

# 海面養殖における給餌量決定のための魚体サイズ測定

生産システム工学専攻 服部 魁人, 指導教員 江崎 修央

## Fish Size Measurement for Determining Amount of Feed for Aquaculture

Kaito HATTORI, Nobuo EZAKI

Advanced Course of Production System Engineering, National Institute of Technology, Toba College

**Abstract** In the automatic feeding system for aquaculture such as red sea snapper and yellowtail, the amount of feed is calculated based on fish weight and water temperature, so it is important to grasp fish weight. However, it is not realistic to use frequently a weighing scale, which is a general method of measuring fish, because it is a task that stresses the fish. Furthermore, it is one of the causes of lowering the commercial value, such as the fish coming into contact with the net and being damaged when they are taken out of the fish cage. Therefore, in this study, we propose a mechanism to show the dispersion in the cage by generating a depth image using a stereo camera and measuring the size of the fish by obtaining the distance from the fish. As a result, it is possible to measure fish even during migration, and it is expected that the accuracy of feeding amount calculation will be greatly improved.

**Keyword** Sea Farmers, Aquaculture management, Fish measurement

### 1. はじめに

三重県魚類養殖広域水産業再生委員会が平成 28 年に発表した「浜の活力再生広域プラン」<sup>[1]</sup>によると、三重県の魚類養殖業は、昭和 50 年代はブリ養殖、平成に入りマダイ養殖を中心として、熊野灘海域の漁村のみならず、地域の基盤産業として発展してきた。しかしながら、平成 4 年に 10,000 (t/年) 以上生産があったマダイは、平成 26 年では 4,600 (t/年) 程度にまで落ち込み、経営体数は当時の 2 割にまで落ち込んできている。

魚類養殖業は、近年の販売価格低迷により厳しいコスト競争にさらされるだけでなく、飼料の高騰により過酷な経営環境が続いている。また、経営の大規模化を図ることができる生産者はほとんどいないのが現状で、小規模経営体（家族経営、単身養殖業）が多く、変化する流通環境、消費環境の中、抜本的な対応に迫られている。また高齢化が進む漁村において、機械に置き換えられる業務は積極的に活用し、事業者の負担を減らすことが重要であり、新たな担い手が参入しやすいよう IT を用いた支援を行うことも必要である。

ここで、マダイやブリなど海面養殖における自動給餌システムにおいて、日々の給餌量の算出は魚体重と水温に基づいて計算されるため、魚体重の把握が重要である。しかし、一般的な魚体測定のように天秤はかりを用いる方法は、測定に時間がかかるこ

とに加え、魚にストレスのかかる作業のため頻繁に行うのは現実的ではない。さらに、魚を生簀から取り出す際、網と接触し傷がつくなど商品価値を下げ原因のひとつとなっている。このような背景から従来から魚体サイズ測定システムは開発されてきた<sup>[2][3]</sup>が、生簀内の魚の大きさの分散を示す仕組みではなかった。つまり、非接触で魚体サイズの測定を行い、分布を示す仕組みが必要であるという着想に至った。

### 2. 魚体サイズ測定の方法

#### 2.1. サイズ測定の概要

本研究では、適切な給餌量の決定のために、非接触で魚体サイズ測定を行い、生簀内の魚の大きさの分布を示す仕組みを開発する。魚体サイズ測定の流れを図 1 に示す。はじめに、ステレオカメラを用いてステレオ画像を撮影し、深度画像を生成する。次に、魚の頭・尾・背鰭・腹鰭の座標を得るために魚領域の切り出しを行い、それぞれの 3 次元座標から魚体サイズ測定を行う。

提案手法の指針として、実際の分布状況を高い精度で実現するために、撮影した写真から正確に魚体測定ができる条件が揃っている場合のみ測定・記録を行うこととした。つまり、魚自体の 3 次元回転方向であるロール角・ピッチ角・ヨー角を算出し、それぞれの角度が決められた閾値以下の場合のみ測定

