

国道43号道路近傍における窒素酸化物濃度の解析*

吉岡昌徳**・鳥橋義和**・辻本三郎丸**
池沢正**・沖典男**・渡辺弘**

1. はじめに

道路近くでの自動車排気ガスの濃度分布は地形や道路構造および気象条件などによる変動が大きいため、濃度の評価に際してはこれら諸要因と濃度の関係を十分に把握することが重要である。また、濃度予測を行なう場合にはどのようなタイプの予測式を用いる場合においても種々のパラメーターが用いられる。拡散実験などにより普遍的なパラメーターの模索が続けられているが^{1~8)}、やはり、地域に即して経験的に決定されねばならぬことが多い。

このような観点から、我々は国道43号沿線において窒素酸化物濃度の連続測定を実施し、交通量や気象による変動をノーマライズして濃度を解析し、地域特性や予測精度について考察したので結果を報告する。

2. 調査方法

2.1 調査地点

国道43号は兵庫県南東部を東西にはしる阪神間の幹線道路である。路線の大部分は民家の密集する地域内にあり、同道路には長い区間にわたって高架の阪神高速道路が併置された複合道路の形態をしている。

調査は芦屋市宮川町（昭. 50. 10. 21~11. 20）と西宮市鳴尾町（昭. 51. 10. 15~11. 12）で行なった。道路の形状は両地点ともほぼ同じで、上下各4車線、道路幅40mで両側に約5mの歩道をもつ平面道路である。また、阪神高速道路は国道43号の真上に高架高さ15mで設置され、上下各2車線、道路幅約20mである。なお、本調査時点においては西宮地点は未開通であった。

2.2 測定器の配置および測定方法

図1は測定器の配置図である。NOx計は国道43号の歩道上および国道に直角に交わる幅5~6mの道路上に設置した。国道43号車道端からの距離は、5m・50m（芦屋、西宮）、100m・200m（西宮のみ）、250m（芦屋のみ）である。採気口の高さは地上2mである。

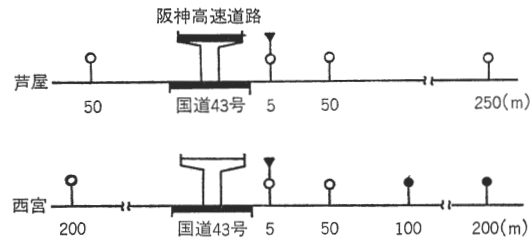


図1 測定器配置図

○：ザルツマン法 NOx 計 ●：ケミルミ法 NOx 計
▼：風向風速計

NOx の測定はザルツマン法とケミルミ法を併用したが、ケミルミ法による測定値は予備運転で作成した換算式によりザルツマン法基準の値に変換した。使用した計器名は次のとおりである。

ザルツマン法 NOx 計： GP-5 B 型

ケミルミ法 NOx 計： ベンディックス 8101 型
モニターラボ 8440 型

また、調査はザルツマン係数改定前であったが、解析時には NO、NO₂ をそれぞれ新しい係数に従って読み替えた。

風向、風速は道路端測定地点の地上5mでプロベラ式微風速型風向風速計により測定し、1時間値は中心の時刻からの10分間平均値で代表させた。風向は16方位とした。

大気安定度は西宮調査地点から東へ約5km離れた尼崎市東難波町で測定した日射量と神戸海洋気象台観測の雲量、雲形データ、および現地での風速の値とから日本式安定度分類表に従ってとめた。

2.3 交通量および NOx 排出量の推定

NOx 調査地点の近くで、平日に、芦屋で3日間、西宮で1日、交通量調査を実施し、1時間毎の車種別交通量をもとめた。車種分類は普通貨物、小型貨物、軽貨物、貨客、小型乗用、軽乗用、バスの7分類である。

* NOx Concentrations in the Vicinity of Route 43

** Masanori YOSHIOKA, Yoshikazu TORIHASHI, Saburomaru TSUJIMOTO, Tadashi IKEZAWA, Norio OKI, Hiromu WATANABE (兵庫県公害研究所) Environmental Science Institute of Hyogo Prefecture

NO_x 排出量は NO_x 排出規制の年次推移を加味した車種別排出原単位の推定値⁴⁾に時刻毎の交通量を乗じてもとめた。

表1はこれらの調査結果の一部である。交通量は国道43号の芦屋で1日約85,000台であり、阪神高速道路および国道43号西宮でもほぼそれに匹敵する交通量の多い道路である。NO_x 排出量はピーク時でみると、国道43号芦屋および阪神高速道路でどちらも3 cc/m・s 強であり、西宮では2 cc/m・s 強であった。西宮が低い値であるのは調査が芦屋の1年後に行なわれたものであり、49・50年排ガス規制の適用を受けた車の占める割合が増加したことによるものである。

