

# 研究終了報告書

## 「魚群探知機とバーチャル生簀の融合による養殖魚計測技術の開発」

研究期間：2018年4月～2022年3月

研究者：西川 悠

### 1. 研究のねらい

日本では現在漁獲漁業生産の減少により、養殖漁業の振興が求められている。養殖業では支出のうち6～9割を餌代が占めることから、養殖業の振興は餌代を削減してどれだけ収益性を向上させられるかにかかっている。具体的な対応策は、過剰投餌にならないよう生簀に適量を投入することである。しかし実際には、魚が生簀中に何匹いるか、各個体はどれほど育っているのかは容易にはわからない。そこで個体数や体重を正確に知る技術への需要は大きい。このような背景から本研究では、魚群探知機(魚探)・バーチャル生簀・機械学習による魚探エコー画像推定を組み合わせ、素早く正確に生簀中の魚の個体数・体重分布計測するシステムの構築を目指す。

魚に対する超音波の反射波を検出する魚探は、安価で設置が容易であるため漁業で広く利用されている。魚探エコー画像は魚群の遊泳速度や反射強度といった、魚群の個体数・体重分布に関連する情報を含むビッグデータであると言える。ただしエコー画像を眺めるだけでは、これらの情報を得ることはできない。そこで魚探を養殖魚計測に利用し高度な情報を引き出すため、次の様な研究を行う。まず、観測データを同化した魚群の行動・成長シミュレーションを行い、実際の生簀を再現するバーチャル生簀を構築する。バーチャル生簀では魚探を模した音響シミュレーションを様々な条件下で行い、大量のバーチャル魚探エコー画像を生成する。次に、バーチャルエコー画像を正解ラベルつき学習データとして機械学習を行う。機械学習により作成された推定器に、実際の生簀で取得された魚探エコー画像を入力し、生簀内の魚の個体数と体重分布を得る。

本研究は、魚の計測研究において初めて観測・シミュレーション・機械学習の融合を試み、これまでの測定精度限界の突破を目指すという点で挑戦的な課題である。本研究で得られる成果は、養殖魚の振興につながるだけでなく、定量性に欠ける部分的な魚の画像データにシミュレーションを組み合わせ、群れ全体の個体数や体長体重分布を推定する新技術の開発を通じて、海洋生物学とその関連分野の発展にも貢献することが期待される。

### 2. 研究成果

本研究では、養殖魚のバイオマス(個体数×体重分布)を誤差3%以下で推定することを目標とし、養殖生簀に魚探を設置し、機械学習技術を用いて魚探エコー画像から個体数・体重分布を推定するという手法を提案した。本研究を実施するにあたっては、まず魚群の行動と魚探を模したシミュレーションによるバーチャル生簀の構築、バーチャルエコー画像の作成を行なった後、バーチャルエコー画像を学習データとする機械学習を行うという計画を立て、以下の3つの研究テーマを設定した。

#### 研究テーマ①「養殖生簀中の魚の動きの再現」

ブリの養殖生簀において、ブリがどのような形状の群れを形成し、どのような遊泳速度で泳ぐかを調べるため、カメラや流速計などの各種センサーを用いて観測を行う。この観測デー

々に基づき、魚群行動を再現するシミュレーションモデルを構築する。

#### 研究テーマ②「魚探のエコーシミュレーション技術の開発」

魚探が超音波探査によって魚を検出するメカニズムをシミュレーションによって再現し、研究テーマ①の魚の行動シミュレーションモデルと合わせて、生簀に設置した魚探から得られるエコー画像を仮想的に生成する。またエコーシミュレーションに先立ち、ブリのターゲットストレングス(同じ距離から同じ周波数の超音波を当てた際、鰾から帰ってくる反射強度)を調べるため、実際のブリを用いてターゲットストレングスの測定を行う。

#### 研究テーマ③「機械学習による養殖魚の個体数・体重分布の推定」

研究テーマ①と②で作ったバーチャル生簀を用い、個体数と体重分布を変化させバーチャルエコー画像を大量に生成して、エコー画像と個体数・体重分布を結びつける機械学習を行う。このようにして開発した推定器に実際に生簀で取得したエコー画像を適用し、推定精度を検証する。

### (2) 詳細

#### 研究テーマ①「養殖生簀中の魚の動きの再現」

宮崎県串間市のブリ養殖生簀(10m×10m×8m)においてカメラを用いた観測(図1)を行い、生簀の中のブリの様子を観測した(図2, 3)。この観測から、ブリは生簀中で円錐台の形状を保ったまま0.5-1.0m/sの速度で旋回していることがわかった。この結果を踏まえ、生簀中のブリの旋回する動きを再現するシミュレーションモデルを開発した(図4, 5)。

