

学 位 論 文 題 名

Study on transport process of biogenic silicate
in the western North Pacific

（西部北太平洋における生物起源ケイ酸塩の輸送過程に関する研究）

学位論文内容の要旨

海洋の植物プランクトンの増殖は大気海洋間の二酸化炭素交換に大きな影響を及ぼす。海洋の植物プランクトンの多くは、ケイ酸塩殻生物と炭酸塩殻生物である。これらの植物プランクトンは光合成をして、炭素を海洋深層へと運び、海洋表層の二酸化炭素分圧を減少させる。しかしながら、炭酸塩殻形成は、表層海水中のアルカリ度を減少させ、海洋から二酸化炭素を大気へ放出させる。このため、ケイ酸塩殻（BSi）生物と炭酸塩殻（ CaCO_3 ）生物の比を時空間的に定量化することは二酸化炭素の交換量を議論するために重要である。そこで、海洋表層で作られて深層へ沈降する BSi に注目し、基礎生産が高く、珪藻が優占する西部北太平洋において、その測定法の確立、鉛直変化とその要因、そして季節変動について研究を行った。

（１）アルカリ抽出法による BSi の高精度測定法

現在、BSi 測定のはほとんどは試料からアルカリ溶液に溶解するケイ素を比色定量している。しかしながら、同一堆積物を用いた BSi の測定値は研究室間で大きな差があることが報告されている。この原因として、陸起源物質からのケイ素の汚染、分析に使用するサンプルとアルカリ溶液の量比(S/S ratio)が関係していると考えられている。陸起源物質からの汚染は良く研究されているが、S/S ratio の研究はほとんどされていない。

三陸沖の表層堆積物と西部北太平洋の沈降粒子を使用して実験した結果、堆積物、沈降粒子共に、S/S ratio が増加するにつれて、算出される BSi 含量が小さくなった。また、抽出に用いるアルカリ濃度が高いほど、S/S ratio の増加に対する測定される BSi 含量の減少量が小さかった。これらの結果の解釈として、1. Al イオンとケイ酸イオンとの化合物生成、2. アルカリ溶液の pH および buffer capacity の低下、3. 残存する粒子への溶存ケイ酸イオンの吸着、が考えられるが、3 番目の吸着現象によることを、S/S ratio に対する BSi 含量の減少量が典型的な吸着式(フロイントリッヒの式)に従うことを示すことによって明らかにした。また、本研究結果から、沈降粒子の高精度 BSi 測定として、S/S ratio は 0.5 とすることを提唱する。

(2) BSi 粒子束の鉛直変化とその要因

西部北太平洋は基礎生産が高く珪藻類が優占的な海域である。それ故、沈降粒子中の BSi フラックスが大きく、粒子の BSi/CaCO₃ 比は非常に高い。西部北太平洋 Sta. KNOT(北緯 44° 東経 155°) の 770 m と 5100 m にセジメントトラップを設置し、2002 年 6 月から 2004 年 5 月まで沈降粒子を捕集し、上記の BSi 測定法を用いて、沈降粒子中の BSi を測定した。その結果、2002 年 6 月から 2003 年 5 月にかけて平均 BSi フラックスは上層のセジメントトラップで 36.4 mg/m²/day で下層のセジメントトラップでは 48.5 mg/m²/day と下層のセジメントトラップで高い値だった。BSi は海洋表層で生産され、分解を受けながら、沈降する。そのため、鉛直的に BSi フラックスが増加することは鉛直一次元的観点からは説明がつかない。また、この時、陸起源粒子も下層セジメントトラップで上層セジメントトラップの約 2 倍のフラックスが観測された。そこで、これまでほとんど行われていなかった陸起源粒子の粒径分布を測定して、下層で増加した BSi との関係を調べた。

セジメントトラップに捕捉された陸起源粒子は、3-4 μm と約 10 μm の 2 ケ所に極大をもっていた。約 10 μm の大きな粒径の粒子束は 770 m と 5100 m では増減は見られなかったが、3-4 μm の粒子束は下層で増加していた。これまで、陸起源粒子束が鉛直的に増加することは、多くの海域で観測されていたが、その要因が小さな粒径の粒子によることを初めて明らかにした。また、粒子の La/Yb と Th/Sc のバルクの測定値から、小さな粒子はアジア大陸起源であることが示唆された。すなわち、海洋にもたらされたアジア大陸起源の粒子のうち、小さな粒径のものが、外洋域の深層を横方向に移動していることを示している。そして、この小さなフラクションの陸起源粒子の増加と BSi フラックスは良い相関 ($r=0.88$) があることを見つけた。また、BSi/陸起源物質比の鉛直変化と BSi フラックスの鉛直的増加は横方向からの BSi の流入なくして、説明することができない。これらのことから、BSi 粒子も水平的に移動していることが示唆された。

