

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18710009

研究課題名 (和文) 有明海湾奥部の冬季赤潮発生機構の解明に関する研究

研究課題名 (英文) Research on mechanism for red tide bloom in winter of the inner area of Ariake sea

研究代表者 加(槻木) 玲美 (KUWAE NARUMI)

東北大学・大学院生命科学研究科・研究支援者

研究者番号：20423618

研究成果の概要: 有明海湾奥部の干潟-浅海域の冬季赤潮形成種に対する潮流の影響について、調査した結果、珪藻と渦鞭毛藻類が潮流に対して対照的な時空間分布を示し、鞭毛藻類は潮流による水塊の移流に伴う水平的な移動が卓越し、一方、珪藻は鉛直的な巻き上げの影響を強く受けていることが明らかとなった。また赤潮形成種に対する動物プランクトンの捕食圧の違いについて、現場培養実験を行った結果、渦鞭毛藻類 *Prorocentrum triestinum*、珪藻 *Thalassiosira* は選択的に捕食され、近年、増加が懸念されている渦鞭毛藻類の *Akashiwo sanguinea* は捕食されにくいことが判明した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	2,000,000	0	2,000,000
2007 年度	900,000	0	900,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	150,000	3,550,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 有明海では近年、赤潮発生頻度の増加や貧酸素水塊発生が問題になっている。2000年～2001年の冬には、ノリ養殖が盛んな湾奥部で大型珪藻種 *Rhizosolenia imbricata* による赤潮発生期間が長期化し、栄養塩が枯渇してノリの色落ちが引き起こされ、大きな社会問題となった。ノリの色落ち(退色)は、植物プランクトンが異常増殖して発生した赤潮が長期化し、栄養塩(窒素)が一定の値以

下になると引き起こされることが知られており、赤潮が一時的に発生しても短期間で終息すれば、深刻な被害には繋がっていない。実際に、未曾有の大不作と言われた2000年度の次年度、2001年度は、前年の大不作の年に発生した種類(*Rhizosolenia*)が優占するのではなく、別の珪藻種 *Skeletonema costatum* が優占し、一時的に赤潮を発生させたが、その後速やかに消滅したため、ノリ養殖は大きな影響は受けなかった。従って、赤潮発生期間の長短がノリ退色の行方を支

配していると言っても過言ではない。

(2) 一般に、赤潮の発生期間は、それを形成する優占種によって、長期化するかどうかの特性が異なっている。有明海では、冬季の赤潮形成種は年によって大きく変化し、のり養殖の生産量も年変動がかなり大きい。従って、冬季にどのような植物プランクトンが優占するかが、その年の有明海ののり養殖の生産量を支配する鍵を握っている。

(3) 近年、有明海では潮汐・潮流の変化が議論されており、潮流の変化が植物プランクトンの動態に影響を及ぼしている可能性がある。有明海では、近年秋～冬季に珪藻による赤潮発生期間が長期化する傾向にあることや、渦鞭毛藻類の発生頻度が増大している。潮流の影響が大きな沿岸海域での赤潮形成種の動態と優占種の変遷説明には、潮流に対する各分類群の応答様式の違いを明らかにする必要がある。しかし、分類群毎にどのような応答を示すのか、その時空間分布の変動を定量的に評価した研究は大変少ない。

(4) これまで沿岸域の環境変動に対する植物プランクトンの応答様式に関する研究は、概して、浅海または沖合域のどちらかの海域のみを対象とした野外観測やMesocosmによる日照条件などを制御した室内実験に基づいたものである。しかし、有明海のように潮汐振幅の大きな海域では、潮汐流の影響で干潟・浅海・沖合域の海域は相互に密接にリンクしており、一連の海域で潮の満ち引きと共に赤潮形成種がどのような動態を示すのかを明らかにする必要がある。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は我が国の良質なのり生産に深刻な影響を与える、有明海湾奥部の冬季赤潮を形成する、植物プランクトン優占種の変化を駆動する要因をBottom-up・Top-downの両面から検証し、赤潮形成種の動態を具体的に明らかにすることで、我が国ののり生産を持続的に管理する上で不可欠な、有明海の冬季赤潮発生機構を解明することを目的とする。

