

都市域の大気汚染由来汚濁物質の堆積と流出

城戸由能・齋藤慶司*・中北英一

** 京都大学工学部地球工学科

要 旨

近年、下水道の整備などにより家庭や工場といった発生源が特定できる特定汚染源(Point Source)からの汚濁負荷流出が削減され、晴天時の公共用水域の水質改善が図られてきた。しかし、地表面等に堆積した汚濁物質が降雨流出に伴い流出する非特定汚染源(Non-Point Sources)からの汚濁負荷流出については十分な対策がとられていない。特に、都市活動などによって晴天時に都市表面に堆積した大気降下物が、降雨に伴い河川へと流出する過程について解明することは、今後の河川水質を評価するうえで重要である。

本研究では、晴天時において都市表面に堆積する大気降下物に着目し、その堆積量に影響を与える要因について考察を行った。まず、対象流域とした京都市内における自動車交通量データや大気汚染データを収集し、その傾向や特性について分析した。また、京都市内において大気降下物堆積量についての観測を行い、その分析結果により、自動車交通量や気象条件などが大気降下物堆積量に与える影響などについて考察を行った。

キーワード: 非特定汚染源, 大気降下物, 都市河川水質, 雨天時流出

1. はじめに

近年、下水道等の整備により生活排水・工業排水の浄化が進み、家庭や工場等の特定汚染源(Point-Source)からの汚濁物質が削減され、河川等公共用水域の晴天時水質は改善されてきた。一方、都市域では、自動車交通量の増大や都市開発による施設立地などの活動に起因して発生した汚濁物質が風などの気象現象によって移動しながら屋根面や道路面等の都市表面に堆積し、特に降雨初期の雨水流出とともに流出すると考えられている(城戸他, 2004)。このように排出源が面的に分布して特定しにくい非特定汚染源(Non-Point Source)からの汚染が近年注目されている。

大気降下物は、降水に伴い降下する湿性降下物と晴天時に降下する乾性降下物に分類されるが、過去の調査事例においては湿性降下物に着目した調査が多く(駒井, 2004)、そのほとんどが酸性雨の状況把握を目的とし、乾性降下物についてはその一部として捉えられているのが実状である。さらに乾性降下物については実測が難しく定量的評価が困難であるた

め調査事例も少なく、これまであまり有効な削減対策はとられていこなかった。

そこで、本研究では、都市表面に定常的に供給され晴天時に短期間に堆積量が変化することが予想される大気汚染物質由来の降下物に着目し、降下物量の実測調査と大気汚染物質の移流拡散および沈降量の推定を行い、大気汚染起源の堆積汚濁負荷の定量的評価と流出特性について検討した。

2. 調査対象域と研究方法

本研究では、京都市内の自動車交通量の異なる地域を対象として晴天時に堆積する大気降下物量調査を実施した。次に自動車交通量調査(道路交通センサス)に基づいて、対象地域内の主要道路での大気汚染物質排出量の推定を行い、さらに、大気汚染物質の移流拡散および沈降モデルを用いて大気降下物堆積量を推定し、自動車交通量や気象条件等が大気降下物に与える影響等について考察を行った。解析の流れをFig.1に示す。

2.1 利用データと観測の概要

2.1.1 自動車交通量と汚濁物質排出量

自動車交通量については平成11年度道路交通センサスを用いた。道路交通センサスでは京都市内の府道以上の道路と一部の市道のうち、交通量や道路条件の著しい変化のない区間を目安として分割された区間を単位として6車種別に1時間ごとの通過交通量を観測している。観測地点は市内全265カ所で、全地点で昼間交通量(7:00~19:00までの12時間交通量)、33地点では24時間交通量を観測している。調査は平日および休日それぞれ一日で実施されたものである。

大気降下物観測地点周辺主要道路の車種別交通量を推定するために、まず市内33カ所で観測された24時間交通量データを基に平日・休日別に総交通量および車種別の昼間交通量と夜間交通量の相関分析を行った。分析結果をTable 1に示す。その結果、昼間交通量と夜間交通量の間に高い相関性が認められたので、大気降下物観測地点周辺主要道路のうち夜間交通量未計測道路については昼間交通量から夜間交通量を推定した。次に夜間の各時間ごとの交通量を推定するために、夜間交通量調査が実施されている道路区間において各時間における平均交通量を夜間12時間総交通量で除すことで、夜間12時間交通量に対する各時間の交通量の割合(時間係数)を算出した。先に求めておいた車種別夜間12時間交通量に各時間係数を乗ずることで各車種の1時間ごとの通過交通量を算出した。この計算を、大気降下物堆積量観測の観測地点近辺の道路についてそれぞれ行った。

