

II-21

降雨の鉛直プロファイルを考慮したレーダー雨量推定手法の構築

京都大学大学院 学生員 中川勝広 京都大学防災研究所 正員 中北英一・池淵周一
 京都大学工学部 佐藤 亨 オクラホマ大学 Baxter VIEUX

1. はじめに レーダー雨量計で観測されたレーダーエコー強度を降雨に変換した降雨強度と AMeDAS 等の地上の降雨強度とは必ずしも一致しておらず観測精度上十分であるとは言えない。よって洪水予測モデルへの定量的な入力情報やダム操作、避難勧告の発令などの判断基準として用いるまでには至っていない。その大きな1つの原因としてレーダー雨量計で観測されたレーダーエコーから変換された降雨強度(以下レーダー雨量)は上空における降雨を捉えており地上で観測されている降雨とは異なっていることが挙げられる。そこで本研究では、レーダー雨量推定の際に雨滴粒径分布の鉛直プロファイルを考慮した推定手法を構築し、我が国の MU レーダー、建設省深山レーダー雨量計、およびアメリカ合衆国の NEXRAD レーダーに適用し、本手法の検証を行った。

2. 推定手法 本研究で提案するレーダー雨量計による雨量推定手法を以下に述べる。雨滴粒径分布 $N(D)$ を次式で近似する。

$$N(D) = N_0 \exp(-\Lambda \cdot D) \quad (1)$$

ここで、 D は雨滴を球形としたときの直径(mm)である。一方、 Λ を Marshall and Palmer 分布をより一般的に、

$$\Lambda = a \cdot R_r^{-b} \quad (2)$$

で表す。ここで、 R_r はレーダー雨量(mm/h)で、上空の降雨強度を表し、 a, b は係数である。レーダーで観測されるレーダー反射因子 Z [mm^6/m^3] は、

$$Z = \int_0^\infty D^6 \cdot N(D) dD = \frac{6! N_0}{\Lambda^7} \quad (3)$$

で表される。

さて、降雨強度の高さ方向の関係については、 $Z-R$ の関係式($Z = BR^b$)に関する研究を見ても、係数 B をレーダーのビーム高度の関数で表現する必要性についても指摘されている^[1]。本推定手法では、上空における降雨強度 R_r は地上の降雨強度 R_g に比べて上空になるにつれて一般的に小さくなるので、 R_r と R_g の関係を

$$R_r = R_g \exp(-d_h \cdot h) \quad (4)$$

のように仮定する。ここで、 $d_h = d/b$ の d は係数で、 b は式(2)の係数である。 h は地上からの高度を表す。これらの式を整理すると、観測式として次式を得る。

$$\ln Z = \ln 6! + \ln N_0 - 7 \ln a + 7b \ln R_g - 7d \cdot h \quad (5)$$

一方、アメリカの NEXRAD に適用する場合には、雨滴粒径分布の広がり情報としてドップラースペクトルの幅 σ_v も得られる。そこでドップラースペクトル幅の情報もレーダー雨量推定に利用できるよう、

$$\Lambda = [f(h) \cdot \sigma_v]^c \quad (6)$$

を導入する。ここで、 c は定数である。NEXRAD レーダーはある仰角で観測を行っているのでもちろん得られるドップラーレーダー情報には鉛直方向と水平方向の両成分の情報を含んでいる。雨滴粒径分布の情報は、鉛直方向成分より得られるので水平方向成分の情報を低減する関数 $f(h)$ を σ_v に乗じている。式(2)~(4)と式(6)を整理すると、式(5)とは別の新たな観測式；

$$c \ln [f(h) \cdot \sigma_v] = \ln a - b \ln R_g + d \cdot h \quad (7)$$

を得る。

式(5),(7)をレーダー反射因子 Z と地上の降雨量 R_g からパラメーター(N_0, a, b, c, d)を同定する。推定結果に与える時間スケールの効果についても調査するために、上記の関係を満たす最適な蓄積時間とパラメータを一定とみなす同定時間を明らかにする。蓄積時間とは、その時間内で平均した Z と R_g を式(5)の Z, R_g としている、という意味で用いている。

3. 解析結果および考察 解析結果の一例として1994/5/29の12:00~15:00の3時間のNEXRADデータに適用した結果を示す。地上雨量は、MESONETの9ポイントの5分雨量を用い、今回は、ドップラースペクトルの幅 σ_v の情報が入手できなかったために、パラメータ同定には式(5)のみを用い、5分毎に得られる最低仰角のエコー情報から推定を行った。最適な蓄積時間と同定時間を明らかにするために蓄積時間は10, 15, 30, 60分、同定時間は10, 15, 30, 60分のそれぞれについて調べ、式(4)の高さ h の依存性についても調べた。解析の結果

果, 最適な(蓄積時間, 同定時間)は(30, 60)となり, 高さ h を考慮した場合の方が推定結果は良くなった. MESONETの5分雨量と本手法により推定した5分雨量との相関係数, MESONETの5分雨量と現行の B, β 法($B=300, \beta=1.4$)により推定した5分雨量との相関係数を表-1に, 領域内におけるMESONETの観測地点を図-1に, レーダー反射因子 Z (図-2)から推定した地上雨量分布を図-3に示す. 図-2, 3の・は地上のMESONETの位置を表している. これより, 5分雨量について, 本手法により現行の推定手法で推定精度が悪いときの推定精度が改善されたことがわかる.

