

3. 調査の結果

3.1 飛来状況

1) 浮遊粉じん濃度

調査地点・調査日毎の浮遊粉じん濃度の一覧表を作成し、最大、平均を算出し、その結果を表-2に示す。また、各測定地点の浮遊粉じん濃度平均値を図-2に示す。本調査で浮遊粉じん濃度が最も高かったのは、2004年3月11日の巻で $233\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。本調査を実施した測定日においては、長崎、太宰府及び巻の測定値は、調査期間を通じて平均値よりも高いことが多かった。ついで、つくばについても平均値よりも高濃度となる日が多かった。同一調査日でみると、西日本（長崎、太宰府、松江）の方が東日本よりも、日本海側（巻）の方が太平洋側よりも浮遊粉じん濃度が高くなる傾向がみられた。立山は、長崎、太宰府、巻及び松江同様に日本海側に位置するが、調査期間中において平均値よりも高い日は少ない。これは、測定地点の標高が高く、市街地の大気汚染物質の混入が少ないこと、また調査期間中雪に覆われている期間があり、周辺土壌を巻き上げる可能性が少ないことなどに起因すると考えられる。

また、各調査日の浮遊粉じん濃度をみると、2004年3月10日、11日、31日及び5月7日、2005年4月21日、2006年3月11日において、全国的に高濃度となっている。これは黄砂飛来の結果と併せてみると、比較的規模の大きな黄砂の飛来があり、これを捕捉した結果と考えられる。浮遊粉じん濃度を調査日別、地点別に図-3に棒グラフで表す。

2) 浮遊粒子状物質（SPM）濃度

観測地点付近の大気環境測定所における本調査期間中の浮遊粒子状物質（SPM）ⁱⁱⁱ濃度を調べたところ、最も高かったのは、2004年3月11日13時のつくばで $305\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。ただし、この高濃度は、寒冷前線の通過に伴う強風により、局地的な土壌の舞い上がりの影響によるものと考えられる。

韓国では、PM10が向こう2時間に渡って時間平均 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えると予想される場合は、それぞれ黄砂注意報、警報が発令されるが、本調査期間中これらのレベルに達した日はなかった。

なお、本調査期間以前に、大規模な黄砂が観測された際には、SPM濃度が $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることがあったが、本調査期間中に大規模な黄砂は飛来しなかった。

ⁱⁱⁱ 浮遊粒子状物質（SPM = Suspended Particulate Matter）とは、大気中に存在する粒子状物質のうち、粒子の直径（粒径）が $10\mu\text{m}$ （ 0.01mm ）以下の粒子と定義されている。一方、PM10も $10\mu\text{m}$ 以下の粒子であるが、測定原理上、SPMが $10\mu\text{m}$ を越える粒子が100%カットされているのに対し、PM10は、 $10\mu\text{m}$ の粒子の捕集効率が50%となるように捕集されたものである。日本では環境基準をSPMで定義しており、韓国ではPM10を採用している。

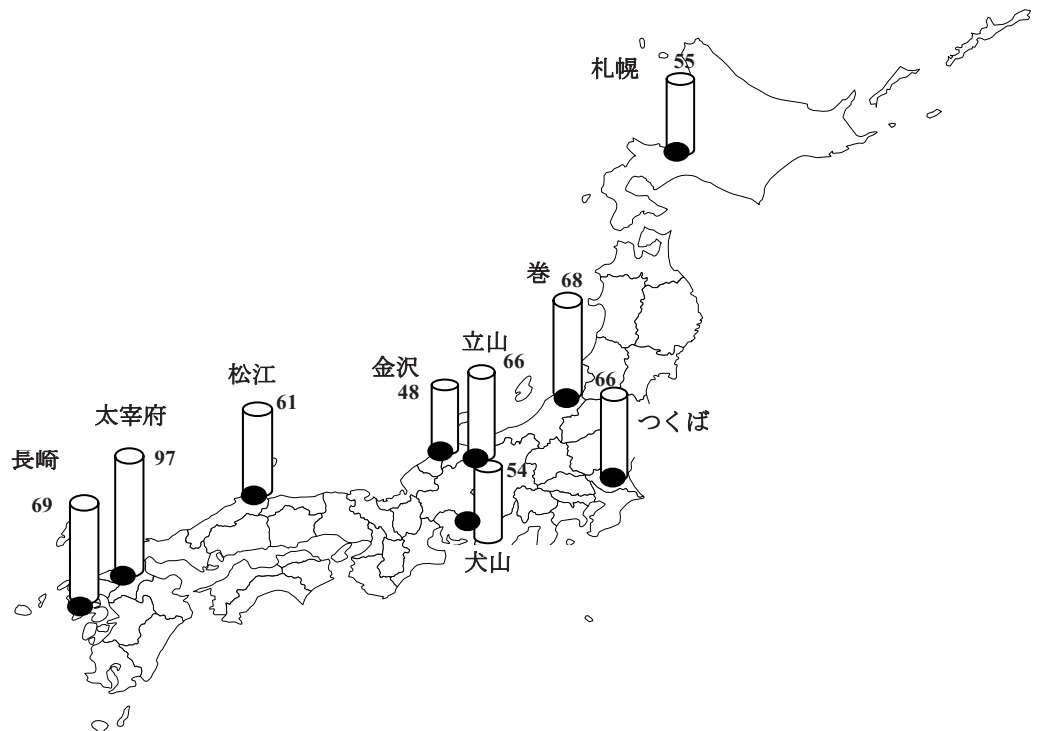
表－２ 浮遊粉じん濃度 (μg/m³)