2.1.2 大気汚染物質排出量

自動車からの大気汚染物質排出量は自動車走行量(交通量×走行距離)に排出係数を乗ずることによって求められる。排出係数とは自動車一台あたり、単位走行距離あたりの排気ガス中汚濁物質質量であり、車種別に複数の汚濁物質について実験的に得られたデータが公開されている。本研究では、自動車走行に伴うSPM(Suspended Particle Matter; 浮遊粒子状物質)、NOx(Nitrogen Oxides; 窒素酸化物)およびIHC(Total Hydro Carbon; 全炭化水素)の排出係数について、文献(公害研究センター, 2000, 浮遊粒子状物質対策検討会, 1997)から、交通センサスの車種分類に対応する係数値を与えた。

まず車種については、自動車交通量データとして用いた道路交通センサスの区分に従い、乗用車、バス、軽貨物自動車、普通貨物自動車の4車種に分類し、軽乗用車は乗用車に、軽貨物車は小型貨物車に、特殊車は普通貨物車に分類した。

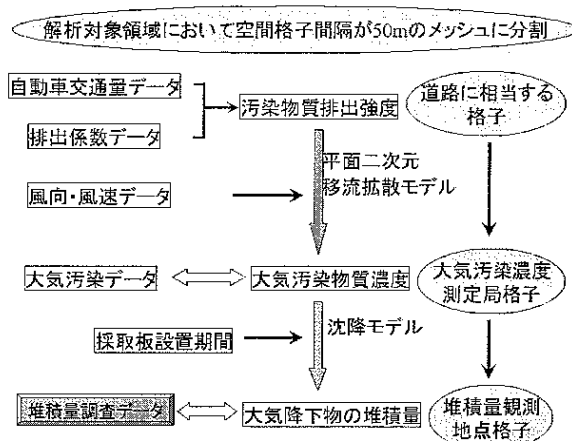


Fig.1 Flowchart of Analysis

Table 1 Correlation Analysis between Day and Night Automobile Traffic Rate 表差し替え

		回帰式	相関係数R
平日	全車種	$y=0.551x-2236.1$	0.960
	乗用車	$y=0.502x+140.6$	0.918
	バス	$y=0.311x-29.2$	0.931
	小型貨物車	$y=0.259x-195.7$	0.932
	普通貨物車	$y=0.542x-125.7$	0.878
休日	全車種	$y=0.526x-1605.7$	0.979
	乗用車	$y=0.479x-719.9$	0.978
	バス	$y=0.278x-12.87$	0.974
	小型貨物車	$y=0.410x-130.7$	0.917
	普通貨物車	$y=1.200x-166.8$	0.928

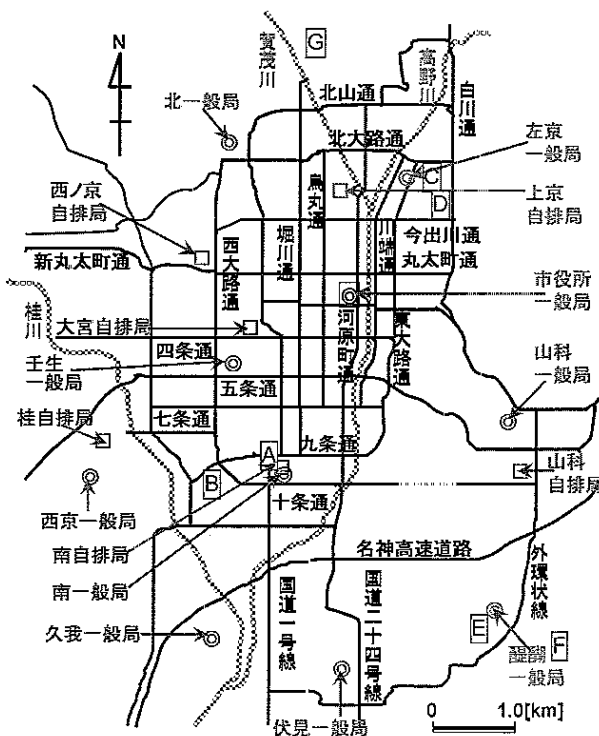


Fig.2 Air Pollution Observation Stations and Investigation Points of Dry-deposition(A~G) in Kyoto City Area

SPMに関しては、走行距離当たりの自動車排気口からの排出係数のほか、タイヤ磨耗、走行巻き上げによる排出係数についても調査されており、調査結果には幅がある(浮遊粒子状物質対策検討会、1997)。そこで、排気口・タイヤ磨耗・走行巻き上げについて、最大値・最小値・平均値を算定し、それぞれを合計した3ケースに基づいて各道路からの大気汚染物質排出量を算定した。

