

# 自動車排気ガスの道路周辺における 拡散現象の観測と考察

排気ガス拡散現象協同研究委員会 委員長 副島 海夫\*<sup>1</sup>  
喜多 孝彰\*<sup>2</sup> 飯沢美二雄\*<sup>2</sup> 葭原 和典\*<sup>2</sup> 安東 武夫\*<sup>2</sup>  
佐藤健一郎\*<sup>3</sup> 伊従 功\*<sup>3</sup> 野間口道義\*<sup>3</sup> 花島 政人\*<sup>4</sup>  
渡辺 健次\*<sup>4</sup> 田中 健一\*<sup>4</sup> 一色 尚次\*<sup>5</sup> 中田 正也\*<sup>6</sup>

## Survey on Atmospheric Diffusion Phenomena of Automotive Exhaust Gas in the Vicinity of the Road

By

Research Group on Automotive Exhaust Gas Diffusion Phenomena  
Chairman Umio Soejima

Takaaki Kita, Fujio Iizawa, Kazusuke Yoshiwara, Takeo Ando,  
Kenichiro Sato, Isao Iyori, Michiyoshi Nomaguchi, Masato Hanajima,  
Kenji Watanabe, Kenichi Tanaka, Naotsugu Isshiki, and Masaya Nakata

This paper describes the outline of field survey and its analysis for atmospheric diffusion phenomena of automotive exhaust in town area.

The contents of this report are field survey in town area about the CO concentration, weather data and the traffic circumstance, wind tunnel test on models of car, and smoke test on models of avenue. The results are summarised as follows.

1. The roadside CO concentration was estimated from traffic survey results by analysis of modified car traffic and a square pillar type CO source on the road. Results obtained from the turbulent jet theory or wind tunnel model tests, also showed adequacy of this assumption.
2. On the field survey of flat area, two different analysis was tried and obtained a tendency of atmospheric diffusion, although these data are not enough in order to determine the diffusion parameters.
3. On the field survey of town area, diffusion characteristics in the vicinity of a street was obtained, and qualitative data on influence of buildings were obtained by wind tunnel smoke tests.

\*<sup>1</sup> 交通安全部, \*<sup>2</sup> 交通公害部, \*<sup>3</sup> 原子力船部

\*<sup>4</sup> 共通工学部, \*<sup>5</sup> 機関開発2部, \*<sup>6</sup> 東海支所

## 1. 緒 言

自動車運行の急激な増大に伴ない、その排出ガスによる大気汚染が都市公害の主要な課題として取り上げられており、その防止対策としてエンジンの改造、排気ガス清浄装置の開発などが進められている。これに対し、排気ガスが車外に排出されてからどのような状態で拡散していくかについては、まだ明確に判明しておらず、このため、自動車による大気汚染状況が適確に把握することができず、有害ガス排出基準に対する検討も十分にできない実状にある。

自動車排気ガスの拡散現象については、“スモッグ現象”のような広域的な拡散と、道路周辺における局地的な拡散、いわゆる沿道汚染とに分けて考えられるが、この局地的な拡散現象を調査するため船舶技術研究所に「排気ガス拡散現象協同研究委員会」を設け、昭和41年度より43年度に亘り、道路周辺における観測および、これに関連するモデル実験を行なった。なお、道路周辺における観測では、自動車排気ガスの主要成分である一酸化炭素が自動車以外に発生源がないものと考えられたので、一酸化炭素をトレーサーとし、その濃度を測定することによって自動車排気ガスの拡散状態を、自動車の運行状態、街路環境および気象状態と関連させて実地観測した。

本報告は、これらの観測・実験の概要およびその解析結果を述べたものである。

## 2. 道路周辺における実地観測

### 2.1 観測モデル地区における実地測定

拡散観測物質としては、自動車から排出される一酸化炭素を対象とし、道路上の交通量が多く、またその発生源の強さの状態を明確に把握するための交通流の観測が可能なような観測モデル地区を、数ヶ所の予備

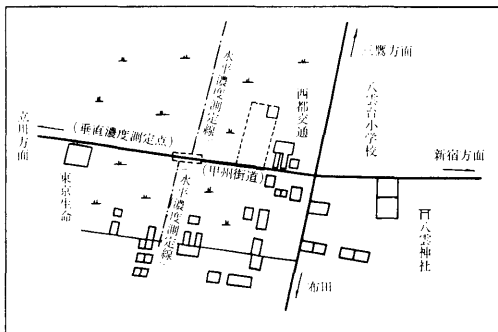


Fig. 1. 平坦地観測モデル地区

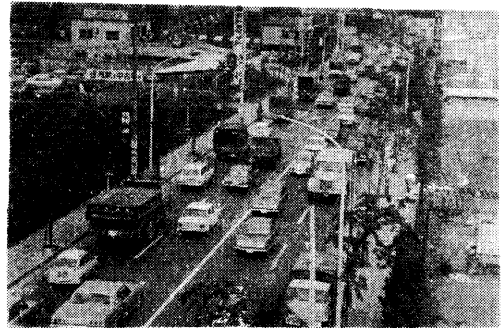


Fig. 2. 平坦地観測モデル地区

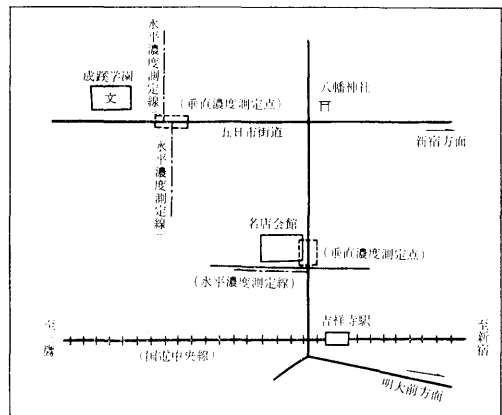


Fig. 3. 市街地観測モデル地区

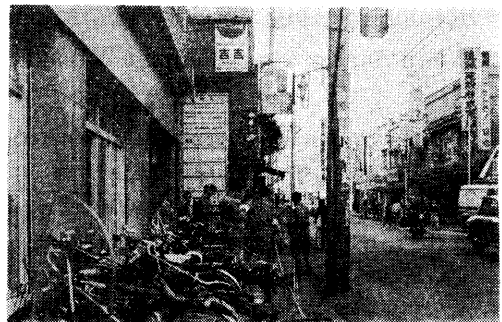


Fig. 4. 市街地観測モデル地区

観測の結果より定めた。

排気ガスの拡散状態は道路周辺の建物・地形などにより当然異った結果が示されるが、その解析を容易にするため単純な地形の平坦地の観測モデル地区として Fig.1, Fig.2, に示す調布市下布田交差点西側の甲州街道を選定し、また市街地における観測モデル地区として、その交通量および道路両側の建物の状況などの調査より、 Fig.3, Fig.4 に示す武蔵野市吉祥寺本町