表1 交通量および NO_x 排出量の調査結果

調査日：芦屋 昭50. 10. 20, 22, 24 西宮 昭51. 11. 12

	1 日 交通量	時間交通量	
		最大(時刻)	最小(時刻)
国道43号	交通量 85,100	6,500 (8)	600 (3)
芦屋	NO _x 排出量* 46.8	3.47	0.38
阪神 高速道路	交通量 67,600	6,000 (10)	700 (3)
芦屋	NO _x 排出量 36.1	3.25	0.43
国道43号	交通量 71,300	5,100 (17)	600 (3)
西宮	NO _x 排出量 35.1	2.28	0.34

* NO_x 排出量の単位は cc/m・s

3. 結果および考察

NO_x 濃度のバックグラウンド補正は国道の反対側測定地点の値を差し引いて行なった。したがって、平行風および無風時はこの方法に問題があるため解析対象からはずし、風が道路方向に対して22.5°~157.5°で吹く時、つまり7風向時の風下濃度だけを解析対象にした。また、日曜日のデータは交通量が平日とは異なるため同様に解析対象外とした。なお、NO・NO₂は個別に扱わず NO_x (NO+NO₂) についてのみ解析を行なった。

3・1 気象の結果

調査期間内の風下7風向の出現率は、芦屋で34%、西宮で61%であった。表2は風下7風向時の風向、風速および大気安定度のランク別出現率である。

芦屋では風向の偏りが大きく、斜角風(道路方向に対して22.5°の風向)の割合が圧倒的に高かった。風速は2~4 m/s の出現割合が高く、大気安定度は中立から安定な領域がほとんどであった。

西宮では直角系の風向(90°±45°)の出現割合が高く、風速は2 m/s 未満の弱風が多かった。大気安定度は不安定領域も比較的多く出現した。

表2 風下7風向時の風向、風速、大気安定度のランク別出現率

(1) 風 向		(%)			
		90°	67.5°	45°	22.5°
芦 屋		2	9	17	73
西 宮		16	45	28	12
風向は16方位で測定したもので、道路と風向のなす角度で表示した。					
(2) 風 速 (m/s)		(%)			
		U<2	2≤U<4	4≤U	
芦 屋		18	69	13	
西 宮		70	28	2	
(3) 大気安定度		(%)			
		A, B	C, D	E, F	
芦 屋		6	57	37	
西 宮		22	40	34	

このように調査期間中の気象条件は芦屋と西宮でかなり異なったものであった。

3・2 NO_x の平均濃度

表3は風下7風向時の各地点の平均濃度である。上段はバックグラウンド補正前の生データの平均濃度で、下段はバックグラウンド補正後の平均濃度である。バックグラウンド補正濃度でみると、5 m 地点では西宮が0.29 ppmで、芦屋が0.20 ppmとなり、西宮の方が高濃度であった。50m 地点では逆に芦屋がやや高く0.11 ppmで、西宮は0.09 ppmであった。しかし、表2で示したように両地点の気象の差が大きいので、厳密な比較は3・3以降で行なったように、交通量や風速の違いについてノーマライズした上で行なうことが必要である。

3・3 交通量(NO_x 排出量)と濃度の関係

図2は西宮の5 m 地点における濃度と NO_x 排出量の関係を示したもので、左図(1)は風速変動による濃度変化をノーマライズするために、濃度Cに風速Uを乗じてCUの形にしてプロットしたものである。これは3・4で示すように、濃度が風速の1次に反比例するという結果にもとづいて行なった操作である。

まず、風速2 m/s 以上の有風時には大気安定度が中立(C, D)に近い時には濃度(CU)は NO_x 排出量に比例する関係がえられた。一方、不安定時(A, B)はデータ数が少なく NO_x 排出量の変動しない時間帯(昼間)に集中しているため、Qとの直線関係は確認できなかった。しかし、濃度は中立時にくらべてやや低濃度になる傾向がみられた。

表3 風下7風向時のNOx平均濃度

(ppm)

