

## 排気ガスの大気乱流拡散—III

渡辺健次\* 沢井秀之\* 浜島金司\*

## Turbulent Diffusion of an Exhaust Gas in Atmosphere—III

By

Kenji Watanabe, Hideyuki Sawai and Kinji Hamajima

In order to survey the distribution of the gas intensity in a line source formed by the exhausted gas of the car traffic, a wind tunnel test with respect to the turbulent field in the wake of car models and a calculation of the gas concentration in the wake are made, showing that the extent of the source formed by a car is practically of the dimension of the car itself.

Furthermore, the gas distribution in a deep ditch is obtained by solving the equation of diffusion under some assumptions on boundary conditions at the both sides and the bottom which correspond to the buildings on the street and the road respectively. A measurement in the case of CO gas is made on several streets. It is shown that the concentration of CO gas in the street is affected by the direction of the wind and it is higher at the windward side of the street. And a calculation with proper parameters is shown to give fairly similar tendency to the measurement.

## 1. は し が き

自動車排気ガスの拡散について、第一報<sup>1)</sup>では全体のみとおし、および理論的なりあつかいを、第二報<sup>2)</sup>では第一報でえられた理論式を実際の道路近くでのCO濃度の測定値と比較検討し、また浮力の影響による自動車テールパイプ付近での排気ガスの挙動について考察をおこなった。

第一報での全体のみとおしの中でのべた拡散の第二段階すなわち、道路上での車のひきおこす乱流によるガスのかくはん混合については、第二報では大ざっぱにとりあつかい、ひろがりをもたない等価拡散源の導入によって代用させた。まわりに建物のない平坦な地形での拡散のときは、実用的にはこの等価拡散源の導入で充分である。しかし、両側に建物のある道路における拡散をとりあつかうときはそういうわけにはいかない。また両側に建物があるときの拡散の理論式についても検討されていない。

そこで本報では、自動車のような物体後方の流れの中での拡散現象についてしらべることにする。一台の車についてその後流での排気ガスの挙動をしらべてお

けば、つぎつぎに通過する多数の車について重ねあわせることによって、かくはんを考慮しないときの道路に沿って形成される線源の状態がとらえられることになる。

物体後方の流れにおける拡散を解析するのに次のような方法をとることにする。分子拡散を無視し乱流拡散のみを考えると、物体後方の流れの場が完全にあきらかになれば、ガスの拡散するありさまもまた完全にあきらかになるはずである。流れの中の一点に拡散の源があるとすると、そこで発生するガスは主流方向に流されるとともに、すべての方向に乱流成分によって拡散される。ただし、この場合の乱流とは厳密な意味の乱流ではなく、伴流、非定常流をふくめた意味にとるべきであろう。乱流場があきらかになれば、それから、その中の一点での拡散係数の値がもとめられるはずである。ただし一般には時間とともに変化するであろう。

したがって、まず流れの場を適当な精度で測定し、その結果を拡散係数とむすびつけ、境界条件をいれて拡散方程式を解く。その結果あたえられる濃度分布と一方において実測した濃度分布と比較する。

\* 共通工学部

この目的のために、まず比較的簡単な角柱状物体後方の二次元的な流れの中での拡散について研究し、つづいて風洞内で自動車模型後方の流れ場を測定して得られた結果をもちい、実際の自動車後方での排気ガス分布の推定をおこなった。これらについては主として沢井が担当した。

つぎに、両側に建物があるときの街路内での拡散の問題がのこっている。第一報では建物高さが道路幅にくらべて大きいとき、高さ方向にむかってのみ変化するような一次元的モデルを考えて、濃度分布の式を得た。しかし、実際には道路に沿って濃度が変化するし、道路幅方向の変化もある。すくなくとも道路幅方向の変化を考慮しなければならないような要因がふたつ存在する。そのひとつはその地域における大局的な風向風速である。道路の両側を比べると、風上側では建物が風をさえぎってかげをつくる結果、濃度が高くなる。もうひとつは交通密度が車線によってことなることから、発生源が道路中心線にかんして対称でなくなり、道路両側の濃度がことなるということである。したがって以上の条件を考慮せずに濃度を測定し、その値をもってその街路における代表値とみなすことはあやまりである。結局、街路内での濃度分布を道路幅方向の変化も考慮にいれて二次元的にもとめる必要がある。適当な境界条件のもとで拡散方程式を解くことにより、この濃度分布をもとめた。結果を、都内数ヶ所の道路においておこなわれた測定の結果と比較してみた。

## 2. 後流中での排気ガスの拡散

ある流れのなかでのガスの乱流拡散をしらべるのに、われわれはその流れの場が完全にあきらかになればガスの拡散状況もあきらかになるという立場をとる。しかし、流れのようすを完全にあきらかにすることは至難であって、また実際的でもない。そこで適当な仮定をとることによって、簡明をはかることにする。

現在の乱流拡散の理論はもっと精密になっているけれども、ここでは大ざっぱに拡散係数は、それがその点での乱流成分  $u_x'$ ,  $u_y'$ ,  $u_z'$  に比例するものとする。すなわち

$$D_x = k_x u_x' \quad D_y = k_y u_y' \quad D_z = k_z u_z'$$

$k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  は長さの次元をもつ定数である。つぎに測定としては主流方向の平均風速  $U$  および乱流成分  $u_x'$  のみを測る。測定は熱線風速計をもちいておこな

う。 $u_y'$ ,  $u_z'$  は  $u_x'$  に比例するものとし、その比例定数は  $k_x$ ,  $k_y$  にふくめてしまう。

これらの値を拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

にいれ、物体背面の一点に源があるという条件で積分する。境界条件としては、地面において、それに垂直なフラックスがないという条件をとる。積分はつぎのようにしておこなう。

$x$  方向を主流方向としても結果はそう変わらないであろう。定常状態にあるとし、 $x$  軸に垂直な平面で幅  $\Delta x$  の区間にこまかく分割する。各平面上の濃度分布は、そのまえの平面上の分布のすべての部分の拡散による寄与を重ねあわせて得る。この拡散はそれぞれの場所での拡散係数をもちいて計算する。各平面は  $y$ ,  $z$  軸に平行な直線で等しい面積の正方形に分割し、そのひとつの単位正方形のなかでは濃度一様とする。この部分が主流  $U$  に流されながら時間  $dt$  ののちに次の平面に移動したとき、その濃度分布は

$$C = \frac{1}{4\pi \sqrt{D_y D_z}} \int_{y'-1/2\delta y}^{y'+1/2\delta y} \int_{z'-1/2\delta z}^{z'+1/2\delta z} C_0 \times \exp\left(-\frac{(y-\eta)^2}{4D_y dt} - \frac{(z-\zeta)^2}{4D_z dt}\right) d\zeta d\eta$$

ただし  $x$  方向の拡散は無視した。 $\delta\eta = \delta\zeta$  は単位正方形の一辺の長さ  $y'$ ,  $z'$  は、はじめの平面上の単位正方形の存在する点の座標である。また  $C_0$  はその点で一様とみなした濃度である。

ここで  $dt = \Delta x / U$  であるから

$$\Phi(x) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\xi^2} d\xi$$

をもちいると

$$C = \frac{C_0}{\pi} \left\{ \Phi\left[\sqrt{\frac{U}{4D_y \Delta x}} \left(y - y' + \frac{1}{2}\delta\eta\right)\right] - \Phi\left[\sqrt{\frac{U}{4D_y \Delta x}} \left(y - y' - \frac{1}{2}\delta\eta\right)\right] \right\} \times \left\{ \Phi\left[\sqrt{\frac{U}{4D_z \Delta x}} \left(z - z' + \frac{1}{2}\delta\zeta\right)\right] - \Phi\left[\sqrt{\frac{U}{4D_z \Delta x}} \left(z - z' - \frac{1}{2}\delta\zeta\right)\right] \right\}$$

これをすべての  $y'$ ,  $z'$  について重ねあわせると、つぎの平面内での濃度分布がえられる。これは定常状

態を仮定していることで可能となっている。これを逐次つづける。計算は NEAC 2206 をもちいた。

### 2-1 二次元モデル

まず比較的簡単なモデルを設定して、上の手つづきの妥当性をしらべてみた。一辺 10 cm の角柱を送風機による主流方向と直角に、地面板から高さ 2 cm の

ところに角柱下面があるように支持した。送風機からの流れは 1 cm メッシュの格子によってかなり乱れるようにした。平均風速は約 5.8 m/sec である。拡散係数は乱流成分に比例するとしたために、前節の式をみると、平均風速と乱流成分が、 $u'/U$  のかたちでだけはいってきている。角柱の下流各点ではかった平均風

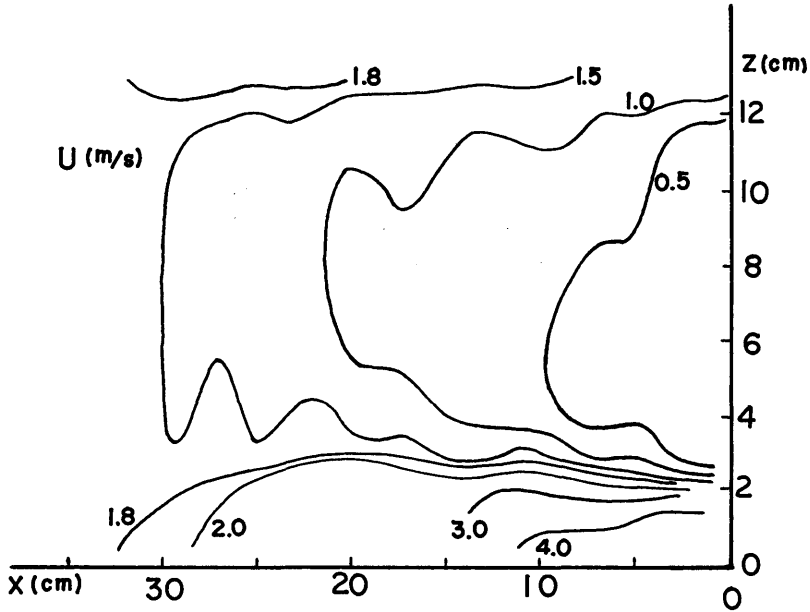


図-1 角柱下流での主流方向平均風速の分布

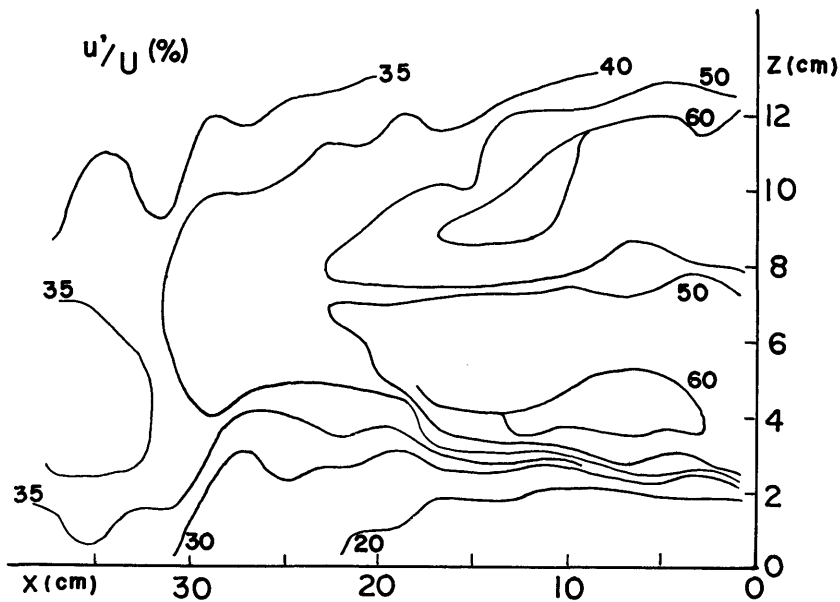


図-2 角柱下流での主流方向風速変動率の分布

速および乱流成分から  $U$  および  $u'/U$  の分布を図-1 および図-2 にしめす。

つぎに、角柱の背面下端の位置に一酸化炭素ポンペより配管し、下流の各点で空気を採取してその空気中一酸化炭素の濃度を測った。その測定値を図-3、図-4 にプロットしてある。同時に3ないし4点しか採取できず、それぞれ流出量や採取時間がことなるので、それぞれちがった印でプロットしてある。また図

