

センサネットワークによるクラウド型飼育環境共有システムの試作

Cloud-aquaculture environment sharing system using a sensor network

大塚 孝信*¹ 森 顕之*¹ 伊藤 孝行*¹
 Takanobu Otsuka Akiyuki Mori Takayuki Ito

*¹名古屋工業大学大学院 情報工学専攻/情報工学科/産業戦略工学専攻

Department of Computer Science and Engineering, Department of Techno-Business Administration, Nagoya Institute of Technology

In recent years, aquaculture and breeding of fish that require stable supply and high-value ornamental-fish is widely performed. However, in order to make aquaculture and breeding stable, large effort and expert knowledge are required. For this purpose, it is necessary for make aquaculture and breeding stable to get many parameters such as water changes, pH value, potassium level, water temperature. However, all the available parameters of the environment information is insufficient, such as hard or soft water, water temperature data of the habitat of a living body. Therefore, information is insufficient for use in aquaculture and breeding stable. In addition, even if there is no problem on the initial environment, there are also cases where environment individual is wiped out due to changes in the aquaculture environment. Therefore, sharing of aquaculture and breeding environment data becomes important. In this study, we propose a cloud-based system that can obtain the information from various sensors of expert breeding and aquaculture. Our implemented prototype system enables users to readily construct a difficult breeding environment by sharing these experts' data.

1. はじめに

本研究では、エキスパートの飼育情報を一般のユーザーが共有することのできるシステムを試作する。近年、食用として安定した供給が必要である魚類や、観賞用として価値の高い生体の繁殖や飼育が広く行われている [1]。しかし、安定した飼育や完全養殖を行うには専門的な知識と大きな手間が必要である [2][3]。さらに、近年では食用として人気のある天然まぐろなどの資源が減少しており [4]、成長過程で死亡する生体数を可能な限り減らすことが重要となっている。継続して安定した飼育を行うためには飼育環境の適切な管理が重要であり、水温や pH 値、及びカリウム値などの多くのパラメータを取得し、調整剤の投与などが必要である。しかし、特定の生体に対して参考となるパラメータの多くは生体の生息域から得られる水温データや軟水や硬水といった水質の参考情報のみであることが多く、飼育や繁殖に用いるには情報が少ない。また、閉じた環境である陸上の養殖場や水槽では、飼育当初は水質が安定していても、飼育環境の変化などにより飼育個体全滅といった事例 [5] もあり、飼育データの共有が重要である。水質管理については重要視されており、水質を測定することで飼育環境を把握することを目的とした研究が広く行われている。しかし、飼育情報は共有されておらず、経験と知識によって水質を管理している。本研究では、エキスパートが飼育に用いている水槽内の各種センサ情報に基づき、飼育難易度の高い生体に適した飼育データをネットワークを介し共有する。他のユーザーが共有した飼育環境データを、ユーザー自身の飼育環境に反映することで飼育難易度の高い生体の飼育に適した飼育環境を容易に構築可能なシステムを試作した。本論文の構成を示す。まず、2章で本研究と関連する先行研究を紹介し、本研究の位置づけを示す。そして、3章で実装した環境情報収集センサノード及び、サーバアプリケーションについて述べ、4章においてユーザー間の情報共有及び、異常時の通知機能の詳細について述べる。そして最後に、5章で本稿のまとめと今後の課題を示す。