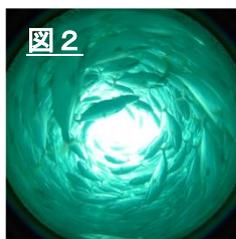
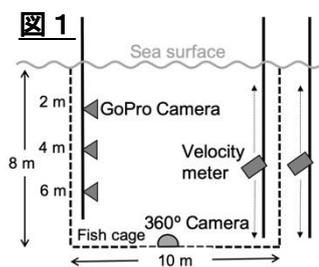
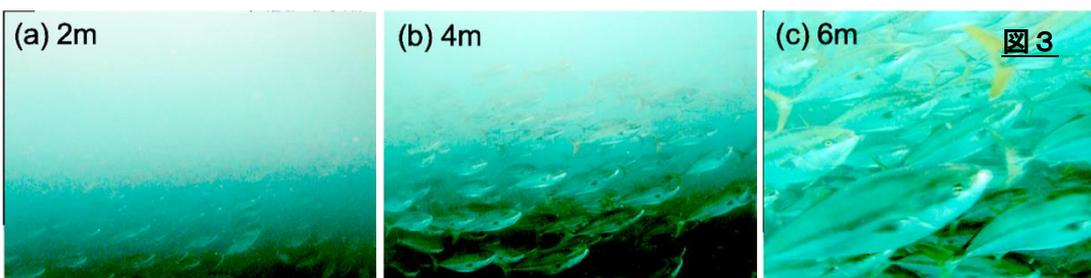


図1: 生簀中カメラ等の計測器を設置した  
図2: 生簀の底のカメラからブリが旋回している様子を捉えた。

図3: 生簀の側面に設置したカメラから深度による遊泳行動の違いが捉えられた。



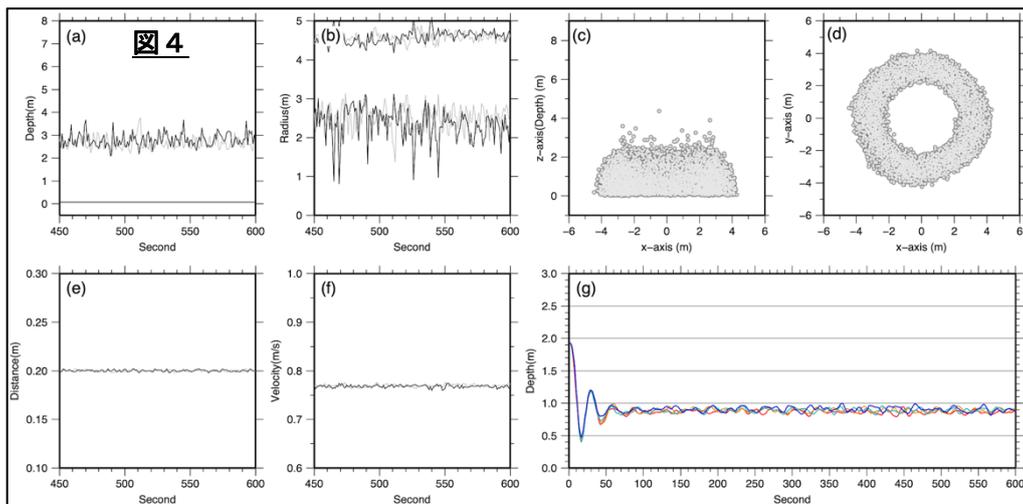


図4: 観測結果から得た遊泳速度や群れの形状を元にした魚群遊泳モデルのシミュレーション結果

図5: シミュレーション結果に撮影したブリの写真から作成した3Dモデルを重ねて可視化した生簀内の群れの様子

## 研究テーマ②「魚探のエコーシミュレーション技術の開発」

魚群探知機を再現するエコーシミュレーション技術を開発するため、まず魚の鱗を模した金属球をつないだ魚群模型(図6)を作り、水槽内でこの模型に対するシミュレーションと魚探による観測を行い、両者を比較してエコーシミュレーションの再現性を確認した(図7)。このエコーシミュレーションを研究テーマ①で作成した魚群行動シミュレーションの結果に適用し、生簀に魚探が設置された場合に得られるバーチャルのエコー画像を生成した(図8)。

