10-17 to describe the distribution pattern of food items.

1) Copepods (Fig. 10 a, b)

Seven species were found in pollock stomachs. *Calanus cristatus* and *C. plumchrus* were abundant followed by *Eucalanus bungii bungii*. The other four species (*C. glacialis*, *Candacia columbiae*, *Pareuchaeta elongata* and *Metridia pacifica*) were less abundant.

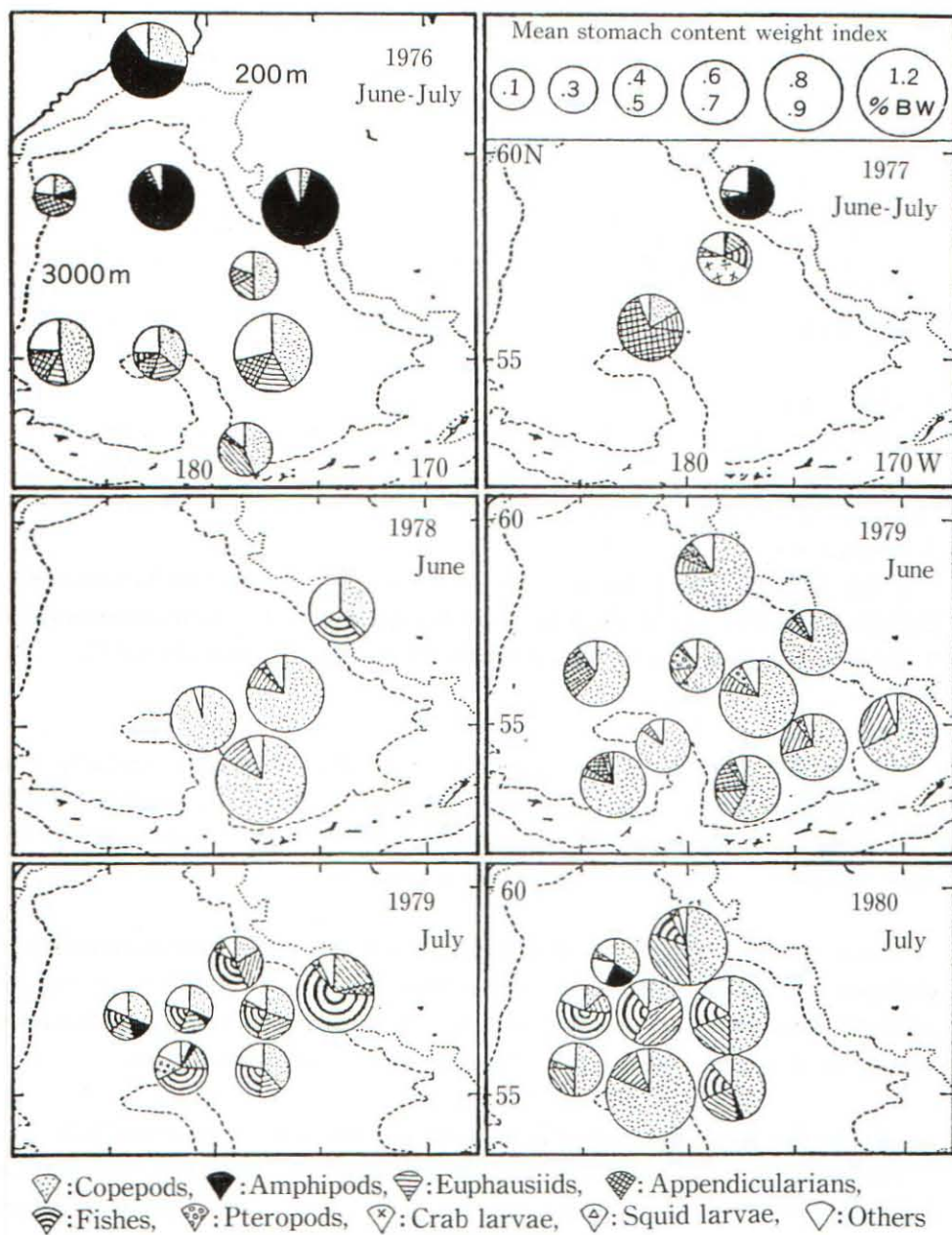


Fig. 9. Food composition by weight percentage and mean stomach content weight index for pelagic walleye pollock in the Bering Sea. (Yoshida²⁴).

C. cristatus (5.7–9.5 mm in length from rostrum to furca) was distributed widely and abundantly in the Aleutian Basin except in the northern waters in 1976, 1977 and in July of 1979.

C. plumchrus (2.8–4.8 mm) showed a similar distribution to *C. cristatus*. In the southern area in 1976 and in June of 1979 *C. plumchrus* was more abundant than *C. cristatus*.

E. bungii bungii (5.0–8.5 mm) was distributed widely in the basin area in 1976 and in June of 1979 and was abundant regionally.

P. elongata (5.1–7.4 mm) and *Metridia pacifica* (3.0–3.7 mm) were also distributed in the basin area.

C. columbiae (3.8–5.5 mm) was only found in the central and southern basin area.

C. glacialis (3.0–4.5 mm) was only found in the shelf area in 1976 and in southeastern shelf slope area in June of 1979.

2) Amphipods (Fig. 11a, b)

Six species (*Parathemisto pacifica*, *P. libellula*, *Hyperia galba*, *H. medusarum*, *Hyperoche kroyeri* and *Primno macropa*) were found in the pollock stomachs.

P. pacifica (2.2–10.5 mm in length from anterior tip of head to telson) was widely distributed in the waters throughout the Aleutian Basin and highest abundance tended to occur regionally in July of 1979 and 1980.

P. libellula (5.0–22.0 mm) occurred in the northern area in 1976 and 1977, and was especially abundant in the shelf and slope area.

Only two individuals of *H. galba* (14–16 mm) were found at station '627' in 1976.

From one to four individuals of *H. medusarum* (7–19 mm) and *H. kroyeri* (8–10 mm) were found in the stomachs in the basin area.

Primno macropa (6.5–12.5 mm) was widely distributed and more abundant than the other three species.

3) Euphausiids (Fig. 12)

Three species (*Thysanoessa longipes*, *T. inermis* and *T. raschii*) were found in the walleye pollock stomachs.

T. longipes (11–26 mm in length from rostrum to telson) was distributed widely and abundantly in the basin area.

T. inermis (14–23 mm) was found in the northern shelf and slope area, and the northern and western part of the basin. It was especially abundant in continental slope area in July of 1977 and 1979.

T. raschii (12–20 mm) was found at only two stations in the shelf area in 1976 and slope area in 1979.

4) Appendicularians (Fig. 13)

Oikopleura labradoriensis was widely and dominantly distributed in 1976, 1977 and June

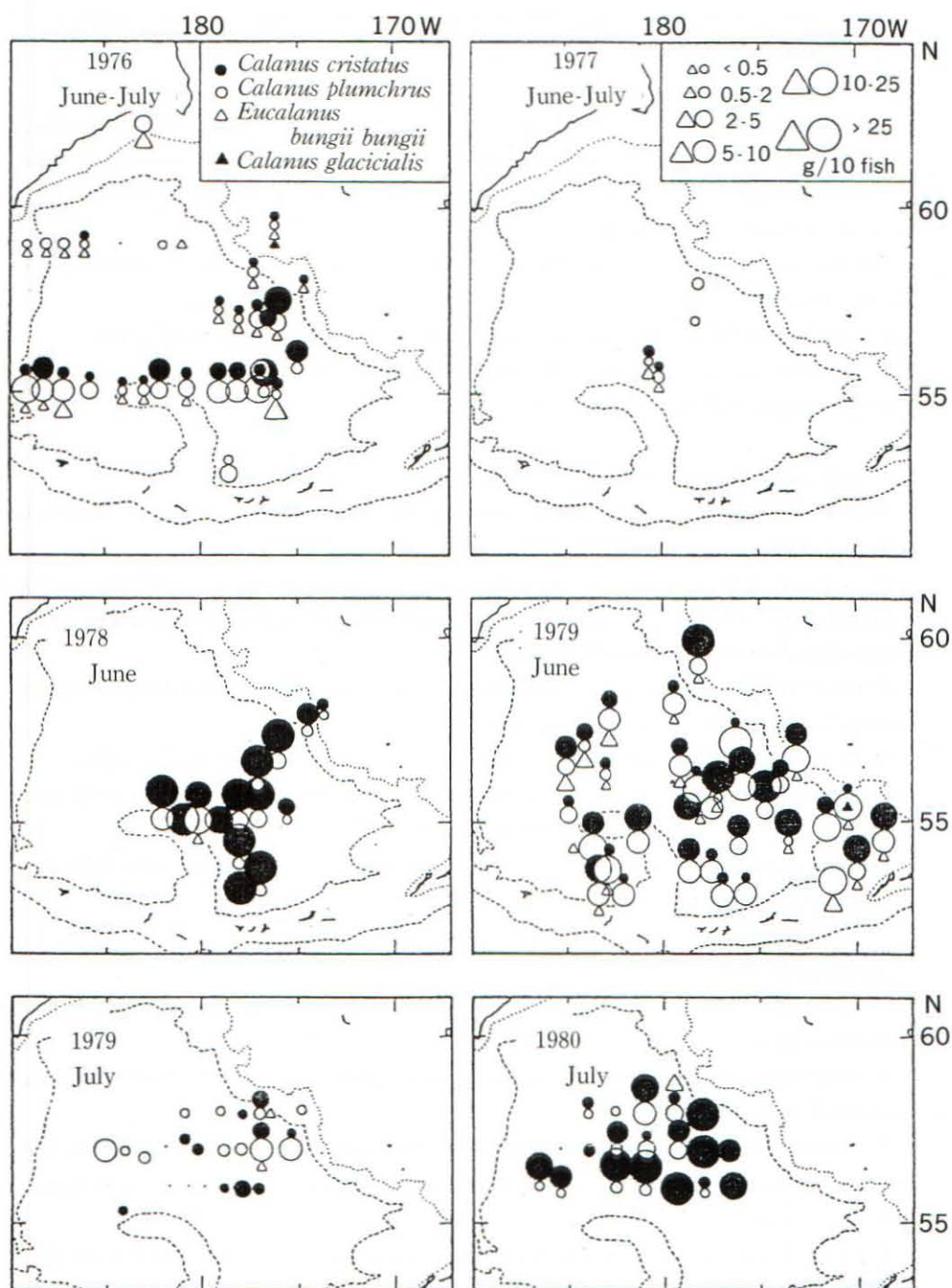


Fig. 10a. Distribution and abundance of *Calanus cristatus*, *C. plumchrus*, *C. glacialis* and *Eucalanus bungii bungii* in the Bering Sea in summer, 1976-1980.

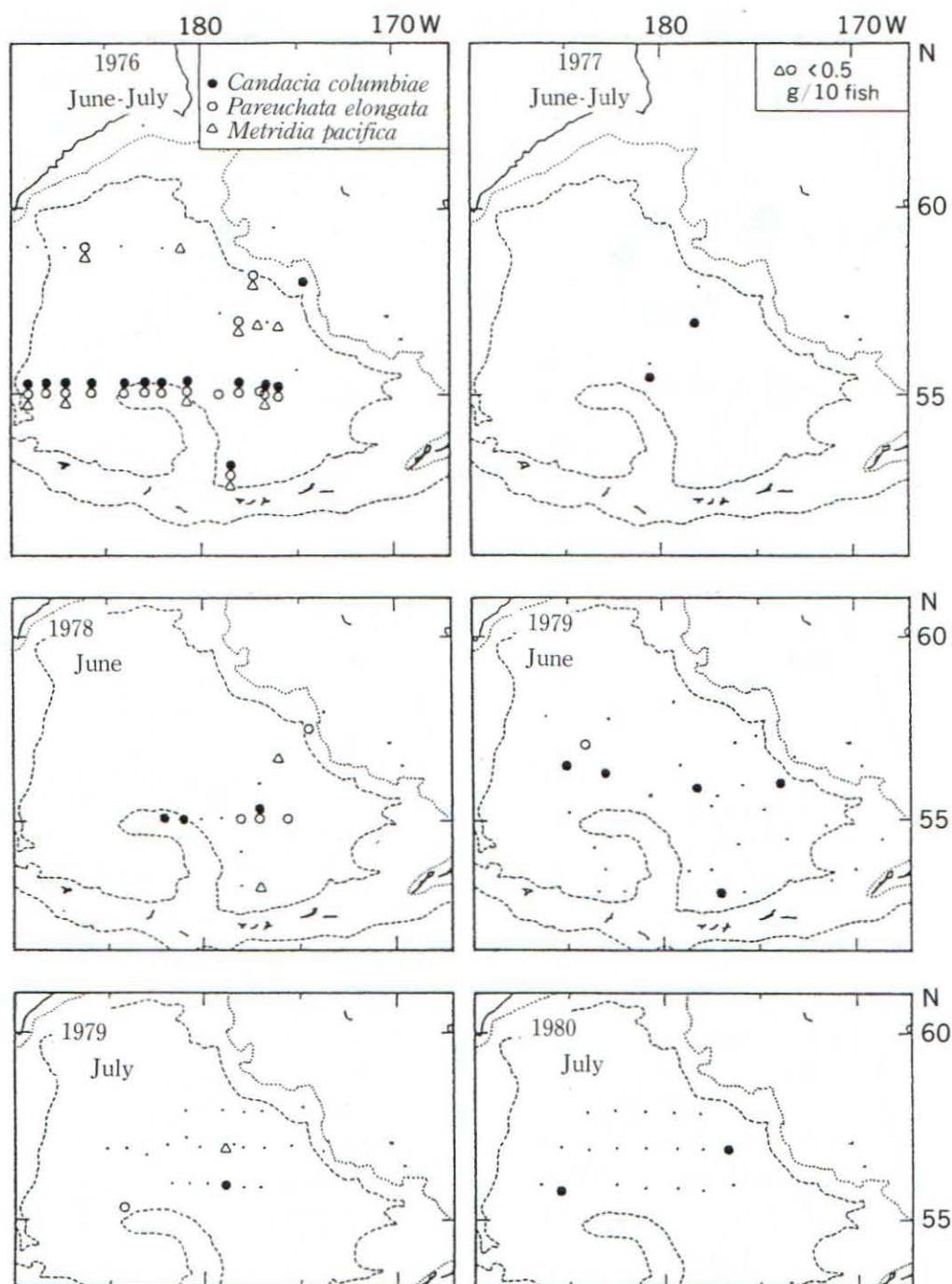


Fig. 10b. Distribution and abundance of *Candacia columbiae*, *Pareuchaeta elongata* and *Metridia pacifica* in the Bering Sea in summer, 1976-1980.

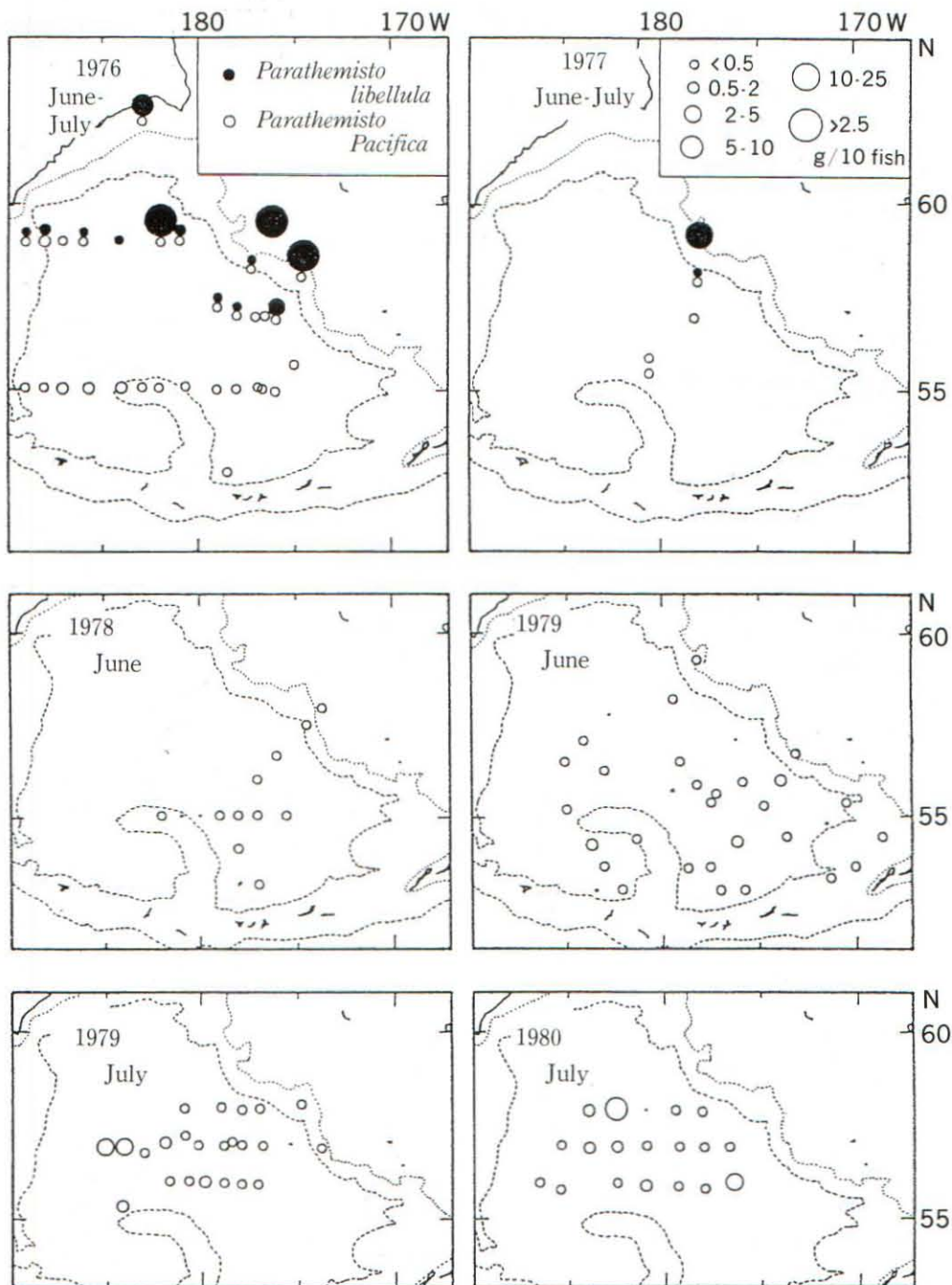


Fig. 11a. Distribution and abundance of *Parathemisto libellula* and *Parathemisto pacifica* in the Bering Sea in summer, 1976-1980.

