

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02262

研究課題名（和文）南極・海氷下における魚類の行動・生態観測技術の確立

研究課題名（英文）Research and development of observation techniques for fish behavior and ecology under Antarctica sea ice

研究代表者

宮本 佳則（Miyamoto, Yoshiori）

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：80251685

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：これまで調査が十分に行われていなかった、南極の海氷下における魚類の行動・生態観測を実施する上で利用する、超音波テレメトリーシステム（魚類に装着する超音波発信機：ピンガーとその信号を受信する受信機）の海氷下における性能検証を実施した。特に、低温下での動作期間、海面が海氷で覆われているので音波が海氷に反射（多重反射）するので、その影響により正確なピンガーの位置を計測できるかを検証・解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海水温度が低く、海面が海氷で覆われている環境における超音波テレメトリーの運用はこれまで行われたことが少ない。設置手法や海氷による反射の影響などを明らかにすることで、極限水域でのテレメトリーシステムの活用が見込まれる。低温下での魚類の行動・生態は不明な点が多く、地球温暖化などに大きく影響されることが予想されるので、本成果を活用することで、魚類の行動・生態の新たな知見を得られる可能性を示唆している。

研究成果の概要（英文）：We conducted a performance verification of the ultrasonic telemetry system (Ultrasonic transmitter attached to fish: a receiver that receives the pin and its signal) under sea ice, which has not been sufficiently investigated so far, and is used for conducting behavioral and ecological observations of fish under sea ice in the Antarctic.

In particular, verification of the operating period at low temperatures. And we did verification and elucidation of whether accurate Pinger position can be measured by the influence of the sound reflected (multiple reflections) on the sea ice because the sea surface is covered with sea ice.

研究分野：海洋音響学

キーワード：超音波テレメトリー 魚類 行動・生態 海氷下 凍結河川

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

本課題提案代表者は、第34次日本南極地域観測隊（JARE-34,平成4年-平成6年）において、超音波バイオテレメトリーシステムを試作し、それを用いて昭和基地周辺の海水下におけるシウワギスの行動追跡を試み、一定の成果を得ることができた。しかしながら、当時の機器性能や追跡を行った魚の数や種類は、初期の段階としては十分なものであったと判断するが、行動・生態までを明確にすることはできていない。この際の受信機は、低温下での動作テストを十分に行えず、かつ一匹の魚しか追跡することができなかった。

第37次日本南極地域観測隊（JARE-37,平成7年-平成8年）において、超小型データロガーをアデリーペンギンに装着して、その行動・生態を観測することを実施し、その際、餌生物となる魚類についての知見が不足していることを痛感した。

その後、科学技術振興機構・平成21年度企業研究者活用型基礎研究推進事業“水産資源生態調査のための超小型ピンガーシステムの開発”で、同時に20個体以上を追跡できる超音波バイオテレメトリーシステムを開発した。このシステムの開発により、国内での超音波システムの機器開発を行う体制が整い、システムの問題点や改良点を短時間で改善できる環境となっている。これらの現状から、未だ十分に解明されていない海水下の魚類の行動・生態を計測する研究が進められる体制が整ったと判断し、本課題の構想に至った。

2. 研究の目的

極域における生物の行動・生態研究については、データロガー等を用いた大型動物の例は多いが、魚類の行動解析、特に海面を海水に覆われた海域での調査・研究が行われた例はほとんど無いのが現状である。また、同じ極域の魚類でも海水直下や底生と様々な生態様式があり、十分に調査されているとは言い難い。加えて、大型動物の餌生物でもある魚の行動・生態は、大型動物のそれに与える影響も大きい。

近年、魚類の行動・生態を観測する手法として魚類に装着する超小型超音波発信機（ピンガー）と超音波受信機を組み合わせた超音波バイオテレメトリーシステムが多く利用されている。このシステムには、大別して1) 追跡型と2) 設置型、3) 詳細測位型がある。近年、設置型を多数利用した測位を行えるシステムの利用が盛んになっている。本課題提案代表者らは、このシステムを開発し、実用化している。しかしながら、システム（ピンガーと受信機とも）の極域における利用実績が無く、特に低温による機器のバッテリー寿命など不明な点が多い。加えて冬季では、海水下に受信機を係留する手法及び回収方法を確立することが重要である。

そこで、国立極地研究所南極観測センターが公募した、南極地域観測第IX期計画（前期：平成28年度～30年度）における一般研究観測・萌芽研究観測に「海水下における魚類の行動・生態の解明」を萌芽研究として提案したところ、“海水下の魚類行動について新知見が期待され、ペンギン類などの餌環境状況の理解をもたらすであろう。水産学的重要種も対象としており、研究の発展が期待される。”として、“是非とも実施すべき研究課題”として採択されている。

