

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：87107

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560553

研究課題名（和文） 溶存態ケイ素を考慮した有明海優占植物プランクトンの栄養塩応答モデルの構築

研究課題名（英文） Development of Nutrient Response Model for Dominant phytoplankton in Ariake Bay Considering Dissolved Silicate

研究代表者

熊谷 博史（KUMAGAI HIROSHI）

福岡県保健環境研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：30446869

研究成果の概要（和文）：沿岸海洋系への溶存態ケイ素（DSi）の影響をみるために有明海北東部海域の DSi を含む栄養塩濃度とプランクトンを調査した。同海域では年二回の DSi 濃度の減少がみられた。特に 2-3 月の濃度減少が大きく、溶存無機態リン（DIP）濃度も枯渇する状況にあった。この減少は大型珪藻 *Eucampia spp.* 等の増殖によるものと考えられた。その際の栄養塩比をみると DSi/DIN については 1 以下、DSi/DIP については 10 以下と、著しく低下していた。このような DSi を含めた栄養塩比の空間的分布が生じていても、地点間の珪藻プランクトンの発生状況に違いは見られなかった。また DSi については 2-3 月の濃度低下時に、窒素・リンよりも制限因子になる状態がみられ、その後 2 ヶ月程度は珪藻繁殖が抑制されていた。

研究成果の概要（英文）：A survey was conducted on dissolved silicon (DSi) and other nutrient salt concentrations and plankton in the northeastern area of the Ariake Sea to examine the effects of DSi on the coastal ecosystem. The DSi concentration in the area decreased twice a year. A significant decrease in DSi was particularly noted in February and March, and dissolved inorganic phosphorus (DIP) also reduced. The decreases are presumably due to the proliferation of large diatoms, including *Eucampia spp.* Significant decreases in nutrient salt ratios were also noted: the DSi/DIN ratio was 1 or lower and the DSi/DIP ratio was 10 or lower. The spatial distribution of the nutrient salt concentration didn't make the differences of the species of phytoplankton during this period. However, DSi was identified as a limited factor for diatom growth within about 2 months.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
23 年度	500,000	150,000	650,000
24 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：溶存態ケイ素、有明海、植物プランクトン、珪藻

1. 研究開始当初の背景

近年の有明海における魚介類の激減、ノリ不作、赤潮・貧酸素水塊の発生など多くの異変は、同海域の漁業を壊滅させかねず、その原因解明と再生へ向けた対策は緊急の課題である。先にまとめられた有明海・八代海総合調査評価委員会報告書によれば、有明海の赤潮被害の年間発生件数は増加傾向にある。また、1999年以前は、珪藻 *Chattonella* 属による赤潮であったが、2000年以降には渦鞭毛藻の赤潮も発生してきている。同報告書において環境要因の変化が調査されているが、有明海異変の生じた2001年を含む過去10年近くにおいて窒素・リンの有明海への汚濁負荷量、陸域からの淡水流入量に大きな変化は見られない。その為、同委員会は、淡水や栄養塩流入と赤潮の長期的な増加との関係については、現在ある情報では判断ができず、陸域からの影響など他の要因を含めた検討が必要としている。

2. 研究の目的

このような状況下で、有明海沿岸域の植物プランクトン優占種の変遷を論じるためには、珪藻の消長を論じる必要があること、すなわちDSiを含んだ栄養塩応答の解明が不可欠である。本研究の目的は、有明海に発生する植物プランクトン種の、DSiを含む栄養塩に対する応答性を解明すること、そしてその関係を定式化し、栄養塩応答モデルを構築することにある。

