

京都大学防災研究所 正会員 友杉 邦雄

1. まえがき 豪雨災害を防止・軽減するためには雨量の時間・空間分布を即時に正確に把握し、かつ予測することが重要であることは論をまたない。そのため気象レーダを利用することが最有力視され、今日レーダ雨量計システムとして実用に供されるようになったが、予測問題もさることながらその定量的信頼性（地上雨量計によるものとの一貫性）の向上が依然として重要な問題となっている。本報告はその基礎的研究として、豪雨時の近畿地連深山レーダ雨量計の基本データと地上雨量計データとの局地的な対応関係の解析を通じて、レーダ反射因子と雨量強度との経験的関係式のパラメータの同定法と特性について検討を試みたものである。

2. 解析対象 (1) 対象豪雨：1982年7月31日～8月3日の一連の豪雨で、8月1日9時(図-1の縦の点線)頃までの前線性降雨(F)，それに引続く台風10号によるもの(T)，及びその数時間後に始まった低気圧性(台風9号くずれ)のもの(D)からなる。(2) 対象基本メッシュ：レーダの基本メッシュは半径方向に3kmごとの等間隔，方位角方向に128等分(半径120kmの定量域内のみ)に分割して構成され、識別のため、半径方向の番数と真北から右回りの番数の組合せで表示される。今回はそのうち(14,40)，(23,59)，(32,33)，(39,52)の4つのメッシュを選んだ。前2者は平地で、それぞれ宇治(U)，河内長野(K)という1ヶ所の、後2者は山岳地で、それぞれ御在所と湯の山(G.Y)，日の出と大台ヶ原(H.O)という2ヶ所の地上雨量観測点を含む。ここでは、各メッシュをU，K，G.Y，H.Oとよび、その地上雨量として後2者は2地点単純平均値を採用する。(3) レーダ基本データ：深山レーダ(仰角可変，1サイクル5分)の基本データには2種類あり、今回はグラウンドクラッターの除去の必要がないとされているMTI(Moving Target Indication)方式で得られた最低仰角時のデータ(各基本メッシュ内で空間平均された1分間平均の電圧値Eの5分毎の系列)のみを用いた。この基本データEの時変動と地上毎時雨量系列とを対比した例を図-1に示すが、降雨F，T，DでEの変動の様相が異っている。

3. レーダ雨量の算定式 これはレーダ反射因子Z(mm⁶/m³)と雨量強度R(mm/hr)との関係式； $Z=BR^{\beta}$ ①が基本となるが、MTI方式では、Zは $Z_R=200(E/E_0)^2$ ②として算定される(E_0 は192km遠方でR=1mm/hrになるように設定される基準電圧値で、ここでは1.7)。したがって、レーダ雨量強度 R_R (mm/hr)は、 $R_R=(Z_R/B)^{1/\beta}=\{ \frac{200}{B}(\frac{E}{E_0})^2 \}^{1/\beta}$ ③と算定され、これは5分毎の1分間平均雨量強度として得られるものであるが、5分間平均雨量強度を代表するものとみなし、例えばT=1hr.の平均雨量強度 $\bar{R}_{RT}$ はその1時間に12コ得られる R_R の単純平均値として、④式のように算定されているわけである。

$\bar{R}_{RT} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left\{ \frac{200}{B} \left(\frac{E_i}{E_0} \right)^2 \right\}^{1/\beta}$ ④
地上雨量計のデータは通常1時間単位なので、地上雨量 $\bar{R}_{GT}$ と対比されるレーダ雨量はこの④式で求められるものが基本となり、両者の一貫性はパラメータB, β のとり方に大きく左右される。このB, β は本来、雨滴粒径分布の測定に基づいて

