

計量魚群探知機により観察された北海道日本海における スケトウダラ仔稚魚の日周鉛直移動と昼夜間の音響的特徴

板谷和彦^{1*†}, 三宅博哉², 貞安一廣³, 宮下和士⁴

Diel vertical migration of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) larvae and early juveniles from the acoustic survey using a quantitative echosounder in the northern Japan Sea off Hokkaido

Kazuhiko ITAYA^{1†}, Hiroya MIYAKE², Kazuhiro SADAYASU³ and Kazushi MIYASHITA⁴

北海道日本海において4月にスケトウダラ仔稚魚の分布を計量魚群探知機とネット採集により調べ、昼夜での分布の特徴を比較した。仔稚魚は昼間には深度40~80 m、夜間には昼間よりやや浅い深度20~50 mの範囲に分布し、海底や表層デッドゾーンへの移動による現存量の過小推定は小さいと考えられた。同一航走線で魚探反応量の合計値を昼夜で比較すると、昼間の合計値は夜間よりも高くなった。これは、仔稚魚の移出入によるものではなく、夜間にはオキアミ類の音響反応がエコー積分へ加入したことが影響していると考えられた。つまり、昼間には、オキアミ類のパッチ状反応を囲い込み抽出により簡単にエコー積分から除外できたが、夜間にはオキアミ類が表中層域に拡散して分布し、これらの音響反応を取り除くことが不可能だったためと考えられた。したがって、調査時間帯はオキアミ類の影響を簡単に取り除くことができる昼間が望ましいと結論された。

The diel vertical migration of walleye pollock *Theragra chalcogramma* late larvae and early juveniles (12–32 mm in body length) was examined by the acoustic method using a quantitative echosounder and net towing on two transects in the northern Japan Sea around Hokkaido in April. Larvae and juveniles of walleye pollock were distributed at 40–80 m and 20–50 m depth layers during the daytime and the nighttime, respectively. They hardly migrated to the acoustic deadzone, such as near the surface and the seabed area, which allows examining the distribution pattern by acoustic data logging. The total backscattering volume (NASC: $m^2 \cdot NM^{-2}$) of them for each transect was 1.1- or 1.4-times higher during the nighttime than the daytime. It would be caused by diel differences in distributional concentration of euphausiids and spatial overlap of euphausiids and pollock larvae and juveniles. During the daytime, euphausiids aggregated in swarms at the middle layer; these swarms were easily distinguishable from “pollock echograms” and we removed these swarms from the echo integrations. On the other hand, euphausiids were diffused and they overlapped with the distribution of walleye pollock at night, so it was difficult to discriminate clearly between these two organisms. Therefore, acoustic surveys to estimate the biomass of walleye pollock larvae and juveniles should be carried out in daytime.

Key words: walleye pollock, vertical distribution, acoustic survey

2013年11月18日受付, 2014年5月2日受理

¹ 北海道立総合研究機構 稚内水産試験場

Hokkaido Research Organization, Wakkanai Fisheries Research Institute, Suehiro-cho, Wakkanai, Hokkaido, 097-0001, Japan

* 現所属: 北海道立総合研究機構 釧路水産試験場

Present: Hokkaido Research Organization, Kushiro Fisheries Research Institute, Hama-machi, Kushiro, Hokkaido, 085-0024, Japan

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

³ 独立行政法人水産総合研究センター開発調査センター

Marine Fisheries Research and Development Center, Fisheries Research Agency, 2-3-3 Minatomirai, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa, 220-6115, Japan

⁴ 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, 3-1-1 Minato-cho, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

† itaya-kazuhiko@hro.or.jp

はじめに

スケトウダラ *Theragra chalcogramma* 日本海北部系群資源の漁獲量は1992年度には14万トンを超えていたが、それ以降大きく減少し、2007年度には2万トンを下回るようになった(千村ほか, 2013)。本種は卵から仔稚魚期の減耗が加入量変動に最も大きく影響するため(Kendall et al., 1996; Nishimura et al., 2002; 中谷ほか, 2003), 年級豊度の決定機構の解明には初期生活期における動態を詳しく調べることが重要であり、仔稚魚期の分布状況を定量的に把握することも必須である。日本海ではスケトウダラの仔稚魚は浮遊生活を送っており(夏目・佐々木, 1993a, b), 石狩湾以北に広く分布し、一部はオホーツク海まで輸送される(板谷ほか, 2009)。このような広域に分布する仔稚魚の現存量を推定するには、計量魚群探知機(以下、計量魚探機と記す)を用いた音響水産資源調査が有効であろう。

