

## 四国の梶ヶ森山頂における樹氷、降雪、冬季降雨中の 粒子状物質と黒色浮遊性物質

佐名川洋右<sup>1</sup>、来見祐哉<sup>2</sup>、山本祐平<sup>3</sup>、今井昭二<sup>3†</sup>

<sup>1</sup> 徳島大学大学院 総合科学教育部 地域科学専攻 環境共生分野 〒770-8502 徳島市南常三島町1-1

<sup>2</sup> 徳島大学 総合科学部 総合理数学科 〒770-8502 徳島市南常三島町1-1

<sup>3</sup> 徳島大学大学院 ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部 〒770-8502 徳島市南常三島町1-1

†責任著者：今井昭二 (imai@ias.tokushima-u.ac.jp)

---

## Particulate matter in rime, fresh snow and winter rain fall and suspended particulate matter from the summit of Mt. Kajigamori, Shikoku Island, Japan

Yosuke Sanagawa<sup>1</sup>, Yuhya Kurumi<sup>2</sup>, Yuhei Yamoto<sup>3</sup> and Shoji Imai<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemistry, Graduate School of Integrated Arts and Sciences, The University of Tokushima, 1-1  
Minamijosanjima, Tokushima Japan, 770-8502

<sup>2</sup> Department of Chemistry, Faculty of Integrated Arts and Sciences, The University of Tokushima, 1-1  
Minamijosanjima, Tokushima Japan, 770-8502

<sup>3</sup> Division of Chemistry, Institute of Socio-Arts and Sciences, The University of Tokushima, 1-1  
Minamijosanjima, Tokushima Japan, 770-8502

Corresponding Author: Shoji Imai (imai@ias.tokushima-u.ac.jp)

### Abstract

The wet-depositions of rime, fresh snow and winter rain fall were collected on the summit of *Mt. Kajigamori* (ALT. 1400m), where is the watershed protection forest of *Riv. Yoshinogawa*. The insoluble particulate matter included in the wet-deposition was obtained by filtration with 0.45 $\mu$ m pore-sized filter. Small spherical particles such as flyash were found in the residue by SEM-EDX analysis. The amount of residue was increasing in the order of rain < snow < rime, and was influenced by the back trajectory of air mass. The suspended particulate matter such as black belt was able to observe above Shikoku Island, Japan.

*Keywords: suspended particulate matter, rime, snow, winter rain, Shikoku*

---

### 1. 緒言

冬季季節風によって、酸性化物質以外にも、SPM, ブラックカーボン, PAH's 等と注目される物質や有害重金属等様々な物が東アジアから越境輸送されることが懸念されている。大気汚染のモニタリング地点は、日本国内に 600 カ所近くあり、大気汚染の状況は環境省大気汚染物質広域監視システム AEROS「そらまめ君」<sup>1)</sup>によって公開されるなど公開性の高い常時観測態勢が整備されている。2013 年冬期は隣国の中国・北京市内の極度の大気汚染が注目されたことで、越境大気汚染が懸念された。東アジアからの越境汚染に対して 2012 年度冬期 (2012 年 12 月~2013 年 3 月末日) は、とくに福岡市か

ら大阪の西日本を発信地として社会的関心が急速に高まった。

山形県大蔵村では、大陸から飛来したヘイズ (大気汚染物質) によって雪面汚染現象調査され、黒色化した雪面が報告<sup>2)</sup>されている。蔵王周辺でのアイスモンスターの濾過物が黒色となり越境飛来であると推定<sup>3)</sup>されている。SO<sub>x</sub>、鉛同位体比測定、硫黄同位対比測定、気象モデルなど種々の手法により東アジアからの越境汚染が提唱されている。

越境汚染物質は平野部だけでなく山岳においても観測されるが、冬季の山岳観測体制は劣悪な気象条件が原因で整備されていない。そこで、我々の研究グループは四国中央部に位置する標

高1399mの山頂において目視観測や降水試料採取を実施して、湿性沈着物として捕捉された非水溶性物質と四国上空に観測される大気汚染物質の浮遊状況について報告する。

## 2. 研究方法

### 2.1. 試料採取・観察・分析方法

降雪試料として、ポリエチレン製のバットで新雪雪を採取した。降雨は、自作の採取装置を用いてポリエチレン製タンクに採取した。樹氷試料として、採取専用のステンレス製ネットを設置して樹氷を成長させて採取した。ADVANTEC社製再生ニトロセルロースメンブレンフィルター（ポアサイズ $0.45\mu\text{m}$ ）で濾過した残渣試料の一部を切り取り用いた。日立製U3000型走査電子顕微鏡に元素分析用のHORIBA製エネルギー分散X線分光器EMAX Evolusion、または、日立製TM3000型卓上型走査電子顕微鏡に元素分析用のエネルギー分散X線分光器SwiftED3000を装着した装置を用い、無蒸着条件下での分析を行った。