の街路を選定した。

観測はそれぞれ数回にわたり行なわれたが、測定は主として道路に直角な風下方向の測定線上における一酸化炭素の水平濃度分布、および道路周辺における垂直方向の濃度分布を対象とし、これらの測定により得られたデータを交通流の観測データおよび気象データとあわせて解析することとした。

## 2.2 観測項目と観測方法

### 2.2.1 一酸化炭素濃度

トレーサとしての一酸化炭素の濃度測定のため、内容積約15lの塩化ビニールバッグ200個に指定番号を付して、観測地点で空気ポンプにより一定時間毎に試料空気を採取し、これを実験室に搬入して堀場L1A型低濃度一酸化炭素赤外分析計(標準0~200ppm, 加圧0~50ppm)で一酸化炭素の濃度を分析測定した。

観測において、一酸化炭素の濃度変化の詳細を調査するときには電動空気ポンプを用いて約5秒で試料空気をバッグに採取し、その他の場合は手動ポンプで5分間でバッグに採取した。

Fig.5 および Fig.6 は水平濃度分布および垂直濃度分布を測定するための試料空気採取の配置の1例を、また Fig.7 は水平濃度分布の測定状況、Fig.8は垂直濃度分布の測定状況を示したものである。なお、水平濃度分布の測定のための試料空気の採取高さは地

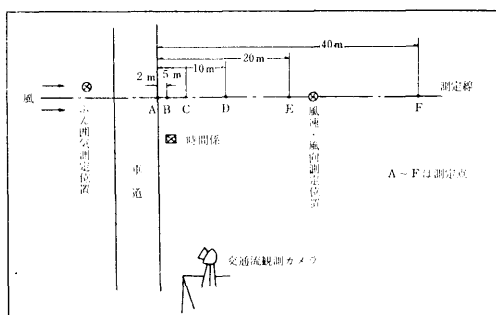


Fig. 5. 水平濃度分布測定配置図

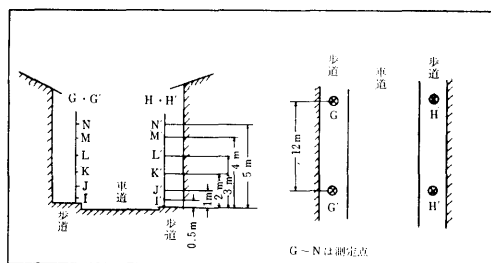


Fig. 6. 垂直濃度分布測定配置図



Fig. 7. 平坦地水平濃度分布の測定



Fig. 8. 市街地垂直濃度分布の測定

上1.5mを標準とし、また垂直濃度分布の測定は、各高度の試料空気採取用ビニールパイプを備えた測定棒を測定点に立て、それぞれの高さの試料空気を同時に採取した。

観測の対象となる道路上の自動車の排気ガスの影響を受けない場所の濃度すなわち、ふん囲気濃度を測定するための試料空気の採取は、道路の風上側の道路より十分はなれた地点で行なわれた。

### 2.2.2 交通流

観測モデル地区における一酸化炭素濃度の測定値と

観測地点を通過する自動車の交通流との関連を得るため、測定線を中心とした前後約100mの道路上を、近くの高層建築物の屋上から16ミリカメラで1秒毎のコマ撮り撮影を行ない、その交通状況(車種・走行状態・車頭間隔・走行速度など)を調査し、その撮影画面には、試料空気採取時の合図および番号を入れた。

このフィルムの解析より、各車の走行状態・車種・交通量・交通密度を集計算出し、観測路上における走行自動車の一酸化炭素排出量を算定するデータとした。

2.2.3 風速・風向・気温

自動車排気ガスの道路周辺における拡散においては、観測地区の気流の状態がもっとも主要な因子となるが、これを調査するため、平坦地においては測定線上の車道から20m~40mの位置で、また市街地においては道路周辺の各位置で、それぞれ地上1.5mの高さの風速および風向を観測した。風速はサーミスタ風速計(0~3m/sec, 0~10m/sec)を用い、風向は煙流し、または風向計を用い、測定は試料空気の採取の合図にあわせて5秒毎に行なった。なお、諸計算に用いた風速の値は、道路に直角な風速成分の算出値である。

気温は精密水銀温度計により、道路周辺の水平、垂直方向の温度分布状態を測定したが、測定値の変動を避けるため、直射日光を避けるよう配慮した。

2.3 測定結果および解析

2.3.1 交通流と道路端一酸化炭素濃度

道路端の一酸化炭素濃度の状態は交通流の状態とある程度対応して変動しているものと予想される。

自動車からの一酸化炭素の排出量は、その自動車の車種と走り方によって変わってくるが、走り方は車毎にすべて異なるので、これらを1つ1つ追ってみても費やす労力の割に得るところが少なく、解析法としての実用性が著しく低下してしまう。このため、測定区間内での車の走り方をいくつかの典型的なモデルに大別し、これらを集計して一酸化炭素排出量を求めること

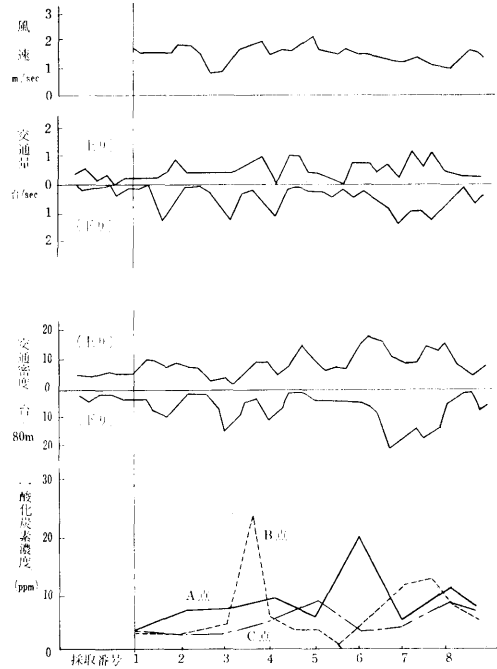


Fig. 9. 風速・交通状態・一酸化炭素濃度の観測結果とした。

(1) 走行状態のモデル化

平坦地モデル地区において得られた観測データの1例を示すと、Fig.9の如きものである。これらを解析整理するため、測定区間内での車の走り方をTable.1に示すような5つのモデルに大別し、1秒毎のコマ撮りフィルムをフィルムアナライザにかけて車の種類別に1台1台の走り方を判定分類した。

各走行モデルは一般に一連の運転条件(定速・加速・減速・アイドリング)から成り立っているので、まず車種別・運転条件別の排気量(1/sec.台)を示したのがTable.2で、これは各種自動車の実測値および理論式による算出値を勘案して得たものである。

