

II-251 レーダ定数の同定手法とその特性

学生員 仲江川 敏之・正員 沖 大幹・正員 虫明 功臣
東京大学生産技術研究所

1. はじめに

現在、レーダによって降水分布をリアルタイムで見ることができるようになり、各方面で活用されている。しかし、様々な誤差要因から、定量域とされるところでも十分な精度が得られているとは必ずしも言えない。この改善のため、DND レーダなどハード面からの改善も試みられているが、従来のレーダ雨量計によって計測・蓄積されてきたデータに対して、統計学的手法により精度向上を計るアルゴリズム開発も有効な手段と考えられる。本研究ではレーダ反射因子を雨量に変換するアルゴリズムについて、雨滴計データ、並びに地上レーダ雨量計のデータを用いて検討した結果を示す。

2. 線形回帰法によるパラメータの同定

レーダ反射因子 (Z) を雨量強度 (R) に変換する方法としては一般に Z - R 関係と呼ばれる関係式から雨量強度を算定する手法が有力である。この関係は経験的に $Z = BR^\beta$ と表される。この関係式に含まれる定数 B 、 β をレーダ定数と呼ぶが、この定数を同定する手法としては大きく2種類に分類される。一つは、雨滴粒径分布と雨滴落下速度を与えて同定する気象学的方法であり、もう一つは、レーダ反射因子と地上観測雨量の複数組のデータから最適パラメータを同定する統計学的方法である。以下では、ここで用いた後者に分類される線形回帰の諸手法について述べる。層別平均値とはレーダ反射因子データセットを幅 $\Delta \log Z$ の層

表 1: 各同定手法の目的関数

対数線形回帰	$\sum (\log R_i + \frac{1}{\beta} \log B - \frac{1}{\beta} \log Z_i)^2$
層別平均値法	$\sum (\log \bar{R}_k + \frac{1}{\beta} \log B - \frac{1}{\beta} \log \bar{Z}_k)^2$
重み付き線形回帰	$\sum \eta_i (\log R_i + \frac{1}{\beta} \log B - \frac{1}{\beta} \log Z_i)^2$
重み付き層別平均値法	$\sum \eta_k (\log \bar{R}_k + \frac{1}{\beta} \log B - \frac{1}{\beta} \log \bar{Z}_k)^2$

ごとにデータを分割し、各層ごとに得られる対数平均値 $\log \bar{Z}_k$, $\log \bar{R}_k$ を言う。こうして得られた層別平均値に対して対数値での2乗誤差を最小とするようにパラメータを同定するのが層別平均値法である (上林他, 1988)。重み付き線形回帰とは、非線形重み η_i を目的関数にかけることにより、疑似的に真数値に対する2乗誤差 $\sum \{R - (\frac{Z}{B})^{1/\beta}\}^2$ を最小とするようにパラメータを同定する方法である (沖他, 1991)。

3. 事例解析と結果

上に述べた各同定法に対して建設省で実運用されているレーダ雨量計のデータを用いて雨毎にレーダ定数を同定した。5分間隔で与えられるデータを β で降水に比例する量に変換してから1時間値に集計し、地上観測降水量でキャリブレーションし、得られた β が集計に用いた値と一致するまで繰り返し計算を行なった。

レーダ定数を同定する場合最も良いと考えられる非線形回帰での結果と共にある降雨での同定結果を表2に示す。表中、各々(a) 真値と推定値の残差 (mm)、(b) (a) の値を真値で割った値、(c) (a) の絶対値を真値で割った値の標準偏差を各々示す。総降水量に着目すると、非線形回帰が常に良いが、他の同定手法の結果は降雨データによって変化する。非線形回帰に続いて良好な値を示しているのが重み付き層別平均値法である。しかしながら、総雨量がうまく計算されているからといって他の誤差評価指標が良いとは限らない。例えば、総降水量では対数線形回帰は25%も少なく推定しているが、評価指標 (b), (c) では他に比べ良いレーダ定数となっている。つまり、評価指標によって最適なレーダ定数は異なるということができる。

また、年降水量を算定するには総雨量比を評価指標にとれば良いが、降水量の変動を考える場合特に時間スケールの小さいものでは評価指標として表中の (c) を選択するのが良いと考えられる。従って、ユーザとしては自らのデータに必要とされる精度の性質を十分に考慮してレーダ定数決定法の選択をしなければならない。

