

豊橋技術科学大学 正員 ○北田 敏廣
日立造船 垣 明宏
豊橋技術科学大学 黒川 光彦

(はじめに)

大気拡散のシミュレーションには、三次元的な大気流れ場の情報が必要である。ところが、ほとんどの場合、ルーカントとして収集されている風データは地上でのものであり、しかも空間的にまばらである。このような、まばらな観測値を用いて、三次元的な流れ場をどこまで推定できるか、二つの方法により試みた。また、方法による違いも比較した。対象としたのは三河湾を囲む60 km四方で高さ500 mの領域である。

(連続の式) 大気拡散のシミュレーションを実行する場合、汚染物が保存される(すなわち理由なく生成消滅しない)必要があるから、汚染物を果して運ぶ空気の流れは連続の式を満足していることが要請される。非圧縮性流体の連続の式は、 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$ (1) で与えられる。本報の二つの方法は、何らかの意味で(1)式を用いて u, v, w あるいは w のみを推定するものである。

(初期風の推定) いずれの方法も、地上での観測値(

図1では26点)を用いて推定された格子点における水平風データを必要とする。地上格子点での水平風は、観測点と格子点の距離の二乗の逆数を重みとして観測値を平均して得られる(気象の分野で常用される方法である)。鉛直方向には風速分布のベキ法則を仮定して、地上風より次式により推定した。

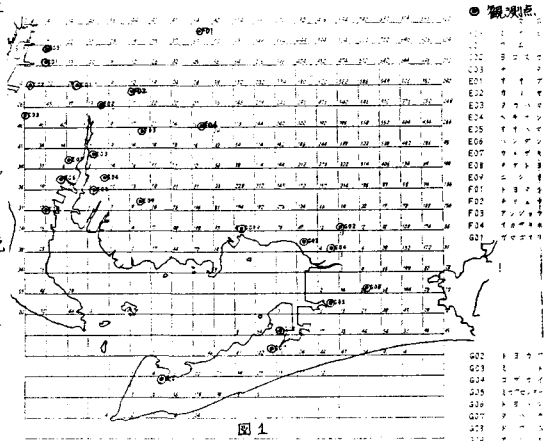


図1

$$U(z)/U(z_0) = (z/z_0)^{\alpha} \quad (2)$$

ここに、 $z_0 = 10$ m, $\alpha = 1/4$ (大気安定度の中立に相当)を用いた。(変分原理に基づく方法-V.P.と略) Sasaki によって開発された方法で、連続の式(1)を制約条件として $\alpha_1^2(u-u_0)^2 + \alpha_2^2(v-v_0)^2 + \alpha_3^2(w-w_0)^2$ を最小とするように u, v, w を決めるというものである。ここに、 u_0, v_0, w_0 は観測値から得た初期風である。普通 w_0 に関する情報は得られないため、0 と仮定する。 α_1, α_2 は重みである。Lagrange 乗数 λ を導入して次の汎関数 U の極小値を求める。 $U = \int_V [\alpha_1^2(u-u_0)^2 + \alpha_2^2(v-v_0)^2 + \alpha_3^2(w-w_0)^2 + \lambda(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z})] dV$ (3) (3)式の第1変分を0として得た式を整理すると、次の λ に関する楕円型偏微分方程式を得る。 $\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial y^2} + (\frac{\alpha_1^2}{\alpha_3^2}) \frac{\partial^2 \lambda}{\partial z^2} = -2\alpha_1^2(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} + \frac{\partial w_0}{\partial z})$ (4)

境界条件は空気の入出を許す場合、 $\lambda = 0$ 、空気の入出を許さない場合 $\frac{\partial \lambda}{\partial x} = \frac{\partial \lambda}{\partial y} = \frac{\partial \lambda}{\partial z} = 0$ 。

得られた λ を用い、 u, v, w が次式で決まる。 $u = u_0 + \frac{1}{2\alpha_1} \frac{\partial \lambda}{\partial x}$, $v = v_0 + \frac{1}{2\alpha_2} \frac{\partial \lambda}{\partial y}$, $w = w_0 + \frac{1}{2\alpha_3} \frac{\partial \lambda}{\partial z}$ (5)

