

魚群行動解析のための姿勢を考慮した魚の追跡

本郷 昂貴¹ 寺山 慧² 波部 斉^{3,a)}

概要：魚群中の個々の魚の動きが獲得できれば、生態の解明や養殖などでの利用が可能であるが、数千から数万匹で構成される魚の群れを目視で観測することは困難である。そのため、映像処理による追跡が求められているが、魚群映像では魚同士の隠れが多発することが大きな課題となる。本研究では、隠れ前後での魚の個体を正しく対応付けることを目的とし、魚の姿勢と移動軌跡に着目して魚の移動予測を行う手法を提案する。性能評価では、移動軌跡のみを用いた場合の移動予測と提案手法による軌跡の対応付けの比較を行うことで本手法の有効性を確認した。

1. はじめに

水中生物の行動には、未だに解明されていないことが多数存在する。その中でも、魚群の形態や特性を探る研究は、魚群全体の挙動を形成するモデルの作成やシミュレーションによる魚群の形態調査、トラス状に回転する魚群のローテーションカーブの推定など、長年に渡って行われている [3] [4] [8] [9] [10]。しかし、魚群の個々の個体が群れの中でどのような移動を行っているのかは未だに解明されていないことが多い。例えば、トラス状に回転する魚群の中での個々の魚の位置関係や、時間経過による遊泳位置の変遷などが挙げられる。魚群行動の解明は、漁業や魚の養殖技術の向上や魚群特有の異常行動の検出のさらなる発展への手助けとなるが、数千から数万で構成されている魚群の個々の魚の動きを目視によって観測することは、作業時間が膨大になり、現実的ではない。

そこで、自動処理による動きの獲得が期待されるが、魚同士の隠れ（重なり・接触）が多発する魚群では、魚が他の魚の影に隠れるたびに追跡が途切れることが大きな問題になる。この問題を解決するために、隠れによって途切れた断片的な軌跡を対応付ける必要があるが、人間とは異なり服装や髪型のような違いが魚には無く、個体毎の見え方に相違点が少ないため対応付けが難しい。しかし、隠れが発生していた間、魚がどのような動きをしていたか

を予測することができれば、断片同士を対応付けることが可能になる。本研究では、隠れ前後での魚の個体を対応付けるため、魚の姿勢を考慮する手法を提案する。

魚は進行方向を変化させる際、特有の姿勢をとることから、直近の移動軌跡のみではなく、姿勢も考慮することで高精度な移動予測ができると期待される。これにより、隠れが発生している箇所での魚の検出・追跡を行わずとも、隠れが発生する直前の移動軌跡から隠れが終了した直後の位置を予測し、対応付けを行うことが可能である。

2. 関連研究

個々の魚を追跡する研究に関しても様々な研究が行われている [5] [7]。Delcourt らは、小さな水槽に複数の魚を用意し照明や鏡、複数のカメラを用いて三次元での計測を行い水槽の正面からの映像では魚の同士の重なりによって見えなくなっている魚の位置を獲得し、追跡を行った [5]。この研究は小さな水槽での実験が行われているため、濁りの発生する海や、水族館などの巨大な水槽で同じ実験を行うことは難しい。Terayama らは、映像中の魚を基に様々な姿勢をとる魚の姿勢画像を作成し、それらを用いてパターンマッチングを行い、個々の魚の位置や姿勢を獲得した [7]。しかし、この手法は3匹以上の魚同士の重なりなどによって隠れが発生したとき、魚の位置や向きを推定する処理の時間が長期化する問題がある。本研究の提案手法では3.1節の手法を用いて重なりが発生していない状況の魚の移動軌跡を獲得し、隠れによって途切れた移動軌跡を対応付けることで [7] での問題を解決する。

3. 姿勢を考慮した魚の追跡

3.1節では、移動予測を行う上で使用する移動軌跡と魚の

¹ 近畿大学大学院総合理工学研究科
Graduate School of Faculty of Science and Engineering,
Kindai University
² 東京大学大学院新領域創成科学研究科
Graduate School of Frontier Sciences, The University of
Tokyo
³ 近畿大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Kindai University
a) habe@kindai.ac.jp

