



## ゆっくり動く水生動物の行動を“見える化”

～マナマコの移動を捉える新解析手法を確立～

### ポイント

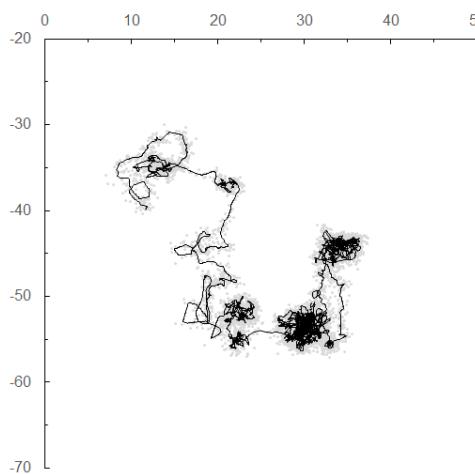
- ・目視でしか調べられなかったナマコ類の移動を、長期間・高精度に計測する新技術を開発。
- ・季節に応じて移動が活発なモードと抑制されたモードを切り替えていることを定量的に解明。
- ・ゆっくり動く底生動物の行動を「数値化」できる新たな評価技術として応用に期待。

### 概要

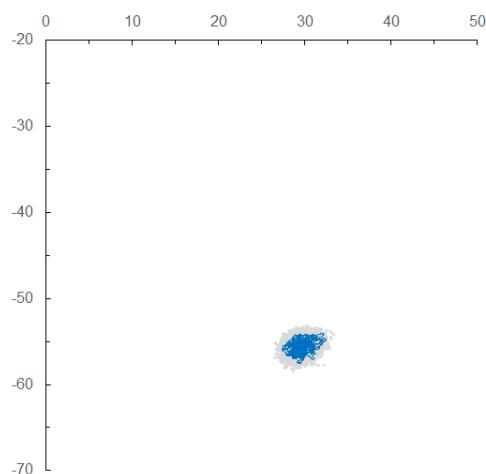
北海道大学大学院水産科学研究院の高木 力教授、同大学大学院環境科学院博士後期課程の田中優斗氏、同大学大学院水産科学院修士課程の篠野恵利香氏（研究当時）及び神田紘暉氏（研究当時）、道立総合研究機構函館水産試験場の酒井勇一主任主査らの研究グループは、音響テレメトリーとデータ同化手法を組み合わせ、これまで目視に頼っていたマナマコの移動を長期間かつ高精度で追跡する手法を確立しました。特に放流後の移動分散行動については、これまでほとんど明らかにされてこなかった分野であり、今後の応用が期待されます。さらに、フラクタル次元解析を用いることで、10月（夏眠期）と2月（成長期）における行動の「複雑性」や「活性度」を客観的に数値化し、マナマコが季節に応じて移動が活発なモードと抑制されたモードに切り替えることを定量的に明らかにしました。

本研究は、行動が遅く、従来の追跡方法では計測が難しかった底生動物に対し、高精度の行動推定を実現する新たな解析技術の基盤を示すものです。この技術は、ナマコ類をはじめとする水圏の底生生物の行動評価、放流効果の検証、資源管理などへの応用が期待され、今後の沿岸生態系研究や水産振興に大きく貢献する可能性があります。

なお、本研究成果は、2025年12月12日（金）公開の *Scientific Reports* 誌にオンライン掲載されました。



成長期（2月）の移動軌跡



夏眠期（10月）の移動軌跡

成長期と夏眠期のマナマコの移動軌跡。季節によってマナマコの動きの違いが明らかに。

データ同化手法の適用により個体の動きが明瞭に表されている。グレーの点（・）は音響計測のみで推定した位置。成長期では転石近くで留まりやすいことが分かった。

## 【背景】

海底でゆっくり移動するナマコ類の行動解析は、従来は目視による短時間観察に依存しており、長期的な移動や季節変化の把握は困難でした。特に輸出重要種でもあるマナマコでは放流後の移動・分散過程は資源管理上重要であるにもかかわらず、不明な部分が多く、詳細な分析が求められていました。

