

熊本市における黄砂発生の事例解析

福田照美 武原弘和 坂口美鈴 吉田英美子 丸山龍也 津留靖尚

1 はじめに

近年、熊本市において光化学オキシダント（以下 O_x と略す。）の高濃度事例や黄砂による浮遊粒子状物質（以下 SPM と略す。）濃度の上昇事例など東アジアからの影響と思われる大気汚染が観測されている。

当所では、高濃度 O_x の発生メカニズムを解明するために、平成 19 年度から国立環境研究所と地方環境研究機関との共同研究に参加しており、平成 12 年度以降見られている O_x 濃度の急上昇において九州など西日本の増加率が高いことや、ディーゼル車規制などにより SPM 濃度が減少するなか、九州地域の減少率が最小となっていることから、大陸からの越境汚染の影響の増大を示唆する報告がなされている¹⁾。

また、九州地域の測定データの解析から、本市における高濃度 O_x の発生メカニズムは、本市を取り巻く特色ある地形の影響を受けており、九州北部や県内周辺地域とは異なった挙動を示していることも明らかになった²⁾。

今回、高濃度 O_x などの越境汚染の指標とされている硫酸塩の挙動を把握するため、大気中の粒子状物質（以下 PM と略す。）を捕集して、イオン成分の分析を行った。調査期間中、 O_x 注意報が発令されるような高濃度事例は観測されなかったが、黄砂による高濃度 SPM 事例がみられ、若干の知見が得られたので報告する。

2 調査解析方法等

(1) 調査期間

調査は、平成 20～22 年度に、高濃度 O_x や黄砂の発生頻度の高い 4～6 月に行った。

(2) 調査方法

PM の採取は、酸性雨の乾性沈着のフィルターパック法（4 段）³⁾を簡易にした 2 段フィルター法で、1 段目はテフロン製ろ紙（フロロポアろ紙；住友電気工業（株）社製 FLUOROPORE（TYPE:FP-045）47mm φ）、2 段目にはナイロン製ろ紙（PALL 社製）を使用した。環境総合センターの屋上で、10 リットル/分の流速で朝 9 時から翌朝 9 時まで 24 時間連続して採取した。

捕集後、フィルターに 10ml の蒸留水を加えて超音波で 10 分間抽出し、0.45 μm のフィルターでろ過した後、水溶性成分中のイオン成分 (SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+}) をイオンクロマトグラフ法で測定した。



図 1 粒子状物質採取
フィルターと温湿度計

(3) 大気常時監視結果等

0x 濃度、SPM 濃度、風向・風速は大気常時監視測定局（一般測定局 5 局）のデータを、黄砂に関する情報は熊本地方気象台のデータ⁴⁾を、天気図は気象人⁵⁾を引用した。熊本市へ流れ込む大気の経路を推定するため、後方流跡線（NOAA HYSPLIT MODEL⁶⁾の確定値）を使用し、高度 500m、168 時間（7 日間）遡り検討した。

図 2 に一般測定局 5 局と熊本地方気象台、環境総合センターの位置を示す。熊本地方気象台は京町局と隣接しており、環境総合センターは錦ヶ丘測定局の南南西約 3km、江津湖南西の田園地帯に位置している。

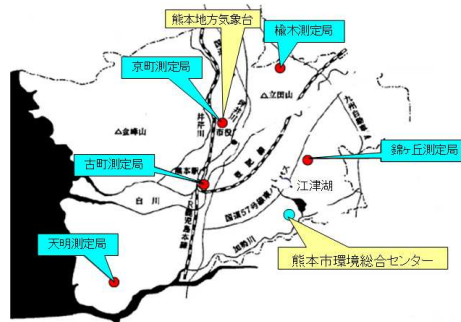


図 2 調査地点位置図

3 解析結果及び考察

(1) 粒子状物質のイオン成分濃度

平成 22 年 4 月～6 月に採取した PM の各イオン成分の濃度を図 3 に示す。概ね良好なイオンバランス（アニオンの合計とカチオンの合計が等量になる）を示していた。各成分の濃度は、日によって大きく変動しており、総イオン濃度は最小値の $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （6 月 12 日）から最大値の $44.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （5 月 24 日）まで約 30 倍の大きな差があった。全体を通して陰イオンでは硫酸イオン（平均値： $4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）が、陽イオンではアンモニウムイオン（ $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）の濃度が高かった。

なお、PM の発生要因としては、工場のばい煙や自動車排気ガス、海塩粒子の飛散、火山、砂埃など考えられるが、総イオン濃度が高い日は、5 月 24 日や 5 月 20 日など、黄砂が観測された日（以下黄砂日と略す）やその前後に見られた。