(4)の解は中心差分近似で得られる代数方程式を解くことにより求まる。本報の場合、131

5000 × 5000 の疎な係数行列を得たが、数字のあらわれ方に

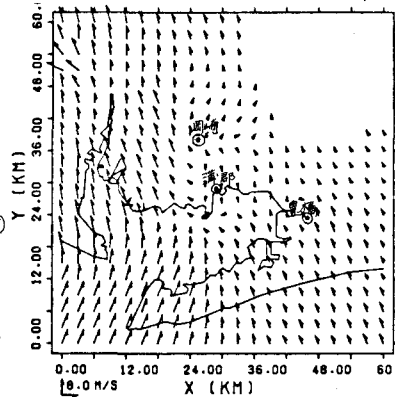


図2-a. 7/14 15時における風場(高=200 m)
図2-a. 距離の二乗の逆数を重みとして平均による。

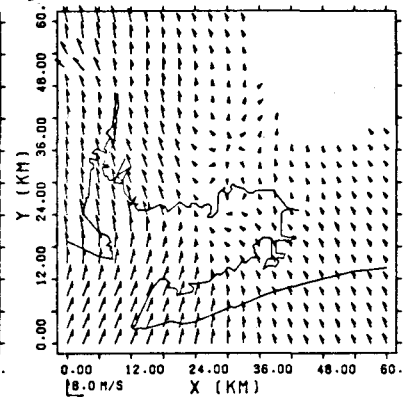


図2-b. 7/14 15時における風場(高=200 m)
図2-b. 変分原理に基づく方法(V.P.)による。

規則性があり、 13×5000 程度に圧縮できた。これを SOR 法 (relaxation factor 1.78) で解いた。(連続の式の直接差分による方法⁽³⁾ - D.D. 略) これは簡便なために、大気汚染の計算などでよく用いられている方法である。観測値からの初期推定で得た水平風はすべて正しいものとし、それらの水平風を用いて(1)式が成立するように W を決めるものである。同じく、(1)式を中心差分近似し、地表面での鉛直風成分を 0 とし、順次上方に向かって W を求めて行く。地形を考慮するために、鉛直方向に無次元化された座標をとることが多い。

(計算結果および考察) 1973年7月4日 14, 15, 16 時のデータを中心に二つの方法により解析した。水平方向刻み $\Delta X = \Delta Y = 3 \text{ km}$ 、鉛直方向 $\Delta Z = 50 \text{ m}$ である。図 2-a が高度 2000 m における 15 時の初期推定風 (観測値の重みつき平均と風速分布のベキ法則による) である。図 2-b が変分原理に基づく方法 (V.P.) により調整した風の場合である。風速の大きな場所での目立った修正はないが、蒲郡の付近で調整のあじが見られる。図 3-b が図 2-b に対応する時点での $Y-Z$ 鉛直断面 (蒲郡の西方 9 km のあたりを南北に通る断面) の推定した風の場合である。図 3-a, b, c がそれぞれ 14, 15, 16 時と時間が経過していった時の鉛直断面風の変化をあらわす。また、図 3-d が直接差分による方法 (D.D.) によって得られた 15 時における鉛直断面風である。図 3-b と 3-d が二つの方法による違いを示す。V.P. による結果が、大きくて $7 \sim 8 \text{ m/s}$ という鉛直風を生えているのに対し、D.D. による結果は大きいところで 80 cm/s という鉛直風をもち込んでいる。積乱雲の中でも W は $10 \sim 20 \text{ cm/s}$ 程度とされているため、これは非現実的な数値といわなければならない。同じく $X-Z$ 断面の結果にも言える (図 4-a, 4-b)。これは、D.D. が水平風の調整を全く行なわなかったためと思われる。したがって、D.D. により良い結果を得るためには、水平風の初期推定に精度の高い値が要求されると思われる。一方、V.P. は鉛直風の値にも reasonable な値を生みだし、ほぼ満足すべき結果を生えたものと言える。しかし、明らかに地上風だけのデータから上空の風を推定するには限界があり、今後水平風の鉛直分布に関する情報が多えられた時どのような結果が modify されるかなど、検討されるべき問題である。

(1) Sasakura (1979): Lecture Notes on Variational Methods for Environ. Analysis and Prediction Problems. (2) S. A. Sherman (1978): J. Appl. Meteorology 17, 312-319. (3) Reynolds, Roik, Seinfeld (1973): Atmos. Environ. 7, 1033-61.

