冬季山岳域のレーダー降水量誤評価の分析とその補正

環境システム工学専攻　水文気象研究室　板戸 昌子
指導教員　熊倉 俊郎

１．背景と目的

気象レーダーはパルス波を発射して降水粒子で散乱される電波を受信することで降水強度を計測し戻ってくるまでの時間から距離を計測する．その後，各レーダーサイトのデータを合成した 1km メッシュ全国合成レーダーのデータが一般に使われているが，観測に起因する誤差や合成処理に起因する誤差により，地上観測に比べて降水量が少なく観測される地点がある．そこで本研究では，積雪重量計や雨量計で観測した地上降水量とレーダー降水量との比較を行い，レーダー降水量から計算可能なマイクロ波減衰の水平分布や複数レーダーデータの合成処理に起因する誤評価について分析し，レーダー観測によって得られる降水量を補正することを目的とする．

２．使用データ

対象期間は 2010 年 1 月, 2011 年 1 月および 2012 年 1 月とした．レーダー降水量は気象庁による 1 km メッシュ全国合成レーダーおよび新潟レーダーサイトの極座標エコー強度データを用いた．なお，極座標エコー強度データは 2010 年 1 月のみを使用した．いずれも毎正時から 10 分毎のデータがある．地上観測降水量は，防災科学技術研究所雪氷防災研究センターが山岳域に設置している積雪重量計および雨量計のデータ(奥只見丸山，栃尾田代観測点)と, 気象庁の地域気象観測システム(AMeDAS)のデータ(入広瀬，津南，十日町，桧枝岐観測点)から 1 時間毎に求めた．また，融雪が生じると積雪重量の変化から正確な降水量を推定することが困難となるため，地上観測された気温が 0℃以下のデータのみを使用し，雨量計データの場合にはさらに風速データを用いて捕捉率補正した値を降水量とした．ここで，地上観測雨量の積算時間と合わせるため，レーダー観測データは各正時とその前の 5 つ，合計 6 つの時刻のデータを平均して用いた．2010 年 1 月 13 日 4:00UTC の 1 km メッシュ全国合成レーダーデータおよび新潟レーダーサイトの極座標エコー強度データを図 1 に示す．

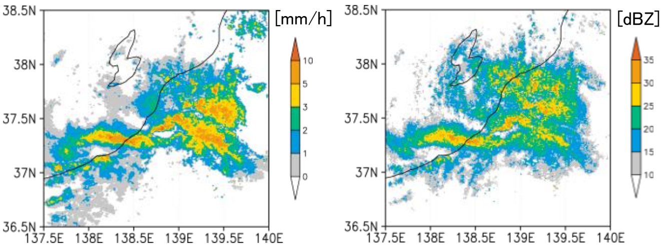

図 1 2010 年 1 月 13 日 4:00UTC のレーダー画像. 左が 1km メッシュ全国合成レーダーデータで降水量換算されたものであり, 右は新潟レーダーの極座標エコー強度データである.

３．原理と手法

レーダー方程式のレーダー反射因子 Z [mm^6/m^3] は，降水強度 R [mm/hour]から，$Z = BR^{\beta}$ で算定される．B，β は定数であり，気象庁によれば，現在気象庁で運用されているレーダーの Z の係数は B=200，β=1.6 が用いられている．レーダー方程式や Z-R 関係の式では考慮されていないが，実際には降水による減衰や大気中のガスによる減衰を受けている．レーダーサイトから観測点までの降水による減衰係数 Ks [dB/km]は，降水強度 R [mm/hour]および波長 λ [cm]を用いた以下の式により算出される(Battan, 1973)．ここで新潟レーダーサイトは λ=5.6 [cm]である．

$$Ks = 3.5 \times 10^{-2} \frac{R^2}{\lambda^4} + 2.2 \times 10^{-3} \frac{R}{\lambda} \qquad (1)$$

地上観測から求めたレーダー反射因子 Z_{obs} とレーダー観測から求めたレーダー反射因子 Z_{radar} の比 Z_{obs} / Z_{radar} は，F をレーダー観測に起因する誤差要因や合成処理に起因する誤差要因をまとめて F とすると，(2)式のように表される．

$$\log\left(\frac{Z_{radar}}{Z_{obs}}\right) = \log F \qquad (2)$$

運用されているレーダーでも透過率に関する補正は行われているが，ここではその妥当性を検討したいため，r_1，$P(r_1)$をそれぞれ基準点の距離および電力とすると，レーダーサイトから観測点まで 1 km 毎に n 個に区切り，電波が観測点まで伝播する際の降水による減衰として，それぞれの地

点の Ks を求め，積算した値を透過率 τ とし，往復分の減衰を考慮し(3)式のように表される．

$$\tau = \frac{P(r_n)}{P(r_1)} = 10^{\left(-\frac{2}{10}\sum_{i=1}^{n} K_{si}\right)} \tag{3}$$

