

道路沿道の大気汚染物質濃度に及ぼす物流の局地的影響について

竹内和俊

1 はじめに

大気汚染の主たる発生源の一つとして自動車排気ガスが挙げられるが、1996年度～98年度に千葉県が実施した第3次窒素酸化物対策総合調査によれば、1994年度の千葉県全域におけるNOx排出量は約9万1千トンに及び、そのうちの約60%が工場・事業場から、約28%が自動車から排出されたと推計されている。しかしながら、都市域を中心に環境濃度に対する寄与率は自動車排気ガスのほうが大きく、NO₂に係る環境基準の達成に向け、自動車から排出されるNOxの削減が求められている。

一方、自動車から排出される大気汚染物質のうちNOxやPM（粒子状物質）の大部分は大型車から排出され、これら大型車の主たる運行目的が物流にあることは周知の事実である。したがって、都市域の大気環境に及ぼす物流の影響は大きいものと推察されるが、その程度を定量的に報告した例は少ない。

そこで、県内の幹線道路を対象に物流に伴い排出される大気汚染物質の排出量等を推計し、物流による大気汚染物質の道路沿道地域に対する局地的な影響について検討を行ったので報告する。

2 方法

2・1 対象地点等

沼南大津ヶ丘自動車排出ガス測定局（以下、「大津ヶ丘局」。路端距離：10.8m、道路面からの汚染物質測定高度：2.5m、道路面からの風向・風速測定高度：9.5m）を対象測定局とし、その前面の県内主要幹線道路の一つである国道16号（上下4車線）を対象道路とした。この地点の平日における国道16号の交通量は約54千台/日、大型車混入率は平均約32%である¹⁾。図1に対象地点を示す。

2・2 対象年度

対象年度は1997年度とした。その理由は、この年度まで大津ヶ丘局で3車種分類（大型車、小型貨

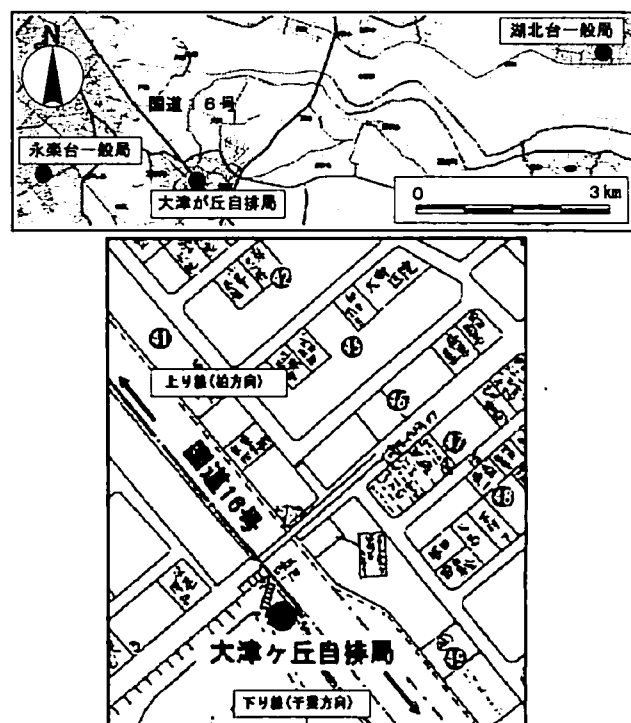


図1 対象地点（広域及び周辺）

物車及び乗用車）による交通量の1時間値が測定されていたこと及びこの年度に一般交通量調査（道路交通センサス）が実施されたことによる。

2・3 対象項目

NOx及びPM（環境濃度としてはSPM：浮遊粒子状物質）を解析対象項目とした。

2・4 解析方法

2・4・1 排出量算出方法

(1) 車種別交通量

大津ヶ丘局で1時間毎に測定された大型車交通量を近傍の柏市弥生町の平成9年度交通センサス平休日別、時刻別、上下線別車種構成¹⁾によりバス、普通貨物車及び特殊車交通量に配分した。また、交通量から大型車交通量を引いたものを同じく平休日別、時刻別、上下線別車種構成により軽乗用車、乗用車、軽貨物車、小型貨物車及び貨客車交通量として配分し、計8車種分類の交通量を推計した。

(2) 旅行速度

大津ヶ丘局を対象として 2000 年度に実施された調査²⁾時の国道 16 号の実走行調査結果から、上下線別に次式 (Greenshields モデル³⁾)により旅行速度を推定した。

$$V = 31 \pm (961 - q/1.87)^{1/2}$$

ただし、 V : 上下線別旅行速度 (km/時)

q : 上下線別交通量 (台/時)

+ : 自由流, - : 拘束流

なお、拘束流は平日下り線の 7 時及び 8 時とし、それ以外は全て自由流とした。また、上述の調査は平日のほぼ 1 日間実施したもので、上式を設定した時の最大交通量は 1800 台/時以下であったが、ここでは休日を中心に 1800 台/時を超える交通量が観測されている。この場合、最大交通量 1930 台/時として上式の係数「1.87」を「1.93」に換えて旅行速度を求めた。

