

平成22年 4月16日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19310001  
 研究課題名（和文）日本列島を挟む2定点での海洋生態系変化と微量元素循環の相互作用に関する研究  
 研究課題名（英文）Trace metal transport mechanism in Japan Sea and Western North Pacific

研究代表者 乗木 新一郎（NORIKI SHINICHIRO）  
 北海道大学・大学院地球環境科学研究所・教授  
 研究者番号：80109511

## 研究成果の概要（和文）：

日本海と西部北太平洋にそれぞれ観測定点を設けて、セジメントトラップという観測機器を海中に設置、数年に亘って、海洋の表層から深層に向かって沈降移動する粒子（マリンスノー）の量とその化学成分を測定した。両観測点ともに、粒子量は春季に多く、冬季に少なかった。化学成分は、粒子が多い時期には、珪藻の殻成分である生物起源ケイ酸塩（オパール）が多く、少ない時期は陸起源のアルミノケイ酸塩の割合が増えた。日本海での化学成分の15年間の経年変化から、生物起源粒子に比べて陸源成分の深層への輸送過程の変化が顕著であることが示唆された。

## 研究成果の概要（英文）：

Sediment traps were moored in Japan Sea and Western North Pacific. Settling particulate matter (Marine Snow) were collected and analyzed chemical components. At both areas, particulate matter fluxes were large in spring season, while small in winter season. Biogenic opal was dominant in large particulate flux periods, and aluminosilicate materials were dominant in small particulate flux periods. Change of chemical elements during 15 years was suggested change in transport processes of land-origin particulate materials in the Japan Sea deep water.

## 交付決定額

（金額単位：円）

|      | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|------|------------|-----------|------------|
| 19年度 | 7,300,000  | 2,190,000 | 9,490,000  |
| 20年度 | 4,600,000  | 1,380,000 | 5,980,000  |
| 21年度 | 3,200,000  | 960,000   | 4,160,000  |
| 年度   |            |           |            |
| 年度   |            |           |            |
| 総計   | 15,100,000 | 4,530,000 | 19,630,000 |

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：化学海洋

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、太平洋（日本海を含む）高緯度海域は珪藻優占海域であり、生物ポンプ(プランクトンの活動による二酸化炭素の大気海洋間の交換能力)は大気二酸化炭素を吸収する方向に働いている、と言われている。そして、「温暖化→生態系変化→生物ポンプ弱体化→温暖化」の正のフィードバック仮説が、沈降粒子の組成に関する蓄積された情報の解析によって証明されつつある。

(2) 温暖化による表層の生態系変化(プランクトン種の変化)は表層から深層への物質沈降除去に大きな影響を与える。わが国の近海について言えば、アジア諸国の工業活動の活発化や農業活動の近代化、例えば大型ダム建設による河川や大気を経由して重金属の日本海への流入や栄養塩の過剰供給が社会的な問題となっているが、重金属による直接的な汚染ばかりでなく、それに伴う物質循環像の変化解明には至っていない。「スナップショット」的な観測研究ではなく、同一の規格下で得られた長期的情報を、蓄積し、解析することが必要である。

(3) 海洋学あるいは地球環境科学分野の強い要請によって、国際海洋研究科学委員会(SCOR)の承認の下、国際 GEOTRACES (ジオトレイシス：海洋微量金属・同位体による生物地球化学的研究)計画が平成17年8月にスタートした。その中で、沈降粒子に関する研究が必要とされている。

## 2. 研究の目的

(1) 温暖化が進めば、珪藻プランクトンが減少して、生物起源のオパールと炭酸カルシウムとの比が減少することが言われている。そこで、まず、生物の遺骸である沈降粒子中の生物粒子組成の季節変動と経年変化を明らかにする。

(2) 人類活動によって海洋にもたらされた微量金属について、生物に利用されて沈降粒子中に取り込まれた部分を分析して、その起源、海洋での循環の様子や、鉛直的・経年的変化を明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 沈降粒子を捕捉する装置であるセジメントトラップを、西部北太平洋(北緯44度00分 東経155度00分)と日本海(北緯41度00分 東経138度00分)において、それぞれ表層から約1000mと海底から約500mの2層に設置して、

