Vol.2014-UBI-43 No.11
2014/7/29

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

岸野 泰恵[1,a)]　柳沢 豊[1]　松永 賢一[2]　須山 敬之[3]　納谷 太[1]　坂田 伊織[4]　北川 忠生[4]

概要：希少魚の保護は生物多様性維持の観点から重要な課題であるが，生息環境が十分に明らかにはされておらず，経験的な知識をもとに保護されている場合も多い．無線センサネットワークを用いて希少魚の生育環境をモニタリングすることで，生息環境や繁殖の条件を明らかにできれば，生物多様性の保護に貢献できる．そこで本研究では，ニッポンバラタナゴ（絶滅危惧 IA 類）の保護池に無線センサネットワークを構築し，溶存酸素量，水温，温度，湿度，照度のモニタリングを行っている．本稿では，2013 年 3 月から開始したニッポンバラタナゴ生息環境モニタリングの実験について報告する．

Endangered fish habitat monitoring using a sensor network

Kishino Yasue[1,a)]　Yanagisawa Yutaka[1]　Matsunaga Ken-ichi[2]　Suyama Takayuki[3]
Naya Futoshi[1]　Sakata Iori[4]　Kitagawa Tadao[4]

Abstract: Conservation of biodiversity is important issue. However conservation of endangered fish is difficult problem, since some of their habitat environments are not clear. We are investigating habitat monitoring of endangered fish (Japanese rosy bitterling) with a wireless sensor network. We are measuring dissolved oxygen (DO), water temperature, air temperature, humidity, and illuminance. In this paper, we describe habitant monitoring experiment which was started in March 2013.

1. はじめに

生物多様性の維持は，豊かな生物からの恵みを将来にわたり享受し，自然と共生する社会を実現することを目的として生物多様性基本法が制定されるなど，将来に向けた重要な課題として認識されている．しかし，近年の環境汚染や，急激な開発による生息環境の消失など，さまざまな要因で絶滅の危機にさらされている生物は少なくはない．本研究では生物多様性を維持するための希少魚の保護に注目し，無線センサネットワークで希少魚の生息環境をモニタリングし，その生息環境や，生息条件を明らかにすることを目的としている．

センサネットワークは，無線通信機能を備えた小型の電池駆動のセンサノードを用いてデータを収集するネットワークである．電源線や通信線を敷設する必要なくネットワークを構築でき，さまざまなセンサを接続して，環境を測定できるため，屋内だけでなく，屋外の環境をセンシングするのに適している [5], [7]．特に希少生物が生息する場所は，山の中など自然が残り，ネットワークインフラも整っていない可能性が高い．

生物の生息環境をセンサネットワークでモニタリングすることで，長期間にわたって詳細な環境データを計測，蓄積，分析することが可能になる．これにより，今までは計測できなかった生物の生態に関する環境的要因を解明し，さまざまな環境での生物多様性保護や，効率的な育成方法を考案することが可能になる．本研究では希少魚であるニッポンバラタナゴの生息池にセンサネットワークを構築し，連続的に水温などの環境センサデータを収集して環境モニタリングを行っている．これにより，ニッポンバラタナゴの生息環境や産卵の条件を明らかにし，ニッポンバ

1 NTT コミュニケーション科学基礎研究所
NTT Communication Science laboratories
2 NTT マイクロシステムインテグレーション研究所
NTT Microsystem Integration Laboratories
3 ATR 認知機構研究所
ATR Cognitive Mechanisms Laboratories
4 近畿大学農学部環境管理学科
Department of Environmental Management, Faculty of Agriculture, Kinki University
a) kishino.yasue@lab.ntt.co.jp

