

## 絶滅危惧の魚の繁殖生態解明に向けた オンライン画像行動解析の予備的検討

水谷伸<sup>1</sup> 白井良成<sup>1</sup> 岸野泰恵<sup>1</sup>  
柳沢豊<sup>1</sup> 大津賀真之<sup>2</sup> 北川忠生<sup>2</sup> 納谷太<sup>1</sup>

**概要：**絶滅危惧種の魚、ニッポンバラタナゴの保護、繁殖を行なうために、センサネットワークを用いて生息環境のモニタリングを行なってきた。生息環境の知見だけでなく、産卵行動などのタナゴの行動に関する知見を得るため、新たに水中の動画撮影を行い、画像処理により、行動情報を得ることを目指す。まず、画像中のタナゴの数を推定するための画像処理の検討について報告する。タナゴの画像認識のために、(1)対象の画像領域を接するように長方形の枠で囲む、(2)画像上の背骨の位置を推定する、以上の二つの各々の方法による画像正規化方法を考案し、実験結果を示す。

### Preliminary Study on Online Behavior Analysis in Images for Clarification of Reproductive Ecology of Endangered Fish

SHIN MIZUTANI<sup>1</sup> YOSHINARI SHIRAI<sup>1</sup> YASUE KISHINO<sup>1</sup>  
YUTAKA YANAGISAWA<sup>1</sup> MASAYUKI OTSUKA<sup>2</sup> TADAO KITAGAWA<sup>2</sup>  
FUTOSHI NAYA<sup>1</sup>

#### 1. はじめに

我々は、これまでセンサネットワークを使った環境情報センシングの実証実験として、絶滅危惧種の魚、ニッポンバラタナゴの生息環境データ収集を行なってきた[1,2]。目的は、ニッポンバラタナゴの生態を解明、保護し、繁殖させることであり、近畿大学農学部が進めている里山修復プロジェクト[3]の一環として行なっている。絶滅危惧種のニッポンバラタナゴは、従来研究により、ある程度の生態はわかっているが、繁殖に適した環境の詳細や環境変化の何が産卵開始の目安となるかなどは、未解明である。これまでのセンサネットワークによるデータ収集により、生息池の水温や溶存酸素量などの環境データが蓄積され、その生息環境に関する知見が明らかになりつつある。しかし、タナゴ自身に関するデータに関しては、産卵期に、産卵対象である二枚貝のドブ貝内のタナゴの卵の有無や数を調べ、繁殖シーズンが終了後、大まかな個体数を推定するのみである。池の岸からタナゴの行動観察などは、ある程度できるが、定量行動データや行動イベントデータは得ることは、困難である。また、タナゴの物理的大きさなどから、タナ

ゴ自身にセンサを取り付けることも困難である。

そこで、水中で動画を撮り、画像処理で解析することにより、タナゴの産卵などの行動情報を得る試みを行なうことにした。タナゴの詳細な生態は、得られた生息環境データと画像から抽出された行動情報を組み合わせて解析することにより、明らかになるのではないかと考えている。

最初に、タナゴの動画の撮影系をアクションカメラで構築し、撮影を行なう。次に、画像からタナゴに関する行動情報を得る方法とその実現のための課題を予備的に検討する。課題のうち、画像中のタナゴの数の推定のため、タナゴの画像認識に必要と思われる前段階の画像正規化方法を提案し、検証する。画像正規化方法は、(1)対象の画像領域を接するように長方形の枠で囲む、(2)画像上の背骨の位置を推定する、二つの各々の方法による。撮影された画像に正規化を適用した結果を示す。

#### 2. ニッポンバラタナゴ

保護対象となっているニッポンバラタナゴ[2,4]は、里山環境の水田などの農業用水用のため池などに生息する体長5cmほどのコイ科の魚類である。河川からの用水路整備や開発による里山環境とその中のため池の消失、外来種との交雑などにより、数が減り、現在では絶滅危惧種とされている。近畿大学農学部では、里山環境を修復、保全するた

<sup>1</sup> 日本電信電話株式会社 NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation

<sup>2</sup> 近畿大学 農学部 環境管理学科  
Department of Environmental Management, Faculty of Agriculture, Kindai University

