

## 市街地における風向変動とNO<sub>x</sub>濃度の関係

### Effects of Wind Direction on NO<sub>x</sub> concentrations in Urban Area of Kawasaki City

安藤 仁 Hitoshi ANDO  
井上 俊明 Toshiaki INOUE  
広瀬 健二 Kenji HIROSE  
佐藤 静雄 Sizuo SATOH

#### 1 はじめに

国の内外を問わず大都市圏においては、自動車排出ガスの影響による窒素酸化物汚染が大気汚染の深刻な課題の一つである。

特に高密度市街地は複雑な道路構造や気流と相まって窒素酸化物の拡散についても複雑な挙動を示すと考える。

本調査では、川崎区内で交通量が多い幹線道路（国道15号線）を含む商業系地域周辺の一般風と高層建築物によって形成されるストリートキャニオン内<sup>1, 2)</sup>の風との相関について着目し、建物密集地の風向変動および窒素酸化物の拡散状況の実態を梅雨期・冬期に分け調査したので、その結果について報告する。

#### 2 調査方法

2.1 調査期間 梅雨期：1993年6月21日～7月8日  
冬期：1993年11月26日～12月10日

#### 2.2 調査地点

調査モデル地区として、商業系地域で交通量が多い幹線道路を含む宮本町地区（川崎市役所周辺）を設定した。A：川崎測定所；一般環境大気測定所，採取口高さ19.6m（南東約200mに交通量の多い国道15号線が通っている。）

B：市役所前測定所；自動車排出ガス測定所，採取口高さ1.6m（幅約40mのストリートキャニオンから枝分かれする幅5.3mのストリートキャニオンの道路端で，県道川崎府中線の道路端より約5m入る）  
詳細な調査地点を図2-1に示す。

#### 2.3 調査項目

本調査の調査項目は次のとおりである。

##### (1) 窒素酸化物環境濃度調査

常時監視測定局の自動測定機によりNO<sub>x</sub>、NO<sub>2</sub>を連続測定

##### (2) 風向・風速状況調査

一般環境局（川崎測定所）の気象データを利用

##### (3) ストリートキャニオン内の風向・風速状況調査

ストリートキャニオン内（市役所前測定所）に風向・風速計を設置し常時測定

#### 2.4 調査使用測定機器

本調査の使用した自動測定機器および測定原理は表2-1のとおり

表2-1 使用測定機器一覧(解析対象の常時監視局も含む)

##### (1) 気象測定

測定項目	測定機器	地点数	測定原理
風向 風速	風向 風速計	1 (A測定所)	矢羽根-制御シンクロ法 /風車-反射型ホトセンサー法
		1 (B測定所)	矢羽根-制御シンクロ法 /三杯-交流発電法

##### (2) 濃度測定

測定項目	測定機器	地点数	測定原理
窒素酸化物濃度	JIS B-7953 NO <sub>x</sub> 自動計測器	1 (A測定所)	吸光光度法
		1 (B測定所)	(ザルツマン試薬)

