

海水中における生物由来ケイ酸のサイズ分布

2006年3月修了 環境学専攻自然環境コース 46718 田島義史

指導教官 小川浩史助教授

キーワード :生物由来ケイ酸、サイズ分布、コロイド態ケイ酸

1. 背景と目的

珪藻は大型植物プランクトンの一種であり、海洋における全一次生産の約40%は珪藻に起因するという試算が報告されている重要種である。珪藻は他の植物プランクトンと異なり、増殖・成長するのに溶解態ケイ素(DSi: Dissolved Silicon)を必要とする。DSiが珪藻に取り込まれて形成される非結晶の被殻が生物由来ケイ酸(BSi: Biogenic Silica)である。珪藻が枯死したり捕食されたりしてもBSiは生物にとって利用価値がないために沈降しながら溶解し、その一部は海底堆積物まで到達する。そのためBSiは表層の炭素(CO₂)を深層・海底へ輸送する働きがあり、この働きは生物ポンプと呼ばれる。また、海洋の大部分を占める外洋域では外部からDSiの供給がほとんどないため、赤道湧昇域や高緯度海域を除いて表層においてDSiが涸渇する。そのため外洋表層における一次生産は、鉛直混合により有光層へ供給されるDSiに依存する割合が高くなり、その水柱内での動態を把握することは重要である。しかし水柱内においてBSiがどのように沈降し分解しているのか、そのメカニズムは良く分かっていない。そこで本研究ではBSiの沈降過程における挙動に注目し、水柱内におけるBSiのサイズ分画を行った。特にこれまでその存在を示唆されながらも実際に測定された例のないコロイド画分のケイ酸の測定を試みた。さらに培養した珪藻を用いてBSiの分解実験を行った。

2. 試料と方法

観測は研究船白鳳丸によるKH 05 - 2航海(2005. 8. 8 - 9. 21)において、西経160°線上を南緯10°から北上し、北緯53°36'までの間14測点で行った。得られた海水は孔径10 μm フィルターでろ過を行い、そのろ液を2 μm フィルターでろ過した。さらにそのろ液を0.2 μm フィルターでろ過することにより、BSiを >10 μm, 2 - 10 μm, 0.2 - 2 μm の3つの画分に分別した。<0.2 μm の画分は通常のろ過方法ではサイズ分画できないため、攪拌型限外ろ過装置を用いて分子量分画を行った。分子量分画には10 kDa (分子量 10000), 1 kDa (分子量 1000) の2段階の限外ろ過膜を用い、10 kDa - 0.2 μm, 1k - 10 kDa, <1k Da の3つの画分に分別した。BSiの分析にはアルカリ抽出法を用い、モリブデンブルー法により比色分析を行った。

3. 結果と考察

BSi濃度はいずれの海域においても表層では>10 μm画分の濃度が最も高かった。この画

分の BSi 濃度は深度が深くなるほど低くなり、中深層で 2 – 0.2 μm 画分と濃度の逆転が見られたことから、サイズの大きい BSi が沈降の過程で小さいサイズに分解されていることが示唆された。全 BSi 濃度の水平分布を見ると、深度 10m では亜寒帯・赤道湧昇海域は貧栄養海域と比べて 20 – 100 倍程度濃度が高かったが、1000 m になるとその差は最大でも 10 倍以下まで小さくなり、深層ほど海域による濃度差がなくなる傾向が見られた (Fig. 1)。外洋における BSi の主たる供給源である珪藻の大部分は >10 μm 画分もしくは 2 – 10 μm の画分に入る。このため大部分の海域では表層において >10 μm 画分が全 BSi 濃度の 50 – 80% を占めたが、その割合は深度に伴い大きく低下し、1000m では 20 – 30% まで減少した。培養珪藻の分解実験では、分解 1 日目から 3 日目に >10 μm 画分の大きな減少が見られ、同時期に 2 – 10 μm 画分と DSi は増加した。またそれらの増加分がほぼ同等であったことから、BSi が小さいサイズに分解されただけではなく、直接 DSi へ溶解したものと考えられる。

本研究では限外ろ過法で分子量分画を行うことによって、10 kDa - 0.2 μm のコロイド画分から DSi ではないケイ酸の存在を確認することに成功した (Fig. 2)。その濃度は特に貧栄養海域においては全 BSi の 20 – 30% を占めた。この画分のケイ酸は海域による大きな濃度勾配が BSi ほど顕著に見られず、その分布は 0.2 – 2 μm 画分の分布と類似していた。また、深度 10 m と 1000 m では DSi 濃度が数十倍も異なるがコロイド画分のケイ酸濃度は比較的一定であったことから、DSi の物理的な凝集によって生成しているものではないことを示唆している。

BSi のサイズ分画及びコロイド画分のケイ酸の分布の特徴から、珪藻の沈降過程における BSi の分解メカニズムが明らかとなった。外洋におけるケイ酸の動態を明確にするためには、さらに温度による分解・溶解速度の違いや小さい画分のケイ酸がどのような形態で存在しているのかを調べる必要がある。

