

日本海南西海域におけるキュウリエソの分布 と日周期鉛直移動^{*1}

内田和良^{*2}・濱野 明^{*2}・武田靖昭^{*3}・巽 重夫^{*4}

The Daily Rhythmic Change in the Distribution of
Maurolicus muelleri, off Oki Islands in the Japan Sea, Measured
by Using the 88kHz Quantitative Echo Sounder^{*1}

Kazuyoshi Uchida^{*2}, Akira Hamano^{*2}, Yasuaki Takeda^{*3},
and Shigeo Tatsumi^{*4}

A clear understanding of the daily rhythmic change in the vertical distribution of the density of this species is one of the inescapable points to clarify the mechanism of the productivity in the Japan Sea, because this abundantly distributing exclusive ichthyomicronekton species plays a leading role as the vertical transporter of organic matters in the marine ecosystem. This is the reason why the present echo survey was conducted.

The daily rhythmic change in the vertical distribution of the mean volume backscattering strength was recorded by the 66 hours survey along the preliminarily settled lines off Oki Islands using the 88 kHz quantitative echo sounder (Furuno FQ-60). And the organisms causing DSL were confirmed by the 7 hauls of midwater trawl conducted just after the echo survey in the same area.

The results obtained were summarized as follows:

1) Dense concentration of this species was detected day and night in the surface or middle layers near the 200 m isobath in the surveyed area, frequently at the points of simple bottom topography with widely spacing isotherms.

水産大学校研究業績 第1393号, 1992年1月21日受付.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No.1393. Received Jan. 21, 1992.

* 1 1987年4月, 日本水産学会春季大会において発表.

* 2 水産大学校漁業学科漁業機器学講座 (Laboratory of Instrumentation, Department of Fishery Science and Technology, Shimonoseki University of Fisheries).

* 3 水産庁北海道区水産研究所北光丸 (Hokko-Mar, Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Agency of Japan).

* 4 水産大学校練習船天鷹丸 (Training Ship Tenyo-Mar, Shimonoseki University of Fisheries).

2) The results of quantitative echo survey and midwater trawl indicated, as shown in Fig.8, a well-defined vertical change in the density and its daily rhythmic change, as supported by the fact that the dense population was found at 140 to 220 m deep in the daytime, while from sub-surface layer to about 200 m zone with center at 120-140 m zone at night.

3) If the vertical difference in the amount of stomach contents were not derived from hauling up the specimens from the different depth zones, the vertical difference both in stomach contents and in the density of fish and their daily rhythmic changes (Fig. 4) suggested the role of this species in the vertical transportation of organic matter.

1 はじめに

魚類マイクロネクトの多くが日周期鉛直移動をすることはよく知られており^{1)~3)}, その代表種であるキュウリエソ (*Maurollicus muelleri*) も顕著な日周期鉛直移動を行う^{4,5)}。日本海における唯一の魚類マイクロネクトであるキュウリエソは, 食物連鎖の中における鍵種として^{4,5)}, さらに日本海生態系の中では日周期鉛直移動をとおして有機物の鉛直的運搬者として¹⁾, 重要な位置を占めており, その行動的生態を明らかにすることは, 日本海生態系の生物生産を論ずるために極めて重要であると考えられる。

日本海におけるキュウリエソの鉛直移動について, 通常魚探機による定性的観測例は見られるが^{5,7)}, 定量的な計測に関する報告は見られない。

そこで本報告では計量魚探機による計測を行い, 中層トロールを用いてDSL構成種を確認することによって, 日本海産キュウリエソの分布と日周期鉛直移動を中心に, その行動的生態に関する若干の知見を得たので報告する。

2 資料および方法

1986年7月25日から7月31日の6日間, 水産大学校練習船耕洋丸 (1990.17トン) によって, Fig. 1 に示す隠岐島周辺海域の水深90~640mの海域において, 古野電気製FQ-60型曳航式計量魚探機を用い (曳航体を約10m沈下させるよう設定) 計66時間にわたる音響調査を実施した。FQ-60及びインテグレーター (FQ-510) の設定をTable 1に示す。魚探機システムの校正は水中マイクロホンを用いて行った⁸⁾。

積分層は送受波器の設定深度である10mから海底までを, 鉛直方向20m (ただし第1層は10m) ずつに分けた各層である。実線で示すように隠岐島を西から北に囲む200m等深線を直角に横切るよう5マイル間隔で調査線を設定した。

調査線を船速約6ノットで定速航走し, 調査線0.1マイル毎の体積後方散乱強度 (SV 値) を昼夜連続で測定した。

環境要因を知るため●で示す4地点において転倒温度計により, ○で示す11地点においてXBT (T.S.K.製) により水温を観測した。また, DSLを構成する生物を確認するため, ▲で示した7地点においてトロール網 (コッドエンドのカバーネット: モジ網目合20mm)⁹⁾を曳網した。曳網中にはネットレコーダー (FNR-400 II) を用い, トロール網

