

平成 15 年度地域密着型環境研究 (2)

自動車排出量推計値と局地汚染濃度の関係について

Relations between Calculated Vehicle Emissions and Local Concentration of Air Pollutants

竹内 淨	Jo	TAKEUCHI	米屋 由理	Yuri	YONEYA
江田 良将	Yoshimasa	EDA	岩渕 美香	Mika	IWABUCHI
山田 大介	Daisuke	YAMADA	盛田 宗利	Munetoshi	MORITA
原 久男	Hisao	HARA	高橋 篤	Atsushi	TAKAHASHI
石田 哲夫	Tetsuo	ISHIDA	井上 俊明	Toshiaki	INOUE
廣瀬 健二*	Kenji	HIROSE			

キーワード：地域密着型環境研究、自動車排出量推計値、局地汚染

Key Words: local environmental studies, calculated vehicle emissions, local high concentration of air pollutants



図1 調査地点

表1 自動車走行量車種分類

名称	分類法	道路交通センサス 旧8分類
軽自動車	車幅1.4m、車長3.0m	軽乗用
乗用車	ナンバー3、5、7	乗用
軽貨物車	車幅1.4m、車長3.3m	軽貨物
小型貨物車	車高2.0m、ナンバー4	小型貨物
貨物用バン 及びワゴン	ナンバー4	貨客
普通貨物車	ナンバー1	普通貨物
大型貨物車	車軸3本以上	特種
トレーラー	-	特種
バス	-	バス

* 環境局公害部交通環境対策課

1 はじめに

当研究所では、本市川崎区を通る東京大師横浜線（産業道路）沿道の池上新町交差点周辺地域の大气汚染改善に向けた研究として、環境省の推進する「地域密着型環境研究」に応募し、「ディーゼル車排出ガスを主因とした局地汚染の改善に関する研究」を平成14年度から3か年計画で、(独)国立環境研究所、(独)産業技術総合研究所及び(独)産業医学総合研究所と共同で実施している。

平成15年度は、本事業の一環として、池上新町交差点周辺地域において、大気環境調査(NOx、SPM、炭素成分、風向風速)、自動車走行量調査、自動車走行パターン測定調査等を行った(冬季調査)。

本研究では、上記の冬季調査の結果について、交差点における走行量(共同研究者の国立環境研究所上原らの研究¹⁾により、高架道路上の自動車排ガスが地上濃度に及ぼす影響は小さいことが分かっている)と大気汚染物質との関係をより詳細に検討するために、自動車排出量の計算モデルを用いて、走行量及び走行パターンからNOx及びPMの排出量推計値を計算し、産業道路の沿道(以下、沿道北側)及び池上自動車排出ガス測定局(以下、池上局)で測定したNOx及びSPM濃度との相関を考察した。また、相関を高めるために、気象条件を含めて、NOx及びSPM濃度に関する重回帰分析を行い、その結果を考察した。

2 調査方法

2.1 自動車走行量調査

池上新町交差点に赤外式ビデオカメラ及びハードディスク型画像記録レコーダーを設置し、平成15年12月5日(金)から12日(金)まで、交差点に流入する車両について撮影を行った。図1に走行量調査地点を示す。この期間のうち、平成15年12月5日(金)について、平日の走行量として、画像から時間毎に表1の9車種に分けて計測した。また、排出量を推計する際には、排出係

数の設定上、表 1 右側に示すように、道路交通センサスの旧 8 分類とした。なお、現在の道路交通センサスでは、乗用車（軽乗用車、乗用車）、バス、小型貨物車（軽貨物車、小型貨物車、貨客車）、普通貨物車（普通貨物車、特種車）の 4 車種分類を主に採用している。

2.2 自動車走行パターン測定調査

独立行政法人国立環境研究所が開発した走行動態計測装置（株式会社データテック社製、セーフティレコーダー）を取り付けた車両を用いて、平成 15 年 12 月 8 日（月）から 11 日（木）の期間内で、池上新町交差点を通過する車両を、走行方向別に、昼間（午前 7 時から午後 7 時）及び夜間（午後 7 時から午前 7 時）に分けて、約 1km 追尾し、車速を測定した。車種については、小型車及び大型車に分け、表 1 の普通貨物車、大型貨物車、トレーラー及びバスを大型車とし、それ以外を小型車とした。

2.3 SPM、NOx の測定方法

図 1 の沿道北側及び池上局において、SPM については、線式浮遊粒子状物質計（DKK 株式会社、DUB12 型）を用い、NOx については、化学発光方式の窒素酸化物計（株式会社堀場製作所、APNA360）を用いて、1 時間値の連続測定を行った。

3 計算方法

3.1 計算モデル

排出量を推計する手法は、EPA（米国環境保護局、Environmental Protection Agency(US)）、EEA（欧州環境庁、European Environment Agency(EU)）、日本では石油産業活性化センター等²⁾により各方面で研究が行われている。排出の推計は、排出過程により大きく 3 つに分けられている。

- ・暖機後排出 (hot emissions) } テールパイプ
- ・始動時排出 (cold emissions) } 排気口排出
- ・蒸発ガス (evaporative emissions)

cold emissions 及び evaporative emissions については、国全体からの排出量の把握を目的にする場合など、比較的広域なモデルに利用されており、沿道のような局地モデルでは、hot emissions を中心にした研究³⁾が行われている。本研究では、前述の EEA が開発した自動車排出量計算プログラム COPERT⁴⁾を参考に、次に示す hot emissions を算出する方法を採用した。

3.2 hot emissions モデル

排出量の推計に用いた算出式を式 (1) 及び式 (2) に示す。

排出量推計値の算出式は、

$$E_{HOT;i,j,k,t} [g] = N_{i,k,t} [台] \times 1 [km/台] \times e_{HOT;i,j,k}(V) [g/km]$$

(排出量推計値)=(走行量) × (走行距離) × (排出係数)

・・・式 (1)

であり、排出係数の算出式は、

$$e_{HOT;i,j,k}(V) = aV^2 + bV + c$$

・・・式 (2)

である。ここで、

- i: 車種, j: 汚染物質, k: 走行方向, t: 時間帯,
- V: 昼夜別走行方向別平均車速

とする。

交差点を中心に走行車両を 1km 追尾して走行パターンを調査していることから、走行距離は 1km とした。式(1)及び式(2)における排出係数は、平成 13 年度に環境局公害部自動車対策課(現・交通環境対策課)が行った自動車交通対策検討調査⁵⁾から引用した。式(2)における排出係数算出式における定数を、NOx 及び PM について、表 2 及び表 3 に示す。

表 2 NOx 排出係数算出式 aV²+bV+c [g/km]の定数

車種	a	b	c
軽乗用	0.00004476	-0.001431	0.1851
乗用	0.000247	-0.01958	0.5845
軽貨物	0.00004966	-0.004433	0.3822
小型貨物	0.000497	-0.04894	2.067
貨客	0.0002846	-0.02649	1.053
普通貨物	0.001371	-0.1461	6.521
特種	0.001215	-0.1278	5.657
バス	0.001488	-0.1639	7.38

表 3 PM 排出係数算出式 aV²+bV+c [g/km]の定数

車種	a	b	c
軽乗用	0	0	0.01
乗用	0.00003708	-0.0003853	0.02472
軽貨物	0	0	0.01
小型貨物	0.00008492	-0.009456	0.4374
貨客	0.00003927	-0.004101	0.2004
普通貨物	0.0002652	-0.03139	1.495
特種	0.0002247	-0.02646	1.264
バス	0.0002826	-0.03329	1.576

