

# Selected Article

一般論文

## 南極域における大気中浮遊粒子状物質の分析

青山 朋樹

第49次南極地域観測隊の気水圏隊員として、株式会社堀場製作所から青山朋樹が1年間南極昭和基地で粒子状物質の観測に従事した。蛍光X線分析顕微鏡XGT-5000WRを昭和基地に持ち込み、昭和基地では初めてとなる蛍光X線での粒子状物質の観測を行った。本稿では粒子状物質の観測結果について報告する。

### はじめに

南極昭和基地における粒子状物質の観測は光散乱式粒子計数器、凝結核計数器を用いた粒子状物質の個数濃度の観測<sup>[1]</sup>、マイクロパルスライダを用いた高度別粒子状物質の濃度観測などの光学的な観測<sup>[2]</sup>が行われていた。一方、粒子状物質の成分分析に関しては採取したサンプルを国内に持ち帰ってから物理・化学分析を行っていた。この持ち帰り分析における問題は、サンプルの変質である。昭和基地では1年に1度しか物資輸送の機会がなく、サンプルを採取してから測定するまでに長いもので1年以上経過するものがあり、変質の影響を除去することは困難であった。また粒子状物質のサンプリングを行う際にサンプルを測定する手段がないため、サンプリングの最適条件を抽出するのが困難であった。この問題を解決するために、第49次南極地域観測隊では、昭和基地に蛍光X線分析顕微鏡を持ち込むことによって南極域の粒子状物質を変質のない状態で分析を行うこととなった。本観測では粒子状物質の各成分に於ける年間変動をモニタリングし、変化の挙動を解明することを目的とした。

### 粒子状物質

粒子状物質とは、直径10 nm~100 μmΦ程度の粒子で、**図1**に示すようにその成分によって発生起源が異なる。また粒子状物質には雲核になり、雲の形成に影響を与える

ものもある。その他にも太陽放射の遮断や、汚染物質を吸着するなど地球環境への影響を与える物質もある。

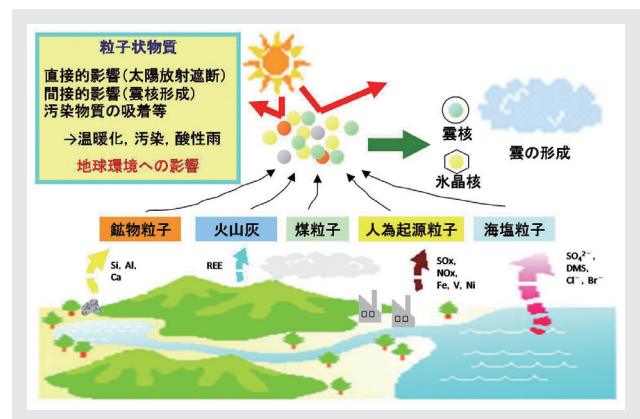


図1 粒子状物質の起源  
REE: Rare Earth Element (希土類元素)  
DMS: Dimethyl Sulfide (硫化ジメチル)

### 蛍光X線分析顕微鏡

蛍光X線分析顕微鏡XGT-5000WRは、照射X線と同軸に光学CCD、透過X線検出器を配置し、試料ステージをXY方向に走査することでサンプルの光学像、透過X線像、元素マッピング像を得ることができる。装置概念図を**図2**に示す。本観測で用いたX線ガイドチューブ<sup>[3]</sup>の照射径は最小で100 μmであるため、粒子の個別分析をすることは困難であるが、採取した粒子状物質のバルク分析であればサンプルを非破壊で定性・定量分析することが

