

令和元年9月3日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K17782

研究課題名(和文)放散虫群集にもとづく黒潮海域の鉛直水塊構造の復元

研究課題名(英文) Reconstruction of water masses in the Kuroshio region based on Radiolarian assemblages

研究代表者

松崎 賢史 (Matsuzaki, Kenji M.)

東京大学・大気海洋研究所・助教

研究者番号：50728582

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：放散虫は珪質の殻を形成する微生物であり海洋中の表層から深層まで幅広い水深範囲に生息しています。本研究も第一段階では黒潮海域の海洋調査から本海域の放散虫種の時空分布を明らかにし、その中から水温に依存する放散虫を明確にした。その放散虫種から過去の表層・中層水温を復元する手法の解明も行なった。

第二段階では原生から得た基礎知識を海洋コアに応用して過去の地球の古環境を復元する事に着目した。その為、国際深海科学掘削計画(IODP)が東シナ海で掘削したサイトU1429のコア資料中の放散虫群集変動を分析して過去40万年の黒潮の変動を復元した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

球温暖化の影響で黒潮が蛇行する恐れもあります。その場合、国内の漁業と気候に影響し、現社会の生活習慣などに影響するので過去の気候を遡って違う黒潮の設定でどんな気候だったかを巡る事で地球温暖化防止に繋がる。

本研究では新しい指標の解明を現生放散虫から確立して、過去40万年間の気候を保存する海洋コアの研究をして以上の問題に多少な答えを出す事を目標としていました。そこで、この課題の最終論文にも報告したように黒潮は海水温・気温だけではなく東シナ海では一時生産性にも大きい影響を与えていると考えられる事が分かりました。今後の地球について少し新たな情報を公開できたと考えています。

研究成果の概要(英文)：Radiolarians are marine Protista bearing test of biogenic silica and inhabit the shallow and deep-water depth. In this research we have clarified radiolarian species spatio-temporal distribution in area influenced by the Kuroshio Current participating to oceanographic survey in this area. Based on this study we could clarify species temperature dependent and these species were selected for define a method for estimate sea surface and intermediate water temperature of the past.

We also investigate changes in radiolarian assemblages in a IODP core collected during the expedition 346 in the east China Sea, which cover the last 400,000 years. Therefore based on radiolarians we documented changes in Kuroshio Current intensity of that area for the past 400,000 years based on the basic knowledges obtained from our modern research.

研究分野：微生物学、古海洋学

キーワード：北西太平洋 黒潮 古海洋学 水温

## 1. 研究開始当初の背景

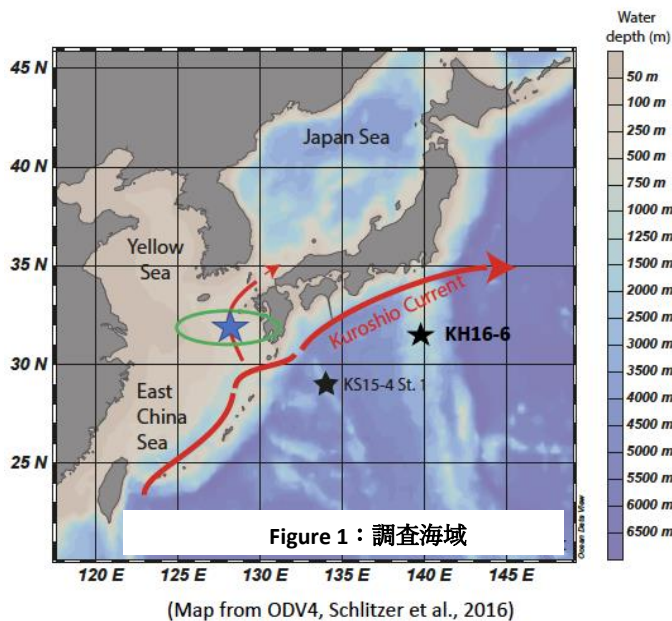
黒潮は、低緯度の温かい塩水を北東に運んでおり、北東アジアの気候システムにおいて重要な要素を担っている。未来の北東アジアの気候を予測するにはためには、黒潮の変動が気候システムにあたる影響を理解する必要がある。これまで古海洋環境を復元する指標として炭酸塩の殻を持つ底性有孔虫・浮遊性有孔虫が使用されてきた。なぜなら炭酸塩の殻から海洋中の同位体比と水温を復元することができるためである。しかし、北西太平洋では炭酸塩補償深度が浅い為、有孔虫の保存状態が悪く北西太平洋の全海域では過去の海洋環境の復元は難しい。

