

二酸化窒素の地域的予測式モデルの検討

Examination of the Local Prediction Model of Nitrogen Dioxide

桐生 崇¹, 畠山 豪², 光崎龍子³

¹ 千葉大学・自然科学研究科, 千葉県松戸市松戸 648

² 横浜国立大学・工学研究科, 神奈川県横浜市保土ヶ谷区釜台町 35-29

³ 麻布大学・環境保健学部保健疫学研究室, 神奈川県相模原市淵野辺 1-17-71

Takashi KIRYU¹, Go HATAKEYAMA², Ryuko KOHZAKI³

¹Graduate School of Science and Technology, Chiba University. 648 Matsudo, Matsudo, Chiba

²Graduate School of Engineering, Yokohama National University. 35-39 Kamadaicho, Hodogaya, Yokohama, Kanagawa

³College of Environmental Health, Azabu University. 1-17-71 Fuchinobe, Sagamihara, Kanagawa

Abstract. It is the trend of each municipality to store air pollutant measurements in the database, but adequate collaboration between other databases and systems has not been done.

Sagamihara City achieved remarkable development under an urban planning project. However, the above-mentioned information about the environment is merely stored in the database due to the large amount of data. We conducted an examination on the purpose of creating a prediction model that can be utilized for antipollution actions. In the examination, meteorological factors such as wind direction, velocity and temperature were used as the factors contributing to the diffusion of the nitrogen dioxide that was emitted into the air. Among all the substances observed and measured at continuous observation stations for environmental pollution throughout Sagamihara City, the data on the nitrogen dioxide that is supposedly emitted from stationary and mobile sources is used for the examination, leading the following conclusions:

1. The nitrogen dioxide density level was high when the wind direction was northwest, north-northwest and east at the city hall, and northwest, west-northwest and south-southeast at Hashimoto. The nitrogen density was high from October to March on a monthly basis and from 19:00 to 24:00 on an hourly basis.
2. In terms of the relationship between the wind velocity and the nitrogen dioxide density, when the wind velocity was high, the nitrogen dioxide density was low, and when the wind velocity was low, the nitrogen dioxide level was high both at the city hall and Hashimoto.
3. In the multiple regression analysis in which the nitrogen dioxide was chosen as a criterion variable and the wind direction, velocity and temperature as explanatory variables, statistical significance was found at the level of 1% for wind velocity, temperature and wind direction at the city hall, and 1% for wind velocity and temperature at Hashimoto. The regression coefficient obtained is necessary for the prediction of nitrogen dioxide density that is a criterion variable.
4. As a result, the following two prediction models for the nitrogen dioxide density were created:
The prediction model for the nitrogen dioxide density at the city hall
The prediction model for the nitrogen dioxide density at Hashimoto

Key words: Nitrogen dioxide, Prediction expression model, Environmental information, Wind velocity, Wind direction, Multiple regression analysis

緒言

わが国の大気汚染の問題は、欧米の社会機構の歴史的背景と比較してその歴史は浅い。しかし著しい高度経済成長以降、健康障害を引き起こす大気汚染物質の被害が増加し、最近では、光化学オキシダントなどの二次汚染物質が問題となるようになった⁴⁾。

なかでも、二酸化窒素問題は、おもに工場からのばい煙、自動車の排気ガスの影響が大きいとされており、工場地帯周辺から交通量の多い都市部へと拡大されている³⁾。ゆえに、健康問題は、市民生活にもより密接に関わってきており、局部的な問題ではなく、広い範囲に拡大した対応が必要となる。そのために、生活環境をより多面的にとらえ分析し、その結果が総合的、計画的な環境行政に活かされることが重要である⁸⁾。このような背景から、市民生活に密接なかわりをもつ自治体レベルの動向として、環境情報が提供されている。しかし、この環境情報は、データベースとして蓄積はされているが、他のデータベースやシステムとの連携が充分になされていない¹⁾。

相模原市でも、高度経済成長の流れを受け市内の活動を活発化するため、北部はおもに工場地帯、南部はおもに住宅地域、その中間部は準工業地域として市の都市計画は進展してきた。また、地理的には市の中央部を国道16号、北側を国道129号が通過しており、この2つの国道の産業的価値は高く、交通量も多く大気汚染観測局の設置もなされている。しかしながら、この貴重な環境情報もデータ量の多さからデータベースとして蓄積されているに過ぎない。

そこで、相模原市内の環境汚染常時観測局で測定されている観測物質のうち固定発生源・移動発生源から排出されている二酸化窒素のデータをもとに、大気中に排出された二酸化窒素が拡散する要因として気象要因の影響を考え^{4,6)}、風向・風速・温度を加え、汚染防止対策に役立てるための予測式モデルの構築を目的に検討を試みた。

研究資料および方法

1. 資料

相模原市環境汚染常時観測局発行(1992～1998)相

模原市役所・橋本(旭小学校内)における2環境汚染常時観測局の二酸化窒素、気象(風向・風速・温度)、交通量の毎時観測値。

2. 方法：時系列動態・重回帰分析法⁹⁾

研究成績および考察

1. 二酸化窒素濃度の月別・時間帯別動態

市役所・橋本の二酸化窒素濃度は、5～8月に低く、10～3月に高い季節循環を示した。0～24時の動態は、1～6時が24時間のうち最も低く、その後、ヒトの生活活動時間帯である7～12時に緩やかな上昇傾向を、19時までは水平傾向、19～24時に高濃度とする日内循環を示した(図1-1, 2)。

2. 気象要因(風向・風速・温度)の動態

風向最多頻度は市役所・橋本ともに北向、ついで市役所では南南西・北西向、橋本では南・西北西向の順を示した。また、季節別には市役所で4～8月の南南西向と11～1月の北西向に対し、橋本では4～8月の南向と11～1月の西北西向、9, 10, 2, 3月に北向が多かった。また、時間帯では市役所で1～6時は北西向、7～12時は北北東向、13～18時は南南西向、19～24時には南南西・北西向を、橋本で1～6時に北向、西北西向、7～12時に北向、13～18時に南向、19～24時に北向、西北西向に多い(図2-1～3-2, 表1)。2観測局の風向は北向が多く、季節別においては市役所ではおおよそ2方向を示したが、橋本ではこの2方向のほかに北向も加わり3方向を示した。地理的には市役所の周辺は準工業地帯であり住宅や官庁ビルが建っているが、橋本は工場地帯で国道2本が交差しており、2つの周辺環境は異なっており、これら周辺環境が風向に影響をあたえていると考えられる。風速は、市役所で南西・西・南南西向の順に強く、南西向は平均4.54 m/s、逆に西南西・東北東・東向の順に弱く、西南西向は平均2.49 m/sを、橋本では南南西・北北東・北向の順に強く、南南西向は平均2.56 m/s、対して東・南東・東北東向の順に弱く、東向は平均1.44 m/sを示し、市役所に対し橋本の風速は弱い年間を通して安定した風速を示した。また、時間帯については市役所・橋本ともに13～18時

