

硝酸塩センサーによって観測された、 小鳴門海峡の硝酸塩濃度の変動と潮汐の関係

環境増養殖担当 池脇義弘

Key word: 硝酸塩センサー, 硝酸塩濃度, 小鳴門海峡, 栄養塩, 潮汐

近年、養殖ノリや養殖ワカメが、海水中に溶け込んでいる栄養分の不足により「色落ち」を起こして商品価値が低下するという被害がしばしば発生しています（加藤，團 2010，斎浦 2013）。瀬戸内海では，色落ちは，藻類の生長に必要な栄養分のうち，無機窒素“D I N”（溶存無機態窒素）の不足により発生しているといわれています（川口，高辻 2010，多田ら 2010）。

今回報告するのは，徳島水研鳴門庁舎（以下，“水研鳴門”と記す。）の前の小鳴門海峡における硝酸塩濃度の変動を観測した結果です。硝酸塩とは硝酸イオン（ NO_3^- ）のことですが，なぜ，硝酸塩を測定しているのかというと，硝酸塩はD I Nの主要な部分を占めているからです。

水産研究課では平成26年11月から硝酸塩センサーという観測機器を用い硝酸塩濃度を一定間隔で自動的に測定しています。この機器の仕組みなどは徳島水研だより第93号に書きましたので，詳しくは，徳島水研だより第93号の「硝酸塩センサーの導入について」（以下，“前報”と記す）をご覧ください。

小鳴門海峡は四国北東端にあり，大毛島などいくつかの島に囲まれ，播磨灘と紀伊水道を結ぶ全長約8kmの細長い海峡です。この細長い海峡は，ワカメ養殖漁場として広く利用されています(図1)。

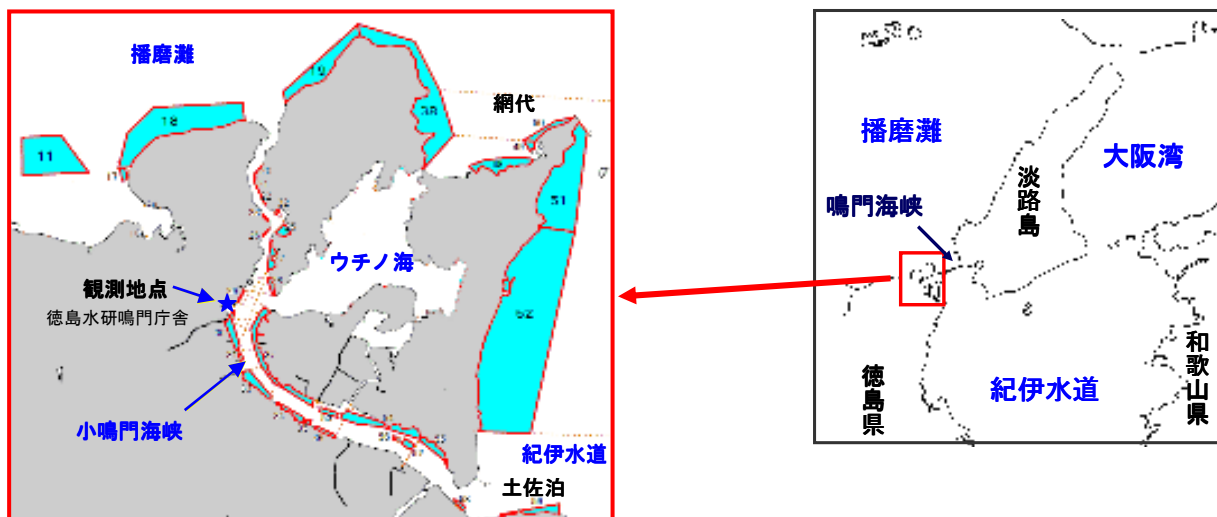


図1. 硝酸塩センサーの観測地点とその周辺図。

図中の水色の部分は，藻類(主にワカメ)養殖漁場の位置を，番号は漁業権番号を示す。

測定に際しては，硝酸塩センサーを設置した水槽への注水経路を切り替えることによっ

て、海底直上（水深約11m）からポンプで常時汲み上げている海水（以下，“汲み上げ海水”と記す）と水深約0.5mの海水（以下，“表層水”と記す）を30分毎に交互に測定できるように工夫しています。

