

秋季の道東太平洋海域におけるスケトウダラ *Gadus chalcogrammus* 0歳魚の分布水深の長期変動

志田 修^{*1}, 石田良太郎², 石田宏一³, 坂口健司⁴

¹北海道立総合研究機構稚内水産試験場,

²北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場,

³北海道立総合研究機構水産研究本部 (北海道原子力環境センター駐在),

⁴北海道立総合研究機構釧路水産試験場

Inter-annual fluctuation in distribution of age-0 walleye pollock *Gadus chalcogrammus* in the southeastern Pacific coast of Hokkaido

OSAMU SHIDA^{*1}, RYOTARO ISHIDA², KOICHI ISHIDA³ and KENJI SAKAGUCHI⁴

¹ Wakkanai Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, *Wakkanai, Hokkaido 097-0001*,

² Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Eniwa, Hokkaido 061-1433*,

³ Hokkaido Nuclear Energy Environmental Research Center Office, Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, *Kyowa, Hokkaido 045-0123*,

⁴ Kushiro Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, *nakahama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0027, Japan*

Inter-annual fluctuation in the distribution of age-0 walleye pollock *Gadus chalcogrammus* in the southeastern Pacific coast of Hokkaido was examined by acoustic surveys conducted in autumn from 1997 to 2013. As a result, age-0 juveniles were widely distributed through the continental shelf to the continental slope region, where, inter-annual changes in the distribution of age-0 fish were found. A major change observed was that their distribution shifted from the continental shelf to the slope region in 1999, 2000, 2003 and 2005. It seems that age-0 pollock distribution is regulated by the size of the fish and environmental factors such as food availability and water temperature, but not by the distribution of adult pollock that are a major predator of the juveniles.

キーワード：0歳魚, 秋季, スケトウダラ, 長期変動, 道東太平洋, 分布

北方四島周辺から房総半島までの太平洋沿岸を分布域とするスケトウダラ *Gadus chalcogrammus* 太平洋系群 (Tsuji, 1989) は, その資源量が100万トンに達する (境ら, 2019) 日本最大のスケトウダラ資源である。本系群の主たる産卵場は噴火湾および噴火湾口部を含む日高湾と考えられている (Wakabayashi *et al.*, 1990)。この海域で発生した卵のうち, 噴火湾内へ輸送された個体は湾内で仔稚魚期を過ごす。全長7 cm程度まで成長した稚魚の大部分は, 海底付近に生活の場を移しながら噴火湾外に出て (中谷・前田, 1987), 8月頃までに沿岸域を通過して

りも岬以東の北海道東部太平洋海域 (以後道東海域と略す) へ移動する (志田・西村, 2002; Honda *et al.*, 2004)。その後は, 初回成熟に達する3~4歳まで道東海域および北方四島水域に分布すると考えられている (境ら, 2019)。

Virtual population analysisによって推定された本系群の資源量は, 1981年度以降90~145万トンの範囲で変動しており (1981~2014年度; 境ら, 2019), その変動は加入量の多寡に依存することが知られている (例えば Shida *et al.*, 2007)。これまで本系群の加入量変動機構に

ついて多くの議論が積み重ねられてきたが、近年、生活史初期の減耗だけではなく、海底付近に生活の場を移して以降の生活期（0歳魚期）におけるスケトウダラ、マダラ *Gadus macrocephalus* およびアブラガレイ *Atheresthes evermanni* などによる被食減耗が加入量決定に重要な役割を果たしている可能性が示唆されている（例えば Funamoto *et al.*, 2014）。特にスケトウダラは、その資源量の多さから見て最も重要な捕食者であると推測される（Yamamura *et al.*, 2001）。被食減耗が起こるためには、捕食者と被食者の分布オーバーラップが必要であることから、両者の分布を把握することは、加入量変動に及ぼす被食減耗の影響度を明らかにするうえで重要である。これまでの研究によると、スケトウダラ0歳魚の分布は、水温（中谷・前田, 1987; 志田2002）、成長に伴う変化（ontogenetic movement to deeper water: Brodeur *et al.*, 1996）、餌生物の利用しやすさ（food availability: Wilson *et al.*, 2013; Ciannelli *et al.*, 2002）、捕食者の分布（Bailey, 1989; Ciannelli *et al.*, 2002）およびこれらの組み合わせの影響を受けることが指摘されている。道東海域においても、秋季に0歳魚が大陸棚に分布すること（志田, 2002）、0歳魚の分布水深と体長に正の相関関係があることが報告されている（志田ら, 1999）。しかし、これらはいずれも1990年代後半に実施された研究であり、年変動の有無など、その後の長期的な観察結果は報告されていない。また、捕食者の分布や餌生物との関係についても、明らかにされていない。

計量魚群探知機（以降計量魚探機と略す）による資源調査は、ベーリング海のスケトウダラのように単一魚種として中底層に均一に分布する魚群に適した方法であり（宮野鼻, 2000）、これまで本系群のスケトウダラの分布や移動を明らかにすることを目的とした調査研究にも用いられてきた（例えば Honda *et al.*, 2004）。そこで本研究は、1997年から2013年に道東太平洋海域の十勝（大津）沖で実施された計量魚探機による音響データ収集とトロール網によるサンプリングを組み合わせた音響資源調査のデータを用いて、秋季のスケトウダラ0歳魚と捕食者であるスケトウダラ成魚の分布水深の長期変動を明らかにすることを目的として実施した。また、0歳魚の分布に影響を与えられと考えられる体サイズや水温、餌生物の利用のしやすさなどの環境要因について検討した。

試料（材料）と方法

音響資源調査およびトロールサンプリング 音響資源調査は、道東海域において1997年、1999～2001年、2003～2007年、2009～2011年および2013年11月に釧路水試所属

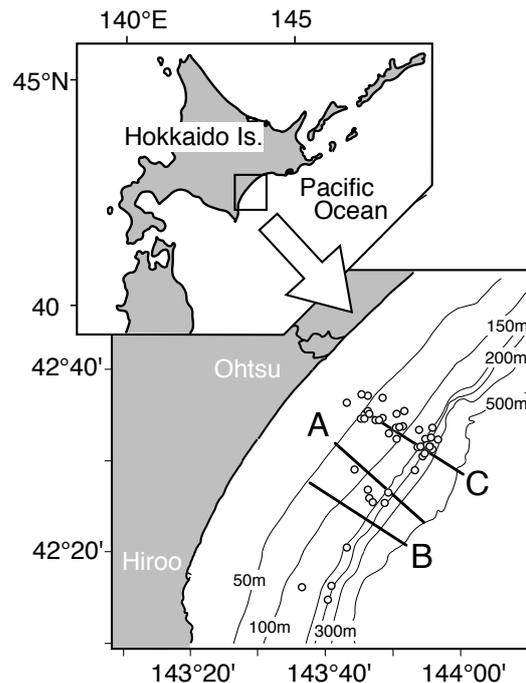


Fig. 1 Map of study area showing acoustic survey lines (bold lines, A-C) and trawl sampling stations (circles)

Table 1 Summary of the acoustic surveys.