することとした。具体的には、魚を真横から見た場合が保証された場合のみ魚体サイズを測定し記録する。

また、魚の長さは主に体長、尾叉長、全長のいずれかで表される（図2）が、本研究では全長を測定することとする。

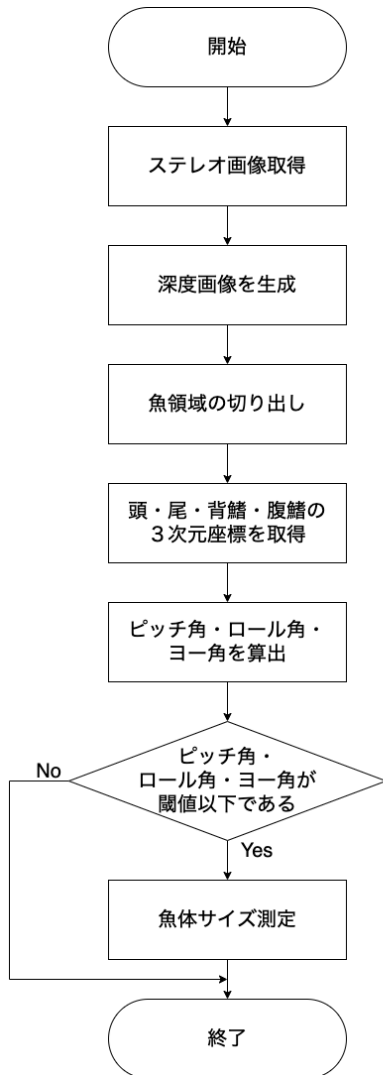


図1 魚体サイズ測定の流れ

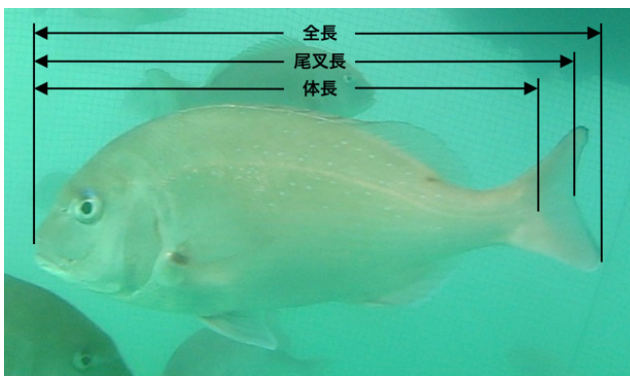


図2 体長、尾叉長、全長

## 2.2. 深度画像の生成

深度画像の生成には、多くの画像処理アルゴリズムが用意されている OpenCV を用いた。ステレオマッチングを行うには StereoBM と StereoSGBM の 2 クラスがある<sup>[4]</sup>。StereoBM はブロックコストを計算するクラスであるのに対し、StereoSGBM はブロックコストを計算した後、周囲との滑らかさを考慮して最適化するもので、StereoBM と比べて速度は遅いが精度が高い。本研究ではリアルタイムに処理する必要はないため、より精度の高いステレオマッチングを行う StereoSGBM を利用することにした。

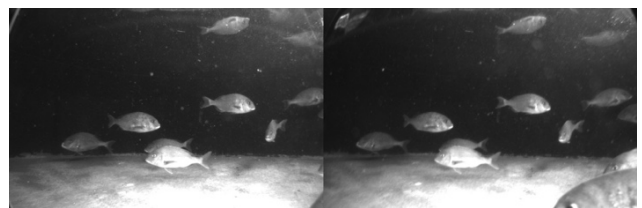


図3 ステレオ画像



図4 深度画像

## 2.3. 深度と距離の関係

2.1 節の手法で生成した深度画像を用いて魚体サイズ測定を行うが、深度画像から直接距離の値を得ることができるわけではない。生成した深度画像において深度は 0 から 255 の値で表現されるため、画素値から距離を推定する式を導出する必要があり、以下の手順を行なった。

- ① 実長を計測した物体を用意する。
- ② 物体とカメラを一定距離離して置く。
- ③ 実際の距離、深度画像の画素値、物体のピクセルサイズを記録する。
- ④ 記録結果を折れ線グラフに示し、関数を近似する。

②③の手順を複数回繰り返した後、④を行うことで近似式を得る。この時、深度と距離の関係（図5）では、視差はカメラからの距離に反比例するという性質を利用し、近似曲線には累乗近似を用いた。また、測定された距離とピクセルあたりの実長の関係（図6）については線形近似を用いて導出する。

表1 深度と距離の関係

距離 (cm)	深度画像の画素値	ピクセルサイズ (px)
40	119	203
50	99	169
60	86	143
70	76	123
80	69	109
90	63	98
100	58	87

