

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 77 号

**SCIENTIFIC REPORTS**  
**OF**  
**HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENT STATION**  
**No.77**

北 海 道 立 中 央 水 産 試 験 場

北 海 道 余 市 町

2 0 1 0 年 3 月

Hokkaido Central Fisheries  
Experiment Station

Yoichi, Hokkaido, Japan

March, 2010

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<br>(Hokkaido Central Fisheries Experiment Station)        | 046-8555<br>余市郡余市町浜中町238<br>(Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)                  |
| 北海道立函館水産試験場<br>(Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station)       | 042-0932<br>函館市湯川町1-2-66<br>(Yunokawa, Hakodate,<br>Hokkaido 042-0932, Japan)   |
| 北海道立栽培水産試験場<br>(Hokkaido Mariculture Fisheries<br>Experiment Station) | 051-0013<br>室蘭市舟見町1-156-3<br>(Funami-cho, Muroran,<br>Hokkaido 051-0013, Japan) |
| 北海道立釧路水産試験場<br>(Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station)        | 085-0024<br>釧路市浜町2-6<br>(Hama-cho, Kushiro,<br>Hokkaido 085-0024, Japan)        |
| 北海道立網走水産試験場<br>(Hokkaido Abashiri Fisheries Experiment Station)       | 099-3119<br>網走市鱒浦1-1-1<br>(Masuura, Abashiri,<br>Hokkaido 099-3119, Japan)      |
| 北海道立稚内水産試験場<br>(Hokkaido Wakkanai Fisheries Experiment Station)       | 097-0001<br>稚内市末広4-5-15<br>(Suehiro, Wakkanai,<br>Hokkaido 097-0001, Japan)     |

# 北海道立水産試験場研究報告

第77号

## 目 次

### <ニシン特集>

#### 浅見大樹, 嶋田 宏, 石田良太郎, 高柳志朗

春季の石狩湾において優占するカイアシ類数種の年変動…………… 1

#### 高柳志朗, 山口幹人, 石田良太郎

石狩湾系ニシンの初回産卵年齢における年級豊度に関連した成熟割合と体サイズの変化…………… 13

#### 山口幹人, 瀧谷明朗, 山口宏史, 三宅博哉, 高柳志朗

石狩湾系ニシンのVPAに基づく種苗放流および漁業管理効果の試算…………… 21

#### 赤池章一, 高橋和寛, 干川 裕, 瀧谷明朗, 津田藤典, 合田浩朗, 中島幹二, 川井唯史

北海道北西部日本海沿岸における石狩湾系ニシン産卵床と藻場の分布…………… 29

#### 星野 昇

北海道日本海産マダラにおける漁獲物年齢組成の推定方法…………… 35

#### 坂口健司

北海道周辺海域で標識放流されたスルメイカの移動…………… 45

#### 佐野 稔

地理情報システムによるミズダコの資源管理を目的とした北海道沿岸域の漁場の地理的区分…………… 73

#### 西原 豊

アサリ (*Ruditapes philippinarum*) に寄生するパーキンサス属原虫 (*Perkinsus* sp.) の

北海道における感染状況とその感染性について…………… 83

#### 吉田秀嗣, 高谷義幸, 松田泰平

北海道噴火湾および日高海域から標識放流したマツカワの放流域における再捕年齢と全長について(短報)…………… 89

試験研究業績 <外部刊行物への発表 平成20年度分>…………… 93

(2010年3月)

# SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENT STATION

No.77

## CONTENTS

### <Feature articles on herring>

|  |    |
|--|----|
| Hiroki ASAMI, Hiroshi SHIMADA, Ryotaro ISHIDA and Shiro TAKAYANAGI<br>Interannual variabilities of a few dominant copepods abundances during spring in Ishikari Bay,<br>western Hokkaido, Japan .....  | 1  |
| Shiro TAKAYANAGI, Motohito YAMAGUCHI and Ryotaro ISHIDA<br>Changes in body length and proportion of mature fish at first spawning age in relation<br>to strength of year class in the Ishikari Bay herring ( <i>Clupea pallasii</i> Valenciennes) .....  | 13 |
| Motohito YAMAGUCHI, Akio TAKIYA, Hiroshi YAMAGUCHI, Hiroya MIYAKE and<br>Shiro TAKAYANAGI<br>The effects of stocking and fisheries management based on virtual population analysis<br>of the Ishikari Bay herring <i>Clupea pallasii</i> .....   | 21 |
| Shoichi AKAIKE, Kazuhiro TAKAHASHI, Hiroshi HOSHIKAWA, Akio TAKIYA, Fujinori TSUDA,<br>Hiroo GODA, Kanji NAKAJIMA and Tadashi KAWAI<br>Distribution and abundance of the Ishikari Bay herring ( <i>Clupea pallasii</i> ) natural spawning beds<br>and the seaweed beds on the northwestern coast of Hokkaido ..... | 29 |
| Noboru HOSHINO<br>Estimation method for age composition of Pacific cod ( <i>Gadus macrocephalus</i> ) in the Sea of Japan<br>off the coast of Hokkaido .....   | 35 |
| Kenji SAKAGUCHI<br>Migration of tagged Japanese common squid, <i>Todarodes pacificus</i> , in waters around Hokkaido .....   | 45 |
| Minoru SANO<br>Geographical distribution of <i>Octopus dofleini</i> fisheries assessed for fisheries management<br>using a geographic information system in the coastal areas around Hokkaido .....  | 73 |
| Yutaka NISHIHARA<br>Infection of protozoan Perkinsus in the short-necked clam ( <i>Ruditapes philippinarum</i> )<br>on the Hokkaido coastal region and the infection examination .....   | 83 |
| Hidetsugu YOSHIDA, Yoshiyuki TAKAYA and Taihei MATSUDA<br>Recapture age and total length of tagged barfin flounder <i>Verasper moseri</i> in Funka Bay<br>and the coastal waters of Hidaka area, southwestern Hokkaido (Short Paper) .....   | 89 |
| Contribution from the Hokkaido Fisheries Experiment Station:<br>Papers Presented in other journals or at scientific meetings in fiscal 2010 .....  | 93 |

(March, 2010)



# 春季の石狩湾において優占するカイアシ類数種の年変動

浅見大樹<sup>\*1</sup>, 嶋田 宏<sup>\*2</sup>, 石田良太郎<sup>\*3</sup>, 高柳志朗<sup>\*2</sup>

Interannual variabilities of a few dominant copepods abundances during spring in Ishikari Bay, western Hokkaido, Japan

Hiroki ASAMI<sup>\*1</sup>, Hiroshi SHIMADA<sup>\*2</sup>, Ryotaro ISHIDA<sup>\*3</sup> and Shiro TAKAYANAGI<sup>\*2</sup>

Interannual variabilities of a few dominant copepods abundances through winter to spring were investigated from 2001 to 2004 at one station (J32) of central part of Ishikari Bay, western Hokkaido, established as one of the monitoring stations by Hokkaido Fisheries Experiment Station. Another station of near coastal area was added in only 2001. The maximum abundances of zooplankton were observed in May of all years, following by the spring phytoplankton blooms. Copepods were main components of total zooplankton abundances, and numerical compositions of copepods to total zooplankton abundances occupied more than 90% in their maximum level. Six copepod species such as *Neocalanus* spp., *Mesocalanus tenuicornis*, *Pseudocalanus newmani*, *Clausocalanus pergens*, *Metridia pacifica*, and *Oithona* spp. were determined as dominant species. Among them, three species of *Neocalanus* spp., *P. newmani* and *M. pacifica* were representative species in spring copepods community. As another feature derived from the present study, *Oithona* spp. in April were the most numerous in 2001 of all four years. Ishikari herring of 2001 year class is known to be very strong. One of the possible factors of this strong year-class occurrence was discussed in relation to copepod variabilities.

キーワード：カイアシ類, 水温, 植物プランクトン春季大増殖, 石狩湾系ニシン

## まえがき

北海道西部に位置する日本海に面した開放型の湾である石狩湾は古くからサケ、ニシン、ホッケ、スケトウダラ、カレイ類などの好漁場として知られる<sup>1)</sup>。このため、現在まで石狩湾の物理・化学環境に関する調査研究も行われてきた<sup>2-10)</sup>。生物環境、特に動物プランクトンについては、その現存量についての調査研究が行われてきた<sup>11-15)</sup>。さらには、動物プランクトンの出現種まで言及した知見

もあるが<sup>16-19)</sup>、これらは、調査域が極く沿岸域の表層に限られたり、調査時期も1年のうちのある一時期であるものが多い。

一般に、動物プランクトン群集の中でもカイアシ類は数量的に最も卓越し、食物連鎖の中で植物プランクトンと高次の魚類を繋ぐ動物群として極めて重要な役割を担っている<sup>20)</sup>。このような見地から、多くの水産資源を支える低次生物生産を論ずる時、カイアシ類の調査研究は不可欠である。また、多くの重要な水産資源は春季に稚

報文番号 A446 (2009年12月9日受理)

\*1 北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experiment Station, Suehiro 4-5-15, Wakkanai Hokkaido 097-0001, Japan)

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

\*3 北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station, Hama-cho Kushiro Hokkaido, 085-0024, Japan)

Table 1 List of zooplankton samples used in this study.

| Year | Station | Date    | Time  | Wire length (m) | Angle (degree) | Estimated depth of haul (m) |
|------|---------|---------|-------|-----------------|----------------|-----------------------------|
| 2001 | J32     | Jan. 31 | 13:40 | 85              | 37             | 68                          |
|      |         | Mar. 12 | 15:00 | 80              | 42             | 59                          |
|      |         | Apr. 25 | 14:40 | 90              | 28             | 79                          |
|      |         | May. 14 | 18:55 | 95              | 15             | 92                          |
|      |         | June 11 | 19:20 | 90              | 40             | 69                          |
|      | J3A     | Jan. 31 | 16:25 | 20              | 14             | 19                          |
|      |         | Apr. 25 | 19:10 | 28              | 28             | 25                          |
|      |         | May. 14 | 22:20 | 20              | 12             | 20                          |
|      |         | June 11 | 22:30 | 20              | 54             | 12                          |
| 2002 | J32     | Feb. 21 | 19:25 | 90              | 26             | 81                          |
|      |         | Mar. 13 | 20:05 | 90              | 23             | 83                          |
|      |         | May 14  | 1:04  | 100             | 26             | 90                          |
|      |         | June 4  | 20:13 | 85              | 13             | 83                          |
| 2003 | J32     | Feb. 18 | 14:30 | 92              | 13             | 90                          |
|      |         | Apr. 10 | 15:30 | 90              | 20             | 85                          |
|      |         | May 12  | 15:30 | 90              | 7              | 89                          |
|      |         | June 6  | 0:20  | 90              | 46             | 63                          |
| 2004 | J32     | Feb. 2  | 2:13  | 80              | 20             | 75                          |
|      |         | Apr. 19 | 8:20  | 90              | 26             | 81                          |
|      |         | May 11  | 13:46 | 110             | 37             | 88                          |
|      |         | June 3  | 23:42 | 90              | 0              | 90                          |

仔魚期を過ごすことから、これら資源の重要な餌生物である動物プランクトンの種組成や出現量を把握することは水産資源の生態あるいは資源変動要因を知る上で有益な知見となるであろう。本報告では、動物プランクトンの中でもカイアシ類に焦点を当て、冬季から春季にかけてのカイアシ類の季節変化を観察し、それらの中でも特に春季に優占する数種の個体数密度の年変動およびその要因について述べたものである。

#### 材料および方法

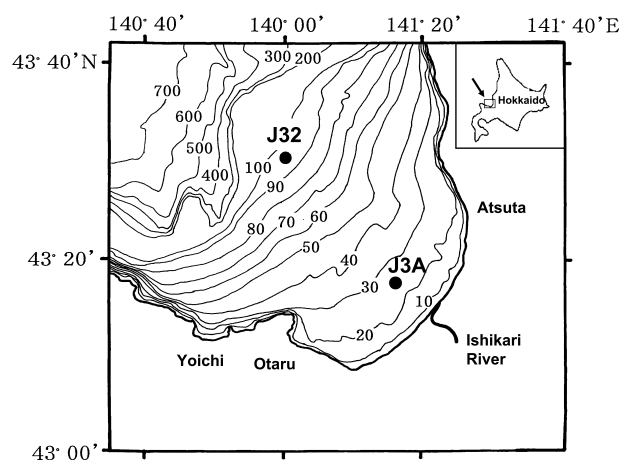


Fig.1 Sampling stations (St. J32 and J3A) in Ishikari Bay, western Hokkaido during winter to spring seasons from 2001 to 2004. St. J3A was investigated only in 2001.

動物プランクトンの採集は中央水産試験場所属おやしお丸 (178トン) により、2001年から2004年までの4か年に亘り、石狩湾の湾中央部に設けた海洋観測定点の一つであるJ32 (水深95m) で、1月から6月の期間に4~5回の頻度で行った (Fig.1)。さらに、2001年の1年間のみ、湾岸部に定点J3A (水深25m) を設けて動物プランクトンの採集を行った。ただし、3月は欠測した。本研究で用いた標本は全部で21標本であり、動物プランクトンの採集は昼夜の区別無く行った (Table 1)。動物プランクトンの採集は改良型ノルバックネット (口径45cm, 網目幅0.335mm) を用いて海底直上からの鉛直曳きを原則として行ったが、採集時の悪天候により傾角がつき、必ずしも海底直上から曳網出来ない時もあった (Table 1)。動物プランクトンの採集時には、ネットの口部に濾水計 (離合社製) を取り付け、濾水量を見積もった。標本は船上で直ちに5%中性ホルマリンで固定し、実験室に持ち帰った後、元田式分割器<sup>21, 22)</sup>を用いて適宜分割し (1/8~1/4分割)、実体顕微鏡下で大分類群別に目レベルまで計数した。さらに、カイアシ類については可能な限り、属あるいは種まで査定した。カイアシ類の優占種は、各採集日ごとの出現種数および各種の出現個体数 (個体/m<sup>3</sup>) を総和し、下式から算出した1種あたりの出現個体数 (平均値) より高い値を示した種として定義した<sup>23)</sup>。

$$\text{優占種 } Ni > (1/S) \sum Ni$$

$Ni$  : 第*i*番目の個体数,  $S$  : 出現種数

なお、本研究では*Neocalanus*属の2種 (*Neocalanus plumchrus*と*Neocalanus flemingeri*) を*Neocalanus* spp.,

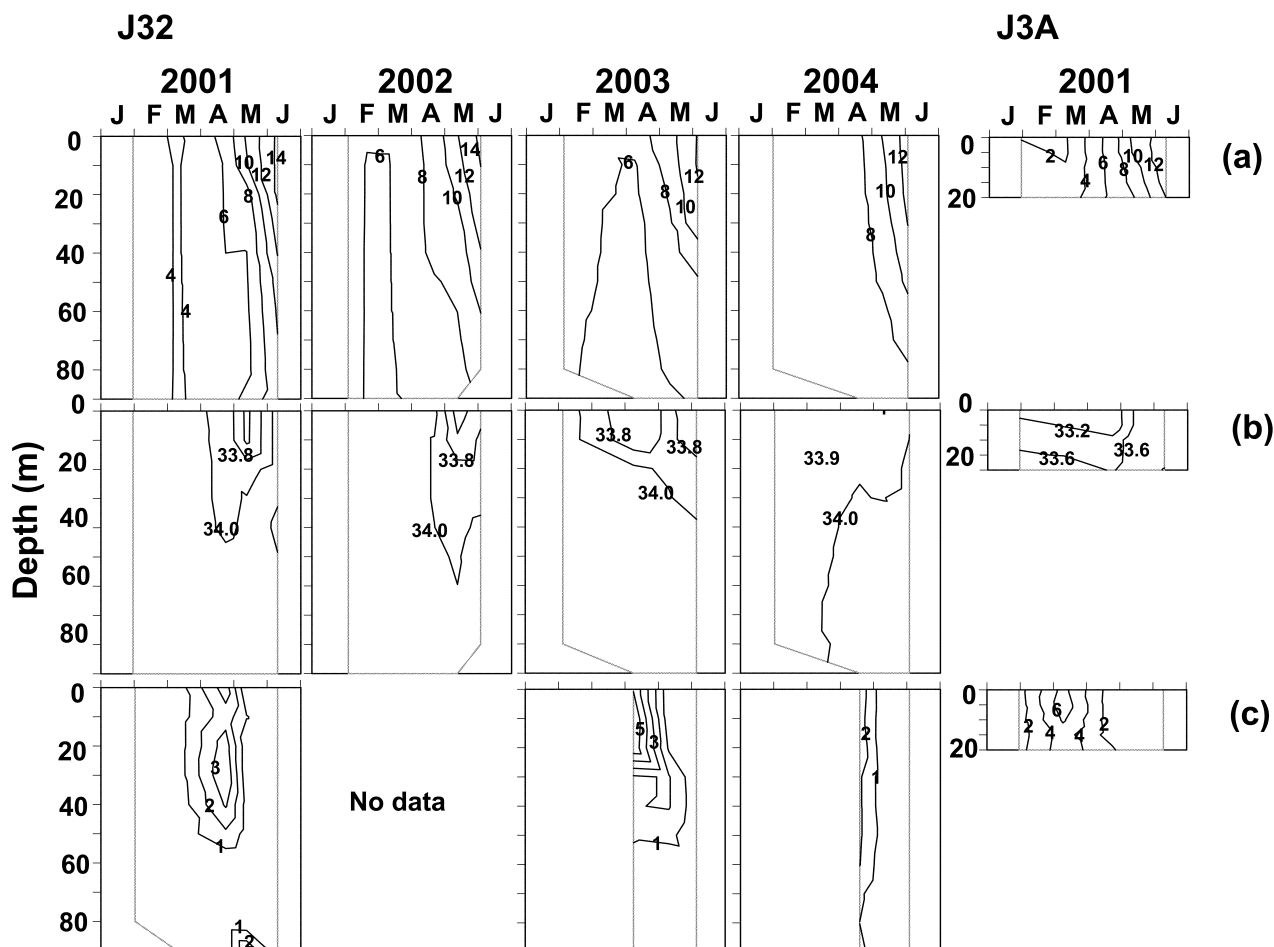


Fig.2 Seasonal profiles of (a) water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) salinity and (c) chlorophyll *a* concentrations ( $\mu\text{g/L}$ ) during winter to spring seasons from 2001 to 2004.

*Oithona*属を*Oithona* spp.として扱った。

動物プランクトンの採集の他に、植物プランクトン量の指標としてクロロフィル *a* 量の測定のための試水を、2001年は1月から6月までの間にJ32およびJ3Aの両地点で合計5回、2003年と2004年は4月から6月までの間にJ32で合計3回の頻度で採水した（2002年は欠測）。試水はナンセン採水器によりJ32では10m間隔で合計9層、J3Aでは5m間隔で合計4層から採水した。表面水はバケツで採水した。採水後は、船上で直ちに試水300mlをWhatmann GFFフィルターで濾過し、フィルターをアルミ фольで包み遮光して凍結保存した。フィルターは実験室に持ち帰った後、90%アセトンに浸漬することによりクロロフィル *a* を抽出し、蛍光光度計（TURNER MODEL 10AU）でクロロフィル *a* 量を測定した。

また、動物プランクトンの採集時にはCTDにより、水温と塩分を観測した。表面水はバケツで採水し、表面水温は棒状水温計で観測した。表面塩分は塩検瓶に表面水を採水し、実験室に持ち帰った後、塩分計（AUTOSAL MODEL 8400B）で測定した。

## 結果

### 1. 水理環境およびクロロフィル *a* 量

湾央部定点J32における水温は、1～4月まではほぼ鉛直的に一様であり、5月以降40～60m以深で水温は徐々に上昇した（Fig. 2a）。1月から4月の水温は、2001年には全層均一に6 $^{\circ}\text{C}$ 以下、3月上旬には4 $^{\circ}\text{C}$ 以下の水も認められ、最も低水温であった。次いで、2003年には3～4月にかけて表層10m以浅で6 $^{\circ}\text{C}$ 以下となり、2001年に次いで低水温であった。これらの2か年に比較して、2002年と2004年は高水温の傾向があり、2002年に2～3月にかけて10m以深で6 $^{\circ}\text{C}$ 以下となったものの、両年ともにほぼ6～8 $^{\circ}\text{C}$ の水温であった。5月以降の水温は、2001年は他の3か年よりも水温上昇が顕著であり、5月上旬の8 $^{\circ}\text{C}$ から急激に上昇し、6月中旬には表層で14 $^{\circ}\text{C}$ まで達した。水温の推移と比べて塩分の変動は小さく、各年ともに概ね約34.0の水が占めていた（Fig. 2b）。しかし、2001年は4月上旬以降に40m以浅で、2002年は4月下旬以降に60m以浅で、2003年は2月下旬以降に30m以

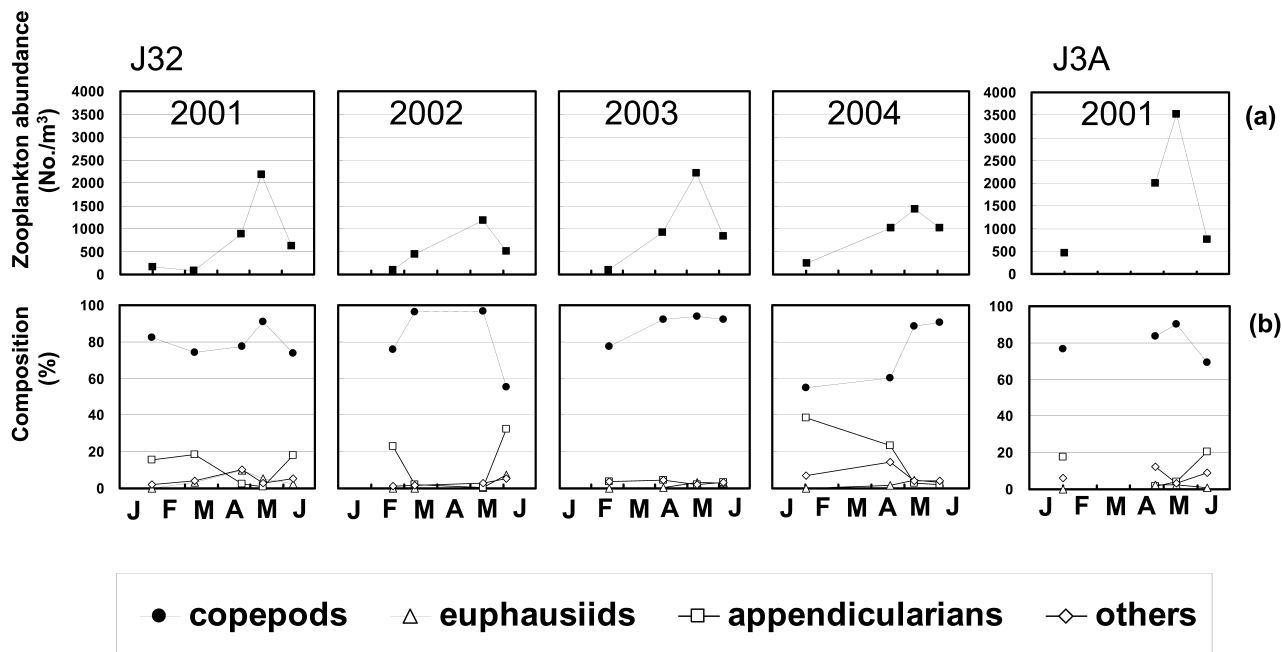


Fig.3 Seasonal changes of (a) zooplankton abundances (No./m<sup>3</sup>), and (b) numerical taxonomic compositions during winter to spring seasons from 2001 to 2004.

浅で、それぞれ34.0以下となった。2004年は調査期間を通じて33.9~34.1と、塩分の季節変動は小さかった。クロロフィル *a* 量は、34.0以下の塩分が表層に認められた時に増加する傾向があり、2001年には4月下旬に約30mで3  $\mu$ g/L, 2003年には4月上旬に約20mで5  $\mu$ g/Lの高濃度に達した (Fig. 2c)。

2001年、湾岸部定点 J3A における水温は、J32と比較して2~3月に低く、2~4℃であった (Fig. 2a)。しかし、その後は鉛直的に均一に、J32とほぼ同様に推移した。塩分はJ32よりも明らかに低塩分であり、5月上旬まで33.6以下の水で占められた (Fig. 2b)。また、2~4月には10m以浅では33.2以下と低塩分であった。クロロフィル *a* 量はJ32よりも約1か月半早い、3月上旬に10m以浅で約6~7  $\mu$ g/Lまで増加し、顕著な春季大増殖が観察された (Fig. 2c)。

## 2. 動物プランクトンの総個体数密度および組成

湾央部定点 J32 における動物プランクトン総個体数密度は、2001年は82~2,177個体/m<sup>3</sup>, 2002年には104~1,175個体/m<sup>3</sup>, 2003年には96~2,277個体/m<sup>3</sup>, 2004年には247~1,428個体/m<sup>3</sup>まで変動した (Fig. 3a)。動物プランクトン総個体数密度は、4か年を通して4月から5月にかけて増加して、5月に最大密度に達した後、6月には再び減少した。カイアシ類は動物プランクトン群集の中で、個体数の上で最も優占する動物群であり、総動物プランクトン個体数密度に占める割合は、2001年には73.8~

91.0%, 2002年には55.2~96.6%, 2003年には77.5~94.1%, 2004年には54.8~90.7%を占めた (Fig. 3b)。そして、各年ともに動物プランクトン総個体数密度が最大に達した5月には、カイアシ類が約90%以上を占めた。カイアシ類の組成率が低下した時は、尾虫類がカイアシ類に次いで優占した動物群であり、2001年1月、3月および6月には15.5~18.6%, 2002年2月に22.8%と4月に32.3%, 2003年2月には18.7%, 2004年2月と4月にはそれぞれ、38.3%および23.5%を占めた。

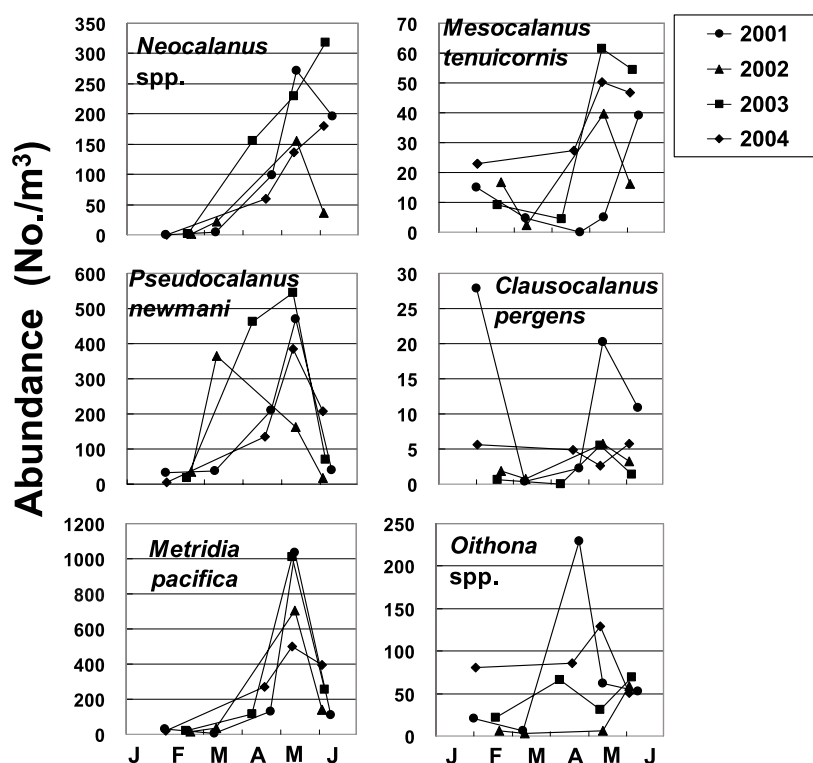
2001年、湾岸部定点 J3A における動物プランクトン総個体数密度は466~3,526個体/m<sup>3</sup>まで変動した (Fig. 3a)。湾央部定点 J32 と同様に、動物プランクトン総個体数密度は4月から5月にかけて急激に増加し、5月にはJ32よりも高密度の3,526個体/m<sup>3</sup>に達した。J3Aでもカイアシ類は個体数の上で最も卓越した動物群であり、総動物プランクトン個体数密度の76.5~90.1%を占めた (Fig. 3b)。また、カイアシ類に次いで尾虫類が1月と6月に17.5%および20.6%を占めた。

## 3. カイアシ類の出現種および優占種の季節推移

J32におけるカイアシ類の出現種は、4か年で未査定種1種を含む19属23種であった (Table 2)。出現種は、2004年に他の年よりも若干多かったものの、4年間を通じて大きく異なることはなかった。2001年のJ3Aでは未査定種1種を含む13属15種のカイアシ類が出現し、2001年のJ32での未査定種1種を含む15属18種よりも若

Table 2 Copepods species appeared at St.32 from 2001 to 2004, and at St.J3A in 2001. Solid circles (●) indicate dominant species.

| J32<br>2001  | 2002  | 2003   | 2004  | J3A<br>2001   |
|--|---|--|---|---|
| <b>CALANOIDA</b><br><i>Calanus pacificus</i><br><i>Neocalanus cristatus</i><br>● <i>Neocalanus</i> spp.<br>● <i>Mesocalanus tenuicornis</i><br><i>Eucalanus bungii</i><br><i>Paracalanus parvus</i><br><i>Pseudocalanus minutus</i><br>● <i>Pseudocalanus newmani</i><br>● <i>Clausocalanus pergens</i><br><br><i>Microcalanus pygmaeus</i><br><i>Paraeuchaeta elongata</i><br><i>Scolecithricella mior</i><br><br>● <i>Metridia pacifica</i><br><br><i>Tortanus discaudatus</i><br>unidentified calnoid | <b>CALANOIDA</b><br><i>Calanus pacificus</i><br><i>Neocalanus cristatus</i><br>● <i>Neocalanus</i> spp.<br>● <i>Mesocalanus tenuicornis</i><br><i>Eucalanus bungii</i><br><i>Paracalanus parvus</i><br><i>Pseudocalanus minutus</i><br>● <i>Pseudocalanus newmani</i><br><i>Clausocalanus pergens</i><br><i>Ctenocalanus vanus</i><br><br><i>Paraeuchaeta elongata</i><br><i>Scolecithricella mior</i><br><br>● <i>Metridia pacifica</i><br><br><i>Tortanus discaudatus</i> | <b>CALANOIDA</b><br><i>Calanus pacificus</i><br><i>Neocalanus cristatus</i><br>● <i>Neocalanus</i> spp.<br>● <i>Mesocalanus tenuicornis</i><br><i>Eucalanus bungii</i><br><i>Paracalanus parvus</i><br><i>Pseudocalanus minutus</i><br>● <i>Pseudocalanus newmani</i><br><i>Clausocalanus pergens</i><br><i>Ctenocalanus vanus</i><br><br><i>Paraeuchaeta elongata</i><br><i>Scolecithricella mior</i><br><br>● <i>Metridia pacifica</i><br><br>unidentified calnoid | <b>CALANOIDA</b><br><i>Calanus pacificus</i><br><br>● <i>Neocalanus</i> spp.<br>● <i>Mesocalanus tenuicornis</i><br><i>Eucalanus bungii</i><br><i>Paracalanus parvus</i><br><i>Pseudocalanus minutus</i><br>● <i>Pseudocalanus newmani</i><br><i>Clausocalanus pergens</i><br><i>Ctenocalanus vanus</i><br><br><i>Paraeuchaeta elongata</i><br><i>Scolecithricella mior</i><br><i>Scolecithricella</i> sp.<br>● <i>Metridia pacifica</i><br><i>Pleuromamma gracilis</i><br><i>Acartia longiremis</i><br><i>Tortanus discaudatus</i><br>unidentified calnoid | <b>CALANOIDA</b><br><i>Calanus pacificus</i><br><br>● <i>Neocalanus</i> spp.<br><i>Mesocalanus tenuicornis</i><br><i>Eucalanus bungii</i><br><i>Paracalanus parvus</i><br><i>Pseudocalanus minutus</i><br>● <i>Pseudocalanus newmani</i><br>● <i>Clausocalanus pergens</i><br><br><i>Scolecithricella mior</i><br><br>● <i>Metridia pacifica</i><br><br><i>Tortanus discaudatus</i> |
| <b>CYCLOPOIDA</b><br>● <i>Oithona</i> spp.   | <b>CYCLOPOIDA</b><br>● <i>Oithona</i> spp.  | <b>CYCLOPOIDA</b><br>● <i>Oithona</i> spp.   | <b>CYCLOPOIDA</b><br>● <i>Oithona</i> spp.  | <b>CYCLOPOIDA</b><br>● <i>Oithona</i> spp.  |
| <b>POECILOSTOMATOIDA</b><br><i>Oncaea</i> sp.<br><i>Corycaeus affinis</i>  | <b>POECILOSTOMATOIDA</b><br><i>Oncaea</i> sp.<br><i>Corycaeus affinis</i>   | <b>POECILOSTOMATOIDA</b><br><i>Oncaea</i> sp.<br><i>Corycaeus affinis</i>  | <b>POECILOSTOMATOIDA</b><br><i>Oncaea</i> sp.<br><i>Corycaeus affinis</i>   | <b>POECILOSTOMATOIDA</b><br><br><i>Corycaeus affinis</i>  |
|  |   |  | <b>HARPACTICOIDA</b><br><i>Microsetella norvegica</i>   | <b>HARPACTICOIDA</b><br><br><i>Harpacticus uniremis</i><br>unidentified harpacticoid  |

Fig.4 Seasonal abundances of six dominant copepod species (No./m<sup>3</sup>) at St.32 during winter to spring seasons from 2001 to 2004.

干少ないものの、ほぼ同様の出現種であった。J 32では、4 年間に共通した優占種として、冷水性の *Neocalanus* spp., *Pseudocalanus newmani*, *Metridia pacifica*, *Oithona* spp., 暖水性の *Mesocalanus tenuicornis* が挙げられ、2001

年のみ暖水性の *Clausocalanus pergens* が加わった (Table 2)。2001年の J 3A では、*Mesocalanus tenuicornis* を除く上記 5 種が優占種として挙げられた。そこで、J 32におけるこれら 6 優占種の季節推移を Fig. 4 に示した。

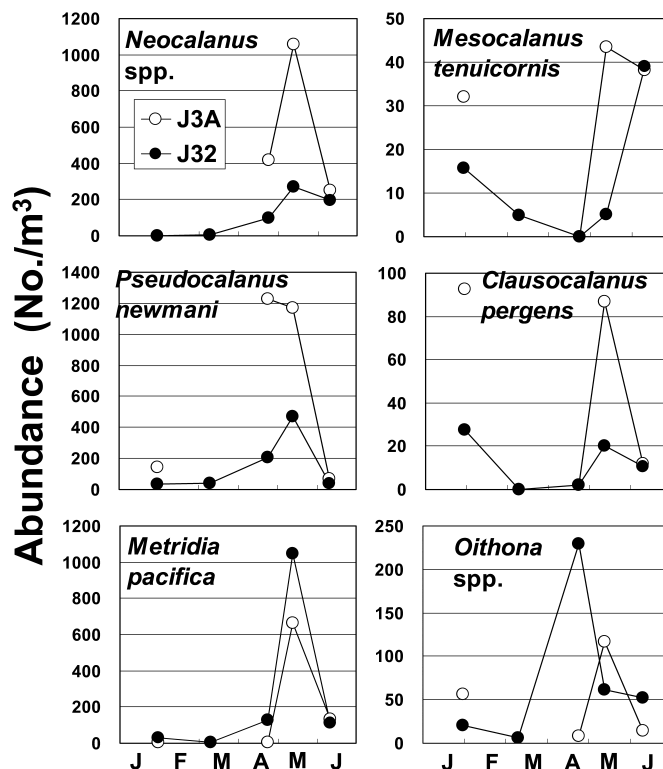


Fig.5 Comparisons of seasonal abundances of six dominant copepod species (No./m<sup>3</sup>) between St.J32 and St.J3A during winter to spring seasons in 2001. See table 1 for the sampling date.

*Neocalanus* spp.は1月から3月までは全く出現しないか、あるいは、極く低密度で出現した。各年ともに4月から増加し始め、2001年と2002年は5月に最大密度に達した。2003年と2004年は5月以降、さらに増加を続け6月に最高密度となった。*P. newmani*は、2002年を除き4月から5月にかけて増加し、5月に最高密度となり、6月には大きく減少した。*M. pacifica*は優占6種の中で最も個体数密度の多い種であり、*P. newmani*と同様に、4月から5月にかけて急激に増加し5月にピークとなった後、6月には急激に減少した。*M. tenuicornis*は、1～2月に各年ともに約10～20個体/m<sup>3</sup>の密度で出現したが、その後減少し、5月あるいは6月に再び増加した。上記4種と比較して、*Clausocalanus pergens*と*Oithona* spp.の季節性は不明瞭であり、*C. pergens*が2001年1月と5月、*Oithona* spp.が同じく2001年4月に増加した他は大きな特徴はな

かった。

次に、2001年1月から6月までのJ32とJ3Aにおける優占種の季節推移を比較した (Fig. 5)。*Neocalanus* spp., *M. pacifica* および*C. pergens*の季節推移は比較的良好に一致した。すなわち、両地点ともに*Neocalanus* spp.と*M. pacifica*の2種は5月、*C. pergens*は1月および6月に増加した。それらの最大密度は*Neocalanus* spp.と*C. pergens*では圧倒的にJ3Aで高く (*Neocalanus* spp.は1,056個体/m<sup>3</sup>, *C. pergens*は1月に93個体/m<sup>3</sup>, 5月に87個体/m<sup>3</sup>)、*M. pacifica*は反対にJ32で1,047個体/m<sup>3</sup>と、より高密度であった。*P. newmani*は湾岸のJ3Aで4月に1,229個体/m<sup>3</sup>の高密度で出現し、この高密度は5月まで続いた。しかし、湾中央のJ32では4月から5月にかけて増加し、その極大時期には約1か月の遅れが見られた。これと似たような季節推移の違いは*M. tenuicornis*にも認められ、湾岸の

Table 3 Mean abundances (No./m<sup>3</sup>) of dominant species from April to June..

| Station                        | J32   |       |       |       | J3A   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dominant species               | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2001  |
| <i>Neocalanus</i> spp.         | 214.0 | 96.1  | 228.4 | 128.8 | 687.4 |
| <i>Mesocalanus tenuicornis</i> | 14.2  | 27.8  | 43.9  | 43.7  | 33.1  |
| <i>Pseudocalanus newmani</i>   | 289.5 | 90.3  | 417.9 | 279.1 | 853.4 |
| <i>Clausocalanus pergens</i>   | 13.8  | 4.5   | 3.1   | 4.0   | 47.4  |
| <i>Metridia pacifica</i>       | 577.0 | 423.1 | 593.2 | 418.0 | 373.4 |
| <i>Oithona</i> spp.            | 92.6  | 32.4  | 49.1  | 98.3  | 64.2  |

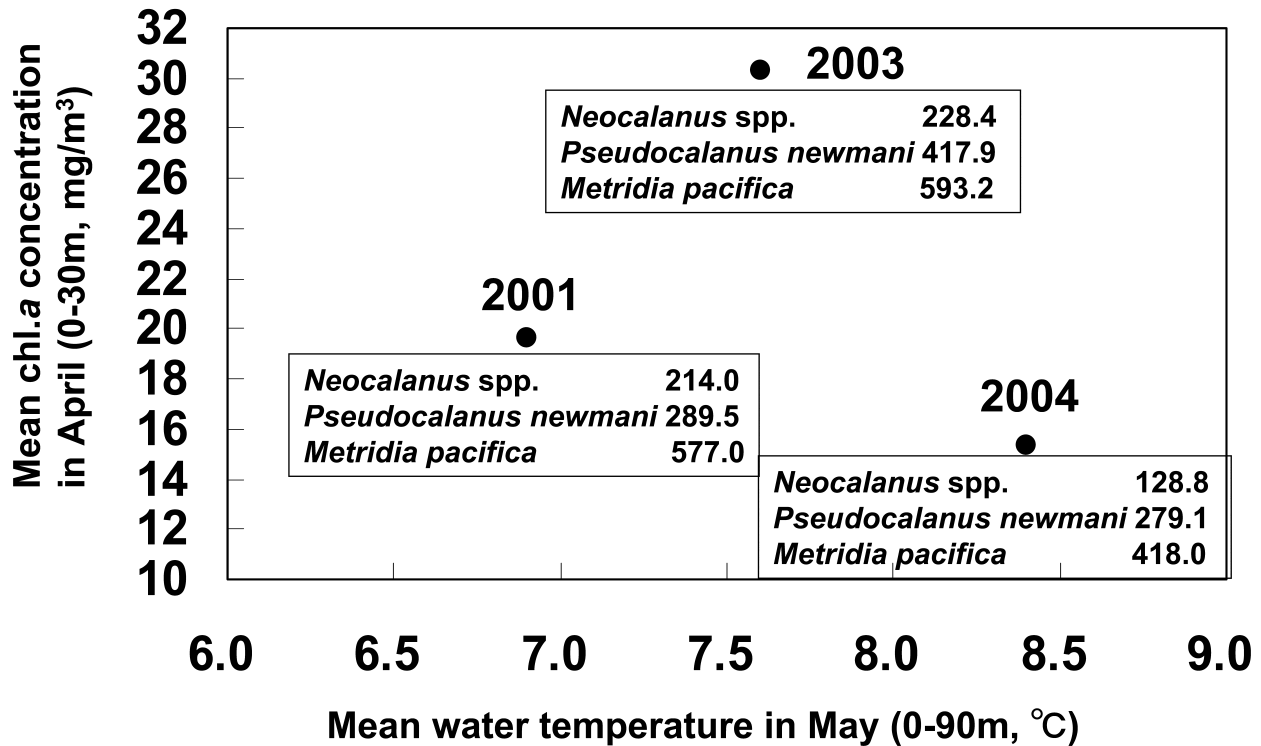


Fig.6 Mean abundances of three dominant copepod species (No./m³) at St.J32 from April to June, related to between mean water temperature throughout water column in May (0-90m, °C) and mean chlorophyll a concentrations in April (0-30m,  $\mu$  g/L).

J 3Aでは4月に極大となり、湾央のJ 32ではこれに遅れて5月に急激に増加した。*Oithona* spp.は*P. newmani*とは反対に、湾央のJ 32で4月に極大となり、湾岸のJ 3Aでは1か月遅い5月に最大密度となった。

#### 4. 優占種の春季の平均出現量と水温、クロロフィル a 量との関係

Table 3に、春季4～6月の3か月間における優占6種の平均出現量を示した。平均出現量は、各年において、調査日毎に個体数密度を積算した後、調査間隔日数で除した値とした。*Neocalanus* spp., *P. newmani*, *M. pacifica*の3種は、2001年と2003年に、平均出現量が明らかに多かった。また、J 3Aにおける平均出現量は*Neocalanus* spp.と*P. newmani*の2種でJ 32の出現量よりも多かった。

次に、J 32におけるこれら3種の春季の出現量を水温とクロロフィル a 量との関係で検討した (Fig. 6)。ここでは、水温は個体数密度のピーク時であった5月の0-90mの水柱平均水温、クロロフィル a 量はそのピークである4月の生産層0-30mの平均クロロフィル a 量とした (ただし、2002年は欠測)。そして、それぞれの年について水温とクロロフィル a 量をプロットし、優占3種の4～6月までの平均出現量を示してある。3か年の結果から、2004年は他の2年よりも高水温・低クロロフィル a

量であり、この年の優占各種の出現量は他の2か年よりも少なかった。また、水温は約7.6℃と2001年および2004年の中間的な値であったが、クロロフィル a 量は明らかに高かった2003年には、優占3種の出現量が最も多かった。

#### 考察

##### 1. 動物プランクトン総個体数密度の季節変化について

春季の石狩湾では湾央部地点および湾岸部地点ともに、植物プランクトンの春季大増殖に引き続いて、5月にカイアシ類を主とした動物プランクトン個体数密度の極大が観察された。そして、春季大増殖の規模がより大きい湾岸地点で、ピーク時の動物プランクトン個体数密度は、より高かった。これまで、春季に焦点を当てた石狩湾での動物プランクトンの調査研究は比較的乏しいが、小鳥<sup>14)</sup>は1980年代初期に全ての月を網羅していないものの、石狩湾全域で本研究と同様の網目幅を持つノルパックネット<sup>24)</sup>で動物プランクトンを採集し、その現存量を調べた結果、4月に明らかな極大を観察している。また、関ら<sup>24)</sup>は、1977年から1981年の3月から7月にかけて石狩湾の極く沿岸域に設けた10～13地点で中井式プランクトンネット (口径45cm, 網目幅0.33mm) を用いて水深5mか

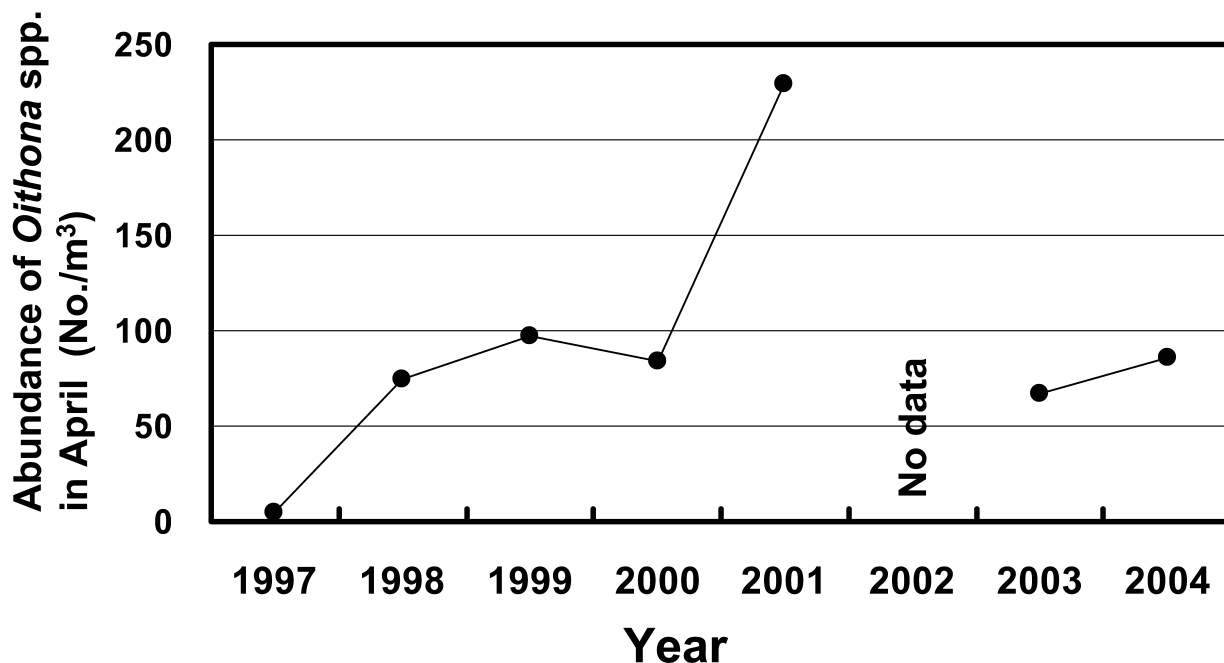


Fig.7 Abundances of *Oithona* spp. (No./m³) at St.J32 in April from 1997 to 2004 (Asami, unpublished data).

らの鉛直曳きを行って動物プランクトンを採集し、その個体数密度を調査した結果、3～4月にカイアシ類を主とした個体数密度のピークを観察している。これらの過去の知見と本研究で得られた動物プランクトン増加時期が5月にあるということとは一致しない。石狩湾における春季の動物プランクトンの極大は、1992年を境にそれ以前の4月から5月下旬あるいは6月上旬に変化したことを示唆する報告もある<sup>25)</sup>。春季の動物プランクトンの極大は、これに引き続く高次生物の生産を支える極めて重要な海洋条件の一つである。今後は、春季の観測をより密にして継続し、極大時期のズレをいち早く把握することが必要である。

## 2. 種組成について

4か年の調査を通じて出現したカイアシ類は年毎に大きな違いはなく、特に春季4～6月には*Neocalanus* spp., *P. newmani*, *M. pacifica*の3種の冷水性種が個体数の上で卓越して出現した。*Neocalanus* spp.は*Neocalanus plumchrus*と*N. flemingeri*の2種から成ると考えられ<sup>26)</sup>、以前には*Calanus plumchrus*とされていた種である。春季の*Neocalanus* spp. (= *Calanus plumchrus*) の卓越は古くから石狩湾で報告されており、Anraku<sup>27)</sup>は、石狩湾に面した小樽の西方にある小さな湾、忍路湾において、1946～1950年までの5年間に亘ってプランクトン調査を実施し、3月から4月にかけて本種が豊富に出現したことを報告している。また、小島<sup>14)</sup>は、1980年4月～1981年10月に、

石狩湾の動物プランクトン現存量の垂直分布を調査した結果、4月の10～20m層に主に*Calanus plumchrus*から成る現存量の明瞭な極大を認めている。また、前述の関ら<sup>24)</sup>も1977～1981年3～4月に本種の優占性を認めている。さらに鹿又ら<sup>18)</sup>は石狩湾余市沖に設定した1定点で、1982年4月に短期間間隔で合計6回、*Calanus plumchrus*の量的な推移を調べたところ4月下旬に明らかな増加を認めている。これらの過去の知見は本研究で得られた本種の出現盛期が5～6月に観察されたことと必ずしも一致しない。Mackas et al.<sup>28)</sup>は、アラスカ湾の1定点で1950年代前半から1990年代後半までの長期に亘る*Neocalanus plumchrus*の消長を観察し、その出現盛期が過去と現在で変化してきたことを明らかにしている。石狩湾においても、更に定点調査を継続して、このことを考察する必要がある。*M. pacifica*は春季の石狩湾で、個体数の上では最も卓越して出現した種であり、各年ともに5月に明瞭なピークを形成した。本種の春季の増加は他の海域でも報告されており<sup>29,30)</sup>、その生活史も明らかにされている。また、石狩湾においても本種の生活史が推定されている<sup>31)</sup>。それによれば、本種の産卵は植物プランクトンの春季大増殖に先立って行われ、孵化した幼生は春季大増殖の豊富な餌を利用しながら急速に成長し、晩春の表層水温の上昇に伴い成長を停止して、深層で休眠期に入り、春季の植物プランクトン量と水温が本種の生活史の重要な要因と示唆されている。*P. newmani*は特に、湾岸域で明らかに多く出現し、おそらく湾岸域における豊富な植物



プランクトンが本種の高豊度と関連しているのかもしれない。石狩湾において春季に優占して出現するカイアシ類の出現量を考える上で、水温とともに植物プランクトンの春季大増殖の規模も要因の一つとして検討することが必要であろう (Fig. 6)。

本研究で優占種とされた6種の中で、*M. tenuicornis*, *C. pergens*, *Oithona* spp.の各種については、その季節性や出現量に明瞭な特徴を見出すことができなかった。しかし、4か年を通じたモニタリングにより、興味深いことの一つとして、J 32で2001年4月下旬に*Oithona* spp.が他の年よりも明らかに多く出現したことが挙げられる(229個体/m<sup>3</sup>, 全体の33.3%)。Fig. 7には、本報告で示した2001~2004年の調査結果に加えて1997~2000年の4月に得られた標本について、*Oithona* spp.の個体数密度の観察結果を示している(浅見 未発表資料)。これらの結果からも、*Oithona* spp.の高い豊度が2001年に認められる。*Oithona*属の増加要因は本研究結果からは明らかではないが、*Oithona*属の個体数密度は、10  $\mu$ m未満の小型植物プランクトン、あるいは10~141  $\mu$ mの微小な原生動物プランクトン(鞭毛虫、繊毛虫)の現存量と正の相関関係にあることが噴火湾での研究結果から明らかにされている<sup>32)</sup>。さらに、本州日本海の富山湾では、*Oithona* 属の優占が、その餌料である小型鞭毛藻類の生産と関連していることも示唆されている<sup>33)</sup>。このように*Oithona*属の増加要因を考えるに当たっては、植物プランクトン現存量のサイズ組成や微小動物プランクトン現存量など、より詳細な調査研究が必要であり、今後の課題の一つとして挙げられる。

### 3. 石狩湾系ニシンの資源変動との関係

最後に、本研究で得られた春季のカイアシ類の季節および年変動と、卓越発生した石狩湾系ニシンの2001年級群<sup>34)</sup>との関係について、若干考察した。一般にニシンの仔魚は*Pseudocalanus*属や*Oithona*属などの小型カイアシ類のコペポダイト期を好むとされる<sup>35)</sup>。調査個体数は少ないものの、北海道北部日本海の留萌沿岸で、1997年および1998年に採集されたニシン仔魚(全長16~17mm)の消化管から、*Oithona*属や*P. newmani*が観察されている<sup>36)</sup>。さらに、佐々木ら<sup>37)</sup>は、6月中旬から7月上旬にかけて石狩湾河口域で採集されたニシン稚魚(全長30~40mm)の胃内容物を調べた結果、小型カイアシ類の*Oithona* spp., *Paracalanus parvus*, *Clausocalanus pergens*, 尾虫類の*Oikopleura* spp.などを観察し、特に、ニシンの再生産成功率は小型カイアシ類の個体数密度と関係していることを報告している。これらのことから、ニシンの初期生活にとって小型カイアシ類は極めて重要な餌生物であるこ

とが推察される。石田ら<sup>38)</sup>は、石狩川河口域で7月に採集された1998~2005年級群稚魚の耳石日輪解析結果から、2001年級群を含む生残率の高い年級群は生残率の低かった年級群と比較し、仔魚期(耳石半径50~150  $\mu$ mの範囲)の成長速度が大きいことを明らかにした。この結果は、仔魚期に大きな成長速度を得ることは年級群豊度決定に重要な要因であることを示唆している。さらに、石田ら<sup>38)</sup>は、仔魚期における成長速度と仔魚が経験した水温の関係を検討したところ、より高い水温を経験した個体ほど大きな成長速度を得ていたことから、仔魚期の成長速度を規定する要因として、水温の重要性を指摘している。しかし、石田ら<sup>38)</sup>の研究では、水温は仔魚期の成長速度の個体差を僅か35%しか説明しておらず、成長速度を規定する要因には水温以外の要因も否定できない。魚類仔魚の成長速度は、水温と餌生物量に規定されることも考えられる<sup>39)</sup>。本研究の焦点であった春季のカイアシ類については、小型カイアシ類として*P. newmani*, *C. pergens* や*Oithona* spp.が相当し、2001年に観察されたように、*P. newmani*と*Oithona* spp.は湾央J 32および湾岸J 3Aと時期を替えて湾内で広く優占したと考えられる。これら小型カイアシ類の増加がニシン仔魚期に相当する4月下旬から5月上旬と一致したことから、これら餌生物として重要な小型カイアシ類の動態も仔魚期の成長速度に関連した可能性がある。

ニシン仔稚魚の生き残りやその変動メカニズムの解明といった大きなテーマに挑むには、資源、生態および海洋研究など多方面からのアプローチが必要である。そして、仔稚魚の初期生活史の解明と同時に、仔稚魚を巡る食物網構造、動植物プランクトンの現存量、種組成、生産量などを時空間的により密に調査・研究することが重要である。

### 要約

1. 2001年から2004年までの4年間に亘り、冬季から春季にかけて石狩湾の湾央部地点で動物プランクトンを採集し、特に春季に優占して出現するカイアシ類数種の個体数密度の季節変化および年変化を調べた。また、2001年のみ湾岸部に定点を設け、同様の調査を実施した。同時に、水温と塩分の観測、クロロフィル a 量の測定も行った。
2. 各年ともに動物プランクトン個体数密度は5月に最も増加し、カイアシ類が個体数の上で90%以上を占めた。
3. 調査期間を通じて、*Neocalanus* spp., *Mesocalanus tenuicornis*, *Pseudocalanus newmani*, *Clausocalanus pergens*, *Metridia pacifica*, および *Oithona* spp.の6

種が優占種として挙げられた。中でも, *Neocalanus* spp., *Pseudocalanus newmani*, および *Metridia pacifica* の3種は春季に最も優占して出現する種であった。

4. その他の特徴として, *Oithona* spp.の出現量が2001年4月に多かったため, 石狩湾系ニシン2001年級群の卓越発生との関係で考察した。

## 謝辞

本研究を進めるに当たり, プランクトン採集調査に多大なる協力を惜しまなかった北海道立中央水産試験場所属試験調査船おやしお丸の船長並びに乗組員の皆様に感謝致します。

## 文献

- 林 清：第11回 北洋研究シンポジウム 北海道周辺海域に関する漁業生物と環境 1. 石狩湾における有用魚類の出現様式と生物環境. 水産海洋研究会報. 19-23 (1980)
- 吉田喜一, 土門和子, 渡辺智視：石狩湾沿岸漁場の物理・化学的環境. 北水試月報. 34(4), 1-6(1977)
- 苫米地洋文, 茄子川郁夫, 渡辺智視, 土門和子：石狩湾の環境条件 1. 春季における沿岸水の動向について. さけ別枠1978河川型研究グループレポート. 81-92 (1979)
- 苫米地洋文, 茄子川郁夫, 渡辺智視, 土門和子, 鹿又一良：石狩湾沿岸海域の環境条件 春季における沿岸水の動向について(2). さけ別枠1979河川型研究グループレポート. 71-85 (1980)
- 苫米地洋文, 茄子川郁夫, 渡辺智視, 鹿又一良, 土門和子：石狩湾沿岸海域の環境 春季における沿岸水の動向(3) およびクロロフィル *a*, フェオ色素の分布と無機窒素の分散. さけ別枠1980河川型研究グループレポート. 79-97 (1981)
- 茄子川郁夫, 渡辺智視, 鹿又一良, 土門和子, 苫米地洋文：石狩湾沿岸海域の環境 春季における沿岸水の動向(4) および栄養塩の補給様式とクロロフィル *a*, フェオ色素の分布の諸関係について. さけ別枠1981河川型研究グループレポート. 81-92 (1982)
- 清水幾太郎, 真山 紘, 関 二郎：石狩沿岸水域の春季における栄養塩について (1980年). さけ別枠1980河川型研究グループレポート. 99-107 (1981)
- 清水幾太郎, 真山 紘, 関 二郎：石狩湾沿岸域におけるサケ稚魚滞留期の環境条件. さけ別枠1981河川型研究グループレポート. 145-159 (1982)
- 鹿又一良, 渡辺智視, 田中伊織, 小鳥守之, 茄子川郁夫：石狩湾余市定点におけるクロロフィル *a* と栄養塩類の季節変化. 北水試報. 28, 1-10 (1986)
- 大槻知寛：海洋環境シリーズ「石狩湾海域生態調査」海洋観測結果から～沿岸水分布の特徴を見る～. 北水試だより. 76, 25-27 (2008)
- 小鳥守之：北海道石狩湾産プランクトン調査 昭和50年夏季および秋季の動物プランクトン生体現存量. 北海道立水産試験場報告. 19, 1-11 (1977)
- 小鳥守之, 渡辺智視：北海道石狩湾産プランクトン調査Ⅱ 昭和50年夏季“沿岸水域”における植物プランクトン量と植食性プランクトン量との関係. 北海道立水産試験場報告. 20, 1-12 (1978)
- 小鳥守之：北海道石狩湾産プランクトン調査 V 1975～1979年温暖季(6～11月)における動物プランクトンの“現存量曲線”. 北水試報. 23, 1-7 (1981)
- 小鳥守之：北海道石狩湾産プランクトン調査 VI 1980年および1981年の動物プランクトン現存量. 北水試報. 25, 1-6 (1983a)
- 小鳥守之：北海道石狩湾産プランクトン調査 VII 動物プランクトン現存量の鉛直分布. 北水試報. 25, 7-13 (1983b)
- 箕田 嵩, 志賀直信, 金子 実：沿岸域におけるさけ・ます稚魚の食性と動物プランクトン—2. 春季石狩川河口域表層における動物プランクトンの分布. さけ別枠1978河川型研究グループレポート. 99-115 (1979)
- 小鳥守之, 浜岡莊司：北海道石狩湾産プランクトン調査 III かい脚類の出現種. 北海道立水産試験場報告. 21, 1-16 (1979)
- 鹿又一良, 渡辺智視, 田村真樹, 小鳥守之：春の余市沖定点におけるカラヌスの消長と外圍条件. 北水試月報. 40, 297-303 (1983)
- 関 二郎, 清水幾太郎, 真山 紘：石狩湾沿岸における動物プランクトンの研究 I. *Tortanus discaudatus* と *Centropages abdominalis* (Copepoda: Calanoida) の分布と体サイズについて. さけます孵化場研報. 40, 21-30 (1986)
- Mauchline, J.: The biology of calanoid copepods. *Adv. Mar. Biol.* 33, 1-170 (1998)
- Motoda, S.: Devices of simple plankton apparatus. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 7(1/2), 73-94 (1959)
- 大森 信, 池田 勉：生態学研究法講座5 動物プランクトン生態研究法. 東京, 共立出版, 1976, 229p.
- 細川隆英, 加藤陸奥雄, 北沢右三, 野村健一, 田口亮平, 鳥居西藏：新編 生態学汎論. 東京, 養賢堂,

- 1968, 478p.
- 24) 関 二郎, 真山 紘, 清水幾太郎: 石狩湾沿岸におけるサケ稚魚の餌料環境と食性について－I－春季の沿岸部における餌料生物の水平分布－. さけまず孵化場研報. 38, 1-24 (1984)
  - 25) Kotori, M. and Hirano, K.: Recently observed delay in the occurrence of spring zooplankton biomass maximum in Ishikari Bay, western Hokaido. *PICES I X Extended Abstract*. 20-27 October, 2000
  - 26) Miller, B. C. and M. Terazaki: The life histories of *Neocalanus flemingeri* and *Neocalanus plumchrus* in the Sea of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*. 36(1), 27-41 (1989)
  - 27) Anraku, M.: Seasonal distribution of pelagic copepods at Oshoro Bay, west coast of Hokkaido. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* 3, 187-192 (1953)
  - 28) Mackas D. L., R. G. Goldblatt and A.G. Lewis: Interdecadal variation in development timing of *Neocalanus plumchrus* populations at Ocean Station P in the subarctic North Pacific. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55, 1878-1893 (1998)
  - 29) Hirakawa, K. and A. Imamura: Seasonal abundance and life history of *Metridia pacifica* (Copepoda: Calanioda) in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bull. Plankton Soc. Japan*. 40(1), 41-54 (1993)
  - 30) Padmavati, G., T. Ikeda and A. Yamaguchi: Life cycle, population structure and vertical distribution of *Metridia* spp. (Copepoda: Calanoida) in the Oyashio region (NW Pacific Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 270, 181-198 (2004)
  - 31) 浅見大樹: 海洋環境シリーズ 動物プランクトンの生活史を調べる カイアシ類の一種, メトリイディア パシフィカ (*Metridia pacifica*). 北水試だより. 61, 22-24 (2003)
  - 32) 中谷敏邦, 井出さやか, 高橋豊美: 北海道噴火湾におけるかいし類*Oithona*属の季節的個体数変動. 水産海洋研究, 67(4), 235-243 (2003)
  - 33) 平川和正, 後藤常夫, 平井光行: 富山湾におけるマイワシおよびカタクチイワシ仔魚の餌料としてのカイアシ類*Oithona*属の分布. *Bull. Plankton Soc. Japan*. 51(1), 1-12 (2004)
  - 34) 高柳志朗, 田中伸幸, 三宅博哉: 1. 2001年級の特徴を調べる (1) 成長・成熟・分布域などの特徴とその変化. 地域性ニシンの卓越発生メカニズム解明に迫る－北海道日本海沿岸に出現した卓越発生2001年級とその周辺-水産海洋研究. 69(2), 107-109 (2005)
  - 35) Blaxter, J. S. H. and J. R. Hunter: The biology of the clupeoid fishes. *Adv. Mar. Biol.* 20, 1-223 (1982)
  - 36) 吉村圭三: イ 留萌海域. 平成8年～10年度 日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書. 北海道立稚内水産試験場編. 93-99 (2000)
  - 37) 佐々木正義, 石田良太郎, 高畠信一, 高柳志朗: 3. 豊度決定要因としての生活環境－石狩川河口域周辺の海洋構造と餌生物の時空間分布－. 地域性ニシンの卓越発生メカニズム解明に迫る－北海道日本海沿岸に出現した卓越発生2001年級とその周辺－. 水産海洋研究. 69(2), 115-118 (2005)
  - 38) 石田良太郎, 高柳志朗, 佐々木正義, 田中伊織: 石狩湾系ニシンの仔稚魚期における成長・生残過程と沿岸水温. 水産海洋研究. 73(4), 319-321 (2009)
  - 39) Buckley, L. J., E. M. Caldarone and R. G. Lough: Optimum temperature and food-limited growth of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) on Georges Bank. *Fish. Oceanogr.* 13(2), 134-140 (2004)



# 石狩湾系ニシンの初回産卵年齢における年級豊度に関連した成熟割合と体サイズの変化

高柳志朗\*<sup>1</sup>, 山口幹人\*<sup>1</sup>, 石田良太郎\*<sup>2</sup>

Changes in body length and proportion of mature fish at first spawning age in relation to strength of year class in the Ishikari Bay herring (*Clupea pallasii* Valenciennes).