Table 1. 走行モデル

	測定区間 (40m)		
	入口	中間点	出口
モデルー1	48km/h	→ (定速)	→ 48km/h
モデルー2	20km/h (等加速)	→ 30km/h (等加速)	→ 40km/h
モデルー3	40km/h (等減速)	→ 30km/h (等減速)	→ 20km/h
モデルー4	30km/h (等減速)	→ 20km/h (等加速)	→ 30km/h
モデルー5	20km/h (等減速)	→ 0km/h (等加速)	→ 20km/h (アイドリング)

Table.3は車種別・運転条件別の排気ガス中の一酸化炭素濃度(%体積)を示したもので、189台の自動車について運転条件別に計測し、これらを勘案して得たもので、大型車はすべてディーゼル車として類別した。Table.4はTable.2, Table.3より算出したもので、Table.5はTable.1~4より区間内の毎秒当り一酸化炭素排出量(cc/

Table. 2. 排気量  $l/sec \cdot 台$  (車種別・運転条件別)

条件 \ 車種	大 型	小 型	軽自動	二 輪
定 速	—	7	2.8	1
加 速	50	16	7	2.5
減 速	—	2.5	0.7	0.3
アイドリング	—	2.3	0.7	0.3

Table. 3. 排気ガス中の CO 濃度 (%体積), (車種別・運転条件別)

条件 \ 車種	大 型	小 型	軽自動	二 輪
定 速	—	2.5	2.5	2.5
加 速	0.05	3.5	4	4
減 速	—	4	4	4
アイドリング	—	6	6	6

Table. 4. CO 排出量  $l/sec 台$  (車種別・運転条件別)

条件 \ 車種	大 型	小 型	軽自動	二 輪
定 速	0	0.175	0.07	0.025
加 速	0.025	0.56	0.28	0.1
減 速	0	0.1	0.028	0.012
アイドリング	0	0.138	0.042	0.018

Table. 5. 区間内の毎秒当り CO 排出量  $cc/sec \cdot 台$ 

走行モデル \ 車種	大 型	小 型	軽自動	二 輪	
モ デ ルー 1	0	175	70	25	
モ デ ルー 2	12.5	560	280	100	
モ デ ルー 3	0	100	28	12	
モ デ ルー 4	12.5	330	154	56	
モ デ ルー 5	前半	0	100	28	12
	中間	0	138	42	18
	後半	25	560	280	100

sec. 台) を走行モデル別に算出したものである。これらの各 Table の数値の中にはさらに検討を要するものも含まれているが、現時点においては一応妥当なものと考えて算出根拠とした。Table. 5 で注意すべきことは「区間内の毎秒当り」という考え方

で、例えば走行モデル 4 に入ると判定された小型車は、この測定区間のどの点においても毎秒 330cc の一酸化炭素を排出していることになり、この意味で、Table. 5 は区間内での時間平均の仮定が入っていることである。

## (2) 道路端一酸化炭素濃度の時間的变化

道路上の自動車から排出された一酸化炭素の量と風下側道路端で計測された一酸化炭素濃度との相関を求めるため、次の仮定を設けて解析した。

- (i) 風上側・風下側の各車線上には、切口の横巾がその車線巾に等しく、たて巾がある実効高さ  $h_0$  で、測定区間の長さをもつ空気の角柱が横たわっているものとし、この角柱内の空気は走行自動車によりかく拌混合されて CO が瞬間完全混合され、角柱内の CO 濃度は一様である。
- (ii) 各車線内にある車は、車種別・走行モデル別に、Table. 5 で与えられた排出量 ( $cc/sec \cdot m$ ) をもって、その車線上の角柱内に CO を排出する。
- (iii) CO ふん囲気濃度 (道路の風上側の十分離れたところの濃度) の空気が、道路の風上側より測定風速  $u$  ( $m/sec$ ) をもって風上側車線上の空気角柱内に流入する。
- (iv) CO 濃度一様の風上側車線上の角柱の空気は、測定風速  $u$  ( $m/sec$ ) をもって風下側車線上の角柱内に流入する。
- (v) 道路端 CO 濃度は風下側車線上の空気角柱内の CO 濃度に等しい。

上記の仮想空気角柱内に入ってきて CO 源となる 1 台 1 台の車の挙動はフィルムアナライザによって解析され、1 から 5 までの走行モデルのいずれかに分類され、フィルムのコマを 1 つ進めるごとに Table. 5 によって CO 排出量を求めた。

また、風による流入量と流出量をも算出し、フィルムの各コマに対応する時刻の仮想空気角柱内の CO 濃度を計算した。これは、風上側道路端より風下方向への距離を  $x$  とし、風速  $u$ 、密度  $\rho$ 、源の強さ  $S(x, t)$  として

$$-u \frac{\partial \rho}{\partial x} + S(x, t) = \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

の型の方程式を差分方程式に直して解いていることに対応する。

Fig. 10 は上述の計算法によって求めた値を観測値と比較したものの 1 例で、図からわかるように、算出値は道路端の CO 濃度の経時変化をかなりよ

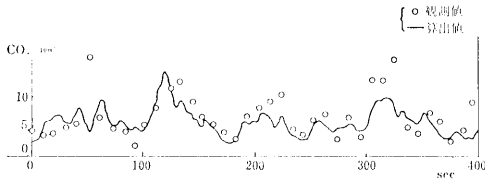


Fig. 10. 道路端一酸化炭素濃度の観測値と算出値

く再現していえるといえる。なお、Fig. 10 は  $h_0 = 2$  m として計算したものであるが、 $h_0 = 2$  m という値は、発煙筒を排気管出口に取付けた自動車を広場で走らせたときの観察、および自動車の後流中での排気ガスの拡散に関する風洞実験の結果<sup>(1)</sup>からも、その妥当性が認められた。

(3) 道路端 CO 濃度の時間平均

道路端 CO 濃度の時間平均は、前項で算出した道路端 CO 濃度の経時変化を時間について積分する方法によって得られるが、この方法では交通流の観測が繁雑であり、また計算量ばかり増して好ましくない。そこで、観測の行なわれた時間区間が十分長かったことを考慮して、平均の交通状態という考え方によって整理した。すなわち前項において述べた CO 濃度一様の空気の角柱を道路上に仮想し定常解を求めれば、それが道路端の CO 濃度の時間平均  $C_s$  を与えることになる。計算式は次のようになる。

$$C_s = C_a + \frac{S}{u h_0}$$

ここで、

$C_a$ ; ふん囲気濃度 (cc/m<sup>3</sup>)

$u$ ; 風速 (m/sec)

$h_0$ ; 道路上のかく拌混合層の高さ (m)