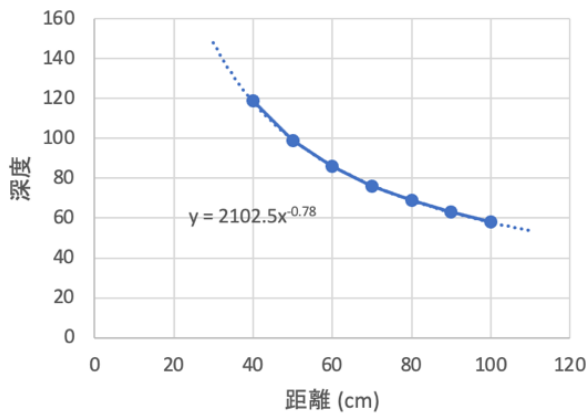


図5 深度と距離の関係

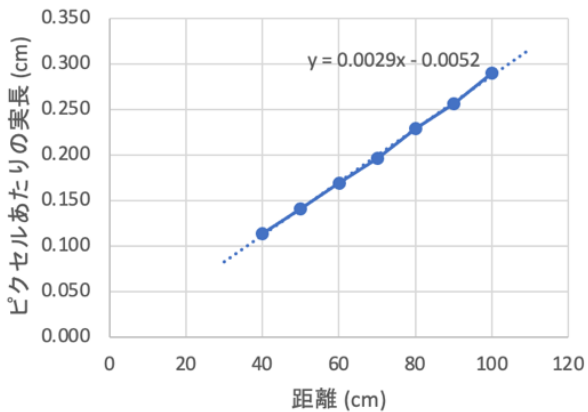


図6 距離とピクセルあたりの実長の関係

## 2.4. 背景差分による魚領域の切り出し

魚体サイズ測定には魚領域の抽出と距離の推定が不可欠であるが、2.2節で生成した深度画像からわかるように、水中でのステレオマッチングは画像のぼやけや生簀内の網などの環境によって、す（空洞部分）が生じることや、うまく視差を算出できない箇所がある。そこで、モルフォロジー変換によって深度画像のすを除去し、背景差分処理を用いて魚領域のみを切り出した深度画像を利用する方法を提案する。手順を次に示す。

- ① ステレオ画像の片側1枚の平均画像を生成する。
- ② 平均画像とステレオ画像の片側1枚の差分をとる。
- ③ 差分画像を二値化し、魚領域のマスク画像を生成する。
- ④ マスク画像、深度画像にモルフォロジー変換を行い、すを除去する。
- ⑤ マスク画像を用いて、2.1節で生成した深度画像をマスク処理する。
- ⑥ 魚領域を切り出した深度画像を得る。

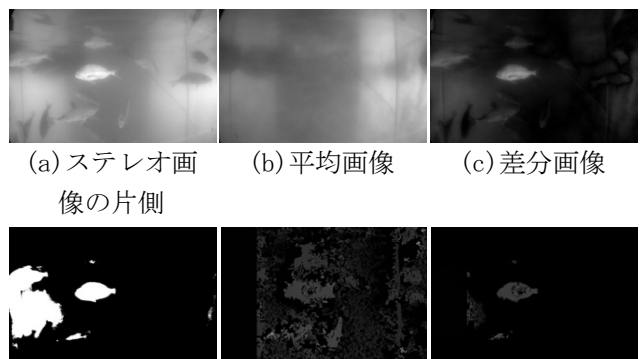


図7 魚領域の切り出しの流れ

## 2.5. ロール角・ピッチ角・ヨー角の算出

2.1節でも示した通り、実際の分布状態を高い精度で実現するために正確に測定できる条件が揃っている場合のみ測定を行う。つまり、魚自体の三次元回転方向であるロール角・ピッチ角・ヨー角が決められた閾値以下の場合のみ測定することとした。具体的には、魚を真横から見たことが保証された場合のみ魚体サイズを測定し記録する。魚のロール角・ピッチ角・ヨー角は図8のように定義した。

ピッチ角は、切り出した魚領域を主成分分析することによって算出する。この時、第1主成分の回転角度をピッチ角とし、回転方向に対して最長となる2点を頭と尾の位置とする。また、第2主成分の方向に対して最長となる2点を背鰭と腹鰭の位置とした。ロール角 $R$ ・ヨー角 $Y$ はそれぞれ頭 $A$ と尾 $B$ 、背鰭 $C$ と腹鰭 $D$ の $x, y$ 座標に距離 $z$ を加えた3次元座標によって算出する(式1, 2)。ここで、2.3節で導出した距離とピクセルあたりの実長の関係を用いて、それぞれの $x, y$ 座標の単位を $cm$ に統一する。頭、尾、背鰭、腹鰭の3次元座標は魚体サイズ測定にも利用する。