(3) 排出量の算出

上述の車種別交通量及び旅行速度と 1997 年度車種別千葉県 NO_x ⁴⁾ 及び PM 排出係数⁵⁾ から、上下線別 NO_x 及び PM 排出量 (タイヤ摩耗粉塵を含む) を車種別に算出した。

なお、車種別排出量のうち普通貨物車、小型貨物車及び軽貨物車の排出量の和を「物流排出量」(物流に伴う排出量)と定義した。

2・4・2 寄与濃度推計方法

国道 16 号の大津ヶ丘局に及ぼす NO_x 及び SPM 寄与濃度を「道路環境影響評価の技術手法」(財)道路環境研究所)の第 2 巻第 2 編「2. 大気質」に準じて、1 時間値として大気拡散シミュレーションにより推計した。この拡散モデルは、ブルーム式及びパフ式を用いた定常拡散モデルである。また、この方法は国道 16 号からの局地的或いは直接的な寄与濃度の影響であり、広域的な自動車排気ガスの影響や二次粒子の生成を加味したものではない。

2・4・3 その他

大津ヶ丘局及び国道 16 号を挟み大津ヶ丘局に近い柏永楽台一般環境大気測定局(以下、「永楽台局」。

西北西約 3.2km)と我孫子湖北台一般環境大気測定局(以下、「湖北台局」。東北東約 6.9km)の NO_x , SPM 濃度データを収集し、解析に用いた。(図 1 参照)

3 交通実態と日特性区分

物流に伴う大気汚染の影響を検討するには、年間を通じてその影響が大きい平日と少ない休日等に別けて解析を進めることが考えられる⁶⁾。そこで、交通実態からの日特性の区分について検討するため、一例として 1997 年 4 月における国道 16 号の大型車交通量の推移を上下線別に図 2 に示す。

交通量では曜日別等の顕著な差異は認められなかったが、図から大型車交通量の曜日等の別による差異は顕著である。この傾向は他の月についても同様であり、大型車交通量から日特性区分を休日等、土曜等及び平日に分けるのが適当と判断された。

日特性区分はピーク時の大型車交通量から次ぎのとおりとした。

7. 休日等

ピーク時の上下線別大型車交通量が 400 台/時未満の日を「休日等」とした。日曜日及び殆どの国民の祝日が該当するほか、8 月 13 日(水)~16 日(土)のお盆及び 12 月 29 日(月)~1 月 3 日(土)の年末年始がこの区分に該当する。この区分の合計日数は 74 日である。

4. 土曜等

ピーク時の上下線別大型車交通量が 400 台/時以上 600 台/時未満の日を「土曜等」とした。国民の祝日以外の土曜日のほか、仕事始めの 1 月 5 日(月)及び建国記念日の 2 月 11 日(水)がこの区分に該当する。この区分の合計日数は 50 日と少ない。

なお、土曜等は極端に交通量が減少する休日よりは平日に近い交通状態にあると見なし、土曜等の車種構成及び旅行速度は平日と同様とした。

7. 平日

上記の「休日等」及び「土曜等」を除く日を「平日」とした。この区分の合計日数は 241 日である。

なお、対象期間の全ての日(365 日)を含む場合については、本報では「全日」とした。

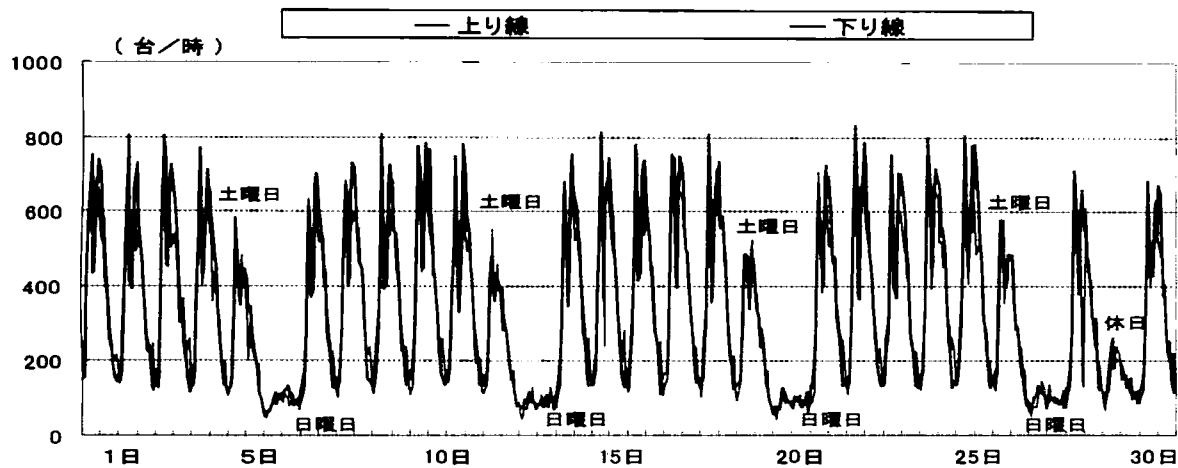


図 2 1997年4月における大型車交通量の推移

4 結果及び考察

4・1 排出量等の算出

4・1・1 窒素酸化物

国道16号のNO_x排出量(kg/km)の1時間値を算出し、月毎の平均値を求めて上下線別に排出量(左軸)及びそのうちの物流排出量の割合(物流割合:右軸)の推移を図3に示す。同じく、NO_x排出量の1時間値を日特性区分毎に平均し、上下線別に排出量及び物流割合を図4に示す。