放散虫は珪質の殻を持つ微生物で、全海域に生息している。また海水の変化に敏感である。放散虫化石は珪質の殻を持つため炭酸塩補償深度の影響を受けない。そのため化石の保存は良く古海洋環境復元の優れた指標となる可能性がある。さらに、放散虫は浅い水深だけでは無く深い水深まで生息しているので深い水深の環境を復元することもできる。しかし、これまで放散虫の生態系の研究は主に亜寒帯海域で行われていたが、亜熱帯海域の研究は進んでいない。特に黒潮海域では研究例が少ない。そこで珪質の殻を持つ放散虫の化石を環境指標として確立する事を本研究課題で目的にしている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は放散虫化石を黒潮海域で新たな古海洋環境の復元指標として確立し、過去の黒潮の変動を復元してその変動メカニズムを解明する事である。そのために本研究課題を2つとする。(1) 黒潮海域の現生放散虫研究を行い放散虫の生態、また放散虫と海水温の関連の解明する。(2) 現生の研究から得た基礎知識を海洋コアサンプルに応用して過去の黒潮の変動を復元してその変動のメカニズムを解明する。

## 3. 研究の方法



①第1の研究のためには放散虫種の水深分布を解明する必要がある。そのために数カ所の水深でプランクトンのサンプルを採取する。それにより水深ごとの種の分布を明らかにすることができる。また、放散虫の地理分布を解明するには海洋底の表層の堆積物を採取する必要がある。なぜなら海洋底の堆積物の中に含まれる放散虫の化石群集はその位置の海洋環境を反映すると仮定できるからである。

これまで黒潮海域の3地点からプランクトンサンプルを採取して研究を行ってきた。研究に使用したサンプルは産業技術総合研究所の地質情報研究部門

が過去に採取していたサンプルと、海洋研究開発機構の研究船新青丸(2015年の夏)と白鳳丸(2016年の秋)によって採取されたサンプルを使用した(Figure 1)。このサンプルから、放散虫の群集変化を分析して、当海域の現生放散虫種の空間分布の解明を目的にした。

②第2の研究目的は過去の黒潮の変動の復元である。そのために海洋コアの研究を行う。そこで統合深海掘削計画第346次航海 (IODP) で採取された東シナ海北部のコアサンプルを使用した。このコアサンプルは過去40万年の環境変動を記録している。このサンプルから、放散虫の群集変化を分析して、当海域の古海洋環境の解明と過去の黒潮の変動の復元を目的にした。

