

技術報告

硝酸塩センサーを用いた ノリ漁場栄養塩テレメトリーシステムの開発

高木秀蔵^{*1}・清水泰子^{*2}・阿保勝之^{*3}・柏 俊行^{*4}

Development of a real time nutrient monitoring system on a Nori (*Pyropia*) farm using an automatic nitrate sensor

Shuzo TAKAGI, Yasuko SHIMIZU, Katsuyuki ABO and Toshiyuki KASHIWA

To reduce the damages of discoloration in nori *Pyropia*, dissolved inorganic nitrogen (DIN) telemetry technology that combines a NO₃-N sensor with a data transfer device was developed. For the nori fishing seasons in 2010, 2011 and 2012, a significant correlation was identified between DIN concentration and NO₃-N sensor value ($p < 0.01$). We successfully transferred the obtained data to a PC via a telephone line and the data were provided to fishing companies by email or fax.

キーワード：硝酸塩センサー, 栄養塩, テレメトリー, ノリ (*Pyropia*)

2014年10月10日受付 2015年1月8日受理

近年, 日本各地で海水中の栄養塩不足に伴うノリ (*Pyropia*) の色落ちが発生し, ノリ生産者に大きな被害をもたらしている (渡辺 2009)。ノリの色落ちとは, 本来黒色であるノリの葉体が薄い茶褐色となる現象を指し, 色落ちしたノリから作られた乾のりの製品価値は著しく低い (有賀 1980)。色落ちの原因となる栄養塩成分としては, 東京湾ではリン, 有明海では窒素とされているが (石井ら 2008, 川口ら 2004), 本研究で対象とした瀬戸内海では経験的に, 溶存態無機窒素 (DIN) 濃度が $3 \mu\text{M}$ を下回ると色落ちが始まると言われている (渡辺ら 2004)。なお, DIN とは一般に硝酸態窒素 (NO₃-N), 亜硝酸態窒素 (NO₂-N), アンモニア態窒素 (NH₄-N) の合計値で示される。

沿岸海域の DIN 濃度は様々な要因によって急激に減少するため (多田ら 2010), ノリの色落ちも突然発生す

る。色落ちが始まる前に収穫することが出来れば, 色落ち被害を軽減できるため, ノリの生産がおこなわれている地域の公設研究所では, 漁場周辺の栄養塩の調査を実施し, 漁業者に向けて定期的に情報提供している。ところが, 現在実施されている採水と機器分析に依存する調査では多くの手間がかかるために, その回数が制限される。その結果, 海域の DIN 濃度の低下時期を見逃し, 色落ち被害の軽減に十分に貢献できないことも多い。

前報で (高木ら 2013) 著者らは硝酸塩 (NO₃-N) センサー値と NO₃-N や DIN の実測値の間に相関があることを示し, DIN のモニタリング方法として現場設置型の硝酸塩センサーが有用である可能性を示した。ただし, 前報では単年度の結果のみに基づいて検討しており, それ以外の年におけるセンサー値と NO₃-N 濃度, DIN 濃度の関係や誤差については不明である。加えて, 測定結果

*1 岡山県農林水産総合センター 水産研究所

〒701-4303 岡山県瀬戸内市牛窓町鹿忍 6641-6

Okayama Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Research Institute for Fisheries Science, Setouchi, Okayama 701-4303, Japan

shiyuuzou_takagi@pref.okayama.lg.jp

*2 岡山県農林水産部水産課

*3 独立行政法人水産総合研究センター 瀬戸内海区水産研究所

*4 株式会社 CT&C

は、測器を回収、解析するまで分からなかったため、海域の栄養塩環境をリアルタイムで把握しながら、ノリ養殖のスケジュール管理を行いたいという漁業者の要望に応えることができなかった。

今回、前報の調査年度に加え2ヶ年の間、硝酸塩センサー値とDIN濃度の相関を調べるとともに、取得したデータをリアルタイムで転送するシステムの開発を行った。これらの技術を組み合わせて、海域のDIN濃度のテレメトリー技術を開発し、現場漁業者への試験的な情報発信を行ったので、以下に報告する。

材料と方法

硝酸塩センサーの設置期間と設置方法 2011年11月23日から2012年1月10日までの48日間（2011年度）、2012年11月29日から2013年2月10日までの73日間（2012年度）に、図1に示す備讃瀬戸のノリ漁場の海面下50cmに硝酸塩センサー（ISUS V3, Satlantic社製）を、その標識灯ブイに携帯電話回線を使用したデータ転送装置（CT & C社製）をそれぞれ設置した。