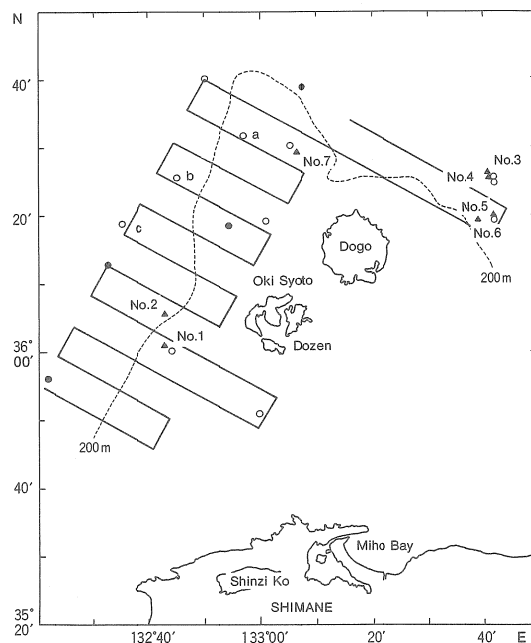


Fig. 1 Map of survey area with the transect lines and locations of the trawl operations (▲) or oceanographic observation (Nansen bottle ●, XBT ○).

Table 1. The operation conditions of the quantitative echo sounder

Power	1	kW
Frequency	88	kHz
Pulse duration	1.8	ms
Equivalent beam width	0.019	
Absorption coefficient	25.4	dB/km
Gain constant	89.5	dB
Time varied gain	20	log R
Attenuator	20	dB
Threshold	20	dB
Sound velocity	1500	m/s
Vessel speed	6.0	knots
Integrating period	0.1	mile

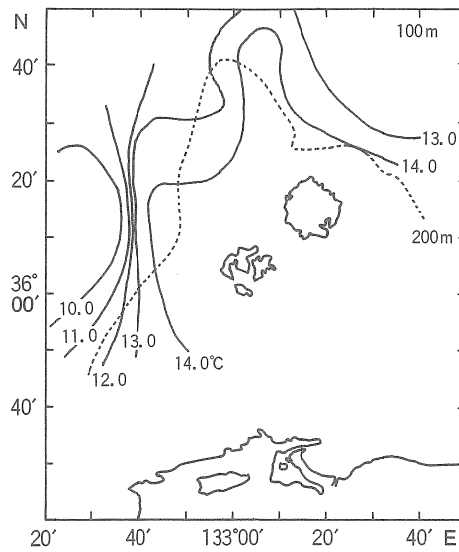
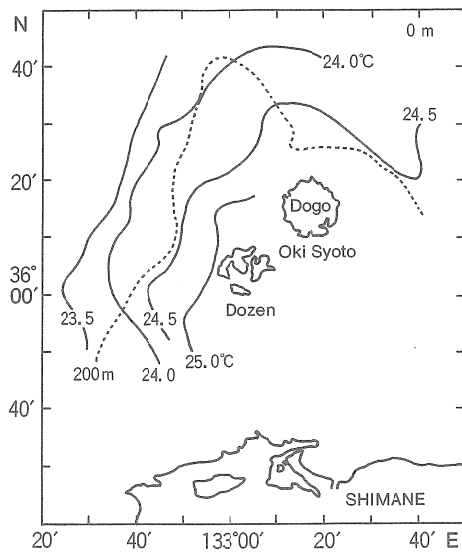
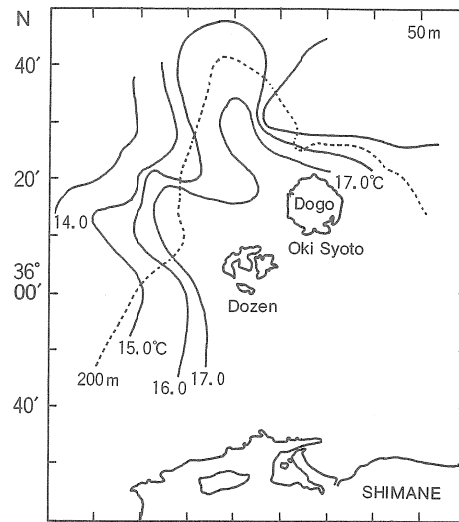
の網口がDSLを通過するよう船速と曳網深度を調整した。採捕したキュウリエソは5%のホルマリン液で固定して、実験室に持ち帰り体長、体重、胃内容物重量を測定した。

3 結果及び考察

3.1 水温分布

転倒温度計とXBT観測によって得られた水温をもとに、

表層、50、100、150、200mの層別等温線図を作成しFig. 2に示した。この図に示すように各層における等温線には、200m等深線の形が反映され、暖水が隠岐島を包むように北方および東方へ張り出していることがうかがえる。またこれらの海域と西方海域の間において水温構造は大きく様相が異なり、温度勾配は隠岐島北東海域で緩やかであるのに対し西方海域の200m等深線より沖合で急峻となっている。キュウリエソの昼間の生息水温である1.1~6.5℃⁹⁾