日周鉛直移動を行う海洋生物を対象とした音響水産資源調査では、対象生物の行動特性が現存量推定に影響することがあり、この場合、調査時間帯に制約が生じることがある(Ona and Mitson, 1996)。例えば、日本海のスケトウダラ成魚は、夜間には海底から離れて分布するが、昼間には計量魚探機で探知不可能な海底デッドゾーンへ移動するために分布量が過少に評価されることが指摘されている(安部ほか, 1999; 三宅, 2012)。また、海面近くは、送受波器が装備されている船底までの深度帯と、これに加えて送受波器から数メートル下までは超音波の発信による残響や航走ノイズによって探知不能となる表層デッドゾーンがあるため(Aglen, 1994), ごく表層に生息する生物の分布量は正確に評価できない。このため、対象生物の表層付近への移動についても確認しておく必要がある。そこで本研究では、計量魚探機によるスケトウダラ仔稚魚の現存量評価を確実なものとするために、計量魚探機で得られたエコーグラムにより仔稚魚の鉛直分布を昼夜にわたって比較し、昼夜のいずれが現存量を正確に推定できるかを調べることを目的とした。

材料および方法

調査船調査

調査は2005年4月18~20日に道北日本海海域において稚内水産試験場の試験調査船北洋丸(送受波器設置場所の喫水3.5 m)を用いて実施した。計量魚探機にはシムラッド社製のEK60システム(周波数38 kHzおよび120 kHz)を用いた。調査前に標準球を用いた手法によりシステム送受信感度の較正を実施した。音響水産資源調査を行う約60海里(以下、海里はNMと記す)の調査線を2本(A, B線)設定し、昼夜それぞれ航走して音響データを収録した(Fig. 1)。さらに、日周鉛直移動を詳細に観察するために、スケトウダラ仔稚魚の音響反応量が多かった沿岸側の8 NMの範囲について、1日に時間帯をずらして4回航走し音響

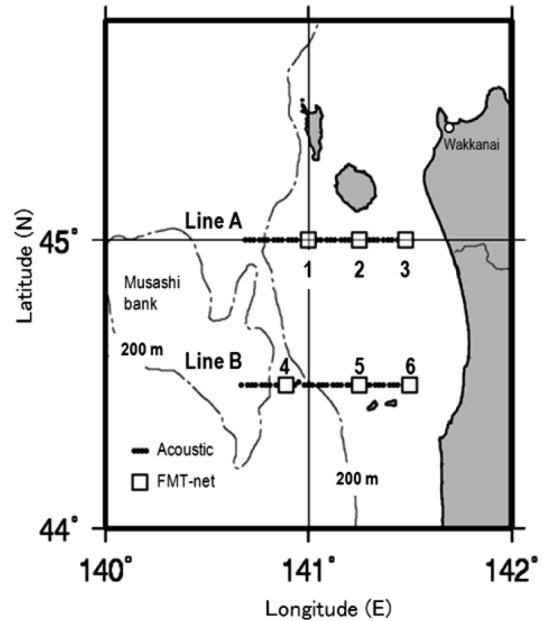


Figure 1. Location of acoustic survey transects (dotted lines) and FMT net sampling stations (open squares).

データを収録した。

また、航走中に観察された特徴のある音響反応の生物種を確認するために、FMTネット(網口2×2 m, 網長さ8.5 m, ナイロン・モジ網240径, 網目内径1.7 mm均一目合, シングルコードエンドタイプ; Itaya et al., 2007; 藤森ほか, 2008)を用いた生物採集を6定点にて昼夜で実施した。さらに、各定点ではCTD (SBE911plus, シーバード社製)を用いて水温観測を行った。エコーグラム上で観察されたスケトウダラの仔稚魚と思われるまばらな音響反応および音響反応の強度が高いパッチ状反応の分布深度の中心に合わせて約15分間の水平曳きを行った。いずれの曳網も船速を3 ktとして、ネットモニター(古野電気社製)を使ってワープ長操作により網深度を調節した。濾水計(離合社製)を網口に取り付け、網口面積と曳網距離から濾水体積を求めた。採集物は船上において90%エタノールで固定して、後日、実験室にて生物種別に湿重量と個体数を調べた。スケトウダラの仔稚魚については標準体長(1 mm単位, 以下、体長と記す)を測定し、エタノールによる収縮率(板谷ほか, 2009)を考慮して体長データの補正を行った。また、動物プランクトンは飯田ほか(1999)の集計方法にしたがって分類群ごとに集計した。

データ解析

音響データの解析にはEchoview (Ver.5.0, Myriax社製)を用いた。スケトウダラ仔稚魚の分布密度の推定には飯田ほか(1999)にしたがい周波数38 kHzのデータを用いた。昼夜それぞれの調査線航走で得られた周波数38 kHzにおける距離1 NMごとの深度10~100 mまでの音響反応量の