でき、ICPなどの精密分析を行う前のスクリーニング分析として非常に有用である。

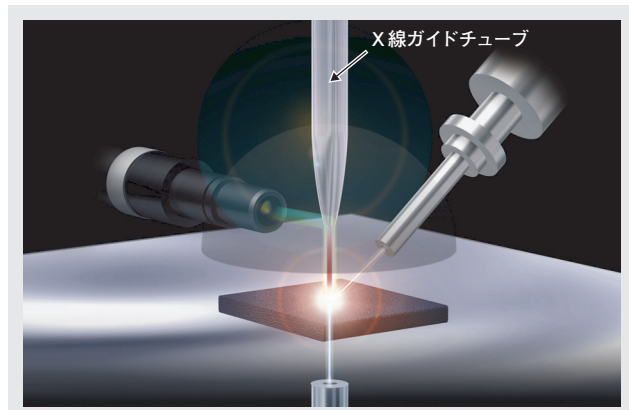


図2 蛍光X線分析顕微鏡概念図

## 粒子状物質の分析

以下に分析条件を示す。

### サンプリング条件

- ・サンプリング流量：7 L/min
- ・サンプリング時間：24 h
- ・サンプリングフィルタ：PTFEフィルタ

### 蛍光X線マッピング条件

- ・X線管電圧：50 kV・1 mA
- ・X線照射径：100 μm
- ・X線管ターゲット：Rh
- ・マッピング範囲：7.154×7.154 mm<sup>2</sup>
- ・画素数：256×256 pixels
- ・マッピング対象元素：Na, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Fe, Zn, Br

### 蛍光X線分析条件

- ・X線管電圧・電流：50 kV・1 mA
- ・X線照射径：1.2 mmΦ

粒子状物質のサンプリングは、昭和基地の清浄大気観測室で行った。南極域の粒子状物質の個数濃度は文明圏に比べ非常に少ないため、通常のローボリュームサンプリャによるサンプリングでは粒子状物質の濃度が不足し、計測するのに十分な蛍光X線の発生量を確保できない可能性があった。そのため従来10 mmΦであった粒子状物質の集塵径を3 mmΦとし粒子状物質の集塵濃度を向上させた。サンプルの分析は最初に蛍光X線マッピングを行い、集塵部で粒子が一様に付着している部位を抽出した。その部位に関して1.2 mmのX線照射径でバルク分析を行った。集塵部の蛍光X線スペクトルと集塵部の蛍光X

線マッピング像をそれぞれ図3、図4に示す。

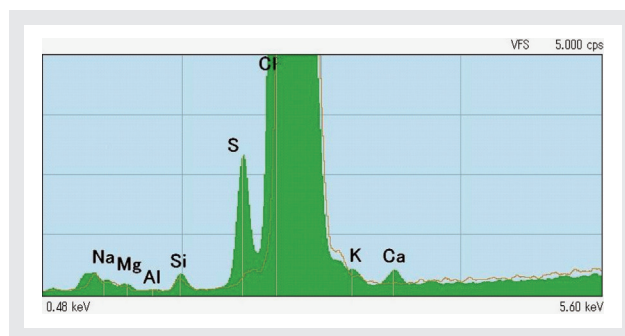


図3 粒子状物質の蛍光X線スペクトル

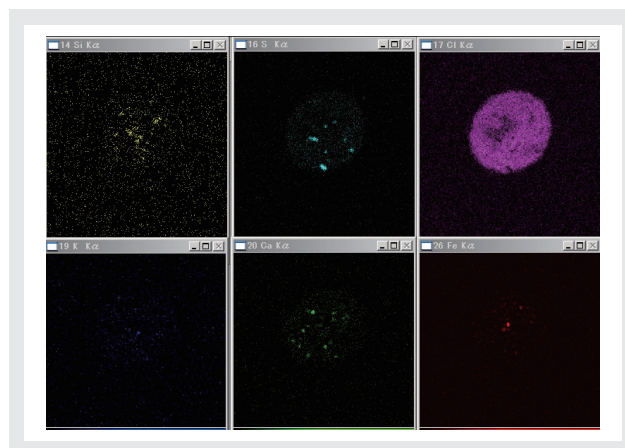


図4 粒子状物質の蛍光X線マッピング像

## 粒子状物質の各成分の年間変動

粒子状物質の分析結果を時系列にプロットしたものが図5、図6である。昭和基地における粒子状物質成分は硫酸化物(CH<sub>3</sub>SO<sub>3</sub><sup>-</sup>, nss (non-sea salt)-SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)、窒素酸化物(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、海塩粒子、土壌性粒子等に大別される。今回の観測で最も特徴的な挙動を示したのは硫酸化物由来と考えられる硫黄である。夏季に増加し、冬季に減少するという傾向を示している。硫黄の粒子状物質は海洋起源のプランクトンが放出する硫化ジメチル(DMS)、ジメチルスルホキシド(DMSO)などが太陽放射によって分解・反応することによって生成される<sup>[4], [5]</sup>ため、太陽放射の影響により、生物の活動が活発となる夏期は海洋プランクトンやペンギンコロニーから放出されるDMSなどが増加し、硫酸化物の粒子状物質が増加すると考えられる。海塩粒子(Na, Mg, Cl, Ca)は年間を通してブリザード時などの強風時に増加した。海塩粒子は主に低気圧の擾乱(ブリザード)により南大洋の開水面から発生したものが輸送されている。またブリザード時の海塩粒子の増加には降雪と、塩分濃度の高い積雪層の削剥に起因する

