慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	中国烏魯木斉市の都市大気中エアロゾル成分の濃度分布と季節変化に関する考察
Sub Title	
Author	関根, 嘉香(Sekine, Yoshika) 大歳, 恒彦(Otoshi, Tsunehiko) 橋本, 芳一(Hashimoto, Yoshikazu)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	1998
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』 (KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-32
JaLC DOI	
Abstract	〈要約〉新疆ウイグル自治区烏魯木斉(ウルムチ)市の大気汚染の状況を微量元素レベルで明らかにするため、1991年4月から1992年12月にかけて烏魯木斉市において採取した大気エアロゾル粒子の微量成分の測定とデータ解析を行なった。その結果、浮遊粉じん(TSP)濃度の水準は全般に高く、国家第3級環境基準に相当する500μg/m3を越える値が観測された。また冬季に著しく濃度上昇する1峰型の季節変化を示した。大気エアロゾル中の微量成分は、TSPと同様に冬季に明瞭な濃度ピークを有するものが多く、硫酸イオン、炭素成分、ヒ素、セレン、ベンゾ(a)ピレン等は石炭燃焼排出物が主たる発生源と推定された。大気エアロゾル中の主要成分組成を求めた結果、石炭燃焼排出物の寄与率は、全観測値平均で約40%、冬季には60～70%程度であると推定された。またPb/Zn比を発生源試料中の値と比較した結果、有鉛ガソリンを燃料とする自動車排出粒子の影響が示唆された。石炭燃焼排出物の影響は深刻であり、(1)燃焼効率の改善による炭素粒子の削減、(2)脱硫によるSO2排出量の削減(=SO42-濃度の低減)が必要である。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000032-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

中国烏魯木斉市の都市大気中エアロゾル成分の濃度分布と季節変化に関する考察

関根　嘉香
大歳　恒彦
橋本　芳一

No.G-32

学振未来 WG4－8

中国烏魯木斉市の都市大気中エアロゾル成分の濃度分布と季節変化に関する考察

関根嘉香[1]，大歳恒彦[2]，橋本芳一[3]

1998年12月

＜要 約＞

新疆ウイグル自治区烏魯木斉（ウルムチ）市の大気汚染の状況を微量元素レベルで明らかにするため、1991年4月から1992年12月にかけて烏魯木斉市において採取した大気エアロゾル粒子の微量成分の測定とデータ解析を行なった。その結果、浮遊粉じん（TSP）濃度の水準は全般に高く、国家第3級環境基準に相当する500 $\mu g/m^3$を越える値が観測された。また冬季に著しく濃度上昇する1峰型の季節変化を示した。大気エアロゾル中の微量成分は、TSPと同様に冬季に明瞭な濃度ピークを有するものが多く、硫酸イオン、炭素成分、ヒ素、セレン、ベンゾ(a)ピレン等は石炭燃焼排出物が主たる発生源と推定された。大気エアロゾル中の主要成分組成を求めた結果、石炭燃焼排出物の寄与率は、全観測値平均で約40%、冬季には60～70%程度であると推定された。またPb/Zn比を発生源試料中の値と比較した結果、有鉛ガソリンを燃料とする自動車排出粒子の影響が示唆された。石炭燃焼排出物の影響は深刻であり、（1）燃焼効率の改善による炭素粒子の削減、（2）脱硫によるSO_2排出量の削減（$=SO_4^{2-}$濃度の低減）が必要である。

＜キーワード＞

中国、新疆ウイグル自治区、烏魯木斉、大気汚染、大気エアロゾル、微量元素、濃縮係数

[1] 慶応義塾大学中国環境研究会（日立化成工業（株）筑波開発研究所）

[2] 日本環境衛生センター

[3] 慶応義塾大学地域研究センター

中国烏魯木斉市の都市大気中エアロゾル成分の濃度分布と季節変化に関する考察

関根嘉香[1]，大歳恒彦[2]，橋本芳一[3]

1998年12月

1．緒言

中国大陸からの大気汚染物質の流入が、我が国に酸性雨をもたらす可能性について論議されている。この酸性雨問題については根本的な対策が幾つか考えられているが、我々の研究班で試行されているバイオブリケット技術の中国への定着は、その中でも最も早い効果が期待されると共に、大気汚染物質の削減につながるものと考えられる。

国際的な環境問題への関心が高まる中で、中国の環境汚染、特に酸性雨および粒子状汚染物質（以下、エアロゾル粒子と呼ぶ）による大気汚染が注目されている(Mega et al.[1])。中国では硫黄分の多い石炭を大量に消費し、脱硫，防塵設備が充分でないため硫黄酸化物の排出量は現在世界第2位、経済発展政策の推進に伴いその排出量は年率5.4%の割合で増加している。酸性雨、大気粉塵による被害も顕在化し(Zhao[2])、金属、石材の腐食、呼吸器系疾患や肺癌患者の増加等が指摘されている。疫学調査によると大気汚染および室内空気汚染に関連する死亡者数は1,100,000人／年と言われている(Florig[3])。また交通量の増加も大気汚染問題に拍車をかけている。さらに中国北部では春季に飛来する砂漠土壌の影響があり、大気粉塵の高濃度の原因となっている。これら中国大陸の都市で発生した大気汚染物質が、冬季の季節風によって風下の日本に越境移動する可能性が示唆されており(Tsunogai et al.[4],関根・橋本[5], Mukai and Suzuki[6])、中国の大気汚染は一国の問題にとどまらず、東アジア地域における共通の関心事となっている。

筆者らは1986年より中国および韓国の東アジア地域の各都市に私設の大気測定点を設け、東アジア大気測定網（JACKネットワーク）として定期的かつ長期的な大気エアロゾル成分の観測を実施し、大気データの蓄積および解析を行ってきた(Hashimoto et al.[7], Sekine et al [8,9])。これは東アジアの都市大気の状況を把握すると同時に、大気汚染対策に対する最も基礎的な調査データを提供す

[1] 慶応義塾大学中国環境研究会（日立化成工業（株）筑波開発研究所）

[2] 日本環境衛生センター

[3] 慶応義塾大学地域研究センター

るものである。観測方法は日本の国設大気測定網(National air surveillance network, NASN)に準じており、過去 26 年間蓄積されてきたその膨大なデータと国際比較が可能である。本測定網における最初の測定は韓国ソウルにおいて 1986 年 5 月から実施し、1988 年には中国北京、1989 年から成都、1991 年 4 月から蘭州、包頭および烏魯木斉において観測を開始し、1992 年 12 月まで継続した。また 1995 年 10 月から 1996 年 3 月まで中国東北部の瀋陽において同様の手法により観測を実施した（関根ほか[10]）。

「未来開拓プロジェクト」訪中団は、1998 年 9 月に新疆ウイグル自治区烏魯木斉市およびその周辺地区の視察を行なった。烏魯木斉市は、新疆ウイグル自治区の首府（7 区 1 県）で人口約 140 万人、天山山脈の北側を通るシルクロード天山北路、標高 924m の高原に位置するオアシス都市である。南にはタクラマカン砂漠、北にはジュンガル盆地が広がる。中核地区は沙依巴克（サイバク）区で、人口 35 万人、漢民族のほか 3 7 の少数民族で構成されている。製造業が約 3000 社あり、科学技術の街という側面も持つ。周辺地域では、天然資源、石炭、セメント原料などが比較的多く産出する。年間を通じて寒暖の差が大きく、夏季の平均気温が 24～25℃であるのに対して、冬季はマイナス 15℃にまで低下する。したがって 12 月から 2 月にかけて大気が安定化しやすく、暖房用に石炭を燃焼するため、深刻な大気汚染が発生している。また砂漠地帯からの砂塵の影響や都市建設工事の粉じんの影響も大きい。