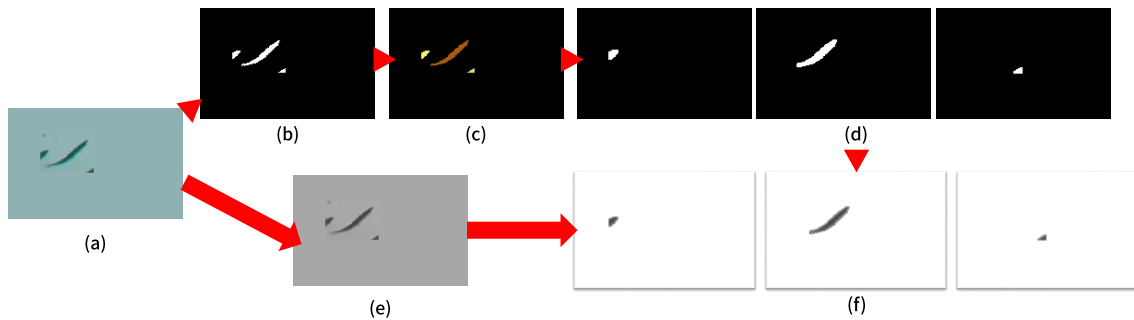


図 1 魚の位置推定用画像作成手順。(a) 入力画像。(b) 大津の手法による二値化。(c) ラベリング。(d) ラベリングから分割した画像。(e) グレースケール画像。(f) 位置推定用画像

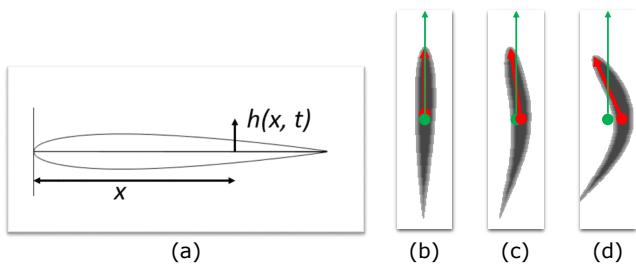


図 2 魚の見え方モデル(a)NACA0012翼型。(b) $t=0, A=0.01$ としたモデル。(c) $t=0.1, A=0.1$ としたモデル。(d) $t=0.066, A=0.3$ としたモデル

られている NACA0012 翼型を利用する。NACA0012 翼型を利用することによって、[7] とは異なり魚の姿勢をパラメトリックに表現することができる。NACA0012 翼型の基本形は図 2 (a) のような形をしているが、[1] と同様に $h(x, t)$ によって図 2 (a) の形を初期の中心軸から変形させる。以下の式を用いて形を変形させ魚の見え方モデル (図 2 (b)(c)(d)) を作成している。

$$h(x, t) = A(-(x-1)^2 + 1) \cos \frac{2\pi}{\lambda}(x-ct) \quad (1)$$

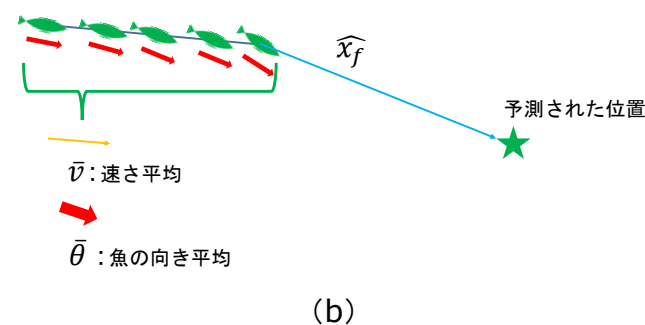
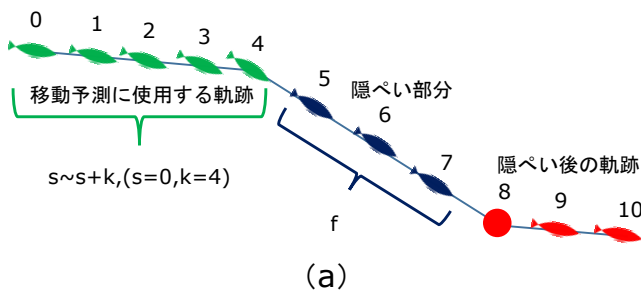


図 3 移動予測方法

(1) 式のパラメータは A が最大振幅、 λ がビートの曲がり具合、 c が単位時間あたりのビート回数の増減、 x が図 2 (a) で示す頭からの距離、 t が時間を示す。魚は遊泳する際、頭と尾びれを左右にビートさせながら遊泳の特徴があり、頭の方が進行方向に常に一致している訳ではない。図 2 に示すモデル画像は様々な形をとっているが、いずれも魚の中心から頭部方向 (図 2 (赤矢印)) を進行方向としているのではなく、画像の中心から上方向 (図 2 (緑矢印)) を進行方向としている。これを位置予測に利用する。