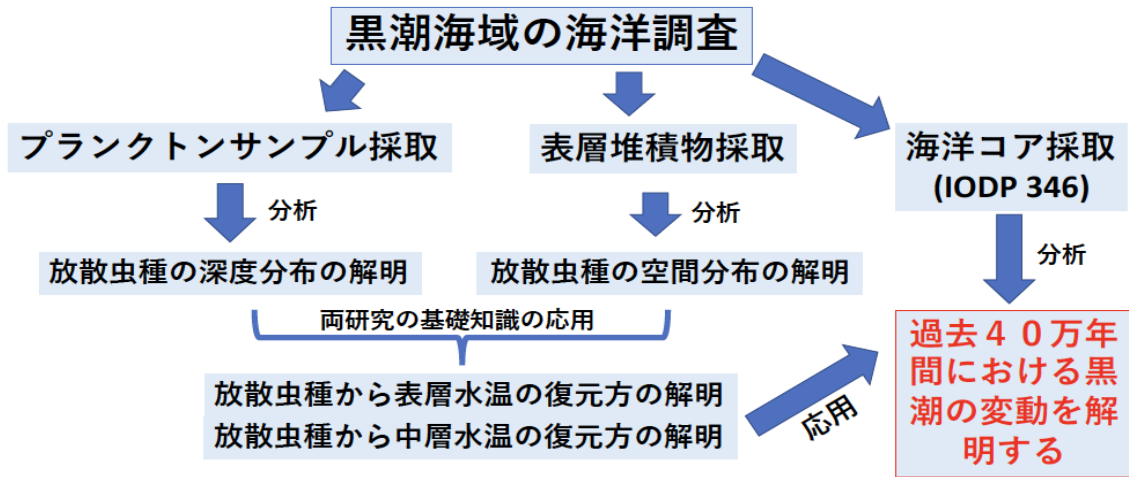


Figure 2 : 変研究の戦略

#### 4. 研究成果

##### ① 放散虫種の空間分布

本研究課題では3地点でプランクトンサンプルを分析した。その内東シナ海北部の成果は論文で発表せられていて、KS15の成果も今は執筆中の論文として公開されて行くところである。一番重要な成果は東シナ海で記録されたので東シナ海の成果を以下に報告する (Figure 3) :

北西太平洋における放散虫の深度分布

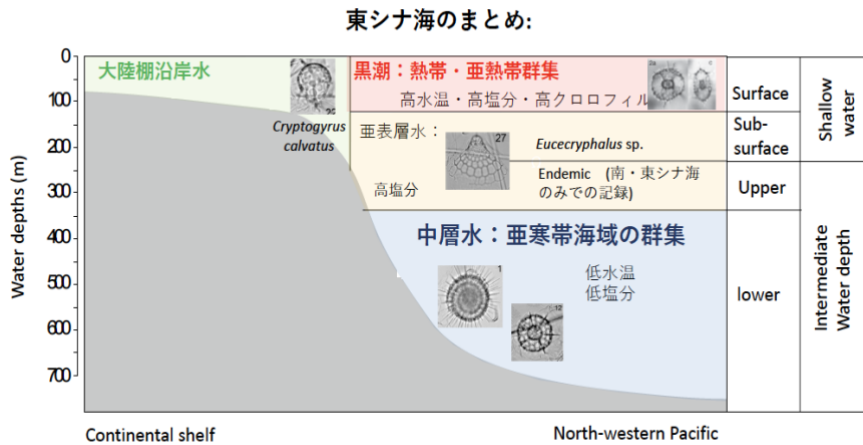


Figure 3 : 東シナ海における放散虫空間分布

東シナ海北部は黒潮の影響を受けているが中国の揚子江の影響も受けている。さらに北太平洋中層水温の影響も受けていると考えられる。そこで放散虫種がどの様にこの海洋設定を反映しているかの解明に着目した。東シナ海の大陸棚では揚子江の影響が強い、そこで *C. calavatus* 系と言う低塩分の

種が主であった事が明らかになった。逆に黒潮の影響を受けている暖かい地点の表層水では赤道海域から低緯度海域で主な種が産出した事が明らかになった (*Tetrapyle* spp. など)。さらに亜表層の水深では固有種を記録した (*Eucecryphalus* sp.)。その理由はまだ不明であるが高い塩分との関係の影響だと考えられる。中層水では亜寒帯海域で主な種を記録した (*Actinomma boreale* など)。この様に水温、塩分の空間分布は大きく東シナ海の群集の空間分布を制約している事が明らかになった。黒潮海域でも放散虫の中では高い水温を好む種がいる事と逆に低塩分を好む種、そして深い水深の底水温を好む種がいる事が明らかになった。

さらに物理的なデータとのコンパイルを元にして黒潮の影響が強いところは高い水温と熱帯種が多いことが改めて解明された。したがって、過去の黒潮の変動を復元する為には水温の復元とその変動を復元すれば黒潮の流れの変動あるいは強度の変動につながる可能性があると考えられる。したがって次の研究段階ではこの東シナ海のプランクトンの研究から明らかになった放散虫種の水深分布を使用して過去の表層水温を復元する手法の確立にチャレンジする事が可能である事が明らかになった。

