

(13) 幹線道路沿道の大気汚染リスクアセスメント
における個人暴露量の評価

ESTIMATION OF PERSONAL EXPOSURE FOR RISK ASSESSMENT OF AIR POLLUTION
IN AN AREA ADJACENT TO A MAJOR TRUNK ROAD

井村 秀文*
Hidefumi IMURA

ABSTRACT; Air pollution in Japanese cities has been markedly improved in the last two decades especially with respect to sulphur dioxides. On the other hand, however, the ever increasing volume of traffic in large metropolitan areas is posing a question about the potential risks to the human health due to nitrogen dioxide and other air pollutants originating from automobile exhaust gas. The first indispensable step for the assessment of such risks is to make quantitative estimation of the level of personal exposures to air pollutants in relation to the distance between the living places and the road. From this viewpoint, an analysis is made on the hourly values of NO_2 and NO concentrations recorded at two monitoring stations both located near the same trunk road but at different distances. Personal exposure levels at monitoring sites are estimated by assuming logarithmic normal distributions of the hourly values.

KEY WORDS; risk assessment, air pollution, exposure assessment, nitrogen oxides

1. はじめに

わが国における大気汚染は、1980年代以降ますます顕著に、工業都市（コンビナート）型 SO_x 汚染から自動車が大きな寄与をする大都市型 NO_x 汚染へと変化し、二酸化硫黄の濃度は全国的に低減している。このように汚染態様が変化したことから、一般環境における現状の大気汚染レベルについては、それ単独をもってぜん息等の呼吸器疾患を引き起こす主原因とはみなせなくなったとの評価がなされている。一方、大都市の二酸化窒素や浮遊粒子状物質については、環境基準未達成の測定局も多く、依然として改善を要する状況にある。特に、自動車交通量の大きい一部の幹線道路沿道における局地的な高濃度汚染による健康影響については、科学的知見が十分でないためなお考慮を要し、今後の科学的な調査研究が必要とされている[1]。

局地的汚染による健康影響の評価—リスクアセスメント—にあたって最初に必要なのは、道路周辺の大気汚染とそこに居住する各個人の汚染暴露量との関係を正確に把握することである。このためには、自動車交通量の多い幹線道路沿道地域を選び、大気汚染の特性を調査するとともに、それと並行して、そこに居住する人口集団の汚染暴露実態を調査し、両者の関係を解析・評価する必要がある。しかし、一般に、道路周辺の大気汚染は、地形、気象、自動車交通量、車種構成等によって複雑な特性を示すため、沿道に居住する人口集団が大気汚染に対して実際にどのような暴露を受けているかを一様に論ずることは難しい。

一方、汚染物質に対する個人暴露量を評価するための手法として、 NO_x (NO 及び NO_2) について最

* 九州大学工学部環境システム工学研究センター
of Engineering, Kyushu University

Institute of Environmental Systems, Faculty

近開発された個人携帯型パーソナルサンプラーの利用が注目されている。しかし、パーソナルサンプラーを使用した個人暴露量調査は、対象者数が多くなると労力的にも経費的にも実施が容易でなくなる。また、同じ理由から、個人暴露量の調査期間は1回の調査につき数週間程度（連続または延べ）に限られる例が多いが、一般に大気汚染による健康影響として問題になるのは、呼吸器に対する長期慢性的影響であり、何らかの方法で長期的暴露を評価する必要がある。この意味で、地域人口集団を対象としたフィールド調査におけるパーソナルサンプラーの有効性の検証は今後の重要な課題である。

こうした状況を考えると、既に継続的な収集体制が確立している大気汚染のモニタリングデータや、個人の生活行動実態に関するアンケート調査などの比較的入手が容易なデータによって個人暴露量を推計する手法を開発することが重要になる。本論文の目的は、暴露量評価手法開発の基礎として、幹線道路に接近して設置されている自動車排出ガス測定局のデータと、その比較的近傍に存在する一般環境測定局のデータの両者の比較分析によって個人暴露量に対する道路の影響を推測・評価する可能性と限界を検討することである。