中の実線は

$k_y = k_z = 10 \text{ cm}$  としたとき、

破線は  $k_y = k_z = 1 \text{ cm}$  としたときの計算による相対濃度分布である。図-3 は発生源と主流方向をふくむ地面に垂直な断面での分布、図-4 はおなじく地面に平行な断面での分布である。図-3 からみると実線の方が、図-4 からみると破線の方が、測定値とあっているようにみえる。

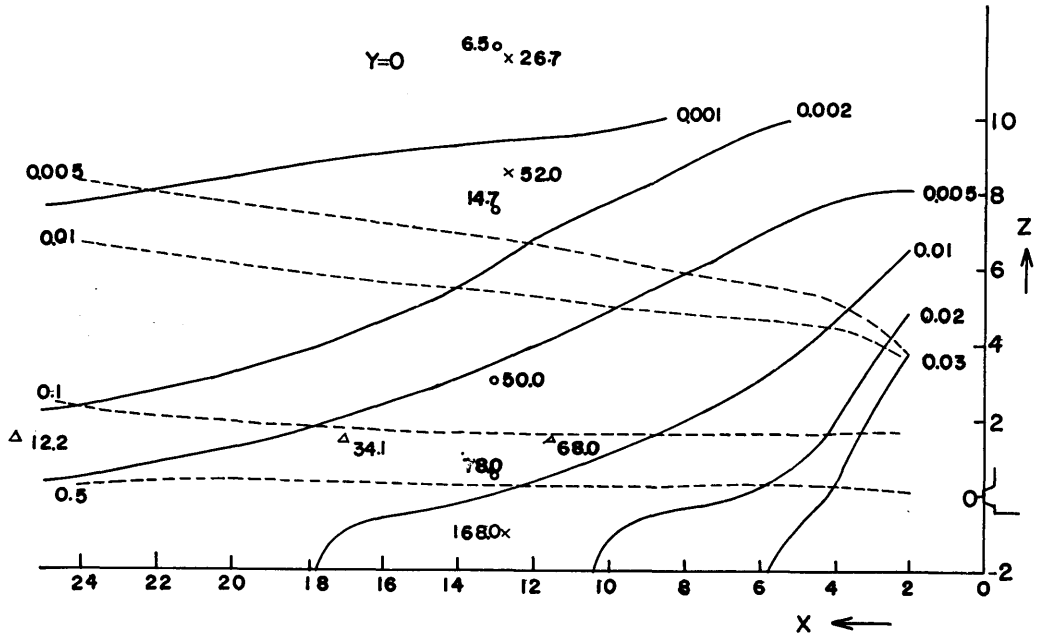


図-3  $xz$  断面での濃度分布—— $k_y = k_z = 10 \dots\dots k_y = k_z = 1$

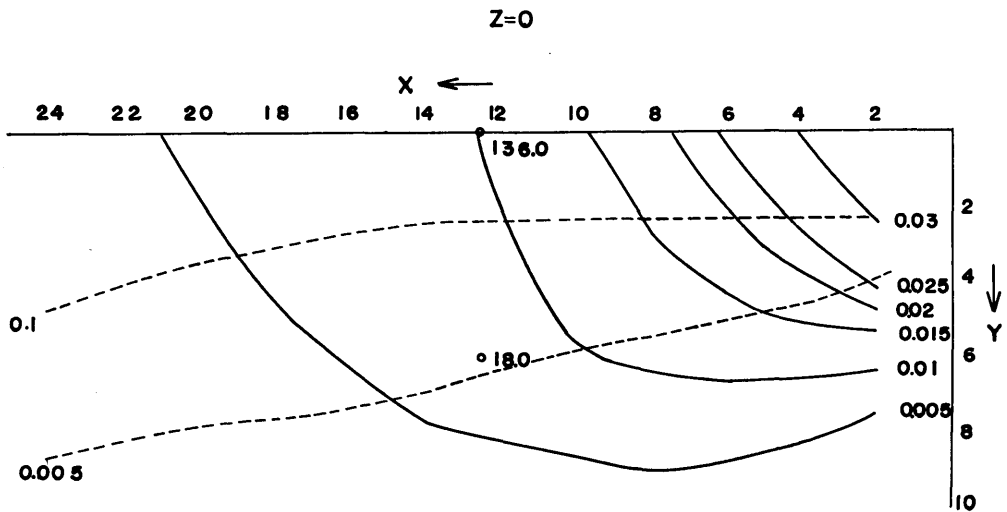


図-4  $xy$  断面での濃度分布—— $k_y = k_z = 10 \dots\dots k_y = k_z = 1$

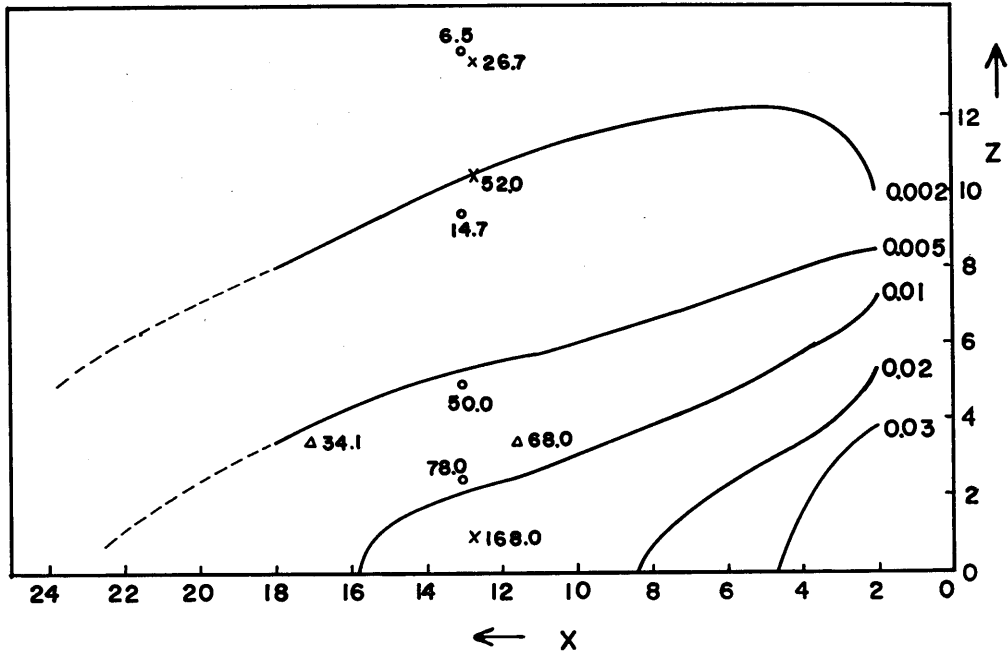


図-5  $xz$  断面での濃度分布— $k_z=10$   $k_y=2$

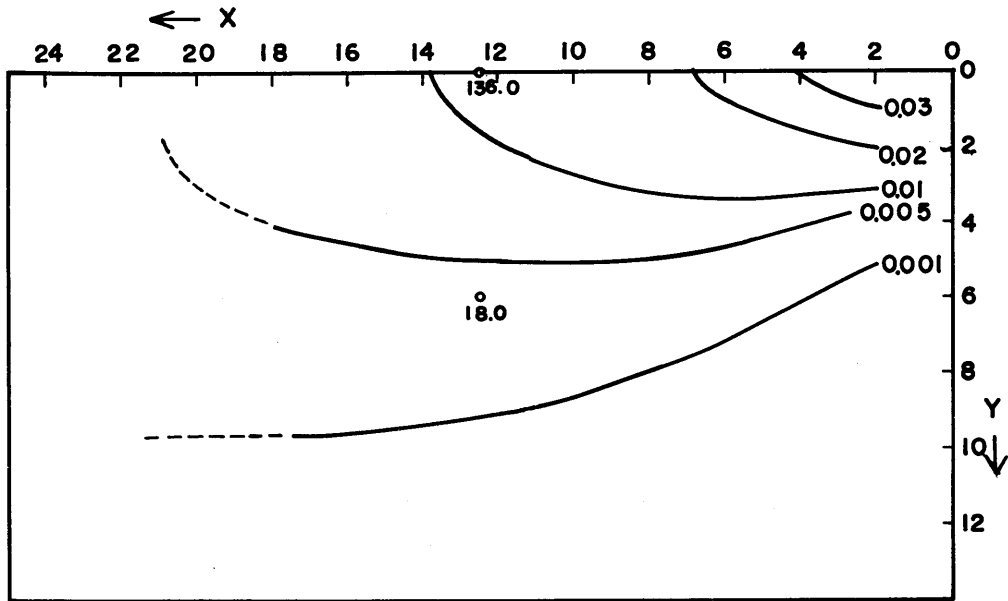


図-6  $xy$  断面での濃度分布— $k_z=10$   $k_y=2$

そこで  $k_y=2$  cm,  $k_z=10$  cm としたときの相対濃度分布を図-5, 図-6 にしめす。

2-2 自動車模型による実験

具体的に自動車後流において, テールパイプから排

出されたガスがどのように拡散されるかをしらべるために, そこでの流れの場をあきらかにする模型による風洞実験を計画した。実際問題として, その結果を現実の自動車に適用するためには相似性その他, 多くの