連絡先: 大塚孝信, 名古屋工業大学, 愛知県名古屋市昭和区御器所町, otsuka.takanobu@nitech.ac.jp

2. 関連研究

2.1 養殖支援を目的とした研究

食用に適した魚類や甲殻類は広く養殖が行われており、近海にいけすを設置する養殖方法や、陸上において閉じた環境である水槽や溜池などを建設し、養殖を行う方法などがある。養殖の水質管理については重要視されており、水質を測定することで飼育環境を把握することを目的とした研究が広く行われている。近海において養殖を行う手法については、近海の水質や海水温を把握するために多くの研究が行われており、衛星画像を利用して海水温の分布を測定する研究 [10] や、音響信号を利用して、人工漁礁の効果を確認する研究 [11]、及び水温や海水の塩分濃度を小型観測ブイで収集する研究 [12] などがある。また、養殖の際の餌の食べ残しは水質悪化の原因となるため、餌の食べ残しを最小限にすることを目的とした研究 [14] も行われている。陸上において閉じた飼育環境を人工的に構築する飼育方法も広く行われている。閉じた環境である水槽内は海と比較して水容量が少ないため、飼育する生体の排泄物によって環境が悪化しやすい。そのため、近海での養殖と比較した場合、管理が難しい [6]。閉じた飼育環境における水質の測定項目には様々なパラメータが存在し、基本となる水温、pH 値の他に、飼育水の濁度を測定することを目的とした研究 [7] や、飲食店に設置されたいけす水槽内の塩分濃度を測定する研究 [8]、陸上に大型の水槽を設置し、水温や塩分濃度及び、溶存酸素濃度を測定する研究 [9] があり、ワイアレスセンサネットワークを用いた養殖場の水質環境を測定する研究 [15] もある。また、海水の環境においては塩分濃度の管理が必要であり、淡水の環境構築においては pH 値や飼育生体ごとの水温管理などが重要である。現在のシステムはどれもネットワーク化されておらず、自らセンシングしたデータを自身の養殖場で活用するのみである。そのため、飼育する生体の飼育環境をセンシングし、センシングされたデータを他の飼育者と共有することで、安定した飼育環境をより容易に実現できるシステムの構築が必要である。

2.2 個人向けの生態管理

2.1 項では業務用途における飼育環境管理の重要性について述べた。本項では個人向けの飼育環境管理について述べる。旧来より、観賞魚の飼育は趣味として広く行われている [17]。高価な観賞魚の代表例として、アジアアロワナが挙げられる。アジアアロワナは、ワシントン条約で輸入が制限され、流通の際には ID チップが埋め込まれ、価格が非常に高い [16]。高価な観賞魚を飼育する場合、長い飼育経験がない場合は水質ショックや飼育環境の悪化によりすぐに死亡させてしまうため、希少な生体の保護の観点からも飼育環境の管理が必要である。個人向けの飼育環境管理には多くの製品があり、代表的なものとして水温を管理するサーモスタットや照明照射時間の制御をするタイマ [21]、及びエキスパート向けに pH 値センサ [20] が用いられている。しかし、飼育環境のデータを数値として共有することは一般的に行われておらず、各自の経験に従って設定された水温や照明照射時間、及び pH 値を設定し、設定された値に合わせて機器が数値に合わせて制御しており、異常時には水槽近傍で警報音が鳴るのみである。また、最近では一部のユーザーによって開発された Arduino マイコンによって制御される飼育環境管理システム [18] も登場してはいるが、ユーザーによって設定された値に合わせて制御するのみであり、各自の飼育環境は数値データとして共有されていない。以上のように、個人用途においても、飼育する生体の飼育環境をセンシングし、センシングされたデータをネットワークを介し、他の飼育者と共有することで、安定した飼育環境をより容易に実現できるシステムの構築が必要である。我々は、水産資源の有効活用を目的とし、熟練者の飼育環境のデータをクラウドサーバへ送信するセンサノードと、飼育情報の閲覧及び共有が可能なサーバアプリケーションについて試作した。

3. 飼育環境収集センサシステム

3.1 飼育環境把握に必要なとされるパラメータ

飼育環境の維持のためには水質を測定し、継続的な水質変化を数値として取得する必要がある。水質の確認のために用いられる試験紙 [19] の項目を挙げると、“水温”、“pH 値”、“塩分濃度”、“KH 炭酸水素イオン量”、“NO₂ 亜硝酸塩濃度”、“Ca カルシウム濃度”、“NO₃ 硝酸塩量”と、水質の維持のためには多くのパラメータが必要となる。淡水か海水環境の違いや、飼育する生体によって必要なパラメータは異なるが、これらを測定することで、多くの生体に対応できる。我々はまず、水温センサを用いたセンサノードを試作するとともに、飼育環境共有システムを構築し、機能の確認を行った。

