

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^{*1}

志田 修^{*2}

Studies on influence of oceanographic conditions in the spawning season on interannual fluctuations in recruitment of the Japanese Pacific walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) stock

Osamu SHIDA^{*2}

The Japanese Pacific walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) stock (JPS) which is widely distributed off the Pacific coast of northern Japan is one of the most important target species for local fisheries. Resources of this species have been managed under the TAC rules that require estimation of stock abundance. Therefore, it is necessary to have a clear grasp of the relationship between the ocean environment and the variation in the stock abundance of walleye pollock, and to devise a suitable method of fisheries management based on pertinent biological information. I have proposed a conceptual model of the mechanisms that determine JPS year-class strength, which appear to be the major factor that drives changes in stock biomass. In this model, successive controls are believed to be important for determining year-class strength. These controls or “switches” are factors related to survival in each stage from spawning adults to recruits. This study focused upon these switches in the spawning adult stage, as adult fish are the most important target for commercial fisheries. The objectives of this study were to investigate the interannual variability of the timing and location of spawning, and the influence of oceanographic conditions on them. Furthermore, I addressed the relationship between this variability and landings of commercial fisheries. The distribution and abundance of spawning adults in Hidaka Bay, the main spawning ground, were observed from 1998 to 2008 using a quantitative echo sounding system, and the data were analyzed together with oceanographic observation data using the Geographic Information System (GIS) method. The results showed that adult pollock migrate from the Doto area, the major feeding ground, to Hidaka Bay along the Cold Lower-layer water. They then moved to the shallower continental shelf region covered with Oyashio water (OW) in the spawning period. After spawning, they migrated to the Doto area along the OW. The timing of spawning migration to Hidaka Bay showed interannual variation that was affected by water temperature and abundance of prey zooplankton during the feeding period. The spawning location in Hidaka Bay was affected by distribution of the cold Coastal Oyashio water. Furthermore, these interannual variations in the timing of spawning migration and spawning location affected the landings of commercial Danish seine and gillnet fisheries. These findings are of value for understanding the mechanism of stock variation, and provide important guidance for walleye pollock stock management.

キーワード：スケトウダラ，太平洋系群，資源変動，成魚期，海洋環境

報文番号 A461 (2010年10月8日受理)

^{*1} 北海道大学審査学位論文 (掲載に際し、投稿規定に従って、一部改変した)

^{*2} 北海道立総合研究機構中央水産試験場 (Hokkaido Research Organization Central Fisheries Research Institute)

第1章 序論

世界の人口は2009年現在の68億人から今後大幅に増加し、2050年までに90億人を超すと予想されている¹⁾。こうした人口増加に伴う需要増に対応するため、食糧の確保は世界的な問題となっている。一方、我が国における2008年度の食料自給率はカロリーベースで41%²⁾と低い水準にとどまっており、自給率の向上は極めて重要かつ早急に取り組むべき課題である。我が国の排他的経済水域は世界第6位の447万km²であり、国土面積の12倍を有している。従って、国土面積の限られている我が国においては、水産資源の維持増大が食料自給に欠かせない要件である。我が国における2008年度の漁業生産量は559万トンであり、そのうち天然資源の漁獲による生産量（海面養殖および内水面・養殖業による生産を除いた値）は78%を占めていることから、天然資源の適切な管理は生産の維持増大に最も有効な方策のひとつである。しかしながら、世界の海洋における水産資源の80%が乱獲または限界まで利用された状態にあると評価されており³⁾、1992年の国連環境会議（UNSED）リオ宣言では「持続可能な利用と開発」の重要性が強調されている⁴⁾。我が国では、国連海洋法条約の批准に伴い、海洋生物資源の保存および管理に関する法律が1996年に施行され、1997年1月から総許容漁獲量（Total Allowable Catch: 以降TACと略す）による管理がスタートした。この制度は、生産量が多く、経済的な価値が高い魚種や我が国周辺で外国漁船により漁獲が行われている水産資源に対し、研究者および研究機関が科学的な資源評価に基づいて生物学的許容漁獲量（Allowable Biological Catch: 以降ABCと略す）を算定し、これに基づいて行政機関がTACを決定し管理するものである。「持続可能な利用と開発」にむけて、この制度を効果的に運用していくためには、資源的確な評価と資源変動メカニズムの理解に基づいた管理方法

の策定が求められるところである。

1.2 スケトウダラ太平洋系群の生活史

スケトウダラ (*Theragra chalcogramma*) は、北太平洋に広く分布する中底層性の回遊魚である⁵⁾。本種の2006年における全世界の漁獲量は、290万トンとイワシ類に次いで世界第2位を占め³⁾、我が国においてもTAC対象に指定されている最も重要な水産資源の一つである。我が国周辺に分布する4つのスケトウダラ系群のうち、北方四島周辺～房総半島までの太平洋岸を分布域とするスケ

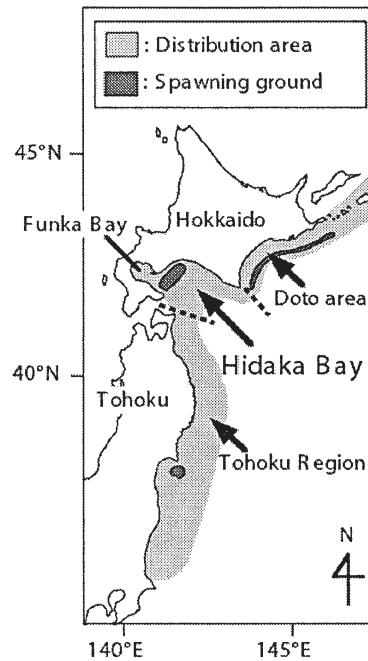


Fig.1.1 Distribution of the Japanese Pacific walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) stock and location of its spawning grounds. Dashed lines show the borders of areas. Modified from Shida *et al.*²²⁾

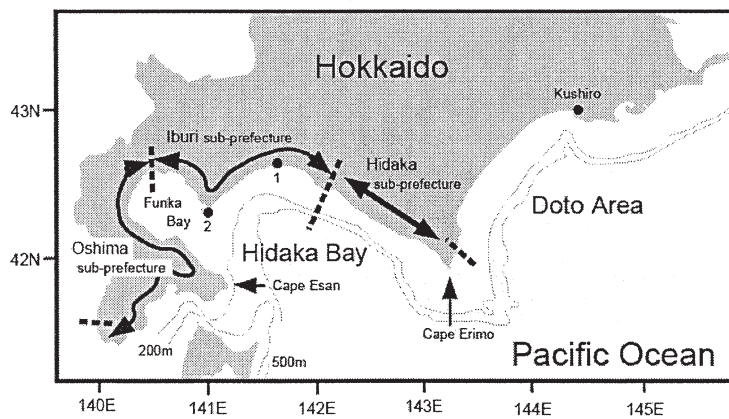


Fig.1.1 Continued. 1: Tomakomai, 2: Cape Chikyū.

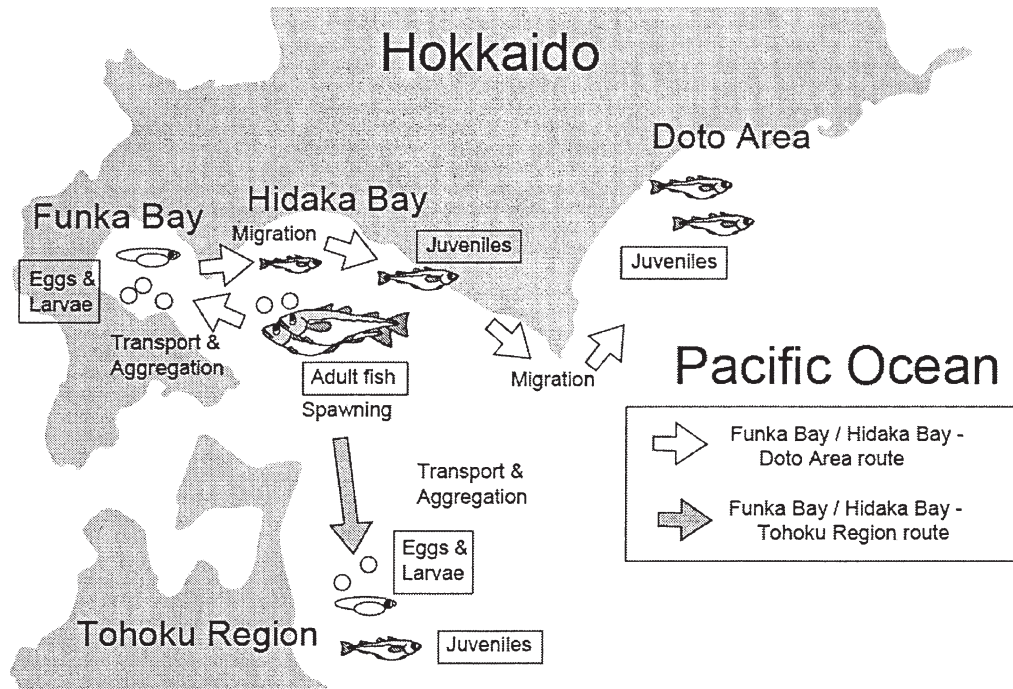


Fig.1.2 Life history of the Japanese Pacific walleye pollock stock.

トウダラ太平洋系群⁶⁾ (Fig.1.1) は、我が国最大のスケトウダラ資源であり⁷⁾、その資源量の大きさや食物網の上位と下位を結ぶリンク⁸⁾としての重要性から、親潮生態系の鍵種と考えられている⁹⁾。太平洋系群はその分布域に複数の産卵場を有するが、噴火湾および噴火湾口部を含む日高湾が主要な産卵場と考えられている^{10,11)}。従来、この海域は噴火湾およびその周辺海域と称されてきたが、本研究では噴火湾および日高湾の名称を用いる (Fig.1.1)。

この海域における産卵期は12～3月で、盛期は1～2月である¹²⁻¹⁴⁾ (Fig.1.2)。また、産出された卵および孵化後の仔魚は、海流によって噴火湾内に輸送され、そこに初夏までとどまると考えられている¹⁵⁻¹⁷⁾。その後、全長7cm程度まで成長した稚魚は、海底付近に生活の場を移しながら噴火湾外に出て¹⁶⁾、8月頃までに大部分が沿岸域を通過し、岬以東の北海道東部太平洋海域（以後道東海域と略す）に移動し^{18,19)}、成熟するまで道東海域またはその周辺海域で過ごすと考えられている²⁰⁾。一方、卵の一部は海流によって東北の太平洋沿岸域（以後東北海域と略す）へも輸送されることが報告されており²¹⁾、噴火湾および日高湾～東北海域を経由する別の加入経路の存在が示唆されている^{7,22)}。

1. 3 太平洋系群の資源変動とその要因に関する既往知見
我が国周辺海域に分布するスケトウダラのうち、太平

洋系群以外の系群・海域では、1980年代後半～1990年代前半にかけて観察された漁獲量の急激な減少に象徴されるように (Fig.1.3)、資源状態が悪化している。水産資源の変動に関しては、漁業の影響を重視する考え方と、環境変動を重視する考え方が存在する。特に環境変動に関しては、10年またはそれ以上の時間スケールで生

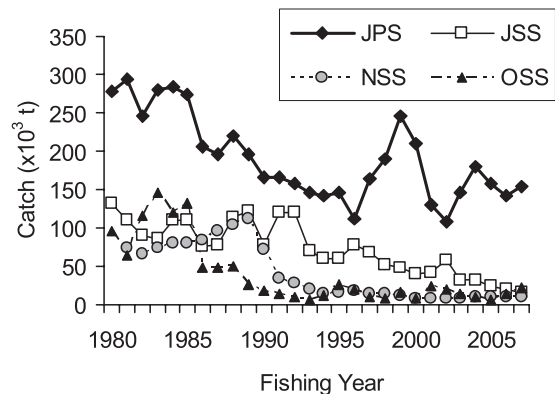


Fig.1.3 Walleye pollock catch from major stocks around Japan. JPS: the Japanese Pacific stock, JSS: the northern Japan Sea stock, OSS: the southern Okhotsk Sea stock, NSS: the Nemuro Strait stock.

じる環境のレジームシフトに伴う変動として、近年特に活発に議論されるようになってきている²³⁾。スケトウダラにおいても、北部日本海系群では環境変動、即ち冬季の水

温上昇が卵仔魚の生残率低下を引き起こした可能性が示唆されている^{24,25)}。太平洋系群の資源変動は、加入量変動が主な要因と考えられている^{22,26)}。これまでいくつかの研究プロジェクトによって、太平洋系群の加入量変動メカニズムに関する研究が進められてきた（例えば Hokkaido University subArctic Ecosystem dynamic and Climate: HUBEC²⁷⁾ や Walleye Pollock Ecosystem dynamics and Walleye Pollock, Euphausiid, and Climate or Copepods:WBEC²⁸⁾。Shida *et al.*²²⁾ は、太平洋系群の資源変動メカニズムに関するこれらの研究をレビューし、各成長段階（期）において加入量決定に影響を与えると推測される要因を、連続したスイッチとするコンセプトモデルを提案した（Fig.1.4）。また、Funamoto²⁵⁾ は、再生産モデルを用いて太平洋系群の加入量と分布域の表面水温との関係を調べ、本系群の加入量は2月の北海道太平洋岸の水温が高い年に増加することを示した。2月は成魚の産卵期～卵および仔魚期に当たることから、これらの各期におけるスイッチが太平洋系群の加入量決定に最も重要である可能性が強く示唆される。最初の成魚期のスイッチとしては、産卵資源重量（Spawning Stock Biomass : SSB）があげられる。親の存在は最低限必要な再生産の条件であることから、必要十分な量があるかどうか、このスイッチがオンとなるための条件である。産卵親魚量の次のスイッチは産卵場所および時期である。Nakatani and Maeda¹⁵⁾ は、スケトウダラ卵が噴火湾内および湾外の両方で採集されるが、仔魚はその大部分が噴火湾内で観察されることから、仔魚期までの生残には噴火湾内に輸送され、そこにとどまることが重要であると指摘している。さらに清水・磯田¹⁷⁾ は、噴火湾口部で産出された卵が北西の季節風によって惹起される吹送流によって湾内に輸送されることをモデルによって示し、産卵場所と風などの環境条件が湾内への輸送に重要な役割を果たすことを明らかにした。また、Hattori *et al.*²⁹⁾ は、東北海域に分布する仔魚の孵化日組成から、東北海域への輸送と生残に産卵時期が重要であることを示唆している。これらの知見から、産卵の時期と場所（Timing and Location）、即ち、産卵盛期がその後のステージの生残に適した時期と合致しているか、産卵場所はその後の子の輸送と関連して生存に適した場所で行われているかが、産卵時期と場所のスイッチがオンとなる条件と考えられる。これに引き続く卵および仔魚期では、輸送と集合（Transport and aggregation）、餌料（Diet）および捕食者（Predation）のスイッチが想定されている。輸送と集合のスイッチは、成魚期における産卵場所および時期と連動したスイッチであり、噴火湾外に分布する卵および仔魚が噴火湾内に輸送されて集められ、かつ噴火湾

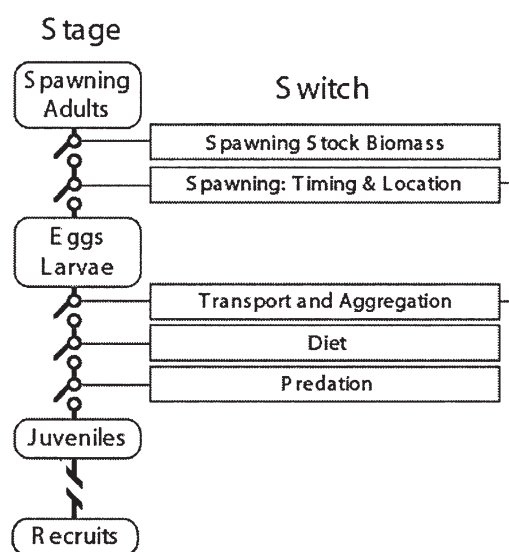


Fig.1.4 Conceptual model of the mechanism determining the year class strength of the Japanese Pacific walleye pollock stock (modified from Shida *et al.*²²⁾. The factors related to pollock survival are expressed as switches in the schematics.

内にとどまれるかどうかオンとなる条件である。餌料のスイッチは仔魚期の餌となる動物プランクトンに関するものである。仔魚期の生残に関して、初期餌料であるカイアシ類ノープリウス幼生の分布密度が重要だと考えられている³⁰⁻³²⁾。Funamoto²⁵⁾ は、中谷ら³³⁾ のデータから、一部の例外年があるものの、噴火湾内におけるカイアシ類ノープリウス幼生の分布密度が高い年に太平洋系群のスケトウダラの加入量が多いことを指摘している。従って、このスイッチがオンとなる条件は、仔魚の生残に十分な量のプランクトンが分布していることと考えられる。また、次の稚魚期とも関連して、餌料生物の変化と魚のサイズに関するもうひとつのスイッチが考えられている。噴火湾内に分布する仔魚および稚魚期の餌料生物は、成長に伴って小型の *Pseudocalanus* 属の動物プランクトンから *Neocalanus* 属や *Eucalanus* 属の大型動物プランクトンに変化していくことが報告されている^{16,31)}。一方で、噴火湾内の *Pseudocalanus* 属の分布密度は6月上旬には減少し、*Neocalanus* 属が高密度に分布するようになる³⁴⁾。また、年級豊度の高かった年級では他の年級と比較して、早い時期に孵化した個体の割合が高かったことが報告されている^{33,35)}。これらのことから、噴火湾内に分布する動物プランクトンが小型種～大型種に変化する時期までに、大型の餌を捕食できるサイズに達しているかどうか、生残に大きく影響するのではないかという仮説が示されている³³⁾。従って、このスイッチは、魚のサイズと

餌の出現時期がマッチしていることがオンとなる条件である。また、孵化日組成からみて、必要なサイズに成長するためには孵化日の早い個体が有利と考えられることから、産卵時期もこのスイッチに影響を与える要因と考えられる。これらが加入量決定に関して重要と考えられる成魚期～卵・仔魚期²⁵⁾において想定されているスイッチである。

1. 4 本研究の目的

本研究では、これらのスイッチのうち、最初のステージである成魚期におけるスイッチをとりあげ、主産卵場である日高湾を主たる対象海域とする。前項で述べたように、成魚期のスイッチはそれに引き続く卵および仔魚期や稚魚期のスイッチとも連動する重要性の高いものと考えられる。加えて、成魚期のスケトウダラは主要な漁獲対象資源であり、かつその量がABC算定の基礎になっていることから、資源管理の面からも非常に重要である。近年、計量魚群探知機（以降計量魚探機と略す）を用いた音響資源調査がスケトウダラの分布観察³⁶⁾や現存量推定²⁴⁾に用いられるようになり、調査方法などの基礎的理論が研究されてきた^{19,37,38)}。計量魚探機は短時間で広範囲な調査が可能であること、海底付近～船底直下までの広い範囲を観察可能であることから、スケトウダラのように単一魚種として中層～海底付近に均一に分布する魚群の観察に適している³⁹⁾。現在、スケトウダラ太平洋系群の資源評価とABC算定は、漁業データを用いたVirtual Population Analysis（以降VPAと略す）による資源量推定に基づいて行われている（計算方法の詳細はAppendix 1を参照）。一方、漁獲制限を伴うTAC管理では、VPAによる間接的な資源評価方法は偏りを含む可能性が指摘されており、漁業情報に依存しない直接的な資源評価方法の必要性が議論されている⁴⁰⁾。計量魚探機を用いた音響資源調査は、直接的な資源評価方法として最も有力視されている手法である。

そこで本研究は、この音響資源調査の手法を用いて、スケトウダラの分布、産卵のタイミングおよび場所、産卵親魚量について調べ、環境がこれらにどのような影響を与えるのか明らかにすることを目的とする。また、加入量変動においてこれらがどのような役割を果たしているか考察する。加えて、スケトウダラの分布と漁業の関係について調べ、日高湾における資源管理手法について検討する。

1. 5 論文の構成

本研究では、まず次章において音響調査の原理と理論について概説する。次に、計量魚探機を用いた音響資源調査と地理情報システムを用いて、日高湾における索餌期の終わり～産卵期までのスケトウダラ成魚の分布と海洋環境を明らかにする（第3章）。これらの基礎的知見をふまえて、第4章および5章では、成魚期のスイッチである産卵時期および産卵場所の年変動と、これに影響を与える海洋環境の関係を明らかにし、加えてもう一つのスイッチである産卵親魚量の推定を行う。第6章では、産卵親魚量を調節する要因である漁業による漁獲とスケトウダラ分布の関係を検討する。総合討論では、各章の結果を総合して成魚期の海洋環境がスケトウダラ太平洋系群の資源変動、即ち加入量変動にどのような影響を及ぼすか、成魚期における二つのスイッチを中心に論議する。また、これらの論議をふまえて、太平洋系群の資源管理への提言と今後の課題点について記述する。

第2章 音響資源調査の原理と理論

本研究で用いた音調資源調査の原理と理論について概説する。使用した計量魚探機は、フルノ FQ-70（第4章）、Simrad EK-60（第3章～第6章）およびEK-500（第5章）である。各魚探機の仕様をTable 2.1に示す。

Table 2.1 Specifications of quantitative echosounders used in this studies.

Echosounder	EK-60		EK-500		FQ-70
Frequency(kHz)	38	120	38	120	50
Pulse duration (ms)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.8
Minimum integration interval	1 ping		1 ping		0.1nmi

FQ-70から出力される、単位体積（m³）あたりの魚群反応の強さを示す体積後方散乱強度SV(dB)と体積後方散乱係数Sv(SVの線形値)とは、次の関係式で示される。

$$Sv = 10^{SV/10} \dots \dots \dots (2.1)$$

また、単位面積（m²）あたりの反応の強さを示す面積後方散乱係数Saは、(2.2)式によって表される。

$$Sa = \int_{z=r2}^{z=r1} Sv dz \dots \dots \dots (2.2)$$

ここで、zは深度、r1およびr2は積分層の上限および下限深度（m）を表す。一方、SimradのEK-60およびEK-500計量魚探機で出力される面積後方散乱係数S_A（m²/nmi²）は(2.3)式で定義され、これは今後、本研究で用いるNASC(Nautical Area Scattering Coefficient：m²/nmi²)と等価である。

$$S_A = NASC = 4\pi \times 1852^2 \times Sa \quad \dots \dots (2.3)$$

本研究では、使用する数値を統一するために、FQ-70 から出力されたデータを、(2.3)式を用いてNASCに変換した。

NASCは、単位面積当たりの密度 ρ (尾/nmi²) に比例する。

$$NASC = \bar{\sigma} \rho \quad \dots \dots (2.4)$$

ここで、 $\bar{\sigma}$ は魚1尾の平均音響散乱断面積を表す。従って、海域の平均分布密度 $\bar{\rho}$ (尾/nmi²)は、海域の平均NASC (\overline{NASC}) と $\bar{\sigma}$ から次式で算出される。

$$\bar{\rho} = \overline{NASC} / \bar{\sigma} \quad \dots \dots (2.5)$$

また、 $\bar{\sigma}$ はデシベル表現のターゲットストレングス (TS: Target Strength) と次の関係がある。

$$TS = 10 \log(\bar{\sigma} / 4\pi) \quad \dots \dots (2.6)$$

このTSは、魚の体長の2乗に比例し、(2.7)式で表される。

$$TS = 20 \log FL + TS_{cm} \quad \dots \dots (2.7)$$

ここで、FLは魚の尾叉長 (cm)、TS_{cm}は基準化TSを示し、本研究ではスケトウダラに対して、有鰈魚に一般的に用いられる-66を用いる³⁷⁾。また、 $\bar{\sigma}$ は尾叉長組成から(2.8)式で算出される。

$$\bar{\sigma} = 4\pi \sum_i f_i \times 10^{\left(\frac{20 \log(FL_i) + TS_{cm}}{10}\right)} \quad \dots \dots (2.8)$$

ここで、FL_iはi番目の尾叉長階級の間値、f_iはこの尾叉長階級に属する個体数の割合を示す。

海域内の魚群量 (Abundance) は、海域の平均NASC (\overline{NASC}) と海域面積Aを用いて次の様に示される。

$$Abundance = \overline{NASC} \times A \quad \dots \dots (2.9)$$

分布尾数 (N) および重量 (B) は、Abundance、魚の平均音響散乱断面積 ($\bar{\sigma}$) および平均体重 (\overline{BW}) から次式で表される。

$$N = \frac{\overline{NASC}}{\bar{\sigma}} \times A \quad \dots \dots (2.10)$$

$$B = N \times \overline{BW} \quad \dots \dots (2.11)$$

このように計量魚探機から得られる音響データを用いて、魚群の分布密度や、量などを表すことができる。

また、生物の大きさや鰈の有無によって音響散乱の強さに周波数による差が生ずる。オキアミなどの鰈をも

たない小型の生物は、38kHzと120kHzの音響散乱の強さに大きな差があり、本研究の対象である有鰈魚のスケトウダラはこれと比較して差が小さい^{38,41,42)}。この音響散乱の周波数による違い ($\Delta MVBS$: Mean Volume Backscattering Strengths 平均体積後方散乱強度) を利用して、音響データから生物種を区別することができる。SVは次の式で表すことができる。

$$SV = 10 \log(Sv) = 10 \log(n\sigma_{bs}) \quad \dots \dots (2.12)$$

ここで、nは対象生物の密度を表す。また、TSは周波数依存であることから、SVも周波数に依存し、(2.13)式で表すことができる。

$$sv(f) = n\sigma_{bs}(f) \quad \dots \dots (2.13)$$

異なる2つの周波数の比をとると、nが消去され、周波数依存のTS比が残る。この比はデシベル表記による差である。従って、 $\Delta MVBS$ は(2.14)式で計算される。

$$\Delta MVBS = SV_{120kHz} - SV_{38kHz} = TS_{120kHz} - TS_{38kHz} \quad \dots \dots (2.14)$$

この $\Delta MVBS$ の範囲は生物によって異なっており、これを利用して音響データから生物種の区別が可能となる。本研究では、スケトウダラ魚群の判別に上記の $\Delta MVBS$ 法を援用した。

第3章 日高湾におけるスケトウダラ成魚分布の時期別変化とこれに影響を与える環境要因

3.1 緒言

第1章で述べたように、日高湾におけるスケトウダラ成魚の産卵のための移動と分布状態は、産卵時期および産卵場所のスイッチを介して、これに引き続く卵・仔魚期における生残プロセスに影響を与える可能性が示唆されている^{17,33)}。また、日高湾においてスケトウダラを対象として行われる漁業にとっても、盛漁期の変化や漁場形成に直接影響を与える要因と考えられる。日高湾のスケトウダラ分布に関する研究は、1970年代~1980年代前半にかけて精力的に行われた⁴³⁻⁴⁶⁾。これら一連の研究によって、スケトウダラ分布と水塊分布を中心とした海洋環境の季節変化の関連性が報告されている。これらの研究は、日高湾に設定した1調査定線上において、比較的サイズ選択性が低いと考えられる底刺網 (三枚網) を用いたサンプリングと海洋観測の結果に基づいて行われた。しかしながら、スケトウダラは海底付近~中層域まで分布する魚である⁵⁾ことから、海底付近に分布する魚を対象とする底刺網は、必ずしもスケトウダラの分布を観察

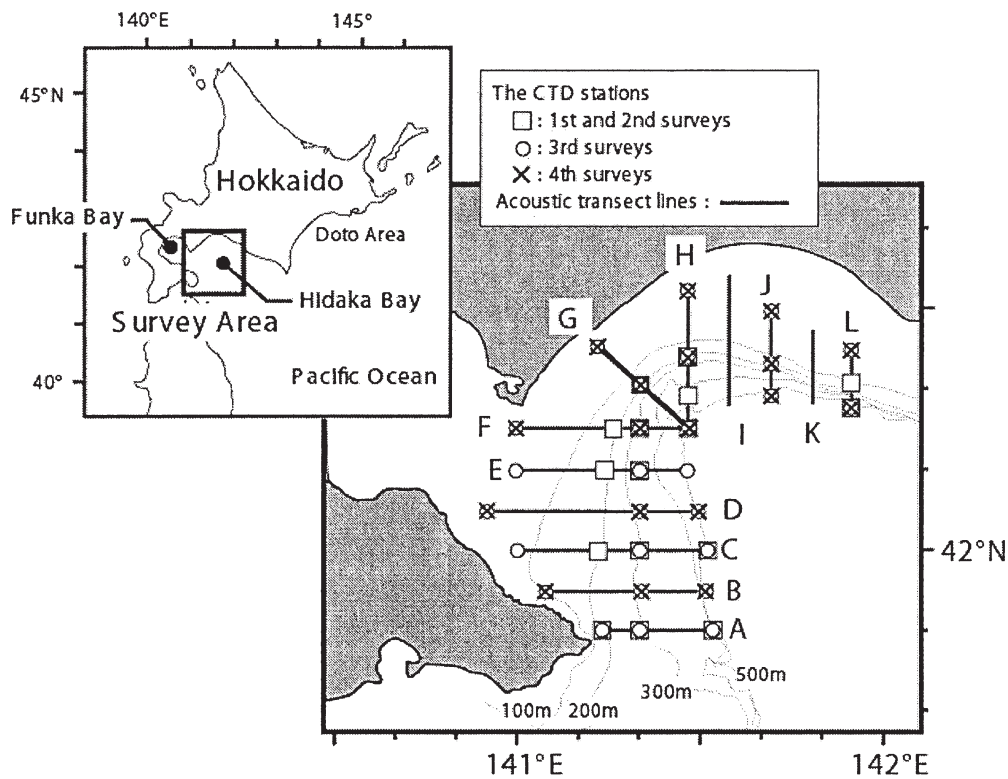


Fig.3.1 Survey area, transect lines for the acoustic surveys and the CTD stations.

するための手法として最適とはいえず、1定線上の観察結果では空間分布を把握することは難しい。加えて、日高湾における成魚分布量の時期別変化や産卵および索餌回遊のルートなどは、いまだ明らかになっていない¹⁴⁾。そこで、本章では、計量魚探機を用いて日高湾におけるスケトウダラ成魚の分布を時期別に観察した。また、同時に観測した水温、塩分および水塊分布データと地理情報システムを用いて統合解析し、スケトウダラ分布と海洋環境の関係、特に水塊分布との関係について考察した。

3.2 材料と方法

3.2.1 音響資源調査の方法

計量魚探機を用いた音響調査は、日高湾において2004および2005年度（9月～翌年3月）の2年間、1～4次の計8回、北海道立函館水産試験場試験調査船金星丸と北海道立稚内水産試験場試験調査船北洋丸を用いて実施した（Fig. 3.1）。各調査の概要はTable 3.1に示す。前田ら¹³⁾は日高湾におけるスケトウダラ成魚の生活年周期を、索餌期（5月～10月）、索餌期～産卵期への移行期（11月）、産卵期（12～3月）、産卵期～索餌期への移行期（4月）の四期にわけている。本研究ではこの区分に従い、1次調査は索餌期、2次調査は索餌期～産卵期への移行期、3次および4次調査は産卵盛期および後期に実

施した。音響データはSimrad EK-60計量魚探機により、等深線に垂直に、互いに平行に9.26ないし18.52km(5および10マイル)間隔で設定した調査定線を10ノットの速度で航行しながら収録した。使用した周波数は38および120kHzである。本研究では、調査時間をできるだけ短くするために、調査定線上の魚群が途切れるところでデータ収集を終了する「順応調査」⁴⁷⁾を採用した。ただし、予備調査の結果に基づき、1次および2次調査は水深200～500m、3次および4次調査は100m～500mの範囲で最低限データを収集した。また、索餌期のスケトウダラ成魚は日周鉛直移動を行い、その行動が計量魚探機の分布量推定値に影響を与えることが報告されている⁴⁸⁾。このことから、1次調査および2005年度の2次調査は、すべての調査線において夜間にデータ収集を行った。1次調査においては0500時～1800時を昼間、1800時～0500時を夜間、2次調査では0630時～1600時を昼間、1600時～0630時を夜間とした。また、日没日出前後の1時間は可能な限り調査を行わないようにした。3次および4次調査は調査日程に限りがあったことから、昼夜連続で調査を行った。

収集した音響データは、解析ソフトEchoview (ver. 4.4, Myriax社製)を用いて解析した。収集した音響データからのスケトウダラ魚群の判別は、第一にエコグラ

ム上における魚群形状から行い、従来の報告^{36,48-52)}に従って、海底に沿って連続した層状の魚群または浅海域におけるパッチ状の魚群とした。スケトウダラの魚群かどうかの判断が難しいものについては、 $\Delta MVBS$ を用いた判別法を適用した^{38,41,42)}。 $\Delta MVBS$ の算出はEchoviewを用いた。バックグラウンドのノイズを除去するために、 $\Delta MVBS$ 計算時のスレッシュホールドは-70dBとし、計算範囲は金星丸のデータでは最大でも水深300m、北洋丸のデータでは水深150mまでとした。 $\Delta MVBS$ を計算するセルの大きさは、水平方向に100m、深度方向に1mとした。スケトウダラを含む魚群反応と判別する $\Delta MVBS$ の範囲は、既存の知見^{38,42)}に従い、原則的に-1~4dBとした(Table 3.2)。これに加えて、必要に応じて38kHzで収集した魚群のTS分布もスケトウダラ成魚の判別に用いた。スケトウダラ成魚の尾叉長の判別基準は、太平洋系群における成熟開始年齢である3歳魚の平均尾叉長を、Hamatsu and Yabuki⁵³⁾の調査データから読み取って、35cmとした。(2.7)式から、この尾叉長に相当するTS=-35dBを目安として、これ以上のTSを有する魚群をスケトウダラ成魚と見なした。

1次調査では、調査線上における音響データ収集終了後、魚群反応の魚種確認のために、音響的手法からスケトウダラ成魚群と判断された魚群を対象として、着底トロール網によるサンプリングを行った。曳網方向は等深線と平行とし、トロール網の曳網時間は10~15分、曳網中の網高は2~3m、船速は2~3ノットであった。漁

獲物は船上で種ごとに重量を計測した。トロール調査は、2004年度、2005年度とも各2回行った。2005年度の1曳網は、全漁獲重量が24.4kgと少なく、最も漁獲重量、尾数の多かった魚種でも採集尾数が36尾であったことから、組成%を算出するには不相当と判断し、以後の解析には用いなかった。スケトウダラは1曳網につき数量が少ない場合は全数を、量が多い場合には無作為に100尾以上を抽出し、-20℃で凍結保存した。保存したスケトウダラは、陸上の研究室で自然解凍後、各曳網のサンプルから100尾を無作為に抽出して尾叉長を測定し、成魚の割合を算出するために生殖腺の熟度を目視観察した。成熟度の区分は上野ら⁴³⁾に従い、未成熟は雌雄ともに生殖腺がきわめて小さく、明るいオレンジ色か半透明のものとし、それ以外を成熟個体とした。2次~4次調査では、各調査と同一期間、調査海域内で操業を行っている沖合底曳網漁業(以降沖底漁業と略す)の魚種別漁獲量データを、魚群反応の魚種確認に用いた。漁獲量の集計は北海道沖合底曳網漁場別漁獲統計を用いた。また、2次および3次調査の前後にあたる2004年12月、2005年1月、12月および2006年2月の各月1回、沖底漁業で漁獲されたスケトウダラを無作為に100尾前後抽出して尾叉長を測定し、トロールサンプリングと同様の方法で、成魚の割合を調べた。

本章では、スケトウダラの分布密度を表す数値としてNautical Area Scattering Coefficient(以降NASCと略す)を使用する。スケトウダラ成魚のNASCは、各調査

Table 3.1 Summary of acoustic surveys in chapter 3.

Survey	Year	Date	Vessel name	Transect lines
2004 season				
1st	2004	September 3-7	<i>Kinsei-maru</i>	A-L
2nd	2004	November 29 - December	<i>Kinsei-maru</i>	A-K
3rd	2005	January 15-21	<i>Hokuyo-maru</i>	B, E-L
4th	2005	February 28-March 1	<i>Kinsei-maru</i>	B, D, F, G, H, J, L
2005 season				
1st	2005	August 31-September 5	<i>Kinsei-maru</i>	A-L
2nd	2005	November 24-28	<i>Kinsei-maru</i>	A-L
3rd	2006	January 14-22	<i>Hokuyo-maru</i>	B-L
4th	2006	February 28-March 1	<i>Kinsei-maru</i>	B, D, F, G, H, J, L

Table 3.2 Ranges of the difference of mean volume backscattering strength ($\Delta MVBS$) of pollock and planktons used in this study.

Species	$\Delta MVBS$ (dB)			Reference
Walleye pollock	-1	-	4	Kang <i>et al.</i> ⁴²⁾
Large zoo plankton (ex. <i>Euphausia pacifica</i>)	8	-	16	Miyashita <i>et al.</i> ³⁸⁾
Small zoo plankton (ex. <i>Neocalanus</i> copepods)	19	-	21	Miyashita <i>et al.</i> ³⁸⁾

線上の水平方向500m, 深度方向10mのセル毎に出力した。各調査における調査海域内のスケトウダラの分布量 (Abundance) は, 調査線の配置から調査海域を3つのサブエリア (調査線 B ~ F, F ~ H, H ~ L に挟まれた領域) に分けて, 3.1式に従い算出した。調査によって調査範囲が若干異なるため, 分布量の計算範囲は共通した領域である B ~ L 線とした。

$$Abundance = \sum_{m=1} \left[\left(\frac{\sum_{k=1} \sum_{j=1} NASC_{jk}}{L_k} \right) \times A_m \right] \quad (3.1)$$

ここで, $NASC_j$ は深度層 j における $NASC$, k は調査線の番号 (B ~ L), m はサブエリアの番号, L_k は調査線 k の長さ (m), A_m はサブエリア m の面積 (nm^2 : 3.43km^2) を表す。

3. 2. 2 海洋観測

調査線 A, C, E, F, G, H, J および L の始点, 中間点および終点においてCTD (SeaBird) による海面~海底付近までの水温, 塩分の観測を行った (Fig. 3. 1)。水深が500mより深い海域では観測は500mまでとした。音響調査線上の水温, 塩分値は, 各観測点の値から通常クリギングによる空間補完により推定した^{54,55)}。水温および塩分データのクリギングは深度10m層毎に行った。次に, クリギングにより推定された水温, 塩分データを用いて, 計量魚探機から出力される各調査線上の水平方向500m, 深度方向10mのセル内の水温, 塩分平均値を計算した。クリギングおよび各セル内の水温, 塩分平均値の算出は地理情報システム解析ソフト ArcGIS 9.3 (ESRI社製) を用いて行った。得られた結果は, 水温 1°C , 塩分は0.1単位で集計した。調査海域の水塊区分は Rosa *et al.*⁵⁶⁾ に従い, 次のように行った (Fig. 3. 2)。

津軽暖流水 (the Tsugaru Warm Current water : 以降 TWC と略す) : 水温 5°C 以上, 塩分 33.7 ~ 34.2。
 親潮水 (the Oyashio water) : 水温 7°C 以上, 塩分 33.0 ~ 33.7, $\sigma_t 26.7$ 未満。
 沿岸親潮水 (the Coastal Oyashio water) : 水温 2°C 未満, 塩分 33.0 未満。
 低温低層水 (the Cold Lower-layer water) : $\sigma_t 26.7$ 以上。主として表層域における加熱によって各定義より温度の高い親潮水および沿岸親潮水として親潮表層水 (the surface water of the Oyashio water) および沿岸親潮表層水 (the surface water of the Coastal Oyashio water)

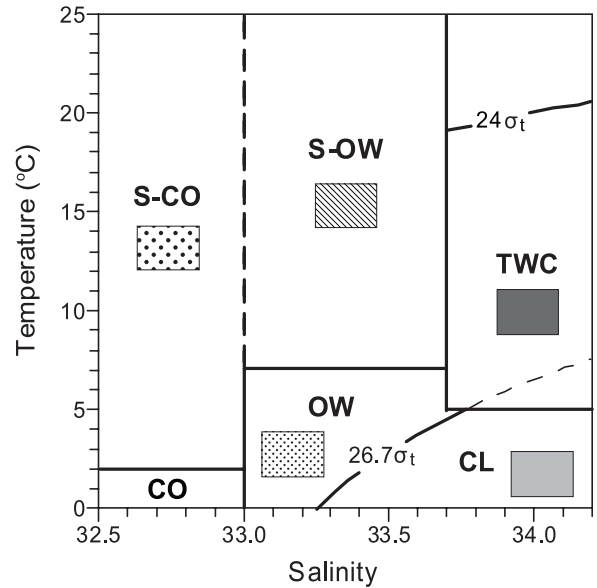


Fig.3.2 Classification of six water masses used in this study⁵⁶⁾: The Tsugaru warm Current water (TWC), the Oyashio water (OW), the Coastal Oyashio water (CO), and the Cold Lower-layer water (CL). The S-OW and S-CO indicate the solar heated surface waters of the Oyashio water and the Coastal Oyashio water, respectively. Symbols correspond to those used in Fig. 3. 9 and Fig. 3. 10.

である。

なお, the Cold Lower-layer water, the surface water of the Oyashio water および the surface water of the Coastal Oyashio water は日本語訳が定義されていないため, 著者が直訳した名称である。

3. 3 結果

以降の記載では, 各調査を行った時期とスケトウダラ成魚の生活年周期の関係をわかりやすくするため, 各調査を調査回数ではなく, 次のように調査を行った月の名称で呼ぶこととする。1次調査: 9月調査, 2次調査: 11月調査, 3次調査: 1月調査, 4次調査: 3月。

3. 3. 1 計量魚探機で観察された魚群と魚種判別

Fig. 3. 3 に, 各月の調査で観察されたエコグラムとスケトウダラと考えられる典型的な魚群を示す。9月調査においては, 海底深200~300mと海底深350~400mにスケトウダラと考えられる海底に接するか, やや離れて海底に沿った層状の魚群が観察された。調査線によって反応の強さに違いはあるものの, ほぼ同様の魚群が他の調査線上においても観察された。11月調査でも, 9月と同様に海底に沿って連続して分布する魚群が海底深250~500mに観察された。また, 魚群反応は9月と比較して強

かった。両月の調査とも、魚群はおおむね200m前後の水域で途切れており、水深150m以浅の大陸棚上には観察さ

れなかった。1月調査では、濃密な魚群が大陸棚上に観察された。これらは、調査線によっては非常に反応の強

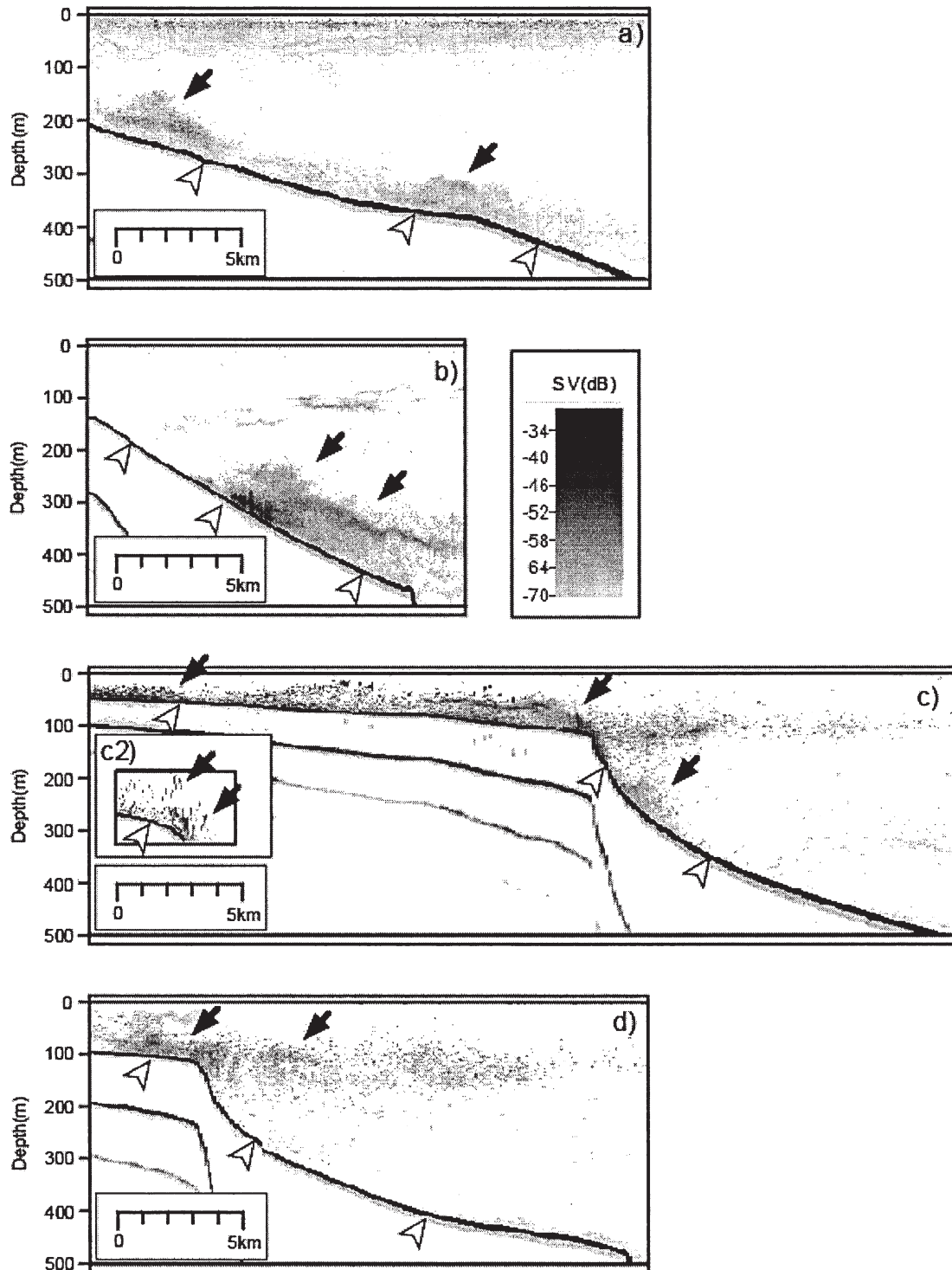


Fig.3.3 Typical echosigns of adult walleye pollock observed along the transect line (black arrows): (a) September (first) survey, (b) November (second) survey. (c) January (third) survey, (d) March (fourth) survey. Pollock formed continuous layers along the sea bottom and sometimes formed dense patches (c2) in January. White arrows show the sea bottom.