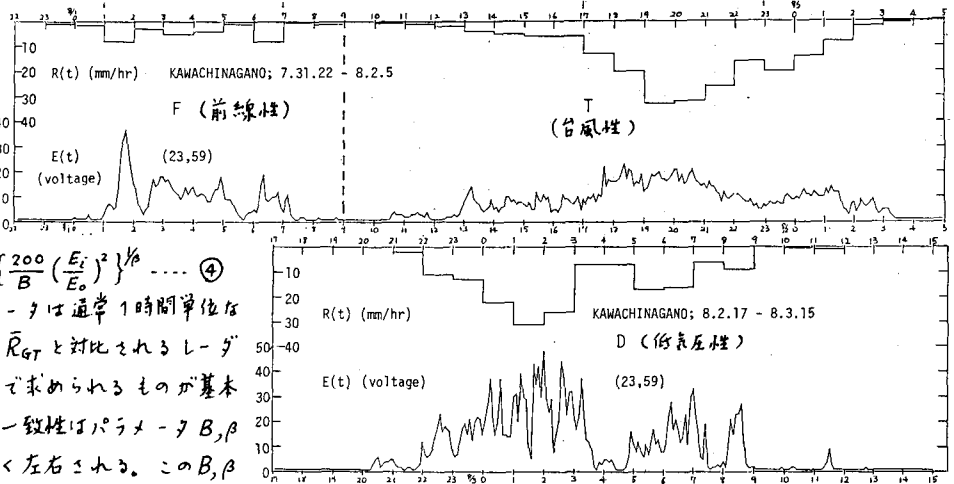


図-1 地上毎時雨量とレーダ基本データ(電圧, 毎5分)系列の対比例 (K)

表-1 同定した B, β と相関係数 ρ , データ数 n

		U		K		G.Y		H.O		UKGYHO	
		1hr.	2hr.	1hr.	2hr.	1hr.	2hr.	1hr.	2hr.	1hr.	2hr.
F	B	41.9	55.1	110	238	3.21	.881	14.6	13.2	71.3	94.1
	β	2.34	2.17	3.05	2.25	2.96	3.42	2.06	2.09	1.90	1.78
	ρ	.748	.889	.787	.954	.559	.510	.921	.969	.801	.862
T	B	326	336	592	642	63.1	87.6	253	260	284	318
	β	1.36	1.36	1.05	1.02	1.73	1.63	1.20	1.20	1.25	1.22
	ρ	.873	.864	.924	.946	.866	.911	.912	.945	.876	.906
D	B	1.07	1.12	225	532	5.99	183	1.89	2.55	8.90	45.5
	β	3.83	3.70	1.66	1.39	4.41	1.87	3.91	3.74	3.05	2.37
	ρ	.647	.684	.954	.976	.478	.706	.673	.740	.710	.773
FTD	B	33.4	33.5	237	379	8.12	39.0	74.8	107	74.7	125
	β	2.49	2.44	1.67	1.48	2.75	2.13	1.78	1.67	1.93	1.73
	ρ	.697	.752	.851	.912	.625	.720	.793	.828	.771	.826
	B	12	13	10	11	13	14	13	14	48	52
	β										
	ρ										

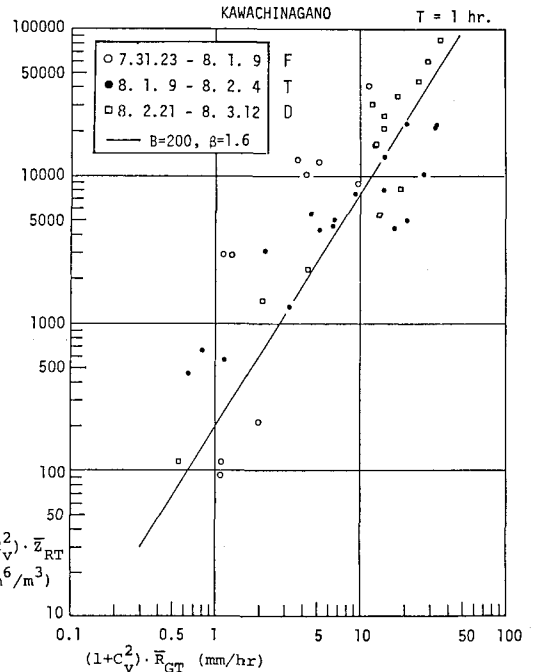


図-2 $\log\{(1+C_V^2) \cdot \bar{R}_{RT}\}$ と $\log\{(1+C_V^2) \cdot \bar{Z}_R\}$ の関係の例 (K)

