

大気汚染の流体力学*

坂上 治郎**

1. 大気汚染問題の概観

大気汚染問題の対象は、人間、動植物に直接ふれて生じる傷害、特に人間の内臓器官や目、皮膚への傷害のほか、頭上を流れる放射性的のプルーム(注1)からの γ 線被曝とか、全体として視程を悪くするような、やや間接的な影響もある。なお可燃性ガス雲が広がって、何らかの火種のため大きい範囲に火災を起こすことも対象となる。

これらの汚染現象はまず源から出た汚染物質が大気中にはいり、つぎに全体としての流れに従って流れ(流動)、それに伴って拡散が起こり、またばいじんなどには沈降作用が加わる。このとき煙突のように比較的狭い範囲から出るもの、工場建屋の全体または一部からの漏煙のように広い範囲に出るもの、タンカーの事故により原油が海面に広がり、それから低沸点の可燃性ガスが蒸発するときのように面的の場合とかさまざまある。

以上のような現象を取扱う限り、大気汚染の問題は物理学の一部門の流体力学、気象学の分野の問題である。しかし、大気は本質的に不均質で場所によって状態が異なり、非等方で方向によっても異なり、また非定常であって時間的に一定でないので、問題をいっそう複雑にする。したがって理論的に取扱うために軽々しく単純化することには十分な注意を必要とする。

2. 放出時の状態

汚染物質の温度が周囲の空気の温度より高いと、密度の差のため上昇する傾向がある。これは上昇しつつ温度がくだりある高さで上昇がやむと考えられる。この高さが温度上昇高である。空気密度の小さいメタンのようなLNGの液が蒸発する場合、元来低温(-163°C)の液が蒸発により液に接触する空気の温度を下げ、風のあるところでは、風下地点の鉛直濃度分布は

$\exp(-az)$ の形で、底面がいちばん高濃度を示す⁽¹⁾。一方放出される汚染質が粒子状であれば当然落下速度があり、終末落下速度 V_0 cm/s は粒子を球状としてストークスの式

$$V_0 = mg / (6\pi\eta r) = 2\rho_m g r^2 / (9\eta) \dots\dots\dots (1)$$

m : 粒子の質量, r : 半径, $\eta = 1.81 \times 10^{-4}$ g/cms : 空気の粘性係数, ρ_m : 物質の密度, g : 重力加速度で計算できる。また粒子は慣性があるので、静止した粒子に急に風速 U m/s の風が吹いたとき、粒子の速度 U' は

$$U'/U = 1 - \exp(-t/T_e) \dots\dots\dots (2)$$

となり、 U' はある時間の後に近似的に U となることになり、 T_e は時定数とみなせる。 $\rho_m = 3.0$ としたとき、 V_0 , T_e と r との関係を表1に示す。これによると、2~3 μ 以下の粒子は V_0 も T_e も小さく、気体と同じ行動すると考えられ、30 μ ぐらいまでの粒子は T_e が 0.04 s 以下で風の変動とともに行動するが、全体としての落下速度があると考えられる。

それ以上の大きい粒子は落下速度が大きく、その広がり問題となるくらいの風下に到達する以前に落下してしまう。また空気の密度 ρ_a と異なる密度 ρ の気体の場合も、大気中では風があるので直ちにめだつた上昇、下降をしない。 $\rho/\rho_a = 2$ のときであっても、その濃度が10%のとき混合気体の密度 ρ_{min} は1.1であり、濃度が1% (10 000 ppm) のときは1%変わるだけにすぎない。したがって源のきわめて近い場所以外は $\rho_{min} \doteq \rho_a$ と考えてさしつかえない。

ある温度と噴出速度をもつプルームの上昇限度 Δh_{max} を与える式はいろいろあるがわれわれのグループ(注2)がレーザーダで煙の上昇高の実測結果を整理したところ、次に示す Moses-Carson⁽²⁾ の式がいちばん偏差が少ないということになった。

$$\Delta h = (C_1 w_1 D_1 + C_2 Q^{1/2}) / u \dots\dots\dots (3)$$

表1 粒子半径と時定数および落下速度の関係 (物質の密度=3.0, ただし表中 $3.7^{-5} = 3.7 \times 10^{-5}$)

r μ	1	2	5	10	20	50	100
T_e s	3.7^{-5}	1.5^{-4}	9.2^{-4}	3.7^{-3}	1.5^{-2}	9.2^{-2}	3.7^{-1}
V_0 cm/s	3.6^{-2}	1.43^{-1}	9.0^{-1}	3.9	1.43^1	9.0^1	3.6^2

