

— ノート —

前線通過による粒子状物質濃度への影響

曹 仁秋^{1,2}, 牧野 国義^{2,3}, 東野 達¹, 山本 浩平¹

Effects of frontal passage on the concentrations of particulate matter

Renqiu CAO^{1,2} Kuniyoshi MAKINO^{1,3} Susumu TOHNO² Kohei YAMAMOTO²¹ Graduate School of Energy Science, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Kyoto 606-8501, Japan² Tokyo-Dylec Corp, Naito-machi Bldg., 1 Naito-machi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0014, Japan³ Environmental Effect Laboratory, 5-15-11 Asagayakita, Suginami-ku, Tokyo 166-0001, Japan

The effects of a drop and rise in atmospheric pressure (AP) associated with the approach and passage of a cold front on particulate matter (PM) concentrations were analyzed for the long-term monitoring data of the mean concentrations of PM₁₀ (total mass) and PM_{2.5} (semi-volatile, non-volatile, sulfate, nitrate, EC, OC and TC) and meteorological factors for 24 hours. Statistical analyses of the monitoring data showed that the concentrations were significantly higher during the dropping than during the rising. Especially, this tendency was remarkable in winter. Comparing the contribution ratios of chemical fractions in PM_{2.5} aerosols during the dropping and those during the rising, the ratios of organic matter and sulfate increased during the rising. Furthermore, a comparison was made between the PM concentrations at the beginning of the AP change and those during the dropping or the rising of 5 hPa. Positive correlations between the PM (except for EC and nitrate) concentrations at the both time points were significant only at the dropping. Particle number size distribution during the dropping shifted to smaller sizes during the rising.

Key words: front line, particulate matter, atmospheric pressure drop, long term monitoring

1. はじめに

寒冷前線が接近、通過するときに、自律神経が気圧などの変化に対応できずに生じた関節痛、喘息の発作、呼吸器症状の悪化などを気象病と呼び、生気象学の分野で以前から研究されている(生気象学の事典,1992, 田中ら,2002、渡辺ら,1993)。このメカニズムは必ずしも解明されていないが、閉鎖腔内でのガス容量の増加、気泡の形成がもたらすと考えられている。一方、大気環境の分野では、大気中の粒子状物質(PM)、特に微小な PM_{2.5} は呼吸器疾患をはじめ、健康影響を及ぼすことが既に良く知られており(Solomon ら,2003、Shima ら,2002)、粒子状物質濃度の増加が呼吸器疾患の急性影響に関与することも報告されている(Lu ら,2008、Neuberger ら,2004、番場ら,2003)。また、米国の PM_{2.5} の環境基準設定にも日死亡数と PM_{2.5} 濃度との関連性についての研究が根拠とされている(Laden ら,2006)。したがって、PM 濃度に気圧変化が関連する場合には、PM の健康影響を検討する場合にも PM 濃度への気圧変化の影響を明らかにする必要がある。これまで寒冷前線の通過が粒子濃度に影響を及ぼすこと(Gasparini ら,2004、水元ら,2000)、高気圧域から低気圧域への移行時に高 PM_{2.5} 濃度が発現すること(Modey ら,2004)などが報告され

ているが、前線通過による気圧変化の PM 濃度への影響について詳細な吟味や解析が充分行われているとは言えない。

本研究では前線の接近、通過を示す気象条件と粒子状物質濃度をほぼ1年間にわたり観測し、気圧の降下および上昇を前線接近および通過の指標として、該当する事例を抽出することで前線の通過が実際に粒子状物質濃度に影響しているかを定量的に検討した。

2. 観測方法

2.1 粒子状物質濃度の測定

2006年10月1日～2007年8月10日に、東京都新宿区大京町にあるビル1階においてPM濃度の1時間値を連続測定した。同地点は前に外苑西通りが走り、日交通量は2万台余である。ただし、ディーゼル自動車の割合は10%未満である。測定成分は①PM_{2.5}(含揮発性、不揮発性)、PM_{2.5}中の半揮発性成分、②PM₁₀質量濃度、③硫酸塩、④硝酸塩、⑤元素状炭素(EC)・有機炭素(OC)の質量濃度である。以下これらを総称してPM濃度と呼ぶ。

