

ホタテ養殖支援のための小型海洋観測ブイの開発

和田雅昭[†] 畑中勝守[‡] 戸田真志[†]

[†]公立ほこだて未来大学 [‡]北海道東海大学

本報では、ホタテ養殖海域の水温分布の可視化を目的として開発を行った多層式小型海洋観測ブイについて報告する。ホタテ養殖が盛んな白谷（北海道）では、夏季に流れ込む塩分濃度の低い冷水塊による斃死の被害が問題となっている。その対策として、ホタテ養殖海域において、多点、多層の水温を計測することにより水温分布を可視化することができれば、冷水塊の流入を早期に把握し、被害を防ぐことができると考えられる。しかしながら、既存の海洋観測ブイは高価、かつ、大型であることから導入が進んでいない。そこで、水温分布を可視化するための最初の取り組みとして、個人単位で導入可能な多層式小型海洋観測ブイの開発を行った。

キーワード：海洋，海洋観測，空間情報，電子メール，ブイ

Development of personal ocean observation buoy for scallop cultivation

Masaaki WADA[†], Katsumori HATANAKA[‡] and Masashi TODA[†]

[†]FUTURE UNIVERSITY-HAKODATE, [‡]HOKKAIDO TOKAI UNIVERSITY

In this paper, we report on personal ocean observation buoy for scallop cultivation. The damage of scallop by the cold water with low density of salinity that flows in summer becomes a large problem in Usuya (Hokkaido) where the scallop cultivation is active. We propose to detect the inflow of the cold water by making the water temperature distribution visible of the scallop cultivation area by observing the water temperature, and to prevent the damage. However, the existing ocean observation buoys are not widely spread because it is expensive and large-scale. As the first approach, we developed the multilayer type small ocean observation buoy for personal use.

Keywords: Marine, Ocean observation, Spatial information, E-mail, Buoy

1. はじめに

北海道は日本の水産基地であり、漁業生産は数量、金額ともに全国の4分の1以上を占め、全国一となっている。中でも、ホタテ養殖は基幹漁業の一つであり、全国生産の約2分の1を占めている。ホタテ養殖は主に垂下養殖という手法で行われており、海水面と平行に張られた幹綱に、耳吊りしたホタテ、または、籠入れしたホタテを垂下し養殖する。図1に白谷（北海道留萌郡小平町）沖のホタテ養殖海域に設置されている籠養殖の代表的なホタテ養殖施設を示す。図のように籠の水深は浮子で調整できるようになっており、ホタテ養殖海域の水温分布に合わせて、ホタテの育成に適した水温の水深に調整している。

白谷では毎年夏季にホタテ養殖海域に流入す

る塩分濃度の低い冷水塊による被害が問題となっている。ホタテは急激な温度変化に弱く、この時期に冷水塊を避けるように適切に籠の水深を調整しなければ、ホタテの体力が低下し、成長の妨げとなるだけではなく、最悪の場合には斃死に至る。

冷水塊の流入を予測するためには、海洋観測ブイによる水温のリアルタイム計測が有効であるが、既存の海洋観測ブイ^{[1][2]}は高価であり、また、大型であることから導入されていない。そこで、ホタテ養殖海域の水温分布を可視化するため、多点、多層の水温を計測することを目的として、漁業者が個人単位で導入可能な安価、かつ、小型の海洋観測ブイの開発を行った。本報では開発した小型海洋観測ブイの概要とその実験結果について報告する。