Shiro TAKAYANAGI\*<sup>1</sup>, Motohito YAMAGUCHI\*<sup>1</sup> and Ryotaro ISHIDA\*<sup>2</sup>

Annual changes in body size and the proportion of mature fish at first spawning age (1 year old) were examined for the Ishikari Bay herring (*Clupea pallasii*) on the basis of samples collected during January and March from 1998 to 2007 in offshore waters, near the main spawning ground along the Sea of Japan coast in Hokkaido. The proportion of mature females varied from 27% (in the 2001 year class) to 100% (in the 1996, 1999 and 2002 year classes). Average fork length ranged from 217 mm (in the 2001 year class) to 245 mm (in the 2002 year class). On the other hand, the abundance of 1-year-old fish was extremely high in the 2001 year class and relatively low in the 1996-2000 and 2002-2003 year classes, and at a medium level in the 2004 and 2005 year classes. Spearman's rank correlation revealed significant correlations among the proportion of mature females, average fork length and stock number. These results suggest that body size and the proportion of mature fish are closely associated with strength of year class.

キーワード：ニシン，成熟割合，年級豊度，体サイズ，石狩湾系ニシン

## はじめに

石狩湾系ニシンは，2～4月に石狩湾を中心に，北は稚内宗谷湾までの北海道日本海沿岸域に産卵場をもつ地域性ニシンであり<sup>1)</sup>，冬季～初春にかけて，これらの沿岸地域の重要な漁業資源となっている。石狩湾系ニシンの産卵群漁獲量は，1962～1996年では1～100トンの範囲で小刻みに変動していたが，1997年に157トンと漁獲の急増がみられた<sup>2)</sup>。その後200トン前後で変動を繰り返しながら，2004年には約1,230トン，2009年には約1,880トンを記録し，270～1,880トンの範囲で大きく変動している。

本系群に対する北海道庁による資源増大の取り組み<sup>3)</sup>が開始された1996年以降については，VPAによる資源解析が実施され，資源量や再生産関係も推定されており<sup>4)</sup>，近年の石狩湾系ニシンの資源水準は1990年代前半以前に比べ非常に高いこと，また大きく変動していることが示されている。

資源が大きく変動することは，マイワシ，ニシンなどのニシン科魚類のほか，マサバ太平洋系群などでもみられ，これらの魚種では資源量の水準によって成長<sup>5-7)</sup>や初回産卵年齢<sup>8-11)</sup>が変化することが知られている。成長や初回産卵年齢における成熟割合の変化は産卵親魚重量(SSB)に大きく影響し，資源変動と深く関わっている。

報文番号 A447 (2009年12月9日受理)

\*1 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experiment Station, 238 Hamanaka Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

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

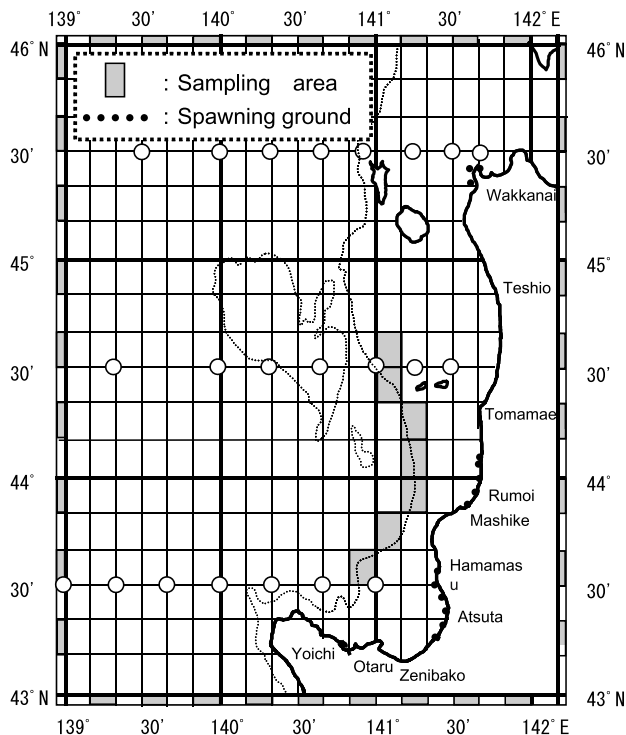


Fig.1 Sampling area and spawning ground of the Ishikari Bay herring. Clear circles indicate the observation points of sea temperature by HFES.

そのため、これらの変化を把握し、その要因を解明することは、資源変動機構を明らかにするために必要不可欠である。

本研究では、石狩湾系ニシンの初回産卵年齢である満1歳（生まれてほぼ2年）魚の成熟割合について、資源量が急増したと考えられる2001年級<sup>12)</sup>を中心に、その前後の年級との比較を行い、体サイズや年級豊度や資源量、さらには発生年とその翌年の水温などとの関係を検討した。

## 材料および方法

### 1. 解析に用いた標本

1998～2007年に、主として魚群が産卵接岸する前に分布すると考えられる沖合域において、1～3月に沖合底曳き網漁船により漁獲されたニシン標本を用いた(Table 1, Fig.1)。ただし、2002年級については、沖合域では標本が得られなかったため、11月に羽幌町沖の沿岸域で刺し網により漁獲されたニシン標本5尾を用いた。

### 2. 各年級の成熟割合・体サイズおよび肥満度

個体ごとに尾叉長(mm)、体重(g)および生殖腺重量(0.1g)を計測し、性別の判定を行った。また、耳石を用いて年齢査定を行い、誕生日を5月1日として満1歳

Table.1 Numbers of Ishikari Bay herring from 1998 to 2007 used for analysis of the proportion of maturer fish.

| Year class | Sampling date  | Number of herrings |      |       | fishing gear |
|------------|----------------|--------------------|------|-------|--------------|
|            |                | female             | male | total |              |
| 1996       | 3rd Feb. 1998  | 26                 | 15   | 41    | seine        |
|            | 26th Feb. 1998 | 14                 | 21   | 35    |              |
| 1997       | 24th Jan. 1999 | 21                 | 19   | 40    | seine        |
|            | 9th Feb. 1999  | 34                 | 26   | 60    |              |
|            | 17th Feb. 1999 | 24                 | 38   | 62    |              |
| 1998       | 24th Jan. 2000 | 30                 | 19   | 49    | seine        |
|            | 21th Feb. 2000 | 27                 | 25   | 52    |              |
| 1999       | 16th Feb. 2001 | 78                 | 62   | 140   | seine        |
| 2000       | 24th Feb. 2002 | 17                 | 12   | 29    | seine        |
| 2001       | 7th Mar. 2003  | 74                 | 73   | 147   | seine        |
| 2002       | 20th Nov. 2003 | 1                  | 4    | 5     | gill net     |
| 2003       | 1st Feb. 2005  | 195                | 127  | 322   | seine        |
| 2004       | 22th Feb. 2006 | 139                | 174  | 313   | seine        |
| 2005       | 10th Feb. 2007 | 11                 | 8    | 19    | seine        |
|            | 19th Feb. 2007 | 8                  | 2    | 10    |              |

であると査定された個体のみを解析に用いた。肥満度は、内臓除去重量(g)÷尾叉長(mm)<sup>3</sup>×10<sup>6</sup>、として求めた。未熟魚と成熟魚を以下の基準で区分し、成熟割合(%)＝成熟個体÷測定個体×100とした。生殖腺が細い糸状カリボン状で、生殖腺重量が1g未満である個体を未熟魚とし、それ以外を成熟魚とした。

また、ロジスチック回帰<sup>13)</sup>と最尤法により、雌雄別に、尾叉長と成熟・未成熟個体を分けたデータを用いて、ロジスティック曲線のパラメタを推定し、50%成熟尾叉長を求めた。

### 3. 稚魚期の体サイズ

石狩川河口付近において、1996～2005年に調査用地曳き網を用いた稚魚採集調査<sup>14-16)</sup>により得られたニシン稚魚の全長(mm)データを集計・整理した。そのうち、データが整っていた7月上旬における1999～2005年級の稚魚について、平均全長を調べた。

### 4. 各年級の成熟割合・体サイズと肥満度・年級豊度・資源豊度および水温との関係

まず、各年級の成熟割合および体サイズと資源豊度との関係を検討した。体サイズとしては各年級の雌雄込みの平均尾叉長、年級豊度と資源豊度としては、それぞれ山口ほか<sup>4)</sup>によるVPAにより算出された満1歳時の資源尾数と各年齢の資源重量の合計値(資源重量: Stock Biomass)を用いた。次に、各年級の成熟割合および体サイズと水温との関係を検討した。水温データは、北水試による定期海洋観測により、1997～2006年に得られた北緯43°30'～45°30'、東経139°00'以東の北海道沖日本海海域、22定点において2、4、6、8、10および12月に観測された表層および100m層の値を使用した。そして、これらの水温データを年級発生年とその翌年について、各月・各層の平均値を求めた。

以上のデータを用いて、各年級の雌の成熟割合および体サイズ(雌雄込み)との関係について、Spearmanの順

位相関により相関関係を検討した。

## 結 果

### 1. 成熟割合の変化

#### 1. 1 各年級の初回産卵年齢（満1歳）の成熟割合

1996～2005年級における満1歳時の成熟割合をFig.2に示した。雌の成熟割合は1996～2000年の年級では、89.5～100%であったが、2001年級では27.0%と大きく低下した。2002年級では、100%と高かったが、2003～2005年級では、79.0～46.7%と再び低下している。また、雄でも、雌と概ね同様の変化がみられている。

#### 1. 2 50%成熟尾叉長

1996～2005年級において得られた個体ごとの尾叉長と成熟・未成熟区分のデータを用いて、以下のロジスティック曲線が推定された（Fig. 3）。

雄では、

$$m_{FL}(\%) = \frac{100}{1 + \exp(-0.051(FL - 9.82))}$$

雌では、

$$m_{FL}(\%) = \frac{100}{1 + \exp(-0.078(FL - 16.21))}$$

また、得られたパラメタを用いて、50%成熟尾叉長を求めた。その結果、1996～2005年級の年級区分をせずに計算した50%成熟尾叉長は、雄では194.1mm、雌では206.9mmと推定され、成熟サイズは雄の方が小さかった。

#### 1. 3 各年級の尾叉長階級別成熟割合

雌雄について、各年級における満1歳魚の尾叉長と成熟の関係について検討した（Fig. 4）。1996～1999年級では220mm台以上の成熟割合は、雌雄とも100%あるいはそ

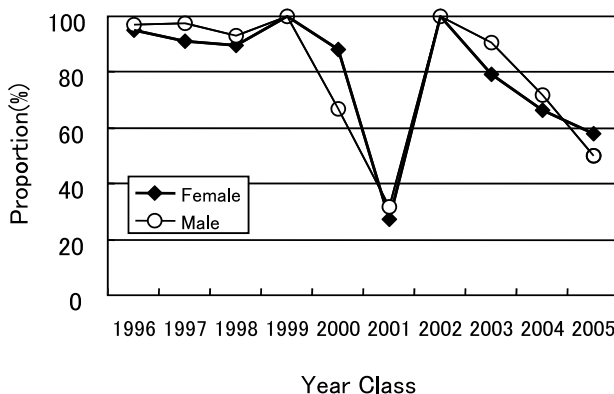


Fig.2 Annual changes in the proportion of mature fish aged 1 year for the Ishikari Bay herring.

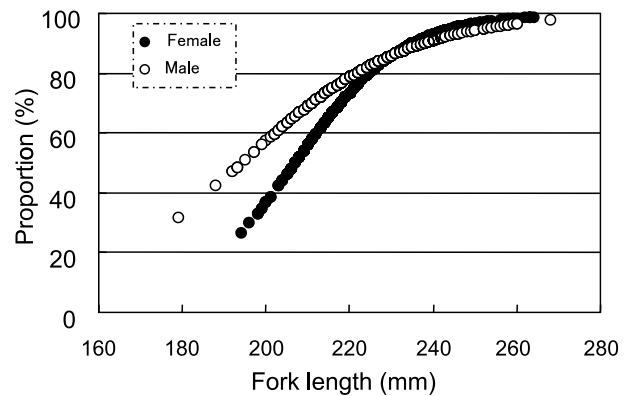


Fig.3 Proportion of mature females and male by fork length. Data were obtained from 1996 to 2005 year classes. Circles indicate the plot calculated by a logistic regression.

れに近かった。しかし、210mm台では年級間で差がみられ、1997年級と1999年級では100%であったのに対し、1998年級の雌成熟割合は67%、雄は33%であった。2000年級では雄が220～230mm台で成熟割合が低かった。雌雄とも成熟割合が大きく低下した2001年級では、220mm台より大きな階級でも成熟割合は40%程度、あるいはそれ以下であり、他の年級と大きく異なっていた。2002年級では230mm以上の個体のみが得られ、すべて成熟していた。

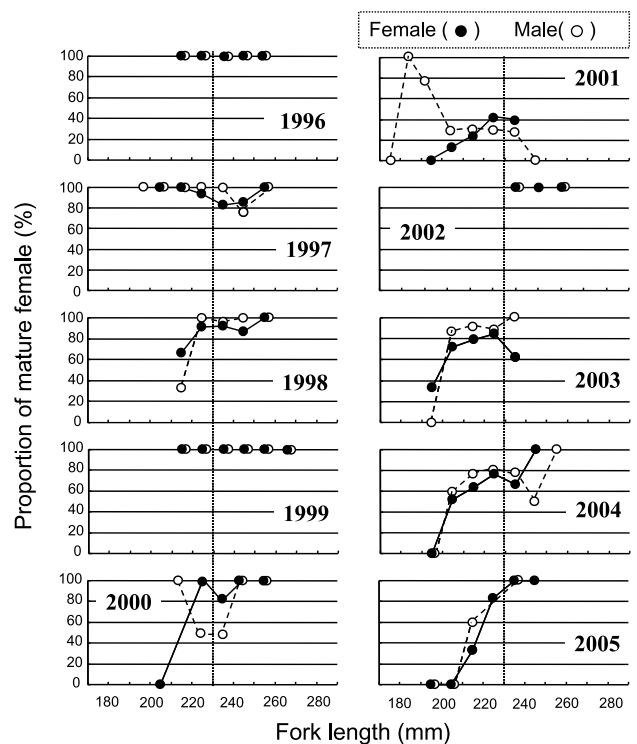


Fig.4 Interannual changes in the proportion of 1-year-old mature fish by fork length of the 1996-2005 year classes.



2003年級以降の年級では、1999年級以前の年級に比べ230mmより小さい階級で成熟割合の低下が認められた。

## 2. 各年級の初回産卵年齢の平均尾叉長

1998年～2007年に主として沖合域において漁獲され、標本として用いられたニシン満1歳魚の尾叉長組成をFig. 5に示した。各年級の尾叉長組成のモードは2002年級では25cm台、1996年級、1998年級、1999年級および2000年級では230mm台にみられ、1997年級では220mm台であった。2001年と2003～2005年の4つの年級では、いずれも210mm台にみられた。平均尾叉長は2002年級で250mmと最も大きく、2001年級で217mmと最も小さく、2002年級、1996年級、1999年級、2000年級、1998年級、1997年級、2005年級、2004年級、2003年級、2001年級の順で大きかった。以上のように、年級間で体サイズに大きな差異があった。

## 3. 稚魚期の体サイズ

7月上旬に採集された1999～2005年級の平均全長は、45.1～78.0mmの範囲であり、2001年級で最小、2002年級で最大であった (Table 2)。

検討できる1999～2005年級の1歳魚の平均尾叉長を用いて、稚魚期の全長との相関関係を調べると、有意な正の相関 ( $r=0.95$  ( $p<0.01$ )) があり、稚魚期のサイズが大きいほど、1歳魚のサイズは大きい傾向が認められた。

## 4. 各年級の肥満度

各年級の肥満度の変化と、雌について成熟魚と未成熟魚との間で肥満度に差がみられるのかを検討した (Fig. 6)。年級ごとの平均肥満度については、8.3～9.5の範囲であり、1997年級と2002年級で高く、1996年級と1999年級で低く、大きな差異が認められた。一方、成熟割合が特に低かった2001年級では8.7であり、ほぼ平均的な数値となっていた。成熟魚と未成熟魚について同じ年級内で平均肥満度を比較すると、両者には統計的には有意差はなかった ( $t$ 検定,  $p>0.05$ )。

Table.2 Average total length of juveniles collected in early July.

| Year | Total length (mm) | Number of specimens |
|------|-------------------|---------------------|
| 1999 | 52.7              | 652                 |
| 2000 | 67.0              | 37                  |
| 2001 | 45.1              | 410                 |
| 2002 | 78.0              | 175                 |
| 2003 | 47.1              | 240                 |
| 2004 | 54.0              | 1,269               |
| 2005 | 49.6              | 283                 |

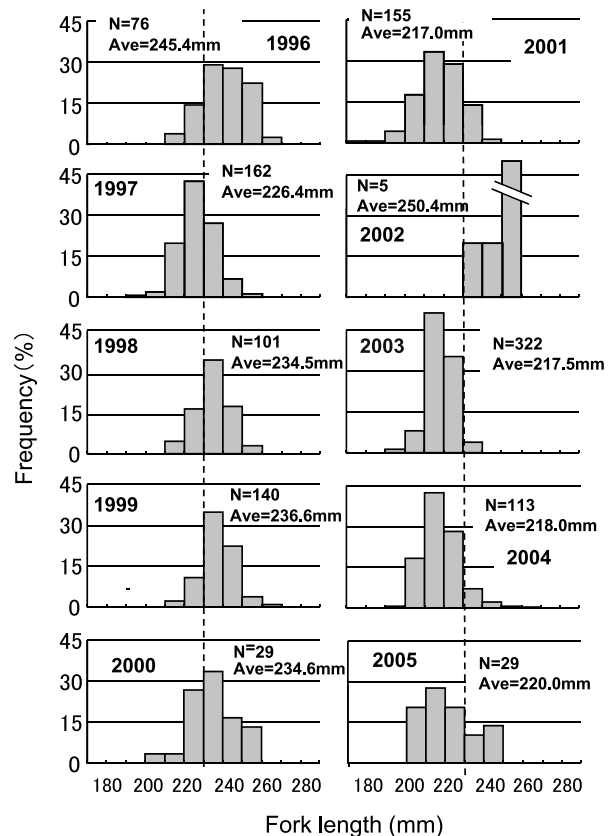


Fig.5 Annual changes in fork length frequency distribution of 1-year-old Ishikari Bay herring caught offshore in the Sea of Japan. N and Ave. indicates the number of individuals examined and the average fork length of each year class, respectively.

## 5. 各年級の成熟割合・体サイズと年級豊度・資源豊度・肥満度および水温との相関関係

前述したように、各年級の初回産卵年齢の成熟割合および体サイズ、さらには稚魚期の体サイズに大きな年変化がみられ、肥満度にも年級間で差があった。一方で、1996年以降、石狩湾系ニシンの年級豊度や資源量には大

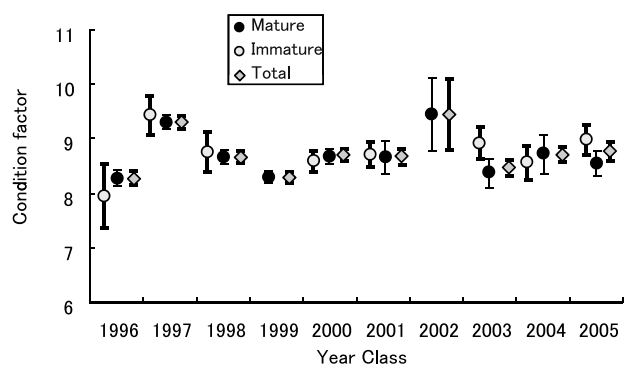


Fig.6 Annual changes in condition factors of the Ishikari Bay herring by maturity group. Upper and lower ticks indicate the 95% confidence interval.



きな変動がみられている<sup>3)</sup>。各年級における雌の成熟割合、体サイズ、肥満度および年級豊度、年級発生年の資源重量 (Stock Biomass) と表面 (SST) と100m層の水温および翌年の表面と100m層の水温をTable 3に示した。また、各変数間での相関関係 (Spearmanの順位相関) をTable 4に示した。

雌の成熟割合は体サイズ ( $r=0.80$ ) と年級豊度 ( $r=-0.88$ ) との間で高い相関係数が認められた ( $p<0.01$ )。また、発生年翌年の6月の表面水温との間に負の相関関係がみられた ( $p<0.05$ )。ただし、雌の成熟割合は資源重量との間には相関は認められなかった。

平均尾叉長と有意な関係が認められたのは、上述の成熟割合のほか、年級豊度であり、前者とは正、後者とは負の相関が認められた ( $p<0.05$ )。また、体サイズは発生年翌年の10月の表面水温と4月および6月の100m層水温との間に負の相関関係が認められた ( $p<0.05$ )。なお、成熟割合と同様に、資源重量との間には相関は認められなかった。

## 考 察

### 1. 成熟割合の推定

本研究で用いた標本は、2001年級を除き、11月から翌年3月上旬に得られた。また、2002年級を除いて、沖合域から得られた。太平洋ニシン (ブリティッシュ・コロンビアニシン) では、卵径サイズからみて、9~11月に

は成熟・未成熟の区分が可能で、この頃に成熟に向かう個体と未成熟のままの個体とに分かれることが報告されている<sup>17)</sup>。石狩湾系ニシンは産卵期前の11~2月には沖合域に分布し、産卵期とされる1~4月には、成熟の進んだ個体は産卵に備え沿岸域に來遊する<sup>18)</sup>。一方で、初回産卵である満1魚では、経産卵魚である満2歳以上に比べ遅い3月中旬以降に産卵することが知られている<sup>18)</sup>。これらの太平洋ニシンおよび石狩湾系ニシンの産卵に関する動向から判断して、本研究で行った初回産卵年齢における成熟割合の推定結果は妥当であると考えられた。

### 2. 成熟割合と体サイズ(平均尾叉長)の関係

成熟割合と体サイズの間には強い正の相関関係が認められ、成熟割合が体サイズと密接な関係があることが示された。また、2003年以降の年級では体サイズの小さい個体の出現頻度が高くなり、それに伴って、成熟割合の低下がみられた。さらに、2001年級以外の年級では、雌は230mmより大きい個体ではほとんどが成熟していた。一方で、もっとも成熟割合の低い2001年級では、230mm台でも約半数が未熟であり、この年級においてみられた成熟と体サイズの関係は他の年級と大きく異なっていた。このことについての原因に関しては、必ずしも明らかではないが、稚魚期である7月上旬における体サイズが2001年級で最も小さかったことから、生活史初期の成長が、その後の成熟サイズに影響した可能性がある。

今後は、稚魚期~未成魚期~成魚期の成長を詳しく調

Table.3 Variables for Spearman's rank correlation analysis with proportion of mature females and fork length at age 1.

| Year (class) | Proportion of mature female | Fork length at age 1 (mm) | Stock number at age 1 ( $\times 10^{-5}$ ) * | Stock Biomass (metric ton) | Condition factor | SST (° C) ** |      |       |       |       |       | T at 100m depth (° C) ** |      |      |      |      |      |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|--|----------------------------|------------------|--------------|------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|------|------|------|------|------|
|              |                             |                           |  |                            |                  | Feb.         | Apr. | Jun.  | Aug.  | Oct.  | Dec.  | Feb.                     | Apr. | Jun. | Aug. | Oct. | Dec. |
| 1996         | 100.0%                      | 245.4                     | 26.2   | 75.1                       | 8.3              | 4.96         | 5.42 | 10.79 | 18.55 | 18.40 | 7.55  | 5.00                     | 4.01 | 4.95 | 5.59 | 6.08 | 5.88 |
| 1997         | 91.9%                       | 227.2                     | 55.2   | 221.0                      | 9.3              | 4.90         | 4.48 | 9.84  | 20.01 | 14.57 | 10.60 | 5.07                     | 3.63 | 3.91 | 5.35 | 6.42 | 6.81 |
| 1998         | 89.5%                       | 234.5                     | 19.6   | 284.8                      | 8.7              | 4.08         | 5.28 | 10.30 | 18.97 | 16.90 | 9.81  | 3.99                     | 3.78 | 3.87 | 5.11 | 7.07 | 7.62 |
| 1999         | 100.0%                      | 236.8                     | 41.5   | 312.9                      | 8.3              | 3.55         | 5.46 | 10.83 | 19.58 | 17.21 | 12.00 | 3.64                     | 3.14 | 4.85 | 6.09 | 6.76 | 9.48 |
| 2000         | 88.2%                       | 234.6                     | 8.4  | 278.5                      | 8.7              | 5.47         | 5.51 | 11.31 | 19.56 | 16.30 | 8.55  | 4.56                     | 4.13 | 4.75 | 6.81 | 8.26 | 7.44 |
| 2001         | 27.0%                       | 217.0                     | 374.1  | 286.0                      | 8.7              | 2.99         | 4.71 | 10.36 | 19.28 | 15.38 | 9.95  | 3.25                     | 3.07 | 4.24 | 4.80 | 5.69 | 7.58 |
| 2002         | 100.0%                      | 245.3                     | 6.9  | 739.6                      | 9.4              | 4.95         | 6.35 | 12.65 | 19.32 | 17.03 | 9.69  | 4.30                     | 4.15 | 5.20 | 6.01 | 7.14 | 7.07 |
| 2003         | 79.0%                       | 217.5                     | 30.8   | 2,970.5                    | 8.5              | 4.53         | 5.68 | 10.73 | 17.55 | 15.81 | 9.88  | 4.17                     | 3.51 | 4.26 | 5.08 | 5.81 | 6.09 |
| 2004         | 66.2%                       | 217.9                     | 208.3  | 1,310.3                    | 8.7              | 5.43         | 6.53 | 10.76 | 20.42 | 16.73 | 11.65 | 5.00                     | 4.28 | 5.03 | 6.54 | 8.00 | 8.84 |
| 2005         | 46.7%                       | 217.2                     | 116.3  | 961.6                      | 8.8              | 3.83         | 6.31 | 11.81 | 19.96 | 19.52 | 9.36  | 4.68                     | 4.72 | 6.01 | 6.12 | 7.45 | 6.59 |
| 2006         | -                           | -                         | -  | -                          | -                | 2.65         | 4.63 | 10.53 | 20.00 | 16.50 | 9.96  | 3.94                     | 3.89 | 4.46 | 6.08 | 6.06 | 6.68 |

\*: Stock number at age 0 and SSB estimated by VPA (Yamaguchi et al, 2009)

\*\* : Average SST and T at 100m depth at the 22 stations observed 2 month apart (Fig. 1)

Table.4 The matrices of the rank correlation coefficient.

|                             | Fork length at age 1 | Stock number at age 1 | Stock biomass (metric ton) | Condition factor | SST (° C) |       |         |       |         |       | WT at 100m depth (° C) *** |         |         |       |       |       |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|-----------|-------|---------|-------|---------|-------|----------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|
|                             |                      |                       |                            |                  | Feb.      | Apr.  | Jun.    | Aug.  | Oct.    | Dec.  | Feb.                       | Apr.    | Jun.    | Aug.  | Oct.  | Dec.  |
| Proportion of mature female | 0.80 **              | -0.88 **              | -0.52                      | -0.35            | 0.13      | -0.41 | -0.72 * | -0.26 | -0.45   | 0.10  | 0.01                       | -0.45   | -0.54   | -0.27 | -0.09 | 0.13  |
| Fork length at age 1 (mm)   | -                    | -0.65 *               | -0.14                      | -0.21            | 0.11      | -0.54 | -0.54   | -0.50 | -0.68 * | -0.01 | -0.08                      | -0.64 * | -0.62 * | -0.45 | -0.41 | -0.15 |

\* Asterisk show the significant level,  $p<0.05$ .

\*\* Asterisk show the significant level,  $p<0.01$ .

\*\*\* Correlation coefficient of SST and WT at 100m depth are calculated using data set before 1 year.

べるとともに、成熟と体サイズとの関係をより詳しく調べることが重要である。

### 3. 初回成熟年齢における体サイズの大小に関わる要因

初回産卵年齢の成熟割合は1歳時の体サイズ、すなわち成長と密接に関連していることが示された。成長に関わる要因について、北海道・サハリン系ニシンでは索餌期前の水温上昇が成長に負の影響を与えているとの報告<sup>19)</sup>があり、本研究でも体サイズは発生年翌年の4月および6月の100m層水温と10月の表面水温と負の相関を有した。このことは、石狩湾系ニシンの成長が、満1歳時点で生息している水域の環境水温の影響を受けていることを示唆する。また、負の相関がみられたことから索時期における高水温は餌要求量や代謝を通して、成長を妨げる要因となっている可能性がある。

一方、北海道・サハリン系ニシンでは、体サイズ（体長）は生活史初期の成長に大きく影響されることが指摘されており<sup>19)</sup>、本研究でも稚魚期と満1歳時の体長に正の相関があることが認められた。これらのことから、年級群間の成長の差を知るためには、稚魚期から成熟に達するまでの連続した期間の成長を、環境という要素と関連させて調べる必要がある。

### 4. 成熟割合と肥満度および水温との関係

肥満度は栄養状態を表す一つの指標であり、石狩湾系ニシンでもそれを示す報告<sup>20)</sup>がある。そして、同科のマイワシでは一定以上の栄養状態は産卵に加わる必須条件であるとされる<sup>9)</sup>ことから、肥満度は成熟との間には密接な関係があると考えられる。

しかし、本研究では肥満度は、成熟に達したグループと未熟のグループの間に有意差は認められなかった。石狩湾系ニシンでは、1～3月の肥満度は、索餌期から成熟が少し進む9月以降12月に比べると低いことが報告されている<sup>17)</sup>。このため、成熟、未成熟が分化する時点では、マイワシ同様に成熟する個体の肥満度が高く、その後、成熟する個体は栄養を配偶子形成に用いたために肥満度が低くなったと考えられる。その一方で、成熟へと向かわなかった個体は栄養配偶子形成に栄養を使わずそのまま肥満度を維持したため、調査を行った1～3月では両者に差がみられなかったものと推察することも可能である。

しかし、石狩湾系について成熟する個体と成熟しない個体の成長に関する知見の報告はない。今後は、成熟と未成熟が分かれる時期を特定するとともに、その時期に標本を得るとともに、両者の肥満度、さらには栄養状態を示す体成分等を調べ、比較・検討する必要がある。

一方、各年級の満1歳時の成熟割合は発生年翌年の6月の表面水温との間に負の相関が認められた。このこと

は、水温が初回成熟年齢時の体サイズや成長を介さず、直接の影響を与えている可能性を示唆する。このことは、2001年級の成熟サイズが他の年級とは異なっていたことと関連があるとも考えられ、水温が成熟の進行にどのような影響を与えるのか、今後検討する必要がある。

### 5. 成熟割合・尾叉長の変化と年級豊度の関係

本研究で、石狩湾系ニシンの初回産卵年齢である満1歳の成熟割合および体サイズと年級豊度には負の相関関係が認められ、石狩湾系ニシンでも成熟や成長に関する特性が資源変動に深く関わっていることが明らかとなった。

マイワシ太平洋系群では資源変動に伴う成熟産卵生態に変化が認められ、資源の高水準期には3歳以上が初回産卵年齢であったが、低水準期には満1歳になったことが知られている<sup>6)</sup>。また、マサバ太平洋系群では資源の衰退によって、1～4歳魚の成熟割合が上昇したことが報告されている<sup>7)</sup>。さらに、広域性ニシンの北海道・サハリン系ニシン（春ニシン）でも資源の衰退に伴い、産卵年齢の低下が報告されている<sup>8)</sup>。これらは資源変動が激しいことに加え、大きく回遊し、分布範囲が広い魚類である。

これらに対し、石狩湾系ニシンは、分布・回遊範囲の狭い地域性ニシンとして位置づけられているが、本研究期間の10年間に年級豊度の最高値と最低値の間には54倍程度の大きな差があった。また、1995年以前も含めると、資源豊度は10の3乗程度という大きな幅で変動する資源であり<sup>21)</sup>、これらの点で北海道・サハリン系ニシン、さらにはマイワシやマサバと共通点を有していることになる。

成熟割合および体サイズと年級豊度の間には負の相関関係が認められたが、資源重量とは有意な相関関係は認められなかった。マイワシで指摘されている<sup>5, 22)</sup>ように、体サイズに関しては、石狩湾系ニシンでも、年級豊度が成長に対して一定の影響を与えていることを示すものと考えられる。また、1歳になるまでの過程の中で、個体群密度が成長に関与していることを示唆する。ただし、マイワシでは、ある年級の成長は年級内部のみではなく前後の年級豊度にも影響を受けていることが報告されている<sup>4)</sup>。以上のことは、単一年級で群形成する、複数年級で群構成する、という魚群形成の仕方の違いに起因するものと考えられる。

成熟割合と年級豊度には負の相関関係が認められながら、成熟割合が資源重量と相関関係を持たなかったことに関しては、石狩湾系ニシンにおいて、個体が成熟するかしないかは、直接個体群密度に影響されるというよりは、成熟は体サイズを介して、間接的に影響を受けると

いう解釈もされうる。しかし、2001年級でみられたように、成熟する体サイズそのものが変化する場合もあることから、複合的な要因が関与するものと推察される。

いずれにしろ、地域性ニシンである石狩湾系ニシンにおいても、他の浮魚類と同様に、個体群密度が成長ひいては成熟の進行に関与している可能性が高い。

本研究では、初回産卵年齢の成熟割合には、年級間で大きな変化がみられ、これには体サイズの変化が伴っていたこと、これらの変化は年級豊度と密接な関係があることが示された。初回産卵年齢の成熟割合は、そのこと自体が資源変動と関連し、また、資源変動に対し影響を与えると考えられる。このため、石狩湾系ニシンにおいて、年々の成熟割合や体サイズなどの資源特性値をモニタリングすることは、資源解析や再生産関係の検討を進め、資源変動のメカニズムを解明するために、今後とも継続して実施する必要がある。

## 要 約

1. 1998年～2007年秋季から冬季にかけて、主として沖合域で、1～3月に漁獲された石狩湾系ニシンを用いて、初回産卵年齢（満1歳魚）の成熟割合と体サイズ（平均尾叉長）の変化を調べ、年級豊度や北海道沖日本海海域の水温との関係を検討した。
2. 雌の成熟割合は27%～100%と大きく変化した。また、体サイズは217mm～250mmの範囲で変化した。この間の各年級の豊度には54倍程度の大きな変動がみられた。
3. 成熟割合は低い年級では体サイズが小さかった。また、成熟割合は低く、体サイズは小さい年級では、豊度が高い傾向があり、3者間で有意な相関（Speamanの順位相関）が認められた（ $P<0.05$ ）。
4. 成熟割合および体サイズと水温との間には多くの月で相関関係はみられなかったが、一部の月で負の相関関係を有した。
5. 以上のことから、石狩湾系ニシンの初回産卵年齢の成熟割合や体サイズは、年級豊度と密接な関係があることが示された。

## 謝 辞

本研究は、平成8～13年実施の「日本海ニシン資源増大プロジェクト」および平成14～19年実施の「日本海ニシン増大推進プロジェクト」の中で行われ、本事業に参加した中央・稚内水産試験場の資源管理部および資源増殖部門の研究者には多大なる支援と協力を頂いた。また、小樽機船漁業協同組合職員には、ニシン標本の採取に際

し、協力を頂いた。これらの方々に、心から感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 小林時正：太平洋ニシンの集団遺伝学的特性と種内分化に関する研究．遠洋水研報．30, 1-77 (1993)
- 2) 高柳志朗，石田良太郎：石狩湾系ニシンの漁獲量変動と体長組成の経年変化．北水試研報．62, 71-78 (2002)
- 3) 北海道水産林務部：平成8年～10年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書．2000, 174p.
- 4) 山口幹人，瀧谷明朗，山口宏史，三宅博哉，高柳志朗：石狩湾系ニシンのVPAに基づく種苗放流および漁業管理効果の試算．北水試研報．77, 21-27 (2010)
- 5) 和田時夫：道東海域におけるまき網対象マイワシ資源の来遊動態に関する研究．北水研研報．52, 1-138 (1988)
- 6) Morishita, Haruyuki: Age and growth of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* in Tosa Bay, southwestern Japan during a period of declining stock size. *Fishery Science*. 69, 745-754 (2003)
- 7) Watanabe, C. and Yatsu, A.: Effect of density-dependence and sea surface temperature on interannual variation in length-at-age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Kuroshio-Oyashio area during 1970-1997. *Fishery Bulletin*. U. S., 102, 196-206 (2006)
- 8) Motoda, S. and Hirano, Y.: Review of Japanese herring investigations. Rapport et Proces-Verbaux des Reunions, Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer. 154, 249-261 (1963)
- 9) 森本晴之：“5. 成熟”. マイワシの資源変動と生態変化. 水産学シリーズ119. (渡邊良朗・和田時夫編), 恒星社厚生閣, 東京, 1998. 48-53.
- 10) 平本紀久雄：マイワシ太平洋系群の房総およびその周辺海域における発育と生活に関する研究．千葉水試研報．39, 1-127 (1981)
- 11) Watanabe, C. and Yatsu A.: Long-term changes in maturity at age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in relation to population decline in the waters off northern Japan. *Fishery Research*. 78, 323-332 (2006)
- 12) 高柳志朗：2001年級の特徴を探る．①成長・成熟年齢・分布域などの特徴とその変化．水産海洋研究．69(2), 107-109 (2005)

- 13) 岸野洋久：生のデータを料理する－統計科学における調査とモデル化．東京，日本評論社，2001，256p.
- 14) 北海道水産林務部：平成11年～13年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書．2003，258p.
- 15) 北海道水産林務部：平成14年～16年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書．2006，233p.
- 16) 北海道水産林務部：ニシンの資源管理対策調査．平成17年～19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書．2009，138p.
- 17) Hay, D. E. : Reproductive biology of Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42 (Suppl. 1), 111-126 (1985)
- 18) 高柳志朗, 石田良太郎：石狩湾系ニシンの繁殖特性．北水試研報．61, 79-89 (2002)
- 19) Watanabe, Y. ,Dingsor, G. E., Tian, Y., Tanaka, I. and Stenseth, N. C. : Determinant of mean length at age spring spawning herring off the coast of Hokkaido, *Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser.* 366, 209-217 (2008)
- 20) 福士暁彦, 佐藤暁之, 高柳志朗：ニシン親魚の体成分分析．平成17年～19年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書．北海道水産林務部．119-123 (2009)
- 21) 高柳志朗・石田良太郎・佐々木正義：石狩湾ニシンの生態と資源変動．月刊海洋Vol.33, No.4(通巻370号),
- 22) 檜山義明：“4．対馬暖流域での回遊範囲と成長速度”．マイワシの資源変動と生態変化．水産学シリーズ119．(渡邊良朗・和田時夫編)，東京，恒星社厚生閣，1998．35-44.

# 石狩湾系ニシンのVPAに基づく種苗放流および漁業管理効果の試算

山口幹人\*<sup>1</sup>, 瀧谷明朗\*<sup>1</sup>, 山口宏史\*<sup>1</sup>, 三宅博哉\*<sup>2</sup>, 高柳志朗\*<sup>1</sup>

The effects of stocking and fisheries management based on virtual population analysis of the Ishikari Bay herring *Clupea pallasii*

Motohito YAMAGUCHI\*<sup>1</sup>, Akio TAKIYA\*<sup>1</sup>, Hiroshi YAMAGUCHI\*<sup>1</sup>,  
Hiroya MIYAKE\*<sup>2</sup> and Shiro TAKAYANAGI\*<sup>1</sup>

The catch of the Ishikari Bay herring (*Clupea pallasii*) has increased to about 200 tons since 1997. Virtual population analysis (VPA) has suggested that this increase was caused by greater recruitments of 1995 and 1996 year classes due to high recruitment per spawning biomass (RPS). The RPS rose again in 2001, and the 2001 year class increased the catch to more than 1,000 tons in 2004. Stocking and fisheries management have been conducted since 1996 and 2003, respectively. The effects of these measures were estimated to be 34 tons and 1,750 tons in fisheries year 2008 from calculation using VPA parameters. It is considered that the stocking and the fisheries management contributed synergistically to this increase in the catch.

キーワード：ニシン，石狩湾系群，プロジェクト，VPA，種苗放流，資源管理

## まえがき

北海道では19世紀末から20世紀半ばにかけてニシン北海道・サハリン系群が多獲され，ピーク時（1897年）の北海道全体でのニシンの漁獲量は97万トンに達したもののその後減少し，1954年を最後にほとんど漁獲がみられなくなっている<sup>1)</sup>。

一方，北海道西岸の石狩湾を中心に産卵する石狩湾系ニシンの漁獲量は，1996年まで100トン未満であったが，1997年に約150トンとなって以降増加し，2009年には約2,000トンに達した<sup>2)</sup>。同系群は1996年以降，北海道庁が進めてきた日本海ニシン資源増大プロジェクト<sup>3, 4)</sup>および日本海ニシン増大推進プロジェクト<sup>5, 6)</sup>（以下，ニシン・プロジェクト）の対象となり，種苗放流や漁業管理が実施されたことから，それらの効果推定が求められている。

魚類の種苗放流効果については，放流魚の回収率や費用対効果を中心に，サワラ<sup>7)</sup>，ヤヒラメ<sup>8, 9)</sup>，トラフグ<sup>10)</sup>など多くの報告がなされている。しかし，ニシン・プロジェクトでは資源の維持，増大を目的としており，放流魚の産卵参加による資源増大効果も含めた効果判定が必要であった。これについては西田<sup>11)</sup>が試算しているが，計算は2005年までにとどまり，近年の資源の極大期に及んでいない。一方，漁業管理効果については，多くの研究が管理条件別の管理効果の試算を中心に進められており<sup>12)</sup>，実際に実施された管理の効果の試算は少ない<sup>\*3)</sup>。

今回，年度別の年齢別漁獲尾数を基にしたVPA（virtual population analysis）を実施し，資源量の増加状況を把握した。同時に，VPAで得たパラメータを使用した前進計算によって，放流魚の産卵参加による資源増大まで含めた効果，および実施済みの漁業管理の効果を試算したので報告する。

報文番号 A448（2009年12月9日受理）

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

\*2 北海道立栽培水産試験場（Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station, Funami-cho, Muroran, Hokkaido, 051-0013, Japan）

\*3：石狩湾系群ニシンの管理効果の検証（三宅博哉：未発表）

## 材料及び方法

## 年齢別漁獲尾数の推定

1995～2007漁期年度（5月～翌年4月：以下，年度）の年齢別漁獲尾数としてニシン・プロジェクト報告書<sup>13)</sup>の数値を用いた。また2008年度の年齢別漁獲尾数については，地域別，漁業種類別，時期別に採集した標本の年齢別尾数を，漁獲量で引き延ばして算出した。その際，石狩・後志支庁管内では耳石輪紋観察より年齢を査定し，留萌・宗谷支庁管内ではAge-length keyから年齢別尾数を推定した。

## 資源解析

VPAによって1995～2008年度の年齢別資源尾数を推定した。なお，満1歳以降の自然死亡係数は，ニシンの寿命を7年と仮定し，田内・田中の方法<sup>14)</sup>から $M=0.36$ とした。また，最近年の漁獲死亡係数 $F$ を過去3年度の平均値とし，最高齢（2004年度までは4歳以上，2005年度以降は5歳以上のプラスグループ）の $F$ について最高齢－1歳の $F$ と等しいと仮定し，最近年，最高齢の $F$ をこの仮定を満たすように求めた。さらに最高齢－1歳以下の資源尾数を(1)式から，最高齢と最近年度の資源尾数を(2)式から計算し，漁獲死亡係数は(3)式から求めた。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \cdot e^M + C_{a,y} \cdot e^M \quad (1)$$

$$N_{a,y} = \frac{C_{a,y}}{1 - e^{-F_{a,y}}} \cdot e^M \quad (2)$$

$$F_{a,y} = \ln \frac{N_{a,y}}{N_{a+1,y+1}} - M \quad (3)$$

ここで， $a$ は年齢階級， $y$ は年度を表す。 $N$ は資源尾数， $C$ は漁獲尾数， $M$ は自然死亡係数， $F$ は漁獲死亡係数を表す。

なお， $RPS$ を(4)式から求めるにあたって，2歳の成熟率 $Mr_{2,y}$ は，1998～2005年度の満2歳については高柳ほか<sup>15)</sup>に従い，2006～2008年度の満2歳については別途調査より推定した（Table 1）。また1996，1997年度の満2歳および全ての年度の3歳以上の成熟率については100%とした。

$$RPS_{y-1} = \frac{N_{1,y}}{\sum_{a=2}^{\max} (N_{a,y-1} \cdot W_a \cdot Mr_{a,y-1})} \quad (4)$$

ここで， $RPS$ は産卵親魚重量（kg）あたりの加入尾数

Table 1 Retio of mature individuals at 2 years old.

| Fisheries year | Retio of mature individuals (%) |
|----------------|---------------------------------|
| $y$            | $Mr_{2,y}$                      |
| 1996           | 100                             |
| 1997           | 100                             |
| 1998           | 100                             |
| 1999           | 92                              |
| 2000           | 89                              |
| 2001           | 100                             |
| 2002           | 88                              |
| 2003           | 27                              |
| 2004           | 100                             |
| 2005           | 79                              |
| 2006           | 66                              |
| 2007           | 27                              |
| 2008           | 18                              |

Table 2 Body weight at each age.

| Age | Weight (g) |
|-----|------------|
| $a$ | $W_a$      |
| 1   | 17.3       |
| 2   | 124.4      |
| 3   | 212.9      |
| 4   | 276.3      |
| 5   | 349.3      |
| 6   | 399.6      |

Table 3 Stocking in terms of number and retio of survival up to 1 year old.

| Fisheries year | Stocking in terms of number | Reito of survival up to 1 years old (%) |
|----------------|-----------------------------|---|
| $y$            | $Ns_{1,0,y}$                | $Sr_y$                                  |
| 1996           | 160,877                     | 6.56                                    |
| 1997           | 494,200                     | 2.40                                    |
| 1998           | 1,444,474                   | 0.18                                    |
| 1999           | 2,078,400                   | 1.57                                    |
| 2000           | 827,656                     | 2.74                                    |
| 2001           | 1,358,600                   | 3.00                                    |
| 2002           | 1,381,175                   | 0.34                                    |
| 2003           | 2,141,842                   | 1.08                                    |
| 2004           | 2,684,283                   | 2.23 *                                  |
| 2005           | 2,603,191                   | 2.23 *                                  |
| 2006           | 1,985,569                   | 2.23 *                                  |
| 2007           | 2,155,272                   | 2.23 *                                  |

\*Average from 1996 to 2003

(年度初めの1歳の資源尾数),  $W$ は年齢別体重 (Table 2),  $Mr$ は成熟率を表す。

#### 放流魚由来の資源尾数および漁獲量の試算

放流されたニシンを第1世代とし, その子を第2世代, 孫を第3世代として, 各世代の満1歳で加入した後の資源尾数を計算した。なお石狩湾系ニシンは早ければ, 生後2年で成熟するため, 1996年度に放流された第1世代の子孫は2006年度に第6世代が誕生し2007年度に加入することから, 最大世代数を6とした。

まず1996年度以降の放流尾数 $Ns_{1,0,y}$ に, 放流から加入(満1歳時点)までの生残率 $Sr_y^{16)}$ を乗じて, 各年の放流種苗の翌年における加入尾数を求めた(5式)。なお2004年度以降に放流された種苗については生残率が未確定なため, 1996~2003年度までの平均値である2.23%を一律に代入した (Table 3)。

$$Ns_{1,1,y} = Ns_{1,0,y-1} \cdot Sr_{y-1} \quad (5)$$

ここで,  $Ns$ は放流由来の資源尾数,  $Sr$ は放流から加入までの生残率,  $g$ は世代,  $a$ は年齢階級,  $y$ は年度を表す。

次に各年度の加入尾数に対してVPAで求められた各年度各年齢に対する $F_{a,y}$ を使用し, (6)式によってその後の各年度の放流由来の資源尾数( $g=1, a>1$ )を前述の最高齢まで計算した。

$$Ns_{g,a,y} = Ns_{g,a-1,y-1} \cdot e^{-(F_{a-1,y-1}+M)} \quad (6)$$

さらに放流魚の子孫の各年度の加入尾数( $2 \leq g \leq 6$ )を世代ごとに第6世代まで(7)式によって求めた。この計算では, 前世代の産卵親魚重量にVPAで求めた $RPS$ を乗じた。さらに, それを基に前進計算によって, 各世代のその後の資源尾数を第1世代(放流魚)と同様に計算し(6式), 資源尾数に体重をかけて世代別, 年度別の放流由来の資源重量 $Bs$ を求めた(8式)。

$$Ns_{g,1,y} = \left( \sum_{a=2}^{\max} Ns_{g-1,a,y-1} \cdot W_a \cdot Mr_{a,y-1} \right) \cdot RPS_{y-1} \quad (7)$$

$$Bs_{g,y} = \sum_{a=1}^{\max} (Ns_{g,a,y} \cdot W_a) \quad (8)$$

加えて, 第1から第6世代の資源尾数から, (9)式により放流に由来する全漁獲尾数を計算し, さらに年度別の漁獲重量(10式)を求めた。なお漁獲重量については, 漁獲が年度末に集中しているため, 体重は1歳上の値を用いて計算した(10, 11, 15式)。

$$Cs_{a,y} = \sum_{g=1}^6 (Ns_{g,a,y} \cdot (1 - e^{-F_{a,y}}) \cdot e^{-M}) \quad (9)$$

$$Ys_y = \sum_{a=1}^{\max} (Cs_{a,y} \cdot W_{a+1}) \quad (10)$$

ここで $Cs$ は放流由来の漁獲尾数,  $Ys$ は放流由来の漁獲重量である。

#### 漁業管理効果の試算

ニシン・プロジェクトでは, YPR解析から漁獲開始年齢を満2歳とした場合に漁獲量漁獲金額ともに最大となる結果が得られている<sup>13, 17)</sup>。漁獲開始年齢を満2歳とするため, 主漁業である刺し網漁業の網目合を2.0寸以上とし, さらに漁期を早期に切り上げる漁業管理を提案した。この管理方策は, 2002年度より徐々に石狩湾海域を中心として自主的に導入されている<sup>6)</sup>。後述するように1歳魚に対する漁獲死亡係数 $F_{1,y}$ は2002年度に低下していることから, 2002年度以降に管理を行った場合と行わなかった場合の漁獲量を三宅<sup>3)</sup>に従い, 以下のように計算した。

まず現実に沿った状況, すなわち2001年度以前は管理せず, 2002年度以降に管理をした場合の漁獲重量 $Yr$ を, VPAに用いた漁獲尾数 $C$ から(11)式に従って算出した。

$$Yr_y = \sum_{a=1}^{\max} (C_{a,y} \cdot W_{a+1}) \quad (11)$$

一方, 2002年度以降に管理を実施しなかった場合の資源尾数と漁獲量を以下のように計算した。まず2002年度以降の1歳魚に対する $F_{1,y}$ を漁業管理実施前の1995~2001年度の平均値とし, 資源尾数を前進計算によって求めた(12式)。その際, 2003年度以降の加入尾数は産卵親魚量および $RPS$ , 2歳の成熟率 $Mr$ から(13)式によって求めた。さらに漁獲尾数, 漁獲重量を(14), (15)式から計算した。

$$Nnr_{a,y} = Nnr_{a-1,y-1} \cdot e^{-(F_{a-1,y-1}+M)} \quad (12)$$

$$Nnr_{1,y} = \left( \sum_{a=2}^{\max} Nnr_{a,y-1} \cdot W_a \cdot Mr_{a,y-1} \right) \cdot RPS_{y-1} \quad (13)$$

$$Cnr_{a,y} = Nnr_{a,y} \cdot (1 - e^{-F_{a,y}}) \cdot e^{-M_{a,y}} \quad (14)$$

$$Ynr_y = \sum_{a=1}^{\max} (Cnr_{a,y} \cdot W_{a+1}) \quad (15)$$

ここで,  $Nnr$ ,  $Cnr$  および  $Ynr$  は, 2002年度以降に管理

をしなかった場合の資源尾数, 漁獲尾数および漁獲重量である。

## 結 果

### 年齢別漁獲尾数とVPA

年齢別漁獲尾数の推定値をFig.1に, VPAから推定された年齢別資源尾数と漁獲係数 $F$ をFig. 2, 3にそれぞれ示した。

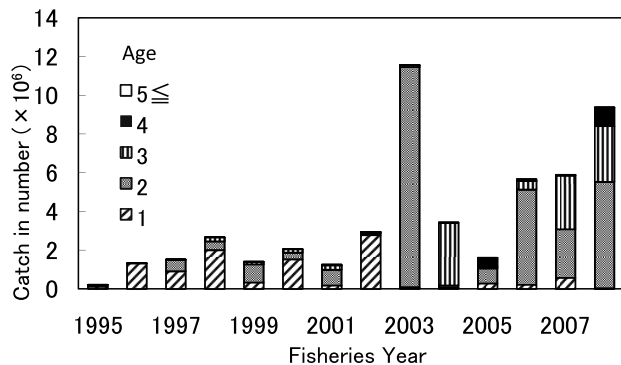


Fig.1 Estimated catch for each age from fisheries year 1995 to 2008.

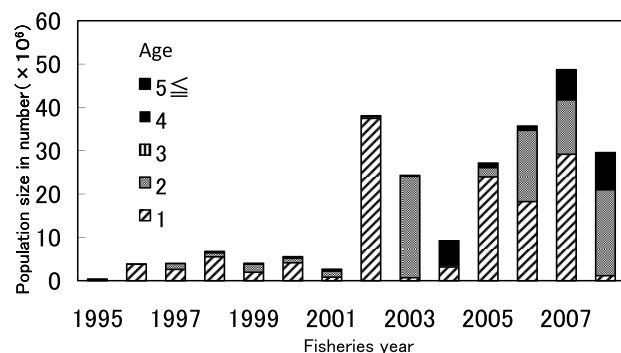


Fig.2 Population numbers for each age from fisheries year 1995 to 2008.

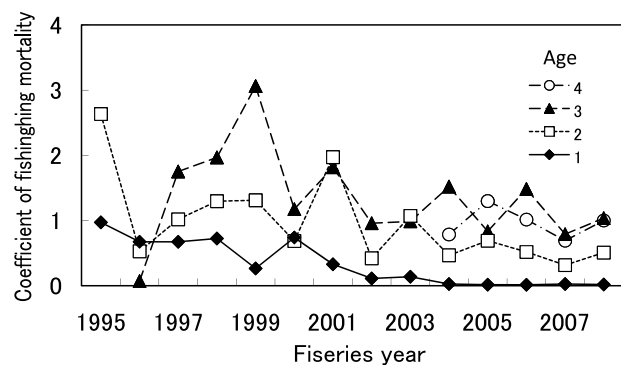


Fig.3 Coefficient of fishing mortality at each age from fisheries year 1995 to 2008.