| Year | Month | Day | Time | | Echo sounder | Survey Line |
|------|-------|-----|-------|-------|--------------|-------------|
| | | | Start | End | | |
| 1997 | Nov. | 21 | 11:35 | 12:06 | FQ-70 | A |
| 1999 | Nov. | 9 | 17:57 | 19:58 | FQ-70 | B |
| 2000 | Nov. | 7 | 17:53 | 19:26 | FQ-70 | B |
| 2001 | Nov. | 8 | 17:02 | 19:22 | FQ-70 | C |
| 2003 | Nov. | 11 | 18:09 | 19:11 | EK60 | C |
| 2004 | Nov. | 8 | 17:59 | 18:59 | EK60 | C |
| 2005 | Nov. | 11 | 19:51 | 21:05 | EK60 | C |
| 2006 | Nov. | 10 | 19:26 | 20:26 | EK60 | C |
| 2007 | Nov. | 7 | 18:43 | 19:43 | EK60 | C |
| 2009 | Nov. | 10 | 0:14 | 1:18 | EK60 | C |
| 2010 | Nov. | 11 | 16:49 | 18:21 | EK60 | C |
| 2011 | Nov. | 8 | 18:36 | 20:04 | EK60 | C |
| 2013 | Nov. | 11 | 17:56 | 19:27 | EK60 | B |

試験調査船北辰丸（216トン）を用いて実施した（Fig. 1 およびTable 1）。1998年はトロール調査による0歳魚の採集尾数が非常に少なかったこと、2008年は海況が悪く、泡切れによる計量魚探機データの航走減衰が非常に大きかったこと、2012年は音響調査を実施した海域におけるトロール調査が水深帯別に実施できなかったことから、いずれもその後の解析が困難と判断し、本研究から除外した。音響データの収録に使用した計量魚探機は1997年から2001年まではFQ-70（古野電気）、2003年以降はEK60（Simrad社）であった。計量魚探機の較正は、調査開始前に1997年はハイドロフォン（FQ-70）、それ以外の年は標準球（FQ-70およびEK60）により実施した。使用した周波数は、FQ-70が50 kHz、EK60は38 kHzである。

Table 2 Summary of the acoustic parameters used in this study.

| Parameter | Echo sounder | |
|---------------------------|--------------|------|
| | FQ-70 | EK60 |
| Frequency (kHz) | 50 | 38 |
| Pulse duration (ms) | 1.8 | 1.0 |
| Threshold (dB) | -70 | -70 |
| Integration interval (nm) | 0.1 | 0.1 |
| Attenuator (dB) | 20 | — |

Table 2に計量魚探機の主要な設定値を示す。音響データ収録は、スケトウダラが年齢またはサイズごとに等深線に沿って連続した魚群を形成すること(志田, 2002)を考慮して100 m等深線に垂直に設定した航走ライン上においてShida (2001)に従い夜間に実施した。1997年はデータ収録を日中しか実施しなかったため昼間のデータを使用した。調査期間の日出および日没時刻は、調査時期が比較的遅かった1997年はそれぞれ6:21および15:57、それ以外の年は6:03~6:09および16:06~16:11の範囲にあった。データ収録中の船速は航走ノイズを考慮して、原則FQ-70では8ノット、EK60では9ノットとした。ただし、海況が悪い場合には減速した。データ収録範囲はスケトウダラ0歳魚の分布域をカバーするように2003~2009年は水深50~300 m、それ以外の年は水深50~500 mの範囲とした。

また、航走ラインの両端および中間の1~3点において、電気伝導度水温深度計(Conductive Temperature meter以降CTDと略す、SeaBird社)により海面から海底直上までの水温および塩分を測定した。

観察された魚群反応の魚種判別と、魚群を構成するスケトウダラの尾又長および0歳魚の割合を把握するため、音響データ収録後、日中に航走ライン付近において水深帯別にトロール網による標本採集を行った。音響調査時の観察結果から、魚群反応の大部分が日中は海底付近に分布していたことから、採集には着底トロール網(網口高さ2~3 m、コード内張目合13 mm)を使用した。曳網は等深線に平行に行い、曳網時の速度は2~3ノット、曳網時間は15~20分としたが、魚群反応の非常に強い場合は最短3分、反応が微弱な場合は最長30分まで時間を調整した。また、1999年に大陸斜面域(水深214 m)の表層(25~60 m)反応を対象とした離底曳網を行った際には曳網時間を69分とした。採集物は船上で種別に分けて重量を測定し、スケトウダラは網ごとにランダムにサンプルを抽出して-20℃で凍結保存し持ち帰った。採集物にサイズのばらつきが大きい場合にはサイズ別に層化抽出を行った。

スケトウダラの生物測定および音響データの解析 持ち帰ったスケトウダラサンプルは陸上の研究室において解

凍後、ランダム抽出の場合には50ないし100尾(50尾未満の場合は全量)、層化抽出の場合は各サブサンプルについて30~100尾(30尾未満の場合は全量)の尾又長(0.1 cm単位)および体重(0.1 g単位)を測定し、年齢査定のために耳石を採集した。各個体について採集した耳石の表面を肉眼または実体顕微鏡下で観察して透明帯の有無を基準に0歳魚(透明帯が観察されない)とそれ以外を判別した。本研究では、餌生物分布に関する観察データがないことから、0歳魚の肥満度を餌生物の利用しやすさを示す指標として利用することとし、(1)式により各個体の肥満度(Condition Factor)を計算した。

$$\text{Condition factor} = \text{BW}/\text{FL}^3 \times 10^3 \quad (1)$$

ここで、BWは体重(g)、FLは尾又長(cm)を表す。

音響データ収録中に観察された魚群反応は、志田(2002)に従って分布水深とその位置の海底水深によりタイプ分けし、トロール調査の結果に基づいてスケトウダラ魚群を判別した。FQ-70により収録されたデータは、専用の解析ソフトFQ-770を用いて水平方向に0.1マイル(185.2 m)、鉛直方向に複数の深度層で積分し、スケトウダラを含む各積分層の平均体積後方散乱強度SV(dB)を出力した。この値から(2)、(3)式により0.1マイル平均の面積後方散乱係数 S_A (m^2/nmi^2)を算出した。

$$\text{Sv} = 10^{\frac{\text{SV}}{10}} \quad (2)$$

$$\text{S}_A = 1852^2 \times 4\pi \int_{z=r_2}^{z=r_1} \text{Sv} dz \quad (3)$$

ここで、 z は深度、 r_1 および r_2 は積分層の上限および下限深度を表す。

EK60により収集されたデータは解析ソフトEchoview(ver.6. Myriax社)を用いてスケトウダラ魚群と判別された反応を抽出し、0.1マイル平均の S_A を出力した。

スケトウダラの年齢別分布密度(D_i :尾/ m^2)または尾又長範囲別分布密度の推定は、0.1マイル平均のデータを用いて(4)式により行った。

$$D_i = \left(\frac{S_A}{\sigma} \right) \times F_i \times \frac{1}{1852^2} \quad (4)$$

ここで、 F_i は魚群に対応するトロール調査の標本から得られた i 歳魚(または尾又長 i cm以上の魚)の割合を表す。本研究では、スケトウダラの共食いが起こる最小の捕食者と被食者の体長比が1.7であること(Yamamura *et al.*, 2001)、後述するように調査時期のスケトウダラ0歳魚の尾又長が最も大きかった年で平均15 cm程度であったことから、尾又長30 cm以上のスケトウダラ(3歳以上; 境ら, 2019)を潜在的捕食者とみなしてその分布密度についても推定した。スケトウダラ魚群の平均音響散乱断