両調査年度ともにノリ養殖は例年通り10月中旬ごろに育苗が、11月上旬ごろから本張りが始まった（水戸2012, 2013）。11月中旬ごろから生産が始まった。1月中、下旬からDIN濃度が低下し始めて色落ち被害が発生し、2月中、下旬頃から徐々に網上げが行われ、3月中旬ごろには生産はほぼ終了した。すなわち、上に示した機器の設置期間は、本張りから漁期の後半に相当する。

今回、機器の設置に使用した標識灯ブイは、ノリ養殖

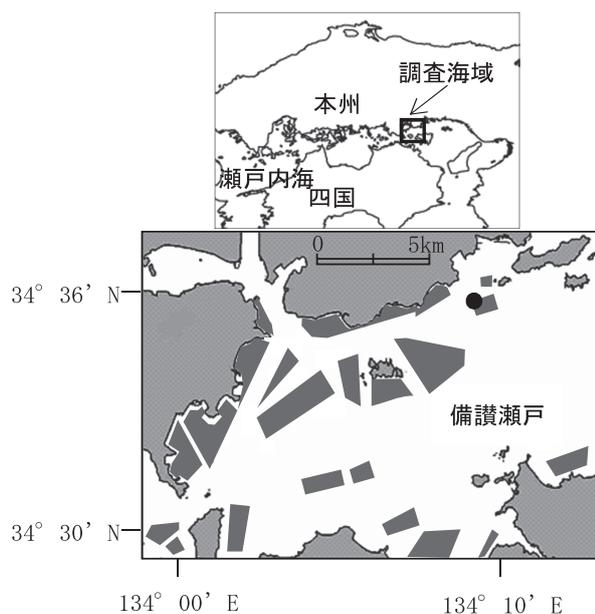


図1. 調査場所
●：硝酸塩センサーの設置場所
■：ノリ漁場

の区画漁業権の範囲を示すために養殖期間中は常に設置されている。備讃瀬戸海域において一般的に使用されている箱舟型のブイであり、40kgの錨を数個用いて海上に設置する。大きさは1.8m(W) × 1.4m(L) × 0.5m(H)、浮力体積は0.41m³、重量は70kg、自重を除いた余剰浮力は350kgである。

硝酸塩センサーを用いた現場観測とデータ転送装置の開発 機器の設置期間中2011年度は4時間に1回、2012年度は2時間に1回、観測とデータ転送を行った。

両年度ともに、センサーの電力は市販のアルカリ単一電池30個（合計51Ah）から、転送装置の電力は密閉型鉛蓄電池PE12V24（合計24Ah, GS YUASA社製）から供給した。これらの機器は、直径10mmのクレモナロープを用いて設置し（図2）、測器の掃除、バッテリーの交換といったメンテナンスは実施していない。また、装置回収後の機材一式の写真についても合わせて示した（図3）。

硝酸塩センサーは、紫外線の複数の波長帯における減衰率を基に、NO₃-N濃度を推定する（高木ら2013）。1回の観測において、1.5分間の間に、約80データを取得し、はずれ値をフィルタリングして除いた後の平均値をセンサー値とする。KANSOテクノス社製の標準溶液（塩分：34.88, NO₃-N濃度：42.82 μM）を超純水で4段階に希釈した標準水を作成し（表1）、それぞれの標準水と超純水のNO₃-N濃度とセンサー値の間の差が0.5 μM以下であることを確認した後設置した。すなわち、塩分とNO₃-N濃度が異なる試水において精度の確認を行っており、塩分の影響を受けてセンサー値が変化する可能性については除外できる。

転送装置は、直径267mm × 高さ395mmの円筒状の筐体にバッテリーと一緒に封入されており、空中重量は25kgである。耐水水深は20m、真夏の炎天下でも十分に耐える性能を有している。アンテナ部分が空中にあれば通信が可能であり、1回あたりの最大データ送付量は30Kbytesである。今回は、センサー値、観測時間、転送装置の電圧、基盤温度を添付したメールを電話回線で送付した。センサーと転送装置は、RS232端子を有した防水ケーブルで接続している。

表1. 標準溶液および較正に使用した標準水と超純水

	塩分	NO ₃ -N濃度(μM)
標準水①	17.22	21.41
標準水②	12.30	15.29
標準水③	8.61	10.7
標準水④	1.72	2.14
超純水	0.00	0.00