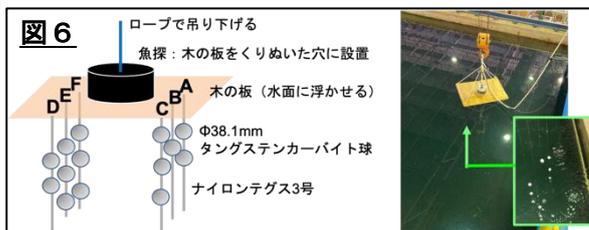


図6: 金属球をつないだ模型の設計図(左)と実験の様子

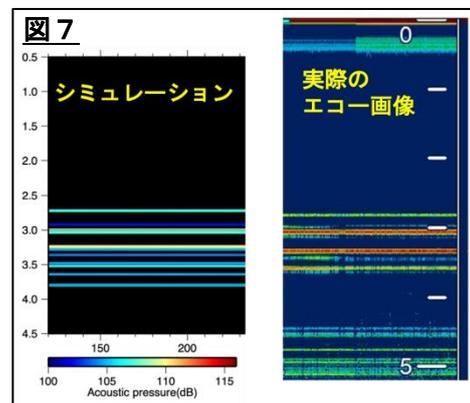


図7: エコーシミュレーション結果(左)と魚探によるエコー画像(右)

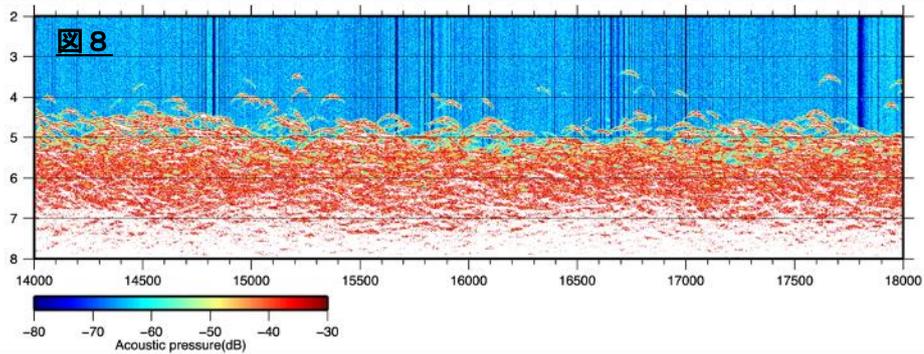


図8：エコーシミュレーションによるバーチャルエコー画像

### 研究テーマ③「機械学習による養殖魚の個体数・体重分布の推定」

研究テーマ①、②で開発したバーチャル生簀を用いて魚の個体数を 4000 尾から 6000 尾まで変化させたシミュレーションを行い、得られたバーチャルエコー画像を学習データとした機械学習を行った。ここから生成したエコー画像と個体数を結びつける推定器に実際の生簀で取得されたエコー画像をインプットした。その結果、個体数を誤差 2.2%で推定することができた(図 9)。魚の体重を推定するにあたっては、体重は体長に比例すると仮定して体長の推定を行なった。バーチャル生簀を用いて魚の体長を 400mm から 700mm まで変化させたシミュレーションを行い、得られたバーチャルエコー画像を学習データとした機械学習を行った。その結果、体長を誤差 4.1%で推定することができた(図 10)。

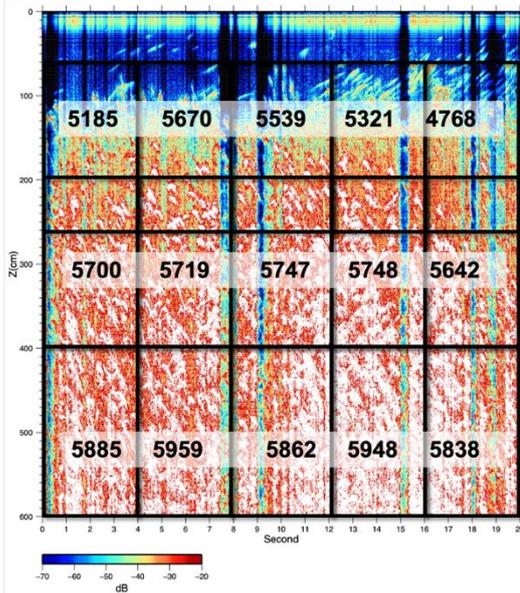


図 9：実際に生簀で取得したエコー画像と個体数の推定結果。機械学習を行う際、エコー画像を 4 秒×2m の範囲で切り出して行っているため、4 秒×2m の範囲についてそれぞれ個体数を推定した。各領域の数字が推定個体数であり、正解の 5521 尾に対して各領域の平均値が 2.2%ずれているという結果を示している。

