



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ステレオカメラを用いた養殖魚の成長と行動のモニタリング手法に関する研究
Author(s)	池上, 温史
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(水産科学)
Dissertation Number	甲第16701号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16701
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99546
Type	doctoral thesis
File Information	Atsushi_Ikegami_summary.pdf, 全文の要約



主論文の要約

博士の専攻分野の名称：博士（水産科学）

氏名：池上 温史

学 位 論 文 題 目

ステレオカメラを用いた養殖魚の成長と行動の モニタリング手法に関する研究

世界の漁業・養殖業生産量は増加しており、近年では養殖が全体の約半数を占めるようになった。国内でも養殖業は重要な産業となっている。特にブリやマダイ、サーモン類は高い市場価値を有し、養殖業成長産業化総合戦略においても生産量拡大の主要対象となっている。一方、本邦養殖業は三つの課題に直面している。第一に経済的課題として飼料費が経営支出の大部分を占め、飼料価格高騰が収益を圧迫している。特にブリやマダイは飼料変換効率が低く、低魚粉飼料や食品廃棄物由来飼料の導入も十分なコスト削減には至っていないため、飼料価格高騰の影響が大きい。第二に環境的課題として気候変動の影響が深刻化しており、海水温上昇や赤潮の発生が魚類の成長や生残に影響を及ぼしている。第三に構造的課題として、沿岸域の制約や環境負荷軽減、企業化の観点から、沖合・浮沈式・大規模生簀への転換が進行しており、人手に頼らない管理手法の確立が求められている。

これらの課題に対応するには、従来の勘や経験に依存した管理から、客観的な生体データに基づく精密養殖管理への転換が不可欠である。特に、

魚の成長モニタリング（体サイズ）と行動モニタリング（遊泳速度）の定量的把握が重要である．体サイズの正確な把握は給餌量の最適化や出荷時期の予測に直結し，過剰給餌の抑制や飼料コスト削減に寄与する．遊泳速度などの行動指標は健康状態や疾病，赤潮・貧酸素などの異常を早期に検知できる重要なバイタルサインであり，沖合・大規模化した生簀での遠隔監視には特に有効である．成長モニタリングには，ステレオカメラを用いた魚体長計測が一般化しており，魚体長から体重への換算によって高精度な体重推定が可能となっている．しかし，尾鰭振動や姿勢変化による計測誤差，サンプリング位置の偏り，同一個体の重複計測など，実海域での精度と代表性の検証は十分ではない．一方，遊泳速度の従来計測はバイオリギングが中心であったが，侵襲性や高コスト，作業負荷の高さから商業養殖での常時モニタリングには不向きである．近年はステレオカメラや音響カメラなど非侵襲的センサによる計測が進んでおり，自動処理と精度評価を通じて養殖現場での実用化が期待されている．

以上の背景を踏まえ，本研究では，ステレオカメラシステムを用いた養殖魚の成長および行動モニタリングに関して，ブリ，マダイ，タイセイヨウサケを対象に，①非侵襲自動計測の計測精度と有効性の検証，②魚種ごとの生態特性がもたらすサンプリングバイアスの解明，③実用的モニタリング手法の構築と異常検知への応用可能性の検討 の3点を目的とした．

第1章 養殖魚の成長モニタリング

本章では，成長モニタリングについて，まず使用するステレオカメラの単体魚計測性能の評価および魚群平均体サイズ計測の評価を実施した．次にブリ，マダイ，タイセイヨウサケの季節別，深度別計測を行い，季節，深度，時刻の影響を調べた．その上で，サンプリングバイアスの影響を受

けない計測手法の提案を行った。

1-1 材料と方法

本研究では、計測装置として市販の養殖用ステレオカメラ（UC-300/600, 古野電気株式会社製, 解像度 1936×1464 px, 30 fps）を使用し, 自動計測値を評価に供した。また, 本研究における体サイズの計測対象は尾叉長とした。

単体魚計測精度試験は鹿児島大学水産学部附属海洋資源環境教育研究センター東町ステーションの敷地内に設置されている 600 t 角型水槽にて, 養殖ブリ 1 尾を対象に実施した。測定板で計測し, ステレオカメラの自動計測値と比較した。

