

# 準定常拡散モデルによる大気汚染シミュレーション(I)\*

岡本 眞 一 塩 沢 清 茂\*\*

## 要 旨

気象条件が時空間で変化する場合の拡散モデルとして、準定常モデルを提案した。このモデルでは、煙の流れをパフモデルと同様にラグランジュ的に計算し、濃度計算において定常解としてのブルーム拡散式を使用するものである。このモデルは、パフモデルと同じような気象条件と排出条件の変化に適応できるが、計算量および推定精度の点でパフモデルより有利であると考えられる。

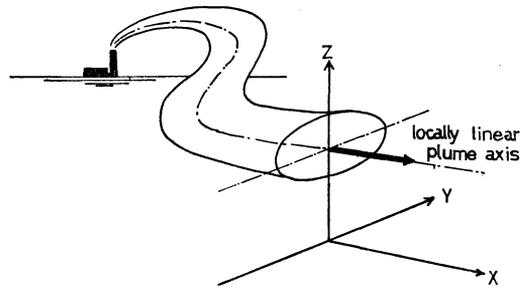
## 1. 緒言

大気汚染濃度を計算するための拡散モデルとしては、正規型ブルームモデルが最も一般的である。しかし、従来のブルームモデルでは、風系が一様かつ定常であることを仮定しているために、計算上の風下方向の座標軸とブルーム主軸との間に差を生じることがあり、このために計算結果が不正確になる。しかも、風系が時空間で変化する海陸風の交替時など高濃度汚染が発生し易い気象条件のときほど、この原因による誤差が大きくなる欠点がある。

このような場合には、数値解モデル(差分モデルなど)やパフモデルが適しているが、十分な精度の計算値を得るためには非常に多くの計算量が要求される。通常のパフモデルではパフの放出間隔は5~10分程度であるが、これでは風が強くなるとパフとパフの間に隙間が生じてしまう。数値解モデルでは、格子(差分)の大きさによって表現できる現象のスケールに制約もあり、点煙源の近くではその影響を正しく記述することは困難である。

ここでは、定常解としての正規型ブルーム式を用いて、近似的に非定常気象条件時の濃度分布を記述できる拡散モデルについて検討する。このモデルの概略はすでに筆者らが報告しているが(Shiozawa *et al.*, 1975)、今回はこのモデルの改良および数地域におけるシミュレーション計算を行なったので、この結果について述べる。

この第1部では、モデルの定式化および気象条件の変



第1図 準定常ブルームモデルにおける座標軸の取り方。

化に対する適応方法について述べる。そして、パラメータの設定方法とシミュレーションによるモデルの検証については後半(第2部)で述べることにする。

## 2. 拡散モデル

このモデルでは、一つの煙源から排出された煙は多数の有限の長さをもつブルームの連続と考える。したがって、煙の軌跡を求める方法は岡本(1976)のパフモデルと同じであるが、濃度計算にはブルーム拡散式を使用するので、計算時間を短縮することができる。実際の計算では、第1図のように、リセプターの近くで局所的に直線のブルーム主軸を仮定することによって、計算が容易になる。すなわち、局所的に見た主軸の方向が $x$ 軸、それと直角な水平方向を $y$ 軸、鉛直方向を $z$ 軸とする。

このような方法によれば、非定常のパフモデルと同じように気象条件の変化に適応できるが、濃度計算には定常解としてのブルーム拡散式を使用するので、このモデルを準定常拡散モデルと呼ぶことにする。

### 2.1 パフモデルとブルームモデル

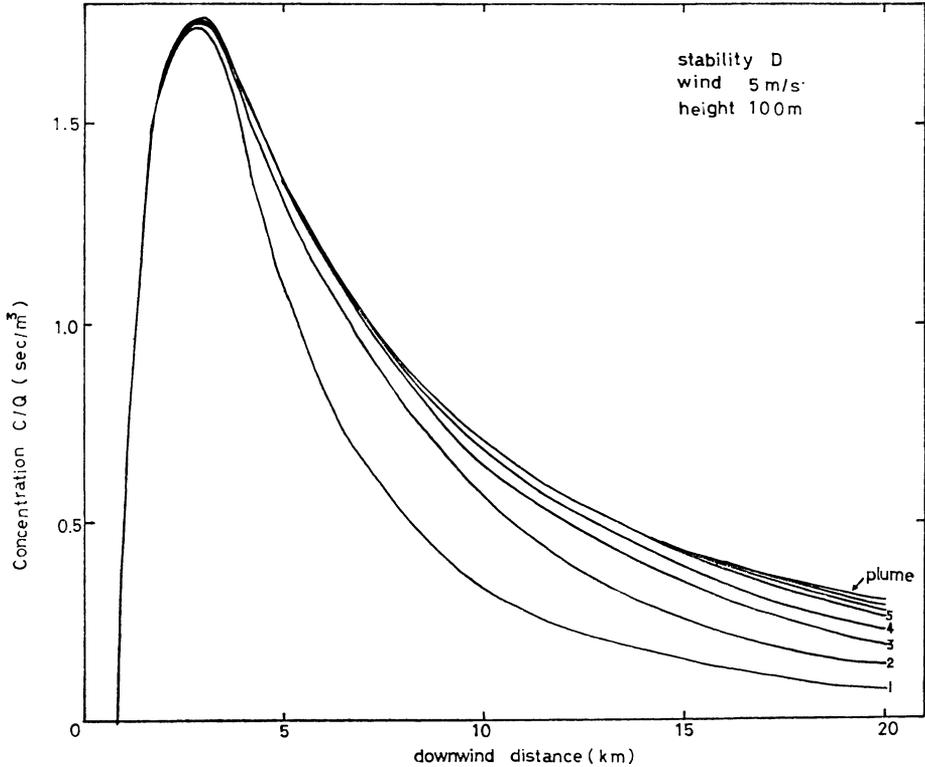
はじめに、ブルーム拡散式が導かれる過程を考えてみる。式(1)に示すように、瞬間源からの濃度を時間で無

\* Air Quality Simulation by a Diffusion Model of Quasi-Steady Approximation (I).