いパッチ状の魚群となっていた (Fig. 3.3c)。また、それとは離れて海底深 200 ~ 300m にも海底に沿った魚群が分布していた。3月調査では、1月と同様に大陸棚上に魚群が観察された。これらの反応は、水深100~150m層で沖に向かって連続した魚群を形成し、沖合方向に向かって徐々に反応が弱く、まばらとなり、海底深500m付近で観察されなくなった。

9月調査では、魚種確認のため、スケトウダラを含むと考えられる魚群反応を対象として、着底トロール網によるサンプリングを行った。2004年度は、エコグラムの観察結果から水深200m台と300m台の魚群反応を対象とした。また、2005年は水深200m台で適当な曳網場所がなかったことから、水深300m台の魚群反応を対象として曳網を行った。これらの3回の採集物では、スケトウダラ単独、またはスケトウダラおよびイトヒキダラ *Laemonema longipes* が優占していた。これ以外では、魚探機の海底デッドゾーン内に分布すると推定されるマダラ *Gadus macrocephalus* やカジカ類、カレイ類、ゲンゲ類などの底生性魚類が大部分を占め、その量もスケトウ

Table 3.3 Percentage and weight by species in catches from three bottom trawl hauls during the September (first) surveys in 2004 and 2005.

Year	2004		2005
Haul No	1	2	1
Towing Depth(m)	270	310	310
Total Catch (kg)	723	78	65
Species Composition (W%)			
Walleye pollock	84.8	38.9	76.5
Threadfin hake	0.1	19.2	0.0
Pacific cod	2.2	9.0	4.6
Flatfish	2.3	3.8	10.6
Sculpins	4.2	2.8	1.2
Eel pouts	0.0	21.8	1.4
Others	6.4	4.5	5.8

Table 3.4 Percentage of adult fish in walleye pollock samples collected in trawl surveys and commercial Danish seine.

Fishing Year	Trawl surveys			Danish seine Fisheries			
	2004		2005	2004		2005	
Survey	1st	1st	1st	2nd	3rd	2nd	3rd
No of measured	160	101	100	100	101	100	90
% of Adults	100	42	100	100	86	100	100

ダラと比較して少なかった (Table 3.3)。音響データからスケトウダラとイトヒキダラを区別することは困難であるため、9月調査時に、スケトウダラと見なした魚群にはイトヒキダラも含まれる可能性があると考えられた。採集されたスケトウダラのうち、成魚の占める割合は2曳網で100%、1曳網で42%であった (Table 3.4)。こ

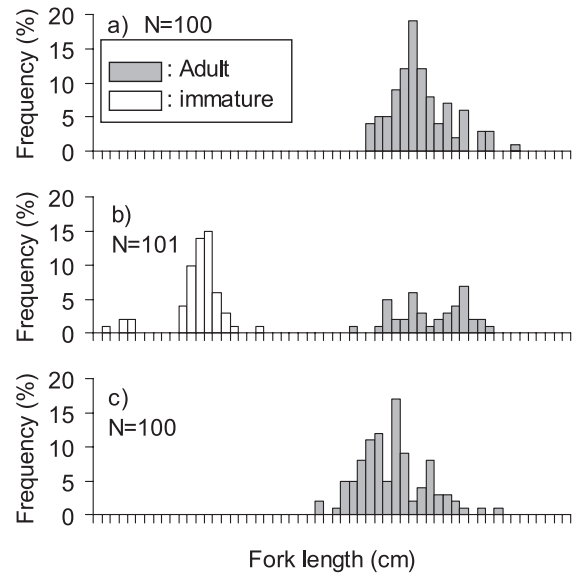


Fig.3.4 Frequency distributions of walleye pollock fork length, collected in trawl surveys: (a) Haul No. 1 in 2004, (b) Haul No. 2 in 2004, and (c) Haul No. 1 in 2005.

Table 3.5 Percentage and weight by species in catches from commercial Danish seine fisheries operating in the same period and area as the November (second), the January (third) and the March (fourth) acoustic surveys in 2004 and 2005.

Survey Year	2004			2005		
	2nd	3rd	4th	2nd	3rd	4th
Month	Nov.	Jan.	Mar.	Nov.	Jan.	Mar.
Species Composition (W%)						
Walleye pollock	93.4	96.1	75.5	95.9	99.0	38.9
Pacific cod	4.1	0.3	14.6	2.7	0.2	14.2
Saffron cod	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Arabesque greenling	0.1	0.1	0.9	0.0	0.0	0.5
Pacific herring	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.1
Flatfish	1.6	2.6	3.5	1.0	0.3	41.5
Channel rockfish	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mottled/Long shanny	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1
Japanese common squid	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Octopus	0.4	0.1	0.9	0.2	0.1	1.6
Sculpins	0.1	0.2	1.8	0.0	0.1	1.5
Skates	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
Others	0.2	0.4	1.2	0.1	0.1	1.1

これらのスケトウダラの尾叉長組成を Fig. 3.4 に示す。成魚の尾叉長は31~54cm, 未成魚の尾叉長は 6~24cmの範囲にあった。また, 未成魚が含まれた 1 標本の尾叉長組成から, (2.7) 式を用いて未成魚と成魚の反応の強さをそれぞれ算出したところ, 反応の83%が成魚に由来した。従って, 観察された魚群反応は主としてスケトウダラ成魚に由来するものと判断される。11月, 1月および3月調査と同じ期間に調査海域内で操業した沖底漁業の魚種別漁獲割合を Table 3.5 に示す。いずれの期間においても, 底生性魚類を除くとスケトウダラが90%以上を占めていた。また, イトヒキダラの漁獲は0と報告されており, 11月調査以降ではその分布量はスケトウダラと比較して混獲程度の少ない量であったと推測された。12月および1月または2月上旬に採集した沖底漁業の漁獲物の尾叉長範囲は32~59cmにあり (Fig. 3.5), 成魚の割合は86~100%の範囲にあった (Table 3.4)。これらのことから, 11月~3月調査においてスケトウダラと判断された魚群は, 主としてスケトウダラ成魚で構成されていたと見なした。

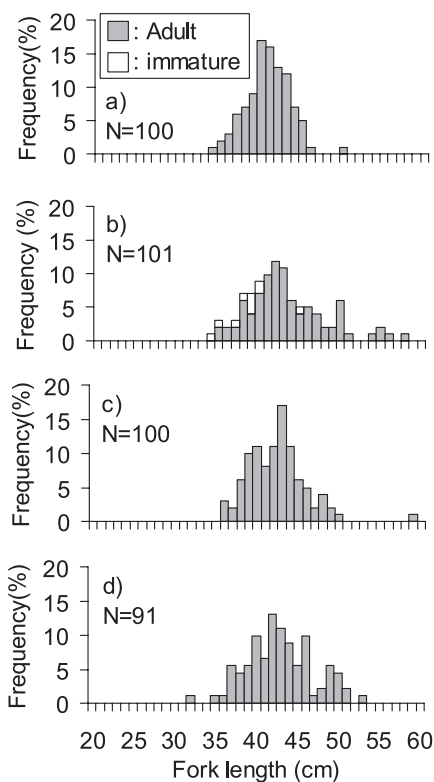


Fig.3.5 Frequency distributions of walleye pollock fork length, collected in commercial Danish seine fisheries: (a) December in 2004, (b) January in 2005, (c) December in 2005, and (d) January in 2006.

3. 3. 2 スケトウダラの分布量, 鉛直および水平分布の時期別変化

音響データから推定した調査海域内におけるスケトウダラ分布量の時期別変化を Fig. 3.6 に示す。分布量は, 9月調査で最も少なく, その後11月調査時には9月調査の約6倍 (2004年度) および4倍 (2005年度) に増加した。1月調査では, 11月調査より増加して2004年度, 2005年度とも4回の調査中最も多くなったが, 3月調査時には1月調査の1/4 (2004年度) および1/5 (2005年度) と大きく減少した。この変動パターンは2004, 2005年度とも同一であった。Fig. 3.7 に, 全調査線におけるスケトウダラの鉛直分布の時期別変化を示す。9月調査において,

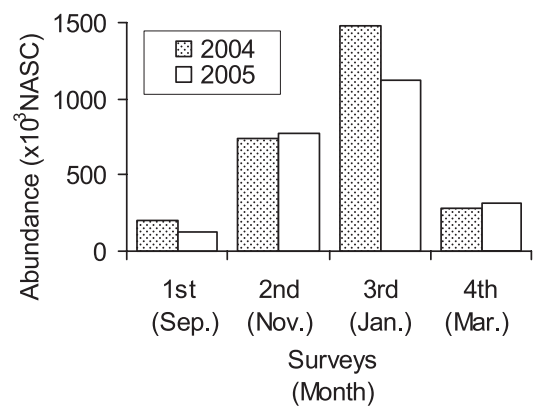


Fig.3.6 Walleye pollock abundance in Hidaka Bay during the 2004 and 2005 surveys. Relative abundance was shown as the sum of the nautical area scattering coefficient (NASC).

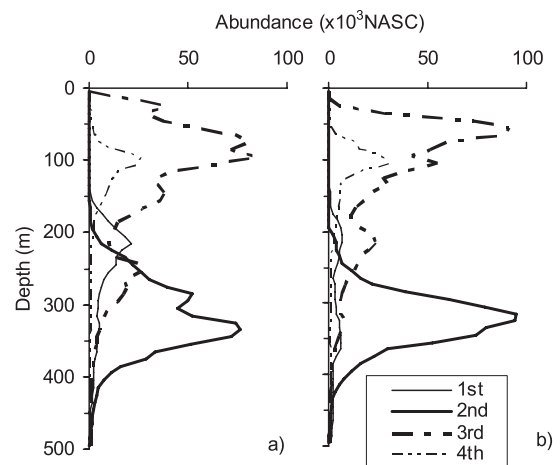


Fig.3.7 Vertical distribution of walleye pollock observed during each acoustic survey. Relative abundance was shown as the sum of the nautical area scattering coefficient (NASC): (a) the 2004 surveys and (b) the 2005 surveys.

スケトウダラは水深150~400m層に分布していた。2004年度は210m台に強いピーク、330m台に弱いピークが観察された。2005年度は210mおよび350m台に弱いピークが見られた。

11月調査では、スケトウダラは水深200~450m層に分布し、最も高い値は2004年度が340m台、2005年度は310m台に観察され、昼夜込みで調査を行った2004年度、夜間のみ調査であった2005年度とも同様の結果となった。1月調査における分布水深の範囲は、9月および11月調査より広がり、水深10~400m層となった。ピークの値も9月および11月調査と比較して浅い水深層に移り、2004年度

は100および150m, 2005年度は60および210mの二峰型となった。3月調査においても、1月調査と同様にスケトウダラは浅い水深にとどまっており、両年ともピークは100mに観察された。

2004および2005年度のスケトウダラ水平分布の時期別変化を、Fig. 3.8およびFig. 3.9に示す。9月および11月調査においては、概ね海底深200~400mの大陸面上にスケトウダラ魚群が観察され、9月調査では海底深200~300mに、11月調査はそれよりやや沖側の海底深300~400mに分布の中心が見られた。1月調査における分布は、9月および11月調査と大きく異なり、海底深150m以浅の

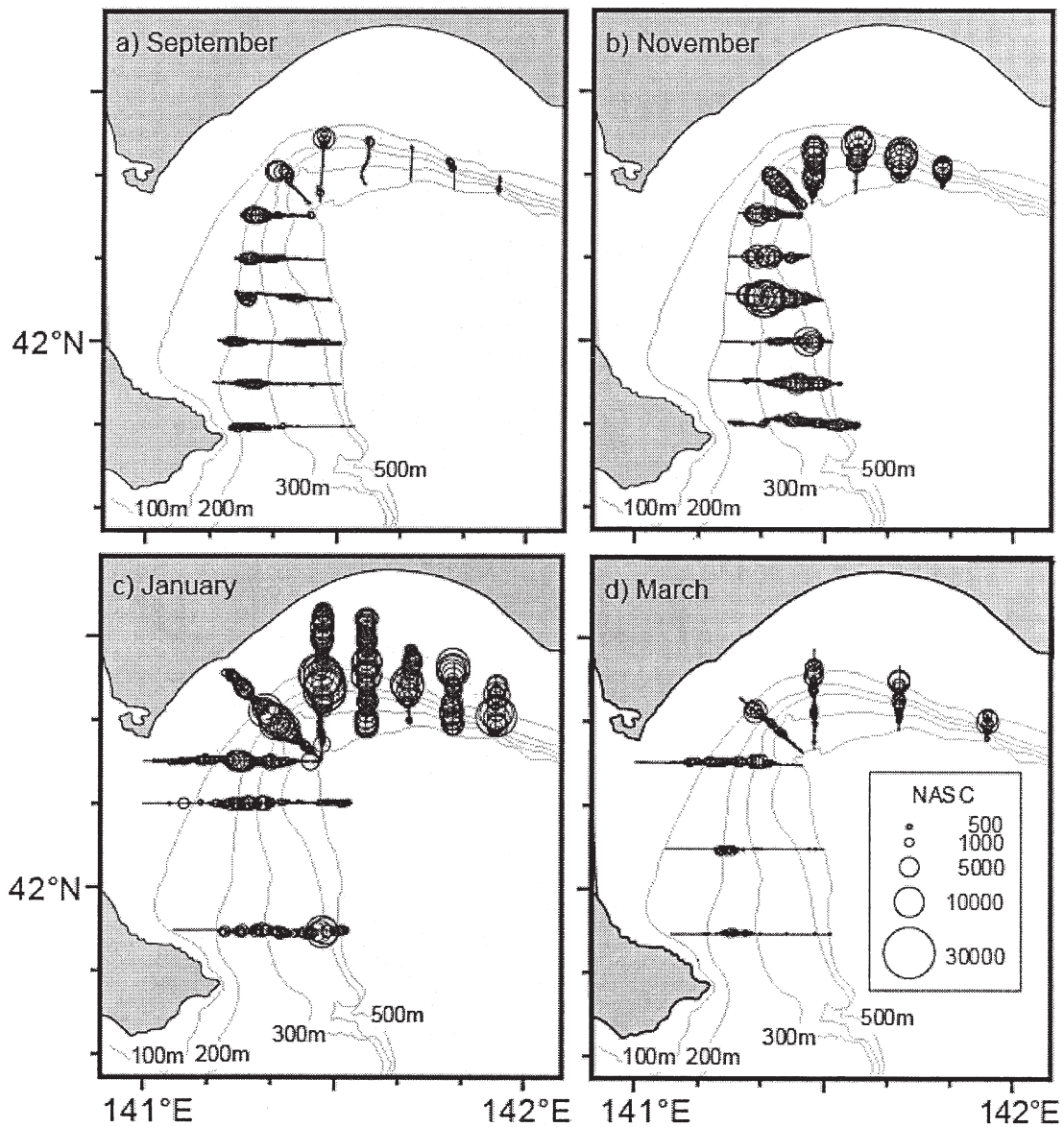


Fig.3.8 Horizontal distribution of walleye pollock observed during the 2004 surveys : (a) September (the first survey), (b) November (the second survey), (c) January (the third survey) and (d) March (the fourth survey). Size of circles are proportional to pollodk density (nautical area scattering coefficient, NASC) calculated in 500 m intervals.

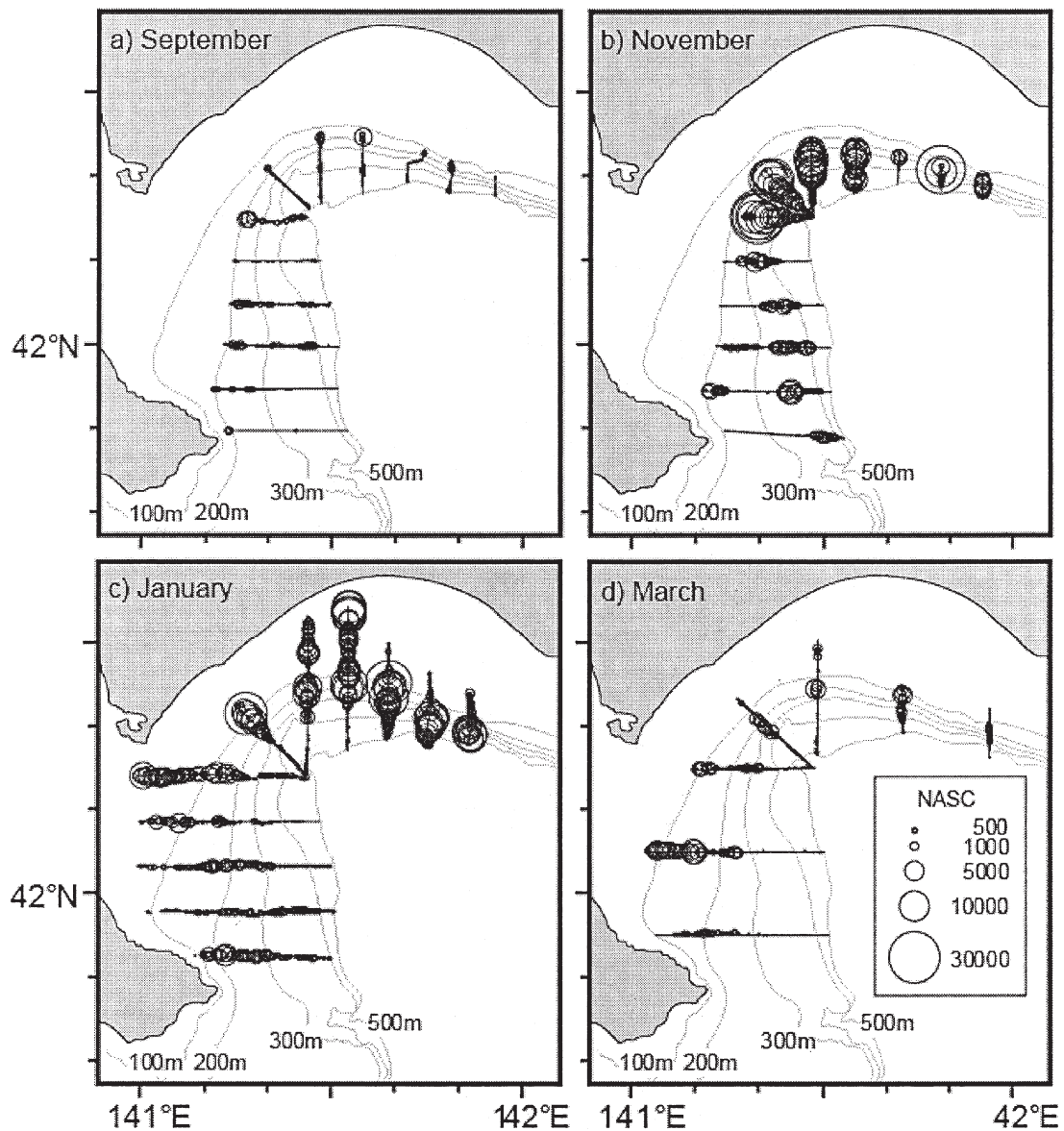


Fig.3.9 Horizontal distribution of walleye pollock observed during the 2005 surveys : (a) September (the first survey), (b) November (the second survey), (c) January (the third survey) and (d) March (the fourth survey). Size of circles are proportional to pollock density (nautical area scattering coefficient, NASC) calculated in 500 m intervals.

大陸棚上にも魚群が観察され、分布域が大陸棚から斜面域まで広がっていた。3月調査におけるスケトウダラの分布は概ね海底深150m以浅の大陸棚上に限定されており、それより沖側ではわずかに観察される程度であった。このような水平分布の時期別変化は、2004, 2005年度に共通して観察された。

3. 3. 3 日高湾の海洋環境とスケトウダラの分布

調査海域のほぼ中央に当たる調査線 F における水温、塩分および水塊の鉛直分布の時期別変化を Fig. 3. 10 に

示す。2004年度の9月調査では、水温は海面の18℃から水深の増加に伴って徐々に低下して水深230mから2℃台となった。水温は300mで最低の2.1℃となり、その後わずかに上昇して水深500mで2.9℃となった。水塊分布をみると、表層域から水深150m前後まで水温7～18℃、塩分33.7～34.1の津軽暖流水が分布していた。その下側は一定していたが、それ以深で急激に水温、塩分とも低下して水深180mで2℃台となった。水塊の分布は9月調査と大きな変化はなく、表層～100mまで津軽暖流水、水深100～300m前後まで親潮水、それより深い水深帯には、

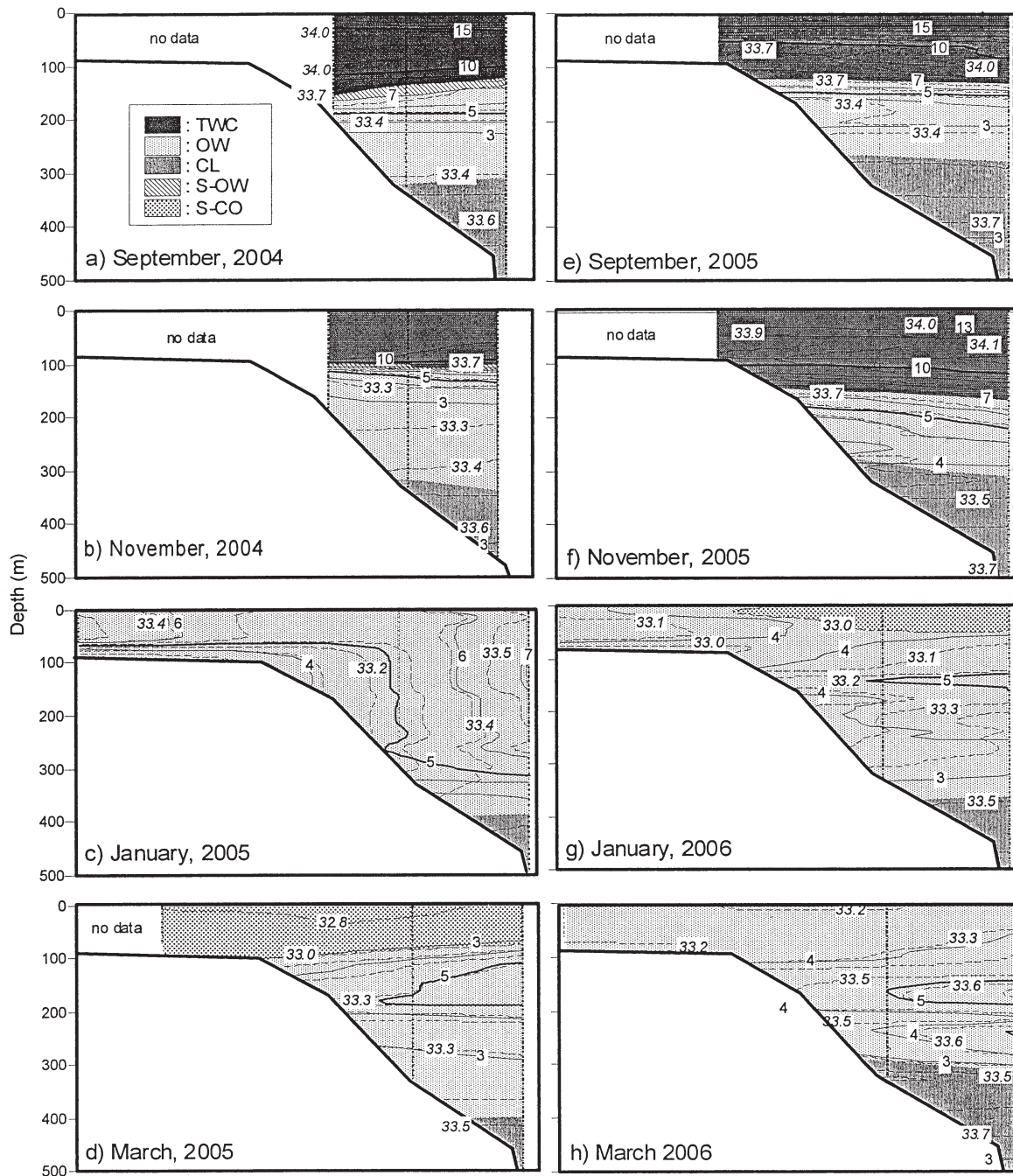


Fig.3.10 Vertical profiles of temperature, salinity, and water mass along transect F located in the center of the survey area. Left panels show profiles in 2004 surveys, and right panels show them in 2005 surveys: (a) and (e) September (the first surveys), (b) and (f) November (the second surveys), (c) and (g) January (the third surveys), (d) and (h) March (the fourth surveys). The capital alphabet indicates the water mass classified based on Rosa et al. 56): the Tsugaru Warm Current water (TWC), the Oyashio water (OW), the Cold Lower-layer water (CL), the surface water of the Oyashio water (S-OW), and the surface water of the Coastal Oyashio water (S-CO).

水温 2 ~ 7℃, 塩分 33.4 ~ 33.7 の親潮水が水深 320m まで広がっていた。親潮水の下側は水温 2℃ で安定し, 塩分 33.4 ~ 33.7 の低温低層水が分布した。11 月調査では, 表層 ~ 水深 100m まで水温 10 ~ 11℃, 塩分 33.7 では低温低

層水が分布していた。1 月調査では, 海域全体にわたって水温が 5 ~ 7℃ と変化が小さくなった。水塊分布を見ると, 9 月および 11 月調査で共通して観察された表層域の津軽暖流水は消失し, 親潮水が広く調査海域を覆って

いた。低温低層水は水深400m以深に分布した。3月調査では、表層～水深100mまで水温 2～3℃、塩分33.0未満の沿岸親潮表層水が広く覆っていた。水温 2℃以下の沿岸親潮水に分類される水塊は観察されなかった。水深100m～400mまでは水温 2～5℃塩分33.0～33.4の親潮水が占めていた。2005年度の9月調査において、水塊分布は2004年度とほぼ同様で、水深20m～130mまで水温 7～14℃、塩分33.7～34.2の津軽暖流水、水深130m～270mまで水温 2～7℃、塩分33.4～33.7の親潮水、親潮水の下層に低温低層水が分布していた。11月調査における水温の変化は2004年度と比較して緩やかで、表層の13℃から徐々に低下し、水深290mで2℃台となり安定した。水塊分布は2004年度とほぼ同様であり、表層～水深190mまで水温 6～13℃、塩分33.7～34.2の津軽暖流水、水深190～300m、前後まで親潮水、それ以深は低温低層水が分布した。1月調査において観察された水温範囲は2～5℃と2004年度より低く、また9月および11月と比較して変化が小さくなった。調査線の沖側の表層には水温 3℃、塩分33.0未満の沿岸親潮表層水が観察されたが、2℃以下の寒冷な沿岸親潮水は認められなかった。大陸棚上から沖合の水深350mまでは2004年度と同様に親潮水が広く覆っていた。3月調査においては、表層～水深300mまで水温 2～6℃、塩分33.2～33.6の親潮水が1月調査と同様に広く分布していた。それより下層には低温低層水が分布した。

通常クリギングにより得られた10m毎の水深層における水温および塩分の推定値について、実測値との交差検定を行った結果、調査によって差はあるものの、推定値と実測値の標準偏差は水温で0.0～1.6℃、塩分で0.00～0.27の範囲にあった(Table 3.6およびAppendix 2)。2004年度および2005年度における水温、塩分およびスケトウダラ分布量の関係を、それぞれFig. 3.11およびFig. 3.12に示す。スケトウダラはいずれの年においても限られた水温と塩分の範囲に分布しており、その範囲には時期による違いが認められた。2004年度の9月調査では、スケトウダラに由来するNASCの90%以上が水温 2℃以上 6℃未満の範囲に分布していた。2004年度の11月調査および

2005年度の9月および11月調査では、その範囲が 2℃以上 4℃未満であった。両年とも、スケトウダラの分布割合が最も高かった水温は 2℃以上 3℃未満で、9月調査が51～66%、11月調査では86～96%を占めた。これらの分布範囲における塩分値は、2004年度が33.2以上 33.8未満、2005年度が33.4以上33.8未満であった。1月調査における分布水温の範囲は、2004年度が 2℃以上 8℃未満で、そのうちスケトウダラの90%以上が 4℃以上 6℃未満の範囲に分布した。2005年度は、スケトウダラの分布範囲が 2℃以上 7℃未満にあり、そのうち 3℃以上 5℃未満の範囲に90%以上が分布していた。1月調査におけるクリギングによる水温推定値の誤差が11月調査と比較してやや大きいことを考慮しても、分布水温が11月より高くなったと考えられる。最もスケトウダラの分布割合が高かった塩分は、2004年度が33.1以上33.4未満、2005年度が32.8以上33.4未満と11月調査時と比較して低かった。2004年度の3月調査では、スケトウダラの90%以上が 2℃以上 5℃未満、2005年度は 3℃以上 6℃未満の範囲に分布していた。

スケトウダラ分布と水塊の関係をFig. 3.13に示す。時期によりスケトウダラが分布する水塊に変化が観察された。2004年度の9月調査では、スケトウダラに由来するNASCの78%が親潮水中に分布していたが、2004年度の11月調査および2005年度の9月および11月調査では、70%以上が低温低層水中に分布した。1月調査では、11月調査時とは異なり、両年度とも90%以上が親潮水および沿岸親潮表層水中に分布していた。また、3月調査においても70%以上が親潮水中に分布した。

3.4 考察

3.4.1 スケトウダラの魚群判別

日高湾では、スケトウダラを対象とした漁業が10月から本格的に開始されるため、これ以降の調査船によるオッタートロール漁具を使用したサンプリングは非常に困難になる。また、漁業者はスケトウダラの分布を魚群探知機等で観察しながら漁具を設置するため、経験的に見て、オッタートロールが実施できるような漁具の少ない

Table 3.6 Standard deviation of errors between observed and geostatistically estimated temperature and salinity in cross validation.

Year		2004		2005	
Survey	Month	Temperature	Salinity	Temperature	Salinity
1st	Sep.	0.1-1.3	0.00-0.13	0.0-1.3	0.01-0.20
2nd	Nov.	0.1-1.1	0.02-0.10	0.2-1.1	0.05-0.11
3rd	Jan.	0.1-1.6	0.02-0.27	0.0-0.9	0.02-0.20
4th	Mar.	0.1-1.2	0.03-0.16	0.1-1.5	0.04-0.23

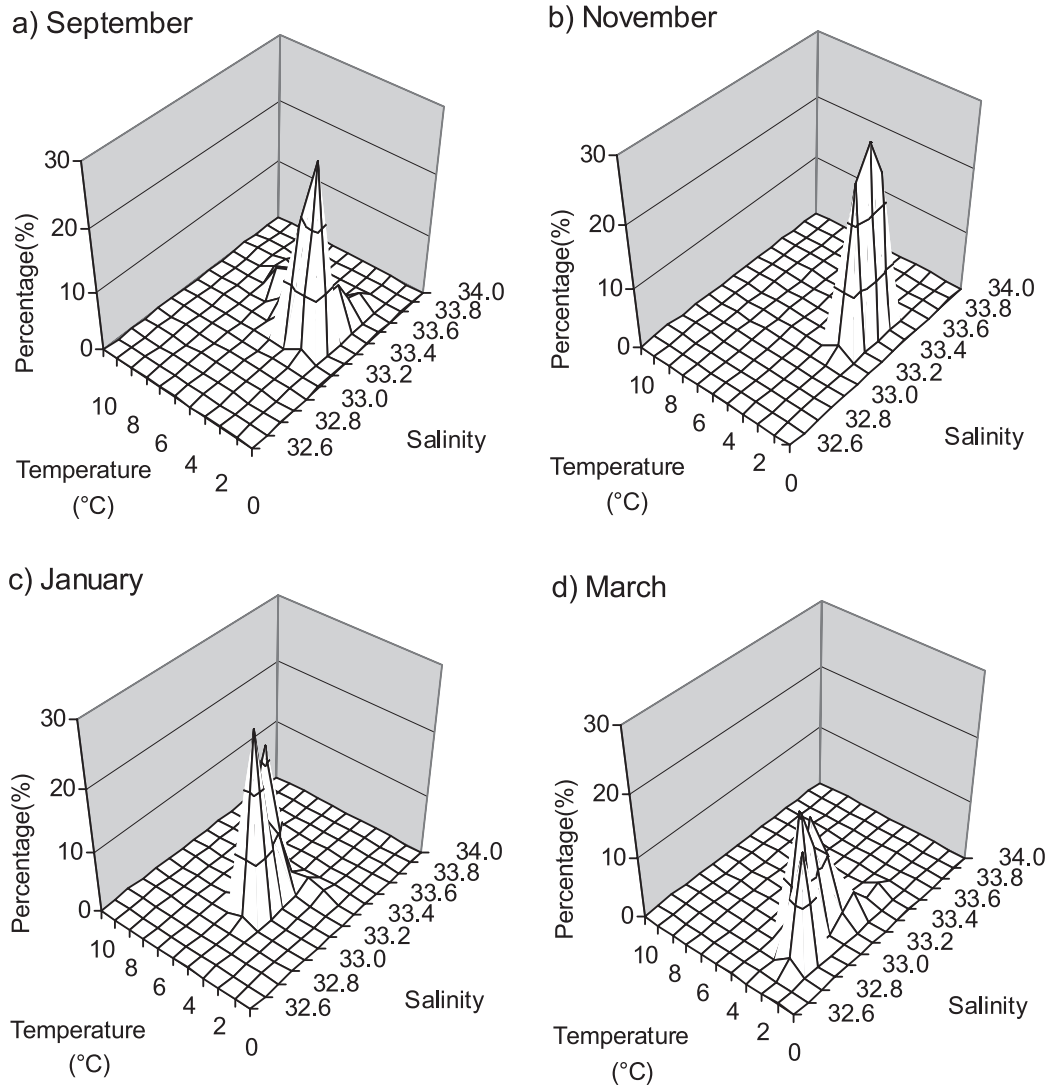


Fig.3.11 Three-dimensional plots of walleye pollock distribution as percent acoustic abundance (% of NASC), against temperature and salinity observed during the 2004 surveys: (a) September (the first survey), (b) November (the second survey), (c) January (the third survey), and (d) March (the fourth survey).

水域の魚群分布量は少ない。このため、漁具の少ない水域でサンプリングした標本が、この水域に分布するスケトウダラを代表するかどうか疑問がある。そこで本章では、比較的漁具の少ない9月調査では、オッタートロールによる魚種確認を行ったが、それ以降はオッタートロールより狭いスペースで操業でき、かつ調査期間を通じて調査海域内で繰り返し操業する沖底漁業（かけまわし漁法）の漁獲統計データを魚群反応の魚種判別に用いた。一方、動物プランクトンなどの微小生物はトロール網によって採集されず、日高湾ではこれらを対象とする漁業もない。このような微小生物とスケトウダラは、 Δ MVBS法を用いて区別できることが道東海域におけるスケトウダラ研究によって示されている。Miyashita *et al.*³⁸⁾は、道東

海域において Δ MVBS法を用いて、スケトウダラとオキアミなどの大型動物プランクトンおよびそれより小型の*Neocalanus*などのカイアシ類を音響的に区分し、その分布をエコグラム上で示した。従って、トロール網によって採集されない小型の生物由来と考えられる反応は、 Δ MVBS法によって区別され、スケトウダラと見なした反応には含まれていないと考えられる。

Fig. 3.3に示したように、9月調査において海底に沿って連続して分布する層状の魚群反応が観察され、このような魚群を対象としてトロール調査を行った。これらの採集物中には、スケトウダラ単独、またはスケトウダラとイトヒキダラが優占していた。また、スケトウダラおよびイトヒキダラ以外は、魚探機の海底デッドゾーン内

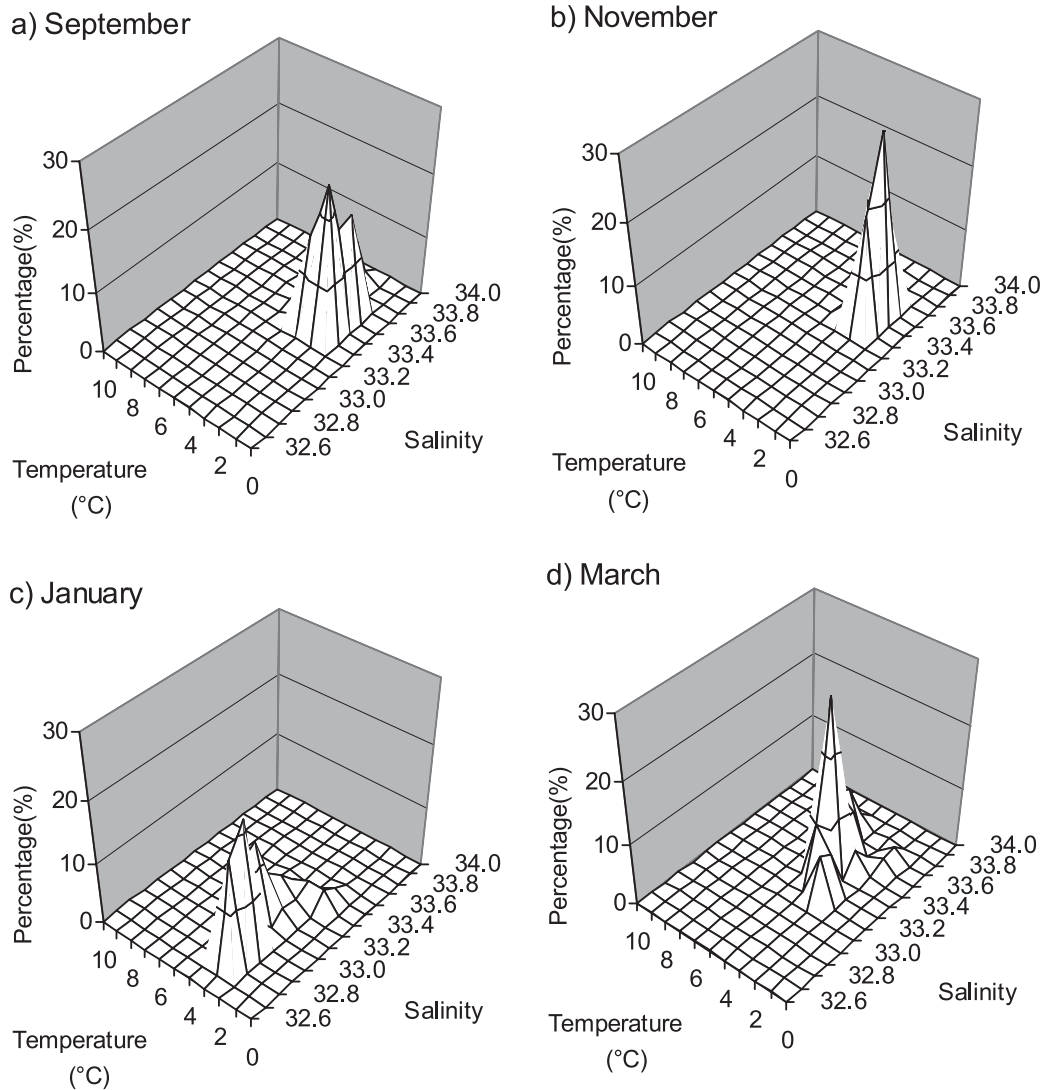


Fig.3.12 Three-dimensional plots of walleye pollock distribution as percent acoustic abundance (% of NASC), against temperature and salinity during the 2005 surveys: (a) September (the first survey), (b) November (the second survey), (c) January (the third survey), and (d) March (the fourth survey).

に分布すると推定される底生性魚類が大部分を占めていた。11月～3月調査と同期間に、調査海域内において操業した沖底漁船の漁獲物中には、スケトウダラが90%以上を占めていた。スケトウダラとイトヒキダラを音響的に区別することは困難なため、9月調査ではイトヒキダラの反応が混在した可能性がある。しかし、音響データから推定された9月調査時の分布量は、11月調査の1/4および1/6と非常に少なかったことから、イトヒキダラの分布量も少なかったと考えられる。さらに、11月調査以降の沖底漁業の漁獲データからも、調査海域内に分布するイトヒキダラの量は、スケトウダラと比較して非常に少なかったと考えられる。これらのことから、11月調査以降に観察された分布量の増加は、主としてスケト

ウダラに由来すると考えられる。このことから、イトヒキダラの混在が本研究の調査結果に与える影響はほとんどないと判断される。また、トロール漁獲物、沖底漁獲物とも成魚の割合が高かったこと、尾叉長組成からみて、音響反応の大部分が成魚に由来すると考えられることから、本研究でスケトウダラと判別された魚群反応は、スケトウダラ成魚に由来していたと判断される。

3. 4. 2 スケトウダラ成魚の分布、回遊と海洋環境

海洋観測の結果から、索餌期の9月調査から産卵期の移行期にあたる11月下旬の調査まで日高湾の表層域～水深150m前後に広く津軽暖流水が分布し、その下層に親潮水、さらにその下の水深350m前後に低温低層水が分布し

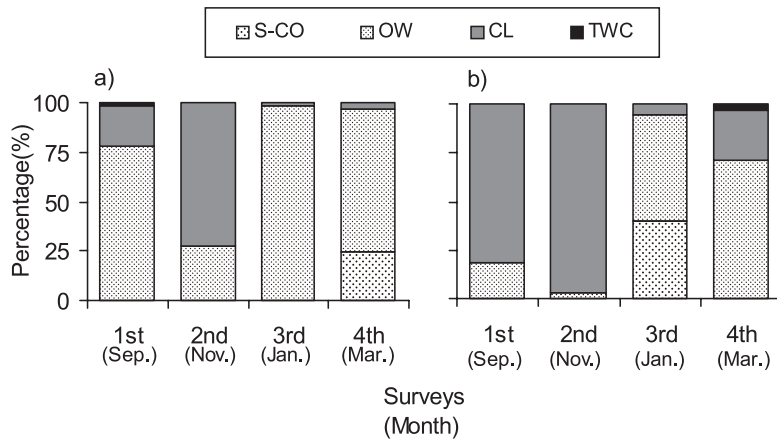


Fig. 3.13 Percent acoustic abundance (% of NASC) in each water mass: (a) the 2004 surveys and (b) the 2005 surveys. The capital alphabets indicates the water mass classified based on Rosa et al. (2007): the Tsugaru Warm Current water (TWC), the Oyashio water (OW), the Cold Lower-layer water (CL), the surface water of the Oyashio water (S-OW), and the surface water of the Coastal Oyashio water (S-CO).