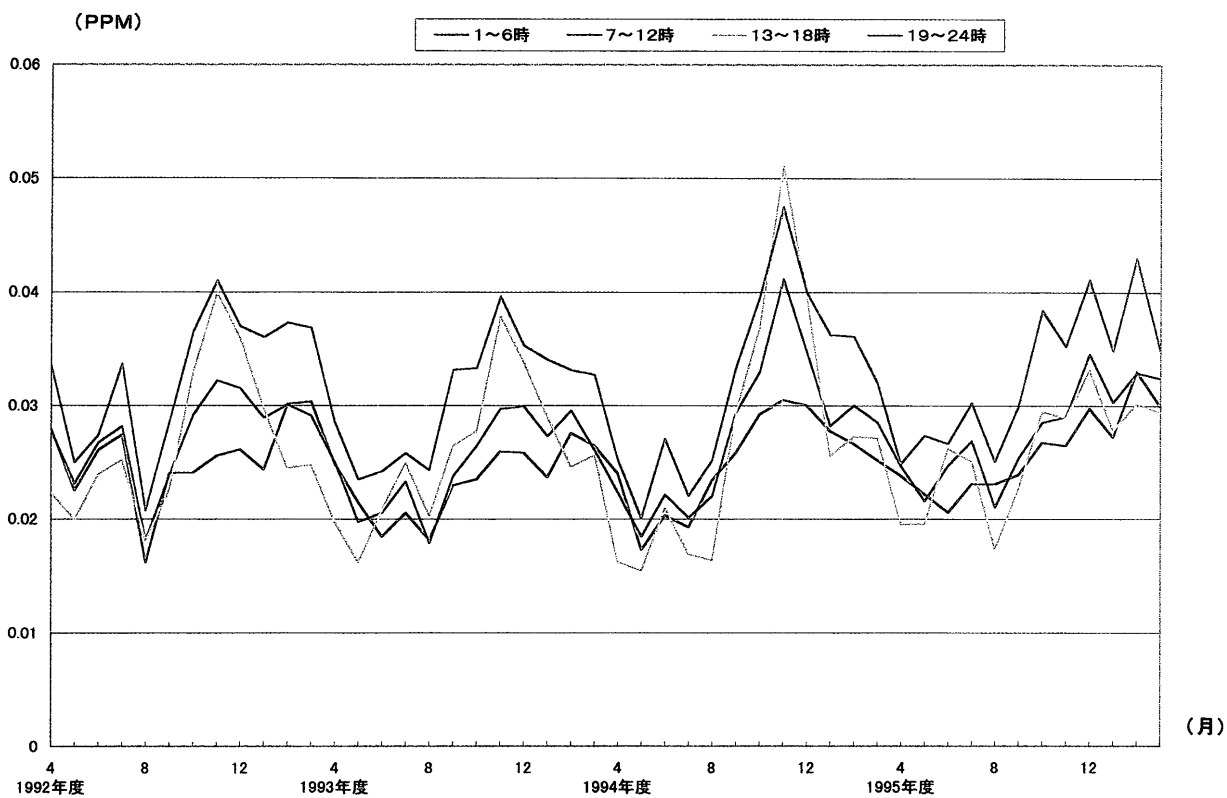


図 1-1 時間帯別平均二酸化窒素濃度 (市役所)

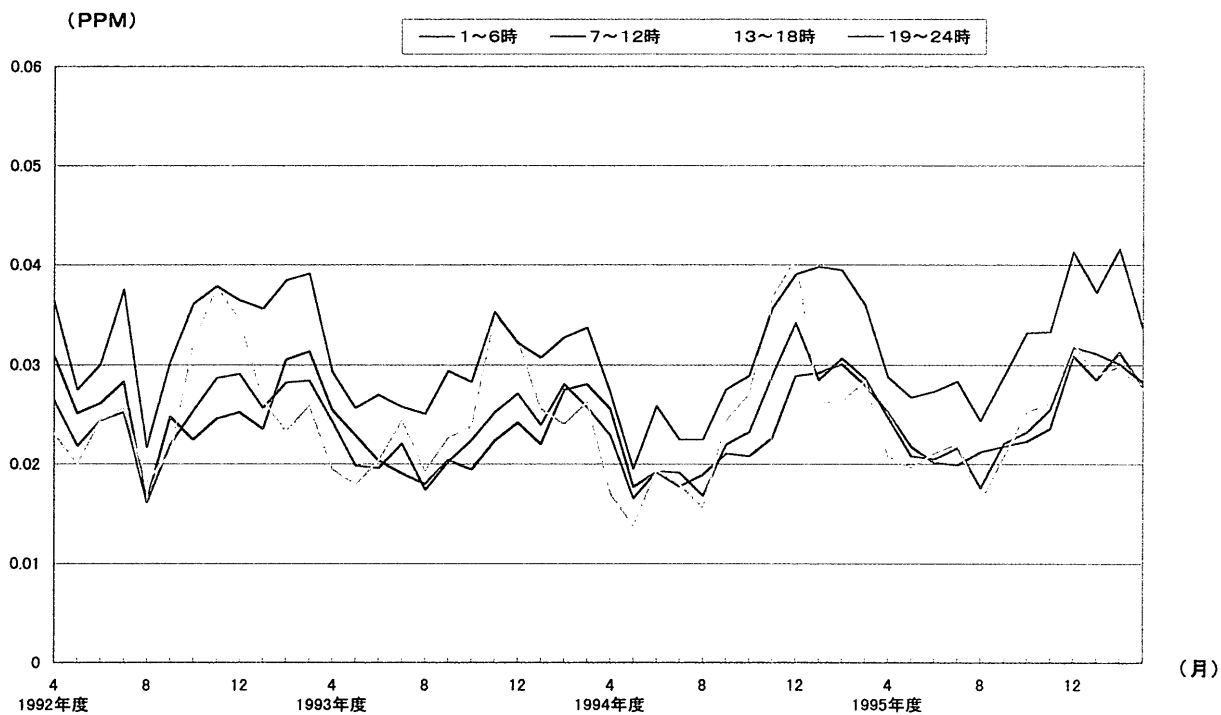


図 1-2 時間帯別平均二酸化窒素濃度 (橋本)

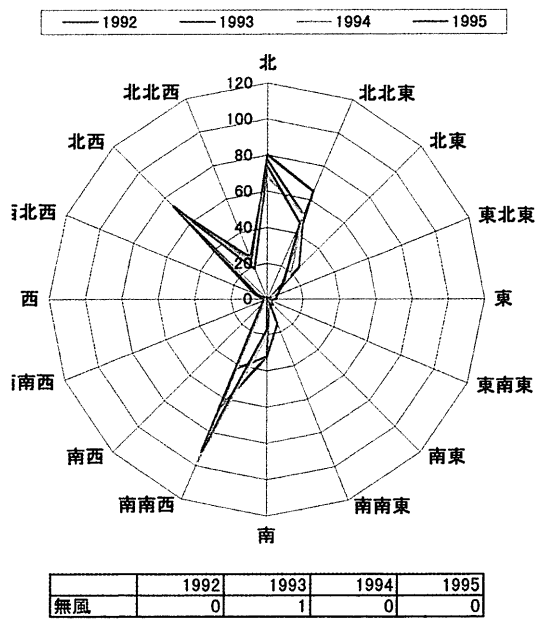


図 2-1 風向別頻度 (市役所 1992 ~ 1995 年度)