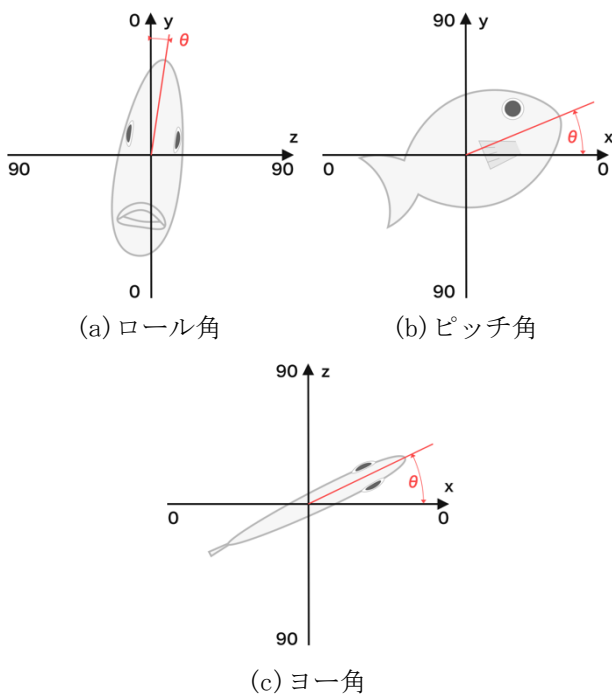


図8 ロール角・ピッチ角・ヨー角の定義

$$R = 90 - \left| \tan^{-1} \frac{Dy - Cy}{Dz - Cz} \right| \quad (1)$$

$$Y = \left| \tan^{-1} \frac{Bz - Az}{Bx - Ax} \right| \quad (2)$$

## 2.6. 魚体サイズ測定

2.5節で得た頭と尾の3次元座標を用いて魚体サイズ測定を行う。本研究では全長 $L$ を測定することを目的としており、測定には以下の3次元空間における二点間の距離を算出する式3を用いた。

$$L = \sqrt{(Ax - Bx)^2 + (Ay - By)^2 + (Az - Bz)^2} \quad (3)$$

ただし、画像によっては正しく測定できないケースがある。例えば、魚が見切れている場合、頭または尾の座標を正しく取ることができない。また、魚体サイズ測定には、2.3節で示した距離とピクセルあたりの実長の関係を利用するため、画像に写った魚が小さい時、つまり魚との距離が遠い時には誤差が大きくなる傾向にある。これらを除外する処理を導入し、測定精度の低下を軽減させた。

## 3. ステレオカメラを用いた画像収集

### 3.1. 使用機材

魚体サイズ測定に利用するステレオ画像は、養殖生簀内にステレオカメラを取り付けて収集する。画

像収集装置の構成図を図9に示した。図10に画像収集装置の外観を示す通り、ステレオカメラはワンボードマイコンに接続し、防水ケースに入れる。ケースと蓋の隙間には海水が侵入しないようゴムパッキンが使用されているが、さらに防水性を高めるため、つなぎ目をシリコンで覆った。また、マイコンとソーラー発電式のバッテリーはLANケーブルで接続し、PoE給電によって動作させる。ここで、LANケーブルを通じて筏上に設置したSIMドングルと接続し通信を行うよう設計した。

