

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

鶴田治雄¹、Jinchula Chotpitayasunon²、Boossarasiri Thana²、Pradeep Khatri³、高村民雄³

須藤重人⁴、米村正一郎⁴、世良耕一郎⁵、斉藤義弘⁶、白砂裕一郎⁷、平野耕一郎⁷

早坂忠裕⁸、中島映至¹

¹ 東京大学気候システム研究センター
277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 総合研究棟 306 号

² Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Phayathai Road, Bangkok, 10330 Thailand

³ 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

⁴ 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

⁵ 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

⁶ (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 348-1

⁷ 横浜市環境科学研究所
235-0012 横浜市磯子区滝頭 1-2-15

⁸ 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

これまで筆者らは、日本の最西端に位置する五島列島の福江島、南西諸島の奄美大島、および沖縄県の辺戸岬で、東アジアの発生源から輸送される大気エアロゾルの化学組成の特徴について、春期における調査結果を紹介してきた。東アジアで発生する主要なエアロゾルは、化石燃料の燃焼による大気汚染物質、黄砂に代表される土壌粒子、また、海上から発生する海塩粒子である。一方、地球規模でみると、

森林火災や焼畑農業などのバイオマス燃焼も、大気エアロゾルの重要な発生源である。

東南アジアでは、伝統的な焼畑農業が行われ、ゴムや油やしなどのプランテーションのために森林伐採とその伐採物の燃焼が乾期に実施され、さらには、森林火災も頻発している。これらのバイオマス燃焼と、大都市での化石燃料の燃焼に伴って発生するエアロゾルが、東南アジアでは主要な大気エアロゾルの発生源と推測されるが、その詳細はこれまで明らかになっていない。

そこで、SKYNET 観測網¹⁾の1地点である、タイのピマイにある大気研究観測所で、チュラロンコン大学理学部地質学科と共同で、大気

エアロゾルの採取を行い、その化学組成の特徴と、発生源との関係を明らかにするとともに、その光学特性についても検討を行った。これら一連の調査研究の最終目的は、東アジアと東南アジアの大気エアロゾルの化学特性と光学特性に関して比較検討することである。本報告の目的は、ピマイにおける大気エアロゾルの化学成分の特徴を明らかにすることである。



図1 SKYNETの観測網とピマイ(P)と奄美(A)の位置

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、図1に示す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、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($d < 1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m} < d < 2.5\mu\text{m}$ 、 $2.5\mu\text{m} < d < 10\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m} < d$)に分けて採取した。これらの各試料につき、まず、採取前後の重量を分解能 $2\mu\text{g}$ の極微量用電子天秤によって計測した。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)によりおこなった。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、硫酸イオン、硝酸イオン、塩素イオン、アンモニウム、カリウム、ナトリウム、マグネシウム、カルシウム等の陽イオンの成分を分析した。微量元素は、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、元素状炭素(EC)、有機炭素(OC)、硫酸アンモニウム、硝酸塩、さらに、海塩粒子、土壌粒子、およびバイオマス燃焼によるエアロゾルの濃度の推定方法について検討した。

2.2 土壌の化学成分分析

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 MODEL²⁾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。

2.4 MODIS によるホットスポットの解析

人工衛星 Aqua/Terra に搭載された MODIS センサーで検出されたホットスポットを、次の二つのデータベースを利用して、解析に用いた。

(1)NASA の FireMap³⁾で、東南アジアと東アジアの、約 10 日間積算のホットスポットのマップを参照した。

(2)また、東京大学生産技術研究所受信データによる、MODIS 画像などの衛星画像オンライン配信サービス⁴⁾を利用して、毎日の MODIS Wild Fire Map から、ホットスポットを参照した。

2.5 大気汚染物質の排出量

アジア地域における、SO₂、NO_x、BC の年間排出量は、Ohara ら⁵⁾の推定結果を参考にした。それによれば、2000 年の中国では、SO₂ と BC の主要な発生源地域は東部沿岸域と南西部の四川盆地で、NO_x は東部沿岸地域だけであった。

2.6 大気汚染物質の排出量

アジア地域における、SO₂、NO_x、BC の年間排出量は、Ohara ら⁵⁾の推定結果を参考にした。それによれば、2000 年の中国では、SO₂ と BC の主要な発生源地域は東部沿岸域と南西部の四川盆地で、NO_x は東部沿岸地域だけであった。

3 結果と考察

3.1 ピマイの下層風系の季節変化

ピマイでの地上から 1,000m までの風系は、現地で測定された地上風と、NOAA の HYSPLIT MODEL²⁾ による後方流跡線解析によれば、2007 年は 10 月中旬に、インド洋/ベンガル湾から吹く南西のモンスーン(W1)から、東アジアから吹く北東寄りのモンスーンに変化し、雨期から乾期に交代した(図 2~図 4)。そして 2008 年 3 月中旬に南シナ海から吹く南寄りの風に変化し、5 月初めに、再び南西のモンスーンが吹き始め(W2)、乾期から雨期に交代した。なお、乾期は、後述するように、エアロゾルの化学成分の質的变化およびバイオマス燃焼の活動度を考慮して、2007 年 10 月から 11 月までを D1、12 月から 2008 年 3 月中旬までを D2、そして南シナ海からの南寄りの風が吹く 3 月中旬から 4 月末日までを D3 と区分した。また、乾期の D1 と D2 の期間には、中国南部からの北北東-北東寄りの風系(D-SC)と、中国南東部沿岸域および東シナ海からの東北東-東寄りの風系(D-ECS)とが、混在したので、これら二つの風系による化学成分の違いについての検討も実施した。