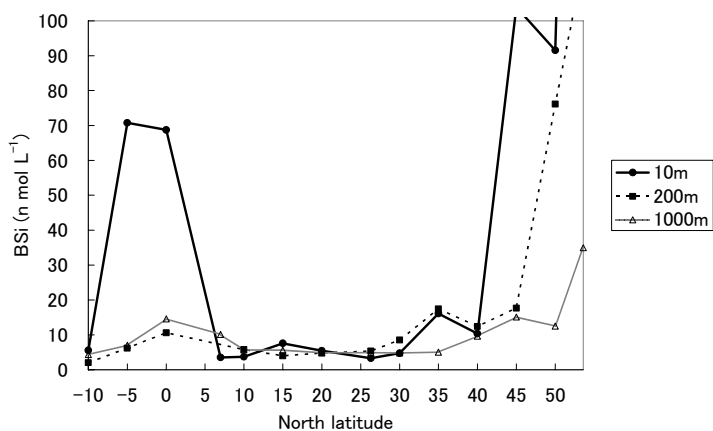


Fig. 1 深度 10m, 200m, 1000m における全 BSi 濃度の水平分布図。 >10 μm , 0.2 – 2 μm , 0.2 – 2 μm 画分の和を全 BSi 濃度とした。

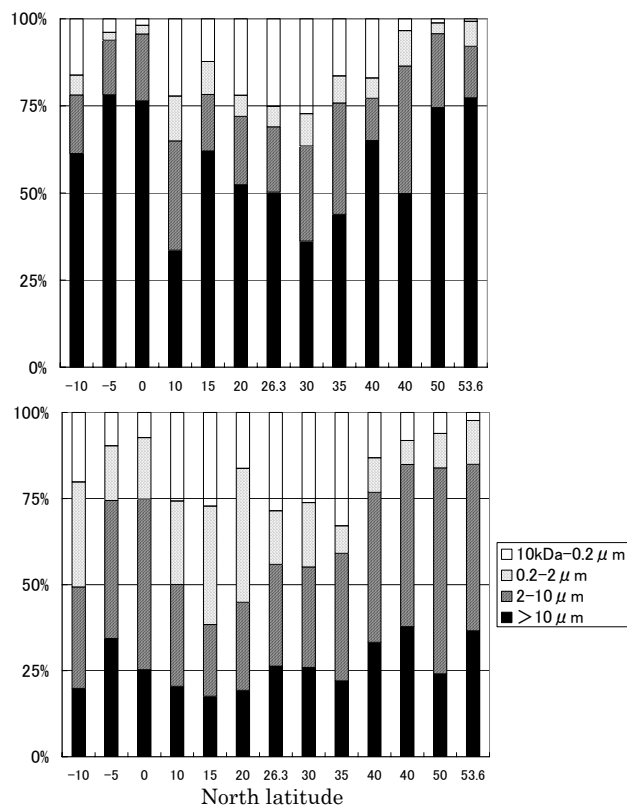


Fig. 2 各測点におけるケイ酸のサイズ比率 (DSi は除く)。

Size distribution of biogenic silica in seawater

March 2006, Institute of Environmental Studies,
Course of Natural Environmental Studies, 46718 Yoshifumi Tajima
Supervisor; Associate Professor, Hiroshi Ogawa

Keyword; Biogenic Silica, Size distribution, Colloidal Silicate

1. Introduction

Diatom is large-size phytoplankton, and their contribution to primary production in the ocean is very important. They uptake dissolved silica (DSi) and make their amorphous frustule. When diatom is decomposed through autolysis or predation, their frustule is broken to be particle (BSi; Biogenic Silica). It is considered that BSi sinks with dissolved to DSi because most of organism cannot utilize particulate silica, and a part of BSi reach to deep sea and accumulated on the surface of sediment. This process is called Biological pump because they transport CO₂ to deep sea and bottom. In a large part of the open ocean there is little supply of DSi from the outside, DSi is depleted in surface layer except upwelling areas. Therefore, primary production in the open ocean depends on DSi supply from deep water by vertical mixing. It is necessary to know the dynamics of silica in the open ocean. But little is known how BSi sink and decompose in water column. In this study, size fractionation of BSi was employed to investigate its changes during sinking in water column, and silica in colloidal fraction was separated using ultrafiltration technique, which have never measured by previous studies. And degradation experiment with cultured diatoms.

2. Materials and Methods

Sampling was performed fourteen stations on 160° W line from 10° S to 53° N in the central North Pacific on KH 05 – 2 (2005. 8. 8 - 9.21) cruise of R/V HAKUHO - MARU. Water samples were filtered by three different pore sizes of polycarbonate membranes (10, 2, 0.2µm) to separate BSi into three size fractions (>10 µm, 2 – 10 µm, 0.2 – 2 µm). For the <0.2µm fraction ultrafiltration technique (nominal molecular weight cut - off 10k, 1kDa) was used to separate into the fraction of 10 kDa - 0.2 µm, 1k - 10 kDa, <1k Da. Separated BSi samples were analyzed by alkaline digestion method. Silica was measured by molybdate blue method.