平均車速は、自動車走行パターン測定調査の結果より、走行方向別、昼夜時間帯別、小型車、大型車別に算出した。

4 結果と考察

4.1 走行量とNOx 及びSPM 濃度の相関

平成 15 年 12 月 5 日(金)の各時間における走行量(全走行量及び大型車走行量) NOx 及び SPM 濃度の調査結果を表 4 に、その相関を表 5、図 2 及び図 3 に示した。

表 4 平成 15 年 12 月 5 日(金)の走行量、NOx 及び SPM 濃度

時刻	走行量 (台)		NOx 濃度 (ppb)		SPM 濃度 (µg/m³)	
	大型車	全体	沿道北側	池上局	沿道北側	池上局
0:00	317	715	104	113	19	13
1:00	342	662	108	81	11	6
2:00	399	712	110	80	21	17
3:00	519	846	151	81	16	13
4:00	862	1306	210	123	28	13
5:00	1161	1971	354	164	44	27
6:00	1148	3122	290	210	35	27
7:00	1124	3539	314	171	52	21
8:00	1269	3127	450	204	36	23
9:00	1542	3036	429	194	52	29
10:00	1576	3093	403	256	58	43
11:00	1507	3065	317	294	47	35
12:00	1354	2797	268	236	40	40
13:00	1463	3054	369	171	51	30
14:00	1516	3156	296	230	50	46
15:00	1505	3462	295	204	63	39
16:00	1410	3422	261	193	47	28
17:00	1152	3721	274	256	34	34
18:00	877	3349	152	252	46	37
19:00	659	2697	146	201	45	39
20:00	522	2149	121	164	28	30
21:00	463	1606	165	237	41	38
22:00	433	1416	204	122	28	25
23:00	380	991	190	123	35	22

表 4 より、NOx 及び SPM 濃度は、沿道北側よりも池上局において、やや低い傾向がみられた。沿道北側は歩道上の道路端であるのに対して、池上局と産業道路の間には、環境緑地帯（以前は産業道路の一車線であった）及び歩道があり、13m 程度離れていることが影響していると思われた。

表 5 走行量と NOx 及び SPM 濃度の相関 (R²)

		NOx	SPM
沿道北側	大型車走行量	0.736	0.628
	全走行量	0.437	0.636
池上局	大型車走行量	0.464	0.339
	全走行量	0.656	0.478

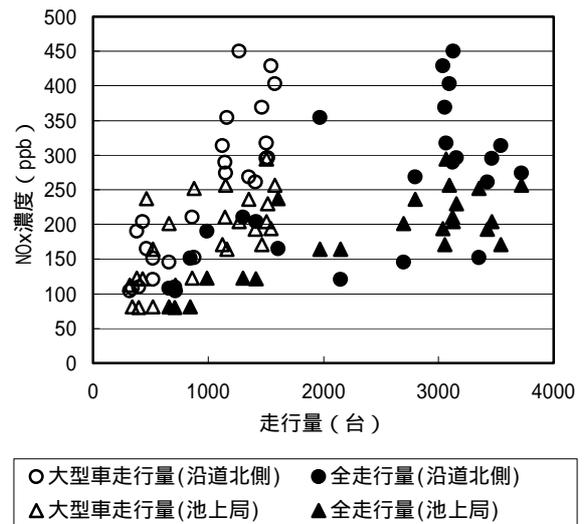


図 2 走行量と NOx 濃度の相関

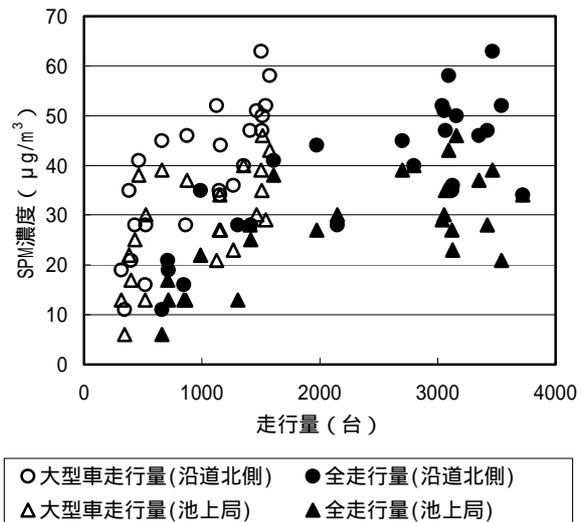


図 3 走行量と SPM 濃度の相関

表 5 より、R²をみると、沿道北側では、大型車走行量と濃度の相関は高いが、池上局では、大型車走行量よりも全走行量と濃度の相関が高くみられた。この結果から、走行量だけを考慮しても、沿道北側及び池上局における測定濃度に対する自動車排ガスの影響を精度よく説明することは困難と考えられた。そこで、汎用性がある解析方法を目指し、前述の計算方法により、車種毎に排出量に重みづけをして時間毎の排出量を推計し、測定濃度との相関を次に考察した。

4.2 排出量推計値と NOx 及び SPM 濃度の相関

NOx 及び PM に関する排出量推計値の計算結果を表 6 に示し、沿道北側及び池上局における NOx 及び SPM 濃度との相関を表 7、図 4 及び図 5 に示した。

表 6 NOx 及び SPM の濃度及び排出量推計値
(平成 15 年 12 月 5 日)

時刻	NOx 排出量推計値 (g)	NOx 濃度 (ppb)		PM 排出量推計値 (g)	SPM 濃度 (µg/m³)	
		沿道北側	池上局		沿道北側	池上局
0:00	1015	104	113	222	19	13
1:00	1062	108	81	235	11	6
2:00	1218	110	80	271	21	17
3:00	1560	151	81	350	16	13
4:00	2575	210	123	580	28	13
5:00	3556	354	164	795	44	27
6:00	3942	290	210	849	35	27
7:00	4996	314	171	1077	52	21
8:00	5373	450	204	1179	36	23
9:00	6409	429	194	1440	52	29
10:00	6475	403	256	1456	58	43
11:00	6158	317	294	1380	47	35
12:00	5516	268	236	1231	40	40
13:00	6008	369	171	1344	51	30
14:00	6266	296	230	1404	50	46
15:00	6360	295	204	1414	63	39
16:00	6013	261	193	1327	47	28
17:00	5204	274	256	1117	34	34
18:00	4057	152	252	848	46	37
19:00	2496	146	201	512	45	39
20:00	1970	121	164	403	28	30
21:00	1636	165	237	341	41	38
22:00	1530	204	122	322	28	25
23:00	1265	190	123	273	35	22

表 7 排出量推計値と NOx 及び SPM 濃度の相関 (R²)

	NOx	SPM
沿道北側	0.680	0.646
池上局	0.519	0.366

表 7 に示すように、R² をみると、沿道北側では、NOx 及び SPM とも高い相関を示しており、走行量と測定濃度との相関よりも高い結果であった。逆に、池上局では、NOx 及び SPM とともに相関が低い結果であった。

