

煙突から出る煙の黒さ*

井 上 栄 一**

要旨：煙突の煙の形と大気乱流特性との関係を論じた前論文（気象研究ノート，Vol. 11, No. 5）に引き続き、煙の黒さや可視領域をとり上げた。そして可視部分の長さや幅との比などによって乱流特性が表わされることが判った。さらに特殊な目的に使われている煙突の煙の黒さを表現する Ringelmann 濃度表の物理的意味を拡散理論の立場に立って検討し、その修正の可能性の二、三を暗示した。

1. ま え が き

私達が煙突から出る煙を眺め、それを一種の気象計器のようにとりあつかって大気の種類な乱流特性を評価できるのは、煙が目に見えたり写真にうつされたりするからである。著者（井上 1960 b）は先きに煙突の煙の形から接地気層の乱れの強さ、乱子寿命時間、拡散係数などを求める方法について述べたが、この他にも煙を利用する各種の研究が多く研究者達によって発表されている（第1表参照）。

著者の先の研究では、煙突から出る煙の量が十分に多く、煙突近傍の煙の形が十分にはっきりと写真にうつるような場合が選ばれ、煙の量が少なくて煙突のすぐ近傍で煙が目に見えなくなってしまうような場合はとり扱われなかった。これに反して、同じ煙突から出る煙を対象とした Gifford (1959) の研究では、煙が目に見えなくなるまでの距離などが重要な量として取上げられている。

一方、煙の黒さを表現するのに Ringelmann 濃度表（以下の文中ではR表と略記する）が使用されていて、煙突出口のごく近傍における煙の黒さだけが問題にされている。しかしR表についての気象学的な検討はまだ十分にはなされていないようである (Nonhebel 1958)。

著者はまた別の機会に煙の可視領域を問題にしたこと
第1表 煙を使った各種の乱流特性測定例

著者名 (発表年)	対 象 煙	測 定 量
G.M.B. Dobson (1919)	煙突の煙	Kz
G.I. Taylor (1921)	同上	$RL_w (\xi)$
O.G. Sutton (1934)	花火の煙	C, n
T.K. Sherwood (1949)	煙幕	C, n
井上栄一 (1951)	発煙筒	$\langle w^2 \rangle^{1/2} / U, \Lambda z$
井上栄一 (1953)	花火の煙	ϵ
M. Halstead (1957)	同上	smoke dissipation time
岡本雅典 (1957)	発煙筒	Kz_I, Kz_{II}
E.M. Wilkins (1958)	花火の煙	C, n
G.R. Hilst and C.L. Simpson (1958)	煙突の煙	$RL_w (\xi) = \exp(-A^2 \xi^2) \cdot (1 - 2A^2 \xi^2)$
F. Gifford (1959)	同上	$\langle v^2 \rangle^{1/2} / U, \langle w^2 \rangle^{1/2} / U, C_y, C_z$
E.M. Wilkins (1960)	花火の煙	ϵ
井上栄一 (1960)	煙突の煙	$\langle w^2 \rangle^{1/2} / U, \tau_w, \epsilon, RL_w (\xi), Kz$

註. RL : Lagrange 相関係数; τ : 乱子寿命時間;
 K : 拡散係数; ϵ : エネルギー逸散率; Λ : 乱子の大きさ;
 C : Sutton の diffusion parameter; n : Sutton の stability parameter.

* On the Blackness of Stack Smoke Plumes
** Eiichi Inoue, 農業技術研究所気象科,
Division of Meteorology, National Institute of
Agricultural Sciences —1961年3月6日受理—

がある(井上 1960 a). そこで本文では著者は前記の二種類の研究を組合せて Gifford の研究と対比させ、またそれらの結果を使って R 表の気象学的意味を見出そうとする。

2. 煙の黒さと可視領域

煙が目に見えるためには、なにも煙が黒くなくともよいのであるが、後で R 表と関係づけるために、ここでは黒い煙だけを問題にしよう。

煙が黒く見えるのは石炭や石油などの不完全燃焼によって排気の中に煤塵が含まれるためと考えられ、黒さと含有煤塵量との間に密接な関係があるものと思われる(Nonhebel 1960). 単位時間に放出される煤塵量を Q とし、その空間における拡散を考える。各瞬間ごとに眺められる煙の形はメアングリングを伴った不規則のものであるが、それをある適当な時間について平均すると煙の形に規則性が見られることが先に示された(井上 1960 b). そして平均された煙の形について、真横から眺めたときの煤塵量の分布が

$$\chi = \frac{Q}{\sqrt{2\pi U \langle Z^2 \rangle^{1/2}}} \exp\left(-\frac{z^2}{2\langle Z^2 \rangle}\right) \quad (1)$$