同定すべきものではあるが、ここでは実際的な観点から

②式の Z_R と地上雨量 $\bar{R}_{GT}$ とから同定する方法を考える。

4. B, β の同定法と適用例 (1) 同定法: ①式は本来、

瞬間又はごく短時間の値に対して成立するものと考えられ、 $(1+C_V^2) \cdot \bar{R}_{RT}$ (mm⁶/m³) と $\log B$ と β は直線関係になる。しかし、④式で $\bar{R}_{RT} = \bar{R}_{GT}$ と Z_R の時系列が与えられたとき、 B と β の関係は一般にそう単純ではない。ところが実際のデータを④式に代入し、 $\log B$ と

β の関係を調べてみると近似的に極めて良好な直線関係になり、その関係式が E の時間的変動性に依存する次のようになることが判明した。 $\log B = -[\log\{(1+C_V^2) \cdot \bar{R}_{GT}\}] \beta + \log\{(1+C_V^2) \cdot \bar{Z}_R\}$ ⑤

ここに、 C_V は時間 T 内の E の変動係数 ($=\sigma_E/\bar{E}_T$; σ_E : 標準偏差, $\bar{E}_T$: 平均値), $\bar{Z}_{RT}$ は②式で与えられる Z_R の T 時間平均値である。この式は $\beta=1$ または 2 のときは正しく成立するものであるが、 $1 < \beta < 2$ では $C_V = \infty$ でも B の最大誤差は 8% ($\beta=1.97$ のとき) に過ぎないことが、 E の T 時間内の順序統計の分布形を、

$E(t) = \lambda \cdot \bar{E}_T (t/T)^{\lambda-1}$ ⑥ と仮定 ($\lambda > 1$, $\lambda \rightarrow \infty$ で $C_V \rightarrow \infty$) した検討から判っている。⑤式は見方を変えたと $\log\{(1+C_V^2) \cdot \bar{R}_{GT}\}$ と $\log\{(1+C_V^2) \cdot \bar{Z}_{RT}\}$ とが直線関係にあることを示している。従って、前者を従属変数とする回帰直線のパラメータとして B, β を同定するものが妥当と考えられる。

(2) 適用例: 図-2 は $T=1$ hr とし上記の関係をプロットした例 (メッシュ K) で、他の場合と同様に大ききばらつくが、この場合、口印で示した降雨 D については比較的直線性が良い。表-1 はメッシュ別 and/or 降雨別に $T=1$ hr と 2 hr について上記の方法で同定した B, β を相関係数 ρ , データ数 n と共に示したもので、2 つの例外の他は $T=1$ hr より 2 hr の方が ρ が大きくなること、全体に B, β が不安定で降雨特性や地形との関連が見出せないことがわかる。図-3 はメッシュ K で降雨の区別なし (FTD) として同定した $B=237, \beta=1.67$ ($\rho=0.851$) を用いて算出した $\bar{R}_{RT}$ と $\bar{R}_{GT}$ を比較した例で、 $\bar{R}_{RT}$ が $\bar{R}_{GT}$ の $1/3 \sim 3$ 倍になったことを示している。この程度が基本メッシュスケール、1 時間単位でのレーダ雨量と地上雨量の一致性の限界であろうか。

5. あとがき ここで考慮した E の時間的変動性の効果は空間的変動性についても同様であるはずであり、メッシュの基本データ E が既に時間的にも空間的にも平均化されたものである点を再検討する必要があるだろうか。

図-3 $\bar{R}_{RT}$ と $\bar{R}_{GT}$ の関係の例 (K)

図-3 はメッシュ K で降雨の区別なし (FTD) として同定した $B=237, \beta=1.67$ ($\rho=0.851$) を用いて算出した $\bar{R}_{RT}$ と $\bar{R}_{GT}$ を比較した例で、 $\bar{R}_{RT}$ が $\bar{R}_{GT}$ の $1/3 \sim 3$ 倍になったことを示している。この程度が基本メッシュスケール、1 時間単位でのレーダ雨量と地上雨量の一致性の限界であろうか。