HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 鳥取沖におけるマアジTrachurus Japonicas当歳魚の音響調査に用いる2周波数（38kHz，120kHz）の有効性の比較 |
| Author(s) | 広瀬, 美由紀; 志村, 健; 向井, 徹 |
| Citation | 水産工学, 54(3), 163-172<br>https://doi.org/10.18903/fisheng.54.3_163 |
| Issue Date | 2018-02 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/68584 |
| Type | article (author version) |
| File Information | FisheriesEngineering54_3.pdf |

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

# 鳥取沖におけるマアジ *Trachurus japonicus* 当歳魚の音響調査に用いる2周波数（38 kHz, 120 kHz）の有効性の比較

広瀬美由紀[1※]・志村　健[2]・向井　徹[3]

# Comparison of the effectiveness of acoustic measurements between 2 frequencies (38 kHz, 120 kHz) for monitoring of 0+ Japanese jack mackerel, *Trachurus japonicus*, off the Tottori coast in the Sea of Japan

Miyuki HIROSE,[1※] Tsuyoshi SHIMURA[2] and Tohru MUKAI[3]

---

[1] Former Lecturer, Chonnam National University, San 96-1, Dundeok-dong, Yeosu-shi, Jeollanam-do, 550-749, Republic of Korea（前　韓国全南大学校　〒550-749 韓国麗水市屯徳洞山 96-1）

[2] Tottori Prefecture Department of Agriculture, Forestry and Fishery Development Bureau Fishery Division, Higashi-machi 1-220, Tottori, 680-8570, Japan（鳥取県農林水産部水産振興局水産課　〒680-8570　鳥取県鳥取市東町1丁目220）

[3] Faculty of Fisheries Sciences Hokkaido University 3-1-1, Minato-cho, Hakodate, Hokkaido, 041-8611, Japan（北海道大学大学院水産科学研究院　〒041-8611 北海道函館市港町3丁目1-1）

※ Tel:050-5891-2431, Fax:無し, miyukihirose-fujino@frontier.hokudai.ac.jp

## 1. 緒 言

マアジ *Trachurus japonicus* は，主に東シナ海，日本海南西部および関東以西の太平洋で漁獲され，日本や日本周辺の諸外国における重要な水産資源として利用されている。本種は，我が国において太平洋系群と対馬暖流系群の 2 系群に分けられ漁獲可能量（Total Allowable Catch：TAC）が定められている[1)]。TAC は資源評価に基づいて決定される生物学的許容漁獲量（Allowable Biological Catch：ABC）を基に，社会的，経済的要因を考慮して決定される。対馬暖流系群のマアジの ABC は，年齢別の漁獲尾数を基礎データとするコホート解析（Virtual Population Analysis：VPA）により推定された資源量を基に決められている[1)]。しかし，マアジのように当歳魚や 1 歳魚が漁獲の主体となる魚種において，漁獲統計資料に頼る VPA では若齢魚の資源量の推定は不確実性を伴うことが指摘されている[1)-4)]。近年は，この欠点を補うための手法として，中層トロール網による面積密度法を用いたマアジ当歳魚の現存量推定法が確立されつつある[3)]。対馬暖流系群を対象とする中層トロール網によるマアジ当歳魚の現存量調査（新規加入量調査）は，2003 年以降，毎年 5 月下旬から 6 月中旬に，対馬海峡から隠岐諸島を経て鳥取沖の大陸棚およびその縁辺域において行われている。調査範囲が広いため，日本海区水産研究所，西海区水産研究所，島根県水産技術センターおよび鳥取県水産試験場により共同で実施されており[3)]，鳥取県水産試験場は隠岐諸島から鳥取沖に至る海域を担当している。この手法は，漁獲統計資料に頼ることがないため，漁獲加入前に当歳魚の現存量を推定可能である。しかし，中層トロール網の曳網深度が対象魚種の分布深度と異なった場合は，実際の分布密度を反映しない。

そのため，調査時には安木[5]の調査報告を参考に，周波数38 kHzまたは50 kHzの低周波数のエコーグラム上に現れる米粒状の反応をマアジ当歳魚の反応と推定し，中層トロールの曳網層を決定している。しかし木所ら[6]は，日本海区水産研究所の担当海域において，米粒状の反応が周波数38 kHzのエコーグラム上で確認できず，音響データによらず曳網調査点を適宜設定して調査を行わなければならなかったと報告している。また志村ら[7]は，鳥取沖においてマアジの分布深度とされる30~50 mには，周波数38 kHzのエコーグラム上に層状の反応が現れ，マアジ当歳魚の反応を判別することは困難であったと報告している。このように，魚類の音響資源調査で主に用いられている周波数38 kHzのエコーグラム上で，体長40 mm程度のマアジ当歳魚の反応が容易に判別できない場合がある[6)-8)]。そのため，中層トロール調査以外の手法として，広範囲を短時間で調査可能という利点がある計量魚群探知機（以下，計量魚探機とする）を用いた音響資源調査も試みられているが[7),8)]，未だ現存量推定の実現には至っていない。マアジ当歳魚の分布深度は30~50 mであり，対馬暖流の影響を大きく受けていると報告されている[6),9)]。対馬暖流は黒潮の分流であり，東シナ海で発生する表層性魚類の幼稚魚および動物プランクトン等を日本海まで輸送する[9)-13)]。そのため，マアジ当歳魚はその他の海洋生物と同所的に分布しており，マアジ以外の海洋生物が計量魚探機で探知され，判別を困難にしている可能性がある。

一方，中村ら[14]は，マアジ当歳魚（尾叉長：7.5～12.9 cm）の音響散乱特性を実測と音響理論モデルにより検討し報告している。その中で，マアジ当歳魚1個体からの散乱強度であるターゲットストレングス（以下，TSとする）は，周波数120 kHzでは38 kHzよりわずか

に小さくなるが，計量魚探機を用いてマアジ当歳魚の現存量を調査する際には，共振の影響をほとんど受けない周波数 120 kHz 以上の高周波数が適していると述べている[14]。しかし，これまでに周波数 120 kHz を用いたマアジ当歳魚の音響資源調査は行われておらず，調査海域においてマアジ当歳魚の反応を判別できるかは不明である。

そこで本研究は，鳥取県水産試験場が 5 月下旬から 6 月中旬に行っている対馬暖流系群のマアジ当歳魚の新規加入量調査において，周波数 38 kHz および 120 kHz を備えた計量魚探機で音響データを収集し，安木が示したマアジ当歳魚と推測される米粒状の反応[5]（以下，米粒状の反応とする）を指標とする音響資源調査における両周波数の有効性について検討した。

## 2. 材料と方法

### 1）生物採集

調査は，鳥取県水産試験場の試験船第一鳥取丸（199t）を使用し，2014 年 6 月 17 日から 19 日，23 日および 2015 年 6 月 22 日，24 日の日中に行った。調査点を Fig. 1 に示す。図中の○は 2014 年（8 点），●は 2015 年（3 点）の調査点である。のべ 11 点の各調査点においては，中層トロール（NRT-32=K1：ニチモウ社製，設計上の網口高さ×幅：10 m×10 m，コッドエンド目合 7 mm）を用いて 30 分間の曳網を行った。中層トロール曳網中の網深度は，網に装着した漁網監視装置 ITI（SIMRAD 社製）を用いて計測した。曳網深度層は，マアジ当歳魚と推測される米粒状の反応が周波数 38 kHz のエコーグラムで確認出来た場合にはその深度層を，確認できなかった場合にはマアジが分布するとされる 30～50 m の深度層[15]を約 3 kt で水平に曳網した。採集されたマ

