

## タイのピマイにおける大気エアロゾルの化学成分の特徴(その2) —化石燃料燃焼とバイオマス燃焼及び表層土壌の寄与—

鶴田治雄<sup>1</sup>、Jinchula Chotpitayusunon<sup>2</sup>、Boossarasiri Thana<sup>2</sup>、高村民雄<sup>3</sup>、須藤重人<sup>4</sup>

米村正一郎<sup>4</sup>、世良耕一郎<sup>5</sup>、斉藤義弘<sup>6</sup>、白砂裕一郎<sup>7</sup>、平野耕一郎<sup>7</sup>

早坂忠裕<sup>8</sup>、中島映至<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所  
277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 総合研究棟 306号

<sup>2</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Phayathai Road, Bangkok, 10330 Thailand

<sup>3</sup> 千葉大学環境リモートセンシング研究センター  
263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

<sup>4</sup> 独立行政法人農業環境技術研究所  
305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3

<sup>5</sup> 岩手医科大学サイクロトロンセンター  
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

<sup>6</sup> (社)日本アイソトープ協会滝沢研究所  
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

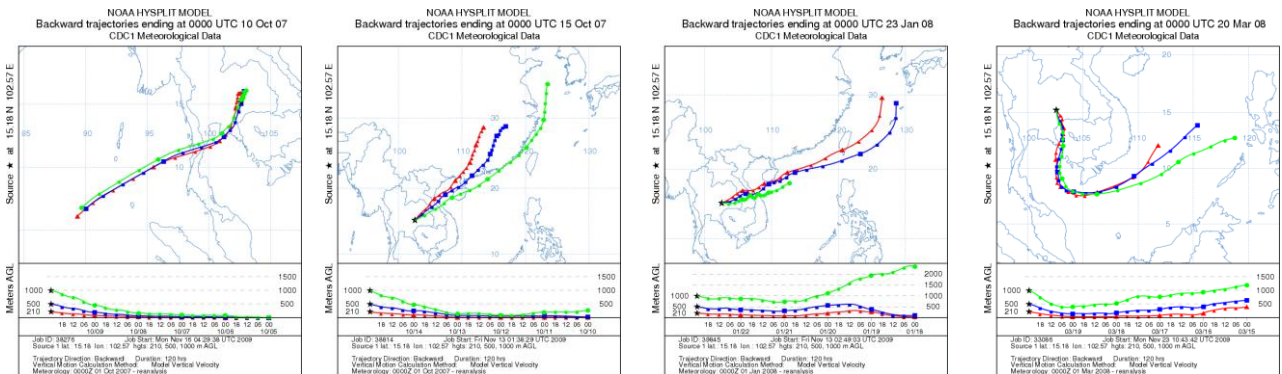
<sup>7</sup> 横浜市環境科学研究所  
235-0012 横浜市磯子区滝頭 1-2-15

<sup>8</sup> 東北大学大気海洋変動観測研究センター  
980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

# 1 はじめに

タイのピマイで、2007年7月から2008年6月まで、大気中のエアロゾルを採取し、その化学成分分析結果の概要を前回報告<sup>1)</sup>し、つぎのことがわかった。

(1)地上風系は、後方流跡線解析結果によれば、乾期(2007年10月後半から2008年5月初め)は3期間にわかれ、D1(10-11月)期間とD2(12月-3月前半)期間は東アジア東部、具体的には中国南部からの北北東-北東寄りの風系(D1,2-SC)と、中国南東部沿岸域あるいは東シナ海からの東北東-東寄りの風系(D1,2-ECS)とが卓越し、その後のD3(3月後半から5月初め)期間は南シナ海からの南よりの風系が卓越した。雨期は、W1(2007年7月-10月前半)とW2(2008年5月初めから6月)とも、インド洋/ベンガル湾から吹く南西のモンスーンが卓越した(図1)。



(W1)2007年10月10日 (D2-SC)2007年10月15日 (D2-ECS) 2008年1月23日 (D3) 2008年3月20日  
 図1 ピマイに到達した高度210m、500m、1000mでの大気塊の5日前までの輸送経路

(2)微小粒子(粒径 $2.5\mu\text{m}>d$ ; PM<sub>2.5</sub>)中の元素状炭素と硫酸塩の濃度比を、2003年春期に奄美大島で測定した大気エアロゾル中の濃度比<sup>2)</sup>と比較して、D1では東アジア東部の化石燃料の燃焼による大気汚染物質が、一方D3ではバイオマス燃焼によって発生した大気エアロゾルが、それぞれおもな発生源であり、D2期間はこれらの異なる発生源からの大気エアロゾルが混在していた(図2)。

