

10章 観測精度向上に関する取り組み

レーダの試験運用開始に向けた各種検討や運用開始後の精度検証と平行して各種の精度向上の取り組みが行われている。

10章1節 Kdp-R 関係式の使用条件の見直しによるレーダ雨量の精度向上

Kdp は雨滴の扁平度に関するパラメータであり、Kdp-R 関係式は雨滴の扁平度が降雨強度と関係していることを利用した雨量算定手法である。そのため、雨滴の扁平度が小さい弱雨の場合は、Kdp が検出できなくなることから、XRAIN では弱雨においては Z-R 関係式、強雨においては Kdp-R 関係式を使用する方式となっている。XRAIN は、2010 年に 11 台のレーダネットワークとして試験運用を開始し、試験運用開始時までに、観測データや精度が一定の品質を確保されていることは確認しているが、XRAIN における Kdp-R 関係式の適用可能範囲の検討は十分にされていなかったことから、2010 年の運用開始時の Kdp-R 関係式の適用範囲は、安全側を考えた比較的強い降雨に使用される限定的な設定であった。そこで、XRAIN の雨量算定方式における Kdp-R 関係式の適用範囲を拡張し、X バンド MP レーダの降雨観測精度の向上を図ることとした。

10章1節1項 運用開始当初の Kdp-R 関係式の使用条件

2010 年の運用開始当初の Kdp-R 関係式の使用条件は、 $Z_h=30\text{dBZ}^1$ 以上かつ $Kdp=0.5^\circ/\text{km}^2$ 以上かつ $SNR=10[\text{dB}]$ 以上を満たす場合で、全てのレーダで同一の条件となっている。2010 年の観測では、降雨強度が概ね $14[\text{mm}/\text{h}]$ 以上の時に Kdp-R 関係式が使用されている。2010 年の出水期間中の XRAIN のレーダ雨量、合成雨量を評価した結果、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。しかし、2010 年の観測において、図 10.1 に示すように強雨時にも係わらず精度が低い事例が確認された。基本的に強雨時には、Kdp-R 関係式が用いられ、精度の良い雨量算定が行われる。しかし、本事例では強雨時に Kdp-R 関係式が用いられずに Z-R 関係式が用いられ、精度低下が確認された。これは強雨域の裏側等では、降雨減衰により SNR が小さくなり易く、Kdp-R 関係式を用いる条件のうち SNR に関する条件を満たさないため、強雨時に Z-R 関係式が用いられているためである。このため、Kdp-R 関係式を用いる条件で使用している SNR 閾値を引き下げて、降雨減衰により SNR が小さい場合にも強雨域において Kdp-R 関係式の使用頻度を増やし、精度向上を図ることとした。また、弱雨時は Z-R 関係式が用いられることが原因で雨量算定精度が過小評価傾向であった。そのため、Kdp-R 関係式を用いる条件を見直し、可能な限り弱雨に対しても Kdp-R 関係式により降雨強度を算出し、精度向上を図ることとした。

¹ $Z_h=30\text{dB}$ は降雨強度に換算すると $3\sim 6\text{mm}/\text{h}$ に相当する。

² $Kdp=0.5^\circ/\text{km}$ は降雨強度に換算すると約 $14\text{mm}/\text{h}$ に相当する。

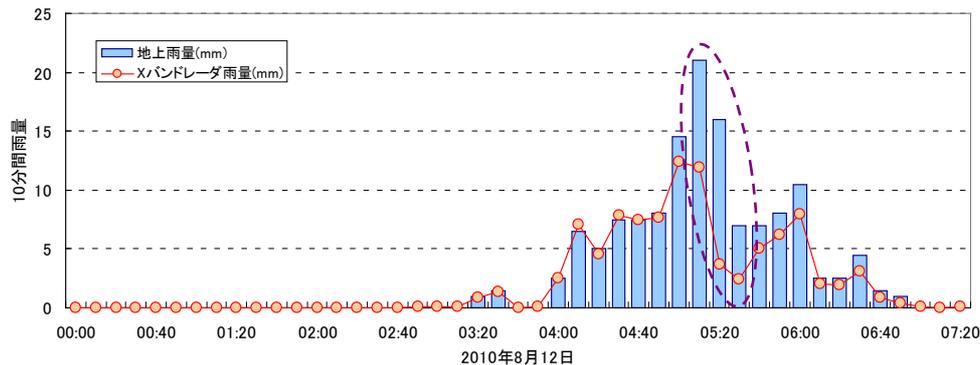


図 10.1 豪雨時に過小評価が確認された事例（地点：京都アメダス）

10章1節2項 Kdp-R 関係式の適用範囲の拡張

■ SNR 閾値の引き下げの検討

強雨域（特に降雨減衰が大きい強雨域裏側）での Kdp-R 関係式の使用頻度を増加させ強雨時の観測精度の向上を図るため SNR 閾値の引き下げを検討した。Kdp-R 関係式の使用条件に SNR 閾値を設定しているのは、減衰補正をしたレーダ反射因子が一定以上を示す降雨であっても、降雨減衰の影響を受けて受信電力が低くなった場合は、 ϕ_{dp} はノイズ的で異常に大きな値の Kdp が算出されるなど、適切な Kdp が算出できない場合があると考えられるためである。Kdp-R 関係式の使用条件の SNR 閾値を段階的（10、6、4、2、-50）に引き下げ、Kdp-R 関係式のみで算出した雨量分布を図 10.2～図 10.12 に示す。図 10.13 は、SNR が低下する強雨域の裏側付近を拡大したものである。なお、Kdp 使用条件の Zh 閾値、Kdp 閾値はそれぞれ 2010 年観測の値である 30[dBZ]、0.5[°/km]としている。SNR 閾値を引き下げることによって強雨域の裏側で Kdp-R 関係式による雨量算出の領域が増加していることが確認できる。SNR 閾値を引き下げることによって強雨域において、異常に強い値を示すメッシュが孤立して存在するノイズ的な降雨分布となることが懸念されるが、SNR 閾値を引き下げることによって拡大された Kdp-R 関係式による雨量算出の領域はノイズ的な降雨分布となっていないことが確認できる。これは、降雨減衰の影響を受け受信電力が低い場合であっても、強雨のため雨滴が大きく扁平しており、それに関係する位相情報である ϕ_{dp} は適切な値が検出されているためだと考えられる。SNR 閾値は、考慮しないのと同様である SNR 閾値=-50 としても、ノイズ的な降雨分布が現れることはなく、Kdp-R 関係式の使用頻度の増加が図られていることから、SNR 閾値は、-50[dB]とすることが可能であり、実質的には使用条件に用いることが不要である。

なお、関東、新横浜、鷲峰山局では SNR 閾値を下げる効果大きい。以降、SNR 閾値は -50 として検討を進める。SNR 閾値は、Kdp-R 関係式の使用条件に用いる SNR 閾値

(`radarproc_snr_minimum_rkdp`) の他に、データの有効・無効を判断する SNR 閾値 (`radarproc_snr_minimum`) がある。データの有効・無効を判定する SNR 閾値が、閾値以下の場合、データは欠測値として扱われる。本検討では、`radarproc_snr_minimum_rkdp` を -50 とした場合は `rarproc_snr_minimum` についても -50 としているが、上記より `rarproc_snr_minimum` を -50 としても問題等が無いことが確認できる。

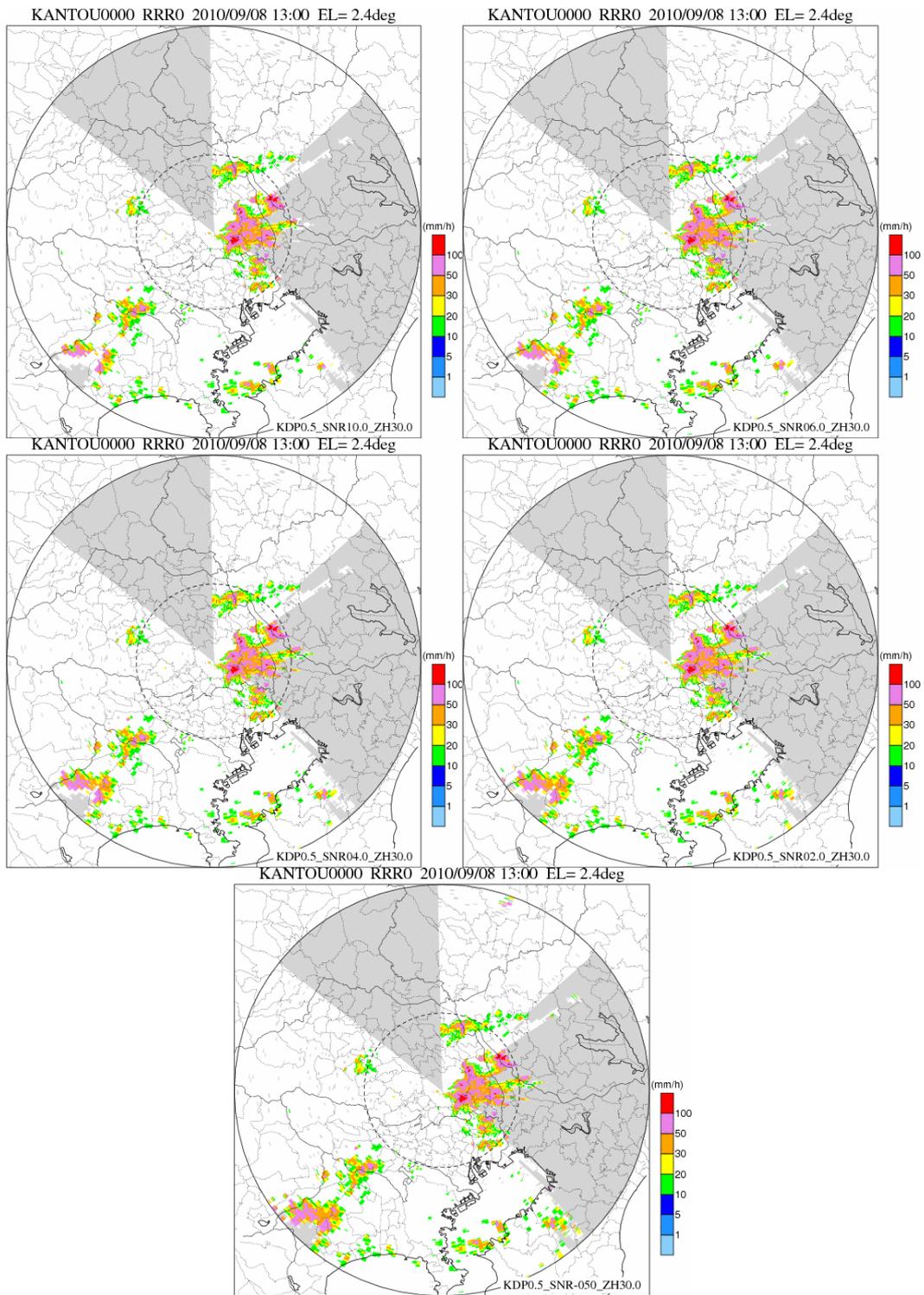


図 10.2 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (関東局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

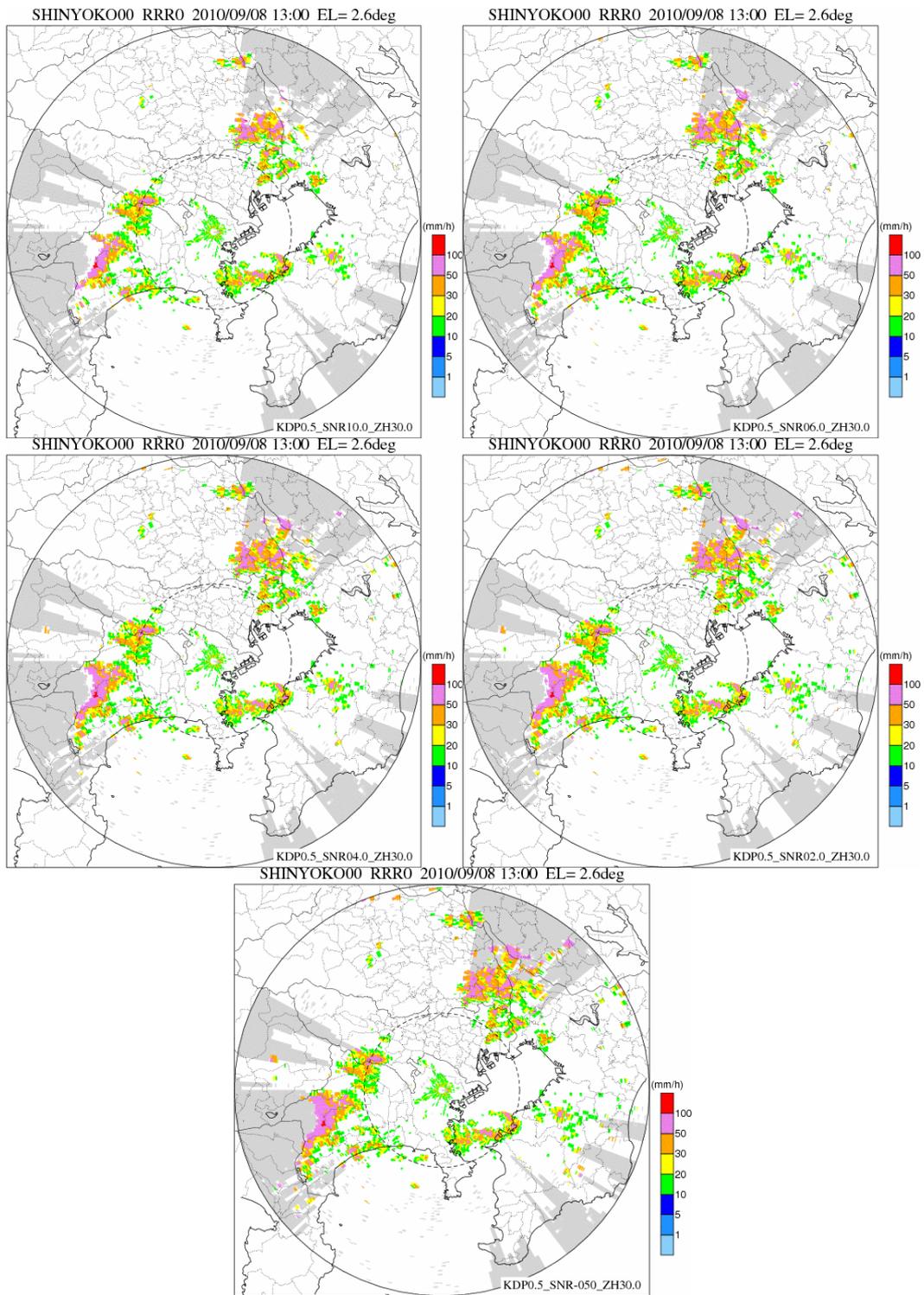


図 10.3 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (新横浜局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

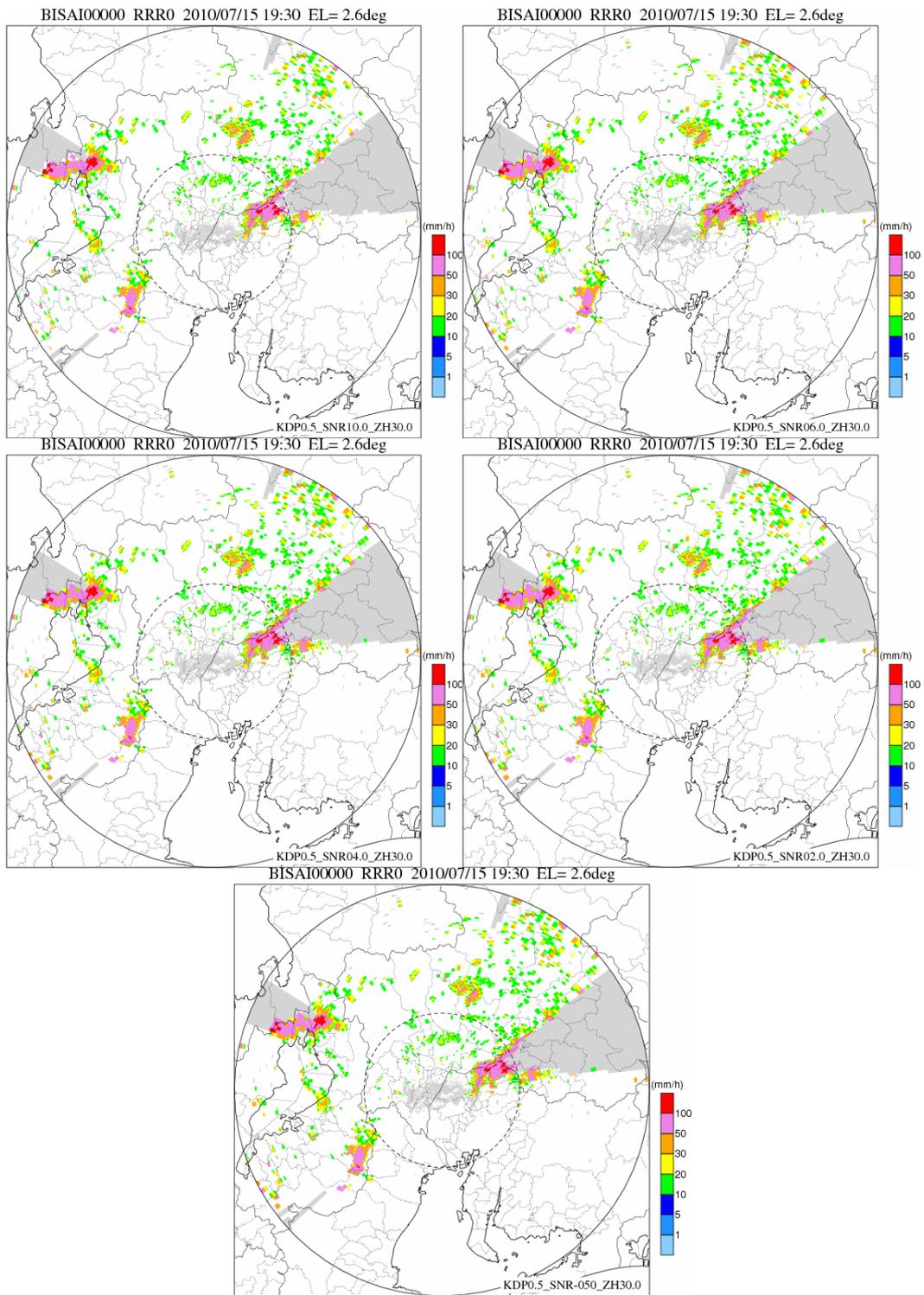


図 10.4 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (尾西局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

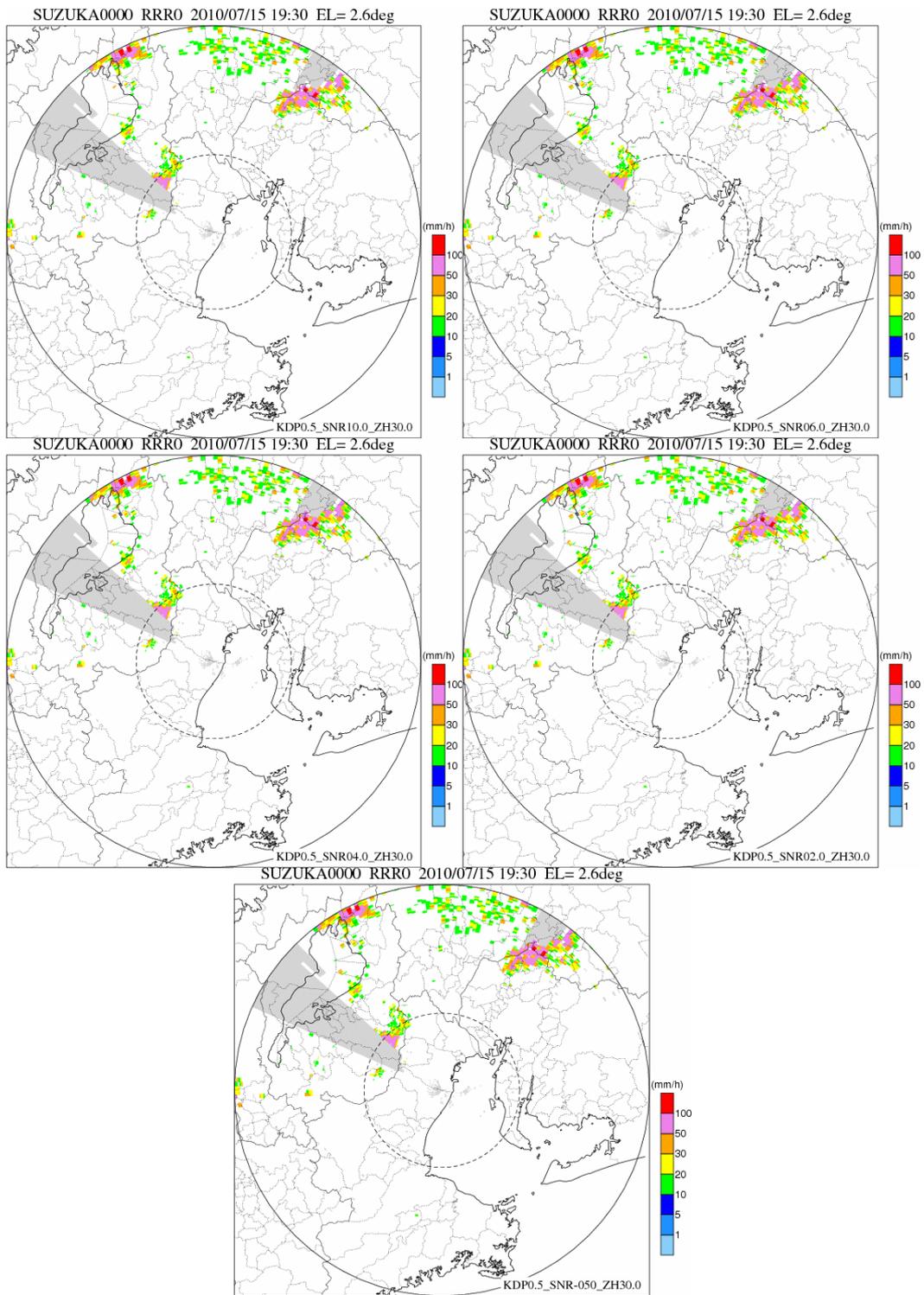


図 10.5 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (鈴鹿局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

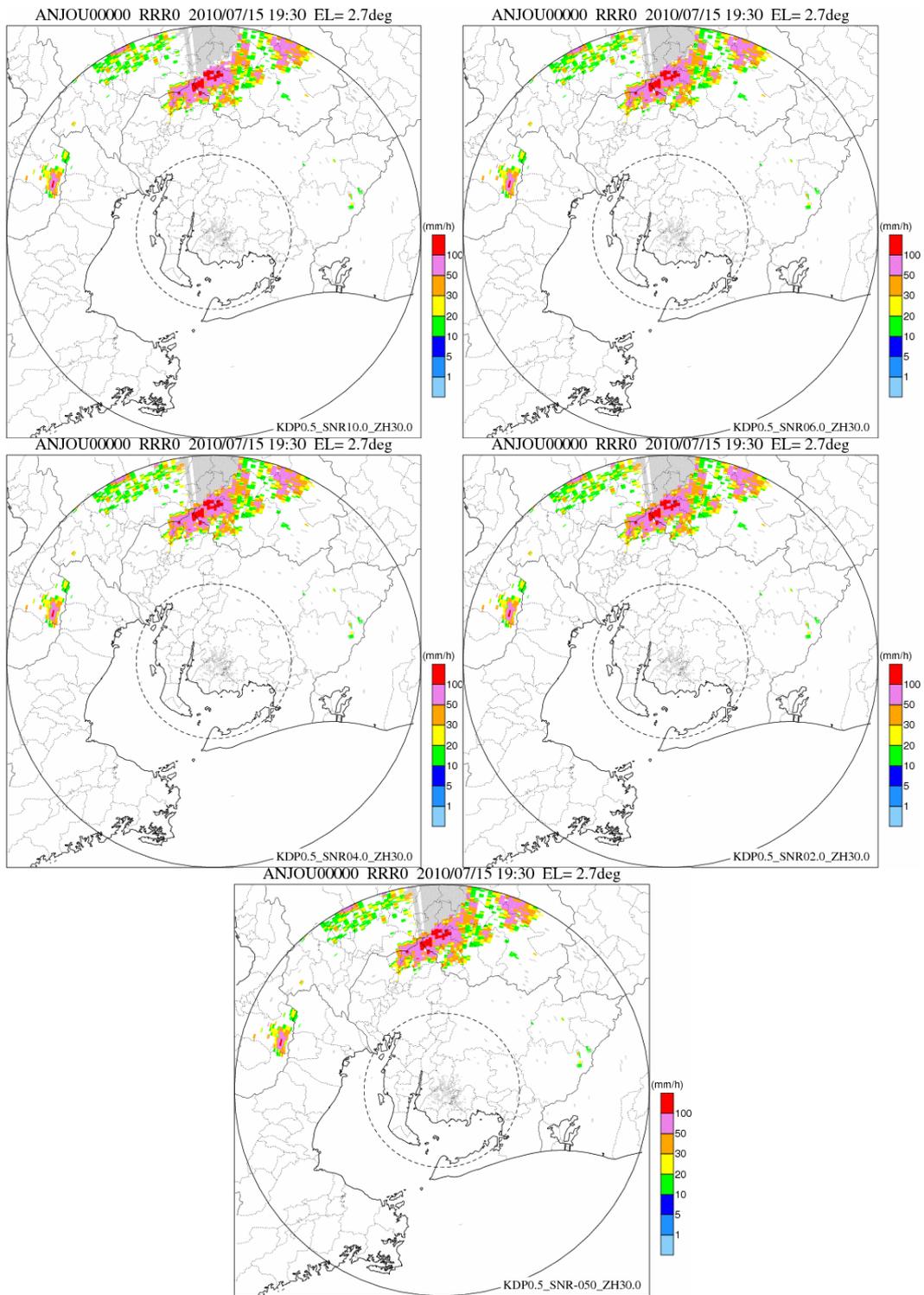


図 10.6 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (安城局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