Fig.1

アジ当歳魚は，100 個体を上限に個体数および尾叉長（mm）を計測し，その他の魚類およびクラゲ類は個体数のみ計測を行った。また，直径 80 cm のリングネット（目合 500 μm）（以下，リングネットとする）による鉛直曳網を計 10 回行った。この曳網は，本調査海域でマアジ当歳魚と同所的に生息する生物種の確認を目的とし，定量調査は行わなかった。調査点は Fig. 1 の☆で示した地点であり，2015 年に St.04 で中層トロール曳網を行った 2 日後に同一地点で行った。リングネットの目的深度は，周波数 38 kHz と 120 kHz のエコーグラムを比較して決定し，海面までの巻き上げ速度は 0.5 m/s とした。採集したサンプルは，全長または長径のみ計測し，個体数計測は行わなかった。

**2）計量魚探機による音響データの収集と解析**

中層トロールおよびリングネット曳網時は，計量魚探機による音響データの収録を行った。用いた計量魚探機は周波数 38 kHz と 120 kHz を搭載した KFC3000(ソニック社製）であり，パルス幅を 0.6 ms とした。周波数 38 kHz は，主に魚類の音響調査で使用される周波数であり，マアジ当歳魚の中層トロール調査においては分布深度を把握する目的で使用されている[3),6),7)]。一方，周波数 120 kHz は，動物プランクトンの反応がエコーグラム上に現れやすく，探知可能距離が周波数 38 kHz より短い周波数であるが，中村ら[14)]がマアジ当歳魚の音響調査に適すると報告した周波数である。両年とも調査前に，隠岐諸島の浦郷湾において直径 38.1 mm のタングステンカーバイド球を用いた計量魚探機の較正を行い，Table 1 に示す較正データを計量魚探機に入力した。得られた音響データを，Echoview ver.7.134（Myriax 社製）を用いて解析し，周波数 38 kHz と 120 kHz の体積後方散乱強度（以下，SV とする）を求めた。

Table-1

ここでSV（dB）は，単位体積当たりの超音波の散乱強度である。その線形値Svは，TSの線形値Tsと個体数密度 $n$（個体数/$m^3$）の積であり，下記の式で定義される。

$$SV = 10 \log Sv$$

$$= 10 \log n \cdot Ts$$

$$= TS + 10 \log n \qquad (1)$$

複数の周波数で水中の同じ範囲を探知している場合，そこに存在する生物の個体数密度 $n$ は周波数によらず等しいため，SVの周波数特性とTSの周波数特性は等しくなる。一般に，魚類では低周波数と高周波数でTSはほぼ同じになる傾向がある。一方，小型の動物プランクトンは，高周波数のTSが低周波数のそれよりも大きくなる。近年では，これらの特性を利用して異なる周波数におけるSVの差を用いた周波数差法による生物種の判別が行われている[16)-20)]。そこで，2周波によるマアジ当歳魚の判別の可能性を検討するため，周波数120kHzの平均SVと周波数38kHzの平均SVとの差分（以下，$\Delta SV_{120-38}$ とする）を求めた。平均SVを求めた積分間隔は，水平方向2nm，深さ方向1mを1セルとし，中層トロールの曳網層に相当する部分のセルについて差分を計算した。

また，2周波それぞれによるマアジ当歳魚の現存量推定の可能性を検討するために，中層トロールで採集されたマアジ当歳魚の個体数密度 $n$（個体数/$m^3$）と計量魚探機で得られた平均SVとの関係を調べた。中層トロールで採集されたマアジ当歳魚の個体数密度 $n$ は，中層トロールの曳網距離（対地移動距離）と網口面積を乗じた推定濾水体積1 $m^3$ あたりの採集個体数である。

網口面積は，網口高さと袖網間隔をそれぞれ短径，長径とする楕円に近似した。また，各周波数の平均 SV は，距離で 2 nm，深さ方向ではマアジ当歳魚が分布する深度 30～50 m の深度幅 20 m の積分層として平均 SV を求めた。ここで解析に用いたデータは，船速が安定し超音波潮流計（以下，潮流計とする）や測深機等の他の音響測器の影響が見られなかったデータである。

## 3. 結果

### 1）中層トロールによる採集生物

各中層トロール調査点で採集された漁獲物を Table 2 に示す。マアジ当歳魚は全調査点で採集され，2014 年は計 16,171 個体（尾叉長：18.1~66.2 mm，平均 34.79 mm），2015 年は計 2,035 個体（尾叉長：14.6~59.8 mm，平均 34.31 mm）採集された。その他には，イボダイ *Psenopsis anomala* 計 42 個体，カイワリ *Carangoides equula* 計 39 個体，ミズクラゲ *Aurelia aurita* 計 13 個体，ハダカゾウクラゲ *Pterotrachea coronate* 計 48 個体が採集された。また，2014 年の調査点 St.05 および 2015 年の St.02，St.03，St.04 において，クリイロカメガイ *Cavolinia uncinata* の入網が確認された。クリイロカメガイについては，2014 年の調査中盤までは遊泳する生物と認識しておらず，入網の有無をチェックしていなかった。また，本種は中層トロールで採集された生物の中で最も小型であり，大部分は中層トロールの網目から抜けていると判断したため，数千個体以上と明らかに大量に採集された場合にも入網の有無のチェックのみ行い，個体数計測は行わなかった。そのため，入網の有無が不明な調査点はハイフン（-）で示し，入網が確認された調査点を○で示した。

両年で採集されたマアジ当歳魚の尾叉長のヒストグラムを，Fig. 2 に示す。両年ともヒストグラムは単峰型となり，そのモードは 35~40 mm であった。 Fig.2

**2）リングネットによる採集生物**

リングネットによる鉛直曳網で採集された生物を，Table 3 に示す。表は左からリングネットの目的深度（m），サンプルの種，体長または長径である。これより，海面から深度 10 m では珪藻類 Bacillariophyceae とオタマボヤの一種 *Oikopleura* spp.，ツリガネクラゲ *Aglantha digitale* やウミタル Doliolida などのゼラチン質動物プランクトンが分布していたことがわかる。それ以外の海面から 20 m，40 m，70 m の各層では，海面から 10 m で採集された生物の他に，クリイロカメガイとカイアシ類 Copepoda が分布していた。 Table-3

**3）計量魚探機で得られた音響データ**

**（1）マアジ当歳魚が採集された時のエコーグラムの特徴**

マアジ当歳魚が採集された時の SV のエコーグラムの代表例を Fig. 3 に示す。Fig. 3A はマアジ当歳魚が全調査点のうち最も多く（7,849 個体）採集された 2014 年 St.01（6 月 17 日 13 時 22 分~52 分）の 30 分間のエコーグラムである。また，Fig. 3B は，マアジ当歳魚が 94 個体採集された 2015 年 St.04（6 月 22 日 16 時 22 分~52 分）の 30 分間のエコーグラムである。それぞれの上図は周波数 38 kHz，下図は周波数 120 kHz である。エコーグラムの横軸は時間，縦軸は深度であり，SV のスレッショルドは -70 dB である。また，エコーグラム中に中層トロールの曳網範囲を黒枠で示した。マアジ当歳魚が最も多く採集された時のエコーグラムである Fig. 3A では，米粒状の反応が両周波数の深度 30～60 m Fig.3