で表わされているものと考えてよからう。この濃度 χ が目に見ええる煙の黒さに比例するものとする(ただし比例係数はまだ求められていない)。

(1) 式に含まれる平均的な煙の幅 $\langle Z^2 \rangle^{1/2}$ は、煙突の近傍だけを考えれば、つまり第 1 種拡散領域だけを考えれば、

$$\langle Z^2 \rangle^{1/2} = \frac{\langle w^2 \rangle^{1/2}}{U} x \left(1 - \frac{1}{3} \frac{x}{X_w}\right)^{1/2}, x \leq X_w, \quad (2)$$

で表わされることも先に示された。ただし

$$X_w = U r_w = H \cdot 2.30 \log \frac{H}{z_0} \quad (3)$$

で示される特徴的な長さは (2) 式の適用限界を与え、煙突の高さ H と地表面の粗さ z_0 に関係する。工場地帯のように建物の密集した所では、粗さ z_0 は必然的に大きく、 $\log(H/z_0)$ を 1~2 程度と見積ることができそうである。そこで煙の幅がほぼ直線的に増加する第 1 種領域を特徴づける長さ X_w が煙突の高さ H の数倍になると考えてよからう。

さらに簡単のために、煙突のごく近傍だけを考えることにして、煙の幅が

$$\langle Z^2 \rangle^{1/2} = \frac{\langle w^2 \rangle^{1/2}}{U} x \quad (4)$$

で表わされるものとするれば、濃度分布は

$$\chi = \frac{Q}{\sqrt{2\pi \langle w^2 \rangle^{1/2} x}} \exp\left(-\frac{z^2 U^2}{2\langle w^2 \rangle x^2}\right) \quad (5)$$

で与えられる。

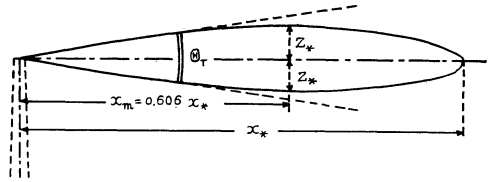
濃度がある限界値 χ_* 以下になると煙が目に見えなくなるものとするれば、

$$\chi_* = \frac{Q}{\sqrt{2\pi \langle w^2 \rangle^{1/2} x}} \exp\left(-\frac{z^2 U^2}{2\langle w^2 \rangle x^2}\right) \quad (6)$$

を満足させる x と z との関係が煙の可視領域の輪廓を与えることになり、可視領域の半幅は

$$z = \sqrt{2} \frac{\langle w^2 \rangle^{1/2}}{U} x \left(\ln \frac{Q}{\sqrt{2\pi \langle w^2 \rangle^{1/2} \chi_* x}}\right)^{1/2} \quad (7)$$

で与えられ、その形は模式的に第 1 図で示されるような葉巻型となる(井上 1960 a). 可視領域の長さ x_* は



図一 煙突の煙の可視領域

$$\frac{z_*}{x_m} = \frac{\langle w^2 \rangle^{1/2}}{U} = 0.514 \tan \frac{\theta_r}{2}, \text{ この図では } \frac{\langle w^2 \rangle^{1/2}}{U} = 0.08 \text{ となつている。}$$

$$x_* = \frac{Q}{\sqrt{2\pi \langle w^2 \rangle^{1/2} \chi_*}} \quad (8)$$

で与えられ、放出煤塵量 Q に比例して増加する。可視領域の幅が最大になる位置 x_m と、そこでの最大半幅値 z_* とは

$$x_m = \frac{1}{\sqrt{e}} x_* = 0.606 x_*, \quad (9)$$

$$z_* = \frac{Q}{\sqrt{2\pi e U \chi_*}} = 0.242 \frac{Q}{U \chi_*} \quad (10)$$

で与えられることも先に示された、ここに e は自然対数の底数 (=0.27183) を意味する。これらの関係を組合せることにより、

$$\frac{\langle w^2 \rangle^{1/2}}{U} = \sqrt{e} \frac{z_*}{x_*} = \frac{1}{0.606} \frac{z_*}{x_*} \quad (11)$$