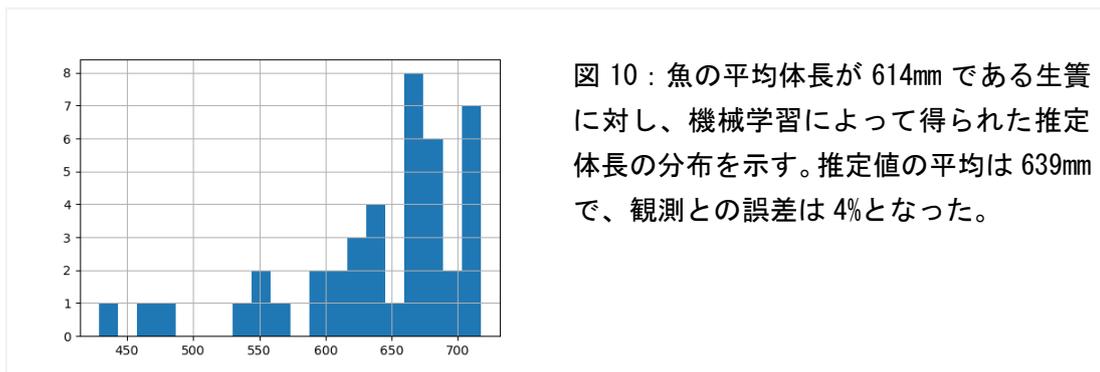


図 10：魚の平均体長が 614mm である生簀に対し、機械学習によって得られた推定体長の分布を示す。推定値の平均は 639mm で、観測との誤差は 4%となった。

### 3. 今後の展開

養殖魚のバイオマス推定に関する需要は非常に多く、本研究で開発した技術は多くの養殖場に養殖魚管理に役立つはずである。ただし本研究を実際の養殖場に適用する上では、本研究で開発したバーチャル生簀が特定の大きさのブリ養殖生簀を対象とした物であるので、魚種・生簀サイズの異なる他の養殖場に容易に適用可能であるかは検討しなければならない点である。そこで本研究に興味を持つ養殖業者等にアプローチし、新しい養殖場において本研究成果を応用する機会を模索している。

- 定置網や船舶魚探からの魚種・バイオマス推定

本研究では魚種が既知である養殖場をターゲットとしていたが、魚探が利用される低定網漁業や漁獲漁業においてはエコー画像に映っている魚種が不明であり、何の魚がどれほどいるか知りたいという需要がある。魚種についても本研究で行った機械学習の応用で推定可能であると考えられるため、魚探と機械学習を用いた研究の応用展開として、2022 年度から 7 年計画で JST 創発的研究支援事業「小型浮魚類回遊生態の解明と漁場予測技術の確立」を行う。プロジェクト後半では社会実装に向けた研究開発を行う予定である。

### 4. 自己評価

- 研究目的の達成状況

本研究では魚群の行動シミュレーションモデルの開発、魚探のエコーシミュレーションモデルの開発、機械学習による個体数推定を当初目標通り達成することができた一方で、機械学習による体重推定は個体数推定に比べ精度が低く、さらなる改良が必要である。

- 研究の進め方(研究実施体制及び研究費執行状況)

予算について、コロナの影響で観測予定がずれたことによる減額・増額要請が発生した。これらの点はマネジメント上の課題として今後の研究を行う際に改善したい。

- 研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果

本研究で開発したバーチャル生簀は、養殖魚のバイオマス計測だけでなく、魚病や赤潮といった養殖場に甚大な被害をもたらす現象についても、魚の異常行動の検出による早期発見を可能にする技術であると期待されている。また、魚探のエコーシミュレーションは世界初となる試みであり、魚群探知機の開発にも応用できると考えられる。さらに魚探と機械学習の融合技術の発展として、定置網のモニタリングや漁獲漁業への適用を計画している。このように本研究で得られた成果は新たな科学知識に基づく創造的な革新的技術のシーズ創出に寄与している。本研究の研究

期間中には社会実装に至っていないが、本研究を通じて知遇を得た企業や研究者との共同研究を今後も継続し、研究成果の科学技術及び社会・経済への波及を目指す予定である。

## 5. 主な研究成果リスト

### (1) 代表的な論文(原著論文)発表

研究期間累積件数: 1件

1. Modeling torus behavior in a fish farming cage。Nishikawa, H. and Fukushima, H. Aquaculture, Fish and Fisheries (in press)

### (2) 特許出願

研究期間全出願件数: 1件(特許公開前のもも含む)

1	発 明 者	西川悠、石川洋一、桑谷立、松岡大祐、杉山大祐、渡邊佳孝
	発 明 の 名 称	魚数算出方法、魚数算出プログラム、及び魚数算出装置
	出 願 人	国立研究開発法人海洋研究開発機構
	出 願 日	2020/10/14
	出 願 番 号	
	概 要	本発明は、魚数算出方法、魚数算出プログラム、及び、魚数算出装置に関し、生簀などの水中の空間内に存在する魚の数を容易に把握することを目的とする。複数の学習用データセットを教師データとして利用した機械学習によって、水中に存在する魚の数を推定する推定器を構築することと、水中の空間に音波を送信し、水中の空間に存在する未知の数の魚により反射されて受信される音波に基づき生成されたエコー画像に関して、前記推定器を使用して、水中の空間内に存在する前記未知数の魚の数を算出することを含む魚数算出方法である。

### (3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)