

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14785

研究課題名(和文) 遊泳個体数計数アルゴリズムの研究開発：PTV解析技術を応用した新たな試み

研究課題名(英文) Development of algorithm for number of swimming fish individuals: a new approach by using PTV technique

研究代表者

木村 暢夫 (KIMURA, Nobuo)

北海道大学・水産科学研究院・教授

研究者番号：50186326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：養殖生簀内の飼育個体数を簡便に計数可能な基盤技術を開発する目的で、流体力学分野で適用されている流場の可視化技術であるPTV(Particle Tracking Velocimetry)解析技術を適用し、画像内の魚群の構成尾数を計数する基盤アルゴリズムを構築した。動画像内の一定の輝度と面積以上の領域を魚の個体として領域抽出したのち、当該領域の移動ベクトルをカルマンフィルタのアルゴリズムを適用することにより算定した。ベクトルの本数から空間内の個体数を推定したところ、水槽内に200尾を投入したとき、個体数推定結果の実数に対する平均誤差は5.9%となり、その有効性が確認できた。

研究成果の概要(英文)：To develop the fundamental technique of counting number of fish individuals in an aquaculture cage, the basic algorithm for counting individuals was constructed by applying PTV (Particle Tracking Velocimetry) technique. The region above a certain area and brightness was defined as the candidate region of an individual. The movement vectors of the extracted regions were estimated by using Kalman filter, and the number of the vectors was possible to give that of individuals. When 200 individuals were put in an experimental tank, applying the algorithm showed that the averaged error was 5.9% and its availability was confirmed.

研究分野：水産工学

キーワード：個体数 養殖 PTV 計数 魚群

1. 研究開始当初の背景

クロマグロ養殖など市場単価の高い養殖魚については、生簀内の飼育魚尾数を自動計数可能とするシステムの開発が以前より要望されている。生簀には数千尾以上が收容され日々斃死や脱出していく個体があるため、生簀内現存量を正確に把握することは困難である。単価が高いクロマグロの尾数管理は出荷時の売り上げを決定づける重要な管理項目であるが、尾数が掴めないため出荷時の総売上数を正確に予想できず事業者は苦慮している。そのため、以前より生簀内の尾数を計数するための様々な取り組みが行われてきたが、いずれも調査段階で終わっていることが多い。例として、音響画像から個体識別して尾数計数しようとするものがあつたが、魚群を構成する個体を識別すること自体が困難なため、思い通りの結果が得られていないというのが現状である。そこで、著者らは流れの可視化技術として以前より用いられている PTV (Particle Tracking Velocimetry) 解析技術 (粒子画像追跡流速測定法) に着目し、これを応用することにより閉鎖空間内を遊泳する飼育魚を精度良く計数できるのではないかと着想するに至った。PTV 技術とは水や空気などの流れの状況を捉えるために流体中に投入した粒子を撮影画像中で追跡することによって定量計測する技術で、翼周りの渦や河川の流れなど工学的な解析技術法として近年広く応用され始めている。

2. 研究の目的

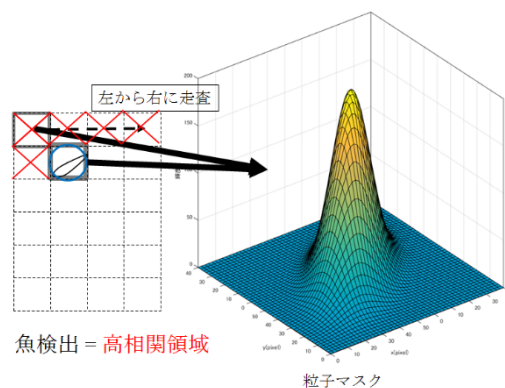
PTV 解析技術の根幹は流体中を漂う粒子の移動ベクトルをいかに正確に描けるかという計測アルゴリズムにあるため、これを応用することにより、魚群中の個体同士の重なり合いなどを識別して映像中の移動個体を読み取れるものと予想できる。そこで、本研究では流体工学分野で利用されている流場を解析する PTV 技術を応用し、魚群を構成する個体数を計数する基盤アルゴリズムの開発を行う。これをもとに、生簀内に收容されている飼育魚の個体数を自動計測するシステムの基礎を構築するための技術開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 生簀内の魚群撮影と個体画像の抽出