1997 年度中国環境年鑑[11]によると、烏魯木斉の年平均大気中二酸化硫黄濃度は 0.073mg/m^3 で全国 90 都市中 37 位、浮遊粉じん（TSP）濃度は 0.496mg/m^3 で全国 11 位、二酸化窒素濃度は 0.074mg/m^3 で全国 10 位、降下ばいじん量は 28.41 t／km^2 月で全国 12 位、空気汚染総合指標では北方都市第 4 位、全国で 5 位（ちなみに上位 1 位から鞍山、太原、大同、重慶、烏魯木斉）であり、中国の中でも大気汚染度が高い都市である。しかしその大気中の微量有害成分に関する詳細な測定データはほとんど得られておらず、健康影響の観点からも有害微量元素の濃度分布を明らかにする必要がある。そこで本研究では、烏魯木斉市において採取した大気エアロゾル粒子中の微量成分濃度の測定を行い、その濃度レベル、季節変化を明らかにした。

2．測定方法

図 1 に烏魯木斉の位置を示した。大気エアロゾル粒子の捕集は、1991 年 4 月から 1992 年 12 月にかけて毎週 1 回、月 4 ～5 回定期的に行った。捕集機器にはハイボリューム・サンプラー（紀本電子工業社製）を用い、石英繊維製フィルター(Pallflex 2500QAT-UP) 上に流量 1200L/min で、一回 24 時間の捕集を行った。NASN ではハイボリューム・サンプラーによる捕集は月一回としているが、本観測では近似的な月平均値を得るため複数回とした。同時に気象条件の観測も行った。各成分の分析法は以下の通りである。

浮遊粉塵(Total suspended particles, TSP)捕集フィルターを相対湿度 50% 以下の乾燥保管庫で 48

時間以上放置した後重量を測定し、捕集前後のフィルターの重量差と総通気量からTSP濃度を求めた。捕集粒径は100μm以下である。尚、TSP濃度は捕集毎に測定して日平均濃度を求めた。その他の成分分析は一ヶ月分をまとめて行い、月平均濃度として求めた。

陰イオン(SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-): 捕集後のフィルターから25mmϕをカットして純水に浸漬し、イオン成分を振とう抽出した。各イオンは電気伝導度検出器付きイオンクロマトグラフ装置 (Dionex 社製 Model10) により定量した。

炭素成分：ヘリウム気流中400℃で5分間処理して揮発する成分を有機炭素 (Organic Carbon, OC) と定義し、測定器の加熱炉を400℃に設定して元素分析計 (柳本製作所製 Model 170-30) により定量した。ヘリウム気流中400℃で5分間処理して残存する成分を元素状炭素 (Elemental Carbon, EC) と定義し、OC測定後、加熱炉を900℃、酸素を含有するヘリウム気流に設定して測定を行なった。総炭素 (Total Carbon, TC) は、OCとECの合計とした。検量線用スタンダードにはp−ニトロアニリンを用いた。

ベンゾ(a)ピレン (B(a)P) ：Matsushitaら[12]の方法に従って捕集後のフィルターからエタノール／ベンゼン溶液で超音波抽出し、逆相高速液体クロマトグラフィー蛍光検出器（日立製作所製L−6000）により定量を行なった。励起波長は370nm、検出波長は406nmとした。

金属元素：大気汚染物質の測定法指針[13]に準じて、捕集後のフィルターを酸分解し、フレーム原子吸光光度計 (Atomic Absorption Spectrophotometry, AAS, 島津製作所製 640−13) を用いてカドミウム(Cd)、コバルト(Co)、銅(Cu)、鉄(Fe)、マンガン(Mn)、ニッケル(Ni)、鉛(Pb)、亜鉛(Zn)およびバナジウム(V)の定量を行なった。

２８元素：中性子放射化分析法(Instrumental Neutron Activation Analysis, INAA)を用いて28元素の非破壊同時分析を行なった。捕集後のフィルターを適当なサイズにカットしてポリ袋に二重封入し、短寿命核種用および長・中寿命核種用の照射用試料とした。中性子の照射は立教大学 TRIGAII型原子炉のF孔を用いて、短寿命核種は2分間、長・中寿命核種は6時間行った。中性子束密度は$1.5\times10^{12}cm^{-1}s^{-1}$であった。照射後、短寿命核種は10〜15分間冷却し、300秒間ガンマ線の測定を行った。また長寿命核種は3000秒間、中寿命核種は1000秒間ガンマ線の測定を行った。ガンマ線の測定にはGe半導体検出器(EG&G ORTEC 社製 GEM-15190-PS および ORTEC 社製 GEM-15200)を用い、データ解析は波高分析装置(SEIKO EG&G 社製 MODEL-7800) を用いて行った。同条件下で未使用のフィルターを分析し、ブランク値として測定値から差し引いた。標準には各元素の標準溶液を希釈してフィルター上に滴下、乾燥させた多元素スタンダードを用いた。各元素分析の検出下限値は、バックグランドカウント数Bの平方根に相当する統計誤差をσ_Bの3倍に相当する量とした。測定元素は、アルミニウム(Al)、臭素(Br)、カルシウム(Ca)、塩素(Cl)、銅(Cu)、マンガン(Mn)、チタン(Ti)、バナジウム(V)、ヒ素(As)、カリウム(K)、ランタン(La)、ナトリウム(Na)、アンチモン(Sb)、サマリウム(Sm)、タングステン(W)、銀(Ag)、バリウム(Ba)、セリウム(Ce)、コバルト(Co)、クロム(Cr)、セシウム(Cs)、鉄(Fe)、ハフニウム(Hf)、ルテチウム(Lu)、スカンジウム(Sc)、セレン(Se)、トリウム(Th)および亜鉛(Zn)である。

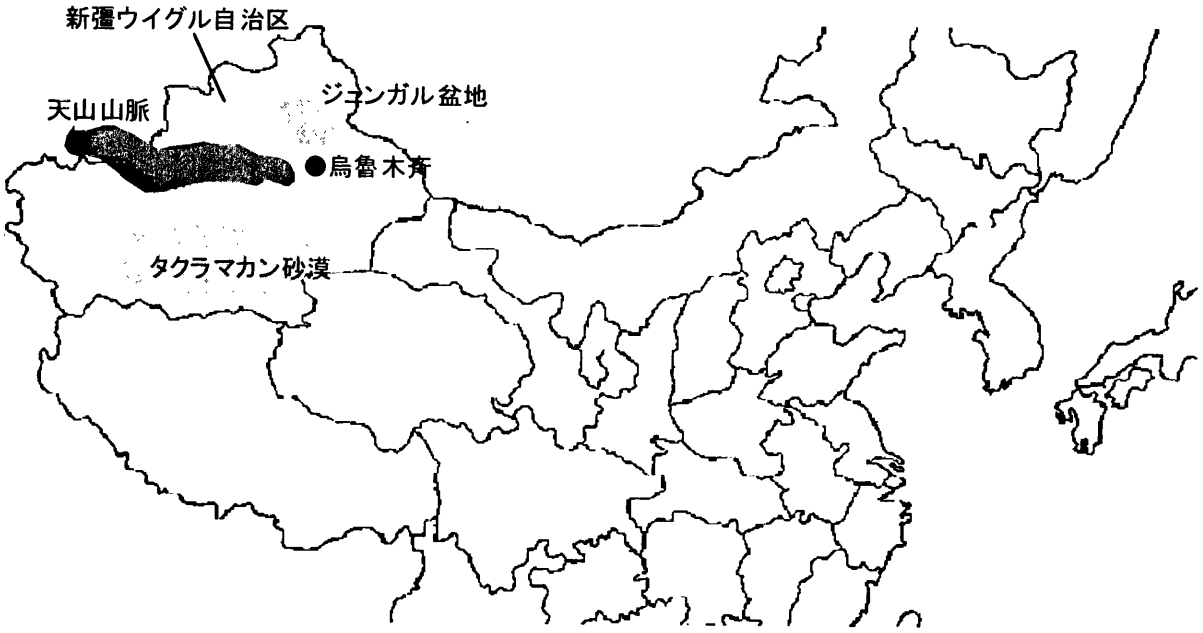

図1 新疆ウイグル自治区烏魯木斉の位置

3．結果

烏魯木斉で観測した日平均TSP濃度は、試料数146において算術平均値が334 $\mu g/m^3$、幾何平均値が269 $\mu g/m^3$、日平均値の最大値が1552 $\mu g/m^3$、最小値が69 $\mu g/m^3$であった。また国家第一級環境基準に相当する150 $\mu g/m^3$ を超過する観測値は全体の79%に及んだ。

