

## 気仙沼湾における連続観測システムの精度及び活用法について

澁谷 和明\*1・日下 啓作\*2

Accuracy and utilization of continuous monitoring system in Kesennuma Bay

Kazuaki SHIBUYA\*1 and Keisaku KUSAKA\*2

キーワード：多項目水質計，硝酸塩センサー，連続観測，情報技術

2011年の東日本大震災によって気仙沼湾内の養殖施設は大きな被害を受けたが、1年で収穫が可能なワカメやコンブ等の藻類養殖は、同年内には生産が再開され、着実に復旧が進んでいる。当試験場では震災後の再開率が高いワカメ、コンブ等、藻類養殖生産の効率化を図るために、養殖現場に隣接した試験筏に連続観測システムを備えた多項目水質計及び硝酸塩センサーを設置した。多項目水質計は水温・塩分・クロロフィル $a$ 濃度・溶存酸素濃度・濁度、硝酸塩センサーは硝酸塩濃度をそれぞれ自動で連続観測できる。自動連続観測は調査地点へ行く必要がなく、非常に利便性の高い方法であるが、観測機器のセンサーは常に浮遊物、付着生物等の影響を受ける環境にあることから、通常観測値と自動観測値を比較してその精度を検証する必要がある。

当試験場では連続観測システムから得られた観測値をリアルタイムに養殖現場へ情報提供するために、インターネット上で公開してきた。これまでのシステム運用に関する課題及び問題点を考察し、今後必要な対策について報告する。

### 材料と方法

気仙沼市波路上地先の二ツ根に設置した試験筏(図1, 12 m×6 m)の水深3 mに、2012年3月に多項目水質計(HYDROLAB, DS5x)を、2013年6月に硝酸塩センサー(Satlantic社製, ISUS V3)をそれぞれ垂下した。

多項目水質計は水温、塩分、溶存酸素濃度、クロロフィル $a$ 濃度を30分間隔で、硝酸塩センサーは、硝酸塩濃度を2時間間隔で自動観測した。なお、多項目水質



図1 気仙沼湾二ツ根の位置図及び試験筏上に設置した連続観測システム

計の測定方法については、水温はサーミスターセンサー、塩分は電導度センサー、溶存酸素濃度は蛍光式溶存酸素センサー、クロロフィル $a$ 濃度は蛍光式センサーを採用している。

\*1水産技術総合センター気仙沼水産試験場, \*2農林水産部水産業基盤整備課

自動観測値の精度を検証するために、連続観測システムの設置場所で当試験場が通常行っている測定方法により海洋観測を行い、通常観測値とした。すなわち水温・塩分は直読式水温塩分深度計（JFE アドバンテック社製、ACTD-DF）により、現場で計測するとともに、水深3 mよりバンドーン採水器を用いて採水した試水を実験室に持ち帰り、溶存酸素濃度はウィンクラ一法<sup>1)</sup>、クロロフィル $a$ 濃度はDMF抽出蛍光光度法<sup>2)</sup>、硝酸塩濃度はオートアナライザー（BL-Tech社製、QuAAtro 2-HR）により、それぞれ分析を行った。なお、直読式水温塩分深度計の測定方法については、水温はサーミスターセンサー、塩分は電導度センサー、深度は半導体センサーを採用している。

多項目水質計及び硝酸塩センサーの点検・故障期間や、通常観測値の欠損期間を除く2012年4月から2015年8月までのデータを用いて検証を行い、管理方法とその実施期間を表1に示した。水温及び溶存酸素については、区分等を行わず、期間中のデータを解析に供した。塩分については塩分センサーの清掃が不定期であった2012年4月から2013年3月までをⅠ期、清掃を週1回定期的に実施した2013年4月から2015年7月までをⅡ期として解析した。クロロフィル $a$ 濃度については通常観測を行った2013年4月以降を解析の対象とし、2013年4月から8月までをⅠ期（春季から夏季）、2013年9月から2014年2月までをⅡ期（秋季から冬季）として分けて解析を行った。