PTV 解析技術は、撮影範囲内におさめられた画像内の流体の流れを可視化するものである。そのため養殖生簀などの閉鎖空間内に現存する個体数を計数するためには生簀空間内全体とそこを遊泳する魚群が撮影される必要がある。そこで、撮影には生簀内全体を撮影可能とするため全方位を撮影できる半球型魚眼レンズが装着されたビデオカメラ (Kodak 社製 PIXPRO SP360) を用いた。実験は提案したアルゴリズムが適用できるか評価するため、水槽実験レベルで実施した。使用した生簀水槽は透明なパンライト水槽で

直径 640mm×高さ 460mm で容量 100L のものを使用した。実験にはメダカを用いた。水槽内に 100 尾を投入し自由遊泳させ、水底に設置した全方位カメラで水面方向を約 10 秒間、1 秒間に 10 秒間のフレームレートで撮影した。取得された 1 枚ずつのデジタル画像を平均化した。この処理により、移動する物体は取り除かれ、水槽壁などが背景画像として取得できる。この背景画像を遊泳した魚群が映し出されている画像から差分処理し、個体画像だけを抽出した。取得された個体抽出画像は様々なノイズを含んでいる可能性が高い。そのため、実際の個体画像を他のノイズから分離抽出するため、粒子マスク相関法 (PMC 法) および Region Extraction and Centroid Computation (RECC 法) を適用した。PMC 法は図 1 に示すように山形をした輝度テンプレートを取得画像上で走査させることにより、魚などの物体領域に輝度テンプレートが重なった場合は輝度相関値が高くなることを利用して、ある閾値以上の高相関領域だけを個体画素情報として抽出しようとするものである。流体に投入した微細なトレーサー粒子を用いた流場の可視化など一般的な PTV 解析の画像処理アルゴリズムとして用いられている。一方、RECC 法は画像上の物体の輝度値情報をもとに、連続するある閾値以上の輝度領域を抽出した後、一定面積以上の領域面積を持つ画像領域だけを抽出することによりノイズと区別し、その領域重心点を算出して物体の代表点座標を抽出するもので、本研究対象で扱われるように対象物体が魚のように細長い形状や対象物体を遠方と近傍の広いレンジで撮影対象としている場合などに適していると考えられるアルゴリズム



である。本研究ではこれら 2 種類の手法の適用可能性を評価した。

図 1: PMC 法の輝度テンプレートと画像上での走査のイメージ図

(2) 個体の移動ベクトルの導出

魚群が撮影された画像は (1) で述べられた方法により個体画像が抽出されることになる。得られた抽出画像は取得画像上のノイズであったり、対象個体とは異なる浮遊物である可能性がある。そこで、得られた抽出領域が

対象とする魚個体であるかどうか検出するためカルマンフィルタのアルゴリズムを用いて物体の移動ベクトルを予測する。図2はカルマンフィルタを用いて移動ベクトルを導出する方法を説明するための模式図である。ある時刻における対象物体が次時刻でどの方向に移動するのか予測するには次式に示される定式化方法により求められる。

$$h(t+1) = F(t+1;t) h(t) + \zeta(t) \quad (1)$$

$$m(t) = H(t)h(t) + \zeta(t) \quad (2)$$

$$\hat{h}(t;t) = \hat{h}(t;t-1) + K(t)[m(t) - H(t)\hat{h}(t;t-1)] \quad (3)$$

$$\hat{h}(t+1;t) = F(t+1;t)\hat{h}(t;t) \quad (4)$$

ここで、(1)式はシステム(状態)モデルとよび、個体の移動を規定するモデルである。また、(2)式は観測モデルとよばれ、状態量と観測値との関係を表している。ここで、 h は状態量で、個体の位置と速度を表す状態量である。また、 F は状態遷移行列とよばれるもので $(t+1;t)$ は時刻 t から $t+1$ の状態に遷移することを意味している。また H は状態量と観測値との関係を規定する係数行列である。とおよび ζ はそれぞれのモデルのノイズを表している。

