動画像トラッキング処理を用いた群集稚魚の挙動解析*

本田 匠** 虎尾 充*** 高橋 悟† 金子俊一††

Behavior Analysis of Fry in Group Using Video Tracking

Takumi HONDA, Mitsuru TORAO, Satoru TAKAHASHI and Shun'ichi KANEKO

This paper proposes a method which measures individual behavior in a group from images of swimming salmon fry. This measurement has various difficult problems such as water surface reflection, object rotation, and replacement with other objects. To solve these problems, the proposed method uses Color OCM (Orientation Code Matching), rotation angle calculation by OC values, and motion prediction. Color OCM reduces reflection noise on the water surface. Rotation angle calculation by OC values solves rotation of object. Motion prediction prevents replacement with other objects. This method succeeded in measuring individual speed, acceleration, and group trajectory. The behavior measured by proposed method is an important guideline for inspecting the growing condition. The experimental results shows the new correlation between individual behavior and group. It is thought to be a new guideline for analyzing the ecosystem.

Key words: template matching, multi-tracking, rotation invariant, salmon fry

1. 序 論

北海道におけるサケマスの人工ふ化稚魚の増殖は地場資源に繋がる重要な事業である。サケマス累計の全国漁獲量に対し、北海道の占める割合は全体の7割以上に達することから(図1)、北海道の水産資源には欠かせない存在といえる¹⁾²⁾。その稚魚の放流数は1980年以降急激に増えそれ以前と比べると倍(約10億匹)となっている。一方で放流数に対する単純回帰率は4~6%ほどであったが、2010年を境に不安定になり3~4%ほどとなり漁獲量にして4000万匹相当低下している。その原因を明らかにし回帰率向上のための対策を講じる必要があるが、様々な要因の複合的な問題と考えられ、その要因一つ一つについては詳しくは解析されていない。例えば地球環境による海の温度変化など我々の手の及ばないものもあれば、放流する川の位置や環境・状況、稚魚の状態、放流する時期など様々な原因がある。各原因に対しての影響度がどのくらいあるのか等も未知なことが多いため、近年では様々な方向性で研究が行われており、一つ一つに詳細な解析が必要となっている。

必要とされる解析の一つに稚魚の能力の把握がある。サケマスの回帰率は稚魚期における生残り量の影響を受けることから、放流稚魚の健康状態の向上は今後の人工ふ化放流事業において重要視されている。例えばクエン酸鉄を添加した餌料を与えると稚魚の種苗性が向上する可能性を示す研究結果³⁾⁴⁾や、稚魚の飼育密度を高くすると健康度が低下するとの結果⁵⁾が出ている。稚魚の健康状態の評価の指標としては運動性、肥満度、体力などが有効とされている。体力や運動性に関しては生存競争の中で重要な要素であり、これらを客観的、定量的に表示する方法が期待されている⁶⁾。そこで本研究では、挙動に関する評価値を解析することを目的に、稚魚のトラッキングを行い速度、

Fig.1 Catch of salmon

Fig.2 Measurement environment

加速度や移動軌跡を解析する。

現在まではこれらの研究は手動で行われてきており、遊泳する1匹の稚魚をカメラに写し画像から入念に位置情報や移動距離を書いてきた(図2)。手動であるため計測時間は限られ、ヒューマンエラーなどもあり大変な労力になっていた。また稚魚の育成は冬から春にかけて行うため実際に稚魚を実験などに扱えるのは短期間であり解析速度も要求される。本研究によって、今までになかった連続した測定や並列した測定ができ、さらに育成機関ごとのデータを比較することも容易となる。

また群れでの行動と単体での行動の違いがあることが分かっていたが群中を個体ごとに測定するのは手動ではほぼ不可能なことであった。特に群集での挙動については環境の変化などで重要であると考えられていたがなかなか解析に手が及ばなかったところであり、稚魚育成の最適環境づくりのみならず、稚魚の行動において新たな発見が生まれる可能性がある。