面積 $\langle\sigma\rangle$ は, Simmonds *et al.* (1992) に従い, 尾叉長組成を用いて (5) および (6) 式により計算した。

$$TS_j = 20 \log(FL_j) + TS_{cm} \quad (5)$$

$$\langle\sigma\rangle = 4\pi \sum_k f_j \times 10^{\frac{TS_j}{10}} \quad (6)$$

ここで, FL_j は j 番目の体長階級の間値, f_j は j 番目の体長階級に属する個体の割合を示す。 TS_{cm} はFoot and Traynor (1988)に従い-66とした。本研究では, 海域を水深に基づいて大陸棚内側 (Inner-continental shelf) : $50 \text{ m} \leq \text{水深} < 80 \text{ m}$, 大陸棚外側 (Outer-continental shelf) : $80 \text{ m} \leq \text{水深} < 130 \text{ m}$, 大陸斜面 (大陸棚の外縁部を含む, Continental slope) : $130 \text{ m} \leq \text{水深} < 300 \text{ m}$ の3つの領域に区分して航走ライン上の各領域に分布するスケトウダラ0歳魚および0歳魚の捕食者となりうる尾叉長30 cm以上のスケトウダラの分布尾数を (7) 式により算出し, この値から各領域における分布割合を求めた。

$$\text{Abundance}_k = D_i \times L_k \quad (7)$$

ここで

Abundance_k は領域 k の分布尾数, L_k は領域 k の航走ライン長(m)を表す。

結果

スケトウダラの分布 航走ライン上において観察された魚群の例をFig.2に示した。調査海域は, 沿岸から水深130 m前後まで緩やかに傾斜する大陸棚を有し, その後傾斜が急になり大陸斜面に接続する。魚群はいずれの調査年においても水深50~130 mの大陸棚上の海底付近 (Fig.2白矢印) およびそれより沖側の大陸斜面上の海底付近から中層域にかけて観察された。大陸斜面の魚群反応は薄い雲状で, 高さは年によって100 m以上に達し, その分布深度は概ね150~300 mの範囲にあった (Fig.2黒矢印)。これらの反応を対象として航走ラインの周辺

海域において, 延べ40回の着底トロール曳網と3回の離底曳網を行った (Fig.1)。1999年に実施した海底水深200 mの海域の深度25~60 m層に分布した層状反応を対象とした離底曳網では魚類は採集されなかった。このような海面付近の反応は魚類ではなく, 気泡を有するプランクトン等によるものと考えられた。また, 水深200 mの海域において, 海底から網をやや浮かせて操業した2005年および2007年の2回はいずれもスケトウダラのみが採集された。着底曳網時には, 海底直上の魚探機の探知範囲外に分布するマダラ, カレイ類およびカジカ類等を除くと, 採集尾数および重量の90%以上をスケトウダラが占めていたことから, これらの曳網結果に対応する魚群反応は全てスケトウダラ由来として取り扱った。一方, 1999, 2000, 2004, 2005および2010年の水深100 m以浅海域における曳網では, スケトウダラの漁獲尾数が少なく, ホッケ *Pleurogrammus azonus*, ハタハタ *Arctoscopus japonicus*, シシヤモ *Spirinchus lanceolatus*, キュウリウオ *Osmerus mordax dentex* およびソイ類が66~97%を占めていた。これらの年・海域におけるスケトウダラの分布尾数は便宜的にこれらの魚種とスケトウダラの重量比を乗じて推定した。

音響調査データとトロール調査結果から推定したスケトウダラ0歳魚の領域別 (先に定義した, 大陸棚内側, 大陸棚外側および大陸斜面) 分布割合の推移 (Fig.3) を見ると, 調査年による大きな変動が認められた。調査した13年のうち, 1997, 2001, 2004, 2006, 2007, 2009~2011および2013年の9年間は0歳魚の大陸棚の分布割合が76~100%を占めていた。2003年は大陸棚の分布割合が48%と斜面域と同程度であった。これらの年とは逆に2005年は69%, 1999および2000年は99%以上が大陸斜面に分布していた。また, 大陸棚の分布割合が高かった9年の中では, 大陸棚内側の分布割合が67~99%と高い年 (2006, 2009, 2011および2013年), 大陸棚内側と外側の分布割合が同程度の年 (1997, 2001, 2007年), 大陸棚外側の割合が76および81%と高い年 (2004および2010

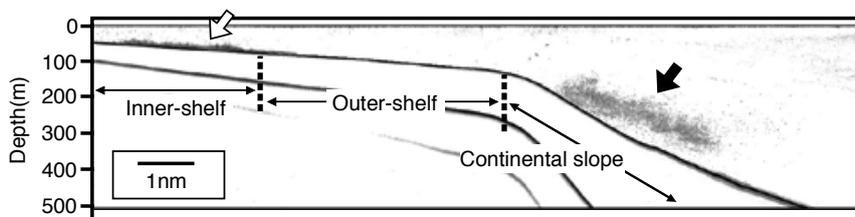


Fig.2 The typical echogram along the transect line obtained from the acoustic survey conducted in November 2011 in the southeastern Pacific coast of Hokkaido.

The white arrow shows the echosign from walleye pollock on the bottom in the continental shelf region. The black arrow shows the echosign from walleye pollock in the mid-water in the continental slope region.

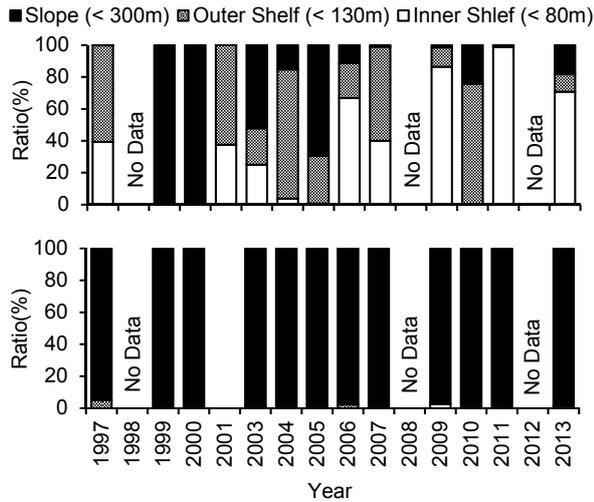


Fig. 3 Changes in distribution pattern of age-0 walleye pollock (upper panel) and adult pollock (FL>30 cm: lower panel) in the southeastern Pacific coast of Hokkaido from 1997 to 2013.

