

3次元風速と水蒸気相変化量同時推定手法の衛星搭載レーダーへの適用に関する基礎的検討

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 ○村田憲泰

NTT㈱

正 員 田中 実

1. 概要 将来打ち上げ予定である衛星搭載レーダーへの適用を前提として、既開発の3次元風速と水蒸気相変化量の同時推定手法¹⁾を、静止気象衛星GMSの情報から推定される3次元エコー分布に適用し、広領域データ特有の時間分解能の粗さや広領域での降水現象という特性そのものが算定結果に及ぼす影響を調査する。なお、ここで用いたデータは1985年6月下旬の梅雨末期に建設省深山レーダー雨量計、GMSによって観測されたものである。

表1:基礎式

2. 基礎式 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、表1に示した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。

連続式

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

水分の保存式

$$\frac{\partial m_1}{\partial t} + u \frac{\partial m_1}{\partial x} + v \frac{\partial m_1}{\partial y} + w \frac{\partial m_1}{\partial z} = \frac{Q}{\rho} + \frac{r_w}{\rho} \frac{\partial r}{\partial z}.$$

基礎式とし、降水の存在する領域に対して適用する。偽湿潤断熱過程を考慮した飽和水蒸気量の保存式

$$\left\{ -C_p \left(\frac{RT}{L} + m_1 \right) / \left(\epsilon L \frac{d\epsilon}{dT} + p C_p \right) + \frac{RT}{L p} \right\} \cdot \left\{ u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} + w \frac{\partial p}{\partial z} \right\} = -\frac{Q}{\rho}$$

3式の諸変数の内、 u, v の境界値、 T, p, ρ は

総観場の値を用いる。そして、 r, m_1 はレーダーのデータより求める。算定手順についての詳細は参考文献に譲る¹⁾。

ρ :乾燥空気の密度 ρ_s :飽和水蒸気の密度 ρ_w :水の密度
 ρ_i :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 :単位体積単位時間あたりの水蒸気相変化量
 r :大気の流れに相対的な降雨強度 (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は区別しない)

3. GMS情報への適用に関する検討 本研究では、衛星搭載レーダーに代わる情報として、GMS情報から推定される降水強度指数と呼ばれる2次元降水強度分布を用いる。本手法に必要な情報である3次元エコー分布(r, m_1 の3次元分布)は、既開発の3次元降雨分布推定手法²⁾を用いて得ることにする。

また、3次元レーダー情報の水平分解能(3km)に対して、GMS情報の水平分解能(5km)であるものの、3次元レーダー情報の時間スケール(5分)に比して、GMS情報の時間スケール(1時間)が非常に大きい。すなわち、この時間スケールでの差分近似は意味を持たなくなる。そこで、GMS情報への適用の際には基礎式中の時間項 $\partial m_1 / \partial t$ を無視することにする。

図1は、ここで用いるGMS情報と同時刻に深山レーダーによって観測された高度3kmのエコー強度分布である。また、3次元降雨分布推定手法により、高度2kmのエコー強度 Z_2 と高度2kmのエコー強度 Z_0 が $Z_2 = \phi_s \times Z_0$ なる関係にあると仮定して、 ϕ_s に関する回帰分析を行なって推定した高度3kmのエコー強度分布を図2に示す。ただし、等値線は20, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60dBZeについて示してある。推定した3次元エコー分布は、それによって算定される r, m_1 の鉛直分布が滑らかになるものの、図1、図2に示した双方の分布形態はよい対応関係にあり、本手法に必要な r, m_1 の空間微分を推定するには十分であると考えられる。

降水の3次元化、時間項無視の算定結果への影響を調査するため、図1に示した3次元エコー分布を時間項を考慮して算定した鉛直風速を図3に、また図2に示した推定した3次元エコー分布を時間項を無視して算定した鉛直風速を図4に示す。図4に示された値が若干小さいものの、双方から得られた値は定性、定量的により対応関係にある。よって、GMS情報への適用の際には以下の推定手順で3次元エコー分布を推定し、時間項を無視して風速と水蒸気相変化量の同時推定を行なう。

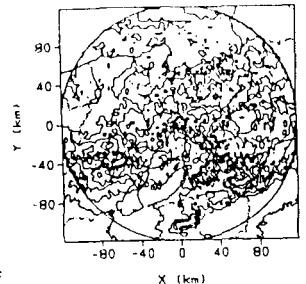


図1:観測されたエコー強度分布

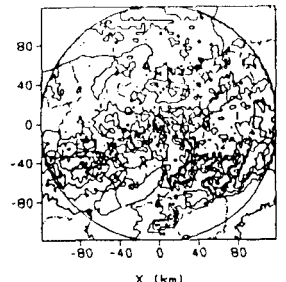


図2:推定したエコー強度分布

1. 降水強度指数から得られる各格子点の降雨強度 R_i を粒径分布を仮定してエコー強度 Z_i に変換する。2. 得られた Z_i を高度 2km の値であると仮定して、3次元降雨分布推定手法により Z_i を推定する。3. 得られた Z_i から粒径分布を用いて、 r_i 、 m_i を算定する。