2002年度までは, 1 歳の漁獲が最も多く 3 歳以上の漁獲はほとんどみられていなかったが, 2003年度以降 2 歳以上の漁獲が多くを占めるようになった。この変化の契機は2001年に豊度が高い年級群が発生したことである。一方, 1 歳魚に対する漁獲死亡係数は1995~2001年度には0.265~0.972であったものが, 2002年度に0.112, 2003年度には0.137と低下し, 2004年度以降は0.015~0.027で推移している。このように2002年度以降, 1 歳への漁獲圧が低下し漁獲開始年齢が基本的に 2 歳となっていることから, 近年漁獲物が高齢化している。

次に, 加入尾数 (=年級豊度), その年級を生み出した産卵親魚量およびRPSをFig. 4に示した。1995, 1996年度には産卵親魚量はそれぞれ22.5トンと9.0トンと少なかったにもかかわらず, 加入尾数は380万尾と260万尾に達した。この2年度のRPSは170尾/kgおよび290尾/kgと他の年に比べ高くなった。また, 2001年度の産卵親魚量は272トンであり, それ以前の4年間(1997~2000年度)とほとんど差がなかったが, 加入尾数は3,700万尾を超え, RPSも138尾/kgに達した。

### 放流魚由来の資源尾数, 資源重量および漁獲量

放流事業に由来する各世代の資源尾数をFig. 5に示した。1996年度放流群が1997年度に加入して以降, 2001年度までは放流尾数の増加に伴って第1世代の資源尾数が増加した。2002年度には, 2001年度におけるRPSが高かったことから, 第2, 第3世代の加入が多くなった。その後は増減を繰り返しながらも基本的に放流に由来する

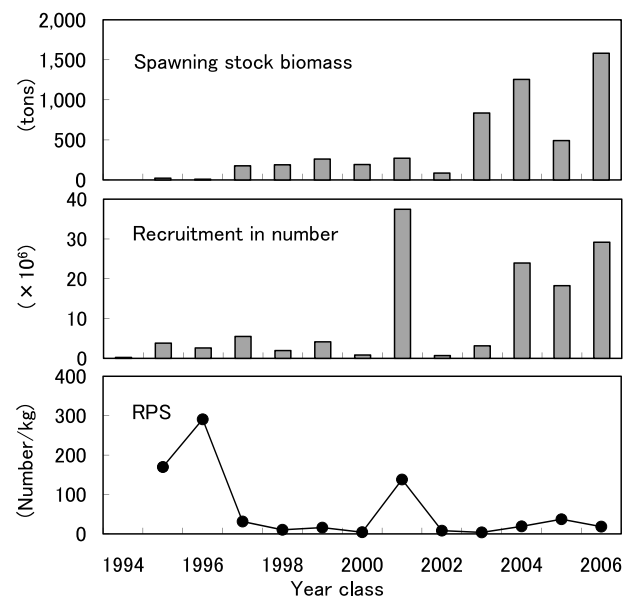


Fig.4 Spawning stock biomass (upper), recruitment in number (middle) and RPS (lower) for each year class.



資源尾数は増加し、2007年度には70万尾を超えた。

Fig. 6と7に放流魚（第1世代）およびその子孫（第2～6世代）の資源重量と漁獲重量を示した。資源重量は資源尾数と同様に世代が積み重なるに従って増加し、

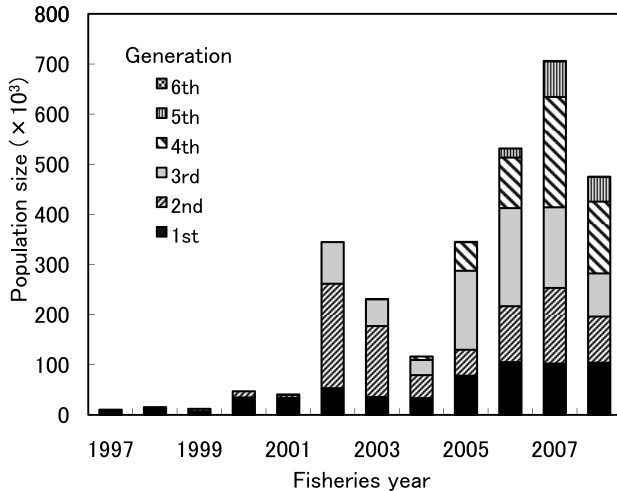


Fig.5 Population size in terms of number for each generation due to the stocking.

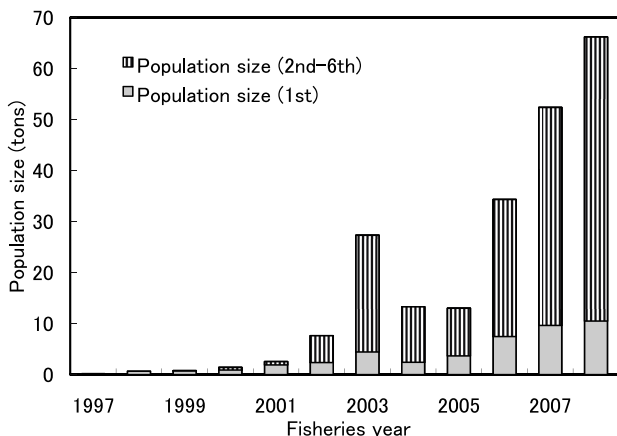


Fig.6 Population size from stocking.

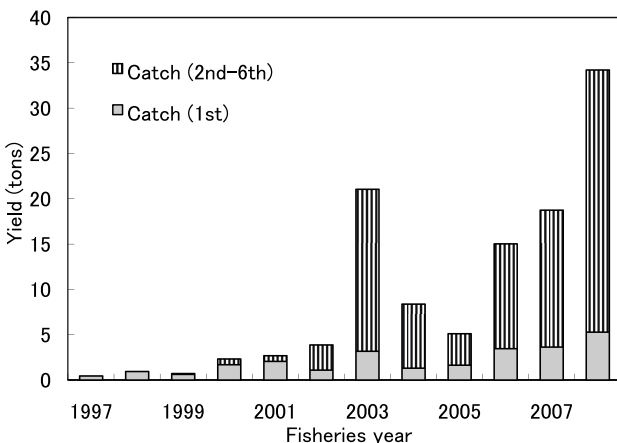


Fig.7 Yield from stocking.

2008年度には第1世代で10.5トン、第2～6世代で55.7トン、計66.2トンとなった。なお1歳から2歳への体重の増加が大きいため、資源重量の増減の時期は資源尾数よりも1年遅れていた。また漁獲量も増加傾向にあり、2008年度には第1世代で5.3トン、第2～6世代で28.9トン、計34.2トンに達した。

一方、産卵親魚重量をみると (Fig.8)、2001年級が産卵を開始した2003年以降増加し、2008年には約37トンとなった。

#### 漁業管理効果

漁業管理を実施しなかった場合として、1995～2001年度の年齢別漁獲尾数から算出した漁獲量と、2002年度以降の1歳魚に対する $F_{1,y}$ を1995～2001年度の平均値である0.625に固定した前進計算に基づいて算出した漁獲量をFig. 9に示した。また、2002年度以降に管理を実施した場合として、同年度以降の年齢別漁獲尾数から算出した漁獲量を示した。

管理を行わなかった場合の漁獲量は、2002年度には管

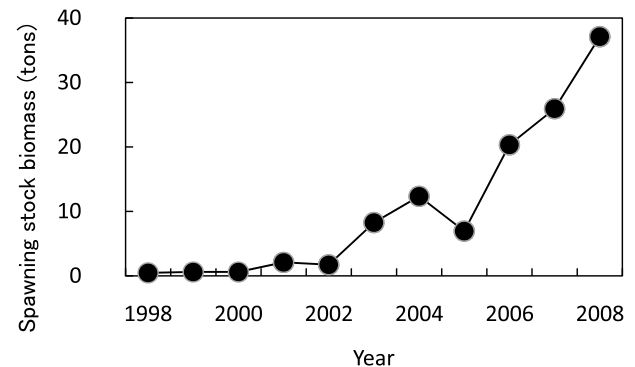


Fig.8 Spawning stock biomass due to stocking.

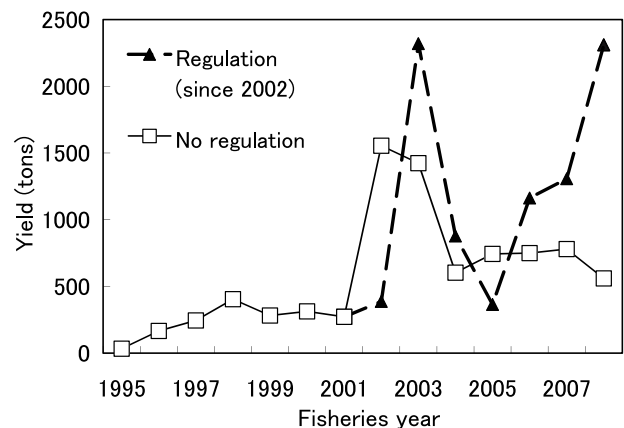


Fig.9 Calculated Yields in the case of fisheries regulation (since 2002), and no regulation.

理を行った場合を1,000トン以上, 2005年度には約300トン上回ったものの, その他の年度には下回った。特に2008年度には, 管理を行わなかった場合には, 管理を実行した場合よりも約1,750トン漁獲が下回るとの結果が得られた。また2002~2008年度を通算すると, 管理した場合の漁獲量が, 管理しなかった場合を約2,300トン上回った。

## 考 察

VPAによって, 再生産の良否の指標となる*RPS*が1995, 1996年に高かったことが示され, それが資源増大の契機となって1997年以降の石狩湾系ニシンの漁獲量増加につながったと考えられる。そして, その後一定の産卵親魚量が確保されている中で, 2001年に再度*RPS*が高くなり, 豊度が高い年級が発生した。その2001年級が2004年以降に本格的に産卵に参加したことで, 2004, 2005, 2006年級の豊度も高くなったと考えられる。

種苗放流の直接的効果である放流魚(第1世代)の資源への加入量は, 放流数の増大に伴ってゆるやかに増加してきたものの, その2008年度における漁獲量は5.3トンであり, 魚価を同年度の平均的な値である400円/kgとした場合の漁獲金額は約210万円となる。一方, 種苗放流魚の産卵参加による資源増加効果は, 第2~第6世代の累積によって年々増加しており, 2008年度の漁獲量は28.9トン, 漁獲金額は1,160万円となっている。両者を合計した効果は, 漁獲量で34.2トン, 1,370万円となった。

2008年度の種苗生産コストは2,500万円であったことから, 未だ費用対効果は十分とは言えない状況にある。しかし, 資源が高水準で安定し, 先述した世代の累積による効果が今後も上昇するならば, 費用対効果の改善がなされるかもしれない。さらに2008年度の放流由来の産卵親魚量は約37トンと資源管理の最低目標値である250トン<sup>13)</sup>の約15%を占めており, 資源の安定に寄与しているとみなすことが出来る。

漁業管理については, 開始直後には漁獲量が減少したものの, 2002年度以後を通算してみれば, 漁獲の増大に寄与している。特に2006年度以降は, 管理をしなかった場合との計算された漁獲量の差は拡大しつつある。

以上のように, 1997年以降の石狩湾系ニシンの漁獲増大について, その多くは天然資源の増加によるものと考えられる。しかし, 未だ費用対効果は低いものの, 種苗放流による資源の添加効果も徐々に増大していると推察された。また, 漁業管理の実施は, 近年の資源の維持と増大に大きく寄与していると考えられた。さらに, 種苗放流効果の増大には漁業管理による親魚の保護が寄与し

ており, 逆に種苗放流事業が漁業者への管理の重要性を理解させる大きな要因となっているなど, 両者の効果は相乗的であると考ええる。

今回, VPAによって資源増大の要因を解明すると同時に, 得られたパラメータを使用して, 種苗放流および漁業管理の効果を計算した。これは一つの試みであり, 今後, 種苗放流および漁業管理の効果判定において複数の手法による相互検証が必要と考える。

## 謝 辞

本研究は, 日本海ニシン資源増大プロジェクトおよび日本海ニシン増大推進プロジェクトを通して得られた成果に基づいている。プロジェクトに関わられた漁業者および漁業協同組合の職員各位, ならびに北海道栽培漁業振興公社, 宗谷, 留萌, 石狩, 後志各支庁および各支庁の水産技術普及指導所, 北海道水産林務部の職員各位, 北海道立水産試験場の同僚諸氏に感謝申し上げる。

## 文 献

- 1) 田中伊織: 北海道西岸における20世紀の沿岸水温およびニシン漁獲量の変遷. 北水試研報 62, 41-55 (2002)
- 2) 北海道水産林務部水産振興課: 2009年第14回日本海沿岸ニシン漁獲状況速報. 2009, 1p.
- 3) 北海道立中央水産試験場, 北海道立稚内水産試験場, 北海道立栽培漁業総合センター, 北海道水産林務部栽培振興課: 平成8~10年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書. 2000, 174p.
- 4) 北海道水産林務部: 平成11~13年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書. 2004, 258p.
- 5) 北海道水産林務部: 平成14~16年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書. 2006, 233p.
- 6) 北海道水産林務部: 平成17~19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書. 2009, 138p.
- 7) 山崎英樹, 竹森弘征, 岩本明雄, 奥村重信, 藤本宏, 山本義久, 小畑康弘, 草加耕司, 北田修一: 瀬戸内海東部海域におけるサワラの種苗放流効果. 日本水産学会誌, 73(2), 210-219 (2007)
- 8) 一色竜也, 片山知史: 神奈川県沿岸域におけるヒラメ種苗効果の推定. 神水セ研報第3号, 49-57 (2008)
- 9) 厚地 伸, 増田育司: 鹿児島湾におけるヒラメ人工種苗の放流効果. 日本水産学会誌, 70(6), 910-921 (2004)

- 10) 松村靖治：有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗の当歳時の放流効果と最適放流法．日本水産学会誌，71(5)，805-814 (2005)
- 11) 西田芳則：再生産モデルから推定したニシン放流の効果．平成17～19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書．71-75 (2009)
- 12) 安江尚孝，内海遼一，森山彰久：Y/Rを用いた紀伊水道東部海域シラス漁業の最適な漁業管理方策と禁漁効果の評価．日本水産学会誌，71(5)，791-796 (2005)
- 13) 山口幹人，石田良太郎，高柳志朗，浅見大樹：ニシンの資源管理対策調査．平成17～19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書．88-107 (2009)
- 14) 田中昌一：水産生物のPopulation Dynamicsと漁業資源管理．東海区水研研報，28，1-200 (1960)
- 15) 高柳志朗，山口幹人，石田良太郎：石狩湾系ニシンの初回産卵年齢における年級豊度に関連した体サイズと成熟割合の変化．北水試研報，77，13-20 (2010)
- 16) 瀧谷明朗，石野健吾，伊藤慎悟：ニシンの種苗放流効果調査．平成17～19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書．68-70 (2009)
- 17) 三宅博哉，高柳志朗，石田良太郎：石狩湾系ニシンの資源管理手法の検討．平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，(2006)



## 北海道北西部日本海沿岸における石狩湾系ニシン産卵床と藻場の分布

赤池章一<sup>\*1</sup>, 高橋和寛<sup>\*2</sup>, 干川 裕<sup>\*2</sup>, 瀧谷明朗<sup>\*2</sup>, 津田藤典<sup>\*3</sup>, 合田浩朗<sup>\*4</sup>,  
中島幹二<sup>\*4</sup>, 川井唯史<sup>\*4</sup>

Distribution and abundance of the Ishikari Bay herring (*Clupea pallasii*) natural spawning beds and the seaweed beds on the northwestern coast of Hokkaido.

Shoichi AKAIKE<sup>\*1</sup>, Kazuhiro TAKAHASHI<sup>\*2</sup>, Hiroshi HOSHIKAWA<sup>\*2</sup>,  
Akio TAKIYA<sup>\*2</sup>, Fujinori TSUDA<sup>\*3</sup>, Hiroo GODA<sup>\*4</sup>, Kanji NAKAJIMA<sup>\*4</sup> and  
Tadashi KAWAI<sup>\*4</sup>

Distribution and abundance of natural spawning beds of Ishikari Bay herring (*Clupea pallasii*) were investigated along the northwestern coast of Hokkaido, Japan during 1996-2007. Geographic areas of seaweed beds were determined based on interpretation of aerial photographs using multispectral images and color photographs taken during 1999-2004. Spawning beds were found at 1-7 sites per district after 1998. Their geographic distribution changed temporally from northern to southwestern districts and showed a wider range of depths shallower than 12 m depth. The maximum number eggs was 381×108 at Atsuta district in 2004. This phenomenon was attributed to a large population of the 2001-year-class. The seaweed bed areas per district ranged 169×104 - 254×104m<sup>2</sup> except Wakkanai. More than 80% of seaweed beds were shallower than 5m depth. The percentage of seaweed bed area used as spawning beds were 4-9% at Rumoi district and <2% at other districts. The present seaweed beds areas are sufficient for herring spawning beds sustaining the present resource level. For enlarging the resource level, however, seaweed bed areas might be insufficient for spawning beds. Therefore, it will be necessary to preserve the present seaweed beds, restore degraded areas, and afforest a wider range of depth zones.

キーワード：ニシン，産卵床，群来，藻場，航空写真

### まえがき

積丹半島から稚内市に至る北海道北西部沿岸では、石狩湾系ニシンの産卵期（1～4月）における漁獲量が1997年以降増加してきた（Fig. 1）<sup>1)</sup>。一方、北海道では1996年以降石狩湾系ニシンの人工種苗生産と放流に取り組み、2007年までの累積放流数は約1900万尾に達してい

る<sup>2)</sup>。1996年から2002年放流群の2004年までのニシン人工種苗の放流年ごとの回収率は、0.15～2.67%と推定されている<sup>3)</sup>。ニシン資源の維持、増大を図るためには、産卵床の把握と保全、さらには必要に応じて造成を検討する必要がある。これまでの調査から、石狩湾系ニシンの産卵床は、主に沿岸の藻場に形成され、産卵基質として利用される海藻（草）種も明らかになっている<sup>4, 5)</sup>。

報文番号 A449（2009年12月9日受理）

\*1 北海道立函館水産試験場（Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan）

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

\*3 北海道立釧路水産試験場（Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station, Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan）

\*4 北海道立稚内水産試験場（Hokkaido Wakkanai Fisheries Experiment Station, Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan）

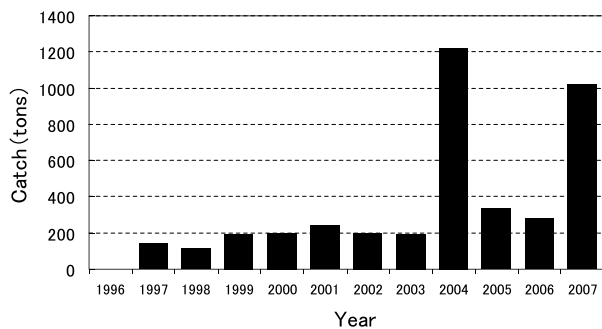


Fig.1 Annual change in Ishikari Bay herring catch off the northwestern coast of Hokkaido during 1996-2007 (Data from Yamaguchi *et al.*<sup>11)</sup>).

しかし、藻場全体の分布に対し、産卵床としてどの程度利用されているのか、不足していないのか等は検討されていない。本研究では、1996年から2007年にかけて北海道北西部沿岸におけるニシン産卵床の実態を調べるとともに、航空写真画像と現地調査から藻場の分布を調べ、その関係を検討した。

## 材料及び方法

1996年から2007年の1月から4月にかけて、後志支庁(余市町、小樽市)、石狩支庁(旧厚田村(以下、厚田)), 留萌支庁(増毛町、留萌市、小平町、羽幌町焼尻)、宗谷支庁(稚内市)管内の藻場で、徒歩、素潜り、SCUBA潜水等により、ニシンの産卵床を探索した(Fig. 2)。また、ニシンの産卵・放精によると見られる海面の白濁や、

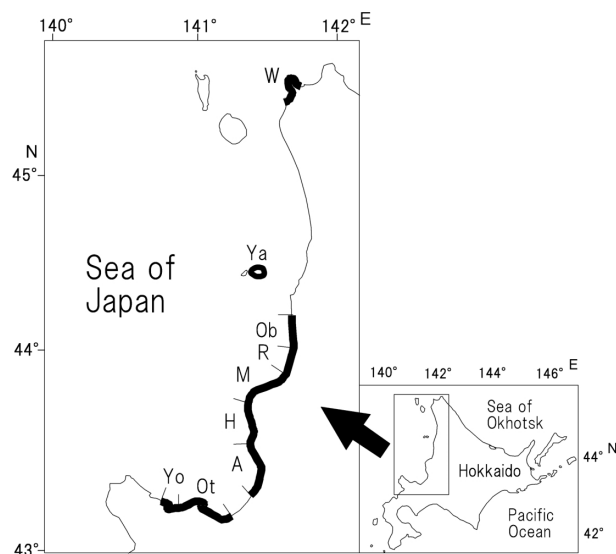


Fig.2 Map showing study sites. Shaded areas and abbreviations denote surveyed districts. W: Wakkanai, Ya: Yagishiri, Ob: Obira, R: Rumoi, M: Mashike, H: Hamamasu, A: Atsuta, Ot: Otaru, Yo: Yoichi.

産卵があったという漁業者からの情報に基づいて調査した。ただし、余市町では2003年から調査を実施した。旧浜益村(以下、浜益)ではニシン産卵の情報が得られなかったため、産卵床の探索は行わなかった。稚内市では、産卵情報が得られたノシャップ岬周辺のみで調査した。

産卵床が見つかった場所では、ハンディGPS(全地球測位システム)で記録した位置情報から卵の地理的分布範囲及び水深を記録し、産卵床面積を算出し、年ごとに地区別(Fig. 2)に合計した。

一部の調査地点では、1/16または1/4m<sup>2</sup>方形枠内の卵の付着した海藻(草)類を採集して実験室に持ち帰り、付着卵数を計数した。その後、1m<sup>2</sup>当たりの卵数(産卵密度)から産卵床ごとの産卵数を算出し、地区別の産卵数を推定した。

1999年8月から2004年7月にかけて後志、石狩、留萌、宗谷支庁沿岸を撮影した航空写真画像(マルチスペクトル画像及びカラー写真)から、水深10m以浅の藻場面積を計測した(Fig. 2, Table 1)。航空写真画像は、パーソナルコンピュータ上で幾何補正、座標付けをした。幾何補正には、「数値地図25000」(国土地理院)を用いた。水深は、「沿岸の海の基本図デジタルデータ」(海上保安庁、財団法人日本水路協会海洋情報研究センター)と、宗谷海域の一部を「平成10年度稚内地区漁場図」、「平成13年度稚内地区漁場図」(北海道宗谷支庁)から読み取って使用した。なお、今回計測した藻場は、沿岸の水深10m以浅の岩礁域に分布したものを対象とし、沖合の砂底に分布したアマモ*Zostera marina*場(余市町、稚内市)及び羽幌町焼尻の藻場面積は計測しなかった。また、稚内市沿岸については、ノシャップ岬周辺の藻場面積のみを使用した。

## 結果

Table 1 Summary of data collection for seaweed beds using multispectral images and aerial photographs.

| District | Date                               | Altitude(m) | Picture and image type                        |
|----------|------------------------------------|-------------|---|
| Yoichi   | July 3, 2004                       | 720         | Multispectral digital (Red, Green, Blue, NIR) |
| Otaru    | July 3, 2004                       | 720         | Multispectral digital (Red, Green, Blue, NIR) |
| Atsuta   | July 07, 2003                      | 920         | Analogue color                                |
| Hamamasu | July 07, 2003                      | 920         | Analogue color                                |
| Mashike  | August 26, 2002<br>August 24, 2003 | 920         | Analogue color                                |
| Rumoi    | August 26, 2002                    | 920         | Analogue color                                |
| Obira    | August 26, 2002                    | 920         | Analogue color                                |
| Wakkanai | August 5, 1999<br>July 9, 2002     | 918         | Analogue color                                |

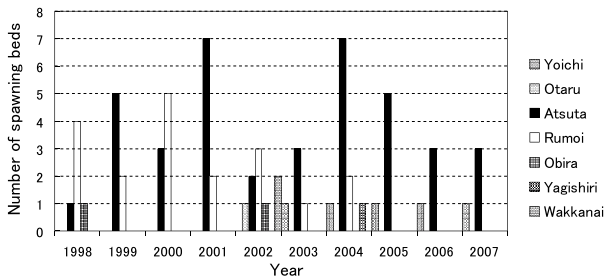


Fig.3 Annual changes in the number of spawning beds found in northwestern coastal districts of Hokkaido during 1998-2007.

### ニシン産卵床の分布

北海道北西部沿岸におけるニシン産卵床の探索は、1996年から開始し、1998年以降確認された。1998年から2007年にかけて確認されたニシン産卵床の数の推移を、地区別にFig. 3に示した。産卵床の数は年によって変動したが、1地区当たり1～7カ所確認された。特に、2001年と2004年の石狩市厚田で7カ所と、1地区では最も多く確認された。産卵床の数は、2002年までは留萌市で複数確認されていたが、その後減少し、2005年以降は全く確認されなくなった。

産卵床の地区別の面積（合計）の推移を、Fig. 4に示した。産卵床は、余市町では10万 $\text{m}^2$ 以上（最大21万9千 $\text{m}^2$ ）と広域であった。他の地区は、約6万 $\text{m}^2$ 以下と相対的に狭かったが、厚田の2001年（5万7千 $\text{m}^2$ ）及び2004年（5万5千 $\text{m}^2$ ）の面積が比較的広がった。ただし、余市町で確認された産卵床は沖合の砂底に広がるアマモ場であり、それ以外はごく浅所の岩礁域の藻場（主にフシスジモク *Sargassum confusum*, ウガノモク *Cystoseira hakodatensis*, スギモク *Coccophora langsdorfii* から成るガラモ場及びスガモ *Phyllospadix iwatensis* 場）に形成された産卵床であった。

調査期間中、ニシンの産卵、放精により海面が白濁す

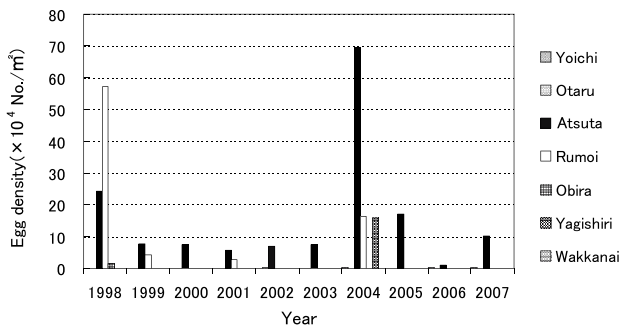


Fig.5 Annual changes of spawning egg density in northwestern coastal districts of Hokkaido during 1998-2007.

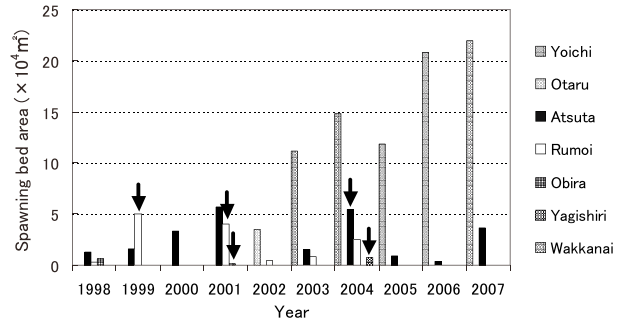


Fig.4 Annual changes of spawning bed area found in the northwestern coastal districts of Hokkaido during 1998-2007. Arrows denote districts showing "Kuki" events (sea surface turbidity attributable to herring spawning).

る、いわゆる「群来」が観察されたのは、1999年、2001年の留萌市、2001年の小平町、2004年の厚田、羽幌町焼尻の5件であった（Fig. 4）。

産卵密度の推移を、Fig. 5に示した。産卵密度は、2004年の厚田で約70万粒/ $\text{m}^2$ と最も高く、次いで1998年の留萌市で約57万粒/ $\text{m}^2$ であった。それ以外は25万粒/ $\text{m}^2$ 以下であり、特に余市町では600～2800粒/ $\text{m}^2$ の範囲にあり、産卵密度は低かった。

地区別の推定産卵数の推移を、Fig. 6に示した。最も産卵数が多かったのは、2004年の石狩市厚田で、約381億粒と推定された。これは、3月16日に確認された1カ所の産卵床（古潭）での産卵数が約8割を占めた。それ以外は、2004年に留萌市塩見（留萌港内）で約41億粒の産卵が見られ、留萌支庁管内での最大の産卵数であった。余市町では、産卵床の範囲は広がったが、産卵数は約7千万から4億1千万粒の範囲にあり、他の地区に比較すると相対的に産卵数は少なかった。産卵数は、1998年から2001年にかけては、厚田と留萌市において10億粒以上の相対的に高い水準にあったが、2002年以降は2004年の厚田、留萌市、2007年の厚田を除き約15億粒以下の水準

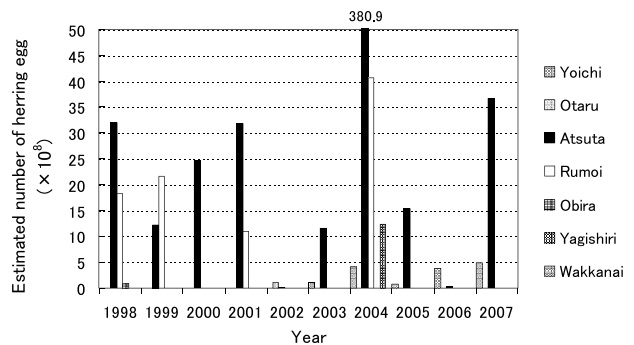


Fig.6 Annual changes of estimated number of spawning eggs found in northwestern coastal districts of Hokkaido during 1998-2007.

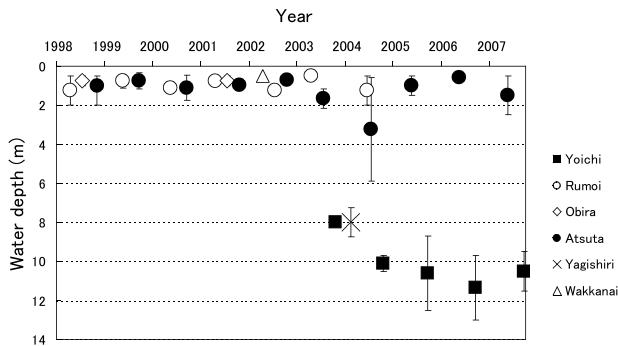


Fig.7 Annual changes of vertical distribution of spawning eggs found in northwestern coastal districts of Hokkaido during 1998 to 2007 (vertical bars denote ranges).

にとどまった。

産卵床の分布水深の推移を, Fig. 7に示した。1998年から2002年までは, 産卵床は水深2 m以浅のごく浅所で確認された。2003年以降は, 厚田, 余市町, 羽幌町焼尻で水深2 m以深でも産卵床が確認されるようになり, 特に余市町では水深7~13mの範囲に産卵床が形成された。

#### 藻場分布とニシン産卵床

後志, 石狩, 留萌, 宗谷支庁沿岸の水深10m以浅の地区別藻場面積を, Fig. 8に示した。最も藻場面積が広がったのは稚内市の約550万 $\text{m}^2$ で, その99.5%が水深5 m以浅に分布した。その他の地区の藻場面積は, 厚田254万 $\text{m}^2$ , 増毛町203万 $\text{m}^2$ , 小樽市, 浜益がともに169万 $\text{m}^2$ であった。水深5 m以浅の藻場の割合は, それぞれ84.1, 82.8, 99.1, 83.8%と, いずれの地区も80%以上の藻場が水深5 m以浅に分布した。

地区別の水深10m以浅の藻場面積に占める産卵床面積の割合の推移を, Fig. 9に示した。1999年, 2001年, 2004年の留萌市は4~9%, それ以外は約2%以下と, 産卵

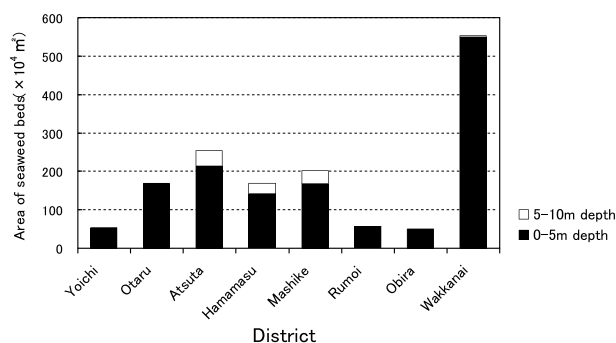


Fig.8 Areas of seaweed beds shallower than 10 m depth in northwestern coastal districts of Hokkaido, as interpreted from aerial photographs taken during 1999-2004.

床として利用されている藻場の割合は, 多くて10%未満であった。

#### 考察

##### ニシン産卵床の分布

1998年から2001年にかけては, 2002年以降に比較して, 確認された産卵床の数が多く, 推定総産卵数も多い傾向が見られた。一方, 産卵床の面積や産卵密度は, 後者で1998年にやや高い傾向が見られた以外大きな変化はなく, 産卵床の形成される水深も2 m以浅に限定されていた。この時期は, 留萌市及び厚田での産卵数が多く, 特に留萌市では, 1999年の産卵が「45年ぶりの群来」と大きな話題となった<sup>5)</sup>。

2002年から2003年にかけては, 調査を実施した, または情報が得られた範囲では, 産卵床数, 産卵床面積, 総産卵数は相対的に低位にあった。しかし, 2002年には小樽市で産卵床が確認され, それ以前は不明であるが2003年以降余市町でも確認され, 産卵床の形成が次第に南西側に拡大する傾向が見られた。

2004年には, 厚田と留萌市で, これまでの最大規模の産卵数(厚田約381億粒, 留萌市約41億粒)が見られた。特に厚田では「群来」が観察され, 確認された産卵床の数が2001年と同じく最多で, 産卵密度も約70万粒/ $\text{m}^2$ と, 飛び抜けて高かった。しかし, かつて北海道・サハリン系のニシンが産卵来遊していた1953年の留萌管内の調査<sup>6)</sup>では, 多い所で150万~580万粒/ $\text{m}^2$ の産卵が見られ, それに比べると半分以下の産卵密度であった。この年, それまでの6倍あまりの1200トンが漁獲されたニシンは3歳が過半数であり<sup>1)</sup>, 主に卓越発生した2001年級群による産卵と考えられた。

2004年にはまた, 羽幌町焼尻でも「群来」が観察され, 羽幌町から余市町に至る広い範囲に産卵群が来遊したと

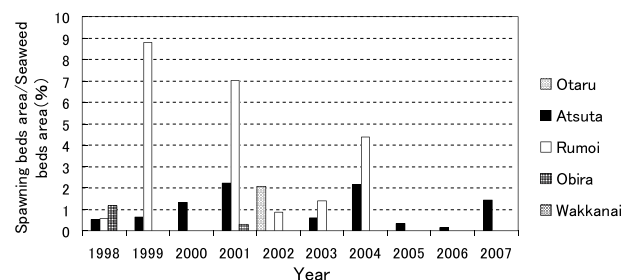


Fig.9 Annual changes of the percentage of spawning bed area in seaweed beds areas in northwestern coastal districts of Hokkaido.



見られる。同時に、産卵床が形成される水深帯も拡大する傾向が見られた。干川ほか<sup>8)</sup>は、本調査海域での2004年春季の産卵状況の特徴として、1998年以降最大規模の産卵数であったこと、より深い場所で産卵床が確認されたこと、産卵床の数が増加したことをあげ、これは卓越発生群となった2001年級群の産卵来遊規模の増大と来遊頻度の増加によるとしている。今後、石狩湾系ニシンの資源水準がさらに上昇すると、より広い地理的範囲や水深帯に多数の産卵床が形成される傾向が強まるものと予想される。

2005年以降は、留萌市以北での産卵床は確認されなくなった。2007年には、主に2004年級群によると見られる<sup>9)</sup>規模の大きい産卵（産卵数が多い）が、厚田でのみ確認された。このように、2005年以降のニシン産卵床は、次第に厚田以西に形成されるという変遷を示した。これは石狩湾系ニシンの資源水準や産卵群の来遊状況の変化を反映していると考えられるが、今後、資源水準と来遊経路、海底地形、海洋環境等との関係を、さらに詳細に明らかにしていく必要がある。

#### 藻場分布とニシン産卵床の関係

藻場分布面積に占めるニシン産卵床面積の割合は、留萌市で4～9%と、他地区と比較して相対的に大きい年が見られたが、これは藻場面積が相対的に狭かったためと考えられる。それ以外の地区は2%以下と、藻場全体から見ると産卵床として利用されている面積はごく一部であり、現在の資源水準を維持するには十分であると推察された。しかし、ニシンはごく狭い範囲に集中的に産卵を行う傾向があること<sup>6)</sup>、付着卵数が多くニシンの産卵基質として好適考えられる海藻（草）が主にスガモやホンダワラ類であること<sup>5)</sup>から、今後さらに産卵来遊群が増加し、産卵床の形成範囲（地理的範囲や水深）が拡大した場合、現在の主に水深5m以浅に分布する藻場では局地的に不足することが懸念される。1997年に撮影した航空写真から計測した水深10m以浅の藻場に占めるスガモとホンダワラ類の面積の割合は、留萌市から小平町にかけてはそれぞれ3.0、10.6%（多田ほか、未発表）、厚田では14.5、28.3%（干川ほか、未発表）と、これらの海藻（草）は藻場の一部を構成しているのみであった。今後、石狩湾系ニシン資源をさらに増大させるためには、現在の藻場を守り育てることはもとより、藻場が形成されていない場所の原因解明と対策、より広い水深帯での藻場造成等を検討する必要がある。

余市町沖合のアマモ場において、2003年以降毎年産卵床が確認され、稚内市においても2002年にアマモを基質とした産卵が確認されている。ニシンの産卵基質として

のアマモは、道東の風蓮湖ではよく知られているが<sup>10)</sup>、北海道日本海沿岸ではアマモの分布については知見が乏しく<sup>11)</sup>、今後実態を明らかにするとともに、保護、育成を検討する必要がある。

#### 文 献

- 1) 山口幹人，石田良太郎，高柳志朗，浅見大樹：ニシンの資源管理対策調査．平成17年～19年度日本海ニシン資源増大推進プロジェクト報告書．88-118（2009）
- 2) 北海道水産林務部：平成17年～19年度日本海ニシン資源増大推進プロジェクト報告書．125（2009）
- 3) 川真田憲治：平成19年度の全国水産試験場長会会長賞を受賞した「日本海ニシン資源増大プロジェクト研究」の概要．海洋と生物．172，495-499（2007）
- 4) 干川 裕，田嶋健一郎，川井唯史：ニシン産卵床の形成に及ぼす植生と地形の影響．北水試研報．62，105-111（2002）
- 5) 赤池章一，多田匡秀，瀧谷明朗，今井義弘，名畑進一，吉村圭三，清河 進，水野勝彦，河井 渉：北海道留萌沿岸で観察されたニシン産卵床の特徴．北水試研報．62，91-103（2002）
- 6) 田村 正，大久保正一，藤田 忠，広部武男：北海道西海岸に於ける春ニシンの天然産卵の観察 第2報 潜水調査による産卵床の観察．孵化場試験報告．9(1,2)，95-112（1954）
- 7) 高柳志朗，田中信幸，三宅博哉：1．2001年級の特徴を探る（1）成長・成熟・分布域などの特徴とその変化．水産海洋研究．69（2），107-109（2005）
- 8) 干川 裕，高橋和寛，津田藤典，赤池章一，瀧谷明朗：1．2001年級の特徴を探る（2）産卵場と産卵数．水産海洋研究．69（2），110-111（2005）
- 9) 山口幹人：資源管理対策調査．平成18年度北海道立中央水産試験場事業報告書．206-213（2008）
- 10) 堀井貴司：道東に住む湖沼性ニシン、風蓮湖系群のはなし（人工種苗放流事業に関わる試験研究）．北水試だより．50，1-6（2000）
- 11) 赤池章一，合田浩：北海道北部沿岸におけるアマモ類の分布の現状．北水試だより．73，11-15（2006）



# 北海道日本海産マダラにおける漁獲物年齢組成の推定方法

星野 昇\*

Estimation method for age composition of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the Sea of Japan off the coast of Hokkaido.

Noboru HOSHINO\*

Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) is an important species caught by bottom trawling or gill net fisheries off the coast of Hokkaido, Japan. In Hokkaido, although fishing surveys at principal fishing ports have been conducted since the 1990s, the age compositions of cod caught by fisheries have not been estimated because of difficulties in obtaining an adequate number of fish samples. In this paper, I propose a mathematical method to estimate the age composition of fisheries products based on the Age Length Key (ALK) method using small numbers of samples and evaluate the accuracy of the estimates by computer simulations. This method showed a higher accuracy than the general purpose ALK method based on observed dates. Increasing the number of data sets ( i.e., number of samples ) used in estimating age compositions improved the accuracy of estimates, but showed little change in the simulation scenarios with more than 50 data sets. These results suggest that it may be possible to estimate the past age compositions based on the dates of previous fisheries surveys using this method. The age/length compositions of cod landed at the fishing ports of Yoichi and Otaru during the 2008 fishing season were estimated by this method in the applied case studies.

キーワード：マダラ, age length key, 年齢組成, 体長組成

## まえがき

北海道においてマダラは重要な水産資源のひとつであり、1990年代前半には漁獲量が約7万トンに達したが、以降は著しく減少し近年は2～3万トンで推移している (Fig. 1)。とくに、日本海の漁獲量には回復の傾向がみられず、近年は約3,000トン前後で推移している。日本海のマダラ漁業は、沖合底びき網漁業と刺し網漁業による漁獲が大半を占め、稚内市、礼文町、小樽市、余市町、古平町、増毛町などが主な産地となっている。

北海道日本海で漁獲対象となるのは体長300～1,000mm程度のサイズである。水揚げの際は、およそ500mm以上の成魚を、船上において木製もしくは発泡スチロール製の箱に、「1尾入れ」、「2尾入れ」、「3尾入れ」というように、一箱の重量が一定目安 (15kg, 8 kgなどが一般

的) となるよう、体サイズに応じて数尾単位で箱詰めした規格に仕分けて出荷する。多くの産地では1～6尾入れ程度であるが、10尾入れまで細分化している産地もある。

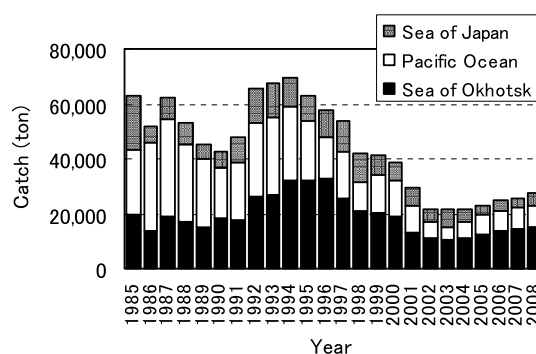


Fig.1 Annual catch of Pacific cod off the coast of Hokkaido (Statistics: Hokkaido suisangensei).

報文番号 A450 (2009年12月9日受理)

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

る。500mmに満たない小型未成魚については、タンクなど大型容器でサイズ別に分けられることなく出荷されている。北海道立水産試験場では、マダラ漁獲物の体長・年齢組成などを把握するために、主要産地で冬季の盛漁期を中心に漁獲物標本の測定調査を行っている。

一般に、漁獲物の年齢組成を推定する場合Age Length Key法（ALK法）が用いられることが多い。ALK法は、一次標本として、可能な限り多数の漁獲物標本に対して体長測定を行い頑健な体長頻度分布を得て、二次標本として、一次標本の中から一部の少数標本を抽出して、年齢形質を用いて個体の年齢査定を行い、体長階級ごとの年齢頻度分布を一次標本である体長組成の各階級度数に乗じて年齢組成を得るという推定方法である<sup>1-3)</sup>。体長測定のみなら調査現場において多数の処理が可能であるが、体長頻度分布の形状から推定される年齢組成の信頼性は必ずしも高くなく、一方、硬組織による年齢査定は直接的に個体年齢が得られる反面、標本の処理数が限られる。ALK法は両者の長短を補完し合う方法であり、水産資源研究の現場では広く用いられている<sup>4-7)</sup>。ALK法では、十分な標本数に基づいて、体長組成とその体長範囲全体から二次標本である個体年齢のデータが得られる場合には、良好な推定値を得ることができる<sup>3,8)</sup>。

北海道日本海の産地において、マダラ漁獲物の年齢組成をALK法によって推定する際には、大別して二つの問題点がある。市場に出荷された箱詰めの漁獲物は、一箱に通常1～6尾程度であるうえに、高価で魚体も大きいことから、1回の市場調査において得られる標本数は数十尾程度に限られる。そのため、第一の問題として、調査日の水揚げ状況によっては、必ずしも全体長範囲から標本を一様に得ることができず、水揚げの多い規格を中心とした標本となる場合や、個体年齢データが得られない体長階級が現れる場合などがあり、二次標本である体長階級ごとの年齢頻度分布が適切に得られない傾向がある。第二の問題として、一次標本としての体長組成を得る際、規格ごとに選別する前段階での測定は不可能であり、さらに水揚げ箱数で標本の体長データを引き伸ばしたとしても、標本抽出誤差に基づく著しい偏りが生じる場合が多い。これらのことから、日本海産マダラについては、漁獲物標本の体長測定や年齢査定は行われてきたが、漁獲物全体の年齢組成を推定するには至らず、必然的に漁獲物年齢組成の経年変化情報を基礎としたコホート解析などによる資源動態の研究には発展していない。

本稿では、これらの問題に対処するためのマダラ漁獲物の年齢組成推定方法を示した。

ALK法では、二次標本である体長階級ごとの年齢頻度分布を実測値（観測値）から直接求める場合が多いが、

理論的には実測値に対し確率密度関数を適合させることでも推定が可能である。その場合は、必ずしもすべての体長階級にデータがなくとも推定が可能なので、マダラのようなケースに有効と考えられる。そこでまず、二次標本を推定するための簡便化した計算方法を示したうえで、これまでの調査で得られた実際のデータに適用するにあたっての正確度（accuracy）をコンピュータシミュレーションにより把握した。次に、2008年の冬季に小樽港と余市港に、それぞれ沖合底びき網漁業とたら刺し網漁業によって水揚げされた漁獲物について、出荷事情や調査データの蓄積状況などに応じた体長組成（一次標本）の推定方法を示し、上記の方法による二次標本情報と合わせ年齢組成を推定した。

## 材料と方法

### 1. Age Length Keyの推定

Fig.2-a)に例示するとおり、複数の年齢群で構成される漁獲物の年齢・体長組成は、各年齢（年齢）群の体長頻度分布が混合した分布となる。この複合分布を各体長階級の度数を1に標準化して示すとFig.2-b)のようになる<sup>9)</sup>。この体長階級別年齢頻度分布（年齢－体長関係表）をAge Length Key（以下、ALK）と称する<sup>1-3,8)</sup>。対象となる漁獲物について、体長のみを多数に測定しFig.2-a)の体長組成を得て、そのうち一部の標本の年齢査定結果からFig.2-b)のALKを求め、体長組成の各階級度数をALKで年齢比に分割し積算することで、年齢組成を推定するのが一般的なALK法である。この時、ALKを得るた

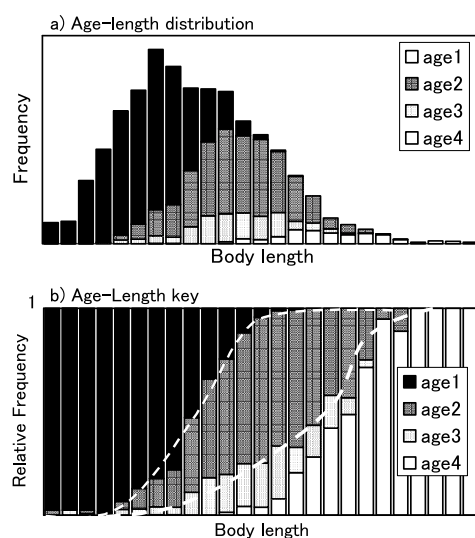


Fig.2 Concept image for estimation of age composition by the age length key method. Graph-a): Length frequency distribution by age group. Graph-b): Age Length Key (ALK).

めの年齢査定用標本の数が少ない、あるいは一部の体長範囲に標本が偏るといった状況があると、各体長階級の年齢データ数が少ない、もしくは無い、といった状況が生じ、体長階級ごとの年齢頻度分布が適切に得られなくなる。一方、Fig.2-b) の図中の白点線で示している各体長階級の年齢間の境界を通過する曲線は累積確率密度関数であるので、実測値から推定することが可能である。この場合では、必ずしもすべての体長階級にデータがなくとも、体長に対する連続関数の推定値として推定される。

Fig.2-b) の白点線は累積確率密度関数であり、各年齢  $t$  歳群の体長組成が平均値  $\mu_t$ 、標準偏差  $\sigma_t$  の正規分布に従うとして、 $1 \sim K$  歳で構成される漁獲物のALKにおける、年齢  $a$  と  $a+1$  の境界線を、

$$G_a(x) = \frac{\sum_{t=a+1}^K n_t \cdot p[N(\mu_t, \sigma_t), x]}{\sum_{t=1}^K n_t \cdot p[N(\mu_t, \sigma_t), x]} \quad (1)$$

とする。ここで、 $n_t$  は年齢  $t$  の尾数、 $p[N(\mu_t, \sigma_t), x]$  は年齢  $t$  歳群のうち体長が  $x$  である確率を表す。

(1) 式の描く形状は、各年齢（年級）群の体長分布の形状と頻度によって定まる。Fig.3に、各年齢群（ここでは4個に設定する）の体長組成に正規分布を仮定し、それぞれの個体数と体長平均値・標準偏差を任意の範囲で無作為に変化させた場合の、(1) 式の形状変化を図示した。(1) 式自体は複数の確率分布で混成される複雑な関数であるが、その大凡の形状はシグモイド型の1に漸近する曲線であることに違いは生じていない。実用に際しては推定パラメータを少なくするため単純な関数に近似すべきであろう。ここでは簡単のため、(1) 式をロジスティック曲線、すなわち、

$$P_i(x) = \frac{1}{1 + \exp(q + r \cdot x)} \quad (2)$$

で近似する。 $q$ 、 $r$  は推定パラメータである。例えばFig.2-b) において、age 2 と age 3 との境界線として推定される (2) 式は、体長  $x$  の個体が age 3 以上である確率を示す。体長  $l$  の個体が age 1, age 2, age 3, age 4 である確率は、それぞれ、 $1 - P_2(l)$ 、 $P_2(l) - P_3(l)$ 、 $P_3(l) - P_4(l)$ 、 $P_4(l)$  である。すなわち、すべての年齢  $t$  に対して  $P_t(x)$  を推定すれば、ある体長の個体に対する年齢の確率分布が定まる。ここで、 $N$  個体 ( $i=1 \sim N$ ) の体長  $l_i$ -age  $t_i$  データがあるとき、(2) 式を最尤推定する場合の尤度関数は二項確率の積算として、

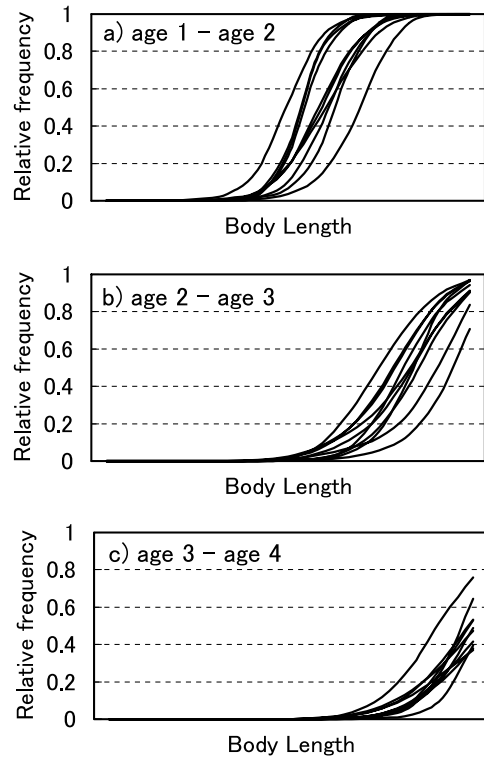


Fig.3 Sensitivity of ALK functions ( i.e., border line between each age group ) for various scenarios of population structure.

$$\prod_{i=1}^N \frac{Y_i!}{(Y_i - S_i)! S_i!} P_i(l_i)^{S_i} (1 - P_i(l_i))^{Y_i - S_i} \quad (3)$$

となる（導出は例えば平松<sup>10)</sup>）。ここで、 $Y$ 、 $S$  は体長  $l$  の個体の尾数とそのうち  $t$  歳以上である尾数を示す。(3) 式の最大対数尤度をとる推定パラメータ  $q$ 、 $r$  を数値計算により求めると、(2) 式が推定される。

2. 正確度の検証 漁獲物の年齢－体長組成を表現する数値（本稿では正解値と称する）を計算機上に生成し、その中から“漁獲物標本”として擬似乱数によって抽出した数値に基づき、上記の方法でALKを推定し、その推定値と正解値との偏差を対比するというプロセスを一回の計算工程とした。抽出する標本数値の数とその抽出方法を違えた複数のサンプリングシナリオごとに、マダラで想定される様々な漁獲物の年齢－体長組成パターンを100通りシミュレーションし、ALK推定値が正解値に対しどのような偏差を示すか検証した。

2. 1 漁獲物年齢－体長組成の生成 実際の調査データに適用可能な方法であることを検証するには、北海道に分布するマダラの資源構造に即した漁獲物年齢－体長組成を生成する必要がある。一回の計算工程ごとに与える漁獲物年齢－体長組成の数値については、次のとおり生



成した。北海道で漁獲されるマダラは、耳石による年齢査定から2～8歳程度で、とくに箱入れ規格によって出荷されるのは3～6歳が主体であることが既知である。そこで、2～6歳の5年級で構成される状態を仮定し、各年齢の漁獲尾数を、

2歳： $R[1,000-5,000]$

3歳： $R[1,000-5,000]\exp(-0.5*1)$

4歳： $R[1,000-5,000]\exp(-0.5*2)$

5歳： $R[1,000-5,000]\exp(-0.7*3)$

6歳： $R[1,000-5,000]\exp(-0.7*4)$

として生成した。 $R[1,000-5,000]$ は1,000～5,000範囲から一様確率分布で発生させた1個の擬似乱数値を表す。さらに、各年齢の平均体長を既往知見<sup>12)</sup>に基づき、470(2歳)、620(3歳)、720(4歳)、790(5歳)、833(6歳)とし、それぞれの平均体長に0.01を乗じた値を標準偏差とした場合の擬似正規乱数によって、各年齢の平均体長を設定した。その平均体長に0.08を乗じた値を標準偏差とする擬似正規乱数を、各年齢で生成した漁獲尾数分発生させることで、各年齢の漁獲尾数と年級群の成長傾向がその都度異なる年齢・体長組成のデータセットを生成させた。なお、2歳については、一部成長の遅い個体が成熟せず漁獲加入しない<sup>11)</sup>ことから、ここでは便宜的に体長数値が500未満のものをデータセットから除外した。以上の設定によって生成される組成の平均的な分布形状はFig. 4に示すとおりであり、極端に歪な組成にはならず現実に想定されるような分布型となることを事前に確認した。

**2.2 サンプルシナリオ** これまでの漁獲物標本調査の尾数は、箱入れ規格のサイズについては、調査1回あたり20～80尾程度である。基本的には規格ごと1～3箱程度を目安にサンプリングを行っているので、漁獲物の体長範囲全体から標本が得られてはいるが、水揚げ状況によっては、主要な規格を中心にサンプリングできたものの、1尾入れ、2尾入れなどに相当する大型魚が十分に得られず、標本組成が漁獲物体長組成と相似するような抽出となる場合もある。これらの経緯を踏まえ、シミュレーションのサンプリングシナリオには二通り、すなわち、漁獲物の体長範囲全体から一様にサンプリングした場合と、ランダムサンプリングによって漁獲物体長組成と相似した標本組成となる状況を想定した。一様サンプリングの場合は、体長範囲の幅で体長変量に対して一様の発生確率をもつ擬似乱数から標本数値を抽出した。抽出結果によっては、必ずしも全体長(階級)に標本数値が揃っていないようなパターンもあるという現実的な状況が織り込まれている。ALK計算のために抽出する標本数には、20、30、50、70尾の4通りの場合を設定した。

Fig. 5に、これら二通りのサンプリングシナリオで得られる、体長階級ごとの平均サンプル数を、50サンプルの場合について、それぞれ示した。また、本方法で得られるALKの正確度が、実測値から直接計算される一般的なALKの値とどのような違いがあるのかを確認するために、対照試験として、標本数値が抜け落ちる体長階級がないよう一律に抽出されたデータセットから直接ALKを求める(階級幅50mm)という作業を、同様のシミュレーション回数で行った。すなわち、対照試験を含め3通りのサンプリング方法のもとで4通りの標本抽出数を想定しており、計12通りのサンプリングシナリオに対し、それぞれに100通りの組成パターンに対するALKを計算した。

**2.3 正解値と推定値の比較方法** 推定されるALKの正確度を比較することが目的であるから、推定されたALKには正解値の体長組成を乗じて各年齢の漁獲尾数を算出し、それを正解値の各年齢漁獲尾数と対比することで、推定されたALKと正解値のALKの偏差を把握した。偏差を表すものとして、一回の計算工程ごとに、各年齢について、 $v = (\text{正解値} - \text{推定値}) / \text{正解値}$ として計算される値を用いた。例えば、この値が-0.5であれば、推定値は正解値に対して50%過大(1.5倍)に推定されたということである。ひとつのサンプリングシナリオに対し100個の $v$ 値を得ることになり、その頻度分布を解析した。

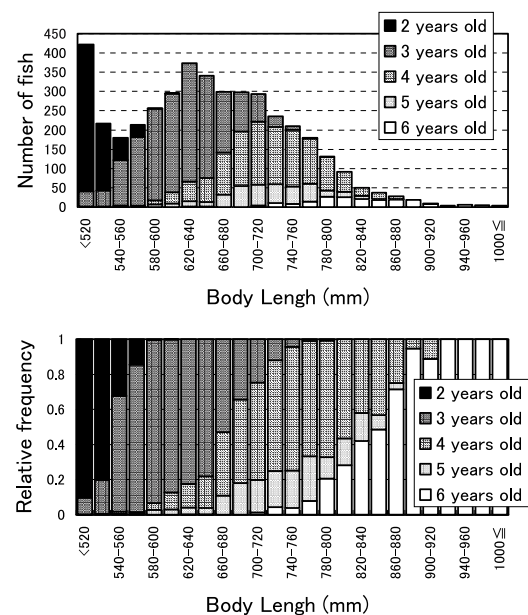


Fig. 4 Age-length distributions of the catch- data set used to estimate ALK. Both figures are based on the mean values of 100 data sets.

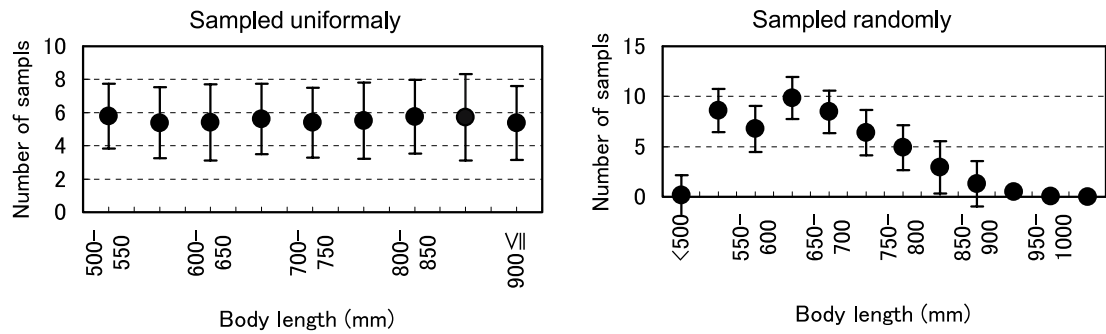


Fig.5 Mean number of samples in each range of body length given by two different sampling strategies. Vertical lines indicate standard deviation.