道路端からの距離		5 m	50m	100m	200m	250m	バックグラウンド
(バックグラウンド) 濃度未補正	平均	0.24	0.15	—	—	0.07	0.04
	σ	0.14	0.09	—	—	0.06	0.06
	n	87	87	—	—	80	89
	平均	0.37	0.18	0.15	0.14	—	0.09
	σ	0.17	0.05	0.08	0.07	—	0.07
	n	169	154	76	93	—	185
(バックグラウンド) 濃度補正	平均	0.20	0.11	—	—	0.03	—
	σ	0.11	0.06	—	—	0.03	—
	n	86	87	—	—	80	—
	平均	0.29	0.09	0.06	0.06	—	—
	σ	0.14	0.04	0.04	0.03	—	—
	n	169	154	71	89	—	—

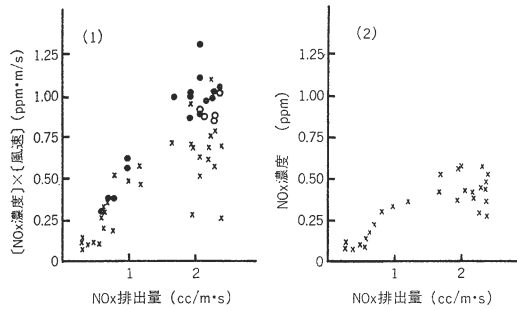


図2 NOx濃度とNOx排出量の関係

- (1) 濃度を風速変動について規格化してプロットしたもの
- (2) 風速2m/s未満の時、濃度を直接プロットしたもの

○：大気安定度 A, B } — 風速2m/s以上
 ●： " C, D }
 ×： — 風速2m/s未満

風速が2m/s未満の弱風時にはCU-Qの関係は有風時に比べてバラツキが大きく、より小さい値をとることが多かった。そして、右図(2)のように、風速値を定数(仮に1m/sとする)と考えて濃度Cを直接プロットした方がより相関の高い結果がえられた。

3.4 風速と濃度の関係

図3は前章の結果に従って各濃度をNOx排出量Qで割って交通量変動について規格化を行ない、風速に対してプロットしたものである。

風速が大きい時(ほぼ2m/sが境であると思われる)、C/Qは風速に反比例しており、その傾きは約-1となり、C/Q ∝ 1/Uと表わすことが可能であると考えられる。一方、弱風域では風速が小さくなるに従いバラツキが大きくなりC/QとUの関係が不明確になる。

弱風時のバラツキは風速や濃度の測定精度に原因の一部があると考えられる。つまり、プロベラ式風速計の弱

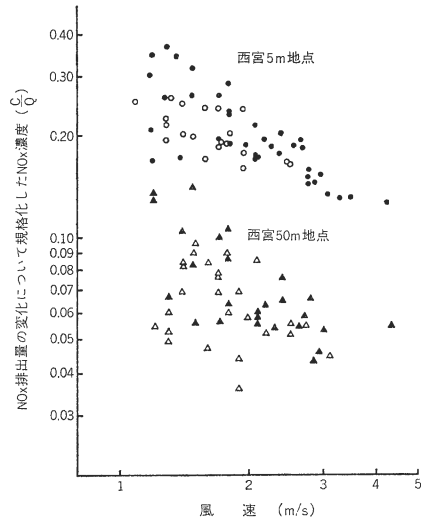


図3 風速によるNOx濃度の変化

NOx濃度はNOx排出量の変化について規格化した。

○, △: 大気安定度 A, B ●, ▲: 大気安定度 C, D

風領域におけるレスポンスの低下や、風速の1時間値として10分間平均値で代表させたことにより、風向の揺らぎの大きい弱風時には正確な1時間値を示しているとは限らない、ことなどによる精度の低下である。また、弱風時にはバックグラウンド地点へもNOxが逆流する可能性も考えられ、バックグラウンド濃度を過大に見積る危険性もある。

また、Chock⁵⁾は、弱風時には自動車走行に伴って発生する物理的な乱れが風速以上に濃度に影響すると指摘しているが、このような効果については従来あまり考慮されておらず、今後検討すべき課題であると考えられる。

3・5 CU/Q の分布

ガウス型拡散式で地表濃度を近似すると、西宮、芦屋の濃度はそれぞれ(1)、(2)式で表わされる。

$$C_{西宮} = \frac{2Q_{R43}}{\sqrt{2\pi}\sigma_z U \sin\theta} \quad (1)$$

$$C_{芦屋} = \frac{2Q_{R43}}{\sqrt{2\pi}\sigma_z U \sin\theta} + \frac{2Q_{阪高}}{\sqrt{2\pi}\sigma_z' U \sin\theta} e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z'^2}} \quad (2)$$

