

ホタテ養殖海域における小型海洋観測ブイの実用性評価

和田雅昭[†] 畑中勝守[‡] 戸田真志[†]

[†] 公立はこだて未来大学 [‡] 東京農業大学

前報では、北海道西部の臼谷沖に毎年夏季に流入し、ホタテ養殖に斃死の被害を及ぼす冷水塊を観測するため、多層計測式小型海洋観測ブイによる多点多層の水温計測を提案し、開発したプロトタイプブイの概要と、実験の結果について報告した。本報では、3基のプロトタイプブイを用いてホタテ養殖海域での実験を行い、その結果から実用化のための課題を整理し、多層計測式海洋観測ブイの開発を行った。開発した多層計測式海洋観測ブイは十分な小型化と省電力化が図られており、長期の運用に耐える実用性を備えている。現在、2基の5層計測式海洋観測ブイを臼谷沖のホタテ養殖海域に投入し、水温の計測を実施している。

キーワード：海洋観測，ブイ，携帯電話，多層計測，省電力

Evaluation of small ocean observation buoy in scallop cultivation sea area

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

[†] FUTURE UNIVERSITY-HAKODATE, [‡] TOKYO UNIVERSITY OF AGRICULTURE

In the previous paper, to detect the cold water that damaged the scallop cultivation, we proposed the measurement of the seawater temperature with the multi-layer measurement type small ocean observation buoy, and reported the developed prototype buoy. In this paper, for practical use of the proposed buoy, we arranged the problem from the result of the experiment that used the prototype buoy, and developed the multi-layer measurement type small ocean observation buoy. Two five-layer measurement type small ocean observation buoys have been installed to the scallop cultivation sea area in the Usuya, and run well.

Keywords: Ocean observation, Buoy, Cellular phone, Multi-layer, Low-power

1. はじめに

前報^[1]では、ホタテ養殖が盛んな北海道西部の臼谷沖に毎年夏季に流入し、ホタテの斃死の被害を及ぼす冷水塊を観測するため、多点多層の水温をリアルタイムに計測し、ホタテ養殖海域の水温分布を可視化することを提案した。また、多点多層の水温計測を実現するためには、従来の海洋観測ブイに比べ、安価、かつ、小型の海洋観測ブイが必要となることから、プロトタイプブイ、および、水温計の開発を行い、臼谷漁港で実施した実験の結果について報告した。

本報では、臼谷沖のホタテ養殖海域で実施したプロトタイプブイによる実験の結果と、新たに開発した新型ブイによる多層計測の実施状況について報告する。

2. プロトタイプブイの評価

2.1 システムの構成

プロトタイプブイの制御部はマイクロコンピュータ^[2]を用いて構築しており、拡張ボードには携帯電話のデータ通信カードを挿入している。プロトタイプブイは携帯電話によるダイヤルアップでインターネットに接続し、計測した水温データを電子メールで送信する。水温データの収集と配信は WebDB サーバにより実行され、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情報を閲覧することができる。また、WebDB サーバには水温やバッテリー電圧の異常値が検出されると自動的にアラートメールを配信する機能が実装されている。図 1 はシステム構成図である。