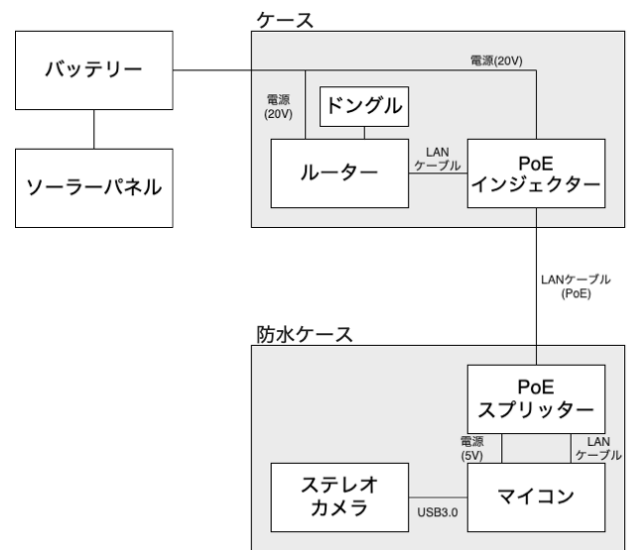


図9 画像収集装置の構成図

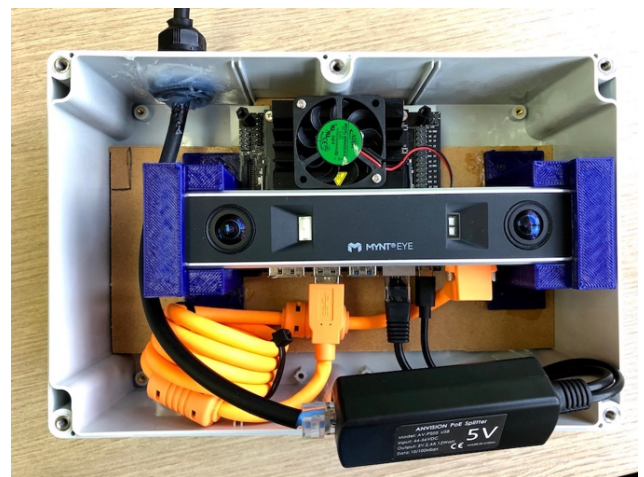


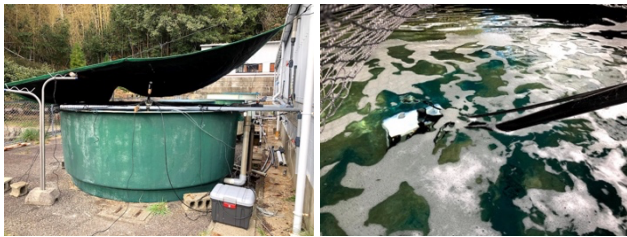
図10 画像収集装置

### 3.2. 実験画像の収集環境

本研究は、三重県水産研究所尾鷲水産研究室の協力の下で実験を実施する。直径3m、深さ1mの水槽を用意してマダイを遊泳させ、ステレオカメラを設置して撮影した(図11)。解像度752px×480pxの



グレースケール画像を2枚1組とし、約15秒に1回の頻度でサーバーに送信する。実験は、11月30日から12月10日（以下、期間①という）と12月14日から12月22日（以下、期間②という）の2回に分けて実施し、期間①では全長が約39cmのマダイ10匹を測定、期間②では期間①で用いた魚に、全長約43cmのマダイ10匹を加えた合計20匹で測定を行った。



(a) マダイの遊泳水槽 (b) ステレオカメラ設置  
図11 実験画像の収集環境

表2 実験で用いるマダイの全長

	期間①	期間②
魚数	10	20
平均値 (cm)	39.24	41.69
中央値 (cm)	39.50	42.10
最頻値 (cm)	39.00	42.00
分散	1.95	3.30
標準偏差	1.40	1.82

画像収集装置は水深約1mに沈めているが、時間帯や季節によって光の当たり方が異なるため、画像が白飛びしてしまうことがあった。これにはカメラの撮影方向を北向きにし、光の影響を受けにくいようにすることで対応した。また、一般的にマダイの養殖では魚の日焼けを防ぐため、生簀に遮光ネットを被せる。本研究の実験では陸上に設置した水槽を用いたが、環境を統一するため遮光ネットを被せた。

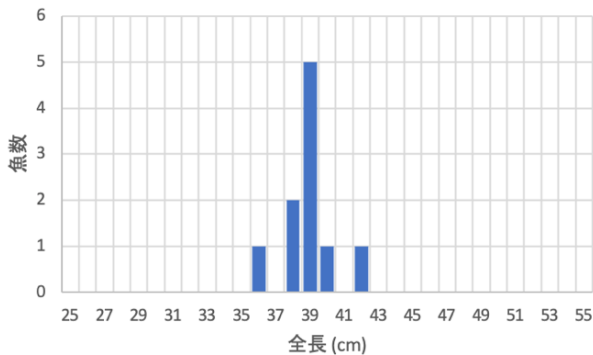


図12 魚のサイズ分布 (期間①)

