

インド洋および南極海における浮遊粒子状物質の

化学組成に関する研究

中口 譲^{a,b,c)}、廣田晶子^{a)}

Studies on the chemical composition of suspended particulate
matter in the Indian and the Antarctic Ocean

Yuzuru Nakaguchi^{a,b,c)} and Akiko Hirota^{a)}

a)School of Science and Engineering, Kinki University

b)Research Institute for Science and Technology, Kinki University

*c)Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Kinki
University*

(Received 8, January, 2016)

Abstract

The origin of particulate matter which collected from the Indian Ocean and the Antarctic Ocean was clarified by individual particle analysis. Iron-rich particle which carried from land was observed at the surface in all sampling stations. Aluminum-dominant and Al-Si particles were observed at ER-5, 8 and 10 in the Indian Ocean sampling stations. These results confirmed that these particles were land origin such as aluminosilicate. A lot of silica dominant particles were observed at ER-14 in the Antarctic Ocean station. The SEM image of these particulate matter suggested that these particles were originated from diatom. The number of biogenic particles which exist at the surface has decreased with increase of depth.

Keywords: suspended particle, chemical composition, the Indian Ocean, the Antarctic Ocean, individual particle analysis

1. 緒言

海水の化学成分は便宜的に孔径 $0.2 \mu\text{m}$ から $0.45 \mu\text{m}$ のフィルターを通過する成分を溶存態、通過せずフィルター上に残るものは粒子態と定義している。海水中の粒子態成分には様々な起源の異なる粒子が存在する。その起源としては生物起源粒子などの海生起源粒子のほかに大気を通じて運び込まれる陸起源粒子が含まれる。海水中の生物起源粒子は主に動植物プランクトンの遺骸や排泄物が含まれ、陸起源粒子には流入河川や大気を経由して運び込まれる土壌粒子や人為起源粒子が含まれる¹⁾。海水中の粒子状物質は海洋において様々な役割を担っており、土壌粒子は化学的または物理的反応により元素や物質を吸着し、鉛直輸送する。また植物プランクトンなどの生物粒子は必須性により元素を取り込み、死滅後鉛直方向に輸送され堆積する一方で、輸送過程においてバクテリア等の酸化分解により再生・再利用される。このように、これら海洋における懸濁粒子は海洋の循環メカニズムを明らかにするにあたり重要な手掛かりとなっており、またこれらの化学的研究は、堆積学、古生物学、地球物理学のみならず、生物学や微生物学とも密接な関係にある。しかし、これら粒子の種類やその溶存物質との相互関係には不明な点が多く存在する。海水中の懸濁粒子の化学成分は海水試料ろ過後のフィルターを混酸による全分解または粒子成分

を脱着させた後に全分解を行い、各種スペクトル分析法で分析するが、試料を非破壊で分析する方法もある。海洋の浮遊粒子状物質の同定する手法としては走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型 X 線分析装置 (SEM-EDX)、走査型透過電子顕微鏡-エネルギー分散型 X 線分析装置

(STEM-EDX) や X 線マイクロアナライザー (EPMA) があげられる。Jambers らは STEM-EDX により北海の浮遊粒子状物質の個別粒子分析を行っている²⁾。

そこで本研究では、SEM-EDX を用いてインド洋および南極海において採取した懸濁粒子物質 (SPM) の化学組成の解析を行い、各試料採取地点において水深別の粒子の化学組成や粒径の比較および粒子起源の解析を行うことを目的とした。

2. 実験

2.1 試料採取

試料採水点を Fig. 1 に示したが、海水試料は海洋研究開発機構所属白鳳丸 KH-09-5 次航海 (2009 年 11 月 ~ 2010 年 1 月) において採水した。採水は、表層水についてはポリエチレン製バケツを、表層より下層の海水については CTD-CMS に取り付けられた Niskin-X 型採水器を用いて行った。

浮遊粒子状物質分析用試料は海水 $100 \sim 5,000 \text{ ml}$ を孔径 $0.4 \mu\text{m}$ のヌクレポアフィルター (Whatman 社製) を用いて船上ろ過を行い、ろ過後の

