

II-15

降雨生成過程を考慮した実用的レーダー降雨予測

日本気象協会北海道本部 ○正 宮下 孝治

北海道開発局開発土木研究所 正 中津川 誠

1. はじめに

物理過程を考慮したレーダー降雨予測は中北ら¹⁾によって研究されている。我々は3次元レーダー観測データを活用した実用的な降雨予測システムの構築を検討してきた²⁾。今回は、予測方式を精緻化するために大気水分量保存式を雲水量保存と雨水量保存に分け、Kesslerが提唱した降水の生成モデルを導入することとした。導入にあたっては、レーダー観測情報から物理量を逆推定するリターン³⁾法⁴⁾を応用し、物理諸量を同定することで初期値設定を行い、初期値をもとに支配方程式系を時間積分して降雨を予測していくものである。なお、本研究にあたっては北海道開発局道東レーダー雨量計の降雨観測データを用いたものである。

2. レーダー降雨予測について

最初に温位・雲水・水蒸気の初期値をリターン法を用いる作成する。このことは端的に言えば、レーダー観測雨量と適切な温位・水蒸気初期値を与え、熱収支・雲水収支・水蒸気収支を満足する修正分布（温位・雲水・水蒸気）を求めることにある。具体的な物理量（温位・雲水・水蒸気）の同定の流れを図-1に示す。また、ケッセル⁵⁾の考え方は図-2に示す通りである。総合的な予測手法は、気象庁風予測等の情報を取り込み実施し、図-3に示す通りとなる。

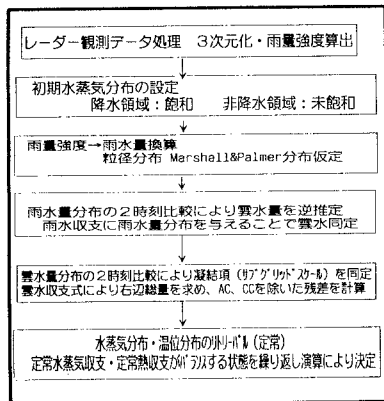


図-1 物理量同定の流れ

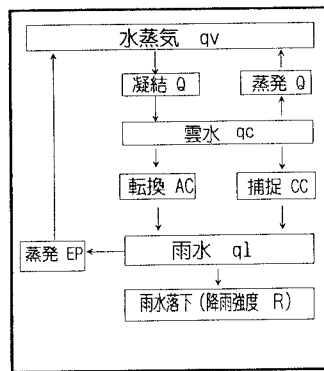


図-2 降雨生成過程

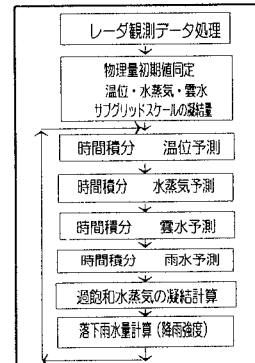


図-3 降雨予測の流れ

$$\text{熱収支} \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w \frac{\partial \theta}{\partial s} = \frac{L}{\rho_0 \pi} Q + \frac{L}{\rho_0 \pi} CV - \frac{L}{\pi} EP \quad \text{水蒸気収支} \quad \frac{\partial q_v}{\partial t} + u \frac{\partial q_v}{\partial x} + v \frac{\partial q_v}{\partial y} + w \frac{\partial q_v}{\partial s} = -\frac{Q}{\rho_0} - \frac{CV}{\rho_0} + EP$$

$$\text{雲水収支} \quad \frac{\partial q_c}{\partial t} + u \frac{\partial q_c}{\partial x} + v \frac{\partial q_c}{\partial y} + w \frac{\partial q_c}{\partial s} = \frac{Q}{\rho_0} + \frac{CV}{\rho_0} - AC - CC \quad \text{雨水収支} \quad \frac{\partial q_l}{\partial t} + u \frac{\partial q_l}{\partial x} + v \frac{\partial q_l}{\partial y} + w \frac{\partial q_l}{\partial s} = \frac{\rho_w}{\rho_0 (H-h)} \frac{\partial R}{\partial s} + AC + CC - EP$$

Q: リターン法の現象に伴う凝結 CV: 過飽和分に相当する凝結量

$$CV = \frac{q_v - q_{vs}}{1 + (L/c_p)(eL/R_d T^2) q_{vs}}$$

x, y: 東西・南北座標 s: 鉛直座標 $s = (z - h(x, y)) / (H - h(x, y))$ z: 幾何高度 θ : 温位（乾燥断熱過程 K） q_v : 水蒸気混合比（kg/kg） π : イクサー関数 $\pi = c_p (P/1000)^{R_d/c_p} = c_p T/\theta$ P: 大気圧（hPa） T: 気温（K） c_p : 定圧比熱 $1005 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$ L: 凝結潜熱 $2.51208 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ R_d : 乾燥空気気体定数 $287 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$ Q: 水相変化量（kg/m³/s） q_{vs} : 飽和水蒸気混合比 α_l : 大気水分量混合比 ρ_l/ρ_0 （kg/kg） ρ_l : 雨水量密度（kg/m³） ρ_0 : 総観場大気密度（kg/m³） ρ_w : 水の密度（kg/m³）Vt: 雨滴落下速度 $3.8 Z_R^{0.0714}$ （m/s） Z_R : レーダー反射因子強度 R: $\rho_0/\rho_w v_{t,q_l}$ H: モデル上端高度 h: 地形標高 u, v, w: 風速成分

