



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 https://doi.org/10.18903/fisheng.54.3_163
Issue Date	2018-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/68584
Type	journal article
File Information	FisheriesEngineering54_3.pdf



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 SHIMURA² and Tohru MUKAI³

¹ Former Lecturer, Chonnam National University, San
96-1, Dundok-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では若歳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。

1 そのため，調査時には安木⁵⁾の調査報告を参考に，周
2 波数 38 kHz または 50 kHz の低周波数のエコーグラム
3 上に現れる米粒状の反応をマアジ当歳魚の反応と推定
4 し，中層トロールの曳網層を決定している。しかし木
5 所ら⁶⁾は，日本海区水産研究所の担当海域において，
6 米粒状の反応が周波数 38 kHz のエコーグラム上で確認
7 できず，音響データによらず曳網調査点を適宜設定し
8 て調査を行わなければならなかったと報告している。
9 また志村ら⁷⁾は，鳥取沖においてマアジの分布深度と
10 される 30~50 m には，周波数 38 kHz のエコーグラム上
11 に層状の反応が現れ，マアジ当歳魚の反応を判別する
12 ことは困難であったと報告している。このように，魚
13 類の音響資源調査で主に用いられている周波数 38 kHz
14 のエコーグラム上で，体長 40 mm 程度のマアジ当歳魚
15 の反応が容易に判別できない場合がある⁶⁾⁻⁸⁾。そのた
16 め，中層トロール調査以外の手法として，広範囲を短
17 時間で調査可能という利点がある計量魚群探知機（以
18 下，計量魚探機とする）を用いた音響資源調査も試み
19 られているが^{7),8)}，未だ現存量推定の実現には至って
20 いない。マアジ当歳魚の分布深度は 30~50 m であり，
21 対馬暖流の影響を大きく受けていると報告されている
22 ^{6),9)}。対馬暖流は黒潮の分流であり，東シナ海で発生す
23 る表層性魚類の幼稚魚および動物プランクトン等を日
24 本海まで輸送する⁹⁾⁻¹³⁾。そのため，マアジ当歳魚はそ
25 の他の海洋生物と同所的に分布しており，マアジ以外
26 の海洋生物が計量魚探機で探知され，判別を困難にし
27 ている可能性がある。

28 一方，中村ら¹⁴⁾は，マアジ当歳魚（尾叉長：7.5~12.9
29 cm）の音響散乱特性を実測と音響理論モデルにより検
30 討し報告している。その中で，マアジ当歳魚 1 個体か
31 らの散乱強度であるターゲットストレングス（以下，
32 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，コードエンド目合 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 μ m）（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（ソニックス社製）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

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

$$\begin{aligned} 5 \quad SV &= 10 \log S_v \\ 6 \quad &= 10 \log n \cdot T_s \\ 7 \quad &= TS + 10 \log n \end{aligned} \quad (1)$$

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

23 また , 2周波それぞれによるマアジ当歳魚の現存量推
24 定の可能性を検討するために , 中層トロールで採集さ
25 れたマアジ当歳魚の個体数密度 n (個体数 / m^3) と計量
26 魚探機で得られた平均 SV との関係を調べた。中層トロ
27 ールで採集されたマアジ当歳魚の個体数密度 n は , 中
28 層トロールの曳網距離 (対地移動距離) と網口面積を
29 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。

Table - 2

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 のスレッシュホールドは -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

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

11 次に、マアジ当歳魚の採集量が少なかった 2015 年
12 St.04 のエコーグラムである Fig. 3B を見る。この調査
13 点では、中層トロール曳網途中の 16 時 30 分から潮流
14 計の発振を停止したため、潮流計の影響を受けていな
15 いデータを 22 分間収録出来た。周波数 38 kHz のエコ
16 ーグラム (Fig. 3B 上図) を見ると、表層から深度 60 m
17 付近にかけて層状の反応が広がり、深度 40~50 m 付近
18 にはその層状の反応と重なって米粒状の反応が僅かに
19 確認された。一方、周波数 120 kHz のエコーグラム (Fig.
20 3B 下図) では、周波数 38 kHz で確認された表層から深
21 度 60 m までの層状に広がる反応は認められず、深度
22 40~50 m 付近に米粒状の反応を確認することができた。