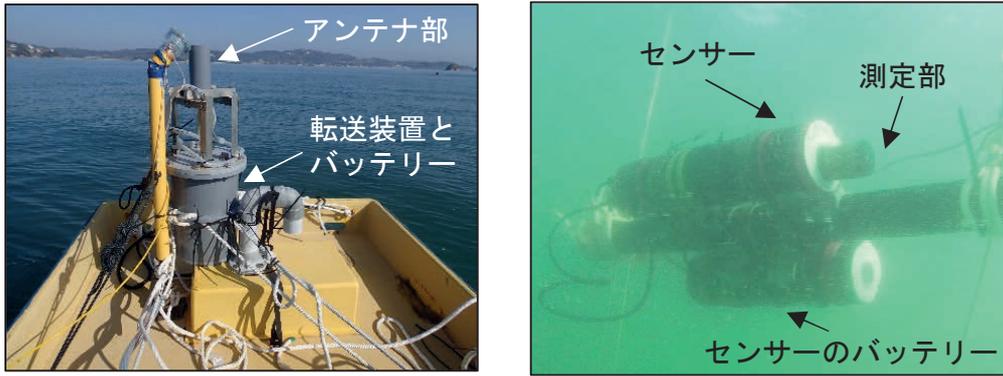


図2. 本研究で設置した硝酸塩センサー（ISUS V3）と転送装置

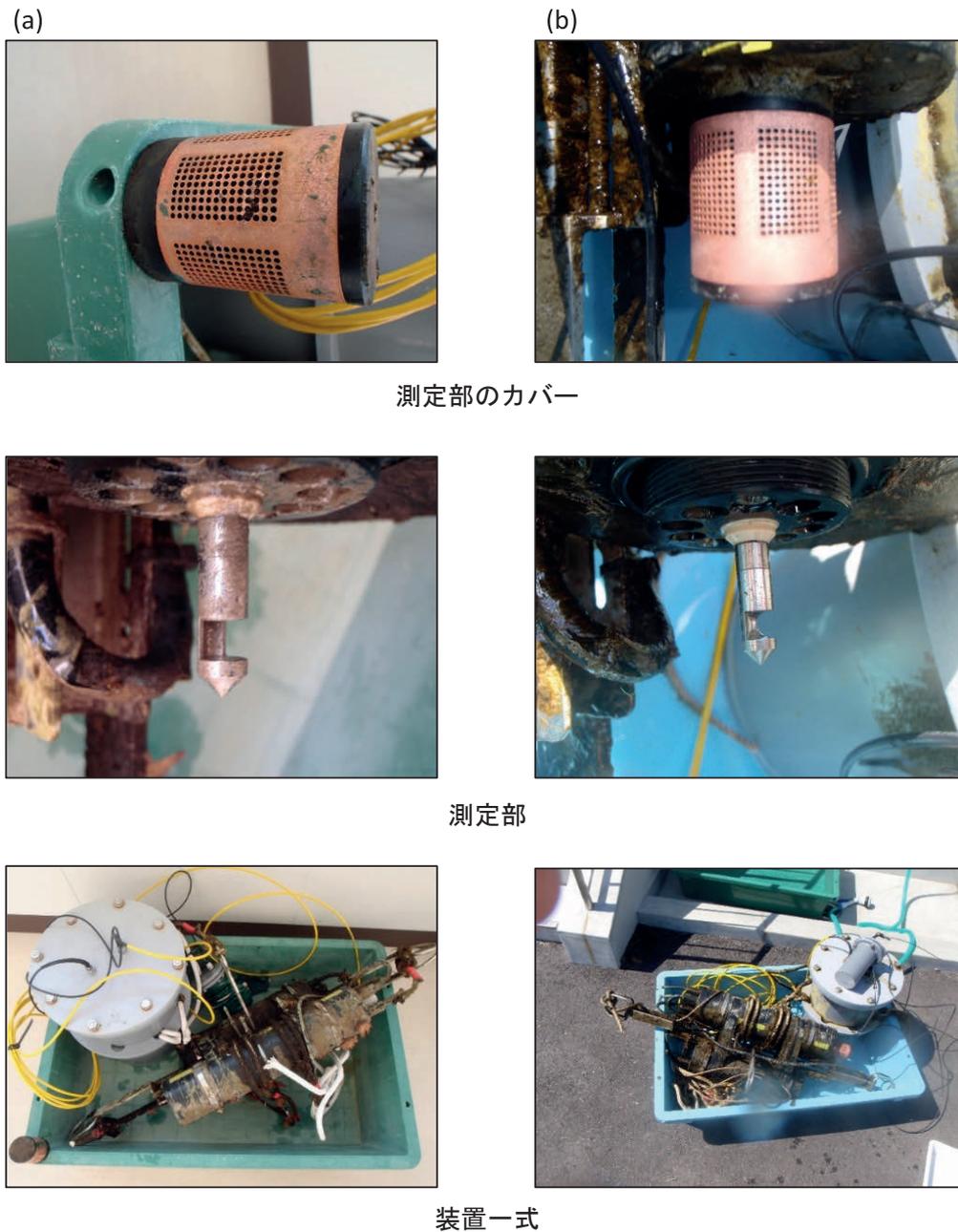


図3. 硝酸塩センサーの回収時の測定部、装置一式の状況
(a) 2011年度、(b) 2012年度

一般に、海域環境の連続モニタリングとデータ転送を行う場合、測器の測定タイミングと転送時間のズレを解消するとともに、電源の消費を抑えることを目的として、測器の動作をコントロールする機能を転送装置に組み込むことが多い。その場合、データ転送に不具合が生じた際、センサーと転送装置のどちらに問題があるのかの判断が難しくなる。加えて、転送装置が故障した際に、センサーのデータ取得もできなくなる可能性がある。本研究では、転送装置とセンサーは独立して動作し、指定した時間にメールを送付するように転送装置の設定を行った。また、転送装置が作動しなかった場合でもセンサーの内部には常に取得したデータが保存されるようにした。

センサーの設置場所における栄養塩の実測調査 2011年度はセンサーの設置期間中に12回、2012年度は11月29日から2013年1月21日までの間に13回、5日に1回程度の間隔でセンサーの観測時間に合わせて、センサーの設置場所の海面下50cmにて採水を行った。採水試料は、研究所に持ち帰ったのちにGF/Cフィルター(Whatman社製)でろ過した。ろ液は栄養塩分析装置QuAAtro 2HR(BL-Tech社製)による栄養塩分析に供し、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-Nを分析した。これらの合計をDINとした。

結 果

