

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 16 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450259

研究課題名(和文) 有明海冬季珪藻赤潮の増殖開始の“きっかけ”と増殖を支える栄養塩動態の解明

研究課題名(英文) Monitoring of nitrate concentration using spectrophotometer and research on the trigger of population development the diatom in the winter season of the Ariake Sea

研究代表者

片野 俊也 (katano, toshiya)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：00509820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：硝酸塩センサーにより硝酸塩濃度を高精度に測定するため、濁度センサー付きのCTDを併用し、温度、塩分、濁度のデータを用いて、補正する重回帰式を作成した。同硝酸塩センサーによる連続観測の結果、大潮干潮時には、高濃度(>0.07 mM)の硝酸塩が検出され、また日変動も大きいことが明らかになった。CTD連続観測と船舶による調査の結果、2月下旬に珪藻赤潮が発生したが、成層強度(密度差)からは、どの大潮に赤潮になるかは特定できなかった。河川流量(栄養塩の供給)は赤潮の規模を決める重要な要因と考えられた。今後、硝酸塩連続観測を行い、栄養塩供給状況と赤潮発達の関連を精査するとともにデータは即時公開する。

研究成果の概要(英文)：Nitrate concentrations determined by an ultraviolet spectrophotometer were corrected with data obtained with a conductivity, temperature, and depth profiler (CTD) equipped with turbidity sensor for the better estimation of nitrate in an embayment. Monitoring of nitrate concentration using the spectrophotometer revealed that nitrate concentration becomes high (e.g. >0.07 mM) at the low tide during spring tide. The red tide developing process was monitored using CTD continuous monitoring and field observation using boats. Red tide occurred in late February during spring tide. Difference in the density of seawater in the water column was not important to develop the population. River discharge might be important to determine the size of the population. Nitrate concentration should be further monitored to clarify the developing process of the red tide. Data obtained with the spectrophotometer is released real time on the web site (<http://www.ilt.saga-u.ac.jp/aripro/tower/nutrient.html>).

研究分野：植物プランクトンの個体群動態

キーワード：珪藻赤潮 ノリの色落ち 有明海

1. 研究開始当初の背景

海苔養殖において、海苔と栄養塩の競争者である珪藻が赤潮を起こすことは、栄養塩不足によって、海苔の色落ちがおきるため深刻な問題である。有明海では、特に 2000 年冬季の珪藻赤潮による海苔の色落ちによって、多大な被害を受けた。

有明海においては冬季珪藻赤潮についての調査は主に各県の水産試験場を中心に行われており、長年のデータの蓄積もある。それによれば、ほぼ毎年有明海湾奥部(佐賀県・福岡県海域)において、赤潮が発生している。その時期は、殆どの場合 1, 2 月である。

先行研究では、冬季珪藻赤潮の発生と、全天日射の比較、水温の比較を行っている。たとえば、川村(2006)は、珪藻赤潮による海苔の色落ちがあった年は、全天日射が多いことを示している。また、中嶋ら(2005)は、近年の水温上昇傾向が、赤潮発生に關与している可能性を指摘している。しかし、10-12月、1, 2月に比べて水温も高く、太陽放射も多い。その上、赤潮を引き起こすのに十分な栄養塩が海域に存在している。有明海における赤潮原因藻類は、*Eucampia zodiacus*, *Skeletonema costatum*, *Asteroplanus karianus* などであるが、いずれの種に対しても 1, 2月の温度条件は、室内実験で得られた最適増殖条件よりも低い。

従って、先行研究では、起きた赤潮を多年の 1-2 月の環境要因の比較から説明を行っているが、なぜ環境条件がより良い 10-12月には赤潮は起きず、劣悪と思われる 1, 2月に、何をきっかけとして赤潮が発達するのかは、未だ説明できていない。

2. 研究の目的

次の 2 つである。

- ・ 船舶調査では不可能な時間間隔で調べ、冬季珪藻赤潮の発達と海域栄養塩の関係を明らかにするために、センサーを活用した連続観測を確立する。
- ・ TWでのCTD観測および船舶調査によって有明海の冬季珪藻赤潮の増殖開始のきっかけとなる環境要因を検討する。

3. 研究の方法

a 観測タワーにおける連続観測による栄養塩動態の詳細な調査のためのセンサーによる栄養塩測定方法の確立

b 観測タワーでの観測および船舶調査による、大潮小潮周期での植物プランクトンの鉛直分布の時間変動調査(珪藻短期動態の解明)

4. 研究成果

a 硝酸塩センサーによる栄養塩の連続観測

蒸留水を用いた室内実験によって、硝酸塩センサーは十分な精度で硝酸塩濃度を測定できることが確認された (Fig. 1) . 現場海域での観測結果を Fig. 2 に示した . 硝酸塩センサーからの出力値とオートアナライザーによる測定値との単回帰では、傾きはほぼ 1 であるものの、硝酸塩センサーの出力値が平均 16.88 μM 高く見積もられることがわかった (Fig. 2a) . また、決定係数自体も 0.56 と低かった . 次に、観測時に水質計(AAQ1183)による観測から得られた水温と塩分、濁度のデータを用いて、重回帰を行ったところ、傾き 0.99、y 切片 $-0.45 \mu\text{M}$ 、決定係数は 0.92 が得られた .