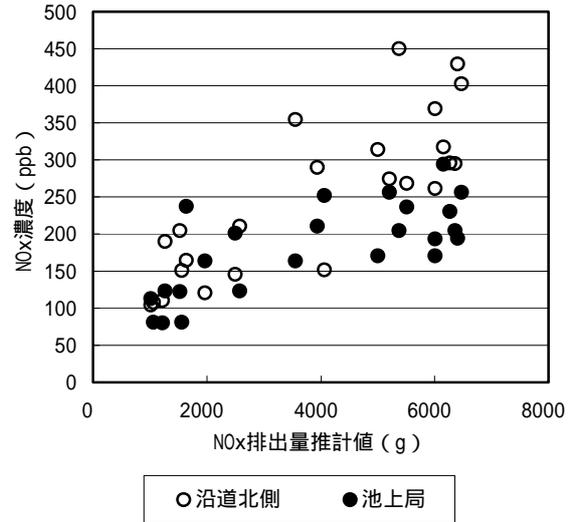


図 4 NOx 排出量推計値と NOx 濃度の相関

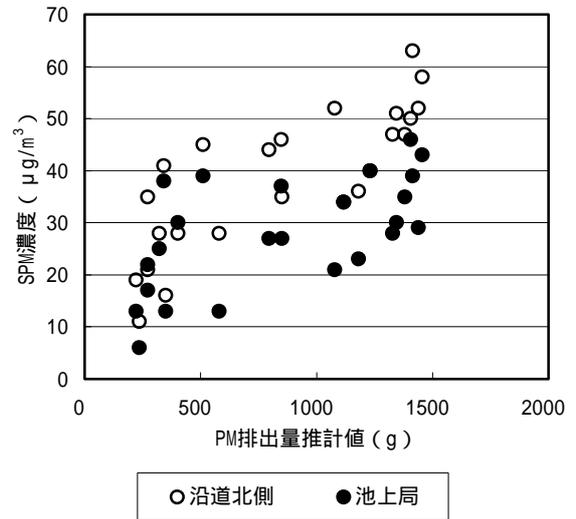


図 5 PM 排出量推計値と SPM 濃度の相関

沿道北側の調査地点は、道路端であるため、池上局よりも自動車排ガスの影響を強く受けていると考えられた。また、沿道北側及び池上局の調査地点は、発生源である産業道路を挟んで北西及び南東に位置するため、他の要因としては、風による影響の違いが容易に考えられた。そこで、次に、より相関の精度を高めるため、説明変数に排出量推計値だけでなく風向及び風速を考慮し、NOx 及び SPM 濃度を目的変数にして重回帰分析を行った。

4.3 NOx 濃度を目的変数とした重回帰分析

まず、平成 15 年 12 月 5 日（金）における風の調査結果について、表 8 及び図 6 に示した。

表 8 平成 15 年 12 月 5 日の風向、風速

時刻	風向	風速(m/sec)
0:00	N	4.1
1:00	NNE	3.4
2:00	NNE	4.5
3:00	NNE	4.6
4:00	NNE	3.4
5:00	NE	2.6
6:00	NE	3.0
7:00	ENE	2.3
8:00	NE	3.1
9:00	ENE	2.7
10:00	NNE	3.6
11:00	NNE	2.9
12:00	ENE	1.6
13:00	NE	3.8
14:00	NE	3.1
15:00	NE	3.1
16:00	NNE	2.7
17:00	NNE	3.3
18:00	N	1.8
19:00	NNE	2.9
20:00	NNE	3.1
21:00	N	2.3
22:00	NE	2.9
23:00	NNE	2.8

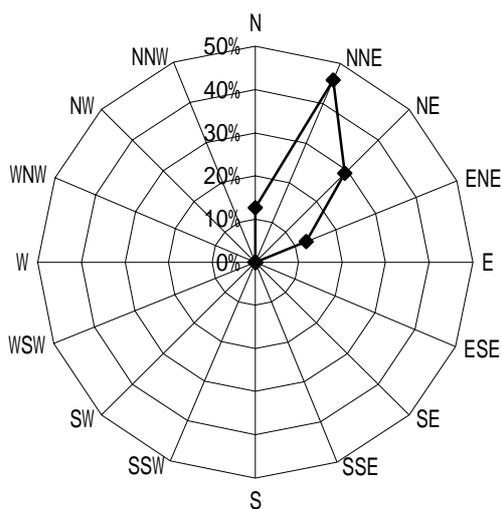


図 6 平成 15 年 12 月 5 日の風向頻度

当日は、冬季であるため、北側 4 方向（北、北北東、北東、東北東）からの風しか吹かず、産業道路に沿うよ

うに吹く北北東及び北東からの風が、それぞれ 46%、29% であった。

この 4 方向の風速 (m/sec) を 4 つの新たな説明変数とし、NOx 排出量推計値と併せた 5 つの説明変数による、NOx 濃度を目的変数とした重回帰分析を行った。式としては、式 (3) のようになる。

$$y = b_0 + b_1 x_1(\text{NOx 排出量推計値}) + b_2 x_2(\text{風速 N}) + b_3 x_3(\text{風速 NE}) + b_4 x_4(\text{風速 NE}) + b_5 x_5(\text{風速 SE}) \dots \text{式 (3)}$$

重回帰分析から得られた回帰式の相関について、自由度調整済み寄与率（変数を増やすと寄与率は自然と高くなるため、変数の増加による自由度を考慮した寄与率、以下 R² とする）を表 9 に示した。有意水準は 0.05 (5%) を採用し、回帰係数の t 値の t 分布上における有意確率（危険率）p が 0.05 以下である場合を有意とした。

表 9 NOx 濃度との相関（単回帰分析は寄与率 R²、重回帰分析は自由度調整済み寄与率 R²）

	単回帰分析	重回帰分析
説明変数	NOx 排出量推計値	NOx 排出量推計値、4 方向の風速
沿道北側	R ² = 0.680 (p < 0.05)	係数に有意性なし
池上局	R ² = 0.519 (p < 0.05)	R ² = 0.758 (p < 0.05)

表 9 に示すように、沿道北側では、偏回帰係数に有意性はみられず、風速を説明変数とせず、NOx 排出量推計値による単回帰分析で 12 月 5 日における沿道北側の NOx 濃度を十分に説明できると考えられた。

池上局では、風速を説明変数に含めた重回帰分析の R² は高く、推計値だけの単回帰分析の寄与率と比べ相関が非常に高くなった。風速を説明変数とすることで相関が高くなることから、池上局は、道路端である沿道北側よりも風の影響を受けやすいと考えられた。

次に、上記の式の係数及び定数、その t 値（= 偏回帰係数 / 係数の標準誤差）p 値について表 10 に示した。

各説明変数の影響の度合いをみるには、説明変数の単位が異なる場合、係数の値を比較できないので、通常、標準偏回帰係数が用いられるが、t 値は標準偏回帰係数と比例関係にあるため、ここでは、t 値を用いた。

表 10 に示すように、池上局の結果において、説明変数の係数ではない b₀ 以外の t 値を絶対値として比較すると、NOx 排出量推計値の t 値が 4 方向の風速の t 値よりも大きく、NOx 排出量推計値が NOx 濃度に与える影響が大きいことが分かった。したがって、NOx 排出量推計値を中心に、風の変数で補正した回帰式が求められることができた

ものと考えられた。

表 10 池上局の NOx 濃度を目的変数として得られた
重回帰式の係数、t 値及び p 値 (平成 15 年 12 月 5 日)

係数	説明変数	池上局		
		係数 定数の値	t 値	p 値
b ₀	-	218.350	5.920	1.33 × 10 ⁻⁵
b ₁	NOx 排出量 推計値	0.025	6.694	2.81 × 10 ⁻⁶
b ₂	風速 (N)	-27.775	-2.224	3.92 × 10 ⁻²
b ₃	風速 (NNE)	-38.416	-3.971	8.97 × 10 ⁻⁴
b ₄	風速 (NE)	-48.123	-4.461	3.02 × 10 ⁻⁴
b ₅	風速 (ENE)	-70.920	-4.476	2.92 × 10 ⁻⁴

また、池上局における 4 方向の風速の係数について、
図 7 に示した。風の変数は、全て風速の単位 (m/sec) で
あるため、係数はそのまま比較した。係数の単位として
は、ppb/(m/sec) となる。