調査開始日	長崎	太宰府	松江	金沢	犬山	立山	巻	つくば	札幌	平均値	最大値
2003年3月25日	71	117	64	×	37	25	46	42	96	62	117
2003年3月30日	68	82	39	×	66	61	48	54	48	58	82
2003年3月31日	64	65	71	×	63	39	33	83	87	63	87
2004年2月24日	50	44	23	×	31	9	52	52	30	36	52
2004年2月25日	71	71	48	×	55	30	62	58	34	54	71
2004年2月26日	62	77	37	×	21	-1.3*	44	53	14	38	77
2004年3月10日	43	100	119	×	61	35	109	NA	166	90	166
2004年3月11日	98	182	122	×	89	188	233	154	142	151	233
2004年3月30日	62	80	68	×	34	58	69	30	66	58	80
2004年3月31日	NA	118	NA	×	73	117	NA	NA	41	88	118
2004年4月23日	123	117	66	×	47	37	16	48	25	60	117
2004年4月24日	66	76	29	×	29	NA	21	39	15	39	76
2004年5月7日	74	119	61	×	81	71	118	79	29	79	119
2005年3月18日	51	47	18	29	27	NA	45	82	30	41	82
2005年3月29日	65	103	57	24	31	28	58	29	16	46	103
2005年3月30日	59	75	49	25	48	33	57	27	19	44	75
2005年4月7日	21	NA	68	68	60	127	67	121	33	71	127
2005年4月14日	35	NA	53	40	62	93	64	60	68	59	93
2005年4月21日	95	NA	76	64	92	71	107	52	74	79	107
2005年4月28日	35	NA	34	55	73	78	62	90	93	65	93
2006年3月11日	115	154	117	78	53	87	64	109	50	92	154
2006年3月28日	112	128	71	50	49	70	44	67	38	70	128
平均値	69	97	61	48	54	66	68	66	55	66	
最大値	123	182	122	78	92	188	233	154	166		233

*：捕集後の値からブランクを差し引いた際、値が負になった。

NA：データなし。

網掛け部分：各調査日における平均値よりも高濃度となった数値。



図－２ 浮遊粉じん濃度平均値

図-3 (1) 調査日毎の浮遊粉じん濃度

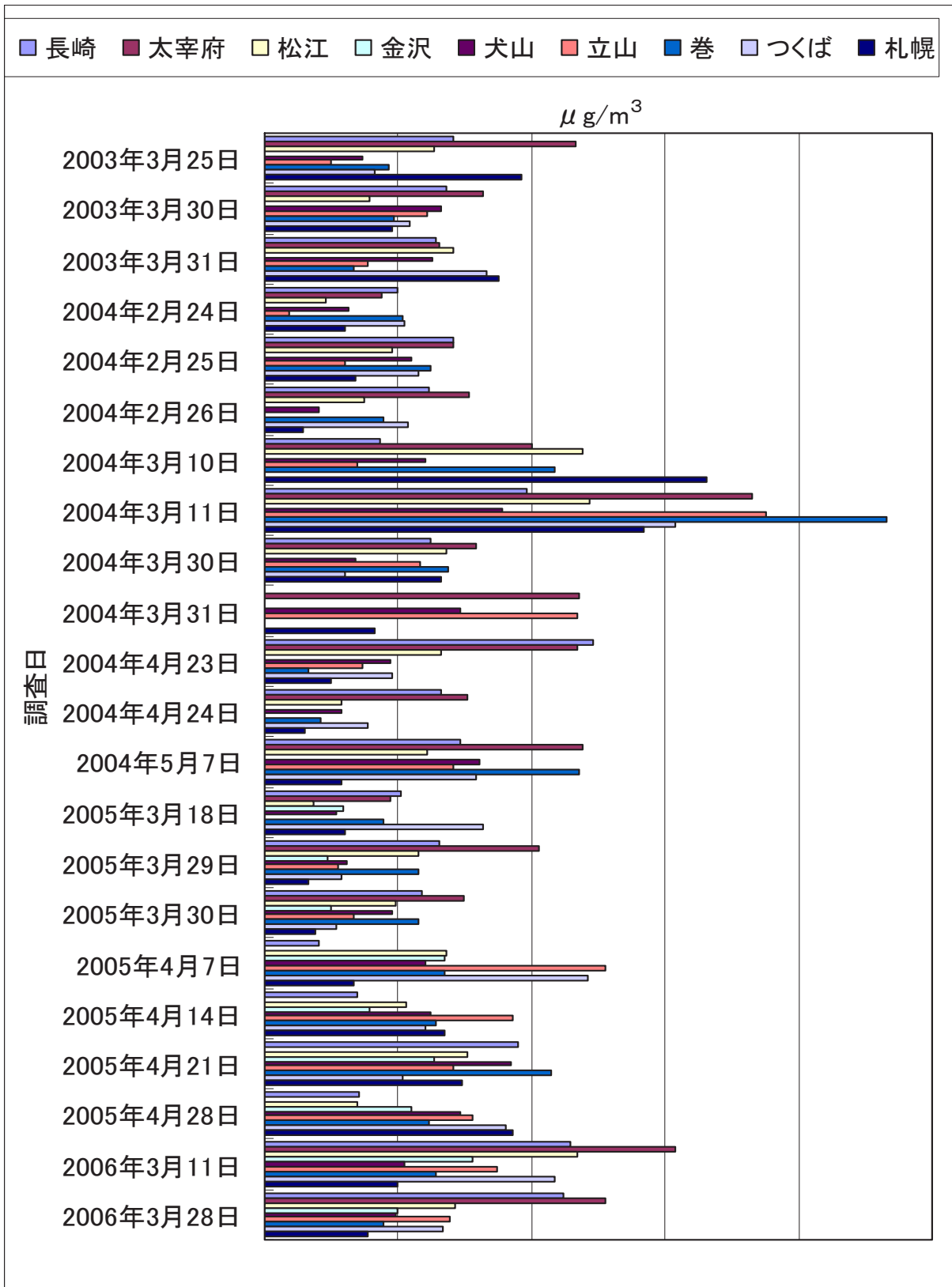
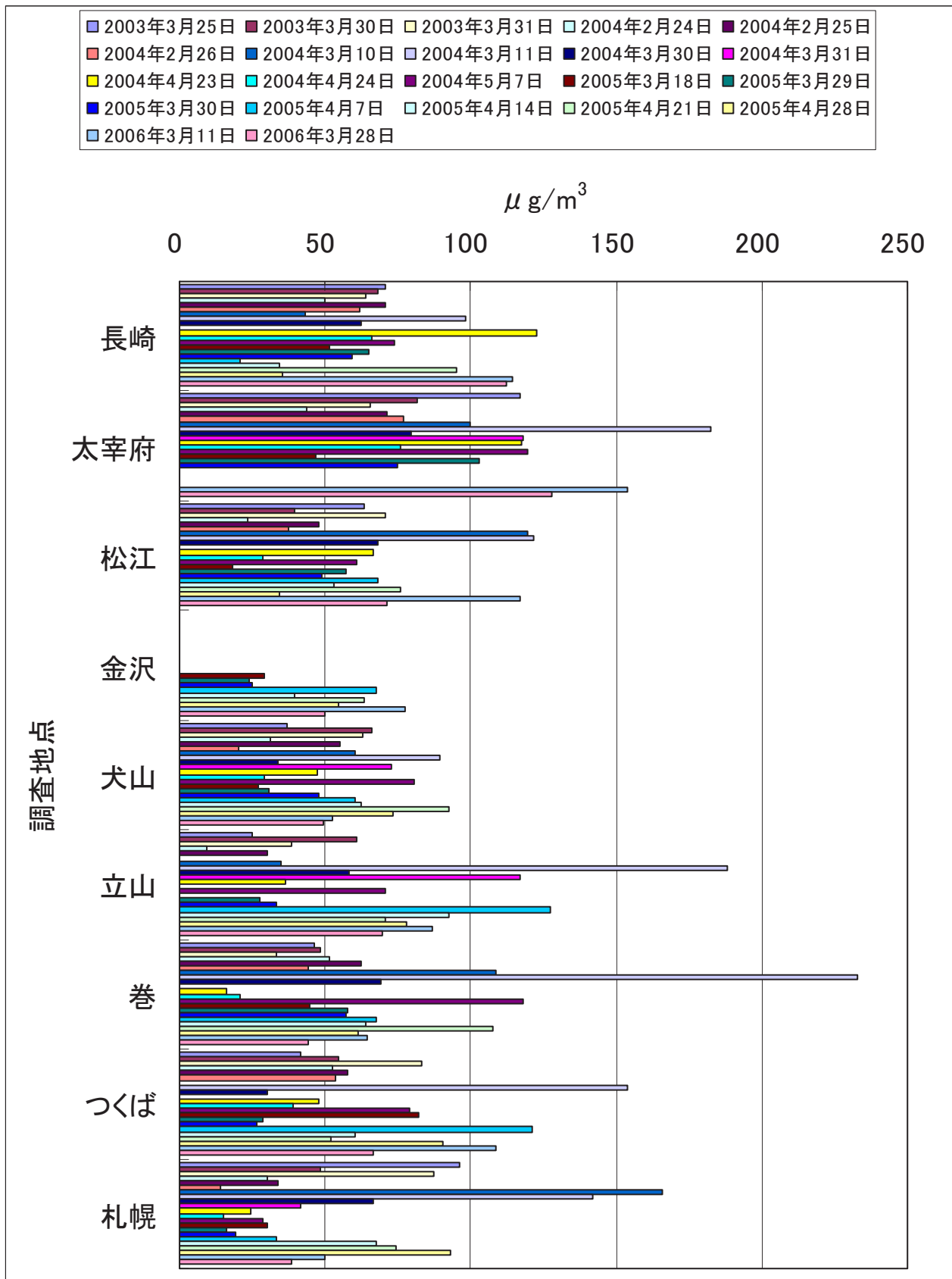