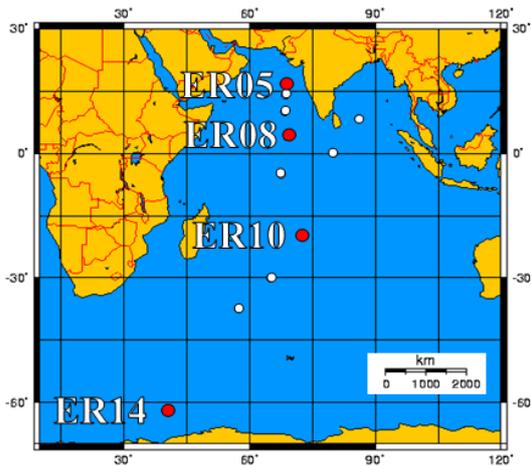


Fig.1 Sampling locations

フィルターは超純水 200 ml を通液させ、脱塩を行った後、予め酸による洗浄を行ったプラスチックシャーレに移し、ポリエチレン袋に 2 重に包み、冷蔵保存して研究室に持ち帰った。

2.3 海水中の浮遊粒子状物質の形態観察および元素分析

持ち帰ったフィルターは乾燥させた後、約 5mm 各の大きさに切断し、伝導性カーボン両面テープを用いてアルミニウム製の試料台に固定し、オスミウムコーター（日立製作所製 HPC-30 型）を用いてオスミウムを 20nm の厚さとなるよう蒸着を行った。その後、各採水点における試料から粒子を無作為に約 300 個選び、走査型電子顕微鏡（SEM：日立製作所製 S-4800 型）を用いて形態観察をした。観察後の粒子はエネルギー分散型 X 線分析装置（EDX：堀場製作所 EX-420）にて主要元素組成分析を行った。なお、X 線の加圧電圧は 20kV、分析時間は 60 秒で行い、粒

子全体に X 線が当たるよう照射領域を選んだ。個別粒子の元素別重量割合を求め、粒子のタイプ別分類を行った³⁾。

$$P(X) = X / (Mg + Al + Si + P + S + K + Ca + Ti + V + Mn + Fe + Co + Ni + Ba + Pb)$$

Si を例にすると、“Si-rich 粒子”に分類される粒子は P(Si) の値が他のどの元素よりも高い粒子であり、Si-rich 粒子の中でも、 $P(Si) \geq 0.65$ の場合は“Si-dominant 粒子”、また $P(Si) < 0.65$ かつ、 $P(X) \geq 0.20$ の粒子は“Si-X 粒子”、 $P(Si) < 0.65$ で、他のどの元素についても $P(X) < 0.20$ である粒子は“Si-other 粒子”とそれぞれ定義する。

3. 結果および考察

3.1 インド洋（ER-5、ER-8、ER-10）、南極海（ER-14）の個別粒子分析の結果

インド洋および南極海で観察された粒子像を Fig.2 に、ER-5、ER-8、ER-10、ER-14 の 0 m、10 m、1000 m、Bottom 水深における粒子の主要構成元素分類結果とその存在割合を Table 1~4 にそれぞれ示した。インド洋の 3 地点では、各層で Al-rich 粒子、Si-rich 粒子が多くを占めていた。Al-rich 粒子の中でも Al-dominant、Al-Si 粒子が多く、Fig.2 (a) のような粒子像のものが多く存在した。その粒子像や構成元素から陸起源物質であると考えられる。特に、Al-Si 粒子のような Si と Al を多く含む粒