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

図 1 ニッポンバラタナゴ（[6] より引用）

ラタナゴの保護に貢献することを目的としている．本稿では，センサネットワークを用いた環境モニタリングの実験について報告する．

2. ニッポンバラタナゴ

ニッポンバラタナゴ（*Rhodeus ocellatus kurumeus*）はコイ科の全長 5cm 程度の小型魚類である（図 1）．里山のため池などの止水域に生息するが，農業の近代化によるため池環境の悪化や，急激な開発による里山環境の消失，外来種であるタイリクバラタナゴとの交雑などの要因によって数を減らし，現在は環境省により絶滅危惧種 IA 類に分類されている．奈良県では，すでに絶滅したと考えられていたが，2005 年奈良公園内の池で生息していることが発見された [3]．近畿大学農学部では，キャンパス内に里山環境を復元し，発見された時点で環境が悪化していた生息池からニッポンバラタナゴを捕獲し，里山内のビオトープで保護している [2]．この里山では，年に一度の水抜きを行い，ヘドロを上げて肥料に利用してコメを作るなど，昔ながらの環境を授業の一環として，またボランティアの協力を得て復元している．ニッポンバラタナゴは二枚貝の一種であるドブガイ（タガイ）の取水口に産卵するという特殊な生態をもつ．オスがドブガイを縄張りとしてメスを誘い，メスが産卵管を挿入して産卵すると同時にオスが放精を行う．産卵期は夏期であり，この時期オスはバラ色の婚姻色に色が変わる．さらに，ドブガイの稚貝はハゼ科の小型魚類であるヨシノボリに寄生するという共生関係をもつ．このため，ニッポンバラタナゴを保護するためにはこの生態系全体を保護する必要がある．

ニッポンバラタナゴのような絶滅の危機に瀕している魚にはさまざまな種類があるが，どういった環境を好み，どういった条件で産卵行動が活発になるのか，といった生息環境の把握に関しては，専門家の経験則によって大まかな状況は判明しているが，細かな環境の差による影響までは解明されていない状況である．また，近畿大学農学部ではニッポンバラタナゴ里親プロジェクトとして，近隣の奈良市内の小中学校の池でニッポンバラタナゴを繁殖させる教育活動も行っている．繁殖に成功する池もあれば，そうでない池もあり，それらを比較することで生息環境を明らかにできる可能性がある．本研究ではその第一歩として近畿大学農学部の希少魚ビオトープにセンサネットワークを構築して環境センシングを行っている（図 2）．

図 2 ニッポンバラタナゴ保護池に設置したセンサノード

生物の生態に対しては，一定の期間の一定の値以上の温度の合計値，といった積算値が重要な意味をもつ場合が多い．しかしこれまでは人手で現地まで行って測定する必要があるため，一週間に一度，あるいは一か月に一度程度の測定を行うことが多かった [4]．センサネットワークを用いて長期間連続的に環境データを蓄積できるようになるため，日々の温度の上下といった細かな変動を考慮した積算値を求めることで，より詳細に生態を解析できるようになる．その他に環境データの日較差と生態の関係や，複数個所に設置したセンサノード間で環境データと生態の関係を検証することも可能になる．

3. 希少魚生息環境センシング

本研究では，ニッポンバラタナゴの生息環境をセンシングすることで，以下のような結果を得ることを目標としている．

- 産卵活動が活発になる条件を明らかにする．
- 産卵が活発である場所とそうでない場所の差を明らかにする．
- 繁殖が成功する池とそうでない池の差を明らかにする．
- その他ニッポンバラタナゴやその生態系に関連した生物の生態を明らかにする．

魚類の生息環境を測定する指標としてはさまざまなものがあるが，本研究では基本的な項目として水温と溶存酸素量（DO）をセンシングしている．ニッポンバラタナゴの産卵期は夏季であり，水温が一定以上になると産卵行動が開始されるなど，水温はニッポンバラタナゴの行動に影響を与えるパラメータだと考えられる．溶存酸素量は，水中に溶けている酸素の量を意味し，魚の活発さや，貝の生息率にかかわる指標である．さらに一般的な環境値として池の端で温度，湿度，照度を測定する．

その他に，池の状況を遠隔地から連続的にモニタリング

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

できるため，異常を検出した際に池の見回りに行くように通知したり，池で異変が起きた際にセンサデータからその原因を解析できる．また，奈良公園のニッポンバラタナゴ生息池では，溶存酸素量を上昇させるためにマイクロバブル発生装置を設置しているが，その効果の検証にも利用できる．

3.1 溶存酸素量の計測

溶存酸素量は水中の魚の生態を把握する上で重要な指標であるが，センサノードに簡単に接続できるような素子は市販されていなかったため，本研究では，市販の溶存酸素計のプローブを使用し，増幅回路を独自に設計してセンサノードに接続することにした．