半揮発性成分とはPM_{2.5}中二次粒子として存在している硝酸塩、OCなどであり、気温によって気化してその濃度が大

1 京都大学大学院エネルギー科学研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

2 東京ダイレック株式会社 〒160-0014 東京都新宿区内藤町1内藤町ビルディング

3 環境影響研究所 〒166-0001 東京都杉並区阿佐谷北 5-15-11

大きく変動するので、正確に濃度を計測することは難しい。本研究では、上記測定成分の測定に①～⑤の測定装置を独立して使用しており、構成を以下に述べるが、①～⑤のすべての装置には $PM_{2.5}$ 分級装置がサンプリング空気を採取するために装着されている。従来の $PM_{2.5}$ の測定装置 TEOM1400(Thermo Electron 社製)のセンサー部温度を $50^{\circ}C$ に設定し、不揮発性 $PM_{2.5}$ および不揮発性 PM_{10} の濃度観測を行うとともに、TEOM8500-FDMS(Thermo Electron 社製)を用いて、センサー部 $30^{\circ}C$ の温度設定で $PM_{2.5}$ 中の含揮発性 $PM_{2.5}$ (半揮発性成分+不揮発性成分)と半揮発性成分の 2 成分について濃度観測を行った。なお、 PM_{10} に半揮発性成分は含まれない。半揮発性成分については、6 分ごとに TEOM センサーに導入される流路を、除湿のみの試料大気とフィルターで PM が除去された試料大気とに切り替える方法でエアロゾル粒子の質量濃度(半揮発性成分補正前)及び半揮発性成分の損失量を検出し、半揮発性成分濃度を計測する。両装置の各成分に対する質量濃度分解能は $0.1\mu g/m^3$ であり、測定時間は 1 時間である。さらに、硝酸塩については放電気化方式ナイトレートモニター (Thermo Electron 社製, 8400N)、硫酸塩については放電気化方式サルフェイトモニター (Thermo Electron 社製, 8400S) により計測した。なお、両装置の各成分に対する質量濃度分解能は $0.2\mu g/m^3$ 、測定時間はサンプリング 10 分、分析 2 分、待機時間 3 分の合計 15 分間である。EC、OC の計測には熱光学炭素粒子分析式カーボンエアロゾル分析装置 (Sunset Laboratory 社製)を使用した。装置の OC・EC 各成分に対する質量濃度分解能も $0.2\mu g/m^3$ であり、測定時間はサンプリング 42 分、分析 8 分、待機時間 10 分の合計 60 分間である。

2007 年 2 月 26 日～5 月 10 日には、粒径 $10\sim 450nm$ を 32 チャンネルの分解能で計測可能な SMPS3034 (TSI 社製)を用いて、粒径別個数濃度を計測した(測定期間が他の対象よりも短くなったのは、機器のスケジュール調整などのために測定不可期間が生じたことによる)。

2.2 前線接近、通過事例の選択

気象要素(気温、湿度、風速、気圧)の 1 時間値は、気象庁大手町地点の資料を利用した。前線は寒気団と暖気団の境界が地表面で交差し、等圧線の折れ曲がり地点にできるので、気圧の変化により表現できる。そこで、PM 濃度連続測定期間における気圧データの時間変化のうち、Fig.2 のモデル図に示したように東京地方に前線が接近して気圧が降下し、通過に伴って気圧が連続的に上昇したケースを以下のように選択した。

気圧降下の条件として、

- 1) 気圧 1 時間値の単調減少傾向が 24 時間以上連続
- 2) t_{ds} (降下開始時刻：初めて気圧が減少に転じた時刻の 1 時間前) から 24 時間以内に $5hPa$ 以上降下
- 3) 上昇の条件として
- 1) t_{ds} から 24 時間～2 日間以内に気圧上昇に転じ単調増加

傾向が 24 時間以上継続

- 2) t_{us} (上昇開始時刻：初めて気圧が上昇に転じた時刻の 1 時間前) から 24 時間以内に $5hPa$ 以上上昇をそれぞれ満たす場合とした。

なお、気圧の降下および上昇が 24 時間経過後も不明確な場合は選択しなかった。 $5hPa$ としたのは、前線の通過時に気圧変化が $5hPa$ 以下の事例は観測されなかったことによる。さらに、事例数が半減する $10hPa$ も考慮した。ここで、降下、上昇の開始時刻は Fig.1 のような気圧変化の時間的推移に基づいて決定した。