困難な点があるが、前節でのべたような線に沿って解析をすすめ、実測との比較によって現実の拡散の様子をつかんでいくことにする。

使用した模型は木製のバスおよび乗用車で縮尺はそれぞれ 1/20, 1/10 で、上下対称の鏡像模型をもちいた。風洞風速は 23 m/sec, 38 m/sec の 2 通りである。測定結果を末尾に付録としてしめす。分布は三次元的であるのでまず主流方向をふくむ垂直のいくつかの断面での平均風速分布、つぎに風速変動率分布、それから主流方向に直角ないくつかの断面での風速変動率の分布をしめた。x は主流方向, z は高さ方向, y は横方向にとり、平均風速は m/sec 単位, 風速変動率の単位はパーセントである。乗用車, バスについてそれぞれ風速 23 m/sec, 38 m/sec 結局 4 通りの測定結果がある。

相似性については一応、層流レイノルズ数をあわせて、実車で測定をおこなってみた結果、風速変動率

$u'/U$  は模型の場合の 2 ないし 3 倍になっていることがわかった。大気中にすでに存在している乱流, 模型の粗度あるいはもっと本質的なこと, などが影響しているものとみられるが、目的とするガス濃度の計算のためには、これらの要因をかならずしも解明する必要はない。

つぎに、 $k_y = k_z = 1 \text{ cm}$  として、前節のような計算をおこない、得られた相対濃度分布をすべて模型縮尺の 10 倍にひきのぼしたものが図-7, 図-8 である。ただし、乗用車で風速 38 m/sec の場合に対応している。実車をもちいて測定した一酸化炭素の濃度を図中にプロットしてある。相対分布は高さ方向, 横方向ではかなりよく一致している。主流方向にたいしては少々問題がある。これは  $k_y, k_z$  の値をいくらか大きくすることで一致をはかることができるが、また計算において、浮力上昇が考慮されていないということに原因をもとめることもできよう。

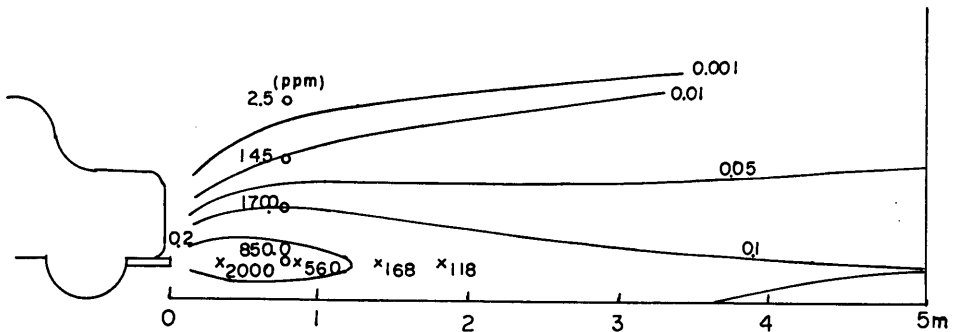


図-7 自動車後方の濃度分布

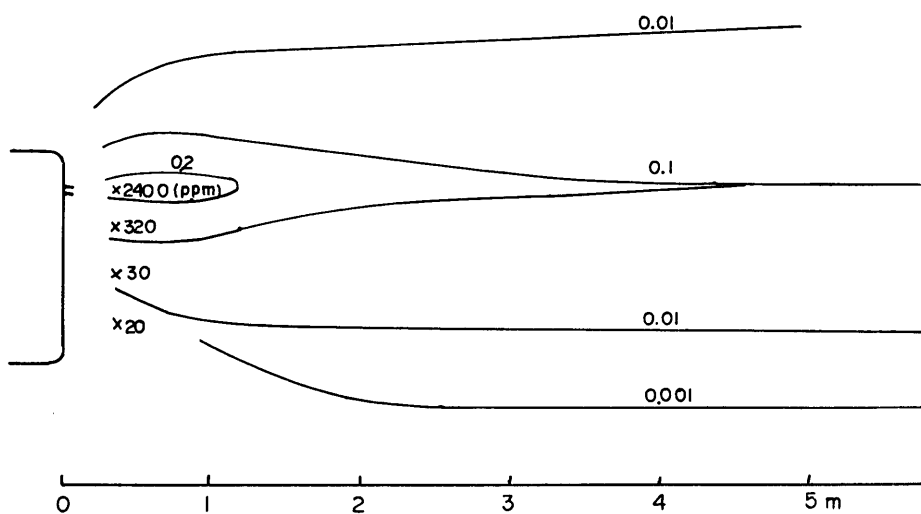


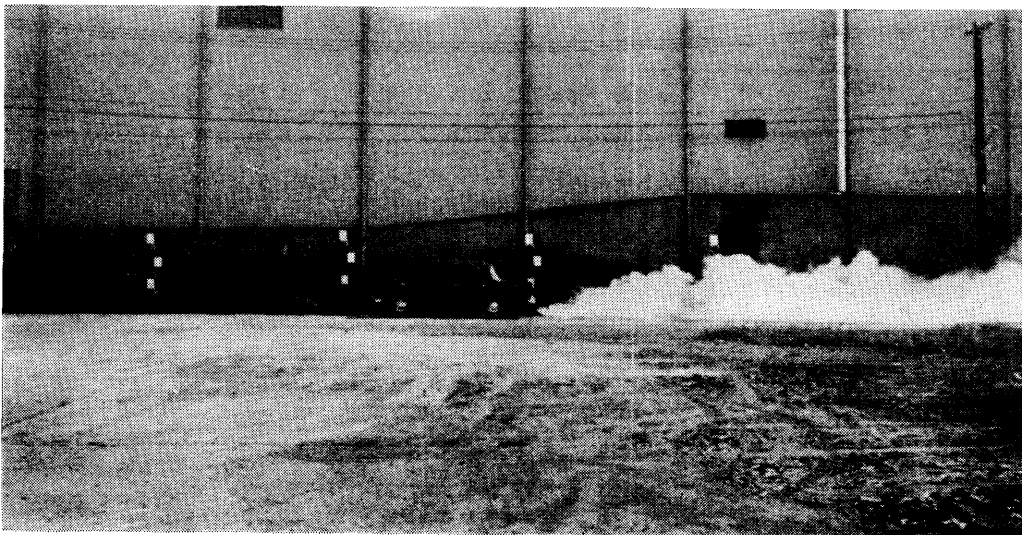
図-8 自動車後方の濃度分布

この計算値および測定値について別の方向から検討してみる。計算にあたっては源の強さを一単位とした。車に固定された座標系でみると、単位時間に  $M$  の拡散物質の発生があれば、この車の後方単位長さあたり  $M/v$  の拡散物質が存在することになる。ただし  $v$  は自動車の速度である。計算によってあたえられた相対濃度分布から絶対濃度を得るには  $M/v$  を乗ずればよい。そのとき単位体積あたりの拡散物質質量すなわち濃度がえられる。模型では単位長さは 1 cm であるが、そのスケールをすべて 10 倍に拡大した図-7、図-8 では 10 cm となる。単位長さを 1 m にとるときには、図中の相対濃度分布を  $10^2$  倍すればよい。測定<sup>9)</sup> によれば定速時の普通車排気量は 7 l/sec、CO 濃度 2.5% CO 排出量 0.175 l/sec である。自動車速度 3.8 m/sec であるから  $M/v=46$  cc/m となる。これから絶対濃度はそれぞれ

0.1	にたいし	460 ppm
0.01	"	46 ppm
0.001	"	4.6 ppm

となる。オーダーは測定値とあっているけれども、やはり拡散係数の過小評価が影響しているようである。また排気それ自身の速度も考慮にいれるべきであろう。

これらの解析からわかることは自動車後方における排気ガスのひろがる範囲は、ほぼ自動車の大きさ程度であることがわかる。参考のための写真をみても、前に述べたような道路に沿ってできる線源のひろがりか推定できる。



### 3. 街路における拡散

#### 3-1 一次元モデルによる垂直濃度分布

第一報では簡単のために、道路幅に比して両側の建物高さが大きく、変化が高さ方向のみにおけるとし、高さ  $h$  のところに連続的な面源があり、両側の建物面から漏洩がおこなわれるという仮定のもとに垂直方向濃度分布の式を得た。

$$C = \begin{cases} \frac{2M}{b} I_0\left(2\sqrt{\frac{k}{b}} z\right) K_0\left(2\sqrt{\frac{k}{b}} h\right) & h > z \\ \frac{2M}{b} I_0\left(2\sqrt{\frac{k}{b}} h\right) K_0\left(2\sqrt{\frac{k}{b}} z\right) & h < z \end{cases}$$

ここで

$M$  道路に沿った単位長さあたり単位時間の発生量 (cc/m·sec)

$k$  漏洩の比例係数 (sec<sup>-1</sup>)

$b$  高さ方向の拡散パラメータ (m/sec)

$I_0, K_0$  は変形された第一種および第二種ベッセル関数である。

$z/h \equiv \zeta, 2\sqrt{k/b}h \equiv \alpha$  とおいて、高さ方向濃度分布をしめす。図 9 は  $\alpha$  の値によって  $z=h$  における濃度最大値がどうかかわるかをしめす。図 10 はその最大値にたいする濃度の比を横軸にとり、高さによる変化を  $\alpha$  をパラメータとしてあらわしている。

拡散現象共同研究委員会による測定<sup>9)</sup> の一例を同じ図上に源の高さを  $h=1$  m としてプロットしてみた。これから  $\alpha=0.2\sim 0.4$  であることがわかる。

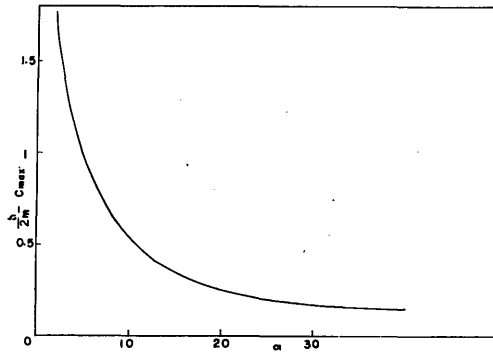


図-9 パラメータ  $\alpha$  にたいする最大濃度

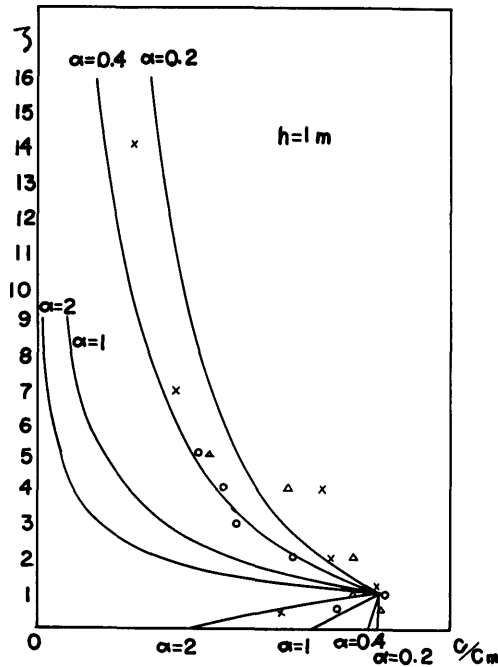


図-10 最大濃度にたいする比の高さ方向変化

しかし、このように結論をいそぐのにはあまりにもデータのばらつきが大きい。曲線は源をデルタ関数として計算した結果であるから、源の幅を考慮すれば、源の付近のばらつきはある程度許される。しかしそれだけではなく、同じときに道路両側で測定したものが非常にことなる分布をしめすことがみとめられた。はしがきで述べたような諸条件の作用を考慮しなければならない。