に確認された。両周波数のエコーグラムを比較すると，周波数 38 kHz（Fig. 3A 上図）では，表層から深度 60 m 付近まで広がる層状の反応が米粒状の反応と重なっていた。一方，周波数 120 kHz（Fig. 3A 下図）では，38 kHz と比較して表層から深度 60 m 付近まで広がる層状の顕著な反応は確認されず，米粒状の反応が確認しやすかった。しかし，中層トロール曳網中に収録された周波数 120 kHz のエコーグラムには，周波数 60 kHz の潮流計（JLN-645：日本無線）による干渉ノイズが入っており，米粒状の反応に重なっていた。

次に，マアジ当歳魚の採集量が少なかった 2015 年 St.04 のエコーグラムである Fig. 3B を見る。この調査点では，中層トロール曳網途中の 16 時 30 分から潮流計の発振を停止したため，潮流計の影響を受けていないデータを 22 分間収録出来た。周波数 38 kHz のエコーグラム（Fig. 3B 上図）を見ると，表層から深度 60 m 付近にかけて層状の反応が広がり，深度 40~50 m 付近にはその層状の反応と重なって米粒状の反応が僅かに確認された。一方，周波数 120 kHz のエコーグラム（Fig. 3B 下図）では，周波数 38 kHz で確認された表層から深度 60 m までの層状に広がる反応は認められず，深度 40~50 m 付近に米粒状の反応を確認することができた。

次に，リングネットの曳網時に得られた SV のエコーグラムを Fig. 4 に示す。これは 6 月 24 日 17 時 50 分から 18 時 25 分に得られたエコーグラムであり，2 日前に中層トロール調査を行った曳網範囲を図中に黒枠で示した。上図は周波数 38 kHz，下図は周波数 120 kHz である。上図のエコーグラムを見ると，深度 40~60 m に米粒状の反応が僅かに認められた。しかし，Fig. 3B 上図と同様，表層から深度 60 m 付近まで広がる層状の反応が米粒状の反応と重なり，判別は困難であった。一方，下図の周波数 120 kHz のエコーグラムを見ると，

Fig. 4

周波数 38 kHz で見られた表層から深度 60 m 付近まで広がる層状の反応は見られず，米粒状の反応が深度 40~60 m 付近にはっきりと確認でき，Fig. 3B 下図（120 kHz）と同じ特徴を示していた。

**(2) マアジ当歳魚が採集された深度層の平均 SV の周波数特性**

マアジ当歳魚が採集された層における $\Delta SV_{120-38}$ のヒストグラムを Fig. 5 に示す。図中，N はデータ数である。ここでは，マアジ当歳魚が採集された調査点の音響データのうち，中層トロール曳網時に潮流計による干渉が無かった 3 調査点のみを解析に用いた。Fig. 5 より，各調査点のヒストグラムのモードは左から順に 2014 年の St.06 では -6~-4 dB，2015 年の St.03 では -2~0 dB，2015 年の St.04 では -8~-4 dB となった。これより全 3 調査点で得られた $\Delta SV_{120-38}$ はマイナス側に多い傾向が見られ，周波数 38 kHz の平均 SV が，周波数 120 kHz の平均 SV より大きかったことが分かる。

Fig.5

**(3) マアジ当歳魚の個体数密度と平均 SV との関係**

中層トロールで採集されたマアジ当歳魚の個体数密度 $n$ と計量魚探機で得られた平均 SV の関係を，Fig. 6 に示す。Fig. 6 の横軸は個体数密度 $n$（個体数 /m$^3$），縦軸は平均 SV（dB）である。図より，個体数密度 $n$ の増加と共に平均 SV は大きくなり，周波数 38 kHz の平均 SV は周波数 120 kHz の平均 SV より約 10 dB 大きかった。Fig. 6 において，個体数密度 $n$ と平均 SV の関係を (1) 式で回帰したところ，次のようになった。

Fig.6

周波数 38 kHz: $\mathrm{Mean}\ SV = 10 \log n - 51.03$ (r=0.82)　(2)

周波数 120 kHz: $\mathrm{Mean}\ SV = 10 \log n - 58.01$ (r=0.68)　(3)

## 4. 考 察

### 1）2 周波におけるエコーグラムの違いと音響散乱特性

マアジ当歳魚が最も多く採集された 2014 年の St.01 では，周波数 38 kHz のエコーグラムだけでも米粒状の反応を確認できた（Fig. 3A）。しかし，マアジ当歳魚の採集量が少ない 2015 年 St.04 は，周波数 38 kHz のエコーグラムだけで米粒状の反応を判別することは難しかった（Fig. 3B）。これは周波数 38 kHz のエコーグラム上では，米粒状の反応と重なるように層状の反応が見られ，それにより米粒状の反応が確認しづらくなっていたためである。一方，周波数 120 kHz では顕著な層状反応は認められず，米粒状の反応が明瞭に確認できた。これより，周波数 38 kHz において層状に探知される散乱体が存在する場合には，周波数 120 kHz を用いることでマアジ当歳魚の分布深度を明確に把握でき，中層トロールの曳網層を決定することが可能となる。

ここで，この層状に広がる散乱体の周波数特性を調べる。Fig. 5 を見ると，$\Delta SV_{120-38}$ はマイナス側に多く，マアジ当歳魚が採集された深度層の SV は，周波数 120 kHz より周波数 38 kHz の方が大きくなる傾向がみられた。中村ら[14)]は，尾叉長の 2 乗で規準化したマアジ当歳魚（尾叉長：7.5~12.9 cm）の周波数毎の規準化平均 TS（以下，$TS_{cm}$ とする）はそれぞれ -68.7 dB（38 kHz），-69.6 dB（120 kHz）となり，周波数 38 kHz と 120 kHz の TS の差は約 1 dB とあまり差はなかったと報告している。さらに，マアジ当歳魚（尾叉長：0.8~13 cm）が 80.2%採集された時と，マアジ当歳魚が全く採集されなかった時の $\Delta SV_{120-38}$ のモードは，それぞれ -2~0 dB 及び -4~-2 dB であったとも報告している[21)]。Fig. 5 の $\Delta SV_{120-38}$ のヒストグラムでは，マアジ当歳魚のものと

思われる 0 dB 前後の反応も見られたが，周波数 38 kHz の平均 SV の方が 120 kHz のそれよりも 4 dB 以上大きくなるデータが多く確認できた。そのため，中層トロール曳網層にはこのような周波数特性を示す生物が，マアジ当歳魚と混在していたと考えられる。

**2）採集されたマアジ当歳魚の TS**

本調査で採集されたマアジ当歳魚の平均尾叉長は 34.70 mm であった。そこで，中村ら[14]が報告している $TS_{cm}$（38 kHz：-68.7 dB，120 kHz：-69.6 dB）を用いて，尾叉長 34.70 mm のマアジ当歳魚の TS を下記の式より求めた。

$$TS = TS_{cm} + 20 \log FL \qquad (4)$$

ここで $FL$ は尾叉長である。(4)式より，中層トロールで採集されたマアジ当歳魚の平均尾叉長 34.70 mm に対する推定 TS は，周波数 38 kHz で -57.89 dB，周波数 120 kHz では -58.79 dB となった。一方，本研究において中層トロールで採集されたマアジ当歳魚の個体数密度 $n$ と平均 SV から求めた TS は，周波数 38 kHz で -51.03 dB，周波数 120 kHz で -58.01 dB となった。中村ら[14]の $TS_{cm}$ より推定した TS と比較すると，周波数 38 kHz で約 7 dB，周波数 120 kHz で約 0.7 dB 大きくなった。ここで，周波数 38 kHz において本研究と中村ら[14]の結果で大きく異なった原因は，周波数 38 kHz に層状に見られた散乱体の音響散乱による影響と思われる。一方，周波数 120 kHz において，本研究で求めた TS と既往データより推定した TS は近い値を示した。これより，周波数 38 kHz のエコーグラム上で層状の反応が見られる場合，周波数 38 kHz を用いてマアジ当歳魚の現存量を推定した場合は過大評価となるため，周波数 120 kHz を用いるべきであることがわかる。