\*\* S. Okamoto and K. Shiozawa, 早稲田大学理工学部。

—1977年5月30日受領—

—1977年10月14日受理—



第2図 積分区間  $\delta t$  を変えたときの主軸上地表濃度の変化 (最も上側の線は積分区間を無限大にとった定常解であり、図中の右下側の数値は  $\delta t$  を分単位で示したものである)。

限大まで積分することによって、連続源からの濃度の定常値であるプルーム拡散式が得られる。

$$C = \int_0^{\infty} \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left\{-\frac{(X-Ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right\} dt \quad (1)$$

$$\approx \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (2)$$

ここで、

$C$  : リセプター( $x, y$ )における濃度

$Q$  : 排出強度

$H$  : 有効煙突高度

$U$  : 風速

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  : 拡散幅

式(1)の被積分関数は、一般に、時刻  $T (= X/U)$  で最大値を持ち、 $t$  が0がおよび無限大に近づくにつれて、次第に小さくなる。したがって、時刻  $T$  のまわりで  $2\delta t$  の範囲を積分区間にとれば、

$$C = \int_{T-\delta t}^{T+\delta t} \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left\{-\frac{(X-Ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right\} dt \quad (3)$$

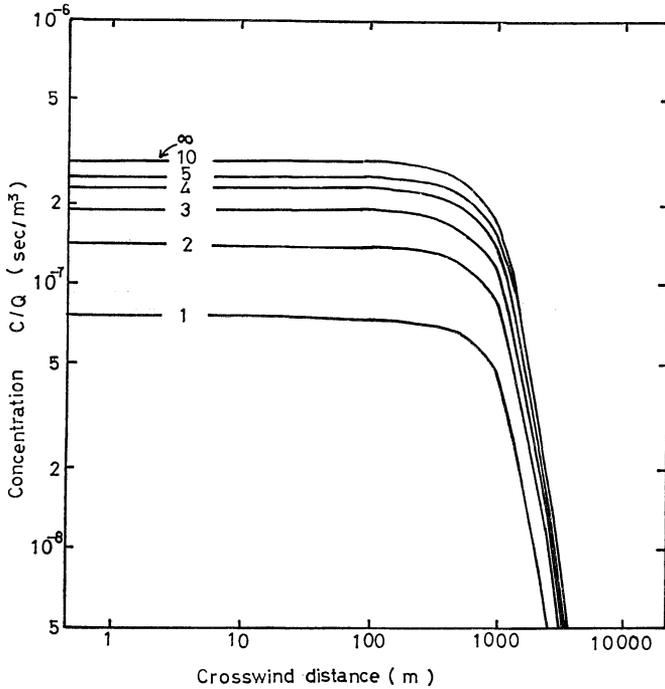
$$\approx \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (4)$$

となる。

式(1)では、気象条件が完全に一定かつ一様であることを要求しているが、式(3)では積分区間が  $2\delta t$  と短いので、制約条件がゆるやかになる。すなわち、風の流線が湾曲している場合や風系の時間変化があっても、リセプターに近い煙(プルーム)の主軸が局所的に直線であり、しかも、前後  $2\delta t$  の時間内のみ気象条件が一定かつ一様であれば、近似的に式(4)に示すプルーム拡散式が適用できる。

ここで、区間  $\delta t$  をどの程度にとればよいかを試算した結果を第2図に示す。この図は、パフの放出間隔を10秒として、積分を単純な和として、式(3)を数値計算し

stability D  
 wind 5m/s  
 H = 100 m  
 downwind distance 20 km  
 puff release interval 10 sec



第3図 積分区間  $\delta t$  を1分から10分まで変えたときの地表濃度の変化。ただし風下距離20kmにおける横風方向の計算値である。

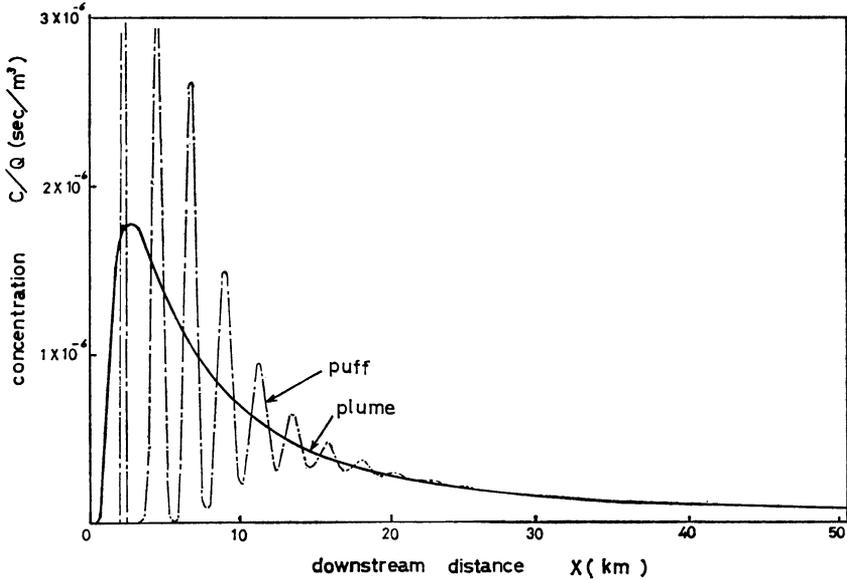
た結果と式(4)で示される定常プルーム解を比較したものである。 $\delta t$  を1分から数時間まで変化させて計算したが、ここに示した範囲では約10分にとれば十分であることがわかる。パフの放出間隔の非連続性により生ずるパフモデルとプルームモデルの差は、風下距離 1km 地点で2%, 20km 地点では0.1%以下であり、パフの放出間隔を10秒程度にとれば、パフモデルの欠陥はほとんど無視できることがわかる。この図より、風下距離が大きくなるほど、 $\delta t$  を大きくとる必要がある。

つぎに、 $y$  方向での  $\delta t$  と濃度計算値の関係を第3図に示す。 $y$  方向では  $\delta t$  を変えても収束の速さはあまり変化しないことがわかる。