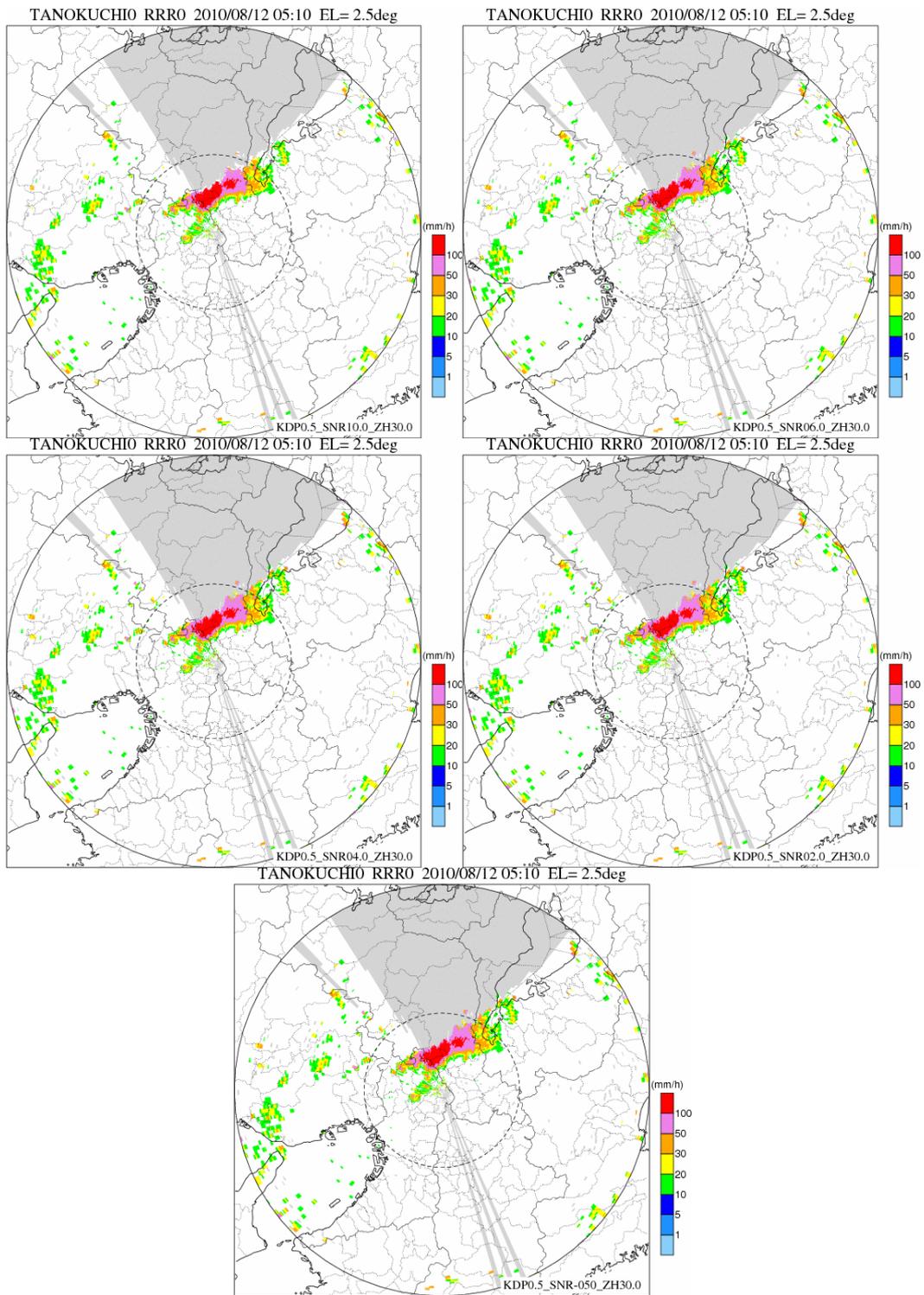


図 10.7 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (田口局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

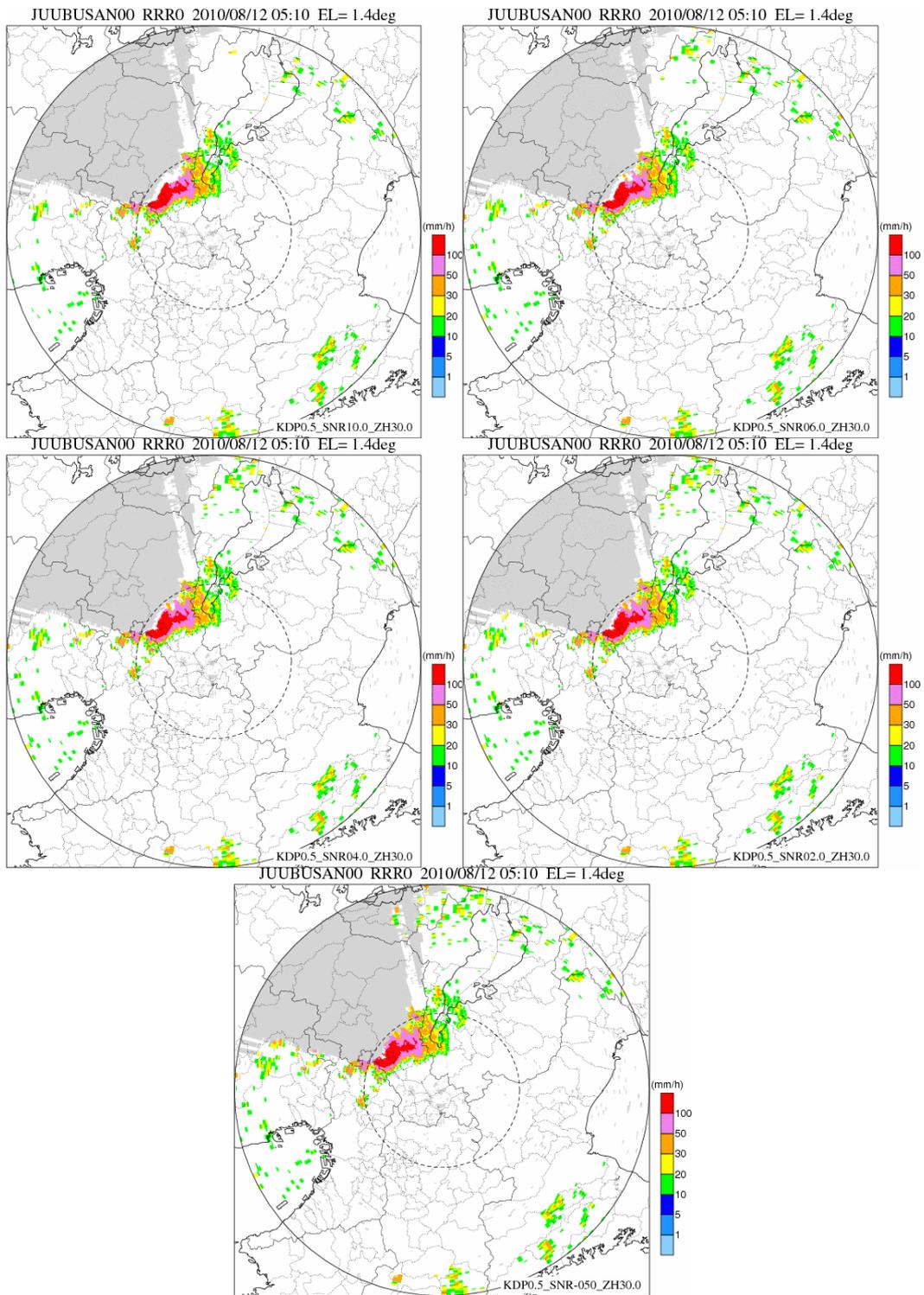


図 10.8 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (鷲峰山局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

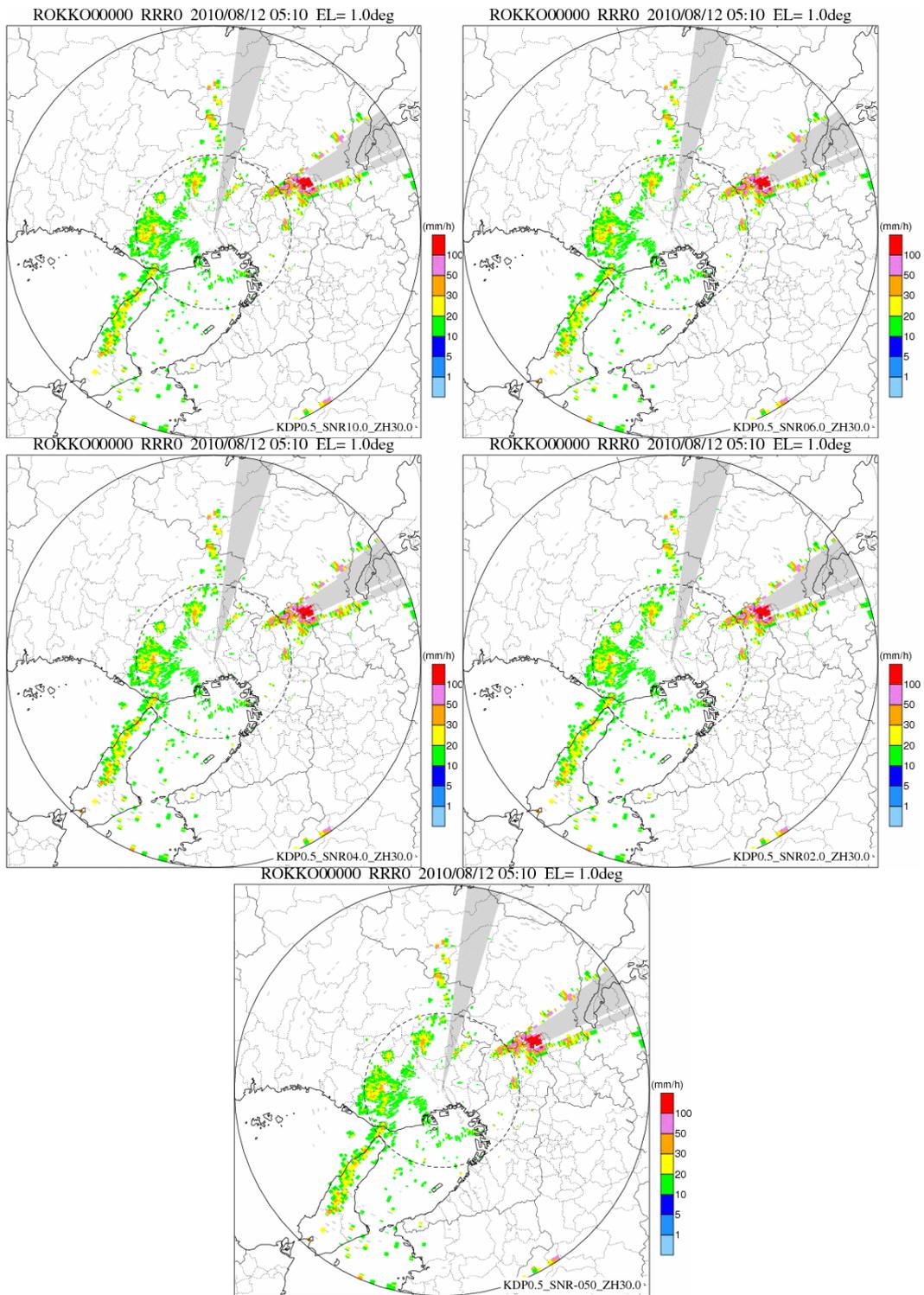


図 10.9 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (六甲局)
(上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

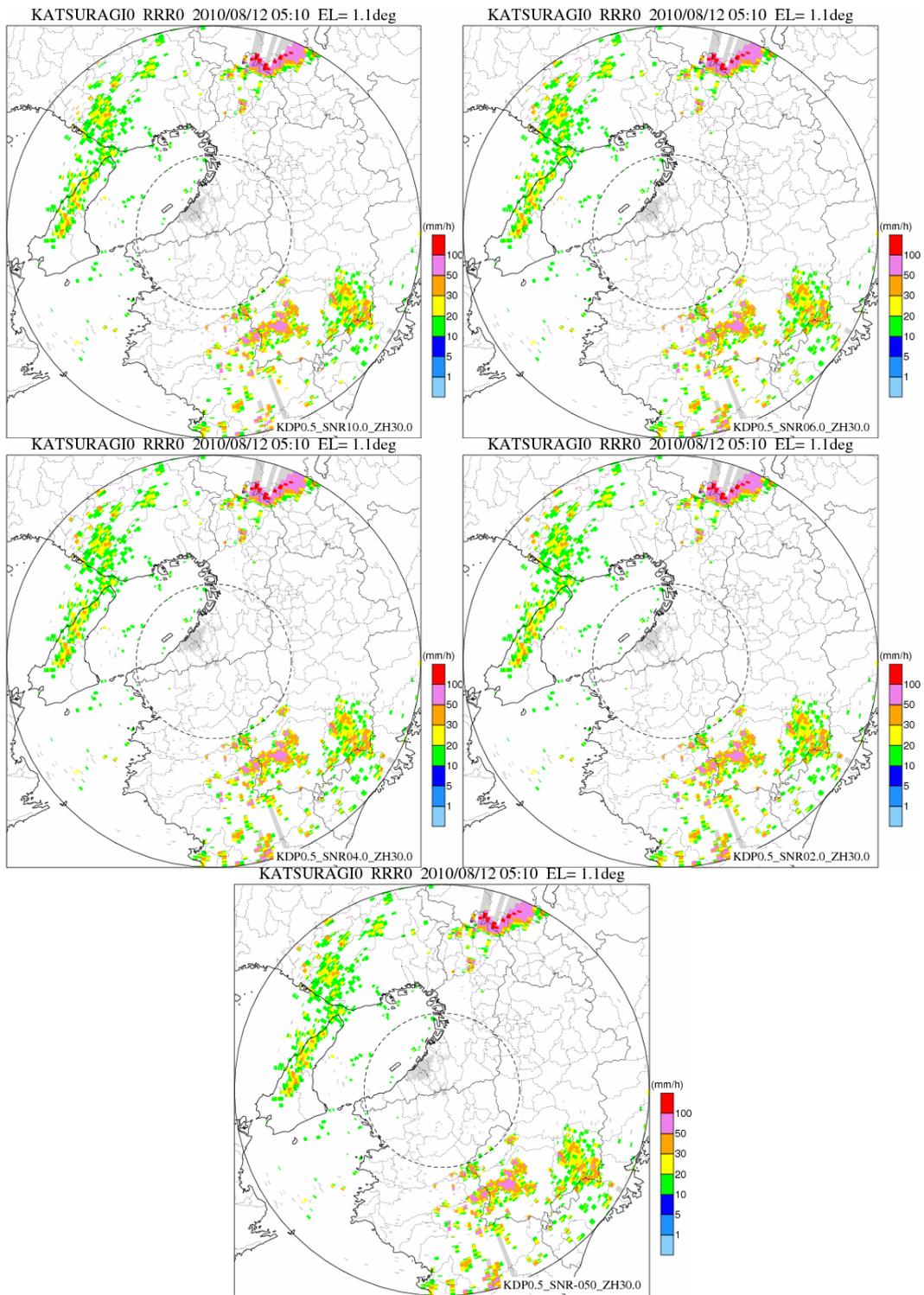


図 10.10 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (葛城局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

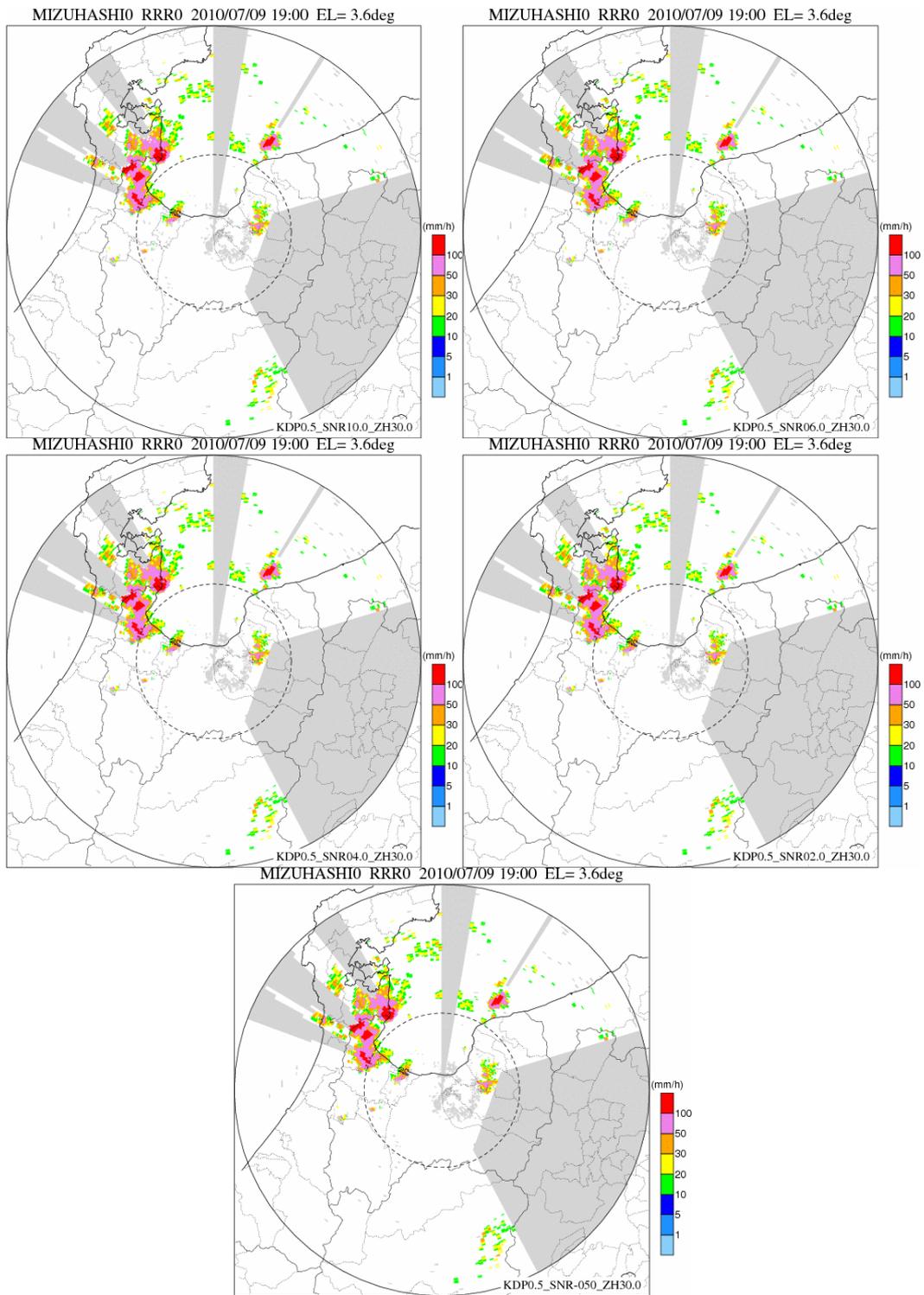


図 10.11 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (水橋局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

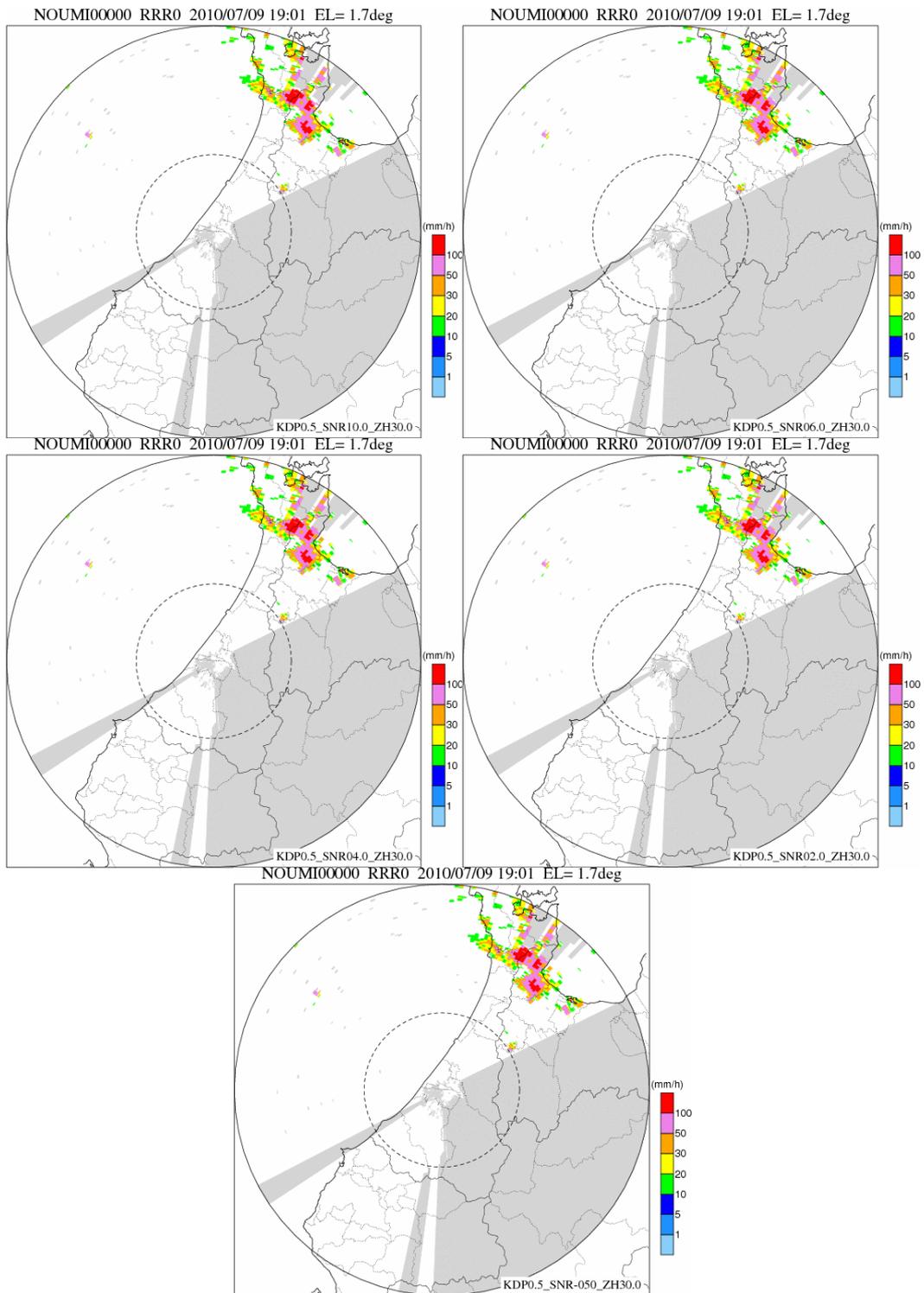


図 10.12 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (能美局)
 (上左 : 10、上右 : 6、中左 : 4、中右 2、下 : -50)