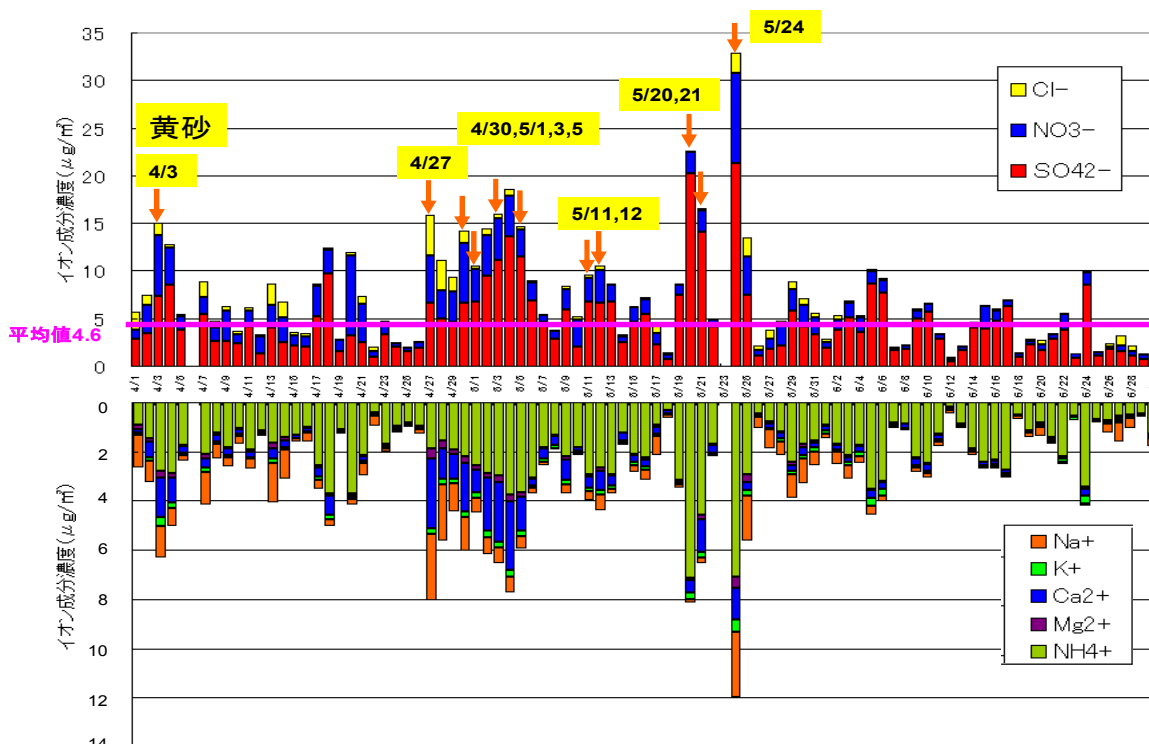


図 3 平成 22 年 4 月 1 日～6 月 30 日の粒子状物質のイオン成分濃度

(2) 硫酸イオン濃度と錦ヶ丘局の SPM 平均濃度及び Ox 日最大値

図 4 に平成 22 年 4 月～6 月の硫酸イオン濃度と一般測定局の中で当センターに最も近い錦ヶ丘局の SPM 平均濃度及び Ox 日最大値の推移を示す。

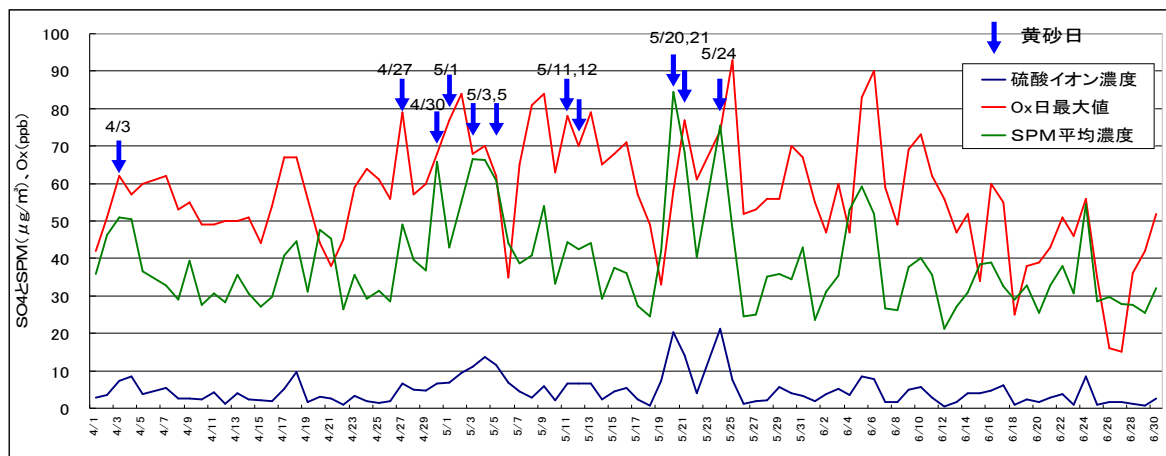


図 4 平成 22 年 4～6 月の硫酸イオン濃度と SPM 平均濃度及び Ox 日最大値の推移

硫酸イオン濃度と SPM 平均濃度の挙動はよく類似しており、いずれも黄砂日の 5 月 20 日と 24 日に高濃度が観測され、両者に強い正の相関がみられた ($r=0.89$) (図 5)。

一方、Ox 日最大値も正の相関が見られた ($R=0.48$) が、高濃度の Ox が観測された 5 月 25 日 (93ppb) と 6 月 6 日 (90ppb) の硫酸イオン濃度は $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度で、赤色で示した黄砂日に硫酸イオン濃度が高くなる傾向が見られた。

