

令和元年6月18日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K15306

研究課題名(和文) コンピュータビジョンによる非接触な魚体測：3次元点群処理を応用した魚体重推定

研究課題名(英文) Contactless bodily measurement for fish using a computer vision: Estimation of fish body mass applying 3D points cloud processing

研究代表者

米山 和良 (Komeyama, Kazuyoshi)

北海道大学・水産科学研究院・助教

研究者番号：30550420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では3次元点群処理によるマダイの画像計測により魚体形状の可視化を行い、マダイ魚体の幾何学的な形状を量的に評価した。水中での3次元点群処理を実現を検討したところ、ステレオ画像のマッチングが正しく行われるように画像処理を行うと実現できた。可視化された点群を用いて魚体重推定するために、点群から推定される魚体形状の特徴抽出を行った。魚体形状の特徴と体重の関係を確認し、魚体重推定に寄与するか検討した。魚体形状を表現する特徴パラメータで体重を推定すると推定精度が低い結果となった。魚体形状を特徴づけるパラメータの再検討、あるいは、3次元計測の正確度を向上させる必要が今後の課題としてあげられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、養殖生物学とも言える新しい養魚管理技術・研究分野を展望するものと考えている。物理的接触やストレスに脆弱な養殖魚や飼育魚の体長、尾叉長、体高等の体測を3次元画像計測で実現し、これらの体測値から体重を推定して養魚の成長過程を定期的かつ非接触に把握する新しい研究技術を構築できる。非接触な体測を必須とするマダイ、ブリ、クロマグロ等の養殖魚、捕獲サンプルが困難な低密度下で飼育する養魚、巨大魚の成長モニタリングや、養殖生産者に限らず水産増養殖分野における試験飼育の養魚の魚体長計測・体重推定も行えることから、養魚の成長過程を正確に把握する技術として期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aim to construct a body mass estimation system by measuring the body shape of fish using three-dimensional point cloud processing methods. We examined the realisation of three-dimensional point clouds processing in water. Image processing was conducted in a way such that the stereo images would match correctly; thus, three-dimensional point cloud processing was realised in water. Then, to estimate the fish body mass using the visualised point cloud, feature extraction of the fish body shape estimated from the point cloud was performed. We confirmed the relationship between fish shape characteristics and weight and examined whether it would influence fish mass estimation. The estimation accuracy was low when the mass is estimated by the feature parameter that expresses the shape of the fish. The need to re-examine the parameters that characterise the shape of the fish or to improve the accuracy of the three-dimensional measurement has been raised as a future issue.

研究分野：水産工学

キーワード：3次元点群処理 ステレオ撮影 画像処理 養殖業

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

養殖生産において養魚の出荷単価は重量で決まる。したがって、養魚の出荷、成長過程の把握などの養魚管理を目的とする経時的な養魚の体重把握が欠かせない。養魚の体重推定に“非接触な”魚体長計測も必要となるが、現状では、目視による推定、あるいは、斃死魚や個体を間引くことで魚体長計測と体重測定を行っている。しかし、斃死個体は弱魚で成長の遅れた個体である可能性が高い。また、給餌中に表層に浮く個体をタモで捕獲、あるいは、釣りでサンプルすることもあるが、摂餌競争に勝る強い大きな個体ばかりをサンプルする可能性もある。これら従来のサンプリングでは養魚群の母集団推定に大きな影響を与えている可能性がある。また、捕獲によるサンプリングは、その後の養魚の養成過程にも影響する可能性がある。たとえば、養殖クロマグロでは、巨大に成長することから取り上げが困難で、体測を目的とした養成中のサンプリングが難しい。取り上げが実現しても本種は擦れに弱く、物理的な接触を原因に斃死してしまう。クロマグロに限らず、マダイ、ブリ、シマアジなどの主要な養殖魚においても、体測を目的とした捕獲サンプリングで斃死したり、そのストレスで摂餌活性が低下したりして、その後の成長に大きく影響する。養殖産業界では、魚体長計測と体重推定を無刺激かつ非接触に実現させる技術へのニーズが根強く残っているのが現状である。