2. 大気汚染測定局データによる個人暴露量の推計方法

自動車交通量の多い幹線道路の沿道においては、道路から十分離れた一般環境に比べて局地的に高い汚染が実現している。道路近傍における大気汚染物質の濃度分布については、JEAモデル等の拡散シミュレーション式が開発されており、道路に面する場所や道路端から数十メートル以内の場所では一般環境より高い汚染濃度が実現するものの、道路端から50-100メートル以上離れればほぼ一定値に減衰し、一般環境との差はほとんどなくなることが知られている[2]。ここで、われわれの関心は、道路近傍の局地的高濃度が発生する可能性のある地域に居住する人口集団と、道路から一定距離以上離れた一般環境に居住する人口集団とで、汚染に対する暴露量に有意な差が認められるかどうかを検証することである。

この検証のための一番直接的な方法は、パーソナルサンプラーによって、2つの人口集団のそれぞれの暴露量を測定し、両者の結果を比較することである。しかし、前述のとおり、パーソナルサンプラーによる個人暴露量の評価については、多数の協力者を確保することが容易ではなく、対象者集団の選定、測定条件のコントロール、測定精度の管理などの面で検討すべき課題が多い。

また、窒素酸化物や浮遊粒子状物質は、家庭内における調理・暖房用のガス・灯油の使用、喫煙によっても発生し、自動車等の室外汚染源による寄与と室内発生源による寄与は測定上識別できない。したがって、室内発生源まで考慮した場合のこれら汚染物質に対する個人暴露量は、個人の生活条件に大きく依存することになる。パーソナルサンプラーは、室内汚染との関係における個人暴露量の調査のためにむしろ開発、利用されてきたものである。この面では、ハーバード大学の研究グループによる精力的な調査があるが[3]、その主眼はどちらかと言えば室内汚染の方であり、環境（室外）汚染は室内汚染に対する攪乱要素とみなされている。

これに対し、道路との関係に着目した場合のリスクアセスメントの本旨は、自動車等の室外汚染源による影響の評価である。ここでは、環境（室外）汚染を主として、室内汚染をこれに対する攪乱要素と見るべきである。この場合、個人暴露量を決定するのは、各個人の生活地点での環境汚染濃度である。そこで、幹線道路の周辺で道路からの距離に差のある2つの測定局を選び、両者で観測された汚染濃度の差を解析することによって、道路からの距離と個人暴露量との関係についてどのような情報が得られるかを検討する。汚染指標としては、パーソナルサンプラーによる調査との関係を検討するため、 NO_2 及び NO を考える。

現在、一般環境測定局（「一般局」）及び自動車排出ガス測定局（「自排局」）では、1時間ごとの測定がなされている。大気汚染物質濃度の統計的分布については、環境基準との関係から日平均値について議論されることが多く、対数正規分布で近似されることが多い[4]。後に実例を示すように1時間値についても対数正規分布が比較的良く当てはまるので、汚染濃度 x の確率密度関数を、

$$f(x) = \exp\left[-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] / (2\pi\sigma)^{1/2} \cdot x \quad (1)$$

で表現することにしよう。ここで、汚染濃度の幾何平均を m 、幾何標準偏差を s とすれば、

$$m = \exp(\mu + 0.5s^2), \quad s^2 = m^2(\exp\sigma^2 - 1) \quad (2)$$

の関係にある。あるいは、書き換えれば、

$$\mu = \log m - 0.5s^2, \quad \sigma^2 = \log(1 + s^2/m^2) \quad (3)$$

である。

もし個人の生活場所が1つ（たとえば、自宅）に限られれば、個人曝露量はその場所の汚染物質濃度の時間平均値から算定される。しかし、実際には各個人はいくつかの生活場所を移動しており、この生活行動パターンとの関係を解析するためには、月や年の平均値では不十分であり、現在利用可能な最も詳細な測定データである1時間値を利用した解析が望まれる。汚染濃度の1時間値を用いた解析の出発点として、自排局及び一般局と同じ地点に全時間居住する2人の人間がいた場合、汚染物質に対する両者の個人曝露量の差がどうなるかを考察してみる。ある期間 τ 時間（具体的には、1月または1年単位で考える）にわたる総曝露量（濃度 $\times$ 時間[ppm $\cdot$ hours]）は、汚染濃度の確率密度分布から、