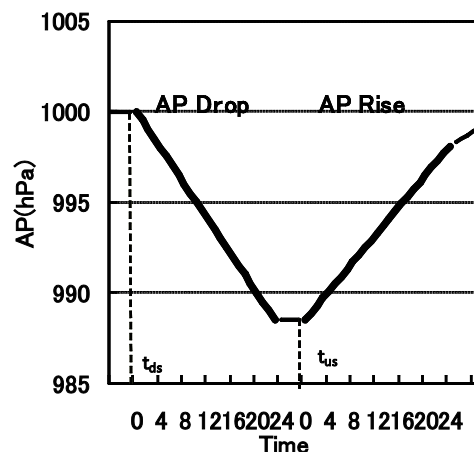


Fig.1 A selected example in AP (Atmospheric Pressure) change

2.3 解析方法

選択基準によって抽出された気圧降下・上昇イベント時の $PM_{2.5}$ などの質量濃度について、以下の検討を行った。

- 1) 気圧降下開始時刻から 24 時間経過後までの濃度平均値と上昇開始時刻から 24 時間経過後までの濃度平均値を比較し、両濃度平均値の差の検定を行った。
- 2) 気圧降下時と上昇時における含揮発性 $PM_{2.5}$ の成分である硫酸塩、硝酸塩、EC、OC の構成比を量的に比較した。
- 3) 気圧が降下または上昇開始時刻における濃度と $5hPa$ および $10hPa$ 変化後の濃度との有意差検定を行った。
- 4) 降下開始時刻と $5 hPa$ 降下または上昇開始時刻と $5 hPa$ 上昇時の濃度変化の解析を行った。

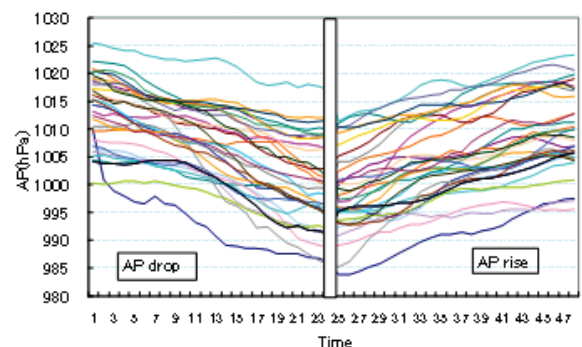


Fig.2 Observed cases at AP dropping and rising

5) 気圧降下と上昇時の24時間平均粒径分布(個数濃度基準)の差異を検討した。

3. 結果および考察

3.1 気圧降下時と上昇時の比較

選択したケース数はFig. 2のような変化の計31回、月別にはTable 1の通りで、気圧降下の幅は6.9~33.1 (hPa)、上昇の幅は6.3~21.3 (hPa)であった。春季(3~5月)が最も多く、冬季(12~2月)がこれに次ぎ、秋季(9~11月)、夏季(6~8月)が少なかった。

Table 1 Number of selected cases in each season

Season	Spring	Summer	Fall	Winter
Number	13	4	4	10
AP drop	6.9 - 33.1 (hPa)			
AP rise	6.3 - 21.3 (hPa)			

Table 2 Elemental statistics for 24 hours at AP dropping and rising in winter

Factor	AP drop			AP rise		
	Mean	SD	n	Mean	SD	n
PM _{2.5} (Semi-volatile) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30.7	14.1	96	11.4	7.4	90
PM _{2.5} (Non-volatile) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	21.4	11.1	94	11.1	5.3	92
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	27.6	11.9	96	14.3	5.2	96
Volatile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6.9	3.0	96	3.8	3.1	96
Sulfate ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.6	1.9	96	2.0	0.9	96
Nitrate ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4.8	3.2	96	1.4	1.9	96
OC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5.4	2.7	96	3.0	1.7	96
EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.5	0.6	96	0.4	0.3	96
Temperature($^{\circ}\text{C}$)	7.4	2.4	96	7.8	2.1	96
Abs. humidity (g/m^3)	4.7	1.3	96	3.2	1.3	96
Wind velocity(m/sec)	3.2	1.5	96	5.0	2.2	96
AP(hPa)-1000	10.6	8.5	96	5.4	7.1	96