今日では、Harvey et al. (2003)、Torisawa et al. (2011) などの、養魚の体測を非接触に実現するステレオ画像計測システムが提案され、電子技術、画像処理技術の向上により、その精度は向上し続けている(米山・鳥澤、2016)。魚体長計測結果から体重推定するために尾叉長や体長をつかったモデル式が用いられるが、養殖業者が求める誤差は5%以内であり(平成28年度日本水産学会秋季大会シンポジウム・総合討論)養殖魚の体型は体高や体幅が大きかったり小さかったりとバリエーションに富み、推定される体重の誤差は最大10%と大きい(Komeyama et al, 未発表)。依然、体重推定式の確度の低さが体重推定システムの実現を困難な状況にしている。一方で、魚価は重量で決められることから、体重推定確度の向上が生産現場から強く求められている。

近年では、コンピュータビジョンによる画像処理技術がめざましく発達している。画像解像度やフレームレート等の動画の質的な向上や、それを処理するパーソナルコンピュータの処理能力の向上、そして、OpenCV にあげられる画像処理ライブラリの普及が大きな要因である。このような画像処理技術の進展で、ステレオ撮影される対象物体の形状を復元できる3次元点群処理が可能になってきた。また、画像処理で得た画像情報に機械学習を適用することで物体の認識や種別の認識、対象物体の解析が可能になっている。事前に構築した学習器に画像情報を入力することで、非線形問題やノイズの多いファジーな問題であっても柔軟に解を出力する可能性がある。これらの技術の適用で、養殖生産者の求める体重推定誤差を低く抑えられる可能性が高い。

### 2. 研究の目的

本研究では、3次元点群処理により魚の形状を可視化し、魚体の3次元位置情報(点群)を機械学習によって正確な体重推定を行うことを目的とし、新規性の高い養魚の体重推定システムの構築を目指すものである。本研究目的を達成するために、3次元点群処理による魚体長計測手法の確立、点群処理・魚体画像と魚体重の関係を機械学習によりモデル化し、体重推定手法の確立を目指した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 魚体長計測手法の確立

【室内試験】 3次元点群処理による魚体の3次元復元を水中で可能にするために、作業が簡易で環境をコントロールできる研究室内で試験を実施した。様々な大きさのマダイをステレオカメラで撮影し、平行ステレオ法により計算された3次元点群によって片側側面の魚体形状を可視化した。3次元点群として復元されたマダイの魚体長や体高と実物を比較して性能評価を行った。

試験を行うにあたり、どのような撮影条件が適しているのかを調べた。規程の軌道を動く鉄道模型を対象にステレオ撮影し、3次元化に適した撮影条件を模索した。ステレオ計測のひとつである3次元点群処理は、視軸平行なステレオカメラの画像から3角測量の原理で3次元位置を推定する平行ステレオ法である。ステレオ画像のマッチング後に視差を推定し、3次元化を行う。マッチングとは任意の画素とその周囲の情報を基に、空間上の1点から投影された画像上の同一点の探索と対応付けを行うことである。マッチングに失敗すると3次元化できないため、フレームレートやシャッター速が3次元化に与える影響を容易に評価できる。フレームレートとシャッター速を変更できる市販の2機のビデオカメラ(HERO5 Session, GoPro Inc., USA)を使用した。撮影した動画は、動画編集ソフトを使用して目視で読み取った音声データ(撮影前後に録音した打音)を基に、すべての音声記録が一致するよう時間をずらして同期を行った。時間同期させた後に動画編集ソフトを使用して画像フレームの抽出を行った。3次元計測を行うためにチェッカーボードによるステレオカメラの画像校正を事前に行った。楕円形のルール上に電車模型を等速で運動させた。動体側面を確認できる観測点を近距離と遠距離の2点設け、通過する電車模型をステレオ画像として記録した。ステレオ撮影を異なるシャッター