図 1 は、位置推定を行うための画像を作成する手順を示したものである。図 1 (a) を入力画像とし、大津の手法による二値化 (図 1 (b)) とグレースケール変換画像 (図 1 (e)) を作成する。図 1 (b) に対して、ラベリング処理を行う (図 1 (c))。ラベリングを行うことによって、色付けされている各領域の矩形領域、面積領域情報が得られる。得られた情報から領域ごとに 8 近傍の膨張処理を行い、画像を分割し二値化画像に戻す (図 1 (d))。図 1 (d) の白領域のみをグレースケール画像に戻し、位置推定用画像 (図 1 (f)) を作成する。

作成した位置推定用画像 (図 1 (f)) に対して、図 2 のモデルを SA (Simulated Annealing) のアルゴリズム [6] を用いて当てはめ、パラメータ推定を行うことによって魚の最適な位置と形を判別する。この処理を毎フレーム画像中の全ての魚に対して行うことによって、あるフレーム f における魚 i の座標 $x_f^{(i)}, y_f^{(i)}$ 、進行方向の角度 $\theta_f^{(i)}$ 、当てはまったモデルの情報が得られる。

見え方モデルについて述べる。3.2 節では、隠ぺいによって途切れた移動軌跡を対応付けるために、魚が移動した先を予測する提案手法について記述する。最後に、予測した移動位置を利用した移動軌跡の対応付け手法を 3.3 節で述べる。

3.1 魚の位置検出

魚の位置検出には飛行機の翼の断面形状の一つとして知

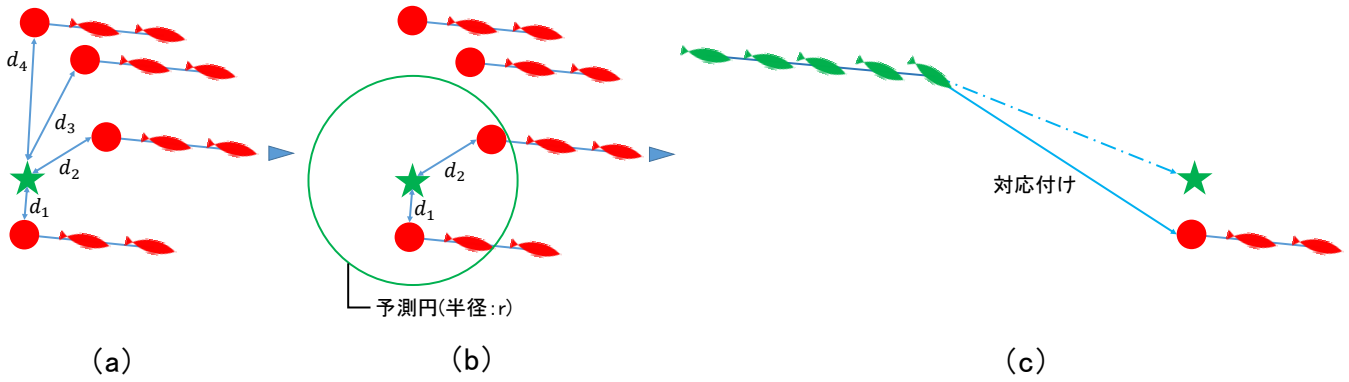


図 4 Tracklet の対応付け方法

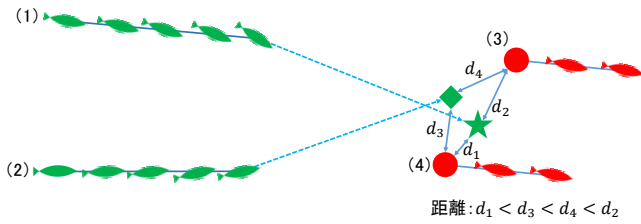


図 5 複数の Tracklet の対応付け

3.2 魚の姿勢を利用した移動予測

本研究では、速さ平均と姿勢の向きによって移動予測を行う手法を提案する．図 3(a) のように得られている移動軌跡・姿勢の内、速さ平均と姿勢の向き平均による移動予測では、 $s \sim s+k$ の範囲の移動軌跡と姿勢を用いて f フレーム先の座標を予測する．