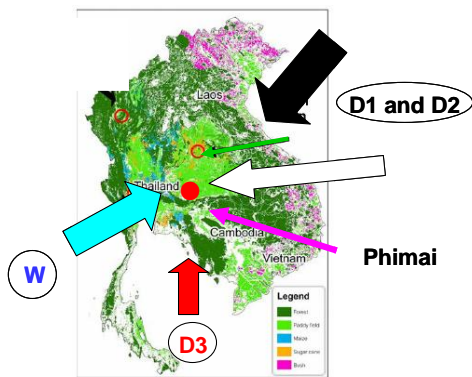


図 2 タイのピマイの位置と下層風系

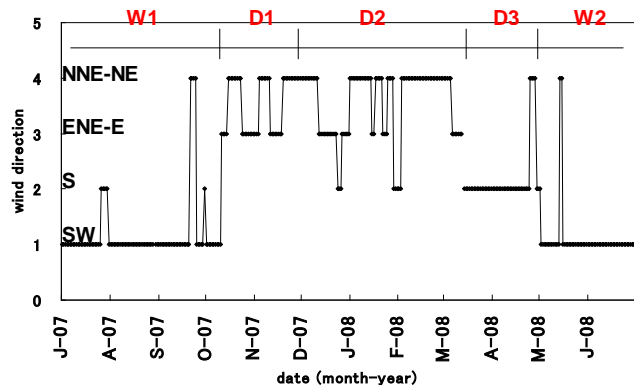
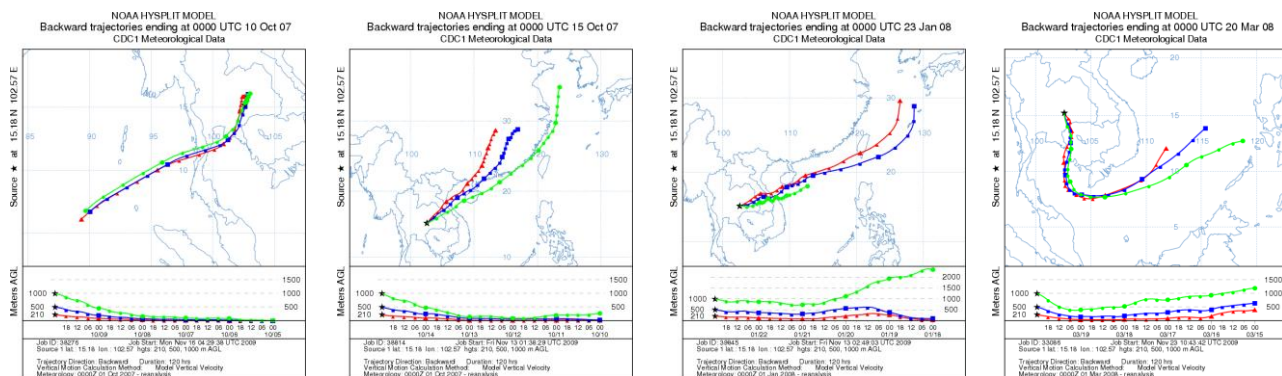
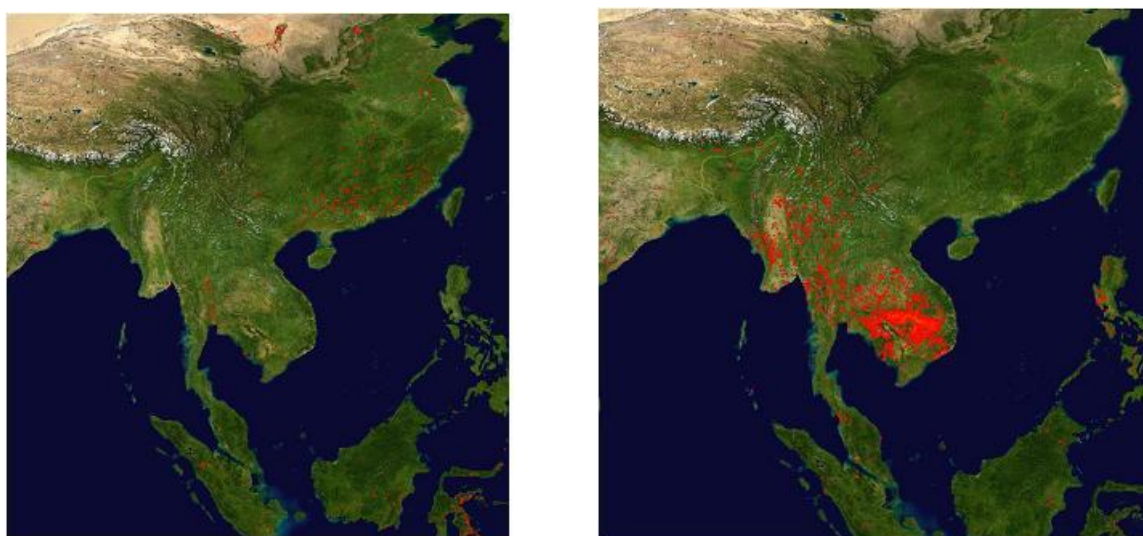