硝酸塩は硝酸塩センサーの紫外線発光部及び受光部を保護するメッシュカバー（目合い100  $\mu\text{m}$ ）を取り付けて不定期にメッシュカバーと硝酸塩センサーの清掃を行った2013年6月から2013年10月までをⅠ期、メッシュカバーを取り外して週に1度硝酸塩センサーの清掃を行った2013年11月から2014年2月までをⅡ期、メッシュカバーを取り付けて週に1度メッシュカバーと硝酸塩センサーの清掃を行った2014年11月から2015年4月までをⅢ期とした。自動観測値のデータは、通常観測値の観測時刻と合わせるために線形補間法<sup>3)</sup>により観測時刻を補正した後、両者のデータを用いて回帰分析を行った。

なお、観測値は、携帯電話回線を介して民間会社の運用するサーバーにより、ホームページ上で公開した。

## 結果と考察

### 1 多項目水質計の精度検証

図2(a), (b)はそれぞれ水温及び溶存酸素の通常観測値と自動観測値の時系列変化である。水温は4月から10月にかけて上昇し、10月から3月にかけて低下する季節変動となった。溶存酸素は水温と対称的に5月から10月にかけて低下し、10月から5月にかけて上昇する季節変動を示した。図3(a), (b)はそれぞれ水温及び溶存酸素の通常観測値と自動観測値を比較し

表1 連続観測機器の管理実績

	区分	期間	清掃頻度	保護カバー
多項目水質計				
水温	-	2012.4~2015.8	不定期・週一回	-
溶存酸素	-	2012.4~2015.8	不定期・週一回	-
塩分	Ⅰ期	2012.4~2013.3	不定期	-
	Ⅱ期	2013.4~2015.7	週1回	-
クロロフィル $a$	Ⅰ期	2013.4~2013.8	週1回	-
	Ⅱ期	2013.9~2014.2	週1回	-
硝酸塩センサー				
	Ⅰ期	2013.6~2013.10	不定期	有
	Ⅱ期	2013.11~2014.2	週1回	無
	Ⅲ期	2014.11~2015.4	週1回	有

