

II-391

複雑領域での大気流れ解析における境界適合格子生成に関する一考察

豊橋技術科学大学 学生員 国井克彦

豊橋技術科学大学 正会員 北田敏廣

1. はじめに 各種の土地利用形態に対する大気の運動量・熱・水蒸気・汚染質等の輸送過程を予測する場合、地表形状の幾何学的な複雑さをどう取り扱うかということも重要なテーマとなる。この場合、有限差分法により流れ場の数値計算を行うには、格子網の構成を工夫する必要がある。本研究では、斜面を含む複雑領域に対し、鉛直方向のみへの座標変換法と一般曲線座標系への座標変換法(境界適合格子生成)の二つを用い、得られた格子網から各方法の流れ場数値解析に対する適用性を比較・検討した。

2. 座標変換法

(1) 鉛直方向への座標変換法(図1)

座標変換のための関数(式(1))は比較的簡単で、数百km以上のスケールの大気流れの数値計算にはよく用いられる。

$$\left. \begin{aligned} x &= x \\ \sigma &= \frac{z-h(x)}{S} \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで

$h(x)$; 地表面高度
 S ; 上方境界と $h(x)$ 間の鉛直距離

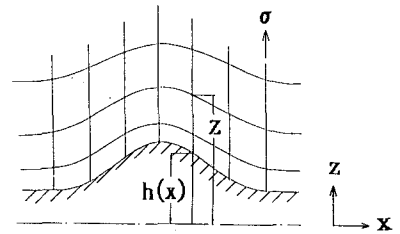


図1 鉛直方向への座標変換

(2) 境界適合格子生成法(図2)

この方法は、式(2),(3)に示されるように、定常熱伝導問題とのアナロジーで曲線座標系(境界適合格子)を数値計算により求めるもので、得られる座標線は滑らかであり、また非斉次項の大きさを操作することにより座標線の粗密が調節できる(式(4)($R(\xi, \zeta)$ も同様))。

実際に格子網を得るには、式(3)を逆変換した式を解く。

3. 比較・検討 図3a, 3b,

3cに斜面傾斜角 $\theta = 45^\circ$ の場合の2.(1), 2.(2)の方法による格子網を示す。図4a, 4b,

5a, 5bに図3a, 3cに対する計量係数(z_i^* , J (変換のヤコビアン); 無次元)の分布を示す。計量係数は座標変換に関する情報を伝達する重要なパラメータである。図3aでは斜面上にゆがみが、また平野-斜面、斜面-台地の接点上で座標線勾配の急変が見られる。図3cは、非斉次項の効果により図3bの格子のゆがみが著しく改善されている。格子のゆがみおよび座標線勾配の急変は、流れの数値計算において精度、安定性の面で問題を生じるものと考えられる。図4, 5から計量係数について比較すると、上述に対応し、図4では計量係数の大きな勾配が認められる。以上から、

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \xi(x, z) \\ \zeta &= \zeta(x, z) \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \xi_{xx} + \xi_{zz} &= P(\xi, \zeta) \\ \zeta_{xx} + \zeta_{zz} &= R(\xi, \zeta) \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\begin{aligned} P(\xi, \zeta) &= -\sum_{i=1}^n a_i \operatorname{sgn}(\xi - \xi_i) \\ &\quad \times \exp(-c_i |\xi - \xi_i|) \\ &\quad - \sum_{j=1}^m b_j \operatorname{sgn}(\xi - \xi_j) \\ &\quad \times \exp[-d_j \sqrt{(\xi - \xi_j)^2 + (\zeta - \zeta_j)^2}] \end{aligned}$$

ここで

a_i, b_j, c_i, d_j ; パラメータ

$\operatorname{sgn}(x)$; x の符号

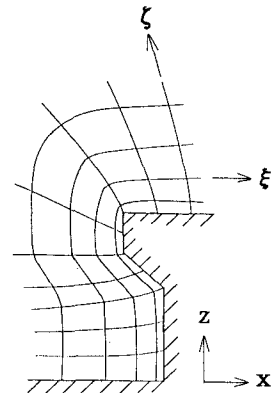


図2 境界適合格子生成

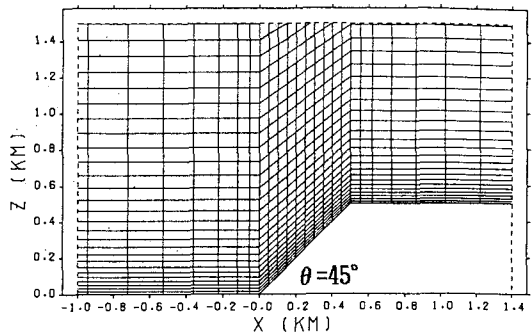


図3a 2.(1)による格子網

2.(1)より2.(2)の方法が、流れ場の数値計算上望ましい格子網を提供すると考える。但し、 $\theta < 45^\circ$ の場合には逆に2.(1)が有利となることが予想される。

