降雨減衰補正と合成雨量作成手法の改良による XRAIN観測雨量の精度向上

IMPROVEMENT OF THE RADAR RAINFALL ACCURACY OF XRAIN
BY MODIFYING OF RAINFALL ATTENUATION CORRECTION AND
COMPOSITING RADAR RAINFALL

土屋修一¹・川崎将生²・五道仁実³

Shuichi TSUCHIYA, Masaki KAWASAKI, Hitomi GODO

¹正会員 博(工) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

²正会員 修(工) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

³正会員 修(工) 国土交通省 関東地方整備局 (〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2-1)

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) built the rainfall observation network composed of 38 X-band dual polarimetric radars called XRAIN. The results of verifying the accuracy of the XRAIN rainfall, attenuation correction caused underestimation of radar rainfall distant from radar, and that underestimation caused underestimation of the compositing rainfall close to radar. The method of attenuation correction was modified to correct for attenuation of the almost all intensity of rainfall. The compositing rainfall processing was modified to add the weighting function related to the distance from radar. Modifying of attenuation correction and compositing rainfall processing improved underestimation of XRAIN rainfall.

Key Words : XRAIN, X-band MP radar, Rainfall attenuation correction, Compositing radar rainfall

1. はじめに

国土交通省水管理・国土保全局は、2010年に三大都市圏等の4地域に整備した11台のXバンドMPレーダの試験運用を開始し、整備を順次進めるとともに観測精度の改善を図り、2014年3月には本格運用へ移行している。XバンドMPレーダは現在(2014年9月時点)、38台が14地域に整備され、XRAINと呼ばれるXバンドMPレーダネットワークを構築している。

試験運用を開始した2010年以降の出水期間中の主な豪雨事例を対象にXRAINのレーダ雨量、合成雨量を評価した結果、現業のCバンドレーダ雨量(地上雨量によりレーダ雨量をリアルタイムで補正した雨量)と比較して同等程度以上の観測精度であることが確認されている¹⁾。しかし、2011年の出水期の豪雨事例について、レーダからの距離別にレーダ雨量を地上雨量と比較した結果、レーダからの距離に従い過小傾向となることが確認された。また、合成雨量について地上雨量と比較し、整理した結果、精度が高いとされるレーダ近傍で過小傾向を示す領域が確認された。

本論文では、レーダ遠方におけるレーダ雨量の過小傾

向の改善、レーダ近傍の合成雨量の過小傾向を改善し、XRAIN雨量情報の高精度化を図ることを目的とする。なお、レーダとはXバンドMPレーダを示し、レーダ単位で観測仰角毎に、Kdp-R関係式及びZ-R関係式を用いて算出された極座標形式の雨量をレーダ雨量と呼ぶ。また、複数のレーダ、観測仰角のレーダ雨量を合成した雨量を合成雨量と呼ぶ。

2. 降雨減衰補正の改良

(1) レーダ遠方におけるレーダ雨量の過小傾向

図-1は、近畿地域の4台(鷺峰山局、田口局、六甲局、葛城局)のレーダについて、2011年の出水期間中の主な豪雨事例を用いて、レーダから0~30km、30~60km、60~80kmの各範囲内の地上雨量計を対象に、地上雨量に対応するメッシュのレーダ雨量と地上雨量の比較(10分雨量)を示している。なお、XRAINのレーダ雨量は、降雨強度換算で約4mm/h以上の強雨においては、Kdp-R関係式を使用し、弱雨においては、Z-R関係式が使用されている²⁾。図中の赤丸は、1分間隔で観測されるレーダ雨量から10分雨量を算出するために、雨量の10割をKdp-

図-1 レーダ雨量と地上雨量の関係
(左: 0~30km, 中: 30~60km, 右: 60~80km)

図-2 Kdp-R雨量と地上雨量の関係
(左: 0~30km, 中: 30~60km, 右: 60~80km)

図-3 Z-R雨量と地上雨量の関係
(左: 0~30km, 中: 30~60km, 右: 60~80km)