速 (0.04-0.004 s)、フレームレート (24-60 fps) で行った。

【水中試験】 8 トンの大型水槽において、自由遊泳するマダイを対象にステレオ撮影し、マダイ魚体の3次元復元を室内実験で構築した手法で行った。室内試験と同様にマダイを計測し、体長・体高の画像計測値と実物を比較して性能評価を行った。

#### (2) 体重推定手法の確立

(1) の室内試験で得られた3次元点群を入力値、体重を出力値にもつモデル式で機械学習(回帰分析)をおこなった。当初予定では、深層学習による回帰を行う予定だったが、3次元点群処理の計測手法構築の進捗が遅延が生じたため、従来の機械学習(回帰分析)で今回は対応した。

### 4. 研究成果

#### (1) 魚体長計測手法の確立

【室内試験】 平行ステレオ法による3次元計測によりステレオ画像からマダイを3次元点群としてモデル化することが出来た(Fig. 1)。本解析手法をベースに体重推定を行うこととした。ただし、撮影したマダイは動体ではなく、実際の計測は水中を遊泳するマダイを対象に行うことになる。したがって、楕円軌道を等速に移動する動体を撮影し、3次元点群処理による動体の復元率に与えるフレームレート、撮影距離とシャッター速の影響を評価した。

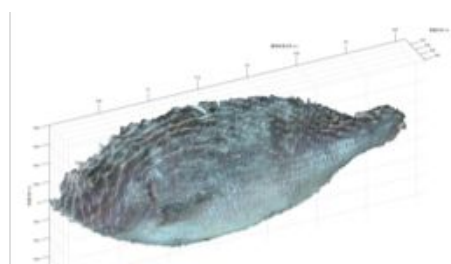


Fig. 1 3次元化されたマダイ

ステレオ画像、すなわち2画像の特徴点をそれぞれ抽出したうえでマッチングを行い、その視差から3次元復元を行った(Fig. 2)。レールの楕円短軸方向の視点から点群化された動体側面を2値画像として抽出した。ステレオ画像のマッチングが失敗する場合は、左右の画像が時間的に異なることを意味し、動体であるモデルは点群化されない。点群画像のクローニング処理後の黒画素数から画像全体の画素数で割った数を被覆率と定義し、測定誤差を評価するための量的な指標とした。フレームレートが高いときに被覆率は高くなる傾向を示し、低フレームレートを除き、シャッター速が短くなると被覆率は高くなる傾向を示した。フレームレートが高くなる、あるいは、シャッター速が短くなるにともない、動体側面の穴抜けが少なくなる傾向にあった。統計モデルを用いた解析によると、被覆率にフレームレートとシャッター速が影響していることが示された。したがって、フレームレートが3次元計測に最も影響することが分かった。水中におけるステレオ画像計測では、天候や季節変動による水中の照度や濁度によって、解析に用いる画像の輝度が変化する。本研究から適切な露光時間を考慮し、フレームレートとシャッター速を設定するべきであることが示唆された。