表1にTSPおよび各成分の月平均濃度の全測定結果、算術平均値(Ave)、標準偏差(SD)、変動係数(CV)、最大値(Max)および最小値(Min)を示した。原子吸光法(AAS)および中性子放射化分析法(INAA)で同時に測定した元素濃度は、Cuを除いて良い一致を示した。

変動係数CVが100%を越えた成分は、SO_4^{2-}、 NO_3^-、Cl^-、B(a)P、 AsおよびLuであり、大気中濃度の季節変化が大きいものであった。これらはいずれも冬季に濃度が高くなる傾向が見られた。

図2 にはTSP 濃度の季節変化を示した。TSP 濃度の水準は全般に高いが、冬季に著しく上昇し、国家第三級環境基準に相当する500 $\mu g/m^3$を越える値が観測された。北京や蘭州など中国北部の都市は、黄砂発生の影響により春季にも濃度ピークが観測されるが、烏魯木斉は黄砂発生地帯の風上にあたるため、冬だけに濃度が上昇する1峰型の季節変化を示すと考えられる。

次に大気エアロゾル中の各成分を、季節変化の傾向からグループ分けすることを試みた。季節変化の傾向から次の4 つのグループに分類できた。

(1) 冬季(12～1月) に明瞭な濃度ピークが観測された成分: SO_4^{2-}、 NO_3^-、Cl^-, TC, EC, OC, B(a)P, V, Co, Zn, Ni, Cd, Pb, Cl, As, La, Sb, Sm, Ag, Ba, Cr, Sc, Thおよび Se。 これらは主として冬季に消費量が増大する石炭の燃焼排出物に由来すると考えられる。また希土類元素が含まれているのが特徴的である。図3にSO_4^{2-}、TCおよびAsの季節変化を示した。

表1 中国烏魯木斉市の大気エアロゾル成分測定結果

単位：$\mu g/m^3$ (BaP：ng/m^3)

	TSP	SO4	NO3	Cl^-	TC	EC	OC	BaP
Apr.91	189	10.1	2.6	2.8	44.8	34.6	10.3	9.3
May	257							
Jun	184	6.3	1.9	1.4	30.3	22.0	8.3	2.7
Jul	242	6.2	2.0	2.2	29.9	22.1	7.8	2.4
Aug	149	5.5	2.1	1.3	30.3	22.3	8.0	3.1
Sep	329	8.2	3.1	1.6	42.5	31.4	11.1	3.2
Oct	254	10.8	5.3	5.3	64.2	48.5	15.7	10.0
Nov	636	41.2	16.0	19.1	145.6	108.3	37.3	38.2
Dec	444	49.5	7.7	17.5	147.7	114.7	33.0	39.9
Jan.92	891	189.0	30.0	24.3	252.9	184.6	68.2	104.8
Feb	481	76.7	24.0	11.5	148.1	119.7	28.5	38.2
Mar	363	132.0	11.0	6.9	66.2	50.7	15.4	15.4
Apr	286	11.6	3.8	3.0	60.6	44.9	15.7	14.5
May	285	9.1	2.9	3.7	34.2	25.5	8.7	5.7
Jun	162	5.5	2.3	1.3	29.7	22.0	7.7	4.6
Jul	188	4.9	1.8	0.7	22.9	16.8	6.1	1.9
Aug	154	5.0	1.3	0.8	28.6	21.5	7.1	2.9
Sep	169	5.9	2.4	2.9	37.7	28.9	8.8	5.0
Oct	351	13.4	5.9	8.4	91.2	69.6	21.6	18.5
Nov	435	28.3	7.6	16.2	89.3	59.7	29.6	44.3
Dec	574	48.5	11.4	14.7	120.6	66.1	54.5	62.7
Ave	334	33.4	7.3	7.3	75.9	55.7	20.2	21.4
SD	189	49	7.9	7.3	59.9	44.3	17.1	26.5
CV(%)	57	146	109	100	79	80	85	124
Max	891	189.0	30.0	24.3	252.9	184.6	68.2	104.8
Min	149	4.9	1.3	0.7	22.9	16.8	6.1	1.9

*1991年5月は欠測値

表1 中国烏魯木斉市の大気エアロゾル成分測定結果

測定法：原子吸光法（AAS）

単位：ng/m^3

	V	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb
Apr.91	20	100	3500	6	136	110	9	1	110
May									
Jun	11	140	4400	3	95	60	4	2	130
Jul	12	170	5500	3	83	130	8	1	80
Aug	9	110	3400	2	50	70	4	1	140
Sep	19	220	7400	5	41	170	10	1	100
Oct	17	170	5400	4	56	190	12	2	120
Nov	47	320	11600	11	137	640	33	3	360
Dec	39	180	5500	9	70	610	27	4	240
Jan.92	74	330	9800	19	175	940	55	7	420
Feb	43	150	7800	11	89	230	34	3	220
Mar	22	200	5600	6	60	490	14	1	90
Apr	21	230	1200	3	49	250	11	1	120
May	13	230	1400	4	40	150	7	1	140
Jun	9	130	1600	1	39	160	5	1	170
Jul	8	130	3400	2	41	120	6	1	70
Aug	9	110	3100	2	46	100	5	5	80
Sep	8	110	3200	2	44	140	6	1	150
Oct	23	230	6300	5	86	420	14	2	170
Nov	33	190	5600	8	97	450	28	3	200
Dec	44	290	16800	11	180	910	35	4	270
Ave	24	187	5625	5.9	80.7	317	16.4	2.2	169
SD	18	69	3757	4	45	273	14	2	94
CV(%)	73	37	67	77	55	86	86	77	55
Max	74	330	16800	19	180	940	55	7	420
Min	8	100	1200	1	39	60	4	1	70

*1991年5月は欠測値

表1 中国烏魯木斉市の大気エアロゾル成分測定結果

測定法：放射化分析（INAA）

単位：ng/m^3

	Al	Br	Ca	Cl	Cu	Mn	Ti	V	As
Apr.91	13000	18	10000	4400	240	130	700	20	26
May									
Jun	17000	20	8900	2300	230	170	400	13	12
Jul	17000	20	14000	3900	200	170	420	19	11
Aug	12000	20	7500	1700	100	120	510	10	11
Sep	19000	30	19000	2200	200	210	1100	24	15
Oct	15000	20	13000	7100	100	140	780	20	28
Nov	23000	29	33000	15000	250	310	1100	59	130
Dec	24000	20	24000	17000	200	220	870	64	150
Jan.92	29000	20	45000	22000	400	390	1900	100	280
Feb	19000	20	18000	10000	200	220	960	58	190
Mar	13000	20	17000	5600	200	150	400	28	60
Apr	13000	10	17000	3300	100	200	810	27	23
May	14000	20	18000	4000	100	210	750	22	9.3
Jun	8900	10	12000	1300	100	150	550	15	14
Jul	11000	10	17000	1200	100	180	680	18	12
Aug	5900	10	11000	880	110	110	450	11	14
Sep	7000	10	10000	3000	100	130	400	11	16
Oct	13000	20	23000	10000	180	250	820	32	68
Nov	15000	30	31000	15000	170	220	950	48	110
Dec	15000	20	16000	13000	270	280	1100	63	200
Ave	15190	18.9	18220	7144	178	198	783	33.1	69.0
SD	5649	6	9285	6243	79	70	359	24	80
CV(%)	37	34	51	87	45	35	46	73	116
Max	29000	30	45000	22000	400	390	1900	100	280
Min	5900	10	7500	880	100	110	400	10	9