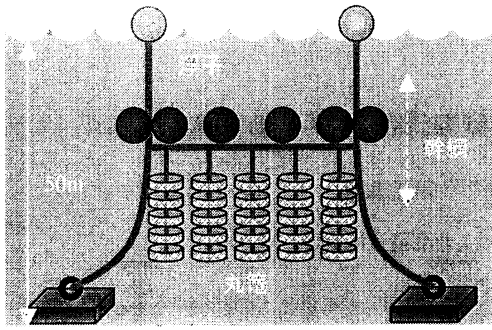


図1 代表的なホタテ養殖施設

2. 小型海洋観測ブイの開発

2.1 小型海洋観測ブイの優位性

従来の海洋観測ブイは高価、かつ、大型であることから主に漁業協同組合などの組織単位で導入されてきた。また、同様の理由により特定の海域に複数の海洋観測ブイが設置されることはなく、点の情報となっていることから特定の海域の水温分布を立体的に把握することは難しい。そのため、ホタテ養殖海域への冷水塊の流入を早期に正確に把握するためには、多点、多層の情報が必要となる。

そこで、漁業者が個人単位で導入可能な安価、かつ、小型の海洋観測ブイを開発し、ホタテ養殖海域に複数の海洋観測ブイを設置することによって、多点、多層の情報を取得し、ホタテ養殖海域の水温分布を立体的に把握することができると考えられる。

2.2 多層式水温計の開発

ホタテ養殖では籠の水深を 10m 単位で調整していることから、水深 10m 毎の水温を計測する必要がある。ここで、養殖海域の水深は最大で 50m 程度であることから、表層を含む 6 層の水温を計測することになる。

従来の海洋観測ブイでは、利用されている水温計も高価であり、2 層から 3 層の水温の計測が一般的となっている。そこで、最初に多層計測に適した安価な水温計の開発を行った。

多層式水温計には小型海洋観測ブイの設置作業を簡素化するため、1 本のケーブルに複数の水温計を接続するマルチドロップインタフェースを採用した (図 2)。また、ケーブル長が 50m 程

度と長くなることから、ブイから水温計に電源を供給する方式では電圧降下によるバッテリーの消費が無視できなくなることから、水温計にバッテリーを内蔵する方式とした。

水温計には低消費電力のマイクロコントローラを搭載し、温度センサであるサーミスタの抵抗値を A/D 変換することで水温を計測する。A/D 変換値から水温への変換については、サーミスタの特性がリニアではなく、一次の変換式では変換誤差が生じることから、データシートを用いて A/D 変換値と水温を対応付けするテーブルを作成し変換した。これにより、計測精度は 0℃ から 25℃ の範囲において ±0.5℃ となっている。

ブイと水温計との通信には長距離通信型マルチドロップインタフェースである RS-485 を採用した。水温計は通常スリープ状態にあり、ブイからのポーリングによりウェイクアップし、水温を計測してレスポンスとして返信した後、再びスリープ状態に移る。なお、水温計には ID が割り当てられており、ポーリングに含まれる ID と一致した場合のみレスポンスを返す。ここで、マイクロコントローラでは受信制御をソフトウェアにより処理しているため通信速度は低速 (1,200bps) となっている。

なお、マイクロコントローラのスリープ状態での消費電流は 1μA 以下であり、1 時間に 1 回の計測を繰り返した場合であってもリチウム電池を用いることにより 10 年以上の連続動作が可能である。図 3 に開発した水温計を、表 1 に水温計の仕様を示す。水温計の基板のサイズは 20mm × 50mm であり、防水対策のためシリコンによりモールドしている。

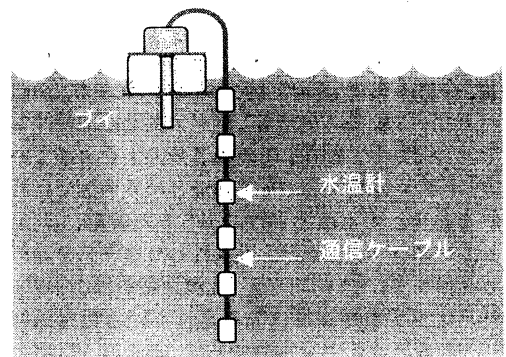


図2 多層式水温計

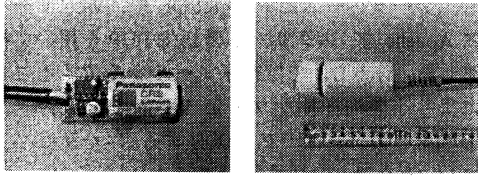


図3 水温計の基板(左)と水温計(右)