図-3 (2) 調査地点毎の浮遊粉じん濃度



3.2 金属成分及びイオン成分

1) 成分毎の重量濃度

金属成分及びイオン成分の重量濃度について、全ての試料の分析結果の概要を以下に述べる。

Mg 濃度

濃度は、 $0.004\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 3.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は $0.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004年3月11日の巻の試料が最大であった。2004年2月26日の立山の試料が最小であった。

Al 濃度

濃度は、定量下限値 ($0.01\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は $2.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004年3月11日の巻の試料が最大であった。

Ca 濃度

濃度は、定量下限値 ($0.01\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は $1.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004年3月11日の巻の試料が最大であった。

Fe 濃度

濃度は、定量下限値 ($0.01\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から $7.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は $1.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004年3月11日の巻の試料が最大であった。

Sr 濃度

濃度は、定量下限値 ($0.0005\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から $0.055\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は $0.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004年3月11日の巻の試料が最大であった。

Mn 濃度

濃度は、 $0.005 \sim 0.116\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は $0.039\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2006年3月11日の太宰府の試料が最大であった。2005年4月7日の長崎の試料が最小であった。

F⁻ 濃度

濃度は、定量下限値 ($0.009\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から $0.067\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は $0.02\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004年2月25日の犬山の試料が最大であった。

Cl⁻ 濃度

濃度は、定量下限値 (0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から 10.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は 2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004 年 3 月 11 日の巻の試料が最大であった。

NO₃⁻ 濃度

濃度は、定量下限値 (0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から 15.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2003 年 3 月 31 日のつくばの試料が最大であった。

SO₄²⁻ 濃度

濃度は、0.5~28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は 6.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2003 年 3 月 25 日の太宰府の試料が最大であった。2004 年 2 月 25 日の立山の試料が最小であった。

Na⁺ 濃度

濃度は、定量下限値 (0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から 7.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は 1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004 年 3 月 11 日の巻の試料が最大であった。

NH₄⁺ 濃度

濃度は、定量下限値 (0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から 10.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2003 年 3 月 25 日の太宰府の試料が最大であった。

K⁺ 濃度

濃度は、定量下限値 (0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004 年 5 月 7 日の長崎の試料が最大であった。

Mg²⁺ 濃度

濃度は、定量下限値 (0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004 年 3 月 11 日の巻の試料が最大であった。

Ca²⁺ 濃度

濃度は、定量下限値 (0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から 3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2004 年 3 月 11 日の立山の試料が最大であった。

Sr²⁺ 濃度

濃度は、定量下限値 (0.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下から 0.033 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、平均値は、0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2005 年 4 月 21 日の太宰府の試料が最大であった。

2) 成分毎の濃度

平成14年度から17年度の各調査地点の浮遊粉じん濃度及び各分析項目の重量濃度を別表(巻末 別添資料)に示す。併せて、この結果から、各分析項目の濃度の調査日毎に平均したものを図-4に示す。図-4より、本調査中、規模の大きい典型的な黄砂日の2004年3月11日には、他の調査日と比較して、①鉱物由来と考えられる金属元素(Mg、Al、Ca、Feなど)の濃度が特に高いこと、② SO_4^{2-} 濃度が低いこと、③石炭燃焼に由来すると考えられるFについて、他の調査日ではNDとなっている試料が多いがこの日には全国的に検出されていること、等が見られる。他方、同様に黄砂の飛来が示唆される2004年5月7日には、他の調査日と比較して、①鉱物由来と考えられる金属元素濃度が高いものの、② SO_4^{2-} 濃度が比較的高いこと、③ NH_4^+ 、 K^+ が高いこと、④F濃度は検出下限値ぎりぎり程度と検出はされるが濃度が低いこと、等が見られる。なお、この SO_4^{2-} の大部分は、黄砂発源地域の土壤に含まれていたというより、黄砂と同時に飛来した、または、飛来過程で黄砂に吸着されたものと考えられる。なお、本調査期間を通して SO_4^{2-} 濃度が高かったのは2003年3月25日の、長崎、太宰府等の西日本の調査地点であった。