魚は常に一定方向、一定速度で遊泳しているわけではなく、様々な方向、速度で遊泳している．しかし、突然反対方向を向いたり止まったりするような行動はせず、進みたい方向に向き・速度を変えてながら遊泳するなど特有の動きをとる．このことから、速さ平均と姿勢から分かる進行方向の平均を用いた移動予測は、速度平均だけではなく、姿勢から進行方向も考慮することで、カーブやドリフトしている魚に対して有効であると期待できる．この移動予測手法の例を図 3(b) に示し、計算方法は以下ようになる．

まず、移動予測に使用する各魚の軌跡 i の範囲 $s \sim s+k$ から速さ平均を算出し、予測したいフレームまでのフレーム数 f を用いることで、予測したいフレームまでの移動量の大きさ $|\bar{v}^{(i)}|$ を求める．移動量の大きさは $|\bar{v}^{(i)}|$ を用いるが、その方向は姿勢からわかる進行方向の平均 $\bar{\theta}^{(i)}$ によって決定する． $r(\bar{\theta}^{(i)})$ を θ 度の回転行列として、 $x_n^{(i)}$ で n フレーム目の座標を表すと移動予測は以下の式に従って表せる．ここで、 s, n の範囲は $s \geq 0, s < n \leq s+k$ である．

$$\bar{v}^{(i)} = \frac{1}{k} \sum_{n=s}^{s+k} (x_n^{(i)} - x_{n-1}^{(i)}) \quad (2)$$

$$\bar{\theta}^{(i)} = \frac{1}{k} \sum_{n=s}^{s+k} \theta_n^{(i)} \quad (3)$$

$$\hat{x}_f^{(i)} = x_k^{(i)} + (f \cdot |\bar{v}^{(i)}| \cdot r(\bar{\theta}^{(i)})) \quad (4)$$

(4) 式より得られた $\hat{x}_f^{(i)}$ を f フレーム先での予測位置とする．

3.3 Tracklet の対応付け

ここでは対応付けを行う移動軌跡の断片を Tracklet と呼ぶ．ある Tracklet に着目したときそれが途切れたフレームより先のフレームで追跡を開始している Tracklet の中から対応付くものを探索する．そのためには、3.2 節で述べた手法を用いて先のフレームでの位置を予測し、それと Tracklet の開始位置との距離を求めて距離が小さいものが対応付くと判断する．途切れている Tracklet i の f フレームにおける予測位置を $\hat{x}_f^{(i)}$ とし、 f フレームで出現している Tracklet を j としてその位置を $\tilde{x}_f^{(j)}$ としたとき、それらの間の距離 d^{ij} の計算式は以下ようになる．

$$d^{ij} = \|\tilde{x}_f^{(j)} - \hat{x}_f^{(i)}\| \quad (5)$$

図 4 に、Tracklet の対応付けを行う流れを示す．図 4(a) では、全ての Tracklet に対して、星印で示す予測位置と Tracklet の追跡開始位置との距離をとっている ($d_1 \sim d_4$)．図 4(b) では、対応付く可能性のある Tracklet が存在する範囲として予測円 (r) を設定している．本研究の実験では、同じ環境での移動予測実験結果をもとに $r=35$ として設定している．予測円の中で予測位置から最も近い距離にある Tracklet を同一の魚として対応付ける (図 4(c))．

しかし、魚群中の予測では図 5(1)(2) のように 2 つの Tracklet が近い位置を予測することがある．ここで最も近い距離にある Tracklet を対応付けると、両方の Tracklet (図 5(1),(2)) が同じ Tracklet (図 5(4)) と対応付くことになり間違いが起こる．そこで本研究の対応付けでは、同じ Tracklet (図 5(4)) に対応付けを行うことになったときはより近い位置を予測している Tracklet (図 5(1)) と対応付けを行い、対応付かなかった Tracklet (図 5(2)) は 2 番目に近い距離を予測している Tracklet (図 5(3)) と対応付けを行うことで同じ Tracklet に対応付く問題を回避している．