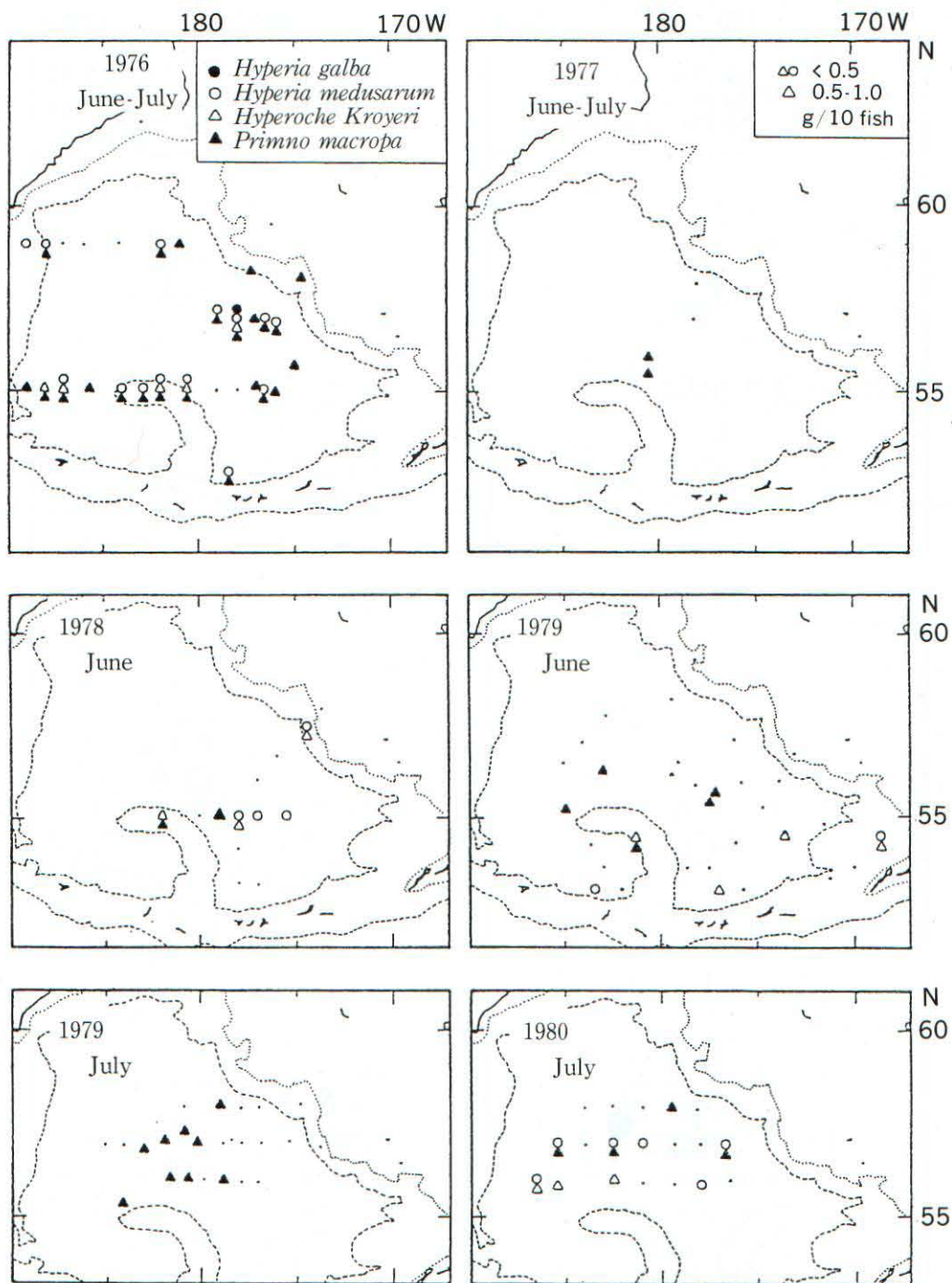


Fig. 11b. Distribution and abundance of *Hyperia galba*, *Hyperia medusarum*, *Hyperoche kroyeri* and *Primno macrochaeta* in the Bering Sea in summer, 1976-1980

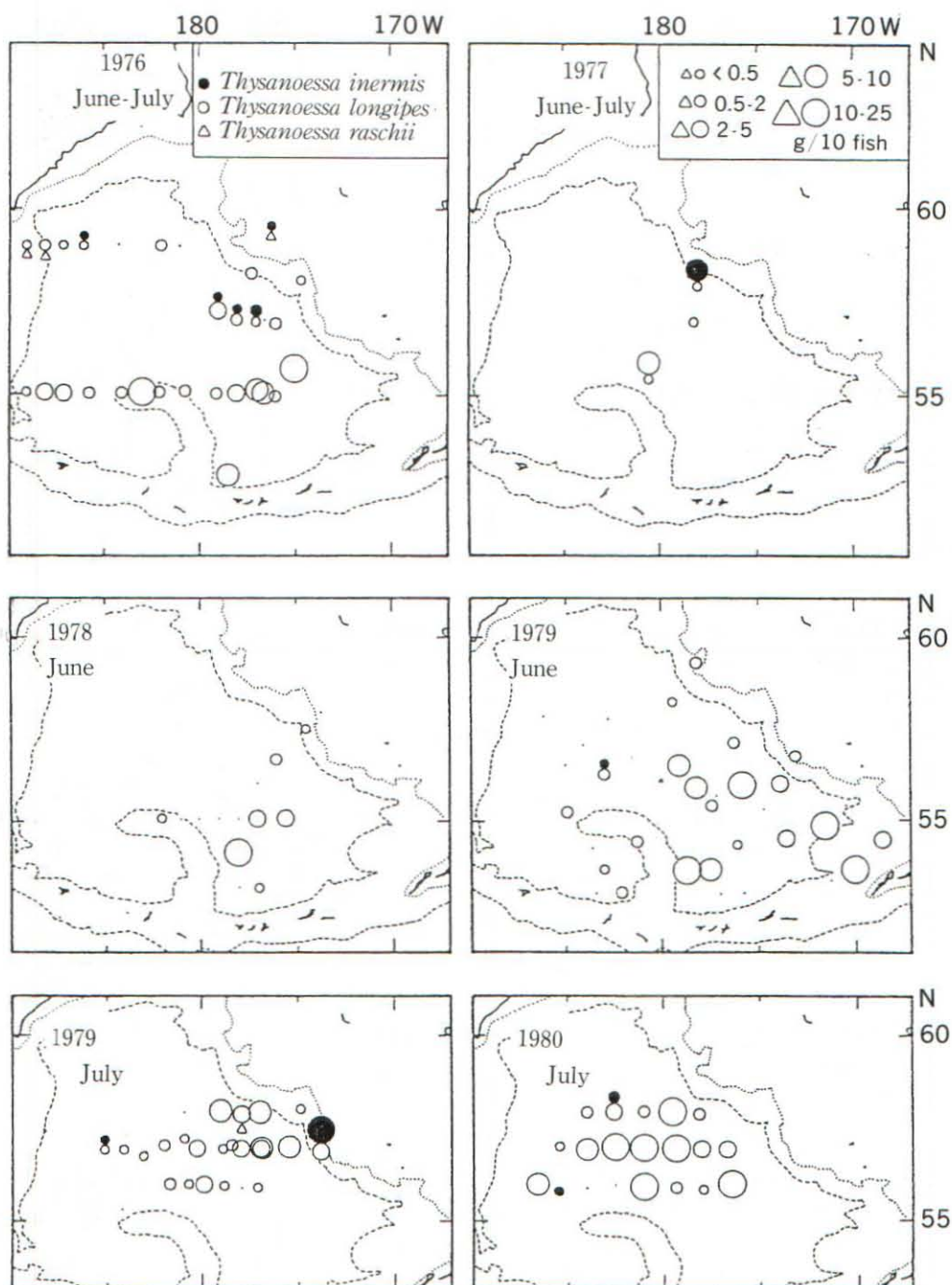


Fig. 12. Distribution and abundance of *Thysanoessa inermis*, *Thysanoessa longipes* and *Thysanoessa raschii* in the Bering Sea in summer, 1976-1980.

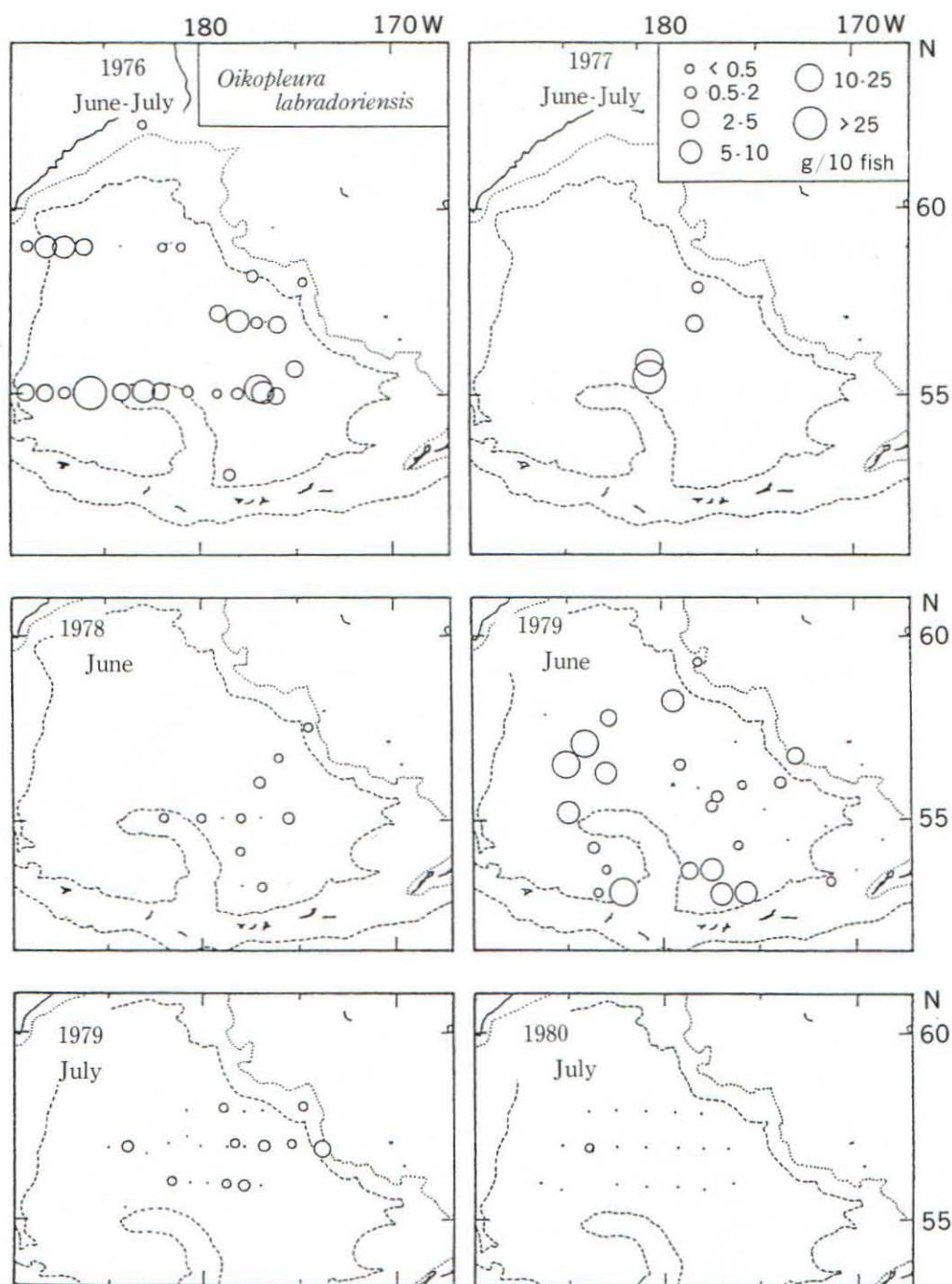


Fig. 13. Distribution and abundance of *Oikopleura labradoriensis* in the Bering Sea in summer, 1976-1980.

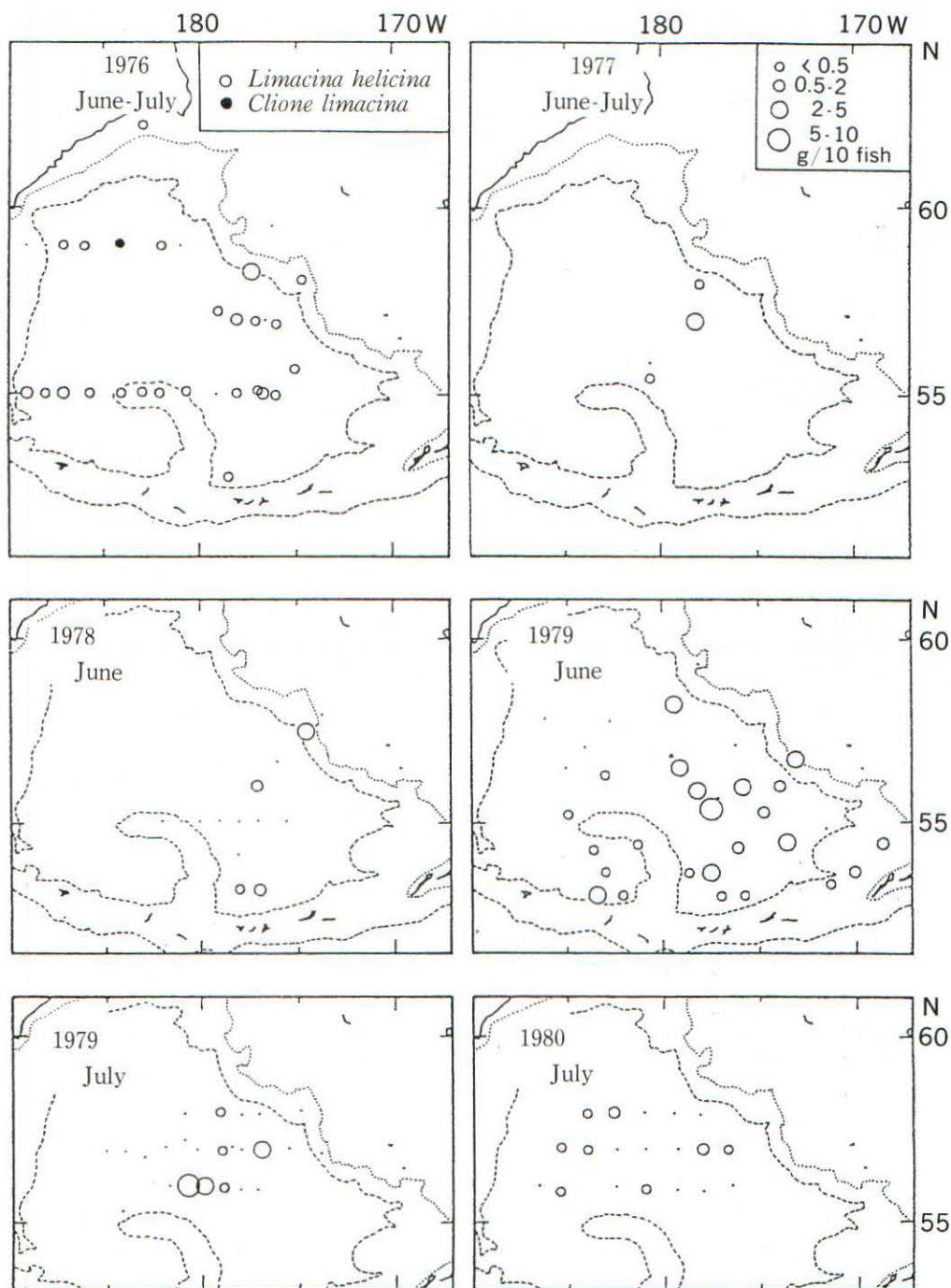


Fig. 14. Distribution and abundance of *Limacina helicina* and *Clione limacina* in the Bering Sea in summer, 1976-1980.

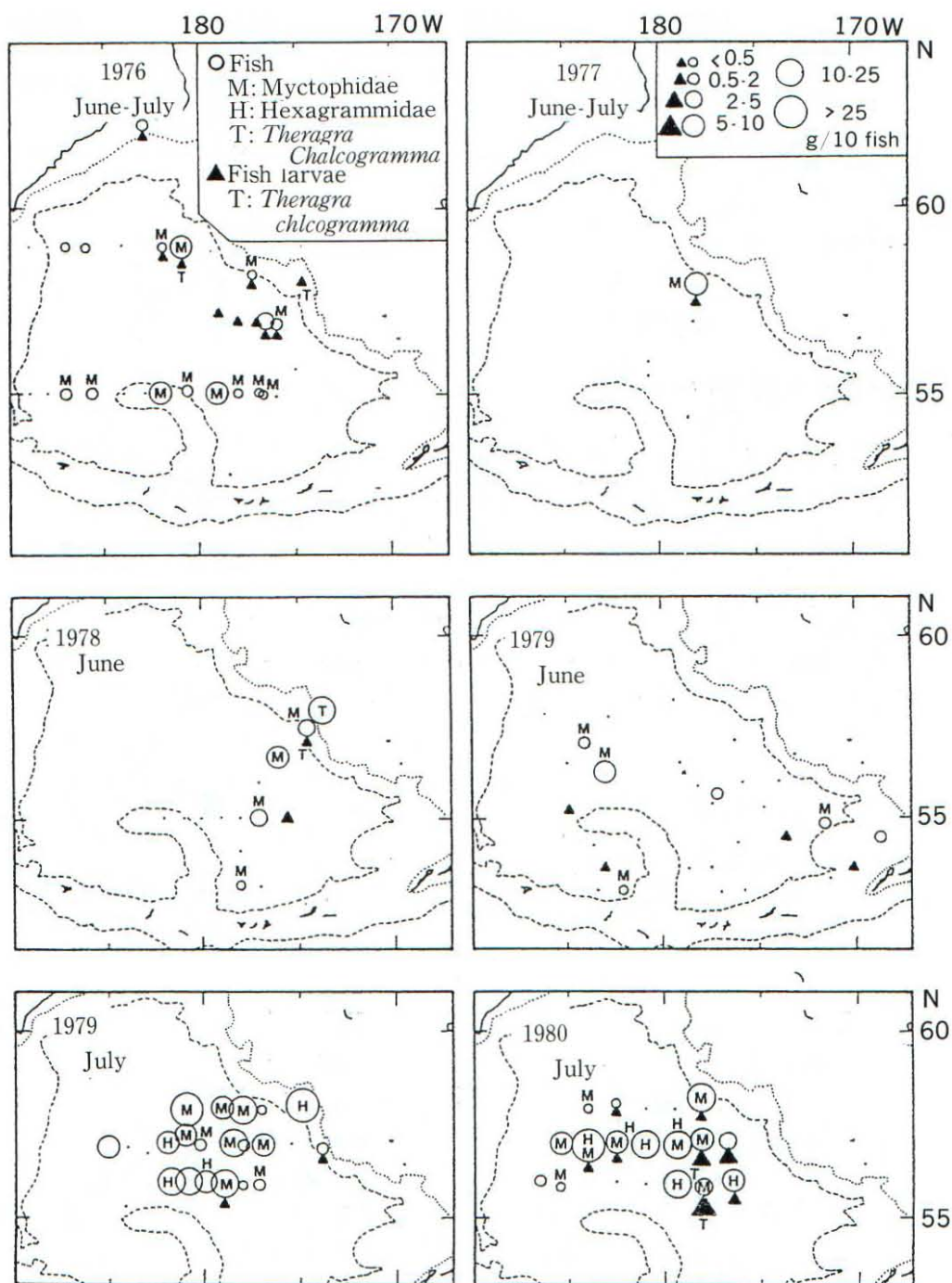


Fig. 15. Distribution and abundance of fish and fish larvae in the Bering Sea in summer, 1976-1980.

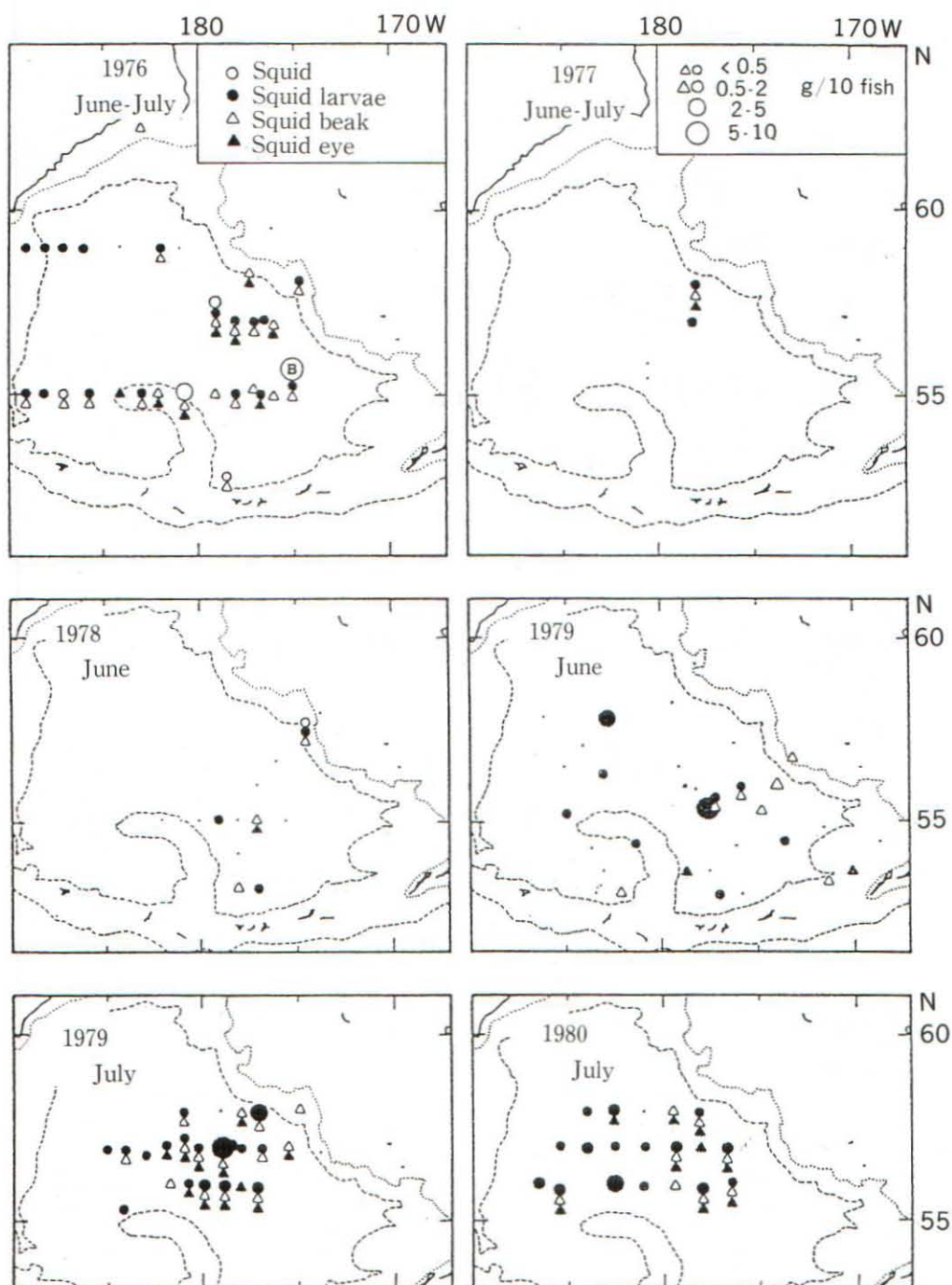


Fig. 16. Distribution and abundance of squid, squid larvae, squid beak and squid eye in the Bering Sea in summer, 1976-1980. B: *Berryteuthis magister*

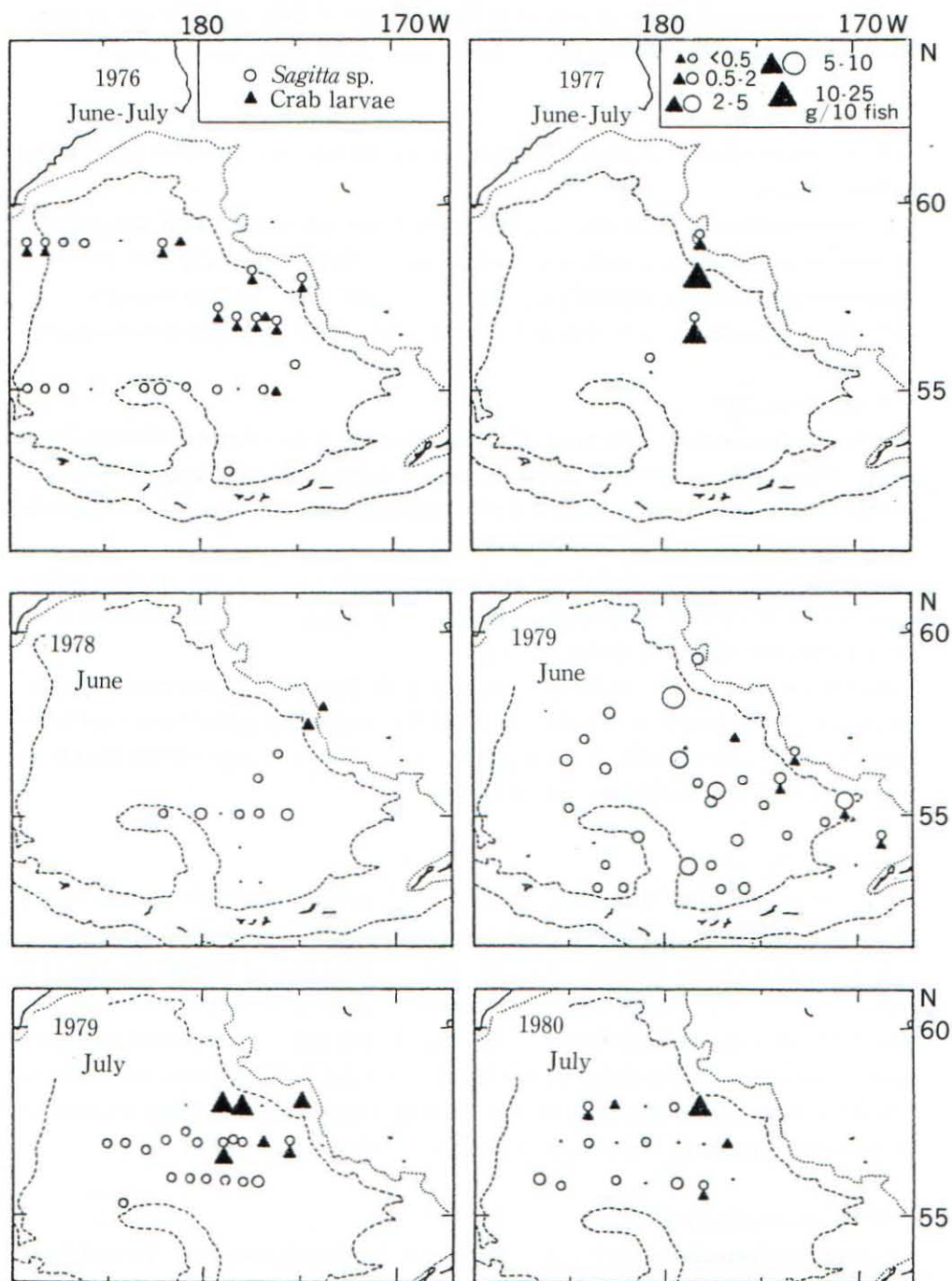


Fig. 17. Distribution and abundance of *Sagitta* sp. and Crab larvae in the Bering Sea in summer, 1976-1980.

of 1979, but occurred in low abundance in 1978 and July of 1979, and was rare in 1980. The occurrence of *O. labradoriensis* in July tended to be lower than in June.