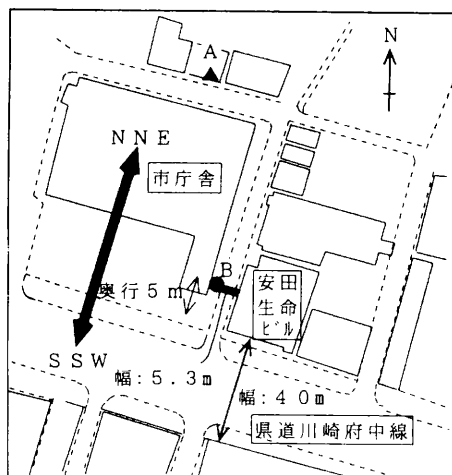


図2-1 調査地点の拡大図

3 調査結果

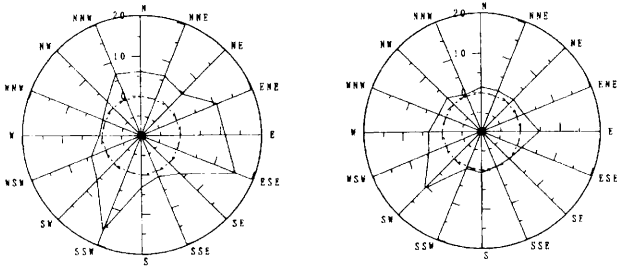
3.1 川崎測定所及び市役所前測定所の風向・風速の調査結果

3.1.1 風向について

川崎測定所及び市役所前測定所の風向頻度図を図3-1に示す。

<梅雨期：1993年6月21日～7月8日>

総測定回数 (川崎測定所) 383回/時間  
(市役所前測定所) 374回/時間



川崎測定所

市役所前測定所

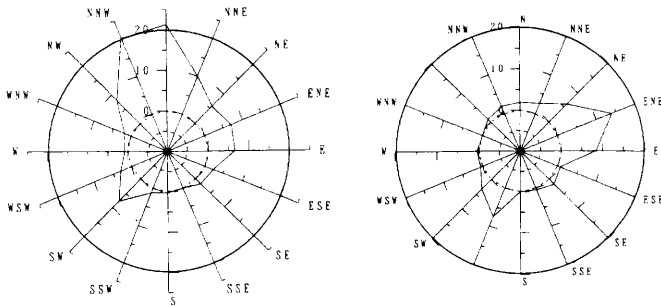
(単位：%；C = 1回) (単位：%；C = 234回)

注；C（カーム）は風速0.5m/s未満

図3-1a 風向頻度図

<冬期：1993年11月29日～12月10日>

総測定回数 (川崎測定所) 287回/時間  
(市役所前測定所) 265回/時間



川崎測定所

市役所前測定所

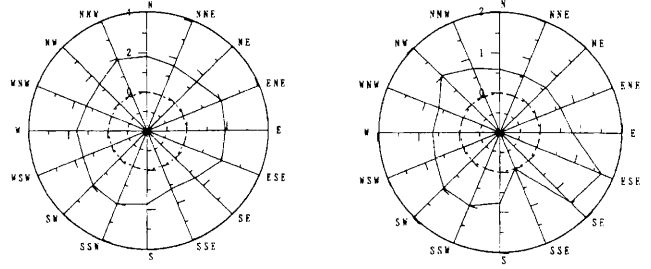
(単位：%；C = 0回) (単位：%；C = 131回)

図3-1b 風向頻度図

3.1.2 風速について

川崎測定所及び市役所前測定所の風向別風速図を図3-2に示す。

<梅雨期：1993年6月21日～7月8日>



川崎測定所

市役所前測定所

(単位：m/s)

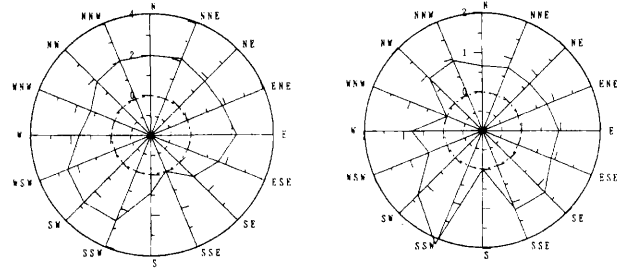
(単位：m/s)

(平均風速 1.8m/s)

(平均風速 0.4m/s)

図3-2a 風向別風速図

<冬期：1993年11月29日～12月10日>



川崎測定所

市役所前測定所

(単位：m/s)

(単位：m/s)

(平均風速 2.0m/s)

(平均風速 0.6m/s)

図3-2b 風向別風速図

3.2 ストリートキャニオン内の風向・風速について

川崎市役所庁舎と安田生命ビルによって形成されるストリートキャニオンのほぼ入口部に位置する市役所前測定所で観察された風向をその地域の一般風の風向である川崎測定所と比較しその相関を調べた。

3.2.1 川崎測定所と市役所前測定所の風向の相関

川崎測定所と市役所前測定所との風向の相関を表3-1に示す。各々測定所と比較し±1方位(±22.5°)以内で一致すれば相関があるとして、風向の詳細な相関を解析した。

