

境界層モデルを考慮した気象数値シミュレーションに関する研究

鳥取大学工学部 フェロー 道上 正規

鳥取大学工学部 正 員 矢島 啓

鳥取大学工学部 学 正 員 ○野島 兼吉

1.はじめに 米国では大規模水理構造物の設計のために、その流域での可能最大降雨量(PMP)を求める試みがなされている。これまでその研究の1つとして日本の急峻な地形の影響を考慮した水蒸気の流れの数値シミュレーションを行ない、PMPの地域評価を行ってきた。本研究では、接地境界層内の現象、つまり地表面付近の摩擦の影響や水蒸気フラックスを取り入れた大気の数値シミュレーションを行ない、これまでのモデルの改良を試みた。

2.CFL(Constant Flux Layer) 高さ50m程度以下の大気層は接地境界層と呼ばれている。この層は大気とそれら地表面の間で、風のもつ運動量、熱、水蒸気量などが直接的に交換されており、風速、気温分布などは複雑になっている。また、鉛直方向における運動量の輸送量(フラックス, flux)が近似的に一定と見なされ、CFL(Constant Flux layer)といわれている。CFL中において風速は地表面摩擦を受けて下層ほど弱められ、上下に風速勾配ができ、乱流が生まれる。本研究において、CFLはシミュレーションの鉛直方向の計算グリッド25の気圧層のうちの最下層(地表面から1つ上方の格子点まで)とし、モニン オブコフの相似則を用いると接地境界層内における運動量、温位、比湿の鉛直フラックス τ, H, E はそれぞれ以下ようになる。

$$\tau = -\rho k^2 V^2 [\ln(z/z_m - \Psi_m(\zeta))]^{-2} \quad (1)$$

$$H = -\rho C_p (\theta - \theta_s) k u_* [\ln(z/z_\theta - \Psi_\theta(\zeta))]^{-1} \quad (2)$$

$$E = -\rho \beta (q - q_{sat}) k u_* [\ln(z/z_q - \Psi_q(\zeta))]^{-1} \quad (3)$$

ここで k はカルマン定数で0.4とする。また、 $\zeta = z/L$ であり、 L はモニン・オブコフの安定度スケール、 $\phi_F(\zeta)$ は ζ の普遍関数である。添字 m, θ, q はそれぞれ運動量、顕熱、水蒸気に関する量であり、 θ_s は地表面での温位である。 q_{sat} は地表面温度に対する飽和比湿で、エクスナー関数 π と地表面より1つ上の層の温位 θ で表わされる。また、 $V^2 = u^2 + v^2$ である(u と v は x, y 方向の風速)。積分普遍関数 $\Psi_F(\zeta)$ は、最も簡単な中立の場合($\zeta = 0$)とした。 z_m は速度 u_* に対する地表面の粗度であり、 z_θ, z_q は温位、比湿に対する粗度を表している。本研究はシミュレーションで使われている東西・南北方向の運動方程式、熱力学方程式、水蒸気の保存式のそれぞれのサブグリッド項

$$-\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} (\rho_0 \overline{\phi^n w^n}) \quad (4)$$

に示される $\rho_0 \overline{\phi^n w^n}$ に、先に示した τ, H, E を与える。

3.シミュレーション概要 今回おこなったシミュレーションの対象領域は、近畿地方を中心とした東西に360m、南北に594mの範囲で行い(図-1)、中北らのモデル[1]と同様に三次元大気モデルを用いシミュレーションを行なった。また大気鉛直プロファイルについては、すべての地点において同じ分布を用いた。ただし図-2で示すように、各点の地表面において気圧差を設けることにより、気圧勾配を一定方向に持つようにした。また湿度鉛直プロファイルとして、地表面において95%、圏界面(=約14km)で10%の相対湿度を持つように線形的に設定した。シミュレーションは設定した大気総観場から初期風速場を設定し、10時間分のシミュレーションを行った。

4.シミュレーション結果の比較と検討 シミュレーションは東からの風が吹くような大気場とし、境界層モデルを取り入れ地表面フラックスを導入した場合(以下、CFLを考慮した場合という)と、導入しない場合(以下、CFLを考慮しない場合という)の風速を最下層(地上5m付近)の分布図で検討を行なった。まず最初に地表の高度を一定(高度 $h=0$)として、それぞれCFLを考慮した場合と考慮しない場合について考察する。まず風速のベクトル図3を見るとCFLを考慮した場合、陸地と海上の風速の変化が現れていることがわかる。次に地表の高度を計算に含め風速 u, v 、比湿 q_v 、温位 θ の3つの分布図を比較した。風速のベクトル図によるとCFLを考慮した場合(図-5)よりCFLを考慮しない場合(図-6)