3-2 街路内濃度分布の計算

そこで、大域的な風および車線の影響を考慮した濃度分布の計算をおこなうことにする。道路に直角な断

面をかんがえ、風上側道路端に原点をとり、風下方向に  $x$  軸、垂直上方に  $z$  軸をとる。定常状態として濃度は拡散方程式

$$a \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + b \frac{\partial}{\partial z} \left( z \frac{\partial C}{\partial z} \right) = 0$$

を満足するものとする。拡散の源は実際にはひろがっているわけであるが、いつものようにデルタ関数の線源を、高さ  $h$ 、原点から距離  $d$  のところにおく。道路幅を  $w$  とする。

境界条件としてどのようなものをとればよいか考えよう。地上において  $z$  方向のフラックスが存在しないということは、 $z$  方向拡散係数を  $bz$  とおいたことによって自動的に満足されている。第一報におけるように両側建物における漏洩を考えるとき、風上側にガスが流れることは困難であり、かつそこは風にたいして陰になっているから、流れは垂直方向のみおこなわれるであろう。したがって風上側では  $x$  方向のフラックスがゼロすなわち

$$x=0 \text{ で } -a \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

の境界条件をおくことができる。

風下側の境界では漏洩が主としておこなわれているから

$$x=w \text{ で } \kappa C + a \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

となる。 $\kappa$  は速度の次元をもち大域的な風速に左右される漏洩の定数である。

以上の境界条件を満足する解をみいだすためにつきのようにする。

$x=d, z=h$  のところにひとつの源をおき  $x=-d, z=h$  にこれとひとしい鏡像の源をおく。このふたつの解の和に一般解

$$C = \int_0^\infty A(\lambda) \cosh \frac{b\lambda}{2\sqrt{a}} x J_0(\lambda\varphi) d\lambda$$

$$\varphi = \sqrt{bz}$$

をつけくわえる。これは  $z \rightarrow \infty$  において有界で、 $x=0$  における境界条件を満足している。これから  $x=w$  における境界条件を満足するよう  $A(\lambda)$  をきめる。

源をあらわす解は第一報における式において  $u=0$  とおいた式から出発する。 $x=0, z=h$  にある源にたいしては

$$C = \frac{Mb}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^t \frac{e^{-x^2/4a(t-\tau)}}{\sqrt{4a(t-\tau)}} \int_0^\infty J_0(\lambda\alpha) J_0(\lambda\varphi)$$



$$\times \exp\left(-\frac{b^2 \lambda^2 (t-\tau)}{4}\right) \lambda d\lambda d\tau$$

$t-\tau \equiv T$  とおき積分すると

$$C = \frac{M}{\sqrt{4a}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{b\lambda|x|}{\sqrt{4a}}\right) J_0(\lambda\alpha_0) J_0(\lambda\varphi) d\lambda$$

$$\alpha_0 \equiv \sqrt{bh}$$

となる。

この表式をつかって、 $x=w$  における境界条件を満足するような  $A(\lambda)$  をみいだすことができる。

$A(\lambda) =$

$$\frac{M\left(\frac{b\lambda}{2} - \frac{\kappa}{\sqrt{4a}}\right) J_0(\lambda\alpha_0) \exp\left(-\frac{b\lambda w}{\sqrt{4a}}\right) \cosh \frac{b\lambda}{\sqrt{4a}} d}{\frac{\sqrt{a} b\lambda}{2} \sinh \frac{b\lambda}{\sqrt{4a}} w + \kappa \cosh \frac{b\lambda}{\sqrt{4a}} w}$$

この一般解の部分は適当な源の分布によっておきかえることができるが、計算の便のために近似をおこなう。

まず  $A(\lambda)$  の分母を

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\kappa}{\sqrt{4a}} + \frac{b\lambda}{4}\right) \exp\left(\frac{b\lambda w}{\sqrt{4a}}\right) \\ & + \left(\frac{\kappa}{\sqrt{4a}} - \frac{b\lambda}{4}\right) \exp\left(-\frac{b\lambda w}{\sqrt{4a}}\right) \end{aligned}$$

と書きなおして第二項を第一項にくらべて無視する。そうすると一般解の部分は次のような八つの項の和になる。

$$I_1 = \int_0^\infty \frac{M}{\sqrt{4a}} J_0(\lambda\varphi) J_0(\lambda\alpha_0) \exp\left(-\frac{b\lambda}{\sqrt{4a}}\right) (2w-d-x)$$

$$I_2 = \quad " \quad " \quad (2w-d+x)$$

$$I_3 = \quad " \quad " \quad (2w+d+x)$$

$$I_4 = \quad " \quad " \quad (2w+d-x)$$

$$I_5 = - \int_0^\infty \frac{M\kappa/\sqrt{a}}{\sqrt{a}\left(\frac{b\lambda}{2} + \frac{\kappa}{\sqrt{a}}\right)} J_0(\lambda\alpha_0) J_0(\lambda\varphi)$$

$$\times \exp\left(-\frac{b\lambda}{\sqrt{4a}}\right) (2w-d-x)$$

$$I_6 = \quad " \quad " \quad (2w-d+x)$$

$$I_7 = \quad " \quad " \quad (2w+d+x)$$

$$I_8 = \quad " \quad " \quad (2w+d-x)$$

$I_1 \sim I_4$  はそれぞれ  $x=2w-d$ ,  $-2w+d$ ,  $-2w-d$ ,  $2w+d$  のところにある源をあらわしている。 $I_5 \sim I_7$  は負で吸いこみをあらわしている。たとえば  $I_5$  は  $x=2w-d \sim \infty$  に  $-2\kappa M/a e^{-\kappa/a(t+a-2w)}$  なる吸いこみ分布があるとして、それらの寄与を積分すればえられる。この方法をとるならば、分母における近似をおこなわずに形式的に展開しても、源および吸いこみ分

布がえられるはずであるが、境界条件はかならずしも実際の物理的条件をあらわしているわけでないし、濃度分布の大ざっぱな傾向が得られればよいのであるから、さらにつぎの近似を  $I_5 \sim I_8$  にたいしておこなう。すなわち

$$\frac{\kappa/\sqrt{a}}{\frac{b}{2}\lambda + \frac{\kappa}{\sqrt{a}}} \doteq \exp\left(-\frac{b\sqrt{a}}{2\kappa}\lambda\right)$$

と近似する。この結果

$$I_5 = - \int_0^\infty \frac{M}{\sqrt{a}} J_0(\lambda\alpha_0) J_0(\lambda\varphi) \exp\left(-\frac{b\lambda}{\sqrt{4a}}\right) (2w-d-x+a/\kappa)$$

$$I_6 = \quad " \quad " \quad (2w-d+x+a/\kappa)$$

$$I_7 = \quad " \quad " \quad (2w+d+x+a/\kappa)$$

$$I_8 = \quad " \quad " \quad (2w+d-x+a/\kappa)$$

となり、結局これら10個の源および吸いこみ分布によって濃度の近似計算ができるようになる。第一報にあるように、高さ  $h$  にある線源による濃度分布は

$$C = \frac{M}{2\pi\sqrt{ab}\sqrt{\sqrt{hz}}} Q_{-1/2}\left(\frac{z+h+b\sqrt{4a}}{2\sqrt{hz}}\right)$$

である。ただし  $Q_{-1/2}$  は第二種ルジャンドル関数である。

$h=1$  m,  $w=10$  m,  $\sqrt{\frac{bh}{8a}}=0.5$  としてパラメータ  $d$  および  $a/\kappa$  の値をいろいろ変えて濃度分布を図示してみた。図 11, 12, 13 はそれぞれ  $a/\kappa=\infty$ , 10, 1 の場合を  $d=7$  (実線)  $d=3$  (点線) のおのおのについてしめてある。図 14 は  $d=5$  のときの  $a/\kappa=\infty$  (実線)  $a/\kappa=1$  (破線) の分布である。 $a/\kappa=\infty$  は風がない場合に相当するから、道路両側の濃度比較という点では、図 14 は風のみによる影響をしめていることになる。

### 3-3 各所道路における測定との比較

以上のような街路内二次元的濃度分布のもつ傾向をたしかめるために、拡散現象共同研究委員会の協力によって、都内各所の道路における CO 濃度測定を、とくに道路両側の比較という面に重点をおいておこなった。高さ約 1.5 m のところで約 4 分間連続的に空気採取し、分析計によってその中の CO 濃度を測定した。空気採取の時間中に風速およびその変動をサーミスタ風速計で測定し、通過自動車台数をかぞえて交通量をもとめた。大域的な風にかんしては、おおよその風向をしらべただけである。えらんだ地点は、なるべく両側に高い建物があり、それが同じ高さであるようにしたが、かならずしも理想的にはいかなかった。し