図 3 ピマイでの地上風系の時系列変化



(W1)2007年10月10日 (D2&D-SC)2007年10月15日 (D2&D-ECS)2008年1月23日 (D3)2008年3月20日
 図4 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



(左)2007年10月27日～11月5日 (右)2008年1月31日～2月9日
 図5 MODISによる東～東南アジアの FireMap³⁾(10日間で検出されたホットスポット)

3.2 バイオマス燃焼の季節変化

熱帯地域のバイオマス燃焼は、焼き畑農業と稲わらなどの農作物残さの燃焼とが、よく知られている。そこでバイオマス燃焼の活動度の時期による変化を、MODIS センサーで検出されたホットスポット³⁾から調べた。その結果、タイやその周辺地域のホットスポットは、乾期直後はほとんど見られなかったが、12月ごろから次第に多くなり、2～3月に最大となる変化を示した(図5)。また、中国南部でも、稲わらなどの農作物残さの燃焼と見られるホットスポットが多数、2007年11月後半から2008年3月前半にかけて、見られた。従って、中国南部から輸送される大気塊でも、中国南部でバイオマス燃焼があるときとないときとは、ピマイでの大気エアロゾルの化学成分は、異なっている可能性がある。

3.3 土壌の化学成分

観測所付近の表層土壌の主な化学成分は、表1に示すように、Siが最高で、地殻上部の平均濃度を示すUCC(upper continental crustの略称)⁶⁾の値の83%だった。しかしその他の、Al、Fe、Na、Caなどは、UCCの20%以下と非常に低く、ピマイの土壌は、UCCと質的に異なっていると推測された。

土壌の化学成分は主な酸化物の存在割合で示すことが多い。ピマイの観測所付近の表層土壌中の主要な酸化物⁷⁾は、表2に示すように、92%と最高濃度のSiO₂と、Al₂O₃およびFe₂O₃の3種だけで98%を占めた。ピマイは、タイ東北部のコラート高原の南西端に位置しており、そのコラート高原の中心地コ

表 1 ピマイの土壌と地殻上部(UCC)の平均化学成分濃度(ppm)と、ピマイ(P)と奄美大島(A)の大気エアロゾル(粗大粒子)中の平均化学成分濃度($\mu\text{g m}^{-3}$)と両者の比

Soil or Aerosols	unit	Si	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Cl	Ti	Mn	Sr	Co	Zr
Soil(Phimai)	ppm	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
Soil(UCC)	ppm	3.08E+05	8.04E+04	3.50E+04	2.89E+04	1.33E+04	2.80E+04	3.00E+04	0.00E+00	3.00E+03	6.00E+02	3.50E+02	1.00E+01	1.90E+02
Aerosols (Phimai)**	$\mu\text{g m}^{-3}$	1.53E+00	5.25E-01	3.49E-01	3.13E-01	9.84E-02	1.05E-01	3.19E-01	2.11E-01	3.39E-02	1.11E-02	1.69E-03	2.14E-03	2.35E-03
Aerosols (Amami)***	$\mu\text{g m}^{-3}$	1.66E+00	7.02E-01	3.77E-01	1.63E+00	4.54E-01	2.53E-01	6.51E-01	2.35E+00	3.02E-02	7.98E-03	5.05E-03		
A(P)/A(A)		9.21E-01	7.48E-01	9.27E-01	1.91E-01	2.17E-01	4.14E-01	4.90E-01	9.00E-02	1.12E+00	1.40E+00	3.35E-01		

*他の大きなピークの背後に位置するので検出不可能

**2007年7月~2008年4月の平均濃度

***2003年3月15日~4月16日の平均濃度

表 2 タイのピマイとコンケンの土壌、および中国 4 地域のレスと地殻上部の化学組成 (酸化物)

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	7)
Khon Kaen	96.533	0.727	0.379	0.232	0.032	0.007	0.021	0.017	0.062	0.001	98.009	8)
Loess (China)	61.95	13.00	4.60	0.62	0.07*	8.65	2.52	2.15	2.83	0.15	96.47	9)
UCC	66.0	15.2	4.5	0.5		4.2	2.2	3.9	3.4		99.9	6)

*MnO

ンケンでの表層土壌の化学成分⁸⁾によれば、石英質の砂が主成分で、酸化物の97%はSiO₂であり、ピマイの土壌もその系列にあることがわかった。一方、中国の4地域(タリム盆地、ジュンガル盆地、オルドス、ナイマン)のレスの化学組成⁹⁾によれば、SiO₂が62%と、コラート高原よりも低く、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaOが高いのが特徴で、CaOを除けば、UCCに近い組成比だった。なお、ピマイの土壌では、ジルコニウム(Zr)が、微量ではあるが検出され、2007年12月から2008年3月にかけて、大気エアロゾルの粗大粒子中でも、ほとんど検出された(最高濃度は13 ng m⁻³)。この元素は、奄美では一度も検出されなかったが、UCCにも示されているように、地殻上部には通常存在している元素である。