3.2 試作したセンサノード

我々は、飼育環境データを取得するため、センサ情報を取得し、サーバへ送信するセンサノードについて試作した。センサノードは、多様なセンサデータを取得可能な汎用性の高い Arduino マイコンを使用している。Arduino マイコンの特徴として、多様なセンサを接続できることにある。我々はまず、水温センサのみを接続し、飼育環境共有システムの機能を確認した。試作品の構成を以下に示す。

- マイコン：Arduino Ethernet
- 温度センサ：Maxim 社 DS18D20 1Wire 温度センサ

本センサノードは、Arduino に接続された各種センサ情報をサーバへ送信することを目的としている。センシングデータは 1 分ごとにサーバへ送信され、データベースに蓄積される。

現在は温度センサのみ接続しているが、多様なセンサを容易に接続することが可能である。さらに、リレー等を使用することにより、照明機器やヒーターなどの外部機器を制御することも可能としている。

試作したセンサノードを図 1 に示す。現在は研究室内に設置

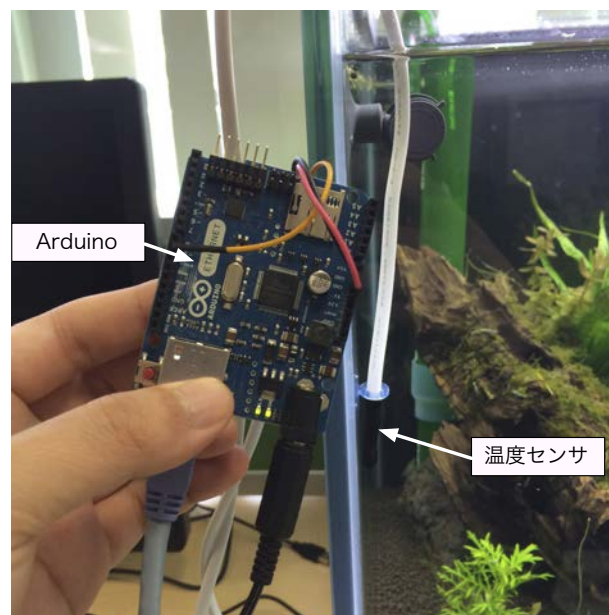


図 1: 試作したセンサノード

した水槽の温度データを取得し、サーバへ送信している。使用している Arduino マイコンには、デジタルセンサ最大 14 個とアナログセンサ最大 6 個を接続することができる。そのため、飼育する生体に応じ、必要とするセンサを自由に接続することが可能である。また、照明機器の制御や給餌器の制御を行うことで、照明照射時間や給餌量の把握も可能なシステムとしている。

3.3 サーバアプリケーションの実装

我々は、自身の飼育環境に接続されたセンサ情報の閲覧や、エキスパートの飼育環境データを容易に閲覧可能なサーバアプリケーションを実装した。本アプリケーションは主に Ruby on Rails にて実装され、水温や水質の急激な変化などの異常発生時の通報先や、飼育環境や飼育している生体を登録するユーザー管理機能、センサデータを時系列で表示するグラフ機能とセンサ名称等を管理できるセンサ管理機能を有している。センシングしたデータは、SQLite にて実装されたデータベースに格納され、日時を指定して.csv 形式での書き出しも可能としている。また、あらかじめ指定した水温や水質などの数値から逸脱した場合、SMS や e-mail で通報する機能についても実装した。サーバアプリケーションの概要を図 2 に示す。サーバアプリケーションは web での使用を前提としており、ユーザーは UI を介し、警報時の通報先 e-mail アドレス、SMS 送信先携帯電話番号の登録及び変更やセンサ情報の閲覧を行うことができる。さらに、センサノードから送信されるデータ種別や、センサの所有者についてもユーザーが自由に登録することができる。また、ユーザーは自身が飼育する生体の情報や、床材及び、濾過の方式等を自由に記述することが可能である。さらに、個別のセンサをグループとして登録することで、グループ