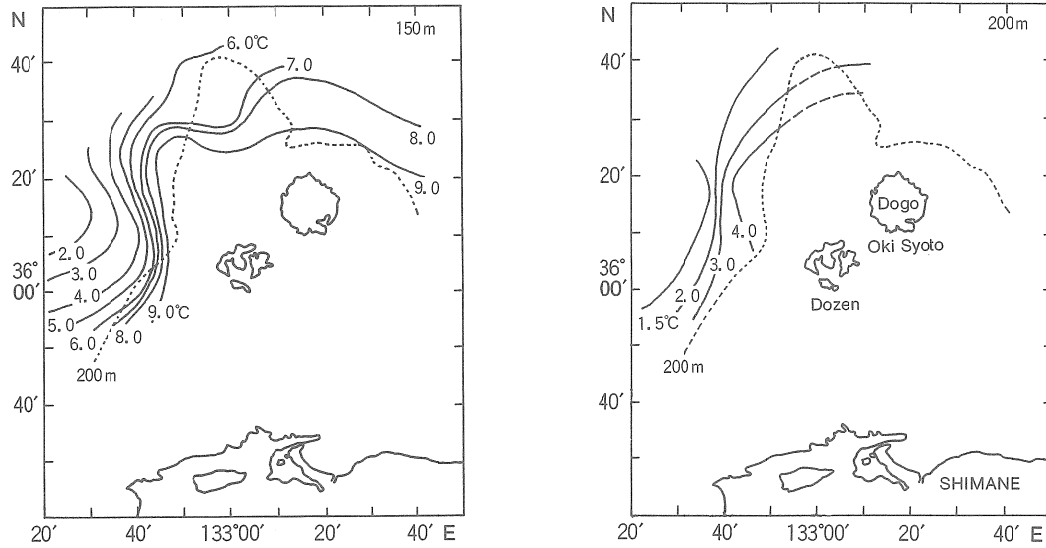


Fig. 2 Distributions of water temperature on the surface, 50 m, 100 m, 150 m and 200 m sections.

の下限に近い2.0°Cの水温帯は北東海域ではみられないが、西方海域では150m層にみられる。

さらに、両海域における水温は、表層では23.5~25.0°C、50m層では14.0~17.0°C、100m層では10.0~14.0°C、150m層では2.0~9.0°C、200m層では1.5~4.0°Cとなり、同一層における温度差は150m層において最も大きく7.0°Cとなっている。

3.2 DSLを構成する生物の確認

観測海域の全域にわたり表層付近から底層におよぶ様々な層においてDSLが観測された。そこで、DSL主要構成種を確認するため、中層トロールによりDSLの出現層別に約30分間、3~4ノットの船速で曳網を試みた。なお曳網に際しては、DSL層を通過するよう、ワープの長さや船速を

Table 2. Catch by respective tows of midwater trawl

No.	Date	Hour	Sampling		Catch (kg)		
			Depth range (m)	Vessel speed (knots)	<i>Mauroliticus muelleri</i>	<i>Thamnaconus modestus</i> (GÜNTHER)	<i>Enoploteuthis chunii</i> ISHIKAWA
1	July 29	20:12-20:32	55-64	3.5-4.0	7.5	4.9	0.2
2	29	21:30-22:02	30-60	3.6-4.5		217.8	3.36
3	30	13:15-13:45	125-150	3.3-4.4			
4	30	14:20-14:55	150-206	2.5-3.0	2.5		
5	30	19:12-19:45	27-65	4.0-4.8	66.5		0.17
6	30	20:15-20:53	50-60	3.5-4.3	1.0	2.7	
7	31	08:47-09:55	179-189	3.0-3.2	72.0		