この回帰式からの予測値とオートアナライザーによる測定値との間の単回帰分析に基づく残差分散の標準偏差は $2.69 \mu\text{M}$ であった . また、クロスバリデーションによる予測標準偏差は、 $3.33 \mu\text{M}$ であった .

Fig. 3 に、12月10日の観測結果を示す . 硝酸塩センサーからの出力値を補正したデータを Fig. 3c に示す . 硝酸塩濃度は、浅く、岸に近い高濁度な地点において、 $15 \mu\text{M}$ 以上と高く、沖合の低濁度高塩分な海域では相対的に低かった ($<11 \mu\text{M}$) .

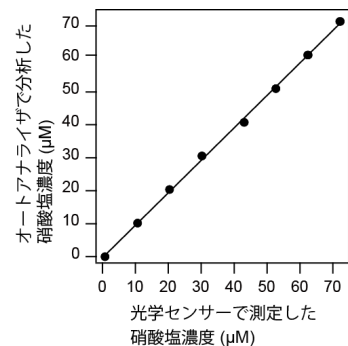


Fig.1 硝酸塩センサーによる DW 中の硝酸塩濃度の測定

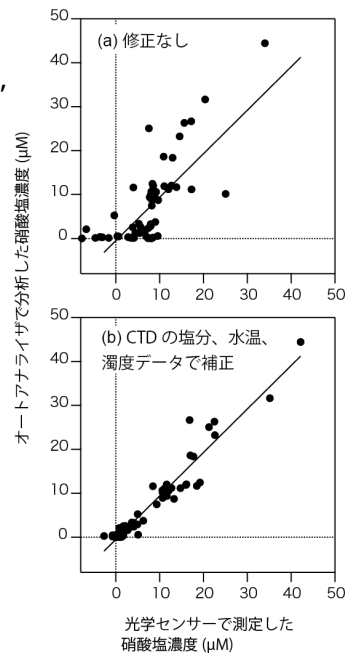


Fig.2 硝酸塩センサーによる海水中の硝酸塩濃度の測定値の CTD データを用いた補正

測定値との間の単回帰分析に基づく残差分散の標準偏差は $2.69 \mu\text{M}$ であった . また、クロスバリデーションによる予測標準偏差は、 $3.33 \mu\text{M}$ であった .

Fig. 3 に、12月10日の観測結果を示す . 硝酸塩センサーからの出力値を補正したデータを Fig. 3c に示す . 硝酸塩濃度は、浅く、岸に近い高濁度な地点において、 $15 \mu\text{M}$ 以上と高く、沖合の低濁度高塩分な海域では相対的に低かった ($<11 \mu\text{M}$) .

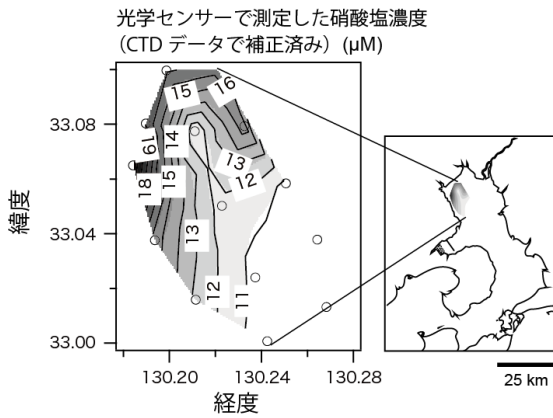


Fig.3 硝酸塩センサーにより測定された有明海の硝酸塩の水平分布

また、Fig.4には、硝酸塩センサーをTWにおいて係留観測した結果を示す。大潮時の満潮には、極めて高濃度の硝酸塩濃度が検出され、大潮時には、1日の硝酸塩濃度の時間変化が大きいことがわかった。

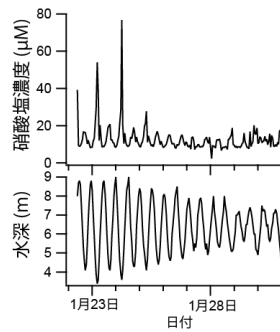


Fig.4 硝酸塩センサーにより測定された有明海観測タワーにおける硝酸塩濃度の経時変化

b CTD, 船舶による調査による赤潮のきっかけとなる環境要因の検討

2015年1-3月には、船舶による集中観測も行った。Fig.5に有明海観測タワーでの結果を示す。2015年には、2月下旬に小規模な珪藻ブルームが起きた。1月中旬から、大潮小潮周期に合わせて、水深0.5mと3.5mの密度差も変動し、小潮時に密度差が大きく、大潮時に密度差が小さくなっていった。クロロフィル蛍光値は、密度差が小潮時の極大から減少するタイミングで上昇しているパターンが認められた。2月下旬にクロロフィル蛍光値が3に達する小規模なブルームが認められた。透明度は上昇傾向にあったが、淡水供給(塩分低下)は認められなかった。

