

水産業の生産効率改善を目的とした 海水温情報告知伝達システムの開発

阿草 裕¹ 藤橋 卓也² 遠藤 慶一¹ 黒田 久泰¹ 小林 真也¹

概要：養殖漁業においては、現場周囲の海域における海水温情報が非常に重要である。水温を知ること、魚病対策や、赤潮の発生予測を行うことができるからである。しかし、愛媛県では、調査船による定点調査や水温観測装置による測定で得られた水温データが、時間的・空間的に連続したデータとして不十分であるという問題があった。また、収集した水温情報を漁業従事者へ告知伝達する手段も確立できていなかった。そこで本研究では、多深度のセンサーネットワークシステムと本ネットワークシステム上で収集した水温情報を可視化するシステム(海水温情報告知伝達システム)を構築した。本告知伝達システムでは、Web ブラウザから、最新の水温情報や水温の時間変化を表、グラフ、および三次元温度分布図の形で見ることができる。漁業従事者は、本システムを利用して水温状況を把握することで効率的な漁業を行うことができるようになった。本システムに対するユニークアクセス数は毎日 300~700 件程度となっており、愛媛県宇和海の養殖漁業者数を踏まえると本システム実装が養殖漁業に与えた影響は大きいと言える。

Development of Seawater Temperature Announcement System for Improvement of Production Efficiency in Fishery Industry

Yu Agusa¹ Takuya Fujihashi² Keiichi Endo¹ Hisayasu Kuroda¹ Shinya Kobayashi¹

1. はじめに

国際連合が発表した、世界人口予測 [1] によれば、世界の人口は 2017 年時点で 75 億人を超え、2050 年には 98 億人、2100 年には 112 億人に達するという。世界人口の増加により危惧されるのが、食糧難である。そのような状況において、養殖漁業は重要な食糧供給源の 1 つとなっている。日本においては、魚価の低迷や餌代の高騰、養殖漁業従事者の高齢化等が原因で、漁獲量等が低迷しているものの、世界の食糧情勢から、今後養殖生産の重要性が高まってくるものと思われる。

愛媛県は、全国の中でも屈指の生産高を誇る水産県である。その生産を特に支えているのは、宇和海域での養殖漁業である。えひめの水産統計によれば、平成 28 年度の愛

媛県の年間生産高は約 913 億円 [2] で、そのうち、宇和海域での養殖漁業による生産高は約 618 億円 [3] であったという。

養殖漁業において、重要な情報の 1 つに、水温情報がある。水温情報を知ることができれば、養殖漁業において大きな障害となる魚病による被害の抑制や、赤潮の発生予測等を行うことができるからである。愛媛県における水温情報の収集に関しては、愛媛県水産研究センターの調査船が、1 ヶ月に宇和海域一円、24 ヶ所の定点で水温の調査を実施している。また、愛媛県・愛媛大学・水研機構が連携して、5 基の水温連続観測装置を設置し、水温の測定を行っている。しかし、この監視体制は宇和海域全域を包囲できるものではない上に、宇和海では潮の流入により短い期間で水温が大きく変化するため定点調査ではとらえきれない等、時間的・空間的に連続したデータとしては不十分であるという問題があった [4]。

本研究では、宇和海に多深度のセンサーネットワークシステムを構築し、漁業従事者および水産研究者の要望に基

¹ 愛媛大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

² 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

づき、本ネットワークシステム上で水温情報を収集・蓄積し現況情報として可視化・情報発信する海水温情報告知伝達システムを構築した。

本稿は、本研究で開発した海水温情報告知伝達システムの概要および実装機能の詳細を述べ、システム要求項目の満足性評価やシステム有効性の量的評価の概要および結果・考察を踏まえて、本システムについて議論するものである。

2. 研究背景

2.1 情報システムの価値

情報処理学会・情報システムと社会環境研究会が発表している、情報システムの有効性評価のガイドライン [5] [6] によれば、情報システムとは、企図する者(施主)が一定の意図を持って、個人、または組織の活動に変化をもたらそうとする個別一回性をもった働きかけである。ただ、複数のプログラムを組み合わせただけで、社会に対しよい影響がないのであれば、情報システムとしての価値は何一つとしてない。情報システム構築に際しては、要素技術としての新規性や、機能そのものの新規性は必ずしも要求されない。それよりも、情報システムの実装によって、社会にどのようなよい変化が生じたか、すなわちシステムの有効性が重視されるべきである。

本研究では、養殖漁業における問題に着目し、漁業従事者および水産研究者にとってよい効果をもたらす情報システムについて議論する。

2.2 水産業における ICT の利活用

愛媛県の宇和海は、養殖漁業に非常に適した海域とされている。養殖漁業を行うには、波が穏やかなリアス式海岸が適しているとされているが、そのような形状の湾は、通常であれば海水が停滞し、養殖魚からの排泄物等による富栄養化が進行するため、漁業に多大な被害を及ぼす赤潮が発生しやすくなってしまう欠点がある。しかし、宇和海では、海面付近で急潮と呼ばれる高温の潮が流入する特徴があり、急潮が湾内の海水を速やかに入れ替えるため、富栄養化が抑制される。また、海底付近では、底入り潮と呼ばれる低温の潮も流入しており、バランスの良い栄養を宇和海や瀬戸内海へ供給している。宇和海へ流入する急潮や底入り潮は、宇和海における生物生産に大きな影響を与えている [7]。

愛媛大学は、宇和海域の養殖生産を支援するため、水研機構の協力を得て、海域の変色情報や海中のプランクトン濃度情報を現場の漁業従事者へ告知伝達する仕組み [8] や、赤潮の発生予測を同じく告知伝達する仕組み [9] の構築等に取り組んでいる。

本研究では、それらの取り組みのうち、海水温情報を告知伝達する仕組みの構築について取り扱う。



図 1 水温観測装置の配置

2.3 養殖漁業および水産研究における水温情報の重要性

養殖漁業においては、現場周囲の海域における水温情報が非常に重要である。その理由は2つある。1つ目は、養殖漁業に多大な被害を与える魚病が発生しやすい水温帯が存在することである。魚病の発生により弱った魚に対しては給餌量を抑える必要があり、必要以上の餌を与えてしまうと、魚の健康状態の悪化・病死に繋がってしまう。しかし、現場の水温を知ることができれば、それが魚の健康状態を知る指標となり、魚病による被害を抑えることが可能となる。2つ目は、多深度の水温を知ること、潮の流れを把握できることである。潮流が養殖漁業に与える影響度合いはその時間や流入の厚み、範囲によって異なり、潮流状況に応じて給餌量の調整等を行う必要がある。現場の水温を知ることができれば、その対応を柔軟に行うことができる。