そこで今回は、これらの結果をもとに、エアロゾル試料をPIXEで分析した結果を主に解析し、ピマイでの大気エアロゾルへの各種発生源からの寄与を考察した。

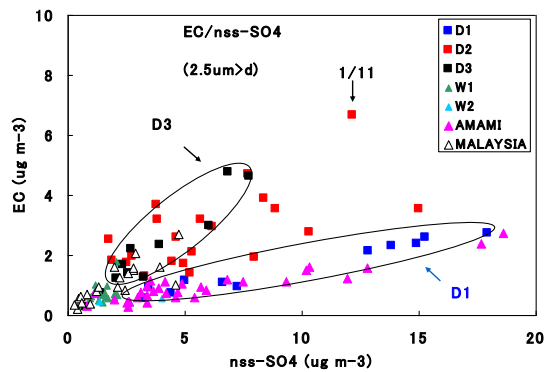


図2 風系別の微小粒子中の硫酸塩(nss-SO<sub>4</sub>)と元素状炭素(EC)との散布図

## 2 測定・解析方法

### 2.1 エアロゾル測定

2007年の7月~2008年6月に、SKYNETの一測定地点である、タイのピマイにある大気研究観測所(15.18N、102.57E: 海拔高度210m)の屋上で、大気中のエアロゾルを直接インパクター法採取装置(MCI Sampler、東京ダイレック社製)により連続的に採取した。採取時間は、原則として毎月の前半と後半に1回ずつで、それぞれ3日間で日中と夜間12時間毎に6試料を、直径47mmの石英繊維製およびポリカーボネート製のフィルタを使用して、エアロゾルを4段階の粒径( $d>10\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}>d>2.5\mu\text{m}$ 、 $2.5\mu\text{m}>d>1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}>d$ )に分けて採取した。これらの各試料につき、元素状炭素(EC)と有機炭素成分

(OC)は、IMPROVE 法による熱・光学的分析装置(MODEL 2001、DRI 社製)により分析し、主な水溶性イオンは、イオンクロマトグラフ(DX-500, Dionex 社製)を用いて分析した。Si などの微量の元素は、多元素を同時に分析できる PIXE 法により、無調製でサンプルホルダーに装着してビーム照射を行い定量した。解析では、昼夜2つのデータの日平均値を主に使用した。これらの化学成分データから求めた、元素状炭素(EC)、有機炭素(OC)、硫酸アンモニウム( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )、硝酸塩( $\text{NO}_3^-$ )、さらに、海塩粒子、土壌粒子などの化学組成の濃度を解析に用いた。

## 2.2 土壌の化学成分分析

ピマイの大気研究観測所の周辺の表層土壌(深さ5-10cm)を、東西南北の方向で各3箇所採取し、その主な化学成分を、PIXE法およびXRF法<sup>3)</sup>で分析した。

## 2.3 後方流跡線解析

ピマイの大気研究観測所に到達した大気塊が、どこから輸送されたかを明らかにするため、高度210m、500m、1000mの3高度で、NOAAのHYSPLIT MODEL<sup>4)</sup>の後方流跡線解析結果を利用して、5日前までの大気塊の輸送経路を求めた。

# 3 結果と考察

## 3.1 化学組成の乾期と雨期の特徴

雨期と乾期中の、粗大粒子( $10\mu\text{m} > d > 2.5\mu\text{m}$ )と微小粒子(これ以後、粒径を指定しない限り $\text{PM}_{2.5}$ を示す)中の主な化学組成を、図3と図4に示した。粗大粒子では、乾期と雨期ともに、土壌粒子が総質量濃度の2/3以上を占め、ECは $0.1\mu\text{g m}^{-3}$ 以下と非常に低かったが、OCは常に $1.0\text{--}1.6\mu\text{g m}^{-3}$ 存在していた。 $\text{NO}_3^-$ は、D1で最高 $1.1\mu\text{g m}^{-3}$ であった。一方、乾期中の微小粒子( $\text{PM}_{2.5}$ )では、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ は $\text{D1} \gg \text{D2} > \text{D3}$ だったが、(EC+OC)は $\text{D2} = \text{D3} \gg \text{D1}$ で、両者は大きく異なった。なお、D1、D2、D3期間中の(EC+OC)と $\text{PM}_{2.5}$ の総質量濃度の平均濃度の比は、それぞれ、0.24、0.39、0.51であった。“はじめに”で述べたように、乾期の微小粒子( $\text{PM}_{2.5}$ )中のECと $\text{SO}_4^{2-}$ の関係によれば、これらの発生源は、D1は東アジア東部の化石燃料(およびバイオ燃料)の燃焼、D3はインドシナ半島のバイオマス燃焼と推定され、D2はこれらの二つの発生源から輸送された大気塊が混在した時期である、と推定された。ECとOCとの関係は、図5に示すように、D1とD3とで大きな違いはなく、乾期全体でOCはECのほぼ3倍であった。そこで、乾期中の個々のデータを用いて、 $\text{PM}_{2.5}$ の総質量濃度と(EC+OC)濃度の関係を調べたところ、強い正の直線関係にあり(図6)、その回帰直線の勾配は、D1、D2、D3でそれぞれ、0.23、0.43、0.50であり、前述したこれらの期間の平均濃度の比とほとんど同じ値であった。これらから、東アジア東部から輸送された大気塊とバイオマス燃焼による大気塊中の個々の試料の濃度比は、それぞれ非常に均一化していたことが明らかになった。

