

学 位 論 文 題 名

セジメントトラップによる  
海水中化学物質の動態に関する研究

学位論文内容の要旨

海洋に運ばれてきた化学物質は長時間にわたって様々な変化を受け最終的には堆積物になる。その際海洋表層の物質をとりこみ、底層へ運んでいく役割をしているのが沈降粒子である。沈降粒子はセジメントトラップという筒状あるいは漏斗状の特殊な装置を海水中に係留して捕集し、有機物、生物起源のケイ酸塩（オパール）、アルミノケイ酸塩（粘土粒子）、 $\text{CaCO}_3$  が主成分である。生物起源物質の粒子束は時間的・地域的に大きく変化し、海洋表層での生物活動の活発さをたいへんよく反映している。陸起源粒子は粒子が細かく、それ自身だけで沈降する事は希であり、生物起源粒子に取り込まれて沈降する事が多い。本研究ではまず陸起源粒子に注目した。

Al は地殻を構成するアルミノケイ酸塩の平均 8% を占めており（Taylor 1964）、海洋における陸起源粒子を代表している。これまでのセジメントトラップ実験によって、海水中を沈降する Al の粒子束がほとんどの海域で深さとともに増大する事実が見い出されており（例えば、Brewer et al., 1980 ; Tsunogai et al., 1982）、粒子の水平方向からの輸送がその原因とされている。また海水中の Al、つまり土壌粒子は主に大気圏を経由して運ばれたものであり（例えば、Duce et al., 1980 ; Betzer et al., 1988）、北太平洋洋上大気中の土壌粒子の供給源はアジア大陸にあるとされている。さらに大気中 Al 濃度は大陸東岸からの距離が 500~700km 毎に半減することから、その海洋への効果は西部北太平洋で極めて大きいはずとの報告がされている（Tsunogai et al., 1985, 1988）。しかしこのことを海洋中沈降粒子からの見積もりと比較検討するには至っていない。そこでまず、大気由来の陸起源粒子が多いと予想される西部北太平洋（WP-1, 2, 3, EM-1, JS, JT-01, SB-1）、及び比較として北部北太平洋（NP-B）を実験海域としてセジメントトラップ実験を行ない、その結果を解析した。

日本海溝（JT-01）底層近くで、6%以上という最も大きな粒子中 Al 濃度が観測された。外洋においてこのような高い Al 濃度はこれまで報告されていない（例えば Brewer et al., 1980 ; Noriki and Tsunogai, 1986）。日本海溝北部の斜面、水深 5.2km の EM-1 では平均

12.7mg/m<sup>2</sup>day という最も大きな Al-flux が観測された。これは南極海、水深3.13kmでの値の100倍はあった。また、本研究においても Al の粒子束は深度とともに増加しており、Al 濃度も鉛直的に増加していた。

外洋に運ばれている陸起源物質は主に大気経由であるという点を明らかにするために、Al 粒子束の表層 0 m における値を外挿(最小自乗法)して求め比較した。四国海盆 (SB-1) では3.2 mg/m<sup>2</sup>day, 西部北太平洋域 (WP) では0.5~3.8mg/m<sup>2</sup>day であり、中央、東部北太平洋に比べてより大きな値であった。これを鈴木と角皆 (1987) が見積もった西部北太平洋域における土壌物質の降下量と比較すると、八丈島で3.1, 父島では1.6mg/m<sup>2</sup>day であり、両者はほぼ一致していた。したがって海洋表層における陸起源粒子は、アジア大陸から北太平洋を風によって運ばれたと考えても矛盾はない。

しかし鉛直的に増加する Al の粒子束は直上大気のみから説明することはできず、粒子の水平移動による付加を考えなくてはならない。そこでトラップ設置水深よりも浅い海域の表層堆積物中の Fe/Al と Mg/K 比に着目し、捕捉された粒子の各比と比較した。大陸地殻の主成分である K はアルカリ金属、Mg は海洋地殻の主成分でアルカリ土類金属であり、海洋における滞留時間は大変長い (角皆と乗木 1984)。しかし Brewer et al. (1980) や Masuzawa et al. (1989) は K が lithogenic な元素であると指摘している。事実沈降粒子中の Al 含量と K 含量はほぼ直線の関係にあり、沈降中に溶解する傾向はみられなかった。沈降粒子中の Fe/Al, Mg/K 比と堆積物中の比を比べると両者はよく一致していた。