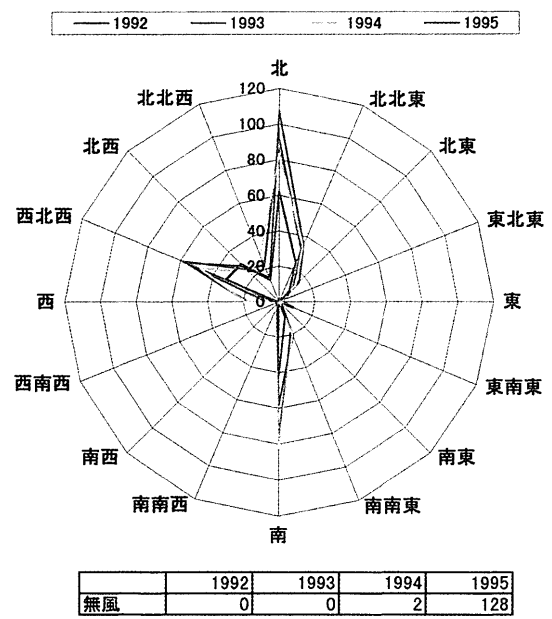


図 2-2 風向別頻度 (橋本 1992 ~ 1995 年度)

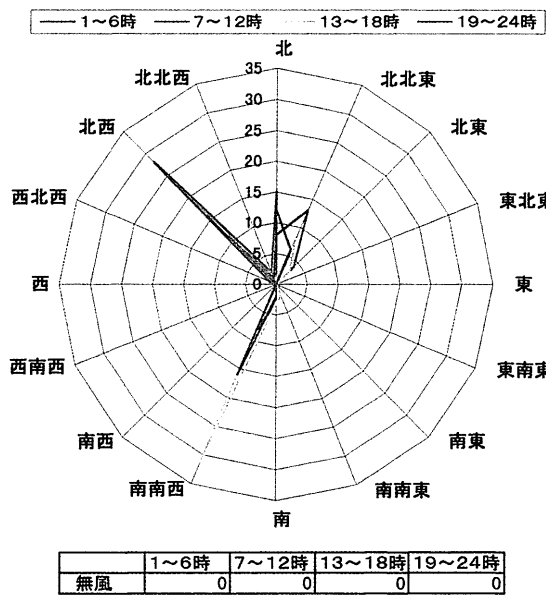


図 3-1 時間帯別風向頻度 (市役所 1992 ~ 1995 年度)

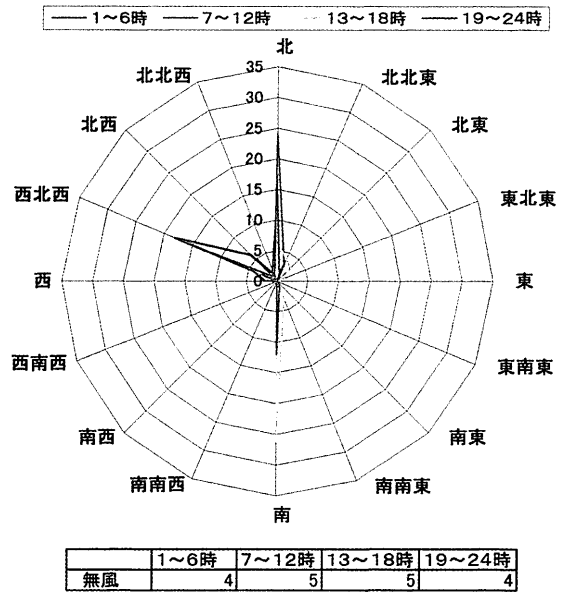


図 3-2 時間帯別風向頻度 (橋本 1992 ~ 1995 年度)

に強く、1～6時に弱い。これを季節別にみると10～1月では時間帯による差は小さく、4～8月では大きいことから冬季の風速は一日中安定し、春から夏期では日内変動が著しいと考えられ、差の大きい4～8月では24時間のうち、13～18時がとくに顕著であることから、市役所・橋本では春から夏期の午後に強い

風速が吹くと考えられる(図 4-1～5-2)。また、年間平均気温は、市役所で15.1℃、橋本14.4℃、月平均による年間温度差は2観測局とも21.1℃を示した。交通量は、2観測局ともに国道16号と接触しているが、年間を通して差はなく、13から18時は著しい交通量に対し1～6時には少ない動態を示した(表2, 3)。

表1 風向月別最多頻度

市役所 風向	風向			
	1992年度	1993年度	1994年度	1995年度
4月	北	南南西	南南西	南南西
5月	南南西	南南西	南南西	南南西
6月	南南西	南	南南西	北
7月	南	南南西	南南西	南南西
8月	南南西	北	南南西	南南西
9月	北北東	北	北	南南西
10月	北	北西	北	北西
11月	北西	北西	北西	北西
12月	北西	北西	北西	北西
1月	北西	北西	北西	北西
2月	北	北西	北西	北
3月	北北東	北北東	北	南南西

橋本 風向	風向			
	1992年度	1993年度	1994年度	1995年度
4月	北	北	南	南
5月	南	南	南	南
6月	北	南	南	北
7月	南	北	南	無風
8月	南	北	南	無風
9月	北	北	北	無風
10月	北	北	北	無風
11月	西北西	西北西	西北西	無風
12月	西北西	西北西	北北東	西北西
1月	北北西	北	西北西	北西
2月	北	西北西	北	北西
3月	北	北	北	北