さらに，サイトシステムで既に補正済みの分を τ_s とし，マイクロ波減衰以外の誤差要因を F' とおくと，以下の(4)式で表される．

$$\log\left(\frac{Z_{radar}}{Z_{obs}}\right) = \log\tau - \log\tau_s + \log F' \tag{4}$$

よって，Z_{obs} / Z_{radar} は τ の関数として考えられ，図 2 のように表せる．

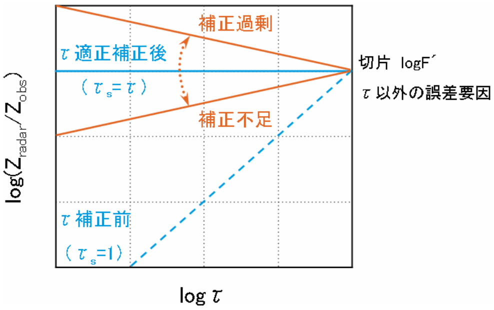

図 2 降水によるマイクロ波減衰の補正の評価の模式図

サイトシステムにおいて，マイクロ波減衰の補正が行なわれていない場合は，レーダービームは途中に存在する大気や降水により減衰され，透過率が低くなるにつれて Z_{radar} の値が小さくなり，Z_{radar} と Z_{obs} の比も小さくなり，透過率に対しての補正が適切に行なわれている場合は透過率によらず一定となる．しかし，補正が適切でない場合，傾きが正の場合は補正不足，傾きが負の場合には補正が過剰といえる．また，切片は透過率以外の要因の影響を表している．ここで，τ はレーダーで観測された降水量から計算するため誤差が含まれるが，物理量として真値を求めることを目的としているのではなく，それによって傾向がみられるかどうかに着目した．

4．結果と考察

1km メッシュ全国合成レーダーデータを用いて，降水地点補正として bi-linear 法で補間したレーダー降水量と観測点周辺・風上方向 16 グリッド平均で求めたレーダー降水量を比較した結果，いずれの場合も補正過剰の傾向が見られた．奥只見丸山観測点では上空の風による降雪粒子の移動による大きな差は確認されなかった．地上観測点の標高とレーダー観測高度との差が大きい地点ではレーダー降水量を求める際には十分に検討する必要があるが，有効な手段とデータが無いため，本研究では行わず，傾向は同じとみなした．

2010 年 1 月における全国合成レーダーデータを使用した場合の図 3(上)と極座標エコー強度データ(新潟レーダーサイト)のデータを用いた場合の図 3(下)を示す．レーダー毎極座標レーダーエコー強度について検討したところ，1km メッシュ全国合成レーダーデータを用いた場合と同じ傾向が見られ，合成処理に起因する誤差を除外したことで傾向が明確になった．

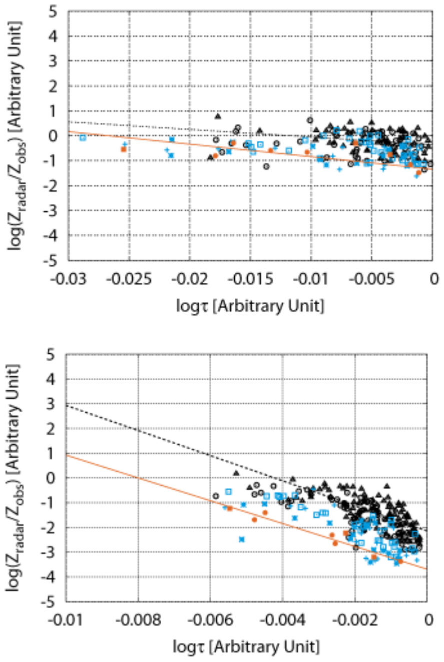

図 3　奥只見丸山観測点のマイクロ波の透過率 τ と Z_{obs} / Z_{radar} の関係．地上降水量が 7 mm/hour 以上を赤丸，6 mm/hour 以上 7 mm/hour 未満を赤四角，5 mm/hour 以上 6 mm/hour 未満を青アスタリスク，4 mm/hour 以上 5 mm/hour 未満を青十字，3 mm/hour 以上 4 mm/hour 未満を青四角，2 mm/hour 以上 3 mm/hour 未満を白丸，1mm/hour 以上 2 mm/hour 未満を白三角で示した．実線は地上降水量が 7 mm/hour 以上の降水の近似曲線，破線は 1mm/hour 以上 2 mm/hour 未満の降水の近似曲線である．