23 次に、リングネットの曳網時に得られた SV のエコー
24 グラムを Fig. 4 に示す。これは 6 月 24 日 17 時 50 分
25 から 18 時 25 分に得られたエコーグラムであり、2 日前に
26 中層トロール調査を行った曳網範囲を図中に黒枠で示
27 した。上図は周波数 38 kHz、下図は周波数 120 kHz で
28 ある。上図のエコーグラムを見ると、深度 40~60 m に
29 米粒状の反応が僅かに認められた。しかし、Fig. 3B 上
30 図と同様、表層から深度 60 m 付近まで広がる層状の反
31 応が米粒状の反応と重なり、判別は困難であった。一
32 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 ΔSV_{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 ΔSV_{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/m³），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

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

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

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、 ΔSV_{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 ΔSV_{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 ΔSV_{120-38} のヒストグラムでは、マアジ当歳魚のものと

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

7 2) 採集されたマアジ当歳魚の TS

8 本調査で採集されたマアジ当歳魚の平均尾叉長は
9 34.70 mm であった。そこで，中村ら¹⁴⁾が報告してい
10 る TS_{cm} (38 kHz: -68.7 dB, 120 kHz: -69.6 dB) を用
11 いて，尾叉長 34.70 mm のマアジ当歳魚の TS を下記の
12 式より求めた。

$$13 \quad TS = TS_{cm} + 20 \log FL \quad (4)$$

14 ここで FL は尾叉長である。(4)式より，中層トロール
15 で採集されたマアジ当歳魚の平均尾叉長 34.70 mm に対
16 する推定 TS は，周波数 38 kHz で -57.89 dB，周波数 120
17 kHz では -58.79 dB となった。一方，本研究において中
18 層トロールで採集されたマアジ当歳魚の個体数密度 n
19 と平均 SV から求めた TS は，周波数 38 kHz で -51.03 dB，
20 周波数 120 kHz で -58.01 dB となった。中村ら¹⁴⁾の TS_{cm}
21 より推定した TS と比較すると，周波数 38 kHz で約 7 dB，
22 周波数 120 kHz で約 0.7 dB 大きくなった。ここで，周
23 波数 38 kHz において本研究と中村ら¹⁴⁾の結果で大き
24 く異なった原因は，周波数 38 kHz に層状に見られた散
25 乱体の音響散乱による影響と思われる。一方，周波数
26 120 kHz において，本研究で求めた TS と既往データよ
27 り推定した TS は近い値を示した。これより，周波数
28 38 kHz のエコーグラム上で層状の反応が見られる場合，
29 周波数 38 kHz を用いてマアジ当歳魚の現存量を推定し
30 た場合は過大評価となるため，周波数 120 kHz を用い
31 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。