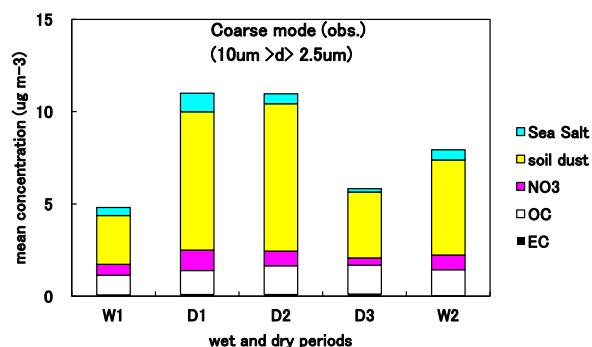


図3 乾期と雨期における粗大粒子中の化学組成の平均濃度

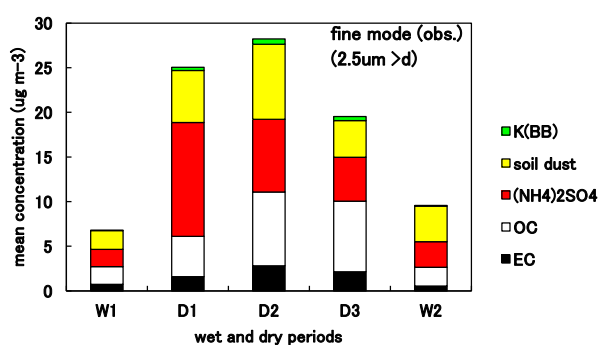


図4 乾期と雨期における微小粒子( $\text{PM}_{2.5}$ )中の化学組成の平均濃度

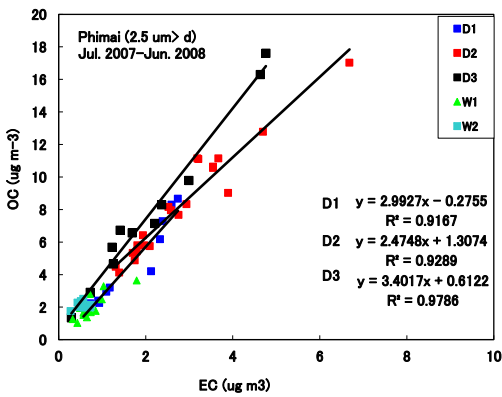


図5 微小粒子 (PM<sub>2.5</sub>) 中の EC と OC 濃度の関係

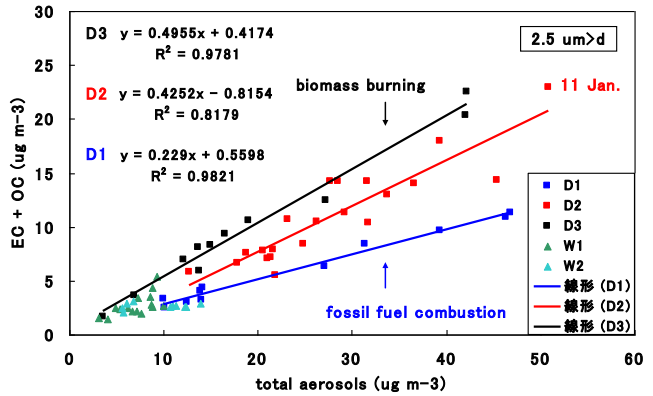


図6 微小粒子中のエアロゾル総質量濃度と (EC+OC) 濃度の関係

土壌系粒子は、粗大粒子では  $D2=D1>D3$  であり、バイオマス燃焼の卓越した風速の弱い D3 の時期でも、D2 と D1 の約半分の濃度であった。また、雨期にも常に存在し、特に W2 では D3 よりも高かった。これらの原因については、後で詳しく考察する。

### 3.2 主な元素濃度の乾期と雨期の特徴

PIXE 分析で検出された各元素濃度をもとに、多量元素 (Si, Al, Fe, Na, Mg, K, Ca) と微量元素 (Ti, Mn, Sr, Zn, Pb, Co, Hg, V, Cr, Ni, Cu, Br) とに分けて計算した、雨期と乾期の 5 期間の平均濃度によれば、ほぼ乾期 > 雨期であった (図 7 と図 8)。粗大粒子中の多量元素では、Si, Al, Fe および Na, Ca などが高かった。微量元素では、乾期と雨期ともに、Ti が 50% 以上でつぎに Mn が高かった。一方、微小粒子 (PM<sub>2.5</sub>) 中の多量元素では、Si のつぎに、Ti と K が高く、粗大粒子と大きく異なっていた。微量元素では (Zn+Pb) 濃度が D1 と D2 で総濃度の 50% 以上と高く、次に Ti と Mn とが高く、雨期でも Ti と Zn が高かった。

