

# パフモデルによる京浜地区のSO<sub>2</sub>濃度の推定\*

岡本 眞一\*\* 塩沢 清茂\*\* 大滝 厚\*\*\*

## 要旨

本論文では、風系の場所による変化を考慮したパフモデルを提案する、このモデルは海陸風の交替時などの非定常時に適用が可能である。京浜地区の高濃度汚染日のSO<sub>2</sub>濃度を計算した結果、通常のブルームモデルでは表現できなかったピーク時の濃度変化を再現することができた。

## 1. 緒言

環境アセスメントのための手法としての拡散モデルがいくつか提案されている。長期間の平均濃度の推定手法にはMartin (1971)のモデルやその拡張としてのCalder (1971)のCDM、そして、北林、横山 (1974)や塩沢、岡本 (1974)のモデルなどがある。これらのモデルでは、平均的な気象条件と汚染物質の排出強度を利用して、細分された気象条件ごとに、風速や安定度の代表値を設定して、条件別濃度を計算する。そして、各条件ごとの出現確率を乗じて、平均濃度が求められる。このような考え方によっても、毎時の濃度を求めることができる。すなわち、条件別濃度を風と安定度の階級を指標とする表にしておき、毎時の条件に対してこの表をひく方法である。SO<sub>2</sub>高濃度汚染が生じた1969年3月25日についての計算結果を第1図に示す。ここで利用した表は塩沢ら (1974)によるものである。第1図で見ると、神奈川、県庁など、いくつかの測定点で午前中のピーク時にかなりの過少推算となっている。

午前9時の13か所の観測値から補間法によって求めた風系を第2図に示す。この補間法は塩沢ら (1973)にある距離の関数を重みとする荷重平均法である。このように場所によって風向風速が大きく異なる場合には通常のブルームモデルでは適応できないと考えられる。各煙源から放出される煙をラグランジュ的に追ってゆくと、東

京湾上に流されていた鶴見神奈川地区の主要煙源からの煙が10時頃には再び臨海地区の上空へ戻されていることがわかる。また朝早くに放出された煙は高度が低い(早朝はリッドが低い)ため)ので、そのままの高度で戻された場合、地表濃度が高くなる。以上の点を考慮できるモデルとして、ラグランジュ的なモデルを考えることにする。

## 2. パフモデル

Roberts ら (1970)のモデルとして紹介されているパフモデルは(1)式で示されるものである。

$$G(x, y, z, t, t') = \frac{2}{(2\pi)^{3/2}\sigma_y^2\sigma_z} \exp\left[-\frac{(x-u(t-t'))^2}{2\sigma_y^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (1)$$

$$C(x, y, z, t) = \int_0^t Q(t')G(x, y, z, t, t') dt'$$

ここで

$G(x, y, z, t, t')$ : 時刻 $t'$ に原点より放出された単位排出量に対する時刻 $t$ における $(x, y, z)$ 地点での濃度(無次元)

$C(x, y, z, t)$ : 時刻 $t$ の $(x, y, z)$ 地点の濃度(無次元)

$Q(t')$ : 時刻 $t'$ の排出量 (m<sup>3</sup>/sec)

$u$ : 風速 (m/sec)

$H$ : 煙の高度 (m)

$\sigma_y$ : 水平方向の拡散幅 (m)