### 2.2. 気象データ

天気図や気象衛星画像については気象庁HP<sup>4)</sup>および気象協会HP<sup>5)</sup>より引用した。後方流跡線解析は、環境省公開プログラムCGER-METEX<sup>6)</sup>の“トラジェクトリー解析”を用い、起点高度は1500mとした。

## 3. 結果と考察

### 3.1. 調査定点

調査地点の梶ヶ森（Mt. Kajigamori ALT. 1399m；山頂 北緯 $33^{\circ}45'32''$ 、東経 $133^{\circ}45'04''$ ）は吉野川上流域に位置する水源涵養林でもある。梶ヶ森山頂のロケーションをFig. 1に示した。梶ヶ森は周囲の山脈から切り離された円錐形に近い独立峰であり山頂から北東から北西に水平方向（麓の吉野川まで）に3kmで1100m以上も下る標高差がとくに大きい特徴を持つことから山地の斜面に沿った上昇気流の影響も少ない。梶ヶ森山頂から北北西へ向かって瀬戸内海までの34kmの間には、11km地点に野鹿池山（標高1300m）、20km地点に塩塚峰（標高1000m）そして26km地点に標高730mの山脈の尾根がある。この尾根沿いに造山帯特有の地形が広がっている。愛媛県東予地方の瀬戸内海沿岸は楯のように急峻な四国山脈な南側に迫り、愛媛県松山市南部の石鎚山から始まり瀬戸内海沿いに直線的に繋がる尾根を持つ山脈（東西へ幅100km超）の北側が急斜面（北へ水方向で2~12km程度で標高差700~1800m）の防波堤のような地形を成しており、山脈沿いに東西方向に大気が流れる。従って、梶ヶ森山頂は、瀬戸内の大気汚染物質の影響を受けにくい特徴があると考えられる。