5) Pteropods (Fig. 14)

Two species (*Limacina helicina helicina* and *Clione limacina limacina*) were found in the stomachs.

L. helicina helicina (1.5-3.0 mm in shell diameter) was widely distributed comparatively in the basin area and was usually a minor food item. But as in 1979, *L. helicina helicina* was sometimes dominant regionally and was the only prey found in every stomach.

C. limacina limacina occurred only at the station '702' of 1976 in the northern basin area.

6) Fishes (Fig. 15)

Fishes in the stomachs were mostly half-digested and widely distributed in the basin area. When post-spawner pollock fed on fishes, fishes occupied a large percentage of stomach content, especially in July of 1979 and 1980 when fishes were comparatively dominant.

Myctophidae (8-11 cm in body length), Hexagrammidae (4.5-7.5 cm), walleye pollock juveniles (11-17 cm) and larvae were identified. Myctophidae and Hexagrammidae fishes were widely distributed in the basin area.

Fish larvae tended to occur in the basin area along the edge of the continental shelf. Identified pollock juveniles were distributed in the continental slope area except in the southern basin area in 1980. Young pollock were eaten by a large pollock caught by vertical longline near the bottom (200 m depth).

7) Squids (Fig. 16)

Most squids were half-digested. Squids, squid larvae, squid beaks and squid eyes were minor food items quantitatively, but were widely distributed in the basin area.

A young *Beryteuthis magister* (about 80 mm in dorsal mantle length) was found at station '623' in 1976. However, post-spawner pollock fed mostly on squid larvae which were 9-40 mm in dorsal mantle length. The beak length and eye diameter of undigested squid larvae (about 35 mm dorsal mantle length) were 3.5 mm and 2 mm, respectively.

Squid beaks in most of the stomachs were less than 5 mm in length. Beaks greater than 10 mm were very rare. Squid eyes were 0.8-2.5 mm in diameter.

8) Chaetognaths (Fig. 17)

Undigested chaetognaths (*Sagitta* sp.) were rare in the stomach contents. In most cases, only a part of the head was found. However, chaetognaths were widely distributed in the Aleutian Basin and were regionally abundant in June of 1979.

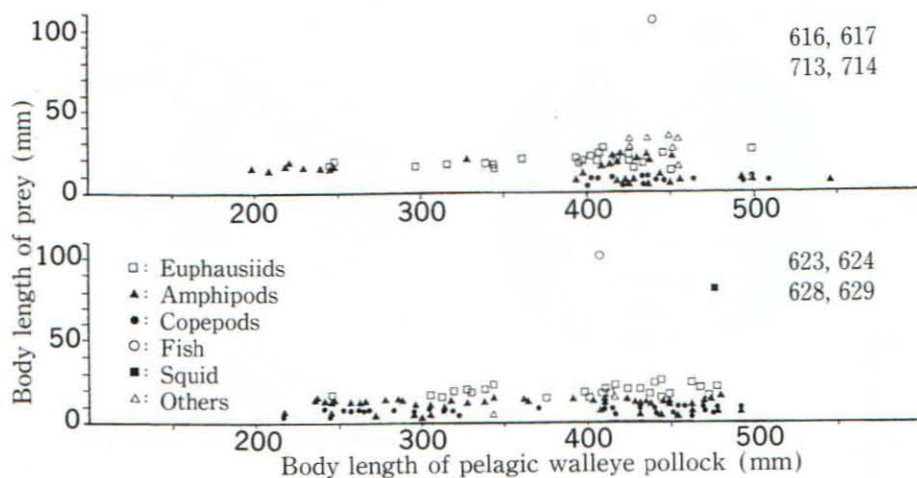


Fig. 18. Relationship between body length of prey and body length of pelagic walleye pollock in the Bering Sea of 1976. Figure shows sampling station code.

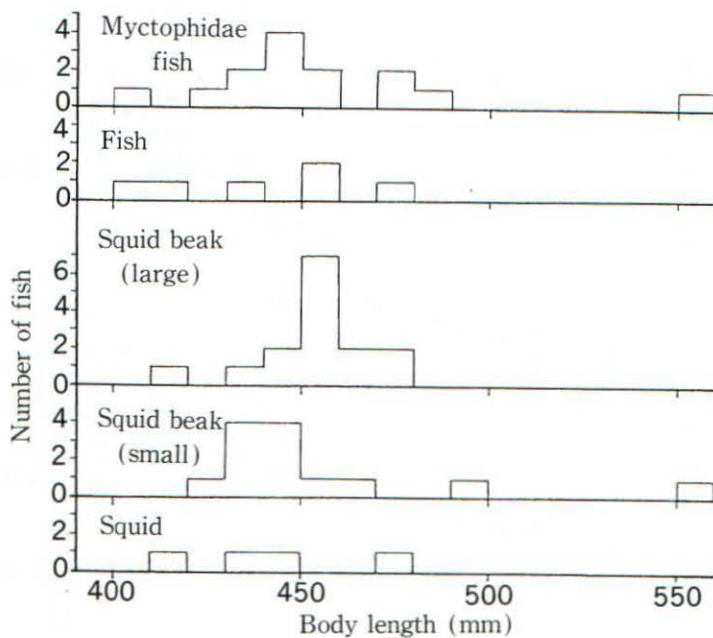


Fig. 19. Relationship of body length of pelagic walleye pollock to prey.

9) Crab larvae (Fig. 17)

Crab larvae were found in the northern basin area and the shelf and slope area along the eastern continental shelf margin, and were sometimes abundant in the stomachs in July of 1977, 1979 and 1980. Crab zoeae and megalopae mainly occurred in June and July respectively.

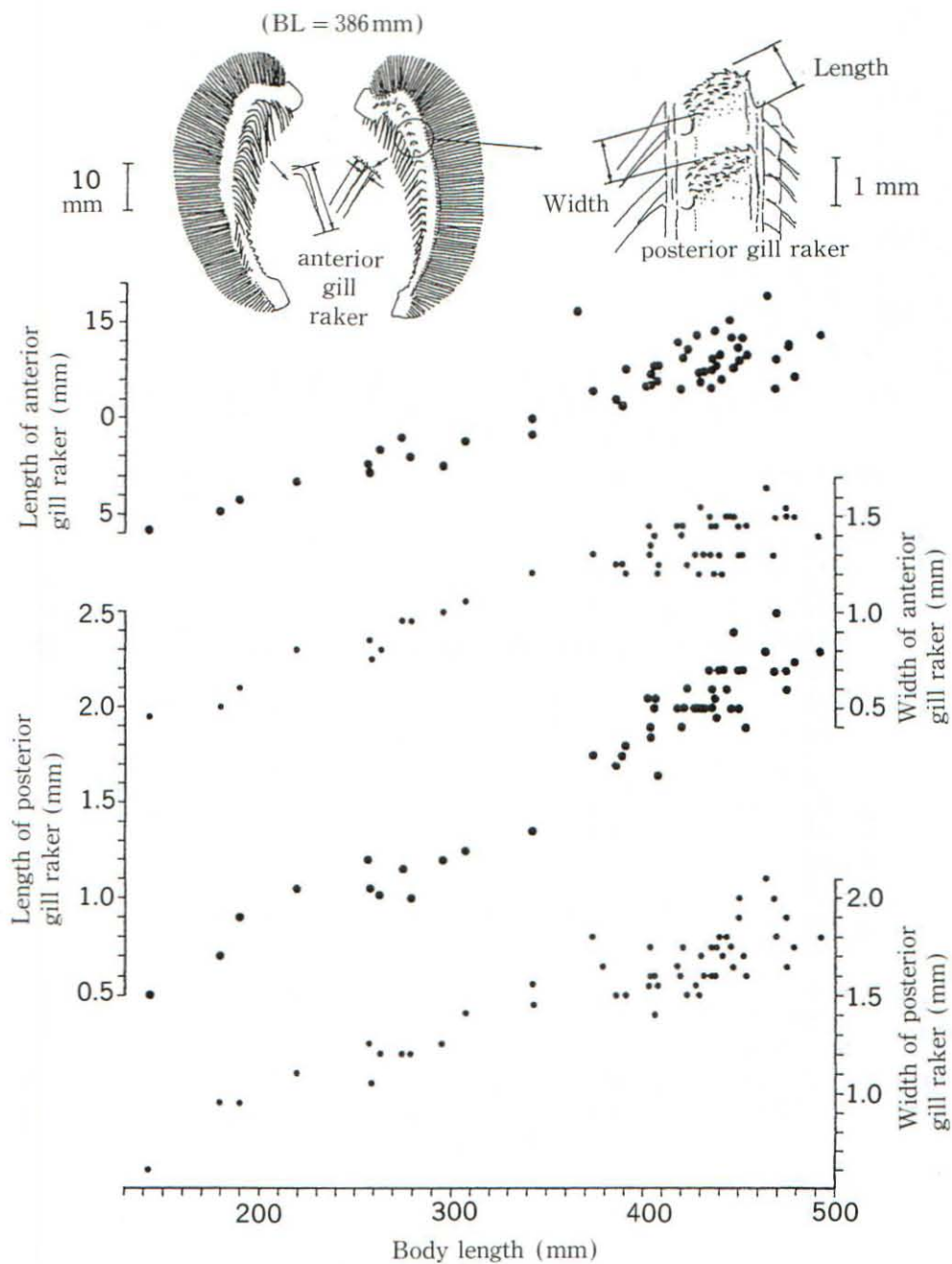


Fig. 20. Relationship between gill raker size and body length of walleye pollock.

5. Relationship between size of food items and pollock

Fig. 18 shows the relationship between body length of prey and body length of pelagic immature and post-spawner pollock. The maximum percentage of prey size to pollock size was 24 %, and pollock more than 40 cm in body length fed on relatively large fish and squid. However, post-spawner pollock also fed on the same size prey (4-25 mm) as immature pollock. Fig. 19 shows the relationship of body length of pelagic pollock to the occurrence of fish and squid.

To clarify the minimum prey size on which pelagic pollock is able to feed, the structure and size of the gill rakers on the first gill arch of pollock ranged from 14-49 cm in body length were examined (Fig. 20). The number of anterior and posterior gill rakers were 34-45 and 22-28, respectively. There were many small projections with the tips directed inward. The length and width of the anterior and posterior gill rakers increased with body length. The width of the anterior and posterior gill rakers of pollock more than 40 cm in body length were 1.5-2.0 mm.

Discussion

The average stomach fullness index of pelagic post-spawner pollock was low and the majority of the values ranged from 0.5 to 0.9. The higher values for young pollock were considered to relate to a higher daily ration in the young fish.

The food organisms in the pollock stomachs were found in various degrees of digestion and were arranged in order by degree of digestion. This phenomenon was also observed in salmon (Allen and Aron²⁵⁾, Ueno²⁶⁾ and suggests that walleye pollock feed continuously. From the midwater trawl data, the stomach fullness indices at about sunset were the highest. Also, the maximum value of percent weight of undigested food in the stomachs was found at about sunset. Ogata¹⁾ and Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.²⁷⁾ examined the stomach content weight of walleye pollock collected by the bottom trawl during spring and summer and suggested that the major feeding time of pollock was morning and sunset. Okada⁸⁾ suggested the feeding of pelagic pollock in the Aleutian Basin became more active at sunset using stomach content weight data from midwater trawls. The results of this study coincide with these reports.

The mean value of the weight percentage of less digested food was 50 %. The initial weight of the less digested food was restored, based on the results of gastric evacuation rates of adult walleye pollock at 5.4 and 8.1°C (Yoshida *et al.*²⁰⁾). The less digested food was presumed to be situated within 24 hours after feeding. Therefore the restored initial weight of the prey fed by the pelagic pollock per day is estimated to be 65 % ($50 \% \times$ restoration rate 1.3) and 70 % ($50 \% \times 1.4$) of the total stomach contents at 5.4 and 8.1°C, respectively.

When this estimate of the percent of the stomach contents eaten in one day is multiplied

times the mean stomach fullness index values (in % body weight), the result is (0.3×0.65) to (1.3×0.7) as an estimate of daily ration. However, estimates of this type are biased low. Tyler²⁸⁾ examined the gastric evacuation rate of the Atlantic cod which was given food continuously and indicated the gastric evacuation rate increased as compared with a single feeding experiment. Also, stomach content weight tends to be underestimated due to regurgitation when pollock are collected.

Therefore the author adopted the value of the stomach fullness index in this study as the daily consumption rate. The daily food requirement for maintenance of body weight was reported to be 0.61 % body weight per day for adult walleye pollock (Yoshida and Sakurai²⁹⁾). Consequently, it appears pelagic pollock in the central Bering Sea are obtaining sufficient food for survival and growth.

Yoshida and Yoon¹⁶⁾ histologically examined ovaries of the pelagic pollock collected in the surface layers of the central Bering Sea in summer. It was clear that the adult pelagic pollock were post-spawners. Egg maturity was at the yolkless stage and yolk vesicle stage except for one case with maturity at the early yolk formation stage. Occurrence of the yolk formation stage suggests that reproduction has started already (Yoon³⁰⁾). This result supports the contention that the daily consumption rate estimated in this study is sufficient for reproduction.

Pelagic pollock fed mainly on zooplankton which were consumers of primary production. The distribution of food items in the pollock stomachs coincided the reports of these species in the surface layers of the Bering Sea in summer (Bowman³¹⁾, Ponomareva³²⁾, Minoda³³⁾, Takeuchi³⁴⁾, Motoda and Minoda²⁰⁾, Shiga³⁵⁾, Ogi and Hamanaka³⁶⁾). The distribution of these species were clearly divided into oceanic species and coastal area species. *C. glacialis* and *T. raschii* were only distributed in the continental shelf and slope area. The distribution of *P. libellula*, which is largely a pelagic species, was closely related to the presence of extremely cold water in 1976 (Ogi and Hamanaka³⁶⁾, Hokkaido Univ.³⁷⁾). These results indicate that the food items in the stomach of pelagic pollock generally reflect the characteristics of the prey distribution with relation to the oceanographic structure.

The distribution of crab larvae was also related to their spawning grounds on the continental shelf. Appendicularians were also important food items regionally and seasonally. Shiga³⁵⁾ indicated that the abundance of the appendicularian (*O. labradoriensis*) collected by plankton net in the Bering Sea fluctuated greatly year by year. These results also indicate that pelagic pollock fed on the utilizable abundant species in the surface layer of the central Bering Sea in summer.

Fishes were also important prey regionally and seasonally and larger pollock tended to feed on larger prey. Takahashi and Yamaguchi³⁸⁾ examined the stomach contents of pollock collected by bottom trawl in the eastern Bering Sea and indicated the pollock switched their food items from copepods and euphausiids to 0 and 1 age pollock with increased pollock body size. However, cannibalism of juvenile and young pollock by adult pelagic pollock was not found in this study except in a few instances on the continental

shelf. Haryu³⁹⁾ indicated that pollock larvae were widely found over the Bering Sea, but were most abundant on the shelf region of the southeastern Bering Sea along the continental slope from Unimak Island to Cape Navarin during June to August.

It was clear that large pollock have the ability to feed on prey greater than 2 mm in size based on the structure of gill rakers. However, pelagic pollock fed mainly on macro-zooplankton greater than 4 mm in size. According to Brawm⁴⁰⁾ large cod did not respond to food less than 2 mm in size in an aquarium. Feeding behavior and prey selection by walleye pollock also seems to relate to their sense of sight.

It appears that the pelagic walleye pollock in the Aleutian Basin do not compete directly with other species for food. However, the food composition of pelagic pollock was similar to that of chum salmon with the exception that chum salmon do not eat appendicularians. The most important food items of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) and pink salmon (*O. gorbuscha*) were squids and chum salmon (*O. keta*) fed mainly on copepods (Kanno and Hamai⁴¹⁾). There is only one record of sockeye salmon feeding on appendicularians, and that is in Bristol Bay (Nishiyama⁴²⁾). Generally, the vertical distribution of salmon was in the surface layer shallower than 10-20 m (Machidori⁴³⁾, Takeuchi³⁴⁾) and 80 % of the zooplankton in 0-150 m depths in the Bering Sea in summer existed in the 0-80 m layer (Motoda and Minoda³⁰⁾). Smooth lumpsuckers (*Aptocyclus ventriosus*) collected by midwater trawl in the Aleutian Basin were second in number not including jellyfish (Okada⁸⁾) and they fed mainly on medusae and ctenophores (Yoshida and Yamaguchi⁴⁴⁾). Salmon shark (*Lamna ditropis*) was also widely distributed in the Bering Sea and fed mainly on salmon (Sano^{45, 46)}). Ogi *et al.*⁴⁷⁾ reported that the short-tailed shearwater (*Puffinus tenuirostris*) in the Bering Sea in summer fed mainly on euphausiids and squid. Pelagic pollock do not seem to be able to feed on young squid because of their weak swimming ability.

Based on the low level of cannibalism by large pollock, the absence of other major pollock predators (Pacific cod, large flatfishes, and marine mammals), and the diets of the inhabitants of the Aleutian Basin described above, the pelagic pollock seem to have fewer predators than on the continental shelf. However, fewer young pollock are found in the Aleutian Basin than in the continental shelf and slope area.

In conclusion, the pelagic post-spawner pollock in the surface layers of the central Bering Sea feed on the abundant macro-zooplankton (the consumers of primary production), avoid competition in the inter- and intra-species relationships, escape from their predators and are sure to grow and reproduce again. Therefore, the pelagic life style of walleye pollock seems to be an important factor in maintaining their population.

Acknowledgements

I would like to express my sincere thanks to Honorary Professor S. Mishima, Dr. H. Ogi and Dr. Y. Sakurai of the faculty of Fisheries, Hokkaido University and Dr. T. Nishiyama of the Hokkaido Tokai University, for their guidance in the course of the present study and for their kind revision of the manuscript. Moreover, I thank Dr. P. Livingston and Mr. T. Buckley of the Alaska Fisheries Science Center, NMFS, NOAA, U.S.A., for their helpful discussion, reading and criticism on the manuscript.

Thanks are also due to formerly Captain T. Fujii of the TS *Oshoro Maru* of the Hokkaido University, Mr. H. Yamaguchi of the National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Agency and Mr. M. Narita of the Federation of Japan Salmon Fisheries Cooperative Associations for obtaining the specimens.

