

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：62611

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K15579

研究課題名（和文）高精度位置情報に基づく個体間相互作用から明らかにする魚類の群れのネットワーク構造

研究課題名（英文）Network structure of fish schools revealed by inter-individual interactions based on fine-scale positional information

研究代表者

高木 淳一（Takagi, Junichi）

国立極地研究所・研究教育系・日本学術振興会特別研究員（PD）

研究者番号：00838526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：動物は様々な時間・空間スケールで群れを作って生活する。群れ行動とは、群れを構成する各個体間の、非常にローカルなスケールでの情報のやり取りの結果であると考えられる。本研究では超音波バイオテレメトリーを用いた双曲線測位手法を利用して、屋外環境において魚類の3次元位置情報を高精度（<10cm）・高頻度（<5秒）で獲得することにより、群れを構成する各個体間の相互作用を定量的に記述することを試みた。観察に成功した魚類の群れは、分離・集合を繰り返し、全体として緩やかな群れを形成しつつも、時折群れを崩さずに遊泳していた。本手法は、その様子を定量的に記述するに十分な能力があることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

昨今の技術革新によりGPSの小型化が図られ、鳥類など陸棲の動物を対象として、個体間の関係性を位置情報から明らかにする研究が盛んである。しかし水中においては、それを観察できるほどの詳細な位置情報を入手することは今尚困難である。本研究では超音波バイオテレメトリー手法を用いて、高頻度（測位間隔10秒以下）・高精度（測位精度10 cm以下）に複数個体同時に3次元位置情報を得ることに成功した。獲得した位置情報を元に、個体間の同調度などで群れ行動を定量的に評価することにも成功した。本手法は今後の魚類の群れ行動の研究に大きく貢献できる手法であることが確かめられた。

研究成果の概要（英文）：Animals live in groups at various spatial-temporal scales. Group behaviour is considered to be the result of information transfer on a very local scale between individuals that make a group. In this study, we attempted to quantitatively describe the interactions between individual fish in a natural environment using a hyperbolic positioning technique with high precision (<10 cm) and high frequency (<5 s) based on ultrasonic biotelemetry. The observed fish group repeatedly separated and assembled with forming a loose shoal, but occasionally swimming in a school. The method was sufficiently capable of quantitatively describing this situation.

研究分野：生物圏情報学・動物行動学

キーワード：超音波バイオテレメトリー 群れ行動 双曲線測位

1. 研究開始当初の背景

動物は様々な時間・空間スケールで「群れ」を作って生活する。群れ行動とは、群れを構成する各個体間の、非常にローカルなスケールでの情報のやり取りの結果であると考えられる。群れ行動を理解するためには、対象とする各個体の位置情報を高精度な時間・空間スケールで観察することが有益である。昨今の技術革新により GPS の小型化が図られ、鳥類などを中心とした陸棲の動物を対象として、個体間の関係性を位置情報から明らかにする研究が盛んであるが、水中においては、群れ行動を観察できるほどの詳細な位置情報を入手することは今尚困難である。

水中の動物の位置を観察する手法の一つとして、超音波発信機と受信機を利用したバイオテレメトリー手法による測位が世界的に使用されている。従来のバイオテレメトリー手法は、複数個体を同時かつ高頻度・高精度に測位することが困難だった。しかし近年、世界的にそれらの困難を克服する技術が開発され始めている。本邦でも近年、報告者が主体となり、従来手法よりも大幅に高頻度（測位間隔 10 秒以下）・高精度（測位精度 10 cm 以下）に複数個体を同時に測位可能な測位手法を開発した。この測位手法を用いれば、詳細な位置情報に基づいた群れ行動観察が可能となる。

2. 研究の目的

群れを構成する個体間の「動き」の相互作用を、高精度位置情報を元に調べれば、その群れの構造を個体間の関係性から明らかにすることができるのではないだろうか。この問いを解決するため、以下を目的とした。

- (1) 魚類を対象として、群れを構成する全個体の詳細な3次元位置データを屋外環境で取得する。
- (2) 取得した3次元位置データから、各個体間の相互作用を定量的に記述することにより、魚類の群れの構造を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 魚類の群れの詳細な 3 次元位置情報の取得

超音波バイオテレメトリー手法を用いて、魚類の群れの高精度 3 次元位置情報を取得した。使用したバイオテレメトリーシステムは、受信機 RM-2000 及び RM-1000（アクアサウンド社、神戸）と深度センサ付き発信機 AQPX-0625P（アクアサウンド社、神戸）の組み合わせである。対象種は沿岸性魚類のチョウチョウウオとした。野外実験は高知県中土佐町上ノ加江沖の角型生簀（12 m × 12 m × 6 m）において行った。捕獲したチョウチョウウオ 8 個体（全長 16.3 ± 0.4 cm）の腹腔に、発信間隔を約 3 秒に設定した深度センサ付き超音波発信機を外科手術で装着し、生簀内に放流した。生簀の四隅に受信機を設置し、89 時間の観測を行った。取得データから双曲線位置決定法により各個体の 3 次元座標を計算した。計算した座標を 3 秒間隔の時系列データに成

形し、それに基づき本種の群れ行動を観察した。

(2) 3次元位置情報に基づく群れ行動の定量評価

各個体間の3次元的な移動を元に、群れ行動を定量的に評価した。個体間の相互作用を評価するための指標は、最近接個体間距離 (Nearest Neighbor Distance: NND) と乖離遊泳指数 (Separation Swimming Index: SSI) という既存の指標を用いた。NND は、任意の時間における注目個体とその最も近くにいる個体との距離である。SSI は、任意の時間における注目する2個体それぞれの移動速度(速さと角度)を元に計算する、移動の同調度に関する指標である。

4. 研究成果

(1) 観察に十分な高精度3次元位置情報の獲得

全8個体が実験期間中生存し、うち6個体のデータ取得に成功した。残りの2個体は残念ながら発信機の不具合によりデータ取得ができなかった。取得データから双曲線位置決定法により、89時間分 ($92,098 \pm 2,862$ 点; $N=6$) の高精度・高頻度3次元位置情報 (測位精度: 0.16 ± 0.1 m; 測位率: 86.6 ± 2.7 %) を獲得した。

獲得した位置情報を概観すると、チョウチョウウオは主に生簀四隅の底部付近に居着いていた。生簀辺縁部を遊泳しながら分離・集合を繰り返し、全体として緩やかな群れを形成していた。6個体の群れを崩さずに生簀全体を大きく遊泳する様子も観察された。

(2) 群れ行動の定量的記述

チョウチョウウオが分離・集合を繰り返し緩やかな群れを形成しているときは、個体間距離が大きく、群れの同調度が非常に低かった。一方で、しっかりとした群れを形成して遊泳しているときは、個体間距離は小さく、同調度は高かった。本研究で使用了超音波バイオテレメトリーを用いた3次元測位手法は、屋外環境において長期間、魚類の群れ行動を記述するに十分な精度・頻度で位置情報を獲得できることが分かった。全個体の位置情報が得られなかったため、群れ全体の構造を明らかにすることはできなかったが、本手法は今後の魚類の群れ行動の研究に大きく貢献できる手法であることが確かめられた。

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 高木淳一・藤岡紘・福田漠生・板谷佳美・市川光太郎・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—6 高精度3次元測位によるチョウチョウオの生簀内での群れ行動観察
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junichi Takagi, Ko Fujioka, Hiromu Fukuda, Yoshimi Itaya, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Hiromichi Mitamura
2. 発表標題 Evaluation of group behaviour of fish by 3-D positioning biotelemetry
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 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
--	---------------------------	-----------------------	----

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