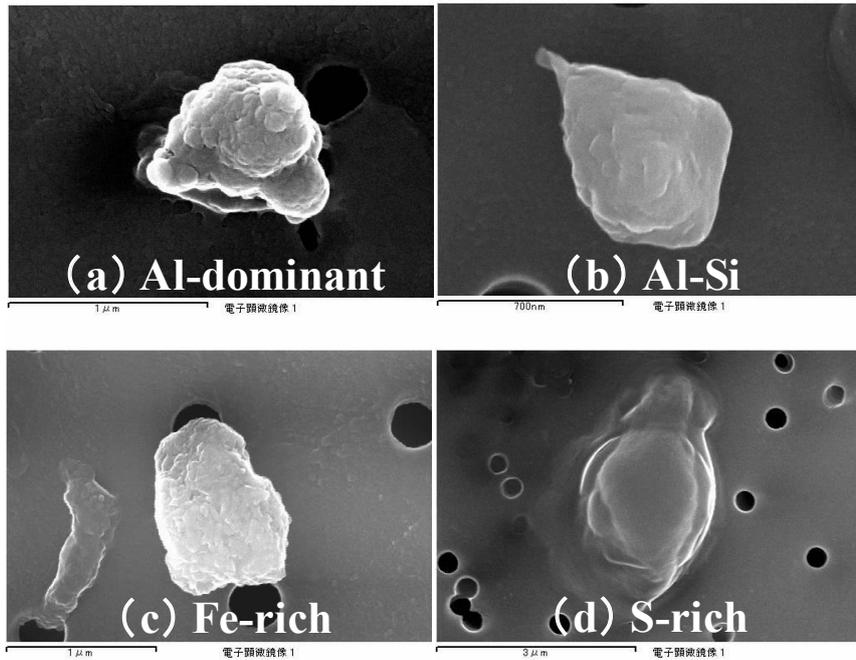


Fig. 2 Image of particles in the Indian Ocean

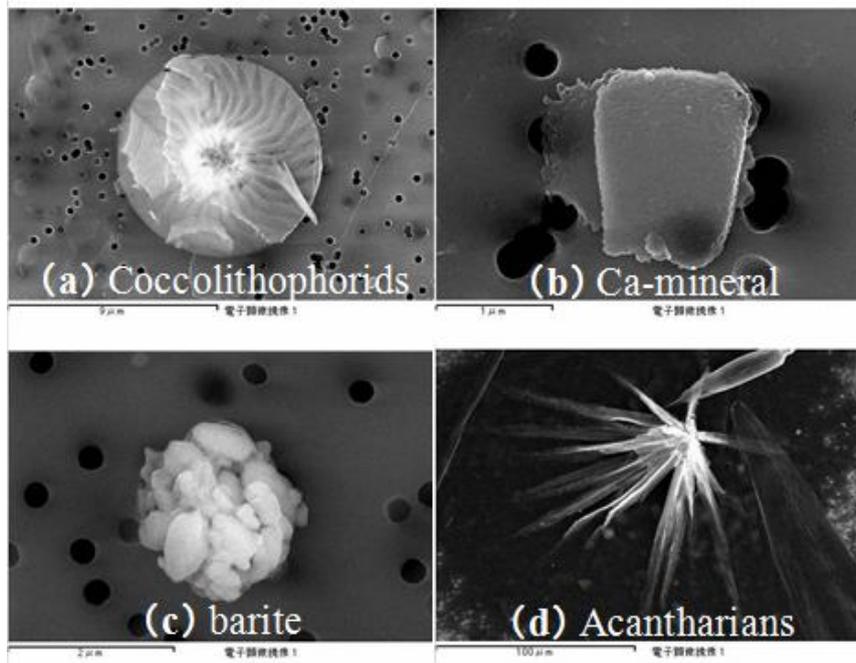


Fig. 3 Image of particles in the Indian Ocean (ER-5)

子はアルミノケイ酸塩とよばれ考えられ、陸源性物質つまり土壌粒子の指標として用いられている。インド洋の3測点におけるアルミノケイ酸塩粒子には、SiやAl以外の元素も検出された粒子も確認された。このことから、これらのアルミノケイ酸塩粒子は様々な元素を吸着していると考えられる。一方、Si-rich粒子はそのほとんどがSi-dominant、Si-Al粒子であった。Si-dominant粒子はその主成分がSiであり、Fig.2 (b)のような珪藻類を含む植物プランクトンが多く見られた。これは珪藻類の外殻はSiによって構成されているためであると考えられる。また、インド洋から南極海にかけての各測点の表層ではFig. 2 (c)のようなFe-rich粒子が多く、ER-5で6.3%、ER-8およびER-10で14.3%であった。これはその粒子像や構成元素、粒子数の少なさや表層に多く見られるという点から、粘土鉱物粒子が大気エアロゾルや河川により表層水に供給された可能性が高いと考えられる。そして、各測点で見られたS-rich粒子にはFig. 2 (d)に示したような電子ビームを照射すると形状が変形するものが多く存在し、これらは比較的柔軟性に富んだ粒子であることから、断定はできないが、有機物粒子であると考えられる。

3.1.2 ER-5における解析結果

ER-5の0 m~100 mにはCa-rich粒子が多く見られた。特に10 mでは多く20.8%であった。これらは、

Fig. 3 (a) および (b) で示したような大きく分けて2種類の粒子像のものが多く、その構成元素からも円石藻 (Coccolithophorids) などの炭酸カルシウムの外殻を持つ生物起源粒子とCa鉱物などの陸起源粒子であることがわかった。Bottom層でもCa-rich粒子(2.2%)は存在したが、その多くが陸起源粒子と考えられた。表層で生物起源のCa-rich粒子が多く見られたのは、0 m~100 mの有光層では植物プランクトンの活動が活発であるためであると考えられる。