次に, それぞれの3時間総降雨量について調べた(表-2). 本推定手法の推定結果と現行の B, β 法の推定結果はそれほど変わらず, 総降雨量に関して精度向上を確認することはできなかった. 5分雨量で精度向上が確認できているにも関わらず総降雨量で精度向上が確認できなかった理由としては, 最適な(蓄積時間, 同定時間)である(30, 60)で同定されたパラメータを推定に用いたことが考えられる. 推定手法で述べたように, Z, R_g は, 蓄積時間内の平均を用いており, 同定されたパラメータで蓄積時間以下の雨量を表現することは, 困難であるためであると考ええる. 最適な蓄積時間の雨量に変換した総降雨量について調べる必要があるものと考えられる.

最後に, 本手法で降雨の高さ方向の関係を定式化している式(4)を検証するために, MUレーダーによる雨滴粒径分布の観測および地上の同期観測を実施した. MUレーダーで観測された雨滴の落下速度のドップラースペクトルから推定された雨滴粒径分布;

$$N(D) = N_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^\mu \exp(-\Delta D) \quad (8)$$

のパラメータを用いて算定した150 m間隔の各高度の R_r と, 地上降雨量 R_g を用いて式(4)のパラメータ d_h の同定を行った. 算定された各高度での降雨量 R_r と地上降雨量 R_g (1分間雨量)の比(R_r/R_g)の高さ方向 h の関係を図-4に示す. 図中の直線は, パラメータ同定された d_h を用いて式(4)の関係を示したものである. 直線の傾きと(R_r/R_g)分布の傾きが異なっていることがわかる. これは, MUレーダと地上降雨量を観測した光学式雨量計のバイアスのためと考える. (R_r/R_g)の高さ方向の関係は,

$$R_r = \alpha R_g \exp(-d_h h) \quad (9)$$

とした方が, より降雨量の高さ方向の変化を反映できると考える. しかし, 式(9)は, 降雨の高さ方向の関係のみに着目した結果得られたもので, 式(5)を用いて同定されるパラメータ(N_0, a, b)に因子として α は含まれており, d_h はうまく同定されている. ただし, パラメータの物理的意味を重視するならば, 独立のパラメータとして α を算定した方がよい.

表-1 相関係数(蓄積時間30分, 同定時間60分)

	12:00~13:00	13:00~14:00	14:00~15:00	Total
本研究での推定手法	0.6604	0.8645	0.5959	0.7521
現行の推定手法	0.5894	0.8667	0.5808	0.709

表-2 3時間総降雨量(mm)

	ADAX	BYAR	CNTR	DURA	LANE	MADI	PAUL	SOLP	TISH
MESONET	19.26	14.26	30.68	26.69	34.92	32.79	46.17	33.33	24.37
Estimated	7.81	9.63	15.65	23.71	32.50	29.32	16.10	16.77	27.12
B, β	7.03	11.09	15.44	25.39	39.08	30.62	16.84	19.87	36.27

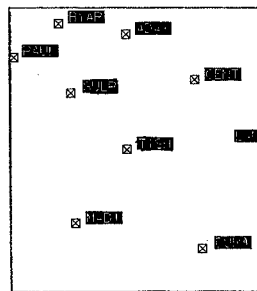


図-1 領域内におけるMESONETの位置

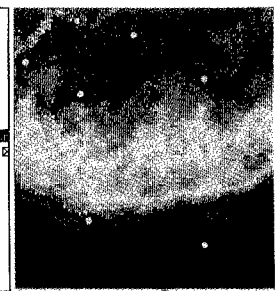


図-2 NEXRADで観測されたZ(dB)の分布



図-3 推定された雨量Rg(mm/h)の分布

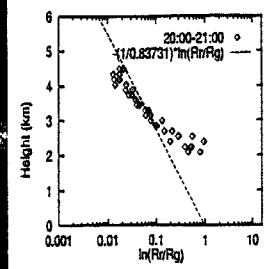


図-4 降雨量の高さ方向変化Rg(mm/h)の分布

4. おわりに 5分間レーダー雨量の推定に関しては, 本手法の有効性が示されたと考ええるが, 総降雨量に関しては, 本手法の改善の必要性がある. なお, 深山レーダー雨量計への適用結果については, 発表時に示す.

5. 参考文献 [1] 四俣正俊・島田英之; 2つのレーダー雨量計および地上雨量計による観測値の相互比較, 水文・水資源学会 1990 年研究発表要旨集, pp.6-7, 1990.