センサー値および各実測値の推移 2011年度および2012年度の硝酸塩センサー値、DINおよびNO₃-N濃度の実測値の推移を図4に示した。なお、硝酸塩センサー値はほぼすべての結果が数分以内に転送され、予定通り転送されてきた結果のみを図中に記載している。

2011年11月23日の硝酸塩センサー値、実測のNO₃-N濃度、DIN濃度はそれぞれ、17.4μM、14.2μM、16.5μMとなっていたが、いずれの項目についても徐々に低下し、2012年1月10日には4.7μM、1.7μM、2.1μMまで低下した(図4(a))。2012年11月29日のセンサー値、NO₃-N濃度、DIN濃度はそれぞれ、7.7μM、5.1μM、8.3μMであった(図4(b))。その後、1月上旬に一時的な濃度の上昇がみられたものの、再び減少し、2013年1月20日には3.0μM、0.9μM、1.2μMとなった。センサー値はその後も低下を続け、2月10日には1.6μMとなった。両年度ともに、DIN濃度の低下に伴って、DIN濃度とNO₃-N濃度の差は小さくなった。また、センサー値はNO₃-N濃度よりも常に高い値を示した。なお、両年度ともにごく短時間でのセンサー値の増減がみられているが、これは前報で検討した通り(高木ら2013)、同海域で特徴的にみられる河川からの間欠的なNO₃-N供給の結果であり(高木ら2012a, 高木ら2012b)、測器の値のぶれを示しているものではないと考えられた。

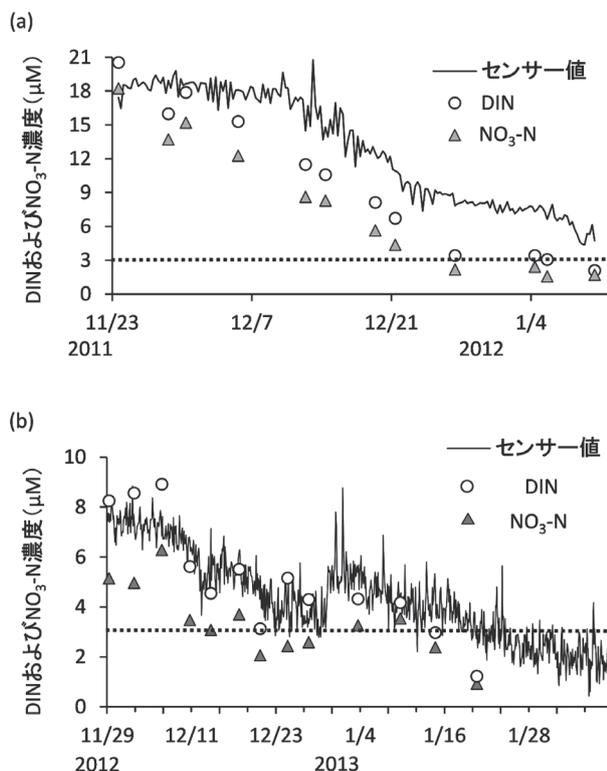


図4. センサー値と実測のDIN濃度およびNO₃-N濃度の推移(a) 2011年度、(b) 2012年度 (図中の点線は、瀬戸内海で色落ちが生じるとされるDIN濃度; 3μMを示している)