気圧降下の24時間と気圧上昇の24時間におけるPM濃度などの平均値の差の検定を行い、全期間と四季の中では変動要因(黄砂、湿度など)の少ない冬季の結果をFig.3に有意水準p値で示した。なお、TCは全炭素でECとOCの和である。また、冬季における降下時、上昇時24時間における各要因の基礎統計量はTable 2のようであった。

冬季の方が全期間よりも全体に有意水準レベルが高く、PM成分濃度のほとんどは有意水準5%未満で有意であった。すなわち、気圧降下時の濃度の方が気圧上昇時の濃度よりも有意に高く、前線の接近と通過が濃度に影響を及ぼしていることが示された。特に、PM_{2.5}の含揮発性成分や硝酸塩、OCなどの濃度変化は他に比べて有意差が著しい。気圧変化は半揮発性成分の粒子とガスとの分配に影響を及ぼすことが報告されており(Chu,2004、奥村ら,2007)、一つの要因として、気圧降下は粒子化に、気圧上昇はガス化に作用した可能性が推察される。さらに、気圧降下時の風速が3m/sであったのに対

し、気圧上昇時には5m/sと増加しているのも、もう一つの要因として拡散による濃度低下が生じたことも考えられる。ただし、要因ごとで降下時と上昇時の比較ができるものの、要因間では欠測値の時間が異なるため、全データが得られている1月6日、1月12日、2月8日、2月17日の2日間セット、計8日間のデータでTable 2同様の比較を行い、結果をTable 3に示した。平均値の差の検定の結果は冬季全体の場合とほぼ同様であった。

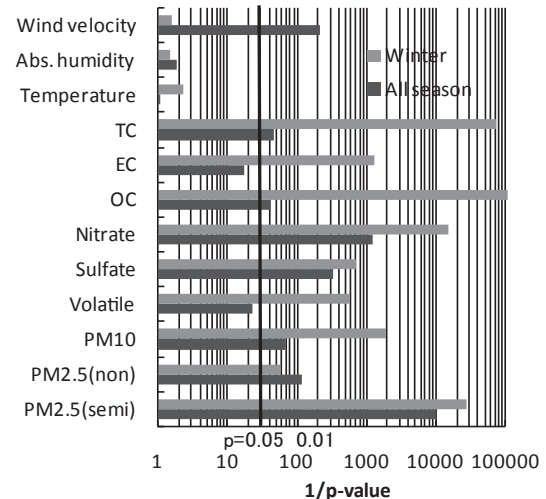


Fig.3 Significant difference tests between 24h-mean values of PM properties and meteorological factors at AP dropping and those at AP rising

Table 3 Elemental statistics for 24 hours at AP dropping and rising in winter (case of complete data)

Factor	AP drop			AP rise		
	Mean	SD	n	Mean	SD	n
PM _{2.5} (Semi-volatile) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	32.5	14.8	216	11.1	7.8	206
PM _{2.5} (Non-volatile) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	21.4	9.3	238	10.8	7.1	230
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	26.4	10.5	240	14.4	8.1	237
Volatile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7.6	3.3	216	3.3	2.9	200
Sulfate ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.8	1.5	192	2.0	1.2	192
Nitrate ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5.7	3.5	216	1.4	1.6	216
OC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5.3	2.3	168	2.9	1.6	168
EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.5	0.9	168	0.4	0.3	168
Temperature($^{\circ}\text{C}$)	8.9	2.8	240	8.3	2.4	240
Abs. humidity (g/m^3)	5.3	1.3	240	3.1	1.1	240
Wind velocity(m/sec)	3.0	1.4	240	5.2	2.1	240
AP(hPa)-1000	12.2	7.0	240	9.9	7.2	240

3.2 気圧降下時と上昇時のPM_{2.5}成分の構成比較

PM_{2.5}成分の構造を比較すると(1)式のように表現でき、X₅はその他を示す。ここで、OCから有機炭素総量OMへの換算係数は、Takegawaらが提案した値1.6を用いた(Takegawaら,2005)。また、各物質の構成比の一覧をTable 4に示した。以上のように、気圧降下時と上昇時とでは、明らかに含揮発性PM_{2.5}の質量濃度が気圧降下時に大きく、顕著な差が認められた。この原因は降下時と上昇時での気象条件の差異によ