た。低温低層水は、道東海域～日高湾⁵⁶⁾および東北海域⁵⁷⁾にかけて、親潮水より深層に広く分布する水塊である。このような水塊分布は、前田ら⁴⁵⁾およびRosa *et al.*⁵⁶⁾の報告と一致したことから、この時期の一般的な水塊分布であったと考えられる。この時期、スケトウダラ成魚は主として大陸斜面上の水深200～400m層、水温2～3℃の低温低層水中に分布していた。分布量の増加した11月調査における分布水深のピークは、340および310mに観察された。11月調査では、中層域における水温分布に2004年度と2005年度でやや違いが観察されたが、スケトウダラはそれより深い水温の安定した水深層に分布しており、両年の分布水温に違いはなかった。日本海における同時期の分布水深は375～485m層にあり、その水温は0.53～0.98℃と報告されている⁵⁸⁾。日本海、日高湾ともに、スケトウダラの分布は餌生物の分布と強く関連することが報告されている^{46,59)}。また、吉田・桜井⁶⁰⁾は、スケトウダラ成魚の同化率は2～15℃の水温範囲で大きく変化しないが、異化率は水温の増加に伴って上昇することを観察している。従って、スケトウダラ成魚にとって低温の水帯に分布することは、エネルギー効率をあげる利点があると推察される。日高湾においては、日本海のように1℃以下の水は観察されないが、スケトウダラの分布割合が最も高かったのは、調査海域内で最も低い2℃台の水温帯であった。これらのことから、低温低層水は餌の分布が豊富⁴⁶⁾なばかりでなく、エネルギー消費を抑える利点も有していると考えられる。

産卵盛期である1月における分布は、大陸斜面～大陸

棚上まで広がっていた。鉛直分布も水深100m前後に最も大きなピークが観察され、この時期に分布が水平的にも鉛直的にも大きく変化した。また、日高湾の海洋環境も産卵期への移行期にあたる11月～産卵盛期の1月にかけて急激に変化した。即ち、スケトウダラの分布および産卵に不適と考えられている、表層域を広く覆っていた高水温の津軽暖流水⁴⁴⁾が消失し、変わって産卵場所と考えられている大陸棚上⁴⁴⁾は、水温3～7℃の親潮水および沿岸親潮表層水が占めていた。スケトウダラは、大陸棚を広く覆うこれらの水塊中に分布していた。Maeda¹⁴⁾によると、産卵期における浅海域への移動は、スケトウダラに一般的にみられる行動とされている。従って、日高湾におけるスケトウダラの産卵期は、このような水塊の変化によく適応しているといえる。また、この海域における産卵場所は海底深100m前後の大陸棚上に形成される⁴⁴⁾。成熟した雄は雌よりも早く産卵場である浅海域に移動するが、雌は産卵期に水深200～300mの大陸斜面域に分布し、透明卵を持つようになると大陸棚上の産卵場所へ移動すると考えられている⁴⁴⁾。本研究の1月調査においても、多くの調査線で大陸棚と斜面域の両方にスケトウダラの分布が観察された (Fig. 3.3)。従って、本研究で大陸棚上に観察された魚群は、雄および産卵中の雌、沖側の大陸斜面上に観察された魚群が産卵前の雌魚で構成されていたと考えられる。前田ら⁴⁴⁾およびMaeda¹⁴⁾は、当海域における産卵期のスケトウダラ分布が寒冷な沿岸親潮水の影響を受けて変化すると述べている。しかし、本研究で観察した2年とも調査海域に沿岸親潮水は観察さ

れなかったことから、この水塊の影響について検討することができなかった。この点については、第5章で検討する。

本研究では、水温、塩分の水平分布を通常クリギングで推定し、地理情報システムを利用して、スケトウダラ分布との関係を数値化した。交差検定の結果からみると、スケトウダラの分布する水深帯における推定値と実測値の差は、平均して水温で1℃、塩分で0.1前後の範囲にあり、最も差の大きかった2004年度の1月調査では水温で1.6℃、塩分で0.26であった。1月調査では、9および11月調査と比較してスケトウダラの分布する水深帯における推定値と実測値の差はやや大きくなった。一方、1月と11月調査の分布水温の違いは2004、2005年度に共通して観察され、かつ11月との差も大きかった。従って、1月調査における推定値の誤差は、この時期に分布水温、水塊が変化したとする考察に影響を与えていないと判断される。

2004、2005年度とも索餌期の9月に行った調査のスケトウダラ分布量は少なく、その後11月調査時に増加して産卵盛期にあたる1月中～下旬に行われた調査で最も高い値を示し、産卵終期の3月調査時には再び減少した。安部ら⁴⁸⁾は、索餌期のスケトウダラを対象とした音響資源調査において、夜間に収集した調査線の平均SA値が、昼間のそれより大きかったと報告している。しかし、彼らは同じ時期でも海域によって昼夜の差が異なることも観察している。このことから、昼間に収集したデータに一樣な値を乗じて昼夜補正をかけることはできないと考え、本研究では昼間に収集したデータをそのまま使用した。2004年度の11月調査は昼夜込みの結果であったが、夜間のみ調査した2005年度と同様の結果を示した。また、1月調査は昼夜連続して収集したデータを用いたが、この月が最も高い値を示した。3月調査も1月と同様昼夜込みの値であったが、分布量は1月の1/4～1/5と大きく減少していた。安部ら⁴⁸⁾(1999)の報告した平均SA値の昼夜比は1.4～3倍、三宅ら⁵⁸⁾の報告では平均して1.8倍であった。従って、本研究で観察された分布量の時期別変化パターンに対して、調査時間の違いは大きな影響を与えていないと考えられる。Maeda¹⁴⁾は日高湾において定線で行った刺網漁獲試験により得られたスケトウダラのCPUEが産卵期の終わりに低下したことを報告し、産卵後のスケトウダラが沖合の水深300～350mの底層に移動すると推測している。また、一部の成魚は索餌期に道東海域や、南千島の太平洋岸および東北海域へと広範囲に回遊すると考えられるが、その割合は低く、大部分が日高湾にとどまると考えられていた⁴⁹⁾。しかし、前田⁴⁹⁾も指摘しているように、分布量の変化を示す定量的な

データはなく、実際にはどの程度の成魚が他の海域に回遊するか明らかではなかった。本研究の3月調査では、分布量は1月調査より著しく減少し、11月調査で魚群が分布していた沖側の水深300～400mにも魚群反応はほとんど観察されなかった。また、鉛直分布水深のピークも100m前後の浅い層にあった。これらのことから、前田⁴⁹⁾の推測とは異なり、産卵を終了したスケトウダラの大部分は日高湾にとどまらず、速やかに他の海域に移動すると考えられる。また、9月調査時における分布量も少なかったことから、他の海域からの来遊量はこの時期以降に増大したと推測される。スケトウダラの分布水塊の推移を見ると、分布量の増大した11月調査時には主として低温低層水、産卵期にあたる1月および3月調査においては主として親潮水中に分布した。一方、津軽暖流水中の分布割合は2～3%と非常に少なかった。低温低層水および親潮水は、日高湾～道東海域まで連続して安定して分布しており⁵⁶⁾、津軽暖流水は日高湾の沖合海域に分布する。従って、スケトウダラの日高湾への来遊ルートは低温低層水または親潮水に沿って形成されると考えられる。また、濱津・八吹⁶¹⁾は、道東海域に分布する成魚の成熟度変化から、秋季に道東海域に分布するスケトウダラ成魚の大部分が日高湾周辺で産卵すると推測している。志田ら⁵²⁾は、日高湾で産卵を終了したと考えられるスケトウダラが2月下旬に道東海域の大陸斜面域に分布していたことを報告している。以上のことから、スケトウダラ成魚の産卵および索餌回遊は主に日高湾と道東海域間で行われ、道東海域～日高湾への産卵回遊は低温低層水に沿って、産卵後の道東海域への索餌回遊は親潮水に沿って行われると考えられる (Fig. 3.14)。

第4章 スケトウダラ成魚の日高湾への来遊時期の変動と環境要因の影響

4.1 緒言

第1章で示したように、産卵の行われる時期は、産出された卵および仔魚の生残に関連する重要なスイッチの一つと考えられる。日高湾においても、産卵時期が年によって変動することが示唆されている⁴⁴⁾。前田⁶²⁾はベーリング海では産卵時期の年変動が体長組成の変動に起因すると述べている。また、資源量の減少に伴い産卵期が縮小することも理由として挙げられている⁴⁹⁾。しかし、日高湾の産卵群における産卵期の変化の詳細やその理由については今後の検討課題とされている⁴⁹⁾。スケトウダラと同じタラ科魚類の大西洋タラ (*Gadus morhua*) では、産卵期に影響を与える要因について研究報告が多く、

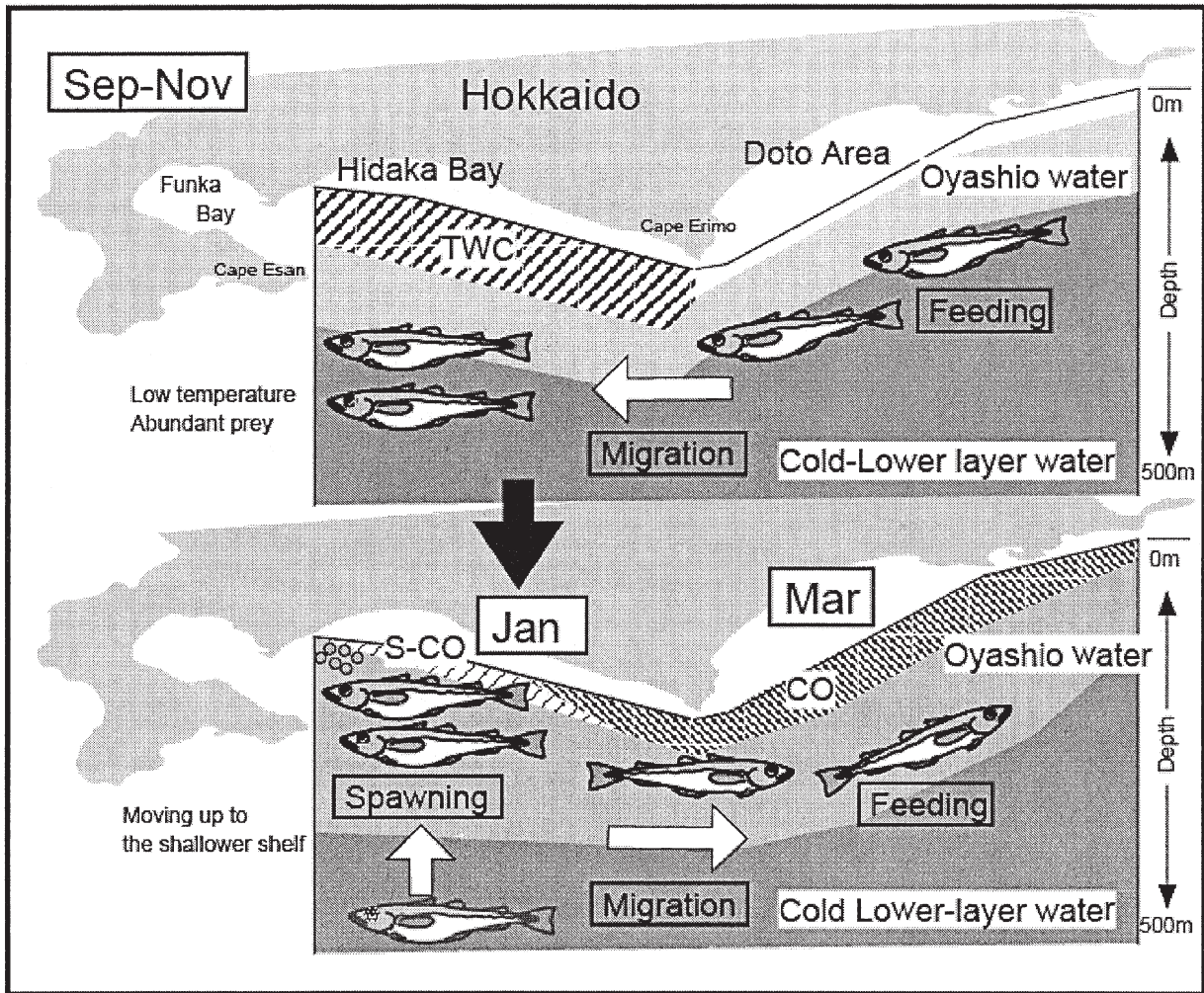


Fig.3.12 Vertical profiles of temperature, salinity, and water mass along transect F located in the center of the survey area. Left panels show profiles in 2004 surveys, and right panels show them in 2005 surveys: (a) and (e) September (the first surveys), (b) and (f) November (the second surveys), (c) and (g) January (the third surveys), (d) and (h) March (the fourth surveys). The capital alphabet indicates the water mass classified based on Rosa et al. 56): the Tsugaru Warm Current water (TWC), the Oyashio water (OW), the Cold Lower-layer water (CL), the surface water of the Oyashio water (S-OW), and the surface water of the Coastal Oyashio water (S-CO)

親魚の年齢や体長⁶³⁾、卵黄蓄積時期の水溫⁶⁴⁻⁶⁶⁾、資源密度や餌の量^{64,66)}などが挙げられている。産卵期の変化は、成魚を経時的にサンプリングして生殖腺の成熟度変化を観察して比較する方法があるが、この方法ではサンプルの採集深度によって、同時期においても成熟度や性比が変化するという問題点が指摘されている⁴⁴⁾。加えて、産卵場の日高湾だけでなく、太平洋系群の分布域全体からサンプリングしなければならないなど、実施は非常に難しい。これ以外に産卵場における卵の分布量を経時的に調べ、ピーク時期を推定する手法がある。しかし、この方法もスケトウダラの産卵期が3ヶ月以上と長く、気象条件の悪い冬期間に連続して調査することは非常に困難である。第3章で明らかにしたとおり、太平洋系群のス

ケトウダラ成魚は、産卵期の前に索餌場から日高湾に来遊し、産卵後に索餌場に回遊する。従って、日高湾への移動は産卵行動のはじまりであり、その時期の遅速は産卵期の遅速と連動していると考えられる⁶⁷⁾。そこで、本章では、日高湾への来遊時期に着目して、その経年変動を音響資源調査により調べた。また、漁獲量データと音響資源調査の結果を比較することにより、来遊時期の変動を漁獲量変動から検出できるかどうか検討した。次に、漁獲量データを用いて長期的な来遊時期の変動を明らかにし、これにどのような要因が関わっているかを検討した。

4. 2 材料と方法

4. 2. 1 音響資源調査

計量魚探機を用いた音響資源調査は、日高湾において1998年～2005年の8年間、9月または10月（1次調査）と、11月または12月（2次調査）の2回ずつ実施した。使用した計量魚探機は、1998年～2000年まで中央水産試験場所属試験調査船おやしお丸に搭載されたFQ-70（古野電気社製、50kHz）、2001～2005年は函館水産試験場所属試験調査船金星丸に搭載されたEK-60（シムラッド社製、38kHz および 120kHz）である。これらの較正は、調査開始前にハイドロフォン（FQ-70）または標準球（EK-60）により実施した。各調査の概要はTable 4. 1に示す。音響データは、調査海域内に等深線に垂直に、互いに平行に9.26km（5マイル）間隔で設定したA～Jまでの10調査線上をFQ-70は8ノット、EK-60は10ノットで航走しながら収集した（Fig. 4. 1）。調査範囲は、この時期のスケトウダラの分布域をカバーするために、水深200m～500mとした（第3章）。データ収集は本田⁵¹⁾の報告に基づき、魚群が海底から浮上する夜間に可能な限り実施した。夜間のデータ収集ができなかった調査線は昼間のデータを使用した。昼夜補正は行わなかった。1次調査では0500時～1800時を昼間、1800時～0500時を夜間、2次調査では0630時～1600時を昼間、1600時～0630時を夜間とした。

2001年以降の調査では、収集した音響データからのスケトウダラ魚群の判別は第2章と同様の方法で行った。FQ-70を使用した1998～2000年度の調査では、 $\Delta MVBS$ および TS 分布を援用することができないため、エコグラム上の魚群形状と分布水深（第3章の結果に従い、概ね水深200～400mの範囲に分布する魚群を選択）および水温（第3章の結果に従い、概ね2～5℃の範囲に分布する魚群を選択）から判断した。FQ-70により収集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、鉛直方向に水深0m～480mまで60m間隔の8層で積分し、スケトウダラを含む各積分層の平均SV値

を出力して、(2.2) および (2.3) 式から $NASC$ に変換した。EK-60で収集した音響データについては、FQ-70に合わせてスケトウダラの0.1マイル平均の $NASC$ を出力した。本章でも、スケトウダラの分布密度を表す数値として $NASC$ を使用する。スケトウダラ分布量 (*Abundance*) の推定範囲は調査線 A～L とし、調査海域を3つのサブエリア（調査線 A～F, F～H, H～L に挟まれた領域）に分けて、第3章と同様の手法により算出した。

4. 2. 2 漁獲統計データ

日高湾におけるスケトウダラの漁獲量を代表するデータとして、刺網による漁獲量を用いた。これは、この海域におけるスケトウダラ漁業の中で最も漁獲量が多いこと、1980年度以降の20年以上のデータがあること、操業海域が調査海域の全域にわたっていることが理由である。集計期間は漁獲量の多い10月～1月までとし、この期間を同一年度として取り扱った。各月の刺網漁業の漁獲量は、1980年度～1984年度までは北海道立水産試験場が独自に収集した値、1985年度～2005年度は北海道水産現勢によった。集計範囲は、主たる漁場である渡島支庁の旧恵山町（現函館市）から胆振支庁の鶴川町までとした。日高支庁海域の漁獲量は、時期によって一部えりも岬周辺の産卵場で産卵する魚群を含む可能性がある（志田ら、2008）ため使用しなかった。刺網漁業の内訳は、すけとうだら刺し網（知事許可および共同漁業権漁業）、かれい刺し網（知事許可および共同漁業権漁業）、たら刺し網（知事許可漁業）、にしん刺し網（共同漁業権漁業）、めぬけ刺し網（共同漁業権漁業）およびこれ以外のその他刺し網（共同漁業権漁業）である。

来遊時期に影響を与える因子として、はじめに日高湾の海洋環境について検討した。次に、サイズおよび年齢^{62,63)}、索餌期の栄養蓄積期間における水温および餌生物分布量⁶⁴⁻⁶⁶⁾、資源密度^{64,66)}について、来遊時期との相関を調べた（Table 4. 2）。

Table 4.1 Summary of acoustic surveys in chapter 4.

Year	Survey date		Vessel name	Echo sounder
	1st	2nd		
1998	Oct. 3-6	Dec. 12 - 14	<i>Oyashio-maru</i>	FQ-70
1999	Sep. 29 - Oct. 1	Dec. 15 - 16	<i>Oyashio-maru</i>	FQ-70
2000	Sep. 20 - 22	Dec. 14 - 15	<i>Oyashio-maru</i>	FQ-70
2001	Sep. 8 - 9	Nov. 26 - 29	<i>Kinsei-maru</i>	EK-60
2002	Sep. 4 - 10	Nov. 20 - 25	<i>Kinsei-maru</i>	EK-60
2003	Sep. 2 - 9	Nov. 10 - 20	<i>Kinsei-maru</i>	EK-60
2004	Sep. 3 - 7	Nov. 29 - Dec. 1	<i>Kinsei-maru</i>	EK-60
2005	Aug. 31 - Sep. 5	Nov. 24 - 28	<i>Kinsei-maru</i>	EK-60

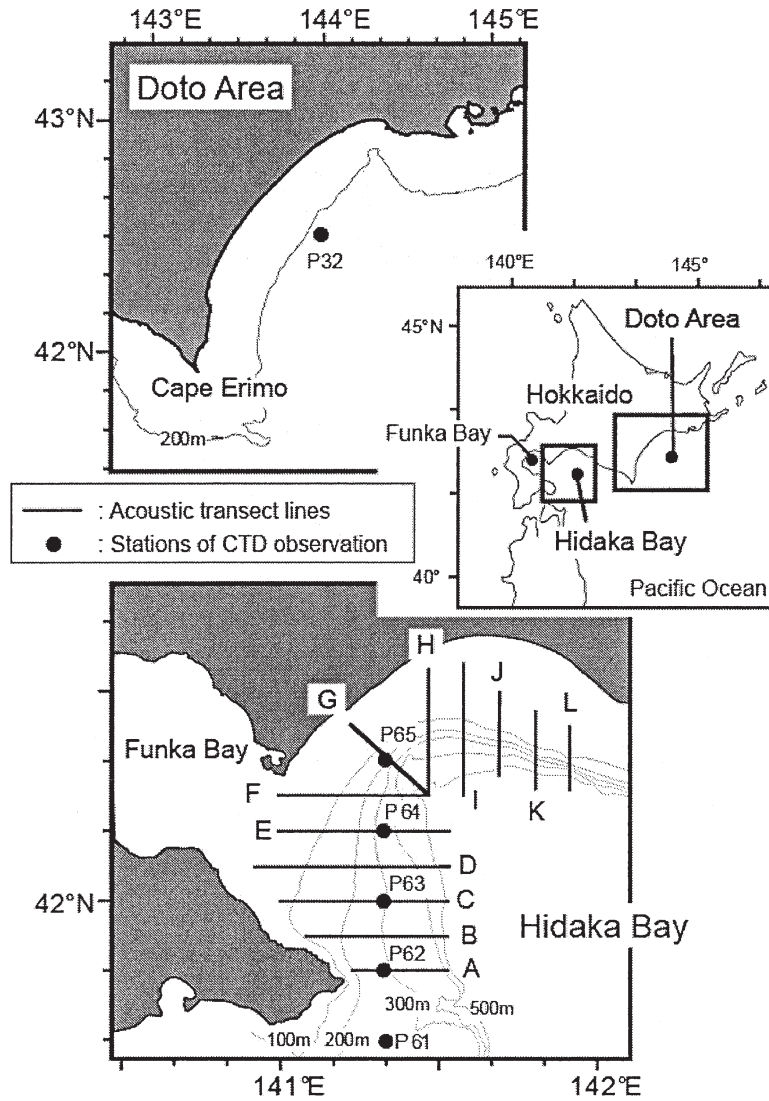


Fig.4.1 Survey area and transect lines for the acoustic surveys and the CTD stations

Table 4.1 Summary of time series data sets used in this study

Data	N	Periods	References
Percent of walleye pollock catch by commercial gill net from October to November	26	1980-2005	Hokkaido local government
Mean fork lengths of walleye pollock caught by commercial gill nets (mm)	25	1980-2005 *1	HHFES, HMFES
Biomass of JPS estimated by VPA (t)	25	1981-2005	Mori and Funamoto ²⁶⁾
Biomass of age 4 and older fish as adults estimated by VPA (t)	25	1981-2005	Mori and Funamoto ²⁶⁾
Spawning stock biomass estimated by VPA (t)	26	1980-2005	Mori and Funamoto ²⁶⁾
Density of <i>Neocalanus cristatus</i> in the Oyashio waters (Apr-Aug mean wet weight g/m ²)	23	1980-2002	Tadokoro <i>et al.</i> ⁶⁹⁾
Temperature at a depth of 300m measured at P63 or 64 in late August or early September	18	1984-2005 *2	HHFES
Temperature at a depth of 200m measured at P63 or 64 in late August or early September	19	1984-2005 *3	HHFES
Temperature at a depth of 200m measured at P32 in April	16	1989-2005 *4	HKFES
Temperature at a depth of 200m measured at P32 in June	16	1989-2005 *5	HKFES
Temperature at a depth of 200m measured at P32 in August	17	1989-2005	HKFES
Temperature at a depth of 200m measured at P32 in October	16	1988-2005	HKFES

*1: lack of data in 1992, *2: lack of data in 1985, 1987, 1991 and 1998, *3: lack of data in 1985, 1991 and 1998, *4: lack of in 1991. HHFES: Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, HMFES: Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station, data in 1992, *5: lack of data. HKFES: Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station.

4. 2. 3 日高湾における海洋観測データ

2000年以前の音響資源調査は調査時期やCTD観測点
が、2001年はCTD観測点が2002年以降の調査と異なっ
ているために、調査時の海洋観測データはスケトウダラ
成魚が来遊する時期の日高湾の環境を経年比較するデー
タとして不適当と判断した。このため、北海道立函館水
産試験場が1998年～2003年の8月下旬に同一調査点で海
洋観測を行ったスルメイカ資源調査により得られたデー
タを使用した。また、2004年および2005年は、9月上旬
に行ったスケトウダラ音響資源調査において同一観測線
上で収集したデータを使用した（第3章で用いた調査結
果）。データは金星丸に搭載したCTD (SeaBird) により
収集した海面～海底近傍までの水深10m間隔の水温およ
び塩分値である。第3章の結果から見て、スケトウダラ
の主たる分布域を横断していると考えられる東経141°20
分の線上に、北緯41°40'～42°20'まで10マイル間隔で設
けられた5つの観測点 (P61～P65) にて収集されたデー
タを使用した (Fig. 4. 1)。2000年度はCTDの不調によ
り、塩分データの収集ができなかった。また、1998年の
スルメイカ資源調査は定点での調査ができずデータが収
集できなかった。このため、音響資源調査を行っていな
い1995～1997年の調査データを追加し参照した。来遊時
期の長期変動との相関は、1984年以降のスルメイカ資源
調査で行った海洋観測のうち、P63またはP64観測点の水
深200および300mの水温について調べた (Table 4. 2)。

4. 2. 4 スケトウダラ刺網漁獲物の平均尾叉長

スケトウダラのサイズおよび年齢を代表する値として、
10月～1月まで各月の測定結果があり、かつ最も測定デー
タの多かった刺網漁獲物の平均尾叉長を用いた。データは、
北海道立函館水産試験場、函館水産試験場室蘭支
場および栽培水産試験場が、1980年度～2006年度に実施
したすけとうだら刺網漁業の漁獲物測定結果 (0.1cm
単位) を使用した (Table 4. 3)。1992年度は、欠測月があ
ったため使用しなかった。平均尾叉長の算出は次の要
領で計算した。まず、渡島支庁、胆振支庁毎に各月の漁
獲物標本の平均体重および平均尾叉長を算出した。同一
月に複数回の測定を行っていた場合には、標本ごとの平
均値を同一月内で単純平均した。次に、支庁毎に各月の
刺網漁獲量をその月の平均体重で除して漁獲尾数を算定
し、支庁ごとの各月の尾叉長をこの漁獲尾数で重み付け
して平均し、漁期年の平均値とした。使用したデータは、
無作為抽出標本からのものを基本とし、銘柄別に測定を
行っている標本の場合には、銘柄毎の漁獲比率が不明な
ものは計算に含めなかった。また、月内で、どちらか一
方の支庁の測定結果しかない場合には、その値を両支庁

Table 4.3 Number of specimen and measured fish
used for estimation of the mean fork length
in each year, caught by commercial gill net.

Fishing Year	Number of	
	specimen	measured
1980	17	1,237
1981	22	1,531
1982	22	1,388
1983	28	2,238
1984	43	4,154
1985	27	2,518
1986	34	3,351
1987	25	2,383
1988	19	1,772
1989	22	1,925
1990	10	1,102
1991	5	502
1992	3	300
1993	8	796
1994	8	791
1995	9	1,004
1996	8	804
1997	9	894
1998	8	826
1999	8	875
2000	8	817
2001	8	797
2002	6	594
2003	7	697
2004	7	698
2005	7	697

の計算に使用した。

4. 2. 5 環境指標データ

索時期における水温および餌生物分布量の指標として、
索餌場と考えられる道東海域における水温の観測結果と、
道東沖合の親潮水域における *Neocalanus cristatus* の分
布量を用いた。 *Neocalanus cristatus* は道東海域における
スケトウダラの餌料生物である⁶⁸⁾。水温データは、北海
道立釧路水産試験場が1989年～2005年の4, 6, 8, 10月
に、試験調査船北辰丸を用いて道東海域において実施し
た定期海洋観測のうち、スケトウダラ成魚の分布域³⁶⁾
にあるP32観測点 (Fig. 4. 1) の結果を用いた。また、この
海域におけるスケトウダラ成魚の分布水深は200m以深
と考えられている³⁶⁾ことから、水深200mの値を使用し
た。 *Neocalanus cristatus* の分布密度データは Tadokoro
*et al.*⁶⁹⁾ および田所私信 (2000年～2002年のデータ) によ
った。値は4月～8月の平均分布密度 (湿重量 g/m³)、
収集期間は1980～2002年であった。また、スケトウダラ
の分布密度を示す指標として、太平洋系群のVPAを用い

て推定された1981年度～2005年度の0歳以上の総資源重量、成魚の密度を表す数字として4歳以上の資源重量および産卵親魚重量（SSB）を引用した²⁶⁾。

4. 3 結果

4. 3. 1 音響資源調査と漁獲量からみた来遊時期の変動

音響資源調査から推定された時期別のスケトウダラ分布量を Fig. 4. 2 に示す。増減をわかりやすくするため、値は全調査の平均値 414×10^3 を1とする相対値として示す。1次および2次調査で推定されたスケトウダラの分布量には経年変動がみられた。1次調査では、1998年の1.1から1999年の1.79と増加したが、2000年には0.1と非常に低い値となった。その後は2001～2002年まで0.2と低い値で推移し、2003年以降は0.4～0.5とわずかに増加したが、いずれも平均の半分以下の低い値であった。一方、2次調査では、1998年が0.7と平均を下回ったが、1999年に1.1と増加し、2000年は2.1とさらに高い値となった。1次調査では、2000年以降いずれも平均値を下回る低い水準で推移したが、2次調査では2002年に0.8と平均を下回った以外は、1～2.1といずれも平均を上回る値で推移した。1次調査と2次調査における分布量を比較すると、1998および1999年は、いずれも1次調査の値が高かったが、2000年以降は2次調査の値が高くなっていった。音響資源調査の1次調査後の10月および11月、2次調査後の12月および1月における刺網漁獲量の経年変動を Fig. 4. 3 に示す。刺網の漁獲量にも経年変動がみられ、その変動傾向は音響調査により推定したスケトウダラ分布量の変動と非常に良く似ていた。また、同一年度(10月～翌年1月まで)で10～11月の漁獲量と12～1月の漁獲量を比較すると、1998年度は10～11月が2.4万トン、12～1月が2.5万トン、1999年度はいずれも4.1万トンと両期間の漁獲量はほぼ同じ水準であった。ただし、2000年度以降は12～1月の漁獲量が10～11月の1.7～4.3倍と高くなっていった。1次および2次調査のスケトウダラ分布量の比と、10～11月の漁獲量と12～1月における漁獲量の比の関係を調べた結果 (Fig. 4. 4)、両者の間には有意な正の相関 ($r=0.931$, $N=8$, $p=0.001$) が認められた。第3章で論じたように、日高湾に分布するスケトウダラ成魚は周年同一海域に分布するわけではなく、索時期に他の海域から来遊すると考えられる。従って、音響資源調査で観察された1999年と2000年を境とする時期別分布比率の変化は、スケトウダラ成魚の日高湾への時期別来遊割合が大きく変化したことを示すと考えられる。即ち、1999年以前は1次調査を行った9～10月上旬以前に来遊していた魚の割合が高かったが、2000年以降はこのような早い時期に来遊する魚の割合は減少し、1次調査以降に来遊す

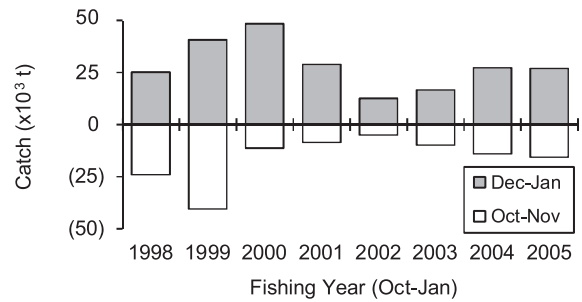


Fig. 4.2 Interannual and seasonal changes in walleye pollock abundance in Hidaka Bay from the 1998 to 2005 surveys. Relative pollock abundance is shown as the standardized sum of the nautical area scattering coefficient (NASC).

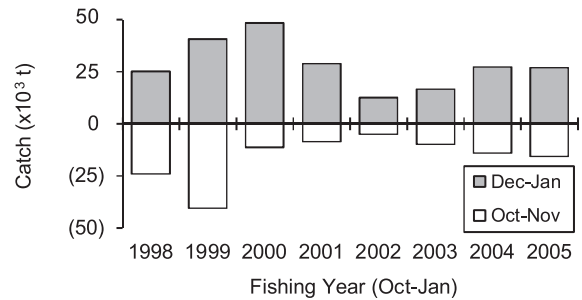


Fig. 4.3 Interannual changes in monthly walleye pollock catch in Hidaka Bay by commercial gill net from 1998 to 2005.

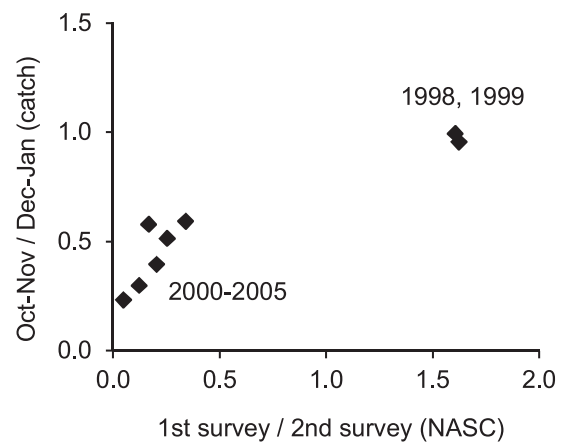


Fig. 4.4 Scatterplot of ratios of gillnet walleye pollock catches from October to November and from December to January against ratios of pollock abundance in the first and second surveys.

る魚の割合が増加したと考えられる。さらに、音響資源調査とは独立したデータである刺網漁業による漁獲量の推移も、音響資源調査で推定された時期別分布量の推移と一致していた。このことは、先の音響資源調査の結果に基づく推定を強く支持すると考えられる。一方、刺網漁獲量の期間ごとの割合は、来遊時期の変化を反映して変動すると考えられることから、来遊時期の遅速を表す指数とみなすことができる。そこで、1980～2005年度の間、各年の10～11月のスケトウダラ漁獲量が年度計（10～11月）に占める割合を用いて、来遊時期の長期変動を調べた（Fig. 4.5）。この値が高い場合には来遊の早い年、低い場合には遅い年とみなせる。その結果、10～11月の漁獲割合は、最小値が2000年度の18.9%、最大値が1997年度の57.7%の範囲で変動していた。連続する2年間の差をみると、音響資源調査でも違いが観察された1999年度と2000年度の差が-31と最も大きく、顕著であった。次いで1989年度と1990年度の+13.4、1991年度と1992年度が-12.5となっていた。これ以外の年度間では、値の経年変動は緩やかであったが、26年間で3回大きく変化する年があったことが特徴となっていた。平均値を基準にして、調査期間を1980～1989年度、1990～1999年度、2000～2005年度の3つの期間に区分すると、各期間の平均値は33.5%、49.4%、29.6%となり、期間平均の差は各期間の標準偏差の2.6～5倍あった。また、期間の最終年と次の期間の開始年との差はいずれも大きかった。これらのことから、1989と1990年度、1999と2000年度に来遊時期

の大きな変動（ジャンプ）があったと推測される。1991と1992年度の間にも大きな変化があり、その差は1990～1999年度平均の標準偏差より大きかったが、他の2回のジャンプと比較して間隔が狭かったため、この変化は経年変動として1990～1999年度の中を含めた。この3つの期間でみると、1980～1989年度は10～11月の漁獲割合が低い、即ち来遊が遅かった期間、1990～1999年度は逆に10～11月の割合が高い、即ち来遊が早かった期間、2000年度以降は再び来遊が遅い期間であったと考えられる。

4.3.2 日高湾の海洋環境

前項の結果から、スケトウダラ come 時期の変動が1次調査時以前における来遊量に現れることが示された。そこで、8月下旬～9月上旬における日高湾の水温、塩分および水塊分布を調べた。音響資源調査を行った1998年以降では、来遊が早かった年は、1998と1999年の2年間であったが、海洋観測データは1999年の1年分しかなく、比較を行うには不十分と考えられる。一方、前項で述べたように1995年～1997年も来遊の早い年であったと判断される（Fig. 4.5）。そこで、これらの年の海洋観測データも来遊の早かった年の資料と見なし、来遊の早かった1995～1999年（1998年を除く）と遅かった2000～2005年の水温、塩分および水塊の分布状況を比較した。スケトウダラの分布域を横断する東経141°20分線上の水温、塩分および水塊の鉛直分布をFig. 4.6に示す。1995年および1996年は水深50m付近から断面北1995年および1996年

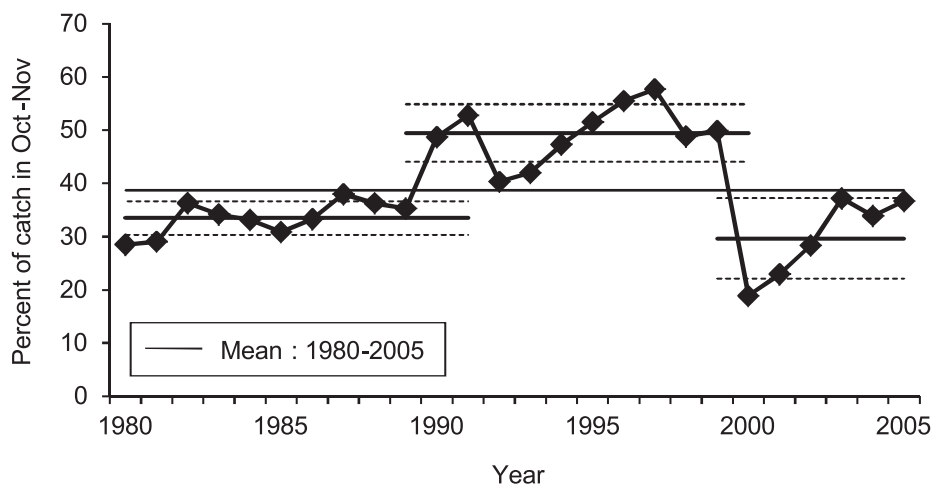


Fig.4.5 Interannual changes in percent of walleye pollock catch from October to November by commercial gill net in Oshima and Iburi sub-prefectures, representing timing of pollock migration to the spawning ground, Hidaka Bay, from 1980 to 2005. Solid lines and dotted lines show mean and standard deviation values, respectively.

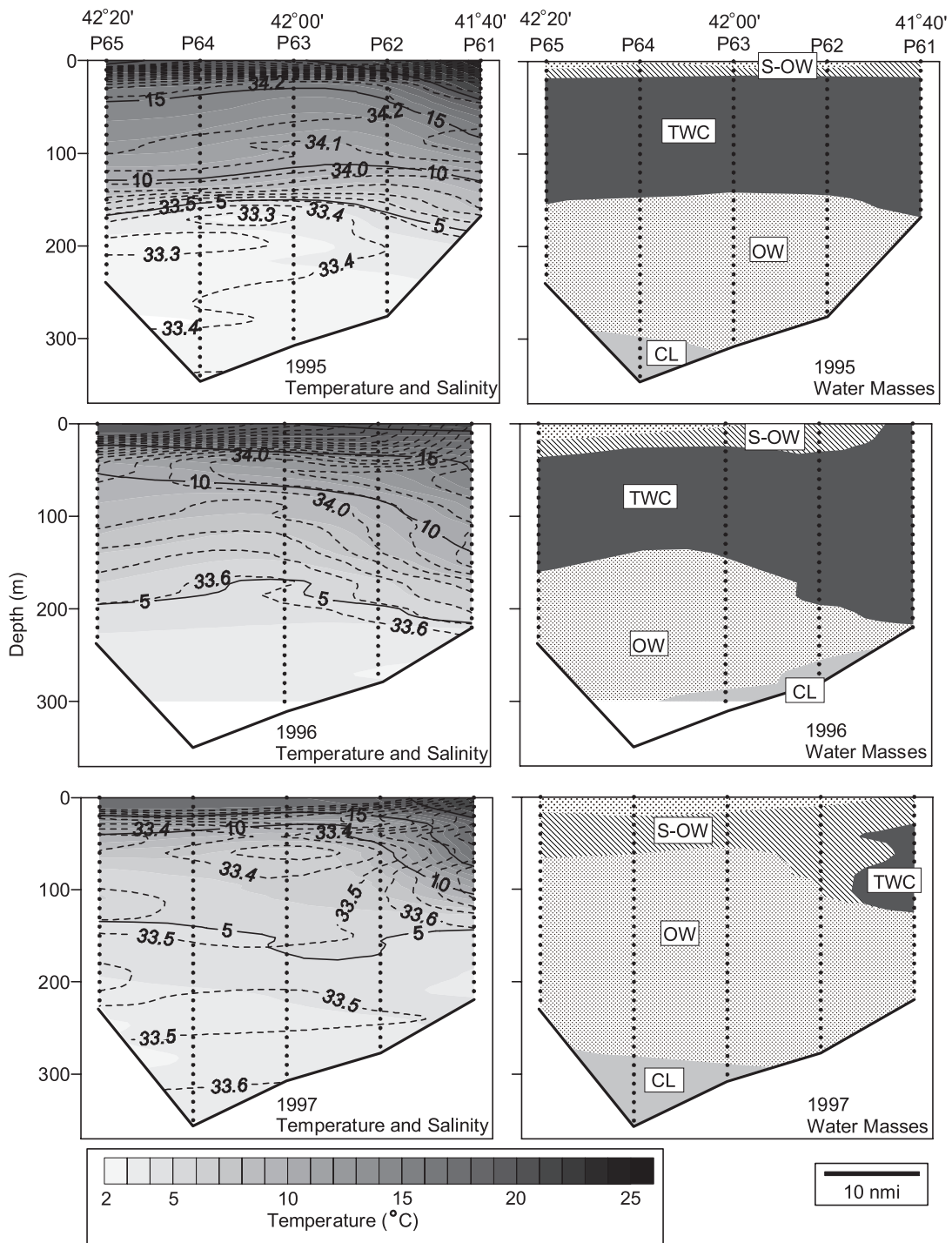


Fig. 4.6 Vertical profiles of temperature (solid lines and filled contours in left panels), salinity (dotted lines in left panels), and water mass (right panels) along E 141° 20' in late August. The capital alphabet indicates the water mass classified based on Rosa et al. (2007): the Tsugaru Warm Current water (TWC), the Oyashio water (OW), the Cold Lower-layer water (CL), the surface water of the Oyashio water (S-OW), and the surface water of the Coastal Oyashio water (S-CO). Symbols correspond to those used in Fig.3.3.

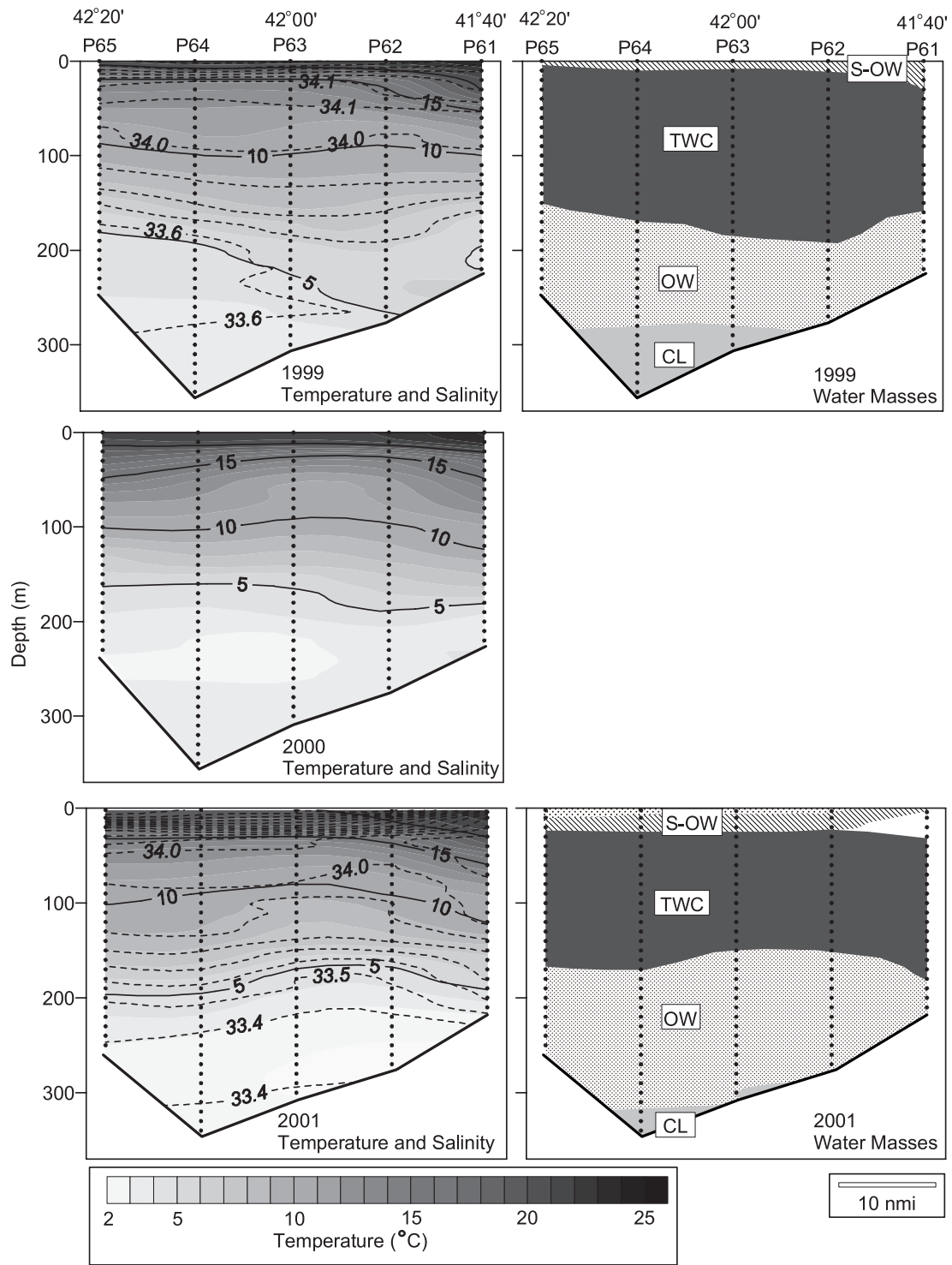


Fig.4.6 Continued. TWC: the Tsugaru Warm Current water, OW: the Oyashio water, CL: the Cold Lower-layer water, S-OW: the surface waters of the Oyashio water. Symbols correspond to those used in Fig.3.3.