$S$ ; CO 源の強さ (cc/sec. m)

= 交通密度(台/m) × CO 排出量(cc/sec.台)

ただし、

交通密度(台/m) = 平均交通量 (台/sec) ÷ 測定区  
間内の平均の車速 (m/sec)

観測による、上り・下り両車線合計の交通量は、

第1回観測	4200 台/時
第2 " "	3100 " "
第3 " "	2950 " "
第4 " "	3043 " "

車種別交通量の百分率は、(各回を通じてほぼ一定)

(車種別)	大型	小型	軽自動	二輪
(百分率)	6%	76%	18%	事実上0%

Table. 1 に述べた走行モデル別の百分率は、片側車線が定速走行、反対車線は  $\frac{1}{2}$  が定速走行、残り  $\frac{1}{2}$  が加減速走行として、次のとおりとした。

(走行モデル)	1.	2.	3.	4.	5.
(百分率)	75	0	0	25	0

これらのデータと Table. 5 の CO 排出量 (cc/sec. 台) との組み合わせから、CO 源の強さ  $S$  (cc/sec. m) を求め、 $C_a = 1$  ppm, 仮想かく拌層の厚さ  $h_0$  は前記の場合と同じ 2 m として、これらの値を前の計算式に入れると、

$$C_s = 1 + \frac{8.5}{u}$$

が得られ、それを観測値とともに示したのが Fig. 11 である。

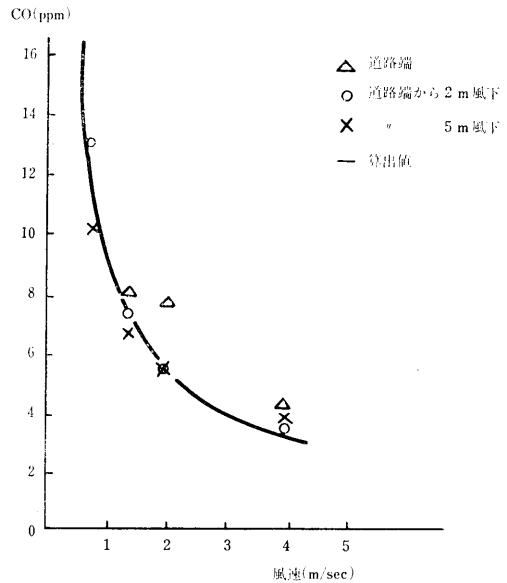


Fig. 11. 道路端CO濃度と風速の関係

2.3.2 平坦地における一酸化炭素水平濃度分布

平坦地における拡散観測では、測定データの整理および解析を容易にするため、次の諸条件において観測を行なった。

- (i) 測定区間は交差点の近辺ではあるが、交通の流れが比較的滑らかである。
  - (ii) 道路の両側に建物がなく、CO の混合拡散が平坦地で行なわれたとみなせる。
  - (iii) 無風状態ではなく、CO を含んだ空気が絶えず風下に移動していたとみなせる。また風向は道路にほぼ直角になっている。
- 上記の諸条件のもとで、道路上で自動車より排出さ

れ、かく拌混合された CO を含んだ空気は、道路端より風下側に大気拡散現象により拡散されると思われる。Fig. 12は風下側の道路直角方向の CO 濃度分布 (高さ 1.5m) の測定結果を示したものである。

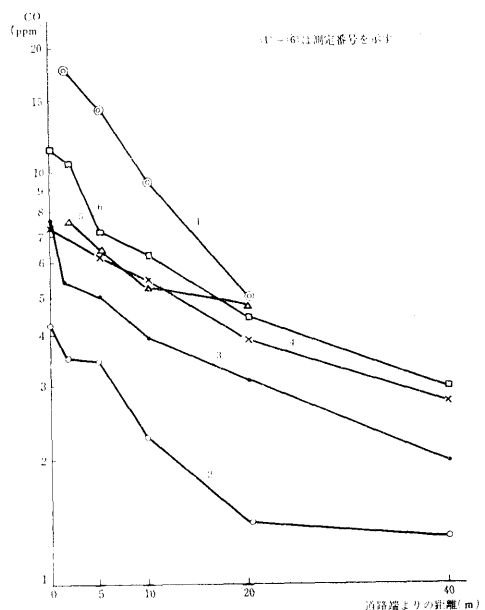


Fig. 12. 平坦地における水平方向 CO 濃度分布 (高さ 1.5m)

道路上における自動車によるかく拌混合現象から大気拡散の現象に移行するまでの過程を記述するための確立された理論はいまのところ見当らないので、解析の手始めとして、まず素朴でわかり易い解析法を試み、さらに乱流の統計理論と次元解析に基くデータの整理を試みた。以下、これらの2つの解析法と、それによる解析結果とについて述べる。

なお、大気拡散の理論については従来いろいろ報告されているが、この研究に際して試みた理論解析の一部についてはすでに報告した<sup>(2)(3)</sup>とおりである。

(1) CO 濃度分布の関数型を仮定して整理した結果、この方法はいわゆる英国気象庁方式に属する方法であるが、ただ CO 源の形状が点状源でなく、それに拡がり (線・面または立体) を持たせているものである。まず、道路端から風下に  $x$  軸をとり、 $x$  軸に垂直な面を単位時間内に通過する CO の全量は源の強さに等しく、 $x$  によらないから (連続の方程式を満たす)、次の型の式が得られる。

$$C(x, z) = Ca + \frac{S \cdot f\left(\frac{Z}{g(x)}\right)}{u \cdot g(x)}$$

ただし、 $f\left(\frac{Z}{g(x)}\right) = f(\xi)$  として、

$$\int_0^{\infty} f(\xi) d\xi = 1$$

ここで

$C(x, z)$ ; 道路端から風下  $x$  m の点の濃度 (cc/m<sup>3</sup>)

$Ca$ ; ふん囲気濃度 (cc/m<sup>3</sup>)

$S$ ; CO 源の強さ (cc/sec. m)

$u$ ; 平均風速 (m/sec)

$g(x)$ ; 鉛直上方への拡散の度合を示すパラメータで長さの次元 (m) をもち、煙の形を決定する

$Z$ ; 地表から測った高さ (m)

この方法の特徴は、気象の安定度 (風速, 日射, 雲量に対応する) の違いによって  $g(x)$  の関数型を変えるが、 $f$  の関数型を変えないことである。 $g$  と  $f$  の選び方をいろいろに変えた場合の  $C(x, z)$  の表式の例をあげると次のようである。