また，解析した地点のうち，同じ仰角のレーダーデータを用いたグループで分類すると，グループ内では平均的な傾きや切片がほぼ同じであるという特徴があり，また，地上観測降水量のクラス毎に分けた際にプロットされる領域がほぼ同じといえる．そのためこの関係は本解析に用いた地点の範囲内では汎用的なものと考えた．観測仰角が同じ奥只見丸山，津南，十日町，桧枝岐観測点のデータから近似曲線を求め(図 4)，その傾き

および切片により補正した(図 5). さらに地上観測降水量により傾きと切片が異なることから，地上観測降水量毎に平均値を求め差し引くことで(図 6)， 1km メッシュ全国合成レーダーデータと同等の結果が得られた．さらに合成処理における様々な補正をすることで，現業よりも良くなることが期待できる．

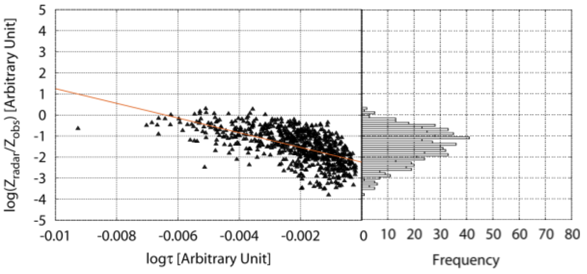

図 4 新潟レーダーサイトから 50～100km 圏内にある解析対象観測点の 2010 年 1 月のレーダー毎極座標エコー強度データから求めたマイクロ波の透過率 τ と Z_{radar}/Z_{obs} の関係および頻度分布図. 赤線は全体に対して最小二乗法により求めた線である．

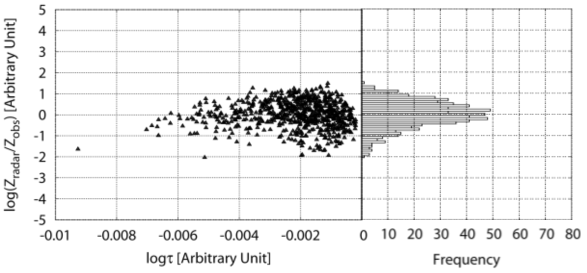

図 5 新潟レーダーサイトから 50～100km 圏内にある解析対象観測点の 2010 年 1 月のレーダー毎極座標エコー強度データから求めたマイクロ波の透過率 τ と Z_{radar}/Z_{obs} の関係および頻度分布図．図 4 の近似曲線で補正した．

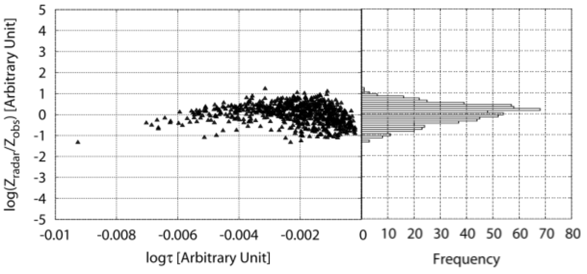

図 6 上：新潟レーダーサイトから 50～100km 圏内にある解析対象観測点の 2010 年 1 月のレーダー毎極座標エコー強度データから求めたマイクロ波の透過率 τ と Z_{radar}/Z_{obs} の関係および頻度分布図. 図 4 からさらに地上観測降水量により補正した．

５．まとめ

1km メッシュ合成レーダーデータを用いて，マイクロ波の透過率 τ と *Zradar/Zobs* の関係について解析したところ，透過率に対して補正過剰の傾向があることがわかった．さらにレーダー毎極座標エコー強度データを用いてマイクロ波の透過率 τ と Z_{radar}/Z_{obs} の関係について解析したところ，1km メッシュ合成レーダーデータと同様に，透過率に対して補正過剰の傾向があることがわかり，合成処理に起因する複雑な誤差要因を含まないことで，傾向が明瞭になった．またレーダー毎極座標エコー強度データを仰角が同じもの同士でグループ分けすると，同じグループ内では全データの平均的な傾きや切片がほぼ同じであるという特徴がある．そこで極座標エコー強度データを，グループ毎に近似曲線を求めて補正することにより，中央値が 0 となり，頻度分布の幅を狭められた．さらに，地上観測降水量のデータから降水強度毎に平均値を求めて補正することで補正前のレーダー降水量が最小で 1/300 であったのに対して，1/6.5 から 6.5 倍の範囲になるという結果が得られた．

今回は最も簡単な線形近似を行ったが，近似曲線をより良くフィットするものを選択することで，1km メッシュ全国合成レーダーより良い結果が期待できる．

参考文献

1) 横山宏太郎,大野宏之,小南靖弘,井上聡,川方俊和:冬期における降水量計の捕捉特性.雪氷,65 巻,303-316,2003

2) Fujiwara M: Raindrop-size distribution from individual storms, Atmos. Sci., 22 ,585-591, 1965

3) Battan, L.J.: Radar Observation of the Atmosphere. , Chicago, University of Chicago Press,324,1973