図-4 (1) 調査日毎の金属成分及びイオン成分濃度
(Mg、Al、Ca、Fe)

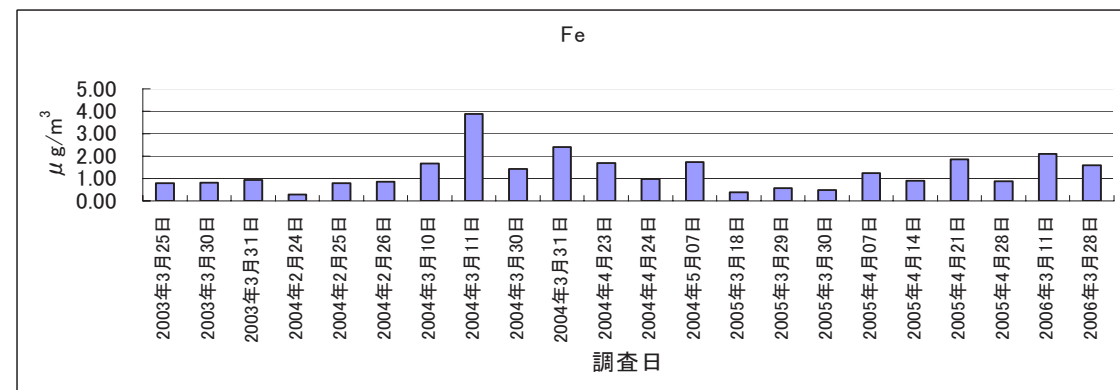
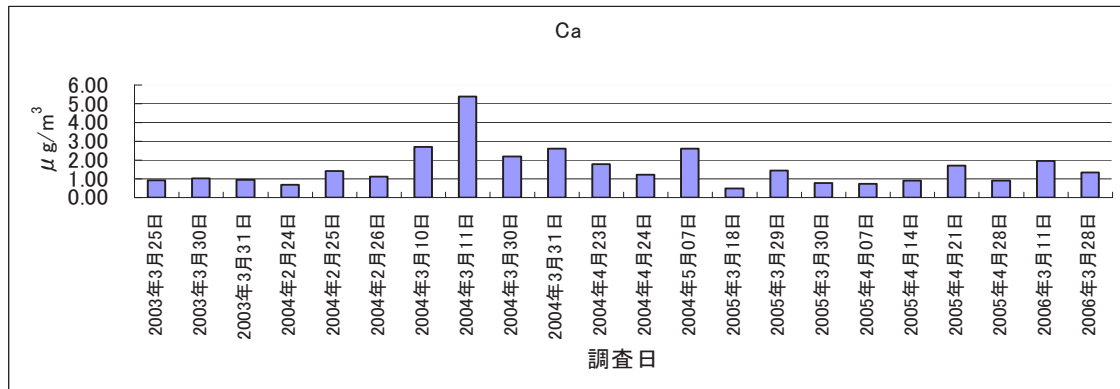
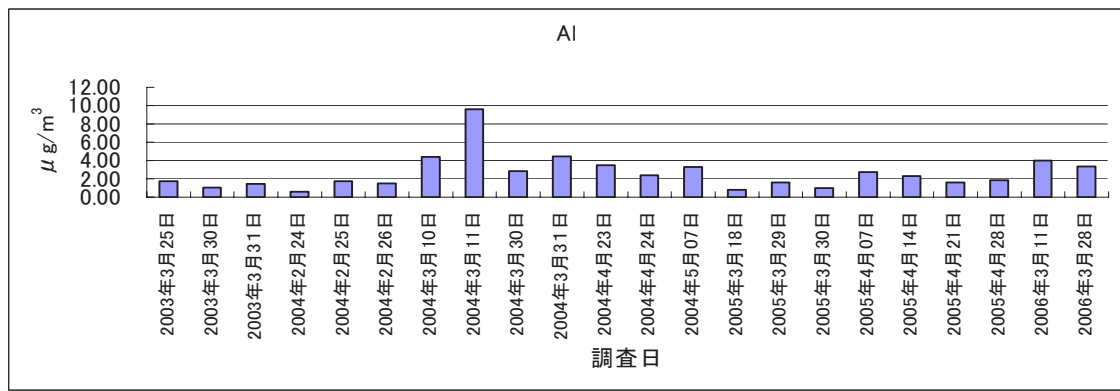
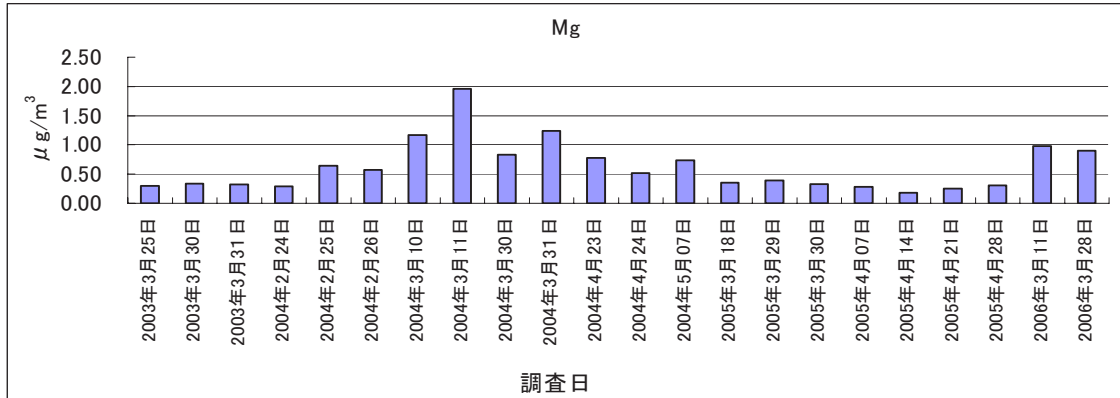


図-4 (2) 調査日毎の金属成分及びイオン成分濃度
(Sr、Mn、F、Cl⁻)