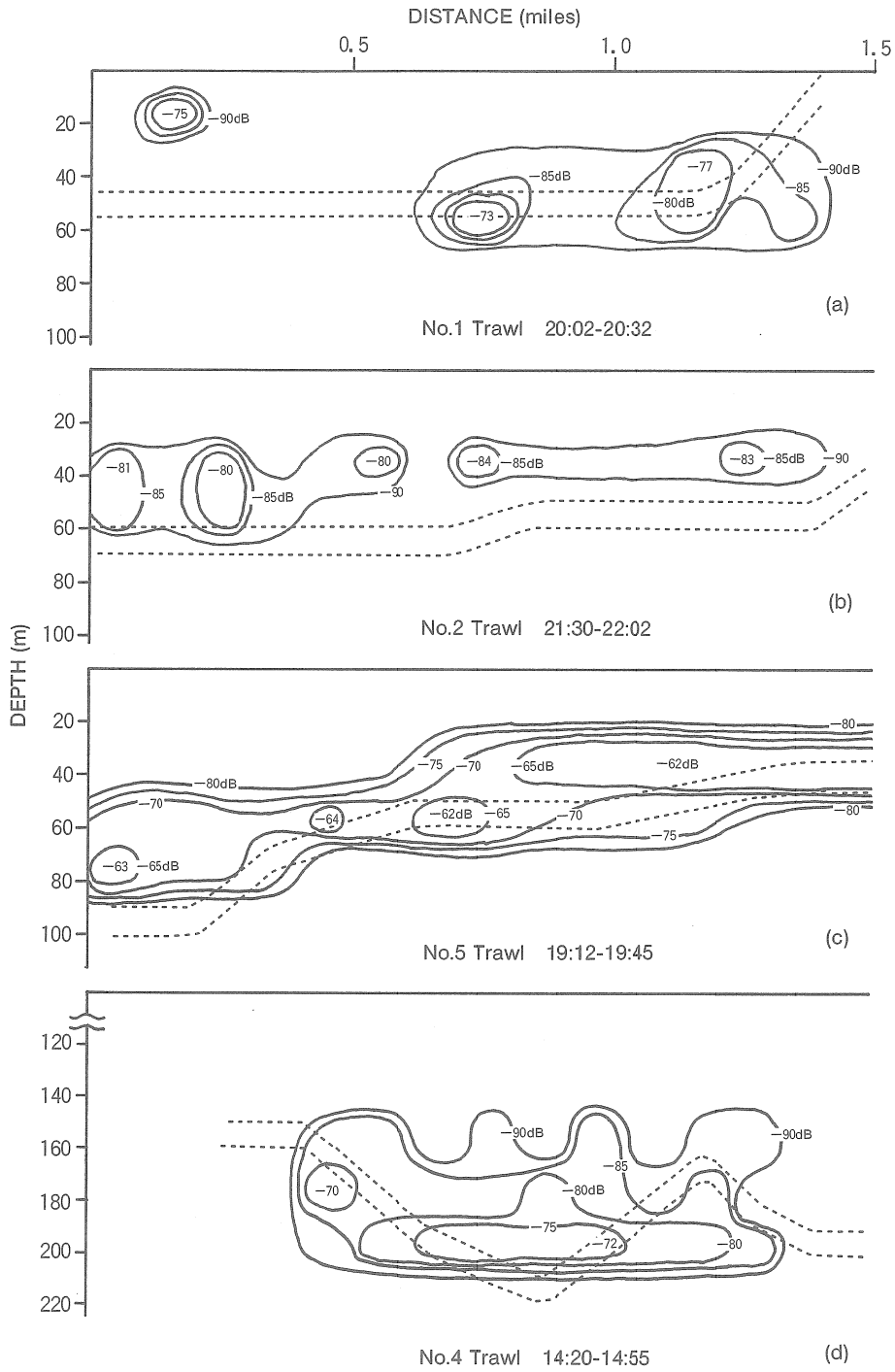


Fig. 3 Contour map of volume backscattering strength and track of midwater trawl.

調整した。これらの曳網による採捕結果を Table 2 に示す。また、曳網中に計測した音響データから等 SV 値曲線図（積分周期 0.1 マイル、積分層 20 m 毎）を作成し、これにネットレコーダーによる網口の軌跡を加え Fig. 3 にその代表例を示す。なおこれらの曳網の対象とした DSL は次のとおりである。

- No. 1, Fig. 3(a) に示した日没直後に浮上した DSL
- No. 2, Fig. 3(b) 直後の音響強度が弱くなってきた DSL のさらに弱い部分
- No. 3, Fig. 3(c) に示した DSL の上部にみられた音響強度が弱い部分
- No. 4, Fig. 3(c) に示した昼間における深層の DSL
- No. 5, Fig. 3(d) に示した日没直前の浮上過程にある音響強度の強い DSL
- No. 6, Fig. 3(d) 後の DSL が分散し音響強度が弱くなった部分
- No. 7, 日出後の深層に降下した DSL

これらの図・表等に示すように、DSL をはずして曳網した場合 (No. 2) には他魚種が採捕されるが、音響強度が一定以上である DSL を曳網した場合には確実にキュウリエソが採捕され、DSL の主構成種はキュウリエソであることが確認された。濱野⁹⁾は記録紙上で得られる積分曲線を用い (0.1 マイル毎)、キュウリエソの昼間における生息音響強度が -68 から -48 dB の範囲にあり、平均は -59.0 dB ± 4.9 であると指摘した。今回の結果もそれらを裏付ける。

3.3 キュウリエソの組成

DSL の出現層によって、その成因となるキュウリエソの成長段階が異なるかどうかを調べるため、それぞれの曳網によって得られた試料から 50 尾づつを無作為に抽出し、体長、体重、胃内容物重量を計測し Fig. 4 に示した。この図では上から曳網番号順に日没直後の表層付近 (No. 1)、昼間の深層 (No. 4)、薄明時浮上中 (No. 5)、その後の表層付近 (No. 6)、降下安定後の深層 (No. 7) において採捕された個体となっている。

Fig. 4 に示したように、採捕された個体の体長、体重のモードには曳網ごとに若干の違いがみられたが、標準体長は 38.0 ~ 53.8 mm (平均 46.47 mm)、体重は 0.77 ~ 1.74 g (平均 1.21 g) であり、曳網深度とモードの関係は認められなかった。しかし、今回用いたカバーネットの目合は 20 mm であったので、漁具による選択採捕の影響があり小型個体の分布には言及できない。