Table 4 Contribution ratios of chemical components in PM_{2.5} aerosol

		M	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
		PM _{2.5}	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	OM=1.6OC	EC	Residue
AP dropping	Mass concentration (μg/m ³)	30.7	3.6	4.8	8.6	1.5	12.2
	Percentage	100	11.7	15.6	28.1	4.9	39.6
AP rising	Mass concentration (μg/m ³)	11.4	2	1.4	4.8	0.4	2.8
	Percentage	100	17.5	12.3	42.1	3.5	24.6
Total	Mass concentration (μg/m ³)	21.1	2.8	3.1	6.7	1	7.2
	Percentage	100	14.7	14	35.1	4.2	32.1

$$M = X_1(SO_4^{2-}) + X_2(NO_3^-) + X_3(1.6OC) + X_4(EC) + X_5(Residue) \quad (\mu g / m^3) \quad (1)$$

る。気温は両者に差がなかったが、他の気象要素には差が認められた。風速は拡散を促進する要因であるので、大きくなれば PM_{2.5} の全体量を減少させる。大気中の水分(絶対湿度)が多い場合には、PM の重量を増加させ、各成分についても増加させる可能性が考えられる。降下時と上昇時の 24 時間平均値では差が認められなかったが (Fig.3)、開始時期 12 時間に限定すると、降下時の方が上昇時よりも絶対湿度が大きかった ($p < 0.01$)。一方、降下時と上昇時の硫酸塩、硝酸塩、OM、EC は含揮発性 PM_{2.5} の 60~80% であった。その他には、海塩粒子 (塩素イオン)、硝酸塩の陽イオン物質、硫酸塩の陽イオン物質の NH₄⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ などと、土壌粒子成分中の金属 Al、Si、Fe などが含まれる。また、降下時の成分比は、最大成分がその他で、OM が続き、次に、上昇時には硫酸塩、降下時は硝酸塩となった。さらに、EC の割合が他の物質に比べて小さかったことは、自動車排出ガス規制が強化されたことや観測地点のディーゼル自動車の交通量の少ないことに起因する可能性がある。ちなみに、割合で比較すると、降下時は硝酸塩 < OM、上昇時は硝酸塩 > OM のように見かけ上逆転しているが、PM_{2.5} の質量濃度は降下時の方が上昇時よりも 3 倍近く大きく、硝酸塩、OM の濃度はともに降下時 > 上昇時であり、濃度が逆転するものではない。

なお、前線の通過による湿度変化が粒子状物質濃度の増加をもたらすことが指摘されている (Chu, 2004, Sanchez-Ccoyllo ら, 2002)。冬季に関してはこれと同様の結果であった。ただし、今回の気圧降下時と上昇時の絶対湿度について、全期間を通して対応がある場合の平均値の差を検定したところ、Fig.3 に見られたような有意差は見られなかった ($p > 0.05$)。冬季以外の時期においては絶対湿度の変動が大きく、降下時と上昇時との有意差を検出することは困難であった。また、選択したケース 31 回中気圧降下時に降雨があったのは 20 回、日平均降水量 15.6 mm、気圧上昇時は 31 回中 4 回、日平均 0.3 mm であった。このように大半が小雨であるので、washout による PM 濃度減少は小さいと考えられる。ちなみに、降雨前後 5 時間と降雨中 (0.2 mm/時以上、平均は 1.6 mm/時) の濃度比較を行うと、降雨前後が $n=54$ 、降雨中が $n=55$ とほぼ同数で、硝酸塩は $p < 0.01$ 、半揮発性成分は $p < 0.05$ で有意差があり、いずれも降雨中の濃度の方が高かった。他の物質では有意差が見られなかったが、全体に降雨中の濃度の方が高めで、降

雨が濃度減少に寄与しないことが示された。降下時と上昇時での絶対湿度と硫酸塩、硝酸塩との相関係数は、硫酸塩がそれぞれ -0.093 ($p > 0.05$)、0.763 ($p < 0.01$)、硝酸塩がそれぞれ 0.203、0.599 (ともに $p < 0.01$) であった。したがって、湿度は降下時よりも上昇時の方が硫酸塩、硝酸塩との相関が高かった。

