

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：22701

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15587

研究課題名（和文）深層学習に基づくクロマグロ卵質予測システムの構築

研究課題名（英文）Development of prediction system for egg quality of bluefin tuna based on deep learning

研究代表者

寺山 慧（Terayama, Kei）

横浜市立大学・生命医科学研究科・准教授

研究者番号：50789328

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：魚類の種苗生産においては、卵質評価は重要な課題である。しかし、太平洋クロマグロの卵質予測・予測に必要な指標の研究は十分に進んでおらず、特に見た目の形態に注目した卵質評価手法は確立されていない。本研究では、深層学習を用いて産卵直後の卵画像のみから卵質（正常ふ化率・無給仕生残日数）を推定する新たな手法の開発に取り組んだ。産卵直後の卵画像とふ化に関するデータを収集し、畳み込みニューラルネットワークによる予測モデルの学習を行った結果、養殖研究者を上回る精度（正常ふ化率で正解率0.856）での予測に成功した。さらに、バルクの卵画像に対しても卵質評価を行うシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、太平洋クロマグロの卵質が産卵直後の画像のみから推定可能であることが示された。これにより、卵質が良いと期待される卵のみを利用することでより効率的な種苗生産に繋がることが期待される。また、本研究は、太平洋クロマグロに限らず、深層学習による魚の卵質評価が可能であることを示唆している。他の魚種でも同様の予測モデルを構築することで、高精度な卵質評価が可能になり、より効率的な種苗生産につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：Egg quality evaluation is an important issue in fish seed production. However, research on indices necessary for egg quality prediction in Pacific bluefin tuna has not progressed sufficiently, and few egg quality evaluation methods have been conducted, especially focusing on the apparent morphology. In this study, we worked on the development of a new method for estimating egg quality (normal hatching rate and survival days without feeding) from only egg images immediately after spawning using deep learning. Data on egg images immediately after spawning and hatching were collected, and a prediction model using a convolutional neural network was trained. As a result, the prediction was successfully made with an accuracy of 0.856 for normal hatching rate that exceeded that of aquaculture researchers. Furthermore, a system for egg quality evaluation was also developed for bulk egg images.

研究分野：情報科学

キーワード：卵質評価 クロマグロ 深層学習

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

魚類の種苗生産においては、可能な限り早期に卵の質の良し悪しを判別し、良質卵のみをふ化管理することが望まれる。そのため様々な魚種で卵質評価(予測)の基準となる指標として、内分泌要因、卵の大きさ、親魚の年齢、環境要因、遺伝要因等々が検討されてきた。しかし、クロマグロの卵質予測・予測に必要な指標の研究はほとんど進んでいない。クロマグロは国内外の水産資源管理・養殖において重要な地位を占め、また卵質評価の重要性は指摘されているものの、他の魚種に比べて卵質評価指標の研究が殆ど進んでおらず、良質卵の判断・選別が未だに難しい。

また、一般にこれまで卵の「形態」は、客観的な定量化が難しいため卵質評価(予測)の指標として十分に活用が進んでいなかった。「見た目の形態」の重要性は古くから重要視され、例えば油球の形状や数など定量化し易い特徴は検討されてきた。一方で、言語化・定量化の難しい特徴(ザラザラ・汚い・変形等々)は生産現場では注目されることはあっても、主観的要素が入ることもありこれまで十分に定量的な評価がなされて来なかった。

2. 研究の目的

本研究の目的・目標は、深層学習(Deep Learning)を用いることで太平洋クロマグロ(*Thunnus orientalis*)の卵質予測手法を確立することである。本研究では、マグロの産卵直後の画像と付随する発生学的解析データに対して、深層学習を用いることでこれまで難しかった「形態」を取り入れた卵質予測手法の開発を行う。また、単にデータを集めて深層学習を適用するだけでなく、GradCAM など深層ニューラルネットワークによる予測モデルの可視化手法を援用することで評価に重要な部位を明らかにし、卵質評価・予測の方法論の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究では産卵直後から 16 細胞期程度までのクロマグロ卵を扱い、卵質としてふ化の状況(正常ふ化・異常ふ化・未受精・未ふ化等)とふ化後の無給餌生残日数に注目する。これらのデータは、水産研究・教育機構西海区水産研究所まぐろ増養殖研究センターの協力のもと収集する。その上で、以下のように段階的に解析・予測内容を広げ本研究の目的を達成する。

まず、深層学習を用いて 1 つ 1 つの卵画像から卵質を予測可能かどうかを検証する。産卵直後の初期発生段階にある卵の画像を取得し、各卵をマイクロプレートに入れて無給餌飼育を行い、ふ化の状況、生残日数等のデータを数百例程度収集する。それらを用いて VGG16 等 CNN のモデルを用いて卵質(生残日数等)の学習を行い、精度を評価する。