表3-1 川崎測定所と市役所前測定所の風向の相関

<梅雨期：1993年6月21日～7月8日>

市役所前 川崎	C	N	N N	N E	E N	E	E S	S E	S S	S	S S	S W	W S	W	W N	N W	N N	N W	合 計
C	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
N	15	0	0	0	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	21
NNE	16	0	1	3	3	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	27
NE	19	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
ENE	37	4	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	49
E	35	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	3	1	0	47
ESE	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	1	1	0	0	46
SE	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	14
SSE	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	6
S	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	10
SSW	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22	5	2	1	0	0	0	52
SW	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	14	0	0	0	0	0	0	22
WSW	9	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	15
W	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
WNW	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
NW	7	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
NWN	11	0	1	2	1	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	28
合 計	234	5	5	7	7	18	4	1	0	3	2	40	17	13	7	9	2	0	374

(単位：回/時間)

<冬期：1993年11月26日～12月10日>

市役所前 川崎	C	N	N N	N E	E N	E	E S	S E	S S	S	S S	S W	W S	W	W N	N W	N N	N W	合 計
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	33	0	2	7	9	5	1	2	0	0	1	2	0	0	0	1	1	1	64
NNE	16	0	2	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	27
NE	16	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	20
ENE	16	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	23
E	14	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
ESE	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	9
SE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
SSW	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
SW	4	0	0	0	2	3	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	15
WSW	4	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
W	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4
WNW	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
NW	12	0	0	1	8	5	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	31
NWN	18	0	2	5	15	3	0	0	1	0	4	2	0	0	0	1	1	1	52
合 計	153	5	7	16	38	22	2	4	1	0	20	9	1	1	0	3	5	0	287

(単位：回/時間)

3.2.2 相関が存在する風向について

(1) 梅雨期

観測の結果、相関を認める風向は7方位、50回/時間であった。(表3-2a)梅雨期において市役所前測定所では、SW及びWSW系並びにE系の風が支配的であり(図3-1a)、E系の風は一般風と相関が認められなかったが、SW系の風はその観測風向の大部分が一般風と相関があった。

(平均風速；A：1.8m/s B：0.4m/s)

表3-2a 市役所前測定所から観察した相関を有する風向

風 向	N N	N E	E N	S S	S W	W	N N	合 計
回数(相関有)	1	5	1	2	38	1	1	50
全観測数	5	7	7	2	40	13	9	83

(2) 冬期

観測の結果、相関を認める風向は8方位、23回/時間であった。(表3-2b)市役所前測定所ではSW系並びにE系~NE系の風が支配的であり(図3-1b)、NNW系の風はその観測風向の大部分が一般風と相関があったものの、他はあまり一般風と相関が認められなかった。(平均風速; A: 2.0m/s B: 0.6m/s)

表3-2b 市役所前測定所から観察した相関を有する風向

風 向	N N E	N E N	E N E	E	S S W	S W W	N W W	N N W	合 計
回数(相関有)	4	3	1	2	6	2	1	4	23
全観測数	7	16	33	22	20	9	3	5	115

3.3 ストリートキャニオン内の風向・風速の特徴

梅雨期において観察された(一般風と相関性が強かった)SW系の風に対する一般風の寄与を調べ、ストリートキャニオン内の風向・風速の特徴を解析した。

3.3.1 一般風(川崎測定所)と相関性が強いSW風について

市役所前測定所で相関のあったSW風と一般風(川崎測定所)との対応を表3-3に示す。

表3-3 相関のあったSW風での両測定所の風向の対応

川崎測定所(一般風)		市役所前測定所 (ストリートキャニオン内の風)	
風 向	相関有(全体)	風 向	相関有(全体)
S SW	22 (52)	S W	38 (40)
S W	14 (22)		
W S W	2 (15)		

市役所前測定所の道路軸はNNE-SWであるので(図2-1参照)この風向が支配的であると考えられたが、SW系が支配的であった。このことはストリートキャニオン入り口で何らかの風向変動があったことを示している。