英国気象庁方式では

$$g(x) = \frac{h(x)}{\sqrt{\ln 10}} \quad (h(x) \text{ はグラフの形で与えられている。})$$

$$f(\xi) = \left(\frac{2}{\sqrt{x}}\right) \exp(-\xi^2)$$

と、とってある。いま、仮定の線状 CO 源が道路端から風上  $d$  m のところにあるとして座標を  $d$  m だけずらすと、 $C(x, z)$  は次式で与えられる。

$$C(x, z) = Ca + \frac{2 \sqrt{\ln 10} \cdot S}{\sqrt{\pi} \cdot u \cdot h \cdot (x+d)} \exp\left\{-\left(\frac{Z}{h(x+d)}\right)^2 \ln 10\right\}$$

しかしながら、英国気象庁の式は源から 100 m 以上遠の風下で適用するのがよいとされているので、この整理解析では、自動車のかく拌の影響等をも含める意味で  $h(x)$  を修正する必要があると考えられる。

また、煙の観察によると、煙はある高さから急に薄くなって見えるので、鉛直上方への濃度分布をステップ関数で近似しても、それほど事実を無視しているようには考えられない。さらに、煙の形の変化も風下へ向って比較的ゆるやかであるように観察されるから、 $g(x)$  としては英国気象庁の式と異なって指数関数を含まない簡単な関数を使っても第 1 次近似は得られると予想される。この近似による方法の 1 例として、次のようなものが考えられる。

$$g(x) = h_0 + (bx)^n$$

ただし、 $h_0$  は道路端のかく拌混合層の高さ、

$$f(\xi) = \begin{cases} 1. & (0 \leq \xi \leq 1) \\ 0. & (\xi > 1) \end{cases}$$

として、

$$C(x, z) = C_a + \frac{S \cdot f\left(\frac{z}{h_0 + (bx)^n}\right)}{u \cdot \{h_0 + (bx)^n\}}$$

この式で、 $x=0, z < h_0$  とすると、

$$C(0, z) = C_a + \frac{S}{u h_0} = C_s$$

よって、 $x=0, z < h_0$  のとき、さきに述べた道路端 CO 濃度を与えていることがわかる。Fig.13 は、

$n=0.7, b=0.234m^{-\frac{1}{n}-1}, h_0=2m$  として算出した値を観測値と比較したものである。図からわかるように、算出値と観測値の一致は概して良好である。

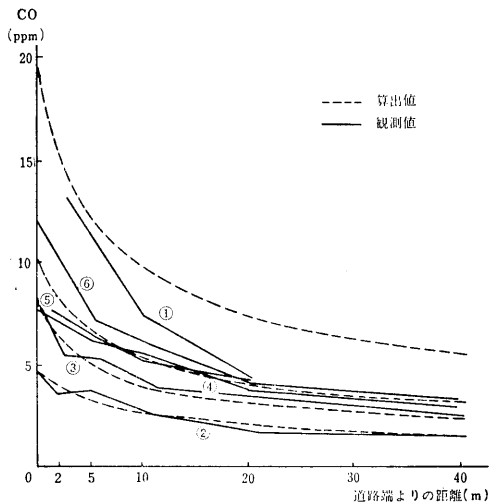


Fig. 13. 平坦地における水平方向 CO 濃度分布 (観測値と算出値)

図に示された①は風速 0.6m/sec の場合であり、この場合は例外的に一致がよくないが、これは観測値の精度が低いことによるものではなく、1つの簡単なモデルに基いた近似式を使って、0.6m/sec という低風速の場合も含めて整理しようとするに無理があると考えられる。なお、風速 0.6m/sec の場合には  $n=1.5$  とすればよいが、このときには風速の大きい方に不一致が現われる。

(2) 乱流拡散理論と相似則によって整理した結果

この方法では大気安定度の指標としての風速変動標準偏差  $U'$  を観測データから算出しておき、これ

を使って測定値を整理解析しようとするものである。

各回の測定は20秒ないし30秒おきに数10回行なっているため、各回ごとにこれを平均し、また拡散状態が風速および大気安定度に支配されるので、風速  $U$  および大気安定度の指標としての風速変動標準偏差  $U'$  を各回ごとに算出した。

乱流拡散において相似則が存在すると仮定すれば、拡散実験式として

$$C = \frac{1}{U} G\left(\frac{U'}{U} X\right)$$

をとることができる。ここに、 $C$  は濃度、 $X$  は風下側距離、 $G$  は定めるべきある関数である。ただし、発生源は各回とも同じとする。

風下距離  $X$  については、各回ごとに交通のパターンが変わらないとすると、道路上における CO 発生の状態は道路中心に対称ではなく片寄っていると思われる。従って道路の一方において得た観測値と、その反対側で得た観測値に対して、ともに  $X$  を道路端よりとることが不適当であるとし、この偏差を10mとして Fig.14 を得た。なお、第1回の観測においては風速変動を測定しなかったため、このときのデータは除外し、また、ふん囲気濃度に等しいデータも除外した。

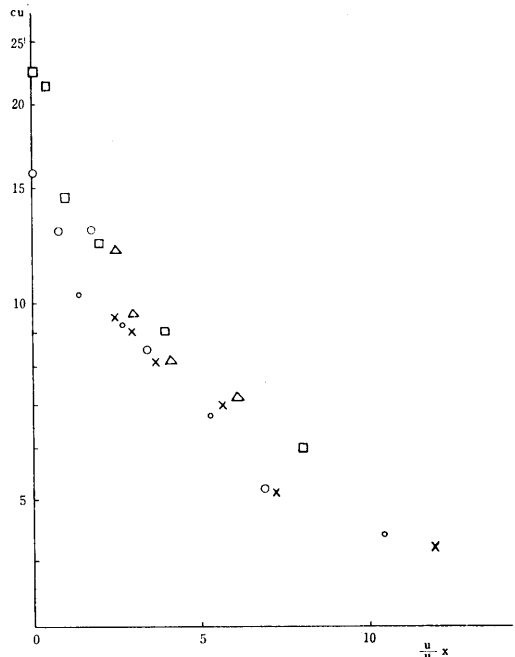


Fig. 14. 風速・濃度と距離の関係 (平坦地)



### 2.3.3 平坦地における一酸化炭素垂直濃度分布

観測モデル地区において、高さ5mの測定棒を測定点に立て、垂直濃度分布を測定した1例が Fig. 15 である。測定は道路に直角方向の測定線上の数点で順次行なわれ、これらの測定値は同時に測定した値ではないが定常状態であると仮定すると、これから風下方向の立体的な濃度分布が推定される。たとえば Fig. 16 のごとくである。