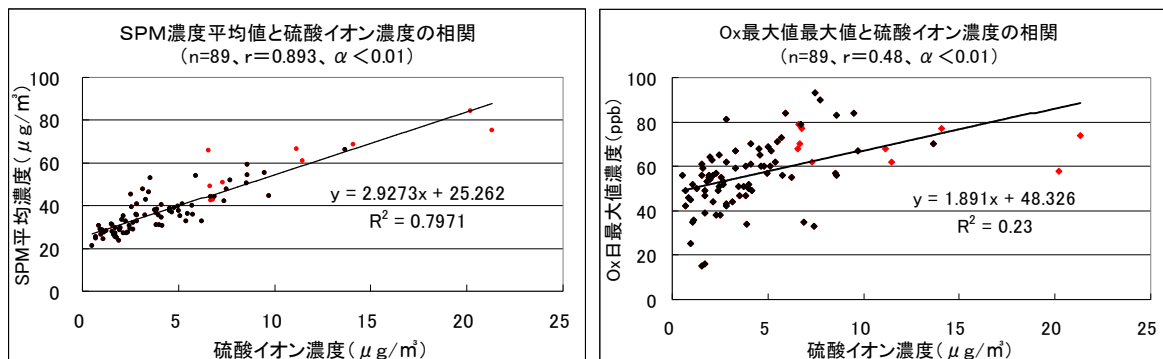


図 5 平成 22 年 4～6 月の硫酸イオン濃度と SPM 平均濃度及び Ox 日最大値の相関

(3) 黄砂観測の状況

黄砂を観測した平成 22 年 4 月 30 日 16 時の写真と、対照として観測されていない平成 22 年 4 月 14 日 9 時 (以下非黄砂日と略す。)の写真を図 6 に示す。黄砂日は視程が悪く、環境総合センターの屋上からいつも見えている雁回山がほとんど見えない状態で大気中が黄色くなっていた。PM を採取したフィルタ



黄砂日(平成22年4月30日16時) 非黄砂日(平成22年4月14日9時)
(撮影場所:環境総合センター屋上)

図 6 熊本市における黄砂日と非黄砂日の比較

一も非黄砂日は灰色を示していたが、黄砂日は大気と同様に黄褐色を呈していた。

ところで、熊本地方気象台において、黄砂が観測された年間日数及び4月～6月の日数の経年変化を図7に示す。黄砂日数は年度によって大きく異なっており平成12年度の25日が最も多く、次いで熊本市で光化学スモッグ注意報が発令された平成18年度に23日観測されている。そのうち、4～6月に観測された日数は平成18年度の16日が最も多く、平成2～22年度の全体でみると約6割がこの期間であった（3月を加えると約9割となる。なお、6月には黄砂日はない）。

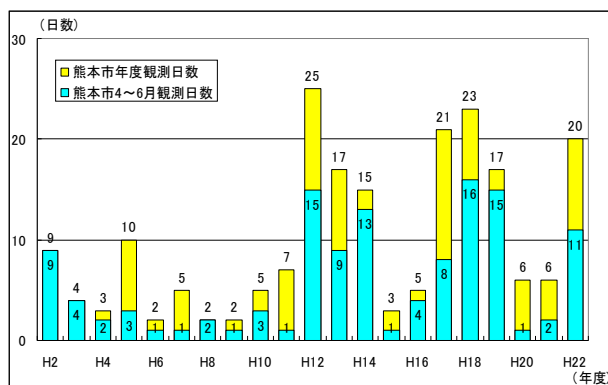


図7 熊本市における黄砂日の経年変化

今回の調査期間（平成20～22年度の4～6月）では、黄砂は平成20年度に1日、平成21年度に2日と少ないが、平成22年度は11日観測されており、そのうち硫酸塩を測定した13事例の状況を表1に示す。黄砂は平成22年5月11～12日、5月20～21日は2日間にわたり観測されており、発生時間で区分すると、0時が1例、朝8～9時台が4例、10～12時台が3例、16～17時台が2例、20時台が1例で、午前中に発生する事例がおよそ3/4を占めていた。発生時間数は1.2～25.2時間であり、平成22年5月20～21日に最も長い時間観測された。黄砂飛来時の平均風速は0.3～4.0m/sを示し、1.0m/s未満の3例、1.0～2.0m/sの6例、2.0m/s以上の4例であった。黄砂発生時間帯の平均SPM濃度は38～85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、平成20～22年度の4～6月のSPM平均濃度32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と比較すると1.2～2.7倍の濃度を示していた。

表1 熊本市における黄砂日の状況

No.	発生日	発生時間帯	発生時間数(時間)	黄砂発生時平均風速(m)	黄砂発生時平均SPM濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	硫酸イオン濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	H21/4/25	16:50～19:00	2.2	4.0	38	2.9
2	H21/5/8	8:30～13:00	4.5	1.3	38	13.8
3	H22/4/3	8:20～13:00	4.7	1.7	39	7.0
4	H22/4/27	12:30～20:30	8.0	3.7	60	5.9
5	H22/4/30	10:40～21:00	10.3	3.5	54	6.2
6	H22/5/1	0:00～1:10	1.2	1.5	62	6.6
7	H22/5/3	9:30～20:00	10.5	1.9	57	11.0
8	H22/5/5	8:50～17:10	8.3	1.8	54	11.3
9	H22/5/11	20:30～24:00	3.5	0.8	46	6.6
10	H22/5/12	0:00～10:00	10.0	0.7	46	6.5
11	H22/5/20	17:50～24:00	6.2	0.3	85	20.2
12	H22/5/21	0:00～19:00	19.0	1.3	54	14.1
13	H22/5/24	11:40～23:00	11.3	3.5	68	20.7
		最小値	1.2	0.3	38	2.9
		最大値	19	4.0	85	20.7
		平均値	7.7	2.0	54	10.2