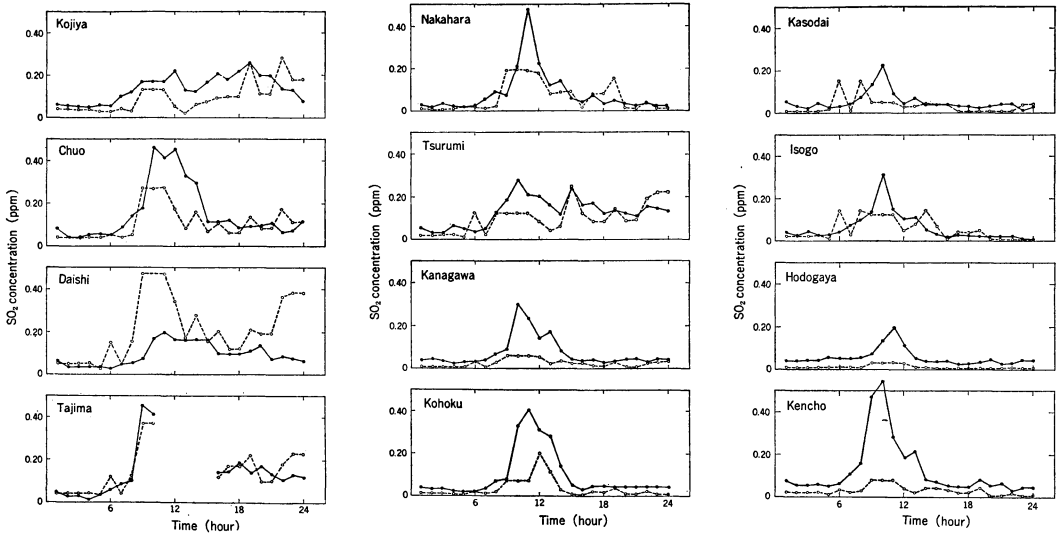
$\sigma_z$ : 鉛直方向の拡散幅 (m)

このRobertsらのモデルでは、風下方向を $x$ 軸にとってあり、時間による風の変化を考慮しているが、風の空間的な変化を考えていない。したがって、第2図にある海陸風の交替時などには適用できない。

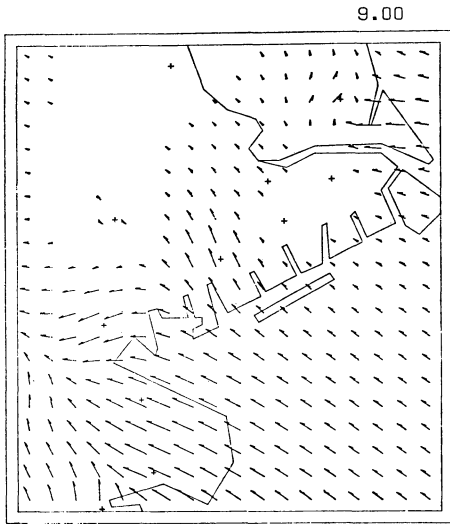
\* A Puff Model for Estimating SO<sub>2</sub> Concentration in the Keihin district.

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

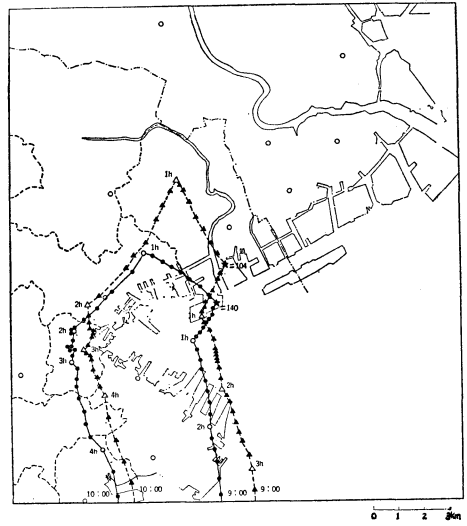
\*\*\* A. Ootaki 明治大学, 工学部  
—1975年10月13日受領—  
—1976年2月24日受理—



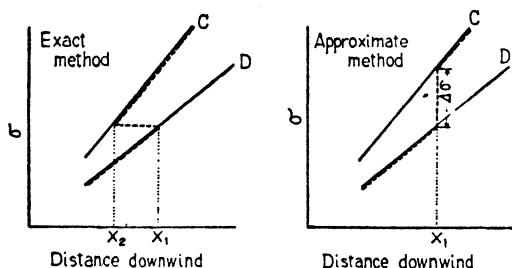
第1図 1969年3月25日の実測値(実線)と計算値(破線)の比較。計算値は通常のブルーム式とカーム時定常式(積分パフ式)により、147通りの条件別濃度計算値の表から求めたもの(岡本(1974))



第2図 補間法で求めた1969年3月25日9時の風系(+)印は風向風速の観測点を表わす。矢印の長さは風速に比例し、この時間の観測値の最大値は加曾台の2.2 m/sである。)



第3図 ラグランジュ法で計算された9時と10時のパフ中心の位置(▲印は煙源番号#104よりの煙、●印は#140よりの煙。プロットの間隔はともに放出時間間隔7.5分に対応する。★印は煙源の位置)