また、水産研究においても水温情報は重要視される。過去の水温の時間変化から、潮流を把握し、海洋物理学的観点から赤潮の発生予測を行うことができるからである。

2.4 愛媛県の養殖漁業における水温告知伝達の問題

本研究において提案するシステムが構築される前の状況を、漁業従事者および水産研究者の観点から述べる。

提案システムが構築される前、漁業従事者は自身の現場の水温を知る手段がなく、現場の気温により、水温を推測していた。しかし、宇和海域は急潮や底入り潮の流入により水温変化が激しいため、実際の水温は漁業者の推測とは大きく異なるものであった。

この問題に対し、水産研究者は1ヶ月毎に宇和海域一円、24ヶ所の定点で水温の調査を行っていた。また、海上に水温観測装置を5基設置(その配置は図1参照)し、1時間毎に水温を測定・蓄積していた。

しかし、急潮は多くの場合、2週間間隔で発生するため、1ヶ月毎の定点調査ではとらえきれないという問題や、5基の水温観測装置だけでは、宇和海全域を包囲するものと

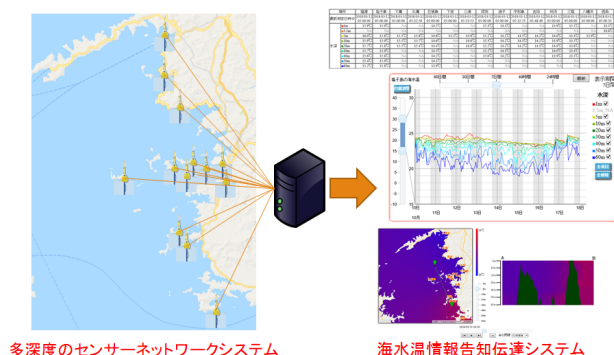


図 2 提案システム全体像

表 1 提案システム vs 赤潮ネット

	提案システム	赤潮ネット
測定水深数	最大 8 層	1 層のみ
測点周囲の水温推定	○	×
水温予報提供	×	○

なっていないという問題があった。

また、測定された水温情報を即時漁業従事者へ告知伝達する手段も確立できていなかった。

2.5 提案システム概要

水温情報告知伝達に関する問題に対し、本研究では、図 2 のような情報発信システムを提案する。

まず、2019 年 1 月現在 16 基 (配置は図 1 の通り) の水温観測装置からなる、多深度 (最小:1m, 最大:60m) のセンサーネットワークシステムを構築する。本ネットワークシステムを構築することにより、宇和海全域を包囲、かつ上層および下層の潮流状況の把握が可能となる。本ネットワークシステム構築の際、水温観測装置の設置に多大なコストを要するという問題があったため、安価でかつ漁業従事者および水産研究者が得る水温情報として十分な精度をもつ水温観測装置が開発された [10]。

次に、漁業従事者および水産研究者の要望に基づき、センサーネットワークシステム上で収集・蓄積された水温情報を現況情報として可視化・情報発信する海水温情報告知伝達システムを構築する。本システムを構築することにより、測定された水温情報を即時漁業従事者へ告知伝達する手段を確立させる。

2.6 類似システムとの比較

提案システムに類似したシステムに、『赤潮ネット』 (<http://akashiwo.jp/>) という Web システムがある。本システムでは、有明海、八代海、および瀬戸内海の水温情報と 1~2 週間後の水温予報を提供している。表 1 は、提案システムと赤潮ネットの違いをまとめた表である。

提案システムでは、現時点で水温予報は提供していない。一方で、測点周囲の水温を推定し、漁業従事者へ提供する

機能を実装している。また、赤潮ネットでは、各測点につき 1 層の水深の水温情報しか提供されていないが、提案システムでは、最大 8 層の水深における水温情報を提供している。

2.7 研究目的

2.5 節で述べた提案システムを利用して、宇和海における水温の現況情報や時間変化を漁業従事者および水産研究者へ迅速に告知伝達することにより、養殖漁業において、そのコストの大半を占める給餌の効率化、養殖生産に甚大な被害をもたらす海域現象である、赤潮による被害の回避や、魚病への対策等に繋げることが可能となる。また、沿岸漁業においても、高価であるとされる『豆アジ』のように黒潮に乗って宇和海に運ばれる魚の効率的な漁獲や資源管理ができることが見込まれている。

本研究では、提案システムを実装することで、宇和海における水産業の生産性向上に貢献することを目的とする。

2.8 研究目標

本研究では、提案システムの構成要素のうち、海水温情報告知伝達システムについて議論する。

本システム実装に際し、漁業従事者および水産研究者へのヒアリングから、以下の 2 つの要求項目を定めた。

要求項目 1 海域の空間的広がりを見点とした海水温の現況情報および時間変化の可視化

要求項目 2 過去の測定データを利用者の端末へ保存

本研究では、上記 2 つの要求項目を満たす海水温情報告知伝達システムを開発し、そのシステムの有効性 (漁業従事者および水産研究者にとってよい効果をもたらすものであること) を示すことを目標とする。

3. 海水温情報告知伝達システム

3.1 システム概要

海水温情報告知伝達システムは、水温観測装置によって測定された水温データを、迅速に漁業従事者および水産研究者へ告知伝達することを目的とした情報発信システムである。

本システムは、海水温情報蓄積システムと海水温可視化システムの 2 つのサブシステムで構成されている。海水温情報蓄積システムでは、水温を測定した際、即時にデータの解読を行い、サーバ上にデータを蓄積する。海水温情報可視化システムは、サーバ上に蓄積されたデータを読み込み、Web ページ上に表やグラフ、分布図の形式で表示する Web アプリケーションである。

3.2 海水温情報蓄積システム

水温観測装置には、30 分または 1 時間毎に測定を行い、測点毎に異なる送信専用メールアドレスより、測定データ

が記述された電子メールを指定したメールアドレスへ送信するタイプのものと、10分毎に測定を行い、通信モジュールよりサーバと通信し、サーバ上に測定データを保存するタイプのものがある。

海水温情報蓄積システムでは、前者に該当する水温観測装置より送信された電子メールに対し、受信したタイミングでその内容の解読を行い、データ部分を抽出する。抽出されたデータが、装置が設置されてから初めて測定されたデータであった場合、サーバ上にテキストファイル(ファイル名を送信元メールアドレスと同一とする)を作成し、そのファイルにデータを記述する。そうでない場合は、サーバ上にある、送信元メールアドレスと同一のファイル名であるテキストファイルへデータを追記する。以上の方法により、サーバ上にデータが蓄積されていく。

3.3 海水温情報可視化システム

海水温情報蓄積システムによってサーバ上に蓄積されたデータは、海水温情報可視化システムを通して閲覧することができる。本システムは、いつでも、どこでも使えるようにするため、Webアプリケーションとして開発することで、マルチプラットフォームに対応させる。本システムを起動(Webページにアクセス)すると、サーバ上に保管されているデータが読み込まれる。その後、読み込まれたデータから動的な表やグラフ等が作成され、Webページ上に表示される。

漁業従事者からは簡素な表示、水産研究者からは詳細な表示が求められていることから、Webページの構成は、一般公開用のページと水産研究者専用のページの2つとした。各ページでは、ボタンにより、『現在の状況』(各測点の、最新測定日時における測定データの表示)、『過去の状況』(各測点の、過去の測定データや、海水温の時間変化の表示)へ表示を切り替えることができる。

