

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 59 号

SCIENTIFIC REPORTS

OF

HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No.59

北海道立中央水産試験場

北海道余市町

2001年3月

Hokkaido Central Fisheries
Experimental Station

Yoichi, Hokkaido, Japan

March, 2001

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)	046-8555 余市郡余市町浜中町238 (Yoichi,Hokkaido 046-8555, Japan)
北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station)	042-0932 函館市湯川町1-2-66 (Yunokawa,Hakodate, Hokkaido 042-0932 ,Japan)
北海道立函館水産試験場室蘭支場 (Muroran Branch,Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station)	051-0013 室蘭市舟見町1-133-31 (Funami-cho,Muroran, Hokkaido 051-0013,Japan)
北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station)	085-0024 釧路市浜町2-6 (Hama-cho,Kushiro, Hokkaido 085-0024,Japan)
北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station)	099-3119 網走市鱒浦31 (Masuura,Abashiri, Hokkaido 099-3119,Japan)
北海道立網走水産試験場紋別支場 (Monbetsu Branch,Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station)	094-0011 紋別市港町7 (Minato-machi,Monbetsu, Hokkaido 094-0011,Japan)
北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station)	097-0024 稚内市末広4-5-15 (Suehiro,Wakkanai, Hokkaido 094-0024,Japan)
北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture)	041-1404 茅部郡鹿部町字本別539-112 (Shikabe,Hokkaido 041-1404,Japan)

北海道立水産試験場研究報告

第 59 号

目 次

志田 修

根室海峡におけるスケトウダラ魚群の分布と海況 - 1 - 10

三宅博哉，石田良太郎，武藤卓志，安部幸樹，向井 徹，飯田浩二

音響資源調査で得られた北海道西岸日本海のスケトウダラ産卵群の分布特性と現存量 11 - 24

坂口健司，高柳志朗

1996，1997年で道西日本海におけるスルメイカの体サイズが異なった要因 25 - 30

中多章文，八木宏樹，宮園 章，安永倫明，川井唯史，飯泉 仁

忍路湾における沿岸水温と栄養塩の関係 31 - 41

武田浩郁，飯田訓之，信太茂春，錦織孝史

カラフトマス肉糊の加熱ゲル形成に及ぼす温度の影響と物性の改善 43 - 48

筒井大輔，鈴木章彦，長瀬桂一，芦立昌一

ハナサキガニ人工種苗を用いた放流・再捕調査（短報） 49 - 51

（2001年3月）

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No.59

CONTENTS

Osamu SHIDA

Distribution of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and oceanographic conditions
in the Nemuro Strait, Japan - I. 1 - 10

Hiroya MIYAKE, Ryotaro ISHIDA, Takashi MUTO, Koki ABE, Tohru Mukai and Kohji IIDA

Acoustic assessment and distribution of spawning walleye pollock *Theragra chalcogramma*
in the Japan Sea off western Hokkaido using quantitative echo sounder 11 - 24

Kenji SAKAGUCHI and Shiro TAKAYANAGI

Factors causing differences in body size of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*
in the Sea of Japan off Hokkaido in 1996 and 1997 25 - 30

Akifumi NAKATA, Hiroki YAGI, Akira MIYAZONO, Tomoaki YASUNAGA, Tadashi KAWAI, and Hitoshi IIZUMI

Relationships between sea surface temperature and nutrient concentrations
in Oshoro Bay, Hokkaido, Japan. 31 - 41

Hirofumi TAKEDA, Toshiyuki IIDA, Shigeharu NOBUTA and Takafumi NISHIKIORI

Influence of Heating Temperature on Gel-Forming Property and Rheological
Improvement of Salt-Ground Meat from Pink Salmon. 43 - 48

Daisuke TSUTSUI, Akihiko SUZUKI, Keiichi NAGASE, and Masakazu ASHIDATE

Release and recover investigation using cultured juvenile of *Paralithodes brevipes*. (Short Paper) 49 - 51

(March,2001)

根室海峡におけるスケトウダラ魚群の分布と海況 - I 産卵前の水平および垂直分布

志田 修^{*1}

Distribution of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and oceanographic conditions in the Nemuro Strait, Japan - I.

Vertical and horizontal distribution of pre-spawning pollock

Osamu SHIDA^{*1}

The vertical and horizontal distribution of pre-spawning walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and oceanographic conditions were assessed acoustically in the Nemuro Strait and the Sea of Okhotsk around Shiretoko peninsula in late November or early December from 1996 to 1998. In the Nemuro Strait, pollock were mainly distributed from off Matsunori to off Chienbetsu, as the main spawning area. In contrast, their distribution was limited to the nearshore area from off Chienbetsu to the Cape Shiretoko. No echo sign was observed along transects in the Sea of Okhotsk. The annual variation in depths of the distribution layer of pollock was observed, however they consistently coincided with the distribution of the Mix Water (the Modified Soya Warm Current Water) with the temperature ranging from 2 to 5 °C.

These results indicate that pre-spawning adult pollock have already aggregated in the Nemuro Strait in late November or early December and their vertical distribution is closely related to the distribution of the Mix Water.

キーワード：スケトウダラ，計量魚探，分布，水温，水塊

はじめに

根室海峡はスケトウダラの産卵場であり^{1,2)}、産卵のため来遊した成魚を対象とした漁業が営まれている³⁾。当海域においては、卵の分布状況からスケトウダラ産卵場の中心は羅臼沖にあること^{1,2)}が報告されている。また、産卵期の1月から3月までの海洋観測の結果から、スケトウダラは水温1~4 °Cの宗谷暖流変質水(混合水)中で産卵していると推測されているが^{2,3)}、実際の魚群の分布を観察し、環境との関連を論じた報告はない。魚群の分布や、環境との関係についての情報は禁漁区の設定など資源保護対策の検討や、漁場形成機構を明らかにする上で重要である。また桜井⁴⁾が述べているように、スケトウダラの繁殖行動と環境の関係がスケトウダラ資源の変動

または安定性とどのように関わっているかを探る基礎知見としても重要である。そこで著者は、計量魚群探知機(以下計量魚探と略す)を用いて産卵前のスケトウダラ魚群の水平および垂直分布の特徴について調べ、海洋環境との関連を検討した。

方 法

調査は、釧路水産試験場所属試験調査船北辰丸(214t)により、1996年11月25日~30日、1997年11月19日~25日および1998年12月1日~6日の3回実施した。調査海域は、1996年が根室海峡海域、1997および1998年が根室海峡および知床半島のオホーツク海側沿岸域である(Fig.1)。

*報文番号 A 324 (2001年1月11日受理)

北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station, Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan)

計量魚探は、北辰丸に搭載するフルノFQ-70(50kHz)を使用した。計量魚探データは、日中(6時~16時)調査海域に配置したトランセクトライン上を8ノットで航走しながら収集した。データの収録範囲は10~500m,パルス幅は1.8msecとし、0.1マイル平均の体積後方散乱強度(SV値: dB)を収録した。計量魚探の各設定値はTable1に示した。トランセクトラインは根室海峡側では等深線に垂直に各調査線が平行となるように、オホーツク海側は等深線に垂直に配置した。調査線間隔は産卵場の中心と考えられている根室海峡内の松法から知円別まで²⁾は1.5マイル,知円別から知床岬の先端までの海域では4マイル,知床岬からオホーツク海側では6マイルとした。

得られたSV値は、体積後方散乱係数(S_v値)に変換した後、0.5マイルの区間毎に平均した。また、本報ではスケトウダラの水平分布の図示に際し、算出したS_v値をさらに面積後方散乱係数:S_A(m²/nm²)値に変換して用いた。これは、日本海で行われている計量魚探調査と使用する数値を統一させるためである。S_v値およびS_A値の定義は次式の通りである。

Table 1 Summary of the acoustic parameters of FQ-70.

Frequency	50 kHz
Rec. Range	10-500 m
Threshold	-70 dB
Pulse duration	1.8 msec
Altitude	-20 dB
Bottom search	10.0 m
Bottom threshold	-30 dB
Gate	5.0 m
Bottom offset	1.8 m

$$S_v = 10^{(SV/10)}$$

$$S_A = 1852^2 \times 4\pi \times \int_{r_1}^{r_2} S_v dr$$

ここで、r₁, r₂は深度方向の積分層である。海域全体の平均S_A値は、1トランセクトラインの平均S_A値をライン長で重み付けして算出した。

調査期間中、調査海域内の9調査点(St.1~9)においてCTDによる水温、塩分観測(最大水深500mまで)を行

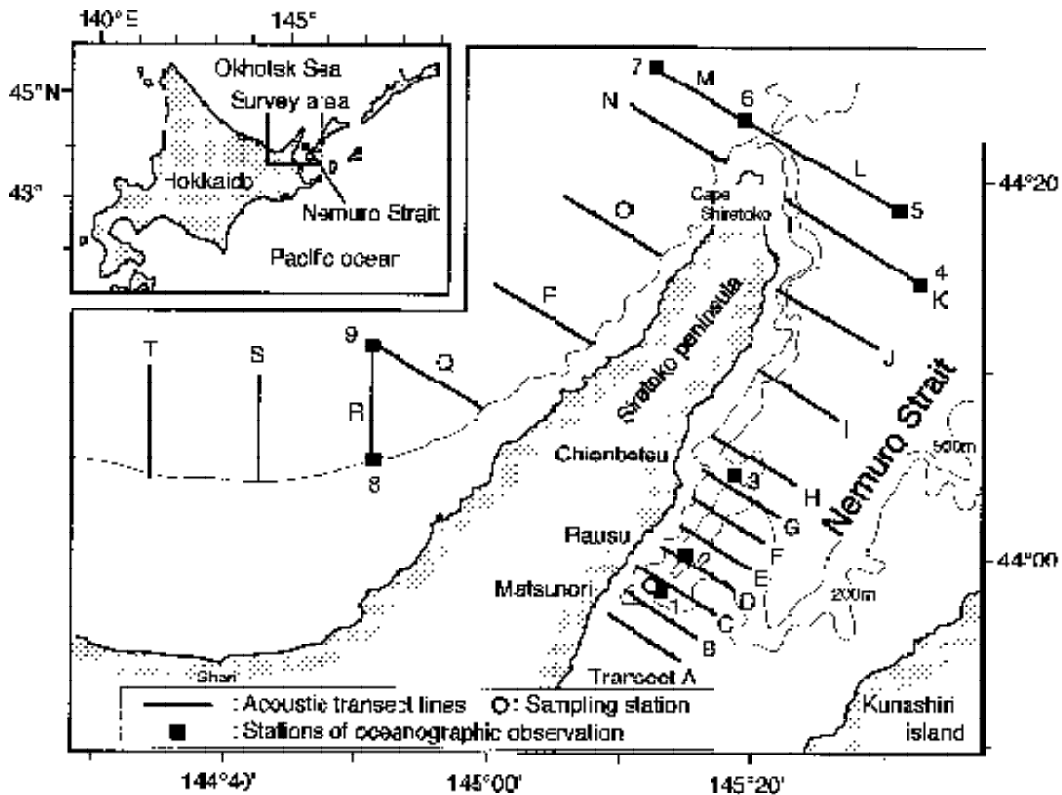


Fig.1 Study area and acoustic transect lines

った (Fig.1)

1996年の調査では魚探反応の魚種確認のため、根室海峡の羅臼沖において電動リールによる釣獲試験を行った (Fig.1)。また、調査時期の11月下旬から12月におけるスケトウダラの生物学的特徴を調べるために、同時期に海峡内で操業したスケトウダラ延縄漁船の漁獲物からスケトウダラ標本を銘柄別に採集し、尾叉長 (0.1cm単位)、体重 (g単位)、性別、熟度および生殖腺重量 (0.1g単位) を測定した。GSIは次式により算出した。

$$GSI = \text{生殖腺重量} \times 100 / \text{体重}^5$$

尾叉長、GSIの平均値は11~12月の銘柄別漁獲尾数により重み付けして算出した。雌雄の熟度区分は生殖腺の肉眼による外観上の判断から北水試魚介類測定・海洋観測マニュアル⁶⁾に従い、以下のように区分した。

雌

- 10：性成熟に達していない卵巣，極めて小さく卵粒が認められない。
- 22：卵巣肥大し，外部から容易に卵粒（不透明卵）は認められるが，透明卵（完熟卵）は認められない。
- 31~33：一部あるいは，ほとんどが透明卵（完熟卵）で占められる。
- 40：一見全てが透明卵（完熟卵）のみで満たされている。
- 50：放卵後のもので，卵巣は収縮し，濁った紅色を呈する。
卵巣膜は厚い。

雄

- 10：性成熟に達していない精巣で，著しく小さい。
- 20：性成熟に達したもので，10に類似した状態からかなり大きさを増し，乳白色不透明までの状態を含む。
- 30：精巣は大きく，乳白色不透明で精液の溶融が認められるもの。
- 40：放精後で精巣は収縮し，濁った紅褐色を呈する。

結 果

1) 海洋構造

調査海域の水温，塩分および水塊の鉛直分布をFig.2，3および4に示した。水塊の区分は佐々木⁷⁾に従った (Table2)

1996年 (Fig.2)

Table 2 Water masses in the present study area (Sasaki, 1987)

Water masses	Temperature (°C)	Salinity
Soya Warm Current Water	≥ 4.0	≥ 33.6
Intermediate Cold Water	≤ 1.5	33.0 - 33.5
Modified Soya Warm Current Water	1.5 - 5.0	33.6 - 33.9
East Sakhaline Current Water	≤ 4.0	≥ 33.0

根室海峡の表層域は広く東カラフト寒流水由来の低温 (4~6)，低塩分 (32.3~32.6 PSU) 水に覆われていたが，水深100m付近にはこれより塩分が高い (33.0~33.3 PSU)，水温8 以上の水が分布し，水深150m前後に水温躍層が形成されていた。躍層下の水深150~500mには水温1~5 ，塩分32.2~33.5 (PSU) の宗谷暖流変質水 (混合水) が分布していた。また，知床岬沖 (St.4) の水深200~250m層には水温2 以下，塩分33.2 (PSU) 以下の中冷水が観察された。

1997年 (Fig.3)

斜里沖 (St.9-St.8) および知床岬周辺 (St.7-St.6) の

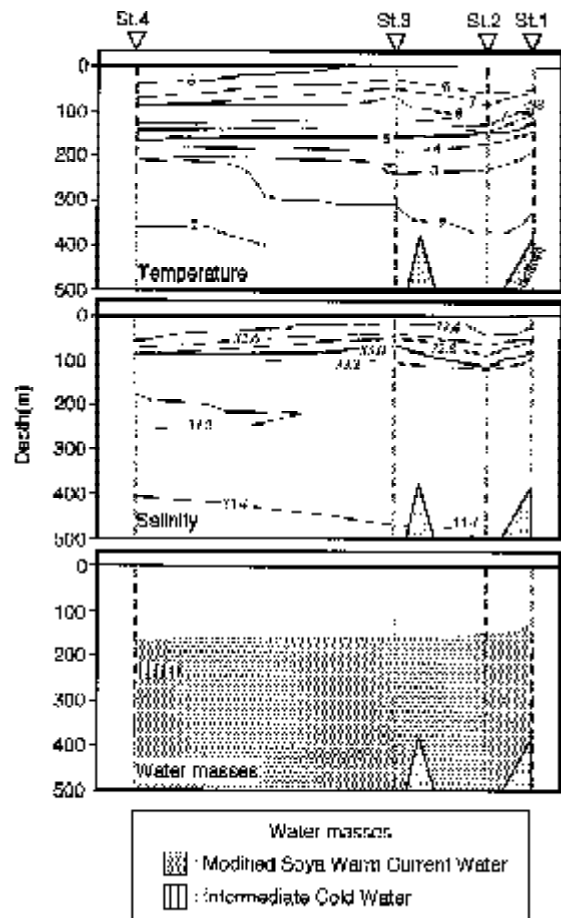


Fig. 2 Vertical distribution of temperature, salinity and water masses in 1996.

表層域は塩分33.0(PSU)以下の低塩分水に覆われていたが、水深50~180mには水温7~12℃, 塩分33.6(PSU)以上の宗谷暖流水が分布した。また、斜里沖の水深250~350mおよび知床岬沖の水深150~400mには水温1.5℃以下、塩分33.2~33.4(PSU)の中冷水が観察され、その先端は根室海峡の知円別沖(St.3)まで達していた。知円別(St.3)から羅臼沖(St.2)にいたる海域の水深250~400m層には水温2~5℃, 塩分33.4(PSU)以下の混合水が分布していた。

1998年(Fig.4)

斜里沖(St.9-St.8)の表層域には水温4℃以下、塩分32.2(PSU)の東カラフト寒流系水が分布し、宗谷暖流水は認められなかった。知床岬周辺(St.7-St.5)の表層域には東カラフト寒流系水が観察されたが、海峡内の水深150~200mには水温8℃以上、塩分33.4~33.8(PSU)の宗谷暖流水が分布していた。オホーツク海域の100ないし150m以深および根室海峡の200~450m層には水温5℃以下、塩分33.0(PSU)以上の混合水が観察された。その下

の水深には水温5℃以下、塩分33.2~33.5(PSU)の混合水が広く分布していた。中冷水は知床岬周辺と根室海峡内には観察されなかった。

2) 魚探反応

1997年および1998年の調査において、オホーツク海側の調査海域に設定したM~Tのトランセクトライン上では魚群反応が全く観察されなかった。一方、根室海峡側においては、1996~1998年とも水深200m以浅に設定されたトランセクトAを除くB~L上で観察された。松法から知円別までのトランセクトB~HではFig.5に示したように、魚群反応が1996年は水深180~400m, 1997年は200~400m, 1998年は250~400mの範囲に分布していた。一方、知床岬よりのトランセクトI~Kにおいては、沿岸部にのみ反応が観察され、海峡中央部では観察されなかった。I~Kにおける魚群反応の分布水深は、1996年が120~300m, 1997年が200~300m, 1998年が180~300mであった。また、1996年はトランセクトB~H, 1997年は

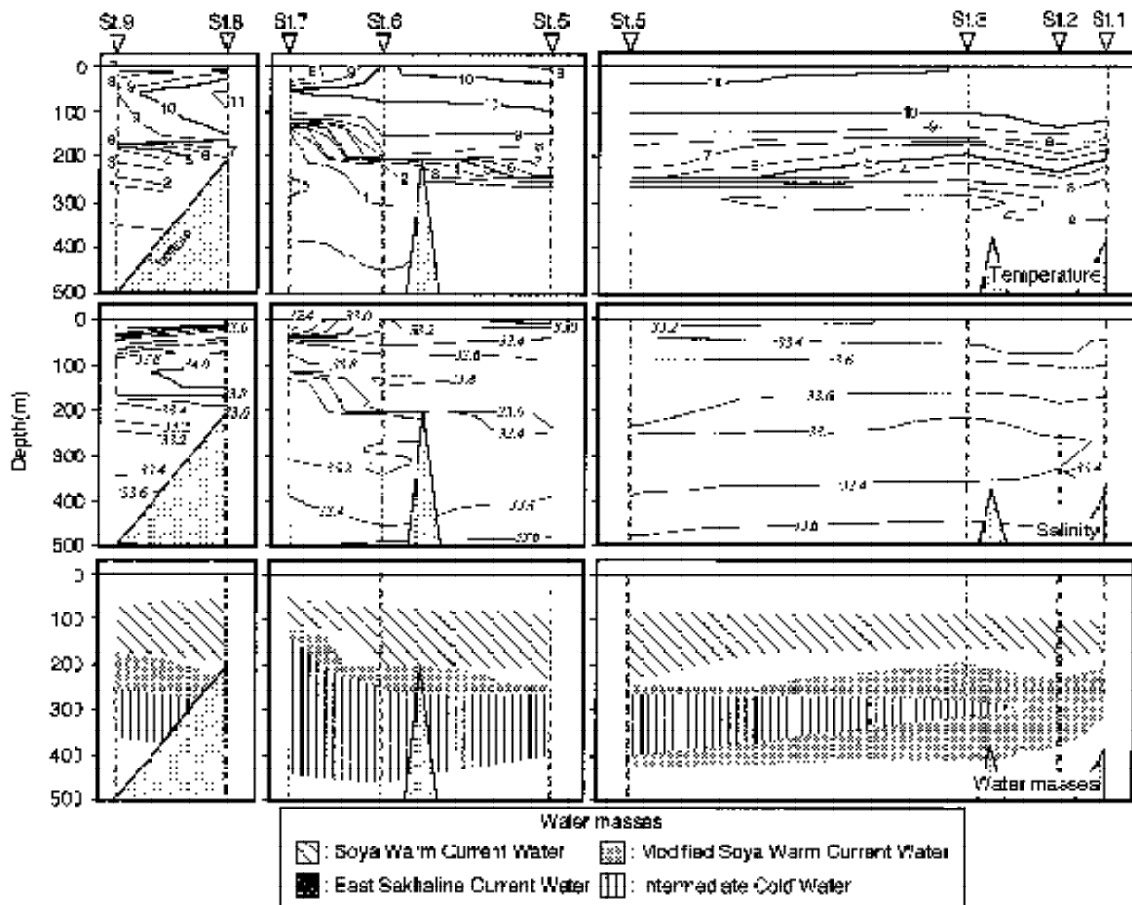


Fig. 3 Vertical distribution of temperature, salinity and water masses in 1997.

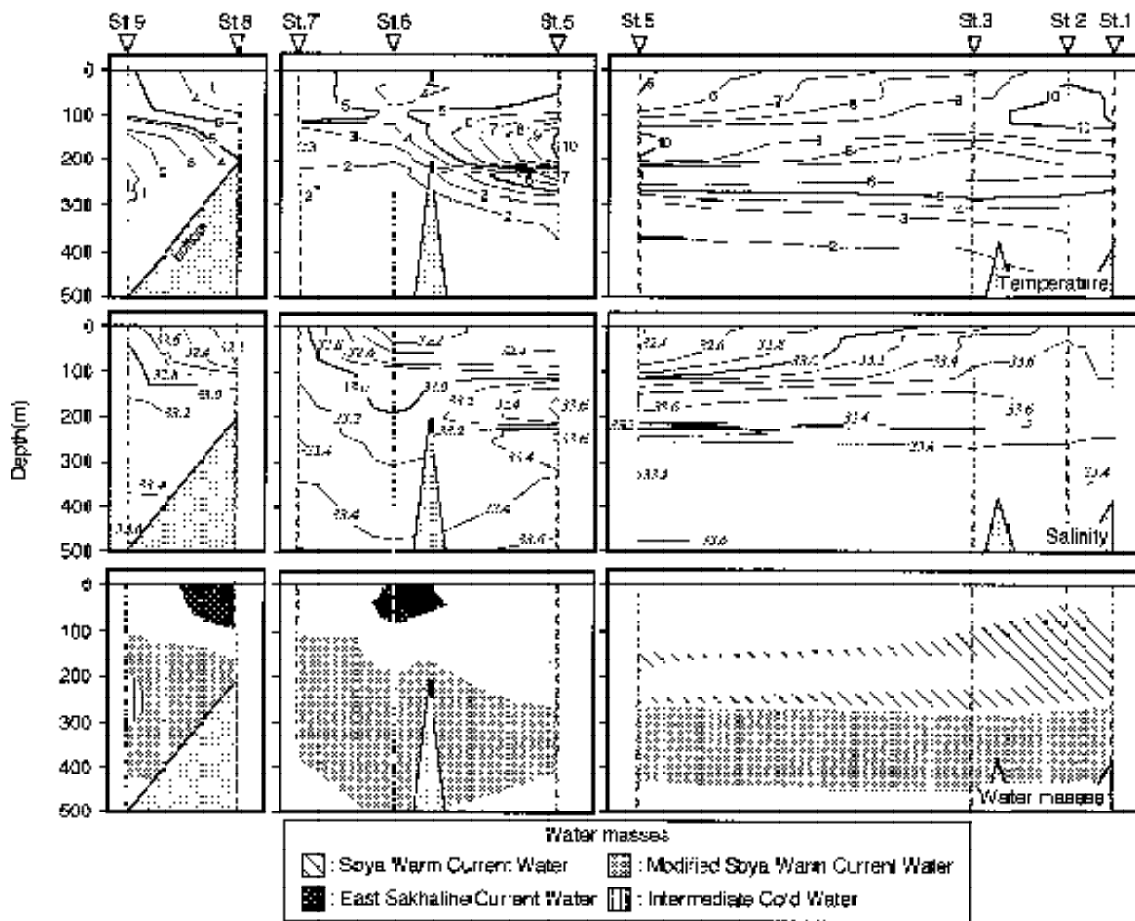


Fig. 4 Vertical distribution of temperature, salinity and water masses in 1998.

C, 1998年はC, Dにおいて、水深300m付近を境として魚群反応が上下二層に分かれていた (Fig. 5)

魚群反応と水温、塩分の鉛直分布の関係を羅臼沖の St.2とトランセクトD, 知円別沖の St.3とトランセクトHで見ると (Fig. 6), 1996年は魚群反応が水深180~300m, 320~360mの二層に観察され、それらの層の水温は2~4, 塩分は33.2~33.3 (PSU)であった。1997年は St.2で水深230~380mに、St.3付近では水深230~260mに魚群反応が観察され、その層の水温は2~5, 塩分は33.2~33.5 (PSU)であった。1998年は St.2で水深260~350mと350~420mの二層に、St.3では250~300mの一層に分布し、それらの層の水温は2~5, 塩分は33.4~33.5 (PSU)であった。魚群反応が観察された水深は調査年により異なっていたが、いずれの年においても水温2~5, 塩分33.2~33.5 (PSU)の範囲にあった。

根室海峡側の調査海域を知床半島基部側の松法から中央部の知円別までのトランセクトB~H, 知円別から知床岬までのI~Kの二つの海域に区分し、それぞれの海域の平均 S_A (m^2/nm^2)を計算した結果をFig. 7に示した。また、魚群反応の0.5マイル毎の平均 S_A (m^2/nm^2)をFig. 8に示し

た。トランセクトB~H (松法から知円別)の平均 S_A は3年の調査ともH~K海域の2~5倍の値を示した。魚群反応の強かったB~H海域では、知床半島と、海峡中央部に知床半島と平行して突き出した海中の半島部に囲まれた水深200m以深の狭い範囲で、最大 S_A (0.5マイル平均値)が6000 (1996, 97年)および10000 (1998年)を超える特に強い反応が観察された。一方、トランセクトI~Kにおいては、 S_A 1000~3000の反応が沿岸付近に観察されるのみであった。

3) 釣獲試験および延縄漁獲物の特徴

1996年に行った電動リールによる釣獲試験は、水深200m前後の魚群を対象とし (Fig. 9), 釣獲物はスケトウダラ16尾であった。これらのスケトウダラの尾叉長範囲は46~59cm, 平均は50cmであった。

調査期間中の11月下旬から12月に松法から知円別までの海域においてスケトウダラ延縄漁船により漁獲されたスケトウダラの尾叉長は34~63cmの範囲にあり (Fig. 10), 平均値は1996年が48.6cm, 1997年48.3cm, 1998年46.7cmであった。雄では発達途上にある精巢 (熟度20)を有す

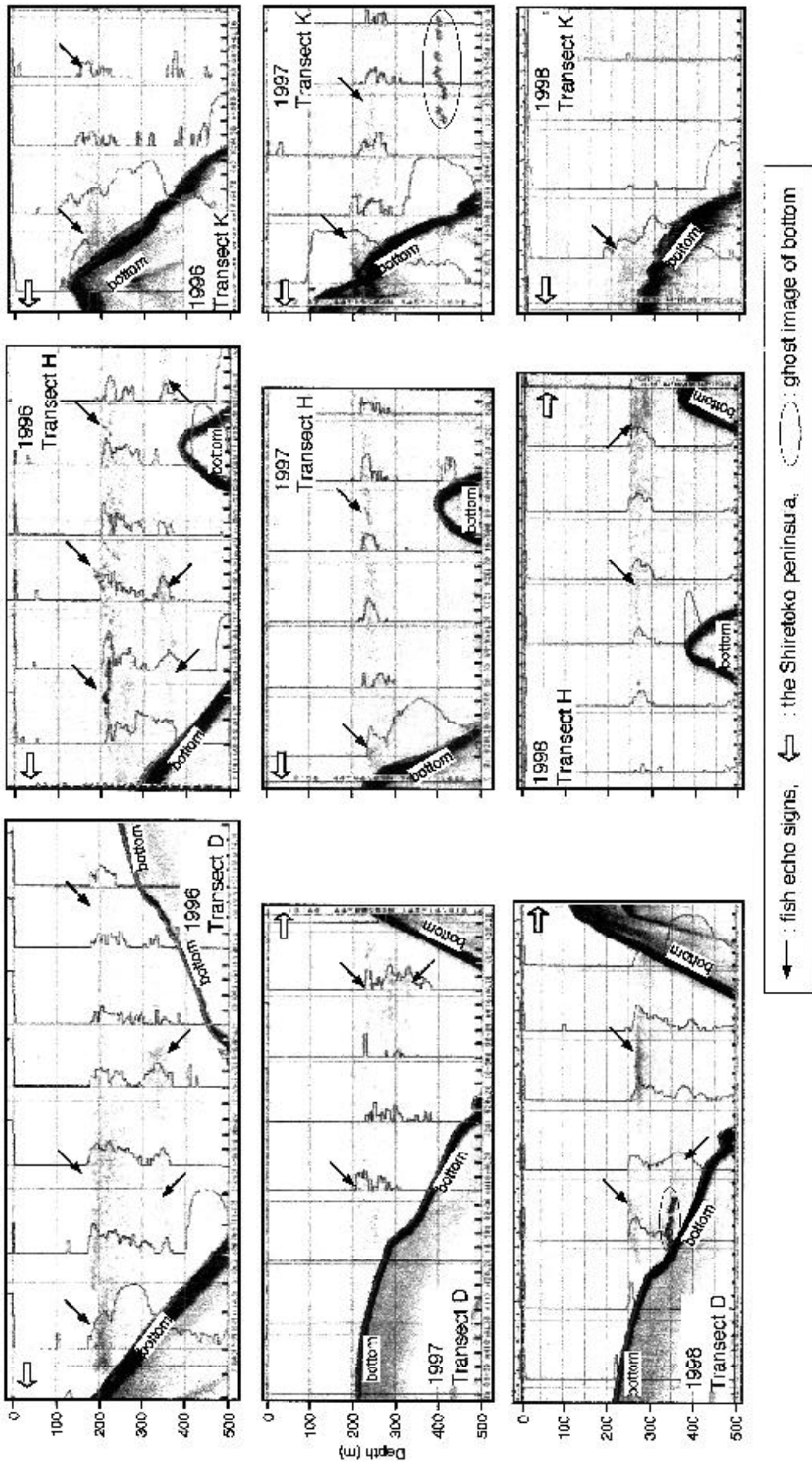


Fig. 5 Echograms of FQ-70 (50kHz) along transect D (left panels), H (center panels) and K (right panels) from 1996 to 1998 surveys.