一方、冬季は低湿度で、降雨も気圧降下時に 10 回中 6 回 (日平均 5.0 mm)、気圧上昇時は 0 回とさらに少なく、他の変動要因の影響が四季の中で最も小さいために、気圧変化の影響が顕著に現れたと考えられる。したがって、前線の接近と通過の濃度への影響を検討するためには、他要因の影響の小さい冬季が好ましいことから、以下の重量に関する解析は冬季について行った。

3.3 気圧降下または気圧上昇した際の濃度変動

冬季において、気圧が 5hPa または 10hPa 降下または上昇した事例を選択すると、その到達時間は Table 5 のようであった。気圧が 5hPa または 10hPa 降下または上昇するまでの時間はかなり幅があり、降下と上昇で差はない。また、5hPa 変化した 10 例中 10hPa 以上の変化は 6 例であった。気圧降下または気

Table 5 Time to change by 5 or 10 hPa at AP dropping and rising in winter

	AP drop		AP rise		N
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	
5hPa	10.1±4.5hr	6~23hr	8.1±4.3hr	3~17hr	10
10hPa	16.3±3.9hr	9~21hr	17.2±5.4hr	7~19hr	6

Table 6 Correlation analyses between values of factors in starting and 5hPa or 10hPa AP changing points

Factor	AP drop		AP rise	
	5 hPa	10 hPa	5 hPa	10 hPa
PM _{2.5} -				
semi-vol	0.676 *	-0.039	-0.046	0.245
non-vol	0.639 *	0.843 *	-0.236	0.895 *
PM ₁₀	0.806 **	0.567	0.316	0.873 *
Volatile	0.692 *	0.185	0.786	-0.471
Sulfate	0.755 *	0.821 *	-0.108	-0.068
Nitrate	0.492	0.532	0.658	-0.070
OC	0.811 *	(0.676)	0.621	(0.651)
EC	0.179	(-0.727)	0.236	(0.414)
TC	0.769 *	(0.624)	0.564	(0.840)

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, N=4 in parentheses

圧上昇の開始時点と 5hPa または 10hPa 変化した時点との各物質濃度の相関・回帰分析を行うと、Table 6 のようであった。10hPa 変化した 6 例のうち、OC・EC・TC は欠測があつて 4 例となり、少数のため結果について信頼性が不足している(括弧表示、すべて $p>0.05$)。5hPa 変化の場合、降下時には硝酸塩と EC を除いて有意の相関であったが、上昇時には半揮発性成分のみが有意であった。以上のことから、5hPa 変化しても 2 時点の PM 濃度に相関関係が認められると推察される。気圧降下時には概ね推察通りであった。5hPa 降下時の開始時

Table 7 Regression analyses between values of factors in the starting point and the 5hPa AP dropping point

Factor	Coeff of determ-ination	N	Coeff of regress-ion	Intercept	
				Value	SD
PM _{2.5} -					
semi-vol	0.457	9	1.15	7.9	11.4
non-vol	0.662	10	1.02	1.4	9.7
PM ₁₀	0.408	10	1.01	0.9	7.3
Volatile	0.479	9	1.09	3.6	2.0
Sulfate	0.569	9	0.982	3.4	1.2
Nitrate	0.242	8	0.918	1.0	2.3
OC	0.658	6	1.08	0.7	0.7
EC	0.032	7	0.352	-	-

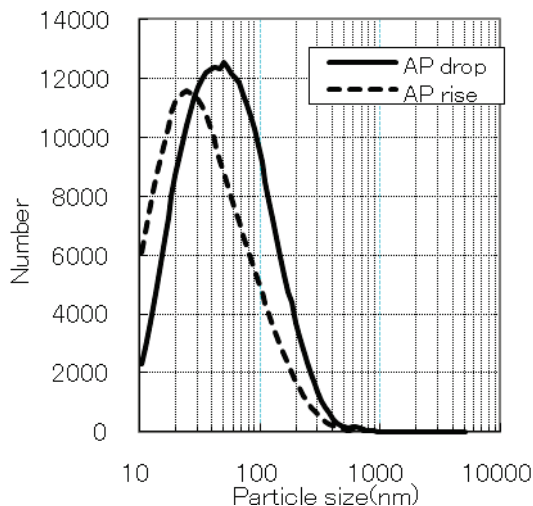


Fig. 4 Comparison of particle size distributions at AP dropping and AP rising

点と変化した時点における回帰分析では、Table 7 のように EC 以外は回帰係数がいずれも 1 に近似し、回帰係数の検定で、EC 以外は回帰係数=1 との有意差が認められなかった。EC は気圧降下の影響が小さいと推察される。したがって、これらにより (5hPa 降下時点の濃度) = (降下開始時点の濃度) + (切片) で推察でき、(切片) は 5hPa 降下による濃度効果を表す。濃度としては、含揮発性 PM_{2.5}、PM₁₀、PM_{2.5} 中、