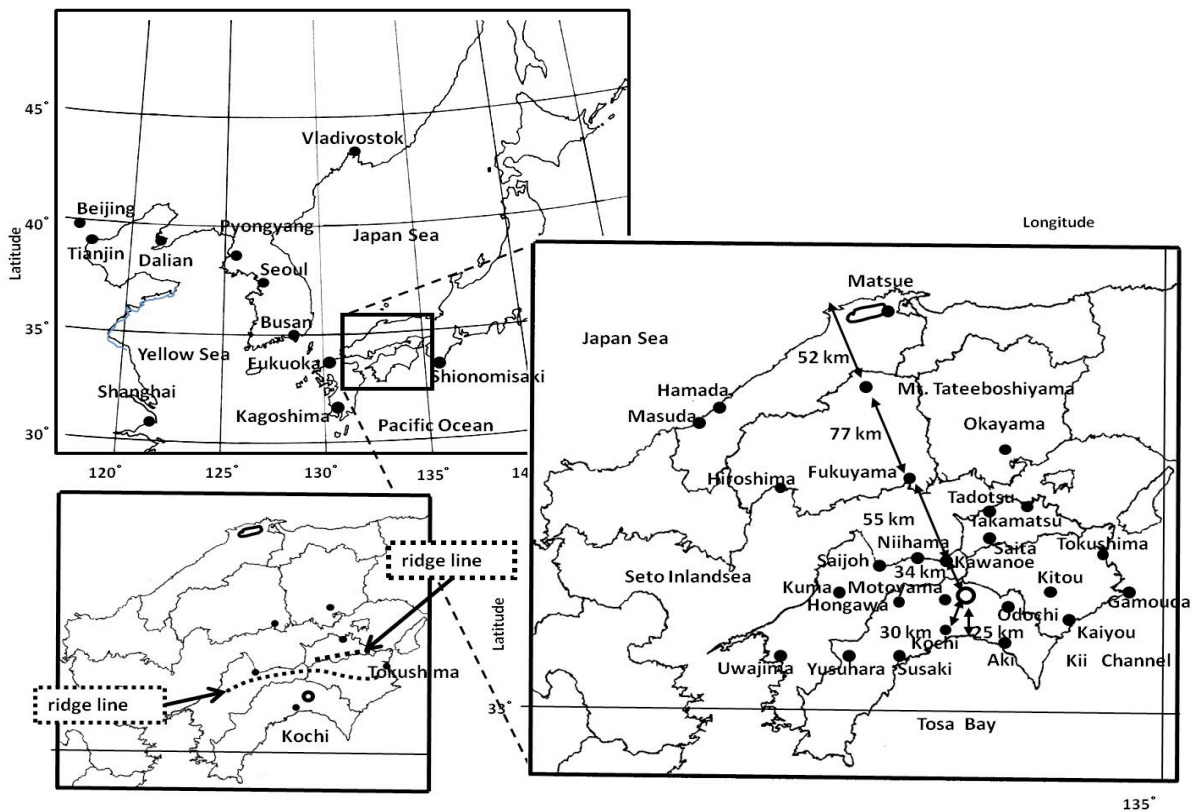


Fig. 1 Location of sampling site (O)

調査地点から広島県福山市まで 90km, 比婆道後帝釈国定公園比婆山系立烏帽子山 (標高 1260m) まで 167km, 島根県出雲市まで 202km で日本海に至る. 他方, 南へ 25km で高知県夜須町にて土佐湾に至る. 晴天時、定点とした梶ヶ森山頂は周囲に吉野川の深い谷が発達しているために周辺の山から独立した峰となっており山頂においては、東方向には室戸岬、剣山から西方向には足摺岬、石鎚山系が観測できる。流跡線が北北西の場合島根県出雲市→広島県庄原市比婆山系→広島県福山市→愛媛県四国中央市川之江を通過する。北西では、島根県益田市→広

島県東広島→愛媛県西条市の上空を通過する。北東では、近畿地方上空を通過する。

### 3. 2. 四国の降雪と南岸低気圧

2013年1月13日から15日にかけて四国において「南岸低気圧」とそれに続く「西高東低の冬型気圧配置」が強まり寒気が流入して降雪が観測された。低気圧により北西方向からの大気の流入により四国では、南岸低気圧が急速に発達するとき大雪が多い。Fig. 2 に天気図と気象衛星の赤外面像を示した。この期間に梶ヶ森山頂付近では、雨氷および樹氷も観察された。積雪は、最大 20cm 程度あった。

(A) Jan., 13 (09:00)      Jan., 14 (09:00)      Jan., 15 (09:00)