1. 長期的変動

2014/11/9から2015/5/1までの観測結果を図2に示しました。なお、前報に示した方法で、硝酸塩センサーの測定値を補正しています。

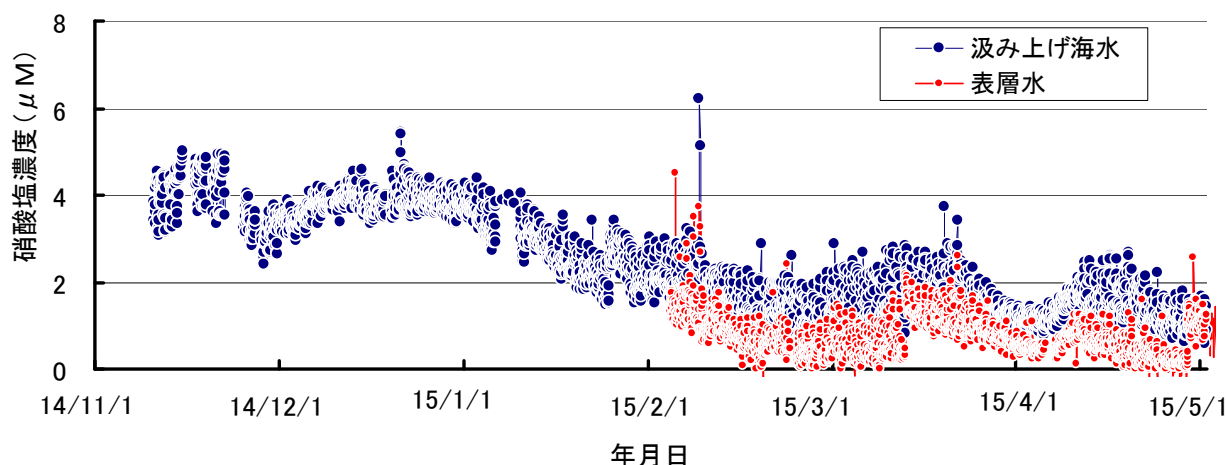


図2. 硝酸塩センサーによる観測結果。

汲み上げ海水は毎時 0 分、表層水は毎時 30 分に測定。

この観測期間は、徳島県におけるワカメの養殖期間（10月から翌年4月頃）をほぼカバーしています。図2をみると、この期間の初期には4 μM 前後あった硝酸塩が、養殖期間の後半にかけてしだいに2 μM 以下まで低下するという傾向がみられました。また、海底直上から取水している汲み上げ海水よりも表層水の方が硝酸塩濃度が低いこともわかりました。

図3に示したのは、藻類の養殖期間にあたる10月から翌年3月に水産研究課が週1回おこなっている栄養塩調査の小鳴門海峡周辺の観測地点を示したものです。図4は、その中から小鳴門海峡北端に一番近い播磨灘側の定点“北泊”と南端に近い紀伊水道側の定点（これは，“新鳴門”と“里浦1”の2点を選び平均しました），そして小鳴門海峡中央付近の点“水研鳴門”の硝酸塩濃度の変化です。これらの定点の硝酸塩濃度の変化は、図2に示した“水研鳴門”の硝酸塩センサーの観測結果と非常によく似た変動パターンを示していました。

