

研究代表者：高木 力（北大 水産科学研究院）

担当者：八重樫健吾（北大 環境科学院），末吉 佑（北大 水産学部）

【目的】北海道では沖合底曳き網による生産量は41万トンで、全国の漁業生産量の10%以上を占めており、曳き網漁業は漁船漁業の主力となっている(北海道機船連, 2022)。SDGsでは水産資源の持続的管理保護が求められており、再生産可能な水産資源保護のために、選択的に種やサイズを漁獲することが求められる一方で、選択的漁獲が資源の持続性に悪影響を与えるとして、均衡漁獲が近年注目を集めている (Breen, 2016)。また CO₂ 削減のために低抵抗で操業できる曳き網の開発も注目されている (Suuronen, 2012)。これらの要求の達成のためには、漁具を所望の形状や曳航深度で漁業者が自動的に操業コントロール出来るようにする必要がある。そこで、報告者らは、所望とする水中形状を設計段階で自動推定するアルゴリズムをベイズ理論を基底とする状態推定問題として捉え、曳き網漁具の網口形状を制御するために、曳航索や浮子の諸元などをあらかじめ推定可能とする予測技術を開発し、漁業技術のDX化をはかるための基盤技術構築を図ることを目指した。

【方法】状態推定技術は観測値と数理モデルなどによる予測値を組み合わせることにより、対象となる状態を確率的に推定する手法のことで、しばしば気象予測に応用されている。この理論を適用することにより、観測値を制御目標値に置き換え、数理モデル内の未知パラメータを確率的に推定すれば、所望の状態を実現するためのモデル内未知パラメータを推定することが可能となる。このような目標駆動型推定法を構築することにより、例えば曳き網漁具を、目標とする形状に制御する場合に、必要となる部材の諸元を未知パラメータとして自動推定することができる。一般的な状態推定手法の定式化で用いられる変数を以下に定義する。

$$z_{t+1} = f(z_t, v_t), \quad y_t = h(z_t, w_t), \quad z_t = \begin{pmatrix} x_t \\ \theta_t \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 x は状態値、 θ は未知パラメータ、 y は目標値、 f はシステムモデル、 h は目標値（観測値）と状態値に関連づける関数で、 v と w はそれぞれシステムノイズと観測ノイズを示している。 f で与えられるシステムモデルは、本研究では漁具力学モデルで、報告者らがこれまでに開発した漁具動態数値シミュレーションモデルを表している。未知パラメータの推定は非線形システムモデルにも対応できるようにアンサンブルカルマンフィルタ（EnKF）を適用して推定する。本研究ではこの定式化方法を用いて、単純な構造の曳き網を曳航した際に、網口幅と網口高さを所望の値に制御するために索長さや浮子の浮力を高精度で推定する技術開発を行った。また、網地の抗力係数を当該技術を用いて推定することも併せて行った。

【結果】図1に示すような簡易トロール網口幅制御が実現できるか、計算実験を行った。一樣流速 12.5cms^{-1} の曳航速度で網口幅の上下がそれぞれ、2.0m, 1.7m となるよう制御するためにペンネント長さを自動推定できるか計算実験により行った。網ペンネントの長さの初期値は 6.0m とした。

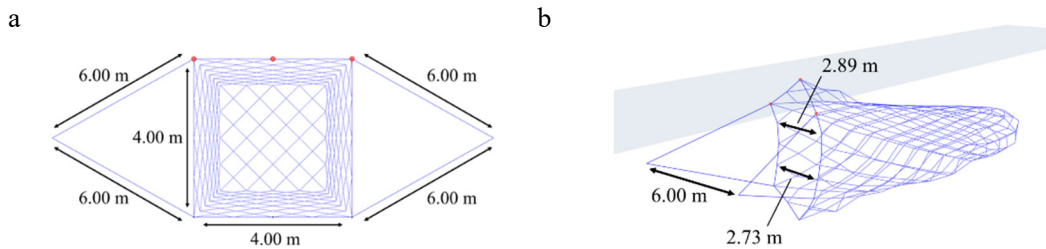


図1. a:実験に用いたトロール網の仕様。b:流速 12.5cms^{-1} の定常流下における形状

図2に結果を示した。網口幅の上部は、 $2.003 \pm 0.002\text{m}$ 、下部は $1.698 \pm 0.001\text{m}$ で十分な精度で制御できていることがわかる、また、このときのペンネント長さは上部の2本の長さが $8.704 \pm 0.029\text{m}$ 、下部の2本は $9.813 \pm 0.009\text{m}$ に収束し、推定することに成功した。漁具の力

学モデルの制御推定を行うには、EnKF でのアンサンブル数は 20, システムノイズおよび観測ノイズの標準偏差は両者とも $1.00 \times 10^{-2} \text{ m}$ を用いた。