年) とバリエーションがあった。

一方、スケトウダラ0歳魚の捕食者と考えられる尾叉長30 cm以上のスケトウダラは、いずれの年においてもその95%以上が大陸斜面に分布しており、年による分布割合の大きな変化は観察されなかった (Fig. 3)。

スケトウダラ0歳魚の尾叉長および肥満度 各調査年に採集されたスケトウダラ0歳魚の平均尾叉長をFig. 4に示した。トロール調査により採集されたスケトウダラ0歳魚の尾叉長は7.3~17.3 cm, 曳網毎の平均値は10.2~15.0 cmの範囲にあった。調査年間で比較すると、1997年の平均値が15.0 cmと最も大きく、主分布域が大陸斜面にあった4年, すなわち2005年 (13.7 cm), 1999 (13.0, 13.4 cm) と2000 (12.9, 13.6 cm) および2003年 (12.5, 13.4 cm) の大陸斜面で採集された標本がこれに次いでいた。一方、2006年 (10.2~10.8 cm) および2004年 (10.5~11.0 cm) の大陸棚で採集された標本と2013年 (10.2~10.6 cm) の標本の値は小さかった。大陸斜面で採集さ

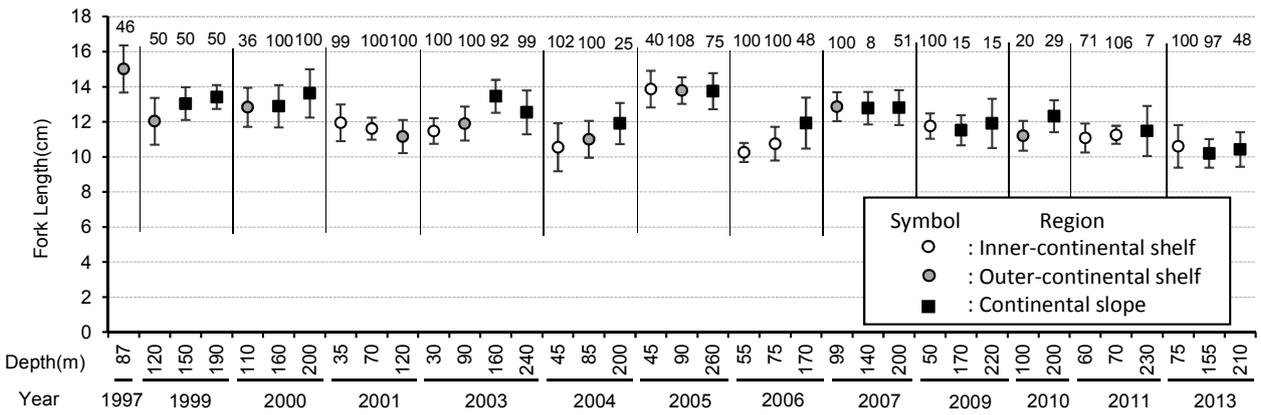


Fig. 4 Interannual and depth variations in the fork lengths of age-0 walleye pollock in the southeastern Pacific coast of Hokkaido from 1997 to 2013. Symbols and vertical bars represent mean \pm standard deviation. Numbers above symbols show the number of samples.

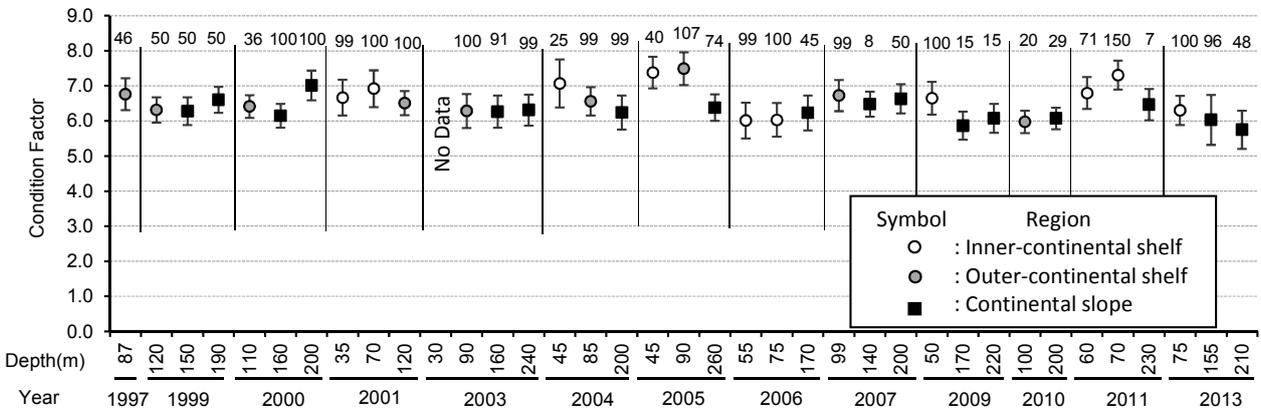


Fig. 5 Interannual and depth variations in the condition factors of age-0 walleye pollock in the southeastern Pacific coast of Hokkaido from 1997 to 2013. Symbols and vertical bars represent mean \pm standard deviation. Numbers above symbols show the number of samples.

れた標本間で比較した場合は、2005年が最も大きく、1999、2000および2003年がこれに次いでおり、大陸斜面に主たる分布域があったこれら4年が上位を占めた、一方、最も小さかったのは2013年(10.2, 10.4 cm)で、2011(11.5 cm)、2009(11.5, 11.9 cm)および2004年(11.9 cm)が次いでおり、これらはいずれも大陸棚の分布割合の高い年であった。一方、大陸棚で採集された標本間

で比較すると、1997年が最も大きく、2005(13.8, 13.9 cm)、2007(12.9 cm)、2000(12.8 cm)、1999年(12.0 cm)がこれに次いでいた。これらのうち、1997および2007年は大陸棚に主分布域のある年であった。また、最も小さかった2006(10.2, 10.8 cm)、これに次ぐ2004(10.5, 11.0 cm)、2013(10.6 cm)、2011(11.1, 11.3 cm)、2010年(11.2 cm)はいずれも大陸棚の分布割合の高い