有機物の鉛直的運搬者としての機能に関して考察を加え

る基礎資料として、日周期鉛直移動と摂餌活動との関係を示すため、トロールによって採捕された試料の胃内容物重量を計測した。なお、No. 6 トロールによって採捕されたキュウリエソは、ウマズラハギ (*Navodon modestus*) との混獲のために損傷が激しくその胃内容物重量の計測が出来なかった。Fig. 4 の右上に示したように、No. 1 の表層付近の群が最も多く摂餌しており 1 個体当たり 0.018 g、次に浮上過程の No. 5 群で 0.008 g、No. 4 と No. 7 の深層群が最も少なく、それぞれ 0.004 g (空胃個体 9) と 0.003 g (空胃個体 4) であった。このように、採捕時間と採捕層における胃内容物重量の違いは表層付近と深層において顕著に見られた。この深度による差は生息水深から引きあげられた個体が胃内容物を吐き出したためでなく、しかも日没直前に浮上して摂餌したキュウリエソが、日出前より降下して他の魚類等に捕食されるとすれば、有機物の鉛直的運搬者としての役割が示唆される。

3.4 キュウリエソの分布

隠岐島周辺海域にキュウリエソが多量に生息していることは、由木⁶⁾伊東¹⁰⁾により報告されている。また、川口は隠岐島周辺海域における 200 m 等深線付近の海域において DSL の主要構成種はキュウリエソである^{5,7)}とし、濱野¹¹⁾は隠岐島周辺のモデル海域における全生物量の 85% がキュウリエソによって占められていたと報告した。今回の音響調査の結果、調査海域のほぼ全域において DSL が確認され、DSL を対象とした曳網によって主としてキュウリエソが採捕された。そこで調査海域全域の音響散乱体をキュウリエソと仮定し、調査線 0.1 マイル毎に得られた SV 値を 1 マイル毎の区間における平均値とし、各区間における単位海表面面積当たりの重量密度 ρ_w (g/m²) を次式により求めた。なお、TS はほぼ同型の魚類であるハダカイワシ (*Diaphus* sp.) に関する値¹²⁾ (-60.0 dB) を用いた。

$$\rho_w = \Delta R \times 10^{((SV - TS)/10)} \times w$$

$$\Delta R : 190 \text{ m (生息水深)}$$

$$w : 1.21 \text{ g (キュウリエソ 1 尾の平均体重)}$$

得られた単位海表面面積当たりの重量密度を 0 ~ 5, 5 ~ 10, 10 ~ 50, 50 ~ 100, 100 g/m² 以上の 5 段階で表示し、その結果を魚探機から求めた等深線図に重量し Fig. 5 に示した。この図より高密度域の分布に関して次の 2 つの知見が得られた。

- (1) 水深との関係……水深 150 ~ 250 m の海域、特に 200 m 等深線よりやや沿岸よりの海域に集中的にみられた。
- (2) 水温構造との関係……比較的水温が高く海底地形の変