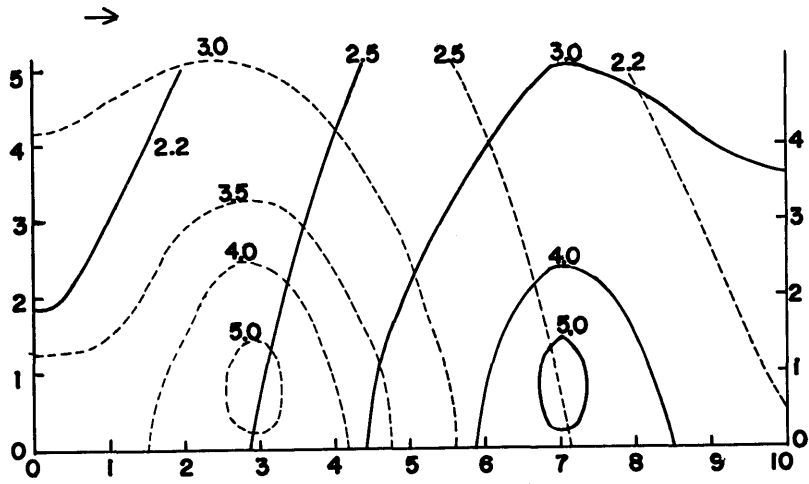


图-11 街路内相对浓度分布  $a/\kappa = \infty$

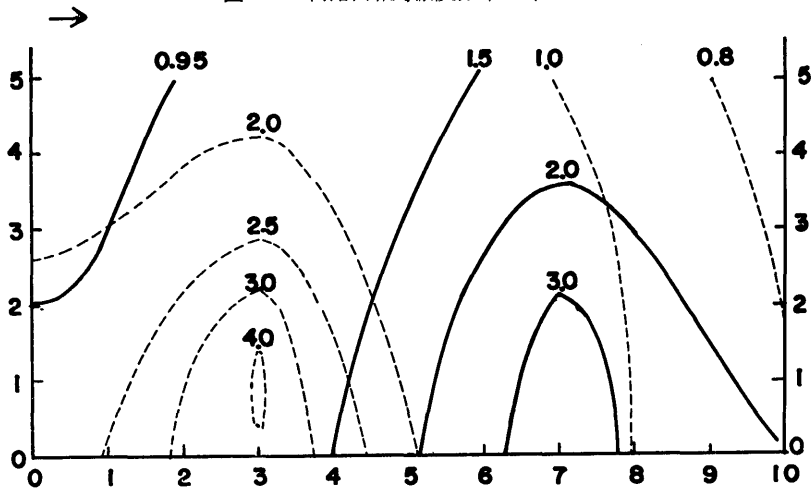


图-12 街路内相对浓度分布  $a/\kappa = 10$

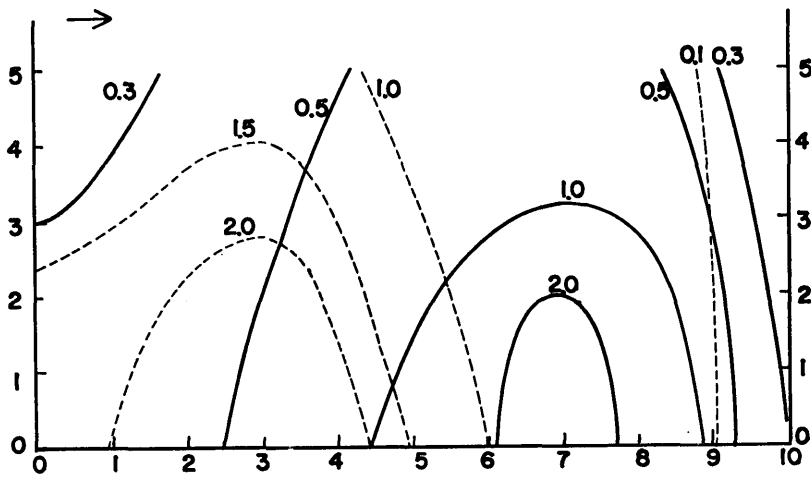


图-13 街路内相对浓度分布  $a/\kappa = 1$

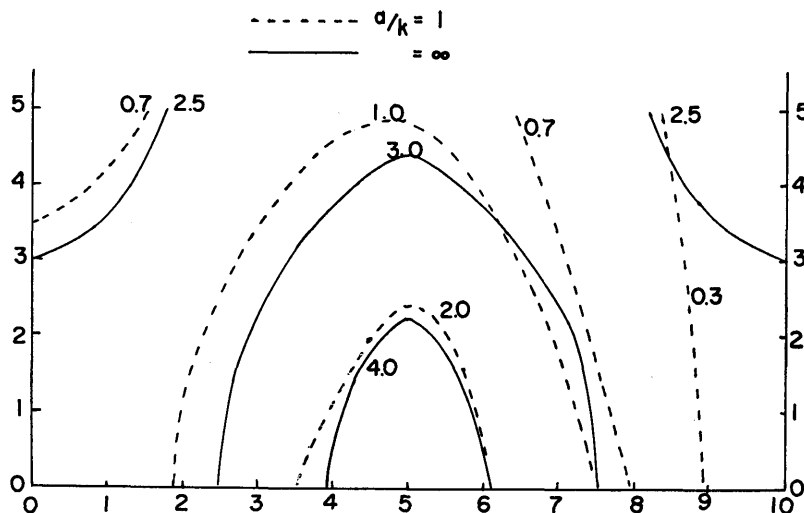


図-14 街路内相対濃度分布  $d=5$

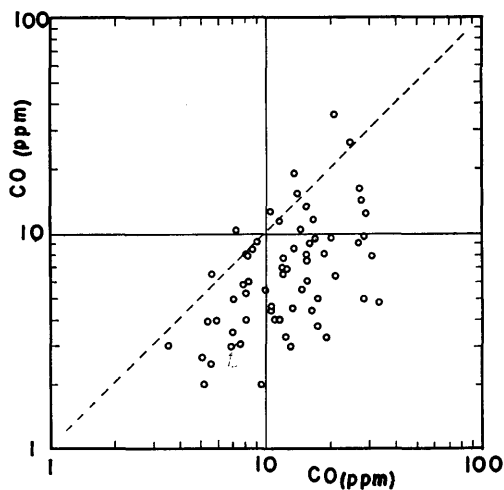


図-15 風上側(横軸)風下側(縦軸)濃度の比較

たがって得られた結果は、それぞれことなる条件に支配されているとみるべきであるが、平均的な結論をみいだすことはできる。

たとえば図 15 のように、風上側を横軸に風下側を縦軸にとり、濃度の比較をおこなう。風上側の方があきらかに高い濃度をしめしている。45° の点線の上にとびだしているプロットがあるが、これは片側車線に車がかたよっている結果であろう。そこで二車線道路でしかも片側車線に車がかたよっているとおもわれるデータをえらんで図 16 のように横軸に滞留車線側、縦軸にその反対側の濃度を取り、○印で風上側と滞留車線側が一致しているもの、×印で一致していないもの

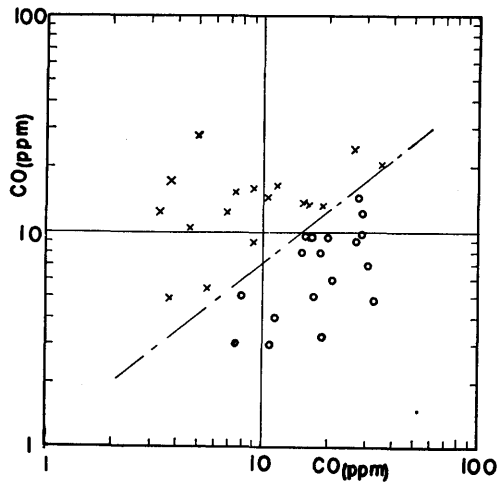


図-16 風の影響と車線の影響との分離

のをあらわした。二種類のデータははっきりと二分される。さらに図 17 のように、風がないかまたは風の影響がないとおもわれる場合の滞留車線側と反対側の比較を試みる。その比は  $1/2 \sim 3/5$  ぐらいになる。この値は前節で計算した濃度分布のなかでの図 11 の場合に対応している。結局二車線の場合、いわゆる滞留がおきてそれが片側車線にかたよっているとき、等価な拡散の源は、道路中心線より 2m ぐらいかたよっているということになる。したがって、道路両側からみた等価線源までの距離は約 4m ことなることになり、四車線道路では約 8m ぐらいことなる。このことは第二報において等価線源の位置をきめるときにもちいた

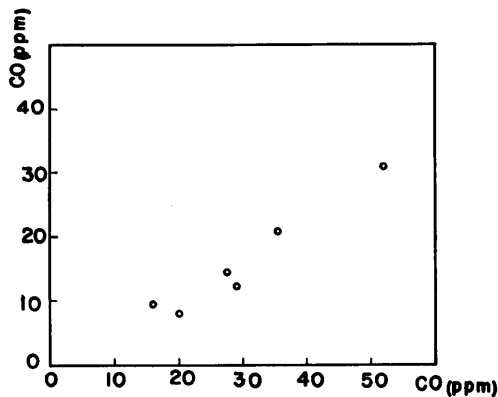


図-17 風の影響がないときの滞留側と反対側の比較

仮定をうらぎっている。ただし、ここでいう車線によるかたよりというはかならずしも交通量がことなることを意味しない。信号の近くで信号の影響によって車が片側により停滞する場合もある。

風のみによる影響については、はっきりした結論をくだすことは無理とおもわれる。それは大域的な風速等についての測定がおこなわれていず、局部的な街路内 1.5m の高さでの風速のみ測定していたことがひとつの理由である。さらに非常に風が強いときは街路内には複雑な気流が発生している。大ざっぱには一例として

濃度比	1	局地風速	0.4 m/sec
"	1/2	"	1.5 m/sec
"	2/5	"	1.8 m/sec

ただし二車線道路で、車の交通状況にかたよりのないとおもわれる場所での測定例である。前節の図 14 によれば、濃度比 1/2 は、ほぼ  $a/k=1$  に相当するようである。

以上、街路内濃度分布について風および車のかたよりの影響をしらべた。このほかにつきのような測定結果もえられている<sup>4)</sup>。

同じ交通量でも、渋滞している場所とそうでない場所とでは、あきらかに濃度がことなる。第一報において、交通密度が拡散の源の重要な因子であると述べたとおりである。しかし、街路においてはさらに街路構造という因子がくわわってくる。測定結果によれば、多車線道路では交通量が多く、したがって交通密度も多いのに、濃度は二車線道路の場合とあまり変わらないということがわかった。極端に言えば、街路における拡散の問題では、一車線あたりの交通密度を源をさだ

める第一の因子とすればよいのではなからうか。

#### 4. む す び

道路に沿ってできる線状の排気ガスの拡散源のひろがりをしらべるために、風洞実験により得られた資料をもちい拡散方程式を解くことによって、自動車後方の流れのなかの拡散現象をしらべた。ひとつの車によってつくられる線源のひろがりほぼ自動車の大きさ程度であることがわかった。その内部構造は外側に向かって 10 dB/20 cm ぐらいの減衰をしめしているとみてよい。さらに多数の車の走行の結果、この重ねあわせと、かくはんがおこなわれるが、どちらにしても線源のスケールは変わらず、そのなかでの濃度の平均化がおこなわれるのみであるとおもわれる。したがって実際問題としては、第二報における等価線源のかわりに、自動車の大きさ程度のひろがりをもった強さ一様の線源を仮定して計算をすすめるだけで充分とおもわれる。