* 原稿受付 昭和48年6月12日。

** お茶の水女子大学(東京都文京区大塚 2-1-1)。

(注1) 煙、ガスその他の汚染物質が流れて行くとき、その汚染物質全体を(適当な訳語がないので)プルーム(plume)という。

(注2) Air Pollution Monitoring System (APMS) 拡散研究グループ。

気層安定度	不安定	中立	安定
C_1	3.5	0.4	-1.0
C_2	0.33	0.171	0.145

(w_1 : 噴出速度 m/s, D : 煙突直径 m, Q_H : 排出熱量 cal/s), 気層安定度については後にくわしく言及する。しかし実測値の精度も数も十分でないため、まだ決定的な結論が得られていない。

3. 流 動

プルームの行動の大勢はその主流によって決定される。しかし地形によって流線の形は変化し、たとえば図1のように丘の上の流線は、頂上付近では密となり、風速が大となる。丘の頂上 A ($\overline{OA} = H_0$) に高さ $\overline{AB} (= H_1)$ の煙突をたてると、煙突の出口の海拔は $H_0 + H_1$ となるが、そのプルームは B を通る流線に従い、風下でははるかに低くなってしまふ。しかし十分高い煙突 $\overline{AC} (= H_2)$ をたてると C を通る流線は丘によってあまり変化を受けないので、プルームは風下でも $H_0 + H_2$ の高さで流れる。この C 点の高さは丘の形などできまるし、丘が二次元的、すなわち山脈のように紙面に垂直の方向には同じ形の場合とはともかく、孤立した形の三次元的な丘では、丘の傾斜が小さいときは今井の方法⁽³⁾で数値計算で解が得られる場合もあるが、下流に死水領域ができ、逆流が起こるようになると全く手がつかない(図2)。この死水領域は建物の高さが高く、また風に垂直の方向に長

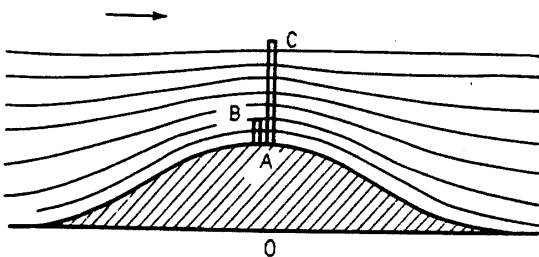


図1 地形による流線の変形

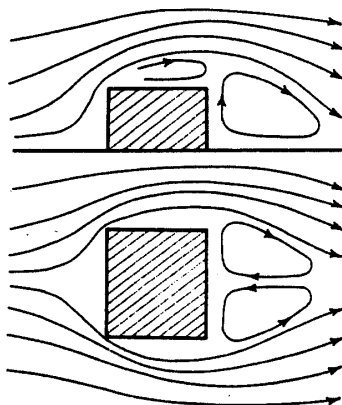


図2 建物の風下の死水領域

いと、その高さの7~10倍くらいまで風下に到達する。この死水領域はさらにその風上側にある建物の影響を受ける。図3(a)は半だ円柱の後の逆流の存在をタンポポ風向計で示したものである。(b)は同一の柱体をもう一つ風上に密接しておいたときで、逆流の状態はあまり変わらないが、しかし(c)のようにその柱体を長軸だけ離して風上におくと、逆流がきわめて弱くなる。このような現象は理論的には取扱うことができないで、風洞実験にたよらざるを得ない。

4. 大気拡散

プルームは流動しつつ、すべての方向にひろがる。これが拡散である。室内の空気中や、水中における拡散のような分子運動によるものとは異なり、大気中の拡散は大気中に存在する大小さまざまなうずであるため、その程度がきわめて大きく、拡散係数が 10^6 倍くらいの場合が多い。したがって大気中の拡散はうず拡散または乱流拡散という。