本研究は、音響テレメトリーにデータ同化手法<sup>\*1</sup>を組み合わせることで、マナマコの行動を高精度に連続追跡する新たな観測技術の確立を目指しました。

## 【研究手法】

北海道・乙部町の漁港に複数の音響受信機を設置し、超音波送信機を装着した体長20cm程度のマナマコを10月と2月に放流しました。

得られた位置データに対し、Kalman smoothingとよばれるデータ同化手法を適用し、観測誤差を低減して、マナマコの動きを高精度にトラッキングできるようにしました。推定された位置情報から移動距離・速度・行動モードを算出し、さらにフラクタル次元解析<sup>\*2</sup>により軌跡の複雑性を評価しました。

## 【研究成果】

位置推定誤差はKalman smoothingにより平均10–20cm程度まで大幅に低減し、海底での小さな動きも高精度に推定できることが確認されました。

行動解析の結果、10月（夏眠期）は移動が極めて小さく、放流地点周辺に滞在し、2月（成長期）は移動距離が大きく、より広い範囲を移動していることが明らかになり、季節による行動モードの切り替えを定量的に解明することに成功しました（図1）。

フラクタル次元は成長期と夏眠期で異なりました。特に活動が活発化する成長期では低くなる傾向が示され、データ同化手法から得られる行動活性の指標と併せて分析すると、夏眠期と成長期で時期による行動の違いをグループ分けできることが分かりました（図2）。

また、活動が活発化する成長期には転石付近での移動速度が低下する傾向も確認されました。これは転石が活動期における休息場所として機能している可能性を示唆しています。

## 【今後への期待】

本解析技術は、ナマコ類をはじめとする「**“ゆっくり動く小さな底生動物”の行動研究の新たな基盤技術**」となります。例えばウニやツブ貝などの海洋の遅い動きの底生生物の移動や生態の理解に寄与すると期待されます。また、放流効果の検証や資源管理、生息地構造の最適化などにも応用可能であり、漁業振興や沿岸生態系管理に貢献することが期待されます。

## 【謝辞】

本研究は北海道大学と北海道立総合研究機構函館水産試験場との共同研究として行われたものです。研究・調査遂行にあたり地元漁業者の皆様、乙部町役場及び北海道檜山地区水産技術普及指導所のスタッフの皆様には多大なるご協力を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

なお、本研究の一部は南北海道学術振興財団研究助成金により行われました。

## 論文情報

論文名 Data Assimilation Reveals Behavioral Dynamics of Sea Cucumbers as a Model for Slow-Moving Benthic Animals (データ同化は、ゆっくり動く底生動物のモデルとしてのマナマコの行動動態を明らかにする)

著者名 高木 力<sup>1</sup>、田中優斗<sup>2</sup>、篠野恵利香<sup>3</sup>(研究当時)、神田絢暉<sup>3</sup>(研究当時)、酒井勇一<sup>4</sup>(<sup>1</sup>北海道大学大学院水産科学研究院、<sup>2</sup>北海道大学大学院環境科学院、<sup>3</sup>北海道大学大学院水産科学院、<sup>4</sup>北海道立総合研究機構函館水産試験場)

雑誌名 Scientific Reports (自然科学の総合誌)

D O I 10.1038/s41598-025-29171-3

公表日 2025年12月12日(金)(オンライン公開)

## お問い合わせ先

北海道大学大学院水産科学研究院 教授 高木 力 (たかぎつとも)