鉛直的变化を見る。一年間設置係留して、回収し、これを繰り返す。装置は時間分画で試料を捕捉でき、一年間で、13期間の試料を得て季節変動を観測する。

(2) 乾燥試料約10mgを精秤して、粒子の主成分組成(オパール、炭酸カルシウム、有機物、アルミノケイ酸塩)を、代表者(乗木)が確立している方法で分析する。マンガン、バリウムや鉛をICP-MS法またはICP-AES法で測定する。炭素-14やセシウム-137などの放射性核種も測定する。

## 4. 研究成果

(1) 生物活動の経年変化を見るために、日本海の定点(41°00' N 138°00' E:水深3600m)において、表層で作られ、深層へ沈降輸送されるプランクトンの殻成分であるオパールと炭酸カルシウムを5年間にわたって調べた。図1に珪藻の殻成分であるオパール粒子束を示した。毎年、3月から4月の期間で大きな値が観測された(最大は2004年の春季の表層での564mg/m<sup>2</sup>/day)。西部太平洋の高緯度海域でも見られる、珪藻の春季ブルームが日本海でも認められた。そして、生物活動は季節的にも経年的にも大きく変動していることが分かった。

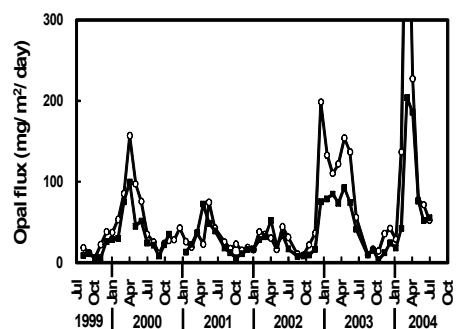


図1 1999年から2004年までのオパール粒子束の季節・経年変動(白丸 1100m、黒丸 3500m)

(2) 日本海(41°00' N 138°00' E:水深3600m)において、海洋環境と沈降粒子の化学成分の変化を明らかにするために、既存の

1999年から2001年の試料の化学分析を行い、1984年9月に日本海東部で実施したセジメントトラップ実験 (40° 49' N 138° 41' E) の結果と比較した。さらに、日本海盆東部 (42° 28' N 138° 30' E) と大和海盆 (39° 30' N 136° 30' E) で得たデータも使用した。全粒子束の他に、主に水深1 km層のトラップで得られた化学成分のデータを用い、t-検定 (有意水準5%) によって「15年間の経年変化」の有無を判定した。全粒子束、生物起源元素の濃度、Fe/Al比 (図2) には系統的な変化が見られなかった。Ba/Al比 (図2) は有意に減少した。また、Mn/Al比、Co/Al比、およびZn/Al比のいずれも有意に減少した。これらの結果から、「生物起源粒子の変化に比べ、陸起源成分変化がより顕著であること」、「アジア大陸起源粒子の構成比が減少した可能性があること」、「沿岸域から海盆内部への粒子輸送過程が変化したこと」などが示唆された。

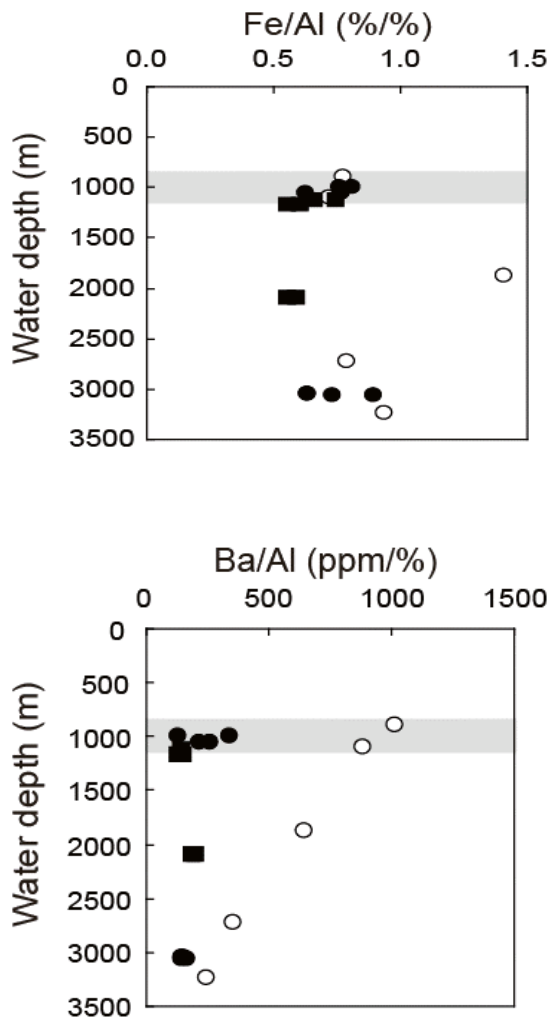


図2 微量元素の経年変化 (白丸：1984年、黒丸：1999-2000年北の測点、黒四角：1999-2000年南の測点)