3. 体長組成の推定と適用事例 以上はALKの推定方法であるが、これを年齢組成に引き伸ばすためには一次標本としての体長組成を推定することが必要となる。そこで、2008年冬季に日本海で漁獲され、小樽港および余市港に水揚げされたマダラ漁獲物の体長組成を、次のとおり、それぞれに異なる方法で推定し、上記の方法によって得たALKと合わせ漁獲物年齢組成を試算した。

小樽港の漁獲物組成については、2007年12月～2008年2月の盛漁期の組成として推定を試みた。出荷は木箱1～6尾入れ規格が主体となっており、各規格の箱数を荷受け伝票より集計した。一方、各規格に仕分けられる魚体の標本平均体長には1997年以降小型化や大型化といった傾向はとくにみられていない (Fig. 6) ので、1997～2008年までの規格ごとの測定体長データをプールしたデータベースから、規格ごとに箱数×入れ尾数分のデータを無作為抽出することで、ブートストラップ標本としての体長組成を得た。2008年1月12日の漁獲分から37尾を標本抽出し測定と耳石による年齢査定<sup>12)</sup>を行い、当該の方法によりALKを得て、この体長データに乘じ積算することで年齢－体長組成を推定した。

余市港の漁獲物組成については、2008年1月23日に水揚げされた漁獲物を推定対象とした。余市港での出荷は発砲スチロール箱1～5尾入れが主体となっている。マダラはすべて箱詰めされた状態で荷下ろしされるので、市場において体長を測定することは不可能である。そこで、箱詰めされた状態のまま測定できる第一背鰭基底長と胸鰭長を、デジタルノギスによって0.1mm単位で、すべての漁獲物について計測した。そのうち標本30尾をサンプリングし、基本測定および年齢査定の他、第一背鰭基底長と胸鰭長を測定したうえで、Fig.7に示す体長との関係式を得て、大型個体については胸鰭長から、それ以外の個体については第一背鰭基底長から体長データを推定した。そして、上記の方法によるALKと体長データを積算して年齢－体長組成を推定した。なお、いずれの産地においても、未成魚を主体とする“バラ”規格の漁獲

はなかった。

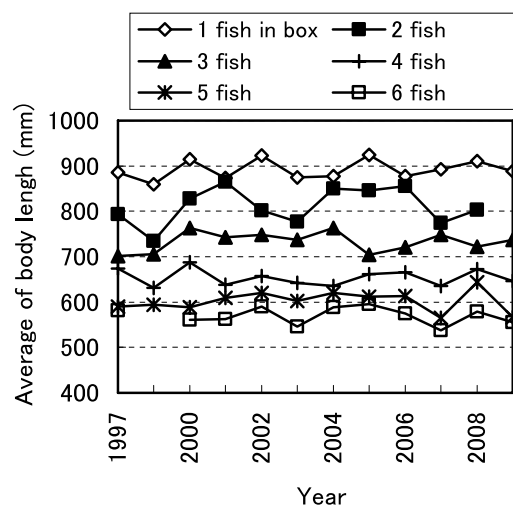


Fig.6 Change in the mean value of body length in each size class at the port of Otaru.

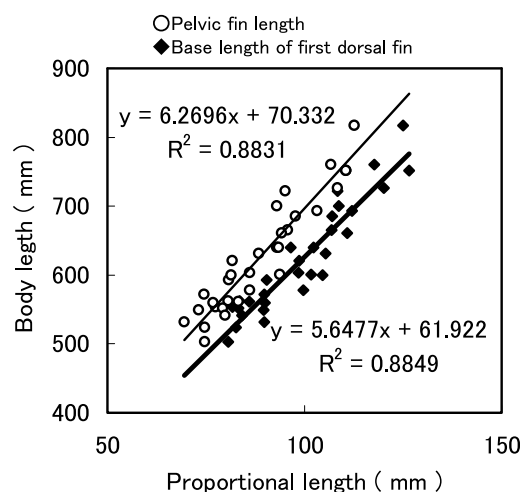


Fig.7 Relationships between body length and base length of the first dorsal fin and pectoral fin.

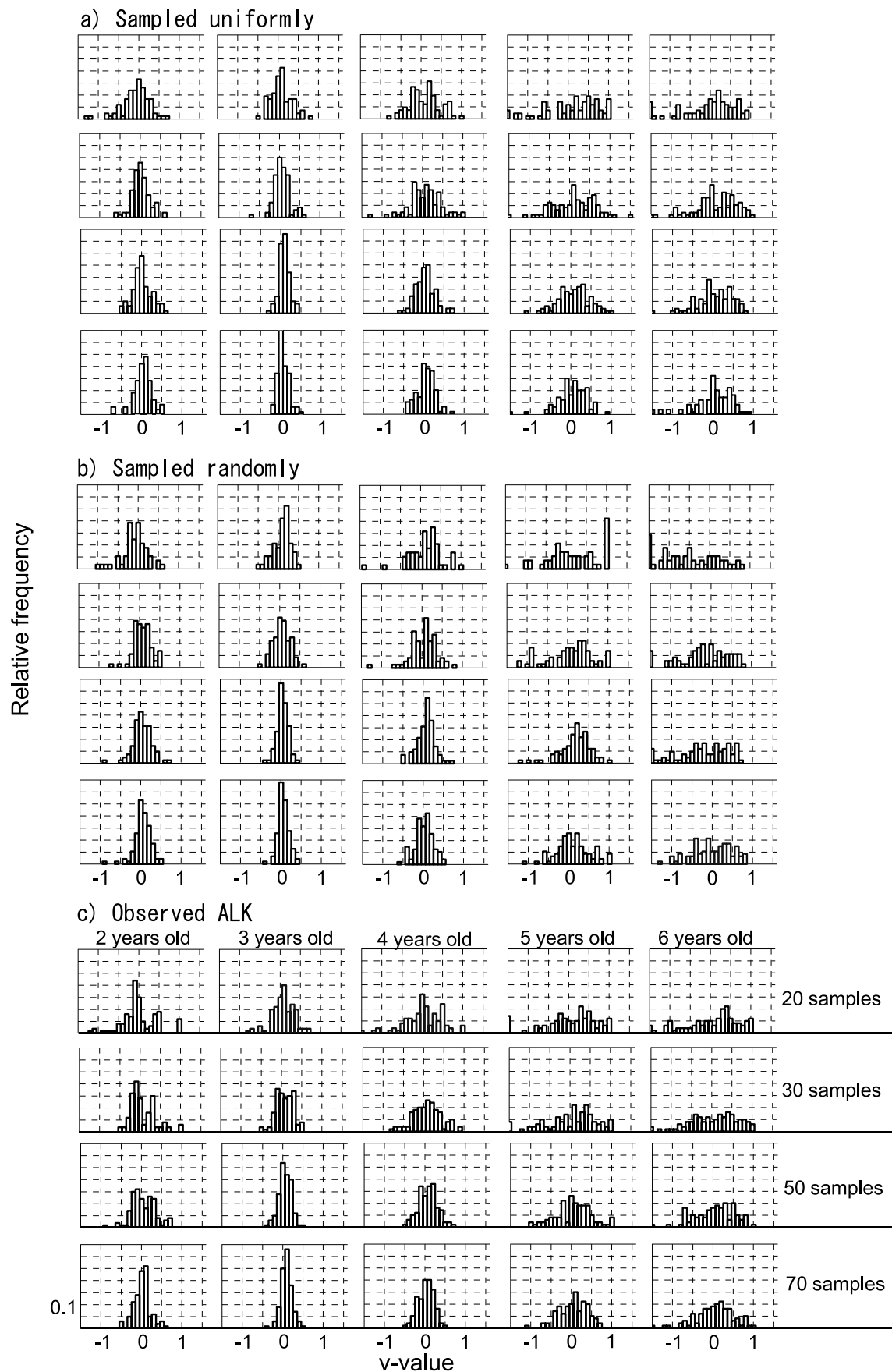


Fig.8 Relative frequency distributions in v-value for each sampling scenario of simulation.



## 結果

Fig. 8-a-c) に全シナリオによるシミュレーション結果を、 $v$  値の頻度分布として示した。一様サンプリング、ランダムサンプリングのいずれのシナリオにおいても、2～4 歳までは、20～70 の標本数値すべての場合で、 $v$  頻度のモードは-0.1～0.1 の範囲にあり、推定された ALK が正解の ALK に対して概ね不偏推定となっていることがわかる。5～6 歳の推定結果については、ランダムサンプリングでばらつきが大きく、5 歳推定値ではサンプル数が 50 以上の場合で  $v$  値が比較的小さくなり、0 付近にモードが現れるようになるが、6 歳については明瞭な改善は認められない。一方、対照として示した実測値 ALK では、2 歳、6 歳の推定結果で  $v$  最頻値やヒストグラム全体が偏る傾向があり、推定値が不偏推定量とはならなかった。結果の全体を概観すると 3 歳のヒストグラムの広がり小さく、またサンプル数を増加させるほど広がり小さくなり、正解値と推定値の差が小さくなっていることがわかる。推定値と正解値の偏差の程度を比較するために、Fig. 9 に、 $v$  値が-0.3～0.3 と正解値に比較的近い範囲で推定された割合を相対頻度で示した。また、 $v$  値のばらつきの程度を示すために、Fig. 10 に  $v$  値の標準偏差を図示した。3 歳の推定値に関しては、用いた標本数が 20 と少なくとも 70% 以上が正解値の 0.7～1.3 倍の範囲で推定されている。サンプル数が多いほど頻度は高くなり、2～5 歳については、サンプル数 50 で 80% 以上となっている。6 歳については、Fig. 8 から明らかなように、 $v = 1$  すなわち推定値が 0 となる場合から正解値の 2 倍の範囲で推定されるなどばらつきが大きい。ランダムサンプリングでは 6 歳の推定値は著しく正解値と乖離する傾向がみられた。サンプル数が多くなるとより正解値に近い値が推定されるようにはなるが、50 以上ではそれほど大きな変化がなくなり、ばらつきを示す標準偏差にも大きな変化がみられなくなる。ただし、6 歳については、ランダムサンプリングで用いる標本数の増加による精度の改善は、Fig. 9、Fig. 10 でそれぞれ顕著にみられた。適用事例として推定を試みた、小樽港および余市港の漁獲物年齢-体長組成を Fig. 11、Fig. 12 に示す。小樽港の漁獲物は 3～5 歳が主体であり、体長は 700～750 mm にモードがあった。余市港では 3、4 歳が主体となっており体長は 550～600 mm にモードがあった。両者の体長組成は大きく異なったが、各体長階級の年齢頻度は同傾向で推定された。

## 考察

本稿では、コンピュータシミュレーションにより、漁獲物年齢-体長組成と、そこから抽出した少数標本に基づいて確率密度関数として推定される ALK により得られた年齢組成を比較することで、この方法によるマダラ漁獲物の年齢組成推定法としての妥当性を検討した。その結果、漁獲物標本が漁獲物の全体体長範囲から満遍なく抽出されたような場合、もしくは漁獲物体長組成と相似的に標本が抽出された場合のいずれでも、ある程度の推定精度で ALK を得ることが可能であることが分かった。実測値から直接算出する ALK では、必ずしもすべての体長階級に対して年齢データが得られるとは限らず、適用できない可能性があるのに対し、この方法であれば、体長階級に対して一律、一様に標本抽出されなくとも ALK を推定できた。実測値 ALK と比べても正確度は劣らず、むしろ 2 歳、6 歳の推定値は実測値 ALK より正解値に近い値で推定される傾向があった。5、6 歳については、推定値がしばしば正解値の 0～2 倍程度の範囲で乖離することが分かったが、これは、今回行ったシミュレーションで生成される漁獲物年齢組成が、5 歳以上の漁獲尾数が比較的少なく設定される条件とした (Fig. 4) ことで、5 歳以上および 6 歳以上の境界線を描く曲線の推定が不安定となりやすかったことが大きな要因となっている。5 歳、6 歳の漁獲尾数が比較的多いパターンでは、5 歳、6 歳の漁獲尾数も正解値の近傍で推定される傾向が明瞭であることから、実際の適用場面においても、5 歳以上の出現率がある程度高い標本であれば、5 歳以上の漁獲尾数も真値からさほど大きく隔たらずに推定される可能性が大きい。5 歳以上あるいは 6 歳以上の出現率が著しく低い場合には、それぞれ、4 歳以上、5 歳以上のプラスグループとして集計したうえで、同様の方法で推定するのが妥当である。

これまで北海道立水産試験場により日本海産マダラについて行ってきた漁獲物調査では、基本的に 1 回あたり 30 尾以上の標本数があり、原則として全規格を対象に測定を行っている。年、時期によっては中型のサイズに標本組成が偏る、1 尾入れの大型魚が得られていないといったこともあるが、そのような場合を含めても、基本的には、本稿で示した方法によって ALK を得ることは妥当であると結論できる。したがって、今後の漁獲物調査においては、規格によらず、できるだけ漁獲物の体長範囲全体から満遍なく標本抽出することを意識して、50 尾以上の標本採集を目標として進め、目標数に及ばなくとも本稿で示した方法で ALK を得れば、現状で求められる程度の信頼性で年齢組成を得ることは十分に可能と考えられた。

ALK 法による漁獲物年齢組成の推定精度については理

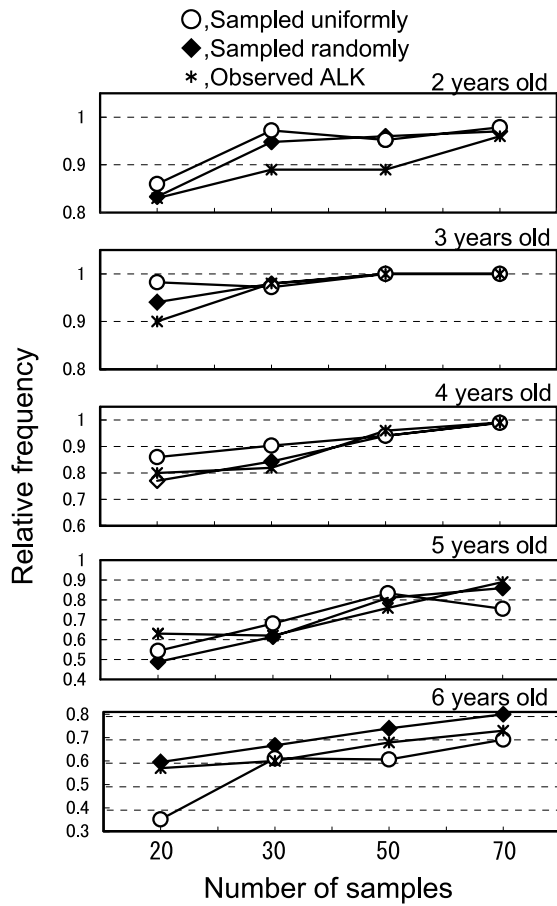


Fig.9 Change in the relative frequency of  $v$ -range(=-1.3 ~ +1.3) for each sampling scenario.

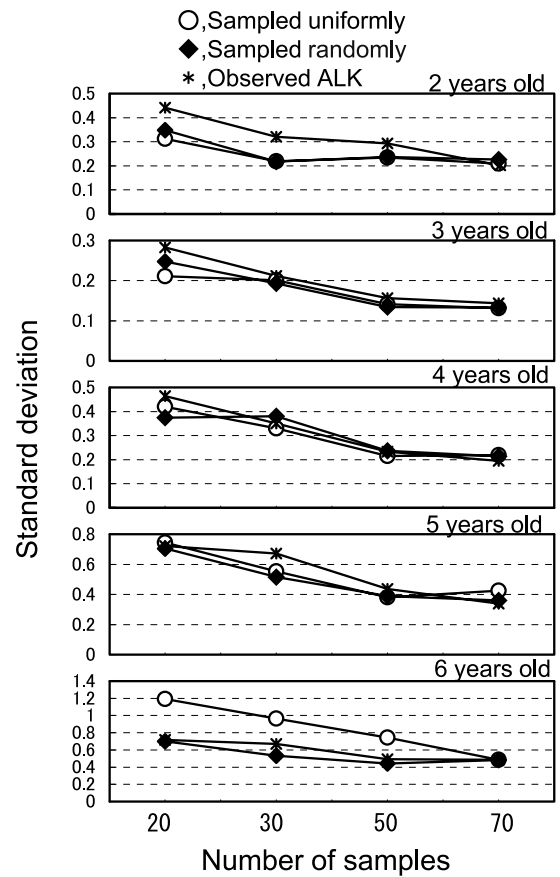


Fig.10 Change in the value of standard deviation for each sampling scenario.

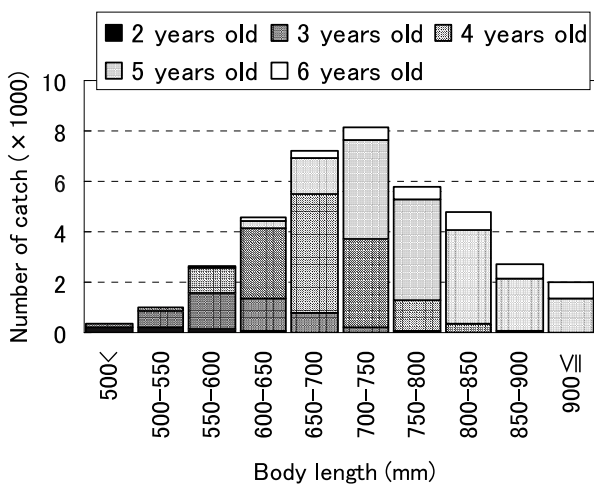


Fig.11 Estimated age/length distribution of Pacific cod landed at the port of Otaru in the 2008 fishing season.

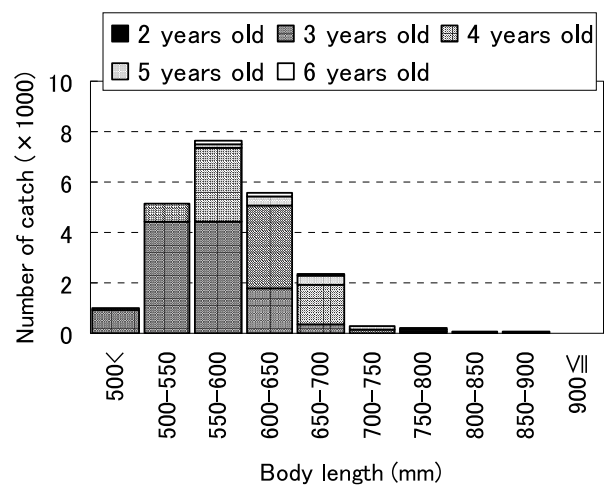


Fig.12 Estimated age/length distribution of Pacific cod landed at the port of Yoichi on February 15, 2008.

論的に整理されており<sup>3, 8, 13, 14)</sup>, 当然, 標本数が多いほど推定精度は高くなる。また, 推定対象となる漁獲物組成を構成する年齢群の数が多いほど, 頑健な推定値を得る

ためには多数の標本が必要となることも明らかである。北海道日本海産マダラのように3~5歳の3年齢群が主体で, 2歳と6歳以上が低頻度で含まれるというような

組成であれば、ひとつの体長階級に対する年齢データが少なくても、その階級に含まれる可能性のある年齢数も多くはないため、数尾程度の実測値があれば真値に近い年齢構成比が得られる。さらに、本稿で示した方法を用いれば、推定対象の体長範囲に対して一律の頻度で年齢データが得られていない、すなわち、ある階級の年齢データが存在しない場合があっても、他階級の年齢データから連続関数として推定されるため、よい推定値が得られやすい。そのため、650mm以下の範囲では、ひとつの体長階級に含まれる年齢が2歳か3歳、あるいは3歳か4歳といった二者択一的な分布を呈することから、4歳までの推定値が真値の近傍を捉える傾向が強くなる。700mm以上になると、3個以上の年齢群で構成されることが多くなり、年齢間の成長差も比較的小さくなるうえに、4歳より5歳の尾数が多いといった複雑な構成も生じることから、高齢になるにしたがって真値から外れて推定される傾向が強くなる。

本稿では、正解値の0.7~1.3倍の範囲を正確度の目安として示した(Fig.8)が、漁獲物年齢組成の推定値にどの程度の推定精度があれば妥当かということについて客観的な尺度はなく、その情報の用途に応じたものになる。資源研究では、推定された漁獲物年齢組成を基に年間の年齢別漁獲尾数を推定し、コホート解析やその応用によって、許容漁獲量など資源管理方策の目標数値として活用するといった、大きな社会的意義を持つ場合も多い。必然的に、高い推定精度をもつ数値が求められる背景が常にあり、そのための標本数や調査回数を増やす努力が求められることも多い。しかし、本稿で示したとおり、マダラの場合では、1回の調査の標本数が50尾以上では正確度が劇的に高まるようなことは期待できない。すなわち、経済的、労力的なコストをさらに費やして標本数を増加させても、推定結果の精度はさほど大きく改善されない可能性が大きい。ALK推定値自体の推定精度を高めることに限度がある以上は、推定精度を高めるために調査回数やサンプル数を大幅に増やす努力を講じることより、ALK推定値の誤差の程度を事前に検証し、その誤差が用途の中でどのような影響を及ぼすのかを事前に把握することの方が重要である。そのような観点から、近年はALK推定方法の違いによる系統誤差の比較<sup>15)</sup>、ALKの誤差が資源動態や産卵親魚量の推定結果に及ぼす影響<sup>16-17)</sup>などが、シミュレーションなどによって検証されている。

この方法で得られたALKから漁獲物年齢組成を推定するためには、一次標本としての体長組成が必要である。ALKが良好な推定値となっても、体長組成推定値に著しい偏りなどがあれば、結果的に漁獲物年齢組成とし

ての信頼性は下がる。マダラでは、前述のとおり水揚げ・出荷形態の特性上、直接、多数の漁獲物に対して体長を測定することが困難な事情があるため、現場の状況に応じた工夫が必要である。本稿では、二つの事例として、過去に測定した規格ごとの体長データと、推定対象期間の規格別水揚げ箱数データに基づくブートストラップ標本として体長組成を得る方法と、産地の荷捌き場において、箱詰め状態のままで、常に露出していて計測しやすい形質である第一背鰭基底長と胸鰭長を測定し、体長との関係式に基づいて体長に換算する方法を示した。いずれの方法もきわめて容易であるうえに、推定値に大きな誤差が生じるような可能性も少ないことから、十分な正確度で体長組成を得ることが可能と考えられ、状況に応じて使い分ければ、マダラ漁獲物の有効なモニタリング方法となろう。なお、小樽港の漁獲物は沖底漁業によって魚体のサイズに対し比較的無選択で漁獲されるのに対し、余市港はたら刺し網漁業による漁獲物であり、刺し網目合の選択性が作用するため著しく異なる体長組成となっていると考えられる。ただし、双方の漁場は基本的に同一で同じ資源が漁獲対象となっており、そのような状況下で、各体長階級の年齢比、すなわちALKが同じような配置傾向として推定されたことは、本稿による方法の有効性を支持する事例とも考えられる。

このようにして推定された代表産地・時期の漁獲物年齢組成から、さらに1年間の年齢別漁獲尾数を得ていくためには留意すべき点がある。ALKは、その漁獲日・海域における体長と年齢の関係であり、この単一のALKを基に、一定期間の漁獲統計を用いて推定された体長組成で引き伸ばす際、引き伸ばしの期間が長すぎると、期間中に資源構造としてのALKが変化することで、大きな誤差をもたらす可能性がある。マダラの場合は産卵期とその前後が漁期であるため、他魚種でよくみられるように漁場に参加する年齢に順位性があると、ALKは時期に応じて変化する可能性がある。また、成長が速い種のため産卵期間中にも明瞭な成長が認められるようであれば、やはり時期に応じたALKが存在する可能性が生じる。通常は、産卵期漁期の資源については、このような観点から数回の漁獲物調査を行うことが多いが、マダラの場合は、基本的に漁獲のピーク期(盛漁期)に合わせるように漁期1回の調査を実施している。時期に応じた年齢構成の変化や季節成長に関する研究はほとんど行われておらず、これらの懸念が年間の漁獲物組成を算出する際に、どのような影響を及ぼすかは現在のところ不明であり、次の課題としていきたい。

## 要約

日本海産マダラでは、一回の漁獲物調査で得られる標本数が他魚種と比べ著しく少なく、Age-Length key法などによって漁獲物の年齢組成を推定することができていない。そこで、ALKを少数標本から確率密度関数として推定する方法を示したうえで、これまでの調査データに適用することの妥当性を、シミュレーションによって検証した。ALK推定値は妥当な正確度で算出され、実測値に基づくALKよりいくつかの利点があった。用いる標本数を増やすと正確度は上がるが、50尾以上ではさほど改善しないことが示唆された。適用事例として沖底漁業と刺し網漁業で漁獲された漁獲物の年齢・体長組成の推定を試み、良好な結果を得た。

## 謝辞

漁獲物標本調査にご協力いただいた中央水試資源管理部諸氏に感謝いたします。なお、本研究で適用事例に用いたマダラ測定データの一部は、水産庁による我が国周辺水域資源調査推進委託事業費によって得られた。

## 文献

- 1) 能勢幸雄, 石井丈夫, 清水 誠: “1. 2. 水産資源の組成”. 水産資源学. 東京, 東京大学出版会, 1988, 8-21.
- 2) 赤嶺達郎: “年齢別漁獲尾数”. 資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—. 東京, 日本水産資源保護協会, 2000, 52-54.
- 3) 田中昌一: “4・4年齢組成”. 水産資源学総論. 東京, 恒星社厚生閣, 1986, 171-180.
- 4) Lai, H.L., Gunderson, D.R. and Low, L.L.: Age Determination of Pacific cod, *Gadus Macrocephalus*, using five ageing method. *Fish. Bull.* 85(4), 713-723 (1987)
- 5) 柳下直己, 大木 繁, 山崎 淳: 若狭湾西部海域におけるヤナギムシガレイの年齢と成長および年齢組成. 日水誌. 71(2), 138-145 (2005)
- 6) 上田祐司, 成松庸二, 服部 努, 伊藤正木, 北川大二, 富川なす美, 松石 隆: VPAと着底トロール調査による資源量から推定された東北海域におけるマダラの漁獲効率. 日水誌. 72(2), 201-209 (2006)
- 7) 服部 努, 成松庸二, 伊藤正木, 上田祐司, 北川大二: 東北海域におけるキチジの資源量と再生産成功率の経年変化. 日水誌. 72(3), 374-381 (2006)
- 8) Tanaka, S.: Precision of age-composition of fish estimated by double sampling method using the length for stratification. *Bull.Jpn.Soc.Sci.Fish.* 19, 657-670 (1953)
- 9) Salthaug, A.: Dynamic age-length keys. *Fish.Bull.* 101(2), 451-456 (2003)
- 10) 平松一彦: “1. 水産資源学における最尤法とAICの適用例”. 水産資源解析と統計モデル. 東京, 恒星社厚生閣, 1993, 9-21
- 11) 三宅博哉, 中山信之: 日本海武蔵堆海域におけるマダラの成熟体長と産卵期. 北水試月報. 44, 209-216 (1987)
- 12) 服部 努, 桜井泰憲, 島崎健二: マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. 日水誌. 58(7), 1203-1210 (1992)
- 13) Lai, H.L.: Optimum allocation for estimating age composition using age-length key. *Fish. Bull.* 85(2), 179-185 (1987)
- 14) Lai, H.L.: Optimal sampling design for using the age-length key to estimate age composition of a fish population. *Fish.Bull.* 91(2), 382-388 (1993)
- 15) Hayes, D.B.: A statistical method for evaluating differences between age-length keys with application to Georges Bank haddock, *Melanogrammus aeglefinus*. *Fish.Bull.* 91, 550-557 (1993)
- 16) Goodyear, C.P.: Fish age determined from length: an evaluation of three methods using simulated red snapper data. *Fish.Bull.* 95, 39-46 (1997)
- 17) Bertignac, M. and Pontual, H.: Consequences of bias in age estimation on assessment of the northern stock of European hake (*Merluccius merluccius*) and on management advice. *ICES J. Mar. Sci.* 64, 981-988 (2007)

# 北海道周辺海域で標識放流されたスルメイカの移動

坂口健司\*

Migration of tagged Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in waters around Hokkaido

Kenji SAKAGUCHI\*

Release and recapture records of tagged Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in the waters around Hokkaido are investigated. During 1927-2000, a total of 255,033 squid individuals were tagged and released, and 6,605 squids were recaptured. Migratory patterns of the squid were examined in the waters around Hokkaido, based on the results of the tagging experiments and the population structure. *Todarodes pacificus* migrate northeastward in the Sea of Japan and the Pacific Ocean with the warm Tsushima and Kuroshio currents, respectively. Then squid migrate southwestward utilizing the cold waters away from the warm current area at prior to spawning and dying of senescence in the warm currents.

キーワード：スルメイカ, *Todarodes pacificus*, 標識放流, 移動, 回遊, 北海道

## まえがき

スルメイカ (*Todarodes pacificus*) は古くから北海道の重要な漁業資源であるため、さまざまな試験研究の対象となってきた。スルメイカの標識放流調査が初めて行われたのは、1927年の北海道立水産試験場の調査とされている<sup>1,2)</sup>。それ以来、スルメイカの標識放流調査は日本周辺海域において非常に多く実施されてきた。その目的は、回遊の解明、系群構造の検討、年齢成長の解析、移動速度や死亡係数の推定など多岐にわたる。標識放流調査の大きな成果の一つは、スルメイカが地域群の集合ではなく、日本周辺海域を広く回遊することを明らかにしたことである<sup>3)</sup>。北海道周辺海域で漁獲対象となるスルメイカは、初夏に日本海と太平洋を北上回遊して来遊し、秋以降、南下回遊して北海道周辺から移出していくことが明らかにされた<sup>3)</sup>。これらの成果は、スルメイカの漁況予測やその精度向上のための基礎的知見として不可欠なものとなっている。

しかし、長年にわたって積み重ねられた重要な調査結

果は、多数さまざまな文献に断片的に記載されてきた。これまでに、調査の概要や文献などの整理は進められてきたが<sup>4,5)</sup>、放流および再捕時の月日や位置などの詳細な情報は十分に整理されていない。このため、スルメイカの移動例の全体像を把握することが困難な状況にある。

また、スルメイカは生まれた時期によって系群に分けられ<sup>3)</sup>、この系群別に回遊模式図<sup>3,6-8)</sup>が描かれてきた。しかし、近年、平衡石の日周輪解析によって発生時期がより正確に推定されたため、これに基づいて系群構造の修正が提案されている<sup>9-11)</sup>。このため、新しい系群別に回遊を整理する必要がある。

本報告では、1927～2000年に北海道立水産試験場が北海道周辺海域で実施してきたスルメイカの標識放流調査の結果を整理した。そして、平衡石の日周輪解析の結果から提案された新たな群構造に対応させて、主な回遊経路を検討した。さらに、スルメイカの移動方向や速度などの移動特性についても検討した。

## 材料および方法

報文番号 A451 (2009年12月9日受理)

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

1927年から2000年の74年間に北海道立水産試験場が行ったスルメイカの標識放流調査について、各種報告書<sup>1, 2, 12-71)</sup>から放流時および再捕時の年月日と位置の情報を調べた。この間に標識放流されたスルメイカは合計255,033個体で、そのうち放流と再捕の月日と位置のデータがそろっていた再捕個体数は、日本海で5～11月に放流された3,748個体、津軽海峡を含む太平洋で6～12月に放流された2,857個体、合計6,605個体であった（Table 1, 2）。

位置情報の記述を以下のようなパターンに分け、緯度経度で記載されていない情報を緯度経度に変換した。便宜的に、位置情報の記述パターンによってデータの精度を高、中、低の3段階に区分した。

緯度経度（例えば、北緯40度30分、東経140度47分）で報告されているものは高精度データとした。地名と方位と距離（例えば、余市シリパ岬北西沖5海里）のように、理論上、海上の1点を示す記述パターンは、その点の緯度経度に変換し、距離が50海里未満を中精度データ、50海里以上を低精度データとした。地名と距離（例えば、釧路沖3海里）のように、1点で指定できない記述パターンの場合は、その地名の位置に最も近い海上の緯度経度10分格子の中央点の緯度経度に変換し、その距離が5海里未満のときは中精度データ、5海里以上のときは低精度データとした。地名のみ（例えば、函館沖）で記載されている場合も、その地名の位置に最も近い海上の緯

度経度10分格子の中央点の緯度経度に変換し、中精度データとした。広範囲を示す地名（例えば、武蔵堆）で記載されている場合は、その地名の中心付近に最も近い海上の緯度経度1度格子の中央点の緯度経度に変換し、低精度データとした。

まず、高精度および中精度の合計5,809個体のデータを用いて、放流月別および再捕月別または旬別に集計し、地図上に放流位置を黒丸で、再捕位置を放流位置から伸ばした直線の末端で示した。作図にはマリンネット北海道の標識・種苗放流情報管理システム（ESRI社製GISソフトArcViewを含む）を用いた。さらに、作成した月別および旬別の図の中で移動方向や位置が似ている主要な移動例を放流月別に一まとめにして図示し、主な再捕月を記載する方法で放流月別の主要な回遊経路を示した。

次に、同じく高精度および中精度のデータを用いて、スルメイカの移動方向を調べた。データを放流海域別に日本海と太平洋に分けて集計し、放流位置を原点としたグラフ上に再捕位置をプロットして示した。

さらに、放流してから再捕されるまでの直線移動距離と経過日数から、1日の平均直線移動距離（以下、移動速度とする）を推定した。ここでは、より正確に推定するために、高精度データの中でも、回遊経路を陸地に大きくさえぎられない日本海で放流と再捕が行われた735個体のデータのみを用いた。さらに、このうち5～7月に放流され日本海の日本列島寄りを北と東の間の北

Table 1 Number of recaptured *Todarodes pacificus* tagged and released in the Sea of Japan around Hokkaido, 1927-2000, in each month.

| Month of release | Month of recapture |       |        |           |         |          |          |         | Total |
|------------------|--------------------|-------|--------|-----------|---------|----------|----------|---------|-------|
|                  | June               | July  | August | September | October | November | December | January |       |
| May              | 11                 | 16    | 13     | 1         |         |          |          |         | 41    |
| June             | 187                | 639   | 307    | 82        | 10      | 6        | 2        | 2       | 1,235 |
| July             |                    | 349   | 626    | 287       | 73      | 13       | 5        |         | 1,353 |
| August           |                    |       | 189    | 149       | 71      | 10       | 17       | 3       | 439   |
| September        |                    |       |        | 232       | 362     | 18       | 8        | 3       | 623   |
| October          |                    |       |        |           | 39      | 15       | 1        |         | 55    |
| November         |                    |       |        |           |         |          | 1        | 1       | 2     |
| Total            | 198                | 1,004 | 1,135  | 751       | 555     | 62       | 34       | 9       | 3,748 |

Table 2 Number of recaptured *Todarodes pacificus* tagged and released in the Pacific Ocean around Hokkaido, 1927-2000, in each month.

| Month of release | Month of recapture |        |           |         |          |          |         |          |       | Total |
|------------------|--------------------|--------|-----------|---------|----------|----------|---------|----------|-------|-------|
|                  | July               | August | September | October | November | December | January | February | March |       |
| June             |                    |        | 2         | 1       | 1        |          |         |          |       | 4     |
| July             | 38                 | 79     | 45        | 15      | 4        | 1        | 2       |          |       | 184   |
| August           |                    | 471    | 232       | 145     | 36       | 15       | 5       |          |       | 904   |
| September        |                    |        | 195       | 467     | 64       | 18       | 1       |          |       | 745   |
| October          |                    |        |           | 104     | 79       | 23       |         | 1        |       | 207   |
| November         |                    |        |           |         | 374      | 243      | 19      | 6        | 2     | 644   |
| December         |                    |        |           |         |          | 163      | 4       |          | 2     | 169   |
| Total            | 38                 | 550    | 474       | 732     | 558      | 463      | 31      | 7        | 4     | 2,857 |

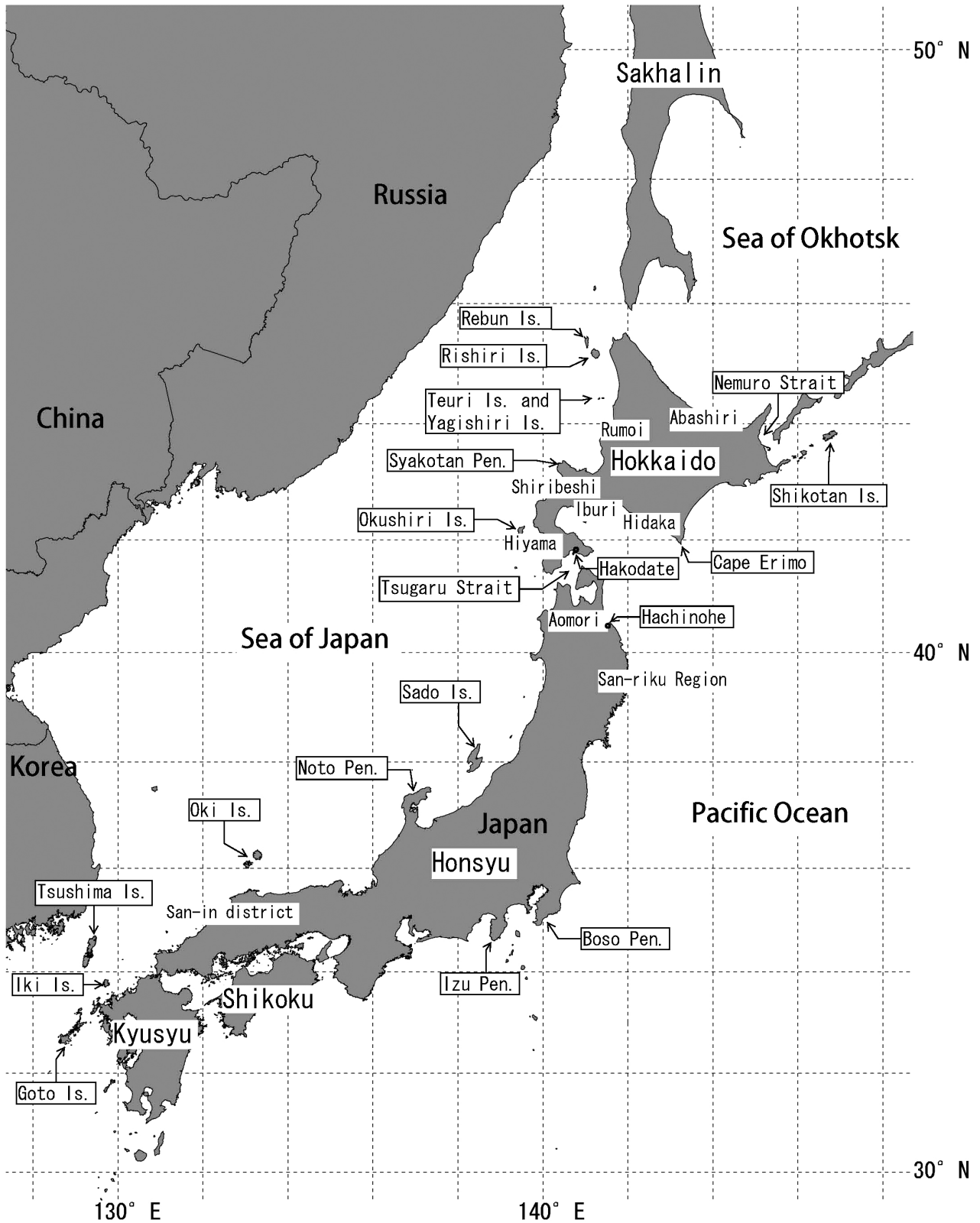


Fig.1 Map of the study area around Japan.

東方向に移動したデータを北上回遊とし、8～9月に放流され日本海を南から西の間の南西方向に移動したデータを南下回遊として便宜的に区別した。ただし、移動速度が突出して速く算出されるデータは、誤った情報が含まれている可能性が高いと判断し、解析から除外した。

## 結 果

### 1. 放流月別の再捕状況

本研究で扱ったスルメイカの標識放流調査における放流および再捕海域をFig.1に、放流月別の主要な回遊経路をFig.2に示した。また、Fig.2を作成する元になった放流月別および再捕月別または旬別の放流位置と再捕位置の図は、末尾にAppend. 1～8として示した。

### 5 月放流

5月に奥尻島南部沿岸と岩内沿岸で放流された個体は、6～8月に積丹半島周辺や武蔵堆周辺など北海道西部日本海（以下、道西日本海とする）の沿岸で再捕されたほか、9月にサハリン西部日本海の沿岸で再捕された（Fig.2-a）。津軽海峡西口で放流された個体は、6～8月に津軽海峡内で再捕されたほか、8月には三陸沿岸でも再捕された。

### 6 月放流

6月に津軽海峡の南西沖から積丹半島周辺までの日本海沿岸で放流された個体は、6月に津軽海峡西口、津軽海峡内、檜山から後志沿岸などで再捕された（Fig.2-b）。7～8月には道西日本海の沿岸から沖合、津軽海峡周辺、青森県太平洋沿岸、三陸沿岸で再捕され、一部は放流位置よりも南の大和堆周辺、佐渡島から山陰地方までの日本海南部沿岸などでも再捕された。9～10月には道西日本海沖合、三陸沿岸、北海道東部オホーツク海（以下、道東オホーツク海とする）の沿岸でも再捕されたが、大和堆周辺など北緯40度付近の日本海中央部と、さらにその南の日本海南部沿岸で再捕されたものが多かった。12月～翌年1月には山陰地方沿岸などで再捕された。

北海道東部太平洋（以下、道東太平洋とする）の沿岸で放流された個体は、9～11月に津軽海峡東口で再捕された。

少ない移動例としては、津軽海峡西口と後志沿岸で放流された個体が、それぞれ9月と10月に根室海峡で再捕され、奥尻島北西沖で放流された個体が、8月下旬に日高沿岸で再捕された（Append. 2）。また、津軽海峡西口周辺で放流された個体が、放流後約半年の12月～翌年1月に放流位置周辺で再捕された。

### 7 月放流

7月に津軽海峡の西沖から積丹半島周辺までの日本海沿岸で放流された個体は、7～8月には、主に放流位置の北東の道西日本海沿岸、武蔵堆周辺、津軽海峡周辺などで再捕され、一部は放流位置よりも南の大和堆周辺でも再捕された（Fig.2-c）。9月には利尻・礼文島周辺、武蔵堆周辺から大和堆周辺にかけての日本海沖合や山陰地方沿岸で多く再捕された。10～11月には北緯40度以南の日本海南部沖合から山陰地方沿岸など放流位置よりも南での再捕が多かった。

留萌沿岸で放流された個体は、7～10月に天売・焼尻島周辺、武蔵堆周辺、利尻・礼文島周辺、道西日本海沖合などで再捕された。

積丹半島西方沖合から武蔵堆周辺で放流された個体は、8～10月には大和堆周辺など北緯40度付近の日本海中央部で多く再捕され、9～11月には北緯40度以南の日本海南部沖合から山陰地方沿岸などで多く再捕された。

利尻島周辺で放流された個体は、7～9月には利尻・礼文島周辺や武蔵堆周辺など放流位置周辺で再捕されるものが多かったほか、9～10月には網走沿岸などのオホーツク海でも少数再捕された。

サハリン西部沖合で放流された個体は、11～12月には対馬周辺で再捕された。

沿海州沖合で放流された個体は、8月には放流位置周辺、大和堆周辺など北緯40度付近の日本海中央部などで多く再捕された。9～10月には北緯40度付近の日本海中央部と朝鮮半島東部沿岸などで多く再捕され、10月には対馬周辺などで再捕された。

襟裳岬南東および東方沖合で放流された個体は、8月には主に道東太平洋沿岸で再捕され、9～10月には日高沿岸、青森県太平洋沿岸、津軽海峡東口で再捕された。比較的長距離の移動例としては、10月に房総半島周辺で、翌年1月に壱岐周辺でも再捕された。

日高沿岸で放流された個体は、8～10月に津軽海峡周辺で多く再捕された。

津軽海峡内から東口で放流された個体は、放流位置周辺で再捕されるものが多かったが、それ以外では8～9月に三陸沿岸で比較的多く再捕された。

珍しい移動例としては、津軽海峡内で放流された個体が、11月に伊豆半島周辺で再捕され、礼文島北方沖合で放流された個体が、8月にサハリン西部沖合の放流位置より北で再捕された（Append. 3）。また、積丹半島周辺から武蔵堆へ移動するパターンとして、沖合を北上する移動例と、留萌沿岸などの沿岸域を経由して北上する移動例の2通りがみられた。



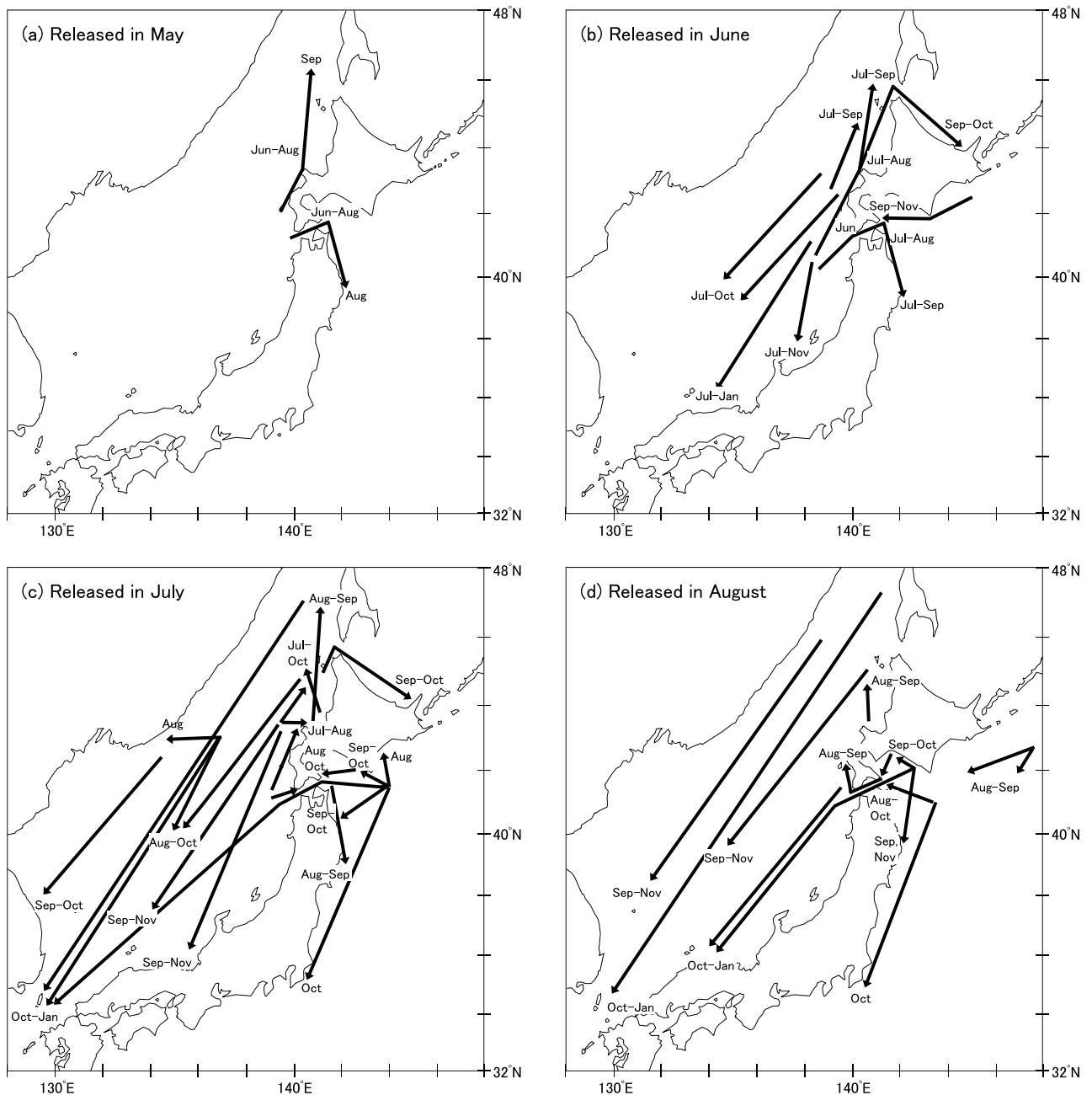


Fig.2 Map showing the migratory pattern of the *Todarodes pacificus* tagged and released in the waters around Hokkaido in (a)May, (b)June, (c)July, (d)August, (e)September, (f)October, (g)November and (h)December.

### 8 月放流

8 月に津軽海峡周辺で放流された個体は、放流位置周辺で再捕されるものが多かったほか、8～9月に檜山沿岸と奥尻島周辺などで再捕された (Fig. 2-d)。

積丹半島周辺で放流された個体は、8～9月に放流位置周辺や武蔵堆周辺で再捕された。

武蔵堆周辺で放流された個体は、9～11月に北緯40度付近の日本海中央部で多く再捕された。

サハリンと北海道の西部沖合から沿海州沿岸までの海域で放流された個体は、9月には大和堆周辺など北緯40

度付近の日本海中央部で多く再捕された。10～11月には日本海中央部のほか対馬周辺での再捕が多く、12月～翌年1月には対馬周辺や五島列島周辺で再捕されるものが多かった。

襟裳岬南方沖合で放流された個体は、8月に津軽海峡東口で、9～10月に主に津軽海峡周辺で再捕されたほか、10月には房総半島周辺でも再捕された。

日高沿岸で放流された個体は、9～10月に胆振沿岸から津軽海峡周辺の海域と三陸沿岸などで再捕された。その後の12月～翌年1月には津軽海峡周辺や隠岐周辺で再捕

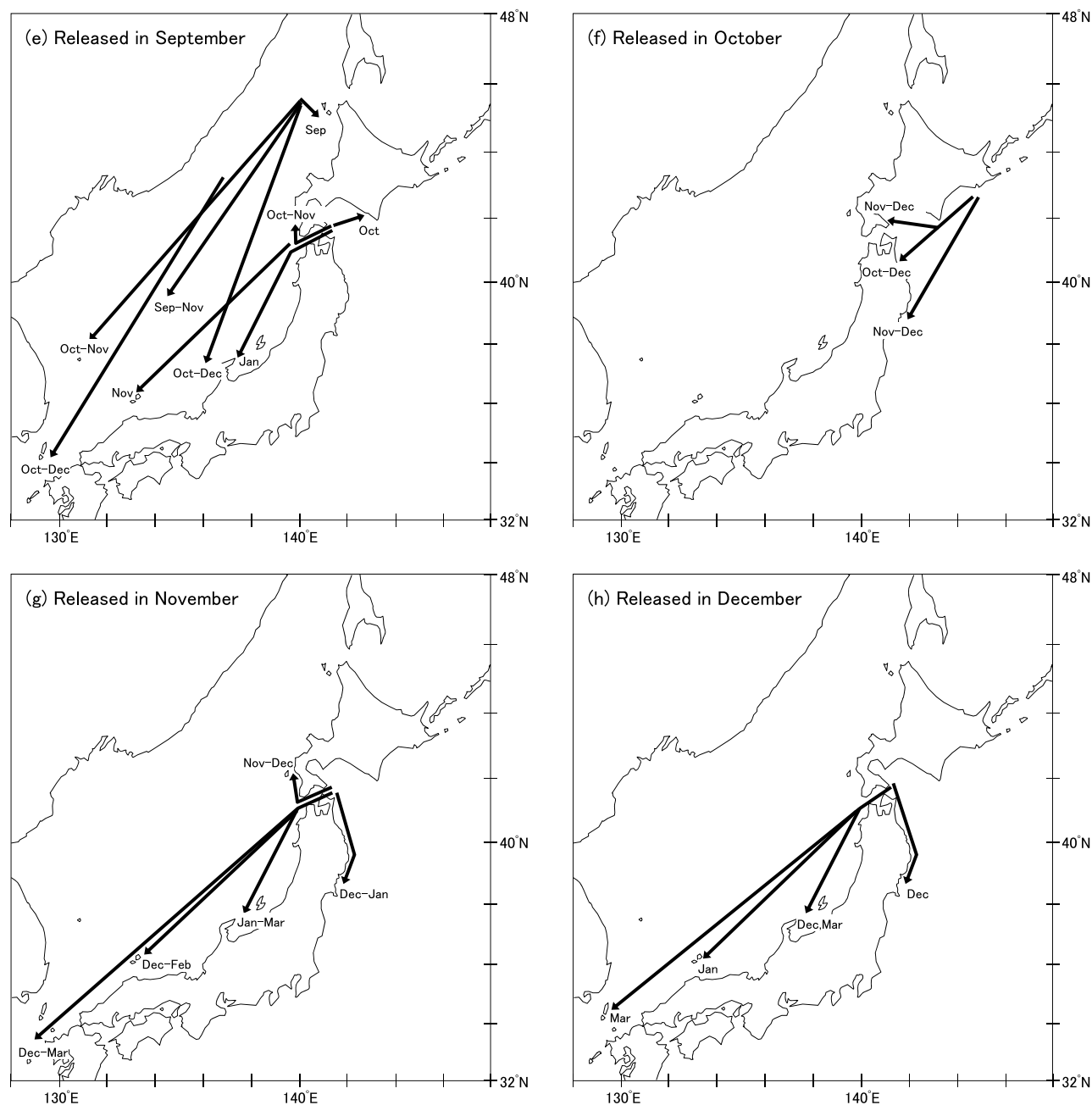


Fig.2 continued.

されるものが多かった。

胆振沿岸で放流された個体は、8～11月に津軽海峡周辺で再捕されるものが多かった。

色丹島南東沖合で放流された個体は、8～9月には放流位置の南西の道東太平洋沖合で再捕された。

その他の珍しい移動例としては、色丹島南東沖合で放流された個体が、翌年1月に山陰地方沿岸で再捕された (Append. 4)。また、沿海州沖合で放流された個体が、9月に檜山沿岸でも再捕された。

## 9月放流

9月に北海道西部沖合で放流された個体は、9月には礼文島周辺や放流位置の南西の道西日本海沖合で再捕されるものが多かったが、9～12月には北緯40度付近の日本海中央部、朝鮮半島東部沖合、能登半島周辺から対馬周辺までの日本海南部沿岸など、徐々に再捕される位置が南東方向にシフトしていった (Fig. 2-e)。

津軽海峡周辺で放流された個体は、9月には放流位置周辺で再捕されるものが多く、10～11月には檜山沿岸と日高沿岸で再捕されるものが多かったほか、隠岐周辺でも再捕された。翌年1月には能登半島周辺でも再捕された。

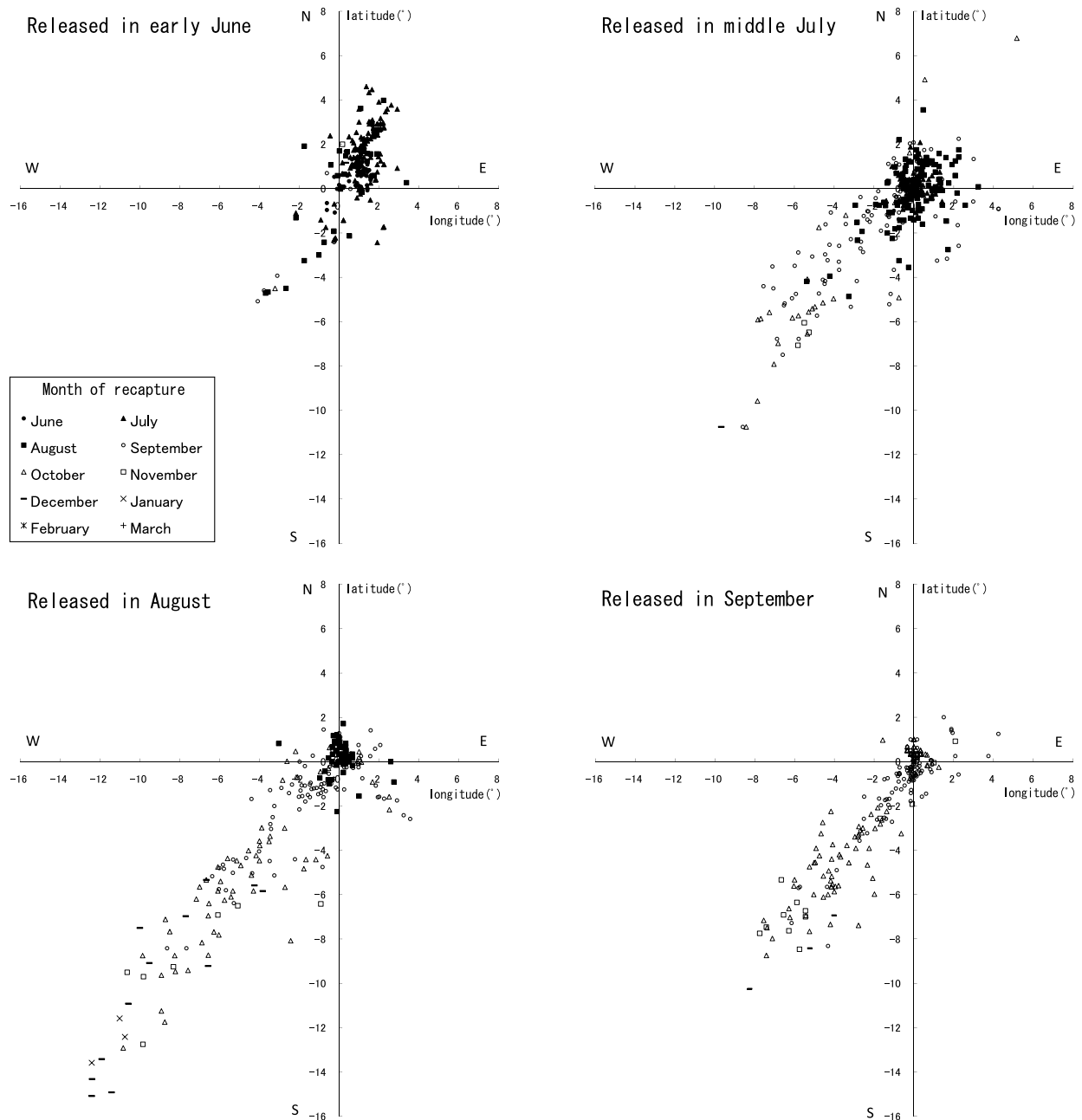


Fig.3 Positions of the recapture point of tagged *Todarodes pacificus* from the release positions in the Sea of Japan off Hokkaido in each month. The origins indicate the release point.