現在の計算機の性能では、100カ所以上の煙源に対して秒単位でパフを放出して、数値積分によるパフモデル

で毎時間ごとの濃度を求めることは非常に困難である。通常のパフモデルでは、パフの放出間隔は5~10分程度である。ここで、7.5分間隔でパフを放出したときのパフモデルとプルームモデルの比較を示す。第4図は煙源高度100mのときの風下主軸上の地表濃度計算値である。パフモデルでは、パフとパフの間隔が大きいため、個々のパフに対応して濃度計算値に不連続な部分が生じている。この間隔は風が強いときほど大きくなるので、パフモデルの計算誤差は強風時にとくに問題となる。煙源高度が高いと、煙が地表に達する時には水平方向の拡散幅も大きくなっているため、地表濃度でのパフモデルの欠陥による計算誤差は小さくなる。しかし、地表近くの煙源では非常に大きな誤差原因になる。

以上の計算結果からもわかるように、非常に風が弱い



第4図 パフモデルとプルームモデルによる主軸上地表濃度の計算値。  
 大気安定度：中立(Pasquill's D), 風速：5m/s, 有効煙突高度：100m,  
 パフ放出間隔：7.5分。

場合などを除けば、パフモデルは計算量の点からも計算精度の点からもあまり有利な拡散モデルであるとは思えない。プルーム主軸が多少の曲率をもっている場合でも、近似的な定常時の解析解であるプルーム拡散式の利用を考える。

2.2 プルーム主軸の計算

ここで考えるプルームは時空間で変化する風系によって流される煙であるから、この煙の位置を点列 $(x_i, y_i, z_i)$ で表わす。この点列はパフモデルにおけるパフの中心座標に相当するものである。この点列を結んだ線はその時刻におけるプルーム主軸であり、個々に分割された煙の軌跡とは一般に一致しない。しかし、風系の時間変化がなければ、このプルーム主軸は煙源を通る流線に等しくなり、煙の軌跡とも一致する。この点列 $(x_i, y_i, z_i)$ の間隔はパフモデルにおけるパフの放出間隔と同じである。

時刻  $t$  において $(x_i, y_i, z_i)$ にあった煙は、この時刻と場所における風速成分  $u, v, w$  によって流され、時刻  $t + \Delta t$  には $(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ に達する。

$$x_{i+1}(t + \Delta t) = x_i(t) + u(x_i, y_i, z_i, t) \Delta t \quad (5)$$

$$y_{i+1}(t + \Delta t) = y_i(t) + v(x_i, y_i, z_i, t) \Delta t \quad (6)$$

$$z_{i+1}(t + \Delta t) = z_i(t) + w(x_i, y_i, z_i, t) \Delta t \quad (7)$$

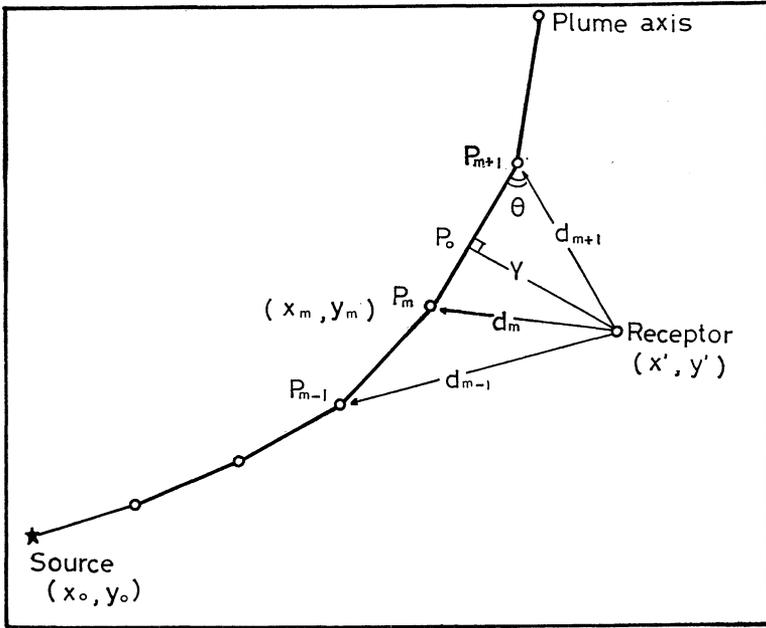
風速成分  $u, v, w$  の推定方法については後半で述べる

ことにするが、次のような理由で鉛直成分  $w$  は 0 とする。筆者らは前報で、水平成分  $u, v$  の高さ方向の変化を無視して、混合層高度の 1/2 より下側では連続の式を満たすように鉛直成分  $w$  を計算した場合と、 $w = 0$  とした場合の 2 種類を考えた(Shiozawa, et al., 1975)。この両者について濃度計算を行なった結果、あまり大きな差は見られず、 $w$  の推定値が十分な精度をもっているとは思えないので、今回の拡散計算では  $w = 0$  というモデルを採用する。

2.3 濃度計算式

プルーム主軸の位置を十分に密な間隔の点列で表現できれば、リセプターに最も近い点列までの距離を横風距離  $Y$  (Crosswind distance)、その点列の流されてきた軌跡の長さを風下距離  $X$  (Downwind distance) とすることができる。しかし、実用的な拡散モデルでは、この点列はパフ放出間隔 5~10分に相当する程度の間隔になってしまう。したがって、実際のモデルでは近似的な方法となってしまうが、風下距離と横風距離の計算手順を定めておく必要がある。

この計算方法の概略を第5図に示す。1本のプルームを構成する点列  $P_i$  のうちリセプター  $R$  に最も近い点列を  $P_m$  とする。そして、その前後の点列を  $P_{m-1}, P_{m+1}$  と