References

- 1) Ogata, T. : Demersal fisheries and resources in the Japan Sea (walleye pollock). *Sci. Rep. Japan Sea Reg. Inst.* (4), 93-139 (In Jpn. with Eng. sum.) (1956)
- 2) Ishigaki, T. : Sanrango no suketoudara wa dokoe (Yohou) (Where does the post-spawner walleye pollock go? (Preliminary report)). *Hokusuishi Geppo* 17(9), 1-9. Hokkaido Fish. Exp. Stn. (In Jpn.) (1960)
- 3) Shimomura, T., T. Nishino, K. Arai, H. Takeshima and T. Jinno : Pelagic walleye pollock in the Sea of Japan (Preliminary report). The study of subarctic boundary in the Sea of Japan in 1960. 244p. Japan Sea Reg. Fish. Res. Inst. (In Jpn.) (1961)
- 4) Yamaguchi, H., F. Mitani and Y. Takahashi : Review of pollock bycatch in the various fisheries. In Report of the studies on the stock structures of pollock resources in the Bering Sea and the waters around the Kamchatka Peninsula. p.18-32. Agriculture, Forestry, and Fish. Research Council Secretariat, Ministry Agriculture, Forestry, and Fish., Tokyo (In Jpn.) (1979)
- 5) Suzuki, T. : Biological characteristics of the walleye pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas) distributed at surface layer in the central area of the Bering Sea as observed by fish finder. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 27(3•4), 137-144 (In Jpn. with Eng. sum.) (1976)
- 6) Okada, K. : Preliminary report of acoustic survey on pollock stock of the Aleutian Basin and adjacent water in summer of 1977. 19p. Fisheries Agency of Japan (Document submitted to the INPFC, October 1977, Anchorage) (1977)
- 7) Okada, K. : Preliminary report of acoustic survey and mid-water trawl on pollock stock on the Aleutian Basin and adjacent waters in summer of 1978. 42p. Fisheries Agency of Japan (Document submitted to the INPFC, October 1978, Vancouver) (1978)

- 8) Okada, K. : Biological characteristics and distribution of pelagic pollock on the Aleutian Basin. 21p. Fisheries Agency of Japan (Document submitted to the INPFC, October 1979, Tokyo) (1979a)
- 9) Okada, K. : Biomass estimates for the pelagic pollock on the Aleutian Basin based on the echo sounder and mid-water trawl in 1978. 11p. Fisheries Agency of Japan (Document submitted to the INPFC, October 1979, Tokyo) (1979b)
- 10) Okada, K. and K. Nakayama : Biological characteristics of pelagic pollock in the Aleutian Basin in January/March, 1983. 66p. Fisheries Agency of Japan (Document submitted to the INPFC, October 1983, Anchorage) (1983)
- 11) Okada, K. and K. Nakayama : Biomass estimate of pelagic pollock in the Aleutian Basin based on the acoustic survey during 1983 January to March. 9p. Fisheries Agency of Japan (Document submitted to the INPFC, October 1984, Vancouver) (1984)
- 12) Okada, K. and K. Yamaguchi : Results of the Japanese hydroacoustic survey of pollock in the Aleutian Basin. In: R. G. Bakkala and K. Wakabayashi (editors), Results of cooperative U.S.-Japan groundfish investigation in the Bering Sea during May-August 1979. *Int. North Pac. Fish. Comm., Bull.* (44), 200-207 (1985)
- 13) Yamaguchi, H. : On the age of pelagic pollock in the Aleutian Basin. *Gyogyo Shigen Kenkyu Kaigi, Kitanihon Sokouo Bukai Kaigihokoku* in 1983, 68-82. Fisheries Agency of Japan (In Jpn.) (1984)
- 14) Yoshida, H. and Y. Ueda : On the pelagic pollock in the Bering Sea in winter. *Kushiro Suishi Dayori* (55), 6-11. Hokkaido Kushiro Fish. Exp. Stn. (In Jpn.) (1986)
- 15) Kikuchi, T. and T. Tsujita : Some relations between spacing of pelagic fishes in economic importance and the oceanographic structure in the northwestern North Pacific Ocean. *Res. Inst. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ., Spe. Vol.*, 397-438, 1977 (In Jpn. with Eng. sum.) (1977)
- 16) Yoshida, H. and T. Yoon : Maturity and identification of the post-spawner of walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), in the surface layers of the central Bering Sea in summer. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 32(4), 329-337 (In Jpn. with Eng. sum.) (1981)
- 17) Miller, C. B. : *Neocalanus flemingeri*, a new species of Calanidae (Copepoda : Calanoida) from the subarctic Pacific Ocean, with a comparative redescription of *Neocalanus plumchrus* (Marukawa) 1921. *Prog. Oceanog.*, 20, 223-273 (1988)
- 18) Frost, B.W. : *Calanus marshallae*, a new species of calanoid copepod closely allied to the sibling species *C. finmarchicus* and *C. glacialis*. *Marine Biology* 26, 77-99 (1974)
- 19) Fukuchi, M. : Regional distribution of amphipoda and euphausiacea in the North Pacific and Bering Sea in summer of 1969. *Res. Inst. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ., Spe. Vol.*, 439-458, 1977 (1977)
- 20) Motoda, S. and T. Minoda : Plankton of the Bering Sea. p.207-241. In Hood, D. H. and F. J. Kelly (eds.), *Oceanography of the Bering Sea. (Occas. Publ. 2)*. Inst. of Marine Sci., Univ. Alaska, Fairbanks, AK (1974)

- 21) Yoshida, H., J. Chun and Y. Sakurai : Rates of gastric evacuation of adult walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and young saffron cod, *Eleginus gracilis*, in captivity. *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.* (42), 273-282 (In Jpn. with Eng. sum.) (1993)
- 22) Hashimoto, R. and S. Koyachi : Biology of the Alaska pollack, *Theragra chalcogramma* (Pallas), distribution on the fishery grounds of the Tohoku districts and the Pacific coast of Hokkaido, southward from the Erimo ground. 1. The morphological differentiation of the three types and the comparison with the other fishery ground's groups. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.* (29), 37-92 (In Jpn. with Eng. sum.) (1969)
- 23) Yoshida, H. and H. Kato : The relationship between the subopercle size and body length of walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 31(2), 169-174 (In Jpn. with Eng. sum.) (1980)
- 24) Yoshida, H. : Food relationships in the key species in the North Pacific Ocean. *Marine Sciences Monthly* 16(6), 347-356 (In Jpn.) (1984)
- 25) Allen, G. H. and W. Aron : Food of salmonid fishes of the western North Pacific Ocean. *Spec. Sci. Rept. F. and W. S.* (237), 1-11 (1958)
- 26) Ueno, M. : Food and feeding behaviour of Pacific salmon-1. The stratification of food organisms in the stomach. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 34(4), 315-318 (1968)
- 27) Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory : Walleye pollock. p.27-31. In the Groundfish resources in 1953-1954. Annual Rept. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab. 316p. (In Jpn.) (1956)
- 28) Tyler, A. V. : Rates of gastric emptying in young cod. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 27, 1177-1189 (1970)
- 29) Yoshida, H. and Y. Sakurai : Relationship between food consumption and growth of adult walleye pollock *Theragra chalcogramma* in captivity. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 50(5), 763-769 (In Jpn. with Eng. sum.) (1984)
- 30) Yoon, T. : Reproductive cycles of the female walleye pollock in the adjacent waters of the Funka Bay, Hokkaido. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 32(1), 22-38 (In Jpn. with Eng. sum.) (1981)
- 31) Bowman, T. E. : The pelagic amphipod Genus *Parathemisto* (Hyperiidea; Hiperiidae) in the North Pacific and adjacent Arctic Ocean. *Proc. U. S. Nat. Mus., Smithsonian Inst.* 112, 343-393 (1960)
- 32) Ponomareva, L. A. : The euphausiids of the North Pacific, their distribution and ecology. (Translated from the Russian by Nemchonok, S. 1966), 154p. Israel Program for Scientific Translation Ltd., Jerusalem (1963)
- 33) Minoda, T. : Pelagic copepoda in the Bering Sea and the northwestern North Pacific with special reference to their vertical distribution. *Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* 18(1,2), 1-74 (1971)
- 34) Takeuchi, I. : Food animals collected from the stomachs of three salmonid fishes (*Oncorhynchus*) and their distribution in the natural environments in the northern

- North Pacific. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.* (38), 1-119 (In Jpn. with Eng. sum.) (1972)
- 35) Shiga, N. : Regional and annual variations in abundance of an appendicularian, *Oikopleura labradoriensis* in the Bering Sea and the northern North Pacific Ocean during summer. *Bull. Plankt. Soc. Japan* 29(2), 119-128 (1982)
- 36) Ogi, H. and T. Hamanaka : The feeding ecology of *Uria lomvia* in the northwestern Bering Sea region. *J. Yamashina Inst. Ornith.* 14(2/3), 270-280 (1982)
- 37) Hokkaido University : Cruise report of No.21 Habomai Maru and Shinyo Maru. Data on oceanographic observations and exploratory salmon fishing in the northern North Pacific and Bering Sea in 1976 and 1977. *Res. Inst. N. Pac. Fish., Fac. Fish.*, Hakodate. 231pp. (In Jpn.) (1977)
- 38) Takahashi, Y. and H. Yamaguchi : Eastern Bering Sea. In Symposium on the Alaska pollock fishery and its resources, II-2. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.* 38(4), 389-398 (In Jpn. with Eng. sum.) (1972)
- 39) Haryu, T. : Larval distributin of walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), in the Bering Sea, with special reference to morphological changes. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 31(2), 121-136 (1980)
- 40) Brawn, V. M. : Feeding behaviour of cod (*Gadus morhua*). *J. Fish. Res. Bd. Canada* 26, 583-596 (1969)
- 41) Kanno, Y. and I. Hamai : Food of salmonid fish in the Bering Sea in summer of 1966. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 22(2), 107-128 (In Jpn. with Eng. sum.) (1971)
- 42) Nishiyama, T. : The study of the food requirement of the Bristol sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* in their final marine life. Ph. D. Thesis. Hokkaido Univ., Sapporo. 221p. (In Jpn.) (1975)
- 43) Machidori, S. : Vertical distribution of salmon (Genus *Oncorhynchus*) in the northwestern Pacific. I *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.* (31), 11-17. (In Jpn. with Eng. sum.) (1966)
- 44) Yoshida, H. and H. Yamaguchi : Distribution and feeding habits of the pelagic smooth lumpsucker, *Aptocyclus ventricosus* (Pallas), in the Aleutian Basin. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 36(4), 200-209 (1985)
- 45) Sano, O. : The investigation of salmon shark as a predator on salmon in the North Pacific, 1959. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.* (22), 68-82 (In Jpn. with Eng. sum.) (1960)
- 46) Sano, O. : The investigation of salmon shark as a predator on salmon in the North Pacific, 1960. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.* (24), 148-162 (In Jpn. with Eng. sum.) (1962)
- 47) Ogi, H., T. Kubodera and K. Nakamura : The pelagic feeding ecology of the short-tailed shearwater *Puffinus tenuirostris* in the Subarctic Pacific Region. *J. Yamashina Inst. Ornith.* 12(3), 157-182 (1980)

サロマ湖産養殖ホタテガイの生殖巣発達過程

川真田 憲 治*

Gonadal development of cultured scallops,
Patinopecten yessoensis (JAY), in Lake Saroma, Hokkaido.

Kenji KAWAMATA*

Gonadal development of 0 yr-old and 1 yr-old scallops, *Patinopecten yessoensis* (JAY), cultured in Lake Saroma, Hokkaido, during the period, September 1986 to December 1987, was studied by histological methods and observations were compared with those already reported for scallops in Lake Saroma, Funka Bay and Mutsu Bay. The obtained results are as follows.

The 0 yr-old scallops exhibited characteristic processes of gonadal change, that is, from the neutral stage to testis or ovary as follows; all animals became male at four months after birth, thereafter some animals became temporal hermaphrodite suggesting sexual phase alteration in the progress of development. After about three weeks, these hermaphrodites successively became female.

The measurements showed that the present scallops in Lake Saroma mature nine months earlier than those previously reported. Moreover, the presence of sex-altering phase is first reported here.

Scallops cultured at high-density condition (200 individuals per cage) possessed three different features of gonadal development when compared with those at low-density condition (40 individuals per cage). There are; (a) the occurrence of a timelag in sexual alteration from male to female, (b) the low frequency rate of temporal hermaphrodite in the winter and of the female at one year after birth and, (c) the delayed maturation of the male gonad.

These results suggest that high density cultivation delays the sexual maturity of 0 yr-old scallops. Conversely, the accelerated growth at low density promotes early maturation. Based on other previous studies, the same phenomenon seemed to have occurred in Funka and Mutsu Bays.

報文番号 A241 (1994年8月26日受理)

* 北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture, Shikabe, Hokkaido 041-14, Japan)

は じ め に

サロマ湖における養殖ホタテガイの生産は1966年から始まり、1979年には最大の生産量(8,600t)を記録した。その後、1981年から1984年にかけて2 齢貝の大量へい死が起り、生産量は一時3,700tにまで減少したが、1988年から1990年には平均6,700 t に回復した。サロマ湖では、このようなホタテガイの垂下養殖とともに放流用種苗の生産が従来から行われている。この時点における湖内での年あたりのホタテガイ種苗生産数は、湖内での養殖(本養殖)用として5,000万個体、オホーツク沿岸域の地まき養殖用として5～6 億個体と報告されている¹⁾。このうち、5月に満1 齢となった放流用種苗はそのほとんどが湖内での中間育成を終え放流されるが、養殖用種苗は2 齢の夏ないし秋まで継続して湖内で養殖される。

垂下養殖と地まき養殖の生産は、種苗の質的量的性状に大きく支配されている^{2,3)}ので、健苗育成をも含めて湖内での適正な養殖をはかるために、現在まで3 回にわたって生物生産諸量を基礎としたホタテガイ集団の養殖許容量が算定され、これに準拠した養殖管理が行われてきた。このことは、サロマ湖における種苗生産の管理目標をこれまでの量的生産から健苗育成に向けての質重視の生産へと変化させることになった。

しかし、このような養殖管理技術の改変には、すでに噴火湾で示されているような種苗の性分化や性相移行(性転換)時期の早期化を伴うこと⁴⁾が予想され、しかも、それがその後のへい死に関連することが示唆されている⁵⁾ので、サロマ湖における種苗生産管理においても種苗期における性分化の実態を把握しておくことが重要な意味を持つことになる。

著者は1987～1988年の第3 回許容量調査に先立って、0 齢貝と1 齢貝の生殖巣の発達状態を組織学的に明らかにする機会を得て、種苗生産管理の技術的検討のための基礎資料として性現象からの若干の知見を得たのでここに報告する。

材 料 お よ び 方 法

サロマ湖産ホタテガイ0 齢貝と1 齢貝の生殖巣の発達過程の調査は、1986年5月から1987年12月までの間に行った。1986年産貝については、初期収容密度差による生殖巣の発達過程の違いを解明するため、9月にザブトンカゴ(10段)に1 段あたり200個体収容した群と40個体収容した群の2 群を対象として、10月から12月までは月に1 回、50個体ずつをこの調査に用いた。結氷期後の1987年5月初めからは、各群の個体を丸かご(10段)に1 段あたり15個体の割合で収容して同年10月下旬まで垂下養成し、その間、各群から月1 回50個体を調査に供した。なお、性分化と性相移行期の生殖細胞の発達過程の把握には、8 月末に40個体収容した1987年産貝を対象として1987年9月から12月までの間にはほぼ10日間隔で、50個体を調査に供した。

すべての供試貝は、殻高、全重量の測定後に開殻して軟体部重量と生殖巣重量を測り、生殖巣の一部をブアン氏固定液で固定した。固定試料は通常のパラフィン法により10 μ mの連続切片とし、ヘマトキシリン・エオシンの二重染色を施して顕微鏡観察に供した。

生殖巣の発達段階は、前報⁶⁾に従って未分化期、成長前期、成長後期、成熟期、放期、退化・吸収期の6 期に区分した。

結 果 と 考 察

1. 0 齢期の成熟過程

1987年産貝の40個体収容群の0 齢期の成熟過程を表1に示した。

9月上旬から10月上旬までは少数の未分化期の個体以外は全て雄個体で、その多くが成長前期にあたる個体であった。しかし、その期間中でも次第に成長後期と成熟期の個体の割合が増加し、10月中・下旬には成長前期にあたる雌雄同体個体が16～17%ほどを占める。この期間では少数の未分化期個体はみられるものの、それ以外はすべて雄個体で、しかも、その大部分は成長前期にあるが、既に成熟期に達している個体もみられた。

11月になると雌雄同体個体の出現率は減少はするが、雄個体からの性相移行により補充され、12月まで一定の割合（約8%）での出現を維持している。雌個体は雌雄同体個体の出現後約3週間で降から出現し始め、12月にはその割合が増加して35%を占めるに至る。この時期の雌個体や雌雄同体個体の雌性生殖細胞の発達段階は対合期や無卵黄期にあたり、成長前期に区分される。しかし、雌雄同体個体における雄性生殖細胞は放出終了期や退化・吸収期にあった点で、雌性生殖細胞より早期に発育が進行していると推定される。

表1 サロマ湖産養殖ホタテガイ 0 齢期の成熟過程（1987年産貝40個体収容群）

調査 年 月日	一 段 あたり の 個体数	調 査 個体数	平均 殻高 ± 標準 偏差 (mm)	平 均 生殖巣 指 数	生 殖 巣 の 発 達 段 階								
					未 分 化 期	雄 個 体 群				雌個体群		雌 雄 同 体 群	
						成 長 前 期	成 長 後 期	成 熟 期	放 出 期	退 化 吸 収 期	成 長 前 期	成 長 後 期	成 長 前 期
1987. 9. 4	40	48	18.0 ± 1.3	2.7	1	46	1						
9.16	40	49	19.0 ± 1.4	2.2	1	46	2						
9.24	40	49	21.1 ± 1.4	3.7	2	37	9	1					
10. 5	40	47	25.0 ± 1.5	3.5		24	18	5					
10.14	40	48	28.9 ± 2.7	4.0	1	34	2	2		1			8
10.26	40	49	30.0 ± 1.7	2.7	3	34	1	3					8
11. 5	40	49	35.4 ± 1.9	3.6		37	1	4			3		4
11.18	40	50	37.2 ± 2.2	3.5		32	3	1			10		4
12. 3	40	49	36.8 ± 2.4	3.6		26	2				15	2	4

これらの結果から、サロマ湖産ホタテガイの性分化過程は、性的に未分化な個体の大部分が8～9月には雄性になり、10月に精子を形成するまで進んだ後に、11月には精子の退化・吸収過程に入った個体から順次、生殖腺中に雌性生殖細胞の形成をみる雌雄同体相をとり、12月には全個体数の約35%を雌個体が、約57%を雄個体が占めるに至ることが明らかになった。したがって、初冬にみられる0 齢期の雌雄同体個体は雄から雌への性相移行中の個体であり、未分化な個体から直接雌個体に性分化することは無いといえよう。

2. 0 齢期に40個体収容群の成熟過程

0 齢期の秋に40個体収容し、翌春以降15個体に収容し直して10月まで養成した1986年産貝の調査結果を表2に示した。

40個体収容から1ヵ月経つと、前項で述べた性相移行中の雌雄同体個体が20%近く出現し、11月になると未分化期の個体が認められなくなる反面、雌雄同体個体が40%近くまで増加している。雌個体は前項で述べた1987年産貝より1ヵ月遅れの12月になって初めて出現したが、その出現率はわずか2%にとどまっていた。この間、約50~80%を占めている雄個体群では10月にはその10%近くが成熟期に至るが、11月には成長前期と後期の個体だけとなり、12月になると成長後期の個体が割合を増すとともに再び成熟期の個体が出現した。満1齢に近い5月には、約80%が雄個体、約20%が雌個体、2~6%が雌雄同体個体で占められている。このうち、雄個体群では成長後期の個体が卓越しているが、下旬には放出期個体の出現をみる。この傾向は雌個体群でも同様で5月下旬には成熟期の個体のみとなり、6月には雄個体群の31%が放出期に、雌個体群の50%は退化・吸収期に進んでおり、少数ではあるが成長前期の個体もみられている。7月になると放出期の雄個体はみられなくなり、退化・吸収期の雄個体が群の33%ほどを占め、下旬には52%にまで増加する。一方、この間の雌個体群では

表2 サロマ湖産養殖ホタテガイの成熟過程(0 齢期に40個体収容群)

調査 年 月日	一 段 あ たり の 個体数	調 査 個体数	平均 最 高 ± 標準 偏差 (mm)	平 均 生 殖 巣 指 数	生 殖 巣 の 発 達 段 階																			
					未 分 化 期	雄個体群					雌個体群					雌雄同体群								
						成 長 前 期	成 長 後 期	成 熟 期	放 出 期	退 化 吸 収 期	成 長 前 期	成 長 後 期	成 熟 期	放 出 期	退 化 吸 収 期	成 長 前 期	成 長 後 期	成 熟 期	放 出 期	退 化 吸 収 期				
1986. 9. 16		39	15.1±2.4	3.5	4	35																		
10.20	40	49	28.5±3.4	5.2	2	17	19	3								8								
11.17	40	40	35.3±3.2	4.2		17	8									15								
12.23	40	50	36.9±2.8	4.0		9	16	1			1					22	1							
1987. 5. 9	15	50	44.2±3.5	4.7		2	34	2				3	6			1	2							
5.21	15	48	46.8±3.0	5.8		1	27	10	1			8					1							
6.11	15	51	48.6±3.0	3.4			1	23	11		1	7		8										
7. 1	15	50	55.3±4.1	3.7			9	13		11	1	1		8	6	1								
7.27	15	50	60.6±3.1	4.4		10	2	2		15	8	1		8	3								1	
8.17	15	49	67.2±2.9	3.8		15				15	12			3	3								1	
8.27	15	49	72.9±5.0	4.6		24				1	22	1		1										
10.26	15	50	75.9±3.9	5.9		24					20	4		2										

退化・吸収期の個体が80%から約50%まで減少するが、下旬には次の発達段階である成長前期にあたる個体が50%近くを占めるようになる。8月になると雄、雌、雌雄同体のいずれの群でも退化・吸収期と成長前期の個体が全体を占めるようになる。7~8月には全体の10%前後を占めていた雌雄同体個体は、9~10月になると全くみられなくなり、ほぼ全個体が成長前期にある雄個体群と80%ほどが成長前期に進んだ雌個体群とから構成されるようになる。

