

水蒸気相変化量推定手法に関する3次元ドップラーレーダー情報を用いた基礎的検討

京都大学防災研究所 正 員 中北英一

京都大学大学院 学生員 〇田中実

1. 概要 建設省のレーダーより細かい分解能を有する3次元ドップラーレーダー情報を用いて、偽湿潤断熱過程を考慮にいたれた、水蒸気相変化量およびメソβスケールでの風速を同時に推定する手法を提案し、実現象への適用を試みる。また、この手法が有効となる時空間スケールを調査する。なお、ここで用いたデータは1988年7月中旬に九州地方で生じた梅雨末期の豪雨時に北海道大学低温科学研究所の所有する降雪観測用高速3次元ドップラーレーダーにより観測されたものである。

2. 大気の3次元風速および水蒸気相変化量の同時推定手法 本手法では、降水の存在する領域では大気は飽和状態にあるとして、偽湿潤断熱過程および等方水平収束の仮定の上で、

連続式

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) = \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial z}(\rho w), \quad (1)$$

水分の保存式

$$\frac{\partial m_1}{\partial t} + u \frac{\partial m_1}{\partial x} + v \frac{\partial m_1}{\partial y} + w \frac{\partial m_1}{\partial z} = \frac{Q}{\rho} + \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{\partial r}{\partial z}, \quad (2)$$

偽湿潤断熱過程を考慮した飽和水蒸気量の保存式

$$\{-C_p \left(\frac{RT}{L} + m_s \right) / (\epsilon L \frac{d e_s}{dT} + p C_p) + \frac{RT}{L p}\} \cdot \left\{ u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} + w \frac{\partial p}{\partial z} \right\} = -\frac{Q}{\rho}, \quad (3)$$

の3式を基礎式とし、降水の存在する領域に対して適用する。ただし、基礎式中の諸変数は表1に示した。ここで、湿潤断熱過程とは、飽和した気塊が断熱膨張・圧縮を受ける過程をいい、水蒸気・水滴間の相変化にともなう潜熱の放出・吸収が存在するために、水蒸気を含まない乾燥断熱過程とは気温変化と圧力変化の関係が異なる。さらに湿潤断熱過程の前に設けられている「偽」という言葉によって、放出された潜熱が大気を暖めることだけを考慮し、大気中に存在する水滴を暖めることは無視することを示している。

さて、上記の3式の諸変数の内 r, m_1 はレーダーのデータより求める¹⁾。また、 T, P, ρ は総観場の値を用い、かつ定常とし、 m_s, e_s はこれらより求める。最終的に u, v, w, Q が未知数となる。そこで、算定手順を図1に示す。図中の w_u, w_d は求める高さのそれぞれ上下0.5km離れた鉛直風速の値であり、微分はすべて中央差分で近似する。また、収束の判定としては、前ステップの u, v と更新値の u^*, v^* とが、すべての格子点において

$$\max_{x,y} \{ |u - u^*|, |v - v^*| \} < 10^{-6}$$

を満たせば、解が収束したものとし計算を終了する。このようにして得られた収束後の u^*, v^* を用いて(2)、(3)式より求めたい高さにおける鉛直風速 w と水蒸気相変化量 Q が求められることになる。

3. 結果 ここでは諸変数の内、総観場の値を用いるのものについてはすべてレーダーサイト上空における高

表1 基礎式中の諸変数

ρ : 乾燥空気	ρ_s : 飽和水蒸気
ρ_w : 水の密度	ρ_1 : 単位体積中の水分質量
$m_s (= \rho_s / \rho)$: 飽和水蒸気の混合比	
m_1 : 水分混合比	e_s : 飽和水蒸気圧
Q : 単位体積単位時間当りの水蒸気相変化量	
r : 大気の流れに相対的な降水強度	
(u, v, w) : 風速	L : 水の潜熱
C_p : 定圧比熱	T : 気温
P : 圧力	$\epsilon = 0.622$
R : 大気	の気体定数 (乾燥空気と湿潤空気とでは区別しない)

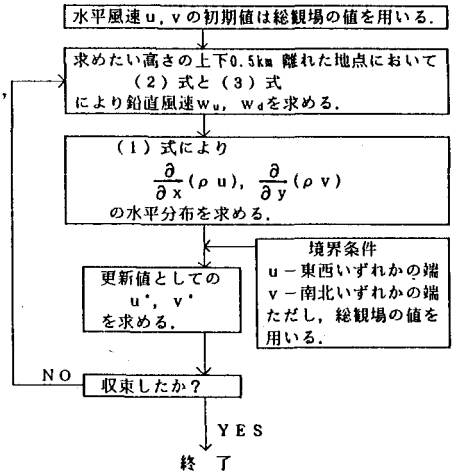


図1 算定手順

層観測のデータの値を使用するが、すべて水平面内では一定とし高さ方向にのみ変化するとする。また境界条件を与える位置は、風向と雨域を考慮に入れて、西と南の端を用いた。図2は水平風速の算定結果にレーダーエコーの強度分布図を重ねたもので、ベクトルの長さは時速の十分の一を表わしており、図3、4はそれぞれ鉛直風速、水蒸気相変化量の算定結果を3次元的に表示したものである。

