

## 養殖漁業支援のためのユビキタスブイの開発

和田 雅 昭<sup>†1</sup> 畑 中 勝 守<sup>†2</sup> 戸 田 真 志<sup>†1</sup>

本報では養殖漁業支援を目的として開発したユビキタスブイについて報告する。ユビキタスブイはホタテ養殖漁業者から要望のあった10万円で導入可能な水温観測ブイを、ユビキタスセンシング技術を基盤として実現したものである。開発したユビキタスブイは小型軽量であることから養殖海域への設置が容易であり、また、安価であることから多点観測に適している。そのため、水温の変化を検出するだけでなく、将来的には水温データを共有することにより多点多層の水温データを解析し、水面下の水温分布構造を可視化することが可能になると考えられる。すでに10基のユビキタスブイが北海道沿岸のホタテ養殖海域などで運用を開始し、水温データが利用され始めている。

### Development of Ubiquitous Buoy for Aquaculture Sustentation

MASAAKI WADA,<sup>†1</sup> KATSUMORI HATANAKA<sup>†2</sup>  
and MASASHI TODA<sup>†1</sup>

In this paper, the development of the Ubiquitous Buoy especially for the aquaculture sustentation is discussed. In response to requests from the scallop aquaculture fishermen, the buoy based on ubiquitous sensing technologies has been developed at a price of approximately US\$ 1,000 for seawater temperature observations. Since the size of Ubiquitous Buoy is small and its weight is light, it can be easily set up at real aquaculture sea area. Moreover these, the cheapness of its cost make it suitable for multiple points observations. The Ubiquitous Buoys are able not only for detecting the sudden change of the seawater temperature, but also to provide the fishermen with an actual visualization of the seawater temperature distribution by sharing the information at multiple points and multiple layers. Ten buoys have already been operating in the scallop aquaculture sea areas in Hokkaido, and the seawater temperatures measured by Ubiquitous Buoy began to be utilized by fishermen.

### 1. はじめに

ホタテ養殖、コンブ養殖、ノリ養殖など沿岸における代表的な養殖漁業では、漁業者は主に水温を指標として養殖作業時期を決定している。しかしながら、養殖海域の水温をリアルタイムで漁業者に提供するシステムは提案されておらず、現状では漁船に装備された水温計や携行型の水温計を用いて自船位置の表層水温を計測するか、または、水産技術普及指導所などが発行する1カ月遅れの水温データを参考に経験から水温を推測することによって作業時期を決定している。

たとえば、ホタテ養殖がさかんな北海道西部の臼谷では、毎年夏期に流入する冷水塊による斃死の被害が問題となっている。しかしながら、冷水塊は深層を移動してくることから、表層水温から推測することはきわめて難しく、具体的な対策を施すことができていない。また、北海道利尻島のコンブ養殖では、毎年出荷時期後半にヒドロ虫類の寄生による被害が発生している。ヒドロ虫類の寄生は水温が17°Cを超えると発生の頻度が高くなることが知られており、リアルタイムでの水温の計測が可能となれば、被害が縮小すると期待されている。さらに、宮城県松島湾のノリ養殖では、種つけ作業時期の目安を表層水温が23°C以下となった頃としており、毎日養殖海域まで船を出し、携行型の水温計を用いて水温を計測している。

このように、養殖漁業では水温がきわめて重要な情報であるにもかかわらず、養殖海域の水温をリアルタイムで漁業者に提供するシステムは提案されていない。そこで、養殖漁業支援を目的として、従来は陸上用途でのみ研究が進められてきたユビキタスセンシング技術を洋上に展開し、養殖海域の水温をリアルタイムで漁業者に提供するユビキタスブイの開発を行った。

### 2. 関連研究

リアルタイムで水温を取得する方法として、海洋観測ブイの利用が考えられる。しかしながら、従来の海洋観測ブイ<sup>1)</sup>は大型(数百kg)、高価(数百万円)であることから養殖海域には導入されていない。また、導入したとしても1点観測では冷水塊の有無を検出すること

<sup>†1</sup> 公立はこだて未来大学システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University-Hakodate

<sup>†2</sup> 東京農業大学国際バイオビジネス学科  
Department of International Bio-Business Studies, Tokyo University of Agriculture

はできても、流速、流向、流量までを観測することはできないことから、冷水塊を観測するためには複数の海洋観測ブイによる多点観測を行う必要がある。

近年、水産業での利用を目的とした RAS ブイ<sup>2),3)</sup> やマリンアイ<sup>4)</sup> などの中型 (100 kg 以下、数百万円) の海洋観測ブイが提案され、水温データの活用が広がりつつある。しかしながら、水面下の水温分布構造を可視化するためには、多点観測を実現する必要がある、ブイの大幅な小型化と低価格化が必要とされている。そこで、本研究では個人漁業者が導入可能な小型安価なユビキタスブイを開発することにより、養殖海域の多点多層水温観測を実現する。

ユビキタスセンシングを実現するためのテストベッドとしては、Smart Dust プロジェクトの MOTE<sup>5)</sup> が有名である。このプロジェクトではウェアラブルセンサードとして DOT 型が、インドアセンサードとして MICA 型が開発された。MOTE は現在最も多く利用されているセンサードの 1 つであり、空調管理を目的とした室温のセンシング<sup>6)</sup> やビルの構造モニタリング<sup>7)</sup>、ヘルスケアのための歩行解析<sup>8)</sup> の研究などに活用されている。また、U<sup>3</sup> (U-cube<sup>9)</sup>) も代表的なインドアセンサードである。