(3) 日本海の試料については、沈降粒子に含まれる有機炭素について、放射性炭素同位体比を測定した。結果の一部を図3に示す。有機炭素の「見かけの年齢」を示すデルタ値は、-130~+1パーミルで、日本海盆東部の深層における沈降有機炭素のうち、約半分が周辺から集められたものであると推測した。1999年~2000年の観測において、2000年3月に大きな粒子束が観測された。オパール粒子束が極大であり珪藻ブルームと考えられる。また、この時、一つ前の観測期間である、2月の試料のMn/Alが極小値を示し、黄砂の供給が示唆された。

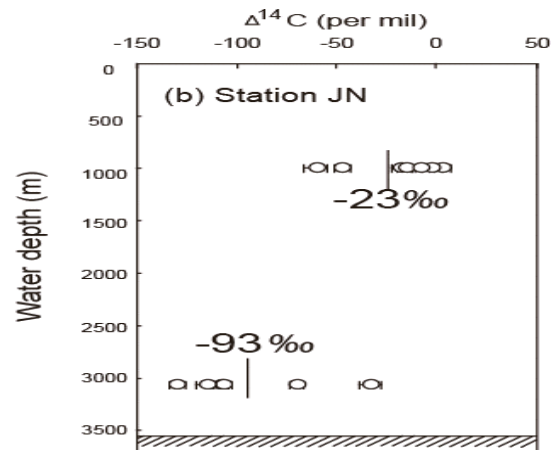


図3-1 日本海盆東部での放射性炭素

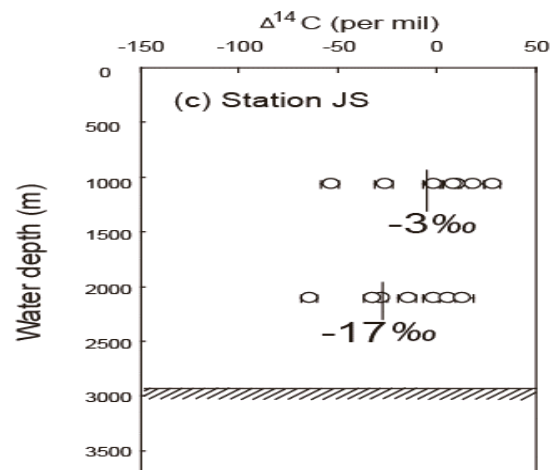


図3-2 大和海盆での放射性炭素

(4) 西部太平洋の観測点(北緯 44 度、東経 155 度：水深 5200m)では、図 4 に示すように 6 月から 7 月に大きなオパール沈降粒子束が観測された。

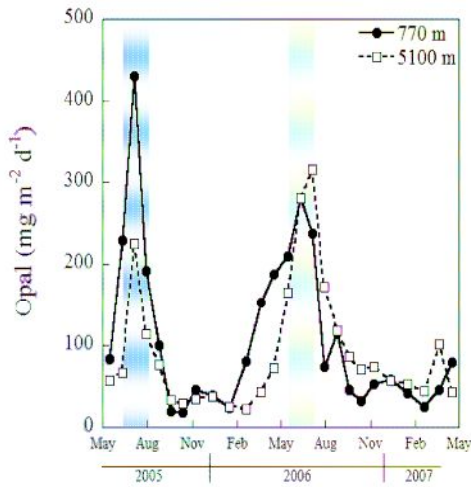


図 4 オパール粒子束の季節変動

この、大きな沈降粒子束によって深層に運ばれる重金属の中で、人為起源の鉛に注目して分析した。鉛には、安定同位体があり、それらの割合は、鉛の起源を表す。図 5 に沈降粒子中の Pb-208/Pb-206 と Pb-207/Pb-206 の存在割合を示した。四角部分が中国石炭の鉛同位体比の範囲であり、黒色の丸印と四角印は沈降粒子の実測値である。これらの結果は、沈降粒子中の鉛は、770m 層では、約 90% が、5100m 層では約 80% 以上が人為起源であること、そして、その起源は近年の石炭燃焼に由来する中国都市大気エアロゾルの可能が大きいことが示唆された。