また、これまでの解析から明らかになったように、風速 2 m/s 以上の時には、濃度 C は風速 U に反比例し NOx 排出量 Q に比例する。

そこで、濃度を風速および NOx 排出量の変動の両方について規格化する方法として、(1)式の両辺に U/Q を乗じて CU/Q の形をとることにした。したがて、CU/Q は θ および σ_z の関数であり、風向や地形、大気安

定度などについて類型化して比較することによって地域特性を把握することができると考えられる。

芦屋の場合は(2)式のように阪神高速道路の寄与が重複するが、近似的には $Q_{R43} = Q_{阪高}$ とみなせるので(表 1 参照)、CU/Q を阪神高速道路の寄与を含めて評価できると考えた。

表 4 は風速 2 m/s 以上の時の CU/Q を $90^\circ \pm 45^\circ$ の範囲の直角系風向と 22.5° の斜角風に分類して集計したものである。図 4 はそのヒストグラムである。

以下に風向による CU/Q の差に着目して考察した結果を示す。

(1)式によると CU/Q は θ によって変化するが西宮ではその傾向がみられなかった。つまり、実質的な θ の差が小さかったことを示し、住宅密集地における気流の複雑さを示すものと考えられる。

芦屋では、5 m および 50 m 地点で斜角風時に高い値を示したが、国道43号に關係する部分は西宮と同じように斜角風でも高い値にならないと仮定すれば、これは高架の阪神高速道路の影響であると考えられる。例えば(2)式のうちの阪神高速道路の項を $\theta = 90^\circ$ および 22.5° で計算すると、 $[CU/Q]_{阪高}$ はそれぞれ 0.002, 0.013 となり、高架道路の場合、道路に近い距離では地表濃度に及ぼす影響は直角風向より斜角風向時の方が大きいことが推定できる (σ_z は表 5 の結果を使って計算した)。

弱風時の CU/Q はここでは表示しなかったが、図 2 の CU-Q の關係から明らかのように、有風時に比べて小さい値をとる。しかし、バラツキの幅が大きいため詳細な解析はできなかった。

3・6 拡散パラメーターの推定および予測計算

最後に、予測計算上でも風速の値が予測精度の評価に重要であることを確認するために、西宮のデータについて、(1)式を使った計算を行ない実測濃度との比較を行な

表 4 CU/Q の地点別風向別集計結果(風速 ≥ 2.0 m/s)

C : NOx 濃度 (ppm) Q : NOx 排出量 (cc/m \cdot s)
U : 風速 (m/s) 風向 : 道路と風向のなす角度で表示

地点	風向	距離(m)					
		5	50	100	200	250	
芦屋	$90^\circ \pm 45^\circ$	平均	0.32	0.16	—	—	0.05
		σ	0.11	0.07	—	—	0.03
		n	17	17	—	—	14
	22.5°	平均	0.43	0.25	—	—	0.07
		σ	0.11	0.09	—	—	0.05
		n	57	58	—	—	58
西宮	$90^\circ \pm 45^\circ$	平均	0.46	0.14	0.10	0.10	—
		σ	0.09	0.04	0.06	0.04	—
		n	42	43	7	18	—
	22.5°	平均	0.47	0.14	0.14	0.10	—
		σ	0.13	0.04	0.04	0.01	—
		n	8	5	7	6	—

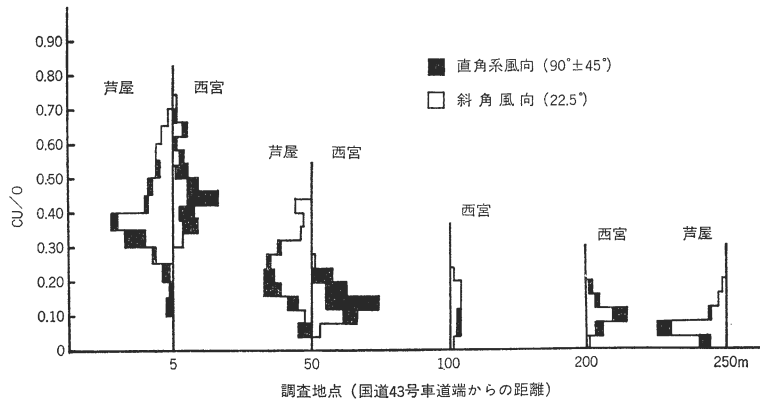


図 4 CU/Q のヒストグラム (風速 2 m/s 以上)

った。

まず、表4のCU/Qをもとに(1)式より σ_z を推定した。表5は5mおよび50m地点での σ_z の推定値、および σ_z を距離xの関数 ax^b として表わした時の係数a、bの値である。

