

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25550012

研究課題名(和文)窒素・リン比の時間・空間変化が東シナ海の物質循環へ与える影響

研究課題名(英文)Influence on material cycle in the East China Sea related to spatial and temporal variation in N/P ratio

研究代表者

森本 昭彦 (Morimoto, Akihiko)

名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授

研究者番号：80301323

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：長江起源の淡水など、大量の東シナ海の海水が対馬暖流により日本海へ輸送されている。その輸送過程において、海水中の窒素とリンの比(N/P比)が変化している。このようなN/P比の変化が、東シナ海・日本海の物質循環に対してどのような意味を持つのか、船舶観測と数値モデルにより研究を実施した。観測から、東シナ海と日本海では、優占する植物・動物プランクトンは水塊特性に対応しており、植物プランクトンは2つのグループに、動物プランクトンは3つのグループに分類された。この条件で数値モデルを構築し、N/P比を変化させた実験を行ったところ、N/P比が高くなると大型の植物プランクトンの現存量が多くなることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Enormous sea water including fresh water originated from Chang Jiang River in the East China Sea are transported to the Japan Sea by the Tsushima Warm Current. Ratio between nitrogen and phosphate (N/P ratio) in sea water varies during transport process. We have investigated how the N/P ratio variability influence material cycle in the East China and Japan Seas by hydrographic observation and numerical experiment. We found from hydrographic observation that dominant phytoplankton and zooplankton correspond to characteristics of water mass, and phytoplankton and zooplankton consist of 2 group and 3 group, respectively. We have developed a lower trophic ecosystem model and carried out experiments by different condition of N/P ratio. From the numerical experiments, it was found that only large phytoplankton increased when N/P ratio became high.

研究分野：沿岸海洋学

キーワード：窒素リン比 東シナ海 日本海 長江希釈水 対馬暖流 低次生態系モデル

### 1. 研究開始当初の背景

中国の大河川長江を起源とする淡水の7割以上が、対馬暖流により東シナ海から対馬海峡を通過し日本海へ輸送されている。また、膨大な栄養塩も対馬暖流により水平に輸送されており、このような栄養塩の水平輸送が東シナ海・日本海の低次生態系に大きな影響を与えていることが示唆されている。海洋の一次生産者である植物プランクトンの増殖は、光、水温、栄養塩濃度に依存するが、夏季の東シナ海・日本海の表層では光と水温は十分な状況にあり、栄養塩濃度が増殖を律速する。植物プランクトン中の窒素とリンの濃度比(N/P比)は16であり、海洋中のN/P比が16より小さい場合は窒素が、16より大きい場合はリンが植物プランクトン増殖の制限栄養塩となる。長江起源の淡水の輸送経路上におけるN/P比は、長江河口域では100以上、対馬海峡では10以下となっている。水塊が東シナ海から日本海へ輸送される過程で、N/P比が大きく変化することが海洋中の物質循環にどのような影響を及ぼすのか理解することは、N/P比が変化しつつあるとされている東シナ海・日本海の今後の海洋環境の変化を知る上で極めて重要なことである。

### 2. 研究の目的

植物プランクトンの増殖を律速する栄養塩が変化すると思われる、濟州島の南から対馬海峡にかけての海域において船舶観測を実施し、水温、塩分、栄養塩比と植物プランクトン、動物プランクトンの組成データを取得し、N/P比と植物・動物プランクトン組成の関係を把握する。さらに、船舶観測データを基に、海洋低次生態系モデルを構築し、この生態系モデルと海洋物理モデルを結合させることで、観測された栄養塩やクロロフィル濃度分布を再現し、栄養塩の変化に伴う低次生態系の応答を明らかにする。

### 3. 研究の方法

N/P比が16を挟んで変化すると思われる東シナ海から日本海の陸棚上において、長江起源の低塩分水が張り出し、対馬暖流により輸送されていると思われる海域において、栄養塩、植物・動物プランクトンなど低次生態系に関わる項目の観測と、水温・塩分などの物理観測を同時に実施する。海洋観測は、2013年度、2014年度の2回行った。

観測で得られた植物・動物プランクトン組成を基に、低次生態系モデルで考慮するコンパートメントを決め、物理-低次生態系結合モデルを構築する。モデルの再現性の検証は、人工衛星により観測されたクロロフィルa濃度の時空間変化と、船舶観測で得られたデータと比較することで行う。モデルの再現性が確認された後に、栄養塩量を変化させ、低次生態系の応答、特に植物プランクトン量の変化に注目して解析を行い、栄養塩の変化によ