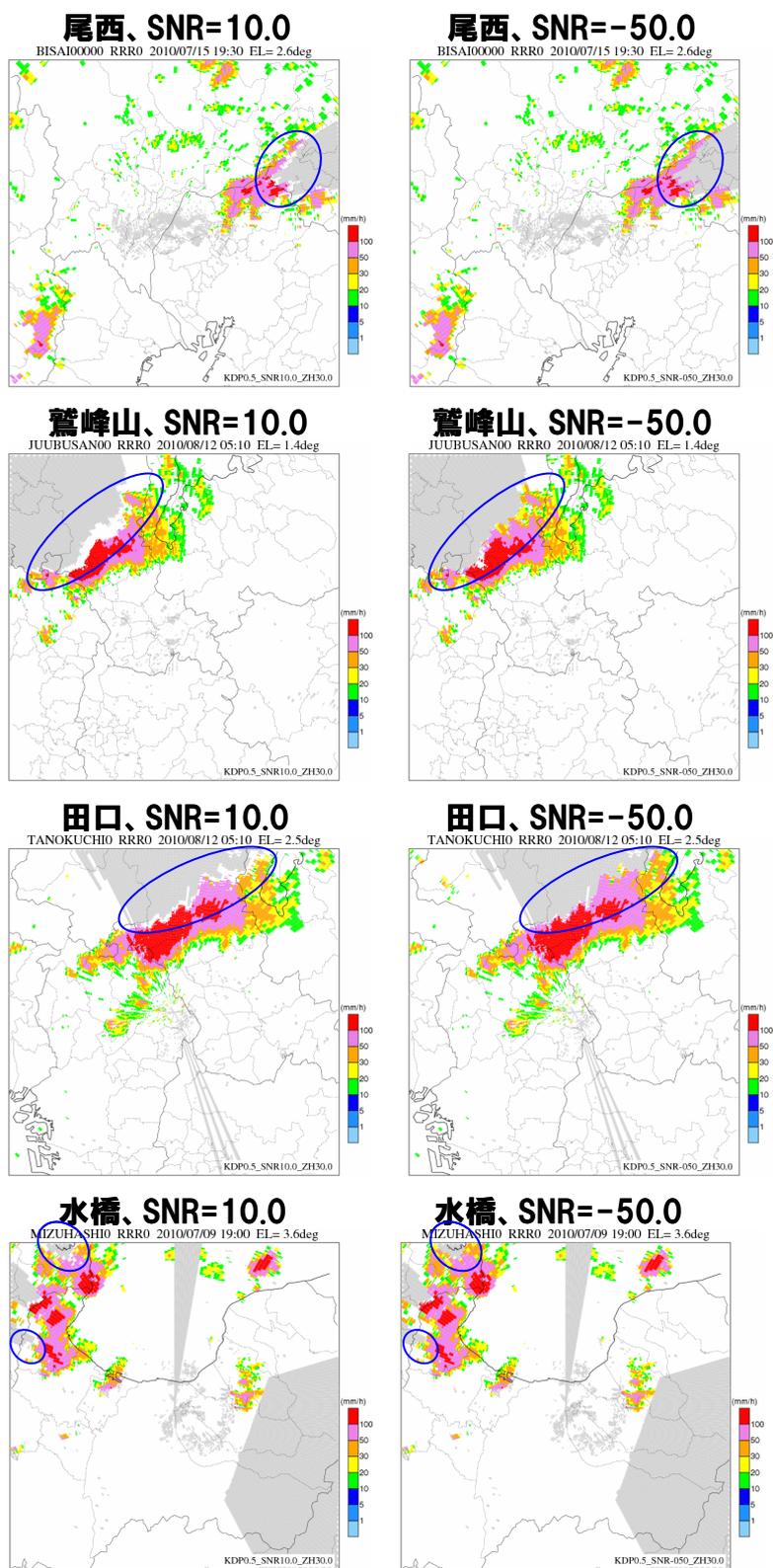


図 10.13 SNR 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量の分布 (拡大)

■ Zh 閾値の引き下げ

弱雨時においても可能な限り Kdp-R 関係式で雨量算定することで弱雨の観測精度向上を図るため Zh 閾値の引き下げを検討する。Kdp-R 関係式の使用条件における Zh 閾値を設定しているのは、弱雨域では受信電力が低く、雨滴の扁平度も小さいため φ_{dp} はノイズ的で異常に大きな値の Kdp が算出されるなど、適切な Kdp が算出できない場合があると考えられるためである。

Kdp-R 関係式の使用条件の Zh 閾値を 30[dBZ] (2010 年観測の値)、26[dBZ]、22[dBZ] として Z-R 関係式、Kdp-R 関係式で算出した雨量分布を図 10.14～図 10.24 に示す。なお、Kdp 使用条件の SNR 閾値、Kdp 閾値はそれぞれ 50[dB]、0.5[°/km] である。Zh 閾値を引き下げることによって、図中内に、弱雨域中に孤立的な強雨が生じ、ノイズ的な降雨分布となっていることが確認できることから、Zh 閾値は現状値とするべきであることが示された。特に、層状性降雨時には弱雨域にノイズ的な降雨が多く表れている。以上より、Zh 閾値を引き下げた場合、弱雨域内にノイズ的に強雨が出現することから、Zh 閾値は変更しないこととした。一般に SNR が低い弱エコー領域においては、 φ_{dp} はホワイトノイズのパターンで変動するため Kdp は検出されない。しかし、弱エコー領域内に数 km スケールの φ_{dp} の変動パターンが見られ、これにより弱雨域内に異常な Kdp が算出されるため、ノイズ的な強雨域が出現すると考えられる。

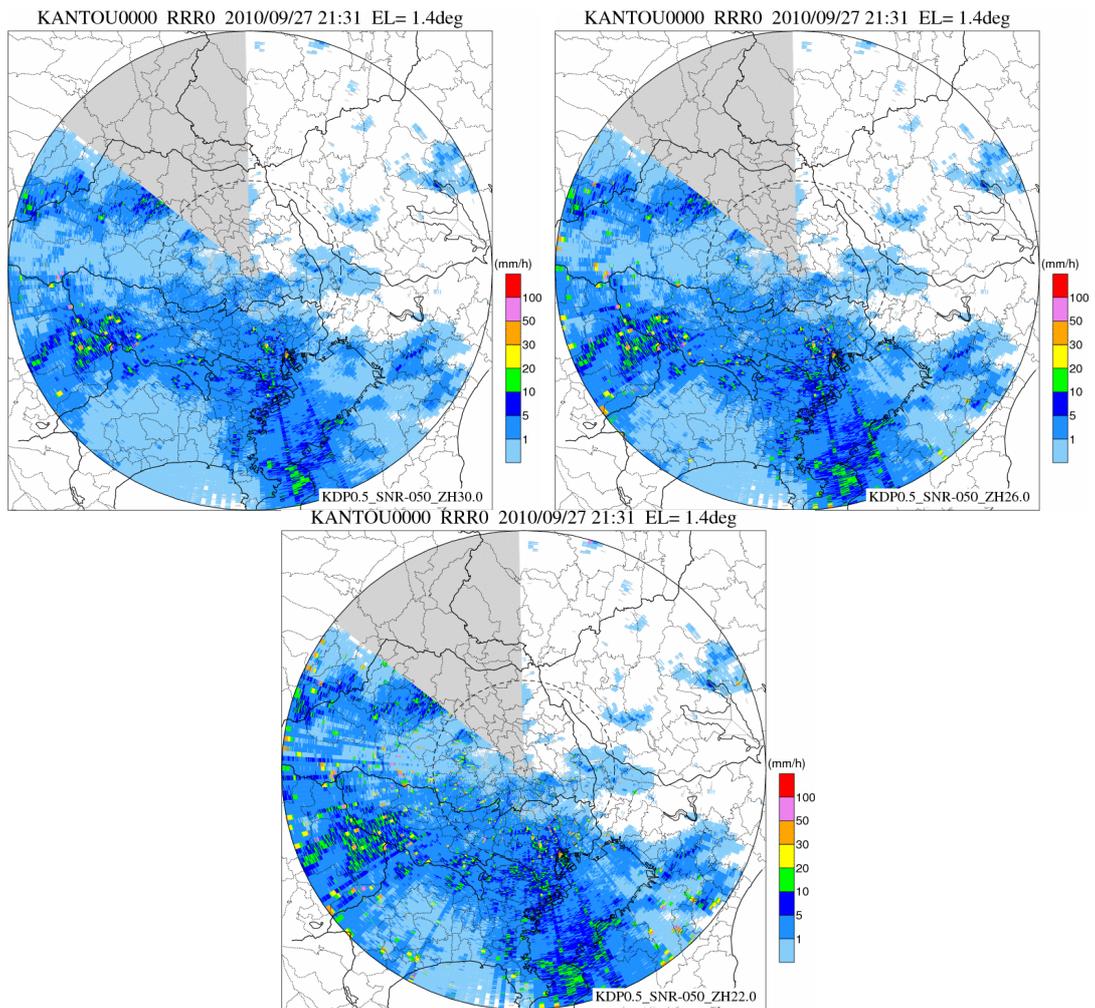


図 10.14 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 関東局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

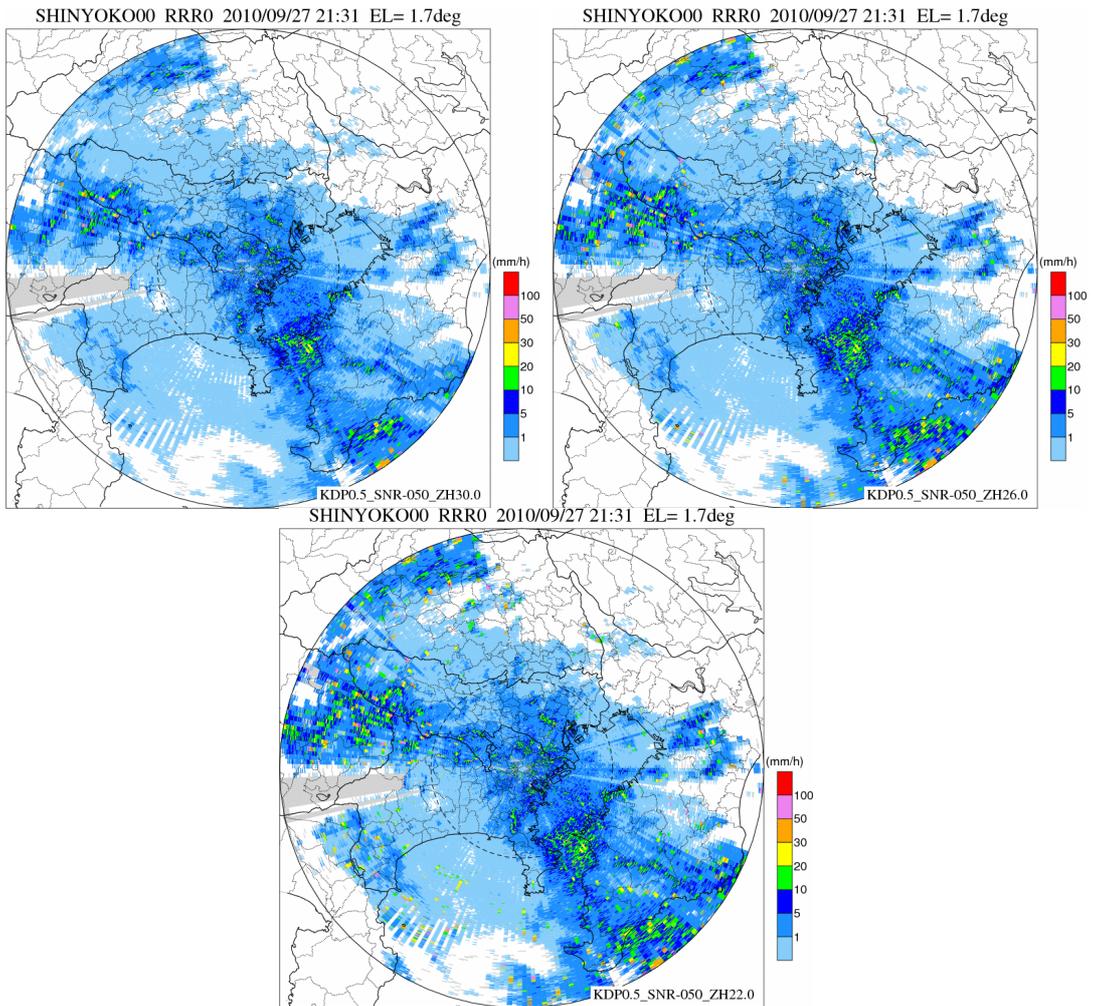


図 10.15 Z_h 閾値を変化させた場合の雨量分布 新横浜局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

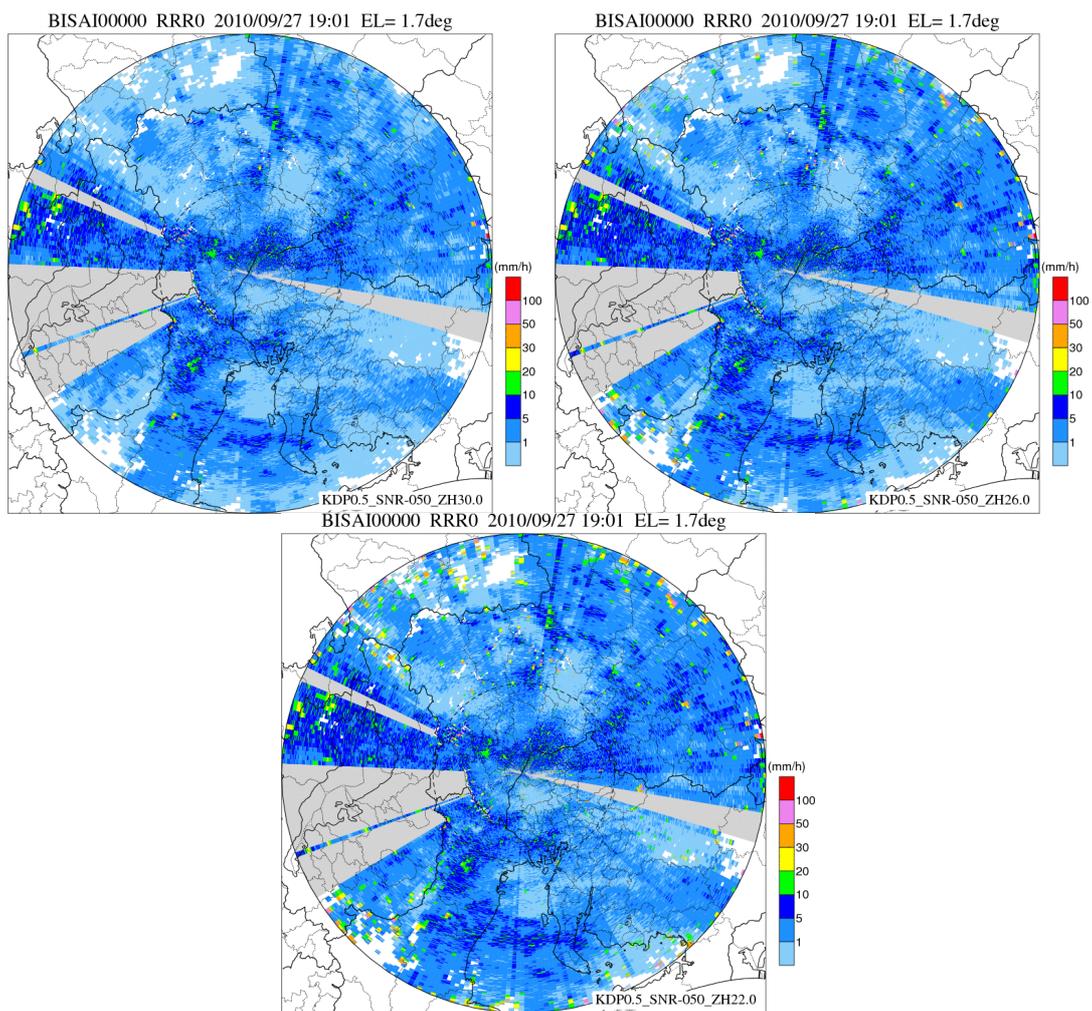


図 10.16 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 尾西局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

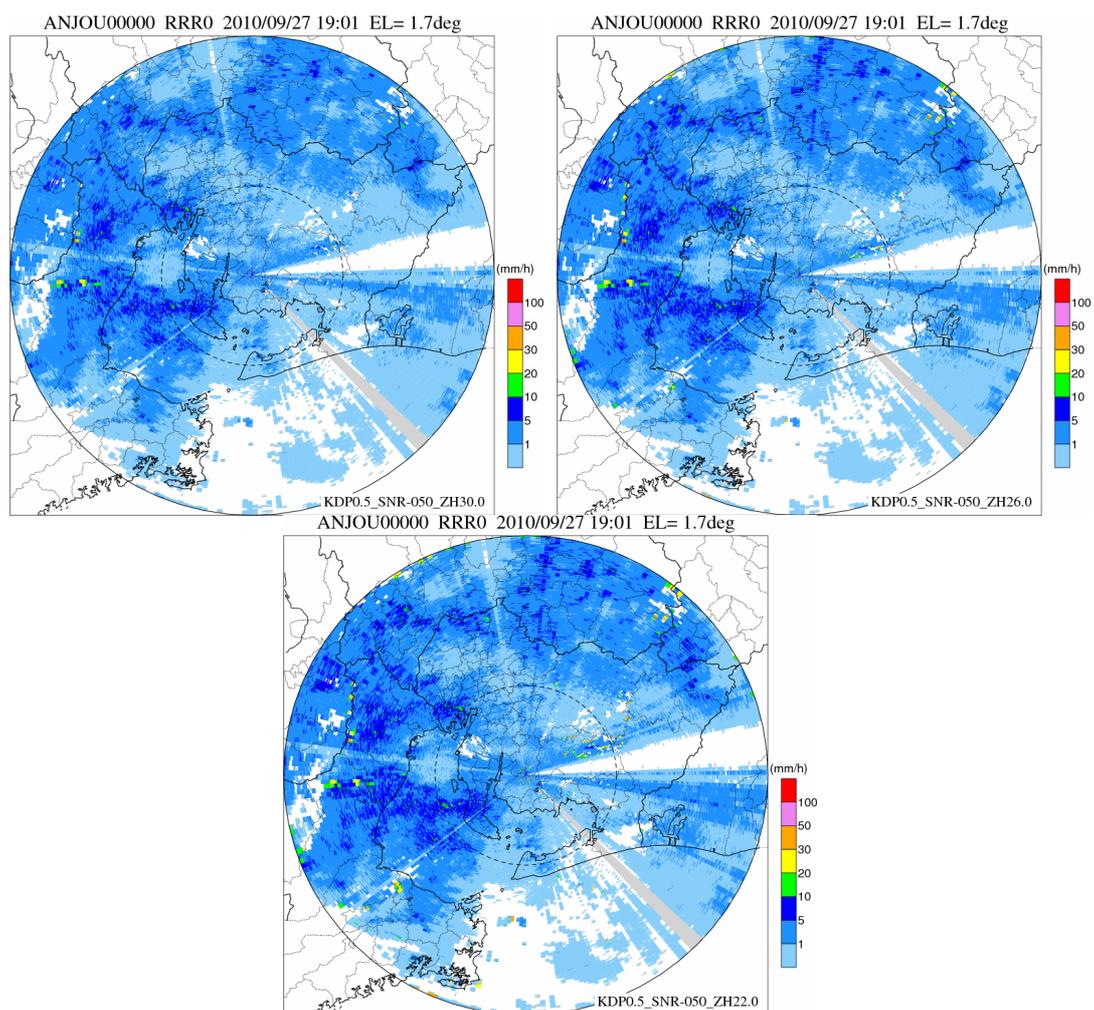


図 10.17 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 安城局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

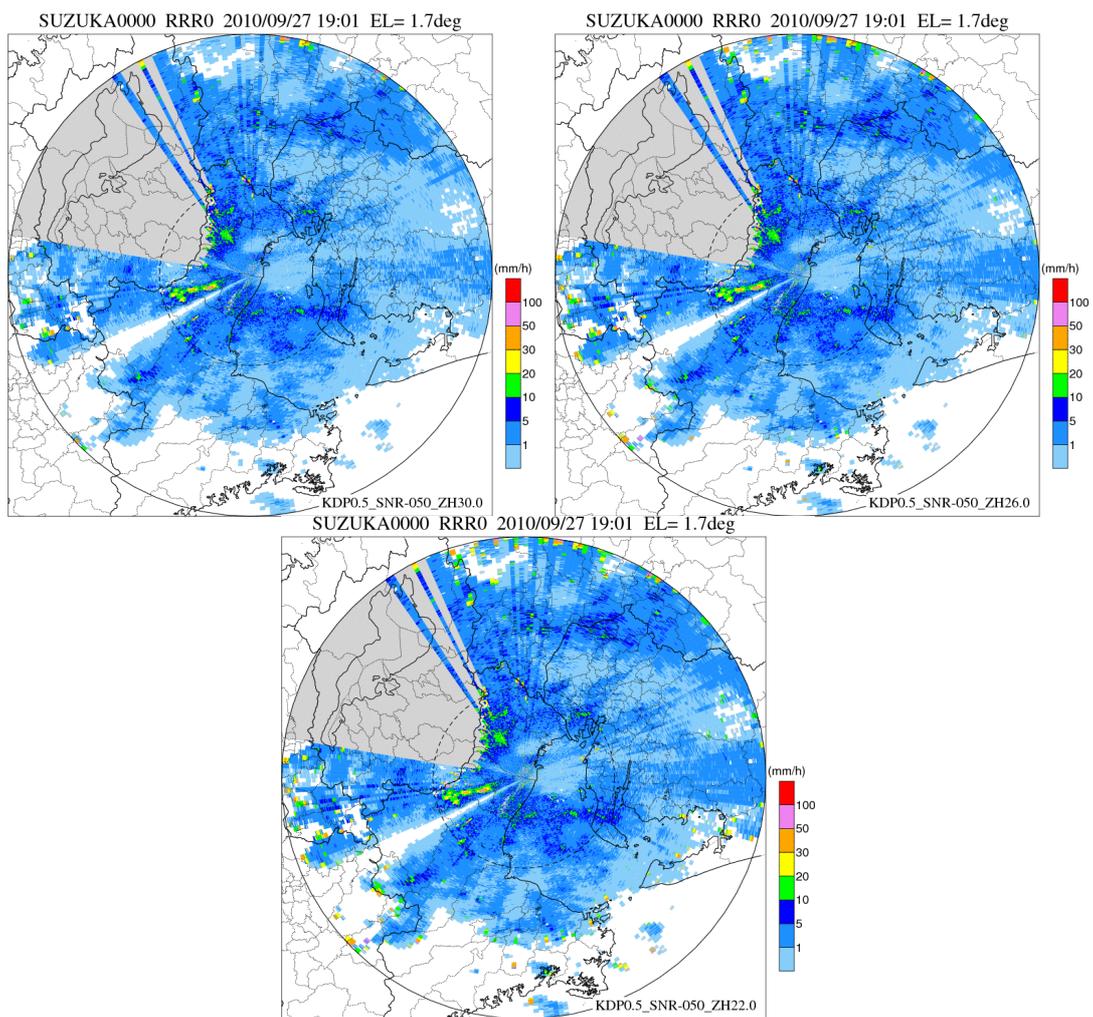


図 10.18 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 鈴鹿局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