表5 [CU/Q]_{西宮}より推定した垂直拡散パラメーター σ_z

ax^b : σ_z を距離xの関数で表わしたもの

距離(m)	σ_z		ax^b
	5	50	
大気安定度			
B	2.0	5.9	$0.94 x^{0.47}$
C	1.9	5.7	$0.88 x^{0.45}$
D	2.0	4.6	$0.94 x^{0.26}$

図5はここでもとめた σ_z を使って(1)式により計算濃度をもとめ実測濃度と比較したものである。風速 ≥ 2.0 の時には当然1:1の対応を示したが、風速が2.0m/s未満の時にはバラツキが大きく、計算値の方が高い値を示した。また、図6で示すように風速が小さいほど予測誤差が大きくなる傾向がみられた。したがって、予測精度を向上させるためには弱風時により多くの検討が必要であることが確認された。

4. まとめ

以上に述べた解析内容を以下に要約する。

- 1) 風速2m/s以上では、濃度は風速およびNOx排出量と直線関係にあり、 $C \propto Q/U$ と表わすことができる。一方、弱風時には、風速精度などの原因でバラツキが大きくなり上の関係は不明確であった。
- 2) 1)からも想定されるように、ガウス型拡散式による予測精度は弱風時には悪くなる。
- 3) 住宅密集地では複雑な気流の存在により、風向の違いによる濃度差は小さい。
- 4) 高架道路の影響は直角風時よりも斜角風時に大きく現われる。

また、今後の検討課題を以下に示す。

- 1) NOx排出量については、その算出基礎である排出係数の精度の向上を図ること、つまり、NOx低減技術の差違や高速走行時の値について詳細なデータが必要である。
- 2) より広い風速範囲でCU/Qがもめられるように弱風時の風速測定精度の向上を図る。また、道路上で発生する物理的(機械的、熱的)な乱れについて理論的な面も含めて検討する必要がある。

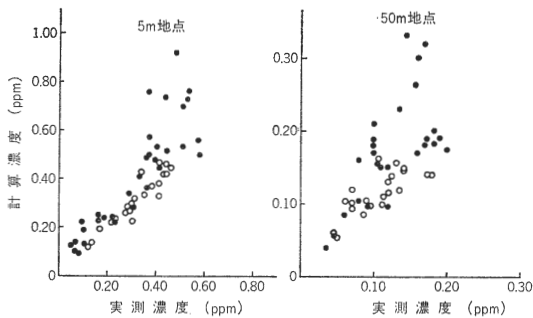


図5 実測濃度と計算濃度の関係(西宮、風下5m風向時)
○: 風速 ≥ 2.0 m/s, ●: 風速 < 2.0 m/s

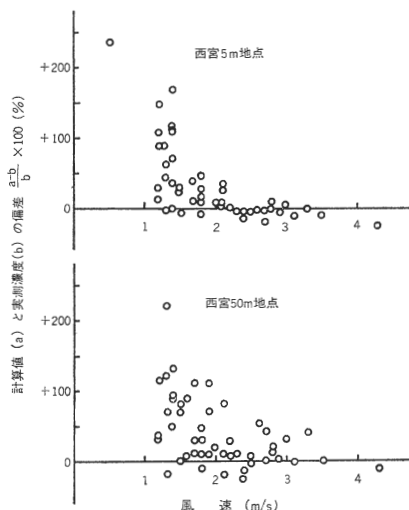


図6 計算値と実測値の偏差と風速の関係

3) 住宅密集地の特殊性については、経験的な側面からも平坦地との比較検討が必要である。

なお、本論文の要旨は第7回環境保全・公害防止研究発表会(1980, 12月, 東京)において発表した。

—引用文献—

- 1) S. H. Cadle, D. P. Chock, P. R. Monson and J. M. Heuss: General Mortors Sulfate Dispersion Experiment: Experimental Procedures and Results, J. Air Pollut. Controll Ass., 27, No. 1, pp. 33~45, 1977.
- 2) 大阪府: 低煙源拡散実態調査報告書, pp. 222, 1979.
- 3) G. Sistla, P. Samson, M. Keenan and S. T. Rao: A Study of Pollutant Dispersion Near Highways, Atmospheric Environment, 13, No. 5, pp. 669~685, 1979.
- 4) 兵庫県: 兵庫県大阪湾岸地域における自動車排出大気汚染物質量調査報告書, pp. 104, 1980.
- 5) D. P. Chock: A Simple Line Source Model for Dispersion Near Roadways, Atmospheric Environment, 12, No. 4, pp. 823~829, 1978.