

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06201

研究課題名(和文) 野外調査と水槽実験による“浮きソウハチ”の音響特性の解明と音響資源調査の実現

研究課題名(英文) Elucidation of acoustic characteristics of the "floating pointhead flounder" by field and tank experiments and realization of acoustic survey of fisheries resources

研究代表者

向井 徹 (MUKAI, Tohru)

北海道大学・水産科学研究院・教授

研究者番号：60209971

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：計量魚群探知機によるソウハチの現存量推定を実現するために、ソウハチの音響特性を野外調査と水槽実験で調べた。音響資源調査に必要な基礎情報を蓄積するとともに、最適な調査時間など特定を行った。まず、野外調査で、計量魚群探知機に写るソウハチの魚群の特徴を調べ、中層でパッチ状になっていることがわかった。次に水槽実験でソウハチの反射特性や昼夜における行動の違いを調べ、ソウハチの音響調査は昼間に行うべきという結果がわかった。最後に、野外調査で、ソウハチと遭遇するスケトウダラ稚魚や動物プランクトンについて計量魚群探知機での写り方や周波数による違いを調べ、これらの判別方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カレイ類の現存量の推定は、着底トロールや刺網などによって行われているが、本研究の成果を用いると音響手法によるソウハチの現存量推定が可能となる。さらに、“浮きソウハチ”の時期の春期には、水産重要種とされるスケトウダラ太平洋系群の稚魚が噴火湾から北海道東部沖へと移動する。この移動の際に多くのスケトウダラ稚魚がソウハチと遭遇し捕食されていると推測している。スケトウダラの資源変動は、捕食圧によるところが大きいことが知られており、ソウハチおよびスケトウダラ稚魚の音響調査を行うことで、ソウハチとスケトウダラ稚魚との遭遇の規模・頻度やソウハチの捕食によるスケトウダラ稚魚へのインパクトを評価できると考える。

研究成果の概要(英文)：The acoustic characteristics of pointhead flounder were investigated by field surveys and tank experiments to realize their acoustic resource survey. We accumulated basic information necessary for acoustic resource surveys and identified the optimum survey season. First, in the field survey, we examined the characteristics of the fish schools of pointhead flounder captured by the quantitative echo sounder, and found that they were patchy in the mid-water layer. Next, tank experiments were conducted to investigate the acoustic characteristics and differences in their behavior during the day and night, as a result, acoustic surveys of pointhead flounder should be conducted during the daytime. Finally, we investigated the differences in the frequency characteristics and the echo shapes by the quantitative echo sounder in field surveys of other fish species and zooplankton overlapping with pointhead flounder, and proposed the method for discriminating these species.

研究分野：水産音響学

キーワード：魚群探知機 音響散乱特性 音響資源調査 無鰭魚 ソウハチ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

計量魚群探知機(以下、計量魚探機)は、主に船底の送受波器から超音波を海底方向に発射し、その反射波(エコー)の強度から魚群やプランクトンなどの分布や密度を調べる(音響資源調査)。計量魚探機を使うと、広範囲の海域を短時間で連続的に調査が可能となるが、一般に、海底直上に分布する生物は、生物と海底との分離ができない(海底デッドゾーン)ため、海底に生息するカレイ(異体類)は、音響資源調査の対象外とされていた。

ソウハチは、オホーツク海から東北太平洋側、日本海、黄海、渤海まで広く分布し、日本で最も多く漁獲されているカレイの一種である。本種は、他のカレイと同様、海底で生活し底生の生物を捕食するが、春季の北海道太平洋西側(えりも岬から噴火湾々口部)の沿岸では表中層まで遊泳し、プランクトンやスケトウダラ稚魚などを積極的に索餌する。釣り人には“浮きソウハチ”として知られているが、“カレイは底魚”という固定観念からか、“カレイが泳ぐ”行動は一般に広く知られていない。申請者らは、本種が表中層を泳ぎ海底デッドゾーンから離れることに注目し、カレイが音響資源調査の対象になると考えた。