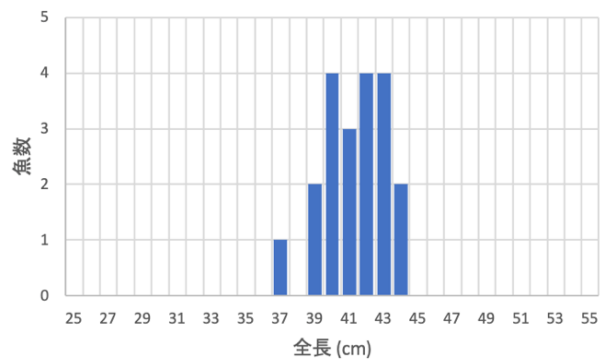
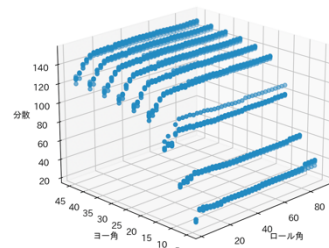


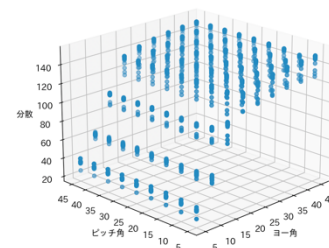
図13 魚のサイズ分布 (期間②)

### 3.3. 画像の測定条件

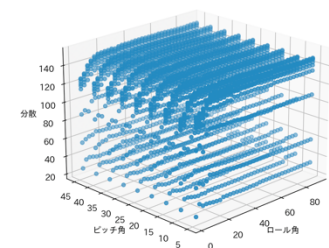
収集したステレオ画像を用いて魚体サイズ測定を行う。2.5節で示したようにロール角・ピッチ角・ヨー角の閾値を決定する必要があるが、本研究では分散が20以下となる時に精度の高い測定ができているとし、それぞれの角度の閾値を決定する。予備実験として閾値を設けずに魚体サイズ測定を行い、測定結果からロール角・ピッチ角・ヨー角と分散の関係を示した（図14）。



(a) ロール角, ヨー角, 分散



(b) ピッチ角, ヨー角, 分散



(c) ロール角, ピッチ角, 分散

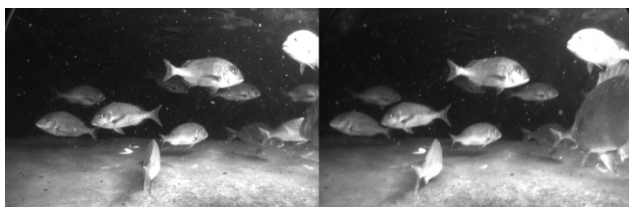
図14 ロール, ピッチ, ヨー角と分散の関係

図の(b), (c)からピッチ角を0度から45度まで変化させても、分散にほとんど影響していないことがわかる。このことからピッチ角の閾値は45度以下とすることとした。また、(a)からロール角、ヨー角を変化させたとき分散が20以下となるのは、ロール角が2.5度以下かつ、ヨー角が5度以下の時であることがわかる。

## 4. 実験結果

### 4.1. 期間①の結果

期間①では19724枚の画像を収集し測定を行った。収集した画像と魚領域の切り出しの結果を図15に示す。



(a) ステレオ画像

(b) 深度画像

(c) 魚領域を切り出した  
深度画像

図15 収集した画像と魚領域の切り出しの結果

収集した画像のうち、魚体サイズ測定できた枚数は99枚であるが、これはロール角・ピッチ角・ヨー角が閾値以下であった場合、つまり魚を真横から見ていることが保証され、高い精度で測定を行うことができる条件を満たした場合の測定結果である。つまり、撮影した画像のうち測定できる枚数が少なくとも、精度の高い測定を行う仕組みが提案手法の肝である。

表3 期間①の測定結果

	実測値	提案手法
魚数・測定された回数	10	99
平均値 (cm)	39.24	38.43
中央値 (cm)	39.50	38.10
最頻値 (cm)	39.00	40.00
分散	1.95	13.95
標準偏差	1.40	3.74