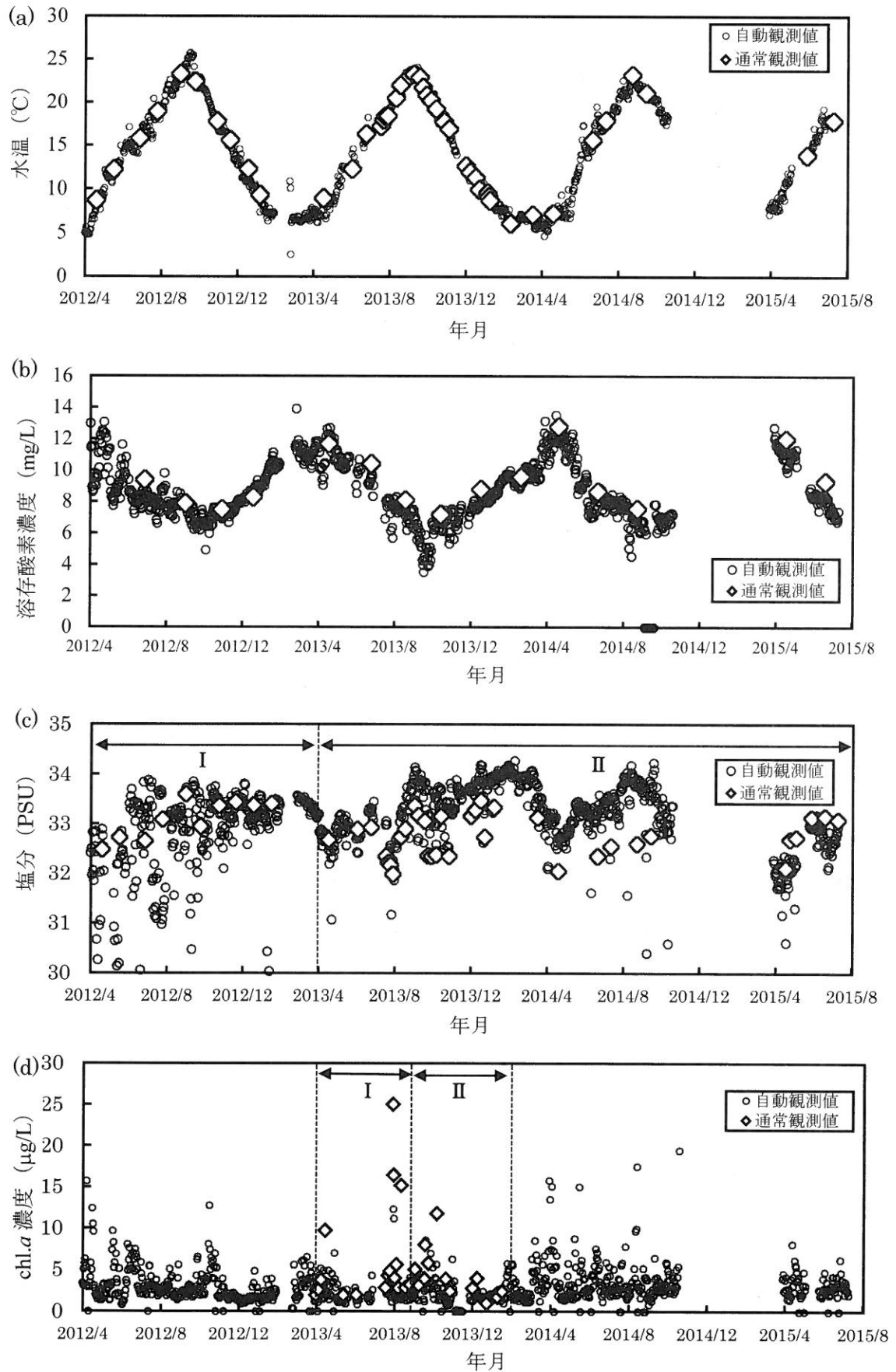


図2 多項目水質計による (a)水温, (b)溶存酸素濃度, (c)塩分, (d)クロロフィルa濃度の自動観測値及び通常観測値の時系列変化



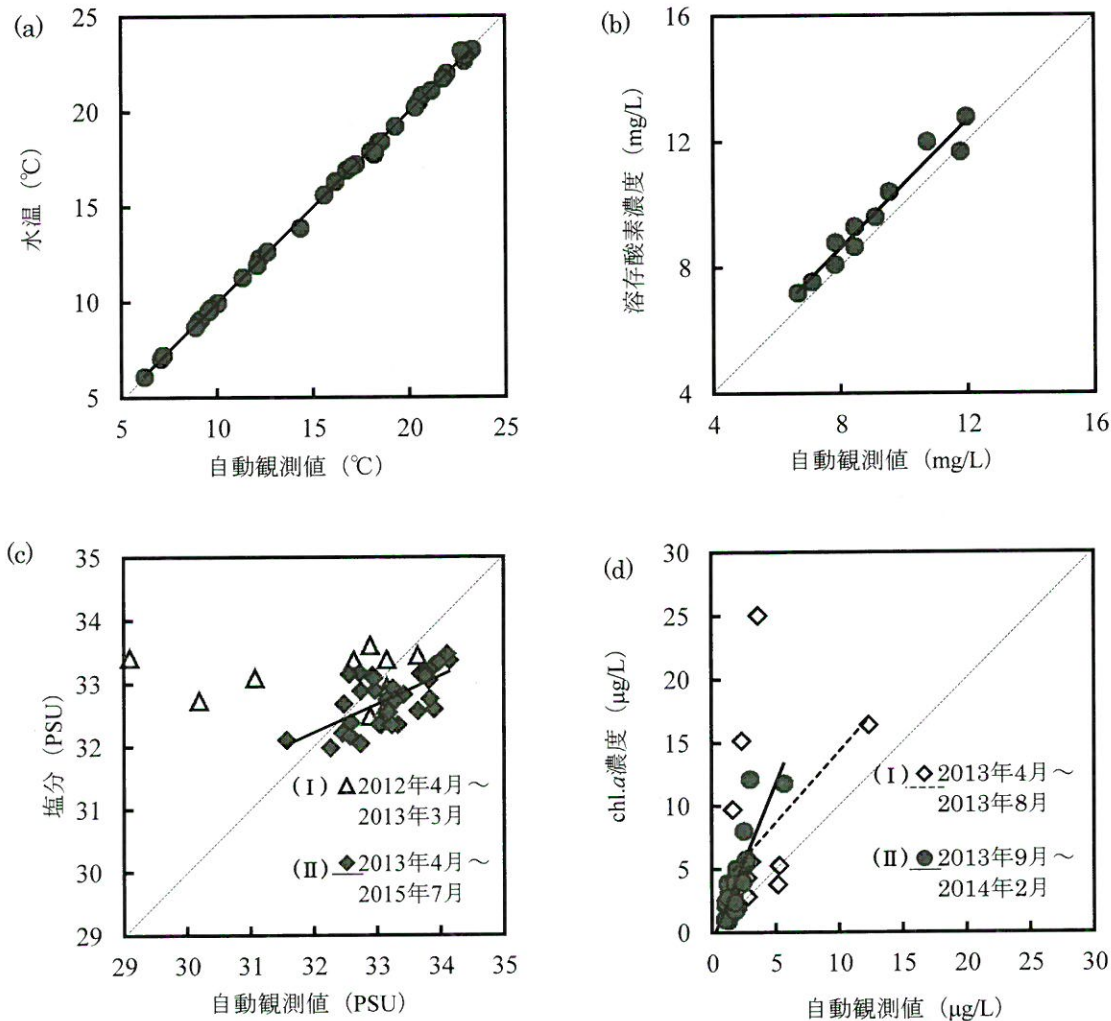


図3 多項目水質計の自動観測値（横軸）と通常観測値（縦軸）における(a)水温，(b)溶存酸素濃度，(c)塩分，(d)クロロフィルa濃度の関係

た結果である。通常観測値を  $y$ ，自動観測値を  $x$  とすると水温は  $y = 1.00x - 0.06$  ( $R^2 = 0.99$ ,  $p < 0.01$ ) で、溶存酸素は  $y = 1.01x + 0.49$  ( $R^2 = 0.96$ ,  $p < 0.01$ ) に回帰され、いずれも回帰式に良く一致した。2つの測定機器による同一の試料観測値の相関図であることから、真値は理論上  $45^\circ$  線上 ( $y = x$ ) に存在する。水温については回帰式の傾きはほぼ1であり、切片も  $-0.06$  と無視できるため、自動観測値は通常観測値と同等として扱うことができると考えられた。溶存酸素については、傾きはほぼ1であるが、切片はやや大きく、回帰式を用いて補正することで通常観測値と同等として扱うことができると考えられた。

図2(c)は塩分の通常観測値と自動観測値の時系列変化である。自動観測値は通常観測値と比較して著しく変動する傾向が見られた。図3(c)に塩分センサーの清掃の頻度の違いを区分してデータを比較した結果を示した。I期(2012年4月から2013年3月)では自動

観測値と通常観測値には有意な相関は得られず、加えてその差は最大で4PSU程度となった。一方、センサーの清掃を行ったII期(2013年4月以降)では、有意な相関が確認され( $y = 0.45x + 17.85$ ,  $R^2 = 0.40$ ,  $p < 0.01$ )、自動観測値と通常観測値の誤差は最大でも1.1PSUであった。