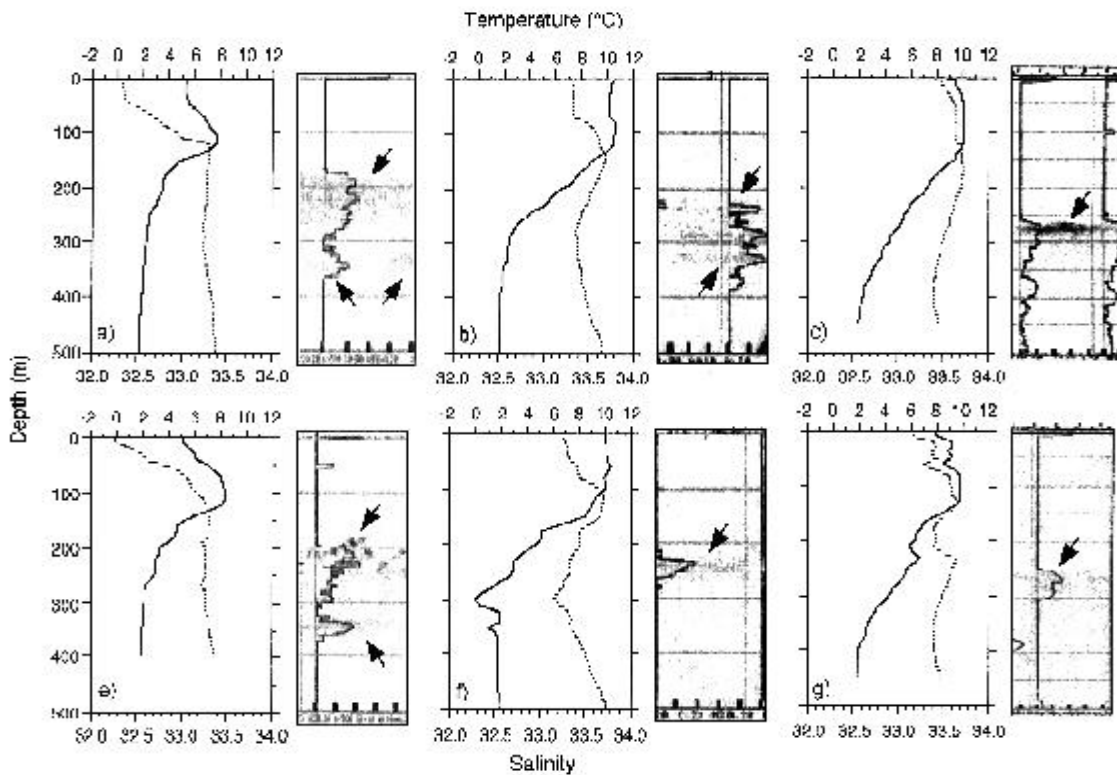


Fig. 6 Vertical distribution of fish echo signs(arrows), temperature (solid lines) and salinity (dotted lines) at station 2 (upper panels) and station 3 (lower panels) during surveys. a)e) 1996; b)f) 1997; c)f) 1998.

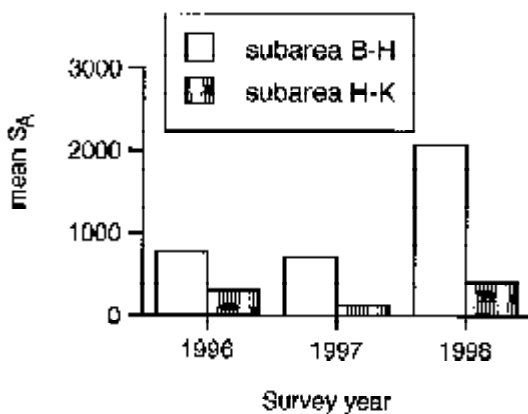


Fig. 7 Mean S_A of the survey area in the Nemuro Strait

る個体の比率は3年間の平均値が61% (58~66%), 精液の溶融が認められる個体 (熟度30) が36% (31~38%) と成魚が97% (96~97%) を占めていた (Fig.11)。雌は熟度22が95% (93~97%) を占めており、卵巣中に透明な完熟卵を有する個体 (熟度31~33) の比率は0~1.5% と非常に低かった (Fig.11)。熟度40ないし50の個体は観察

されなかった。また雌雄ともに未成熟個体 (熟度10) の比率は3~6%であった。成熟個体の平均GSIは、雄が7.1 (1998年) から7.9 (1996年), 雌が5.7 (1998年) から7.7 (1996年) の範囲にあった。

考 察

根室海峡側調査海域を漁場とする羅臼漁業協同組合における1996~1998年11月および12月の主要な漁獲物はスケトウダラ, マダラ, ホッケであった (北海道水産現勢基資料)。これらのうち, 水深約200~300mに分布する中層魚群を対象とするスケトウダラ延縄漁業の漁獲物はスケトウダラのみであり, 1996年の釣獲試験においてもスケトウダラのみが釣獲された。また, 延縄によるスケトウダラ漁獲物は, 雌雄ともに9割以上が成魚であり, GSIと生殖腺の肉眼的観察から雌の成熟度は産卵前の卵黄形成後期から核移動期にあった⁵⁾と推測される。以上の結果

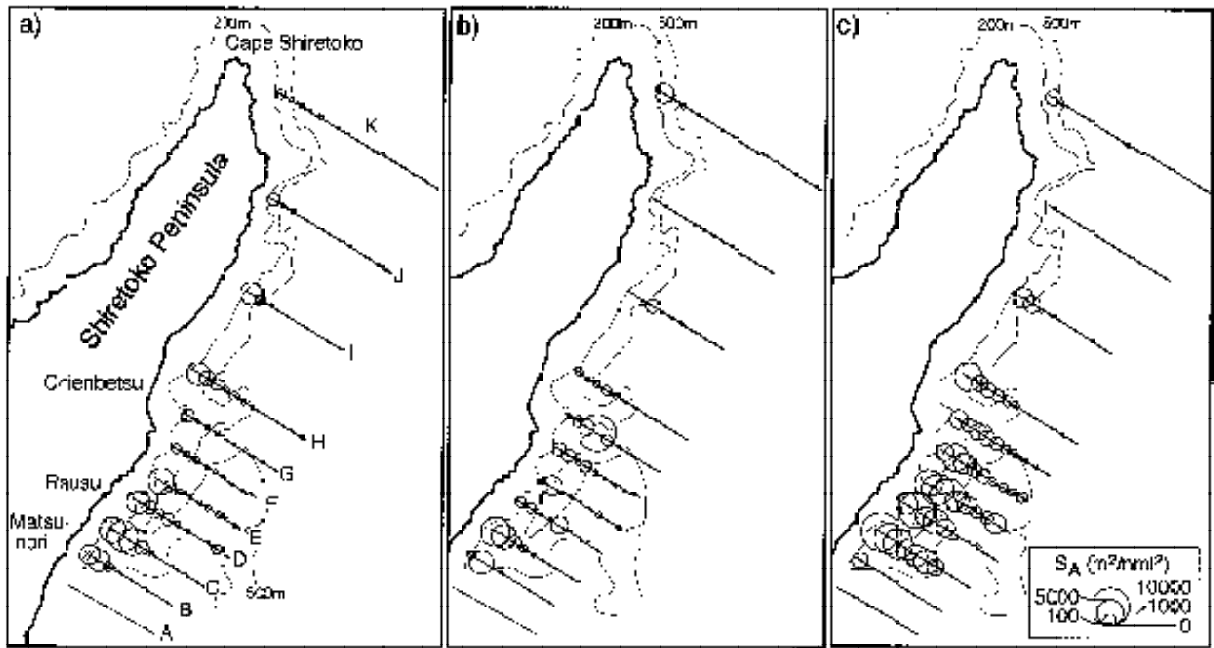


Fig. 8 Horizontal distribution of mean $S_{A,s}$ (0.5 mile interval) in the Nemuro strait. a) 1996, b) 1997, c) 1998.

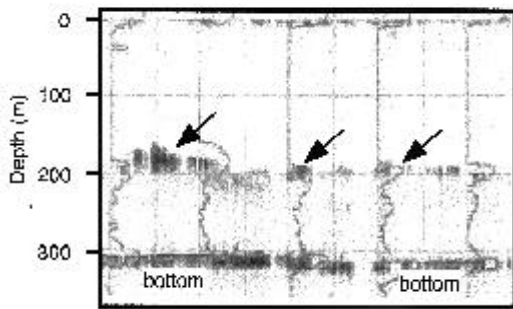


Fig. 9 The echogram of FQ-70 during the sampling by the fishing in 1996.

から、本研究において観察された魚群反応は大部分が産卵のため回遊してきたスケトウダラ成魚群と考えられる。

本研究において観察された魚群反応は松法から知床沖のトランセクトB~Hで強く、海底が200mより深い幅約3マイル程度の狭い範囲に集中していた。この結果は、卵の分布密度から判断して羅臼港近辺が産卵場の中心であるという佐々木¹⁾の考察を裏付けるものであった。また、知床半島先端部の魚群反応は弱く、沿岸部に観察されるのみであった。従って、産卵前の11月下旬から12月上旬にはすでに魚群が産卵場の中心周辺に集まってきて

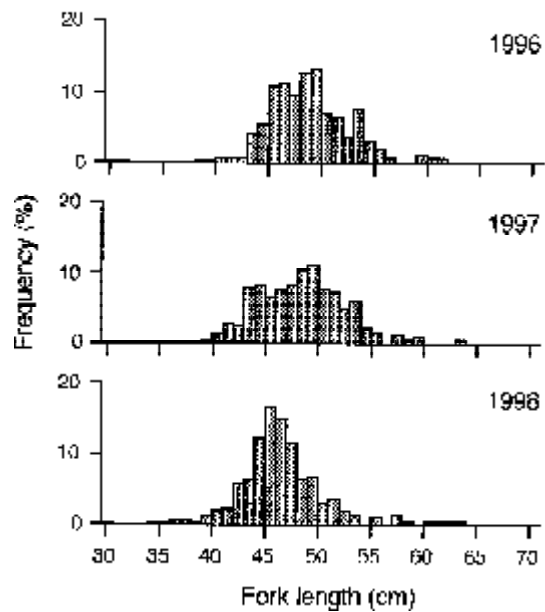


Fig. 10 Fork length distributions of walleye pollock sampled by long line fisheries in the Nemuro strait from November to December.

いるものと考えられる。根室海峡には8月以降秋季間は宗谷暖流水が流入するが、初冬に入ると東カラフト寒流系水の流入が始まり、12月中旬以降には寒流系水が主流になることが知られている⁸⁾。本研究においても、宗谷暖流水は知床半島先端部から根室海峡の水深100m前後に分布していた。一方、海峡内への東カラフト寒流系水の流入

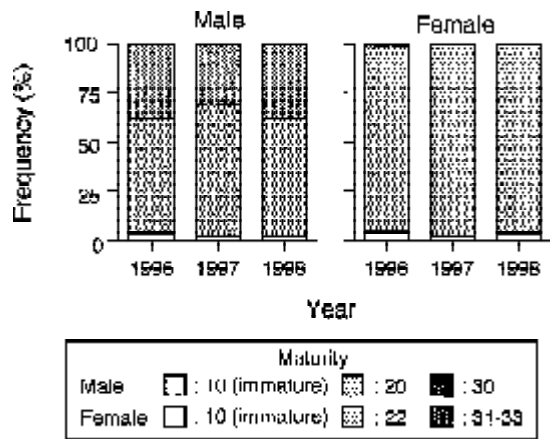


Fig. 11 Maturity of walleye pollock sampled by long line fisheries in the Nemuro Strait from November to December.

時期には年による差が認められたが、いずれの年においてもスケトウダラ魚群は松法から知円別までの範囲に分布しており、魚群の来遊時期と寒流系水の根室海峡内への流入との関連は薄いと推察される。

日本周辺海域における産卵期のスケトウダラは、噴火湾においては2.5~4⁹⁾、松山沖でも2~5^{10,11)}と卵の発生に適した水温帯^{12,13)}に分布することが報告されており、アリューシャン海盆域(3.5~4¹⁴⁾)やベーリング海(-1.8~6.0, 平均2.34¹⁵⁾)においても同様の水温帯に分布することが知られている。本研究においてもスケトウダラ魚群の分布水深には年変動が認められたが、分布水温は2~5の範囲内にあり、魚群の分布上限水深は宗谷暖流水下の水温4~5の等温線と一致していた。従って根室海峡においても、水温がこの時期のスケトウダラの鉛直分布に重要であり、2~5の水温を有する混合水の分布状況と強く関連していると考えられる。佐々木²⁾は1~3月の海洋観測結果から、混合水が産卵期のスケトウダラの分布水塊であることを推測しており、本研究の結果は11月下旬から12月にかけてはこれを裏付けるものであった。先に述べたように、調査期間中に根室海峡内で観察された水塊のうち、東カラフト寒流系水および宗谷暖流水の分布は年変動が認められたが、混合水は松法から知円別までの海域の水深200~400mに比較的安定して観察された。このように、混合水の分布が比較的年変動が少なく安定していることも産卵期のスケトウダラの分布水塊として適当なのかもしれない。産卵の始まる1月以降、根室海峡の表層域は広く東カラフト寒流系水に覆われ、高温の宗谷暖流水は海峡内には観察されなくなる²⁾。また、混合水も分布範囲が時期毎に変化していくことが報告されている²⁾。今後、産卵盛期の1~3月の分布についても調査を行い、産卵期の分布と水塊および水温の関

連について更に検討する必要がある。

本研究において産卵場の中心と考えられる知円別から松法の範囲では、スケトウダラ魚群が二層の分布を示した。1996年は二層の分布が多くの特ランセクトで観察され、1997年、98年は少なかった。産卵場内では雌雄が別々の群を形成すると考えられており^{9,16,17)}、一層の噴火湾では水平的⁹⁾に、複数層のシェリコフ海峡¹⁶⁾や岩内湾¹⁷⁾では垂直に分布が分かれていると考えられている。また分布層の違いについては、生殖腺の熟度との関連も示唆されていることから^{9,16)}、魚群の成熟度に年による違いがあったことも推測される。しかし、本研究では下層の水深300~400mに分布するスケトウダラの生物データを入手することができなかつたため、これらを明らかにすることができなかつた。これは今後に残された課題である。

本研究では、調査海域に多数の漁具が敷設されていること等から計量魚探データの収集は日中実施した。しかし、日本海においてはスケトウダラ成魚の日周鉛直移動が観察されており^{18,19)}、今後鉛直分布については更に時間による違いを検討する必要があると考えられる。

謝 辞

本報告をとりまとめるに当たり、貴重な御指導と御助言を頂いた北海道立中央水産試験場資源増殖部栽培技術科長佐々木正義氏ならびに同海洋環境部長吉田英雄博士に厚く御礼申し上げます。また、ともにデータの収集に携わり、調査航海中多くの貴重な御助言を頂いた北海道立釧路水産試験場所属試験調査船北辰丸の布川好見船長(調査当時)ならびに乗組員諸氏にこの場を借りて感謝の意を表する。

要 約

1996年から1998年の11月下旬または12月上旬に根室海峡と知床半島のオホーツク海沿岸域において海洋観測と計量魚探調査を行い、産卵前期のスケトウダラの分布と海洋環境について以下の知見を得た。

- 1) スケトウダラ魚群は根室海峡側のみ観察され、オホーツク海側では観察されなかつた。
- 2) 根室海峡内の中層には、宗谷暖流水が分布しており、表層の東カラフト寒流系水の分布範囲は年により差異が認められた。また、水深200~400mには水温1~5の宗谷暖流変質水(混合水)が毎年安定して観察された。
- 3) 魚群反応は主産卵場と考えられる松法から知円別までの海域で強かつたが、知床岬よりの特ランセクト上で

は弱く、沿岸付近にのみ観察された。

- 4) スケトウダラ魚群は、水深180~400m、水温2~5の混合水中に分布し、分布上限水深は宗谷暖流下水の水温4ないし5の等温線と一致していた。

これらの結果から、スケトウダラ魚群は産卵前の11月下旬から12月上旬にはすでに根室海峡の産卵場に来遊しており、その鉛直分布は2~5を有する混合水の分布と関連することが示された。

文 献

- 1) 佐々木正義：北海道東部根室海峡におけるスケトウダラ卵の分布．北水試月報．41，237-248（1984）
- 2) 佐々木正義：北海道東部根室海峡におけるスケトウダラの産卵期の海況と産卵場．北水試月報．42，53-63（1985）
- 3) Yoshida, H.: Walleye pollock fishery and fisheries management in the Nemuro strait, Sea of Okhotsk, Hokkaido. *Proc. Int. Symp. Biol. Mgmt. Walleye Pollock* Nov. 1988, Anchorage, Alaska. 59-77 (1988)
- 4) 桜井泰憲：スケトウダラの繁殖特性と戦略．北水試研報．42，51-68（1993）
- 5) 尹泰憲：北海道噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ雌魚の生殖周期．北大水産彙報 .32，22-38(1981)
- 6) 吉田英雄：“底魚類1．スケトウダラ”．北水試 魚介類測定・海洋観測マニュアル．北海道，北海道立中央水産試験場，1996，1-14.
- 7) 佐々木正義：北海道北部海域における底層の海洋構造と底魚の分布．漁業資源研究会議 北日本底魚部会報．20，41-58（1987）
- 8) 角田富雄：“第29章北海道東部・南部沿岸海域 III 化学 4．根室海峡の栄養塩濃度の季節変化”．続日本全国沿岸海洋誌[総説編・増補編]．東京，東海大学出版会，1990，498-503.
- 9) 前田辰昭，高橋豊美，伊地知誠，平川英人，上野元一：噴火湾周辺海域におけるスケトウダラの漁場学的研究～II 産卵期．日水誌 .42，1213-1222(1976)
- 10) 前田辰昭，高橋豊美，中谷邦敏：北海道松山沖におけるスケトウダラ成魚群の分布回遊と産卵場について．北大水産彙報．39，216-229（1988）
- 11) 夏目雅史：北海道松山海域スケトウダラ延縄漁業の漁獲深度と水温．北水試研報．53，1-8（1998）
- 12) Hamai, I., Kyushin, K. and Kinoshita, T.: Effect of temperature on the body form and mortality in the development and early larval stages of the Alaska pollock, *Theragra chalcogramma* (PALLAS). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 22, 11-29 (1971)
- 13) 中谷敏邦，前田辰昭：スケトウダラ卵の発生に対する水温の影響およびその浮上速度について．日水誌．50，937-942（1984）
- 14) 昭和57年度開洋丸調査航海報告書 アリュウシャン海盆域のスケトウダラ資源調査，水産庁，1984，214p.
- 15) Hinckley, S.: The reproductive biology of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the Bering Sea, with reference to spawning stock structure. *Fish. Bull.* 85, 481-498 (1987)
- 16) Muigwa, N. M.: Vertical distribution patterns of prespawning and spawning pollock (*Theragra chalcogramma*) in Sherikof strait. *Proc. Int. Symp. Biol. Mgmt. Walleye Pollock* Nov. 1988, Anchorage, Alaska. 403-431. (1988)
- 17) 高倉輝男：魚群探知機によるスケトウダラ産卵群の生態について．日水誌．20，10-12（1954）
- 18) 安部幸樹，飯田浩二，向井徹：スケトウダラの音響資源調査における面積後方散乱係数の昼夜変動．日水誌，65，252-259(1999)
- 19) 三宅博哉，石田良太郎，武藤卓志，安部幸樹，向井徹，飯田浩二：計量魚群探知機（シムラッドEK500）調査で得られた北海道西岸日本海におけるスケトウダラ産卵群の分布と現存量．北水試研報，59，11-24（2001）

音響資源調査で得られた北海道西岸日本海のスケトウダラ産卵群の分布特性と現存量

三宅博哉^{*1}, 石田良太郎^{*2}, 武藤卓志^{*3}, 安部幸樹^{*4}, 向井 徹^{*4}, 飯田浩二^{*4}

Acoustic assessment and distribution of spawning walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Japan Sea off western Hokkaido using quantitative echo sounder

Hiroya MIYAKE^{*1}, Ryotaro ISHIDA^{*2}, Takashi MUTO^{*3}, Koki ABE^{*4}, Tohru MUKAI^{*4} and Kohji IIDA^{*4}

We made acoustic assessments of spawning walleye pollock off western Hokkaido using a 38-kHz split-beam Simrad EK500 acoustic system, in October 1996, 1997, and 1998. Higher concentrations of adult pollock were found in the southern part of this survey area, and in inshore waters where the bottom depths ranged from 200 m to 1000 m in inner continental slope regions. In the inshore waters, a large proportion (>90%) of pollock were observed in a layer at a depth of 380 - 440 m during daytime, and at a depth of 340 - 460 m during nighttime. In the offshore waters, pollock were found in a layer at 420 - 580 m during daytime, and 340 - 500 m during nighttime. The distribution layers were wider in nighttime than those in daytime, and pollock rose at night. Moreover, the horizontal crowding index was higher in daytime than at night. These results indicated that aggregations observed during the day are likely to disperse at night. Therefore, acoustic assessment should be conducted at night, when errors in adult walleye pollock abundance estimation are likely to be relatively small.

Estimates of walleye pollock biomass were 231×10^3 tonne in 1996 and 454×10^3 tonne in 1998 based on all day transects combined in this paper, but we thought that these were underestimates. Therefore, we conducted repeated surveys of the same area during night and day in 1998, to evaluate the extent of day-night bias. Estimated biomass during night was 1.5 times as large as during the day. Moreover, we have compared estimates obtained from this report and previous VPA estimates (300×10^3 tonne in 1996 and 190×10^3 tonne in 1998). We concluded that the estimate of VPA was reliable in 1996, but was underestimated in 1998.

キーワード；スケトウダラ，日本海，音響資源調査，計量魚群探知機，EK500

北海道周辺においてスケトウダラ (*Theragra chalcogramma*) は沖合底びき網漁業や沿岸の刺網、はえ縄漁業にとって重要な漁獲対象種である。近年、スケトウダラの漁獲量は低水準にあるとはいえ、北海道周辺海域から毎年30万トン前後漁獲され、生産額は200~300億円に達する¹⁾。日本海では、北海道積丹半島以北の海域で沖合底びき網漁船によって6~9月を除く周年、また、11月~翌年2月には産卵群を対象として、北海道西岸各地で沿岸漁業(刺網、底はえ縄)により5~7万トンのスケトウダラが漁獲されている。

これまでに北海道周辺海域のスケトウダラ資源について年齢・成長や系群構造など多くの知見が報告され、これらに基づき商業漁獲物の漁獲量とその年齢組成を用いて資源評価が行われてきた^{2,3)}。そうしたなかで、1996年6月に我が国でも「海洋生物資源の保存及び管理に関する法律」(TAC法)が批准され、1997年1月から漁獲可能量制度(TAC制度)が実施された。こうした制度上の変化に伴い、従来のVirtual population analysis (VPA)など漁業情報を利用する間接的な資源評価法とは別に、漁業情報に依存しない直接法による資源評価の必要性が高まっ

報文番号 A 325(2001年1月11日受理)

*1 北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)

*2 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

*3 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station, Hakodate, Hokkaido 042-8932, Japan)

*4 北海道大学大学院水産科学研究科 (Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan)

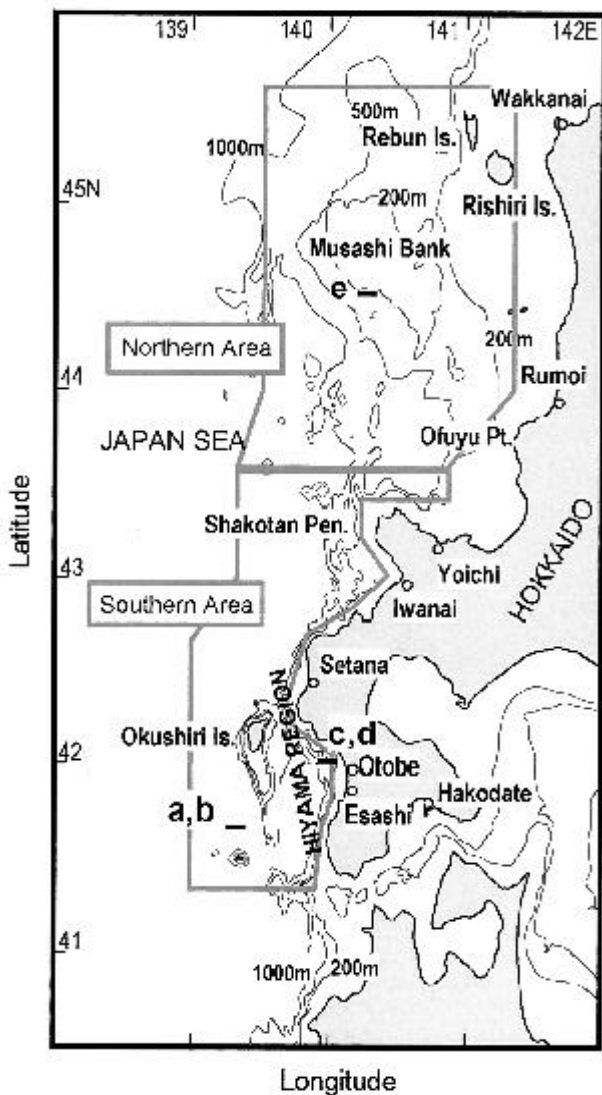


Fig. 1 Study site in 1996 - 1998. The a - e letters indicate the locations of the echograms in Fig. 2.

てきた⁴⁾。

直接法として近年注目されている音響手法による資源評価は、理論的、実践的に1970、1980年代に集中して研究され⁵⁾、また、高性能な計量魚群探知機（以下「計量魚探」）が開発されて以来、欧米ではベーリング海のスケトウダラやノルウェーのニシン (*Clupea harengus*) などに標準的な資源評価法として用いられている^{6, 7)}。我が国でもTAC制度を契機として北海道周辺のスケトウダラ資源を対象にした音響調査が精力的に行われ、太平洋海域では既に幾つかの報告もある⁸⁻¹¹⁾。一方、日本海海域ではこれまで、一般魚探による魚群分布の観察例が報告されているが¹²⁻¹⁵⁾、音響調査を用いて現存量推定した報告は見あたらない³⁾。

本研究の目的は、日本海の北海道沿岸域に分布するスケトウダラ成魚の現存量を、高性能計量魚探EK500を用

いた音響調査によって推定することである。音響調査が有効な条件は、調査対象の魚種組成が単純なことで、比較的狭い海域の中層に均一に分布していることである¹⁶⁾。そこで、本報告では、対象群を正確かつ効率的に調べるために、まず時空間的に分布型を明らかにし、次いで得られた音響データから現存量の推定を試みた。

なお、この研究は北海道大学水産学部、北海道立稚内水産試験場、同中央水産試験場および同函館水産試験場との共同研究「計量魚探によるスケトウダラ産卵群来遊予測基礎調査」として実施された。この共同研究の概要は共同研究報告書¹⁷⁾に、また、成果の一部が安部ほか¹⁸⁾にも報告されている。

材料と方法

1. 音響調査

スケトウダラは索餌期(4~10月)には分布範囲を広げ、産卵期(11月~翌年3月)には産卵場付近に集群する。10月の索餌末期には産卵場付近の沿岸域に集群し始めていると考えられていることから³⁾、本報告では各年の10月に音響調査を実施した。

調査は1996年10月14~29日、1997年10月6~30日、1998年10月6~22日の期間に、Fig.1に示した北海道西岸の日本海海域で北海道立稚内水産試験場所属の試験調査船「北洋丸」(237トン)によって行った。音響調査には同船の船底に装備されているSIMRAD社製の計量魚探EK500を用いた。この計量魚探は瞬間ダイナミックレンジが160dBと広く、また、スプリットビーム方式により *in situ* TSの測定が可能である。

調査に用いた周波数は38kHz(ビーム角は6.8度)、パルス幅は1.0ms、バンド幅はwideに設定した。各調査開始前に標準球(銅球,直径60mm)を用いてTS transducer gainとSv transducer gainのキャリブレーションを行った。調査中の航走速度は原則的に10knotとしたが、航走ノイズや荒天の影響を可能な限り避けるため6knotまで減速することもあった。音響データ後処理システムBI500によるエコーの記録範囲は、1996年と1997年は深度0~1,000m、1998年は0~750mとした。

調査線の設定は、1996年と1997年ではできるだけ広い海域を調査してスケトウダラの水平的な分布の特徴を明らかにするため、ジグザグ型に配置し、昼夜の別無く音響データを収録した。1998年は昼夜の音響反応量の差を比較するために、10NM (Nautical Mile) 間隔の東西に平行な調査線を昼夜各1回ずつ航走して、昼夜別に音響データを収録した。ただし、北緯44度以北は調査線間隔を15NMとした。また、昼間は日出から日没まで、夜間は日

没から日出までとした。

なお、調査線の配置には以下の点に留意した。できるだけ等深線と直交すること。また、北側海域では武蔵堆をカバーすること。南側海域では、湾部にスケトウダラの産卵場が形成されることから、主要な湾と岬周辺を網羅しながら、いずれかに偏らないように調査線を配置し、かつ可能な限り海岸線の近くまで調査線を伸ばすこととした。

2. トロール調査と生物測定

魚群エコーの魚種確認、体長組成の推定、およびその他の生物データを収集するために、中層トロール（網口幅12m×高さ10m、1996年コッド内張目合43×34mm、1997年以降はコッド内張目合13mmを装着）を適宜実施した。曳網速度は約3knotとし、曳網時間は30分～1時間程度とした。曳網時間の計測は目標水深に網口が達したときから揚網開始時までとした。また、トロール揚網終了地点でCTDにより水温、塩分を観測した。

トロール調査での採集物は原則として船内で冷凍し、後日陸上の研究室で測定した。スケトウダラについては、尾叉長(mm)、体重(g)、内臓除去重量(g)、生殖腺重量(g)を測定し、生殖腺の成熟度を肉眼で観察した。さらに、年齢査定のために耳石を各個体から1対採集した。スケトウダラ以外の採集物は種類毎に計数し、一部について全長(cm)もしくは体長(cm)を測定した。

3. 音響データ解析

EK500の音響データはSimrad製のデータ後処理システムBI500で収録し、音響データを精査した後に S_A （平方海里あたりの面積散乱係数）を計算した。データの精査にはまず、BI500でエコーグラムを表示し、海底誤認の補正やノイズの除去をこの画面上で行った後、スケトウダラ成魚と判断した反応の S_A をBI500のデータベースに登録した。データの登録単位は、1996、1997年は1NM、1998年は昼夜毎の分布特性を調べるため、さらに細かい0.1NM単位とした。また、スケトウダラの鉛直的な分布特性がどのように変化するかを解析するために、桧山海域において深度20m層毎の S_A をBI500により計算し、分布深度の年変動、昼夜変動および海底深度による違いを比較した。

エコーをスケトウダラ成魚と判断する根拠は、トロール調査による魚種確認を原則としたが、トロール地点が近くにない場合は、エコーグラムの性状で判断した。その性状とは、1) 深度400～500mを中心に帯状に連続して分布する中層群でEK500による*in situ*TS測定結果がおおよそ-35dB（尾叉長35.5cmに相当）である場合。加えて、北

海道西岸の日本海海域に多量に分布する魚としてホッケ(Pleurogrammus azonus)が考えられるが、ホッケは無鱗魚であるため同一サイズのスケトウダラと較べて、TSが約10dB小さい。よって、2) 大陸棚斜面上でも*in situ*TS測定結果がおおよそ-35dBである場合にはスケトウダラと判断した。

なお、 S_A と魚群密度 N_A には以下の関係がある。

$$S_A = \rho_A \bar{\sigma}$$

ここで、 $\bar{\sigma}$ は平均音響散乱断面積を表す。この値は魚の音響反射率を表し、 ρ_A のエコーの強さ；平均ターゲットストレングス(TS)および魚の尾叉長と以下の関係がある。

$$TS - 10 \log \left(\frac{\bar{\sigma}}{4\pi r_0^2} \right) = 20 \log FL + TS_{cm} \quad (1)$$

この式で、 r_0 は基準距離で一般には1m、 FL は魚の尾叉長(cm)である。平均尾叉長が一定のとき S_A は魚群密度 N_A と線形関係にあり、魚群密度の指数となる。従って、本報告では S_A を魚群密度の指数としてスケトウダラの分布を解析した。

また、1996年から1998年の現存量を以下のようにして求めた。計算には緯経度10分四方の小海区の平均 S_A (m^2/NM^2)と海区面積 a (NM^2)を用いた。ただし、明らかに分布していない海域を面積に含めるのは過大評価の原因となることから、石狩湾以南の沿岸域で海底深度200mより浅い海域は海区面積に含めなかった。 i 小海区の現存個体数(N_i)は次式で求められる。

$$N_i = \Sigma (S_{A_i} \times a) / \bar{\sigma}$$

ここで、(1)より

$$TS = 20 \log FL + TS_{cm}$$

また、Foote and Traynor¹⁹⁾より $TS_{cm} = -66$ dBであるから FL が分かればTSが計算でき、 $\bar{\sigma}$ は下のように(1)を変形して求めることができる。

$$\bar{\sigma} = 4\pi r_0^2 10^{\frac{TS}{10}}$$

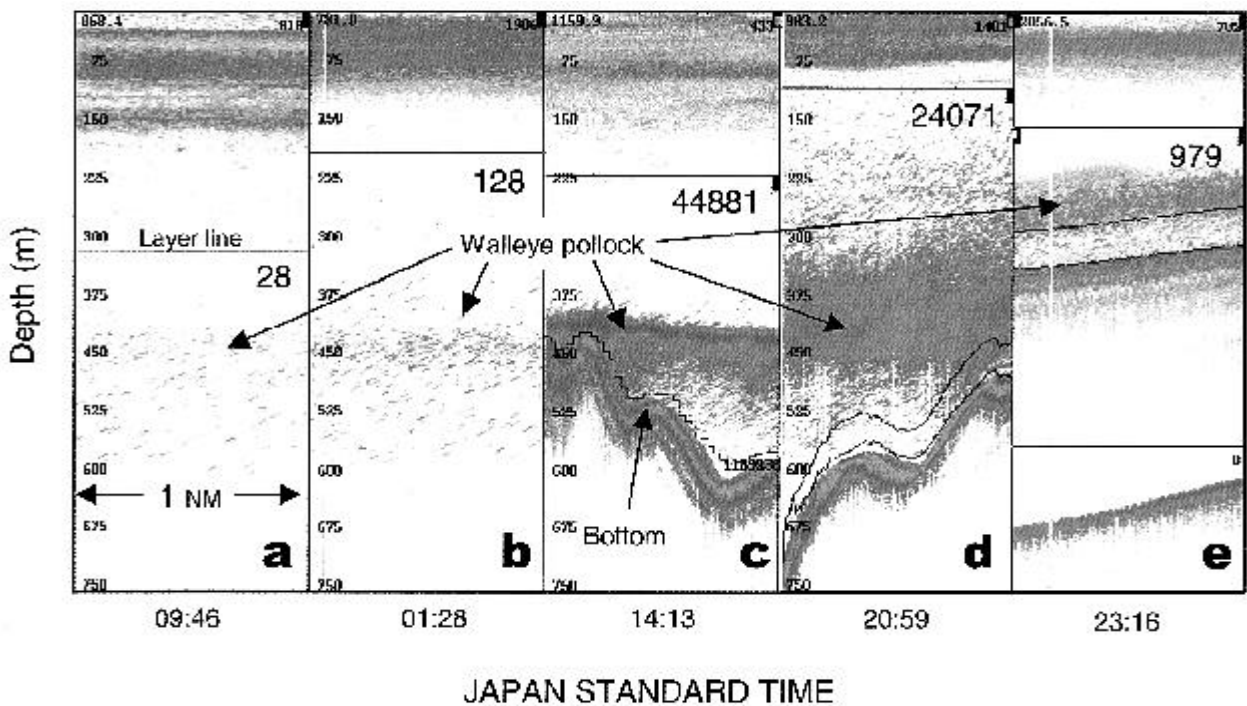


Fig. 2 Echograms at off Esashi (Hiyama): **a** to **d**, and southwestern Musashi bank: **e** in October 1998. Each locations are indicated in Fig. 1. **a**: offshore in daytime, **b**: offshore at night, **c**: inshore in daytime, **d**: inshore at night, **e**: Musashi bank at night. The numbers in echograms indicate S_A values of walleye pollock during 1NM.