は水深50m付近から断面北側のP65で水深160m、津軽海峡の東口にあたる南側のP61で180mおよび160m～210mまでを、スケトウダラの分布に不適と考えられる高水温、

高塩分の津軽暖流水⁴⁴⁾(第3章)が占めていた。その下層では水温が緩やかに変化した。第2章の結果から、この時期におけるスケトウダラの分布水温と判断される2℃～

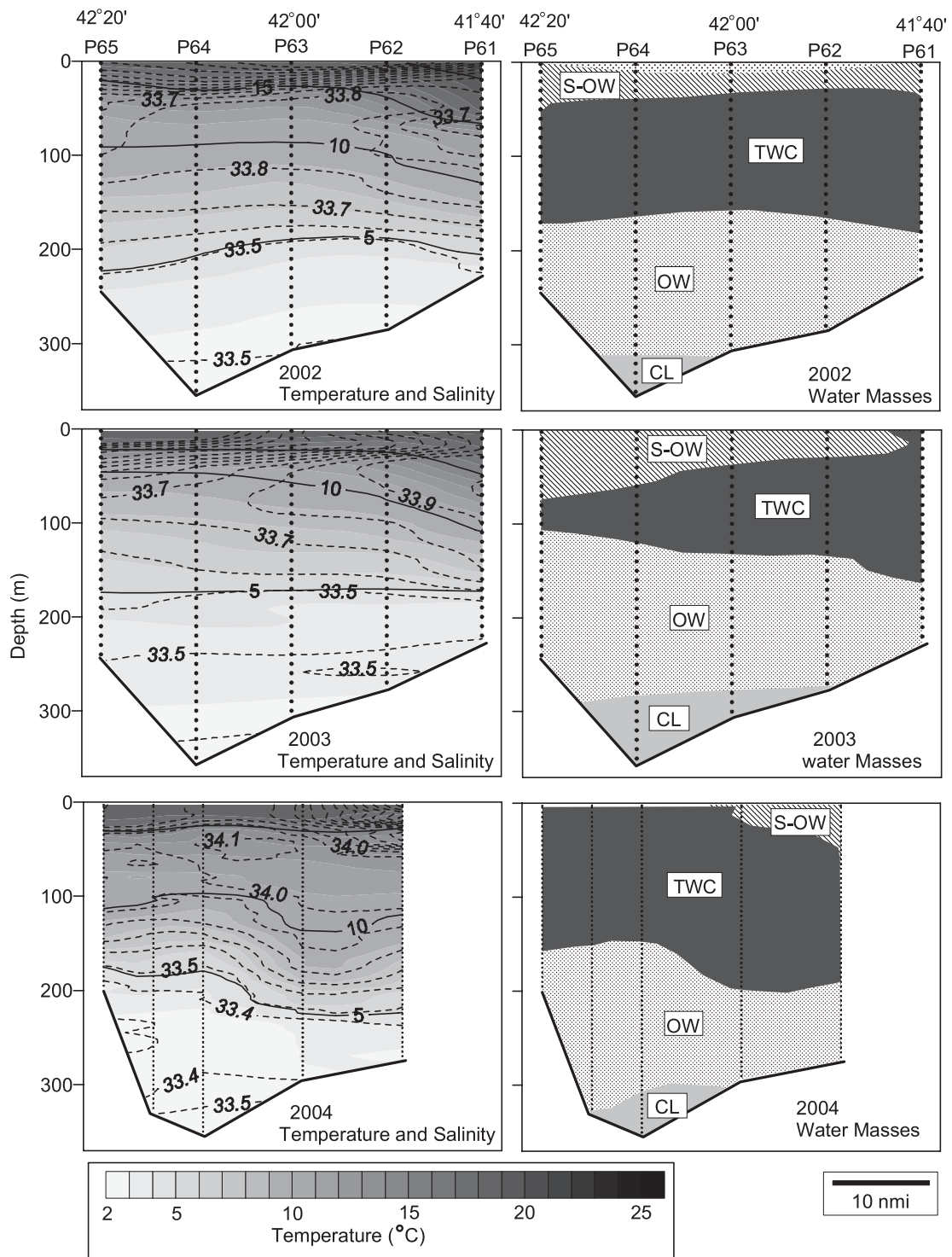


Fig.4.6 Continued. TWC: the Tsugaru Warm Current water, OW: the Oyashio water, CL: the Cold Lower-layer water, S-Ow: the surface waters of the Oyashio water. Symbols correspond to those used in Fig.3.3.

6°C未満の範囲は、両年とも水深160m以深にあった。また、この時期にスケトウダラが分布する水塊である親潮水は、津軽暖流水の下側、水深160m前後から水深250～

300mまで、低温低層水はそれ以深に観察された。1997年は調査断面の表中層域に津軽暖流水は観察されず、南側のP61点の水深20～120m層に分布するのみであった。変

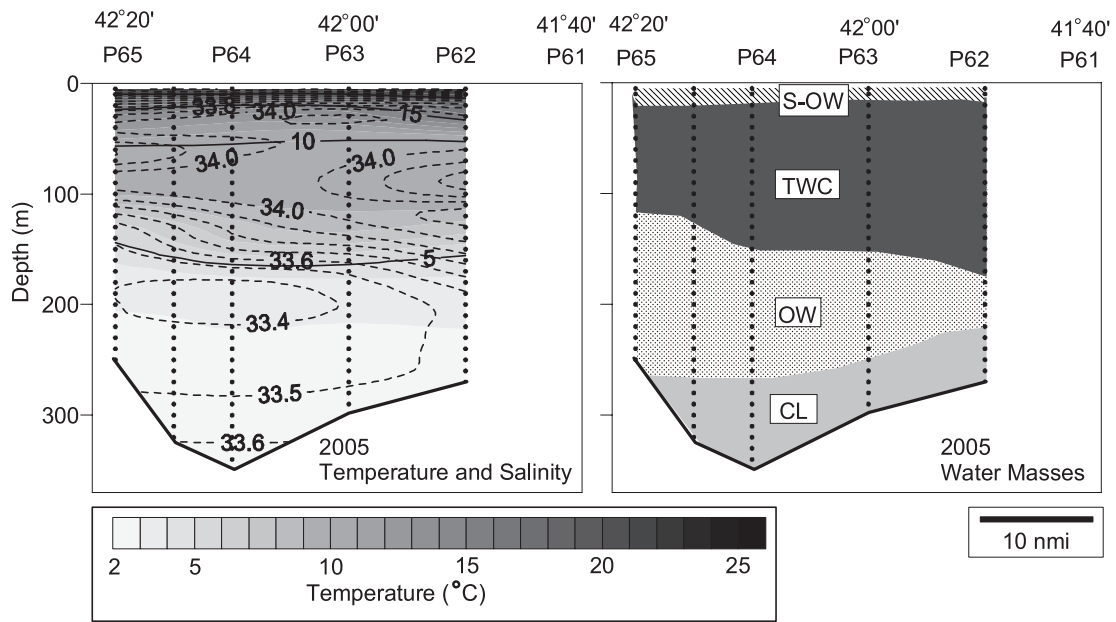


Fig. 4.6 Continued. TWC: the Tsugaru Warm Current water, OW: the Oyashio water, CL: the Cold Lower-layer water, S-OW: the surface waters of the Oyashio water. Symbols correspond to those used in Fig.3.3.

わって親潮水が広く水深300m付近までを占めており、その下側に低温低層水が分布した。2～6℃未満の層も厚く、北側のP65では水深80mで5℃台の水温であった。1999年は、対照的に調査海域の海面付近から水深150m～200mまでを広く津軽暖流水が占めていた。その下側に親潮水、水深270m以深に低温低層水が分布し、6℃未満の水温は水深160～180m以深に分布した。2000年は水温のみのデータであったが、水温6℃未満の範囲は水深150～190m以深にあった。津軽暖流水と考えられる水温7℃の等温線は水深120～160mにあり、前年の1999年と顕著な違いは認められなかった。2001および2002年の水温、水塊分布は良く似ており、津軽暖流水は水深120～170mまで、それより下層には親潮水が分布し、300～320m以深に低温低層水が分布した。また、6℃未満の水は水深180～200m以深に分布した。2003年は北側で津軽暖流水の層が薄くなり、親潮水の分布が広がっていた。2004年は再び津軽暖流水の層が厚くなり、南側では水深200m付近まで広がった。2005年は北側で津軽暖流水の層が薄くなった。また、低温低層水の範囲は水深220m付近まで広がっていた。水塊分布や6℃未満の水温帯の広さには、経年変動が観察されたが、来遊の早かったと考えられる1995～1999年と来遊の遅かった2000年以降には、それぞれ共通した顕著な違いは認められなかった。また、長期的な変動を見るために、8月下旬に日高湾内のP63またはP64定点で観測を行った1984年以降の各年の水深200および300m点の

水温を比較した (Fig. 4. 7)。いずれの水深の値も経年変動が見られるが、水深300mでは全ての年で5℃より低い値であり、水深200mの値でも1984、1990、1996年以外はスケトウダラの分布水温範囲 (第3章の結果) にある6℃未満の値で推移した。また、来遊時期に見られた1980～1989年、1990～1999年および2000～2005年を基準にして、各期間の平均水温を比較したが、その差は小さかった (Fig. 4. 7)。加えて、両水深の水温と来遊時期の間にはいずれも有意な相関がなかった (200m : $r=0.124$, $N=19$, $p=0.601$; 300m : $r=0.128$, $N=18$, $p=0.625$)。

4. 3. 3 スケトウダラのサイズおよび環境要因と来遊時期の関係

スケトウダラ come 来遊時期との関係を調べた各因子の経年変化をFig. 4. 8に、来遊時期の指標である刺網漁業における10～11月の漁獲割合との相関をFig. 4. 9およびTable 4. 4に示す。1980年度～2005年度における刺網漁獲物の平均尾叉長は、1984年度および1991年度における最小値42.1cmから2002年度における最大値44.8cmの範囲にあった (Fig. 4. 8a)。平均値を基準に見ると、1980～1982年度と2001年度以降に高く、1983～2000年度までは平均値またはそれより低い値で推移した。来遊時期の変動と同じ期間で見ると、1990～1999年度の平均値が最も低く、1980～1989年度および2000年度以降はこれより高い値であり、来遊時期の指標とは、有意な負の相関があっ

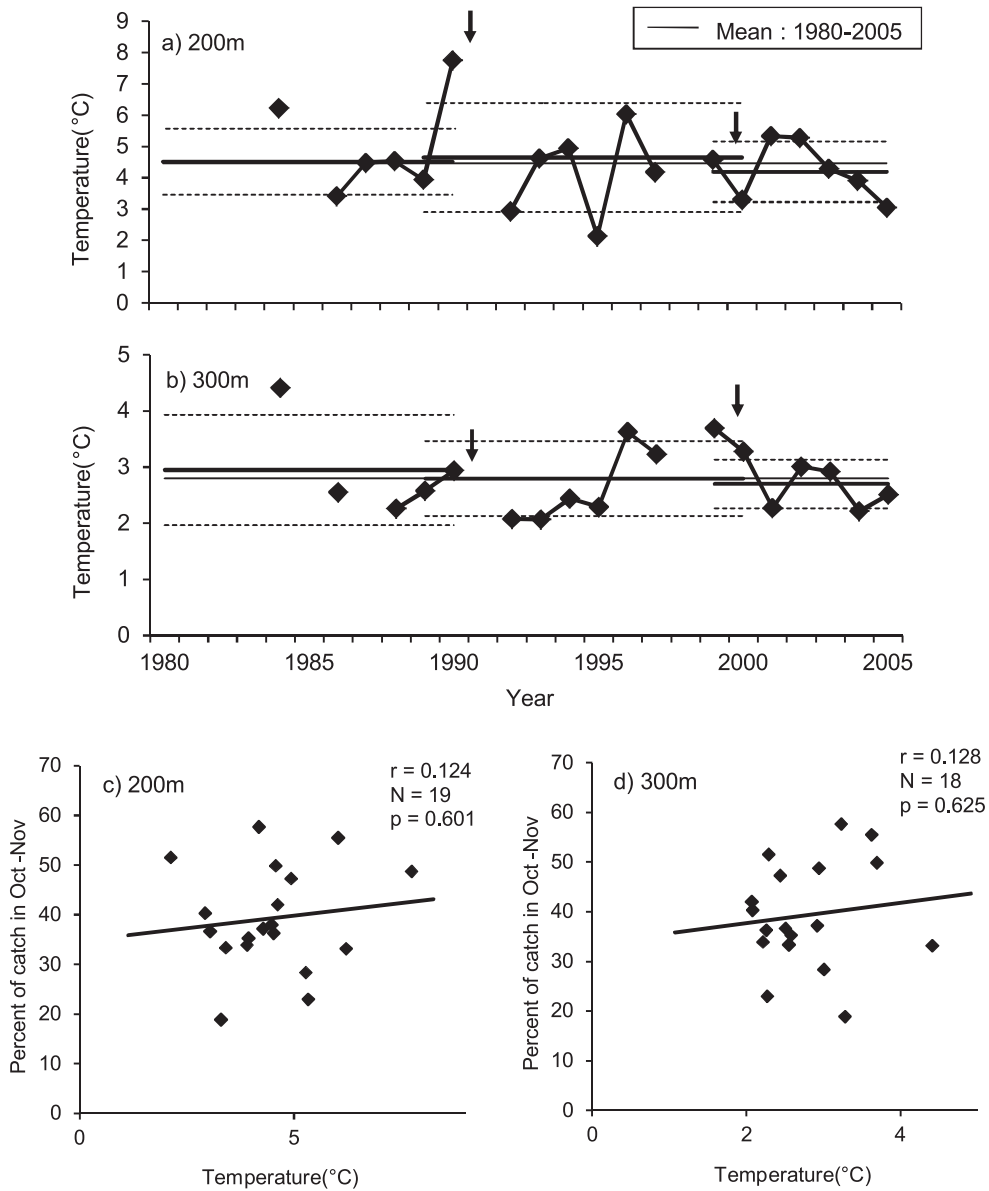


Fig.4.7 Interannual changes in water temperature at a depth of 200m and 300m observed at the station P63 or P64 located in Hidaka Bay in late August, and statistical relationship between these temperature and the percent of catch from October to November by commercial gill net, interpretable as timing of pollock migration: (a) and (c) temperature at a depth of 200m and (b) and (d) temperature at a depth of 300m. Solid lines and dotted lines show mean and standard deviation values, respectively. Black arrows show years that remarkable changes in timing of pollock migration were observed in.

た (Fig. 4. 9a; $r = -0.44$, $N = 25$, $p = 0.028$)。本研究で調べた外部環境要因の中では、道東沖合の親潮水域における *Neocalanus cristatus* の分布密度が最も高い正の相関を示した (Fig. 4. 9b; $r = 0.785$, $n = 23$, $p < 0.001$)。 *N. cristatus* の分布密度には緩やかな経年変動が見られ、1980年台と2000年以降に低く、1990年代に高かった (Fig. 4. 8b)。スケトウダラの来遊時期が大きく変化した1989年と1990年の差は小さかったが、1999年と2000年の差は大きく、各年

代の平均値の差も大きかった。また、道東海域のP32観測点における水深200mの水溫観測結果のうち、6月の値が有意な正の相関 (Fig. 4. 9d; $n = 16$, $r = 0.592$, $P = 0.016$) を示した。これらの値は、1990年代の平均値が高く、2000年代に低かった (Fig. 4. 8d)。また両年代の平均値の差は大きかった。一方、資源密度の指標としたVPAで推定された0歳以上の総資源重量、4歳以上の資源重量、産卵親魚量はいずれも経年変動が見られ (Fig. 4. 8g ~ h) た。

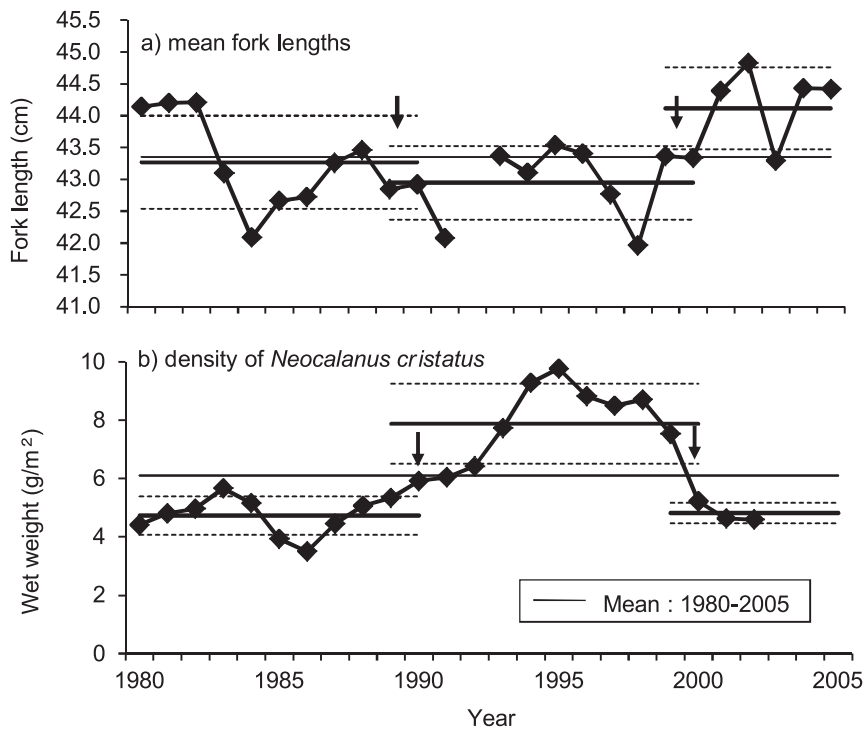


Fig.4.8 Interannual changes in ecological variables influencing to timing of walleye pollock migration: (a) mean fork lengths of pollock caught by commercial gill net and (b) April - August mean biomass of *Neocalanus cristatus* in the Oyashio waters (Tadokoro et al.69)). Solid lines and dotted lines show mean and standard deviation values, respectively. Black arrows show years that remarkable changes in timing of pollock migration were observed in.

4歳魚資源重量，産卵親魚重量とも，1999と2000年度の間で大きく変動したが，年代間の差は小さく，来遊時期とは有意な相関がなかった (Fig. 4.9 g ~ i)。

4.4 考察

魚類の産卵期は，仔魚が餌にうまく遭遇できるようにプランクトンのブルーミングにあわせて調整されているとする考え方が提唱されており⁷⁰⁾，大西洋タラではその時期が遺伝的に決定されているとする報告がある⁷¹⁾。我が国周辺海域に分布するスケトウダラでは，北西日本海で12~3月⁷²⁾，根室海峡海域で1~4月⁷³⁾，南部オホーツク海で3~5月⁷⁴⁾と海域によって差がみられる。また，ベーリング海東部では4~5月で高緯度海域ほど産卵期が春から初夏にずれ込むことが知られている^{67,75)}。このような海域による差異は，Cushing⁷⁰⁾の仮説の通り，仔魚の生き残りに好適な環境の出現とタイミングの合う産卵時期が選択されたとする見方が示されている^{49,67)}。本研究の対象海域である日高湾では12~3月¹²⁻¹⁴⁾とされており，第3章で示された通り，産卵期は海洋環境の変化に良く適合している。スケトウダラは，個体レベルでは数日間隔で10回以上の産卵を行い，産卵に1ヶ月を要す

⁷⁶⁾。また個体毎の産卵開始時期にも違いがある⁶⁷⁾ことから，産卵場全体として産卵期が3~4ヶ月の長期間となる。従って，時期別の産卵個体の割合変化が群れとしての産卵期の変化，即ち産卵ピークの変化となって現れる。日高湾においても産卵時期が年によって変動することが示唆されており⁴⁴⁾，このような変動には，年齢組成や資源密度^{49,62)}，大西洋タラでは水温などの外部環境要因や，年齢およびサイズなどの内部要因が影響するという報告がなされている⁶³⁻⁶⁶⁾。スケトウダラ雌の卵黄形成開始には個体差が見られ，早いものでは7月，遅いもので10月であり，早く成熟を開始した個体は産卵期の初期，遅く開始した個体は産卵期の後半に来遊する⁶⁷⁾。従って，産卵期の変動は，日高湾への来遊時期の変動を反映すると考えられる。本研究において，1998~2005年に行った1次および2次の音響資源調査により推定されたスケトウダラ成魚分布量の比は，1999と2000年を境にして日高湾への来遊時期が変化したことを明確に示した。2000年以降，来遊時期，即ち産卵期の早い魚の割合がそれ以前と比較して少なくなったと考えられる。このような割合の変化は，先に述べたように日高湾で産卵する成魚群で見ると，来遊時期が遅くなったとすることができる。前

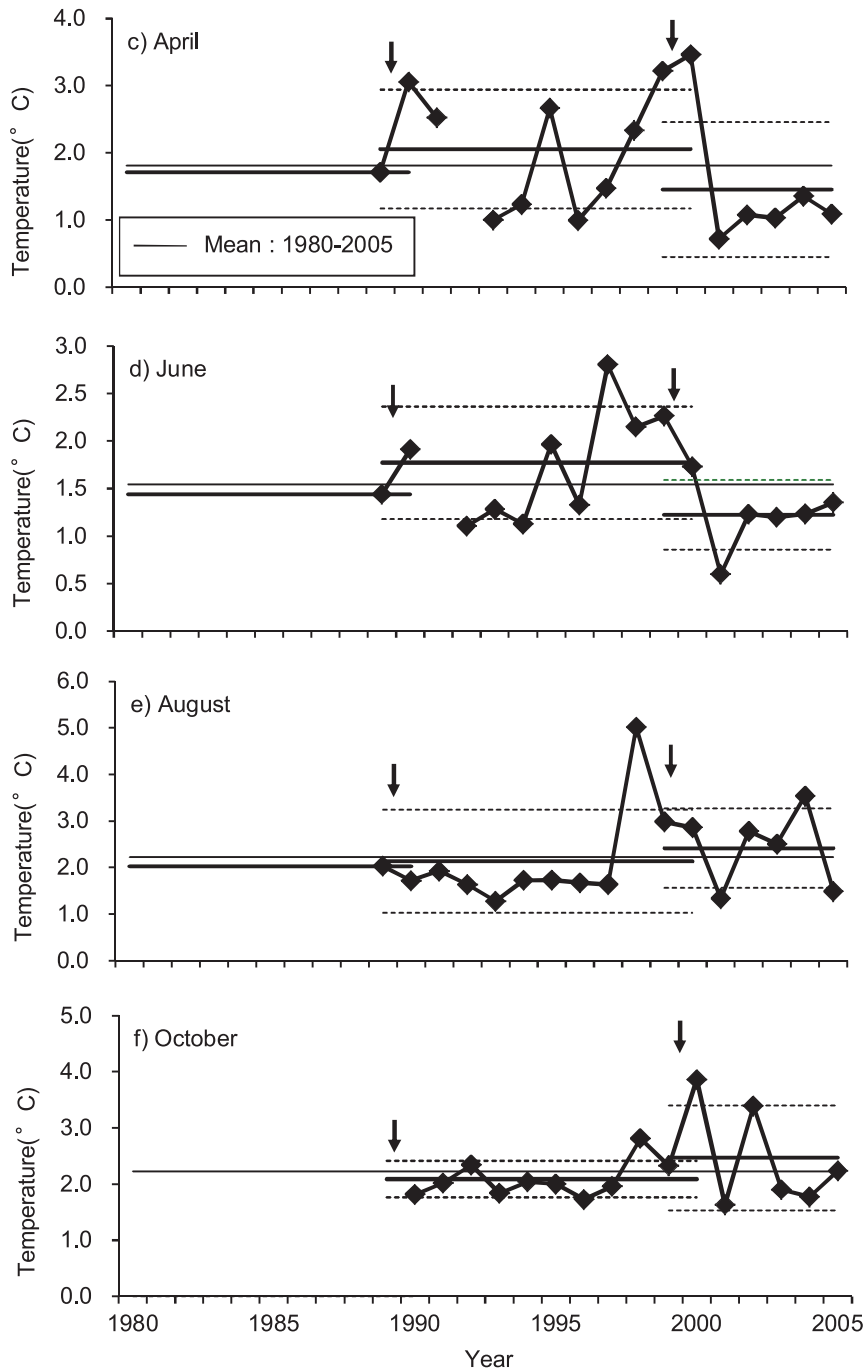


Fig.4.8 Continued. Interannual changes in temperature at a depth of 200m observed at the station P32 located in Doto Area by Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station: (c) April, (d) June, (e) August and (f) October. Solid lines and dotted lines show mean and standard deviation, respectively. Black arrows show years that remarkable changes in timing of pollock migration were observed in.

田ら⁴⁴⁾は、日高湾における沖合の索餌場から沿岸の産卵場への移動時期に年変動があると記述しているが、本研究により、それ以前の道東海域などの他海域から日高湾への来遊時期にも変動があることが明らかとなった。

音響資源調査から推定された時期別分布量の比率と同時期における刺網漁業の漁獲量の比率には、有意な正の相関が観察された。この結果から、刺網漁業の漁獲量変動は分布量の変動を反映していると考えられる。利用可

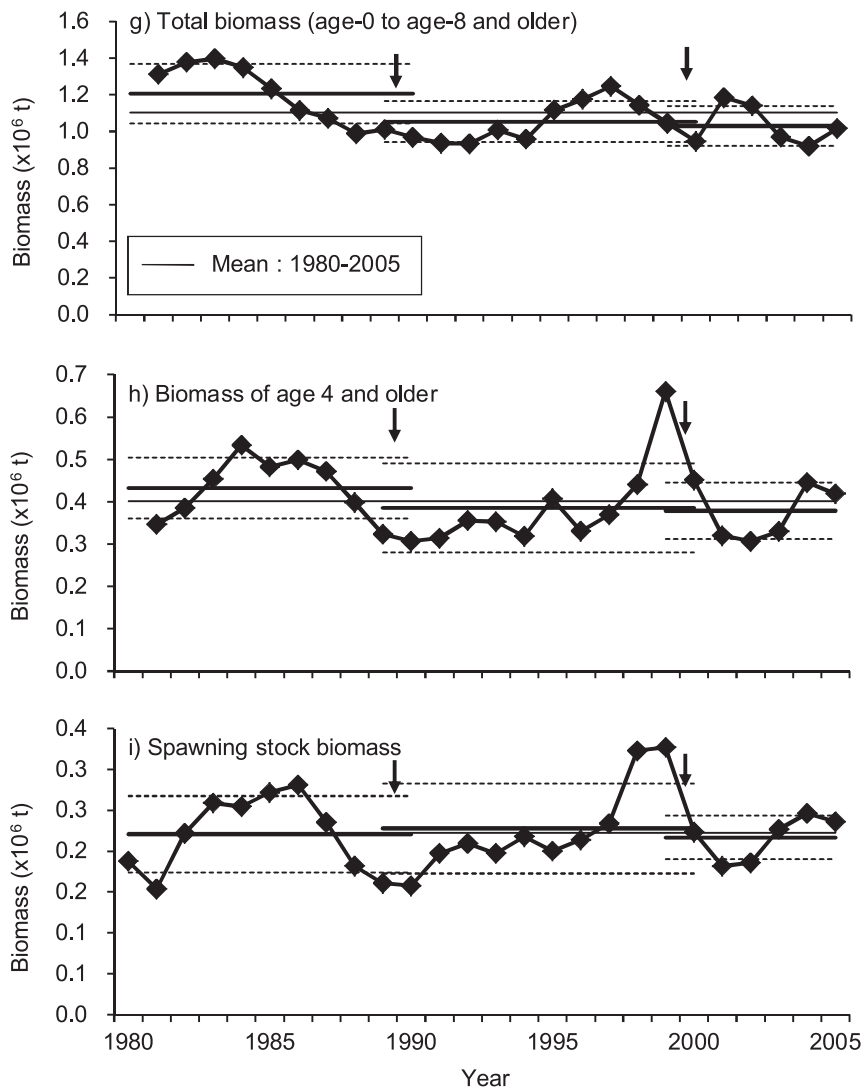


Fig. 4.8 Continued. Interannual changes in stock variables, estimated by virtual population analysis (VPA, Mori and Funamoto26)), influencing to timing of walleye pollock migration. (g) Total biomass of pollock (age-0 to age-8 and older), (h) Biomass of age 4 and older pollock, and (i) Spawning stock biomass of pollock. Solid lines and dotted lines show mean and standard deviation, respectively. Black arrows show years that remarkable changes in timing of pollock migration were observed in.

能なスケトウダラの漁獲量データは20年以上あることから、刺網漁業の月別漁獲割合を来遊時期、即ち産卵時期の指標として過去の変動を調べることが可能になった。この指標からみた1980年度以降における来遊時期変動の特徴は、緩やかな経年変動と、26年間に3回観察された大きな変動であった。特に、音響資源調査でも観察された1999年度～2000年度の変化が顕著であった。平均値を基準にして、この26年間に1980～1989年度（1980年代）、1990～1999年度（1990年代）、2000～2005年度（2000年代）の3つの期間にわけると、期間毎の平均値の差が大

きく、期間終わりと次期間のはじめの年との差が大きかった。データが26年分しかないため明確には結論できないが、この結果から、来遊時期には10年程度のDecadalな変動の在が示唆される。このDecadalな変動は、1980年代は来遊が遅く、1990年代は早く、2000年代に再び遅くなるというものであった。また、これらの年代間における来遊時期の変化が徐々にではなく、急激なことが特徴であった。

本研究で観察された来遊時期の変動を引き起こす環境要因として、まず産卵場である日高湾における来遊時期

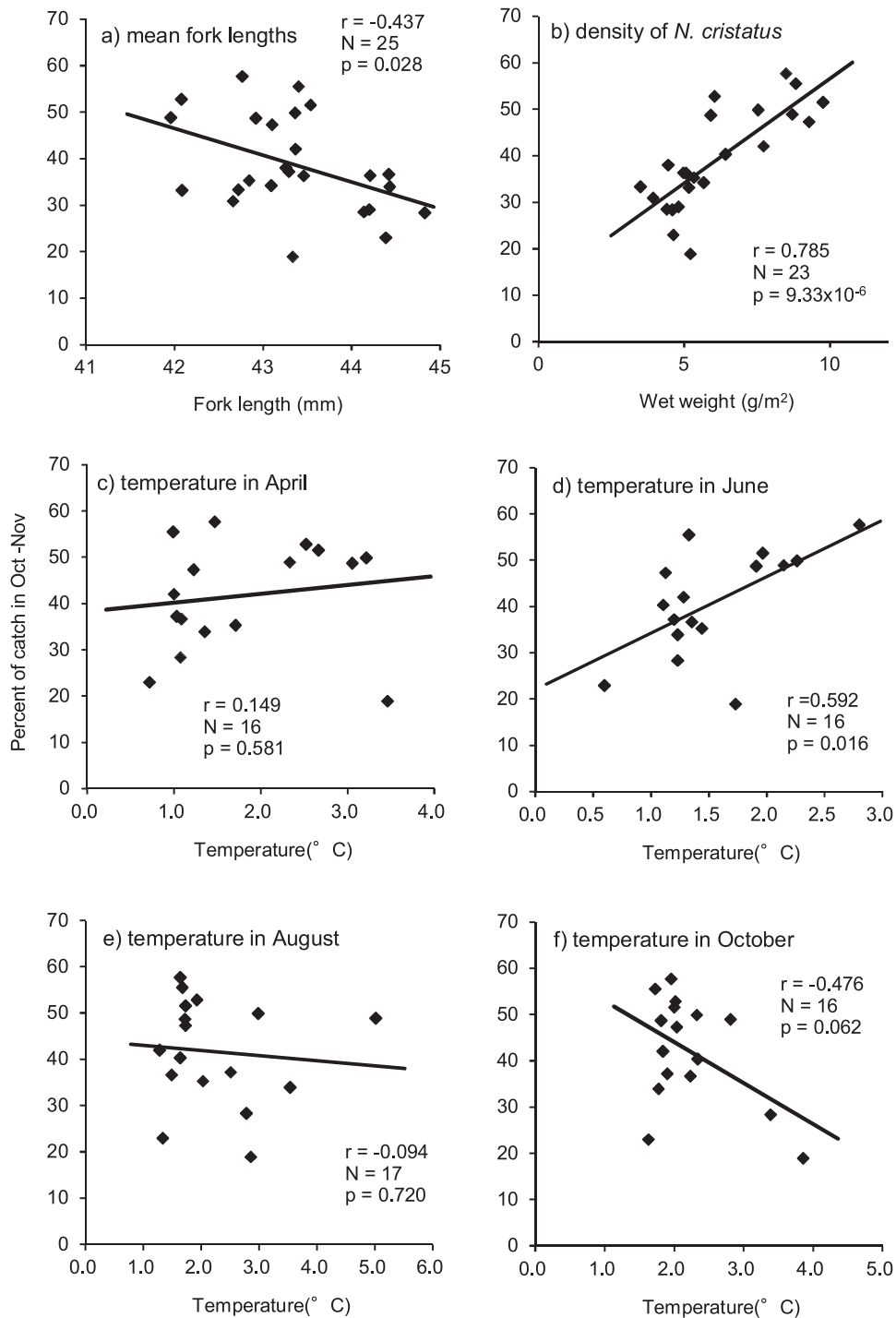


Fig.4.9 Statistical relationship between the percent of catch from October to November by commercial gill net and ecological variables: (a) mean fork lengths of pollock caught by commercial gill net, (b) April - August mean biomass of *Neocalanus cristatus* in the Oyashio waters (Tadokoro et al.69), (c-f) temperature at a depth of 200m observed at the station P32 located in Doto Area by Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station: (c) April, (d) June, (e) August and (f) October.

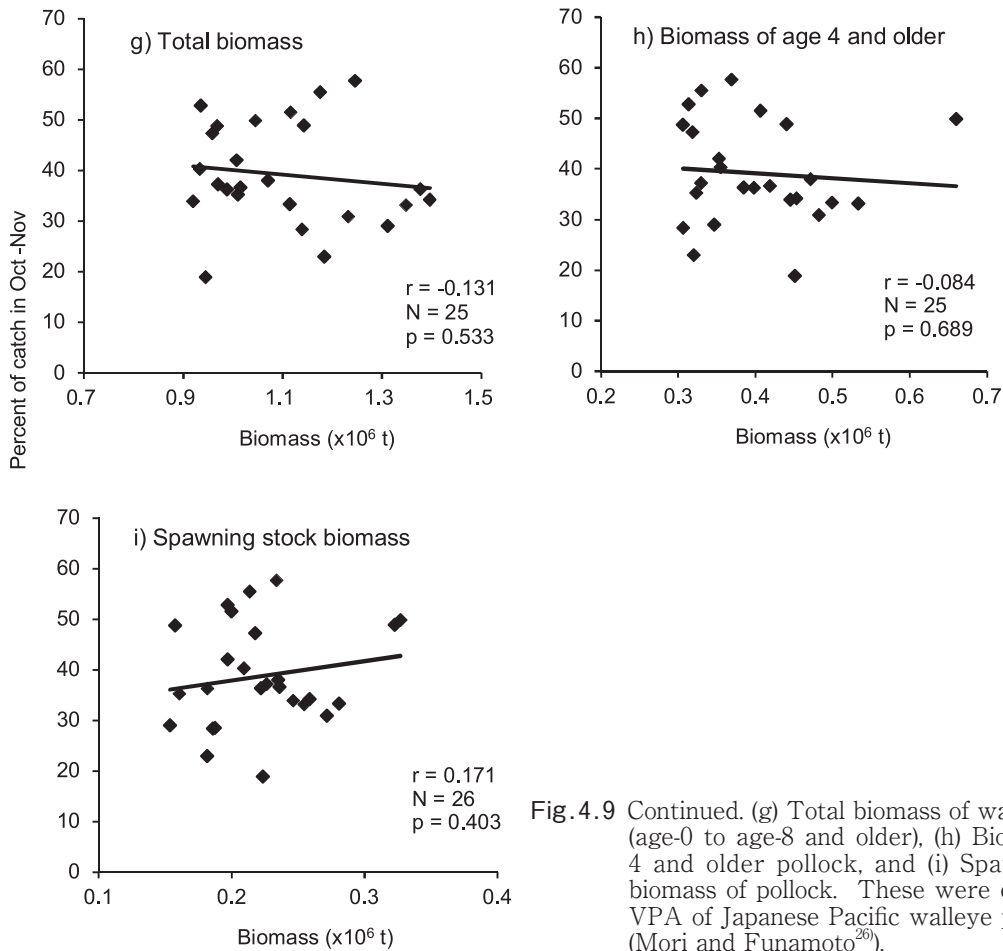


Fig.4.9 Continued. (g) Total biomass of walleye pollock (age-0 to age-8 and older), (h) Biomass of age 4 and older pollock, and (i) Spawning stock biomass of pollock. These were estimated by VPA of Japanese Pacific walleye pollock stock (Mori and Funamoto²⁶⁾).

の水溫，塩分および水塊の分布について検討した。年による若干の違いが観察されたものの，スケトウダラの分布水塊と考えられる低温低層水および親潮水は調査期間を通じて安定して出現した。スケトウダラの分布に不適と考えられる津軽暖流水⁴⁴⁾(第3章)についてみると，1997年における分布域は非常に小さかったが，それ以外の年に関してはスケトウダラの分布割合が大きく変化した1999年/2000年を境とする顕著な違いは認められなかった。このように，1999年以前と2000年以降で水溫，塩分および水塊分布に明瞭な違いは認められなかった。さらに，日高湾におけるスケトウダラ分布域に設定した水深200mおよび300m観測地点における水溫時系列データ(18および19年間)を用いて来遊時期との関係を調べたが，有意な相関はなかった。以上のことから，本研究では産卵場である日高湾の環境が，来遊時期の変動に影響を与えているとする結果は得られなかった。従って，日高湾への来遊時期の変化は，先に述べた成熟開始時期，即ち産卵時期の変化を反映していると考えられる。

次に，スケトウダラや大西洋タラの既存の知見に基づいて選んだ内部および外部環境因子の影響について考察する。日高湾に来遊した成魚の年齢やサイズ組成を代表する指標とした刺網漁獲物の平均尾又長は，来遊時期，即ち産卵時期を示す指標である刺網漁業の10~11月の漁獲割合と有意な負の相関を示した。平均尾又長が大きいほど，産卵時期は遅い傾向があると考えられる。この結果は，大西洋タラの大魚ほど産卵が遅くなる結果⁶³⁾と一致する。一般に，大型個体の方が小型個体と比較して代謝率が低いため，成熟プロセスにより多くの時間がかかると考えられている⁷⁷⁾。このようなサイズ組成または年齢組成の変化は，スケトウダラの産卵時期の経年変動に影響を与えていると推測される。一方，外部環境因子の中では，道東沖の親潮水域における*Neocalanus cristatus*分布密度の時系列データ⁶⁹⁾が有意な正の相関を示した。この結果は，餌となる動物プランクトンの分布量が多い年ほど産卵時期の早い個体の割合が増加することを示唆する。Wieland *et al.*⁶⁶⁾は，索餌期における餌の

Table 4.4 Correlation coefficients (r) between timing of walleye pollock migration based on percent of catch in Oct-Nov by gill net and ecological variables. Ecological variables used in analyses are mean fork lengths of pollock caught by commercial gill net (Gill net mean FL), April - August mean biomass of *Neocalanus cristatus* in the Oyashio waters (Tadokoro *et al.*⁶⁹⁾, *N. cristatus* Biomass), total biomass of walleye pollock (age-0 to age-8 and older, ALL), biomass of age 4 and older pollock (Age4 +), spawning stock biomass (SSB) of pollock, temperature at a depth of 200m at the station P32 located in Doto Area observed by Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station (Oceanographic observations). Values of Biomass (VPA) were estimated by virtual population analysis (VPA) of the Japanese Pacific walleye pollock stock (Mori and Funamoto²⁶⁾).