$$E_k = \tau \int f_k(x') dx' \quad (k=1,2) \quad (4)$$

である。対象地点の汚染濃度の時間平均値が与えられれば

$$E_k = \tau \mu_k \quad (k=1,2) \quad (5)$$

となる。ここで、添字1は自排局についての値を、2は一般局についての値をそれぞれ意味する。一般に、個人が幾つかの生活場所を移動すること、汚染物質の外気濃度と室内濃度に差があることを考慮すれば、個人の総曝露量は、

$$E = \sum_n \alpha_n C_n \tau_n \quad (6)$$

と表される。 C_n 及び τ_n は生活場所 n における平均汚染濃度及びその場所での滞在時間である。 α_n (≤ 1)は外気濃度に対する室内濃度の比率であり、建物の構造（通気性）に左右される。

現在、大都市を中心に NO_2 の環境基準未達成の局がかなりあるものの、環境基準値を大幅に上回るような高濃度局は少なくなっている。しかも、後に示すように、 NO_2 で見る限り、自排局と一般局の濃度差はそれほど大きくない。すなわち、時間的に平均した総曝露量（式(5)）については、自排局と一般局の差はあまり顕著には出てこない。したがって、個人曝露量に関し、1時間値の分布データを用いるとしたとき、平均値から得られる情報以上の詳細情報として何が得られるを検討する必要がある。本論では、一つの可能性として、季節や一日の中での時間帯による高濃度の出現頻度に着目してみる。

式(1)から、ある汚染レベル x 以上の高濃度に暴露される時間の割合は、

$$F(x) = \int_x f(x') dx' = 1 - P(y) \quad (7)$$

$$y = \log x - \mu$$

となる。 $P(y)$ は、正規分布の下側確率である。

一般局における測定値の地域代表性の問題については、既に種々の分析・評価がなされている。その一例として、東京都杉並区のほぼ全域と中野区の一部の東西5.6km、南北5.5kmの領域内の30地点で NO_2 濃度を測定した調査結果[5]によれば、ある日の濃度の地点によるばらつきは、2.8ppb(4月)、3.1ppb(12月)となっている。一般局のデータは、この例に示す程度の地域範囲及び濃度範囲（精度）で地域代表性を有するものと考えられる。なお、上記のばらつきの主な原因は領域内に存在する道路と考えられている。

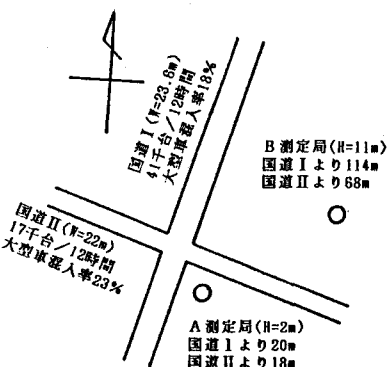


図1 測定局の位置関係

3. 個人曝露量の数値的評価

3.1 対象地域

上で述べた方法による数値的評価として、首都圏内のある幹線道路近くの自排局と一般局につき、 NO と NO_2 の昭和58年度から62年度までの5年間の時間平均値データを用いて解析した結果を述べる。なお、風向、風速データは一般局の測定値が利用可能である。

対象地域は、市街地を通過する一般国道Iと一般国道IIの交差点Cの周辺である。測定局としては、この

交差点から南東約20mに設置されたA自排局と同交差点から東約120mに設置されたB一般局の2測定局を選んだ(図1参照)。一般国道Ⅰは、日交通量が約4万台で大型車混入率が約20%の主要幹線道路である。一般国道Ⅱは日交通量が約2万台で大型車混入率が約20%の幹線道路である。両道路の総交通量は約6万台に達しており、自動車排出ガスの影響の大きい地域と言える。

道路との位置関係は、自排局が一般国道Ⅰと一般国道Ⅱのいずれからも約20mの位置に、一般局は一般国道Ⅰから114m、一般国道Ⅱから約68mの位置にある。両測定局間の距離は直線で約134mである。自排局の試料サンプリング高さは2mと低く、沿道住民の生活高度にほぼ匹敵している。これに対し、一般局は建物の屋上に位置するため、試料サンプリング高さは11mとなっている。