(1)および(2)式で定義された状態量と観測値は(3)および(4)式を通して時間更新され、次時刻の状態量が推定される。ただし、(3)式内の $K(t)$ はカルマンゲインとよばれ、次式で定義される、システムモデルと観測モデルの両者の誤差を考慮した修正係数である。なお、カルマンゲイン $K(t)$ は次式で定義される。

$$K(t) = P(t;t-1)H^T(t)[H(t)P(t;t-1)H^T(t) + R(t)]^{-1} \quad (5)$$

$$P(t;t) = P(t;t-1) - K(t)H(t)P(t;t-1) \quad (6)$$

$$P(t+1;t) = F(t)P(t;t)F^T(t) + Q(t) \quad (7)$$

ここで $P(t)$ は $(h(t) - \hat{h}(t;t))$ の共分散行列で Q および R はそれぞれシステムモデルおよび観測モデルの誤差分散行列を表している。本研究では画像2次元 X-Y平面上の個体の移動を扱うものであることから、たとえばX方向のシステムモデル(1)式および観測モデル(2)式は次式のように表すことができる

$$\begin{bmatrix} X(t+1) \\ \Delta X(t+1) \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X(t) \\ X(t+1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi_{X(t)} \\ \xi_{\Delta X(t)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} X(t) \\ \Delta X(t) \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X(t) \\ X(t+1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \zeta_{X(t)} \\ \zeta_{\Delta X(t)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

こうしてカルマンフィルタのアルゴリズムにより推定された個体の推定位置

$(X(t+1), Y(t+1))$ を中心として図2に示したように半径 r の円内の探索領域中で最も推定位置に近い候補個体を次時刻 $t+1$ における個体位置として移動ベクトルを描く。このアルゴリズムにより、ノイズや魚とは異なる速度で移動する物体は探索領域内に出現することはないので、魚個体と区別することが可能となる。

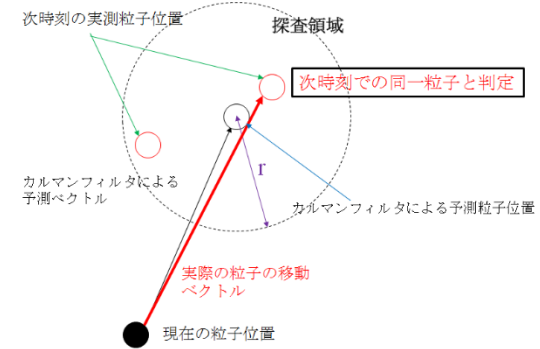


図2: カルマンフィルタによる個体の移動ベクトル導出のイメージ図

4. 研究成果

(1) PMC法を用いた個体画像抽出とカルマンフィルタによる個体移動ベクトルの導出

水槽内に100尾メダカを投入したときの原画像および背景画像を原画像から差分した画像を図3に示した。個体の画像は抽出されているが、水槽壁や細かなノイズが画像内に映し出されていることがわかる。そこで、PMC法により高相関領域だけ抽出した(図4)。水槽壁や比較的小領域のノイズは消去されていることがわかる。