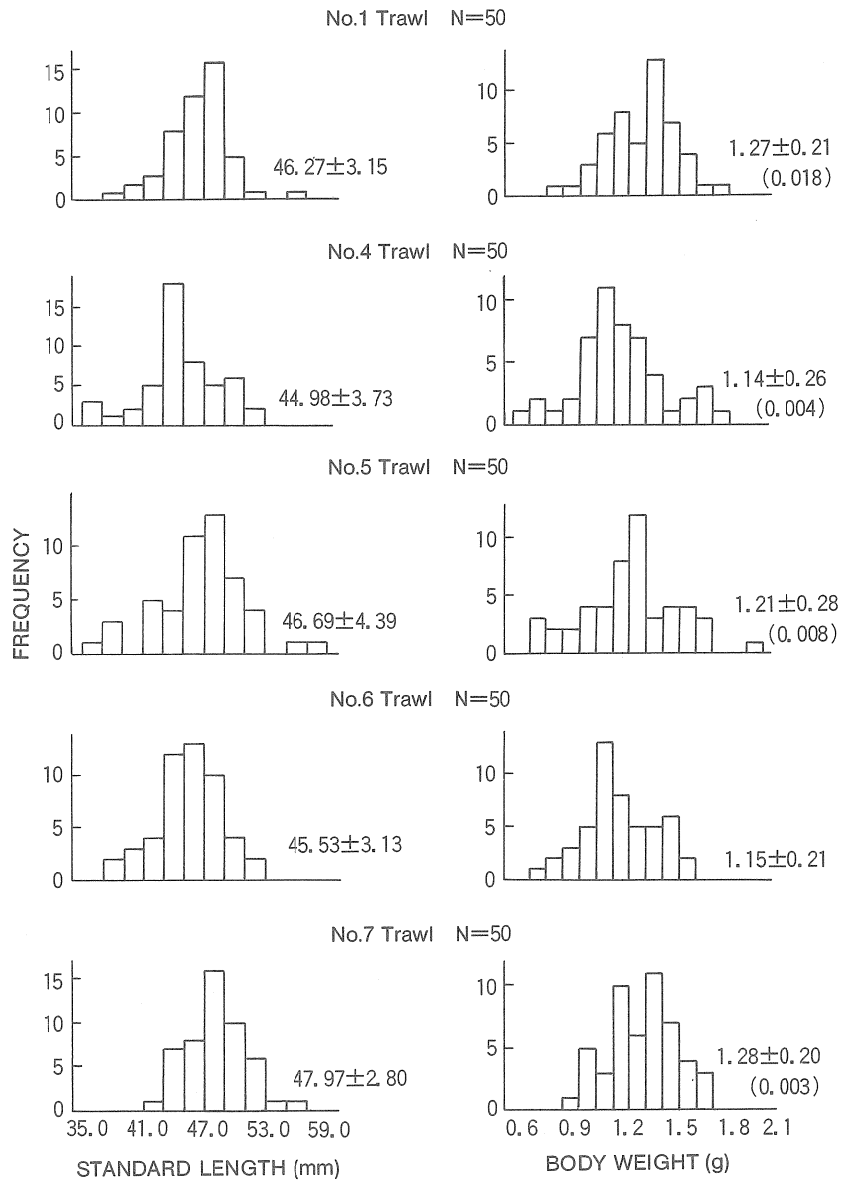


Fig. 4 Size compositions of *Maurolicus muelleri* caught with midwater trawl.

Note: The numerals without parenthesis indicate the average and standard variation, and the weight of stomach contents are enclosed by parenthesis.

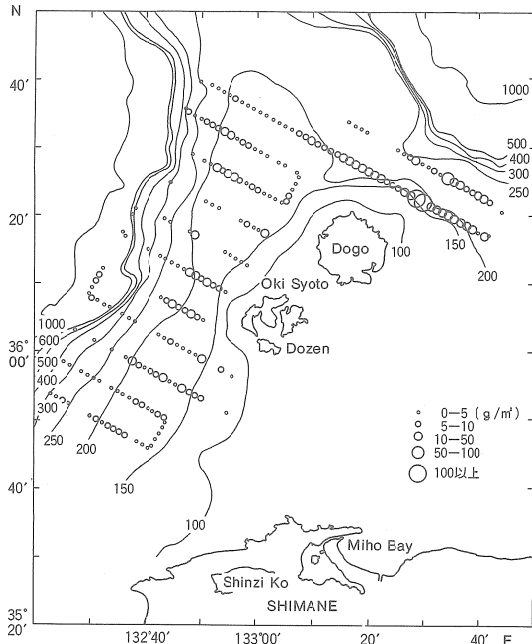


Fig. 5 Estimated distribution of biomass. Open circle (○) indicates the mean density per mile (g/m^2).

化が緩やかな隠岐島北東海域に集中的に見られたが、水温が低く海底地形の変化が急峻な西方海域に少なかった。このように、重量密度の分布は地域による変動が顕著であり、3.1で述べた水温分布との関係が示唆された。

次にキュウリエソの鉛直分布構造と各地点の水深との関係を次の方法によって求め、Fig. 6に示した。

- (1) 調査線を0.1マイルの区間に分ける。
- (2) 各区間における深度20mごとの体積後散乱強度 (SV 値) を求める。
- (3) 区間を魚探機から求めた水深をもとに、水深50mまたは100mごとの7グループに分ける。
- (4) (2)で求めた各層のSV 値の平均をグループごとに昼夜別に求める (グループ内SV 値の層別平均)。

上図が昼間、下図が夜間における結果を示している。この図から次のことがわかる。水深が浅い区間ではほぼ昼夜とも海底付近に高いSV 値が見られるが、150m以深の区間では昼間180mに分布していたものが夜間には表層付近に分布するようになっている。特に水深200~300mの区間では、

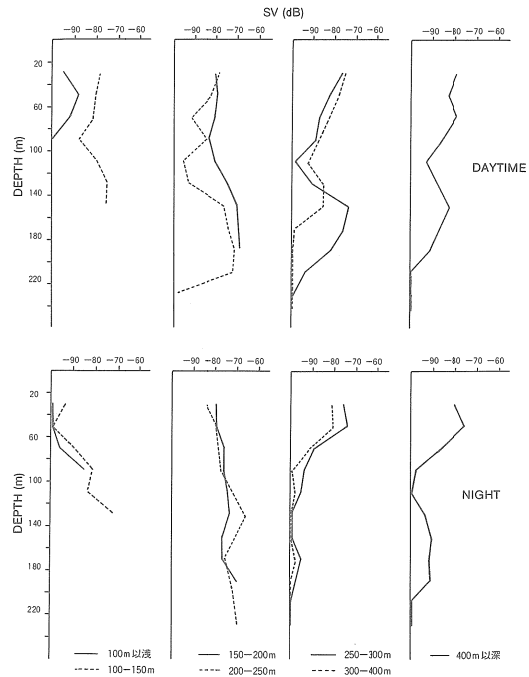


Fig. 6 Vertical distribution of the mean backscattering strength, in relation to the depth of the locations. upper: daytime lower: night