センサー値と各実測値の相関 年度ごとの硝酸塩センサー値と実測のNO₃-N濃度、実測のDIN濃度の関係をそれぞれ図5に示した。なお、ここには前報(高木ら2013)における2010年度の結果についても合わせて示した。

硝酸塩センサー値(x)と実測のNO₃-N濃度(y)はすべての年度において有意な($p < 0.01$)相関がみられ(2010 $y = 0.81x - 3.3$, 2011 $y = 0.87x - 4.1$, 2012 $y = 0.95x - 1.7$)、いずれの年においてもセンサー値は実測のNO₃-N濃度よりも高い値を示した。また、3ヶ年を合わせた場合でも有意な($p < 0.01$)相関がみられた($y = 0.72x - 1.7$) (図5(a))。年度ごとの相関式についてFisherのLSDによって共分散分析を行ったところ、2010年度と2011年度では相関式の傾きの間に有意差は見られなかった($p > 0.05$)。一方、2012年度と2010年度、2012年度と2011年度の相関式の間には有意差がみられた($p < 0.05$)。

硝酸塩センサー値と実測のDIN濃度(y')の関係のみたところ、すべての年度において有意な($p < 0.01$)相関がみられ、2010; $y' = 1.12x - 4.6$, 2011; $y' = 1.03x - 3.8$, 2012; $y' = 1.40x - 2.3$ 3ヶ年を合わせた場合でも有意な($p < 0.01$)相関がみられた($y' = 0.85x - 2.3$) (図5(b))。NO₃-Nの結果と同様に、2010年度と2011年度の相関式の間には有意差はなく(Fisher's LSD $p > 0.05$)、2012年度と他年度の間には有意差がみられた($p < 0.05$)。

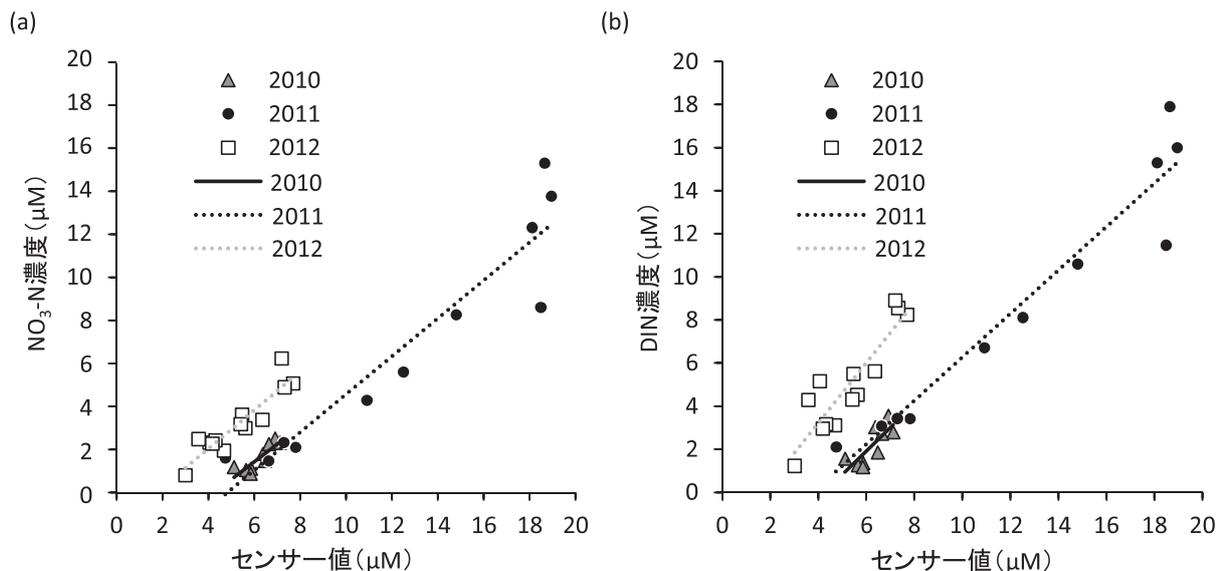


図 5. センサー値と実測の NO₃-N 濃度 (a), DIN 濃度の関係 (b)