R関係式により算出 (Kdp-R雨量) していることを示している。一方、緑丸は、10分雨量の内、Kdp-R関係式で算出している雨量が5割以上で、残りをZ-R関係式により算出していることを示している。黒丸は、Kdp-R関係式で算出している雨量が5割以下で、残りをZ-R関係式により算出 (Z-R雨量) していることを示している。また、図中の実線は回帰直線を示している。レーダからの距離に従い、回帰直線の傾きが小さくなり、過小傾向を示していることがわかる。図-2、3は、図-1のKdp-R雨量とZ-R雨量を別々に整理したものであり、図-2は、Kdp-R雨量と地上雨量の関係、図-3は、Z-R雨量と地上雨量の関係を示している。レーダから60~80kmの範囲では、他の範囲と比較して、強雨時においてもZ-R関係式が多く適用されており、さらにZ-R雨量は過小傾向を示している。また、Kdp-R雨量は、レーダからの距離に依存した精度低下は僅かであるが、Z-R雨量は、レーダからの距離に従い過小傾向が大きくなっている。

レーダの観測範囲の外縁付近では、偏波間位相差 (ϕ_{dp}) の平滑化や偏波間位相差変化率 (Kdp) の算出において、適切な算定区間で処理、算出ができないため、過大な値の Kdp が算出され、Kdp-R関係式により降雨強度算出された場合、強雨が孤立的に散在した降雨分布となる。これを回避するためレーダから76.25~80kmの3.75kmの区間では、Z-R関係式により雨量を算定している。また、レーダから72.5~76.25kmまでの3.75kmの区間では、Kdp-R関係式を用いて算出された雨量が得られ

図-4 Zhの降雨減衰補正の流れ

ている場合、Z-R関係式とKdp-R関係式による雨量値を区間距離の線形重み付け平均で雨量を算出している。このため、レーダ遠方では、強雨時にZ-R関係式が適用される頻度が多くなっている。

XRAINにおけるレーダ反射因子 (Zh) の降雨減衰補正は、各メッシュの Kdp から単位距離当たりの降雨減衰量 (Ah) を算出し、レーダから当該メッシュまでの Ah を積算し、積算した Ah をレーダ反射因子に加算する²⁾。そのため、降雨域にも関わらず Ah が算定されていないメッシュがある場合、レーダ遠方、減衰補正量が過小評価され、 Zh が小さい値になることから、Z-R関係式により算出される雨量は、レーダからの距離に従い過小傾向となっていると考えられる。

(2) 降雨減衰補正の概要

XRAINの雨量算定処理等に用いられる Zh_1 は、Kdp-R関係式の使用条件の判定に用いられる Zh_1 とZ-R関係式による降雨強度算出に用いられる Zh_2 の2種類がある。 Zh_1 、 Zh_2 の減衰補正の流れを図-4に示す。

MTI処理済み水平偏波の受信電力 ($Prh-MTI$) から降雨減衰補正前のレーダ反射因子 (Zh_{ini}) を算出し、得られている全ての Kdp (Kdp_{all}) を用いて Zh_{ini} を減衰補正し Zh_1 を算出する。 Zh_1 が30dBZ以上かつ Kdp が0.1%/km以上の場合、Kdp-R関係式で降雨強度算出が行われ、これ以外の場合は、Z-R関係式により降雨強度算出が行われる²⁾。Z-R関係式による降雨強度算出に用いられる Zh_2 は、 Zh_1 が30dBZ以上のメッシュの Kdp (Kdp_{30dBZ}) を用いて Zh_{ini} を減衰補正して算出する。

弱雨域では、 Zh が小さい値を示しているのにも関わらず過大な値の Kdp が算出され、Kdp-R関係式により降雨強度算出された場合、強雨が算出され、孤立的な強雨が散在した雨量分布となる²⁾。これを回避するため、XRAINでは、 Zh_1 により降雨強度を判定し、30dBZ以下の弱雨である場合は、Z-R関係式により降雨強度算出が行われている。また、 Zh_2 の減衰補正について、弱雨域に散在する過大な値の Kdp を減衰補正に用いることで、過大に補正された Zh_2 となり、過大な雨量が算出されることが考えられることから、 Zh_1 により降雨強度を判定し、2011年の観測では30dBZ以上のメッシュの Kdp を用いている。これらの理由により、 Zh_1 と Zh_2 で異なる Kdp を用いた減衰補正が行われている。2011年の観測では、

