

6. 煙拡散のライダー観測

内藤 恵吉
K. Naito

高橋 克己
K. Takahashi

田端 功
I. Tabata

横田 良夫
Y. Yokota

池野 達哉*
T. Ikeno

気象研究所
Meteorological Research Institute

* (財)日本気象協会
Japan Weather Association

1. 序

わが国においては、環境問題がきわめて重要であるので、ヘリコプター、塔あるいは高煙突を利用して発煙し、それを地上に展開した観測網により、煙粒子拡散分布を求める実験が、比較的数多く行なわれてきた。僅かではあるが、カイトーンを利用して、鉛直分布を求めた例もある。しかし、この実験は、観測網の展開にきわめて多大の労力を要し、また粒子濃度測定も、顕微鏡の使用など、多くのデリケートな操作を含んでいる。このような困難にもかかわらず、かなりのデータが収集されたが、対象となった気層は、ほとんど高度200m付近までにとどまっている。

最近の集合煙突においては、有効高度がこれよりはるかに高いものが多いので、より上層の拡散の観測が要求されている。いうまでもなく、鉛直拡散の直接観測も必要である。このような問題に対して、PPIRHILライダーはきわめて有効である筈であるから、われわれはその観測解析法の確立を一つの目標としている。

いままで、高煙突からの排煙流に対して、有効煙突高などに関係する中心軸の位置の決定は、ルビー使用などのAスコープライダーを用いた

しかし、煙突からの各風下距離に対して、排煙流の断面をAスコープ観測により忠実に表現することは、きわめて困難である。いま、排煙流がライダーより1000mの距離にあり、排煙流の断面直径が約100mであったとすると、ライダーから煙流を望む角は約5.6°である。これをAスコープライダーで観測するとき、現在可能のAスコープライダーの性能を考えねばならない。気象研のAスコープライダーの場合、5秒間に1発のパルスを射出し、1°射出角を変ずるということが限界である。他の場合においても同程度であって、これよりはるかに早くパルスを繰返し、あるいは、はるかに速かに角度を変ずるといふことは困難であろう。気象研の例を用いると、上記の煙流断面の観測に28秒間を要し、しかもわずか5発のパルスしか発射されない。この観測時間中に断面の大きな変化があることは、容易に考えられる。この断面の変形を考えると、この種のAスコープデータから断面を画くこと、さらに等値線を引くことは本質的に困難である。我々の開発したRHIライダーを用いる場合、この断面を走査するのにわずか0.75秒であり、その間38発のレーザーパルスが角度0.14度おきに発射される。しかも、断面が自動的にスコープ上画かれるので、現在ではこの種の観測に最適といえよう。以上のように、我々のRHIライダーを用いるならば、煙流断面のいわば瞬時的の観測が可能である。とくに、中心軸の位置や、水平および鉛直方向の拡がりの情報が、同時にかつ容易に得られる。

さて、われわれもまた、ヘリコプターあるいは高煙突による発煙を利用するが、ここで述べるものは、高煙突からの煙流を対象とする、予備的な一つの試みである。

2. 観測と解析法

風下距離(又軸とする、原点は煙突の位置)を少しずつ変えながら

RHI 観測をする。一つ一つのRHIは煙流の断面を示すが、その形状は非常に不規則。また濃度分布はガウス分布のように単純ではない。特徴的なことは、多くの場合境界が劃然としていることである。この個々の形状も興味の対象であるが、ここではとくに觸れず、統計的な拡散姿態を問題とする。

この個々のRHI観測による濃度の断面分布を、ある x の範囲内で積重ね、平均を取る。すなわち、濃度断面分布の空間的な移動平均を求めするのである。この移動平均の区間はあまり長くはとらず、ある程度不規則な分布が消える程度にする。煙流の明らかな蛇行が見られる場合は、長くとも半波長を越えぬようにした。