魚類の音響反射の大部分は鰾(うきぶくろ)によるものとされているが、カレイ類は鰾を持たない“無鰾魚”である。無鰾魚では、超音波反射における筋肉や骨格の影響が大きいことが知られている。カレイは、その著しく側扁した形態から音波を遮る断面積が大きく、また、水平方向に骨格が広がっているため、超音波反射における骨格の寄与が一般の魚類に比べ大きいと考えられる。このため、今までに音響的特性が調べられている紡錘形の無鰾魚とは音響特性(超音波反射のサイズ依存性や周波数依存性、姿勢角依存性など)が大きく異なる可能性が高い。また、魚体の姿勢が変化すると魚体への超音波の入射角が変わり、反射の大きさも変化する。つまり、魚体の超音波反射は魚体の遊泳角にも依存するものであり、音響特性の解明には側扁する形態のソウハチがどのような姿勢で泳ぐか、その遊泳特性を調べる必要がある。さらに、申請者らのこれまでの経験から、本種は夜間に着底し、計量魚探機では探知できない可能性がある。このため、活動の日周性を調べ音響調査に適した時間帯を調べる必要がある。

2. 研究の目的

本申請研究では、“ソウハチは底魚であるが、表中層に分布し音響資源調査の対象となる”ことに着目し、ソウハチの音響特性と行動特性を明らかにし、計量魚探機による音響資源調査の実現を目指すことを目的とした。具体的には下記について調べた。

ソウハチの音響特性の解明

ソウハチの遊泳姿勢角と遊泳角分布の解明

ソウハチの活動の日周性の解明

3. 研究の方法

本研究では、上記の目的を達成するために、野外調査と水槽実験を下記のように実施した。

野外調査:

(1) **ソウハチの現場調査:**現場で3周波数型計量魚探機(周波数38, 120, 200 kHz)を用いて、画面(エコーグラム)上に現れる反応(エコー)を調べる。それらを漁具等で漁獲し、エコーの特徴と魚種の関連付けを行う。

水槽実験:

(2) 懸垂法による測定:

麻酔を施した個体を海水水槽内に懸垂し、超音波の入射角を変化させて超音波反射の姿勢角特性を測定し平均的な超音波反射を求める。

上記の測定後に試供魚を苦痛なく安楽死させ、筋肉をできるだけ摘出し大部分が骨格の状態にする。そしてと同様の測定を行い、骨格の超音波反射の姿勢角特性を調べる。

これを広い周波数帯で測定可能な音響システムで測定する。

両者の姿勢角特性・周波数特性の差異から魚体の超音波反射における骨格の影響を明らかにする。

(3) 自由遊泳法による音響反射の測定と昼夜におけるソウハチの遊泳行動の違い：

ソウハチを大型水槽内で数日間に渡って自由に遊泳させ、送受波器直下を通過するときの超音波反射を測定するとともに、ビデオカメラにより遊泳行動を記録し、自然に近い遊泳姿勢角を調べる。また、昼夜における活動の変化を調べる。

活動の日周変化から“浮きソウハチ”となる時間帯を調べ、音響調査に適した時間帯を特定する。

ソウハチの音響資源調査の実現のための諸条件の検討：

野外調査と水槽実験から得られた音響特性と行動特性を統合し、音響資源調査の実現に向けた諸条件（使用する周波数，超音波反射の反射波強度，遊泳姿勢，平均反射波強度，調査時間帯など）を検討する。

4. 研究成果

野外調査：

(1) ソウハチの現場調査：

特徴的なエコーがみられた場所で、フレーム型トロールネット、釣り、プランクトンネットなどを用いて生物種の特定を行った。その結果、ソウハチ、スケトウダラ稚魚、動物プランクトンについてそれぞれ次のような特徴で関連付けられた。ソウハチについては、図1の○に見られるようにパッチ状のエコーを形成し、高周波数になるほど音響散乱が強くなる特性がみられた。スケトウダラ稚魚については図2の赤矢印に見られるようにパッチ状ではなく層状となり周波数特性については200 kHzで若干弱い傾向にあった。また濃密な魚群を形成しているため音響散乱は強かった。動物プランクトンのエコーは図1の海底付近の赤矢印に見られるように層状となりソウハチ同様高周波数ほど音響散乱が強くなるが、音響散乱自体はソウハチより弱いという特徴がみられた。このような特徴により、同時期に主に混在する3つの生物種の判別が可能であることがわかった。