全調査海域を、トロール地点を基に各年2、3個の中海区に分け、中海区毎に各トロール調査のCPUE（1時間曳網当たりの採集個体数）により重み付けして、平均尾叉長と平均体重を求めた。この平均尾叉長を用いて、小海区毎の現存個体数を求め、さらに平均体重を乗じて現存重量を得た。全ての小海区の現存重量を合計すると総現存量となるが、実際の計算は北緯43度30分を境界として、北側海域と南側海域に分けて行った(Fig.1)。

この際、音響データの得られていない小海区は、海底深度が近い隣接する小海区の現存量から算術平均で補間した。以上の小海区による推定法を、本報告では矩形層化法 (rectangle) と呼ぶことにする。

また、1998年のデータには、1本の調査線を1標本として扱うトランゼクト法 (transect) も適用した。さらに南側海域で得られた昼夜別のデータから昼夜毎に同海域の現存量を推定した。加えてトランゼクト法に空間統計学的モデルの1-Dトランジティブ法を適用して推定値の変動係数(CV)を求め、先の方法と比較した。なお、この計算にはEVA2を用いた^{20, 21)}。

なお、現存量推定に先立ち、1998年の音響データを用いてスケトウダラ魚群の分布特性を調べた。分布特性を明らかにすることは生態学的にも重要であり、また、音響資源調査の効率的な調査設計と精度向上のためにも欠

かせない課題である。つまり、現存量を推定する場合、対象となる生物の分布型が、よりランダム分布に近い時に調査する方が推定値の分散を小さくできる。また、同じ精度を得るためには集中度の高い海域では調査密度を高くしなければならない。しかし、精度を表わす統計量として、本報告でも用いている変動係数は平均値の影響を受け、どちらのほうにより集中しているかを調べるには適していない。

そこで、本報告では、平均こみあい度を平均値で割った指数を用いて、スケトウダラの時空間的分布を比較した。平均こみあい度の計算は以下の式を用いた²²⁾。

$$\dot{x} = \bar{x} + \left(\frac{s^2}{\bar{x}} - 1 \right)$$

ここで、 x は0.1NM毎の S_A 値、 \bar{x} は平均値、 \dot{x} は標本平均こみあい度、 s^2 は標本分散を示す。 \bar{x} / \dot{x} は変動係数と異なり、いかなるときにも平均値の影響を受けないことが知られており、 $\bar{x} / \dot{x} = 1$ のときランダム分布となる。

また、本報告では、 S_A の分布特性の違いから、沿岸域と沖合域の境界を、便宜的に海底深度1,000m付近に定めて、両海域を比較した。

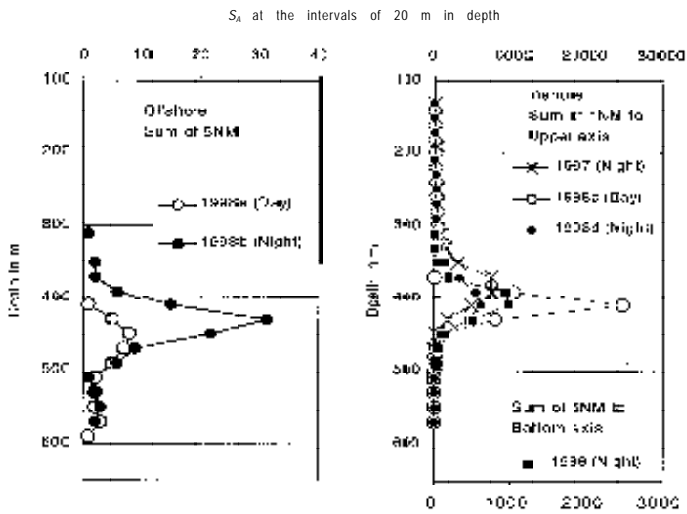


Fig. 3 S_A profiles in inshore water (right side graph, bottom depth: 450-600m) and offshore water (left side one, bottom depth: 2000m) off Esashi (Hiyama).

Right side: - - Oct.11 1998, Time 14:13-14:18
 - - Oct. 10 1998, Time 20:59-21:04
 - x - Oct. 9 1997, Time 18:29-18:35
 - - Oct.24 1996, Time 18:46-19:09
 Left side: - - Oct.10 1998, Time:09:46-10:13
 - - Oct.10 1998, Time:01:28-01:55

結 果

1. 鉛直分布

代表的なエコーグラムをFig.2に示した。これらは1998年に、分布密度が最も高い江差（桧山）海域の沖合域と沿岸域、および武蔵堆海域で記録されたエコーグラムである。これらのエコーグラムに見られるように、大陸棚斜面での海底深度600mより深い海域ではスケトウダラの分布深度は400～500mを中心としており、その深度範囲は夜間の方が昼間より広がっていた。また、武蔵堆や沿岸域などの海底深度600mより浅い海域ではスケトウダラの分布は海底に接するようになり、特に武蔵堆海域では海底斜面に沿うように分布していた。また、何れの海域でも、深度50～100mにも比較的強い反応が見られたが、この層をトロール網で引いても採集物は皆無であった。したがって、この表層の反応はスケトウダラには含まなかった。

スケトウダラの鉛直的な分布の特徴を上記エコーグラムの S_A データを用いて詳細に検討した。分布密度に応じて積分距離を1NM、もしくは5NMとし、深度20m毎の S_A を求めて、昼夜毎の沿岸、沖合の鉛直分布の特徴を比較

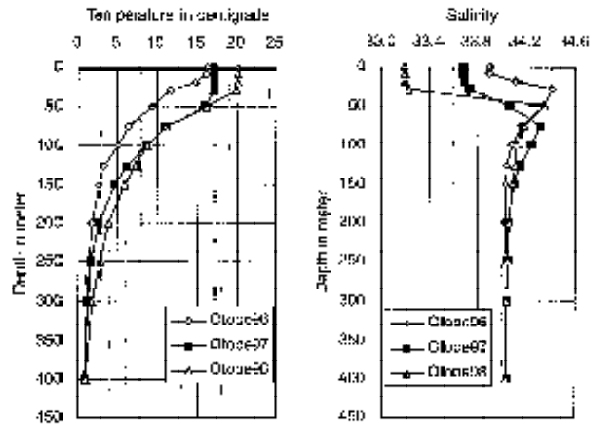


Fig. 4 Temperature and salinity profiles off Otohe in Hiyama region.

した (Fig.3)。

まず、沿岸域では昼間のスケトウダラの鉛直分布は深度370～570mの範囲にあって、深度410mに最大 S_A を持ち、深い方に低い裾野を持つ分布型を示した。一方、夜間には最大 S_A 深度に変化は見られなかったが、分布の上限は深度130mまで広がっており、夜間にスケトウダラが浮上する様子が見られた。ただし、深度450m以深では S_A 値の変化は殆ど見られなかった。鉛直的な分布割合が9割以上となる深度範囲を求めると、昼間には380～440m、夜間には340～460mであった。

沖合域では、昼間の分布深度は410～590m、最大 S_A は深度450mにあった。夜間では310～570mに分布し、最大 S_A は深度410mに見られた。さらに、沖合域では沿岸域と異なり、2つ目の小さなピークが昼夜それぞれ深度550mと570mに見られた。このように、夜間には最大 S_A を含め全体的に上方へ分布を拡大する傾向が見られた。また、2つのピークを持つエコーグラムは岩内沖でも観察された。

沖合域では鉛直的な分布割合が9割以上となる範囲は昼間には420～580m、夜間には340～500mであった。

次に、はえ縄漁業の漁場となる江差（桧山）沿岸域で夜間との最大 S_A 深度を年毎に比較した。ただし、1996年は他の年と異なる数マイル沖よりの海底深度500～1,000m地点のデータを用いた。1996年の最大 S_A は深度390～410mにあり、1997年は深度370～390m、1998年は深度390～410mに最大 S_A が見られた。したがって、スケトウダラの分布深度は1997年が最も浅く、1996年と1998年はそれより20m程度、深かった。

各年の鉛直水温分布を比較すると、1998年は深度250mで1、300mでも0.5ほど他の2年と比較し高かったが、深度400mではどの年も0.7～0.9と1以下であ

った(Fig.4)。年平均水温(1988~1995年)との比較では1996,1997年は全体的に約1℃低く,1998年は表面から深度30mまでは約3℃高いが50m以深では平年並みであった。

一方,塩分の鉛直分布を見ると,表層では33.19~33.90以下であったが深度50m付近で急激に上昇し34.2以上となった。深度50m以深では再び塩分は小さくなって深度200m以深になると,どの年でも34.04~34.06付近で変化は少なかった。

2. 水平分布

1996~1998年の S_A 分布図をFig.5とFig.6に示した。1996,1997年は1NM,1998年は0.1NM毎に S_A を算出した。1996年の S_A 分布では積丹半島周辺から岩内湾にかけて,そして瀬棚沿岸,奥尻島北部から松山海域にかけての沿岸域で 2.0×10^3 (m^2/NM^2)以上の S_A が観察された。1996年の最大値は 8.5×10^3 (m^2/NM^2)で,北緯43度25分,東経140度15分の積丹半島沖で記録された。一方,水深1,000m以上の沖合域と北緯43度40分以北の海域ではほとんどの地点で 0.1×10^3 (m^2/NM^2)以下と非常に低い S_A となっていた。

翌1997年は悪天候が長期間続いたため,エコグラムには全般的に泡切れが多く見られた。また,この年は送受波器への付着生物などに起因するノイズが多かった。このため小さな反応はノイズに埋もれて識別困難であったが,得られた S_A 分布の特徴は1996年とほぼ同じ傾向を示しており, S_A は南側海域の沿岸域で高く,北側海域と沖合域では低かった。また,1997年の S_A 最大値は 29.0×10^3 (m^2/NM^2)であり,松山海域の乙部沿岸の陸棚斜面上で計測された。

1998年は北緯41度30分から北緯43度30分までの13定線で昼夜ごとの音響データを得ることができた。昼夜ともに過去2ヶ年と同様に沖合域と沿岸域の間で明瞭な分布密度の違いが見られたので(Fig.6),さらに詳細に検討

Table 1 Total S_A by each transects in October 1998.

Latitude	Day	Night	Night/Day
43° 31'	54,506	170,290	3.1
43° 21'	61,664	110,039	1.8
43° 11'	201,855	374,310	1.9
43° 01'	228,647	290,251	1.3
42° 51'	416,975	537,707	1.3
42° 41'	356,282	246,585	0.7
42° 31'	159,240	180,989	1.1
42° 21'	168,450	176,605	1.0
42° 11'	133,349	437,558	3.3
42° 01'	885,371	743,401	0.8
41° 51'	353,257	1,124,631	3.2
41° 41'	136,197	198,347	1.5
41° 31'	76,430	183,426	2.4
Wilcoxon test: p=0.023			1.8

するために,13定線の S_A 分布を昼夜毎にFig.7に示した。

沖合域の S_A 分布は低密度で非常に平坦な分布であり, Fig.2のaとbに見られる層状反応が広い範囲に渡っていることを示していた。一方,沿岸域では高密度なピークが13定線において見られた。また,各定線での S_A のピークは,その大きさは昼夜で異なるものの,ほぼ同じ地点に現れていた。

これら13定線の S_A 合計値を昼夜で比較すると,夜間が昼間に対して平均1.8倍大きく,それらは危険率5%で有意差が見られた(Wilcoxon test, p=0.023, Table 1)。なお,この比較は昼夜両方でデータが得られた範囲に行った。

次に沖合域と沿岸域の間で S_A を昼夜別に比較した(Table 2)。この報告で用いた沖合域と沿岸域の境界をFig.6に示した。なお,北緯43度30分の調査線は海底深度1,000m以深の海域に及んでいないため解析には含めな

Table 2 Mean crowding (\hat{x}) and average (\bar{x}) of S_A for each site.

	Daytime		Nighttime	
	Offshore	Inshore	Offshore	Inshore
Number	1,601	1,761	1,640	1,826
Total	197,502	2,980,215	336,151	4,267,698
Average(\bar{x})	123	1,692	205	2,337
Variance	26,157	23,024,677	37,152	18,013,933
Mean crowding(\hat{x})	334	15,297	385	10,044
\hat{x}/\bar{x}	2.7	9.0	1.9	4.3

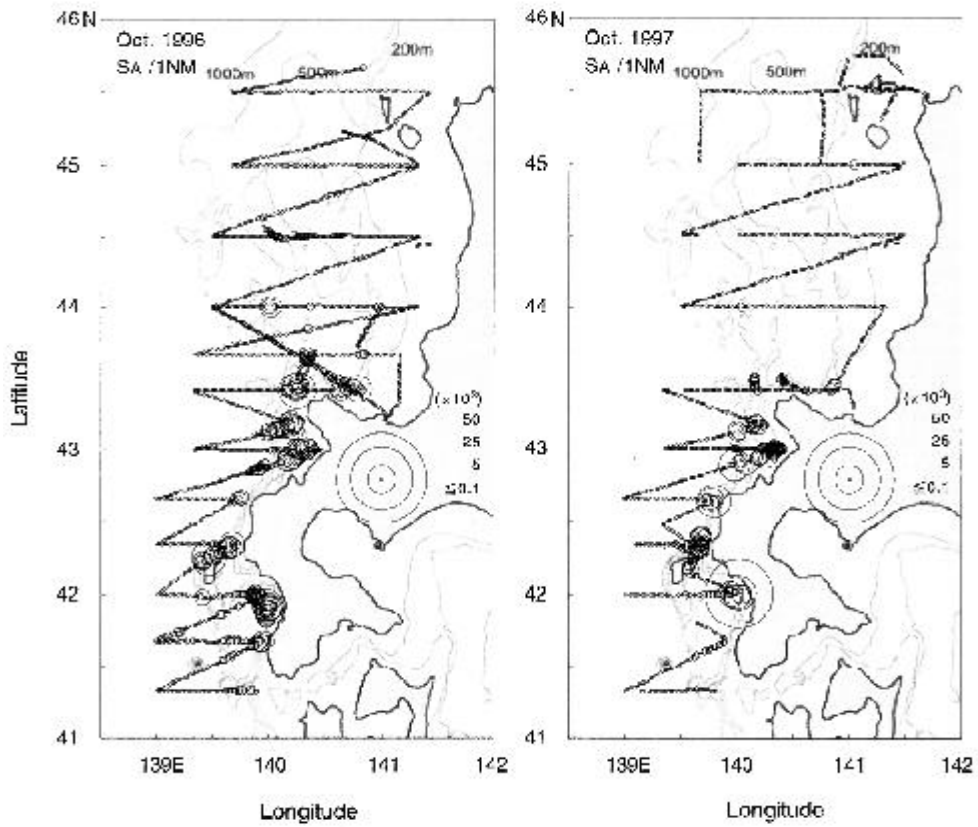


Fig. 5 S_A maps of walleye pollock in October 1996 and 1997. S_A were calculated for every mile.

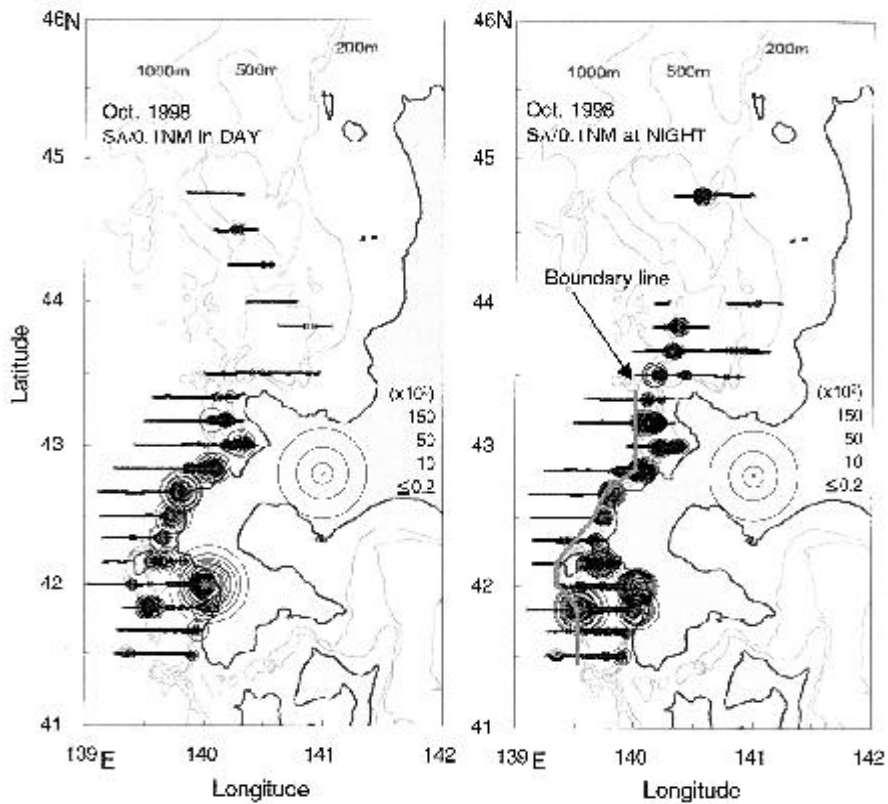


Fig. 6 S_A maps of walleye pollock in October 1998. S_A were calculated for every 0.1NM.

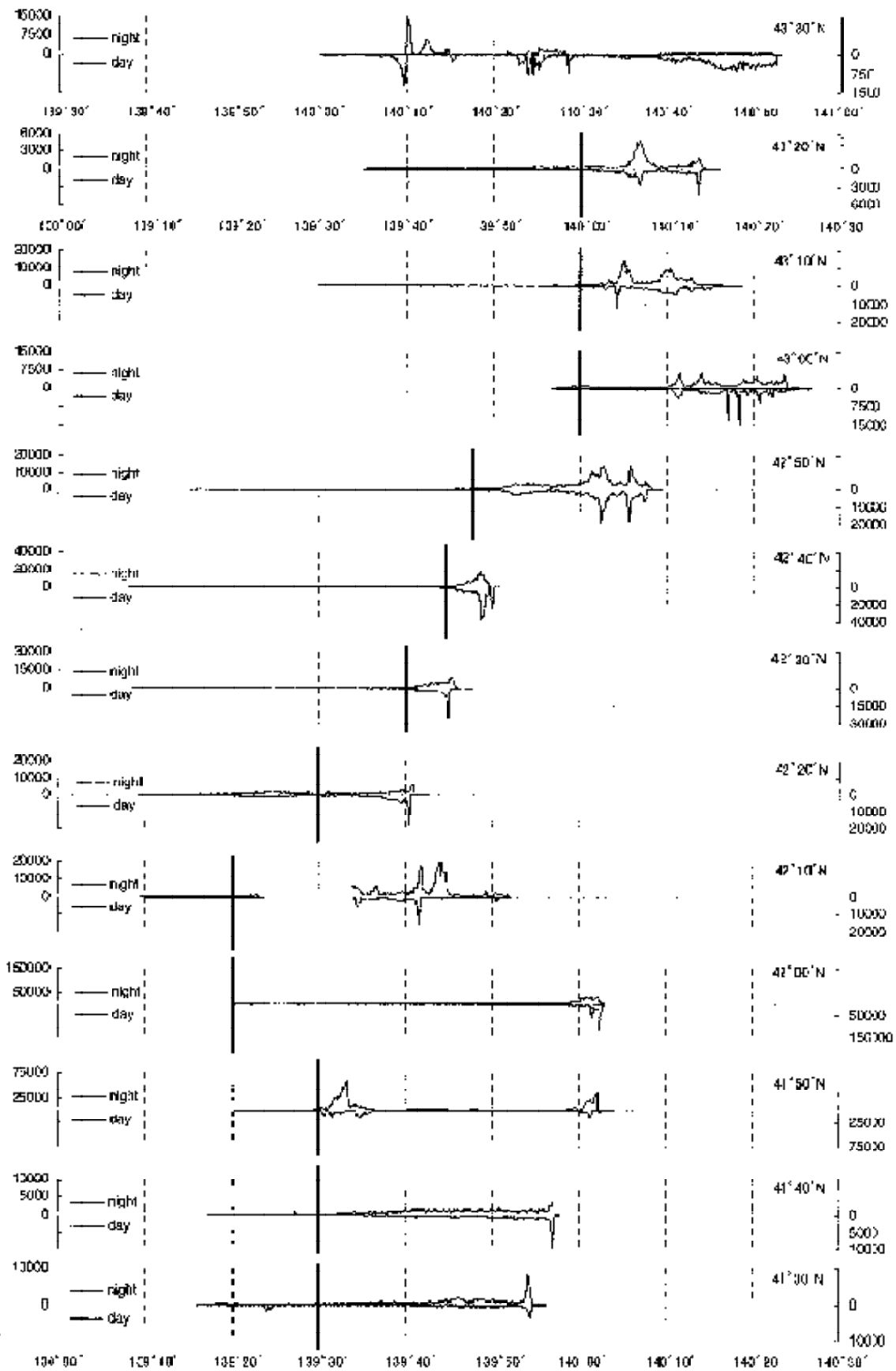


Fig. 7 S_A at the intervals of 0.1 NM along longitude for each survey line. Vertical solid lines show the boundary line in Fig. 6.

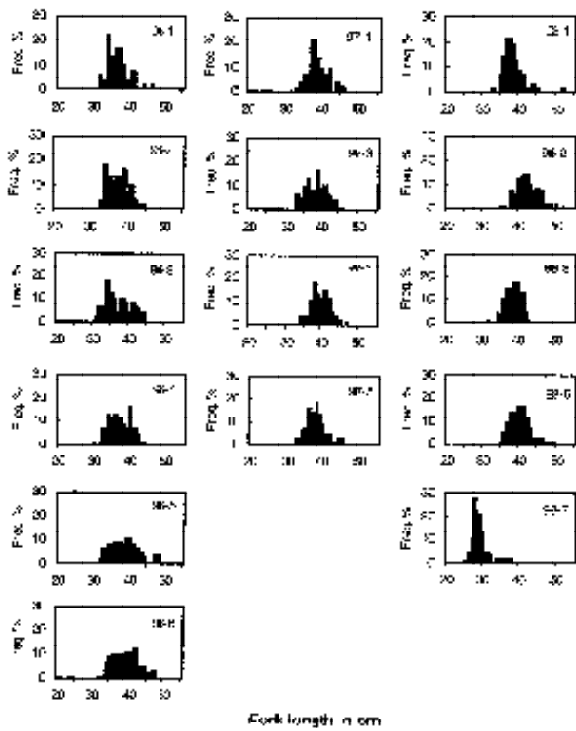


Fig. 8 Length distributions of walleye pollock caught with the midwater trawl net.

った。

分布密度(平均 S_A)をみると沖合、沿岸ともに夜間の方が高く、さらに、昼夜ともに沿岸域では沖合域の10倍以上の分布密度であった。沖合域と沿岸域の分布量(S_A の合計)で比較すると、昼夜ともに沿岸域に全 S_A の93%が分布していた。

スケトウダラ分布の集中度を比較するために計算した平均こみあい度をTable2に示した。得られた平均こみあい度を平均値で割った \hat{x}/\bar{x} を用いて昼夜、海域間でそれぞれ比較すると、沿岸での昼間が最も集中度が大きく、沿岸夜間の2.1倍であった。沖合域では昼夜ともに集中度は小さいが、やはり昼間の方がやや大きかった。沿岸と沖合の比較では、昼間で3.3倍、夜間で2.3倍、沿岸の方が大きかった。

3. トロール調査

3年間に行った計16回のトロール調査結果をTable3に示した。各年10月に実施した深度400m前後の中層トロールの採集物中に占めるスケトウダラの比率(個体数)は、No.96-1(42.9%)を除き、各網で90%以上を占めていた。No.96-1ではホテイウオ(*Aptocyclus ventricosus*)が43個体(全長26cm前後)、ドスイカ類(*Berryteuthis* sp.)が75個体(外套長5~13cm)、ウロコメガレイ(*Acanthopsetta nadeshnyi*)が3個体(全長20cm前後)採集された。なお、

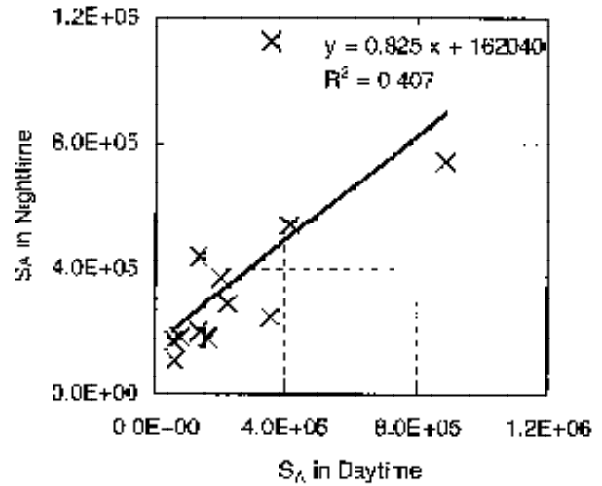


Fig. 9 Relationship between S_A in daytime and nighttime

前述したように積丹半島沖で深度100m層を曳網したが、採集物は皆無であった。

中層トロールで採集されたスケトウダラの尾叉長は25~55cmの範囲にあり、35~45cmのスケトウダラが多かった(Fig.8)。雄冬岬沖のNo.98-7を除き各標本とも単峰型体長分布を示しており、標本毎の平均尾叉長は30.1~43.0cm、それぞれの標準偏差は3.7cm以下であった。採集されたスケトウダラの大部分は成熟しており、4~6歳魚が中心であった。

また、中層トロールのCPUEを求め各年で比較すると、積丹半島以南の海域では1996,1997年のCPUEはそれぞれ65~116個体/hであるのに対し、1998年は147~1,486個体/hと2倍から17倍も大きかった。なお、武蔵堆周辺では1997,1998年のデータが無いため比較できなかった。

4. 現存量の推定と年変化

現段階では昼夜どちらの S_A がスケトウダラの現存量を推定するのに適当か判断が難しいが、スケトウダラの S_A は昼夜で異なることが明らかになったので、昼間の S_A を独立変数、夜間の S_A を従属変数として回帰分析を行い、昼間の S_A の補正が可能か検討した。Fig.9に示すように昼間の S_A の夜間に対する決定係数は $R^2=0.407$ 、回帰直線の分散分析を行い回帰と誤差の平方平均からF値を計算すると $F=7.190$, $p=0.021$ となり、危険率1%で棄却された。よって、この回帰直線は信頼できるとはいえず、充分な精度の補正係数は得られなかった。このため、現存量は昼

夜込みのデータを用いて計算し、昼夜毎にデータを収録できた1998年の北緯43度30分以南の南側海域での日昼夜別に現存量を推定した。

緯経度10分四方の矩形層化法により現存量は、1996、1997、1998年それぞれ、23万トン、12万トン、44万トンと推定された (Table4, Fig.10)。これらの推定値では単純な数値平均を用いて欠測値を補間しているため、分散や変動係数を求めることは出来なかった。

また、トランゼクト法によると1998年の現存量は45万トンと推定された。ただし、変動係数は北緯44度以北で調査線間隔が異なるため計算できなかった。1998年の全海域の現存量は、これら2つの異なる方法で計算してもほ

んど同じ推定値となった。

1998年、南側海域の昼夜毎の現存量は、矩形層化法ではそれぞれ33万トン、41万トンと推定され、夜間は昼間の1.3倍大きかった。トランゼクト法ではそれぞれ31万トン、46万トンと推定され、夜間が1.5倍大きい推定結果となった。これを昼夜込みのデータから得られた推定値と比較すると±20%の差となった。また、矩形層化法とトランゼクト法による推定値の差は±11%以内であった。

現存量推定値の誤差を変動係数で比較すると、矩形層化法では昼夜それぞれ22%、17%、トランゼクト法ではそれぞれ26%、23%と、前者が4~5%小さい傾向が見られたが、ほぼ20%前後の値となった。ただし、この場合の

Table 3 Walleye pollock caught with mid water trawl net.

Sample No.	Date	Location	Latitude	Longitude	Towing Depth (m)	Towing peacocks	%pollock (number)	Number of pollock	CPUE*	Mean PL (cm)	Mean 3W (g)
96-1	18-Oct-96	off western Rebun Is.	45°13'	140°42'	420-430	147	42.9%	91	23	36.8	356.0
96-2	19-Oct-96	Misashi bank	44°38'	139°59'	420-390	95	91.5%	86	31	37.7	356.1
96-3	22-Oct-96	off Ofu Pt.	43°45'	140°49'	420-439	105	94.0%	39	21	37.3	322.9
96-4	23-Oct-96	off western Shakotan	43°38'	140°21'	380-420	63	95.0%	134	81	38.3	375.7
96-5	24-Oct-96	off Iwanai	42°53'	139°53'	450	86	99.3%	142	65	39.2	416.2
96-6	25-Oct-96	off Otake	41°53'	139°51'	400	54	100.0%	153	116	40.9	461.9
97-1	14-Oct-97	off Setaru	43°13'	139°40'	450	75	100.0%	216	114	39.5	424.6
97-3	15-Oct-97	Iwanai bay	43°00'	140°15'	400	30	100.0%	69	90	39.2	428.2
97-4	15-Oct-97	off Iwanai	43°00'	139°58'	410	65	100.0%	118	73	40.4	443.7
97-5	16-Oct-97	off western Shakotan	43°25'	140°10'	440	70	99.3%	146	80	38.5	388.4
98-1	15-Oct-98	Iwanai bay	43°03'	140°17'	400	60	93.8%	227	147	38.8	417.9
98-2	16-Oct-98	off Otake	41°59'	140°01'	430	21	100.0%	340	636	43.0	577.5
98-3	17-Oct-98	off Setaru	42°2'	139°40'	420	17	100.0%	641	1486	39.4	492.6
98-4	13-Oct-98	off western Shakotan	42°20'	140°07'	100	90		0	0		
98-6	18-Oct-98	off western Shakotan	43°20'	140°07'	430	20	93.0%	668	1356	40.6	487.6
98-7	19-Oct-98	off Ofu Pt.	43°51'	140°55'	400	60	99.6%	532	267	30.1	188.0

*CPUE = individuals of pollock / an hour.