##### ② 古水温の復元方の解明

## 北西太平洋における放散虫の地理分布: 表層種について

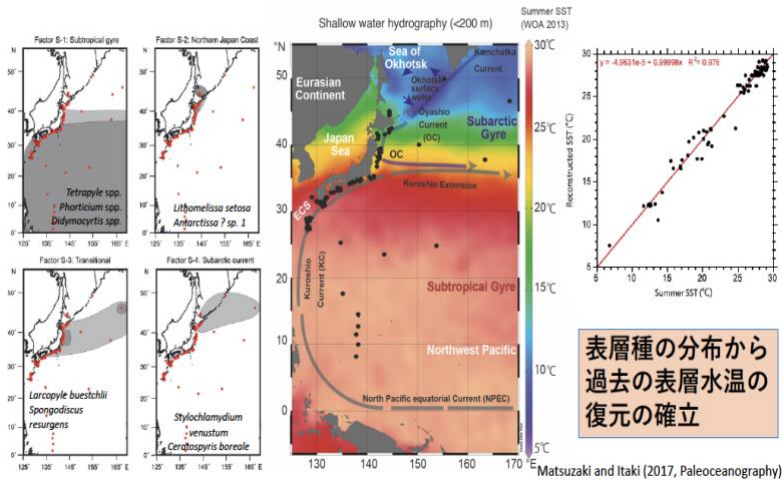


Figure 4 : 表層放散虫と表層水温の関連

spp. など)、中水温を好む表層種 (*Larcopyle buestchlii*, *Spongodiscus resurgens* など)、そして底水温を好む表層種がいる事が明らかになった (*Ceratospyrus borealis* など)。次の段階は因子分析から水温と強い関連性を持つ種を選択して伝達関数法に基づき過去の表層水温を復元する方程式の作成を行った。その結果も Figure 4 に示されているが  $R^2=0.97$  そして復元の誤差は  $1^\circ\text{C}$  付近であり、表層の放散虫からは正確に古表層水温を復元できることが明らかになった。

## 北西太平洋における放散虫の地理分布: 中層種について

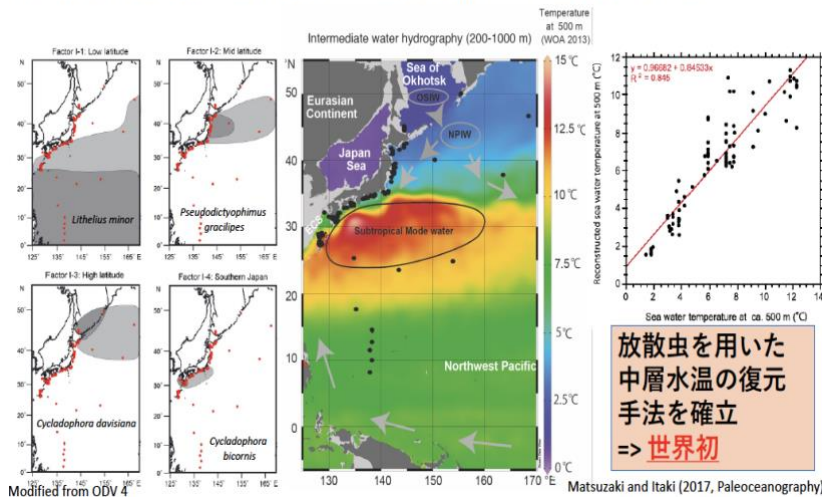


Figure 5 : 中層放散虫と中層水温の関連

そして復元の誤差は  $2^\circ\text{C}$  付近であり、中層の放散虫に比べて誤差は大きいですが、古中層水温を復元できる可能性があることが明らかになった。しかし、表層種とは違って水温の影響を受けない種も多いうことも明らかになったのでこの課題は今後改善する必要があると考えられる。