積分値であるNASC ($\text{m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$) 値を出力し比較した。また、各調査線にて4回ずつの航走で得られた各時間帯(早朝, 日中, 日没後および深夜)における深度幅10 mごとの平均SV値(以下, MVBSと記す)を出力し, 平均ターゲットストレングス(\overline{TS})を使って深度幅10 mごとの鉛直分布密度 D_a (個体 $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$)を(1)式から計算した。 \overline{TS} は調査線ごとに採集されたスケトウダラ仔稚魚の体長組成を使って(2)式から求めた(貞安ほか, 2003)。

$$D_a = 10^{(MVBS_{38\text{kHz}} - \overline{TS})/10} \cdot 1000 \quad (1)$$

$$\overline{TS} = 20 \cdot \log(BL) - 68.4 \quad (2)$$

オキアミ類などの動物プランクトンが濃密なパッチ状に分布する場合には, 周波数38 kHzにおいても, これらのエコー積分への加入の影響が大きくなると考えられた。そ

こで, NASCまたはMVBSを算出する前に, エコーグラム上でこのようなパッチ状反応をスケトウダラ仔稚魚以外の反応として積分計算から除外した。具体的には, スケトウダラ仔稚魚は低周波の方が高周波よりも強く反射し(飯田ほか, 1999), 動物プランクトンは高周波の方が低周波よりも強く反射する(Kang et al., 2002; De Robertis et al., 2010)という両種の周波数特性の違いを考慮して, 周波数120 kHzにおけるMVBSから周波数38 kHzにおけるMVBSを差し引いた $\Delta MVBS_{120 \text{ kHz} - 38 \text{ kHz}}$ (以下, $\Delta MVBS$ と記す)を抽出表示し, $\Delta MVBS$ が正の値で輪郭が明確なパッチ群を囲い込んで積分から除外する処理を行った。

結果

FMTネットによる採集結果をTable 1に示した。スケトウダラ仔稚魚の密度(濾水量 1000 m^3 あたりの採集個体数)

Table 1. Abundance of pelagic organisms sampled by FMT net by sampling station. Data were expressed by density (D; number of individuals $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) and biomass (B; wet weight $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$).

Taxon	St. 1				St. 2				St. 3			
	Day		Night		Day		Night		Day		Night	
	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B
<i>Thysanoessa inermis</i>	6	0.9	—	—	39	4.7	55	5.6	8,467	761.1	135	15.4
<i>Euphausia pacifica</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Other Euphausiacea	82	0.4	337	1.3	39	0.3	249	3.0	—	—	18	0.18
<i>Themisto japonica</i>	169	1.0	400	2.2	340	3.1	470	3.5	—	—	18	0.15
Copepoda	1,469	3.8	2,925	9.5	3,139	10.5	1,171	4.8	—	1.5	1,573	3.1
Sagittoidea	29	0.2	21	0.4	26	0.0	46	0.2	—	—	27	0.1
<i>Theragra chalcogramma</i> (larva and juvenile)	0.4	—	0.5	—	0.4	—	0.7	—	0.6	—	0.4	—
Others	17	0.0	32	0.0	39	0.1	46	0.2	—	—	36	0.1
Total	6.5		13.3		18.8		17.2		762.6		19.0	

Taxon	St. 4				St. 5				St. 6			
	Day		Night		Day		Night		Day		Night	
	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B
<i>Thysanoessa inermis</i>	329	23.7	950	125.5	109	11.8	106	6.6	—	—	294	51.5
<i>Euphausia pacifica</i>	15	0.8	67	0.7	436	29.7	530	37.8	—	—	—	—
Other Euphausiacea	344	6.4	—	—	3,159	26.8	4,561	32.0	5,644	54.3	2,055	17.4
<i>Themisto japonica</i>	404	2.3	—	—	1,743	10.1	6,736	36.4	2,613	14.1	3,230	23.3
Copepoda	2,019	6.3	688	7.2	25,383	49.7	4,508	31.2	13,267	54.2	30,681	93.2
Sagittoidea	30	0.0	—	—	218	0.8	—	—	419	1.6	—	—
<i>Theragra chalcogramma</i> (larva and juvenile)	0.7	—	0.0	—	3.3	—	2.3	—	2.0	—	2.3	—
Others	29	0.2	67	0.7	654	2.2	477	4.3	3,343	10.4	587	2.1
Total	39.6		134.1		131.0		148.2		134.6		187.5	

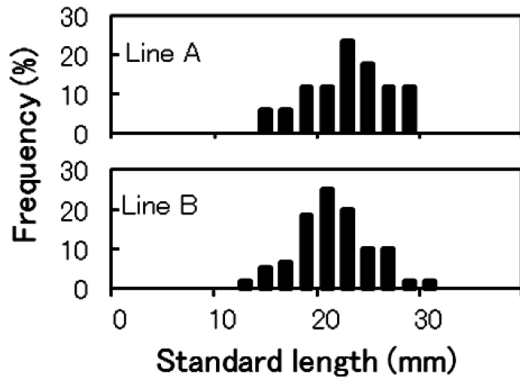


Figure 2. Standard length frequencies of larvae and juveniles of walleye pollock caught by FMT net at each acoustic transect. Mean standard lengths with standard deviations were 23.0 ± 4.1 mm ($n=17$) on line A and 21.7 ± 3.6 mm ($n=60$) on line B.

