

# 拡散実験データに基づく水平方向 拡散幅 $\sigma_y$ の推定方法について\*

岡本真一 村上俊一 塩沢清茂\*\*

## 要旨

水平方向の拡散幅  $\sigma_y$  を推定するための回帰式を提案した。この式では、 $\sigma_y$  は風下距離に比例し、地表面の状態と風速によって変化する。拡散実験データと比較した結果、起伏のある地域で過小推算の傾向にあるが、全体としては Pasquill-Gifford 線図よりも整合性が高い。

## 1. 緒言

拡散幅  $\sigma_y$  の推定方法については多数の報告があるが、わが国においては Pasquill-Gifford (PG) 線図が最も広く利用されている。PG 線図 ( $\sigma_y-x$  線図) は筆者ら (1980) の前報で述べたように、全体に  $\sigma_y$  を小さく推定する傾向にあり、とくに安定時にこの傾向が顕著に現われる。

風向変動幅  $\sigma_\theta$  をパラメータとして含む推定法では、乱流計測データのない場合には、風速、放射収支量、あるいは Pasquill 安定度などから  $\sigma_\theta$  を推定し、その推定値に基づいて  $\sigma_y$  が計算される。風向変動幅が得られれば、 $\sigma_y$  の推定精度の向上が期待できるが、 $\sigma_\theta$  の推定方法が確立されていない現状においては、これらのデータがない場合には、風速などの測定されているパラメータより直接に  $\sigma_y$  を推定する方が有利であろうと考えられる。

## 2. 拡散幅 $\sigma_y$ の推定式

前報の解析より、風下距離 20 km 程度までの範囲では  $\sigma_y$  はほぼ風下距離  $x$  に比例し、すべての風下距離において、 $\sigma_y$  は風速  $u$  に反比例する傾向が見られる。また、放出高度による差は小さいが、地表面の状態による差は第 1 図に見るように明瞭に認められる。

以上の結果より、 $\sigma_y$  の推定式としては、式 (1) の形式がよいと思われる。ただし、 $\sigma_y$  は筆者ら (1979) の前報と同様に、時間の 1/4 乗に比例すると仮定して、捕集時間 1 時間の値に換算したものである。

$$\sigma_y = f(u, z_0) \cdot x \quad (1)$$

ここで、 $z_0$  は地面粗度であるが、この値を正確に求めることは難しいので、第 1 図における分類と同様に、都市 (近郊を含む)、平坦地、起伏のある地域の 3 種類に分類する便宜的な方法を採用する。 $f(u, z_0)$  は、地表面状態別に分けて  $f_i(u)$  として、第 1 図より指数関数とする。ここで、 $i$  は地表面状態別の番号で 1, 2, 3 とする。

$$\ln(\sigma_y/x) = \beta_i u + \beta_0 \quad (2)$$

回帰分析には、第 1 図に示した全データを使用して、3 種類の地域別に計算した。

$$\sigma_y = \begin{cases} 0.21 \exp(-0.060 u)x & (\text{都市}) \\ 0.12 \exp(-0.013 u)x & (\text{平坦地}) \\ 0.12 \exp(-0.039 u)x & (\text{起伏のある地域}) \end{cases} \quad (3)$$