3.2 年平均値及び月平均値で見た自排局と一般局の差

両測定局におけるNO及びNO₂の濃度の年平均値を表1に示す。NO、NO₂とも年平均値は過去5年間ほぼ横ばいである。NOについては、自排局が56~66ppm、一般局が31~36ppmと自排局の方が1.8~2.2倍大きい。これに対し、NO₂については、自排局が35~40ppm、一般局が32~35ppmと自排局の方が1.0~1.3倍大きい、両者の差は小さい。経月的に見た平均値とその周りにおける1時間値の分布特性を見るため、月別の平均値 μ_k と標準偏差 σ_k の関係を図2及び3に示す。同図には平均値(太線)と標準偏差の幅($\mu_k \pm \sigma_k$; 細線)を表示してある。月平均値は、NO、NO₂ともに、いずれの測定局でも冬季(特に11、12月)に最大濃度を示している。NO濃度は、絶対値では全体的に自排局の方が高いが、その変化傾向については両者同一である。NO₂濃度については、絶対値、変化傾向のいずれについても両測定局にそれほど顕著な差は見られない。自排局と一般局の平均値の差を見ると、NOについては、 $\mu_1 - \mu_2 \leq \sigma_1, \sigma_2$ が成立している。これに対し、NO₂については、自排局の分布帯の方が一般局の分布帯のやや上方に位置する傾向にあり、年度によってはその差が明瞭に識別出来るものの、全体的に両者は重なりあっている。

3.3 1日における時刻変化

4月から翌年3月までの1年間の時間値データを用いて、両測定局における時刻別濃度変化(平均値及び標準偏差値)を求めたのが図4及び5である。NO濃度はNO₂濃度に比べ大きな時間変動を示し、午前8時頃に最大、午後9時頃に第2のピークを示す傾向が認められる。自排局は一般局よりも高濃度を示しているが変動傾向は似ている。NO₂濃度も、自排局については、NO濃度とほぼ同じ変動パターンを示している。しかし、一般局については、変動幅がかなり小さくなり、午前11時頃及び午後7時頃にピークが出現しているが、山は緩やかである。NO濃度は月平均値の場合と同様に自排局と一般局の差は顕著であるのに対し、NO₂濃度については両測定局のデータの分布はほとんど重なりあっている。

表1 窒素酸化物濃度(年平均値ppb、()は年間98%値)

物質	測定局	58年度	59年度	60年度	61年度	62年度
NO ₂	一般局	30(55)	35(72)	32(58)	34(63)	34(70)
	自排局	40(65)	35(66)	37(64)	37(84)	37(67)
NO	一般局	31(123)	32(147)	33(146)	36(151)	36(171)
	自排局	67(221)	56(191)	61(205)	68(222)	66(219)

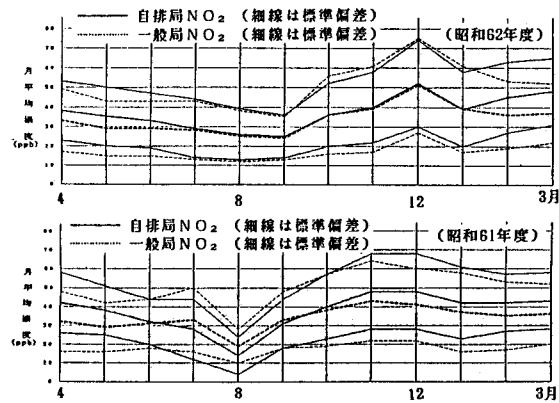


図2 月別NO₂濃度(平均濃度及び分散)

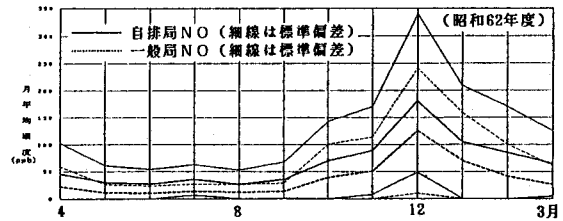


図3 月別NO濃度(平均濃度及び分散)