### 3）計量魚探機を用いたマアジ当歳魚の現存量推定

2014年，2015年の調査中，周波数38 kHzのエコーグラム上には広範囲に広がる層状の反応が見られ，米粒状の反応の確認を困難にしていた。一方，周波数120 kHzのエコーグラム上ではそのような反応は見られず，米粒状の反応の確認は容易であった。また，中層トロールにより得られた個体数密度 *n* と周波数120 kHzの平均SVとの関係は高い相関を示した。一般に高周波数になると，魚のTSは遊泳姿勢の変化により大きく変化するが，マアジ当歳魚は小型であるため遊泳姿勢の影響はあまり大きくない[21)]。以上より，周波数120 kHzを用いたマアジ当歳魚の現存量推定は可能であると考える。ただしFig. 6より，中層トロールによる漁獲量が少ない場合，周波数120 kHzの平均SVは大きくなる傾向が見られた。マアジ当歳魚の分布量が少なく，更に魚群が分散している場合には，漁獲データおよび音響データ共に，魚群の遭遇率による影響を受けやすい。そのため，中層トロールの曳網層と音響データの解析層が完全に一致しない限り，両者から推定される現存量の差は大きくなりやすい。本調査では，干渉ノイズの影響により，中層トロール曳網時の音響データを解析に用いることができなかったため，漁獲データとの直接比較が行えなかった。今後，音響データの収集環境を整えると共に，用いる中層トロール網の漁獲効率等を検討し，音響データより推定される現存量が過大評価であるか，あるいは中層トロールにより推定される現存量が過小評価であるかについて検討したい。また，周波数120 kHzのみを用いた音響調査では，動物プランクトンの影響が出る夜間の調査は難しい。更に，吸収係数の変動幅が大きくなるため[22)]，CTDの観測結果に基づいて吸収係数の補正を適時行う必要がある。

そのため，周波数 38 kHz，120 kHz の両周波数を有する場合は，同時にデータを収録し比較することで，現存量推定の解析に適した周波数の選択が可能となり，音響資源調査による現存量推定の精度を高めることができると考える。

最後に，周波数 38 kHz に層状に広がる散乱体について検討する。2014 年の St.05，2015 年の St.02，St.03，St.04 において，中層トロールでマアジ当歳魚と共にクリイロカメガイが採集されており（Table 2），クリイロカメガイとマアジ当歳魚は同所的に分布すると考えられる。また，リングネットによる採集生物から，Fig. 4 に示したエコーグラム上の深度 20～70 m には，クリイロカメガイとカイアシ類が存在することが推測できる。しかし，カイアシ類は周波数 38 kHz では探知が難しいことを考慮すると[20]，層状反応を構成する主な生物は，クリイロカメガイである可能性がある。クリイロカメガイは浮遊性の巻貝の仲間である。本種は世界の温・熱帯水域に広く生息する。日本周辺海域では，黒潮またはその分流の対馬暖流に運ばれた本種が，しばしば大量発生することが知られている[11),12)]。クリイロカメガイの音響散乱特性については過去の知見が無いため，その特性は不明である。しかし，本種は体が殻で覆われており，同じく殻を持ち形状が良く似たヨーロッパタマキビ（*Littorina littorea*）の報告例[23)-25)]からも，その音響反射は他の小型動物プランクトンより強いことが推測できる。一方，2014 年の調査では，中層トロールでハダカゾウクラゲが採集されている。ハダカゾウクラゲは体がゼラチン質の巻貝の一種で，内臓核を覆う小さな殻を持つ生物である。本種の音響散乱特性についても過去に研究報告例は無い。しかし，内臓核を持つゼラチン質の生物である尾索動物のサルパは,低周波数で強く映るという報告例があり[26),27)]，

本種もそのような音響散乱特性を持つ可能性がある。また，リングネットではツリガネクラゲやウミタル等のゼラチン質動物プランクトンも採集された。これらの音響散乱特性も不明であるが，クラゲ類などのゼラチン質動物プランクトンの一部は，エコーグラム上に層状に映るという報告例がある[28)]。ただし，本調査では，2015年の中層トロールでハダカゾウクラゲは採集されなかった。また，リングネットによる採集結果より，ツリガネクラゲ等のゼラチン質動物プランクトンは，海面から深度10mまでの間に存在すると推測できる。そのため，これらは周波数38kHzに層状に広がる散乱体である可能性は低いと考える。しかし，ゼラチン質動物プランクトンは，個体が脆弱であるために採集が難しい。そのため定量的なデータを得る事が困難であり，層状反応を構成する散乱体である可能性を完全に否定することは出来ない。本調査では，クリイロカメガイやゼラチン質動物プランクトンなど，音響散乱特性が不明で定量採集も難しい生物が複数種採集された。そのため，周波数38kHzのエコーグラム上に層状に強く現れる散乱体の正体を明らかに出来なかった。今後，この散乱体の正体について明らかにするための定量採集方法についても検討する必要があると考える。

本研究より，周波数120kHzを用いて鳥取沖におけるマアジ当歳魚の音響資源調査は可能であることが明らかになった。しかし，マアジ当歳魚が分布する中・低緯度海域には，東シナ海を発生起源とする多様な生物が分布するため[9)-13)]，生物種が少ないアラスカやノルウェーなどの高緯度海域で行われている単一周波数を用いた音響資源調査では，精度の高い資源量調査は難しい。そのため，生物種の判別に有効な多周波数の計量魚探機を用いた音響手法と中層トロール網を併用した調査が必要となる。しかし，中層トロール網を用

いた対馬暖流系群のマアジ当歳魚の新規加入量調査では，周波数 38 kHz の計量魚探機しか搭載していない調査船もある。そのため，多周波数の計量魚探機を搭載する調査船が音響調査を重点的に行う等の調査設計の検討も必要である。また，漁獲対象種ではないクリイロカメガイやゼラチン質動物プランクトンなどの音響散乱特性を明らかにすることは，漁獲対象種の音響判別を行う上で重要である。今後は，マアジ当歳魚の現存量を音響手法で推定する音響資源調査の高精度化に向け，マアジ当歳魚と同所的に分布する生物の音響散乱特性についても明らかにしていきたいと考えている。

## 謝辞

本研究を行うにあたり，第一鳥取丸の森脇　誠　船長および乗組員の皆様ならびに鳥取県水産試験場の尾田昌紀研究員には，サンプル採集に際し多くのご協力を頂きました。ここに記してお礼申し上げます。北海道大学水産学部の五島　翔氏には，調査の際に多くのご協力を頂きました。ここに記して感謝致します。本研究のデータの一部は、水産庁の我が国周辺水域資源評価等推進委託事業で得られたものである。

## 参考文献

1) 原　一郎：TAC 管理下における直接推定法—その意義と課題—直接推定法の今日的意義．浅野謙治編，水産学シリーズ，恒星社厚生閣，東京，pp. 9-18，2000.

2) 平成 27 年度我が国周辺水域の漁業資源評価（魚種別系群別資源評価・TAC 種）第一分冊．水産庁増殖推進部，東京，pp. 114-145，2016.