り植物プランクトンの分布や現存量がどのように変化するのか調べる。

### 4. 研究成果

(1)長江起源の淡水(長江希釈水)が分布すると考えられた濟州島の南の東シナ海において、2013年7月に船舶観測を実施した。各観測点では、栄養塩測定のための海水の採取、プランクトンネットによる動物プランクトンの採取、クロロフィルa濃度最大層での植物プランクトンの採取、CTDによる水温・塩分・蛍光強度の測定を行った。図1に各観測点における表層塩分とN/P比を示す。塩分の低い長江希釈水は西側の観測点CLAT\_W1, CLAT\_W3, CLAT\_W5, CLAT\_E1, CLAT\_E3, CK7に分布していた。その他の点での塩分は33psu以上であり、長江起源の淡水の影響は低かった。クロロフィルa濃度最大層でのN/P比をみると、当初の予想に反し、長江希釈水では最大10.6であり、いずれの点でも16より値は小さく、植物プランクトンの増殖を律速している栄養塩は窒素であった。一方、塩分が高い測点でのN/P比は、0.1~32.8とばらつきが大きく、16より値が大きかったのは測点CLON\_1とCLON\_3の2測点であった。つまり、観測海域のほとんどの場所で、窒素が植物プランクトンの増殖を律速していると予想された。

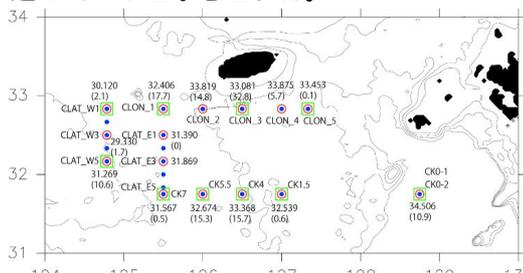


図1. 2013年7月の観測点。各観測点の数字は表層塩分とN/P比(括弧内)を示している。

動物プランクトンの種組成をみると、長江希釈水ではヤコウチュウが、塩分が高い測点ではカイアシ類が優占していた。種組成のデータをクラスター解析し、類似度を調べたところ、3つのグループに分類できることがわかった(図2)。

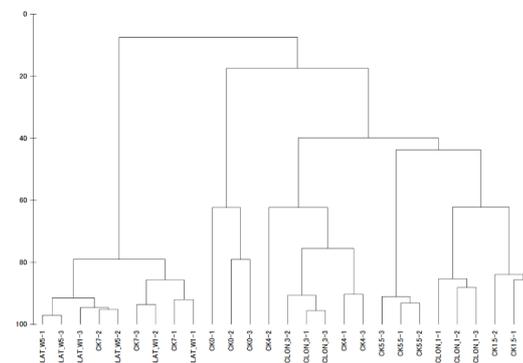


図2. 動物プランクトンのクラスター解析結果。

それぞれのグループは、長江希釈水の海域、塩分が高い海域、黒潮の影響が大きいと思われる塩分 34.5psu の測点 CK0 に対応しており、水塊毎に優占する種が異なることが明らかとなった。

クロロフィル a 濃度最大層での植物プランクトンの細胞密度の分布をみると、塩分の低い長江希釈水で細胞密度が小さく、その他の海域で高い傾向があった。種の分布をみると長江希釈水では小型の *Coccolid nanoalga* が優占し、塩分が比較的高い海域では渦鞭毛藻の *Prorocentrum shikokuense* が優占していた。植物プランクトンも動物プランクトンと同様にクラスター解析を行った結果、3つのグループに分類された(図3)。基本的には動物プランクトンの結果と対応しており、水塊とよい対応が見られた。

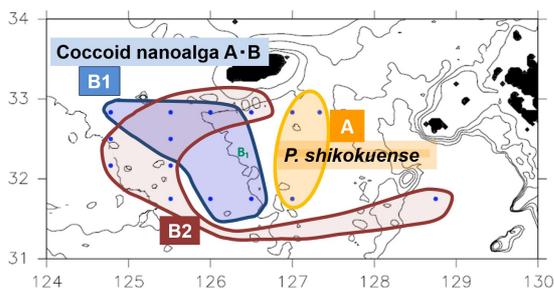


図3. クラスター解析により得られた植物プランクトンの分布。

2013年度の観測により、長江希釈水を含め基本的には窒素が植物プランクトンの増殖を律速していることが分かった。そこで、2014年度は、これまでのデータの蓄積がある対馬海峡から山陰沖において同様な観測を行った。その結果、観測海域の南部より北部で植物プランクトンの細胞密度が多く、北部では渦鞭毛藻が優占し、南部では珪藻が優占していることが分かった。

(2) 船舶観測結果を基に、栄養塩の変化に対する低次生態系の応答を調べるための数値モデルを構築した。流れや水温などの物理場は、九州大学応用力学研究所で開発された3次元海洋モデルの結果を使用した。低次生態系については、植物プランクトンと動物プランクトンの観測結果から、植物プランクトンを2種類(大型と小型のプランクトン)、動物プランクトンを3種類とした。律速栄養塩が窒素であったことから、今回構築したモデルでは窒素ベースで物質のやりとりをするモデルとした。確実にモデルを構築するため、当初予定していた東シナ海ではなく、長江希釈水が流入し観測データが豊富にある対馬海峡から山陰沖を対象としたモデルとした。

図4は、物理-低次生態系モデルにより計

算された各月の海面から20mまでの平均クロロフィル a 濃度である。春に植物プランクトンが増殖すること、韓国東岸で夏季に植物プランクトンが増えることがわかる。人工衛星のクロロフィル a 濃度の時間変化と本モデルの比較を図5に示す。4月の急激なクロロフィル a 濃度の増加は再現できていないが、その他の月については、両者はよく一致している。特に、長江希釈水が流入する夏から秋にかけてはかなりの精度で再現できていることが分かる。