め、実習の一環としてキャンパス内に里山にため池、水田を含めて復元し、ため池をビオトープとし、ニッポンバラタナゴを保護、繁殖させている。一年に一度、ため池の中に生息していた生物を保護した上で、水抜きを行い、ヘドロを上げ、水田の肥料として使用するなどの循環的農業実習を行なっている。

ニッポンバラタナゴのオスは、5月から9月ごろの産卵期になると体全体がバラ色の婚姻色になり、産卵床であるドブ貝を縄張りにし、他のオスを寄せ付けないようにする。メスも産卵期になると体長と同程度の長い産卵管を備えるようになり、ドブ貝の取水口に差込み産卵する。その後すぐに、オスは放精をする。ニッポンバラタナゴは、ドブ貝が発するある種のアミノ酸をターゲットにして産卵行動することが知られている。

また、ニッポンバラタナゴの産卵床であるドブ貝の幼生は、ハゼ科の小型魚類ヨシノボリに寄生する。ニッポンバラタナゴ、ドブ貝、ヨシノボリの三者には、一方方向の寄生/共生関係がある。これらの三者とも繁殖できる完全な人工環境は、容易には実現できない。そのため、自然の環境で、これらを保護、繁殖する必要がある。

### 3. センサネットワークによる生息環境データ収集

上記の環境を保全し、かつ、繁殖に適した環境を詳細に探るために、我々は、センサネットワークを用いて常時観測を行なってきた。水中の水温、溶存酸素量を主に、気温、湿度、照度を測定し、データの蓄積を行なってきた[1]。従来、それらのデータは人手で測定されていたために、測定回数が限られていた。一日でどのように変化し、また、天気により、どのように変化するかなどがわかってきた。一方で、対象であるニッポンバラタナゴに関する定量的データや行動情報は、池岸からの観察か、産卵期に、産卵床であるドブ貝内のタナゴの卵の有無や数、量の調査か、繁殖シーズンが終了後、一年に一度のため池の水抜きの際に行なわれる大まかな個体数調査のみであった。

特に、産卵行動を定量的に測定し、環境データと比較できれば、繁殖に関する生態が明確になり、適した環境を作り出せるのではないかと考えた。そこで、タナゴの行動データを得る試みとして、動画を撮り、画像処理により、行動解析を行うことを考えた。タナゴの大きさなどから、個々のタナゴにセンサを付けられない、また、赤外線によるセンシングも行動に影響が出そうであることから、画像処理解析による方法を選んだ。

## 4. 画像処理

### 4.1 撮影系

撮影は、透明度の問題で、前述のビオトープではなく、別のニッポンバラタナゴの保存繁殖池で行なった。撮影環境は、図1のような、約3.2m×約2.2mの長方形の人工的な繁殖池で、水深は約30cmである。



図1. 撮影環境であるニッポンバラタナゴの保存繁殖池。

池の両岸の間にパイプを渡し、そのパイプに別のパイプを固定し、その先にカメラを固定した。水中のタナゴの画像を撮るために、アクションカメラ(SONY FDR-X1000V, HDR-AS200V)を水中用のカメラケースに入れ、水中で撮影できるようにした。産卵対象であるドブ貝の移動範囲を制限するために、プラスチックのケースに砂とともに入れ、それに対して、水中で横向き(SONY FDR-X1000V)と下向き(HDR-AS200V)の撮影カメラを二系統準備した。図2に、撮影系の模式図を示す。本報告では、横向きカメラからの画像を処理対象にしたが、今後は、上からの画像も処理に使用する予定である。