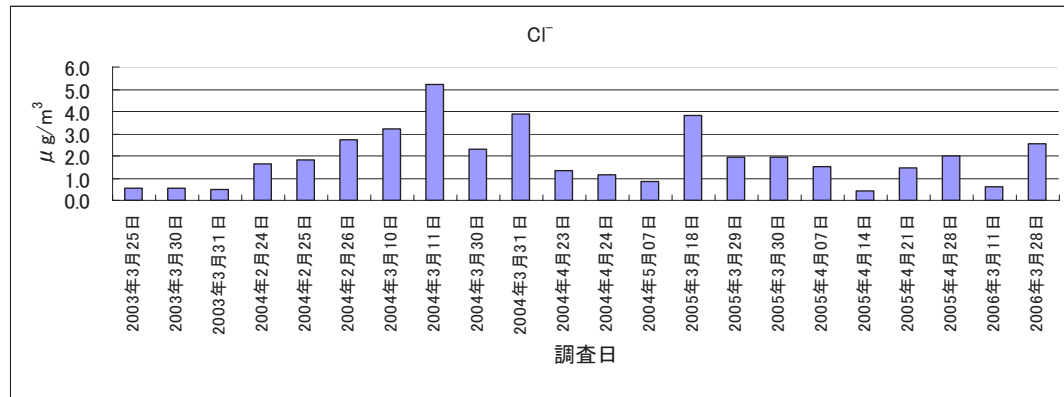
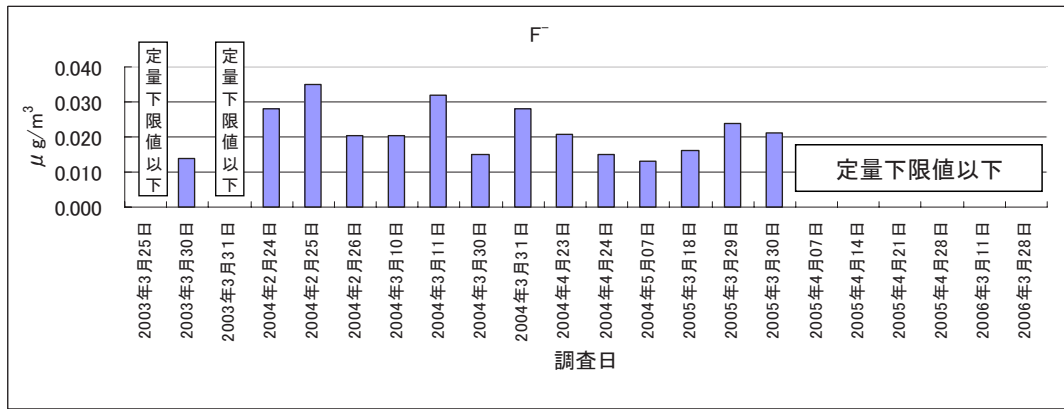
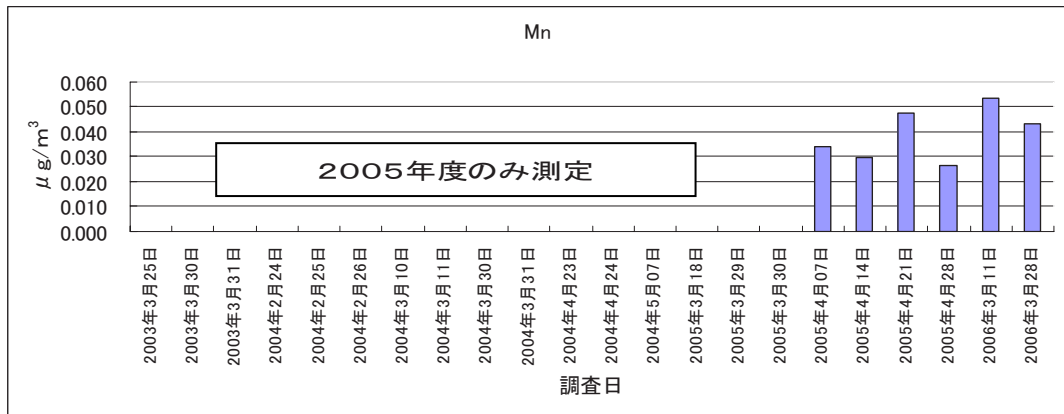
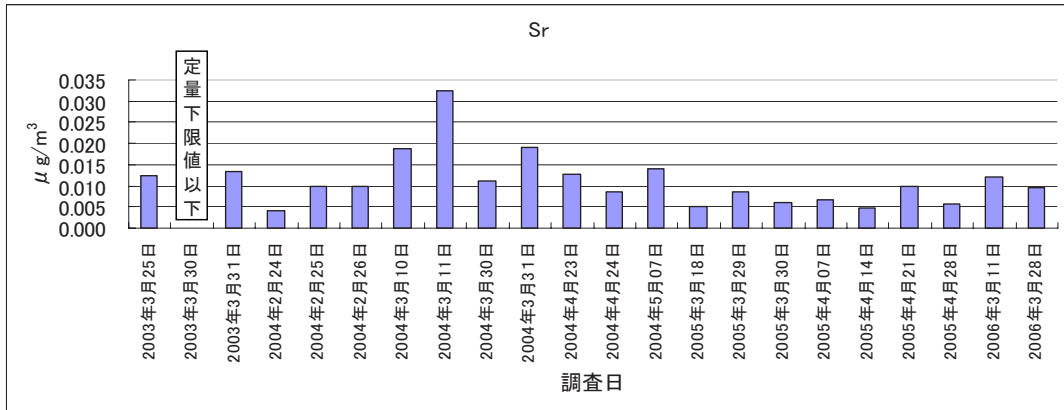


図-4 (3) 調査日毎の金属成分及びイオン成分濃度
(NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+)