図3から、どの月もNO_x排出量は下り線のほうが上り線より多い傾向にあり、上り線が1.01~1.17kg/km、下り線が1.18~1.36kg/kmで、上下線合計の排出量年平均値は2.38kg/kmであった。一方、物流割合については、上り線のほうが下り線より大きく、月平均値では上り線が66.9~72.4%、下り線が64.7~70.2%で、上下線合計の物流割合の年平均

値は69.2%であった。

図4から、日特性区分別NO_x排出量は平日、土曜等及び休日等の順に高く、休日等は上下線とも平日及び土曜等の2分の1以下の排出量に留まっている。また、物流割合も排出量と同様の順に高く、平日が75%程度であるのに対し休日等は約50%と低い値となっている。

4・1・2 粒子状物質

NO_xと同様に、国道16号のPM排出量(kg/km)の1時間値を算出し、月毎の平均値を求めて上下線別に排出量及び物流割合の推移を図5に示す。また、PM排出量の1時間値を日特性区分毎に平均し、上下線別に排出量及び物流割合を図6に示す。

図から、PM排出量及び物流割合とも上下線別、月別及び日特性区分別の傾向はNO_xとほぼ同様である。ただし、PM排出量は量的にはNO_x排出量の6

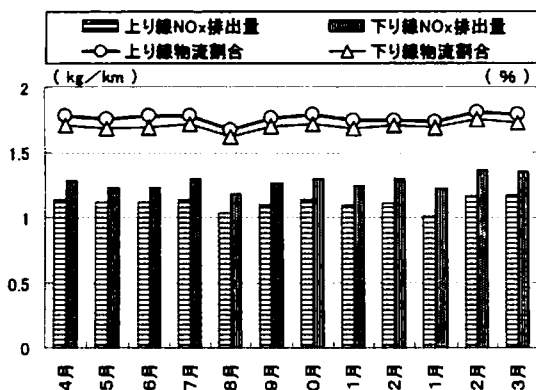


図 3 月平均NO_x排出量及び物流割合の推移

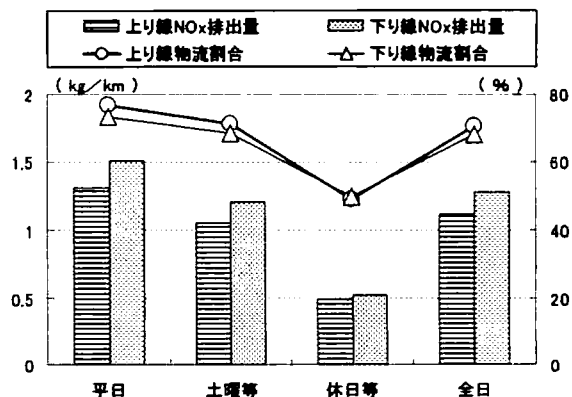


図 4 日特性区分別平均NO_x排出量及び物流割合

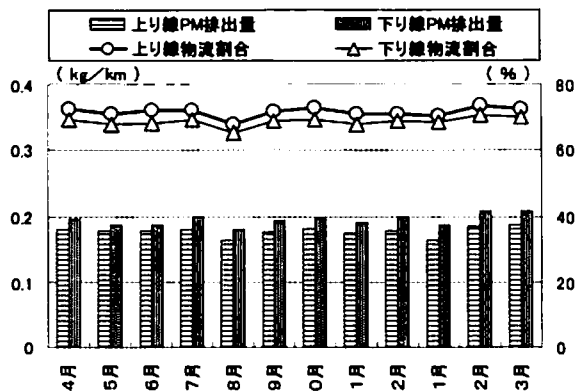


図 5 月平均 PM 排出量及び物流割合の推移

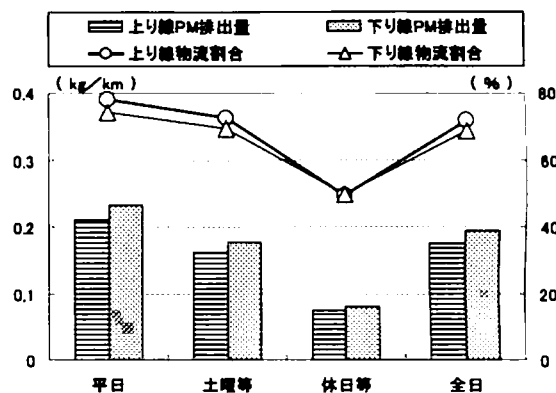


図 6 日特性区分別平均 PM 排出量及び物流割合

分の 1 程度の量(kg/km)に留まっている。

排出量の月平均値は上り線が 0.162~0.187kg/km, 下り線が 0.179~0.208kg/km で, 上下線合計の排出量年平均値は 0.370kg/km であった。一方, 物流割合については, 月平均値では上り線が 67.8~73.4%, 下り線が 65.3~70.7% で, 上下線合計の物流割合の年平均値は 70.0% であった。