第5図 準定常プルームモデルにおける風下距離と横風距離の求め方。

して、リセプターから  $P_i$  までの距離を  $d_i$  とする。

はじめに、第5図のように、 $d_{m-1} \geq d_{m+1}$  の場合を考える。この場合、リセプター  $R$  からプルーム主軸への垂線は  $P_m$  と  $P_{m+1}$  の間に交点をもつので、これを  $P_0$  とする\*。そして、この垂線の長さ  $RP_0$  が横風距離になる。 $P_0$  にある煙の軌跡に沿った長さは直接に計算されていないので、現在  $P_m$  の位置にある煙の軌跡に沿った移動距離に長さ  $P_mP_0$  を加えて風下距離とする。この計算を次に示す。

$$X = X_m + P_0P_m \quad (8)$$

$$Y = d_{m+1} \sin \theta \quad (9)$$

ここで、 $X_m$  は点列  $P_m$  にある煙の軌跡に沿った長さであり、第5図の  $\angle P_mP_{m+1}R$  の角度を  $\theta$  とする。この  $\theta$  は次式で計算する。

$$\cos \theta = \frac{(P_{m+1}P_m)^2 + (P_{m+1}R)^2 - (P_mR)^2}{2(P_{m+1}P_m)(P_{m+1}R)} \quad (10)$$

点列  $P_m, P_{m+1}$  の高度を  $Z_m, Z_{m+1}$ , 拡散幅を  $\sigma_m, \sigma_{m+1}$ , そして、汚染物質の指数減少を考慮に入れた排出強度を

$Q_m, Q_{m+1}$  とする。すなわち、 $Q_i$  は式(5)~(7)に示すパフの移流の計算のときに同時に  $Q_{i+1} = kQ_i$  によって計算する。ここで、 $k$  はパフ移流計算の間隔  $\Delta t$  の間に減少する割合である。 $P_0$  におけるこれらの量は、直線補間によって式(11)~(13)で計算する。ここで、直線補間のための重み係数  $a_1, a_2$  を  $a_1 = P_{m+1}P_0 / P_mP_{m+1}$ ,  $a_2 = P_mP_0 / P_mP_{m+1}$  とすれば、

$$Z_0 = a_1Z_m + a_2Z_{m+1} \quad (11)$$

$$\sigma_0 = a_1\sigma_m + a_2\sigma_{m+1} \quad (12)$$

$$Q_0 = a_1Q_m + a_2Q_{m+1} \quad (13)$$

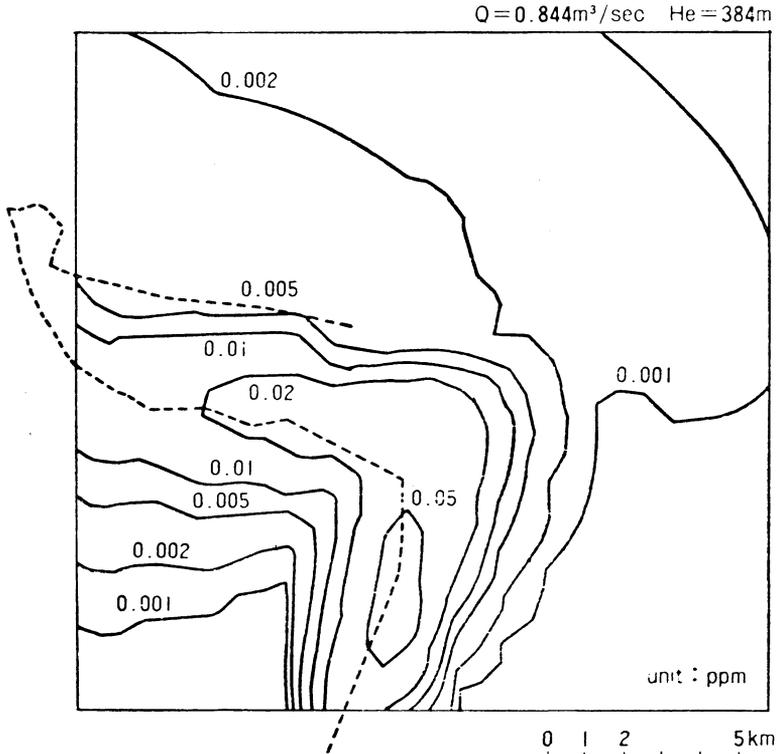
となる。式(4)による濃度計算では  $H = Z_0$  とする。

つぎに、 $d_{m-1} < d_{m+1}$  の場合には、三角形  $RP_mP_{m-1}$  より同様に風下距離と横風距離を計算し、直線補間によって  $Z, \sigma, Q$  を求める。

リセプターが風上となるときは、その煙源の寄与による濃度は0とする。リセプターが有限な長さのプルームの先端より風下側の前方にある場合には、 $y$  方向と同じ拡散幅で風下側の前方にも汚染物質が拡散していると考えて同様に計算する。ただし、風下距離はプルーム主軸を構成している点列の先端の値をそのまま採用する。

はじめに、一つの点源について毎時間ごとに変化する風系によって流される煙の主軸の位置を計算し、湾曲し

\* プルーム主軸が  $P_m$  において鋭角に曲がっているときは、 $R$  からの垂線は  $P_mP_{m+1}$  の間に交点を持たないこともあるので、このときは別の方法で処理する ( $X = X_m, Y = RP_m$ )。



第6図 湾曲したプルーム軸となる場合の濃度分布計算例. 拡散幅はSutton式による( $C_y=0.47$ ,  $C_z=0.28$ ,  $n=0.25$ ). 破線はプルーム軸の位置.

たプルーム軸をもつ煙の濃度計算を行ない、この結果を第6図に示す. 実際のシミュレーション計算では場所によって風速も変化しているが、ここでは、濃度分布の特徴を見やすくするために5m/sの一定値を使用している. この計算例では、後で示すシミュレーション計算より短い間隔で点列を配置しているので、リセプターに最も近い点列までの距離を横風距離と仮定して、濃度計算を行なっている. この図より、高濃度域がプルーム軸に沿った所に生じていることがわかる. また、煙の放出開始6時間後の濃度分布であるので、煙の到達していない風下側前方では濃度が高くなっていないことがわかる. 以上のように、このモデルは非定常のパフモデルと同じ程度の再現性を持っていると考えられる.