これは機器観測範囲(0~70psu)では1.6%程度の誤差となり、一般的には問題にならないと考えられるが、通常の海洋環境では塩分の観測範囲が限られることから、看過できない可能性もある。したがって、精度の高い運用のためには課題が残るが、両者に有意な相関は確認されており、大きな傾向をつかむためであれば、定期的な清掃を行うことで運用可能と考えられた。

図2(d)はクロロフィルa濃度の通常観測値と自動観測値の時系列変化である。クロロフィルa濃度は春季及び秋季に上昇する傾向が見られ、季節にかかわらず、通常観測値は自動観測値に比べて高くなる傾向を示し

た。図3(d)はクロロフィルa濃度の通常観測値と自動観測値の比較を示した結果である。回帰分析を行った結果、検証に用いたクロロフィルa濃度が比較的高いI期(春季から夏季)は自動観測値と通常観測値のばらつきが大きく、有意な相関は確認されなかった( $R^2=0.22, p>0.01$ )。しかし、検証に用いたクロロフィルa濃度が比較的低いII期(秋季から冬季)では有意な相関が確認され、 $y=2.50x-0.73$  ( $R^2=0.66, p<0.01$ )に回帰された。多項目水質計のクロロフィルセンサーは蛍光式測定法によりクロロフィルa濃度を測定しているが、抽出蛍光光度法による分析値が、蛍光式による自動観測器の測定結果よりも高くなることが報告されている<sup>4)</sup>。気仙沼湾においては夏季に透明度が低下することが報告されており<sup>5)</sup>、夏季に海水中の懸濁物質が増加する可能性を示した。一方、蛍光式クロロフィルセンサーの観測値は浮泥等の影響を受けることが報告されていることから<sup>6)</sup>、夏季において自動観測値の値にばらつきが生じた主要な原因としては、懸濁物質の影響が考えられる。しかし、ワカメ養殖漁期となる秋季から冬季にかけては回帰式を用いて補正することで、通常観測値と同等なものとして扱うことができると考えられた。