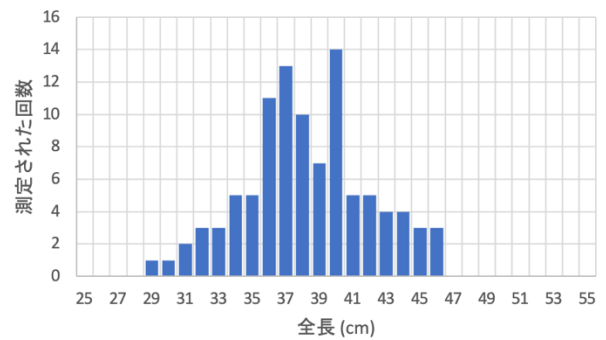


図16 期間①の測定結果

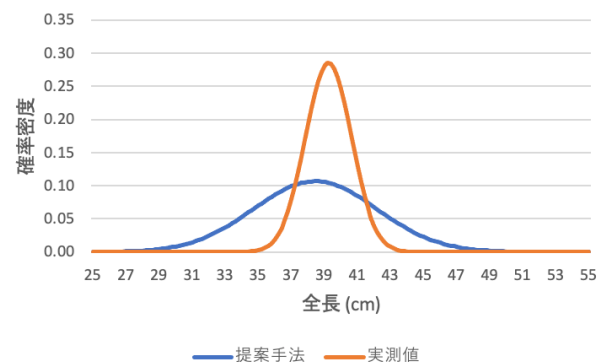


図17 期間①の確率分布

### 4.2. 期間②の結果

期間②では16024枚の画像を収集し測定を行った。期間②でも期間①と同様に、高い精度で測定を行うことができる条件を満たした場合のみ測定を行った。

表4 期間②の測定結果

	実測値	提案手法
魚数・測定された回数	20	64
平均値 (cm)	41.69	40.55
中央値 (cm)	42.10	39.83
最頻値 (cm)	42.00	39.00
分散	3.30	11.20
標準偏差	1.82	3.35

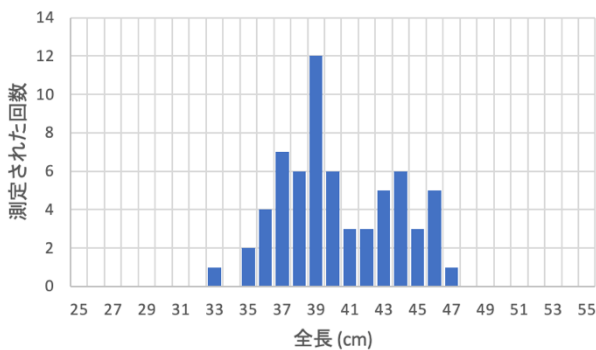


図18 期間②の測定結果

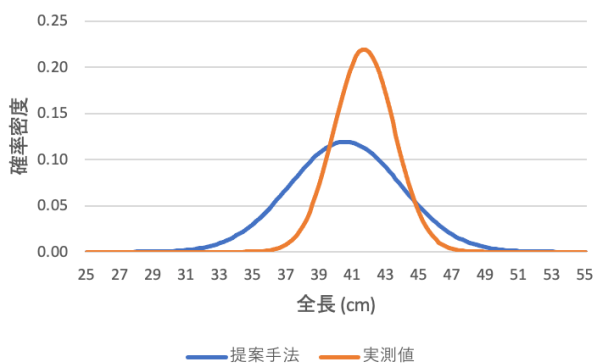


図19 期間②の確率分布

表5 マダイの出荷票

重量	魚数
2.6 上	2
2.0	77
1.8	47
1.5	64
1.2	24
1.0	36
0.8	0
計	249
ビリ込み	249

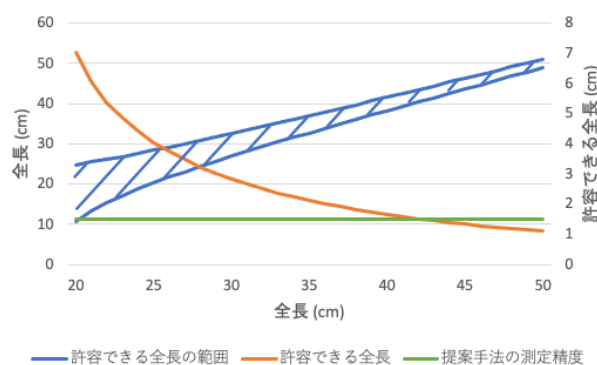


図 20 体重誤差を±150g とする時の許容長

### 4.3. 考察

結果に示したように、本研究で示した閾値では約200枚に一枚の割合で魚体サイズ測定を行なっている。この時、平均値の誤差は約±1.5cmの精度で測定を行うことができた。