本研究では複数体の中を個別にマルチトラッキングすることで、複数体の挙動を同時に解析することを目的とする。

* 原稿受付 平成30年 5月 7日

掲載決定 平成30年 8月 2日

** 正会員 釧路工業高等専門学校(釧路市大楽毛西2丁目32番1号)

*** さけます・内水面水産試験場(恵庭市北柏木町3丁目373番地)

† 香川大学(香川県高松市林町2217-20)

†† 正会員 北海道大学(北海道札幌市北区北8条西5丁目)

2. 実験方法

本研究では、測定用の容器の中に群れのサケマスの稚魚を入れ撮影したビデオデータから、各フレームで稚魚を画像照合する。群のデータ及び個別に稚魚のデータを求める。あらかじめ用意したテンプレート画像と照合をし、類似度一定以上のものを正解としそれ以降は各個体をマルチに追跡する。実験では、水槽から直径約 48cm のポリエチレン製タライ(実験水槽)に無作為にサケ稚魚 10 個体を移動し、実験水槽上方に設置したデジタルカメラ(PENTAX Optio WG-1 GPS, HOYA 株式会社製)で 5 分間動画撮影した。動画の記録サイズは 640×480pixel, フレームレートは 30fps とした。

3. 手法

本手法では参照となるテンプレートを用意し、対象の映像内から予測位置から得られる範囲内で画像照合を行い、類似度一定以上のものを正解としマルチトラッキングする。本実験で使用する飼育中のサケマス稚魚は日々成長しており、時期により 35mm~60mm まで変化するため、今回は計測時に参照画像を簡易に準備できるテンプレートマッチングを使用した。

サケマス稚魚の測定は様々な環境を変化させて行わなければならないため画像照合の一手法である方向符号照合法(OCM)⁷⁾を用いることで外乱にロバストな解析を行う。この手法については 3.1 節で説明する。

また稚魚の姿勢の変化は急激であり、フレーム間で通常の照合法では補いきれないほどの姿勢の回転が生じることがある。これに対応するため OCM を回転に対応させた方向符号合成による固有角度算出を提案しその効果を確認した。この手法については 3.2 節で説明を行う。

一般的に水中に生息する環境中においては、水面反射や水中の光の屈折が外乱となり対象の検出精度を落とす結果となり、限定した環境以外での追跡は非常に難しいという問題がある。OCM の特徴量を拡張し、より外乱に影響されにくい照合法であるカラー OCM⁸⁾を用いてシステムの構築を目指す。3.3 節にその説明を行う。次にこれらの画像照合で出た結果の中から個別に個体特定を行う。予測位置及び対象の類似度を総合して、個体ごとに観察し続ける。予測位置については 3.4 節にも後述するが、前フレームと現フレームの照合位置の差分より速度をだし算出している。

3.1 方向符号照合法(OCM:Orientation Code Matching)

方向符号照合法⁷⁾は画素近傍の明度変化の勾配方向を量子化した値を符号として用いる。量子化した符号は方向符号(OC:Orientation Code)と定義し、これは画像ごとの固有性が高く、また照明変動による明度変化に対して強いロバスト性をもつ。以下に照合度である類似度の導出手順を中心に要点を述べる。初めに、対象画像および参照画像の方向符号化を行う。画素位置 (x, y) における明度を $I(x, y)$ とし、水平方向勾配を $\nabla I_x = \partial I / \partial x$, 垂直方向勾配を $\nabla I_y = \partial I / \partial y$ とすると、明度の勾配方向 θ_{xy} は、以下のように示すことができる。

$$\theta_{xy} = \tan^{-1} \left(\frac{\nabla I_x}{\nabla I_y} \right) \quad (1)$$

次に得られた水平、垂直方向の明度勾配からその方向を求

Fig.3 Orientation Code ($\Delta\theta = \pi/8$)