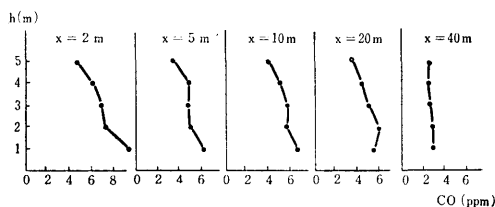


Fig. 15. 道路に直角方向の各点における CO 垂直濃度分布

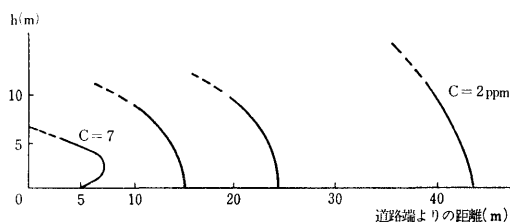


Fig. 16. 道路に直角な断面における CO 濃度分布推定

風速も一定であるとする、風下方向の各点で垂直な面をとるガスの量が比較できる。この各点でのガス濃度を垂直方向に積分し比較すると、

X (m)	5 m 積分値 (ppm · m)
2	36.7
5	25.8
40	13.6

すなわち、5mはなれると $\frac{2}{3}$ に、40mはなれると $\frac{1}{3}$ に減少しており、かなりの量が上方に拡散していることがわかる。交通量との関係については、測定時ほぼ3000~4000台/時の交通量で、信号のため停滞することもあったが、ほとんど全部同じ条件であったと考えられた。

### 2.3.4 市街地における一酸化炭素濃度分布

市街地における観測では、市街地全体が乱流境界層のなかに入り、建物の形状に従って複雑な風向風速の変動を生じるので、測定の条件をそろえることは困難である。従って、多くの観測結果からある程度定性的なことはわかるが、これらの数値をそのまま、あらゆる場所に当てはめることには問題がある。

観測モデル地区の五日市街道は道路の両側に約7mの高さの建物が並び、吉祥寺名店会館前は高さ15m以上のビルが立ちならんでいて、いずれも2車線道路であり、信号のため車が相当停滞し、交通量は毎回とも約1500台/時であった。測定は道路ぎわの垂直濃度分布および道路に直角な路地に沿う水平濃度分布について行なった。これらの結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 風の影響については、平坦地の場合と異なり市街地の上空に相当風がある場合でも、建物の間は非常に低い風速であった。このため、建物の間の道路上では濃度がそれほど低下しておらず、特に風向が道路に直角方向のときは、風上側の建物のかげで滞留現象が認められ、風下側より高濃度であった。

次にその数値的な1例をあげる。

建物間の風速、風上側、風下側	上空に風がないとき	0.3m/sec	12.4ppm	16.0ppm
上空に相当風があるとき	0.6	22.5	5.8	
地上も相当強風とき	1.1	14.8	5.5	

測定高さはいずれも1.5mである。

(2) 道路に直角な路地に沿う水平濃度分布の測定結果は Fig. 17 のとおりであった。この場合、道路の風上側の路地においては測定点の道路からの距離の如

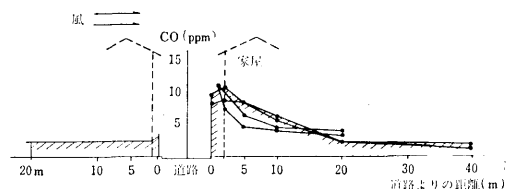


Fig. 17. 市街地の路地における水平方向 CO 濃度分布

何にかかわらずば、ふん囲気濃度の一定値として示されたが、風下側の路地においては測定点の濃度が道路からの距離に応じて次第に低下しており、その拡散状態は路地の配置等によっても相当の相違が認められた。

(3) 市街地道路端の垂直方向 CO の濃度分布については Fig. 18 のような結果が1例として得られている。測定場所および測定日時の異なる3回の測定結果である。これから一般的な結論をひきだすことは無理であるが、ひとつの試みとして最大濃度  $C_m$  としてそれぞれの場合の  $c/C_m$  計算してプロットすると Fig. 19 のようになり、大体の傾向が得られる。また最高濃度は高さ1~2mのところであり、それよ

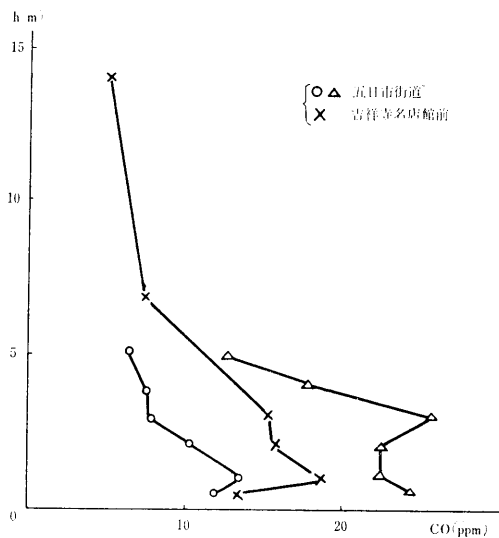


Fig. 18. 市街地道路端のCO垂直濃度分布

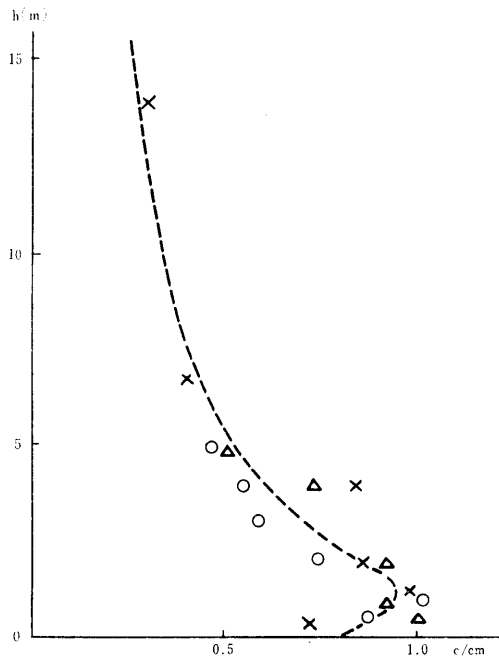


Fig. 19. 市街地道路端のCO垂直濃度分布の傾向

り低い所では、かえって減少している傾向が示された。

### 3. 街路模型による拡散の観察

#### 3.1 拡散観測煙風洞

自動車排気ガスの拡散状態は道路周辺の地形や建築

( 10 )

物などの複雑な形態に伴って様々に変化するが、これらについてそれぞれのモデル地区で種々の異なる気象条件下で観測を重ね、その結果をまとめることは極めて困難であるので、これらを2次的に簡略に求めるため、拡散観測煙風洞を用いることとした。

この研究に用いられた拡散観測煙風洞の構造および外観は Fig. 20, Fig. 21 に示すとおりのもので、観測部が  $400 \times 400 \times 4,700\text{mm}$  であり、その出口側には2馬力プロペラ排風機または80ワットプロペラ送風機を