熊本市平均SPM濃度:古町、錦ヶ丘、天明、榑木、京町5局の平均値
熊本市硫酸イオン濃度:熊本市環境総合研究所で測定した値

なお、本市の黄砂日数の経年変化は全国とほぼ同じ挙動を示しており、全国の黄砂日数は、測定を開始した昭和46年以降で平成12～14年度（H12:53日、H13:40日、H14:34日）の期間が最も多く、平成17～19年度（計109日）及び22年度（34日）も多くなっている⁴⁾。

(4) 黄砂日と非黄砂日の粒子状物質のイオン成分濃度の比較

平成20～22年度の黄砂日と非黄砂日のイオン成分の濃度を比較して図8に示す。なお、硫酸イオンとカルシウムイオンについては、非海塩性の値を用いて解析を行った。

調査期間におけるイオン成分の全平均値（n=240）は、硫酸イオン濃度が最も高く6.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で総イオン濃度のおよそ1/2を占めており、硝酸イオンは2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （17.6%）、アンモニウムイオンは2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （19.8%）であった。

黄砂日 (n=13) の総イオン濃度や硫酸イオン濃度、硝酸イオン濃度は非黄砂日 (n=227) と比較するとおよそ 2 倍で有意な増加がみられた (硫酸イオン (P<0.05)、硝酸イオン (P<0.01))。

黄砂の成分として 7-12%⁷⁾含まれているカルシウムイオン濃度は、非黄砂日のおおよそ 4 倍の 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と全体の 5.8%を占めていた。また、黄砂に 2-3%⁷⁾含まれているカリウムイオン濃度は 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.2%)、1-3%⁷⁾含まれているマグネシウムイオン濃度は 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.0%) で、それぞれ非黄砂日より有意に増加していた (カルシウムイオン (P<0.01)、カリウムイオン (P<0.05)、マグネシウムイオン (P<0.01))。これらの解析結果より、黄砂日には非黄砂日と比べてカルシウムイオンや、カリウムイオン、マグネシウムイオンなどの黄砂の成分だけではなく、硫酸イオンや、硝酸イオンなども有意に増加しており、黄砂とともに大気汚染物質が大陸から本市に飛来してきたことが窺えた。

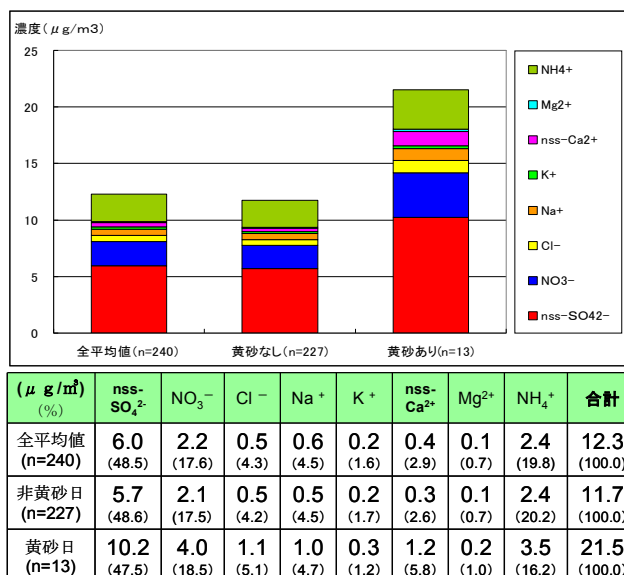


図 8 粒子状物質の平均イオン成分濃度の比較

(5) 各黄砂日の粒子状物質のイオン成分濃度

各黄砂日の PM の各イオン成分の濃度と割合を表 2 に示す。

PM の採取は、朝 9 時から翌朝 9 時までの 24 間単位で行っており、黄砂の発生時間の長短や程度により捕集された大気中の PM の量は大きく変動するため、総イオン濃度は、最小値の 10.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から最大値の 44.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで、日によって大きく異なっていた。各イオンの濃度範囲も、硫酸イオンが 3.0 ~ 20.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、硝酸イオンが 1.3 ~ 9.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アンモニウムイオンが 0.7 ~ 7.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、黄砂の成分であるカルシウムイオンが 0.3 ~ 2.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と濃度範囲が大きかった。