*1991年5月は欠測値

表1 中国烏魯木斉市の大気エアロゾル成分測定結果

測定法：放射化分析（INAA）

単位：ng/m^3

	K	La	Na	Sb	Sm	W	Ag	Ba	Ce
Apr.91	3300	4.8	3100	3.9	1.3	1.1	1	160	9
May									
Jun	2200	3.9	2700	2.9	1.2	0.9	1	120	8.5
Jul	3400	4.8	2700	2.4	1.3	0.9	1	86	8.9
Aug	2500	4	2000	3.4	0.99	0.75	1	99	7.6
Sep	3900	8	4400	3.2	2.3	2.1	2	300	17
Oct	2700	5.5	3500	4.6	1.7	1.5	1	200	13
Nov	8000	15	6600	11	3.8	1.9	4	400	18
Dec	3600	11	5000	12	3.5	2.5	3	380	15
Jan.92	5100	17	9500	21	5.7	2.6	4	450	18
Feb	4100	14	6700	17	4.3	2	4	400	19
Mar	7000	5.9	27000	6.8	1.7	3	3.7	110	9.7
Apr	3700	5.9	4800	3.8	1.1	2.1	1	170	15
May	3800	4.1	4000	3	0.96	1	1	160	17
Jun	3800	5.8	3500	6.5	1.2	1	1	160	9.8
Jul	3900	5	2900	3.7	1.2	0.99	1	120	10
Aug	3500	3.9	2600	3.4	0.99	1.5	1	130	8
Sep	3200	4.6	2700	4.5	0.94	1.5	0.9	140	9.2
Oct	7100	12	7100	10	2.7	4.1	2.3	360	24
Nov	4400	15	7300	12	3	4.2	2.2	400	24
Dec	6400	15	7000	33	4.2	5.4	2	420	34
Ave	4280	8.3	5755	8.4	2.2	2.1	1.9	238	14.7
SD	1613	4.7	5412	7.8	1.4	1.3	1.2	131	6.9
CV(%)	38	56	94	92	64	62	63	55	47
Max	8000	17	27000	33	6	5	4	450	34
Min	2200	4	2000	2	1	1	1	86	8

*1991年5月は欠測値

表1 中国烏魯木斉市の大気エアロゾル成分測定結果

測定法：放射化分析（INAA）

単位：ng/m^3

	Co	Cr	Cs	Fe	Hf	Lu	Sc	Se	Th	Zn
Apr.91	3.6	20	1.1	4900	0.96	0.055	2.1	1.8	1.8	170
May										
Jun	2.2	8.9	1.1	6300	0.69	0.051	1.8	2	1.6	150
Jul	2.8	11	1.3	6300	0.99	0.071	2.2	1	1.9	120
Aug	2.9	11	1.3	5100	0.55	0.067	1.5	1	1.3	170
Sep	4	22	1.8	11000	1.5	0.12	3.7	2	3.2	210
Oct	5.5	17	1.7	6800	0.8	0.09	2.7	2	2.1	250
Nov	11	36	3.2	14000	1.9	1.9	5	4.6	4.4	560
Dec	9.5	24	3.4	7700	1.6	1.6	3.8	3	3.1	500
Jan.92	13	31	3.3	11000	1.7	1.7	6.4	3	3.7	750
Feb	12	32	3.1	8800	1.4	1.4	5.2	3	4.2	520
Mar	4.5	14	1	4200	0.72	0.72	2.4	3.2	2.6	230
Apr	2	20	1.3	5200	0.93	0.087	2	1	1.6	120
May	1.7	18	0.94	3000	0.88	0.078	1.3	1	2	77
Jun	3.6	16	6	6100	0.6	0.06	1.7	1.1	0.99	150
Jul	2.5	14	2.7	6100	0.64	0.054	1.8	0.8	1.3	120
Aug	3	11	2.1	5600	0.49	0.044	1.6	1	0.82	140
Sep	4.5	14	2	6400	0.56	0.044	1.7	0.8	1.1	180
Oct	10	26	4.7	13000	1.2	0.11	4.2	2.3	2.5	430
Nov	14	26	6.2	9900	1.5	0.2	4.4	3.3	2.4	550
Dec	25	42	6.6	14000	2.3	0.24	6.8	3.2	3.2	1100
Ave	7	20.7	2.7	7770	1.1	0.4	3.1	2.1	2.3	325
SD	5.9	9.1	1.8	3295	0.52	0.65	1.7	1.1	1.1	266
CV(%)	86	44	67	42	47	149	55	54	46	82
Max	25	42	7	14000	2	2	7	5	4	1100
Min	2	9	1	3000	0	0	1	1	1	77

*1991年5月は欠測値

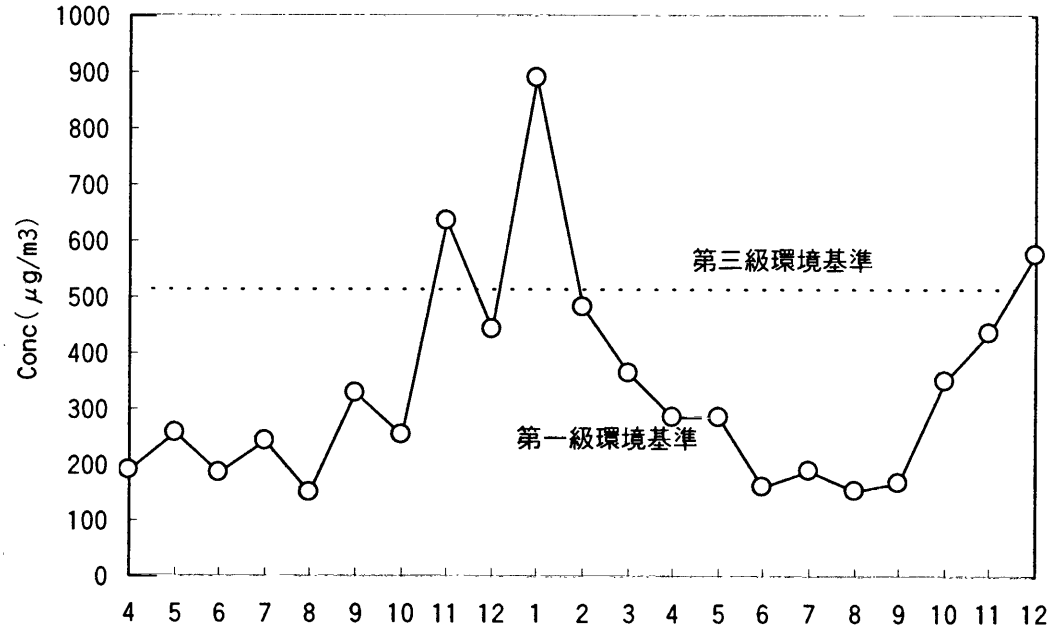

図2 烏魯木斉における大気中浮遊粉じん (TSP)濃度の季節変化

(2) 冬季に高濃度になる傾向を示す成分: Mn, Fe, Cu, Al, CaおよびTi。これらは石炭燃焼以外にも発生源を有すると考えられる元素群であり、砂塵、建築粉じん、巻き上げ粉じん等の土壌粒子ではないかと考えられる。図4には代表的な例として、Mn, Fe および Al の季節変化を示した。