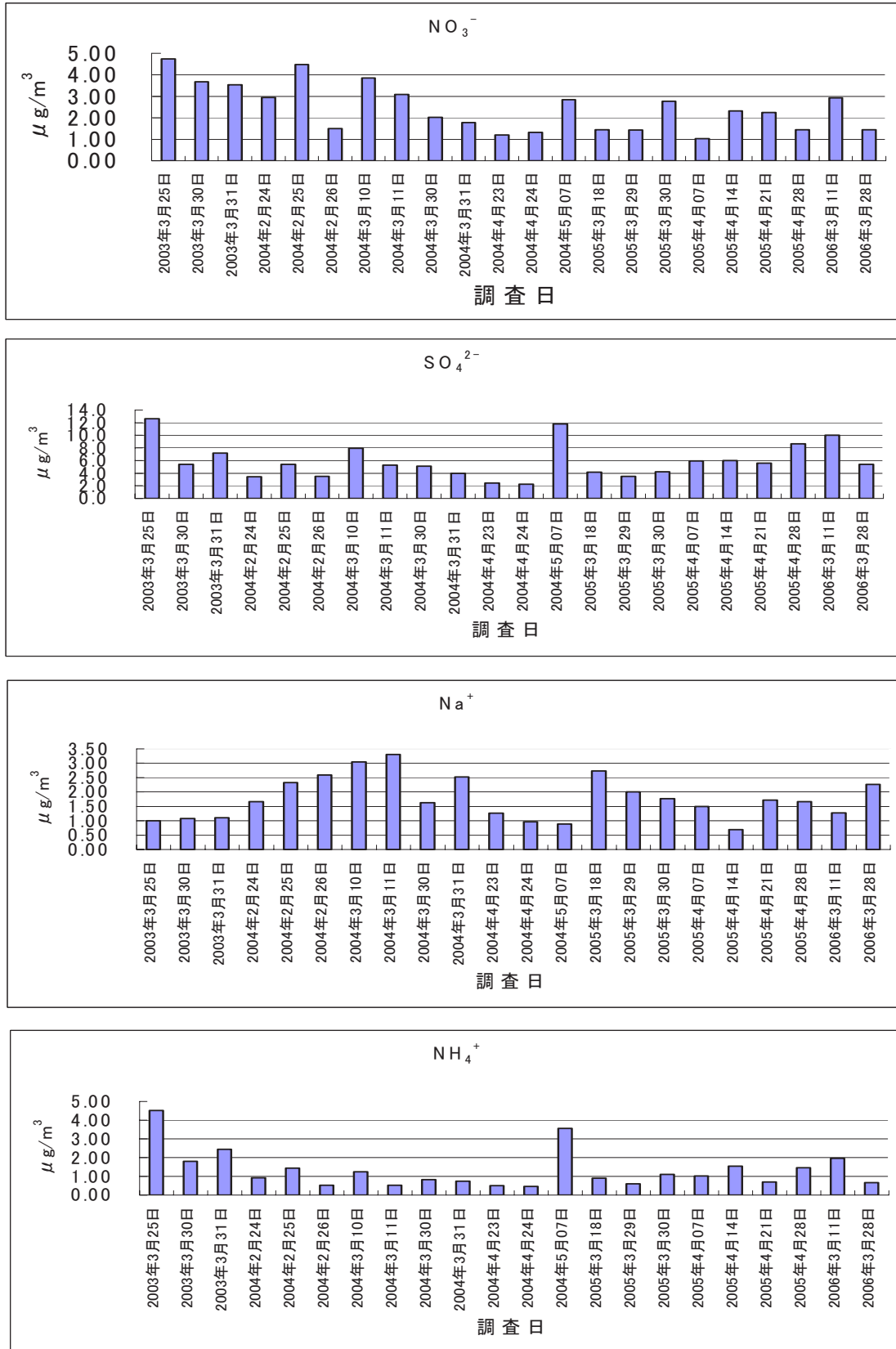
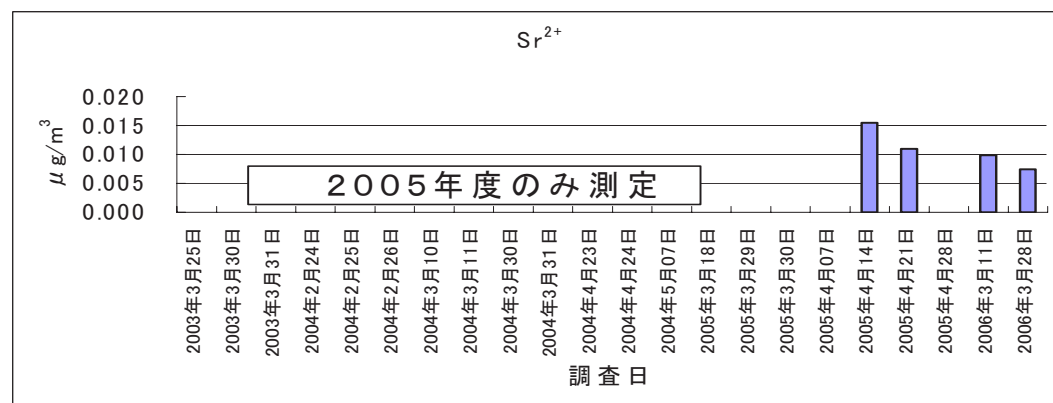
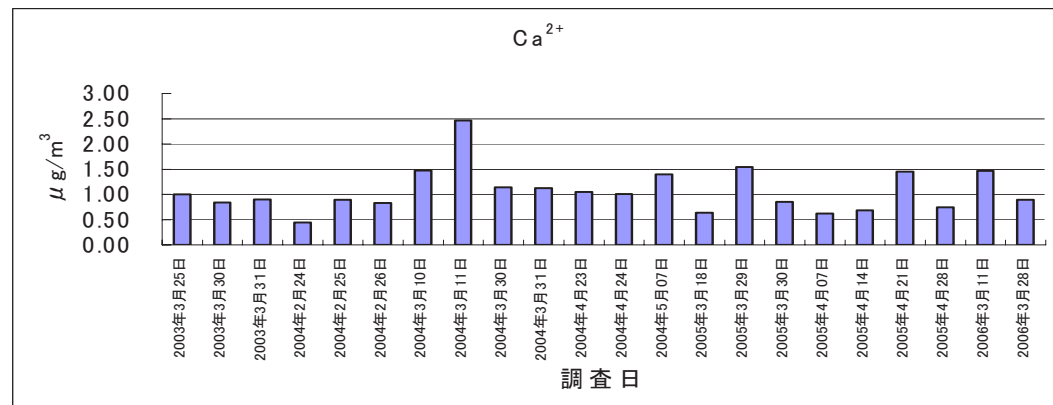
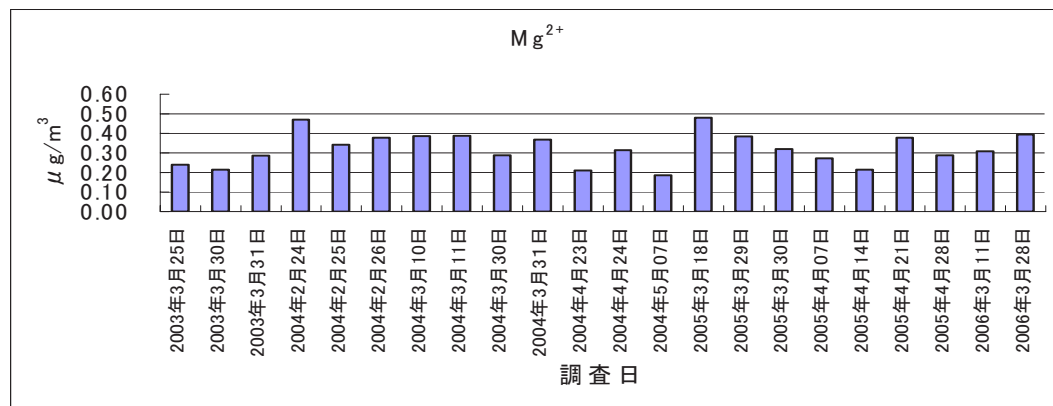
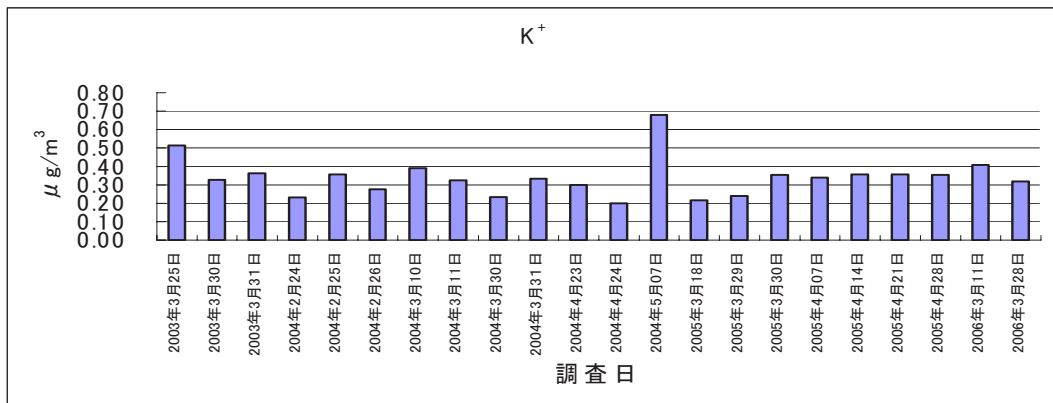