Table 4 Estimated biomass for each year.

Year	Method of Estimation							
	1996		1997		1998		1998	
	rectangle 10'×10'	rectangle 10'×10'	rectangle 10'×10'	transect day-night	rectangle 10'×10'	rectangle 10'×10'	transect day	transect night
Northern Area	53	34	73	71	—	—	—	—
Southern Area	178	86	367	383	330	409	303	457
					315*	403*		
Total	231	120	440	454	—	—	—	—
CV	Basic statistics				22%*	17%*	26%	23%
	1-D transitive						11%	7%

*: without interpolation

矩形層化法の変動係数は欠測値を補間せずに求めた。

さらに、トランゼクトのデータに1D-トランジティブ法を適用した場合の変動係数は、昼夜それぞれ11%、7%となり、先に基本的な統計手法で推定された変動係数の1/2以下となった。

考 察

これまで北海道南西岸では高倉¹³⁾、前田ほか¹⁴⁾などが一般的な魚探を用いてスケトウダラの分布を観察している。本報告では高性能な計量魚探を用いることによって、ほぼ北海道西岸全域にわたり索餌末期のスケトウダラ分布の特徴を明らかにし、さらに現存量を推定した。

スケトウダラの空間分布の特徴として、海底深度200~1,000mの大陸棚斜面上に高密度で分布し、沖合、沿岸海域ともに水平、垂直的に昼間の方が夜間よりも集中して分布していることが、 S_A 値の解析により把握できた。これらの結果は概略的に既存の一般的な魚探調査やトロール調査の結果^{3, 12, 13, 21, 22)}と一致している。また、Fig.7では、 S_A のピークが昼夜ともに同じ地点で見られ、このこ

とからスケトウダラの分布は海底地形の影響を受けていることが伺われる。

一般に調査対象の集中度が高いほど測定値の分散は大きくなり、現存量の推定誤差も大きくなる。したがって、スケトウダラの分布様式からみると、音響機器を用いてより精度の高い現存量推定を行うためには、集中度の低い夜間に調査した方が効率的である。

一方、昼夜間で S_A を比較すると、夜間の方が平均1.8倍大きかった。その原因の一つとして、海底近くに存在する音響的なデッドゾーン(ブラインドゾーンとも言われる)の影響が考えられる。つまり、スケトウダラ魚群が夜間に上方へ移動することによって、海底によるブラインドの影響が減少することが推測される。本研究でも夜間にはスケトウダラの分布深度が浅くなる現象が確認された。しかし、海底に接すること無く中層に分布する沖合海域でも、夜間の S_A が大きかった(Table 2)。他に考えられる原因として、TSの日周変化による可能性がある²³⁾。この点について、安部ほか¹⁸⁾がスケトウダラの*in situ* TSを測定したが、日周変化は観察されず、本海域における S_A の昼夜変動の原因は未解明な点が残されている。

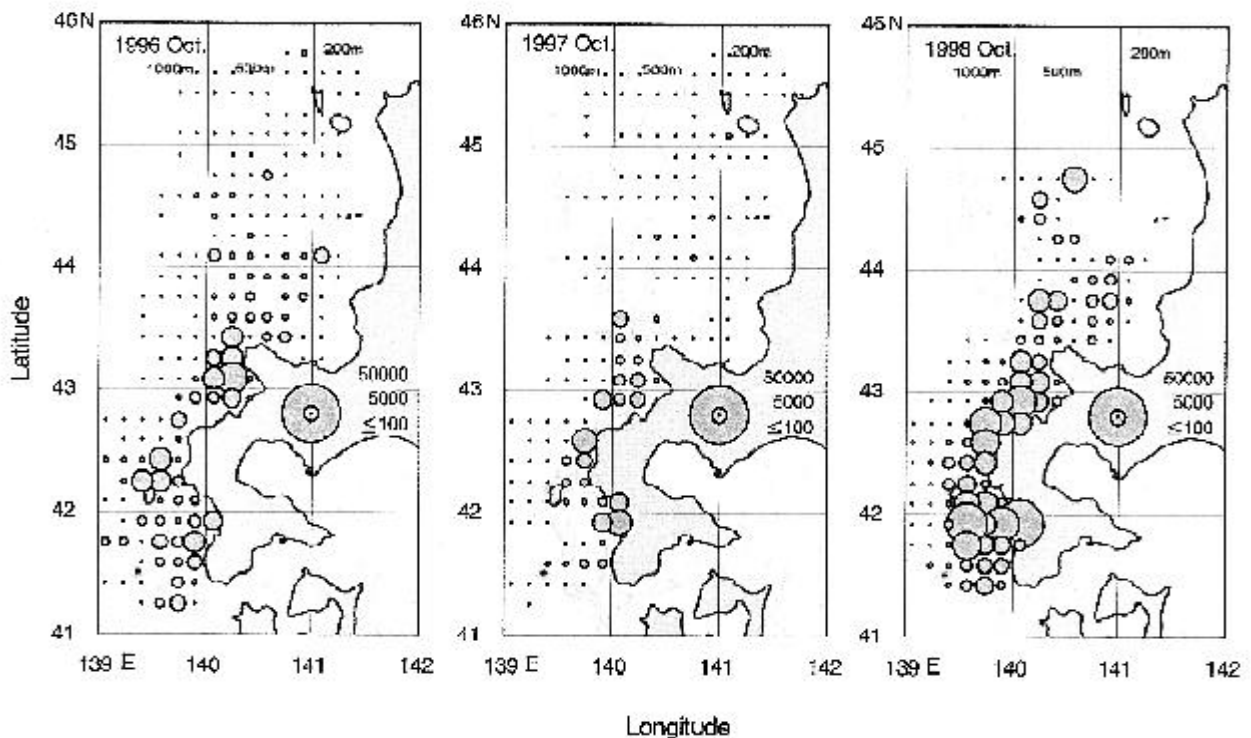


Fig. 10 Maps of walleye pollock abundance(tonne).

したがって、現状では昼夜どちらの S_A が魚群密度の指数として適当であるとは断定できないが、比較的スケトウダラ分布の集中度が低く、海底デッドゾンの影響が少ない夜間の S_A が、より正確に魚群密度を反映していると考えられる。

そこで、昼間の S_A を夜間の S_A に変換するための回帰分析を試みたが、変換するには回帰直線の信頼性が不十分であると判断された。昼夜間で S_A を補正するには、更にデータを蓄積し、かつ S_A の日周変動や海底深度との関係など詳細な検討が必要である。

このため、本報告では昼間に得られた S_A を補正することなく、昼夜込みにした S_A から各年の現存量を推定し、別に1998年については南側海域の現存量を昼夜毎に推定した(Table4)。

まず、各年の矩形層化法により計算された現存量推定値および使用した S_A データの妥当性を検討すると、1996年の調査では沿岸近くで海底深度200mまで調査線が延びていない例があり、また、昼間の S_A を補正せずに使っていることから、やや過小評価の可能性が高いと考えられる。1997年の調査ではスケトウダラの反応がノイズに埋もれてしまい、判別できない例が多かったことや、荒天のために調査線密度も小さいことから、相当に過小評価されていると判断され、この推定値は参考程度と考えるべきであろう。1998年の推定値は海底深度200m以浅まで調査するように留意して調査を行ったため、このことによる過小評価の危険性は少ないものの、昼夜間の S_A の差に起因する過小評価の可能性は残る。

1998年の南側海域の現存量を昼夜別に推定した結果、トランゼクト法では昼夜の間で1.5倍の差が見られた。このことは、音響調査の時間帯によっては、最大50%程度の誤差を含む可能性があることを示している。しかし、これらの推定値は、昼夜込みのデータによる推定値と比較すると $\pm 20\%$ の範囲にあることから、昼夜を通して調査しても実用的な正確度を保つことが出来ると考えられる。

次に矩形層化法とトランゼクト法を比較する。両方法による全海域の現存量推定値は、昼夜込みのデータを用いた場合、その差は僅か3%であった。また、南側海域の昼夜毎のデータの場合、昼間では矩形層化法の方が7%大きく、夜間では逆にトランゼクト法の方が11%大きかった。

このように2つの空間サンプリング法の推定値がよく一致していたことから、矩形層化法で用いた計算対象面積の設定は適切であったと考えられる。なぜなら、矩形層化法ではスケトウダラが高密度に分布するごく沿岸寄りに位置する小海区の面積をどのように設定するかで、推定値は大きく変化するからである。それに比べトランゼ

クト法では調査面積を細かく検討する必要がない。現存量の推定だけを考えると、トランゼクト法を用いる方が計算は簡単かつ正確である。ただし、1本の調査線を1個の標本として扱うため、調査線内の分布様式などの情報が失われることになり⁶⁾、Fig.10の様な分布図を描くことは出来ない。

また、矩形層化法では欠測値を隣接する小海区の算術平均で補間しているため、分散を計算することは出来ない。一方、トランゼクト法では等間隔に分布範囲を網羅していれば、変動係数の計算は簡単である。

ここで、両方法の変動係数を比較するために、矩形層化法を適用する際に欠測値を補間せず、変動係数を求めた。1998年の南側海域では、欠測値の数が少なく、また、補間した場合の現存量推定値と比較してその差が5%以下であったことから、この変動係数を比較に用いても大きな問題はないと考えた。

その結果、矩形層化法で4~5%小さい傾向が見られたが、基本的な統計手法による変動係数は17~26%とほぼ20%前後の値を示していた。

ところが、1-Dトランジティブ法をトランゼクトのデータに適用すると、変動係数は7~11%で、空間統計学モデルを使わない場合の1/2以下になる。これは空間統計学を用いない場合は誤差を過大に評価しているためと考えられる²¹⁾。このように調査線間隔を10NMとしても十分な推定精度が得られることが分かった。

また、1-Dトランジティブ法では現存量の標準偏差を計算することは出来るが、標準偏差の分布型が分からない。このために、信頼区間の推定は出来ないことに注意する必要がある²¹⁾。

以上のように、空間サンプリング法にはそれぞれ長所短所がある。分布情報と適切な誤差を伴う現存量推定を得るには、当面、今回用いた矩形層化法と1-Dトランジティブ法を併用することが望ましい。空間統計学のクリギングを適用できれば、分布情報と推定精度の両方を満たすことができるが、分布の定常性などの仮定が必要であり、計算も複雑であることから、今後の課題としたい。

本研究での空間サンプリング誤差は7~11%、昼夜変動による系統誤差は20%程度と推定され、それらを含めた現存量の誤差は28%程度と推定される。Simmonds *et. al*⁶⁾によると、音響調査の空間サンプリングの標準誤差は5~25%で、系統誤差を含めた現存量の推定誤差は13~57%、一般的には35%程度であると報告している。本研究の推定誤差はこれらの誤差を下回っており、本研究の当初の目的は達成できたと考えられる。

次に本報告で得られた現存量とVPAを用いて計算された資源重量と比較する。1997年の推定値は相当な過小評

価と考えられるので、ここでは比較から除いた。VPAにより1996, 1997, 1998年の資源量はそれぞれ30万トン、24万トンおよび19万トンと推定されている^{*)}。本報告で推定した現存量はVPAの推定値より1996年は7万トン少なく、逆に1998年は26万トンも多い。

1996年の音響調査による推定値(23万トン)はVPA(30万トン)の77%であり、音響調査の推定値がやや過小評価であるとすれば、VPAと音響調査の結果は、ほぼ一致していると考えられる。それでは1998年の本報告の推定値(45万トン)は過大評価だったのだろうか。本調査で行った中層トロール調査のCPUEを見ると他の2ヶ年の2~17倍であり(Table 3), 1998年の分布密度が高かったことが伺われる。このことから、音響手法による現存量推定値がそれほど過大に評価されているとは考えにくい。

逆に夏目²⁴⁾が報告しているように、はえ縄による漁獲可能深度が、スケトウダラの分布深度に達しない場合には、極端な漁獲効率の低下が予想される。本報告の結果では、3ヶ年で20m程度の分布深度の変化が見られた。この20m程度の変化がどの程度漁獲効率に影響するかは明らかでないが、1998年に漁獲効率の低下が起こった可能性は否定できない。

分布深度の変化は物理環境の変化に起因すると推測されるが、スケトウダラ分布の中心である深度400mの水温や塩分は調査した3ヶ年ではほとんど変化しておらず、分布深度の変化との間には明瞭な関係は見出せなかった。さらにデータを蓄積して詳細な解析を行い、漁業への影響を調べる必要があるだろう。

これまで、本海域のスケトウダラ資源は、漁業からの情報と漁獲物解析によってのみ資源量が推定されていたが、音響手法の導入により、それを比較、検証する手段を得たと言える。今後は、魚群行動、TS、デッドゾーンなどの誤差要因をさらに調査検討し、より信頼性の高い音響調査を実施することが望まれる。

謝 辞

本研究は、3ヶ年にわたり北海道立中央、稚内、函館の各水産試験場、試験調査船北洋丸、および北海道大学水産学部の多くの方の協力を得て実現したものです。ここに深謝いたします。また、Neal J. Williamson 博士およびRichard D. Brodeur博士には貴重なご助言を頂きました。さらに、本田聡技官には1-Dトランジティブ法についてご指導を頂きました。ここに、お礼を申し上げます。

要 約

1. S_A 分布に基づき、時空間的にスケトウダラの分布様式を明らかにした。
2. 桧山海域のスケトウダラの分布深度は、沿岸域で昼間には380~440m、夜間には340~460m、沖合域では、昼間には420~580m、夜間には340~500mであった。また、夜間には分布深度が浅くなる傾向が見られ、分布深度には経年変化が見られた。
3. 水平的な分布密度は積丹半島以南の沿岸域で高かった。
4. 水平的、鉛直的に、昼間に密集し、夜間には分散する傾向が見られた。
5. スケトウダラの現存量を1996年には23万トン、1998年には45万トンと推定したが、1997年はノイズが多く推定できなかった。
6. S_A の昼夜変動が明らかになり、これらの昼夜込みのデータからの推定値は20%程度、過小評価していると考えられた。
7. 1-Dトランジティブ法を用いることにより、調査線間隔10NMで空間サンプリングの推定誤差を10%程度にすることができた。
8. 1998年の10NM間隔の平行調査線で現存量を計算した場合、その誤差の合計は28%程度と推定された。

引用文献

- 1) 北海道水産林務部企画調整課：北海道水産業のすがた。“ (2)主要魚種別生産量及び生産額 ”. 平成10年度北海道漁業白書．札幌，北海道水産林務部，1999，120.
- 2) Tsuji, S.: Alaska pollack population, *Theragra chalcogramma*, of Japan and its adjacent waters, II: Reproductive ecology and problems in population studies. *Mar. Behav. Physiol.*, 11, 61-107 (1990)
- 3) 前田辰昭，高木省吾，亀井佳彦，梶原善之，目黒敏美，中谷敏邦：スケトウダラ調査研究の歴史と問題点．北水試研報，42，1-14 (1993)
- 4) 原 一郎：“ 1. 直接推定法の今日的意義 ”. TAC管理下における直接推定法 - その意義と課題．恒星社厚生閣，2000，9-18．
- 5) Johannesson, K. A. and R. B. Mitson: Fisheries acoustics - A practical manual for aquatic biomass

* 1 石田 良太郎： 2000年度スケトウダラ研究グループ会議資料(未発表)

- estimation. *FAO Fisheries Technical Paper*, 240, 1983, 249p
- 6) Simmonds, E. J., N. J. Williamson, F. Gerlotto and A. Aglen: Acoustic survey design and analysis procedure: A comprehensive review of current practice. *ICES Cooperative Research Report*, 187, Denmark, 1992, 131p.
- 7) MacLennan, D. N. and E. J. Simmonds: *Fisheries Acoustics*. London, Chapman & Hall, 1992, 325p.
- 8) 飯田浩二, 向井 徹, 黄 斗~~法~~, 早川知子, 松山幸浩: 計量魚群探知機でみた噴火湾に来遊するスケトウダラ産卵群の分布と海洋環境. *日水誌*, 61(1), 27-34 (1995)
- 9) Ohshimo, S and T. Hamatsu: Vertical distribution and acoustic estimation of biomass of walleye pollock *Theragra chalcogramma*, and anchovy *Engraulis japonicus* in the Pacific coast of eastern Hokkaido. *Bull. Hokkaido Natl. Fish. Res. Inst.*, 60, 225-237 (1996)
- 10) Honda, S.: Applying geostatistics to acoustic surveys for stock assesment of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off Hokkaido. *J. Korean. Soc. Fish. Res.*, 1(1), 136-142 (1998)
- 11) Shida, O.: Seasonal differences in diel vertical migration patterns of young walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and their impact on acoustic biomass estimation. *Proc. Int. Symp. on Advanced Techniques of Sampling Gear and Acoustical Surveys for Estimation of Fish Abundance and Behavior*. (in press)
- 12) 高倉輝男: 魚群探知機によるスケトウダラ産卵群の生態について. *日水誌*, 20, 10-12 (1954)
- 13) Maeda, T., T. Takahashi and S. Takagi: "Distribution and migration of adult walleye pollock off Hiayama, Southwestern Hokkaido". *Proc. Int. Symp. Biol. Mgmt. Walleye Pollock - Alaska Sea Grant Report*, No. 89-1. Fairbanks, Univ. Alaska, 1989, 325-347.
- 14) Kooka, K., T. Takatsu, Y. Kamei, T. Nakatani and T. Takahashi: Vertical distribution and prey of walleye pollock in the northern Japan Sea. *Fisheries Science*, 64 (5), 686-693 (1998)
- 15) 亀井佳彦, 高津哲也, 高木省吾, 中谷敏邦, 高橋豊美, 前田辰昭: 北海道南西部における秋季のスケトウダラの分布と成熟. *日水誌*, 65 (2), 223-229 (1999)
- 16) 宮野鼻洋一: "2. 音響手法". TAC管理下における直接推定法 - その意義と課題. 恒星社厚生閣, 2000, 19-27.
- 17) 北海道立中央水産試験場, 北海道立稚内水産試験場, 北海道立函館水産試験場 および北海道大学水産学部: 平成8~10年度 共同研究報告書 計量魚群探知機を用いた道西日本海におけるスケトウダラ産卵群の来遊資源量予測基礎調査. 1999, 173p
- 18) 安部幸樹, 飯田浩二, 向井 徹: スケトウダラの音響資源調査における面積後方散乱係数の昼夜変動. *日水誌*, 65 (2), 252-259 (1999)
- 19) Foote, K. G. and J. J. Traynor: Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from *in situ* measurements and calculations based on swimbladder form. *J. Acoust. Soc. Am.*, 83 (1), 9-17 (1988)
- 20) Petigas, P. and T. Lafont: EVA2: Estimation variance. version 2. A geostatistical software on Windows 95 for the precision of fish stock assessment surveys. *ICES CM1997/Y:22* (1997)
- 21) 本田 聡: "8. 空間統計学". TAC管理下における直接推定法 - その意義と課題. 恒星社厚生閣, 2000, 92-105 .
- 22) 伊藤嘉昭, : "3. 個体群調査法(統計)". 動物の個体群と群集. 東海大学出版会, 1980, 19-41 .
- 23) Mukai, T. and K. Iida: Diurnal variation of encaged fish echoes, and estimation of fish tilt angle distribution. *Fisheries Science*, 61(4), 647-652 (1995)
- 24) 夏目雅史: 北海道桧山海域スケトウダラ延縄漁業の漁獲水深と水温. *北水試研報*, 53, 1-8(1998)

1996, 1997年で道西日本海におけるスルメイカの体サイズが異なった要因

坂口 健司*, 高柳 志朗*

Factors causing differences in body size of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in the Sea of Japan off Hokkaido in 1996 and 1997

Kenji SAKAGUCHI* and Shiro TAKAYANAGI*

Age was estimated from the statolith growth increments of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, to study factors causing differences in body size in 1996 and 1997. Samples were collected in June and August 1996 and 1997 in the Sea of Japan off Hokkaido. Squid in 1997 were much larger than in 1996. The mean mantle length in 1996 was 181mm in June and 229mm in August, and in 1997 was 220mm in June and 250mm in August. On the other hand, the mean age of the squid in 1997 was only 6 to 7 days older than in 1996. Significant differences in mantle length of comparative 10-days age classes were found between the two years. Therefore, the difference in body size between the years was mainly caused by differences in growth. Seasonal variation in growth of the squid was also suggested by the growth rate (mantle length / age) in both years. The growth rate in mantle length of the squid increased with the change of their hatch date from September to February.

キーワード：スルメイカ，平衡石，日齢，発生時期，成長，道西日本海

まえがき

道西日本海では例年6月頃から，スルメイカを対象としたイカ釣り漁業が始まるが，スルメイカの体サイズは年によって異なり，特に初漁期で変化が大きい。スルメイカの体サイズは，漁業においてその単価に直接影響を及ぼすだけでなく，資源動向の把握や資源変動の要因推定にも考慮される。このため，スルメイカの体サイズが年によって異なる要因を解明することは重要である。

これまで，単年性とされるスルメイカの年による体サイズの変化が，発生時期が異なることで日齢に差が生じたためか，単に成長の差によるのか，必ずしも明らかにされてこなかった。さらに，スルメイカの成長が発生時期によっても変化すると考えられている^{1,2)}ことが，この問題をより複雑にしていた。しかし近年，スルメイカの平衡石による日齢査定が可能となり³⁾，発生時期や成長を直接的に検討することができるようになった。

本報告では，体サイズに明瞭な違いがみられた1996年と1997年の道西日本海におけるスルメイカについて，平衡石から推定した日齢および成長を2年間で比較検討し，

体サイズが異なった要因を明らかにした。なお，本研究の調査の一部は国費事業である「我が国周辺漁業資源調査」により実施した。

材料および方法

1996年と1997年の6月および8月のほぼ同じ時期に，道西日本海（Table 1, Fig.1）において，北海道立中央水産試験場所属試験調査船おやしお丸（178トン）で自動イカ釣機を用いてスルメイカを採集した。

両年の各調査点で採集されたスルメイカの外套長組成をFig.2に示した。1996年のスルメイカの外套長組成は，6月では3調査点の範囲が150-229mmで，モードが170-189mmにみられた。いずれの調査点でもほとんどの個体が199mm以下で占められていた。8月では，6月に比べて外套長の範囲が170-289mmと広く，モードはSt.4で210-219mm，St.5,6で230-239mmであった。

1997年の外套長組成は，6月では調査点間で違いがみられ，3調査点の範囲も160-269mmと広く，モードは210-239mmにみられた。8月では外套長の範囲が200-309mmで，

報文番号 A 326 (2001年1月11日受理)

* 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

モードは230-269mmにみられた。

3調査点まとめた平均外套長と標準偏差は、1996年では6月が181±12mm, 8月が229±17mmであり, 1997年では6月が220±20mm, 8月が250±22mmであった。以上のように, 1996年よりも1997年のスルメイカの方が大きく, 平均外套長の差は6月が39mm, 8月が21mmであった。

肉眼観察によって雌雄それぞれ未成熟, 成熟途上, 成熟の3段階⁴⁾に区分した成熟度割合をTable 2に示した。1996年の成熟度割合は, 6月ではSt.2の雄で成熟途上および成熟の個体が10%みられたが, これ以外の調査点では雌雄ともにすべて未成熟であった。8月では, 雄はSt.4で

未成熟が81%と多かったが, St.5,6で成熟途上および成熟が53~78%であった。雌でも成熟途上および成熟が各点で13~25%みられた。

1997年では, 6月は3調査点の雌雄ともに未成熟が82%以上であり, 8月では, 雄で成熟途上および成熟が50~84%, 雌は成熟途上が35~57%みられた。

これら外套長および成熟度判定を行った個体について平衡石による日齢査定を行った。

スルメイカの平衡石にある輪紋の計数は, 木所・檜山⁵⁾に基づいて以下の方法で行った。平衡石をスライドガラスに後部面を上にして置き, その近くに滴下したシアノアクリレート系接着剤(商品名:アロンアルファ)を, 解剖針を用いて平衡石とスライドガラスの接地面に流し込んだ。接着後, 実態顕微鏡下で観察しながら耐水性紙やすりおよび酸化アルミニウム研磨シートを用いて, 後部面を核から背丘部まで研磨した。中心部は核付近まで, 縁辺部は平衡石表面の粗面が残らない程度に研磨した。倍率100倍の油浸対物レンズを用いた光学顕微鏡にCCDカメラを取り付け, 14または20インチのテレビモニター上で核から背丘部までの輪紋を計数した。1個体につき3回以上, 輪紋を計数し, 平均値を日齢とした。

Table 1 Location of sampling stations in 1996 and 1997.

Date	Station No.	Location		
		N	E	
1996. Jun.	1	42° 59'	140° 01'	
	2	42° 30'	139° 40'	
	29	43° 30'	139° 20'	
	Aug.	4	43° 30'	139° 20'
		5	44° 00'	140° 00'
		6	44° 33'	139° 23'
1997. Jun.	1	43° 01'	140° 12'	
	2	42° 38'	139° 39'	
	26	42° 59'	139° 19'	
	Aug.	4	43° 31'	139° 19'
		5	44° 01'	140° 12'
		6	44° 30'	139° 23'

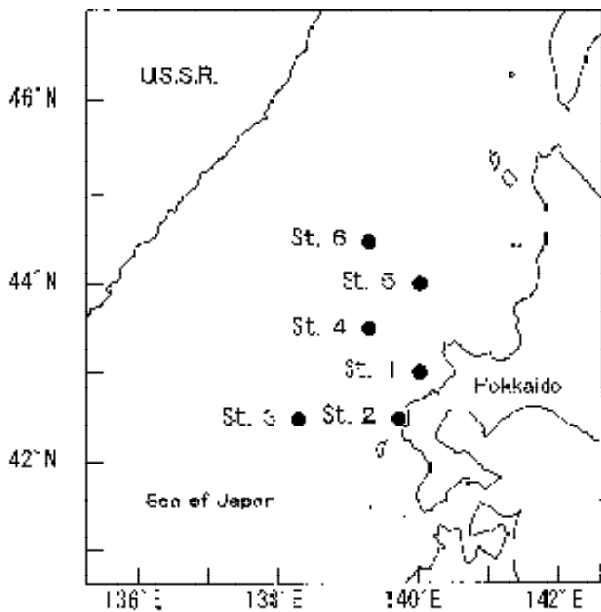


Fig. 1 Map showing the sampling stations.

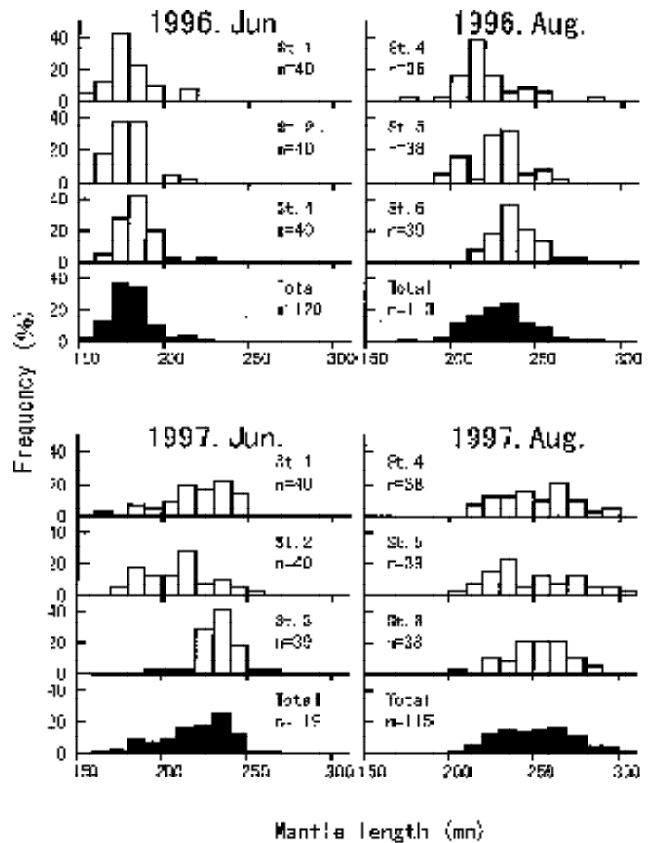


Fig. 2 Mantle length distributions of Japanese common squid in the Sea of Japan off Hokkaido in 1996 and 1997.

Table 2 Sexual maturity composition of Japanese common squid in the Sea of Japan off Hokkaido in each station in 1996 and 1997.

Date	Station No.	Percentage in each maturity stage							
		Male				Female			
		Immature	Maturing	Mature	n	Immature	Maturing	Mature	n
1996. Jun.	25	100	0	0	17	100	0	0	23
	26	91	5	5	22	100	0	0	18
	29	100	0	0	23	100	0	0	17
Aug.	26	31	13	6	16	75	15	10	20
	27	17	12	41	17	46	10	5	21
	29	22	56	22	9	37	10	3	30
1997. Jun.	24	35	5	0	21	100	0	0	19
	25	100	0	0	17	100	0	0	23
	26	32	12	6	17	45	5	0	22
Aug.	26	28	4	68	25	51	46	0	13
	27	50	17	33	18	43	57	0	21
	30	17	28	56	18	35	35	0	20

得られた6月と8月の日齢を，1996年と1997年の2年間で比較した。さらに，6月は両年ともに未成熟個体が多く，外套長に雌雄差が認められなかったため雌雄合わせて，8月は成熟が進んだ個体が多く，外套長に雌雄差が認められたため雌雄別に日齢10日間隔の平均外套長を求め，2年間の成長を比較した。また，個体別に1日当たりの外套長の平均成長（外套長（mm）/日齢（日））を求め，発生時期と平均成長の関係を調べた。

結果

1. 日齢組成の比較 平衡石から推定した各調査点の日齢組成をFig.3に示した。1996年のスルメイカの日齢組成は，6月では調査点間の差が小さく，3調査点の日齢の範囲が170-269日で，モードと副モードが200-229日にみられた。8月では日齢の範囲が190-289日と広くなり，モードはSt.4で220-229日と250-259日，St.5で250-259日，St.6で260-269日と230-239日であった。

1997年の日齢組成は，6月では3調査点の日齢の範囲が170-289日で，モードが200~229日にみられた。8月では日齢の範囲が200-299日で，調査点間での日齢に明瞭な違いは認められず，モードと副モードが240-269日にみられた。

3調査点まとめた平均日齢と標準偏差は，1996年では6月が 212 ± 13 日，8月が 247 ± 22 日であり，1997年では6月が 218 ± 16 日，8月が 254 ± 18 日であった。平均日齢の差は6月が6日，8月が7日であった。

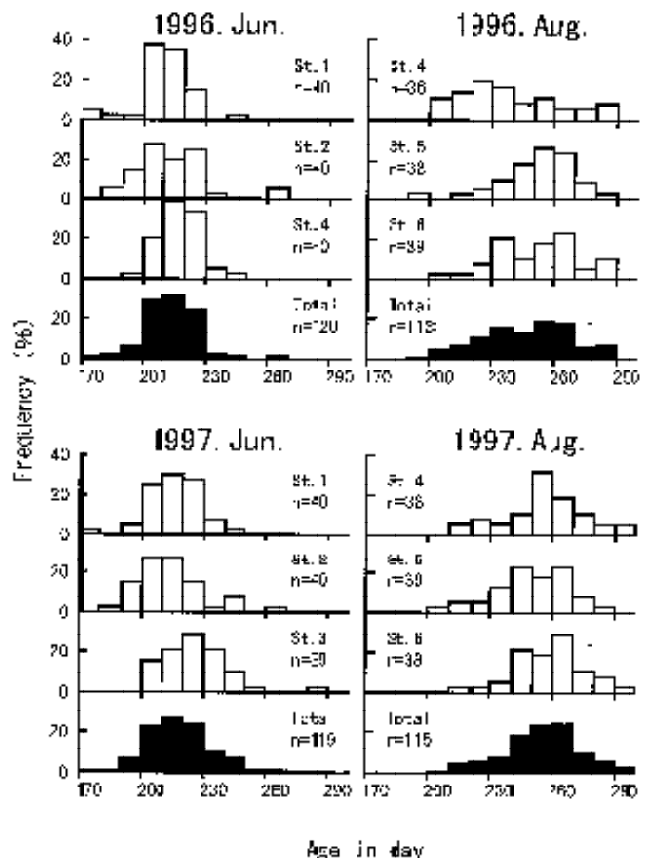


Fig. 3 Estimated age distributions from statolith analysis of Japanese common squid in the Sea of Japan off Hokkaido in 1996 and 1997.