3. 物理量同定結果

リトリバル処理対象時刻におけるレーダー観測降雨分布を図-4に示す。東西・南北を3kmメッシュに分割し、格子点上の値を表示したものである。南西部に比較的強い降水域があり、北部には広がった降水域がある。リトリバルされた雲水分布を図-5に示す。降水分布に対応した分布が得られている。降水の強い領域に多くの雲水が含まれる傾向が反映されていると言えよう。紙面により割愛するが、推定温位分布は降雨の強い南西部に温位の高い領域がはっきりと現れており、南西部が降雨生成域にあたるため水蒸気の凝結に伴う潜熱の放出により、周辺部より温位が高い状態となることが示されている。更に、図-6には定常リトリバルにより得られた水蒸気分布を示す。南西部ではリトリバル初期値として設定した水蒸気量 $0.619 \times 10^{-2} \text{kg/kg}$ よりも減少しており、また周辺部よりも水蒸気量が少ない。このことは降雨生成のために水蒸気が消費されているものと思われる。

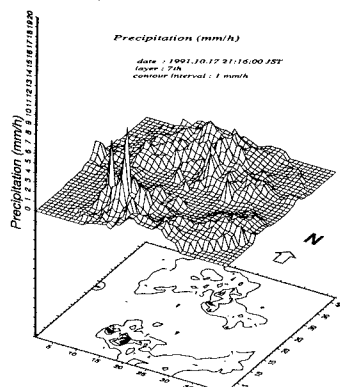


図-4 初期降雨分布

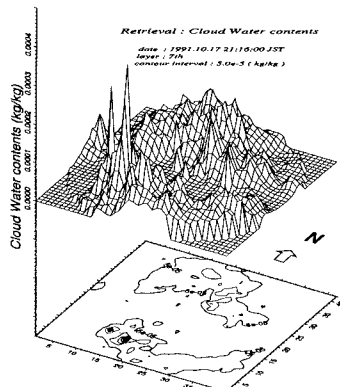


図-5 推定雲水分布

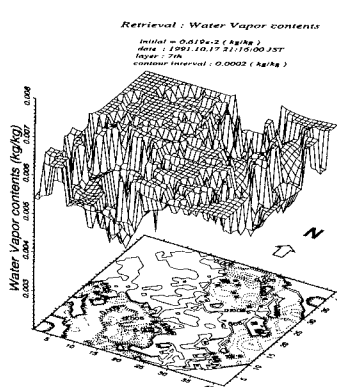


図-6 推定水蒸気分布

4. 降雨予測の実施と運動学的手法との比較

現在の運動学的予測手法の代表である移流モデルによる予測計算をあわせて実施し比較を行った。表-1には予測リードタイム別に予測精度を統計指標に基づき比較した結果を示す。また、代表地域における予測雨量の時間変化を図-7に比較して示す。統計指標に基づけば、物理モデルの予測精度が移流モデルを上回っているとは必ずしも言えない。予測雨量分布の比較によると、移流モデルでは移動傾向が強調され、実測降雨分布より風下側に予測降雨が現れる。それに対して、物理モデルは雨域の定在傾向は捉えているが、降雨強度の強まりが強調されすぎてしまう傾向がある。現段階では従来手法と同程度の予測精度であるが、降雨生成・消滅過程の改良により精度向上を高めていくものである。

表-1 予測の評価

予測精度の検証		予測開始時刻		1994年 8月14日21時00分	
		レーダー雨量との相互相関		予測誤差雨量 (mm/h)	
予測時刻	観測方式	移流モデル	観測方式	移流モデル	
30分後	0.69	0.73	1.1	1.1	
60分後	0.54	0.56	1.4	1.3	
90分後	0.33	0.48	1.8	1.4	
120分後	0.27	0.43	1.9	1.4	
150分後	0.32	0.26	2.0	1.5	
180分後	0.30	0.11	2.6	1.7	

予測精度の検証		予測開始時刻		1994年 9月23日21時00分	
		レーダー雨量との相互相関		予測誤差雨量 (mm/h)	
予測時刻	観測方式	移流モデル	観測方式	移流モデル	
30分後	0.53	0.53	2.5	2.5	
60分後	0.46	0.48	2.5	2.7	
90分後	0.48	0.42	2.6	3.0	
120分後	0.39	0.31	3.1	3.4	
150分後	0.38	0.26	3.5	3.9	
180分後	0.30	0.16	3.9	4.1	

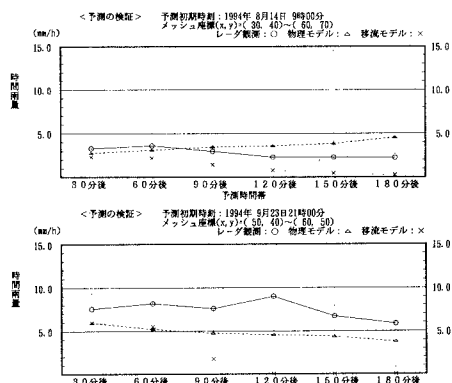


図-7 予測の時系列比較

- 1) 中北・椎葉・池淵・高樫:3次元レーダー情報を利用した降雨予測手法の開発,第34回水工学論文集,1990 2) 橋本・宮下・中津川:3次元トポグラフィを用いた短時間降雨予測モデル 3) Hauser et al.:Comparison of two method for retrieval of thermodynamic and microphysical variables from Doppler radar measurements,J.Atmos.Sci.,45,1285-1303,1988 4) 中北ほか:移流モデルによる短時間降雨予測手法の検討,第28回水理講演会論文集,1984