溶存酸素を測定する手法はいくつかの方法があるが，本研究で利用したのは，電気分解によって溶存酸素量を測定するプローブである．このプローブの先端は酸素を通す薄膜（テフロン）で覆われ，その内部は電解液に満たされている．水中にこのプローブを沈めると，水中の酸素が電解液中に透過する．この状態で，電解液中の電極間に電圧をかけると，酸素濃度に応じた電流が流れ，その量から酸素濃度を知ることができる．この電流量を増幅回路で取り出してセンサノードの入力とした．

薄膜を透過する酸素の量は水温によって異なるため，正確な値を得るためには補正を行う必要がある．本研究では拡散係数の温度依存性と，プローブや増幅回路の個体差を考慮して補正を行った．その他に塩分濃度や気圧によっても溶存酸素量は影響を受けるが，対象は淡水であり，また気圧による影響はわずかであるため，塩分濃度や気圧に関する補正は行わないこととする．

3.2 水中の活動度測定

ニッポンバラタナゴは小型の魚であるため，魚に直接センサを取り付けて活動を測定することは難しい．しかし，魚の活動を測定できなければ，センサデータから魚にとって生息しやすい環境であるかを判断しにくい．そこで，筆者らは，貝に産卵をするというニッポンバラタナゴの生態を活かし，貝の周りに集まる魚の様子をカメラで撮影することで，産卵活動の活発さをセンシングできるのではないか，と検討した．一方で，ニッポンバラタナゴの暮らす池はため池であるため，水が濁っていることが多く，単純にカメラを水中に設置しただけでニッポンバラタナゴが撮影が可能であるか不明である．そこで予備実験として市販のインターバルカメラを防水加工をした上で水中に設置し，産卵活動の活発さの測定が可能であるか検討する．その他に超音波を使って魚群をセンシングする方法を検討したが，魚への影響が不明であるため，まずはカメラを使った方法を検討することにした．

実験段階では，環境データと魚の活動度の関連を明らかにするために，カメラなど活動をセンシングする装置が必要となるが，将来的にセンサネットワークにカメラを組み込むか否かは，検討中である．環境データから魚の活動度が十分に予測できるようになるならばカメラは不要となるが，希少魚生息環境の監視という観点からはカメラ画像も必要となる可能性がある．その際は，省電力な画像素子を組み込むなど，センサネットワークやその運用に負荷がかからない方法を検討する必要がある．

4. センサネットワークの構築

本章では，近畿大学農学部内の希少魚ビオトープに設置したセンサネットワークの詳細について述べる．全体の構成図を図 3 に示す．希少魚ビオトープの端に設置された百葉箱に温度，湿度，照度のセンサを設置した．ビオトープ内には，産卵がよく行われる場所 2 か所と，湧水点 1 か所の計 3 か所に溶存酸素と水温のセンサを設置した．センサデータは数十 m 離れた実験棟に設置した基地局に収集され，遠隔地に設置されたデータベースに保存される．

4.1 センサの設置

図 4 は水中に設置したセンサの 1 セットを撮影した写真である．プラスチックプランターに付近の山の砂を入れ，その中にドブガイを 3 個入れ，プランターに水温センサ（サーミスタ，SEMITEC 103AT-1），溶存酸素センサ（MotherTool DO-5509 用プローブ），完全防水のビニールケースに入れたインターバルカメラ（キングジム レコロ IR5）を固定している．初期にセンサを設置した際には，池の底に設置した溶存酸素センサや水温センサがヘドロに埋まり，センサ値が取得できなくなることが頻繁に起こったため，プランターに固定することで水中のある程度の高さにセンサを設置し，ヘドロに埋まりにくくした．

プラスチックプランター内にドブガイを入れているのは，ドブガイの位置を固定し，産卵にやってくるニッポンバラタナゴをインターバルカメラでとらえやすくするためである．希少魚ビオトープでは，産卵状況の確認と，すぐにヘドロに埋まる貝の保護のため，ドブガイを山の砂とともにプランターに入れているが，問題なく産卵や稚貝の発生が確認できている．このため，既存のプランターのすぐそばに新たなセンシング用のプランターを設置しても，ドブガイやニッポンバラタナゴへ与える影響は少ないと考え，プラスチックプランターにセンサと貝をまとめて設置する方法を採った．