一方、フィールドセンシングでは、多様なセンサードが提案されている。たとえば、愛・地球博において運用された万博アメダス<sup>10)</sup> では、特定小電力無線機を備え、太陽電池で駆動する無線センサモジュールが利用されている。また、海洋センシングでは筆者らの開発したスタックブル構造のマイクロキューブ<sup>11)–13)</sup> があげられる。しかしながら、これらのセンサードの利用はシステムの評価や短期間での試験運用に限られ、実運用段階では、専用のセンサードを開発している事例が多い。このように、フィールドセンシングにおいて独自のセンサードが開発される要因としては、用途が明確になっていることから、汎用プラットフォームとしての冗長性を排し、小型化、省電力化を図ること、目的とする環境に適した長距離通信手段が必要になること、防水、防滴、耐寒、耐振などフィールドでの運用を考慮したケーシングが必要になることなどがあげられる。たとえば、フィールドサーバ<sup>14)</sup> は圃場センシングに特化した無線 LAN を備えたセンサードである。

本研究では、ユビキタスブイを海洋センシングに特化したセンサードとして位置付けしている。洋上には基地局やゲートウェイ、中継ノードを設置することができず、また、水中では無線通信を用いることができないなど、利用環境における制約により海洋センシングでは既存のセンサードを応用することができない。そのため、専用のセンサードを開発する必要がある。ユビキタスブイを実現するためには、安価な多層計測式水温計と携帯電話のデータ通信カードを搭載した小型省電力制御ボードが必要である。

### 3. システムの要件

#### 3.1 ユビキタスブイの環境要件

コンブ養殖、ノリ養殖の海域は海岸線から 2 km の範囲内であり、ホタテ養殖の海域は北海道西部の鬼鹿などでは区域の一部が 10 km を超えるものの、ほとんどの養殖海域は海岸線から 10 km の範囲内にある。このことから、海岸線から 10 km の範囲内の洋上で利用できることがユビキタスブイの環境要件となる。また、養殖海域の水深は最大で 50 m である。

#### 3.2 水温計の精度要件

水産技術普及指導所が実施している記録式水温計による観測には、ティドピット<sup>15)</sup> と呼ばれる水温データログが利用されている。ティドピットの水温計測精度は  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  であり、ホタテ養殖に従事している新星マリン漁業協同組合臼谷支所青年部へのヒアリングの結果、養殖漁業支援を目的とした場合にはティドピットと同等の計測精度と、 $0^{\circ}\text{C}$  から  $25^{\circ}\text{C}$  までの計測範囲が必要であることを確認した。また、水深ごとの水温を細かく計測するため、10 層以上の水温計測に対応する必要があることをあわせて確認している。

#### 3.3 形状要件およびコスト要件

従来の海洋観測ブイは大型であることから、設置には大型のクレーン船と大がかりな係留施設が必要になるなど、数百万円の設置コストを要する。そのため、ユビキタスブイには小型漁船を用いて手作業で設置可能な大きさ (10 kg 以下) であること、既存の養殖施設を利用して係留可能なことが要件としてあげられる。また、個人で導入可能なブイの価格は 10 万円が目安になるとの回答が得られた。海洋観測ブイで利用されている水温計は数十万円の価格帯であることから、小型安価なユビキタスブイを実現するためには多層計測式水温計と小型省電力制御ボードの開発が不可欠である。

### 4. システムの構成

#### 4.1 ユビキタスブイの構成

ユビキタスブイは、沿岸の養殖海域の水温観測を目的としたものである。そこで、通信手段には携帯電話を選定した。現在では、日本国内のほぼすべての沿岸域において携帯電話は利用可能であり、いつでもどこでも観測を開始することが可能であると同時に、インターネットに直接接続できることから、システムを容易に構築することができる。前述の RAS ブイならびにマリンアイも通信手段には携帯電話を採用している。また、米国においても QREB<sup>16)</sup> など沿岸の海洋観測ブイには携帯電話が利用されている。

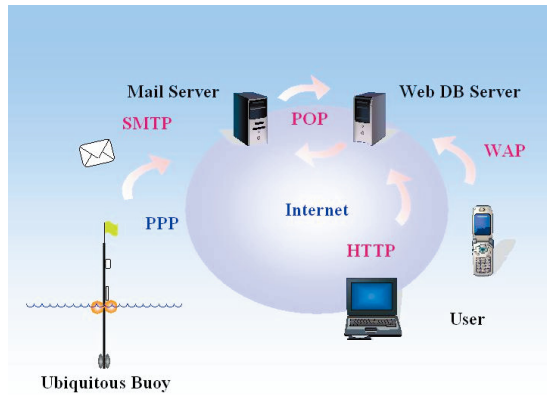


図 1 ユビキタスブイシステムの構成図  
Fig.1 Schematic diagram of Ubiquitous Buoy system.

#### 4.2 システムの構成

図 1 にシステムの構成を示す．ユビキタスブイには携帯電話のデータ通信カードを搭載し，ダイヤルアップでインターネットに接続した後，計測した水温データを電子メールで送信する．一方，データの蓄積および配信のために固定アドレスを持った WebDB サーバをインターネット上に配置する．WebDB サーバは 5 分間隔でメールサーバに接続し，電子メールが蓄積されている場合には電子メールを受信し，DB に水温データを蓄積する．なお，水温データの送信先アドレスは一意とし，件名によりブイを識別する．

ユーザは PC や携帯電話のブラウザで WebDB サーバにアクセスすることにより，グラフやテキストで水温データを閲覧することができる．また，WebDB サーバにはあらかじめ設定した閾値以上の水温変化を検出した場合には，ユーザに警告メールを自動配信する機能を実装する．なお，ユビキタスブイのバッテリー電圧も電子メールには含むものとし，バッテリー電圧の低下も，警告メールで自動配信することでバッテリーの交換を促す．

### 5. 水温計の開発

#### 5.1 水温計の構成と実装

市販の有線式水温計は数十万円の価格帯であり，また，多段接続に対応していないため水温計の数と同数の通信ケーブルと制御ボードのインタフェースが必要となることから，本

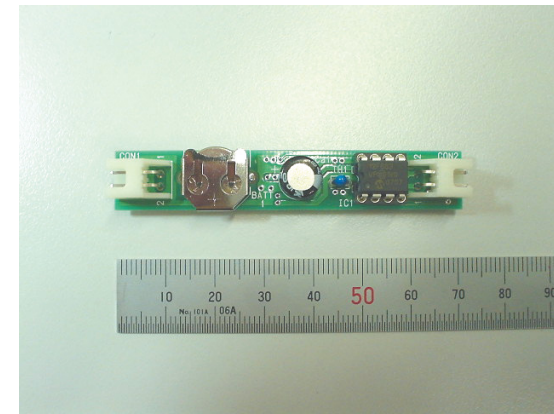


図 2 開発した水温計  
Fig.2 Circuit board of developed thermometer.