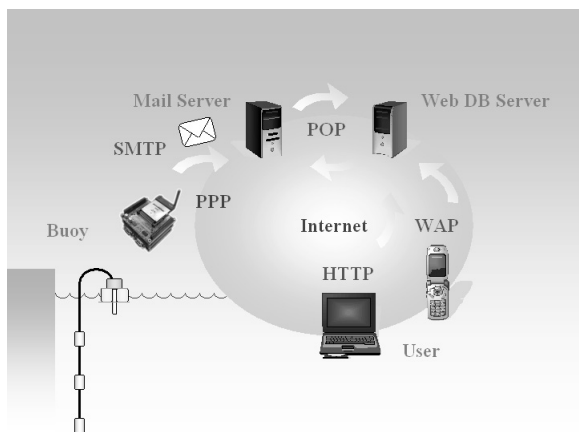


図1 システム構成図

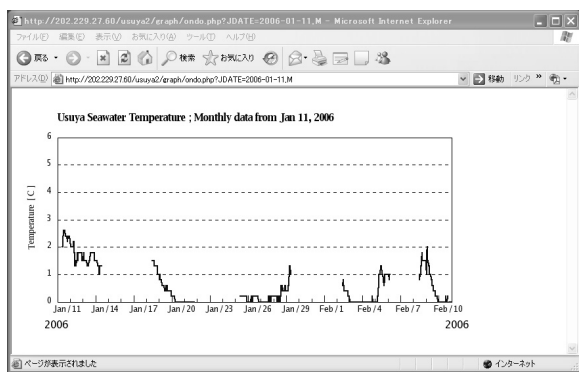


図2 越冬実験時の月変動グラフ

2.2 耐候性の評価

冬季は時化のため、ホタテ養殖海域へのブイの投入作業が困難であることから、白谷漁港 (43° 59' 43" N, 141° 39' 03" E) に試作したプロトタイプブイ (usuya00) を投入し、耐候性、および、通信の安定性を評価するための越冬実験を行った。水温の計測水深は 3m の単層である。usuya00 は 30 分毎に水温を計測し、電子メールで水温データを送信している。実験は平成 17 年 12 月 16 日から平成 18 年 4 月 1 日までの期間に実施した。

実験の期間中には 2,199 回の電子メールの送信機会があり、WebDB サーバでは 2,168 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ており、通信の安定性は実用的な範囲であることを確認した。また、実験期間中の最低気温は氷点下 10°C を下回っており、ブイには着氷が見られたものの、防水性、耐振性、耐塩性といった耐候性には全く問題がなかった。

しかしながら、マリンバッテリーによる usuya00 の平均連続動作時間は 108 時間であり、合計 11 回のバッテリー交換を行ったことから、連続動作時間の延長が課題となった。さらに、水温計の計測温度範囲を 0°C から 25°C に設定していたため、実験期間中に計測された最低水温は 0°C であったが、グラフ (図 2) の傾きからは 0°C 以下にまで水温が下がっていたことが想定されるため、計測温度範囲の見直しが必要となった。

2.3 マリンバッテリーの評価

実験に用いたマリンバッテリー (NM428) は、単一形アルカリ乾電池が 4 本直列に接続され、パッケージ化されたものであり、公称電圧は 6V である。越冬実験では気温が氷点下であったことからマリンバッテリーの電池容量が低下し、連続動作時間は見積値である 333 時間を大きく下回る 108 時間という結果であった。そこで、最初に usuya00 の制御部に用いているマイクロキューブと同じマイクロキューブを用意し、A/D 変換によりバッテリー電圧を計測できる状態に改造し、25°C から 30°C の室温において、ランニング試験を行った。ランニング試験では、水温の代わりにバッテリー電圧を電子メールで送信している。その結果、終息電圧は 5.05V であり、連続動作時間は見積値を上回る 446 時間であった。

次に、マリンバッテリーを改造し、2つのマリンバッテリーを直列に接続したバッテリーを作成し、同様にランニング試験を行った。その結果、終息電圧は 7.27V であり、連続動作時間は 747 時間となった。図 3 にランニング試験の結果を示す。

なお、アルカリ乾電池以外の、ニッケル水素乾電池、オキシライド乾電池、マンガン乾電池を用いて同様の実験を実施し、アルカリ乾電池での動作時間が最も長いことを確認している。

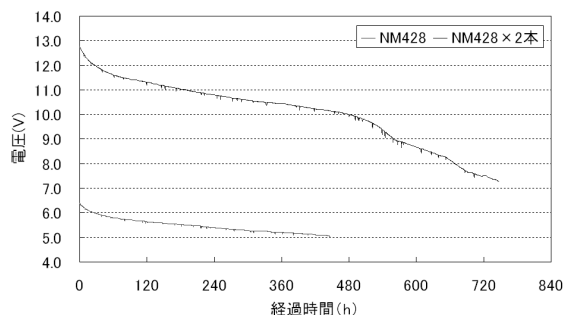


図3 マリンバッテリーのランニング試験結果

2.4 多層式水温計の通信制御

ブイと水温計は 2-wire で接続されており、RS-485 による 2 線式半二重通信が行われている。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信号により一斉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。水温計には 0 から 7 までの ID を割り当てしており、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。