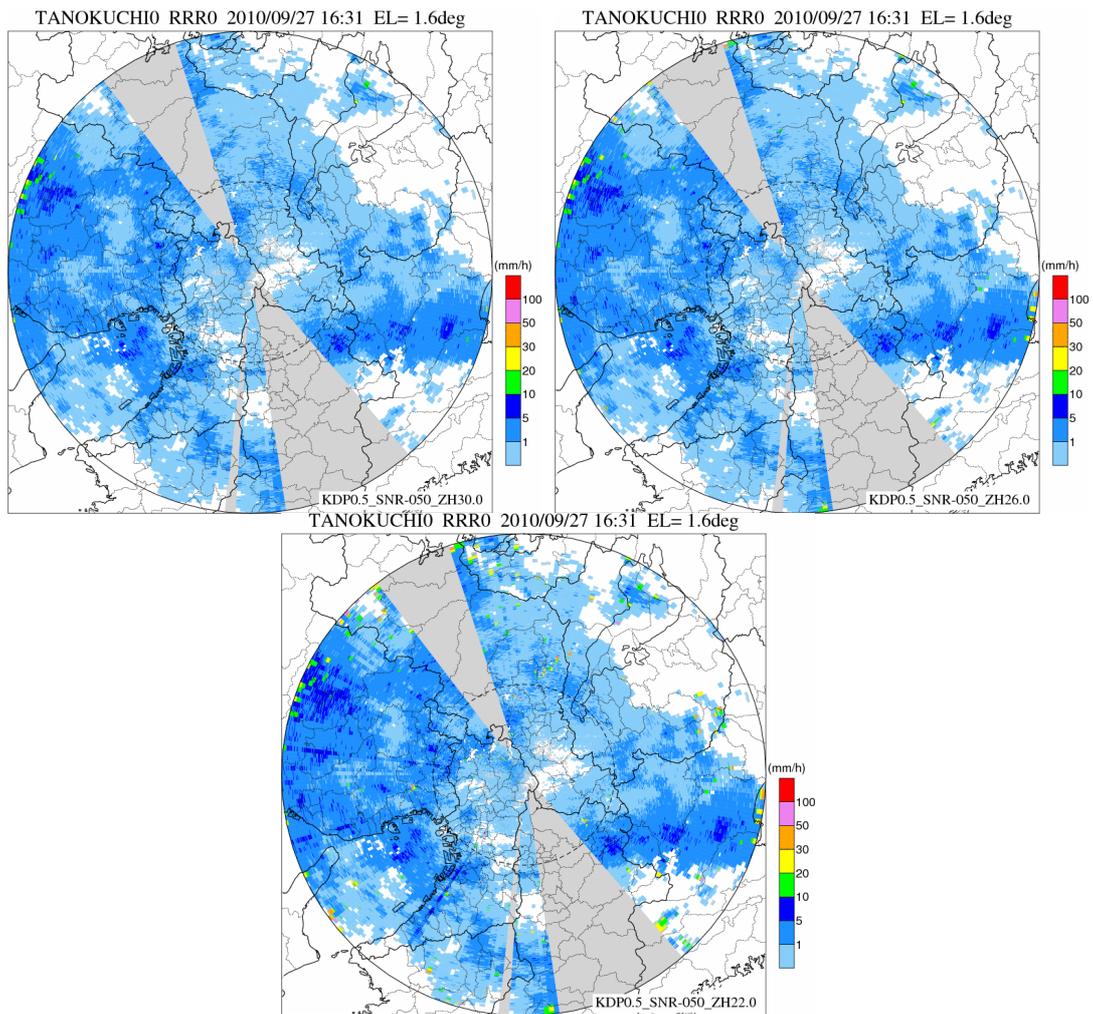


図 10.19 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 田口局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

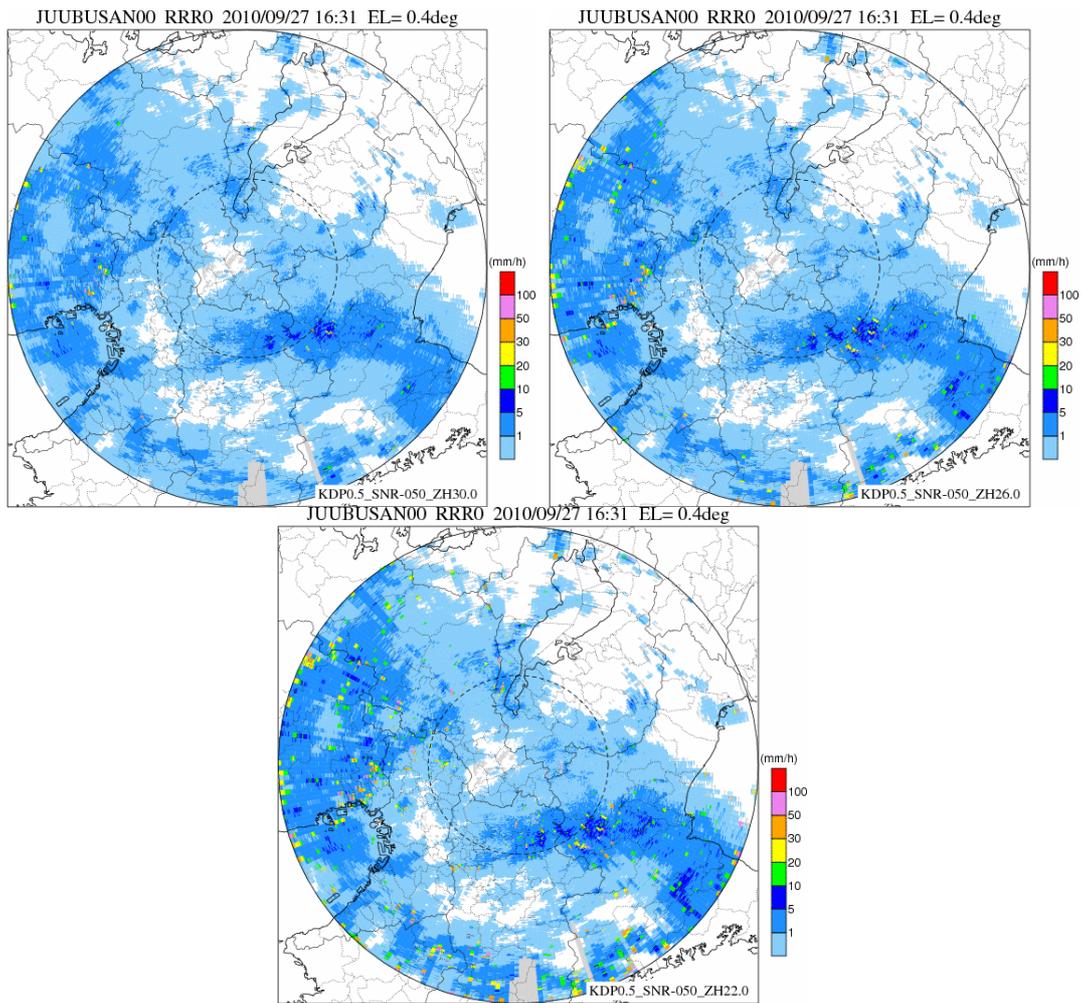


図 10.20 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 鷲峰山局
 左上：30[dBZ], 右上：26[dBZ], 下：22[dBZ]

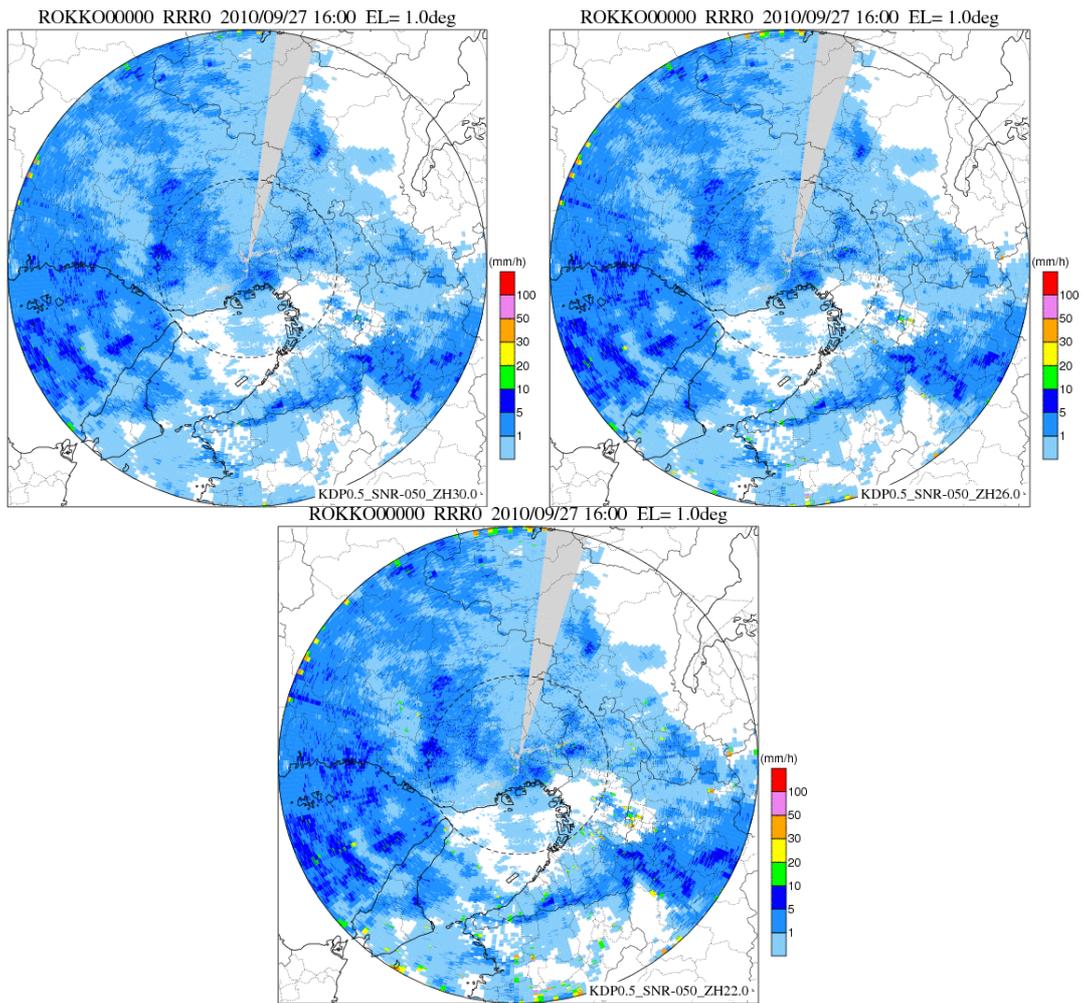


図 10.21 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 六甲局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

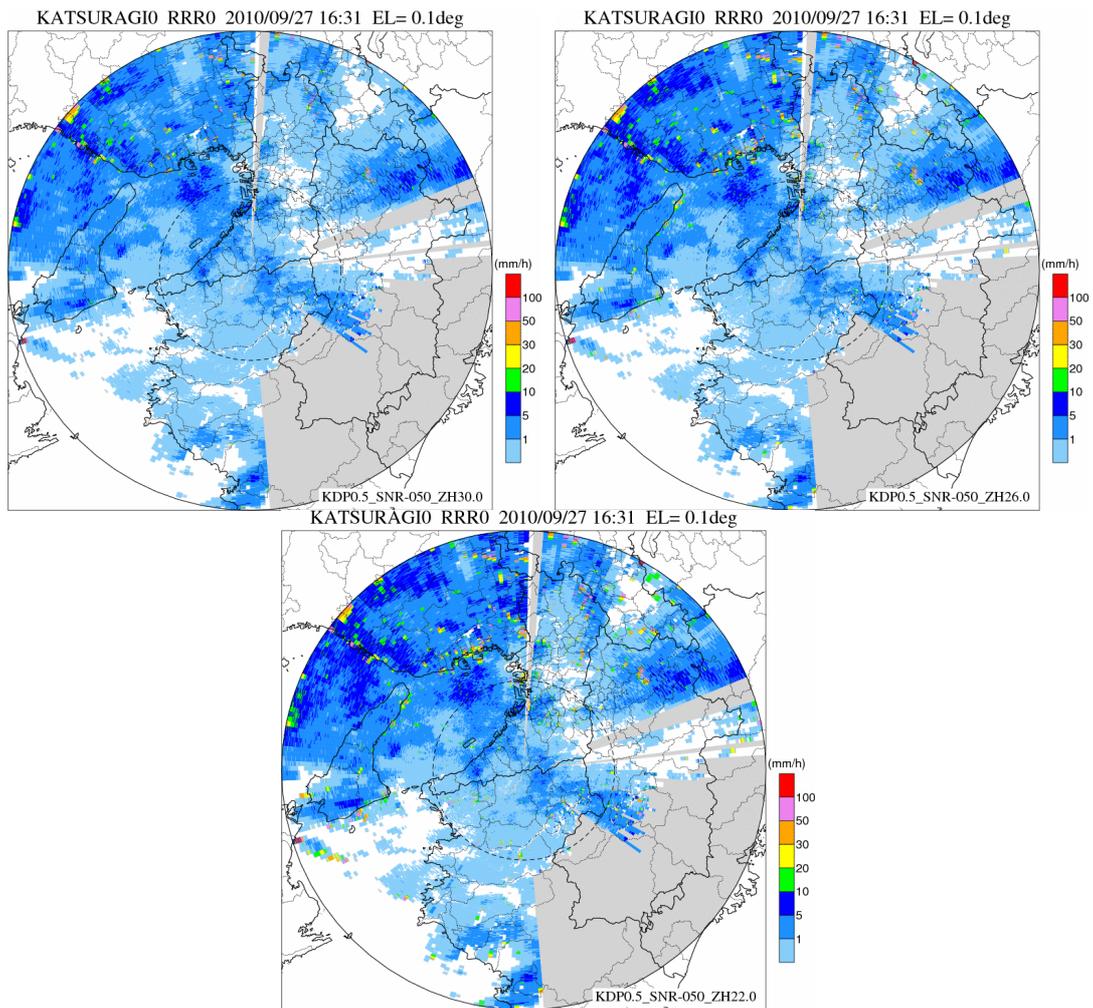


図 10.22 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 葛城局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

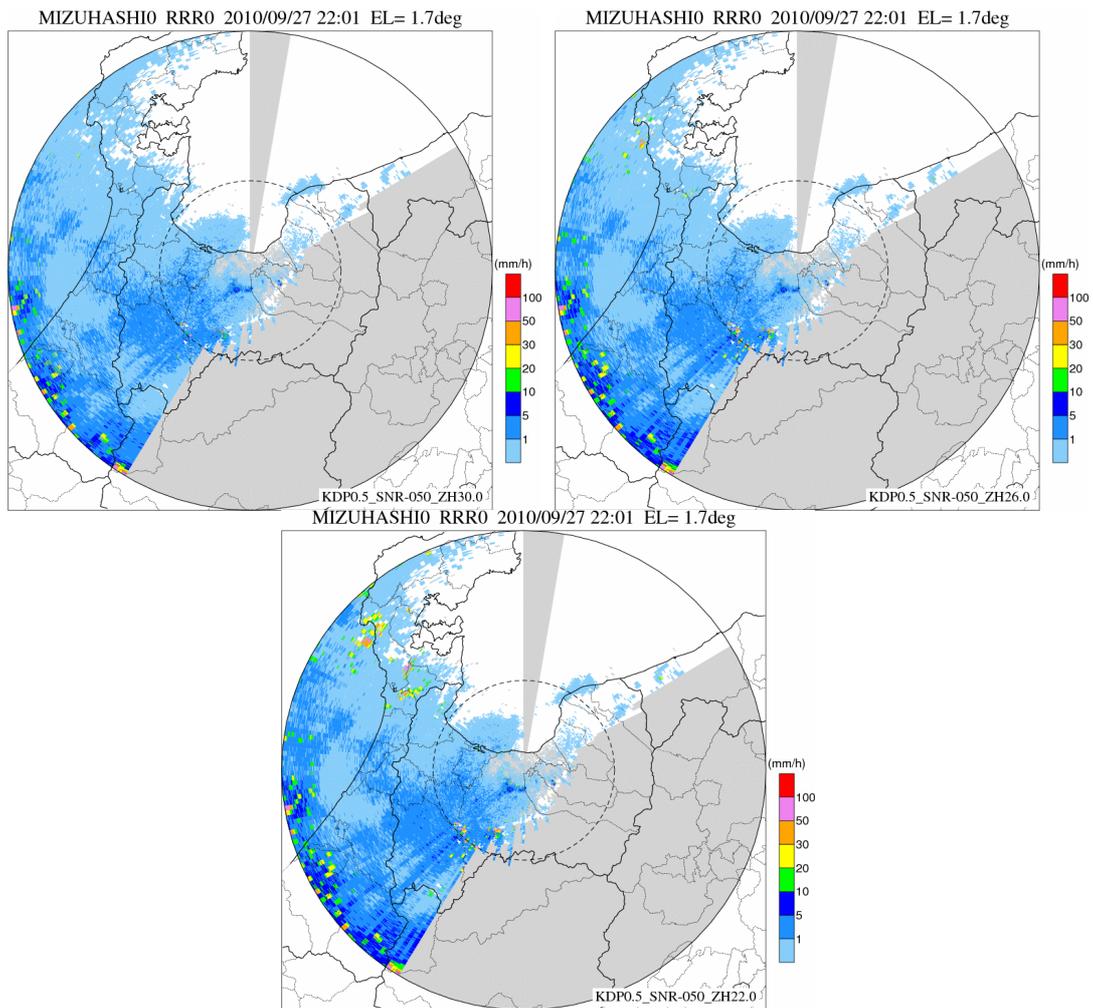


図 10.23 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 水橋局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

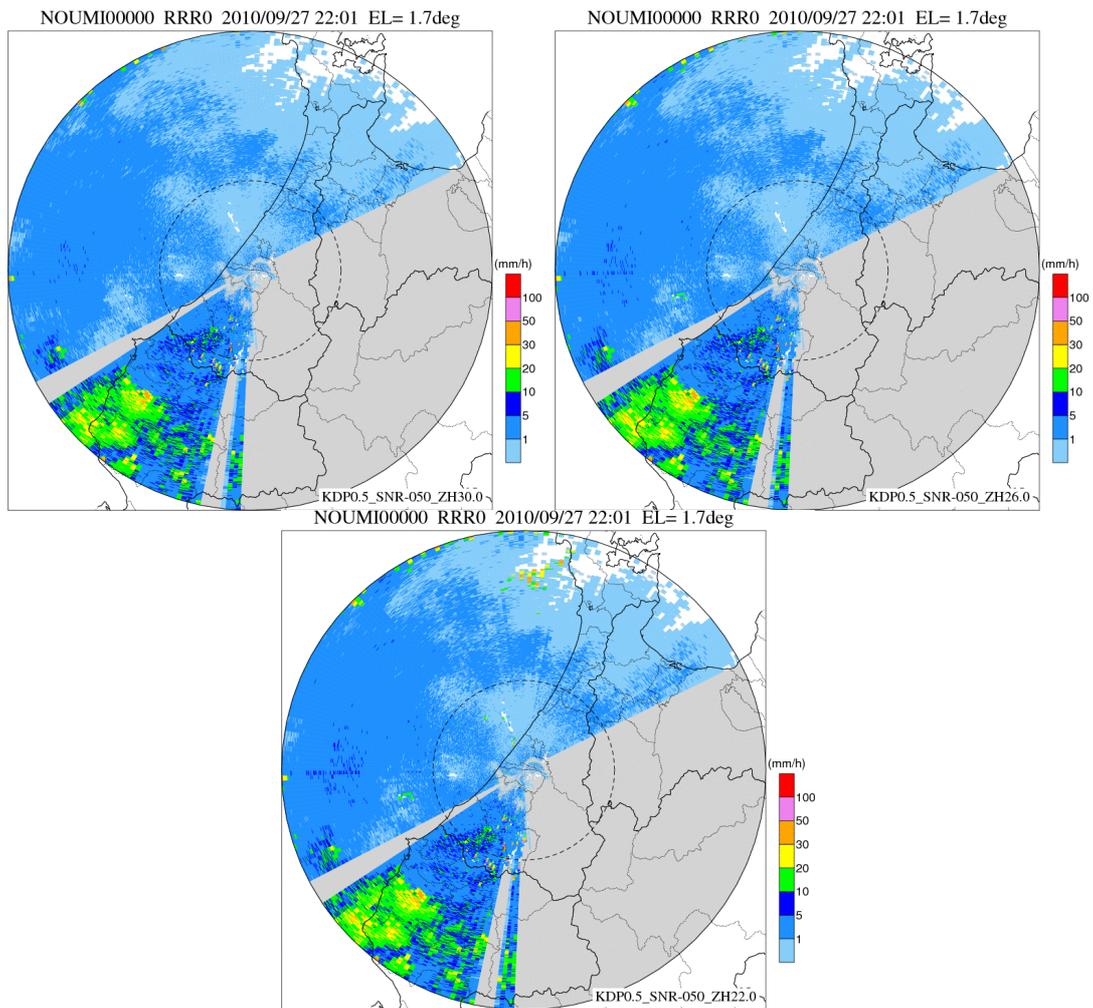


図 10.24 Zh 閾値を変化させた場合の雨量分布 能美局
 左上 : 30[dBZ], 右上 : 26[dBZ], 下 : 22[dBZ]

■ Kdp 閾値の引き下げ

弱い降雨を可能な限り Kdp-R 関係式で雨量算定することで弱雨時の精度向上を図るため、Kdp 閾値の引き下げを検討した。Kdp 閾値は、扁平度が小さい雨滴に対して ϕdp の感度は低いため、Kdp の値が小さい場合、その信頼性は低いと考えられ、信頼性を有していると考えられる一定以上の Kdp が得られた場合に Kdp-R 関係式を用いるために設定されている。Kdp-R 関係式の使用条件の Kdp 閾値を 0.5[°/km] (2010 年観測の値)、0.3[°/km]、0.1[°/km]として Kdp-R 関係式で算出した雨量分布を図 10.25～図 10.35 に示す。なお、Kdp 使用条件の SNR 閾値、Zh 閾値はそれぞれ 50[dB]、30[dBZ]である。Kdp 閾値を引き下げることで、Kdp-R 関係式による雨量算出の領域が増加していることがわかる。

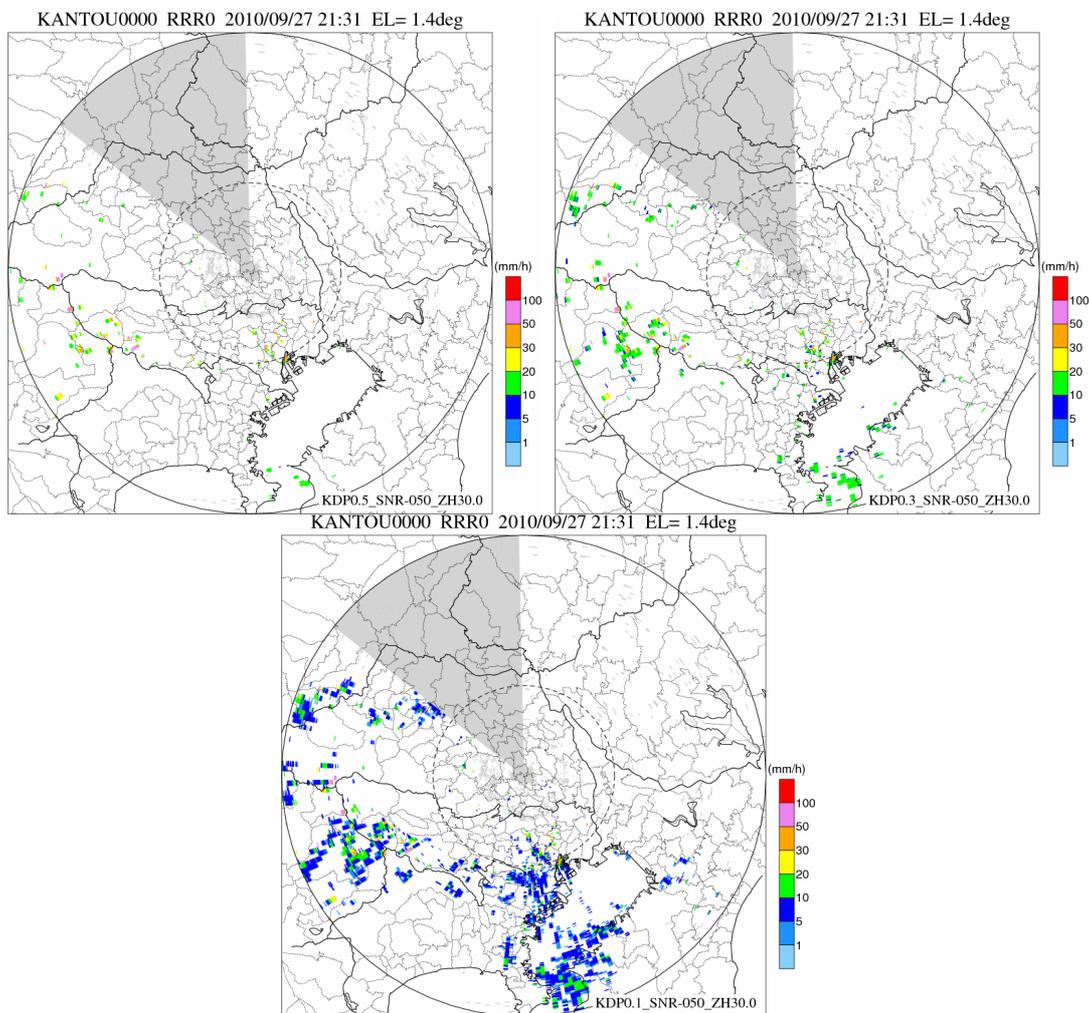


図 10.25 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 関東局
(左上 : 0.5[°/km]、右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