4・2 寄与濃度の推計

一例として, 大津ヶ丘局の 1997 年 4 月における NO_x 及び SPM の実測濃度と推計した寄与濃度の 1 時間値の推移を図 7 及び図 8 に示す。

図から, NO_x 実測濃度と寄与濃度の変化は比較的良く一致しているが, SPM 実測濃度と寄与濃度の変化は必ずしも一致していない。また, NO_x 寄与率の月平均値は全排出量では 22.3~34.8%、物

流排出量では 15.6~24.8% と比較的高いが, PM ではそれぞれ 6.7~10.5% 及び 4.9~7.6% と低い値に推計されている。このことは, 本報のモデルでは大津ヶ丘局に対する国道 16 号からの PM の影響が十分に説明できないか, 大津ヶ丘局の SPM に対して国道 16 号があまり直接的な影響を及ぼしていないことを示している。そこで, 1997 年 4 月の大津ヶ丘局, 永楽台局及び湖北台局の NO_x 及び SPM 濃度の推移を図 9 及び図 10 に示す。

図 9 から NO_x については, 永楽台局及び湖北台局は濃度レベル及びその変化が比較的良く一致しており, 地域的な濃度変化の傾向があることが分かる。一方, 大津ヶ丘局は両一般局と類似の変化を示す場合も認められるが, 異なる変化を示す場合が多い。また, 濃度レベルは両一般局に比べ

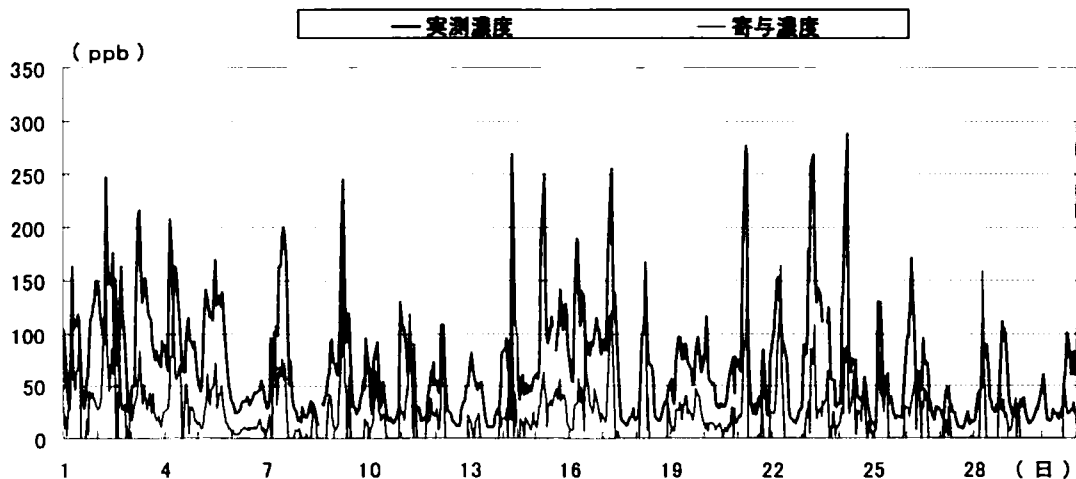


図 7 大津ヶ丘局における NO_x 実測濃度及び寄与濃度の推移 (1997 年 4 月)

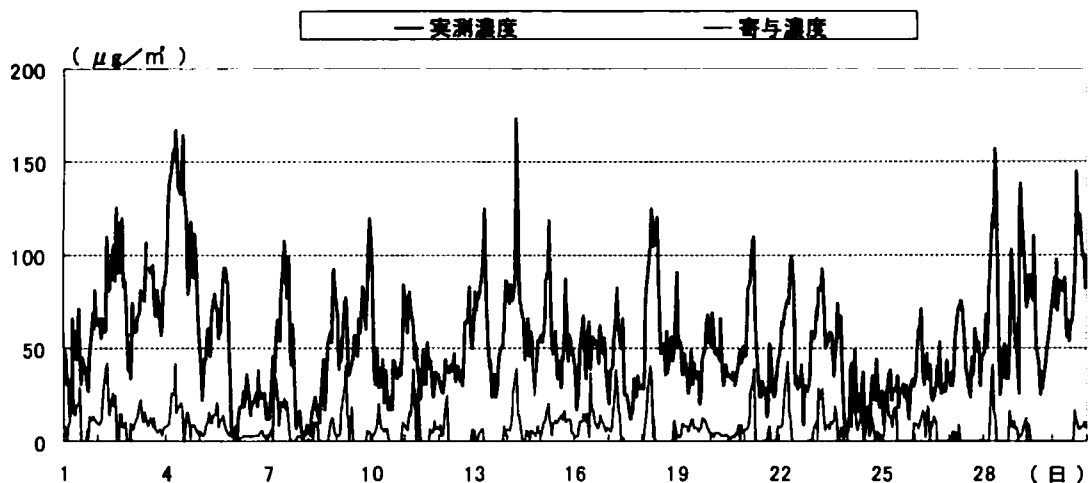


図 8 大津ヶ丘局における SPM 実測濃度及び寄与濃度の推移 (1997 年 4 月)