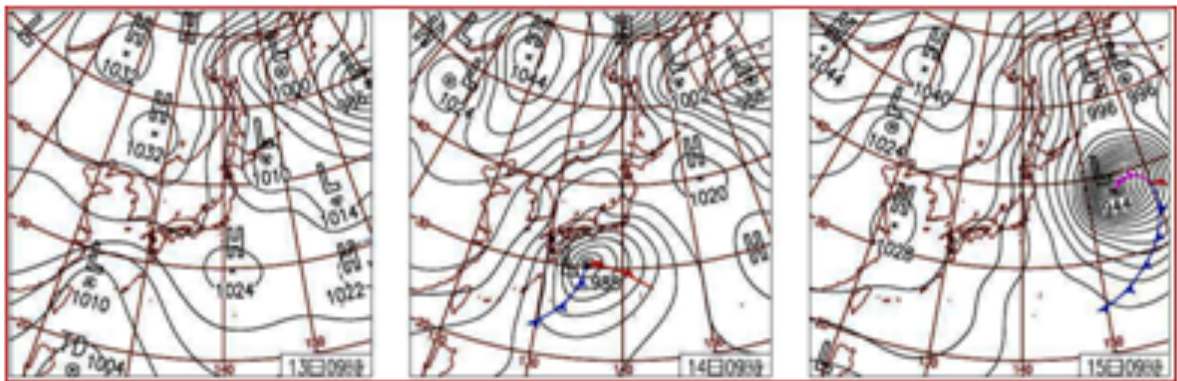


Fig. 2 Synoptic weather charts (A) and I.R. photography by G.M.S. (B) in 2013

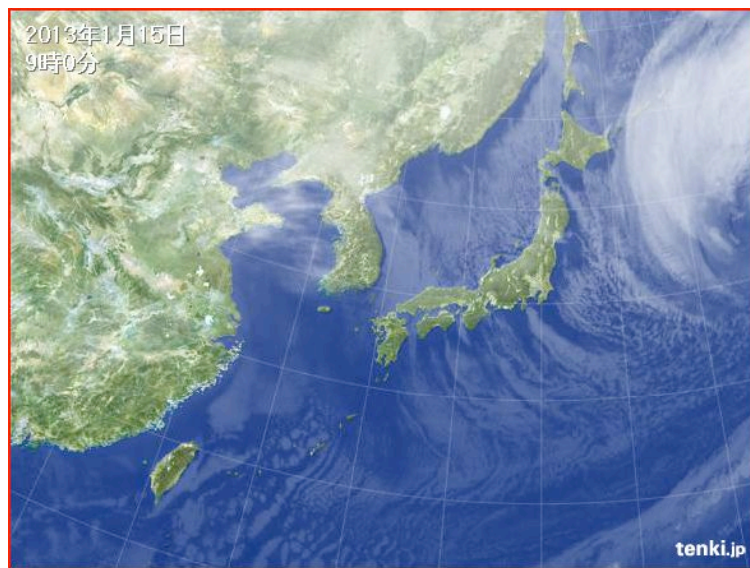


Fig. 2 (B) 4)

### 3.3. 樹氷および降雪

Fig.3 は、樹氷、降雪および降雨をメンブレンフィルターで濾過したときの非水溶性の残渣である。少し焦げ茶色かかっているが樹氷にお

いて黒変が顕著であることが分かる。雨においては灰色に変色した程度であった。樹氷の汚染が酷いことがわかる。とくに 2013/1/23 採取の樹氷 (2013/1/15~23) の黒変が顕著である。

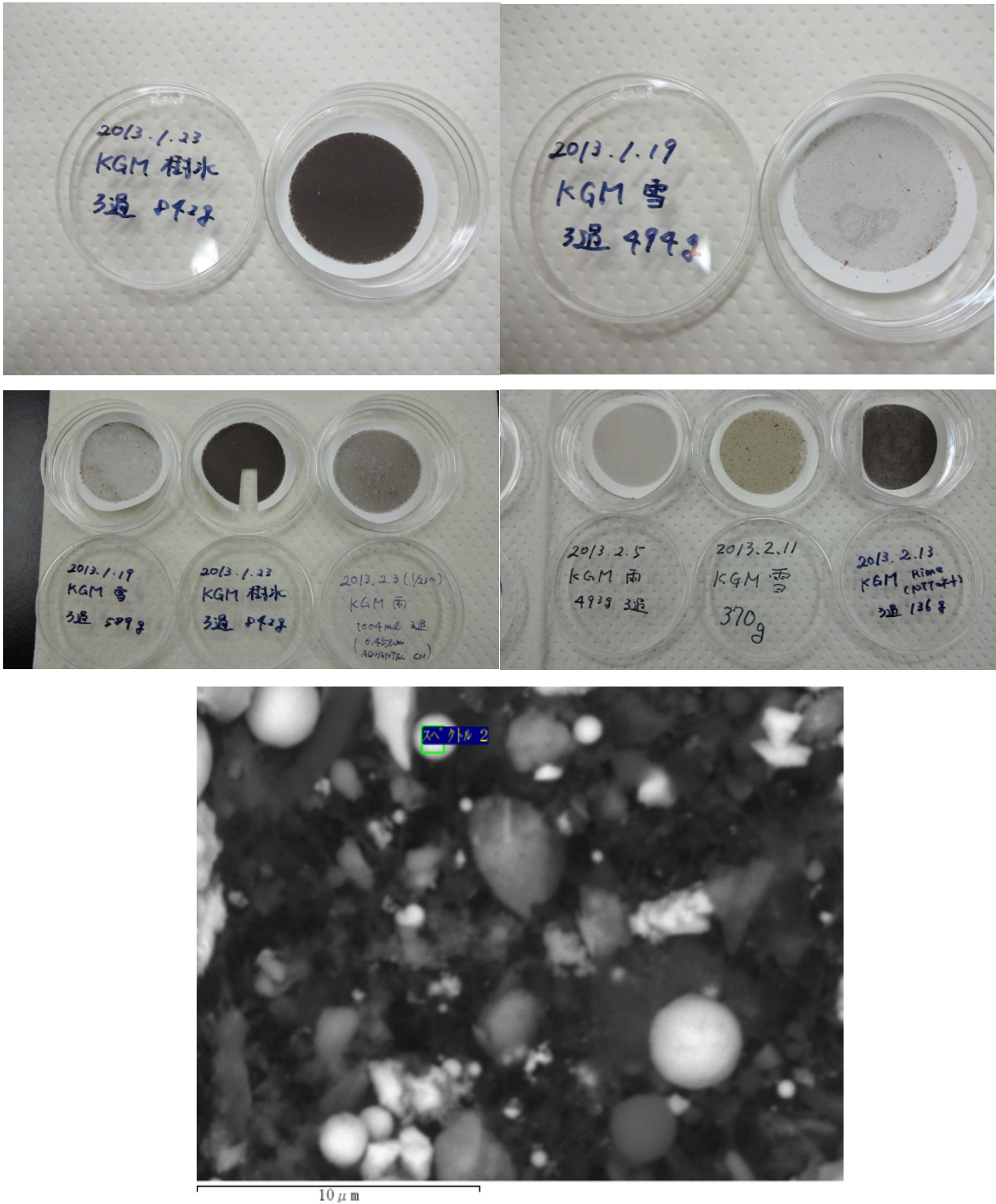
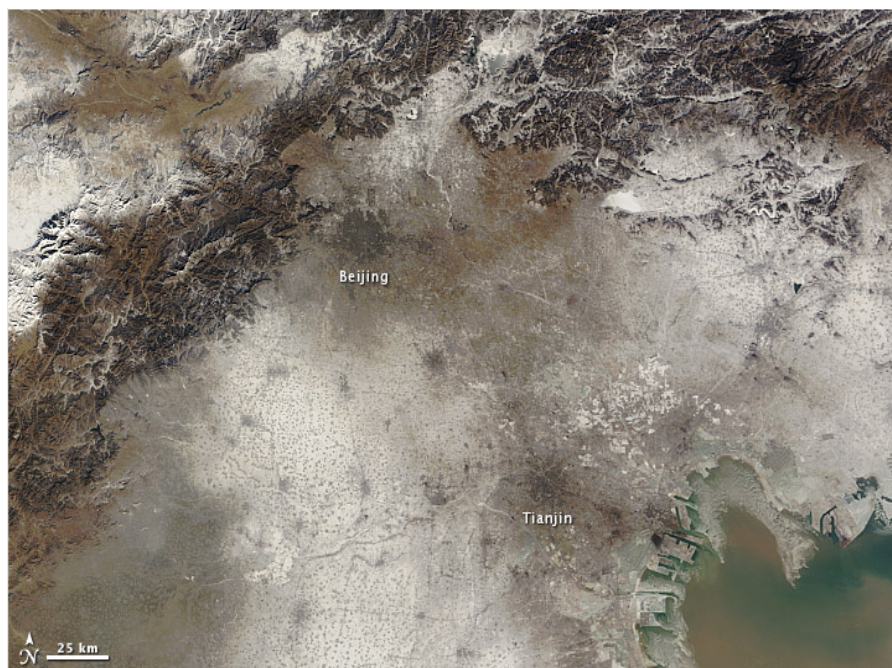