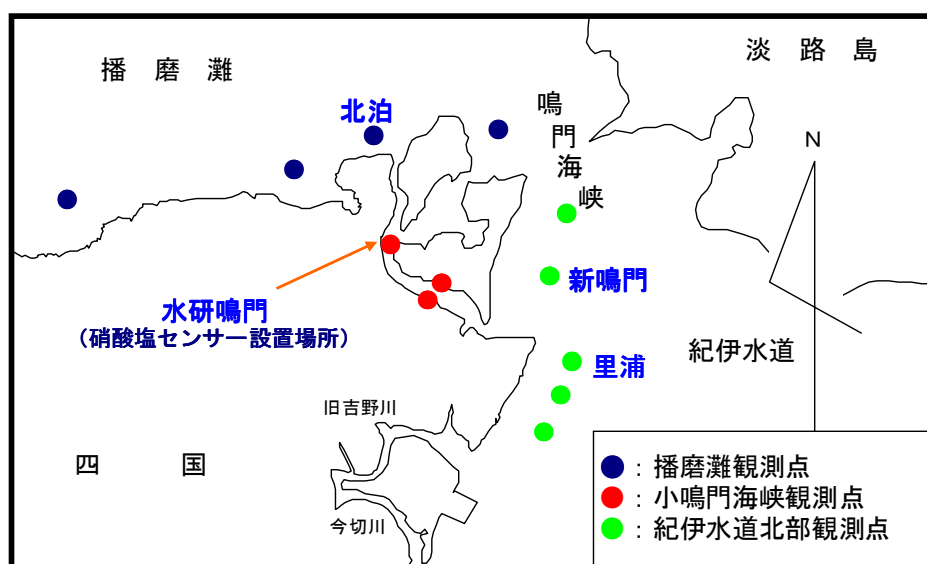


図3. 小鳴門海峡周辺の栄養塩調査の観測地点。

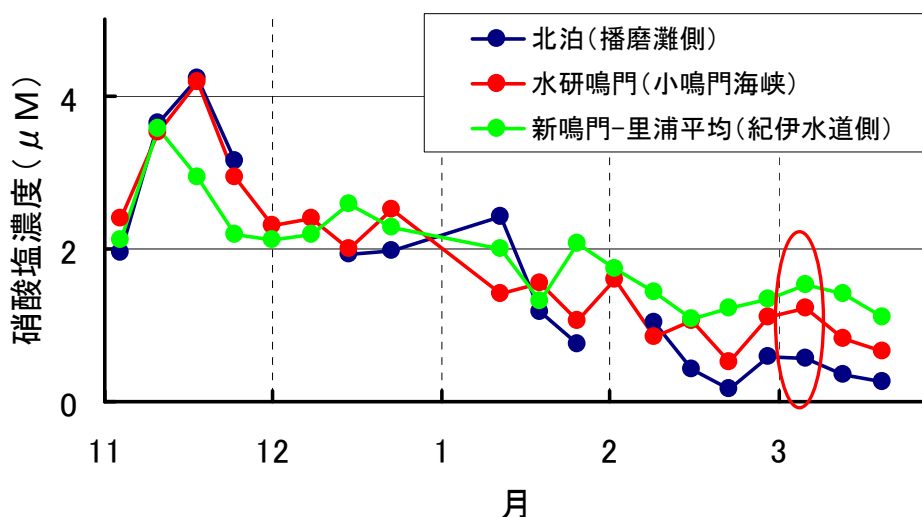


図4. 小鳴門海峡周辺の硝酸塩濃度の変化(2014 年 11 月から 2015 年 3 月におこなった栄養塩調査の結果より)。

2. 短期的変動－潮汐との関係

ところで、図2をよく見ると、硝酸塩濃度の長期的な変動傾向の中に、汲み上げ海水、表層水ともに硝酸塩濃度が $1 \sim 2 \mu\text{M}$ 程度の幅で変動する（1日未満の）短い周期の変動がみられます。図5のように、グラフの横軸（時間軸）のスケールを拡大するとよくわかります。

この変動では、規則的に硝酸塩濃度が増減しますが、なぜか塩分濃度も同じように変動しています。また、その増減の周期はおおよそ半日で、1日2回硝酸塩濃度の値のピークが現れます。さらによく見ると、その値のピークがみられる時刻は、1日おおよそ1時間程度遅れてゆきます。これは、潮汐にもみられるパターンと同じです。