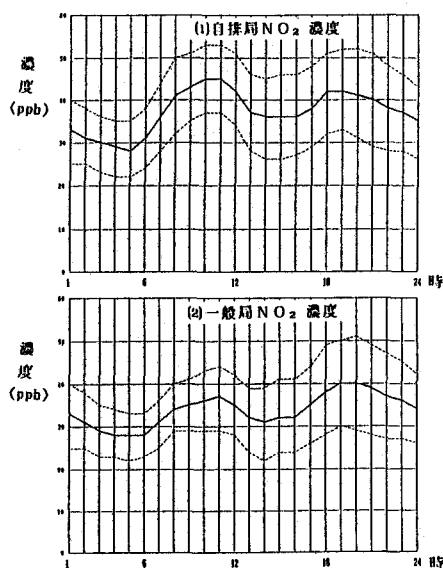


図4 時刻別NO₂濃度及び標準偏差(年間平均)

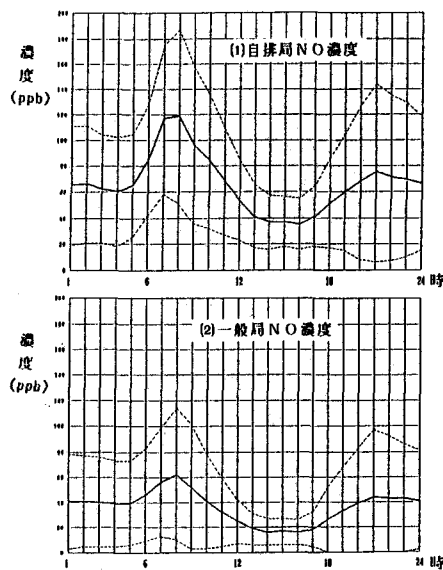


図5 時刻別NO濃度及び標準偏差(年間平均)

3.4 交通量との関係

秋季(10月)のあるウィークデーにおいて、交差点Cにおいて実施された交通量調査結果を図6に示す。本来の観測は国道Ⅰ及び国道Ⅱの方向別車種別時間交通量について実施されたものであるが、ここではNO_x濃度との関連を解析することを目的としているため、両国道の総交通量のみを示す。これと同時に、道路長1km当たりからのNO_x排出量の時刻変化も示す。なお、NO_x排出量の算定では建設省による車種別排出係数(車両1台が1km走行中に排出するガス量: $g/km台$)のデータを用いた。

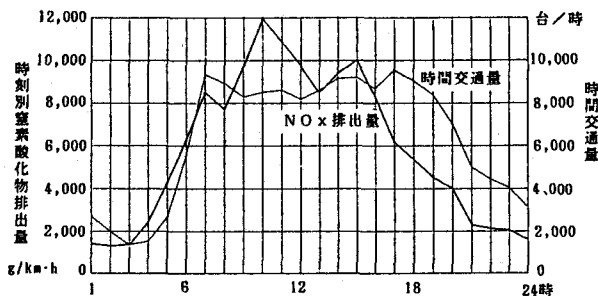


図6 時間交通量と時刻別窒素酸化物排出量

交通量の推移は午前6、7時頃から増加し、午後8、9時頃までほぼ一定値を示している。これに対してNO_x排出量は朝方の増加傾向は交通量とほぼ同じであるが、午前10時に最大値を示し、午後5、6時頃に減少し始める。これは、午前10時頃の大型車混入率が高く(約34%)、午後5時頃は低い(約12%)ことに起因している。

1日中の時刻別の交通量とNO_x濃度の関係を比較すると以下のとおりである:

- ①朝の交通量のピーク時間帯については、交通量とNO_x濃度はほぼ同じ変化傾向を示している。
- ②午後1時から5時にかけて、NO_x濃度には谷が観測されるが、交通量及びNO_x排出量にはこのような谷は見られない。
- ③交通量及びNO_x排出量は、夕方から夜にかけて時間とともに減少しているが、NO_x濃度はこれとは逆に午後3時頃から上昇し、夕方に第2のピークが出現している。

交通量とNO_x濃度についての上述の関係は、風向・風速・気温等の気象条件、太陽光線及びこれらに関係する化学反応条件に起因するものと推定され、そのメカニズム解明はそれ自体重要な研究課題ではあるが、本論の主題とは離れるのでここでは詳しく論じない。