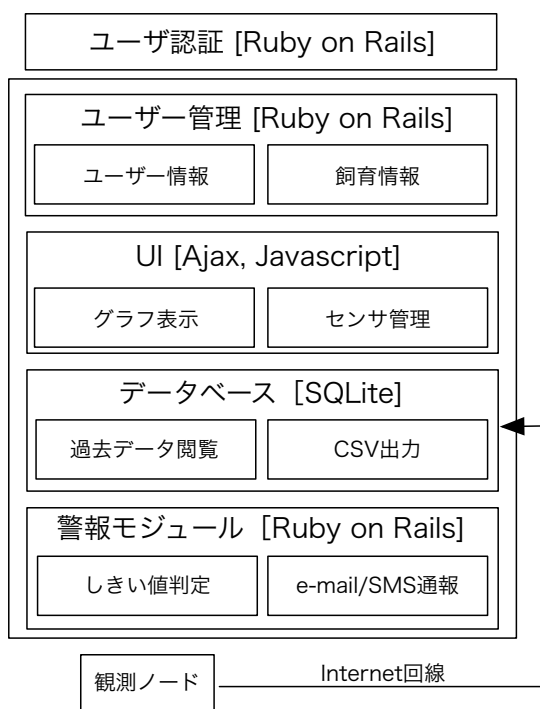


図 2: サーバアプリケーションの概要

内の他のセンサ情報との比較や、各センサ毎のしきい値の設定を行うことを可能としている。現在では、一定のしきい値による通報機能のみ実装されており、あらかじめ設定した値から外れた場合には、ユーザーに対し SMS や e-mail で通知する。通報機能により、機器の故障や近くで殺虫剤が使用されたりといった、想定外の異常に早急に対応することができる。

4. 情報共有機能とその必要性

4.1 飼育環境の情報共有

2章で述べたとおり、現代の養殖業や観賞魚の飼育には経験や勘ではなく、各種センサ情報を基にした数値管理が不可欠である。しかし、熟練した飼育者の飼育情報は共有されておらず、熟練者の知識を共有することができない。我々の研究では、センサ情報に加え飼育する生体や飼育環境のパラメータも同時に閲覧可能としたことで、目的とする生体に適した飼育環境データを共有できる。本共有機能により、エキスパートによる飼育困難な生体に適した飼育情報をユーザーが共有することで、飼育困難な生体の飼育や、安定した飼育環境の構築が容易になる。エキスパートは通常、多くの経験を持っており、継続的に飼育環境を維持することで繁殖や稚魚からの成長を実現させている。また、換水の頻度や換水量、薬剤添加のタイミングについても多くのエキスパートが独学によって築きあげてきた。これらの手法は、web 等で公開されているものもあるが、数値データでは記載されていない。そのため、実際にエキスパートの飼育環境データを取得することで、他ユーザーの飼育環境を定量的に制御することができ、目的とする生体に適した飼育環境を構築することが容易となる。飼育情報共有のイメージを図3に示す。エキスパートは、自身が飼育している生体の種類及び飼育数をユーザー情報として登録する。また、1つの水槽に設置しているセンサ全てを1つのグループとして設定する