3) 志村　健・大下誠二・寺門弘悦・田　永軍：日本海西部海域における中層トロールの面積密度法を用いたマアジ当歳魚の現存量推定手法の開発．日水誌，75：1042-1050，2009．

4) 依田真里・渡邊千夏子・由上龍嗣・福若雅章：資源管理スケジュールが管理効果に及ぼす影響．日水誌，82(5)：676-685，2016．

5) 安木　茂：計量魚探と中層トロール網を用いた浮魚類の魚種判別方法．島水試研報，11：7-13，2003．

6) 木所英昭・安木　茂・志村　健・加藤　修：日本海南西部におけるマアジの加入前の分布様式と対馬暖流の関係．水研センター研報，14：1-6，2005．

7) 志村　健・氏　良介・安木　茂・木所英昭：中部・西日本海（種多様性の高い地域）の音響モニタリング 4，日本海西部海域のマアジ．水産海洋研究，71(4)：287-290，2007．

8) 志村　健・氏　良介：計量魚探を用いたマアジ調査．鳥取水試報告，37：118-124，2003．

9) 山田鉄雄：日本海におけるマアジの分布と漁場に関する考察．長大水研報，28：111-130，1969．

10) 長沼光亮：生物の生息環境としての日本海．日水研報告，50：1-42，2000．

11) S. Ueno and M. Amio: Swarming of the cosomatous pteropod *Cavolinia uncinata* in the coastal waters of the Tsushima Strait, the western Japan Sea. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 41: 21-29, 1994.

12) 中西弘樹・山口陽介・由比良雄・大岩保雄：2007年長崎県におけるクリイロカメガイ（カメガイ科）の大量漂着．長崎県生物学会誌，64：1-3，2008．

13) 千手智晴・奥野充一・大慶則之・辻　俊宏：2009年夏季の日本海沿岸域における表層低塩分水の挙

動とエチゼンクラゲ（*Nemopilema nomurai*）出現の関係．海と空，89(2)：53-59，2013．

14) 中村武史・濱野　明・安部幸樹・安間洋樹・宮下和士：理論モデルとTS測定に基づくマアジ幼魚の音響散乱特性．日水誌，79(3)：345-354，2013．

15) 志村　健：山陰海域のマアジの分布と移動．鳥取水試報告，37：112-117，2003．

16) L.S.P. Madureira, P. Ward and A. Atkinson: Differences in backscattering strength determined at 120 and 38 kHz for three species of Antarctic macroplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 93: 17-24, 1993.

17) M.H.Kang, M. Furusawa and K. Miyashita: Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton. *ICES J. Mar. Sci.*, 59(4): 794-804, 2002.

18) R.E. Pieper, D.V. Holliday and G.S. Kleppel: Quantitative zooplankton distributions from multifrequency acoustics. *J. Plankton Res.*, 12: 433-441, 1990.

19) 古澤昌彦：水産資源推定のための超音波による魚群探知に関する研究．水工研研報，11：173-249，1990．

20) 金　銀好・向井　徹・飯田浩二：体積後方散乱強度の周波数差を利用した北海道噴火湾周辺におけるオキアミ類とカイアシ類の識別．日水誌，82(4)：587-600，2016．

21) 中村武史：水産資源調査における音響計測と機器－幼稚魚を対象とした計量魚探機による多周波計測．超音波TECHNO，25(6)：35-42，2013．

22) 古澤昌彦：魚群探知機のTVGについての検討．水工研技報（漁船工学），6：33-49，1985．

23) T.K. Stanton: Sound scattering by spherical and elongated shelled bodies. *J. Acoust. Soc. Am.*, 88: 1619-1633, 1990.

24) T.K. Stanton, D. Chu and P.H. Wiebe: Sound scattering by several zooplankton groups. II. Scattering models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103: 236-253, 1998.

25) T.K. Stanton, D. Chu, P.H. Wiebe, R.L. Eastwood and J.D. Warren: Acoustic scattering by benthic and planktonic shelled animals. *J. Acoust. Soc. Am.*, 108 (2): 535-550, 2000.

26) P. David, O.G. Ancey, G. Oudot and J.P.V. Cuyck: Acoustic backscattering from salp and target strength estimation. *Oceanol. Acta.*, 24(5): 443-451, 2001.

27) P.H. Wiebe, D. Chu, S. Kaartvedt, A. Hundt, W. Melle, E. Ona and P.B. Lona: The acoustic properties of *Salpa thompsoni*. *ICES J. Mar. Sci.*, 67: 583-593, 2009.

28) G.A. Colombo, H. Mianzan and A. Madirolas: Acoustic characterization of gelatinous-plankton aggregations: four case studies from the Argentine continental shelf. *ICES J. Mar. Sci.*, 60: 650-657. 2003.

Abstract

The aim of this study was to compare the effectiveness of acoustic measurements between two frequencies (38 kHz, 120 kHz) for estimations of the distribution and abundance of 0+ Japanese jack mackerel, *Trachurus japonicus*, off the Tottori coast in the Sea of Japan. The vessel Tottori Maru No. 1 collected acoustic data off the coast of Tottori at frequencies of 38 and 120 kHz (KFC3000). Sampling was also conducted using a midwater trawl net and an 80-cm ring net. A sound scattering layer was found to overlay the echo of the Japanese jack mackerel when sampled at 38 kHz, presenting an inherent problem to acoustic studies at this frequency. However, signals from Japanese jack mackerel could be identified on an echogram at 120 kHz. Also, the density of one individual per $m^3$ ($n$) of Japanese jack mackerel, determined using the trawl net, was positively correlated with the value of the volume backscattering strength (SV) at 120 kHz (Mean $SV_{120\ kHz} = 10 \log n - 58.01$ ($r = 0.68$)). Therefore, it is possible to estimate the distribution and abundance of 0+ Japanese jack mackerel more accurately using 120 kHz data.

Key words: Acoustic survey of fisheries resources, Quantitative echosounder, Frequency characteristics, 0+ Japanese jack mackerel

キーワード：音響資源調査，計量魚群探知機，周波数特性，マアジ当歳魚

Fig. 1 Locations of the acoustic survey transects and the sampling station used for midwater trawling. Lines show the acoustic transects. Midwater trawling was performed at the indicated sites ("Open circle": 2014, "Filled circle": 2015). The "star" indicates the station where vertical hauls were conducted using a ring net (diameter: 80 cm) in 2015.

Fig. 2 Histogram of the fork length of Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* caught using the midwater trawl net.

Fig. 3 Echograms of volume backscattering strength (SV) at 38 kHz (upper) and 120 kHz (lower) collected at St. 01 (left) and St. 04 (right) with a threshold of -70 dB. Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* were also collected from these stations using a midwater trawl net. The majority of fish were caught at St. 01. The black square shows the layer through which the trawl net was towed.