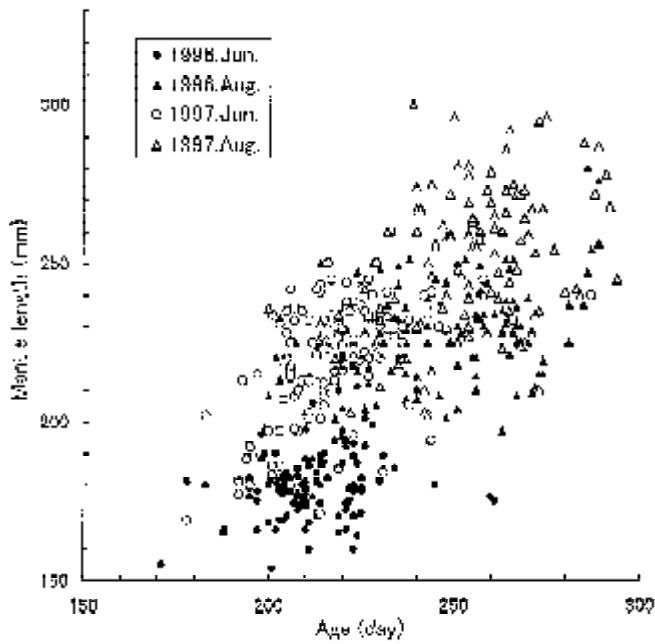


Fig.4 Relationship between the estimated age and the mantle length of Japanese common squid in the Sea of Japan off Hokkaido in 1996 and 1997.

2. 成長の比較 1996年と1997年の6月および8月のスルメイカについて、日齢と外套長の関係を個体別にプロットして示した (Fig.4)。両年ともに、日齢が増えるに従って、外套長が大きくなる傾向があった。

1996年と1997年のスルメイカについて、6月は雌雄合わせて、8月は雌雄別に日齢10日間隔の平均外套長を求め、2年間の差についてT検定を行って比較した (Table 3)。

6月および8月の雌雄すべての階級で、1997年の平均外套長の方が1996年よりも大きく、6月の200-239日の4階級、8月の雄250-269日の2階級、8月の雌240-279日の4階級で有意差があった ($p<0.05, p<0.01$)。以上から、1997年の方が1996年よりも成長が速かったことが認められた。

3. 発生時期と成長の関係 1日当たりの外套長の平均成長 (外套長 (mm) / 日齢 (日)) の月別変化をFig.5に示した。両年のスルメイカの発生時期は9月~翌年2月、主な発生時期は11~12月であった。発生時期が9月から2月に推移するに従って、平均成長が大きくなる傾向が、1996年で強く、1997年で弱くみられた。また、2年間の比較では、1月を除き他の発生時期すべてにおいて1997年の方が1996年よりも平均成長が大きかった。

考 察

1996年と1997年に道西日本海に來遊したスルメイカの

Table 3 Comparison of mean values (\pm SD) of mantle length of Japanese common squid in each age class between 1996 and 1997. (A) Male and female in June; (B) male in August; (C) female in August.

(A)		1996. Jun. (♂ + ♀)		1997. Jun. (♂ + ♀)	
Age class in day	Mantle length (mm)	Sample size	Mantle length (mm)	Sample size	
170-179	198.0 ± 18.4	2	199.0	1	
180-189	170.8 ± 8.4	8	202.0	1	
190-199	181.4 ± 9.6	8	192.0 ± 14.5	8	
200-209	177.4 ± 6.8	34	212.1 ± 19.0	27	
210-219	190.8 ± 11.9	37	213.4 ± 17.6	31	
220-229	185.2 ± 12.4	39	200.4 ± 12.0	28	
230-239	185.0 ± 4.0	3	220.2 ± 13.2	12	
240-249	195.0 ± 21.2	2	225.8 ± 17.6	8	
250-259			216.0	1	
260-269	173.5 ± 0.7	2	232.0	1	
270-279					
280-289			240.0	1	

(B)		1996. Aug. (♂)		1997. Aug. (♂)	
Age class in day	Mantle length (mm)	Sample size	Mantle length (mm)	Sample size	
200-209	218.5 ± 12.0	2			
210-219	211.5 ± 32.8	4	228.3 ± 7.4	3	
220-229	211.5 ± 9.2	2	215.0 ± 11.4	3	
230-239	223.1 ± 10.6	8	227.5 ± 17.9	6	
240-249	221.2 ± 16.7	6	242.1 ± 23.8	10	
250-259	223.4 ± 10.9	7	251.5 ± 16.8	10	
260-269	232.6 ± 11.9	8	252.7 ± 19.5	15	
270-279	218.5 ± 4.7	4	231.3 ± 18.2	4	
280-289	237.0 ±	1	257.0 ± 21.2	2	
290-299			256.5 ± 16.5	2	

(C)		1996. Aug. (♀)		1997. Aug. (♀)	
Age class in day	Mantle length (mm)	Sample size	Mantle length (mm)	Sample size	
190-199	193.0	1			
200-209	222.0 ± 10.1	3	236.0	1	
210-219	210.3 ± 4.5	3	222.5 ± 3.6	2	
220-229	225.0 ± 14.8	0	230.7 ± 10.2	3	
230-239	240.0 ± 11.7	10	237.0 ± 37.4	3	
240-249	231.5 ± 15.3	8	239.6 ± 11.9	8	
250-259	235.6 ± 15.7	4	237.0 ± 20.9	13	
260-269	223.2 ± 13.9	2	262.0 ± 19.4	12	
270-279	220.0 ± 16.8	3	267.3 ± 22.8	7	
280-289	253.8 ± 19.8	7	264.0 ± 27.1	4	
290-299			278.0	1	

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

体サイズは、1997年の方が明らかに大きく、6月と8月における平均外套長でそれぞれ39mm, 21mmの差がみられた。また2年間の成熟割合は、6月ではほとんどの個体が未成熟で差がなく、8月では1997年の方がやや成熟が進んでいる個体が多かった。この2年間のスルメイカの体サイズに大きな差が生じた要因を、平衡石から推定した日齢をもとに検討した。

6月および8月の平均日齢は、1997年の方が1996年より

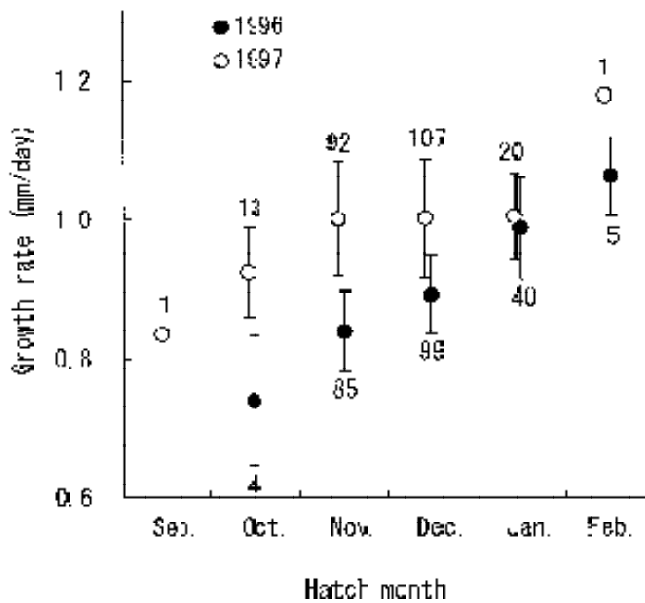


Fig.5 Relationship between the mean growth rate (mantle length / age) and the hatch month of Japanese common squid in the Sea of Japan off Hokkaido in 1996 and 1997. Each bar and number indicate the standard deviation and sample size, respectively.

も6-7日高齢であった。また、日齢10日間隔の平均外套長を2年間で比較した結果、各階級で1997年の方が1996年よりも大きく、2年間に有意な成長差が認められた。

以上から、本研究で対象とした1996年と1997年のスルメイカにみられた体サイズの大きな差は、日齢の差と成長の差の両方に起因すると考えられる。しかし、外套長の成長速度は、最大でも日齢170日・外套長130mmで1.7 (mm/日)⁶⁾と報告されており、本研究で用いた標本は、日齢170日以上・外套長150mm以上であることから、日齢差6-7日による外套長の差は、大きくても12mmを越えることはないと考えられる。つまり、体サイズに大きな差が生じた主要因は成長の差であると考えられる。

日水研および日本海側道府県水試によって、1996年と1997年の6~7月に日本海で行われたスルメイカ調査では、日本海全体でも2年間で本報告と同様の外套長の差がみられている⁷⁾。従って、道西日本海でみられた成長の差は日本海全体のものであることができ、日本海に分布するスルメイカの成長は年によって大きく変化するものと考えられる。

スルメイカの成長は、回遊経路や分布海域の違いによって異なることが指摘されている^{4,5)}。また、他の頭足類の飼育実験やフィールド調査から、稚仔期の気候や水温環境が暖かいほど成長が速いことが報告されている⁸⁻¹¹⁾。

日本海に分布するスルメイカの産卵場と考えられている九州西方海域から日本海西南部^{1,2,12)}における2年間のスルメイカの発生から稚仔期の水温は、1995年秋から1996年冬では平年よりも低かったが、1996年秋から1997年冬では平年よりも高かった¹³⁻¹⁶⁾。この水温環境の差異が2年間のスルメイカの稚仔期に、成長差を生じさせた可能性がある。

一方、発生時期と1日当たりの外套長の平均成長との関係から、発生時期が9月から翌年2月に推移するに従って、平均成長が大きくなる傾向がみられた。特に、1996年でこの傾向が強かった。この結果は、スルメイカの成長に発生時期が関連し、発生時期の水温環境が影響している可能性を示唆している。

これらのことから、同じ海域に来遊するスルメイカに年や発生時期による成長の違いがみられるのは、稚仔期の水温環境が影響しているものと考えられる。しかし、本研究における日齢を用いた解析では、個体の履歴を明らかにしていないため、2年間の体サイズが異なった要因として稚仔期を過ぎてからの成長の違いについては検討していない。今後さらに、スルメイカの産卵場や来遊経路の年や季節による変化と海洋環境の変化との関連について検討する必要がある。

要 約

1996年と1997年に道西日本海に来遊したスルメイカの体サイズが異なった要因を、平衡石から推定した2年間の日齢および成長から検討した。

1. 両年で体サイズが異なった要因は、日齢の差と成長の差であったが、特に成長の差が主要因であると考えられた。
2. 両年のスルメイカの発生時期は、9月から翌年2月、主な発生時期は11~12月と推定された。
3. 発生時期が遅いほど、1日当たりの外套長の平均成長(外套長/日齢)が大きくなる傾向が、1996年で強く、1997年で弱くみられた。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、平衡石日齢査定法および原稿とりまとめについて貴重な助言を頂いた日本海区水産研究所の木所英昭氏、海上調査に協力を頂いた北海道立中央水産試験場おやしお丸の乗組員の皆様、有益な助言と指導を頂いた北海道立中央水産試験場資源管理部の皆様および北海道立稚内水産試験場の中田淳氏に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 新谷久男：スルメイカの資源. 水産研究叢書. (16). 東京, 日本水産資源保護協会, 1967, 60p.
- 2) 伊藤祐方："スルメイカの漁業, 生活史および資源の現状の概要". スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究. 東京, 農林水産技術会議事務局, 1972, 4-9.
- 3) Nakamura, Y. and Sakurai, Y.:Validation of daily growth increments in statoliths of Japanese common squid *Todarodes pacificus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 57 (11), 2007-2011 (1991)
- 4) Nakamura, Y. and Sakurai, Y.:"Age determination from daily growth increments in statoliths of some groups of the Japanese common squid *Todarodes pacificus*". *Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology*. edited by OKUTANI, T., O'DOR, R. K. and KUBODERA, T., Tokyo, Tokai University Press, 1993, 337-342.
- 5) 木所英昭, 檜山義明：日本海におけるスルメイカの分布海域による成長の差異. 日水研報. 46, 77-86 (1996)
- 6) 木所英昭, 和田洋蔵, 四方崇文, 佐野勝雄, 氏良介：平衡石の日周輪解析をもとにした1996年の日本海におけるスルメイカの成長. 日水研報. 49, 129-135 (1999)
- 7) 日本海区水産研究所："7.(2)平成9年度第1回スルメイカ長期漁海況予報". 平成9年度漁海況予報事業年報. (第33号). 水産庁, 1998, 195.
- 8) Natsukari, Y., Nakanose, T. and Oda, K.:Age and growth of loliginid squid *Photololigo edulis* (Hoyle, 1885). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 116, 177-190 (1988)
- 9) Forsythe, J. W.:"A working hypothesis of how seasonal temperature change may impact the field growth of young cephalopods". *Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology*. edited by OKUTANI, T., O'DOR, R. K. and KUBODERA, T., Tokyo, Tokai University Press, 1993, 133-143.
- 10) Jackson, G. D., Forsythe, J. W., Hixon, R. F. and Hanlon, R. T.:Age, growth, and maturation of *Lolliguncula brevis* (Cephalopoda:Loliginidae) in the northwestern Gulf of Mexico with a comparison of length-frequency versus statolith age analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 2907-2919 (1997)
- 11) Arkhipkin, A., Jereb, P. and Ragonese, S.:Growth and maturation in two successive seasonal groups of the short-finned squid, *Illex coindetii* from the Strait of Sicily (central Mediterranean). *ICES Journal of Marine Science* 57,31-41 (2000)
- 12) 笠原昭吾：日本海における有用イカ類の資源と利用. イカ類資源・漁海況検討会議研究報告(平成2年度). 北海道区水産研究所, 1991, 1-11.
- 13) 西海区水産研究所："6.(2)対馬暖流系アジ・サバ・イワシ長期漁海況予報". 平成7年度漁海況予報事業年報.(第31号). 水産庁, 1997, 206.
- 14) 日本海区水産研究所："7.(2)平成7年度第2回日本海浮魚類・スルメイカ長期漁海況予報". 平成7年度漁海況予報事業年報. (第31号). 水産庁, 1997, 225.
- 15) 西海区水産研究所："6.(2)対馬暖流系アジ・サバ・イワシ長期漁海況予報". 平成8年度漁海況予報事業年報.(第32号). 水産庁, 1997, 220.
- 16) 日本海区水産研究所："7.(2)平成8年度第2回日本海浮魚類・スルメイカ長期漁海況予報". 平成8年度漁海況予報事業年報. (第32号). 水産庁, 1997, 234.

忍路湾における沿岸水温と栄養塩の関係

中多章文^{*1}, 八木宏樹^{*2}, 宮園 章^{*3}, 安永倫明^{*4}, 川井唯史^{*1}, 飯泉 仁^{*5},

Relationships between sea surface temperature and nutrient concentrations in Oshoro Bay, Hokkaido, Japan.

Akifumi NAKATA^{*1}, Hiroki YAGI^{*2}, Akira MIYAZONO^{*3}, Tomoaki YASUNAGA^{*4}, Tadashi KAWAI^{*1}, and Hitoshi IIZUMI^{*5}

To clarify relationships between coastal sea surface temperature and nutrients, environmental factor such as sea water temperature, salinity, nutrient concentrations and chlorophyll-a standing stocks were investigated by sampling two or three times a month from July 1992 to July 1999 in Oshoro Bay, western Hokkaido. The vertical differences of environmental salinity and nutrient concentrations between the surface and 5m depth were larger by an order of magnitude than the horizontal differences between the outer and inner parts of the bay. Significantly negative relationship was found between mean temperature and mean concentration of nitrite+nitrate at 5m depth in winter period from January to March. In the snow melting period from March to May, significantly negative relationships were found between mean temperature and concentration of nitrite+nitrate, and between salinity and concentrations of nitrite+nitrate at the surface. We can therefor say that the temperature variability, that has a possibility of relationships with the abundance variability of *Laminaria religiosa*, involves nutrients variability in Oshoro Bay during January to May.

キーワード：忍路湾，磯焼け，ホソメコンブ，栄養塩類，沿岸水温

1. はじめに

北海道日本海沿岸の岩礁域では、「磯焼け」と呼ばれるエゾイシゴロモ *Lithophyllum yessoense* などサンゴモ科紅藻が優占し、キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* が底生動物群集の優占種として高密度に生息する状態が、長期間持続している。この磯焼け海域では、北海道における重要な漁業資源であるキタムラサキウニやエゾバフンウニ *Strongylocentrotus intermedius* が、餌料

となる海藻生育が少ないため生殖巣が発達できない。このため、漁業としてほとんど利用できない資源となり、産業的に大きな問題となっている。この磯焼け現象の持続原因としてはウニの過剰な摂食圧があるが¹⁾、発生原因のひとつとしては、海況変動がある(大谷ら²⁾、松山³⁾)。これらの報告のなかでは、長期沿岸水温記録とホソメコンブ *Laminaria religiosa* 漁獲量の対応関係から、ホソメコンブ漁獲量変動に対して、水温変動が二つの面から論じられている。ひとつはホソメコンブの生育や植食動物の

報文番号 A 327 (2001年1月11日受理)

*1 北海道立中央水産試験場(Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Hamanaka-cho Yoichi Hokkaido, 046-8555, Japan)

*2 小樽商科大学(Otaru University of Commerce, Midori, Otaru, Hokkaido 047-0034, Japan)

*3 北海道立函館水産試験場(Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)

*4 北海道立釧路水産試験場(Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station, Hama-cho Kushiro Hokkaido 085-0024, Japan)

*5 北海道区水産研究所(Hokkaido National Fisheries Research Institute, Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 085-0802, Japan)

活動に影響する温度であり、もうひとつは、低水温 = 高栄養塩の関係から、ホソメコンブ生育に影響する栄養塩類の濃度の指標としてである。しかし、ここで用いられている低水温 = 高栄養塩の関係は、日本海沖合域の水温と栄養塩の鉛直分布から水温と栄養塩の関係を求めたものであり、実際の鉛直混合の結果から求められたものではない。またホソメコンブの生育する日本海沿岸域では、その関係は実証されていない。

一方、北海道積丹半島東岸の石狩湾に面した忍路湾は、古くから海産動植物についての多くの研究報告の舞台となっている。北海道立水産試験場でも海藻類やウニ類など北海道西岸日本海を代表し得る重要な生物モニタリング地点として今なお多くの調査が行われている。これら海産動植物の生息環境として、忍路湾の環境を同時にモニタリングすることは、生物の成長や現存量などの変動要因を考える上できわめて重要である。北海道大学忍路湾臨海実験所では、表面水温や比重が継続して観測されており、Motoda *et al.*⁴⁾ にその季節変化や経年変化が記述されている。しかし、磯焼け現象のような海藻類の現存量変化や植物プランクトンのブルーミングなどの基礎生産に関する変動を解明するためには、水温、塩分だけでなく栄養塩類を含む物理化学環境を定量的に把握する必要がある。忍路湾外の石狩湾や近海の寿都湾においては物理化学環境の季節変化パターンが明らかになっているが^{5,6)}、忍路湾では物理化学環境の季節、経年変化に関する知見は見当たらない。

そこで本報では、磯焼け海域に含まれる忍路湾の物理化学環境を継続調査し、環境要素の季節変化と経年変化を把握するとともに、それらの変動幅や、場所、深さによる差異を定量的に示した。そして特に経年変化に着目し、冬季から春季の水温と栄養塩の関係について論じた。

2. 方法

1992年7月から、1999年7月にかけて、忍路湾湾口部 (Stn.3: 水深18m)、湾中部 (Stn.2: 水深9m)、湾奥部 (Stn.1: 水深4m) の3地点 (Fig.1) において、湾口部と湾中部では表面 (以降表層と呼ぶ) と深さ5m (以降5m層と呼ぶ)、湾奥部については表層と海底直上 (これも5m層として扱う) の2層でそれぞれ5リットルの手付きポリビーカーとバンドーン採水器により採水を行い、棒状温度計で测温した。Stn.3およびStn.2では透明度板により透明度を測定した。透明度板が海底に着底しても視認できる場合は、その着底水深を透明度とした。

採水は原則として10日に1回の頻度を目標に、可能な限り毎週1回週初めに行った。調査用舟艇が使用できない荒

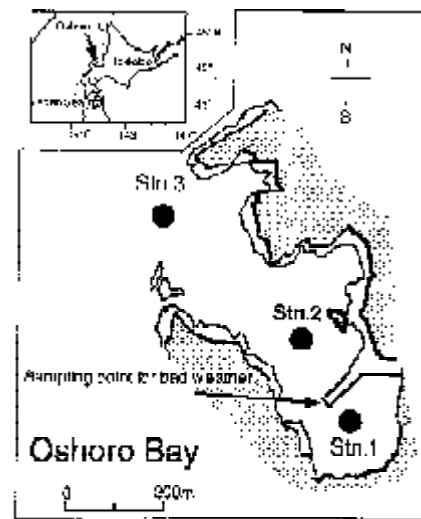


Fig. 1 Sampling location.

天の場合は、Stn.2に近い防波堤先端 (水深約3m) において、バンドーン採水器で表層および海底直上で採水し、これをStn.2の採水に代えた。この場合Stn.1及びStn.3で採水は行っていない。試水は採水後持ち帰り、クロロフィル a (以降Chl-aと略記) についてはWhatman GF/Cフィルターで濾過後凍結保存 (-40) し、栄養塩類は分注後凍結保存 (-40) し、Chl-aは90%アセトンを注入後、毎分3000回転で10分間遠心分離を行い抽出した後、蛍光法で、栄養塩類 (硝酸塩、亜硝酸塩、リン酸塩) はオートアナライザーで、塩分はサリノメーターで後日分析した。

Table1に各地点各月ごとの調査回数を示す。各月各地点における調査回数の違いは、次の理由による。前述したように防波堤先端からの採水もStn.2としているため、Stn.2での総調査回数がStn.1およびStn.3より多くなっている。また、湾口部のうねりが高い時は、Stn.3の採水を行っていないため、Stn.1の方が、Stn.3より総調査回数が多くなっている。Stn.1、Stn.3とStn.2では、時化の多い冬期間に調査回数の差が大きくなり、12月から3月では、Stn.2がStn.1およびStn.3より2倍程度、調査回数が多くなっている。

これらの採水回数が異なるデータから、次のようにデータセットを作成した。まず、各測定項目について、地点別、深さ別に、全調査期間中の各月の全平均値を求め、これを月平均値データセットとした。時系列データとしては、最も高い頻度で採水が行われていたStn.2について、各年各月ごとに平均値を求め、時系列データセットとした。ただし月に1回の採水のときはこの1回の値を月

Table 1 Sampling number at each station.

Station 1	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	1992						2	2	4	4	3	2	
	1993	3	3	1	4	3	3	1	4	3	1	2	
	1994	1	2	3	2	3	2	2	3	3	2	3	0
	1995	2	3	3	2	3	2	2	3	11	5	1	1
	1996	1	1	2	3	4	3	4	3	4	2	0	1
	1997	2	0	1	3	3	4	2	2	4	2	3	4
	1998	2	2	2	3	2	1	3	3	2	2	0	1
	1999	1	1	1	0	1	1	1					
Total		12	12	17	17	18	18	20	20	21	20	11	11

Station 2	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	1992						2	2	4	4	4	4	9
	1993	4	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4
	1994	4	5	4	4	4	3	2	4	1	3	5	4
	1995	4	3	5	4	3	2	2	3	0	5	4	3
	1996	3	2	3	5	3	3	1	3	5	3	1	1
	1997	4	3	2	3	4	4	3	2	4	3	3	4
	1998	2	2	4	2	2	1	3	3	2	3	1	2
	1999	1	1	1	1	2	1	1					
Total		22	23	24	24	22	21	22	21	24	25	24	22

Station 3	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	1992						2	2	4	4	4	1	3
	1993	3	3	1	4	3	3	1	4	3	1	2	
	1994	1	2	3	2	3	2	2	3	3	2	3	0
	1995	2	3	3	2	3	2	2	3	0	5	1	1
	1996	1	1	2	3	4	3	4	3	5	2	0	0
	1997	2	0	1	3	3	4	2	2	3	2	3	4
	1998	1	2	2	3	2	3	3	3	2	3	0	1
	1999	1	1	1	0	1	1	1					
Total		11	11	13	17	18	18	21	20	21	20	9	10

平均値とした。以降、これら二つのデータセットをもとに解析を進める。

水温の比較のために、忍路湾西方約7kmの位置にある北海道立中央水産試験場前浜で観測されている沿岸水温記録の旬平均値から、月平均値を求めて用いた（以降、余市前浜水温と呼ぶ）。

時系列データセットは、Appendixとして示した。

3. 結果

3.1 季節変化

ここでは、月平均値データセットのうち、各月の採水回数がほぼそろっており、忍路湾中央部に位置するStn.2の月平均値データセットから、年間の最大値、最小値を含む極値とその時期に注目して季節変化の特徴を記述する。ただし、透明度はStn.2では海底まで達することが多いため、Stn.3でのデータを用いた。

3.1.1 水温と塩分

Fig.2-aに忍路湾湾中部における水温を、Fig.2-bに塩分の季節変化を示す。水温は表層、5m層ともに2月に最小値（表層：4.9℃、5m層：5.0℃）、8月に最大値（表層：21.8℃、5m層：21.4℃）を示した。4月から8月にかけての昇温期では、表層の水温が5m層に比べやや高く、9月以降の降温期には表層の水温が5m層に比べやや低かった。

塩分について、表層では2月に33.50psuの最大値を示した後、4月から5月に融雪水により著しく低塩化し、5月に26.72psuの最小値を示した。その後7月にかけて32.74psuまで高塩化し、2度目の極値を示した。そして11月に再び低塩化し、32.32psuとなった。5m層では2月に33.60psuの極値を示し、4月に32.06psuの最低値となり、表層とは塩分値、時期ともに異なっていた。その後7月に最大値（33.77psu）まで高塩化し、11月に再び32.71psuまで低塩化した。

3.1.2 透明度

Fig.2-cに忍路湾湾口部（Stn.3）における透明度の季節変化を示す。透明度は11月から2月にかけて増加し、2月に12.0mの極値を示した。その後4月に6mまで減少し最小値を示し、5月から7月にかけて再び増加し7月に12.1mと最大値となった。その後、減少し11月には6.8mの極値を示した。

3.1.3 Chl-a

Fig.2-dに忍路湾湾中部におけるChl-a濃度の季節変化を示す。Chl-a濃度は、表層では1月から3月にかけて増加し、3月には1.87μg/lと極値を示した。その後減少し5月には0.41μg/lと最小値となるが、6月には再び増加し2.01μg/lの最大値を示した。以降9月まで約2.0μg/lの3月の極値を上回る高い値で推移した。10月に減少した後

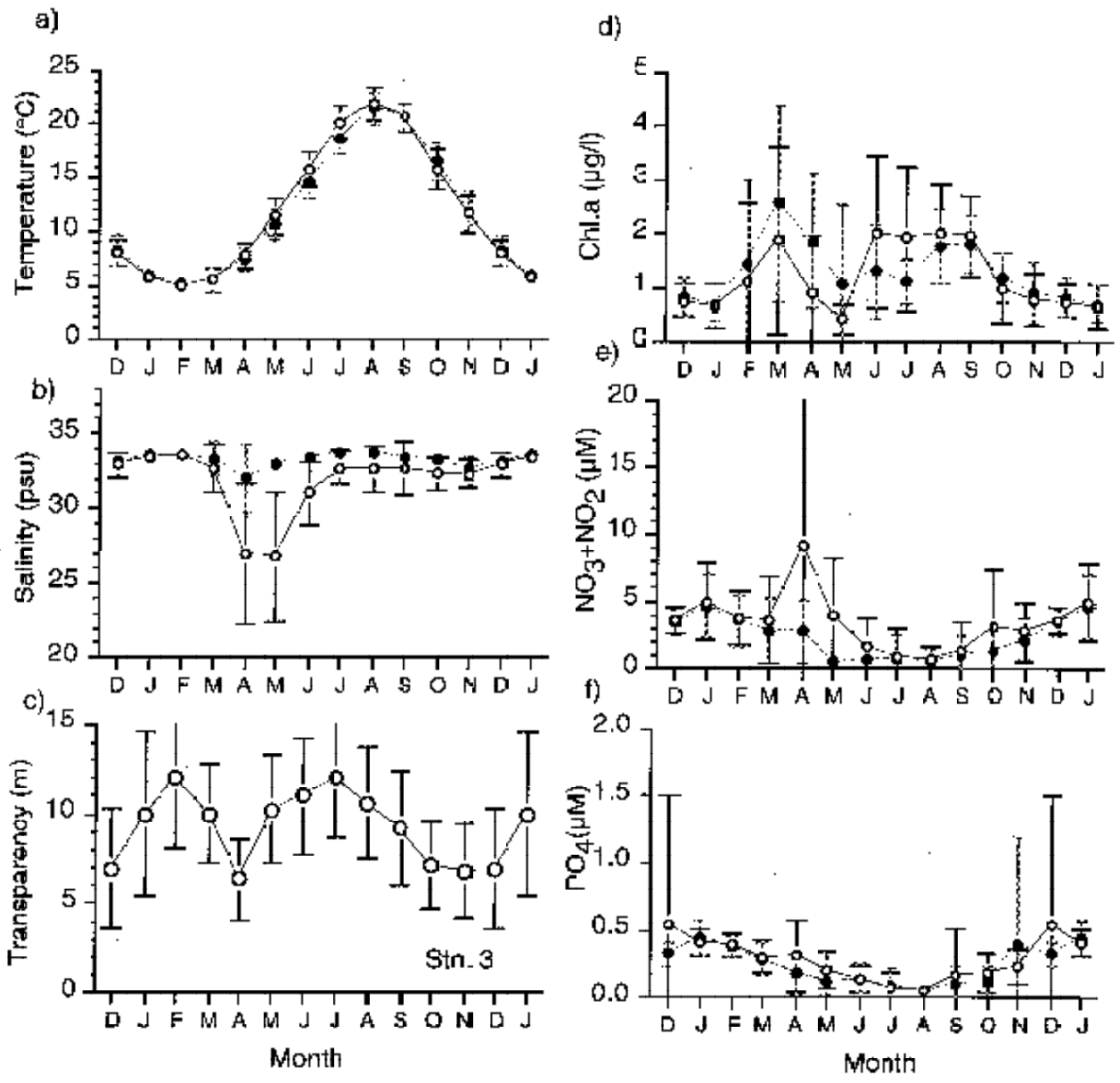


Fig. 2 Seasonal variability of temperature(a), salinity(b), chlorophyll-a(d), and nutrient concentration at 0m(O), and 5m-depth(●) Station 2, Oshoro Bay, 1992-1999. Changes in transparency(c) at Station 3 are also shown. Bars indicate standard deviation.