3.4 要求項目

ここで、漁業従事者および水産研究者へのヒアリングから定めた要求項目を再掲する。

要求項目 1 海域の空間的広がりを視点とした海水温の現況情報および時間変化の可視化

要求項目 2 過去の測定データを利用者の端末へ保存
これらの要求項目に加えて、簡便な操作で絞り込みが可能で、可視化されたデータが両者にとって見やすいものであり、かつその表示が短時間で完了できることが望まれる。

3.5 実装機能

要求項目 1 に対し、実装した機能は以下の5つである。

- 観測点の地図表示
- 測定データを表形式で表示
- 海水温の現況をグラフ表示

- 海水温の時間変化をグラフ表示
- 宇和海全域の海水温時間変化を温度分布図を用いて三次元的に表示

要求項目 2 に対しては、測定データを csv 形式で利用者の端末へ保存する機能を実装した。

3.6 実装機能の詳細

3.6.1 観測点の地図表示

本機能は、宇和海周辺の地図を用意し、各測点の位置を、ポイントとして表示する機能である。

3.6.2 測定データの表形式表示

本機能は、各測点の測定データを、『現在の状況』表示では図 3(a) のような、『過去の状況』表示では図 3(b) のような表形式で表示する機能である。各表は、測点の緯度の差異による海水温の変化を明細に把握できるようにするため、横を場所(測点)、縦を水深とした表とした。『過去の状況』表示では、スライダーを動かしたり、ボタンを押したりといった簡便な操作で、任意に指定した日時の測定データを見ることができる。

3.6.3 海水温現況のグラフ表示

本機能は、海水温の現況を、図 4 のようなグラフ形式で表示する機能である。グラフは、測点間の水温の変化と、水深の差異による水温の変化を1つのグラフで把握できるようにするため、縦軸を水温、横軸を測点とした折れ線グラフとし、水深毎に線の色を分けるようにした。また、これらの変化を、利用者が明細に把握できるようにするため、利用者が任意で、グラフの表示設定を変更できるようにした。表示する水深の選択をチェックボックス方式で、表示する温度範囲の調整をスライダー方式とすることで、簡便な操作でグラフの表示設定を変更できるようにしている。

3.6.4 海水温の時間変化のグラフ表示

本機能は、図 5 のように、測点毎に、過去の海水温の時間変化を、グラフ形式で表示する機能である。各グラフは、時間経過および水深の差異による水温変化を1つのグラフで把握できるようにするため、縦軸を水温、横軸を時間とした折れ線グラフとし、海水温現況のグラフと同様に線の色を分けるようにした。また、海水温現況のグラフ表示機能と同様、表示する水深の選択や表示する温度範囲の調整が可能のほか、短期あるいは長期の水温の時間変化を見たいという水産研究者の要望から、表示期間を24時間、48時間、7日間、30日間、60日間の5段階から選択できるようにした。表示期間の選択は、スライダー方式とすることで、簡便な操作で切り替えることができる。

3.6.5 海水温の時間変化の三次元的可視化

本機能では、図 6 のように、指定水深の平面温度分布図と、地図上で指定した2点の断面温度分布図を表示することにより、海水温の時間変化を三次元的に可視化できる。利用者は、表示水深や表示時刻を任意に変更することがで

[illegible]

図 3 測定データの表形式表示例

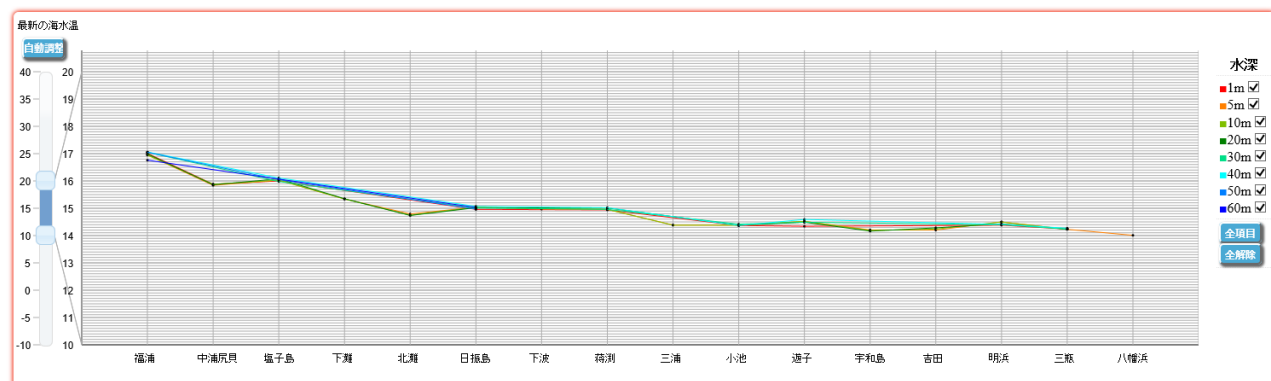


図 4 海水温現況のグラフ表示例

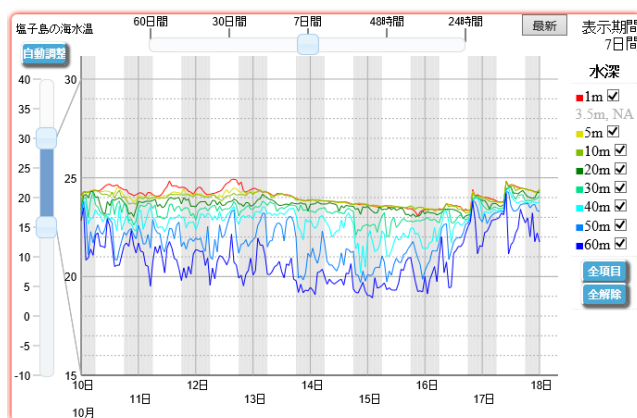


図 5 海水温の時間変化のグラフ表示例

きる。表示水深や表示時刻の変更は、スライダー方式とすることで、簡便な操作で変更することができる。また、利

用者が海水温の時間変化を容易に把握できるような工夫として、表示する温度分布図を利用者が指定した時間間隔で切り替えていく機能(アニメーション機能)を実装した。アニメーション機能では、動画再生ソフトウェアや、Webサイトでよく見られる動画再生インターフェースと同様の感覚で、温度分布図をアニメーションさせることができる。

本機能を実現するには、実測点を取り囲む領域内のある地点の水温を、周囲の実測点から得られる水温情報から推定(補間)する必要がある。本機能では、補間方法として、平面上に対しては逆距離加重法(Inverse Distance Weighted: IDW)を、深さ方向に対しては線形補間を用いる。図7は、簡単な補間イメージである。