表1 水温計の仕様

コントローラ	PIC12CE674 (Microchip)
インタフェース	RS-485
温度センサ	103AT-2 (SEMITEC)
待機時電流	1 μ A (maximum)
動作時電流	2mA (typical)
外形寸法	ϕ 35mm \times 90mm
重量	150g
バッテリー	CR2 形リチウム電池

2.3 小型海洋観測ブイの開発

小型海洋観測ブイは沿岸域での利用を想定していることから、通信手段には最も利便性の高い携帯電話を選定した。携帯電話を利用することにより基地局の設置が不要となることから、いつでも、どこでも小型海洋観測ブイの設置が可能となるほか、直接インターネットに接続することができ、自由度の高いシステムの構築が可能となる。臼谷におけるホタテ養殖海域は沖合約 5 マイルの距離であり、携帯電話の利用が可能であることを確認している。

小型海洋観測ブイの制御部にはマイクロキューブ^{[3][4]}を採用した。マイクロキューブは拡張性の高いスタックブル構造の汎用マイクロコンピュータボードであり、様々な種類の CPU ボード、および、拡張ボードがシリーズ化されており、洋上におけるセンサネットワークシステムとしての活用事例^{[5][6][7]}が多く報告されていることから目的に適している。

制御部のハードウェアは、CPU ボードには 3V 版のマイクロコンピュータを搭載した“H8/3048 ボード”を、拡張ボードには CF スロットと RS-485 インタフェースを備えた“485 ボード”、および、1M ビットの拡張 SRAM を搭載した“IDE ボード”を組み合わせるにより構築した。ま

た、CF スロットには携帯電話のデータ通信カードを挿入した。

一方、ソフトウェアは H8 マイコン用 TCP/IP プロトコルスタック^[8]に PPP を実装した OS をベースに開発した。小型海洋観測ブイの機能としては、予め設定した一定間隔の周期で、水温計にポーリングを行うことにより各層の水温を取得し、続いて、ダイヤルアップでインターネットに接続することにより電子メールで水温データを送信する。ここで、電子メールの Subject には小型海洋観測ブイの固有 ID を、本文には各層の水温を記載している。図 4 に制御部の外観を、表 2 に制御部の仕様を示す。

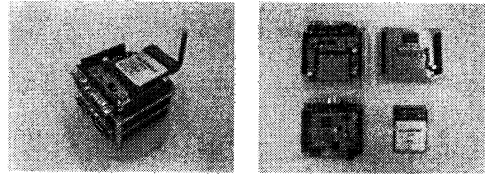


図4 制御部のハードウェア構成

表2 制御部の仕様

マイコン	HD64F3048BV (Renesas)
OS	Smalight PPP (Renesas)
通信カード	DoPaMAX2896F (DoCoMo)
待機時電流	25mA (typical)
動作時電流	300mA (maximum)
外形寸法	70mm \times 80mm \times 50mm (H)
重量	200g
バッテリー	NM428 (Novel)

2.4 浮体の設計

小型海洋観測ブイは既存のホタテ養殖施設に設置することを想定していることから、ホタテ養殖施設で利用されている浮子のサイズである直径約 40cm を目標に設計を行った。また、通信の安定性を確保するためデータ通信カードをブイの上部に、浮遊姿勢を安定させるためバッテリーをブイの下部に配置した。

浮力材の素材には独立発砲気泡体を採用し、3,500g の浮力を有する浮力材を 3 個用いた。独立発砲気泡体は防舷材としても利用されている素

材であり、船舶との衝突時に衝撃を緩和する。また、係留のためのアイボルトを3箇所にした。図5に小型海洋観測ブイの外形図を示す。空中重量は7.8kgであり、1人で十分に持ち運びができる大きさである。