(3) 顕著な季節変化を示さない成分: W, Ce, Cs およびHf. 図5にCeの経時変化を示した。

(4)季節変化に規則性のないもの: Br, K, NaおよびLu。この中で、図6に示したLuは、1991年11月から1992年3月まで 特異的な濃度上昇を示した。その理由は不明である。

次に各元素の人為的発生源からの影響を調べるために(1)式で定義する地殻濃縮係数(Enrichment Factor, E.F.)を求め、図7 に示した。

$$E.F. = [X/Sc]_{air} / [X/Sc]_{crust} \quad \cdots(1)$$

分子の$[X/Sc]_{air}$は大気中の元素XとAlの濃度比、分母の$[X/Sc]_{crust}$は地殻中の元素XとAlの存在量比 (Taylor[14]) を示す。Fe～Baまでの元素はE.F.値が10以下であり、それら大気中濃度に対して土壌粒子が大きく寄与していると考えられる。Luは高濃度時のみE.F.値が10を超えており、何らかの人為的発生源の影響を受けたと考えられる。CuからClまでの成分は、明らかに人為的発生源由来の元素と考えられ、季節変化で(1)のグループに属したことから、石炭燃焼排出物を主たる発生源とし、一部局所的な工業に由来する元素群であると考えられる。

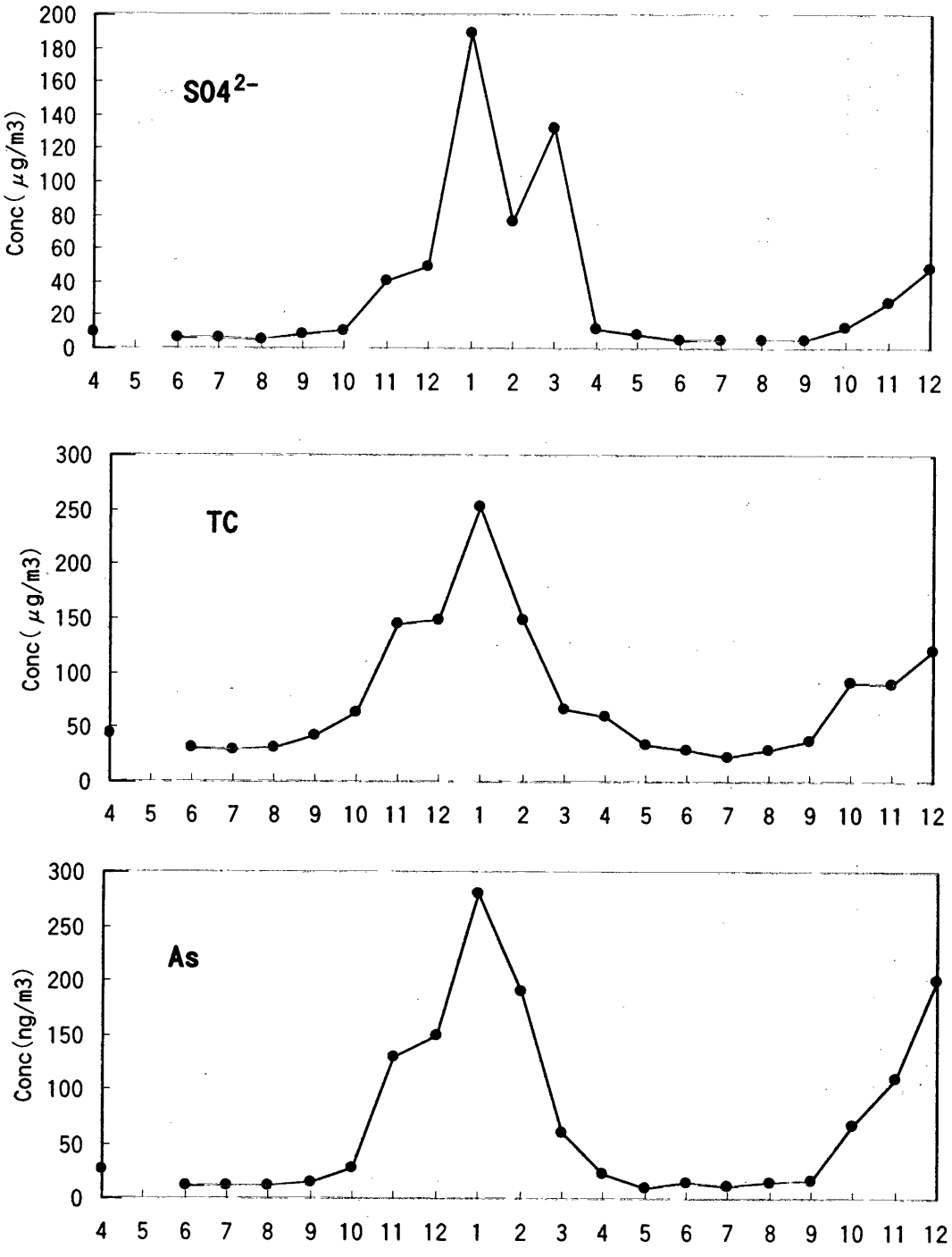