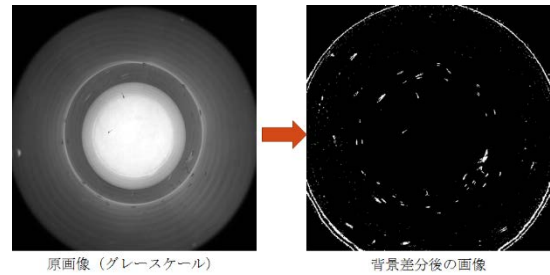


図3: 原画像(左)と背景画像を差分した二値化画像

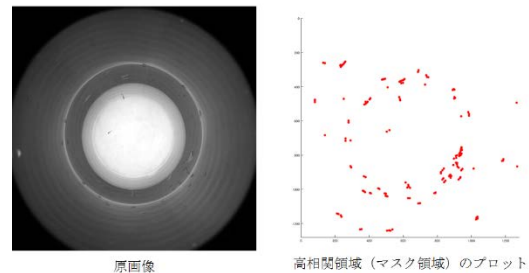


図4: 原画像(左)とPMC法により抽出された高相関領域

図5はカルマンフィルタのアルゴリズムにより図4で抽出された個体画像をもとに移

動ベクトルを抽出した結果である。各個体から移動ベクトルが導出されていることがわかる。また、ベクトル大きさの大小はカメラと対象個体との距離が見かけ上、遠距離では大きくなり、近距離で小さくなることも影響していると考えられる。表1は撮影された映像から移動ベクトル個数を自動検出した結果と実際の個体数を計数した結果を比較した一例である。水槽内には100尾を投入しているが、設置したカメラの背後で個体が遊泳する場合もあるため、実際の映像で確認された個体数は、いずれも60尾前後であった。本アルゴリズムを用いて自動計数した結果では、実測値との一致度は概ね良好で、画像によっては個体数が完全一致するものも確認された。しかし、個体数が増加すると、PMC法による個体領域抽出法ではノイズと実際の個体との区別が難しくなる傾向があった。

表1: 移動ベクトル個数と実際の個体数との比較結果

Number of Individuals	Number of Vectors	Error (%)	
53	62	14.5	
58	62	6.5	
60	59	1.7	
61	60	1.7	
62	60	3.3	
59	59	0.0	
60	60	0.0	
60	64	6.3	
61	62	1.6	
61	61	0.0	
61	61	0.0	
Avg.	59.6	60.9	2.1

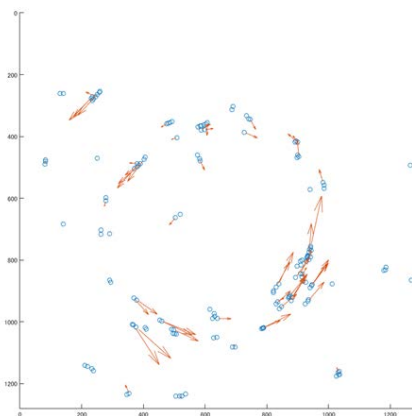
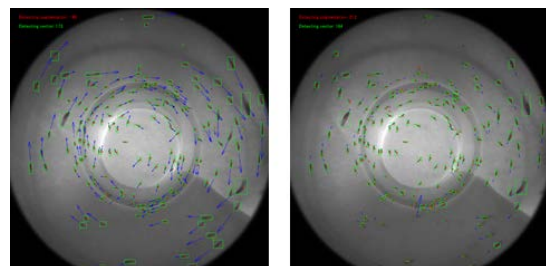


図5: PMC法とカルマンフィルタのアルゴリズムにより抽出された個体の移動ベクトル

(2) RECC法を用いた個体画像抽出と背景画像差分

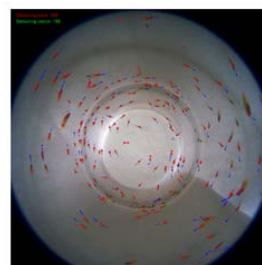
PMC法では多数の個体を遊泳させた場合ノイズと個体との区別が難しくなる傾向があったため、RECC法を適用して物体領域抽出を行