バッテリーには標識灯等に利用されているマリンバッテリーを選定した。このマリンバッテリーは単一形アルカリ電池を4本直列に接続したものにコネクタが取り付けられていることから、バッテリー交換時における逆接等の人為ミス未然防ぎことができ、作業性も向上する。なお、バッテリーは定格電圧の60%までを利用可能な範囲とし、その際のバッテリー容量を10,000mAhと見積もると約2週間の連続動作が見込まれる。図6に小型海洋観測ブイの外観を示す。

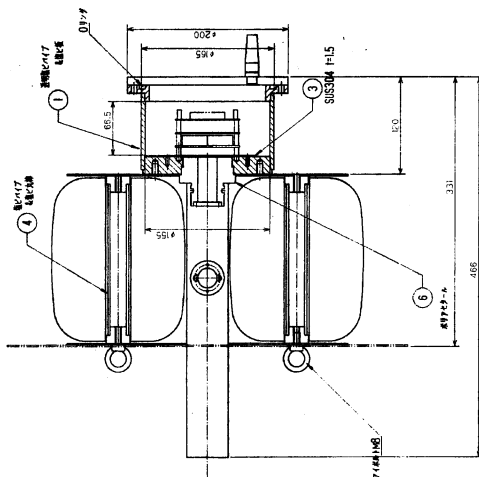


図5 小型海洋観測ブイの外形図



図6 小型海洋観測ブイ

2.5 サーバの構築

水温データを蓄積し、配信するために Web-DB を構築した。Web-DB は Red Hat Linux 9 を OS と

し、データベースに PostgreSQL を、Web サーバに Apache を、スクリプト言語に PHP を用いて構築した。Web-DB では電子メールを受信することにより小型海洋観測ブイ毎の各層の水温データを取得しデータベースに保存する。ユーザはパソコン、または、携帯電話で Web-DB にアクセスすることによって、最新の水温、および、水温の履歴を確認することができる。Web-DB のインターネットサイトでは水温の日変動、週変動、および、月変動をグラフにより確認することができ、携帯サイトではテキストデータにより水温を確認することができる。

3. 実験

3.1 予備実験

予備実験は、平成 16 年度にプロトタイプブイを試作し実施した。実験の期間は平成 16 年 9 月 14 日から 10 月 13 日までの 30 日間である。予備実験は、携帯電話による通信の安定性と、プロトタイプブイ、および、水温計の耐久性の評価を目的として実施した。図7にプロトタイプブイの外観を示す。プロトタイプブイの浮体には漂流ブイ⁹⁾を用いた。

予備実験では、臼谷沖 5 マイルのホタテ養殖海域 (44° 02' 18" N, 141° 33' 07" E) にプロトタイプブイを2機設置した。また、水温計は各々1層のみとし、それぞれ 20m 層と 30m 層の水温を計測した。なお、水温データの取得には携帯電話のデータ通信を用いた。

実験の期間中、毎正時に水温データの取得を行ったものの、通信状態が不安定であり水温データの取得に成功した確率は3分の1程度であった。プロトタイプブイでは、携帯電話の取り付け位置が海水面にほぼ等しかったことから、うねりにより基地局との見通しが遮られるほか、海面反射等の影響により通信状態が不安定になったことが推測される。

30m 層を計測するプロトタイプブイは予備実験の初期段階で船舶の衝突により浸水し、海水がケーブルを伝わり水温計も塩食した。また、20m 層を計測するプロトタイプブイは予備実験の末期に係留具の疲労破壊により漂流し、回収不能となった。これにより、船舶衝突の危険性と係留具を含むブイの耐久性向上の必要性を確認した。