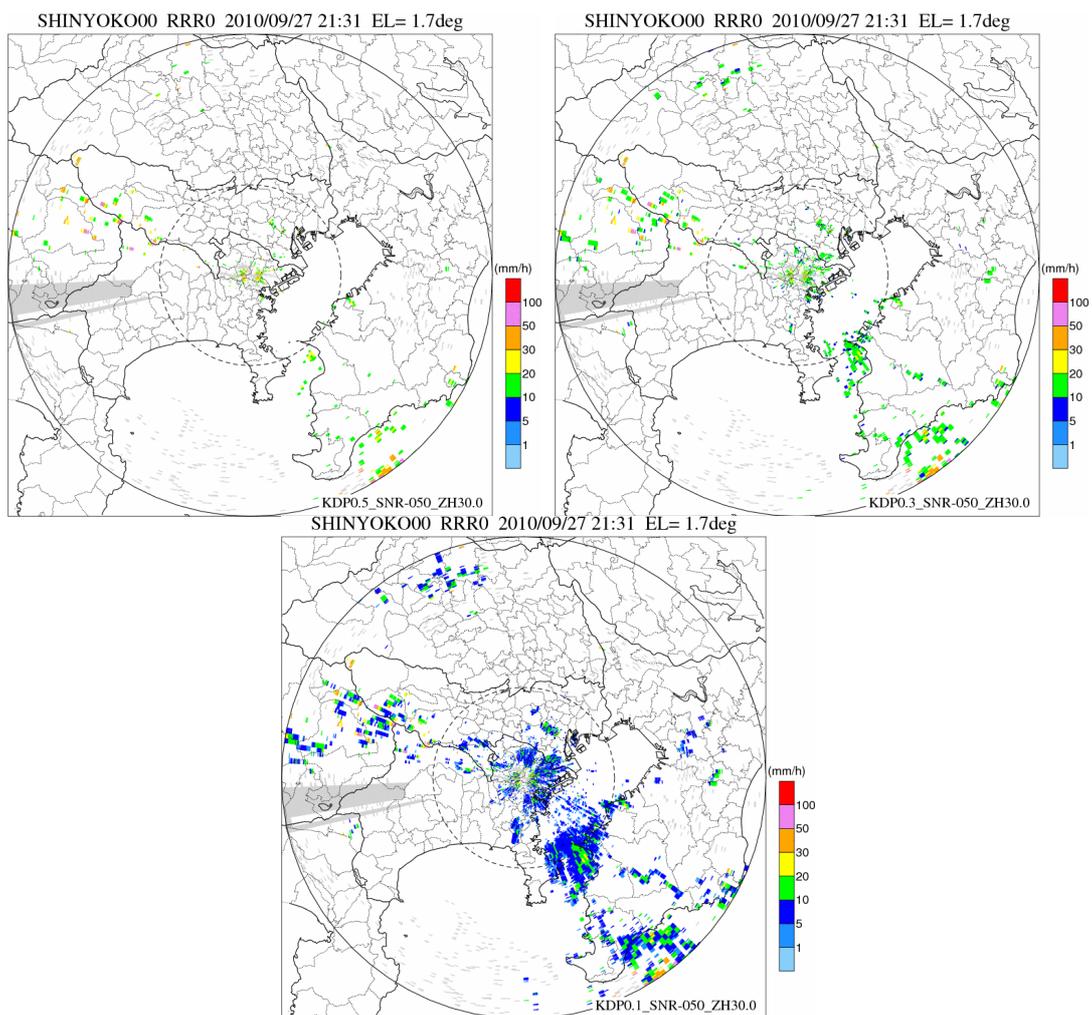


図 10.26 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 新横浜局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

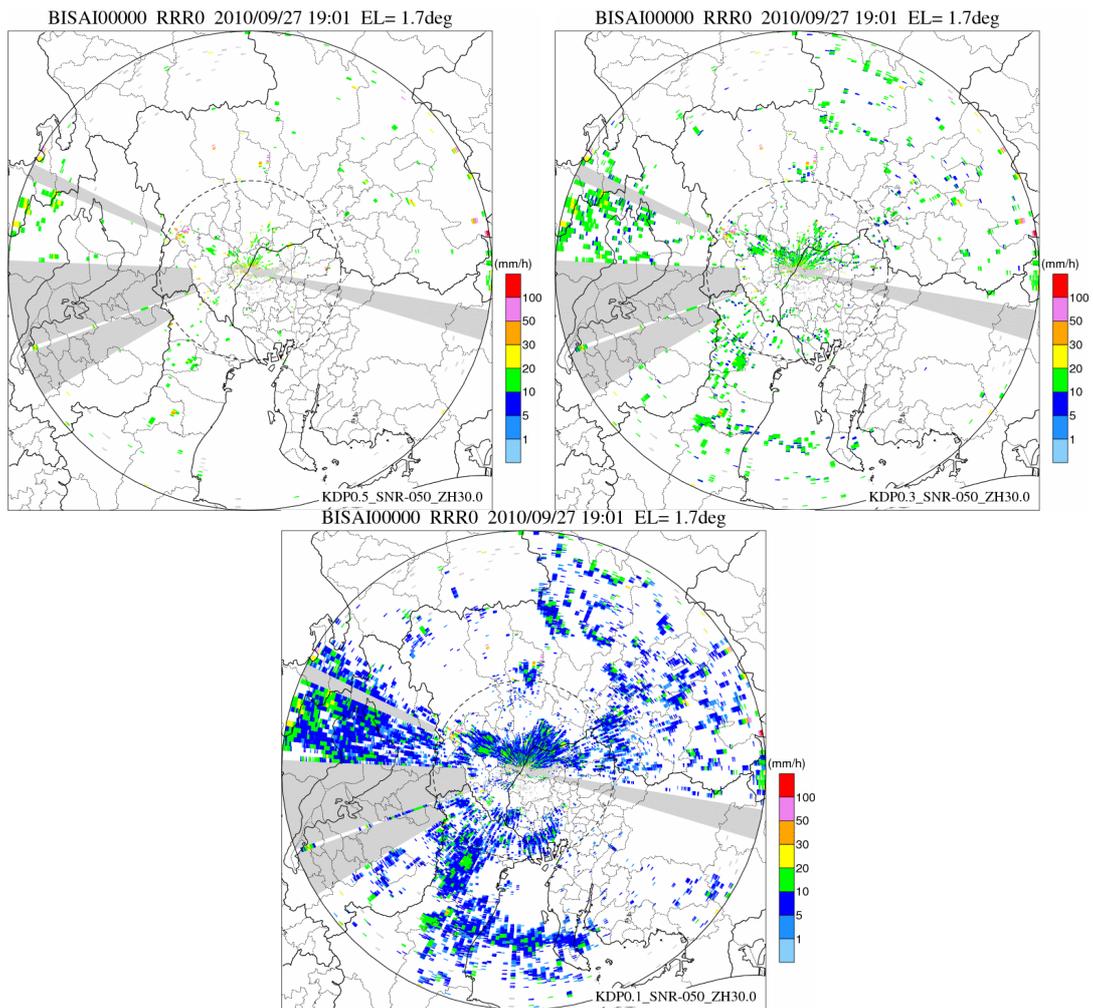


図 10.27 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 尾西局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

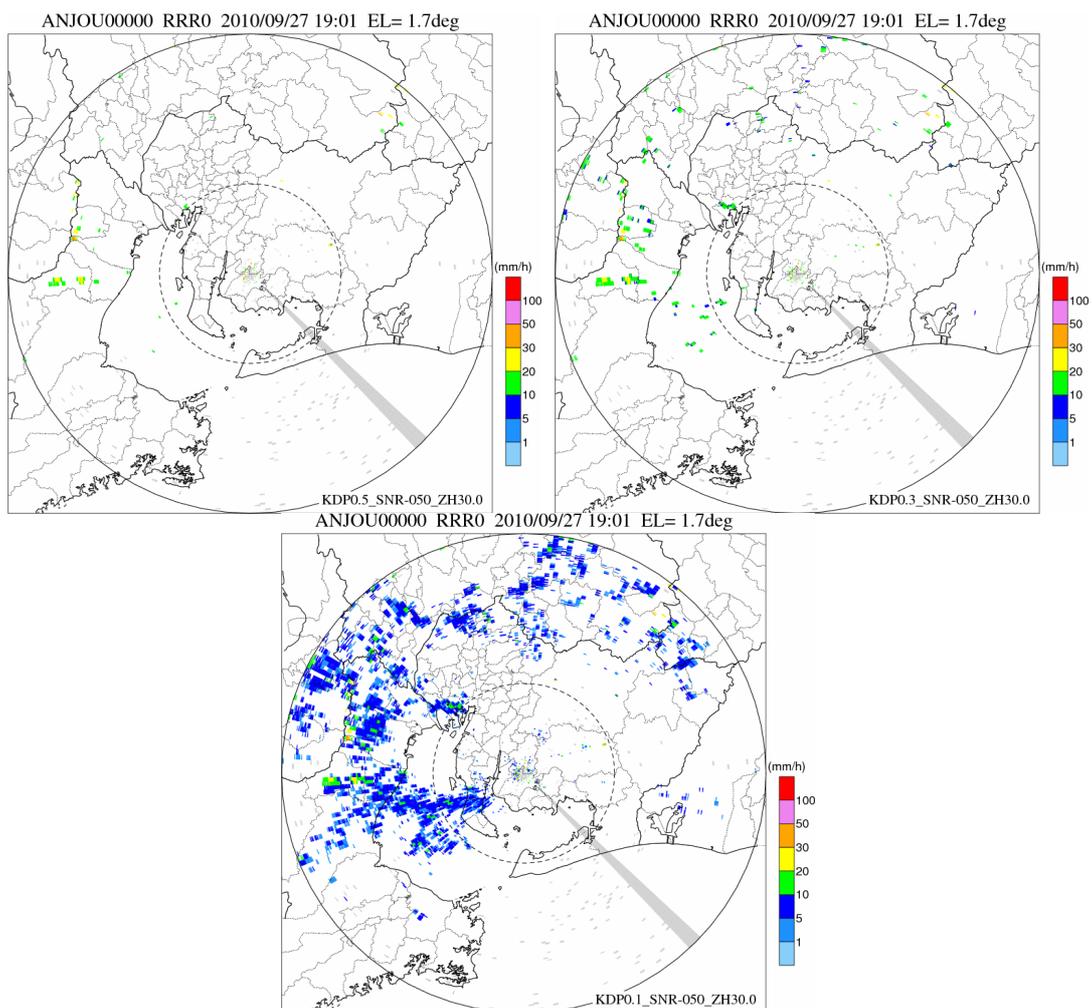


図 10.28 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 安城局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

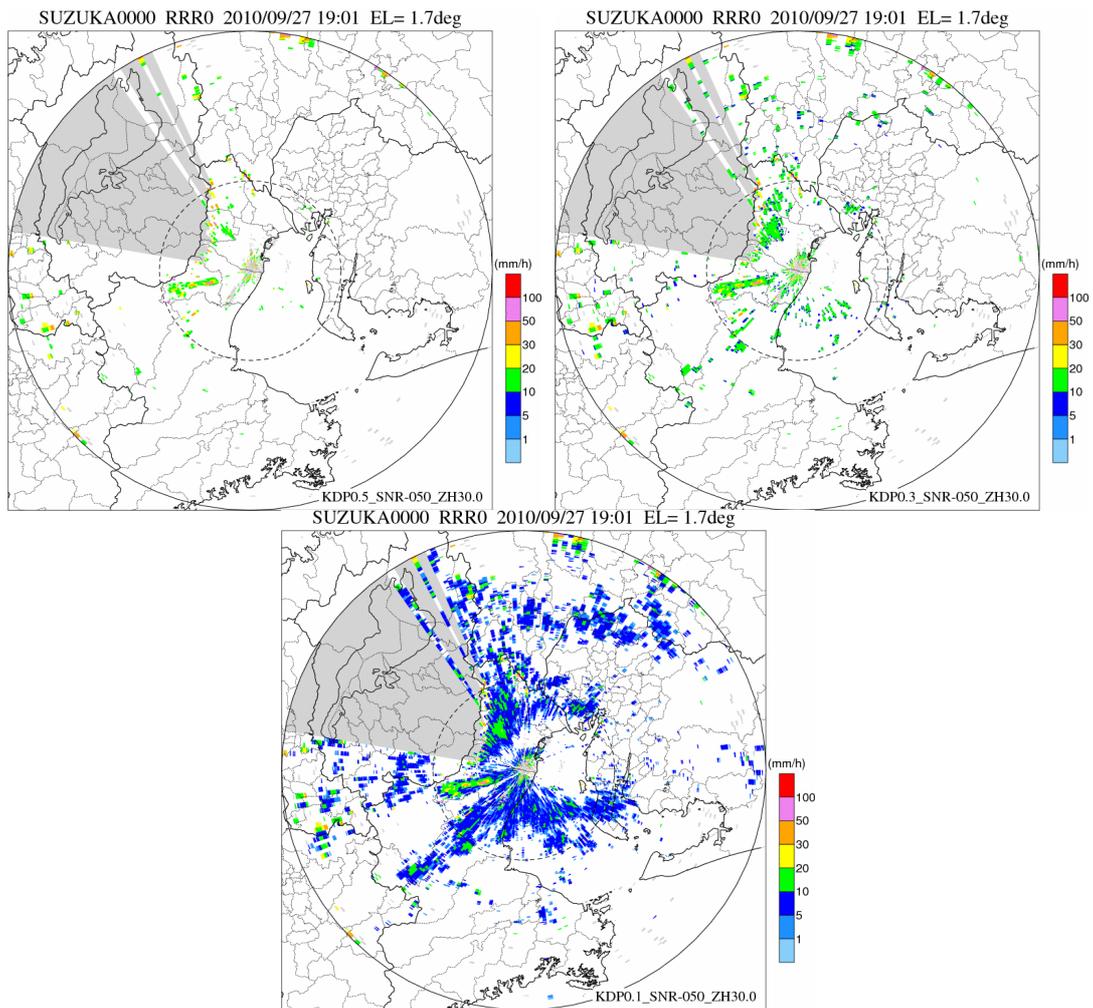


図 10.29 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 鈴鹿局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

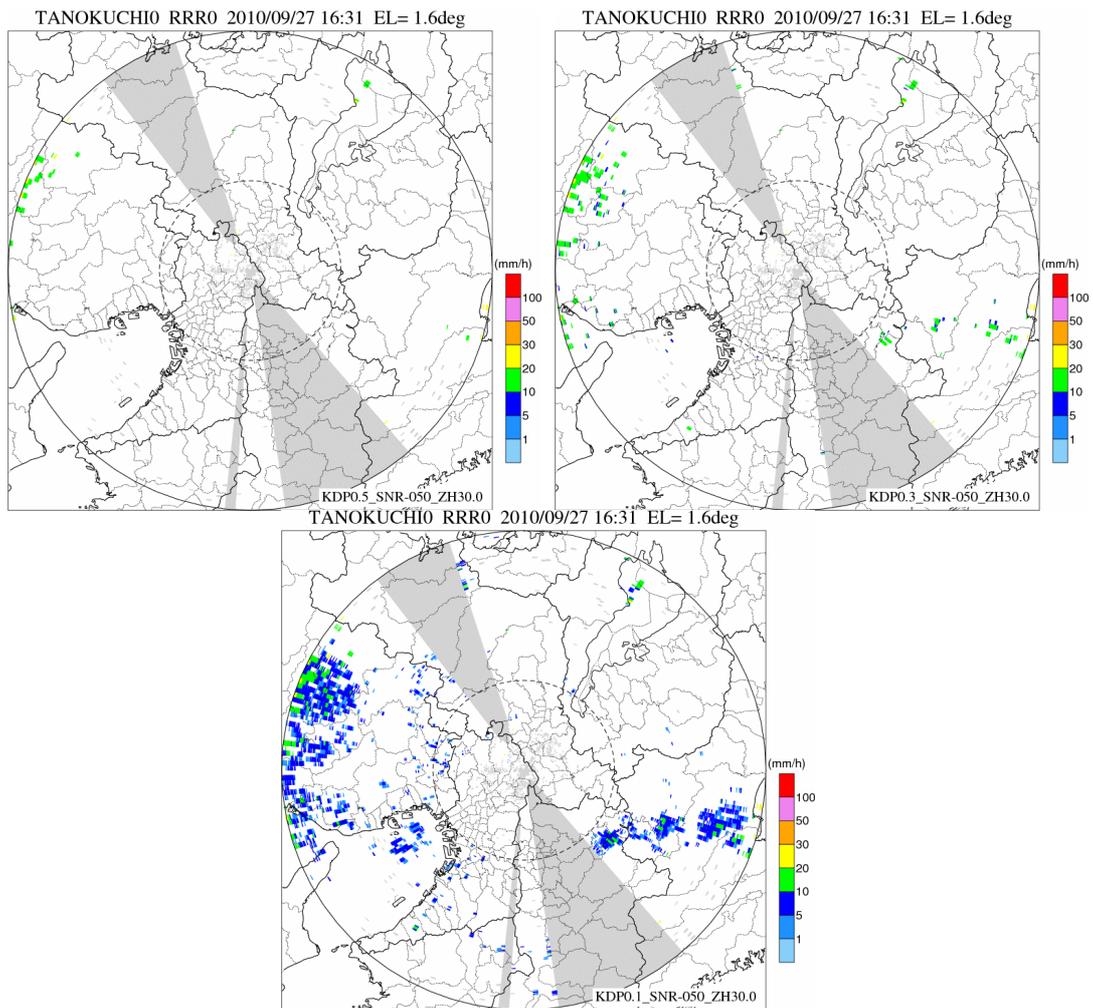


図 10.30 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 田口局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

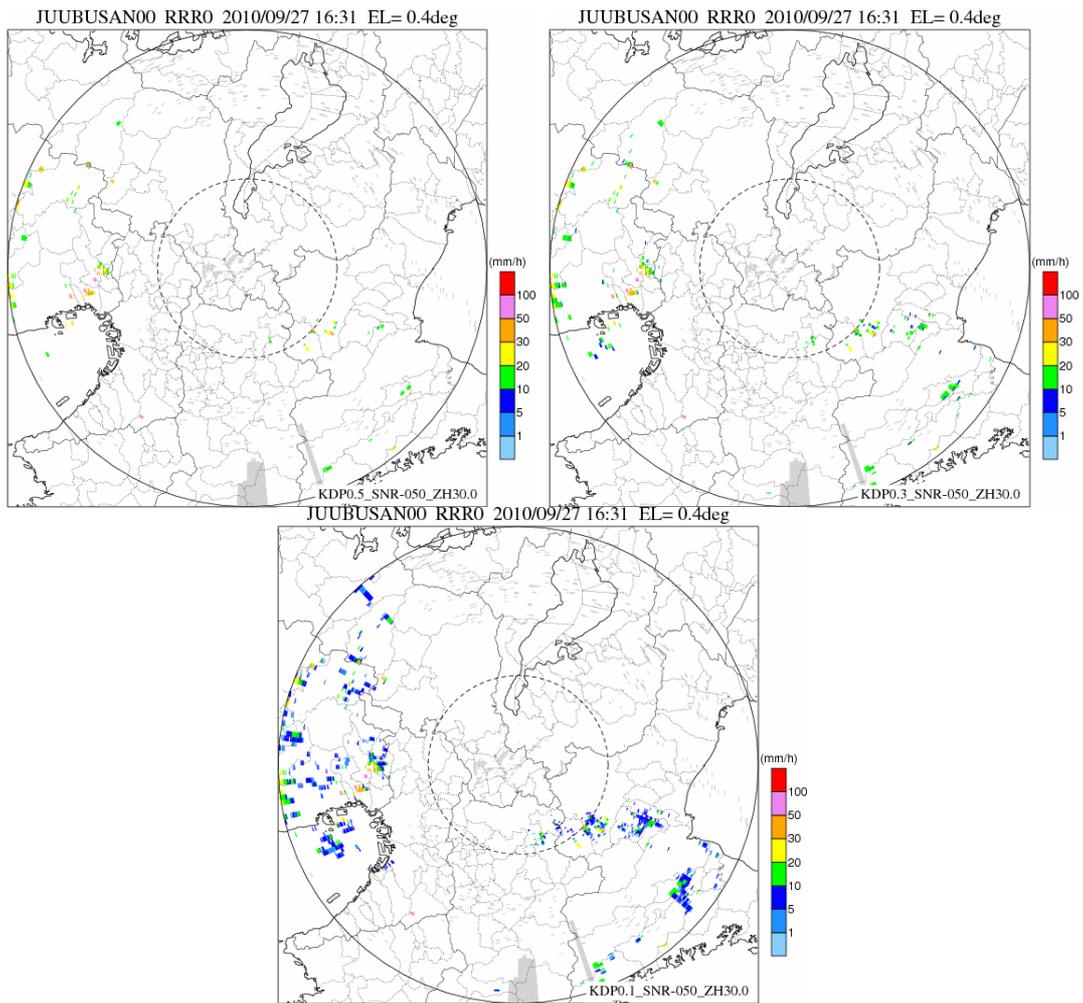


図 10.31 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 鷲峰山局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

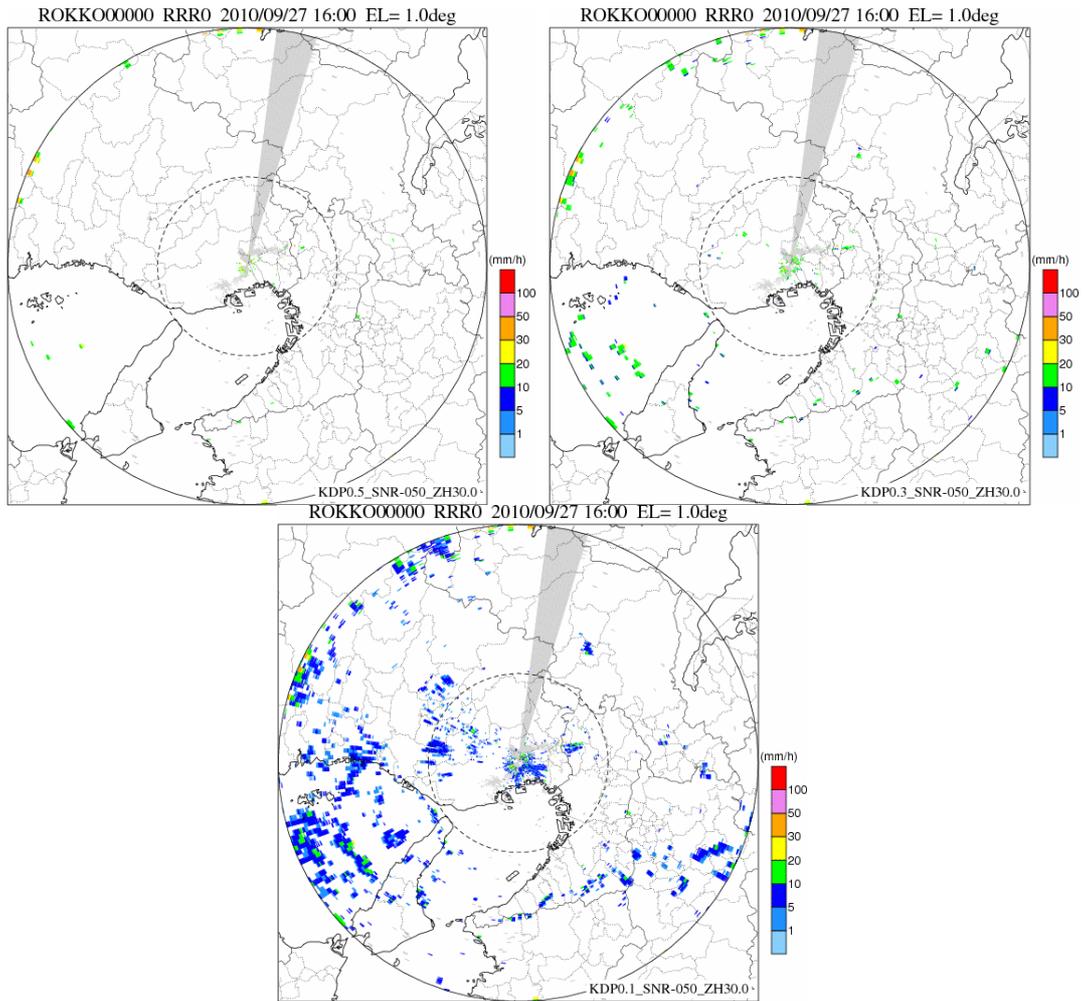


図 10.32 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 六甲局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