雌雄比がこの時期にはほぼ1対1となる。このような性現象の諸過程は養殖ホタテガイについての従来の調査結果^{4,5}と一致している。

ただし、生殖細胞の発達過程が、上述のように極めて顕著な変化をたどるにもかかわらず、生殖巣指数に同調的な季節変化として反映されることはなく、生殖巣指数の平均値は3～6の間で変動しており(表2)、噴火湾での1齢貝の生殖巣指数値が、産卵期には明瞭なピーク(最大値約14)を示す点と大きな違いのあることが注目される。

3. 0 齢期に200個体収容群の成熟過程

0 齢期の秋に200個体収容し、5 月以降15個体に収容し直して10月まで養成した1986年産貝の調査結果を表3に示した。

1986年産貝40個体収容群(表2)と比較してみると、全期間を通して雄、雌、雌雄同体のいずれの群でも、それぞれの発達段階が出現する時期には大きな違いはなく、平均生殖巣指数値の変動も同様であった。しかし、200個体収容群は全体として雄個体の出現率がやや高いこと、雌個体や雌雄同体個体のそれは相対的に低いこと、少数ではあるが1 齢の7～8月に未分化期の個体の出現すること、また、それぞれの発達段階にある個体の出現率でも10～12月の間には雄個体群で成長前期の個体が高い割合を維持していることなどで40個体収容群とはやや異なっている。

表3 サロマ湖産養殖ホタテガイの成熟過程(0 齢期に200個体収容群)

調査 年 月日	一 段 あたりの 個体数	調 査 個体数	平均 殻高 ± 標準 偏差 (mm)	平 均 生 殖 巣 指 数	生 殖 巣 の 発 達 段 階																
					未 分 化 期	雄個体群				雌個体群				雌雄同体群							
						成 長 前 期	成 長 後 期	成 熟 期	放 出 期	退 化 吸 収 期	成 長 前 期	成 長 後 期	成 熟 期	放 出 期	退 化 吸 収 期	成 長 前 期	成 長 後 期	成 熟 期	放 出 期	退 化 吸 収 期	
1986. 9.16		39	15.1±2.4	3.5	4	35															
10.20	200	45	23.7±2.6	3.3	4	35	4													2	
11.17	200	50	26.0±3.8	3.1		32	7	5												6	
12.23	200	50	27.2±2.7	3.4		38	2	1			2									7	
1987. 5. 9	15	51	38.1±2.9	4.9		1	38	1	1		1	1	1		4					3	
5.21	15	44	37.9±2.4	6.m			18	17	1			1	1							5	1
6.11	15	50	47.3±3.3	4.0				42	1	3			1		1					2	
7. 1	15	50	53.6±3.0	3.4		1	8	18		7	3	1			9					3	
7.27	15	48	61.6±2.6	3.8	3	10	4	4		8	11	1			3					4	
8.27	15	50	68.9±3.5	4.2	1	25	1			4	13				4					2	
9.24	15	49	73.3±3.7	4.9		28					21										
10.26	15	50	79.1±4.2	5.6		27					22	1									

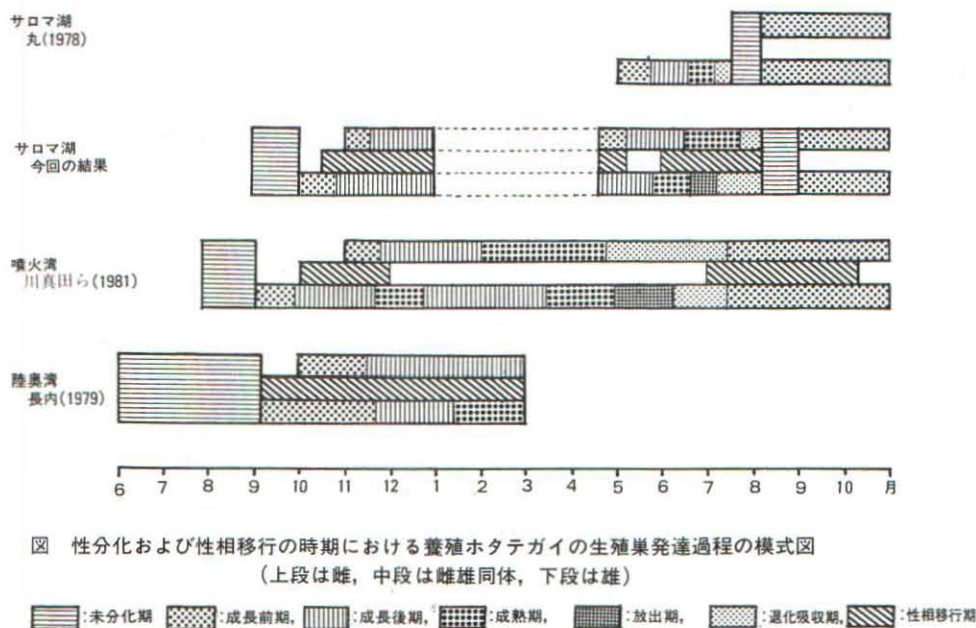
これらの結果は、サロマ湖の0 齢、1 齢貝でも成長期から成熟期や退化・吸収期を経る間に一部の雄個体が雌へ性相移行していることを示唆するものである。

以上のことから、200個体収容群は40個体収容群に比べて、雄から雌への性相移行が遅延する傾向にあること、雌雄同体個体の出現率や1 齢時点での雌個体の出現率が低い傾向にあること、雄に関する限りでは成熟度合に時期的遅れのあることなどが指摘される。

また、40個体収容という点では収容密度が同じでありながら、1987年産貝と1986年産貝との間では、12月時点での雌雄比と雌雄同体個体の出現率に違いのあることがわかった。すなわち、殻高と生産巣指数値では差がなく、雄の比率はほとんど変わらないにもかかわらず、1986年産貝では雌雄同体個体の出現率が大きく、逆に1987年産貝では雌個体の出現率が大きかったことである。しかし、このような違いが性相移行時期に必ず出現するか否かは今回の調査では明らかにできなかった。

4. 養殖ホタテガイの性分化過程

この調査時点で、サロマ湖においては自家養殖用として秋の分散作業で40個体収容が基準になっていたため、40個体収容群の性分化過程を、これまでに報告のあった各海域の養殖ホタテガイにみられた性分化過程と比較してみた。下の図がその結果である。なお、ここでは性相移行中を示す雌雄同体個体が出現している時期を性相移行期として表した。従来、サロマ湖での養殖ホタテガイは満1齢個体はすべてが雄である⁹とされてきたが、今回の調査で



は噴火湾⁶と同様に生後4～5ヵ月間の未分化期を経て全個体が雄個体になり、その後一部の個体が性相移行して雌個体が出現すると判断されるに至った。このことはサロマ湖でも噴火湾や陸奥湾と同様、養殖ホタテガイの大量へい死がおきた時期をはさむここ十年の間に、性分化と性相移行の起こる時期が早まってきた⁷ことを現すもので、雌の出現する時期は約9ヵ月早まっていた。また、それは今回得られた40個体収容群と200個体収容群の成熟

過程の違いからも推定されるように、秋の分散作業で0齢期の収容個体数を少なくしたこと
に起因する成長促進と関連していると思われる。ただし、サロマ湖では満1齢での雌個体の
出現率は4～35%で、陸奥湾⁸⁾と噴火湾⁹⁾の40%台に比べてまだ低率である。また、0齢から
1齢の生殖巣指数値の変化をみても噴火湾のような顕著なピークは認められていない点で、
生殖細胞発育の早期化は陸奥湾や噴火湾ほどまでには至っていないといえよう。

サロマ湖における養殖ホタテガイの安定的生産と健全な放流用種苗の生産のためには、今
後、収容密度が養殖ホタテガイの成長促進と性分化や性相移行時期の早期化に及ぼす影響を
継続して調査していくとともに、放流後の追跡調査を実施して収容密度の異なる放流用種苗
が及ぼす生産への影響を判定していくことが必要であろう。

要 約

1986年9月から1987年12月までの間、サロマ湖において垂下養成ホタテガイの生殖巣発達
過程を組織学的に調べ、以下の結果を得た。

1. 生後4～5ヵ月で全個体が雄個体になり、その後一部の個体が雌雄同体を経て雌個体にな
るという性相移行過程を経る。
2. 過去に報告のあった性成熟過程に比べて、雌の出現する時期が約9ヵ月早くなっている。
3. 0齢期に200個体収容した群は40個体収容した群に比べて、雄から雌への性相移行が遅
延すること、雌雄同体個体の出現率や1齢時点での雌個体の出現率が低いこと、雄に関する
限りでは成熟度合に時期的遅れがある。
4. これらのことから、性分化や性相移行の起こる時期の早期化は、秋の分散作業で0齢期
の収容密度を低くしたことに起因する成長促進と関連していると推定した。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、サロマ湖養殖漁業協同組合の加藤重信、藤芳義裕氏および網走中
部地区水産技術普及指導所の高野睦男、松田 洋、石崎裕之の諸氏のご協力を頂いた。

また、北海道大学富士 昭名誉教授には本原稿のご校閲を賜った。併せて深謝申し上げる。

文 献

- 1) 蔵田 護, 干川 裕, 西浜雄二: サロマ湖における垂下養成ホタテガイの摂餌量, 北水試
研報. 37, 37-57(1991)

- 2) 森 勝義：“養殖ホタテガイの大量へい死について（三陸沿岸の例）”。改訂版浅海完全養殖(今井丈夫 監修)。東京, 恒星社厚生閣, 1976, 264-268.
- 3) 田中俊輔, 青山禎夫, 中西広義：ホタテガイ増殖技術研究－II。昭和60年度日本水産学会春季大会講演要旨集. 1985, 64
- 4) 川真田憲治, 玉置 靖, 富士 昭：噴火湾海域における養殖ホタテガイの成熟過程. 北水試月報. 38(4), 132-146 (1981)
- 5) 丸 邦義：ホタテガイの生殖に関する研究 第2報 1年貝の生殖巣の発達. 北水試報. 20, 13-26 (1978)
- 6) 長内健治：異常ホタテガイ発生機構の基礎的研究. 青森県水産増殖センター事業概要. 8, 100-123 (1979)
- 7) 川真田憲治：生殖巣からみた水試の仕事. 北水試だより. 9, 1-6 (1990)
- 8) Kenzi OSANAI, Setsuro HIRAI, Masakatsu ODASHIMA and Kei-ichiro KYOUZUKA : Sexual differentiation in the juveniles of the scallop, *Patinopecten yessoensis*. *Bull. Mar. Biol. St. Asamushi, Tohoku Univ.* 16(4), 221-230(1980)

北海道オホーツク海沿岸のエゾバフソウニの生態

阿部英治^{*1}, 多田匡秀^{*2}

The Ecology of a Sea Urchin,
Strongylocentrotus intermedius (A. AGASSIZ)
on the Coast of Okhotsk Sea in Hokkaido.

Eiji ABE^{*1} and Masahide TADA^{*2}

The following conclusion was deduced from our researches made on the structure of the *Strongylocentrotus intermedius* fishing grounds from Oumu, and Okoppe in the middle part on the coast of the Okhotsk Sea in Hokkaido.

(1) The growth of sea urchins in Oumu is poor and such phenomenon has been lasting long. They grow only 3 to 11mm a year, thus their average test diameter is supposed to be no more than 34mm even at 5 years old. By contrast with Oumu, the growth of those in Okoppe is vigorous and their test grows 6 to 19mm a year, thus their average test diameter is supposed to reach as wide as 54mm at 5 year old.

(2) Sea urchins in Oumu seldom attain the catchable size even they reach a considerable great age, therefore fishing of them is scarcely carried out there, which results in a continued high density with 50 to 100 individuals/m². Their age structure is also high. On the contrary, sea urchins in Okoppe attain the catchable size of over 40mm in test diameter in about five years and mostly large size individuals are caught in the fishing season, thus resulting in less than 10 individuals/m² and their age structure being also low.

(3) Defective gonad development is noticed with sea urchins in Oumu and it weighed less than half of an ordinary one. By contrast, the development of gonad in Okoppe is fairly well and its weight attains the normal value.

(4) Since the first-year fronds of *Laminaria* growing in Oumu are heavily grazed by the sea urchins, most of them disappear by the time they grow to the second-year fronds.

報文番号 A 242 (1994年8月26日受理)

*1 北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station. Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085, Japan)

*2 北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station. Horai, Wakkanai, Hokkaido 097, Japan)

(5) Sea urchins in Oumu always maintain a high population density and graze algae heavily, thus vitally hindering the community formation of algae. Sea urchins in this habitat live in an environment where food is scarce, which brings about their poor growth. In Okoppe only a small number of sea urchins inhabit there, therefore a richer standing crop of algae, mostly *Laminaria*, is kept. For this reason, sea urchins in this habitat can graze algae sufficiently, thus enabling them to maintain a vigorous growth and favorable development of their gonad.

(6) The reproductivity of algae in Oumu is supposed to be high enough. Hence, the occurrence of the places where a phenomenon is similar to "Isoyake", which occurs in Oumu, and the cause for its lasting long are solely attributable to high density of distribution of *Storogylocentrotus intermedius* in the habitat.

ま え が き

北海道のオホーツク海沿岸中部に位置する雄武町では、エゾバフソウニ *Storogylocentrotus intermedius* 漁場の沖合に防水堤が設置され、冬期間の流水の侵入を阻止している。ここでは、陸側の一部地域を除き、長期間にわたり小型のエゾバフソウニが高密度（数十～数百個体/㎡）で生息しているが、餌料となる海藻類の現存量は低く（1 kg/㎡前後）、漁場の相当面積が磯焼け状況を呈しており、海藻類の生育が見られる期間も約半年と短い状態が続いている。

一方、雄武町に隣接する興部町にも、沖合に同一構造の防水堤が設置された漁場がある。ここでは、漁場のほぼ全域で大型のエゾバフソウニが低密度（数個～十数個体/㎡）で生息し、海藻類の現存量が高く（数kg/㎡以上）、周年生育しており、雄武地区とはまったく異なった状況である。

著者らは1988年～1990年の3年間にわたり、両漁場内のエゾバフソウニと海藻類の分布状況について調査研究を行ったので、その結果を報告する(Fig.1)。



Fig. 1. A map showing the location of Oumu and Okoppe habitats.

調査地点概況と調査方法

雄武では、沖合350～500mの位置に防水堤が沿岸に平行して約1 kmの長さで設置され、防水堤内の漁場面積は約46haである(Fig.2)。防水堤内は岩盤又は岩盤上転石・玉石・礫の底質で、水深は1～4 mである。

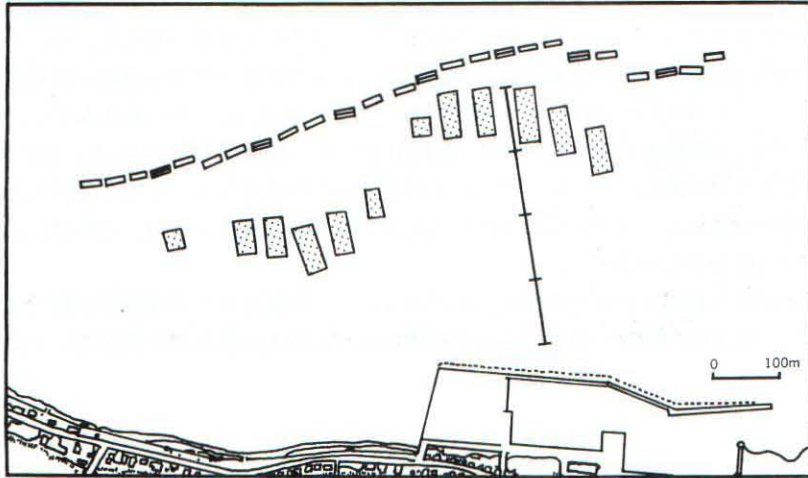


Fig. 2. Chart of fishing ground surrounded by ice preventer in the Oumu habitat.
Graduations of solid line denote the positions of research line.
— : Ice preventer, ■ : Artificial reef.

興部では、沖合150～250mの位置に防水堤が沿岸線に沿って約800mの長さで設置され、防水堤内の漁場面積は約17haである(Fig.3)。防水堤内は雄武と同様の底質で、水深は2～4 mである。

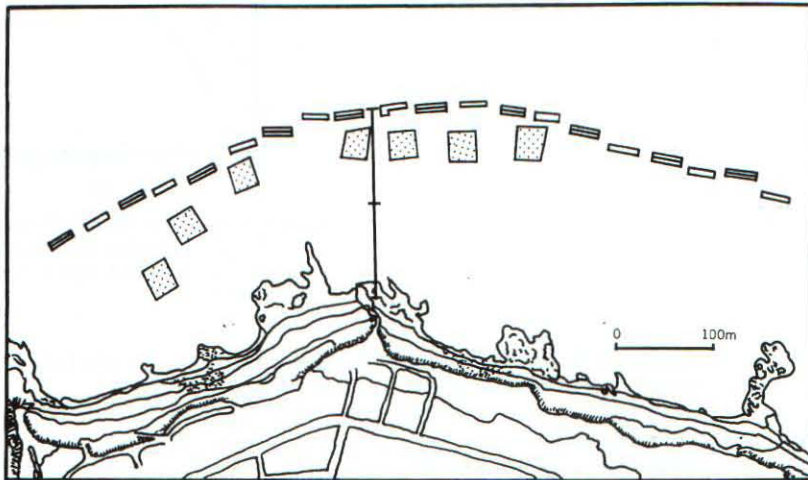


Fig. 3. Chart of fishing ground surrounded by ice preventer in the Okoppe habitat.
Graduations of solid line denote the positions of research line.
— : Ice preventer, ■ : Artificial reef.

雄武では1989年6月28日と1990年6月27日に、防氷堤内漁場の中央部に沿岸線に垂直に全長400mの調査線を1線張り、スキューバ潜水によって25m間隔でエゾバフソウニおよび海産植物を1/4又は1㎡の枠取りを行った(Fig.2)。

興部では1989年6月29日と1990年7月4日に、防氷堤内漁場の中央部に沿岸線に垂直に全長200mの調査線を1線張り、スキューバ潜水によって10m間隔(沖合の一部は25m)でエゾバフソウニおよび海産植物を1/4～2㎡の枠取りを行った(Fig.3)。

調査で採集されたエゾバフソウニは、調査地点別に殻径と全重量を測定し、その中から各地区毎に100～150個体前後の生殖巣重量を測定し、生殖巣指数(生殖巣重量÷全重量×100)を求めた。さらに各地区の100～250個体前後について、常法⁰⁾により年齢を査定し、得られた殻径階級別の年齢組成と調査地点全体の殻径組成を基に年齢組成を推定した。海産植物は、種類別湿重量等を記録した。なお、ウニおよび海産植物の現存量は、枠取りで採集された標本の個体数と重量から、単位面積(1㎡)当たりの個体数と重量を求め、この値に調査対象とした漁場面積を乗じて求めた。

また、1988年と1989年の6月に株式会社パスコにより撮影された調査地区の航空写真解析資料を基に、防氷堤内調査対象範囲の海産植物の生育面積を画像解析装置を用いて求めた。

結 果

1. エゾバフソウニの年齢と殻径の増加

雄武と興部の1990年に採集された個体から推定した各年齢群別の平均殻径の値を Bertalanffy の成長式にあてはめると、加齢に伴う殻径の増大傾向は Table 1 の年齢別平均殻径の推定値と Fig.4 の成長曲線でそれぞれ示される。

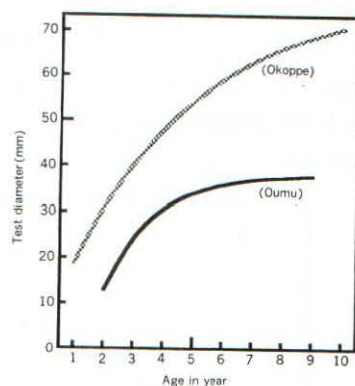


Fig. 4. Growth curve of test diameter of *Strongylocentrotus intermedius* in the Oumu and Okoppe habitats in 1990.

Table 1. Growth formulas of *Strongylocentrotus intermedius* in Oumu and Okoppe habitats and average estimated value of test diameter of each age group in 1990.

Habitat	Growth formula	Age							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Oumu	Fixed difference diagram by Walford $L_{(t+1)} = 17.2 + 0.550L(t)$ ($r = 0.976$)								
	Growth curve by von Bertalanffy $Dt = 38.2(1 - e^{-0.598(t - 1.309)})$	—	12.9	24.3	30.6	34.0	35.9	37.0	37.5
Okoppe	Fixed difference diagram by Walford $L_{(t+1)} = 15.8 + 0.799L(t)$ ($r = 0.973$)								
	Growth curve by von Bertalanffy $Dt = 78.6(1 - e^{-0.224(t + 0.222)})$	18.8	30.9	40.4	48.1	54.2	59.1	63.1	66.2

エゾバフソウニの5 齢までの殻径の年間成長量は、雄武で3～11mm、興部で6～19mmであり、5 齢でそれぞれ34mm、54mmに達すると推定され、雄武のエゾバフソウニの成長量は、興部よりも相当低い状況であった。

2. エゾバフソウニの殻径組成

雄武と興部の1989年の殻径組成を Fig.5 に示した。雄武では殻径のモードが30mm台にあり、全体の86%は20～40mm未満の個体で占められていた。平均殻径は32mmであった。ただし、1990年は主に1988年に卓越発生した個体群と推定される稚ウニが漁場に大量に出現し、殻径10mm台の個体密度が6 個体/㎡に増加した。このため、Fig.6 の殻径組成に見られるように、1990年における殻径10mm台の個体の出現頻度は、1989年の6 倍以上の13%に達した。

興部では殻径のモードが60mm台にあり、全体の90%は40mm以上の個体で占められていた。平均殻径は54mmで、雄武のそれよりも20mm程度大型の個体が生息していた。ここでも1990年には雄武でみられたような稚ウニの出現が確認されたが、全体に占める小型ウニの割合は前年と大差なかった。

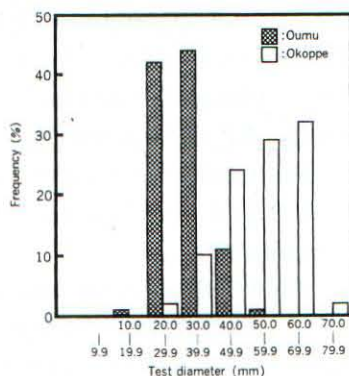


Fig. 5. Test diameter distributions of *Strongylocentrotus intermedius* in the Oumu and Okoppe habitats in 1989. Each number measured were 484 and 104 respectively.