という関係が得られ、煙の可視領域の長さ^と最大幅^とを測ることにより乱れの強さ $\langle w^2 \rangle^{1/2}/U$ が評価されることになる。同様な結果は Gifford (1959) によっても与えられている。ただし可視領域の長さが煙突の高さの数倍以上にも達するような場合には、計算の基礎となっている (4) 式の関係が成立しなくなるおそれがあるから、可視領域が比較的短い時に限って (11) 式の関係から乱れの強さを求めるべきである。

先の論文(井上 1960 b)では、著者は十分に遠方まで目に見える煙突の煙の場合を取扱い、その形から接地気

層の二つの乱流特性(乱れの強さ $\langle w^2 \rangle^{1/2}/U$ と乱子寿命時間 τ_w) を評価する方法を示したが、上記のように可視領域の短い場合にも乱れの強さは求められるわけである。しかし乱子寿命時間を可視領域の長さから評価するのはやや困難で、これを行なうためには拡散の第II種領域についても可視部分の特性が調べられなければならない。一つの便法としては、平均風速 U を別に測定しておいて、可視領域の形から求めた $\langle w^2 \rangle^{1/2}/U$ と組合せて $\langle w^2 \rangle^{1/2}$ を求め、 $\langle w^2 \rangle^{1/2}$ が摩擦速度 V_* にはほぼ等しいものとした後で、乱子寿命時間を

$$\tau_w = \frac{kH}{V_*} \approx \frac{kH}{\langle w^2 \rangle^{1/2}} \quad (12)$$

で計算することが考えられる。ただし k は Kármán 常数 (=0.4) を意味する。

Gifford (1959) も可視領域の形から他の乱流特性である Sutton parameters (C_z など) を評価する方法を考え、

$$C_z = 2x_m^n e^{(z_*/x_*)^2} = 2x_m^n (z_*/x_m)^2 \quad (13)$$

などの関係を与えているが、Sutton の stability parameter n は別の方法で求められなければならない。

3. Ringelmann 濃度表による煙の黒さの表現

煙突から出る煙の黒さを数的に表現する一つの手段として、Ringelmann Chart という名の濃度表が英国や日本で使用されることがある。この濃度表の詳細については Nonhebel (1958) や寺部 (1958) にゆずるが、簡単に云えば、白紙上に所定の全黒の格子型の黒線図を画いたものを用意し、それを所定の距離だけ離れて眺めた時に感ずる黒さと遠方の煙突の出口のごく近傍(出口からの距離30~45cm)における煙の黒さとを比較して、その黒さを0度から5度までの6種類に分類するものである。その度数と白紙上に占める黒面の比率との関係は第2表の通りで、濃度0は全白の紙面に、濃度5は全黒の紙面に相当する。*

第2表 Ringelmann 濃度表における白面と黒面との面積比

Ringelmann 濃度	0	1	2	3	4	5
白紙面に占める黒い部分の面積比率 (%)	0	20	40	60	80	100

* この濃度表はわが国でも東京都衛生局公衆衛生部から発行されており、東京都煤煙防止条令(昭和30年10月)によればこれが法的に使用されている。

R表によってある度数の黒さと判定された部分の積算煤塵濃度を具体的に明らかにすることはまだ可能になっていない。しかし、ここでは仮りにR表濃度 5, 4, 3, ……に相当する部分では(1)式の χ 濃度が $\chi_{*5}, \chi_{*4}, \chi_{*3}, \dots$ で表わされるものとしよう。そして第2表に示される通りに、

$$\chi_{*5} : \chi_{*4} : \chi_{*3} : \chi_{*2} : \chi_{*1} = 1 : 0.8 : 0.6 : 0.4 : 0.2 \quad (14)$$

で表わされるものとしよう。なお χ_{*5} 以上の濃度をもつ煙の領域はすべてR表濃度5に相当し、 χ_{*5} と χ_{*4} との間にある部分は濃度4、 χ_{*1} 以下の領域はすべてR表濃度0であると考えるのは合理的であろう。