続いて、養殖現場での実用性を鑑み、多数の卵が映ったバルク卵画像から卵質を推定する手法を開発する。種苗生産の現場では素早く卵質評価を行うために図 1 のように多数の卵が映った画像からふ化率等が予測できることが望ましい。また、卵は一つ一つ独立にふ化させた場合と集団のままふ化させた場合でふ化率などが異なる可能性もある。そこでバルクの卵データに関しても画像と対応するふ化の状況のデータを収集し、一つ一つの卵に対する卵質予測モデルを組み合わせることで、全体的なふ化率の推定手法を構築する。

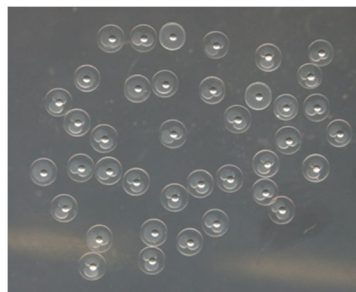


図1. 多数のクロマグロ卵

4. 研究成果

(1) 卵質予測モデルの構築

水産技術研究所養殖部門まぐろ養殖部の協力のもと 290 個の産卵直後のクロマグロ卵を収集・顕微鏡による撮影を実施し、続いてそれらのふ化実験を行い、各卵の卵質(ふ化の状況及び無給餌生残日数)データを収集した。撮影する際は焦点(細胞質・卵の輪郭・油球)を変えて 3 種類の画像を収集した。続いて

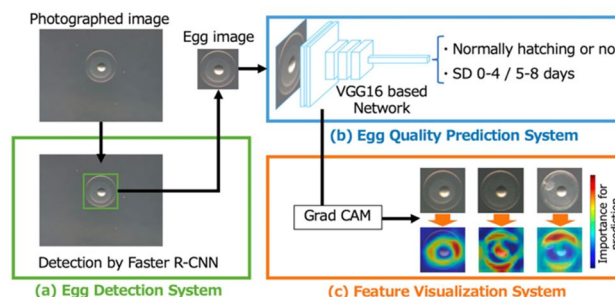


図 2. 卵質予測システムの構成

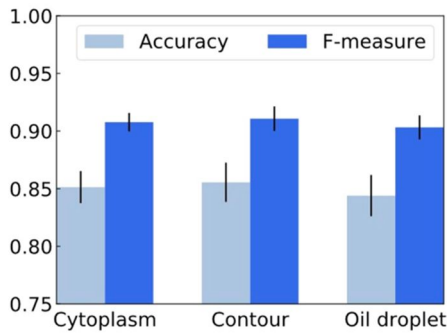


図 3. 深層学習による正常ふ化予測の精度。

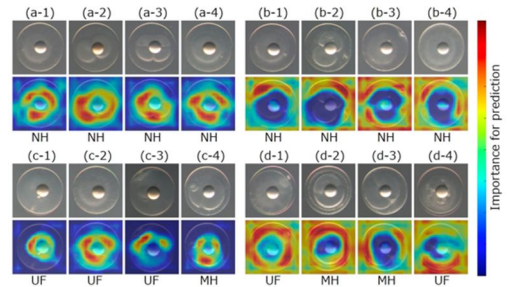


図 4. Grad-CAMによる予測に重要だと判断された部位の可視化例

て、収集したデータを用いて、深層学習による卵質を予測するシステムを構築した(図 2)。このシステムは卵が映った画像から卵部分だけを Faster R-CNN を用いて抜き出し、抽出した卵画像から深層ニューラルネットワーク VGG16 を用いて卵質を予測する。収集したデータを用いて教師あり学習を行い、卵画像の抜き出し及び卵質予測モデルを構築した。卵質としてここでは正常ふ化か否か、及び無給餌生残日数が 4 日以下か 5 日以上かを予測した。学習の結果正常ふ化予測では正解率 0.856(図 3)、無給餌生残日数予測では正解率 0.804 を達成した。予測精度は細胞質あるいは卵の輪郭に焦点が合っている時に高精度になる傾向が見られた。さらに、この予測精度は、熟練した養殖研究者 4 名による正常ふ化予測の精度より高いことを確認した。また、卵質予測に重要な部位を可視化するために、Grad-CAM を用いて予測に重要な部位の算出を行うシステムを構築した。解析の結果(図 4)、細胞質や卵の輪郭に注目が集まっており、形が崩れている部位も重視されていることが判明した。