これらは5.25(km)四方内の r 、 m_1 のデータを平均して平滑したもので、高度は3kmのものである。図3、4を見ると水蒸気相変化量 Q と鉛直風速 w の分布形態はまったく同じで、鉛直方向の風が上昇しているところでは Q は正、すなわち水蒸気が水分に変化しており、下降しているところでは負となっている。

これは定性的に妥当である。また、定量的には、本ケースは対流圏界面まで発達したかなり強い対流性降雨であり w に関してみれば平滑化のスケールからみても妥当である。また、 Q のオーダーがすでに開発され建設省のレーダーデータに適用されている水蒸気相変化量推定手法による算定結果とオーダーが一致

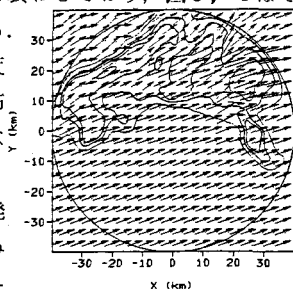


図2 水平風速の算定結果

していることから妥当と言える。さらに、図5(等値線は20, 30, 35, 40, 45, 50, 55(dbZe))の(b)、(c)は(a)の黒線上の鉛直断面内におけるレーダーエコーの強度分布と風速分布を示したものである。この図より、鉛直方向に延びている強エコー部(網かけ部分周辺)で下降流が、右側では上昇流が見られる。これは、レーダーエコーとドップラー速度から推定した本ケースの下層風の状況の模式図である図6と比べても、現象をよく説明付けている良好な算定結果と言える。

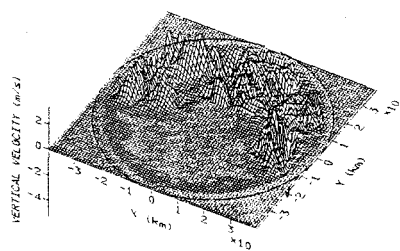


図3 鉛直風速の算定結果

一方、同時に行なった種々の平滑化のスケールに対する調査により、すでに開発されている手法において、建設省のレーダーデータに対して行われている平滑化のスケールでの w の与え方¹⁾は適切であり、逆にその平滑化のスケールを細かくすれば建設省のレーダーにも本手法の適用が可能であることを明らかにした。

4. 結論 以上のように、提案した手法により現象を定性・定量的両面において良好な結果が得られた。今後、ここで提案した手法を建設省のレーダーデータに適用し、諸量の算定を試みる予定である。最後に、データを提供していただいた北大低温研の藤吉康志助手に感謝の意を表します。

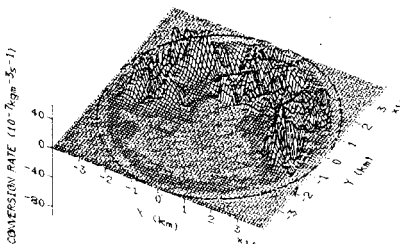


図4 水蒸気相変化量の算定結果

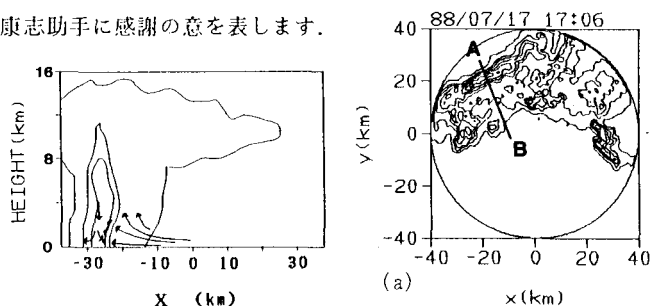


図6 下層風の状況の模式図

(a) エコーの強度分布 (b) 鉛直断面内のエコーの強度分布 (c) 鉛直断面内の風速分布

図5 鉛直断面内のレーダーエコーの強度分布と風速分布

1) 中北英一・椎葉充晴・池淵周一・高樺琢馬(1988): 3次元レーダー雨量計情報の利用に関する基礎的研究(Ⅱ), 京都大学防災研究所年報 第31号 B-2 pp. 231~240