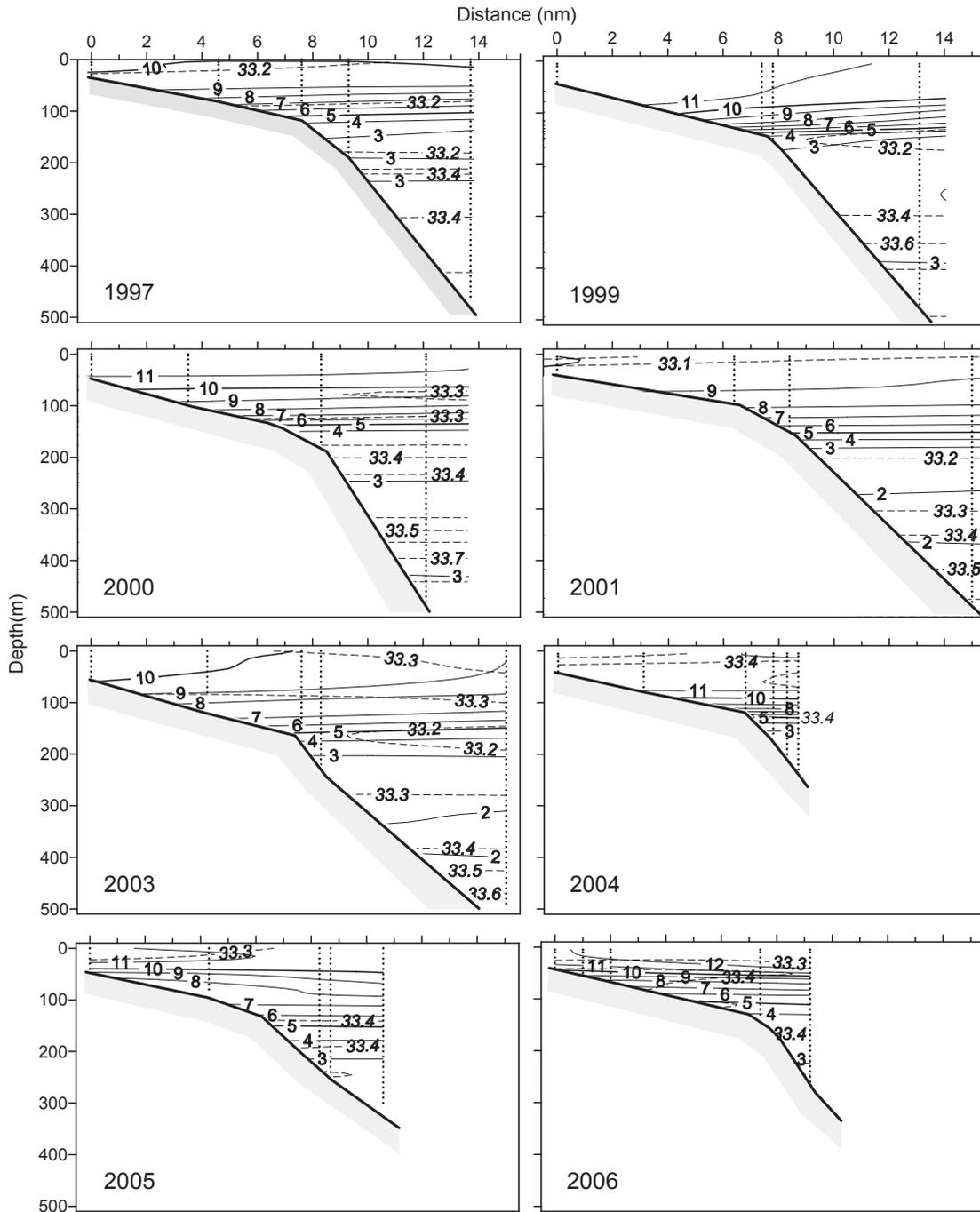


Fig.6-1 Vertical water temperature (deg-C, solid lines) and salinity (dotted lines) profiles along transects in November in the southeastern Pacific coast of Hokkaido from 1997 to 2006
Bold vertical dotted lines indicate the CTD stations.

年であった。また、同一調査年の中で比較すると、採集水深の増加に伴って平均値の増加が見られる年（1999, 2000, 2003, 2004および2006年）と、変化がないか、水深との明瞭な関係が見られない年（2005, 2007~2010および2013年）、水深の増加に伴って平均値が小さくなる年（2001年）が観察された。

Fig.5にスケトウダラ0歳魚の肥満度を示した。肥満度の平均値は5.7~7.5の範囲にあった。調査年間で平均値を比較すると、2005年における大陸棚で採集された標本の値（7.4, 7.5）が最も高く、次いで2011年の水深70 m点の7.3, 2004年の水深45 mの7.1の順であった。尾叉長と異なり、大陸斜面に主分布域のあった年の標本の値が上位を占めることはなかった。一方、2013年の大陸斜面における水深210 m点の5.8が最も低く、2009年の170 m点の5.9がこれに次いでいた。大陸斜面の標本間で比較すると、2000年の水深200 m点における7.0が最も高く、

2007年の水深200 mおよび1999年の水深190 m点がこれに次いでいた。大陸棚で採集された標本で比較すると2005年が最も高く、2011年の水深70 m点, 2004年の水深45 mがこれに次いでおり、2010年の水深100 m点, 2006年の水深55 mおよび75 m点の6.0が最も低かった。同一調査年で見ると、2004年および2013年は水深の増加に伴って肥満度が低下したが、それ以外の年は変化がないか、水深との間に一定の傾向が認められなかった。

水温、塩分の分布 各調査年におけるトランセクト上の水温塩分鉛直分布をFig.6に示した。調査海域の表層（深度10 m）水温は8.4~13.2℃、塩分は32.69~33.50の範囲にあった。大陸棚の水深50 mにおける海底付近の水温は9~11℃であり、水温は水深が増すごとに低下した。水温の鉛直変化は年により異なり、1997, 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009は大陸棚外縁部まで比較的緩やかに低下した。一方、1999および2004は水深130 m付近

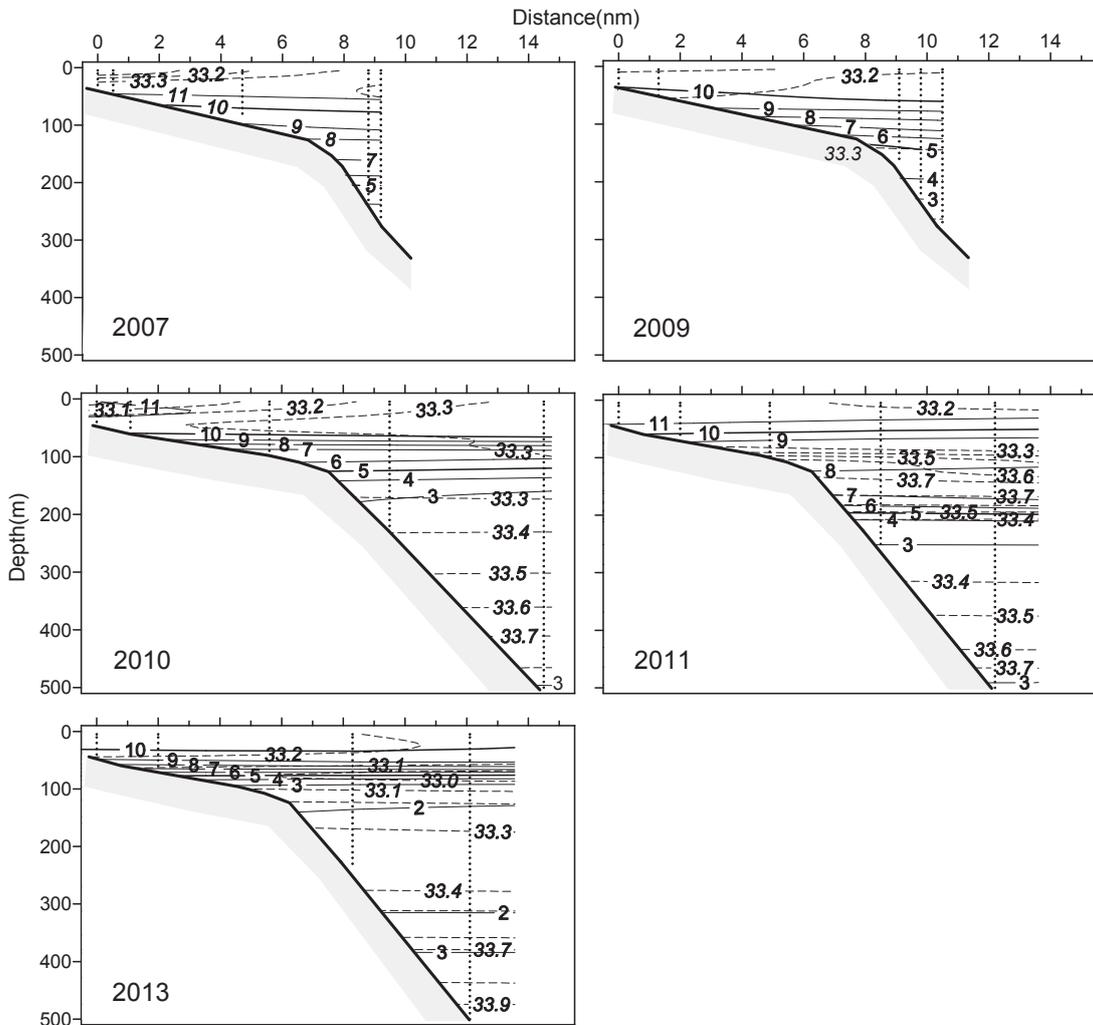


Fig.6-2 Vertical water temperature (deg-C, solid lines) and salinity (dotted lines) profiles along transects in November in the southeastern Pacific coast of Hokkaido from 2007 to 2013
Bold vertical dotted lines indicate the CTD stations.