表 1 水温計の仕様

Table 1 Specifications of circuit board of thermometer.

Controller	PIC12F683 (Microchip)
Interface	RS-485 Half-Duplex
Sensor	103AP-2 (SEMITEC) Thermistor
Standby Current	1uA, typical
Operating Current	390uA, typical
Range	-5°C to 25°C
Size	70mm×12mm
Weight	5g
Battery	CR1220 Lithium Battery

目的には適していない．そこで，マルチドロップインタフェースである RS-485 を搭載した水温計を新たに開発した．最大水深は 50 m であり，制御装置からの外部給電では導体抵抗（約 40 Ω/km）が無視できなくなることから，バッテリーを内蔵する構成とした．図 2 に開発した水温計を示す．マイクロコントローラには低消費電力の PIC12F683 (Microchip) を選定した．水温センサにはサーミスタを用いており，A/D 変換によりサーミスタの抵抗値を計測し，水温に換算している．表 1 に水温計の仕様を示す．

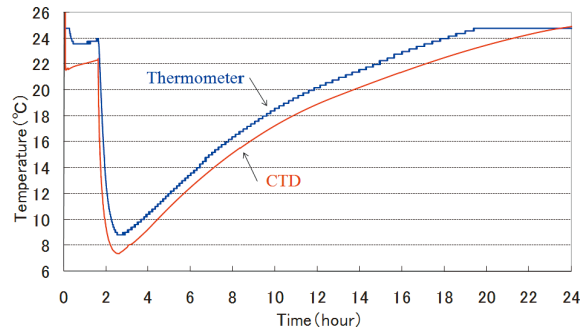


図3 水温計のキャリブレーション結果  
Fig.3 Calibration result of thermometer.

制御ボードと水温計の間は2芯のキャプタイヤケーブルで接続しており、最大16個の水温計を1本のキャプタイヤケーブルに接続可能である。水温計は通常スリープ状態であり、制御ボードからのポーリング信号によりいっせいにウェイクアップし、水温を計測してレスポンスとして送信した後、再びスリープ状態に遷移する。ここで、A/D変換は3回実施しており、中央値を用いて水温に換算している。また、水温計には0から15までのIDを割り当てており、IDにより決定するタイムスロットを用いて送信することでタイミングを制御し、データの衝突を防いでいる。IDおよび水温データを含む送信データ長は7byteであり、通信速度は1,200bps、1byteの送信には11bitを要することから、送信時間は約64msecである。また、タイムスロットは200msecに設定しており、ノイズなどにより起動に無限ループが生じることのないよう、十分な待機時間を設けている。バッテリーの公称容量は40mAhであり、1時間に1回の計測を行った場合には2年間の動作が可能である。

### 5.2 キャリブレーション実験

水温計は防水ケースに入れ、水深50mの水圧においても水密性を保つ必要があることから、シリコン(1液型RTVゴム)でモールドしている。また、A/D変換値から水温への換算はデータシートに基づき作成した換算表を用いていることから、計測精度および水温変化への時間応答性を確認しておく必要がある。そこで、海洋観測に用いられる高精度Conductivity Temperature Depth Profiler (CTD)であるXR420-CTDをリファレンスとして水温計のキャリブレーションを行った。

キャリブレーションは20ℓの水道水を満たした49.5×27.5×深さ29.0cmのプラスチック製の容器の中心にCTDと水温計をバンドで固定した状態で沈め、そこに1.7kgの板氷

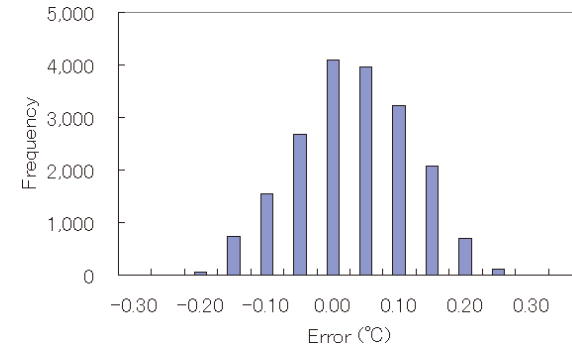


図4 補正後の計測誤差の分布  
Fig.4 Distribution of error after calibration.

2個を浮かべ、3秒間隔で24時間の水温計測を行った。図3はCTDおよび水温計から出力された水温をグラフに示したものである。なお、実験は静水状態でやっている。

水温計はシリコンでモールドしていることから水温変化への応答が遅く、CTDに比べ約10分間の遅延が確認された。また、計測した水温には差が生じたことから、水温の下限値を記録した実験開始後2.5時間から水温の値が飽和した19.5時間までの20,400点の値を用いて線形近似により以下の補正式を作成した。

$$T_C = 0.9842T - 1.1373$$

ここで、 $T$ は計測水温であり、 $T_C$ は補正後の水温である。図4に補正後の計測誤差の分布を示す。補正式を用いることにより、 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ の計測精度を実現している。

## 6. 制御ボードの開発

### 6.1 プロトタイプブイによる予備実験

2004年度から2006年度にかけて、プロトタイプブイを用いた予備実験を北海道西部の白谷沖のホタテ養殖海域において実施した<sup>17),18)</sup>。プロトタイプブイの制御ボードはマイクロキューブを用いて構築した。図5にプロトタイプブイによる予備実験の様子を示す。予備実験では以下の結果が得られた。

