

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03036

研究課題名(和文)水産生物の電子標識によるデータ駆動科学を実現するための超小型ナノロガーの創出

研究課題名(英文) Development of a nano-size electronic tag for aquatic animals to achieve data-driven science

研究代表者

野田 琢嗣(Noda, Takuji)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・研究員

研究者番号：70749184

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：これまでのバイオリギングでは、1)小型魚に適用困難、2)大量装着が実務的に困難、3)ビッグデータ化し一元解析するためのデータ蓄積・解析基盤が未整備という課題があった。本研究では、これらの課題を解決するために小型で、起動作業が簡便であり、かつ行動を計測可能な超小型ロガーを新たに開発した。また、得られる深度や照度データから位置を推定するプログラムを開発した。実証実験として、開発したロガーを種苗放流が行われているホシガレイに装着し、得られたデータを一元化したフォーマットで蓄積・解析する一連のフローを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、バイオリギングに用いるロガーとして、従来よりも小型で、起動作業が簡便であり、かつ行動を計測可能なロガーを新たに開発したことである。本研究では、ロガーから得られる深度や照度データから位置を推定するプログラムを開発し、状態空間モデルにより、連続的な位置推定を行う方法を開発した。さらに、得られたデータを一元化したフォーマットで蓄積し、これらの位置推定プログラムを実施できるクラウドシステムを構築した。以上より、今後、種苗放流をはじめ様々な水産生物にロガーを簡便かつ大量に適用できる環境を構築し、バイオリギングによるデータ駆動科学を実現する環境を創出できたと考える。

研究成果の概要(英文)：Conventional bio-logging has the following problems: 1) it is difficult to apply to small fish, 2) it is practically difficult to install a large number of bio-loggers, and 3) the data storage and analysis infrastructure for big data and centralized analysis is not yet in place. To solve these problems, this study developed a new logger that is small, easy to start up, and can measure behavior. In addition, we developed a program to estimate location from the obtained depth and light data from aquatic animals. As a demonstration experiment, the developed logger was attached to a Spotted halibut that was being released as a seedling, and a series of flows were constructed to accumulate and analyze the obtained data in a centralized format.

研究分野：水圏生物情報学

キーワード：バイオリギング ナノロガー 種苗放流 データベースシステム クラウドシステム データ駆動科学

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水産生物の資源動態や、種苗放流の資源添加の効果を把握するうえで、生物の移動・死亡や生息環境に関する情報は不可欠である。生物に様々なセンサを搭載したロガーを取り付け、行動や経験環境を連続的に計測する「バイオロギング」は、他の生態観測手法では困難な情報を取得する画期的な手法として発展してきた。例えば、バイオロギングでは、個体の放流から回収までの回遊経路や経験環境を連続的に計測し、標識再捕や漁獲調査など他手法のスナッフショット的な情報を繋げることができる。特に、バイオロギングの大量適用を継続することで、様々な水産生物が利用する環境や、回遊経路の個体差や経年の変化など、大規模データに基づいて生態を把握し、資源維持・増大や環境保護の施策に活かす、「バイオロギングによるデータ駆動科学」が可能になる。しかし、従来のバイオロギングでは、1 小型魚に適用困難、2 大量装着が実務的に困難、3 ビッグデータ化し一元解析するためのデータ蓄積・解析基盤が未整備という課題があった。

2. 研究の目的

本研究では、上記の課題を解決するために、小型で、簡便な装着が可能であり、かつ行動を計測可能なナノロガーおよびデータ蓄積・解析のためのクラウドシステムを開発することを目的とした。実証実験として、開発したロガーを種苗放流が行われている小型魚（モデル魚種としてホシガレイ）に装着し、得られたデータを一元化したフォーマットで蓄積・解析する一連のフローを構築する。

3. 研究の方法

(1)小型で、簡便な装着が可能であり、かつ行動を計測可能なナノロガーの開発

(1)–1：ロガー開発

従来よりも小型であり、かつ1年以上の長期間の計測を実現するため、新規のロガーの仕様を検討し、試作機を開発した。試作機では、大量な装着が可能になるような仕様を実現した。開発したロガーを実際にホシガレイに装着し、放流した。

(1)–2：行動推定アルゴリズムの開発

ロガーから得られるデータからの行動推定として、位置を推定するアルゴリズムを開発した。これまで底魚には、深度データに記録された潮汐履歴から位置を推定する潮汐位置決定法が用いられており、本研究では、さらに状態空間モデルにより、連続的な位置推定を行う方法を構築した。シミュレーションと実データへの適用により位置推定の精度検証を行った。また、ロガーは小型化すると電池サイズが制限されるため、得られるデータの計測頻度を少なくする必要がある。そこで、シミュレーションにより計測頻度を落とした場合に、潮汐位置決定法による水平位置推定の精度がどのように変化するか明らかにした。さらに、深度データだけではなく、照度からも位置推定するアルゴリズムを開発した。深度と照度により、生物の移動スケールや利用可能な環境データに応じて、位置を推定可能な方法を構築した。