なお、プロトタイプブイによる予備実験におい

て得られた成果は、全て小型海洋観測ブイの開発に反映している。

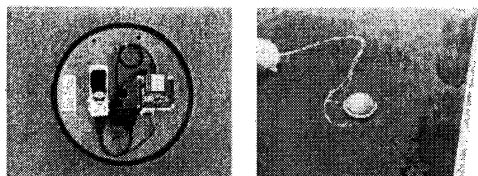


図7 プロトタイプブイ (左) と予備実験 (右)

3.2 実験と結果

実験は、平成 17 年 12 月 16 日から 12 月 31 日までの 16 日間に渡り実施した。冬季は時化が続き、ホタテ養殖海域に船を出す機会が少なくなることから、臼谷漁港 (43° 59' 43" N, 141° 39' 03" E) において開発した小型海洋観測ブイを 1 機設置し実験を行った。また、水温計は 1 層のみとし、3m 層の水温を計測している。図 8 に実験の様子を示す。

小型海洋観測ブイは 30 分毎に水温を計測し、電子メールにより水温データを送信している。実験の間中には 567 回の電子メールの送信機会があり、560 回の受信が行われたことから、98% 以上の確率で電子メールの送信に成功した。ここで、通信のリトライは行っていない。

また、マリンバッテリーによる連続動作時間は約 4 日間と予定を大幅に下回る結果となり、12 月 19 日と 12 月 27 日にバッテリー交換を行った。

図 9 は Web-DB のインターネットサイトで月変動グラフにより表示した実験の結果である。12 月 24 日にマリンバッテリーが消耗していることから、水温データが一部欠損している。このグラフから、12 月 19 日からの 2 日間で水温が 3°C 上昇し、また、12 月 28 日からの 2 日間で 2°C 下降するなど、臼谷漁港内の水温変化が大きいことが伺える。さらに、水温が 1°C 下降するのに要する時間が 10 時間以上であるのに対し、1°C 上昇するのに要する時間は 3 時間程度と非対称であることが確認できる。

図 10 は 12 月 31 日 22 時に携帯電話で携帯サイトにアクセスした際の表示を再現したものである。テキストデータだけでは水温変化の傾向が読み取れないことから、24 時間前の水温を同時に表示している。

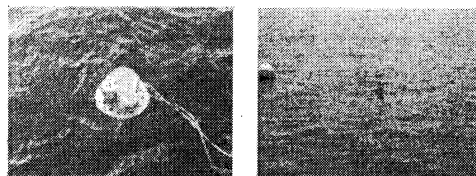


図 8 小型海洋観測ブイによる実験

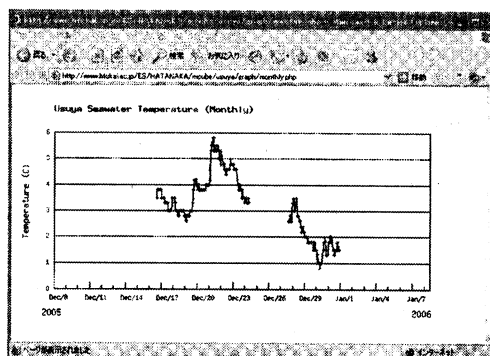


図 9 月変動グラフ (平成 17 年 12 月)

センサ情報	
2005/12/31 の水温	
3m:	1.5°C (21:41:49)
前日の同時刻の水温	
3m:	1.3°C (21:34:37)

図 10 携帯サイトでの水温表示

4. 評価

マリンバッテリーの消耗が予定を大きく下回ったことから、交換時に回収したバッテリーを確認したところ、定格電圧の 6.0V に対して 5.5V の電圧であった。小型海洋観測ブイの制御部は 3.3V で動作しており、レギュレータでの損失を考慮しても 3.6V までは動作すると予想していた。アルカリ乾電池は、気温が低くなると内部抵抗が増加し、