図3 烏魯木斉における大気中 SO_4^{2-}、TC およびヒ素濃度の季節変化

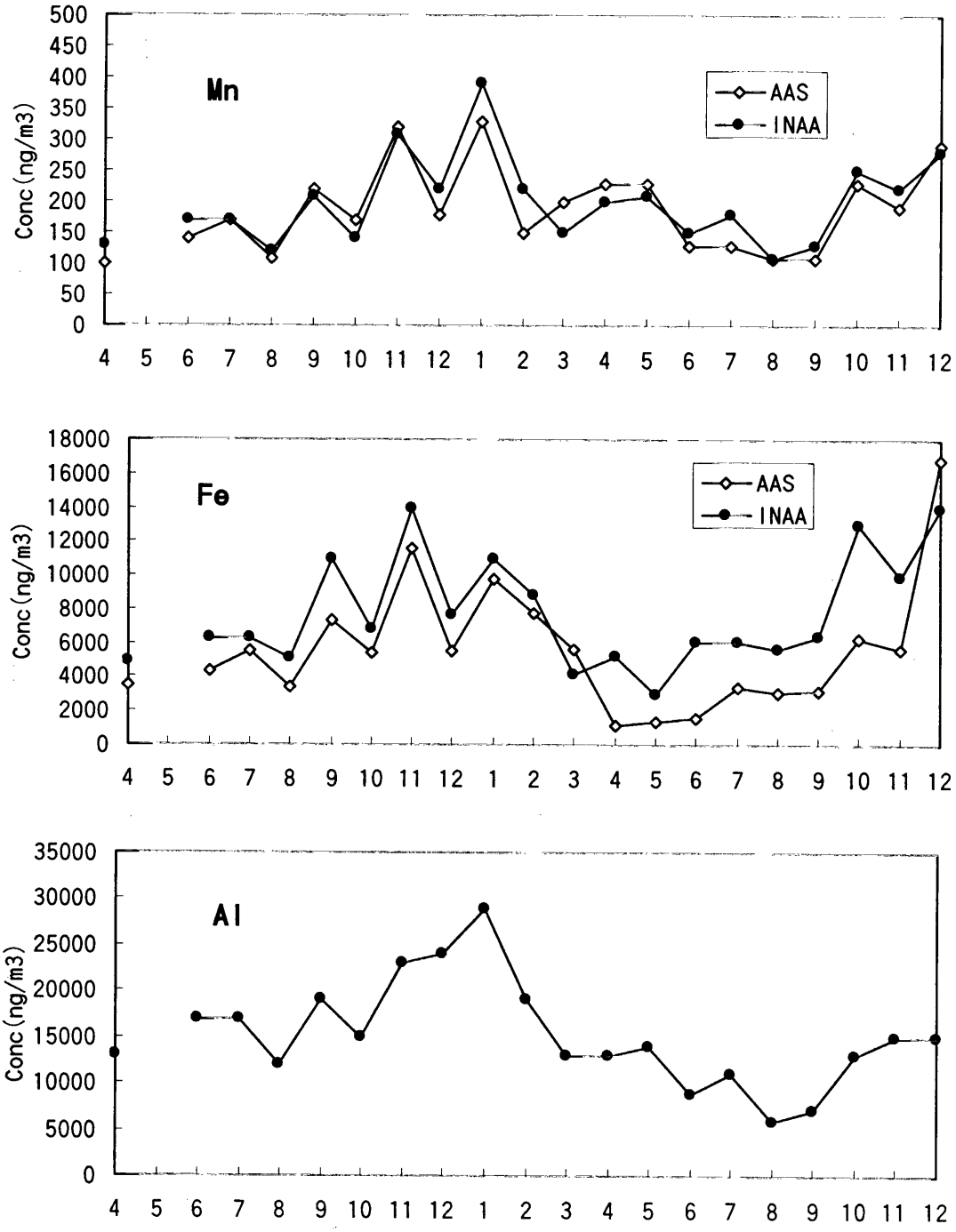

図4 烏魯木斉における大気中マンガン、鉄およびアルミニウム濃度の季節変化

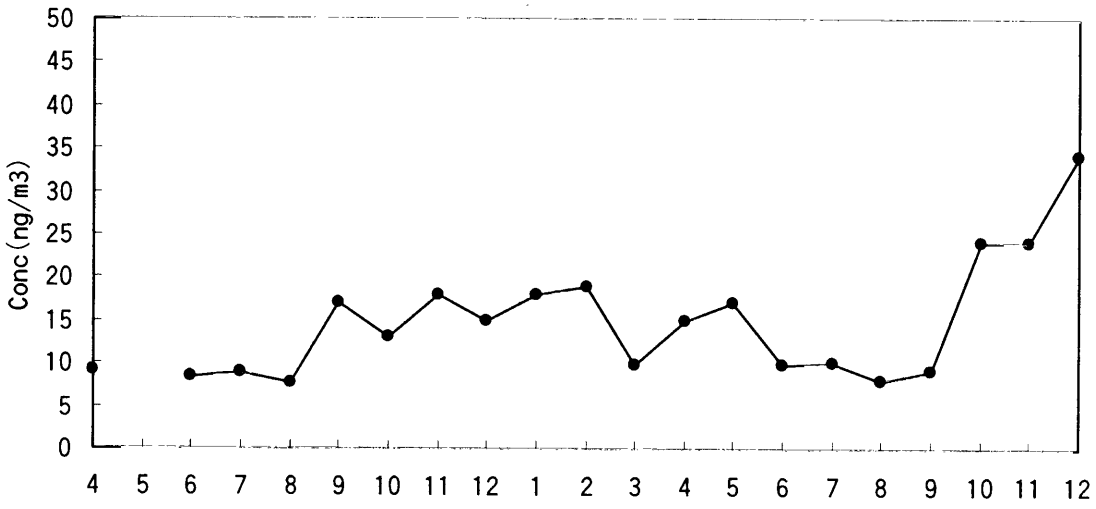

図5　烏魯木斉における大気中セリウム濃度の経時変化

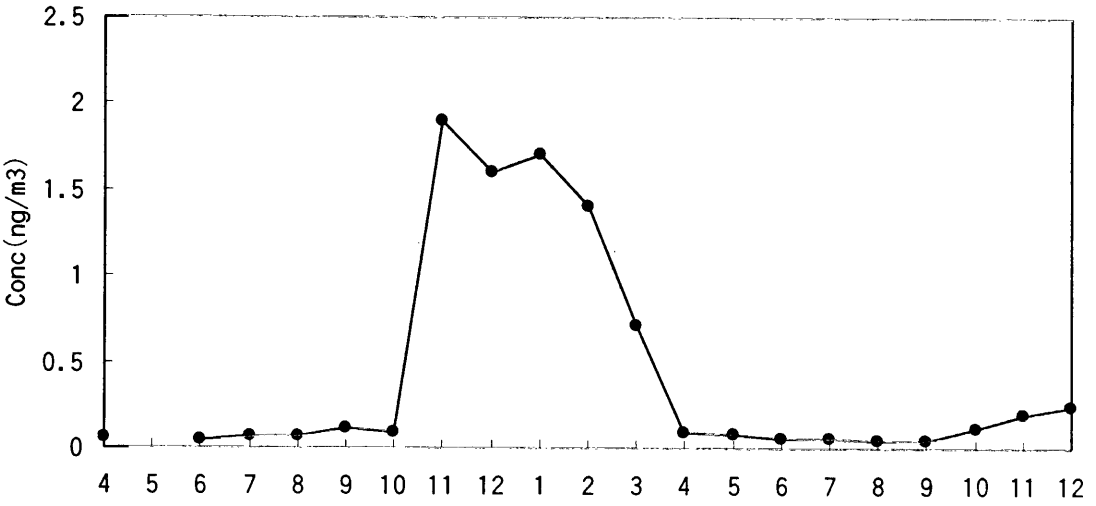

図6　烏魯木斉における大気中ルテチウム濃度の季節変化

これらの元素のE.F.値は10^2レベルであり、都市型大気汚染を示すWashington D.C.（Kowalczyk et al.[15]）やBoston(Hopke et al.[16])あるいはSeoul(Hashimoto et al.[7])の10^3レベルに比べて一桁低くなった。これは、砂塵（土壌粒子）による希釈効果(Dilution effect)によるものと思われ、烏魯木斉のTSP濃度に対して土壌粒子も一定の影響を与えていることを示唆するものである。

以上の結果から、烏魯木斉のTSP濃度に対して、石炭燃焼排出物の影響が特に強く、その他に局所的な人為的発生源および土壌粒子の影響があることが示唆された。これら大気汚染源について以下考察する。