各センサは，3m から 5m のケーブルで池の端に設置されたセンサノードへ接続され，センサノードはこれらの値をまとめてサーバへ送信する．実際に設置すると，草刈の際にセンサケーブルが切断される事故が何度も起こったため，ケーブルはプラスチックの配線管で保護することにした．

温度と湿度のセンサ（センシリオン SHT75）は，直射

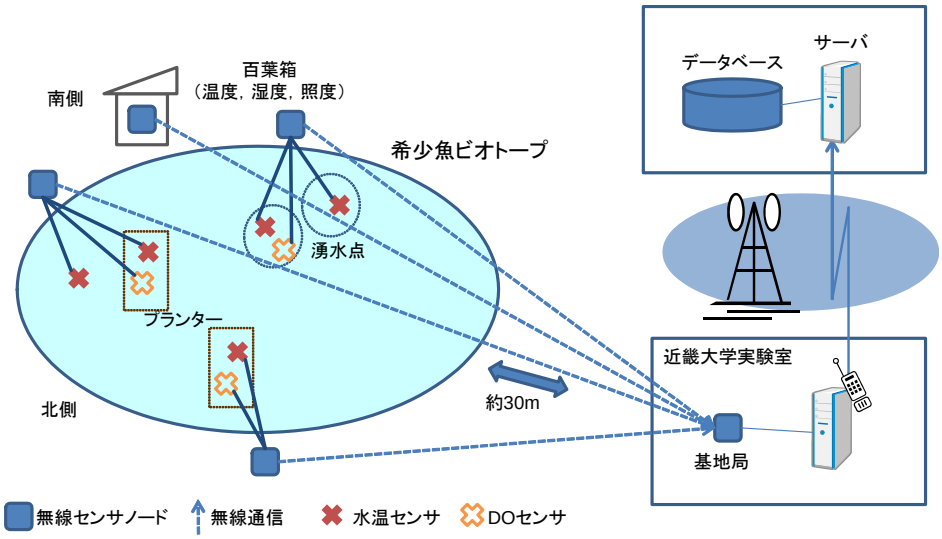


図 3　希少魚ビオトープに設置したセンサネットワークの構成図

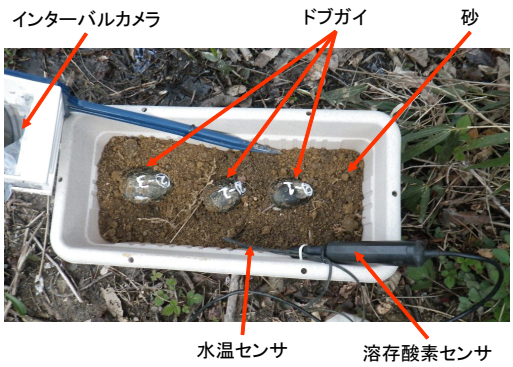


図 4　水中に設置したセンサ

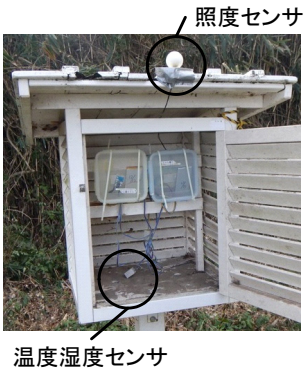


図 5　百葉箱に設置した温度，湿度，照度センサ

日光の影響を防ぐため，百葉箱内に設置した（図 5）．照度センサ（ローム BH1710FVC）は，細かな木陰の影響を防ぐため，球状の半透明プラスチックカバーに入れて設置した．カバーで覆わない場合と比較して，おおむね 70%の値が出力される．センサの向きが風などによって変わることを考慮して照度センサを背面で張り合わせたものをプラスチックカバーの中に入れ，2 つの照度センサの平均を照度値とする．