大気汚染の問題ではどの地点のどの時刻にはいくらの濃度であるかを具体的に知る必要がある。拡散はよく知られている熱伝導と同様な機構でおこなわれると考えられる。すなわち単位面積を通して物質が通過する量(物質の束—フラックス—という)は濃度のこう配に比例すると考えられるので単位体積あたりの物質の量[すなわち濃度 C unit/ m^3](注3)の時間的増加は、

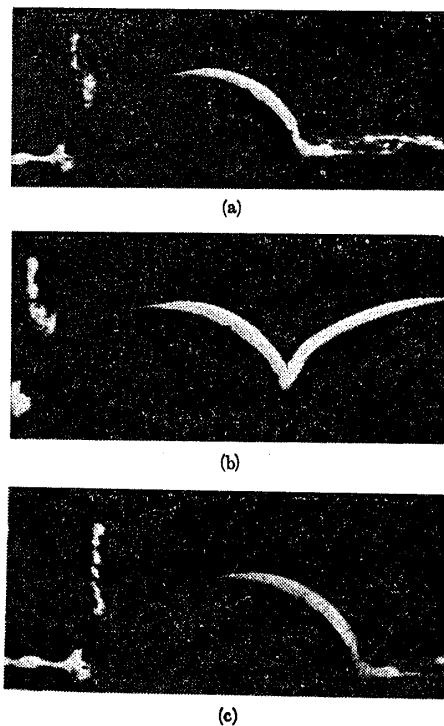


図3 半だ円柱の後流へ及ぼす前方の柱体の影響

(注3) unit とは、たとえば kg, Nm³, Ciなどを意味する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial C}{\partial x} \right) \dots\dots\dots(4)$$

の形の式に従う。これは熱伝導の式と同じ形であって、その解もよく知られている。この場合 K が拡散係数 m^2/s である。 K は一般には非等方であり、各方向によって異なり、また一般には場所、むしろ出た物質が流れていた時間（経過時間）の関数であることが、大気汚染の特徴である。したがって次の形の微分方程式となる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \dots\dots\dots(5)$$

(t : 時間, K_x, K_y, K_z : x, y, z 方向の拡散係数, x : 風下方向, z : 鉛直上方)。

この式の持続点源の解の一つとしては有名な Sutton の式⁽⁴⁾がある。

$$C = \frac{q}{u} \frac{\exp(-y^2/A_1)}{\sqrt{A_1\pi}} \times \frac{\exp\left(-\frac{(h+z)^2}{B_1}\right) + \exp\left(-\frac{(h-z)^2}{B_1}\right)}{\sqrt{B_1\pi}} \left. \begin{array}{l} A_1 = C_y^2 x^{2-n}, B_1 = C_z^2 x^{2-n} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

である。ここで q unit/s は単位時間の放出量で、 u は源のところの風速 m/s, 座標原点は源の直下の地表面の点, h は源の高さ m, C_y, C_z, n は Sutton の定数である。この式は

$$\left. \begin{array}{l} K_x = K_y = \{(2-n)u/4\} C_y^2 x^{1-n} \\ K_z = \{(2-n)u/4\} C_z^2 x^{1-n} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

としたことになる。

またこの拡散係数は空間座標、特に z について一定としている。気象の問題の研究では風速分布が運動量の拡散によるとして求めるとき、 K_z は z に比例するとしており、またそのような測定結果もあり、一方野外や風洞内の拡散実験のデータでも、 z に比例するとしたほうがより妥当であることも示している。そのため筆者は K_z が z に比例するとし、また経過距離（または時間）の関数として次の形を仮定した。

$$\left. \begin{array}{l} K_x = K_y = \frac{q_A \varphi_A}{4} u (1 - e^{-\varphi_A x}) \\ K_z = q_B \varphi_B u (1 - e^{-\varphi_B x}) \end{array} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

この式の瞬時点源の解は

$$C = \frac{N}{A\pi} e^{-\{(x-u t)^2 + y^2\}/A} \frac{1}{B} e^{-(h+z)/B} J_0 \left(i \frac{2\sqrt{hz}}{B} \right) \left. \begin{array}{l} A = 3.03 \times q_A \{\varphi_A x + \exp(-\varphi_A x) - 1\} \\ B = q_B \{\varphi_B x + \exp(-\varphi_B x) - 1\} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