魚群計測精度試験は鹿児島県南さつま市坊津町久志に設置されている角型生簀にて実施した。養殖ブリは全個体を測定板で計測し, ステレオカメラの自動計測値と比較した。

季節別, 深度別時系列計測試験の対象魚は全て商業生簀の養殖魚で, ブリは鹿児島湾の角型生簀, マダイは三重県尾鷲湾の八角形生簀, タイセイヨウサケはノルウェーの円形生簀で計測した。設置深度は魚種や生簀形状に応じ, 複数深度に 4 台カメラを設置した。マダイの一部の計測日には, シングルビームソナーで魚群滞在深度分布も計測した。尾叉長を応答変数, 季節・深度・時間帯を説明変数とした GLM/GLMM モデルを複数作成し, 最適モデルを AIC/BIC で選択して尾叉長に対する説明変数の影響を評価した。

1-2 結果

単体魚計測精度試験の結果, 尾鰭振動による誤差は最大 5%程度である一方, 自動計測結果の平均誤差は 1%未満であった。魚群計測精度試験の結

果，平均尾叉長誤差は 10 mm 未満であった．季節別，深度別時系列計測の結果，ブリの深度別バイアスは 3 mm 未満であった．マダイでは下層に成長遅延個体が滞留し，設置深度による 5%以上のバイアスが生じる場合があった．タイセイヨウサケでは平均尾叉長のばらつきは大きい，深度依存性は 1%未満であった．

1-3 考察

ステレオカメラは単体魚・魚群いずれでも高精度な尾叉長計測が可能であり，魚種特性や深度・時間帯を考慮すれば，養殖魚の成長モニタリングに実用的に利用できる．ブリは群泳性が高く深度選択が明確でない一方，マダイは成長差による深度選択が示唆された．タイセイヨウサケは群内ばらつきが計測値の時系列変動として現れたことから，十分なサンプルを得ることが望ましい．いずれの魚種でもカメラ設置自体が魚群行動に影響する様子は確認されなかった．これにより，ステレオカメラを用いた非侵襲・高精度成長計測は，養殖管理に有効な手法であることが示された．深度によりバイアスが確認されたマダイ計測の際には，魚群中心深度をあらかじめ確認して収録を行うことが望ましい．

第 2 章 養殖魚の行動モニタリング

本章では，行動モニタリングについて，まず使用するステレオカメラの遊泳速度計測性能の評価を実施した．次にブリ，マダイ，タイセイヨウサケの季節別，深度別に計測を行い，季節，深度，時刻，尾叉長の影響を調べた．

2-1 材料と方法

第 1 章と同じセンサと養殖環境を使用した。遊泳速度はステレオカメラで魚体の 3 次元位置情報を取得し、フレーム間の変位から対地速度を算出した。単体魚計測精度試験ではプロペラ式データロガーを対象魚の背鰭基部に装着し、ステレオカメラの計測と比較して精度を評価した。季節別、深度別時系列計測試験では、遊泳速度を応答変数、季節、深度、時間帯、尾叉長を説明変数とした GLM/GLMM モデルを複数作成し、最適モデルを AIC/BIC で選択して遊泳速度に対する説明変数の影響を評価した。

2-2 結果

単体魚比較では、ステレオカメラ計測はデータロガーと同等の精度を示し、全データでステレオカメラ計測結果の 95%予測区間内にデータロガー計測値が収まった。

季節別、深度別計測では、ブリは深層で速く、マダイは浅層で速く、タイセイヨウサケは深度依存性が低かった。季節依存性では、適水温外（夏期・冬期）で速度が低下した。体サイズ依存性は線形ではなく、大型魚で相対活性が抑制される傾向があった。

2-3 考察

ステレオカメラは高精度かつ非侵襲的な遊泳速度計測が可能で、活性評価や異常検知、適水温評価に活用できる。遊泳速度の深度依存性は 3 魚種で異なったが、魚群密度が高い層において遊泳速度が相対的に高くなる傾向は共通であった。次に、季節依存性に関しては、ブリ、マダイ共に適水温範囲を外れる夏期、冬期に遊泳速度が有意に低下した。遊泳速度が水温に対する生理的応答を反映する実用的なバイオマーカーとなり得ることを示しており、これを指標化することで、科学的根拠に基づいた適正水温の