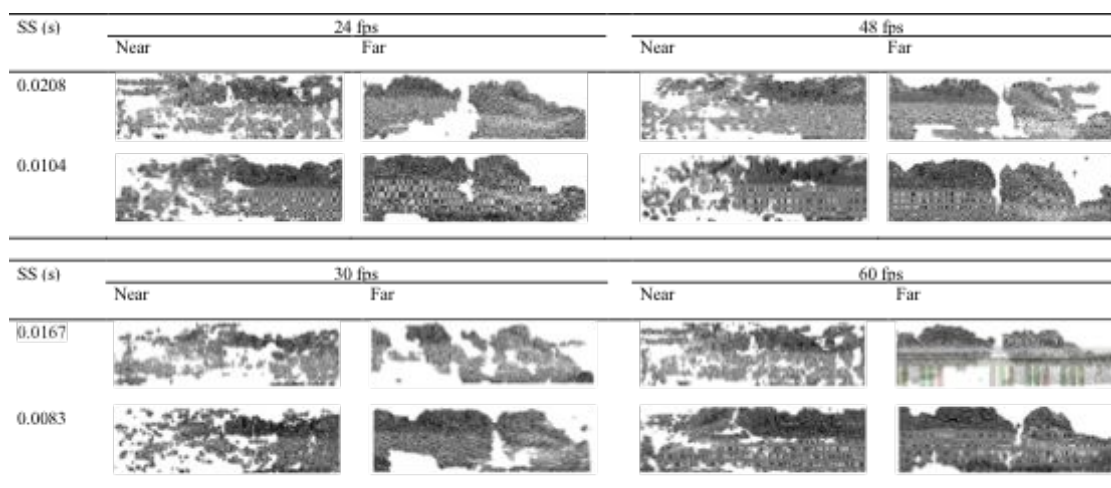


Fig. 2 各シャッター速・フレームレートにおける点群の可視化

【水中試験】 室内実験で計測手法の確立と撮影条件の検討を行い、屋外水槽にてマダイの遊泳行動を撮影し、3次元点群化を行った。また、従来手法であるDLT法を用いて魚体長をあわせて計測した。3次元点群処理による計測では、多くの撮影シーンの3次元化に失敗した。現在使用している3次元化の計算アルゴリズムが空中で撮影した場合を想定しており、水中と空中の屈折率の違いが結果に影響したと推察された。しかし、ステレオ画像のマッチング処理を調整して画像のマッチングが叶った画像においては3次元点群を可視化できた (Fig. 3)。しかしながら、このようなケースは稀であり、今後、計測手法を検討する必要がある。一方で従来手法のDLT法によるステレオ画像計測では誤差1-2 cm程度で計測が出来た。

#### 1. 視軸平行な2機のカメラで撮影

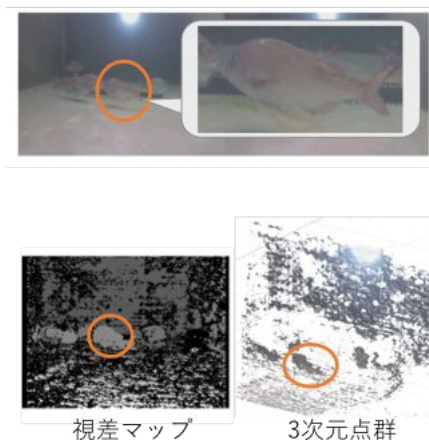


Fig. 3 自由遊泳するマダイの3次元点群化

### (2) 体重推定手法の確立

(1)の室内試験で可視化されたマダイの3次元点群から魚体形状の特徴を抽出し、体重推定手法の検討を行った。可視化された点群から魚体形状の指標として体高方向の断面と魚体長方向の断面を抽出した。なお、生産者の作業行程上、魚体長計測のための撮影は魚体側面から行うことが簡便であることから、側面の撮影に限定した。

これらの特徴を抽出して魚体重との関係を調べたところ、推定体重のばらつきが大きく、実用化には、さらなる検討が必要であることがわかった。取得された点群から、標準体長、体高を計測したところ、実物をノギスで直接計測した真値とほぼ一致したことから、3次元点群の可視化精度は高いことがわかった。推定体重に大きな誤差がみられたのは、体幅方向の可視化と計測精度が低い可能性が予想されたが、原因については今後の研究課題としたい。