3.4 エアロゾル中の化学成分の特徴とその主な発生源推定

3.4.1 微小粒子中のEC濃度と非海塩起源の硫酸塩濃度との関係

エアロゾル中の粒径別EC濃度は、全粒径濃度の80%以上が微小粒子($d < 2.5 \mu\text{m}$)に存在しており(図6)、また微小粒子中の主要イオン濃度の90%以上は硫酸アンモニウム((NH₄)₂SO₄)だった(図7)。そして、これらの成分は、雨期に低く乾期に高くなるという季節変化を、明瞭に示した。しかしその最高濃度は、ECは1月中旬と3月だったが、(NH₄)₂SO₄は乾期直後の10~11月に出現した。これらの違いは、両者の主要な発生源が異なることを示唆している。

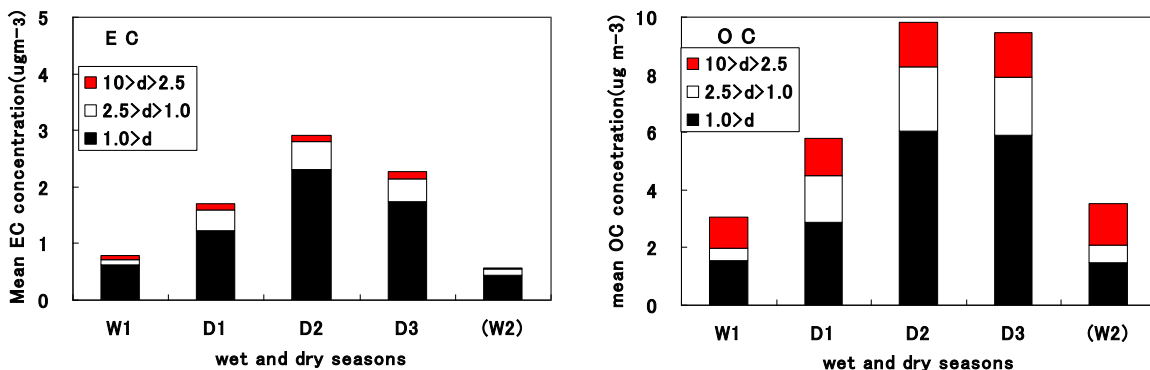


図 6 雨期と乾期中の粒径別の(左)EC と(右)OC の平均濃度

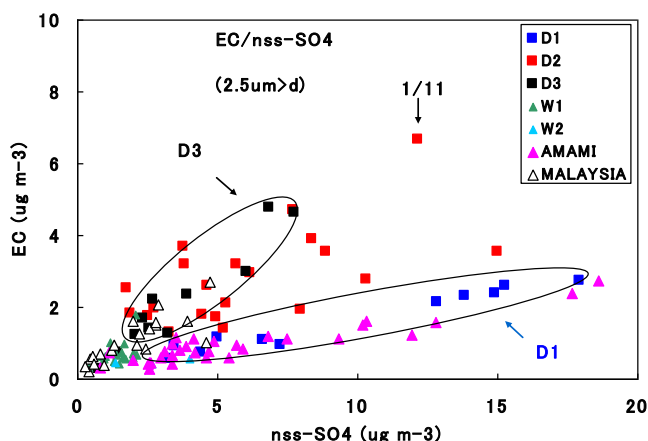
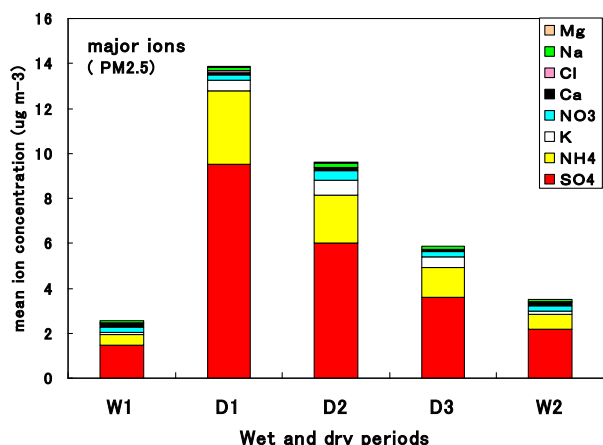


図7 微小粒子中の水溶性イオンの平均濃度 図8 風系別の nss-SO₄ と EC との散布図(d<2.5 µm)

そこで、EC と非海塩起源の硫酸塩(nss-SO₄)との関係を調べたところ、図8に示すように、大きく2グループに分類された。雨期が始まった直後の10月から11月にかけてのEC/nss-SO₄は、春期(2003年3月15日～4月16日)の奄美大島でのエアロゾル中の比とよく一致し、また、3月後半から4月までのD3期間は、マレーシア中部のタナラタで測定された(2002年7月～12月)インドネシアの森林火災の影響を直接受けたエアロゾル中の比¹⁰⁾と、よく一致した。そこで、乾期前期の10月から11月をD1とし、12月から3月前半までをD2と区分した。EC(y)とnss-SO₄(x)との関係は、下記に示すようであり、直線回帰式の勾配は、D3はD1の4倍であった。なお、D2期間のECとnss-SO₄のデータは、D1とD3との間に位置していた。

$$D1: y = 0.15x - 0.18 \quad (R^2=0.96)$$

$$AMAMI : y = 0.12x + 0.29 \quad (R^2=0.85)$$

$$D3: y = 0.61x - 0.07 \quad (R^2=0.92)$$

$$MALAYSIA: y = 0.52x + 0.07 \quad (R^2=0.80)$$

これらの結果を総合的に考察すると、乾期開始後のD1は、東アジアからの大気が輸送され、バイオマス燃焼がまだ少ないので、東アジアの都市工業地帯の化石燃料の燃焼によって発生したエアロゾルの影響を強く受けた奄美大島での測定結果と同じ関係を示したと、推測される。一方、乾期後期のD3では、東アジアからの大気が輸送されなくなり、インドシナ半島でのバイオマス燃焼が非常に多くなるので、それによって発生したエアロゾルが主に測定された、と推定される。奄美大島から直線距離で約3,000kmも離れたピマイでも、よく似た大気エアロゾルの化学特性が見られたことは、東アジアの発生源の影響が日本や東部太平洋だけでなく、東南アジアにまで、広域に及んでいることを示している。