(2) 具体的には、有明海湾奥部の干潟から浅海・沖合域間にかけての赤潮形成種の動態を、野外観測と現場培養実験を用いて、各種の現存量の変化と環境傾度の違い(Bottom-up)・動物プランクトンによる植物プランクトンの捕食圧(Top-down)の違いを種レベルで明らかにし、1)赤潮発生初期に栄養細胞の増殖を駆動させるBottom-up的要因、さらに2)その後、赤潮が維持され栄養細胞が継続して増殖できるTop-down・Bottom-up効果の相

対的寄与率を解明する。

## 3. 研究の方法

(1) 干潟－浅海域の赤潮形成種に対する潮流の影響: Bottom-up効果の解明

干潟－浅海域の赤潮形成種(珪藻・渦鞭毛藻類)の動態に対する潮流の影響を明らかにするために、有明海湾奥部の東与賀町の干潟域から浅海域に向かって計8地点を対象に、漁船2隻を用いて冬季12月の大潮時期に一潮汐12時間連続観測調査を実施した。一隻は移動船として、東与賀町沖の定線上St. 1-8地点に沿って、繰り返し断面観測を実施した。もう一隻は、地点4に係留し、干出時には観座させ、冠水時間中は、40分間隔で水質観測・採水を実施した。今回、植物プランクトンを分類群レベルで定量的に評価できるHPLC(高速液体クロマトグラフィ)による色素分析手法を用いて、有明海湾奥部冬季の主要な一次生産者である珪藻と渦鞭毛藻類の潮流変化に伴う時空間分布を調査した。

(2) 現場培養実験による動物プランクトンの赤潮形成種に対する捕食選択圧の違い: Top-down効果の解明

塩田川沖係留観測点S3地点にて、動物プランクトンの希釈培養実験を行う。本実験では、表層水を濾過して作成した培養水を2Lのポリカーボネート瓶18本に分注し、現場の動物プランクトンを採取して作成した試料を用いて、各瓶に濃度勾配をつけて動物プランクトン量を添加し、係留点に瓶18本を設置し、3日間培養する。

(3) 有明海湾奥部に広がる干潟域の藻類の動態

有明海湾奥部の干潟域の基礎生産を担う底生珪藻類の季節変化について、優占種の季節変化を明らかにした。また底生藻類の安定同位体比は現場で藻類を分離採取することが困難であったため、ほとんど明らかにされなかったが、本研究では現場で藻類と同程度の微小なガラスビーズなどを用いて採取する装置を作成し、藻類を分離採取することに成功した。この方法で採取した藻類の炭素・窒素の安定同位体比を分析し得られた結果について、同位体値の季節変化を駆動する要因について解析を進めた。

## 4. 研究成果

(1) 干潟－浅海域の赤潮形成種に対する潮流の影響: Bottom-up効果の解明

干潟－浅海域の赤潮形成種(珪藻・渦鞭毛藻類)に対する潮流の影響について、一潮汐調査データを整理した結果、冬季の有明海湾奥

部において、赤潮を形成する珪藻と渦鞭毛藻類が、潮流に対して対照的な時空間分布変動を示すことが判明した。つまり、鞭毛藻類の分布変動には、潮流による水塊の移流に伴う水平的な移動が卓越すること、同時に流速が弱くなる満潮時には表層へ能動的に鉛直移動を行っていることが予想され、一方、珪藻は、渦鞭毛藻類と比べ鉛直的な巻き上げの影響を強く受けていることが明らかとなった。この成果は2007年日本海洋学会春季大会で発表した。さらに、共同研究者と打ち合わせを重ね、調査結果を基に有明海の干潟-浅海域での珪藻類の再懸濁、沈降量を定量的に評価するモデルの開発を行った。