昼間140~220m層にあった高SV 値帯が夜間には40~60m付近へと変化している。また、400m以深の区間でも同様の傾向がみられた。一方、昼間のSV 値の鉛直分布を見ると、150~200m帯から400mの区間へと深所に向かうにしたがって、すなわち、沿岸から沖合へ向かうにしたがって、高SV 値層は水深と反対に200m, 160m, 140m層へと変化していることが分かる。

上記のように、水深グループによってSV 値の昼間における分布層が異なることがわかった。次にこの現象と水温の鉛直分布構造の関係について考察を加える。各水深グループにおける代表的な水温鉛直構造はFig. 7に示すように次のとおりである。水深がもっとも浅い200mのグループ(a)における底層水温はほぼ4.2°Cであるが、この水温は、200~250mグループ(b)と300m以深のグループ(c)ではそれぞれ160mと140m層でみられる。この結果は高SV 値層の分布の変化が等水温帯の深度変化とほぼ一致することを意味する。したがってこれらのことからキュウリエソの昼間における分布層と水温の間に密接な関係があることが示唆された。

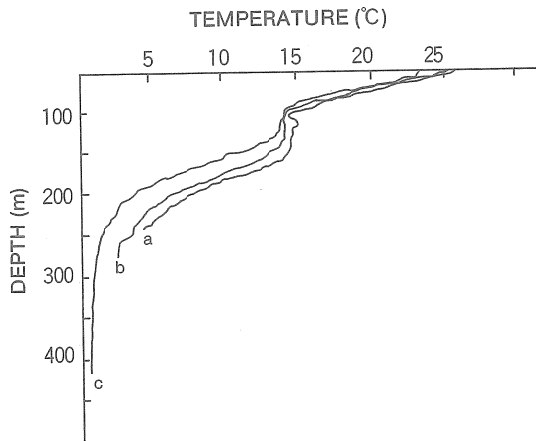


Fig. 7 Lowering trend of water temperature according to the depth of stations observed in the vertical distribution in the zone deeper than the thermocline.

3.5 キュウリエソの日周期鉛直移動

キュウリエソは日周期鉛直移動をすることがよく知られているが、鉛直分布の日周期変化を定量的に調べた研究はみられない。そこで、鉛直移動を調査海域全体にわたって定量的に検討するため、海域全域における積分層毎の平均重量密度 (g/m^3) を常用日没時を基準として昼夜に分けて求め、Fig. 8 に示した。昼夜における重量密度の鉛直分布を比較すると、40~180m層の間で顕著な違いがうかがえる。40~140m層の間における昼間の重量密度は $0.004\sim 0.018\text{ g}/\text{m}^3$ と低く、特に40~120m層の間で極めて低くなっている。一方、夜間における密度は一般に昼間における密度より高く、100~120m層の間で $0.043\text{ g}/\text{m}^3$ となり、特に120~140m層の間では $0.105\text{ g}/\text{m}^3$ と極めて高くなっている。キュウリエソの夜間の生息深度とされる深度20~140m^{5,9)}における平均重量密度を求めると、昼間は $0.010\text{ g}/\text{m}^3$ であったが夜間には $0.037\text{ g}/\text{m}^3$ となり、その差は $0.027\text{ g}/\text{m}^3$ におよぶ。

次に、140~180m層においては、昼間 $0.057\sim 0.060\text{ g}/\text{m}^3$ であったものが、夜間には $0.022\sim 0.034\text{ g}/\text{m}^3$ に低下していた。このように中・深層においては昼間の分布密度が夜間のそれを大きく上まわっていた。この結果隠岐島周辺海域で重量密度の鉛直分布は昼夜で大きく異なっていることが分かった。したがって今回の音響調査に基づく重量密度の昼夜変化から、キュウリエソが20~180m層の間において顕

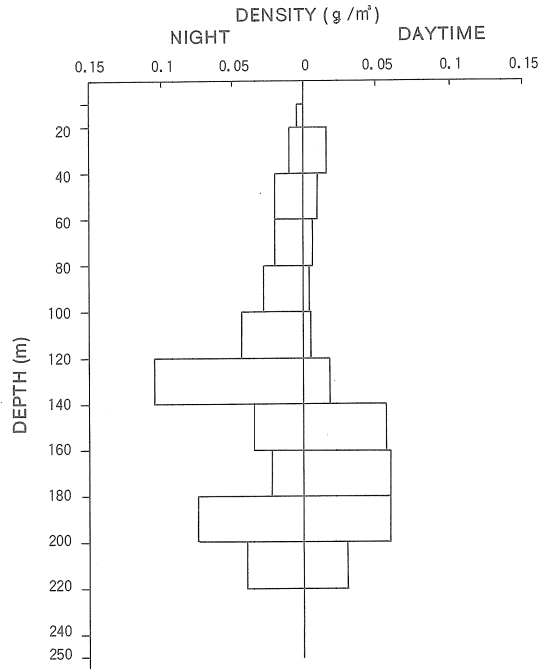


Fig. 8 Comparison of the vertical distribution of *Maurolicus muelleri* in the daytime with that at night (all the results for 0.1 mile interval are classified into either those of daytime or at night, and the depth and time averages are illustrated).