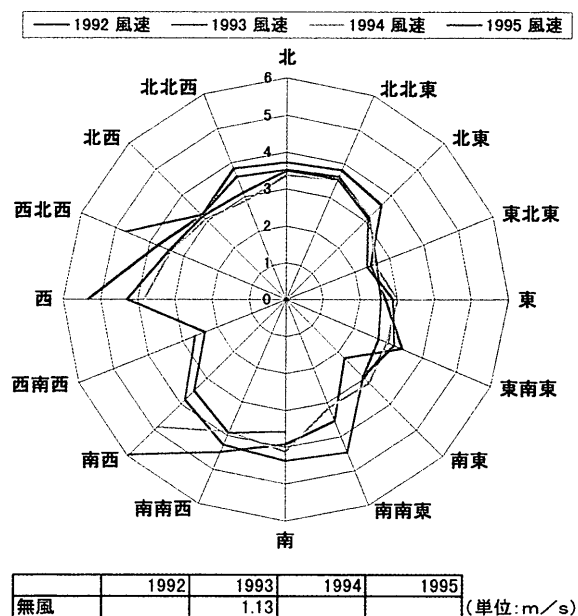


図4-1 風向別平均風速（市役所1992～1995年度）

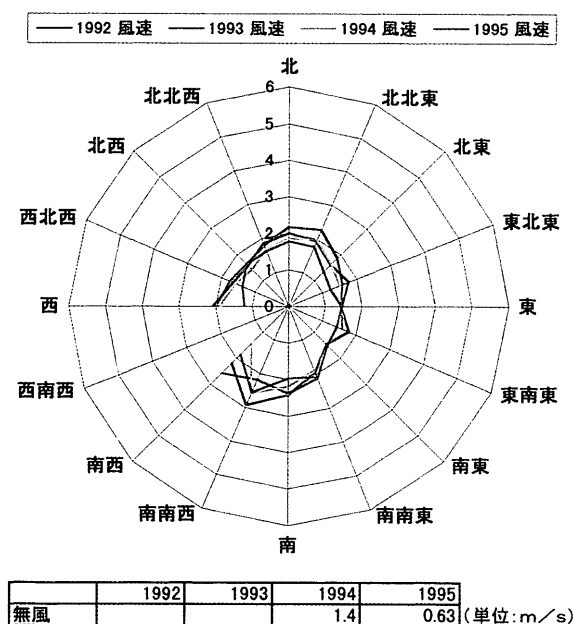


図4-2 風向別平均風速（橋本1992～1995年度）

3. 二酸化窒素濃度と気象の関係

風速を0.5 m/sごとに区分した1日平均風速階級別頻度の年間動態は、市役所では風速1.0～1.5階級から始まり、最多頻度は3～3.5 m/sを示した。また、この風速の状況に対し二酸化窒素濃度は風速の強弱に反比例し、風速が弱いと二酸化窒素は高濃度を示す関係にあり、橋本も同じ傾向を示した(図6)。この状況から、二酸化窒素濃度は風速に強く影響を受けることが明らかになった^{6,7)}。さらに、風向別の二酸

化窒素濃度は市役所では北西向にとくに高濃度の傾向を示し、次いで北北西・北・東・東北東向、橋本でも北西向がとくに高濃度の傾向を示し、次いで、西北西・南東向の順であった。季節別には、2測局とも10～3月に高濃度を、時間帯別では19～24時に高濃度を示し1～6時は低濃度を示した(図7-1～9-1)。ゆえに、二酸化窒素濃度は風速、風向に影響を受けるが、この風速、風向も地理的要因である地上の起伏や建物の高さなどの影響を受けている。市役所・橋本と

