

1 台のドップラーレーダーによるエコー強度および
ドップラー速度情報を用いた 3 次元風速推定手法の開発

西松建設(株)

京都大学防災研究所

名古屋大学大気水圏科学研究所

京都大学防災研究所

正員 ○村田 憲泰

正員 中北 英一

藤吉 康志

正員 池淵 周一

1. はじめに 中北ら(1992)は、エコー強度の情報のみを用いた 3 次元風速推定手法を、2 台のドップラーレーダーによって観測された降雨事例に適用し、2 台のドップラー同時観測に基づく 3 次元風速分布を用いて、同手法により算定される 3 次元風速分布の定性的な精度調査と手法中の仮定に関する感度分析を行った。本研究は、その結果を踏まえた上で、算定される水平風速の誤差に大きく影響している仮定に代わり、1 台のドップラーレーダーによるドップラー速度の情報を導入した 3 次元風速推定手法を提案する。また、2 台のドップラーレーダーによって観測されたドップラー速度情報を用いて、提案手法の検証用としての風速の算定を行う。その上で、提案手法を適用し、検証用として算定した風速を用いて、風速の精度調査を行う。なお、ここで用いたデータは、1993 年 7 月上旬に三重県尾鷲地方において名古屋大学大気水圏科学研究所所有の 2 台の X バンドドップラーレーダーによって観測されたものである。

2. ドップラー速度情報の導入 中北ら(1992)は、エコー強度のみを用いた風速推定手法中の「等方水平収束」という仮定は、実現象において成り立っておらず、算定される水平風速の誤差の大部分を占めると報告している。そこで、「等方水平収束」という仮定に代わり、1 台のドップラーレーダーによるドップラー速度の情報を導入した 3 次元風速推定手法を提案する。

ドップラーレーダーによって、ビーム方向の降水粒子の移動速度であるドップラー速度の情報を得ることができる。ドップラー速度 v_d 、鉛直風速 w および降水の落下速度 V_t を用いると、水平風速の動径成分 v_r は以下のように表せる。

$$v_r = \frac{v_d}{\cos \phi} + (V_t - w) \tan \phi (\phi: \text{仰角})$$

上式に加え、

大気連続式

$$\frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} + \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho v_\theta) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$

水分連続式

$$\frac{\partial m_l}{\partial t} + v_r \frac{\partial m_l}{\partial r} + v_\theta \frac{\partial m_l}{\partial \theta} + w \frac{\partial m_l}{\partial z} = \frac{Q}{\rho} + \frac{\rho_w}{\rho} \frac{\partial P_r}{\partial z}$$

偽湿潤過程を仮定した飽和水蒸気量の保存式

$$\{-C_p \left(\frac{RT}{L} + m_s \right) / (eL \frac{ds}{dT} + pC_p) + \frac{RT}{L_p}\} \cdot$$

$$\{v_r \frac{\partial p}{\partial r} + v_\theta \frac{\partial p}{\partial \theta} + w \frac{\partial p}{\partial z}\} = -\frac{Q}{\rho}$$

の 3 式を用いて、未知量である 3 次元風速 (v_r, v_θ, w) と水蒸気相変化量 Q を推定する。

3. 2 台のドップラー同時観測に基づく風速算定

提案手法の適用を試みる高度 3km に変換されるレーダー情報は、ほとんど低仰角 (2 度～8 度) におけるものであるため、水平風速のビーム方向成分 v_r が、ドップラー速度 v_d により

$$\frac{v_d}{\cos \phi} = u \cdot a_x + v \cdot a_y$$

と表せると仮定した。ただし、 a_x, a_y はレーダービームの方向ベクトルである。2 台のドップラー速度情報を、上式に代入して算定した風速を以下「観測水平風速」と呼ぶ。

4. 提案手法の精度調査 提案手法を適用する領域は、有意な観測水平風速の存在する領域内で可能な限り大きな領域を選択した。図 1(a) は、適用領域内の観測水平風速分布である。図 1(b) は、7 月 2 日 19 時 50 分～55 分、19 時 57 分～20 時 2 分、20 時 4 分～9 分に主レーダーにより観測されたエコー強度およびドップラー速度の情報をを用いて算定した水平風速と、観測水平風速との誤差ベクトルである。ただし、水平風速の接線成分 v_θ の境界