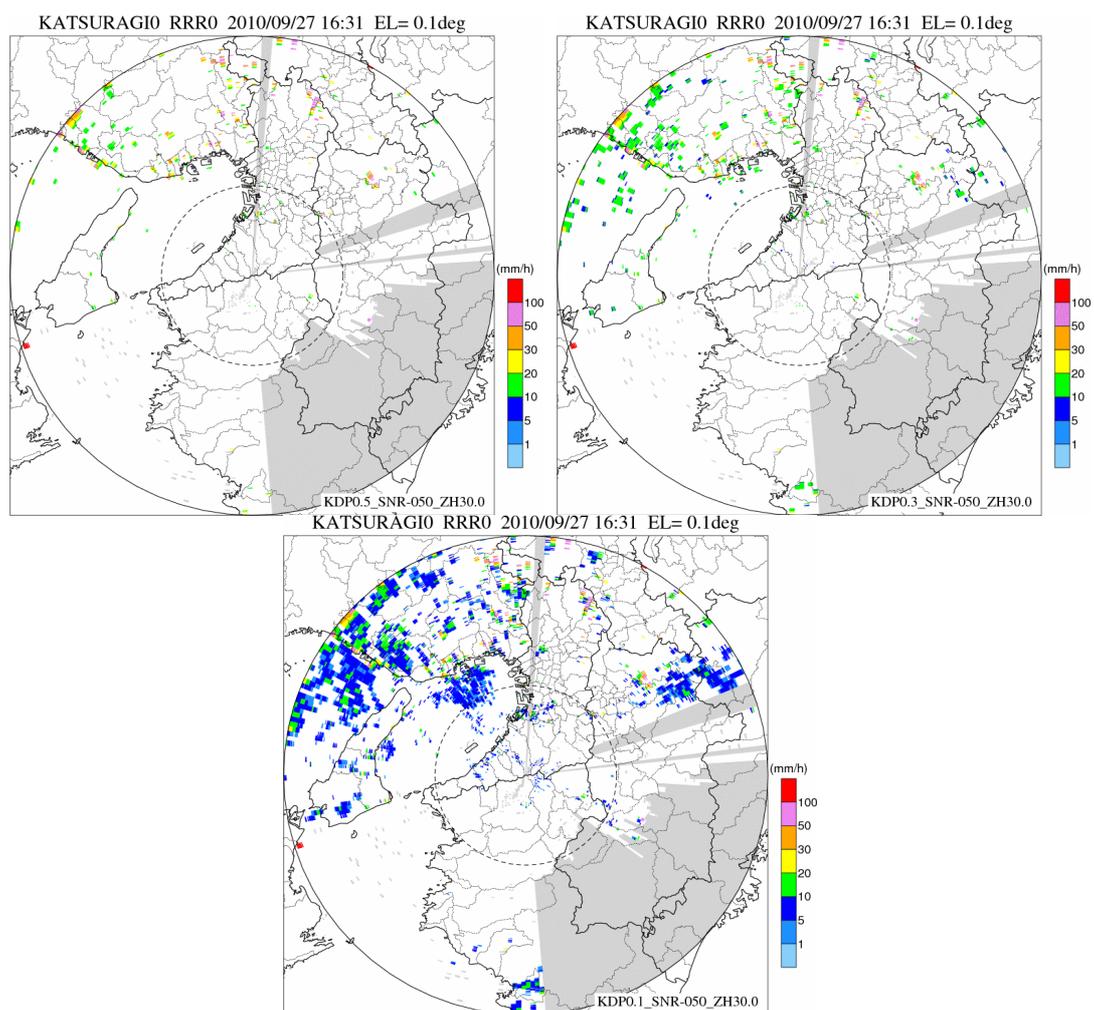


図 10.33 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 葛城局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

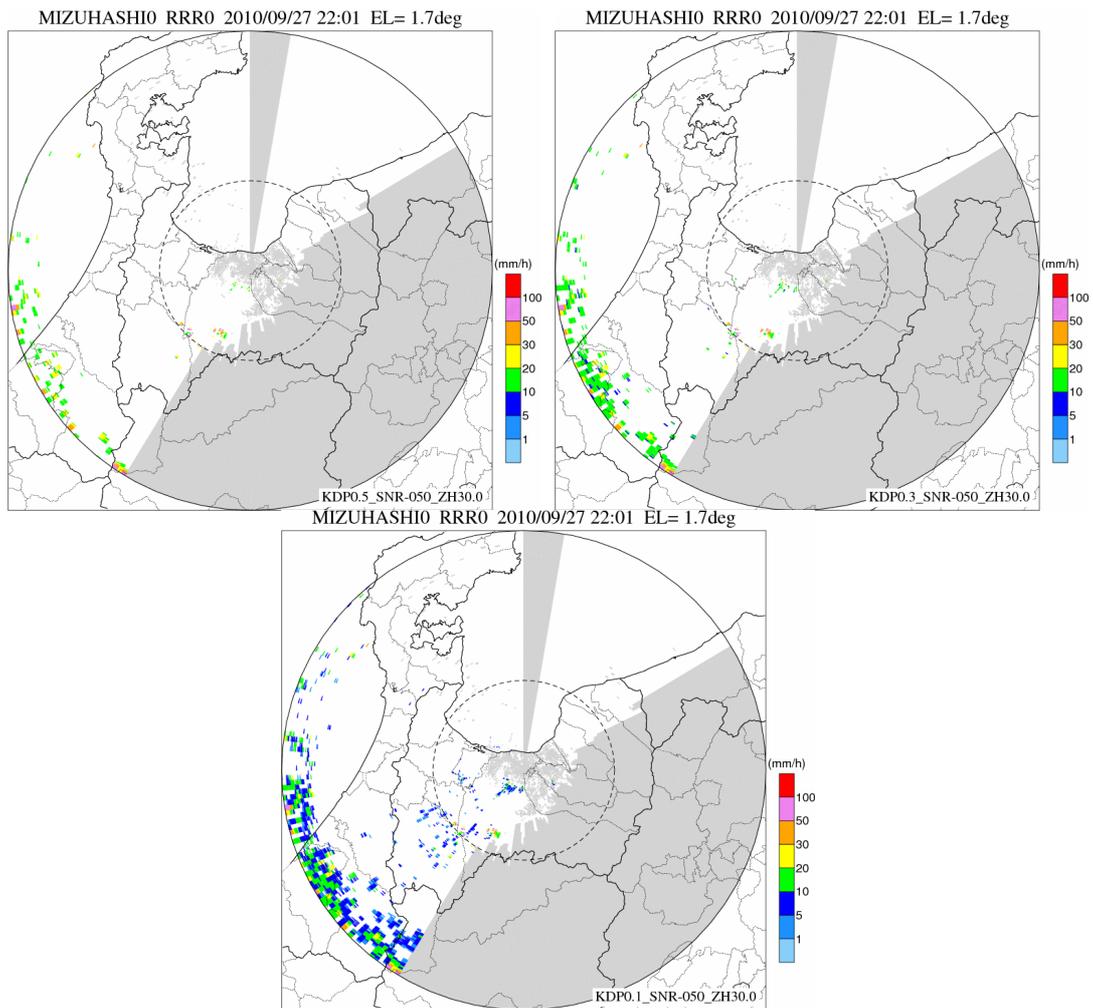


図 10.34 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 水橋局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

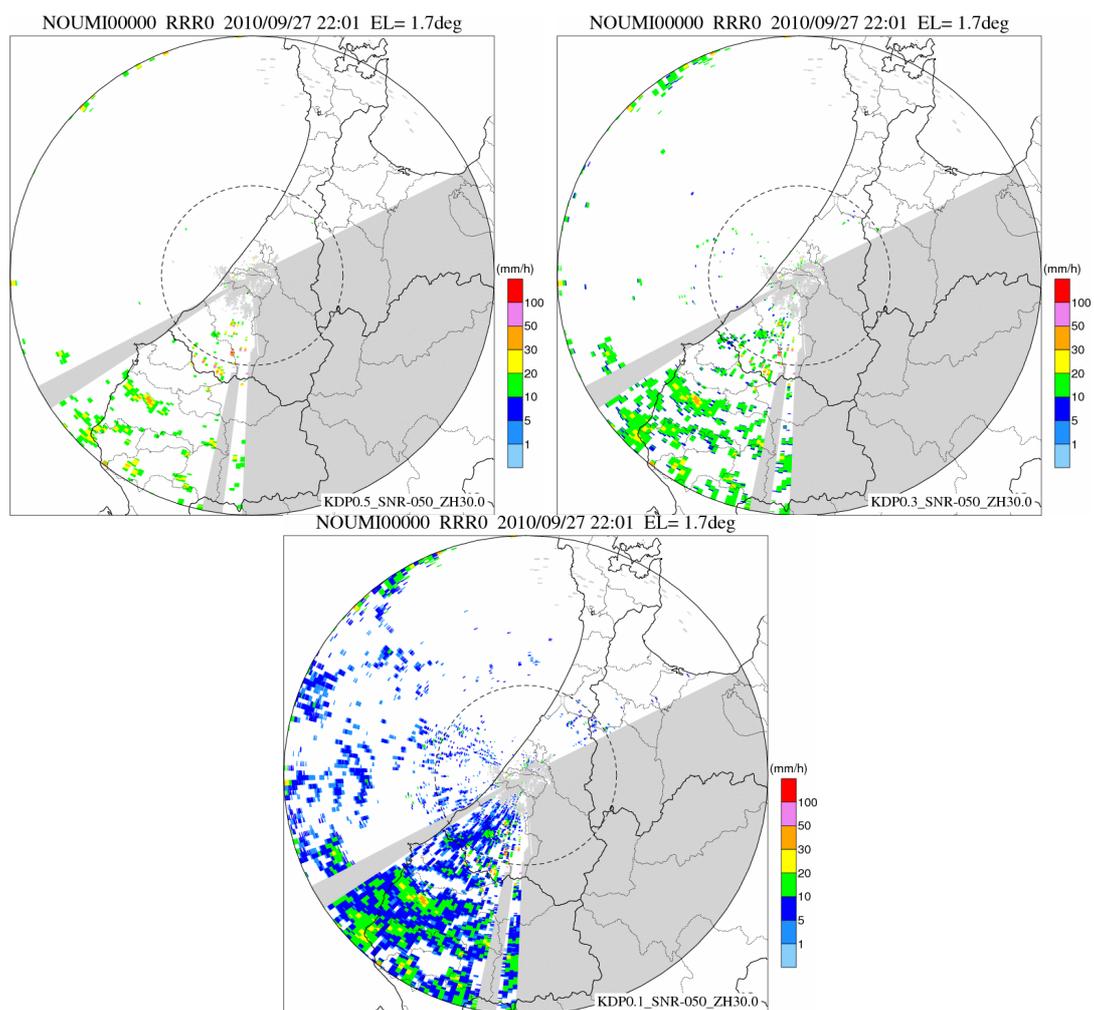


図 10.35 Kdp 閾値を変化させた場合の Kdp-R 雨量分布 能美局
 (左上 : 0.5[°/km], 右上 : 0.3[°/km]、下 : 0.1[°/km])

■ 感度分析

25 パターンのレーダ雨量 (Kdp 閾値=0.5、0.4、0.3、0.2、0.1、Zh 閾値=30、28、26、24、22) について、精度指標による比較を行った。精度指標の算出の対象事例は、2010年7月～2010年12月において、XMPレーダの半径30km以内に存在するアメダス地点における時間雨量トップ10を抽出(表10-1)し、時間雨量トップ10が観測された時間の前後1時間を対象とした。なお、精度指標は10分雨量により算出している。

表10-2～表10-5は、レーダ毎にKdp-R関係式の使用条件別に算出したレーダ雨量と地上雨量の比較から求めた精度指標の一覧である。表10-6は、11レーダの精度指標を平均して整理したものである。なお、各表の最終行はH22年度観測の使用条件により算出したレーダ雨量の精度指標である。Zh閾値が大きいほど、相関係数が高く誤差も小さくなり、Zh閾値が小さいほど、誤差が大きくなり総雨量比が過大となる。11レーダの精度指標の平均を比較すると、Zh閾値=30とした場合で精度が高く、更にKdp閾値=0.1とした場合で誤差が小さく、回帰係数も1に近い。Kdp閾値を引き下げることで観測精度の低下は生じず、若干の精度向上が確認できる。以上より、Kdp閾値を引き下げることで、観測精度の低下は見られず、Kdp-R関係式の使用頻度の増加が図られることから、Kdp閾値は、0.1[°/km]とすることが可能であることが示された。

表 10-1 抽出した各地域の時間雨量トップ 10

関東

順位	時刻	時間雨量(mm)	地点
1	2010/09/08 15:00	67.0	東京
1	2010/07/05 18:00	67.0	所沢
3	2010/08/18 19:00	59.0	所沢
4	2010/08/19 20:00	47.0	八王子
5	2010/09/14 21:00	43.5	飯能
6	2010/07/05 21:00	42.5	練馬
7	2010/07/26 17:00	41.5	久喜
8	2010/09/28 12:00	40.5	府中
9	2010/09/08 15:00	37.0	辻堂
10	2010/08/19 21:00	36.5	八王子

近畿

順位	時刻	時間雨量(mm)	地点
1	2010/08/12 06:00	69.5	京都
2	2010/08/12 05:00	49.0	京都
3	2010/08/24 19:00	47.5	信楽
3	2010/07/14 21:00	47.5	能勢
5	2010/08/12 06:00	43.0	大津
6	2010/07/07 15:00	42.5	京都
7	2010/07/14 04:00	42.0	関空島
8	2010/07/15 17:00	40.0	神戸
9	2010/09/16 03:00	39.5	神戸空港
9	2010/09/15 16:00	39.5	茨木

中部

順位	時刻	時間雨量(mm)	地点
1	2010/08/09 07:00	59.5	北勢
2	2010/08/09 08:00	49.5	北勢
3	2010/07/13 23:00	45.0	揖斐川
4	2010/07/15 22:00	41.5	岐阜
5	2010/08/10 12:00	41.0	北勢
6	2010/08/10 13:00	38.5	一宮
7	2010/09/16 10:00	37.5	東海
8	2010/09/08 09:00	36.0	揖斐川
9	2010/09/15 15:00	35.5	一宮
10	2010/09/08 11:00	34.5	豊田

北陸

順位	時刻	時間雨量(mm)	地点
1	2010/07/16 16:00	50.5	八尾
2	2010/08/10 14:00	43.5	大山
3	2010/07/09 16:00	42.0	かほく
4	2010/09/12 09:00	41.5	魚津
4	2010/08/26 14:00	41.5	八尾
6	2010/07/09 15:00	41.0	砺波
7	2010/09/22 08:00	37.5	宇奈月
8	2010/07/12 05:00	37.0	上市
9	2010/09/22 22:00	34.5	魚津
10	2010/07/12 05:00	33.0	白山吉野

表 10-2 Kdp-R 関係式の使用条件別の精度指標 相関係数

閾値			サイト											全サイト
SNR	Kdp	Zh	関東	新横浜	尾西	安城	鈴鹿	田口	鷺峰山	六甲	葛城	水橋	能美	平均
-50	0.1	22	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.91	0.86	0.84	0.84	0.78	0.87
-50	0.1	24	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.91	0.86	0.84	0.84	0.78	0.87
-50	0.1	26	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.91	0.86	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.1	28	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.88
-50	0.1	30	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.91	0.86	0.84	0.84	0.79	0.88
-50	0.2	22	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.2	24	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.2	26	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.2	28	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.88
-50	0.2	30	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.91	0.86	0.84	0.84	0.79	0.88
-50	0.3	22	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.3	24	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.3	26	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.3	28	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.3	30	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.84	0.84	0.79	0.88
-50	0.4	22	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.85	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.4	24	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.85	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.4	26	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.85	0.84	0.84	0.79	0.88
-50	0.4	28	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.85	0.84	0.84	0.79	0.88
-50	0.4	30	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.86	0.85	0.84	0.79	0.88
-50	0.5	22	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.85	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.5	24	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.85	0.84	0.84	0.79	0.87
-50	0.5	26	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.91	0.85	0.84	0.85	0.79	0.88
-50	0.5	28	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.90	0.85	0.84	0.84	0.79	0.88
-50	0.5	30	0.91	0.93	0.90	0.89	0.87	0.89	0.91	0.86	0.85	0.85	0.79	0.88
10	0.5	30	0.91	0.91	0.89	0.88	0.87	0.89	0.88	0.86	0.85	0.84	0.79	0.87

表 10-3 Kdp-R 関係式の使用条件別の精度指標 誤差 (RMSE)

閾値			サイト											全サイト
SNR	Kdp	Zh	関東	新横浜	尾西	安城	鈴鹿	田口	鷺峰山	六甲	葛城	水橋	能美	平均
-50	0.1	22	1.33	1.43	1.21	1.18	1.15	1.31	1.27	1.29	1.40	1.63	1.63	1.35
-50	0.1	24	1.32	1.42	1.20	1.18	1.15	1.30	1.26	1.28	1.40	1.63	1.63	1.34
-50	0.1	26	1.31	1.40	1.20	1.17	1.15	1.30	1.24	1.28	1.38	1.61	1.62	1.33
-50	0.1	28	1.31	1.38	1.19	1.18	1.16	1.28	1.24	1.28	1.37	1.62	1.62	1.33
-50	0.1	30	1.31	1.37	1.20	1.19	1.16	1.28	1.22	1.26	1.35	1.61	1.61	1.32
-50	0.2	22	1.33	1.44	1.21	1.18	1.15	1.31	1.27	1.29	1.40	1.63	1.63	1.35
-50	0.2	24	1.32	1.43	1.20	1.18	1.15	1.31	1.26	1.29	1.40	1.64	1.63	1.35
-50	0.2	26	1.32	1.41	1.20	1.18	1.16	1.30	1.25	1.28	1.38	1.61	1.62	1.34
-50	0.2	28	1.31	1.39	1.20	1.18	1.16	1.29	1.24	1.28	1.37	1.62	1.62	1.33
-50	0.2	30	1.30	1.38	1.20	1.18	1.16	1.29	1.23	1.27	1.35	1.61	1.61	1.33
-50	0.3	22	1.33	1.45	1.21	1.19	1.16	1.31	1.27	1.30	1.39	1.64	1.63	1.35
-50	0.3	24	1.32	1.44	1.20	1.19	1.15	1.31	1.26	1.30	1.39	1.64	1.63	1.35
-50	0.3	26	1.32	1.43	1.20	1.18	1.16	1.30	1.25	1.29	1.38	1.62	1.62	1.34
-50	0.3	28	1.31	1.41	1.20	1.18	1.17	1.29	1.24	1.29	1.37	1.63	1.62	1.34
-50	0.3	30	1.31	1.39	1.20	1.19	1.16	1.29	1.23	1.28	1.35	1.61	1.61	1.33
-50	0.4	22	1.33	1.45	1.20	1.19	1.16	1.31	1.26	1.31	1.38	1.64	1.64	1.35
-50	0.4	24	1.32	1.44	1.20	1.19	1.16	1.31	1.25	1.31	1.38	1.64	1.64	1.35
-50	0.4	26	1.32	1.43	1.20	1.18	1.16	1.30	1.24	1.30	1.37	1.62	1.62	1.34
-50	0.4	28	1.31	1.41	1.20	1.19	1.17	1.29	1.24	1.30	1.36	1.63	1.63	1.34
-50	0.4	30	1.30	1.39	1.21	1.19	1.17	1.29	1.23	1.29	1.34	1.61	1.62	1.33
-50	0.5	22	1.33	1.44	1.21	1.18	1.16	1.31	1.25	1.30	1.38	1.62	1.64	1.35
-50	0.5	24	1.32	1.43	1.21	1.18	1.16	1.30	1.25	1.30	1.37	1.62	1.64	1.34
-50	0.5	26	1.31	1.42	1.21	1.18	1.17	1.30	1.24	1.30	1.36	1.60	1.63	1.34
-50	0.5	28	1.31	1.41	1.21	1.19	1.17	1.29	1.24	1.30	1.35	1.61	1.63	1.34
-50	0.5	30	1.30	1.39	1.21	1.18	1.17	1.28	1.23	1.28	1.34	1.60	1.62	1.33
10	0.5	30	1.27	1.41	1.26	1.21	1.17	1.30	1.30	1.28	1.30	1.64	1.64	1.34

表 10-4 Kdp-R 関係式の使用条件別の精度指標 回帰係数

閾値			サイト											全サイト
SNR	Kdp	Zh	関東	新横浜	尾西	安城	鈴鹿	田口	鷺峰山	六甲	葛城	水橋	能美	平均
-50	0.1	22	1.08	1.13	1.02	0.99	0.93	0.96	1.03	0.97	0.98	0.95	0.86	0.99
-50	0.1	24	1.07	1.13	1.02	0.98	0.93	0.96	1.02	0.97	0.97	0.95	0.86	0.99
-50	0.1	26	1.07	1.12	1.02	0.98	0.92	0.95	1.02	0.96	0.97	0.94	0.86	0.98
-50	0.1	28	1.06	1.11	1.01	0.97	0.92	0.95	1.00	0.96	0.96	0.93	0.85	0.97
-50	0.1	30	1.06	1.11	1.01	0.96	0.91	0.94	0.99	0.95	0.95	0.92	0.84	0.97
-50	0.2	22	1.08	1.13	1.02	0.98	0.93	0.96	1.03	0.97	0.98	0.95	0.86	0.99
-50	0.2	24	1.07	1.13	1.02	0.98	0.93	0.96	1.02	0.97	0.97	0.95	0.86	0.99
-50	0.2	26	1.07	1.13	1.02	0.98	0.92	0.95	1.02	0.96	0.97	0.94	0.85	0.98
-50	0.2	28	1.07	1.12	1.01	0.97	0.92	0.95	1.01	0.96	0.96	0.93	0.85	0.98
-50	0.2	30	1.06	1.11	1.00	0.96	0.91	0.94	0.99	0.95	0.95	0.92	0.84	0.97
-50	0.3	22	1.08	1.13	1.02	0.98	0.92	0.95	1.02	0.97	0.97	0.94	0.86	0.99
-50	0.3	24	1.08	1.13	1.01	0.97	0.92	0.95	1.02	0.97	0.97	0.94	0.85	0.98
-50	0.3	26	1.07	1.13	1.01	0.97	0.92	0.95	1.01	0.96	0.97	0.94	0.85	0.98
-50	0.3	28	1.07	1.12	1.01	0.96	0.91	0.94	1.00	0.96	0.96	0.93	0.85	0.97
-50	0.3	30	1.06	1.11	1.00	0.95	0.91	0.94	0.99	0.95	0.95	0.92	0.84	0.97
-50	0.4	22	1.08	1.13	1.01	0.97	0.92	0.95	1.02	0.96	0.97	0.94	0.85	0.98
-50	0.4	24	1.07	1.13	1.01	0.97	0.92	0.95	1.02	0.96	0.97	0.94	0.85	0.98
-50	0.4	26	1.07	1.13	1.00	0.97	0.91	0.94	1.01	0.96	0.96	0.93	0.85	0.98
-50	0.4	28	1.07	1.12	1.00	0.96	0.91	0.94	1.00	0.95	0.96	0.92	0.84	0.97
-50	0.4	30	1.06	1.11	1.00	0.95	0.91	0.93	0.99	0.94	0.95	0.91	0.84	0.96
-50	0.5	22	1.07	1.13	1.00	0.96	0.91	0.94	1.01	0.96	0.96	0.93	0.84	0.98
-50	0.5	24	1.07	1.13	1.00	0.96	0.91	0.94	1.01	0.96	0.96	0.93	0.84	0.97
-50	0.5	26	1.07	1.12	1.00	0.96	0.91	0.94	1.00	0.95	0.96	0.93	0.84	0.97
-50	0.5	28	1.06	1.12	0.99	0.95	0.91	0.93	1.00	0.95	0.95	0.91	0.83	0.96
-50	0.5	30	1.06	1.11	0.99	0.95	0.90	0.93	0.99	0.94	0.95	0.91	0.83	0.96
10	0.5	30	1.03	1.04	0.95	0.92	0.88	0.91	0.92	0.93	0.92	0.90	0.81	0.93