このようにして平滑化された形状は、いままでの経験では、もし確率平均をとることができたら、楕円に接近すると思われるものであった。そこで、この平滑断面の中央を通る鉛直の z 軸および水平の y 軸(風下方向に直角)に沿うての濃度分布を調べる。もし、確率平均的な形状が楕円と全く異なり、組織的に大きな歪みを持つと考えられる場合には、上のような解析法を修正しなくてはならぬが、ここではそれに触れない。

この y 軸および z 軸に沿う濃度分布の一例は、 α 1回の如くである。上に述べた過程から考えて、一点における濃度は、煙要素がその点に到達する頻度に比例する。そこで、この頻度分布を用いて、煙要素の到達する位置の平均値 \bar{y} 、 \bar{z} 、および拡がり $\sigma'_{y,t}$ 、 $\sigma'_{z,t}$ を求めることができる。

$\sigma'_{y,t}$ 、 $\sigma'_{z,t}$ は標本的な標準偏差であるから、これをそれぞれの x の値に対してプロットすると、なお不規則な変動がある。これに対しさらに平滑化を施し、修正された値を $\sigma_{y,t}$ 、 $\sigma_{z,t}$ とする。また、 \bar{y} 、 \bar{z} の変動を x に対して考えると、単調な一般的傾向と波動的な変動

が見られる、この波動的な変動によって、煙要素の到達位置がさらに変動を受けることになる。すなわち、煙要素の総合的な拡がり σ_y 、 σ_z は、初めに考えた不規則的な気流運動による拡がり $\sigma_{y,x}$ 、 $\sigma_{z,x}$ と、統計的に独立な波動的運動 $\sigma_{y,m}$ 、 $\sigma_{z,m}$ の合成である。

そこで、
$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{y,x}^2 + \sigma_{y,m}^2} \quad , \quad \sigma_z = \sqrt{\sigma_{z,x}^2 + \sigma_{z,m}^2}$$
となる。

このようにして求めた拡がりを、 x に対してプロットしたものが第2図である。なお、 σ_y/σ_z の値もプロットされている。これらの距離特性から、気層の分類を行なうことを考える。

3. 気層の特性分類と考察

第2図を基にして分類を行なうのに、パスキルの分類を使用することを考える。気象学的立場からのパスキル分類は、ほとんど全く役に立たないが、階層的な分類だけを使用しようと試みた。

パスキルによる σ_y 、 σ_z の値は、上述のように求めた値よりはるかに小さい。煙突排出口近傍では、煙流はきわめて高温、その上排出速度もきわめて大であるため、周囲から煙流への流入混合は大である。従って、排出口近傍では、煙流断面は急速に大となって、点源と見なすことができなくなる。一方、パスキルは点源に対して拡散を考えたのであるから、拡がりの絶対値に差があるのは当然である。

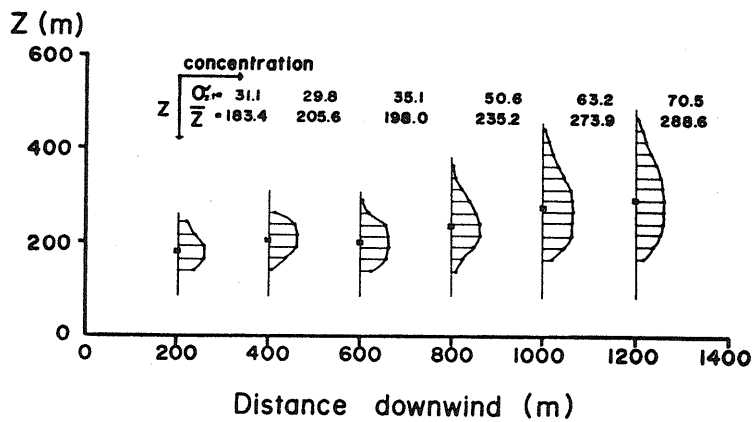
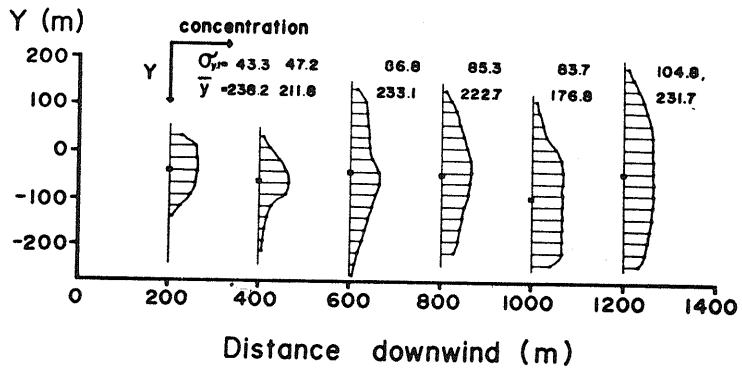
しかし、パスキルの分類は、拡がりの絶対値だけを特徴づけるのではなく、風下距離とともに拡がりの増大する割合を、特徴づけていると考えることにする。この立場で第2図の傾向を分類すると、 σ_z は全体として分類CとDの中間的である。また、パスキルの図表から各分類に関して風下距離に対する σ_y/σ_z の変化を計算し、それと第2図の σ_y/σ_z を比較すると、これも分類CとDの中間に属するようである。しかし、