- 海岸線から約10kmの洋上において携帯電話の利用が可能である。
- 安定的な通信のためには、海面から1m以上のアンテナ高さが必要である。
- 冬季はバッテリーによる連続動作時間が、夏季に比べ著しく低下する。

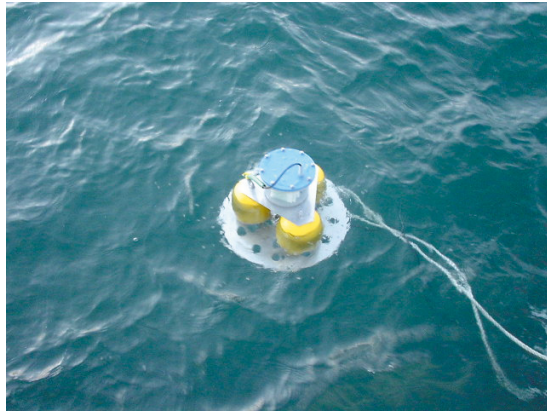


図 5 ホタテ養殖海域での予備実験

Fig. 5 Experiment on scallop aquaculture sea area.

- 開発した水温計は、水深 50 m での継続的な利用が可能である。
- 表層に比べ、下層ほど鉛直方向の水温差が大きい。

単 1 形アルカリ乾電池 4 本を用いた場合において、冬季におけるプロトタイプブイの連続動作時間は 1 週間に満たなかったことから、予備実験を実施した新星マリン漁業協同組合臼谷支所青年部からは、バッテリーによる連続動作時間は、冬季においても 3 カ月以上であることが実用化の要件としてあげられた。なお、バッテリーは洋上でのバッテリー交換の作業性と入手性を考慮し、航路標識などで一般的に用いられている漁業用アルカリ乾電池（単 1 形アルカリ乾電池 × 4 本のバック電池）を用いている。

### 6.2 制御ボードの開発

ユビキタスブイを実現するためには、制御ボードの小型化、省電力化が最大の課題である。そこで、プロトタイプブイの制御ボードをベースに、PC インタフェースや拡張バスインタフェースなどのいっさいの冗長性を排除した専用の制御ボードの開発を行った。開発した制御ボードの仕様を表 2 に、外観を図 6 に示す。この制御ボードの最大の特徴はメイン CPU とサブ CPU からなる 2 CPU 構成を採用した点である。各 CPU の電源は独立しており、水温計との通信ならびにダイヤルアップによるインターネット接続、電子メールの送信はメイン CPU で行い、メイン CPU の電源を低消費電力のサブ CPU でコントロールすることにより省電力化を実現した。メイン CPU には HD64F3029F (Renesas) を選定し、

表 2 開発した制御ボードの仕様

Table 2 Specifications of control board.

Main Controller	HD64F3029F (Renesas)
Main Clock	16MHz
Protocol Stack	Smalight PPP (Renesas)
Sub Controller	PIC12F683 (Microchip)
Sub Clock	31kHz
Standby Current	170uA
Size	80mm × 70mm
Weight	22g

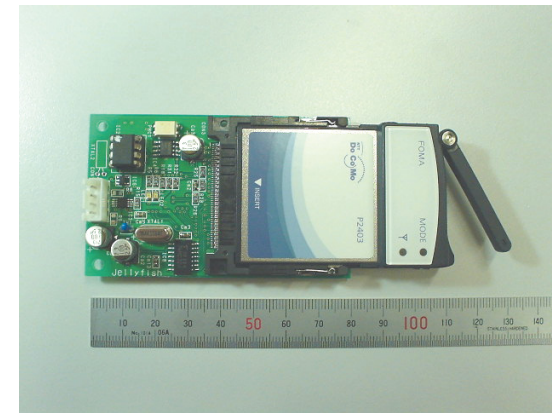


図 6 開発した制御ボード

Fig. 6 Circuit board of developed control board.

専用に開発した PPP 接続のためのプロトコルスタック<sup>19)</sup> を実装した。また、水温計と同じ低消費電力のマイクロコントローラをサブ CPU として選定した。サブ CPU は 1 時間に 1 度メイン CPU を起動し、メイン CPU からの割り込み、または、60 秒間のタイムアウトによりメイン CPU を停止する。

メイン CPU は起動後、① データ通信カードのコンフィグレーションを行い、② 水温計にポーリング信号を送信し、③ 各水温計から水温データを収集する。その後、④ ダイヤルアップ接続によりインターネットに接続し、⑤ 水温データを電子メールで送信した後、⑥ サ



表 3 データ通信カード別の動作電流

Table 3 Operation current of data communication cards.

Data Communication Card	DoPa MAX 2896F	FOMA P2402	FOMA P2403
Operation Voltage	3.3V	3.3V/5.0V	3.3/5.0V
Standby Current	0.2mA	0.2mA	0.2/0.2mA
Operation Current	269mA	326mA	272/188mA
Operation Time	30sec	27sec	25/19sec

ブ CPU に割り込み信号を送信する。① から ⑥ までの一連の動作には 30 秒程度を要する。

制御ボードには、コンパクトフラッシュカードスロットを搭載しており、3 種類の携帯電話のデータ通信カードで動作を確認している。データ通信カードの種類と消費電流を表 3 に示す。DoPa は TDMA 方式のデータ通信カードであり、FOMA は W-CDMA 方式のデータ通信カードである。ユーザはユビキタスブイの設置海域で利用可能な通信方式を選択することができる。

室内における連続動作試験の結果、待機時電流を 0.2 mA にまで抑制したことにより、漁業用アルカリ乾電池を用いることで、室温で約 7 カ月の連続動作を行うことを確認した。また、氷点下となる冬季の評価においても 4 カ月以上の連続動作が可能であることを確認している。なお、いずれの評価もデータ通信カードには DoPa を用いた。