は、A線では昼夜ともに $0.4 \sim 0.7$ 個体 $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ と、どの地点 (St. 1~3) でも低い値であった。B線の沿岸の観測点 (St. 5, 6) では $2.0 \sim 3.3$ 個体 $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ と高かったのに対し、沖合の観測点 (St. 4) では夜間で 0.0 個体 $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ 、昼間で 0.7 個体 $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ と低かった。また、昼夜で比較するとスケトウダラ仔稚魚の採集量に差はみられなかった (マン・ホイットニーのU検定, $p=0.87$)。採集されたスケトウダラ仔稚魚の体長組成を Fig. 2 に示した。スケトウダラ仔稚魚の体長は $12 \sim 32$ mm の範囲にあり、平均体長はA線で 23.0 mm, B線では 21.7 mm を示し、体長組成は類似していた。スケトウダラ仔稚魚以外の採集物はオキアミ類, 端脚類, かいあし類および矢虫類といった動物プランクトンが多くを占め、他に甲殻類の幼生が採集された。これらの動物プランクトンの採集量は、昼夜ともにどちらの調査線でも沿岸側の点で多く、沖合で少なかった。

音響反応量の多かったB線の沿岸側の周波数 38 kHz および 120 kHz のエコーグラムと ΔMVBS の値を図示したものを Fig. 3 に示した。スケトウダラ仔稚魚の音響反応は、周波数 38 kHz の方が 120 kHz よりも強く反射し (ΔMVBS は負値), 昼夜ともに集群せずまばらに分布していた。一方、昼間には、このようなスケトウダラ仔稚魚の反応に加えて、 120 kHz に強く反射 (ΔMVBS は正值) するパッチ状反応も中層域に多数観察された。St. 3 における昼間の生物採集時のエコーグラムでも、同じような特徴の反応が確認でき (Fig. 4), FMT 採集ではオキアミ類 *Thysanoessa inermis* の成体 (全長 28.6 ± 3.1 mm) が高豊度を示した (Table 1)。しかし、夜間にはこのようなパッチ状反応はみられず、 ΔMVBS が正值の音響反応が深度 20 m 前後にみられたことから、オキアミ類はスケトウダラ仔稚魚よりもやや浅い層に分散分布し、一部はスケトウダラ仔稚魚と分布が重なっていたと推察された。