4.2　センサノード

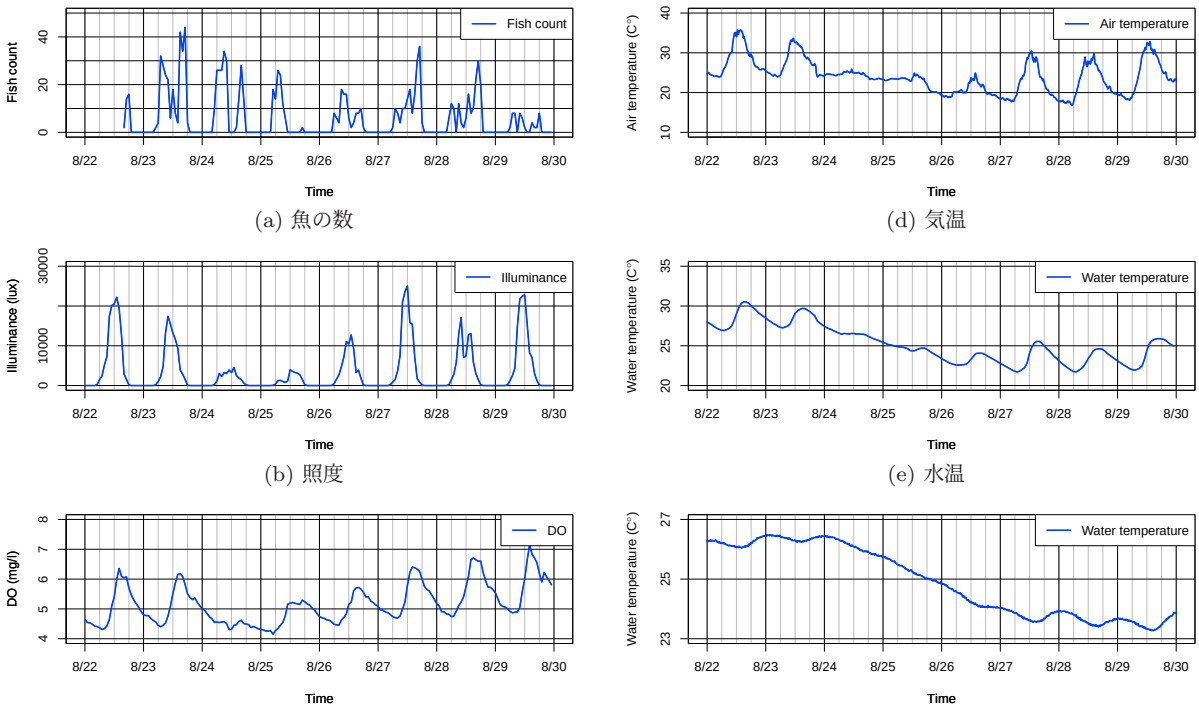
センサデータを取得し，無線で送信するセンサノードには，これまでに筆者らがビニールハウスや屋内の環境センシングで利用してきたセンサノードを用いた．このセンサノードは，IEEE 802.15.4 の無線通信モジュール（東京コスモス TWE-001）を MPU として利用している．また，センサノード上のソフトウェアは，筆者らが開発した仮想マシン Cilix を利用して開発を行った [8]．このセンサノードと仮想マシンを用いて，屋内の環境センシングや，ビニールハウス内での花卉栽培センシングを最長で 3 年以上行っているが，ほとんど故障はない．

仮想マシン Cilix は，センサノード上で CIL（Common Intermediate Language）を解釈して実行し，実行ファイルを無線通信で動的に書き換えられるという特徴をもつ．実際のソフトウェアは CIL に対応した Visual Studio 上で C#を用いて行った．Cilix は接続したセンサを UDP 通信にマッピングして利用できる機能を備えているため，希少魚センシングのためのソフトウェアも短期間で開発することができた．また実験途中にセンサの追加やセンシング間隔の調整などさまざまな試行錯誤を行ったが，ソフトウェアの修正や書き換えも容易であった．

センサノードは 1 分間隔で各センサの値を取得し，基地局へ送信する．各センサノードと基地局は直接無線通信可能であるため，単純にセンシングする毎に直接センサデータを基地局へ送信する．溶存酸素センサは 5 分以上通電しなければ正確な値が取得できないため，その消費電力が多く，3200mAh のリチウムポリマー電池を使って 4 週間ほどで電池交換が必要となる．