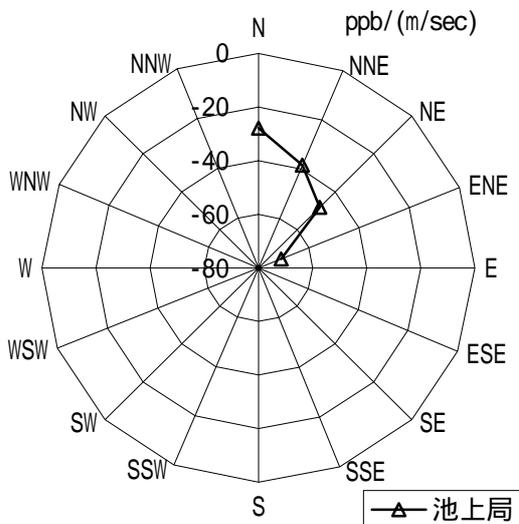


図 7 平成 15 年 12 月 5 日の NOx に関する
重回帰分析から得られた風速の係数 (池上局)

図 7 より、池上局では、全て係数は負であるが、北側
からの風が吹くと係数は 0 に近づいた。調査地点が産業
道路よりも風下になると、濃度が下がりにくい傾向がみ
られ、一般的な考え方と矛盾はないものと思われた。

以上より、平成 15 年 12 月 5 日 (金) の NOx 濃度に関
して、沿道北側は NOx 排出量推計値を説明変数にした回
帰式による結果から、池上局は NOx 排出量推計値及び風
速を説明変数にした回帰式 (式 (3)) による結果から、
理論的な解釈ができるとともに、相関も高いため、比較

的に高い精度で、調査日の結果について説明ができると
考えられた。

4.4 平日 7 日間における NOx 濃度を目的変数とした重回 帰分析

上記 4.3 の解析は、平成 15 年 12 月 5 日 (金) におけ
る交差点走行量、沿道北側及び池上局の測定濃度につい
て行ったが、次に、予備調査日を含む 7 日間の平日 (4
日 (木) 5 日 (金) 8 日 (月) から 12 日 (金)) におけ
る NOx の調査結果について重回帰分析を試みた。

まず、風向の特徴について解析した。平日 7 日間にお
ける風の調査結果について、図 12 に風向頻度を示した。

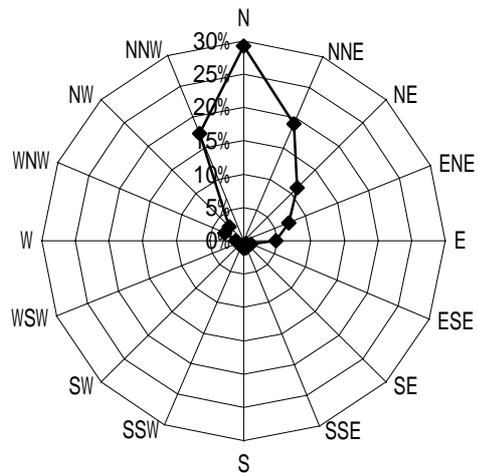


図 8 平日 7 日間の風向頻度

図 8 において、頻度が高い風向は、北で 29%、北北東
で 19%、北北西で 17% であり、平日 7 日間においても北側
からの風が中心であることが分かった。

風向については、16 方位のうち、北と南の風を除き、
大きく東系の風と西系の風に分けて、各時刻における出
現率を図 9 に示した。

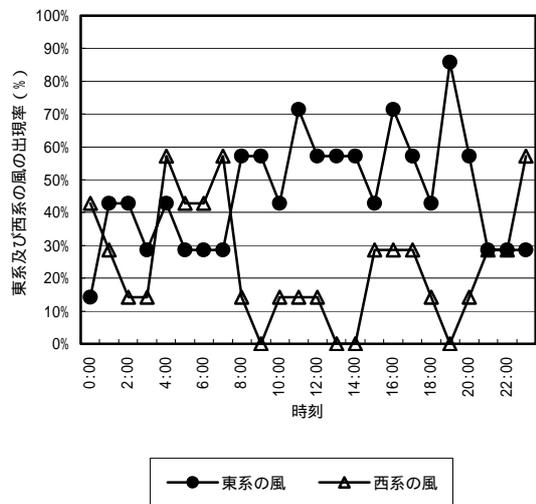


図 9 平日 7 日間の各時刻における
東系及び西系の風の出現率

図 9 より、東系の風の出現率が、午前 8 時から午後 8 時まで、西系の風よりも高い傾向がみられた。興味深い傾向であるため、さらに、土日を含む調査日(平成 15 年 12 月 4 日(木)から 14 日(日))までの 11 日間についても、東系及び西系の風に分けて、各時刻における出現率を図 10 に示した。

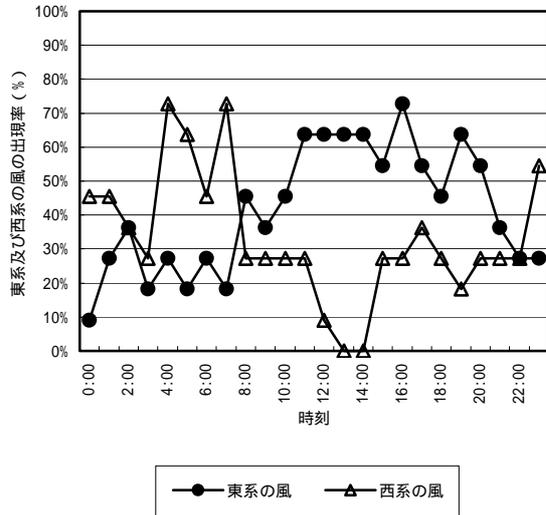


図 10 土日を含む 11 日間の各時刻における東系及び西系の風の出現率

図 10 より、午前 8 時頃から午後 9 時頃までは、東系の風の出現率が高く、午後 10 時頃から午前 7 時頃までは、西系の風の出現率が高いことが分かった。この傾向は、一般的に言われる海陸風と似ており、調査地点よりも東側に東京湾が位置していることから、昼間の東系の風は海風を、夜間の西系の風は陸風を意味すると思われた。

したがって、池上新町付近の風は、図 8 の風向頻度がほぼ北系であるように全体を支配する季節特有の風と、図 10 にみられるような海陸風が混合していると思われた。

次に、NOx 濃度の解析に移る。図 8 に示す方向の風速及び NOx 排出量推計値を説明変数とし、沿道北側及び池上局の NOx 濃度を目的変数とした重回帰分析を行った。ただし、NOx 排出量推計値については、走行量調査を行った 12 月 5 日(金)の走行量結果から算出したものを用い、7 日間に適用した。サンプル数は、24 時間×7 日で 168 となるため、重回帰分析から得られる回帰式は、冬季に関して、より一般性をもつと考えられた。

回帰式は、式(4)のようになる。

$$y = b_0 + b_1 x_{1(Nox\text{排出量推計値})} + b_i x_{i(\text{風速})} \dots \text{式(4)}$$

式(4)の風速の添字 i は、まず、13 方向全てを説明変数として、i=2~14 全てを含めて重回帰分析を行い、この結果から有意性(p<0.05)がみられた方向の風速に

ついて、再度、重回帰分析を行ったことを意味している。最終的には、沿道北側では、i=2~9 (NNW, N, NNE, NE, E, ESE, SSE, S) 池上局では、i=2~12 (W, NNW, N, NNE, ENE, NE, E, ESE, SE, SSE, S) であった。

まず、相関に関する結果を表 11 に示した。

表 11 重回帰分析から得られた NOx 濃度との相関 (寄与率 R²、自由度調整済み寄与率 R²)

	平成 15 年 12 月 5 日	平日 7 日間
説明変数	NOx 排出量推計値 (池上局:4 方向の風速)	NOx 排出量推計値、 有意性がある方向の風速
沿道北側	R ² = 0.680 (p < 0.05)	R ² = 0.735 (p < 0.05)
池上局	R ² = 0.758 (p < 0.05)	R ² = 0.623 (p < 0.05)