Fig.4 Encoded image

める。

$$C_{m,n} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{\theta_{m,n}}{\Delta\theta} \right\rfloor & : |\nabla I_x| + |\nabla I_y| > \Gamma \\ N = \frac{2\pi}{\Delta\theta} & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 Γ はノイズ、つまり明度勾配が小さい画素を除去するための閾値である。閾値 Γ は参考文献と同様に 20 とした。平坦な勾配となる背景部分を取り除くには十分であり、水面反射などのノイズは残るが、水面反射を取り除くまで閾値を上げると対象画像にも影響があるため $\Gamma=20$ を使用した。

水平、垂直各方向の絶対値の和が閾値より大きい場合にのみ符号化し、これを有効符号とする。閾値に満たない場合は、 N に符号化しこれを無効符号とする。本研究では、参考文献と同様に $\Delta\theta = \pi/8$ ($N=16$)とし符号値を 0~16 とする(図 3)。今回の実験では 3.2 節に後述する方向符号合成による画像の固有角算出のためある程度の符号分割数 N が必要となり、一方で多すぎても類似度の分解能が上がるが照合結果は変わらなかったため $N=16$ を使用した。

図 4 は 2 枚の画像の OC 化した画像を示す。元画像と明度変化後の OC 化した画像を比較すると変化に寄らずほぼ一緒であることが分かる。

次に参照画像と対象画像の照合を行う。参照画像のサイズを $M \times M$ の正方形とし、対象画像 (x, y) の位置から照合を行う場合、参照画像の明度値を $f(p, q)$ とすると、比較する対象画像の明度値は $g(x+p, y+q)$ となる。参照画像の方向符号を $C_f(p, q)$, 対象画像の方向符号を $C_g(x+p, y+q)$ とした時、方向符号が巡回的であることを考慮し、残差絶対値 D を得る。全画素の残差絶対値の和を画素数で割った平均残差絶対値を以下に示す。

Fig.5 Eigen angle by synthesizing code values

Fig.6 Flow of rotation angle calculation by OC values

$$\bar{D} = \frac{1}{M^2} \sum_{M \times M} d(C_f(p, q), C_g(x + p, y + q)) \quad (3)$$

$$d(a, b) = \begin{cases} \min \{ |a - b|, N - |a - b| \} & \text{if } a \neq N, b \neq N \\ \frac{N}{4} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

参照画像、対象画像に無効符号が含まれる場合には、期待値の中央を取り $N/4$ としている。これにより遮蔽に対応することができる。参考文献では $a=N$ の条件が別途用意されているが、これは参照画像にノイズや遮蔽の無い画像であることを想定して用意したものである。今回、参照画像は実験動画より取得するためノイズや遮蔽が含まれる可能性がある。そのため今回は参照画像、対象画像共に無効符号があった場合には遮蔽とみなし $N/4$ を取ることとした。

更に、この値を残差絶対値の最大値 $N/2$ で割り正規化することにより、量子化幅が異なる場合においてもほぼ同様に比較することができる。この値を相違度 h とする。この相違度が一番小さい個所が照合位置となり、さらに類似度 s を算出することができる。

$$s = 1 - h \quad (5)$$

3.2 方向符号合成による画像固有角度の算出

映像内でフレームごとに方向が激しく変わる稚魚においては対象の方向を統一して照合を行う必要がある。まずは対象画像ごとに固有の角度を求めるため、方向符号ごとに画素数を集約する。この符号は値ごとに違う方向をもっていることになるため、符号値を方向、符号 n ごとの画素数 OC_n を強度として考慮し全符号を合成する。それを式(6)、

式(7)に示す。

$$X_{oc} = \sum_{n=0}^{15} OC_n \cdot \cos\left(\frac{\pi}{8} \cdot n\right) \quad (6)$$

$$Y_{oc} = \sum_{n=0}^{15} OC_n \cdot \sin\left(\frac{\pi}{8} \cdot n\right)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{Y_{oc}}{X_{oc}} \quad (7)$$