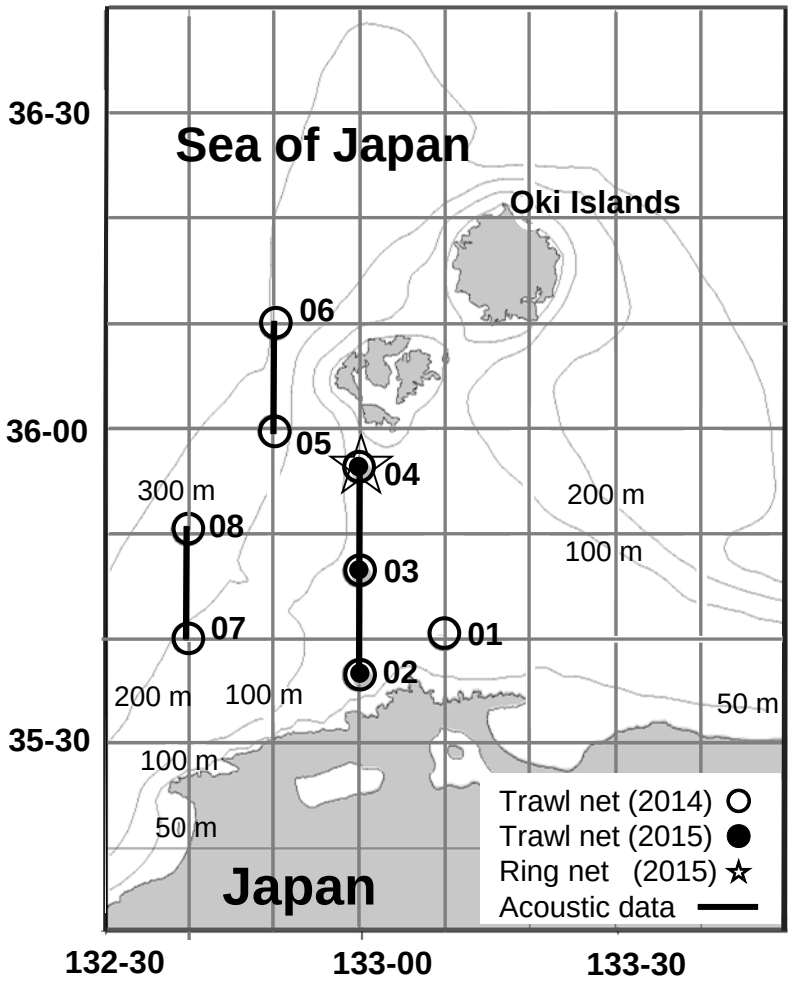
Fig. 4 Echograms of volume backscattering strength (SV) at 38 kHz (upper) and 120 kHz (lower) collected at St. 04 with a threshold of -70 dB. Ring-net sampling was conducted at this station on 24 June 2015, 2 days after the trawl net sampling on 22 June 2015. The trawl net was towed through the region indicated by the black square.

Fig. 5 Histogram of differences between the mean volume backscattering strength (SV) (integral layer: 2 nm × 1 m) at 120 kHz and 38 kHz (ΔSV120-38) in the

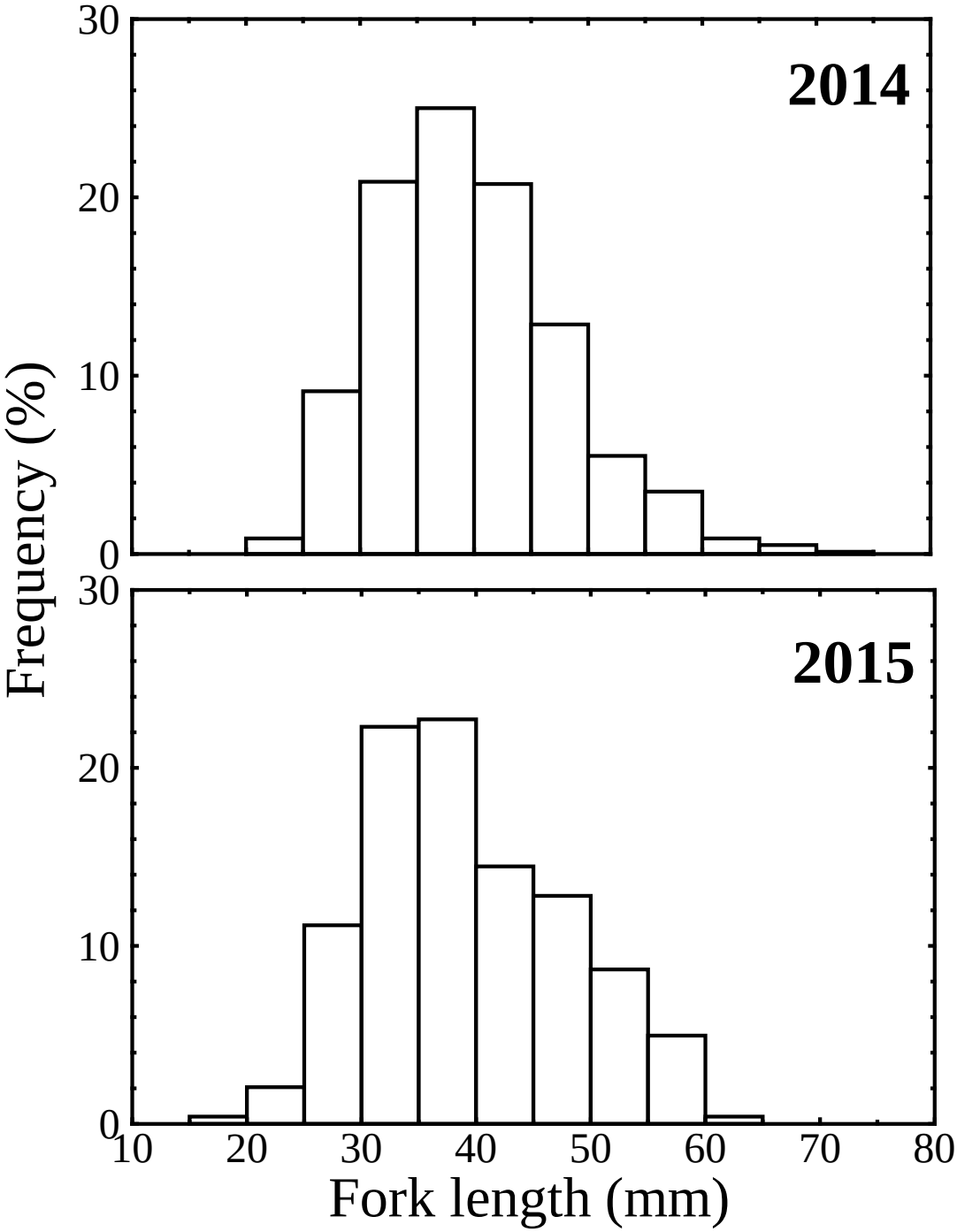
layer through which the trawl net was towed. These data were collected at the stations where Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* were caught. “N” is number of data.

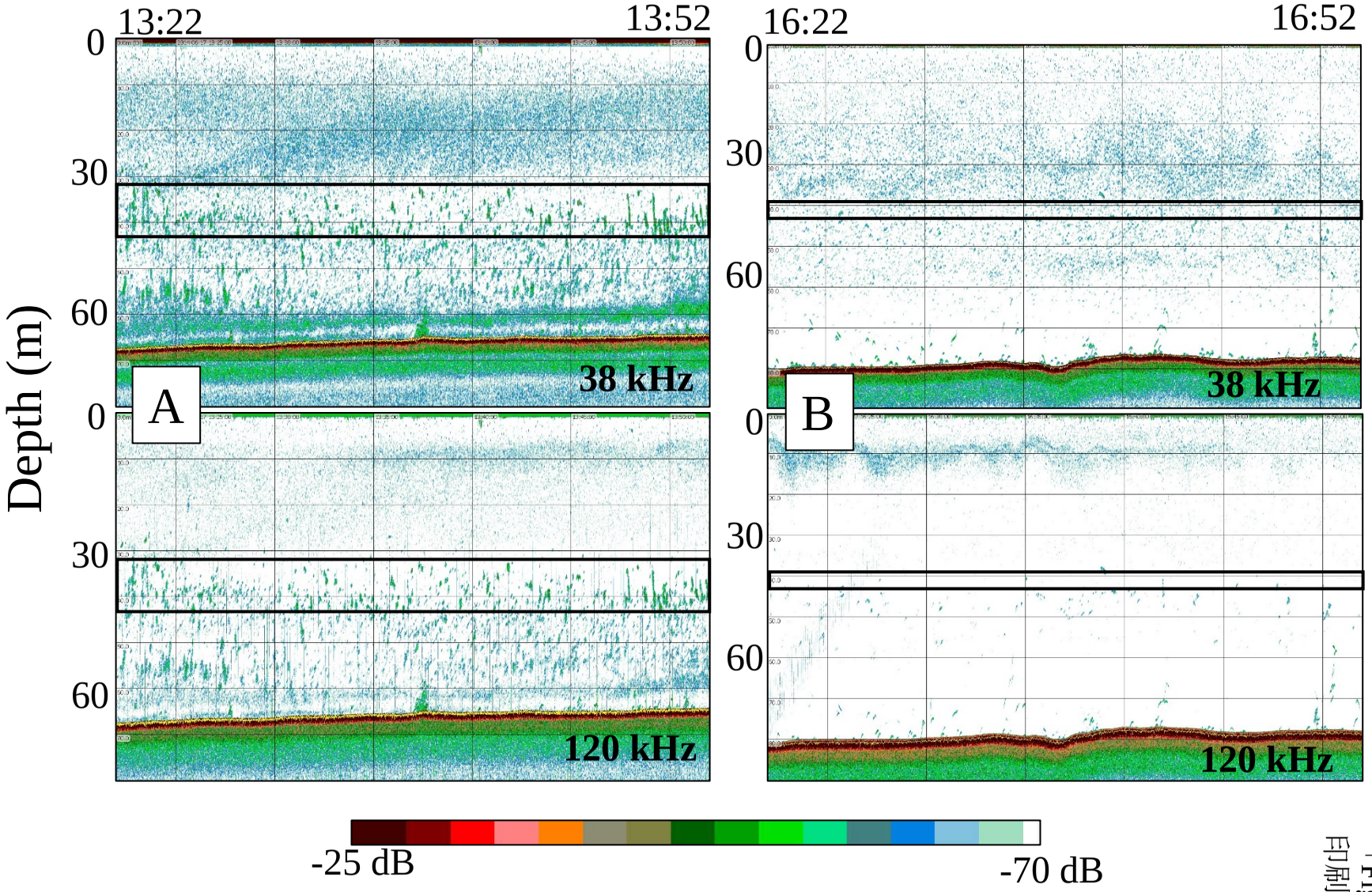
Fig. 6 The relationship between the density of Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* individuals per m3, determined using the trawl net, and mean volume backscattering strength (Mean SV) at 38 kHz and 120 kHz. The density was positively correlated with the value of mean SV, (Mean *SV* at 38 kHz = 10 log *n* - 51.03（r = 0.82）, Mean *SV* at 120 kHz = 10 log *n* - 58.01（r=0.68）).