である。(N : 瞬時に放出された量 unit, J_0 : 0 次の

第1種 Bessel 関数, i : 虚数単位, $q_A, q_B, \varphi_A, \varphi_B$: 拡散パラメータ)。ここで $1/\varphi_A, 1/\varphi_B$ はこの拡散を起こしている大気中の大きさまぎまのうずのうち、その拡散の規模で最も有効な大きさの水平と鉛直方向のうずの直径を表わして、 q_A, q_B はそのうずのもつ拡散能力を表わしている。この式は一見複雑であるが、 h か z の一方が 0, すなわち地上源とか、地上濃度を問題にすると残りの一方を r と書けば $\exp\{- (h+z)/B\} \times J_0(i2\sqrt{hz}/B)$ は $e^{-r/B}$ となり、両方 0 ならば 1 となってしまう。

ジェット機⁽⁵⁾、自動車など動きつつ排気する場合は瞬時点源であって、上式を線状にならべた形の積分で求められる。このとき N は unit/m となる。貯蔵タンクが爆発して相当広い空間に瞬時に汚染物質が出たときは、その空間全体にわたって上の式を積分する。このとき N は unit/m³ となる。

つぎに煙突からの煙のように持続的に放出されるときは

$$C = \frac{N}{u} \frac{\exp\left\{-\frac{y^2}{A} - \frac{h+z}{B}\right\}}{\sqrt{A\pi B}} J_0 \left(i \frac{2\sqrt{hz}}{B} \right) \dots\dots\dots(10)$$

となる。持続源のとき N は unit/s で通常 q と書く。

これを線状にならべて積分すれば線源について、また面状にならべれば海面に広がった原油からの可燃性ガス⁽⁶⁾や小工場群からの排煙の濃度が得られる。

地上の持続源の場合は $h=0$ として

$$C \propto \frac{q}{u} \frac{\exp\left(-\frac{z}{B}\right)}{B} \dots\dots\dots(11)$$

となる。大気中の拡散実験で鉛直濃度分布の測定は困難で、よいデータは少ないが、 K_z を一定とするか z に比例するかを吟味すれば、後者のほうが妥当であることを示した⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

5. 気象諸量と拡散パラメータ

濃度は式の形による他、その中に含まれるパラメータによっておおいに影響を受け、そのパラメータは気象学的の量によって異なる。まず拡散係数が風速に比例することは実験的に証明されている。つぎに拡散パラメータは主として安定度によって支配される。風が弱く下層の気温が上層より低いときは気層が安定して乱れが少ない。この状態を気温が逆転 (inversion) しているという。これに反し下層のほうの気温が高いと上層より下層の空気の密度が小さいので、何らかの原因があると気層の転倒が起こり乱れが大きくなる。この状態を通減 (lapse) しているという。大気中では

1°C/100 m の通減率と比較して安定，不安定を区別する。この安定度を指定する量として，昔から Richardson 数 $R_i = g/T \times [(\partial T)/(\partial z) + \gamma]/(\partial u/\partial z)^2$ が用いられ，その単純化された量，たとえば安定度比 $(T_{z_3} - T_{z_1})/u_{z_2}$ ($z_1 < z_2, z_3$) も用いられるが，最近では Monin の提言した安定度長 $L = -u_*^2 C_p \rho_a T_m / (\kappa g H)$ (u_* : 摩擦速度, κ : Kármán 定数=0.4, T_m : 平均温度, q : 熱の鉛直方向のフラックス, C_p : 空気の定圧比熱) が用いられてきている⁽⁹⁾。もし運動量と熱の拡散係数が等しければ， z/L は R_i に等しくなる。しかし一般にこれらの量は z の関数であり，拡散の行なわれている層全体の代表の量とはいえない。筆者はこれに対して，層全体を近似的に代表する量として，