図-5 ϕ_{dp} , Kdp_{30dBZ} , Kdp_{10dBZ} 積算値のレンジ方向プロファイル
(2011/9/3 22:15 仰角0.4°, 方位角250°)

Zh_2 の減衰補正には、30dBZ（標準的な雨滴定数 ($B=200$, $\beta=1.6$) を用いてZ-R関係式により計算した場合、約2.7mm/h)以下の降雨の減衰が考慮されていないこととなる。このためレーダ遠方程、減衰補正量が過小評価となり、Z-R関係式により算出される雨量が過小傾向となっていると考えられる。

降雨減衰補正アルゴリズムは、種々の手法が提案され、X帯を含む様々な帯域のレーダにおいて、その効果が検証され、降水強度算出等にその重要性が示されている³⁾。XRAINの降雨減衰補正は、Bringi et al⁴⁾による手法を基本としているが、 Zh_2 の減衰補正について、上記の理由により、 Zh_1 に応じて使用する Kdp を判定する処理が、XRAIN独自の処理として追加されている。本章は、レーダ遠方の過小傾向を改善するために、この処理について、可能な限り弱雨時の Kdp も用いることを検討し、Z-R関係式による降雨強度算出の精度向上を図る。

(3) 降雨減衰補正に用いる Kdp の検討

図-5は、近畿地域の鷺峰山レーダについて、 ϕ_{dp} のレンジ方向プロファイル、 Zh_1 が30dBZ以上のメッシュの Kdp (Kdp_{30dBZ}) 及び Zh_1 が10dBZ以上のメッシュの Kdp (Kdp_{10dBZ}) をレンジ方向に積分したプロファイルを示している。 Kdp_{30dBZ} は ϕ_{dp} のプロファイルと比較し過小であり、レーダから離れるのに従い、差が大きくなっている。 Kdp は ϕ_{dp} を平滑化処理等した後に距離微分したものであり、理想的には、 Kdp をレンジ方向に積分したプロファイルは、平滑化した ϕ_{dp} と概ね一致するはずである。また、 Kdp と Ah は、線形的な対応関係にあることが知られており⁴⁾、 Kdp の積分である ϕ_{dp} のプロファイルは、降雨減衰量のプロファイルを定性的に示していることとなる。 Kdp_{30dBZ} のプロファイルは、30dBZ以下の降雨の減衰が考慮されていないため、レーダから遠方になる程、減衰補正量が不十分となることが示されている。なお、台風事例といった雨域が広範囲に広がる降雨タイプで Kdp の積算プロファイルと ϕ_{dp} のプロファイルに差が生じる事が多いことを確認している。

Zh が10dBZにおける降雨強度を、標準的な雨滴定数を用いてZ-R関係式により計算した場合、約0.15mm/hとなることから、 Kdp_{10dBZ} を用いることは、ほぼ全ての強度の降雨の減衰を考慮したこととなる。そのため、 Kdp_{10dBZ} をレンジ方向に積分したプロファイルは、 ϕ_{dp} と

図-6 Zh_{ini} , Zh_1 , Zh_2 のレンジ方向プロファイル
(2011/10/15 20:00 仰角1.1°, 方位角120°)

図-7 Kdp_{30dBZ} , Kdp_{10dBZ} により算出したレーダ雨量画像
(左: Kdp_{30dBZ} , 右: Kdp_{10dBZ})

図-8 Kdp_{30dBZ} , Kdp_{10dBZ} により算出したレーダ雨量の差分

ほぼ一致している。図-6は、近畿地域の葛城局レーダの Zh_{ini} , Kdp_{all} を用いて減衰補正した Zh_1 , Kdp_{30dBZ} を用いて減衰補正した Zh_2 , Kdp_{10dBZ} を用いて減衰補正した Zh_2 のレンジ方向プロファイルを示している。 Kdp_{30dBZ} に対して Kdp_{10dBZ} を用いて減衰補正した Zh_2 のプロファイルは、減衰補正量が大きくなっており、 Zh_1 のプロファイルとほぼ一致している。以上より、減衰補正に用いる Kdp については、特に条件は必要でないことがわかる。