NOxの排出係数については、公害対策研究センター(2000)が作成した車種別・速度区分別のNOx排出係数データに基づき、SPMと同様に、各車種別排出係数の最大値と最小値を決定し、排出係数の平均値については、京都市内の一般道路における標準走行速度を40(km/h)に設定し(村上、2003)、対応する値を排出係数の平均値とした。

SPMとNOxの排出係数をTable 2に示す。IHCについては車種別の調査データが無かったので、全車種についての調査結果[0(g/km/台)]を一律に与えた。

2.1.3 大気汚染濃度

京都市では大気汚染防止法に基づいて市内に一般環境大気測定局(以下、一般局)10局、自動車排出ガス測定局(以下、自排局)6局を設置し(Fig 2)、大気汚染物質濃度常時監視を行っている。各局の測定項目をTable 3に示す。一般局は一般的な大気汚染の状況を把握することを目的に設置され、自排局は道路周辺における状況を把握するために設置されている。これらの大気汚染物質が屋根面・地表面等に堆積し、降雨に伴い流出した場合の水質汚染物質との対応をTable 3に示す。今回収集したデータは、道路交通センサス実施年度に対応する平成11年度および降下物堆積量調査時期を含む平成16年度の大気汚染・気象データの1時間値を入手した。

大気降下物堆積量の観測地点の近辺に設置されている南一般局、左京一般局、醍醐一般局および南自排局について、道路交通センサスの調査年度と大気降下物両調査に対応する2つの期間のSPM、NOx、IHCの日内時間変化について分析した。南一般局・

Table 2 Unit Exhaust Rate for each type of Automobile [Unit; g/km/Car]

		軽乗用車	乗用車	バス	軽貨物車	小型貨物車	貨客車	普通貨物	特殊車
SPM	Max-Case	0.340	0.496	0.896	0.340	1.096	1.096	1.096	1.096
	排気口Max	0.040	0.196	0.196	0.040	0.196	0.196	0.196	0.196
	タイヤ磨耗Max	0.100	0.100	0.400	0.100	0.600	0.600	0.600	0.600
	走行巻き上げMax	0.200	0.200	0.300	0.200	0.300	0.300	0.300	0.300
	Min-Case	0.080	0.080	0.265	0.080	0.120	0.120	0.360	0.360
	排気口Min	0.010	0.010	0.065	0.010	0.050	0.050	0.060	0.060
	タイヤ磨耗Min	0.020	0.020	0.100	0.020	0.020	0.020	0.200	0.200
	走行巻き上げMin	0.050	0.050	0.100	0.050	0.050	0.050	0.100	0.100
	Average-Case	0.210	0.269	0.534	0.210	0.569	0.569	0.684	0.684
	排気口Average	0.025	0.084	0.084	0.025	0.084	0.084	0.084	0.084
	タイヤ磨耗Average	0.060	0.060	0.250	0.060	0.310	0.310	0.400	0.400
	走行巻き上げAverage	0.125	0.125	0.200	0.125	0.175	0.175	0.200	0.200
NOx	Max-Case(H6)	0.606	0.749	12.374	0.846	2.191	2.191	10.521	7.721
	Average-Case(H6)	0.148	0.209	3.986	0.665	0.707	0.707	3.389	2.494
	Min-Case(H6)	0.144	0.199	3.454	0.577	0.666	0.666	2.947	2.189

Table 3 Public Observation of Air Pollutants and Meteorological Elements in Kyoto City

項目	地点	一般大気測定局				自動車排出ガス測定局			京都タワー局	京都地方気象台	対応する流出汚濁物質*
		南局	左京区	西京区	醍醐局	南局	山科局	桂局			
SO2		○	○	○	○	△	△	△	△	△	SO4
SPM		○	○	○	○	○	○	○	○	○	SS
NOx		○	○	○	○	○	○	○	○	○	T-N (P-N, D-N)
	NO2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
CO		○	○	○	○	○	○	○	○	○	(I-C)
THC		○	○	○	○	○	○	○	○	○	TOC (POC, DOC)
	CH4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
NMHC		○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Ox		○	○	○	○	○	○	○	○	○	
気象要素	気温	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	湿度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	風向	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
風速	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

※SO2:二酸化硫黄,SPM:浮遊粒子状物質 NOx:窒素酸化物 NO2:二酸化窒素,NO:一酸化窒素,CO:一酸化炭素,THC:全炭化水素,CH4:メタン,NMHC:非メタン炭化水素 Ox:オゾン,SO4:硫酸イオン,SS:浮遊粒子状物質 T-N:全窒素 P-N:懸濁態窒素 D-N:溶存態窒素 I-C:無機態炭素 TOC:全有機態炭素 POC:懸濁態有機炭素 DOC:溶存態有機炭素