つぎに、両側に建物のあるような街路内での排気ガス濃度二次元分布について計算をおこない、実測との比較をこころみ大ざっぱではあるが興味ある結論を得た。すなわち、

(1) 大域的な風向によって街路内の濃度分布は影響をうけ、風上側が一般に高く、風下側との比は、風速と逆相関の関係にある。

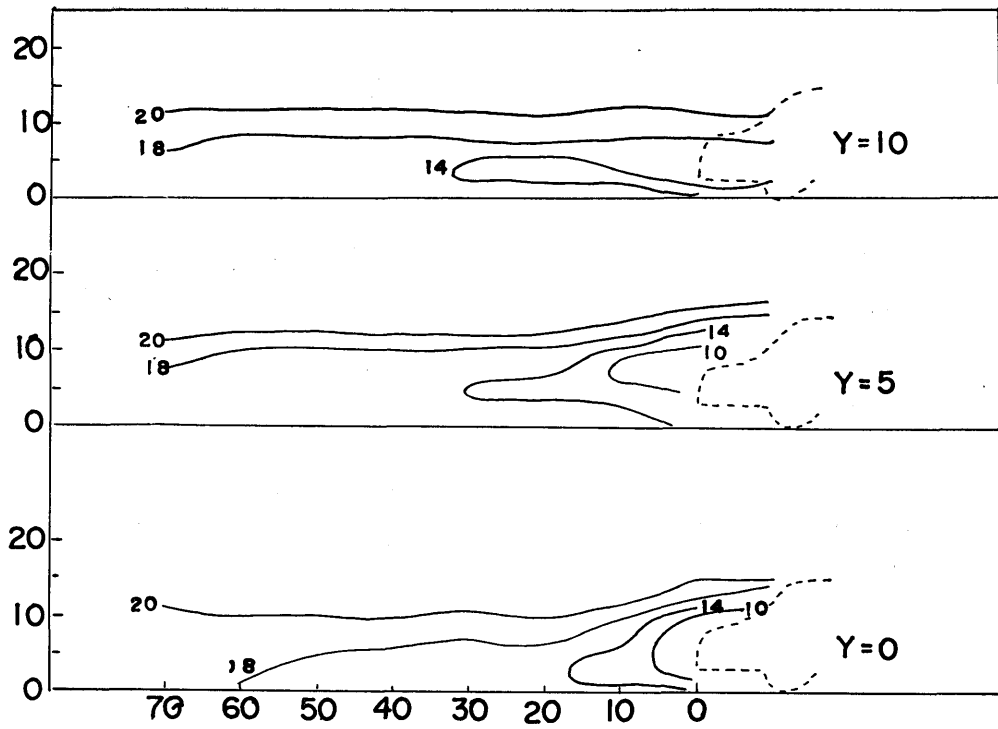
(2) 車の停滞する側の濃度が大きく、その比は風がないとき二車線道路で 1/2~3/5 ぐらいになる。

これは等価な線源を、道路両端から 7:3 ぐらいの距離においたときの濃度分布に対応している。

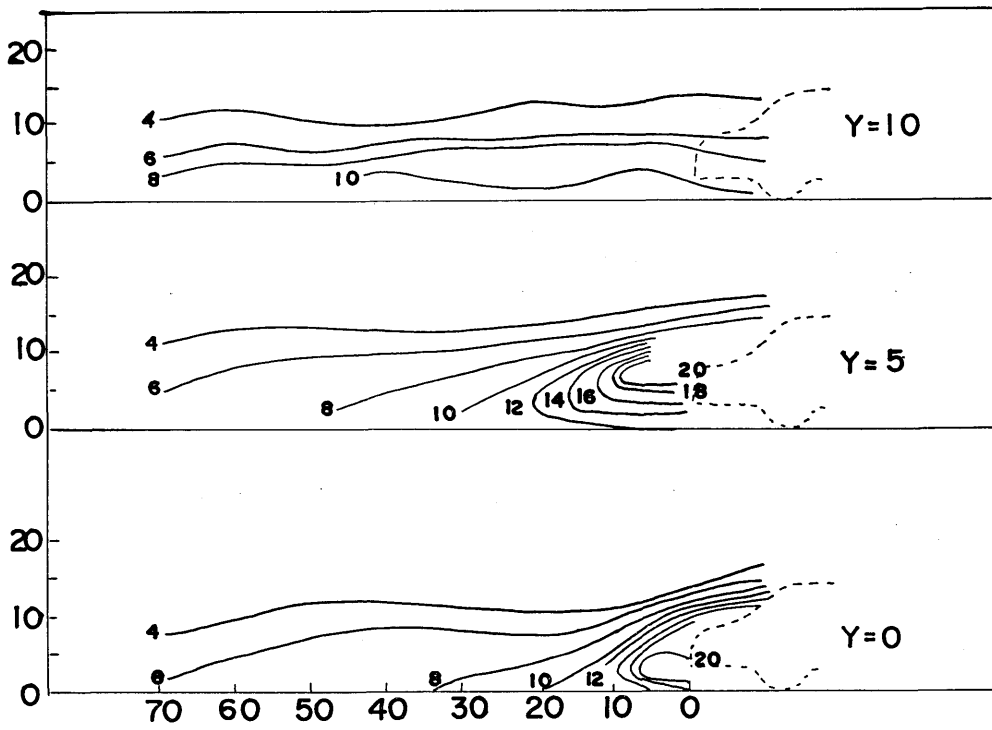
しかし街路構造の影響が非常に大きく、とくに風の強いときの複雑な気流による影響を分離解析するのに必要な測定がおこなわれず、また充分な量のデータが得られなかった。もっと詳細な結論をみいだすためには、組織的な方法による測定データの積み重ねが必要であるとおもわれる。

#### 参 考 文 献

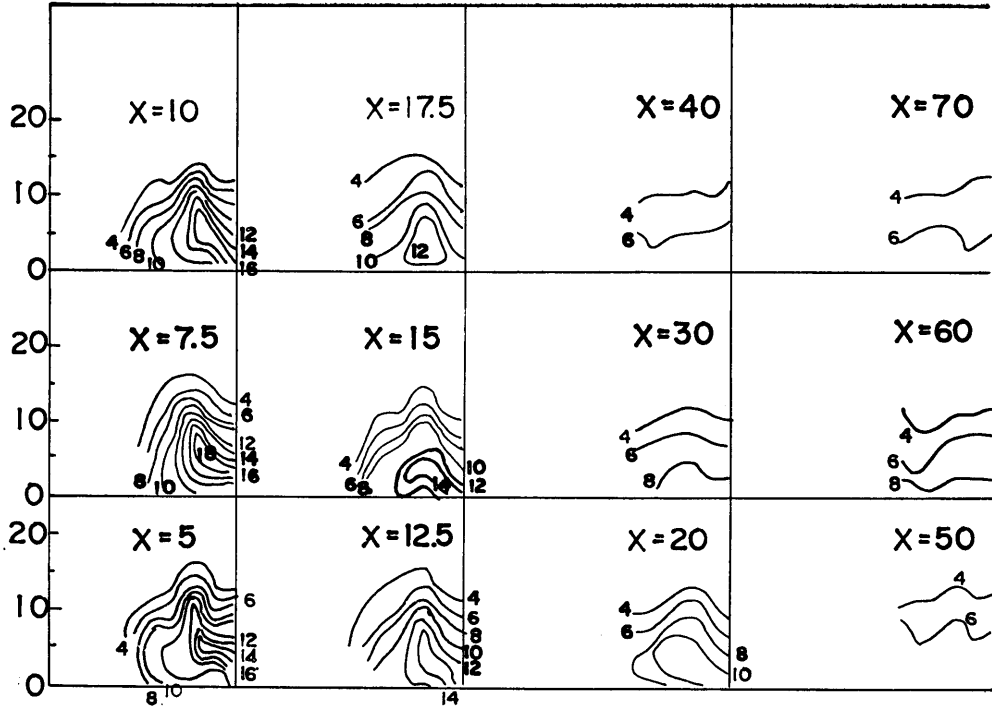
- 1) 渡辺健次, 排気ガスの大気乱流拡散—I, 船研報告, Vol. 4, No. 6.
- 2) 渡辺健次, 沢井秀之, 排気ガスの大気乱流拡散—II, 船研報告, Vol. 5, No. 3.
- 3) 科学技術庁, 大気汚染に関する総合研究, 昭和 41 年, 42 年.
- 4) 飯沢英二雄, 安東武夫, 渡辺健次, 市街地における自動車排気ガス中 CO の拡散, 船研講演会, 1969 年 5 月



