

II-37

3次元ドップラーレーダーを用いた降雨予測

北海道開発局開発土木研究所 正員 ○中津川誠

北海道開発局旭川開発建設部 正員 橋本識秀

北海道開発局開発土木研究所 正員 谷 昭彦

1. まえがき 現在メソスケールの降雨短時間予測では、2次元の降雨情報を時間外挿するような「運動学手法」が主流であり、降雨の発達や減衰を評価することが難しい。そこで、降雨予測の精度向上と予測リードタイムの一層の延長を考えるためには物理的に根拠のある手法が望まれる。また、そのためにレーダーの観測情報をより充実させる必要がある。ここでは、3次元ドップラーレーダーの観測結果を初期値に大気水収支、熱収支の式を時間積分して降雨の短時間予測をおこなう方法を提案する。

2. 3次元ドップラーレーダーの諸元 観測に用いたレーダーは、北大低溫研が所有する3次元ドップラーレーダーである。このレーダーは、アンテナの走査によって種々の観測モードが選択でき、雨域の3次元構造が観測できるほか、VAD（Velocity Azimuth Display）モードによっては、送信と受信電波のドップラー効果を利用して、任意仰角や鉛直断面内での雨雪域のドップラー速度を観測することも可能である。これを開土研石狩水理実験場に設置し、降雨を集中的に観測した¹⁾。なお、レーダーは図-1に示すような半径64kmの範囲をカバーし、空間分解能は方位方向に1°、動径方向に250mとなっている。

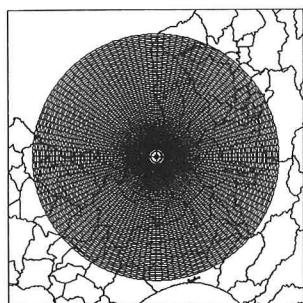


図-1 3次元ドップラーレーダーの観測範囲

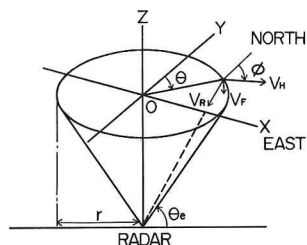
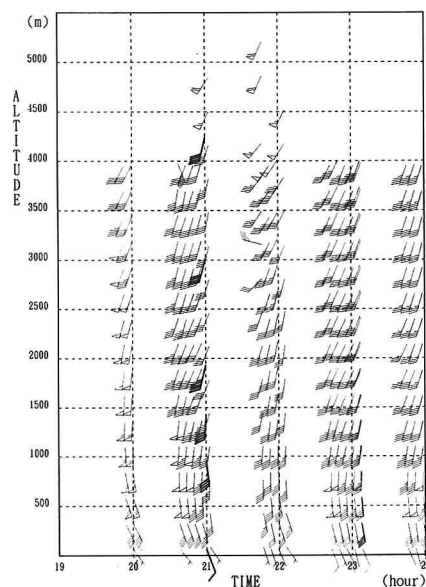


図-2 VAD観測の模式図

図-3 VAD解析で推定した水平風速
(太線はゾンデデータ)

3. VAD法による風速成分の推定 VAD法は、模式的に図-2に示すような領域においてVADモードで観測されたドップラー風速から、レーダー上の水平風の風向・風速、水平発散などを得る手法である²⁾。なお、水平発散を積分することにより鉛直流の速度も得ることができる。ところで、風の3成分を測定するために、原理的には3台のドップラーレーダーが必要だが、このVAD法は1台のレーダーからそれらを推定できる実用的価値の高い手法である。ドップラー速度 $V_R(\theta)$ は風向 ϕ 、レーダーの方位角 θ (ϕ , θ は真北を基準に時計回りに与えた角度) によって表現することができるが、これを次のようにフーリエ級数近似することを考える。

$$V_R(\theta) = A_1 + A_2 \sin(\theta) + A_3 \cos(\theta) + A_4 \sin(2\theta) + A_5 \cos(2\theta) \quad (1)$$

ここで、係数 $A_1 \sim A_5$ を最小自乗法によって実測データから求める。このような係数から、例えば水平風速 V_H 、風向 ϕ は次のように求められる。

$$V_H = (A_2^2 + A_3^2)^{1/2} / \cos(\theta_e), \quad \phi = \tan^{-1}(A_2/A_3) \text{ at } A_3 > 0, \quad \phi = \tan^{-1}(A_2/A_3) + \pi \text{ at } A_3 < 0 \quad (2)$$

降雨事例として1991年10月17日（前線性降雨）を選び、VAD法により風速の推定をおこなった。図-3にはVAD法で推定された水平風の鉛直分布と、ゾンデで観測された水平風（10月17日21時）を太線で示