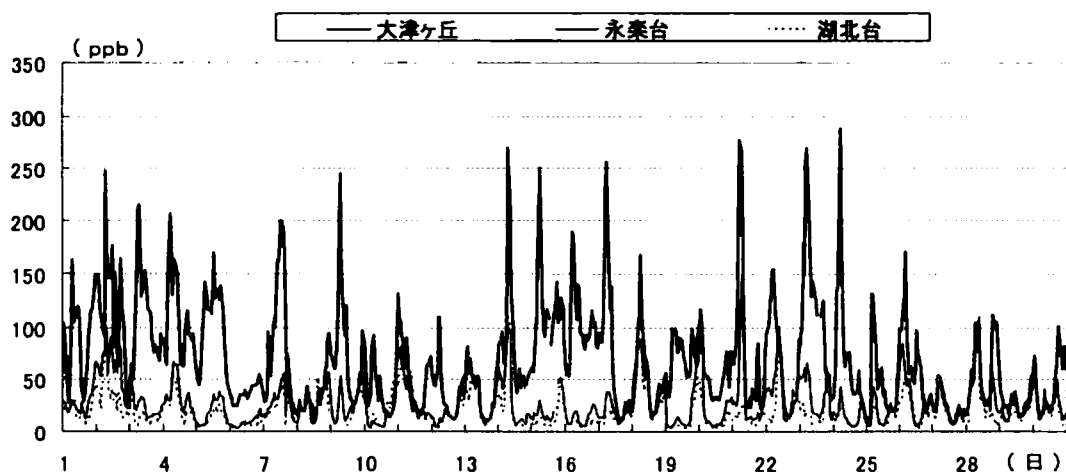


図 9 大津ヶ丘局、永楽台局及び湖北台局における NOx 濃度の推移 (1997 年 4 月)

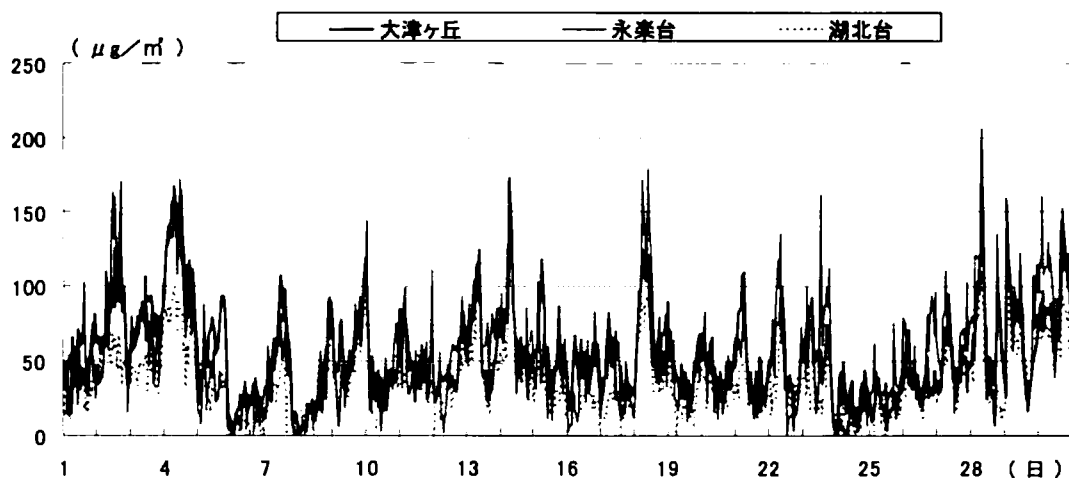


図 10 大津ヶ丘局、永楽台局及び湖北台局における SPM 濃度の推移 (1997 年 4 月)

て顕著に高い場合が多く、NOx は地域的な濃度変化よりは前面の国道 16 号からの局地的或いは直接的な汚染を強く受けていると推察される。

一方、図 10 から SPM については、湖北台局の濃度レベルがやや低いものの大津ヶ丘局、永楽台局及び湖北台局の濃度レベル及びその変化は極め

て良く一致している。この傾向は他の月についてもほぼ同様であり、SPMは前面道路からの局地的な汚染の影響より、ある程度広域的な地域としての汚染の影響を強く受けていると考えられる。