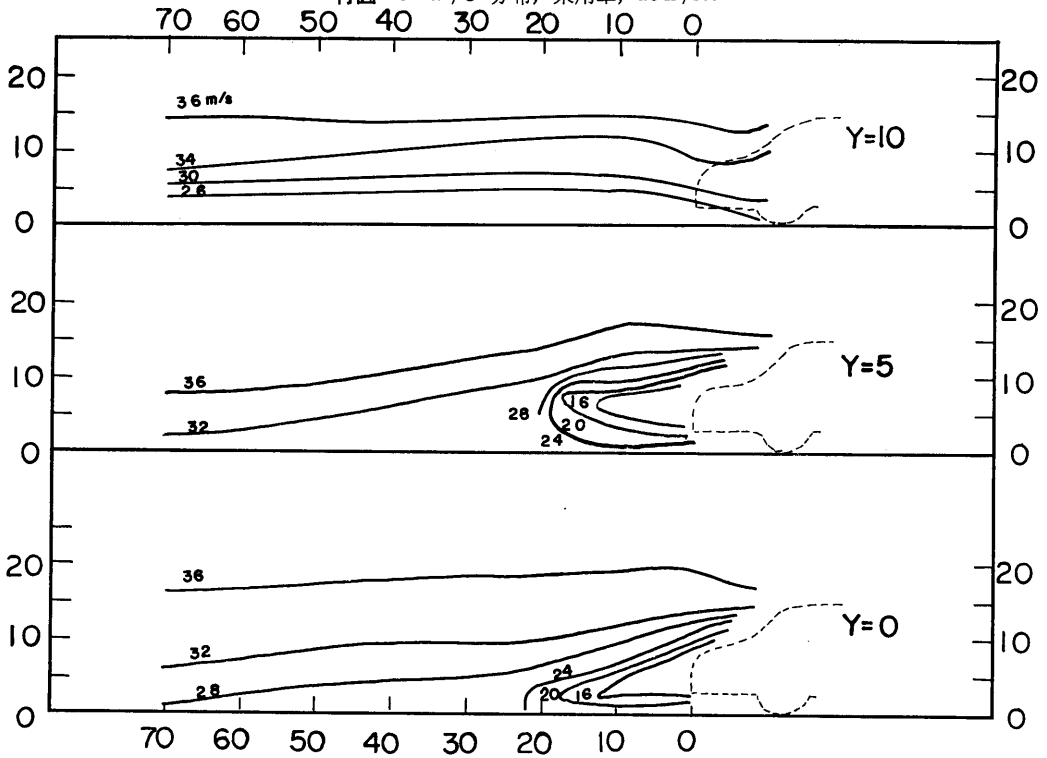
付図-1  $U$  分布, 乗用車, 23 m/sec



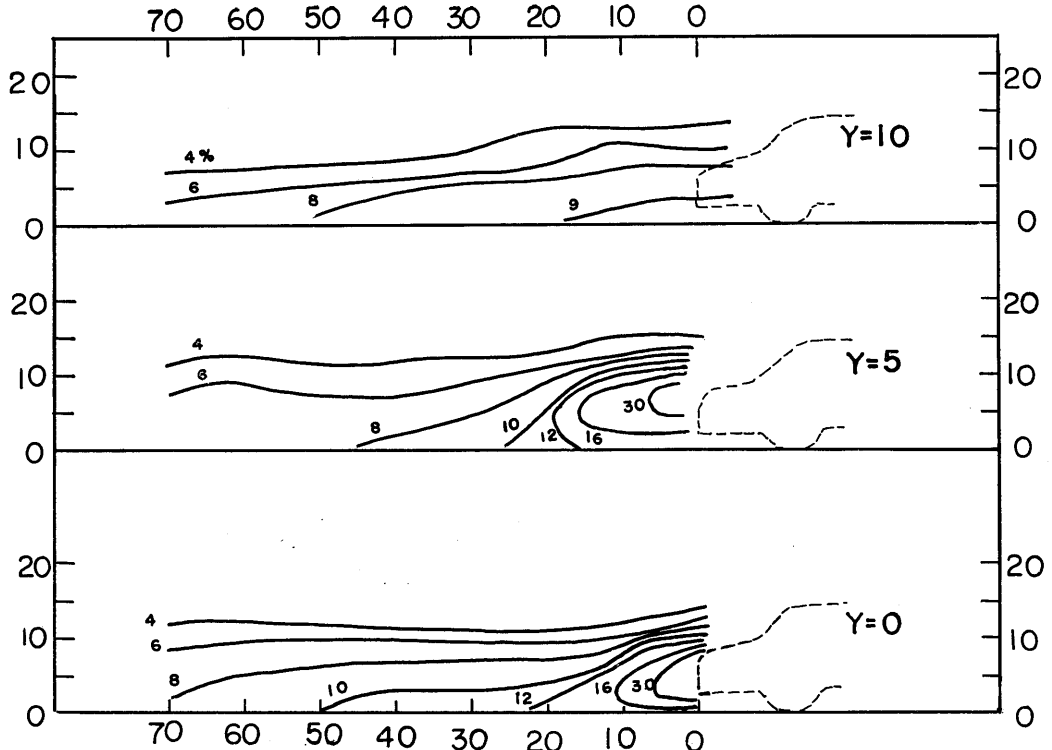
付図-2  $u'/U$  分布, 乗用車, 23 m/sec



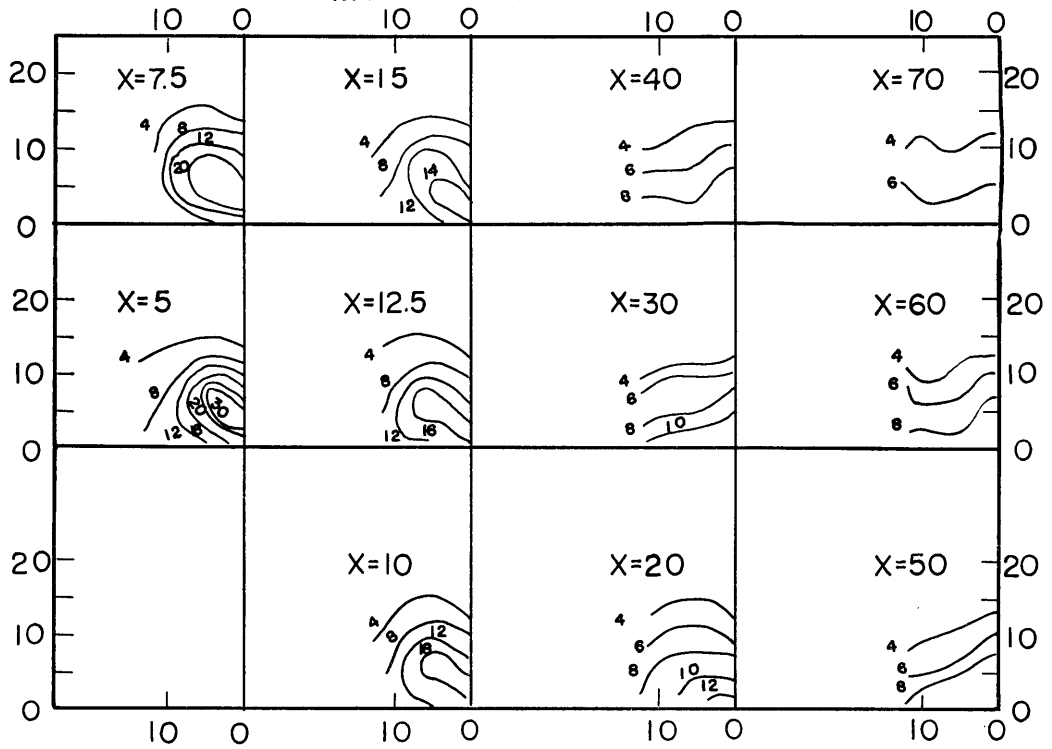
付圖—3  $u'/U$  分布, 乘用車, 23 m/sec



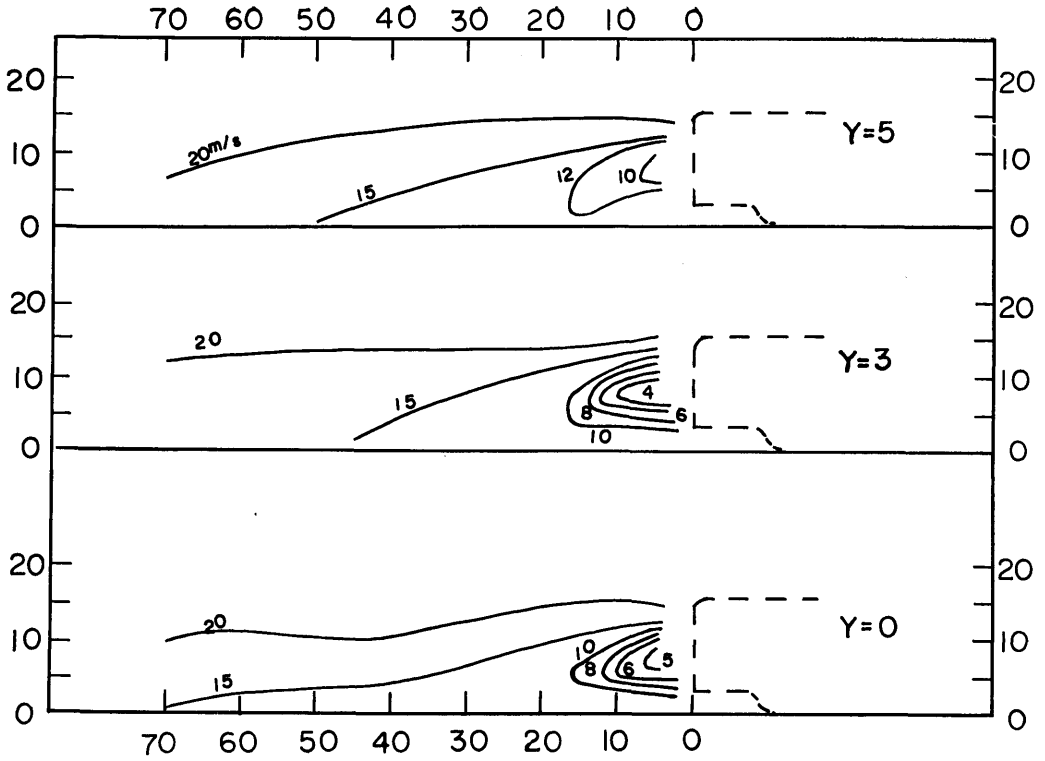
付圖—4  $U$  分布, 乘用車, 38 m/sec



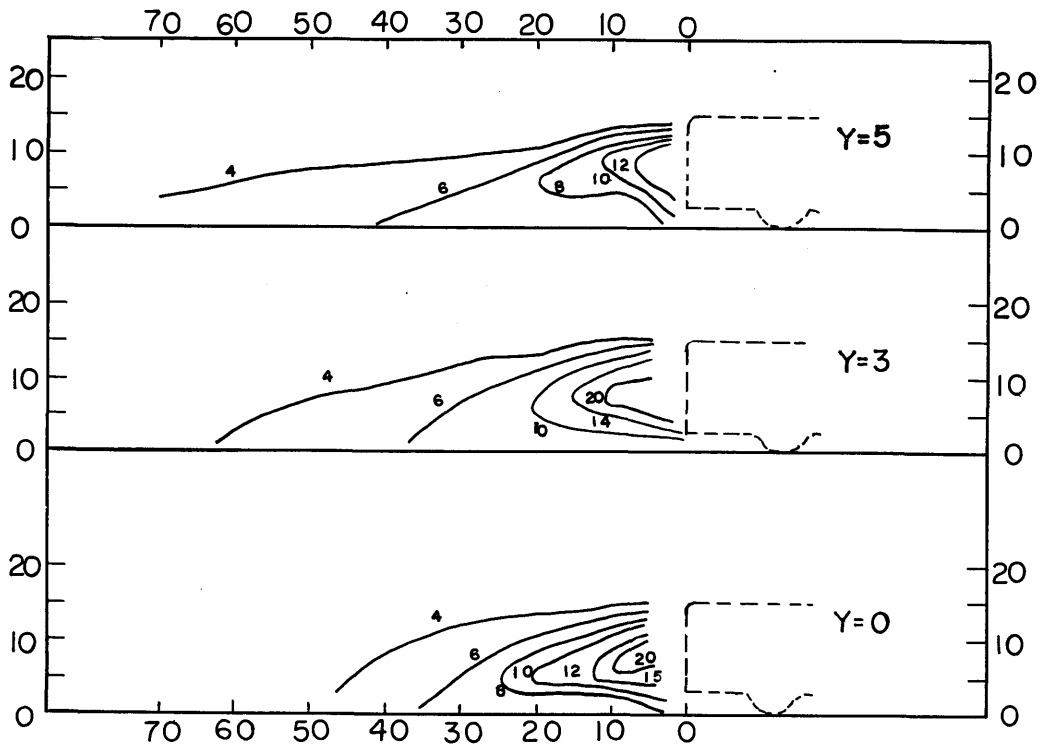
付図-5  $u'/U$  分布, 乗用車, 38 m/sec