また、100 mでは他測点でもほとんど見られなかったBa-rich粒子が10.1%と最も多く見られた。その粒子像および構成元素はFig. 3 (c)のような特徴的なものであり、小さな粒子集合体に見える。この粒子像や構成元素が重晶石 (barite) の特徴に似ているため重晶石ではないかと考えられる。重晶石は海洋の至る所に存在する。その起源として陸起源はもちろん、火山活動によるものや浮遊生物中に選択的に吸収され濃集することにより生産されることもある。例えば、放散虫のアカンタリア

(Acantharians)はその骨格に硫酸ストロンチウムを持ち、死滅し溶解する際に重晶石を発生する。本研究で見られたBa-rich粒子はその粒子像や化学組成から陸起源粒子であると考えた。しかし本研究では、ER-5の10 mでFig.3 (d)のようなアカンタリアであると思われる粒子の存在を確認した。したがって、生物源によ

る重晶石である可能性も示唆される。

5.2.3 ER-8 における解析結果

ここでは各層で Si-rich 粒子が多くを占めており、下層の方がより多くの Si-rich 粒子が確認できた。しかし、これは Table 2 からわかるように、植物プランクトンが増えているわけではない。また生物起源粒子と陸起源粒子の粒子数の割合は、表層を除く各層を比較しても大きな変化は見られない。一方、陸起源粒子の単位体積当たりの粒子量が表層から減少している。これは表層では陸起源粒子数が 78.6 % と比較的多く、また粒子径も 3.7 μm と大きかったため、粒子量は大きくなったと考えられる。また、ER-5 や ER-10 と比較すると、ER-8 は Al-rich の陸起源粒子数が減少し、Si-Al の陸起源粒子が増加した。したがって、起源別粒子数を比較すると ER-5 と同様の傾向を示した。

水深 100 m では Ca-rich 粒子が 15.1 % と比較的多く見られた。これらは ER-5 の Ca-rich 粒子とは違い、そのほとんどが陸起源粒子であり、特に Ca-S 粒子が多くを占めていた。その粒子像は鉱物のような陸起源粒子であり、構成元素からこれは石膏 (CaSO_4) ではないかと考えられる。

5.2.4 ER-10 における解析結果

ここでは Al-rich 粒子が bottom で最も多く、57.4 % であった。ER-10 の bottom では Al-Si や Al-other、

Al-dominant 粒子が他層に比べて多く見られた。そして、その多くがその粒子像や構成元素から陸起源粒子であると考えられる。また、bottom では他層にほとんど見られなかった陸起源性の Al-Mg、Al-P 粒子も見られた。ここでも 100 m を除く各層で、陸起源粒子の方が多く存在しており、インド洋の 3 測点は粒子起源別粒子数が比較的似通っていることがわかった。

5.2.5 南極海 ER-14 における解析結果

インド洋の 3 測点とは異なり、全層で Si-rich 粒子が 70 % 以上を占めていた。特に、Si-dominant が多く、粒子像やその構成元素からそのほとんどが珪藻類の植物プランクトンであった。その理由の一つとして、南極海の複雑な海流の影響が考えられる。そして海流だけでなく、南極海深層には湧昇も見られ、これらの海洋循環が植物プランクトンの繁栄に影響があるのではないかと考えられる。逆に、陸起源粒子が少ないのは南極大陸の地形による影響があると考えられる。南極大陸はその 90 % 以上が氷に覆われている。そのため、大陸からの陸起源粒子の影響をあまり受けないと思われる。