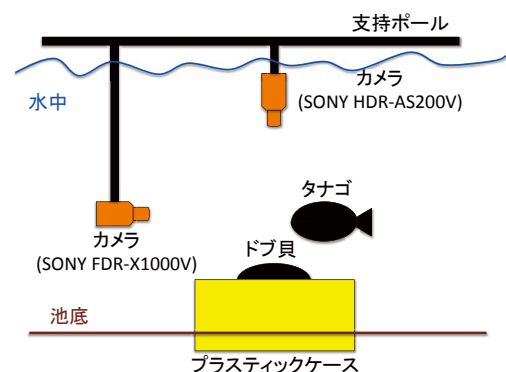


図2. 保存繁殖池内の撮影系の模式図。

また、従来から行なっているセンサによる生育環境デー

タの収集は、これまでと同様に、水中の水温、溶存酸素と池の気温、湿度、照度に行なっている。

#### 4.2 画像処理の目標

本画像処理研究では、画像中に存在するタナゴの数の推定を最初の目標とし、次に雄雌、稚魚の差を認識し、数を推定すること、最終的に産卵行動の回数などの推定を目標にする。各々の段階で、画像を解析する方法を考案し、拡張する予定である。ここでは、まず、タナゴの数の推定のため、画像認識に必要と思われる前段階の画像処理方法を提案し、検証する。人間の立ち姿の画像認識[5]などの従来の画像認識方法を参考にできるが、魚の認識では、回転、大きさ不変性などの新たな機能を実現する必要がある。研究の初期段階では、認識が困難と思われる状況を対象外にし、研究が進んだ各段階で、対象範囲を拡張したい。そのため、現時点では、体を折り曲げたり、ひねったりする姿勢は、認識の対象外とする。また、対象が混み合う場合、重なった画像が得られることがあるが、これもまずは、認識の対象外とする。これらは、ある時刻の画像の前後の情報を用いれば、認識できる場合も多い。対象物の画像によるトラッキング技術[6-9]も、様々な条件を考慮して提案されていて、参考にできる。

#### 4.3 画像処理に関する前提条件

得られた RGB 画像の動画より、画像中の動く対象物の中から、タナゴを認識したい。そのために、各々の時刻の静止輝度画像で、背景と前景領域に分割することを考える。前景とされた領域だけを画像認識器に入力することを考える。背景輝度画像は、認識対象物がないときに背景を撮影するか、固定カメラによる動画撮影で、各々の画素の輝度値のヒストグラムの最頻輝度値を計算するなどにより推定することができる[10]。ここでは、後者を採用した。背景輝度画像と各々の時刻の静止輝度画像の二つの画像の各々の画素の輝度値の差が、あるしきい値以上の場合、背景ではない前景となる対象物があると判断される。ここでは、前景になるものは、タナゴ、メダカ、おたまじゃくし、ドブ貝、水生昆虫、浮遊物などである。また、動きがあるものとしては、以下のものが考えられる。水流は弱い、水草をゆらす程度は発生する場合がある。同様に、風や雨により、水面がゆれ、水中に入ってくる光がゆらぐ場合がある。池の底に水中で動くものの影ができる。その他の影は、日照条件によりゆっくり変化する。

前景とされた画素の中で、ある程度の面積をもつ連結領域をタナゴ領域の候補とし、その領域の画像を認識器に入力し、タナゴか否かを判定すればよい。但し、タナゴ領域の候補とされる画像は、様々な大きさや回転角度のものが存在することが予想できる。通常は、回転/拡大/縮小不変な画像認識には、各々の回転/拡大/縮小した対象毎に

各々の認識器が必要になり、多数の認識器の構成が必要となる。これを避けるために、認識器に入力する画像として、回転/拡大/縮小に対して正規化したものを用いるようにし、回転/拡大/縮小に不変な認識を実現することを狙う。つまり、画像認識のために画像正規化を導入する。

回転/拡大/縮小した画像で、不変となる局所画像特徴量は、SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)/SURF (Speeded Up Robust Features)[11]など従来から考案されている。これらは、画像の二次元平面上で等方性のある DoG (Difference-of-Gaussian) と呼ばれるガウシアンフィルタ出力の差の最大値を用いて、対象物の局所画像の大きさのスケールを得ている。この処理により、二次元画像の等方的拡大/縮小に不変な画像特徴量が実現できており、その後の認識/識別器で等方的拡大/縮小に不変な認識機能が実現できる。また、輝度勾配方向とその強度のヒストグラムを用い、その局所画像に最も特徴的な方向であるオリエンテーションを計算し、その角度で正規化し、局所画像特徴ベクトルを計算することにより、回転不変な画像特徴量を実現している。しかし、これらは、二つの異なる画像の局所特徴量が同じか否かで判断されるテンプレートマッチングなどの特定の物体判別を想定しており、物体のカテゴリ分類のような認識器に使用することは困難である。この困難を回避するために BoK (Bag-of-Keypoints)[11] と呼ばれる方法が提案されているが、この方法は、局所特徴量の画像上の位置関係は無視されるという画像特有の性質を生かしていない問題点がある。