12月まで低く推移した。5m層では1月に0.71 µg/lの最小値を示し、その後増加し、3月には2.57 µg/lと最大値を示した。その後減少し5月には1.07 µg/lと減少し極値を示すが、6月から9月にかけて緩やかに増加し、9月には1.80 µg/lと極値を示した。10月に減少した後低く推移した。1月から3月の期間では5m層が高く、6月以降9月までは表層が高い値を示した。

3.1.4 栄養塩類

Fig.2-eに忍路湾湾中部における硝酸塩 + 亜硝酸塩を、Fig.2-fにリン酸塩の季節変化を示す。硝酸塩 + 亜硝酸塩は、表層では1月に5.0 µMの極値を示し、その後3月の3.6 µMまで緩やかに減少した後、4月に9.2 µMまで急増し最大値を示した。その後8月にかけて減少し0.6 µMの最小値となった。9月以降1月にかけて再び緩やかに増加し

Table 2 Annual mean at each station.

	Depth	Stn.1	Stn.2	Stn.3
Temperature (°C)	0m	12.3	12.4	12.4
	5m	12.1	12.2	12.3
Salinity (psu)	0m	31.425	31.650	31.670
	5m	33.213	33.235	33.413
Chl- <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$)	0m	1.16	1.29	1.22
	5m	1.33	1.38	1.16
NO ₃ +NO ₂ -N (μM)	0m	3.80	3.28	3.08
	5m	2.38	2.01	1.77
PO ₄ -P (μM)	0m	0.30	0.25	0.22
	5m	0.21	0.21	0.16

た。5m層では、1月に4.6 μM の最大値を示し、その後5月にかけて減少し8月に最小値0.46 μM となるが、5月以降9月まで1 μM 以下と低く推移した。10月以降は1月にかけて再び緩やかに増加した。

リン酸塩は、表層では12月に0.54 μM の最大値を示し、8月にかけて緩やかに減少した。8月には0.05 μM の最小値となった。9月以降は12月まで増加した。5m層では1月に最大値の0.44 μM を示し、8月にかけて緩やかに減少した。8月では0.05 μM の最小値となった。

3.2 忍路湾内の水平、鉛直方向の環境傾度

ここでは水平方向（湾奥 湾口方向）および鉛直方向（表層と5m層）の環境傾度について述べる。Table2に地点別深さ別に各測定項目の月平均値データセットから求めた年平均値を示す。水温は12.2 ~ 12.4 の幅にあり、地点、深さによる差は最大0.2 で、明らかな傾向は見られなかった。

塩分について、表層で31.4 ~ 31.7psuの範囲にあり、湾奥から湾口に向かって約0.2psu高く、5m層では33.2 ~ 33.4psuの範囲にあり、表層と同様に湾奥から湾口に向かって約0.2psu高かった。鉛直方向の差はいずれの地点も約1.7psu表層が低く、この差は水平方向の差に比べ一桁大きい。硝酸塩 + 亜硝酸塩では、湾口から湾奥方向へ高くなり、5m層より表層が高かった。これも水平方向の差に比べ、鉛直方向の差が一桁大きい。リン酸塩は水平、鉛直両方向の差が0.1 μM 以下で同程度の差となっていた。

3.3 水温と栄養塩の関係

冬季の代表値として、時系列データセットから各年毎に1月から3月の月平均値を平均し冬季平均とし、冬季の水温と栄養塩濃度の関係について調べた。この期間は水温、栄養塩濃度の極値を含み、かつホソメコンブ胞子体が出現し群落を形成する時期⁷⁾に相当する。

冬季平均水温（表層と5m層で差がないのでここでは5m層のみ図示）の経年変化をFig.3-a に示した。ここでは比較のため余市前浜水温の冬季平均水温も示した。冬

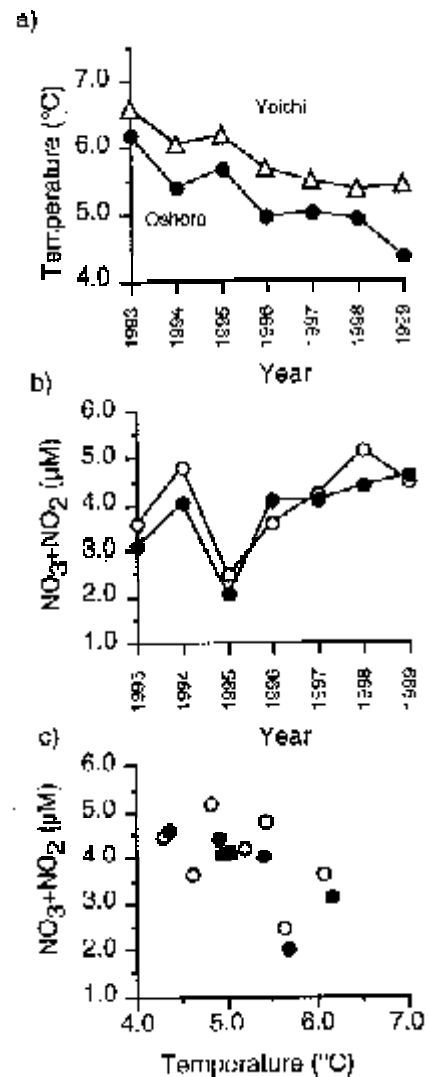


Fig. 3 Interannual variations of temperature(a), nitrate+nitrite(b), 0-(○)and 5-m depth(●) in winter from January to March, Station 2, Oshoro Bay. (c)is relationships between temperature and nitrate+nitrite, $r_s=-0.50$, $n=7$, $p<0.25$ in the 0m-depth water(○). $r_s=-0.93$, $n=7$, $p<0.01$ in the 5m-depth water(●).

季平均水温について、余市前浜水温と忍路湾では、忍路湾が平均で約0.6 低いが、経年変化の傾向は類似していた。忍路湾では、1993年は6.2 であったが、その後低下傾向を示し、1999年には4.4 まで低下した。1993年と1999年はそれぞれ最高値と最低値となりその差は1.8 であった。

冬季平均硝酸塩 + 亜硝酸塩の経年変化をFig.3-bに示した。表層では1993年に3.6 μM 、1994年に4.8 μM まで増加し1995年に2.5 μM まで減少した。以降1998年の5.2 μM まで増加し1999年に4.5 μM まで減少した。最高値は

1998年,最低値は1995年でその差は $2.7\mu\text{M}$ であった。5m層では表層とほぼ同様の経年変化を示すが,最高値は1999年の $4.6\mu\text{M}$,最低値は1995年の $2.0\mu\text{M}$ で,その差は $2.6\mu\text{M}$ であった。

次に冬季平均水温と冬季平均硝酸塩+亜硝酸塩の関係を見るために,冬季平均水温に対して冬季平均硝酸塩+亜硝酸塩をプロットした(Fig.3-c)。その結果,5m層では負のスピアマンの順位相関が認められた($p<0.01$)。また,表層と5m層をあわせた全データについて,最小二乗法による回帰直線の傾きは -0.92 となった。

次に,融雪期の水温と塩分,栄養塩の関係について調べた。融雪期として3月から5月までの月平均値を平均し融雪期平均とした。融雪期平均水温と融雪期平均硝酸塩+亜硝酸塩,および融雪期平均塩分の関係を見るために,それぞれ水温に対して硝酸塩+亜硝酸塩濃度(Fig.4-a),塩分に対して硝酸塩+亜硝酸塩濃度(Fig.4-b),水温に対して塩分(Fig.4-c)を,0m,5m層それぞれプロットした。その結果表層では水温と硝酸塩+亜硝酸塩,塩分と硝酸塩+亜硝酸塩の間に,負のスピアマンの順位相関が認められた($p<0.1$)。

4. 考察

水温と硝酸塩+亜硝酸塩の季節変化を見ると,硝酸塩+亜硝酸塩は1月に極値を示し,水温は2月に極値を示した。これは季節変化のなかでは,水温の低下が硝酸塩+亜硝酸塩の増加と一致しないことを示している。一方で1月から3月までの冬季間の平均値を用いると,5m層については両者の経年変化に負の相関が認められた(Fig.3-c)。この原因について考察する。

忍路湾外の石狩湾では,塩分が忍路湾より周年高い⁸⁾。11月から2月にかけて忍路湾内の塩分が表層,5m層ともに高くなるのは,秋季の降水による淡水の流入によって低塩化していた忍路湾内の海水が,淡水の供給が減少する冬季に,忍路湾外の海水と混合する過程を示していると考えられる。したがって,冬季の忍路湾においては,湾外との混合が最も進んだ2月に,硝酸塩+亜硝酸塩などの栄養塩類が極値を示すと予想される。しかし,忍路湾内ではChl-aの増加が示すように,2月に植物プランクトンの増殖による栄養塩類の消費が始まっており,同時に,忍路湾内の海藻類も著しく伸長することから(例えば阿部ら⁹⁾),海藻類による栄養塩類の消費も始まっていると考えられる。これらの栄養塩類の消費が湾外との混合による供給を上回るため,栄養塩類は1月から2月に減少すると推察される。

このように極値を示す時期が,月平均の水温と硝酸塩

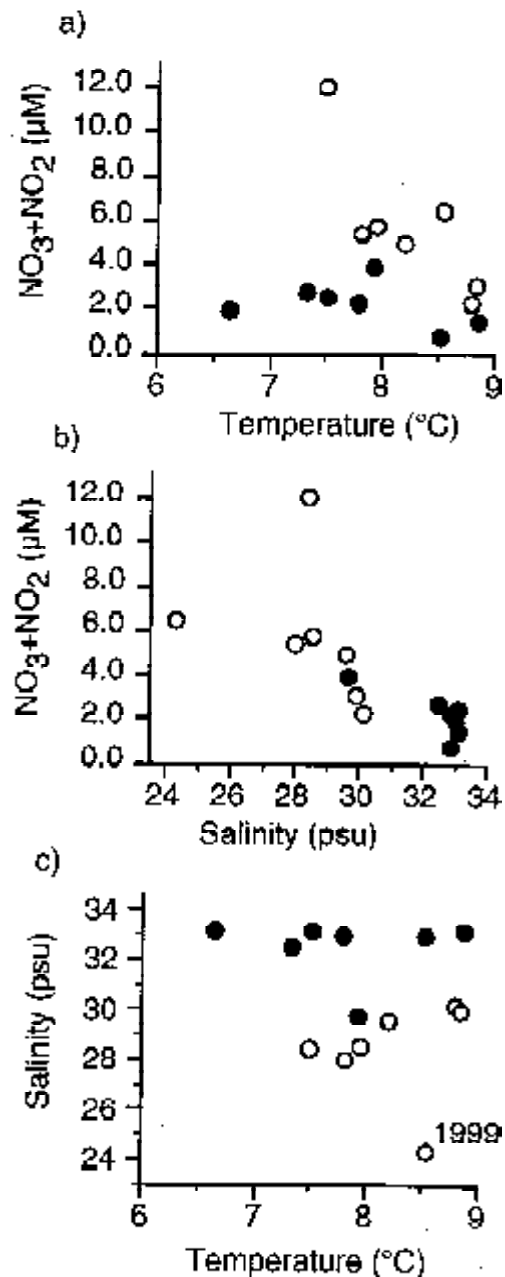


Fig. 4 Relationships between temperature and nitrate+nitrite(a), salinity and nitrate+nitrite(b), temperature and salinity(c) at 0m(○) and 5-mdepth(●) in low salinity period from March to May. a: $r_s=-0.71$, $n=7$, $p=0.07$, in the 0m-depth water(○). $r_s=-0.39$, $n=7$, $p=0.38$, in the 5m-depth water(●). b: $r_s=-0.82$, $n=7$, $p=0.02$, in the 0m-depth water(○). $r_s=-0.43$, $n=7$, $p=0.34$, in the 5m-depth water(●). c: $r_s=-0.57$, $n=7$, $p=0.18$, in the 0m-depth water(○). $r_s=-0.04$, $n=7$, $p=0.94$, in the 5m-depth water(●).

+亜硝酸塩で異なることに加え,それぞれが極値を示す時期には年によって違いがある。1月から3月までの平均値を用いてこれら極値を示す時期の違いを平均化し取り

除いた結果、有意な相関関係が得られたと考えられる。表層の水温と硝酸塩 + 亜硝酸塩では、有意な相関とはならなかった (Fig.3-c)。しかし、水温、硝酸塩 + 亜硝酸塩の経年変化を見ると表層と5m層とは変化傾向が類似しており (Fig.3-b)、表層の水温と硝酸塩 + 亜硝酸塩でも5m層同様に負の相関関係にあると推察される。

次に、表層と5m層をあわせた水温と硝酸塩 + 亜硝酸塩濃度の回帰直線の傾きについて比較する。飯泉¹⁰⁾は、北海道日本海西岸における硝酸塩濃度の鉛直分布から、鉛直的な混合を仮定した場合と、沖合と沿岸の水平的な混合を仮定した場合の水温と硝酸塩の回帰直線を求めた。忍路湾での表層と5m層をあわせた回帰直線の傾きは、水平的な混合の場合より傾きが大きく、鉛直的な混合の場合より傾きが小さかった。

忍路湾では、表層、5m層ともに3月にChl-a 極大を示した。その後5m層では5月にかけて硝酸塩 + 亜硝酸塩が減少するが、表層では硝酸塩 + 亜硝酸塩が4月に急増し年間最大値を示した。一般に、北海道西岸日本海では、春季Chl-a 極大 (ブルーミング) 時にプランクトンによって栄養塩類が消費され、栄養塩類は低濃度となる^{6,7)}。しかし忍路湾の表層では5月でも2,3月と同程度の硝酸塩 + 亜硝酸塩濃度になっていた。これは、融雪による陸域からの淡水供給が表層の塩分を低下させ、同時に陸域から硝酸塩 + 亜硝酸塩を供給するためと考えられる。この融雪期の低塩分には経年変化があり、低塩分の年ほど硝酸塩 + 亜硝酸塩濃度が高いことが示された。融雪期の表層の水温と塩分の関係では、有意な相関は得られていないものの、水温塩分それぞれの標準偏差の大きい時期でもあり、サンプリングが他の年の半分程度しか行われなかった1999年のデータを除くと正の相関が見込まれる。したがって、融雪による陸域からの淡水供給は、忍路湾内表層の低塩分と硝酸塩 + 亜硝酸塩濃度の上昇をもたらすだけでなく、表層の水温も下げようにも働くと考えられよう。

次に、本研究で明らかになった忍路湾の海洋環境が、ホソメコンブの生理生態に、環境因子としてどのような影響を与えるのか、過去の知見をもとに考察する。Chapman¹¹⁾らは、カナダ大西洋沿岸においてコンブの一種、*Laminaria longicruris*の葉体内のNO₃-N濃度は海水中の濃度変化と密接な関係があり、施肥による実験からNO₃-Nが成長の制限要因であることを明らかにした。日本では横山¹²⁾が、北海道函館沖においてホソメコンブ、マコンブ*Laminaria japonica*、ミツイシコンブ*Laminaria augustata*を養成し、葉体内NO₃-N濃度の季節変化を明らかにするとともに、葉体内のNO₃-N蓄積濃度の違いによりその後の生育に差の出る可能性を示唆

した。この様に、コンブ葉体内NO₃-N濃度は、海水中のNO₃-N濃度の季節変化に応じて変化し、春季に多く、その後夏季に向けて葉体内NO₃-N濃度が減少することが知られている。

忍路湾でも、松山¹³⁾が湾口部においてホソメコンブ葉体内の全窒素量と全炭素量の季節変化を水深別に調べ、生育水深によって葉体内の全窒素量に差が現れることを報告している。また、阿部¹⁴⁾は湾奥部の水深30~40cmの岩盤上において、ホソメコンブの成長様式と葉体内の各種成分含量の季節変化を調べている。松山¹³⁾の結果にある、7月に生育水深が浅くなるにしたがい葉体内全窒素量が増大するのは、浅所のホソメコンブほど、春季プランクトンのブルーミングの後、不足する栄養塩類に代わって、融雪による陸域からの窒素補給を利用できるためと推察される。これに加えて波浪による海水流動は、浅所ほど栄養塩の取り込みに対して有利に働く可能性がある。また、阿部¹⁴⁾が示した、ホソメコンブ葉体内の硝酸塩 + 亜硝酸塩が、4月下旬まで高い濃度で存在するのも、表層の高い硝酸塩 + 亜硝酸塩の影響を受けていたためと推察される。このように海洋環境のうち栄養塩環境は、ホソメコンブの質に強く影響しており、忍路湾における季節変化や深さによる差異といった栄養塩環境の特徴が、過去の調査結果からも確認できる。

木下¹⁵⁾は、1909年から1933年の後志管内のコンブ生産高 (石) と小樽市高島の水温との相関をとり、2月から6月まで0.5以上の相関があることを示した。大谷²⁾は1月から3月の冬季水温に、ホソメコンブ生育の適水温指数を定義する独自の処理を加え、冬季水温変動とホソメコンブ漁獲量変動との対応を示した。また、河野¹⁶⁾はホソメコンブ漁獲量の年変動からホソメコンブの漁獲量増加率を求め、この増加率の変動と3月から5月の水温変動との対応を示した。一般に海域の一次生産量は、栄養塩類の量と対応することから、水温とホソメコンブ漁獲量との変動の対応関係は、水温変動に伴う栄養塩類の変動が、ホソメコンブの質だけでなく、量的にも影響することを示唆している。

本研究では、忍路湾において彼らの注目した水温変動には随伴して栄養塩濃度の変動も存在することを示し、水温と栄養塩濃度との関係について明らかにした。同時に各環境要素の季節および経年変化の幅を示した。磯焼けの発生原因をより詳しく知るために、水温と栄養塩類のいずれが、どの時期のホソメコンブの生長にとって支配的な要因であるのか、今後の研究が待たれる。また、忍路湾の海洋環境が、どの程度石狩湾や北海道西岸日本海の海洋環境を代表し得るのか、石狩川の河川水の影響や石狩湾を含む忍路湾外の沖合域の環境変動との関連を調

査し、定量的に評価していく必要がある。

5. 要 約

忍路湾内の3地点において、1992年7月から1999年7月までの7年間、約10日に1度の頻度で水温、塩分、Chl-a濃度、透明度、硝酸塩 + 亜硝酸塩濃度、リン酸塩濃度を測定した。このデータから各環境条件の月平均値を求め、季節変化と経年変化、水温と栄養塩濃度の関係について調べた。

1. 忍路湾内の水平、鉛直方向の環境要因の差を求めた。塩分および硝酸塩 + 亜硝酸塩では、湾奥 - 湾口間の水平方向の差に比べ、表層-5m層間の鉛直方向の差が、年平均値で一桁大きいことがわかった。
2. 5m層の1月から3月までの冬季平均水温と硝酸塩 + 亜硝酸塩濃度との間には、負の相関関係が認められ、表層、5m層あわせた回帰直線の傾きは-0.92となった。
3. 3月から5月にかけての融雪期において、表層の平均水温と硝酸塩 + 亜硝酸塩濃度、および表層の平均塩分と硝酸塩 + 亜硝酸塩濃度に負の相関が認められた。

6. 謝 辞

忍路湾での調査に便宜を図っていただいた信太郎氏にお礼申し上げます。また、試料の分析に協力いただいた北海道立釧路水産試験場の平野和夫氏に感謝する。また、本研究の一部は水産庁委託による平成4-6年度特別研究、磯焼けの発生機構の解明と予測技術の開発および平成7-11年度忍路湾水域環境・生態系調査によって行われた。

参考文献

- 1) 吾妻行雄, 松山恵二, 中多章文, 川井唯史, 西川信良: 北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移. 日水誌, 63,(5), 672-680, (1997)
- 2) 大谷清隆, 大西光代: 北海道南西沿岸のこんぶ生産量の春ニシン漁獲量と沿岸水温による重回帰分析. 海の研究, 4, 175-185,(1995)
- 3) 松山恵二: 北海道の磯焼け対策. 育てる漁業, 217, 2-12, (1991) 北海道栽培漁業振興公社
- 4) Motoda, S., M. Kotori & H. Tahara: Long-term phyto-plankton change in Oshoro Bay, Hokkaido, and Matoya Bay, Central Honshu, Japan. *Bull. Mar. Sci.*, 41, 523-530, (1987)
- 5) 鹿又一良, 渡辺智視, 田中伊織, 小島守之, 茄子川郁夫: 石狩湾余市沖定点におけるクロロフィルaと栄養塩類の季節変化. 北海道立水産試験場報告, 28, 1-10, (1986)
- 6) 西浜雄二: 寿都湾の海洋条件の季節変化. 北水試月報, 39, 1-8, (1982)
- 7) 阿部英治, 松山恵二, 辻 寧昭: 忍路湾におけるホソメコンブの群落形成. 北水試報, 24, 41-50, (1982)
- 8) 北海道立中央水産試験場: 平成10年度石狩湾海域生態調査報告書. (1999)
- 9) 阿部英治, 垣内政宏, 松山恵二, 金子 孝: 忍路湾産ホソメコンブの生長について. 北海道立水産試験場報告, 27,101-110,(1985)
- 10) 飯泉 仁: "北海道日本海沿岸の磯焼け". 水産業の再生戦略. 東京, 恒星社厚生閣, 2000, 27-48.
- 11) Chapman A. R. O. & Craigie J. S.: Seasonal growth in *Laminaria longicuris*: Relations with dissolved inorganic nutrients and internal reserves of nitrogen. *Mar. Biol.*, 40, 197-205, (1977)
- 12) 横山雅仁, 三本菅善昭: 促成コンブ葉体内における硝酸態窒素の時期的変化. 北水研報告, 44, 67-72, (1979)
- 13) 松山恵二, 阿部英治, 金子 孝: 忍路湾産ホソメコンブの化学成分の季節変化. 藻類, 30, 134-138, (1982)
- 14) 阿部英治, 垣内政宏, 松山恵二, 金子 孝: 忍路湾のホソメコンブの生長と各種体内成分含有量の季節変化. 北海道立水産試験場報告, 25, 47-60, (1983)
- 15) 木下虎一郎, 酒井 健: 後志コンブの豊凶と沿岸水温との関係から昭和23年の凶作原因に及ぶ. 北水試月報, 6, (2), 1-7 (1949)
- 16) 河野時廣: 沿岸・沖合の流動条件と海藻群落から見た磯焼け予測技術. 研究成果, 317, 農林水産省農林水産技術会議, 1997, 81-89

Appendix
Monthly mean data in the Oshoro Bay (1962-1999)

Station 1-5m (Bottom 5-10m)		Sampling		Temperature		Salinity		Chlor		NO ₃ -NO ₂		PM		PM	
Year	Month	Number	Temperature	Salinity	Chlor	NO ₃ -NO ₂	PM	PM	NO ₃ -NO ₂	PM	PM	NO ₃ -NO ₂	PM	PM	PM
1962	Jul	2	21.8			0.30	305								
	Aug	2	22.1	32.920		0.1	N.D.								
	Sep	4	20.7	30.870	2.11	0.70	182								
	Oct	1	11.1	32.850	0.71	0.85	070								
	Nov	3	11.4	32.280	0.84	1.31	021								
	Dec	2	8.3	35.020	0.38	3.55	035								
1963	Jan	3	8.3	35.797	0.41	3.25	087								
	Feb	2	5.3	35.610	0.84	4.24	042								
	Mar	1	5.0	35.070	0.59	1.25	N.D.								
	Apr	1	7.5	37.160	0.35	0.70	021								
	May	2	11.0	35.040	0.25	1.45	004								
	Jun	2	13.7	30.920	1.98	0.85	002								
	Jul	5	19.9	33.770	1.51	0.88	002								
	Aug	1	20.2	32.932	1.72	0.20	003								
	Sep	4	19.5	35.425	2.24	0.1	004								
	Oct	3	15.5	32.620	0.89	1.44	016								
	Nov	1	13.1	32.207	0.85	1.73	N.D.								
	Dec	2	8.1	35.209	0.83	2.89	006								
1964	Jan	1	5.6	35.382	0.51	0.33	046								
	Feb	2	5.5	33.547	0.41	3.38	008								
	Mar	3	5.1	33.280	0.80	3.34	040								
	Apr	2	7.4	32.795	0.42	3.21	113								
	May	3	11.4	35.436	0.32	0.72	020								
	Jun	2	16.9	30.009	2.67	0.79	012								
	Jul	2	20.0	33.260	1.71	3.09	020								
	Aug	3	23.9	33.070	2.23	N.D.	N.D.								
	Sep	3	20.4	32.284	2.38	N.D.	N.D.								
	Oct	2	17.4	32.711	1.38	1.73	017								
	Nov	3	11.8	32.923	1.22	2.33	020								
	Dec	0													
1965	Jan	2	5.7	31.570	0.51	5.85	050								
	Feb	3	5.4	31.740	0.49	2.30	088								
	Mar	3	5.3	32.251	1.31	4.30	008								
	Apr	2	8.2	34.230	0.49	5.82	027								
	May	3	12.3	30.606	0.63	1.80	026								
	Jun	2	16.1	32.042	1.49	12.75	022								
	Jul	2	20.2	32.288	3.08	N.D.	071								
	Aug	3	21.5	31.040	1.68	1.70	027								
	Sep	6													
	Oct	5	16.8	30.671	0.66	4.87	029								
	Nov	1	11.2	30.415	0.35	4.24	077								
	Dec	1	2.8	31.023	0.43	5.28	037								
1966	Jan	1	5.2	32.611	0.73	4.82	026								
	Feb	1	4.6	31.517	0.32	4.87	029								
	Mar	2	4.2	32.242	0.58	2.92	070								
	Apr	3	8.4	31.872	0.95	11.77	028								
	May	3	10.8	32.941	0.38	4.72	022								
	Jun	3	14.7	29.280	1.02	1.51	074								
	Jul	4	18.0	31.207	2.72	0.40	020								
	Aug	3	21.7	32.349	1.45	0.78	070								
	Sep	4	20.4	31.025	1.85	3.30	028								
	Oct	2	14.2	31.205	0.53	4.33	020								
	Nov	0													
	Dec	1	5.2	32.429	0.22	5.36	028								
1967	Jan	2	5.2	30.827	0.69	4.81	041								
	Feb	0													
	Mar	1	4.6	31.485	1.78	5.71	028								
	Apr	3	8.0	32.357	0.82	22.00	020								
	May	3	10.8	34.425	0.30	10.00	013								
	Jun	4	16.3	30.005	2.23	5.30	020								
	Jul	2	20.3	32.271	1.86	3.7	047								
	Aug	2	22.1	31.184	2.88	2.80	048								
	Sep	4	20.7	33.124	2.87	3.24	047								
	Oct	2	14.8	31.448	0.62	11.21	046								
	Nov	3	1.2	31.453	0.82	5.08	040								
	Dec	1	6.0	32.118	0.90	5.21	042								
1968	Jan	2	5.1	31.241	0.35	3.71	040								
	Feb	2	8.2	32.625	2.50	2.23	023								
	Mar	3	4.8	32.169	0.55	5.41	046								
	Apr	3	8.1	32.277	1.01	7.41	024								
	May	3	10.3	30.681	0.69	5.20	026								
	Jun	3	16.7	31.615	4.47	0.31	011								
	Jul	3	11.4	33.071	1.81	0.91	042								
	Aug	3	21.1	31.112	2.27	0.23	044								
	Sep	2	21.2	32.624	1.63	0.70	047								
	Oct	2	17.5	32.755	0.58	0.52	047								
	Nov	0													
	Dec	1	5.1	32.079	0.51	3.90	020								
1969	Jan	1	3.6	31.103	0.41	4.2	040								
	Feb	1	3.1	32.283	0.20	2.50	039								
	Mar	1	3.8	33.150	3.71	4.21	030								
	Apr	0													
	May	1	10.5	30.454	0.50	4.27	018								
	Jun	1	15.8	32.703	3.12	0.20	011								
	Jul	1	19.6	32.685	1.42	0.68	026								

N.D.: not detected

Station 1-5m (Bottom 5-10m)		Sampling		Temperature		Salinity		Chlor		NO ₃ -NO ₂		PM		PM	
Year	Month	Number	Temperature	Salinity	Chlor	NO ₃ -NO ₂	PM	PM	NO ₃ -NO ₂	PM	PM	NO ₃ -NO ₂	PM	PM	PM
1967	Jul	2	22.1			0.30	305								
	Aug	2	21.3			0.1	N.D.								
	Sep	4	20.3	32.105	1.66	0.20	020								
	Oct	4	15.1	33.345	1.04	3.74	024								
	Nov	3	11.2	32.250	0.73	1.85	027								
	Dec	2	7.2	32.420	0.50	3.67	024								
1968	Jan	3	6.2	32.825	0.69	1.58	026								
	Feb	3	5.4	33.101	0.50	4.34	041								
	Mar	1	6.5	32.324	1.40	3.37	017								
	Apr	4	8.7	32.253	1.25	3.60	N.D.								
	May	3	10.4	32.172	0.80	4.24	N.D.								
	Jun	3	14.2	33.325	1.23	4.21	004								
	Jul	4	18.3	33.585	0.79	4.04	N.D.								
	Aug	4	18.3	33.220	1.05	4.2	N.D.								
	Sep	4	18.2	33.124	1.82	4.20	004								
	Oct	3	18.2	33.070	1.13	3.8	014								
	Nov	1	13.3	32.847	0.71	3.02	016								
	Dec	2	8.7	33.336	0.87	1.85	020								
1969	Jan	1	5.2	32.282	0.79	3.92	045								
	Feb	2	5.1	32.635	0.52	1.48	029								
	Mar	3	4.1	32.6	1.05	2.20	040								
	Apr	2	6.3	32.623	1.83	4.24	031								
	May	2	10.7	32.122	0.43	3.62	004								
	Jun	2	14.7	31.175	1.33	4.21	013								
	Jul	2	18.4	31.071	1.85	4.0	014								
	Aug	3	22.2	31.103	2.29	4.71	N.D.								
	Sep	3	22.3	32.433	2.04	4.0	N.D.								
	Oct	2	17.3	33.167	1.14	3.8	017								
	Nov	3	11.3	32.940	1.09	1.45	026								
	Dec	0													
1970	Jan	2	6.3	32.222	0.72	4.81	032								
	Feb	2	6.8	32.062	0.62	3.40	040								
	Mar	3	5.3	32.747	0.52	6.40	015								
	Apr	2	8.2	28.940	1.27	2.8	020								
	May	3	11.7	32.030	0.69										

Appendix
Monthly mean data in the Oshoro Bay (1992-1999)

Station 20m		Sampling		Temperature		Salinity		pH		NO ₃ -NO ₂		NH ₄ -N		TP	
Year	Month	Number	°C	psu	# of Data	μM	μM	μM	μM	μM	μM	μM	μM	μM	μM
1992	Jul	2	21.3		0.30	0.00	0.22								
	Aug	2	21.0	31.80	0.35	ND	0.02								
	Sep	1	20.5	31.86	1.46	0.35	7.13								
	Oct	4	19.4	32.15	2.79	0.30	ND	0.04							
	Nov	4	18.8	32.54	2.82	0.11	2.51								
	Dec	4	7.8	32.95	2.67	3.12	0.32	0.02							
1993	Jan	4	8.0	31.26	2.69	3.64	0.34	0.03							
	Feb	5	5.5	31.01	2.82	1.73	0.49	0.03							
	Mar	2	6.7	31.12	1.68	2.46	0.73	0.03							
	Apr	2	7.4	27.58	2.47	3.03	0.12	0.24							
	May	3	10.4	26.58	2.31	1.42	0.04	7.73							
	Jun	4	15.7	27.44	1.34	0.87	ND	0.03							
	Jul	2	20.1	31.01	1.26	0.16	0.09	0.22							
	Aug	1	23.1	31.05	1.40	0.22	ND	0.04							
	Sep	2	19.4	25.23	1.74	0.17	ND	0.04							
	Oct	4	15.0	22.67	2.79	1.44	0.12	3.43							
	Nov	4	11.5	22.44	2.75	1.75	0.12	3.03							
	Dec	1	0.1	31.07	2.68	3.07	0.27	4.02							
1994	Jan	1	8.0	31.99	2.77	3.61	0.40	4.21							
	Feb	2	5.3	31.19	2.68	1.99	0.19	0.27							
	Mar	4	5.0	31.03	2.20	2.97	0.29	0.26							
	Apr	4	7.4	27.23	2.84	1.38	0.21	4.42							
	May	3	11.5	24.97	2.26	2.77	0.25	3.62							
	Jun	3	16.9	20.23	1.60	0.91	0.13	0.22							
	Jul	2	20.5	31.60	2.87	0.12	0.05	6.62							
	Aug	1	24.1	31.71	2.38	ND	ND	0.28							
	Sep	4	22.5	31.43	2.32	2.35	0.15	7.20							
	Oct	1	16.4	31.09	1.71	1.00	0.27	0.22							
	Nov	2	12.0	32.25	1.17	2.81	0.32	1.93							
	Dec	2	7.8	31.26	1.13	2.82	0.46								
1995	Jan	4	5.4	31.63	2.83	2.77	0.35	0.02							
	Feb	3	5.3	31.64	2.67	2.16	0.39	0.23							
	Mar	2	8.2	27.97	1.95	1.46	0.23	0.03							
	Apr	3	7.8	27.67	2.45	4.25	0.24	0.27							
	May	3	12.0	28.78	2.28	3.88	0.18	0.09							
	Jun	2	16.0	31.42	1.63	1.31	0.10	0.27							
	Jul	2	23.6	31.00	1.16	ND	0.09	0.03							
	Aug	2	21.7	31.08	1.46	1.19	0.12	1.00							
	Sep	0													
	Oct	2	15.7	31.35	1.85	4.63	0.18	7.23							
	Nov	4	10.0	27.63	2.71	2.15	0.24	0.71							
	Dec	4	7.7	27.62	1.94	3.44	0.34	0.21							
1996	Jan	3	1.0	31.00	2.86	5.18	0.30	3.51							
	Feb	2	4.2	31.24	1.48	3.29	0.29	0.61							
	Mar	1	5.0	31.27	1.82	2.26	0.16	0.27							
	Apr	2	7.2	27.27	1.88	3.29	0.28	0.03							
	May	2	10.9	24.93	2.31	4.21	0.22	0.20							
	Jun	3	14.5	21.74	2.00	1.13	0.12	0.23							
	Jul	4	18.9	31.72	2.83	0.94	0.04	0.44							
	Aug	3	21.7	31.71	2.03	0.54	0.08	0.03							
	Sep	2	23.0	31.69	1.85	1.35	0.10	0.15							
	Oct	3	19.7	31.82	1.47	2.90	0.26	0.72							
	Nov	1	11.1	31.84	2.29	1.39	0.29								
	Dec	1	8.8	31.64	2.02	3.07	4.85	0.30							
1997	Jan	4	5.5	31.48	2.50	6.00	0.42	0.02							
	Feb	3	4.6	31.22	1.30	3.48	0.33								
	Mar	2	4.4	31.13	3.24	2.34	0.27	0.01							
	Apr	3	8.1	25.93	2.65	23.04	0.45	0.23							
	May	4	9.9	25.07	2.66	5.99	0.37	0.73							
	Jun	1	11.4	20.22	2.22	5.94	0.25	7.44							
	Jul	3	19.8	27.62	1.75	5.11	0.22	7.42							
	Aug	2	23.8	31.23	2.26	2.89	0.11	3.97							
	Sep	1	20.7	31.16	2.21	3.19	0.18	0.44							
	Oct	1	18.2	31.91	2.83	3.47	0.28	1.02							
	Nov	3	11.3	31.43	2.25	7.27	0.24	0.20							
	Dec	4	8.0	31.73	2.68	2.94	0.24	1.04							
1998	Jan	2	8.2	31.43	2.59	3.32	0.37	7.52							
	Feb	2	5.5	31.42	2.51	2.23	0.38	0.22							
	Mar	1	1.0	30.90	1.79	6.50	0.45	0.22							
	Apr	3	7.0	28.84	1.86	3.31	0.23	0.28							
	May	2	12.0	30.12	2.88	2.80	0.23	7.72							
	Jun	4	15.1	31.47	3.05	0.28	0.22	0.03							
	Jul	2	21.3	32.92	1.28	ND	0.08	0.23							
	Aug	1	21.0	32.91	2.16	0.22	0.10	0.23							
	Sep	2	21.4	31.14	1.43	0.34	0.08	0.02							
	Oct	3	17.3	32.90	2.90	0.98	0.14	0.02							
	Nov	3	10.5	31.13	2.81	2.89	0.23								
	Dec	2	7.8	31.07	2.79	3.28	0.20	1.00							
1999	Jan	1	5.2	31.43	2.67	4.27	0.42	0.21							
	Feb	1	3.5	31.23	2.71	4.22	0.25	0.21							
	Mar	1	4.2	31.29	2.57	4.82	0.37	0.11							
	Apr	1	10.7	18.70	2.57	0.24	0.31								
	May	2	13.7	22.87	2.26	4.22	0.16	0.50							
	Jun	1	16.8	31.67	1.85	0.20	0.09	0.03							
	Jul	1	18.5	32.83	1.24	3.71	0.06	0.21							

ND: not detected
Transp.: transparency. Numbers in () are sampling number of the transparency.