図-7は、 Kdp_{30dBZ} を用いて Zh_2 を減衰補正した場合、 Kdp_{10dBZ} を用いた場合のレーダ雨量画像を示している。なお、降雨強度は、 Zh_1 が30dBZ以上かつ Kdp が $0.1^\circ/\text{km}$ 以上の場合、 Kdp -R関係式で降雨強度算出が行われ、これ満たさない場合は、 Zh_2 を用いたZ-R関係式により算出している。 Kdp_{10dBZ} を用いた場合、弱雨域の過大な値の Kdp が減衰補正に用いられることで、減衰補正が過大となり、放射状の強雨のパターンが生じることが懸念されるが、そのようなパターンは見られない。図-8は、 Zh_2 の減衰補正に Kdp_{30dBZ} , Kdp_{10dBZ} を用いた場合のレーダ雨量を差分したレーダ雨量画像である。凡例が正の場合、 Kdp_{10dBZ} を用いた場合のレーダ雨量が多いことを示している。 Kdp_{10dBZ} を用いた場合、 Kdp_{30dBZ} と比較してレーダ雨量が増加しており、また、レーダからの距離に従い、

図-9 レーダ雨量と地上雨量の比較

(上段: Kdp_{30dBZ} , 下段: Kdp_{10dBZ})

(左: 0~30km, 中: 30~60km, 右: 60~80km)

増加量が多くなっており、レーダ遠方の過小傾向の改善が確認できる。これは Kdp_{10dBZ} を用いることで、 Zh_2 の減衰補正に10dBZまでの弱雨の減衰も考慮され、 Kdp_{30dBZ} に対して減衰補正量が大きくなり、 Zh_2 についても大きな値となり、Z-R関係式で算出されるレーダ雨量が増加したためであると考えられる。

(4) 弱雨域の過大な値の Kdp の減衰補正への影響

弱雨域に孤立的に散在する過大な値の Kdp により算出される強雨は、5mm/h程度以下の弱雨域内に10~50mm/hの強雨で散在する²⁾。5mm/hに相当する Kdp は約0.15°/kmであり、レンジ当たり(分解能150m)の減衰量は、電波の往復を踏まえ算出すると約0.01dBとなる。同様に50mm/hに相当する Kdp は約2.3°/kmであり、レンジあたりの減衰量は約0.22dBとなる。弱雨域中に過大な値の Kdp が1メッシュ存在するとした場合、その後方は、0.21dBが過大に減衰補正されることとなる。0.21dBZの差を、標準的な雨滴定数を用いたZ-R関係式により降雨強度換算すると、0.1mm/h以下の差である。弱雨域に孤立的に散在する過大な値の Kdp を減衰補正へ用いる影響は十分に小さい。

(5) Kdp_{10dBZ} を用いた減衰補正による精度改善の評価

2011年9月2日22時~4日6時の台風12号事例における鷲峰山レーダを対象に、図-9上段は、 Kdp_{30dBZ} を用いた場合のレーダ雨量、図-9下段は、 Kdp_{10dBZ} を用いた場合のレーダ雨量を、レーダから0~30km、30~60km、60~80kmの各範囲内の地上雨量と比較(60分雨量)したものである。図中に実線で示す回帰直線を見ると、 Kdp_{30dBZ} を用いた場合に対して Kdp_{10dBZ} を用いた場合、レーダ雨量が全ての範囲で増加し、レーダから0~30km、30~60kmの範囲では過大傾向となるが、60~80kmの範囲では過小傾向の改善が見られる。表-1は、近畿地域の4台のレーダを対象に、図-9と同事例を用いて同様にレーダからの距離別にレーダ雨量と地上雨量を比較し、