表 10-5 レーダ別、閾値のパターン別の精度指標 総雨量比

閾値			サイト											全サイト
SNR	Kdp	Zh	関東	新横浜	尾西	安城	鈴鹿	田口	鷺峰山	六甲	葛城	水橋	能美	平均
-50	0.1	22	1.10	1.21	1.11	1.06	1.02	1.12	1.22	1.15	1.25	1.11	1.02	1.12
-50	0.1	24	1.08	1.19	1.10	1.05	1.01	1.10	1.19	1.13	1.23	1.09	1.01	1.11
-50	0.1	26	1.06	1.17	1.07	1.03	0.99	1.09	1.15	1.12	1.21	1.06	0.99	1.09
-50	0.1	28	1.04	1.14	1.05	1.00	0.98	1.06	1.10	1.09	1.18	1.03	0.98	1.06
-50	0.1	30	1.01	1.11	1.02	0.97	0.95	1.03	1.04	1.06	1.14	0.99	0.94	1.02
-50	0.2	22	1.10	1.21	1.10	1.05	1.01	1.10	1.21	1.14	1.24	1.09	1.01	1.12
-50	0.2	24	1.09	1.20	1.08	1.04	0.99	1.09	1.19	1.13	1.23	1.08	1.00	1.10
-50	0.2	26	1.07	1.18	1.06	1.02	0.98	1.08	1.15	1.11	1.21	1.06	0.99	1.08
-50	0.2	28	1.04	1.16	1.04	1.00	0.97	1.06	1.11	1.10	1.18	1.03	0.97	1.06
-50	0.2	30	1.02	1.13	1.01	0.97	0.95	1.03	1.05	1.07	1.15	0.99	0.94	1.03
-50	0.3	22	1.10	1.21	1.07	1.02	0.98	1.09	1.19	1.13	1.22	1.07	0.99	1.10
-50	0.3	24	1.08	1.20	1.05	1.01	0.97	1.08	1.17	1.12	1.21	1.06	0.98	1.08
-50	0.3	26	1.07	1.19	1.03	1.00	0.96	1.06	1.14	1.10	1.19	1.04	0.97	1.07
-50	0.3	28	1.05	1.16	1.02	0.98	0.95	1.05	1.10	1.09	1.17	1.01	0.96	1.05
-50	0.3	30	1.03	1.14	0.99	0.96	0.93	1.02	1.05	1.06	1.14	0.99	0.93	1.02
-50	0.4	22	1.09	1.21	1.04	0.99	0.96	1.06	1.16	1.11	1.20	1.04	0.96	1.07
-50	0.4	24	1.07	1.20	1.02	0.99	0.95	1.05	1.14	1.10	1.19	1.03	0.95	1.06
-50	0.4	26	1.06	1.18	1.01	0.98	0.94	1.04	1.12	1.08	1.17	1.01	0.94	1.05
-50	0.4	28	1.04	1.16	0.99	0.96	0.93	1.03	1.08	1.07	1.15	0.99	0.93	1.03
-50	0.4	30	1.03	1.14	0.97	0.94	0.92	1.01	1.04	1.05	1.12	0.97	0.91	1.01
-50	0.5	22	1.08	1.20	1.01	0.97	0.94	1.04	1.14	1.09	1.18	1.02	0.94	1.05
-50	0.5	24	1.06	1.19	1.00	0.97	0.94	1.03	1.12	1.08	1.17	1.01	0.93	1.04
-50	0.5	26	1.05	1.17	0.98	0.96	0.93	1.02	1.10	1.06	1.15	1.00	0.92	1.03
-50	0.5	28	1.03	1.16	0.97	0.94	0.92	1.01	1.07	1.05	1.13	0.98	0.91	1.02
-50	0.5	30	1.02	1.13	0.95	0.92	0.91	0.99	1.03	1.03	1.11	0.96	0.89	0.99
10	0.5	30	0.99	1.06	0.92	0.91	0.88	0.98	0.97	1.02	1.08	0.95	0.87	0.96

表 10-6 Kdp-R 関係式の使用条件別の精度指標³ 11 レーダの平均値

SNR	閾値		相関 係数	回帰 係数	誤差	総雨 量比	評価点
	Kdp	Zh					
-50	0.1	22	0.87	0.99	1.35	1.12	3
-50	0.1	24	0.87	0.99	1.34	1.11	3
-50	0.1	26	0.87	0.98	1.33	1.09	3
-50	0.1	28	0.88	0.97	1.33	1.06	3
-50	0.1	30	0.88	0.97	1.32	1.02	5
-50	0.2	22	0.87	0.99	1.35	1.12	3
-50	0.2	24	0.87	0.99	1.35	1.10	3
-50	0.2	26	0.87	0.98	1.34	1.08	2
-50	0.2	28	0.88	0.98	1.33	1.06	4
-50	0.2	30	0.88	0.97	1.33	1.03	3
-50	0.3	22	0.87	0.99	1.35	1.10	3
-50	0.3	24	0.87	0.98	1.35	1.08	2
-50	0.3	26	0.87	0.98	1.34	1.07	2
-50	0.3	28	0.87	0.97	1.34	1.05	1
-50	0.3	30	0.88	0.97	1.33	1.02	4
-50	0.4	22	0.87	0.98	1.35	1.07	2
-50	0.4	24	0.87	0.98	1.35	1.06	2
-50	0.4	26	0.88	0.98	1.34	1.05	3
-50	0.4	28	0.88	0.97	1.34	1.03	2
-50	0.4	30	0.88	0.96	1.33	1.01	5
-50	0.5	22	0.87	0.98	1.35	1.05	4
-50	0.5	24	0.87	0.97	1.34	1.04	1
-50	0.5	26	0.88	0.97	1.34	1.03	2
-50	0.5	28	0.88	0.96	1.34	1.02	3
-50	0.5	30	0.88	0.96	1.33	0.99	5
10	0.5	30	0.87	0.93	1.34	0.96	1

³ 最も精度の良い閾値を黄色で次に良い閾値を水色で示している。評価点は、黄色を2点、水色を1点として4指標値の得点の和をとったものである。最も高い評価点を獲得したパターンは3つ存在する。3パターンともZh閾値は30となっており、Kdp閾値を0.1としたものが誤差や回帰係数の値が良く最適な切り替え条件であると考えられる。

10章1節3項 Kdp-R 関係式の適用範囲の拡張の評価

Kdp-R 関係式の適用範囲の拡張を検討したところ、 $Zh=30$ [dBZ]以上かつ $Kdp=0.1$ [°/km]以上かつ $SNR=-50$ [dB]以上としても降雨分布に問題等は生じず、観測精度においても改善が確認された。 $Kdp=0.1$ [°/km]は約 4[mm/h]に相当する雨量である。

■ 使用頻度

表 10-7 は、Kdp-R 関係式が使用された割合を使用条件毎に算出したものである。Kdp-R 関係式が使用される割合は、地上雨量で 10 分雨量が観測された回数と、レーダ雨量で 10 分雨量を算出するために、雨量の 9 割以上を Kdp-R 関係式が用いられた回数の割合をレーダ毎に算出して、11 レーダの平均をとったものである。最下段は、2010 年観測における Kdp-R 関係式の使用条件となっている。Kdp-R 関係式の適用範囲の拡張により全てのレーダで使用頻度が増加し、平均して約 2.5 倍に増加している。

表 10-7 Kdp-R 関係式が採用される割合 (%)

閾値			サイト											全サイト
SNR	Kdp	Zh	関東	新横浜	尾西	安城	鈴鹿	田口	鷺峰山	六甲	葛城	水橋	能美	平均
-50	0.1	22	29.9	48.7	58.3	30.9	34.4	29.3	28.3	36.8	36.4	50.9	43.9	38.9
-50	0.1	24	26.9	44.0	52.7	28.7	29.0	27.4	25.0	33.3	32.8	46.9	41.5	35.3
-50	0.1	26	23.9	40.6	45.5	26.8	26.2	25.2	21.9	30.8	29.9	43.6	39.2	32.1
-50	0.1	28	20.7	36.6	41.6	24.5	24.1	23.7	18.8	28.0	26.5	39.1	37.7	29.2
-50	0.1	30	18.3	29.6	37.2	20.6	21.8	20.9	15.4	25.2	22.8	35.4	33.7	25.5
-50	0.2	22	23.9	38.4	45.3	21.2	25.4	22.0	20.5	26.4	25.9	40.4	34.6	29.4
-50	0.2	24	21.3	34.2	40.4	20.1	21.1	20.7	18.5	23.4	22.9	37.2	33.7	26.7
-50	0.2	26	18.9	31.3	35.3	18.9	19.1	19.5	16.9	21.9	20.9	35.1	32.0	24.5
-50	0.2	28	16.8	29.1	32.4	17.8	18.0	18.6	15.4	20.2	18.8	32.3	30.7	22.7
-50	0.2	30	15.8	25.4	29.8	16.3	17.4	17.5	13.2	18.7	16.6	30.4	28.8	20.9
-50	0.3	22	18.0	31.3	33.9	15.1	20.1	15.8	15.0	19.4	19.3	32.8	27.6	22.6
-50	0.3	24	16.1	28.2	29.9	14.7	16.6	14.8	13.4	17.1	16.7	31.1	26.9	20.5
-50	0.3	26	14.2	25.5	25.8	14.2	15.3	14.1	12.3	16.1	15.3	29.0	25.4	18.8
-50	0.3	28	12.5	23.9	23.7	13.8	14.6	13.5	11.7	15.0	14.0	27.2	24.8	17.7
-50	0.3	30	12.2	22.0	22.4	13.1	14.1	13.0	10.5	14.0	12.9	27.0	22.9	16.7
-50	0.4	22	15.0	27.6	26.8	11.7	16.7	12.9	12.3	16.0	15.7	26.5	20.5	18.3
-50	0.4	24	12.9	24.5	23.9	11.6	13.6	12.3	10.9	14.0	13.6	25.2	20.6	16.6
-50	0.4	26	11.4	21.8	20.2	11.2	12.7	11.7	9.9	13.0	12.5	23.6	19.9	15.3
-50	0.4	28	10.2	20.6	18.8	10.9	12.1	11.4	9.5	12.0	11.5	22.2	19.9	14.5
-50	0.4	30	10.1	19.2	18.1	10.2	11.7	11.2	8.9	11.3	10.8	22.5	18.4	13.9
-50	0.5	22	12.3	23.5	21.7	10.7	14.0	11.0	10.8	13.4	14.1	24.4	16.9	15.7
-50	0.5	24	10.8	20.8	19.4	10.6	11.7	10.6	9.6	11.4	12.3	23.4	16.9	14.3
-50	0.5	26	9.5	18.7	15.9	10.3	10.8	10.1	8.9	10.7	11.5	21.9	16.5	13.2
-50	0.5	28	8.2	18.0	15.1	10.0	10.5	9.9	8.5	9.9	10.4	21.2	16.1	12.5
-50	0.5	30	8.4	16.7	14.7	9.2	10.1	9.7	8.1	9.7	9.8	21.1	15.0	12.0
10	0.5	30	7.5	12.8	12.1	8.5	8.8	9.4	6.7	9.5	8.6	20.3	13.3	10.7

■ 精度評価

2010年観測における Kdp-R 関係式の使用条件、適用範囲を拡張した Kdp-R 関係式の使用条件で計算した合成雨量について、合成範囲内の地上雨量とそれに対応するメッシュの合成雨量の関係を 10分雨量、60分雨量について比較した。図 10.36～図 10.43 は、下記に示す観測台数やレーダからの距離を考慮した領域分割内の地上雨量計を対象に、Kdp-R 関係式の使用条件の見直し前後の合成雨量と地上雨量の比較したものである。図 10.44～図 10.47 は、合成領域の全域（領域 1～4）の地上雨量を対象に、レーダ雨量と地上雨量を比較したものである。図中の緑丸は、レーダ雨量で 10分雨量（60分雨量）を算出するために、雨量の 9割以上を Kdp-R 関係式により算出していることを示している。一方、黒丸は、10分雨量（60分雨量）を全て Z-R 関係式、または 10分雨量（60分雨量）の内、Kdp-R 関係式で算出している雨量が 1割以下で、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。Kdp-R 関係式の適用範囲を拡張した結果、黒丸のプロットが減少していることから、弱雨、強雨領域の双方で Kdp-R 関係式の使用頻度が増加していることが確認できる。

図 10.48～図 10.49 は合成雨量画像の比較である。上段に全域の合成雨量画像を、下段に Kdp-R 関係式の使用条件の最適化による効果の現れている領域を拡大した合成雨量画像を示している。

・領域区分

領域 1：あるレーダから半径 30km 以内 and 異なるレーダから半径 60km 以内

領域 2：あるレーダから半径 30～60km and 異なるレーダから半径 30～60km

or

あるレーダから半径 30km 以内 and 異なるレーダから半径 60km 以遠

領域 3：あるレーダから半径 30～60km and 異なるレーダから半径 60km 以遠

領域 4：どのレーダからも半径 60km 以遠

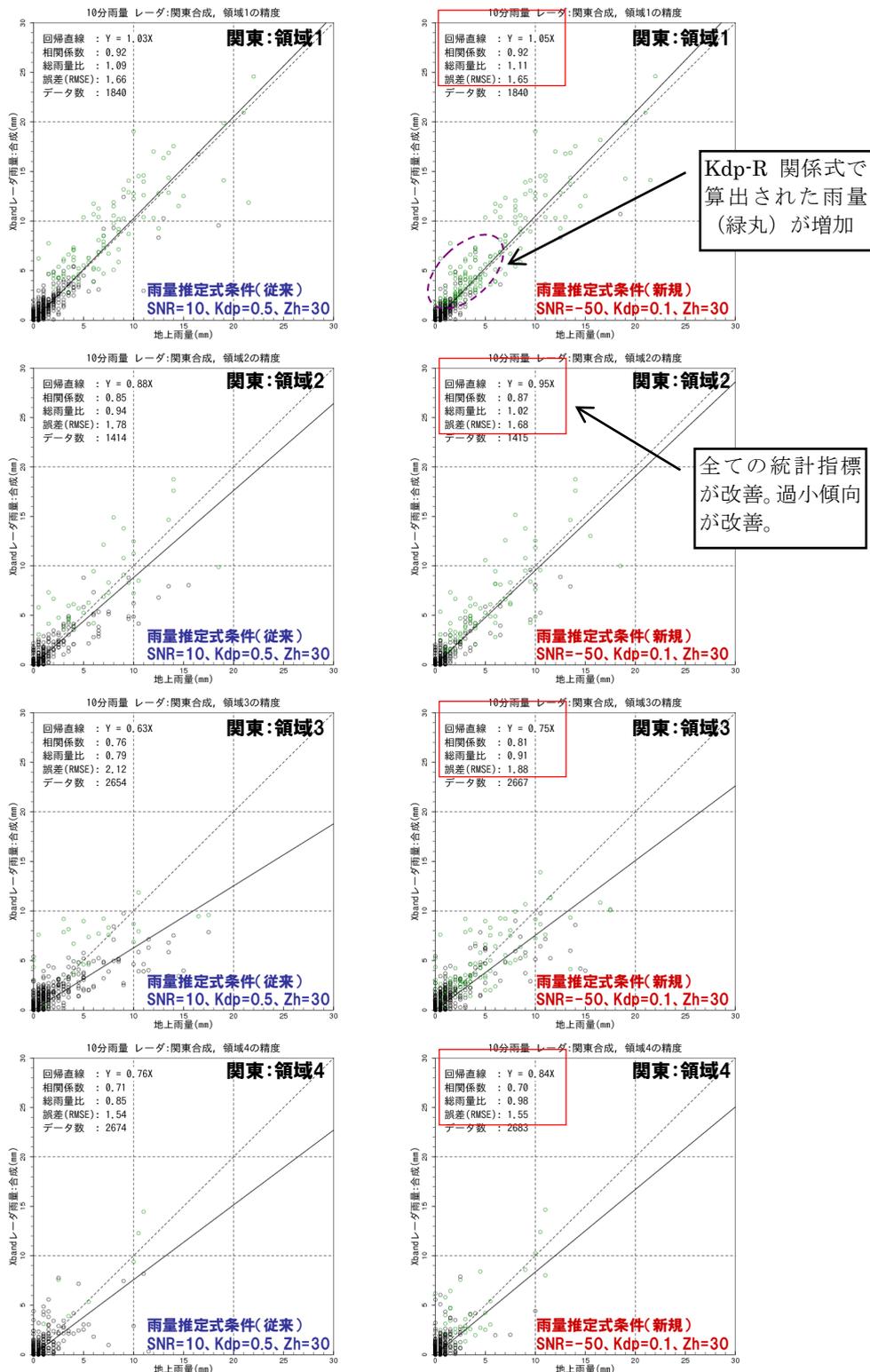


図 10.36 合成雨量と地上雨量の比較 (関東地域、10分雨量)

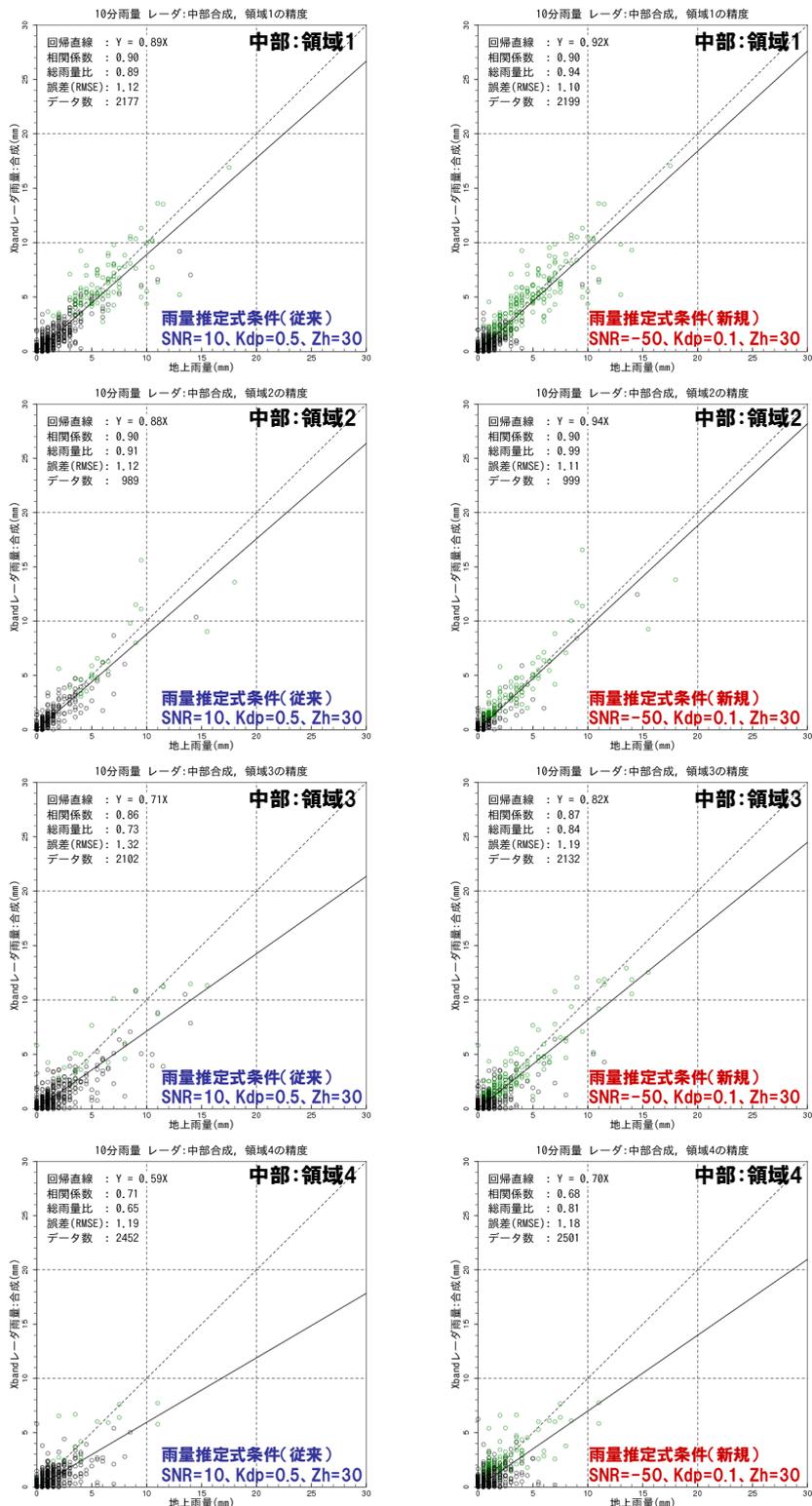


図 10.37 合成雨量と地上雨量の比較 (中部地域、10分雨量)

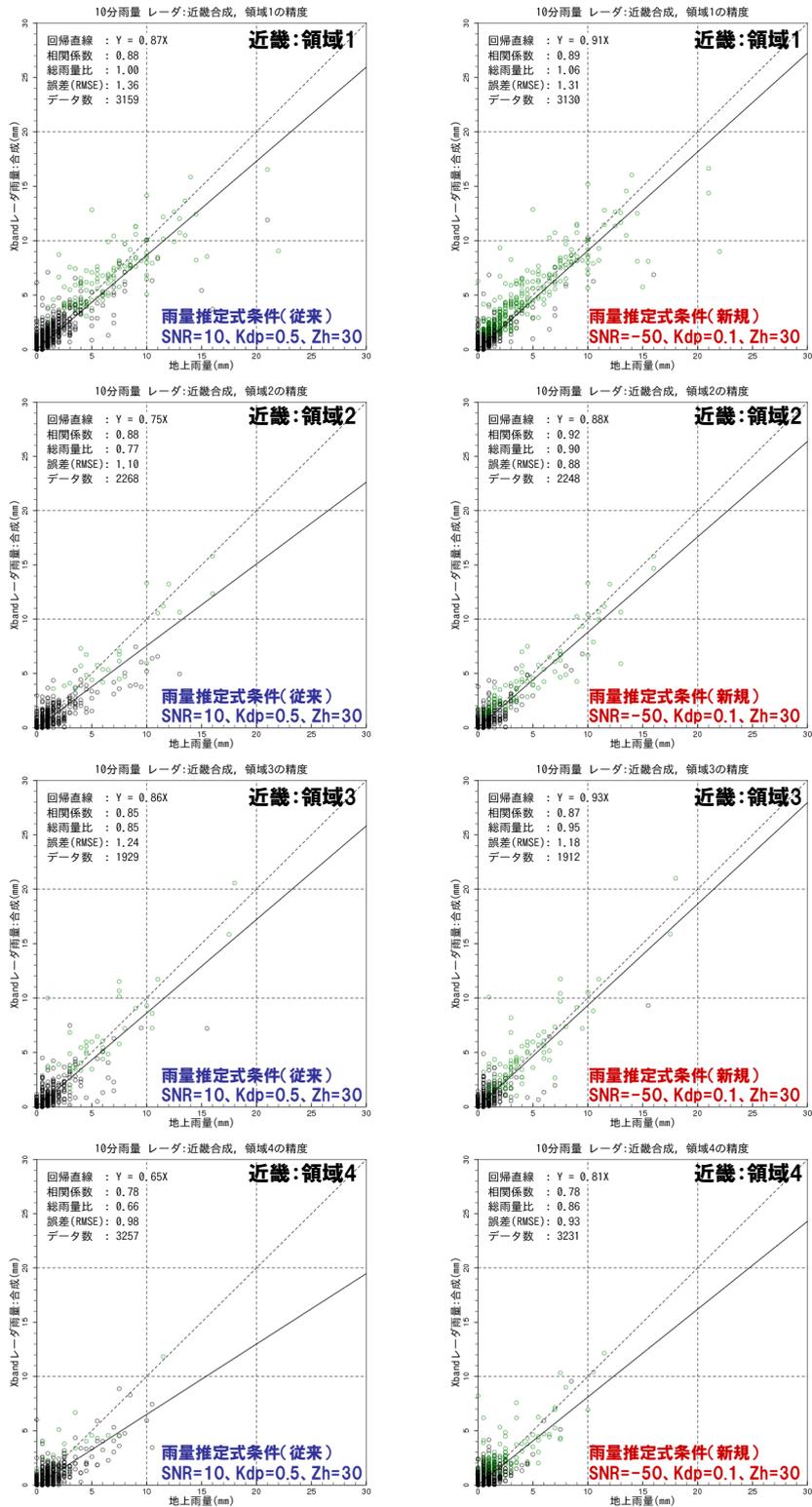


図 10.38 合成雨量と地上雨量の比較 (近畿地域、10分雨量)