南自排局の1999年度のSPM, NO_xの時間変動をFig 3に示す。全地点の時間変動特性として、午前7時～午前10時における汚染物質濃度が一日の中で最も高く

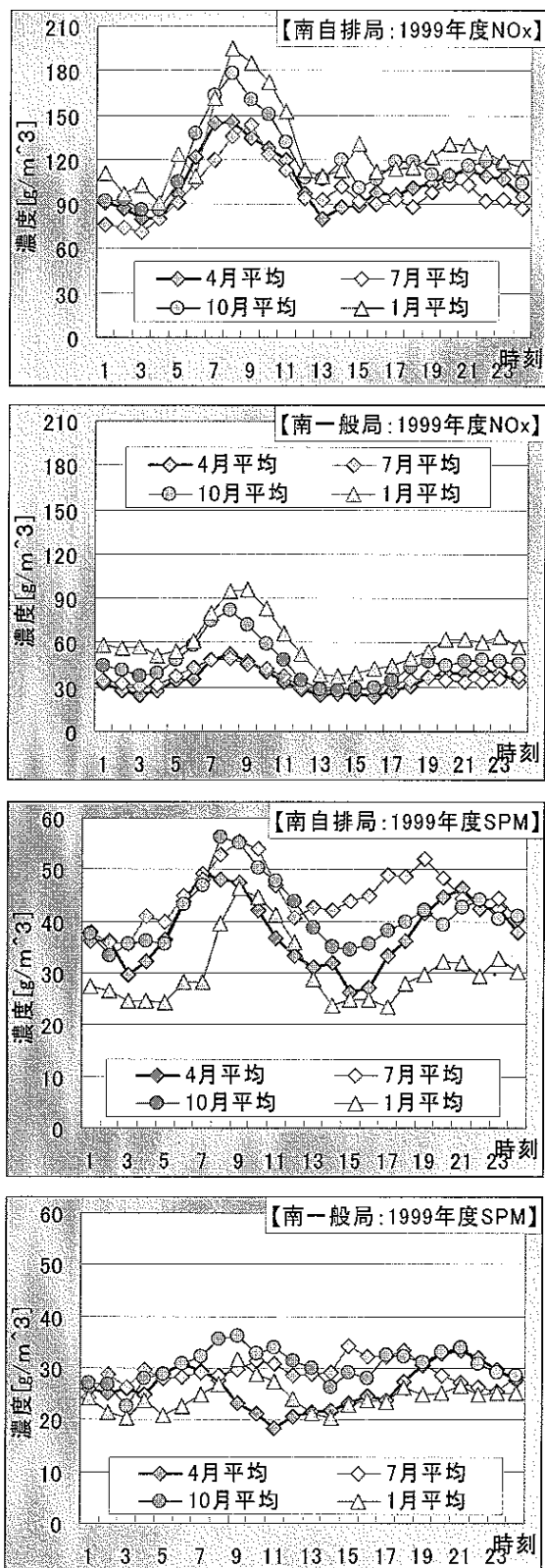


Fig.3 Hourly Average of Air Pollutant Concentration at Monitoring Stations in Minami Ward

なり、次いで19時～22時に小さなピークが現れる。NO_xではこの特徴は顕著に現れている。この時間帯は朝夕における通勤および帰宅ラッシュの時間帯であり、自動車交通の影響でこのような濃度変化をしていると推測される。この特徴は特に沿道に設置された南自排局において顕著であることから自動車交通量の影響は大きいことが明らかとなった。また、SPMおよびNO_x濃度について南一般局と南自排局を比較してみると、2地点は空間的には同地域に設置されているにも関わらず、明らかに自排局のほうが大きな濃度を示している。このことより、SPMおよびNO_x濃度については自動車の排出ガスの影響が大きく、道路から離れた地点への影響は小さいことがわかる。

1999年度と2004年度の大気汚染物質濃度については、物質や観測地点、観測月によって特徴が異なっている。二期間における汚染物質濃度の月平均値をFig 4に示す。なお、ここで示す月平均値は、環境基準の評価方式に基づいて1時間測定値の平均値から求めた。まず、年内月変動における特徴としては、NO_x濃度が夏と冬によって大きく変動すること、SPM濃度においては年間を通して大きな変動特性は見られないことが挙げられる。冬季の濃度が高く