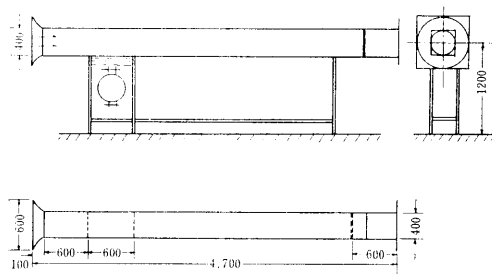


Fig. 20. 街路模型風洞

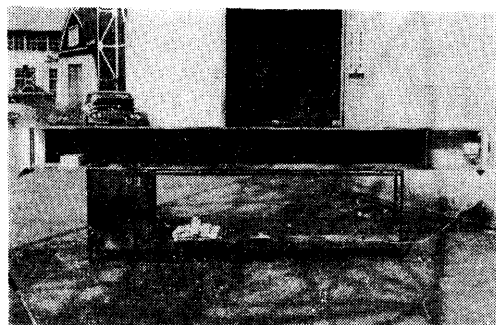


Fig. 21 拡散観測煙風洞

接続して取付け、風洞観測部の風速が  $0.5 \sim 2\text{m/sec}$  の範囲で設定できるようにし、観測部と送風機取付部の間には小孔ハネカム板を装備して、観測部の空気流れの整流をはかり、観測部のほぼ中央の上部に熱線風速計の検出部を装置して、観測部の風速が計測できるようにした。

風洞の道路相当部には煙発生箱よりの煙通路が備えられ、煙は発煙筒または赤燐の燃焼により送入された。煙箱よりの煙が風洞内に均一に送り出されるように煙箱内には煙抑え板が取付けられており、また煙箱と風洞との接続部にはハネカム板を2段に取付けて煙が整流されるようにした。

煙風洞の横側面は、一面全体が透明プラスチック板で組立てられているので、計測にあたっては、風洞

の正横方向の外部より煙の拡散状態を観測することができ、また写真の撮影ができるようにした。

### 3.2 観測の結果

拡散観測風洞において模型を使って実験研究をするときには、実地との相似性が最も重要な問題となるが、これらの相似性と風洞測定方式についての基礎的な調査をかねて、今回は一応次の条件において観測を行なった。

(イ) 風洞の風速分布および乱れ分布に対する必要以上の外乱を避けるため、風洞の送風形式は吸込式とし、送風機を風洞の出口側に接続した。

また、今回は乱流拡散状態を求めるための境界層制御器・乱流発生装置・乱流格子などを使用しない状態で観測を行なった。

(ロ) 道路幅・建物の寸法・道路からの距離などの幾何学的相似性については、道路端の煙の高さと測定風速を基準として考察した。

(ハ) 煙の排出条件については、煙発生装置が比較的単純な機構であり、煙発生量の制御も不十分であったので、煙の排出条件を一定な状態に設定させることが困難で、このため煙の排出条件に風洞風速を合わせるような結果となり、観測は主として 0.7~1.1 m/sec の風速範囲で行なわれた。

以上の条件下で行なわれた風洞観測で 268 枚の観測写真が撮影されて整理されたが、これらについて項目別に述べれば次のとおりであった。

(1) 道路周辺が平坦地の場合

道路の両側が平坦地の場合のモデル地区における観測結果と、煙風洞による観測とを比較照合するため、風洞の風速を 0.5~1.5m/sec として観測し、47枚の観測写真を得た。Fig. 22はその1例である。

Fig. 23は、風洞周壁の境界層厚さ  $\delta$ 、および 2.3.2 の式  $g(x)=h_0+(bx)^n$  による曲線  $g(x)$ 、および47枚の観測写真の観測部各位置における煙の高さを測定した平均値を結んだ折線  $N$  を図示したもので、風洞観測による結果と実地観測の結果とは傾向的にはほぼ合致するものと認められた。

(2) 道路周辺が平坦地で、風下側に街路樹がある場合  
街路樹による影響を調べるため、風洞の道路相当部の風下側に、木の枝先を街路樹の模型として約60 mm 間隔で取付けて観測した。Fig. 24 はその1例で、Fig. 25はこの場合の測定平均値を結んだ折線を図示したものである。また図の  $g(x)$  は前述のとおりのもを比較のために記入したものであり、傾向としては、煙の高さが平坦地の場合に比較して幾分

高く示されており、その拡散状態が街路樹の影響を受けているように認められた。

道路周辺が平坦地で風上側に街路樹のある場合についても、同じように観測が行なわれたが、傾向的には平坦地の場合と同様の結果が得られた。



Fig. 22 平坦地の煙観測

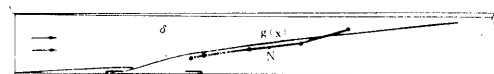


Fig. 23. 平坦地の観測線図



Fig. 24 風下に街路樹のある場合の煙観測



Fig. 25. 風下に街路樹のある場合の観測線図



Fig. 26 風下に建物のある場合の煙観測

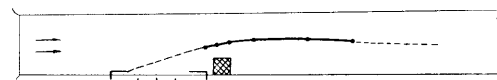


Fig. 27. 風下に建物のある場合の観測線図



Fig. 28 風上側の建物の巾が狭い場合の煙観測

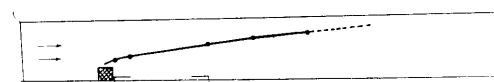


Fig. 29. 風上側の建物の巾が狭い場合の観測線図



Fig. 30 風上側の建物の巾が広い場合の煙観測

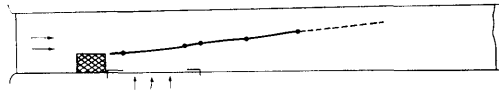


Fig. 31. 風上側の建物の巾が広い場合の観測線図



Fig. 32 両側に建物のある場合の煙観測

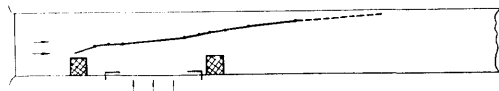


Fig. 33. 両側に建物のある場合の観測線図

### (3) 道路の風上側が平坦地で、風下側に建物のある場合

Fig. 26はこの場合の1例であり、Fig. 27は測定により得られた煙の高さの平均値を折線で結んだ状態を図示したものである。この場合は建物の後流で煙が巻き落されているのが観察でき、建物による down draft によって煙の上昇拡散が行なわれていないのが認められた。

なお、今回は2種類の寸法の方形建物の模型のみについて観察したが、建物の寸法・形態・風洞風速などが相違したときは、当然これらの拡散の状態も異なって示されるものと考えられる。