これにより、近年技術革新が進んでいる超音波バイオテレメトリー手法により、昭和基地周辺の沿岸域において、魚類の行動・生態観測を行い、同時にCTDなどによる海洋観測データを比較することで極域の魚類の行動と環境の関係を明らかにすることを目的とする。具体的な対象魚は、昭和基地周辺で採取され、捕獲が比較的容易な3種、ライギョダマシ、ボウズハゲギス、シウワギスを予定している。

南極海の鍵種とされるナンキョクオキアミやハダカイワシ類の調査が進む中、本申請課題により極域の沿岸における、特に通年を通じて海水の覆われている環境での、魚類の生産性や資源量の推定に寄与するデータを得ることができるシステムを構築することが目的となる。

技術的な側面として、海水下における超音波バイオテレメトリーシステムの活用、利用方法を確立する試行を行えることとなり、継続的に極地や海水下での観測を行うための基礎的データを得ることが期待できる。特に極域の海水下では、暖かい海で問題となる海中雑音、主にテッポウエビなどの生物雑音が極端に無い水中音響環境であり信号対雑音比（SNR）が高い反面、海面を氷で覆われていて多重反射（マルチパス）を起こしやすい環境である。この様な水中音響環境下での超音波バイオテレメトリーシステムの利用は、これまで課題提案者らが行ってきた魚類の行動調査環境と大きく異なることから、機器開発に新たな知見を得られることが期待される。

3. 研究の方法

南極・昭和基地周辺で魚の行動追跡を行うための超音波バイオテレメトリーシステムと水中録音機を設置して、a) 海中の音響雑音レベル計測、b) 発信機と受信機間の距離測定、c) 捕獲したシウワギスなどに発信機を装着して、短期間の行動計測を実施した。解析として、1) 雑音レベルの解析を行い、受信距離の関係を明確にする。2) 短期間ではあるが、複数の個体の行動追跡を実施したので、その解析を実施する。

具体的には、1) では、海面を海水で覆われ、テッポウエビなどの音を発生する生物が生息し

ていない極域の海域では、雑音レベルが極端に小さいが、海面反射以上に海氷反射の影響が大きく出る可能性がある。海中の雑音レベルが小さいことは、信号対雑音比（SNR）が高いことを意味し、ピンガーと受信機との間の受信距離が長く、一方、海氷反射は、マルチパスを生じ、魚の測位を行う場合に、直接波とマルチパスの分離を困難にし、測位誤差を生じることが想定される。したがって、海氷下の水中音響特性を十分に把握することは、海氷下の魚の行動追跡において、受信機の配置や測位精度に大きく影響を与えるので、データ解析して適切な受信機配置やマルチパス対策をシミュレーションできる計測システムを構築する。2) では、魚のサイズと海洋環境データ（水温、塩分）を用いて行動・生態解析を実施する。昨年度、購入できなかった水中雑音計測システムについては、既存機器の性能を再度検証するとともに、詳細な仕様を決定して製作を進める。

初年度、南極地域観測第IX期計画の第60次南極地域観測隊（平成30年度）で、1) 雑音レベルの解析に必要なデータの収集及び受信機の配置の検討を実施。また、2) 複数の魚の行動追跡実験を実施した。

2年目は、国内の淡水湖ではあるが、表氷結する河川（北海道厚岸、別寒辺牛川）において、南極における観測での計測システムを構築する。加えて、受信機の設置は、通常、海底や海中もしくはブイの様に海上に設置する。海氷が覆う海域では、穴を開けて受信機を設置することとなる。いずれの場合でも、低温による海氷に開けた穴の氷結、逆に海氷の流出による機器の紛失を十分に考慮する必要がある。そこで、初年度の南極での経験を踏まえて、どの様な設置方法が効率的かつ確実であるかの検討を行い、国内の氷結河川で検証実験を実施する。

具体的には、北海道厚岸の別寒辺牛川を調査場所として選定して、調査研究を開始した。2019年11月に機器類を設置するとともに、複数魚種へ超音波発信器（ピンガー）を装着して越冬期間の行動・生態の観測を開始した。厳冬期に一度、機器の流出などがなかったかの確認を実施している。最終的な機器の回収は、2020年6月に回収する。

3年目は、前年度に実施した別寒辺牛川で実施した冬季の観測データを解析して、受信システムの動作やデータ取得状況を解析する。

4. 研究成果

初年度は、第60次南極地域観測隊において、南極昭和基地周辺の沿岸域で、超音波バイオテレメトリーシステムの性能評価を実施した。機材としては、海外製品および国内製品の2種類を用いた。これは、対象魚種の体長が小さいことを想定して、できるだけ小型の超音波発信器（ピンガー）を用いたいこと。しかしながら、狭い海域において多数の魚種の行動を観測したいことから、国内外の製品を吟味して、適切な機種を選定した。また、海氷に覆われている海域なので、通常と異なり、海面での超音波信号の反射が大きくなること。温帯域から熱帯域で観測される水中生物の鳴音がないことなどから、水中録音機を用意して、超音波の伝搬距離、信号対雑音比、測位精度の検証などの計測を実施した。