表 2 黄砂日の粒子状物質のイオン成分

年度	黄砂日	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	計
1	4月25日	3.0 (28.7)	1.3 (13.0)	2.7 (26.3)	1.9 (18.1)	0.1 (1.4)	0.3 (3.3)	0.2 (2.0)	0.7 (7.2)	10.2 (100.0)
	5月8日	13.8 (61.3)	2.3 (10.1)	0.1 (0.3)	0.4 (1.8)	0.4 (1.8)	0.8 (3.8)	0.1 (0.5)	4.6 (20.4)	22.5 (100.0)
22	4月3日	7.0 (33.3)	6.4 (30.4)	1.4 (6.6)	1.3 (6.1)	0.3 (1.6)	1.6 (7.6)	0.2 (1.2)	2.7 (13.2)	20.9 (100.0)
	4月27日	6.0 (25.8)	5.0 (21.7)	4.2 (18.3)	2.7 (11.7)	0.3 (1.1)	2.7 (11.8)	0.4 (1.7)	1.8 (7.9)	23.1 (100.0)
	4月30日	6.2 (31.4)	6.3 (31.6)	1.4 (7.0)	1.4 (6.9)	0.3 (1.4)	1.9 (9.6)	0.3 (1.4)	2.1 (10.7)	19.9 (100.0)
	5月1日	6.6 (44.8)	3.4 (22.6)	0.4 (2.8)	0.6 (4.0)	0.2 (1.6)	0.9 (6.0)	0.2 (1.1)	2.5 (17.1)	14.8 (100.0)
	5月3日	11.0 (49.4)	4.3 (19.3)	0.5 (2.1)	0.6 (2.9)	0.2 (1.1)	2.4 (10.9)	0.2 (1.0)	3.0 (13.3)	22.2 (100.0)
	5月5日	11.4 (55.4)	2.8 (13.8)	0.4 (1.9)	0.5 (2.5)	0.3 (1.2)	1.3 (6.5)	0.2 (0.9)	3.6 (17.7)	20.5 (100.0)
	5月11日	6.6 (49.1)	2.6 (19.1)	0.4 (2.7)	0.3 (2.6)	0.1 (1.1)	0.4 (3.2)	0.1 (0.7)	2.9 (21.6)	13.4 (100.0)
	5月12日	6.5 (44.4)	3.4 (23.4)	0.4 (2.8)	0.6 (4.3)	0.2 (1.1)	0.8 (5.1)	0.1 (0.9)	2.6 (18.0)	14.6 (100.0)
	5月20日	20.2 (65.8)	2.2 (7.3)	0.1 (0.5)	0.1 (0.4)	0.3 (0.9)	0.5 (1.6)	0.1 (0.3)	7.1 (23.2)	30.6 (100.0)
	5月21日	14.0 (61.1)	2.3 (9.8)	0.2 (0.9)	0.2 (0.8)	0.2 (1.1)	1.3 (5.8)	0.2 (0.8)	4.5 (19.7)	23.0 (100.0)
	5月24日	20.7 (46.9)	9.4 (21.4)	2.1 (4.8)	2.6 (6.0)	0.5 (1.2)	1.2 (2.7)	0.4 (1.0)	7.1 (16.0)	44.0 (100.0)
		最大値	20.7	9.4	4.2	2.7	0.5	2.7	0.4	7.1
	最小値	3.0	1.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.7	10.2
	平均値	10.2 (46.0)	4.0 (18.8)	1.1 (5.9)	1.0 (5.2)	0.3 (1.3)	1.2 (6.0)	0.2 (1.0)	3.5 (15.9)	3.5 (15.9)

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (%)

各成分の濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) を当量濃度に換算し、陰イオンと陽イオンを対比して図 9 に示す。硫酸イオンとアンモニウムイオンの当量比は、いずれの黄砂日もほぼ 1 : 1 で、PM の中では、硫酸アンモニウムとして存在すると推察された。なお、硫酸イオンの全イオン成分に占める割合は、日によって大きく異なっていた。

そこで、硫酸イオンの割合に注目し、2つの事例について検討した。

平成22年4月27日は、硫酸イオンの濃度が $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と非黄砂日の平均値 $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とほぼ同程度であるが、割合で見ると非黄砂日の48.5%に比べて25.8%と小さく、黄砂の成分であるカルシウムイオンの濃度 ($2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) や割合 (11.8%) は高く、硝酸イオンも $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (21.7%) と高くな

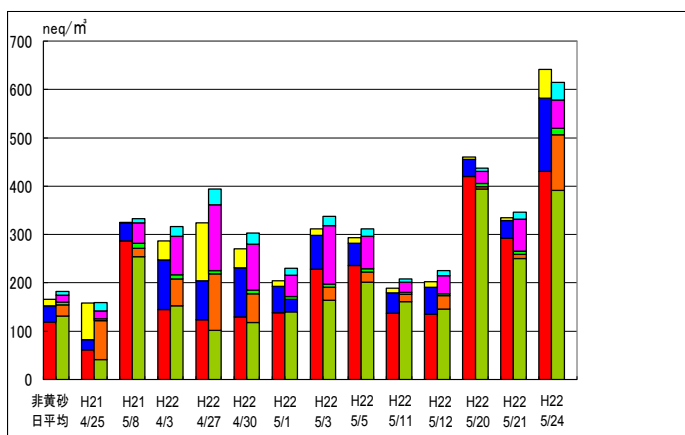


図9 黄砂日の粒子状物質のイオンバランス

っていた。この日は、図10に示したように黄砂が観測された13時から5局のSPMの濃度が同時に上昇し、17時に最大値の約 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に達していた。12時～13時には平均風速2m前後の南西風が吹いており、その後14時～19時にかけて3m/s以上の西風が金峰山と宇土半島の間から吹き抜けて黄砂が飛来してきたと推測される。後方流跡線から、気塊はロシアから日本海を経て本州を横断した後、有明海を通過して本市に到達していた。九州各県の測定局のSPM濃度は、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地点が九州北部から徐々に広がり、15～16時には西側の多くの地点で超えていた。平成21年4月25日、平成22年4月3日、30日も硫酸イオン濃度の割合が30%程度でこの事例と類似していた。