3.5 対数正規分布近似による高濃度暴露時間の推計

年間における1時間値の度数分布を、正規確率紙上にプロットしたところ、比較的良好な直線性を得た。この結果から、汚染濃度の一番高い12月における1時間値の分布を対数正規分布によって近似させた結果を図7及び8に示す。ただし、 NO_2 については自排局と一般局の平均濃度差が比較的に明瞭な61年度データを用いた。この結果から、ある値以上の高濃度暴露時間を推計することができる。たとえば、 NO_2 について測定値が60ppbを越える割合 $F(60)$ を求めると自排局で0.22、一般局で0.15である。

一般に、対数正規分布では、平均値の両側の分布が非対称であるため、平均値よりかなり高い濃度が実現する。その出現頻度（高濃度汚染への暴露時間）は、ここに示した例と同様に、両測定局の測定値の幾何平均値 m_1 、 m_2 及び幾何標準偏差 s_1 、 s_2 を与えることにより推計することができる。

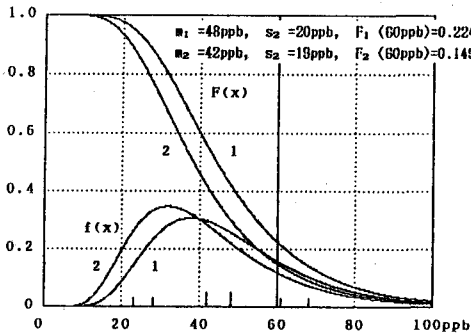


図7 対数正規分布による NO_2 1時間値の分布 (61年12月)

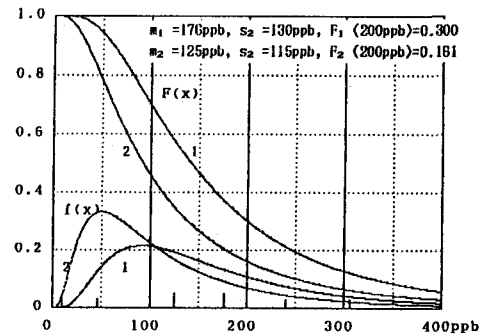


図8 対数正規分布による NO 1時間値の分布 (62年12月)

5. 考察—健康影響と個人暴露量の評価指標

窒素酸化物の健康影響についてもつぱら問題とされるのは NO_2 である。この意味からは、個人暴露量も NO_2 で評価すべきということになるが、本調査結果では、道路からの距離20mの自排局と114mの一般局とで NO_2 濃度を比べると、月ないし年の平均値では確かに自排局の値がわずかに高いものの、その差は小さい。年平均値で見ると、年によって差に大小があるが、差の大きい年でせいぜい1.2~1.3倍以内である。長期平均暴露におけるこの程度の差が、住民の健康影響に関してどのような意味を持つかは議論を要するところである。ことに、冬季には、室内生活空間の汚染に対して、暖房、喫煙等の室内発生源の寄与の方がむしろ支配的となり、外気環境濃度のわずかな差はあまり意味を持たないとも言える。

これに対して、健康影響評価のための指標というよりは、総体としての自動車排出ガスに対する暴露の指標として NO に注目すべしとの考えがある。 NO で見れば、全般的に自排局と一般局とで統計的に意味のある差が認められること、並びに NO が自動車起因のガス状物質の何らかの指標として意味があることは事実であるが、健康影響との関連でこの差をどう解釈したらよいかは明らかでない。

健康影響との関連で、個人暴露量の指標として年ないしは月の平均値を採ることの妥当性にも議論が残る。健康影響の観点から、平均値よりはむしろ高濃度汚染の出現頻度、あるいは高濃度に対する総暴露時間が問題であれば、本論で試みたような全測定値の中におけるある値以上の高濃度値の出現割合を指標として利用することが妥当となる。ただし、これはすぐれて医学的な立場からの議論を待つべきテーマである。

参考文献

- [1]中央公害対策審議会環境保健部会：「大気汚染と健康被害との関係の評価等に関する専門委員会報告」、p.255 (1986) [2]横浜市：「横浜市自動車公害防止計画」、pp.136-137 (1987) [3]J. D. Sprenger et al : Environmental Science and Technology, Vol.19, pp.700-707 (1985) [4]伊藤政志：大気汚染学会誌、Vol.16(2), pp.133-136(1981) [5]新藤純子・松本幸夫他：大気汚染学会誌、Vol.22(2), pp.127-136 (1987)