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

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

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

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

- 1 3) 志村 健・大下誠二・寺門弘悦・田 永軍：日本海
2 西部海域における中層トロールの面積密度法を用
3 いたマアジ当歳魚の現存量推定手法の開発．日水
4 誌，75：1042-1050，2009．
- 5 4) 依田真里・渡邊千夏子・由上龍嗣・福若雅章：資源
6 管理スケジュールが管理効果に及ぼす影響．日水
7 誌，82(5)：676-685，2016．
- 8 5) 安木 茂：計量魚探と中層トロール網を用いた浮
9 魚類の魚種判別方法．島水試研報，11：7-13，2003．
- 10 6) 木所英昭・安木 茂・志村 健・加藤 修：日本海
11 南西部におけるマアジの加入前の分布様式と対馬
12 暖流の関係．水研センター研報，14：1-6，2005．
- 13 7) 志村 健・氏 良介・安木 茂・木所英昭：中部・
14 西日本海（種多様性の高い地域）の音響モニタリ
15 ング 4，日本海西部海域のマアジ．水産海洋研究，
16 71(4)：287-290，2007．
- 17 8) 志村 健・氏 良介：計量魚探を用いたマアジ調査．
18 鳥取水試報告，37：118-124，2003．
- 19 9) 山田鉄雄：日本海におけるマアジの分布と漁場
20 に関する考察．長大水研報，28：111-130，1969．
- 21 10) 長沼光亮：生物の生息環境としての日本海．日水
22 研報告，50：1-42，2000．
- 23 11) S. Ueno and M. Amio: Swarming of the cosomatous
24 pteropod *Cavolinia uncinata* in the coastal waters of
25 the Tsushima Strait, the western Japan Sea. *Bull.*
26 *Plankton Soc. Japan*, 41: 21-29, 1994.
- 27 12) 中西弘樹・山口陽介・由比良雄・大岩保雄：2007
28 年長崎県におけるクリイロカメガイ（カメガイ科）
29 の大量漂着．長崎県生物学会誌，64：1-3，2008．
- 30 13) 千手智晴・奥野充一・大慶則之・辻 俊宏：2009
31 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.

- 1 23) T.K. Stanton: Sound scattering by spherical and
2 elongated shelled bodies. *J. Acoust. Soc. Am.*, 88:
3 1619-1633, 1990.
- 4 24) T.K. Stanton, D. Chu and P.H. Wiebe: Sound
5 scattering by several zooplankton groups. II.
6 Scattering models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103:
7 236-253, 1998.
- 8 25) T.K. Stanton, D. Chu, P.H. Wiebe, R.L. Eastwood
9 and J.D. Warren: Acoustic scattering by benthic and
10 planktonic shelled animals. *J. Acoust. Soc. Am.*, 108
11 (2): 535-550, 2000.
- 12 26) P. David, O.G. Ancy, G. Oudot and J.P.V. Cuyck:
13 Acoustic backscattering from salp and target
14 strength estimation. *Oceanol. Acta.*, 24(5): 443-451,
15 2001.
- 16 27) P.H. Wiebe, D. Chu, S. Kaartvedt, A. Hundt, W.
17 Melle, E. Ona and P.B. Lona: The acoustic properties
18 of *Salpa thompsoni*. *ICES J. Mar. Sci.*, 67: 583-593,
19 2009.
- 20 28) G.A. Colombo, H. Mianzan and A. Madirolas:
21 Acoustic characterization of gelatinous-plankton
22 aggregations: four case studies from the Argentine
23 continental shelf. *ICES J. Mar. Sci.*, 60: 650-657.
24 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 ($\text{Mean } SV_{120 \text{ kHz}} = 10 \log n - 58.01$ ($r = 0.68$)). 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.