3.3.2 他の風向について

市役所前測定所で測定された $\bar{C}$ (0.5m/s未満) 234回のうち約45%が、川崎測定所でE系(ENE~ESE)のときであり、逆に川崎測定所からみればE系の風が吹いていても、その70%以上がストリートキャニオン内の市役所前測定所ではカムになった。特に、今回の調査では連続無風時間が6時間以上は14回(延べ148時間)、12時間以上は5回(延べ83時間)観測され、その多くの場合E系の風向時であった。

3.3.3 ストリートキャニオン入口部の風向の特徴

このことから、枝分かれするストリートキャニオン入口部の風向は道路軸に沿った風向系(SW系風など)が支配的になり、道路軸と直交する風向(E系)は打ち消される傾向にあることがわかった。

しかしながら、前述したように市役所前の道路軸はNNE-SWであるので、本来はSW系の風が支配的でもよいはずであるが、今回の観測ではSW系が支配的であった。

このことは、北林らの報告によるとストリートキャニオン入口部では風向の変動がきわめて大きいことが確認されており<sup>3,4)</sup>、今回の調査でも何らかの風向変動があることを裏付けている。

3.3.4 ストリートキャニオン内の風速の特徴

この相関がみられたSW系(38回/時間)の風速の相関とその減衰の解析結果を表3-4に示す。

その結果、弱風ほど減衰率が高いことがわかった。

表3-4 SW系風速の対応および推移

頻度(回)	市役所前測定所風速				
川崎測定所風速	0.5 ↓ 0.9	1.0 ↓ 1.4	1.5 ↓ 1.9	2.5 ↓ 2.9	
0.5-0.9	2				2
1.0-1.4	8				8
1.5-1.9	5	4			9
2.0-2.4	6	4	1		11
2.5-2.9			2		2
3.0-3.4		2		1	3
3.5-		2	1		3
計	21	12	4	1	38
平均速度推移(m/s)	2.0 ↓ 0.7	2.4 ↓ 1.1	3.0 ↓ 1.6	3.2 ↓ 2.5	
減衰率%	-65.3%	-53.6%	-46.7%	-21.9%	

4 風向別窒素酸化物濃度

測定期間中の風向別窒素酸化物濃度を表4-1に示し、図4-1に図案化した。

風向別濃度図を風向別風速図(図3-2)と比較すると一般的に風速が高いほどその濃度は低い傾向にある。

ただし、冬期・市役所前のW系などのような特異的に濃度が高い風向も観察されるが、この場合その頻度はわずか1回であった。このように濃度が高い風向も観察されるが観察頻度にばらつきがあるため一意的に評価できない。

川崎測定所の場合、一番の弱風風向であったWNW系を除き、だいたい、偏りのない濃度であった。

それに対し市役所前測定所の場合、弱風ほど高濃度になり、SW系風の様に風速が高めの場合、拡散が促進され低濃度になる傾向がある。

表4-1a 風向別窒素酸化物濃度  
 〈梅雨期：1993年6月22日～7月8日〉

川崎測定所

	頻度	平均濃度 (NO)	平均濃度 (NO <sub>2</sub> )	平均濃度 (NO <sub>x</sub> )
C	1	9.0	38.0	47.0
N	22	15.0	46.2	61.2
NNE	28	8.6	39.8	48.4
NE	23	8.8	33.2	42.0
ENE	50	26.5	33.6	60.1
E	48	15.6	45.4	60.9
ESE	46	20.8	46.5	67.3
SE	14	21.6	33.6	55.2
SSE	6	19.8	38.8	58.7
S	10	11.2	29.3	40.5
SSW	52	21.9	34.7	56.7
SW	22	10.0	31.0	41.0
WSW	15	7.0	30.1	37.1
W	2	20.0	37.5	57.5
WNW	3	35.7	35.0	70.7
NW	10	14.0	34.1	48.1
NNW	32	9.5	26.4	35.9
合計	383	16.7	38.1	54.8