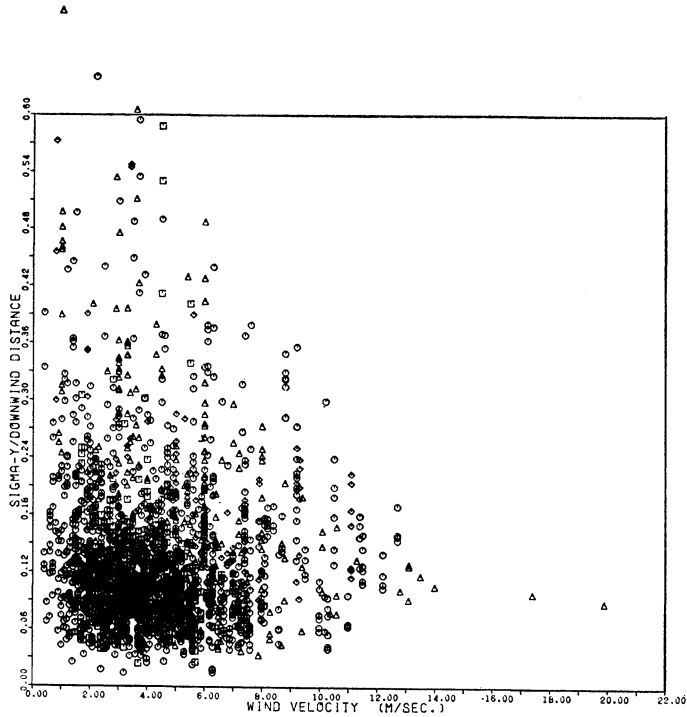
式 (3) に、示す回帰式による計算値を風速階級別地表面状態別の  $\sigma_y$  平均値と比較した結果を第 2 図に示す。ここで使用している起伏の大きい地域のデータは Mt. Iron Project (Vandenberg AFB) によるものが大部分を占めており、普遍性に欠けると思われるので、今後さらに検討を加える必要があると考えられる。都市と平坦地の場合について、式 (3) による計算値と PG 線図との比較を行なった結果を第 3 図に示す。平坦地の場合、風速による差は小さく、2~10 m/sec の範囲では PG 線図の B~C 階級の  $\sigma_y$  に対応している。都市では、風速による差が大きく、2 m/sec 程度ではほぼ A 階級に対応するが、10 m/sec では平坦地での値に近く、B~C

\* A model for estimating the horizontal spread  $\sigma_y$  based on the diffusion experiments.

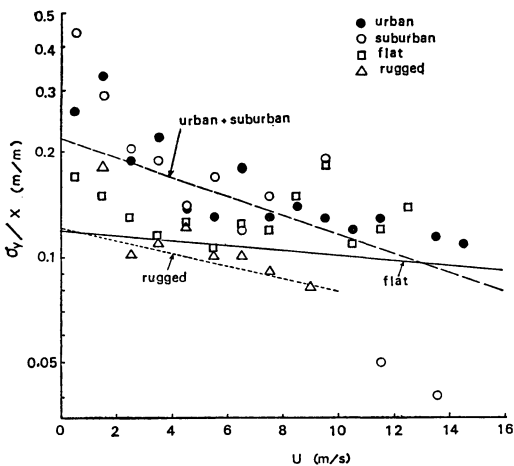
\*\* Shin'ichi Okamoto, Shun'ichi Murakami and Kiyoshige Shiozawa, 早稲田大学理工学部。

—1979年9月14日受領—

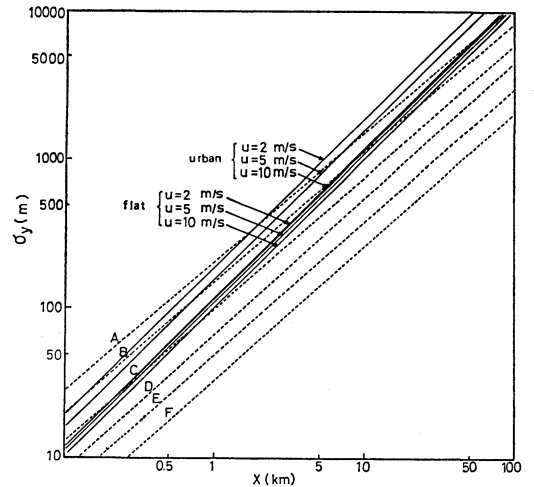
—1979年11月13日受理—



第1図  $\sigma_y/x$  と風速の関係 (○: 平坦地, △: 都市, ◇: 小都市および近郊, □: 起伏のある地域).



第2図  $\sigma_y/x$  の風速階級別 (1m/sec 間隔) の平均値と回帰式の比較.



第3図 式(3)に示す回帰式とPG線図の比較.

階級に一致している.