これは各符号のヒストグラムをレーダーチャート化し各符号をベクトルに見立て合成ベクトルを計算した角度と等しい(図5)。これらにより得られた画像固有の角度から図6のように参照画像と対象画像の角度を合わせ照合する。テンプレートが正方形のまま回転後に照合を行う場合には欠損が生じるため、 $M \times M$ の正方形テンプレートを半径 $M/2$ の円形テンプレートとする。円形にした場合、円の面積を $S_M = \pi \cdot (M/2)^2$ とし、(3)式は(8)式となる。

$$\bar{D} = \frac{1}{S_M} \sum_{S_M} d(C_f(p, q), C_g(x + p, y + q)) \quad (8)$$

式(8)は円形内である $p^2 + q^2 \leq (M/2)^2$ の場合にのみ計算を行い、それ以外では計算を行わない。

本手法では対象が上下左右対称の形状であった場合には 180° の反転が発生することがある。その場合には 180° 反転させもう一度照合を行い類似度の高い結果を取る等の対処が考えられる。今回の実験では前フレームまでの角度と比較し現フレームが大きく ($180^\circ \pm 10^\circ$ 程度) 違った場合には、 180° 回転させて照合することとした。

3.3 カラーOCMによる照合

方向符号は環境や使用する情報により精度が変化することが分かっている。カラーOCMは各色のカラー情報の方向符号化を行い、最も外乱が少ないと思われるカラーの方向符号に重みを与えて使用することで、精度を上げる手法である⁸⁾。参考文献ではXYZ表色系を使用しているが、今回はカメラの値をそのまま使用できるRGBを設計値として使用した。次の実験結果の章に後述するがXYZ表色系と正解率は変わらず、重みの効果は顕著に見られたため今後もRGBを使用していく予定である。

各値に関するOCの類似度を s_r, s_g, s_b とし、各値に関する重みを w_r, w_g, w_b とした時、カラーOCMの総合的な類似度は次式となる。

$$s_{rgb} = \frac{w_r \cdot s_r + w_g \cdot s_g + w_b \cdot s_b}{w_r + w_g + w_b} \quad (9)$$

3.4 予測位置と個体特定

3.1節から3.3節で照合した結果より、個別に個体の特定を行う。実験映像内には対象となる稚魚とそれとほぼ一緒の類似度となる個体が複数体いることとなる。個別に追跡個体を特定するため、移動予測と類似度と組み合わせる手法⁹⁾を用いて評価値を出す。参考文献⁹⁾では予測位置に拡張カルマンフィルタを使用しているが、本対象のフレーム間の移動量においては1次の移動予測で追跡可能であったため以下の手法で行った。

3.3節までの手法で照合を行い、類似度が閾値以上であれば候補位置として確保する。図7のように時刻 t のフレームにおいて、探索範囲内にある n 個目の候補の座標を $(p_{t,n}, q_{t,n})$ とする。予測位置 $(\hat{p}_t, \hat{q}_t)$ は式(10)で算出する。

Fig.7 Expected position and target identification

$$\begin{aligned}\hat{p}_t &= p_{t-1} + \Delta p_t \cdot \Delta t \\ \hat{q}_t &= q_{t-1} + \Delta q_t \cdot \Delta t\end{aligned}\quad (10)$$

ただし Δp_t は速度を表し、前フレームと現フレームの特定した位置の差分をフレーム時間 Δt で除算したものとなる。次に各候補位置と予測位置の距離 $L_{t,n}$ を式(11)で計算する。

$$L_{t,n} = \sqrt{(p_{t,n} - \hat{p}_t)^2 + (q_{t,n} - \hat{q}_t)^2} \quad (11)$$

この距離 $L_{t,n}$ と 3.3 節で得た類似度 s_{rgb} とを総合し、式(12)にて最終的な評価値を定義する。

$$S_{t,n} = s_{rgb} \left\{ 1 + \alpha \cdot \exp \left(-\frac{L_{t,n}}{\beta} \right) \right\} \quad (12)$$