第4図 拡散幅の推定法；精密法と近似法。この図では風下距離  $X_1$  において、安定度が  $D$  から  $C$  に変化する例を示してある。精密法では、安定度  $C$  の  $\sigma-X$  曲線上の対応する仮想風下距離  $X_2$  を求めた後に点線に沿って拡散幅が増加する。近似法では、風下距離  $X_1$  で  $\sigma-X$  曲線と変更するので、 $\Delta\sigma$  の部分が誤差となる。

そこで、場所と時間によって変化する風系にも適用できるように、パフの動きをラグランジュ的にとられるモデルを考える。

$$\left. \begin{aligned} & \frac{C(x, y, z, t, t')}{Q(t')} \\ &= \frac{2}{(2\pi)^{3/2} \sigma_y^2 \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{d^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right\} \\ & d^2 = (x-x')^2 + (y-y')^2 \end{aligned} \right\} (2)$$

ここで

$x, y$  : リセプターの座標

$x', y'$  : 時刻  $t$  におけるパフ中心の座標

次に、パフの軌跡を次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} x'_{i+1} &= x'_i + u(x'_i, y'_i) \Delta t \\ y'_{i+1} &= y'_i + v(x'_i, y'_i) \Delta t \end{aligned} \right\} (3)$$

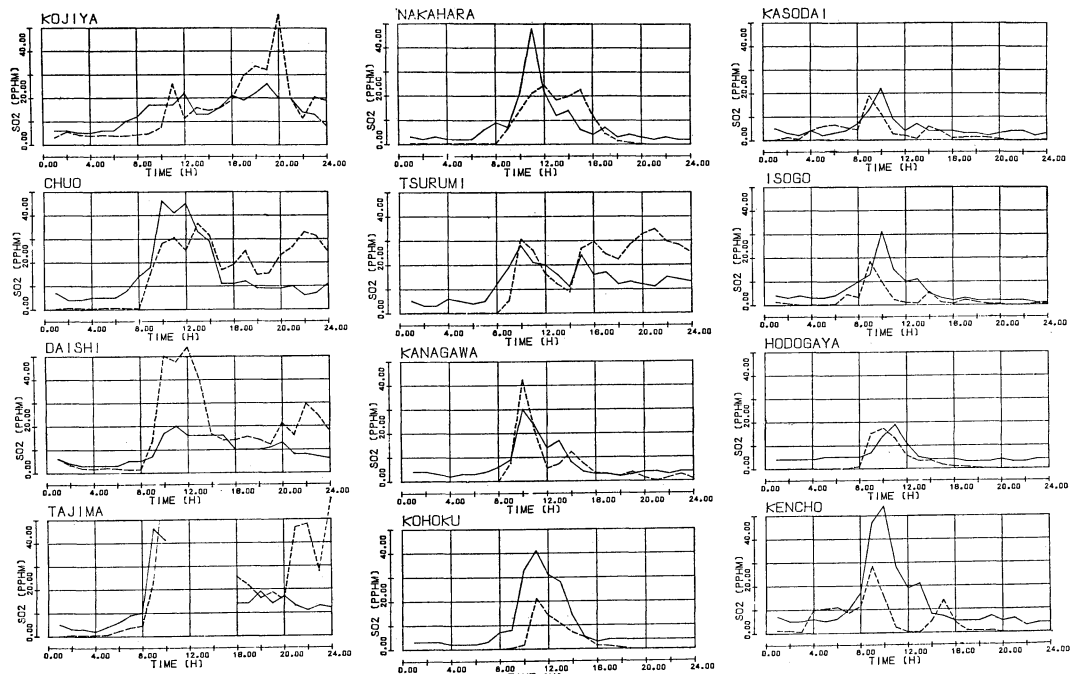
ここで、 $u, v$  はそれぞれ  $x, y$  方向の風速成分である。時刻  $t$  に  $(x'_i, y'_i)$  にあったパフは  $(x'_i, y'_i)$  における風に流されて、 $\Delta t$  時間後の時刻  $t + \Delta t$  には  $(x'_{i+1}, y'_{i+1})$  に到達する。