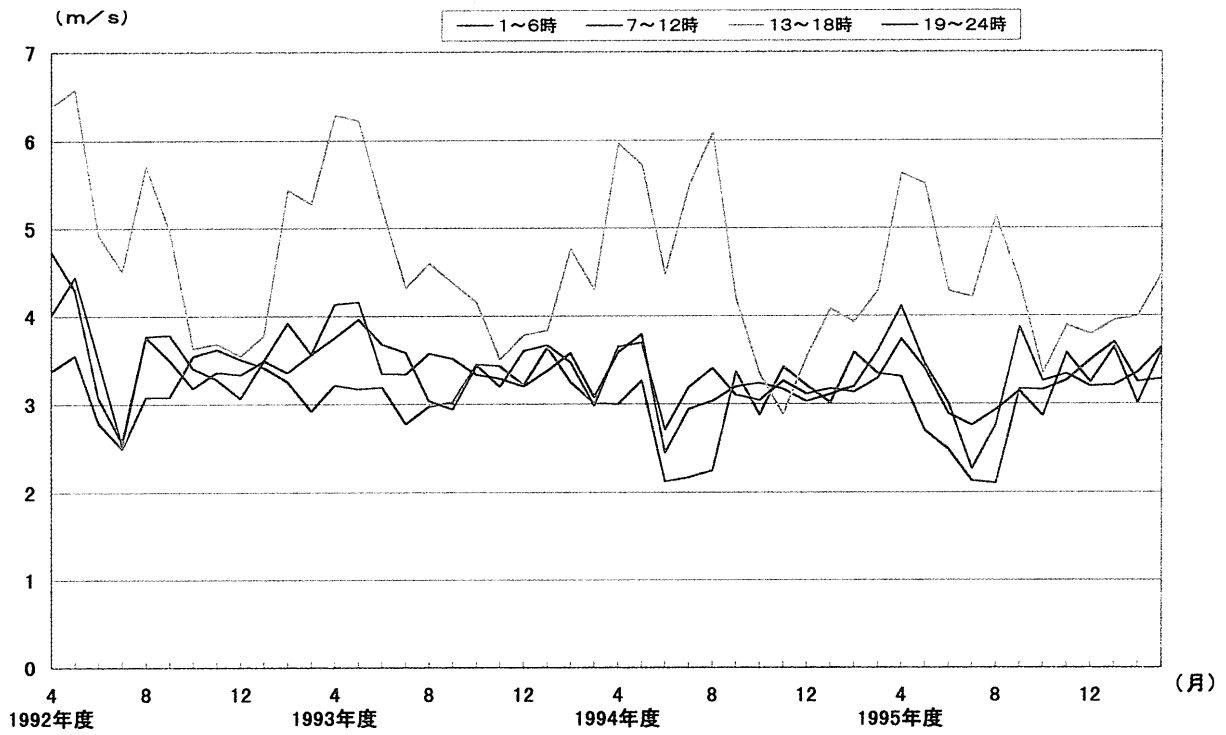


図5-1 時間帯別平均風速（市役所 1992～1995年度）

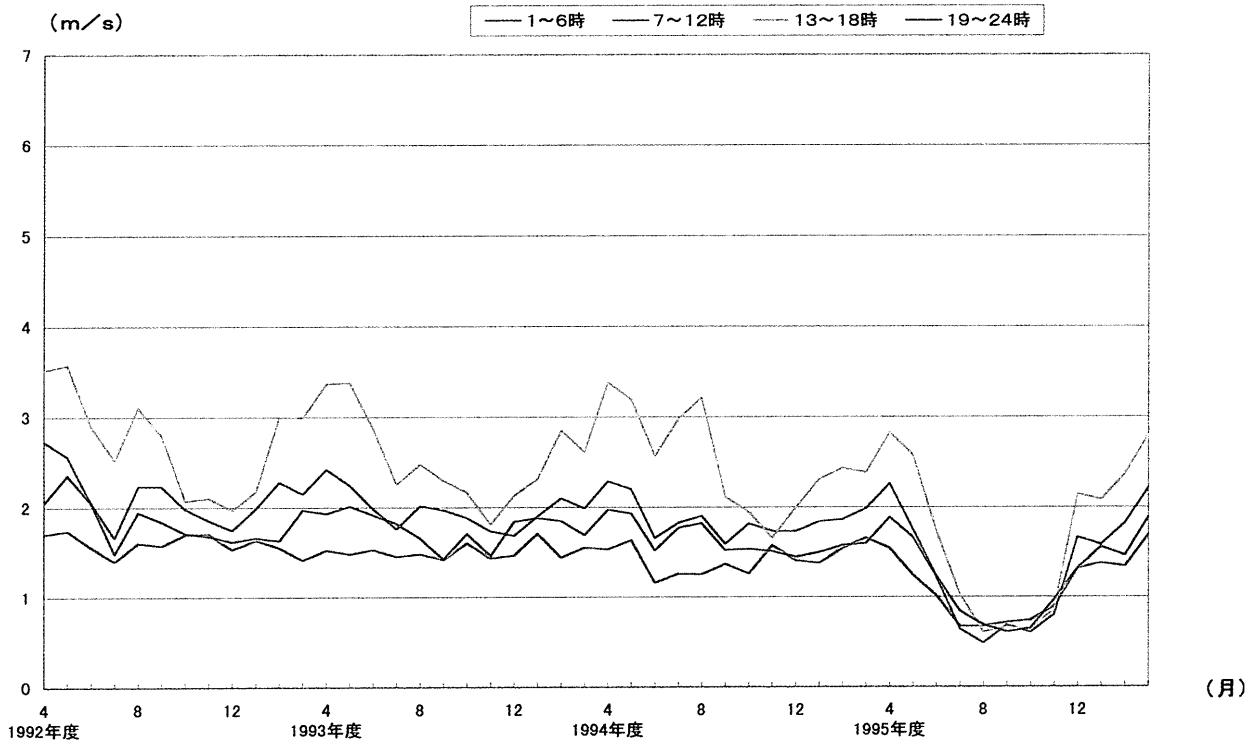


図5-2 時間帯別平均風速（橋本 1992～1995年度）

表2 温度月変動

市役所 温度 (°C)					橋本 温度 (°C)				
	1992年度	1993年度	1994年度	1995年度		1992年度	1993年度	1994年度	1995年度
4月	14.06	12.45	14.51	13.75	4月	13.56	11.93	14.46	13.61
5月	16.39	17.10	18.28	17.81	5月	16.09	16.95	18.34	17.79
6月	19.93	20.83	21.28	19.42	6月	19.62	20.73	21.20	19.15
7月	24.90	21.94	26.54	25.17	7月	24.64	21.41	26.60	24.89
8月	25.72	24.28	27.35	27.91	8月	25.44	23.42	27.35	27.76
9月	22.56	22.22	23.47	22.34	9月	21.80	21.14	23.13	21.91
10月	16.65	16.76	19.13	18.31	10月	15.61	15.55	18.28	17.44
11月	12.27	13.36	12.27	11.38	11月	10.90	11.97	11.13	10.14
12月	8.65	7.58	7.88	6.41	12月	7.05	6.34	6.60	4.95
1月	5.81	4.67	5.12	5.21	1月	4.31	3.50	3.88	4.26
2月	7.23	5.39	5.43	4.42	2月	5.67	4.38	4.38	3.49
3月	8.10	7.08	7.72	8.17	3月	7.17	6.65	7.21	7.72

表3 交通量 (台)

	1992年度	1993年度	1994年度	1995年度
4月	55610	56458	57377	56199
5月	56752	56602	56309	56205
6月	56773	56986	56687	56884
7月	57889	57833	57947	57792
8月	58359	57741	58018	58199
9月	56752	56025	55879	56861
10月	56410	56828	56425	57116
11月	55755	55667	55217	56153
12月	56229	56173	56107	58214
1月	54836	55585	54588	57279
2月	57898	55919	56008	60607
3月	57493	58252	56694	60375

もに北西方向に工場地帯を、また、国道16号と接触していることから二酸化窒素発生源に共通性を持っており、高濃度を示した風向はともにおおた北西向で地図的な位置関係により多少風向が異なっていた。この傾向は季節別・時間帯別においても同様で、二酸化窒素発生源が同じである場合には風向の影響を受けることが明らかであるが、風向に風速の影響を加えると、風速の弱い時間帯19～24時、10～3月のように風速の年間変動が弱い時期には二酸化窒素濃度が高いことから、二酸化窒素が大気中に停留し、拡散しにくい状況に置かれ高濃度を示したことが推測される⁷⁾。

3. 重回帰分析

市役所・橋本ごとに、二酸化窒素濃度を目的変数、

風向・風速・温度を説明変数として、重回帰分析を行った。表4は重回帰分析の結果で、回帰に対する累積寄与率、目的変数に対する各説明変数の単相関係数、全説明変数を用いた重回帰式における各説明変数の標準化回帰係数(目的変数およびすべての説明変数を標準化して求めた重回帰式における各説明変数の係数)を示している。市役所では境界値(F値)、P値による判定では危険率1%水準で風速・温度・風向に有意差が、また、橋本では風速・温度に1%水準での有意差が認められ、回帰係数の有意性についても危険率の信頼区間内であることから、回帰に必要な係数と判断でき、回帰係数についても目的変数である二酸化窒素濃度予測に必要な回帰係数である。これをもとに、相模原市市役所・橋本の2つの二酸化窒素濃度予測式モデルを構築することができた。このモデルを使って検討した結果、ともに高い水準で実測値と一致し、モデルとしての有効性を確認できた。今後は、環境要因をさらに加え、安定した予測式モデルの構築を検討している。

市役所・二酸化窒素濃度予測モデル

$$Y1 = 0.04468 + 2.560 \times 10^{-4}X_1 - 3.917 \times 10^{-3}X_2 - 3.721 \times 10^{-4}X_3$$

Y1：二酸化窒素濃度 (ppm)

X1：風向

X2：風速 (m/s)

X3：温度 (°C)