## 7. ユビキタスブイの導入と運用

### 7.1 ユビキタスブイの構築

図 7 に代表的なユビキタスブイの外形寸法図を示す。開発した制御ボードは小型軽量であることから、特殊な浮体を用いることなく、日常的に利用されている漁具を用いて実装することができる。

安定的な通信を確保するためには海面から 1 m 以上のアンテナ高さが必要となることから、ここでは漁業用の標識竿（ボンデン）を用いてユビキタスブイを構築した。また、ユビキタスブイの浮遊姿勢の安定性と洋上でのバッテリー交換の作業性を考慮し、制御ボードを入れた防水ケースをボンデンの上段に設置し、重量のあるバッテリーケースを水面近くの中段に設置するセパレート型を採用した。表 4 に制御ボードケースおよびバッテリーケースの仕様を示す。制御ボードケース、バッテリーケースともにホースバンドなどを用いて容易にボンデンに固定することができるよう円筒形の形状としている。なお、小型漁船の衝突などによ

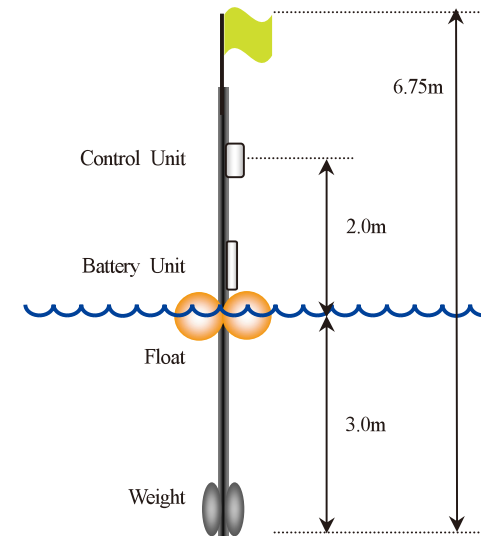


図 7 ユビキタスブイ

Fig. 7 Sketch of Ubiquitous Buoy.

表 4 制御ボードケースとバッテリーケースの仕様

Table 4 Size of control unit and battery unit.

Size of Control Board Unit	φ 60mm × 210mm, 593cm <sup>3</sup>
Weight of Control Board Unit	460g
Size of Battery Unit	φ 50mm × 355mm, 697cm <sup>3</sup>
Weight of Battery Unit	568g
Material	Polyacetal
Weight of Battery	575g

リケースが破損することのないよう、5 mm 厚のポリアセタールをケースの素材として選定した。また、水温計および通信ケーブルは、図 8 に示すようにユビキタスブイを係留するロープに添わせて固定している。

このようにユビキタスブイは通常の漁具と同様の取扱いができ、図 9 に示すように数人の漁業者により手作業で容易に設置作業が行えることから、低コストで導入できる点が大きな特徴である。

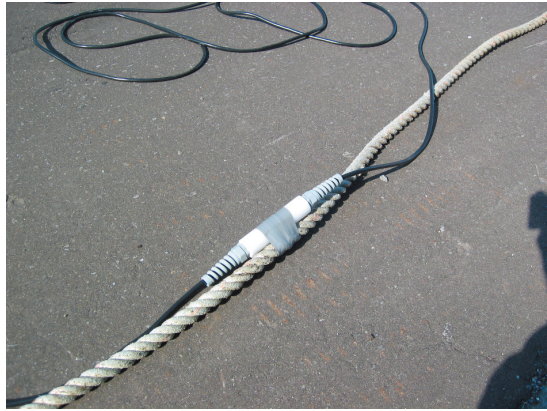


図 8 水温計の取り付け状況

Fig. 8 Thermometer and cable set up in mooring rope.



図 9 ユビキタスブイの設置作業

Fig. 9 Handling of Ubiquitous Buoy.

## 7.2 ユビキタスブイの導入

現在、図 10 に示す北海道西部の臼谷地区、北海道南部の鹿部地区、北海道北部の宗谷地区の 3 地区でユビキタスブイの運用を行っている。ユビキタスブイの設置方法および海岸線から養殖海域までの距離は地区ごとに異なっている。

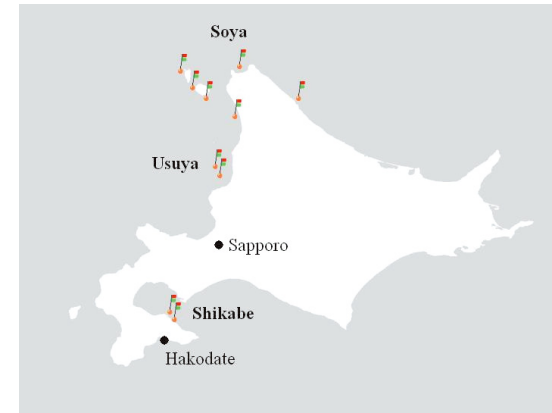


図 10 ユビキタスブイの運用海域

Fig. 10 Operating sea area of Hokkaido.

表 5 ユビキタスブイの運用状況

Table 5 The summary of operations.

Sea Area	Kind of aquaculture	Number of buoys	Beginning of operation
Usuya	Scallop	2	August, 2007
Shikabe	Scallop	2	March, 2007
Soya	Kelp	3	May, 2007
Soya	Scallop	3	August, 2007

臼谷地区および鹿部地区はホタテ養殖海域の水温観測を目的としており、漁業協同組合青年部が中心となって運用を行っている。一方、宗谷地区はホタテ養殖海域に加え、コンブ養殖海域の水温観測を目的としており、水産試験場および水産技術普及指導所が中心となって運用を行っている。表 5 に各地区における運用の状況を示す。

## 7.3 臼谷地区における評価

開発したユビキタスブイの最初の評価は、北海道西部の臼谷沖約 9 km のホタテ養殖海域で実施した。水深は約 50 m であり、3 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m の 5 層の水温を計測するユビキタスブイ 2 基を、ホタテ養殖施設を利用して設置した。図 11 にユビキタスブイの設置状況を示す。評価期間中、ホタテ養殖施設の幹綱は水深約 20 m の位置にあり、20 m