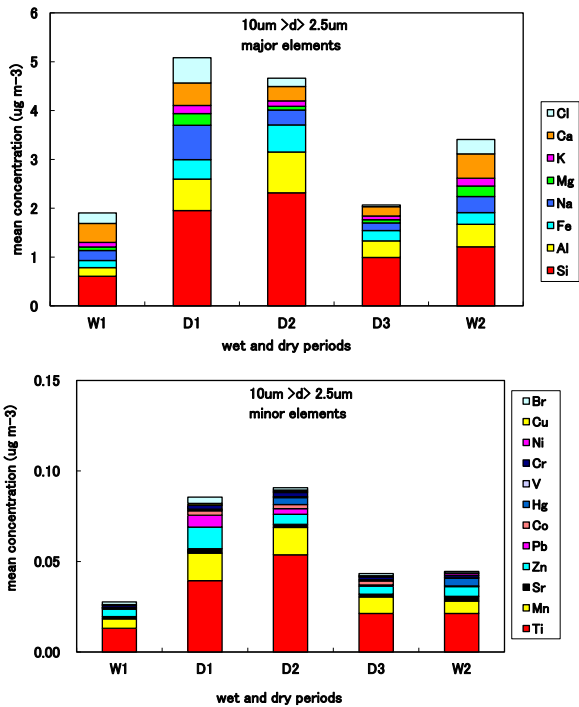


図7 雨期と乾期での粗大粒子中の多量元素 (上段) と微量元素 (下段) の平均濃度

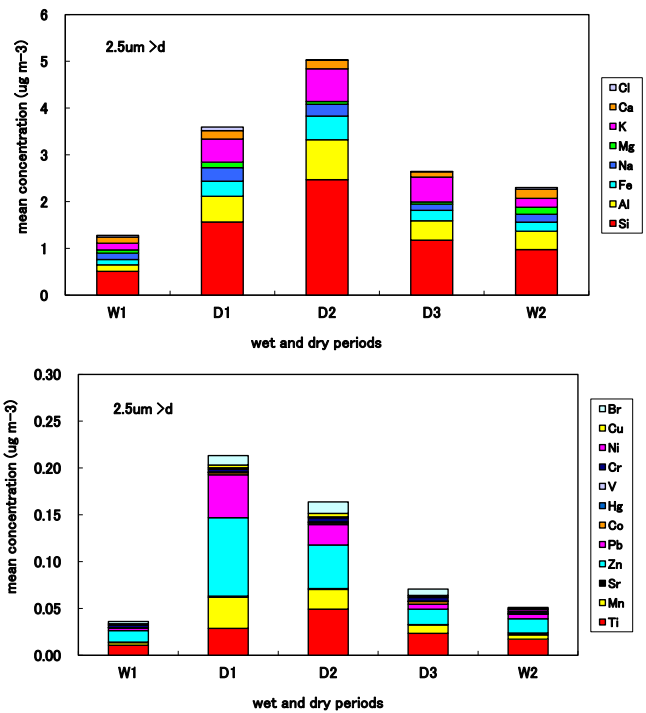


図8 雨期と乾期での微小粒子中の多量元素 (上段) と微量元素 (下段) の平均濃度

### 3.3 亜鉛(Zn)と鉛(Pb)の発生源推定

前述したように、微小粒子中の微量元素では、乾期のD1とD2にZnとPbの濃度が非常に高かった(図8)。これらの元素の粗大粒子の発生源は主に土壌粒子であるが、微小粒子の発生源は、主に石炭燃焼、自動車、鉄工業、廃棄物燃焼などの人為起源である。

乾期のD1とD2における微小粒子中のPbとZnとは、図9に示すように強い正の相関があり、D3や雨期よりもはるかに高かった。また、D1とD2では、中国南部から輸送された大気塊(D-SC)の

ほうが、中国東部沿岸域や東シナ海を通過してきた大気塊(D-ECS)よりも、回帰直線の勾配が約2倍であった。この違いは、これらの元素の主な発生源が地域によって異なるため、と推測される。なおD-SCとD-ECSとでは、ECとOCとはほとんど差がなく、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ はややD-SC>D-ECSだった。しかし、粗大粒子中の硝酸塩( $\text{NO}_3^-$ )濃度は、D-ECS>D-SCで(図3)、中国東部沿岸域の自動車などからの排出物質の影響をより強く受けていたと推測される。なお、奄美での2003年春期の測定結果<sup>2)</sup>によれば、中国東部の大都市や工業地帯から輸送された北西風系の大気塊中では、ピマイと同様に非常に強い正の相関が見られ、回帰直線の勾配は1.68であり、ピマイでの両元素の関係とほぼ同じであった(図9)。一方、2001年3月から2003年8月まで中国の北京市内で測定されたPM<sub>10</sub>(10 μm > d)中のZnとPbの平均濃度はそれぞれ、0.77, 0.43 μg m<sup>-3</sup>で<sup>5)</sup>、Zn/Pbは1.79であり、これらの両元素が中国東部沿岸域の大都市や工業地帯で大気中に排出されて、長距離輸送されてピマイや奄美に到達したとの推測を裏付ける結果となった。

### 3.4 ジルコニウム(Zr)から考察した土壌粒子の発生源推定

前述したように、土壌粒子は、季節に関係なく常に存在していた。これらの土壌粒子の発生源は、大気採取地点を含むタイやインドシナ半島の土壌粒子の風による再飛散、さらに遠方の中国東部やインドあるいは西アジア方面からの長距離輸送などが考えられる。また、バイオマス燃焼が卓越したD3期間でも、大気エアロゾル中に土壌粒子が常に存在していたので、風による再飛散だけでなく、バイオマス燃焼に伴う地表付近から上層への強いサーマルブルームによっても、乾いた土壌表層の土壌粒子が大気中に運ばれた、と推測された。そこで、どの期間にはどの地域の土壌粒子がおもな発生源かを、さらに詳しく考察した。