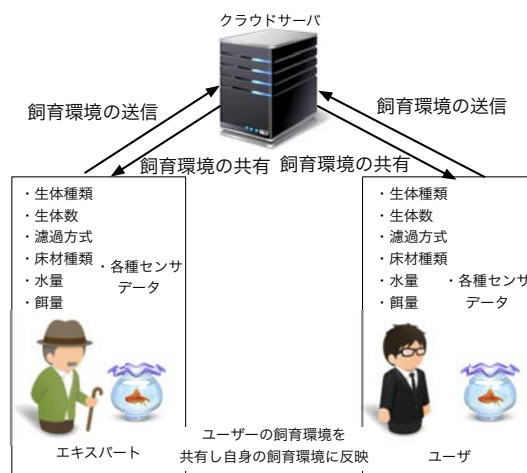


図 3: 飼育情報共有のイメージ

ことで、飼育環境ごとにセンサデータを一元管理することができる。一般のユーザーは、自身の目的とする生体に合わせ、多数のエキスパートの飼育環境情報の中から目的に合わせ、お気に入りに登録する。お気に入りに登録した飼育環境情報はいつでも見ることができ、一般のユーザーが必要なときに自身の飼育環境と比較することができる。我々は実際に研究室に設置した水槽にセンサを設置し、飼育環境データの取得と、飼育情報共有機能についての実験を行っている。図4にシステムインターフェースを示す。画面右側に、自身の所有する飼育環

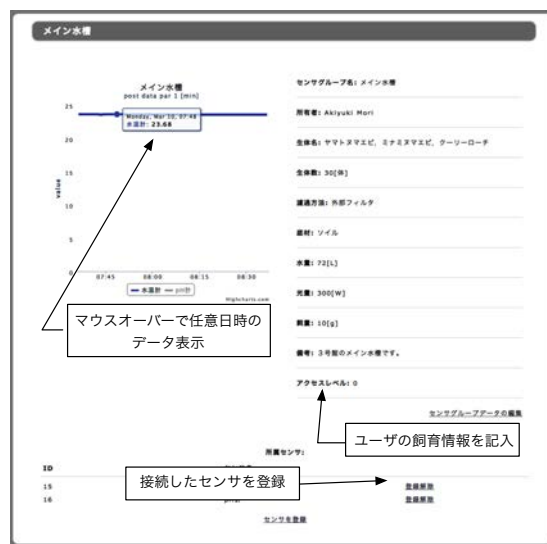


図 4: システムインターフェース

境にて飼育する生体や飼育数、及び濾過方式や床材などの飼育環境データについて入力する。画面左側はグラフ表示エリアとなっており、水温をはじめとした自身の登録センサの情報を閲覧することができる。グラフ表示には Highcharts[22] を用いており、マウスオーバーすることで任意のデータを閲覧することができる。また、センサを追加した場合については、センサの id 登録や単位の設定を容易に行うことができ、画面下部の

センサ登録ボタンより自身の飼育環境データとして登録することができる。これらの飼育情報は、ユーザーの飼育環境毎にリスト表示され、他ユーザーから自由に閲覧することができる。そのため、従来は個人の知識によって制御されていた飼育環境データを多数のユーザーで共有することができるため、良好な飼育環境を容易に実現可能なシステムを実装した。

5. まとめと今後の課題

本研究では、エキスパートが飼育に用いている水槽内の各種センサ情報に基づき、飼育難易度の高い生体に適した飼育データを他のユーザーが共有することで、飼育難易度の高い生体の飼育に適した飼育環境を容易に構築可能なシステムを試作した。本システムにより、従来は個人の知識によって制御されていた飼育環境データを多数のユーザーで共有することができ、より良好な飼育環境の構築が容易になる。そのため、高価な生体や絶滅が危惧されている生体などを安全に、継続して飼育していくことが可能になると考える。また、長期間にわたってセンシングデータを収集することで、従来は繁殖の難しかった生体の繁殖条件の解明にも役立つ。今後はセンサの追加及び、実際の飼育環境データを協力者の水槽より取得することで、実フィールドで役立つシステムを実装していく。