IDW とは、ある地点のデータを推定したいとき、周囲に存在する実測点との距離の 2 乗の逆数を実測データに対し

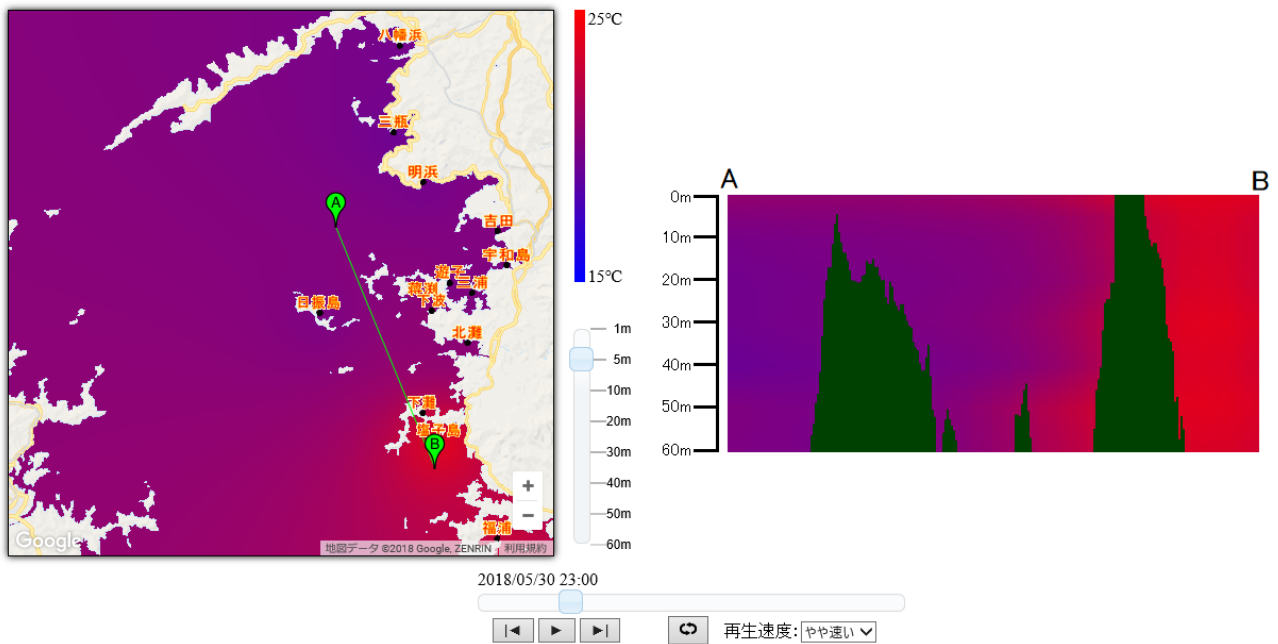


図 6 海水温の三次元的可視化機能 表示例

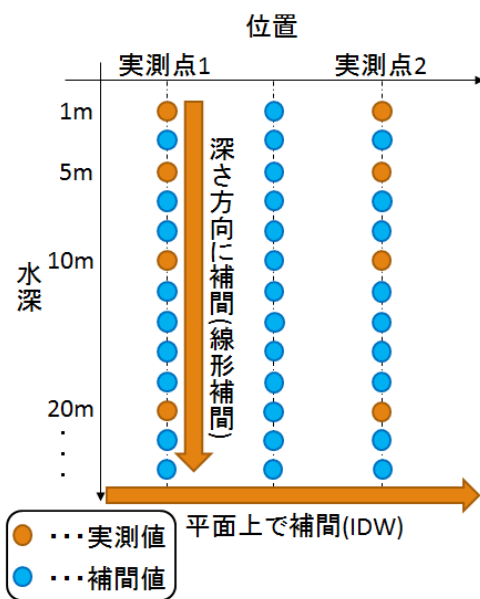


図 7 補間イメージ

加重することでその地点のデータを推定する方法である。本機能における平面上に対する補間では、地点 s における推定値を、以下の計算式により算出する。

$$\mu(s) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i(s) \mu_i}{\sum_{j=1}^n w_j(s)}, w_i(s) = \frac{1}{d(s, s_i)^2}$$

式中の n は測点数、 μ_i は i 番目の測点の実測値、 $d(s, s_i)$ は地点 s と測点 s_i の距離、 $w_i(s)$ は地点 s における測点 s_i の重みである。

線形補間は、2つの実測点の中間の1点における推定値を、近似的に一次式で表せるものとして推定する方法である。本機能における深さ方向に対する補間では、実測値

$\lambda(d_1), \lambda(d_2)$ の中間のある水深 $d(d_1 < d < d_2)$ における推定値を、以下の計算式により算出する。

$$\lambda(d) = \lambda(d_1) + \frac{\lambda(d_2) - \lambda(d_1)}{d_2 - d_1} (d - d_1)$$

分布図の描画を要求する度に補間計算を行う場合だと、表示に1分以上かかってしまう。そこで、毎時5分に起動され、補間データを作成後サーバに保存するプログラムを作成し、描画要求時には描画に必要な分だけ補間データを読み込むという仕組みにする。この工夫により、表示が要求される度に補間計算する場合に比べ約3分の1、20秒程度の時間で表示が可能となった。

3.6.6 測定データの保存

本機能では、測定場所と測定期間を指定し、ダウンロードと書かれたボタンを押すことで、その測定場所、測定期間内の測定データが csv 形式ファイルとしてダウンロードできる。具体的には、場所の指定をラジオボタン方式、期間の指定をテキストボックスとし、期間の入力時にはカレンダーを表示するようにして、利用者が簡便な操作でダウンロードを行えるようにした。

3.7 機能実装による状況変化

各機能実装によって、漁業従事者および水産研究者がおかれていた状況にどのような変化があったかを述べる。

3.7.1 観測点の地図表示機能実装による状況変化

本機能が実装される前、漁業従事者は設置されている水温観測装置の配置を知る方法がなかった。しかし、本機能が実装されたことによって、自身が受け持つ漁場の近くにある測点や、観測装置の設置状況をリアルタイムに知ることが可能となった。

3.7.2 表・グラフ表示機能実装による状況変化

表・グラフ表示機能が実装される前、観測装置によって測定された水温情報は、その設置に関わった水産研究者しか知り得なかった。しかし、本機能が実装されたことによって、漁業従事者は、今自身が受け持つ漁場近くの測点における水温がどうなっているのか、また、水温の時間変化がどうなっているのかを容易に知ることが可能となった。水産研究者も、動的な表やグラフを表示する機能が実装されたことによって、測定データからグラフ化等を逐一行う必要がなくなった。

3.7.3 三次元可視化機能実装による状況変化

観測点の地図表示機能や表・グラフ表示機能は、情報処理学会第 79 回全国大会 [11] での報告時点で実装された機能であり、本機能は、その報告以降新たに実装した機能である。

本機能が実装される前、漁業従事者および水産研究者は各測点の現況および時間変化しか見ることができなかった。しかし、本機能が実装されたことによって、推定の域ではあるものの、漁業従事者は自分の漁場の水温を把握できるようになり、水産研究者も、宇和海全域の水温状況を容易に把握することが可能となった。