表 11 より、平成 15 年 12 月 5 日だけの結果と比べると、池上局ではやや低くなったが、比較的に相関が高いため、平成 15 年 12 月 5 日における走行量の調査結果を他の平日に適用したことを考慮すると、説明変数の選択には、問題がないと考えられた。

次に、重回帰分析から得られた回帰式の係数、t 値及び p 値について、沿道北側については表 12 に、池上局については表 13 に示した。

表 12 沿道北側における平日 7 日間の NOx 濃度を目的変数として得られた回帰式の係数、t 値及び p 値

係数	説明変数	沿道北側		
		係数、 定数の値	t 値	p 値
b ₀	-	214.221	15.702	4.48 × 10 ⁻³⁴
b ₁	NOx 排出量 推計値	0.030	12.269	9.88 × 10 ⁻²⁵
b ₂	風速 (NNW)	-35.659	-7.499	4.36 × 10 ⁻¹²
b ₃	風速 (N)	-32.783	-10.486	7.40 × 10 ⁻²⁰
b ₄	風速 (NNE)	-26.215	-6.946	9.26 × 10 ⁻¹¹
b ₅	風速 (NE)	-15.482	-2.792	5.88 × 10 ⁻³
b ₆	風速 (E)	26.940	2.974	3.40 × 10 ⁻³
b ₇	風速 (ESE)	45.473	2.948	3.68 × 10 ⁻³
b ₈	風速 (SSE)	76.060	4.113	6.26 × 10 ⁻⁵
b ₉	風速 (S)	62.702	2.370	1.90 × 10 ⁻²

表 13 池上局における平日 7 日間の NOx 濃度を目的変数として得られた回帰式の係数、t 値及び p 値

係数	説明変数	池上局		
		係数、定数の値	t 値	p 値
b ₀	-	297.126	14.313	5.72 × 10 ⁻³⁰
b ₁	NOx 排出量推計値	0.030	8.581	1.02 × 10 ⁻¹⁴
b ₂	風速 (W)	81.416	2.348	2.02 × 10 ⁻²
b ₃	風速 (NNW)	-23.371	-3.235	1.50 × 10 ⁻³
b ₄	風速 (N)	-38.211	-7.846	7.10 × 10 ⁻¹³
b ₅	風速 (NNE)	-54.938	-9.432	6.50 × 10 ⁻¹⁷
b ₆	風速 (NE)	-77.526	-9.367	9.61 × 10 ⁻¹⁷
b ₇	風速 (ENE)	-125.241	-8.810	2.66 × 10 ⁻¹⁵
b ₈	風速 (E)	-125.155	-8.615	8.35 × 10 ⁻¹⁵
b ₉	風速 (ESE)	-126.514	-5.838	3.08 × 10 ⁻⁸
b ₁₀	風速 (SE)	-114.133	-3.951	1.19 × 10 ⁻⁴
b ₁₁	風速 (SSE)	-172.406	-6.633	5.42 × 10 ⁻¹⁰
b ₁₂	風速 (S)	-238.828	-6.423	1.62 × 10 ⁻⁹

表 12 より、沿道北側では、t 値を絶対値として比較すると、説明変数の係数のうち、NOx 排出量推計値の係数の t 値が最大であり、この回帰式では、NOx 排出量推計値が NOx 濃度に与える影響が最も大きいことが分かった。

表 13 より、池上局では、4 方向の風速 (NNE、NE、ENE、E) の t 値が NOx 排出量推計値の t 値よりも大きく、平成 15 年 12 月 5 日だけの結果と同様に、池上局では風の影響が大きいと考えられた。

また、この平日 7 日間における、沿道北側 9 方向、池上局 11 方向からの風速の係数について、図 11 に沿道北側及び池上局を比較して示した。

図 11 より、沿道北側では、北から東の間で東側からの風が吹くと徐々に係数は正の向きに大きくなり濃度が下がりにくくなり、東から南の間で正になり濃度が上昇することが分かった。池上局では、北から東の間で北側からの風が吹くと係数は 0 に近づき濃度が下がりにくくなり、西の風が吹くと係数は正になり濃度が上昇することが分かった。平日 7 日間の NOx 濃度に関しても、調査地点が産業道路よりも風下になると、濃度が上がる、または下がりにくい傾向がみられ、一般的な考え方と矛盾はないものと思われた。また、対象とする期間を平日 7 日間に拡張することで、風が沿道北側及び池上局における NOx 濃度に与える影響について、より明確に表現できた。

以上により、NOx 排出量推計値及び風速を説明変数として重回帰分析を行った回帰式 (式 (4)) は、平日 7 日間の NOx 濃度について、精度よく説明できると考えられた。したがって、NOx 排出量推計値及び風速を説明変数とした NOx に関する重回帰分析は、汎用性があると考えられ、他の状況にも活用できると思われた。

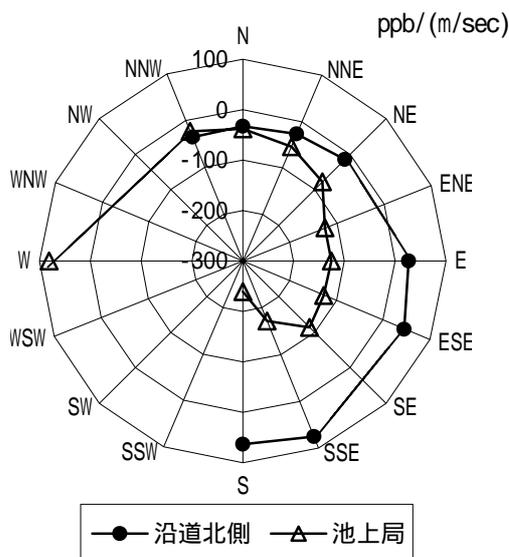


図 11 平日 7 日間の NOx に関する重回帰分析から得られた風速の係数

4.5 SPM 濃度を目的変数とした重回帰分析

NOx 濃度と同じ手法により、平成 15 年 12 月 5 日(金)の SPM 濃度を目的変数とし、PM 排出量推計値及び 4 方向の風速(表 8 及び図 6)を説明変数として重回帰分析を行った。得られた結果を表 14 に示した。

表 14 SPM 濃度との相関(単回帰分析は寄与率 R²、重回帰分析は自由度調整済み寄与率 R²)

	単回帰分析	重回帰分析
説明変数	PM 排出量推計値	PM 排出量推計値、 4 方向の風速
沿道北側	R ² = 0.646 (p < 0.05)	係数に有意性なし
池上局	R ² = 0.366 (p < 0.05)	係数に有意性なし

表 14 より、沿道北側及び池上局では、4 方向の風速の係数に有意性はみられず、他の影響因子を検討する必要があると思われた。

一般的に、粒子状物質は、人為起源及び自然起源の粒子や、大気中でガス状物質が粒子化した二次生成粒子で構成されていることが知られている。そのため、道路沿道においても、自動車起源である PM 排出量推計値だけでなく、他の影響因子を考慮する必要があると考えられた。関らが行った川崎市における SPM 高濃度要因の解析では、一般環境大気測定局(一般局)の SPM 濃度に影響を与えた主な要因は、NO₂、湿度及び光化学オキシダントであると結論づけた⁶⁾。この 3 要素は、一般局における二次生成の影響を反映していると考えられるが、沿道地域においては、NOx が多く発生するため、NOx と光化学オキシダントの関係がより複雑であると考えられた((1)NO は O₃ により NO₂ へ酸化され、NO₂ は紫外線により NO と O₃ を発生させる、(2)ラジカル化炭化水素が多い場合には、NO₂ は紫外線だけでなくラジカル化炭化水素によっても O₃ を発生させる)⁷⁾。湿度について、唐澤の研究では、二次生成粒子の主成分である硝酸イオン、塩素イオン及びアンモニウムイオンは気温と湿度の影響を強く受けて粒子化することを明らかにしている⁸⁾。また、湿度が二次生成に影響することを前提にすると、湿度は広域的な大気の変動による影響を強く受けるため、湿度を回帰式の説明変数とすることで、粒子状物質の広域的な影響をも考慮できると考えられた。