市役所前測定所

	頻度	平均濃度 (NO)	平均濃度 (NO <sub>2</sub> )	平均濃度 (NO <sub>x</sub> )
C	234	44.3	47.0	91.3
N	5	66.2	61.4	127.6
NNE	5	49.2	40.8	90.0
NE	7	34.3	40.9	75.1
ENE	7	18.9	31.9	50.7
E	18	27.3	41.1	68.4
ESE	4	31.0	49.3	80.3
SE	1	72.0	62.0	134.0
SSE	0			
S	3	54.0	38.3	92.3
SSW	2	22.0	47.5	69.5
SW	40	19.4	34.1	53.4
WSW	17	48.6	47.6	96.2
W	13	57.6	62.1	119.7
WNW	7	91.9	53.0	144.9
NW	9	55.6	57.5	113.1
NNW	2	52.0	58.0	110.0
合計	374	42.1	45.9	88.0

(単位:ppb)

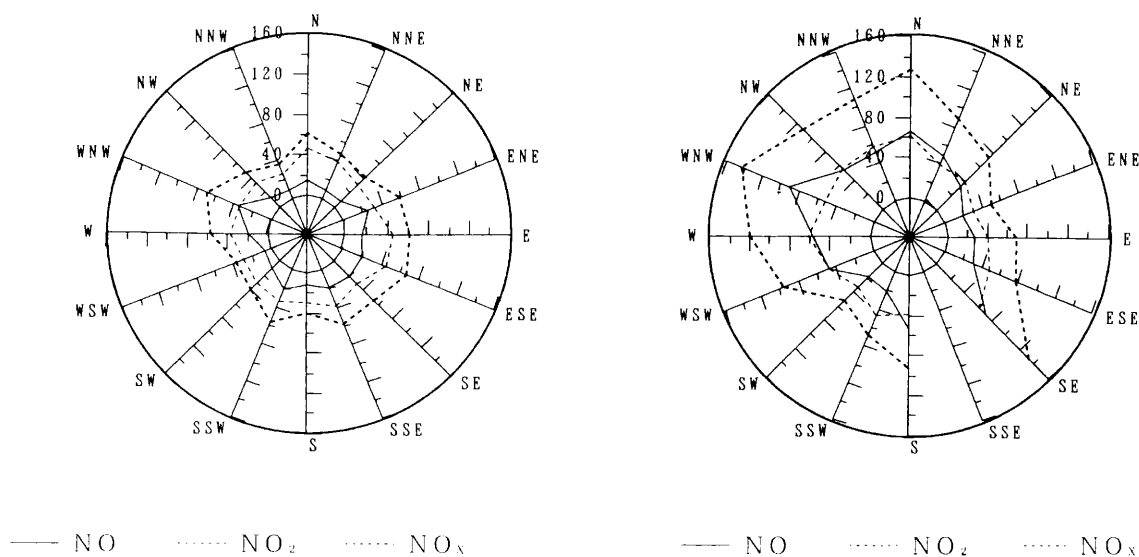


図4-1a 風向別窒素酸化物濃度図

表4-1b 風向別窒素酸化物濃度

〈冬 期：1993年11月29日～12月10日〉

川崎測定所

	頻 度	平 均 濃 度 (NO)	平 均 濃 度 (NO <sub>2</sub> )	平 均 濃 度 (NO <sub>x</sub> )
C	0	-	-	-
N	62	47.9	39.9	88.5
NNE	29	30.3	37.6	69.4
NE	17	18.5	30.6	49.1
ENE	21	28.9	39.4	68.3
E	19	34.8	46.7	81.5
ESE	7	24.9	44.1	69.0
SE	5	49.6	50.6	100.2
SSE	0	-	-	-
S	1	29.0	48.0	77.0
SSW	4	12.3	30.5	42.8
SW	22	29.8	38.6	68.4
WSW	9	30.8	36.8	67.6
W	3	122.3	52.3	174.7
WNW	6	58.3	39.3	97.7
NW	24	81.6	40.6	122.2
NNW	59	71.0	42.3	113.3
合 計	288	47.8	40.1	87.9