表-1 降雨減衰補正の改良による精度改善の評価

		回帰係数				総雨量比			
		鷲峰山	田口	六甲	葛城	鷲峰山	田口	六甲	葛城
0~30km	Kdp_{30dBZ}	1.12	1.25	1.04	1.05	1.25	1.37	1.05	1.11
	Kdp_{10dBZ}	1.17	1.25	1.04	1.05	1.32	1.39	1.07	1.13
30~60km	Kdp_{30dBZ}	1.02	0.91	0.76	0.97	1.10	0.96	0.78	1.08
	Kdp_{10dBZ}	1.09	0.92	0.78	0.99	1.23	1.00	0.83	1.13
60~80km	Kdp_{30dBZ}	0.76	0.54	0.42	0.70	0.82	0.60	0.41	0.79
	Kdp_{10dBZ}	0.84	0.59	0.47	0.81	0.98	0.68	0.48	0.93

図-10 合成雨量と地上雨量の関係の回帰係数の分布

回帰係数、総雨量比を整理したものである。回帰係数、総雨量比を4台のレーダについて総合的に見ると、 Kdp_{10dBZ} を用いた場合、レーダから0~30kmではさらに過大傾向となるが、30~60km、60~80kmでは過小傾向の改善が図られている。また、0~30kmの範囲の増加割合に対して、60~80kmの範囲の増加割合が大きく、レーダ近傍と遠方での観測精度の差異が縮小されていることが確認できる。

3. 合成処理手法の改良

(1) レーダ雨量の過小傾向に起因した合成雨量の精度低下

近畿地域の合成雨量について、地上雨量計に対応するメッシュの合成雨量とその地点の地上雨量の関係から回帰係数を算出し、各地点の回帰係数を平面的に整理したものを図-10に示す。図中にピンクで示す領域は、複数台のレーダで観測される領域かつレーダから60km以上のレーダ雨量が合成される領域を示している。青色で示す領域は、レーダ1台により観測される領域かつレーダから60km以上の観測範囲であることを示している。精度が高いレーダの近傍で、過小傾向を示す地点が見られる。これらの地点は、図中にピンクで示す領域と概ね一致していることから、遠方のレーダのレーダ雨量が過小傾向であり、これが近傍のレーダのレーダ雨量と合成されることで、過小傾向を示していると考えられる。なお、本章の降雨強度は、 Zh_1 が30dBZ以上かつ Kdp が0.1°/km以上の場合には、 Kdp -R関係式で降雨強度算出が行われ、これ満たさない場合は、 Zh_2 を用いたZ-R関係式により算出されており、 Zh_2 の減衰補正には Kdp_{30dBZ} を用いている。

(2) 合成雨量作成手法の概要

XRAINでは、複数レーダ、複数仰角の観測で得られたレーダ雨量を下記の(式1)より合成処理し、極座標形式のレーダ雨量から直交座標形式の合成雨量を作成してい

図-11 レーダからの距離に関する重み関数

る。合成処理は、レーダ雨量の極座標点が代表する範囲（円形の範囲：影響円）を設定し、求める合成雨量の格子点が、影響円内に含まれるレーダ雨量の極座標点を全て抽出し、格子点と抽出した各極座標点との水平距離、鉛直高度の重み付け平均により合成雨量を算出する。影響円の半径は、概ねビーム幅の広がりとも一致するように設定されている。水平方向の重み係数は、合成雨量を求める格子点に対して水平距離が近い程、鉛直方向に対しては下層程、重みが付けられている。

$$RR = \frac{\sum_{(d_i < R, h_i < H)} W_i R_{ri}}{\sum_{(d_i < R, h_i < H)} W_i} \quad (式1)$$

ただし、 $R = a \times r + b$, $W_i = w_{hi} \times w_{vi}$, $w_{hi} = 1 / (1 + C_h (d_i / R)^2)$, $w_{vi} = 1 / (1 + C_v (h_i / H)^2)$, RR : 合成雨量を求める格子点の雨量[mm/h], R_{ri} : 合成雨量を求める格子点が影響円内となるレーダ雨量の極座標点の雨量[mm/h], R : 影響円半径[m], r : レーダからの距離[m], d_i : 合成雨量を求める格子点と R_{ri} との水平距離[m], H : 内挿に用いるデータの最大高度[m] (=5000m), h_i : R_{ri} の高度[m], W_i : 重み関数, w_{hi} : 水平方向の重み関数, w_{vi} : 鉛直方向の重み関数, C_h : 水平方向の重み定数(=0.5), C_v : 鉛直方向の重み定数(=20), a, b : 影響円に関するパラメータ($a=0.013$, $b=150m$)