図 4 はレスポンスデータのフォーマットである。通信速度は 1,200bps であり、水温の送信データ長は 7byte、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、レスポンスがポーリング信号となることで無限ループが形成されることのないよう 2,000msec の待機時間を設けていることから 1 回の計測での動作時間は 3,700msec となる。

STX	ID	TYPE	DATA	ETX
(1)	(1)	(1)	(3)	(1)

括弧内はバイト数

図 4 レスポンスデータのフォーマット

2.5 水温計の精度評価

水温計は水深 50m の水圧においても水密性を保つため、防水ケース内部で基板をシリコン（一液型 RTV ゴム）によりモールドしている（図 5）。また、温度センサにはサーミスタを用いていることから水温の計測精度、ならびに、水温変化への追従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 CTD（XR420-CTD）をリファレンスとして水温計の精度評価を行った。

精度評価は 20L の水道水を満たしたプラスチック製の容器に CTD と水温計をバンドで固定した状態で沈め、そこに 3.4kg の氷を投入し（図 6）、3 秒間隔で 24 時間の水温計測を行った。図 7 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。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、計測温度は CTD に比べ 1.5°C 高い値を示したことから、1.5°C をオフセット値とした。



図 5 水温計のシリコンモールド



図 6 水温計の精度評価実験の様子

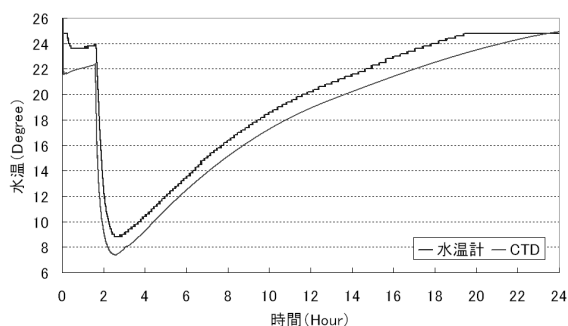


図 7 水温計の精度評価実験の結果

2.6 データ通信カードの評価

マイクロキューブでは DoPa カード 1 種類、FOMA カード 2 種類、合計 3 種類のデータ通信カードを利用することができる。また、DoPa、FOMA とともに臼谷沖のホタテ養殖海域がサービスエリア内であることを確認している。データ通信カードの消費電流は動作時間を大きく左右することから、データ通信カードの評価を行った。

表 1 は評価項目とその結果を示している。なお、各計測値は 5 回の計測の平均値である。FOMA カードは送信電流、待機電流ともに DoPa カードに比べ大きいものの、FOMA の無線区間の通信速度が DoPa に比べ速いことから、電子メールの送信に要する時間が短く、送信時に消費されるバッテリー容量は DoPa カードよりも少なくなっている。しかしながら、平均電流は DoPa に比べ 30%

以上多くなることから、プロトタイプブイでは平均電流の最も少ない DoPa カードを採用している。

表 1 データ通信カードの比較

	DoPaMAX 2896F	FOMA P2402	FOMA P2403
動作電圧	3.3V	3.3/5.0V	3.3/5.0V
待機電流	25mA	39mA	35mA
送信電流	261mA	320mA	276mA
送信時間	30sec	23sec	21sec
送信容量	2.18mAh	2.04mAh	1.61mAh
平均電流	29mA	43mA	38mA