上式の評価値 $S_{t,n}$ が一番大きい箇所を、対象の位置として特定する。

α は予想位置に近いほど類似度に加算する重みである。稚魚をマルチトラッキングし得られた類似度は 0.68~0.89 までの範囲で検出していた。そのため、特定したい対象が最低値の 0.68 であり、他方の対象が 0.89 であった場合に α の加算により上回る必要があったため今回は $\alpha=0.3$ とした。

β の値は予測位置から候補位置の距離に対して加算値 α に関する分布の設計値である。今回は並んで泳ぐ稚魚群の個体間距離は一般的に体長の 0.5~1.5 倍の距離を保っていることが分かっている¹⁰⁾。今回は使用する稚魚が最小で 15pixel であり、最小の個体間距離は 0.5 倍のため、7.5pixel 離れた位置には別の稚魚がいる可能性がある。それを考慮して 7.5pixel 以上離れた場合には類似度への加算を小さくなる設計をしたい。また 3000 フレームの中から予測位置と正解した結果の差を計算したところ平均 3pixel のずれがあったため 3pixel 前後を有効範囲とした。上記の条件により今回は $\beta=4$ と設定した。実際に 3pixel 以下の範囲では $\alpha \times 0.7$ 倍以上の数値で加算され、7.5pixel 以上離れた場合は類似度の加算は $\alpha \times 0.05$ 倍以下の加算値となる。

今回の実験では個体間の距離や予想位置と正解の差が大きく変わらないため $\beta=4$ で固定とした。他の実験環境においては、 β は可変とし個体間距離の最短値に 0.5~0.6 ほど乗算したものを β に設定し、サケマス稚魚にいたっては体長と個体間距離の関係が分かっているため体長に 0.25~0.3 を乗算したものを設定するのが望ましいと考えられる。

これは予想位置と候補位置が近ければ近いほど類似度に重みを加算する。またこの位置は次のフレームで使用する $(\hat{p}_{t+1}, \hat{q}_{t+1})$ として決定する。

探索範囲については、今回稚魚のフレーム間の最大移動距離が 25pixel 以下で、稚魚の体長は最大 25pixel であるため移動距離+体長で中心から ± 50 pixel 必要となり、 100×100 [pixel] と設定した。

4. 実験結果

本実験では遊泳するサケマスの稚魚をトラッキングし評価値を求める。

4.1 節では画像照合法の性能を確かめるため単体のみの映像を使用し他手法との性能を比較する。また、回転補正、移動予測についても性能を確かめる。

4.2 節ではマルチトラッキングの結果を比較する。35mm~60mm の 5 種類大きさにて 10 匹 3 セットずつ実験を行う。手法や補正の確認は 4.1 節と同様とした。

4.1 単体トラッキングにおける手法の比較

画像照合法の性能を確認するためまずは単体でのトラッキングを行った。比較として、基本的な画像照合法である残差二乗和(SSD: Sum of Squared Difference)と従来法である明度のみの OCM を使用した。カラー OCM は今後使用していきたい RGB 値の結果と従来法である XYZ 値も記した。いずれも検出は類似度 0.65 以上の閾値を使い行った。

対象の稚魚は 44.86mm の大きさと参照画像サイズは 19pixel にて実験を行った。3000 フレームほど実験を行いその中よりランダムに 500 フレームほど取り出し、検出及び正解をしているかを確認した。表 1 に結果を示す。正検出数を A、誤検出数を F、全体数を U とし、検出率は $(A+F)/U$ 、正解率は A/U と定義した。SSD や明度のみの OCM では水面の反射などのノイズが現れた際に誤検出をしていた。その例を図 8 に示す。カラー OCM は環境に関わらずに照合できているのが分かる。表 2 では各種 OCM に回転補正や移動予測をつけることによる正解率の変化を示す。それぞれの補正により正解率が上がっていることが分かる。