す。ゾンデは札幌から打ち上げられているが、レーダーサイトはそこから20km程度離れた石狩にあり、そのような違いを考慮にいれても、VAD法がきわめてよく実際の水平風速場を再現しているといえる。特に高度1,000m以上の風の推定に著しく信頼性が高いことは、他の解析結果からも証明されている。上層の風はメソβ程度のスケール（約100km）では一様とみなせるので、河川流域スケールを対象とした解析にはきわめて有用な情報となる。

4. 3次元レーダー情報に基づく降雨予測 中北らは大気熱収支・水収支に関する基礎式をもとにした降雨予測手法を提案している³⁾。ここではそれを参考に、3次元レーダー情報および前節のVAD法によって推定した風速成分を初期値として与え、降雨予測をおこなった。基礎式は次に示す熱力学方程式、水蒸気保存式、大気水分量保存式で、これらを時間積分することによって予測をおこなった。

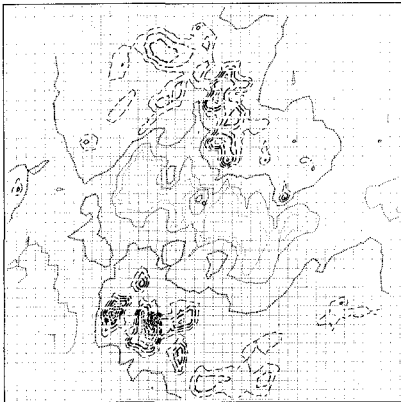
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + \omega \frac{\partial \theta}{\partial s} = \frac{L}{\rho_0 \pi} Q \quad (3) \text{ a) } 20:57:11 \text{ 10/17/91}$$

$$\frac{\partial q_v}{\partial t} + u \frac{\partial q_v}{\partial x} + v \frac{\partial q_v}{\partial y} + \omega \frac{\partial q_v}{\partial s} = -\frac{Q}{\rho_0} \quad (4)$$

$$\frac{\partial q_l}{\partial t} + u \frac{\partial q_l}{\partial x} + v \frac{\partial q_l}{\partial y} + \omega \frac{\partial q_l}{\partial s} = \frac{Q}{\rho_0} + \frac{\rho_w}{\rho(H-h)} \frac{\partial R}{\partial s} \quad (5)$$

ここで、 θ は温位、 q_v は水蒸気混合比、 q_l は大気水分量混合比、 ρ_0 は大気密度、 ρ_w は水の密度、 R は降雨強度をあらわす。また、ここで Q は水蒸気相変化量といわれるものだが、これは対流調節のパラメタリゼーションによって推定する。予測実施例として1991年10月17日21時頃からの降雨の発達状況を計算してみる。

b) 10分後観測結果



c) 10分後予測結果

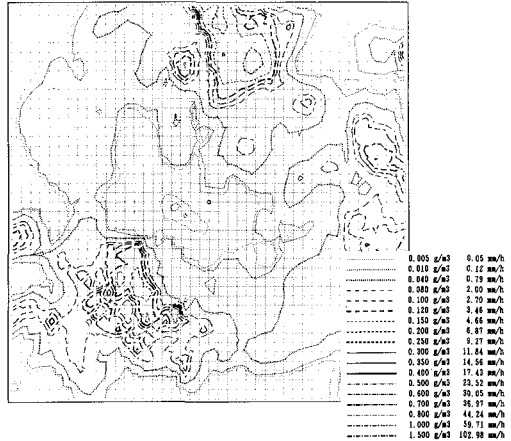


図-4 3次元ドップラーレーダーによる降雨観測結果と予測結果の比較

図-4に開始から10分後の予測結果（高度約2000mの降雨量分布）と実測結果をあらわすが、レーダーサイトから南南西の方向に降雨域の発達があり、それが本モデルによって再現されている。その後、この雨域は北北東の方向に移流する状況も再現されているが、紙面の都合上結果の掲載は省略する。いずれにしても本例のような降雨の発達があらわされなければ、その後の予測精度が低下することは明かであり、物理的なベースをもつ本手法がそのような面での改良をもたらすことが確認された。

5. あとがき ドップラーレーダーの観測結果にVAD法を適用して上空の風を的確に推定し、降雨の3次元情報とともに物理モデルに与えることで、発達・減衰をともなう降雨予測が可能となった。最近トリバーバル法といったドップラーレーダー情報から様々な大気物理量を把握する手法も提案されており、予測の精度向上を目指す上で3次元ドップラーレーダーの整備が望まれる。また、雲物理過程や境界層の風速分布、地形性降雨の評価などが適切にできるように、モデルの発展改良を図っていく必要がある。

参考文献 1) 中津川ら：ドップラーレーダーによる風の場の観測と解析，水工学論文集 37, 1993, 2) 坪木ら：1台のドップラーレーダーを用いた風速場の測定法，低温科学物理篇 47, 1988, 3) 中北ら：不安定場モデルをベースにした3次元レーダー情報による短時間降雨予測手法，京大防災研年報 35 B-2, 1992.