ここで、三重県志摩市で出荷されたマダイの出荷票(表5)では、800g以上の個体は200gから300gでグループ分けして分類していることがわかる。つまり、体重の誤差が±150g以下となるように測定できれば精度が良いと言える。この時、一般的なマダイのサイズから体重に変換する式<sup>[5]</sup>を用いると、42cm以下の個体であれば全長の測定精度が±1.5cmで体重の誤差が150g以下となり、提案手法が有効であるといえる。ただし、42cmよりも大きな個体ではさらに精度を高くする必要がある。

提案手法では、太陽光や海水の透明度など環境の影響によって背景差分がうまく動作しないことが精度を低下させている原因の一つであると考えられる。今後、測定に利用する魚の頭、尾、背鰭、尾鰭の座標決定には、近年画像認識分野で特に高い精度を出している機械学習を利用することで、精度を向上させることができると考えている。

### 5. まとめと今後の課題

本稿では、ステレオカメラによって撮影した深度画像を用いて魚体サイズ測定を行い、分散を示す仕組みの開発を行なった。提案手法では、生簀内の分布を示し、42cm以下の個体であれば実用に十分な精度を実現した。

今後の予定としては、生簀内に測定用の筒を設置し、中を通過した魚を撮影するなど、魚体測定で重要な仕組みである魚領域の切り出しと深度画像生成の精度向上を図っていく。また、ステレオカメラはキャリブレーションが必要なデバイスであり手間とコストがかかる。今後、単眼カメラで撮影した画像から機械学習を用いて深度画像を推定し、利用するなど新たな手法の検討も行なっていく。

### 参考文献

- [1] 三重県魚類養殖広域水産業再生委員会, 平成28年「浜の活力再生広域プラン」, [https://www.jfa.maff.go.jp/j/bousai/hamaplan/attach/pdf/18\\_mie\\_kouiki/ID2118002\\_mie\\_koiki\\_gyorui.pdf](https://www.jfa.maff.go.jp/j/bousai/hamaplan/attach/pdf/18_mie_kouiki/ID2118002_mie_koiki_gyorui.pdf), 2020年1月20日参照.
- [2] 田中達也, 米山和良, 鳥澤真介, 山口武治, 浅海茂, 高木力. (2019). 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, 85(3), 314-320.

- [3] 成瀬達哉, 山下淳, 金子透, 小林祐一. (2013). 魚眼ステレオカメラを用いた水中物体の3次元計測. 精密工学会誌, 79(4), 344-348.
- [4] OpenCV, Camera Calibration and 3D Reconstruction, [https://docs.opencv.org/master/d9/d0c/group\\_\\_calib3d.html](https://docs.opencv.org/master/d9/d0c/group__calib3d.html), 2020年1月21日参照.
- [5] 向井哲也, 沖野晃, 小草正道, 白藤拓. (2016). 2004年～2013年のマダイ・ヒラメの放流効果調査結果. 島根県水産技術センター研究報告, 第9号, 31-35頁.
- [6] 服部魁人, 江崎修央, 佐伯元規, 高橋完, 坂本竜彦. (2020). 海面養殖の自動給餌実現のための深度推定による魚体測定. 映像情報メディア学会技術報告 ITE Technical Report Vol.44, No.6 MMS2020-1, ME2020-29, AIT2020-1(feb.2020) pp.1-5
- [7] Mingming Hao, Helong Yu and Daoliang Li. (2015). The Measurement of Fish Size by Machine Vision - A Review. CCTA, 15-32.
- [8] Muñoz-Benavent, P., Andreu-García, G., Valiente-González, J.M., Atienza-Vanacloig, V., Puig-Pons, V., & Espinosa, V. (2018). Automatic Bluefin Tuna sizing using a stereoscopic vision system. ICES Journal of Marine Science, 75, 390-401.
- [9] Daniel J. White, Cato Svellingen and N. J. C. Strachan. (2006). Automated measurement of species and length of fish by computer vision. Fisheries Research, 80, 203-210.
- [10] David Eigen, Christian Puhrsch and Rob Fergus. (2014). Depth Map Prediction from a Single Image using a Multi-Scale Deep Network. Advances in neural information processing systems, 2366-2374.