3.4.2 バイオマス燃焼により発生した微小粒子の大気エアロゾルへの寄与

前節で、ECと(NH₄)₂SO₄との関係から、D3はバイオマス燃焼の影響が大であったことを示したが、その他の化学成分についても、検討した。まず、ECとOCとの関係は、図6に示すように、ECは、D2>D3>D1の順に高かったが、OCは異なり、D2=D3>D1の順に高かった。一般に、OC/ECの比は、化石燃料の燃焼よりもバイオマス燃焼で発生したエアロゾルのほうが大きいので、これからも、D3ではバイオマス燃焼の影響が大きいことを裏付けている。さらに、バイオマス燃焼によるエアロゾルの指標物質の一つと言われる、微小粒子中のK濃度は、D2=D3>D1であり、やはり、D3にバイオマス燃焼の影響が大であった。

3.4.3 D1とD2時期の人為起源エアロゾルの発生源推定

3.4.1で示したように、乾期のD1とD2は、D3と異なり、バイオマス燃焼の影響よりも、化石燃料の燃焼によるエアロゾルの影響のほうが大きかった。この期間の風系は、3.1に記述したように、中国南部からの北北東-北東寄りの風系(D-SC)と、中国南東部沿岸域および東シナ海からの東北東-東寄りの風

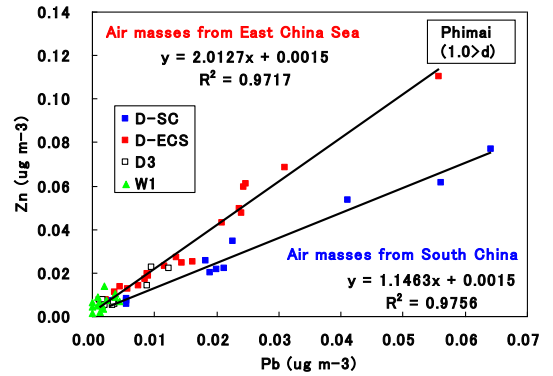
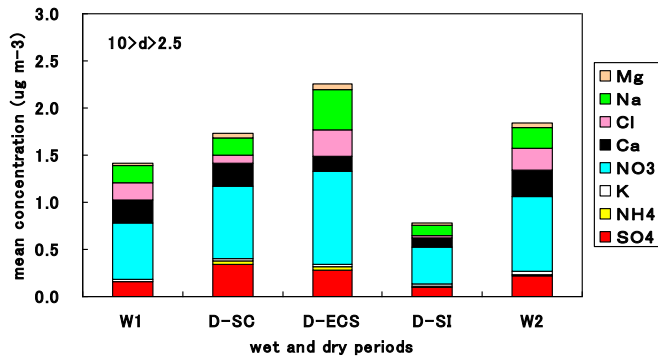
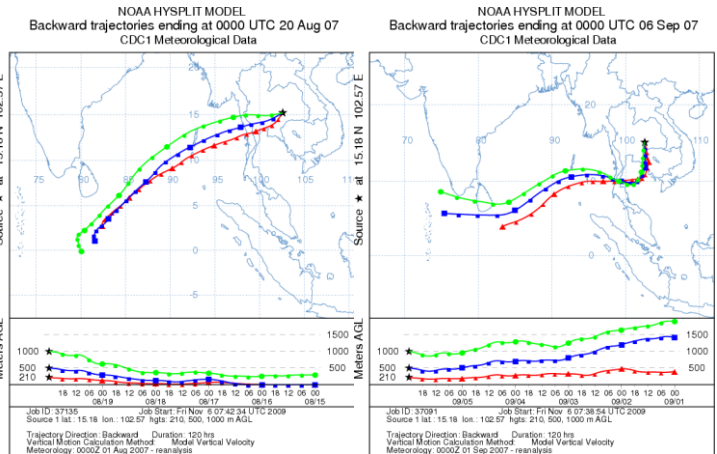
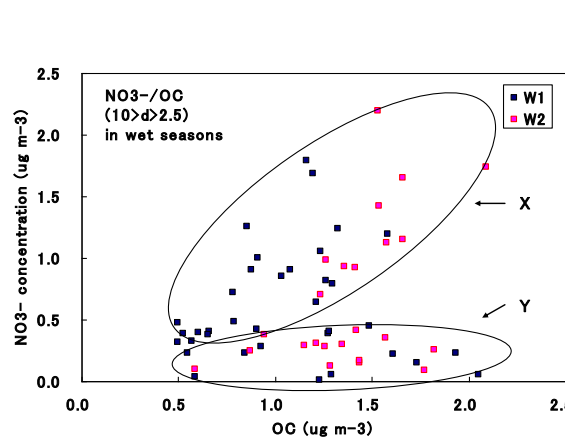