水槽実験：

(2) 懸垂法による測定：

大型水槽にて活魚に麻酔を施しそれを懸垂し回転させて音響反射を調べた。結果の一例を図3左に示す。これは今回機器をレンタルして測定したソウハチの広帯域音響反射特性である。横軸はソウハチの姿勢で、マイナスは水平より頭を下げた状態、プラスは逆に頭を持ち上げた状態である。上半分と下半分は異なるシステムで測定した結果であり、周波数帯がずれている。特徴としては、魚が水平状態の時に音響反射（ターゲットストレングス：TS）が最大となり、そこから傾くにしたがって左右対称に音響反射の増減を繰り返していた。この魚体の筋肉をできるだけ除去してTSを測定した例を図3右に示す。これを見ると、筋肉を除去したほうが水平付近でのTSが安定しているのがわかる。2個体について、各周波数における最大TSと平均TSを周波数ごとに求めたのが図4である。上が最大TS、下が平均TSである。横軸は周波数、縦軸はTSである。破線が魚肉なし、実線が魚肉ありである。これを見ると、魚肉なしの状態でのTSが、魚肉ありの時より大きくなっている場合が多くみられるのがわかる。これは筋肉からの音響反射波と骨からの音響反射波からの干渉によって生じるもので、今まであまり見られなかった現象である。これについては精査が必要である。

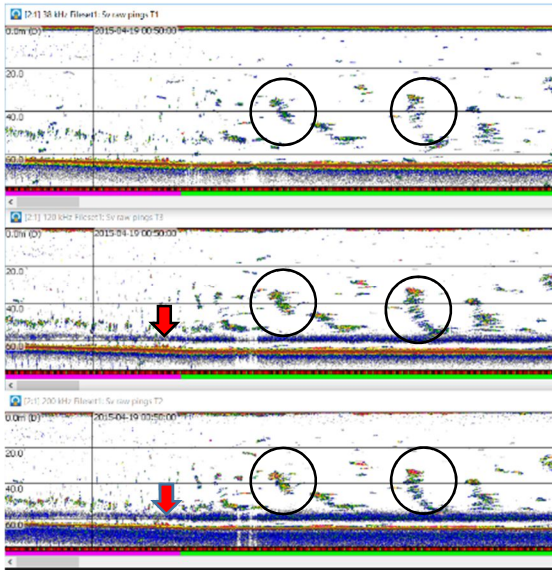


図1 . ソウハチと動物プランクトンのエコー
上から順に周波数 38, 120, 200 kHz

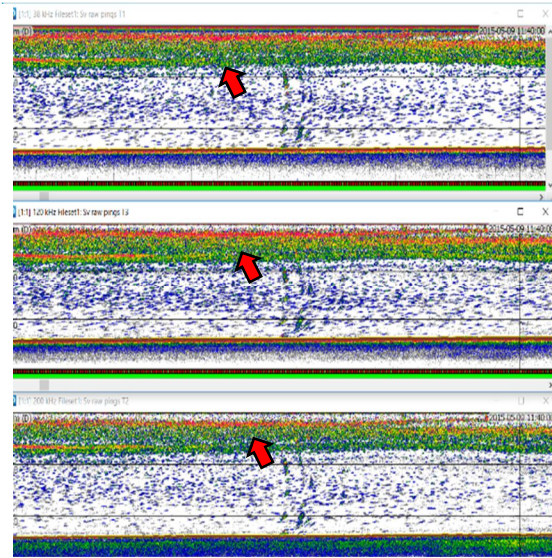


図2 . スケトウダラ稚魚のエコー



(whole)



(bone)