周波数 38 kHz で得られた距離 1 NM ごとの NASC 値を昼

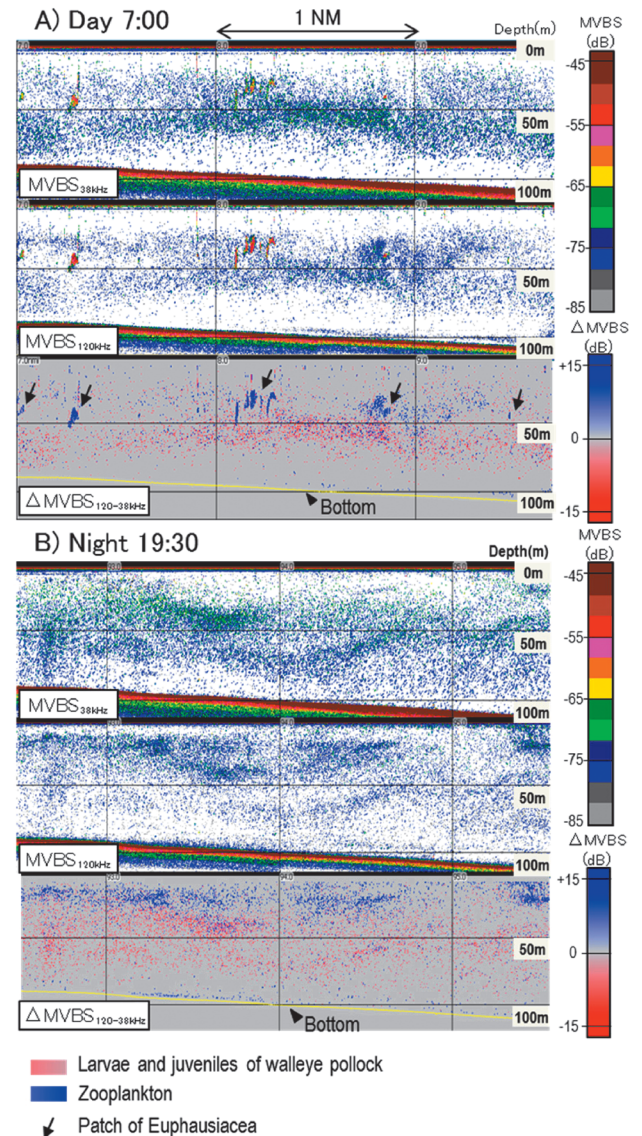


Figure 3. Typical echogram charts from transect line B obtained during the daytime (A) and the nighttime (B). Upper and middle echograms indicate mean volume backscattering strength (MVBS [dB]) of 38 kHz and 120 kHz , respectively. Lower echogram indicates their difference ($\Delta \text{MVBS}_{120-38 \text{ kHz}}$).

夜別に Fig. 5 に示した。いずれの調査線でもスケトウダラ仔稚魚の音響反応量は沿岸で高く、沖合で低くなっており、このような特徴は昼夜で大きくは異ならなかった。一方、NASC 値の合計は夜間のほうが高く、昼間に比べてA線で 1.1 倍, B線では 1.4 倍となった (A線昼間: $385 \text{ m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$, 夜間: $411 \text{ m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$, B線昼間: $466 \text{ m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$, 夜間: $641 \text{ m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$)。一方、オキアミ類のパッチ状反応を除外せずに出力した周波数 38 kHz の昼間の NASC 値の合計は、夜間とほぼ同じ値だった (A線: $410 \text{ m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$, B線:

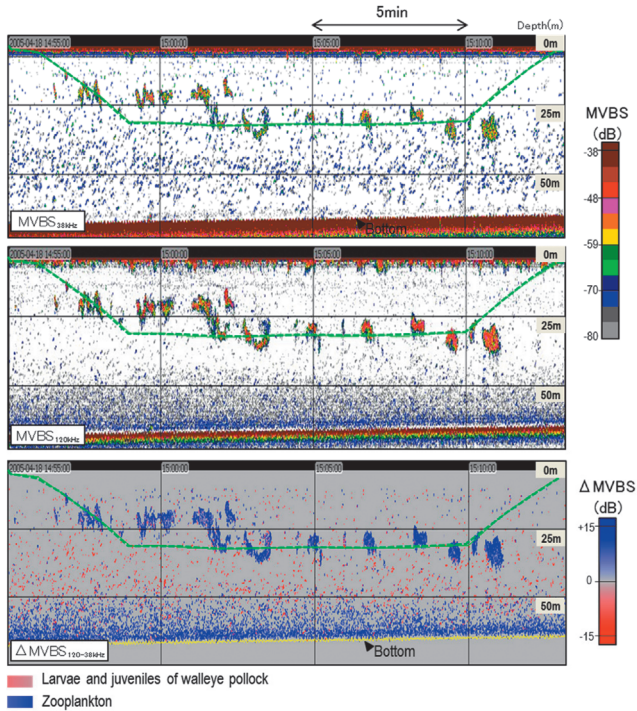


Figure 4. Echograms (38 kHz, 120 kHz) and their difference ($\Delta MVBS_{120-38 \text{ kHz}}$) obtained during net sampling at St. 3 during the daytime (15:00 p.m.). Dashed lines superimposed onto the echograms showed the FMT-net trajectories.

608 $\text{m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$).

スケトウダラ仔稚魚の鉛直的な分布密度と水温鉛直分布を Fig. 6 に示した。スケトウダラ仔稚魚はどの時間帯においても底層付近には集群せず、A線では深度10~90 m、水温5.0~5.7°Cの範囲に、B線では深度10~90 m、水温5.9~6.6°Cの範囲に分布した。また、スケトウダラ仔稚魚の分布密度は、A線では1.4~13.5 個体 $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ 、B線では0.7~28.6 個体 $\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ であった。時間帯別にみると、早朝は深度50 m付近のやや深い層に分布し、日中になっても分布深度に大きな変化はみられなかった。昼間の最も上層の深度10~20 mの分布密度は全体の3~4%を示した。一方、日没後および深夜の分布深度のピークは昼間よりも20 mほど上方の深度20~50 m付近となり、広く分散していた。また、深度10~20 mの分布密度は昼間よりも高くなり、全体の5~13%を示した。両調査線ともに深度30 m付近に水温躍層が観測されたが、スケトウダラ仔稚魚はこれらの躍層を通過して日周鉛直移動していることがわかった。

考察

日本海において、スケトウダラ仔稚魚は深度10~90 mの範囲に分布し、どの時間帯においても海底デッドゾーンへの移動はみられなかった。夜間においては表層デッドゾーンに隣接する深度10~20 m層の分布密度が昼間に比べて

