

II-35

レーダ定数の時空間的変動特性について

九州大学工学部 学生員 ○古川 節
九州大学工学部 正員 河村 明
九州大学工学部 正員 神野 健二

1. はじめに 水文解析の基礎情報としての地上降雨は、濁水や洪水、その他の災害を防止する上で重要な要素となる。レーダ雨量計による雨量観測は、短時間に高密度、広範囲にわたる雨量情報を観測できることから、地上雨量の短時間予測を行う上で有力な手段であるが、実際の地上雨量へのキャリブレーションは容易でないのが現状である。キャリブレーションの為の手法として従来はレーダ定数を固定、あるいは時間的に逐次設定しレーダ反射因子を雨量強度に変換して地上雨量と比較する方法^{1), 2)}等が行われている。本報では、改訂マルカート法によりレーダ雨量と地上雨量の残差平方和が最小となるような最適レーダ定数を時空間的に変化させて求め、その結果よりレーダ定数(B, β)の時空間的変動特性について検討を行っている。

2. 地上雨量のモデル化 レーダ雨量計は、回転するアンテナから放射された電波が空中の雨滴群に当たって散乱し、同一アンテナに帰ってくる受信波の大きさ(レーダ反射因子Z(mm⁶/m³))を用いて降雨強度(mm/hour)を求めるものである。この場合全方向から受信電力が得られ、それを方向別距離別に時空間的平均化(例えば時間的には5分間の平均値、空間的には3km×3km平均値をZとする)を行った後、レーダ反射因子Zと降雨強度R_rとの関係を次式で表されるレーダ方程式を用いて降雨強度に変換する³⁾。 $Z = BR_r^\beta \dots (1)$

ここに、B, β はレーダ定数と呼ばれ、降雨の種類によって異なり、また時空間的に変動するが、従来簡単のためB, β を固定してR_rが求められている。通常、地上雨量R_gは例えば1時間の総降雨量として測定されるので、本報ではR_g(mm/hour)とレーダ反射因子Zとの関係を次式でモデル化し、以後、右辺第1項をレーダ雨量R_r(i, k)とする。

$$R_g(i, k) = \sum_{n=1}^{12} \frac{1}{12B(i, k)^{1/\beta(i, k)}} Z_n(i, k)^{1/\beta(i, k)} + w(i, k) \dots (2)$$

ここに R_g(i, k) : 観測点iにおいて時点(k-1)から時点kまでの1時間内に観測された地上雨量(mm/hour)
Z_n(i, k) : 直上レーダメッシュにおいて同時間内に5分おきに観測されるレーダ反射因子(mm⁶/m³)
n : 1時間を5分ごとに区切った場合の各5分間 (ここではn=1~12) w(i, k) : 誤差項
すなわちレーダ反射因子は5分おきに観測されるので、これを単純平均して時間雨量に変換する。

3. 最適レーダ定数の評価関数 本報では、以下の3ケースの場合について最適レーダ定数を定める。

$$(ケ-1) \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{k=1}^{N_k} [R_r(i, k) - R_g(i, k)]^2 \rightarrow \text{最小}(B_0, \beta_0) \dots (3)$$

$$(ケ-2) \sum_{k=1}^{N_k} [R_r(i, k) - R_g(i, k)]^2 \rightarrow \text{最小}(B_i, \beta_i) \dots (4)$$

$$(ケ-3) \sum_{i=1}^{N_i} [R_r(i, k) - R_g(i, k)]^2 \rightarrow \text{最小}(B_k, \beta_k) \dots (5)$$

すなわち、ケ-1は時空間的にR_rとR_gの残差2乗和を最小にするような最適レーダ定数を1組定め、ケ-2は観測地点毎に、ケ-3は各時点毎に最適レーダ定数を定めることを意味している。本報では、式(3)~(5)の最適レーダ定数を定めるための非線形最小2乗法として、改訂マルカート法⁴⁾を用いた。この場合初期レーダ定数[B, β]=[180.0, 1.6]、収束判定値0.001を与えて計算を行った。

4. 適用結果 本報では、札幌市周辺の半径120kmの円を半径方向に40、円周方向に128分割した全5120個のメッシュにおいて、1988年8月25日午前10時から8月26日午後1時までの27時間に観測された停滞前線による降雨のレーダ反射因子Z、および同円内の133地点のうち地上雨量データに欠測のない116地点において観測された地上雨量R_gに対して検討を行った。すなわち、式(3)~(5)のN_i=116, N_k=27である。結果としてケ-1の時空間全体の最適レーダ定数[B₀, β_0]として[267.8, 1.31]が得られた。次にケ-2, ケ-3の観測点毎、各時間毎の最適レーダ定数をそれぞれ図-1, 図-2に示している。また、図-1, 2で求められたレーダ定数を用いて、レーダ

雨量と地上雨量の二乗誤差平均値の平方根を観測点毎、時点毎に計算した結果をそれぞれ図-3、図-4に示している。なお、これらの図には比較のためにケース1の場合、およびケース4として従来からのキャリブレーション手法で、レーダ定数を $[B, \beta] = [180.0, 1.6]$ if $Z \leq 5000.0$ $[B, \beta] = [410.0, 1.2]$ if $Z > 5000.0$ のように前もって設定されている値に固定して計算した結果も併記している。各ケースにおける、時空間全体にわたっての二乗誤差平均値の平方根の値は、ケース1、ケース4がともに $4.7(\text{mm}/\text{hour})$ で、ケース2の空間毎に設定した場合 $4.1(\text{mm}/\text{hour})$ 、ケース3の時間毎に設定した場合 $3.9(\text{mm}/\text{hour})$ となった。