#### 2.4 静穏時の拡散式

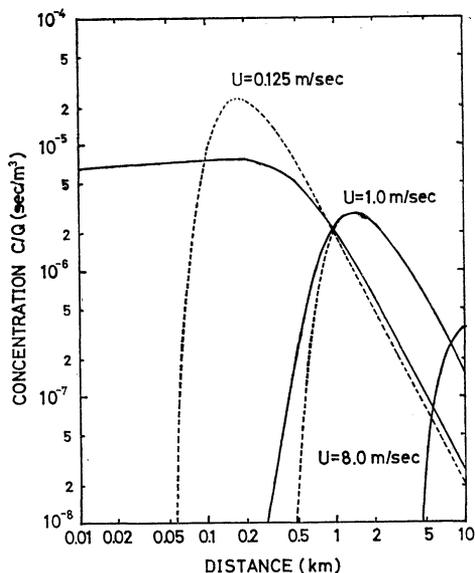
式(1)に示すパフ拡散式の積分から式(2)に示す正規型プルーム拡散式を導くためには、主軸方向の拡散は風速の直接希釈作用に比べて十分に小さく、しかも、リセプターは主軸からあまり離れていないという条件が必要

である. 風速が2~3m/s以上に強ければ、この制約条件はほとんど支障なく受け入れられるが、風速が1m/s程度より弱い場合が問題となる.

ここで、式(1)の積分を解析的に計算して上記の簡略化を施す前の式と、式(2)に示す正規型プルーム式の比較をする. 式(1)の計算は、拡散幅 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ が簡単な関数形でないと解析解が得られない. 拡散幅が時間の1乗あるいは1/2乗に比例して大きくなる場合の解がFrenkiel(1953)および伊藤(1960)によって求められている.

実際の拡散幅の増加率は距離あるいは時間の1/2乗から1乗の間にあり、 $\sigma_y$ と $\sigma_z$ で異なる値を取るが、風下距離20kmまでの拡散実験から得られた拡散幅は1乗に近いように思われる.

拡散幅が時間に比例すると仮定すれば、 $\sigma_x = \sigma_y = \alpha t$ ,  $\sigma_z = \gamma t$ ,  $r^2 = X^2 + Y^2 + (\alpha H/\gamma)^2$ とおくことによって、式(1)の解は次のように示される(Csanady, 1973).



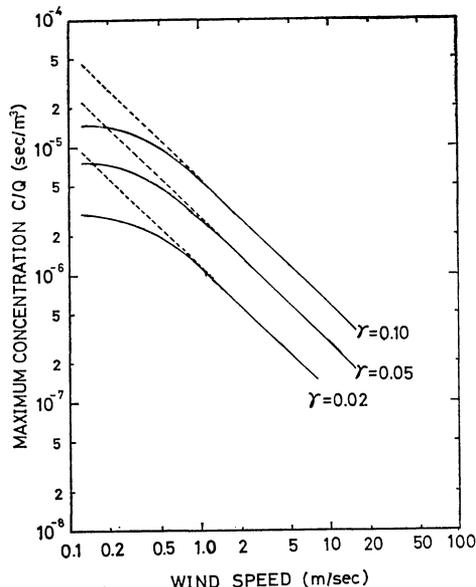
第7図 主軸上地表濃度における式(2)の計算値(破線)と式(14)の計算値(実線)の比較 ( $H=100\text{m}$ ,  $\alpha=0.20\text{m/s}$ ,  $\gamma=0.05\text{m/s}$ ).

$$C = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} \gamma r^2} \exp\left(-\frac{U^2}{2\alpha^2}\right) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{UX}{\alpha r} \exp\left(\frac{U^2 X^2}{2\alpha^2 r^2}\right) \operatorname{erfc}\left(-\frac{UX}{\sqrt{2}\alpha r}\right) \right] \quad (14)$$

数種類の煙源高度  $H$  とパラメータ  $\alpha, \gamma$  について、式(2)と式(14)の計算値を比較する。式(2)では、拡散幅を  $\sigma_y = \alpha X/U$ ,  $\sigma_z = \gamma X/U$  で与える。煙源高度 100m の場合の主軸上地表濃度を第7図に示す。ここで、破線は正規型ブルーム式、実線が式(14)の計算値である。また煙源高度がより低くなると両者の差は小さくなり、高煙源で大きな差を生ずる。

第8図は、鉛直方向の拡散パラメータ  $\gamma$  を変化した場合の高度 100m の煙源に対する最大地表濃度と風速の関係である。この図より、風速が 1.0m/s 以下になると正規型ブルーム式では過大推算の傾向が現われる。

以上の考察に基づいて、風速  $U$  が 1m/s 以下では、式(2)に示す正規式ではなく、式(14)に示す主軸方向への拡散を考慮した式を使用する。実際のシミュレーションモデルでは、拡散幅を時間ごとに変化する大気安定度に応じて計算しているため、パラメータ  $\alpha, \gamma$  を正確に設定することはできない。このモデルでは近似的方法として、濃度計算時刻の拡散幅  $\sigma_y(T), \sigma_z(T)$  が煙の放出時から濃度計算時まで直線的に増加してきたと仮定す



第8図 最大着地濃度における式(2)の計算値(破線)と式(14)の計算値(実線)の比較 ( $H=100\text{m}$ ,  $\alpha=0.20\text{m/s}$ ).