3.7.4 測定データの保存機能実装による状況変化

本機能が実装される前は、測定データを収集し、1 つの (csv ファイルのような) ファイルにまとめる作業を、水産研究者が自ら行っていた。しかし、本機能が実装されたことによって、その手間が不要となり、水温情報の解析にかかる時間コストの削減に繋がった。

4. 評価

情報システムは、ただ複数のプログラムを作成して結合するだけでなく、実装によって社会によい変化をもたらされてこそ、価値があると認められる。そのため、情報システム構築に際しては、そのシステムの有効性評価が非常に重要である。

本研究では、海水温情報告知伝達システムの有効性評価にあたり、まず本システムが漁業従事者および水産研究者の要求に即したシステムであるか評価する。具体的には、両者へのヒアリングより定めた要求項目の満足性や、実装機能のうち、三次元可視化機能における補間精度を評価する。そして、本システムに対するユニークアクセス数や、利用者のアクセス状況を調査することで、本システム実装による影響を定量的に評価する。

4.1 要求項目の満足性評価

4.1.1 評価目的

本研究を進めるうえで開発した海水温情報告知伝達システムは、漁業従事者および水産研究者からのヒアリングより要求項目を定め、それらを満足すべく機能を実装したも

表 2 実行環境

CPU	Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU 3.40GHz
OS	Windows 10 Education
メモリ	16.0GB
ブラウザ	Internet Explorer 11.371.16299.0

場所	測点1	測点2	測点3	測点4	測点5	測点6	測点7	測点8
最新測定日時※	2018/05/08 04:00:00	2018/05/08 04:00:00	2018/05/08 04:00:00	2018/05/08 04:00:00	2018/05/08 04:00:00	2018/05/08 04:00:00	2018/05/08 04:00:00	2018/05/08 04:00:00
■1m	16.74°C	16.98°C	16.93°C	17.01°C	50.01°C	-7.50°C	-°C	Err
■3.5m	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
■5m	Err	18.76°C	14.33°C	16.98°C	17.01°C	50.50°C	-4.38°C	-°C
■10m	-°C	Err	10.11°C	5.23°C	24.12°C	28.72°C	50.33°C	-3.87°C
■20m	-6.98°C	-°C	Err	9.96°C	1.20°C	6.44°C	2.04°C	50.12°C
■30m	50.01°C	-6.81°C	-°C	Err	17.01°C	17.50°C	23.51°C	3.83°C
■40m	17.50°C	50.76°C	-7.03°C	-°C	Err	17.50°C	21.42°C	5.16°C
■50m	16.00°C	16.72°C	50.01°C	-6.90°C	-°C	Err	27.90°C	7.84°C
■60m	20.31°C	16.68°C	17.33°C	50.88°C	-7.01°C	-°C	Err	22.91°C

図 8 表示結果 (表の表示)

のである。両者にとってよい効果をもたらす情報システムを実現するためには、これらの要求項目が満たされていないなければならない。

そこで、本システムが、要求項目を満たすものかどうか、各機能のテスト検証により評価する。以下に、満たされるべき要求項目を再度示す。

要求項目 1 海域の空間的広がりを視点とした海水温の

現況情報および時間変化の可視化

要求項目 2 過去の測定データを利用者の端末へ保存

4.1.2 評価手段

表およびグラフ表示機能のテスト検証では、ダミーの水温データを用意し、そのデータを使って表やグラフを作成させる。これは、正の値・負の値・異常値・空白データすべてにおいて正確な出力ができていないかを検証するためである。そして、実行結果が、各機能それぞれに用意したテスト項目を満たしているか検証する。

測定データの保存機能のテスト検証では、実測データを用い、以下の条件下でデータのダウンロードが正常に完了するかテストする。

- 指定期間が選択した測点の測定期間内である場合
- 指定期間の始点が、選択した測点の測定開始日前の場合
- 測定期間の終点が、現在日時より後の場合

4.1.3 実行環境

本評価における実行計算機環境および使用ブラウザを、表 2 に示す。

4.1.4 評価結果・考察

表の表示機能のテスト検証に用いたダミーデータは表 3 の通りである。縦は水深、横は測点を示している。測定時刻は、2018 年 5 月 8 日の 4 時とした。図 8 は、表の作成を要求後に Web ページ上に表示された表である。表の表示機能のテスト検証におけるテスト項目および検証結果を表 4 に示す。検証結果欄の ○ は、該当テスト項目が満足していることを確認したことを表しており、すべてのテスト項

表 3 テスト検証に用いたダミーデータ (表の表示機能)

水深	測点 1	測点 2	測点 3	測点 4	測点 5	測点 6	測点 7	測点 8
1m	16.74	16.98	16.93	17.01	50.01	-7.50	空白	Err
5m	Err	18.76	14.33	16.98	17.01	50.50	-4.38	空白
10m	空白	Err	10.11	5.23	24.12	28.72	50.33	-3.87
20m	-6.98	空白	Err	9.96	1.2	6.44	2.04	50.12
30m	50.01	-6.81	空白	Err	17.01	17.50	23.51	3.83
40m	17.50	50.76	-7.03	空白	Err	17.50	21.42	5.16
50m	16.00	16.72	50.01	-6.90	空白	Err	27.90	7.84
60m	20.31	16.68	17.33	50.88	-7.01	空白	Err	22.91

表 4 テスト検証結果 (表の表示機能)

項目番号	テスト項目	検証結果
1	正常な海水温データの場合は、そのデータの値を正確に出力できていること	○
2	特定の水深の海水温データが空白である場合は、『-』を出力できていること	○
3	特定の水深の海水温データが破損している場合は、『Err』を出力できていること	○
4	測定を行っていない水深の欄では、『NA』を出力できていること	○

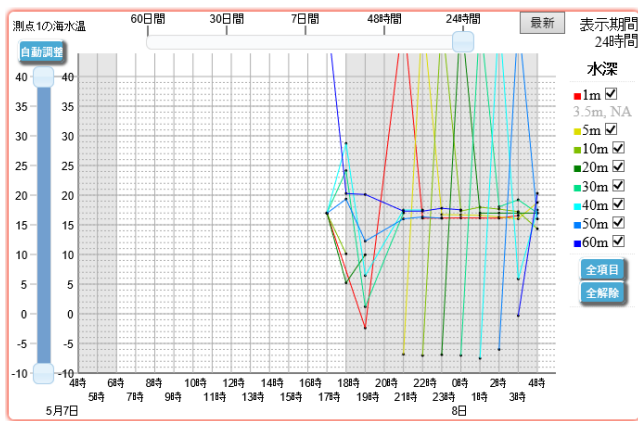


図 9 表示結果 (グラフ表示)

目を満たしていることを示している。

グラフ表示機能のテスト検証に用いたダミーデータは表 5 の通りである。縦は測定時刻、横は水深を示している。図 9 は、グラフ描画を要求後に Web ページ上に表示されたグラフである。テスト項目およびテスト検証の結果を表 6 に示す。検証結果欄の ○ は、該当テスト項目が満足していることを確認したことを表しており、すべてのテスト項目を満たしていることを示している。