そこで、硝酸塩濃度の短い周期の変動と潮汐の関係を調べてみました。

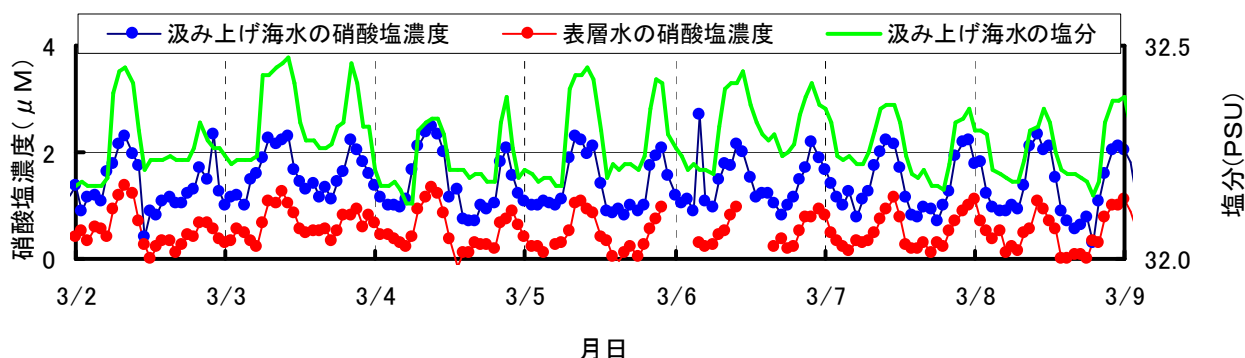


図5. 硝酸塩センサーによって観測された硝酸塩濃度の短期的変動と鳴門庁舎汲み上げ海水の塩分濃度の変化(2015/3/2～3/9の観測例)。

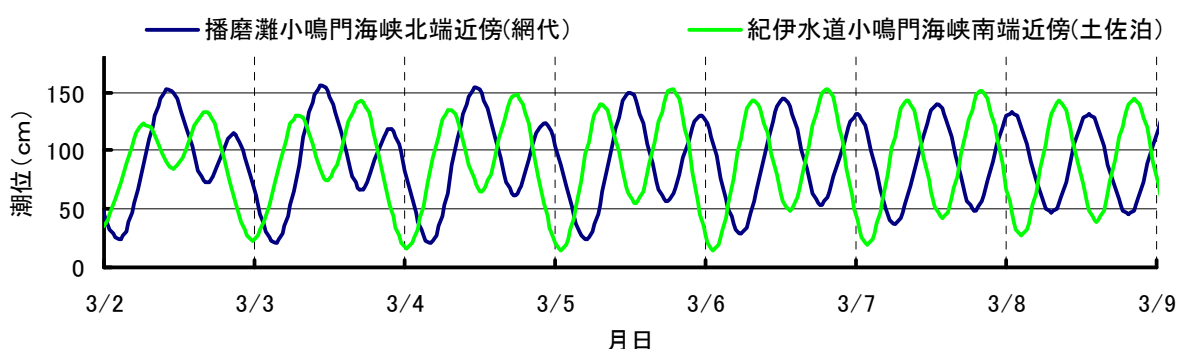


図6. 2015/3/2 から 3/9 の、小鳴門海峡南北両端付近の潮位の変化(潮みえ～る“<http://sio.mieyell.jp/>”に掲載されたデータから推定した。)。

図6は、図3と同時期の小鳴門海峡の北端付近の網代と南端付近の土佐泊の潮位の変化を示したものです。小鳴門海峡は、近くにある渦潮で有名な鳴門海峡と同様に、潮流が早いという特徴がありますが、それは、図6に示したように、海峡の北端（播磨灘側）と南端（紀伊水道側）との潮位差が大きいからです。そして、網代の潮位より土佐泊の潮位が高いときには潮流は海峡を北上し、両地点の潮位の関係が逆になると潮流は南下します。図5と図6を見比べると、硝酸塩濃度と塩分は、海峡で北上流が起きると上昇し始め、南下流が起きると低下し始めることがわかります。今回の観測期間中では、このパターンの短期的変動が最も多く見られました。

この硝酸塩濃度の短い周期の変化はどのような要因で起こっているのでしょうか。図7に2014年11月から2015年3月に実施した栄養塩調査によって得られた小鳴門海峡北端付近の播磨灘（北泊）と南端付近の紀伊水道北部（新鳴門-里浦1平均値）の塩分濃度を示しました。図5に示した観測期間（図7の赤い楕円）も含め、調査期間中常に紀伊水道北部の塩分濃度が高くなっていました。また、先に示した図4の赤い楕円も図5の観測期間中のデータを示していますが、このときの硝酸塩濃度は、紀伊水道側が高く、播磨灘側が低くなっていました。また、小鳴門海峡はその中間の値でした。