Table 3 Water temperature and salinity near the bottom in each region.

| Year | Inner-shelf (<80m) | | Outer-shelf (<130m) | | Continental Slope (<300m) | |
|------|--------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | Temp(deg-C) | Salinity | Temp(deg-C) | Salinity | Temp(deg-C) | Salinity |
| 1997 | 8 - 9 | 33.3 | 4 - 8 | 33.1 - 33.3 | 3 - 4 | 33.1 - 33.4 |
| 1999 | 11 - 12 | 33.4 | 9 - 11 | 33.3 - 33.4 | 2 - 9 | 33.2 - 33.4 |
| 2000 | 10 - 11 | 33.3 - 33.4 | 6 - 10 | 33.2 - 33.3 | 2 - 6 | 33.2 - 33.4 |
| 2001 | 8 - 9 | 33.2 | 7 - 8 | 33.2 | 2 - 7 | 33.1 - 33.2 |
| 2003 | 10 | 33.3 | 7 - 10 | 33.3 | 2 - 7 | 33.2 - 33.3 |
| 2004 | 11 - 12 | 33.4 | 5 - 12 | 33.4 - 33.5 | 2 - 5 | 33.3 - 33.5 |
| 2005 | 7 - 10 | 33.4 | 6 - 7 | 33.4 | 2 - 6 | 33.4 - 33.5 |
| 2006 | 7 - 10 | 33.4 | 4 - 7 | 33.4 | 3 - 4 | 33.4 - 33.5 |
| 2007 | 10 - 11 | 33.4 | 7 - 10 | 33.4 | 3 - 7 | 33.3 - 33.4 |
| 2009 | 8 - 10 | 33.2 | 4 - 8 | 33.2 - 33.3 | 3 - 4 | 33.3 - 33.4 |
| 2010 | 7 - 10 | 33.3 | 5 - 7 | 33.2 - 33.3 | 2 - 5 | 33.2 - 33.6 |
| 2011 | 9 - 11 | 33.3 | 8 - 9 | 33.3 - 33.8 | 3 - 8 | 33.4 - 33.9 |
| 2013 | 4 - 9 | 33.0 - 33.2 | 2 - 4 | 33.0 - 33.2 | 2 | 33.2 - 33.5 |

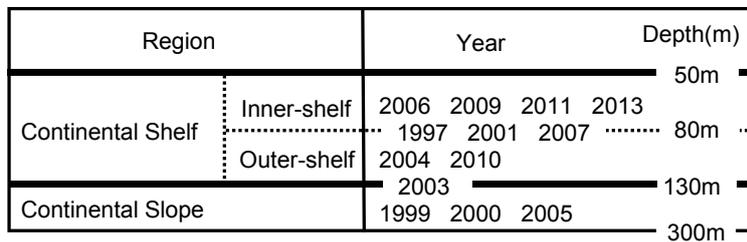


Fig. 7 The schematic diagram of the distribution of age-0 walleye pollock in autumn in the southeastern Pacific coast of Hokkaido

に水温躍層があり、大陸棚の比較的広い範囲が水温10℃以上の水に覆われていた。また、2013年は水深50～60 m付近に強い躍層があり、大陸棚外側の水温が2～4℃と低くなっていた。先に定義した各領域（大陸棚内側、大陸棚外側および大陸斜面）における海底付近の水温および塩分範囲をTable 3に示した。大陸棚内側の海底付近の水温は1999および2004年が11～12℃と最も高く、最も低かったのは、2013年の4～9℃であった。それ以外の年は7～10℃の範囲にあった。大陸棚外側では、1999年の9～11℃が最も高く、2013年が2～4℃と最も低かった。また、2004年は躍層をはさんで5～12℃まで大きく変化した。その他の年は4～10℃の範囲にあった。大陸斜面は、大陸棚との境界部分（大陸棚外縁）の水温に4～9℃と年による差があったが、水深に伴って低下し、最低水温はいずれの年も2～3℃の範囲にあった。

2010年まで調査海域の塩分値に大きな年変動は見られなかったが、2011年は大陸棚外縁部の深度100 m前後付近に33.9と高い値が観察された。一方、2013年は大陸棚に塩分値33.0の低い値が観察された。

考 察

着底トロールによるサンプリングの結果、海底直上に分布するマダラなどの底魚類を除くと漁獲物の大部分を

スケトウダラが占めていたことから、大陸棚の海底付近および大陸斜面の海底付近から中層域にかけて連続する魚群反応は主にスケトウダラに起因すると考えられた。ただし、大陸棚で実施した一部の曳網では、スケトウダラの採集量が少なく、無鰾魚であるホッケ、ハタハタ、有鰾魚であるシシャモ、キュウリウオ等の採集量が上回っていた。これらの地点において、採集物の重量比を用いてスケトウダラの音響反射を算出した結果と、反応のすべてをスケトウダラとみなした結果とを比較すると、領域毎の分布割合に大きな差は生じないことから、これらに起因する推定誤差は本研究の考察に影響を与えないと判断した。

本研究では、秋季のスケトウダラ0歳魚の十勝沖の航走ライン上における沖陸方向の分布変化について長期的な観察結果を報告した。本研究の期間中(1997～2013年)スケトウダラ0歳魚は水深50～300 mの大陸棚から大陸斜面に広く分布していた。その結果に基づいて、Fig. 7に各調査年のスケトウダラの主分布域を模式的に表した。特筆すべき変化は、1999、2000および2005年に0歳魚の主分布域が大陸斜面に形成（分布シフトと称す）されたことである。また、2003年も前述の3年に及ばないが、大陸斜面の分布割合が50%以上と高かった。これら以外の年では従来の報告（志田、2002）と同様に主分布域は大陸棚にあったが、その中でも大陸棚内側の割合が高い

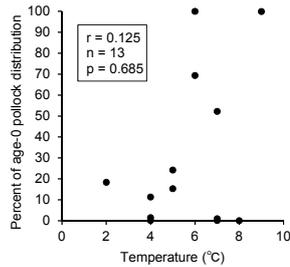


Fig.8 Relationship between percent of age-0 pollock in the slope region and bottom water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at the shelf edge (depth: 130m).