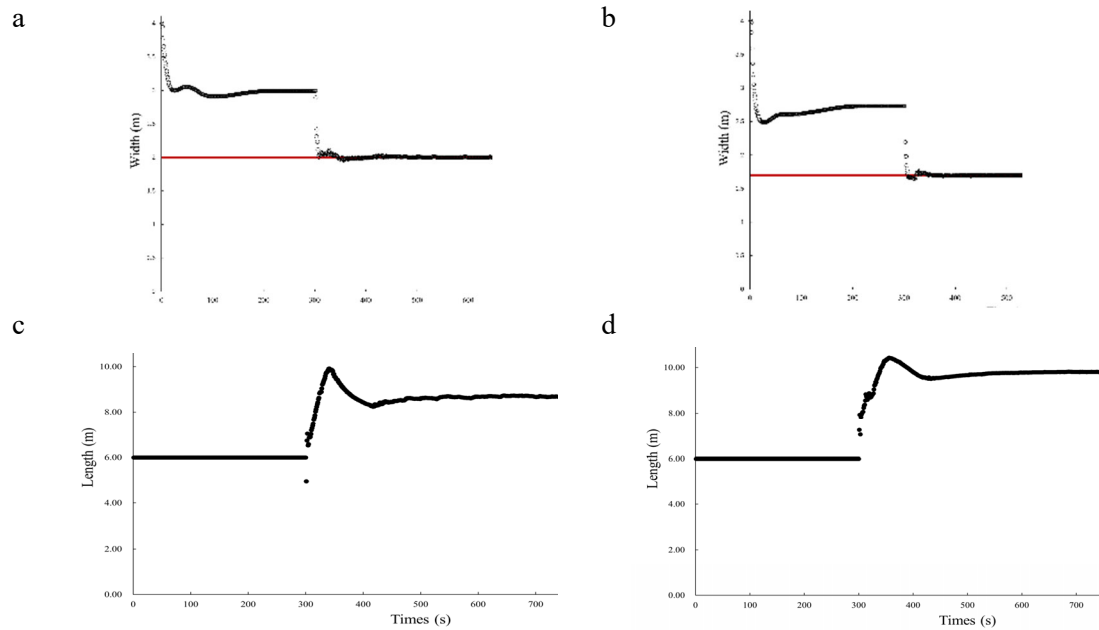


図 2. 制御時における網口幅上部(a)と下部(b)の長さ及びペンネットの上部(c)と下部(d)の長さの時系列変化

網口のヘッドロープ（網口上辺部分）側に装着した中央 2 個の球形浮子の浮力調整により網口高さを制御するために、浮子直径を未知パラメータとしてパラメータ推定する計算実験を行った。図 3 は制御された網口高さ、推定された浮子直径の推定時の状態を表したものである。初期状態の 4.4m から直ちに制御目標値である 5.0m に変化し、これに伴い、浮子直径も 60mm から 90mm 前後に収束している、網口幅を制御した場合に比べて、網口高さの制御は目標値への制御応答が速かったが、収束後の安定性については網口高さの応答性が敏感なためか、収束値回りの変動は大きかった。これらの推定手法の妥当性を確認するため大型回流水槽の実験も行ったところ、上述の結果と同様に良好な推定結果が得られた。

平面網地を構成する網糸の抗力係数を (1) 式を用いて推定した。部材の抗力係数が予めわかっている平面網地モデルを一様流下に設置し、その変形形状から抗力係数が精度良く見積もることが可能か双子実験で検証した。その結果、20 ステップで、網糸の抗力係数の真値である 1.23 と 0.01 の差異しかなく安定して真値を高精度に推定することが確認された。以上のように、トロール網の網口形状の制御は本研究による提案手法を用いて設計段階で予測推定できることが実証された。今後は社会実装できるようなシステム開発を目指す。

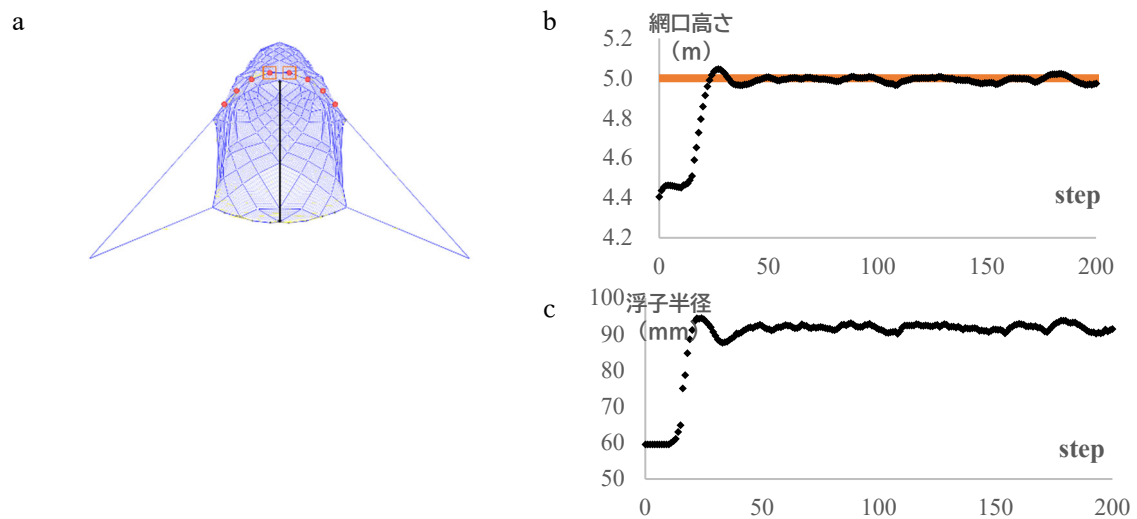


図 3. a: ヘッドロープに装着された浮子。制御された網口高さ(b)と、推定された浮子直径(c)