ピマイの大気エアロゾルのPIXE分析では、チタン(Ti)属元素の一つであるジルコニウム(Zr)が、D1とW1とを除く、D2、D3、W2の時期で検出され、その濃度は粗大粒子のほうが微小粒子よりも高く検出データ数も多かったため、ここでは粗大粒子中のZrの解析結果を示した。しかし奄美の春期では、大規模な黄砂(2001年4月11-16日)の飛来時にだけ検出された<sup>2)</sup>。また他の調査で、東アジアで採取された大気エアロゾル中のPIXEによる分析結果ではZrは記述されていなかった<sup>6,7)</sup>。一方、Zrの酸化物である天然石のジルコン( $\text{ZrSiO}_4$ )は、インドシナ半島(タイ、カンボジア、ラオス、ベトナム、ミャンマー)やスリランカ、オーストラリア、ニュージーランドに広範囲に存在している<sup>8)</sup>。これらから、東アジアから周辺に輸送される大気エアロゾル中微量元素のPIXE分析では、大規模な黄砂以外には、Zrは検出されないと仮定して、

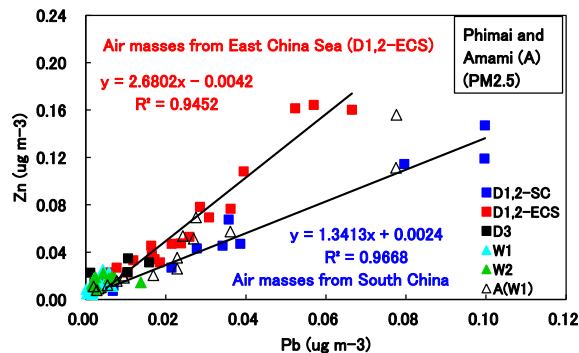


図9 微小粒子中のPbとZnとの関係

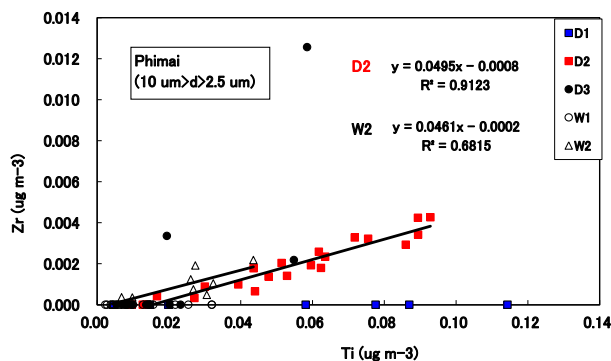


図10 粗大粒子中のTiとZrの関係

表 1 ピマイの土壌と地殻上部 (UCC) の平均化学成分濃度 (ppm)<sup>1)</sup>

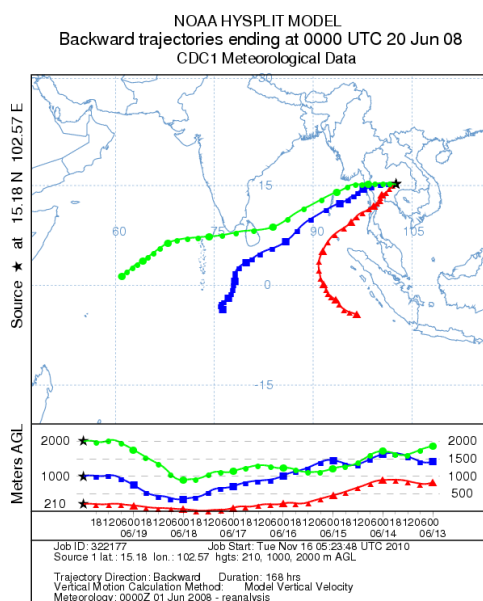
Soil	Si	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Cl	Ti	Mn	Sr	Co	Zr
Phimai	2.56E+05	9.26E+03	5.98E+03	1.06E+03	*	*	4.21E+02	1.38E+03	1.49E+03	1.84E+02	---	5.10E+01	2.13E+02
UCC**	3.08E+05	8.04E+04	3.50E+04	2.89E+04	1.33E+04	2.80E+04	3.00E+04	---	3.00E+03	6.00E+02	3.50E+02	1.00E+01	1.90E+02

\*他の大きなピークの背後に位置するので検出不可能  
\*\*文献:9)

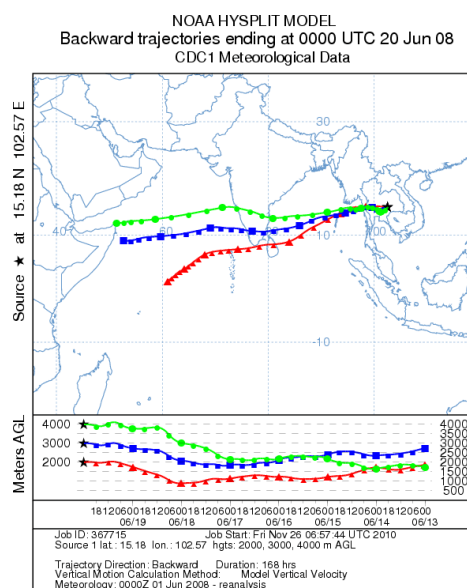
表 2 タイのピマイとコンケン、及び中国 4 地域のレスと地殻上部の平均化学組成 (酸化物)<sup>1)</sup>

site	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	Mn2O	CaO	MgO	Na2O	K2O	P2O5	total	ref.
Phimai	91.652	5.466	1.254	0.455	0.039	0.085	0.060	0.176	0.083	0.073	99.343	3)
Khon Kaen	96.533	0.727	0.379	0.232	0.032	0.007	0.021	0.017	0.062	0.001	98.009	10)
Loess (China)	61.95	13.00	4.60	0.62	0.07*	8.65	2.52	2.15	2.83	0.15	96.47	11)
UCC	66.0	15.2	4.5	0.5		4.2	2.2	3.9	3.4		99.9	9)