(2) バルク卵画像に対する卵質評価システムの構築

(1) で構築した卵質予測モデルは一つの卵に対する正常ふ化率を推定するものであり、一卵づつ撮影するのは非常に手間がかかる。そこで、より効率的な卵質予測を行うために、バルク画像(複数の卵が写った画像)に対する全体の正常ふ化割合の予測及び、可視化手法 Grad-CAM を用いた各卵のふ化率可視化システムの構築を行った(図 5)。まず、画像中に映っている卵をそれぞれ特定・抽出した上で、EfficientNet に基づく予測モデルで各卵の予測を行い、最後に画像全体での予測を統合する。各画像の卵質(正常ふ化の確率)を色で表示することで、バルク画像中の各卵の卵質を視覚的に把握可能になっている。なお、各卵の予測モデルは VGG16 からより精度が高いと期待される EfficientNet に変更し、学習を行った。図 6 にバルクでの卵質評価の例を示す。各卵ごとに推定された卵質と画像全体での卵質の両方が推定されていることが確認できる。

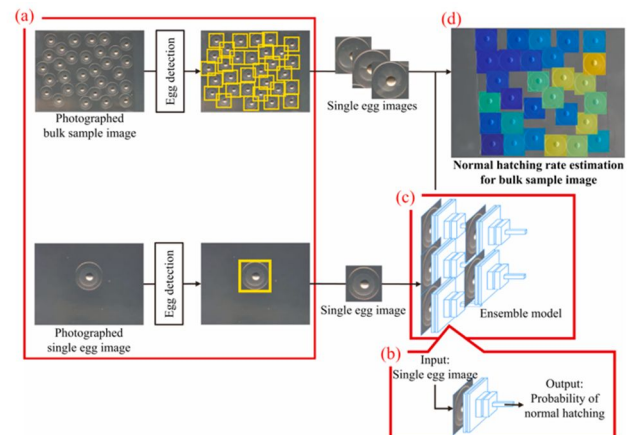


図 5. バルク卵画像に対する卵質評価システム

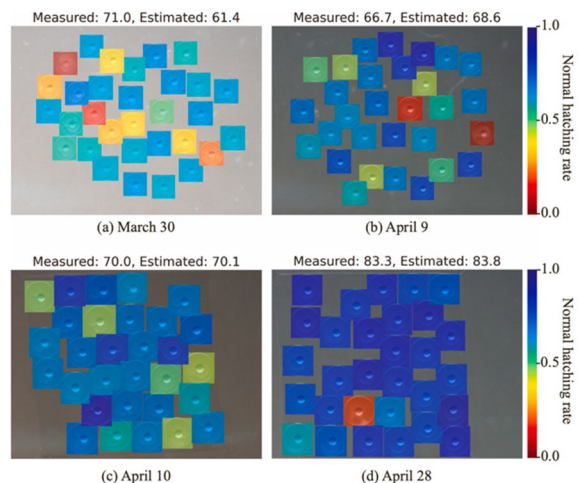


図 6. バルク卵画像に対する卵質評価の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ienaga Naoto, Higuchi Kentaro, Takashi Toshinori, Gen Koichiro, Terayama Kei	4. 巻 98
2. 論文標題 Normal hatching rate estimation for bulk samples of Pacific bluefin tuna (<i>Thunnus orientalis</i>) eggs using deep learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aquacultural Engineering	6. 最初と最後の頁 102274 ~ 102274
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.aquaeng.2022.102274	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ienaga Naoto, Higuchi Kentaro, Takashi Toshinori, Gen Koichiro, Tsuda Koji, Terayama Kei	4. 巻 11
2. 論文標題 Vision-based egg quality prediction in Pacific bluefin tuna (<i>Thunnus orientalis</i>) by deep neural network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-80001-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 寺山慧
2. 発表標題 水中での機械学習の応用例：サンゴ被度推定からクロマグロの卵質予測まで
3. 学会等名 第20回 食料生産技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 家永直人, 樋口健太郎, 高志利宣, 沖田光玄, 林田貴雄, 玄浩一郎, 寺山慧
2. 発表標題 深層学習によるクロマグロの卵質評価システムの開発
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 家永直人, 寺山慧	4. 発行年 2022年
2. 出版社 NTS inc.	5. 総ページ数 306
3. 書名 スマート養殖技術（執筆箇所：第3章 第3節「深層学習によるクロマグロ卵質評価システムの構築」）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	家永 直人 (Ienaga Naoto) (30899133)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	
研究協力者	高志 利宣 (Takashi Toshinobu)	国立研究開発法人水産研究・教育機構 (82708)	
研究協力者	樋口 健太郎 (Higuchi Kentaro)	国立研究開発法人水産研究・教育機構 (82708)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------