いその有効性を評価した。また、水槽壁など原画像内で個体画像以外に恒常的に映し込まれている背景画像を効果的に取り除くため、取得された動画画像の各画像フレーム複数枚の平均値画像を背景画像として原画像から差分するという従来の方法以外に、連続する画像フレーム間を直接差分して背景画像を取り除く方法を適用し、個体計数の精度について評価した。実験水槽にメダカをおよそ200尾投入し、それ以外の実験系は(1)と同様に行った。図6には①複数画像フレームの平均値を背景画像として原画像から差分した画像にRECC法を適用して個体の領域抽出を行なった画像処理結果から個体の移動ベクトルを導出したものと、②連続するフレーム画像間で差分をとり、RECC法を適用したもの、さらに③①と同様に原画像から背景画像を差分した後PMC法を適用して移動ベクトルを導出した結果を示した。原画像では光源と水槽壁の相対的位置関係から水面に部分的に陰影が映り込み、背景画像の輝度が不均質であることがわかる。



①背景差分+RECC法

②フレーム間差分+RECC法



③背景差分+PMC法

図6: 異なる背景画像処理と領域抽出法による移動ベクトル導出の比較結果

①から③のそれぞれの手法による個体数計数の平均誤差は①が7.7%、②5.9%、③16.4%となり②のフレーム間差分+RECC法を適用した場合が最も誤差が小さかった。フレーム間差分の適用は陰影の映り込みなど背景画像の動的な変化がある場合に効果的であると考えられた。本研究によりPTV解析を適用した個体数計数の基盤アルゴリズムの有効性が確認できた。今後は実機での適用を目指す。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① S. Abe, T. Takagi, K. Takehara, N. Kimura, T. Hiraishi, K. Komeyama, S. Torisawa, S. Asaumi, How many fish in

a tank? Constructing an automated fish counting system by using PTV analysis, Proc. SPIE 10328, 2017, 査読有り, DOI: 10.1117/12.2270627..

[学会発表] (計 4 件)

- ① 阿部 悟・高木 力・竹原幸生・木村暢夫・平石智徳・米山和良・鳥澤眞介・山口武治・浅海 茂, 遊泳する魚群の個体数計測システムの開発 ―個体画像抽出手法の違いが計数制度に与える影響―, 日本水産学会春季大会, 2017. 3. 28, 東京海洋大学(東京都, 港区).
- ② S. Abe, T. Takagi, K. Takehara, N. Kimura, T. Hiraishi, K. Komeyama, S. Torisawa, S. Asami, How many fish in a tank? Constructing an automated fish counting system by using PTV analysis, International Congress on High-Speed Imaging and Photonics, 2016. 11. 9, 大阪阪急ホテル (大阪府, 吹田市) .
- ③ 阿部 悟・高木 力・竹原幸生・木村暢夫・平石智徳・米山和良・鳥澤眞介・浅海 茂, 遊泳する魚群の個体数計測システムの開発 -PTV 解析技術を用いた新たな試み-, 日本水産学会春季大会, 2016. 3. 28, 東京海洋大学(東京都, 港区).
- ④ 坂本 誠・米山和良・鳥澤眞介・高木 力, ステレオカメラ画像計測によるパーティクルフィルタを用いた魚類の自動追跡, 日本水産学会春季大会, 2016. 3. 28, 東京海洋大学(東京都, 港区).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www2.fish.hokudai.ac.jp/faculty-member>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 暢夫 (KIMURA, Nobuo)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号: 50186326

(2) 研究分担者

高木 力 (TAKAGI, Tsutomu)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号: 80319657

竹原 幸生 (TAKEHARA, Kousei)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号: 50216933

(3) 連携研究者

米山 和良 (KOMEYAMA, Kazuyoshi)

北海道大学・大学院水産科学研究院・助教

研究者番号: 30550420

鳥澤 眞介 (TORISAWA, Shinsuke)

近畿大学・農学部・講師

研究者番号: 80399097

平石 智徳 (HIRAISHI, Tomonori)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号: 10218761