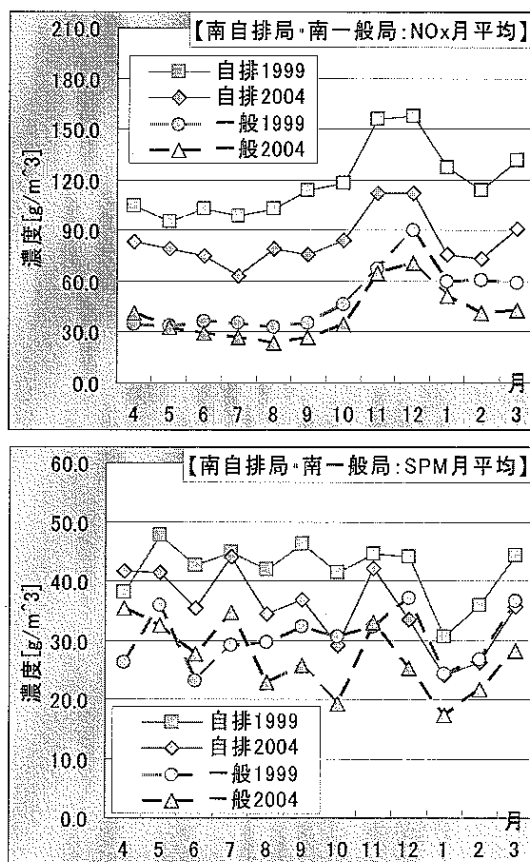


Fig 4 Monthly Average of Air Pollutant Concentration at Observation Stations in Minami Ward

なる要因としては、気温低下のために自動車のエンジンを回すエネルギーが夏場よりも必要なこと、暖機運転等アイドリングによる排出ガス増加などが考えられるが、南自排局よりも南一般局での年内月変動が大きいことを考慮すると、より広域の道路交通の影響および自動車交通以外のバックグラウンド濃度の影響によってその傾向が現れることが推測される。また、NOxについては、二期間において月変動の傾向は似ているが、1999年度に比べて2004年度は全体的に濃度は低く、一般局に比べて自排局において2004年度の濃度が低くなっている。これは、自動車の排出ガス規制の強化や低公害車の普及の影響が考えられる。SPMについては、1999年度に比べて2004年度は全体的に濃度は低く、二期間の月変動にやや違いが見られ、2004年度の8月と9月の濃度が1999年度に比べて低くなっている。全体的な濃度現象についてはNOxと同じ理由が考えられるが、夏季8月・9月の差異については、気象現象等との関係もあり原因は不明確である。

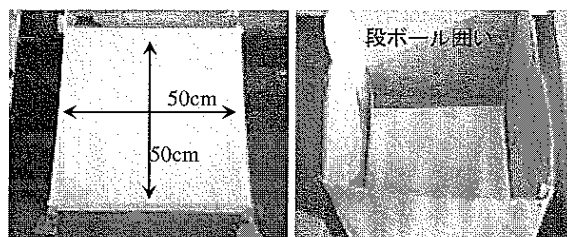


Fig 5 Collect Devices of Dry-deposits

Table 4 Automobile Traffic Load near each Air Pollutant Monitoring and Dry-deposition Observation Stations in Study Area

近隣道路平日 昼間交通量	近隣大気汚染観測局	装置設置場所	
25,000～ 40,000台	南一般局	南区	A[役所]
	南自排局		B[学校]
15,000～ 25,000台	左京一般局	左京区	C[学校]
			D[学校]
10,000～ 15,000台	醍醐一般局	伏見区	E[学校]
			F[学校]
2,000～ 10,000台		北区	G[学校]

2.1.4 大気降下物堆積量観測

本研究では大気降下物堆積量の定量を目的とし、一旦屋根面等に降下した汚濁物質の降下面からの移動や時間経過に伴う分解等の変化も考慮に入れ、50×50cmの亚克力板製採取装置(Fig 5左)を陸屋根等に設置し、一定期間晴天が続いた後に採取面を純水洗浄とともに洗浄後残存物を採取紙で拭き取り両者を分析した。前者は、通常の雨水流出によって流出する降下物を、後者は強降雨時のみに流出する可能性がある降下物と考える。洗浄水と採取紙を実験室に持ち帰り、降下物中の物質の定量分析を行った。さらに、一旦採取面に降下した物質が風により飛散する影響を検討するために、採取板の周りに高さ50cm程度の段ボール板で周囲を囲んだもの(Fig 5右)と囲まないものと同じ地点に一基ずつ設置した。観測期間は2004年12月～2005年1月で、採取板の設置期間は平均4.02(最大7.02～1.81)日であった。試水については炭素、窒素および13種類のイオン(Li, Na, Ca, Mg, K, SO₄, PO₄, F, Cl, Br, NH₄, NO₂, NO₃)、採取紙およびSS測定後の濾紙については、石油系炭化水素についても分析した(DEXSIL社製,Petro FLAG)。