得られる Z_i を高度 2km の値と仮定するのは、GMS情報が観測高度が $1\sim 3\text{km}$ であるレーダー合成値から推定されており、また、本手法において必要な情報が r_i 、 m_i の空間微分であることから、衛星搭載レーダーが利用可能となる前の仮の3次元情報としては十分であると判断したからである。

4. 結果 ここでは諸変数の内、総観場の値を用いるものについては、図3、図4に示した深山レーダー情報への適用結果との比較のため、すべて輪島、米子、潮岬における高層観測値から地衡風近似して得られる深山レーダーサイト上空の値を用いる。また、境界条件を与える位置は深山レーダーサイトを原点とする直交軸上とした。

図5は降水強度指数分布から推定した高度 3km の降水強度分布であり、等値線は $0.5, 1.3, 6, 12, 24, 36\text{mm/h}$ について示してある。図6は算定した水平風速分布であり、ベクトルの長さは時速の 1.2 倍で表示している。また、同時刻の輪島、米子、潮岬、福岡、浜松で高層観測された同高度の水平風速の値を記入している。そして、図7は算定した鉛直風速を3次元表示したものである。福岡、浜松においては、図5に示したように深山レーダーサイトから降雨域が連続していることから、風速、風向とも良好に算定されている。米子、潮岬においては、降雨域から外れているものの、水平風速の境界条件の設定にそれらの地点のデータを用いたことから良好な結果となっている。輪島における算定風速がかなりずれているのは、輪島が降雨域から外れており、その間に降水を伴わない気象擾乱が発生しているためと考えられる。しかし、算定した水平風速分布はこの降雨域に沿った一連の風の流れを良好に算定している。

また、鉛直風速については、定性的には対流性降雨域に向かう上昇流、その風下における下降流が算定されており、定量的にも図4に示した深山レーダー情報から推定した3次元エコー分布から算定された値と同オーダーであることから、良好な結果である。

5. 結論 GMS情報に本手法を適用して得られた結果は、定性、定量両面から現象を良く説明付けけるものである。すなわち、衛星搭載レーダーへの3次元風速と水蒸気相変化量の同時推定手法の適用が十分可能であるといえる。また、無降雨域における風速の観測を行うLAWSからの情報を補完的に利用することにより、地球規模の大気の流れを推定することが可能になると考えられる。

今後は、気象庁の数値予報のデータを気温、圧力、密度の情報および水平風速の境界条件として用いる予定である。最後にデータを提供して頂いた気象庁気象衛星センターの阿部世史之様に感謝の意を表します。

参考文献 1) 中北英一・田中実(1991): 3次元レーダー情報を用いた水蒸気相変化量と3次元風速の同時推定手法、京都大学防災研究所年報、第34号B-2, pp145-161 2) 中北英一・阿波田康裕(1991): 準気象学的短時間降雨予測手法への2次元レーダー情報の利用に関する検討、土木学会第46回年次学術講演会概要集第2部II-3, pp46-47

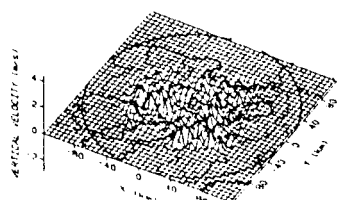


図3: 図1のエコー分布から時間項考慮で算定した鉛直風速

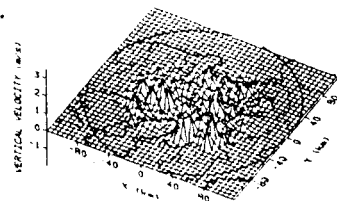


図4: 図2のエコー分布から時間項無視で算定した鉛直風速

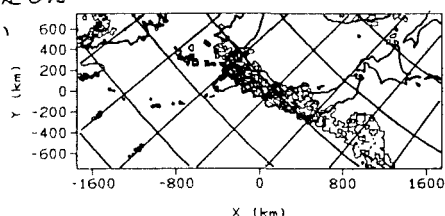


図5: GMS情報から推定した降水強度分布

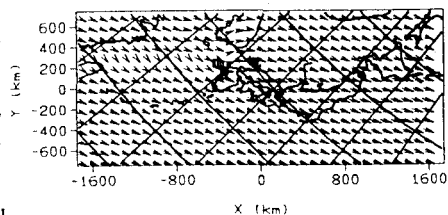


図6: GMS情報から算定した水平風速分布

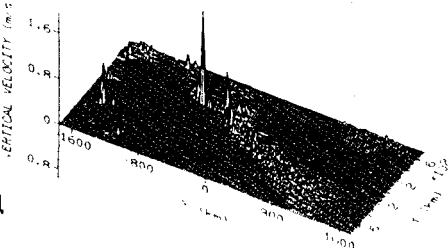


図7: GMS情報から算定した鉛直風速