Factor	Gill net mean FL	Temperature at the station P32			
		April	June	August	October
n	25	16	16	17	16
r	-0.4371	0.1494	0.5920	-0.0937	-0.4760
p	0.029	0.581	0.016	0.720	0.062

Factor	<i>N. cristatus</i> Density	Biomass (VPA)		
		ALL	Age4 +	SSB
n	23	25	25	25
r	0.7846	-0.1310	-0.0843	0.1711
p	0.0000093	0.533	0.689	0.403

多寡に起因する栄養蓄積度合いの違いが大西洋タラの産卵期に影響すると報告しており、スケトウダラにおいても餌環境が産卵期に影響をあたえる可能性が高い。一方、*N. cristatus*はスケトウダラの餌生物の一つであるが、体長40cm以上の魚ではその重要性はあまり高くないとされている⁶⁸⁾。スケトウダラ成魚の主たる餌料となるような大型の動物プランクトン⁶⁸⁾分布量の長期間にわたるデータはなく、本研究では既知の*N. cristatus*の時系列データを用いた。従って、*N. cristatus*分布密度の変化が直接スケトウダラの産卵時期に直接影響を与えているかどうかは疑問の余地がある。*N. cristatus*の分布密度以外のデータでは、道東海域の6月における水温時系列データが産卵時期と有意な正の相関を示した。Hutchings and Myers⁶⁵⁾は、カナダのNewfoundlandの大西洋タラで産卵時期と水温の間に密接な関係があることを示している。さらに、Kjesbu⁶⁴⁾は大西洋タラの飼育実験の結果から、卵黄形成期に水温が1℃低下すると産卵が8-10日程度遅くなることを観察している。このことから、太平洋系群のスケトウダラにおいても索餌期の水温が産卵期に影響を与えている可能性が示唆される。また、これらの水温データは1989年以降しかないので、1980年代の動向を検討する

ことはできないが、それ以降では1990年代の平均値が高く、2000年代に低くなっており、両平均値の差が大きいことが特徴であった。さらに、*N. cristatus*の現存量は1980年代に低く、1990年代に高く、2000年代に再び低くなっていた。このように、道東海域における複数の環境要因とスケトウダラ産卵時期は、同様のDecadalな変動パターンを示した。Tadokoro *et al.*⁶⁹⁾は、親潮水域における*Neocalanus*属の数量変動が、北太平洋で知られている1978/79および1988/89のレジームシフトに対応していることを指摘している。親潮水域では1976/77におけるレジームシフトの後に冬～春季の水温が顕著に低下した。そのため、基礎生産に好適な春の期間が短くなり、その結果としてメソ動物プランクトンが減少した可能性が示されている⁷⁸⁾。また、Tadokoro *et al.*⁷⁹⁾は、親潮域において表層のリン酸塩濃度が20年周期変動を持ち、この変動の影響を受けて基礎生産が変化することで、メソ動物プランクトンの量が変動する可能性を示唆している。このように、*N. cristatus*分布量変化や道東海域の水温や塩分の変化に代表される、基礎生産およびスケトウダラの餌となる動物プランクトンの変化が索餌期におけるスケトウダラの栄養蓄積状況などに影響を与えて、産卵時期の遅速を決定している可能性がある。従って、本研究で観察されたスケトウダラ産卵時期のDeadalな変動は、レジームシフトに伴っておこる環境変動と関連していることが示唆される。

これらの結果をまとめると、スケトウダラ成魚に見られる日高湾への来遊時期=産卵時期の変化は、日高湾の来遊時期における環境ではなく、それ以前の索餌期における餌や水温環境の影響を強く受けて変動していると考えられる。産卵時期の変化はChusingの仮説に示されるように、引き続き卵、仔魚の出会う環境を決定する点で重要な意味をもつ。中谷ら³³⁾は、豊度の高かった1995年級(産卵年度は1994年度)は、噴火湾周辺海域において夏季の稚魚期まで生残した個体の孵化日が概ね1月に集中しており、早い時期に孵化した個体の生き残りが豊度決定に重要であったことを示唆している。Nishimura *et al.*³⁵⁾も、豊度の高かった2000年級群(産卵年度は1999年度)の孵化日組成は、1月～3月までの比較的広い範囲にあったが、豊度の低かった2001および2002年級(産卵年度は2000および2001年度)では、大部分が3月に孵化した個体であったことを報告している。従って、産卵および孵化のピークが産卵期の前半にあること、即ち産卵時期の早い個体の割合の高い年が、その後の卵・仔魚の生残に有利であることが示唆される。本研究の結果から、この条件を満たす、即ち産卵時期のスイッチがオンになる環境条件は、平均サイズが小さく、索餌場における餌

生物が豊富で水温の高い年であり、90年代がこれにあてはまる。一方、Shida *et al.*²²⁾は、1980年代には日高湾で産卵され、卵および仔魚の浮遊期に東北に輸送される経路（日高湾－東北経路）が重要な役割を果たしていた可能性を示唆している。また、Hattori *et al.*²⁹⁾は、東北海域に分布する日高湾産卵場由来と考えられるスケトウダラ仔魚の分布密度が高かった年には、孵化日の遅い（3月～4月）個体の割合が高かったことを報告している。それ故、東北海域への輸送と生残には、噴火湾内へ輸送される個体とは逆に、遅い時期に産卵された個体が有利と思われる。従って、日高湾－東北経路からの加入についてみると、産卵時期のスイッチがオンになる環境条件は、産卵期が遅い、即ち索餌場における餌生物が豊富ではなく、水温の低い年であり、80年代がこれにあてはまる。以上のように、本研究結果から産卵時期に影響をあたえる要因とスイッチに関する重要な知見が得られた。次章では、もう一つのスイッチである産卵場所について検討する。

第5章 産卵期におけるスケトウダラ成魚分布の年変動と環境要因の影響

5.1 緒言

産卵場所は、これに続く卵および仔魚のステージにおいて、直接これを取り巻く環境、即ち水温⁸⁰⁾や餌生物³¹⁾、ならびに捕食者⁸¹⁾との遭遇を介して生残に大きな影響を与える可能性がある。また、産卵場所は卵および仔魚の海流による輸送、即ち、噴火湾内へ輸送され、かつそこに滞留しつづけられるかどうか^{15,82)}という点からも、加入量に影響を与える重要なスイッチと考えられる。アラスカ湾においても、産卵場所は生育場への輸送と関連して卵仔魚の生残に重要であると考えられている⁸³⁾。当海域におけるスケトウダラの産卵場所は、大陸棚上の水深100m前後の浅海域に形成される⁴⁴⁾。また、産卵場所は毎年変化し、主産卵場所は噴火湾口部または噴火湾口部の北東に位置する苦小牧などの胆振沖⁴⁴⁾に形成されることが考えられている。一方、1970年以前では産卵場所が噴火湾内にあると報告されている⁸⁴⁻⁸⁶⁾。前田ら⁴⁴⁾は、道東海域からこの水域に流入する寒冷で低塩分の沿岸親潮水（前田ら⁴⁵⁾の定義では3℃以下、塩分33.0以下；本研究における定義は第3章を参照）と津軽海峡を抜けて流入する津軽暖流水（前田ら⁴⁵⁾の定義では水温6℃以上、塩分33.8以上）の相互作用によって日高湾および噴火湾の水温環境が決定され、スケトウダラが産卵に適した水温の海域を選択する結果として、産卵場所の経年変動が起きると推

測している。しかし、日高湾で実際にスケトウダラと水塊の空間分布を定量的に示し、その関係を検討した例はない。そこで本章では、計量魚探機によって産卵盛期のスケトウダラ分布を直接観察し、産卵場所がどの水域に形成されるか明らかにすることを第一の目的とした。加えて、産卵場所の形成と水温および水塊分布との関係についても検討した。これまで、太平洋系群の資源変動に関する研究には、太平洋系群全体のVPAから推定された資源尾数および重量から間接的に計算された産卵親魚量が用いられている^{22,25)}。一方、産卵盛期の1月における成魚分布量は、成魚期におけるスイッチである産卵親魚量の指標になると考えられる。そこで、音響資源調査の結果からスケトウダラの分布現存量を推定し、VPAで推定された産卵親魚重量との比較を行い、産卵親魚量推定結果の妥当性について検討した。

5.2 材料と方法

計量魚探機を用いた音響調査は、日高湾において2001～2002年および2004～2007年の各年1回、計6回、日本海洋(株)所属調査船第3開洋丸および第7開洋丸と北海道立稚内水産試験場所属試験調査船北洋丸を用いて実施した。各年の調査は、前田ら（1981）に従い、産卵盛期にあたる1月中旬～2月上旬に行った。各調査の概要はTable 5.1に示す。音響データは、2001年～2002年がSimrad EK-500計量魚探機、2004年以降は同EK-60により収集した。また、2001～2002年および2004年は、EKで収集したデータをBI-500で出力したデータ、2005年以降はEK-60のデータを直接使用して以後の解析を行った。2001～2002年および2004年に行われた調査は北海道区水産研究所が実施したものであり、調査定線の設定が2005年以降に北海道立水産試験場で実施した調査とは異なっている。2001、2002および2004年の調査は、等深線を斜めに横切るように、互いに平行に14.8km（8マイル）間隔、2005年以降は等深線に垂直に9.26km（5マイル）間隔で設定した調査定線を、10ノットの速力で航行しながら収録した（Fig. 5.1）。使用した周波数は38および120kHzである。また、索餌期のスケトウダラ成魚は日周鉛直移動を行い、その行動が計量魚探機の分布量推定値に影響を与えることが知られている（安部ら、1999）。このことから、2001～2002年および2004年はすべての調査線において昼夜一回ずつのデータ収集を行い、スケトウダラのNASCを調査線ごとに昼夜間で比較した。日出、日没時間を境として、0630時～1600時を昼間、1600時～0630時を夜間とした。また、その比較結果から水平分布および分布量の算定には昼間のデータを使用した。2005年以降の調査は昼夜連続で行い、昼夜補正は行わなかった。

Table 5.1 Summary of acoustic surveys in chapter 5.

Year	Date	Vessel name	Echo Sounder	Transect lines
2001	Jan. 19 - 24	<i>Kaiyo-maru No. 3</i>	EK-500	WI-WK, FA-FE
2002	Jan. 26 - Feb. 1	<i>Kaiyo-maru No. 3</i>	EK-500	WI-WK, FA-FE
2004	Jan. 22 - 29	<i>Kaiyo-maru No. 7</i>	EK-60	WI-WK, FA-FE
2005	Jan. 15 - 21	<i>Hokuyo-maru</i>	EK-60	B, E - L, O - Q
2006	Jan. 14 - 22	<i>Hokuyo-maru</i>	EK-60	B - Q
2007	Jan. 14 - 17	<i>Hokuyo-maru</i>	EK-60	B - Q

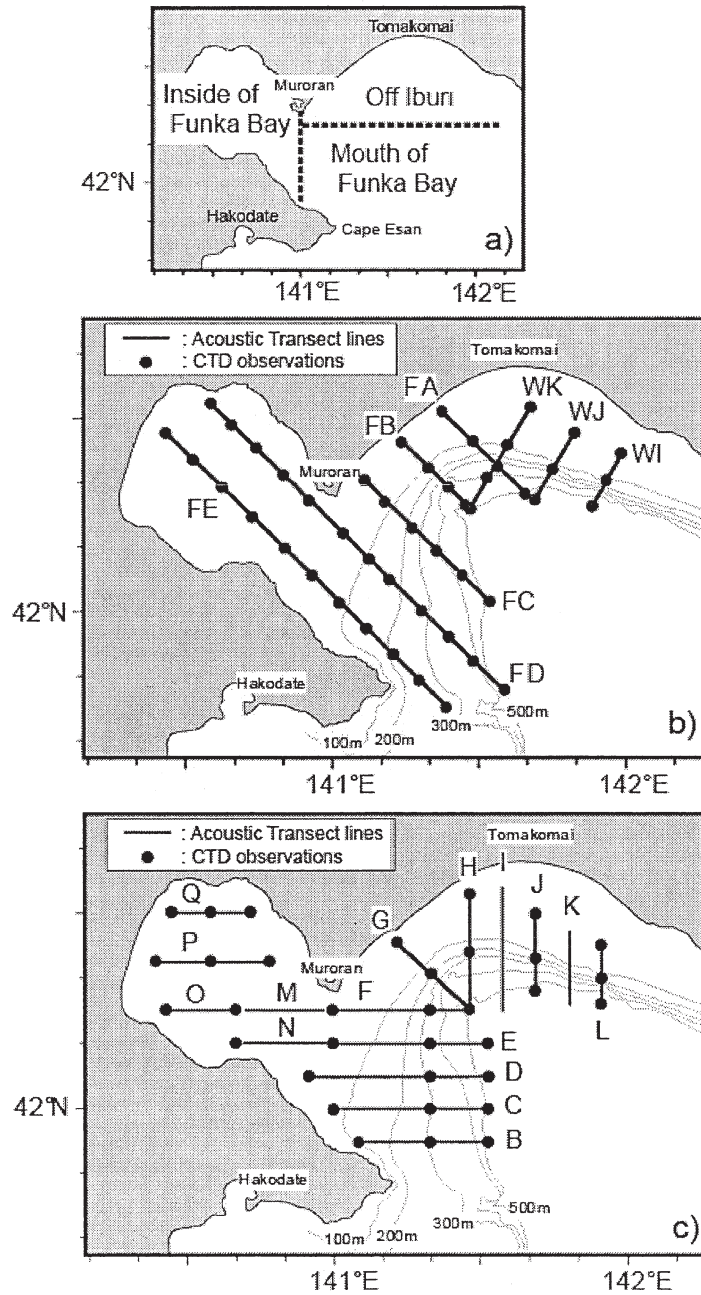


Fig.5.1 Three areas of spawning location (a). Off Iburī, the mouth of Funka Bay and the inside of Funka Bay. Designs of acoustic transect and the CTD stations for 2001, 2002 and 2004 surveys (b), and for 2005-2007 surveys (c).

収集した音響データは、解析ソフト Echoview (ver. 4.7, Myriax 社製)を用いて解析した。収集した音響データからのスケトウダラ魚群の判別は、第3章と同様の方法で行った。本章でも、スケトウダラの分布密度を表す数値としてNASCを使用した。スケトウダラの分布量は、調査線の配置から調査海域を3つのサブエリア(2001, 02および04年は調査線WI~WJ, WJ~FB, FB~FE, 2005年以降は調査線B~F, F~H, H~Lに挟まれた領域)に分けて算出した。また、産卵場所とされている噴火湾内、噴火湾口部および胆振沖の海域の範囲は定義されていない。そこで本研究では、調査海域の東経141°以西の海域を噴火湾内、東経141°以東でかつ北緯42°15'以南の海域を噴火湾口部、以北の海域を胆振沖とし、それぞれの海域における分布量を算出した(Fig. 5. 1)。音響資源調査によって推定された分布量とVPAで推定された産卵親魚量との比較には、NASCで算出された分布量を(2. 8), (2. 10)および(2. 11)式を用いて尾数および重量に変換して使用した。計算に用いたスケトウダラの尾又長組成および平均体重は、各調査年の1月(ただし、2001年は2000年12月、2006年は同年2月)に沖合底曳網漁業により漁獲されたスケトウダラを1回、ランダムに採集し測定して(尾又長: 0.1cm単位, 体重: 1g単位)得た(Table 5. 2)。2005年は海況が悪く、噴火湾口部に位置する調査線のデータ収集ができなかったため、海域別の分布量および海域全体の分布尾数、重量の推定に用いなかった。VPAで推定された産卵親魚量は、森・船本²⁶⁾から引用した。音響調査時に調査線上に設定した定点において、CTD (SeaBird)またはXBT (2001, 2002および2004年調査)による海面~海底付近までの水温、塩分の観測を行った。産卵場所におけるスケトウダラの分布と水温、塩分および水塊分布の関係を調べるために、音響調査線上の水温、塩分値を、第3章と同じ方法で推定した。水温、塩分の通常クリギング(Appendix 3)は全観測点の値を使用し、産卵場所と考えられる海底深150m以浅の大陸棚⁴⁴⁾上の範囲でスケトウダラの分布量との関係を調べた。調査海域の水塊区分は、第3章と同様にRosa *et al.*⁵⁶⁾に従った(Fig. 3. 2)。

Table 5.2 List of parameters used for estimation of adult walleye pollock biomass.

Year	No of measured	σ	BW(g)
2001	129	5.24×10^{-3}	489.8
2002	71	6.56×10^{-3}	664.9
2004	96	5.35×10^{-3}	485.3
2006	101	5.88×10^{-3}	514.3
2007	91	5.85×10^{-3}	520.2

5. 3 結果

5. 3. 1 昼夜比較

2001年、2002年および2004年の1月における各調査線のスケトウダラ平均NASCを昼夜間で比較した(Fig. 5. 2)。2001年は比較した8調査線のうち6線で昼間の値が高かったが、その差は有意ではなかった(Wilcoxon test: N=8, T=11, $p>0.05$)。2002年の調査では、昼夜間の値のばらつきが大きく、昼間および夜間の値が高かった線はそれぞれ4線ずつと同数であった。この年も昼夜で有意な差はなかった(Wilcoxon test: N=8, T=17, $p>0.05$)。2004年は、2001年と同様に8調査線のうち6線で昼間の値が高かったが、その差は小さく有意ではなかった(Wilcoxon test: N=8, T=10, $p>0.05$)。スケトウダラ成魚分布の昼夜変動は、索餌期の魚群において観察されている(安部ら, 1999)。また、そのような分布の差は、未成魚では餌の動物プランクトンの日周鉛直移動に合わせた行動^{87,88)}と考えられている。一方、前田⁴⁹⁾は産卵期には成魚の摂餌活動が低下し、空胃率が高いことを観察している。従って、索餌期に見られるような餌の日周鉛直移動に伴う昼夜の分布の違いが、本研究で観察した産卵盛期の魚群には見られなかったと考えられる。これらの結果から、2005年以降のデータは昼夜連続でデータを収集し、昼夜補正も行わなかった。また、昼夜比較を行った3年のうち、2001年と2004年の2年で昼間の平均NASCの高い調査線数が多かったことから、これらの年では以後の解析に昼間のデータを使用することとした。

5. 3. 2 スケトウダラの水平分布と産卵場

2001年~2007年(2003年を除く)1月の調査において、スケトウダラは、海底深500mの大陸斜面~50mの大陸棚上まで広い範囲に分布していた(Fig. 5. 3)。海域別には、各年ともに噴火湾口部の沖側の魚探反応は弱く、噴火湾口部~胆振沖にかけての大陸棚上における反応が高かった。また、2004, 2006年は、噴火湾内に比較的分布反応の強い水域が観察されたが、他の年は湾内全域にわたって非常に弱かった。水平分布図から判断して、噴火湾内の分布量は噴火湾外より少ないと考えられる。産卵場所の指標となる海底深150m以浅の大陸棚における各調査時期のスケトウダラの海域別分布割合をFig. 5. 4に示す。2001年は50%、2002年は70%が噴火湾口部に分布していたが、2004年以降はその割合が20~30%に低下し、胆振沖の分布割合が高くなった。

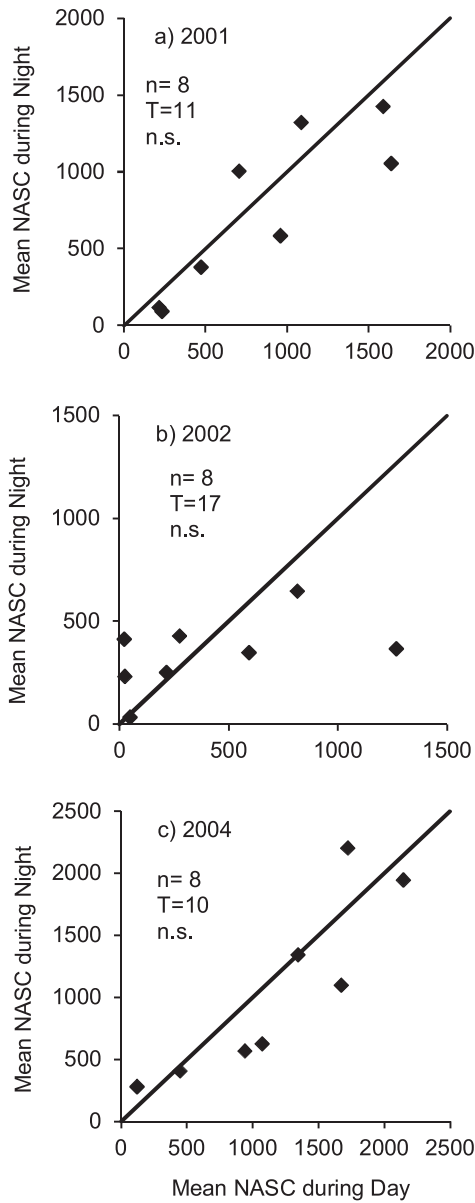


Fig. 5.2 Comparison of sum of NASCs from each transect in the daytime and nighttime in (a) 2001, (b) 2002 and (c) 2004.

5. 3. 3 水温および塩分の水平分布

2001年～2007年（2003年を除く）1月の調査海域の水深10m層における水温、塩分分布（Fig. 5. 5）は経年変化が観察された。2001年は、噴火湾内を除く調査範囲の全域にわたり水温 2℃未満、塩分33.0 未満の寒冷で低塩分の沿岸親潮水に覆われていた。2002年も、胆振海域～噴火湾内の中央部付近までの帯状に沿岸親潮水に覆われていたが、調査海域南側には水温 2～6℃、塩分33.0～33.6の親潮水が分布していた。2004年以降は、調査海域内に沿岸親潮水は観察されなかった。2004、2005年にお

いて地球岬の西側～噴火湾口部および湾内は水温 5～7℃、塩分33.3～33.8の親潮水および津軽暖流水に覆われていた。調査海域の東側の胆振海域には、塩分33.0未満、水温 2～4℃の沿岸親潮表層水が分布していた。2006年は、胆振海域の大部分を沿岸親潮表層水が覆っていたが、噴火湾口部～噴火湾内にかけては親潮水が分布していた。2007年は、調査海域の全域にわたり水温 5～7℃、33.2～33.7の親潮水が占めていた。

海底付近の水温、塩分分布（Fig. 5. 6）をみると、2001年は、沿岸親潮水が胆振海域～噴火湾口部の水深100m以浅の大陸棚上にかけて舌状に入り込んでいた。2002年は調査海域の東端である東経142°付近に沿岸親潮水が分布したが、それより西側では親潮水が広く分布していた。沿岸親潮水の流入は表層の水深40m程度までで、それ以深は親潮水が占めていた。また、沖側の水深300m以深には低温低層水が観察された。2004～2006年は、調査海域東側の大陸棚上に沿岸親潮表層水が観察されたが、これより西側の大陸棚上～大陸斜面域にかけて親潮水、その沖側の水深300m以深には低温低層水が分布していた。また、湾内には塩分33.8以上水温 3℃以上の冬季噴火湾水⁸⁹⁾が観察された。2007年では、沿岸親潮水、沿岸親潮表層水とも調査海域内には観察されなかった。

沿岸親潮水が調査海域の大陸棚上に流入し、表層～海底付近まで覆ったのは2001年だけであった。2002年は沿岸親潮水が流入したのは表層域のみで、それ以外の年では調査海域内に沿岸親潮水は観察されず、親潮水または沿岸親潮表層水が広く覆っていた。

5. 3. 4 スケトウダラの分布水温、塩分および水塊

2001年～2007年（2003年を除く）1月の産卵場と考えられる水深150m以浅海域におけるスケトウダラの分布水温、塩分をFig. 5. 7に示す。スケトウダラの分布水温範囲は、0℃以上 7℃未満、塩分は32.5以上33.7未満であった。分布量の最も多い水温、塩分には、年による違いが観察され、2001年はそれぞれ 1℃以上 2℃未満および32.7以上32.8未満、2002年は 4℃以上 5℃未満および33.0以上 33.1未満、2004年は 5℃以上 6℃未満および33.5以上33.6未満、2005年は 4℃以上 5℃未満および33.1以上33.2未満、2006年は 3℃以上 4℃未満および32.9以上33.0未満、2007年が 5℃以上 6℃未満および33.3以上33.4未満であった。産卵に適した水温と考えられている 2～5℃^{14,49)}の範囲に分布する割合は、2001年は43%、2004年は64%、これ以外の年では90～100%の高い値となった。最も調査海域の水温が低かった2001年では、水温 1℃未満の水域にもスケトウダラが分布していたが、その割合は 8%と少なかった。

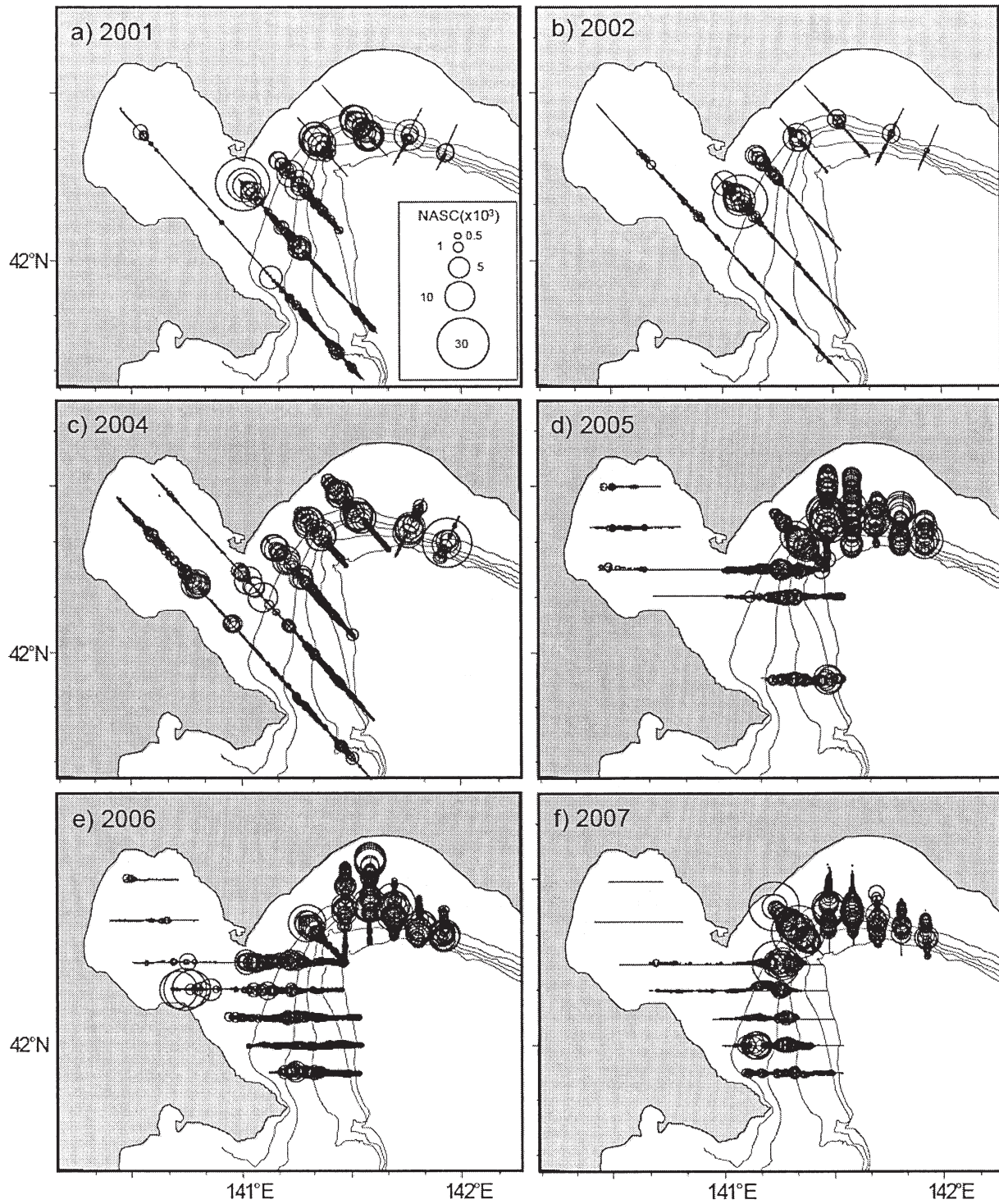


Fig.5.3 Horizontal distribution of walleye pollock observed during the each acoustic survey in January: (a)2001, (b) 2002, (c) 2004, (d) 2005, (e) 2006, and (f) 2007. Size of circles are proportional to pollock density (nautical area scattering coefficient, NASC) calculated in 500m intervals. Maps of the Survey area.

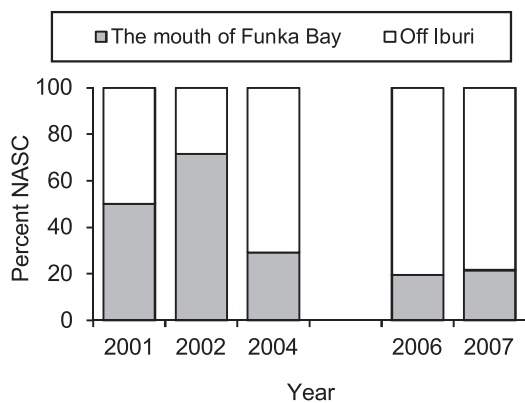


Fig. 5.4 Percent of walleye pollock acoustic abundance (NASC: nautical area scattering coefficient) at each spawning location, the mouth of Funka Bay and Off Iburi in 2001, 2002, 2004, 2006 and 2007 surveys.

各水塊のスケトウダラ分布割合をFig. 5. 8に示す。2001年は57%が沿岸親潮水に、21%が沿岸親潮表層水に、22%が親潮水に分布した。2002年は64%が親潮水、36%が沿岸親潮表層水に分布した。2004、2005、2007年はすべてのスケトウダラが親潮水に分布した。2006年は親潮水に41%、沿岸親潮表層水に59%が分布した。2001年および2006年以外は、親潮水に分布する割合が最も高かった。

5. 3. 5 スケトウダラの分布尾数および現存量

音響資源調査によって推定された調査海域内に分布するスケトウダラの尾数および現存量と、VPAによる太平洋系群全体の産卵親魚尾数および重量²⁶⁾をFig. 5. 9に示す。音響調査によって推定された分布尾数は、 $89.7 \times 10^6 \sim 217.7 \times 10^6$ 尾、現存量は $59.7 \times 10^3 \sim 111.9 \times 10^3$ トンの範囲にあった。VPAによる推定尾数は、 $281.5 \sim 439.0 \times 10^6$ 尾、重量は $181.6 \sim 243.4 \times 10^3$ トンの範囲にあり、尾数、重量ともに音響資源調査による推定値の約2倍であったが、増減傾向は一致しており、両者の間には有意な正の相関 ($N=5$, $r=0.942$, $p=0.016$) があった。

5. 4 考察

本研究の結果から、2001年は噴火湾口部と胆振沖の両方、2002年は噴火湾口部、2004、2006および2007年は胆振沖に産卵場所の中心があったと考えられ、年によって産卵場所が変化することが確認された。

スケトウダラの産卵場における分布水温は、 0°C 以上 7°C 未満、塩分は32.5以上 \sim 33.7未満であった。各年の最も分布量の多い水温、塩分も年によって変化したが、ス

ケトウダラの産卵に適した水温とされる $2 \sim 5^\circ\text{C}$ の範囲^{14,49)}に分布する割合が高かった。分布水塊は、この範囲の水温域を持つ親潮水および沿岸親潮表層水が大部分を占めた。調査を行った6年間のうち、沿岸親潮水が調査海域に観察された年は2001と2002年であった。この2年とも、産卵場所の中心が噴火湾口部に形成されたと考えられた。沿岸親潮水の有する 2°C 未満の水温は、東部ベーリング海ではスケトウダラの分布を妨げる水温と考えられている⁹⁰⁾。また、志田ら⁵²⁾も、冬季の道東海域において同様の結果を観察している。従って、前田ら⁴⁴⁾が指摘しているように、 2°C 未満の水温はスケトウダラの産卵環境として適さないと考えられる。2001年の水温、塩分分布を見ると、沿岸親潮水は大陸棚上胆振沖 \sim 噴火湾口部に向かって入り込んでいた (Fig. 5. 5 および 5. 6)。これらのことから、スケトウダラが沿岸親潮水を避けて分布した結果、分布密度の高い水域が噴火湾口部に形成された可能性が高い。この結果は、前田ら⁴⁴⁾およびMaeda¹⁴⁾の推測と一致した。しかし、2002年は沿岸親潮水の分布が表層域だけであったにも関わらず (Fig. 5. 5 および 5. 6)、噴火湾口部に分布する割合が最も高い結果となった。沿岸親潮水の影響は水温だけでなく、別の要因、例えば流れ⁹¹⁾などの影響があった可能性は否定できない。しかし、スケトウダラ成魚の分布と流れの関係を検討した例はなく、この点は今後の研究課題である。

一方、Maeda¹⁴⁾は、沿岸親潮 (Maeda¹⁴⁾の定義では the surface water of the Oyashio Current、水温 3°C 未満、塩分33.0未満の水)の流入が遅れ、津軽暖流水が噴火湾口 \sim 大陸棚にかけて広く覆った1980年には、胆振沖が産卵場所の中心になったと推測している。また、これは沿岸親潮水が産卵に好ましい条件を提供する水域を産卵場所として選択するためと考察している。しかし、本研究では、沿岸親潮水または沿岸親潮表層水が調査海域内に観察されなかった2007年も胆振沖に分布していた。また、この年はスケトウダラの100%が親潮水中に分布していた。従って、Maeda¹⁴⁾の推測とは異なり、沿岸親潮水が胆振沖への産卵場所形成に直接影響を与えているわけではないと考えられる。

これまで、日高湾の産卵期におけるスケトウダラの分布を直接観察して定量的に示した研究例はなく、産卵場所の年変動は卵の分布などから考察されてきた⁴⁴⁾。本研究の結果から、スケトウダラの分布から見ても、産卵場所が噴火湾口部と胆振沖の間で経年変動することが示された。第1章で論じたように、産卵場所は、その後の卵および仔魚の輸送と関連して、加入量に影響を及ぼすスイッチの一つと考えられる²²⁾。本研究の結果は、沿岸親潮が胆振沖に流入する時期には産卵場所が噴火湾口部に

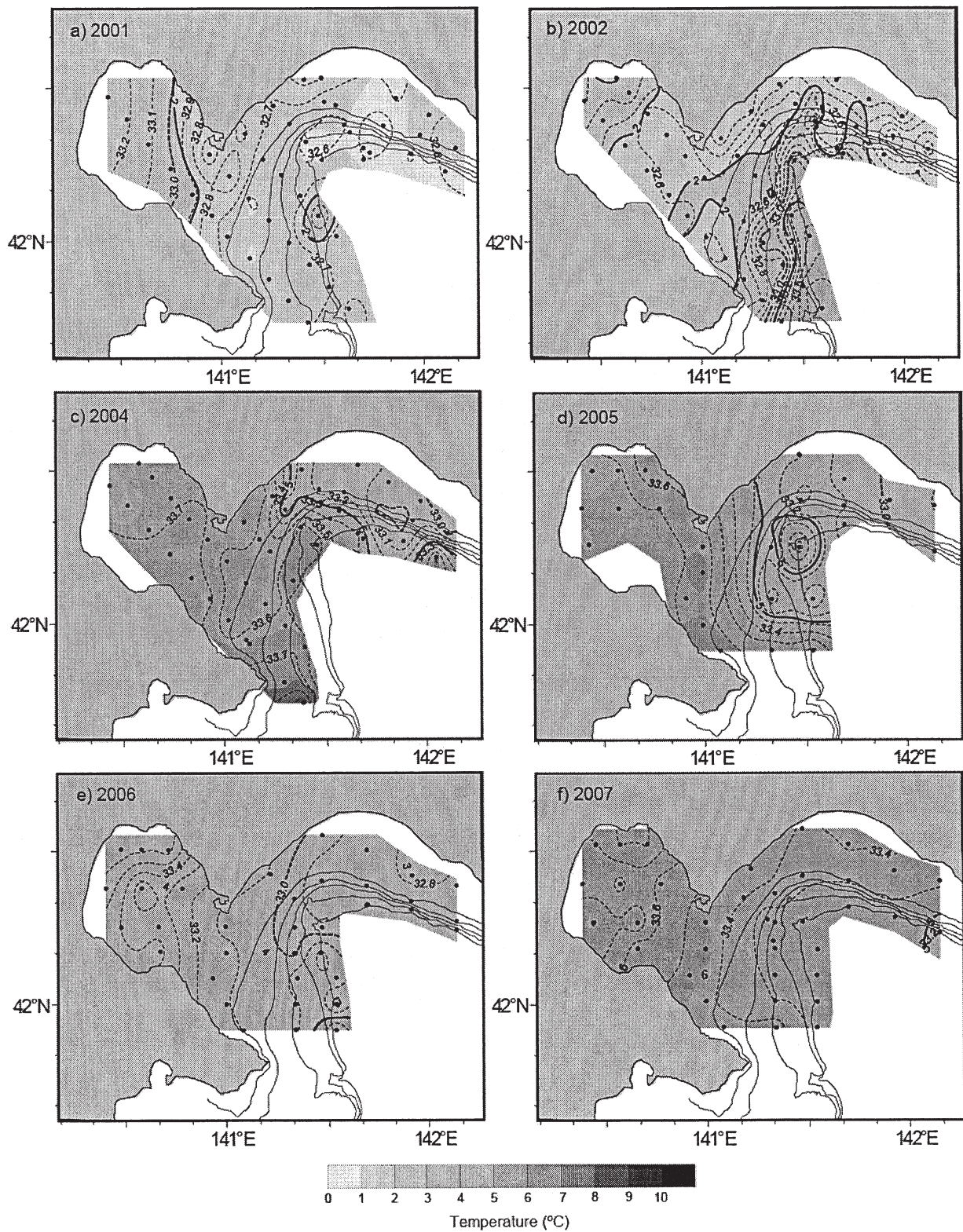


Fig.5.5 Horizontal distribution of water temperature (regular figures and grey scale contours) and salinity (italic figures and dotted lines) for each survey at a depth of 10m in (a) 2001, (b) 2002, (c) 2004, (d) 2005, (e)2006 and (f) 2007 surveys.

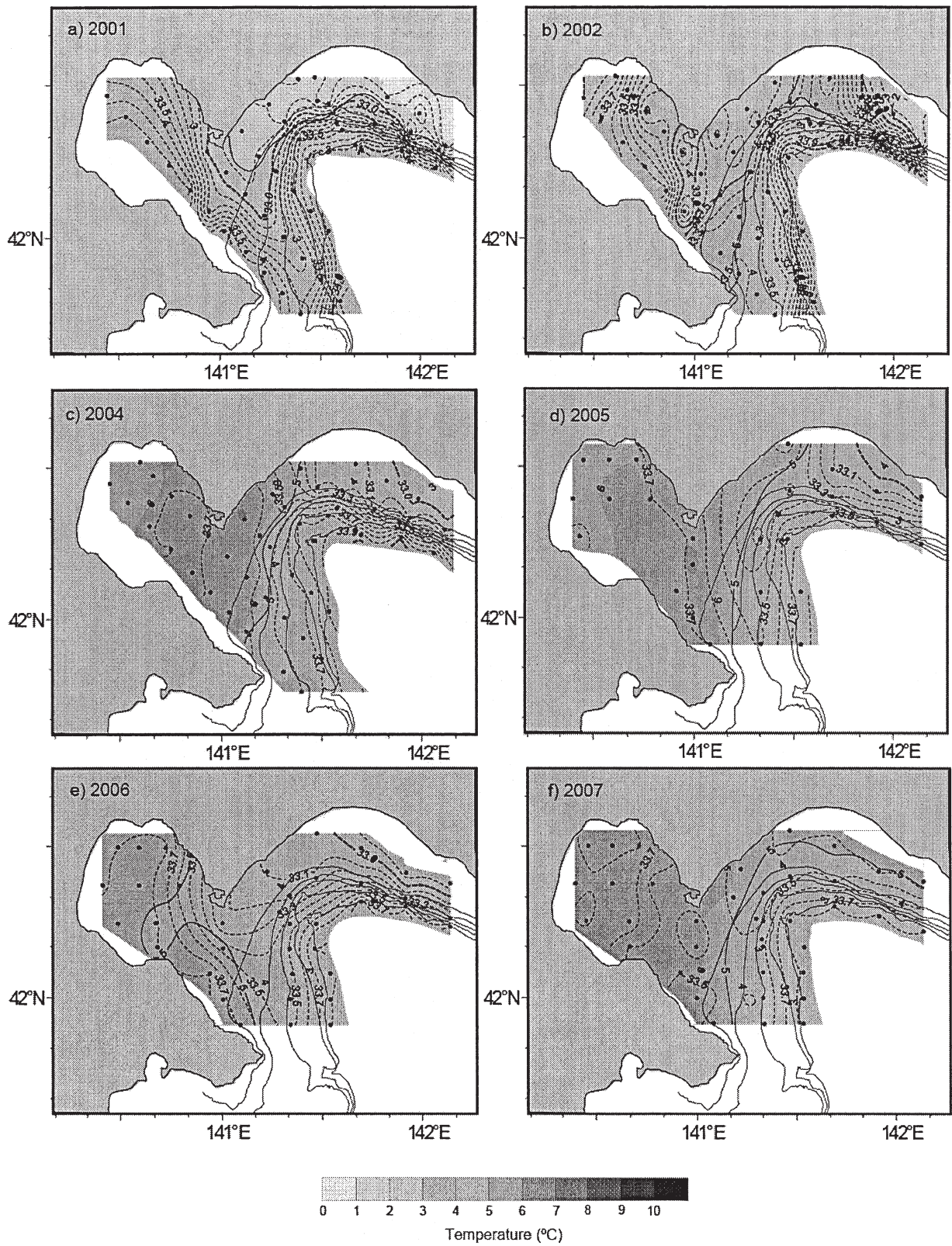


Fig.5.6 Horizontal distribution of water temperature (regular figures and grey scale contours) and salinity (italic figures and dotted lines) for each survey near the bottom in (a) 2001, (b)2002, (c) 2004, (d) 2005, (e) 2006 and (f) 2007 surveys.

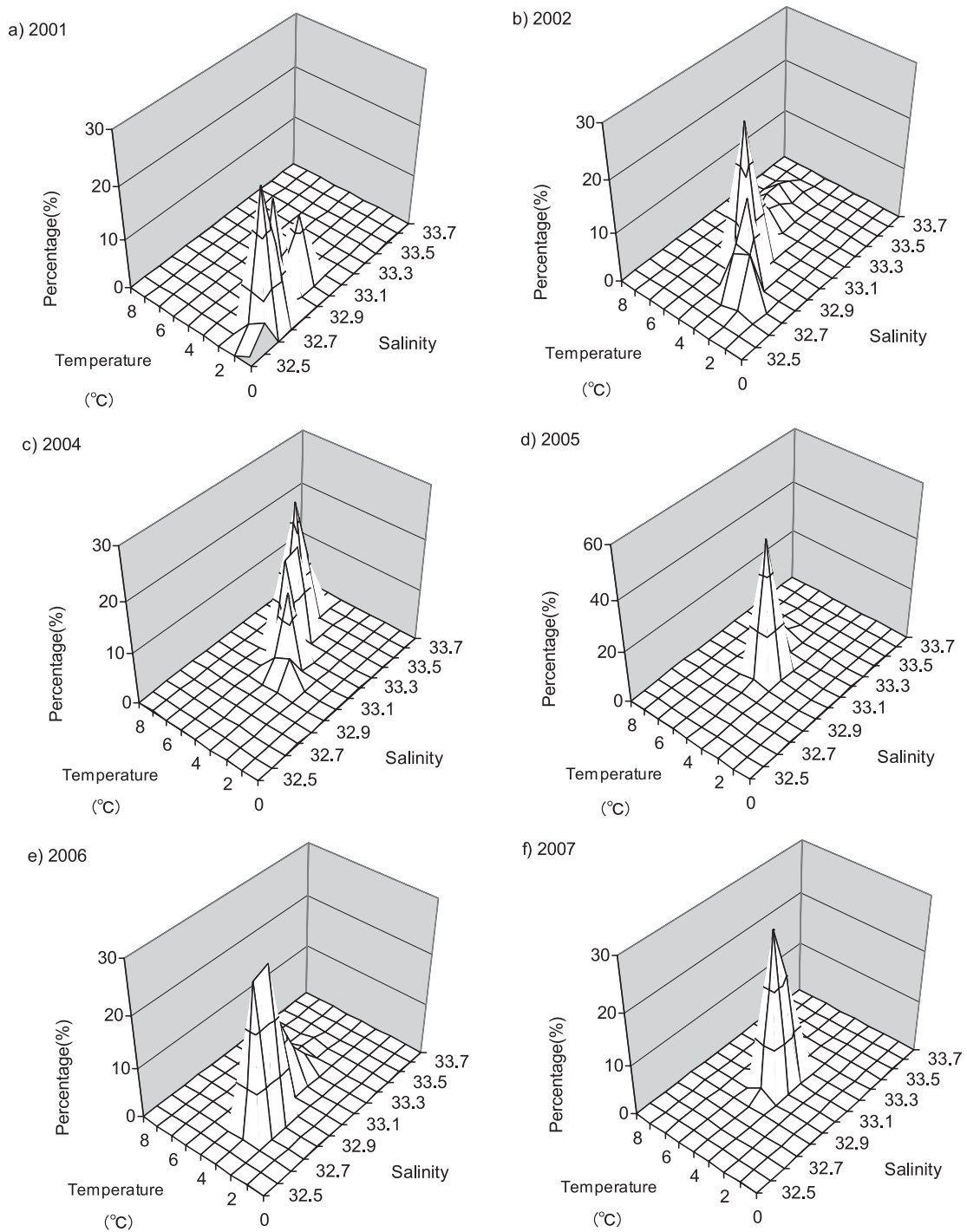


Fig.5.7 Three-dimensional plots of walleye pollock distribution as percent acoustic abundance (% of NASC) in the continental shelf (bottom depth < 150 m) against, temperature and salinity observed in survey in (a) 2001, (b) 2002, (c) 2004, (d) 2005, (e) 2006, and (f) 2007.

形成され、それ以外の時期は胆振沖に形成されることを示した。Funamoto²⁵⁾は、2月の表面水温が高い年に加入量が多いことを報告している。2月の表面水温が高い年

は、沿岸親潮水の流入が遅いか、流入が見られない年に当てはまる。従って、沿岸親潮の流入しない、即ち産卵場所が胆振沖に形成される年に、産卵場所のスイッチが

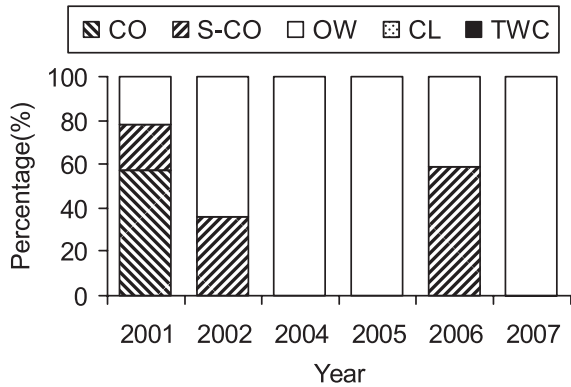


Fig. 5.8 Percent (%) walleye pollock acoustic abundance (nautical area scattering coefficient, NASC) in each water mass in (a)2001, (b) 2002, (c) 2004, (d) 2005, (e) 2006 and (f) 2007. The capital alphabet indicates the water mass classified based on Rosa et al. (2007): the Tsugaru Warm Current water (TWC), the Oyashio water (OW), the Cold Lower-layer water (CL), the surface water of the Oyashio water (S-OW), and the surface water of the Coastal Oyashio water (S-CO).

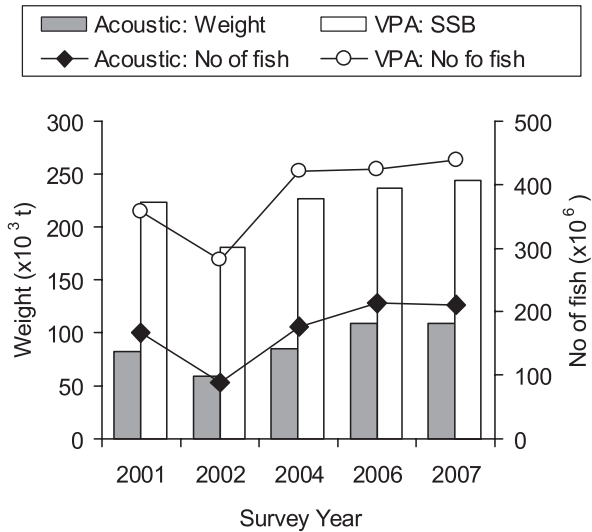


Fig. 5.8 Spawning stock biomass (SSB) and total number of Japanese Pacific walleye pollock stock estimated by virtual population analysis (VPA, Mori and Funamoto, 2009), and total weight and number of adult pollock in Hidaka Bay estimated by acoustic surveys in January.