図-4 (4) 調査日毎の金属成分及びイオン成分濃度
(K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+})



3.3 農薬成分

4年間の調査で、13種類の農薬（異性体を含めると21種類）について濃度分析を行ったが、これらの農薬は、多くの試料からは検出されなかった。今回分析した農薬のうち、比較的多く検出された農薬は、何れも日本で使用されている農薬である。DDT等の残留性有機汚染物質（POPs）は、日本では既に農薬としての使用が中止されているが、POPsの残留性から、まだ日本の土壌中にも含まれているものと考えられる。従って、検出された農薬が、直ちに大陸から飛来したものと断定をすることは出来なかった。

農薬の安全性の観点から過去に実施された環境モニタリング調査の結果と本調査結果を表-3にまとめた。これによると、DDT類を除く各農薬成分については、各地の報告事例と比較して10倍から1000倍小さい値となっている。各地の報告事例は大気中のガス状から粒子状までの全濃度であるのに対して、今回調査は粒子表面に付着した成分のみの分析結果である。このことから考えて、農薬が黄砂のような粒子状物質に付着して運ばれる割合は非常に小さいということが推定される。一方、DDT類は環境濃度が低いため、検出感度の関係で検出されない試料が多かったが、環境濃度と同レベルであり、少なくとも黄砂粒子にDDT類が集積されていることは無いと考えられる。

次に、黄砂の有無と農薬成分の検出頻度の関係を調査日毎に表-4にまとめた。連続する調査日は、一つの黄砂イベントとして、併せて集計した。この集計表を見ると、黄砂が飛来した2004年3月11日に多く検出されているなど、黄砂と農薬の関係が疑われる部分もあるが、個々の試料レベルでは黄砂時試料と非黄砂時試料に検出頻度の差は有意にはならなかった。

表-3 (1) 農薬成分の検出濃度と既存調査の比較

単位 (pg/m³)

農薬成分	本調査 (平成14年度)			本調査 (平成15年度)			本調査 (平成16年度)			本調査 (平成17年度)			平成15年度POPs モニタリング調査 (第2回寒冷期)		
	最小	最大	算術平均	最小	最大	算術平均	最小	最大	算術平均	最小	最大	算術平均	最小	最大	算術平均
1	<0.8	<0.8	-	<0.8	<0.8	-	<5	11	11	<0.5	7.4	2.2	-	-	-
2	<2	<2	-	<2	3	3	<5	<5	<5	<0.5	140	13.3	64	320	150
3	<2	<2	-	<2	<2	-	<6	<6	-	<0.6	4.1	1.9	64	320	150
4	<2	<2	-	<2	<2	-	<5	<5	-	<0.5	21.8	21.8	64	320	150
5	<2	<2	-	<2	<2	-	<6	<6	-	<0.6	300	45.9	64	320	150
6	<3	<3	-	<3	140	20	<5	56	18	<0.5	52	10.2	-	-	-
7	<2	<2	-	<2	60	15	<6	12	9	<0.6	720	27.2	-	-	-
8	<2	<2	-	<2	47	31	<3	18	13	<0.3	150	24.0	-	-	-
9	<3	<3	-	<3	<3	-	<4	<4	-	-	-	-	-	-	-
10	<2	<2	-	<2	6	4	<5	5	5	<0.5	45	6.2	-	-	-
11	<0.8	<0.8	-	<0.8	<0.8	-	<4	<4	-	<0.4	2.6	2.45	0.18	1.7	1.4
12	<0.8	<0.8	-	<0.8	<0.8	-	<5	<5	-	<0.5	3.7	1.5	1.1	22	7.2
13	<4	<4	-	<4	<4	-	<5	27	27	<0.5	1.3	1.0	-	-	-
14	<2	<2	-	<2	7	6	<9	<9	-	<0.9	1.1	1.0	0.042	2.1	0.74
15	<0.8	<0.8	-	<0.8	<0.8	-	<5	<5	-	<0.5	3.4	1.3	0.062	0.42	0.37
16	<0.3	<0.3	-	<0.8	<0.8	-	<4	<4	-	<0.4	2.7	1.4	-	0.52	0.3
17	<0.8	<0.8	-	<0.8	<0.8	-	<4	<4	-	<0.4	10	1.8	0.43	6.4	6.9
18	<0.3	<0.3	-	<0.8	<0.8	-	<4	<4	-	<0.4	6.2	2.6	0.31	11	5.8
19	<2	<2	-	<2	7	4	<9	<9	-	-	-	-	-	-	-
20	<2	<2	-	<8	<8	-	<20	<20	-	-	-	-	-	-	-
21	<0.9	<0.9	-	<8	<8	-	<20	<20	-	-	-	-	-	-	-