含揮発性 PM_{2.5} が (7.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、不揮発性 PM_{2.5} が (1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、PM₁₀ が (0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、半揮発性成分が (3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、硫酸塩が (3.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、硝酸塩が (1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、OC が (0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。ただし、ばらつき (SD) が大きいので、上記値の精度が高いとは言えない。

3.4 気圧降下と上昇の粒径分布

個数濃度観測期間で気圧降下と上昇の条件に該当したのは 6 回であった。総個数濃度平均は、それぞれ 35.7 万個/ cm^3 と 39.5 万個/ cm^3 で有意差は見られなかった。しかし、降下時は上昇時よりも粒径が大きくなった(粒径モード値は降下時が 35nm、上昇時が 25nm)。粒径分布を見ると、両者の個数濃度は 30nm 付近で逆転し、これ以下の粒径では気圧上昇時の個数が多く、これ以上の粒径では気圧降下時の個数濃度が多く観測され、粒径分布がシフトした(Fig.4)。この原因としては、前述のように気圧上昇が半揮発性成分粒子からのガスの揮散に作用した可能性があることや前線通過後は逆転層の消失によって粒径 100~1000nm の粒子が拡散しやすくなり、粒子数が減少するとの報告¹⁷⁾があるので、その結果、Fig.3 で得られたような気圧上昇時よりも気圧降下時に質量濃度が大きくなると考えられる。ただし、この確認のためには、質量濃度、個数濃度についての総合的な解析が必要である。

4. まとめ

従来粒子状物質による健康影響を検討する際に、気圧変化は気象要素の一つとして考慮されても、健康影響の要因としては考慮されなかった。そこで、1 年間東京都心部で PM_{2.5}(含揮発性、不揮発性)や PM₁₀、PM_{2.5} 中の半揮発性成分、硫酸塩、硝酸塩、EC・OC・TC の各質量濃度を連続観測し、前線の接近、通過を気圧の降下、上昇で表し、両者の関連性を統計的に検討した。

24 時間 PM 濃度平均値は、ほとんどの物質で気圧降下時が上昇時よりも有意に高いことが明らかになった。特に冬季に限定すると有意水準が高まった。降下時と上昇時の硫酸塩、硝酸塩、OC、EC は含揮発性 PM_{2.5} の 50~60% で、成分構成比については、降下時から上昇時に、OM、硫酸塩が大きくなるなどの変化が見られた。また、気圧が 5hPa 変化したとき、降下時には多くの物質の濃度が変化前後で有意に関連したのに対し、上昇時には関連しなかった。さらに、2 月 26 日から 5 月 10 日まで観測した個数濃度の気圧降下時と上昇時とを比較すると、総個数濃度に有意差はなかったが、粒径分布は降下時に比べて上昇時に粒径の小さい側にシフトした。

(受稿日 2009.11.30) (掲載決定日 2010.3.9)

文 献

番場洋子, 高林将, 内山巖雄: 微小粒子状物質の曝露による健康への急性影響評価, 環境衛生工学研究, 17, 253-258 (2003)