オンになると考えられる。しかし、卵や仔魚がどのように輸送され、噴火湾内への集積がおこるのかは、産卵場所と北西風などによって惹起される海水の流れの関係によって決定される^{17,82)}。アラスカ湾では、モデル実験によって卵や仔魚の輸送をシミュレーションし、生残に適した海洋環境を検証する研究が行われている⁸³⁾。今後、アラスカ湾のスケトウダラで用いられたような輸送モデルによる研究を行い、産卵場所の重要性やスイッチがオンになる条件を検証する必要がある。

スケトウダラの水平分布から判断して (Fig. 5.3), 調査を行った6年間では、産卵場の中心が噴火湾内に形成された年はなかったと考えられる。一方、その中でも2004、2006年は比較的噴火湾内の分布が多かった。これらの年は、噴火湾内の定置網による12月の漁獲が多く、この時期からすでに噴火湾内に進入していたと思われる。飯田ら⁵⁰⁾は、噴火湾内へのスケトウダラの進入が、湧昇などの海洋環境の影響を受けることを示唆しているが、そのメカニズムは明らかになっていない。本章のデータからは、この点を検討することはできなかったが、第6章において、定置網漁業の漁獲量と関連して若干議論する。1970年代以前は産卵場が噴火湾内に形成されると考えられていたことから⁸⁴⁻⁸⁶⁾、そのメカニズムの解明は今後の研究課題である。

音響資源調査によって推定された日高湾における産卵親魚量は10万トン前後であり、VPAで推定された太平洋系群全体の産卵親魚重量²⁶⁾のほぼ半分値であった。音響調査の誤差として、その値が調査期間におけるスナップショットであり、また調査海域が索餌場も含めた成魚の分布域全体をカバーしていない。このことにより、調査時期以前に産卵を終了して索餌場へ回遊した個体と、調査時期以後にこの海域に来遊して産卵に参加した個体が含まれないことによる過小推定が考えられる。加えて、海底付近および海面付近の魚探機のデッドゾーン内に魚が分布することによる過小推定も考えられる。北部日本海系群では、調査海域が成魚の分布域をほぼカバーしていると考えられるの音響資源調査で推定された産卵親魚重量と、VPAによる推定値が平均1.3倍程度の差であったことから²⁴⁾、調査範囲によるところが大きいと推測される。一方、VPAの結果から推定された産卵親魚重量は、次年度の資源量から間接的に算出されたものであり、こちらも多くの誤差要因を含む。VPAの誤差としては、漁獲後の残りを産卵親魚とみなすことによるもの、自然死亡率や成熟率を毎年一定とすることに起因するもの、使用している魚の体重データの相違、年齢別漁獲尾数や最近年のFの推定誤差に起因するものが考えられる (Appendix1 を参照)。従って、現状ではどちらの値、も

しくは両方の値がどの程度過大または過小なのか判断することはできない。三宅²⁴⁾は、音響資源調査による産卵親魚重量の推定に関して、分布域をカバーする重要性を指摘している。しかし、太平洋系群の分布域全体をカバーする調査を行うためには、調査期間を大幅に延長するか、複数の調査船を同時使用するなどの調査努力の増大が必要であり、調査コストは非常に増大する。今後、目的と必要性に応じてどのような規模の調査を行うか検討する必要がある。一方、全く異なるデータと方法で推定した値の変動パターンがほぼ一致したことは、計量魚探による直推定値、VPAによる推定値の両方とも、変動傾向を正しく把握している可能性が高い。現状の調査海域における推定値でも、VPAによる産卵親魚量推定値の検証や補正に用いることは可能と考えられる。北部日本海における調査結果は、11年分のデータを用いてVPAとの比較を行っている²⁴⁾。これと比較して本研究のデータ年数は6年と少なく、今後も調査を継続してデータを蓄積し、この点を検証していく必要がある。

第6章 日高湾におけるスケトウダラ分布と漁業の関係

6.1 緒言

水産資源の変動に関して、山川⁹²⁾は漁業の影響と環境変動の相互作用、即ち、漁業は産卵親魚量の多寡に大きな影響を与え、同時に産卵から加入までの生残は環境の影響を強く受けると述べている。山川に従えば、資源管理の関与できるプロセスは産卵親魚量の調節だと言える。日高湾はスケトウダラ太平洋系群の主たる産卵場であり、成魚を対象とした漁業が産卵期を中心に営まれている。それ故、日高湾における漁業は産卵親魚量というスイッチに影響を与える重要な因子であり、資源管理上においても重要といえる。

第1章で述べたように、スケトウダラは我が国のTAC対象種に指定されており、国が定めるTACによって漁獲が管理されている。TAC決定の際、重要な根拠となるABCの算出は、独立行政法人水産総合研究センターが行う資源評価に基づいて行われる。スケトウダラ太平洋系群の資源評価には、チューニングVPAによる資源量推定²⁶⁾が用いられている。VPAは、年齢別漁獲尾数を用いて資源尾数を推定する方法であるが、最近年の漁獲死亡係数（以降Fと略す）は何らかの方法であらかじめ与える必要がある。一方、現行のTAC制度では、直近年の資源量推定と将来予測が資源評価とABC算定に非常に重要である。最近年のFはそれらに大きな影響を及ぼすため、

その決定に当たっては十分な検討が必要である。太平洋系群のVPAでは、1歳魚のFを音響資源調査による現存尾数の推定結果、2～7歳のFを沖合底曳網漁業（以降沖底漁業と略す）の年齢別CPUE（Catch Per Unit Effort）によりチューニングしている。また、年齢間のFの比は過去5年間の平均値が用いられている。これらは、漁業のCPUEが分布密度や資源量と相関関係があること、Fが5カ年程度の期間ではあまり大きく変動しないという推測を前提としている。しかし、実際にスケトウダラ漁獲量が分布密度とどのような関係にあるか明らかではない。スケトウダラは複数種の漁業によって漁獲されており、漁業毎にその関係は違う可能性がある。夏目⁹³⁾は、日本海北部の檜山海域における延縄漁業によるスケトウダラ漁獲量が、1960年代に激減した理由について、スケトウダラの分布水深の変化をあげており、漁獲量の変化が分布量以外の要因で大きく変化することを示唆した。また、Hutchings and Myers⁹⁴⁾は、ニューファンドランドの大西洋タラを対象とした底曳網漁業について、探知能力の向上や漁獲技術の改善などによってCPUEが魚の分布密度と関係なく変動する可能性を示している。さらにVPAでは、自然死亡が大きな経年変動はしないという前提で、固定された値を使用しているが、川崎⁹⁵⁾は自然死亡が大きく変動する例を示し、固定された自然死亡係数を用いることの危険性を指摘している。これらのことから、漁業が産卵親魚量にどのような影響を与えるか考えること、また的確な資源評価に基づく資源管理を考える上でも、まず魚の分布と漁業がどのような関係にあるか把握しておく必要がある。日高湾における主要なスケトウダラ漁業は、刺網、沖底、定置網漁業である。本研究では、すでに第4章において当海域の刺網漁業の月別漁獲割合が魚の来遊時期の変動を反映して変化することを示した。本章では、音響資源調査で推定されたスケトウダラ成魚の分布密度と各漁業の漁獲量の関係を調べ、得られた知見に基づいて資源管理を行う上での問題点を漁業別に論議する。また、これらの結果に基づき、音響資源調査による漁況予測と資源管理への利用について検討する。

6. 2 材料と方法

6. 2. 1 音響資源調査によるスケトウダラの分布密度の推定

計量魚探機を用いた音響資源調査は、日高湾において2002年～2008年の7年間、各年9月上旬（1次調査）と11月下旬（2次調査）の2回ずつ実施した（Fig 4. 1）。音響データの収集に使用した計量魚探機は、函館水産試験場所属試験調査船金星丸に搭載されたEK-60（シムラッド社製、38kHzおよび120kHz）であった。魚探機の較正は、調査開始前に標準球により実施した。各調査の概要はTable 6. 1に示す。音響データの収集および解析手法は、第4章と同様に行った。NASCは500m間隔で出力した。本章では、漁獲量との関係を検討するために、調査海域におけるスケトウダラの分布密度を算出した。各年および調査の密度推定範囲を一定とするために、使用するデータの範囲は調査線A～Lの海底深200～500mとした。まず、スケトウダラ分布量（NASC値）の推定は、調査海域を3つのサブエリア（調査線A～F、F～H、H～Lに挟まれた領域）に分けて、(3. 1)式に従い算出した。この値を調査海域の面積で除して海域の平均NASCを算出し、(2. 5)式によりスケトウダラの分布尾数密度（尾/nmi²）に変換した。さらに、相関を調べる漁獲量は重量であることから、分布尾数密度（尾/nmi²）にスケトウダラの平均体重を乗じて重量（トン/nmi²;以降この値を分布密度と称す）とした。の算出に用いたスケトウダラの尾又長組成および平均体重は、漁獲割合の高い12月および1月に沖底漁業により漁獲されたスケトウダラを各月1回無作為に抽出して測定（尾又長：0.1cm単位、体重：1g単位）し、(2. 8)式および(6. 1～2)式により推定した。

$$\overline{BW} = \sum_{p=1}^n w_p \overline{BW}_p \quad \dots \dots (6. 1)$$

$$w_p = \frac{1}{\sum_p \frac{C_p}{\overline{BW}_p}} \frac{C_p}{\overline{BW}_p} \quad \dots \dots (6. 2)$$

ここで、*p*月に採集した標本における平均体重、*C_p*は*p*月の漁獲量、*w_p*は*p*月の漁獲尾数に比例した標本の重みを表す。分布密度の算出に使用した各年の値を、Table 6. 2に示す。

6. 2. 2 スケトウダラ漁獲量の集計

スケトウダラは、産卵期を中心に1年を決定しているため、漁期年度は4月～翌年3月までとなっている。スケトウダラの主漁期は10～3月であるが、2月以降漁獲量が急減してその割合が低くなることから、2～3月の

データは使用しなかった。そこで、本章では10月～翌年1月までを同一漁期年として表記する（例えば、2002年度は2002年10月～2003年1月までとする）。スケトウダラの漁獲量は、すけとうだら刺し網漁業、沖底漁業および定置網漁業について集計した。各漁業の操業許可海域の

Table 6.1 Summary of acoustic surveys in chapter 6.

Year	Date	
	1st survey	2nd survey
2002	Sep. 4 - 10	Nov. 20 - 25
2003	Sep. 2 - 9	Nov. 10 - 20
2004	Sep. 3 - 7	Nov. 29 - Dec. 1
2005	Aug. 31 - Sep. 5	Nov. 24 - 28
2006	Aug. 29 - Sep. 4	Nov. 27 - 30
2007	Aug. 29 - Sep. 5	Nov. 28 - 30
2008	Aug. 27 - Sep. 1	Nov. 17 - 26

Table 6.2 List of parameters used for estimation of adult walleye pollock density.

Year	No of measured	σ	BW(g)
2002	155	6.79x10 ⁻³	713.4
2003	196	5.09x10 ⁻³	442.4
2004	201	5.63x10 ⁻³	489.0
2005	191	5.77x10 ⁻³	523.0
2006	183	5.61x10 ⁻³	506.5
2007	145	5.92x10 ⁻³	523.3
2008	196	5.30x10 ⁻³	489.0

σ and body weight (BW) of walleye pollock are mean values.

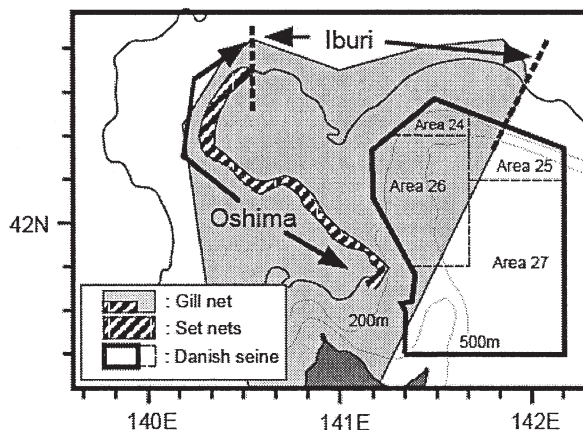


Fig.6.1 Fishing grounds for three main fisheries, gill net, set nets and Danish seine, targeting to adult walleye pollock in Hidaka Bay. The area surrounded by the bold solid line shows fishing ground for Danish seine fisheries (Area 24 - 27; dotted lines) used in this study. Bold dotted lines show borders of sub-prefectures.

概要をFig. 6. 1に示す。すけとうだら刺し網漁業は、噴火湾内および日高湾、沖底漁業は日高湾、定置網漁業は噴火湾内が操業許可海域となっている。本章で取り扱う刺し網漁業は、刺し網漁業による漁獲量の98%（2002～2008年度の平均値）を占めるすけとうだら刺し網漁業とした。10月～1月までの各月のすけとうだら刺し網漁業および定置網漁業の漁獲量は北海道水産現勢によった。定置網漁業の内訳は、その他大定置（すけとうだら定置）、さけ定置、小定置、底建網である。集計範囲は、刺し網および定置網漁業が渡島支庁の旧恵山町（現函館市）～胆振支庁の鶴川町までとした。刺し網漁業の日高支庁海域の漁獲量は、時期によって一部えりも岬周辺の産卵場で産卵する魚群を含む可能性があるため使用しなかった。沖底漁業による漁獲量の集計は、北海道沖合底曳網漁業漁場別漁獲統計を用いた。集計範囲は、音響資源調査海域とほぼ同じ胆振および渡島支庁の海域である小海区24～27とした。

6. 3 結果

6. 3. 1 音響資源調査により推定したスケトウダラの分布密度

音響資源調査から推定した1次および2次調査のスケトウダラ分布密度（トン/nmi²）をFig. 6. 2に示す。いずれの年も1次調査の値は2次調査より低く、調査を実施した2002～2008年度までの期間は、第3章で論じたようにスケトウダラの来遊が遅い年であったと考えられる。1次調査と2次調査における密度の関係をFig. 6. 3に示す。両者の間に有意な相関はなかった。分布密度の経年変動も観察され、1次調査における2002年度の分布密度は18.6トン/nmi²であったが、2003年度には30トン/nmi²、2004年度に45トン/nmi²と連続して増加したが、2005年度に29トン/nmi²に減少した。2006年度には再び増加して61トン/nmi²となったが、2007年、2008年と2年連続して減少した。2次調査における2002年度の分布密度は81.1トン/nmi²と1次調査時より高い値となった。2003年度は86.5トン/nmi²と、2002年度と同水準で推移したが、2004年度に170.3トン/nmi²、2006年度に233.1トン/nmi²と増加し、2007年度には調査期間中で最も高い473.8トン/nmi²となったが、2008年度は224.9トン/nmi²に減少した。

6. 3. 2 スケトウダラ漁獲量の推移

刺し網、沖底、定置網漁業による10～1月の漁獲量は、2002年に25×10³トンと最も低く、その後徐々に増加して、2004年度に74×10³トンとなった（Fig. 6. 4）。その後2005年度64×10³、2006年度に52×10³トンと減少したが、2007年度に64×10³に増加し、2008年度は再び54×

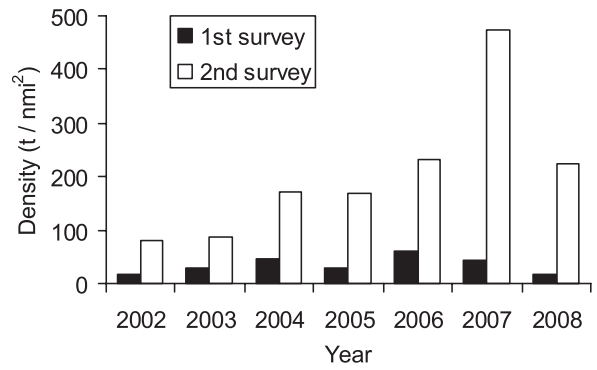


Fig. 6.2 Time series of acoustically estimated density of walleye pollock in Hidaka Bay in the first (early September) and the second (late November) surveys from 2002 to 2008.

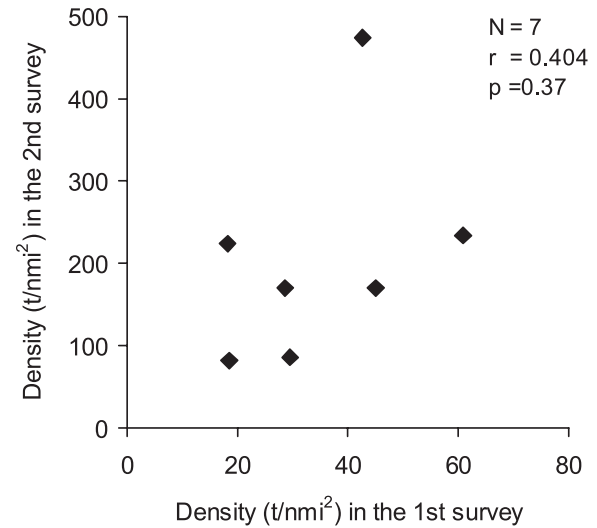


Fig. 6.3 Comparison between acoustically estimated densities of walleye pollock in the first and the second survey.

10³トンに減少した。ただし、2007年度は1月上旬に知事許可のすけとうだら刺し網漁業の漁獲量が配分されたTACの9割以上を超えたため、渡島および胆振支庁の海域における操業を停止した。漁業別の漁獲割合を見ると、すけとうだら刺し網漁業の占める割合が52～85%と最も高く、次いで沖底漁業が13～31%を占めていた。定置網漁業は3%～32%と、他の漁業より経年変動が大きかった。漁業別に見た漁獲量の推移をFig. 6. 5に示す。すけとうだら刺し網漁業では、2002年度が17×10³と最も少なく、その後徐々に増加して2004年度に41×10³トンとなった以降は40×10³トン前後で推移した。2007年度は1月上旬で操業を終えたものの、調査期間内では最も多い44×10³トンを漁獲した。月別には、調査年を通じて10月～

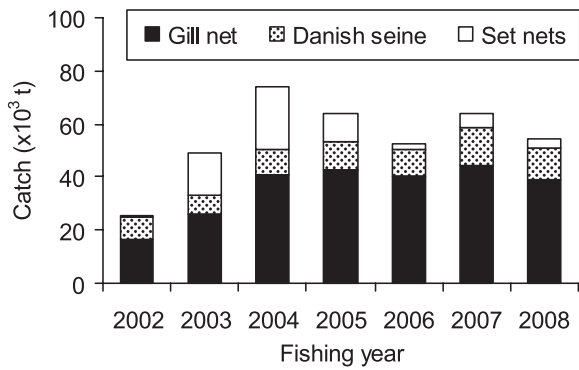


Fig. 6.4 Time series of walleye pollock catch by commercial fisheries, gillnet, Danish seine and set nets in Hidaka Bay from 2002 to 2008 fishing year (from October to January). In fishing year 2007, gill net fisheries stopped fishing in early January because they had consumed their TAC.

11月にかけていったん漁獲量が減少した後、12月に急増して1月に減少か横ばいで推移するパターンが見られた。漁獲量のピークは、12月（2003～2007年度）または1月（2002, 2008年度）に見られた。沖底漁業は2002, 2003年度とも 8×10^3 トンで推移したのち2004年度以降は 10×10^3 トン前後の漁獲量で推移し、2007年度に調査期間内で最も多い 14×10^3 トンを漁獲した。漁獲量の変動傾向は、音響調査で推定された2次調査の分布密度の変化とよく似ていた。月別には、調査期間を通じて10および11月の漁獲量は少なく、12および1月に多かった。定置網漁業は、2002年度に 1×10^3 トンと最も漁獲量が少なかったが、2003年度に 16×10^3 トンと急増し、2004年度には 24×10^3 トンを漁獲した。その後、2005年度は 11×10^3 トンに減少し、2006年度以降は $2 \sim 5 \times 10^3$ トンと再び低い水準となった。月別にみると、10～11月の漁獲量は非常に少なく、12月に急激に増加することが特徴で、2007年、2008年度は12月より1月の漁獲量が多い結果となった。12月および1月の漁獲が年度計の97%を占めていた。

6. 3. 3 音響資源調査により推定されたスケトウダラの分布密度と漁獲量の関係

1次および2次の音響資源調査において推定されたスケトウダラの分布密度と、漁業別月別漁獲量の関係をFig. 6. 6に示す。また、両者の相関をTable 6. 3に示す。2007年度は、すけとうだら刺し網が1月上旬で操業を中止しているため、全漁業の合計とすけとうだら刺し網の解析では値を使用しなかった。1次調査の推定分布密度は、全漁業合計の10～11月の漁獲量およびすけとうだら刺し網漁業の10～11月の漁獲量と有意な正の相関を示し

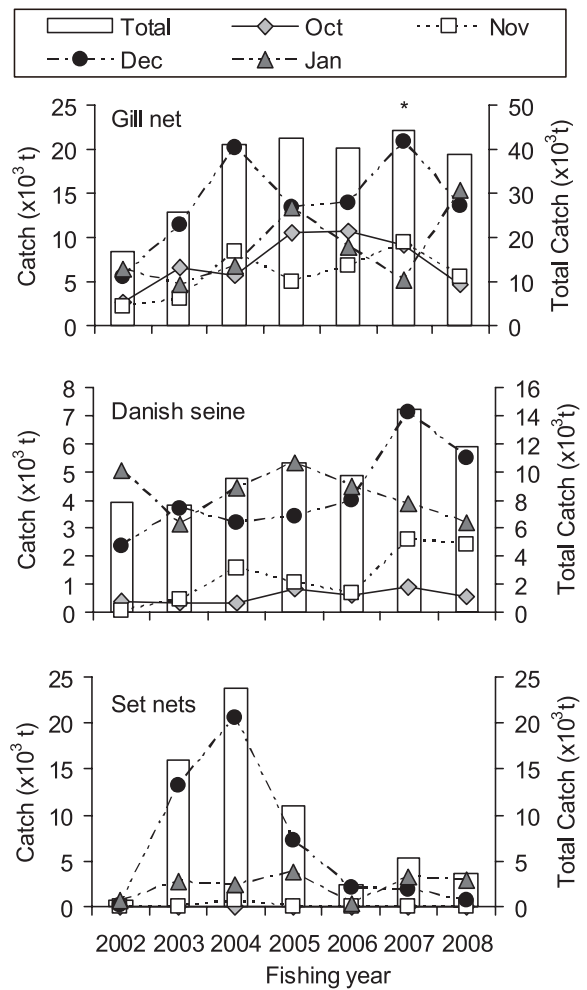


Fig. 6.5 Time series of monthly walleye pollock catch by commercial fisheries, gill net (the upper panel), Danish seine (the middle panel) and set nets (the lower panel) in Hidaka Bay from 2002 to 2008 fishing year (from October to January). In fishing year 2007, gill net fisheries stopped fishing in early January because they had consumed their TAC.

た。2次調査の推定分布密度は、すけとうだら刺し網漁業の10～1月、11～1月および12～1月の漁獲量、沖底漁業の10月および1月を除くすべての組み合わせと有意な正の相関を示した。特に、沖底漁業の12～1月の合計漁獲量は非常に高い相関 ($N=7, r=0.96, p=0.0007$) を示した。定置網漁業の漁獲量は、いずれの組み合わせにおいても音響調査で推定したスケトウダラの分布密度と有意な相関が認められなかった。

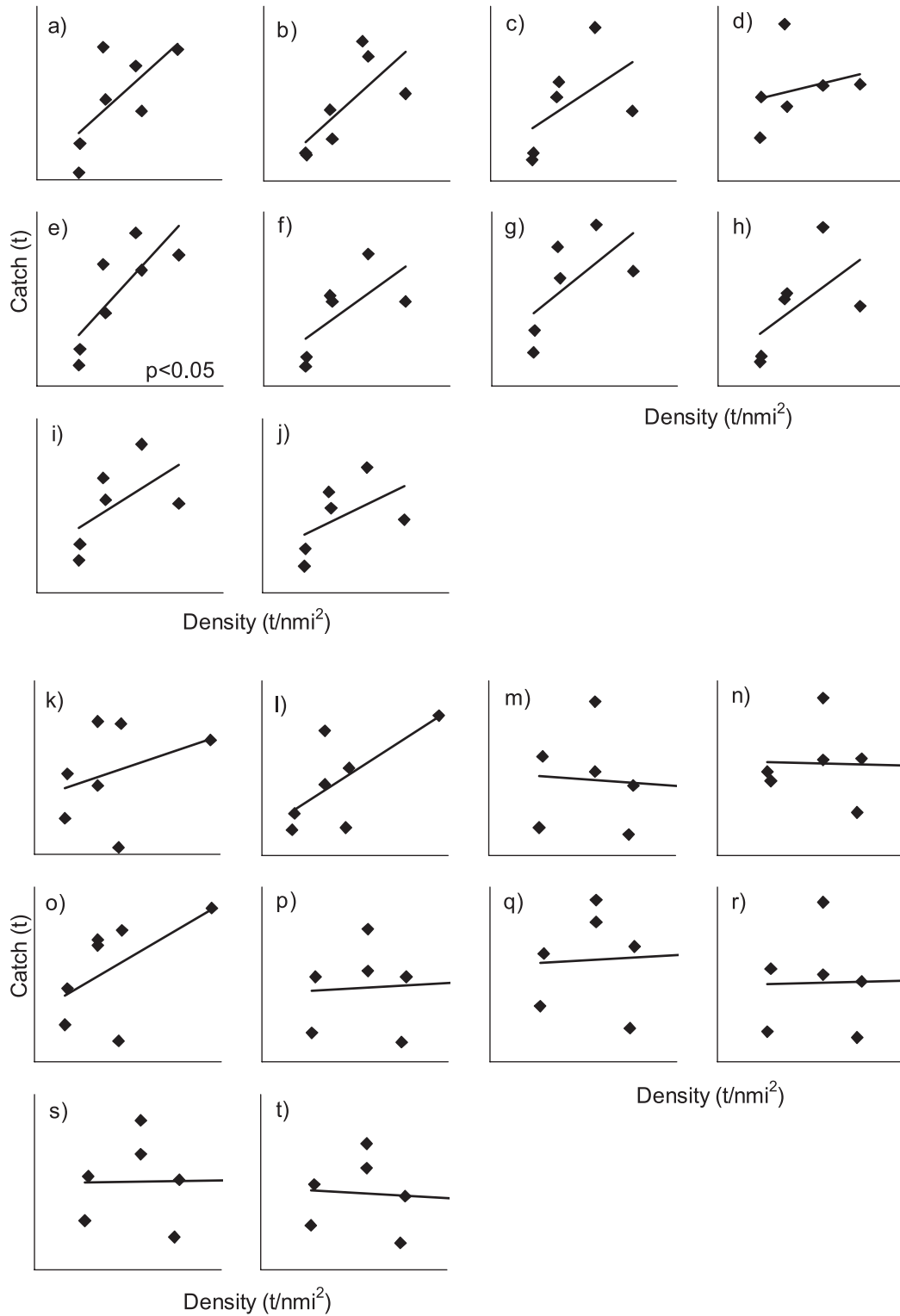


Fig.6.6 Comparison between acoustically estimated density of walleye pollock (t/nmi^2) and monthly catch by commercial fisheries in Hidaka Bay from 2002 to 2008 fishing years (from October to January). Pollock densities were estimated based on the first surveys conducted in early September (a – j) and the second surveys conducted in late November (k – t). Pollock catches were sum of all fisheries (gill net, Danish seine and set nets). (a) and (k): in October, (b) and (l): in November, (c) and (m): in December, (d) and (n): in January, (e) and (o): from October to November, (f) and (p): from October to December, (g) and (q): from October to January, (h) and (r): from November to December, (i) and (s): from November to January, (j) and (t): from December to January.

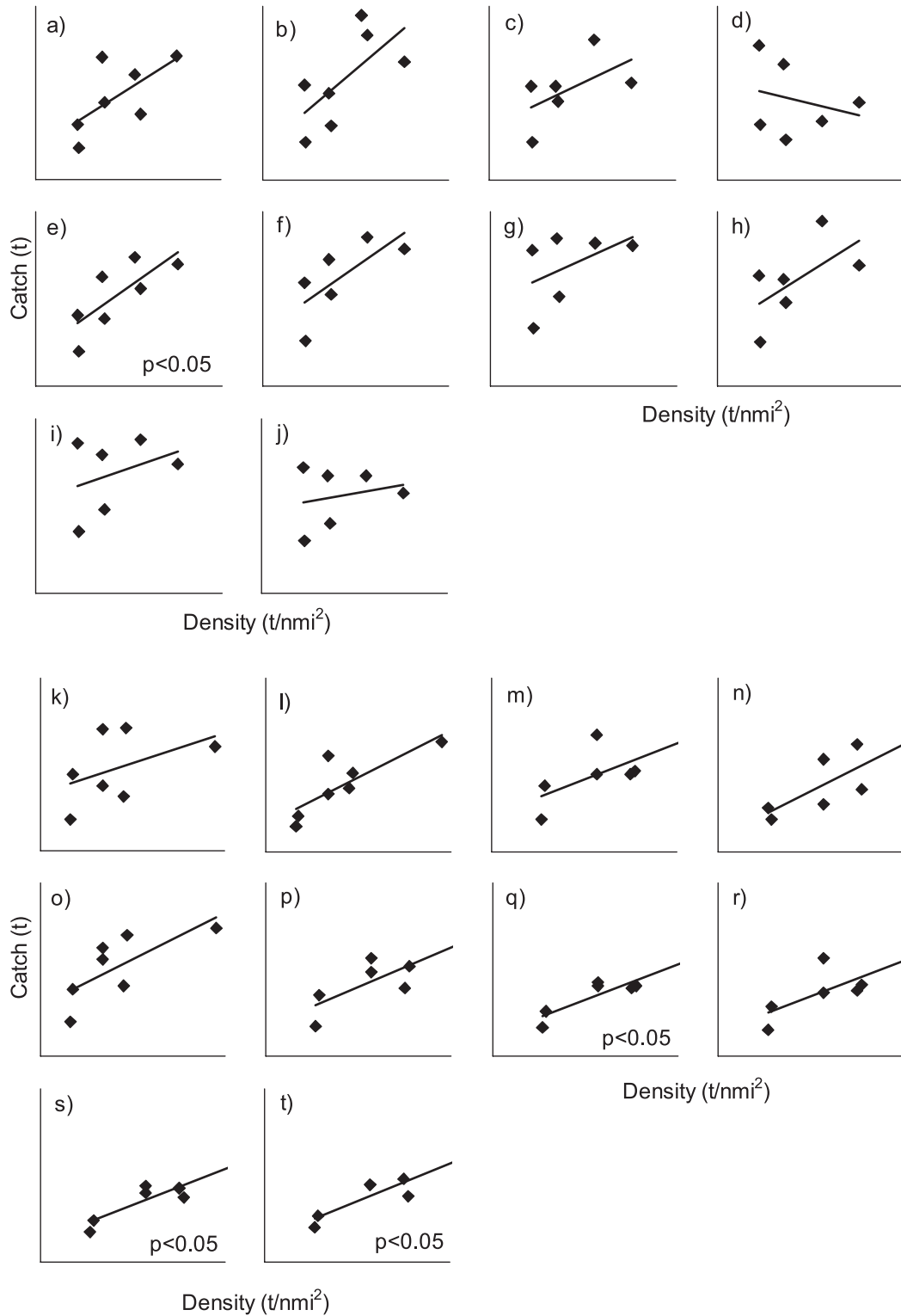


Fig.6.6 Continued. Pollock densities were estimated based on the first surveys conducted in early September (a – j) and the second surveys conducted in late November (k – t). Pollock catches were from gill net fisheries. (a) and (k): in October, (b) and (l): in November, (c) and (m): in December, (d) and (n): in January, (e) and (o): from October to November, (f) and (p): from October to December, (g) and (q): from October to January, (h) and (r): from November to December, (i) and (s): from November to January, (j) and (t): from December to January.

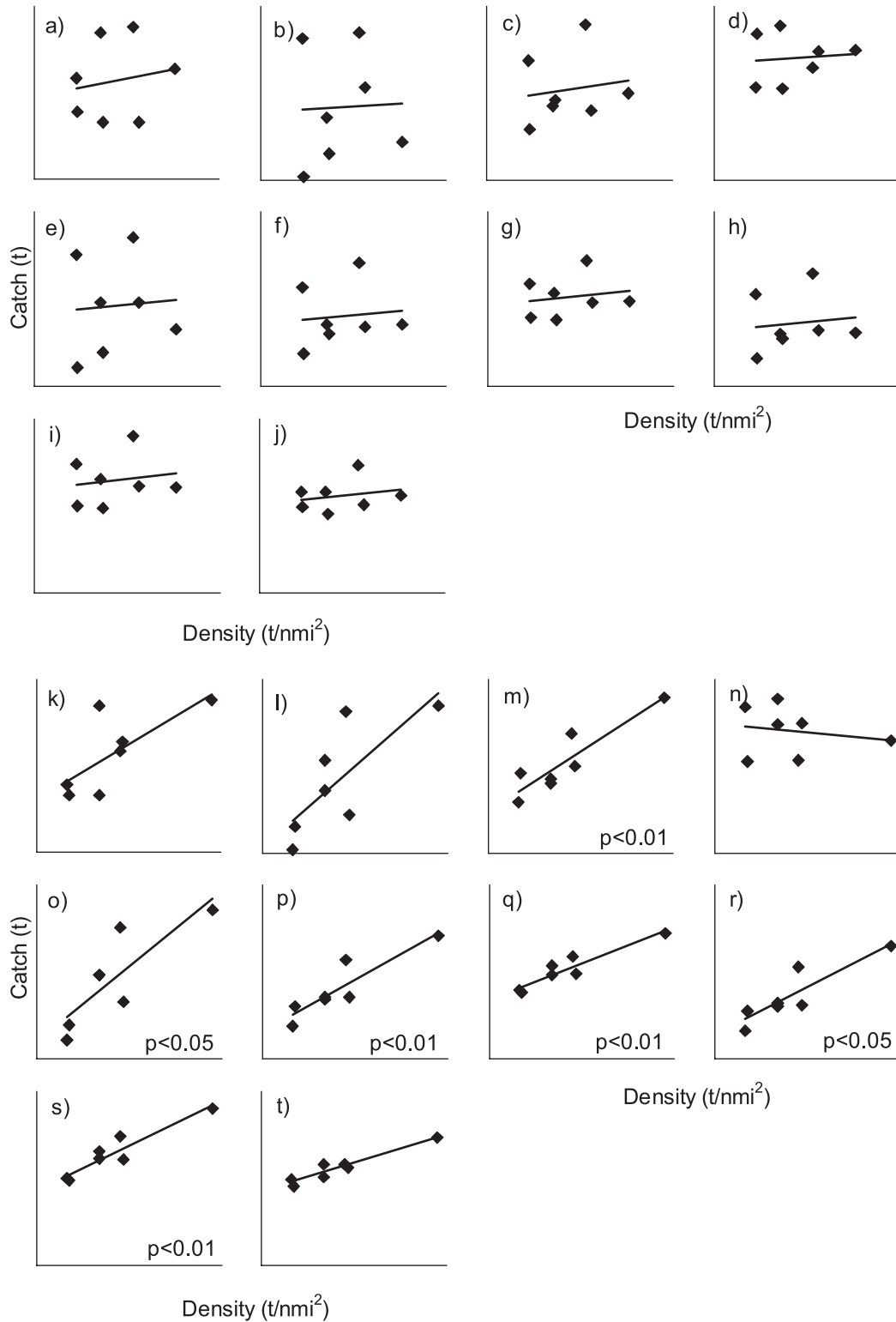


Fig.6.6 Continued. Pollock densities were estimated based on the first surveys conducted in early September (a – j) and the second surveys conducted in late November (k – t). Pollock catches were from Danish seine fisheries. (a) and (k): in October, (b) and (l): in November, (c) and (m): in December, (d) and (n): in January, (e) and (o): from October to November, (f) and (p): from October to December, (g) and (q): from October to January, (h) and (r): from November to December, (i) and (s): from November to January, (j) and (t): from December to January.

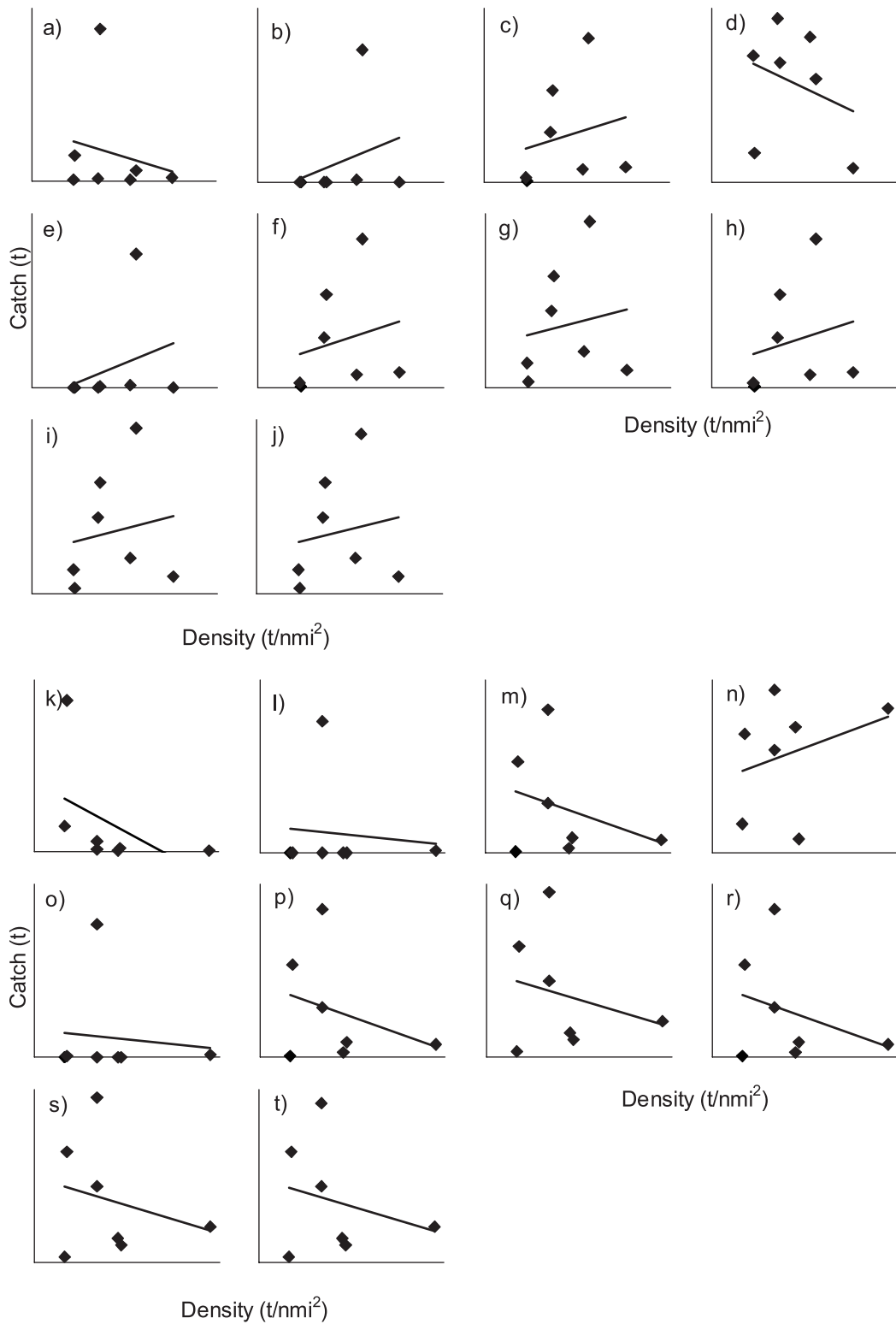


Fig.6.6 Continued. Pollock densities were estimated based on the first surveys conducted in early September (a – j) and the second surveys conducted in late November (k – t). Pollock catch were from set net fisheries. (a) and (k): in October, (b) and (l): in November, (c) and (m): in December, (d) and (n): in January, (e) and (o): from October to November, (f) and (p): from October to December, (g) and (q): from October to January, (h) and (r): from November to December, (i) and (s): from November to January, (j) and (t): from December to January.

Table 6.3 Correlation coefficients (r) between pollock density (t/nmi²) estimated by acoustic surveys and monthly commercial walleye pollock catch (t) by gill net (GN), Danish seine (DS), set nets (SN) and total catch (Total) from 2002 to 2008. Figures in parentheses are number of years. Asterisks show statistically significant r at 0.05: *, 0.01: ** and 0.001: ***.

Acoustic Survey Month / Fisheries	1st survey (early September)				2nd survey (late November)			
	Total	GN	DS	SN	Total	GN	DS	SN
Oct	0.6841 (7)	0.6465 (7)	0.1750 (7)	-0.1989 (7)	0.6465 (7)	0.4531 (7)	0.7286 (7)	-0.4829 (7)
Nov	0.7257 (7)	0.6644 (7)	0.0381 (7)	0.2951 (7)	0.6644 (7)	*0.8174 (7)	*0.7698 (7)	-0.1003 (7)
Dec	0.5295 (6)	0.5530 (6)	0.1518 (7)	0.2128 (7)	0.5530 (6)	0.5782 (6)	**0.9050 (7)	-0.3249 (7)
Jan	0.2444 (6)	-0.2553 (6)	0.1026 (7)	-0.3075 (7)	-0.2553 (6)	0.6898 (6)	-0.1922 (7)	0.3175 (7)
Oct-Nov	*0.7951 (7)	*0.7662 (7)	0.0706 (7)	0.2947 (7)	0.7662 (7)	0.7280 (7)	*0.8311 (7)	-0.1017 (7)
Oct-Dec	0.6677 (6)	0.7183 (6)	0.1228 (7)	0.2172 (7)	0.7183 (6)	0.6948 (6)	**0.9043 (7)	-0.3191 (7)
Oct-Jan	0.6288 (6)	0.4859 (6)	0.1741 (7)	0.1580 (7)	0.4859 (6)	*0.8503 (6)	**0.9405 (7)	-0.2532 (7)
Nov-Dec	0.5924 (6)	0.6062 (6)	0.1135 (7)	0.2173 (7)	0.6062 (6)	0.6434 (6)	*0.8887 (7)	-0.3191 (7)
Nov-Jan	0.5765 (6)	0.3531 (6)	0.1699 (7)	0.1581 (7)	0.3531 (6)	*0.8425 (6)	**0.9412 (7)	-0.2532 (7)
Dec-Jan	0.5211 (6)	0.2222 (6)	0.2450 (7)	0.1520 (7)	0.2222 (6)	*0.8272 (6)	***0.9576 (7)	-0.2564 (7)

6. 4 考察

スケトウダラ成魚は第3章で考察したように、索餌期～産卵期にかけて、日高湾に來遊してくると考えられる。従って、産卵場である日高湾における漁期前の1回の音響資源調査により得られる分布密度の推定値は、その時期の分布を示すスナップショットであり、分布域全体をカバーするものではない。そのため、漁期を通じた分布密度または分布量を表す指標とは言えない。本章の結果においても、1次調査と2次調査の推定値には有意な相関関係はなかった。推定された分布密度は、11月下旬の2次調査の値が平均して1次調査の6倍程度高くなっており、漁獲量も12月に大きく増加していることから、2次調査を行った時期に大きな來遊があったと推測される。一方で、スケトウダラ太平洋系群の分布域は東北～北方四島水域までの広い範囲にあるため、この海域全体を網羅する調査を行うことは非常に困難である。調査を行った2002年度～2008年度までの期間においては、漁獲量は漁期中の12月～1月に多い結果であった。そこで、本研究では漁期前の9月に加えて、漁獲量の増加する12月以降の漁獲量と比較するため、11月下旬にも音響資源調査を行い、各月の漁獲量と分布密度の比較を行った。1次、2次の音響資源調査により推定されたスケトウダラ分布密度とすけとうだら刺し網漁業の調査後2ヶ月間の漁獲量は、いずれも正の相関を示した。従って、すけとうだら刺し網漁業による漁獲量の変動は、スケトウダラの分布密度の変動を反映していると考えられる。これは、刺し網漁業の漁場が噴火湾内を含めてスケトウダラの分布域全体をカバーしていること (Fig. 6. 1)、少なくとも本研究の調査期間内では漁法など操業規則に大きな変更がなかったためと考えられる。一方、直近の1ヶ月の漁獲量とは有意な相関関係は観察されなかった。すけとうだら刺

し網漁業の操業海域は、全体として分布域をカバーしているが、支庁ごとに操業海域は細分化されている。また、経験的にみて、分布密度の高い海域に漁具が多く敷設されていることから、海域全体における漁獲努力量は一定ではないと推測される。これらのことから、1ヶ月程度の漁期間では、魚群の分布に偏りがあった場合に、漁獲量が海域全体の分布密度を反映しないと思われる。2ヶ月程度の期間で魚群が海域内を移動することで、漁獲が平準化することが想定される。しかし、漁区別の漁獲量や操業隻数のデータはなく、本研究ではこの点を詳細に検討することはできなかった。この点は今後の研究課題である。また、1次調査の結果は、12月以降の漁獲量と有意な相関がなかった。先に記述したように、2次調査を行った時期に大きな來遊があり、分布密度に変化が起きたために12月以降の漁獲量との関係が見られなかったと考えられる。

沖底漁業の漁獲量は1次調査の分布密度とは相関が見られなかったが、2次調査の値とは高い正の相関が認められた。努力量のひとつの目安となる月別の有漁曳網数 (スケトウダラの漁獲量が全漁獲量の50%以上を占めている曳網数) をTable 6. 4に示す。10月および11月は年による変動が大きく、10月は最大で5倍、11月は8倍近い差があったが、12月および1月は最大でもそれぞれ1.4および1.3倍と小さかった。また、調査海域内における漁獲物の重量組成は、12月以降スケトウダラが90%以上の高い割合を占めるが、各年度の10月と2002年度の11月は割合が低くなっていた (Table 6. 5)。この時期に漁獲割合の高い魚種はスルメイカであった。従って、10～11月は漁獲状況を見ながら、スケトウダラ漁場より浅い海域に分布するスルメイカも主対象として漁獲を行っていると考えられる。このように、スケトウダラが主目的の操業

Table 6.4 Fishing efforts as number of hauls that percent of walleye pollock catch are more than 50% of total catch on pollock of commercial Danish seine fisheries by month and year in the survey area (Fishing area No. 24 - 27).