その他の移動例として、留萌沿岸で放流された個体が、9月に積丹半島周辺で、10月に天売・焼尻島周辺で、12月に能登半島周辺で再捕された (Append. 5)。

#### 10月放流

10月に道東太平洋沿岸で放流された個体は、10～12月に胆振沿岸、津軽海峡周辺、八戸沿岸、三陸沿岸で再捕された (Fig. 2-f)。

津軽海峡周辺、檜山沿岸、奥尻島周辺で放流された個

体は、10～12月に放流位置周辺で再捕されるもの多かった (Append. 6)。

#### 11月放流

11月に津軽海峡周辺で放流された個体は、11月には放流位置周辺のほか、檜山沿岸などで再捕された (Fig. 2-g)。12月には放流位置周辺と檜山沿岸のほか、三陸沿岸、隠岐周辺、対馬周辺などでも少数再捕された。翌年1～3月には三陸沿岸、佐渡島周辺から対馬周辺の日本海南部

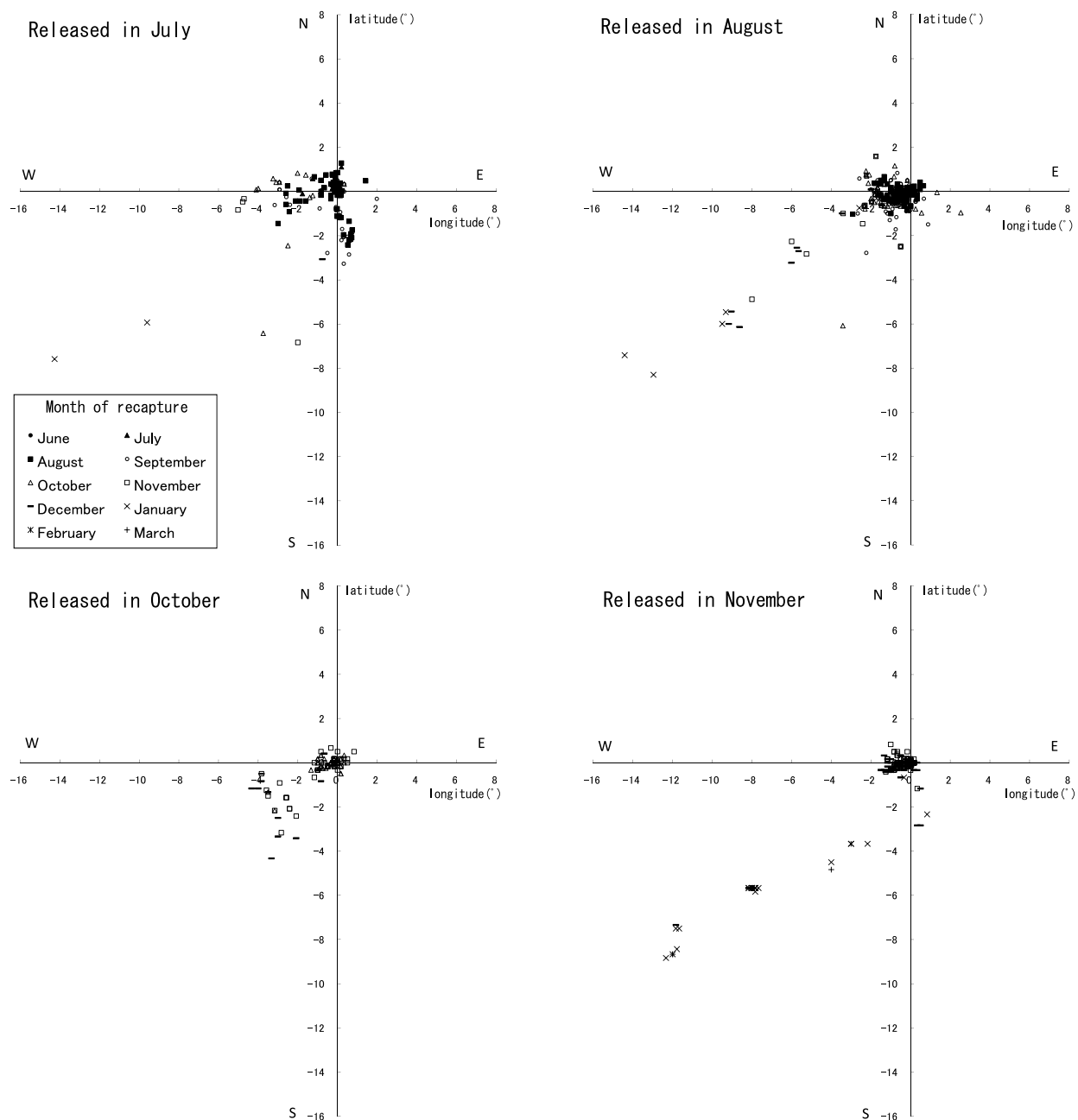


Fig.4 Positions of the recapture point of tagged *Todarodes pacificus* from the release positions in the Pacific Ocean off Hokkaido in each month. The origins indicate the release point.

沿岸，五島列島周辺で多く再捕された。

## 12月放流

12月に津軽海峡東口で放流された個体は，12月～翌年1月には津軽海峡周辺で多く再捕されたほか，能登半島周辺，三陸沿岸，隠岐周辺でも少数再捕された (Fig. 2-h)。2月の再捕データはなかったが，3月には能登半島周辺および対馬周辺で再捕された (Append. 8)。

## 2. スルメイカの移動方向

スルメイカの移動方向を検討するため，放流位置を原点としたときの再捕位置を，放流月別または旬別でプロットし，日本海と太平洋で放流した代表的な図をそれぞれ Fig.3, 4 に示した。

日本海で5月～6月中旬に放流された個体は，8月までに放流位置の北東で再捕されるものが多くみられ，その後9～11月の再捕数は少なかったが，放流位置の南西で再捕されるものがいくつかみられた。6月下旬～7月中旬に放流された個体は，7～8月に放流位置周辺やその北東で再捕されるものと，9～11月に南西で再捕され

るものが共に多くみられた。7月下旬～9月に放流された個体は、北東で再捕されるものは少なくなり、9～12月にかけて南西で再捕されるものが多くみられた。10～11月に日本海で放流された個体の再捕数は少なかった。放流位置の南西で再捕される時期は、放流時期が遅くなるにしたがって少しずつ遅れていったが、おおむね放流時期にかかわらず9月以降であった。また、移動距離は、北方向のほとんどが緯度で4度以下であったが、南方向は緯度で16度までみられた。

太平洋で6～7月に放流された個体は、8～11月に放流位置の西で再捕されるものが多かったほか、8～9月に南で、1月に南西でも再捕された。8～9月に放流された個体は10月までは放流位置周辺で再捕されるものが多かったが、11月～翌年1月には南西で再捕された。10月に放流された個体は、10～11月は放流位置周辺、11～12月にその南西で再捕されるものが多くみられた。11～12月に放流された個体は、12月までは放流位置周辺で、翌年1～3月はその南西で再捕されるものが多くみられた。日本海で放流されたものと同じく、放流時期が遅くなるにしたがって放流位置の南西で再捕される時期は少しずつ遅れていったが、1月で再捕時期が重複していた。また、放流時期にかかわらず、放流位置の北で再捕される個体は少なく、移動距離は緯度で2度以下であった。

### 3. スルメイカの移動速度

日本海における北上回遊と南下回遊の移動速度をFig.5に示した。北上回遊時の移動速度は1日に0～26km（約0.0～14.0海里）の範囲にあり、モードは2～4km（約1.1

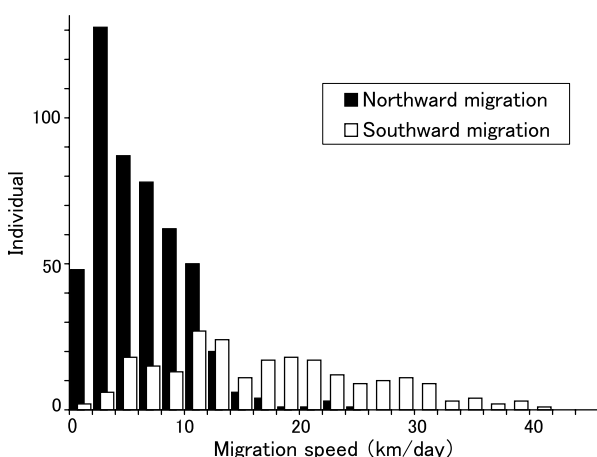


Fig.5 Migration speed of *Todarodes pacificus* released and recaptured in the Sea of Japan. Northward migration: released in the Sea of Japan during May to July and recaptured in the Sea of Japan. Southward migration: released in the Sea of Japan during August to September and recaptured in the Sea of Japan.

～2.2海里)であったが、0～12km（約0.0～6.5海里）が9割以上を占めた。

一方、南下回遊時の移動速度は1日に0～42km（約0.0～22.7海里）の範囲で、個体差が大きかった。モードは10～12km（約5.4～6.5海里）であったが、4～32km（約2.2～17.3海里）が9割以上を占めた。南下回遊時の移動速度は、北上回遊時に比べて速かった。

## 考 察

### 1. 秋季発生系群の回遊

平衡石の日周輪解析から推定された発生時期によって、北海道周辺海域に分布する秋季発生系群<sup>72)</sup>は、5～9月に襟裳岬以西の北海道南部太平洋から津軽海峡周辺の海域（以下、道南海域とする）と道西日本海に分布することが示されている<sup>9-11)</sup>。このことから、これらの時期および海域で標識放流された移動例をもとに、秋季発生系群の主な回遊経路を検討した。

秋季発生系群の北海道周辺での主な回遊パターンは、5～6月頃には津軽海峡西口周辺に来遊し、ここから道西日本海を北上する経路と津軽海峡を東進する経路に分かれる（Fig.6）。7～8月に津軽海峡内に分布し、さらに三陸沿岸や日高沿岸に移動する群もあるが、これらの移動例は比較的少ないため、津軽海峡周辺に滞留する群が多いと考えられる。

一方、道西日本海を北上する群は、7～8月に道西日本海の沿岸から沖合に広く分布する。ただし、積丹半島周辺から武蔵堆周辺へ移動するときには、積丹半島から北へ移動する沖合の経路と、積丹半島から留萌沿岸などを經由する沿岸の経路があることも示唆される。北海道よりも北のサハリン西部日本海でも、7～9月にスルメイカの分布が広く確認されていることから<sup>73-75)</sup>、これらの海域まで北上する群も少なくないと考えられる。また、宗谷海峡を東進し、9～10月に宗谷暖流域であるオホーツク海の北海道沿岸までの移動も若干みられる。しかし、移動例が少ないことと、この海域の分布群の主体は冬季発生系群と考えられていることから<sup>9-11)</sup>、主要な回遊経路とは考えにくい。

当系群の日本海での北上回遊は、対馬暖流による輸送の影響を強く受ける<sup>3)</sup>。北海道周辺での対馬暖流は、津軽海峡を東に流れる津軽暖流と道西日本海沿岸を北へ流れる北上暖流に分かれる<sup>76)</sup>。この北上暖流の西の日本海には、暖流の影響の少ない冷水域が広がる。8～9月頃になると、秋季発生系群はこの対馬暖流の西の海域を南西方向に回遊し、10～12月頃に日本海西南部から東シナ海の対馬暖流域に形成される産卵場<sup>77)</sup>へ戻ると考えられる。

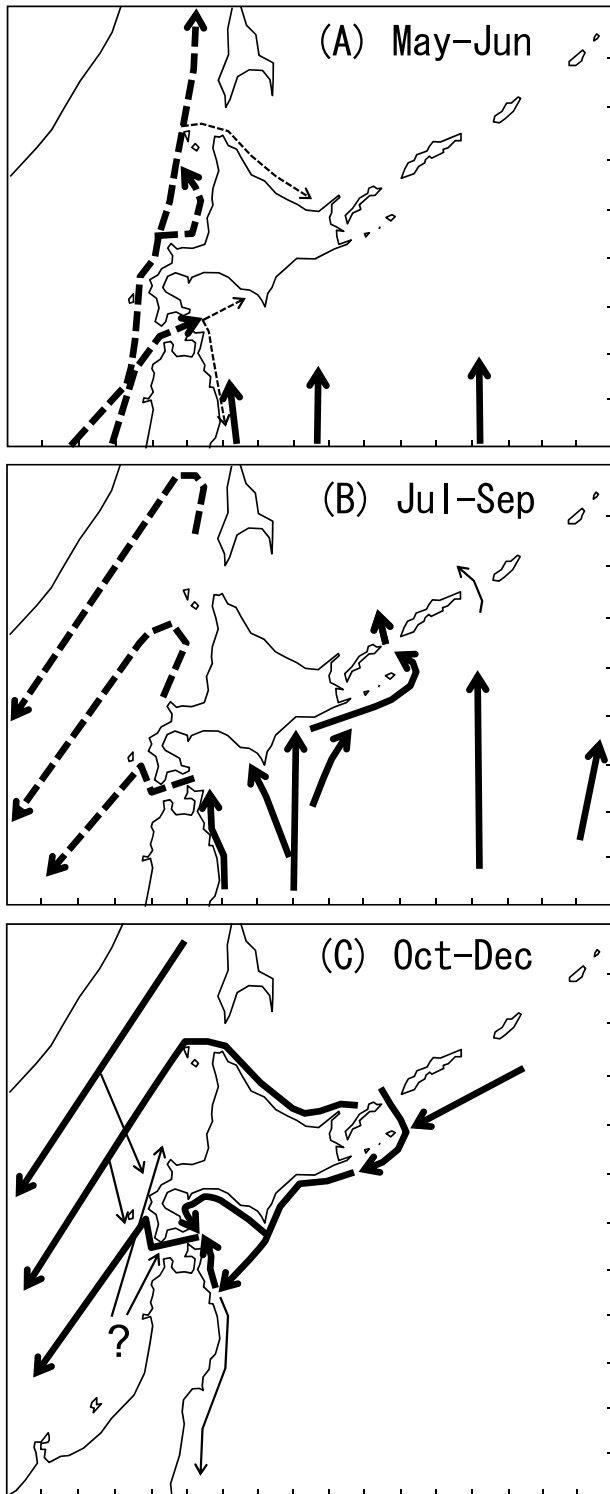


Fig.6 Migratory pattern of the autumn population (dotted line and arrows), and winter population (solid line and arrows) of *Todarodes pacificus* in the waters around Hokkaido. (A) May to June, (B) July to September, (C) October to December. Narrow lines indicate migration of the small group.

これら秋季発生系群の回遊には、以前は冬季発生系群と考えられてきたものが多く含まれるため<sup>9,10)</sup>、本研究によって新たな秋季発生系群の回遊パターンを示すことができた。

## 2. 冬季発生系群の回遊

平衡石の日周輪解析の結果から、北海道周辺海域に分布する冬季発生系群<sup>78)</sup>は、8～10月に道東太平洋と道南海域、10～11月に道西日本海と道東オホーツク海に分布することが示されている<sup>9-11)</sup>。このことから、これらの時期および海域で標識放流された移動例をもとに、冬季発生系群の主な回遊経路を検討した。

当系群は対馬暖流と黒潮による輸送の影響を強く受けて、それぞれ日本海と太平洋を北上回遊する<sup>3)</sup>。冬季発生系群の中でも太平洋を北上する群については、平衡石の日周輪解析によって群構造に大きな修正がなかったため<sup>9-11)</sup>、回遊についてもこれまでの考え<sup>3, 6, 8)</sup>から大きな変更はない (Fig.6)。これらの回遊の考えの根拠として、本研究で集計した調査以外にも、冬季発生系群が太平洋の東北沿岸から沖合までの海域を北上することを示した報告<sup>79-82)</sup>、道東太平洋から静岡県伊豆半島周辺、和歌山県紀伊半島周辺、高知県沿岸など太平洋を南へ移動することを示した報告<sup>82-84)</sup>、道東太平洋から根室海峡や道東オホーツク海に移動することを示した報告<sup>85,86)</sup>、南部千島周辺海域から北海道周辺の広い海域 (オホーツク海、日本海、太平洋の沿岸) を経由したのち、日本海の南部へ移動することを示した報告<sup>84,87,88)</sup> などがある。

一方、日本海を北上する冬季発生系群に関しては、以前、冬季発生系群とみなされていた6～9月頃に津軽海峡や道西日本海沿岸に分布する群の多くが、平衡石の日周輪解析の結果、秋季発生系群に修正された<sup>9,11)</sup>。したがって、冬季～春季に東シナ海で生まれ、日本海を北上する冬季発生系群の実態は不明となっている。本研究で集積した標識放流調査結果からも、日本海を北上する冬季発生系群の回遊を明らかにすることはできなかった。日本海を北上する冬季発生系群については、サハリン西岸などの日本海北部に分布するという考え<sup>73, 74)</sup>のほか、9～11月頃に道西日本海沿岸や津軽海峡周辺に分布する群に、秋季発生系群よりも遅れて日本海を北上する冬季発生系群が混在している可能性も指摘されている<sup>9,11)</sup>。これらの問題を明らかにしていくためには、今後、日本海を北上する冬季発生系群を採集できる調査を行い、これを対象とした標識放流調査を行う必要がある。

Fig.6に示した冬季発生系群の回遊は、以前は冬季発生系群と考えられてきた日本海の回遊の多くが除かれた点で、新たな回遊パターンになっている。

### 3. スルメイカの移動特性

スルメイカの漁場形成や群の移動をより深く理解するためには、その回遊の方向や速度など、移動の一般特性を明らかにする必要がある。日本海で放流されたスルメイカの再捕位置は、6～7月が主に放流位置の北東、8月が主に放流位置周辺、9～11月が主に放流位置の南西であった (Fig.3)。一方、太平洋で放流されたスルメイカの再捕位置は、8～11月が主に放流位置の西、11月～翌年3月が主に南西であった (Fig.4)。

日本海のスルメイカが6～7月に北東に移動するのは、前述のとおり対馬暖流の影響が大きいと考えられる。道西日本海では、比較的水深の浅い大陸棚域に漁場が形成されるため<sup>89, 90)</sup>、北上回遊するスルメイカは大陸棚域など水深の浅い海域に集群する特性があると考えられる。漁場の一つである積丹半島周辺では、比較的大型の個体がこの漁場に滞留するのに対し、小型個体はさらに北上する回遊傾向が示唆されている<sup>91)</sup>。これらのことから、スルメイカの北上回遊は、一まとまりの大きな群が移動するのではなく、移動しながら漁場ごとに滞留する群と、さらに北上する群に分かれていると考えられる。つまり、体サイズに応じて分散分布するように回遊していることが示唆される。スルメイカは大型個体が小型個体を捕食する共食いが報告されている<sup>92)</sup>。このため、スルメイカが体サイズに応じて分散分布することは、小型個体が大型個体に捕食される機会を減らしている可能性も考えられる。

一方、太平洋のスルメイカの北への移動例は、日本海のものに比べて少なかった。これは、太平洋を北上する群への標識放流例が少ないことと、北海道が陸地としてスルメイカの北上を遮っていることが影響していると考えられる。北上するスルメイカが、道南太平洋から道東太平洋の沿岸に集積されることで、この海域に漁場が形成されることが考えられる。これらスルメイカの索餌回遊時に、海流だけでなく自ら北へ向かって泳ぐ特性があるかどうかについては明確ではない。しかし、太平洋では冬季発生系群が黒潮北上暖水よりも北の親潮域である道東太平洋沿岸や、さらにはオホーツク海にまで回遊すること、また日本海では秋季発生系群が最北の間宮海峡付近まで分布すること<sup>74, 93)</sup> などから、スルメイカは自ら北方へ向かって泳ぐ特性を持っている可能性がある。今後、索餌回遊における餌環境の影響なども含めて検討する必要がある。

スルメイカが産卵のための南下回遊を始めるきっかけは、成熟の進行と関係があると考えられている<sup>93, 94)</sup>。スルメイカを北海道周辺から産卵場のある日本海南部から東シナ海<sup>77, 95)</sup> まで輸送するような強い海流がないことか

ら、南下回遊はスルメイカ自らが産卵場へ向かって泳いでいると考えられる。日本海の対馬暖流の西の冷水域を南下するスルメイカは、まるで南西の一定方向へ移動しているようにもみえる (Fig.3)。しかし、スルメイカが何を頼りにして産卵場へ戻るのかについては不明であり、今後の生態学上の興味深い課題である。

太平洋のスルメイカは8～9月以降に、道東太平洋から道南太平洋や三陸沖まで西方向へ移動する。南下回遊の移動方向が南西ではなく西になる原因として考えられることとして、スルメイカが親潮系水などの冷水域を移動する特性を持っていることと<sup>86)</sup>、沿岸の大陸棚域に沿って移動する特性を持っていることが考えられる。つまり、スルメイカの南下回遊は、主に方位と冷水域などの海洋構造、さらに大陸棚などの海底地形の影響を受けていると考えられる。ただし、スルメイカの南下回遊には津軽暖流に逆行して津軽海峡を西進する経路もあるため、産卵場に戻るためのメカニズムは現段階では単純に説明できない。

本研究では、過去の膨大な標識放流調査結果から、スルメイカが約1年の生涯の中で、対馬暖流や黒潮という暖流に強く影響されて北東に移動しながら分散分布したのち、暖流域を避けて冷水域を南西に移動し、生活史の最後に再び産卵場のある暖流域に移動することを検証することができた。

本研究で移動速度を調べた日本海のスルメイカは、主に秋季発生系群に属する<sup>9, 11)</sup>。日本海におけるスルメイカ秋季発生系群の主な移動速度は、北上回遊時が1日に0～12km (約0.0～6.5海里)、南下回遊時が1日に4～32km (約2.2～17.3海里) であった。これらの速度は過去の報告<sup>75, 93, 96)</sup> と大きく異なるものではない。しかし、標識放流調査から推定した移動速度の問題点として、直線距離での計算であること、潮流の影響を含むこと、再捕情報を研究者が直接確認できないことなどがある。特に、スルメイカは北上回遊から南下回遊へと方向転換するため<sup>3)</sup>、放流から再捕までの間に方向転換した場合に、移動距離と移動速度が過小評価される。本研究で得られた移動速度も過小評価されているデータが多いと考えられる。したがって、実際の移動速度は、前述の主要な移動速度の範囲の中でも比較的速いものに近いと推察される。

スルメイカの移動速度は標識放流調査以外では推定されていないが、スルメイカの近縁種のアルゼンチンマツイカ (*Illex argentinus*) では、複数の漁場のCPUEの変化から同一群を特定することで、漁場間の移動速度が推定されている<sup>97)</sup>。その結果では、スルメイカの南下回遊に相当する産卵回遊時の1日の移動距離は、23.2～28.9km (約12.5～15.6海里) と報告されている。この値は

本研究における主要な南下移動速度の範囲の中の比較的速い値に一致している。

本研究によって明らかとなった季節発生系群別の回遊パターンやその特性を基礎的知見として、今後、スルメイカの漁況予測の精度を向上させていきたい。

### 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、標識の付いたスルメイカの報告に協力していただいた漁業者、遊漁者、漁業協同組合および水産技術普及指導所の方々に心からお礼申し上げる。本報告は、広島大学大学院生物圏科学研究科教授の長澤和也氏、北海道立中央水産試験場資源管理部長の高柳志朗氏、元北海道立水産孵化場の鷹見達也氏が収集整理した文献にもとづいたものである。ここに記して感謝する。最後に、海上での標識放流調査にご協力いただいた歴代の北海道立各水産試験場試験調査船の乗組員と調査員の方々に感謝申し上げる。

### 文 献

- 1) 北海道水産試験場：試験罟拾得及標識いか捕獲報告。北水試旬報. 1, 12 (1927)
- 2) 添田潤助, 新谷久男, 大槻俊秋, 西村 実：北海道区資源調査要報第4号（スルメイカ資源調査 No. 1）。1953, 67p.
- 3) 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.
- 4) Nagasawa, K., Takayanagi, S. and Takami, T. : "Cephalopod tagging and marking in Japan: A review". Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology. edited by Okutani, T., O'Dor, R. K. and Kubodera, T., Tokyo, Tokai University Press, 1993, 313-329.
- 5) 高柳志朗, 鷹見達也：日本周辺海域のスルメイカ標識放流文献目録。平成2年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 93-107 (1992)
- 6) Araya, H. : Migration and fishing ground of winter subpopulation of the squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, in the northern waters of Japan. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, 41, 119-129 (1976)
- 7) Kasahara, S. : Descriptions of offshore squid angling in the Sea of Japan, with special reference to the distribution of common squid (*Todarodes pacificus* Steenstrup); and on the techniques for forecasting fishing conditions. *Bull. Jap. Reg. Fish. Res. Lab.*, 29, 179-199 (1978)
- 8) Okutani, T. : " 12 *Todarodes pacificus* " . *Cephalopod life cycles. Volume I Species accounts.* edited by Boyle, P. R., 1983, 201-214.
- 9) 坂口健司, 中田 淳：2001年の北海道北部海域におけるスルメイカの日齢と群構造。水産海洋研究. 70 (1), 16-22 (2006)
- 10) 佐藤 充, 坂口健司：2001・2002年に北海道オホーツク海沿岸海域へ来遊したスルメイカの発生時期について。北水試研報. 72, 9-13 (2007)
- 11) 坂口健司, 佐藤 充, 三橋正基, 木所英昭：北海道周辺海域におけるスルメイカの日齢と発生時期。日水誌. 75, 2, 204-212 (2009)
- 12) 北海道水産試験場：探海丸するめいか調査（総括其一）（昭和三年度）。北水試旬報. 62, 3-8 (1929)
- 13) 北海道水産試験場：探海丸するめいか調査（総括其二）（昭和四年度）。北水試旬報. 115, 7-10 (1930)
- 14) 北海道水産試験場：第五探海丸するめいか調査（総括其二）（昭和五年度）。北水試旬報. 121, 7-12 (1931)
- 15) 北海道水産試験場：探海丸するめいか調査（第六報）。北水試旬報. 147, 3 (1931)
- 16) 北海道水産試験場：探海丸するめいか調査（総括其一）（昭和五年度）。北水試旬報. 149, 3-8 (1931)
- 17) 北海道水産試験場：探海丸するめいか調査（総括）（昭和六年度前期）。北水試旬報. 184, 5-10 (1932)
- 18) 北海道立水産試験場：昭和34年度事業成績書。北海道立水産試験場. 9-11 (1959)
- 19) 北海道立中央水産試験場：昭和43年度（1968年）事業成績書。北海道立中央水産試験場. 12-16 (1969)
- 20) 北海道立稚内水産試験場：昭和43年度（1968年）事業成績書。北海道立稚内水産試験場. 32-34 (1969)
- 21) 北海道立中央水産試験場：昭和44年度（1969年）事業成績書。北海道立中央水産試験場. 11-14 (1970)
- 22) 北海道立稚内水産試験場：昭和44年度（1969年）事業成績書。北海道立稚内水産試験場. 49-51 (1970)
- 23) 北海道立稚内水産試験場：昭和45年度（1970年）事業成績書。北海道立稚内水産試験場. 45-50 (1971)
- 24) 北海道立中央水産試験場：昭和46年度（1971年）事業成績書。北海道立中央水産試験場. 4-6 (1972)
- 25) 北海道立稚内水産試験場：昭和46年度（1971年）事業成績書。北海道立稚内水産試験場. 57-60 (1972)
- 26) 北海道立中央水産試験場：昭和47年度（1972年）事業成績書。北海道立中央水産試験場. 30-34 (1973)
- 27) 北海道立稚内水産試験場：昭和47年度（1972年）事業成績書。北海道立稚内水産試験場. 37-48 (1973)
- 28) 北海道立中央水産試験場：昭和48年度（1973年）事

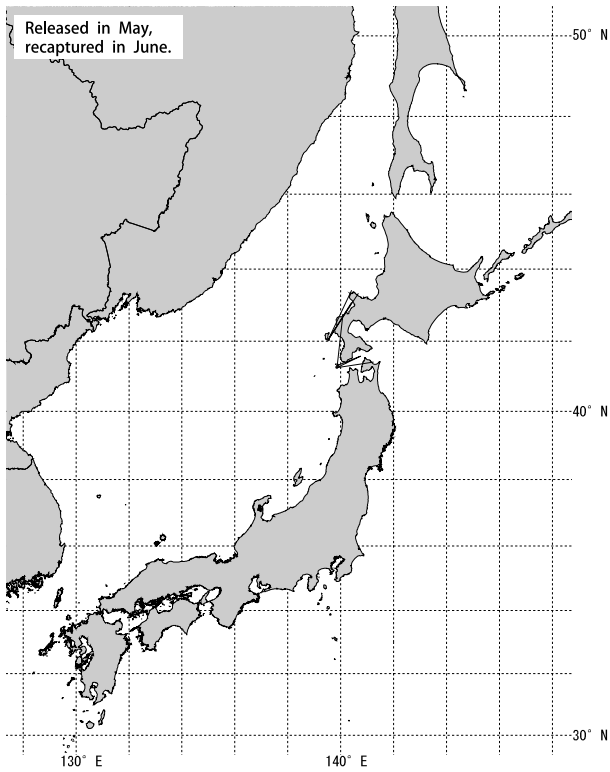


- 業成績書. 北海道立中央水産試験場. 13-18 (1974)
- 29) 北海道立稚内水産試験場: 昭和48年度 (1973年) 事業成績書. 北海道立稚内水産試験場. 51-58 (1974)
- 30) 北海道立中央水産試験場: 昭和49年度 (1974年) 事業成績書. 北海道立中央水産試験場. 14-20 (1975)
- 31) 北海道立中央水産試験場: 昭和50年度 (1975年) 事業成績書. 北海道立中央水産試験場. 17-25 (1976)
- 32) 北海道立中央水産試験場: 昭和53年度事業成績書. 北海道立中央水産試験場. 21-28 (1979)
- 33) 北海道立中央水産試験場: 昭和56年度事業成績書. 北海道立中央水産試験場. 23-34 (1982)
- 34) 北海道立中央水産試験場: 昭和57年度事業成績書. 北海道立中央水産試験場. 21-33 (1983)
- 35) 北海道立函館水産試験場, 北海道立中央水産試験場, 北海道立稚内水産試験場: 日本海スルメイカ北上・南下群共同調査報告書. 北海道立函館水産試験場, 北海道立中央水産試験場, 北海道立稚内水産試験場, 1984, 331p.
- 36) 北海道立中央水産試験場: 昭和58年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 19-30 (1984)
- 37) 鹿又一良, 夏目雅史: 平成6年度事業報告書. 北海道立函館水産試験場. 42-63 (1995)
- 38) 村上幸一, 渡辺安広, 西村 実, 鈴内孝行, 山岸吉弘, 若生 允: 昭和55年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 17-64 (1981)
- 39) 村上幸一, 鈴内孝行, 山岸吉弘, 若生 允, 渡辺安広, 西村 実: 昭和57年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 33-119 (1983)
- 40) 村上幸一, 鈴内孝行, 山岸吉弘, 若生 允, 渡辺安広, 西村 実: 昭和58年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 31-120 (1984)
- 41) 中田 淳, 長澤和也, 今井義弘: 昭和58年度事業報告書. 北海道立釧路水産試験場. 83-106 (1984)
- 42) 中田 淳, 長澤和也, 今井義弘: 昭和59年度事業報告書. 北海道立釧路水産試験場. 90-105 (1985)
- 43) 中田 淳, 高柳志朗, 中道克夫: 昭和63年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 92-134 (1989)
- 44) 中田 淳, 高柳志朗, 中道克夫: 平成元年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 57-104 (1991)
- 45) 中田 淳, 高柳志朗, 中道克夫: 平成2年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 65-92 (1992)
- 46) 中田 淳, 夏目雅史: 平成3年度事業報告書. 北海道立函館水産試験場. 84-110 (1993)
- 47) 中田 淳, 吉田英雄, 佐々木文雄, 土門和子: 平成4年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 65-73 (1993)
- 48) 中田 淳: 平成5年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 58-63 (1994)
- 49) 中田 淳: 平成6年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 76-88 (1995)
- 50) 中田 淳: 平成7年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 65-76 (1997)
- 51) 西村 実: 昭和37年度のスルメイカ漁況について. 北水試月報. 20 (7), 27-34 (1963)
- 52) 西村 実: 昭和38年のスルメイカ漁況について. 北水試月報. 21 (7), 18-23 (1964)
- 53) 大槻知寛, 渡辺安広, 中道克夫, 北浜仁: 昭和59年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 132-236 (1985)
- 54) 坂口健司, 中田 淳: 平成8年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 61-75 (1998)
- 55) 坂口健司, 高柳志朗: 平成9年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 57-65 (1999)
- 56) 坂口健司, 高柳志朗: 平成10年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 64-71 (1999)
- 57) 坂口健司, 高柳志朗: 平成11年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 66-71 (2000)
- 58) 坂口健司, 高柳志朗: 平成12年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 54-61 (2002)
- 59) 添田潤助, 新谷久男: 1949年に於ける「スルメイカ」回遊調査. 北水試月報. 7 (8), 19-31 (1950)
- 60) 添田潤助, 新谷久男: 昭和25年 (1950) に於けるスルメイカの回遊調査. 北水試月報. 8 (9), 15-33 (1951)
- 61) 添田潤助, 新谷久男, 大槻俊秋: 1951年に於けるスルメイカの回遊調査. 北水試月報. 10 (3), 19-35 (1953)
- 62) 高 昭宏, 田村真樹: 昭和61年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 36-42 (1987)
- 63) 高 昭宏, 田村真樹: 昭和62年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 34-40 (1988)
- 64) 鷹見達也, 長澤和也, 佐々木文雄, 土門和子: 昭和63年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 19-40 (1989)
- 65) 鷹見達也, 長澤和也, 佐々木文雄, 土門和子: 平成元年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 25-51 (1990)
- 66) 鷹見達也, 長澤和也, 佐々木文雄, 土門和子: 平成2年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 30-41 (1991)
- 67) 鷹見達也, 吉田英雄, 佐々木文雄, 土門和子: 平成3年度北海道立中央水産試験場事業報告書. 45-68

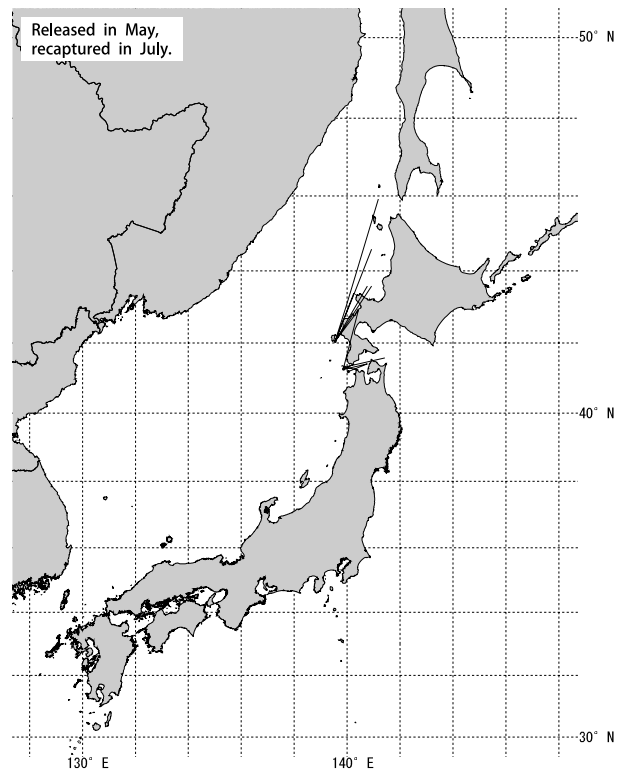
- (1992)
- 68) 高柳志朗, 福田敏光, 長澤和也, 中道克夫, 渡辺安広, 北浜 仁, 佐藤清志: 昭和62年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 196-238 (1988)
  - 69) 田村真樹, 高 昭宏, 山下 豊: 津軽海峡西口における北上初期のスルメイカ調査結果. 北水試月報. 38), 147-155 (1981)
  - 70) 田中伊織, 夏目雅史: 平成4年度事業報告書. 北海道立函館水産試験場. 57-85 (1994)
  - 71) 田中伊織, 夏目雅史: 平成5年度事業報告書. 北海道立函館水産試験場. 48-71 (1995)
  - 72) 木所英昭, 後藤常夫, 田 永軍: “平成20年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価”. 平成20年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価・T A C種) 第1分冊. 東京, 水産庁増殖推進部, 独立行政法人 水産総合研究センター, 2009, 588-620.
  - 73) 新谷久男, 加賀吉栄: 北部日本海海域におけるスルメイカの分布と回遊. 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. 農林水産技術会議事務局. 144-153 (1972)
  - 74) 村田 守, 小野田豊, 田代征秋, 山岸吉弘: 北部日本海沖合域におけるスルメイカの生態学的研究 (1970). 北水研報. 37, 10-31 (1971)
  - 75) 笠原昭吾, 伊東祐方: 日本海におけるスルメイカの分布と回遊. 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. 農林水産技術会議事務局. 115-143 (1972)
  - 76) 田中伊織, 中多章文, 宮園 章: “北海道の海”. 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち. 札幌, 北海道新聞社, 2003, 440-445.
  - 77) 後藤常夫: 初期生態から見たスルメイカ秋季発生群の再生産構造に関する研究. 北海道大学大学院水産科学研究科博士論文, 2009, 256p.
  - 78) 山下紀生, 永澤 亨: “平成20年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価”. 平成20年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価・T A C種) 第1分冊. 東京, 水産庁増殖推進部, 独立行政法人 水産総合研究センター, 2009, 556-587.
  - 79) 赤羽光秋, 久保田清吾: 東北海区沖合における夏季のスルメイカの漁場形成と回遊について. 東北水研報. 3, 47-58 (1972)
  - 80) 湧坪敏明, 兜森良則, 久保田昭吾, 橋場敏雄, 山口 閑常: 1984年のスルメイカ太平洋群の特徴について—一群の性状と移動—. イカ釣漁場開発調査資料X. 青森県水産試験場. 15-24 (1985)
  - 81) 阿部繁弘: 1984年夏季における東北海区沖合から岩手県沿岸へのスルメイカの加入について. イカ類資源・漁海況検討会議研究報告 (昭和59年度). 北海道区水産研究所. 45-54 (1985)
  - 82) 安井達夫, 久保田清吾, 橋場敏雄, 斉藤重男, 湊 栄一, 松井 勇: 東北・北海道太平洋側海域におけるスルメイカの分布と回遊. 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. 農林水産技術会議事務局. 68-94 (1972)
  - 83) 貞方 勉: 1981年釧路沖で漁獲されたスルメイカについて. 昭和56年度イカ類資源・漁海況検討会議議事録. 北海道区水産研究所. 20-28 (1982)
  - 84) 新谷久男, 村田 守: 北海道東部太平洋域におけるスルメイカの分布と回遊. 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. 農林水産技術会議事務局. 95-106 (1972)
  - 85) 森 賢, 中村好和: 標識放流から推定したスルメイカ太平洋系群の回遊経路. 北水研報告. 65, 21-43 (2001)
  - 86) 中村好和, 森 賢: 1996年の道東・南部千島太平洋並びにオホーツク海でのスルメイカとアカイカの分布と回遊. 北水研報告. 62, 63-82 (1998)
  - 87) 村田 守, 新谷久男: 北海道北東海域におけるスルメイカの生態学的研究 (1968). 北水研報告. 36, 1-17 (1970)
  - 88) 新谷久男, 川崎正和: 秋における北海道オホーツク海沿岸のスルメイカの移動について. 北水研報. 25, 11-19 (1962)
  - 89) 坂口健司: 人工衛星からみえるスルメイカのイカ釣り漁場. 北水試だより. 7, 35-37 (2006)
  - 90) 坂口健司: “83. スルメイカ”. 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち. 札幌, 北海道新聞社, 2003, 332-337.
  - 91) 坂口健司, 木所英昭: 道西日本海における北上期のスルメイカの分布. イカ類資源研究会議報告 (平成15年度). 日本海区水産研究所. 2-7 (2004)
  - 92) 木所英昭, 氏 良介: 共食いで捕食されたスルメイカの孵化後の日数の推定. 日水研報告. 49, 123-127 (1999)
  - 93) 村田 守, 小野田豊, 田代征秋, 山岸吉弘, 鈴内孝行: 北部日本海沖合域におけるスルメイカの生態学的研究 (1971). 北水研報. 39, 1-25 (1973)
  - 94) 中田 淳: 北海道東部太平洋海域におけるスルメイカの南下移動 (1984). 北水試報. 26, 1-9 (1984)
  - 95) 森 賢: スルメイカ冬季発生系群の初期生態と資源変動機構に関する研究. 北海道大学大学院水産科学

研究科博士論文，2008，172p.

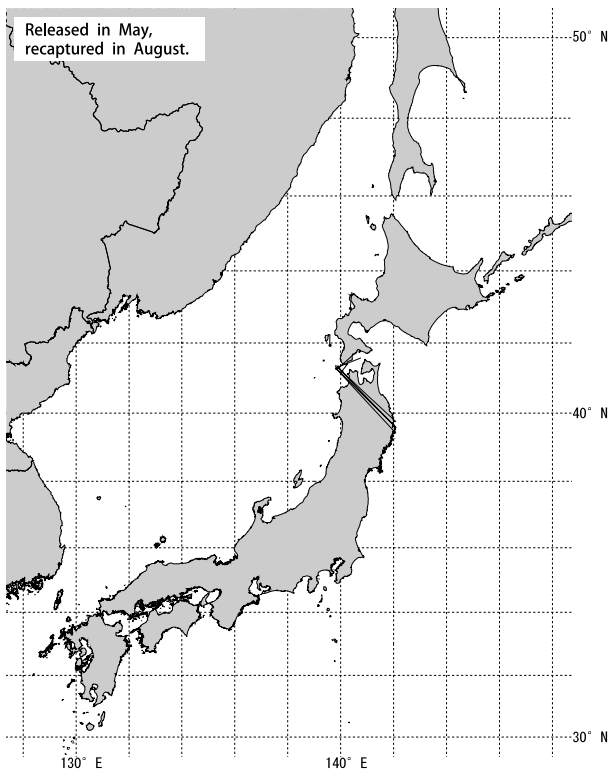
- 96) 笠原昭吾，結城トミ：1984年日本海北部沖合放流イカの再捕結果．イカ類資源・漁海況検討会議研究報告（昭和59年度）．北海道区水産研究所．28-36（1985）
- 97) Arkhipkin AI. : Age, growth, stock structure and migratory rate of pre-spawning short-finned squid *Illex argentinus* based on statolith ageing investigations. *Fish. Res.* 16, 313-338（1993）



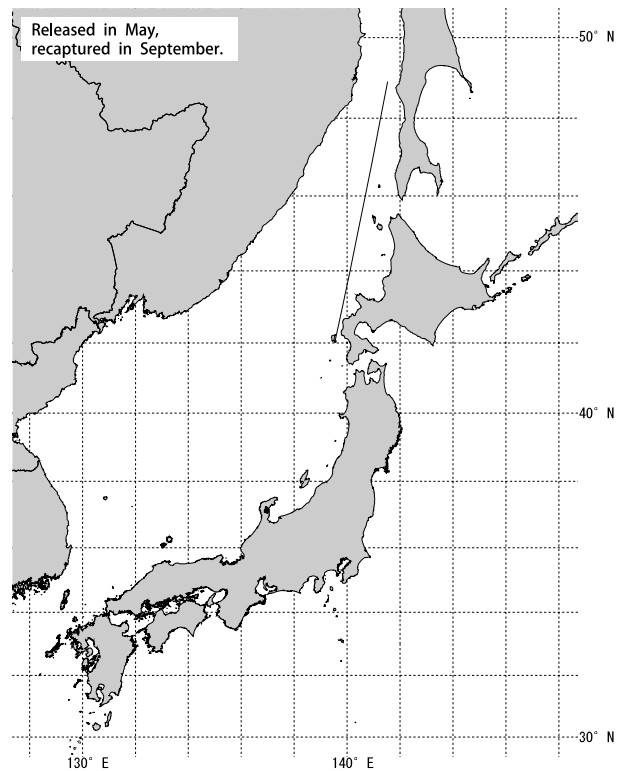
Append.1 Map showing the point at which the *Todarodes pacificus* were tagged and released in May, and where they were recaptured in each month. Solid circles indicate the release point and the end of the line from the circles indicates the recapture point.



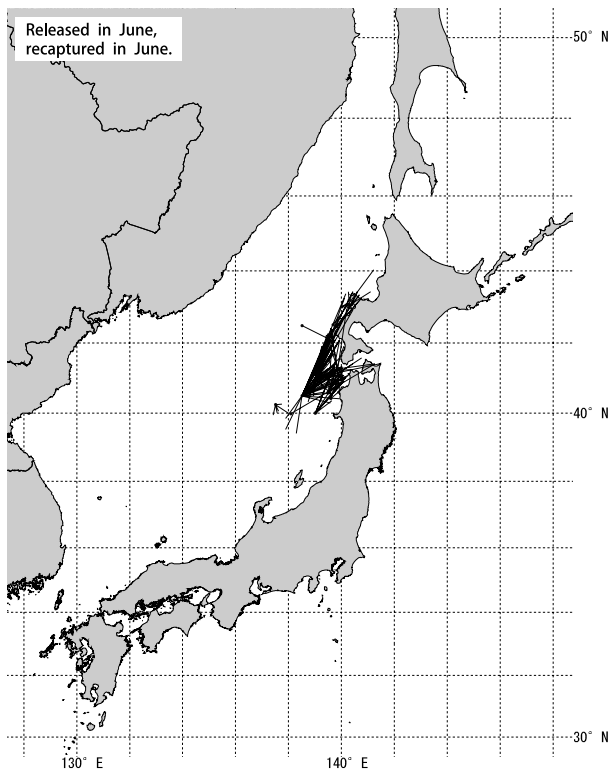
Append.1 continued.



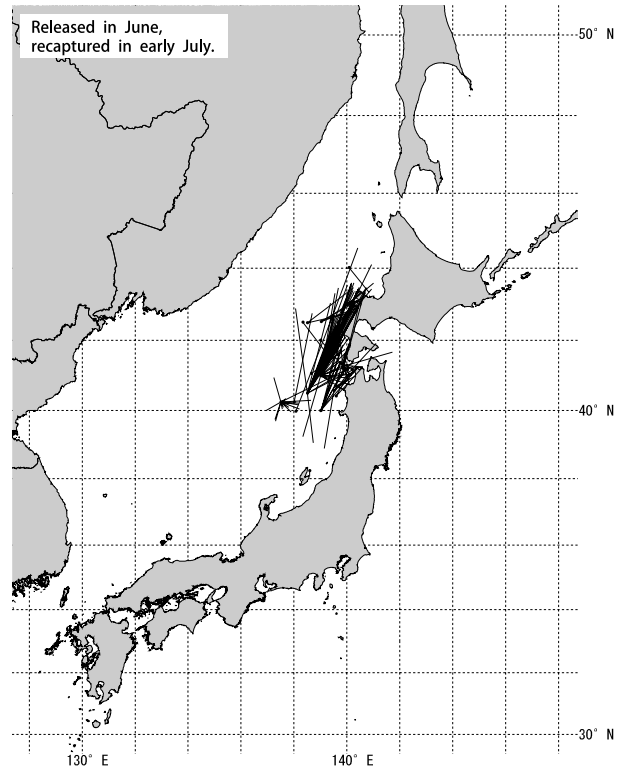
Append.1 continued.



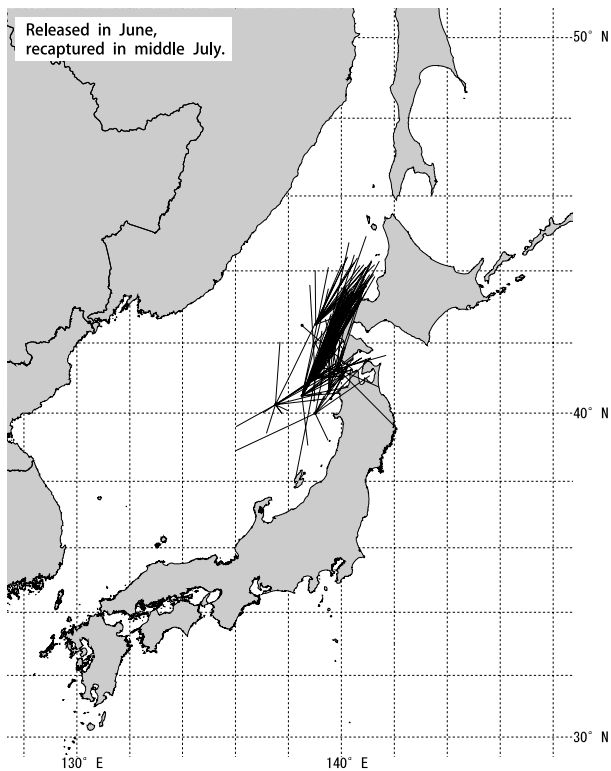
Append.1 continued.



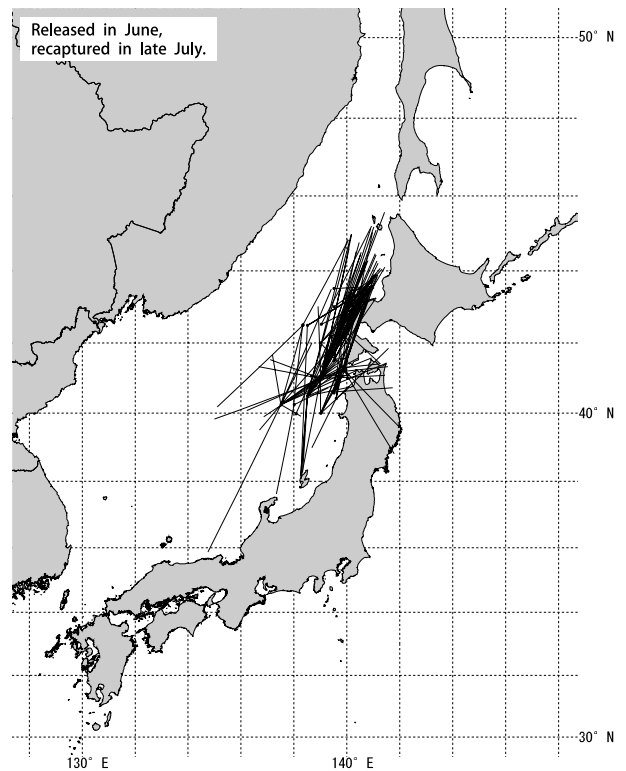
Append.2 Map showing the point at which the *Todarodes pacificus* were tagged and released in June, and where they were recaptured in each month. Solid circles indicate the release point and the end of the line from the circles indicates the recapture point.



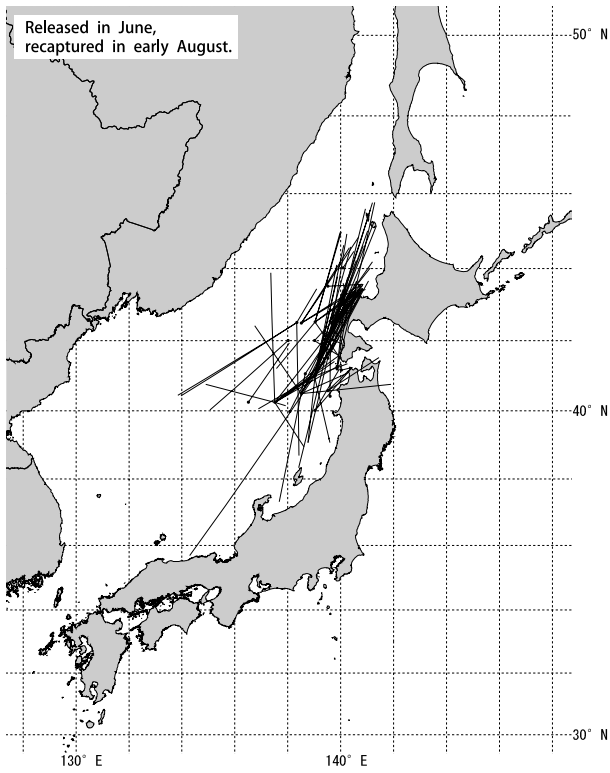
Append.2 continued.



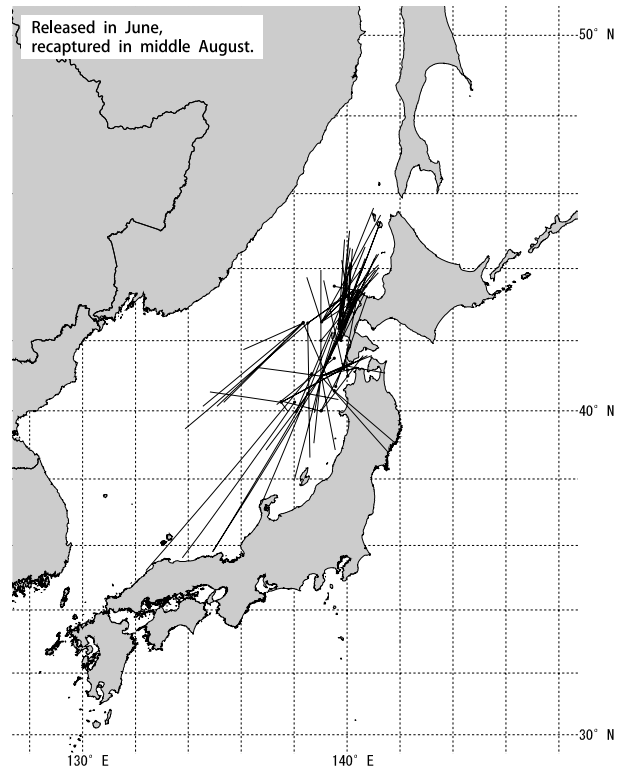
Append.2 continued.



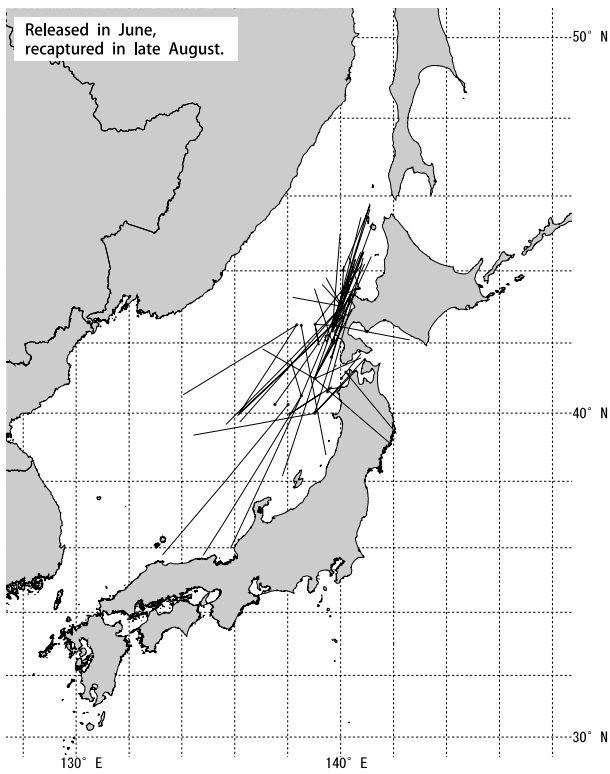
Append.2 continued.



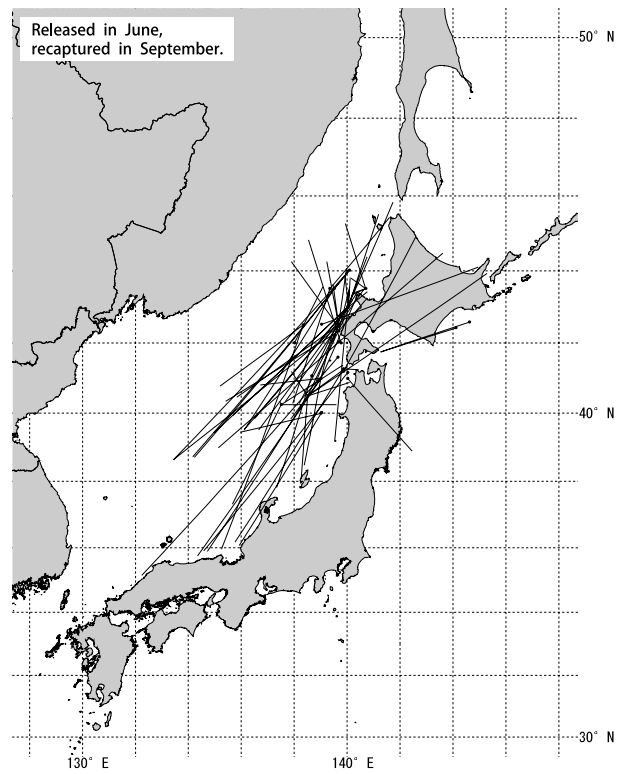
Append.2 continued.



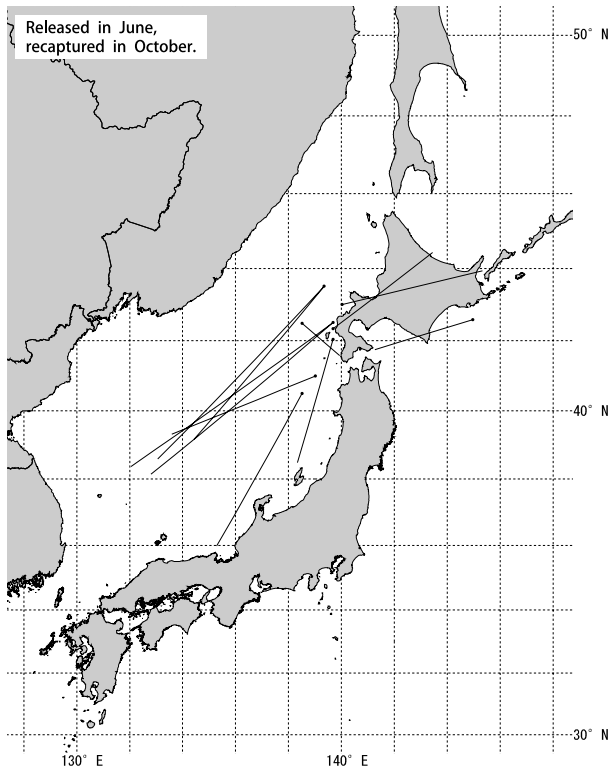
Append.2 continued.



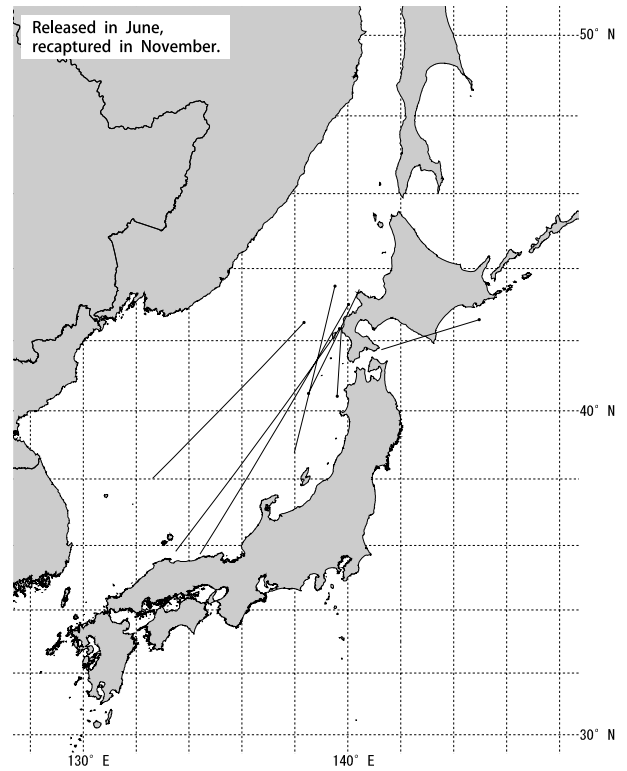
Append.2 continued.



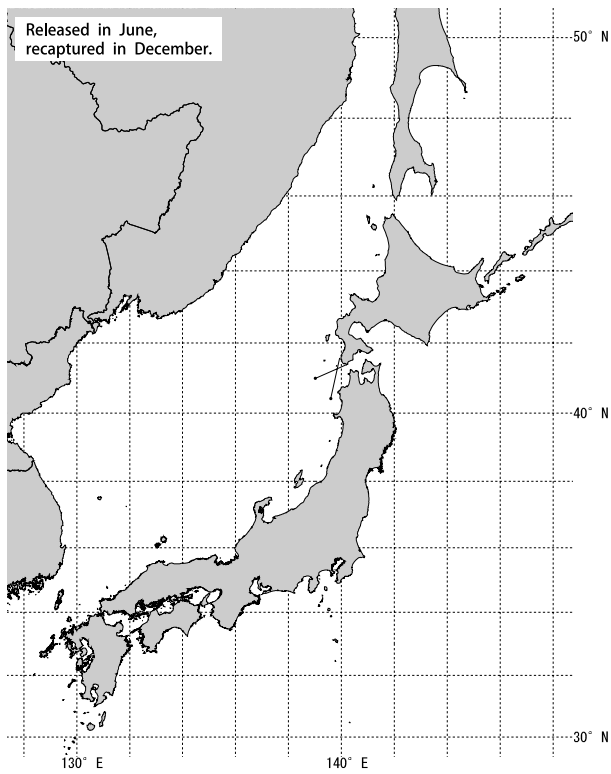
Append.2 continued.



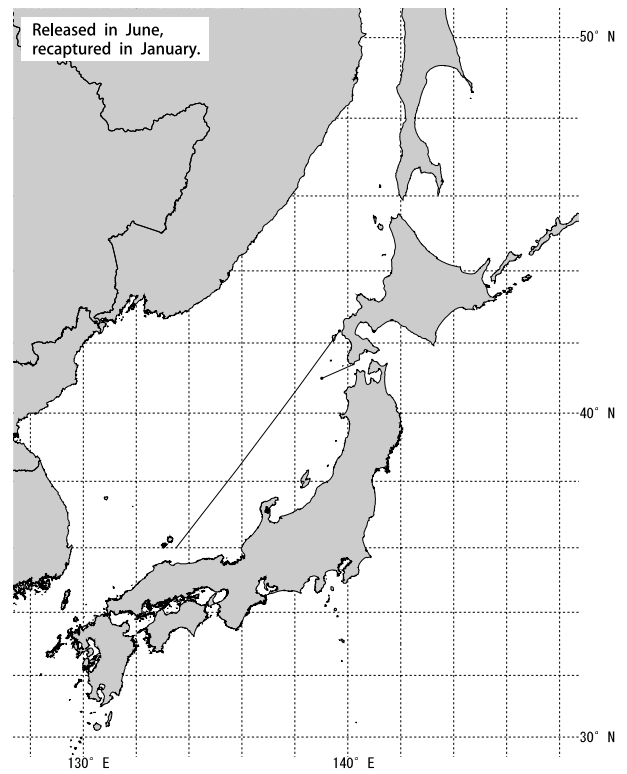
Append.2 continued.