測定データ保存機能のテスト検証の結果は表 7 の通りである。検証結果欄の ○ は、該当条件において、正常に動作したことを確認したことを表しており、すべての条件下において測定データのダウンロードが正常に完了できたことを示している。

4.2 三次元可視化機能における補間精度の評価

4.2.1 評価目的

海水温時間変化の三次元可視化機能の実装においては、本機能に適した補間アルゴリズムを検討した。結果、平面

上では逆距離加重法を使い、深さ方向に対しては線形補間を使うこととした。

本評価では、採用した補間方法が、真に三次元可視化機能に適した方法であるのか、その補間精度を評価することによって定量的に評価する。

4.2.2 評価手段

本評価は、2 回にわたって評価を行った。

1 回目の評価では、次の手順に従って評価を行った。

- (1) すべての実測点から、1 つ選択する
- (2) 補間する際に利用する実測点から、選択した実測点を取り除く (測定値がわからないと仮定する)
- (3) 選択した実測点の座標における推定値を算出し、実測値と比較する (誤差を算出する)
- (4) 1~3 をすべての実測点について行う

2 回目の評価では、全測点の実測データを用いて補間計算を行い、比較対象を水温観測装置によって測定されたデータではなく、水研機構の調査船による定点調査で得られた水温データにして評価する。具体的には、定点調査で得られた水温データと、その測定日時付近の補間データと比較し、その差を算出する。

4.2.3 評価結果・考察

表 8 は、1 回目の評価の際、補間計算に用いた実測データである。このデータは、2017 年 11 月 17 日の 18 時に測定されたものである。なお、表 8 中の “NA” は、該当水深の水温を測定するためのセンサーがないことを表している。表 8 のデータを用いて補間を実行し、各測点・各水深の実測値と補間値の差をまとめたのが表 9 である。各測点を取り囲む領域のうち、外郭部にあたる福浦では最大誤差が 1.390°C、中心部にあたる蔦渚では最大誤差が 0.166°C、その中間部にあたる明浜では最大誤差が 0.268°C となった。

2 回目の評価について、各深度における最大誤差をまと

表 5 テスト検証に用いたダミーデータ (グラフ表示機能)

測定時刻	1m	5m	10m	20m	30m	40m	50m	60m
2018/05/07 17 時	16.91	16.98	16.93	17.01	17.01	16.98	16.97	50.71
2018/05/07 18 時	空白	Err	10.11	5.23	24.12	28.72	19.34	20.28
2018/05/07 19 時	-2.38	空白	Err	9.96	1.2	6.44	12.25	20.12
2018/05/07 21 時	50.34	-6.81	空白	Err	17.01	17.50	16.01	17.31
2018/05/07 22 時	16.12	50.76	-7.03	空白	Err	17.50	16.33	17.31
2018/05/08 23 時	16.14	16.72	50.01	-6.90	空白	Err	16.12	17.79
2018/05/08 0 時	16.16	16.68	17.33	50.88	-7.01	空白	Err	17.53
2018/05/08 1 時	16.15	16.60	17.97	16.98	50.01	-7.50	空白	Err
2018/05/08 2 時	16.12	16.33	17.65	16.98	18.05	50.50	-6.00	空白
2018/05/07 3 時	16.56	16.02	17.22	16.98	19.22	5.88	50.00	-0.31
2018/05/08 4 時	Err	18.76	14.33	16.98	17.01	17.50	16.00	20.31

表 6 テスト検証結果 (グラフ表示機能)

項目番号	テスト項目	検証結果
1	すべての正常な海水温データに対して点を正確に出力できていること	○
2	点と点が抜けなく線で繋がっていること	○
3	特定の場所の海水温データや特定の水深の海水温データが存在しない、あるいは破損している場合は点を出力しないようにできていること	○
4	表示設定の変更を行っても、グラフ表示が正確に行えること	○



図 10 定点調査の実施位置

めたものが表 10 である。最も大きな誤差となったのは水深 10m における補間データであり、その誤差は 4.91°C であった。このような結果が出たのは、近傍の観測装置が不具合により誤った値を測定し、その測定データを補間計算に用いたことが原因であると思われる。表 11 は、水深 10m における誤差が最大となった実験データ (2018 年 8 月 1 日の 11 時に測定) を示したもので、図 10 は、その定点調査が行われた位置とその近傍の測点を示している。なお、この実験データでは、水深 40m 以降の定点調査データは存在しない。そして、本実験データにおける定点調査点最近傍の観測装置 (吉田) の 2018 年 8 月 1 日の 10 時から 12 時までの測定値を示したものが表 12 である。表 12 によれば、2018 年 8 月 1 日 11 時における吉田の測定値は、その

直近測定時刻における測定値より 3°C 以上高い値となっている。2 時間という短時間の間に水温が急上昇した後元に戻るという水温変化があったとは考えにくく、観測装置が誤った値を測定した可能性が高い。

近傍観測装置の誤測による影響が考えられる実験データを排除した場合の各深度における最大誤差は表 13 の通りである。近傍観測装置の誤測がなくとも、最大誤差は深度によっては 2°C を超えており、より精度の高い補間方法を考案する必要がある。

4.3 システム有効性の量的評価

4.3.1 評価目的

情報システムにおいて重要となるのは、システム実装によって、誰にとって、どのようなよい変化が得られたかを観察することである。本評価では、海水温情報告知伝達システムに対するユニークアクセス数の時間変化や、各利用者のアクセス状況を調査することで、本システムの実装が漁業従事者および水産研究者に与えた影響について考察する。

4.3.2 評価手段

ユニークアクセス数の時間変化の調査では、本システムに対するアクセスログ (アクセス時刻, IP アドレス等) を記録し、同一時間帯の同一 IP アドレスからのアクセスを 1 回とカウントしたユニークアクセス数を 1 日毎に集計する。そして、年間のユニークアクセス数の時間変化を調査し、その増減傾向から本システムの有効性について考察する。同一時間帯の同一 IP アドレスからのアクセスを 1 回とカウントするのは、本システムにおける水温情報の更新

表 7 テスト検証結果 (測定データ保存機能)

条件	検証結果
選択した測点の測定期間内である場合	○
始まりの日が、選択した測点の測定開始日前の場合	○
終わりの日が、現在日時より後の場合	○

表 8 補間精度の評価 (1 回目) に用いた実測データ

水深	1m	5m	10m	20m	30m	40m	50m	60m
福浦	23.26	23.26	23.21	23.24	23.18	23.11	23.00	22.01
塩子島	22.49	22.50	22.52	22.46	22.45	22.41	21.68	21.11
下灘	NA	21.61	21.65	21.63	NA	NA	NA	NA
北灘	NA	21.71	21.69	21.58	NA	NA	NA	NA
日振島	21.39	21.43	21.41	21.40	21.44	21.38	21.41	21.42
下波	NA	21.60	NA	NA	NA	NA	NA	NA
蔦刈	21.66	21.59	21.62	21.57	21.56	21.49	NA	NA
三浦	NA	21.57	21.55	21.53	NA	NA	NA	NA
遊子	21.70	21.65	21.65	21.63	21.66	21.64	NA	NA
宇和島	NA	21.71	21.66	21.47	NA	NA	NA	NA
吉田	NA	21.72	21.66	21.62	NA	NA	NA	NA
明浜	21.65	21.70	21.54	21.51	21.47	21.38	NA	NA
八幡浜	NA	21.01	NA	NA	NA	NA	NA	NA