3. 観測および解析結果

3.1 大気降下物堆積量観測結果

各観測地点におけるSS, IOC, I-N, SO₄²⁻の降下物量と設置期間の関係を分析した。従来の研究で

Table 5 Dry-deposition on Collect Devices with/without Windbreak Shelter

区名	設置場所	SS		TN		TOC	
		囲有 >無	囲無 >有	囲有 >無	囲無 >有	囲有 >無	囲無 >有
南	A[役所]	2	3	2	3	3	2
	B[学校]	0	5	0	5	1	4
左京	C[学校]	4	1	3	2	4	1
	D[学校]	2	2	1	3	4	0
伏見	E[学校]	1	3	0	4	3	1
	F[学校]	1	3	1	3	1	3
北	G[学校]	0	5	0	5	0	5
計		10	22	7	25	16	16

※数値: サンプル数

は堆積量が無降雨期間、つまり今回の観測では採取板の設置期間を説明変数とする飽和型関数で近似されることが多い。しかし、今回の観測結果からは必ずしも同様の関係が見いだせず、大気降下物の堆積量を無降雨期間のみを説明変数として表すには限界があることが明らかとなった。また、同地点の複数の物質の降下量が同じような挙動を示すのは、大気中のNO_xやIHCなどが屋根面に沈降するまでにSPMに付着して降下するため、沈降したSPMの量との間に強い相関関係があることが考えられる。

3.2 自動車交通量・飛散現象の影響

大気降下物堆積量観測地点と大気汚染観測局の近隣を通る主要道路の平日昼間交通量との関係を分析

した。結果をTable 4に示す。ほとんどの物質の堆積負荷量は南区で最も高く、次いで左京区、伏見区、北区の順となった。これは各地域における主要道路の自動車交通量の関係と一致している。

囲いがある採取板には大気からの純沈降量、囲いのない採取板では一旦沈降した物質が採取板外に飛散し、堆積量は減少するという仮説を立てた。しかし、観測の結果、必ずしもそのような傾向は見られなかった。囲いの有無と大気汚染降下物堆積量の大小関係をTable 5にまとめる。採取板に堆積した汚濁物質が風により飛散する影響よりも、陸屋根式の校舎等の屋上では屋根部分そのものが周囲を雨じまいで仕切られ、一旦沈降した汚濁物質は陸屋根部から外に出ず、残存しやすい構造となっていた。このため採取板の周囲から陸屋根面に堆積した汚濁物質が風の影響で囲いの無い採取板に飛び込み堆積量が増加する場合も観測された。囲いの有無と堆積量の傾向は、TOCでは比較的囲いのある採取板の堆積量が多く、SSとI-Nでは逆に囲いの無い採取板の堆積量が多かった。

4. 大気汚染物質の移流拡散と大気降下物堆積量の解析

4.1 大気汚染物質の移流・拡散モデル

大気汚染物質の空間的な挙動について、基本的な移流・拡散モデルを用いた。基礎式を以下に示す(岡本, 2001, 河村, 2001)。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} + k \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + q \quad (4.1)$$

ここで、C：大気汚染物質濃度(空間x,y, および時間tの関数), u：風速のx成分, v：風速のy成分, k：拡散係数, q：発生項, である。今回の計算では、空間格子間隔 dx, dy = 500(m), 時間ステップ dt = 5.0(sec), 移流拡散層厚を20mとし、鉛直方向での濃度分布はないものとした。発生源として主要道路格子に自動車交通量から求めた汚染物質排出量を与え、全域の初期濃度は領域内観測地点の初日濃度を与えた。風速場として、計算対象区域にある大気汚染観測点の時間平均風速および時間最頻風向を時間毎に全域一定として与えた。さらに、自動車からの汚染物質排出強度については、自動車の走行速度に基づいて求めた最大値・最小値・平均値の3つのケース(Table 2)について計算を行った。拡散係数については、X軸方向とY軸方向の係数値は同じとし、文献値を参考にその変動範囲を決め、大気汚染観測地点での計算値と観測値との誤差二乗和が小さくなる