実際の計算では、さらに汚染物質の指数減少とリッドでの反射を考慮して、(4) 式を利用する。

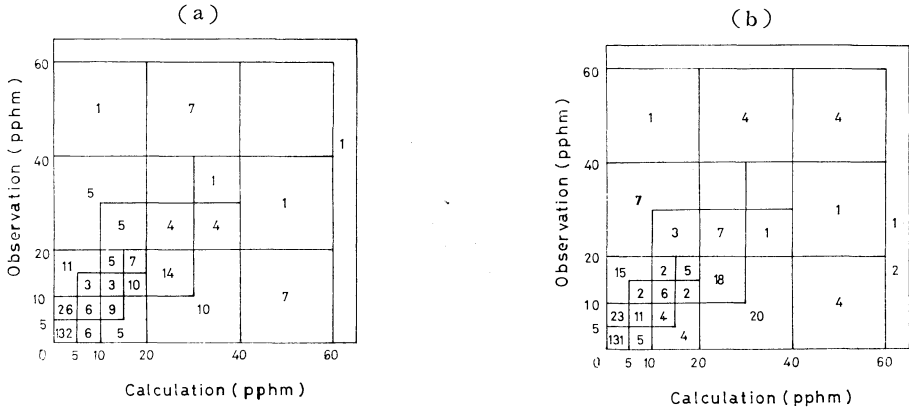
$$\left. \begin{aligned} & \frac{C(x, y, z, t, t')}{Q(t')} = \frac{2}{(2\pi)^{3/2} \sigma_y^2 \sigma_z} \\ & \exp \left\{ -D(t-t') - \frac{d^2}{2\sigma_y^2} \right\} \\ & \left[ \exp \left( -\frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right) + \exp \left\{ -\frac{(2L-H)^2}{2\sigma_z^2} \right\} \right] \end{aligned} \right\} (4)$$

ここで、 $D$  は汚染物質の減少率で、半減期を約3.5時間とする。また  $L$  は濃度計算時刻  $t$  のリッド高さ、 $H$  は煙の放出時刻  $t'$  の有効煙突高度である。

拡散幅の推定には Roberts ら (1970) の近似法を採



第5図 1969年3月25日の実測値(実線)と計算値(破線)の比較、拡散幅の推定には Turner 線図を使用。



第6図 実測値と計算値の比較。(a) Turner線図を使用。(b) Pasquill-Gifford線図を使用。(わく内の数字は12測定点での1時間値の出現回数を表わす。)

用する。この近似法では、第4図に示すように、過去の状態に関係なく、計算時刻の安定度が利用できる。Robertsによれば、精密法と近似法の間大きな差はなく、近似法による誤差は濃度計算において許容できるといわれている。

3. 計算結果

このモデルでの計算では、次のような条件を設定する。

(i) 5時間前までに排出された煙を拡散計算の対象とし、それ以前に排出されたものは対象地域内に影響しないものとする。

(ii) パフの位置の計算間隔  $\Delta t$  は7.5分とし、濃度計算は30分ごとに行う。そして、1時間平均値は3点の台形公式による。

(iii) 汚染物質の排出強度と気象条件は1時間ごとに変化させる。

(iv) 排ガス上昇高度は Concave 式で計算する。有効高度はリッド (lid) の高さを越えないものとし、風速の下限を 2 m/s と仮定する。

(v) 濃度計算時刻  $t'$  において、リッドより上にある煙は着地濃度に寄与しない。

(vi) 面源はメッシュ端で濃度が中心の1/2になるように初期拡散幅  $\sigma_{y0}$  を設定する。

京浜地区の SO<sub>2</sub> 濃度計算に適用した結果を第5図に示す。リッドの推定には館野の高層観測データを利用して、横浜の地上気温よりの断熱線との交点とする。なお、下限として 150 m を設定する。拡散幅の推定に Turner の線図を使用し、安定度は Pasquill の階級 C, D, E に対応して Turner の 3, 4, 5 とする。また早朝

と夕方は Johnson (1973) の SRI 安定度分類に従い中立 (Turner の 4) とする。第5図に示すように、通常のブルームモデルでは再現できなかった神奈川測定点などでのピーク時の計算値が改善されている。

次に Pasquill-Gifford 線図によって拡散幅を与えて計算する。ここでは、 $\sigma_z$  は横山 (1972) に従って、2倍の値を採用する。また、 $\sigma_y$  の安定度は風速によって定めることにする。Pasquill の安定度で、2 m/s 以下で A, 5 m/s 以下で B, それ以上では C とする。