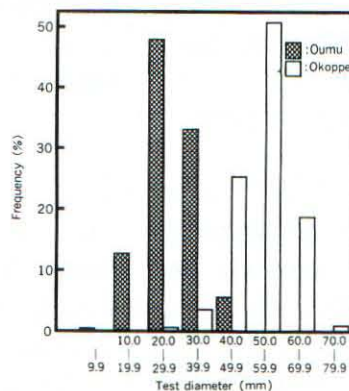


Fig. 6. Test diameter distributions of *Strongylocentrotus intermedius* in the Oumu and Okoppe habitats in 1990. Each number measured were 616 and 315 respectively.

3. エゾバフソウニの年齢組成

1989年の雄武と興部の年齢組成を Fig.7 に示した。雄武では年齢のモードが7 齢にあり、平均年齢は7.3 齢と推定された。ここでは全体の95%は6 齢以上の個体で占められており、2 齢以下の若齢個体の生息がみられず、近年では発生量の少ないことを示していた。しかし、1990年では、Fig.8 に示したように過去2 年の同時期の調査で出現しなかった2 齢の稚ウニが漁場の沖合を中心に大量に出現したことから、ここではウニが卓越発生して、大量に若齢群の補充が行われる年が存在すると推定された。

興部では年齢のモードが4 齢にあり、全体の70%は5 齢以下の若い個体で占められていた。平均年齢は5.0 齢で、雄武よりも2 齢程度若いと推定された。ここでも、Fig.8 にみられるように、1990年には2 齢の稚ウニの生息が確認され、雄武と同じように稚ウニの発生する年が存在し、若齢群の補充がある程度行われていると推定された。

4. エゾバフソウニの生殖巣の量的発達

雄武の1989年の平均殻径の含まれる30~40mm未満のウニ（80個体、平均殻径35mm）の生殖巣重量と生殖巣指数の平均値は2g, 13であった。また、1990年の殻径30~40mm未満のウニ（67個体、平均殻径35mm）の生殖巣重量と生殖巣指数の平均値は2g, 12であった。

一方、興部の1989年の殻径30~40mm未満のウニ（14個体、平均殻径37mm）の生殖巣重量と生殖巣指数の平均値は3g, 15で、平均殻径の含まれる50~60mm未満のウニ（29個体、平均殻径54mm）では、11g, 19であった。また、1990年の殻径30~40mm未満のウニ（16個体、平均殻径37mm）の生殖巣重量と生殖巣指数の平均値は4g, 16で、殻径50~60mm未満のウニ（39個体、平均殻径55mm）では、15g, 22であった。

雄武のエゾバフソウニの生殖巣の量的な発達は、興部よりも顕著に悪かった。

5. エゾバフソウニの現存量

雄武の防水堤内の1989年におけるエゾバフソウニの生息密度は、最大で628個体/m²、平均で97個体/m²であった。現存量は最大で8.1kg/m²、平均で1.3kg/m²であった（Table 2）。雄武では陸側の水深1.5m以浅（距岸100m未満）の海藻類繁茂地帯（主にリシリコンブ生育）を除く全域において、エゾバフソウニが50個体/m²以上の密度で生息していた。

興部の防水堤内の1989年におけるエゾバフソウニの生息密度は、最大で18個体/m²、平均で7個体/m²であった。ここでは調査地点の3分の2が、10個体/m²未満の密度であった。現存量は最大で1.5kg/m²、平均で0.5kg/m²であった（Table 3）。

雄武では、エゾバフソウニが興部の10倍以上の高い密度で生息していた。

雄武の1989年の防水堤内漁場全体のエゾバフソウニ現存量は、約4,500万個体、約600tと推定された。ここでは殻径20~40mm未満の小型ウニが全体の約90%を占め、7~8齢の高齢個体が全体の約60%を占めるとみられた。

興部の1989年の防水堤内漁場全体のエゾバフソウニ現存量は、約120万個体、約80tと推定された。ここでは殻径40mm以上の大型個体が全体の約90%を占め、5齢以下の個体が全体の約70%を占めるとみられた。

雄武では興部の約3倍の面積の漁場に、小型のエゾバフソウニが高密度で生息するため、興部に比べ現存量は個体数で40倍、重量で8倍の高い水準を維持している。ただし、雄武で

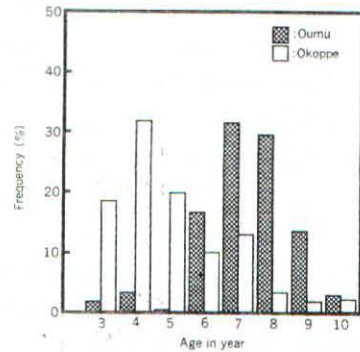


Fig. 7. Age compositions of *Strongylocentrotus intermedius* in the Oumu and Okoppe habitats in 1989. Each number measured were 167 and 104 respectively.

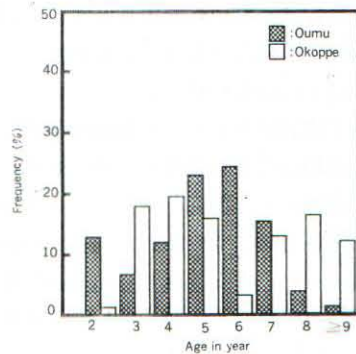


Fig. 8. Age compositions of *Strongylocentrotus intermedius* in the Oumu and Okoppe habitats in 1990. Each number measured were 256 and 145 respectively.

は高齢個体が多いため、5 齢以下の現存量（個体数）は、奥部の約 3 倍にとどまっている。

6. 海産植物の現存量

雄武の防氷堤内で1989年6月に観察された海産植物は、緑藻3種、褐藻4種、紅藻13種の合計20種とスガモであった。現存量は、リシリコンブを中心に最大で8.6kg/m²、平均で1.4 kg/m²であった（Table 2）。防氷堤内漁場全体の現存量は、約660tと推定された。

一方、同年同期の奥部の防氷堤内では、雄武とはほぼ同様の種類の海産植物が、リシリコンブを中心に最大地点で5.6kg/m²、平均で3.8kg/m²生育していた（Table 3）。防氷堤内漁場全体の現存量は、約650tと推定された。奥部の漁場面積は雄武の40%に満たないが、海産植物の現存量は雄武と同等であった。

Table 2. Population of *Strongylocentrotus intermedius* (number and body weight(gr)/m²) and standing crop of marine plants (fresh weight) on the research line in Oumu habitat in June 1989.

Distance from coast (m)	Depth (m)	<i>S. intermedius</i>		Marine plants			Total weight (g/m ²)
		Density (n/m ²)	Body weight (g/m ²)	<i>Laminaria ochotensis</i> (g/m ²)	<i>Phyllospadix iwatensis</i> (g/m ²)	Other algae (g/m ²)	
50	0.9	0	0.0	5,245.0	0.0	287.7	5,532.7
75	1.5	0	0.0	7,957.4	0.0	660.8	8,620.2
100	1.9	88	3,152.4	3,067.6	0.0	23.8	3,091.4
125	2.1	56	1,423.6	242.2	0.0	1,750.7	1,992.9
150	3.0	84	1,299.2	0.0	0.0	7.0	7.0
175	3.3	136	1,742.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	3.3	68	812.4	0.0	0.0	0.0	0.0
225	3.4	(628)	(8,143.6)	0.0	0.0	116.8	116.8
250	3.0	60	813.2	0.0	1,390.2	0.0	1,390.2
275	3.6	224	2,688.4	0.0	0.0	11.2	11.2
300	3.6	112	1,355.6	0.0	0.0	0.0	0.0
325	3.0	124	1,249.6	0.0	0.0	0.0	0.0
350	3.4	120	1,095.6	0.0	0.0	0.0	0.0
375	3.3	204	2,543.2	0.0	0.0	0.0	0.0
400	3.6	50	498.0	845.2	0.0	226.8	1,072.0
425	3.3	176	2,412.8	1,387.4	0.0	1,151.4	2,538.8
450	3.8	56	309.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Mean	2.7	97	1,337.2	1,102.5	81.8	248.9	1,433.7

Table 3. Population of *Strongylocentrotus intermedius* (number and body weight(gr)/m²) and standing crop of marine plants (fresh weight) on the research line in Okoppe habitat in June 1989.

Distance from coast (m)	Depth (m)	<i>S. intermedius</i>		Marine plants			Total weight (g/m ²)
		Density (n/m ²)	Body weight (g/m ²)	<i>Laminaria ochotensis</i> (g/m ²)	<i>Phyllospadix iwatensis</i> (g/m ²)	Other algae (g/m ²)	
50	1.7	10	588.4	1,463.6	850.4	386.8	2,700.8
60	1.5	11	756.9	5,229.4	77.0	325.4	5,631.8
70	1.8	4	220.7	1,054.8	0.0	824.2	1,879.0
80	2.1	2	111.0	1,379.6	0.0	2,270.2	3,649.8
90	2.0	3	256.0	3,214.4	0.0	882.4	4,096.8
100	2.4	9	823.8	2,478.4	0.0	2,144.6	4,623.0
110	2.7	18	1,463.9	2,315.4	0.0	1,711.4	4,026.8
120	3.1	4	250.1	3,652.2	0.0	907.0	4,559.2
130	2.6	2	227.5	4,138.8	1,390.2	1,248.4	5,387.2
140	2.7	3	240.0	4,864.8	0.0	388.0	5,252.8
150	2.7	5	389.1	2,548.4	0.0	722.6	3,271.0
175	3.7	16	417.1	64.9	0.0	386.0	450.9
Mean	2.4	7	478.7	2,700.4	77.3	1,016.4	3,794.1

7. 海産植物の生育面積

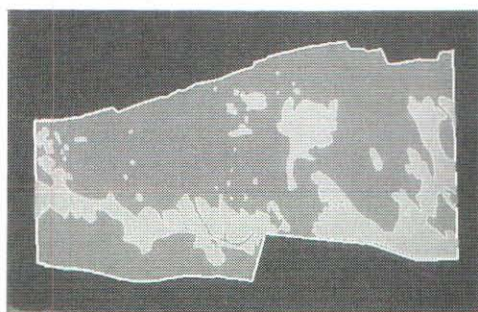
雄武の防水堤内の1988年と1989年の6月の海産植物の生育面積（漁場面積46haの百分率）は、それぞれ11.6ha(24%), 24.6ha(54%)であった (Fig. 9)。

興部の防水堤内の1988年6月の海産植物の生育面積は8.2haで、漁場面積17haの48%を占めていた (Fig. 9)。

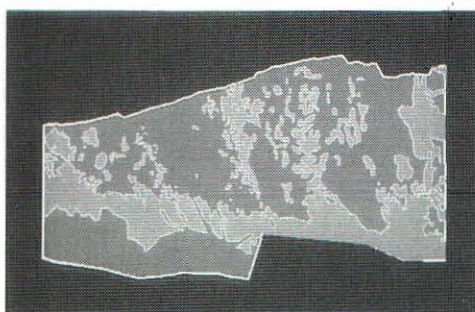
8. リシリコンブの現存量

雄武の防水堤内では、1989年の6月においては1年目葉体が最大で208本/㎡(8.0kg/㎡), 平均で29本/㎡(1.1kg/㎡)生育し、特に陸側の水深1.5m以浅の場所で5kg/㎡以上の高い現存量を示した (Table 2)。ここでは2年コンブの生育がまったく見られなかった。防水堤内漁場全体の現存量は、約1,300万本、約500tと推定された。

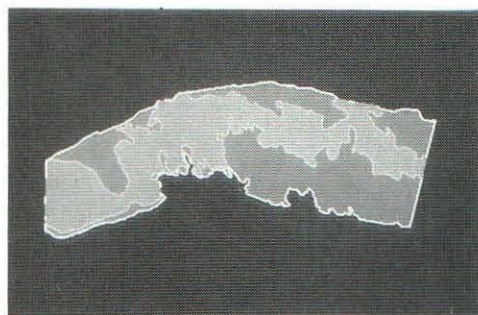
一方、同年同時期の興部の防水堤内の現存量は最大で312本/㎡(5.2kg/㎡), 平均で168本/



The Oumu habitat in June 1988



The Oumu habitat in June 1989



The Okoppe habitat in June 1988

Fig. 9. Marine plants distribution pattern inside of ice preventer in Oumu and Okoppe habitats in June, 1988 and 1989.

Analayzed by color image analysis system. Gray line:Shows the area in ice preventer, Gray images:The habitat in marine plants.

m^2 (2.7kg/ m^2) 生育していた (Table 3)。このうち、1年コブは最大で312本/ m^2 (5.3kg/ m^2)、平均で160本/ m^2 (1.5kg/ m^2) で、現存量は雄武と大差なかった。しかし、雄武で生育が見られない2年コブが最大で38本/ m^2 (4.4kg/ m^2)、平均で8本/ m^2 (1.2kg/ m^2) 生育していた。防水堤内漁場全体の1年コブと2年コブ合計の現存量は約2,800万本、約460tと推定された。

考 察

北海道におけるエゾバフソウニの年齢と殻の成長について、富士²は、自然集団、飼育条件下の集団ともに満5年まで殻は年間6~17mm成長して、平均殻径は満5齢群で約55mmに達するとしている。今回、興部の個体群の殻径は5齢まで年間6~19mm増加して、5齢で平均殻径は54mmに達すると推定され、富士²の報告した年齢と殻径の関係とはほぼ同様であった。しかし、雄武の個体群の殻径は、5齢に至るまで年間3~11mmの増加にとどまり、5齢の平均殻径は34mmと推定され、年齢に対する平均殻径の推定値は著しく低く、殻の成長は悪かった。

雄武のウニについては、1979年と1980年の調査^{3,4)}でも5~7齢で平均殻径が30mm前後であることが報告されており、各年齢群の平均殻径の小型傾向は相当以前から長期間継続しているのは明らかである。

雄武では、1990年のように稚ウニが大量発生すると、殻径組成と年齢組成は例年と異なり、小型個体および若齢個体の出現頻度が明らかに高まった。

雄武ではウニが順調に発生しているが、その成長は悪く、年数を経過しても漁獲サイズである殻径40mmに達しないため、ほとんど漁獲されず、50~100個体/ m^2 の高密度状態になり、高齢化がますます進行することになる。興部では約5年で漁獲サイズに達して、毎年大型個体を中心に漁獲されるため、生息密度は10個体/ m^2 未満で若齢個体が多く、高齢個体の比率は低い状況にある。

北海道のエゾバフソウニの成長に伴う生殖巣の量的発達、殻径35mmで4g前後、殻径55mmで10~20gに達するとされている²。今回、興部の1989年と1990年の平均殻径37mmのウニの生殖巣の平均重量は3g、4g、平均殻径54mm、55mmのウニの生殖巣の平均重量は11g、15gであり、生殖巣の発達は良好であった。しかし、雄武の1989年と1990年の平均殻径35mmのウニの生殖巣の平均重量は2gで、通常の1/2の重さであり、生殖巣は殻径に見合った十分な発達ができない状況にある。

ウニの成長および生殖巣の発達に影響を与える要因としては、餌料としての海藻類の現存量が最も重要である。Table 2, 3とFig. 10に見られるように、ウニの生息密度が10個体/ m^2 未満の興部では、調査範囲に3.8kg/ m^2 の海産植物が生育する。一方、ウニの生息密度が50~100個体/ m^2 で、特に多いところで数百個体/ m^2 以上に達している雄武では、ウニの多い水深2m以深の場所の海産植物の現存量が約0.5kg/ m^2 にとどまり、顕著に低い傾向を示している。また、雄武では1年コブが生育しているにもかかわらず、2年コブの生育がみられない。これはコブ自体の生残率の低さを示すものではなく、1年コブがウニに摂食されたため、2年コブに成長する前に消失しているからであると推定される。

興部ではウニの現存量が少ないため、海藻類の生育に及ぼす影響が小さく、そのため毎年ウニの餌料として十分な量の海藻類が繁茂し、ウニはそれらを摂食して高い成長量と生殖巣

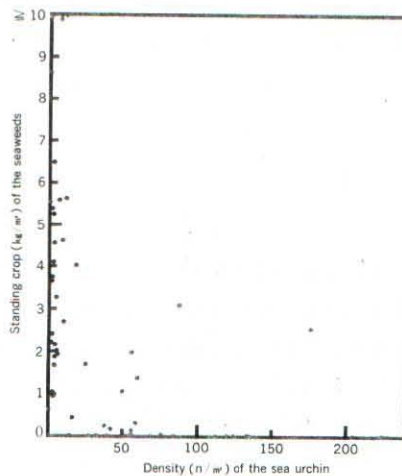


Fig. 10. Relations between density of *Strongylocentrotus intermedius* and standing crop of marine plants in the Oumu and Okoppe habitats in June, 1989 and 1990.
○: Oumu habitat, ●: Okoppe habitat.

の発達を維持していると考えられる。

雄武では、数年に一度のウニの大量発生とウニが小型のため漁獲が行われないことにより漁場内のウニが高密度に生息することになり、海藻類に対し過剰な食圧となって、その生育を大きく阻害してきたといえる。その結果、ウニが多く生息する場所の海産植物の現存量が顕著に低く、2年コブが生育しないなどの状況となって現われていると考えられる。さらに、年間の大部分を餌料不足の環境で生活しているため、殻の成長は遅く、各年齢群の殻径が顕著に小型で、生殖巣の発達も悪い原因となっていると推察される。

雄武ではウニの現存量が50~100個体/m²の高密度であっても、海藻類がある程度生育している場所があり、ウニの現存量の少ないところを中心に垂直的にも水平的にも広範囲に分布していた (Table 2, Fig. 9)。

阿部ら⁹⁾は、今回調査した雄武防水堤内に設置された人工礁 (Fig. 2) の上でウニの密度制御による藻場造成試験を行い、ウニの高密度状態の続いた人工礁には海藻類がほとんど生育しないが、ウニの密度を当初の99個体/m²から10月までに10個体/m²前後に間引き制御した人工礁には翌年に年間最大8.2kg/m²の現存量の海藻群落が形成され、そのうちの95%の7.8kg/m²はリシリコブであり、その生育持続期間も従来より長くなることを確認し、雄武でもウニの食圧を興部並みに軽減することにより、高い現存量を有する海藻群落が形成されることを明らかにしている。

以上のことから、現状の雄武の防水堤内でも海藻類自体、特にコブは十分な生産力を有しており、日本海で問題となっている磯焼けとは異なる現象であると考えられる。雄武においては、漁場内でのウニの大量発生とウニの小型化による漁獲の停止がエゾバフンウニの

高密度分布を引き起こし、それに伴いウニの摂食圧が異常に高まり、それが磯焼けに似た現象の発生および持続原因である。

雄武の防水堤内のウニは高密度に生息し、さらに稚ウニが大量に出現する年があることから、ウニの再生産が安定してあると考えられ、今後ともこの資源を有効に活用するための対策を講じる必要がある。すなわち、天然種苗を有効に活用するため、当面天然種苗の供給漁場として活用しながら、藻場造成事業を拡大して餌料海藻を確保し、ウニの現存量を現在の高密度状態から適正密度に転換して、個体群の若齢化を図ることが最善の方法であると考えられる。

要 約

北海道のオホーツク海沿岸中部の雄武町と興部町の浅海域に生息しているエゾバフソウニについて調べ、以下の結論を得た。

1. 雄武のウニの殻の成長は遅く、殻径の増加は年間3～11mmにとどまり、5齢で平均殻径は34mmと推定された。興部のウニの殻の成長は早く、殻径は年間6～19mm増加して、5齢で平均殻径は54mmに達すると推定された。
2. 雄武のウニは年数を経過しても漁獲サイズである殻径40mmに達しないため、ほとんど漁獲されず、50～100個体/㎡の高密度状態であり、平均年齢は7齢で、高齢個体の占める割合が高かった。興部では約5年で漁獲サイズに達して、毎年大型個体を中心に漁獲されるため、生息密度は10個体/㎡未満、平均年齢は5齢で、雄武よりも2齢程度若かった。
3. 雄武では1988年に発生したと推定されるウニの卓越発生年級群が確認された。
4. 雄武では、ウニが高密度の場所で海藻類の現存量は顕著に低い傾向が見られた。雄武に生育する1年コブは、ウニに摂食されたため、2年コブに成長する前にほとんどが消失していた。興部ではウニの密度が低いため、漁場には海産植物が3.8kg/㎡生育していた。
5. 雄武ではウニが高密度に生息し、海藻類の現存量が低いため、餌料海藻が不足することにより、殻の成長速度の低下を引き起こして、各年齢群は小型で、生殖巣の量的発達も悪かった。興部ではウニの現存量が少なく、餌料として十分な量の海藻類が繁茂しているため、ウニは高い成長量と生殖巣の発達を維持していた。
6. 雄武における海藻類自体の生産力は、現状でも十分高く、高密度に分布しているエゾバフソウニの摂食圧が、磯焼けに似た現象の発生および持続原因である。

謝 辞

本文を終わるにあたり、1988年～1990年の3年間にわたり、本調査研究に関する現地調査に参加していただき、多大なるご協力を賜った、北海道網走支庁水産課、網走西部地区水産技術普及指導所、雄武・興部両町役場水産係、ならびに雄武・沙留両漁業協同組合の関係各位に心からお礼申し上げます。

文 献

- 1) 川村一広: エゾバフソウニの漁業生物学的研究. 北水試報. 16, 1-54(1973)
- 2) FUJI A.: Ecological studies on the growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. AGASSIZ). *Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, 15(2), 83-160(1967)
- 3) 林 忠彦, 丸 邦義, 菊地和夫, 清河 進, 宇藤 均: 昭和54年度大規模増殖場開発事業調査報告書(雄武・興部地区, コンブ, ウニ). 網走, 北海道, 1979, 1-42.
- 4) 林 忠彦, 丸 邦義, 菊地和夫, 清河 進, 宇藤 均, 蔵田 護: 昭和55年度雄武・興部地区大規模増殖場開発事業調査報告書. 網走, 北海道, 1980, 1-50.
- 5) 阿部英治, 多田匡秀: 大規模増殖場効果調査. 1. 雄武地区防水堤効果調査. 平成2年度北海道立網走水産試験場事業報告書. 246-263(1990)

釧路沿岸で漁獲されるサケ筋肉の自己消化

錦織孝史*・高橋玄夫*

The muscle autolysis of chum salmon *Oncorhynchus keta* caught along
the coast of Kushiro, Hokkaido

Takafumi NISHIKIORI* and Haruo TAKAHASHI*

The muscle autolysis of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) is known as one of reasons that affects the strength of its kamaboko gel. The autolysis of matured chum salmon was investigated in order to produce surimi for sea products from that caught along the coast of Kushiro. The pH-autolytic activity at the temperature of 30°C reached a peak at pH3.5, and the temperature-autolytic activity at pH3.5 reached a peak at 40°C. The autolytic activity at pH3.5 was lost 72.8% of original activity by E-64, 68.7% of that by leupeptin, and 25.0% of that by pepstatin A, respectively. The autolytic activity of muscle near the tail was higher than that of muscle near the head. The autolytic activity of male tended to be higher than that of female in the same degree of maturity. The autolytic activity increased with maturity. It showed a negative correlation with the flesh redness represented as "a" value.