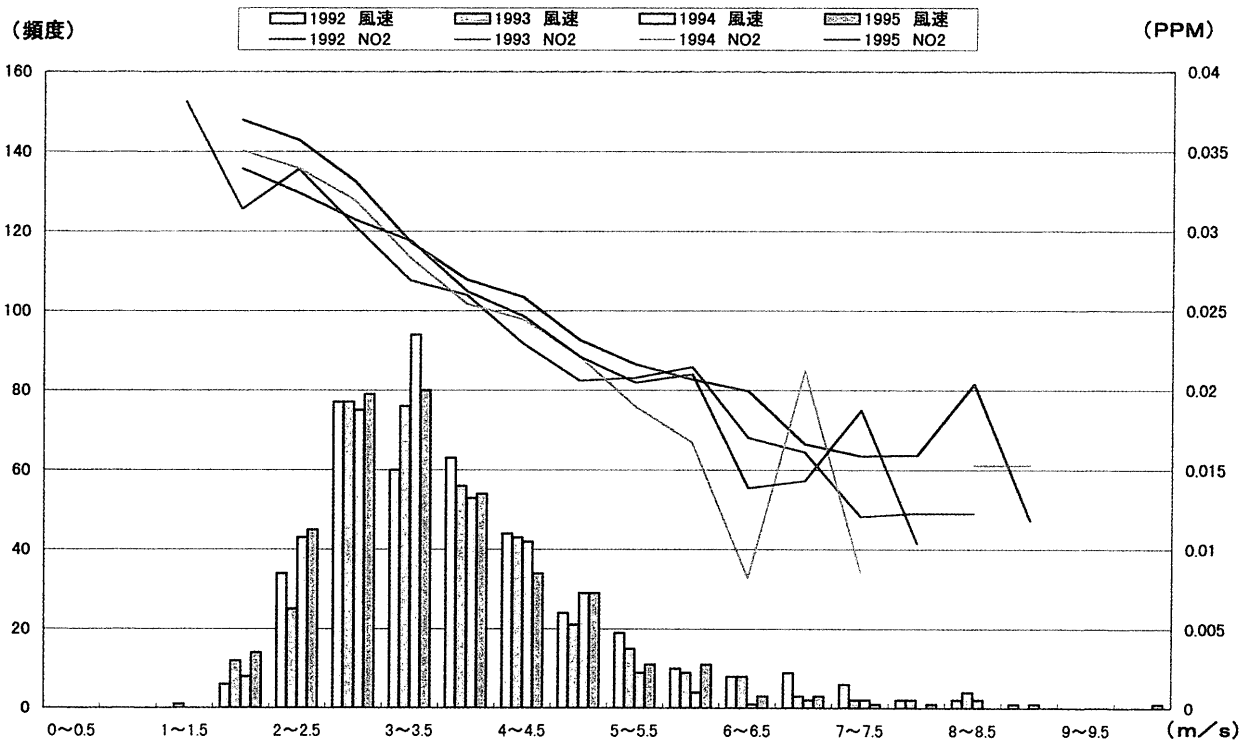


図 6-1 風向別頻度と二酸化窒素濃度平均 (市役所 1992 ~ 1995 年度)

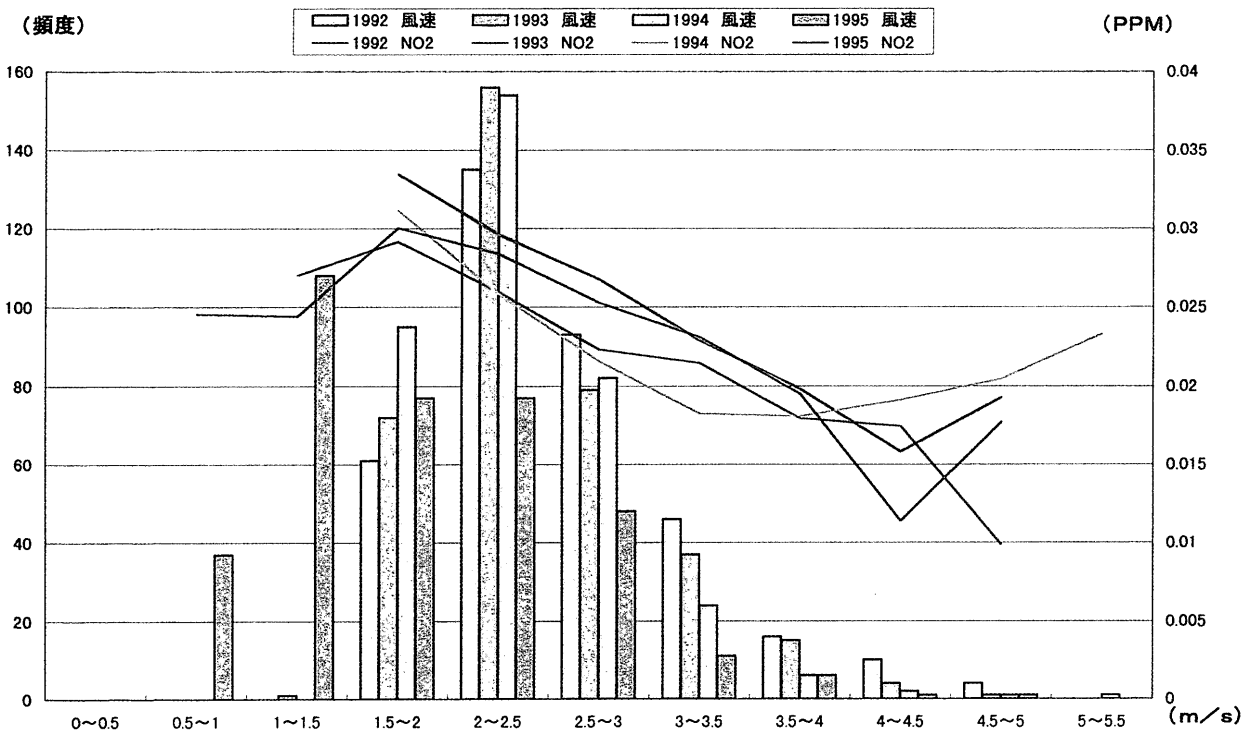


図 6-2 風向別頻度と二酸化窒素濃度平均 (橋本 1992 ~ 1995 年度)