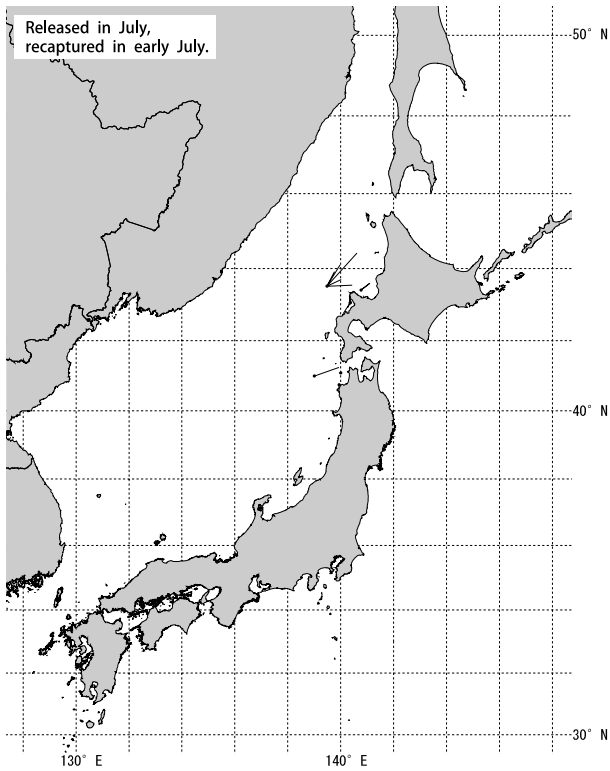
Append.2 continued.



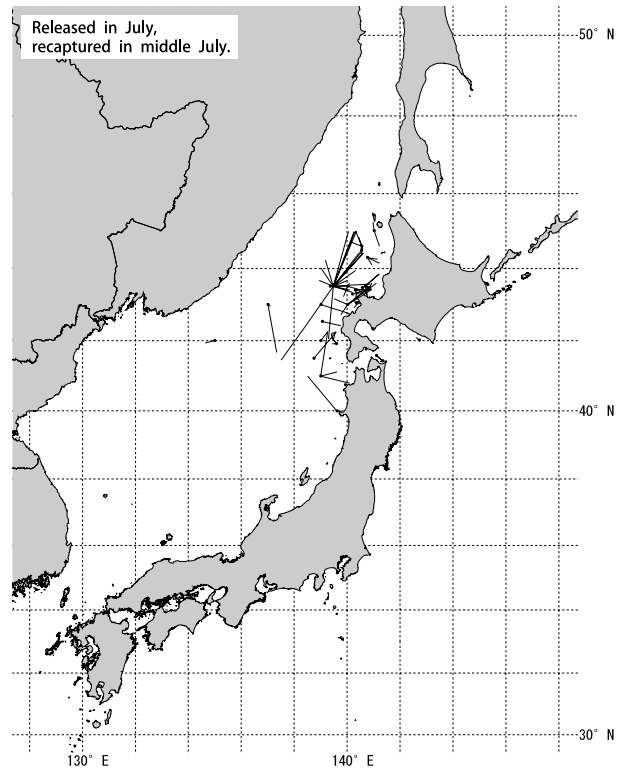
Append.2 continued.



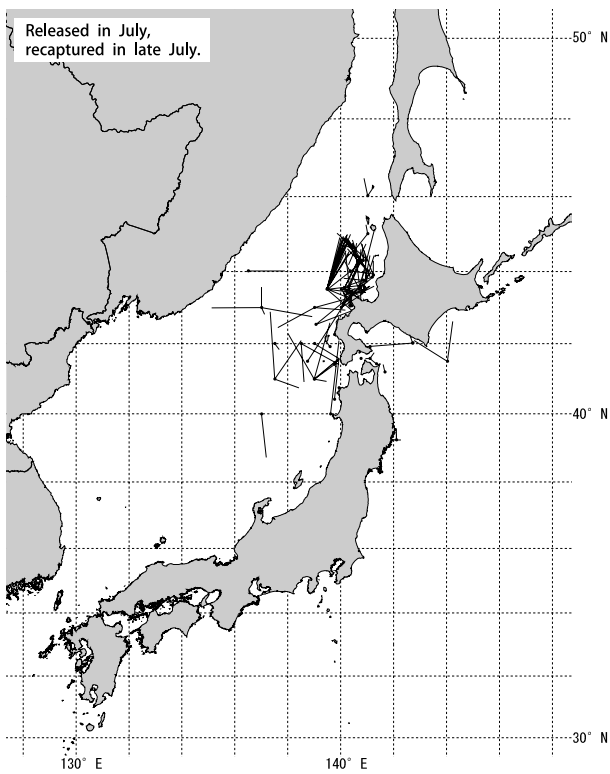
Append.2 continued.



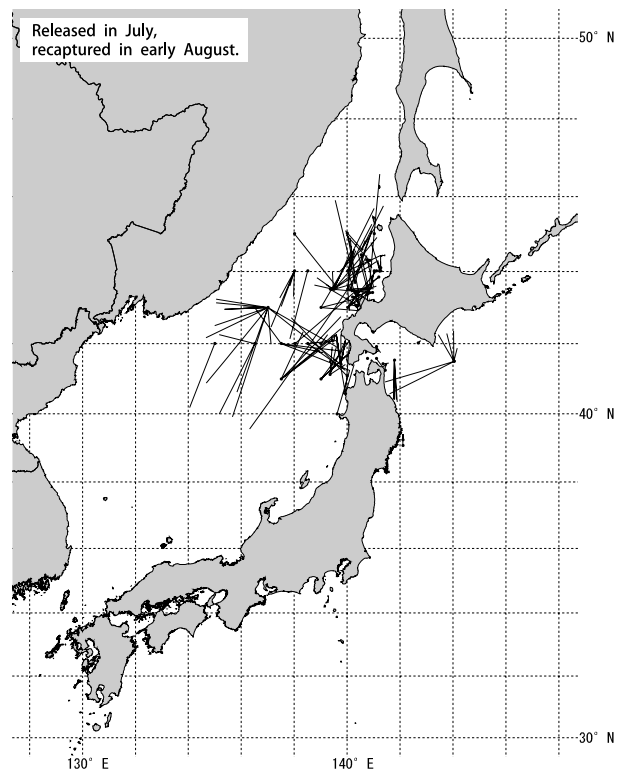
Append.3 Map showing the point at which the *Todarodes pacificus* were tagged and released in July, and where they were recaptured in each month. Solid circles indicate the release point and the end of the line from the circles indicates the recapture point.



Append.3 continued.

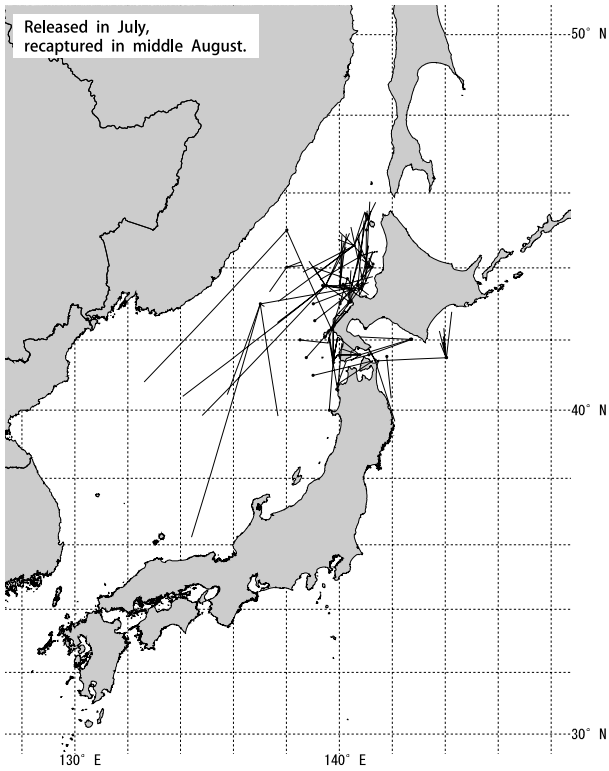


Append.3 continued.

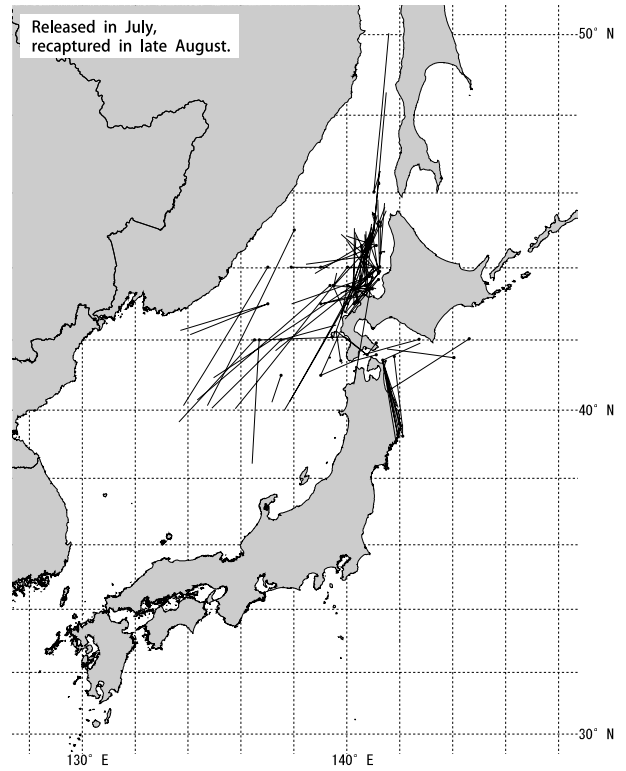


Append.3 continued.

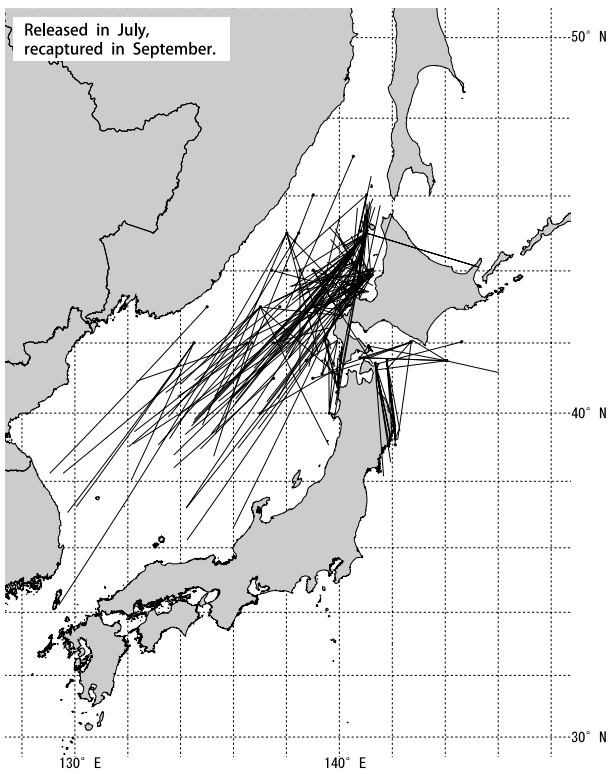




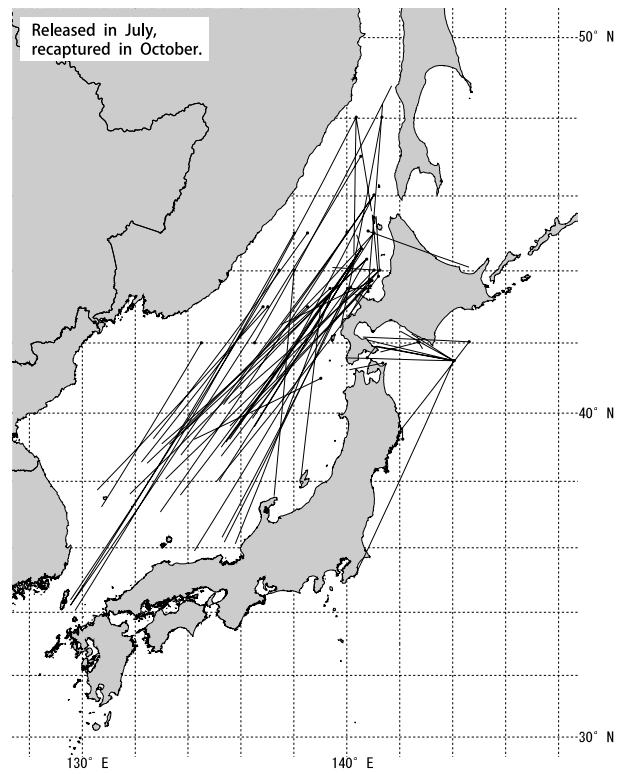
Append.3 continued.



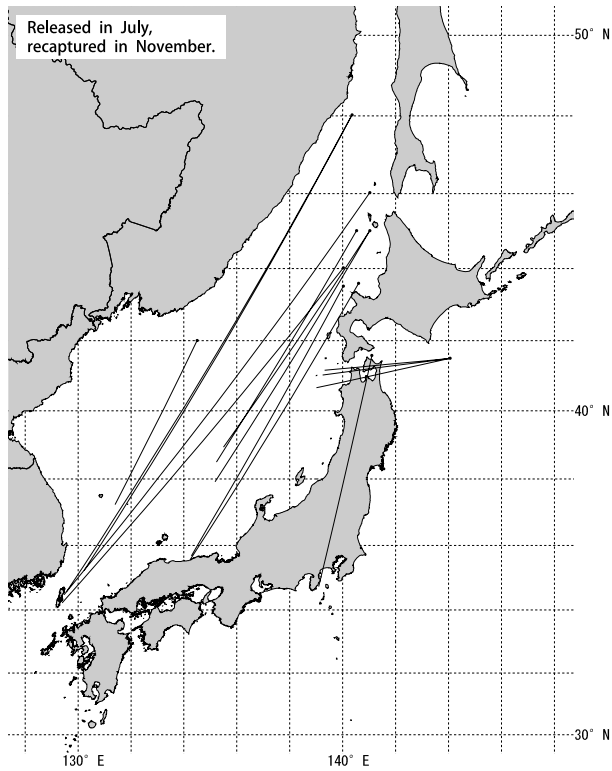
Append.3 continued.



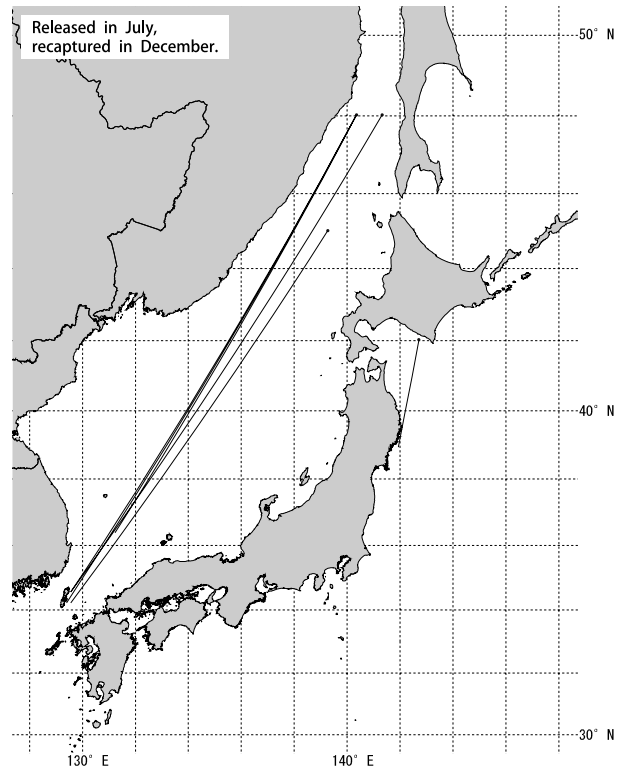
Append.3 continued.



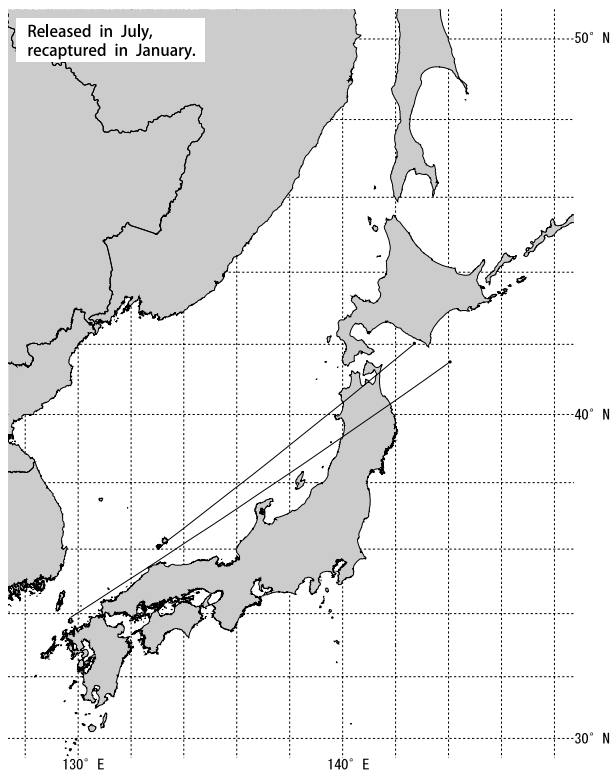
Append.3 continued.



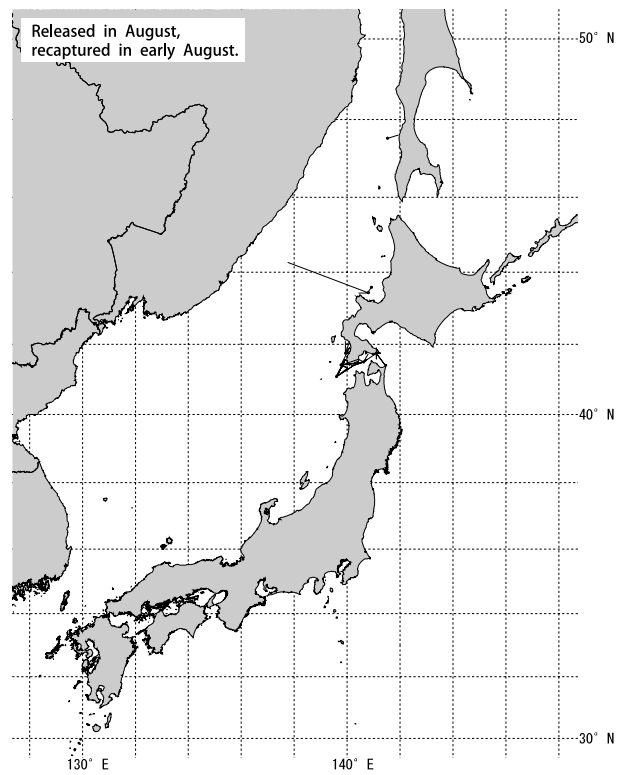
Append.3 continued.



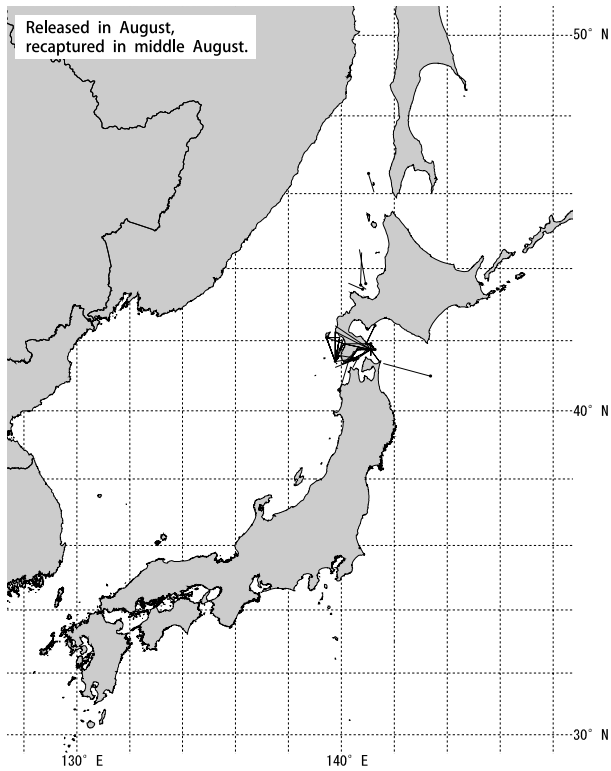
Append.3 continued.



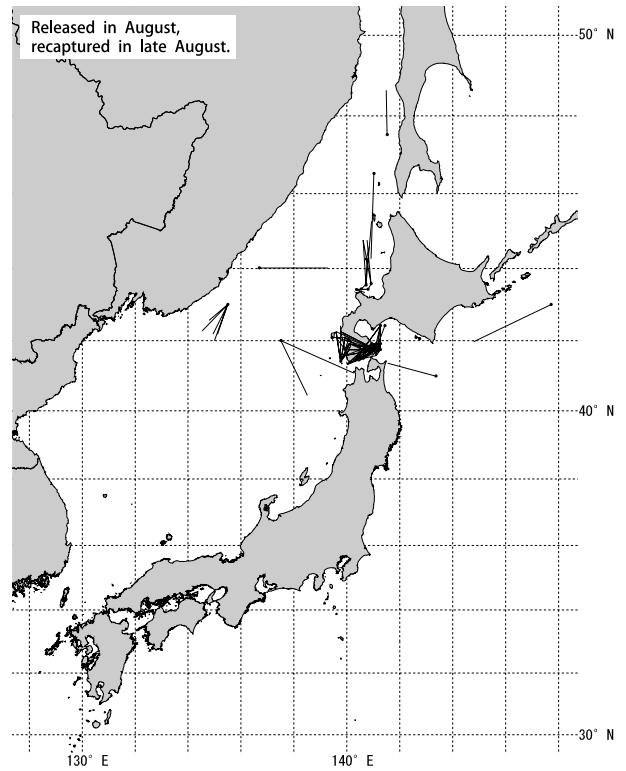
Append.3 continued.



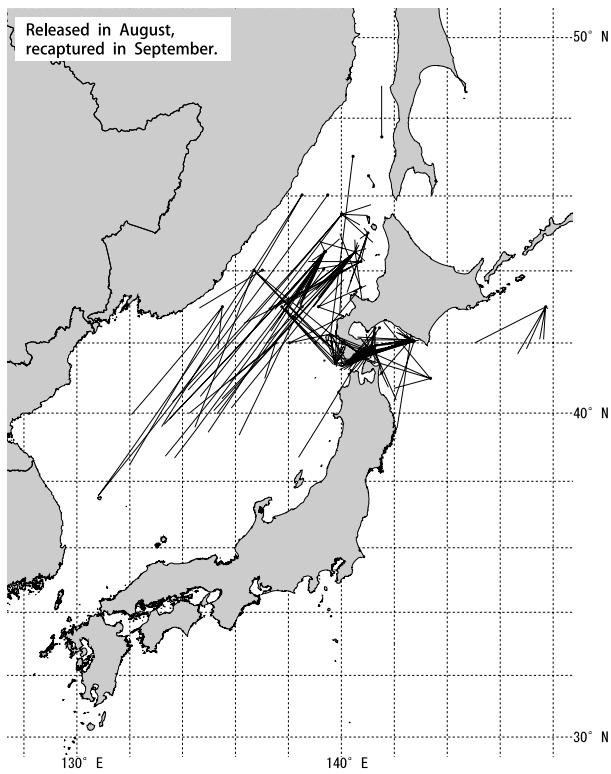
Append.4 Map showing the point at which the *Todarodes pacificus* were tagged and released in August, and where they were recaptured in each month. Solid circles indicate the release point and the end of the line from the circles indicates the recapture point.



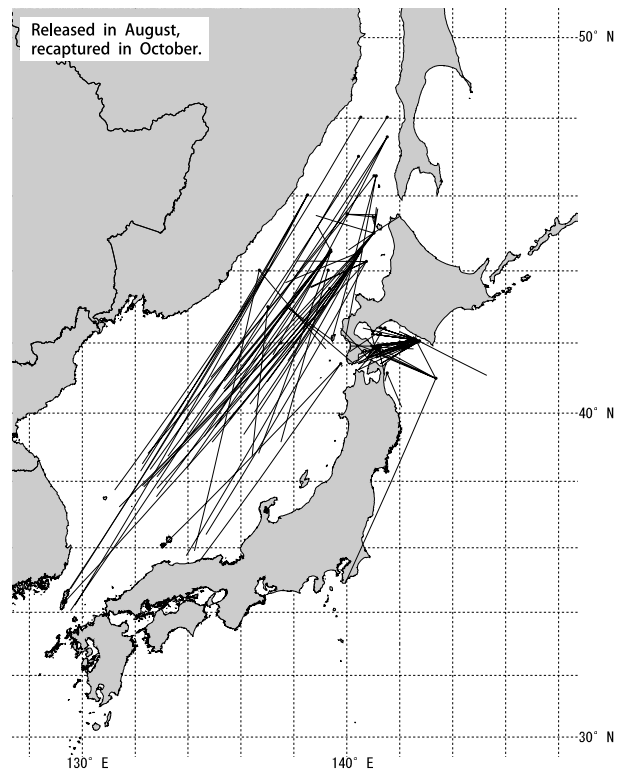
Append.4 continued.



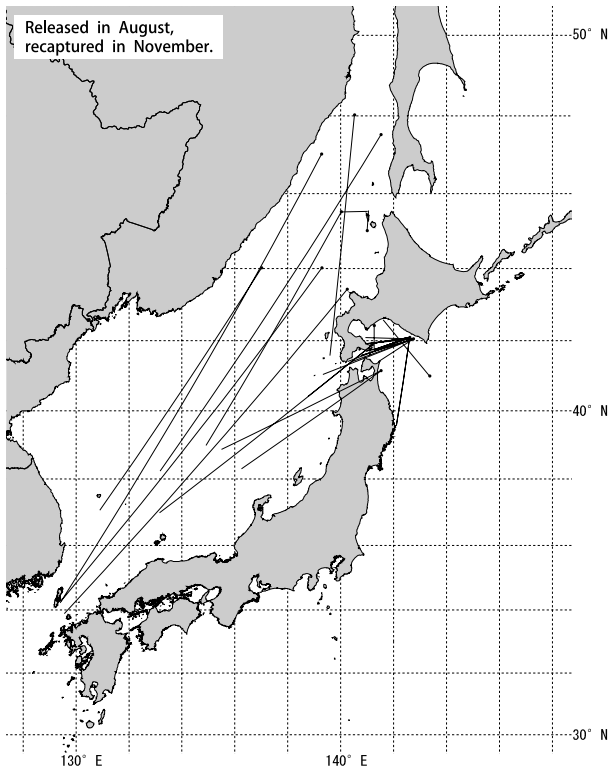
Append.4 continued.



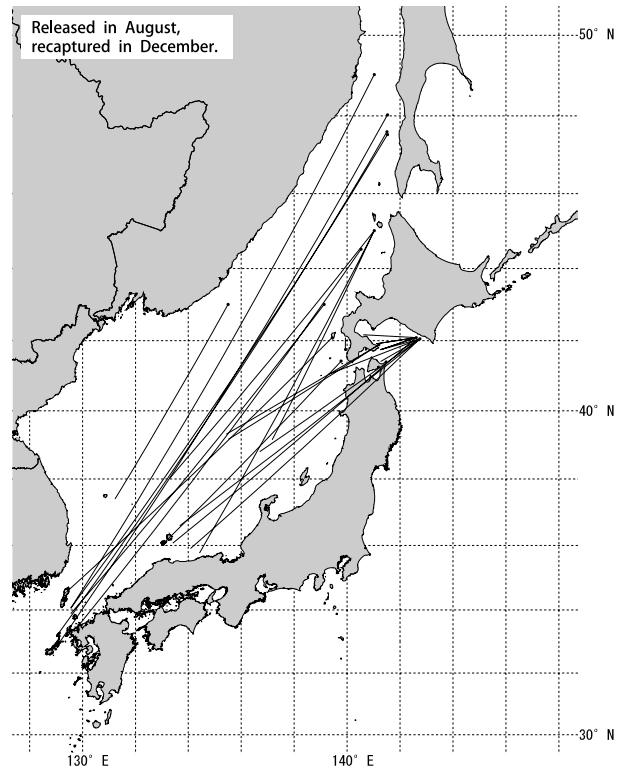
Append.4 continued.



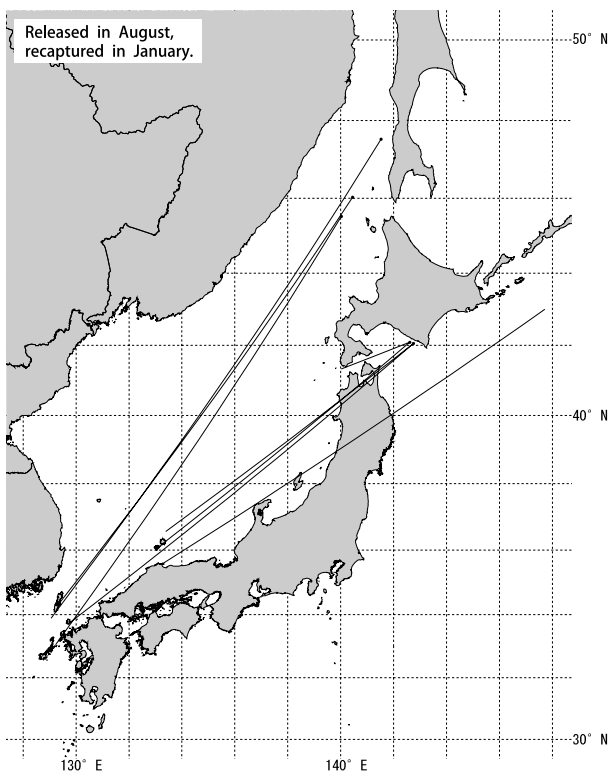
Append.4 continued.



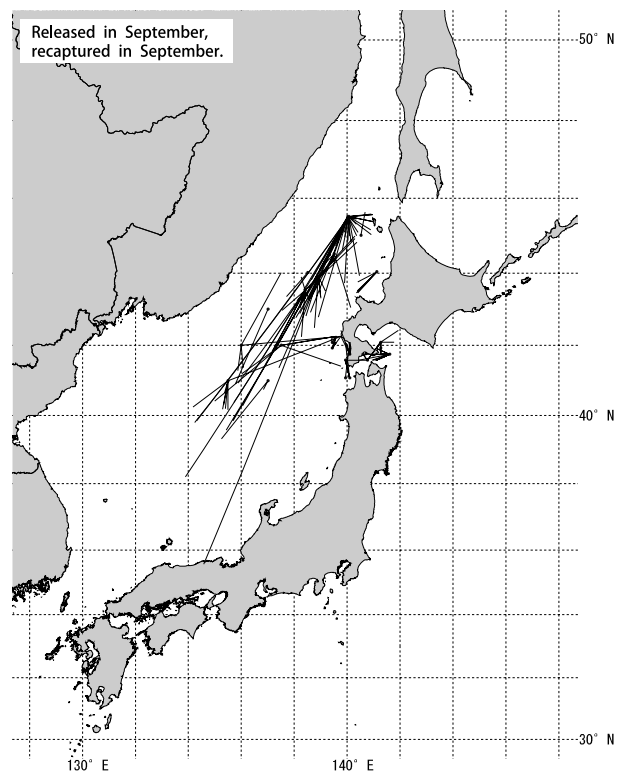
Append.4 continued.



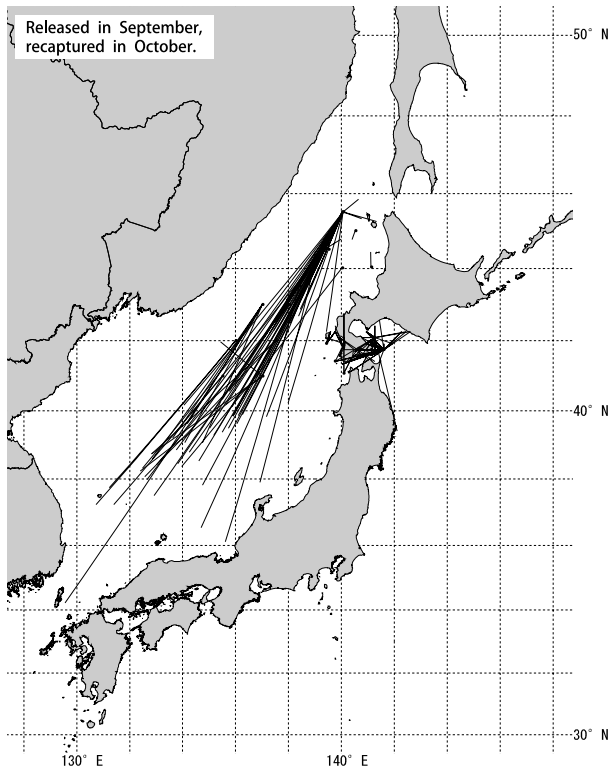
Append.4 continued.



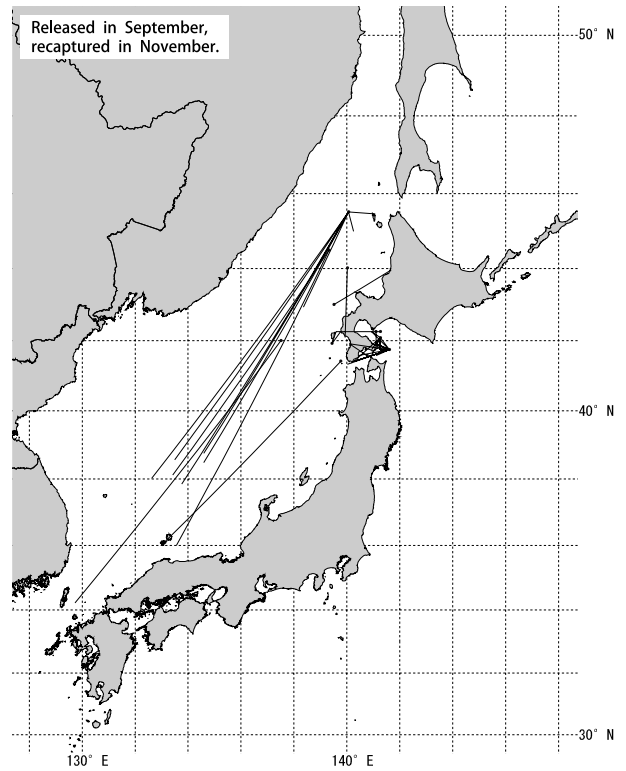
Append.4 continued.



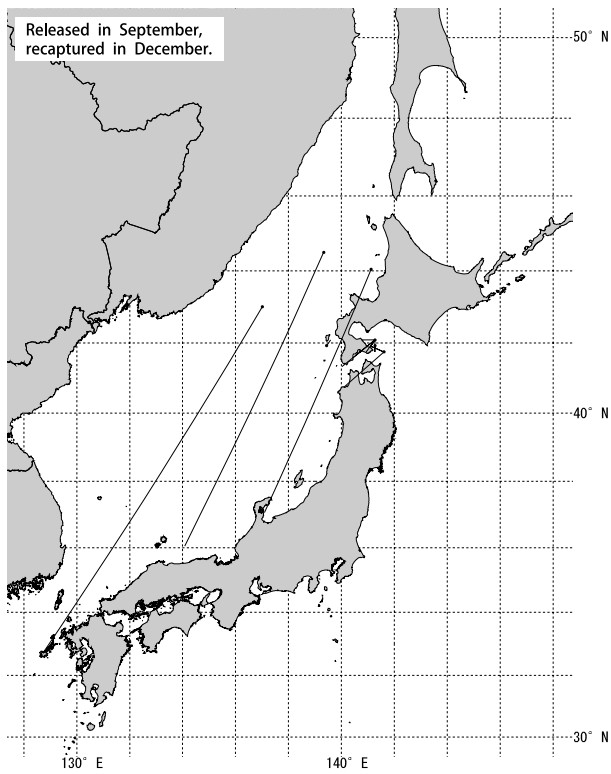
Append.5 Map showing the point at which the *Todarodes pacificus* were tagged and released in September, and where they were recaptured in each month. Solid circles indicate the release point and the end of the line from the circles indicates the recapture point.



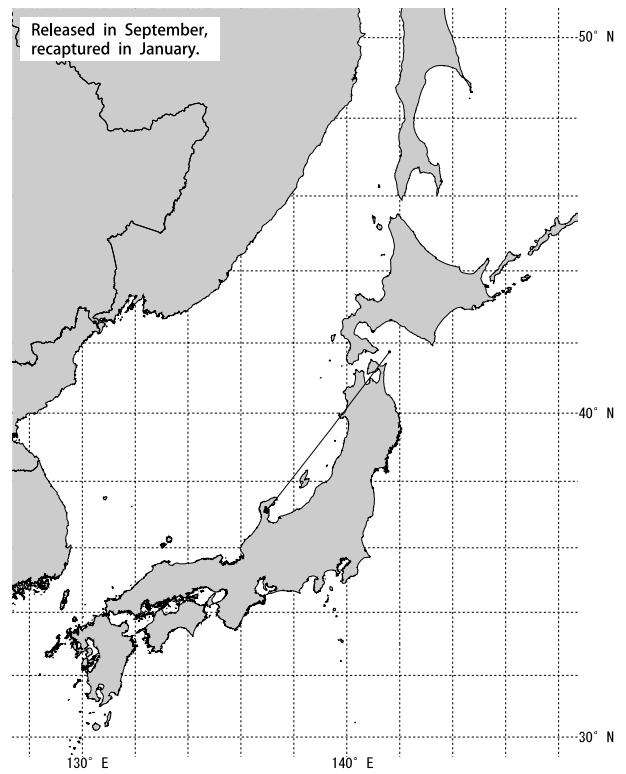
Append.5 continued.



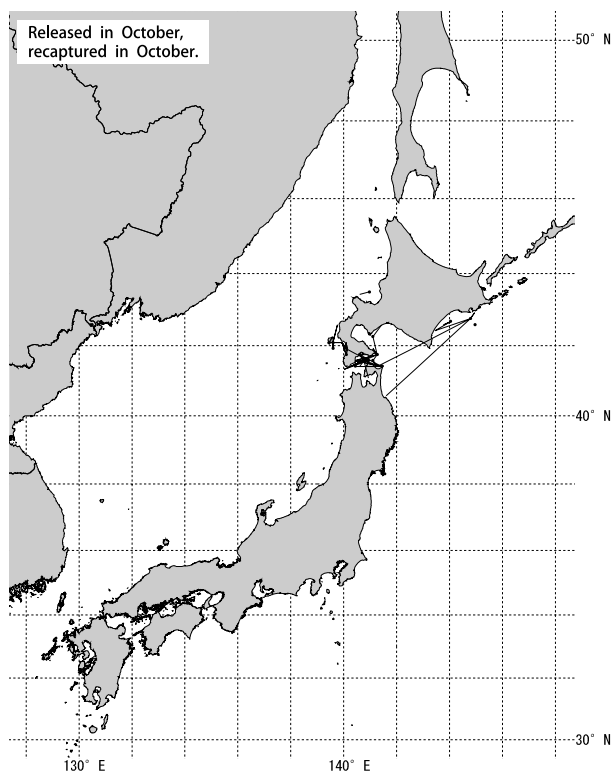
Append.5 continued.



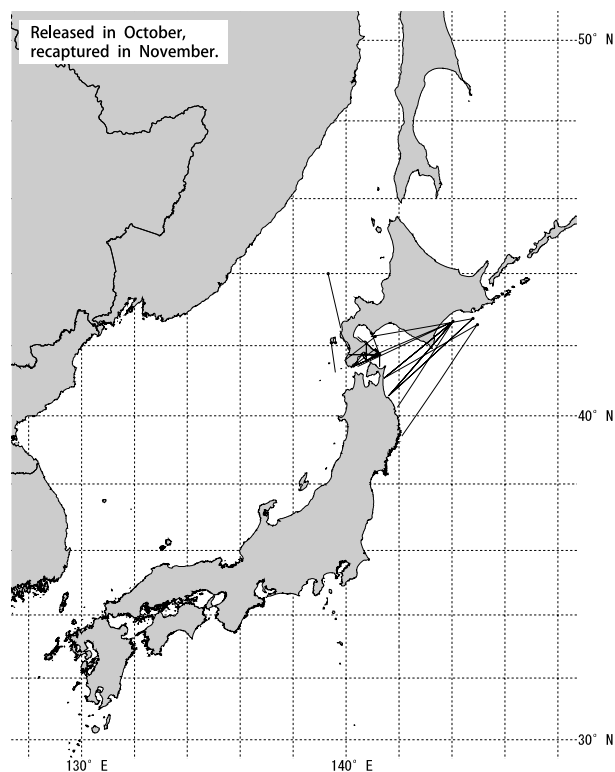
Append.5 continued.



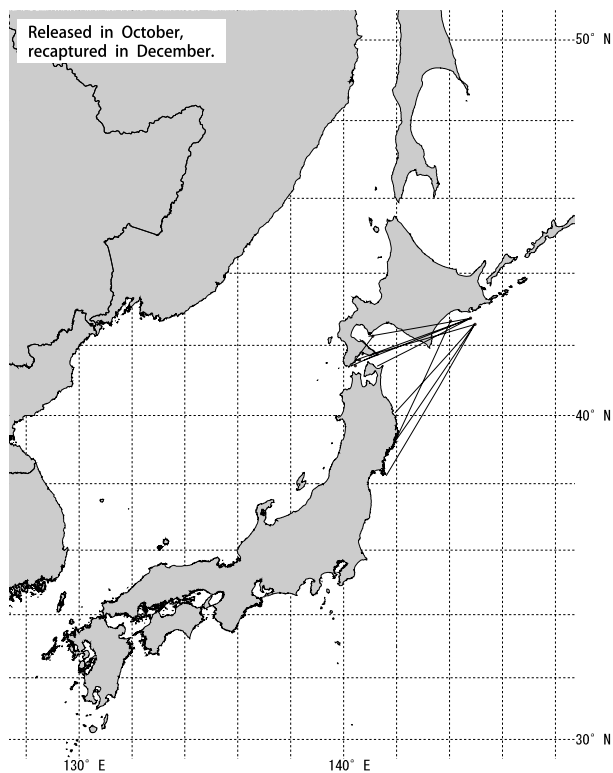
Append.5 continued.



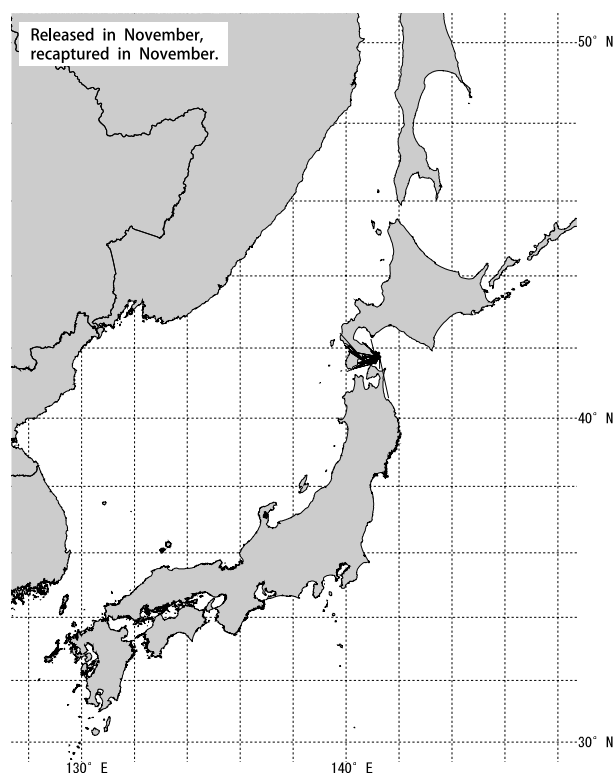
Append.6 Map showing the point at which the *Todarodes pacificus* were tagged and released in September, and where they were recaptured in each month. Solid circles indicate the release point and the end of the line from the circles indicates the recapture point.



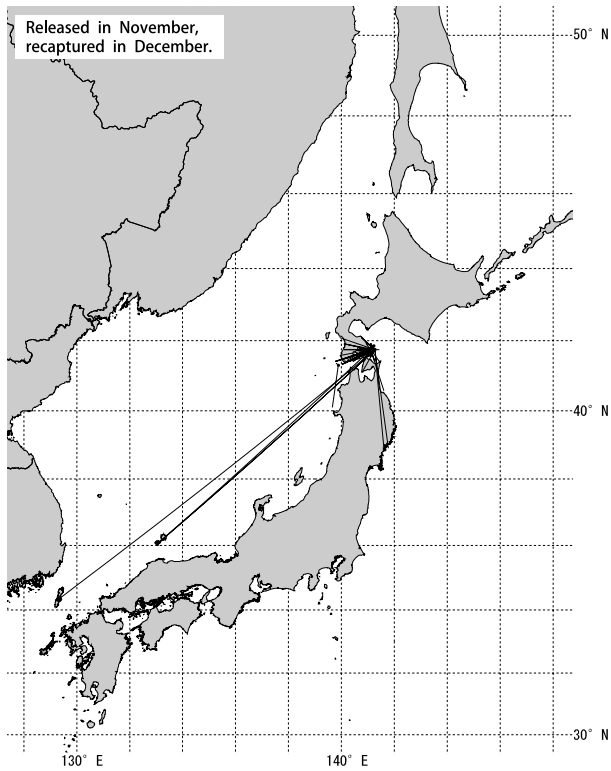
Append.6 continued.



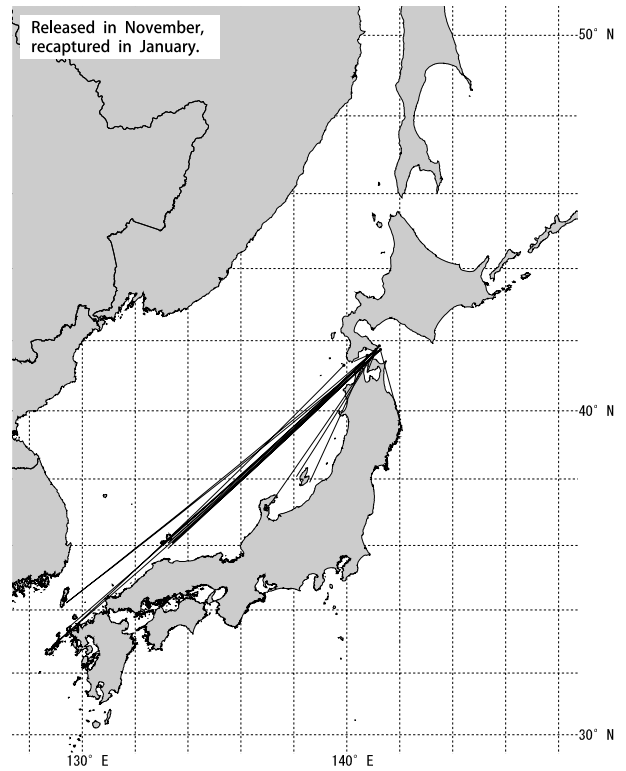
Append.6 continued.



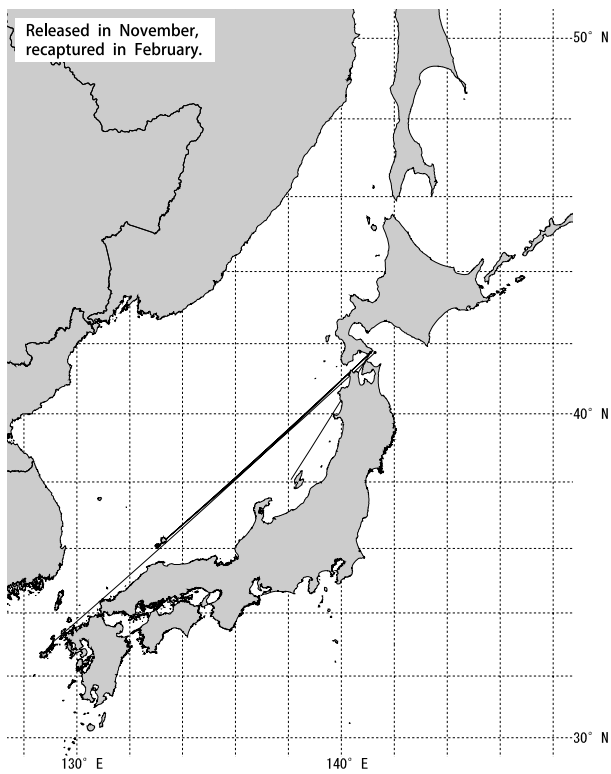
Append.7 Map showing the point at which the *Todarodes pacificus* were tagged and released in September, and where they were recaptured in each month. Solid circles indicate the release point and the end of the line from the circles indicates the recapture point.



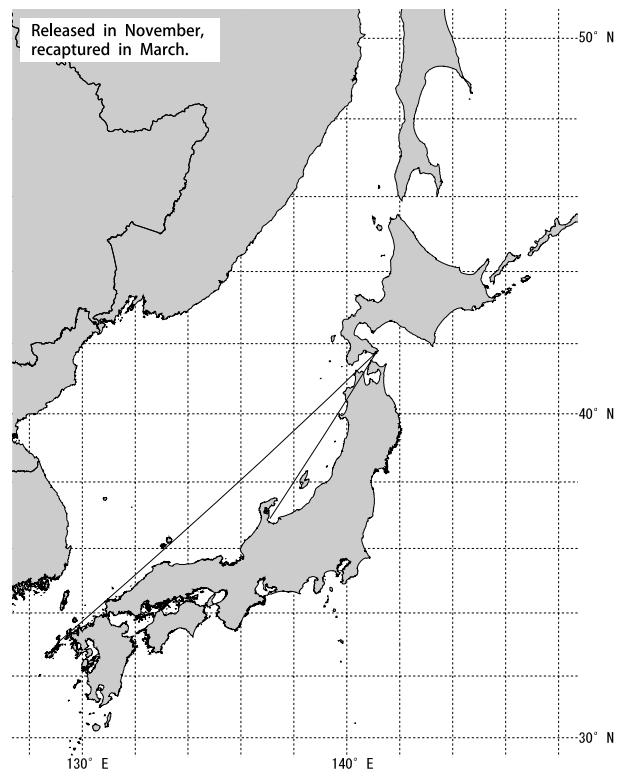
Append.7 continued.



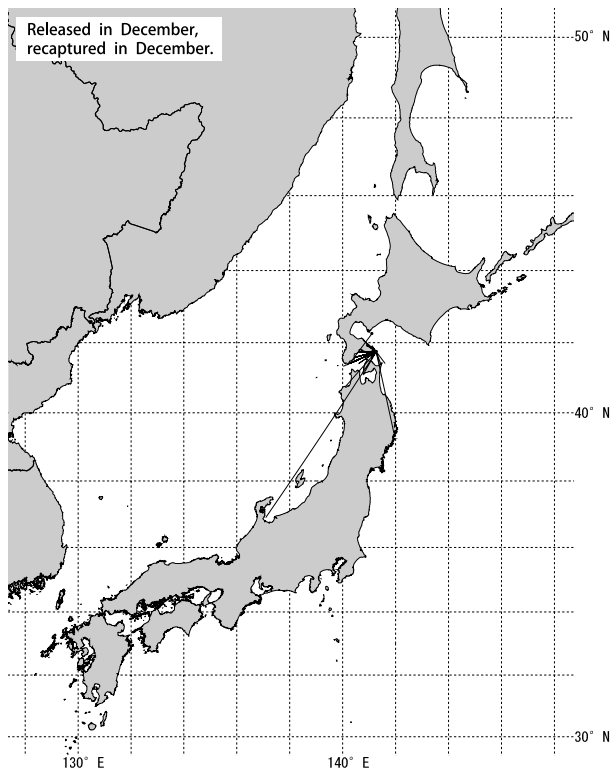
Append.7 continued.



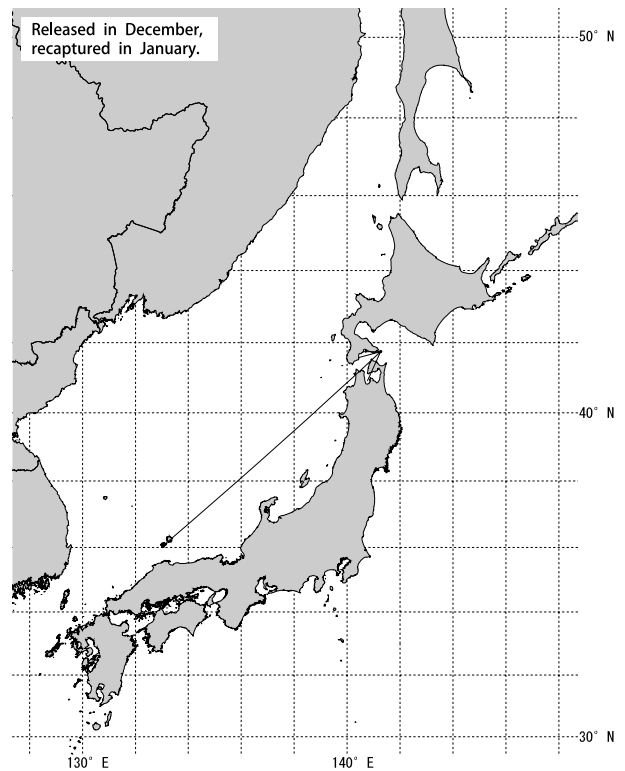
Append.7 continued.



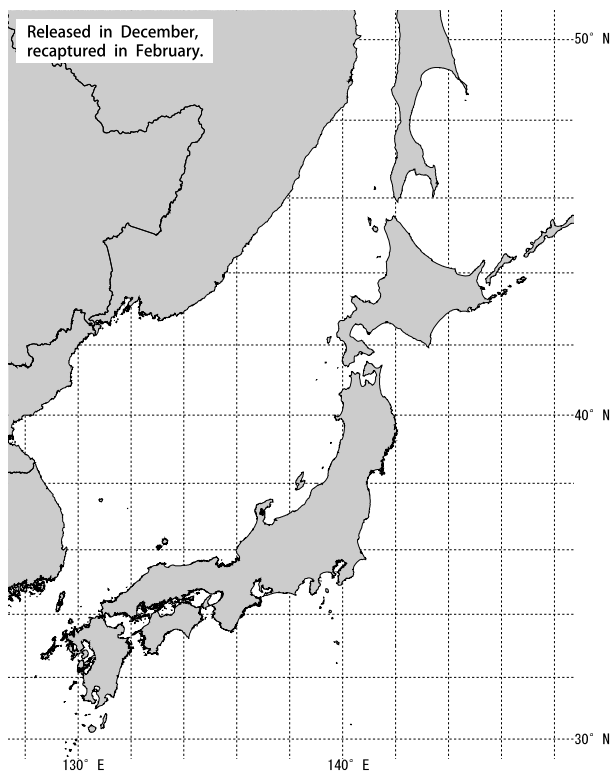
Append.7 continued.



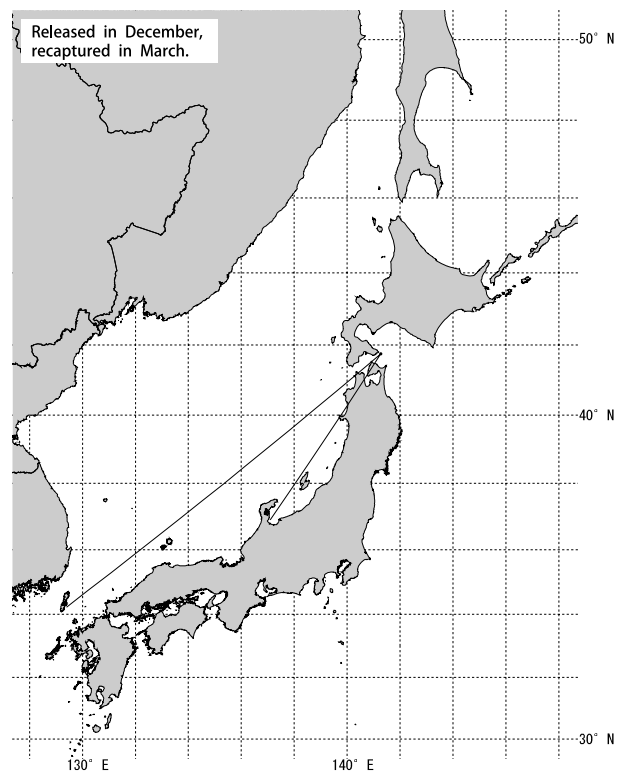
Append.8 Map showing the point at which the *Todarodes pacificus* were tagged and released in December, and where they were recaptured in each month. Solid circles indicate the release point and the end of the line from the circles indicates the recapture point.



Append.8 continued.



Append.8 continued.



Append.8 continued.



# 地理情報システムによるミズダコの資源管理を目的とした北海道沿岸域の漁場の地理的分

佐野 稔\*

Geographical distribution of *Octopus dofleini* fisheries assessed for fisheries management using a geographic information system in the coastal areas around Hokkaido

Minoru SANO\*

Geographical distribution of the North Pacific giant octopus *Octopus dofleini* fishery in the coastal waters around Hokkaido was assessed for fisheries management purposes using a geographic information system. The assessment, based on the abundance of annual catch in licensed fishing grounds and annual changes in catch from 1985 to 2004, showed that the octopus fisheries could be classified into 11 areas around Hokkaido. These areas included the Soya Strait to the coastal area around Rishiri and Rebun Island, the Sea of Okhotsk, the Nemuro Strait, Pacific Ocean areas around eastern and southern Hokkaido, water area around Funka Bay mouth, the eastern and western Tsugaru Straits, coastal area around Okushiri Island, and the Japan Sea around western and northern Hokkaido. The geographical distribution of these local octopus fisheries in the coastal areas around Hokkaido are well suited to fisheries management.