## 2 硝酸塩センサーの精度検証

図4は2013年6月から2015年4月における硝酸塩センサーにおける硝酸塩濃度の自動観測値と通常観測値の時系列変化である。自動観測値においては塩分センサーと同様に、観測値が著しく変動する現象が見られた。図5に硝酸塩センサーから得られた自動観測値と通常観測値を比較した結果を区分して示した。I期(2013年6月~2013年10月)は自動観測値が通常観測値よりも大幅に高くなり、精度に大きな問題がある

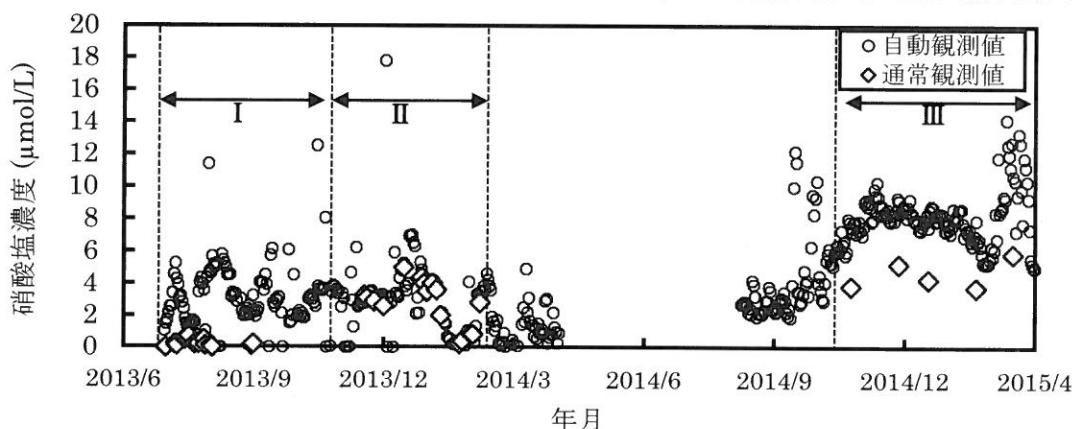


図4 硝酸塩センサーによる硝酸塩濃度の自動観測値及び通常観測値の時系列変化

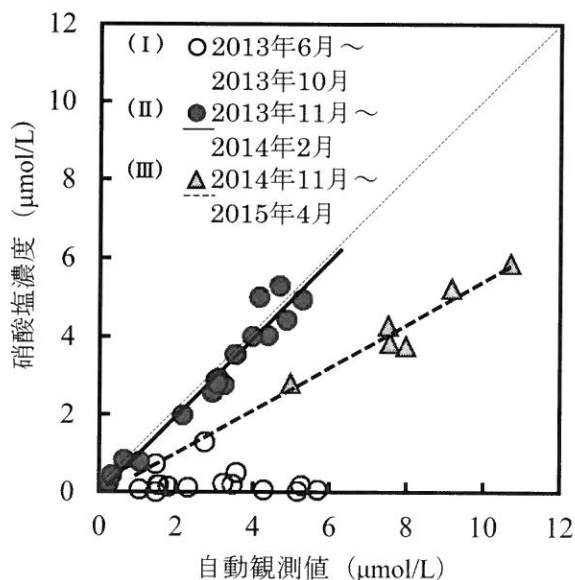


図5 硝酸塩センサーの自動観測値(横軸)と通常観測値(縦軸)の比較

と考えられた。しかし、カバーを外したII期(2013年11月~2014年2月)は $y=1.00x+0.04$  ( $R^2=0.95, p<0.01$ )に回帰され通常観測値と非常によく一致した。また、III期(2014年11月~2015年4月)は $y=0.55x-0.10$  ( $R^2=0.92, p<0.01$ )に回帰され、自動観測値が通常観測値のおよそ2倍の数値となった。II期、III期ではいずれも週1回の清掃を行うことにより、有意な回帰式を得られており、冬季から春季にかけては週1回程度の清掃管理による運用は適切であると考えられた。一方、夏季にカバーをつけて週に1度の清掃を行った結果はないものの、夏季の運用を検討するには清掃頻度が課題となる。