3. 研究の方法

(1) 調査地点と試料採取方法

調査地点を図-1に示す。

栄養塩については2007年12月5日～2013年3月11日の期間、毎月一回の頻度で調査

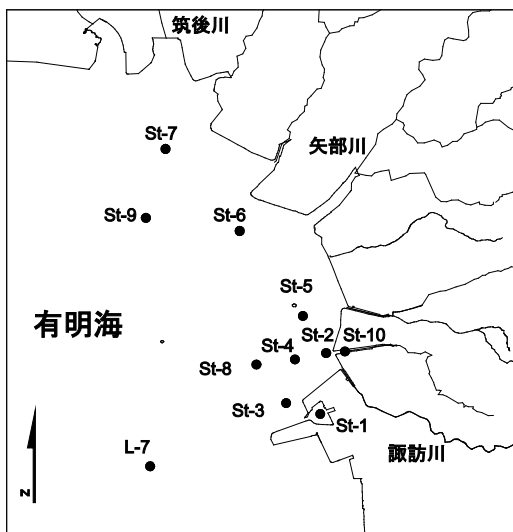


図-1 有明海調査地点

を実施した。栄養塩分析用海水サンプルは、表層水と底層水を採水した。表層水、底層水は、それぞれ水深0.5m、水底上2.0mで採水した。

植物プランクトンについては2010年11月5日～2013年3月11日の期間、毎月一回の頻度で栄養塩調査に付随して実施した。植物プランクトン調査用サンプルは、株式会社田中三次郎商店製プランクトンネット（網地NXX13、目合0.1mm）を利用し、現場で表層水100Lを濃縮したものをを用いた。プランクトン数が多い場合には、表層水を調査サンプルとした。

(2) 前処理と分析方法

海水サンプルについては、即日、ADVANTEC社製DISMIC 25AS045AN（孔径 $0.45\mu\text{m}$ ）で加圧濾過したのち、栄養塩分析に供した。濾過サンプルについては、DSi、 $\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ を分析した。DSiについてはモリブデン青吸光光度法、 $\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}$ については銅・カドミウムカラム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光度法、 $\text{NH}_4\text{-N}$ についてはインドフェノール青吸光光度法、 $\text{PO}_4\text{-P}$ についてはモリブデン青吸光光度法で分析した。DSi、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ については株式会社島津製作所製分光光度計UVmini-1240を用いて、 $\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}$ についてはエフ・アイ・イー機器株式会社製PFA-3000NOを用いて定量した。

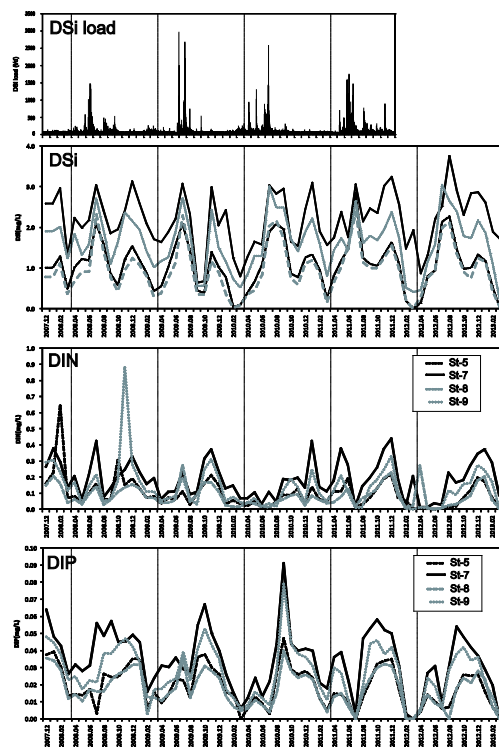


図-2 DSi 流入負荷量と代表地点における栄養塩の経月変化

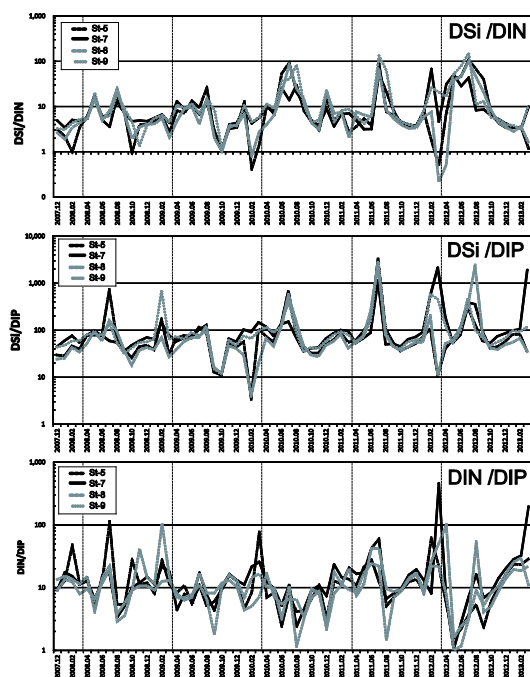


図-3 代表地点における栄養塩比の経月変化
DSi/DIN (上), DSi/DIP (中), DIN/DIP (下)

得られた $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の総和を DIN 濃度とし、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を DIP 濃度とした。

栄養塩比の算出に当たっては、DSi 濃度が 0.01mg/L 未満の場合は 0.01mg/L として、DIN 濃度が 0.01mg/L 未満の場合は 0.01mg/L として、DIP 濃度が 0.001mg/L 未満の場合は 0.001mg/L として、モル換算で算出した。