そして、ここでもまた表層には Fe-rich 粒子が多く見られた。これは、インド洋の 3 測点と同様のものであると考えられる。

Table 1 Number of suspended particle categorised using elemental composition

Type of particle	Percentage [%]								Type of particle	Percentage [%]							
	0 m		100 m		1000 m		bottom			0 m		100 m		1000 m		bottom	
	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.		B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.
Mg-rich	0.5				0.4	5.2		0.4	Ca-rich	7.2	0.5	16.9	4.2			0.4	1.9
Mg-dominant						0.7			Ca-dominant	7.2		16.2	4.2				0.4
Mg-Al	0.5				0.4	0.7			Ca-Mg		0.5						0.7
Mg-Si						0.4		0.4	Ca-Al								
Mg-P						0.4			Ca-Si						0.4		0.4
Mg-S						2.2			Ca-P			0.7					0.4
Mg-Ca						0.7			Ca-S								
Mg-Fe									Ca-K								
Mg-Cu									Ca-Fe								
Mg-other									Ca-Cu								
Al-rich	5.8	32.9	1.4	7.7	7.8	17.0	11.9	23.5	Ca-other								
Al-dominant	2.9	22.2	0.7	4.2	3.7	8.5	6.0	15.3	Ti-rich		1.9						0.4
Al-Mg									Ti-dominant		0.5						0.4
Al-Si	2.9	6.3	0.7	1.4	3.0	5.2	6.0	8.2	Ti-Mg								
Al-P									Ti-Al		0.5						
Al-S		1.4			0.4	0.7			Ti-Si		0.5						
Al-Ca		1.0				0.4			Ti-Ca								
Al-Ti									Ti-Fe								
Al-Cr									Ti-other		0.5						
Al-Fe		1.4							Cr-rich								
Al-Cu					0.4	0.4			Cr-dominant								
Al-Zn									Cr-Si								
Al-other		0.5			0.4	1.9			Mn-rich								0.4
Si-rich	15.5	19.3	43.7	10.6	24.1	39.3	29.1	28.7	Mn-dominant								
Si-dominant	10.1	6.8	40.8	7.0	18.5	3.3	14.9	6.3	Mn-Si								0.4
Si-Mg		0.5			0.4	1.5	1.1	1.9	Mn-Fe								
Si-Al	5.3	8.7		1.4	4.4	23.0	12.7	20.5	Fe-rich	1.9	4.3				2.2	0.4	2.2
Si-P		0.5							Fe-dominant	0.5	2.9				0.4		0.4
Si-S		1.0	0.7	0.7		0.4			Fe-Mg						0.4		
Si-K									Fe-Al	0.5	1.0				0.4		0.7
Si-Ca		0.5	2.1						Fe-Si	0.5					0.7	0.4	0.7
Si-Ti							0.4		Fe-P	0.5	0.5				0.4		
Si-Cr									Fe-S								
Si-Fe		1.4		0.7		1.1			Fe-Ca								
Si-Cu									Fe-Ti								
Si-Zn									Fe-Cr								
Si-Ba									Fe-other								0.4
Si-other				0.7	0.7	10.0			Cu-rich			2.1		0.4	1.1		
P-rich		1.4		1.4	0.4	1.5		0.4	Cu-dominant			2.1			0.4		
P-dominant		0.5		0.7	0.4	0.7			Cu-Mg						0.4		
P-Mg				0.7		0.4			Cu-Al					0.4			
P-Si						0.4		0.4	Cu-Si						0.4		
P-S		1.0							Cu-Ca								
P-Ca									Zn-rich								
P-Fe									Zn-dominant								
P-other									Zn-Si								
S-rich	6.8	1.9	6.3	6.3	0.4	0.4			Ba-rich								0.4
S-dominant	3.4	1.0	2.1	1.4	0.4				Ba-dominant								0.4
S-Mg						0.4			Ba-Al								
S-Al	3.4	0.5	0.7						Ba-Si								
S-Si						0.7			Ba-S								
S-P						0.7			Ba-Ca								
S-K									Ba-Fe								
S-Ca			2.1	2.1					Ba-other								
S-Ti		0.5							Pb-rich								
S-Cr									Pb-dominant								
S-Fe									Pb-Al								
S-Cu																	
S-Ba																	
S-other			0.7	1.4													

B.P. : Biogenic particle, T.P. : Terrigenous particle

Table 2 Number of suspended particle categorised using elemental composition (ER-8)