表 2. NO₃-N 濃度の実測値, センサー値 (補正なしまたは補正あり) と実測値との差

	実測値	センサー値と実測値との差		
		補正せず	当該年度の結果で補正	3ヶ年の結果で補正
2010年度	1.73±0.61	4.48±0.33	0.24±0.16	1.08±0.31
2011年度	7.53±5.25	3.70±1.53	1.03±1.10	1.61±1.02
2012年度	3.29±1.45	1.07±0.48	0.44±0.37	1.18±0.61
平均	4.31±3.89	3.08±0.87	0.57±0.39	1.29±0.76

(平均値±標準偏差; μM)

実測値とセンサー値, センサー補正值の間の差 表 2, 3 は, 硝酸塩センサー値と実測の NO₃-N 濃度, 実測の DIN 濃度との差 (絶対値) について, 年度毎の平均値と標準偏差を示したものである。また, 前節で示した各相関式を用いて, 硝酸塩センサー値を補正した場合の NO₃-N 濃度または DIN 濃度 (センサー補正值) と各実測値の差 (絶対値) についても示している。さらに, センサー補正值は, 当該年度の結果で補正した場合と 3ヶ年の結果で補正した場合の 2 通りについて算出した。

NO₃-N 濃度について, センサー値やセンサー補正值と実測値を比較すると, 当該年度の結果で補正した場合に実測値との差が最も小さく, 0.24 ~ 1.03 μM となった。この補正值と実測値との差を実測値で除した値 (誤差) は 2010 年度が 13.0 %, 2011 年度が 13.6 %, 2012 年度が 13.4 % であった (表 2)。

DIN 濃度について比較したところ, NO₃-N 濃度と同様に, 当該年度の結果で補正した場合に実測値との差は最も小さく, 0.47 ~ 1.25 μM となった (表 3)。この補正值と実測値との誤差は 2010 年度が 17.1 %, 2011 年度が 13.0 %, 2012 年度では 17.2 % であった。

ノリ養殖漁業者へのデータ提供 センサーを設置した海

域に関係する漁協やノリ養殖業者に対して, センサー値と DIN 濃度との間に有意な ($p < 0.01$) 相関が得られた以降に, DIN 濃度のセンサー補正值をメールまたは FAX で送付した。2011 年度は, 2011 年 12 月 22 日から 2012 年 1 月 4 日までの間に 5 回, 2012 年度は, 2012 年 12 月

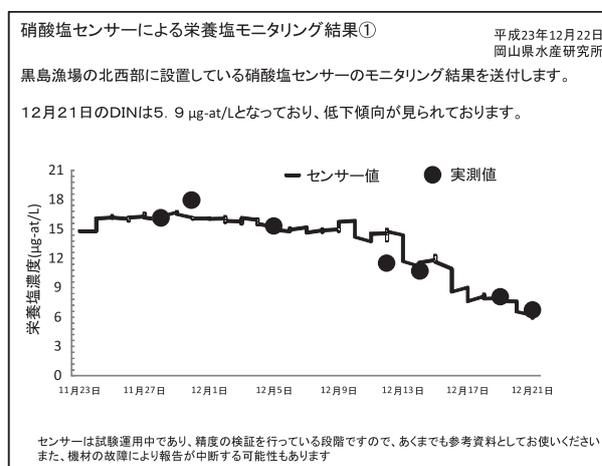


図 6. 現場の漁業者に送付した FAX (2011 年 12 月 22 日) センサー値は, 相関式で補正済みの値

表 3. DIN 濃度の実測値, センサー値 (補正なしまたは補正あり) と実測値との差

	実測値	センサー値と実測値との差		
		補正せず	当該年度の結果で補正	3ヶ年の結果で補正
2010年度	2.75±0.89	4.07±0.54	0.47±0.20	1.90±0.55
2011年度	9.56±5.88	3.70±1.53	1.25±1.07	1.57±0.90
2012年度	5.05±2.34	1.08±0.48	0.87±0.50	1.81±1.28
平均	5.74±4.65	2.95±1.10	0.85±0.64	1.76±0.99

(平均値±標準偏差; μM)

12日から2013年2月8日までの間に18回、3日に1回程度の頻度で実施した。参考として、2011年12月22日に送付したFAXを図6に示した。なお、その際にはDIN濃度の中長期的な変化を理解しやすくするために、1日の間の移動平均値を用いた。