さらに、実施に魚類を捕獲して、数匹で短い期間ではあるが、行動追跡観測を実施した。また、当初予定していた複数魚種の捕獲にも成功したので、魚種による行動の違いなども観測が実施でき、かつ、魚種組成についての知見を得ることができた。加えて、今後の研究を見据えて、アデリーペンギンの営巣地などを視察して、現場における超音波バイオテレメトリーシステムの設置などについての検討材料を得ている。

第60次日本南極地域観測隊の夏隊において、南極昭和基地の周辺沿岸域において、超音波バイオテレメトリーシステムの性能評価ならびに、魚種の行動・生態観測を実施したデータを解析した。また、調査に際し得られた魚種のサンプリングから、複数魚種が得られたので、その組成分布などを解析した。魚種の行動・生態解析とシステムの測位精度に関する結果は、2019年6月に開催された the 5th International Conference on Fish Telemetry in Arendal, Norway (ICFT2019) と、2019年11月に開催された、The Thirteenth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society, Keelung, TAIWAN (AFAS2019) において口頭発表を行った。また、サンプリングされた魚種について、南極資料（国立極地研究所発行）に投稿して受理、印刷されている。ただし、南極における夏季のみであり、冬季などを経ての機材の回収などについては国内で検証を実施する。

最終年度にあたる2020年度は、新型コロナウイルスの影響で実験機材の購入が困難となったため、繰越申請を行い、2021年度までの事業期間延長が認められた。

2021年度は、1) ピンガーと受信機間の受信距離の関係を明確にする。海面を海氷で覆われ、テッポウエビなどの音を発生する生物が生息していない極域の海域では、雑音レベルが極端に小さいが、海面反射以上に海氷反射の影響が大きく出る可能性がある。海中の雑音レベルが小さいことは、信号対雑音比（SNR）が高いことを意味し、ピンガーと受信機との間の受信距離が長くなる。2) 海氷反射は、多重反射（マルチパス）を生じ、魚の測位を行う場合に、直接波とマルチパスの分離を困難にし、測位に誤差を生じる。昨年度の解析結果からも明確になっているので、マルチパスの低減手法の開発を実施するとしていた。マルチパスの低減手法の開発過程において、マルチパスを利用すると魚までの距離が計測できることが判明し、データの一部で検証を行った結果、その可能性が示唆された。ただし、検証実験が実施できていないので、今後マルチパスによる受信機とピンガー間の距離計測については継続して研究を進める予定である。

また、前年度に実施した別寒辺牛川で実施した冬季の観測データを解析した結果、設置した受信機の数（5本）よりも広範囲に魚類が移動していることが判明した。したがって、受信機を33本とすることで広範囲かつ詳細な調査を最終年度で再度実施している。受信機の回収が翌年度（2022年度）となるため、今後、解析結果を国内・国外の学会で発表する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 西澤秀明・市川光太郎・浅井咲樹・荒井修亮・三田村啓理・宮本佳則・岩見哲夫	4. 巻 63
2. 論文標題 2019年1月に北の浦（リュツォホルム湾・東南極）で採集された魚類の記録	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 南極資料	6. 最初と最後の頁 20-26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa, Hideaki Nishizawa, Saki Asai, Nobuaki Arai, Yoshinori Miyamoto
2. 発表標題 Behavior of the nototheniid fish, <i>Trematomus</i> spp., under the sea ice around the Syowa Station in Antarctica
3. 学会等名 the 5th International Conference on Fish Telemetry（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Miyamoto, Kotaro Ichikawa, Hideaki Nishizawa, Saki Asai, Nobuaki Arai, Hiromichi Mitamura
2. 発表標題 Behavioral observation of <i>Trematomus bernacchii</i> and <i>T. pennellii</i> by ultrasonic biotelemetry in the coastal area around Syowa Station, Antarctica
3. 学会等名 The Thirteenth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society（国際学会）
4. 発表年 2019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
研究協力者	西澤 秀明 (Nishizawa Hideaki)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	浅井 咲樹 (Asai Saki)		
研究協力者	岩見 哲夫 (Iwami Tetsuo)		
研究協力者	鈴木 一平 (Suzuki Ippei)		
研究協力者	黒田 充樹 (Kuroda Mitsuki)		
連携研究者	三田村 啓理 (Mitamura hiromichi) (20534423)	京都大学・フィールド科学教育研究センター・教授 (14301)	
連携研究者	市川 光太郎 (Ichikawa Kotaro) (70590511)	京都大学・学内共同利用施設・准教授 (14301)	
連携研究者	荒井 修亮 (Arai Nobuaki) (20252497)	京都大学・学内共同利用施設・教授 (14301)	

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
---------	---------