Fig. 3 Filtration residue of rime, snow and rain and S.E.M. image

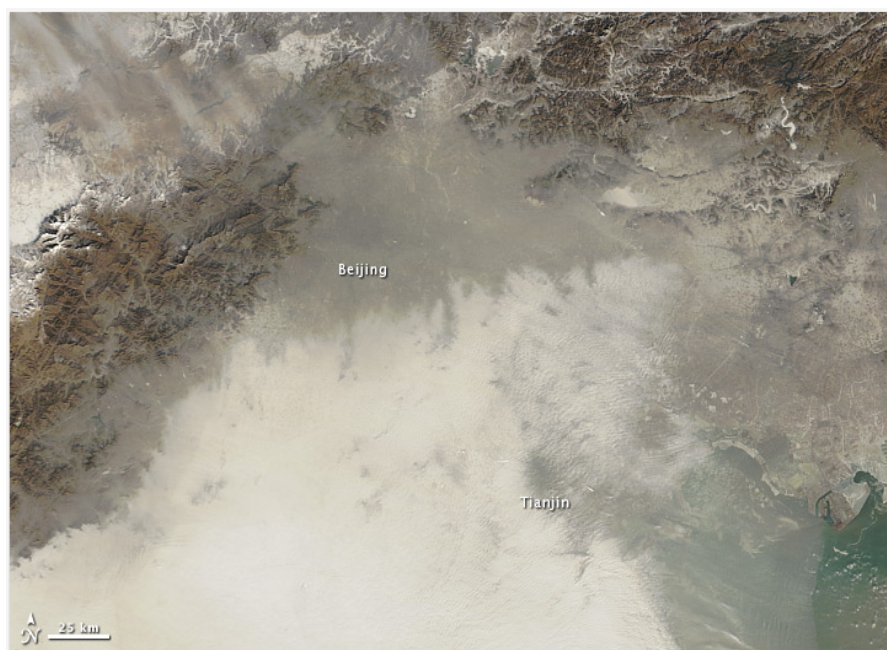
NASA EARTH OBSERVATORY によれば、2013/1/3 と同年 1/14 の衛星画像 (Fig.4) を比較すると北京周辺の大気汚染の程度がわかる。<sup>7)</sup> 1/23 採取の樹氷や降雪は、この中国華北エリア周辺地域から流入した気団<sup>8)</sup>の影響を受けたと考えられる。