出力電圧が低下することから、室温にて小型海洋観測ブイから取り外したマリンバッテリーを予備のブイに取り付けてみたものの、電子メールを送信することができなかった。これにより、気温の影響が直接の原因ではないことが判った。その後、制御部のマイクロコンピュータは動作しており、携帯電話のデータ通信カードが無応答になっていることが判った。データ通信カードは通信時に大きな電流を必要とすることから、十分な電流を供給できていないことが原因であった。そのため、マリンバッテリーの利用可能な範囲は定格電圧の90%程度となり、その際のバッテリー容量は約2,700mAhである。

しかしながら、小型海洋観測ブイの制御部は汎用マイクロコンピュータボードにより構築したものであり、待機時に25mAの電流を消費している。平成18年度には制御ボードを専用に設計開発する計画であり、待機時の消費電流を1 μ A以下に抑えることができることから、このマリンバッテリーを用いた場合でも約1ヶ月間の連続動作が可能である。

また、小型海洋観測ブイには時計を内蔵していないため、水温の計測は毎正時には行われていない。しかしながら、小型海洋観測ブイを複数設置した場合には、計測時間の同期をとる必要があることから、GPSの搭載を検討している。GPSは時刻だけではなく位置情報も取得できることから、ブイの管理に役立つほか、漂流の検出も可能である。その他、時刻同期の方法としてはNTPの利用が考えられる。

実験の期間中は、臼谷の最高気温が氷点下となる日が続き、最低気温が-10 $^{\circ}$ Cを下回る環境下での動作検証を行うことができた。なお、平成17年12月31日以降もマリンバッテリーを交換し、実験を継続している。また、海況が安定した段階でホタテ養殖海域に小型海洋観測ブイを移設し、通信の安定性と小型海洋観測ブイ、および、水温計の耐久性について評価を進める。

5. おわりに

本研究において開発した小型海洋観測ブイをホタテ養殖海域に多数設置し、水温分布を可視化することによって、本来の目的であるホタテの斃死の予防が可能となるほか、冷水塊の流入メカニズムの解明が期待される。本報では、小型海洋観

測ブイの開発について報告を行った。平成18年度は3機の小型海洋観測ブイと多層式水温計によるホタテ養殖海域の水温計測を実施する計画であり、次報ではホタテ養殖海域の水温分布の可視化について報告する予定である。

謝辞

実験にご協力をいただきました新星マリン漁業協同組合臼谷支所青年部の皆様に厚く御礼申し上げます。本研究は、平成16年度文部科学省「科学研究費補助金」、および、平成17年度財団法人北海道科学技術総合振興センター「研究開発助成事業」に採択されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] RASnet 北海道
<http://hal9000.fish.hokudai.ac.jp/>
- [2] マリンアイ
<http://mtcs.hkso.co.jp/me/me1.htm>
- [3] マイクロキューブ
<http://www.microcube.net/>
- [4] 和田雅昭・鈴木昭二、H8 マイコンを用いた演習用ターゲットボードの紹介、電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集、CD-ROM(2005)
- [5] Katsumori HATANAKA・Masaaki WADA・Minoru KOTAKI, Instrumentation for the measurement of shallow seabed topography by a fishing echo sounder, Oceans 2005 MTS/IEEE Conference Proceedings, Ocean Instrumentation I, pp.1-6(2005)
- [6] 和田雅昭・木村暢夫・水川達也・増田稔、海上施工専用船の回航監視システムについて、日本航海学会論文集、113, pp.223-229(2005)
- [7] 和田雅昭・畑中勝守・木村暢夫・天下井清、水産業における情報技術の活用について-I.～三次元海底地形の取得と活用～、日本航海学会論文集、112, pp.189-198(2005)
- [8] Smalight TCP/IP
<http://www.kitasemi.renecas.com/product/smalight/>
- [9] 衛星通信オーブコム対応型漂流ブイ
http://www.zenilite.co.jp/shinseihin_orbcomm.html