植物プランクトンについてはオリンパス株式会社製 微分干渉顕微鏡 BX-63 を用いて検鏡・同定したのち、松浪硝子工業株式会社製 プランクトン計数板 MPC-200 を用いて即日中に細胞数を計数した。

(3) DSi 流出負荷量の算定方法

有明海北東部海域を対象としていることから、筑後川と矢部川の二つの一級河川の一日当たりの DSi 負荷量を算定した。各河川の調査地点における DSi 流入負荷量は、国土交通省による調査地点（筑後川：瀬の下、矢部川：船小屋）の流量と濃度データを利用して L-Q 式を算定することで求めた。調査地点よりも下流域の負荷量は、L-Q 式の係数を流域内の第四紀火山岩地質面積割合の関数として決定し、その L-Q 式の係数を用いて算定した。その際の流量は調査地点での流量を流域面積比例で算定したものを利用した。最後に調査地点での負荷量と調査地点より下流域の負荷量を合算して、河川全体の負荷量とした。流量データは本 2011 年 12 月 31 日までのデータを使用することで 2007 年 12 月 1 日

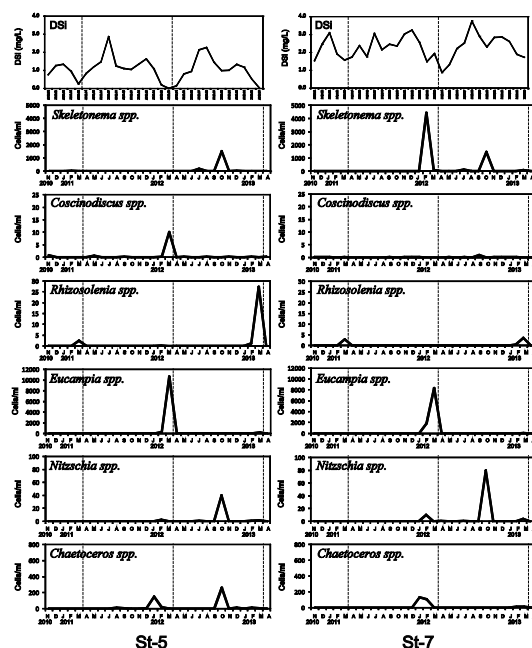


図-4 St-5, 7 における主要珪藻類の経月変化
(最上段には各地点の DSi 濃度を示す。)

～2011 年 12 月 31 日間の日 DSi 流入負荷量を算定した。

4. 研究成果

(1) 栄養塩濃度の変化

図-2 に DSi、DIN、DIP 濃度の経年変化を示す。ここでは河川影響の大きい St-10 を除外した。また同図最上段に今回計算した筑後川及び矢部川からの DSi 流入負荷量の経日変化を示す。

DSi 濃度についてみると、年二回の濃度上昇と濃度低下があった。濃度上昇については毎年 7 月と 11-12 月に生じていた。7 月の濃度上昇は陸域から沿岸域への DSi 流入負荷量が増加することが原因と考えられる。一方で 11-12 月の上昇については、DSi 流入負荷量の増加に必ずしも対応しているわけではないことから、流入負荷量とは別の要因によって季節的に増加している可能性がある。濃度低下については毎年 10 月と 3 月に生じていた。そしてその低下は 3 月の方が大きい傾向がみられた。場所についてみると、DSi 濃度の高い筑後川に最も近い地点である St-7 で DSi 濃度が最も高く、DSi 濃度が低下する 2-3 月においても 1mg/L 程度の濃度であった。一方で St-5 では、同時期の DSi 濃度は < 0.01 以下まで低下した。

DIN 濃度についてみると、毎年 11-12 月に濃度上昇がみられた。

DIP 濃度についてみてみると、毎年 2 月ごろに濃度減少がみられ、同時期の DSi 濃度の減少と対応していた。

(2) 栄養塩比の変化

前述の栄養塩濃度より算定した DSi/DIN、DSi/DIP、DIN/DIP の結果を図-3 に示す。

DSi/DIN については 2-3 月においてほとんどの地点が減少する傾向が見られ、年によっては 1 以下になる場合もあった。地点でみると筑後川沖の地点ほど、低下が少なかった。

DSi/DIP については、6-7 月と 2-3 月に変動が見られた。6-7 月については増加する傾向にあったが、2-3 月については増加する場合と、地点によっては減少する場合も見られた。