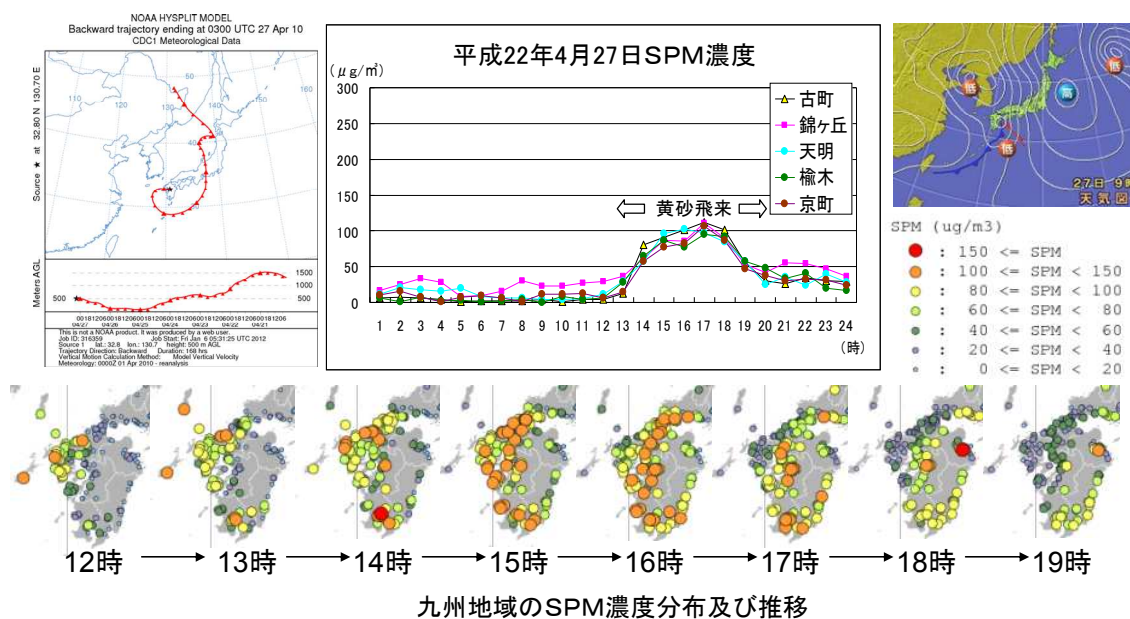


図10 SPM経時変化図、流跡線図、SPM濃度分布及び天気図 (平成22年4月27日)

一方、平成22年5月20日は、硫酸イオン濃度が $20.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、割合も65.8%と高い。この日は、黄砂が観測された17時50分より前の朝7時から4局のSPMの濃度上昇が同時にみられ (図11)、8時から20時前後まで $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の高濃度SPMが持続的に観測されている。分布図では $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度SPMが、九州の西側で17～24時まで継続してみられている。風速が、0.1～0.5m/sの非常に弱い風の状態で黄砂が滞留し、高濃度SPMが観測されたと

推定される。後方流跡線から、気塊はタクラマカン砂漠付近から青島半島を経由して到達しており、飛来過程で大気汚染物質が黄砂に付着した可能性が示唆された。平成 21 年 5 月 8 日と平成 22 年 5 月 21 日も硫酸イオン濃度の割合が 60%を超えておりこの事例と類似していた。