以上の議論から、二次生成に関わるガス状物質そのものだけでなく、粒子化を促進すると考えられる湿度に注目し、新たな説明変数として検討した。湿度は、池上局では測定していないため、川崎区内の一般局である田島局のデータを用いたので表 15 に示した。産業道路がある川崎区の臨海側には田島局以外にも大師局があるが、湿度はほぼ同様であり、田島局の湿度との相関は R²=0.91 であっ

た。

表 15 平成 15 年 12 月 5 日(金)の田島局における湿度

時刻	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00
湿度(%)	47	45	44	44	46	50	50	47
時刻	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
湿度(%)	44	46	56	53	59	64	70	72
時刻	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
湿度(%)	72	76	75	77	79	78	76	71

SPM 濃度を目的変数とし、PM 排出量推計値及び湿度を説明変数として用いて、重回帰分析を行った。回帰式は、式(5)のようになる。

$$y = b_0 + b_1 x_{1(\text{PM 排出量推計値})} + b_2 x_{2(\text{湿度})} \dots \text{式(5)}$$

重回帰分析から得られた R²を表 16 に、係数、t 値及び p 値の計算結果を表 17 に示した。

表 16 SPM 濃度との相関(自由度調整済み寄与率 R²)

	重回帰分析
説明変数	PM 排出量推計値、 湿度
沿道北側	係数に有意性なし
池上局	R ² = 0.711 (p < 0.05)

表 17 池上局の SPM 濃度を目的変数として得られた回帰式の係数、t 値及び p 値(平成 15 年 12 月 5 日)

係数	説明変数	池上局		
		係数、 定数の値	t 値	p 値
b ₀	-	-12.069	-2.081	4.99 × 10 ⁻²
b ₁	PM 排出量 推計値	0.014	5.326	2.79 × 10 ⁻⁵
b ₂	湿度	0.478	5.432	2.17 × 10 ⁻⁵

表 16 より、沿道北側では、湿度の偏回帰係数に有意性はみられず、PM 排出量推計値による単回帰分析(表 7、表 14)で 12 月 5 日における沿道北側の SPM 濃度を十分に説明できると考えられた。

表 16 より、池上局では、R²は高く、表 14 と比較すると、非常に相関が高くなった。池上局の結果について、表 17 に偏回帰係数の t 値を示した。表 17 より、t 値の絶対値を比較すると、湿度の t 値が、PM 排出量推計値の

t 値よりも大きく、湿度が SPM 濃度に与える影響が大きいことが分かった。したがって、池上局は、沿道北側よりも、二次生成粒子または広域的な粒子状物質の影響を受けていると考えられた。

以上より、自動車起源以外の粒子や二次生成粒子の影響をより考慮する必要性は依然としてあるが、平成 15 年 12 月 5 日(金)の SPM 濃度に関して、沿道北側は PM 排出量推計値を説明変数にした回帰式による結果から、池上局は PM 排出量推計値及び湿度による回帰式(式 5)) による結果から、理論的な解釈ができるとともに、相関も高いため、比較的に高い精度で、調査日の結果について説明ができると考えられた。

4.6 平日 7 日間における SPM 濃度を目的変数とした重回帰分析

SPM に関して、平日 7 日間(4 日(木) 5 日(金) 8 日(月) から 12 日(金)) における調査結果について重回帰分析を行った。ただし、NOx の場合と同様に、PM 排出量推計値については、走行量調査を行った 12 月 5 日(金)の走行量結果から算出したものを用い、7 日間に適用した。回帰式は、式(6)のようになる。

$$y = b_0 + b_1 x_{1(i)}(\text{PM 排出量推計値}) + b_2 x_{2(i)}(\text{風速}) + b_3 x_{3(j)}(\text{湿度}) \dots \text{式(6)}$$

式(6)の風速の添字 i および j は、まず、13 方向全てを説明変数として、i=2~14、湿度 j=15 全てを含めて重回帰分析を行い、この結果から有意性(p<0.05)がみられた偏回帰係数について、再度、重回帰分析を行ったことを意味している。最終的には、沿道北側では、風の係数に有意性はなく湿度 j=2 だけであり、池上局では、i=2~9(W, NNW, N, NNE, ENE, NE, E, ESE, SE, SSE, S) 及び湿度 j=10 であった。

まず、相関に関する結果を表 18 に示した。

表 18 重回帰分析から得られた SPM 濃度との相関 (自由度調整済み寄与率 R²)

説明変数	平日 7 日間	
	PM 排出量推計値、 有意性がある方向の風速、 湿度	PM 排出量推計値、 湿度
沿道北側	係数に有意性なし	R ² = 0.412 (p < 0.05)
池上局	R ² = 0.672 (p < 0.05)	R ² = 0.553 (p < 0.05)

表 18 より、沿道北側では、風速及び湿度を説明変数とした重回帰分析から、風の係数に有意性はなく、PM 排出量推計値及び湿度を説明変数として重回帰分析を行った

が、有意性はあるが、相関は低い結果となった。

池上局では、PM 排出量推計値、有意性がある方向の風速及び湿度を説明変数とした重回帰分析において相関が高い結果となった。参考として、PM 排出量推計値及び湿度を説明変数として重回帰分析を行った結果を表 18 に示したが、風を考慮した場合よりも相関は低い結果であったため、池上局は風の影響を受けていると考えられた。

平成 15 年 12 月 5 日における走行量の調査結果を他の平日に適用したことを考慮すると、説明変数の選択には、ある程度は間違っていないと考えられるが、他の影響因子を検討する必要があると考えられた。

次に、重回帰分析から得られた回帰式の係数、t 値及び p 値について、沿道北側については表 19 に、池上局については表 20 に示した。

表 19 沿道北側における平日 7 日間の SPM 濃度を目的変数として得られた回帰式の係数、t 値及び p 値

係数	説明変数	沿道北側		
		係数、 定数の値	t 値	p 値
b ₀	-	-8.810	-1.689	9.32 × 10 ⁻²
b ₁	PM 排出量 推計値	0.014	4.927	2.02 × 10 ⁻⁶
b ₂	湿度	0.736	10.406	8.15 × 10 ⁻²⁰

表 20 池上局における平日 7 日間の SPM 濃度を目的変数として得られた回帰式の係数、t 値及び p 値

係数	説明変数	池上局		
		係数、 定数の値	t 値	p 値
b ₀	-	-9.987	-2.005	4.67 × 10 ⁻²
b ₁	PM 排出量 推計値	0.015	6.798	2.09 × 10 ⁻¹⁰
b ₂	風速 (NW)	8.229	2.244	2.62 × 10 ⁻²
b ₃	風速 (N)	-1.786	-2.995	3.19 × 10 ⁻³
b ₄	風速 (NNE)	-3.513	-4.738	4.79 × 10 ⁻⁶
b ₅	風速 (NE)	-5.234	-4.987	1.61 × 10 ⁻⁶
b ₆	風速 (ENE)	-6.830	-3.584	4.51 × 10 ⁻⁴
b ₇	風速 (E)	-5.994	-3.359	9.82 × 10 ⁻⁴
b ₈	風速 (SSE)	-14.277	-3.968	1.10 × 10 ⁻⁴
b ₉	風速 (S)	-18.383	-3.571	4.73 × 10 ⁻⁴
b ₁₀	湿度	0.733	12.380	5.38 × 10 ⁻²⁵