\*MnO



(1) 高度 210、1000、2000m



(2) 高度 2000、3000、4000m

図 11 HYSPLIT MODEL による 2008 年 6 月 20 日の後方流跡線解析結果 (7 日前まで)

Zr に注目して解析を行った。Ti と Zr の散布図(図 10)によれば、D1 では、Ti 濃度は高濃度でも Zr は検出されなかったが、D2 と W2 では、両者には非常に強い正の相関が見られた。一方、表 1 に示すように、ピマイの表層土壌中では Zr は検出されていたので、D1 期間の大気エアロゾル中に Zr が検出されなかった原因は、次の二つであると推測される。一つは、この期間にピマイに到達した大気は、後方流跡線解析結果<sup>4)</sup>によれば、おもに中国東部沿岸域あるいは東シナ海方面から輸送されたものであり、黄砂に代表される中国内陸部の砂漠や黄土高原からの土壌粒子は輸送されなかったこと、もう一つは、雨明け直後なのでまだインドシナ半島の表層土壌が乾燥せず、土壌粒子の再飛散がなかったため、である。また、D3 期間の Zr は変動が大きかったが、これは、バイオマス燃焼が卓越した時期なので、土壌表層の土壌粒子は、バイオマス燃焼で生じた強いサーマルプルームにより、大気中に運ばれたと推測され、そのときの大気鉛直混合度合いによって、大気中の濃度変動も大きかったと推測された。

一方、D2 期間の Zr は、ピマイに到達した大気中で、インドシナ半島を通過中に表層の土壌粒子が、風速が強くなくても表層土壌が乾いてきたので、再飛散されたためと推測された。また、雨期の W2 では、土壌系粒子濃度の高かった日(たとえば 2008 年 6 月 20 日)の後方流跡線解析結果<sup>4)</sup>によれば、ピマイに到達した大気塊は、高度 1km では南西風や西風により、タイ西部やミャンマーから輸送されてお

り、高度 2km 以上では西アジアやインドからミャンマー上空を通過してきた(図 11)。これらから、インドシナ半島西部(ミャンマーとタイ)の表層土壌と西アジアの土壌粒子とが混在したために、Zr が検出された、と推測される。

### 3.5 カリウム(K)から考察したバイオマス燃焼の寄与

微小粒子中の K は、焼き畑農業や農作物残さなどのバイオマス燃焼(biomass burning)と、バイオ燃料(biofuel)の燃焼で生成される物質の指標として、よく用いられている。一方、Fe や Ti などは、粗大粒子および微小粒子ともに主な発生源は土壌であり、Si や Al とともに、土壌粒子の指標として用いられている。ピマイでの Fe 濃度と Ti 濃度とは、図 12 に示すように、年間を通して粗大粒子および微小粒子ともに強い正の相関があり、回帰直線の傾きは約 0.09-0.1 でほとんど同じであった。一方、Fe と K は粗大粒子と微小粒子ともに、年間を通して強い正の相関があり、Fe 濃度は粗大粒子>微小粒子だったが、K 濃度は微小粒子>粗大粒子であった。またその回帰直線の傾きは、粗大粒子では Fe と Ti のそれとほとんど同じであったが、微小粒子では粗大粒子の約 10 倍であったので、K は相対的に非常に高くおもに燃焼起源であり、Fe はおもに土壌起源であることを示している。つぎに、ピマイで東アジア東部から輸送されていた D1 期間と、奄美の春期の北西風系(W1)時における Fe と K との関係を見ると、粗大粒子および微小粒子ともに、ピマイと奄美では、ほぼ同じ回帰直線を示した(図 13)。奄美ではこの期間、中国北西部と東部沿岸大都市部を通過してきた大気塊であり、K の主な発生源は化石燃料とバイオ燃料、および黄砂であった。また、ピマイでは、雨期明け直後なのでバイオマス燃焼はまだみられず、発生源は東アジア東部であるので、Fe と K が、奄美とほぼ同じ関係を示したと推定される。

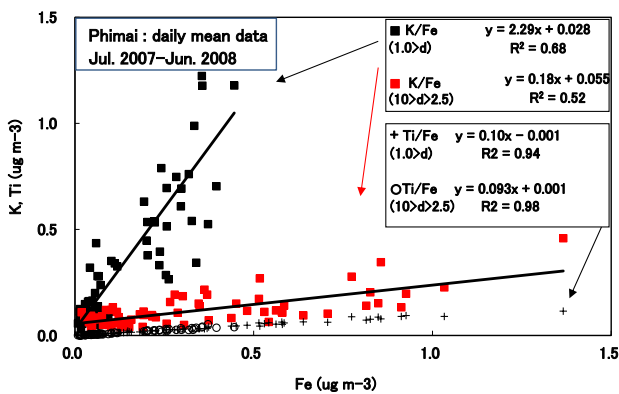


図 12 粗大粒子と微小粒子における Fe と K 及び Ti 濃度との関係(2007 年 7 月~2008 年 6 月)