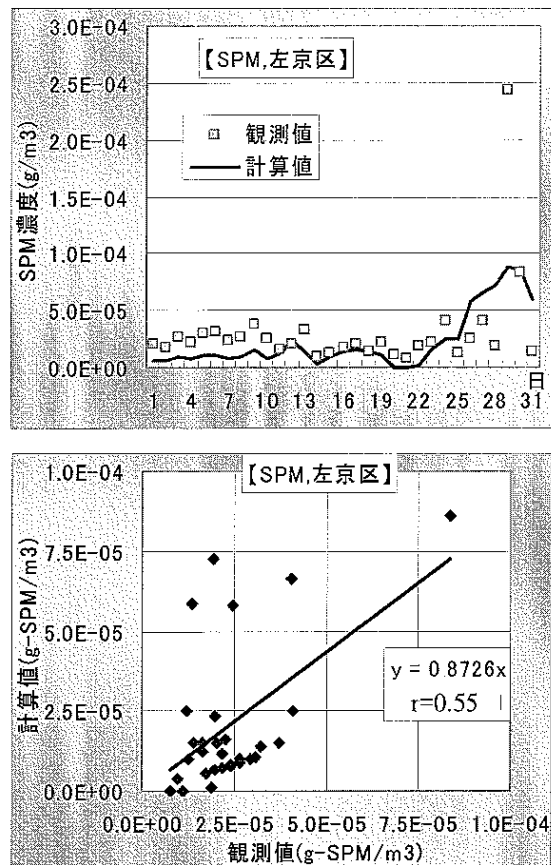


Fig.6 Observation and Calculation of SPM Concentration by Advection and Dispersion Model

よう決定した。SPMを対象として左京区における2000年1月の再現計算では0.001 (m²/sec)の値を採用した。左京区におけるSPMの日平均値の計算結果の一例をFig 6に示す。月の初旬では計算値が観測よりも低く、中旬では観測値と同レベルまで計算値は上昇し、15日~20日頃までの観測値の傾向を計算値がうまく表現している。月の下旬で計算濃度が上昇し、観測結果とずれる傾向にあるが、観測値も大きくばらついており、この時期の交通量や風速等の気象の影響を強く受けていることが考えられる。特に観測値が異常に高い29日のデータを除いた他の日平均値の観測値と計算値の相関を見ると、月の上旬に計算値が観測値を下回り、下旬には計算値が観測値を上回ることにより分散しているが、相関分析の結果、回帰係数は1に近く、相関係数Rも0.55であった。再現性は必ずしも十分とはいえないが、この計算結果を用いて次の大気汚染物質降下物量の推定を行うことにする。

4.2 大気汚染物質の沈降

大気汚染物質のうち粒子状のものは重力沈降により地表面に到達する。NO_xやIHCなどもSPMに吸着

して沈降する傾向があることが観測結果から明らかとなっている。そこでSPMの代表粒子径である $10\mu\text{m}$ を用いて、Stokesの沈降式から平均沈降速度を求め(河村, 2001), 降下物観測地点上空の大気汚染濃度および採取期間から、総沈降量を求めた。基礎式を以下に示す。

$$V_s = (2r^2 \rho_p g) / (9 \mu \rho_a) \quad (4.2)$$

ここで、 V_s : 粒子沈降速度(m/s), r : 代表粒子半径(m), ρ_p : 粒子比重(kg/m^3), g : 重力加速度($9.8\text{m}/\text{s}^2$), μ : 空気動粘性係数($1.5 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$), ρ_a : 空気比重(kg/m^3)である。左京区での大気汚染物質の移流・拡散計算で求められたSPM濃度と上式(4.2)を用いて、採取期間中に屋根面に沈降する粒子状物質量を求めた。降下物観測結果と計算による沈降量をFig 7に示す。モデル計算では採取板設置期間が最大(167.4日)の場合には過大な沈降量を、採取板設置期間が最小(51.5日)の場合には過小な沈降量を推定しているが、採取板設置期間が91.2日までの沈降量については、大気汚染物質降下堆積量の観測値の傾向と似ており、採取板設置期間(無降雨期間)のながくとも、観測地点上空の大気汚染濃度によって沈降量が少なくなる場合があることをモデル上で再現できた。

従来の堆積量推定では無降雨日数の増加に対して堆積量は単調増加するモデル式が用いられてきたが、上空の大気汚染濃度を考慮することで、必ずしも無降雨日数が大きいほど堆積量が大いとは限らない場合の推定が可能である。

4.3 大気降下物の雨天時流出の難易性

採取面を純水で洗浄することによって採取した成分と純水洗浄後に付着残存しているものを採取紙によって拭き取って採取した成分について、前者を流出しやすい成分、後者を難流出性の成分と考え、その特性について考察を行った。分析結果をTable 6に示す。溶存態のうち流出しにくい成分は洗浄水中物質量の0.28%(DOC), 0.03%(D-N)と非常に少ない。これに対して懸濁態では2.91%(POC)であり、流出しにくい成分が数パーセントのオーダーで採取板上に残存していることが確認された。次に降下堆積物中の石油系炭化水素量は南区で特に高い値を示しているが、それ以外の地点では $0.4\mu\text{g}/\text{g}$ 以下であり、SSおよびIOC濃度との比も0.1~7.7%であった。流出初期の合流式/分流式放流水平均濃度と比べると、オーダーは同じだが降下物量と比べてやや高く、SSおよびIOCとの比率は降下物に比べて高かった。石油系炭化水素については自動車排出物の影響が強く、道路