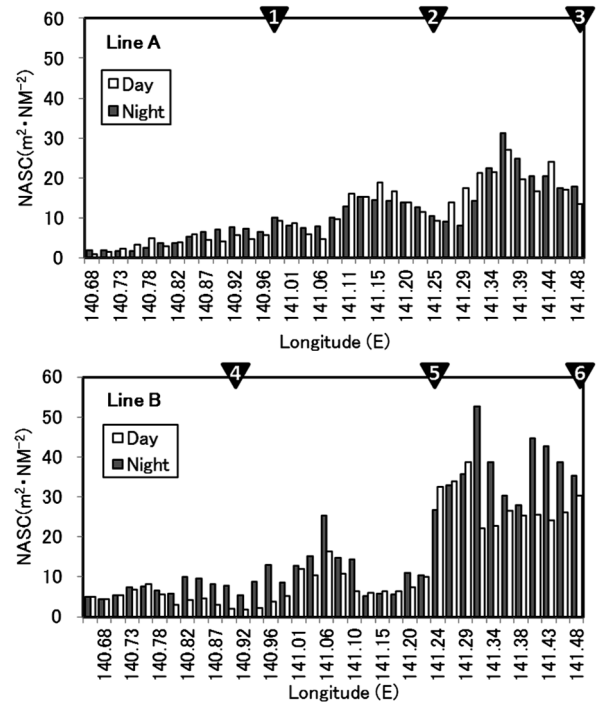


Figure 5. Comparison of NASC ($\text{m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$) at 38 kHz between the daytime and the nighttime at each acoustic transect. Location of reverse triangle symbols show the longitudes of sampling stations. Total NASCs in daytime and nighttime were 385 $\text{m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$ and 411 $\text{m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$ on line A and 466 $\text{m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$ and 641 $\text{m}^2 \cdot \text{NM}^{-2}$ on line B, respectively.

高くなったことから、日周鉛直移動による表層デッドゾーンへの移動が考えられた。ただし、分布のピークが深度10~20 m層よりも下層にあり、深度10~20 m層の分布量は全体の5~13%と低いことから、表層デッドゾーンへの移動による現存量の過少推定量は小さいと考えられる。

一方で、B線では夜間のNASCの合計値が昼間よりも4割程度高くなった。これは、スケトウダラ仔稚魚の移出入によるものではなく、オキアミ類の音響反応がエコー積分へ加入したことが影響していると考えられる。つまり、昼間のエコーグラムでは、オキアミ類と考えられるパッチ状反応を囲い込み抽出により簡単にエコー積分から除外できたが、夜間にはオキアミ類が表中層域に拡散して分布していたために、これらの音響反応をエコー積分から取り除くことが不可能であった。オキアミ類 *Thysanoessa inermis* は、北海道の北部日本海沿岸において、産卵期である4月中旬頃、昼間には表層域に集群する特性が知られており、この種を対象とした漁業も群れを発見しやすい昼間に行われている (Hanamura et al., 1989)。なお、オキアミ類のパッチ状反応を除外せずに出力した周波数38 kHzの昼間のNASC値の合計は夜間とほぼ同じ値であった。以上のことから、夜間のエコーグラム上では、オキアミ類をはじめとした動