表 9 各測点の実測値と補間値の差

水深	1m	5m	10m	20m	30m	40m	50m	60m
福浦	1.143	1.390	1.305	1.388	1.091	1.067	1.357	0.858
塩子島	0.310	0.805	0.797	0.764	0.321	0.342	0.841	0.722
下灘		0.619	0.629	0.591				
北灘		0.039	0.004	0.063				
日振島	0.473	0.284	0.334	0.293	0.347	0.350	0.625	0.068
下波		0.014						
蔦刈	0.064	0.029	0.033	0.041	0.124	0.166		
三浦		0.097	0.116	0.076				
遊子	0.010	0.032	0.040	0.070	0.065	0.115		
宇和島		0.042	0.016	0.141				
吉田		0.042	0.010	0.084				
明浜	0.074	0.070	0.128	0.103	0.224	0.268		
八幡浜		0.700						

表 10 各深度における最大誤差

水深	1m	5m	10m	20m	30m	40m
最大誤差	2.399	3.257	4.910	4.776	0.721	1.040

表 11 水深 10m における誤差が最大となった実験データ

水深	1m	5m	10m	20m	30m
定点調査データ	22.771	21.613	20.980	20.715	20.562
補間データ	24.130	24.870	25.890	25.060	20.870
(定点調査データ) - (補間データ)	-1.359	-3.257	-4.910	-4.345	-0.308

表 12 最近傍観測装置 (吉田) の実測データ

測定時刻	2018/08/01	2018/08/01	2018/08/01
	10 時	11 時	12 時
水深 5m	21.45	24.87	21.64
水深 10m	20.99	25.89	21.07
水深 20m	20.64	25.06	20.72

表 13 各深度における最大誤差 (近傍観測装置の誤測を排除)

水深	1m	5m	10m	20m	30m	40m
最大誤差	2.399	1.038	0.686	1.580	0.721	1.040

が最長で 1 時間毎であり、一度本システムへアクセスして、情報更新後に最新情報を確認するため再びアクセスす

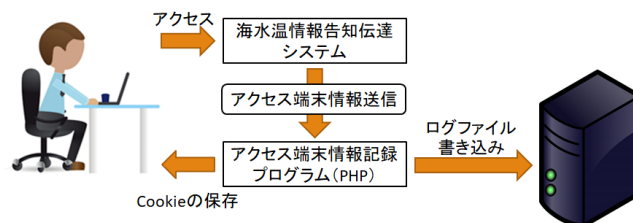


図 11 利用者のアクセス状況の調査方法

るという利用シナリオを考慮した集計を行うためである。なお、ユニークアクセス数の集計においては、漁業従事者および水産研究者の利用状況をできる限り正確に調査するため、検索ロボット・クローラーに該当する IP アドレスからのアクセスは除外して集計した。

利用者のアクセス状況の調査では、一人の利用者に着目して、1 日に何回アクセスしたか、1 日の中でいつアクセスしたのかを調査するために、Cookie と Web ビーコンを利用して利用者にユニーク ID を付与しつつ、アクセスログを記録する。Cookie は、サーバ側がクライアントの端末に一時的にデータを書き込んで保存させる仕組みのことであり、Web ビーコンは、アクセス解析対象のページにソースファイルをアクセス端末情報発信プログラムとした img タグを埋め込み、画像表示をトリガーとしてプログラムを起動することで、アクセス者に不審に思われることなく端末情報が抜きだせる、アクセス解析を行うための工夫の一つである。アクセスログ記録の仕組みを、図 11 に示す。

海水温情報告知伝達システムにアクセスすると、そのアクセス時刻や使用していたブラウザ、OS 等の端末情報を抜き取り、アクセス端末情報記録プログラムへと受け渡す。情報を受け取ったプログラムは、その情報をサーバ上のログファイルへ追記することで、サーバ上に蓄積する。初回アクセスの際には新しいユニーク ID を生成し、Cookie を利用して利用者の端末に保存する。以降、アクセスがあった際にはそのアクセス者の端末に保存されたユニーク ID を参照することで、どの端末からのアクセスであるかを特定できる。この仕組みを利用して、各利用者の直近 30 日間の時間帯毎のアクセス数 (同日の同一時間帯における複数回アクセスを 1 回とカウント) と 1 日の平均アクセス数 (= 直近 30 日間のアクセス数 / 直近 30 日間でアクセスがあった日数) を集計する。

4.3.3 結果・考察

図 12 は、1 年間 (2018 年 1 月 1 日～2019 年 1 月 1 日) の本システムに対するユニークアクセス数の時間変化を折れ

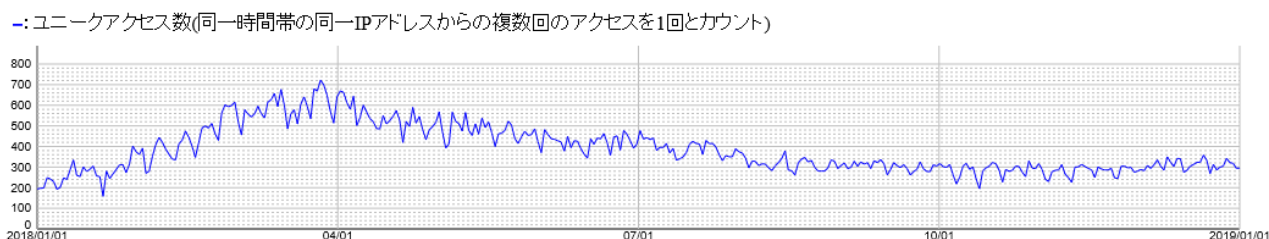


図 12 ユニークアクセス数の年間時間変化 (2018 年)

表 14 直近 30 日間の時間帯毎のアクセス数と 1 日の平均アクセス数 (2019 年 2 月 8 日調査)

(a) 利用者 A のアクセス状況

アクセス日数: 27 日

1 日の平均アクセス数: 1.0 回/日

時間帯	0 時	1 時	2 時	3 時	4 時	5 時	6 時	7 時	8 時	9 時	10 時	11 時
アクセス数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
時間帯	12 時	13 時	14 時	15 時	16 時	17 時	18 時	19 時	20 時	21 時	22 時	23 時
アクセス数	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0