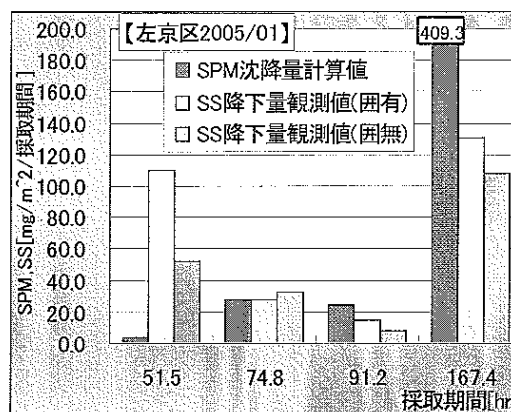


Fig. 7 Calculation of Dry-deposition

Table 6 Runoff Characteristics of Pollutant Deposits

	難/易流出成分比[%]			
	TOC(NPOC)			T-N
	[TOC]	[POC]	[DOC]	[D-N]
単純平均	0.99%	2.91%	0.28%	0.03%
南区役所: 囲有	2.89%	3.02%	0.31%	0.02%
南区役所: 囲無	2.69%	2.80%	0.17%	0.02%
京大農G: 囲有	0.03%	—	0.36%	0.03%
京大農G: 囲無	0.12%	—	0.44%	0.04%
高野中: 囲有	0.08%	—	0.11%	0.03%
高野中: 囲無	0.13%	—	0.31%	0.02%

面に直接排出され堆積するものが多く、大気汚染物質となって屋根面に降下する成分は少ないことが確認された。

5. まとめ

本研究では、自動車交通量が大气降下物堆積量に与える影響が大きいことを明らかにし、また、従来の研究において提唱されてきた大气降下物堆積量と無降雨日数との関係については、堆積量を無降雨期間のみで説明することに限界があることを観測結果と物理モデルによる計算結果の両面から示すことができた。また、一旦屋根面等に堆積した大气降下物が風により飛散して堆積量が減少する現象を説明しうるような結果を得ることはできず、大気汚染物質降下-堆積を定量的に評価するためには、観測データを積み上げた上で、物理的機構についてもより詳細な検討が必要であることが確認された。

謝辞

本研究で利用した大気汚染データを提供いただいた京都市環境保全課、および大気降下物堆積量調査にご協力いただいた施設に謝意を表します。

また、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補

助金基盤研究(A)[研究課題番号:15206058],および防災研究所一般共同研究(16G-C1)の支援を受けたことを記して謝意を表す。

参考文献

岡本 真一(2001):大気環境予測講座,ぎょうせい。
河村 哲他(2001):環境流体シミュレーション,朝倉書店。
城戸由能・深尾大介・岡 太郎(2004):住宅地における発生源別懸濁態汚濁物質の流出解析と発生源対策の評価,土木学会水工学論文集,Vol.48, pp.1453-1458。

国松 孝男,村岡 浩爾編著:河川汚濁のモデル解析,技報堂出版株式会社pp2-6,69-78,1989。
駒井幸雄(2004):森林集水域におけるリンの収支と流出特性,日本水環境学会誌,Vol.27,No.9,pp.591-594。
公害研究センター(2000):窒素酸化物総量規制マニュアル,pp.116-135。
浮遊粒子状物質対策検討会(1997):浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル,東洋館出版社pp.105-116。
独立行政法人 国立環境研究所ホームページ(2006),
<http://www.nies.go.jp/index-j.html>。
村上雅彦,横田久司他:自動車排出ガス中の炭化水素類の排出実態及びリスク評価試算,東京都環境科学研究所年報,2003。

Deposition and Runoff Characteristics of Pollutants Derived from Air Pollution

Yoshinobu KIDO, Kenji SAITHO* and Eiichi NAKAKITA

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

Dry depositions are important to estimate the impact of storm water runoff to urban water quality. The investigation and analysis of dry depositions in urban area was carried out in this study. Results showed that dry depositions weight are more related to urban mobile transportation and air pollution than dry weather duration. Combination of air pollution advection and diffusion model and pollutant deposition model were modified for accurate estimation of dry depositions.

Keywords: Non-Point Pollution Source, Dry-deposition, Urban River Water Quality, Pollutant Runoff during Wet-weather Condition