(2) 動物プランクトンの赤潮形成種に対する捕食選択圧の違い

現場培養実験のデータを解析した結果、栄養塩を添加しない系では、動物プランクトンの濃度が増加するにつれ、1. 渦鞭毛藻類の *Akashiwo sanguinea* と 2. *Prorocentrum micans* は増加するが、3. 逆に *Prorocentrum triestinum* は減少、4. 珪藻の *Thalassiosira* 属も減少することが判明した。つまり、野外では、3,4 の小型サイズの鞭毛藻類や珪藻が選択的に動物プランクトンに捕食され、一方、近年、増加が懸念されている渦鞭毛藻類の *Akashiwo sanguinea* は動物プランクトンに捕食されにくいため、他の種類より競争的に優位である可能性が高いことが判明した。

(3) 有明海湾奥部に広がる干潟域の基礎生産を担う底生珪藻類の季節変化について、調査した結果、干潟域の底泥サンプルの顕微鏡観察から、有明海の干潟域に出現する羽状目珪藻の優占種の多くが新種であることが判明した。これらの成果については、一部日本珪藻学会で発表した。さらに、また底生藻類の安定同位体比は現場で藻類を分離採取することが困難であったため、ほとんど明らかにされてこなかったが、本研究では現場で藻類と同程度の微小なガラスビーズなどを用いて採取する装置を作成し、藻類を分離採取することに成功した。この方法で採取した藻類の炭素・窒素の安定同位体比を分析し得られた結果について、同位体値の季節変化を駆動する要因について解析を進めた。その結果、干潟域に生息する底生珪藻類の安定同位体比は、底生藻類の現存量が高い冬～春に  $^{13}\text{C}$  値が増加し、現存量の低い夏に  $^{13}\text{C}$  値が低下するといった結果が得られた。底生藻類の  $^{13}\text{C}$  値の季節変化を駆動する要因について解析を進めた結果、干潟域では 1) 夏季は底生藻類の生産は活発であるが、ベントスによる捕食圧が高く、藻類の現存量は低く維持され、結果的に炭素律速にならず  $^{13}\text{C}$  値が低くなること、2) 春季は逆にベントスの捕食圧

が大変低く、底生藻類の現存量が高く維持され、藻類が炭素律速となり底生藻類の  $^{13}\text{C}$  値が高くなると推測された。

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7件)

① Tsugeki N.K., Ishida S., Urabe J., Sedimentary records of reduction in resting egg production of *Daphnia galeata* in Lake Biwa during the 20th century: A possible effect of winter warming」*Journal of Paleolimnology* (in press) 査読有

② Hyodo F., Tsugeki N., Azuma J., Urabe J., Nakanishi M., Wada E., Changes in stable isotopes, lignin-derived phenols, and fossil pigments in sediments of Lake Biwa, Japan: implications for anthropogenic effects over the last 100 years, *Science of The Total Environment*, 403 巻, pp139-147, 2008, 査読有

③ 占部城太郎, 榎木(加)玲美, 地域・地球環境変化と生態系応答: 湖沼研究のタテとヨコ, 日本生態学会関東地区会報, 56 巻, pp11-15, 2008, 査読無

④ 加三千宣, 吉川周作, 榎木(加)玲美, 過去40 万年間における琵琶湖の *Stephanodiscus* 属の種遷移と殻の形態変化, 珪藻学会誌, 23 巻, pp71-81, 2007, 査読有

⑤ 山本浩一, 榎木(加)玲美, 速水祐一, 濱田孝治, 山田文彦, 有明海大授棚干潟における底泥の再懸濁および沈降に関する現地観測, 海洋開発論文集, 23 巻, pp1159-1164, 2007, 査読有