### (4) 道路の風下側が平坦地で、風上側に建物のある場合

Fig. 28 および Fig. 29 は風上側の建物が方形で道路と直角方向の幅が狭い場合、また Fig. 30 および Fig. 31は幅の広い場合の観測写真の例と測定平均値による折線を図示したもので、いずれの場合も建物の後流に煙が巻き込まれて拡散しているが、道路と直角方向の幅が狭い場合は、方形建物の屋上の風上側が拡散の基点となっており、この基点より拡散の状態は、建物の風上側の高さを  $h_0$  としたときの  $g(x)$  によく一致した測定結果が得られた。

また建物の道路と直角方向の幅が広い場合は、屋上の風下側が拡散の基点となっていることが認めら

れ、この基点よりの拡散の状態は建物による down draft の影響を受けることが示された。

### (5) 道路の両側に建物のある場合

Fig. 32 および Fig. 33 は、道路の両側にほぼ同じ寸法の方形の建物がある場合の観測写真の例と測定平均値による折線を図示したものである。図示のように拡散は風上側の建物の影響を受け、風下側はその拡散された煙に包まれた状態となって示された。

また観測によれば、道路両側の建物の間には高濃度の煙が滞留しているのが認められ、その滞留の状態は風洞の風速により異なって示された。

### (6) 建物が特殊な形態の場合

建物が円筒形などの特殊な形態の場合について多くの観測が行なわれたが、全般としてはその建物の形態の如何を問わず、建物の後流により拡散状態が影響されていることが認められ、特に道路の風上側の建物の形態を種々変えた場合については、その形態や寸法の相違により、煙の巻込みの状態や、巻込まれた煙の二次的な拡散状態に相当の相違があることが示された。

以上の観測については、その測定風速・乱れ条件・建物の形態・関係寸法・煙の排出条件などの各パラメータが変わった場合の道路周辺の拡散状態の相違についてはまだ十分な観測が行なわれていないが、これまでに得られた結果を要約すれば次のとおりである。

(イ) 道路の両側が平坦地の場合は、前記の「CO 濃度分布の関数型を仮定して整理した結果」にほぼ合致していることが認められた。

(ロ) 道路の風上側に建物のある場合は、その建物の形態の如何によらず、建物の道路に面する側が煙の巻込みの影響を受け、その建物の高さが基準となって拡散されるが、特に建物が方形で、道路と直角方向の幅が狭い場合は、その屋上も巻込みの影響を受けている。

(ハ) 道路の風下側の建物は、建物全体がほぼ一様に拡散ガスに包まれるが、特に風速の高い場合や建物の高さが高い場合については、別に観測することを要する。

## 4. 広場における観測

排気ガス中の一酸化炭素の排出量をあらかじめ測定しておいた自動車10台を、船舶技術研究所内の自動車旋回広場に整列させ、モデル地区における観測と同様に風下側の拡散状態を観測し、また発煙筒による煙の拡散状態および自動車の排気管開口部に発煙筒を取付

けて各種の条件下で走行させたときの煙の拡散状態を写真観測した。これらの観測状況は Fig. 34, Fig. 35 のとおりである。これらの観測より定量的な結論をみちびくことは無理であるが、自動車排出ガス拡散の基本的な状態については、定性的に観察することができた。

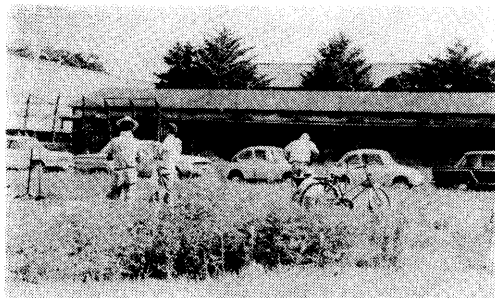


Fig. 34 広場における拡散観測

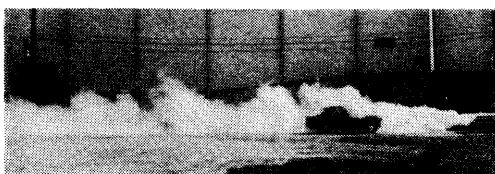


Fig. 35 走行自動車による煙観測

## 5. 結 語

以上の報告のとおり、2年計画のこの研究は自動車排気ガスの拡散における各段階、すなわち、排気管から出た排気ガスの挙動、道路上における線源の形成、交通流と道路端 CO 濃度との関連、道路端より風下方向への拡散、道路周辺の構造物の影響、市街地における拡散について一通りの研究を行なった。しかしこれらの何れの段階においても、その条件をできるだけ単純化して複雑な拡散問題の究明の第1段階に足を踏み入れたというところであり、これらの研究の成果から定量的な結論を引き出すには、まだ問題を今後に残している点が多い。しかし定性的にはかなり多くの事実を明らかにすることができた。

これらの研究の結果を列記すれば次のとおりである。

- (1) 自動車の交通流と道路端の CO 濃度との観測結果の解析において、自動車の走行状態をモデル化し、それぞれの走行状態における車種別の CO 排出量を算定して整理し、また道路上に角柱状の自動車によるかく拌混合層を仮定して得た解析結果より、交通流の観測結果から道路端の CO 濃度の経時変化を再現性よく求められることがわかった。
- (2) ジェット理論による解析とガス発生器による実験などから、排気管から出た自動車排気ガスは、風速 1 m/sec 程度の 대기乱流の中では浮力によってほぼ 2 m の高さまで上昇して通常の拡散に移ることが明らかにされ、また風洞による模型実験より、排気管から出た排気ガスの自動車の後流によるひろがりには、大体自動車の前方投影面積のオーダーであることが明らかとなって、これらにより道路端 CO 濃度の算定において仮定した高さ 2 m 程度の角柱状の排気ガスの源が道路上に発生しているという見方がうらづけられた。
- (3) 平坦地における観測により、水平方向の濃度分布については、関数型を仮定して整理した場合と、乱流拡散理論と相似則によって整理した場合の2つの解析を行なったが、いずれも実験式のパラメータを確定するまでには至らなかった。しかし、これらより拡散の大体の傾向を知ることができ、また垂直方向の濃度分布についてもその概略を知り得た。
- (4) 市街地における観測により、道路端のガス濃度は平坦地の場合より高く、道路の両側に建物のある場合は道路の風上側が風下側より高く、また風下側の路地入口も高濃度が示された。市街地の建物や樹木による拡散については、拡散観測煙風洞による煙流し写真観測により、その状況を定性的に把握することができた。

## 参 考 文 献

- (1) 渡辺健次, 沢井秀之; 排気ガスの 대기乱流拡散—Ⅲ, 船研報告 Vol. 6, No. 5 (昭和44年9月)
- (2) 渡辺健次, 沢井秀之; 排気ガスの 대기乱流拡散—I, 船研報告 Vol. 4, No. 6 (昭和42年11月)
- (3) 渡辺健次, 沢井秀之; 排気ガスの 대기乱流拡散—Ⅱ, 船研報告 Vol. 5, No. 3 (昭和43年5月)