一方、このクロロフィル蛍光の増大は、主として *Skeletonema* 属と *Eucampia* 属によることがわかった。同時にこの赤潮に伴って、栄養塩濃度が急激に低下した。

今回の調査は、2012年に行ったものと同様内容であるため、2012年と環境要因を比較したところ、2012年の筑後川河川流量は、2015年よりも多く、2012年2月下旬から発生した赤潮時には、その直前に河川流量が $100 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ が連続3日間続いたのに対して、

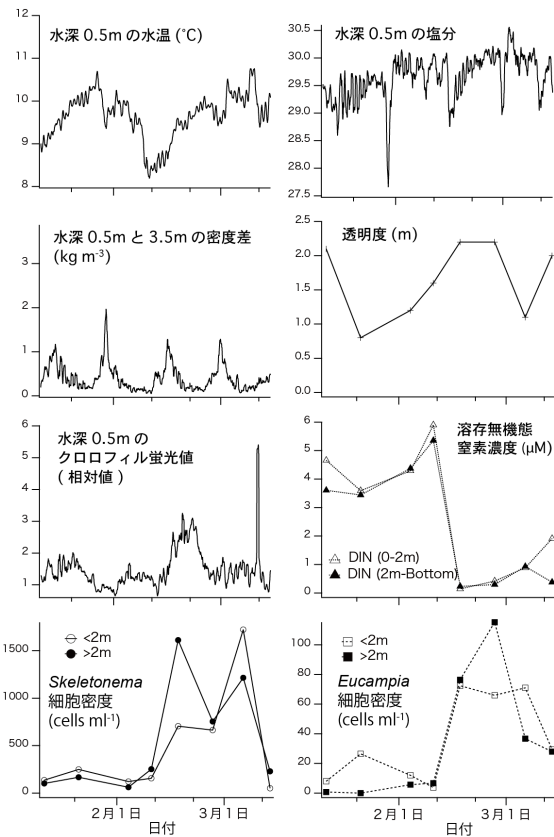


Fig.5 有明海観測タワーにおける水温、塩分、水深0.5mと3.5mの海水密度差、透明度、クロロフィル蛍光値、無機態窒素濃度、*Skeletonema* 属、*Eucampia* 属細胞密度の時間変化

2015年には $50 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ で推移し、淡水供給が多くなかった。

また、透明度についても、赤潮発生前の透明度は2012年には、3mであったのに対して、2015年は、1.6mと浅く、補償深度も浅かったと考えられた。これらの要因は、赤潮の規模に大きく影響すると考えられた。

c. まとめと今後の課題

本研究により、次の二つが達成された。

1) 硝酸塩濃度の連続観測を行うことができるようになった。連続観測の結果、大潮干潮時には、非常に高濃度の栄養塩が供給されている可能性が示された。

2) 冬季の珪藻赤潮は、2月下旬の大潮時に発生するが、その規模は、河川流量、透明度に影響を受けていると推察された。

硝酸塩センサーによる連続観測においては、おそらくケーブルとセンサー接続部の強度が不十分なため、エラーが頻発した。また、センサーにノリが付着して塞いでしまい、うまく測定できないことも多かった。これらは、本研究によって明らかになった長期連続観測を行う上での、有明海固有の解決すべき点である。

本センサーによる連続観測の結果、大潮干潮時には、夏季の出水後にみられるような極め

て高濃度の硝酸塩濃度が検出された。冬季珪藻赤潮が大潮時に発達することはほぼ明らかになってきたが、その発達過程を考える上で、大潮時に極めて高濃度の栄養塩が供給されていることは認識されてこなかったため、これは、本研究によって得られた重要な新知見と考えられた。

本科学研究費で購入した硝酸塩センサーは、来年度以降も継続的に、有明海での観測に活用し、将来的には、硝酸塩濃度のデータをリアルタイムに公開していく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

現在、投稿論文の修正中。

硝酸塩センサーを用いた有明海奥部海域モニタリングの試み 藤井直紀、片野俊也、吉野健児、木村圭、速水祐一、日本海洋学会 2015年9月、愛媛大学

沿岸海域における硝酸塩センサーの高精度化の試み 藤井直紀、片野俊也、吉野健児、速水祐一、日本海洋学会 2014年9月、長崎大学

有明海奥部と諫早湾の水質および植物プランクトンの比較 片野俊也、吉野健児、伊藤祐二、濱田孝治、速水祐一、日本海洋学会 2014年9月、長崎大学

〔学会発表〕(計3件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

硝酸塩の連続観測データをリアルタイム公開できるようにした。

<http://www.ilt.saga-u.ac.jp/aripro/tower/nutrient.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

片野俊也(KATANO, Toshiya)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：00509820