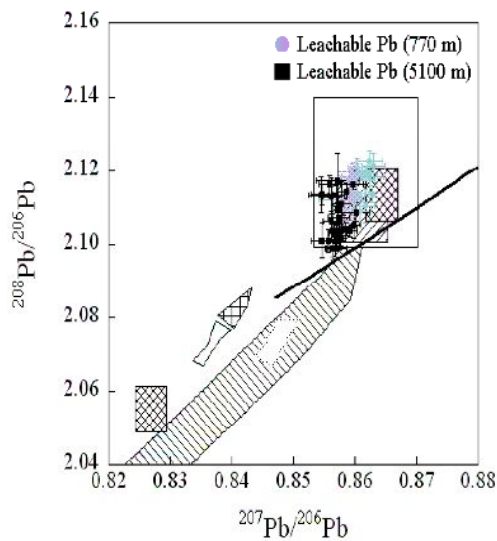


図 5 沈降粒子中の鉛同位体比

(5) 日本海 (41° 00' N 138° 00' E: 水深 3600m) における  $^{137}\text{Cs}$  フラックスを一カ月毎に 5 年間測定した結果を示す (図 6)。その平均値は、上層 (1100m) で  $0.94 \pm 0.04$  mBq/m<sup>2</sup>/day、下層 (3500m) で  $1.1 \pm 0.04$  mBq/m<sup>2</sup>/day であった。これら値は、大気から日本周辺への  $^{137}\text{Cs}$  降下量とほぼ同程度であり、季節的パターンも一致していた。2004 年 3 月～4 月に採取された上・下層の試料から 3 mBq/m<sup>2</sup>/day を超える  $^{137}\text{Cs}$  フラックスが検出された (図 6 の右の第二のピーク)。この値は、2002 年 3 月～4 月に検出された値 (図 6 の中央の最大値) に次いで高く、春季の黄砂等の陸起源粒子の降下による影響であると考えられる。 $^{137}\text{Cs}$  濃度の平均値は、上層で  $4.5 \pm 0.19$  mBq/g、下層で  $7.8 \pm 0.27$  mBq/g であった。これら値は、日本海海底表層中の濃度の範囲内であった。

$^{137}\text{Cs}$  フラックスはいずれの年度も春季に高くなる傾向が見られる。この春季上昇の原因として、大気から降下する黄砂等の陸起源粒子による間欠的な上昇によるものが考えられる。しかしながら、春季上昇する  $^{137}\text{Cs}$  の起源の詳細については不明である。現在のところ旧ソ連・ロシアによる放射性廃棄物の海洋投棄の影響は無いが、あっても極めて少ないと考えられる。沈降粒子を長期的に調べることは、深海生物の放射能水準とその濃縮過程を把握するため極めて重要である、ことが示唆される。

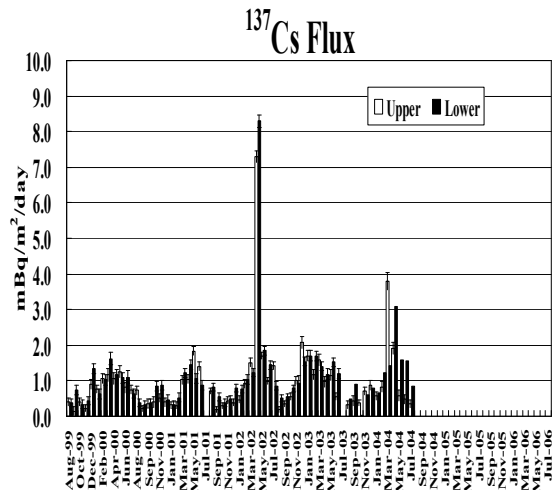


図 6 セシウム-137 粒子束の経年変化 (1999 年から 2004 年まで)

(6) 日本海 (41° 00' N 138° 00' E: 水深 3600m) での微量元素の挙動について、海洋における輸出生産のプロキシとして注目されているバリウムについて調べた。Ba<sub>xs</sub> 束 (陸源成分を除いた部分) は、8 月から 11 月にか