決定や給餌管理が可能になると考えられる。

第 3 章 総合考察

第 1 章および第 2 章の成果により，養殖環境下での魚類の体サイズと遊泳速度を高精度かつ非侵襲的に計測することが可能となった．本章ではこれらの計測値を統合し，魚類の遊泳能力比較に一般的に用いられる体長倍速度（BL/s）を算出し，その有効性と特性を検証した．次に GLM モデル推定値と実測値の残差を用いた異常遊泳指標を計算し，異常検知を試みた．最後に，本研究全体の考察を行った．

3-1 体長倍速度の検証

魚類の遊泳速度は一般に体サイズに比例するとされ，体長倍速度は体サイズに依存せず評価する指標として用いられる．そこで本研究でも体長倍速度を計算し評価して第 1 章，第 2 章と同様の方法でモデル選択を行った．その結果，3 魚種共に尾叉長が含まれるモデルが選択され，いずれもその係数が負であった．ブリ，マダイを対象に遊泳速度と尾叉長の関係を両対数モデルで解析した結果，ブリ，マダイ共にスケーリング係数は 1 を十分に下回った．これらの結果から，養殖魚を計測対象にする場合に魚の体サイズの影響を補正する手法として，体長倍速度は十分ではない可能性が示唆される．

3-2 異常遊泳の検討

深度，時間帯，季節，尾叉長を説明変数に含む GLM モデルによる予測値と実際の計測値の残差から異常遊泳指標を計算し，異常検知を試みた．その結果，これまで著者が Control 時間帯と判断していた一部時間帯が異常

として検出された。異常とされた時間帯の一部は、ブリでは現場作業時間帯、マダイは現地に誰も居ないはずの時間帯であった。遊泳速度の変動には現場作業等未知の外乱が影響を及ぼしている可能性が示唆された。

3-3 正確な成長モニタリングの意義

ステレオカメラの自動計測性能は、養成魚の1ヶ月あたりの成長量を計測するに十分な精度であったことから、毎月の自動計測実施による実用的な養成魚の成長モニタリングが期待される。これまではサンプリングバイアスが問題となったが、本研究ではマダイでの顕著な体サイズの深度依存性を明らかにし、魚群中心を計測することで従来のサンプリングバイアスを克服できることを示した。ブリは即時導入が可能であり、タイセイヨウサケは大きな個体差に見合ったサンプルの確保が重要となる。

3-4 遊泳速度計測の応用

本研究では、ステレオカメラを用いた非侵襲的な自動計測手法を確立し、商業養殖環境におけるその有効性を実証した。従来の侵襲的なセンサ計測では困難であった実生簀での長期モニタリングが可能となり、商業養殖における遊泳速度の活用が期待される。

本研究では従来の体長倍速度の代わりに GLM を用いた異常検知手法を提案した。この手法は、体サイズや環境要因によるバイアスを適切に補正し、魚の活性を指標化することを可能にするものである。本手法により、機械的な異常検知による歩留り向上はもちろん、代謝モデルや水温データと連携した高精度な給餌制御、さらには客観指標に基づく漁場選定など、養殖生産プロセスの包括的な最適化とコスト削減への貢献が期待される。

3-5 魚種別の深度利用と行動特性

魚種ごとの遊泳速度・深度選択は明確な差があり、季節・成長段階による変動も認められた。マダイやタイセイヨウサケは浅場、ブリは底層に滞在する傾向が強い。養殖ブリは海面の生簀が一般的で、表層の体積を含めた密度管理が行われるが、深度拡大もしくは沈下型にすることで養成環境の改善が見込まれる。

3-6 持続可能な養殖管理への展望

気候変動下における持続可能な養殖の実現には、環境適応能力の向上が求められ、そのための定量的な指標化と判断基準の確立が不可欠である。本研究ではステレオカメラを用いることで、非侵襲かつ高精度な自動計測が可能であることを実証した。これにより、従来の侵襲的な手法とは異なり、商業生簀における常時モニタリングへの道が拓かれた。

今後の課題として、画像解析負荷の軽減、深度依存バイアス除去の自動化、複雑な環境や生理を考慮したモデルの構築などが挙げられる。