図9 風系別の粗大粒子中の水溶性イオンの平均濃度 図10 風系別の微小粒子中のPbとZnとの関係

系(D-ECS)とが、混在したので、これら二つの風系による化学成分の違いについて、検討した。これら二つの風系別の化学成分の平均濃度は、ECとOC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(NO_3^-)濃度は、D-ECS>D-SC(図9)で、中国東部沿岸域の自動車などからの排出物質の影響を受けていたと推測される。一方、微量元素中のZnとPbとは、図10に示すように、これら二つの風系で、明らかに勾配が異なっており、D-ECSのほうが大きかった。Znは、自動車の潤滑油などに使われており、Pbは有鉛車の排出ガスに含まれているが、その他に石炭燃焼からも排出されるので、これらの発生源の地域による違いを反映した結果と推測される(奄美での勾配は1.68)。

3.4.4 粗大粒子中の硝酸塩

粗大粒子中の主な水溶性イオンは、 NO_3^- と海塩粒子中の Na^+ と Cl^- である。 NO_3^- の時系列は、乾期ではD1>D2>D3と、nss- SO_4 と同様な変化(図7)を示したが、雨期ではnss- SO_4 と異なり、乾期に匹敵する濃度が見られた。そこで雨期の、 NO_3^- 濃度と、乾期と雨期で濃度の差が見られなかったOCの粗大粒子濃度(図6)との関係を調べたところ、二つのグループに大別された(図11)。一つ(Y)は、 NO_3^- 濃度が $0.5 \mu\text{g m}^{-3}$ 以下と低いときは、OC濃度は NO_3^- に関係なく、 $0.5\text{-}2.0 \mu\text{g m}^{-3}$ の範囲に存在し、 NO_3^- 濃度が $0.5 \mu\text{g m}^{-3}$ 以上では、 NO_3^- とOCは正の強い相関がみられた(X)。後方流跡線解析によれば、後者の場合(X)は、ピマイに到達した大気塊は、大都市のバンコクを通過してきたが、前者の場合(Y)は、そうではなかった(図12)。バンコクでは自動車の排出ガスが主要な大気汚染物質の一つなので、排出された NO_x から光化学反応で生成された NO_3^- が、風下側に輸送された、と考えられる。