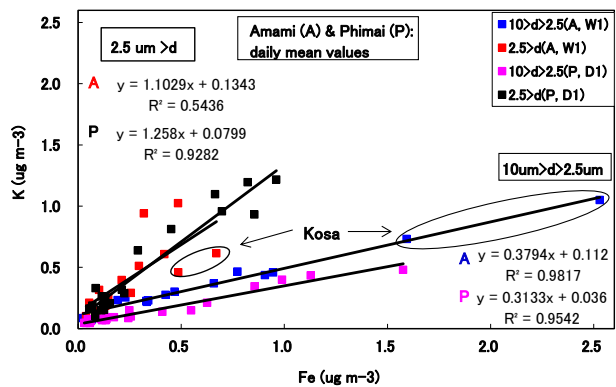


図 13 奄美(2003 年春期北西風系、W1)とピマイ(D1 期)における Fe と K 濃度との関係

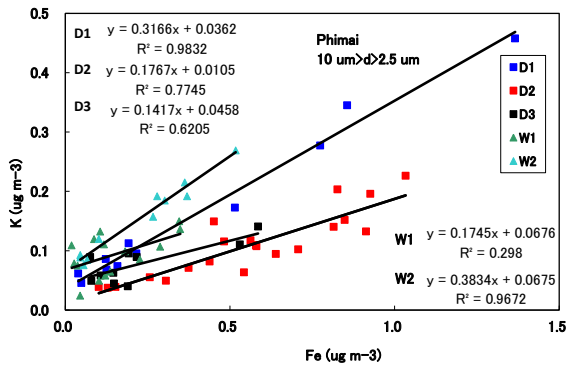


図 14 風系別の粗大粒子中の Fe と K 濃度との関係

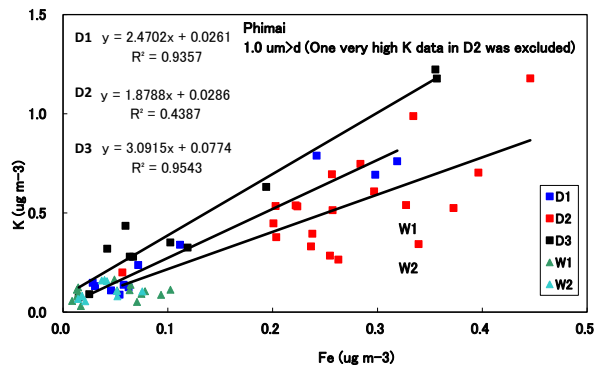


図 15 微小粒子(1.0um>d)中の Fe と K の関係

つぎに、ピマイでの Fe と K との回帰直線の傾きを期間ごとに詳しく調べると、粗大粒子では、 $D1 > D2 > D3$  であり(図 14)、D1 と D2・D3 で K の発生源が異なることが示唆された。D1 は、東アジア東部から輸送されたエアロゾルであるのに対して、K 濃度の低い D2 と D3 時期は、Zr の挙動で考察したように、インドシナ半島の表層土壌からの土壌粒子を含むエアロゾルであった。これは、表 2 に示すように、K 濃度が著しく低いタイ北東部のピマイやコンケン(ピマイと同じコラート高原の中央部に位置し、ピマイの北約 150km)の表層土壌を含むインドシナ半島の表層土壌が大気中に再飛散したとの推測を裏付けている。一方、微小粒子における Fe と K との回帰直線の傾きは  $D3 > D1 > D2$  で(図 15)、バイオマス燃焼の卓越した D3 が最大だったが、D3 と D1 における傾きの差が小さかった原因は、前述したように、D1 はバイオ燃料も発生源となる東アジアからの大気塊が輸送されたためである。なお、D2 では、図 15 に示すように、K 濃度は粗大粒子と同様に非常に低く、土壌粒子の影響を強く受けていた。D3 では、東アジア東部からの大気塊が到達しなかったが、Fe 濃度は D1 と D2 とほぼ同程度であった。これは、バイオマス燃焼によって生じた強いサーマルプルームにより、表層土壌の土壌粒子が大気中に運ばれたという、前述した推測を裏付けている。

#### 4 まとめ

ピマイの大気エアロゾルは、EC と  $SO_4^{2-}$  の関係を奄美での測定結果と比較して、D1 期は東アジア東部、とくに中国南部と東部沿岸域で排出された化石燃料の燃焼によるエアロゾル、D3 期はインドシナ半島で活発なバイオマス燃焼によるエアロゾル、D2 期は両者のエアロゾルが混在した、と推測された。さらに、大気エアロゾル中の Zn と Pb の解析からも、D1 と D2 では、中国南部および中国東部沿岸域からのエアロゾルが、ピマイに輸送されたことが明らかになった。また、Zr の詳細な解析から、土壌系粒子は、D1 では、東アジア東部からの土壌系粒子、D2 ではそれとともにインドシナ半島の表層土壌の再飛散が加わり、D3 ではバイオマス燃焼に伴うサーマルプルームにより、大気中に運ばれたインドシナ半島の表層土壌が主な発生源である、ということを示した。一方、K の詳細の解析からも、D3 ではバイオマス燃焼が主な発生源であることを裏付けた。なお、雨期の土壌粒子は、タイ西部やミャンマーからの土壌粒子が大きく寄与していることが推測された。これらから、ピマイで年間を通して測定された、主な大気エアロゾルの発生源とその寄与が、総合的に明らかになった。