Station 2-5m		Sampling		Temperature		Salinity		pH		NO ₃ -NO ₂		NH ₄ -N		TP	
Year	Month	Number	°C	psu	# of Data	μM	μM	μM	μM	μM	μM	μM	μM	μM	μM
1992	Jul	2	21.3		0.30	0.00	0.22								
	Aug	2	21.1	31.34	0.35	ND	0.02								
	Sep	4	20.2	31.52	1.54	0.18	0.19								
	Oct	4	15.7	32.55	2.96	0.28	0.28								
	Nov	1	11.2	31.64	2.91	3.47	0.34	0.16							
	Dec	4	5.0	31.75	2.59	3.07	0.34	0.16							
1993	Jan	4	8.2	31.60	2.77	3.47	0.34	0.16							
	Feb	5	5.5	31.34	2.81	3.29	0.28	0.28							
	Mar	2	6.6	27.58	2.10	2.57	0.28	0.16							
	Apr	5	5.0	27.42	1.44	3.94	0.28	0.16							
	May	3	11.2	24.24	2.30	4.00	0.28	0.16							
	Jun	4	14.6	31.50	2.08	0.27	0.28	0.16							
	Jul	4	18.7	31.08	2.52	0.10	0.28	0.16							
	Aug	4	19.2	31.67	1.42	ND	0.28	0.16							
	Sep	5	19.4	31.70	1.81	ND	0.28	0.16							
	Oct	4	15.7	31.94	1.26	0.28	0.28	0.16							
	Nov	4	11.6	31.52	2.08	1.70	0.28	0.16							
	Dec	4	5.2	31.28	2.68	3.07	0.28	0.16							
1994	Jan	4	5.5	31.41	2.68	3.07	0.28	0.16							
	Feb	4	5.5	31.41	2.68	3.07	0.28	0.16							
	Mar	5	5.5	31.41	2.68	3.07	0.28	0.16							
	Apr	1	5.9	27.42	1.44	3.94	0.28	0.16							
	May	3	10.4	24.93	2.70	5.00	0.28	0.16							
	Jun	3	15.1	31.47	3.08	0.28	0.28	0.16							
	Jul	2	18.0	31.52	1.26	0.10	0.28	0.16							
	Aug	4	23.2	31.52	2.12	ND	0.28	0.16							
	Sep	4	22.5	31.60	1.81	1.67	0.28	0.16							
	Oct	3	17.4	31.15	1.48	1.71	0.28	0.16				</			

Appendix
Monthly mean data in the Oshoro Bay (1992-1999)

Station 3-3a										Station 3-3b											
Year	Month	Sample Number	Temp. (°C)	chl. a (µg/L)	chl. b (µg/L)	chl. c (µg/L)	chl. d (µg/L)	chl. e (µg/L)	chl. f (µg/L)	chl. g (µg/L)	chl. h (µg/L)	chl. i (µg/L)	chl. j (µg/L)	chl. k (µg/L)	chl. l (µg/L)	chl. m (µg/L)	chl. n (µg/L)	chl. o (µg/L)	chl. p (µg/L)	chl. q (µg/L)	
1992	Jul	2	21.0																		
1992	Aug	2	21.8	32.790																	
1992	Sep	2	20.3	21.605	1.57																
1992	Oct	2	14.4	32.846	1.02																
1992	Nov	2	12.2	21.480	0.64	2.58															
1992	Dec	2	7.2	34.796	0.62	2.99	0.34	4.57													
1993	Jan	2	5.1	32.430	0.56	3.79	0.30	12.220													
1993	Feb	2	5.8	32.928	0.86	4.11	0.42	20.720													
1993	Mar	2	5.8	32.064	1.38	3.21	0.32	25.110													
1993	Apr	2	7.4	28.014	0.95	4.16	0.62	27.740													
1993	May	2	11.0	28.310	0.76	2.61	0.12	10.120													
1993	Jun	2	16.2	21.184	1.21	0.22	0.12	10.620													
1993	Jul	2	19.8	22.778	1.08	0.17	0.12	12.420													
1993	Aug	2	23.2	32.142	1.85	0.22	0.12	11.940													
1993	Sep	2	19.5	21.519	1.65	0.02	0.12	10.040													
1993	Oct	2	15.0	32.618	0.84	1.47	0.02	2.220													
1993	Nov	2	13.3	22.022	0.82	0.12	0.12	10.840													
1993	Dec	2	8.7	32.227	0.82	1.87	0.12	2.220													
1994	Jan	2	7.1	32.482	0.36	4.75	0.34	24.120													
1994	Feb	2	5.0	32.219	0.51	4.15	0.40	16.420													
1994	Mar	2	4.9	32.524	1.24	2.62	0.42	11.120													
1994	Apr	2	8.0	24.020	0.20	0.82	0.32	2.220													
1994	May	2	11.3	22.928	0.20	3.15	0.24	1.720													
1994	Jun	2	18.0	32.700	2.78	1.04	0.12	2.220													
1994	Jul	2	19.9	32.227	2.59	0.24	0.12	2.220													
1994	Aug	2	23.8	32.726	1.71	0.10	0.12	1.020													
1994	Sep	2	23.1	32.375	2.14	0.12	0.12	1.020													
1994	Oct	2	17.6	32.987	1.73	1.02	0.12	1.020													
1994	Nov	2	12.1	32.006	1.30	2.92	0.26	1.020													
1994	Dec	2	5.7	32.422	0.50	5.20	0.32	12.620													
1995	Jan	2	5.4	32.052	0.52	2.89	0.42	12.320													
1995	Feb	2	5.6	32.517	0.68	3.18	0.10	2.020													
1995	Mar	2	7.0	28.412	0.17	3.11	0.22	2.020													
1995	Apr	2	11.8	22.150	0.57	1.32	0.12	10.820													
1995	May	2	15.9	32.286	1.40	3.62	0.10	4.020													
1995	Jun	2	20.2	32.544	2.22	0.10	0.02	2.020													
1995	Jul	2	21.9	32.265	2.27	0.39	1.42	2.020													
1995	Aug	2	18.5	32.242	1.21	2.72	0.02	2.020													
1995	Sep	2	11.7	32.719	0.26	4.32	0.10	2.020													
1995	Oct	2	8.9	32.082	0.59	3.48	0.22	2.020													
1995	Nov	2	6.5	32.220	0.38	5.30	0.22	2.020													
1995	Dec	2	5.0	32.228	0.41	4.20	0.22	12.120													
1996	Jan	2	5.1	32.224	0.39	2.20	0.12	12.420													
1996	Feb	2	7.7	22.222	0.82	2.64	0.12	2.020													
1996	Mar	2	10.5	22.224	0.30	4.07	0.22	2.020													
1996	Apr	2	14.2	32.066	1.27	1.04	0.02	11.220													
1996	May	2	16.7	32.028	2.25	1.10	0.02	11.220													
1996	Jun	2	19.7	32.222	1.24	0.02	0.02	11.220													
1996	Jul	2	20.2	32.222	1.86	0.25	0.12	11.020													
1996	Aug	2	14.1	32.132	0.81	2.14	0.12	2.020													
1996	Sep	2	5.2	32.226	0.75	4.45	0.32	22.320													
1996	Oct	2	4.2	32.028	0.25	3.82	0.22	11.220													
1996	Nov	2	3.0	22.628	0.24	17.72	0.22	2.020													
1996	Dec	2	10.2	22.648	0.32	10.24	0.24	11.020													
1997	Jan	2	15.2	32.429	2.12	0.66	0.22	22.340													
1997	Feb	2	22.3	32.748	0.85	3.41	0.11	22.320													
1997	Mar	2	21.0	32.128	2.81	3.04	0.11	12.020													
1997	Apr	2	21.0	32.024	2.61	3.42	0.11	22.320													
1997	May	2	15.1	21.604	1.54	0.82	0.22	22.320													
1997	Jun	2	11.4	32.745	0.82	6.40	0.22	22.320													
1997	Jul	2	8.9	32.420	0.72	3.57	0.11	22.320													
1997	Aug	2	7.2	32.016	0.62	3.85	0.22	22.320													
1997	Sep	2	4.4	32.222	0.60	6.72	0.42	22.320													
1997	Oct	2	3.0	22.220	1.77	2.65	0.12	22.320													
1997	Nov	2	1.7	22.246	0.42	3.22	0.12	22.320													
1997	Dec	2	5.4	32.220	2.19	0.02	0.12	22.320													
1998	Jan	2	11.0	32.920	1.10	0.02	0.02	22.320													
1998	Feb	2	13.9	31.628	2.19	0.22	0.02	22.320													
1998	Mar	2	17.7	22.246	0.42	3.22	0.12	22.320													
1998	Apr	2	21.9	31.628	2.19	0.22	0.02	22.320													
1998	May	2	21.1	32.028	1.53	0.22	0.02	11.220													
1998	Jun	2	8.1	32.028	1.08	0.22	0.02	22.320													
1998	Jul	2	7.2	32.215	0.88	4.11	0.22	22.320													
1998	Aug	2	6.2	32.410	0.52	4.44	0.42	22.320													
1998	Sep	2	5.8	32.220	0.22	4.88	0.22	22.320													
1998	Oct	2	4.6	32.414	0.54	5.20	0.22	22.320													
1998	Nov	2	3.5	24.225	0.44	3.25	0.12	10.020													
1998	Dec	2	8.1	32.222	2.02	3.30	0.02	10.020													
1998	Jan	2	2.8	32.224	1.21	0.88	0.02	10.020													
1999	Jul	2	21.0																		
1999	Aug	2	21.2	32.790																	
1999	Sep	2	20.3	21.605	1.57																
1999	Oct	2	14.4	32.846	1.02																
1999	Nov	2	12.2	21.480	0.64	2.58															
1999	Dec	2	7.2	34.796	0.62	2.99	0.34	4.57													
2000	Jan	2	5.1	32.430	0.56	3.79	0.30	12.220													
2000	Feb	2	5.8	32.928	0.86	4.11	0.42	20.720													
2000	Mar	2	5.8	32.064	1.38	3.21	0.32	25.110													
2000	Apr	2	7.4	28.014	0.95	4.16	0.62	27.740													
2000	May	2	11.0	28.310	0.76	2.61	0.12	10.120													

カラフトマス肉糊の加熱ゲル形成に及ぼす温度の影響と物性の改善

武田浩郁^{*1}, 飯田訓之^{*1}, 信太茂春^{*1}, 錦織孝史^{*2}

Influence of Heating Temperature on Gel-Forming Property and Rheological Improvement of Salt-Ground Meat from Pink Salmon.

Hirofumi TAKEDA^{*1}, Toshiyuki IIDA^{*1}, Shigeharu NOBUTA^{*1} and Takafumi NISHIKIORI^{*2}

The salted surimi paste was prepared from pink salmon with 3% NaCl in the presence and absence of protease inhibitor or various food additive. When salted surimi paste of pink salmon was incubated at 30°C and 40°C, a remarkable loss of the breaking strength of two-step heating gel occurred simultaneously with breakdown of myosin heavy chain. But this phenomenon was effectively suppressed by the addition of cysteine protease inhibitor (E-64) or bovine plasma powder. These results indicated that a remarkable loss of the breaking strength of two-step heating gel was attributed to proteolysis of myosin heavy chain in myofibrillar protein by endogenous protease in muscle of pink salmon. It is effective that the addition of food additive containing transglutaminase improved properties of two-step heating gel. Heat-induced gel of pink salmon and chum salmon was same properties. It is an effective method that use of food additive containing transglutaminase and bovine plasma powder improve gel-forming properties.

キーワード: カラフトマス, すり身, 加熱ゲル, トランスグルタミナーゼ, 牛血漿粉末

まえがき

近年, 練り製品の原料については, 国産冷凍すり身の生産量の減少を受けて, 輸入冷凍すり身に大きく頼らざるをえない状況にある。また, 冷凍すり身原料の代表的な魚種であるスケトウダラは, 国内の安定供給が困難となり, 冷凍すり身の生産も不安定になっている。サケはふ化放流事業の進展により漁獲量は安定しており, 市場への供給過剰に対応するための一つとして, サケのすり身化も試みられている。しかし, サケを原料とした練り製品は, スケトウダラとは異なり, 坐りの効果が認められない。そのため弾力性に富んだいわゆる“足”の強い加熱ゲルは形成されない。また, サケにはタンパク質分解酵素活性が存在しており, ゲル形成を阻害していることも知られており, 練り製品の弾力低下を招く一因として考えられている¹⁻³⁾。一方で, 北海道沿岸で漁獲されるカラフトマス(以下, マスとする)の加工製品としては, 缶詰や塩蔵品と少ないことから, マスの利用拡大の一助

として冷凍すり身の原料としての利用が考えられる。しかし, その加熱ゲル特性に関しては, 充分な検討がなされていない。このため本研究では, マスのすり身の加熱ゲル特性, 特に加熱ゲル形成に関わる, 加熱温度の影響と, タンパク質分解酵素阻害剤の効果について検討したので報告する。

材料及び方法

1. 材料

カラフトマス Pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) は, 婚姻色の現れている通称ブナマスの生鮮品を原料魚として使用した。なお, 原料魚はすり身の調製に用いるまで-30℃で凍結貯蔵した。ペプスタチンAおよびN-[N-(L-3-trans-carboxyoxiran-2-carbonyl)-L-leucyl]agmatine (E-64)はそれぞれ(株)ペプチド研究所製の精製標品を用いた。トランスグルタミナーゼ製剤(以下, TG-ase製剤とする)は(株)味の素製のアクティバTG-K, 牛血

報文番号 A 328 (2001年1月11日受理)

*1 北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station, Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan)

*2 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

漿粉末（以下、BPPとする）は（株）太陽化学製のBP10を使用した。

マスすり身の調製方法は、原料魚から採肉した落とし身を4倍量の水道水で3回水晒し（3回目は0.3%食塩水）、脱水後、脱水肉重量に対して5%ショ糖、0.3%重合リン酸塩（ポリリン酸ナトリウム：ピロリン酸ナトリウム = 1:1）を添加してマスのすり身を調製した。調製したすり身は試験に供するまで、-40℃で保存した。

2. 1段加熱ゲルと2段加熱ゲルの調整

室温にて半解凍した冷凍すり身を細切し、0.4N HClあるいは0.4N NaOHを添加してpH7.0に調整した。タンパク質分解酵素阻害剤を添加する場合には、すり身1gに対してE-64あるいはペプスタチンAを100 µg添加した。TG-ase製剤とBPPを添加する場合も、肉糊に対して所要量を添加した。それぞれのすり身中のタンパク質濃度を一定にするため、pH調整およびタンパク質分解酵素阻害剤水溶液による水の増量分を含めて、すり身重量に対して10%の蒸留水を添加した。塩ずりは10%加水すり身に対して3%食塩を添加し、スピードカッター（（株）ナショナルMK-K75）を用いて5℃で4分間擂潰し、肉糊とした。さらに肉糊中の気泡を抜いた後、内径30mmのプラスチック製容器に充填し、キャップで密封して10℃～60℃に調整した水槽中で任意の時間加熱（以下、1段加熱とする）を行い、得られたゲルを1段加熱ゲルとした。さらに1段加熱ゲルを90℃の水槽中で30分間加熱（以下、2段加熱とする）したものを2段加熱ゲルとした。

3. ゲルの物性測定

1段加熱ゲルは経時的に取り出し、直ちに測定に供した。2段加熱ゲルは、直ちに氷水中で5℃以下に冷却した後、室温に2時間以上放置し、測定に供した。ゲルの高さを25mmとし、レオメーター（不動工業株式会社 NRM-3005D）により、直径5mmの球形プランジャーを60mm/minの速度で押し込み、破断した時点での荷重（g）と凹み（mm）を測定し、それぞれを破断強度および凹みとして物性を表した。

4. SDS-ポリアクリルアミド電気泳動（SDS-PAGE）法による筋肉タンパク質のサブユニット成分の解析

電気泳動用試料は西本ら⁴⁾の方法に従い、2段加熱ゲルをSDS-尿素溶液（2% SDS - 8 M 尿素 - 2% 2-mercaptoethanol-20mM Tris-HCl, pH8.0）に溶解して調製した。電気泳動は0.5%アガロースを含む3%ポリアクリルアミドのスラブゲルを用い、Laemmli⁵⁾の方法に従って行った。バンドの染色には0.12%Coomassie Brilliant

Blue-R250-50%メタノール-10%酢酸を用いた。脱色は50%メタノール-7.5%酢酸で行った。

結果

1. マスすり身より調製した1段加熱ゲルの加熱温度の違いによる物性値の変化

マスすり身肉糊の1段加熱ゲルおよび2段加熱ゲルの破断強度および凹みをFig.1に示した。1段加熱ゲルにおいて、破断強度は30℃以下の加熱で大きな変化は見られなかったが、40℃以上の加熱を行うと破断強度は増大した。ただし、60℃では加熱1時間以降、破断強度は減少した。2段加熱ゲルにおいて、1段加熱が20℃以下では加熱時間による物性値の変化はなかった。しかし、30℃以上の加熱では、加熱時間とともに破断強度が低下する傾向を示し、特に30℃で加熱したものは6時間の加熱で破断強度が約半分に低下した。また、凹みについても上述した破断強度とほぼ同様の変化を示した。

2. マスすり身より調製した加熱ゲル物性に及ぼすタンパク質分解酵素阻害剤の影響

マスすり身にタンパク質分解酵素阻害剤を添加して調製した肉糊を30℃で加熱した1段加熱と2段加熱ゲルの破断強度をFig.2（上段）に示した。タンパク質分解酵素阻害剤無添加あるいはペプスタチンAを添加した1段加熱ゲルでは、加熱時間とともに破断強度は増加したが、その増加量は小さかった。一方、E-64を添加した1段加熱ゲルでは、加熱時間ともなう破断強度の増加は無添加よりも大きく、加熱3時間では無添加の約3倍の値となった。タンパク質分解酵素阻害剤無添加における2段加熱ゲルの破断強度は、直接加熱（1段加熱0時間）が最も高く、1段加熱時間が長くなるにつれて減少し、1段加熱3時間では直接加熱（1段加熱0時間）の約55%の値となった。また、ペプスタチンAを添加した2段加熱ゲルの破断強度は、直接加熱（1段加熱0時間）が最も高く、無添加よりもやや高い値を示した。しかし、1段加熱時間が長くなるにつれて破断強度は無添加と同様に減少し、1段加熱3時間で直接加熱（1段加熱0時間）の約65%の値となった。一方、E-64を添加した2段加熱ゲルの破断強度は、1段加熱3時間までほとんど減少はみられなかった。

マスすり身にタンパク質分解酵素阻害剤を添加して調製した肉糊を30℃で加熱した1段加熱と2段加熱ゲルの凹みをFig.2（下段）に示した。タンパク質分解酵素阻害剤無添加あるいはペプスタチンAを添加した1段加熱ゲルでは、1段加熱の時間とともに凹みは増加し、1段加熱3時間で直接加熱（1段加熱0時間）の約2倍の値となった。一方、

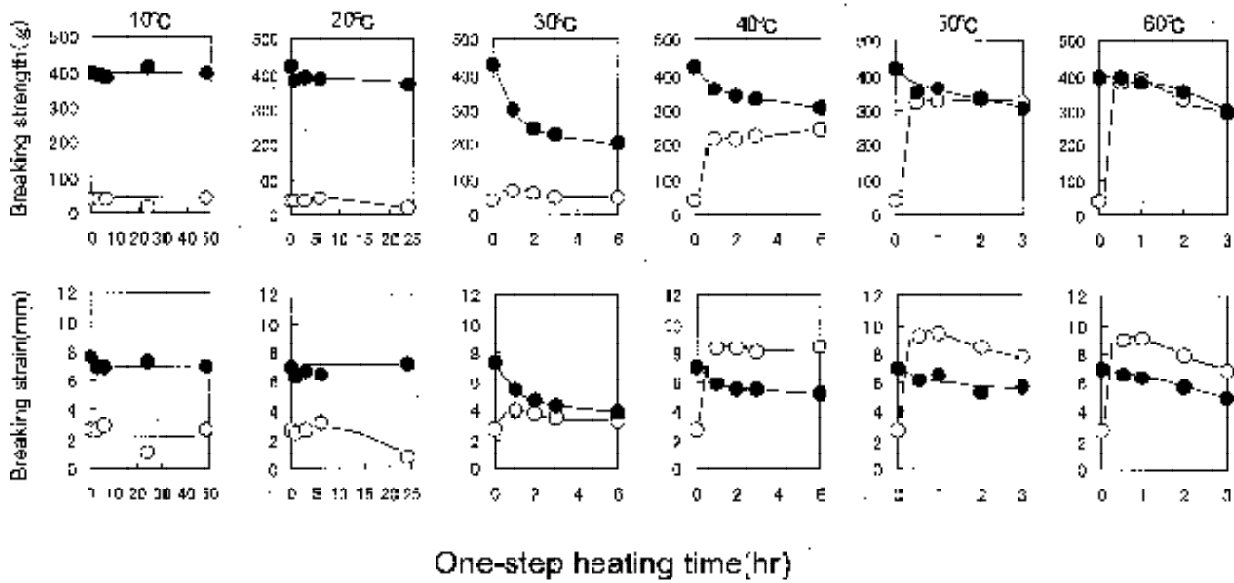


Fig. 1 Changes in breaking strength and breaking strain of gels by one-step heating and two-step heating from salted surimi paste of pink salmon.

Open and closed symbols indicate one-step and two-step heating gels. Each point is the mean of five determinations.

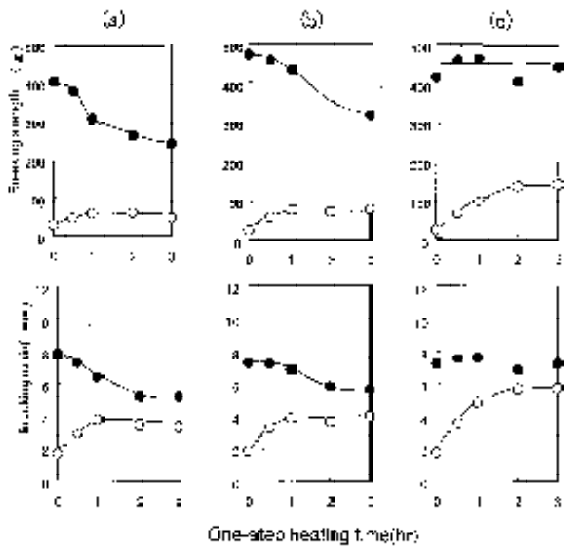


Fig. 2 Effect of the addition of chemical protease inhibitors on the gel strength.

The salted surimi paste was incubated at 30 to prepare one-step heating gel. Symbols are the same as in Fig. 1.

(a), without protease inhibitor; (b), With PepstatinA; (c), with E-64.

E-64を添加した1段加熱ゲルでは、加熱時間ともなう破断強度の増加は無添加よりも大きく、1段加熱3時間では無添加の約1.5倍の値となった。タンパク質分解酵素阻害剤無添加あるいはペプスタチンAを添加した2段加熱ゲルの凹みは、直接加熱(1段加熱0時間)が最も高く、1段加

熱時間が長くなるにつれて減少し、1段加熱3時間で直接加熱(1段加熱0時間)のそれぞれ約75%の値となった。一方、E-64を添加した2段加熱ゲルの凹みは、直接加熱では無添加やペプスタチンAと同程度の値を示したが、1段加熱3時間までほとんど減少が見られなかった。

3. マスすり身より調製した2段加熱ゲルの物性値に及ぼすBPP添加の影響

マスすり身にBPPが終濃度で0%~2%となるように添加したマスすり身肉糊について、1段加熱を30として調製し、2段加熱ゲルの破断強度と凹みをFig.3に示した。BPP無添加の場合、1段加熱時間が長いほど、破断強度の値が減少し、1段加熱3時間で直接加熱(1段加熱0時間)の約50%の値となった。しかし、BPPの添加量が増加するに従って、その減少量は低下し、2%BPPの添加では1段加熱時間ともなう破断強度の減少は見られなかった。また、凹みについても同様に2%BPPの添加で、減少は見られなかった。

4. マスすり身より調製した2段加熱ゲルの物性値に及ぼすBPPとTG-ase製剤添加の影響

マスすり身にBPPとTG-ase製剤を所定の濃度となるように添加したマスすり身肉糊について1段加熱を30として調製した2段加熱ゲルの破断強度と凹みをFig.4に示し

た。2段加熱ゲルの破断強度は、無添加とBPP単独の場合、Fig.3の結果とほぼ同様であった。TG-ase単独では、1段加熱3時間で直接加熱（1段加熱0時間）より約1.5倍高い値を示した。TG-ase製剤とBPPの併用では、さらに高い破断強度の値が得られ、1段加熱3時間で直接加熱（1段加熱0時間）より約2倍高い値を示した。2段加熱ゲルの凹みは、無添加とBPP単独の場合、Fig.3の結果とほぼ同様であった。TG-ase製剤単独あるいはTTG-ase製剤とBPPの併用では、直接加熱（1段加熱0時間）よりそれぞれ約1.0、1.3倍の値を示した。

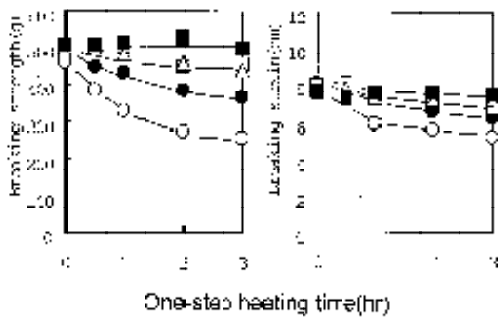


Fig. 3 Gel-forming ability of pink salmon surimi in the presence of bovine plasma powder.

Bovine plasma powder concentrations: O, 0%; □, 0.5%; △, 1.0%; ◇, 1.5%; ●, 2.0%.

5. 加熱による筋肉タンパク質サブユニット組成の変化に対するBPPとTG-ase製剤の影響

上記4.と同様に調製した2段加熱ゲルのSDS-PAGEの結果をFig.5に示した。なお、SDS-PAGE用試料調整時の各2段加熱ゲルの可溶化率は、TG-ase製剤単独添加およびBPPとTG-ase製剤の併用添加で約90%無添加およびBPP単独添加ではほぼ100%であった。BPPおよびTG-ase製剤を添加しないで調製した2段加熱ゲルは、1段加熱3時間

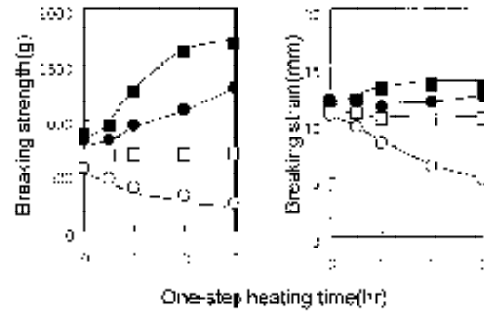


Fig. 4 Gel-forming ability of pink salmon surimi in the presence of bovine plasma powder and food additive containing transglutaminase.

Symbols indicate the rheological value of two-step heating gels. O, Without BPP and TG-ase; □, with 0.3% TG-ase; △, with 2% BPP; ●, with 2% BPP and 0.3% TG-ase.