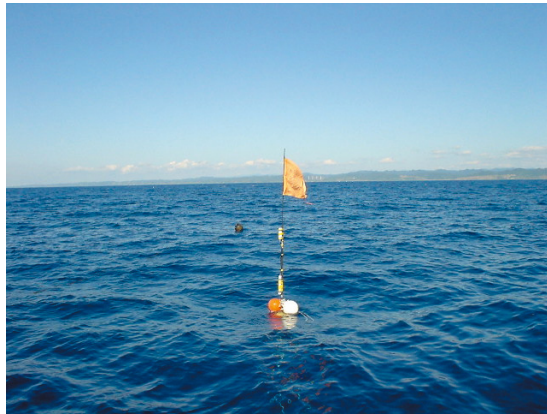


図 11 白谷沖での評価  
Fig.11 Experiment on Usuya.

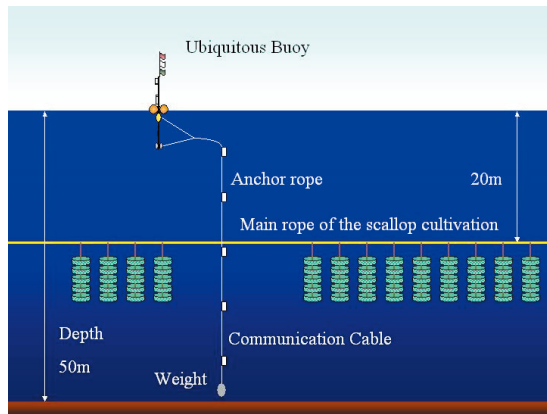


図 12 ホタテ養殖施設の構造  
Fig.12 Underwater structure of scallop aquaculture.

層の水温計の上方で係留した。図 12 にホタテ養殖施設の構造を示す。幹綱は海水面と平行に張られた綱であり、これにホタテを入れた籠を垂下し養殖している。幹綱の水深は漁業者が自由に調整することができる構造となっており、ホタテの育成に適した水温の水深に幹綱を調整することで斃死を防ぐことが可能である。

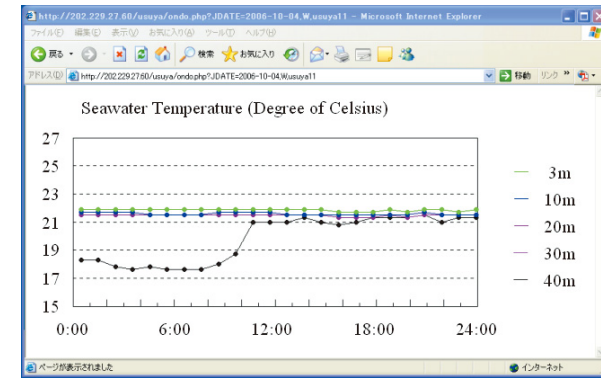


図 13 白谷沖の日変動グラフ  
Fig.13 Daily graph of Usuya.

評価の期間は 2006 年 9 月 13 日から 2006 年 10 月 24 日である。現在/過去の水温は WebDB サーバにアクセスすることにより容易にグラフとして閲覧することができ、漁業者は直感的に水温変化をとらえることができる。図 13 は 2006 年 9 月 20 日の日変動グラフを表示したものである。ホタテ養殖海域を台風 13 号が直撃した影響により、6 時の時点では 5°C 程度あった表層と下層の水温差が、12 時の時点では海域が攪拌されたことにより表層から下層までの水温が均衡した状態となっていることが確認できる。また、図 14 は 2006 年 10 月 4 日からの 1 週間の水温変化を表示した週変動グラフである。2006 年 10 月 8 日の 0 時前後には 40 m 層の水温が、半日程度遅れて同日 12 時前後には 30 m 層の水温が急激に低下し始めている。さらに、表層の水温も変化量は少ないものの追従して低下している。このように多層観測では情報量が豊富となることから、水温の変化を敏感にとらえることができる。たとえば、図 14 のグラフは下層の水温変化が表層の水温に影響を及ぼす可能性を示唆している。なお、台風が直撃したにもかかわらず、評価期間中の通信エラーは 958 回中わずかに 2 回であり、通信の安定性は 99.8%と十分な実用性を示した。

次に、バッテリーによる冬季の連続動作時間を評価するため、白谷漁港内にユビキタスブイを設置し評価を行った。評価は 2007 年 1 月 16 日に開始し、2007 年 5 月 16 日までの 4 カ月間トラブルなく動作した。また、2007 年 5 月 16 日にバッテリー交換を行い、2007 年 8 月 27 日の時点で順調に稼働している。このことから、漁業用アルカリ乾電池を用いることにより夏季、冬季を問わず連続動作時間は目標とする 3 カ月以上となることを確認した。



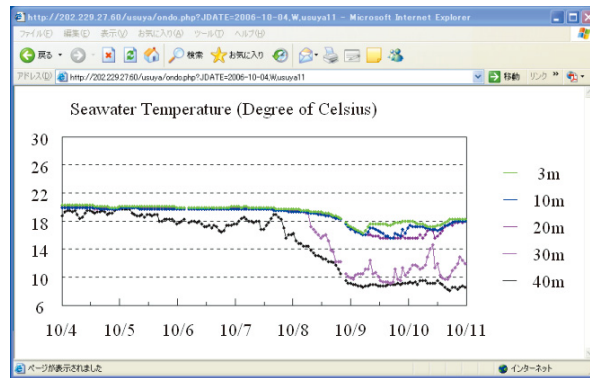


図 14 白谷沖の週変動グラフ  
Fig. 14 Weekly graph of Usuya.