4. おわりに 今回検討した格子網については、それを用いて流れ場の数値計算も行い、得られる流れ場等からも各格子網に対する検討が必要なものと考える（発表時にその検討結果を示す）。

$(P(\xi, \zeta)=0, R(\xi, \zeta) \neq 0)$

$(P(\xi, \zeta) \neq 0, R(\xi, \zeta) \neq 0)$

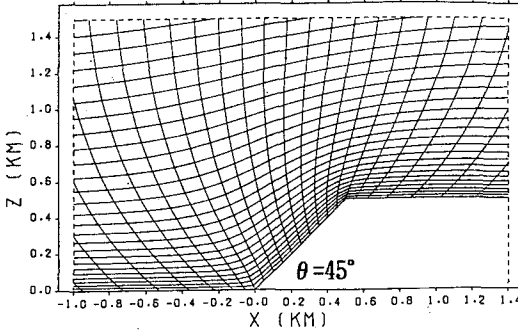


図3b 2.(2)による格子網

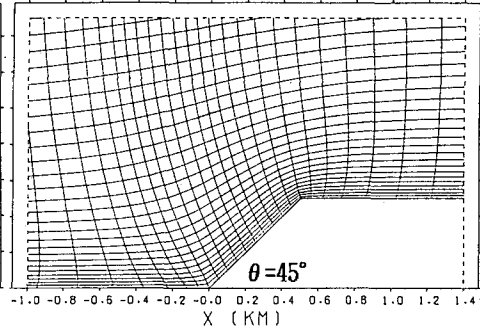


図3c 2.(2)による格子網

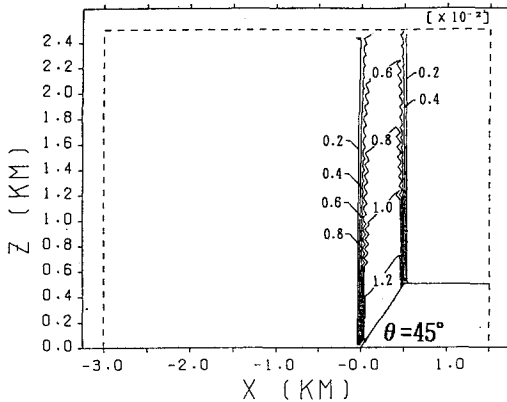


図4a 図3aに対する z_i^2 の等値線

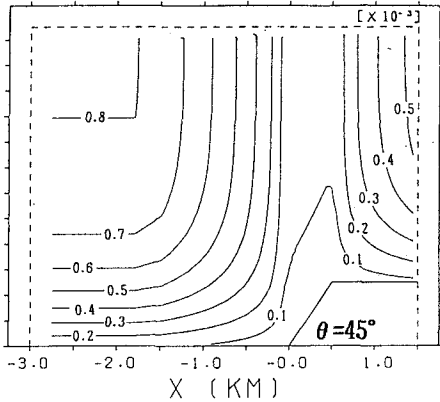


図4b 図3aに対する J の等値線

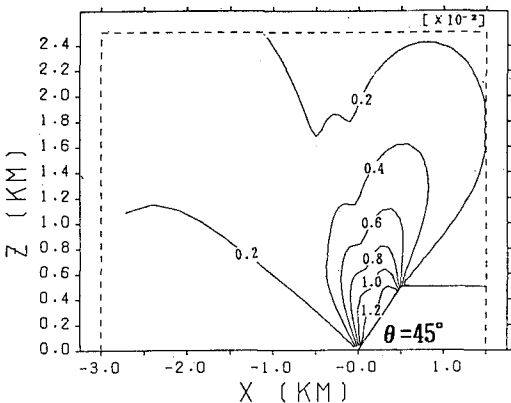


図5a 図3cに対する z_i^2 の等値線

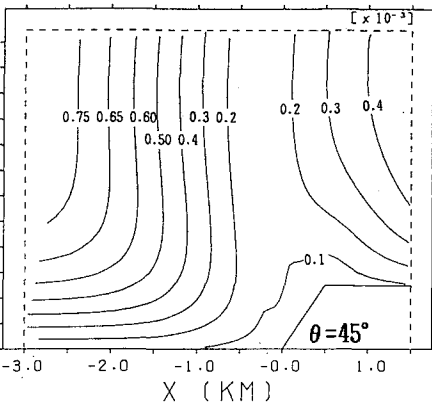


図5b 図3cに対する J の等値線

(参考文献) Thompson, J.F.(1980). Numerical Solution of Flow Problems Using Body-Fitted Coordinate Systems, Computational Fluid Dynamics (W.Kollmann, ed.), Hemisphere Publishing Corporation, 1-98.