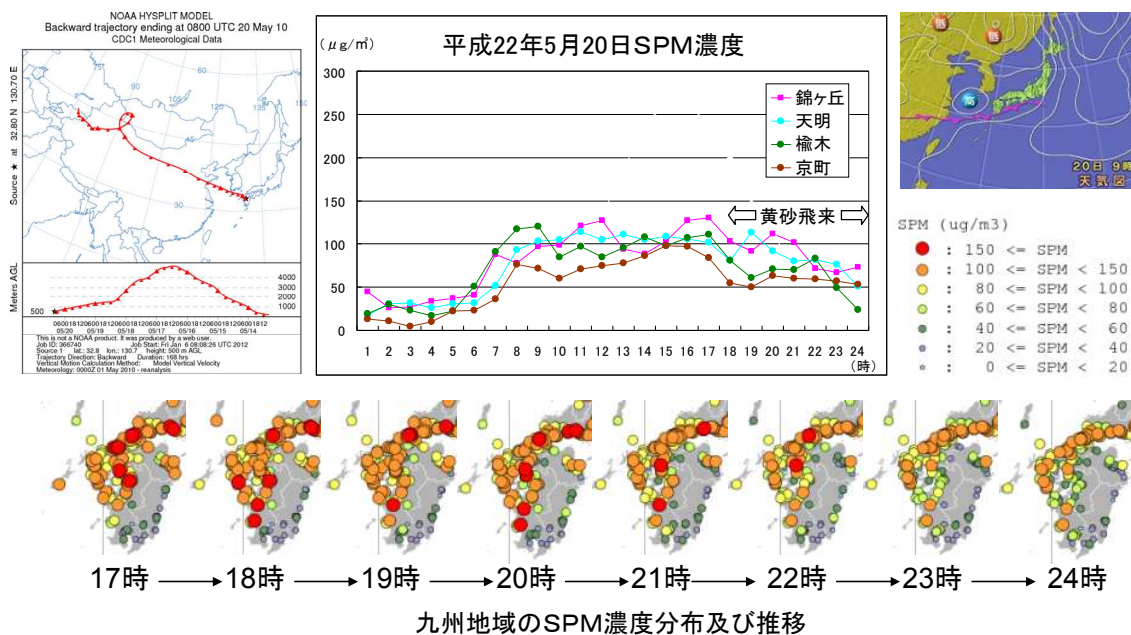


図 11 SPM 経時変化グラフ、流跡線図、SPM 濃度分布及び天気図 (平成 22 年 5 月 20 日)

なお、平成 22 年 5 月 24 日は、硫酸イオン ($20.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) や硝酸イオン ($9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) などの大気汚染物質が最も高濃度に観測されている。SPM 濃度は、図 12 に示したように黄砂が観測される前の朝 5 時から徐々に上昇し $50 \sim 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で推移しており、風速 $2.5 \text{m}/\text{s}$ の風とともに 11 時より黄砂が飛来している。なお、翌日の 25 日 1 時から 5 時にかけて、高濃度 $0x$ (90ppm 程度) も観測されている。後方流跡線はモンゴルから中国、青島半島と朝鮮半島を経由して到達しており、黄砂とともに大気汚染物質も飛来してきたと窺がわれる事例である。

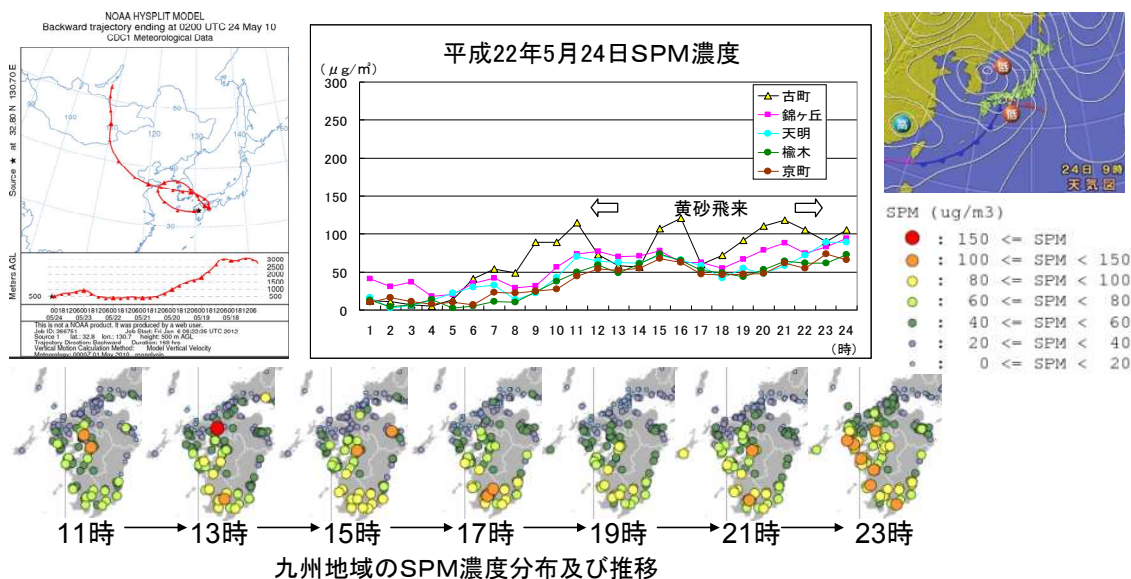


図 12 SPM 経時変化グラフ、流跡線図、SPM 濃度分布及び天気図 (平成 22 年 5 月 24 日)

ところで、調査期間外であるが、平成 22 年度には、11 月と 12 月にこの時期としてはめずらしく 4 日ずつ黄砂が観測されている。11 月は、12 日（8 時 40 分発生）から 15 日（14 時終了）まで 4 日間連続して観測され、12 日と 13 日に SPM の 1 日平均値が環境基準（ $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超えていた。図 12 に示したように、後方流跡線は、上記の平成 22 年 5 月 24 日とほぼ同様の経路を示しており、この時期には通常大陸の森林地帯で起る低気圧が、より南の砂漠地帯で発生し砂を巻き上げたため黄砂が発生している。西日本の広い範囲で黄砂が確認されており、九州地域でも北部から中部の西側で $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える汚染が継続して見られている。