考 察

本報では、前報(高木ら2013)で示した結果に加えて、その後の2ヶ年についても硝酸塩センサー値と実測のNO₃-N濃度、DIN濃度の関係を調べるとともに、データの転送技術の開発を行い、漁業者へのセンサー補正值の情報発信を行った。

前報で示した結果と同様に、2011、2012年度ともに観測開始時には、実測のNO₃-N濃度とDIN濃度の間に乖離がみられたが、季節が進むにしたがって両者の差は小さくなった(図4)。これは、前報で示したとおり、NH₄-Nの硝化がすすみ(小林ら2007)、DINにおけるNH₄-Nの割合が低下したためと考えられた。このことから、ノリの色落ちが生じはじめるDIN濃度低下時には、NO₃-N濃度でDIN濃度を代表できることが明らかになった。センサー値は、NH₄-NとNO₂-Nの値ではなく、NO₃-N濃度を反映して変化する。そのため、DINに占めるNO₃-Nの割合が異なるサンプルを混合してセンサー値とDIN濃度の補正式を作成した場合(図5)、同一年度内の連続したサンプルで補正を行っても、一定程度の誤差が生じ、NO₃-N補正值の誤差(13.0~13.6%)よりもDIN補正值の誤差(13.0~17.2%)は大きくなる(表2, 3)。そこで、長期間のモニタリングを行う中で、海水中のDINの中のNO₃-Nの割合が変化してきた場合には、担当者の判断のもとで補正に使用するデータ区間を変えながら、運用することも考えられた。一例として、2011年度において、2011年11月13日~12月19日(前半)と12月23日~2012年1月10日(後半)の2つの区間に分け、それぞれについてセンサー値と実測のDIN濃度の間の相関を作成し、実測のDIN濃度とセンサーのDIN補正值の間の濃度差と誤差を計算した。前半(n=6)では実測値との差は1.25 μM、誤差は7.4%、後半(n=6)では実測値との差は0.30 μM、誤差は6.6%となり、表3で示した全データを用いて補正した際の誤差

(13.0%)よりも低くなった。

年度ごとの硝酸塩センサー値と実測のNO₃-N濃度、DIN濃度の相関式を比較すると、傾き、切片ともに2012年度はそれ以外の年と異なる相関がみられた(図5)。切片についてしてみると、硝酸塩センサー値は低波長の光を吸収する有色溶存有機物(CDOM)の影響を受け、実測値よりも高い値を示すことが分かっている(Johnson and Coletti 2002, Bricaud and Prieur 1981)。ところが、瀬戸内海におけるCDOM濃度の時空間分布については不明な点が多い。そのため、現時点では、この違いが生じた理由についてははっきりした結論を出すことができない。今後は、CDOM濃度の増減が生じる海域でセンサー値と実測値の関係を調べるとともに、室内環境下においてもNO₃-NとCDOMを様々な濃度で混合した試水とセンサー値の関係を求める必要がある。加えて、本調査海域のように河川水の流入が見られる場所では、河川から供給されるCDOMの影響についても調べる必要がある。これらをあわせることにより、センサー値に対するCDOMの影響を把握することが可能となり、一般性のある補正式の作成につながると考えられる。

センサー値と実測のNO₃-N濃度の相関式の傾きについては、2012年度において他の2ヶ年との間に有意差がみられたものの、有意水準を10%とした場合には、年度間の差は見られなかった。また、設置前に実施している標準溶液を用いた検定では、3ヶ年の相関式の間に有意差が見られなかったことから、現場海水の分析の際に生じる僅かな誤差によって、傾きが変化したと考えられた。

現在のところ、本システムは実測のモニタリングなしで運用できる精度を有していない。しかし、著者らが聞き取りを行ったところ、水試等の公設研究所では、ノリの養殖の盛期には月に3~4回(7~10日に1回)以上の頻度で実測調査を実施し、その翌日までは情報提供を行っていた。本報では、5日に1回程度の分析頻度による実測データを用いて補正した結果を示したが、各年度ともに偶数または奇数回時の調査結果を除いてセンサー値とNO₃-N濃度、DIN濃度の相関を調べた場合、いずれのケースにおいても有意な(2010年度; p<0.05, 2011および2012年度; p<0.01)相関が得られた。加えて、オートアナライザーによる分析では、NO₃-N、NO₂-N、

NH₄-Nは同時に測定・算出され、DINはそれらを合計することによって算出される。すなわち、現行の実測モニタリングが行われている海域では、追加の調査を行うことなく、DINのテレメトリーが可能になると考えられた。