表 2 拡散パラメータ

ζ	h	φ_A	$\sqrt{q_A}$	φ_B	q_B
0.4	0.5	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.20 (-2)	3.50 (-1)
	10	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.60 (-2)	2.93 (-1)
	20	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.71 (-2)	2.86 (-1)
	30	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.77 (-2)	2.83 (-1)
	50	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.80 (-2)	2.78 (-1)
	70	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.81 (-2)	2.75 (-1)
	100	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.82 (-2)	2.70 (-1)
	150	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.83 (-2)	2.69 (-1)
	200	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.84 (-2)	2.67 (-1)
300	4.78 (-2)	1.29 (1)	4.84 (-2)	2.64 (-1)	
0	0.5	1.48 (-2)	4.72 (1)	1.10 (-2)	5.30
	10	1.09 (-2)	6.60 (1)	2.46 (-2)	1.02
	20	1.01 (-2)	7.18 (1)	3.00 (-2)	7.00 (-1)
	30	9.7 (-3)	7.50 (1)	3.29 (-2)	5.65 (-1)
	50	9.2 (-3)	7.95 (1)	3.79 (-2)	4.41 (-1)
	70	8.9 (-3)	8.20 (1)	4.02 (-2)	3.80 (-1)
	100	8.6 (-3)	8.60 (1)	4.27 (-2)	3.39 (-1)
	150	8.3 (-3)	8.91 (1)	4.40 (-2)	3.08 (-1)
	200	8.0 (-3)	9.21 (1)	4.63 (-2)	2.93 (-1)
300	7.7 (-3)	9.80 (1)	4.75 (-2)	2.78 (-1)	
-0.1	0.5	4.50 (-3)	2.30 (2)	4.25 (-3)	3.48 (1)
	10	2.12 (-3)	4.82 (2)	1.48 (-2)	2.87
	20	1.80 (-3)	5.70 (2)	1.98 (-2)	1.61
	30	1.61 (-3)	6.33 (2)	2.34 (-2)	1.14
	50	1.40 (-3)	7.20 (2)	2.87 (-2)	7.55 (-1)
	70	1.29 (-3)	7.80 (2)	3.30 (-2)	5.78 (-1)
	100	1.17 (-3)	8.65 (2)	3.70 (-2)	4.59 (-1)
	150	1.06 (-3)	9.30 (2)	4.20 (-2)	3.57 (-1)
	200	9.8 (-4)	1.03 (3)	4.44 (-2)	3.18 (-1)
300	8.8 (-4)	1.11 (3)	4.78 (-2)	2.79 (-1)	
-0.2	0.5	1.12 (-3)	8.40 (2)	1.30 (-3)	3.73 (2)
	10	2.52 (-4)	3.75 (3)	7.20 (-3)	1.18 (1)
	20	1.78 (-4)	5.25 (3)	1.10 (-2)	5.19
	30	1.44 (-4)	6.48 (3)	1.40 (-2)	3.21
	50	1.11 (-4)	8.40 (3)	1.93 (-2)	1.69
	70	9.50 (-5)	1.00 (4)	2.38 (-2)	1.11
	100	7.90 (-5)	1.19 (4)	2.95 (-2)	7.22 (-1)
	150	6.50 (-5)	1.48 (4)	3.74 (-2)	4.50 (-1)
	200	5.60 (-5)	1.68 (4)	4.28 (-2)	3.41 (-1)
300	4.54 (-5)	2.07 (4)	4.78 (-2)	2.94 (-1)	

[表中，たとえば (-3) とあるのは $\times 10^{-3}$ を意味する]

$$\zeta = \frac{\partial T}{\partial \log_{10} z} \left/ \left(\frac{u_*}{\kappa} \log_{10} z_0 \right)^2 \right. = \frac{\partial T}{\partial \log_{10} z} \left/ (u_{z=1})^2 \right. \dots \dots \dots (12)$$

を用いた。この量で拡散実験データを整理すると，拡散パラメータがまとまってあらわすことができた⁽⁸⁾。またこのパラメータは源の高さによっても異なるが，従来の種々の野外実験のデータから経験的に表 2 の値を得ている。元来拡散実験のデータ，特に鉛直濃度分布のデータが少ないので，今後の測定データが集まるにつれ，この表の値はさらに妥当なものとなるべきものである。これらの値を用いて計算した持続点源の地上濃度の結果を図 4 に示す。

6. 沈 降

細かい粒子のばいじんが拡散しながら落下する場合の濃度や，地表に沈積する量も，落下現象を加えた拡散の微分方程式から求めることができる。単位面積 m^2 に単位時間 s に沈積する量， M unit/ $m^2 s$ は浮遊ばいじんの地表濃度 $C_{z=0}$ unit/ m^3 と落下速度 V_g m/s との間に

$$M = V_g C_{z=0} \dots \dots \dots (13)$$

の関係があり，その結果の例を図 5 に示す⁽¹⁰⁾。この図中パラメータ p は

$$p = \frac{V_g}{q_B \rho_B u (1 - e^{-\varphi_B x})} \dots \dots \dots (14)$$

であって， $\zeta=0$, $h=100$ m, $\rho=3$, $r=100 \mu$, $u=2.5$ m/s の場合は $x \geq 100$ m のときは