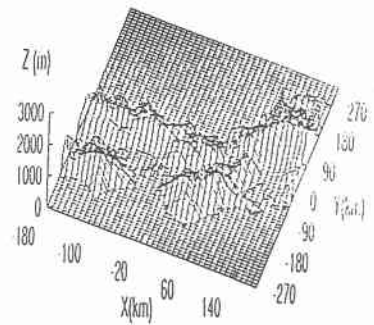


図-1 解析対象領域

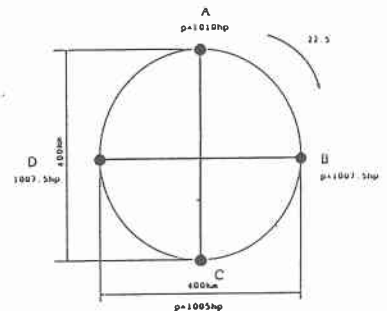


図-2 大気鉛直プロファイル模式図

の方が海上と陸地の風速との差が大きい。つまり、陸地の方が地表面の摩擦粗度が大きいので、風の吹く方向と逆の方向に摩擦力が働くことにより、陸地の風が弱まるのである。このように、陸地で風速のベクトルが小さくなるところは水平方向の運動量が鉛直方向へ輸送され、CFLを考慮した方がより大きな上昇流が発生していると考えられる。次に比湿の分布図(図-7、図-8)及び温位の分布図(図-9、図-10)の比較、考察も行なった。比湿分布図では全体的にCFLを考慮した方(図-7)が比湿が高い。これは、CFLを考慮した場合、地表面の水蒸気が上空に運ばれているためである。また温位分布図(図-9と図-10)では、ほぼ同じ分布図となっている。これはCFLを考慮した場合もしない場合も、地表面における温位の鉛直輸送量が微量であるためこの様な結果となった。

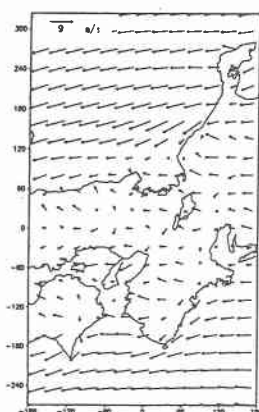


図-5 風速ベクトル図
(CFL考慮あり)

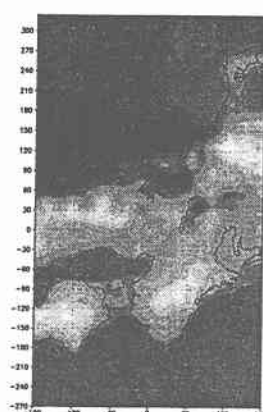


図-7 比湿分布図
(CFL考慮あり)

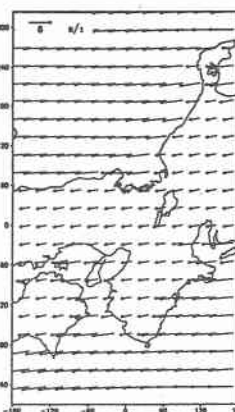


図-3 風速ベクトル図
($h=0$, CFL考慮あり)

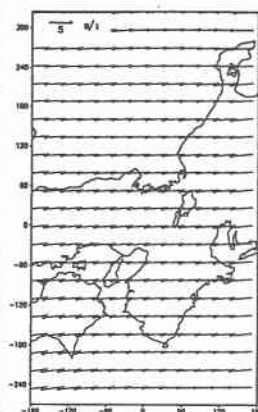


図-4 風速ベクトル図
($h=0$, CFL考慮なし)

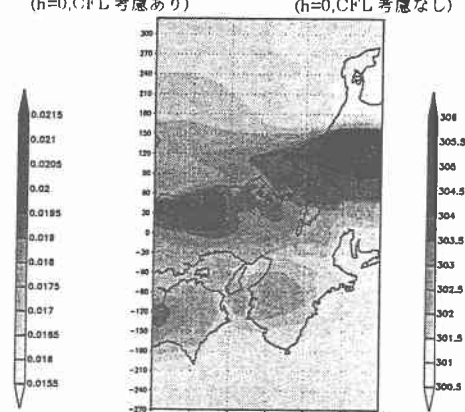


図-9 温位分布図
(CFL考慮あり)

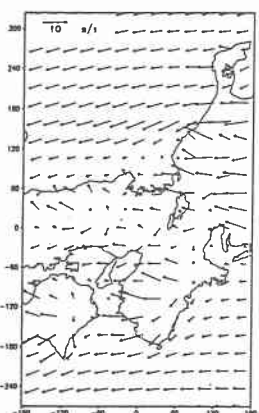


図-6 風速ベクトル図
(CFL考慮なし)

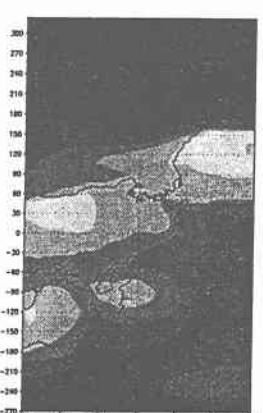


図-8 比湿分布図
(CFL考慮なし)

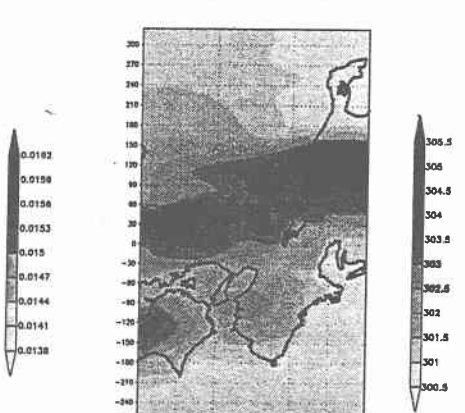


図-10 温位分布図
(CFL考慮なし)

5. 終りに本研究はPMP推定精度の向上を目的とするうえで、接地境界層内の現象を取り入れた大気の数値シミュレーションを行いその結果を考察した。その結果、境界層でのさまざまな鉛直フラックスを与えたことで境界層内での地表面付近のより現実的な風の動きを再現することが可能になった。今後このモデルを用いてPMP推定の研究を進める予定である。

6. 参考文献 [1] 中北英一他: 地表面水蒸気フラックスが降雨分布に与える影響に関する基礎的検討, 水工学論文集, 第38巻, pp.25-32, 1994.