2013/1/23 に採取した樹氷の濾過物を走査電子顕微鏡エネルギー分散 X 線分析装置において顕

微鏡観察と含有粒子の分析を行った。Fig.3 の S.E.M.イメージ中に小球体粒子が多数存在する。小球体粒子の組成分析を E.D.X.分析によって実施したところ、Al-Si-Ca-Mg-K-Fe、Al-Si-Fe-Zn 等の組成を持つ粒子であることが分かった。SEM イメージから石炭フライアッシュには組成およびサイズの異なる小球体粒子が混在することが分かった。



Jan. 3, 2013



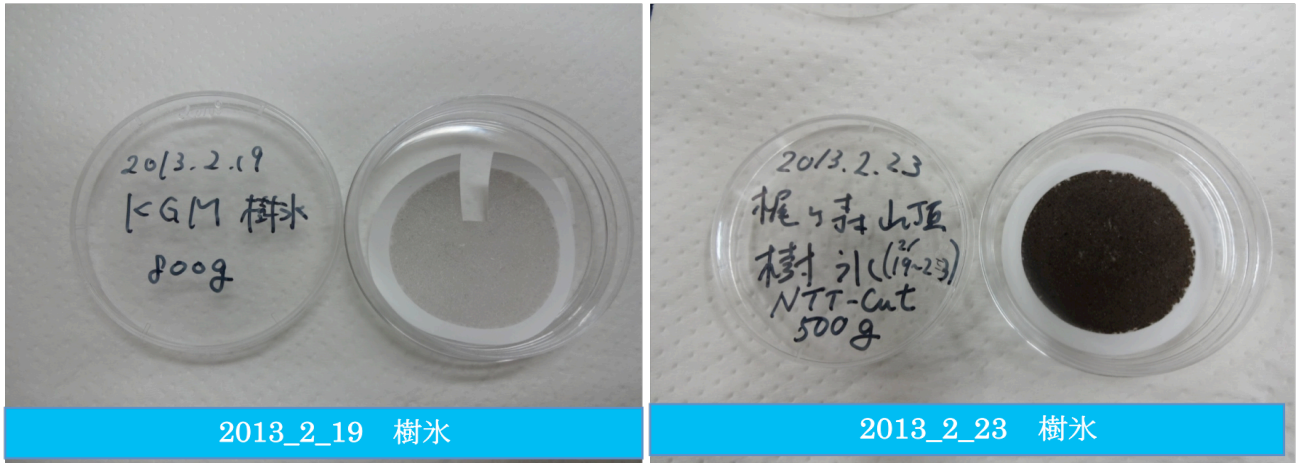
Jan. 14, 2013

Fig.4 Air pollution in Beijing, Tianjin of China<sup>7)</sup>  
(NASA<sup>7)</sup>, EARTH OBSERVATORY : Air Quality Suffering China, Jan. 15, 2013)