### 3. 拡散幅推定方法の比較と評価

式(3)を求めるために使用したデータ 2224 個の  $\sigma_y$

実測値を用いて, PG 線図および Briggs (1973) [Gifford (1976) 参照] の方法との比較を行なった. ここで, PG 線図については, 環境庁 (1975) の総量規制マニュアルに記載されている近似式を使用する. 筆者ら (1980) の

第1表 拡散幅  $\sigma_y$  の推定方法の評価

方法	データ数	比率 (cal./obs.)	相関係数	標準誤差 (RMSE)
PG 線図	733	0.75	0.70	441
Briggs 線図	733	0.90	0.73	411
PG線図(修正)*	2224	1.02	0.72	314
式(3)**	2224	1.00	0.77	296

\* 風速によって PG 線図の階級を設定する方法

\*\* 式(3)については内挿データ

第2表 検証用データによる拡散幅  $\sigma_y$  推定方法の評価

方法	データ数	比率 (cal./obs.)	相関係数	標準誤差 (RMSE)
PG 線図	406	0.94	0.74	274
Briggs 線図	406	0.96	0.75	272
PG線図(修正)*	445	0.90	0.85	230
式(3)	445	0.99	0.82	251

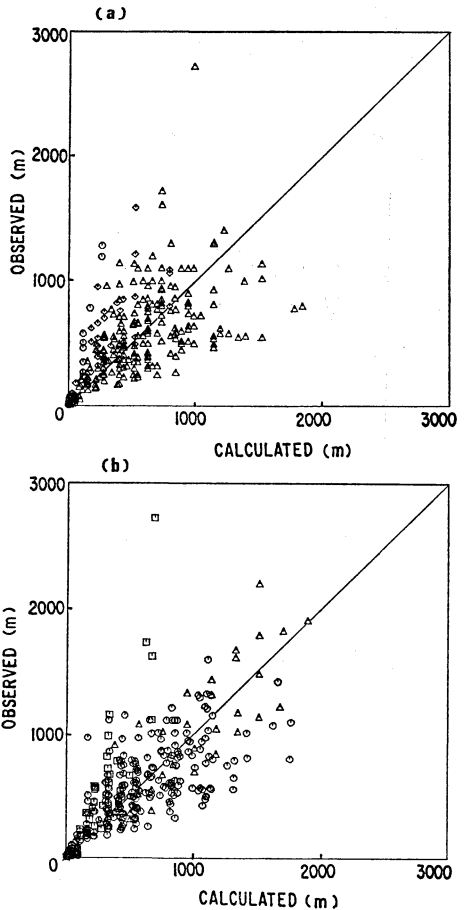
\* 風速によって PG 線図の階級を設定する方法

前報からもわかるように、 $\sigma_y$  は風速への依存性が大きいので、Pasquill 安定度分類表から求まる安定度階級の他に、風速のみから求める階級も採用する。この場合、風速  $u$  が 2 m/sec 以下では A 階級、 $2 < u \leq 5$  m/sec では B 階級、 $u > 5$  m/sec では C 階級として PG 線図の階級に対応させる。Briggs の線図についても近似式が示されているので、これを使用し、Pasquill 分類表から求まる安定度を採用する。この結果を第1表に示す。この表において、PG 線図のデータ数が少ないのは、Pasquill 安定度の記載されているデータが少ないためである。式(3)は内挿であるため、比率は 1.0 に近く、誤差分散の平方根 RMSE は最も小さい。Pasquill 分類表から安定度を求めて PG 線図を使用する方法は、過小評価の傾向にある。PG 線図を使用する場合には、Pasquill 安定度分類表から求まる安定度階級を不安定側へ修正して PG 線図の階級に対応させる方がよいと考えられる。

拡散幅  $\sigma_y$  の推定方法を評価するため、式(3)の回帰係数の計算に使用されていない  $\sigma_y$  実測値 445 個を用いて、推定値と実測値の比較を行なう。このデータの約半数は 100m 以上の煙源高度であり、100~300m の実煙突のデータも含み、風下距離は 50~16000m の範囲である。このデータのうち、地上源については温位勾配から推定された Pasquill 安定度が記載されているものも採用した。

第3表 検証用データによる地表面状態別の式(3)の評価

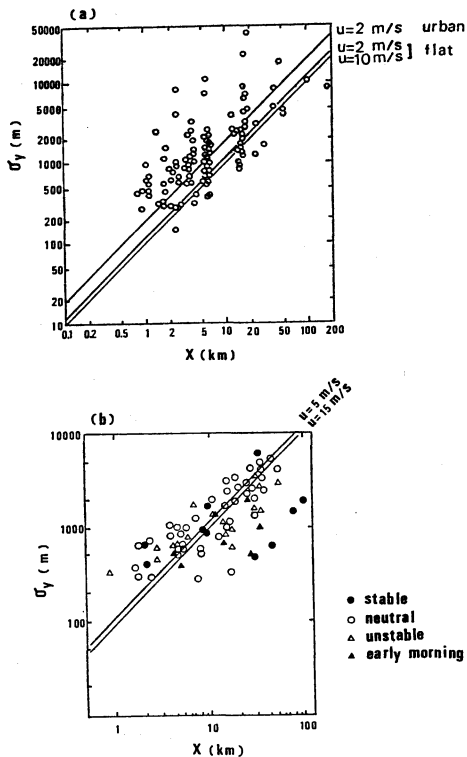
地表面の状態	データ数	比率 (cal./obs.)	相関係数	標準誤差 (RMSE)
都市	34	0.99	0.84	280
平坦地	383	1.06	0.85	209
起伏のある地域	28	0.46	0.85	560