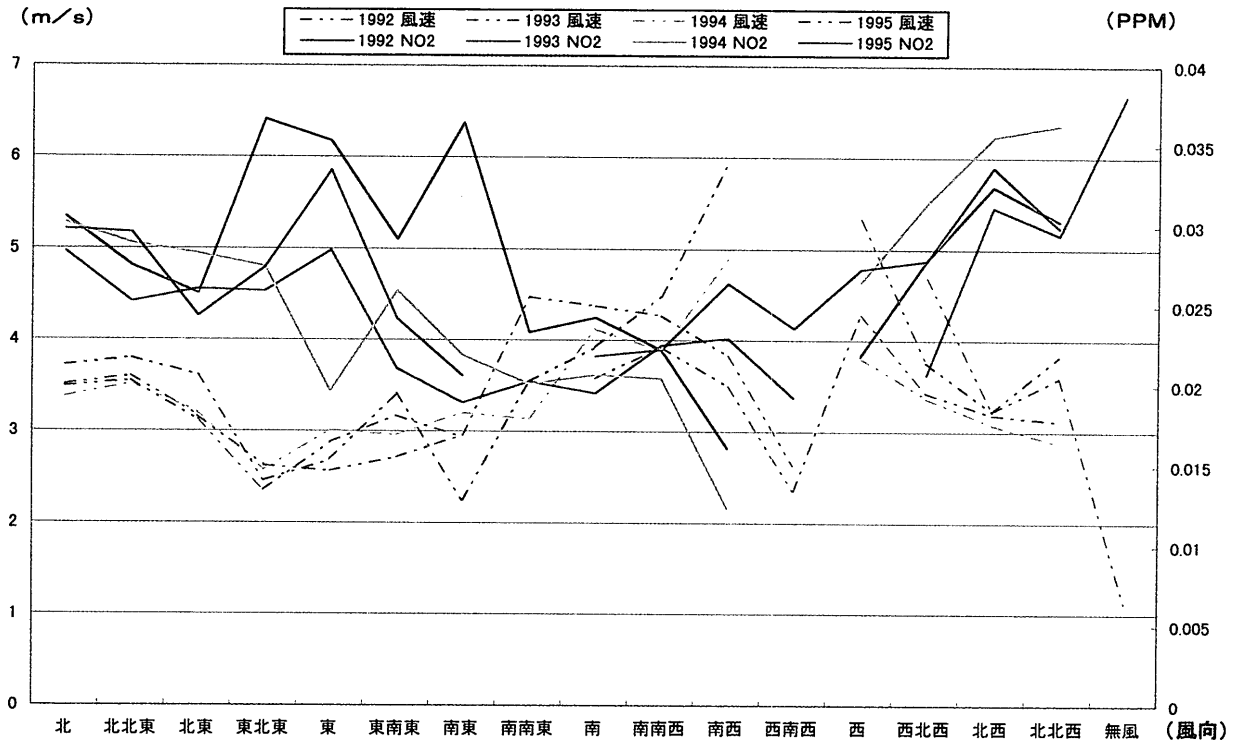


図 7-1 風向別平均風速と平均二酸化窒素濃度（市役所 1992～1995 年度）

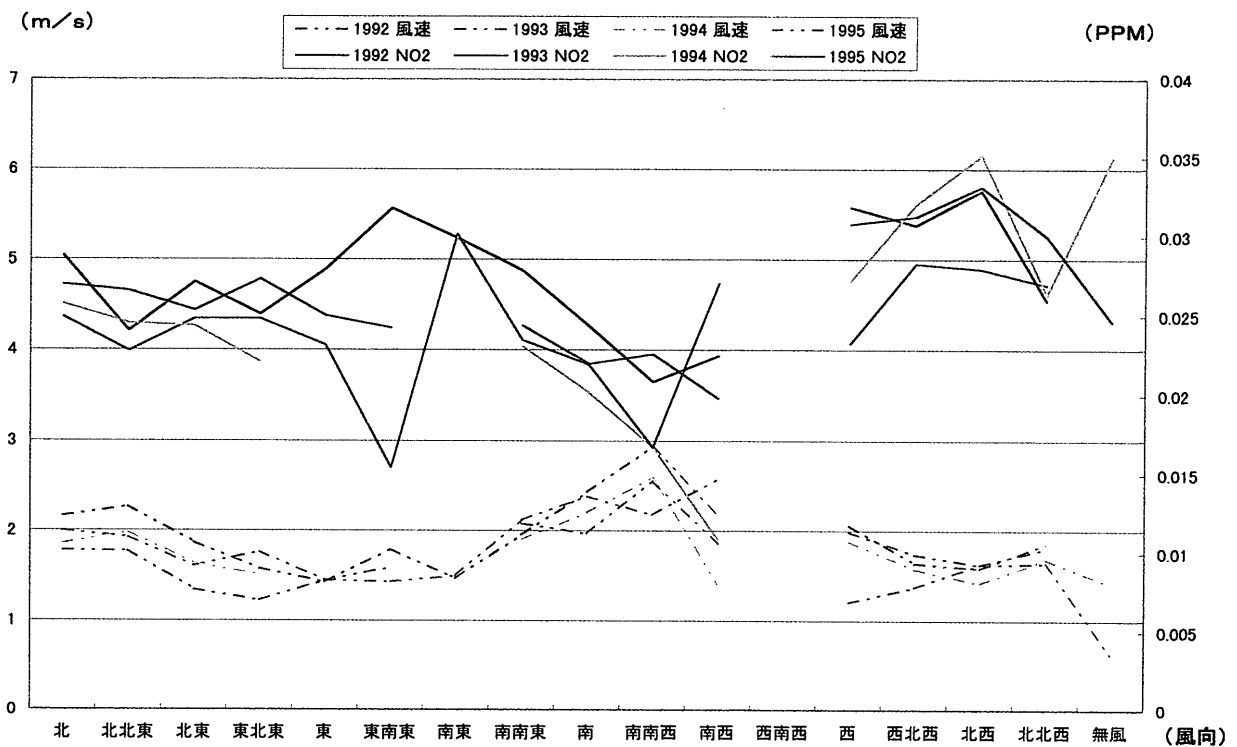


図 7-2 風向別平均風速と平均二酸化窒素濃度（橋本 1992～1995 年度）

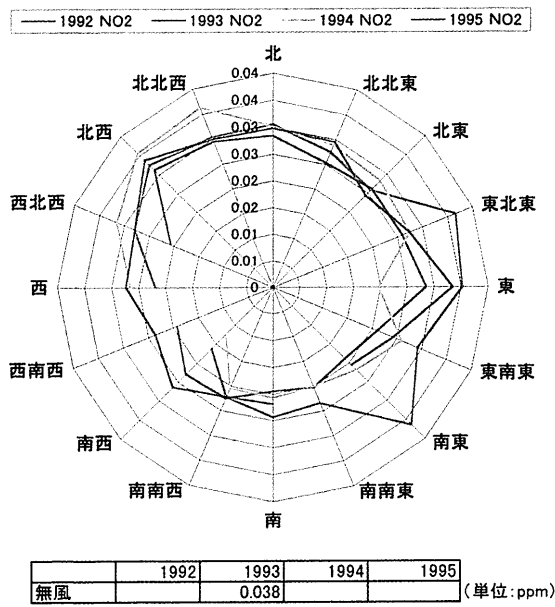


図 8-1 風向別平均二酸化窒素濃度
(市役所 1992 ~ 1995 年度)

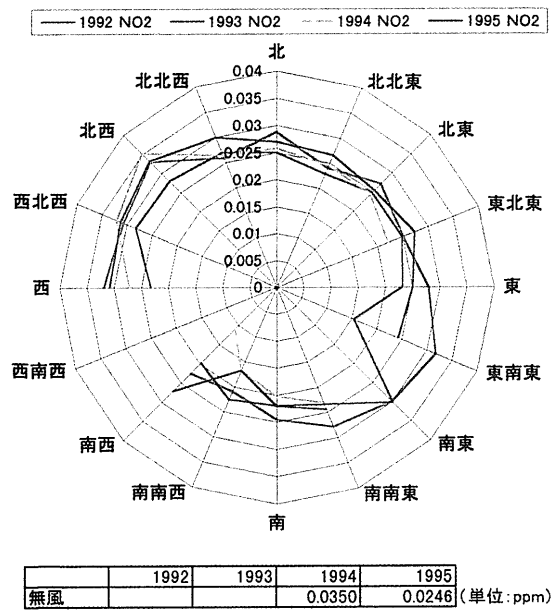


図 8-2 風向別平均二酸化窒素濃度
(橋本 1992 ~ 1995 年度)

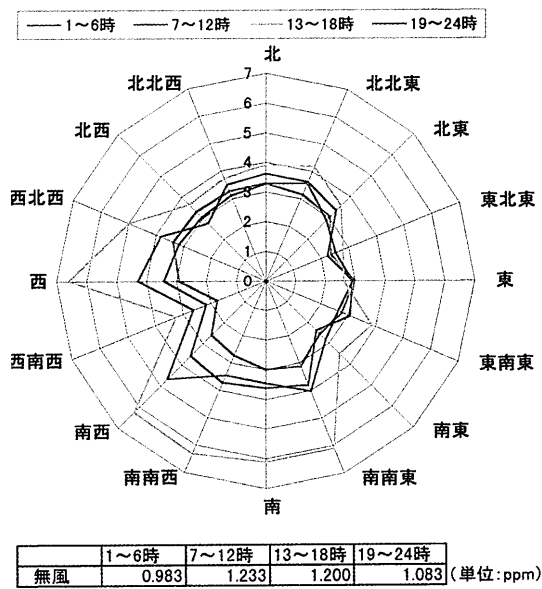


図 9-1 風向別時間帯別平均風速
(市役所 1992 ~ 1995 年度)