O_3 は多少安定気味の分類EとDの中間にあった。

さらに細かく見ると、風下1.0km近傍においては、拡がりの変化傾向は、僅かながら不安定の方角に変じている。また、第1回の鉛直濃度分布の形を見ると、風下600m以上に対し、下方への拡がりはおさえられ、上方へは延びている、という傾向が現われている。それは不安定性を示すので、両者は同じ傾向を示唆するものである。この観測は、平坦な海岸付近において、弱い海風の存在する、晩秋の午后行なわれた。多少不安定性が現われている地点は、海岸から2km程度内陸であるが、対流上昇の可能性もあろう。

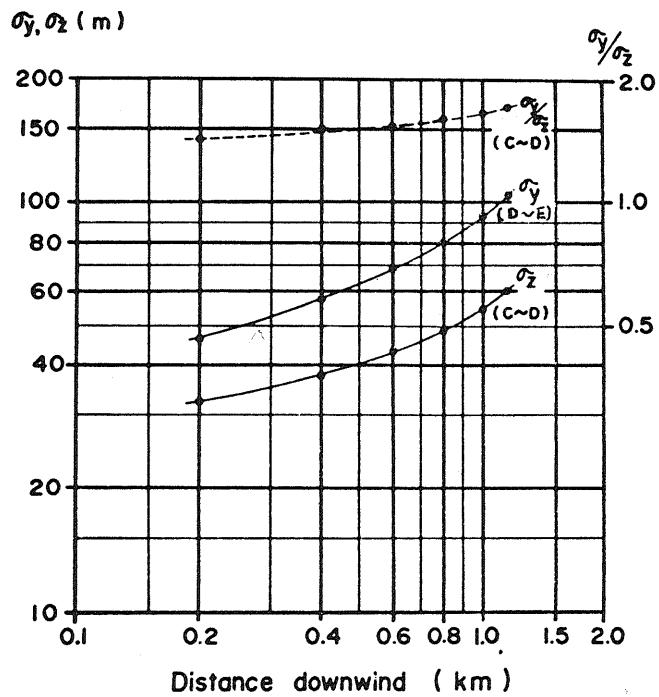
以上、上層における拡散特性をいかに定めるか、これについて一つの試みを述べた。この方法は、上記のように、かなり有効かつ実際的と思われる。そこで、この方法に基づき、ヘリコプター発煙を利用して、とりあえず、高度600m付近までの拡散特性を求めようと考えている。この場合、航空関係の了解のもとに、ある程度、低層ゾンデ観測が実施されることを期待している。

15^h05^m—15^h20^m, Dec. 1, '72 at Chiba



Horizontal (Y) and vertical (Z) dispersion
of a smoke plume

第1図 種々の風下距離における拡散分布



Smoke dispersion against distance downwind

オス図 風下距離と平滑化された拡がり