また、本研究における硝酸塩センサーは200 nmから400 nmの波長の紫外線を照射してその減衰率から硝酸塩濃度を求めているが、低波長の光は溶存有機物質(CDOM)により吸収されることが報告されており<sup>7)</sup>、



海水中の CDOM により観測値も高くなったと考えられた。同型の硝酸塩センサーにおいて、自動観測値が通常観測値よりも高くなる結果が報告されている<sup>8,9)</sup>。

しかしながら、自動観測値と通常観測値の関係は有意な直線で表されたことから、今後データを蓄積してより普遍的な回帰式を作成し、観測値を補正することで、冬季のワカメ収穫時においては実用可能であると考えられた。

### 3 運用の問題点について

リアルタイムの水質情報の提供により、これまで経験に頼ることが多かった養殖現場でのワカメ育苗管理などの作業を、客観的な情報に基づき判断することで、作業の効率化と生産の安定化を図ることができる。当試験場では、多項目水質計から得られた水温・塩分・溶存酸素・クロロフィル *a* 濃度を 2012 年 2 月から、硝酸塩センサーによる硝酸塩濃度を 2014 年 2 月からホームページ上で公開している (図 6)。ワカメの採苗や沖出し等の作業にこれらのデータを活用する漁業者が増加しつつあり、着実に利用の拡大が図られている。

しかし、これまで観測機器本体に大きなトラブルは生じていないものの、通信装置の故障によってデータの欠損期間が生じている。さらに、通信回線として携帯電話の回線を利用しており、通信方式の世代交代に伴う通信回線のサービス停止に対応する必要も生じている。

リアルタイムな水質情報の提供には安定的なシステムを構築することが必要不可欠であるが、システム構築や維持に係る費用の負担は大きな問題となっている。これらに加え、さらに一定期間の自動観測データをバックアップする装置を取り付ける等、予期せぬ通信障害に対応する方法についても検討が必要である。