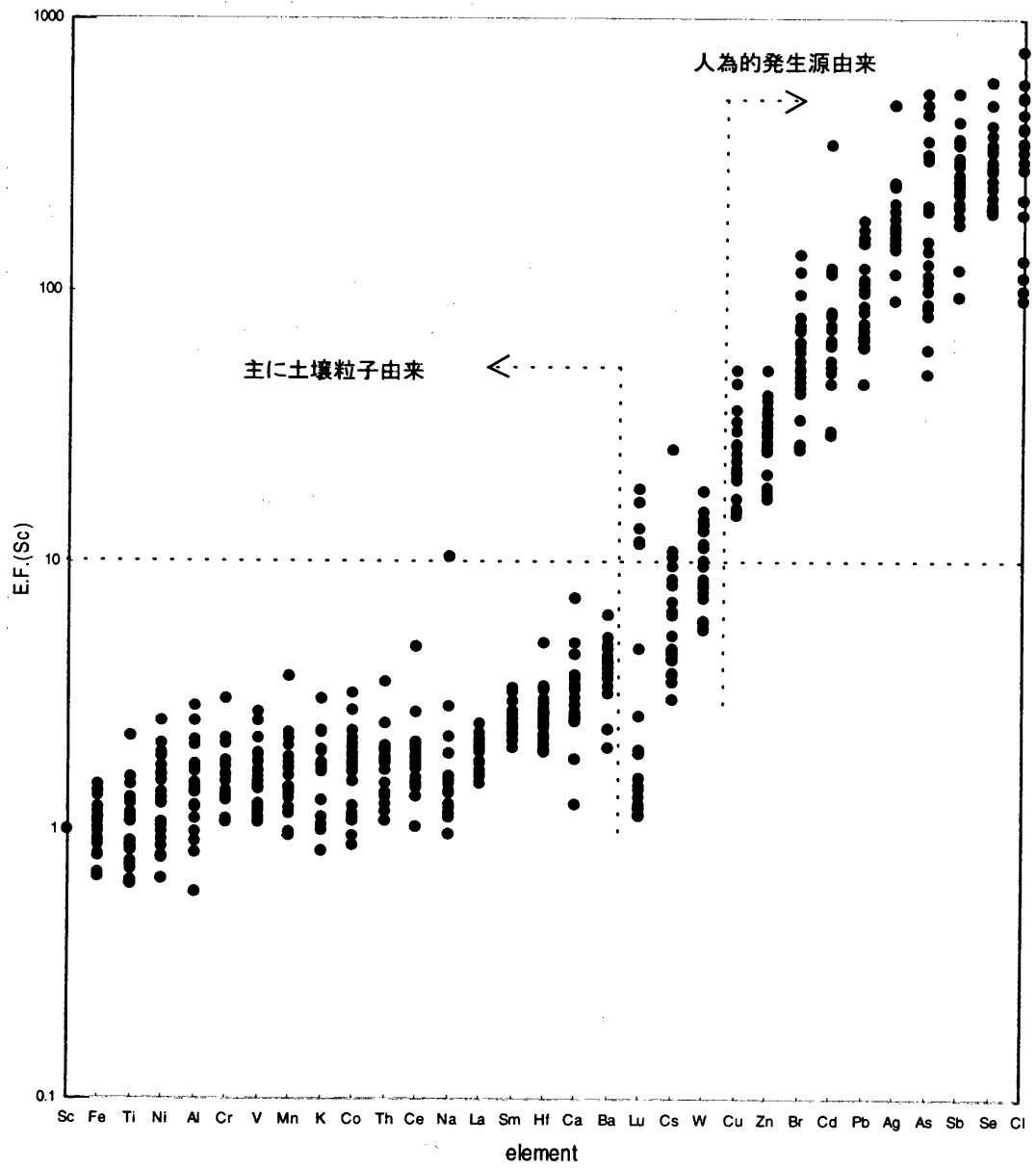

図7 烏魯木斉における大気エアロゾル中微量元素の地殻濃縮係数

4．考察

烏魯木斉の大気エアロゾル中の主要成分として、SO_4^{2-}、 NO_3^-、炭素粒子および土壌粒子の成分組成比を求めた。石炭燃焼排出物の TSP 濃度に対する寄与率は、SO_4^{2-}、 NO_3^-および炭素粒子の合計でほぼ表わされる。

土壌粒子濃度は、大気中のScがすべて土壌粒子由来であると仮定して、大気中Sc濃度（$\mu g/m^3$）を土壌中のSc含有量で割ることで求めた。即ち、

$$[土壌粒子]\ (\mu g/m^3) = [Sc]\ (\mu g/m^3) / 20E\text{-}6 \qquad \cdots (2)$$

但し実際には、石炭中の灰分に由来するScの寄与もあるので、この画分の影響も考慮しておく必要がある。

一方、炭素分析によるTC量には、炭素に結合している窒素、水素、酸素等の量が含まれていないので、炭素粒子濃度は、Stelson[17]に従い、全炭素濃度を1.3倍することで求めた。即ち、

$$[炭素粒子]\ (\mu g/m^3) = [TC]\ (\mu g/m^3) \times 1.3 \qquad \cdots (3)$$

図8には1991年7月、1992年1月および全観測値の平均における主要成分の組成比を示した。夏季は、土壌粒子が45%を占め、石炭燃焼排出物の寄与率は20%であった。一方冬季は、炭素粒子だけで37%、SO_4^{2-}が21%を占め、石炭燃焼排出物の寄与率は灰分の寄与も含めて60～70%と推定できる。また全観測値平均でも、石炭燃焼排出物の寄与率は40%強と考えられ、烏魯木斉の都市大気に対して重大な影響を及ぼしていることがわかった。

石炭燃焼排出物の中には、炭素の不完全燃焼によって生成する多環芳香族炭化水素類が含まれる。その代表が、発がん性が指摘されるB(a)Pである。烏魯木斉のB(a)P濃度は、1.9～104.8 ng/m³であり、平均値は21.4 ng/m³であった。1991年度国設大気測定網の測定結果[18]によると、日本の各都市のB(a)P年平均濃度は、東京1.01 ng/m³、大阪1.75 ng/m³、川崎1.78 ng/m³、筑波0.25 ng/m³であり、烏魯木斉は日本各都市の20倍～100倍程度の濃度レベルにある。またロンドンスモッグ事件当時(1950年頃)のロンドンでは21～147 ng/m³という数字が残されており（Waller, 1952）、烏魯木斉の濃度レベルは極めて深刻である。また大気中B(a)P濃度は、有機炭素OC濃度に対して(4)式のように高い相関関係が見られた。

$$[B(a)P]\ (ng/m^3) = 1.5[OC]\ (\mu g/m^3) - 9.3 \quad (r=0.98) \qquad \cdots (4)$$

B(a)Pも有機炭素の一成分であるが、その他にも発がん性や変異原性を有する有機化合物が含まれている可能性が高い。健康影響の観点からその他の有機化合物のスクリーニングは重要な課題になると思われる。

烏魯木斉の自動車用ガソリンには、オクタン価を上げるためPbが微量（0.03mg／l以下）添加されており、Pbが自動車排出粒子の指標元素になると思われる。表1には、烏魯木斉における大気エアロゾル中のPb/Zn比を示した。暖房期（11-3月）の値が0.47±0.25であったのに対して、非暖房期は0.95±0.55であり、有意な差が見られた（有意水準1%）。発生源試料中のPb/Zn比と比較すると、ほとんどの試料では非暖房期の値より低く、PbがZnよりも多く含まれている試料は、有鉛ガソリンを燃料とする自動車の排出粒子のみであった。すなわち大気エアロゾル中のZn濃度に対してほぼ同程度の濃度レベルでPbを存在させる影響力を持つ発生源は有鉛ガソリン自動車の排出粒子のみであり、有鉛ガソリンの使用が烏魯木斉の大気質に対して一定の影響を与えていることを示唆する。一方、暖房期には、石炭燃焼排出物からの寄与率が増加するため、PbおよびZnの濃度レベルが増加すると

同時に、Pb/Zn 比が低下したと考えられる。尚、有鉛ガソリンの影響を調べるには、Pb の掃鉛剤として添加される Br との濃度比あるいは相関を用いる方が適当であるが、大気エアロゾル分析において他の共存物質の影響から Br が感度よく分析できなかったため、今回の解析には用いなかった。

表２　環境試料中のPb/Zn比の比較

試料	Pb/Zn
烏魯木斉大気エアロゾル	
11-3月	0.47±0.25
4-10月	0.95±0.55
発生源試料	
有鉛ガソリン自動車排出粒子	92
石油燃焼排出物	0.83
土壌粒子	0.39
鉄鋼工業	0.27
石炭燃焼排出物	0.08
ディーゼル自動車排出粒子	0.039
焼却炉燃焼灰	0.0023