- Chu, S.H., PM_{2.5} episodes as observed in the speciation trends network, *Atmos Environ*, 38, 5237-5246 (2004)
- Gasparini, R., Li, R., Collins, D.R., Integration of size distributions and size-resolved hygroscopicity measured during the Houston Supersite for compositional categorization of the aerosol, *Atmos Environ*, 38, 3285-3303 (2004)
- Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F.E., Dockery, D.W., Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study, *Am J Respir Crit Care Med*, 173, 667-672(2006)
- Lu M., Shima, M., Yoda, Y., Yamamoto, H., Nakai, S., Watanabe, H., Nishimuta, T., Effects of Airborne Particulate Matter on Respiratory Morbidity in Asthmatic Children, *J Epidemiol*, 18, 97-110(2008)
- 水本美佳, 日置正, 竹前道夫: 低気圧の通過による大気汚染物質濃度の変化について, 京都府保健環境研究所年報, 45, 91-95 (2000)
- Modey, W.K., Eatough, D.J., Anderson, R.R., Martello, D.V., Takahama, S., Lucas, L.J., Davidson, C.I., ambient fine particulate concentrations and chemical composition at two sampling sites in metropolitan Pittsburgh: a 2001 intensive summer study, *Atmos Environ*, 38, 3165-3178 (2004)
- Miura, K., Sekikawa, T., The change of the aerosol particles number concentration and chemical elements due to the passing of a cold front, *Aerosols Sci Ind Health Environ*, 2, 966-969 (1990)
- Neuberger, M., Gomiscek, B., Puxbaum, H., Schimek, M.G., Horak, F.J.R., Moshhammer, H., Kundi, M., Frischer, T., Hauck, H., Acute effects of particulate matter on respiratory diseases, symptoms and functions: epidemiological results of the Austrian Project on Health Effects of Particulate Matter, *Atmos Environ*, 38, 3971-3981(2004)
- 日本生気象学会編: 生気象学の事典, 朝倉書店(1992)
- 奥村幸彦, 岡崎健: 加圧下におけるバイオマスの熱分解・ガス化特性, 日本機械学会論文集, 73(731), 1434-1441 (2007)
- Sanchez-Ccoyllo, O.R., De Fatima, A.M., The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in Sao Paulo, Brazil, *Environ Pollut*, 116(2), 257-263 (2002)
- Shima, M., Nitta, Y., Ando, M., Adachi, M., Effects of Air Pollution on the Prevalence and Incidence of Asthma in Children, *Arch Environ Health*, 57, 529-535(2002)
- Solomon, C., Poole, J., Palmer, K., Coggon, D., Jarup, L., Cardio-respiratory morbidity and long-term exposure to particulate air pollution, *Int J Environ Health Res*, 13, 327-335(2003)
- Takegawa, N., Miyazaki, Y., Kondo, Y., Komazaki, Y., Miyakawa, T., Jimenez, J. L., Jayne, J. T., Worsnop, D. R., Allan, J. D., and Weber, R. J., Characterization of an Aerodyne Aerosol Mass Spectrometer (AMS): Intercomparison with Other Aerosol Instruments, *Aerosol Science and Technology*, 39:760-770 (2005)
- 田中正敏, 能川浩二, 谷島一嘉, 曾田研二, 稲葉裕: 環境と健康, 杏林書院(2002)
- 渡辺行雄, 将積日出夫, 伊東宗治, 石川美幸, 水越鉄理: 気象(とくに寒冷前線通過)とメニエール病発作との関連性について, *Equilib Res Suppl*, 21-24 (1993)

前線通過による粒子状物質濃度への影響

曹 仁秋^{1,2}, 牧野 国義^{2,3}, 東野 達¹, 山本 浩平¹

1 京都大学大学院エネルギー科学研究科

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

2 東京ダイレック株式会社

〒160-0014 東京都新宿区内藤町1内藤町ビルディング

3 環境影響研究所

〒166-0001 東京都杉並区阿佐谷北 5-15-11

前線の接近と通過に伴う気圧 (AP) 降下と上昇が粒子状物質 (PM) 濃度に及ぼす影響を、長期間モニタリングされた PM₁₀ (全量)、PM_{2.5} (含揮発性成分、不揮発性成分、硫酸塩、硝酸塩、EC・OC) や気象要素の 24 時間平均値について解析した。モニタリングデータの統計的解析の結果、濃度は上昇時よりも降下時により有意に増加し、特に冬季に顕著であった。降下時と上昇時の PM_{2.5} 成分比を比較すると、有機物と硫酸塩は上昇時に成分比が上昇した。さらに、AP 変化の開始時点と 5hPa 変化時点との濃度を比較したところ、降下時には EC と硝酸塩を除くほぼすべての成分濃度に有意な正の相関があったが、上昇時には有意差は認められなかった。また、PM 個数濃度の粒径分布は、上昇時には降下時から小粒径側にシフトした。