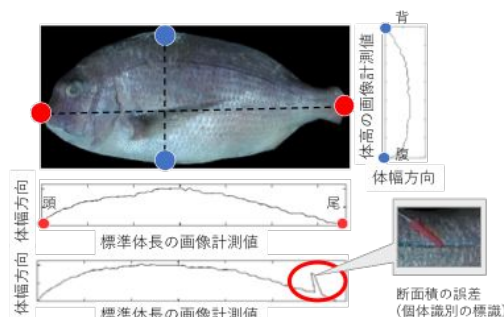


Fig. 4 魚体重推定へのパラメータ

### (3) 今後の展望

本研究では、3次元点群処理によるマダイの魚体形状の可視化を実現し、魚体形状の特徴を抽出する手立てを得ることができた。このことは非接触で対象の養魚の魚体形状を知ることができ、現用の魚体長から体重を推定する方法を将来的に改善できる可能性がある。一方で、水中における平行ステレオ法を用いた計測には3次元点群を取得することは現状難しく、計測手法の改善が必要であることがわかった。また、取得された点群から、体重推定に寄与する特徴をどのように抽出し推定するのかについても今後検討する予定である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

田中 達也、米山和良、鳥澤真介、山口武治、浅海 茂、高木 力、多眼ステレオ画像計測による養魚体測システムの精度向上、日本水産学会誌、査読有、85巻、2019、314-320

DOI : <https://doi.org/10.2331/suisan.18-00034>

坂本 誠、米山和良、田丸 修、鳥澤真介、高木 力、ステレオビジョンによるマサバの3次元遊泳行動計測：パーティクルフィルタを用いた自動計測、日本水産学会誌、査読有、84巻、2018、787-795

<https://doi.org/10.2331/suisan.17-00071>

K. Komeyama, T. Tanaka, T. Yamaguchi, S. Asami, S. Torisawa, T. Takagi, Body measurement of reared Red sea bream using stereo vision, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有、30巻、2018、231-237

doi: 10.20965/jrm.2018.p0231

K. Komeyama, J. Mugita, O. Tamaru, T. Takagi, Comparison of fish shoals of Japanese mackerel and Chub mackerel: Monitoring behaviour of fish schools using a stereo vision camera, Contributions on the Theory of Fishing Gears and Related Marine Systems, 査読有、10、2017、261-269

〔学会発表〕(計7件)

田中達也、池田龍之介、米山和良、高木 力、中村悟史、池上温史、画像計測による養殖生簀を遊泳するマダイの尾叉長分布の推定、平成 31 年度日本水産学会春季大会、東京、2019  
池田龍之介、田中達也、米山和良、高木 力、湯田勇太、霍川幹史、養殖魚の長期成長モニタリングにおけるマルチステレオ画像計測を用いた魚体長計測の正確度評価、平成 31 年度日本水産学会春季大会、東京、2019

池田龍之介、米山和良、田中達也、高木 力、池上温史、中村 悟、音声時間同期手法によるステレオ画像計測時のフレームレートおよび撮影距離の影響、2018 年度数理水産科学会、北海道、2018

田中達也、米山和良、池田龍之介、高木 力、中村悟史、ステレオカメラによる養殖マダイの尾叉長・体重推定、平成 30 年度日本水産学会秋季大会、広島、2018 年。

田中達也、永井健策、米山和良、高木力、鳥澤眞介、山口武治、浅海茂、画像による養魚体測システムの精度向上：多眼ステレオ計測技術の検証、平成 30 年度日本水産工学会学術講演会、東京、2018

田中達也、米山和良、高木 力、鳥澤眞介、森田竜作、霍川幹史、山口武治、浅海 茂、ステレオカメラによる非接触での養殖マダイの成長過程の追跡、平成 30 年度日本水産学会春季大会、東京、2018 年

米山和良、田中達也、高橋勇樹、鳥澤眞介、高木 力、田丸 修、深層学習を応用した画像処理による半透明魚体の検出、平成 30 年度日本水産学会春季大会、東京、2018

〔図書〕(計1件)

米山和良、水中で身体測定：画像処理技術で魚の成長を把握する、海をまるごとサイエンス～水産科学の世界へようこそ～（海に魅せられた北大の研究者たち）、海文堂出版株式会社、2018、55-65

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、研究者個人に帰属されます。