2.7 ホタテ養殖海域における評価

白谷沖のホタテ養殖海域は、海岸線から約 5 マイルの距離であり、うねりなどの波浪、海況が通信の安定性に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、ホタテ養殖海域 (44° 02' 13" N, 141° 33' 03") に 2 基のプロトタイプブイを投入し、評価を行った。1 基は越冬実験に用いた usuya00 であり、もう 1 基は、ボンデンと呼ばれる漁業用のプラスチックポールを利用して、海面よりも高い位置に制御部を配置した usuya01 である (図 8)。バッテリーはいずれもマリンバッテリーを 2 個直列に接続したバッテリーを用いた。usuya00 は 30 分毎に 10m 層の水温を計測し電子メールで送信している。一方、usuya01 は 60 分毎にバッテリー電圧を計測し送信している。なお、usuya00 の DoPa カードの海面からのアンテナ高は 0.1m、usuya01 のアンテナ高は 1.1m である。

実験は平成 18 年 6 月 24 日から平成 18 年 7 月 23 日までの期間で実施した。表 2 は実験開始から最初の 2 週間に送信した電子メールにより、通信の安定性を評価した結果である。図 9 に usuya00 により観測された 10m 層の水温の月変動グラフを示す。usuya00 のエラーの発生状況は、ランダムエラーではなく、バーストエラーであり、風の日には安定して電子メールが受信できており、時化の日にはエラーが集中している。このことから、通信の安定性はアンテナ高に大きく左右されることが確認できた。

また、連続動作時間に関しては、冬季に比べ気温が高くなったことから、usuya00 は 365 時間、usuya01 は 706 時間となり、usuya01 では目標と

する 1 ヶ月の連続動作時間に達することができた。

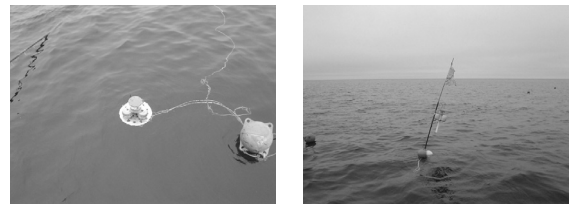


図 8 プロトタイプブイ (左から usuya00, 01)

表 2 通信の安定性評価

ブイ名称	usuya00	usuya01
アンテナ高	0.1m	1.1m
送信回数	727 回	337 回
受信回数	361 回	331 回
エラー数	366 回	6 回
成功率	49%	98%

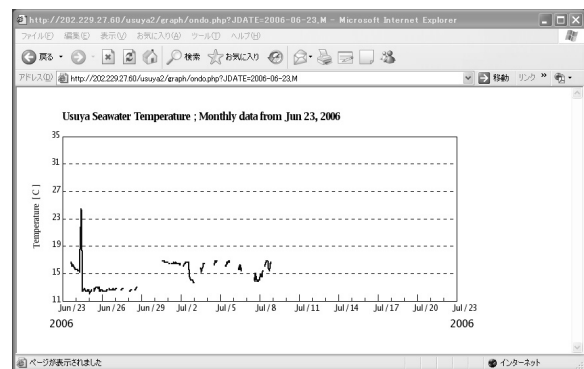


図 9 月変動グラフ (usuya00)

2.8 ホタテ養殖海域における多層計測

ホタテ養殖海域への冷水塊の流入は、例年 8 月中旬から 9 月上旬頃とされていることから、平成 18 年 7 月 12 日に 5 層計測式プロトタイプブイ (usuya02) をホタテ養殖海域に投入した (図 10)。usuya02 も usuya01 と同様にボンデンを用いて、海面よりも高い位置に制御部を配置している。

水温の計測水深は 40m, 30m, 20m, 10m, 3m の 5 層であり、気温も計測している。図 11 は投入日の日変動グラフである。実験は平成 18 年 8 月 30 日まで実施した。40m, 30m の水温計に関

しては、投入 2 日目にレスポンスを返さなくなったことから、18 回分の計測データのみが取得されている。20m, 10m, 3m の水温については、実験期間中、順調に取得することができた。また、バッテリー電圧低下のアラートメールを受けて、平成 18 年 8 月 10 日にバッテリー交換を実施している。

なお、40m, 30m の水温計のトラブルに関しては、30m と 20m の水温計の間の通信ケーブルの断線が原因であることを後に確認している。



図 10 5 層計測式プロトタイプブイ (usuya02)