表-3 (2) 農薬成分の検出濃度と既存調査の比較 単位 (pg/m³)

農薬成分	平成14年度 POPsモニタ リング調査			新潟県 ¹⁾ (A City)			横浜市 ²⁾			長野県 ³⁾			東京都 ⁴⁾ (外気)		
	最 小	最 大	幾 何 平 均	最 小	最 大	メ ジ ア ン	最 小	最 大	メ ジ ア ン	最 小	最 大	メ ジ ア ン	最 小	最 大	メ ジ ア ン
1	-	-	-	800	5900	2400	2000	4000	不明	-	-	-	<500	14200	3100
2	57	3000	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	57	3000	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	57	3000	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	57	3000	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	400	800	700	-	-	-	-	-	-	<1000	1800	<1000
7	-	-	-	500	5700	1100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	3100	16000	5300	2000	2000	不明	16000	50000	不明	<1000	6000	<1000
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	500	900	700	-	-	-	-	-	-	<1000	<1000	<1000
11	0.11	8.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0.56	28	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	2.5	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	0.85	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	0.76	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.41	40	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0.25	22	1.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1) 水戸部ら：環境化学、11、477-489 (2001)

2) 酒井：横浜市環境科学研究所報、No.28、70-71 (2004)

3) 野溝ら：長野県衛生公害研究所報告、No.20、37-44 (1997)

4) 斎藤ら：大気環境学会誌、38、78-88 (2003)

表－4 農薬成分検出頻度と黄砂観測状況

調査開始日	農薬検出 項目総数		黄砂 観測地点数		弱い黄砂 観測地点数		非黄砂 観測地点数	
2003/3/25	0	0	1	1	0	0	6	6
2003/3/30	0	0	0	0	2	2	5	12
2003/3/31	0		0		0		7	
2004/2/24	5	14	0	0	1	9	6	12
2004/2/25	4		0		7		0	
2004/2/26	5		0		1		6	
2004/3/10	7	13	5	12	2	3	0	0
2004/3/11	6		7		1		0	
2004/3/30	7	14	5	8	0	0	2	3
2004/3/31	7		3		0		1	
2004/4/23	2	4	3	3	0	1	4	9
2004/4/24	2		0		1		5	
2004/5/7	5	5	5	5	1	1	1	1
2005/3/18	1	1	2	2	2	2	4	4
2005/3/29	4	9	0	0	2	4	7	14
2005/3/30	5		0		2		7	
2005/4/7	27	27	1	1	4	4	4	4
2005/4/14	40	40	3	3	3	3	3	3
2005/4/21	36	36	6	6	2	2	1	1
2005/4/28	26	26	0	0	5	5	4	4
2006/3/11	38	38	1	1	4	4	3	3
2006/3/28	51	51	3	3	3	3	3	3

注1：観測地点は、「4.1 飛来状況の分類」により区分した。

注2：2005年度は検出精度を高めたため、検出項目総数が増加した。

3.4 物理的性質

1) 各試料のピーク粒径の解析

八段型ローボリウムアンダーセンサンプラーにて捕集した試料のピーク粒径を表-5に示す。捕集時間が短いため、値が得られた試料は多くなかったが、これにより、多くの調査地点で4段目(粒径3.3~4.7 μm)がピークとなる頻度が高いことが明らかとなった。ただし、長崎で2004年3月30日(黄砂時)に2段目(7.0~11 μm)がピークとなったことから、黄砂発生源に近い西日本地方では、飛来黄砂の粒径が大きめとなる可能性も示唆される。

表-5 捕集試料のピーク粒径の範囲

調査開始日	長崎	太宰府	松江	金沢	犬山	立山	巻	つくば	札幌
2003.3.25	4	4	ND		ND	ND	4	ND	ND
2003.3.30	4	4	ND		ND	ND	3	ND	ND
2003.3.31	4	4	ND		ND	ND	ND	4	ND
2004.3.10	3	4	4		ND	ND	4	NA	3
2004.3.11	3	4	4		4	4	4	4	4
2004.3.30	2	ND	4		ND	ND	ND	ND	ND
2004.3.31	NA	ND	NA		4	ND	NA	NA	ND
2004.4.23	3	ND	4		ND	ND*	ND	ND	ND
2004.4.24	ND	4	4		ND	ND*	ND	ND	ND
2004.5.07	ND	ND	4		4	ND	4	ND	ND
2005.3.18	ND	3	4	NA	ND	NA	ND	ND	ND
2005.3.29	ND	3	4	NA	ND	3	ND	ND	ND
2005.3.30	ND	4	4	NA	ND	4	ND	ND	ND

1 : 11-100 μm 、2 : 7.0-11 μm 、3 : 4.7-7.0 μm 、4 : 3.3-4.7 μm 、5 : 2.1-3.3 μm 、

6 : 1.1-2.1 μm 、7 : 0.65-1.1 μm 、8 : 0.43-0.65 μm 、BF : 0.03-0.43 μm

ND : ピークステージのろ紙の捕集前後の重量差が1 mg未満 (Not detected)

NA : データなし (Not available)

* : 48時間捕集

2) 粒径分布の解析

規模の大きい典型的な黄砂日の、2004年3月11日に捕集した試料について、粒径分布を計算した。結果を図-5に示す。この結果から、試料は長崎を除いて何れも4 μm 付近にピークをもつ分布であることが分かった。また、図の横軸は対数目盛りとなっており、分布の形態は対数正規分布に近い分布、あるいは粒径の小さい位置にピークのある2山分布をとることが分かった。

図-5 黄砂の粒径分布

11 - 12 March 2004