このように考えれば、煙の可視領域を論じた時と同様に、例えばR表濃度3以上の黒さを持つ煙の領域の輪廓は、(7)式と全く同様に

$$z = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\langle w^2 \rangle^{1/2}}{U} x \left(\ln \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \langle w^2 \rangle^{1/2} \chi_{*3} x} \right)^{1/2} \quad (15)$$

という形で表わされる。したがって、その領域の長さ、最大幅の起る点までの距離、最大幅の大きさについても(8)~(11)と同様な関係が成立することになり、たとえば濃度3以上の黒さを持つ煙の領域についていえば、長さ x_{*3} 、最大幅の起る点までの距離 x_{m3} 、その最大幅の半分の大きさ z_{*3} がそれぞれ

$$x_{*3} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \langle w^2 \rangle^{1/2} \chi_{*3}}, \quad (16)$$

$$x_{m3} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi e} \langle w^2 \rangle^{1/2} \chi_{*3}} \quad (17)$$

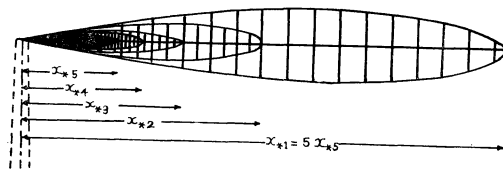
および

$$z_{*3} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi e} U \chi_{*3}} \quad (18)$$

で表わされることになる。そして一つの煙については、 $Q, \langle w^2 \rangle^{1/2}, U$ が共通であるとすれば、

$$\begin{aligned} x_{*5} : x_{*4} : x_{*3} : x_{*2} : x_{*1} &= 1 : \frac{1}{0.8} : \frac{1}{0.6} : \frac{1}{0.4} : \frac{1}{0.2} \\ &= 1 : 1.25 : 1.67 : 2.5 : 5.0 \end{aligned} \quad (19)$$

などの関係が得られ、R濃度5の領域の長さの5倍にまでR濃度1の領域が伸びていることになる。これらの模



第2図 Ringelmann 濃度で表わした煙突の煙の黒さ

様が模式的に第2図に示されている。

(16) 式より明らかなように、ある特定度数の濃度 χ_* を持つ煙の長さ x_* は排出煤煙量 Q に比例し、また乱流速度 $\langle w^2 \rangle^{1/2}$ に逆比例する。R濃度表の使用に当って規定された煙突出口からの距離 (30~45cm) が、たとえば x_{*2} と x_{*3} との間にあるならば、R濃度による煙の黒さは2度ということになる。さらに、地表面の粗さ z_0 および測定高度 (煙突の高さ) H が一定で、また気層安定度が中立状態であるならば、乱流速度 $\langle w^2 \rangle^{1/2}$ は平均風速 U に比例するものと考えられるから、この場合には一般に

$$\frac{Q}{U} \propto x_* \chi_* \quad (20)$$

と書くことができる。この関係は一定の Q および χ_* の場合には煙の長さ x_* が平均風速 U に逆比例することを示してをおり、また特定の距離 x_* における煙の濃度 χ_* が U に逆比例することを示している。

これらの特性から考えると、一定の強さ Q で煤塵を放出している煙突の煙であっても、風速や測定箇所によって異なる度数を持った煙として眺められる可能性がある。

4. 煙の Ringelmann 濃度と地上汚染量との関係

煙突から出る煙の黒さが社会的に問題にされるのは、その煙に含まれる煤塵が地表面上における人間生活に対してなんらかの障害を与えることを怖れるからであろう。これらの障害には煙に含まれる有害ガス (例えば SO_2) の地表面に接する空気中の濃度や、微少な煤塵の空気中濃度および地表面上への降下量などが関係している。煙の黒さと有害ガス含有量の間には一義的な関係をつけ難いので*、ここでは煤塵による地上汚染量を主として論ずることとする。

H という高さの煙突から連続的に放出されている Q という強さの煤煙量がある時の大気中における拡散の問題は、多くの研究者達の努力にもかかわらずまだ十分には解決されていない (たとえば坂上 (1960), 伊藤 (1960), 横山 (1960) 参照のこと)。特に降下を伴う煤塵については、その沈着速度に関連してなお多くの問題があるようである。