著な日周期鉛直移動を行っていることが定量的に明らかになった。しかし、180m以深の層で昼夜における重量密度に変化が認められなかった。これは、夜間の調査線が暖海域の200m等深線付近となり、他魚種が含まれた事も要因の一つと考えられるので、今後さらに検討する必要がある。

以上のようにキュウリエソの鉛直分布に関して検討してきたが、昼間におけるキュウリエソの生息水深は、重量密度の鉛直分布と深度206mにおける採捕結果によると、140~220m層の間であると推定され、今回の結果はキュウリエソの昼間の生息中心が昼間140~223mであるとの報告⁹⁾と一致した。重量密度を昼夜に分けて図示すると、夜間120~140m層に高密度層が形成されているようにみられるが、夜間をさらに時間に分けると次のような変化をすることがわかる：キュウリエソの行動は日没前より浮上を開始し、表層付近に強い音響強度層を形成し、そこでキュウリエソが採捕される (Fig. 3(a),(b); Table 2-No. 1, 5)。しかし、時間の経過と共に上層の音響強度は弱くなり (Fig. 3(b)), 表

層付近におけるキュウリエソの採捕はみられなくなる (Table 2-No. 2, 6)。この間には120~140m層には強い音響強度は見られなかった。しかし、その後この層に強い音響強度が見られるようになる。この現象から浮上群の分散、降下がうかがえた。以上のことから、夜間におけるキュウリエソ成魚の生息層は夜間表層近くまで浮上した群が日没後分散し^{5,6)}、120~140m層を中心に滞留していると推察された。

4 要 約

キュウリエソの分布と日周期鉛直移動について、通常魚探機による定性的な報告はみられるが定量的な報告はみられない。そこで、1986年7月25日から7月31日の間、計量魚探機と中層トロールを用いて、隠岐島周辺海域におけるキュウリエソの分布と日周期鉛直移動を定量的に検討したの知見を得た。

1. キュウリエソは大陸棚周辺の水深150~250m海域に集中的な分布が見られた。
2. 比較的水温が高く海底地形の変化が緩やかな隠岐島北東海域では高密度域が形成されたが、水温が低く海底地形の変化が急峻な西方海域では分布が少なかった。
3. 体積後方散乱強度 (SV 値) の鉛直分布と水温の鉛直構造の関係からキュウリエソの鉛直分布が水温の鉛直構造と密接な関係があることが明らかにされた。
4. 昼夜別重量密度の鉛直分布および中層トロールによる結果から、キュウリエソの昼間の生息層は140~220m、夜間は一度水面付近まで浮上するものの中心は120~140mであることがわかった。
5. 重量密度の鉛直分布を昼夜で比較した結果、140m以浅を境として昼夜によって重量密度が大きく異なり、Fig. 8 で示したようにキュウリエソの日周期鉛直移動が定量的に明らかにされた。
6. 胃内容物重量には生息層による違いがみられ、上層群において最も多く、次に浮上過程の群で、深層群では最も少ない。この現象が揚網による吐き出しの影響でないとすれば、摂餌活動と日周期鉛直移動との関係を示唆すると考えられる。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり御校閲いただいた水産大学校教授前田 弘博士、水産大学校練習船耕洋丸乗組員諸氏に深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 川口弘一：日本プランクトン学会報, **16**, 63-66 (1969).
- 2) 川口弘一：海洋プランクトン (丸茂隆三編), 東京大学出版会, 東京, 1974, pp.173-189.
- 3) J. Gjøsaeter・川口弘一：世界の中層性魚類の資源量に関する総説 (川口弘一訳), 海洋水産資源開発センター, 東京, 1981, pp.1-157.
- 4) 沖山宗雄：日水研報告, **23**, 21-53 (1971).
- 5) 川口哲夫：鳥取県水産試験場報告, **17**, 37-54 (1971).
- 6) 由木雄一：日水誌, **48**, 749-753 (1982).
- 7) 川口哲夫：鳥取県水産試験場報告, **17**, 55-61 (1971).
- 8) K. A. Johannesson and R. B. Mitson：水産音響学 (柴田恵司・見元孝一訳), 海洋水産資源開発センター, 1985, pp.149-171.
- 9) 濱野 明：魚類マイクロネクトンの資源量評価のための音響的調査手法に関する研究, 学位論文, Dissertation, 東京大学, 1991, p163.
- 10) 伊東祐方・笠原昭吾・池原宏二：水産資源の分布・消長の及ぼす冷水塊の影響に関する研究報告書, 13-36, 日水研 (1967).
- 11) 濱野 明・内田和良・武田靖昭：平成2年度水産工学研究推進会議報告書, 119-122 (1990).
- 12) 宮野鼻洋一・石井 憲・古澤昌彦・津久井文夫：水工研技報 (漁船工学), **6**, 111-122 (1985).