4・3 物流影響の検討

4・3・1 窒素酸化物

NO_x 排出量、大津ヶ丘局の実測 NO_x 及び NO₂ 濃度の日平均値を対象に平日、土曜等、休日等及び全日に区分して年間平均値を求め、その関係を図 11 に示す。同じく、物流割合と実測 NO_x 及び NO₂ 濃度の関係を図 12 に示す。

図から、NO_x 及び NO₂ 濃度とも NO_x 排出量や物

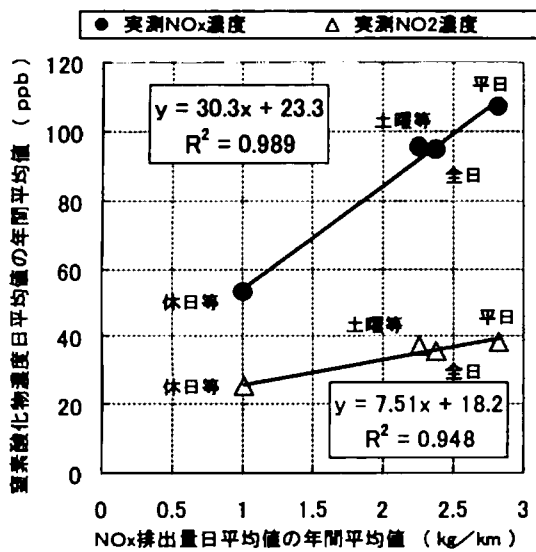


図 11 NO_x 排出量と窒素酸化物濃度の関係

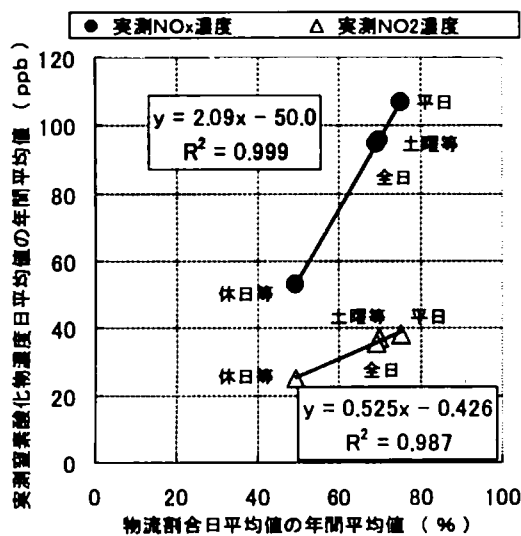


図 12 物流割合と窒素酸化物濃度の関係

流割合と良い関係にある。このうち、図 11 の回帰式から、国道 16 号の NO_x 排出量日平均値が 1kg/km 増加することによって大津ヶ丘局の NO_x 濃度日平均値が約 30ppb、NO₂ 濃度日平均値が約 8ppb 増加すると推定される。また、回帰式の切片から、国道 16 号の NO_x 排出量がゼロに近づいても地域的な日平均バックグラウンド濃度として NO_x が約 23ppb、NO₂ が約 18ppb 存在すると考えられる。

同じく、図 12 の回帰式から、大津ヶ丘局では物流排出割合が 10% 増加すると NO_x 濃度日平均値が約 21ppb、NO₂ 濃度日平均値が約 5ppb 増加すると推定される。また、回帰式の傾き及び y 切片から、物流割合が 30% 以下の値に低下した場合、道路沿道付近にあり NO を主とする大津ヶ丘局の NO_x 濃度は相当程度低下するものの、NO₂ 濃度はそれほど顕著には低下しないことが伺える。

次に、図 11 と同様に平日、土曜等、休日等及び全日の NO_x 排出量日平均値の年間平均値と区分毎の NO₂ 日平均値の 98% 値の関係を図 13 に示す。

図の傾向から、大津ヶ丘局の NO₂ に係る環境基準の達成は、国道 16 号の NO_x 排出状況が 1997 年度程度とすると、気象的な高濃度発生条件の出現状況の如何に依存していると言える。一方、千葉県が独自に設定している環境目標値 (0.04ppm) を達成するためには、NO_x 排出量が 97 年度の休日等程度に低下する必要があることも分かる。そこで、1997 年度～2002 年度の大津ヶ丘自排局の NO₂ に係る 98% 値及び環境基準値の適合状況等を表 1 に示す。

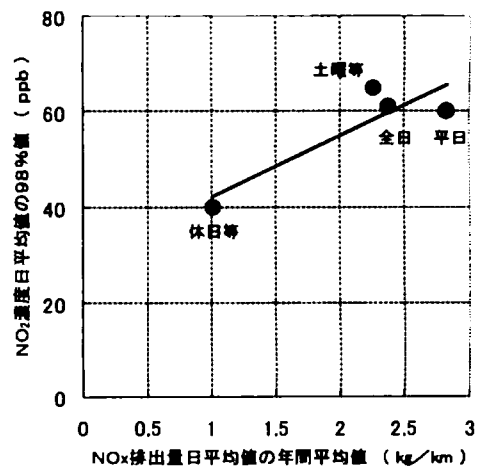


図 13 NO_x 排出量と 98% 値の関係

表 1 大津ヶ丘自排局の NO₂ 環境基準等達成状況

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002
98%値 (ppb)	61	55	54	55	50	52
環境基準値	×	○	○	○	○	○
千葉県環境目標値	×	×	×	×	×	×