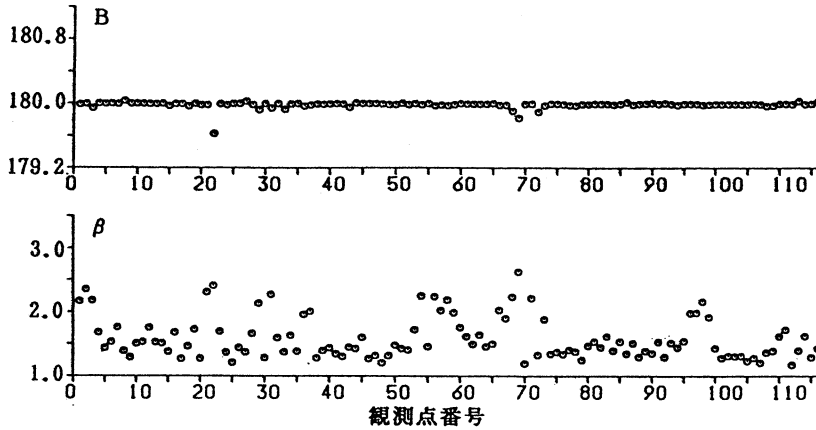


図-1 観測点毎の最適レーダ定数

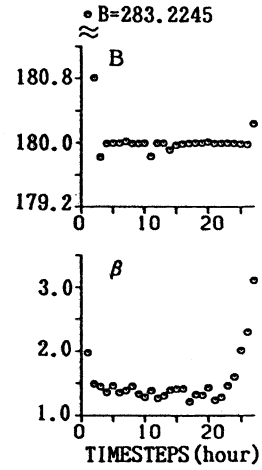


図-2 時点毎の最適レーダ定数

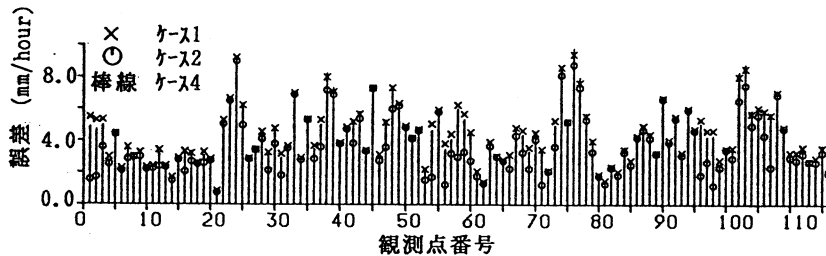


図-3 各手法における観測点毎のレーダ雨量と地上雨量の平均誤差

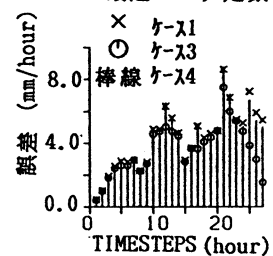


図-4 各手法における時点毎の平均誤差

5. 考察 図-1より、観測点毎の最適レーダ定数については、 B は180程度でほとんど変化しないが、 β が1.2~2.6程度と大きく変動していることが分かる。また図-2より、時点毎の最適レーダ定数については B, β ともにほぼ一定の値を示しているが、降雨開始時と終了時においてレーダ定数の値が変動している。また図-3より、キャリブレーションの精度は観測点によって様々であることが分かる。観測点毎のレーダ定数を用いると誤差は平均で $0.6(\text{mm}/\text{hour})$ 程度減少し、観測点によっては半分以下に減少した地点もあり、地点毎にレーダ定数を変化させた方が精度向上につながると言える。次に、図-4より時間毎の最適レーダ定数を用いると、誤差が平均で $0.8(\text{mm}/\text{hour})$ 程度減少し、特に、降雨の終了数時間前から終了時点付近で精度がかなり向上していることが分かった。これは降雨終了付近では、小降雨もしくは無降雨の地点が多くなり、時間的に固定したレーダ定数では、キャリブレーション精度が低下するものと考えられる。

6. むすび 本報において、時空間的に最適レーダ定数を設定することにより、レーダ定数の時空間変動特性が明らかとなり、またレーダ定数を時空間的に変化させることによりレーダ雨量と地上雨量のキャリブレーション精度がかなり向上することを示した。今後は、本手法を降雨成因別、複数の降雨などについて適用し、レーダ定数の特性を調べ地上雨量のオンライン予測に役立ててゆくつもりである。

(参考文献) 1)建設省近畿地方建設局：最適 B, β のオンライン逐次設定方法の検討業務報告書,(1992.2) 2)古川 節,河村 明,神野 健二：レーダ雨量計を用いた地上雨量予測のためのレーダ定数同定手法の検討,土木学会西部支部研究発表会講演概要集,pp.316~317,(1993.3) 3)(財)河川情報センター：レーダ雨量情報を利用した洪水流出予測に関する研究,河川情報研究所報告,別冊-1,pp.22,(1990.10) 4)(株)富士通：SSL II 使用手引書(科学用サブライブラリ),pp.460~463,(1987.12)