4. 評価実験

評価実験では、提案手法による移動軌跡の対応付けと速度平均のみで移動予測を行い対応付けを行う（比較手法）の二つの手法の比較を行い、提案手法の有効性を示す。

4.1 対応付けに使用するデータについて

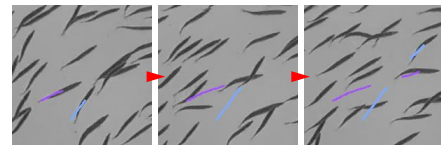
本研究を行うに当たって海きらら九十九島水族館にて撮影された1分間の映像を1539枚（30フレーム/秒）に分割したものをを用いる。対応付けの実験は2匹の直進している魚が交差し移動軌跡が途切れている（図6(a)）とカーブしながら進んでいる魚と交差し移動軌跡が途切れている（図6(b)）と6匹の魚が様々な箇所ですれ交差・接触が発生することで移動軌跡が途切れている（図6(c)）の3種類のデータを用いて行う、これらのデータをそれぞれデータA、データB、データCと呼ぶ。また、図6に示す移動軌跡について同じ色の移動軌跡は同じ魚の移動軌跡である。これらの移動軌跡を提案手法によって対応付けることをこの実験では目的とし、違う色の移動軌跡が対応付いたり、同じ色の移動軌跡が対応付かなかった場合は失敗している。

本研究の実験では、対応付けを行う際3.2節の手法で隠ぺい後の位置を予測しているが、移動予測実験での結果から5フレーム未満もしくは20フレームを超える長さの移動軌跡を用いた移動予測は大幅に予測精度が落ちることがわかっているので、5~20フレームの移動軌跡を用いて移動予測を行う。

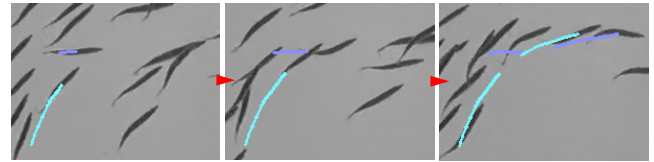
4.2 対応付けの結果

図7、図8に二つの手法で対応付けを行った結果を示す。提案手法による対応付けでは図7に示す全ての移動軌跡の対応付けに成功している。また、比較手法による対応付けにおいても図9（赤丸）に示すデータCの1匹を除き全ての移動軌跡の対応付けが成功している。しかし、魚群における隠ぺいはデータA、データBのように2匹の魚だけが交差・接触をすることは少なく、データCのように複数匹の魚が近くで連続で交差・接触することが大多数である。そのため、今回のような場合では両方の手法において対応付けの正確性にあまり違いはなかったが、より匹数の多い状態での移動軌跡の対応付けを正確に行うためには移動予測の正確性が高いことが求められる。

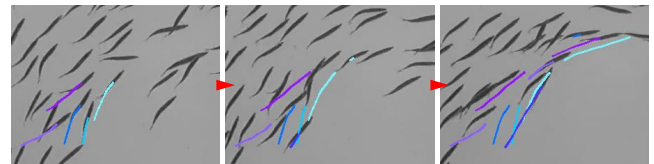
表1にデータA~Cの提案手法と比較手法による移動予測の誤差の平均を示す。データAにおける移動予測では、提案手法よりも比較手法の方がより正確な位置を予測している。これは直進している魚では進行方向の変化がほとんど無く、遊泳する際の頭部と尾びれのビートによって魚の向きに誤差が生じるためだと考えられる。しかし、直進している魚の他にカーブしている魚を含むデータB、データCでは提案手法による移動予測の精度が高い。魚はデー



(a)

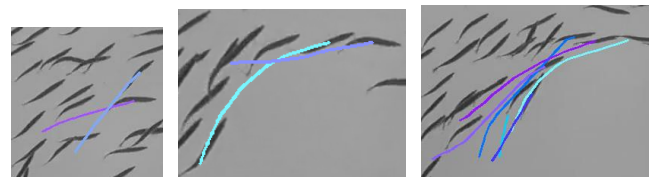


(b)



(c)

図6 (a) データA.(b) データB.(c) データC

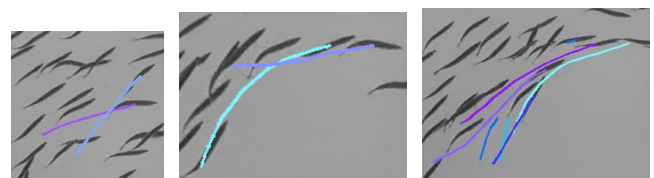


(a)

(b)

(c)

図7 提案手法による対応付け



(a)

(b)

(c)