飛雪が寄与していると考えられる<sup>[6]</sup>。夏季には海塩粒子は減少し蛍光X線分析ではまったく検出できないことがあった。これはブリザードの回数減少と降雪の減少、また雪面から削剥された飛雪が減少したためであると考えられる。

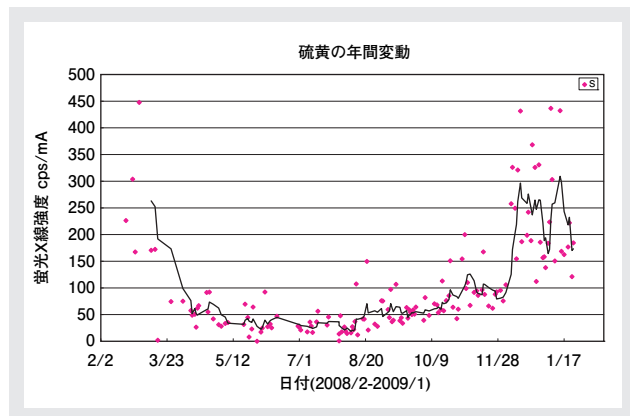


図5 硫黄の年間変動

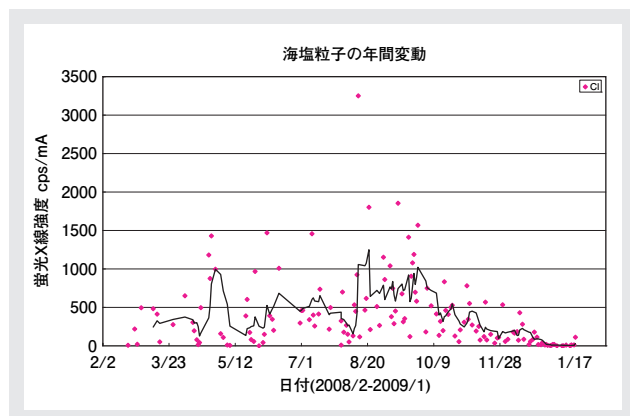


図6 海塩粒子の年間変動

## おわりに

南極地域観測隊は、決して恵まれているとはいえない環境で観測を続けている。1年に1度しかない物資輸送のため、観測装置の故障は致命的な失敗となる。私が持ち込んだ蛍光X線分析装置は、1年間の観測を無事終えることができた。このことにより今後、より精密な分析機器を持ち込むための布石になったと実感している。

## 参考文献

- [1] 伊藤朋之, 気象研究所研究報告, 34, 151-219 (1983).
- [2] SHIOBARA M., SPINHIRNE J. D., NEUBER R., HASHIDA G., OSADA K., YABUKI M., WELTON E. J., BERKOFF T. A., CAMPBELL J. R. 大会講演予講集, 86, 338 (2004).
- [3] 大澤澄人, X線ガイドチューブの開発, Readout, 33, 70-73 (2007).
- [4] 原圭一郎, 長田和雄, 木戸瑞佳, 松永健司, 岩坂泰信, 山内 恭, 橋田 元, 林 政彦, 深津 徹, 第21回気水圏シンポジウム予稿集, 97-98(1998).
- [5] 原圭一郎, 長田和雄, 木戸瑞佳, 林 政彦, 松永健司, 岩坂泰信, 山内 恭, 橋田 元, 深津 徹, 塩原匡貴, 小林 拓, 第25回気水圏シンポジウム予稿集, 88-89 (2002).
- [6] Osada Kazuo, Nishio Fumihiko, Higuchi Keiji Sea salt deposited snow on sea ice and snow drift 32 (1), 17-24 (1988).



**青山 朋樹**

Tomoki Aoyama

株式会社堀場製作所  
科学・半導体システム統括部  
新領域開発部