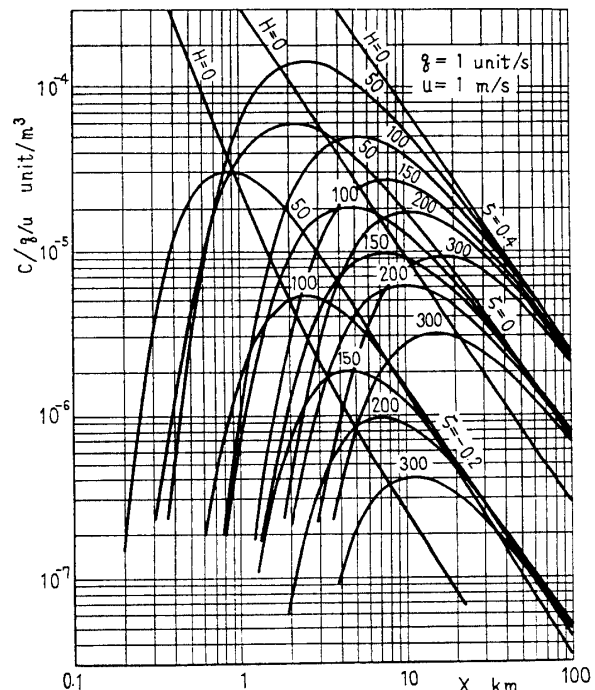


図 4 地上濃度と風下距離 X, 源の高さ H と安定度 ζ との関係 (ただし $v=0$)