また、生ノリの色調は、DIN濃度が2~3μMを下回ると急激に低下するものの、5μM以上については、色調とDIN濃度の関係ははっきりしなくなることが分かっている(村山ら2015)。本研究では、生産が開始されてからの情報発信であったが、今後はより早い時期から機器を設置し、情報発信を行うとともに、DINが一定以上の濃度を保っている時には多少正確さに欠けていても、高DIN濃度期はセンサーによるモニタリングをメインで行い、センサーによるモニタリングにより低DIN濃度期に入った段階で、実測のモニタリング頻度を増やすといった運用も可能であると考えられた。

センサー値とDIN濃度の間に有意な相関を得るまでに要したサンプル数は、2010年度は5サンプルでその濃度差は1.8μM、2011年度は5サンプルで濃度差は5.4μM、2012年度は5サンプルで2.6μMであった。これらのことから、概ね3μM程度の濃度差を持つ中で5サンプル程度センサー値と実測値を得ることができれば、相関式を作成できると考えられた。

本報における2012年度の調査では、2.5ヶ月以上の長期にわたって海域に設置したにもかかわらず、センサー値と実測のNO₃-N濃度、DIN濃度の間に有意な相関が得られる精度のデータを継続して得ることができた。さらに、今回行ったメーカーの推奨設定では観測1回あたりの硝酸塩センサーの電池使用量は約0.02Ahであり、転送に必要な電池の使用量はそれよりも小さい。そのため、51Ahのバッテリーを使用し、1日に12回観測した場合には213日間、1日に24回観測の場合は107日間の連続データを取得できる。即ち、生物の付着が少ない初冬から初春にかけてのノリ漁期中であれば、一度設置すれば、バッテリー交換や清掃等のメンテナンスを行うことなく、連続観測が可能であると考えられる。

謝 辞

本研究は平成22~24年度水産庁委託事業「沿岸海域の栄養塩管理技術開発委託事業」の成果の一部を示した。本研究を行うにあたり、協力して頂いた関係漁協の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 有賀祐勝(1980) スサビノリの色彩と色素. 遺伝, **34**, 8-13.
- 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.
- 石井光廣・長谷川健一・松山幸彦(2008) 東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因: 栄養塩の長期変動および最近の珪藻赤潮発生の影響. 水産海洋研究, **72**, 22-29.
- JOHNSON, K. S., and L. J. COLETTI (2002) In situ ultraviolet spectrophotometry for high resolution and long-term monitoring of nitrate, bromide and bisulfide in the ocean. *Deep-Sea Res.*, **49**, 1291-1305.
- 川口 修・山本民次・松田 治・橋本俊也(2004) 水質の長期変動に基づく有明海におけるノリおよび珪藻プランクトンの増殖制限元素の解明. 海の研究, **13**, 173-183.
- 小林志保・藤原建紀・原島 省(2007) 瀬戸内海における溶存態無機窒素の季節・経年変動とその要因. 沿岸海洋研究, **44**, 165-175.
- 水戸 鼓・野坂元道・村山史康・林 活志(2012) 平成23年度ノリ養殖概況, 岡山県農林水産総合センター水産研究所資料, 岡山県, www.pref.okayama.jp/upload/attachment/185121.pdf, 2015年2月27日
- 水戸 鼓・野坂元道・村山史康・林 活志(2013) 平成24年度ノリ養殖概況, 岡山県農林水産総合センター水産研究所資料, 岡山県, www.pref.okayama.jp/upload/attachment/185113.pdf, 2015年2月27日
- 村山史康・高木秀蔵・清水泰子(2015) 岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度がノリの色調および乾海苔単価との関係. 日水誌, **81**, 107-114.
- 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.
- 高木秀蔵・難波洋平・藤沢節茂・渡辺康憲・藤原建紀(2012a) 備讃瀬戸に流入する河川水の広がりノリ漁場への栄養塩供給. 水産海洋研究, **76**, 197-204.
- 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・藤沢節茂・藤原宗弘・渡辺康憲・藤原建紀(2012b) 河川から間欠的に供給される栄養塩供給によるノリ色調の回復. 日水誌, **78**, 246-255.
- 多田邦尚・藤原宗弘・本城凡夫(2010) 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖. 分析化学, **59**, 945-955.
- 渡辺康憲(2009) ノリ養殖と珪藻赤潮・栄養塩. 海洋と生物, **31**, 112-117.
- 渡辺康憲・川村嘉広・半田亮司(2004) ノリ養殖と栄養塩ダイナミックス. 沿岸海洋研究, **42**, 47-54.