けて低く(上層(1100m):9-23 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ , 下層(3500m):10-24 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ ), 上層は3月, 下層は3月から4月に極大が観測され(上層:145 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ , 下層:78-85 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ ), ほぼ全ての期間で上層が上回っていたが, 9から10月にかけては差が殆どなかった。沈降粒子中の $\text{Mn}_{\text{xs}}$ (陸源成分を除いた部分)は沿岸堆積物から溶出したMnが主な起源である。このため $\text{Mn}_{\text{xs}}$ は大陸棚や大陸斜面からの粒子の水平輸送の指標となることが知られている。 $\text{Mn}_{\text{xs}}$ と $\text{Ba}_{\text{xs}}$ の粒子束との関係をみたところ, 上層(白丸)と下層(黒丸)共に, 正の相関(上層で $R=0.97$ , 下層で $R=0.96$ )を示した。すなわち, バリウムは表層での生物活動によって生物粒子に取り込まれる, そのうち, 分解して再溶出した部分がMnとともに, 水平的に循環していることが分かった。

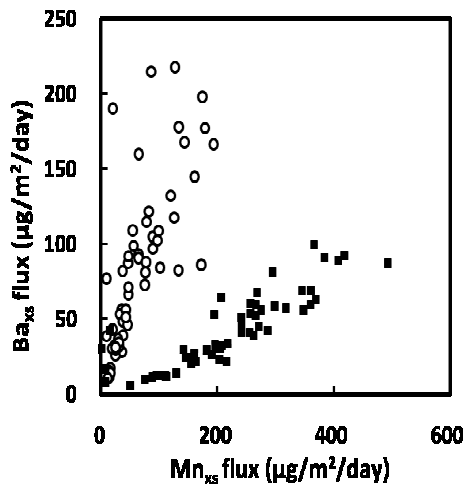


図7  $\text{Mn}_{\text{xs}}$ と $\text{Ba}_{\text{xs}}$ の粒子束との関係

## 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](査読有16件、無9件計25件)

- ① Daisuke Nagaoka, Masahito Shigemitsu, Masao Minagawa, Shinichiro Noriki: Anthropogenic Pb in settling particulate matter in the Northwestern Pacific examined using stable isotopes of Pb. *J. Oceanogr.* 査読有、66, 117-132 (2010)
- ② Otosaka, S., T. Tanaka, O. Togawa, H. Amano, E. V. Karasev, M. Minakawa, S. Noriki: Deep sea circulation of particulate organic carbon in the Japan Sea. *J. Oceanogr.* 査読有、64, 911-923 (2008).

- ③ Takata, H., K. Kuma, Y. Isoda, S. Otosaka, T. Senjyu, M. Minakawa: Iron in the Japan Sea and its implications for the physical processes in deep water. *Geophys. Res. Lett.* 査読有、L02606, doi: 1029/ 2007GL031784 (2008).

[学会発表](計40件)

- ① 奥 俊輔、日本海におけるBa粒子束～ $\text{Ba}_{\text{xs}}$ の水平輸送について～、2009年度日本地球化学会第56年会、2009年9月17日、広島大学理学部(東広島市)
- ② S. OTOSAKA, Decadal change of particulate flux in the Japan Sea/East Sea, 5<sup>th</sup> AOGS Annual General Meeting, June 17 2008, Busan Exhibition & Convention Center (釜山、韓国)
- ③ 皆川 昌幸、ビキニ由来の放射性核種はどのようにして日本周辺海域へ輸送されていたのか?～水産研究所の環境放射能調査より～、第51回放射化学討論会、平成19年9月24日、静岡県コンベンションアーツセンター)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

乗木 新一郎 (NORIKI SHINICHIRO)  
北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授  
研究者番号: 80109511

### (3) 連携研究者

皆川 昌幸 (MINAKAWA MASAYUKI)  
独立行政法人水産総合研究センター・中央水産研究所・室長  
研究者番号: 80371839

乙坂 重嘉 (OTOSAKA SHIGEYOSHI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学部門・研究員  
研究者番号: 40370374

南 秀樹 (MINAMI HIDEKI)

東海大学・生物理工学部・准教授  
研究者番号: 60254710