Year	Month			
	Oct	Nov	Dec	Jan
2002	78	52	543	503
2003	40	88	489	502
2004	73	266	691	593
2005	170	241	537	555
2006	203	390	536	481
2007	198	387	694	548
2008	112	354	556	471

ではなくっていること、このためスケトウダラに対する漁獲努力が一定しないことが、1次調査の分布密度との相関が見られない理由としてあげられる。一方、12～1月における有漁曳網回数の年による違いは、最大で1.4倍程度と10～11月と比較して小さい。魚種別漁獲割合から判断しても、12月以降は主対象をスケトウダラにしほって操業するためと考えられる。このことが、12～1月の漁獲量と2次調査により推定された分布密度の間に高い正の相関が観察された理由と考えられる。

定置網漁業の漁獲量は、1次、2次調査のいずれの分布密度推定値とも有意な相関は認められなかった。第3章で記述したように、11月下旬に行った2次調査時のスケトウダラの分布域は海底深150m以深の大陸斜面域にあり、それより浅い水域には観察されなかった。定置網漁業の漁場は噴火湾内の離岸距離3,000m以内、水深も最深部で80m程度の沿岸近くにある (Fig. 6.1) ことから、2次調査時には漁場内にスケトウダラは分布していなかったと考えられる。定置網の10～11月の漁獲量は、最も多

Table 6.5 Species in monthly catch of by commercial Danish seine fisheries in the survey area (Fishing area No. 24 - 27) as percents of catch.

Fishing year	Month	WP	TH	JCS	FF	SQ	Others
2002	Oct	49.3	0.0	33.1	6.3	2.3	9.0
	Nov	38.0	0.0	16.4	16.9	5.8	22.8
	Dec	95.1	0.0	0.0	2.7	0.5	1.7
	Jan	96.1	0.0	0.0	2.7	0.1	1.1
2003	Oct	18.5	0.0	79.7	0.7	0.3	0.8
	Nov	86.7	0.0	7.6	1.9	0.7	3.1
	Dec	97.8	0.0	0.4	0.8	0.2	0.8
	Jan	95.1	0.0	0.0	3.4	0.2	1.4
2004	Oct	30.2	0.0	60.0	4.8	1.2	3.7
	Nov	94.4	0.0	1.3	1.5	0.3	2.5
	Dec	97.0	0.0	0.2	1.9	0.2	0.8
	Jan	97.0	0.0	0.0	1.4	0.1	1.4
2005	Oct	42.1	2.4	48.8	2.1	1.2	3.5
	Nov	86.0	0.0	6.7	2.5	0.3	4.5
	Dec	95.7	0.0	0.1	2.9	0.4	0.9
	Jan	98.2	0.0	0.0	0.9	0.1	0.8
2006	Oct	54.3	0.4	30.8	4.6	1.3	8.7
	Nov	79.1	0.0	1.1	8.1	1.7	9.9
	Dec	95.8	0.0	2.7	0.5	0.4	0.6
	Jan	97.3	0.0	0.0	2.0	0.2	0.4
2007	Oct	41.5	0.0	34.6	2.1	2.3	19.5
	Nov	86.4	0.0	9.0	0.7	0.8	3.1
	Dec	97.9	0.0	0.7	0.5	0.2	0.7
	Jan	96.0	0.0	0.0	1.3	0.3	2.4
2008	Oct	54.9	0.0	37.9	0.9	0.7	5.6
	Nov	76.3	0.0	18.6	1.5	0.4	3.1
	Dec	96.6	0.0	1.1	0.7	0.2	1.4
	Jan	93.2	0.0	0.0	3.8	0.2	2.9

WP: walleye pollock, TH: Threadfin hakeling, JCS: Japanese common squid, FF: flat fish, SQ: squids except for JCS and octopuses.

かった2004年度の11月でも700t、それ以外は10t未滿と非常に少なかったことは、この推定を裏付ける。第5章で触れたように、噴火湾内の定置網漁業の漁獲量は12~1月に多いことから、その漁獲は12月以降に噴火湾内に進入するスケトウダラの量に依存すると推測される。噴火湾外の調査海域の分布密度と、定置網の漁獲量には相関が認められなかったことから、湾内に進入するスケトウダラの量は日高湾への来遊量とは別の要因によって調節されていることが示唆される。飯田ら⁵⁰⁾は、11月下旬に噴火湾口部および湾内の音響資源調査と海洋観測を行い、湾口の渡島半島沿岸部には水温5℃以下の冷水塊が観察され、スケトウダラと考えられる魚群反応がこの冷水塊にそって分布していたことを報告している。一方、噴火湾内には水深80m前後の海底付近でも水温8℃以上の水が分布しており、その水域にはスケトウダラと考えられる魚群は観察されていない⁵⁰⁾。清水・磯田⁸²⁾は、北西風によって惹起される吹送流が、噴火湾外と湾口部における水の移動に重要な役割を示していることをモデルによって示した。従って、スケトウダラの噴火湾内への進入が、飯田ら⁵⁰⁾が観察したような噴火湾内に進入した陸棚斜面域からの冷水の分布に沿って起こるとするならば、進入量の調節は12月頃の海洋環境に依存すると考えられる。今後、水塊の分布や流れに重点をおいた調査を行い、スケトウダラ分布との関連を明らかにする必要がある。

各漁業の1月の漁獲量は、1次、2次調査と有意な相関がなかった。第3章で報告したように、スケトウダラの分布量は3次調査を行った1月に最も多く、この時期の分布域は大陸棚上~大陸斜面まで広がった。一方、刺網漁業の漁獲量は12月に最も多く、沖底漁業では1月に最大となる年が多かった。これらのことから、2次調査以降に来遊したスケトウダラの量が影響した可能性や分布域が広がったことで、漁場が分散した可能性などが理由として考えられるが、本研究ではこの点を明らかにできなかった。3次調査は、調査デザインが年度によって違うこと、調査方法を統一した2005年(2004年度)以降の音響資源調査のデータ数が少ないことから、1次、2次調査と同じ検討に用いることができなかった。今後、データの蓄積を待ってこの点を検討する必要がある。

本研究の結果から、日高湾における主要なスケトウダラ漁業のうち、すけとうだら刺し網漁業の漁獲量変動は、スケトウダラの分布密度の変化を反映していると考えられる。また、沖底漁業の漁期前半の漁獲量は分布密度と相関が見られなかったものの、漁獲の60~80%を占める12月~1月の漁獲は正の相関があった。従って、沖底漁業についても、主漁期の漁獲量はスケトウダラ分布密度の変化を反映していると考えられる。ただし、本研

究の結果からみて、沖底漁業のCPUEをVPAのチューニングに用いる場合には、集計する月や漁場に注意する必要がある。また、本章の結果が適用できるのは、スケトウダラの分布量がこの調査で観察された範囲内にある場合であることに注意する必要がある。トロール漁業のCPUEが分布密度と必ずしも線形関係にないことが示されており⁹⁶⁾、将来資源量が著しく増大もしくは減少した場合、本研究で観察された関係からはずれていく可能性がある。従って、今後も漁業と分布量の関係を継続してモニタリングしていくことが必要である。一方定置網漁業は、これらの漁業とは異なり、漁獲量の変動が分布密度とは別の要因の影響を強く受けている可能性が示唆される。現在、定置網漁業のうち漁獲割合の高いすけとうだら定置網漁業は、管理協定によって1ヶ棟あたりの漁獲量の上限が定められているが、本研究の結果から見て、この方法は資源量に見合わない過大な漁獲を避けるために妥当なものと判断される。また、本研究の調査期間で最も漁獲が多かった2004年度は、最も少なかった2002年度の30倍あり、漁獲変動が非常に大きいことが定置網漁業の特徴である。2004年度および2005年度の漁獲量は日高湾全体の30%以上を占め、さらに2004年度の10~1月における漁獲量 24×10^3 トン、同年度における太平洋系群全体の漁獲量の13%を占める数量であった。従って、定置網漁業の漁獲量変動の影響は大きく、漁獲の多い年の漁獲係数に、低い年と同一の平均値を与えると資源を過大に評価する危険がある。VPAを行う際に留意すべき点である。

以上のように音響資源調査の結果から、産卵親魚量に直接影響を与える日高湾における主要なスケトウダラ漁業と分布量の関係および各漁業の特徴を示すことができた。また、今後の研究の課題点もいくつか明らかとなった。得られた知見をどのように資源管理に活用していくか、また産卵親魚量と加入量変動の関係については総合討論で議論する。

第7章 総合論議

7.1 日高湾におけるスケトウダラ成魚分布および回遊の特徴

本研究の結果から、スケトウダラ太平洋系群の成魚は索餌期に道東海域などの索餌場から低温低層水に沿って日高湾に来遊し、大陸棚上の主として親潮水または親潮表層水中で産卵し、産卵終了後、親潮水に沿って索餌場へ回遊すると考えられる。索餌期における分布水温の範囲は2~6℃未滿、産卵期はこれより広く、0~7℃未

満の範囲にあった。従来、日高湾で産卵するスケトウダラ成魚は、大部分が索餌期にも同一海域にとどまると推測されていたが⁴⁹⁾、本研究の結果は異なる結論となった。また、日高湾への産卵回遊時期は、成魚のサイズや索餌期における環境の影響を受けて変化することが示された。

産卵場の形成も環境要因である沿岸親潮水の日高湾への流入時期とその範囲に影響を受けること、即ち沿岸親潮水が分布していない場合は胆振沖に形成され、沿岸親潮水が流入した場合には、これを避けるように噴火湾口部に形成されると考えられる (Fig. 7. 1)。

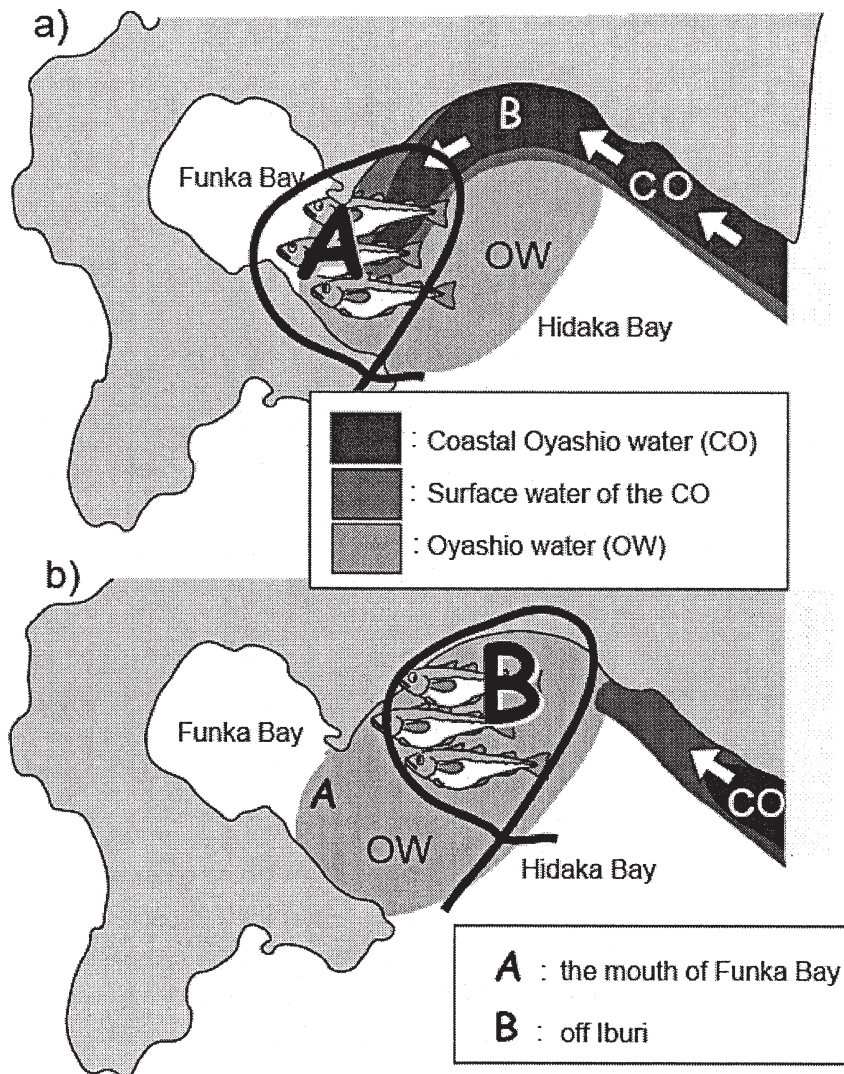


Fig. 7.1 Hypothesized mechanisms to determine spawning location of walleye Pollock in Hidaka Bay in years that the Coastal Oyashio water intrudes to off Iburi, such as 2001 and 2002 (a) and in years that the Coastal Oyashio water dose not reach off Iburi, such as from 2004 to 2007 (b).

7. 2 成魚期における各スイッチの重要性

太平洋系群の資源量変動は、加入量変動の影響を強く受けると考えられている^{22,25)}。VPAで推定された1981年度(1981年4月~1982年3月)以降の加入量(0歳資源尾数)は、6~54億尾の範囲で経年変動しており、このうち、30億尾を上回った1981, 1991, 1994, 1995年級が卓越年級と称されている (Fig. 7. 2)²⁶⁾。このように、不定期に卓越年級が出現して資源状態に影響を与えること

が本系群の特徴である。卓越年級の出現は多くても2年しか連続しておらず、このような変動は経年変動とい次に、第2のスイッチである産卵時期と場所について考察する。産卵時期と加入量の関係をFig. 7. 5に示す。を過ごす加入経路(噴火湾・日高湾-道東経路)と、日高湾から卵仔魚が海流によって東北海域に移送され、そこで加入まで過ごす経路(日高湾-東北経路)が存在すると考えられている^{9,22)}。また、この二つの経路からの加入割

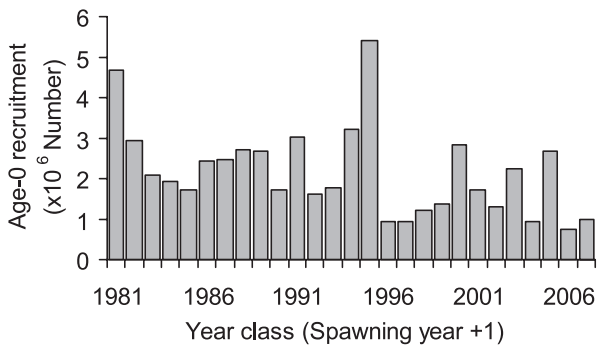


Fig.7.2 Interannual changes in age-0 recruits of the Japanese Pacific walleye pollock stock estimated by virtual population analysis(VPA)²⁶⁾.

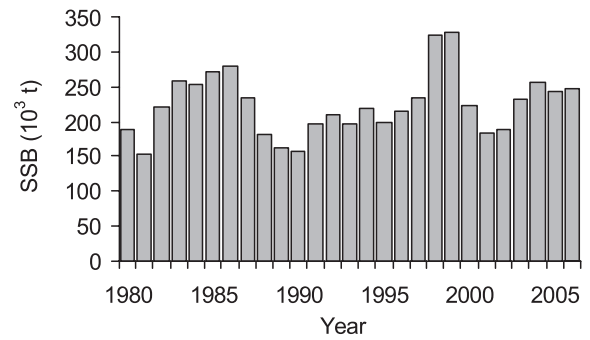


Fig.7.3 Interannual changes in spawning stock biomass (SSB) of the Japanese Pacific walleye pollock stock estimated by virtual population analysis (VPA)²⁶⁾.

合が1980年代後半を境として変化した可能性が示唆されており、このような変動は10年またはそれ以上の周期をもつDecadalな環境変動の影響を受けていると推測されている^{9,22)}。これらのことから、太平洋系群の資源変動は、卓越年級の発生に特徴付けられる経年変動と、加入経路の変化に代表されるDecadalな変動の二つの視点から見ていく必要がある。

成魚期における最初のスイッチは産卵親魚量である (Fig. 1. 4)。太平洋系群のVPAで推定された産卵親魚量は、1981年度 (1981年4月～1982年3月) 以降、 $154 \times 10^3 \sim 327 \times 10^3$ トンの範囲で経年変動している (Fig. 7. 3)²⁶⁾。しかし、親魚量と加入量の間には明瞭な関係はみられない (Fig. 7. 4)。Funamoto²⁵⁾は、親魚量に関わらず卵数を一定とするモデル、卵数に親魚量の密度効果を加えたモデル、卵数が親魚量に比例して増加する3つの再生産モデルを用いて加入量変動におよぼす環境要因の影響を調べ、太平洋系群では親魚量の変動に依存しないモデルにより推定された加入尾数が、VPAによる推定値と最も当てはまりがよかったことを報告している。また、1981年度以降で最も親魚量が少なかった1991年級は卓越年級であった。これらのことから、1981年度以降の親魚量の範囲においては、加入量は産卵親魚量よりも産卵後の生残に依存している可能性が高い^{22,25)}。従って、第1のスイッチである産卵親魚量は、1981年度以降の卓越年級の発生に必要な条件を満たしていると推測される⁹⁷⁾。

次に、第2のスイッチである産卵時期と場所について考察する。産卵時期と加入量の関係をFig. 7. 5に示す。両者の間に有意な相関はなく ($r = -0.116$, $N = 26$, $p = 0.574$)、この結果からみると、産卵時期のスイッチは経年変動である卓越年級発生に必要な十分な条件ではないと考えられる。一方、卓越年級である1981, 1991, 1994, 1995

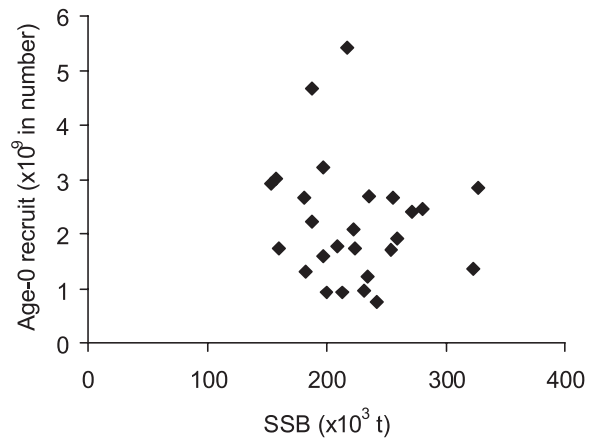


Fig.7.4 Relationship between spawning stock biomass (SSB) and age-0 recruits of the Japanese Pacific walleye pollock stock estimated by virtual population analysis (VPA)²⁶⁾.

年級のうち、1990年代の3つの年級については、いずれも産卵時期の早い年に出現している。さらに、豊度の高かった年級の孵化日組成から、「産卵時期の早い年」が生残に有利と考えられる^{33,35)}。これらのことから、「産卵時期が早い」ことが卓越年級発生の必要条件であり、産卵時期のスイッチがオンになる条件であると推測される。一方、東北海域へ輸送された個体では、逆に「産卵時期が遅い」方が有利と考えられる²⁹⁾。従って、加入経路の変化というDecadalな変動では、全く別の役割を果たしている可能性がある。この点を明らかにするために、仔稚魚を海域別に収集して孵化日組成を調べ、産卵時期と生残の関係について検討していく必要がある。

次に産卵場所であるが、本研究の結果は沿岸親潮水の胆振沖への流入によって、産卵場が胆振沖から噴火湾口

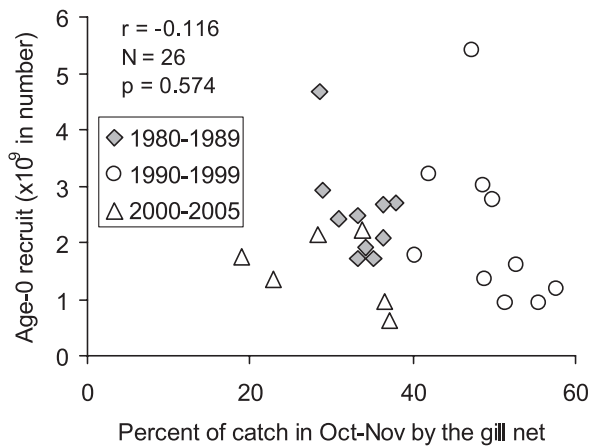


Fig. 7.5 Relationship between percent of catch in Oct-Nov indicating influences from spawning timing variability by commercial gill net and age-0 recruits of the Japanese Pacific walleye pollock stock estimated by virtual population analysis (VPA)²⁶⁾.

部にシフトする可能性を示した。従って、いつ沿岸親潮水が胆振沖に流入するののかという外部環境因子が変動の主因と考えられる。第5章で論じたように、沿岸親潮水の流入の早い年は2月の表面水温が低い年、遅い年は高い年にあたる。また、Funamoto²⁵⁾は、2月の水温が高い年に加入量が多いことを示している。従って、2月の水温が高い年＝「産卵場所が胆振沖に形成される」ことが産卵場所のスイッチをONにする条件であることが示唆される。しかし、本研究で得られたデータは6年間と短いため、現状では加入量との関係を論じるには不十分であり、今後も継続してデータを収集していく必要がある。また、生残に必要と考えられている卵の噴火湾内への輸送は、北西風によって惹起される吹送流によることが示されており^{15,17)}、輸送は産卵場所と風の相互作用の結果として表れる。従って、今後アラスカ湾のスケトウダラで行われたような、輸送モデルを用いたシミュレーション研究⁸³⁾を行い、毎年の産卵場所とその後の卵の輸送状況を検証し、産卵場所の影響を明らかにしていく必要がある。

これらの議論をふまえ、新しく産卵場所や卵仔魚の輸送場所を含めて各スイッチをオンにする条件を加えた模式図を、Fig. 7.6に示す。温暖な年には産卵場への移動および産卵時期は早く（スイッチはオン）なり、沿岸親潮水の日高湾への流入が遅くなる、または流入しないことから産卵場は胆振沖（スイッチはオン）に形成される。寒冷な年には、産卵場への移動および産卵時期は逆に遅くなり（スイッチはオフ）、沿岸親潮水が日高湾へ流入す

ることから、産卵場は噴火湾口部（スイッチはオフ）に形成される。一方、東北海域への輸送とその海域における生残には、寒冷年に見られる産卵時期が遅くなること、および産卵場が噴火湾口部へ形成されることは逆に有利に働くと考えられる。このように、産卵時期は索餌期における水温および餌生物量などの海洋環境のDecadalな変化をうけて変動し、この変動は卓越年級群の発生という資源量の経年変動と、加入経路の変化というDecadalな資源構造の変化の両方に影響を与えたと考えられる。産卵場所は、沿岸親潮の流入時期と範囲という環境要因の影響をうけて経年変動し、他の卵輸送に関わる物理的要因との相互作用によって加入量決定に影響を与えたと推測される。

7.3 太平洋系群の資源管理についての提言

第6章で触れたように、水産資源の維持管理即ち持続的利用において人間の関与できるプロセスは、産卵親魚量の調節、即ち「成魚期における最初のスイッチの管理」と考えられる⁹¹⁾。太平洋系群の主漁場は東北海域（0～2歳：未成魚主体）、日高湾（4～7歳魚：産卵親魚主体）および道東海域（2～4歳魚主体）であり、海域によって漁獲物の年齢に相違がある²⁶⁾ことが特徴である。従って、産卵親魚量の調節は産卵場における漁獲だけではなく、産卵親魚までの各成長段階において管理することになる。

現行のスケトウダラ太平洋系群の管理基準（Blimit）は、2000年級群（資源量の主な増加をもたらした年級群の中で最少）以上の加入量が期待できる最低水準の親魚量とされており、その値は1991年級群を生み出した 154×10^3 トンとなっている²⁶⁾。これは前項で述べたように、太平洋系群の親子関係が明瞭ではないことから、一定以上の産卵親魚量が維持されている場合には、資源量変動が主として環境の影響を強く受けるとの考え方に基づく。従って、管理は産卵親魚量について行うが、その基準値を定める考え方は環境による加入量決定の特徴を考慮した結果と言える。一方、この管理方策は、環境がこれまで経験した範囲内で変動し、再生産構造が大きく変化しないことを前提とする。管理の結果得られる加入は過去に経験した範囲内で変動し、これにともなって資源量も、1981年以降に経験した範囲で変動すると予想される⁹⁷⁾。それ故、行政および研究機関は漁獲量の管理だけでなく、資源とその変動に影響を及ぼす環境要因をモニタリングして、これらの前提が満たされているかどうか確認していく必要がある。

太平洋系群における生物学的漁獲許容量（Allowable Biological Catch: ABC）は、これまでに得られている産

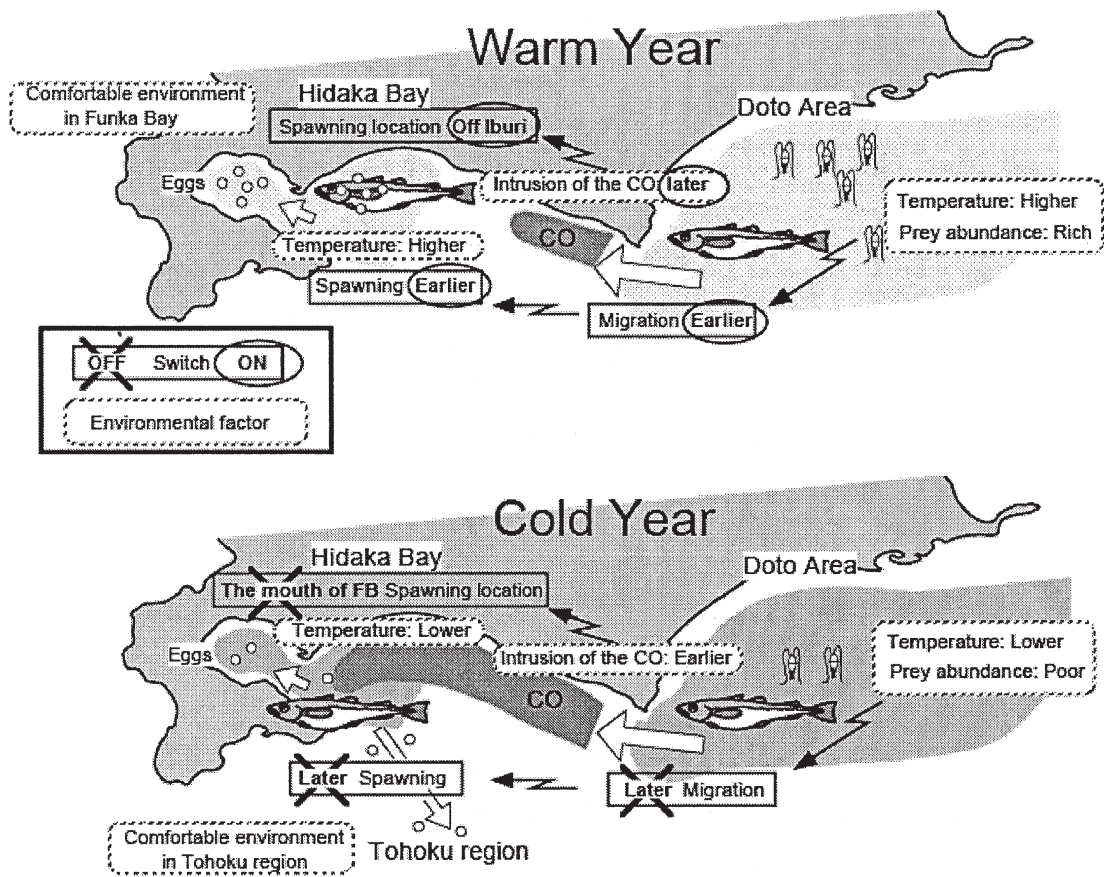


Fig. 7.6 Hypothesized patterns in timing of spawning migration and spawning activity and the location of spawning in warm (upper) and cold (lower) years, and environmental factors affecting on them. CO indicates the coastal Oyashio water.

卵親魚量あたりの加入量を用いて10年後までの加入量と産卵親魚量とを予測し、産卵親魚量がBlimitを下回らない一定のFによって得られる漁獲量としている²⁶⁾。この管理基準を用いるようになった2004年～2008年のABCとして提示された漁獲割合（重量）は、13～17%とあまり大きな変動はない。第6章で示したように、日高湾における主たる漁業である刺網および沖底漁業の漁獲量は分布密度と有意な正の相関を示しており、ABCに基づいて決定されたTACを過去の漁獲割合に基づいて配分する方法は、この海域の中だけでみると妥当性がある。一方、TACは最初に知事許可漁業と大臣漁業許可の二つに分割されており、大臣許可漁業には成魚期の魚を漁獲する日高湾と、これとは異なる成長段階の魚も合わせて漁獲する道東海域における漁業が含まれている。上記の考え方に従えば、TACはこのような漁法による許可区分ではなく、本研究で示されたようなデータに基づいて、成長段階別に配分されるべきと考える。

7. 4 音響資源調査の資源管理への利用

カナダの大西洋タラで見られた資源崩壊は、漁業データに基づくVPAや調査船によるトロール調査のCPUEに過誤があり、これに人為的要素が加わって資源を過大評価し、TACを過大に与えすぎたことが原因と指摘されている^{94,98)}。カナダの大西洋タラと同様の管理の失敗は、資源評価を一つの方法だけではなく、データソースの異なる複数の手法を組み合わせで行う必要性を示している。スケトウダラ太平洋系群の資源評価もVPAに基づいて行われている。さらに、VPAのチューニングには沖底漁業のCPUEが用いられている。従って、太平洋系群においても、漁業とは独立した方法による資源評価の検証が必要である。本研究の結果は、計量魚探機を用いた音響資源調査が日高湾におけるスケトウダラの分布（漁場）、来遊タイミング（漁期中の漁獲量変動パターン）、来遊量（予想漁獲量）をモニタリングする手段であることを示した。音響資源調査によるモニタリングの資源評価への利用は、調査によって推定される分布密度やと漁獲との関

係を調べ、VPAに用いるFなどのパラメータの妥当性を検証していくことが考えられる。また、第5章で示したように、産卵盛期の現存量からVPAによって推定される産卵親魚量の妥当性を検証することも可能である。さらに、TAC制度下では、漁獲量が制限された場合にVPAの推定値に偏りがでる可能性が指摘されている⁴⁰⁾。実際、2007年度に日高湾のすけとうだら刺し網漁業は、TACの消化にともなって漁期途中で漁獲を終了した。この年の資源評価では、このような漁獲努力量の変化による漁獲量減少をVPA上で補正することはできなかった。近年、水産庁の決定するTACはABCに近い水準になっており、2007年度のように漁期途中で漁獲を終了するケースが今後も多く出来る可能性が高く、直接推定による資源評価の実現にむけた取り組みが早急に必要である。一方、音響資源調査の結果は、その時期のスナップショットであることや分布域全てをカバーする調査ではないこと、日高湾では長期的に来遊時期が変動すること（第4章）を考慮する必要がある。従って、資源評価への適用においては、調査は年1回ではなく、本研究で行ったように9月、11月、1月と複数回実施する必要がある。

音響資源調査の資源管理へのもう一つの利用方法として、漁況予測があげられる。TACの決定は、ABCを参考に、社会経済的要因、関係業界、都道府県等の意向等を勘案して行われる。これまで、TACはABCを上回る水準で設定されてきた。毎年のTACの全てが消化されたわけではないが、漁獲量はABCを上回るものであった。言うまでもなく、TACがABCより大きい状態が継続することは重大な問題である。一方で、TACがABC以下となり、実漁獲量がTAC近づく、または満度に漁獲する状況では、TAC管理の現場ではいくつかの問題が起こるであろうことが想定される。まず、第一はTACの漁業別の配分である。知事管理分のTACは過去の実績に基づいて、漁業別に配分される。しかし、第6章で論じたように、海洋環境などの要因によっても漁業別の漁獲割合は変動する。VPAによる資源評価でこの変化をあらかじめ推測することは不可能である。一方、日高湾におけるスケトウダラ漁獲の大部分を占める刺し網漁業と沖底漁業は、いずれも音響資源調査で推定された時期毎の分布密度と有意な正の相関を示した。そこで、音響資源調査の結果を利用して、調査後2ヶ月程度の漁獲量予測（漁況予測）を行い、これに基づいて柔軟にTACを再配分できるような仕組みを作っていくことが解決策として考えられる。もう一つの問題は単価である。刺し網漁業の漁獲量は、来遊時期の変動に伴って月別の漁獲割合が変化する（第4章）ことから、来遊時期が変化した場合には、漁業量と水揚げ金額の関係が変化すると考えられる。一般に、スケト

ウダラ成魚漁獲物の単価は雌の生殖腺（タラコ）が小さい漁期はじめに安く、その後上昇する。日高湾においても、スケトウダラの単価は漁期はじめの10月に最も低く、その後上昇して、12月または1月に最も高くなった（Fig. 7.7）。最も単価の高い月の値は10月の単価の1.4~2.2倍（平均1.8倍）あり、同じ量を漁獲しても水揚げ金額に大きな違いが生ずる。スケトウダラの漁獲量はTACによって管理されており、限られた漁獲枠を有効に利用するためには来遊時期の変化に合わせた漁獲が必要である。しかし、いつ魚が漁場に来るのか、今後どの程度の漁獲が見込めるのかという情報がないために各地域の漁獲を調整することは非常に困難である。現行のTAC制度ではオリンピック方式による漁獲が行われるために、魚価の安い漁期はじめに漁獲が集中し、魚価の高い時期にTAC満了による終漁となる事態が起こりうる。この問題に対しても音響資源調査結果に基づく漁獲量予測（漁況予測）を利用して、時期別に漁獲量を調整することが可能と考えられる。

今後、本研究の結果を基に他の成長段階における研究結果を統合することにより、太平洋系群の資源変動機構に及ぼす環境の影響を解明することができると期待される。また、スケトウダラ come 遊および分布と漁業の関係から得られた知見は、資源管理方策を検討する上で重要な示唆を与えるものであった。これらの知見を取り入れたスケトウダラの資源管理手法のさらなる改善が期待される。

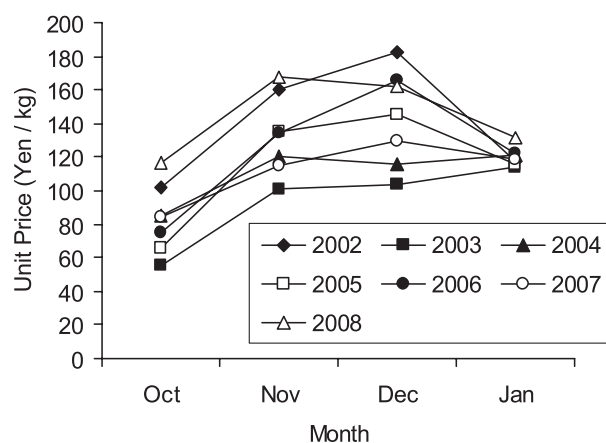


Fig. 7.7 Monthly changes in the mean unit price (yen / kg) of walleye pollock caught by commercial gill net in Oshima and Iburi sub-prefecture from fishing year 2002 to 2008.

謝辞

本研究を進めるにあたり、北海道大学北方圏フィールド科学センターの宮下和士准教授には研究当初からご指導、ご鞭撻を賜り、さらに本論文の主査をしていただきました。心より感謝の意を表します。北海道大学大学院水産科学研究院の桜井泰憲教授、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所亜寒帯漁業資源部長の西村明博士には、研究当初より多くの貴重なご指導とご助言をいただき、また本論文の副査をしていただきました。北海道大学北方生物圏フィールド科学センター水圏ステーション厚岸臨海実験所所長仲岡雅裕教授、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター七飯淡水実験所所長山羽悦郎教授には、本論文の副査をしていただき、ご指導とご助言を賜りました。厚く御礼申し上げます。

独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所の田所和明博士には第4章で使用した*Neocalanus cristatus*の分布密度データを、同中央水産研究所の本田聡博士には第5章で使用した2001、2002および2004年1月の音響資源調査により得られた音響および海洋観測データを提供いただき、加えて貴重なご意見、ご助言をいただきました。また、水産総合研究センターの大島達樹氏、日本海洋株式会社所属第3および第7開洋丸の船長ならびに乗組員、調査員諸氏には第5章で使用した2001、2002および2004年1月の音響資源調査の実施とデータ収集を行っていただきました。第4章、第5章および第6章で使用したスケトウダラの測定結果、海洋観測結果は、北海道立函館水産試験場、同室蘭支場、同栽培水産試験場および同釧路水産試験場のスケトウダラ資源調査、スルメイカ資源調査および定期海洋観測事業の担当者の方々が長年にわたって継続的に収集したものを使用させていただきました。以上の皆様には心より感謝申し上げます。

北海道大学大学院水産科学研究院の飯田浩二教授、向井徹准教授には、音響資源調査の実施とデータ解析について多くの貴重なご指導とご助言をいただきました。東海大学の西山恒夫名誉教授にはスケトウダラ研究についての貴重なご助言とご指導をいただきました。北海道大学大学院水産科学研究院の磯田豊准教授と北海道立函館水産試験場の奥村裕弥博士には日高湾の海洋環境について貴重なご指導とご助言をいただきました。北海道大学北方圏フィールド科学センターの東条斉興博士には、本研究の重要な解析法についての指導と英文の修正をしていただき、また多くの貴重なご助言をいただきました。

北海道大学北方圏フィールド科学センターの山本潤助教、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所の八吹圭三氏、森賢博士、山村織生博士、濱津友紀

氏、船本鉄一郎博士、同東北水産研究所の服部努博士、日本海洋株式会社の中野健一氏、Myriax社のKang Myounghee博士には貴重なご意見、ご助言をいただきました。北海道立中央水産試験場の三原行雄氏、同栽培水産試験場の武藤卓志氏、同函館水産試験場の渡野邊雅道氏にはデータの収集に協力いただき、またその使用を快く許して下さいました。北海道立中央水産試験場の高柳志朗氏、同栽培水産試験場の三宅博哉博士、同函館水産試験場の本間隆之氏、同釧路水産試験場の三橋正基氏、石田良太郎氏、同網走水産試験場の田中伸幸氏、同稚内水産試験場の板谷和彦博士、和田昭彦氏には貴重なご助言をいただき、また本論文の執筆にあたり多大なご協力をいただきました。北海道大学北方圏フィールド科学センターの職員ならびに学生諸氏、北海道立中央水産試験場資源管理部の職員諸氏には本論文の執筆にあたり多大なご協力をいただきました。以上の方々に深く感謝の意を表します。

本研究の調査実施に当たっては北海道立函館水産試験場所属試験調査船金星丸、同稚内水産試験場所属試験調査船北洋丸、同中央水産試験場所属試験調査船おやしお丸、同釧路水産試験場所属試験調査船北辰丸の船長ならびに乗組員諸氏に多大なご協力とご指導をいただきました。本研究で使用した音響資源調査、海洋観測調査データはこれらの試験調査船の存在無しには得ることができなかったことを特に記して、深く感謝の意を表します。

最後に、原稿の執筆にあたって多大な協力をしてくれた家族に深く感謝します。

なお、本研究は北海道の広域性浮魚類の資源、生態調査研究、漁業生物の資源、生態調査研究、水産庁の我が国周辺海域漁業資源調査によって得られたデータを使用しました。

参考文献

- 1) United Nations: "World population to exceed 9 billion by 2050." United Nations (オンライン), 入手先 <<http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2008/pressrelease.pdf>> (2009) .
- 2) 農林水産省: "農林水産基本データ集" 農林水産省 (オンライン), 入手先 <<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/index.html>> (2009)
- 3) FAO: The state of world fisheries and aquaculture 2008. Rome, FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2009, p196.