図 9 ではカラー OCM の顕著な違いが見えた例を表示した。各値で結果が違うことが分かる。2 フレーム目までは各値の結果は同じ位置で照合しているが、3 フレーム目では各位置に違いが出ている。この正解位置は R 値でマッチングした結果が正しい結果となった。これは 2 フレーム目に現れた水面の色の乱反射に影響され、G 値と B 値は外乱を特徴として照合してしまっていることが原因と考えられる。一方で R 値は外乱の影響が低く元の対象物を追っていることが分かる。この結果では類似度が R 値は 0.72、G 値は 0.53、B 値は 0.55 となっていた。カラー OCM は類似度が高いほど各値の OC に高い重みを与えるため、この結果よりカラー OCM の内部では R 値の重みを高く取っていることが予想される。これは結果の一例であるため他のフレームでは R 値の信頼性が低く、B 値の信頼性が高い場所もあり毎フレームで重みを計算している。今回の実験では XYZ 値よりも RGB 値が重みの違いが顕著に出ていた。正解率や正解したフレームについてはどちらも同様であった。

4.2 マルチトラッキングにおける手法の比較

稚魚複数体の映像を使用して画像照合法の性能を確認した。比較として前節と同じく、SSD、明度のみの OCM と、カラー OCM (RGB, XYZ) の結果にて行った。いずれも検出は類似度

Table1 Accuracy rate in single object

	SSD	OCM		
		Grayscale	RGB	XYZ
Detection rate	86.4%	88.6%	92.2%	92.2%
Accuracy rate	79.4%	83.2%	90.0%	90.0%

Table2 Effect of each method in single object

Rotation correction	Motion prediction	Accuracy rate by OCM		
		Grayscale	RGB	XYZ
ON	ON	92.5%	98.8%	98.8%
ON	OFF	88.2%	96.6%	96.6%
OFF	ON	90.2%	95.2%	95.2%
OFF	OFF	83.2%	90.0%	90.0%

Table3 Accuracy rate in single object

	SSD	OCM		
		Grayscale	RGB	XYZ
Detection rate	92.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Accuracy rate	70.4%	77.2%	81.6%	81.6%

Table4 Effect of each method in multi object

Rotation correction	Motion prediction	Accuracy rate by OCM		
		Grayscale	RGB	XYZ
ON	ON	92.5%	97.7%	97.7%
ON	OFF	88.2%	82.6%	82.6%
OFF	ON	90.2%	91.6%	91.2%
OFF	OFF	77.2%	81.6%	81.6%

Fig.8 Comparison between ColorOCM and existing method

Fig.9 OCM result for each values

0.65 以上で行った。

対象の稚魚は 5 種類、① $35.63 \pm 0.80\text{mm}$ (15pixel), ② $37.96 \pm 1.70\text{mm}$ (17pixel), ③ $42.40 \pm 1.90\text{mm}$ (19pixel), ④ $47.04 \pm 3.25\text{mm}$ (21pixel), ⑤ $53.56 \pm 2.32\text{mm}$ (25pixel) の大きさごとに 10 匹ずつ 3 セット実験を行った。各実験を 3000 フレーム行いその中よりランダムに 500 フレームほど取り出し、検出及び正解をしているかを確認した。

結果を表 3 と表 4 に示す。検出率、正解率は 4.1 節の計算と

同様である。全般的に検出率が上がっているのは他の稚魚を検出していたためである。結果として正解率は下がっている。SSD, 明度のみの OCM はさらに他の稚魚だけでなく水面の反射などを取ってしまい、正解率が落ちている。

表 3 におけるカラーOCM の正解率については外乱や水面反射を追うことはなく検出自体は稚魚の別個体を検出しており稚魚の入れ替わりにて正解率を落としていた。表 4 にて移動予測が対象の入れ替わりによる誤検出の防止に効果的であることが分かる。また移動予測にさらに回転補正を入れることで、より適切な個体を選んで居ることが分かる。最終的な手法では 97.7% の正解率であったが、2.3% 程の不正解については、通常の遊泳では起こらず、群の方向転換や停滞時に、他の対象が後方より追いつき接触し追い抜かれた場合にのみ起きていた。