センサノードは，希少魚保護池の周りの土手や草木が無線通信の遮蔽物とならないようにするため，地面から数十 cm から 1m 程度の高さの杭を立てて設置した．また，屋外でのセンシングのため，完全防水のプラスチックケース

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan



(a) 魚の数　(d) 気温

(b) 照度　(e) 水温

(c) 溶存酸素量　(f) 泥中の水温

図 6　センサデータ

に格納して設置した．設置の様子は，図 2 に示す．写真では，ケースのふたを開けて写真を撮影している．

5.　実フィールドでの環境センシング

前章で述べたセンシングシステムを 2013 年 3 月から近畿大学農学部内の希少魚ビオトープへ順次設置し，生息環境をモニタリングする実験を行った．実験開始当初は，センサの泥への埋没や，遮蔽物の設置による無線通信の妨害などさまざまなトラブルが起こり，断続的にしかデータを収集できなかった．その後システムの安定化を図り，現在も実験を継続中である．

5.1　環境センサデータ

図 6 にセンシングに成功したある 8 日間のセンサデータを示す．横軸が時刻であり，縦軸が (a) が魚の数，(b) が照度，(c) が溶存酸素量，(d) が気温，(e) が水温気温，(f) が泥中での水温である．魚の数は，インターバルカメラを 5 分毎に撮影するよう設定し，撮影された画像を人が見て魚の数を数えた結果を 1 時間ごとに合計している．

溶存酸素量は，これまで一週間に一度程度しか計測してこなかったため，一日の間の変化についてはあまり考えてこなかったが，日々上下を繰り返すことが分かった．これは日が当たると植物プランクトンが光合成によって酸素を生成し，日が沈むと酸素が消費される一方になるためであると考えられる．8 月 24 日は曇りのため，あまり値が上昇しない．

水温は，気温と比較すると，直射日光が当たる時間になると急に温度が上昇し，温度の下降は緩やかである．また，水温センサのうちの一本がヘドロに埋まったため，そのセンサデータを (f) に載せている．数 cm のヘドロが積もっているだけであるが，温度の変化はわずかになり，熱が伝わるのに遅延があるため，最も温度が高くなるのが夜中の 12 時ごろであることがわかった．ドブガイはこのような環境で生息していることになる．

魚の数と照度のデータを比較すると，魚は主に朝夕に活発に活動し，それに対して照度は昼ごろに値が最も高くなった．このことから照度のピークと魚の数のピークは一致せず，魚は照度のピークの時間帯を避けて産卵行動を行っている可能性が示唆された．このように，図 6 に示すようなデータを一覧して検討することで，ニッポンバラタナゴの生態に関する新たな知見が得られる可能性を示せた．

5.2　溶存酸素量センシング

溶存酸素量センシングは，本実験のために新たに回路を設計して実現したが，実験の結果，前節で述べたように，照度の強さの差による溶存酸素量の上昇量の差など，日々の変動を測定できることが確認できた．

溶存酸素量センサの補正誤差は，利用したプローブの溶存酸素計を用いて測定した値と比較して，補正に用いたデータセットで平均 0.4mg/l 以下となっているが，流水用

表 1 溶存酸素量の試薬を用いた測定値との比較

(a) 2013 年 8 月 23 日 10 時 30 分の溶存酸素量

場所	溶存酸素量（センサ）	溶存酸素量（試薬）
プランタ（北）	4.8 (mg/l)	7.2 (mg/l)
プランタ（南）	4.2 (mg/l)	5.7 (mg/l)
湧水点	4.7 (mg/l)	7.2 (mg/l)

(b) 2013 年 8 月 28 日 11 時 20 分の溶存酸素量

場所	溶存酸素量（センサ）	溶存酸素量（試薬）
プランタ（北）	5.2 (mg/l)	7.7 (mg/l)
プランタ（南）	4.8 (mg/l)	7.5 (mg/l)
湧水点	4.9 (mg/l)	9.9 (mg/l)