魚画像認識では、二次元画像の異方的拡大/縮小に不変な画像特徴量を使用したい。理由は、以下の対象物の見えに対する画像の近似からである。対象物が、カメラ軸に対して垂直な軸で回転し傾いて画像を撮影された場合、射影変換のうちの台形変換になるが、この台形変換の回転傾き角度が小さい場合には、画像の異方的拡大/縮小に近似できる。カメラ撮影で通常想定される物体の射影変換全てに不変な特徴量を実現するのは困難であるが、二次元画像の異方的拡大/縮小に不変な特徴量を実現することにより、射影変換のうち、近似的に台形変換のある範囲の不変な特徴量を実現できる。そのため、異方的拡大/縮小の不変性獲得のための正規化は、認識性能向上に効果が大きいと考えられる。

#### 4.4 画像の正規化方法

以上の画像処理に必要な条件により、我々は、対象物の画像の大きさを把握するため、SIFT/SURF 特徴量で大きさスケールを決めているフィルタの大きさと同様に、対象物の画像を囲むことができる長方形の枠を使用することを考案した。対象物の画像が閉領域にある場合、この枠で対象物の大きさに関しての情報が得られる。対象物の画像を囲む長方形の枠は、様々な考えられるが、これを少数の候補に

絞り込むため、ある基準を設ける。例えば、枠の外周長さが最小、対角線の長さが最小、面積が最小のものなどである。対象物によっては、これらの条件のうち、同じになるものも存在する。ここでは、面積が最小の基準で結果を示す。図3の例では、基準を変えても、結果は変わらなかった。また、認識器を構成するためのテンプレートや学習画像にも、この正規化方法により切り出した画像が必要である。入力画像と同じ正規化方法を用いることにより、不変な認識を実現するものである。

対象物を長方形の枠で囲めれば、大きさに関して、正規化できることになる。残りは、対象物の画像の回転角度の可能性を絞り込む必要がある。対象物の画像を囲む長方形の枠は、その特徴的な軸の角度差が、0, 90, 180, 270度の4通りの可能性に絞り込むことができる。これら全ての回転角の場合で大きさを正規化し、認識器に入力し、総当たりで可能性を絞り込む。4通りのうち、テンプレートに最も近い、もしくは、パターンとの近さや当てはまり程度が最も近いものを認識結果とすればよい。認識器が二分器の場合、最も近いとされても、相対的な近さによる判断では不十分であり、絶対的な近さのしきい値による判断が必要である。

この正規化方法は、対象物の元画像が単に閉領域にある場合だけでなく、何らかの画像処理で、画像を二値化し、対象物と背景を図地分離できるものは、全て適用できる。また、認識器への入力画像は、元の画像だけでなく、二値画像も使用することも可能である。このことから、ある程度は限られるが、魚だけでなく、様々なものにも適用可能である。

また、魚画像の認識に特化するため、魚の特徴的な部位である背骨に着目し、魚の体の画像から背骨部位を検出することも同時に考えた。背骨とする線分は、魚の体領域の候補を表す二値画像から、魚の体の大きさより大きいと考えられる領域だけを選び、閉領域の内外を分ける境界線上の二点で最大の距離を持つ線分を背骨として検出した。背骨としての線分の長さからのタナゴの体領域を囲める平均的サイズの長方形の領域を事前知識として設定し、枠とすればよい。正規化は、長方形の枠の場合と同じである。