(3) レーダからの距離に関する重み関数の導入

遠方のレーダのレーダ雨量が合成されることによる合成雨量の精度低下を改善するために、合成処理における重み関数に、レーダからの距離に応じた重み関数を導入し、遠方のレーダ雨量が合成される影響の軽減化を図る。

レーダからの距離に応じた重み関数を図-11に示す。Z-R関係式、Kdp-R関係式で算出されるレーダ雨量の観測精度の距離依存性が異なることから、雨量算定方式毎にレーダからの距離に応じた重み関数を設定している。図-3よりZ-R雨量の観測精度は、0～30kmと60～80kmでは大きく異なっていると考え、Z-R関係式の場合の重み関数は、レーダから30kmまでは重み係数を1とし、60km以遠では0.01とし、この間の重み係数は、連続的になるように30km～60kmで線形的に変化させている。また図-2より、Kdp-R雨量は、レーダからの距離に応じた観測精度の変化は小さいが、60km以遠では観測高度が高くなること等により60km以内とは精度が異なると考え、また、Z-R関係式、Kdp-R関係式の場合で重み係数に極端な差をつけると異常な雨量分布になると考え、Kdp-R関係式の場合では、レーダから45kmまでは重み係数を1とし、60km以遠では0.02とし、45km～60kmでは重み係

図-12 距離に関する重み関数の導入前後の合成雨量画像
(左：導入前、右：導入後)

図-13 距離に関する重み関数の導入前後の合成雨量の差分画像

数を線形的に変化させ、Z-R関係式、Kdp-R関係式の場合の重み係数の差が2倍以内となるようにしている。なお、レーダからの距離に応じた重み関数 w_s は、 $W_i = w_{hi} \times w_{vi} \times w_s$ とすることで、(式1)に反映している。図-12はレーダからの距離に関する重み関数の導入前後の合成雨量画像を示している。導入前後で雨量分布に大きな差異は見られず、距離に関する重み関数の導入により異常な降雨分布となっていない。図-13は、レーダからの距離に関する重み関数の導入前後の合成雨量の差分画像で、凡例が正の場合、距離に関する重み関数を導入した合成雨量が多いことを示している。距離に関する重み関数の導入により、図-10においてピンクで示す領域にほぼ対応して雨量が増加していることがわかる。

(4) 距離に関する重み関数導入による精度改善の評価

図-14は、レーダからの距離に関する重み関数の導入前後の合成雨量と地上雨量の比較（60分雨量）を示しており、図-15に示すように、領域1は、「あるレーダから半径30km以内かつ別のレーダから半径60km以内」、領域2は、「あるレーダから半径30～60kmかつ別のレーダから半径30～60kmの範囲」または「あるレーダから半径30km以内かつ別のレーダから半径60km以遠（もしくは別のレーダでカバーされない）」、領域3は、「あるレーダから半径30～60kmかつ別のレーダから半径60km以遠（もしくは別のレーダでカバーされない）」、領域4は、「どのレーダからも半径60km以遠（領域1～4以外）」として、領域を4分割して、レーダからの距離、レーダによるカバー状況に応じて、整理している。表-2は、図-14について回帰係数、総雨量比を整理したものである。図-14の実線で示す回帰直線を見ると、レーダからの距離に関する重み関数の導入により、全領域で合成雨量が増加し、領域1はさらに過大傾向となるが、領域2

図-14 レーダからの距離に関する重み関数の導入前後の合成雨量と地上雨量の比較
(上：導入前，下：導入後，左から領域1，2，3，4)