のプローブを止水環境で使用しているため，温度による補正を行っても値が低めに出ることが多い．本実験で用いた溶存酸素量センサで測定した値と，従来から近畿大学農学部で測定に使用している酸性インジゴカルミン吸光光度法を用いて測定した値を比較したものを表 1 に示す．センサで測定した値は 10 分間の平均値である．

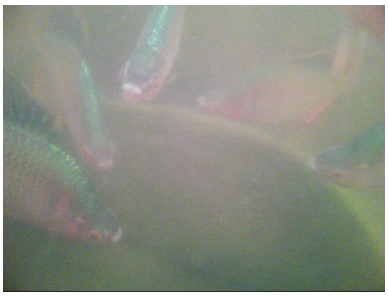
実環境において，溶存酸素センサを連続的に運用してみたところ，およそ 1 ヶ月程度で電解液がなくなり，半年に一度程度フィルタキャップの交換が必要であることが分かった．また，溶存酸素センサや水温センサは水の底に設置しているため，定期的にヘドロに埋まっていないか確認する必要がある．また，雨や人がため池に入った際に水が動くとフィルタを通過する酸素の量が増加するため，溶存酸素量が高めに計測される．実際に実験を行ったところこういった異常やノイズが発生することがわかったが，これらはデータ処理によって異常やノイズと認識できると考えている．

5.3 水中のカメラ画像

図 7 に水中に設置したインターバルカメラで撮影した写真を示す．(a)，(b) ともに産卵場所である貝に寄ってきているオスのニッポンバラタナゴが多数撮影されている．(c) は 9 月に撮影された画像であり，稚魚が撮影されている．このようにオスの婚姻色への変化を確認できる画像や，産卵管の伸びたメス画像，稚魚の画像が撮影できた．しかし，カメラを水中に設置して約 2 週間が経過すると，カメラの防水カバーに藻が生えて画像が不鮮明になり，4 週間が経過するとほとんど魚が撮影できなくなった．このため，定期的にケースを交換して実験を継続した．また，雨などで池が撹拌されて濁った際にも不鮮明な画像が撮影されることがあった．

6. センサデータの可視化

収集したセンサデータを可視化するため，二種類の可視化ソフトを作成した．一つは，リアルタイムにセンサデータを確認できる可視化ソフトであり，図 8 にスクリーンショットを示す．Android タブレットで動作し，水温に



(a) 2013 年 8 月 23 日 7 時 10 分

(b) 2013 年 8 月 23 日 9 時 20 分

(c) 2013 年 9 月 28 日 6 時 8 分

図 7 水中のインターバルカメラで撮影された写真

よって，画面上の池の写真の上に重ねて表示している色を変化させることで，指定した日時の水温の傾向を一目で確認できる．また，センサをタップするとそれぞれのセンサの一日のセンサデータがグラフで表示される．

もう一つは，すべてのセンサデータと水中で撮影したインターバルカメラの画像を同時に確認できる可視化ソフトである（図 9）．画面左上にインターバルカメラの画像が表示され，右側にセンサデータが種類ごとに表示される．画面下には，選択した一つの種類のセンサデータが拡大して表示される．このソフトを使うことで，カメラ画像で水が濁っている日の気候を確認したり，魚が特に多く撮影されている際の溶存酸素値を確認するなど，データの確認や比較が効率よく行えるようになった．

7. まとめ

本稿では，絶滅危惧種のニッポンバラタナゴが生息する池にセンサネットワークを構築し，生息環境をモニタリングした結果について報告した．生息環境モニタリングを行った結果，照度の産卵行動の影響が示唆されるなど，連続的に生息環境をセンシングすることには，魚の生息状態