広瀬美由紀
「Fig.1」
印刷幅6.5㎝



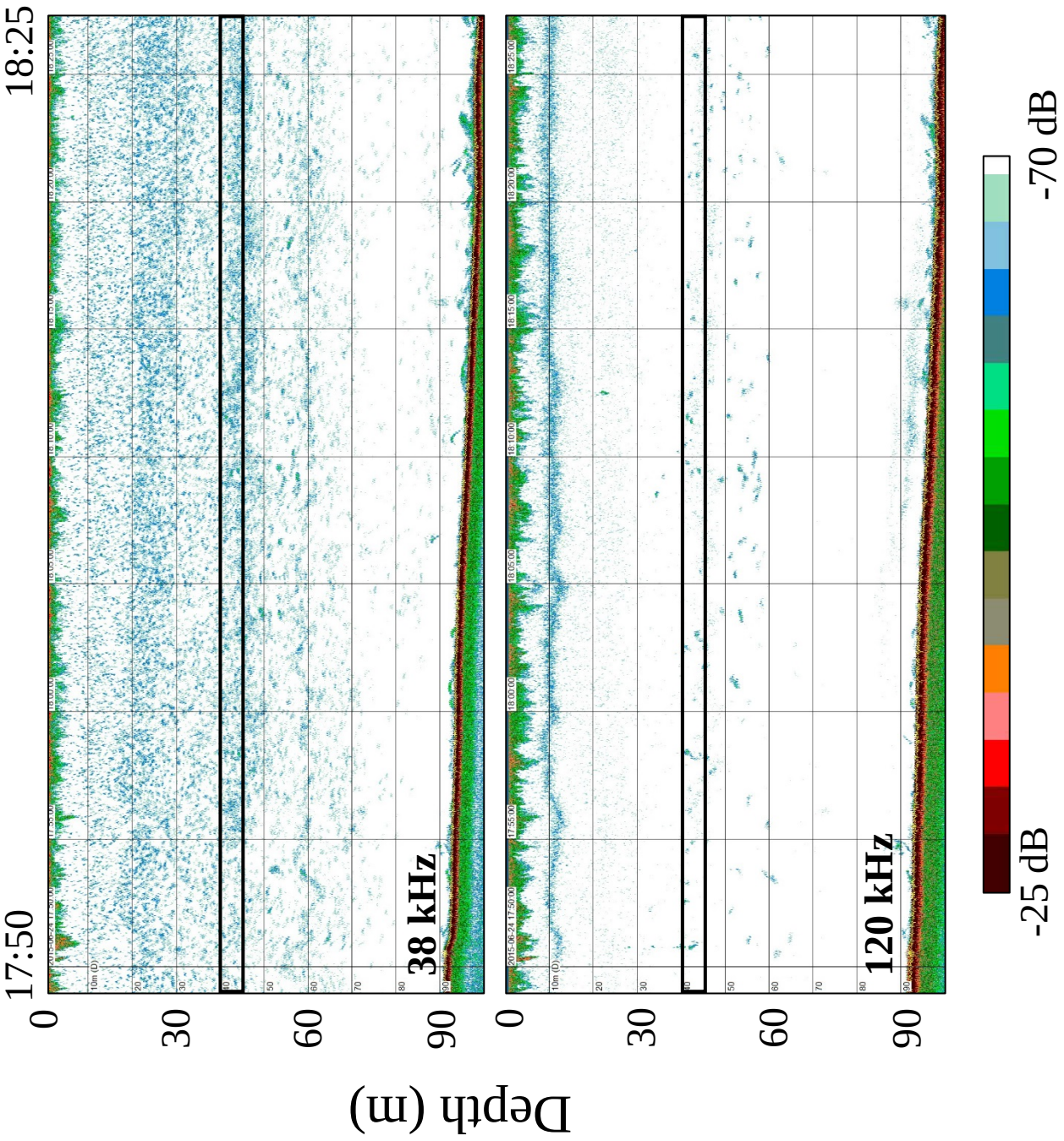
広瀬美由紀
「Fig.2」
印刷幅6.5㎝



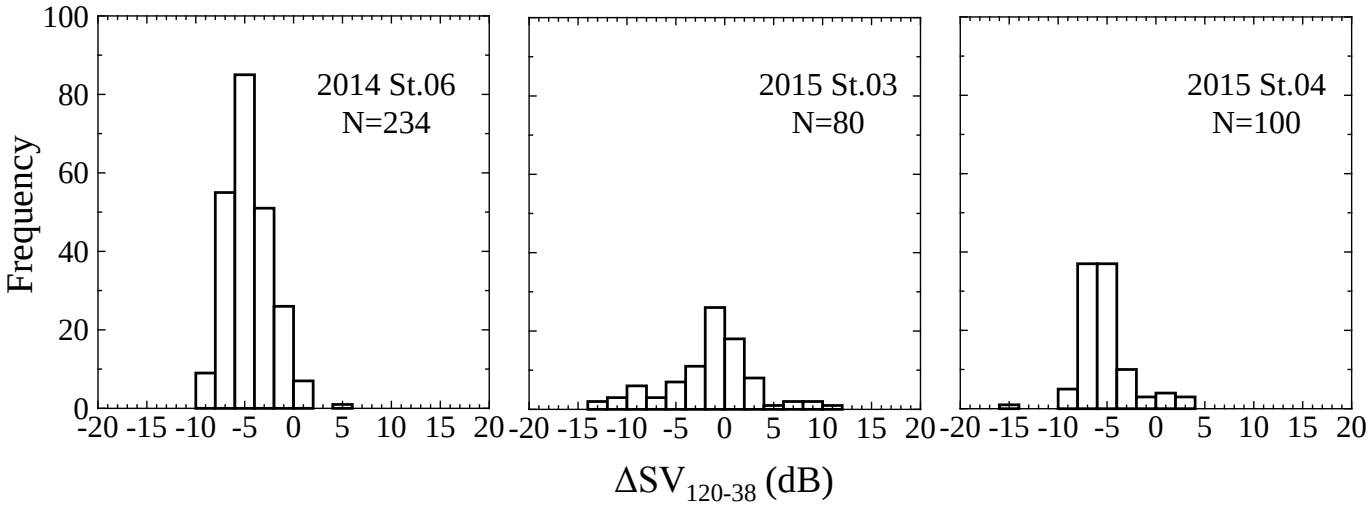



広瀬美由紀
「Fig.3」
印刷幅14cm

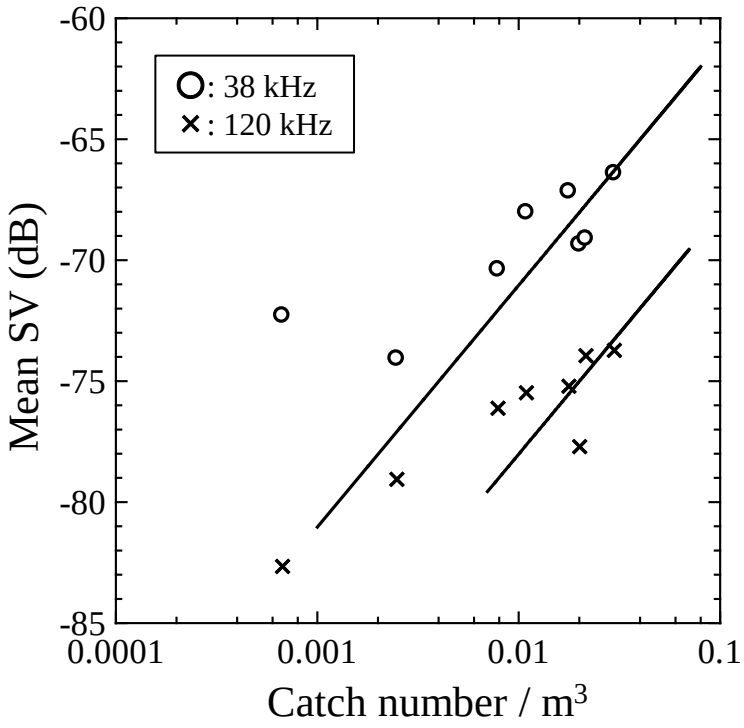
広瀬美由紀
「Fig.4」
印刷幅14㎝



広瀬美由紀
「Fig.5」
印刷幅14㎝



広瀬美由紀
「Fig.6」
印刷幅6.5㎝



広瀬美由紀
「Table-1」
印刷幅6.5㎝

Table 1 Parameter settings for the KFC3000 system.

| Echosounder | KFC3000 | | | |
|---|---|---|---|---|
| Date | 23 April 2014 | | 22 April 2015 | |
| Temperature [°C] | 15.06 | | 19.09 | |
| Salinity [PSU] | 34.46 | | 34.54 | |
| Sound speed [m/s] | 1506.81 | | 1518.97 | |
| Frequency [kHz] | 38 | 120 | 38 | 120 |
| Pulse length [ms] | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Ping rate [s] | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| SV threshold [dB] | -70 | -70 | -70 | -70 |
| TR gain [dB] | 64.44 | 59.41 | 63.54 | 59.41 |

Table 2 Catch composition at each trawl station. Open circles denote *C. uncinata* that were caught but their quantity is not known, and hyphens denote stations where data of *C. uncinata* were nothing. From left to right, respectively: number of station and year of study, minimum and maximum depth of the midwater trawl net, number of samples caught by the midwater trawl net.

| Station | Net depth (m) Min. | Max | *Trachurus japonicus* | *Psenopsis anomala* | *Carangoides equula* | Other Fish (Number) | *Aurelia aurita* | *Pterotrachea coronate* | *Cavolinia uncinata* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2014 | | | | | | | | | |
| St.01 | 33.1 | 43.8 | 7,849 | 3 | 2 | *Arnoglossus yamanakai* (1)<br>*Zeus fabe* (1) | 2 | 0 | - |
| St.02 | 37.2 | 39.8 | 2,015 | 28 | 5 | *Stephanolepis cirrhifer* (1)<br>*Thamnaconus hypargyreus* (5)<br>*Decapterus* sp. (3) | 3 | 0 | - |
| St.03 | 33.4 | 41.4 | 965 | 1 | 5 | *Stephanolepis cirrhifer* (2)<br>*Thamnaconus hypargyreus* (4) | 4 | 0 | - |
| St.04 | 39.0 | 47.8 | 289 | 1 | 4 | | 0 | 2 | - |
| St.05 | 41.4 | 43.5 | 696 | 0 | 1 | | 0 | 20 | ○ |
| St.06 | 32.0 | 44.6 | 1,226 | 2 | 8 | *Thamnaconus hypargyreus* (4) | 3 | 12 | - |
| St.07 | 35.6 | 42.9 | 1,737 | 3 | 4 | *Hyperoglyphe japonica* (1) | 1 | 4 | - |
| St.08 | 24.6 | 31.0 | 1,394 | 4 | 8 | *Lophius litulon* (1)<br>*Thamnaconus hypargyreus* (4) | 0 | 10 | - |
| 2015 | | | | | | | | | |
| St.02 | 21.0 | 26.1 | 51 | 0 | 2 | | 0 | 0 | ○ |
| St.03 | 26.0 | 32.0 | 1,890 | 0 | 0 | | 0 | 0 | ○ |
| St.04 | 40.0 | 44.0 | 94 | 0 | 0 | | 0 | 0 | ○ |

広瀬美由紀
「Table-2」
印刷幅14cm

広瀬美由紀
「Table-3」
印刷幅6.5㎝

Table 3 Catch composition at the station where vertical hauls were conducted using a ring net.

| Depth (m) | Sample (Body Length) |
|---|---|
| 10 | Bacillariophyceae<br>*Oikopleura* spp. (1cm)<br>*Aglantha digitale* (0.3〜1cm)<br>Doliolida |
| 20 | Bacillariophyceae<br>*Cavolinia uncinata* (0.5~0.8cm) |
| 40 | Bacillariophyceae<br>Ctenophora (2cm)<br>*Oikopleura* spp. (1cm)<br>*Aglantha digitale* (0.3〜0.7cm)<br>*Cavolinia uncinata* (0.5~1.2cm)<br>Copepoda (0.2〜0.3cm) |
| 70 | Bacillariophyceae<br>Ctenophora (1〜3cm)<br>*Aglantha digitale* (0.3〜0.5cm)<br>*Oikopleura* spp. (1cm)<br>*Cavolinia uncinata* (0.9~1.6cm)<br>Copepoda (0.2〜0.3cm) |