また、取得した飼育環境データを用いて、換水の頻度や、水質異常発生時の薬剤添加量の制御、飼育環境悪化の予測を行っていく。

参考文献

- [1] 農林水産省広報誌, "aff(あふ)", 2013年3月号特集1 養殖技術開発の最前線(1), 2013, 農林水産省
- [2] 宮下盛. "海面魚類養殖施設の歴史と網生簀式養殖." *Journal of Fisheries Technology* 1.1 (2008): 13-19.
- [3] Swann, LaDon, and Illinois-indiana Sea. "A Basic Overview of Aquaculture: History-Water Quality-Types of Aquaculture-Production Methods." (1992).
- [4] 出村雅晴. "クロマグロの資源問題とわが国マグロ養殖をめぐる動向." *農林金融* (株式会社 農林中金総合研究所編) 農林中央金庫, 東京 50 (2010): 61.
- [5] 望月聖子, and 大原健一. "室内飼育におけるウシモツゴの繁殖特性." *岐阜県河川環境研究所研究報告= Report of Gifu Prefectural Research Institute for Freshwater Fish and Aquatic Environments* 56 (2011): 15-21.
- [6] Brune, David E., and Joseph R. Tomasso. *Aquaculture and water quality*. Vol. 3. World Aquaculture Society, 1991.
- [7] 川上高志, 松山優治, 川尻正博, 鈴木基生, 藤田信一, 杉山正憲, "Aqua e monitor を利用した養殖施設の水質管理", *海洋調査技術学会研究成果発表会講演要旨集*, 2001, Vol.13, pp.41-42
- [8] 竹内正美, "水産業における用排水処理", *環境技術*, 1994, Vol.23
- [9] 八藤真, "閉鎖循環式陸上養殖場での水管理技術について (特集 水質から見た上手な魚の管理)", *養殖*, ISSN 00440671, 緑書房, 2005, Vol.42, No.11, pp.25-27.
- [10] 齊藤誠一, "リモートセンシングの漁業・増養殖業への社会的貢献", *日本リモートセンシング学会誌*, 社団法人日本リモートセンシング学会, 2011, vol.2, pp.235-239.
- [11] 和田雅昭, 畑中勝守, 戸田真志, "養殖漁業支援のためのユビキタスブイの開発", *情報処理学会論文誌*, 社団法人情報処理学会, 2008, vol.49, No.6, pp.1833-1833.
- [12] 濱野明, 中村武史, "音響リモートセンシングとGISを用いた人工漁礁効果の定量的評価法に関する研究", *水産庁 水産基盤整備調査委託事業報告書*, 独立行政法人水産大学校, 2003
- [13] 高山正樹, 大島毅, "養殖モニタリングシステム", *日本無線技報*, 日本無線株式会社, No.44, 2003.
- [14] 永富忠良, "養殖環境保全に貢献する残餌センサー付自動給餌機", *ヤマハ発動機株式会社技術報告書*, ヤマハ発動機株式会社, 2003.06.17.
- [15] Ma, Daokun, et al. "Wireless sensor network for continuous monitoring water quality in aquaculture farm." *Sensor Letters* 8.1 (2010): 109-113.
- [16] 木島康雄. *すぐに役立つ最新版ペットトラブルと動物取扱業の法律しくみと申請手続き*. 三修社, 2007.
- [17] 岩倉由貴, "生体販売の歴史の変遷." *札幌大学総合論叢* 32 (2011): 65-87.
- [18] My Arduino Aquarium Controller, "<http://forum.arduino.cc/index.php/topic,7807.0.html>", 2014.03.06 閲覧
- [19] テトラ テスト試験紙, スペクトラム ブランズ ジャパン株式会社, "<https://spectrumbrands.jp/aqua/products/treatment/>", 2014.03.07 閲覧
- [20] エコペーハー, 株式会社マーフィード, "<http://aquainterior.marfield.co.jp/products/quality/ecoph.html>", 2014.03.10 閲覧
- [21] アクアクロック デュアルタイマー, GEX 株式会社. "https://www.gex-fp.co.jp/fish/catalog/light/aquaclock_dualtimer.html", 2014.03.10 閲覧
- [22] Highcharts JS, Highsoft corp., "<http://www.highcharts.com/>", 2014.03.10 閲覧