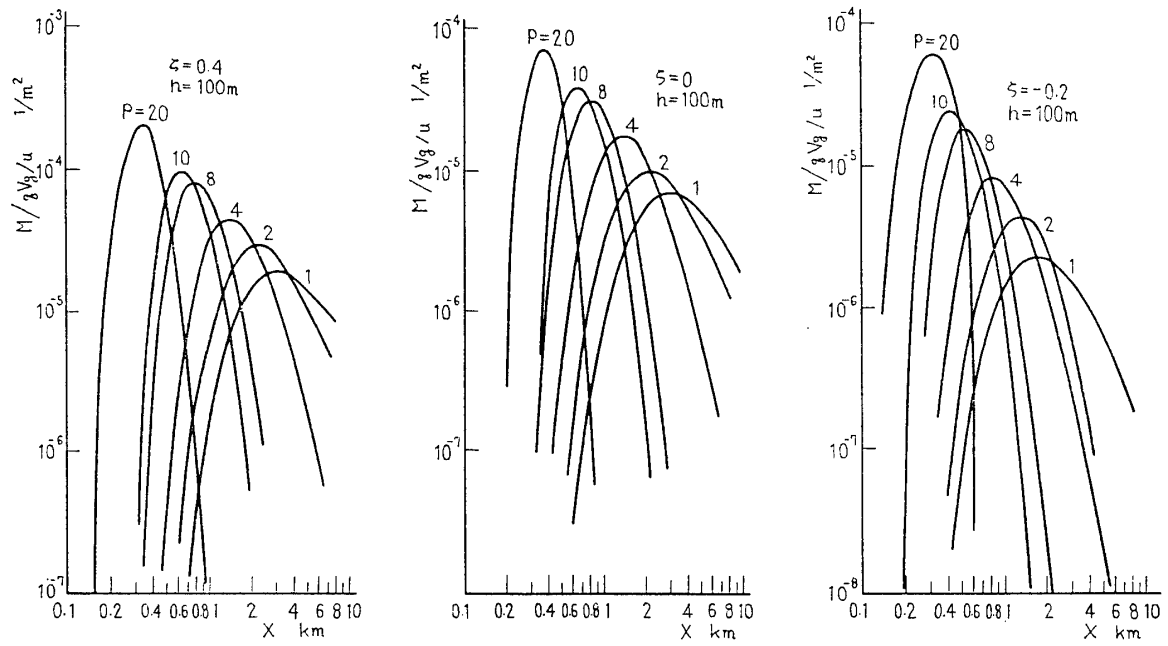


図 5 沈降水量と安定度 s , 風下距離 X と p との関係

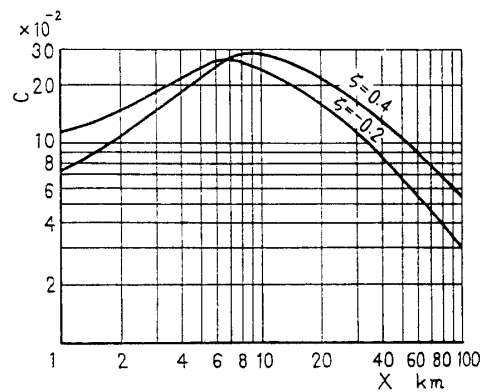


図 6 面源からの風下地上濃度 C と風下距離 X と安定度 s の関係

$$p = \frac{3.6}{4.27 \times 10^{-2} \times 3.39 \times 10^{-1} \times 2.5(1 - e^{-34})} \doteq 100$$

となる。

7. 面 源

地上 h m の高さにある長方形 ($-L_1, L_2$) ($-Y_1, Y_2$) の持続面源は工場地域全体からの汚染濃度の近似として用いられる。これも単一点源を多数重ね合せて求められ、 $L_1=L_2=4$ km, $Y_1=Y_2 \doteq \infty$, $h=100$ m として中央風下の濃度を計算した結果を図 6 に示す⁽¹¹⁾。

8. 野 外 実 験

大気中ではどんな現象が起こるものであるかということは、当然大気中で実験し観測してその結果から知り得るものである。最近では源の高さが 150~200 m と高くなり、排出量もきわめて大となってきたので、汚染範囲も 10~20 km となってきた。したがって汚染

物質の濃度を測定する地点も数多く必要となり、また気象学的な量を測定するにしても、地上数 100 m までの範囲を考えなくてはならない。そのため多大の経費と労力が必要となる。

拡散は三次元に行なわれるので、測定も三次元的にしなければならない。しかし現在は 200 m の高煙突もあり、濃度を三次元的に求めることはきわめて困難になってきた。したがってほとんどの場合地上濃度の分布の測定だけに終わり、最もたいせつな鉛直方向の濃度分布の測定がどうしてもおろそかになり、なかなかよい結果が得られない。何しろある高さの源からの汚染物質が地上に届くのは鉛直方向の拡散であり、この濃度分布が十分に測られていないことは大きい欠点である。

9. 試料採取時間

大気中の風の非定常性、特に風向の非定常性のため、試料採取時間の間に風向の移動(変動ではない)する 경우가多く、そのため地上に固定された測定点に対する濃度分布は影響を受け、濃度の検知される地点数は増すが、各点の濃度は低くなる。

この影響はまず採取時間が大きいほど大きくなる可能性が多いが、当然そのときの場の性質によって異なり、安定度によって変わる。現在理論屋はただ単に採取時間のみの関数とし⁽¹²⁾、また単に修正係数 0.15 とかをかけるように考えたりするが、もっと実際のデータと厳密な考察が必要である。

10. 風洞実験

大気現象のシミュレーションの方法として風洞実験が考えられる。大気汚染関係の問題としては、地形や構造物による流線の特異な形と、拡散による濃度分布形が調べられる。ここでまず大気中の現象が果たして風洞の中の現象として行なわれているかどうかの吟味が必要であるが、これが一般には必ずしも行なわれていない。流線の調査の場合でも乱流か層流かによって異なるし、特に拡散は境界層内の場合でも、層流境界層か乱流境界層かで全然ようすが変わり、実験によっても層流境界層内では地上源からの鉛直濃度分布は $\exp(-z^2/B_1)$ の形をとり、乱流境界層内では $\exp(-z/B)$ の形であり、全然形が異なる。また乱流の場合でも、乱流発生装置が異なるにつれ、乱れの大きさのみならず、その高さの方向の分布状態が変わる。一方乱れの分布が相当異なった場合でも、平均速度分布は識別できるほどの差を示さない。従来風洞気流の特性は平均速度分布で表わされるものとして、それのみにたよっているため、異なった風洞で、同一条件と考えていた状態での拡散の結果が大きく異なって問題となることがある。筆者のところではある縮尺の模型について拡散実験をするときは、まず平板の地上源についての拡散実験を行ない、縮尺に応じてその結果を原型(野外的場合)に換算し、野外実験の結果と比較して、風洞でそのとき作られた乱れの状態は大気のどんな安定状態に相当するかということを決めている⁽¹³⁾。