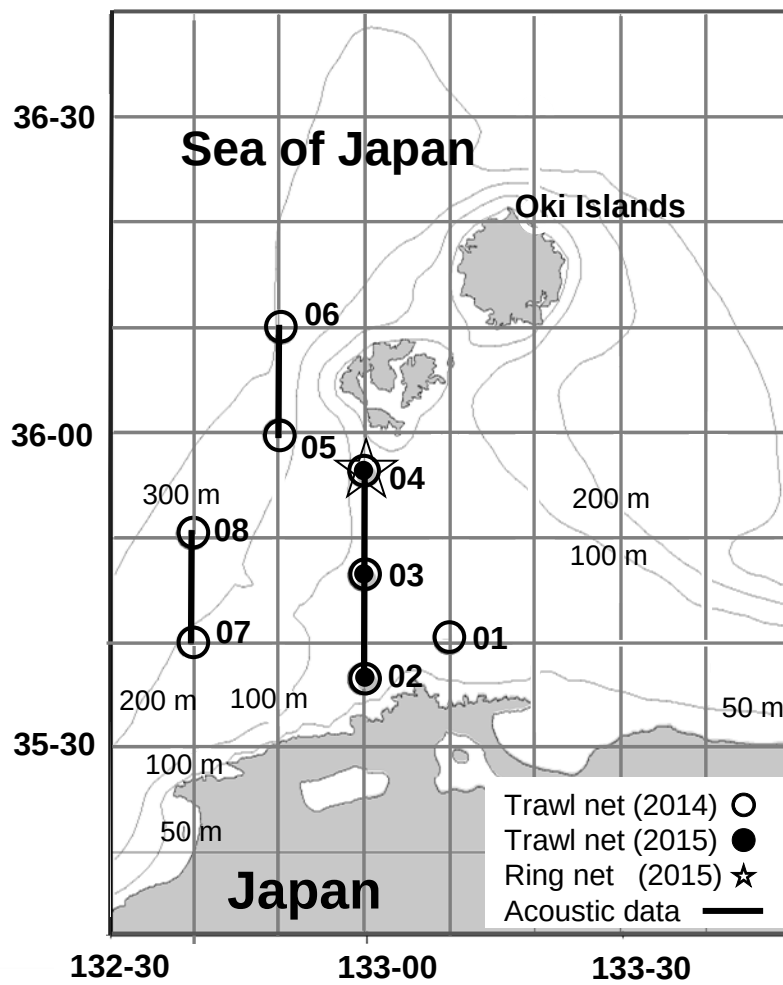
Fig. 4 Echograms of volume backscattering strength (SV) at 38 kHz (upper) and 120 kHz (lower) collected at St. 04 with a threshold of -70 dB. Ring-net sampling was conducted at this station on 24 June 2015, 2 days after the trawl net sampling on 22 June 