

杉田 雅光*, 王 思昆*, 辻野 和広**,***, 盧 存偉*

(*福岡工業大学大学院工学研究科, **福岡工業大学総合研究機構, ***第一薬科大学薬学部)

1. はじめに

世界的に魚介類の需要が増加する一方で、漁業生産量は横ばい^[1]であり、陸上養殖のスマート化が求められている。しかし、陸上養殖において魚の生育状態を生け簀外部から効率的に計測・評価するシステムは確立されていない。

本研究チームでは、水面上から魚の状態を計測して養殖管理を行うプロジェクトを進行中である。私は専用アプリケーションの開発を担当し、不可視パラメータを考慮した成長曲線のシミュレーションを実装した。これにより、出荷計画の目安になる情報を推定できる。

2. 成長シミュレーションモデルの概要

魚の成長は多数の要因に影響され、その中には給餌量、水温、水質などセンサーから測定できるパラメータと、ストレス、運動量など外部から直接測定できないパラメータが存在する^{[2][3]}。そこで、本研究ではこれらを間接的に推定し、初期体重の異なる n 匹の魚の各体重の更新を日次 t の離散時間モデルとして(1)式で表した。

$$W_{t+1} = W_t + \kappa \left[\phi_t (F_t, T_t) - \mu W_t \right]_+ \left(1 - \frac{W_t}{W_\infty} \right) \quad (1)$$

ここで、 W_t は t 日目の体重、 F_t は給餌量、 T_t は設定温度（もしくは外気温）、 μW_t は基礎代謝、 κ は成長変換率、 W_∞ は理論上限体重($0 < W_t < W_\infty$)を表す。 $[x]_+$ は x の正の部分だけを取り出す作用であり、摂取が代謝を下回る場合には成長が停滞することを意味する。 $\phi_t \in (0, 1]$ は水温・水質・健康度・ストレス等に加え、餌の摂取量の上限を含む総合効率であり、環境条件や不可視パラメータの影響をまとめて成長に作用させる。さらに、浄水や残餌などによる水質変動や、季節や温度調節器による温度変動により ϕ_t が決定される。

この構成により、「摂取-消費」というエネルギーバランスと成長上限制約を同時に表現でき、環境条件と成長過程の相互作用を一体的に表現できる。

3. 動作実験と結果

本モデルの有効性を検証するため、(1)式のモデルを用いたシミュレーションを実施する。

3.1. シミュレーションモデルの動作実験

はじめに初期平均体重や成長係数、尾数は共通とした。次に、給餌率と環境条件を変化させた3種類のシミュレーションを実施し、成長傾向の違いを比較した。条件は以下の通りである。

- パターン1：過剰給餌
体重の4%以上を給餌+目標到達後は給餌量減少
- パターン2：理想曲線追従制御
目標成長曲線に近づける給餌量調整
- パターン3：控え目給餌+低水温
体重の1%給餌+低水温(8℃)設定

3.2. 実験結果

実験結果を図1および図2に示す。図1は各パターンにおける平均体重の推移を比較したものであり、出荷日は180

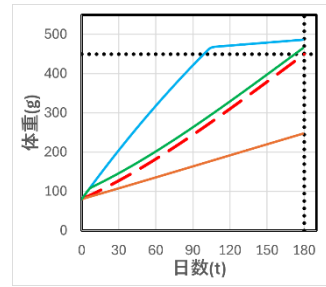


図1.各パターンの平均体重推移の比較

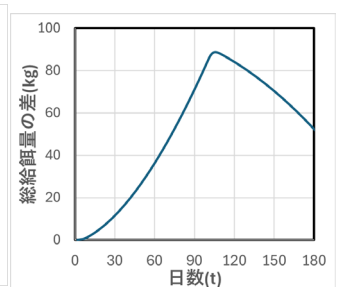


図2.パターン2に対するパターン1の総給餌量の差の推移

日後、目標体重は450gとした。目標成長曲線(赤の点線)と各パターンのシミュレーション結果(青、緑、橙)を併せて示している。図2はパターン2に対するパターン1の総給餌量の差の推移を示している。

図1に示すように、パターン1では成長量が最大であり、出荷日より大幅に早い99日目に目標体重に到達した。その後成長は緩やかになったものの、最終的に約500gまで成長した。パターン2では成長曲線が目標に追従し、出荷日直前の175日目に目標体重へ到達し、450g以上の個体は全体の約99%を占めた。一方、パターン3では成長が目標曲線を大きく下回り、出荷日における最終体重は約248gであった。図2から、パターン1はパターン2と比較して給餌量が大幅に多く、特にパターン1が目標体重に到達した時点で差が最大となり、その後も差が埋まらないまま推移していることが分かる。これらの結果から、本モデルにより給餌量と成長のトレードオフ関係が再現されたことが確認された。

今後の課題として、画像計測で得られた実測データをモデルに組み込み、パラメータ推定の精度をさらに高めることを目指す。

4. まとめ

本研究では、陸上養殖における魚の成長を再現するシミュレーションモデルを構築し、給餌量や水温などの条件が成長に与える影響を評価した。条件を変え3パターンの比較をした結果、本モデルは成長速度や残餌量の違いを再現し、給餌量と成長のトレードオフ関係を表現できることが確認された。今後の課題として、画像計測で得られた実測データとモデルの連動を行う。また、実際の給餌や環境改善のためのコストを割り出す。

5. 参考文献

- 「(1) 世界の水産物需給をめぐる状況：水産庁」
https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r02_h/trend/1/t1_fl_1.html
- K.D. Hopkins: "Reporting Fish Growth: A Review of the Basics," Journal of the World Aquaculture Society, Vol.23, No.3, pp.173-179, 1992.
- T.P. Mommsen, M.M. Vijayan, T.W. Moon: "Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation," Reviews in Fish Biology and Fisheries, Vol.9, No.3, pp.211-268, 1999.