(2)データ蓄積・解析基盤の開発

ロガーから得られるデータを一元化し、データの蓄積・解析が可能な基盤として Web システムを構築した。

上記の行動推定アルゴリズムの開発やデータ蓄積・解析基盤の開発のために、福島県にて従来のロガーをホシガレイに装着・放流し、深度データを取得する実験を行った。また、照度データについては、京都大学舞鶴水産実験所の棧橋に長期設置し、定点での計測データの取得を行った。

4. 研究成果

(1)小型で、簡便な装着が可能であり、かつ行動を計測可能なナノロガーの開発

(1)–1：ロガー開発

従来よりも小型であり、かつ1年以上の長期間の計測を実現するロガーを開発した(図1)。完成したロガーは、直径8mm、長さ26mmであり、世界最小クラスのサイズとなった。ロガーは、魚に装着する前に、PCに接続後、パラメータを入力し、スケジュール設定をする起動作業が必要となる。開発したロガーではこの起動作業を簡便化するために、ロガーとPCを繋ぐアダプターを接続しやすい形状にする



図1：開発したロガー



図2：ホシガレイに装着したロガー

とともに、設定アプリの操作を簡便化することで、従来起動に5–10分程度かかっていた作業を1–2分程度で達成できることを確認した。最終的に本研究では開発した新規ロガーおよび従来型のロガーも含め、ホシガレイ・イシガレイ・マコガレイを含め合計150尾以上に装着し、放

流を行った (図 2)。

(1) 2: 行動推定アルゴリズムの開発

深度データに記録された潮汐履歴から位置を推定する潮汐位置決定法に、状態空間モデルにより、連続的な位置推定を行う方法を開発した。シミュレーションと実データへの適用により位置推定の精度検証を行った。状態空間モデルによる状態推定には粒子フィルタと隠れマルコフモデルの2種類を検討した。どちらの手法でも状態推定は可能であったが、位置の水平解像度が高く、沿岸域での境界条件の取り扱い優れた粒子フィルタを最終的に用いることとした。福島県沖の深度 35m に定点設置した深度ロガー2台のデータに適用した結果、1-2ヶ月の観測期間のデータでは、5km程度の精度で位置を推定可能であった (図 3)。またシミュレーションにおいても2ヶ月間では、5km程度で推定可能であった (繰り返し数 30回)。実際にホシガレイから得られた深度データに適用することで、産卵回遊時の水平移動を推定することができ、成熟個体の漁獲位置と同様の位置で深場に行く様子を再現することができた。さらに、計測頻度を落とした場合に、潮汐位置決定法による水平位置推定の精度がどのように変化するか明らかにした。結果、計測頻度が1分間隔の平均 RMSE: 5km程度 (最大 9km) の誤差から、5分間隔の平均 RMSE: 10km程度 (最大 22km) の誤差に段階的に誤差が大きくなることがわかった。このため、最大 10km 以内の誤差を求める場合、現状の1分間隔が最適であることがわかった。

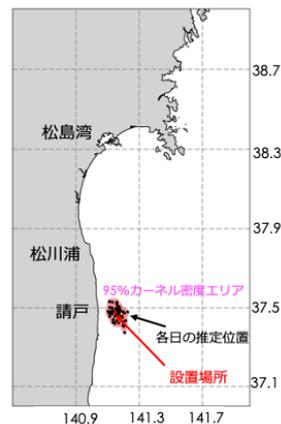


図 3: 定点設置した深度ロガーへの潮汐位置決定法による位置推定の例 (65日間)

さらに、深度データだけではなく、照度からも位置推定するアルゴリズムを構築した。アルゴリズムは日出・日没の放射照度の変化パターンが場所や日時により異なる特性を利用したテンプレート法を用いている (図 4)。年間の定点観測のデータを取得したデータに当てはめた結果、先行研究 (ロガーが異なり、詳細アルゴリズムが非公開) と同程度の精度で位置推定できることを確認した。深度と照度により、生物の移動スケールに応じて、位置を推定可能な方法を確立した。

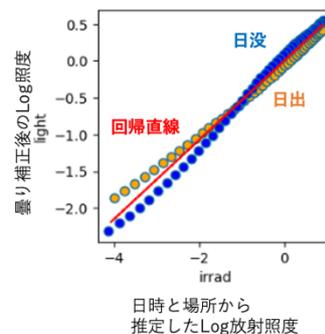


図 4: 照度データへのテンプレート法の適用例

(2) データ蓄積・解析基盤の開発

データ蓄積・解析基盤を、クラウドサービス AWS 上にて React および NextJS を用いて構築した (図 5)。ロガーの計測データは実験に関わるメタデータも含め一元化可能なフォーマット Apache Parquet として格納した。Parquet は、列指向フォーマットであることから、行指向ファイルと比較し、クエリの実行が効率的であり、ビッグデータ向きで近年、国際的にも海洋観測データの格納方法としても検討されているフォーマットである。さらに、メタデータをファイル内に記述できることから、1ファイルとして、メタデータとセンサの計測データを保持でき、持ち運びが容易であるメリットがある。解析処理には Docker で構築した Python のバッチ処理を AWS の Batch、Fargate を用いて実装した。Docker で構築することで、解析プログラムの実行に必要なライブラリを含めた環境を実現できる。実際に Docker 上で、バッチ処理により上記の位置推定プログラムを動作させることが可能であった。なお、クラウドサービス AWS 上の機能を使用することで、サーバー構築などゼロからすべて開発する必要がなく、管理がすべてマネージドなため、開発および管理の工数を大幅に削減できたと考えている。