図-16 Kdp_{10dBZ} を用いた減衰補正，距離に関する重み関数の反映後の合成雨量と地上雨量の比較（左から領域1，2，3，4）

～4の過小傾向が改善されている。レーダ雨量の距離分割と合成雨量の領域分割の対応関係は，レーダから0～30kmは領域1に，30～60kmは領域2及び3に，レーダから60～80kmは領域4に概ね該当する。これを踏まえ，表-1（ Kdp_{30dBZ} を用いた場合），表-2（現状）の回帰係数，総雨量比を見ると，領域1～3の合成雨量はレーダ雨量に対して，過小となっている。これは，遠方から観測されたレーダ雨量が合成された影響と考えられるが，合成処理の改良として距離に関する重み関数を導入することにより，この影響が軽減され，回帰係数，総雨量比の改善が見られ，合成雨量の精度向上が図られている。距離に関する重み関数の導入前後で，4領域の平均で総雨量比は0.85から0.91に変わっており領域全体として合成雨量の過小傾向が6%程度の改善されている。

4. 降雨減衰補正、合成雨量作成手法の改良による

精度改善の評価

図-16は， Kdp_{10dBZ} を用いた減衰補正，距離に関する重み関数を反映した合成雨量と地上雨量の比較を領域別に比較（60分雨量）したものである。表-2には，図-16について回帰係数，総雨量比を整理したものを示している。 Kdp_{10dBZ} を用いた減衰補正及び距離に関する重み関数を反映することで，これらの反映の前に対して，回帰係数，総雨量比は，領域1では，さらに過大傾向となるが，領域2，3，4では過小傾向が改善されており，精度向上が図られていることがわかる。

図-15 近畿地域の領域分割

表-2 精度改善の評価

	領域1	領域2	領域3	領域4
現状	1.08	0.75	0.72	0.51
回帰係数				
合成処理の改良	1.15	0.88	0.80	0.56
減衰補正、合成処理の改良	1.17	0.90	0.81	0.60
総雨量比				
現状	1.18	0.81	0.80	0.59
合成処理の改良	1.27	0.95	0.78	0.64
減衰補正、合成処理の改良	1.30	1.00	0.81	0.72

5. まとめ

レーダの遠方におけるレーダ雨量の過小傾向を改善するためには，Z-R関係式による降雨強度算出の精度改善が必要であり，Z-R関係式による降雨強度算出の過小傾向は， Zh_2 の降雨減衰補正に弱雨域の減衰

が考慮されていないことに起因していることが確認された。降雨減衰補正の改良として，ほぼ全ての強度の降雨の減衰を考慮したと同等である10dBZまでの弱雨の減衰を考慮した減衰補正を検討した。その結果，降雨分布に異常等は生じず，レーダ遠方の過小傾向が改善されるとともに，レーダ近傍と遠方での観測精度の差異が小さくなることが確認され，減衰補正に用いる Kdp については，特に条件は必要でないことが確認された。また，精度が高いとされるレーダ近傍での合成雨量の過小傾向を改善するために，合成処理手法の改良として，レーダからの距離に関する重み関数を導入した。遠方のレーダの過小傾向を示すレーダ雨量が合成されることによる影響が軽減され，合成雨量の過小傾向が改善された。さらに，降雨減衰補正及び合成処理手法の改良を反映することで，精度向上が確認された。

参考文献

- 1) 土屋修一，川崎将生，深見和彦，根本深，内藤正彦，五道仁実：降雨・洪水予測技術の高度化に向けたレーダ雨量情報の高度化と活用の動向，河川技術論文集20巻，pp.343-348，2014。
- 2) 五道仁実，内藤正彦，土屋修一： Kdp -R関係式の適用範囲拡張によるXバンドMPレーダの観測精度の向上，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.70，No.4，I_505-I_510，2014。
- 3) e.g., D.-S. Kim et al: Retrieval of Three-Dimensional Raindrop Size Distribution Using X-Band Polarimetric Radar Data, Journal of Atmospheric and Ocean Technology, Vol.27, pp.1265-1285, 2010。
- 4) V.N.Bringi, V.Chandrasekar: Polarimetric Doppler Weather Radar, Cambridge University Press, pp.636, 2001。

(2014. 9. 30受付)