#### 4.5 正規化結果

以下に、タナゴ領域の画像に、正規化のための枠、背骨を当てはめた結果を示す。図3は、タナゴの輝度画像で、図4は、タナゴと推定された白い画素領域を示す二値画像と、画像を正規化するために当てはめた枠を表示した画像である。背景と推定された画素は黒で表示し、枠は、緑色で表している。タナゴの白い画像領域は、入力画像とその背景画像の各々の画素の輝度値の差をしきい値処理した結果で推定している。二値画像では、ある面積より大きい白い連結領域をタナゴ領域の候補と仮定し、小さい領域を省

いている。面積が最小の基準で一意に生成した枠が、図4の緑色の枠である。提案法の枠は、タナゴの画像領域を囲え、画像中のタナゴが写っている領域を切り出せることがわかる。ここでは、画像による特定物体認識／物体分類に使用する特徴量も含めて、テンプレートマッチングもしくは統計的認識器を具体的に構成していないので、分類結果までは示していない。しかし、例えば、認識／分類器として、単純な二値画像のテンプレートマッチングを仮定しても、提案法が回転／拡大／縮小に不変な入力画像の正規化を実現できることが予想できる。長方形の枠に余白を付けた輝度画像、もしくは、二値画像を認識器への入力画像にすればよい。同様に、二値画像で、検出した背骨を表示したものが、図5の緑色の線分である。本来の背骨部位とは若干異なるかも知れないが、この軸を基準にすれば、正規化が可能であることがわかる。また、魚の場合、体の右側、左側があり、認識器は構成する場合には、両方の認識器が必要と考えられる。



図3. タナゴの輝度画像。

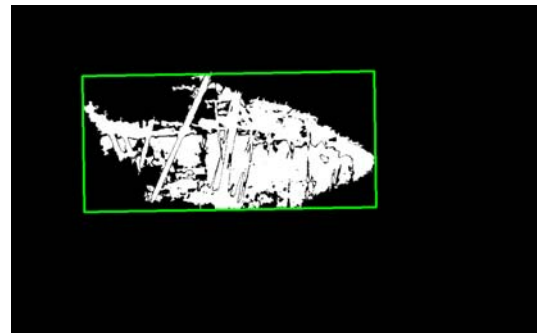


図4. タナゴと推定された白い領域を示す二値画像と、画像を正規化するために当てはめた枠を表示した画像。

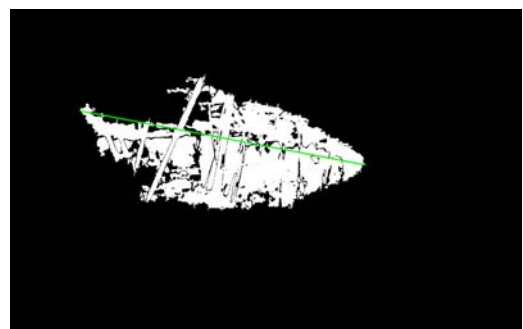


図5. 検出した背骨を表示した画像。

## 5. まとめ

絶滅危惧種の魚、ニッポンバラタナゴの生態を解明し、保護、繁殖を行なうために、画像処理による行動解析を目指し、タナゴ認識のための前段階の画像処理を予備的に検討した。水中で動くものと静止したものを分けるために、背景画像を構成し、その輝度値からしきい値内にあるものを背景、外にあるものを前景とした。前景がタナゴの領域の候補となる。タナゴは、水中を動き回るため、対象の回転／拡大／縮小を正規化して、認識することを考え、そのための正規化方法を提案し、その有効性を検証した。認識器を構成して検証していないが、回転／拡大／縮小不変に認識器に入力できることが可能であることを示した。このことにより、具体的にタナゴ認識器を構成すれば、タナゴの画像候補をタナゴか否かを判別できる。

## 6. 今後の課題

今後は、前景候補からタナゴとそれ以外を分けることのできる認識部分を実際に構成することが課題である。例えば、タナゴとメダカの差を、提案した正規化方法を使用しても認識器で区別できるかである。実際の環境で撮影された画像ではなく、標本画像等を用いた場合の予備検討では、正規化方法を使用して、前景とされたシルエットの形状だけで、明らかな差が出ることを確認している。しかし、正規化により、タナゴとタナゴ以外の前景とされるものとの間の大きさや縦横比の差などの情報が使用できなくなるので、実際の環境で撮影された画像では困難になるかもしれない。