年と大陸棚外側の割合が高い年、両方の領域に分布の広がりが見られた年の3つのパターンがあった。

本研究において、分布シフトが観察された調査年における大陸棚の海底付近から中層にかけての水温は6~12 $^{\circ}\text{C}$ 、それ以外の年は2~12 $^{\circ}\text{C}$ の範囲にあった (Fig.6, Table 3)。中谷・前田 (1987) は、噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ稚魚の分布に影響を与える要因として水温をあげ、胚発生に対する限界水温である10 $^{\circ}\text{C}$ を超える環境は好適ではなく、稚魚は、このような水温を避けると考察している。一方、Kooka *et al.* (2007) は、本研究で観察された0歳魚とほぼ同一サイズのスケトウダラ0歳魚を用いた飼育実験により得られた摂餌量および成長率 (Specific Growth Rate) の最適水温はいずれも12 $^{\circ}\text{C}$ 付近にあり、水温16 $^{\circ}\text{C}$ で急激に低下することを報告している。また、志田ら (1999) によると、9月の道東海域においてスケトウダラ0歳魚が最も多く漁獲された調査点の底層水温は8~13 $^{\circ}\text{C}$ の範囲にあったことが報告されている。これらのことを考慮すると、10 $^{\circ}\text{C}$ 以上の水温もスケトウダラ0歳魚にとって必ずしも不適ではなく、分布シフトが起こった年の大陸棚の水温が直接スケトウダラ0歳魚の分布を妨げたとは考えられない。また、各年の水温環境の指標値として大陸棚と大陸斜面の境界 (大陸棚外縁、水深130 m) における海底付近の水温 (Fig.7およびTable 3) を用い、0歳魚の大陸斜面の分布割合との関係を調べたが、0歳魚の分布割合が50%を超えた年の水温は比較的高かったものの、両者の間には一定の関係が認められなかった (Fig.8)。従って、水温が当海域における0歳魚の分布シフトを引き起こす直接の要因になったとは考えにくい。水温以外の海洋環境の特徴を見てみると、塩分値から沖合暖水の影響があったと考えられる2011年と、冬季に流入した低塩分 (<33.0) の沿岸親潮水と思われる水が分布していた2013年に大きな水塊分布の変化は認められたが、両年とも大陸棚の0歳魚の分布割合が高かった。また、比較的強い水温躍層が観察された1999および2004年の分布は異なる結果とな

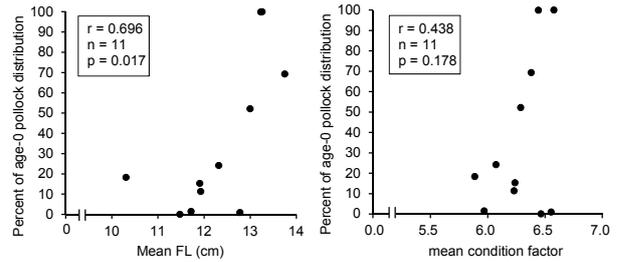


Fig.9 Relationship between percent of age-0 pollock in the slope region and mean fork length (FL in cm: left) and mean condition factor (right).

っており、分布シフトが観察された年に共通する水温、塩分などの環境の特徴は認められなかった。

前述のようにスケトウダラ0歳魚は、成長に伴って分布水深が変化することが知られている (Brodeur *et al.*, 1996)。本研究では、大陸斜面に主分布域があった年に共通する特徴として、尾叉長が調査年の中で比較的大きかったこと (12.5~13.7 cm: 大陸斜面で採集された標本の平均値) が観察された (Fig.4)。そこで、大陸斜面で採集された0歳魚の尾叉長平均値と大陸斜面の分布割合の関係を調べたところ、両者の間に有意な正の相関が認められた (Fig.9, $r=0.696$, $p=0.017$, $n=11$; 大陸斜面で標本が採集されていない1997および2001年を除く)。一般に、底魚類の分布水深はサイズ依存であると考えられている (例えば、Macpherson and Duarte, 1991)。志田ら (1999) も9月の道東海域で、水深の増加に伴って分布するスケトウダラ0歳魚の尾叉長が大きくなることを観察していることから、体サイズがこの海域における分布を決定する主たる要因の一つと考えられる。

一方、Kooka *et al.* (2007) は、体長と採集深度に関係が認められる年とそうでない年があることを報告しており、本研究でも一部の調査年で同様の結果が観察されたことから、サイズ以外にも道東海域のスケトウダラ0歳魚の分布に影響を与える要因があることが示唆される。本研究では、餌生物の利用のしやすさ (Wilson *et al.*, 2013; Ciannelli *et al.*, 2002) について、0歳魚の肥満度を指標として検討した (Fig.5)。その結果、分布シフトが観察された1999年と2000年に大陸斜面から採集された標本の肥満度の平均値は大陸棚のそれより高い値であった。従って、これらの2年は大陸斜面の方が大陸棚より餌が豊富であったことが示唆される。しかし、分布シフトが観察された年でも、2005年は大陸棚の標本の肥満度が高く、これとは逆の結果となっていた。また、2003年では採集場所による肥満度の違いは観察されなかったことに加え、大陸棚、斜面とも他の年と比較してその平均値はいずれも低い値となっていた。さらに、大陸斜面で採集

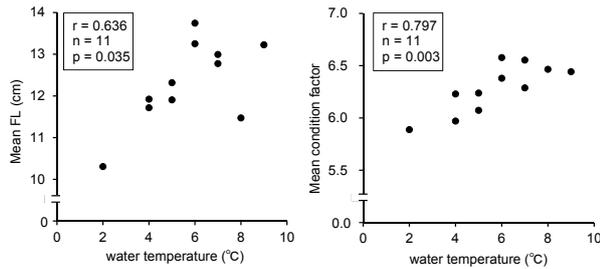


Fig. 10 Relationship between bottom water temperature (°C) at the shelf edge (depth: 130m) and mean fork length (left), and mean condition factor (right) of age-0 pollock in the continental slope region.

された標本の肥満度の平均値と大陸斜面の分布割合の間にも相関はみとめられなかった (Fig. 9, $r=0.438$, $p=0.178$, $n=11$; 大陸斜面で標本が採集されていない1997および2001年を除く)。これらのことから、餌生物の利用のしやすさは、分布シフトに直接影響を与える要因ではないと考えられる。ただし、餌と分布の関係を考えるときには、代謝をコントロールする水温の影響をあわせて考察する必要がある。そこで、大陸棚外縁における水温と、大陸斜面で採集された0歳魚の尾叉長および肥満度の平均値との関係を調べたところ、いずれも有意な正の相関が認められた (Fig. 10)。これらのことから、水温や餌の利用しやすさは、0歳魚の分布シフトを直接引き起こす要因ではないが、分布に直接関係する0歳魚の成長に影響を及ぼしていると推察される。

1997年は分布シフトが起こった年よりもさらに大型であったにもかかわらず、その主分布域は大陸棚上にあった。この年は1981年度以降で2番目に豊度が高かったと推定されている1995年級 (境ら, 2019) が2歳魚として0歳魚分布域の沖側 (水深75~150 m) に0歳魚の数倍の分布密度で分布していたことが報告されており (志田, 2002), 2歳魚の存在が0歳魚の沖合方向への移動を妨げた可能性がある。2歳魚はサイズから考えて0歳魚の捕食者ではないが (Yamamura *et al.*, 2001), 餌やニッチを巡る競合者であることが想定される。0歳魚の分布については、他の年齢のスケトウダラの分布状況も合わせて検討を進める必要がある。

本研究の結果では、もうひとつの重要な要因とされる捕食者であるスケトウダラ成魚の分布に大きな年変動は認められず、いずれの年においてもその分布は大陸斜面にあった (Fig. 3)。主産卵場である日高湾における11月のスケトウダラ成魚の分布水深も主として水深200~400 m, 水温2~3°Cの大陸斜面とされており (志田, 2011), このような低水温に分布することはスケトウダラ成魚にとってエネルギー効率を向上させる利点がある (吉田・