第4図 検証用データによる拡散幅  $\sigma_y$  の計算値と実測値の散布図。

- (a) PG 線図との比較 ( $\Delta$ : 不安定側,  $\diamond$ : 中立 (D階級),  $\circ$ : 安定側)
- (b) 式(3)との比較 ( $\circ$ : 平坦地,  $\Delta$ : 都市,  $\square$ : 起伏のある地域)

PG 線図, Briggs 線図, 式(3) から求めた推定値の評価を第2表に示す。相関係数および誤差分散で評価すれば、風速によって階級を分類し、PG 線図を使用して



第5図 遠距離における  $\sigma_y$ - $x$  線図との比較。  
 (a) Colstrip 拡散実験データ  
 (b) INCO 煙流観測データ

$\sigma_y$  を求める方法が最良であるが、計算値の比率ではやや過小評価となっている。式(3)から求めた  $\sigma_y$  を地表面の状態別に分けて評価した結果を第3表に示す。この表を見ると、相関係数はすべて0.85程度であるが、起伏のある地域の計算値が実測値の1/2程度である。したがって、この起伏のある地域における過小推算が全体の推定精度にも大きな影響を及ぼしていると考えられ、この点を改善できれば、全体の精度もさらに向上するものと思われる。PG線図および式(3)による推定値と実測値の散布図を第4図に示す。この図を見ても、式(3)では起伏のある地域で、PG線図では安定時に過小推算となっていることがわかる。

式(3)に示す回帰式は風下距離20km程度までのデ

ータに基づいているが、さらに遠距離における整合性を見るために、Heimback (1975) による Colstrip 拡散実験データ、Funaki (1978) による INCO 煙流観測データとの比較を行なう(第5図参照)。これらのデータについては、 $\sigma_y$  の推定に必要な気象データが記載されていないため、 $\sigma_y$ - $x$  線図の中に観測データと式(3)による計算結果を記入する。Colstrip 実験はやや起伏のある地域におけるものであるが、全体に式(3)による計算値よりも大きくなっている。INCO 煙流観測は381mの煙突の風下における  $SO_2$  濃度のデータであり、この場合はやや過大推算の傾向にある。

4. 結論

水平方向の拡散幅  $\sigma_y$  を推定するための回帰式を作り、拡散実験データとの比較を行なった。拡散幅  $\sigma_y$  は風速と地表面の状態に依存し、風下距離に比例するものとして、回帰分析を行なった。この回帰分析には、760回のトレーサー実験による  $\sigma_y$  の実測値2224個を使用し、この回帰式の検証には263回の実験による  $\sigma_y$  の実測値445個を使用した。

本提案式は起伏のある地域における係数がやや小さく、 $\sigma_y$  に過小推算の傾向が見られる。しかし、その他の地域については、Pasquill-Gifford 線図より整合性がよく、風下距離100km程度までの範囲に適用できると考えられる。

文献

Fanaki, F.H., 1978: Atmospheric Boundary Layer Effects on the Diffusion of Tall Stack Plume, WMO symp. on boundary layer physics applied to specific problems of air pollution, 175-183, WMO-No. 510.  
 Gifford, F.A., 1976: Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review, Nuclear Safety, 17, 1, 68-86.  
 Heimback, Jr., J.A., 1975: Diffusion from an elevated source over Colstrip, Montana, 68th APCA meeting paper #75-26.6.  
 環境庁, 1975: 総量規制マニュアル, 公害研究対策センター, 138 p.  
 岡本真一, 塩沢清茂, 1980: 拡散実験データに基づく水平方向拡散幅についての解析, 天気, 27, 103~108.