またカラーOCM における稚魚の大きさごとの正解率の内訳としては実験①が 98.4%, ②が 99.0%, ③が 98.4%, ④が 97.4%, ⑤が 94.8% であった。RGB, XYZ 値ともに不正解の箇所は一緒であった。実験⑤の対象では他に比べ正解率が特に下がっているため今後解析する予定である。

結果の一例として③の実験結果を図 10 に示す。白枠はマルチトラッキングの結果であり、大枠で表される黒線は予想位置を基準とした探索範囲である。複数の対象がある中、それぞれ稚魚を追えていることが分かる。さらに、この中から評価値を求めるため特定の個体を指定したものを黒枠で囲っている。これを観察すると指定した個体は 640 フレームの箇所では群集進行方向の後方におり、655 フレームでは群の中央、670 フレームでは群の進行方向の先頭に位置しているのが分かる。このように複数体が混在する中、照合できていることが分かった。図 11 のように特定個体だけ表示し観察も可能である。例として特定の 2 個体を選び 1000 フレーム計り続けた軌跡を図 12 に表示する。プロットしてある点は 10 フレームごとに照合位置を表示している。点の間隔が広い場合激しく移動しており、間隔が狭い場合は緩やかに移動していることとなる。さらにこの中より種苗性にかかわる特徴量を解析した例として、個別 A についての速度、加速度を図 13 に示す。速度、加速度については血液性状、肥満度などと組み合わせて種苗性の評価に使用する³⁾ものであるがまずは本手法の評価のため素のデータを載せた。

また誤差については、ある個体を手動で正解データを作成し本手法と比較して算出した。例として実験③における結果を図 14 に示す。これは 30 フレームごとに誤差の平均値をプロットしたものであり最大 7 pixel の誤差を確認している。平均 2.7 pixel, 標準偏差 1.3 pixel であった。それぞれの実験におけ

Fig.10 Experimental results using multi tracking method

Fig.11 Single tracking of specific target

る誤差の平均は①1.8pixel, ②2.2pixel, ③2.7pixel, ④2.2pixel, ⑤3.2pixel であり, 誤差は体長に比例して大きくなり体長の 10 ~15%程であった。

5. 群と個の考察と今後の展望

この章では前章で得られた結果を使い群と個体の特徴を解析する。群の分布と重心の運動について図 15 に示す。図 15(a)ではフレームごとの各個体の分布図, そして図 15(b)では群の重心の移動を表示した。このように群の動きと各個体の位置が表示できていることが分かる。

図 16 では群の重心に対して各個体位置の分散を取った。図 16(a)ではフレームごとの分散となり群れの大きさに関連したデータとなる。例えば 300 フレーム目では大きく群れが広がり, そのあとに急激に小さな群れに収束しているなどの特徴が見える。さらに図 16(b)では速度と分散値の関係を示す。この結果より分かることは群れが広がりを持つほど速度が遅くなり,

(a) Specified target

(b) Movement track of target A

(c) Movement track of target B

Fig.12 Movement trajectory of the specified individuals

(a) Velocity displacement

(b) Acceleration displacement

Fig.13 Measurement data of target A

Fig.14 Difference between manual result and experiment result

群れが小さくまとまっている時は移動速度が速いということである。群行動として相関性はあるそうだと考えられていたが手動ではデータ化できず本手法で関連性が見えた一例となる。

次に図 17 では個体 A と群に関するデータを示す。図 17(a)では群の重心と個体 A の側の比較となる。図 17(b)は群の重心との距離となり, 群の重心の距離に正負があるのは, 群の進行方向