2015. The trawl net was towed through the region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

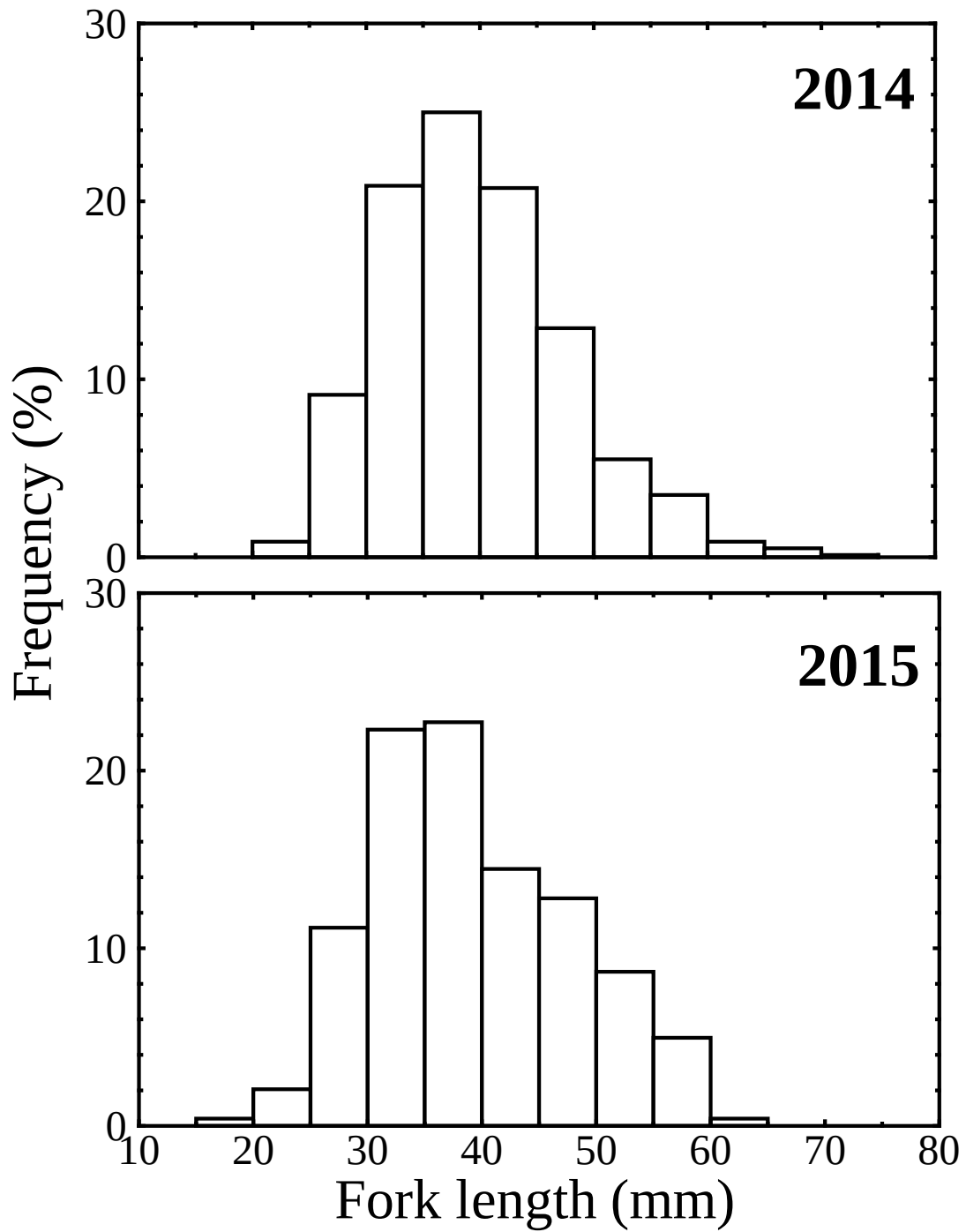
Fig. 5 Histogram of differences between the mean volume backscattering strength (SV) (integral layer: 2 nm × 1 m) at 120 kHz and 38 kHz (ΔSV_{120-38}) in the