る。この煙の放出後の経過時間を  $T$  とすれば、

$$\alpha = \sigma_y(T)/T \quad (15)$$

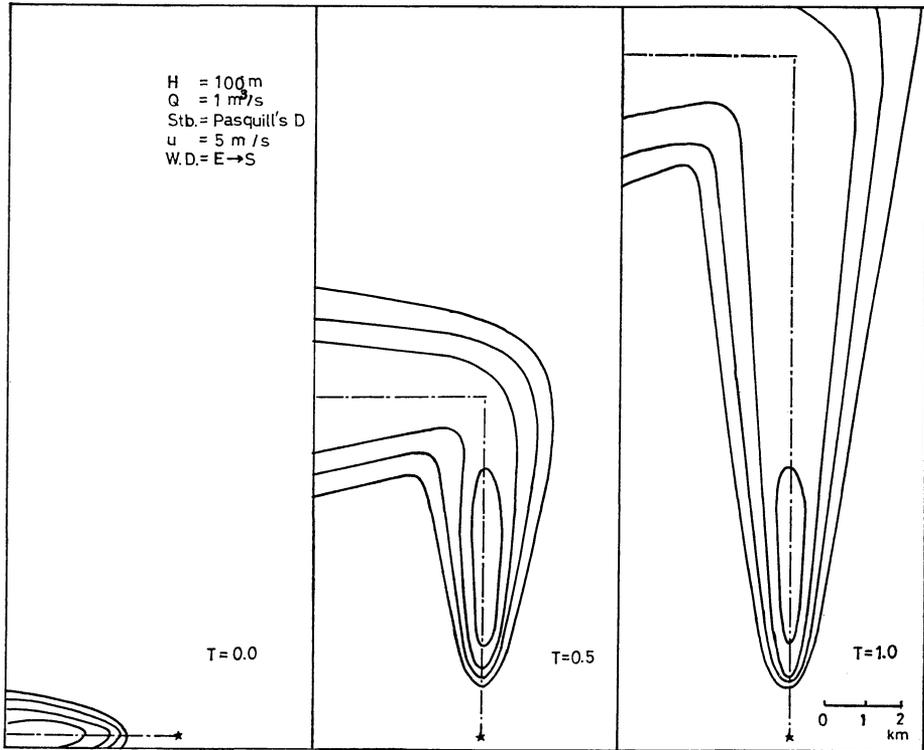
$$\gamma = \sigma_z(T)/T \quad (16)$$

ここで、 $\sigma_y(T), \sigma_z(T)$  は式(12)によって求められた値であり、 $T$  は点列  $P_m$  と  $P_{m+1}$  あるいは  $P_{m-1}$  の放出後の経過時間から直線補間で求められた  $P_0$  に対する値である。

### 2.5 面源の拡散式

一様面源からの拡散を記述するモデルについての比較検討はすでに筆者らが報告している(岡本, 1977)。この結果から、面源の内部やその付近では有限線源積分法が最適であると考えられる。しかし、面源からある程度離れた所では最も計算の簡単な仮想点源法で十分であることがわかった。この結果に基づいて、このシミュレーションモデルでも面源の内部とその周囲(正方形の面源の中心から、その面源の一边の長さを半径とする円の内部)では有限線源積分法を使用し、それより離れた所では仮想点源法とする。

有限線源積分法では、誤差関数を多項式による近似式に置換して、Simpsonの数値計算法を使用し、数値積分の分割数は10とする。また、リセプターのすぐ近くには源が分布していないものと仮定して、積分下限を10mに設定する。風系推定メッシュより大きい面源では、風向



第9図 風向の変化に伴う濃度分布の時間変化 (★印が煙源の位置で、等濃度線は、0.1, 1, 10, 20pphm を表わす).  $T$  は風向変化後の時間(hour).

風速は、面源の中心に最も近いメッシュ上の値を採用する。

風速が  $1\text{m/s}$  以下の弱風時についても、面源の近くでは式(14)の2重積分を Simpson の数値積分法で計算し、面源から離れた所では仮想点源法を採用する。仮想点源法では、初期拡散幅を考慮に入れた  $\sigma_y(T)$ ,  $\sigma_z(T)$  より式(15)と式(16)より  $\alpha, \gamma$  を計算する。積分法の分割数は面源内で  $20 \times 20$ 、面源の周囲では  $10 \times 10$  とし、 $\alpha, \gamma$  の設定方法は後半で述べることにする。

### 3. 気象条件の変化に対する適応性

#### 3.1 風向の変化

風向の変化によるブルーム主軸の湾曲は、煙の移動をラグランジュ的に追跡していくことによって表現する。すなわち、式(5)~(7)でパフの移流を計算することによって、風向の時間と空間での変化に対応できる。

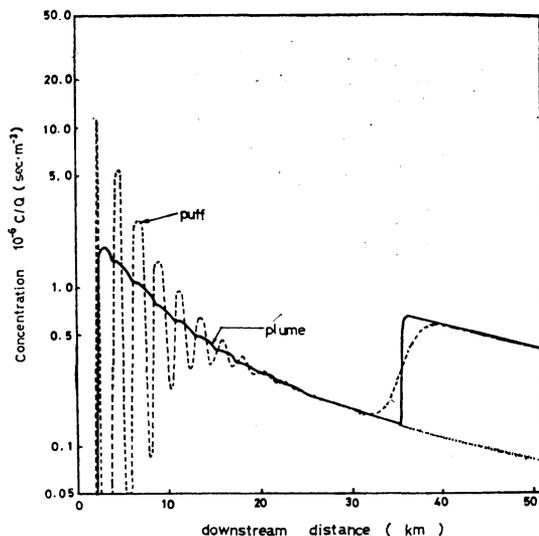
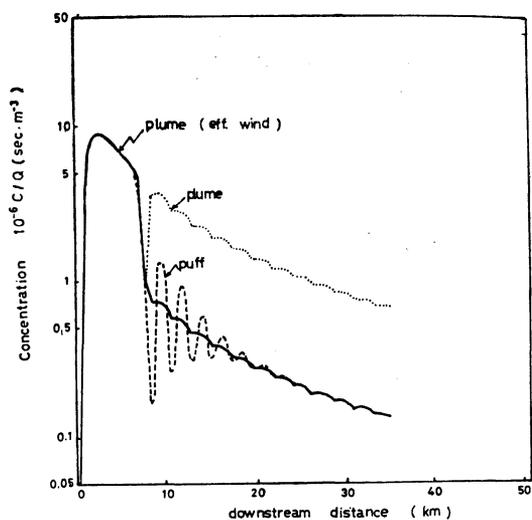
ここで、風向が東から南へ変化した場合の濃度分布の計算例を第9図に示す。この例では風速が  $5\text{m/s}$  と大きいので、パフの移動が速く、1時間平均濃度を求めるた

