

令和5年度 南北海道学術振興財団 実績報告書

状態推定技術を応用したマナマコの行動情報取得技術の開発と個体の移動特性把握

研究代表者：高木 力（北大水産科学研究院）

担当者：田中優斗・仁田ゆき（北大環境科学院）

協力者：酒井勇一（函館水産試験場）

【目的】 マナマコ (*Apostichopus japonicus*) は輸出重要種であり、特に北海道産は高値で取引されている。しかし近年では本種の漁獲強度が強まり、種苗放流事業が北海道沿岸域で実施されているものの資源水準の低下が懸念されている。2013年にはIUCNのレッドリストに絶滅危惧種として登録され、管理・保全の重要性が高まっている。そのため資源回復に向け、人為環境下で一定の大きさに達するまで育成した後に自然海域へ放流する種苗放流が推進されてきた。しかし放流海域での個体の散逸が目立つ一方でその要因は解明されておらず、垂直・水平方向に移動するため放流効果の評価は十分行われていない。放流種苗の発見率が著しく低いことは以前より指摘されており、放流効果の新たな評価手法が喫緊の課題となっている。一方、種苗放流は遺伝的多様性に悪影響を及ぼす可能性が指摘されていることから、低利用漁港内に小型個体を放流、育成することにより、放流個体に漁獲圧を集中し、かつ放流個体の回収率を高める手法の実現が期待されている。しかし本種への有効な標識法も確立されなかったことから、フィールドにおいて個体行動が詳細に計測されたことはなく生態的知見が不十分であった。本種の行動特性を捉えるため、本研究の研究協力者（道総研・函館水産試験場）が開発した小型超音波発信機を長期間装着する標識法を用いて発信機を装着した個体の行動のタイムラインを、複数の音響受信機を設置することにより推定することが可能となった。そこで、本研究では状態推定技術をマナマコの移動軌跡推定に応用することにより、漁港内に放流した本種の個体行動を高い正確度で推定する方法を確立することを目指す。これにより、これまで専ら大きく移動する遊泳性魚類の移動軌跡推定でしか応用されてこなかった超音波発信機による移動特性把握を、動きの遅いマナマコの移動軌跡推定に適用し、さらに音響反射による攪乱が大きい閉鎖空間内の漁港内での個体行動把握にも対応できるようにする。

【方法】2023年8月23日に平均体重 $220 \pm 43\text{g}$ の6個体にVemco社製超音波発信機V5を装着し、北海道爾志郡乙部町元和漁港に放流した。漁港内の4隅と漁港内中央付近放流地点1点の合計5カ所に超音波受信機(VR2W)を設置し、マナマコに装着した発信機の2次元位置を各受信機における受信時刻の時間差から導出される双曲線により算出した。また、推定誤差を小さくするため、状態推定技術の一つであるカルマンフィルタの定式化を適用した。システムモデルとしてrandom-walkモデルを用いた。システムノイズと観測ノイズを最尤推定により数値的に算出し、発信機個体の位置推定を行った。推定された個体位置を応答変数として港内の1/3有義波高、水温、照度、転石の有無が個体移動に与える影響をGLMにより評価した。リンク関数はlog関数、移動量の従う分布はガンマ分布とした。

【結果】装着された発信機信号の受信記録から推定された、個体軌跡の一例を図1に示した。放流時の#1個体は体重159g、#2個体は体重193gであった。受信期間は#1が48日

間、#2が29日間となっている。潜水観察者により実験期間中は両個体とも発信機の脱落がないことが確認されている。図1(A)は時刻同期のために固定設置された発信機の位置をx-y水平面内に双曲線から推定したプロット点とこれらのプロットデータをカルマンフィルタの平滑化処理を適用してフィルタリング処理をしたもので、フィルタリング前では推定位置が散乱しているのに対し、フィルタリング処理後は、ほぼ点推定できていることがわかる。この推定位置のノイズリダクションを通して、#1,#2個体の移動軌跡を図1(B),(C)に示した。#1がほぼ放流地点近傍を移動しているのに対して、#2では放流地点から直線距離で30m程度移動していたことがわかる。状態空間表現したシステムモデルのrandom-walkモデルに、個体の移動速度項を組み込んだところ、AICはrandom-walkモデルの方が両個体とも低値となり、この時期におけるマナマコの移動はrandom-walkモデルでも表現可能であると考えられた。状態推定技術を適用して得られた個体の移動軌跡の結果から有義波高、水温、照度、転石の有無が個体移動にどのように影響しているか評価したところ、両個体とも有義波高が高くなると、動きを抑制する傾向が示された(#1: $p < 0.001$, #2: $p < 0.05$, Wald test)。水温の影響については#2個体だけ水温低下とともに移動量が有意に低下した($p < 0.001$)。転石の効果については#1個体のみ転石の近くにいると移動量が抑制されるという傾向が示された($p < 0.001$)。システムモデル内のノイズパラメータの大きさを固定タグと個体装着タグで比較したところ、固定タグでは $2.3 \times 10^{-7} \text{m}$ と極めて小さい値であるのに対し、#1個体では0.11m、#2個体では0.14mとなり、個体の動きの活動性の指標として活用できる可能性が示唆された。転石が与える影響を個体と転石の距離を変数とした極大値をもつ関数形で表現し、誘引力項としてシステムモデル内に組み込むことによって、定量評価できるか試みた。アンサンブルカルマンフィルタによる状態推定技術を適用することにより非線形関数内の未知パラメータが推定され、転石の誘引力の大きさと極大値を迎える個体-転石間距離を同定することが可能となり、個体への転石の影響範囲を評価できることが確認された。今後は得られたデータと解析手法から放流個体の生息環境が与える影響や転石影響を精査していく。