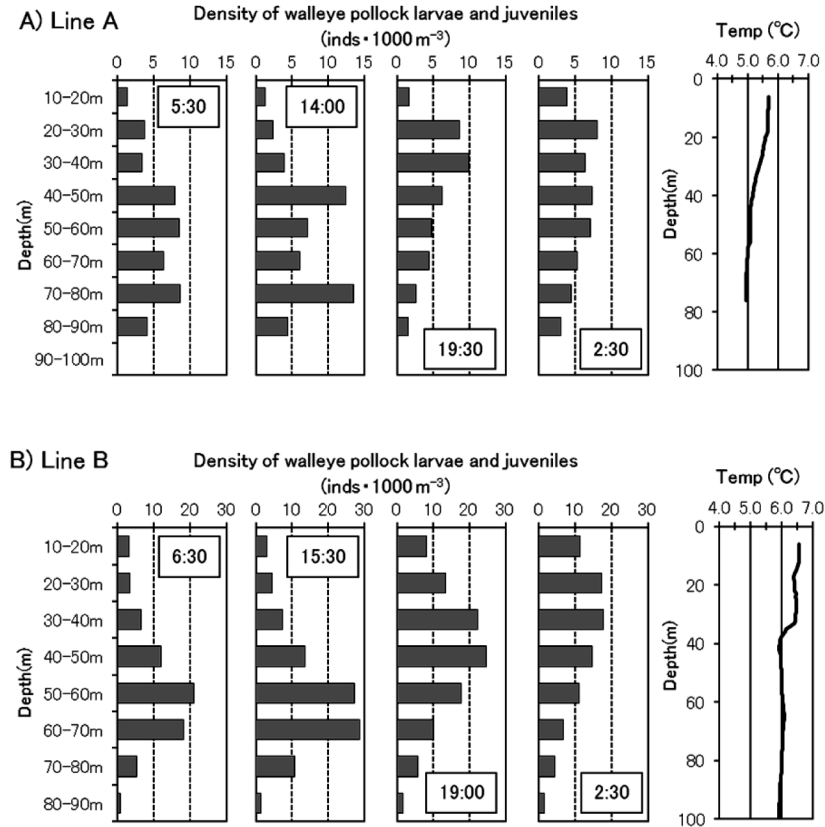


Figure 6. Diel vertical distributions of larvae and juveniles of walleye pollock at several times during the day (sunrise, 4:40 a.m., sunset, 18:20 p.m.) and vertical profiles of water temperature. Density of walleye pollock was calculated from MVBS and target strength at 38 kHz.

物プランクトンの音響反応とスケトウダラ仔稚魚の音響反応を容易に見分けられないことから、昼間に調査を実施する方が正確にスケトウダラ仔稚魚の現存量を推定できると結論される。一方、夜間のデータを有効利用するためには、 Δ MVBSを使ってスケトウダラと動物プランクトンを抽出する方法 (Miyashita et al., 2004) や、対象生物の音響反応量の過少評価が起きない範囲でMVBSの閾値を設けることで動物プランクトンの微弱な音響反応を取り除いて対象生物の音響反応を鮮明に抽出する方法 (安間, 2004) を適用することなどが考えられ、今後、これらの手法によるスケトウダラ仔稚魚の音響反応の抽出の有効性を検証する必要がある。

4月の日本海において体長20 mmほどのスケトウダラ仔稚魚でも深度差20 m程度ではあるが水温躍層を越えて日周鉛直移動することが観察された。飼育実験では、仔魚の段階で既に光に対する潜行行動が確認されており (Olla and Davis, 1990; Olla et al., 1996), 稚魚ではアラスカ湾で日周的に鉛直移動することが知られている (Bailey, 1989; Kendall et al., 1994; Brodeur and Wilson, 1996)。

鉛直移動の生態的な知見として、太平洋の噴火湾では体

長30 mm前後の稚魚において、成長に伴う餌生物の移行による鉛直移動が確認されている (中谷・前田, 1987; Kawauchi et al., 2011)。日本海においても、同様な生態様式は想定できるが、今回の調査では、深度別に体長組成を比較するだけの標本は得られておらず、今後の資源調査では層別採集を実施するなどして明らかにする必要がある。

本研究で得られた鉛直分布の結果から、本海域における4月のスケトウダラ仔稚魚の日周鉛直移動の範囲には、音響水産資源調査で問題とされる表層デッドゾーンおよび海底デッドゾーンがほとんど含まれていないと判断された。一方、夜間にはオキアミ類の音響反射により現存量が過大評価されることがわかり、調査時間帯はオキアミ類の影響を簡単に取り除くことができる昼間が望ましい。しかし、調査船調査では時間的な制約が多く効率的な運航が必要となる。そこで、スケトウダラ仔稚魚が多く分布し、動物プランクトンが混在する沿岸側では昼間に航走し、スケトウダラ仔稚魚や動物プランクトンの少ない沖合側は夜間に航走するなどして海域ごとに調査時間帯を変えることで、より広範囲な海域を網羅できると考えられる。