(1)2007年8月20日

(2)2007年9月6日

図11 雨期の粗大粒子中のOCと NO_3^- との関係 図12 雨期でバンコクを、(1)通過した大気塊と(2)通過しない大気塊の、ピマイへの輸送経路

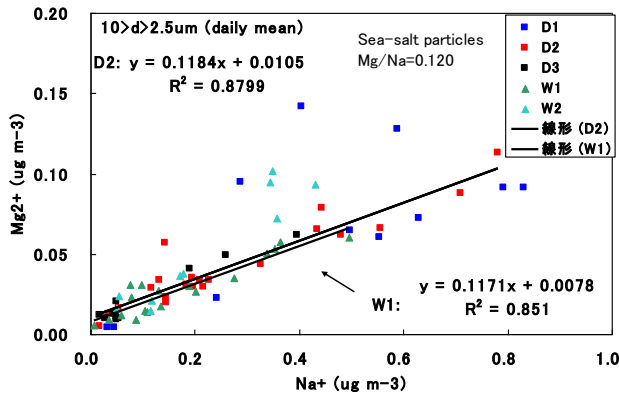


図 13 風系別の粗大粒子中の Na⁺と Mg²⁺との関係

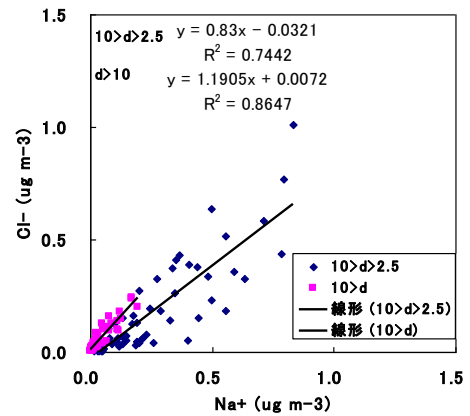


図 14 粗大粒子中の Na⁺と Cl⁻との関係

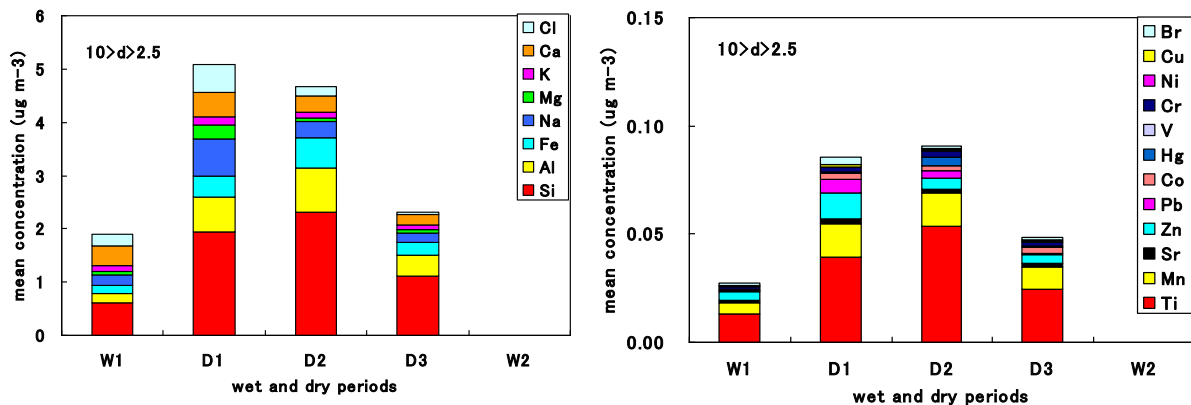
3.4.5 粗大粒子中の海塩粒子

粗大粒子中では、NO₃-の他に、おもに、土壌粒子と海塩粒子が存在する。タイ東北部には、地下に存在する岩塩層の影響で、地表に塩類集積現象が見られる¹¹⁾ので、Na⁺やCl⁻濃度を解析するときは、海上を輸送される大気中に存在する海塩粒子だけでなく、土壌表面から大気に放出される塩類をも、同時に検討する必要がある。表1によれば、ピマイの表層土壌中のCl/Naは1.30であり、岩塩および海塩粒子中の比1.8より小さく、岩塩の1.54に近い。これは、Naの基質が主に岩塩だが、いわゆる土壌有機物由来のものも、少量含まれているためと推定される。

海塩粒子中のMg²⁺/Na⁺は0.12であるが、ピマイの粗大粒子中のこの比は、図13に示すように、いくつかのデータを除くと、ほぼ海塩粒子の比にほぼ等しいので、これらのイオンは、海上から輸送されてきた大気中に存在したと推測される（なお、Mgは、岩塩中にはほとんど存在しないので、岩塩由来ではないと推定した）。一方、粗大粒子中のCl⁻/Na⁺は1以下と小さい(図14)ので、輸送中にCl損失が起これたと推測される。

3.4.6 粗大粒子中の土壌粒子

水溶性イオン濃度と同じように、雨期に低く、乾期に高くなった(図15)。乾期では、土壌起源と推測される元素---Si、Al、Fe、Ti、Mnなど---はD2>D1>D3の順に高かった。しかし、Si、Al、Feの3元素間での相対濃度は、乾期のD1、D2、D3と、東アジアからの大気塊に直接影響されない雨期(W1)とで、ほとんど変化がなかった(図16)ので、1年中同じ組成の土壌粒子が、大気中に存在したことがわかった。



(1) Si~Cl

(2) Ti~Br

図 15 粗大粒子中の微量元素の平均濃度の時系列変化

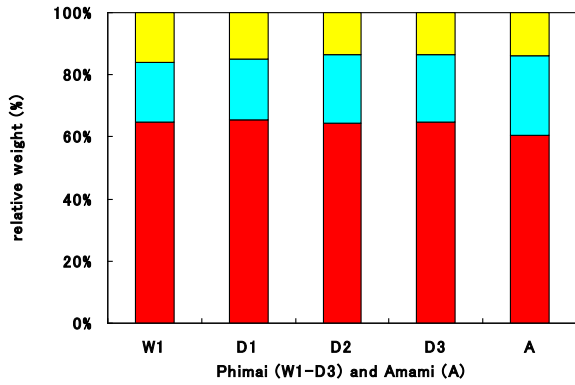


図 16 粗大粒子中の Si、Al、Fe 間の相対濃度比
ピマイ(W1~D3)と奄美(A)

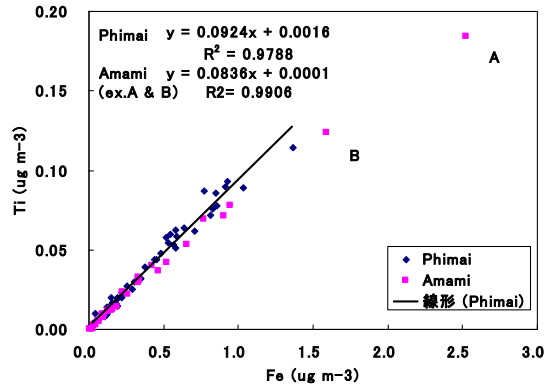


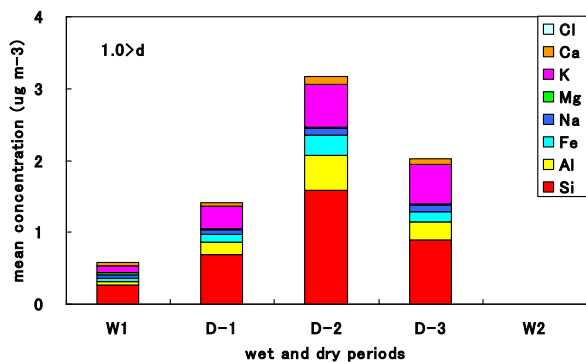
図 17 粗大粒子中の Ti と Fe との関係

また、奄美大島での春期のエアロゾル中の微量元素と比較すると、Si、Fe、Ti は、ほとんど同じ濃度だったが、Al は約 25% だけ低く、Na、Mg、K、Ca は 60% 以上も低かった(表 2)。また、奄美の Si、Al、Fe の 3 つの元素間での相対濃度は、ピマイと比較すると、約 5% だけ、Si が低く Al が高かっただけで、Fe はほとんど同じだった(図 16)。これは、表 2 に示すように、ピマイの大気中の土壌粒子も、中国のレスのほうが高ケン(Khon Kaen)よりも、SiO₂ が低く Al₂O₃ や Fe₂O₃ が高かったため、その影響を受けているためと推測される。さらに、図 17 に示すように、Fe と Ti とは、ピマイと奄美大島(黄砂由来の 2 データ(図 17 の A と B)を除く)では、ほとんど同じ勾配だった。したがって、大気エアロゾルに含まれる土壌粒子は、ピマイも、奄美大島と同じように、おもに中国のレスの影響下にあることが明らかになった。