また、センサーは本研究で明らかになったように、付着物の影響を受けることから、清掃、カバーの材質及びメンテナンスも含めた運用体制の構築が大きな課題である。

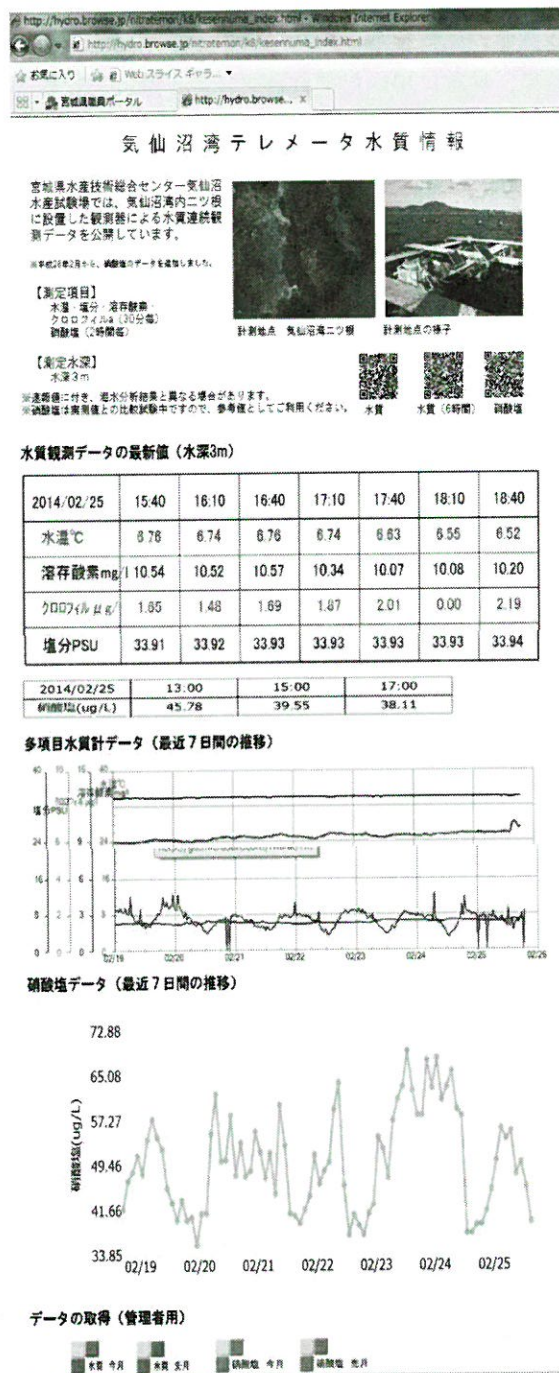


図 6 気仙沼水産試験場のホームページ ([http://hydro.browse.jp/nitratemon/k8/kesenuma\\_index.html](http://hydro.browse.jp/nitratemon/k8/kesenuma_index.html)) 上に公開している水質情報

## 要 約

気仙沼湾の二ツ根に設置した多項目水質計及び硝酸塩センサーより得られた自動観測値及び通常観測値を比較してその精度を検証し、情報提供の方法や今後の課題について検討を行った。

- 1)水温及び溶存酸素濃度はいずれも良い相関関係にあり、溶存酸素濃度は回帰式により補正が可能であることが確認された。
- 2)クロロフィル *a* 濃度は秋季から冬季において、回帰式による補正が可能であると考えられた。
- 3)硝酸塩濃度は CDOM の影響と考えられる観測値のずれが見られたものの、特に冬季から春季にかけてはセンサー部の清掃をすることで、回帰式により補正が可能であると考えられた。
- 4)観測機器の清掃については、原則として週に1度の頻度で実施することで、実用に足る運用は可能であ

るが、特に硝酸塩センサーにおける夏季の清掃頻度については今後検討する必要がある。

- 5)水質情報をリアルタイムでホームページ上に公開することで漁業者への活用を図った。通信装置の不具合により、データの欠損期間が生じることがあるため、通信システムの安定化及びバックアップ体制を整備する必要があるとともに、機器のメンテナンスが大きな課題である。

## 謝 辞

本研究にあたり、水質の調査及び分析を担当してきた歴代の宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場職員の方々に、この場を借りて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本水産資源保護協会編 (1980) 新編 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣. 55-158.
- 2) Holm-Hansen, O, C.J.Lorenzen, R.W.Holmes, J. D. H. Strickland (1965) Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **30**, 3-15.
- 3) Meijering, E. (2002) A chronology of Interpolation: From Ancient Astronomy to Mordern Signal and Image Processing, *Proceeding of the IEEE*, **90**, 319-342.
- 4) 辻将治・渥美貴史・国分秀樹・奥村広征・畑直亜・増田健・清水康広・広瀬和久・山形陽一・千葉賢 (2004) 閉鎖性海域の環境創生プロジェクト研究事業 シミュレーションモデル開発に係る英虞湾の水質調査. 平成15年度三重県水産研究所事業報告, 82-83.
- 5) 日下啓作・石川哲郎・中家浩・千葉充子 (2015) 気仙沼湾での東日本大震災による養殖漁場の水質変化. 宮城水産研報, **15**, 1-9.
- 6) 田中勝久・児玉真史・熊谷香・藤本尚伸 (2004) 有明海筑後川河口域における冬季のクロロフィル蛍光と濁度変動. 海と研究, **3**, 163-172.
- 7) BRICAUD, A., A. MOREL, and L. PRIEUR (1981) Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnol. Oceanogr*, **26**, 43-53.
- 8) 高木秀蔵・清水泰子・阿保勝之・柏俊行 (2013) 硝酸塩センサーを用いたノリ漁場栄養塩モニタリング. 水産技術, **5**, 159-163.
- 9) 伊藤博・伊藤力・安芸貴史・藤代康一 (2010) ノリ養殖漁場におけるプイ型端末システムを用いた硝酸塩態窒素濃度の連続測定. 第9回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集, 139-142.