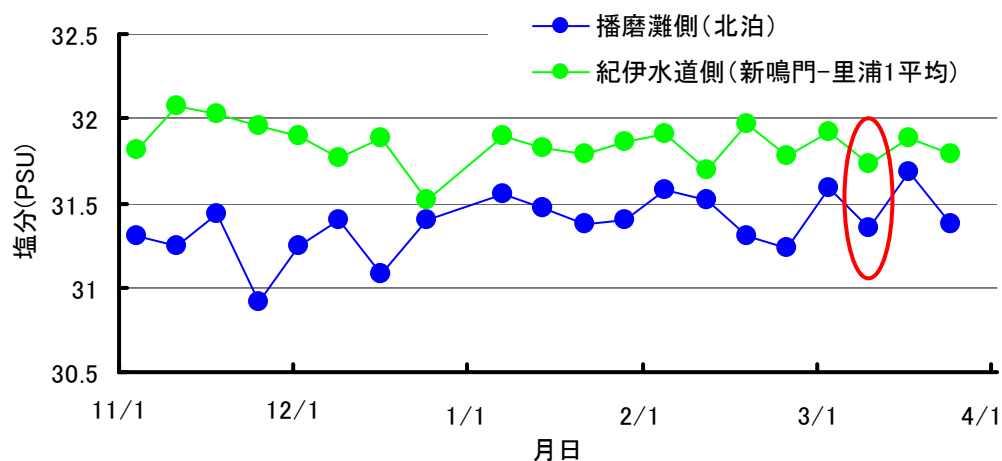


図7. 2014/11 から 2015/3 の小鳴門海峡南端(紀伊水道側)付近と北端(播磨灘側)付近の塩分濃度の変化。図 5 に示した観測期間のデータを赤丸で囲んだ。

以上のことから、前述のように小鳴門海峡に北上流が発生しているときに硝酸塩濃度と塩分濃度が上昇したのは、北上流とともに紀伊水道側の硝酸塩濃度と塩分濃度が高い海水が小鳴門海峡に流れ込んだためと考えられました。逆に南下流のとき、硝酸塩濃度と塩分濃度が下がったのは、播磨灘側のそれらの濃度が相対的に低かったためです。このパターンは紀伊水道側の硝酸塩濃度が高かった2015年2、3月は常にみられました。

一方、図5、6の例と正反対の傾向が見られた時もありました。図8に示しましたが、海峡で北上流が起きたときに逆に硝酸塩濃度が低下しています。このパターンが観測された2014年11月は、図4をみると硝酸塩濃度は海峡の北端よりも南端のほうが低くなっており、2015年2、3月とは正反対でした。