Type of particle	Percentage [%]								Type of particle	Percentage [%]								
	0 m		100 m		1000 m		bottom			0 m		100 m		1000 m		bottom		
	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.		B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	
Mg-rich	0.4			0.4			3.1		3.7	Ca-rich		0.4					2.7	
Mg-dominant	0.4						0.7		0.4	Ca-dominant		0.4	1.5	3.3			1.0	
Mg-Al							1.0			Ca-Mg			0.4				0.7	
Mg-Si				0.4			0.3		0.8	Ca-Al							0.3	
Mg-P										Ca-Si			2.2				0.3	
Mg-S							0.7		0.4	Ca-P		0.4						
Mg-Ca									1.7	Ca-S			6.6			0.3		
Mg-Fe										Ca-K								
Mg-Cu									0.4	Ca-Fe								
Mg-other							0.3			Ca-Cu			0.4					
Al-rich	3.9	16.2	4.8	7.4	1.4	5.1	6.2	4.1	Ca-other			0.4						
Al-dominant	1.7	7.9	3.3	5.2	1.0	2.1	1.7	1.7	Ti-rich		3.1							1.2
Al-Mg								0.4	Ti-dominant		1.3							0.4
Al-Si	1.7	4.8	1.5	0.4	0.3	2.1		1.2	Ti-Mg									
Al-P							0.4		Ti-Al									
Al-S						0.3			Ti-Si		0.4							0.4
Al-Ca				0.4					Ti-Ca									
Al-Ti									Ti-Fe		1.3							
Al-Cr									Ti-other									0.4
Al-Fe		0.4							Cr-rich									
Al-Cu		1.7		0.7				0.8	Cr-dominant									
Al-Zn									Cr-Si									
Al-other	0.4	1.3		1.1		0.7			Mn-rich									
Si-rich	13.5	33.6	38.7	20.3	38.7	40.4	34.4	41.1	Mn-dominant									
Si-dominant	10.9	15.3	34.7	12.9	32.9	6.8	29.9	9.1	Mn-Si									
Si-Mg		1.3				1.7		3.7	Mn-Fe									
Si-Al	2.2	12.7	3.3	2.6	4.8	18.5	4.1	17.0	Fe-rich	0.4	14.0		2.6		2.4	0.4	3.3	
Si-P									Fe-dominant		10.9		1.5		1.7	0.4	1.2	
Si-S		0.9		0.7	0.3	0.7		0.4	Fe-Mg					0.3				
Si-K		0.9		0.4		0.3		0.8	Fe-Al		1.3		0.4				0.4	
Si-Ca				2.2		0.3			Fe-Si	0.4	0.4		0.4				1.7	
Si-Ti									Fe-P		0.4							
Si-Cr									Fe-S									
Si-Fe		2.6		0.4		2.4		0.4	Fe-Ca				0.4					
Si-Cu						1.0	0.4		Fe-Ti									
Si-Zn									Fe-Cr									
Si-Ba				0.4					Fe-other		0.9				0.3			
Si-other	0.4			0.7		8.6		7.9	Cu-rich	0.9	0.9		1.8		0.3		0.4	
P-rich	0.4	1.3	0.7			0.3		2.5	Cu-dominant	0.4	0.9				0.3		0.4	
P-dominant		0.4						2.1	Cu-Mg									
P-Mg								0.4	Cu-Al				1.5					
P-Si									Cu-Si	0.4								
P-S	0.4	0.9	0.4						Cu-Ca				0.4					
P-Ca						0.3			Zn-rich								0.4	
P-Fe			0.4						Zn-dominant									
P-other									Zn-Si									0.4
S-rich	1.7	7.0		6.3		4.5		0.4	Ba-rich		1.7		1.5		1.0		1.2	
S-dominant	1.3	3.5		1.8		1.7		0.4	Ba-dominant		1.7		1.1		1.0		0.8	
S-Mg						1.7			Ba-Al									
S-Al		0.4							Ba-Si								0.4	
S-Si		0.9		0.4					Ba-S									
S-P	0.4	1.7							Ba-Ca			0.4						
S-K									Ba-Fe									
S-Ca				3.3		1.0			Ba-other									
S-Ti									Pb-rich		0.4							
S-Cr				0.4					Pb-dominant		0.4							
S-Fe		0.4							Pb-Al									
S-Cu																		
S-Ba																		
S-other				0.4														

B.P. : Biogenic particle, T.P. : Terrigenous particle

Table 3 Number of suspended particle categorised using elemental composition (ER-10)