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

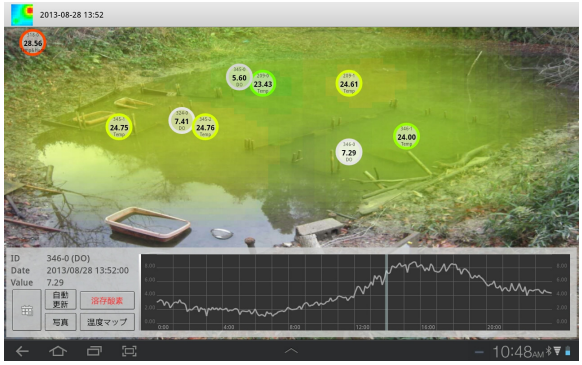


図 8 リアルタイム可視化ソフト

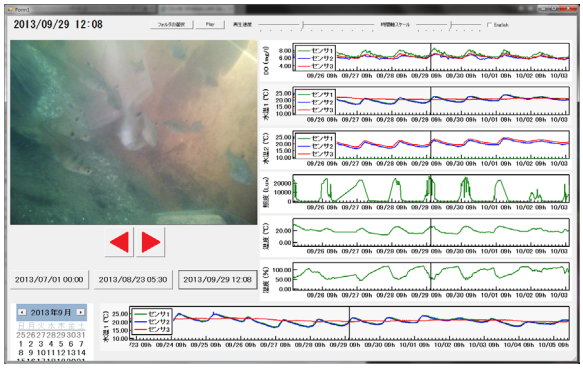


図 9 センサデータ可視化ソフト

を明らかにできる可能性があることを示せた．今後は，このような多系列のデータを処理することで，今までの週に一回の測定ではわからなかったような魚の生態を明らかにしていきたい．

今後は，安定してセンシングが行えるよう，システムや運用を改善し，その結果をもとにデータ分析に取り組む予定である．溶存酸素量の値が流水用のプローブを止水条件で使用しているために低くなることがある問題については，止水用のプローブは高価であることが多いため，安価なプローブであっても十分にセンシングが行えるようデータを補正するなど，試薬で測定した結果との比較検討を行う予定である．また，照度の生態への影響が示唆されたため，個々のセンシングポイントで照度を測定したり，溶存酸素量に影響を与える気圧についてもセンシングを行うことを検討している．

水中のカメラ撮影については，産卵対象である貝を固定しその前にカメラを設置することで，産卵行動に来たバラタナゴを鮮明に撮影できることが確認できた．今後は，文献 [1] にあるような濁った水であっても画像を自動で鮮明化できる画像処理アルゴリズムを用いることで，自動カウントや，オスメスを識別することが可能ではないかと検討している．

将来的には，ニッポンバラタナゴが繁殖しやすい環境を明らかにし，センシング結果から繁殖の容易さを予測したり，池の環境の改善に役立てたい．さらに，ニッポンバラタナゴの生息環境モニタリングと同様にして他の淡水魚の生息環境のモニタリングを行い，別の絶滅危惧種の保護や，センサネットワークを利用した生態解明に貢献できるよう研究を進めていきたい．

参考文献

[1] Ancuti, C., Ancuti, C.O., Haber, T., and Bekaert, P.: Enhancing underwater images and videos by fusion, in Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2012), pp. 81–88 (2012).

[2] 日本魚類学会自然保護委員会編: 見えない脅威 ”国内外来魚 ”どう守る地域の生物多様性, 北川忠生, 倉園知広, 池田昌史: 奈良県におけるニッポンバラタナゴの保全的導入, 東海大学出版, pp. 203–215 (2013).

[3] 三宅琢也, 河村功一, 細谷和海, 岡崎登志夫, 北川忠生: 奈良県内で確認されたニッポンバラタナゴ, 魚類学雑誌, Vol. 54, No. 2, pp139–148 (2007).

[4] 奈良県: 特定希少野生動植物ニッポンバラタナゴ保護管理事業計画 (2013).

[5] Naumowicz, T., Freeman, R., Kirk, H., Dean, B., Calsyn, M., Liers, A., Braendle, A., Guilford, T., Schiller, J.: Wireless Sensor Network for habitat monitoring on Skomer Island, in Proc. on IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN) 2010, pp. 882–889 (2010).

[6] 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のモニタリングシステムの構築, 近畿大学農学部紀要 (2014).

[7] Szewczyk, R., Osterweil, E., Polastre, J., Hamilton, M., Mainwaring, A., Estrin, D.: Habitat monitoring with sensor networks, Communications of the ACM, Vol. 47, Issue 6, pp. 34–40 (2004).

[8] Yanagisawa, Y., Kishino, Y., Suyama, T., Naya. F., Terada. T., Tsukamoto, M.: CILIX: a CIL Virtual Machine for Wireless Sensor Devices in Proc of International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'14) (2014, to appear).

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan