



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_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文内容の要旨

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の一途をたどり、2022年には養殖生産量が全体の51%に達し、初めて漁獲量を上回った。日本国内においても、ブリ、マダイ、サーモン類は養殖成長産業化総合戦略において生産拡大の重点魚種に指定されており、2030年に向けて高い生産目標が掲げられている。しかし、現在の養殖業は3つの深刻な課題に直面している。第一に、経営支出の約78%を占める飼料費の高騰である。第二に、地球温暖化に伴う海水温上昇や赤潮の頻発といった気候変動の影響である。第三に、環境負荷低減や規模拡大を目的とした「沖合化・大型化・浮沈式化」への転換であり、これにより人手による直接的な観察が困難となっている。

これらの課題を解決し、持続可能な養殖を実現するためには、従来の経験や勘に頼る管理から、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、給餌効率の最適化に直結する「成長モニタリング（体サイズ）」と、魚の健康状態や環境異常を早期に検知するための「行動モニタリング（遊泳速度）」の定量的把握が求められている。本研究では、非侵襲的に計測可能な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）を用い、実海域におけるこれら生体情報の自動計測手法を確立し、その精度と有効性を検証した。

【成長モニタリング（体サイズ計測）】

第1章では、ステレオカメラ計測精度の検証と、実生簀におけるブリ、マダイ、タイセイヨウサケの時空間的な行動特性が計測値に与える影響を分析した。

まず、単体魚および魚群を対象とした精度評価を実施した。単体魚計測では、魚の遊泳に伴う尾鰭の振動（屈曲）が測長誤差の要因となるが、自動解析による尾鰭振動除去の結果、実用的な精度を確保できていることを実証した。魚群平均計測の検証では、カメラによる計測平均値の偏りは捕獲実測値に対して概ね1cm未満と小さく、養殖現場で求められる1ヶ月単位の成長管理に十分資する精度であることが示された。

次に、商業生簀において1年間にわたる季節別・深度別の計測を行い、サンプリングバイアスの要因を解析した。一般化線形モデル（GLM）を用いた解析の結果、生簀内の魚群分布は季節、時刻、環境要因によって動的に変化することが明らかとなった。特にマダイでは体サイズの顕著な深度依存性が確認された。これは従来の捕獲サンプリングにバイアスが含まれていた可能性を示唆しており、ステレオカメラで魚群中心を計測することで、より精緻な成長管理と給餌計画の適正化が可能となる。一方、ブリにおいては、実用上の影響は限定的であり、ステレオカメラ導入による即時的な給餌適正化が期待できる。タイセイヨウサケについては、明確な深度依存性は確認されなかったが、個体サイズのばらつき

が非常に大きいことから、混在する魚群組成を正確に把握するための十分なサンプル数確保の重要性が示された。以上の魚種別特性に加え、全魚種共通の留意点として、最上層付近には、成長が阻害された個体が滞留しやすい可能性や、給餌時の気泡・低照度によるノイズの影響で計測値の変動が大きくなる傾向が見られた。したがって、正確な平均体サイズを把握するためには、最上層を避けた適切な深度にカメラを設置し、給餌時や極端な低照度時を除外したサンプリングを行うべきである。さらに、ステレオカメラの光学的制約から、ステレオカメラ単体での魚群分布の把握は限界があり、音響機器との統合が有効である。特にマダイのように深度依存性の強い魚種や複雑な群れを形成する条件下では、ソナーにより特定した魚群の中心深度へカメラを誘導するなどのセンサ統合技術確立することで、より高度な精密養殖管理が実現されると結論付けた。

【行動モニタリング（遊泳速度計測）】

遊泳速度は魚の活性や異常を示す重要なバイタルサインであるが、従来のバイオリギング法は侵襲性が高く、産業利用には限界があった。第2章ではステレオカメラによる非侵襲な遊泳速度自動計測の有効性を検証した。

データロガーとの比較試験の結果、ステレオカメラによる計測値の偏差は 0.1m/s 未満であり、高い一致性が確認された。この手法を用いて3魚種の遊泳行動を解析したところ、遊泳速度は「深度（密度）」「季節（水温）」「体サイズ」の3要素に強く依存することが判明した。第一に、ブリは深層で、マダイは浅層で遊泳速度が速くなる傾向が見られたが、これは各魚種の滞在密度が高い層と一致しており、群れ密度の上昇が個体の遊泳活性を促進する「密度効果」の存在が示唆された。第二に、季節変動については、ブリ・マダイ共に適水温範囲を外れる夏期（高水温）および冬期（低水温）に遊泳速度が有意に低下した。これは基礎代謝と活動代謝のトレードオフ（代謝バランス）を反映した生理的応答と考えられ、遊泳速度が水温適応のバイオマーカーとして機能することを示している。第三に、体サイズの影響については、従来の幾何学的相似則に基づく「体長倍速度 (BL/s)」の理論とは異なり、実際の生簀環境下では大型個体ほど相対的な遊泳活性が抑制される「アロメトリー（相対成長）」的な特性が確認された。

【異常検知への応用と今後の展望】

総合考察では、第1章および第2章で得られた知見に基づき、季節、深度、時間帯、体サイズを説明変数とした GLM による遊泳行動のモデル化を行った。このモデルから算出される予測値と実際の計測値の残差を分析することで、個体差や環境周期性を排除した「異常遊泳指標」を提案した。実際の検証では、現場での船の着桟といった人為的な外乱を異常として検知することに成功した。また、特定の時間帯に見られたモデルとの乖離から、実験者が把握していない未知の外乱や環境変化を検知できる可能性が示唆された。今後は、水上カメラや照度計等の他センサと連携し、給餌作業や薄明期を自動的に判別してモデルに組み込むことで、赤潮や貧酸素、疾病等による異常行動をより早期かつ高精度に探知するシステムの構築が期待される。

本研究は、ステレオカメラを用いた非侵襲的自動計測が、商業生簀における魚群の成長および行動のモニタリングにおいて極めて有効であることを実証した。特に、自動計測に伴うサンプリングバイアスの特性を解明し、魚種や環境に応じた計測指針を提示した点は、実用化に向けた重要な成果である。本手法により、沖合・大型生簀における管理コストの低減とリスク管理の高度化が可能となり、気候変動下における持続可能な養殖業の発展に大きく寄与するものと考えられる。