



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	マナマコの行動ダイナミクス : 状態推定に基づく行動解析と環境要因の評価
Author(s)	田中, 優斗
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。利用可能日以前の閲覧方法は https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/ をご参照ください。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16730号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16730
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99575
Type	doctoral thesis
File Information	TANAKA_Yuto_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士 (環境科学)

氏 名 田中 優斗

審査委員 主査 教授 高木 力
副査 教授 井尻 成保
副査 准教授 芳村 毅
副査 准教授 小泉 逸郎
副査 助教 五味 伸太郎 (大学院水産科学研究院)
副査 主任主査 酒井 勇一
(北海道立総合研究機構 水産研究本部)

学 位 論 文 題 名

マナマコの行動ダイナミクス：状態推定に基づく行動解析と環境要因の評価
(Behavioural dynamics of the Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus*: behavioural analysis
based on state estimation and evaluation of environmental drivers)

マナマコ *Apostichopus japonicus* は北海道沿岸における重要な水産資源である一方、放流後の分散や漁港内での生息・滞留過程は、流動環境に強く左右されると考えられる。本研究対象種は、単位時間あたりの移動スケールが小さく、流れによる受動的移動と自発的行動が複合する可能性もあるため、自然条件下で行動過程を連続的かつ定量的に把握することは困難であった。本論文は、超音波バイオテレメトリーによる高頻度位置データ、ベイズ理論に基づく状態推定手法、および生体力学的解析を統合し、マナマコの行動ダイナミクスを高精度に解明するとともに、資源管理および粗放的養殖技術への応用可能性を検討した。

第1章では、模型を用いた回流水槽実験により、定常流・加速流下での抗力係数 CD 、揚力係数 CL 、質量係数 CM などを推定し、形態が流れに対して示す力学的特性を定量化した。得られた流体力学的特性をもとに、実海域で想定される流体力との比較から流動耐性を評価し、さらに構造物（転石礁等）が形成する流体力学的陰影が個体の受動移動に及ぼす影響を検討した。

第2章では、動きの遅い水生生物を対象として、超音波テレメトリーにおける位置推定誤差を補正しつつ移動軌跡を復元するため、カルマンフィルタを用いた状態推定に基づく移動軌跡推定モデルを開発し、高精度な行動計測手法を提示した。

第3章では、北海道南西部の漁港内において超音波バイオテレメトリーによる移動追跡を実施し、季節（産卵期・非産卵期）や波浪条件の違いが移動速度に与える影響を評価した。その結果、平均移動速度は生活環に応じて変化し、夏眠期（9-10月）に 1.1-4.7 cm/min、回復期・成長期（11-6月）に 5.2-10.1 cm/min、産卵期（7-8月）に 8.8-17.8 cm/min と最大となった。また、有義波高の増加は移動速度を制動し、波浪時には転石礁への接近頻度が高まる傾向を示した。

第4章では、第3章で得られた位置データおよび環境情報の時系列に対し、アンサンブルカル

マンスムーザ (EnKS) を用いたデータ同化を適用し、観測と移動モデルを融合して、環境パラメータが移動速度を駆動・制動する効果と、転石礁への誘引行動を時系列的に推定する枠組みを構築した。これにより、複数の環境因子の変動に応じた行動変化を明瞭に分離し、連続的な行動ダイナミクスとして解釈可能であることを示した。

第5章では、推定された行動モデルを粒子群最適化 (PSO) と組み合わせ、放流後の散逸防止に適した転石礁配置パターンを推定した。転石礁間隔を過度に狭めずに滞留効果を最大化する最適化により、放流地点を中心に隣接する転石礁間隔は約5-7 mとなり、個体の滞留率は41%から82%へ上昇した。以上より、本論文は、生体力学実験・実海域観測・数理解析・環境設計を統合した行動解析基盤を提示し、マナマコの生態理解および資源管理、さらに漁港を活用した粗放的養殖技術の創出に資する成果をまとめた。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士 (環境科学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。