#### 7.4 白谷地区における運用

2007年8月に白谷沖約10kmのホタテ養殖海域に2基の10層計測式ユビキタスブイを設置し運用を開始した。評価の結果、10m層ごとでの水温観測では、特に下層において鉛直方向の水温の差が大きいことが確認されていることから、水温の観測は5m層ごととし、5m層から50m層までの計10層の水温を観測している。また、2基のユビキタスブイは海岸線とほぼ平行に設置しており、南北に約5km離れている。2007年8月8日から2007年8月27日までに観測した467回の水温データを同じ水深層で比較すると、水温差は水深にともない大きくなる傾向があり、5m層では平均で0.2°C、最大で1.0°Cの水温差が観測され、50m層では平均で0.6°C、最大で3.4°Cの水温差が観測されていることを確認した。そこで、2007年9月には、さらに3基のユビキタスブイを設置し、合計5基、47ポイントの水温データを解析することにより、白谷沖のホタテ養殖海域(約5km×5km)の水面下の水温分布構造の可視化を試みる。

なお、2007年8月27日までの通信の安定性は、それぞれ99.8%(478回中1回の通信エラー)と100%(517回中0回の通信エラー)であった。

#### 7.5 鹿部地区における運用

ユビキタスブイは通信手段に携帯電話を用いていることから海域ごとに基地局やゲートウェイを設置する必要がなく、いつでもどこでも容易に観測を開始することができる。すなわち、国内の沿岸域を対象とした広域のセンシングシステムである。そこで、鹿部地区のホ

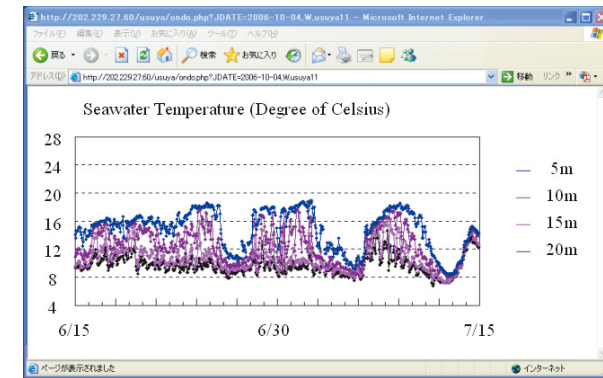


図 15 鹿部沖の月変動グラフ  
Fig. 15 Monthly graph of Shikabe.

タテ養殖海域に2基の4層計測式ユビキタスブイを設置し運用を開始した。

鹿部地区では係留にはホタテ養殖施設を利用しておらず、土俵を用いたアンカを海底に設置しユビキタスブイを係留している。1基目は2007年3月に、2基目は2007年4月に設置した。鹿部地区のホタテ養殖海域は海岸線から約2kmの位置にあり、白谷地区に比べ海岸線に近い。水深は約25mであり5m、10m、15m、20m層の水温を観測している。図15は2007年6月15日からの1カ月間の水温変化を表示した月変動グラフである。表層から下層までの水温差が大きく、また、表層の水温が数日で10°C程度上昇/下降する現象が観測されている。鹿部地区は内浦湾の湾口部に位置することから、海流の影響により水温の変化が特に大きな海域となっていることが分かる。

#### 7.6 宗谷地区における運用

宗谷地区では離島のコンブ養殖海域に3基のユビキタスブイを設置した。コンブ養殖がさかんな宗谷地区では、毎年出荷時期後半にヒドロ虫類がコンブに寄生する被害が発生しており、水温の常時監視が課題となっている。1基目は2007年5月に、2基目は2007年6月に、3基目は2007年7月に設置した。コンブ養殖海域は海岸線から約1kmの位置にあり、水深は約20mから25mであることから、1m、5m、10m、15m、(20m)層の水温を観測している。コンブ養殖施設の幹綱は水深5m程度と非常に浅く、加えて施設の間隔が狭いことから係留ロープに遊びが少なく、潮の流れが速いときには、ユビキタスブイ全体が水面下に沈んでしまうことが確認されている。制御ボードケースが水面下に沈んだ状態では

通信が行えないことから、宗谷地区は他の地区に比べ通信の安定性が低く、設置後 20 日間では 438 回中 33 回の通信エラーが発生し、安定性は 92.5%であった。なお、通信エラーはバースト状に発生していることを確認しており、今後の課題として、沈みにくいユビキタスブイの構造を検討する必要がある。

また、2007 年 8 月には、宗谷沿岸のホタテ養殖海域に 3 基のユビキタスブイを設置し運用を開始した。宗谷沿岸の海域にユビキタスブイの設置を進め、臼谷地区とシームレスな水温観測を実施することにより、今後は北海道北西部の沿岸の広域な水温変化を観測することを目指している。

## 8. おわりに

本報では、養殖漁業支援を目的として開発したユビキタスブイについて報告した。北海道におけるホタテ養殖の水揚高は年間約 160 億円であり、毎年 10%程度の斃死が生じている。また、臼谷地区では年間約 4.5 億円のホタテ稚貝を出荷しており、冷水塊の被害が発生した年には 30%程度の斃死が生じていることから、ユビキタスブイによる養殖漁業支援は漁業者だけでなく、水産試験場、水産技術普及指導所からも期待を寄せられている。

現在はユビキタスブイの開発を終えた段階である。臼谷地区および鹿部地区におけるホタテ養殖では、ホタテの体力の低下する急激な水温変化の直後には斃死を防ぐため選別作業を控えるなど、リアルタイムの水温情報を活用し始めている。ユビキタスブイは、小型軽量であることから養殖施設を利用した係留が可能であり、また 1 トン未満の船外機船で容易に設置できることから、急速に利用が広がっている。今後はユビキタスブイを用いた多点多層の水温観測により、提案する水面下の水温分布構造の可視化の実現を目指す。すでに、北海道沿岸に 10 基のユビキタスブイを設置しており、2007 年度中に合計 15 基のユビキタスブイを設置し、2008 年度以降冷水塊の観測を開始する計画である。なお、すべての観測データは HP 上で公開している<sup>20)</sup>。