めには、さらに密な間隔で濃度を計算して積分するべきと考えられる。しかし、大気汚染濃度が高くなる海陸風の交替時など風向変化の大きい場合には、風が弱いことが多いので、あまり細かい間隔で濃度計算をする必要はない。

#### 3.2 風速の変化

風による煙の直接希釈作用は放出時の風速によって定まるが、風系が時間と空間で変化する状態に対応するためにはパフモデルが適している。パフモデルでは、パフの並んでいる密度によって濃度が決定される。ここで、最も大きい影響をもつのはリセプターに近いパフの間隔である。したがって、パフを等時間間隔で放出している場合、パフの間隔からリセプターでの濃度に対応する風速を逆算することができる。この風速を「実効風速」と呼ぶことにする。この値はリセプターに最も近い2つのパフの間隔から計算する。

第5図において、 $d_{m+1}$  と  $d_{m-1}$  の短い方に対応する  $\overline{P_m P_{m+1}}$  か  $\overline{P_m P_{m-1}}$  のどちらかを  $\Delta x$  とすれば、点列



第10図 風速の変化後2時間における主軸上地表濃度。左側は5m/sから1m/sへ変化した場合、右側は1m/sから5m/sへ変化した場合であり、ともに大気安定度は中立(D)、煙源高度は100mである。細い点線は濃度計算時の風速を使用し、実線は実効風速を使用したブルームモデルの計算値であり、長い破線は放出間隔7.5分のパフモデルの計算値である。

$P_i$  の移流計算の時間間隔  $\Delta t$  より式(17)で実効風速が計算できる。

$$U = \Delta x / \Delta t \quad (17)$$

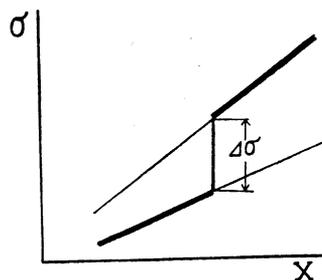
この実効風速を利用すれば、煙がどのような風系の中を流されてきたとしても、過去の履歴を考慮しないで、簡単にリセプターの濃度に対応する風速を求めることができる。

ここで、風速が5m/sから1m/sへ変化した場合と、逆に1m/sから5m/sへ変わった場合の濃度分布を第10図に示す。ともに、風速が変化してから2時間後の風下主軸上の地表濃度である。実効風速を用いた計算結果を実線で、濃度計算時の風速を用いた場合を点線で示している。実効風速を使用すると、パフモデルのようになめらかな濃度変化が表現できないが、実際の大気汚染シミュレーションでは許容される範囲内であろうと考えられる。

### 3.3 大気安定度の変化

大気安定度が変化したときの拡散幅の計算方法は、Roberts(1970)にあり、筆者らのパフモデルにおいても、これと同様の方法を採用している(岡本, 1976)。

Roberts の Exact (精密) 法では、大気安定度が変化した時点で、現在の拡散幅に対応する新しい安定度での仮想風下距離を求めた後で、新しい安定度での  $\sigma$ - $X$  曲

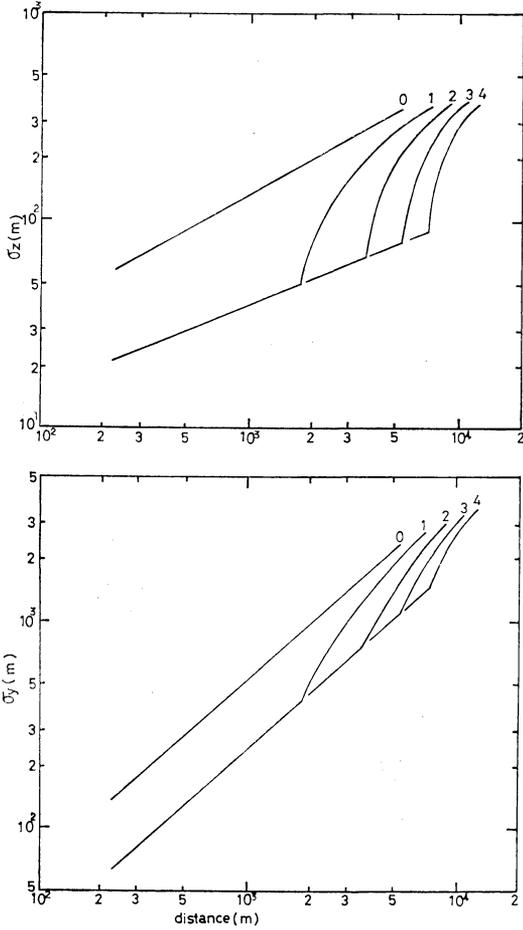


第11図 大気安定度が変化したときの拡散幅の計算方法。

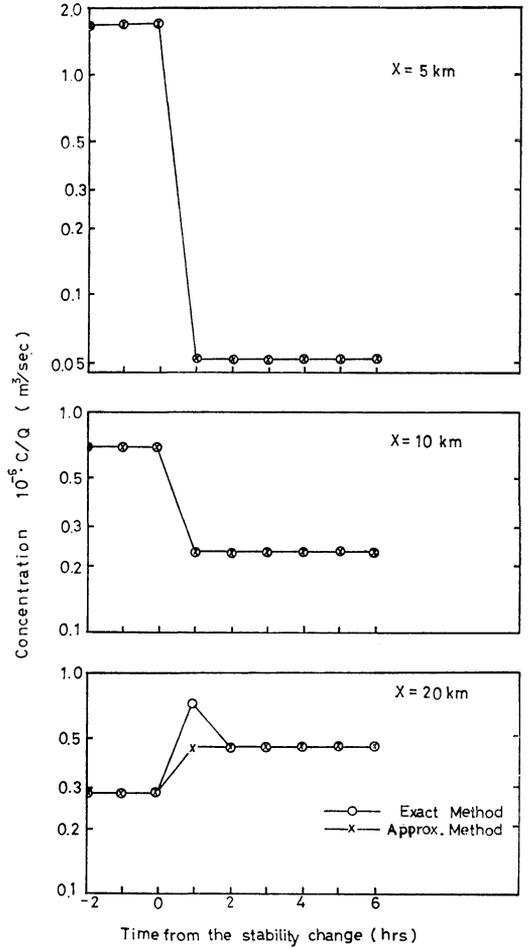
線上での拡散幅を計算するものである

ここでは、Roberts の精密法と同様に、安定度の変化に対して拡散幅の増加が不連続にならないが、より計算の簡単な方法を採用する。すなわち、第11図のように拡散幅の不連続な変化が生じないように、新しい安定度の  $\sigma$ - $X$  曲線から求める拡散幅に補正項を加える方法である。