Al 含量の大きな測点では、Fe/Al, Mg/K 比とも鉛直的に大きな変動はなかったが、地域的な差異が見られた。西部北太平洋を日本の東岸から伊豆、小笠原海嶺で東西に分けたとき、東側では Fe/Al 比が0.55以上、Mg/K 比が1以上であるのに対して、西側ではそれぞれ0.50と0.70程度であった。伊豆、小笠原海嶺東側の西部北太平洋域における Fe/Al 比や Mg/K 比は海洋地殻を構成する玄武岩のそれらに一致するものであり、大陸地殻の物質とは明らかに異なっている。実際、high dust season (2~6月) に奥尻島で測定した大気降下物中の Fe/Al, Mg/K 比は0.54と0.79であり (鈴木 1986)、大気経由で海洋に運ばれる黄砂の発する地域であるタクラマカン砂漠土壌中の Fe/Al, Mg/K 比はそれぞれ0.46, 0.63 (鈴木私信) であった。

ここで堆積物に大気由来のものの寄与が大きければ、沈降粒子や堆積物中の Fe/Al, Mg/K 比が西部北太平洋の東部と西部で異なることはないであろう。従って少なくとも、西部北太平洋にある日本海溝東部の深海で捕らえられた陸起源粒子の大部分は、大気由来ではないといえ

る。

次いで、生物活動の活発な北部北太平洋における粒子中の金属成分に注目した。

Bruland (1980) は、海水中の Ni, Cd, Cu の鉛直分布が栄養塩に似ており、Ni と Cd は海水柱内で再生、逆に Cu は除去されている事を示した。そこでセジメントトラップを用いて、粒子側からの直接測定を行ない、推定量が一致するか検証した。

セジメントトラップ実験は北部 (BS-1, ON-2, NP-B), 西部 (WP-4, EM-1, JT-01, SB-1) および東部北太平洋 (AK-1) で行った。

ON-2 と AK-1 はセジメントトラップを係留した時期が 6~8 月と 6~7 月とほぼ同じで、同型の NH 型セジメントトラップを使用しており、東西の違いが比較できる。この 2 地点での大きな違いは、東部北太平洋の AK-1 では Opal と  $\text{CaCO}_3$  がほぼ同量 40% ずつであるのに対して、西部北太平洋の ON-2 では圧倒的に Opal が多く、この時期は 60% を越えていたことである。これにともない Cu, Ni, Cd など金属成分は、東部が西部に比べて濃度が高く、4000m 層では濃度、粒子束ともに東部の方がほぼ一桁大きくなっていた。東部北太平洋での金属成分の高濃度は Noriki and Tsunogai (1992) も述べている。

Tsunogai et al. (1982) は、溶存態重金属の分布から、1~4.5km の海洋深層水柱内で除去される重金属量を見積もり、Ni と Cd はそれぞれ  $0.6$  と  $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{day}$  で溶出、Cu は  $2 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{day}$  で粒子態として除去されていることを示した。そこで NP-B と ON-2 で得た Cu, Ni, Cd の flux を一次関数的に増加すると仮定して、最小自乗法で 1 km と 4.5 km での粒子束を計算し、3.5 km の水柱内での再生あるいは除去量を見積もった。その結果、粒子態の方からも Cu の除去が明らかとなり、大きさも  $3\sim 4 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{day}$  とほぼ同じであった。一方、Ni と Cd は再生しており、粒子から溶け出していた。Cd の再生量は溶存態から見積もった量の  $1/4$  であるが、両測点ではほぼ同じ  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{day}$  であった。このように溶存態と粒子態からの推定量はほぼ一致し、海洋における Cu, Ni, Cd の基本的な挙動が明らかとなった。

以上のようにセジメントトラップを用いて、沈降粒子が海洋での物質循環に果たす役割を明らかにした。

## 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 角 皆 静 男  
副 査 教 授 大 谷 清 隆  
副 査 教 授 梶 原 昌 弘  
副 査 教 授 米 田 義 昭  
副 査 教 授 松 永 勝 彦