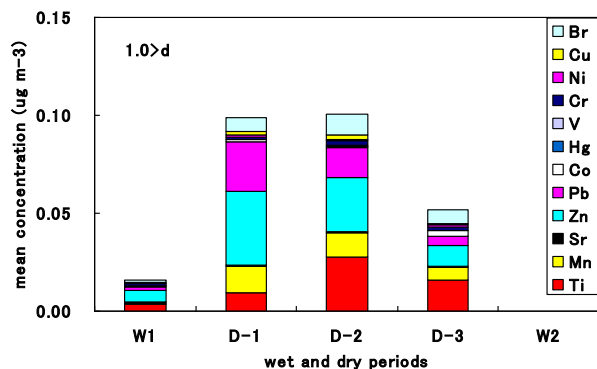
3.4.7 微小粒子中の微量元素

乾期では、土壌起源と推測された元素---Si、Al、Fe、Ti---は D2 > D3 > D1 の順に高く、粗大粒子と異なっていた(図 18)。これは、土壌粒子だけでなく、バイオマス燃焼で発生した微小粒子中にも Si などの微量元素が含まれていたため、と推測された。また、すでに 3.4.2 で述べたように、K も、D2 ≥ D3 > D1 であり、Si の次に K の濃度が高かった。これは、土壌粒子や化石燃料の燃焼よりもバイオマス燃焼の寄与が相対的に大きかったため、と推測される。一方、Zn と Pb は、D1 > D2 > D3 の順に高く、3.4.3 にすでに述べたように、主な発生源は化石燃料の燃焼などによるためと推測された。

今後は、これらの発生源からの大気エアロゾルへの寄与を定量的に推定する手法を開発する。



(1) Si~Cl



(2) Ti~Br

図 18 微小粒子中の微量元素の平均濃度の時系列変化

参考文献

- 1) 千葉大学: <http://atmos.cr.chiba-u.ac.jp/>
- 2) NOAA: NOAA ARL HYSPLIT MODEL (<http://www.ready.noaa.gov/ready/open/hysplit4.html>)
- 3) NASA/GSFC: MODIS fire maps (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/firemaps/>)
- 4) 竹内渉, 根本利弘, P.J.Baruah, 越智士郎, 安岡善文, 2003. WWW を利用した Terra MODIS データ前処理システムの構築. 写真測量とリモートセンシング, 42(2), 21-27.
- 5) Ohara., T., H. Akimoto, J. Kurokawa, N. Horii, K. Yamaji, X. Yan, and T. Hayasaka, 2007: An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 198-2020, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 4419-4444.
- 6) Taylor, S. R. and S. M. McLennan, 1985: *The Continental Crust: its Composition and Evolution*, Blackwell Scientific Publications, pp46.
- 7) Chotpitayasunon, J.: Unpublished data.
- 8) 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
- 9) Honda, M., S. Yabuki and H. Shimizu, 2004: Geochemical and isotopic studies of aeolian sediments in China, *Sedimentology*, 51, 211-230.
- 10) Tsuruta, H.: Unpublished data.
- 11) Thirapong, P., 飯塚 敦、河井克之、2007 : タイ東北部の塩害調査と「ジグソー・ピース作戦」、地盤工学会誌、55, No.590, 22-25

Chemical characterization of atmospheric aerosols measured at Phimai, Thailand

H. Tsuruta¹, J. Chotpitayasunon², B. Thana², P. Khatri³, T. Takamura³, S. Sudo⁴
S. Yonemura⁴, K. Sera⁵, Y. Saitoh⁶, Y. Shirasuna⁷, K. Hirano⁷, T. Hayasaka⁸ and T. Nakajima¹

¹Center for Climate System Research, The University of Tokyo
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8568, Japan

²Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Phayathai Road, Bangkok, 10330 Thailand

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

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

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

⁶Takizawa Institute, Japan Radioisotope Association
348-1 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

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

⁸Center 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, every six days per month during July 2007-June 2008, under a collaborative study with Chulalongkorn University. Chemical analysis of the collected aerosols with the four size ranges was made for elemental and organic carbons (EC/OC) by improved method, water soluble ions by ion chromatography, and trace elements by PIXE. Chemical composition was estimated for sea-salt particles, soil mineral dusts, and biomass burning. 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. From the hotspot analysis by a satellite dataset, active biomass burning of the residue of agricultural wastes was detected in south China and Indochina from Dec. 2007 to March 2008. A relationship between EC and non sea-salt sulfate 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 was dominant. During the wet season, however, nitrate was higher in coarse particles, due to the emission from automobiles in Bangkok. Sea salt particles and soil dust particles were also detected in coarse particles.