Fig.15 Movement trajectory of group

Fig.16 Group characteristic data

の単位ベクトルと個体 A と群重心間のベクトルで内積を取ったためである。個体 A が群の中心より先頭側に居れば正、反対は負となる。まずは図 17(b)から考察すると、100 フレームまでは大きく群より遅れていて同じ速度で群に追従している。実際には後方から 1 番目か 2 番目に位置していた。100 フレームから 200 フレームにかけては群を追い抜く勢いで先頭に出ており、この時はリーダーのように群を先導していた。300 フレームでは突如群の後方に回るが、このとき図 17(a)の同フレームでは群、

Fig.17 Comparison between target A and group

個体ともに速度が落ちており、図 16(a)の同フレームを見て分かるように群が大きく広がり、群全体が通常の行動ではないことが分かる。このときに広がりすぎた群を収束するように各個体が動き、300-350 フレームでは個体 A も中心に向かい動いている。この後、個体 A は通常状態に戻った群に合流し中心よりやや前方方向にて追従していることが図 16(b)より分かる。このように群の広がりに対しての各個体の特徴や先頭側にいるかなどの特徴が得られる。これらは今まで評価できなかった特徴であり、今後の研究では群の特徴と個別の特徴を組み合わせる関連を見ていく予定であり、例えば群の分散と自身の距離が比例関係にない個体は異常である、リーダーをした回数が多いものは生存率が高い、後方で追従する回数が多いものは健康ではないなどの相関性が得られる可能性がある。

6. ま と め

本研究では、OCM と回転処理及び予測位置を用いて、複数の稚魚の位置及び速度等を安定して求めることができた。

今後の課題としてアルゴリズム全体の更なる安定化が挙げられる。例えば位置予測のパラメータ α 、 β などの設計値をさらに実験を通じて調整し最適化をする。探索範囲についても今回は $\pm 50\text{pixel}$ と設定で実験を行ったが、実験結果では予想位置と正解位置の差は $\pm 3\text{pixel}$ 程であったため、探索範囲を $1/2$ 程度まで狭められる可能性がある。探索の処理が $1/4$ になるため、今後実用化に向け実験を繰り返し確認していく。また後方からの接触による入れ替わりから発生する誤検出についても、現在は各個体を独立でトラッキングしているが、お互いに関連性を考慮したトラッキングへの拡張での対応が考えられる。

参 考 文 献

- 1) 渡辺一俊:北海道系サケ稚魚の生残率の算定と人工ふ化放流事業の効果の評価,さけ・ます資源管理センター研報,2 (1999) 29.

- 2) 真山紘：千歳川におけるサクラマス幼魚およびブラウントラウトによる浮上期サクラマス稚魚の捕食，さけ・ます資源管理センター研報，2 (1999) 21.
- 3) Mizuno et al: Physiological Effects of an Iron Citrate Dietary Supplement on Chum Salmon, *Aquaculture Science*, **56**, 2 (2008) 531.
- 4) Mizuno et al: Relationship Between Rearing conditions and Health in Chum Salmon, *Aquaculture Science*, **58**, 4 (2010) 529.
- 5) 森田健太郎・高橋悟・大熊一正・永沢亨：人工ふ化放流河川におけるサケ野生魚の割合推定，日本水産学会誌，79 (2013) 206.
- 6) 小林哲夫，大熊一正：サケマス稚魚の体力測定装置について，北海道さけ・ますふ化場研究報告，37 (1983) 41.
- 7) ウッラーファルハン，金子俊一，五十嵐悟：方向符号照合法に基づくロボスト物体追跡，電子情報通信学会技術研究報告，**101**, 201 (2001) 133.
- 8) 本田匠，高氏秀則，金子俊一：照明スペクトル変動に対してロボストな重み付きカラー方向符号照合法，精密工学会誌，**75**, 1 (2009) 313.
- 9) 本田達也，高橋悟，高氏秀則，金子俊一：不規則運動を伴う移動体に対するロボスト追跡手法，画像電子学会誌，**41**, 4 (2012) 360.
- 10) 虎尾充，宮本真人，賓吉隼人，小林美樹：サケ *Oncorhynchus keta* 稚魚の群れ行動の発達，日本水産学会，**80**, 46 (2014) 613.