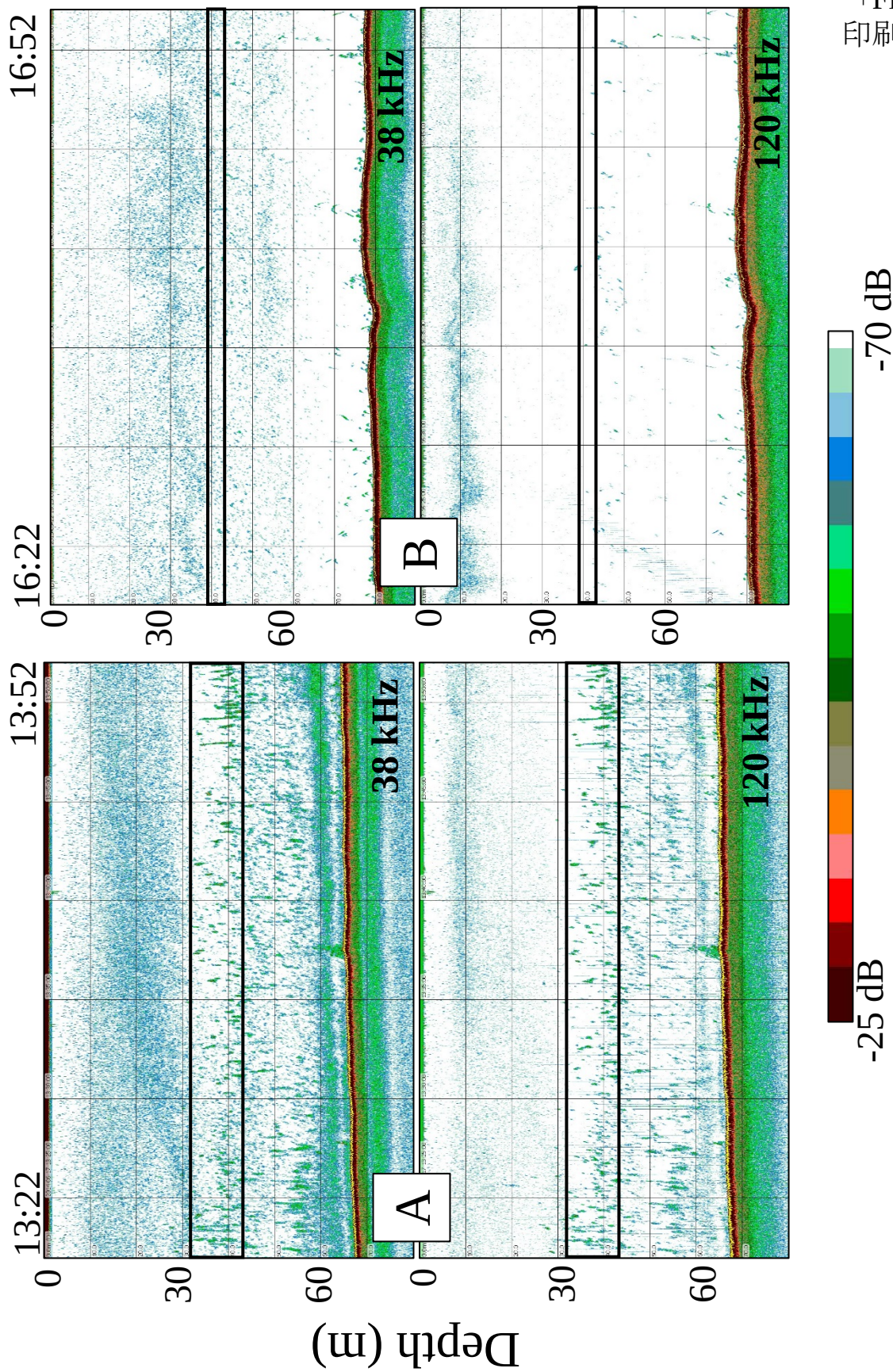
layer through which the trawl net was towed. These data were collected at the stations where Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* were caught. “N” is number of data.