まえがき

すり身原料として用いられているスケトウダラは、近年、諸情勢の変化により安定供給が困難となり、板付カマボコ等の練り製品向け冷凍すり身の供給も不安定となっている。このため、すり身業界では秋に北海道沿岸の定置網で漁獲され、将来的にも安定供給の見込まれるサケ、特に成熟度の高い通称ブナサケをその代替原料にしようと試みている。しかし、ブナサケを原料とした冷凍すり身の加熱ゲルのゼリー強度はスケトウダラ陸上2級と同程度で、洋上スケトウダラ冷凍すり身のそれと比較して劣っている¹⁾。サケの筋肉中には強い自己消化作用が存在し、それがゲル形成に関与する筋肉タンパク質に影響を与え²⁾、そのゲル形成能を低下させることが示唆されており³⁾、このことがサケ冷凍すり身加熱ゲルのゼリー強度の低い原因の一つとして考えられる。

報文番号 A243 (1994年8月26日受理)

* 北海道立釧路水産試験場(Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station.
Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085, Japan)

サケ筋肉の自己消化については、三陸沿岸で漁獲されたサケで、その活性が非常に高い場合には筋肉の軟化融解現象を伴うことが報告されている^{4,5}。また、北海道東部釧路川で捕獲された採卵採精後のサケの筋肉中に高いプロテイナーゼ活性の存在が報告されている⁶。優れたゲル形成能を有するブナサケ冷凍すり身を製造するためには原料となるサケの自己消化についての知見が必要であるが、北海道の沿岸で漁獲されるすり身原料の対象となる産卵回帰中のサケを対象とした報告は非常に少ない。そこで、すり身原料の対象となる産卵回帰中のサケ筋肉の自己消化についての知見を得るため、北海道東部釧路沿岸で漁獲されたサケを対象にその自己消化について検討した。

材料及び方法

試料のランク分け

試料のサケ (*Oncorhynchus keta*) は、漁獲時期と魚体表面の状態から成熟度合を次の6ランクに分類した。1993年6月に索餌回遊中に釧路沿岸の定置網で漁獲されたサケを索餌回遊魚とした。1993年9月に釧路沿岸の定置網で漁獲されたサケを肉眼により、魚体表面の90%以上が銀白色の鱗でおおわれ、婚姻色が見られないサケをギンケ、魚体表面の80%以上が銀白色の鱗でおおわれ、婚姻色の斑模様がごくわずかに見られるサケをAブナ、魚体表面に銀白色の鱗がわずかに見られ、婚姻色の斑模様が強く見られるサケをBブナ、魚体表面に銀白色の鱗が全く見られず、婚姻色の斑模様が顕著に見られるサケをCブナとした。また、1993年10月に釧路川河口から約10km上流のサケ捕獲場で採卵採精した直後のサケを採卵採精魚とした。これら漁獲直後のサケを-30℃で急速凍結し、試料とした。

自己消化活性の測定法

自己消化活性の測定は小長谷の方法⁷に準じて行った。すなわち、凍結したサケ筋肉を解凍せずにそのままの状態に細切し、これに冷蒸留水を加えてホモジナイズ（日音医理科器械製作所製ヒスコトロンで10,000rpm、2分間）し、所定の温度に保持した恒温槽内で、所定のpHとなるように調製した0.1Mクエン酸-0.2Mリン酸2ナトリウム緩衝液に等量のホモジネイトを添加することにより自己消化反応を開始し、1時間放置した。1時間後に終濃度が4%となるようにトリクロル酢酸を添加して反応を停止させた。また、あらかじめ終濃度4%のトリクロル酢酸を添加した緩衝液にホモジネイトを添加し、恒温槽内で1時間放置したものを対照とした。これらの濾液を、Lowryらの方法⁸をプロテアーゼ活性測定用に改良したMcDonaldらの方法⁹により750nmの吸光値を測定し、1時間にホモジネイトのタンパク質1mg当りに増加するフェノール試薬陽性物質量をチロシン相当量に換算して自己消化活性とした。ホモジネイトのタンパク質は牛血清アルブミンを標準としてビュレット法⁹により測定した。

自己消化活性の反応pH、反応温度と酵素阻害剤による影響

自己消化活性の反応pHによる影響については、Bブナのサケ背部の筋肉から調製したホモジネイトに、等量の0.1Mクエン酸-0.2Mリン酸2ナトリウム緩衝液を添加して、ホモジネイトのpHを2.8~7.3の範囲で変化させ反応温度30℃、反応時間1時間の条件でその変化について検討した。反応温度による影響については、同様にホモジネイトをpH3.5に調整し、反応時間1時間の条件で、反応温度を0~50℃の範囲で変化させ、反応温度による自

己消化活性の変化について検討した。また、酵素阻害剤の影響については、反応混液中の終濃度が0.1mM となるシステインプロテアーゼインヒビターのE-64([L-3-*trans*-Carboxy-oxiran-2-carbonyl]-L-leucyl-*agmatine*)あるいはロイペプチン、カルボキシルプロテアーゼインヒビターのペプスタチンAを含む上記緩衝液で、Bブナのサケ中央部の筋肉から調製したホモジネイトをpH3.5あるいはpH6.0に調整し、反応時間1時間、反応温度30℃の条件で自己消化活性を測定し、上記酵素阻害剤の添加による自己消化活性の阻害について検討した。E-64、ロイペプチン、ペプスタチンAはそれぞれ(株)ペプチド研究所製の精製標品を使用した。

魚体部位別の自己消化活性

魚体の部位別の自己消化活性を比較するため、図1に示すように採卵採精魚の魚体を8部位に分けた。魚の頭部、鰭を除去し、三枚に卸した魚体の側線の上部を7等分し、頭部に近い部分から前部1、2、3、中央部、後部1、2、3、側線の下部全体を腹須とした。それぞれの筋肉から調製したホモジネイトに、等量の0.1Mクエン酸-0.2Mリン酸2ナトリウム緩衝液を添加してホモジネイトのpHを3.5あるいは6.0とし、反応温度と反応時間はそれぞれ30℃、1時間の同一条件で部位別の自己消化活性を比較した。

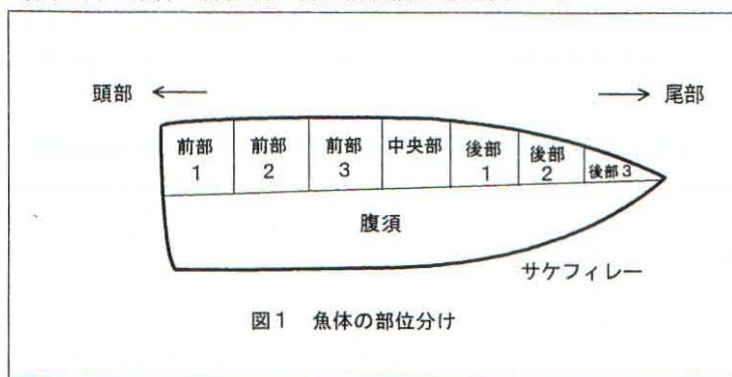


図1 魚体の部位分け

ランク別と雌雄別の自己消化活性

漁獲時期と魚体表面の状態から6ランクの成熟度合に分類した索餌回遊魚、ギンケ、Aブナ、Bブナ、Cブナ、採卵採精魚それぞれの雌雄各5尾の前述した中央部の筋肉ホモジネイトについて、そのpH3.5とpH6.0の条件での自己消化活性を同様に測定し、サケのランクと雌雄による自己消化活性の違いについて検討した。また、各魚体のpH3.5とpH6.0での自己消化活性の相関について検討した。

次にサケの肉色と自己消化活性の相関をみるために、各魚体ごとに中央部の筋肉から調製したホモジネイトをpH3.5に調整し、反応時間1時間、反応温度30℃の条件で自己消化活性を測定した。同時に細切した筋肉をガラスセルに詰めて測色色差計(日本電色工業製ND-1001DP)により、その反射光のa値(赤色度)を肉色とした。

自己消化分解物の経時的変化

Bブナのサケ筋肉から調製したホモジネイトの自己消化が、実際の筋肉における条件でどのように進行するのかを知るため、ホモジネイトを上記緩衝液でpH6~7の範囲に調整し、反応温度を漁獲時期の気候から実際の加工場で魚体が放置される温度と想定される10℃の条件に設定した場合の自己消化による分解物生成量の経時的変化について検討した。

結 果

自己消化活性の反応pH, 反応温度と酵素阻害剤による影響

Bブナのサケ筋肉ホモジネイトの反応pHによる自己消化活性の変化を図2に示した。自己消化活性の至適pHは3.5付近に認められた。このpHの前後では活性は急激に低下し, pH 5.0からpH7.0までの範囲では活性の低下は緩やかであった。pH3.5における活性を100%とすると, 死後のサケ筋肉が示すpH6.0~6.5⁸における活性は6%であった。Bブナのサケ筋肉ホモジネイトの反応温度を0~50℃の範囲で変化させた場合の自己消化活性の変化を図3に示した。Bブナのサケ筋肉の自己消化活性の至適温度は約40℃に認められ, この温度の前後では活性は急激に低下し, 20℃から0℃までの範囲では活性の低下は緩やかであった。実際に加工場で処理されるまでの間に魚体がさらされる5~10℃の温度帯での活性は, 至適温度での活性を100%とすると5%であった。Bブナの筋肉ホモジネイトに終濃度0.1mMのE-64, ロイペプチンあるいはペプスタチンAを添加した場合の自己消化活性の変化を表1に示した。pH3.5の反応条件では, 酵素阻害剤無添加の活性を100%とすると, E-64, ロイペプチン, ペプスタチンAを添加することにより自己消化活性はそれぞれ27.2%, 31.3%, 75.0%に低下した。pH6.0の反応条件では, E-64, ロイペプチン, ペプスタチンAを添加することにより自己消化活性は無添加に比べてそれぞれ33.7%, 27.6%, 60.2%に低下した。

表1 自己消化酵素阻害剤の添加による筋肉ホモジネイト自己消化活性の抑制

	残存自己消化活性(%)	
	pH3.5	pH6.0
無添加	100.0	100.0
E-64	27.2	33.7
ロイペプチン	31.3	27.6
ペプスタチンA	75.0	60.2

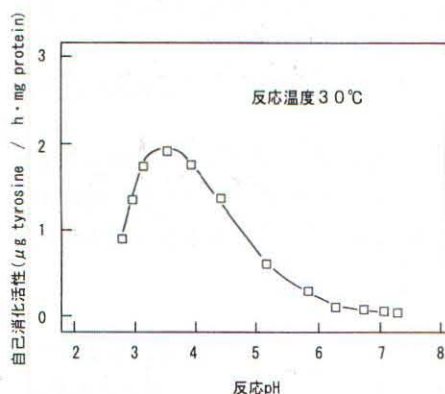


図2 自己消化活性の反応pHによる変化

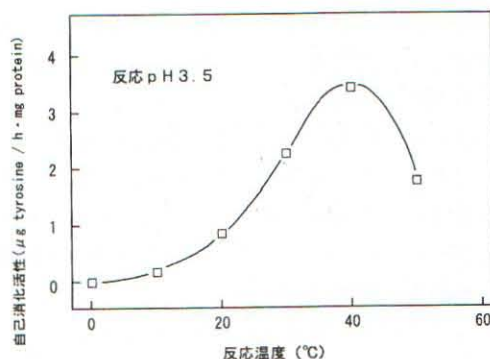


図3 自己消化活性の反応温度による変化

魚体部位別の自己消化活性

採卵採精魚を前部1, 2, 3, 中央部, 後部1, 2, 3, 腹須の各部位に分け, それぞれの筋肉から調製したホモジネイトのpHを3.5あるいは6.0とし, 各pH条件での部位による自己消化活性の違いを図4に示した。これによると, 魚体の部位により活性は異なり, pH3.5の条件では後部1の活性が最も高い値を示した。全体で比較すると, 魚体の頭部に近い前部に比較して, 魚体の尾部に近い後部で高い傾向を示した。以上の結果から, 各魚体の自己消化活性を比較する場合には採取する魚体の部位を統一する必要があった。

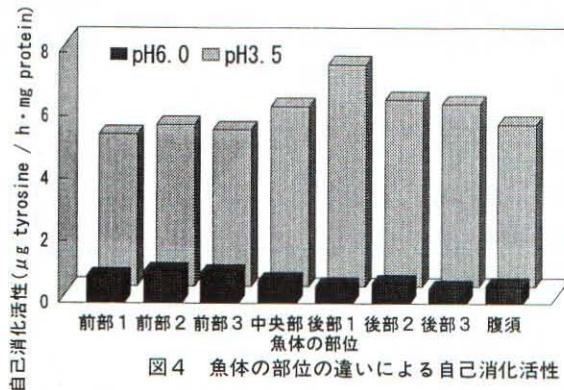


図4 魚体の部位の違いによる自己消化活性

ランク別と雌雄別の自己消化活性

索餌回遊魚, ギンケ, Aブナ, Bブナ, Cブナ, 採卵採精魚の雌雄各5尾の魚体中央部の筋肉ホモジネイトの自己消化活性について, ホモジネイトを至適条件のpH3.5に調整した場合の結果を図5に, pH6.0に調整した場合の結果を図6にそれぞれ示した。自己消化活性は, 索餌回遊魚から採卵採精魚へと魚体の成熟度合が増すとともに高くなる傾向を示した。この傾向は図6のpH6.0の条件と比較して, pH3.5の条件で顕著であった。また, 図5のpH3.5での採卵採精魚を除いて, 同じ成熟度合の雌雄で自己消化活性を比較すると雌が高い傾向を示し, pH3.5の条件ではBブナの雌の活性は雄の活性の約2倍の値を示した。図5に示したpH3.5の条件で自己消化活性を比較すると, 最も活性の高い採卵採精魚の雄の活性を100%とすると, それぞれBブナの雄では25%, Bブナの雌では52%, 最も活性の低い索餌回遊魚

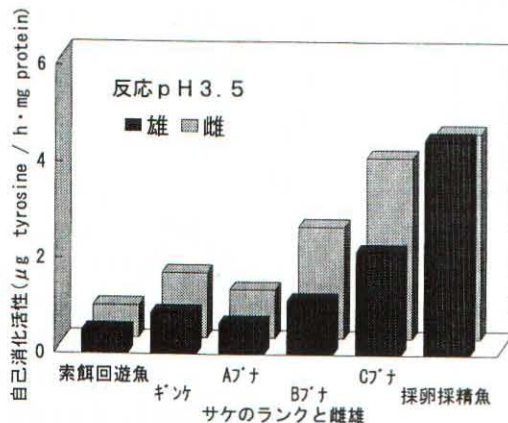


図5 サケのランクと雌雄による自己消化活性

の雄では11%であった。図6に示したpH6.0の条件で自己消化活性を比較すると、最も活性の高いCブナの雌の活性を100%とすると、採卵採精魚の雄では64%, Bブナの雄では23%, Bブナの雌では68%, 最も活性の低い索餌回遊魚の雌では15%の活性を示し、採卵採精魚の雄とBブナの雌の活性はほぼ同じであった。各魚体におけるpH3.5での自己消化活性とpH6.0での自己消化活性の相関を図7に示した。

各魚体のpH3.5とpH6.0での自己消化活性は正の相関($r=0.8679$)を示し、至適条件のpH3.5で自己消化活性の高い魚体は、実際の筋肉が示すpH6.0の条件においても高い自己消化活性を示した。

サケの肉色と自己消化活性の相関を図8に示した。自己消化活性はa値と負の相関($r=-0.7995$)を示した。すなわち、自己消化活性は、測色色差計により計測されるa値が高い値を示す肉色の赤い魚体と比較して、肉色の退色した魚体ほど高くなる傾向を示した。

自己消化分解物の経時的変化

Bブナのサケ筋肉ホモジネイトの反応pHを6.0~7.6に変化させ、反応温度10℃での自己消化による分解物生成量の経時的変化を図9に示した。pH6.0~7.6の条件では、Bブナのサケ筋肉ホモジネイトの自己消化による分解物は、それぞれのpH条件で時間経過とともに直線的に増加した。その生成量はpH6.0の条件で最大となり、それよりpHが高くなるほどその生成量は減少した。

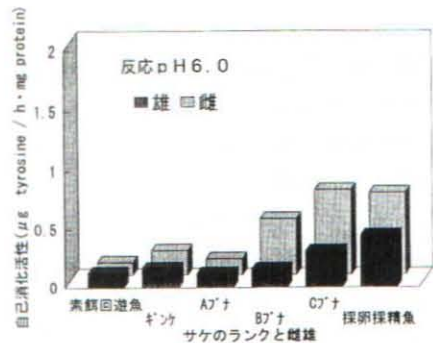


図6 サケのランクと雌雄による自己消化活性

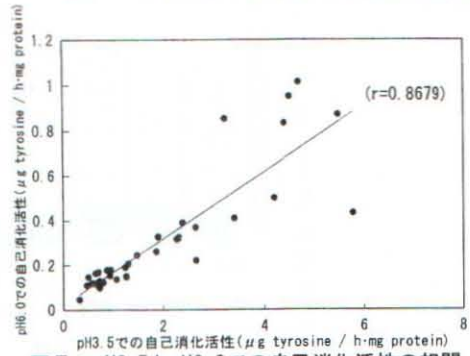


図7 pH3.5とpH6.0での自己消化活性の相関

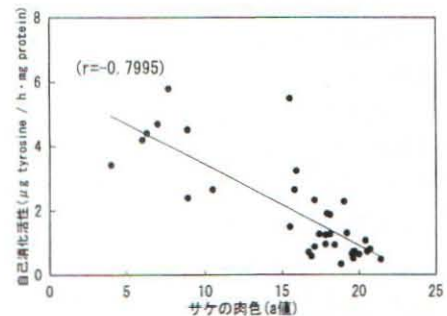


図8 サケの肉色(a値)と自己消化活性の相関

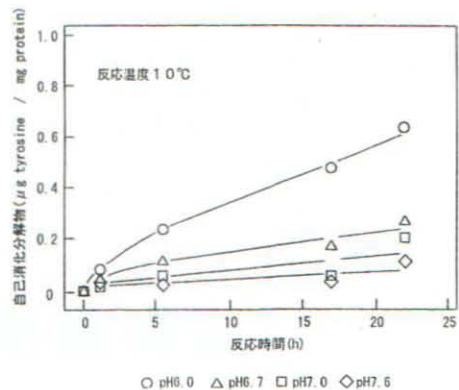


図9 サケ筋肉ホモジネイト自己消化分解物生成量の経時的変化

考 察

すり身業界では、秋に北海道沿岸で漁獲されるBブナのサケを冷凍すり身の原料にしようとしている。この筋肉の自己消化活性は、その至適pHが3.5付近に認められること、さらに、ロイペプチンあるいはペプスタチンAによる自己消化活性の阻害の割合が同じであることから、小長谷が報告している三陸沿岸で漁獲され、筋肉が軟化融解したサケ筋肉中のプロテアーゼ活性⁹⁾と同様のものと考えられる。

Bブナのサケの自己消化活性は、pH6.0の条件で雌雄全体で比較すると最も活性の高い採卵採精魚の活性よりは低かったが、雌雄別で比較するとBブナのサケの雌と採卵採精魚の雄の活性はほぼ同じであった。採卵採精魚では筋肉が軟化融解した通称「モチ」と呼ばれる魚体がみられることから、Bブナのサケ筋肉に認められた自己消化は、筋肉の軟化融解という激しい現象が伴わないまでも、これから製造された冷凍すり身のゲル形成能に関与する筋肉タンパク質へ何らかの影響を与えることが示唆される。また、この作用はBブナ、Cブナのサケを原料として製造されるトバあるいはソフトくん製等の製品のテクスチャーに対しても影響を与えることが推測される。