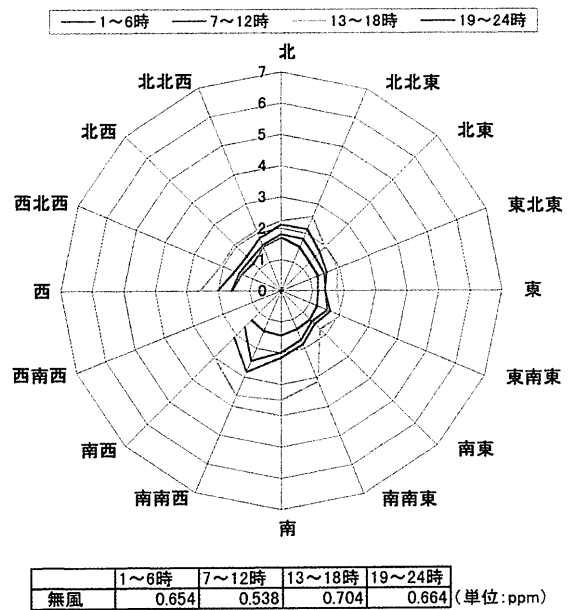


図 9-2 風向別時間帯別平均風速
(橋本 1992 ~ 1995 年度)

表 4 重回帰分析

市役所 (1992 ~ 1995 年度)

重回帰式	変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
重回帰式	風速	-0.00392	-0.50314	600.6472	24.50811	3.4E-111	**	0.00016	-0.542	-0.5108	-0.00423	-0.0036
	温度	-0.00037	-0.31607	235.2333	15.33732	2.66E-49	**	2.43E-05	-0.37428	-0.32891	-0.00042	-0.00032
	風向	0.000256	0.151579	53.8727	7.339802	3.56E-13	**	3.49E-05	0.189647	0.218993	0.000188	0.000324
	定数項	0.044678		2909.898	53.94347	0	**	0.000828			0.043053	0.046303

** : 1% 有意 * : 5% 有意

精度	決定係数	0.394155
	修正済決定係数	0.392896
	重相関係数	0.627818
	修正済重相関係数	0.626815

橋本 (1992 ~ 1995 年度)

重回帰式	変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
重回帰式	風速	-0.00408	-0.33518	216.0019	14.697	1.06E-45	**	0.000278	-0.35932	-0.30257	-0.00462	-0.00353
	温度	-0.00047	-0.46203	441.5262	21.01253	7.76E-86	**	2.23E-05	-0.48225	-0.43253	-0.00051	-0.00042
	風向	7.05E-05	0.044154	3.767494	1.941003	0.052451	**	3.63E-05	0.050785	0.165855	-7.5E-07	0.000142
	定数項	0.03945		2117.667	46.01812	3E-286	**	0.000857			0.037769	0.041132

** : 1% 有意 * : 5% 有意

精度	決定係数	0.308577
	修正済決定係数	0.307154
	重相関係数	0.555497
	修正済重相関係数	0.554214

橋本 (1992 ~ 1994 年度)

重回帰式	変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
重回帰式	風速	-0.00593	-0.41437	283.5186	16.83801	9.92E-57	**	0.000352	-0.45417	-0.4513	-0.00662	-0.00524
	温度	-0.00037	-0.35973	210.5234	14.50943	9.47E-44	**	2.57E-05	-0.40218	-0.40502	-0.00042	-0.00032
	風向	0.000148	0.090218	13.10751	3.620429	0.000308	**	4.09E-05	0.108957	0.203333	6.78E-05	0.000228
	定数項	0.041457		1817.925	42.63713	1.4E-234	**	0.000972			0.03955	0.043365

** : 1% 有意 * : 5% 有意

精度	決定係数	0.351051
	修正済決定係数	0.349266
	重相関係数	0.592495
	修正済重相関係数	0.590988

橋本・二酸化窒素濃度予測モデル

$$Y2 = 0.04146 + 1.481 \times 10^{-4} X_4 - 5.932 \times 10^{-3} X_5 - 3.730 \times 10^{-4} X_6$$

Y2: 二酸化窒素濃度 (ppm)

X4: 風向

X5: 風速 (m/s)

X6: 温度 (°C)

結 論

相模原市内の環境汚染常時観測局で測定されている観測物質のうち固定発生源・移動発生源から排出されているよされる二酸化窒素のデータをもとに、大気中に排出された二酸化窒素が拡散する要因として、風向・風速・温度を気象要因として、汚染防止対策に役立てるための予測式モデルの構築を目的に検討を試みたところ、次のような結論を得た。

1. 市役所の風向は北西向・北北西向・東向、橋本は北西向・西北西向・南南東向のとき二酸化窒素は高濃度を、また、月別では10月から3月、時間帯別では19～24時に高濃度を示した。

2. 風速と二酸化窒素濃度は、市役所・橋本ともに風速が強いと二酸化窒素濃度は低濃度を、逆に風速が弱いと高濃度を示した。

3. 二酸化窒素を目的変数とし、風向・風速・温度を説明変数とした重回帰分析では、市役所では風速・温度・風向に1%水準で、橋本では風速・温度に1%

水準で有意性が認められた。求められた回帰係数は目的変数である二酸化窒素濃度の予測に必要な係数である。

4. 二酸化窒素濃度予測式モデルとして、市役所・二酸化窒素濃度予測式

$$Y1 = 0.04468 + 2.560 \times 10^{-4} X_1 - 3.917 \times 10^{-3} X_2 - 3.721 \times 10^{-4} X_3$$

橋本・二酸化窒素濃度予測式

$$Y2 = 0.04146 + 1.481 \times 10^{-4} X_4 - 5.932 \times 10^{-3} X_5 - 3.730 \times 10^{-4} X_6$$

の2つが構築できた。

文 献

- 1) 岩崎英二・立石康彦・谷口三紀生: 日本環境センター報, 24, 64-71 (1997).
- 2) 桐生 崇・畠山 豪・光崎龍子: 第59回日本公衆衛生学会要旨, 190 (2000).
- 3) 小泉 明・山崎公子・資兆: 都市と廃棄物, 27, 39-49 (1997).
- 4) 中村 貢・米山悦夫: 空気清浄, 19, 16-30 (1981).
- 5) 橋本 魁: 香川県環境研究センター報, 21, 71-83 (1998).
- 6) 橋本 魁・高津和久・田村 章: 香川県環境研究センター報, 19, 51-59 (1996).
- 7) 橋本 魁・冠野禎男・田村 章: 香川県環境研究センター報, 18, 55-69 (1994).
- 8) 益田 光・高屋敷将: 水道協会雑誌, 64, 29-37 (1995).
- 9) 脇本和昌, 後藤昌衛, 松原義弘: 多変量グラフ解析法, 朝倉書店, 28-37, 40-96 (1979).