Type of particle	Percentage [%]								Type of particle	Percentage [%]							
	0 m		100 m		1000 m		bottom			0 m		100 m		1000 m		bottom	
	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.		B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.
Mg-rich	0.7	1.5		1.1		0.4	0.8	5.8	Ca-rich		1.1		0.5			6.9	
Mg-dominant		0.7		0.5		0.4	0.4	1.2	Ca-dominant		0.7		0.5			1.9	
Mg-Al								0.4	Ca-Mg							1.5	
Mg-Si								0.4	Ca-Al							0.4	
Mg-P								1.2	Ca-Si								
Mg-S	0.7	0.4		0.5				1.5	Ca-P								
Mg-Ca									Ca-S		0.4					2.3	
Mg-Fe		0.4							Ca-K							0.4	
Mg-Cu									Ca-Fe							0.4	
Mg-other								1.2	Ca-Cu								
Al-rich	10.7	24.0	6.0	18.6	12.4	19.3	20.8	37.7	Ca-other								
Al-dominant	6.3	14.8	3.8	16.4	10.4	13.9	13.8	18.8	Ti-rich		1.8		0.5				
Al-Mg		0.4						4.2	Ti-dominant		0.7						
Al-Si	3.7	1.8	2.2	0.5	1.9	3.5	6.2	5.0	Ti-Mg		0.4						
Al-P				0.5				2.7	Ti-Al		0.4		0.5				
Al-S						0.4	0.4	0.4	Ti-Si		0.4						
Al-Ca								0.4	Ti-Ca								
Al-Ti		0.4							Ti-Fe								
Al-Cr				0.5					Ti-other								
Al-Fe		1.5					0.4	1.2	Cr-rich				0.5		1.5		
Al-Cu	0.7	1.5							Cr-dominant				0.5		1.5		
Al-Zn		0.4							Cr-Si								
Al-other		3.3					1.2	0.4	Mn-rich						0.4		
Si-rich	13.3	19.9	43.2	7.1	28.6	15.4	16.5	9.6	Mn-dominant						0.4		
Si-dominant	9.6	7.4	42.6	2.7	27.4	4.2	12.3	1.2	Mn-Si								
Si-Mg									Mn-Fe								
Si-Al	1.8	7.7	0.5	2.7	0.8	7.7	4.2	5.8	Fe-rich		14.4		0.5		3.1		2.3
Si-P									Fe-dominant		7.7				2.3		0.8
Si-S	1.1	0.4					0.4		Fe-Mg								
Si-K							0.4		Fe-Al		1.5		0.5		0.4		0.4
Si-Ca					0.4	0.4			Fe-Si		1.5				0.4		
Si-Ti									Fe-P		0.7						0.4
Si-Cr									Fe-S		0.7						
Si-Fe	0.4	3.3		0.5				1.5	Fe-Ca								
Si-Cu	0.4	0.4							Fe-Ti		0.4						
Si-Zn									Fe-Cr		0.4						
Si-Ba									Fe-other		1.5						
Si-other		0.7		1.1		2.3		1.2	Cu-rich	0.4	0.7	1.1	1.1	0.8	0.8		1.2
P-rich	0.7		1.6	3.8		0.4		4.6	Cu-dominant		0.4	0.5	0.5	0.4	0.4		0.8
P-dominant						0.4		0.4	Cu-Mg		0.4						
P-Mg	0.7		1.1	0.5				4.2	Cu-Al	0.4		0.5	0.5	0.4			0.4
P-Si									Cu-Si								
P-S			0.5	2.7					Cu-Ca						0.4		
P-Ca				0.5					Zn-rich								
P-Fe									Zn-dominant								
P-other									Zn-Si								
S-rich	2.6	6.3	5.5	7.1	0.4	7.7		0.4	Ba-rich		1.5	0.5	0.5		1.9		0.4
S-dominant	1.5	3.0	4.9	4.4	0.4	0.8			Ba-dominant		0.4	0.5	0.5		1.9		0.4
S-Mg	0.4	1.1		1.1		0.4			Ba-Al								
S-Al	0.4			0.5		0.4			Ba-Si								
S-Si		0.4				0.4			Ba-S		1.1						
S-P				0.5		0.4			Ba-Ca								
S-K	0.4								Ba-Fe								
S-Ca		0.7		0.5		3.9		0.4	Ba-other								
S-Ti									Pb-rich								
S-Cr									Pb-dominant								
S-Fe									Pb-Al								
S-Cu																	
S-Ba		0.4															
S-other		0.7	0.5			1.5											

B.P. : Biogenic particle, T.P. : Terrigenous particle

Table 4 Number of suspended particle categorised using elemental composition (ER-14)