### ③ 過去 40 万年間の黒潮の変動

東シナ海北部では IODP 346 はサイト U1429 で過去 40 万年の環境変動を記録するコアを採取した。この研究課題の最終段階はその海洋コアの研究を行う事である。そこでは 130 サンプル程度中の放散虫群集変化を分析した。放散虫化石の保存が良く、種の多様性が高いコアであった。そこで 3.2 から得た研究の成果を応用し、過去 40 万年間の東シナ海北部の表層水温と中層水温の変化を復元した。過去 40 万年間は地球の気候は間氷期と氷期が存在していた。その周期的な気候変動は地球の輝度要素により繰り返されてきた。温かい間氷期は Figure 6 では灰色で示さ

本研究課題では日本列島周辺から採取されたおよそ 87 サンプル中から放散虫の群集変化を分析した。その群集から 3.1 で得た成果を考慮して表層水に生息している種と表層水温変化の関係を調べた。具体的には、その種の相対頻度の変化を北西太平洋の表層水温の変化と統計的に比較した。比較法は因子分析による、そのためには PAST 3 という自然科学用の統計ソフトを使用した。因子分析の結果は Figure 4 に示されている様に高水温を好む表層種 (*Tetrapyle* spp., *Didymocyrtis*

同様に中層水に生息する種と中層水温との関連を因子分析を通じて確認した。その結果、中層水温の変動がある程度中層水種の空間分布を制約していることが初めて明らかになった。特に冷たい中層水を好む種がいることが解明することが出来た (Figure 5, *C. davisiana* の例)。また、因子分析からやや強い水温との関連性を持つ種を選択して伝達関数法に基づき過去の中層水温を復元する方程式の作成を行った。その結果は Figure 5 に示されているが  $R^2=0.84$

表層種の分布から過去の表層水温の復元の確立

放散虫を用いた中層水温の復元手法を確立 => 世界初

## 海洋コアの放散虫群集分析から古水温の復元

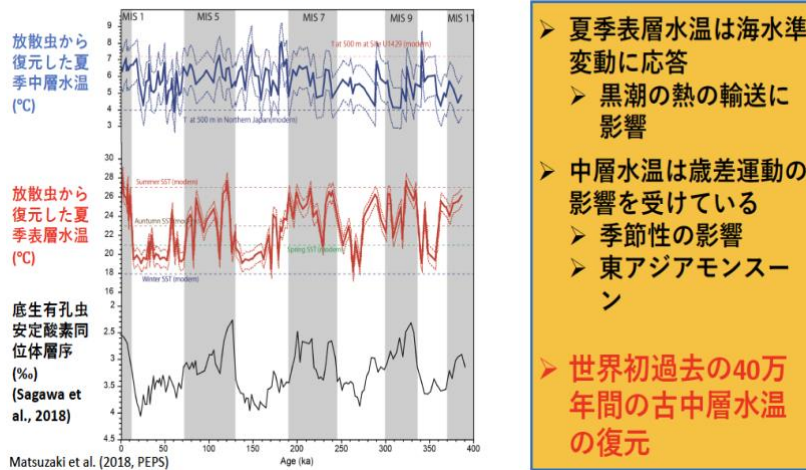


Figure 6 : 過去40万年間の黒潮の変動(東シナ海から観測して物)

れている。本研究では、各間氷期では東シナ海の夏季表層水温は現在の夏季表層水温に近かったことが明らかになった。しかし、氷期の夏季の表層水温は現在の冬季の表層水温に近いことも明らかになった。地球の輝度要素により黒潮の流れと強度が変化してきた事が考えられ、氷期の輝度要素の設定だと恐らく黒潮の流れが変化し研究海域に運ばれる熱の量が減り、より寒冷な海洋環境であったと考えられる。この海域では有孔虫の保

存も良く過去2万年間までの期間では放散虫から得た水温の記録と有孔虫の Mg/Ca 比から得た水温の記録と比較した。その結果、値が近いことが明らかになった。本研究で確立した手法が正確であることも明らかになった。