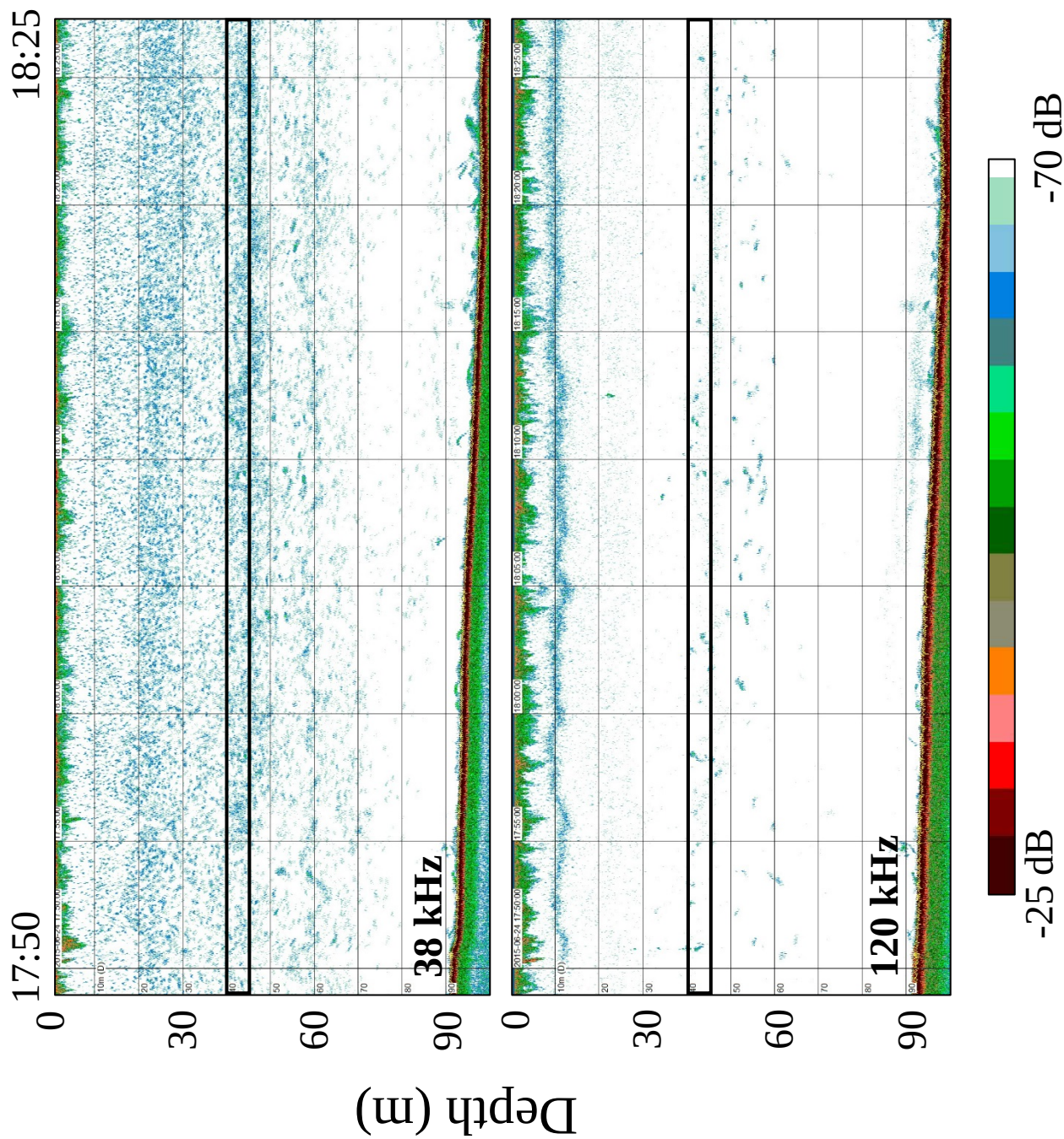
Fig. 6 The relationship between the density of Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* individuals per m³, determined using the trawl net, and mean volume backscattering strength (Mean SV) at 38 kHz and 120 kHz. The density was positively correlated with the value of mean SV, (Mean SV at 38 kHz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