⑥ Kuwae M., Yamaguchi H., Tsugeki N. K., Miyasaka H., Ikehara M., Fukumori K., Genkai-Kato M., Omori K., Sugimoto T., Takeoka H. Spatial distribution of organic and sulfur geochemical parameters of surface sediments in Beppu Bay in southwest Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72 巻, pp 348-358, 2007, 査読有

⑦ Tsugeki N. K., Gotoh T., Uchiyama T., Yoshikawa S. Taxonomic list and ecology of diatoms in sediments of the past few centuries of three irrigation ponds in Osaka prefecture, Japan: Sayama-ike, Hataô-ike and Kodera-ike Ponds, *Diatom*,

22 卷, pp35-47, 2006, 査読有

[学会発表] (計 10 件)

① 槻木(加)玲美・王婉琳・谷幸則・小田寛貴・松田智幸・占部城太郎、湖沼堆積物に記録された *Daphnia* の柔軟な生活史変化：八幡平湖沼と琵琶湖の例、日本生態学会第 56 回大会、2009 年 3 月 18 日、盛岡

② 王婉琳・槻木(加)玲美・谷幸則・小田寛貴・松田智幸・占部城太郎、八幡平湖沼の動植物プランクトンの長期動態：高山湖沼で何が起きているか？、日本生態学会第 56 回大会、2009 年 3 月 18 日、盛岡

③ 栗野将・槻木(加)玲美・牧野渡・松島野枝・河田雅圭・小田寛貴・占部城太郎：山形県畑谷大沼における *Daphnia* 複数種の長期変化：Hybrid はいつから形成されたか？、日本生態学会第 56 回大会、2009 年 3 月 18 日、盛岡

④ Tsugeki N. K., Urabe J., Hayami Y., Kuwae M., Nakanishi M., Phytoplankton dynamics in Lake Biwa during the 20th century: Complex responses to changes in nutrient status and climate variation, American Society of Limnology and Oceanography, 2009 年 1 月 27 日, Nice, France

⑤ 後藤敏一・槻木(加)玲美、有明海干潟からの *Navicula* 属珪藻 2 新種、日本珪藻学会第 29 回大会、2008 年 5 月 25 日、東京

⑥ 槻木(加)玲美・後藤敏一・谷幸則・吉野健児・速水祐一、有明海湾奥部干潟域の微細藻類に関する研究、日本珪藻学会第 28 回大会、2007 年 5 月 19 日、大阪狭山

⑦ 後藤敏一・槻木(加)玲美・速水祐一・吉野健児、有明海湾奥部干潟一浅海域で確認された小型の *Thalassiosiraceae* 珪藻 3 種 (*Minidiscus chilensis* Rivera, *Thalassiosira curviseriata* Takano, *T. laevis* Y. H. Gao & Z. D. Cheng)、日本珪藻学会第 28 回大会、2007 年 5 月 19 日、大阪狭山

⑧ 槻木(加)玲美・山本浩一・速水祐一・谷幸則・吉野健児・濱田孝治、有明海ノリ養殖場における大潮時の一次生産者の時空間変動、2007 年度春季大会日本海洋学会、2007 年 3 月 24 日、東京

⑨ 山口一岩, 三好慶典, 加三千宣, 郭新宇, 槻木(加)玲美, 天野敦子, 井内美朗, 武岡英

隆, 大阪湾湾央部における堆積物中の親生物元素 (C, N, Si) の鉛直分布, 2007 年度春季大会日本海洋学会、2007 年 3 月 24 日、東京

⑩ Tsugeki N. K., Urabe, J., Ishida, S., Oda, H., Nakanishi M., Climate warming makes *Daphnia* unrest, American Society of Limnology and Oceanography, Canada, 2006 年 6 月 9 日, Victoria, Canada

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加(槻木) 玲美 (KUWAE NARUMI)

東北大学・大学院生命科学研究所・研究支援者

研究者番号：20423618

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者