また、認識器を構成するには、具体的に用いる特徴量の候補選定の必要である。人間の立ち姿の画像認識に使用されている HOG (Histograms of Oriented Gradients) 特徴量[5]などが候補として考えられる。しかし、撮影された画像中のタナゴと背景とのコントラストが弱く、背景部分が単純ではないため、HOG 特徴量が輪郭上で際立たず、コントラスト強調のための輝度値の平滑化処理を施しても同様であった。このため、認識に用いる特徴量の候補選定が困難になっている。輝度画像だけでなく、背景／前景の二値画像自身を入力画像にする方法やそれらの併用も検討している。コントラスト強調のための撮影時の工夫も、同時に検討している。水質の変化も想定されるので、透明度が低い場合、霞を取り除く dehaze 処理[12]などの前処理も必要になるかもしれない。タナゴとそれ以外を前景候補が分離できた後に、タナゴのオスの婚姻色、メスの産卵管、稚魚の斑点などの特徴を利用し、雄雌、稚魚を分類する画像処理を考案する予定である。

生息環境センシングと同様に、画像でも、常時撮影の検討を行なっている。水中のタナゴの画像を撮るために、PC により、カメラを制御し、映像を記録できるよう、外部か

ら電源供給でき、かつ、映像を外部に送ることができる撮影系を構築予定である。最終的には、FPGA (Field-Programmable Gate Array) などを用いて、センサノード側で画像をリアルタイムで処理し、情報を抽出することを実現したい。元データの大量の画像をネットワーク上で伝送するのではなく、行動などのイベントデータや個体数などの定量データだけを伝送するようにしたい。センシングで得られた環境データと画像から抽出された行動情報を組み合わせで解析することにより、タナゴの詳細な生態を明らかにできるのではないかと考えている。

## 参考文献

- [1] 岸野泰恵, 柳沢豊, 松永賢一, 須山敬之, 納谷太, 坂田伊織, 北川忠生: センサネットワークを用いた希少魚生息環境モニタリング, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-UBI-43, No.11 (2014).
- [2] 坂田伊織, 岡田龍也, 杉本智嗣, 須山敬之, 柳沢豊, 岸野泰恵, 松永賢一, 北川忠生: センサネットワークによるニッポンバラタナゴの生息環境モニタリングシステムの構築, 近畿大学農学部紀要, No.47, pp.77-85 (2014).
- [3] URL: <http://nara-kindai.univ.jp/05project/satoyama/>
- [4] URL: <http://n-baratanago.com/baratanago/introduction>
- [5] URL: [http://www.vision.cs.chubu.ac.jp/joint\\_hog/pdf/HOG+Boosting\\_LN.pdf](http://www.vision.cs.chubu.ac.jp/joint_hog/pdf/HOG+Boosting_LN.pdf)
- [6] 福永津嵩, 岩崎渉: Computational Ethology: バイオインフォマティクスと動物行動学の融合, 領域融合レビュー, Vol.4, e003 (2015).
- [7] Perez-Escudero, A., Vicente-Page, J., Hinz, R. C., Arganda, S., de Polavieja, G. G.: idTracker: tracking individuals in a group by automatic identification of unmarked animals. Nat. Methods, Vol.11, No.7, pp.743-748 (2014).
- [8] Qian Z.-M., Cheng X. E., Chen, Y. Q.: Automatically detect and track multiple fish swimming in shallow water with frequent occlusion. PLoS ONE, Vol.9, No.9, e106506 (2014).
- [9] Sakaino, H.: Video-Based tracking, learning, and recognition method for moving objects, IEEE Trans. Circuits and Syst. Video Technol., Vol.23, No.10, pp.1661-1674 (2013).
- [10] URL: <http://www.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/~kawanishiy/researches/backgroundestimation.html>
- [11] URL: <http://www.vision.cs.chubu.ac.jp/cvtutorial/PDF/02SIFTandMore.pdf>
- [12] He, K., Sun, J., Tang, X.: Single image haze removal using dark channel prior, IEEE Conference on CVPR, pp.1956-1963 (2009).