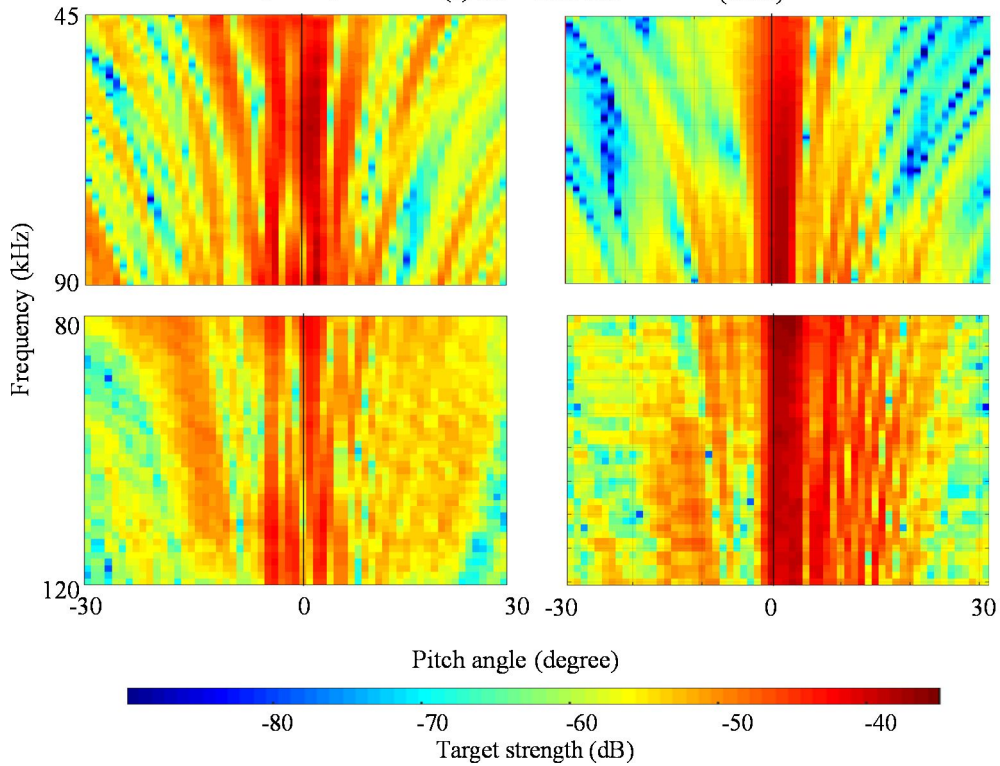


図3 . ソウハチの音響反射の広帯域周波数特性と姿勢角特性。上と下で異なるシステムの結果。
左) 完全な形の魚体, 右) 魚体の筋肉を半分除去した個体

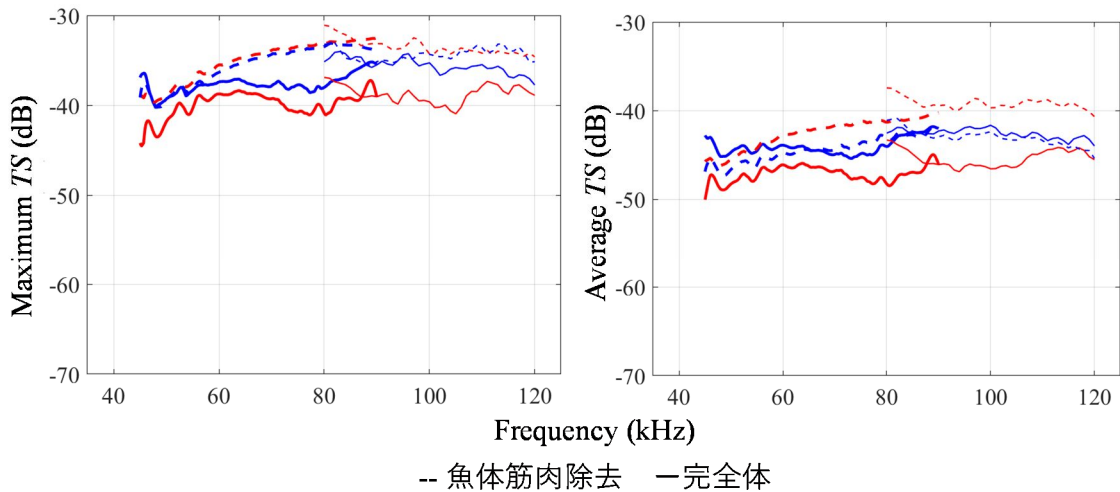


図4．魚体の筋肉を除去する前（実線）と半分除去したときの最大 TS（左）と平均 TS（右）の周波数特性

(3) 自由遊泳法による音響反射の測定と昼夜におけるソウハチの遊泳行動の違い：

測定期間中に得られた TS の頻度分布を図5に示す。周波数は70 kHzである。いろいろな姿勢で遊泳し、音響ビーム内のいろいろなところで検出されているため、幅広い TS が観察されている。ここから求められる TS が平均 TS に近いものになる。また、同時に得られた遊泳姿勢分布を図6に示す。ほぼ正規分布のような形状であるが、0°付近での遊泳が極端に多かった。