図8 速度平均による対応付け

データAのように常に一定方向で遊泳しているわけではなく、データB、Cのように直進と方向転換を繰り返して遊泳しているため、移動予測を行う際にはデータB、Cのような場合の予測が重要となる。

5. 結論

本研究では、魚の姿勢を考慮して移動予測を行い、その結果をもとに隠ぺいによって途切れた移動軌跡を対応付ける手法を提案した。実験の結果、今回使用したデータでは対応付けの精度に大きな違いはみられなかったが、移動予測を行った際の誤差は魚の遊泳方向に変化がある場合、比較手法よりも提案手法の方が精度が向上した。

今回の実験では、本手法による移動予測でも問題はなかったが、個体数が多くなり同じような方向へ移動する隠

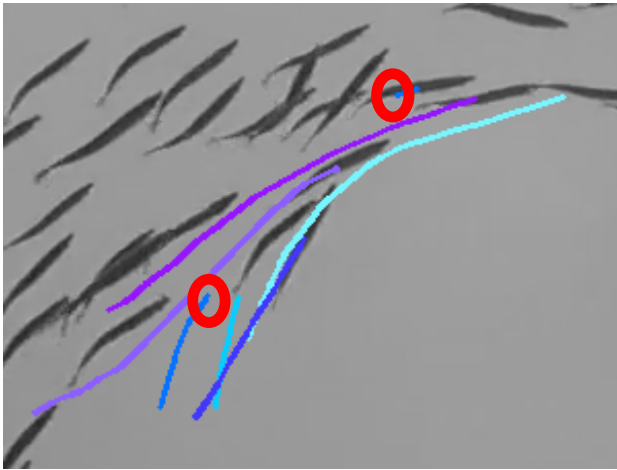


図 9 対応付けの失敗

表 1 移動予測を行ったときの正しい位置と予測位置の誤差の平均
 (単位: 画素)

	比較手法	提案手法
データ A	5.5	8.5
データ B	5.6	4.0
データ C	18.4	13.7

べいが発生したとき予測精度が低下することが考えられる。より正確な移動予測を行うためには、尾びれの動きから遊泳速度の増減を考慮した予測が必要である。今後は正確性の高い移動予測と共に、Data Association [2] による移動軌跡の対応付けを行い魚群全体の個々の魚の追跡を行うことを目標とする。

謝辞

本研究の一部は科研費 26240023 の補助で行った。

参考文献

- [1] Akimoto, H. and Miyata, H.: Finite-volume Simulation of a Flow about a Moving Body with Deformation, Proc. 5th Int. Symp. Comp. Fluid Dynamics, Vol. 1, pp.13-18(1993).
- [2] Bise, R., Yin, Z. and Kanade, T.: Reliable Cell Tracking By Global Data Association, IEEE (2011).
- [3] Couzin, I. D., Krause, J., Franks, N. R. and Levin, S. A.: Effective Leadership and Decision-making in Animal Groups on the Move, Nature, Vol. 433, No. 7025, pp.513-516(2005).
- [4] Couzin, I. D., Krause, J., James, R., Ruxton, G. D. and Franks, N. R.: Collective Memory and Spatial Sorting in Animal Groups, Journal of theoretical biology, Vol. 218, No. 1, pp.1-11(2002).
- [5] Delcourt, J., Denoel, M., Ylief, M. and Poncin, P.: Video Multitracking of Fish Behaviour: a synthesis and future perspectives, Fish and Fishers, Vol. 14, No. 2, pp.186-204(2013).
- [6] Kirkpatrick, S., Vecchi, M. P. et al.: Optimization by Simulated Annealing, Science, Vol. 220, No. 4598, pp.671-680(1983).
- [7] Terayama, K., Hongo, K., Habe, H. and Sakagami, M.: Appearance-based Multiple Fish Tracking for Collective Motion Analysis, ACPR (2015).
- [8] Toner, J. and Tu, Y.: Flocks, herds, and schools: A Quantitative Theory of Flocking, Physical Review E, Vol. 58, No. 4, pp.4828-4858(1998).
- [9] Vicsek, T. and Zafeiris, A.: Collective Motion, Physics Reports, Vol. 517, No. 3, pp.71-140(2012).
- [10] 寺山 慧, 炭谷 竜太, 阪上 雅昭.: オプティカルフローを用いた魚群のローテーションカーブの推定, CVIM, Vol. 190, No. 17(2014).