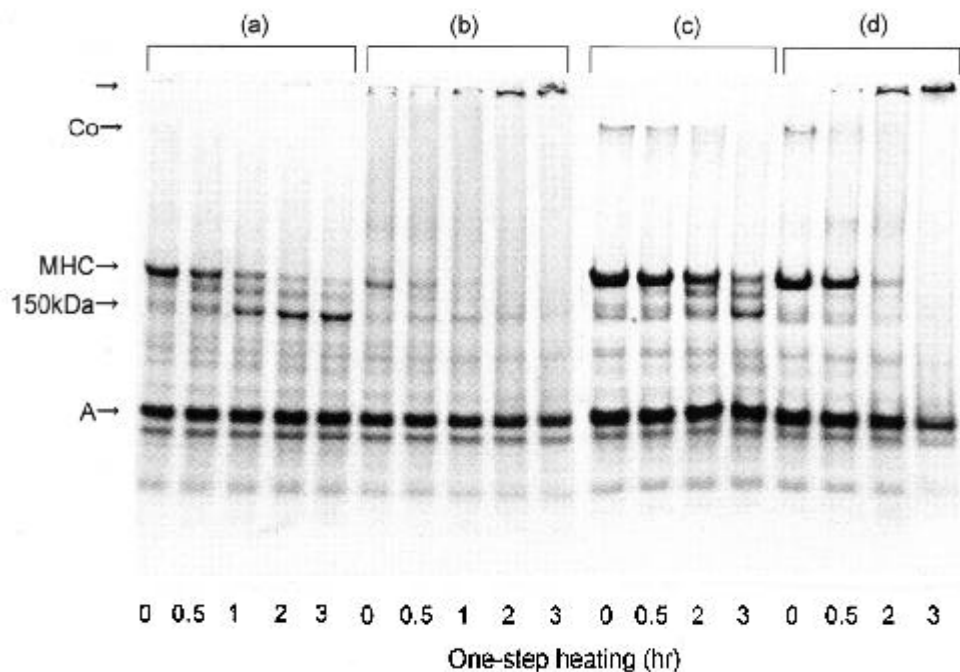


Fig. 5 Changes in SDS-PAGE pattern of surimi proteins of pink salmon in the presence of bovine plasma powder (BPP) and food additive containing transglutaminase(TG-ase).

Each 10 μg of the surimi protein was applied to a 3% polyacrylamide-0.5% agarose slab gel for SDS-PAGE. Co, MHC, 150kDa, and A indicate the position of α -connectin, myosin heavy chain monomer, 150 kDa component, and actin, respectively. An arrow indicates the top of gel. (a), Without BPP and TG-ase; (b), with 2% BPP and 0.3% TG-ase; (c), with 2% BPP; (d), with 0.3% TG-ase.

でミオシン重鎖(以下、MHCとする)がほぼ消失したが、分子量150kDaの成分が増加した。BPPとTG-ase製剤とともに添加して調製した2段加熱ゲルは、1段加熱2時間でMHCが消失したが、150kDaの成分は1段加熱0.5時間から出現し、1段加熱の時間の経過とともに減少した。また、ゲルの中に進入できない分子量の大きな成分が1段加熱2時間から出現した。2%BPPを添加して調製した2段加熱ゲルは、1段加熱の時間の経過とともにMHCは減少したが、1段加熱3時間でもMHCは出現した。一方、150kDaの成分は1段加熱の時間の経過とともに増加したが、ゲルの中に進入できない分子量の大きな成分は出現しなかった。0.3%TG-ase製剤を添加して調製した2段加熱ゲルは、1段加熱3時間でMHCが消失し、1段加熱2時間で、ゲルの中に進入できない分子量の大きな成分が出現した。一方、150kDaの成分が1段加熱0時間から出現していたが、1段加熱3時間では消失していた。

考 察

坐りは肉糊を40℃以下の比較的低温で加熱したときにおきる弱いゲル形成であるが、引き続いて高温で加熱すると、非常に強いゲルが形成される現象であり、かまぼこの製造には多用されている。かまぼこの代表的な原料魚であるスケトウダラの肉糊を加熱すると、MHCの多量体が形成される。このことは坐りの導入に伴う破断強度の増加とよく対応することが知られている^{6,7)}。しかし、サケの肉糊ではスケトウダラの場合とは異なり、坐りを導入すると2段加熱ゲルの破断強度は低下し、MHCの多量体も生成されないことが知られている^{3,9)}。本試験においても、10℃~60℃で坐りを導入したマス肉糊の2段加熱ゲルは、その物性値が増加しないこと、また30℃以上の坐りを導入した場合、坐りの時間が長くなるに従って、2段加熱ゲルの物性値の減少が認められることから、マス肉糊はサケ肉糊と類似した加熱ゲル形成能を有すると考えられる。

魚肉中には中性pH域でも活性を発現できるカテプシンLおよびB、カルパイン、トリプシン様プロテアーゼなど種々のタンパク質分解酵素の存在^{2,11-13)}が知られており、しかも坐りの温度域は、これらの酵素反応の至適温度とほぼ一致する範囲にある。実際、スケトウダラでは坐りを長時間行うとMHCの分解生成物と推定⁸⁾される150kDa成分の増大がSDS-PAGEによって確認でき、サケのすり身においても検出⁹⁾されている。また、スケトウダラ肉糊において、1段加熱ゲルに出現する150kDa成分を抑制することで、2段加熱ゲルの破断強度の減少を抑制することも報告¹⁰⁾されている。本試験においても、E-

64の存在下では、2段加熱ゲルの破断強度の減少が抑制されていることから、サケやスケトウダラのすり身と同様にマスのすり身においても、タンパク質分解酵素が2段加熱ゲルの物性変化に関与していることが示唆された。しかし、E-64は食品添加物として使用が許可されていないので、実用的な酵素阻害剤としてBPPがサケにおいて検討され、その2段加熱ゲル物性の改善に有効であることがすでに確認³⁾されている。本試験の結果から、マス肉糊においても同様の効果が確認でき、これらの点からも、マス肉糊の加熱ゲル形成性はサケと非常によく類似していると考えられる。

坐りは、すり身中に内在するTG-aseによって、肉糊中のタンパク質が架橋重合される酵素反応であることが報告¹⁴⁻¹⁶⁾されているが、本試験の結果から、マスの肉糊は架橋重合反応を起こさないことが確認された。サケ筋肉中にはアンセリンが存在し、数mM程度でTG-ase活性を阻害することが報告¹⁷⁾されている。同様にマス筋肉中にもTG-ase活性を阻害するのに十分な量のアンセリンが含まれている¹⁸⁾。このアンセリンは水溶性のペプチドであることから、すり身調製時の水晒し処理で除去が可能と報告¹⁹⁾されているが、筋肉中に内在するTG-aseも同時に除去される。そこで、マス肉糊に坐りを導入する方法の1つとして、筋肉中に内在するTG-aseによる坐りの効果に依存せず、外部から食品添加物用のTG-ase製剤の添加による、マス肉糊への効果を検討した。その結果、TG-ase製剤を添加することによって、マスのすり身への坐りの効果が確認できた。また、SDS-PAGEによって坐りの特徴であるMHCの架橋重合体と推定される高分子量成分の生成が認められたことから、TG-ase製剤とBPPの併用は、坐りの導入に有効な方法であることが示唆された。

要 約

マスすり身より肉糊を調製し、加熱によるゲル形成の特性を検討した。

1. マス肉糊を10℃~60℃で1段加熱後、90℃で2段加熱ゲルを調製すると、30℃~60℃で1段加熱を施した2段加熱ゲルは、1段加熱の時間とともにゲルの物性値が低下し、30℃においてはミオシン重鎖より小さい分子量(150kDa)の成分生成がみられた。
2. ゲルの物性値の低下はE-64の添加で抑制され、同様の効果が牛血漿粉末においても確認できたことから、タンパク質分解酵素の作用によるものと考えられた。
3. マスの肉糊に坐りの効果を導入するためには、TG-ase製剤の添加が有効であり、牛血漿粉末との併用によって、さらにその効果を増強させることが可能であると

考えられた。

文 献

- 1) Wan, J., Kimura, I., Satake, M., and Seki, N. : Causes of inhibitor gel-forming ability of salmon surimi paste. *Fisheries Sci.* 61(4), 711-715 (1995)
- 2) Yamashita, M. and Konagaya, S. : Hydrolytic action of salmon cathepsins B and L to muscle structural proteins in respect of muscle softening. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(10), 1917-1922 (1991)
- 3) Saeki, H., Iseya, Z., Sugiura, S., and Seki, N. : Gel-forming characteristics of frozen surimi from chum salmon in the presence of protease inhibitors. *J. Food Sci.*, 60, 917-921, 928 (1995)
- 4) 西本真一郎, 橋本昭彦, 関伸夫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 新井健一 : スケトウダラ肉糊の座り中に起きるミオシン重鎖とゲル強度の変化に影響する要因. 日水誌, 53 (11), 2011-2027 (1987)
- 5) Laemmli, U.K. : Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680-685 (1970)
- 6) 沼倉忠弘, 関伸夫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 高間浩蔵, 新井健一 : 坐りによる肉糊のゲル形成とミオシンの交差結合反応. 日水誌, 51(9), 1559-1565 (1985)
- 7) 沼倉忠弘, 関伸夫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 高間浩蔵, 新井健一 : 坐りに伴う塩ずり肉たんぱく質のSDS-ゲル濾過図の変化. 日水誌, 53(11), 2045-2049(1987)
- 8) 今野久仁彦, 今村浩二 : スケトウダラ肉糊の加温中に生成する150kDaおよび70kDa成分の同定とその存在状態. 日水誌, 66(5), 869-875(2000)
- 9) 飯田訓之, 錦織孝史, 高橋玄夫, サケ肉糊の戻りに及ぼすシステインプロテアーゼインヒビター (E-64) の影響. 北海道立水産試験場研究報告, 48, 19-25 (1996)
- 10) Takeda, H. and Seki, N.: Enzyme-catalyzed crosslinking and degradation of myosin heavy chain in walleye pollack surimi paste during setting. *Fisheries Sci.*, 62, 462-467 (1996)
- 11) Ishihara, S., Sugita, H., Nonaka, T., and Imahori, K.: Calcium-activated natural protease. *J. Bio-chem.*, 87, 343-346 (1980)
- 12) Ishihara, S., Sugita, H., Suzuki, K., and Imahori, K.: Studies of a calcium-activated natural protease from chicken skeletal muscle. *J. Biochem.*, 86, 579-581 (1979)
- 13) Okitani, K., Matukura, U., Kato, H., and Fujimaki, M.: Purification and some properties of a myofibrillar protein-degrading protease, cathep-sin L, from rabbit skeletal muscle. *J. Biochem.*, 87, 1133-1143 (1980)
- 14) 関伸夫, 宇野秀樹, 李南赫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 新井健一 : スケトウダラ筋肉およびすり身中のトランスグルタミナーゼ活性とミオシンBとの反応. 日水誌, 56(1), 125-132 (1990)
- 15) Kimura, I., Sugimoto, M., Toyoda, K., Seki, N., Arai, K., and Fujita, T. : A study on the crosslinking reaction of myosin in kamaboko " suwari " gels. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(7), 1389-1396 (1991)
- 16) Seki, N., Nozawa, H., and Ni, S. : Effect of transglutaminase on the gelation of heat-denatured surimi. *Fisheries Sci.*, 64, 959-963 (1998)
- 17) Wan, J., Kimura, I., and Seki, N. : Inhibitory factors of transglutaminase in salted salmon meat paste. *Fisheries Sci.*, 61(6), 968-972 (1995)
- 18) 成田正直, 木村稔, 今村琢磨, 福土暁彦, 高橋玄夫 : カラフトマスの付加価値向上試験. 平成10年度事業報告書 網走水試, 147-151 (1999)
- 19) 飯田訓之, 錦織孝史, 高橋玄夫, 橋本健司 : プナサケ, プナマスの酵素抑制技術及び脱色技術の開発. 平成7年度 事業報告書 釧路水試, 152-158 (1996)

ハナサキガニ人工種苗を用いた放流・再捕調査^{*1} (短報)

筒井 大輔^{*2}, 鈴木 章彦^{*3}, 長瀬 桂一^{*4}, 芦立 昌一^{*5}

Release and recover investigation using cultured juvenile of *Paralithodes brevipes*. (Short Paper)

Daisuke TSUTSUI^{*2}, Akihiko SUZUKI^{*3}, Keiichi NAGASE^{*4}, and Masakazu ASHIDATE^{*5}

キーワード: ハナサキガニ, 人工種苗, 種苗放流, 再捕調査

ハナサキガニ *Paralithodes brevipes* 資源の減少を受けて, 根室地方では1981年から日本栽培漁業協会厚岸事業場が中心となり, 人工種苗の生産技術開発^{1,2)}, 海中中間育成試験や放流技術開発³⁾が行われてきた。しかし, ハナサキガニの天然における, 特に若齢期の生態が明らかになっていないため, 放流適地の選定や放流に適した時期やサイズに関する知見については未だ不足している現状にある。

北海道においても1997年からハナサキガニ資源増大調査事業を新たに実施し, 天然稚ガニ・若齢ガニの生態解明, 中間育成の技術開発, 標識方法の開発などの調査研究に取り組んでいる。この一環として, 著者らは根室のハナサキガニ稚ガニの天然生息場所において人工種苗の放流・再捕調査を実施し, 人工種苗の放流後の成長や生残に関する知見の収集を試みた。

なお, 種苗の放流作業や再捕調査を行うにあたり, 根室市水産研究所, 根室漁業協同組合, 歯舞漁業協同組合, 落石漁業協同組合及び根室湾中部漁業協同組合の各職員の皆様にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

材料及び方法

放流・再捕調査に用いた人工種苗は, 日本栽培漁業協会厚岸事業場及び根室海域ハナサキガニ資源維持増大対策連絡協議会により, 根室湾内での海中中間育成試験に用いられていたものを使用した。種苗は1997年に日本裁

培漁業協会厚岸事業場で生産されたもので, 同年の5月から10月までトリカルネット製容器(5段かご)及び通称タマネギ袋に入れられ, 根室湾内弁天島沖の海中に吊された状態で飼育されていた^{3,4)}。1997年10月22, 23日に中間育成場所からの取り上げを行い, 根室漁業協同組合の栽

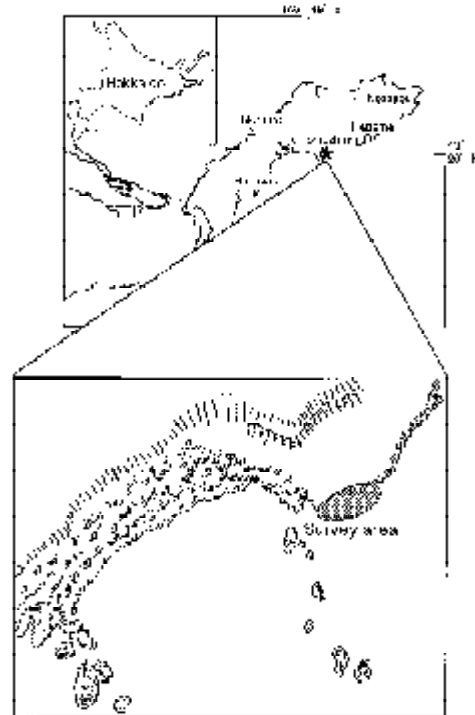


Fig. 1 Map showing the study area in Tomoshi, the Pacific coast of Nemuro peninsula.

報文番号 A 329 (2001年1月11日受理)

*1 本報告の要旨は平成11年度日本水産学会春季大会で口頭発表した。

*2 北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station, Kushiro, Hokkaido, 085-0024, Japan)

*3 根室地区水産技術普及指導所 (Nemuro Fisheries Extension Office, Nemuro, Hokkaido, 059-0011, Japan)

*4 根室市役所 (Nemuro City Office, Nemuro, Hokkaido, 087-0041, Japan)

*5 日本栽培漁業協会厚岸事業場 (Japan Sea-Farming Association Akkeshi Station, Akkeshi, Hokkaido, 088-1108, Japan)

Table 1 Results of juvenile release and recover investigation.

Data	Release Num.	Collected Num.	Range of carapace length (mm)	Mean of carapace length (mm)
(Juvenile release) Oct. 22, 23, 1997	25,282		5.8-11.5	8.0
(Recover investigation) Apr. 15, 1998		212	4.2-12.8	8.3
May 28		222	4.6-20.8	10.2
June 25		188	5.0-19.8	11.4
July 23		318	5.0-24.6	11.1
Sep. 8		30	5.0-19.0	13.9

培漁業センターで得られた種苗の個体数を計数，標本を抽出して性別，甲長，甲幅を測定した。

人工種苗の放流場所には，種苗の放流以前に実施された磯採集調査で天然ハナサキガニの生息が確認された根室市友知地区のボッキ岩周辺を選んだ (Fig. 1)。種苗は1ヶ所に集中して放流した。

人工種苗放流場所周辺での再捕調査は，1998年の4月から9月に計5回実施した (Table 1)。調査は大潮の日の干潮時に設定し，1回当たりの調査人員は約10名，採集時間は約1時間で実施した。稚ガニの採集には，干潮時に岩の下や窪みを探索し，発見した稚ガニを徒手で採集する方法を用いた。採集した稚ガニは現地で性別，甲長，甲幅を測定し，一部飼育試験に供する標本を除いてすべて採集場所に海中還元した。なお，稚ガニの甲長，甲幅の測定にはノギスを用い，0.1mm単位まで測定した。

結果と考察

中間育成場所から取り上げた人工種苗は26,382尾で，これらのうち飼育試験に供する個体を除いた25,282尾を

調査場所に放流した。

1998年の4月から実施した5回の再捕調査で，計1,170尾の稚ガニが採集された。調査日別では4月15日が212尾，5月26日は422尾と最も多く，6月25日が188尾，7月23日が318尾で，9月8日は30尾と最も少なかった (Table 1)。調査場所は岩礁地帯で砂地の場所は少なく，海藻群落も疎らであった。稚ガニは動かすことが可能な直径50cm以下の岩の下から多く発見され，同一の場所から10尾以上採集されることもあった。

今回の調査場所では，人工種苗を放流する以前の1997年の6月と8月に天然稚ガニを対象とした磯採集調査が実施されている。これらの調査結果と再捕調査の結果を比較すると，再捕調査では6月に188尾，7月に318尾採集されているのに対して，1997年の磯採集調査では6月は62尾，8月が44尾と，いずれも再捕調査の方が採集個体数が多かった。また，再捕調査で採集された稚ガニは甲長20mm以下の小さなものがほとんどで，甲長組成の範囲も狭かった (Fig. 2)。1982-1987年に根室市，厚岸町，釧路町で実施された稚ガニの磯採集調査結果⁴⁾との比較においても同様の傾向が認められた。

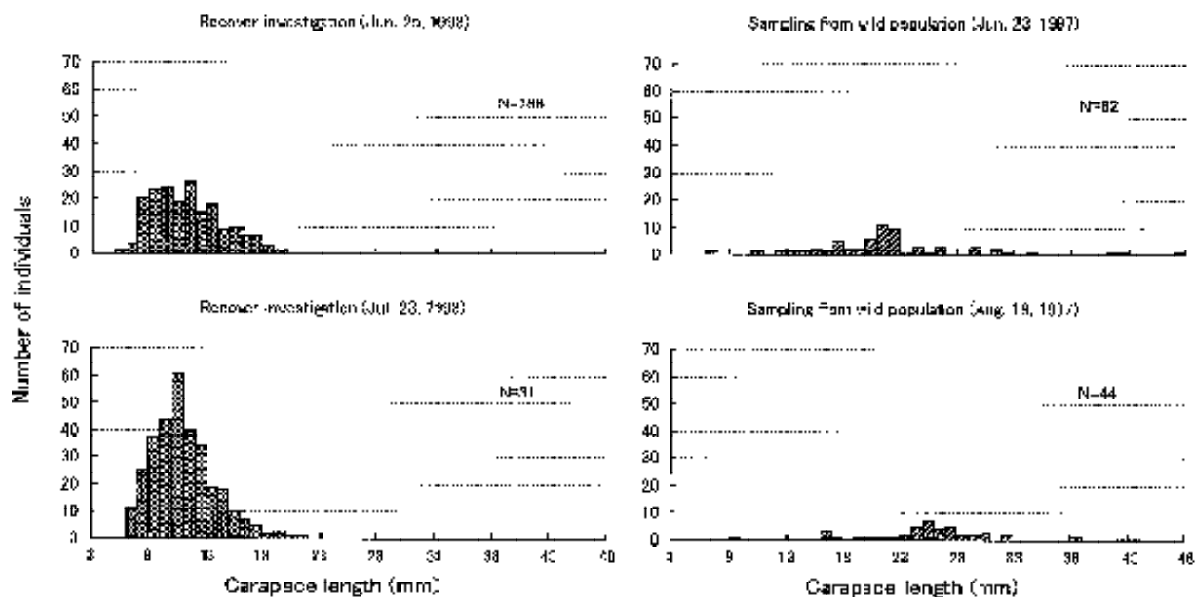


Fig. 2 Comparison of the number of juvenile *Paralithodes brevipes* collected by the recover investigation and the sampling from wild population.

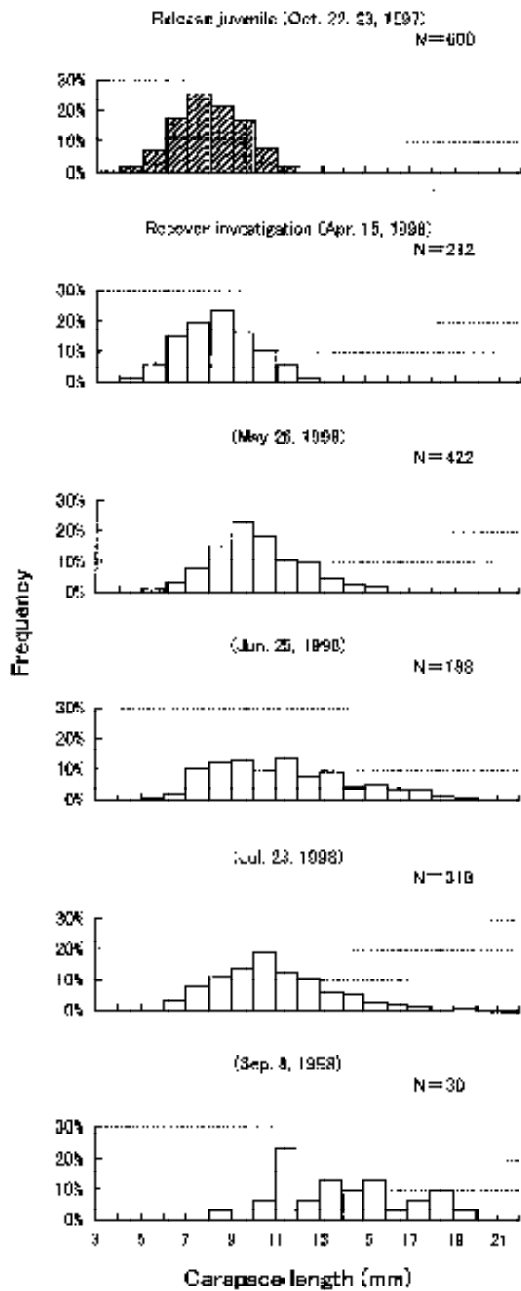


Fig. 3 Frequency distributions of carapace length of juvenile *Paralithodes brevipes*. Shaded bars indicate cultured juvenile at the release time, open bars indicate juvenile collected by the recover investigation.

放流した人工種苗及び再捕調査で採集された稚ガニの甲長組成をFig. 3に示した。放流種苗の甲長範囲は3.8-11.5mm, 平均甲長は8.0mmで, 4月の再捕調査で採集された稚ガニの甲長範囲は4.2-12.8mm, 平均甲長は8.3mmであった。人工種苗の組成には7mm台に平均を持つ正規分布を, 4月の再捕調査の組成には8mm台に平均を持つ正規分布をそれぞれあてはめることができた (Fig. 4)。また, 4月以降の甲長組成についても, 5月が9mm台, 7月が10mm台, 9月が11mm台と, 月が進むにつれてモードが大型に移行しており (Fig. 3), これらは同一個体群の脱皮・

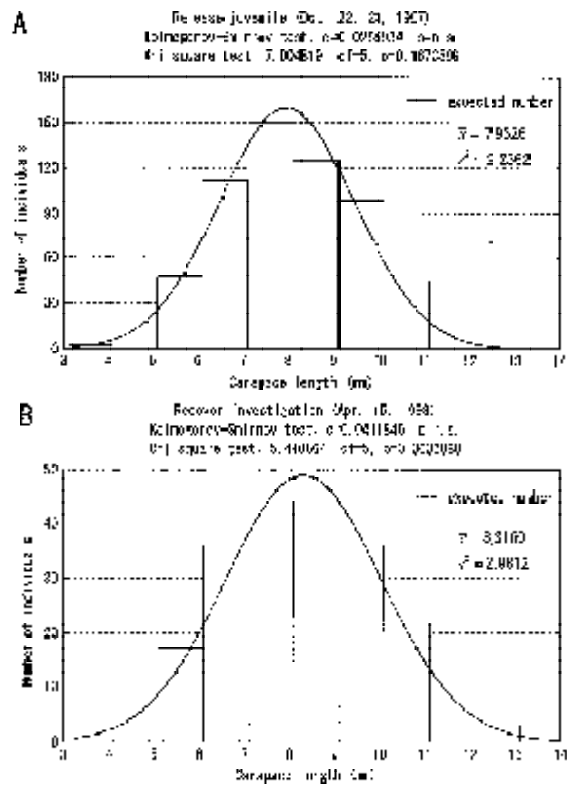


Fig. 4 Fitting normal distributions to the distributions of carapace length of juvenile *Paralithodes brevipes*. A: cultured juvenile at the release time (October 22, 23, 1997), B: juvenile collected by the recover investigation (April 15, 1998).

成長の結果を示唆しているものと考えられた。

以上のことから, 今回の再捕調査で採集された稚ガニの大部分は, 1997年の10月に放流した人工種苗の生き残りである可能性が高いと考えられる。しかし, 人工種苗の放流場所で採集した稚ガニを放流群と天然群とに区別することができないため, 放流群を直接的に判別できる手法を用いて調査を行う必要がある。

そこで1998年12月に着色瞬間接着剤による簡易マーカーを付した人工種苗を今回と同じ調査場所に放流し, 1999年4月からの調査でこれら種苗の再捕を試みた。この結果については改めて報告する。

文 献

- 1) 岩本明雄, 長倉義智, 村上直人: ハナサキガニの種苗生産. 栽培技研. 11(2), 21-27 (1982)
- 2) 芦立昌一: ハナサキガニ. 日裁協事業年報平成8年度. 168-169 (1997)
- 3) 芦立昌一: ハナサキガニ. 日裁協事業年報平成8年度. 278-281 (1997)
- 4) 鳥澤 雅, 河野象威, 坂本樹則, 博田 功: ハナサキガニの初期成長. 北水試研報. 55, 161-167 (1999)

根室海峡におけるスケトウダラ魚群の分布と海況 - I
産卵前の水平および垂直分布

志田 修

1996年から1998年の11月下旬または12月上旬に根室海峡と知床半島のオホーツク海側において計量魚探調査を行い、スケトウダラ成魚の分布と海洋環境を調べた。スケトウダラ魚群はオホーツク海側では観察されなかったが、根室海峡側では主産卵場と考えられている松法から知円別の海域における魚群反応が強く、知円別から知床岬までの海域では沿岸部のみに分布していた。魚群の分布水深は年による違いが認められたが、水温は2~5 の範囲にあった。これらの結果から、スケトウダラは産卵前の11月下旬から12月上旬には根室海峡の産卵場に来遊しており、その鉛直分布は2~5 を有する混合水の分布の影響をうけると考えられた。

A324 北水試研報 59 1-10 2001

音響資源調査で得られた北海道西岸日本海のスケトウダラ産卵群の分布特性と現存量

三宅博哉, 石田良太郎, 武藤卓志,
安部幸樹, 向井 徹, 飯田浩二

1996~1998年の各年10月に北海道西岸日本海で、計量魚群探知機によりスケトウダラの空間分布を調べ、その現存量を推定した。スケトウダラは各年とも南側海域の大陸棚斜面域に多かった。分布深度は、沿岸域で、昼間380~440m、夜間340~460m、沖合域で、昼間420~580m、夜間340~500mであった。分布様式は昼夜で異なり、夜間には水平的、鉛直的に分散する傾向が見られ、特に上方への移動が顕著であった。これらから音響調査には夜間が適していると考えられた。昼夜込みのデータを用いて推定した現存量は、1996年が23万トン、1998年が45万トンであった。しかし、昼夜毎の推定値の比較から、これらは20%程度過小評価していると考えられた。また、空間サンプリング誤差は10%程度であったので、現存量の推定誤差の合計は約28%と推定された。

A325 北水試研報 59 11-24 2001

1996, 1997年で道西日本海におけるスルメイカの体サイズが異なった要因

坂口健司, 高柳志朗

道西日本海において1996, 1997年の6月と8月に採集されたスルメイカについて、平衡石による日齢査定を行い、体サイズが異なった要因について検討した。

スルメイカの平均外套長は1996年よりも1997年の方が大きく、1996年では6月で181mm, 8月で229mmであり、1997年では6月で220mm, 8月で250mmであった。これらのスルメイカの日齢を比較した結果、1997年の方が高齢であったが、平均日齢の差は6月で6日、8月で7日と小さかった。一方、日齢10日間隔の平均外套長を両年で比較した結果、1997年の方が有意に大きく、両年の成長に大きな差異が認められた。以上から、1996, 1997年で体サイズが異なった要因は、主に大きな成長の差であると考えられた。また、発生時期が遅いほど1日当たりの外套長の平均成長(外套長/日齢)が大きくなる傾向がみられた。

A326 北水試研報 59 25-30 2001

忍路湾における沿岸水温と栄養塩の関係

中多章文, 八木宏樹, 宮園 章,
安永倫明, 川井唯史, 飯泉 仁

忍路湾内の3地点において、1992年7月から1999年7月までの7年間、約10日に1度の頻度で水温、塩分、クロロフィルa、透明度、硝酸塩+亜硝酸塩濃度、リン酸塩濃度を測定した。このデータから各環境条件の月平均値を求め、季節変化と経年変化、水温と栄養塩濃度の関係について調べた。忍路湾内の水平、鉛直方向の環境要因の差について、塩分および硝酸塩+亜硝酸塩では、湾奥-湾口方向の水平方向の差に比べ、表層-5m層間の鉛直方向の差が、年平均値で一桁大きいことがわかった。5m層の1月から3月までの冬季平均水温と硝酸塩+亜硝酸塩濃度との間には、負の相関関係が認められ、表層、5m層あわせた回帰直線の傾きは-0.92となった。3月から5月にかけての融雪期において、表層の平均水温と硝酸塩+亜硝酸塩濃度、および表層の平均塩分と硝酸塩+亜硝酸塩濃度に負の相関が認められた。これらのことから、忍路湾においてホソメコンブの現存量変動に関係する水温変動には、栄養塩類の変動も伴っているといえる。

A327 北水試研報 59 31-41 2001

カラフトマス肉糊の加熱ゲル形成に及ぼす温度の影響
と物性の改善

武田浩郁，飯田訓之，信太茂春，錦織孝史

カラフトマスから調製したすり身に，タンパク質分解酵素阻害剤あるいは種々の食品添加物の共存下で3% NaClを含む肉糊を調製した。30 で1段加熱を施した2段加熱ゲルは，破断強度の低下とともにミオシン重鎖の分解が確認された。しかし，この現象はシステインプロテアーゼインヒビター(E-64)あるいは牛血漿粉末を添加することによって効果的に抑制することができた。2段加熱ゲルの物性は，トランスグルタミナーゼを含む食品添加物の添加によって改善された。カラフトマスとサケの加熱ゲル特性は類似しており，物性改善の1つの方法として，トランスグルタミナーゼを含む食品添加物と牛血漿粉末との併用が有効であった。

A328 北水試研報 59 43-48 2001

北海道立水産試験場研究報告 第59号

2001年3月30日 発行

編集兼
発行者

北海道立中央水産試験場

〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町238

電話 総合案内 0135(23)7451 (総務課)

図書案内 0135(23)8705 (企画情報室)

F A X 0135(23)3141

Hamanaka-cho 238, Yoichi-cho, Hokkaido 046-8555, Japan

印刷所 (株) 総 北 海 札幌支社

〒001-0030 札幌市北区北30条西5丁目

電話 (011)757-6995