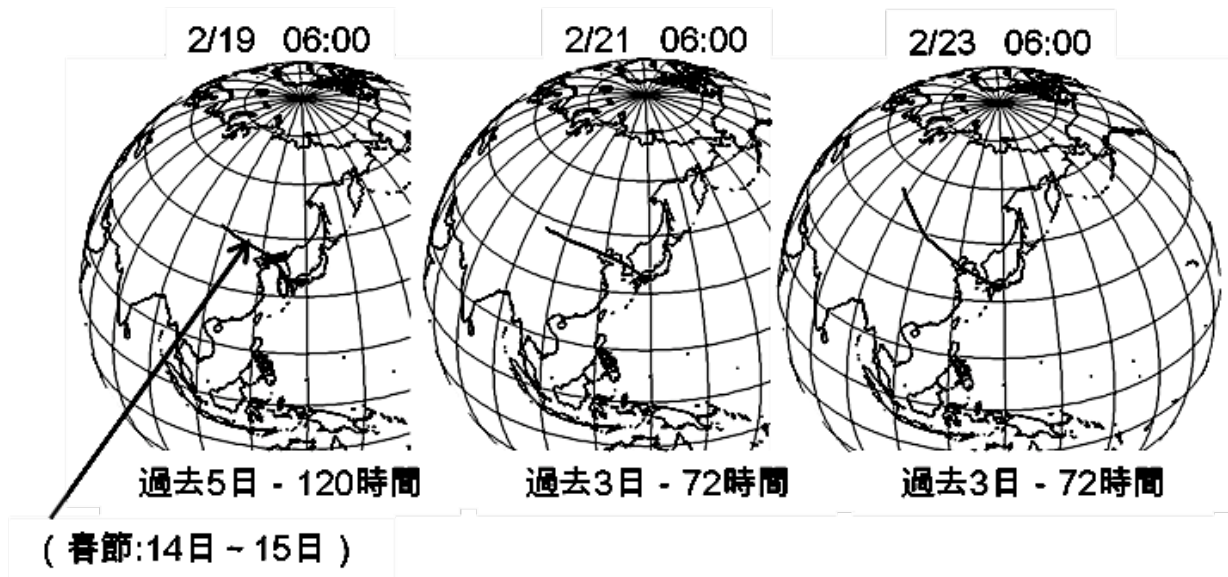
### 3.4. 2013/2/19 から 4 日間の樹氷

Fig. 5(A)では、2/19 から 2/23 の樹氷の汚染度を示すメンブレンフィルターの写真を示した。Fig. 5(B)には、その間の大気塊の流入経路をしめす後方流跡線をまとめた。2013/2/19 は 800 g の樹氷を濾過したときのフィルターである。非水溶性の大気汚染物質で少しフィルターは灰色に変色した。その 4 日後には、現地に残っていた

同じ樹氷 500g を濾過した時のフィルターである。顕著に黒変している。大気汚染物質が、この 4 日間に樹氷に付着したことを示す。2/19 6:00 から 120 時間遡る高度 1500m における後方流跡線はモンゴルと中国の国境付近を基点として 2/14 と 2/15 にかけて北京上空から大連上空を通過したのち朝鮮半島東海上の黄海上でループを画いてから梶ヶ森へ到着したことが分かる。



(A) Filtration residue of rime



(B) Back trajectory

Fig. 5 Filtration residue of rime (A) and back trajectory <sup>6)</sup> (B).

### 3.5. 晴天時の黒帯状浮遊性物質

Fig. 6 は、冬季の上空大気の様子の記録写真である。Fig.6(A, B, C)は、標高 1399m 梶ヶ森山頂から北方向、西から黒滝山 (Mt. Kurotakiyama ALT. 1210m ; 山頂 北緯 33° 50 分 33 秒、東経 133° 44 分 17 秒)、国見山 (Mt. Kunimiyama ALT. 1409m ; 山頂 北緯 33° 54 分 27 秒、東経 133° 47 分 02 秒) から矢筈山 (Mt. Yahazuyama ALT. 1670m ; 山頂 北緯 33° 55 分 40 秒、東経 133° 55 分 37 秒) にかけて撮影した大気汚染物質の目視観測例である。大気汚染物質が四国上空に滞留していた。

Fig. 6(A)では、梶ヶ森山頂から国見山までの視界は良好である。烏帽子山方面の雲を包み込むように薄い黒帯状に大気汚染物質が棚引いる。谷間の視界は良好であり、1400m より上空にのみ汚染物質が確認できた。Fig. 6(B)では、大気汚染物質が国見山や烏帽子山の山頂まで覆ってい

る様子がわかる。Fig. 6(C)では、谷底から国見山の山頂の直下まで汚染物質が確認できた。国見山と比較すると高度が 1200~1300m 付近と推定される。Fig.6(C)と同じ滞留物質の影響で Fig. 6(D)では、東みよし町太刀野の徳島自動車道太刀のトンネル東口から南方向の烏帽子山方面において煙霧として観測された。