以上の結果から、烏魯木斉の TSP 濃度に対しては、石炭燃焼排出物および土壌粒子の寄与が比較的大きく、主たる汚染源であることが定量的にわかった。土壌粒子には、裸山や砂漠地帯からの飛来砂塵のほか建築粉じんや自動車等による巻き上げ粉じんも含まれると考えられる。飛来砂塵の影響を遮断するのは極めて困難であり、植林や防砂林の設置等の措置は即効性が期待できない。むしろ烏魯木斉市民の飛来砂塵との付き合いは長く、いわゆる生活習慣の中である程度の対処がなされてきたと想像される。従って、これに加わる建築粉じんや巻き上げ粉じんに対する対策が必要である。一方、石炭燃焼排出物の影響は深刻であり、（１）燃焼効率の改善による炭素粒子の削減、（２）脱硫による SO_2 排出量の削減（$=SO_4^{2-}$ 濃度の低減）が必要である。

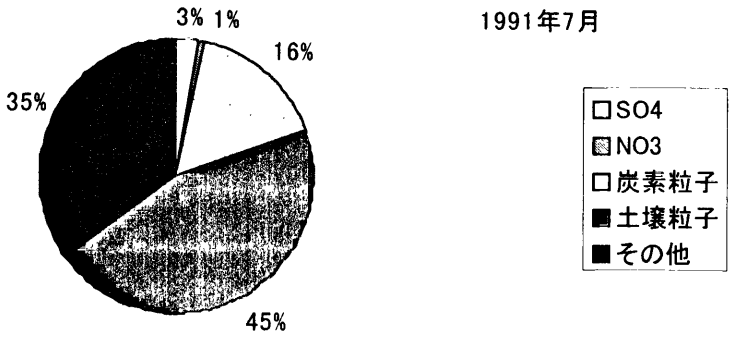

図８ 烏魯木斉の大気エアロゾル中主要成分の組成比

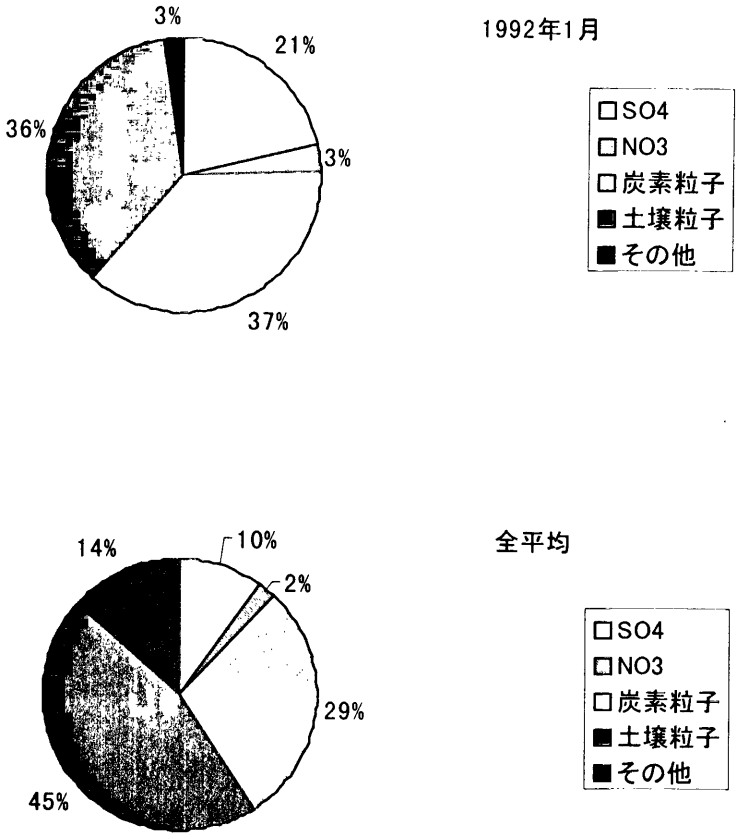

図8 烏魯木斉の大気エアロゾル中主要成分の組成比（続）

5．結論

中国新疆ウイグル自治区烏魯木斉において採取した大気エアロゾル粒子の微量成分分析を行い、以下の結論を得た。

・TSP 濃度の水準は全般に高く、国家第三級環境基準に相当する 500 $\mu g/m^3$ を越える値が観測された。また冬季に著しく濃度上昇する 1 峰型の季節変化を示した。

・大気エアロゾル中の各成分は、TSP と同様に冬季に明瞭な濃度ピークを有するものが多く、石炭燃

焼排出物が主たる発生源と推定された。

・大気エアロゾル中の主要成分組成を求めた結果、石炭燃焼排出物の寄与率は、全観測値平均で約40%、冬季には60～70%程度であると推定された。

・大気エアロゾル中のPb/Zn比を発生源試料中の値と比較した結果、有鉛ガソリンを燃料とする自動車排出粒子の影響が示唆された。

参考文献

[1]Mega D. et al. (1996) Urban air pollution in megacities of the world, Atmos. Environ., 30, 681-686.

[2]Zhao D., Xiong J., Xu Y. and Chan W.H. (1988) Acid rain in southeastern China, Atmos. Environ., 22, 349-358.

[3]Florig K. (1997) China's air pollution risk, Environ. Sci. & Technol., 31, 274-279.

[4]Tsunogai S., Shinagawa T. and Kurata T. (1985) Deposition of anthropogenic sulfate and Pb-210 in the western North Pacific area, Geochem. J., 19, 77-90.

[5]Sekine Y. and Hashimoto Y. (1991) Long-range transport of airborne particulate pollutants in the eastern Asian area, J. Japan Soc. Air Pollut., 26, 216-226.

[6]Mukai H., Suzuki M. (1996) Using air trajectories to analyze the seasonal variation of aerosols transported to the Oki islands, Atmos. Environ., 30, 3917-3934.

[7]Hashimoto Y., Kim H.K., Otoshi T. and Sekine Y. (1991) Monitoring of atmospheric aerosol components by neutron activation analysis in Seoul, Korea, April 1987-March 1989, J. Japan Soc. Air Pollut., 25, 313-323.

[8]Sekine Y., Hashimoto Y., Nakamura T., Chen Z.L. and Mitsuzawa S. (1992) Characterization of atmospheric aerosol components at Beijing, China, J. Japan Soc. Air Pollut., 27, 237-245.

[9]Sekine Y., Hashimoto, Y. (1995) Atmospheric fingerprints of east Asia, 1986-1992, An record of aerosol analysis by the JACK network, Proc. of 10th World Clean Air Congress, Vol. 2, 296.

[10] 関根嘉香, 大歳恒彦, 北原滝男, 宋殿棠, 橋本芳一(1998)中国瀋陽市の大気中粒子状汚染物質の成分分析, KEO discussion paper, No. 9, 慶応義塾大学産業研究所.

[11]中国環境年鑑編集委員会(1997)1997年度中国環境年鑑, 中国環境年鑑社, 北京.

[12]Matsushita, H., Shiozaki, T., Kato, Y., Goto, S. (1981)分析化学, 30, 362-368.

[13]環境庁大気保全局編(1987)大気汚染物質の測定法指針, 環境公害新聞社, 東京.

[14]Taylor S.R. (1964) Geochim, Cosmochim. Acta, 28, 1273.

[15]Kowalczyk G.S., Choquette C.E. and Gordon G.E. (1978) Chemical element balances and identification of air pollution sources of Washington D.C., Atmos. Environ., 12, 62-65.

[16]Hopke P.K., Gladney E.S., Gordon G.E., Zoller W.H. and Jones A.G. (1976) The use of multivariate

analysis to identify sources of selected elements in Boston urban aerosol, Atmos. Environ., 10, 1015-1025.
[17]Stelson, A.W., Seinfeld, J.H. (1981)Environ. Sci. and Technol., 15, 671-679.
[18]日本環境衛生センター(1992)国設大気測定網(NASN)浮遊ふんじんおよび浮遊粒子状物質分析結果報告書, 日本環境衛生センター.