付図-6  $u'/U$  分布, 乗用車, 38 m/sec

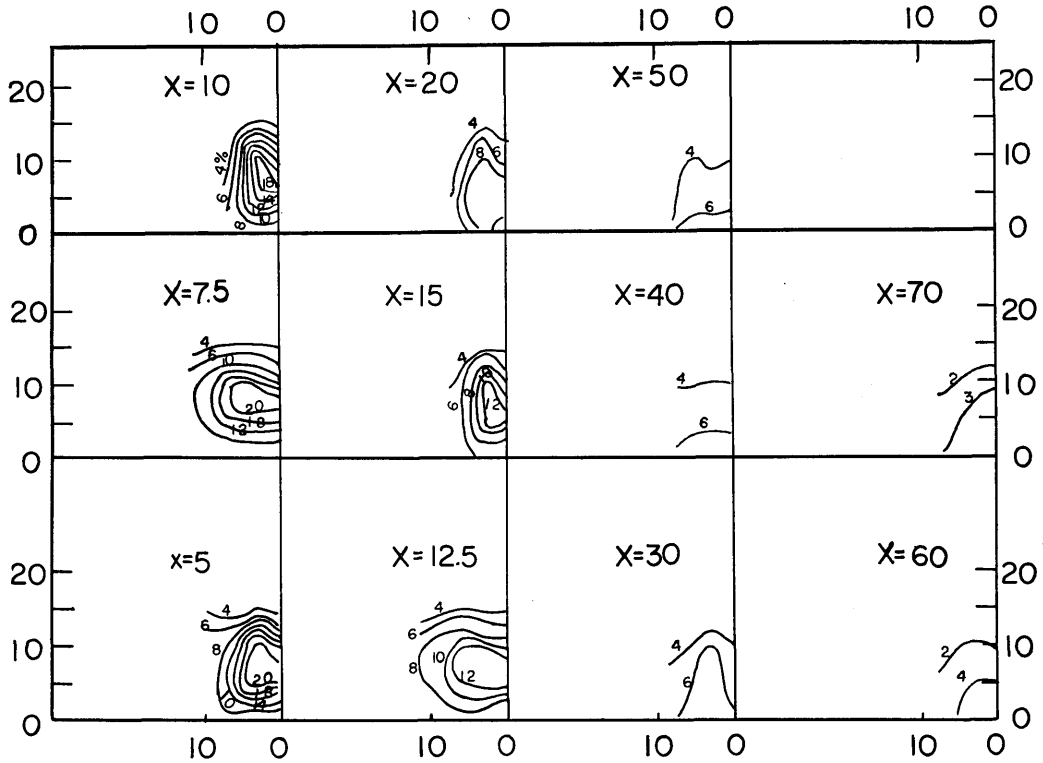


付図-7  $U$  分布, バス, 23 m/sec

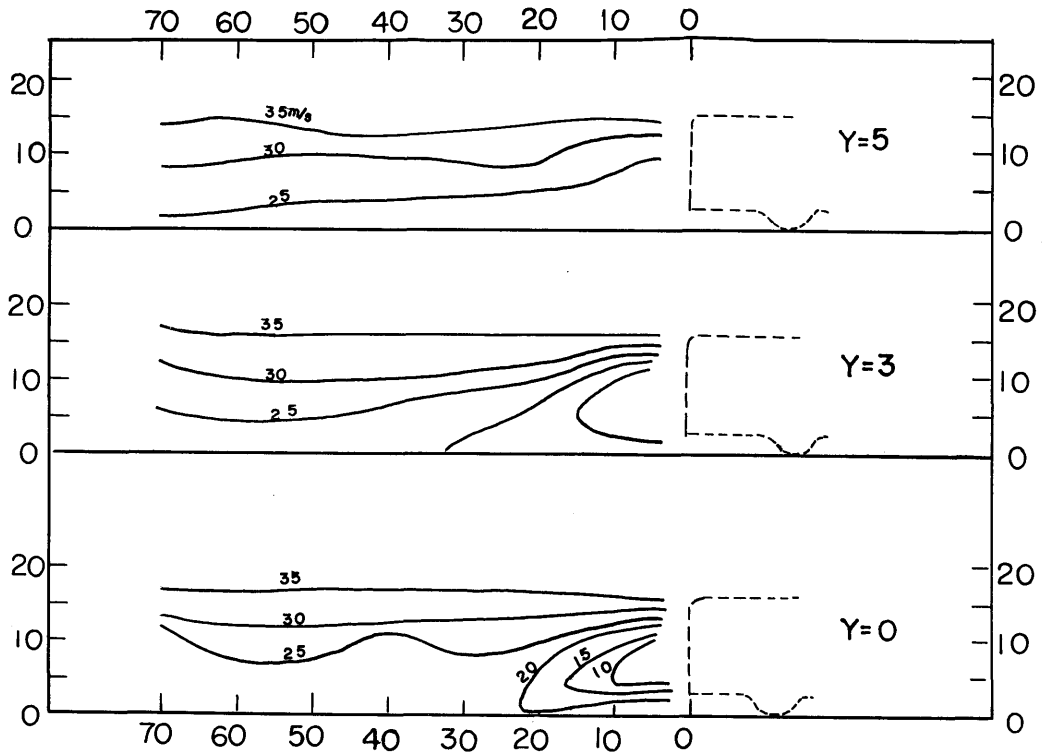


付図-8  $u'/U$  分布, バス, 23 m/sec

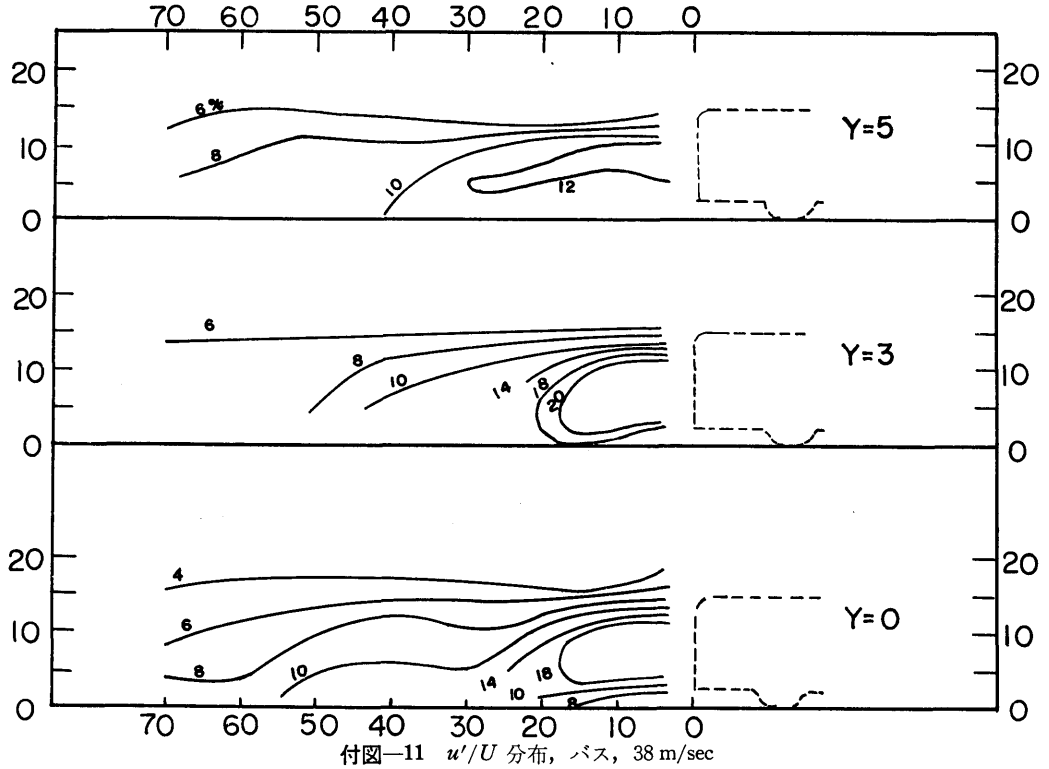




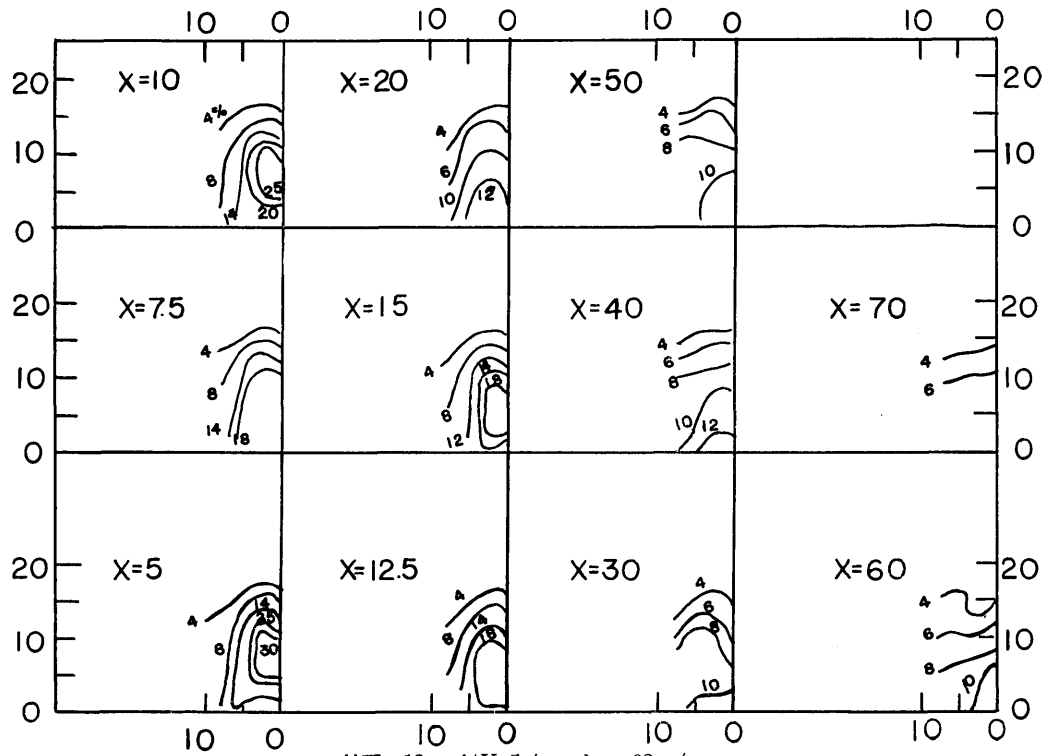
付図-9  $u'/U$  分布, バス, 23 m/sec



付図-10  $U$  分布, バス, 38 m/sec



付図-11  $u'/U$  分布, バス, 38 m/sec



付図-12  $u'/U$  分布, バス, 38 m/sec