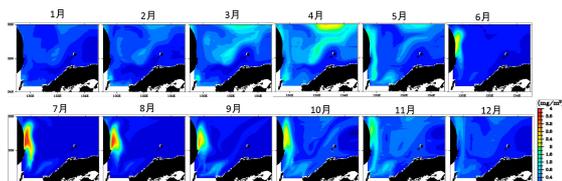


図4. 物理-低次生態系モデルにより計算された海面から20mまでの平均クロロフィル a 濃度の空間分布。

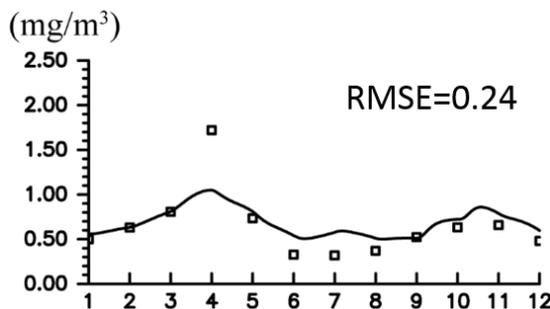


図5. 図4の領域における人工衛星により観測されたクロロフィル a 濃度(印)と物理-低次生態系モデルにより計算されたクロロフィル a 濃度(実線)の比較。横軸は月を表している。

この物理-低次生態系結合モデルを使い、栄養塩濃度の変化に対する植物プランクトンの変化を調べた。対馬海峡から流入する海峡平均溶存態無機窒素の濃度を  $6\mu\text{M}$  と  $2\mu\text{M}$  とする、2ケースの計算を実施した。大型の植物プランクトンは、栄養塩濃度が高い(N/P比が低い)場合のほうが、低い場合に比べ2倍程度濃度が高くなったが、小型の植物プランクトンに関しては、大型の植物プランクトンのような大きな違いは生じなかった(図6)。一般的に、栄養塩濃度が低い状態では、小型の植物プランクトンが優占するが、本計算領域では湧昇などにより下層および中層の比較的高濃度な栄養塩が表層に供給されているため、大型の植物プランクトンが優占している。そのため、栄養塩濃度の変化に伴い大型の植物プランクトンだけが反応したと思われる。

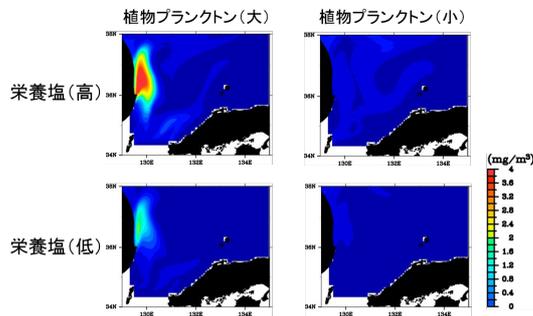


図 6. 対馬海峡から流入する溶存態無機窒素濃度を  $6\mu\text{M}$  にした場合 (上段) と、 $2\mu\text{M}$  にした場合 (下段) の、8 月の大型の植物プランクトンと小型の植物プランクトンのクロロフィル a 濃度の空間分布。

#### 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 2 件)

Ito, M., Morimoto, A., Watanabe, T., Katoh, O., Takikawa, T. (2014) Tsushima Warm Current paths in the southwestern part of the Japan Sea. Progress in Oceanography, 121, 83-93.

森本昭彦・後藤暁・滝川哲太郎・千手智晴・伊藤雅・鬼塚剛・渡邊敦・李雅利 (2013)

対馬海峡を通過する溶存無機窒素の水平輸送量. 空と海, 89 (2), 69-77.

[学会発表](計 3 件)

森本昭彦・上田拓史・滝川哲太郎  
2013 年 7 月長崎丸航海における動物プランクトン・栄養塩. 九州大学応用力学研究所研究集会, 2013.

山田真知子・森本昭彦

2013 年 7 月長崎丸航海における植物プランクトン. 九州大学応用力学研究所研究集会, 2013.

伊藤雅・森本昭彦・石坂丞二・高山勝巳  
対馬海峡を通過する栄養塩量の変化に伴う日本海の植物プランクトン量の変化. 九州大学応用力学研究所研究集会「東シナ海の循環と混合に関する研究」, 2015.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

森本昭彦 (MORIMOTO AKIHIKO)  
名古屋大学・地球水循環研究センター・  
准教授  
研究者番号：80301323

##### (2) 研究分担者

山田真知子 (YAMADA MACHIKO)  
福岡女子大学・文理学部・教授  
研究者番号：30438303

上田拓史 (UEDA HIROSHI)  
高知大学・総合科学系・教授  
研究者番号：00128472

滝川哲太郎 (TAKIKAWA TETSUTARO)  
独立行政法人水産大学校・海洋生産管理  
学科・准教授  
研究者番号：10371741

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：