両者の差は、第6図に見るのように、Pasquill 線図を利用した方がやや高い計算値が得られる傾向にあるが、大きいものではなく、優劣を定めることはできない。どちらの場合も、午前0時からパフの放出を考慮しているので、早朝の計算値がやや低くなっているが、実測値の低い部分で過少推算の傾向がある。この原因としては、次のようなことが考えられる。

(i) パフの放出間隔が7.5分と大きいので、風が強くなると、パフとパフの間にすきまができてしまう。

(ii) 汚染源の把握が不完全である。

4. 結論

風が場所と時間によって変化するような、非定常な気象条件下の拡散モデルとして、パフモデルの検討を行ない、パフの動きをラグランジュ的にとらえる方法を提案した。このモデルにより、京浜地区の SO<sub>2</sub> 濃度を計算し、比較的良い結果が得られた。しかし、強風時に計算値が低くなる傾向があり、モデルの改善が必要であると考えられるが、より高い精度の推定値を得るためには毎時間の個々の煙源の排出量など、より多くの正確なデータが必要になるものと思う。

参考文献

Calder, K.L., 1971: A Climatological Model for Multiple Source Urban Air Pollution, Proc. of the 2nd Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, I-1 to I-33.  
 Johnson, W. B., F. L. Ludwig, W. F. Dabberdt and R. J. Allen, 1973: An Urban Diffusion Simulation Model for Carbon Monoxide, J. APCA, 23, 490-498.  
 北林興二, 横山長之, 1974: 工業都市域の大気汚染シミュレーション, 産業公害, 10, 2074-2083.  
 Martin, D. O., 1971: An Urban Diffusion Model for Estimating Long Term Average Vallues of

Air Quality, J. APCA, 21, 16-19.  
 岡本真一, 塩沢清茂, 大滝厚, 1974: 拡散モデルによる大気汚染シミュレーション, 日本気象学会1974年春季稿集, 32.  
 Roberts J. J., E. J. Croke, A. S. Kennedy, J. E. Norco and L.A. Conley, 1970: A Multiple-soure Urban Atmospheric Dispersion Modet, ANL/ES-CC-007.  
 塩沢清茂, 大滝厚, 岡本真一, 1973: 多重ボックス型モデルによる都市大気汚染の推定, 早稲田大学理工学研究所報告, 第61輯, 40-47.  
 横山長之, 1972: 大気汚染の制御と拡散モデル, 公害, 7, 125-133.

(46ページよりつづく)

状態と「平年値」との差に系統的な差がでてくる。

気候変動の状況は地理的な条件(海岸・内陸, 山岳・平野, 都市・郊外など)によっても, 気候要素の種類によっても異なる。気候資料の利用に際しては必要な統計量は平均値だけではなく, 気候要素の値の度数分布に関する情報が有用である。安定した度数分布を得るために必要な統計年数について米空軍の調査に基づいて Lansberg and Jacobs<sup>3,4)</sup> がまとめた結果を表に示す。これは, 一定の目的のために必要な気候要素について行った予備的調査の結果であるがひとつの参考になろう。

(気象庁長期予報課 能登正之)

参考文献

1) Jagannathan, P. et al., 1967: A Note on Climatological Normals, WMO Tech. Note

No. 84, WMO-No. 208, TP. 108.

2) 気象庁, 1965: 普通気候観測・観測所観測統計指針, p. 22.  
 3) 気象学ハンドブック編集委員会, 1959: 気象統計, 気象学ハンドブック, 技報堂. 1006-1007.  
 4) Lansberg, H.E. and W.C. Jacobs, 1951: Applied Climatology, Compendium of Meteor. 977-979.  
 5) 小河原正己ほか, 1952: 日本における気候変動と気候統計法, 研究時報, 4, 461-523.  
 6) 小河原正己ほか, 1957: 気象統計, 気象研究ノート. 8, 24-41, 59-102.  
 7) 鈴木栄一, 1968: 気象統計学, 地人書館. 230-233.  
 8) 高橋浩一郎, 1956: 気象統計, 地人書館. 47-48.  
 9) WMO Ed., 1975: Technical Regulations, Basic Document No. 2, WMO-No. 49, [A. 2. 4] 4. 2. 5, p. 144.