キーワード：ミズダコ，漁場，地理情報システム，資源管理

## まえがき

自然界において，希少生物の保護や産業重要生物の管理を行うためには，調査対象とする生物の個体群を定義する必要がある<sup>1)</sup>。水産分野においてこれら地域個体群は系群と呼ばれ，時空間的分布，形態的特徴，生態的特徴，遺伝構造，標識放流結果などをもとに区分されている<sup>2–3)</sup>。日本周辺海域において資源が区分されている代表的な例として，マイワシ<sup>4)</sup>，スケトウダラ<sup>5)</sup>，ニシン<sup>6)</sup>，ホッケ<sup>7–8)</sup>，スルメイカ<sup>9)</sup>などがある。国<sup>10)</sup>や北海道<sup>11)</sup>では，これら知見をもとにして水産資源評価が進められている。

ミズダコは，北太平洋の北日本沿岸からカリフォルニア沿岸に生息する大型の頭足類である<sup>12)</sup>。本種は北海道沿岸のほぼ全域で漁獲され，漁獲量は年間約2万tに達する重要種である<sup>13)</sup>。しかし，北海道周辺海域におけるミズダコの系群は明らかにされておらず，系群を単位と

した資源評価は行われていない。ミズダコの生活史は，Hartwick<sup>14)</sup>，三橋<sup>13)</sup>により紹介されているものの，北海道周辺海域において系群を明らかにするために必要な時空間的分布，さらに海域による形態的，生態的特徴，遺伝構造のような知見はほとんどない。畑中<sup>15)</sup>は，アフリカ西岸のマダコについて試験調査船を用いて時空間的な分布動態を明らかにし，資源量を推定して最適漁獲方法を示している。しかしながら，北海道沿岸域において科学調査船を用いてミズダコの分布および資源量を把握するためには，膨大な経費と時間が必要であり困難である。一方で，水産資源評価においては低コストでの資源評価として，古くから漁業情報が活用されている<sup>16)</sup>。ミズダコにおいても，北海道水産現勢<sup>17–18)</sup>により1985年から地区別の水揚げ量が報告されている。さらに，その地区ごとにミズダコ漁業に関する漁業権漁場が設定されている。そのため，これら情報を地理情報システムで組み合わせると，ミズダコ漁場を地理的に区分できれば，系群を決定

するための一つの根拠となる可能性がある。そこで、本研究では地理情報システムを用いて、各地区のミズダコ漁場をミズダコの漁獲量と漁業権漁場を組み合わせで明らかにし、それら漁場の地理的配置と漁獲量の経年変化の類似性を比較検討し、北海道周辺海域のミズダコ漁場を地理的に区分することを目的とする。

## 材料及び方法

各漁業協同組合もしくは支所（以下、地区とする）におけるミズダコ漁場の作製にはArcGIS (ESRI inc.) を用いた。北海道において、ミズダコ漁業は各地区ごとに許可された第一種共同漁業権漁業または知事許可漁業、もしくは両方の許可を得て行われている。第一種共同漁業権は、単一地区が有する海面と複数の地区で共有する海面が存在する。知事許可漁業は、通常共同漁業権より沖側の海面を複数の地区で共有して操業を行っている。これら海面の位置は許可証に明記されている。

ミズダコの漁業権漁場は北海道水産林務部においてこれら許可証から作製したシェイプファイルを用いた。許可証では、地区間の境界を決める起点が緯度、経度ではなく主に地名を起点として記載されているため、このシェイプファイルにおける起点と現実の起点とは若干の誤差がある。複数の地区で共有している第1種漁業権漁場の共有海面と知事許可漁業の海面は、便宜的に沖出した行政界で区分した。ミズダコの生息水深帯は潮下帯から水深200m付近と報告されている。<sup>12, 13, 19)</sup> そこで、数値地図25000行政界海岸線<sup>20)</sup>の海岸線と数値地図500万総合<sup>22)</sup>の200mの等深線をもとに、生息水深帯のシェイプファイルを作製した。根室海峡におけるロシアとの境界は規則ラインの緯度、経度<sup>21)</sup>からシェイプファイルを作製した。宗谷海峡におけるロシアとの境界は、紙地図<sup>23)</sup>をスキャナで取り込み、幾何補正を行ってシェイプファイルを作製した。これら地区の漁業権漁場、ミズダコの生息水深帯、ロシアとの中間ラインのシェイプファイルを重ね合わせ、これら条件を全て満たす海面を抽出し各地区のミズダコ漁場としてポリゴンを作製した (Fig.1, Table 1)。

各地区の漁獲量は1985年から2004年までの北海道水産現勢<sup>17-18)</sup>のミズダコ漁獲量を用いた。この期間、漁協もしくは支所の合併が進んでいるため、2004年時点での漁協もしくは支所を単位に集計して年間漁獲量を求めた。ArcGIS (ESRI inc.) により、これら地区ごとに年間漁獲量をミズダコ漁場と対応させた。

1985年から2004年までの北海道においてミズダコ漁獲量の豊度が大きい漁場を把握するために、地区ごとに

1985～1989年、1990～1994年、1995～1999年、2000～2004年の平均漁獲量を求め、その平均漁獲量が100 tを超える漁場の分布を明らかにした。年代ごとに抽出された漁場の分布図を重ね合わせ、1984年から2004年にかけて5年平均で年間100 t以上になったミズダコの漁場の分布を把握した。

地理学基本法則では地区間の距離が近いほど事象間の相互作用が強く、逆に遠隔の地区に立地する事象の相互作用は弱いとされている<sup>24)</sup>。そこで、年間漁獲量の多い地区について近隣の地区間でその経年変化が類似すれば同一の系群である可能性が高いと仮定し、以下に示した方法で地区のグループ化を行った。まず、1985年から2004年までの年間漁獲量の平均値が100 t以上の地区を抽出した。次にこれら地区ごとに各年の年間漁獲量と1985年から2004年までの年間漁獲量の平均値との差を標準偏差で除した標準化漁獲量を求めた。そして、漁場が隣接もしくは海岸線に沿って近隣する地区間で、1985年から2004年までの標準化漁獲量の相関を求め、有意な相関が認められる地区を結合した。このグループを相関グループとした。最後に、最も広範囲の相関グループに含まれる地区については、1985年から2004年までの標準化漁獲量を用いてクラスター分析（ユークリッド距離、群平均法）を行い、サブグループを求めた。一連の統計的解析はSPSS (SPSS Inc.) で行った。

5年平均で年間100 t以上になったミズダコの漁場の分布図と、相関グループ、サブグループの分布図を重ね合わせて経年変化が類似する漁場を結合し、北海道周辺海域におけるミズダコ漁場を区分した。これら漁場の特徴を把握するために、1985年～2004年の漁獲量の平年値、変動係数を求めた。

## 結果

各年代において、平均で年間100 t以上の漁獲量がある地区が隣接して空間的に連続する漁場となっている海域の数は変化し、1980年代後半で19、1990年代前半で18、後半で18、2000年代前半で19であった (Fig.2)。100 t以上の漁獲量が認められ年代を通じて隣接する漁場が変わらない海域は3カ所あり、宗谷海峡から利尻島、礼文島周辺海域、北海道東部の太平洋側の釧路市周辺海域、奥尻島周辺海域であった。これ以外の漁場は、年代を通じて漁獲量が常に100 tを超える地区を中心に隣接する漁場の拡大、縮小が認められた。特に1990年代前半から後半にかけて、オホーツク海の西部、根室海峡、噴火湾の湾口部が顕著に拡大した。また、北海道東部の納沙布岬周辺海域は、1990年代後半から100 t以上の漁獲量の地

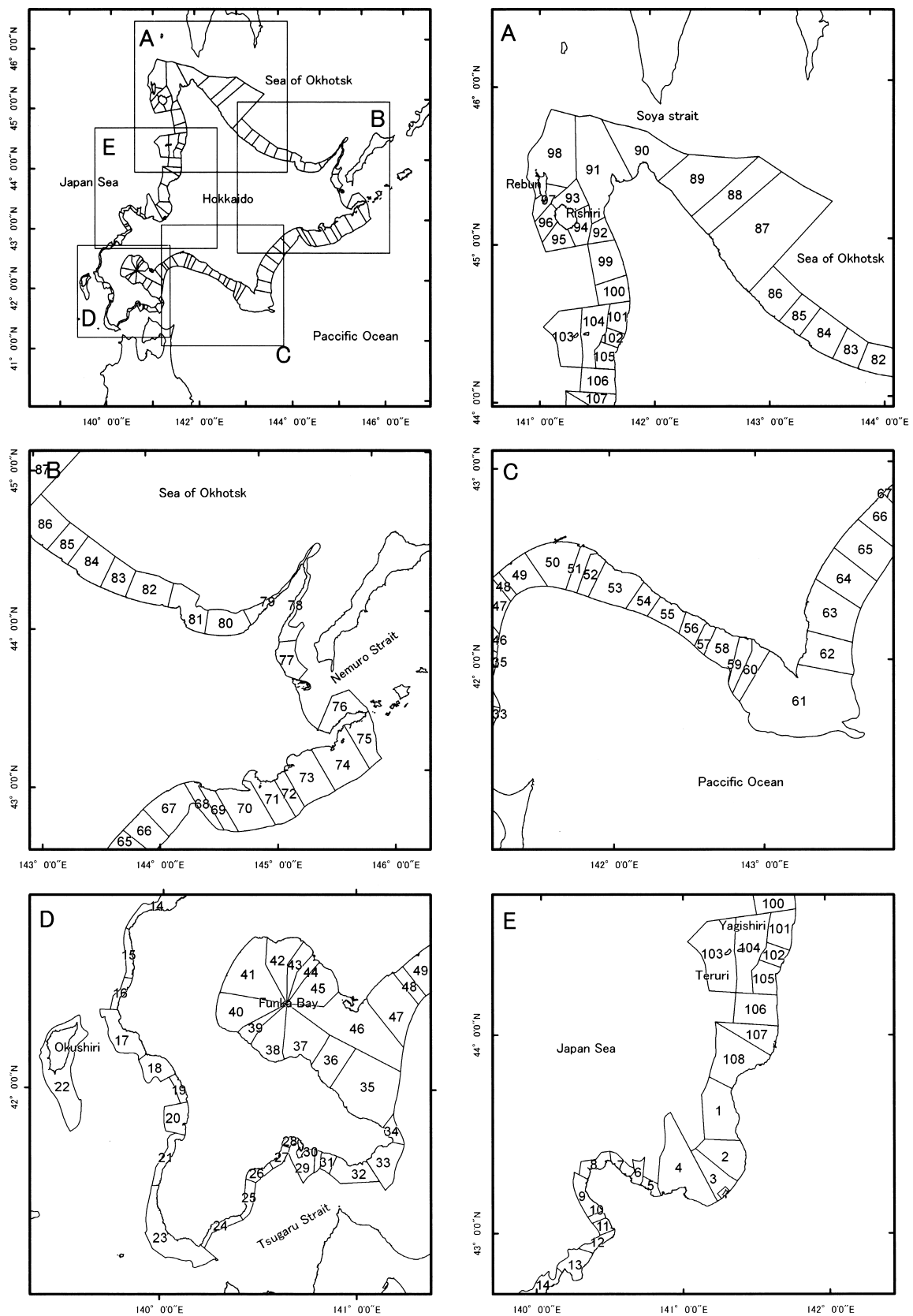


Fig.1 Distribution of *Octopus dofleini* in the coastal areas around Hokkaido. The geographical location of the octopus fisheries were inferred from licensed fisheries, water depth, and the halfway-line between Russia and Japan. Numbers refer to the fishery cooperative or branch office listed in Table 1.

Table 1 Fishery cooperative or branch office (treated as distinct entities in this study) and fishery grounds for *Octopus dofleini* in Figure 1.

| no | name                           | no | name                   | no  | name                             |
|----|--------------------------------|----|------------------------|-----|----------------------------------|
| 1  | Hamamasu, Ishikariwan          | 41 | Oshamanbe              | 81  | Abashiri                         |
| 2  | Ishikariwan                    | 42 | Toyoura, Iburifunkawan | 82  | Tokoro                           |
| 3  | Ishikari, Ishikariwan          | 43 | Abuta, Iburifunkawan   | 83  | Yubetsu                          |
| 4  | Otarushi                       | 44 | Usu, Iburifunkawan     | 84  | Monbetsu                         |
| 5  | Yoichigun                      | 45 | Date, Iburifunkawan    | 85  | Okoppe                           |
| 6  | Furubira, Higashishakotan      | 46 | Muroran                | 86  | Oumu                             |
| 7  | Bikuni, Higashishakotan        | 47 | Noboribetsu, Iburichuo | 87  | Esashi                           |
| 8  | Shakotan, Higashishakotan      | 48 | Iburichuo              | 88  | Hamatonbetsu                     |
| 9  | Kamoenai                       | 49 | Shiraoi, Iburityuo     | 89  | Saruhutsumura                    |
| 10 | Sakazuki                       | 50 | Tomakomai              | 90  | Soya                             |
| 11 | Tomari                         | 51 | Atsuma                 | 91  | Wakkanai                         |
| 12 | Suttucho Isoya                 | 52 | Mukawa                 | 92  | Toyotomi, Wakkanai               |
| 13 | Suttsucho                      | 53 | Monbetsu               | 93  | Osidomari                        |
| 14 | Shimamaki                      | 54 | Niikappu               | 94  | Oniwaki                          |
| 15 | Setana, Hiyama                 | 55 | Shizunai               | 95  | Senhoushi                        |
| 16 | Hutoro, Hiyama                 | 56 | Mitsuishi              | 96  | Kutsugata                        |
| 17 | Taisei, Hiyama                 | 57 | Ogifushi               | 97  | Kabuka                           |
| 18 | Kumaishi, Hiyama               | 58 | Urakawa                | 98  | Funadomari                       |
| 19 | Hiyama                         | 59 | Samani                 | 99  | Teshio, Kitarumoi                |
| 20 | Esashi, Hiyama                 | 60 | Fuyushima              | 100 | Enbetsu                          |
| 21 | Kaminokuni, Hiyama             | 61 | Erimo                  | 101 | Shosanbetsu, Kitarumoi           |
| 22 | Okushiri, Hiyama               | 62 | Shoya                  | 102 | Kitarumoi                        |
| 23 | Matsumaesakura                 | 63 | Hiroo                  | 103 | Teuri, Kitarumoi                 |
| 24 | Fukushimayoshioka              | 64 | Taiki                  | 104 | Yagishiri, Kitarumoi             |
| 25 | Siriuchinakanokawa, Kamiisogun | 65 | Otsu                   | 105 | Tomamae, Kitarumoi               |
| 26 | Kikonai, Kamiisogun            | 66 | Urahoru                | 106 | Usuya and Onishika, Shinseimarin |
| 27 | Hamanasu, Kamiisogun           | 67 | Shiranuka              | 107 | Shinseimarin                     |
| 28 | Kamiiso, Kamisogun             | 68 | Kushiroshi             | 108 | Mashike                          |
| 29 | Hakodateshi                    | 69 | Kushiroshitobu         |     |                                  |
| 30 | Nesaki                         | 70 | Kushirocho             |     |                                  |
| 31 | Zenikamesawa                   | 71 | Akkeshi                |     |                                  |
| 32 | Toicho                         | 72 | Chirippu               |     |                                  |
| 33 | Esan                           | 73 | Kiritappu              |     |                                  |
| 34 | Todohokke                      | 74 | Ochiishi               |     |                                  |
| 35 | Minamikayabe                   | 75 | Habomai                |     |                                  |
| 36 | Shikabe                        | 76 | Nemuro                 |     |                                  |
| 37 | Sawara                         | 77 | Shibetsu               |     |                                  |
| 38 | Mori                           | 78 | Rausu                  |     |                                  |
| 39 | Otoshibe                       | 79 | Utoro                  |     |                                  |
| 40 | Yakumo                         | 80 | Shari                  |     |                                  |

区が認められるようになった。これら各年代において漁獲量が100 t以上の漁場の分布図を重ねあわせたところ、漁場が隣接する海域が17となった (Fig.3)。この漁場グループは、宗谷海峡から利尻島と礼文島周辺で1海域、オホーツク海で2海域、根室海峡で1海域、太平洋で5海域、噴火湾口域で1海域、津軽海峡で3海域、奥尻島で1海域、日本海で3海域であった。

1985年から2004年までの漁獲量の平均値が100 tを超える地区について、近隣の地区間で相関を求めた結果を Fig.4に示した。有意な相関により組み合わされた地区で

構成される相関グループは9ヶ所であった。その相関グループは、利尻島と礼文島の3地区、宗谷海峡から根室海峡を経由して北海道東部太平洋までの12地区、北海道南部太平洋の5地区、噴火湾の湾口部の3地区、津軽海峡の東側の2地区、津軽海峡の西側の3地区、奥尻島の1地区、北海道西部日本海の2地区、北海道北部日本海の10地区であった。宗谷海峡から北海道東部太平洋までの最も広域な相関グループに含まれる12地区について標準化漁獲量のクラスター分析（ユークリッド距離，群平均法）を行った。その結果，結合距離3.2以下で4クラス

ターに区分できた (Fig. 5)。そのサブグループは海域と対応しており、宗谷海峡、オホーツク海、根室海峡、北海道東部太平洋であった。

漁獲量の豊度をもとにした17海域の漁場グループ (Fig.3) を、経年変化の類似性を評価した相関グループ (Fig.4) とそのサブグループ (Fig.5) を根拠にして11のグループに統合した (Fig.6)。宗谷海峡から根室海峡を経由して北海道東部太平洋までの各漁場グループは相関グループでは単一となったが、サブグループで4グループに区分できたことから、宗谷海峡から利尻島礼文島周辺海域の漁場はA海域、オホーツク海は東部海域の漁場と西部海域の漁場を組み合わせるB海域とした (Fig.7)。

根室海峡の漁場はC海域とし、納沙布岬周辺から釧路市周辺までの北海道東部太平洋側の漁場を組み合わせるD海域とした。北海道南部太平洋側の広尾地区からえりも岬を通過して門別地区に至る漁場は相関グループで単一のまとまりとなったことからE海域とした。同様に、噴火湾口域、津軽海峡東側、津軽海峡西側、奥尻島、北海道西部日本海、北海道北部日本海をそれぞれF海域、G海域、H海域、I海域、J海域、K海域とした。これら漁場に含まれる各地区をTable 2に示した。

区分された各漁場の漁獲量の豊度と変動の特徴を整理するために、1985年から2004年までの年間漁獲量の平均値を求めた (Fig.7)。宗谷海峡から利尻島礼文島周辺海

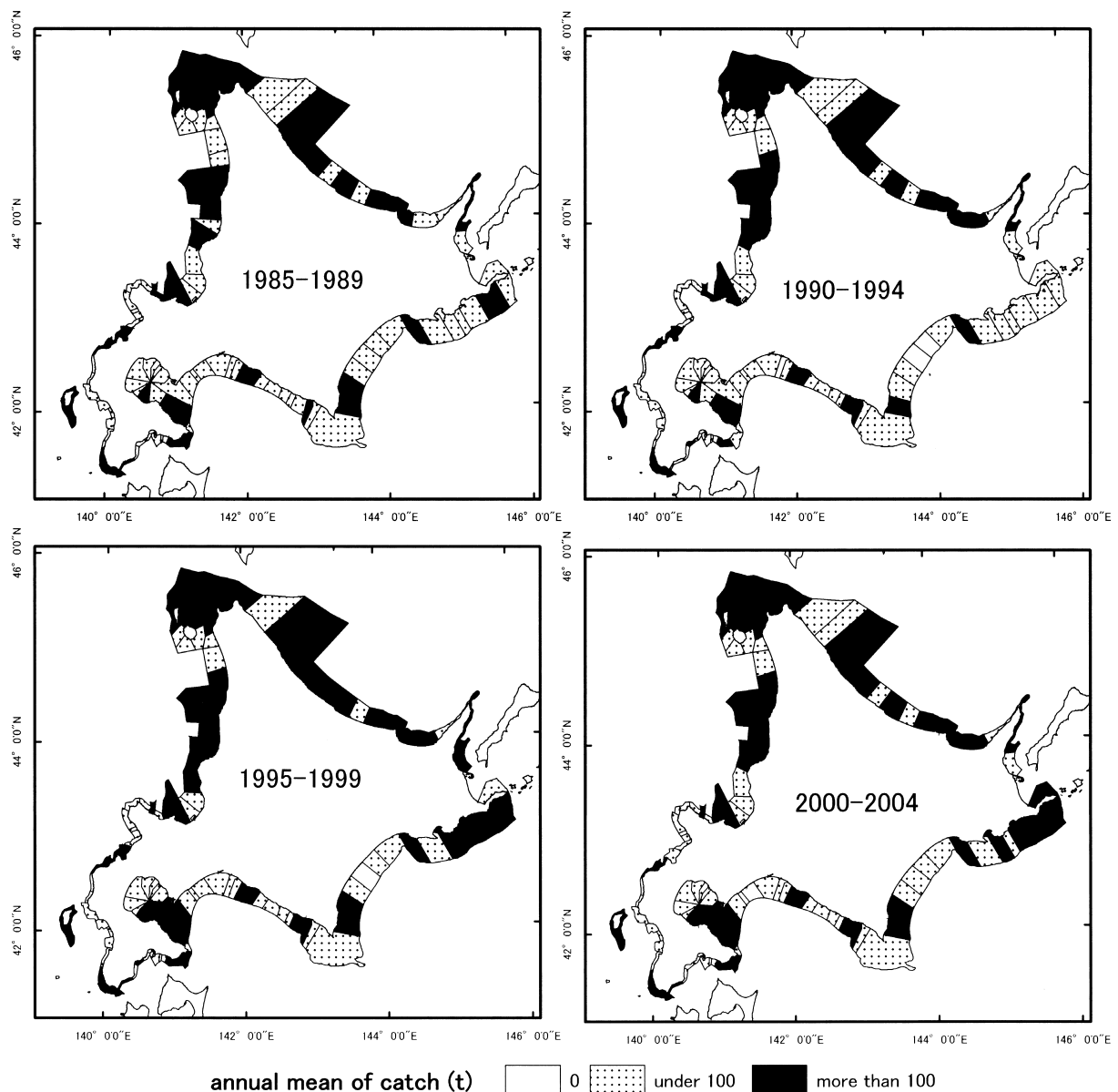


Fig.2 Changes in the physical extent of *Octopus dofleini* fisheries in the coastal areas around Hokkaido at five-year intervals from 1985 to 2004.

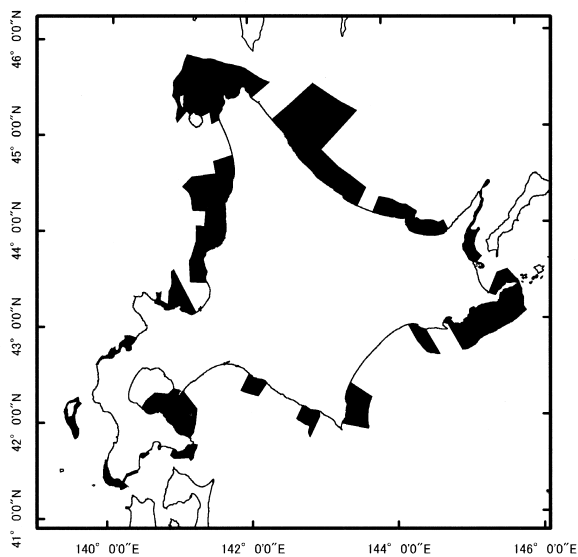


Fig.3 Location of 17 fisheries with high *Octopus dofleini* abundance between 1984 and 2004. Areas were delimited by overlaying the five-year distribution data shown in Figure 2.

域（A 海域）と北海道北部日本海（K 海域）は漁獲量が約3,700 t 以上と多く、オホーツク海（B 海域）、北海道東部太平洋（D 海域）、北海道南部太平洋（E 海域）は、平均漁獲量は1,200 t ~ 1,600 t であった。この中で北海道東部太平洋（D 海域）は漁獲量の経年変化の変動係数が最も大きかった（Fig. 8）。その他の地区は、平均漁獲量が約1,000 t 以下の漁場であった。

## 考察

本研究では、地理情報システムを用いて、北海道のほぼ全ての海岸線について地区ごとのミズダコ漁場を、共同漁業権と生息水深などから推定することができた。北海道全ての地区について実際に操業を行っているミズダコ漁場を特定するには、全ての地区の漁業者からの広範で膨大な情報提供が不可欠であり、困難である。時空間的な個体群動態の知見が乏しいミズダコ資源において、漁獲量、漁業権漁場、生息水深帯をもとに、地理情報システムを用いてミズダコ漁場を簡便に推定した本手法は、資源の地理的な分布を間接的に推定する上で有効であると思われる。

北海道周辺海域におけるミズダコ漁場を、漁獲量の豊度と経年変化の類似性から11海域に区分した。これら漁場間の境界は1985年から2004年まで常に漁獲量の少ない海域である。そのため、これら境界域にはミズダコ漁場の形成を抑制する地勢的な要因が働いていると思われる。北海道周辺海域における等深線は国土地理院<sup>21)</sup>、底質は

菅ら<sup>25-26)</sup>、嵯峨山ら<sup>27)</sup>、内田ら<sup>28)</sup>により報告されている。これら地図によると、境界域の地形、底質には3つの特徴が認められた。まず、海岸線に対して等深線がほぼ平行に認められる緩傾斜の砂質域が境界となっているのは、宗谷岬と利尻島、礼文島周辺海域（A 海域）－オホーツク海（B 海域）、根室海峡（C 海域）から噴火湾口域（F 海域）までの各々が隣接する海域、津軽海峡東側（G 海域）－西側（H 海域）の間、北海道北部日本海（K 海域）－宗谷岬から利尻島、礼文島周辺海域（A 海域）の間であった。次に、急傾斜の岩盤域が境界となっているのは、オホーツク海（B 海域）－根室海峡（C 海域）、噴火湾口域（F 海域）－津軽海峡東側（G 海域）、津軽海峡西側（H 海域）から北海道北部日本海（K 海域）までのそれぞれが隣接する海域であった。最後は、島嶼として独立する奥尻島（I 海域）であった。Hartwick<sup>14)</sup>によると、ミズダコは岩盤、礫地帯や貝殻混じりの砂地内の巣内で頻繁に認められることが述べられている。ミズダコの巣穴は安定した基質に作られ、砂の優占する場所では相対的に巣穴が少なくなると考えられている。そのため、広範囲に砂が優占する場所は生息に適さないために、本研究で漁場を区分する境界になったと考えられる。また、急傾斜域では生息水深とされる0～200mの水深帯の面積が狭いことにより漁獲量の豊度が小さくなり、漁場を区分する境界域になったと思われる。

各漁場の面積と漁獲量の関係（Fig.7）、年間漁獲量の変動係数（Fig.8）から、各資源の特徴が明らかとなった。宗谷海峡から利尻島、礼文島周辺海域（A 海域）と北海道北部日本海（K 海域）は、漁獲量が大きく、変動係数は小さいことから、安定して世代更新が行われていることが考えられる。一方、漁獲量の変動係数の大きかった資源は北海道東部太平洋（D 海域）であり、親潮の影響が認められる北海道太平洋であった。この資源では、資源変動に強い影響を及ぼす固有の要因、例えば豊度の高い年級群の発生や他海域からの加入などが働いていることが考えられる。

本研究により、北海道においてミズダコ資源が11の生息域に区分できることを示した。本研究は、北海道におけるミズダコ資源の評価や管理の前提となるものであり、ミズダコ資源の評価、管理に適用できると判断した。しかし、ミズダコは北海道のほぼ全ての沿岸に分布し、幼生の浮遊生活期に海流によって輸送される可能性がある。さらに、標識放流によって利尻島、礼文島周辺海域から日本海への移動<sup>29)</sup>、津軽海峡内での移動<sup>30)</sup>が確認されている。これらのことから本研究で区分した生息域間での交流を否定できない。そのため、これら区分した海域を管理の単位とするためには、今後は標識放流や遺伝構造

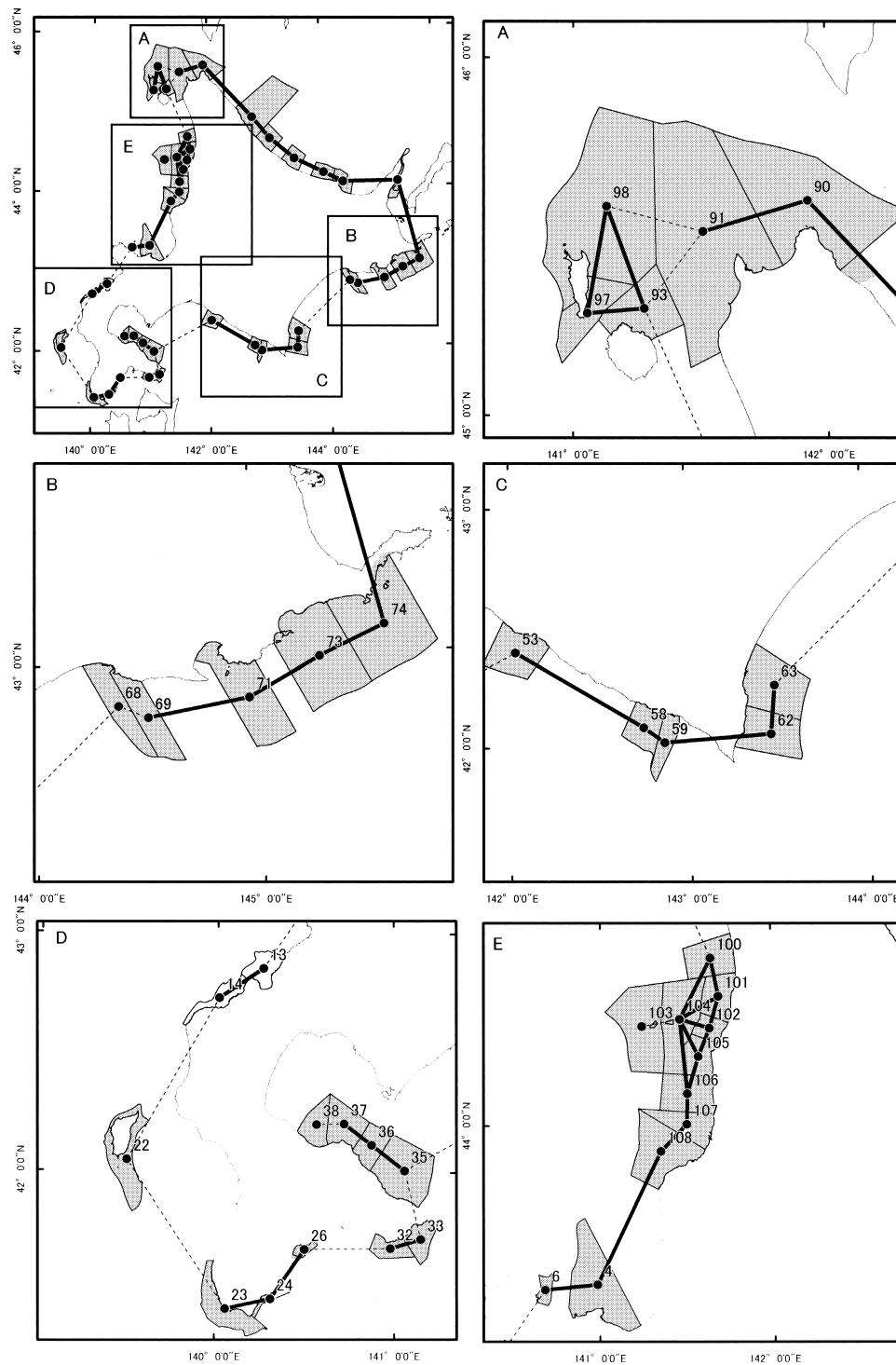


Fig.4 Correlation of the standardized annual *Octopus dofleini* catch among the octopus fishery grounds with annual catches exceeding 100 t (open circles) from 1984 to 2004. Numbers refer to the fishery cooperative or branch office listed in Table 1. The bold line indicates  $p < 0.05$ .

の解析により、これら資源の交流の程度を明らかにしていく必要がある。

謝辞

本報告をとりまとめるにあたり、貴重なご助言とご校閲を頂きました北海道立中央水産試験場資源管理部高柳志朗部長、北海道立稚内水産試験場資源管理部前田圭司部長、同部三原栄次資源管理科長に感謝申し上げます。

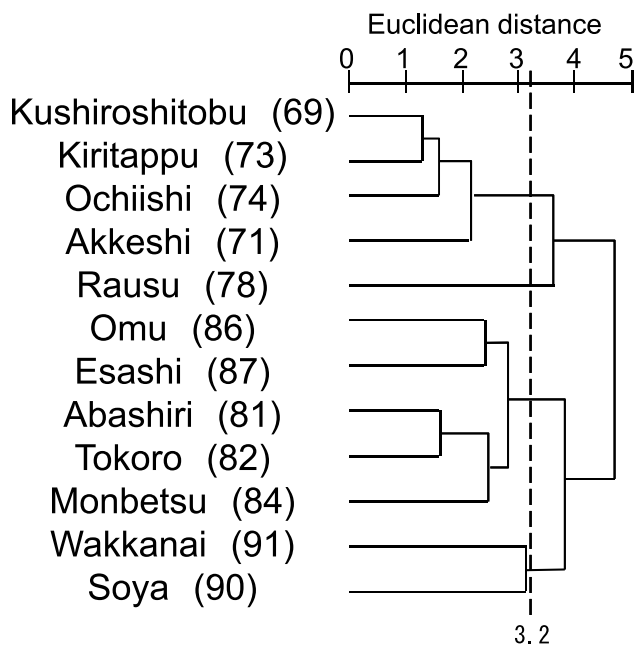


Fig.5 Cluster analysis of the standardized annual *Octopus dofleini* catch among the octopus fishery grounds with annual catches exceeding 100 t from 1984 to 2004. Areas shown include the Soya strait, Sea of Okhotsk, and the Nemuro Strait to the Pacific Ocean around eastern Hokkaido. Numbers in parentheses adjacent to the distinct name shown in Table 1.

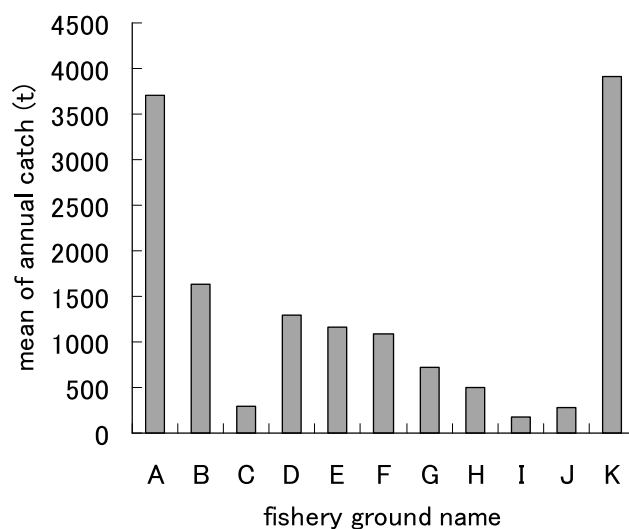


Fig.7 Annual mean catch of each *Octopus dofleini* fishery shown in Figure 6.

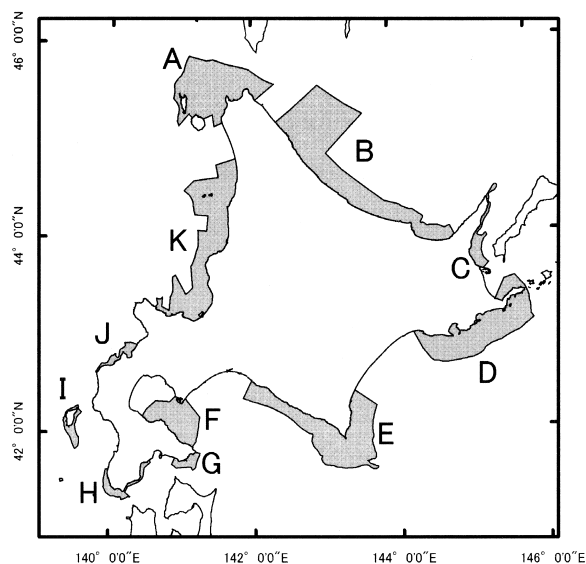


Fig.6 Distribution of *Octopus dofleini* fishery grounds in the coastal area around Hokkaido. A: Soya Strait to the coastal area around Rishiri Island, B: Sea of Okhotsk, C: Nemuro Strait, D: Pacific Ocean around eastern Hokkaido, E: Pacific Ocean around southern Hokkaido, F: water area around Funka Bay mouth, G: Eastern Tsugaru Strait around Hokkaido, H: Western Tsugaru Strait around Hokkaido, I: Okushiri Island, J: Japan Sea around western Hokkaido, K: Japan Sea around northern Hokkaido.

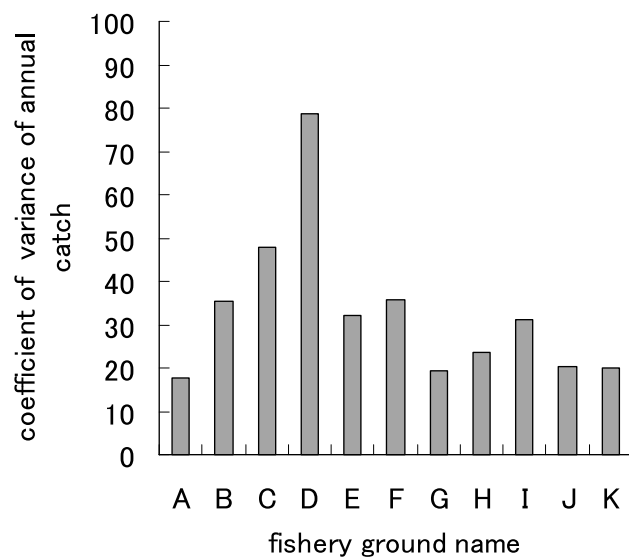


Fig.8 Coefficient of variance of annual catch of each *Octopus dofleini* fishery for the period 1985 to 2004. The legend in the figure is the same as that shown in Figure 6.



**Table 2** Fishery cooperative or branch office (treated as distinct entities in this study) in each of the 11 major Octopus dofleini fisheries in the coastal areas around Hokkaido. Location names are the same as those given in Figure 6.

| name of major fisheries<br>no distinct name   | name of major fisheries<br>no distinct name               | name of major fisheries<br>no distinct name       |
|---|---|---|
| the Soya Strait to coastal area around Rishiri Island and Rebun Islabd, sea area A. | Pacific Ocean around southern Hokkaido, sea area E.       | coastal water around Okusiri Island., sea area I. |
| 90 Soya   | 53 Monbetsu   | 22 Okushiri, Hiyama                               |
| 91 Wakkanai   | 54 Niikappu   | Japan Sea around western Hokkaido, sea area H.    |
| 93 Osidomari  | 55 Shizunai   | 13 Suttucho                                       |
| 97 Kabuka   | 56 Mitsuishi  | 14 Shimamaki                                      |
| 98 Funadomari   | 57 Ogifushi   |   |
|   | 58 Urakawa  | Japan Sea around northern Hokkaido, sea area I.   |
| the Sea of Okotsk, sea area B.  | 59 Samani   | 1 Hamamasu, Ishikariwan                           |
| 80 Shari  | 60 Fuyushima  | 2 Ishikariwan                                     |
| 81 Abashiri   | 61 Erimo  | 3 Ishikari, Ishikariwan                           |
| 82 Tokoro   | 62 Shoya  | 4 Otarushi  |
| 83 Yubetsu  | 63 Hiroo  | 5 Yoichigun                                       |
| 84 Monbetsu   |   | 6 Furubira, Higashishakotan                       |
| 85 Okoppe   | water area around Funka Bay mounth, sea area F.           | 100 Enbetsu                                       |
| 86 Oumu   | 35 Minamikayabe   | 101 Shosanbetsu, Kitarumoi                        |
| 87 Esashi   | 36 Shikabe  | 102 Kitarumoi                                     |
| 88 Hamatonbetsu   | 37 Sawara   | 103 Teuri, Kitarumoi                              |
|   | 38 Mori   | 104 Yagishiri, Kitarumoi                          |
| the Nemuro Strait, sea area C.  | 46 Muroran  | 105 Tomamae, Kitarumoi                            |
| 77 Shibetsu   |   | 106 Usuya and Onishika, Shinseimarin              |
| 78 Rausu  | the Eastern Tsugaru Strait around Hokkaido, sea area G    | 107 Shinseimarin                                  |
|   | 32 Toicho   | 108 Mashike                                       |
| Pacific Ocean around eastern Hokkaido, sea area D.                                  | 33 Esan   |   |
| 68 Kushiroshi   |   |   |
| 69 Kushiroshitobu   | the Western Tsugaru Strait around Hokkaido, sea a area H. |   |
| 70 Kushirocho   | 23 Matsumaesakura   |   |
| 71 Akkeshi  | 24 Fukushimayoshioka                                      |   |
| 72 Chirippu   | 25 Siriuchinakanokawa, Kamiisogun                         |   |
| 73 Kiritappu  | 26 Kikonai, Kamiisogun                                    |   |
| 74 Ochiishi   |   |   |
| 75 Habomai  |   |   |
| 76 Nemuro   |   |   |

## 文献

- 1) Akcakaya, H.R., Burgman, M.A. and Ginzburg, L.R. (楠田尚史, 小野山敬一, 紺野康夫訳) : コンピュータで学ぶ応用個体群生態学—希少生物の保全を目指して—. 初版. 東京, 文一総合出版, 2002, 325p.
- 2) 田中昌一: 水産資源学総論. 初版. 東京, 恒星社厚生閣, 1985, 381p.
- 3) 岡崎登志夫: “系群”. 現代の水産学. 初版. 東京, 恒星社厚生閣, 1994, 71-78.
- 4) 川崎 健: 浮魚資源. 初版, 東京, 恒星社厚生閣, 1981, 327p.
- 5) ベーリング海およびカムチャッカ半島周辺海域のスケトウダラ資源の系統群の解明に関する研究成果報告書. 東京, 農林水産技術会議事務局, 1985, 180p.
- 6) 小林時正: 太平洋ニシンの集団遺伝学的特性と種内分化に関する研究. 遠水研報. 30, 1-77 (1993)
- 7) 入江隆彦: 漁業管理—資源管理の立場から 3. ホッケ資源とその管理. 漁業資源研究会議報. 25, 74-94 (1986)
- 8) 夏目雅史: ホッケの漁獲量変動から見た道北群道南群の境界線. 北水試だより, 66, 14-17 (2004)
- 9) Okutani, T. : “*Todarodes pacificus*”. *Cephalopod Life Cycles. Volume I Species Accounts*. London, Academic Press, 1983, 201-214.
- 10) 我が国周辺水域の漁業資源評価. 東京・横浜, 水産庁・水産総合研究センター, 2003, 41p.
- 11) 北海道水産資源管理マニュアル2004年度. 北海道,

- 北海道水産林務部資源管理課編, 2004, 59p.
- 12) FAO Species Catalogue. vol. 3 Cephalopods of the world. Rome, FAO, 1984, 277p.
  - 13) 三橋正基: “ミズダコ” 新 北のさかなたち. 北海道. 北海道新聞社, 2003, 342-347.
  - 14) Hartwick, B.: “*Octopus dofleini*” .*Cephalopod Life Cycle*. London, Academic Press, 1983, 277-291.
  - 15) 畑中 寛: アフリカ北西岸水域におけるマダコの漁業生物学的研究. 遠水研報. 17, 13-124 (1979)
  - 16) 平成12年度資源評価体制確立水深事業報告書－資源解析手法教科書－. 東京, 日本水産資源保護協会, 2001, 325p.
  - 17) 昭和58年～平成7年 北海道水産現勢 (北海道水産部漁政課編). 札幌, 北海道水産部, 1986-1997.
  - 18) 平成8年～平成15年 北海道水産現勢 (北海道水産林務部企画調整課編). 札幌, 北海道水産林務部, 1998-2005.
  - 19) Scheel, D. : Characteristics of habitats used by *Enteroctopus dofleini* in Princw William Sound and Cook Inlet, Araska. *Marine Ecology*. 23, 185-206 (2002)
  - 20) 数値地図25000 (行政界・海岸線). 茨城, 国土地理院, 2006, C D - R O M
  - 21) 数値地図500万 (総合) 日本とその周辺. 茨城, 国土地理院, 2005, C D - R O M
  - 22) 平成18年度根室の水産. 根室, 北海道根室支庁産業振興部水産課. 2007, 69p.
  - 23) 宗谷の水産 平成17年度版. 北海道宗谷支庁経済部水産課, 2007, 47p.
  - 24) Tobler, W. R. : A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*. 46, 234-240 (1970)
  - 25) 菅 和哉, 嵯峨山積, 檜垣直幸: 北海道沿岸域の地質・底質環境－1－ (太平洋西海域). 付図20万分の1. 地下資源研報. 28, 1-61 (1997)
  - 26) 菅 和哉, 嵯峨山積, 仁科健二, 村山泰司, 内田康人: 北海道沿岸域の地質・底質環境－4－ (オホーツク・根室海峡海域). 付図20万分の1. 北地研報. 34, 1-45 (2007)
  - 27) 嵯峨山積, 内田康人, 大澤賢人, 菅 和哉, 濱田誠一, 村山泰司, 仁科健二: 北海道沿岸域の地質・底質環境－2－ (西南北海道海域). 付図20万分の1. 北地研報. 29, 1-74 (2000)
  - 28) 内田康人, 菅 和哉, 嵯峨山積, 村山泰司, 濱田誠一, 川森博史, 大澤賢人, 仁科健二: 北海道沿岸域の地質・底質環境－3－ (日本海北部海域). 付図20万分の1. 北地研報. 31, 1-58. (2003)
  - 29) 福田敏光, 山下 豊: 宗谷海峡・利礼海域に分布するミズダコについて. 北水試月報 35, 1-24 (1978)
  - 30) 佐藤恭成, 依田 孝. 津軽海峡域におけるミズダコの漁獲動向と移動回遊について. 北水試研報. 56, 119-124 (1999)

# アサリ (*Ruditapes philippinarum*) に寄生するパーキンサス属原虫 (*Perkinsus* sp.) の北海道における感染状況とその感染性について

西原 豊<sup>\*1</sup>

Infection of protozoan *Perkinsus* in the short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) on the Hokkaido coastal region and the infection examination.

Yutaka NISHIHARA<sup>\*1</sup>

The Ray's fluid thioglycollate medium (RFTM) assay technique was used to study *Perkinsus* infection in the short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) in the Hokkaido coastal region between 1999 and 2001. Formation conditions for the *Perkinsus* zoospore were observed, with particular attention to favorable temperature and salinity ranges. The zoospore was then cultured with short-necked clam tissues and experimentally infected into short-necked clam, Japanese scallop (*Patinopecten yessoensis*), Japanese oyster (*Crassostrea gigas*), and Ezo abalone (*Haliotis discus hannai*) at various temperatures.

The protozoan was not detected in the Pacific Ocean or the Okhotsk Sea, but it was detected at all tested locations in the Sea of Japan. No effect on zoospore formation was observed to result from variation in salinity (0-3%). In the laboratory, zoospore formation was observed at 20°C and 25°C, but not at 15°C. In the lab portion of the study, however, when *Perkinsus* infection was attempted at 20°C infection was not confirmed in any of the four tested species. At 25°C, however, infection was confirmed in the short-necked clam.

キーワード：アサリ，寄生，パーキンサス属原虫，感染域，感染試験，北海道

## まえがき

パーキンサス属原虫はアピコンプレックス門に属する原虫で、これまでにアメリカガキ (*Crassostrea virginica*) に寄生する *Perkinsus marinus*<sup>1, 2)</sup>，アワビ類に寄生する *P. olseni*<sup>3)</sup>，ホタテガイ (*Patinopecten yessoensis*) に寄生する *P. qugwadi*<sup>4)</sup> などが知られており，いずれも宿主である貝類の大量斃死を招くことが知られている。アサリ類で海外における寄生報告として，1987年にポルトガルでアサリの一種である *Ruditapes decussatus* の大量斃死が発生した際に *P. atlanticus* の寄生が原因とされている<sup>5)</sup>。一方，日本国内では1998年に熊本県と広島県のアサリ (*R. philippinarum*) にパーキンサス属原虫が寄生しているとの報告があった<sup>6, 7, 8)</sup>。1999年に浜口<sup>9)</sup> は全国78地点のアサリおよびヒメアサリ (*R. variegates*) を調査し，

北海道の道東，道北地区を除いた全ての地点で本原虫の寄生を確認した。

本研究では，さらに調査地点を増やし北海道周辺海域のアサリのパーキンサス属原虫の詳細な感染状況の確認をすると共に，遊走子形成条件および感染性を検討したので報告する。

## 材料および方法

道内15か所からアサリを採取し，Rayの方法<sup>10)</sup>をChoi *et al.* が改変を加えたRay's fluid thioglycollate medium (RFTM) 法<sup>11)</sup>でパーキンサス属原虫の栄養体 (trophozoites) を培養し，前遊走子嚢 (prezoosporangia) を形成させることにより本原虫の検出を試みた。また，パーキンサス属原虫の前遊走子嚢から遊走子嚢

(zoosporangia) を経て遊走子 (zoospore) の形成を試み、その形成適正条件を培養温度と塩分濃度の点から調べた。さらに、形成された遊走子を用い、アサリに対する感染条件を調べると共に、北海道内における重要資源であるホタテガイ、マガキ (*Crassostrea gigas*)、エゾアワビ (*Haliotis discus hannai*) に対する感染試験を行った。

## 1. 北海道沿岸における感染域

1999年に日本海側の江差、小樽市忍路の2地点、2000年は津軽海峡の上磯、日本海側中部の石狩市厚田、北部日本海側の稚内、利尻町礼文の2地点、オホーツク海側として枝幸、紋別、網走の3地点および北部太平洋側として浜中、散布、厚岸の3地点、2001年は石狩川の河口縁辺部と太平洋側の静内からアサリを採取した (Fig.1)。1地点12~24個を中央水産試験場に輸送し、RFTM法を用いて栄養体から前遊走子嚢の培養を行いパーキンサス属原虫の検出を試みた。

RFTM法による栄養体の培養は、外套膜および鰓組織の一部をペニシリンGカリウム 500単位/mL、硫酸ストレプトマイシン 500 $\mu$ g/mLを含むチオグリコレート培地で25 $^{\circ}$ C、5日間暗所で培養し、ルゴール液で染色後、前遊走子嚢の観察を行った。栄養体の観察は光学顕微鏡を用い、200倍で1サンプルにつき100視野を観察し、前遊走子嚢が観察されないものを陰性とした。以下の試験でも同様の方法で行った。

## 2. 遊走子の形成条件

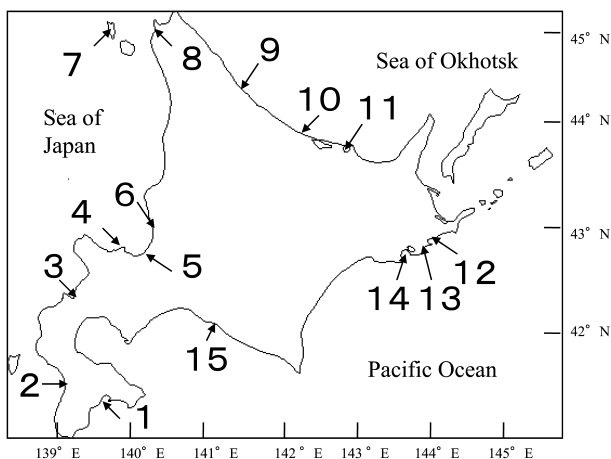


Fig.1 Location of collection sites for Short-necked clam used in this study. 1:Kamiiso, 2:Esashi, 3:Suttsu, 4:Oshoro, 5:Ishikari, 6:Atsuta, 7:Rebun, 8:Wakkanai, 9:Esashi, Okhotsk, 10:Monbetsu, 11:Abashiri, 12:Hamanaka, 13:Chirippu, 14:Akkeshi, 15:Shizuna

遊走子を形成する温度と塩分濃度条件を調べた。RFTM法で培養した前遊走子嚢を24穴プレートに収容し、4000単位/mLのペニシリンGカリウムと硫酸ストレプトマイシンを含む滅菌人工海水 1 mLを加え25 $^{\circ}$ Cで24時間培養後、人工海水を捨てて、新たに培養培地<sup>12)</sup> (DMEM: Ham's F12 = 2:1, 5%仔牛血清, 人工海水)を1 mL加え15 $^{\circ}$ C, 20 $^{\circ}$ Cおよび25 $^{\circ}$ Cで7日間培養し、前遊走子嚢の細胞分裂と、遊走子形成の有無を確認した。

塩分濃度の検討を行うために、滅菌人工海水 1 mLを加え25 $^{\circ}$ Cで24時間培養後、人工海水を捨て塩分濃度をそれぞれ0%, 7.5%, 15%, 22.5%に調整した培養培地を1 mL加え、25 $^{\circ}$ Cで7日間培養し、前遊走子嚢の細胞分裂と、遊走子形成の有無を確認した。

## 3. 遊走子を用いた感染試験

### 3. 1. アサリ

飼育水槽には、底面に砂を敷いた10L容量の亚克力水槽を用いた。飼育水は中央水産試験場の立地する余市沖から取水したろ過海水を用いた。また感染実験に用いたアサリは、前項1であらかじめパーキンサス属原虫が陰性であることを確認した地域のアサリを用いた。飼育中はエアレーションを施し、キートセラスを適宜給餌した。

試験1として、平均殻長47.2mmのアサリ5個体を飼育水槽に収容し、前項2の方法で用意したパーキンサス属原虫遊走子液を1 mL加え20 $^{\circ}$ Cと25 $^{\circ}$ Cで24時間浸漬した後、飼育水を全交換し、それぞれの温度で3日間恒温器内において止水で飼育し、7日間に2回を目安に、同温度に調整した飼育水を全交換した。止水飼育終了後、約20 $^{\circ}$ Cの流水で30日間飼育した。飼育終了後、鰓と外套膜をRFTM法で培養し、栄養体の形成の有無を確認した。さらに栄養体の形成が確認された個体については、定法により組織切片標本作製し、パーキンサス属原虫の組織内での感染形態を確認した。

試験2として、飼育水槽を2水槽用意し、平均殻長40.6mmのアサリを各5個体ずつ収容し、パーキンサス属原虫遊走子液を1 mL加え20 $^{\circ}$ Cで24時間浸漬した後、20 $^{\circ}$ Cの流水で69日間飼育した。飼育終了後、鰓と外套膜をRFTM法で培養し、感染成立の有無を確認した。

### 3. 2. 他種貝類

10L容量の亚克力水槽に平均殻長17.1mmのホタテガイ稚貝20個体と平均殻長39.2mmのマガキ10個体をそれぞれ収容し、パーキンサス属原虫遊走子液を1 mL加え20 $^{\circ}$ Cで24時間浸漬した後、約20 $^{\circ}$ Cの流水で30日間飼育した。飼育中はキートセラスを適宜給餌した。飼育終了後、鰓

と外套膜をRFTM法で培養し、感染成立の有無を確認した。

エゾアワビでは、10L容量の亚克力水槽に平均殻長29.1mmのエゾアワビ稚貝10個体を収容し、アサリのパーキンサス属原虫遊走子液を1mL加え20℃で24時間浸漬した後に飼育水を全交換し、恒温器内で33日間止水飼育した後、約20℃の流水で101日間飼育した。飼育中はアワビ用配合餌料を適宜給餌した。飼育終了後、鰓と外套膜をRFTM法で培養し、感染成立の有無を確認した。

## 結果

### 1. 北海道沿岸における感染域

栄養体の培養の結果、上磯、江差、寿都、小樽市忍路、石狩川河口縁辺部、石狩市厚田、稚内、札文で採取されたアサリから前遊走子嚢 (Fig.2) が観察された。各地点ごとの感染率をTable 1に示した。感染率は石狩川の河口縁辺部の20%を除くと80%以上と高率であり、特に江差、小樽市忍路、稚内、札文では調査したすべてのアサリに寄生が確認された。一方、江差、紋別、網走、浜中、散布、厚岸、静内で採集されたアサリからは本原虫は観察されなかった。

### 2. 遊走子の形成条件

25℃区では培養液接種から56時間後に前遊走子嚢の細胞分裂と遊走子の放出を確認した。20℃区では80時間後から一部で細胞分裂が確認され、96時間後から遊走子 (Fig.3矢印) の放出が確認された。15℃区では細胞分裂も確認されず、遊走子の放出も確認されなかった (Table 2)。

また塩分濃度を0%, 7.5%, 15%, 22.5%と調整した培養培地のいずれでも56時間後から遊走子の放出が確認され、塩分濃度の違いによる遊走子形成能に差は見られなかった。

### 3. 遊走子を用いた感染試験

#### 3. 1. アサリ

試験1では、25℃区、20℃区のいずれの区においても飼育中の死亡は確認されなかった。25℃区では試験に用いた5個体全ての鰓および外套膜からRFTM法で栄養体が検出された。また、組織切片標本の観察からも、結合組織内にパーキンサス属原虫の寄生形態である栄養体を確認された (Fig.4)。一方、20℃区では5個体全て陰性であった。

20℃における流水状態による試験2では、1個体の死亡が確認されたが、感染は確認されなかった。飼育終了

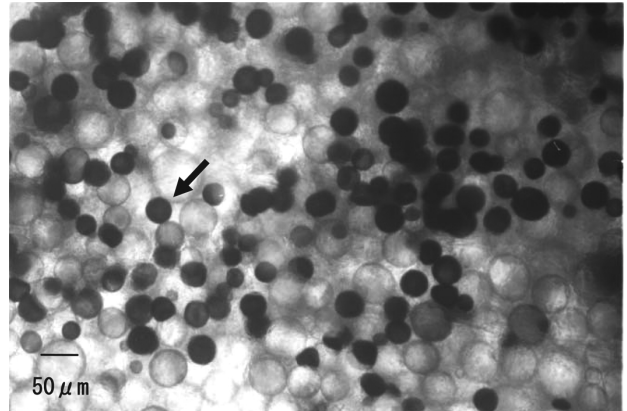


Fig.2 Prezoosporangia of the organism in *Ruditapes philippinarum*. Mantle tissue stained with Lugol's iodine solution (arrow)

Table 2 The rate of detection of prezoosporangia infected into short-necked clam in Hokkaido.

| Location No. | Site            | Sampling Date | N  | Size $\pm$ SD (mm) | Positive rate (%) |
|--------------|-----------------|---------------|----|--------------------|-------------------|
| 1            | Kamiiso         | 2000/4/20     | 15 | 25.2 $\pm$ 5.3     | 93                |
| 2            | Esashi          | 1999/10/20    | 24 | 30.4 $\pm$ 3.1     | 100               |
| 3            | Suttsu          | 2001/5/1      | 20 | 33.2 $\pm$ 2.6     | 80                |
| 4            | Oshoro          | 1999/10/27    | 23 | 33.2 $\pm$ 4.0     | 100               |
| 5            | Ishikari        | 2001/10/11    | 20 | 21.6 $\pm$ 1.6     | 20                |
| 6            | Atsuta          | 2000/2/7      | 12 | 34.8 $\pm$ 3.4     | 83                |
| 7            | Rebun           | 2000/6/20     | 20 | 28.8 $\pm$ 5.9     | 100               |
| 8            | Wakkanai        | 2000/6/1      | 20 | 36.6 $\pm$ 3.2     | 100               |
| 9            | Esashi, Okhotsk | 2000/8/17     | 20 | 32.3 $\pm$ 1.4     | 0                 |
| 10           | Abashiri        | 2000/9/13     | 20 | 39.9 $\pm$ 1.8     | 0                 |
| 11           | Monbetsu        | 2000/10/26    | 20 | 34.2 $\pm$ 6.5     | 0                 |
| 12           | Hamanaka        | 2000/9/12     | 20 | 42.2 $\pm$ 2.6     | 0                 |
| 13           | Chirippu        | 2000/9/27     | 20 | 45.9 $\pm$ 2.0     | 0                 |
| 14           | Akkeshi         | 2000/9/12     | 20 | 36.2 $\pm$ 2.0     | 0                 |
| 15           | Shizunai        | 2001/10/23    | 20 | 29.3 $\pm$ 5.4     | 0                 |

後、生残個体での感染は確認されなかった。

#### 3. 2. 他種貝類

飼育期間中にホタテガイおよびマガキの死亡は観察されなかった。試験に用いた個体の鰓および外套膜から本原虫は確認されなかった。

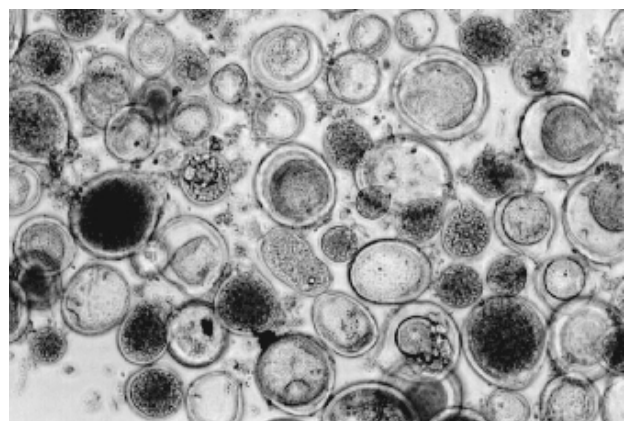


Fig.3 In vitro zoosporulation of *Penkinsus* sp. (arrow).