桜井, 1984) と考察されている。従って、当海域において観察された0歳魚の分布域の変化に捕食者の分布は大きな影響を与えていなかったと推察される。従来、スケトウダラ太平洋系群の共食いは主として春季に起こること、また、秋季におけるスケトウダラ0歳魚の分布域は大陸棚にあるが、捕食者であるスケトウダラ成魚は大陸棚の高水温を避けて分布する (志田, 2002) ため、両者の分布のオーバーラップが起こりにくく、その結果、この時期の共食いによる減耗は低く抑えられていると考えられていた (例えばYamamura *et al.*, 2001)。しかしながら、本研究の結果から、0歳魚の分布が年によって変動することが明らかとなり、秋季でも強いオーバーラップが起こることが示された。さらに興味深いことは、主分布域が大陸斜面にシフトした年のうち、1999および2003年級はその資源尾数が平均値 (1981~2014年級) を下回る年級であったが、2000, 2005年は卓越年級かこれに準ずる豊度の高い年級であったことである (境ら, 2019)。Funamoto *et al.* (2014) は、太平洋系群の加入量が、捕食者であるスケトウダラ成魚を対象とする沖合底曳網漁業のCPUEと負の相関があることを明らかにしており、捕食者側の分布密度が重要であることが示唆される。例えば、1999年は卓越年級であった1995年級が4歳 (尾叉長約40 cm; 境ら, 2019) となって道東海域に分布しており、他の年と比較して被食量が多かった可能性がある。従って、今後、0歳魚期以降の被食減耗が年級豊度に与える影響を評価するためには、春季だけでなく、秋季の被食についても0歳魚の分布域の変化と捕食者であるスケトウダラ成魚の資源量または分布量を考慮して検討する必要があると考えられる。

謝 辞

本研究にあたり、データの収集および標本採集への多大な協力と船の運航並びにデータ収集方法に有益なアドバイスを賜った歴代の釧路水産試験場試験調査船北辰丸の船長ならびに乗組員諸氏に厚く御礼を申し上げる。本稿をまとめるにあたり、編集者および査読者には非常に有意義なアドバイスをいただいた。深く感謝の意を表す。本研究の一部は水産庁委託「我が国周辺水域資源評価等推進事業」の予算を使用して実施されたものである。

引用文献

Bailey KM, Interaction between the vertical distribution of juvenile walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the eastern Bering Sea, and cannibalism, *Marine Ecology*

- Progress Series* 1989 ; 53 : 205-213.
- Brodeur RD. A review of the distribution, ecology and population dynamics of age-0 walleye pollock in the Gulf of Alaska. *Fisheries Oceanography* 1996 ; 5 suppl. 1 : 148-166.
- Ciannelli L, Brodeur RD, Swartzman GL, Salo S. Physical and biological factors influencing the spatial distribution of age-0 walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) around the Pribilof Islands, Bering Sea. *Deep-Sea Research II* 2002 ; 49 : 6109-6126.
- Foot KG, Traynor JJ. Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from in situ measurements and calculations based on swim bladder form. *The Journal of Acoustical Society of America* 1988 ; 82 : 9-17.
- Funamoto T, Yamamura O, Shida O, Itaya K, Mori K, Hiyama Y, Sakurai Y. Comparison of factors affecting recruitment variability of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Pacific Ocean and the Sea of Japan off northern Japan. *Fisheries Science* 2014 ; 80 : 117-126.
- Honda S, Oshima T, Nishimura A, Hattori T. Movement of juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, from a spawning ground to a nursery ground along the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Fisheries Oceanography* 2004 ; 13 (Suppl. 1) : 84-98.
- Kooka K, Yamamura O, Nishimura A, Hamatsu T, Yanagimoto Y. Optimum temperature for growth of juvenile walleye Pollock *Theragra chalcogramma*. *Journal of Experimental Marine Biology* 2007 ; 347 : 69-76.
- Macpherson E, Duarte CM. Bathymetric trends in demersal fish size: is there a general relationship? *Marine Ecology Progress Series* 1991 ; 71 : 103-112.
- 宮野鼻洋一. 音響手法. 「TAC管理下における直接推定法 - その意義と課題」 恒星社厚生閣, 東京, 2000 ; 19-27.
- 中谷敏邦, 前田辰昭. 噴火湾およびその周辺海域におけるスケトウダラ稚魚の分布と移動. *日本水産学会誌* 1987 ; 53 : 1585-1591.
- 境 磨, 山下夕帆, 石野光弘, 千村昌之, 山下紀生. 平成30年度 (2018) 年度スケトウダラ太平洋系群の資源評価. 平成30年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊. 水産庁増殖推進部. 国立研究開発法人水産研究・教育機構, 東京. 2019 ; 419-470.
- 志田 修, 山村織生, 三宅博哉. 道東太平洋沿岸におけるスケトウダラ0歳魚の分布と成長に伴う移動について. *北海道水産試験場研究報告* 1999 ; 54 : 1-7.
- Shida O. Seasonal differences in the diel vertical migration of young walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and their impact on acoustic biomass estimation. *International Symposium ACOUSTICGEAR2000* 2001 : 172-179
- 志田 修. 北海道東部太平洋海域におけるスケトウダラの年齢別分布水深. *北海道水産試験場研究報告* 2002 ; 63 : 9-19.
- 志田 修, 西村 明. 秋季の道東太平洋海域に分布するスケトウダラ0歳魚の孵化日組成と産卵群の関連. *水産海洋研究* 2002 ; 66 : 232-238.
- Shida O, Hamatsu T, Nishimura A, Suzaki A, Yamamoto J, Miyashita K, Sakurai Y. International fluctuations in recruitment of walleye pollock in the Oyashio region related to environmental changes. *Deep-Sea Research II* 2007 ; 54 : 2822-2381.
- 志田 修. スケトウダラ太平洋系群の資源変動におよぼす成魚期の海洋環境の影響に関する研究. *北海道水産試験場研究報告* 2011 ; 79 : 1-75.
- Simmonds EJ, Williamson NJ, Gerlotto FG, Aglen A. Acoustic survey design and analysis procedure: A comprehensive review of current practice. *ICES Cooperative Research Report* 1992 ; 187, Demark, 131p.
- Tsuji S. Alaska pollack population, *Theragra chalcogramma*, in the North Pacific Ocean. *Marine Behavior Physiology* 1989 ; 15 : 147-205.
- Wakabayashi K, Watanabe K, Watanabe Y. Assessments of walleye pollock abundance of the southwest Pacific coast of Hokkaido, based on catch statistic and survey data. *International North Pacific Fisheries Commission Bulletin* 1990 ; 50 : 101-120.
- Wilson MT, Mier KL, Jump CM. Effect of region on the food-related benefits to age-0 walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in association with midwater habitat characteristics in the Gulf of Alaska. *ICES Journal of Marine Science* 2013 ; 70 : 1396-1407.
- Yamamura O, Yabuki K, Shida O, Watanabe K, Honda S. Spring cannibalism on 1year walleye pollock in the Doto area Japan: is it density dependent? *Journal of fish biology* 2001 ; 59 : 645-656.
- 吉田英雄, 桜井泰憲. 飼育下におけるスケトウダラ成魚の摂食量と成長. *日本水産学会誌* 1984 ; 50 : 763-769.