Type of particle	Percentage [%]								Type of particle	Percentage [%]							
	0 m		100 m		1000 m		bottom			0 m		100 m		1000 m		bottom	
	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.		B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.	B.P.	T.P.
Mg-rich				1.1		0.7			Ca-rich				0.4			0.3	
Mg-dominant									Ca-dominant				0.4				
Mg-Al									Ca-Mg								
Mg-Si				0.4					Ca-Al								
Mg-P				0.4					Ca-Si							0.3	
Mg-S				0.4					Ca-P								
Mg-Ca						0.7			Ca-S								
Mg-Fe									Ca-K								
Mg-Cu									Ca-Fe								
Mg-other									Ca-Cu								
Al-rich	0.3	1.7	6.1	0.7	9.9	4.7	6.0		Ca-other								
Al-dominant		0.3	2.5		5.1	2.6	0.7		Ti-rich		4.4		0.4				
Al-Mg									Ti-dominant		3.7		0.4				
Al-Si	0.3	1.0	2.9	0.4	4.7	0.7	5.0		Ti-Mg								
Al-P						0.4			Ti-Al								
Al-S						0.4			Ti-Si		0.3						
Al-Ca									Ti-Ca								
Al-Ti									Ti-Fe								
Al-Cr									Ti-other		0.3						
Al-Fe		0.3							Cr-rich		0.3						
Al-Cu									Cr-dominant								
Al-Zn									Cr-Si		0.3						
Al-other			0.7	0.4		0.7	0.3		Mn-rich								
Si-rich	65.4	17.4	86.1	2.9	63.5	9.1	68.3	21.7	Mn-dominant								
Si-dominant	62.4	7.7	77.1	1.8	59.5	2.9	60.7	6.7	Mn-Si								
Si-Mg		0.7	0.4	0.4					Mn-Fe								
Si-Al	2.7	3.7	8.2		3.3	3.6	6.7	8.0	Fe-rich		7.4					1.3	
Si-P									Fe-dominant		5.7					0.3	
Si-S		1.0				0.7			Fe-Mg								
Si-K				0.4					Fe-Al								
Si-Ca									Fe-Si		1.3					0.7	
Si-Ti		0.3							Fe-P								
Si-Cr									Fe-S		0.3						
Si-Fe	0.3	2.5				0.4	0.3	1.7	Fe-Ca								
Si-Cu									Fe-Ti								
Si-Zn									Fe-Cr								
Si-Ba									Fe-other							0.3	
Si-other		1.7	0.4	0.4	0.7	1.5	0.7	5.3	Cu-rich							0.3	
P-rich		1.0			0.4	1.1			Cu-dominant								
P-dominant		0.3			0.4	1.1			Cu-Mg							0.3	
P-Mg									Cu-Al								
P-Si									Cu-Si								
P-S		0.7							Cu-Ca								
P-Ca									Zn-rich								
P-Fe									Zn-dominant								
P-other									Zn-Si								
S-rich	0.7		0.4	2.1		5.5			Ba-rich		1.3						
S-dominant						1.5			Ba-dominant		0.7					2.0	
S-Mg			0.4	0.4		0.4			Ba-Al								
S-Al				0.4		0.4			Ba-Si							0.3	
S-Si						0.4			Ba-S								
S-P	0.3					0.7			Ba-Ca								
S-K									Ba-Fe		0.3						
S-Ca				1.4		0.7			Ba-other		0.3					0.7	
S-Ti									Pb-rich								
S-Cr									Pb-dominant								
S-Fe									Pb-Al								
S-Cu																	
S-Ba																	
S-other	0.3					1.5											

B.P. : Biogenic particle, T.P. : Terrigenous particle

4. 結語

本研究では、海水中の循環メカニズムを解明する重要な手掛かりの一つとなっている SPM に焦点を当て、SEM-EDX を用いてインド洋および南極海における SPM の構成元素の解析を行い、粒子起源を解明することを目的とした。

全測点で共通していたのは、表層に Fe-rich 粒子が見られたことである。これは、その粒子像や構成元素から大気もしくは河川から供給された粘土鉱物粒子であると考えられる。

それぞれの測点を比較してみると、インド洋の 3 測点では Al-dominant や Al-Si などの陸起源性のアルミノケイ酸塩と考えられる粒子が比較的多く見られた。一方で、南極海の ER-14 では Si-dominant 粒子が多く見られ、その粒子像からもそれらの大半が珪藻類の植物プランクトンであった。そのため、インド洋の 3 測点では陸起源粒子数が多かったのに対し、ER-14 では生物起源粒子数が圧倒的に多い結果となった。この結果の原因としては、南極海における海流の特性や南極大陸の地理的な特性が影響していると考えられる。起源別に粒子を見ると、表層では鉱物などの陸起源粒子と比べて植物プランクトンなどの生物起源粒子は大きいものが多かった。しかし、下層に行くにつれて生物起源粒子の粒子径は小さくなった。植物プランクトンは有光層である水深 100 m までを境界として、100 m 以深では生命力が低

下すると考えられている。そして、下層に行くにつれてそれらは高次動物に摂取されるなどして死骸や排泄物となって沈降していく。このことにより、生物起源粒子の粒子径は表層で大きく、下層へいくほど小さくなる傾向を示したと考えられた。

参考文献

- 1) R.A. Duce and N. W. Tindale, Atmospheric transport of iron and its deposition in the ocean, *Limnol. Oceanogr.*, 36, 1715-1726 (1991)
- 2) W. Jambers, V. Dekov and R. V. Grieken, □Single particle characterization of inorganic and organic North Sea suspension□, *Mar. Chem.*, 67, 17-32 (1999)
- 3) Y. Nakaguchi, H. Hamada, Y. Suyama, I. Sano and S. Mukai, □Individual particle analysis of Asian dust-storm particles over Higashiosaka in 2005 and 2006 (Japanese)□, *Chikyukagaku (Geochemistry)*, 41, 155-163 (2007)