しかし簡単のため、ここでは煤塵の降下や沈着が無視

* 精錬所から出る煙は目に見えぬ位に薄くとも、それに含まれる濃い SO_2 による害が心配され、原子力工場からの廃気は全く目に見えなくとも危険な程度にまで放射性ガスを含むこともあろう。

できる程に少ないとして、空気中濃度 $\chi(x, y, z)$ が

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q \exp(-y^2/2\langle Y^2 \rangle)}{2\pi U \langle Y^2 \rangle^{1/2} \langle Z^2 \rangle^{1/2}} \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\langle Z^2 \rangle}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\langle Z^2 \rangle}\right\} \right] \quad (21)$$

で表わされるものとする。ここに $\langle Y^2 \rangle^{1/2}$ および $\langle Z^2 \rangle^{1/2}$ はそれぞれ拡散の水平幅および垂直幅を示し、いずれも風下距離 x の関数であるが、それらの函数形についてもまだ統一的な見解は得られていない。たとえば著者 (井上 1960a) は垂直的にも水平的にも拡散の第I種領域が十分に遠方までも続くとして、

$$\begin{aligned} \langle Z^2 \rangle^{1/2} &= (\langle w^2 \rangle^{1/2} / U) x = \sigma_E x \\ \langle Y^2 \rangle^{1/2} &= (\langle U^2 \rangle^{1/2} / U) x = \sigma_A x \end{aligned} \quad (22)$$

とおき、地表面上での最大濃度 $\chi_M(x_M, 0, 0)$ が

$$\begin{aligned} \chi_M &= \frac{2Q}{e\pi U H^2} \frac{\sigma_E}{\sigma_A} \\ x_M &= \frac{H}{\sqrt{2} \sigma_E} \end{aligned} \quad (23)$$

となることを示した。これに対して Meade (1960) は拡散幅を Sutton の仮定によって表現し、

$$\begin{aligned} \chi_M &= \frac{2Q}{e\pi U H^2} \left(\frac{c_z}{c_y} \right) \\ x_M &= \left(\frac{H}{c_z} \right)^{2/(2-n)} \end{aligned} \quad (24)$$

を与えて地面上の汚染領域を幾何学的に図示している。

いずれにしても、地面上の最大濃度と放出量との間には

$$\chi_M \propto \frac{Q}{U} \frac{1}{H^2} \quad (25)$$

という関係を考えても大過なさそうである。これと先に求めた煙の黒さについての関係 (20) とを組合せれば、

$$\chi_M \propto x_* \chi_* \frac{1}{H^2}, \quad (26)$$

$$\chi_M H \propto \frac{x_*}{H} \chi_* \quad (27)$$

が得られる。

これらの関係から判ることは、一定の距離 x_* の所での煙の黒さがある一定の値であるからといって、地面上の最大濃度 χ_M は同じではないということ、また一定の煙突倍数距離 (x_*/H) の所での煙の黒さ χ_* と $\chi_M H$ (あるいは (23) 式により $\chi_M x_M$) とは比例するということなどである。

5. Ringelmann 濃度表に対する気象学的な検討

R濃度表が現在のように法的に使用されるに至った経過は著者には判らないが、前節までに述べられたような

考察から、R濃度表の使用法に若干の修正が加えられそうに思われるので、それについての私見をのべてみよう。

5.1. 現行測定法

東京都で現在行なわれているR表による煤煙監視法についてつぎのようにのべられている(目黒1960)。

「東京都煤煙防止条例では、住宅、文教、商業地区では2度迄、その他の地区は3度迄と規制されているが、点火時、かまがえ等を考慮して、1時間につき6分間以内は差しつかえないことになっている。

監視は一つの煙突につき30秒おきに31回(15分間)を4日間つづけて(31回 \times 4=124回すなわち1時間に相当)これを記録し、規準濃度を超えること4回なら優秀A、5~8回なら良B、9~19回(約6分間)なら普通C、17回以上やや不良D、41回(約20分間)以上不良Eと判定している。」