本研究の意義は、バイオロギングに用いるロガーとして、従来よりも小型で、起動作業が簡便であり、かつ行動を計測可能なロガーを新たに開発したことである。本研究では、ロガーから得られる深度や照度データから位置を推定するプログラムを開発し、状態空間モデルにより、連続的な位置推定を行う方法を開発した。さらに、得られたデータを一元化したフォーマットで蓄積し、これらの位置推定プログラムを実施できるクラウドシステムを構築した。得られたデータを一元化したフォーマットで蓄積し解析を実行できるシステムは世界初である。以上より、今後、種苗放流をはじめ様々な水産生物にロガーを簡便かつ大量に適用できる環境を構築し、バイオロギングによるデータ駆動科学を実現する環境を創出できたと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Noda Takuji, Wada Toshihiro, Iwasaki Takashi, Sato Tatsuma, Narita Kaoru, Matsumoto Ikuo, Hori Tomoya, Mitamura Hiromichi, Arai Nobuaki	4. 巻 102
2. 論文標題 Post-release behaviors and movements of cultured and wild Japanese eels (<i>Anguilla japonica</i>) in a shallow brackish water lagoon in northeastern Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Biology of Fishes	6. 最初と最後の頁 1435 ~ 1456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10641-019-00917-z	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 -

1. 著者名 Noda Takuji, Wada Toshihiro, Mitamura Hiromichi, Kume Manabu, Komaki Takuhei, Fujita Tsuneo, Sato Tatsuma, Narita Kaoru, Yamada Manabu, Matsumoto Akira, Hori Tomoya, Takagi Junichi, Kutzer Alisa, Arai Nobuaki, Yamashita Yoh	4. 巻 98
2. 論文標題 Migration, residency and habitat utilisation by wild and cultured Japanese eels (<i>Anguilla japonica</i>) in a shallow brackish lagoon and inflowing rivers using acoustic telemetry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fish Biology	6. 最初と最後の頁 507 ~ 525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jfb.14595	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 -

1. 著者名 Mitamura Hiromichi, Nishizawa Hideaki, Mitsunaga Yasushi, Tanaka Kotaro, Takagi Junichi, Noda Takuji, Tsujimura Hirotaka, Omi Hiroaki, Sakurai Ryo, Sato Masaaki, Arai Nobuaki, Hori Masakazu	4. 巻 105
2. 論文標題 Attraction of an artificial reef: a migratory demersal flounder remains in shallow water under high temperature conditions in summer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Biology of Fishes	6. 最初と最後の頁 1953 ~ 1962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10641-021-01153-0	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 -

1. 著者名 Mitamura Hiromichi, Wada Toshihiro, Takagi Junichi, Noda Takuji, Hori Tomoya, Takasaki Kazuyoshi, Kawata Gyo, Arai Nobuaki	4. 巻 105
2. 論文標題 Acoustic zone monitoring to quantify fine-scale movements of aquatic animals in a narrow water body	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Biology of Fishes	6. 最初と最後の頁 1919 ~ 1931
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10641-022-01225-9	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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高木淳一, 和田敏裕, 鷹崎和義, 川田暁, 荒井修亮, 堀友彌, 野田琢嗣, 三田村啓理
2. 発表標題 バイオリギングによる水圏生物の行動情報の取得-10 福島県阿武隈川信夫ダムにおけるチャンネルキャットフィッシュの産卵場特定の試み
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 野田琢嗣, 小泉拓也, 藤岡紘, 北川貴士, 宮下和士
2. 発表標題 バイオリギングによる水圏生物の行動情報の取得-11 国産の照度ロガー開発の現状と今後の展開 1
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 野田琢嗣
2. 発表標題 汽水域に放流した天然・養殖ニホンウナギの移動生態
3. 学会等名 第1回 ウナギ学の現状
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 野田琢嗣, 和田敏裕, 新関晃司, 藤田恒雄, 水野拓治, 高木淳一, 荒井修亮, 三田村啓理
2. 発表標題 バイオテレメトリーによる水圏生物の行動情報の取得-3 深度ロガーおよび状態空間モデルを用いた福島沖のホシガレイの位置推定精度の検証
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 野田琢嗣, 荒井修亮, 三田村啓理
2. 発表標題 バイオテレメトリーによる水圏生物の行動情報の取得-4 待ち伏せ型魚類の摂餌行動を把握するための加速度ピンガーおよびエッジaiの開発
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年～2021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	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)	
研究分担者	和田 敏裕 (Wada Toshihiro) (90505562)	福島大学・環境放射能研究所・准教授 (11601)	

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