3. Results and Discussion

BSi concentrations in >10µm fraction were higher than other fractions in surface layer and its concentration decreased with depth. The Si concentration of >10µm

fraction were lower than those of 0.2 – 2 μm fraction in 200 – 1000m layer. These results suggest that large size BSi particles were decomposed to small size with sinking in water column. Horizontal distribution of total BSi (sum of >0.2 μm) showed that their concentrations in upwelling areas were about 20 – 100 times higher than those in oligotrophic areas in 10m depth, but these differences were less than 10 times at 1000m depth (Fig. 1). Because most of diatom is included into >10 μm or 0.2 - 2 μm fraction, the BSi in the >10 μm fraction accounted for 50 – 80% of total BSi in 10m depth in many areas. But >10 μm fraction declined sharply to lower. >10 μm while they are 20 – 30% in 1000m depth. Degradation experiment of BSi shows change of BSi along the time course clearly. The >10 μm fraction was decreased drastically between 1st and 3rd days. In the Same period, 0.2 - 2 μm fraction and DSi were increased, and their increasing was nearly equal. From these result, it is considered that BSi in large particles were degraded to not only small size but also directly dissolved to DSi.

In this study, the silica in colloidal fraction (10kDa - 0.2 μm fraction) was successfully measured using ultrafiltration technique (Fig. 2). Their distributions showed small differences among areas compared with those of BSi, which seemed to be similar to the distribution of the 0.2 - 2 μm fraction. The concentration of DSi at 1000m depth is much higher than at 10m, but the colloidal fraction showed contrary tendency. Suggesting that the silica in the colloidal fraction would not be resulted from aggregation of DSi. The results of this study indicated that BSi changes their size with sinking in water column.

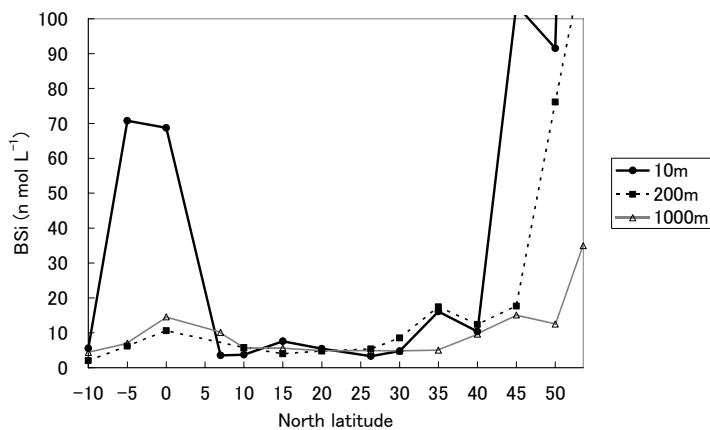


Fig. 1 Horizontal distribution of total BSi at 10m, 200m, 1000m depth.

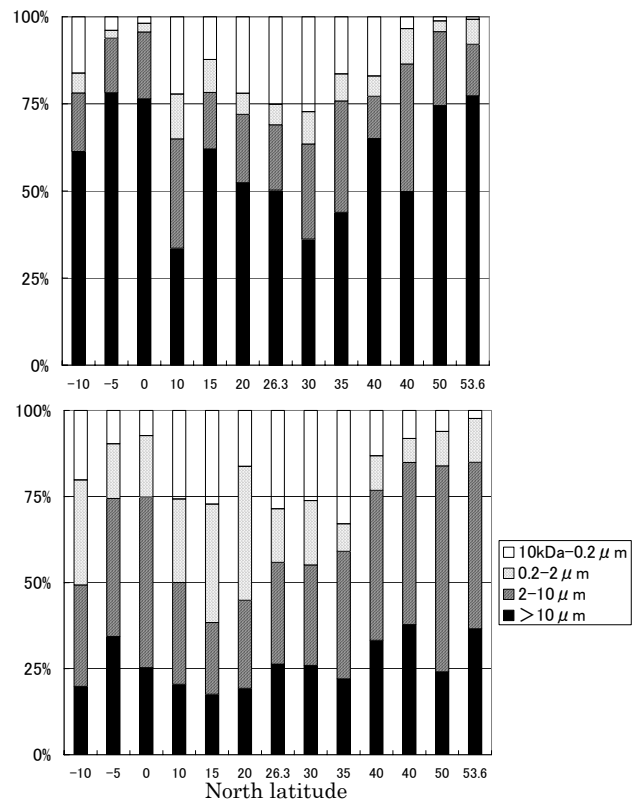


Fig. 2 Size ratio of silica (except for DSi) at 10m and 1000m depth.