市役所前測定所

	頻 度	平 均 濃 度 (NO)	平 均 濃 度 (NO <sub>2</sub> )	平 均 濃 度 (NO <sub>x</sub> )
C	131	73.6	47.5	121.1
N	5	26.0	33.0	59.0
NNE	7	66.1	38.7	104.9
NE	16	104.6	52.9	157.5
ENE	38	91.3	46.7	138.0
E	22	112.8	49.5	162.2
ESE	2	75.0	55.5	130.5
SE	4	72.3	49.0	121.3
SSE	1	109.0	50.0	159.0
S	0	-	-	-
SSW	20	43.5	35.1	78.6
SW	9	64.1	48.0	112.1
WSW	1	84.0	57.0	141.0
W	1	268.0	73.0	341.0
WNW	0	-	-	-
NW	3	77.7	39.0	116.7
NNW	5	40.8	36.6	77.4
合 計	265	79.6	46.8	126.4

(単位:ppb)

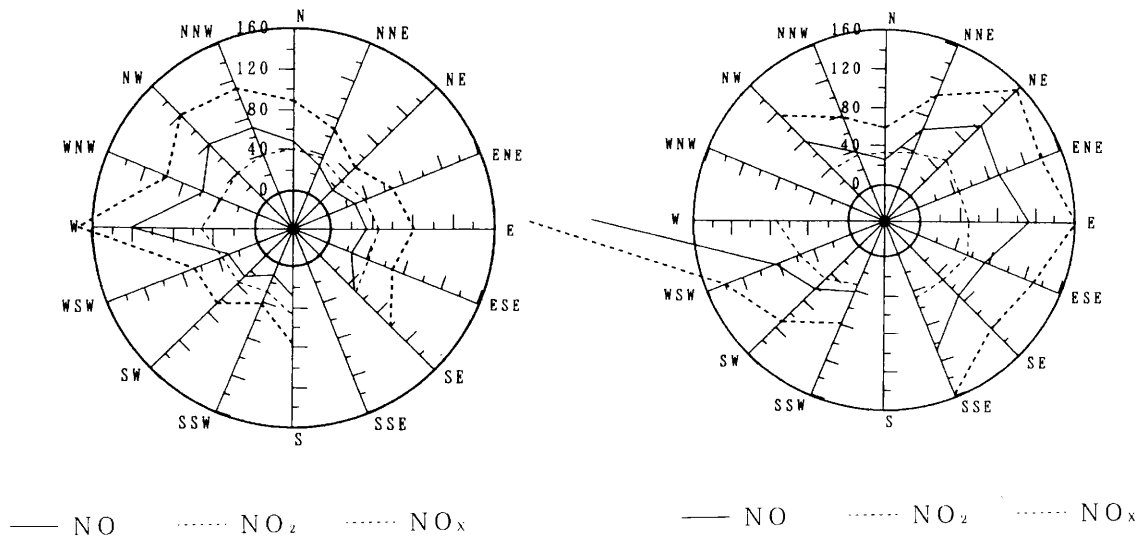


図4-1b 風向別窒素酸化物濃度図

5 まとめ

ストリートキャニオン内、特に枝分かれするストリートキャニオン入り口では一般風とは異なった風向変動及びそれに伴う風速の減衰が生じることが観測できた。そのため建物密集地周辺の道路近傍の $\text{NO}_x$ の拡散解析する場合、風向変動等も十分考慮する必要がある。<sup>5)</sup>

- 1) Johnson, W. B.; Ludwig, F. I.; Daberdt, W. F.; Allen, R. J. An urban diffusion simulation model for carbon monoxide, J. Air Poll. Control Assoc., 23, 490-498(1973)
- 2) 北林 興二; 道路沿道における大気拡散の実測及びシミュレーションモデル, 公害, 25, No1 1~23 (1990)
- 3) 北林 興二; ストリートキャニオン内の気流と拡散の実規模モデル実験, 公害, 26, No1 9~19 (1991)
- 4) 北林 興二; ストリートキャニオン内の気流と拡散の実規模モデル実験 (第2報), 公害, 27, No1 13~21 (1992)
- 5) 安藤 仁, 井上 俊明, 佐藤 静雄; 風向変動を考慮した市街地における $\text{NO}_x$ の実態調査, 第35回大気汚染学会講演要旨集 P257(1994)