中層水温の温度の変動は氷期・間氷期のサイクルに従わない事が明らかになった。これは手法の問題より恐らく環境の影響が強いと考える。なぜなら、中層水温の温度変化はだいたい2-3万年間隔で変化している。その間隔はモンスーンのシグナルでもあるので、可能性としては東シナ海の中層水の性質は氷期・間氷期のサイクルよりモンスーンの強度に敏感である事が考えられる。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕 (計4件)

1. Matsuzaki, K.M., Itaki, T., Sugisaki, S. (in press.) Polycystine radiolarians vertical distribution in the subtropical Northwest Pacific during Spring 2015 (KS15-4). Paleontological Research, v. xx, no. xx, pp. xx-xx
2. Matsuzaki, KM, Itaki, T. and Tada, R. (2019) Paleoceanographic changes in the Northern East China Sea during the last 400 kyr as inferred from radiolarian assemblages (IODP Site U1429). Progress in Earth and Planetary Science, v. 6, no. 22, pp. 1-21.
3. Matsuzaki, KM, and Itaki, T. (2017) New northwest Pacific radiolarian data as a tool to estimate past sea surface and intermediate water temperatures: Paleoceanography, v. 32, no. 3, p. 218-245.
4. Matsuzaki, KM, Itaki, T., and Kimoto, K. (2016) Vertical distribution of polycystine radiolarians in the northern East China Sea: Marine Micropaleontology, v. 125, p. 66-84.

### 〔学会発表〕 (計10件)

1. Matsuzaki, K.M., Itaki, T., Tada, R. Evolution of the bottom water ecological condition in the northern East China Sea during the last 400 kyr inferred from relative abundances of *Cycladophora davisiana* (IODP Exp. 346 Site U1429). Japan Geophysical Union 2018, 20 May to 24 May 2018 in Makuhari, Japan
2. Matsuzaki, K.M., Itaki, T. Estimates of the intermediate water temperature based selected radiolarian species. Japan Geological Society, 16-18 September 2017 in Ehime, Japan
3. Matsuzaki, K.M., Itaki, T., Tada, R. Paleoceanography of the northern East China Sea over the past 400 kyr based on radiolarians (IODP Exp. 346, Site U1429). 15th TERRAD 2017, 22 to 27 November 2017 in Niigata, Japan.
4. Matsuzaki, K.M., Itaki, T., Tada, R. Paleoceanography of the northern East China Sea over the past 400 kyr based on radiolarians (IODP Exp. 346, Site U1429). 第3回地球環境史学会年会, 2017年11月18-19日, 福岡,
5. Matsuzaki, K.M., Itaki, T. First attempt to estimate past sea intermediate water temperatures in the northwestern Pacific based on radiolarians. The Paleontological Society of Japan, 27 to 29 January 2017 in Tokyo, Japan.

6. Matsuzaki, K.M., Itaki, T. Hydrographic Response of the East China Sea to the Sea Level Changes Lead by the Glacial/ Interglacial Climatic Cycle Inferred from Radiolarian Data. American Geophysical Union, 12 to 16 December 2016 in San Francisco, USA.
7. Matsuzaki, K.M., Itaki, T. Radiolarians as a paleoceanographic proxy in the East China Sea. The Paleontological Society of Japan, 24 to 26 Jun 2016 in Fukui, Japan
8. Matsuzaki, K.M., Itaki, T. Impact of the orbital forcing on the northern East China Sea regional paleoceanography inferred from radiolarian data. IODP Expedition 346 2nd Post Cruise Meeting. 21th to 24th January 2016 in, Melbourne, Australia.
9. Matsuzaki, K.M., Itaki, T. Changes in radiolarian assemblages from surface sediments of the Northwestern Pacific. American Geophysical Union, 14 to 18 December 2015 in San Francisco, USA.
10. Matsuzaki, K.M., Itaki, T., Kimoto, K. Living radiolarian vertical distribution in the northern East China Sea. 14th INTERRAD 2015, 22 to 27 March 2015 in Antalya, Turkey.

〔図書〕（計0件）

無し

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

無し

○取得状況（計0件）

無し

〔その他〕

ホームページ等

無し

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

無し

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：板木 拓也

ローマ字氏名：Itaki, Takuya

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。