この記述を読んだ時に、ゆくりなくも著者自身がかつてある工場の煙突から出る煙を狙って写真撮影を続けていた頃の体験を著者は思い出した。その時に得られた写真の一部はすでに整理され、「煙突から出る煙の形」という題で発表されている(井上1960b)。その中で著者は「対象とした煙突が撮影するに足るほど濃い煙を出し続ける時間というのはほとんど常に100sec程度に限られており、5secごとに撮影しても20枚の連続写真を得るのがせい一杯であった」と述べているが、一連の写真撮影を終った後につぎの濃い煙の出現まで約30分間を屋上で待ちつくなければならなかった体験が思い出されたのである。この体験から判断すると、印刷工場の煙突については普通以上によく放出煤煙の管理がなされていたものといえそうである。

諸外国におけるR濃度表の使用状況についてはよく判らないが、Nonhebel(1958)によれば英国では可成り関心を持たれているようである*。なお彼によれば、R濃度2以上の煙が法的に'dark smoke'であり、4度以上のものが'black smoke'であるという。

5.2. 風速の効果

同じ煙突が同じ量の煤煙を放出していても、風速が強いほど煙の色が薄く見えることは日常よく経験される所

* 私的に照会した所によれば、諸外国においても拡散現象の研究に従事している気象学者たちは一般にR濃度表に無関心であるか、その価値に疑問を持つかしているようである。NonhebelもR濃度表よりも合理的な煙濃度測定装置の出現についての希望をのべている。

であり、その理由は(20)式から容易に理解できる。したがって、煙突から出る煙の黒さを風速と無関係にR濃度で表現する手段に著者は疑問を感じている。

5.3. 煙突の高さの効果

煙突から出る煙の黒さに規制を加えるのは、それによる地表汚染量に制限を加えようとするものであると理解するならば、煙突出口における煙の黒さだけを規制の対象にするのは合理的であるまい。すなわち、地表面上の最大濃度 χ_M を規定量に保とうとするならば、(25)および(26)式などに示されているように煙突の高さ H が、特定の距離 x_* における煙の黒さ χ_* と同時に考慮に入れられなければならない。そしてその上で放出される煙の濃度や黒さを規制すべきではあるまいか?

5.4. 測定間隔と測定継続時間

先に述べられた現行測定法によれば、30秒おきに31回(15分間)にわたって特定点(明記はされていないが、出口から30~45cmの距離の点と解釈すべきであろう)における煙のR濃度を読みとることになっている。この間隔と継続時間の選び方は、メアングーしている高い煙突の煙の平均的な形を求めるために著者(井上1960b)が先に与えた条件によく適合しているものとみなされる。

ただし、この操作を天気状態に無関係に4日間つづけて行ない、その合計された測定が煙突の煙の1時間にわたる代表的な特性を表現するものとする点には疑問の入る余地がある。たとえば、監視に当たった4日間の気象状態が安定成層でしかも U が小さかったとしたならば、必要以上に多くの煙突を不良と判定するおそれがある。

5.5. 気層安定度の効果

気層安定度はその中に拡散される煙の形に重大な影響を与えることが経験的に知られ(Church 1949)、その理論的な説明も行なわれはじめている(井上1959)。この形の変化は当然煙の黒さの分布にも変化を与えることになり、(16)式の Q と U が共通であっても $\langle w^2 \rangle^{1/2}$ が気層の安定度と共に減ることから、ある特定の黒さの煙の領域が細長さを増すことになる。

5.6. 改良測定法の試案

一定の Q という値で煤塵を放出していても、煙突の高さと煙突出口からの距離や気象条件によって、煙の黒さが異なったR表度数で表現される可能性のあることが判ったので、現行の測定法に若干の改良を加える方法を考えてみたい。このような改良法については、すでに

Nonhebel (1960) も試案をのべているので、それも十分考慮に入れることにする。

(a) 黒さを測る位置を煙突の高さに関係づけて指定すること

現行法では煙突の出口から 30~45cm 離れた点での煙の黒さを測ることになっているが、(26)式から判るように、もし煙突の高さ H が十分に大きければ、 $x_* = 30 \sim 45\text{cm}$ における χ_* が R 濃度で常に 3 度以上であったとしても、地上における最大汚染量 χ_M は常に十分に小さく保たれるから、煙の黒さが 3 度以上であるからといって無理に放出煤塵量をそれ以下にさせる必要はあるまい。このような不合理は煙突の高さに無関係に x_* を一定値に選ぶことによって起るから、 x_* を H のある特定倍数によって表わすことにすれば、その不合理さは完全にとまでは行かなくとも幾分かは是正されるであろう。