**Table 2** In vivo cultured zoosporangia in culture medium (DMEM : Ham's F12 = 2:1 added 5 % FCS with ASW) at 25,20,and 15°C.

| Temperature | Culture time |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |    |    |
|-------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|----|----|
|             | 8h           | 24h | 32h | 48h | 56h | 72h | 80h | 96h | 104h | 120h | 128h | 144h | 152h | 168h |    |    |
| 25°C        | -            | -   | -   | -   | +   | +   | +   | +   | +    | +    | +    | +    | +    | +    | ND | ND |
| 20°C        | -            | -   | -   | -   | -   | -   | *   | +   | +    | +    | +    | +    | +    | +    | +  | +  |
| 15°C        | -            | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -  | -  |

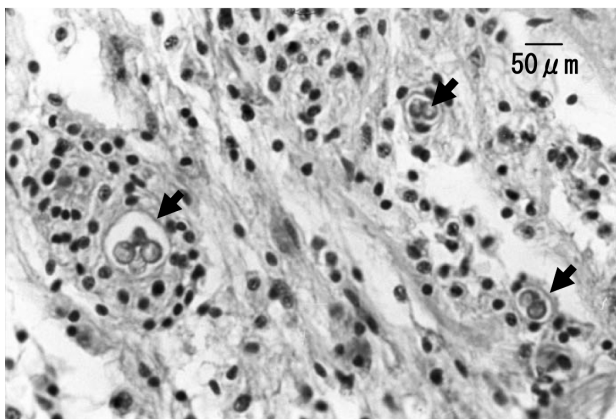
- : negative of zoospore , + : positive of zoospore , \* : confirmed cell division

またエゾアワビでも、飼育期間中に供試貝の死亡は観察されなかった。試験に用いた個体の鰓、外套膜から本原虫は確認されなかった。

## 考察

アサリに寄生するパーキンサス属原虫は、道東、道北を除くと国内ほとんどの地点に分布することが知られている<sup>6, 7, 8, 9, 13)</sup>。今回北海道沿岸のほぼ全域にわたる調査の結果、津軽海峡と日本海側の8地点で採取したアサリからパーキンサス属原虫の栄養体が観察され、このうち7地点では80–100%の高率で感染が確認された。一方、太平洋、オホーツク海側7地点で採取したアサリからは栄養体は観察されなかった。このことから、本原虫は北海道において日本海側では広く感染し、現在までのところ、太平洋、オホーツク海側では感染していないことを示している。本調査の結果は浜口ら<sup>9)</sup>の結果と一致し、これらの結果からパーキンサス属原虫の感染地域の拡散には、日本海を北上する対馬暖流が関与しているのではないかと考えられた。

アサリに寄生するパーキンサス属原虫は、遊走子が体内に侵入し、主に結合組織内で栄養体を形成し、内部で細胞分裂を繰り返す。この後、貝が死亡するなどして嫌



**Fig.4** *Perkinsus* sp. infected foci in the tissue of *Ruditapes philippinarum*.  
Arrows :Trophozoites of *Perkinsus* sp. H-E stain.

気的狀況になると前遊走子嚢に変化する。前遊走子嚢は海水中で遊走子嚢となり、遊走子を形成するという生活環を持つことが知られている<sup>14)</sup>。本研究では、前遊走子嚢から遊走子嚢を経て遊走子が放出される条件として15°C以下の水温では遊走子が形成されず、20°C以上で形成されることが明らかになった。また、遊走子を用いたアサリに対する感染試験では、25°Cで感染が認められたものの、20°Cでは全く感染が起こらなかったことから、夏期の高水温期に感染拡大することが示唆された。そこで、今回感染が確認された日本海側の江差、厚田、稚内と、感染の確認されなかったオホーツク海側の北見枝幸、網走に近いサロマ湖、太平洋側の厚岸について、1989年から1999年の過去11年間の水温を、高水温期である8月上旬から9月上旬にわたる海水温の観測記録<sup>15)</sup>から抽出し、この間の平均水温と最高水温の平均を比較した(Table 3)。この結果、高水温期の平均水温は江差23.0°C、厚田21.2°C、稚内20.5°C、枝幸19.5°C、サロマ湖19.8°C、厚岸15.6°Cであり、最高水温の平均は江差23.8°C、厚田22.1°C、稚内21.6°C、枝幸20.6°C、サロマ湖20.7°C、厚岸17.0°Cであった。このように、本原虫が未侵入である地域は感染地域に比較して夏期の水温が低く、さらに冬期の水温も地域によっては氷点下になる地区もあり、パーキンサス属原虫の感染には不適な環境であると考えられる。しかし、アサリの生育域は干潮時に干潟となる箇所もあり、これらの地域でも夏期には一時的に感染に適した温度域になる可能性も否定できない。以上のことから、本原虫の感染地域から未感染地域へのアサリの移殖は極力さけることが望ましいと考えられる。

次に、石狩川河口縁部から採取したアサリの感染率が著しく低いことから、遊走子形成に塩分濃度が依存するのではないかと考えた。そこで、前遊走子嚢から遊走子嚢の形成を経た後に遊走子を作成する際に、培地成分から人工海水を0%から75%の4段階、塩分濃度にして0%から22.5%に調整した実験区を設け、遊走子形成能の比較を行った。この結果、すべての実験区において100%人工海水で調整した培地と同様に遊走子の形成が確認された。このことから、塩分濃度は遊走子嚢から遊走子の形成に対する影響はないと考えられたが、塩分濃度が前遊走子嚢から遊走子嚢の形成に関する影響、および形成された遊走子の宿主に対する感染性の強弱に何らかの影響を及ぼす可能性は、この実験だけで全て説明することは無理があり、今後の課題となった。

パーキンサス属原虫は一般的に宿主に対する感染特異性があると考えられているが、近年の研究ではアサリに感染するパーキンサス属原虫である*P. atlanticus*と、アワビに感染する*P. olseni*は極めて近縁ではないかとされ

Table 2 Average sea water temperature during high temperature period from the beginning August to the beginning September at 6 sites in Hokkaido, during 1989 to 1999.

| Site            | Mean sea water temperature(°C)±SD |            |
|-----------------|-----------------------------------|------------|
|                 | Maximum temp.                     | Mean temp. |
| Esashi          | 23.8±1.4                          | 23.0±1.6   |
| Atsuta          | 22.1±1.0                          | 21.2±1.4   |
| Wakkanai        | 21.6±1.1                          | 20.5±1.5   |
| Esashi, Okhotsk | 20.6±1.3                          | 19.5±1.5   |
| Saroma          | 20.7±1.4                          | 19.8±1.6   |
| Akkeshi         | 17.0±2.0                          | 15.6±2.5   |

ている<sup>16)</sup>。そこで、本道で貝類の重要資源であるホタテガイ、マガキ、エゾアワビに本原虫が感染するかを調べたが、いずれも感染は認められなかった。今回の試験ではアサリで感染成立しない20℃で行ったため、特殊な高水温時の環境では感染成立の可能性は完全には否定できないが、一般的なこれら貝類の生育環境では、本原虫は感染しないものと考えられた。ただし、ホタテガイに寄生する *P. qugwadi*<sup>4)</sup> のように、現地に生息していた貝類等に不顕感染していた原虫が、ホタテガイに顕著な病原性を示したものと考えられている例もあり、他の地域から生物を移植することにより、全く別の生物に対して甚大な被害を与える可能性から、移植に際しては十分な注意が必要である。

今後の課題として、定時的な調査により感染の認められていない地域のアサリを検査し、パーキンサス属原虫の感染拡大の有無を確認する必要があると考えられる。また、本研究に取り組んだ当時はアサリのパーキンサス属原虫の種の同定方法が確立されていなかったため一括して取り扱っていたが、今後は本道で検出されるパーキンサス属原虫の分類を行う必要があると考える。

## 要約

1999年から2001年に、北海道沿岸のアサリに寄生するパーキンサス属原虫の感染を、RFTM法を用いた栄養体の検出により調査した。また、本原虫の遊走子を形成する温度と塩分条件を調べた。さらに形成した遊走子のアサリ、ホタテガイ、マガキ、エゾアワビに対する感染性を調べた。

この結果、日本海側を中心とする8地点で本原虫に感染したアサリを確認したが、太平洋およびオホーツク海側ではいずれも確認されなかった。また、本原虫の遊走子は約20℃で形成され、塩分濃度による形成阻害等は認められなかった。さらに遊走子を用いた感染試験では、

25℃でアサリに感染したが、20℃ではアサリ、ホタテガイ、マガキ、エゾアワビに対する感染は確認されなかった。

## 謝辞

アサリの採取にご協力いただきました、各地の水産技術普及指導所および漁業協同組合に感謝いたします。

## 文献

- 1) Mackin, J.G., Owen, H.M. and Colloer, A.: Preliminary note on the occurrence of a new protistan parasite, *Dermocystidium marinum* sp. in *Crassostrea virginica* (Gemelin). *Science*, 111, 328-329 (1950)
- 2) Perkins, F.O. and Menzel, R.W.: Morphological and cultural studies of a motile stage in the life cycle of *Dermocystidium marinum*. *Proc. natl. shellfish. Ass.*, 56, 23-30 (1966)
- 3) Lester, R.G. and Davis, G.H.Q.: A new Perkinsus species (Apicomplexa, Perkinsea) from the abalone *Haliotis ruber*. *Jour. of Invertebrate Pth.*, 37, 181-187 (1981)
- 4) Blackburn, J., Bower, S.M. and Meyer, G.R.: *Perkinsus qugwadi* sp. Nov. (incertae sedis), a pathogenic protozoan parasite of Japanese scallops, *Patinopecten yessoensis*, cultured in British Columbia, Canada. *Canadian Jour. Of Zooloogy*, 76, 942-953 (1998)
- 5) Azevedo C.: Fine structure of *Perkinsus atlanticus* n. sp. (Apicomplexa, Perkinsea) parasite of the clam *Ruditapes decussates* from Portugal. *Jour. of Parasitology*, 75, 627-635 (1989)
- 6) Hamaguchi, M., Suzuki, M., Usuki, H. and Ishioka, H.: Perkinsus Protozoan infection in short-necked clam *Tapes (=Ruditapes) philippinarum* in Japan. *Fish Pathol.*, 33(3), 473-480 (1998)
- 7) Maeno, Y., Yoshinaga, T. and Nakajima, K.: Occurrence of Perkinsus Species (Protozoa, Apicomplexa) from Manila Clam *Tapes philippinarum* in Japan. *Fish Pathol.*, 34(3), 127-131 (1999)
- 8) 室賀清邦, 乾 靖夫, 松里寿彦: ワークショップ「貝類の新しい疾病」アサリのパーキンサス症. *Fish Pathology*, 34(4) 219-231 (1999)
- 9) 浜口昌己, 佐々木美穂, 薄 浩則: 日本国内におけ

- るアサリ *Ruditapes philippinarum* の *Perkinsus* 原虫の感染状況. 日本ベントス学会誌, 57, 168-176 (2002)
- 10) Ray, S.M.: A culture technique for the diagnosis of infection with *Dermocystidium marinum* Mackin, Owen and Collier in oyster. *Science*, 116, 360-361 (1952)
  - 11) Choi, K.-S., Lewis, D. H., Powell, E.N. and Ray, S.M.: The energetic cost of *Perkinsus marinus* parasitism in oysters: quantification of the thioglycollate method. *Journal of Shellfish Research*, 8, 125-131 (1989)
  - 12) Ordas, M.C. and Figueras, A.: In vitro culture of *Perkinsus atlanticus*, a parasite of the carpet shell clam *Ruditapes decussates*. *Dis. of Aquac. Org.*, 33, 129-136 (1998)
  - 13) 西原 豊: アサリに寄生するパーキンサス属原虫について, 北水試だより, 49, 10-11 (2000)
  - 14) Auzoux-Bordenave, S., Vigario, A.M., Ruano, F., Domart-Coulond, I. and Doumenc, D.: In vitro sporulation of the clam pathogen *Perkinsus atlanticus* (Apicomplexa, Perkinsea) under various environmental conditions. *Journal of Shellfish Research*, 14, 469-475 (1995)
  - 15) 社団法人北海道栽培漁業振興公社: 養殖漁場海況観測とりまとめ 第十九号～第二十九号. (1990-2000)
  - 16) 良永知義: 貝類のパーキンサス原虫症. 海洋と生物, vol.29 no.4, 321-327 (2007)



# 北海道噴火湾および日高海域から標識放流したマツカワの放流域における再捕年齢と全長について（短報）

吉田秀嗣<sup>\*1</sup>, 高谷義幸<sup>\*2</sup>, 松田泰平<sup>\*2</sup>

Recapture age and total length of tagged barfin flounder *Verasper moseri* in Funka Bay and the coastal waters of Hidaka area, southwestern Hokkaido (Short Paper)

Hidetsugu YOSHIDA<sup>\*1</sup>, Yoshiyuki TAKAYA<sup>\*2</sup> and Taihei MATSUDA<sup>\*2</sup>

キーワード：マツカワ, 標識放流, 噴火湾, 日高

## まえがき

マツカワは冷水性のカレイ類で、天然の資源量は極めて低い水準にあり、北海道内では栽培漁業対象種として、人工種苗が放流されている。著者らは、噴火湾および日高海域から放流した種苗が北海道の他に青森県から茨城県までの沿岸にも移動することを報告した<sup>1-3)</sup>。しかし、放流を実施している漁業者に対しては、種苗が放流場所およびその周辺（以下、放流域と称する）で、何歳まであるいはどれくらいの大きさまで漁獲可能なのかを示すことが重要である。そこで、本報告では噴火湾および日高海域に放流した人工種苗が、放流域で再捕される年齢および全長について検討した。

## 材料および方法

供試魚は、北海道立栽培漁業総合センター<sup>\*3</sup>および（社）日本栽培漁業協会厚岸事業場<sup>\*4</sup>で生産された0歳の人工種苗で、噴火湾では1995～1999年の10～12月に砂原町（現 森町）、森町、八雲町、長万部町、豊浦町、虻田町（現 洞爺湖町）、伊達市および室蘭市から、平均全長100～137mmの種苗にスパゲティ型標識を有眼側の背鰭基

部付近に装着して、合計85,375尾を放流した（図1）。また、日高海域では1993～1999年の12月に静内町（現 新ひだか町）、三石町（現 新ひだか町）、様似町および、えりも町から平均全長106～141mmの種苗に同様の標識を装着して、合計52,911尾を放流した。解析は漁業者と遊

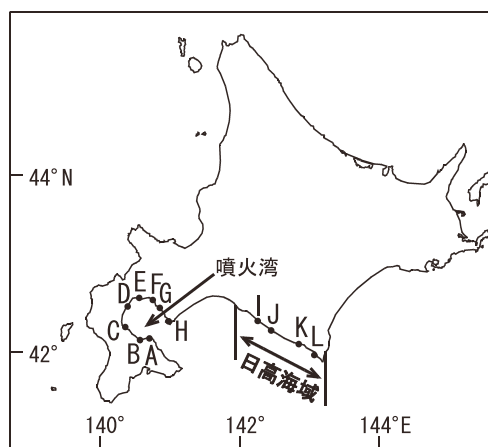


図1 マツカワ人工種苗の標識放流地点  
A：砂原町（現 森町）、B：森町、C：八雲町、  
D：長万部町、E：豊浦町、F：虻田町（現 洞爺湖町）、  
G：伊達市、H：室蘭市、I：静内町（現 新ひだか町）、  
J：三石町（現 新ひだか町）、K：様似町、L：えりも町

報文番号 A454 (2009年12月9日受理)

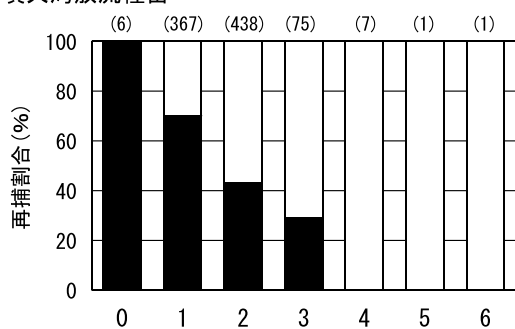
<sup>\*1</sup> 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)

<sup>\*2</sup> 北海道立栽培水産試験場 (Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station, Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan)

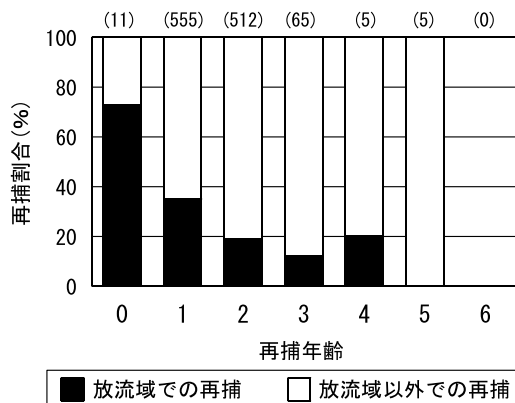
<sup>\*3</sup> 2006年4月1日に北海道立栽培水産試験場（室蘭市）に改組

<sup>\*4</sup> 現（独）水産総合研究センター北海道区水産研究所厚岸栽培技術開発センター

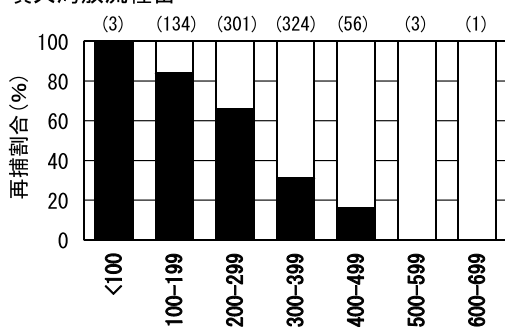
噴火湾放流種苗



日高放流種苗



噴火湾放流種苗



日高放流種苗

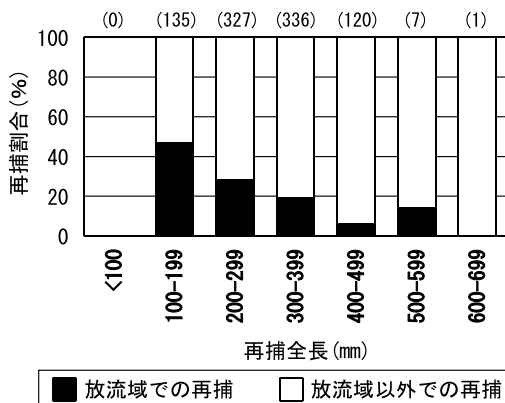


図2 再捕年齢別の放流域と放流域以外での再捕割合  
上図：噴火湾放流種苗，下図：日高放流種苗，( )  
内は再捕尾数を示す。

図3 再捕全長別の放流域と放流域以外での再捕割合  
上図：噴火湾放流種苗，下図：日高放流種苗，( )  
内は再捕尾数を示す。

漁者から寄せられた再捕報告を基に，再捕場所，年齢および全長100mmごとに再捕尾数を集計して行った。再捕場所については，放流した市町と同じ市町沖で再捕された場合を放流域での再捕とし，それ以外の場合を放流域以外での再捕とした。例えば，森町から放流した種苗が，森町沖で再捕された場合を放流域での再捕とし，森町沖以外での再捕を放流域以外での再捕とした。年齢基準日は人工種苗の孵化時期が3～4月なので4月1日とした。

## 結果および考察

噴火湾の8市町から放流した種苗（以下，噴火湾放流種苗と称する）は，合計895尾が再捕され，そのうち473尾（52.8%）が放流域で再捕された。放流域で再捕された種苗の最高齢は3歳，最大全長は475mmであり，放流域以外で再捕された種苗の最高齢は6歳，最大全長は650mmであった。また，日高海域の4町から放流した種苗（以下，日高放流種苗と称する）は，合計1,153尾が再捕され，そのうち311尾（27.0%）が放流域で再捕された。放流域で再捕された種苗の最高齢は4歳，最大全長は530mmであり，放流域以外で再捕された種苗の最高齢は

5歳，最大全長は600mmであった。

再捕年齢別に放流域と放流域以外での再捕割合を図2に示した。噴火湾放流種苗が放流域で再捕された割合は，再捕年齢が高くなるにつれて低下し，0～3歳ではそれぞれ100%，70%，43%，29%，4～6歳では0%であった。また，日高放流種苗が放流域で再捕された割合は，再捕年齢が高くなるにつれて低下する傾向が見られ，0～5歳ではそれぞれ73%，35%，19%，12%，20%，0%であった。ただし，噴火湾および日高放流種苗ともに4歳以上では各年齢の再捕尾数は7尾以下と少なかったもので，今後データの蓄積が必要である。

再捕全長100mmごとに放流域と放流域以外での再捕割合を図3に示した。噴火湾放流種苗が放流域で再捕された割合は，再捕全長が大きくなるにつれて低下し，全長100mm未満から400mm台では，それぞれ100%，84%，66%，31%，16%，500mm台と600mm台ではそれぞれ0%であった。また，日高放流種苗が放流域で再捕された割合は，再捕全長が大きくなるにつれて低下する傾向が見られ，全長100mm台から600mm台では，それぞれ47%，28%，19%，6%，14%，0%であった。ただし，噴火湾および日高放流種苗ともに全長500mm以上では各全長区分の

再捕尾数は7尾以下と少なかったので、今後データの蓄積が必要である。

以上のように、噴火湾および日高放流種苗の放流域での再捕割合は、加齢とともに低下し、また、その割合は全長が大きくなるほど低下しており、これらのことは、放流種苗は成長とともに放流域から移動・分散していくことを示唆する。

#### 文献

- 1) 吉田秀嗣, 高谷義幸, 松田泰平: 北海道噴火湾から標識放流したマツカワの移動と放流群別再捕率 (短報). 北水試研報. 73, 47-48 (2008)
- 2) 高谷義幸, 吉田秀嗣, 松田泰平: 北海道日高海域から標識放流したマツカワの移動と放流時のサイズ (短報). 北水試研報. 73, 49-51 (2008)
- 3) 高谷義幸, 吉田秀嗣, 松田泰平, 村上 修: 北海道えりも以西海域で放流したマツカワの加齢に伴う移動 (短報). 北水試研報. 75, 19-21 (2009)

## 試験研究業績（外部への発表） 平成20年度

## 資源管理部門

3-6 ヒラメの変態と眼の移動機構：岡田のぞみ（稚内水試），田川正朋（京都大） 稚魚学 多様な生理生態を探る，131-140，2008. 11

Estimating foraging area of Rhinoceros Auklets by simultaneous sampling of water temperature profiles using：Kei Matsumoto（北大院水），Tomohiro Deguchi（山階鳥類研），Akihiko Wada（稚内水試），Akiko Kato（国立極地研），Sei-ichi Satoh and Yutaka Watanuki（北大院水） *Ornithological Science* 7(1), 37-46, 2008. 6

Validation of otolith formation and the growth rate of fat greenling larvae.：城 幹昌（網走水試）他 *Aquaculture Science* 56(2), 157-166, 2008. 6

Genetic Structure of Steller Sea Lion (*Eumetopias jubatus*) Rookeries in the Sea of Okhotsk：Satoshi Koyama（岐阜大院），Shoko Fujita（東大農），adao Hirota（山形大），Toshiyuki Satoh, Yoshiaki Obara（東大農），Hiroshi Hoshino（北大創成研），Akihiko Wada（稚内水試），Vladimir N Burkanov（ロシア科学アカデミー），and Kazuo Wada *Zoological Studies* 47(6), 781-787, 2008. 11

Development of *Sebastes taczanowskii* (*Scorpaenidae*) in the Sea of Japan off Hokkaido with a key to species of larvae：Toru Nagasawa（北水研），Ryotaro Ishida, Masayoshi Sasaki（釧路水試） *The Ichthyological Society of Japan* 55(2), 124-132, 2008. 5

Evaluation of the stock management procedures for the walleye pollock in northern waters of the Sea of Japan using a simulation：山口宏史（中央水試），松石 隆（北大院水） *Fisheries Science* 74(5), 955-969, 2008. 9

卵分布からみた北海道西岸日本海におけるスケトウダラ産卵場形成の現状：三宅博哉，板谷和彦（中央水試），浅見大樹（稚内水試），嶋田 宏（中央水試），渡野邊雅道（函館水試），武藤卓志（道原環センター），中谷敏邦（北大院水）  
水産海洋研究 72(4), 265-272, 2008. 11

The evolutionary pattern of early life history in water currents：西村欣也（北大院水），星野 昇（中央水試）  
*Evolutionary Ecology* 23, 207-221, 2009. 1

北海道周辺海域におけるスルメイカの日齢と発生時期：坂口健司（釧路水試），佐藤 充（中央水試），三橋正基（釧路水試），木所英昭（日水研） 日本水産学会誌 75(2), 204-212, 2009. 3

Walleye pollack (Suketoudara) fishery management in the Hiyama region of Hokkaido, Japan：Hirotsugu Uchida, Masamichi Watanobe（函館水試）Case studies in fisheries self-governance, FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER 504, 163-174, 2008.

Pooling arrangement in comanagement: Inducing efficiency to overcome adverse conditions：Hirotsugu Uchida, Masamichi Watanobe（函館水試）IIFET 2008 Vietnam: Achieving a Sustainable Future: Managing Aquaculture, Fishing, Trade and Development, 120, 2008. 6

胃・腸を用いた食性解析：後藤陽子（釧路水試）平成19年度水産庁委託事業 国際資源調査等推進対策事業 トド資源調査 事業報告書, 85-108, 2008. 9

糞を用いた食性解析：後藤陽子（釧路水試） 平成19年度水産庁委託事業 国際資源調査等推進対策事業 トド資源調査 事業報告書，109-115，2008. 9

Genetic variation and population structure of hair crab and red snow crab inferred from molecular genetic markers. : N.Azuma（北大院水），Y. Kunihiro, J. Sasaki（栽培水試），E. Mihara（稚内水試），Y. Mihara（中央水試），T. Yasunaga（釧路水試） D-H Jin and S. Abe（北大院水） World Aquaculture 2008, 2008. 5

DNA解析によるベニズワイガニと近縁種の集団遺伝学および分子系統学：東 典子（北大院水），國廣靖志（栽培水試），三原栄次（稚内水試），柳本 卓（遠洋水研），阿部周一（北大院水） 日本動物学会北海道支部第54回大会要旨集，8，2008. 8

宗谷海峡におけるミズダコの資源変動：佐野 稔（稚内水試），坂東忠男（宗谷漁協） 第13回ベルーガ会議，2008. 8

北海道宗谷岬弁天島におけるトドの上陸数の変動とその要因：和田昭彦（稚内水試），服部 薫（北水研） 日本哺乳類学会2008年度大会プログラム講演要旨集，2008. 9

北海道雄冬岬に来遊するトドの糞分析による食性解析：後藤陽子（釧路水試），服部 薫（北水研），高山琢馬（北大院水），磯野岳臣（北水研），桜井泰憲（北大院水），丸山秀佳（釧路水試），山村織生（北水研） 日本哺乳類学会2008年度大会プログラム・講演要旨集，92，2008. 9

Genetic variation and population structure of hair crab and red snow crab inferred from molecular genetic markers : Noriko AZUMA（北大院水），Yasushi KUNIHIRO（栽培水試），Jun SASAKI（栽培水試），Eiji MIHARA（稚内水試），Yukio MIHARA（中央水試），Tomoaki YASUNAGA（釧路水試），Takashi YANAGIMOTO（遠洋水研），Deuk-Hee JIN and Syuiti ABE（北大院水） WFC 2008 Program & Abstracts, 265, 2008. 10

北海道西部日本海におけるスケトウダラ仔稚魚の分布：板谷和彦，三宅博哉（中央水試），和田昭彦（稚内水試），宮下和士（北大F S C） 2008（平成20）年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集，54，2008. 11

石狩湾系ニシンの仔稚魚期における成長・生残過程と沿岸水温：石田良太郎（釧路水試），高柳志朗（稚内水試），佐々木正義（釧路水試），田中伊織（中央水試） 2008（平成20）年度水産海洋学会発表大会講演要旨集，95，2008. 11

寿都・島牧産コウナゴの孵化時期と成長について：星野 昇（中央水試） 平成20年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集，33，2009. 1

マガレイ仔稚魚の耳石日周輪形成過程と天然稚魚の成長解析：城 幹昌（網走水試），松田泰平，佐藤敦一（栽培水試），岡田のぞみ（稚内水試） 平成20年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集，34，2009. 1

Molecular phylogeny and population genetics of red snow crab and triangle tanner crab : Noriko Azuma（北大院水），Wei Cheng, William Templin, Yasushi Kunihiro（栽培水試），Eiji Mihara（稚内水試），Takashi Yanagimoto（遠洋水研），Syuiti Abe（北大院水） 5th Lowell Wakefield Fisheries Symposium,, Biology and Management of Exploited Crab Populations under Climate Chang Abstracts, 2009. 3

1981～2007年の北海道南部から東部海域におけるスルメイカの漁獲について：坂口健司（釧路水試），澤村正幸（函館水試） スルメイカ資源評価協議会報告（平成20年度），22-31，2009. 3

ベニズワイガニと近縁種の分子集団遺伝学および分子系統学的解析：東 典子（北大院水），Wei Cheng, William

Templin, 國廣靖志（栽培水試）、三原栄次（稚内水試）、柳本 卓（遠洋水研）、阿部周一（北大院水） 平成21年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 86, 2009. 3

北海道におけるホッケ資源の漁獲動向について：星野 昇, 高嶋孝寛（中央水試）、浅見大樹, 岡田のぞみ（稚内水試）、室岡瑞恵（網走水試）、後藤陽子（釧路水試）、藤岡 崇, 渡野邊雅道（函館水試） 2009（平成21）年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 137, 2009. 3

道西日本海に分布するホッケの耳石輪紋形成周期と成長：高嶋孝寛, 星野 昇, 板谷和彦（中央水試）、三橋正基（釧路水試） 2009（平成21）年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 137, 2009. 3

北海道日本海におけるマダラの資源構造：星野 昇（中央水試） 2009（平成21）年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 138, 2009. 3

経験式にもとづく自然死亡係数の推定：松石 隆（北大院水）、山口宏史（中央水試） 2009（平成21）年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 142, 2009. 3

北海道東部太平洋に來遊するスルメイカの発生時期の経年変化について：佐藤 充（中央水試）、坂口健司（釧路水試） 2009（平成21）年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 214, 2009. 3

北海道西部日本海に來遊するスルメイカの発生時期の経年変化について：佐藤 充（中央水試）、坂口健司（釧路水試） 2009（平成21）年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 214, 2009. 3

年級間・生育場間でのマガレイ稚魚成長履歴の違い：城 幹昌（網走水試）、岡田のぞみ（稚内水試）、松田泰平, 佐藤敦一（栽培水試）、嶋田 宏（中央水試） 平成21年度日本水産学会春季大会プログラム講演要旨集, 236, 2009. 3

北海道オホーツク海沿岸におけるケガニの成長：三原栄次（稚内水試）、佐々木潤（栽培水試）、田中伸幸（網走水試）、三原行雄, 西内修一（中央水試） 平成21年度日本水産学会春季大会プログラム講演要旨集, 242, 2009. 3

北海道西部日本海海域におけるスルメイカ漁業の変化：佐藤 充（中央水試） 平成20年度スルメイカ資源評価協議会報告, 42-47, 2009. 3

## 海洋環境部門

Volume transport of the Soya Warm Current revealed by bottom-mounted ADCP and ocean-radar measurement：深町 康（北大低温研）、田中伊織（中央水試）、大島慶一郎, 江淵直人（北大低温研）、水田元太（北大院地球環境）、吉田英雄, 高柳志朗（稚内水試）、若土正暁（北大低温研） *Journal of Oceanography* 64, 385-392, 2008. 6

GIS-based multi-criteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan: I Nyoman Radiarta, 齊藤誠一（北大院水）、宮園 章（中央水試） *Aquaculture* 284, 127-135, 2008. 7

Determinants of mean length at age of spring spawning herring off the coast of Hokkaido：渡邊良朗（東大海洋研）、Dings φ r GE.（オスロ大）、田 永軍（日水研）、田中伊織（中央水試） Stenseth NC.（オスロ大） *Marine Ecology*

*Progressive Series* 366, 209-217, 2008. 9

LC-MS/MS analysis of okadaic acid analogues and other lipophilic toxins in single-cell isolates of several *Dinophysis* species collected in Hokkaido, Japan: 鈴木敏之（中央水研），宮園 章（中央水試），馬場勝寿，菅原理恵子（函館水試），神山孝史（瀬戸内水研） *Harmful Algae* 8, 233-238, 2009. 1

Transition of Plant Zone by reclamation in the Sanjiang Plain - the Meanings of Wetland Decreasing - : 室岡瑞恵（網走水試）他 2008年度 農村計画学会春期大会学術研究発表会要旨集, 49-50, 2008. 4

Spatial and seasonal distributions of copepods during spring to summer in the Okhotsk Sea off eastern Hokkaido, Japan : Asami Hiroki（稚内水試），Shimada Hiroshi, Sawada Mayumi（中央水試），Miyakoshi Yasuyuki, Ando Daise, Fujiwara Makoto, Nagata Mitsuhiko *PICES Okhotsk Sea Work Shop Program Abstracts*, 10, 2008. 8

Spatial distribution of toxic dinoflagellate, *Alexandrium tamarense* in summer in the Okhotsk Sea off Hokkaido, Japan : 嶋田 宏, 澤田真由美, 栗林貴範（中央水試），中多章文（道原環センター），宮園 章（中央水試），浅見大樹（稚内水試） *Proceedings of The 4th PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Waters*, 49, 2008. 8

北海道水産試験場による宗谷暖流域の観測：田中伊織（中央水試） 北海道大学低温科学研究所共同利用研究会「宗谷暖流の変動メカニズム」（口頭発表），2008. 9

宗谷岬沖潮流推算表の漁業への応用の可能性：佐野 稔（稚内水試），江淵直人（北大低温研），坂東忠男（宗谷漁協） 北海道大学低温科学研究所共同利用研究会「宗谷暖流の変動メカニズム」，2008. 9

Marine Broadband Framework for Coastal Fishing. : Masaaki Wada, Katsumori Hatanaka, Masashi Toda, Minoru Sano（稚内水試） *OCEANS '08 MTS/IEEE Quebec. Proceedings of OCEANS '08 MTS/IEEE Quebec(CD-ROM)*, 2008. 9

道北日本海の沿岸湧昇について ー道北域沿岸水温データベースの解析からー：江淵直人（北大低温研），佐野 稔（稚内水試） 2008年度日本海洋学会秋季大会，2008. 9

道北日本海の沿岸湧昇について ー道北域沿岸水温データベースの解析からー：江淵直人（北大低温研），佐野 稔（稚内水試） 平成20年度海洋理工学会秋季大会，2008. 11

石狩湾系ニシン放流種苗の再生産：西田芳則（中央水試） 2008年度水産海洋学会講演要旨集，70, 2008. 11

北海道南西部日本海における無機栄養塩およびクロロフィル a 濃度の中期変動：栗林貴範，嶋田 宏，澤田真由美，田中伊織（中央水試） 2008年度水産海洋学会講演要旨集，87, 2008. 11

2008年春季における北海道西岸沖の海況について：西田芳則，田中伊織（中央水試） 日本海沿岸域における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会研究報告，4-17, 九州大学応用力学研究所，2008. 12

宗谷海洋レーダ観測データのミズダコ漁業への応用：江淵直人（北大低温研），佐野 稔（稚内水試） 海洋学会 海洋レーダ研究集会，2008. 12

北海道周辺の海洋環境について：田中伊織（中央水試） 平成20年度「育てる漁業研究会（北海道における海洋環境の変化と水産資源について）」講演要旨集，3-12, 2009. 1

石狩湾湾央部定点における冬季～春季のカイアシ類群集の年変動：浅見大樹（稚内水試），嶋田 宏（中央水試），石田良太郎（釧路水試），高柳志朗（稚内水試） 平成20年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集，29，2009. 1

Seasonal variation of the water mass of the East Hokkaido Coastal Current (the Coastal Oyashio and the East Hokkaido Warm Current)：永田 豊（日本水路協会海洋情報研），小熊幸子（北水研），博田 功，相川公洋（根室市水研），田中伊織（中央水試），中多章文（道原環センター），夏目雅史（中央水試） Proceedings of the 24th International Symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice, 75-78, 2009. 2

道北日本海におけるカイアシ類の季節変動－特に水産資源生物の重要な餌生物種について－：浅見大樹，岡田のぞみ（稚内水試），栗林貴範，嶋田 宏（中央水試） 第24回オホーツク海と流水に関する国際シンポジウム講演要旨集，56-58，2009. 2

夏季北海道オホーツク海沿岸における麻痺性貝毒発生予測の試み：嶋田 宏，澤田真由美，田中伊織（中央水試），浅見大樹（稚内水試），深町 康（北大低温研） 第24回オホーツク海と流水に関する国際シンポジウム講演要旨集，61-62，2009. 2

夏季北海道オホーツク海沿岸における麻痺性貝毒発生予測の試み：嶋田 宏，澤田真由美，田中伊織（中央水試），浅見大樹（稚内水試），深町 康（北大低温研） 平成19年度水産業関係研究開発推進会議漁場環境保全関係研究開発推進特別部会赤潮・貝毒部会議事要録，23，2009. 3

炭素・窒素安定同位体比からみた北海道石狩湾における有機物の起源と特徴：栗林貴範，宮園 章，田中伊織（中央水試），南川雅男（北大地球環境） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集，145，2009. 3 （ポスター発表）

下痢性貝毒原因渦鞭毛藻Dinophysis属の葉緑体起源に関する分子生態学的研究：西谷 豪，長井 敏，馬場勝寿（函館水試），清河 進，品田晃良（網走水試），高坂祐樹，宮村 和良，西川哲也，櫻田清成，神山孝史 日本水産学会春季大会講演要旨集，94，2009. 3

北海道石狩湾における海産自由生活性線虫の群集組成と底質環境指標性：宮園 章，栗林貴範（中央水試） 2009年度日本水産学会春季大会，248，2009. 3 （ポスター発表）

夏季北海道沖オホーツク海における有毒渦鞭毛藻*Alexandrium tamarense*の現存量の経年変動要因：嶋田 宏，澤田真由美，栗林貴範（中央水試），中多章文（道原環センター），宮園 章（中央水試） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集，250，2009. 3 （ポスター発表）

北海道周辺の海洋環境：田中伊織（中央水試） 育てる漁業 352，3-7，2008. 9

## 資源増殖部門

Effects of pituitary glycoprotein hormones and thyroid hormones on in-vitro vitellogenin incorporation into organ-cultured oocytes in the Japanese eel, *Anguilla japonica*：T.Kayaba（釧路水試），N. Sasaki（道鰯化場），S. Adachi, K. Yamauchi（北大院水） ZOOLOGICAL SCIENCE 25, 334-343, 2008. 4

A systematic re-examination of four *Laminaria* species: *L.japonica*, *L.religiosa*, *L.ochotensis* and *L.diabolica*. (日本産コンブ属植物4種マコンブ，ホソメコンブ，リシリコンブ，オニコンブの分類学的再検討) N.Yotsukura（北大F S C），



S.Kawashima, T.Kawai（稚内水試）, T.Abe（北大総合博物館）, L.D.Druehl（カナダ・バムフィールド海洋科学センター） *The Journal of Japanese Botany* 83(3), 165-176, 2008. 6

一様流下におけるホソメコンブ配偶体の生長と流速の関係：川井唯史（稚内水試）, 四ツ倉典滋（北大F S C）, 桑原久実（水工研） *水産工学* 45(1), 45-47, 2008. 7

航空写真がとらえた藻場の変遷：赤池章一, 吉田秀嗣（函館水試）, 川井唯史（稚内水試）, 秋野秀樹（道原環センター）, 八木宏樹（小樽商大）, 富山 優（株パスコ） *藻類* 56, 129-138, 2008. 7

北海道えりも以西太平洋沿岸域における放流されたマツカワ人工種苗の産卵期と成熟年齢および成熟全長：吉田秀嗣（函館水試）, 高谷義幸, 松田泰平（栽培水試） *水産技術* 1(1), 49-54, 2008. 9

Effect of seawater temperature on the productivity of *Laminaria japonica* in the Uwa sea, southern Japan. : S. Suzuki, K. Furuya, T. Kawai（稚内水試） and I. Takeuchi. *Phycological Research* 20, 833-844, 2008. 10

Relationship between spat density, food availability, and growth of spawners in culutured *Mizuhopecten yessoensis* in Funka Bay : concurrence with EL Niño Southern Oscillation: 馬場勝寿, 菅原理恵子（函館水試）, 新田 尚（胆振水指）, 遠藤 圭（渡島北部水指）, 宮園 章（中央水試） *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66, 6-17, 2009. 1

マガレイ仔魚のドコサヘキサエン酸（DHA）要求：佐藤敦一（栽培水試）, 竹内俊郎（東京海洋大） *日本水産学会誌* 75(1), 28-37, 2009. 1

Estimation of the period sensitive for the development of abnormal morphology in brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini* fed live food enriched with docosahexaenoic acid.: 佐藤敦一（栽培水試）, 竹内俊郎（東京海洋大） *Fisheries Science* 75, 985-991, 2009. 7

The effect of docosahexaenoic and eicosapentaenoic acids in live food on the development of abnormal morphology in hatchery-reared brown sole *Pseudopleuronectes herzensteini*. : 佐藤敦一, 高谷義幸（栽培水試）, 竹内俊郎（東京海洋大） *Fisheries Science* 75, 1001-1006, 2009. 7

Distribution of *Zostera* species in Japan. I *Zostera marina* L.. (Zosteraceae) : Tanaka, N., Aida, S., Akaike, S.（函館水試）, Aramaki, H., Chiyokubo, T., Chow, S., Fujii, A., Fujiwara, M., Ikeuchi, H., Ishii, M., Ishikawa, R., Ito, H., Kudo, T., Muraoka, D., Nagahama, T., Nambu, T., Okumura, H., Oshino, A., Saigusa, M., Shimizu, Y., Shoji, M., Suwa, T., Suzuki, K., Takeda, K., Tanada, N., Tanimoto, T., Tsuda, F., Urabe, S., Yatsuya, K., Yoshida, G., Yoshimatsu, T., Yoshimitsu, S., Yoshimura, K., Morita, K., Saitoh, K. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science Series B (Botany)* 35 (1), 23-40, 2009. 3

北海道北部における大型多年生海藻除去後の植生：川井唯史, 合田浩朗（稚内水試）, 本家一彦（利尻水指）, 赤池章一（函館水試） 平成20年度日本水産工学会学術講演会講演要旨集, 2008. 5

マナマコ人工種苗の陸上育成技術確立試験：酒井勇一（栽培水試）他1名 平成20年度道立試験研究機関における主な研究成果（PR用ビジュアル版）, 2008. 5

マナマコ種苗生産の効率化と害虫防除：酒井勇一（栽培水試） 第1回なまこ資源管理・種苗生産推進事業技術開発検討会, 2008. 5

北海道北部における大型多年生海藻除去後の植生：川井唯史，合田浩朗（稚内水試），本家一彦（利尻水指），赤池章一（函館水試） 平成20年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，243-244，2008. 6

網走湖におけるヤマトシジミ漁業と共販体制について：田村亮一（栽培水試）第4回シジミ資源研究会，2008. 9

北海道余市湾で2007年8月に放流した人工種苗ヒラメの放流後1ヶ月間の動態：石野健吾，瀧谷明朗（中央水試）2008(平成20)年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集 78，2008. 11

マツカワ養殖試験における地域に対応した養殖サイクルと経済性の検討：森 立成（中央水試），斉藤節雄（栽培水試），小池均幸，大西博継，渡邊 徹 平成20年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集，14，2009. 1

閉鎖循環式システムによる種苗生産コストの低減化について：斉藤節雄（栽培水試） 第3回北海道エコバイオ研究会，2009. 1

イカ内蔵処理ミールの飼料価値（飼育結果）：佐藤敦一（栽培水試）他11名 平成21年度日本水産学会春季大会講演要旨集，22，2009. 3

北海道奥尻島における天然稚ナマコの分布と放流したマナマコ人工種苗の密度変化と成長：赤池章一，吉田秀嗣（函館水試） 平成21年度日本水産学会春季大会講演要旨集，33，2009. 3

免疫染色法によるホタテガイ幼生の判別技術開発：清水洋平，高島信一（栽培水試）他2名 平成21年度日本水産学会春季大会講演要旨集，79，2009. 3

A T P 濃度測定によるワカサギ卵の品質管理：田村亮一（栽培水試）他5名 平成21年度日本水産学会春季大会講演要旨集，82，2009. 3

北海道網走湖産ヤマトシジミの水温，塩分，貧酸素耐性：田村亮一（栽培水試）他4名 平成21年度日本水産学会春季大会講演要旨集，147，2009. 3

宗谷湾で採取された天然石狩湾系ニシン当歳の成長から見た人工放流種苗の放流時期について：伊藤慎悟（稚内水試），石崎裕之（利尻水指），中島幹二（稚内水試） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集，220，2009. 3

付着基質を用いた放流による稚ナマコ放流種苗サイズの検討：中島幹二，合田浩朗（稚内水試） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集，221，2009. 3

年級間・成育場間でのマガレイ稚魚成長履歴の違い：城 幹昌（網走水試）他 2009年度 日本水産学会春季大会講演要旨集，236，2009. 3

5. 水産業分野のバイオテクノロジー：斉藤節雄（栽培水試） d e c 技術資料 北海道開発技術センターVOL.0026, 70-77, 2009. 3

魚類種苗生産における餌料の栄養条件：佐藤敦一（栽培水試） 育てる漁業 428, 3-7, 2009. 1

## 加工利用部門

Effects of Fucoxanthin Addition to Ground Chicken Breast Meat on Lipid and Color Stability during Chilled Storage, before and after Cooking : 佐々木啓介（畜草研），石原健司（中央水研），福士暁彦（中央水試），佐藤暁之（釧路水試） et al. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21 (7), 1067-1072, 2008. 7

イカ内臓を用いた養魚用機能性飼料の開発：若杉郷臣（道工試），信太茂春（釧路水試），佐藤敦一（栽培水試），竹内俊郎，佐藤秀一（東京海洋大） 養殖 574, 28-31, 2009. 2

Hazard Analysis of *Listeria monocytogenes* Contaminations in Processing of Salted Roe from Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) in Hokkaido, Japan : Koichi TAKESHI（帯畜大），Masahiko KITAGAWA（釧路水試），Mutsuyo KADOHIRA（帯畜大），Shiznobu IGIMI（国立衛研） and Sou-Ichi MAKINO（帯畜大） *J. Vet. Med. Sci* 71(1), 87-91, 2009

サケ中骨のカルシウム吸収に対する加工方法の影響：秋野雅樹，蛭谷幸司，今村琢磨（網走水試），内山智幸，松嶋景一郎（道工試），原博（北大院農） 日本食品科学工学会誌 56, 155-162, 2009. 3

ヒトデ抽出物の血糖値上昇抑制作用：永井裕次郎，福盛田佳奈（北大院水），麻生真悟（釧路水試），宮崎亜希子（網走水試），北川雅彦，飯田訓之，武田浩郁（釧路水試），片山 茂，岸村栄毅，佐伯宏樹（北大院水） 第62回日本栄養・食糧学会大会要旨集，206, 2008. 5

ホッキガイの付加価値向上を目指して：菅原 玲，臼杵睦夫（中央水試） 2008年北海道食品産業総合展資料 2, 2008. 11

冷凍クジラ肉の超高压処理について：金子博実，佐藤暁之，辻 浩司，野俣 洋（釧路水試） 平成20年度水産利用関係研究開発推進会議利用加工技術部会研究会資料，32-33, 2008. 11

サケ中骨のカルシウム吸収に対するその加工方法の影響：秋野雅樹，宮崎亜希子，今村琢磨（網走水試），蛭谷幸司（釧路水試） 平成20年度水産利用関係研究開発推進会議利用加工技術部会研究会資料，80-81, 2008. 11

脱重金属イカ内臓エキスがマツカワ稚魚の摂餌に及ぼす影響：信太茂春，佐藤暁之，辻 浩司，金子博実（釧路水試） 平成20年度水産利用関係研究開発推進会議利用加工技術部会研究会資料，94-95, 2008. 11

サンマ血合肉の品質について：辻 浩司，野俣 洋，佐藤暁之，金子博実（釧路水試） 平成20年度水産利用関係研究開発推進会議利用加工技術部会研究会資料，104-105, 2008. 11

給餌飼育で毒化したホタテガイの麻痺性貝毒組成の変化：木村 稔，嶋田 宏，三上加奈子（中央水試） 平成20年度東北ブロック水産業関係研究開発推進会議 海区水産業部会 貝毒研究分科会，2008. 11

給餌飼育で毒化したホタテガイの麻痺性貝毒組成の変化：木村 稔，嶋田 宏，三上加奈子（中央水試） 平成20年度 東北ブロック水産業関係研究開発推進会議海区水産業部会・分科会報告書，26-27, 2009. 3

サイレージ貯蔵による海藻からのオリゴ糖精製条件の検討：小玉裕幸，福士暁彦，大堀忠志（中央水試） 平成20年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集，20, 2009. 1

ニシン種苗生産における卵質の検討：福士暁彦，小玉裕幸（中央水試），伊藤慎悟（稚内水試），高柳志朗（中央水試）

日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書, 41-46, 2009. 3

生化学的視点からのニシンの種苗放流技術調査：福士暁彦, 小玉裕幸（中央水試）, 佐藤暁之（釧路水試）, 瀧谷明朗, 伊藤慎悟（稚内水試） 日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書, 63-67, 2009. 3

ニシン親魚の体成分調査：福士暁彦（中央水試）, 佐藤暁之（釧路水試）, 高柳志朗（中央水試） 日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書, 119-123, 2009. 3

イカ内臓を用いた養魚用飼料の開発 II 海産稚魚に対する有効性（魚体成分）：信太茂春, 佐藤暁之, 金子博実, 辻 浩司（釧路水試） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 21, 2009. 3

イカ内臓を用いた養魚用飼料の開発 IV イカ内臓由来エキスの摂餌促進効果：信太茂春, 佐藤暁之, 金子博実, 辻 浩司（釧路水試） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 22, 2009. 3

サンマ肉の酸素ガスによる高鮮度維持技術の開発：佐藤 渡（北大院水）, 辻 浩司, 野俣 洋（釧路水試）, 埜澤尚範（北大院水） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 116, 2009. 3

サンマ冷凍すり身より調製した加熱ゲルの物性におよぼすCaCl<sub>2</sub>の影響：武田浩郁, 蛸谷幸司, 麻生真悟, 北川雅彦, 飯田訓之（釧路水試） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 121, 2009. 3

ビブリオによる海藻糖質の発酵レドックス：鐵川史人, 若林敬史, 澤辺智雄（北大院水）, 松嶋良次, 金庭正樹（中央水研）, 内田基春（瀬戸内水研）, 小玉裕幸, 福士暁彦（中央水試） 平成21年度日本水産学会春季大会, 191, 2009. 3

海洋植食動物の消化管微生物群による海藻糖質の発酵：鐵川史人, 若林敬史, 澤辺智雄（北大院水）, 松嶋良次, 金庭正樹（中央水研）, 内田基春（瀬戸内水研）, 小玉裕幸, 福士暁彦（中央水試） 平成21年度日本水産学会春季大会, 191, 2009. 3

リファイナリーシステム構築に向けた海藻原料処理技術の開発：小玉裕幸, 福士暁彦（中央水試） 平成20年度水産バイオマスの資源化技術開発委託事業報告書, 179-188, 2009. 3

## 水産工学部門

人工魚礁の規模と単位漁獲の変化：山内繁樹, 櫻井 泉, 金田友紀（中央水試）ほか 平成20年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 67-70, 2008. 5

ガラモ場生態系における付着珪藻の重要性：櫻井 泉, 山内繁樹（中央水試）ほか 平成20年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 17-20, 2008. 5

Asari clam fisheries in Hokkaido and nursery construction: Izumi Sakurai（中央水試） Abstracts of The First International Symposium on Asari Clam, 6, 2008. 10

本道周辺の浅海資源の変化と磯焼けについて：干川 裕, 高橋和寛（中央水試）ほか 平成20年度「育てる漁業研究会」講演要旨集, 35-49, 2009. 1

北海道における磯焼けの現状と対策：金田友紀（中央水試） 東大海洋研シンポジウム「藻場研究の今」講演要旨集，8，2009. 3

貝殻散布によるアサリ増殖場造成試験：櫻井 泉，福田裕毅（中央水試）ほか 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集，27，2009. 3

底質表面の藻類をアサリの餌料に利用する技術に関する研究：福田裕毅，櫻井 泉（中央水試）ほか 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集，244，2009. 3

マナマコ浮遊幼生の着底並びに稚仔の付着に及ぼす流速の影響：干川 裕（中央水試），酒井勇一（栽培水試） 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集，244，2009. 3

フシスジモクの着生・成長に及ぼす食害・光の影響：金田友紀，干川 裕（中央水試）ほか 2009年度日本水産学会春季大会講演要旨集，245，2009. 3

森林が海の水産資源に及ぼす影響について－森と海のつながりを調べる－：櫻井 泉（中央水試） 育てる漁業 No.420， 3-7，2008. 5

## 春季の石狩湾において優占するカイアシ類数種の年変動

浅見大樹, 嶋田 宏, 石田良太郎, 高柳志朗

2001年から2004年の冬季から春季にかけて、石狩湾の湾央部地点でカイアシ類数種の個体数密度の季節変化および年変動を調べた。さらに、2001年のみ湾岸部の定点で、同様の調査を実施した。各年ともに動物プランクトン個体数密度は5月に最も増加し、カイアシ類が個体数の上で90%以上を占めた。いずれの年も*Neocalanus* spp., *Pseudocalanus newmani*, および*Metridia pacifica*の3種は春季に優占する種であった。年による違いの一つとして、2001年4月に、*Oithona* spp. の出現量が多かったことが挙げられた。

A446 北水試研報 77 1-11 2010

## 石狩湾系ニシンの初回産卵年齢における年級豊度に関連した成熟割合と体サイズの変化

高柳志朗, 山口幹人, 石田良太郎

1998年～2007年秋季から冬季にかけて、主として沖合域で漁獲された石狩湾系ニシンについて、初回産卵年齢である満1歳魚の成熟割合と体サイズ（平均尾叉長）の変化を調べた。雌の成熟割合は27%～100%と大きく変化した。また、体サイズは217mm～250mmの範囲で変化した。各年級の豊度には54倍程度の大きな変動がみられた。成熟割合、体サイズおよび年級豊度について、Speamanの順位相関を用いて検討したところ、3者の間で有意な相関が認められ、豊度が高い年級では、成熟割合は低く、体サイズは小さい傾向があった。以上のことから、石狩湾系ニシンの初回産卵年齢の成熟割合や体サイズは、年級豊度と密接な関係があることが示された。

A447 北水試研報 77 13-20 2010

## 石狩湾系ニシンのVPAに基づく種苗放流および漁業管理効果の試算

山口幹人, 瀧谷明朗, 山口宏史,  
三宅博哉, 高柳志朗

石狩湾系ニシンの漁獲量は、1997年にそれ以前の100トン未満から約200トンにまで増加した。これについてVPAで解析したところ、1995年と1996年に再生産の良否の指標となるRPS（産卵親魚量当たりの加入尾数）が高く、両年に発生した年級群の豊度が高いことが要因と考えられた。RPSは、2001年にも高い値を示し、2001年級群の加入により2004年の漁獲量は1,000トンを超えた。一方、本系群ニシンについては1996年から種苗放流が、2003年からは漁業管理が実施されている。それぞれの2008漁期年度の漁獲量における効果をVPAのパラメータを用いて推定したところ、34トンと1,750トンとなった。なお、両者には相乗効果も認められた。

A448 北水試研報 77 21-27 2010

## 北海道北西部日本海沿岸における石狩湾系ニシン産卵床と藻場の分布

赤池章一, 高橋和寛, 干川 裕, 瀧谷明朗,  
津田藤典, 合田浩朗, 中島幹二, 川井唯史

1996年から2007年にかけて、北海道北西部沿岸藻場において、ニシン産卵床を探索した。産卵床は1998年以降、1地区当たり1～7カ所で確認された。調査期間中、産卵床は次第に石狩市厚田以西に形成される傾向が見られた。2002年までは水深2m以浅に産卵床が形成されたが、それ以降はより深所にも形成された。推定産卵数は特に石狩市厚田で多く、2004年には381億粒と最多であった。稚内市を除く藻場面積は169万～254万m<sup>2</sup>の範囲にあり、80%以上の藻場が水深5m以浅に分布した。産卵床として利用された藻場面積は、留萌市で4～9%、それ以外は2%以下であり、現状の石狩湾系ニシンの資源水準を維持するには十分と推察された。ただし、今後資源水準がより高まった時には局地的に不足すること考えられ、より深所での藻場造成等、対策を検討する必要がある。

A449 北水試研報 77 29-33 2010

## 北海道日本海産マダラにおける漁獲物年齢組成の推定方法

星野 昇

日本海産マダラでは、一回の漁獲物調査で得られる標本数が他魚種と比べ著しく少なく、Age-Length key法などによって漁獲物の年齢組成を推定することができていない。そこで、ALKを少数標本から確率密度関数として推定する方法を示したうえで、これまでの調査データに適用することの妥当性を、シミュレーションによって検証した。ALK推定値は妥当な正確度で算出され、実測値に基づくALKよりいくつかの利点があった。用いる標本数を増やすと正確度は上がるが、50尾以上ではさほど改善しないことが示唆された。適用事例として沖底漁業と刺し網漁業で漁獲された漁獲物の年齢・体長組成の推定を試み、良好な結果を得た。

A450 北水試研報 77 35-44 2010

## 北海道周辺海域で標識放流されたスルメイカの移動

坂口健司

1927年から2000年に北海道立水産試験場が行った北海道周辺海域におけるスルメイカの標識放流調査の結果を整理した。合計255,033個体のスルメイカが標識放流され、6,605個体の再捕が記録されていた。これらの標識放流調査結果とスルメイカの群構造にもとづいて、北海道周辺海域における回遊パターンを再検討した。スルメイカは約1年の生涯の中で、対馬暖流や黒潮の輸送の影響を受けて、日本海と太平洋を北東に移動しながら分散分布した後、暖流域を避けるように冷水域を南西に移動し、生活史の最後に再び産卵場のある暖流域に移動するように回遊していることが検証された。

A451 北水試研報 77 45-72 2010

## 地理情報システムによるミズダコの資源管理を目的とした北海道沿岸域の漁場の地理的分

佐野 稔

北海道周辺海域におけるミズダコの資源管理を目的に、地理情報システムを用いてミズダコ漁場を地理的に区分した。1985年から2004年までの各地区のミズダコ漁獲量と漁業権漁場の区画を組み合わせて、ミズダコ漁場の分布と漁獲量の経年変化の類似性を把握した。その結果、北海道周辺海域におけるミズダコ漁場が、宗谷海峡から利尻島と礼文島周辺、オホーツク海、根室海峡、北海道東部太平洋、北海道南部太平洋、噴火湾口域、津軽海峡東側、津軽海峡西側、奥尻島、北海道西部日本海、北海道北部日本海の11ヶ所に区分できた。これら漁場は、ミズダコの資源評価、資源管理を行う際の系群を決定するための一つの根拠になると思われる。

A452 北水試研報 77 73-82 2010

アサリ (*Ruditapes philippinarum*) に寄生するパーキンサス属原虫 (*Perkinsus* sp.) の北海道における感染状況とその感染性について

西原 豊

1999年から2001年に、北海道沿岸のアサリに寄生するパーキンサス属原虫の感染を、RFTM法を用いた栄養体の検出により調査した。また、本原虫の遊走子の形成条件を温度と塩分濃度を変えて調べた。さらに作出した遊走子のアサリ、ホタテガイ、マガキ、エゾアワビに対する感染性を調べた。

この結果、日本海側を中心とする8地点で本原虫に感染したアサリを確認したが、太平洋およびオホーツク海側ではいずれも確認されなかった。また、本原虫の遊走子は約20℃で形成され、塩分濃度による形成阻害等は認められなかった。さらに遊走子を用いた感染試験では、25℃でアサリに感染したが、20℃ではアサリ、ホタテガイ、マガキ、エゾアワビに対する感染は確認されなかった。

A453 北水試研報 77 83-88 2010

北海道噴火湾および日高海域から標識放流したマツカワ  
の放流域における再捕年齢と全長について（短報）

吉田秀嗣，高谷義幸，松田泰平

マツカワの0歳人工種苗にスパゲティ型標識を装着して、噴火湾および日高海域から放流した。解析は再捕報告を基に、放流種苗が放流した市町と同じ市町沖で再捕された場合を放流域での再捕とし、再捕年齢および全長100mmごとに再捕尾数を集計して行った。放流種苗が放流域で再捕された割合は、加齢とともに低下し、また、その割合は全長が大きくなるほど低下していた。これらのことから、放流種苗は成長とともに放流域から移動・分散していくことが示唆された。

A454 北水試研報 77 89-91 2010



北海道立水産試験場研究報告 第77号

---

2010年 3 月31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)

FAX 0135 (23) 3141

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

印刷所

(株)おおはし

〒046-0004 余市郡余市町大川町14丁目14番地

電話 (0135) 23-4591

---