DIN/DIP については、時間的に変動しているものの明確な季節変動は確認できなかった。

(3) 珪藻類の出現状況

前述のように筑後川沖の St.7 と大牟田沖の St.5 の栄養塩比は季節によって異なる傾向を示していたことから、それらの影響が地点間のプランクトン組成に影響するかを確認するため、両地点におけるプランクトン調査結果を比較した。ここでは、それらの地点での 6 種の珪藻代表種として *Skeletonema spp.*、*Coscinodiscus spp.*、*Rhizosolenia spp.*、*Eucampia spp.*、*Nitzshia spp.*、*Chaetoceros spp.* を取り上げた。その経月変化を示したものを図-4 に示す。

まず季節的な発生種の違いを見てみる。10 月においては *Skeletonema spp.*、*Coscinodiscus spp.*、*Nitzshia spp.*、*Chaetoceros spp.* の増殖がみられた。2-3 月においては、*Rhizosolenia spp.*、*Eucampia spp.* といった大型珪藻が増殖していた。そしてこれら大型増殖の前に *Skeletonema spp.*、*Nitzshia spp.*、*Chaetoceros spp.* といった種の増殖が見られた。ただしこれらの発生種は毎年一定ではなく、年によって増殖種や細胞数は変化していた。

次に両地点間で観測された珪藻類のパターンについて比較する。012 年 2 月の *Skeletonema spp.* や 2012 年 3 月の *Coscinodiscus spp.* 等のピークの有無の違い、あるいは細胞数に違いはあるものの、ほぼ両地点では同様の出現パターンを示していることがわかる。このことから栄養塩比の違いが、両地点間の珪藻種に変化を及ぼしている可能性は少ないと考えられた。

(4) DSi 濃度と栄養塩比

DSi 濃度について、従来の研究結果と今回の結果とを比較する。既往研究によれば、DSi の珪藻増殖制限濃度は $0.84\text{--}2.6\ \mu\text{g-at}$

($0.024\text{--}0.073\text{mg/L}$) である一方で、有明海漁期における月別平均値 $20.6\text{--}70.2\ \mu\text{g-at}$ ($0.58\text{--}1.9\text{mg/L}$) と高いことから、有明海で

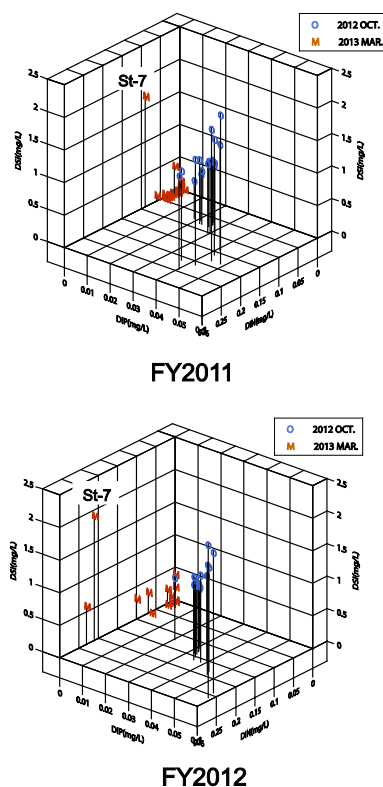


図-5 2011 年度 (左) と 2012 年度 (右) の 10 月、3 月の DSi・DIN・DIP 濃度

は珪藻の律速にはならないと報告されていた。しかし今回の調査によれば、時間と場所によっては DSi 濃度は珪藻増殖制限濃度と同レベルまで減少する可能性があることが明らかになった。

また栄養比について考察する。上述の既往研究によれば C:N:P:Si=106:16:1:15 を採用している。これによれば Si/N=0.94、Si/P=15 となる。これを図-3 の DSi/DIN、DSi/DIP と比較すると、2010 年 2 月、2012 年 3 月においては DSi/DIN が 1 以下、DSi/DIP においても 10 以下とかなり減少していることから、これらの期間は DSi 制限と判断される。このように限られた期間と地点ではあるが、DSi が窒素、リンよりも制限因子となりうる場合が存在することがわかる。そしてこの栄養塩低下の後、栄養塩濃度が回復する 2 ヶ月程度までは、珪藻の発生は抑制されていることが図-4 から確認される。