表 19 及び表 20 より、t 値を絶対値として比較すると、沿道北側及び池上局ともに、説明変数の係数のうち、湿度の係数の t 値が最大であり、この回帰式においては湿度が SPM 濃度に与える影響が最も大きいことが分かった。したがって、池上局の SPM 濃度に関する相関の高さは、PM 排出量推計値ではなく、湿度を主因としており、二次生成粒子または広域的な粒子状物質が池上局の SPM 濃度に影響していると考えられた。

また、平日 7 日間の池上局における、有意性がある方向からの風速の係数について、図 12 に示した。

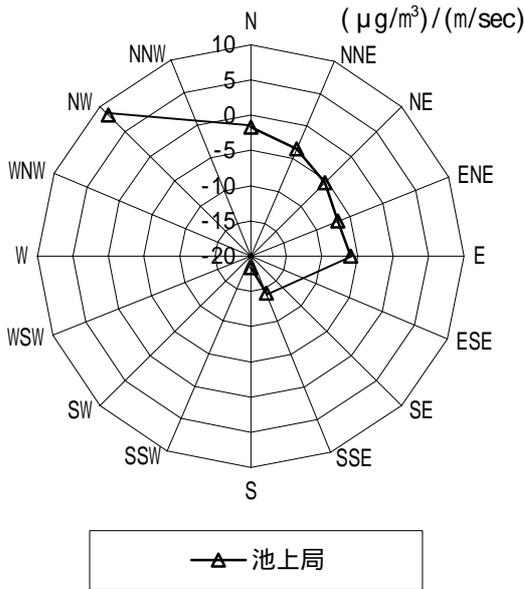


図 12 池上局における平日 7 日間の SPM に関する重回帰分析から得られた風速の係数

図 12 より、池上局では、北から東の間で北側からの風が吹くと係数は 0 に近づき濃度が下がりにくくなり、北西からの風が吹くと係数が正になり濃度が上昇することが分かった。調査地点が産業道路よりも風下になると、濃度が上がる、または下がりにくい傾向が、NOx の場合と同様にみられた。

以上より、平日 7 日間の SPM 濃度について、PM 排出量推計値、風速及び湿度を説明変数として重回帰分析を行ったが、沿道北側では、相関が低いため、他の影響因子を検討する必要があると考えられた。しかし、池上局では相関が高いため、湿度を変数として選択したことは相関の向上に優位に働いていると考えられ、二次生成粒子または広域的な粒子状物質の SPM 濃度への影響をみる上では、湿度は有効な影響因子であるものと思われた。

4.7 湿度に関する考察

SPM 濃度の測定方法は線式を用いているが、ろ紙に吸着された水分の影響により、SPM 濃度に対して湿度を説明変数とした回帰式の相関が高いのではないかという疑問が残るため、線式以外で測定された浮遊粒子状物質濃度と、湿度との関係について考察した。

今回の調査では、沿道北側及び池上局付近において、共同研究機関である独立行政法人国立環境研究所が近年開発したエアロゾルセンサー⁹⁾による調査を同期間(平成 15 年 12 月 5 日から 12 月 11 日)に行った。測定機器について、簡単に表 21 に示した。

表 21 粒子状物質の時間値を測定した機器

	線式浮遊粒子状物質計	エアロゾルセンサー
測定対象	SPM: 粒径 10 μm 以下の浮遊粒子状物質の質量濃度	粒径 1 から 10 μm の粒子状物質の粒子数
測定方法	粒子捕集前後のろ紙を透過する線強度を測定し、減衰量から、対応する単位面積当りの質量を求める	粒径 1 から 10 μm の粒子状物質の粒子数を、光散乱方式により電圧出力で計測する

表 21 より、エアロゾルセンサーは、光散乱式非接触測定であり、ろ紙を使用しない測定方法である。

次に、沿道北側及び池上局において、平成 15 年 12 月 5 日から 12 月 11 日までに行なった線式及びエアロゾルセンサーの結果について、湿度との相関を表 22 に示した。

表 22 浮遊粒子状物質濃度と湿度の相関

	測定方法	湿度との相関
沿道北側	線式 (SPM)	R ² = 0.329
	エアロゾルセンサー	R ² = 0.375
池上局	線式 (SPM)	R ² = 0.521
	エアロゾルセンサー	R ² = 0.547

表 22 より、沿道北側及び池上局ともに、エアロゾルセンサーの測定結果は、線式の測定結果よりも、湿度との相関がやや高い結果であった。線式及び光散乱式で測定した粒子状物質は、同程度に湿度の影響を受けていると考えられた。

以上より、測定対象が異なるため、明確な結論ではないが、線式のろ紙に水分が吸着するとしても、エアロゾルセンサーの結果と湿度の関係と比較して、線式の結果 (SPM 濃度) が極端に水分 (湿度) の影響を受けているとは考えられなかった。

4.8 12 走行方向別の排出量推計値と NOx 及び SPM 濃度を目的変数とした単回帰及び重回帰分析

平成 15 年 12 月 5 日 (金) における走行方向による汚染影響を検討するため、右左折を考慮した 12 走行方向について、前述の手法により、NOx に関しては排出量推計値及び 4 方向の風速を説明変数とし、SPM 濃度に関しては排出量推計値及び湿度を説明変数として、沿道北側及び池上局における NOx 及び SPM 濃度を目的変数とした単回帰及び重回帰分析を行った。ここでは、排出量推計値及び重回帰分析から得た R² を 12 走行方向で比較し、沿道北側及び池上局における NOx 及び SPM 濃度に影響を与える走行方向について考察した。

表 23 12 走行方向別の NOx 排出量推計値、全排出量推計値に対する比率、NOx 濃度に対する相関

走行方向	走行方向別 NOx 排出量推計値(g)	全排出量推計値に対する比率(%)	相関	
			沿道北側単回帰分析 (R ²)	池上局重回帰分析 (R ²)
横浜 東京	23027	24.9%	0.675	0.788
横浜 川崎	1810	2.0%	0.477	0.479
横浜 水江	10777	11.6%	0.743	0.655
川崎 水江	5455	5.9%	0.688	0.721
川崎 東京	1962	2.1%	0.577	0.647
川崎 横浜	870	0.9%	0.388	0.677
東京 横浜	21753	23.5%	0.410	0.632
東京 水江	2973	3.2%	0.701	0.598
東京 川崎	1919	2.1%	0.502	0.627
水江 川崎	5321	5.7%	0.466	0.704
水江 横浜	11819	12.8%	0.705	0.681
水江 東京	4974	5.4%	0.620	0.460

表 24 12 走行方向別の PM 排出量推計値、全排出量推計値に対する比率、SPM 濃度に対する相関

走行方向	走行方向別 PM 排出量推計値(g)	全排出量推計値に対する比率(%)	相関	
			沿道北側単回帰分析 (R ²)	池上局重回帰分析 (R ²)
横浜 東京	5106	25.1%	0.623	0.655
横浜 川崎	378	1.9%	0.210	0.403
横浜 水江	2408	11.8%	0.553	0.617
川崎 水江	1141	5.6%	0.542	0.565
川崎 東京	415	2.0%	0.537	0.539
川崎 横浜	179	0.9%	0.453	0.451
東京 横浜	4799	23.6%	0.642	0.554
東京 水江	659	3.2%	0.376	0.675
東京 川崎	403	2.0%	0.547	0.399
水江 川崎	1108	5.4%	0.586	0.584
水江 横浜	2649	13.0%	0.664	0.654
水江 東京	1125	5.5%	0.395	0.630