条件として、接線方向の両端における観測水平風速を用いて収発散量の累積誤差を求め、収発散量の絶対値に関して重み付けした誤差を差し引くことによって解の補正を行っている。これは、手法中で用いている飽和の仮定に起因する誤差を補正することに対応すると考えることができるからである。また、図2(a)は観測水平風速から算定した収発散量分布、図2(b)は提案手法により算定した収発散量分布である。

本事例で算定した収発散量分布には、中北らが適用を行った事例の結果でみられた細かなスケールでの正負の逆転が見られず、観測風速から算定したものとその分布形態が対応している。つまり、本事例では、提案手法は、用いるエコー強度のスケールに対応したスケールの収発散量を算定している。さらに、本事例のエコー強度分布は中北らが用いた降雨事例よりも強いので、エコーの鉛直勾配に大きく依存する形で有意に算定される収発散量そのものが、その誤差変動よりも十分大きくなっているとも考えられる。すなわち、用いるエコー強度分布が強い場合には、より有意に提案手法から収発散量分布を算定できることになる。

本事例で算定した水平風速の誤差ベクトルは、水平風速そのものに対して非常に小さくなっており、観測水平風速に近い精度で推定されている。これは、水平風速の算定で積分するその収発散量が、提案手法で観測風速に近い精度で算定されているためであると考えられる。

5. 最後に 提案手法において必要な風速の境界条件は水平風速の接線成分のみである。2台のドップラーレーダーによる同時観測において、有意な風速を算出できるのは、2台のレーダービームがある程度の角度をもって交差する共通観測域内の一部領域のみである。しかし、2台のドップラー観測による風速を境界条件として、提案手法を用いることにより、2台のレーダー観測域全体における風速を推定することが可能になると考えられる。

最後に、本研究は名古屋大学大気水圏研究所共同研究「水循環とその変動と機構に関する研究」の助成を受けました。ここに深く感謝の意を表します。

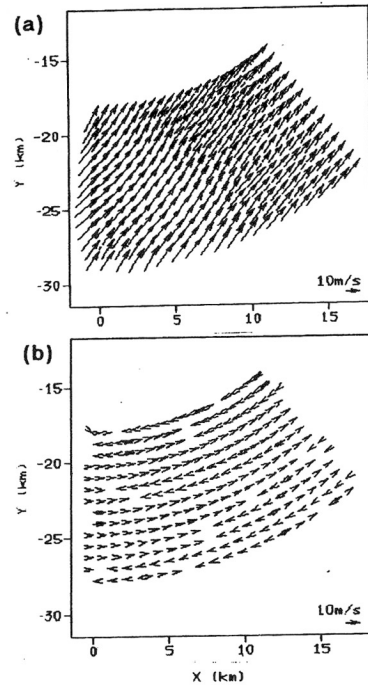


図1 : (a) 観測水平風速分布, (b) 誤差ベクトル

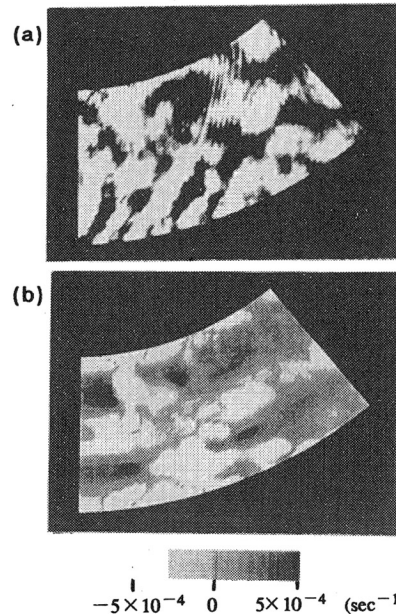


図2 : 収発散量分布 (a) 観測値, (b) 算定値

参考文献 中北・田中・椎葉・池淵・高棹(1992): 3次元レーダーエコー強度情報を用いた水蒸気相変化量と大気3次元風速の同時推定手法, 土木学会水工学論文集, 第36巻, pp.483-488.