(b) 利用者 B のアクセス状況

アクセス日数: 28 日

1 日の平均アクセス数: 2.4 回/日

時間帯	0 時	1 時	2 時	3 時	4 時	5 時	6 時	7 時	8 時	9 時	10 時	11 時
アクセス数	4	3	0	0	1	0	2	7	6	4	2	2
時間帯	12 時	13 時	14 時	15 時	16 時	17 時	18 時	19 時	20 時	21 時	22 時	23 時
アクセス数	9	3	1	4	4	7	3	5	5	4	1	2

線グラフで示したものである。縦軸はアクセス件数、横軸は時間である。

図 12 を見ると、三次元可視化機能の実装が完了し、本システムの正式運用が開始された 2018 年 2 月以降は、季節変化はあるものの、毎日 300 件～700 件程度のアクセスとなっている。えひめの水産統計 [12] によれば、平成 28 年の宇和海域の養殖漁業経営体数は 881 である。これを踏まえると、多くの養殖漁業者が本システムを活用していると言え、本システム実装が社会に対し与えた影響は大きいと考えられる。

表 14 は、現時点で確認している全利用者のうち、本システム実装による影響が顕著に表れている利用者 2 人 (以下、それぞれ利用者 A (表 14(a)), 利用者 B (表 14(b)) とする) の、2019 年 2 月 8 日時点における直近 30 日間の時間帯毎のアクセス数と 1 日の平均アクセス数をそれぞれ示したものである。

利用者 A は、ほぼ毎日 17 時から 18 時の間に 1 回アクセスしている。全アクセスが同時刻となっているわけではなく、日によってアクセス時刻が異なるため、人為的なアクセスである可能性は極めて高い。利用者 B は、1 日に 2 回以上アクセスしている利用者の例である。このように、利用者のアクセス状況を調査することによって、ほぼ毎日定

時に本システムを利用している人や、1 日に複数回本システムを利用している人等を確認することができた。このことから、海水温情報告知伝達システムの実装によって、個人の活動に確かな変化が生じたと言える。

5. おわりに

情報システムとは、実装によって、社会の活動により変化をもたらす仕組みである。ただのプログラムの集まりというだけでは、その価値は無に等しい。そのため、情報システムの開発に際しては、そのシステムの実装によって社会にどのようなよい変化がもたらされたか観察・評価することが非常に重要である。

本研究では、水産業の生産性向上を目的とした、海水温情報告知伝達システムを開発した。本システムを導入することによって、正確な水温情報を測定後即時に漁業従事者へ告知伝達することが可能となった。

本システムでは、Web アプリケーションとすることで、PC やスマートフォン、タブレット等端末の種類を問わず利用できるようにした。研究者および漁業従事者からの要望を取り入れ、表・グラフ・分布図表示機能を実装することにより、海域の空間的広がりを視点とした海水温の現況および時間変化の可視化を実現した。本システムでは、グ

ラフの表示設定について、表示する水深の選択をチェックボックス方式で、温度の表示範囲の設定と表示期間の選択をスライダー方式とする等、簡便な操作で海水温情報の可視化ができるよう工夫した。さらには、最新測定データの表示において、故障または測定が休止している測点がわかるよう、そのような観測装置の測定データに対し、表の『最新測定日時』欄の背景色を赤くする、ボタンにより、現在の状況、過去の状況と切り替えられるようにするなど、レイアウトに関しても工夫を凝らした。

本システムの正式運用が開始されて以降、本システムに対し毎日 300 件～700 件程度のユニークアクセスがあり、宇和海の養殖漁業者数を踏まえると、本システムが愛媛県の養殖漁業に与えた影響は大きいものと言える。また、各利用者のアクセス状況から、ほぼ毎日定時に本システムを利用する人等も確認しており、本システムの実装によって個人の活動に確かな変化がもたらされたと言える。

今後の課題としては、2018 年 1 月 12 日および同年 4 月 26 日に、漁業従事者を対象に行ったシステム説明会およびアンケートにおいて、本システムに対する改善要望が出ているため、漁業従事者の要求を満たすようシステムの改修を行っていくことが挙げられる。具体的には、1 日毎の平均水温のグラフ表示機能と、表中で前年比を表示する機能を実装する。また、三次元可視化機能における補間精度を改善する必要がある、そのために補間方法を再検討する必要がある。

謝辞

本研究にご協力いただいた、愛媛大学南予水産研究センターの武岡英隆先生、清水園子先生に感謝いたします。

参考文献

- [1] 国際連合, “世界人口予測・2017 年改訂版”, 2017 年 6 月.
- [2] 愛媛県庁, “愛媛県漁業の地位 (平成 28 年)”, <https://www.pref.ehime.jp/h37100/toukei/documents/1-1.pdf> (参照 2019 年 4 月 22 日).
- [3] 愛媛県庁, “海域別漁業生産額の推移 (総括: 昭和 39～平成 28 年)”, <https://www.pref.ehime.jp/h37100/toukei/documents/3-1-2.pdf> (参照 2019 年 4 月 22 日).
- [4] 小林真也, “社会を変える IoT: 3. 水産業を支援する IoT サービス構築 -宇和海海況情報サービス You see U-Sea-”, 情報処理学会誌「情報処理」vol.60(2), pp.121-126, 2019 年 1 月.
- [5] 情報処理学会・情報システムと社会環境研究会, “情報システムの有効性評価 量的評価のガイドライン 第 1.1 版”, 2012 年 11 月.
- [6] 情報処理学会・情報システムと社会環境研究会, “情報システムの有効性評価 質的評価のガイドライン 第 1.00 版”, 2013 年 9 月.
- [7] 武岡英隆, “高度海況情報による水産業支援”, 愛媛ジャーナル 31(5), pp.84-87, 2017 年 11 月.
- [8] 安藤顕人, 岡本拓哉, 遠藤慶一, 黒田久泰, 樋上喜信, 小林真也, “赤潮や魚病の発生予測の為の海域情報収集支援システムの開発”, 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集 (1), pp.937-938, 2016 年 3 月.
- [9] 末廣恵海, 高市 嶺, 藤橋卓也, 遠藤慶一, 黒田久泰, 小林真也, “赤潮被害への早期対策を可能とする海域情報配信システムの開発”, 情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集 (1), pp.549-550, 2018 年 3 月.
- [10] 荒木康輔, 藤橋卓也, 遠藤慶一, 黒田久泰, 小林真也, “海況予報情報サービスのための海水温連続観測装置の開発”, 情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集 (4), pp.553-554, 2018 年 3 月.
- [11] 阿草 裕, 遠藤慶一, 黒田久泰, 樋上喜信, 小林真也, “赤潮発生予測の為の海水温情報伝達システムの開発”, 情報処理学会第 79 回全国大会講演論文集 (4), pp.555-556, 2017 年 3 月.
- [12] 愛媛県庁, “主として営んだ漁業種類別経営体数の推移 (昭和 35～平成 28 年)”, p.2, <https://www.pref.ehime.jp/h37100/toukei/documents/2-1-2.pdf> (参照 2019 年 4 月 23 日).