12 走行方向別の排出量推計値、全排出量推計値に対する比率、濃度に対する相関の計算結果を、NOx に関しては表 23 に、SPM に関しては表 24 に示した。

表 23 及び表 24 より、NOx 及び PM とも、排出量推計値が高い走行方向は、産業道路の上下 2 方向 (横浜から東京、東京から横浜) 並びに、横浜と水江間の相互方向 (水江から横浜、横浜から水江) であった。この 4 走行方向で全排出量推計値のうち、NOx で 72.8%、PM で 73.5% を占め、産業道路上下 2 方向だけで NOx で 48.4%、PM で 48.7% を占めた。

次に、走行方向別排出量推計値と、NOx 及び SPM 濃度に対する R² 及び R² の関係を、NOx に関しては図 13 に、SPM に関しては図 14 に示した。

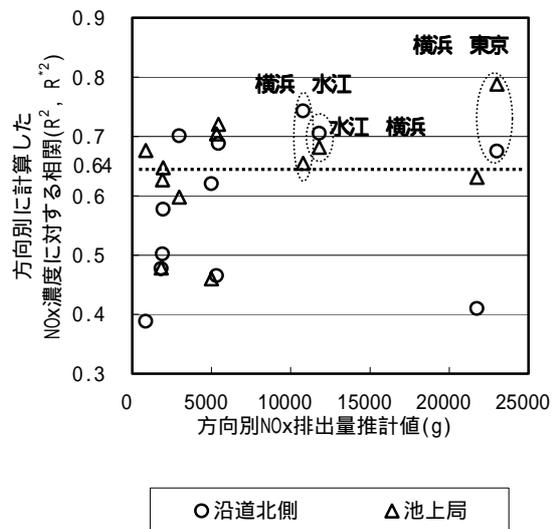


図 13 走行方向別 NOx 排出量推計値と、走行方向別に計算した NOx 濃度に対する相関 (R², R²) との関係

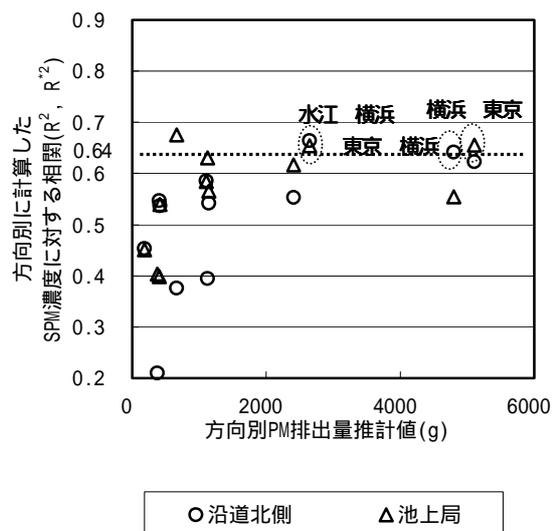


図 14 走行方向別 PM 排出量推計値と、走行方向別に計算した SPM 濃度に対する相関 (R², R²) との関係



図 15 全排出量推計値に対する比率が高く、NOx 濃度との相関が高い走行方向



図 16 全排出量推計値に対する比率が高く、SPM 濃度との相関が高い走行方向

図 13 より、NOx に関して、沿道北側及び池上局で同じ傾向がみられ、R²及びR²=0.64 程度（相関及び重相関係数 R=0.8）で相関が高いとすると、前述の 4 走行方向のうち、産業道路の上り方向（横浜から東京）並びに、横浜と水江間の相互方向（水江から横浜、横浜から水江）の 3 走行方向が、沿道北側及び池上局における NOx に強く影響を与えていると考えられた。この 3 方向を図 15 に示した。

図 14 より、SPM に関して、R²及びR²=0.64 程度（相関

及び重相関係数 R=0.8）で相関が高いとすると、前述の 4 走行方向のうち、産業道路の下り方向（東京から横浜）並びに、水江から横浜方向の 2 走行方向が、沿道北側における SPM に強く影響を与え、産業道路の上り方向（横浜から東京）並びに、水江から横浜方向の 2 走行方向が池上局における SPM に強く影響を与えていると考えられた。この 3 方向を図 16 に示した。

以上より、NOx 及び PM 排出量推計値としては、産業道路の上下方向で全体の約 50%を、横浜と水江間の相互方向で全体の約 25%を占めていた。また、沿道北側及び池上局の NOx 及び SPM 濃度に対する走行方向別の相関を考慮すると、産業道路の上り方向（横浜から東京）並びに、横浜から水江方向の自動車排出ガスが NOx 及び SPM 濃度に共通して影響していると考えられ、産業道路だけでなく、横浜と水江間の相互方向についても、交通量の削減が望まれる結果であった。

5 まとめ

以上より、平成 15 年度冬季調査の結果に関して、排出量推計値及び気象条件を用いて、沿道北側及び池上局の NOx 及び SPM 濃度について解析を行い、以下のことが明らかになった。

(1) 解析方法について

沿道北側及び池上局の NOx 濃度に関して、NOx 排出量推計値及び風速を説明変数とした重回帰分析から得られた回帰式は、相関が高く、汎用性があると考えられた。

沿道北側及び池上局の SPM 濃度に関して、PM 排出量推計値、風速及び湿度を説明変数とした重回帰分析から得られた回帰式は、相関が低い場合があり、他の影響因子を検討する必要があると考えられた。しかし、二次生成粒子または広域的な粒子状物質の SPM 濃度への影響をみる上では、湿度は有効な影響因子であるものと思われた。

(2) 局地汚染について

走行方向別の解析結果から、沿道北側及び池上局の NOx 及び SPM 濃度に共通して影響を与えられた走行方向は、産業道路の上り方向（横浜から東京）並びに、水江から横浜方向であり、影響が想定された産業道路だけでなく、横浜と水江間の相互方向に関しても、交通量の削減が望まれる結果であった。

NOx 及び SPM 濃度に関する重回帰分析から得られた風速の係数及び t 値の結果から、調査地点が産業道路よりも風下になると、濃度が上がる、または下がりにくい傾向がみられた。また、池上局は風の影響が大きく、池上局付近に位置する池上新田公園及び環境緑地帯により拡散しやすい状況が考えられていると考えられた。

文献

- 1) 上原清ら：交差点周辺の流れと拡散に関する実験的

研究その 3 - 高架道路に覆蓋されたストリートキャニオン内の流れと濃度分布について -、第 42 回大気環境学会年会要旨集、405(2001)

- 2) 林誠司：自動車排出量予測の現状と課題、第 44 回大気環境学会年会要旨集、232-233(2003)
- 3) R. M. Corvalan et. al.; Hot Emission Model for Mobile Sources; J. Air & Waste Manage. Assoc., 52, 167-174(2002)
- 4) L. Ntziachristos et. al.; COPERT Computer programme to calculate emissions from road transport, European Environment Agency Technical report No.49(2000)
- 5) 川崎市：自動車交通対策検討調査報告書(平成 14 年)
- 6) 関昌之ら：川崎市における SPM 高濃度要因の解析、第 44 回大気環境学会年会要旨集、295(2003)
- 7) 若松伸司ら：広域大気汚染 - そのメカニズムから植物への影響まで -、2 版、裳華房、21-23(2002)
- 8) 唐澤正宜：SPM の挙動解析、豊田中央研究所 R&D レビュー、35(1)、21-30(2003)
- 9) 松本幸雄ら：沿道周辺粒子の多地点同時測定、第 20 回エアロゾル科学技術研究討論会要旨集、73-74(2003)