謝辞 ユビキタスブイの設置に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、留萌市役所農林水産課、鹿部漁業協同組合青年部、北海道立稚内水産試験場、宗谷支庁利尻地区水産技術普及指導所の皆様に厚く御礼申し上げます。本研究は、独立行政法人科学技術振興機構の「シーズ発掘試験」および公立はこだて未来大学の「戦略研究費」の支援により実施しています。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 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, No.44, pp.6-9 (2003).
- 2) 渡島環境ネットワーク推進協議会: RAS ネット北海道. <http://rasnet.jp/>
- 3) 須藤正樹, 藤本 孝, 毛内也之, 鉄村光太郎: ブイおよびこのブイを用いた海洋環境モニタシステム, 特許公報, 特許第 3854984, 11 pages (2006).
- 4) 海洋観測装置マリンアイ. <http://mtcs.hkso.co.jp/me/me1.htm>
- 5) 無線センサネットワーク MOTE. <http://www.smartdust.jp/>
- 6) Katabira, K., Zhao, H., Shibasaki, R. and Ariyama, I.: Real-Time Monitoring of People Behavior and Indoor Temperature Distribution using Laser Range Scanners and Sensor Networks for Advanced Air Conditioning Control, *Proc. INSS2006*, pp.111-114 (2006).
- 7) 倉田成人: 建設分野におけるセンサネットワークの応用, 電子情報通信学会誌, Vol.89, No.5, pp.424-429 (2006).
- 8) Uehara, Y., Uchiyama, T., Mori, M., Saito, H. and Tobe, Y.: Always-on Karte: A System for Elderly People's Healthcare Using Wireless Sensors, *Proc. INSS2006*, pp.45-48 (2006).
- 9) 永原崇範, 鹿島拓也, 猿渡俊介, 川原圭博, 南 正輝, 森川博之, 青山友紀, 篠田庄司: ユビキタス環境に向けたセンサネットワークアプリケーション構築支援のための開発用モジュール U<sup>3</sup> (U-Cube) の設計と実装, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.394, pp.61-66 (2003).
- 10) 豊田 新: センサネットワークを活用した環境モニタリングシステム, 電子情報通信学会誌, Vol.89, No.5, pp.419-423 (2006).
- 11) 上瀧 實, 畑中勝守, 増田 稔, 和田雅昭, 盛 雅道, 土池政司, アクメトフ・ダウレン: 自律型空間情報取得ムバコンの開発, 北海道東海大学紀要理工学, No.15, pp.17-25 (2002).
- 12) 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, No.112, pp.189-198 (2005).
- 13) マイクロキューブ. <http://www.fun.ac.jp/~wada/microcube/>
- 14) 平藤雅之: フィールドサーバを用いたグローバル・バイオセンサネットワーク, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.104, No.307, pp.59-64 (2004).
- 15) TidbiT v2 Temp Data Logger. [http://www.onsetcomp.com/solutions/products/loggers/\\_loggerviewer.php5?pid=461](http://www.onsetcomp.com/solutions/products/loggers/_loggerviewer.php5?pid=461)
- 16) Burke, P.B. and Gaff, T.: A Fast Response Capability within NOAA/NOS/CO-OPS, *Proc. OCEANS 2007 MTS/IEEE, Buoy Technology/Performance*, 5 pages in CD-ROM (2007).
- 17) 和田雅昭, 畑中勝守, 戸田真志: ホタテ養殖支援のための小型海洋観測ブイの開発, 情報処理学会研究報告, UBI-2006-10, pp.387-392 (2006).

1843 養殖漁業支援のためのユビキタスブイの開発

18) Wada, M., Hatanaka, K. and Toda, M.: Compact Buoy System for Scallop Cultivation Using Sensor Network Technologies, *Proc. OCEANS'06 MTS/IEEE, Aquaculture I*, 6 pages in CD-ROM (2006).

19) ルネサス北日本セミコンダクタ, Smalight.

<http://www.kitasemi.renesas.com/product/smilight/>

20) ユビキタスブイシステム . <http://buoy.jp/>

(平成 19 年 8 月 27 日受付)

(平成 20 年 2 月 5 日採録)



和田 雅昭 (正会員)

平成 5 年北海道大学水産学部漁業学科卒業 . 同年株式会社東和電機製作所入社 . 平成 16 年北海道大学大学院水産科学研究科環境生物資源科学専攻博士後期課程 (社会人特別選抜) 修了 . 平成 17 年公立ほこだて未来大学講師 . 平成 18 年同大学助教授 . 平成 19 年同大学准教授 . 海洋をフィールドとするセンサネットワークシステム等の研究に従事 . 平成 18 年度山下記念研究賞 . 博士 (水産科学) . 日本航海学会 , 日本水産工学会 , 電子情報通信学会 , IEEE 各会員 .



畑中 勝守

昭和 60 年中央大学理工学部土木工学科卒業 . 平成 5 年中央大学院理工学研究科土木工学専攻博士後期課程修了 . 同年日本大学短期大学部専任講師 . 平成 10 年北海道東海大学助教授 . 平成 18 年東京農業大学准教授 . 数値流体力学 , GIS , データベース , センシングに関する研究に従事 . 博士 (工学) . 土木学会 , 日本流体力学会 , 地理情報システム学会 , システム農学会 , 日本航海学会各会員 .



戸田 真志 (正会員)

平成 5 年東京大学工学部計数工学科卒業 . 平成 10 年北海道大学大学院工学研究科電子情報工学専攻博士後期課程修了 . 同年セコム株式会社入社 . 平成 13 年公立ほこだて未来大学講師 . 平成 17 年同大学助教授 . 平成 19 年同大学准教授 . コンピュータビジョン , センサフュージョン , ユビキタスコンピューティング , ウェアラブルコンピューティング , 教育情報システムに関する研究に従事 . 博士 (工学) . 電子情報通信学会会員 .