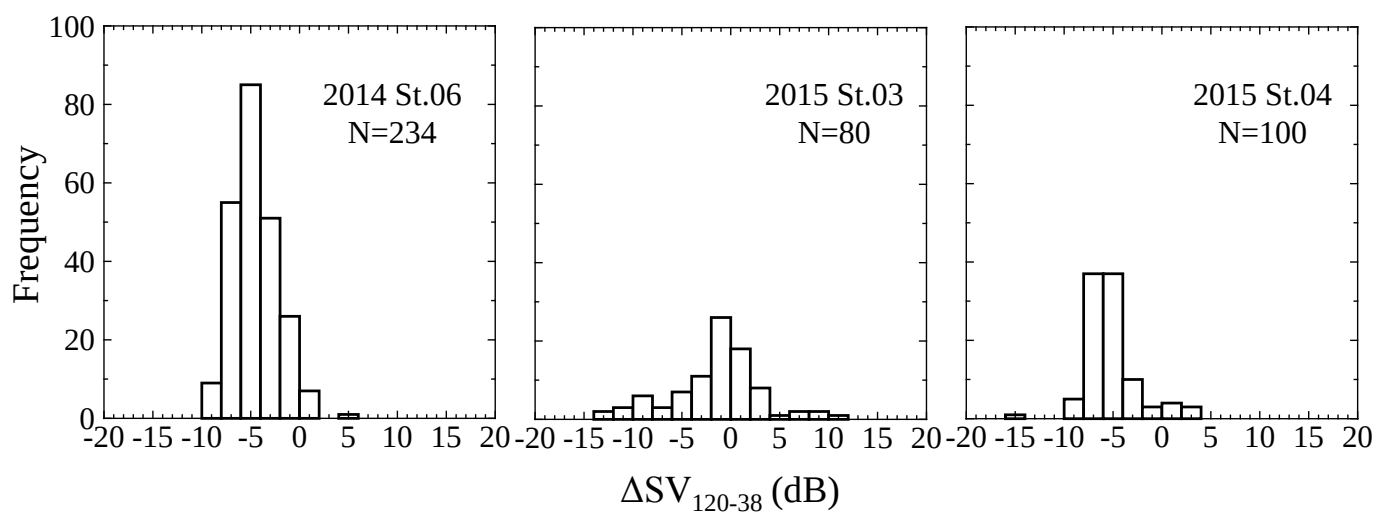
広瀬美由紀
「Fig.1」
印刷幅6.5cm











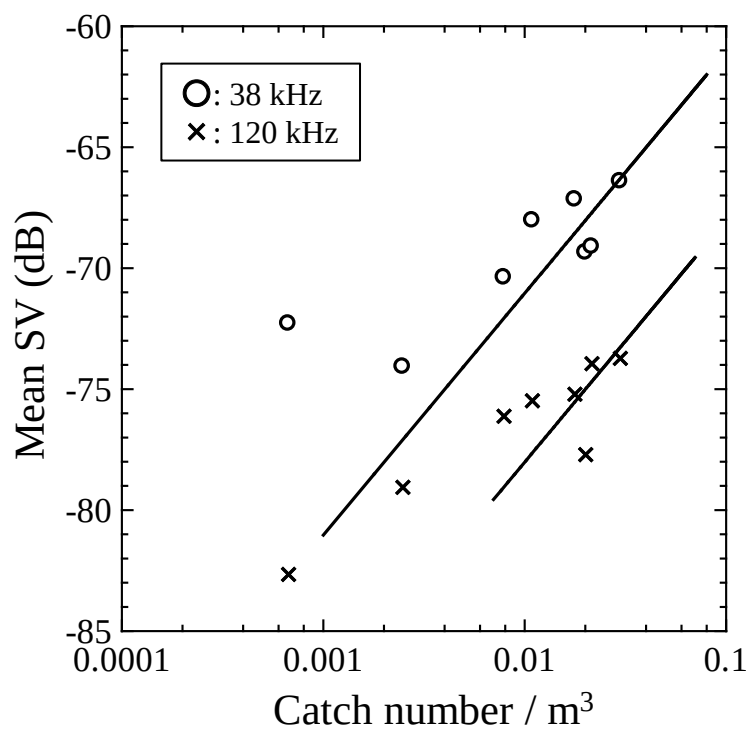


Table 1 Parameter settings for the KFC3000 system.

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)		<i>Trachurus japonicus</i>	<i>Psenopsis anomala</i>	<i>Carangoides equula</i>	Other Fish (Number)	<i>Aurelia aurita</i>	<i>Pterotrachea coronata</i>	<i>Cavolinia uncinata</i>
2014	St.01	33.1 43.8	7,849	3	2	<i>Arnoglossus yamanakai</i> (1) <i>Zeus fabe</i> (1)	2	0	-
	St.02	37.2 39.8	2,015	28	5	<i>Stephanolepis cirrifer</i> (1) <i>Thamnaconus hypargyreus</i> (5) <i>Decapterus</i> sp. (3)	3	0	-
	St.03	33.4 41.4	965	1	5	<i>Stephanolepis cirrifer</i> (2) <i>Thamnaconus hypargyreus</i> (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	<i>Thamnaconus hypargyreus</i> (4)	3	12	-
	St.07	35.6 42.9	1,737	3	4	<i>Hyperoglyphe japonica</i> (1) <i>Lophius litulon</i> (1)	1	4	-
	St.08	24.6 31.0	1,394	4	8	<i>Thamnaconus hypargyreus</i> (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	○

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

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