(注) ○ : 適合 , × : 不適合

表から、対象年度とした 1997 年度については、環境基準は達成されなかったが、以降の年度については環境基準の達成が図られている。この間の平成 9 年度交通センサスと平成 11 年度交通センサス⁷⁾の比較では、車種分類が変更されているが交通量及び大型車交通量とも大きな変化は認められなかった。したがって、軽油の低硫黄・軽質化や車の買い換えに伴う最新規制適合車の増加等により自動車からの NO_x 排出量が低減され、気象条件によらず環境基準が達成される状況となったものと考えられる。一方、千葉県環境目標値については、1997 年度の休日等の程度には NO_x 排出量や物流の影響が低下していないため、全く達成されていない。

4・3・2 浮遊粒子状物質

前述のように、大津ヶ丘局の SPM は国道 16 号からの直接的な影響より、地域的な濃度変化要因に支配される傾向にあるため図 11 或いは図 12 に示したような良い関係は得られない。そこで、PM 排出量の大きく異なる平日及び休日等を対象に国道 16 号の PM 排出量と大津ヶ丘局、永楽台局及び湖北台局の SPM 濃度の 1 時間値の時刻別平均値を求め、その推移を図 14 (PM 排出量：左軸，SPM 濃度：右軸) に示す。

図から、休日等における国道 16 号の PM 排出量は概ね 0.2kg/km 以下で、こうした排出状況では大津ヶ丘局と湖北台局の SPM 濃度には差があるが、永楽台局の SPM 濃度には殆ど差が認められない。一方、平日は PM 排出量が概ね 0.2kg/km を超える状況にあり、この場合には大津ヶ丘局と湖北台局の SPM 濃度の差はさらに広がり、大津ヶ丘局と永楽台局の SPM 濃度にも明確な差が認められる。そこで、図 14 に示した PM 排出量と大津ヶ丘局と湖北台局または永楽台局との SPM 濃度の差を求め、

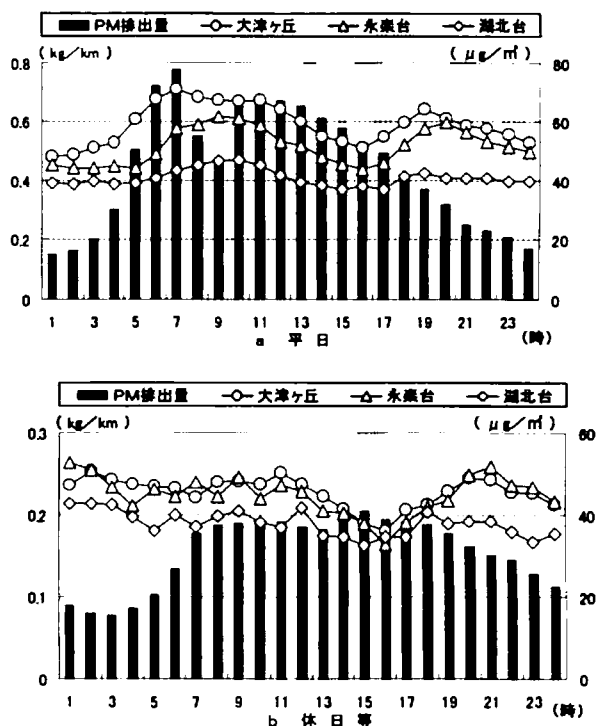


図 14 PM 排出量及び SPM 濃度平均値の時刻別推移

その関係を図 15 に示す。

図から、湖北台局及び永楽台局とも平日と休日等には分布範囲に違いはあるものの、全体としては同一の分布上にあると認められる。そこで、y 切片無しとして PM 排出量と SPM 濃度差の一次回帰式を求めると両局とも図のように比較的良好な関係にあった。これらの関係から、国道 16 号の PM 排出量が 0.1kg/km 増加すると、大津ヶ丘局の SPM 濃度は湖北台より 3.8 μg/m³高い値を示し、永楽台局より 1.5 μg/m³高い値を示すと推察される。ただし、前述のように永楽台局については、国道 16 号の PM 排出量が 0.2kg/km を下回る状況では大津ヶ丘局と永楽台局の SPM 濃度との顕著な差は発生しないと考えられる。

したがって、国道 16 号から排出される PM の大津ヶ丘局に対する局地的或いは直接的な影響は、PM 排出量 0.1kg/km あたり平均 1.5 μg/m³~3.8 μg/m³地域の一般環境より高い SPM 濃度を与える程度の影響であると推定される。前述のように、国道 16 号の PM 排出量の年平均値が 0.370kg/km であることから、国道 16 号からの PM による直接的な影響によって大津ヶ丘局の SPM 濃度は平均 6