(3) BSi 粒子束と BSi/炭酸カルシウム比の季節変動

横方向からの BSi 量を見積もるため (つまり、正確な鉛直的 BSi フラックスを見積もるため)、小さいフラクションの陸起源粒子と BSi 粒子の関係を調べた。横方向から運ばれた (BSi) / (小さいフラクションの陸起源粒子) 比は 2.4 であった。そこで、この比を用いて、横方向から輸送された BSi フラックスを見積もった。その結果、この期間上層セジメントトラップに捕集された BSi フラックスの約 14 % が横方向から輸送されたものであった。また横方向から輸送された BSi の割合は冬季に一番高く、全 BSi フラックスの 72 % であった。本研究海域は横方向から輸送された BSi フラックスを補正しても全世界的に見て、BSi/CaCO₃ 比が高い海域であることが分かった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 乗 木 新 一 郎

副 査 教 授 吉 川 久 幸

副 査 助 教 授 渡 辺 豊

副 査 サブグループリーダー

本 多 牧 生

(海洋研究開発機構 むつ研究所)

学 位 論 文 題 名

Study on transport process of biogenic silicate in the western North Pacific

(西部北太平洋における生物起源ケイ酸塩の輸送過程に関する研究)

海洋の植物プランクトンの増殖は大気海洋間の二酸化炭素交換に大きな影響を及ぼす。海洋の植物プランクトンの多くは、ケイ酸塩殻生物と炭酸塩殻生物である。炭酸塩殻形成は、表層海水中のアルカリ度を減少させ、海洋から二酸化炭素を大気へ放出させる。一方、ケイ酸塩殻生物は光合成をして、炭素を海洋深層へと運び、海洋表層の二酸化炭素分圧を減少させる。そこで、海洋表層で作られて深層へ沈降するオパール (BSi) に注目し、基礎生産が高く、珪藻が優占する西部北太平洋において、その測定法の確立、鉛直変化とその要因、そして季節変動について研究を行った。

現在、BSi 測定のはほとんどは試料からアルカリ溶液に溶解するケイ素を比色定量している。試料とアルカリ溶液の量比 (S/S ratio) を詳細に検討した。S/S ratio を増すと、算出される BSi 含量が小さくなった。またアルカリ濃度が高いほど、S/S ratio の増加に対する測定される BSi 含量の減少量が小さかった。S/S ratio に対する BSi 含量の減少量が典型的な吸着式 (フロイントリヒの式) に従うことから、残存する粒子への溶存ケイ酸イオンの吸着が測定の誤差の要因であることを明らかにして、S/S ratio を 0.5 とする高精度分析方法を確立した。

西部北太平洋 Sta. KNOT (北緯 44° 東経 155°) の 770 m と 5100 m に 2002 年 6 月から 2004 年 5 月までセジメントトラップを設置して沈降粒子を捕集し、新しい BSi 測定法を用いて、沈降粒子中の BSi を測定した。その結果、2002 年 6 月から 2003 年 5 月の平均 BSi フラックスは上層 (36.4 mg/m²/day) よりも下層 (48.5 mg/m²/day) で高い値だった。BSi は海洋表層で生産され、分解を受けながら、沈降する。そのため、鉛直的に BSi フラックスが増加することは鉛直一次元的観点からは説明がつかない。また、この時、陸起源粒子も下層で上層の約 2 倍のフラックスが観測された。

そこで、これまでほとんど行われていなかった陸起源粒子の粒径分布を測定したところ、セジメントトラップに捕捉された陸起源粒子は、3-4 μm と約 10 μm の 2 ヶ所に極大をもっていた。約 10 μm の大きな粒径の粒子束は 770 m と 5100 m では差は見られなかったが、3-4 μm の粒子束は下層で増加していた。これまで、陸起源粒子束が鉛直的に増加することは、多くの海域で観測されていたが、その要因の一つが小さな粒径の粒子によることを初めて明らかにした。

また、粒子の La/Yb と Th/Sc のバルクの測定値から、小さな粒子はアジア大陸起源であることが示唆された。すなわち、海洋にもたらされたアジア大陸起源の粒子のうち、小さな粒径のものが、外洋域の深層を横方向に移動していることを示した。そして、この小さなフラクションの陸起源粒子の増加と BSi フラックスは良い相関 ($r=0.88$) があることを見つけた。さらに、BSi/陸起源物質比と BSi フラックスが上層に比べて下層で大きいことから、BSi 粒子も水平的に移動していることが示唆された。

実測された BSi フラックスは春季から初夏にかけて大きく、冬季に小さかった。横方向から運ばれた (BSi) / (小さいフラクションの陸起源粒子) 比を 2.4 とし、実測値を補正して、Sta. KNOT 上層トラップでの鉛直的 BSi フラックスを算出した。その結果、春季には実測値の約 97 %、冬季には約 30 % が表層からもたらされた BSi だった。そのため、表層からの BSi フラックスはこれまで考えられていたよりも季節変動が大きいことが分かった。補正した BSi/CaCO₃ 比は春季では 2.3、冬季では 0.5 であり、これまでは過大見積りしていたことが分かった。それでも年平均 BSi/CaCO₃ 比は 1.2 であり、他の海域と比較して、効率よく二酸化炭素を吸収していることが確認された。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。