この方法によって、Pasquill 安定度で  $D$  から  $F$  へ変化したのち1~4時間後の拡散幅を第12図に示す。このときの風下距離 5, 10, 20 km 地点での主軸上地表濃度の変化を第13図に示す。ここで、近似法とは安定度が変化



第12図 大気安定度が中立(D)から強安定(F)へ変化してから4時間後までの毎時の拡散幅の状態.



第13図 大気安定度が中立(D)から強安定(F)へ変化してから6時間後までの風下距離5, 10, 20km 地点における主軸上地表濃度の計算値 (風速: 5m/s, 煙源高度: 100m).

した時点で、過去の履歴を考えないで、新しい安定度での  $\sigma-X$  曲線を利用して拡散幅を計算する方法である。つぎに、安定度が  $D$  から  $B$  へ変わった場合の濃度変化を計算した。この場合も、5, 10km 地点ではほとんど差がなく、20km地点では精密法と近似法でわずかながら差が生じてくるのが分かる。

4. 結論

ここで提案した準定常モデルは、拡散方程式の定常解としてのブルーム拡散式を使用するものであるが、排出強度と気象条件の時空間における変化に対して、近似的にはあるが、適用することが可能である。

計算量は煙源数やリセプターの数によっても左右されるが、このモデルは非定常時のパフモデルや数値解モデ

ルに比較して計算時間が短いと思われる。さらに、パフモデルにおいては、パフの放出間隔と等しい周期で計算値の分布に不自然な波動が生ずるが、本モデルにおいてはこのような現象が生ずることはない。

文献

Csanady, G.T., 1973: Turbulent diffusion in the environment, D. Riedel Publishing Co.,  
 Frenkiel, F.N., 1953: Turbulence diffusion: Mean concentration distribution in a flow field of homogeneous turbulence, Adv. Appl. Mech., 3, 61-107.

- 伊藤昭三, 1960: 大気拡散理論における2,3の問題, 気象研究ノート, 11, 322-331.
- 岡本眞一, 塩沢清茂, 大滝厚, 1976: マフモデルによる京浜地区のSO<sub>2</sub>濃度の推定, 天気, 23, 157-161.
- 岡本眞一, 小山潤, 塩沢清茂, 1977: 面源拡散式についての一考察, 大気汚染研究, 12, 1~17.

- Roberts, J.J. *et al.*, 1970: A Multiple-source urban atmospheric dispersion model, Argonne National Laboratory ANL/ES-CC-007.
- Shiozawa, K., S. Okamoto, and A. Ootaki, 1975: A diffusion model for air quality simulation, 68th APCA annual meeting paper 75-04.4.

## 論壇

### 航空機による観測をどうするのか

樋口 敬 二\*

8月号の論壇で、廣田氏は、「過去10年間、気象学・大気物理学は著しい発展の跡をしるした」というささうたる書き出して議論を展開した。しかし、私は、同じ書き出しに続けて「それに比べて、日本の気象学界には、10年、いやそれ以上の年月、足ぶみの状態にあることがいくつかある。たとえば、気象観測用航空機をどうするのか、といった問題である。」と書かなくてはならない。

いったい航空機による気象観測をどうする気なのか。10年以上も前から絶えずどこかで話されていた問題が、ひととき大きい声で論じられるようになったのは、昨年の夏、アメリカのボルダーで開かれた国際物理学会に出席された磯野謙治、孫野長治といった方たちが、アメリカの観測用航空機を見て、日本との落差の大きさに改めて驚かれたからである。この学会の会場付近の飛行場には、大学その他の研究機関が持っている航空機がいくつも並べられ、その機種多彩なこと、それぞれの機体についている測器の新しさに圧倒される思いだったという。

この声に応じて、昨年の秋季大会の雲物理学に関するインフォーマル・ミーティングの第1日では、航空機による気象観測について討論があった。出席者は、観測の実施に携わっている人たちだけではなく、解析、理論の

**投稿募集** この欄は気象学ないしその関連分野の学問上の問題や将来展望、学会活動への提案など、会員の建設的意見を自由に発表し合う場です(長さ; 400字×10枚以内)。

人たちも加えて、大会第3会場の部屋を埋めつくして100人に達し、この問題がいかに多くの人々の関心となっていたかを思わせた。

会は、榊原均氏の司会で進められたが、そこで出てきた意見の主なもの、次のようにまとめられると、武田喬男氏という。

第1の意見。アメリカの例を見ても分かるとおり、観測用航空機が必要であることは言うまでもない。だから、気象関係の研究機関が専用機を持てるよう運動すべきである。しかし、専用機を持つ前でも、チャーター機による気象観測の実績を積み重ねるべきではないか、その積み重ねが足りない気がする。その面で努力すべきである。

第2の意見。チャーター機による観測では不便が多くやはり専用機がまず必要である。たとえば、測器の取り付け、観測用の窓、孔など、チャーター機では、専用機の場合のようにいい条件で行えない。それに、チャーター機では、本当に観測したい時に飛べるとは限らない。だから、チャーター機による実績の積み重ねといっても、なかなか思うようにはいかない。

第3の意見。専用機にせよ、チャーター機にせよ、航空機を気象研究にどう使うか、をアンケート調査などによってまとめ、研究者の要求の大きさを、実態によって示すべき時にきているのではないか。あるいは、気象研究だけではなく、広く地球物理学の研究分野、たとえ

\* K. Higuchi, 名古屋大学水圏科学研究所