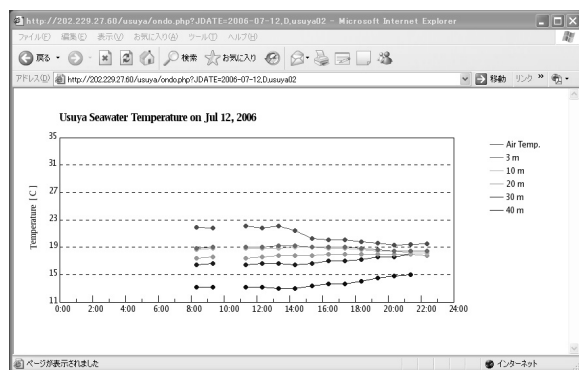


図 11 日変動グラフ (usuya02)

3. 新型ブイの開発

3.1 制御ボードの開発

ブイの小型化、および、省電力化を目的として制御ボードの開発を行った。プロトタイプブイでは送信時と待機時におけるバッテリー消費の比は 2.175mAh:25.000mAh であり、待機時の消費電流を低減することにより連続動作時間を延ばすことができる。そこで、2CPU 構成を採用した。各 CPU の電源は独立しており、メイン CPU の電源をサブ CPU でコントロールすることにより、消費電流の低減を図る。サブ CPU は拡張性の高い RTC として利用している。データ通信カードはメイン CPU に接続されていることから、待機

時に消費される電流はサブ CPU の動作電流のみであり、その値は僅か 170 μ A である。

表 3 に制御ボードの仕様を示す。メイン CPU には 3.3V で動作し、内蔵 RAM 容量の大きいマイクロコンピュータ H8/3029F (Renesas) を、サブ CPU には低消費電力のマイクロコントローラ PIC12F683 (Microchip) を選定した。図 12 は部品配置図である。

表 3 制御ボードの仕様

メイン CPU	HD64F3029F
クロック	16MHz
内蔵 RAM	16kbyte
OS	Smalight PPP
サブ CPU	PIC12F683
クロック	31kHz
動作電流	170uA
外形寸法	50mm×80mm
重量	22g

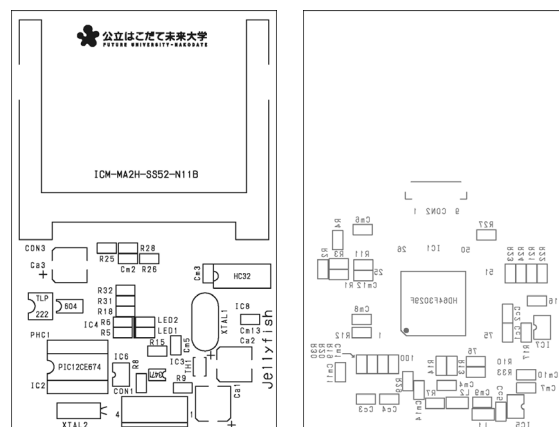


図 12 制御ボードの部品配置図 (表面, 裏面)

3.2 消費電流の評価

開発した制御ボードでは、マイクロキューブと同じ 3 種類のデータ通信カードを利用することができる。表 4 はデータ通信カード別の消費電流を計測し、一覧としてまとめたものである。待機時の消費電流はデータ通信カードの種別に依存しないことから、送信電流と送信時間の積により消費電流を比較することができる。いずれのデータ通信カードにおいても、プロトタイプブイに比べ平均電流は 10 分の 1 以下となっており、DoPa

カードでの送信時と待機時におけるバッテリー消費の比は 2.44mAh:0.17mAh となった。

図 13 にランニング試験の経過を示す。大幅な省電力化が図れたことから、バッテリーはマリンバッテリー 1 本とした。ランニング試験は継続中であり、1,300 時間を経過した段階で、バッテリー容量の約 40%を消費している。

表 4 データ通信カード別の消費電流

	DoPaMAX 2896F	FOMA P2402	FOMA P2403
動作電圧	3.3V	3.3/5.0V	3.3/5.0V
待機電流	0.2mA	0.2mA	0.2mA
送信電流	269mA	326mA	272mA
送信時間	30sec	27sec	25sec
送信容量	2.24mAh	2.45mAh	1.89mAh
平均電流	2.44mA	2.65mA	2.09mA