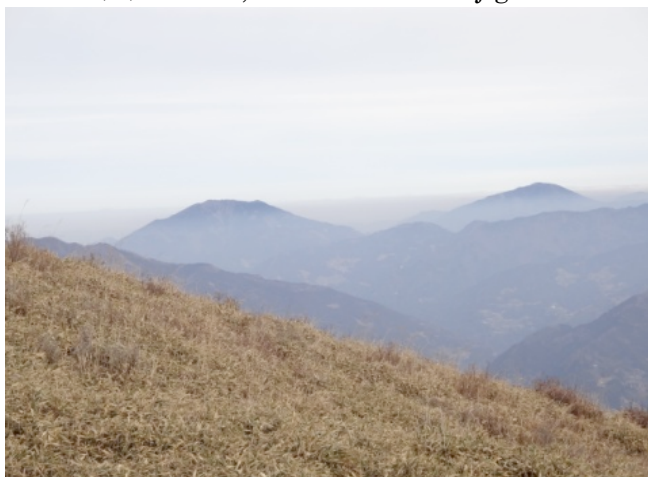
降雪後の冬型の気圧配置が緩み移動性高気圧に覆われると大気汚染物質は下降気流によって地表近くまで降下する傾向がある。地表から高度 1000m までは大気的最下層で、平野部の影響を直接受ける大気境界層である。混合層とも呼ばれている。大気汚染物質が大気境界層とその上の大気層の境界領域に滞留している様子を直接観測することができた。冬季では標高 1500m 程度以下において大気汚染の影響が強いことがわかった。



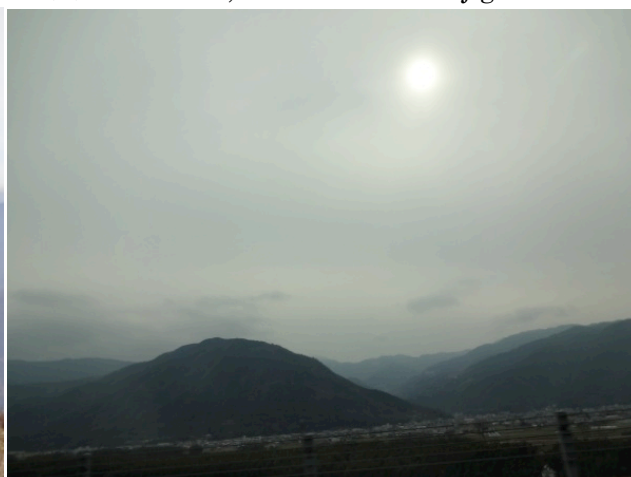
(A) Jan. 5, 2014 Mt. Kajigamori



(B) March 9, 2013 Mt. Kajigamori



(C) Feb. 5, 2013 Mt. Kajigamori



(D) Feb. 5, 2013 Tachino, Higashimiyoshi Tw.

Fig. 6 Observation of atmosphere

#### 4. 謝辞

本研究において、SEM-EDX 分析を快諾いただいた日立ハイテクノロジーズ上村 健氏に深く感謝いたします。本研究は、徳島大学総合科学部学部長裁量経費の支援を受けた。

#### 5. 引用文献

- 1) 環境省大気汚染物質広域監視システム（環境省）  
< <http://soramame.taiki.go.jp/> >  
(accessed 2013-12-27).
- 2) 阿部修、柳澤文孝：雪氷、**72**, 35-43 (2010).
- 3) 柳澤文孝：公衆衛生、**75**, 525-528 (2011).
- 4) 日本気象協：“過去の天気”  
< [tenki.jp](http://tenki.jp) : <http://tenki.jp/> >  
(accessed 2014-1-07).
- 5) 気象庁 HP：“気象統計情報，日々の天気”  
< <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/> >  
(accessed 2014-1-07)
- 6) 国立環境研究所地球環境研究センター：“対流圏モニタリングデータ評価のための支援システム CGER-METEX: トラジェクトリー解析”  
< <http://db.cger.nies.go.jp/metex/index.jp.html> >  
(accessed 2013-10-2).
- 7) NASA EARTH OBSERVATORY : Air Quality Suffering China, Jan. 15, 2013  
< [http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=80152&eocn=image&eoci=related\\_image](http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=80152&eocn=image&eoci=related_image) >, (accessed 2014-1-7).
- 8) 今井昭二、佐名川洋右、来見祐哉、上村健、山本祐平：低真空卓上型 SEM-EDX による四国・梶ヶ森山頂における樹氷および降雪中の無機微小球形粒子の組成別構成 In preparation (2014).

論文受付 2014 年 2 月 15 日

改訂受付 2014 年 4 月 10 日

論文受理 2014 年 4 月 11 日