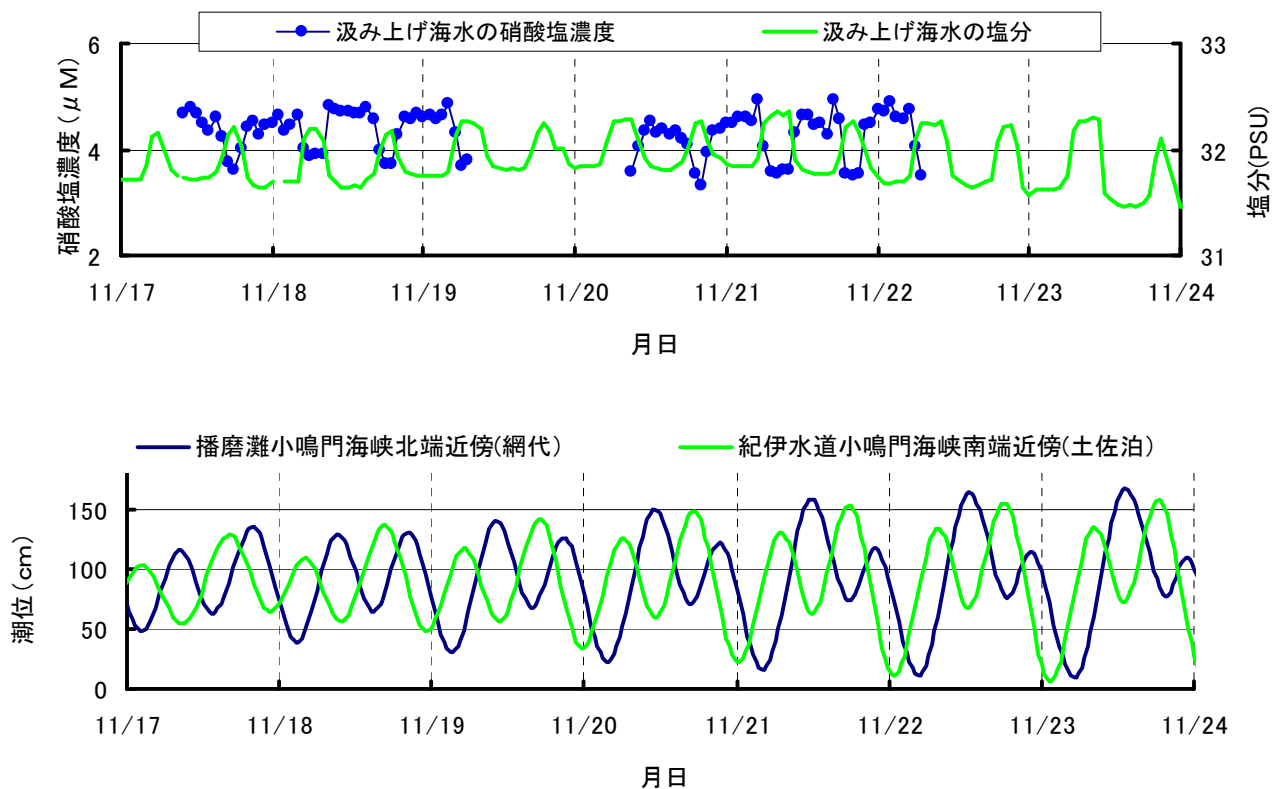


図8. 2014/11/17～11/24 にみられた、硝酸塩濃度と塩分濃度や潮位との関係。
 上図:硝酸塩センサーによって観測された硝酸塩濃度と水研鳴門汲み上げ海水の塩分濃度。
 下図:小鳴門海峡南北両端付近の潮位の変化(推定方法は図 6 と同じ。)

以上のことから、小鳴門海峡の中央付近に位置する水研鳴門に設置した硝酸塩センサーの観測値にみられた周期性のある短期的な変動は、硝酸塩濃度が異なる播磨灘から流入した水と紀伊水道から流入した水を、潮汐の周期にあわせて交互に測定していたためだとわかりました。

塩分や硝酸塩濃度の変化が明瞭なことから、早い潮流によって播磨灘側と紀伊水道側から交互に流入する海水は、小鳴門海峡の中央付近でもあまりお互いに混じり合わず、潮流とともに起源が異なる海水を海峡の外へ“押し返して”いるようです。

したがって、このように播磨灘起源の水と紀伊水道起源の水が行き来する小鳴門海峡で、硝酸塩センサーでの観測を行い、測定結果を潮汐と照らし合わせて分析すると、小鳴門海峡に隣接した海域の硝酸塩濃度の変動も類推できることを示していると思います。

まだ、観測例は少ないので、今後、観測例を増やし、そのような関係が常に捉えられるものか調べてゆきたいと思います。

文 献

加藤慎治, 團 昭紀(2010)鳴門海峡で養殖された国内 8 海域産のワカメ種苗の生長と形態. *Algal Resources*, 3, 19-26.

斎浦耕二(2013)コンター図から見た藻類養殖漁場の栄養塩. 徳島水研だより, 84 号.

川口 修, 高辻英之(2010)広島県東部海域における溶存態無機窒素動態とノリの色落ちへの影響. 日本水産学会誌, 76, 849-854.

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.

池脇義弘(2015)硝酸塩センサーの導入について. 徳島水研だより, 93 号.