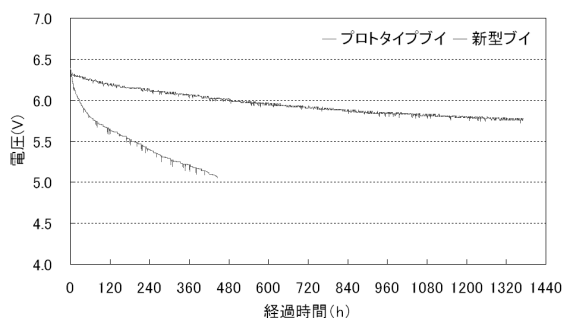


図 13 新型ブイのランニング試験

3.3 新型ブイの作成

プロトタイプブイによる実験の結果、データ通信カードを海面から 1m 程度高い位置に設置することにより通信の安定化が図れたことから、新型ブイでは制御部とバッテリー部を分離し、制御部をボンデンの上部に、重量のあるバッテリー部をフロート付近に取り付ける構成とした (図 14)。これにより、ボンデンの重心位置が下がり、浮遊時の姿勢が安定する。表 5 に制御部、および、バッテリー部の仕様を示す。また、図 15 は制御ボード、および、制御部の写真である。

新型ブイは DoPa カードを用いた usuya10 と FOMA カードを用いた usuya11 の 2 本を作成した。図 16 に新型ブイの寸法を示す。

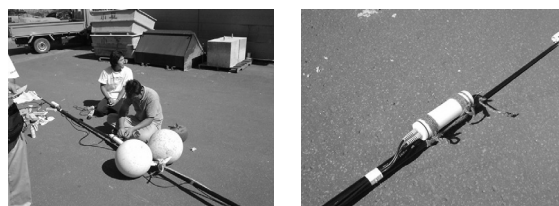


図 14 ボンデンを用いた新型ブイ

表 5 制御部およびバッテリー部の仕様

制御部外形寸法	φ 60mm×210mm
制御部重量	460g
バッテリー部外形寸法	φ 50×355mm
バッテリー部重量	568g
バッテリー重量	575g
材質	ポリアセタール

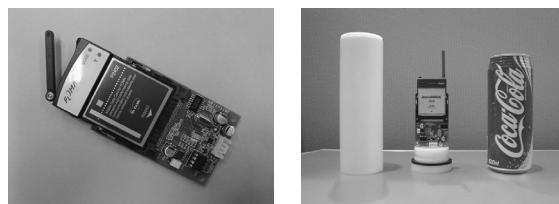


図 15 制御ボード (左) と制御部 (右)

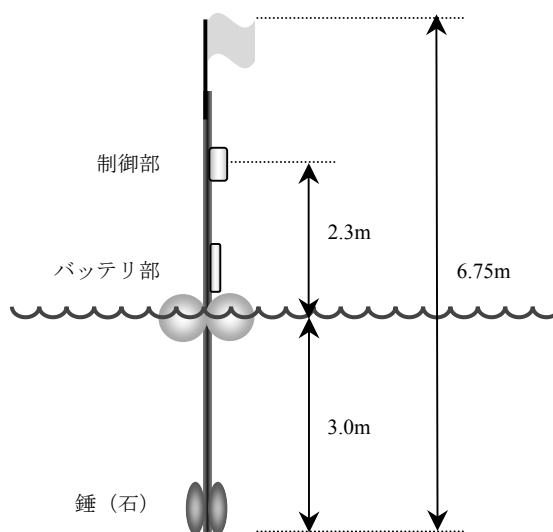


図 16 新型ブイの構成と寸法

3.4 ホタテ養殖海域における実用性評価

平成 18 年 9 月 13 日に usuya10, および, usuya11 をホタテ養殖海域に投入した (図 17). 水温の計測水深は 40m, 30m, 20m, 10m, 3m の 5 層であり, 制御ボードでは気温, および, バッテリー電圧も計測し 1 時間毎に電子メールで送信している. usuya10 の位置座標は 44° 02' 12.6" N, 141° 33' 02.5" E, usuya11 の位置座標は 44° 02' 15.2" N, 141° 33' 02.1" E であり, 約 80m 離れている (図 18).