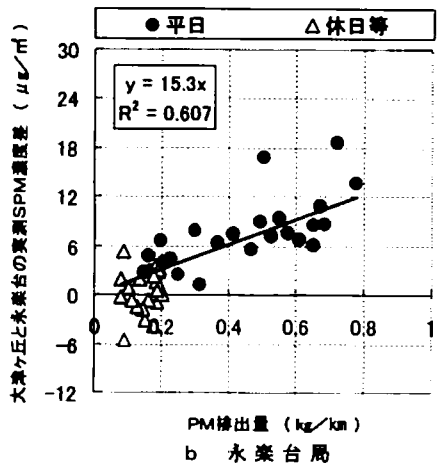
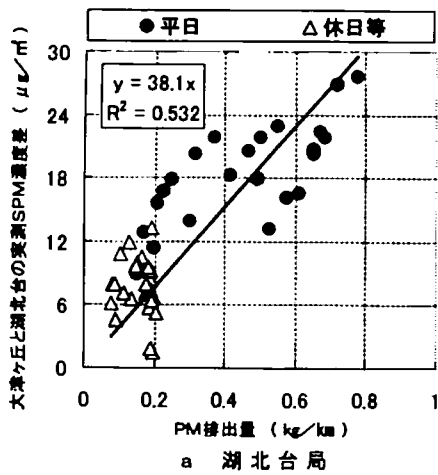


図 15 PM 排出量と SPM 濃度差の関係

$\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度地域の一般環境より高められていると考えられる。なお、PM 排出量の約 70% は物流由来であり、この影響の大部分を占めていると言える。

次に、1997 年度～2002 年度の大津ヶ丘局、永楽台局及び湖北台局の SPM に係る 2% 除外値及び環境基準値の適合状況等を表 2 に示す。

表から、大津ヶ丘局では 2000 年度に環境基準を達成して以降二日連続も無く、環境基準を達成し続けている。一方、2% 除外値から見て大津ヶ丘局よりやや低い状況にあった永楽台局は、2000 年度以降状況が逆転して大津ヶ丘局より高濃度が発生し易い状況となり、環境基準の適合状況も大津ヶ丘局より悪化している。また、大津ヶ丘局より低い濃度レベルにあった湖北台局は、濃度レベル自体は依然として低いものの、2000 年度以降環境基準の適合状況

表 2 調査対象 3 測定局の SPM 環境基準達成状況

表 2-1 大津ヶ丘自排局

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002
2% 除外値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	139	138	108	91	91	83
二日連続	×	×	×	○	○	○
環境基準の適否	×	×	×	○	○	○

表 2-2 永楽台一般局

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002
2% 除外値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	129	128	92	105	107	98
二日連続	×	×	×	○	×	○
環境基準の適否	×	×	×	×	×	○

表 2-3 湖北台一般局

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002
2% 除外値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	105	105	78	73	80	71
二日連続	×	×	×	○	×	○
環境基準の適否	×	×	×	○	×	○

(注) ○ : 適合 , × : 不適合

については、二日連続により大津ヶ丘局より悪い状況にある。

図 10 に示したように、この 3 局は SPM 濃度が極めて一致した変化を示し、SPM の観点からほぼ同一の地域と見なすことができる。それにも関わらず、発生源近傍の自排局で環境基準が達成され、一般局では達成されないことは、測定法上の問題がないとすれば二次粒子の生成や高濃度発生に係る気象要因の SPM 濃度に対する影響の大きさを示していると考えられる。

5 おわりに

首都圏等の都市域における大気汚染物質の主たる発生源は自動車であり、本報の推計によれば大津ヶ丘局前面の国道 16 号の NOx や SPM の約 70% は物流由来し、その影響は大きいものと考えられる。したがって、物流に伴う大気汚染の影響を軽減するため、物流共同化などの物流合理化策或いは物流負荷低減策は都市域の大気環境改善にとって必要不可欠な施策であると言える。今後、こうした施策の実現に向けた調査研究を推進しなければならないと考えている。

引用文献

- 1) 千葉県土木部：平成9年度道路交通センサス一般交通量調査集計表。(1998).
- 2) ㈱数理計画：平成12年度浮遊粒子状物質対策推進事業(環境濃度解析等調査)報告書(千葉県業務委託)(2001).
- 3) 石川義紀、西田耕之助：完全混合モデルを用いた自動車排出ガス測定局のNO_x濃度からの自動車NO_x排出量の推定について。大気汚染学会誌, 25(4), 242~255 (1990).
- 4) 千葉県：平成12年度環境庁委託業務結果報告書総量削減計画進行管理調査。(2001).
- 5) ㈱数理計画：平成13年度浮遊粒子状物質対策推進事業(発生源別排出量把握等調査)報告書(千葉県業務委託)(2002).
- 6) 例えば, 神成陽容, 山本宗一：東京における休日の大気環境の特性, 大気環境学会誌, Vol.33(6), p384~390 (1998).
- 7) 千葉県土木部：平成11年度道路交通センサス一般交通量調査集計表。(2000).