サケの漁獲は網揚げが夕方の場合、翌日加工場で処理されるまでに、漁獲後10数時間から20数時間放置される場合がある。この時、魚体は普通、水氷中で保管されるが、場合によっては氷が全て融解し、加工場の室温(10℃)にさらされることがある。また、サケの魚体を0～15℃の温度で保管すると、筋肉のpHは死後数時間から50時間後まで、6.0～6.5で推移する⁹⁾。図9に示したように、筋肉ホモジネイトを10℃、pH6.0の条件で放置するとpH7.0の条件と比較して自己消化が速やかに進行することが認められた。筋肉ホモジネイトの自己消化作用の進行が実際の筋肉のそれと全く同じように進行するとは考えられないが、実際の筋肉においてもこの条件下では自己消化の作用が進行するものと考えられる。このため、自己消化の作用を極力抑制するためには、漁獲後の魚体の温度を速やかに低温に保持することと同時に、筋肉のpHを速やかに中性にすることが重要と考えられる。

要 約

サケ冷凍すり身の原料として対象となる、秋に北海道東部釧路沿岸で漁獲されるサケについて、冷凍すり身の品質に影響を与えることが示唆されているサケ筋肉の自己消化について検討した。

1. 筋肉ホモジネイトの自己消化活性の至適pHは3.5、至適温度は40℃であった。
2. 筋肉ホモジネイトの自己消化活性はpH3.5の反応条件で、E-64、ロイペプチン、ペプスタチンAを添加することにより自己消化活性はそれぞれ27.2%、31.3%、75.0%に低下した。
3. 筋肉ホモジネイトの自己消化活性は魚体の頭部寄りの部分に比較して魚体の尾部寄りの部分で高い傾向を示した。
4. 筋肉ホモジネイトの自己消化活性は、魚体の成熟度合が増すとともに高くなる傾向を示した。また、同じ成熟度合のサケの雌雄で自己消化酵素活性を比較すると雌が高い傾向を示した。

5. 各魚体のpH3.5とpH6.0での筋肉ホモジネイトの自己消化活性は正の相関を示した。
6. 筋肉ホモジネイトの自己消化活性はa値(肉色の赤色度)と負の相関を示した。

謝

辞

試料の入手にあたり, 多大な御協力を頂いた社団法人北海道さけます増殖事業協会釧路支所並びに釧路市東部漁業協同組合の職員の方々に深謝する。

文

献

- 1) 高橋玄夫, 川嶋孝省: プナサケ冷凍すり身の製造について. 魚肉ソーセージ. 225, 1-12 (1992)
- 2) Michiaki Yamashita and Shiro Konagaya: Participation of Cathepsin L into Extensive Softening of the Muscle of Chum Salmon Caught during Spawning Migration. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 56(8), 1271-1277 (1990)
- 3) 山下倫明, 小長谷史郎: プナザケ筋肉のプロテアーゼと軟化現象. 魚肉ソーセージ. 224, 1-7 (1991)
- 4) Shiro Konagaya: Enhanced Protease Activity in Muscle of Chum Salmon *Oncorhynchus keta* during Spawning Migration. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 48(10), 1503 (1982)
- 5) 小長谷史郎: 産卵回帰シロザケ筋肉中の高プロテアーゼ活性と肉の軟化融解現象. 東海水研報. 109, 41-55 (1983)
- 6) 野俣洋, 豊原治彦, 牧之段保夫, 池田静徳: シロザケ筋肉における各種プロテイナーゼの存在と産卵期におけるその活性. 日水誌. 51(11), 1799-1804 (1985)
- 7) O.H.Lowry, N.J.Rosebrough, A.L.Farr, and R.J.Randall: Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. *J.Biol.Chem.* 193, 265-275 (1951)
- 8) C.E.McDonald, and L.L.Chen: The Lowry Modification of the Folin Reagent for Determination of Proteinase Activity. *Anal. Biochem.* 10, 175-177 (1963)
- 9) A.G.Gornall C.J.Bardawill, and M.M.David: Determination of Serum Proteins by Means of the Biuret Reaction. *J.Biol.Chem.*, 177, 751-766 (1949)
- 10) 川村満, 山内寿一, 福田裕, 島田俊雄, 柞木田善治, 石川哲: プナサケ魚肉利用加工研究〔Ⅲ〕. 昭和59年度 青森県水産物加工研究所研究報告. 61-99 (1984)

試験研究業績

〈外部刊行物への発表 平成5年度分〉

海 洋 部 門

1. 北海道西岸のオキアミ漁業：小島守之（中央水試）日本プランクトン学会研究集会講演
1993年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集 323-324 1993
2. 北海道西岸におけるツノナシオキアミの昼間海面蟄集とその要因：小島守之・田村真樹
（中央水試）ほか1名 1993年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集 199-200 1993

漁 業 資 源 部 門

1. タコ類の生態と資源管理・増殖について：山口幹人（中央水試）北海道水産土木協会会報 52 4-5 1993
2. ホッコクアカエビの生態と資源について：前田圭司（中央水試）北海道水産土木協会会報 55 3-5 1994
3. 日本海とオホーツク海におけるエビ類 2 日本海におけるトヤマエビの生殖周期と成長：中明幸広（稚内水試）日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 24 1993
4. 日本海とオホーツク海におけるエビ類 3 オホーツク海におけるトヤマエビの生殖周期と成長：中明幸広（稚内水試）日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 25 1993
5. オホーツク海で漁獲された黒色物におおわれたズワイガニ：今井義弘・三橋正基（稚内水試）水産海洋研究 57(4) 402-404 1993
6. ケガニかごにおける脱出口の効果について：西内修一（中央水試）平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 15 1993
7. シャコ刺し網の網目選択性：鳥澤 雅（網走水試）平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 12 1993
8. 北海道石狩湾産シャコの生物学的特徴：鳥澤 雅（網走水試）平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 125 1993
9. “ギンザケ”：前田圭司（中央水試）ほか1名 魚類解剖大図鑑 解説編 66-67 図版編 61-64 緑書房 1994
10. 北海道におけるタラ類漁業の歴史：田中富重（中央水試）育てる漁業 249 2-6 1994
11. 北海道東部太平洋沿岸に分布するスケトウダラ、マダラおよびコマイの0歳魚の現存量指数を用いた年級群豊度の推定：三宅博哉（釧路水試）・吉田英雄（中央水試）・上田吉幸（函館水試室蘭支場）日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 2 1993
12. Artificial propagation of Pacific cod and walleye pollock in Japan: 吉田英雄（中央水試）ほか2名 Abstract of International Symposium “Sea Ranching of Cod and other Marine Fish Species.” Arendal, Norway, 15-18 June 1993
13. Some biological aspects of 0-group walleye pollock in the waters around

- Hokkaido, Japan.: 吉田英雄 (中央水試)・三宅博哉 (釧路水試)・夏目雅史 (函館水試)・佐々木正義 (原環境センター) Abstract of "Workshop on the Importance of Prerecruit walleye pollock to the Bering Sea and North Pacific Ecosystems." Alaska Fisheries Science Center, Seattle, USA, 28-30 October 1993
14. Abundance of 0-group walleye pollock and other demersal fishes off the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan.: 三宅博哉 (釧路水試)・吉田英雄 (中央水試)・上田吉幸 (函館水試室蘭支場) Abstract of North Pacific Marine Science Organization (PICES) Second Annual Meeting. Seattle, USA, 25-30 October 1993
 15. ホッケ、その生態と資源: 渡辺安廣 (中央水試) 北海道水産土木協会会報 53 3-5 1993
 16. ヒラメの生態と栽培漁業: 富永 修 (中央水試) 北海道水産土木協会会報 54 3-5 1994
 17. 石狩・後志海域における人工種苗ヒラメの放流効果～市場調査の大切さについて～: 富永 修 (中央水試) 育てる漁業 242 2-8 1993
 18. 石狩湾で放流された人工種苗ヒラメの放流効果の範囲: 富永 修 (中央水試) 日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 12 1993
 19. ヒラメ放流技術開発と経済効果: 富永 修 (中央水試) 「育てる漁業研究会」講演及び事例発表要旨 13-21 1994
 20. Stock enhancement program of Japanese flounder (Hirame) *Paralichthys olivaceus* in Hokkaido Japan.: 富永 修 (中央水試) Abstract of Nemuro Workshop on Western Sularctic Circulation 93 1993
 21. ロシアの水産研究 ⑤⑤ 南水洋の生物資源: 高 昭宏 (釧路水試) 訳 水産の研究 64 77-80 1993
 22. ロシアの水産研究 ⑤⑥ 南千島におけるサンマ索餌期のプランクトンの分布: 高 昭宏 (釧路水試) 訳 水産の研究 65 73-76 1993
 23. ロシアの水産研究 ⑤⑦ 太平洋の生物資源: 高 昭宏 (釧路水試) 訳 水産の研究 66 91-94 1993
 24. ロシアの水産研究 ⑤⑧ 西部ベーリング海、カムチャッカ太平洋沿岸、千島列島の大陸斜面における底魚漁獲物組成の経年変化: 高 昭宏 (釧路水試) 訳 水産の研究 67 81-85 1993
 25. ロシアの水産研究 ⑤⑨ 太平洋の海底隆起部の魚類相: 高 昭宏 (釧路水試) 訳 水産の研究 68 81-84 1994
 26. ロシアの水産研究 ⑥① オホーツク海およびベーリング海の中深層魚類の種組成および現存量: 高 昭宏 (釧路水試) 訳 水産の研究 69 79-82 1994

増殖部門

1. オトヒメモクズ、アグラオタムニオン s p : 金子 孝 (網走水試) 藻類の生活史集成 第2巻 1993
2. ウガノモクの初期形態形成: 名畑進一・酒井勇一 (釧路水試) 日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 7 1993
3. リシリコンブへのN、P肥料の影響について: 赤池章一 (稚内水試) 育てる漁業 246 2-12 1993
4. エゾアワビ被面子幼生の基質選択性の確認: 川真田憲治 (栽培センター)・高谷義幸・大崎正二 (中央水試) 平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 175 1993
5. 北海道野付湾におけるアサリの初期成長と沈着期について: 中川義彦・城野草平・角田富男 (釧路水試) はか4名 日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 13 1993
6. ホッキ貝の増殖技術について考える一漁場造成を進める上での留意点とは一: 櫻井 泉 (中央水試) 北海道水産土木協会会報 51 4-6 1993
7. ホッキガイの人工種苗生産について: 伊藤義三 (栽培センター) 育てる漁業 240 2-10 1993
8. ウバガイ噴射式桁網の漁獲効率について: 松山恵二 (中央水試) はか3名 日本水産学会誌 60 (1) 79 1994
9. 浜中湾のホッキガイ漁業管理システムについて: 城野草平 (釧路水試) はか 日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 3 1993
10. 地域特産種量産放流技術開発事業・資源添加技術開発 (ホッキガイ): 城野草平・角田富男・中川義彦 (釧路水試) はか7名 地域特産種量産放流技術開発事業報告書 (二枚貝類グループ) 1-33 1993
11. 北海道苫小牧沿岸におけるバカガイ0齢個体の分布特性: 櫻井 泉 (中央水試) 平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 177 1993
12. Some Factors Causing Fluctuations in the Collection of Natural Seed of the Ezo Giant Scallop, *Patinopecten yessoensis*: 丸 邦義 (稚内水試) Abstract of the 9th international symposium on Okhotsk Sea & sea ice 119-124 1994
13. 漁場の流れの強さとホタテガイの成長: 多田匡秀 (函館水試室蘭支場)・宮園 章 (網走水試) 平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 262 1993
14. ホタテガイ閉殻筋の成長にともなう構成成分の季節変化: 宮園 章 (網走水試) 平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 131 1993
15. エゾバフンウニ人工種苗の生殖周期に及ぼす親ウニ産地の影響: 吾妻行雄 (中央水試)・川真田憲治 (栽培センター)・大崎正二 (中央水試)・元谷 怜 (網走水試) はか 平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 175 1993
16. エゾバフンウニ人工種苗の生殖周期に及ぼす親ウニ産地の影響: 吾妻行雄 (中央水試)・川真田憲治 (栽培センター)・元谷 怜 (網走水試) 水産増殖 1993
17. エゾバフンウニ斑点症の病理組織: 高谷義幸・大崎正二 (中央水試)・川真田憲治 (栽培センター) はか 平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集 174 1993
18. キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz) 摂餌行動の季節変化に

- ついて：吾妻行雄・中多章文・松山恵二（中央水試） 第7回日本ベントス学会 仙台 57 1993
19. キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz) の摂餌活動におよぼす物理環境要因：松山恵二・吾妻行雄・中多章文（中央水試）ほか 第7回日本ベントス学会 仙台 58 1993
 20. 養殖場造成事例 ウニ類（キタムラサキウニ）養殖場：吾妻行雄（中央水試）平成5年度沿整施設管理・技術者育成研修会テキスト 全国沿岸漁業振興開発協会 131-144 1993
 21. ウニの生態と養殖施設：吾妻行雄（中央水試）第27回水産土木技術研修会資料 北海道水産土木協会 29-50 1994
 22. 日本海のウニ漁業と資源の動向：水島敏博（道水産部）育てる漁業 243 2-12 1993
 23. マツカワの種苗生産について：高丸禮好（中央水試）育てる漁業 245 2-8 1993
 24. 北海道における魚類の養殖と栽培漁業：高丸禮好（中央水試）しゃりばり 138 84-87 1993
 25. 海産魚類の魚病の種類とその対策について：三浦宏紀（中央水試）育てる漁業 248 3-9 1994

加工・利用部門

1. 水産物を原料としたエクストルージョンクッキングについて 5. コンブーその2：富士曉彦（釧路水試）水産の研究 66 64-68 1993
2. 北海道東部産各種褐藻類の成分について：船岡輝幸・成田正直・大堀忠志（釧路水試）平成5年度水産利用加工研究推進全国会議 127-130 1993
3. エクストルージョン処理によるホタテ外套膜を利用した膨化スナック食品の開発：富士曉彦・大石岩樹・北川雅彦（釧路水試）日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 31 1993
4. 乾はたて貝柱製造における煮熟条件と製品品質について：武田忠明・野俣 洋・木村稔・西 紘平（網走水試紋別支場）平成5年度食品加工関係試験研究機関合同成果発表会講演要旨集 5-8 1993
5. ペルー産アメリカオオアカイカの原料性状について：辻 浩司・信太茂春（函館水試）日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 26 1993
6. 魚介類の未・低利用卵の加工：加藤健二（中央水試）魚肉ソーセージ 226 67 1993
7. 調味液漬け魚卵製品の保蔵性における調味液の影響：河野陽子・阪本正博・高橋玄夫（釧路水試）日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 27 1993
8. 酵素処理による秋サケ硬化卵の軟化について：錦織孝史・大堀忠志（釧路水試）平成5年度水産利用加工研究推進全国会議 169-172 1993
9. B プナを原料としたすり身の退色防止について：大石岩樹・北川雅彦・錦織孝史・富士曉彦・高橋玄夫（釧路水試）・川嶋孝省（中央水試）日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 29 1993

10. エクストルージョン処理によるサケフレークの製造：北川雅彦・福士暁彦・大石岩樹（釧路水試） 日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 30 1993
11. ブナサケすり身の退色防止試験：大石岩樹・福士暁彦・北川雅彦・高橋玄夫（釧路水試）平成5年度水産利用加工研究推進全国会議 205-208 1993
12. 鮭トバのソフト化試験：木村 稔・金子博実（網走水試紋別支場）平成5年度水産加工研究推進全国会議 173-176 1993
13. 加熱したトバ製品の品質上の問題について：木村 稔・金子博実（網走水試紋別支場）平成5年度食品加工関係試験研究機関合同成果発表会講演要旨集 27-28 1993
14. 塩タラコの黒ずみに関する試験－黒ずみ卵生成の原因について－：阪本正博・高橋玄夫（釧路水試）平成5年度水産利用加工研究推進全国会議 111-114 1993
15. ウマヅラハギの加工について：加藤健仁（中央水試）水産ねり製品技術研究会誌 19(5) 205-209 1993

そ の 他

1. 等加速度流場における平板後流域の発達過程－アルミ粉懸濁法による可視化－：瀬戸雅文（中央水試）ほか3名 日本水産工学会学術講演会論文集 3 167-168 1993
2. ポーラスメディアの波特性及び波力に関する研究Ⅱ－矩形断面固定浮体への適用－：瀬戸雅文（中央水試）ほか4名 日本水産工学会学術講演会論文集 3 171-172 1993
3. 海洋牧場における魚群行動制御技術に関する研究－水塊カーテンの水理特性と制御効果－：瀬戸雅文（中央水試）ほか3名 土木学会海洋開発論文集 9 403-408 1993
4. ラセン織條ポーラス材の消波・流体力特性：瀬戸雅文（中央水試）ほか4名 土木学会海洋開発論文集 9 223-228 1993
5. 平板の背後に形成される後流域の発達過程：瀬戸雅文（中央水試）ほか4名 土木学会海岸工学論文集 40 961-965 1993

1976~1980年夏季、ベーリング海中央海域における表層性スケトウダラの食性 (英文)

吉田英雄

夏季、ベーリング海中央海域の表層域に分布するスケトウダラの食性を明らかにするため、1976~1980年に表層流し網および中層トロールで採集した、成魚1,536尾および未成魚111尾の胃内容物解析を行った。最も重要な餌生物は、カイアシ類とオキアミ類であった。端脚類、尾虫類そして魚類も地域的、時期的に重要な餌生物であった。スケトウダラ成魚の胃充満度は低く、多くの個体で体重の0.5~0.9%であった。

表層性スケトウダラの生殖腺の組織学的状態と食物要求量および胃の通過速度に関する飼育実験結果から判断すると、夏季ベーリング海中央表層域に分布する産卵後のスケトウダラは、生存、成長そして再生産のために十分な餌を得ていると考えられた。スケトウダラにとって、表層生活期は、個体群の維持に重要な役割を担っていると思われる。

A 240 北水試研報 45 1-35 1994

サロマ湖産養殖ホタテガイの生殖巣発達過程

川真田憲治

1986年9月から1987年12月までの間、サロマ湖において垂下養成中のホタテガイの生殖巣発達過程を組織学的に調べた。その結果、1)生後4~5ヵ月で全個体が雄個体になり、その後一部の個体が雌雄同体個体を経て雌個体になること、2)過去に報告のあった性成熟過程と比べて、雌の出現する時期が約9ヵ月早くなっていること、3)0齢期に200個体収容した群は40個体収容した群と比べて、①雄から雌への性相移行が遅延すること、②雌雄同体個体の出現率や1齢時点での雌個体の出現率が低いこと、③雄に関する限りでは成熟度合に時期的遅れのあることなどが明らかとなった。これらのことから、性分化や性相移行の起こる時期の早期化は、中間育成における0齢貝の収容密度を低くしたことに起因する成長促進と関連していると推定した。

A 241 北水試研報 45 37-44 1994

北海道オホーツク海沿岸のエゾバフンウニの生態

阿部英治, 多田匡秀

北海道オホーツク海の雄武町と興部町の浅海域に生息しているエゾバフンウニについて調べた。雄武では卓越発生年級群がみられ、生息密度は50~100個体/m²に達した。殻の成長は悪く、5齢で平均殻径34mmと推定された。高齢個体が多く、生殖巣の量的発達も悪かった。

興部ではウニの生息密度は10個体/m²未満で、殻の成長は良く、5齢で平均殻径54mmと推定された。5齢前後の個体が多く、生殖巣の量的発達も良好であった。

雄武における海藻類自体の生産力は、十分高いと考察され、漁場に見られる“磯焼け”に似た現象の発生および持続原因は、高密度に分布しているエゾバフンウニの摂食圧によるものである。

A 242 北水試研報 45 45-56 1994

釧路沿岸で漁獲されるサケ筋肉の自己消化

錦織孝史, 高橋玄夫

サケ筋肉に認められる自己消化は、そのすり身加熱ゲルの物性に影響を与えることが示唆されている。そこで、釧路沿岸で漁獲されるサケから優れた冷凍すり身を製造するため、その筋肉の自己消化について調査した。筋肉ホモジネイトの自己消化活性の至適pHは3.5、至適温度は40℃であった。筋肉ホモジネイトの自己消化活性はpH3.5の反応条件で、E-64、ロイペプチン、ペプスタチンAを添加することにより自己消化活性はそれぞれ27.2%、31.3%、75.0%に低下した。筋肉ホモジネイトの自己消化活性は魚体の頭部寄りの部分に比較して魚体の尾部寄りの部分で高い傾向を示した。また、魚体の成熟度合が増すとともに高くなる傾向を示し、同じ成熟度合のサケの雌雄で自己消化活性を比較すると、雌が高い傾向を示した。各魚体のpH3.5とpH6.0での自己消化活性は正の相関を示した。筋肉ホモジネイトの自己消化活性は、a値(肉色の赤色度)と負の相関を示した。

A 243 北水試研報 45 57-64 1994

北海道立水産試験場研究報告 第45号

1994年11月21日 発行

編集兼 北海道立中央水産試験場

発行者 〒046 北海道余市郡余市町浜中町238

電 話 総合案内 0135(23)7451 (総務課)
図書案内 0135(23)8705 (企画情報室)

F A X 0135(23)3141

Hamanaka-cho 238, Yoichi-cho, Hokkaido 046, Japan

印刷所 日 東 印 刷 株 式 会 社

小樽市相生町7番4号

電話 (0134)23-1559番