海洋は全ての物質の最終到着場所である。その主な輸送経路は河川とされてきたが、最近では大気からの流入も注目されている。海洋に輸送された物質の多くは、生物活動によって粒子化され、急速に沈降する粒子によって運ばれている。この粒子がどのような情報を携えて沈降しているのか、セジメントトラップ実験は、その粒子を捕促し、その分析から直接的な情報が得られるので、近年盛んになっている。

本研究では西部および北部北太平洋で得られた沈降粒子試料から、これまで限られた情報しか得られていなかった化学物質の動態について重要な情報を得ている。

本研究の第1部では、大気からの土壌粒子降下量が大きいと予想される西部北太平洋を中心に8点で、セジメントトラップ実験を行なった。捕集した沈降粒子中の土壌粒子（アルミノケイ酸塩）の指標となる Al と、ほぼそれに似た傾向を示す Fe、大陸地殻組成の代表としての K、海洋地殻代表の Mg などの化学成分を測定し、以下の成果が得られた。

- 1) 日本周辺の西部北太平洋では、他海域に比べて1～2桁大きい Al（つまり土壌粒子の）粒子束が観測された。
- 2) 鉛直的に増加する Al 粒子束を最小自乗法で表層0 mに外挿し、大気からの Al 降下量と比較したところ、両者はほぼ一致した。これは海洋表層水中の土壌粒子は大気由来ということを示しているが、それ以外にも土壌粒子の供給源があることを示している。
- 3) K と Mg は海水中の主要成分であるが、粒子中の K/Al, Mg/Al 比は鉛直的にも季節的にもほとんど変化しなかった。このことから、海水に溶けている K や Mg のうち粒子化する部分は極めて小さく、沈降粒子中の K や Mg の大部分は難溶性のアルミノケイ酸塩に含まれているものといえる。よって Mg/K を土壌粒子の起源の指標とできる。
- 4) 沈降粒子中の Fe/Al, Mg/K 比から、粒子は伊豆-小笠原海溝を境に東西に分けられる。西側の粒子は Mg/K が1より小さく、大陸地殻の物質であった。一方東側では Mg/K が1

を越えており、主に海洋地殻組成の物質であった。このことから、少なくとも日本海溝より東部の深海で捕らえられた陸起源粒子の大部分は、大気圏由来ではないといえる。

第2部では、生物生産の大きな北部北太平洋に時間分画式セジメントトラップを設置し、試料を得た。そして溶存態の鉛直分布が栄養塩と似ている Cu, Ni, Cd について解析し、次のような成果を得た。

- 5) 粒子中 Cu, Ni 濃度の時間変動は、主成分の  $\text{SiO}_2$  濃度より  $\text{CaCO}_3$  濃度の変動に比較적으로対応していた。
- 6) 粒子中 Cd 濃度は、溶存態 Cd とは異なり、 $\text{PO}_4$  濃度と時間的、鉛直的ともにより相関がみられず、Cd の再生は急速に起こっていることがわかった。
- 7) 沈降粒子中 Cu, Ni, Cd の鉛直的な濃度変化から、1~4.5kmの水柱内での再生あるいは除去量を見積もった。その結果、正味の変化は、Cu は海水柱内から除去、Ni と Cd は再生であった。この量は Tsunogai et al. (1982) が Bruland (1980) の報告した海水中 Cu, Ni, Cd 濃度をもとに計算した値とほぼ一致した。

第3部では、水平輸送される粒子の寄与が大きいと予想される沖縄トラフでセジメントトラップ実験を行った。海域の酸化還元環境の指標となる Mn をはじめ化学成分を測定し、以下の結果を得た。

- 8) これまでで最も大きな Mn/Al 比および Mn-flux が観測された。
- 9) 1層目と2, 3層目のメタル/Al 比が異なり、海底近くを堆積物になりきらない粒子が海溝底に集まっていくことを明らかにした。

以上、本研究は、沈降粒子を通じて海洋での化学物質の挙動に関する新しい知見を与え、海洋が果たす物質循環のサイクルの解明に大きく貢献した。よって博士(水産学)を受けるにふさわしいものと審査員一同は認めた。