- 4) 4) United Nations: "Report of the United Nations conference on environment and development." Rio declaration on environment and development. (オンライン), 入手先 <<http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>> (1992)
- 5) Bakkala,R., Maeda,T.and Macfarlane,G.: Distribution and stock structure of pollock (*Theragra chalcogramma*) in the North Pacific Ocean. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.* 45, 3-20 (1986)
- 6) Tsuji,S.: Alaska pollack population, *Theragra chalcogramma*, of Japan and its adjacent waters, I: Japanese fisheries and population studies. *Mar. Behav. Physiol.* 15, 147-205 (1989)
- 7) Hamatsu,T., Yabuki,K. and Watanabe,K.: Decadal changes in reproduction of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of northern Japan. *Fish. Oceanogr.* 13 (Suppl. 1), 74-83 (2004)
- 8) Springer,A.M.: A review: walleye pollock in the North Pacific ? how much difference do they really make ? *Fish Oceanogr.* 1, 80-96 (1992)
- 9) Sakurai,Y.: An overview of the Oyashio ecosystem. *Deep-Sea Res. II* , 54, 2526-2542 (2007)
- 10) Wakabayashi,K., Watanabe,K. and Watanabe,Y.: Assessments of walleye pollock abundance of the southeast Pacific coast of Hokkaido, based on catch statistics and survey data. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.* 50, 101-120 (1990)
- 11) 小林時正 : スケトウダラ漁業とその資源の利用. 漁業資源研究会議報, 24, 47-62 (1985)
- 12) 尹 泰憲:北海道噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ雌魚の生殖周期. 北大水産彙報, 32, 22-38 (1981)
- 13) 前田辰昭, 高橋豊美, 上野元一:噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ成魚群の生活年周期. 日水誌, 47, 741-746 (1981)
- 14) Maeda,T.: Life cycle and behavior of adult pollock (*Theragra chalcogramma*) (PALLAS) in water adjacent to Funka Bay, Hokkaido Island. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.* 45, 39-65 (1986)
- 15) Nakatani,T. and Maeda ,T.: Transport process of Alaska pollack eggs in Funka Bay and the adjacent waters, Hokkaido. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 47, 1115-1118 (1981)
- 16) 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. 日水誌, 53, 1585-1591 (1987)
- 17) 清水 学, 磯田 豊 (1997) 冬季噴火湾におけるスケトウダラ卵の輸送過程. 水産海洋研究, 61(2), 134-143.
- 18) 志田 修, 西村 明 (2002) 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, 66, 232-238 (2002)
- 19) Honda,S., Oshima,T., Nishimura,A. and Hattori,T.: Movement of juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, from a spawning ground to a nursery ground along the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Fish. Oceanogr.* 13 (Suppl. 1), 84-98 (2004)
- 20) Nishimura, A., Hamatsu,T., Yabuki,K. and Shida,O.: Recruitment fluctuations and biological response of walleye pollock in the Pacific coast of Hokkaido. *Fish. Sci.* 68 (Suppl. 1), 206-209 (2002)
- 21) 橋本良平, 石戸芳男 : 東北海区のスケットウダラ卵, 稚仔魚の補給と初期生活について. 東北水研報, 53, 23-38 (1991)
- 22) Shida,O., Hamatsu,T., Nishimura,A., Suzaki,A., Yamamoto,J., Miyashita,K. and Sakurai,Y.: Interannual fluctuations in recruitment of walleye Pollock in the Oyashio region related to environmental changes. *Deep Sea Res. II* , 54, 2822-2831 (2007)
- 23) Kawasaki,T.: Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? *FAO Fish. Rep.* 291, 1065-1080 (1983)
- 24) 三宅博哉 : 音響学的手法を用いたスケトウダラ北部日本海系群の資源動態評価と産卵場形成に関する研究. 北海道大学博士論文, 2008, 136p.
- 25) Funamoto,T.: Temperature-dependent stock-recruitment model for walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) around northern Japan. *Fish. Oceanogr.* 16, 515-525 (2007)
- 26) 森 賢, 船本鉄一郎:平成20年度スケトウダラ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺の水域の漁業資源評価 (平成20年度), 東京, 水産庁・水産総合研究センター, 2009, 395-441.
- 27) 桜井泰憲, 三宅秀男 : 亜寒帯海洋の物理, 化学環境変動とスケトウダラの再生産機構の応答 (噴火湾をモデル海域とするHUBEC計画の背景). 海の研究, 3, 303-308 (1984)
- 28) 渡辺一俊 : WPEC の設計. 北海道区水産研究所技術報告, 3, 1-25 (1993)
- 29) Hattori,T., Nishimura,A. Narimatsu,Y. and Kitagawa,D.: Hatching date, nursery grounds, and

- early growth of juvenile walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off northern Japan. *Fish. Bull.* 104, 468-475 (2006)
- 30) Kamba, M.: Feeding habits and vertical distribution on walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), in early life stage in Uchiura Bay, Hokkaido. *Res. Int. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ., Spec. Vol.* 175-197 (1977)
- 31) 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仔魚の分布と餌生物環境. *日水誌*, 49, 183-187 (1983)
- 32) Nakatani, T.: Monthly changes in density and size structure of copepod nauplii as the primary food for fish larvae in winter in Funka Bay and surrounding vicinity in Hokkaido. *Fish. Sci.* 61, 382-386 (1995)
- 33) 中谷敏邦, 杉本晃一, 高津哲也, 高橋豊美: スケトウダラの年級群豊度に与える噴火湾の環境要因. *水産海洋研究*, 67(1), 23-28 (2003)
- 34) Nakatani, T.: Studies on the early life history of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in Funka Bay and vicinity, Hokkaido. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 35, 1-46 (1988)
- 35) Nishimura, A., Hamatsu, T., Shida, O., Mihara, I. and Mutoh, T.: Interannual variability in hatching period and early growth of juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the Pacific coast area of Hokkaido. *Fish. Oceanogr.* 16, 229-239 (2007)
- 36) 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. *北水試研報*, 63, 9-19 (2002)
- 37) Foote, K.G. and Traynor, J.J.: Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from in situ measurements and calculations based on swimbladder form. *J. Acoust. Soc. Am.* 83, 9-17 (1988)
- 38) Miyashita, K., Tetsumura, K., Honda, S., Oshima, T., Kawabe, R. and Sasaki, K.: Diel changes in vertical distribution patterns of zooplankton and walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan, estimated by the volume back scattering strength (Sv) difference method. *Fish. Oceanogr.* 13 (Suppl. 1), 99-110 (2004)
- 39) 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. 東京, 恒星社厚生閣, 2000, 19-27.
- 40) 原 一郎: “直接推定法の今日的意義”. TAC管理下における直接推定法—その意義と課題, 東京, 恒星社厚生閣, 2000, 9-18.
- 41) Miyashita, K., Aoki, I., Seno, K., Taki, K. and Ogishima, T.: Acoustic identification of isada krill, *Euphausia pacifica* Hansen, off the Sanriku coast, north-eastern Japan. *Fish. Oceanogr.* 6, 66-271 (1997)
- 42) Kang, M., Furusawa, M. and Miyashita, K.: Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton. *ICES J. Mar. Sci.* 59, 794-804 (2002)
- 43) 上野元一, 中村秀男, 前田辰昭, 平川英人: 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラの漁場学的研究—I 索餌期. *日水誌*, 41, 1237-1245 (1975)
- 44) 前田辰昭, 高橋豊美, 伊地知誠: 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラの漁場学的研究—II 産卵期. *日水誌*, 42, 1213-1222 (1976)
- 45) 前田辰昭, 高橋豊美, 上野元一 (1979) 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラの漁場学的研究—III 海況の季節変化. *日水誌*, 45, 1137-1142 (1979)
- 46) 前田辰昭, 高橋豊美, 上野元一: 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラの漁場学的研究—IV 餌料としての動物プランクトン分布の季節変化. *日水誌*, 46, 671-674 (1980)
- 47) Simmonds, E.J., Williamson, N.J., Gerlotto, F. and Aglen, A.: Acoustic survey design and analysis procedure: A comprehensive review of current practice. *ICES cooperative research report No.187*. International Council for Exploration of the Sea, Copenhagen, 1992, 131p.
- 48) 安部幸樹, 飯田浩二, 向井 徹: スケトウダラの音響資源調査における面積後方散乱係数の昼夜変動. *日水誌*, 65, 252-259 (1999)
- 49) 前田辰明: 噴火湾およびその周辺海域におけるスケトウダラ成魚群の生態に関する研究. 北海道大学博士論文, 1984, 148p.
- 50) 飯田浩二, 向井 徹, 黄 斗溱, 早川知子, 松山幸浩: 計量魚群探知機でみた噴火湾に来遊するスケトウダラ産卵群の分布と海洋環境. *日水誌*, 61, 27-34 (1995)
- 51) 本田 聡: 音響資源調査によるスケトウダラ (*Theragra chalcogramma*) 太平洋系群の若齢魚の年級豊度推定 (博士号論文). 水研センター研報, 12, 25-126 (2004)
- 52) 志田 修, 三宅博哉, 金田友紀, 石田良太郎, 宮下和士: 計量魚群探知機による冬季の北海道東部太平洋海域におけるスケトウダラ *Theragra chalcogramma*

- 未成魚の分布. 日水誌, 74(2), 152-160 (2008)
- 53) Hamatsu, T. and Yabuki, K.: Density effects on length at maturity of walleye pollock *Theragra chalcogramma* off the Pacific coast of northern Japan in the 1990s. *Fish. Sci.* 73, 87-97 (2007)
- 54) 間瀬茂, 武田純: 空間データモデリング 空間統計学の応用. 東京, 共立出版株式会社, 2001, 190p.
- 55) Wackernagel, H. (青木謙治・地球統計学研究委員会訳): 地球統計学. 東京, 森北出版株式会社, 2003, 266p.
- 56) Rosa, A.L., Isoda, Y., Uehara, K. and Aiki, T.: Seasonal variations of water system distribution and flow pattern in the southern sea area of Hokkaido, Japan. *J. Oceanogr.* 63, 573-588 (2007)
- 57) Hanawa, K. and Mitsudera, H.: Variation of water system distribution in the Sanriku coastal area. *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 42, 435-446 (1987)
- 58) 三宅博哉, 石田良太郎, 武藤卓志, 安部幸樹, 向井徹, 飯田浩二: 音響資源調査で得られた北海道西岸日本海のスケトウダラ産卵群の分布特性と現存量. 北水試研報, 59, 11-24 (2001)
- 59) Kooka, K., Takatsu, T., Kamei, Y., Nakatani, T. and Takahashi, T.: Vertical distribution and prey of walleye pollock in the Northern Japan Sea. *Fish. Sci.* 64, 686-693 (1998)
- 60) 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. 日水誌, 50, 763-769 (1984)
- 61) 濱津友紀, 八吹圭三: 北海道東部太平洋沿岸に分布するスケトウダラ *Theragra chalcogramma* の産卵回遊と産卵場. 北水研研報, 59, 31-41 (1995)
- 62) 前田辰昭: ベーリング海東部におけるスケトウダラの系統群と回遊特性. 水産海洋研究会報, 19, 15-32 (1971)
- 63) Hutchings, J.A. and Myers, R.A.: Effect of age on the seasonality of maturation and spawning of Atlantic cod, *Gadus morhua*, in the Northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50, 2468-2474 (1993)
- 64) Kjesbu, O.S.: Time of start of spawning in Atlantic cod (*Gadus morhua*) females in relation to vitellogenic oocyte diameter, temperature, fish length and condition. *J. Fish. Biol.* 45, 719-735 (1994)
- 65) Hutchings, J.A. and Myers, R.A.: Timing of cod reproduction: interannual variability and the influence of temperature. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 108, 21-31 (1994)
- 66) Wieland, K., Jarre-Teichmann, A. and Horbowa, K.: Changes in the timing of spawning of Baltic cod: possible causes and implications for recruitment. *ICES J. Mar. Sci.* 57, 452-464 (2000)
- 67) 桜井泰憲: スケトウダラの繁殖特性と戦略. 北水試研報, 42, 51-68 (1993)
- 68) Yamamura, O., Honda, S., Shida, O. and Hamatsu, T.: Diets of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto area, northern Japan: Ontogenetic and seasonal variations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 238, 187-198 (2002)
- 69) Tadokoro, K., Chiba, S., Ono, T., Midorikawa, T. and Saino, T.: Interannual variation in *Neocalanus* biomass in the Oyashio waters of the western North Pacific. *Fish. Oceanogr.* 14, 210-222 (2005)
- 70) Cushing, D.H.: The regularity of the spawning season of some fishes. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 33, 81-92 (1969)
- 71) Ottera, H., Agnalt, A.L. and Jorstad, K.E.: Differences in spawning time of captive Atlantic cod from four regions of Norway, kept under identical conditions. *ICES J. Mar. Sci.* 63, 216-223 (2006)
- 72) 前田辰昭, 高橋豊美, 中谷敏邦: 北海道桧山沖合におけるスケトウダラ成魚群の分布回遊と産卵場について. 北大水産彙報, 39, 216-229 (1988)
- 73) 佐々木正義: 北海道東部根室海峡におけるスケトウダラ卵の分布. 北水試月報, 41, 237-248 (1984)
- 74) 北海道立網走水産試験場: “スケトウダラオホーツク海海域”. 北海道水産資源管理マニュアル2006年度, 札幌, 北海道水産林務部水産局漁業管理課, 2007, 9.
- 75) Hinckley, S.: The reproductive biology of walleye pollock *Theragra chalcogramma*, in the Bering Sea, with reference to spawning stock structure. *Fish. Bull.* 85, 481-498 (1987)
- 76) Sakurai, Y.: Reproductive characteristics of walleye pollock with special reference to ovarian development, fecundity and spawning behavior. *Int. Symp. Biol. Mgmt. Walleye Pollock, Alaska Sea Grant Rep.* 89, 97-115 (1989)
- 77) Peters, R.H.: The ecological implications of body size. Cambridge, Cambridge University Press, 1993, 329p.
- 78) Chiba, S., Tadokoro, K., Sugisaki, H., and Saino, T.: Influence of the North Pacific decadal oscillation on plankton phenology in the western subarctic North Pacific based on the 50 yr zooplankton data set, the Odate Collection. *Glob. Change Biol.* 12, 907-920 (2006)

- 79) Tadokoro, K., Ono, T., Yasuda, I., Osafune, S., Shiimoto, A. and Sugisaki, H.: Possible mechanisms of decadal-scale variation in PO₄ concentration in the western North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 36, L08606 (2009)
- 80) Bailey, K.M., Picquelle, S.J. and Spring, S.M.: Mortality of larval walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the western Gulf of Alaska, 1988-91. *Fish. Oceanogr.* 5 (Suppl. 1), 124-136 (1996)
- 81) Bailey, K.M., Brodeur, R.D., Merati, N. and Yaklavich, M.M.: Predation on walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) eggs and yolk-sac larvae by pelagic crustacean invertebrates in the western Gulf of Alaska. *Fish. Oceanogr.* 2, 30-39 (1993)
- 82) 磯田 豊, 清水 学, 上岡 敦, 松尾康弘, 大谷清隆, 中谷敏邦: 北海道南部太平洋海域におけるスケトウダラの資源量変動に係わる海洋環境の経年変化. 水産海洋研究, 62, 1-11 (1988)
- 83) Hinckley, S., Hermann, A.J., Mier, K.L. and Megrey, B.A.: Importance of spawning location and timing to successful transport to nursery areas: a simulation study of Gulf of Alaska walleye pollock. *ICES J. Mar. Sci.* 58, 1042-1052 (2001)
- 84) 大東信一, 藤田 忠: 噴火湾に見られるスケトウダラ卵分布について(予報). 北海道立水産孵化場報告, 8, 109-117 (1953)
- 85) 伊藤小四郎, 藤田 忠, 林 成治, 安川雅夫: 噴火湾に見られる鱈卵分布について II. 孵化場試験報告, 10, 133-159 (1955)
- 86) 林 清: スケトウダラの生態に関する話題. 昭和44年度漁業資源研究会議底魚分科会北部ブロック会議議事録, 東京, 水産庁, 1970, 7-19.
- 87) Brodeur, R.D. and Wilson, M.T.: Mesoscale acoustic patterns of juvenile walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the western Gulf of Alaska. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53, 1951-1963 (1996)
- 88) Shida, O.: Seasonal difference in the diel vertical migration patterns of young walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and their impact on acoustic biomass estimation. *Proceeding of the International Symposium on Advanced Techniques of Sampling Gear and Acoustical Surveys for Estimation of Fish Abundance and Behavior (ACOUSTIC GEAR 2000)*, Hakodate. 172-179 (2001)
- 89) 大谷清隆: 噴火湾の海峡変動の研究. II. 噴火湾に流入, 滞留する水の特性. 北大水産彙報, 22, 58-66 (1971)
- 90) Bakkala, R.G. and Alton, M.S.: Evaluation of demersal trawl survey data for assessing the condition of eastern Bering Sea pollock. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.* 45, 90-120 (1986)
- 91) Rosa, A.L., Isoda, Y. and Kobayashi, N.: Seasonal variations of shelf circulation in Hidaka Bay, Hokkaido, Japan, with an interpretation of the migration route of juvenile walleye pollock. *J. Oceanogr.* 65, 615-626 (2009)
- 92) 山川 卓: 研究と産業のはざままで資源の行方を考える. 海洋と生物, 27(2), 114-118 (2005)
- 93) 夏目雅史: 北海道松山海域スケトウダラ延縄漁業の漁獲深度と水温. 北水試研報, 53, 1-8 (1988)
- 94) Hutchings, J.A. and Myers, R.A.: What can be learned from the collapse a renewable resource? Atlantic cod, *Gadus morhua*, of Newfoundland and Labrador. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51, 2126-2146 (1994)
- 95) 川崎 健: 漁業資源-なぜ管理できないのか-. 東京, 成山堂書店, 1999, 210p.
- 96) Harley, S.J., Myers, R.A. and Dunn, A.: Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58, 1760-1772 (2001)
- 97) 志田 修: 資源評価担当者から見た漁業資源の管理-II. スケトウダラ資源評価の現状と今後の課題. 日水誌, 71, 1022-1026 (2005)
- 98) Myers, R.A., Hutchings, J.A. and Barrowman, N.J.: Why do fish stocks collapse? The example of cod in Atlantic Canada. *Ecol. Appl.* 7, 91-106 (1997)
- 99) Chilton, D.E. and Beamish, R.J.: Age determination methods for fishes studied by the groundfish program at the Pacific Biological Station. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 60, 102p. (1982)
- 100) Kooka, K. and Yabuki, K.: Mass-processing method for aging otoliths of walleye pollock *Theragra chalcogramma* using black resin. *Fish. Sci.* 74, 255-264 (2008)
- 101) Pope, J.G.: An investigation of accuracy of virtual population analysis using Cohort Analysis. *Res. Bull. Int. Comm. Northw. Atlant. Fish.* 9, 65-74 (1972)
- 102) 平松一: VPAの入門と実際. 水産資源管理談話会報, 20, 9-28 (1999)
- 103) Widrig, T.M.: Method of estimating fish populations, with application to Pacific sardine. *Fish. Bull. U.S.* 56, 141-166 (1954)

Appendix1

スケトウダラ太平洋系群のVPAによる資源尾数推定方法²⁶⁾

・計算に使用した漁獲量および年齢別漁獲尾数

沖合底曳網漁業は北海道沖合底曳網漁業漁場別漁獲統計年報、太平洋北区沖合底びき網漁業漁場別漁獲統計年報、北海道の沿岸漁業は北海道水産現勢、その他北水研資料、東北水研八戸支所資料、北海道立水産試験場資料、北海道漁業調整事務所資料（韓国船の漁獲量）を使用して集計した。集計範囲は太平洋系群の分布域である東北太平洋海域（青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県）、襟裳以西海域（北海道の渡島、胆振および日高支庁海域）、道東海域（北海道の十勝、釧路支庁および根室支庁の太平洋側）、北方四島海域である。年齢別漁獲尾数は、各海域において時期別漁法別に採集された漁獲物の年齢組成と海域別時期別漁法別漁獲量を用いて算出した。尚、1987年～1999年に襟裳以西および道東海域で行われた韓国船操業による漁獲は、同一海域操業した日本の沖合底曳網漁船の漁獲物年齢組成を用いて年齢別漁獲尾数を算出した。漁獲物の年齢は、耳石をブレイクバーン法⁹⁹⁾または黒色樹脂包埋法¹⁰⁰⁾で処理し、耳石切断面を実体顕微鏡下で観察して計測した。

・計算方法

まず、つぎのVPAにより最近年度の年齢別選択率（年齢別 F の最高値で各年齢の F を除した値）を求めた。6歳以下の資源尾数はPope¹⁰¹⁾の近似式より下記の（1）式、7歳魚および8歳以上の魚（8+）の資源尾数は（2）および（3）式¹⁰²⁾から算出した。また、最近年度の年齢別資源尾数は（4）式、漁獲死亡係数は（5）式を用いて算出した。最近年度の F は、過去5年間（2002～2006年度）の平均とした。ただし、2歳魚の F に関しては、最近年度（2007年度）の2歳の漁獲尾数が、過去5年平均を大きく上回っていることから、漁獲尾数が比較的近かった2002年度の F と等しいとして計算した。また、8+歳魚の F は、7歳魚のそれと等しいとした。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M_a) + C_{a,y} \exp(M_a / 2) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$N_{7,y} (C_{7,y} / (C_{8+,y} + C_{7,y})) N_{8+,y+1} \exp(M_7) + C_{7,y} \exp(M_7 / 2) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$N_{8+,y} (C_{8+,y} / (C_{8+,y} + C_{7,y})) N_{8+,y+1} \exp(M_8) + C_{8+,y} \exp(M_8 / 2) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$N_{a,y} = C_{a,y} \exp(M_a / 2) (1 - \exp(-F_{a,y} / 2)) \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$F_{a,y} = -\ln(1 - C_{a,y} \exp(M_a / 2) / N_{a,y}) \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 $N_{a,y}$ は y 年度の a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年度の a 歳魚の漁獲尾数、 M_a は a 歳魚の M （自然死亡係数）、 $F_{a,y}$ は y 年度の a 歳魚の F （漁獲死亡係数）である。3歳以上の M は道東海域における沖合底曳網漁業のCPUEと漁獲努力量を基に、Widrig¹⁰³⁾の方法により算出し、0.25とした。2歳以下の M は、一般に若齢魚の M が高齢魚のそれよりも高いとの推測から、2歳魚0.3、1歳魚0.35、0歳魚0.4とした。

次に、先のVPAと同じ年齢別漁獲尾数データを用いて、二つのチューニング指数を用いて、これらのチューニング指数に関する目的関数の和（SSQ：6式）を最小にするように、最近年度の F を調整するVPAを計算した。その際、先のチューニングを行わないVPAによって得られた年齢別選択率を最近年度の年齢別 F の比とした。また、最近年度の0歳魚の資源尾数は次の要領で算出した。先の音響資源調査で推定した1歳魚の尾数とVPAにより推定された1歳魚の資源尾数の関係式を使用して最近年度+1年の1歳魚の資源尾数を推定し、ここからVPAの後退法により最近年度の0歳魚の資源尾数を算出した。使用したチューニング指数は、1990年度から2007年度における沖合底曳網漁業の2～7歳の年齢別CPUEと2004年から2008年の夏季に実施された音響資源調査から推定された1歳魚の現存尾数（推定に使用した調査海域は渡島半島東部から根室半島）である。8+歳魚のCPUEは資源尾数との相関が悪いため、使用しなかった。

$$SSQ = \sum_{a,y} (\ln(X_{a,y}) - \ln(QB_{a,y} + \Delta))^2 / 6 + \sum_y (\ln(I_{1,y}) - \ln(qN_{1,y} + \delta))^2 \dots \dots (6)$$

ここで、 $X_{a,y}$ は y 年度の a 歳魚の CPUE、 $B_{a,y}$ は y 年度の漁期中央における a 歳魚の資源重量、 $I_{1,y}$ は y 年度の音響資源調査で推定された 1 歳魚の現存尾数、 Q および q は比例定数、 Δ および δ は回帰式の切片である。また、現存尾数の項と CPUE の項をほぼ同じ重みとするために、CPUE の項を、用いた年齢数 6 (2 ~ 7 歳魚) で除した。

産卵親魚量は、雌雄比が 1 : 1、年齢別体重も雌雄で代わりがないと見なして雌雄込みの値とした。また、産卵期が年度の終盤にあることから、翌年の漁期はじめの資源尾数を用いて (7) 式により推定した。

$$SSB_y = \sum_{a=4} N_{a+1,y+1} w_{a+1,y+1} m_a \dots \dots \dots (7)$$

ここで、 SSB_y は y 年度の産卵親魚重量、 $N_{a+1,y+1}$ は $y+1$ 年度の $a+1$ 歳の資源尾数、 $w_{a+1,y+1}$ は $y+1$ 年度の $a+1$ 歳の平均体重、 m_a は a 歳の成熟率である。資源量や親魚量を推定する際に使用した年齢別平均体重は、1989 年度以降は年別の値、1988 年度以前は 1989 ~ 1993 年度の平均を用いた。成熟割合は 3 歳 : 0.2、4 歳 0.8、5 歳 0.9、6 歳以上 : 1.0 とした。

Appendix2.1-Capter 3 Comparison between standard deviation of errors in geostatistically estimated temperature in cross validation and acoustically estimated walleye pollock abundance shown as the sum of the nautical area scattering coefficient (NASC) in the 2004 surveys.

Season year		2004											
Survey(Month)		1st (Sep.)			2nd (Nov.)			3rd (Jan.)			4th(Mar.)		
Depth	Layer(m)	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC
10	- 20	0.57		0	0.34		0	1.30		21,905	0.68		0
20	- 30	0.87		0	0.31		0	1.31		40,814	0.74		253
30	- 40	0.65		0	0.46		0	1.37		34,919	0.82		518
40	- 50	0.39		0	1.21		0	1.40		51,272	0.85		835
50	- 60	0.73		0	2.12		0	1.43		80,318	0.86		1,422
60	- 70	0.77		0	2.54		0	1.45		75,194	0.83		2,264
70	- 80	0.97		0	2.87		0	1.43		82,446	0.86		4,205
80	- 90	1.04		0	2.84		0	1.34		73,340	0.97		11,865
90	- 100	0.94		0	2.68		0	1.34		86,401	1.03		26,018
100	- 110	0.78		0	2.49		0	1.37		63,991	1.05		23,969
110	- 120	0.45		1	1.33		0	1.64		43,875	0.92		14,345
120	- 130	0.47		23	1.21		0	1.60		32,359	0.96		11,204
130	- 140	0.55		155	1.08		0	1.44		34,738	0.96		10,968
140	- 150	0.78		665	1.11		43	1.16		37,693	0.88		8,793
150	- 160	0.91		1,655	0.96		160	1.09		35,592	0.93		7,501
160	- 170	1.03		3,786	0.80		378	1.14		26,791	0.88		6,126
170	- 180	1.20		6,591	0.75		563	1.28		21,144	1.13		4,244
180	- 190	1.28		9,689	0.16		645	1.28		14,452	1.23		3,846
190	- 200	1.29		13,370	0.16		1,496	1.32		12,486	0.99		3,296
200	- 210	1.11		18,340	0.17		3,567	1.23		10,385	0.71		2,337
210	- 220	1.16		21,249	0.11		6,300	1.12		10,201	0.67		2,473
220	- 230	0.94		16,375	0.09		11,130	1.05		10,474	0.64		2,587
230	- 240	0.56		13,402	0.09		17,751	1.13		13,288	0.54		2,134
240	- 250	0.71		13,405	0.10		21,573	1.24		26,337	0.50		2,442
250	- 260	0.58		9,621	0.12		26,292	1.27		25,144	0.44		1,624
260	- 270	0.33		7,284	0.09		29,820	1.14		18,331	0.33		1,146
270	- 280	0.23		6,015	0.11		39,517	0.92		18,495	0.31		1,073
280	- 290	0.17		4,934	0.09		52,341	0.91		16,921	0.33		1,024
290	- 300	0.16		4,260	0.09		50,110	0.91		14,708	0.28		744
300	- 310	0.11		4,512	0.11		44,804	0.66		8,781	0.25		658
310	- 320	0.09		4,062	0.13		52,121	0.42		7,586	0.23		722
320	- 330	0.15		4,969	0.13		74,149	0.38		6,935	0.22		956
330	- 340	0.12		5,149	0.10		75,962	0.38		5,767	0.21		495
340	- 350	0.10		3,976	0.11		71,467	0.36		3,826	0.18		372
350	- 360	0.09		3,923	0.15		51,055	0.32		3,654	0.11		346
360	- 370	0.13		3,406	0.11		33,309	0.29		2,384	0.12		316
370	- 380	0.17		3,106	0.14		28,670	0.22		2,557	0.12		291
380	- 390	0.17		2,198	0.14		15,772	0.15		2,671	0.10		332
390	- 400	0.13		2,469	0.11		11,312	0.10		1,994	0.10		225
400	- 410	0.15		2,229	0.11		7,341	0.08		861	0.10		331
410	- 420	0.18		2,155	0.14		4,622	0.08		836	0.11		357
420	- 430	0.22		1,763	0.11		3,754	0.13		605	0.13		420
430	- 440	0.21		1,240	0.09		2,574	0.10		454	0.13		422
440	- 450	0.23		1,103	0.08		2,361	0.11		333	0.14		321
450	- 460	0.22		865	0.07		1,839	0.08		410	0.14		438
460	- 470	0.19		595	0.06		1,308	0.05		545	0.13		458
470	- 480	0.19		369				0.06		763	0.11		339
480	- 490	0.18		273				0.06		689	0.09		262
490	- 500	0.16		659				0.07		1,293	0.06		304

Appendix2.2-Capter 3 Comparison between standard deviation of errors in geostatistically estimated salinity in cross validation and acoustically estimated walleye pollock abundance shown as the sum of the nautical area scattering coefficient (NASC) in the 2004 surveys.

Season year		2004											
Survey(Month)		1st (Sep.)			2nd (Nov.)			3rd (Jan.)			4th(Mar.)		
Depth	Layer(m)	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC
10	- 20	0.21		0	0.01		0	0.23	21,905		0.10		0
20	- 30	0.16		0	0.01		0	0.23	40,814		0.12		253
30	- 40	0.10		0	0.03		0	0.24	34,919		0.12		518
40	- 50	0.09		0	0.07		0	0.26	51,272		0.13		835
50	- 60	0.09		0	0.12		0	0.25	80,318		0.13		1,422
60	- 70	0.10		0	0.15		0	0.25	75,194		0.12		2,264
70	- 80	0.16		0	0.17		0	0.25	82,446		0.13		4,205
80	- 90				0.16		0	0.26	73,340		0.15		11,865
90	- 100	0.17		0	0.16		0	0.27	86,401		0.16		26,018
100	- 110	0.14		0	0.15		0	0.25	63,991		0.16		23,969
110	- 120	0.07		1	0.13		0	0.25	43,875		0.13		14,345
120	- 130	0.07		23	0.11		0	0.24	32,359		0.13		11,204
130	- 140	0.07		155	0.12		0	0.22	34,738		0.13		10,968
140	- 150	0.10		665	0.10		43	0.22	37,693		0.12		8,793
150	- 160	0.10		1,655	0.07		160	0.20	35,592		0.13		7,501
160	- 170	0.11		3,786	0.05		378	0.19	26,791		0.09		6,126
170	- 180	0.12		6,591	0.04		563	0.20	21,144		0.11		4,244
180	- 190	0.13		9,689	0.02		645	0.20	14,452		0.13		3,846
190	- 200	0.13		13,370	0.03		1,496	0.21	12,486		0.11		3,296
200	- 210	0.10		18,340	0.03		3,567	0.20	10,385		0.09		2,337
210	- 220	0.11		21,249	0.03		6,300	0.18	10,201		0.09		2,473
220	- 230	0.08		16,375	0.03		11,130	0.18	10,474		0.09		2,587
230	- 240	0.07		13,402	0.02		17,751	0.17	13,288		0.08		2,134
240	- 250	0.05		13,405	0.03		21,573	0.18	26,337		0.08		2,442
250	- 260	0.04		9,621	0.04		26,292	0.18	25,144		0.08		1,624
260	- 270	0.03		7,284	0.03		29,820	0.14	18,331		0.05		1,146
270	- 280	0.02		6,015	0.03		39,517	0.12	18,495		0.05		1,073
280	- 290	0.02		4,934	0.04		52,341	0.12	16,921		0.06		1,024
290	- 300	0.02		4,260	0.04		50,110	0.11	14,708		0.05		744
300	- 310	0.02		4,512	0.04		44,804	0.10	8,781		0.06		658
310	- 320	0.04		4,062	0.05		52,121	0.09	7,586		0.07		722
320	- 330	0.05		4,969	0.04		74,149	0.09	6,935		0.08		956
330	- 340	0.05		5,149	0.04		75,962	0.03	5,767		0.09		495
340	- 350	0.05		3,976	0.05		71,467	0.04	3,826		0.09		372
350	- 360	0.05		3,923	0.06		51,055	0.02	3,654		0.08		346
360	- 370	0.06		3,406	0.03		33,309	0.02	2,384		0.05		316
370	- 380	0.08		3,106	0.04		28,670	0.02	2,557		0.06		291
380	- 390	0.08		2,198	0.04		15,772	0.02	2,671		0.06		332
390	- 400	0.06		2,469	0.03		11,312	0.02	1,994		0.06		225
400	- 410	0.07		2,229	0.03		7,341	0.02	861		0.06		331
410	- 420	0.08		2,155	0.05		4,622	0.02	836		0.06		357
420	- 430	0.11		1,763	0.04		3,754	0.03	605		0.07		420
430	- 440	0.11		1,240	0.03		2,574	0.04	454		0.07		422
440	- 450	0.12		1,103	0.03		2,361	0.05	333		0.07		321
450	- 460	0.12		865	0.03		1,839	0.04	410		0.07		438
460	- 470	0.10		595	0.04		1,308	0.04	545		0.07		458
470	- 480	0.11		369				0.03	763		0.06		339
480	- 490	0.10		273				0.03	689		0.04		262
490	- 500	0.10		659				0.04	1,293		0.03		304

Appendix2.3-Capter 3 Comparison between standard deviation of errors in geostatistically estimated temperature in cross validation and acoustically estimated walleye pollock abundance shown as the sum of the nautical area scattering coefficient (NASC) in the 2005 surveys.

Season year		2005											
Survey(Month)		1st (Sep.)			2nd (Nov.)			3rd (Jan.)			4th(Mar.)		
Depth	Layer(m)	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC
10 - 20		1.45		0	0.38		0	0.55		48	0.45		0
20 - 30		1.30		0	0.42		0	0.60		5,057	0.48		0
30 - 40		0.98		0	0.43		0	0.61		28,778	0.45		8
40 - 50		0.88		0	0.49		0	0.60		73,415	0.45		51
50 - 60		0.99		0	0.55		0	0.61		90,974	0.72		787
60 - 70		0.92		0	0.50		0	0.58		87,797	0.85		3,102
70 - 80		0.88		0	0.72		0	0.69		60,294	0.90		14,002
80 - 90		0.88		0	0.86		0	0.78		50,890	1.05		15,239
90 - 100		0.92		0	0.92		0	0.81		42,537	1.13		26,178
100 - 110		0.91		0	0.97		0	0.86		55,154	1.18		30,461
110 - 120		0.99		0	0.73		0	0.83		39,563	1.16		17,055
120 - 130		0.98		0	0.65		0	0.85		28,063	0.65		10,054
130 - 140		1.26		110	0.87		0	0.84		30,548	0.69		6,467
140 - 150		1.17		536	0.97		0	0.86		21,972	0.84		6,949
150 - 160		1.14		801	0.97		4	0.80		18,118	1.00		6,477
160 - 170		0.87		1,080	0.94		35	0.74		14,131	1.06		6,065
170 - 180		0.57		2,197	0.94		62	0.71		11,684	1.22		7,642
180 - 190		0.51		4,564	1.04		59	0.68		11,801	1.24		9,440
190 - 200		0.39		6,304	1.06		253	0.67		15,540	1.33		5,723
200 - 210		0.29		6,881	1.02		2,603	0.63		22,539	1.33		5,670
210 - 220		0.31		7,030	0.80		3,703	0.67		24,488	1.27		5,417
220 - 230		0.30		5,376	0.61		4,125	0.69		20,719	1.17		4,938
230 - 240		0.23		5,140	0.54		8,727	0.54		16,153	1.07		3,118
240 - 250		0.11		4,232	0.51		14,363	0.48		15,009	1.09		2,226
250 - 260		0.08		3,043	0.41		19,073	0.43		12,734	0.88		1,204
260 - 270		0.07		2,450	0.32		23,625	0.39		9,763	1.04		874
270 - 280		0.12		2,687	0.25		28,719	0.46		8,436	1.16		627
280 - 290		0.15		2,704	0.27		44,567	0.50		6,838	1.27		655
290 - 300		0.14		3,056	0.24		65,423	0.43		5,898	1.20		859
300 - 310		0.13		3,647	0.17		81,968	0.44		6,390	1.31		1,132
310 - 320		0.14		3,914	0.20		97,338	0.35		6,734	1.49		1,010
320 - 330		0.11		4,881	0.22		95,945	0.29		7,880	1.35		717
330 - 340		0.11		5,083	0.30		80,478	0.23		7,607	1.08		473
340 - 350		0.14		5,535	0.34		74,530	0.14		6,219	0.74		431
350 - 360		0.19		5,695	0.31		52,185	0.08		4,409	0.61		352
360 - 370		0.20		5,287	0.29		29,626	0.02		2,995	0.53		513
370 - 380		0.19		3,022	0.29		22,404	0.03		2,313	0.43		451
380 - 390		0.24		2,096	0.17		15,750	0.07		1,735	0.46		496
390 - 400		0.18		1,700	0.17		11,274	0.09		601	0.37		422
400 - 410		0.14		1,684	0.18		7,590	0.08		1,390	0.26		448
410 - 420		0.13		1,923	0.19		5,223	0.06		1,212	0.22		835
420 - 430		0.14		2,118	0.19		2,678	0.10		1,058	0.12		1,072
430 - 440		0.09		2,039	0.18		1,593	0.08		847	0.13		1,022
440 - 450		0.09		1,996	0.15		1,102	0.07		807	0.18		935
450 - 460		0.07		1,709	0.16		809	0.10		855	0.19		775
460 - 470		0.03		1,732	0.18		558	0.12		726	0.16		944
470 - 480		0.02		1,208	0.19		424	0.13		703	0.16		764
480 - 490		0.03		901	0.19		267	0.13		660	0.14		879
490 - 500		0.03		615	0.16		169	0.14		652	0.10		849

Appendix2.4-Capter 3 Comparison between standard deviation of errors in geostatistically estimated salinity in cross validation and acoustically estimated walleye pollock abundance shown as the sum of the nautical area scattering coefficient (NASC) in the 2005 surveys.

Season year		2005											
Survey(Month)		1st (Sep.)			2nd (Nov.)			3rd (Jan.)			4th(Mar.)		
Depth	Layer(m)	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC	SD	Pollock	NASC
10 - 20		0.52		0	0.03		0	0.13		48	0.10		0
20 - 30		0.33		0	0.03		0	0.15		5,057	0.10		0
30 - 40		0.25		0	0.04		0	0.15		28,778	0.10		8
40 - 50		0.23		0	0.06		0	0.14		73,415	0.11		51
50 - 60		0.15		0	0.07		0	0.14		90,974	0.14		787
60 - 70		0.14		0	0.06		0	0.14		87,797	0.16		3,102
70 - 80		0.15		0	0.07		0	0.14		60,294	0.18		14,002
80 - 90		0.15		0	0.06		0	0.15		50,890	0.21		15,239
90 - 100		0.16		0	0.06		0	0.19		42,537	0.22		26,178
100 - 110		0.12		0	0.06		0	0.20		55,154	0.22		30,461
110 - 120		0.16		0	0.06		0	0.13		39,563	0.23		17,055
120 - 130		0.18		0	0.06		0	0.13		28,063	0.14		10,054
130 - 140		0.20		110	0.09		0	0.12		30,548	0.14		6,467
140 - 150		0.20		536	0.09		0	0.13		21,972	0.16		6,949
150 - 160		0.16		801	0.08		4	0.12		18,118	0.17		6,477
160 - 170		0.12		1,080	0.09		35	0.11		14,131	0.18		6,065
170 - 180		0.09		2,197	0.08		62	0.10		11,684	0.20		7,642
180 - 190		0.07		4,564	0.10		59	0.10		11,801	0.18		9,440
190 - 200		0.05		6,304	0.10		253	0.11		15,540	0.18		5,723
200 - 210		0.05		6,881	0.09		2,603	0.09		22,539	0.16		5,670
210 - 220		0.05		7,030	0.07		3,703	0.09		24,488	0.15		5,417
220 - 230		0.05		5,376	0.06		4,125	0.09		20,719	0.13		4,938
230 - 240		0.05		5,140	0.05		8,727	0.07		16,153	0.11		3,118
240 - 250		0.05		4,232	0.06		14,363	0.06		15,009	0.11		2,226
250 - 260		0.04		3,043	0.07		19,073	0.07		12,734	0.10		1,204
260 - 270		0.04		2,450	0.06		23,625	0.06		9,763	0.10		874
270 - 280		0.04		2,687	0.07		28,719	0.06		8,436	0.10		627
280 - 290		0.04		2,704	0.07		44,567	0.05		6,838	0.11		655
290 - 300		0.04		3,056	0.07		65,423	0.05		5,898	0.13		859
300 - 310		0.04		3,647	0.07		81,968	0.02		6,390	0.15		1,132
310 - 320		0.04		3,914	0.09		97,338	0.03		6,734	0.17		1,010
320 - 330		0.04		4,881	0.09		95,945	0.04		7,880	0.14		717
330 - 340		0.04		5,083	0.10		80,478	0.04		7,607	0.08		473
340 - 350		0.04		5,535	0.10		74,530	0.04		6,219	0.04		431
350 - 360		0.04		5,695	0.10		52,185	0.04		4,409	0.04		352
360 - 370		0.04		5,287	0.10		29,626	0.04		2,995	0.05		513
370 - 380		0.04		3,022	0.11		22,404	0.05		2,313	0.07		451
380 - 390		0.04		2,096	0.11		15,750	0.05		1,735	0.06		496
390 - 400		0.04		1,700	0.10		11,274	0.05		601	0.06		422
400 - 410		0.03		1,684	0.10		7,590	0.05		1,390	0.08		448
410 - 420		0.03		1,923	0.10		5,223	0.05		1,212	0.08		835
420 - 430		0.03		2,118	0.10		2,678	0.05		1,058	0.08		1,072
430 - 440		0.03		2,039	0.09		1,593	0.05		847	0.09		1,022
440 - 450		0.03		1,996	0.09		1,102	0.05		807	0.09		935
450 - 460		0.03		1,709	0.09		809	0.06		855	0.09		775
460 - 470		0.01		1,732	0.09		558	0.06		726	0.08		944
470 - 480		0.02		1,208	0.09		424	0.06		703	0.07		764
480 - 490		0.01		901	0.09		267	0.06		660	0.05		879
490 - 500		0.02		615	0.08		169	0.06		652	0.04		849

Appendix3.-Capter 5

Comparison between standard deviation of errors in geostatistically estimated temperature and Salinity in cross validation and acoustically estimated walleye pollock abundance shown as the sum of the nautical area scattering coefficient (NASC) in January of 2001, 2002, 2004, 2005, 2006 and 2007.

Year Depth Layer(m)	2001 (Temperature)		2002 (Temperature)		2004 (Temperature)	
	SD	Pollock NASC	SD	Pollock NASC	SD	Pollock NASC
10 - 20	0.44	0	0.94	0	1.08	495
20 - 30	0.52	3,002	1.07	30	1.04	1,891
30 - 40	0.81	4,465	1.07	2,308	1.04	12,328
40 - 50	0.92	6,707	1.19	49,779	1.04	22,023
50 - 60	0.81	41,417	1.25	19,814	1.07	63,452
60 - 70	0.90	30,147	1.21	99,617	1.09	72,477
70 - 80	0.98	9,893	0.96	56,556	1.01	29,339
80 - 90	0.82	7,502	0.88	12,389	0.91	17,733
90 - 100	0.99	20,039	0.94	6,525	0.90	19,336
100 - 110	1.20	38,045	0.97	9,090	0.93	10,618
110 - 120	1.32	24,622	0.27	6,474	0.95	5,741
120 - 130	1.28	15,509	0.23	7,985	0.96	2,577
130 - 140	1.25	673	0.36	6,710	0.94	1,659
140 - 150	1.23	7,964	0.35	5,258	0.93	2,072
150 - 160	1.37	903	0.39	3,880	0.91	1,323

Year Depth Layer(m)	2005 (Temperature)		2006 (Temperature)		2007 (Temperature)	
	SD	Pollock NASC	SD	Pollock NASC	SD	Pollock NASC
10 - 20	1.30	21,905	0.55	48	0.30	1,151
20 - 30	1.31	40,814	0.60	5,057	0.29	1,968
30 - 40	1.37	34,919	0.61	28,778	0.29	18,277
40 - 50	1.40	51,272	0.60	73,415	0.29	48,729
50 - 60	1.43	80,318	0.61	90,974	0.28	55,283
60 - 70	1.45	75,194	0.58	87,797	0.30	35,417
70 - 80	1.43	82,446	0.69	60,294	0.30	48,289
80 - 90	1.34	73,340	0.78	50,890	0.31	56,449
90 - 100	1.34	86,401	0.81	42,537	0.28	55,736
100 - 110	1.37	63,991	0.86	55,154	0.31	32,495
110 - 120	1.64	43,875	0.83	39,563	0.34	28,516
120 - 130	1.60	32,359	0.85	28,063	0.36	20,623
130 - 140	1.44	34,738	0.84	30,548	0.42	38,814
140 - 150	1.16	37,693	0.86	21,972	0.52	8,999
150 - 160	1.09	35,592	0.80	18,118	0.51	4,745

Year Depth Layer(m)	2001 (Salinity)		2002 (Salinity)		2004 (Salinity)	
	SD	Pollock NASC	SD	Pollock NASC	SD	Pollock NASC
10 - 20	0.11	0	0.29	0	0.16	495
20 - 30	0.13	3,002	0.32	30	0.15	1,891
30 - 40	0.19	4,465	0.32	2,308	0.15	12,328
40 - 50	0.18	6,707	0.36	49,779	0.15	22,023
50 - 60	0.20	41,417	0.37	19,814	0.15	63,452
60 - 70	0.25	30,147	0.35	99,617	0.15	72,477
70 - 80	0.24	9,893	0.30	56,556	0.13	29,339
80 - 90	0.21	7,502	0.29	12,389	0.12	17,733
90 - 100	0.30	20,039	0.33	6,525	0.14	19,336
100 - 110	0.27	38,045	0.35	9,090	0.13	10,618
110 - 120	0.27	24,622	0.25	6,474	0.13	5,741
120 - 130	0.28	15,509	0.24	7,985	0.13	2,577
130 - 140	0.29	673	0.24	6,710	0.13	1,659
140 - 150	0.28	7,964	0.26	5,258	0.13	2,072
150 - 160	0.31	903	0.25	3,880	0.13	1,323

Year Depth Layer(m)	2005 (Salinity)		2006 (Salinity)		2007 (Salinity)	
	SD	Pollock NASC	SD	Pollock NASC	SD	Pollock NASC
10 - 20	0.23	21,905	0.23	48	0.07	1,151
20 - 30	0.23	40,814	0.23	5,057	0.07	1,968
30 - 40	0.24	34,919	0.24	28,778	0.07	18,277
40 - 50	0.26	51,272	0.26	73,415	0.07	48,729
50 - 60	0.25	80,318	0.25	90,974	0.06	55,283
60 - 70	0.25	75,194	0.25	87,797	0.07	35,417
70 - 80	0.25	82,446	0.25	60,294	0.07	48,289
80 - 90	0.26	73,340	0.26	50,890	0.08	56,449
90 - 100	0.27	86,401	0.27	42,537	0.06	55,736
100 - 110	0.25	63,991	0.25	55,154	0.07	32,495
110 - 120	0.25	43,875	0.25	39,563	0.07	28,516
120 - 130	0.24	32,359	0.24	28,063	0.08	20,623
130 - 140	0.22	34,738	0.22	30,548	0.08	38,814
140 - 150	0.22	37,693	0.22	21,972	0.09	8,999
150 - 160	0.20	35,592	0.20	18,118	0.10	4,745