謝辞

調査船調査に携わっていただいた水産試験場職員の皆様に感謝の意を表します。本調査は水産庁の委託事業である我が国周辺漁業資源調査事業の一環で実施された。

引用文献

- 安部幸樹・飯田浩二・向井 徹 (1999) 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。日本水産学会誌, **65**, 252-259.
- Aglen, A. (1994) Sources of error in acoustic estimation of fish abundance. In: Marine fish behaviour in capture and abundance estimation, eds. A. Ferno & S. Olsen, Fishing News Books, Oxford, pp. 107-133.
- Bailey, K. M. (1989) Interaction between the vertical distribution of juvenile walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the eastern Bering Sea and cannibalism. Mar. Ecol. Prog. Ser., **53**, 205-213.
- Brodeur, R. D. and M. T. Wilson (1996) Mesoscale acoustic patterns of juvenile walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the western Gulf of Alaska. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **53**, 1951-1963.
- 千村昌之・田中寛繁・山下夕帆 (2013) 平成24年度スケトウダラ日本海北部系群の資源評価。平成24年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊, 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産研究センター, 289-348.
- De Robertis, A., D. R. McKelvey and P. H. Ressler (2010) Development and application of empirical multi frequency methods for backscatter classification in the North Pacific. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **67**, 1459-1474.
- 藤森康澄・山下由起子・阿部真之・板谷和彦・向井 徹 (2008) プランクトンとマイクロネクトンの同時採集のためのズボン式フレームトロール。水産工学, **44**, 197-204.
- Hanamura, Y., M. Kotori and S. Hamaoka (1989) Daytime surface swarms of the euphausiid *Thysanoessa inermis* off the west coast of Hokkaido, northern Japan. Mar. Biol., **102**, 369-376.
- 飯田浩二・向井 徹・森 英樹 (1999) 音響散乱層の体積後方散乱強度の周波数特性と構成種のターゲットストレングスに関する考察。日本水産学会誌, **65**, 66-72.
- Itaya, K., Y. Fujimori, S. Shimizu, T. Komatsu and T. Miura (2007) Effect of towing speed and net mouth size on catch efficiency in framed midwater trawls. Fish. Sci., **73**, 1007-1016.
- 板谷和彦・三宅博哉・和田昭彦・宮下和士 (2009) 北海道日本海・オホーツク海沿岸域におけるスケトウダラ仔稚魚の分布。水産海洋研究, **73**, 80-89.
- Kang, M., M. Furusawa and K. Miyashita (2002) Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton. ICES J. Mar. Sci., **59**, 794-804.
- Kawauchi, Y., O. Shida, H. Okumura, N. Tojo, H. Yasuma and K. Miyashita (2011) Vertical distribution of walleye pollock juveniles before and after the period of transition for feeding in Funka Bay, Hokkaido, Japan. Journal of Marine Science and Technology, **19**, 279-286.
- Kendall, A. W., L. S. Incze, P. B. Ortner, S. R. Cummings and P. K. Brown (1994) The vertical distribution of eggs and larvae of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in Shelikof Strait, Gulf of Alaska. Fish. Bull., **92**, 540-554.
- Kendall, A. W., J. D. Schumacher and S. Kim (1996) Walleye pollock recruitment in Shelikof Strait: Applied fisheries oceanography. Fish. Oceanogr., **5** (Suppl. 1), 4-18.
- 三宅博哉 (2012) 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。北水試研報, **81**, 1-56.
- Miyashita, K., K. Tetsumura, S. Honda, T. Oshima, R. Kawabe and K. Sasaki (2004) 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 backscattering strength (Sv) difference method. Fish. Oceanogr., **13** (Suppl. 1), 99-110.
- 中谷敏邦・前田辰昭 (1987) 噴火湾およびその周辺海域におけるスケトウダラ稚魚の分布と移動。日本水産学会誌, **53**, 1585-1591.
- 中谷敏邦・杉本晃一・高津哲也・高橋豊美 (2003) スケトウダラの年級豊度に与える噴火湾の環境要因。水産海洋研究, **67**, 23-28.
- 夏目雅史・佐々木正義 (1993a) 北海道北部日本海のスケトウダラ稚魚の生態-II鉛直分布の日周変化とビームトロールネットの採集効率。北水試研報, **42**, 143-148.
- 夏目雅史・佐々木正義 (1993b) 北海道北部日本海のスケトウダラ稚魚の生態-IIIビームトロールネットによる採集適期。北水試研報, **42**, 149-155.
- Nishimura, A., T. Hamatsu, K. Yabuki and O. Shida (2002) Recruitment fluctuations and biological responses of walleye pollock in the Pacific coast of Hokkaido. Fish. Sci., **68** (Suppl. 1), 206-209.
- Olla, B. L. and M. W. Davis (1990) Effects of physical factors on the vertical distribution of larval walleye pollock *Theragra chalcogramma* under controlled laboratory conditions. Mar. Ecol. Prog. Ser., **63**, 105-112.
- Olla, B. L., M. W. Davis, C. H. Ryer and S. M. Sogard (1996) Behavioural determinants of distribution and survival in early life stages of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*: A synthesis of experimental studies. Fish. Oceanogr., **5** (Suppl. 1), 167-178.
- Ona, E. and R. B. Mitson (1996) Acoustic sampling and signal processing near the seabed: The deadzone revisited. ICES J. Mar. Sci., **53**, 677-690.
- 貞安一廣・安部幸樹・澤田浩一・石井 憲・向井 徹・飯田浩二 (2003) 懸垂法によるスケトウダラ稚魚のターゲットストレングス測定。Proceedings of the 3rd Japan-Korea Joint Seminar on Fisheries Science, Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, 81-85.
- 安間洋樹 (2004) 音響手法を用いたハダカイワシ科魚類の資源量推定に関する研究。博士論文, 東京大学, 東京, 237 pp.