(5) 水質と珪藻類の関係

DSi は 10 月と 3 月に減少していたが、その両時期の水質と珪藻類の状況を比較した。

図-5 に 2011 年度と 2012 年度 10 月及び 3 月における 11 地点の DSi・DIN・DIP 濃度の散布図を示した。

3 月の状況は 10 月のものと比較すると、DSi 濃度、DIN 濃度、DIP 濃度ともに減少してい

た。特に DIP 濃度については枯渇状態にあることがわかる。

他の海域、例えば東京湾において冬季珪藻赤潮の優占種となっているのは、*Skeletonema costatum*、*Thalassiosira sp.*、*Cheatocecos didymium*、*Eucampia zodiacus* の 5 種であり、今回、有明海で 2-3 月に増殖が確認された *Rhizosolenia spp.*、*Eucampia spp.* も含まれる。2010 年 2 月の減少については今回調査されていないものの、福岡県水産海洋技術センターによる調査報告があり、2010 年 3 月 23 日に 900cells/ml を超える *Eucampia zodiacus* が確認されている。このような冬季珪藻赤潮は栄養塩を大量に消費するが、特に *Eucampia zodiacus* は最も低い DIP 濃度で増殖することが可能であるといわれている。これは同種が多種類の有機態リン (DOP) を増殖に利用可能で、貧栄養下でも増殖可能であるといわれている。その為、今後 *Eucampia* の出現状況を明らかにするためには、DOP を追加してモニタリング実施する必要がある。

一方で、この時期の DIN/DIP についてみると、例年と同様の範囲にあり、特に目立った傾向を示していない。このように従来型の窒素・リンに限った調査のみでは冬季珪藻赤潮の栄養塩摂取状況をとらえることができない。DSi を調査対象に加え、DSi/DIN および DSi/DIP を精査することで冬季珪藻赤潮が繁茂したか否かを判別する際の指標となりうる。以上から、DSi のモニタリング項目として加えることは重要であると考えられる。

本研究の結果をまとめると以下のようになる。

1. DSi 濃度は毎年 7 月と 11-12 月に増加していた。7 月の濃度上昇は陸域から沿岸域への DSi 流入負荷量が増加したことが原因であったが、11-12 月の上昇については、DSi 流入負荷量の増加と非対応であったため流入負荷量とは別の要因によって季節的に増加している可能性がある。

2. DSi 濃度は毎年 10 月と 2-3 月に低下していた。低下は 3 月の方が大きい傾向がみられ、*Rhizosolenia spp.*、*Eucampia spp.* 等の大型珪藻の増殖に対応していた。

3. 2-3 月の DSi 濃度低下時に、栄養塩比 DSi/DIN や DSi/DIP において空間変動がみられたものの、出現する珪藻プランクトン種の変遷については大きな違いは見られなかった。

4. DSi については 2-3 月の濃度低下時に、窒素・リンよりも制限因子になる状態がみられ、その後 2 ヶ月程度は珪藻繁殖が抑制されていた。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3 件)

- ① 熊谷博史, 田中義人, 石橋融子, 松尾宏, 有明海北東部における DSi を含む栄養塩負荷と植物プランクトンの関係, 第 47 回環境工学研究フォーラム, 平成 22 年 11 月 13 日, 高知市
- ② Yoshito TANAKA, Hiroshi KUMAGAI, Yuko ISHIBASHI, Hiroshi MATSUO, Relationship between Dissolved Silica Concentration and Diatom Dominance in Ariake Sea in Japan, 15th International Conference of the IWA Diffuse Pollution Specialist Group on: 15th international conference of IWA, DIPCON2011, November 19-21, 2011, Rotorua, New Zealand
- ③ Yoshito TANAKA, Hiroshi KUMAGAI, Yuko ISHIBASHI, and Okihiro OISHI, Change of Dissolved Silica Concentration and Diatom Population in Ariake Sea in Japan, 10th international Symposium Southeast Asian Water Environment, November 8-10, 2012, Hanoi, Vietnam

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊谷 博史 (KUMAGAI HIROSHI)
福岡県保健環境研究所・その他部局等
・研究員
研究者番号: 30446869

(2) 研究分担者

田中 義人 (TANAKA YOSHITO)
福岡県保健環境研究所・その他部局等
・研究員
研究者番号: 20446868
石橋 融子 (ISHIBASHI YUKO)
福岡県保健環境研究所・その他部局等
・研究員
研究者番号: 90463512
松尾 宏 (MATSUO HIROSHI)
福岡県保健環境研究所・その他部局等
・研究員
研究者番号: 90446865
(H22→H23)

(3) 連携研究者

楠田 哲也 (KUSUDA TETSUYA)
北九州市立大学・国際環境工学部・教授
研究者番号: 50037967