一方、上記の測定において、1時間ごとに得られたデータの数をもとめたのが図7である。これより、ソウハチは昼間に活発に遊泳し、夜間は底で停滞しているであろうことが推測された。しかし、現場における確認は、コロナ禍により実現できなかった。

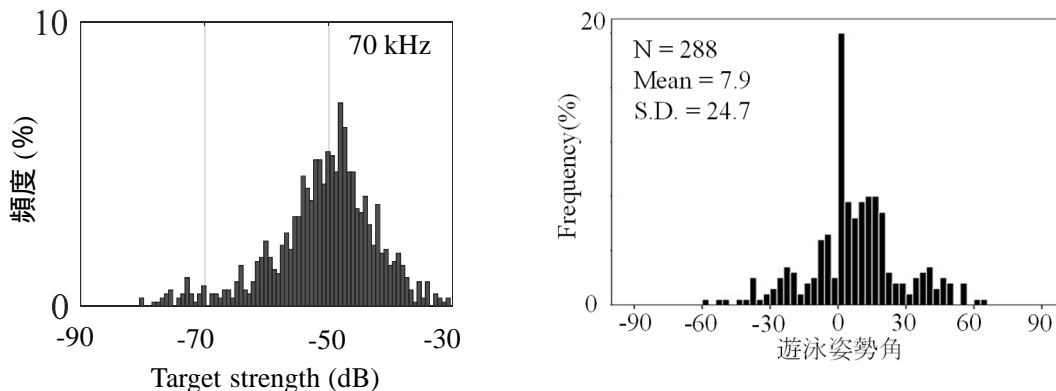


図5．自由遊泳法による TS の頻度分布 (70kHz) 図6．ビデオカメラで求めた遊泳姿勢分布

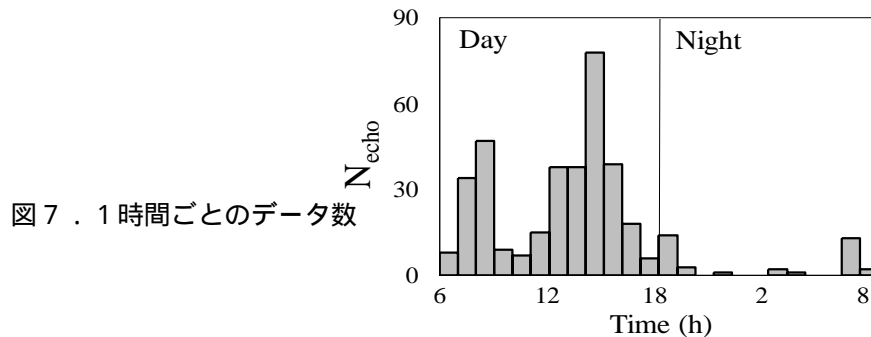


図7．1時間ごとのデータ数

ソウハチの音響資源調査の実現のための諸条件の検討：

これら上記の結果を統合すると、昼間にパッチ状を形成し、高周波数ほど反応の強いエコーがソウハチであると推測でき、そのようなエコーのみを抽出してエコー積分し、最終的に図5で求めたような平均的な TS で割ることで分布密度が計算でき、海域全体に引き伸ばして現存量の推定が可能であると考えられた。さらにスケトウダラ稚魚についてもエコーの特徴や周波数特性を使って抽出し現存量を推定することが可能である。これら両種の量を今後継続的に音響手法でモニタリングすることで、両種の被食・捕食圧についての考察ができるものとする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yan NZ, Mukai T, Yamamoto J, Hasegawa K, Kudou N
2. 発表標題 Acoustic characteristics of three bladderless fishes
3. 学会等名 178th Meeting of the Acoustical Society of America (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 間 乃 箏, 向井 徹, 長谷川浩平, 工藤尚之, 山本 潤
2. 発表標題 体形状の異なる無鰾魚の音響散乱特性の検討
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山本 潤 (YAMAMOTO Jun) (10292004)	北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・助教 (10101)	
研究分担者	長谷川 浩平 (HASEGAWA Kohei) (30826558)	北海道大学・水産科学研究院・助教 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------