新型ブイは順調に動作を続けており, 夏季の利用については, 多層計測式海洋観測ブイとして十分な実用性を備えていることを確認した.



図 17 usuya10 (左) と usuya11 (右)



図 18 新型ブイの設置状況

4. おわりに

白谷沖のホタテ養殖海域の水温情報は HP³⁾で公開している. 図 19 は平成 18 年 9 月 13 日からの 1 ヶ月の水温変化を示した月変動グラフである. ブイ投入直後は最深層である 40m 層の水温のみが他の層に比べ約 6°C 低い状態が観測されていたが, 平成 18 年 9 月 20 日にホタテ養殖海域を直撃した台風 13 号の影響により海域が攪拌

され, 表層から下層までの水温が均衡した状態に遷移した様子が確認できる. また, 図 20 は平成 18 年 10 月 4 日からの 1 週間の水温変化を示した週変動グラフである. 平成 18 年 10 月 8 日には 40m 層, および, 30m 層において 24 時間以内に 10°C 以上の急激な水温低下が観測され, 表層も遅延があるものの追従して水温が低下していることがわかる. このように多層観測では情報量が豊富となることから, 水温分布の変化を敏感に捉えることができる.

なお, 冬季にはマリンバッテリーによる新型ブイの動作時間が大幅に短縮することが想定されることから, 平成 18 年 11 月以降は使用温度範囲の広い, 高エネルギー密度のリチウム一次電池を用いて冬季の実験を行う予定である.

本報では, 新型ブイの開発とホタテ養殖海域における水温の多層計測の実施について報告を行った. 平成 19 年度は 10 基の 10 層計測式新型ブイを投入し, ホタテ養殖海域の水温分布の可視化を行う計画である.

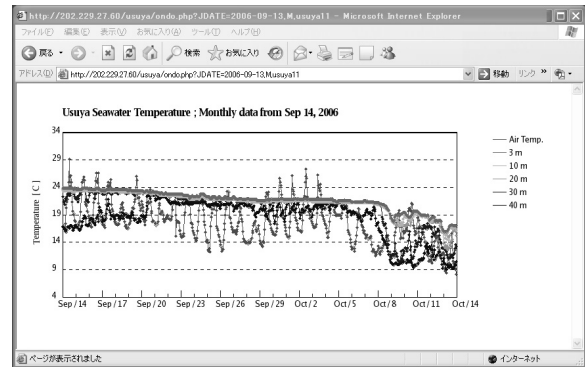


図 19 月変動グラフ (usuya11)

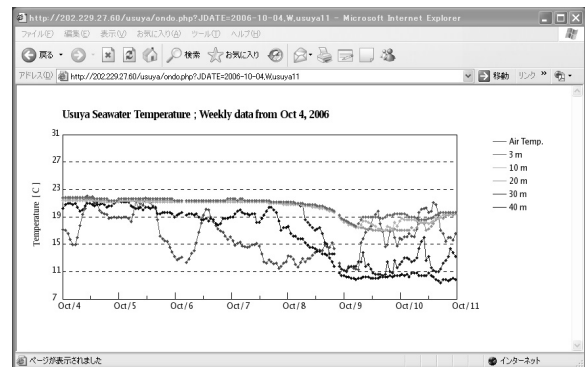


図 20 週変動グラフ (usuya11)

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，ならびに，長尾支所長に厚く御礼申し上げます．本研究は，平成 18 年度公立ほこだて未来大学「戦略研究費」により実施しています．

参考文献

- [1] 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，2006-MBL-36/2006-UBI-10，pp.387-392(2006)
- [2] マイクロキューブ HP
<http://www.microcube.net/>
- [3] 臼谷多点多層海水温監視システム HP
<http://202.229.27.60/usuya/>