その意味で、Nonhebel (1960) が煙突の高さの 3 倍の距離だけ離れた地点での煙の黒さを特徴量としようとしているのはうなずける。3 という倍数の選び方も、(3) 式で与えられた第 I 種拡散領域の長さから判断してなかなか合理的であると云えよう。なお、Nonhebel は $3H$ の距離でほとんど見えなくなってしまうような煙に対しては、公衆意見から異議が出ないだろうと考えて、そのための条件をいろいろと調べているのは面白い試みである。

(b) 超過濃度の許容時間を相当通過時間 (H/U) または相当寿命時間 (H/V_*) に関係づけて与えること

現行法では、超過濃度の許容時間は一律に 1 時間について 6 分間となっている。この思想はある危険濃度の煙が存在しても、その滞留時間が短かければ被害がないという経験的事実から発生しているように見える。この観点から (27) 式をながめると、 H に比例する時間 T を

$$T = H/U \quad (28)$$

というように選べば、(27) 式は

$$\chi_M T \propto \frac{x_*}{H} \chi_* \quad (29)$$

と書くことができる。この式は、ある特定の倍数距離 (x_*/H) における χ_M が危険量を越して大きくなれば χ_M も大きくなるが、 T が小さければ $\chi_M T$ は危険量以下に保たれることを意味している。ここに (28) 式で定義された時間は相当通過時間として大気乱流研究にすでにしばしば親しまれている特徴量である。

6. 結 び

接地気層における大気拡散現象について得られている

知識を使って、これまであまり気象学的な研究対象とされていなかった煙突の煙の黒さや可視領域の問題を理論的に取扱い、また Ringelmann 濃度表の物理的意味を調べてみた。

その結果、Ringelmann 濃度表の使い方に若干の改良すべき点があるように思われた。しかしこれらの問題には単なる物理的要素のほかに、可視限界濃度や危険汚染濃度に関係する心理学的ならびに生理学的要素も関係するから、今後さらに深い検討が加えられなければならないことは明らかである。この論文が今後の研究の発展のための一つの拾石ともなり得れば幸である。

終りに著者に対して Ringelmann 濃度表を提供された気象研究所の森口実博士ならびに著者の研究を刺げきするに足る興味深い研究結果をそれぞれ提供された、Dr. F. Gifford, U. S. A., および Mr. G. Nonhebel, England, に深く感謝の意を表わしたい。

引用文献

- Church, P.E., (1949): Dilution of waste stack gases in the atmosphere, *Ind. Eng. Chem.*, **41**, 2735~2756.
- Gifford, F., (1959): Smoke plumes as quantitative air pollution indices, *Int. J. Air Poll.*, **2**, 42~50.
- 井上栄一, (1959): 接地気層における乱流拡散現象と乱流特性との関係, 原子力気象調査会報告, No. 60.
- 井上栄一, (1960a): 煙の研究(1)~(3), 農業気象, **15**, 123~129; **16**, 20~26; **16**, 61~68.
- 井上栄一, (1960b): 煙突から出る煙の形, 気象研究ノート, **11**, 332~339.
- 伊藤昭三, (1960): 大気拡散理論における 2, 3 の問題, 同上, 322~331.
- Meade, P.J., (1960): The estimation of ground level concentration from an elevated source, *Int. J. Air Poll.*, **2**, 303~308.
- 目黒勝郎, (1960): リンゲルマン煤煙濃度表, 大気汚染ニュース, No. 4.
- Nonhebel, G., (1958): The technical provisions of the British Clean Air Act, *Int. J. Air Poll.*, **1**, 120~138.
- Nonhebel, G., (1960): Recommendations on height for new industrial chimneys, *J. Inst. Fuel*, **33**, 479~511.
- 坂上治郎, (1960): 大気拡散について, 気象研究ノート, **11**, 340~354.
- 寺部本次, (1958): 大気汚染測定法, 技報堂.
- 横山長之, (1960): 大気拡散の実験式とその応用, 気象研究ノート, **11**, 355~369.