4. Probability Matching Method を用いたレーダ定数の同定

上で述べたレーダ定数の同定では、同一時刻、同一地点上でのレーダ反射因子と地上雨量のデータを対応付けたが、ここで考える Probability Matching Method(PMM)では、時間的、空間的なデータの同一性を考慮せず、独立にレーダ反射因子と地上観測雨量の密度関数を考え、「ある与えられた超過確率に対応する、各々のデータの値同士を対応づけるもの」である。

図-1 に雨滴計データを用いて、PPMにより対応付けられた、Z-R 関係の散布図を示す。両対数グラフ上できれいな直線関係にあることがわかる。特に、15 dB Z から 40 dB Z にかけては強い直線関係がみられる。また、10 dB Z 以下のところでは雨に対する感度が鈍くなり、一方 40 dB Z 以上のところでは階段状になっていることがわかる。この図から、レーダ反射因子の低い方では、レーダによる雨量観測の有意な最小観測値が知ることができ、これからレーダ定数を同定する際に利用すべきデータの下限值も知ることとできる。40dB Z 以上のところで直線性が失われていくのは、直線で Z-R 関係を近似する時、丁度この付近で折れ線になることに対応しているものと考えられる。

つぎに、PPM によって得られる Z-R 関係に対して、表-1 の各手法でパラメータを同定した。通常のパラメータ同定結果との比較を表-3 に示す。

雨滴計データであるため大きな差異は見られないが、総雨量比に関しては、PPM を用いると推定精度が向上している。

このように、降水レーダデータの統計的キャリブレーション手法に関して、まだまだ研究の余地があるものと考えられる。

参考文献

- 沖 大幹、虫明 功臣、1991: 重みつき線形回帰法によるレーダ定数の同定、第 46 回年次学術講演概要集、土木学会、44-45。
- 神林 好之、山口 高志、山本 晃一、1988:レーダ定数 (B, β) の同定手法の提案、土木学会論文集第 399 号、II-10、121-130。
- Krajewski, W.F., and J.A.Smith, 1991: On the Estimation of Climatological Z-R Relationships, *J. Appl. Metro.*, 30, 1436-1445。

表 2: 同定されたパラメータの違いによる一雨降水量の推定誤差

同定手法	標準偏差			総降水量比
	(a)	(b)	(c)	
対数線形回帰	-0.680	0.853	0.636	0.737
層別平均値法	-0.753	0.867	0.656	0.709
重みつき線形回帰	-0.677	0.850	0.633	0.738
重み付き層別平均値法	-0.703	0.855	0.641	0.729
非線形回帰	0.049	1.162	0.979	1.018

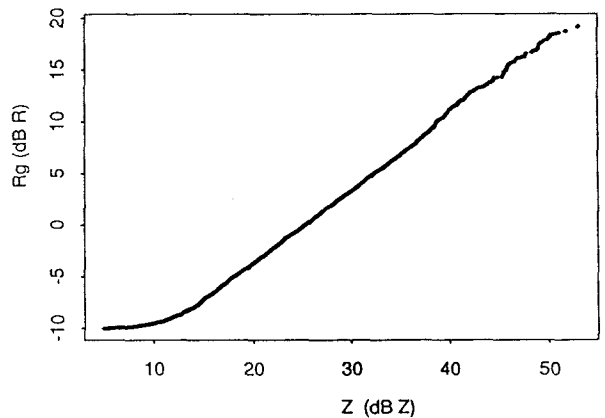


図 1: 雨滴計データを用いた PPM による Z-R 関係散布図

表 3: 雨滴計データに対する通常の方法と PPM による推定誤差

同定手法	Normal Method		PPM	
	標準偏差 (c)	総降水 量比	標準偏差 (c)	総降水 量比
対数線形回帰	0.530	0.876	0.533	0.975
層別平均値法	0.614	1.010	0.543	0.998
重みつき線形回帰	0.534	0.969	0.556	1.022
重み付き層別平均値法	0.913	1.320	0.779	1.253
非線形回帰	0.573	1.022	0.562	1.028