#### 参考文献

- 1) 鶴田治雄, J. Chotpitayasunon, B. Thana, P. Khatri, 高村民雄, 須藤重人, 米村正一郎, 世良耕一郎, 斉藤義弘, 白砂裕一郎, 平野耕一郎, 早坂忠裕, 中島映至, 2009: タイのピマイにおける大気エアロゾルの化学成分の特徴、NMCC 共同利用研究成果報文集、15 (2008), 75-86.
- 2) 鶴田治雄・矢吹正教、2008: 奄美大島の春期における大気エアロゾルの化学組成と光学特性、気象研究ノート、218, 45-66.
- 3) Chotpitayasunon, J.: Unpublished data.
- 4) NOAA: NOAA ARL HYSPLIT MODEL (<http://www.ready.noaa.gov/ready/open/hysplit4.html>)
- 5) Okuda, T., J. Kato, J. Mori, M. Tenmoku, Y. Suda, S. Tanaka, K. He., Y. Ma, F. Yang, X. Yu., F. Duan, 2004: Daily concentrations of trace metals in aerosols in Beijing, China, determined by using inductively coupled plasma mass spectrometry equipped with laser ablation analysis, and source identification of aerosols, *Science of the Total Environment*, 330, 145-148.
- 6) Arimoto, R., X. Y. Zhang, B. J. Huebert, C. H. Kang, D. L. Savoie, J. M. Prospero, S. K. Sage, C. A. Schloesslin, H. M. Khaing, and S. N. Oh, 2004: Chemical composition of atmospheric aerosols from Zhenbeitai, China, and Gosan, South Korea, during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, 109, D19S04, doi:10.1029/2003JD004323.



- 7) Cohen, D. D., D. Garton, E. Stelcer, O. Hawas, T. Wang, S. Poon, J. Kim, B. C. Choi, S. N. Oh, H. J. Shin, M. Y. Ko, and M. Uematsu, 2004: Multielemental analysis and characterization of fine aerosols at several key ACE-Asia sites, *J. Geophys. Res.*, 109, D19S12, doi:10.1029/2003JD003569.
- 8) Macropedia ed., 2007: *The New Encyclopedia Britannica*, 12, pp923.
- 9) Taylor, S. R. and S. M. McLennan, 1985: *The Continental Crust: its Composition and Evolution*, Blackwell Scientific Publications, pp46.
- 10) Tulaphitak, T., K. Miura, K. Sakurai and K. Kyuma, 1996: Some plateau soils and their materials in the Khon Kaen Area, Northeast Thailand: 1. General Characteristics of soils, *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 40, 73-83.
- 11) Honda, M., S. Yabuki and H. Shimizu, 2004: Geochemical and isotopic studies of aeolian sediments in China, *Sedimentology*, 51, 211-230.

## Chemical characterization of atmospheric aerosols at Phimai, Thailand

### II. Contribution of fossil fuel combustion, biomass burning, and soil dust

H. Tsuruta<sup>1</sup>, J. Chotpitayasunon<sup>2</sup>, B. Thana<sup>2</sup>, T. Takamura<sup>3</sup>, S. Sudo<sup>4</sup>, S. Yonemura<sup>4</sup>, K.Sera<sup>5</sup>, Y.Saitoh<sup>6</sup>, Y. Shirasuna<sup>7</sup>, K. Hirano<sup>7</sup>, T. Hayasaka<sup>8</sup> and T. Nakajima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo  
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8568, Japan

<sup>2</sup>Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Phayathai Road, Bangkok, 10330 Thailand

<sup>3</sup>Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University  
1-33 Yayoicho, Inage, Chiba Chiba, 263-8522, Japan

<sup>4</sup>National Institute for Agro-Environmental Sciences  
3-1-3 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8604, Japan

<sup>5</sup>Cyclotron Research Center, Iwate Medical University,  
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

<sup>6</sup>Takizawa Institute, Japan Radioisotope Association,  
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

<sup>7</sup>Yokohama City Institute of Environmental Sciences,  
1-2-15 Takigashira, Yokohama 235-0012, Japan

<sup>8</sup>Center for Atmospheric and Oceanic Studies, Tohoku University  
6-3, Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan

#### Abstract

An intensive field program was performed to measure atmospheric aerosols at the Observatory for Atmospheric Research, in Phimai, Thailand during July 2007-June 2008. According to a backward trajectory analysis, the surface wind pattern in the dry season was northeasterly from middle October 2007 to middle March 2008, and then shifted southerly from middle March to early May. For the other period, southwesterly monsoon was prevailed in the wet season. A relationship between elemental carbon (EC) and non sea-salt sulfate ( $\text{nss-SO}_4^{2-}$ ) in fine particles revealed that the polluted air masses rich in  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  emitted from east Asia was transported to Phimai, while in the latter period of dry season, aerosols rich in EC emitted from biomass burning in Indochina were dominant. These source-receptor relationships which

were analyzed in the previous report were supported by the detailed analysis using Pb and Zn in fine particles in the dry season. For soil dust, Zr in coarse particles was a good indicator of soil dust in atmospheric aerosols in the latter dry season, because it could be re-suspended into the atmosphere from surface soils in Indochina after the surface soil became dry. Furthermore, the relationship between K and Fe in fine and coarse particles strongly suggests that the soil dust could be also released into the atmosphere by the strong thermal plume generated by biomass burning in the latter dry season.