11. 成層風洞実験

従来のほとんどすべての風洞実験では、風洞内の気

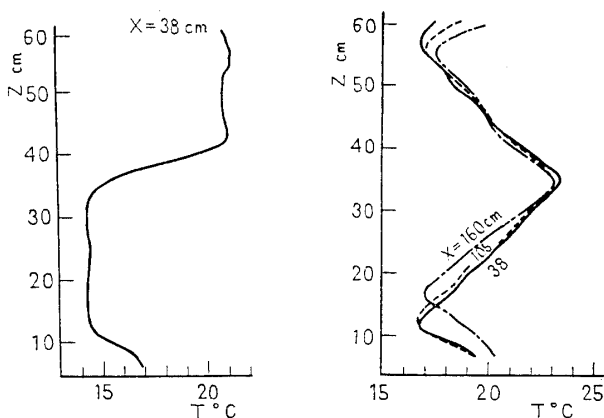


図7 温度成層風洞の温度の鉛直分布

流の温度は一様であって、中立状態での実験に限られていたが、現在では風洞内の気層が安定であるときと不安定なときの実験が重要になってきている。今までの数少ない、作られた温度成層は、床面を加熱または冷却してできた温度境界層を利用したものであって、十分な厚さの層を作ることも、層内に任意の温度分布を作ることも困難であった。現在筆者のところの風洞(70×70×200 cm)の大部分に、相当任意の温度分布を作る装置をつけた。それによる温度分布は図7に数例を示す。これを用い温度成層内の乱れの現象、地形のまわりの流れ、拡散について測定を行なう準備中である。

12. 結 言

大気汚染の基礎的諸問題の現状についてだいたいのことを記した。元来流体内の現象であるとはいえ、きわめて種々の要素の組入った気象学の中の現象であるので、まだ十分な結論を得たものであるとはいえない。多くの研究者の積極的な独自の研究と、相互間の協力により、解明の歩が進められることを期待したい。

文 献

- (1) Sakagami, J. and Kato, M., *Natural Sci. Rep.*, 19-2 (1968-12), 59, Ochanomizu Univ.
- (2) Moses, H. and Carson, J.E., *J. Air Poll. Contr. Ass.*, 18 (1968), 458.
- (3) 今井, ながれ, 9-1 (昭 41-2), 12, 流体力学懇談会.
- (4) Sutton, O.G., *Proc. Roy. Soc. Lond.*, Ser. A, 135 (1932), 143.
- (5) 坂上・鈴木, 航空振興財団航空公害調査研究シリーズ, (3), (昭 44); 航空公害防止協会航空公害調査研究シリーズ, (13), (昭 45).
- (6) 坂上・ほか2名, 大型タンカーによる災害の防止に関する調査研究完了報告書, (昭 43), 92, 日本海難防止協会.
- (7) Sakagami, J. and Kato, M., *Natural Sci. Rep.*, 17-2 (1966-12), 33, Ochanomizu Univ.
- (8) Sakagami, J., *Natural Sci. Rep.*, 11-2 (1960-12), 127, Ochanomizu Univ; 坂上, 機誌, 67-541 (昭 39-2), 281.
- (9) Monin, A.S. and Obukhov, A.M., *Akademia Nauk, SSSR Geofiz. Inst. Trudy*, 151 (1954), 163.
- (10) Sakagami, J., ほか2名, *Natural Sci. Rep.*, 23-1 (1972-7), 27, Ochanomizu Univ.
- (11) Sakagami, J., *Natural Sci. Rep.*, 22-2 (1971-12), 177, Ochanomizu Univ.
- (12) 大気汚染ハンドブック, (昭 40), 206, コロナ社.
- (13) Sakagami, J. and Kato, M., *Natural Sci. Rep.*, 19-1 (1968-7), 1, Ochanomizu Univ.