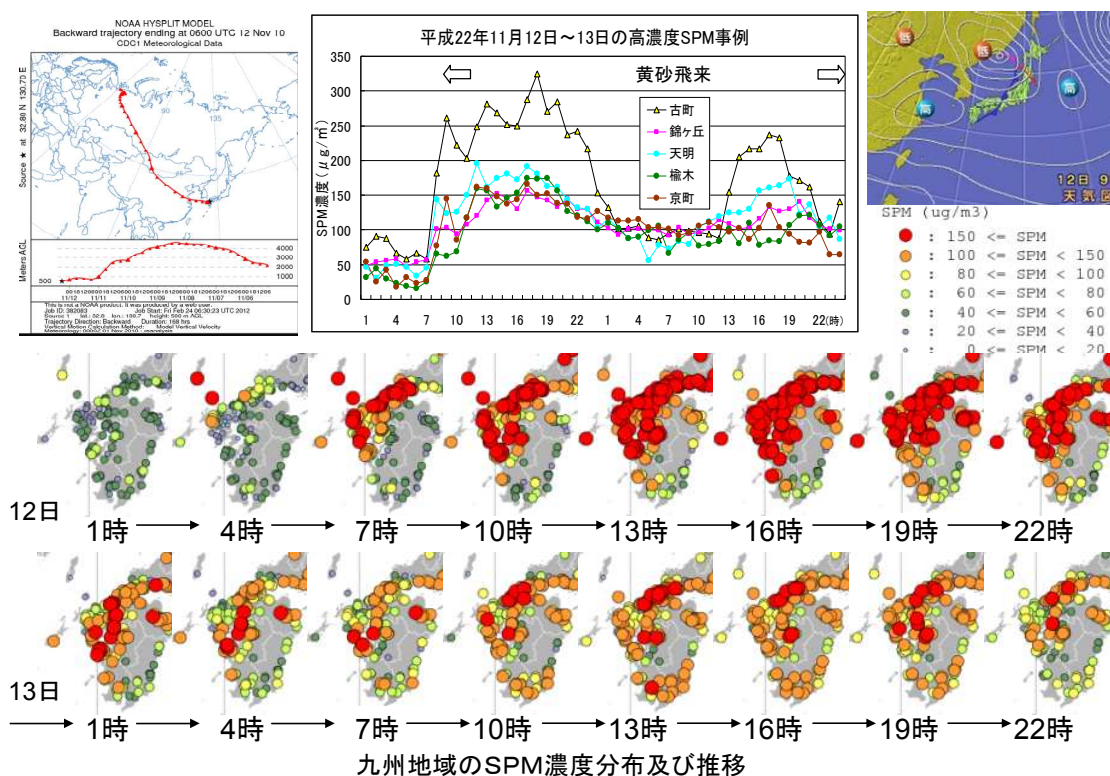


図 12 SPM 経時変化グラフ、流跡線図、SPM 濃度分布及び天気図（平成 22 年 11 月 12～13 日）

4 まとめ

今回、大気中の PM に含まれているイオン成分の調査を行い、 Ox 濃度や SPM 濃度などの大気常時監視測定局のデータと合わせて解析することにより、本市に飛来する黄砂が次のような特徴を持っていることがわかった。

- (1) PM に含まれる硫酸イオン濃度と SPM 平均濃度の挙動はよく類似しており、両者に強い正の相関がみられた ($r=0.89$)。一方、硫酸イオン濃度と Ox 日最大値の間には正の相関が見られた ($R=0.48$) が、黄砂日に硫酸イオン濃度が高くなる傾向が見られた。
- (2) PM に含まれるイオン成分の全平均値 ($n=240$) は、硫酸イオン濃度が最も高く $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で全成分のおよそ 1/2 を占め、硝酸イオンは $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (17.6%)、アンモニウムイオンは $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19.8%) であった。黄砂日 ($n=13$) は非黄砂日 ($n=227$) と比較すると、全イオン濃

度はおよそ2倍になり、カルシウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオンなどの黄砂成分だけでなく、硫酸イオン、硝酸イオンなども有意に増加していた。

- (3) 黄砂が本市に飛来する時間帯は、午前中が3/4を占めていたが、発生時間数は1.2~25.2時間で、飛来時の平均風速は0.3~4.0m/sとばらつきが大きく、PMに含まれる各イオン成分の濃度や割合も日によって大きく異なっていた。
- (4) 黄砂日のPM濃度を解析すると、大気汚染物質である硫酸イオンの割合が非黄砂日と同程度かそれより少ない事例や、硫酸イオンが $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上観測される事例も見られ、そのイオン成分の比率は、発生する地域や通過する地域により異なると推測された。

平成21年9月に微小粒子状物質(PM_{2.5})の環境基準が告示され、さらに平成23年7月には「微小粒子状物質の成分分析ガイドライン」が制定されており、全国的に微小粒子状物質の検査体制の整備が進められている。今後は、粒子状物質に含まれる金属や炭素成分等のデータも全国的に蓄積され、高濃度の光化学オキシダントや粒子状物質の発生メカニズムの解明がさらに進むと思われる。

参考文献

- 1) 光化学オキシダントと粒子状物質等の汚染特性解明に関する研究：国環研・地公研C型研究平成19~21年度最終報告書(平成22年3月)
- 2) 福田照美、吉田芙美香、武原弘和、丸山龍也、津留靖尚：熊本市における高濃度オキシダントの発生メカニズム解析Ⅱ，平成21年度熊本市環境総合研究所報，54-66，(平成22年12月)
- 3) 全国環境研協議会：第4次酸性雨全国調査報告書(平成19年度)(1)，季刊全国環境研会誌，34，(3)196-197(2009)
- 4) 気象庁：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 5) 気象人：<http://www.weathermap.co.jp/kishojin/diary>
- 6) NOAA HYSPLIT MODEL：<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>
- 7) X. Y. Zhang, S. L. Gong, Z. X. Shen, F. M. Mei, : Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 108, NO. D9, 4261, 2003.