T E L 011-706-2323 F A X 011-706-2323 メール tutakagi@fish.hokudai.ac.jp

U R L <https://sites.google.com/view/hokudai-takagi-gomi-lab-ja>

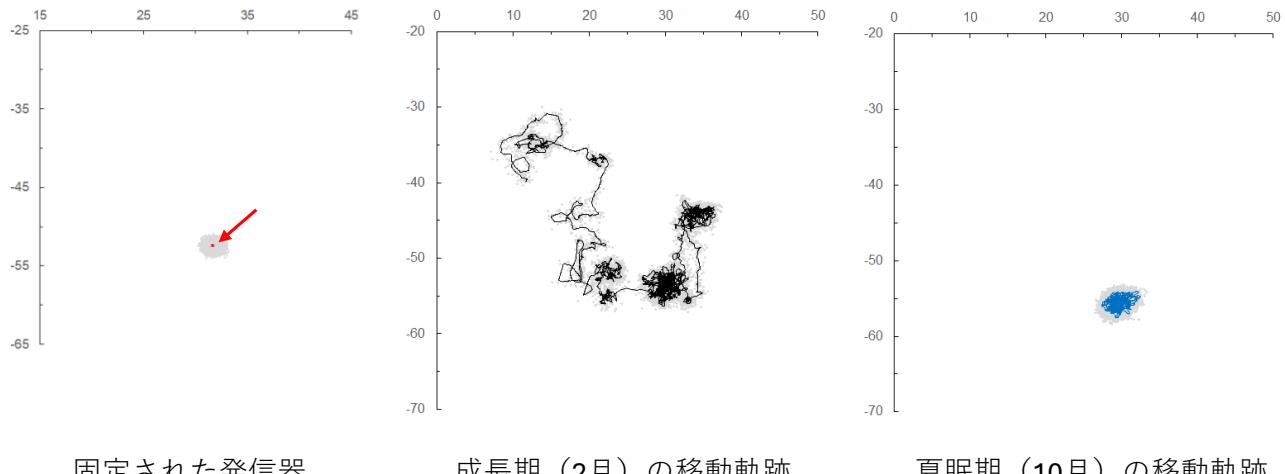
<https://www2.fish.hokudai.ac.jp/faculty-member/takagi-tsutomu/>

## 配信元

北海道大学社会共創部広報課(〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

## 【参考図】



固定された発信器

成長期（2月）の移動軌跡

夏眠期（10月）の移動軌跡

図1. 固定された発信器 (・: 赤い点)、成長期 (—: 黒線) と夏眠期 (—: 青線) のマナマコの移動軌跡。グレーの点 (・) は音響計測のみで推定した位置。データ同化手法の適用により個体の動きが明瞭に表されている。成長期では転石近くで留まりやすいことが分かった。

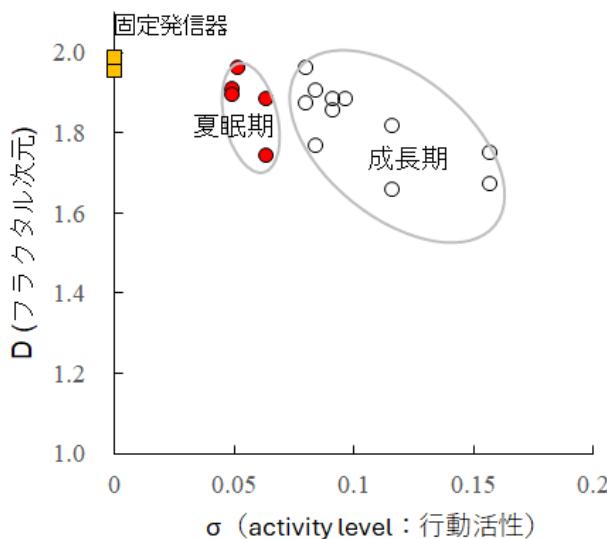


図 2. 各個体について算出したフラクタル次元とデータ同化手法で算出した行動活性指標  $\sigma$  を夏眠期と成長期のそれぞれでプロットしたもの。比較のために固定された発信器のものも示した。観測時期によってグループ化できることが分かる。

#### 【用語解説】

- \*1 データ同化手法 … 観測値が不完全だったり誤差を含んでいたりする場合に、数理モデルと統計手法を使って「最もあり得る真の状態」を推定する方法。本研究では、ナマコの移動軌跡を高精度で復元するために用いられている。
- \*2 フラクタル次元解析 … 海岸線のように、測るスケールを細かくするほど長さが変わる图形を分析する数学的手法。生き物の移動の軌跡も同様に、細かく観察するとジグザグした複雑な形をしており、その“複雑さ”を数値化したものがフラクタル次元である。値が大きいほど、細かく方向を変える行動を示し、値が小さいほど単調な動きを示す。