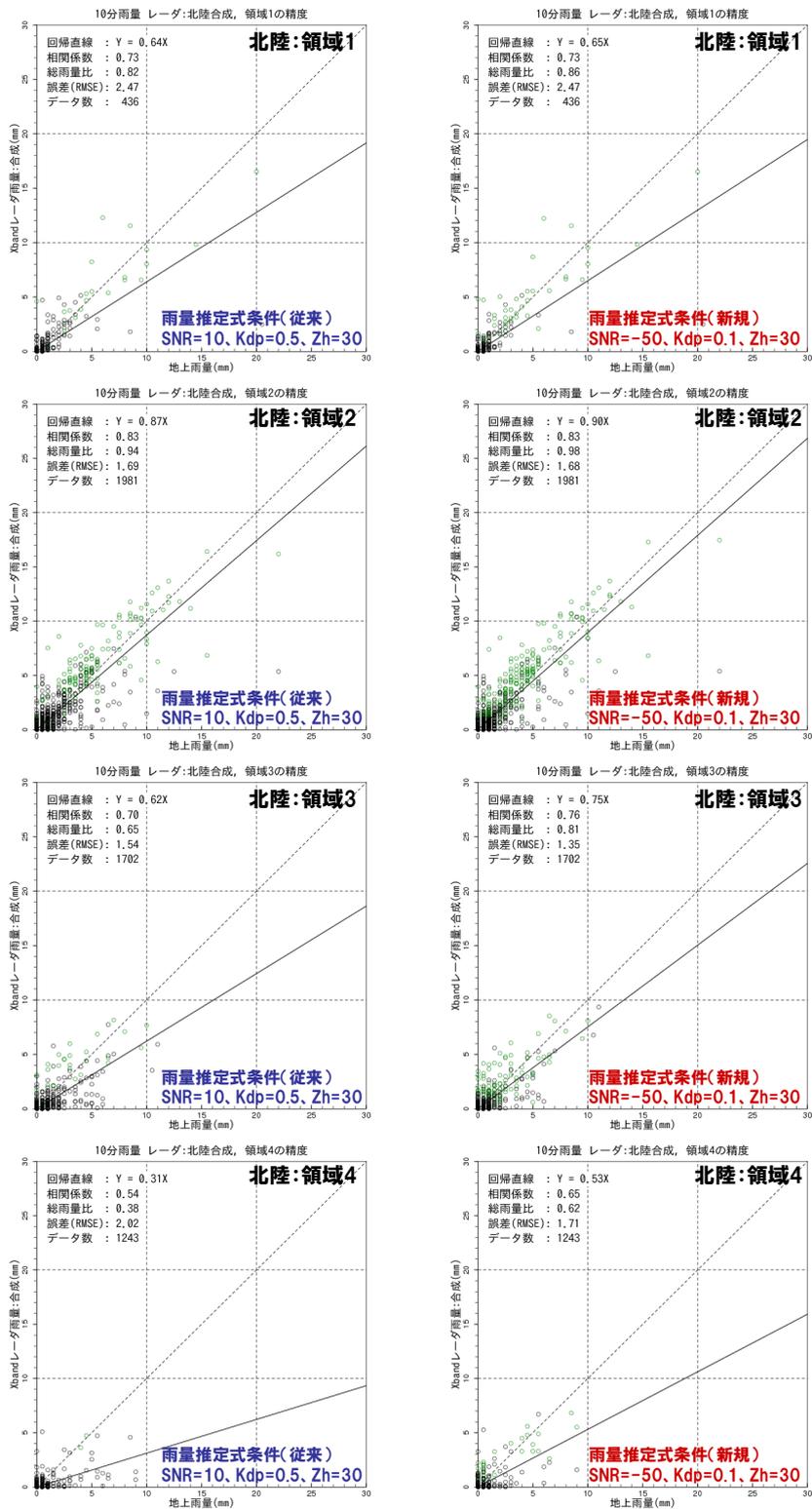


図 10.39 合成雨量と地上雨量の比較 (北陸地域、10分雨量)

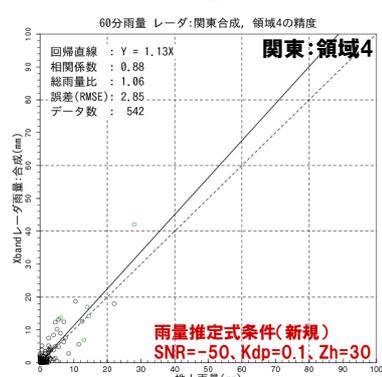
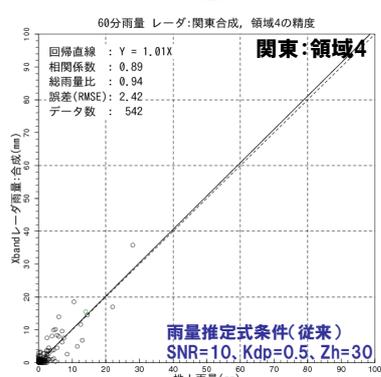
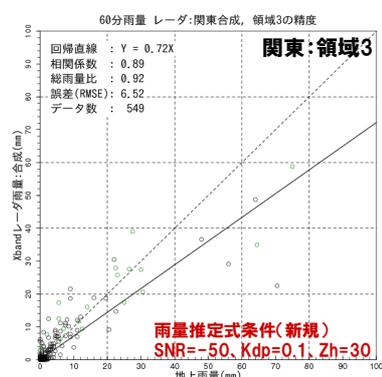
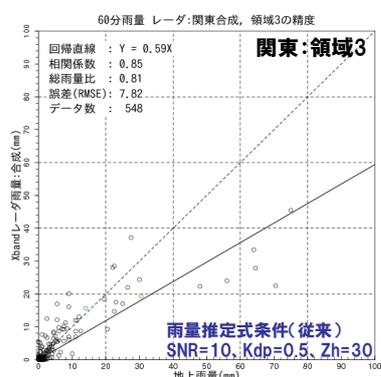
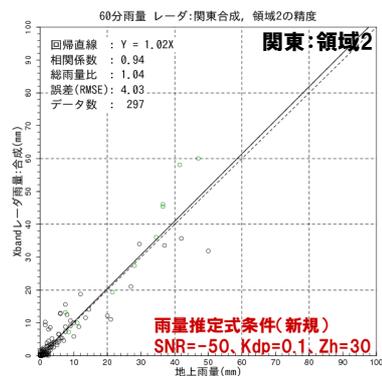
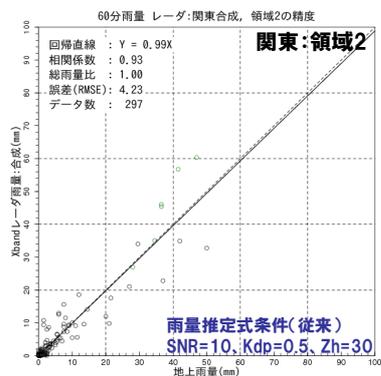
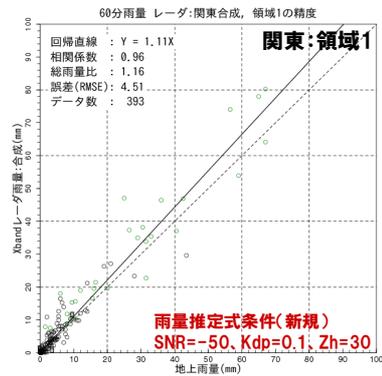
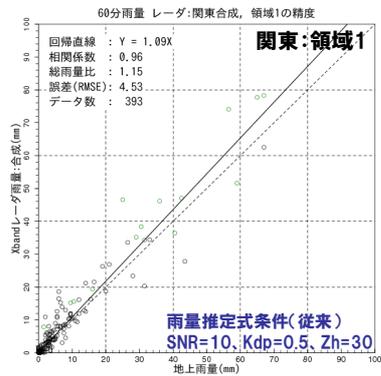


図 10.40 合成雨量と地上雨量の比較 (関東地域、60分雨量)

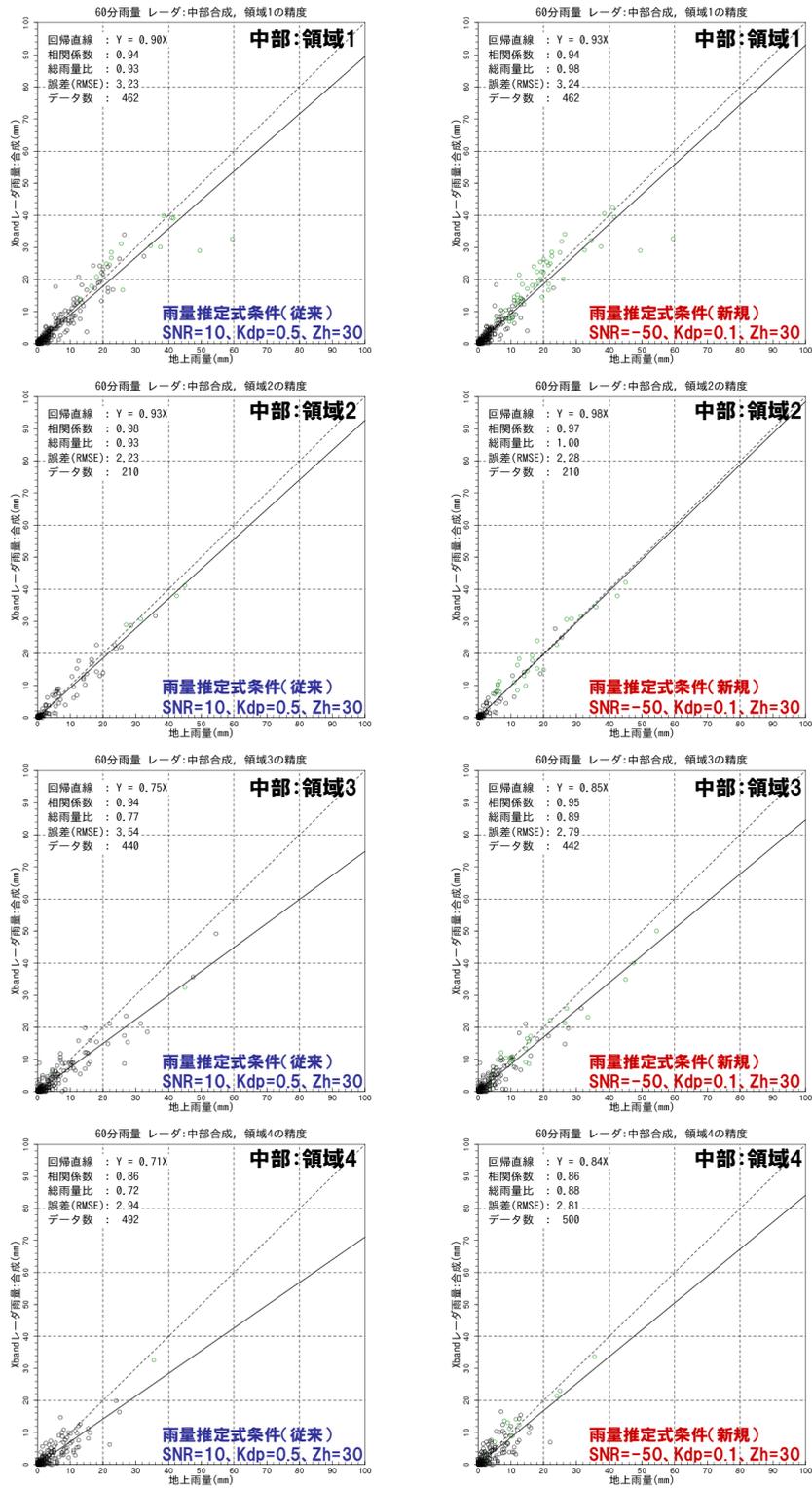


図 10.41 合成雨量と地上雨量の比較 (中部地域、60分雨量)

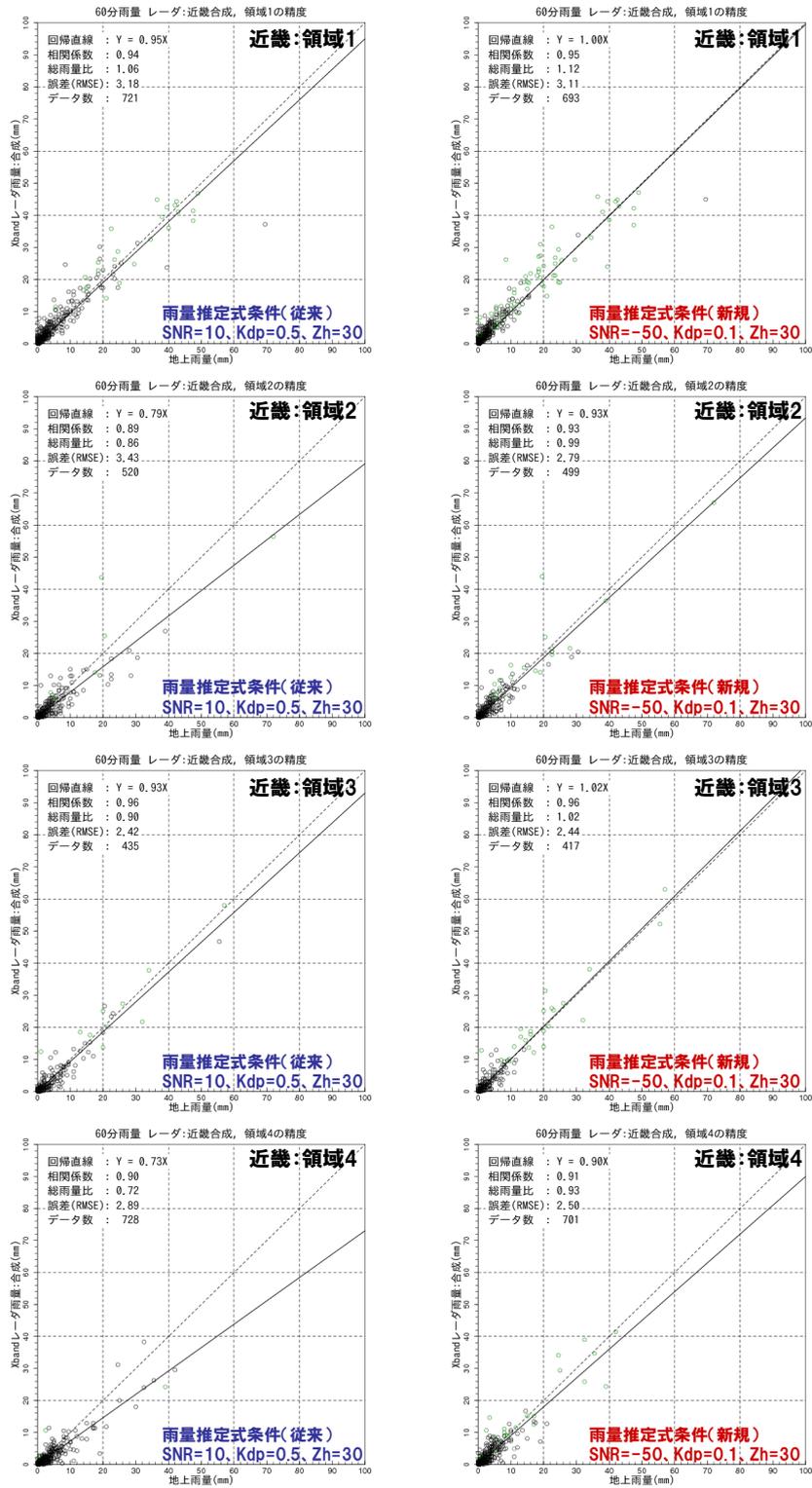


図 10.42 合成雨量と地上雨量の比較 (近畿地域、60分雨量)

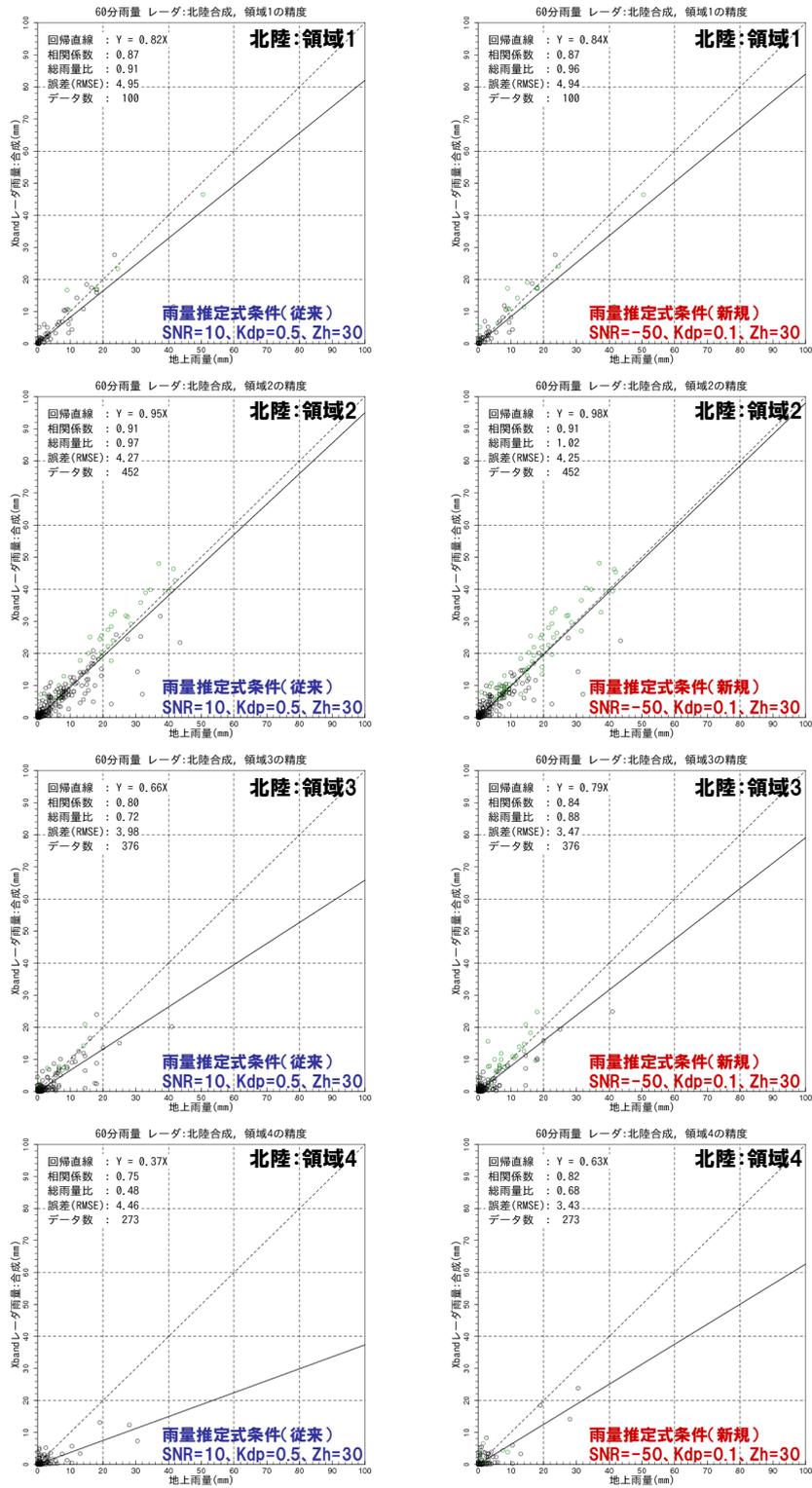


図 10.43 合成雨量と地上雨量の比較 (北陸地域、60分雨量)

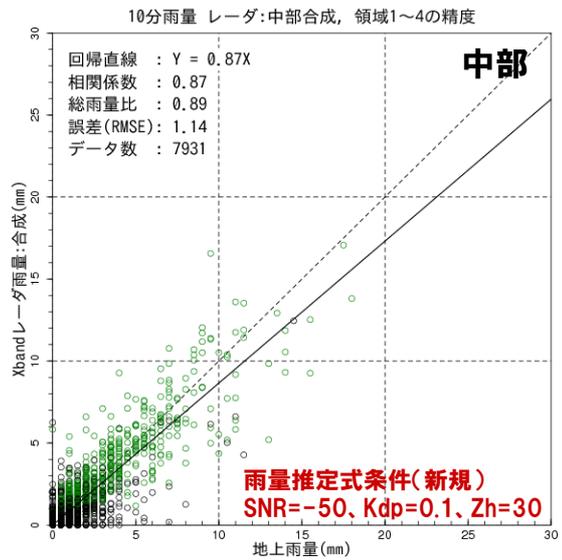
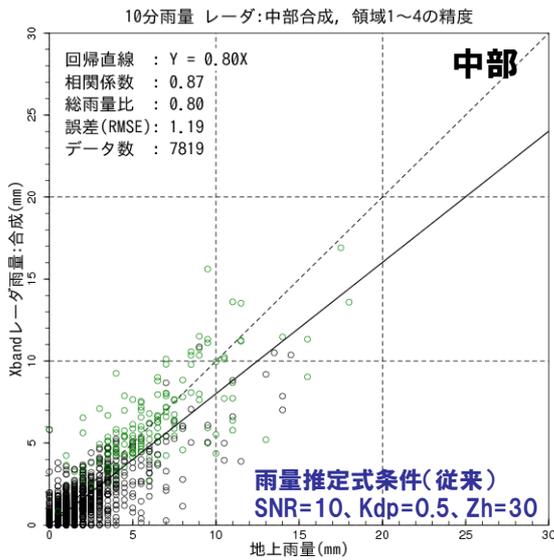
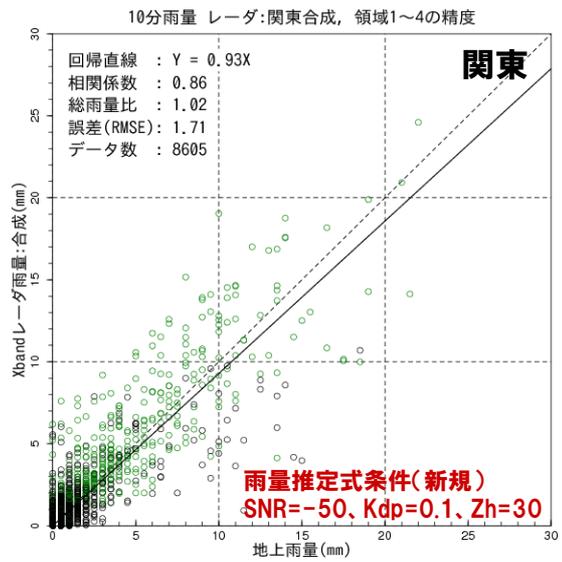
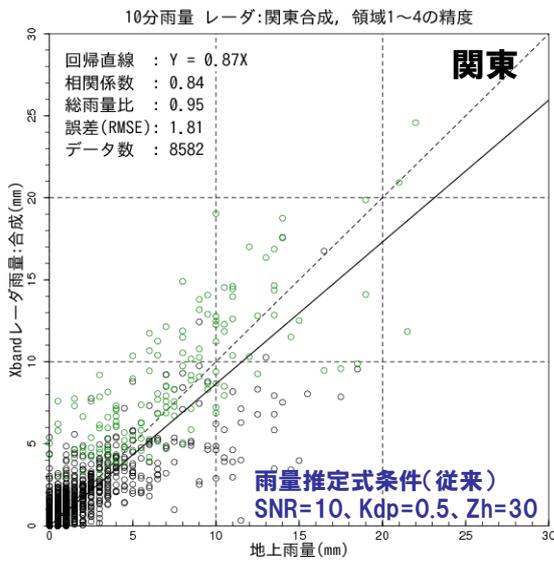


図 10.44 合成雨量と地上雨量の比較 (全領域、10分雨量)

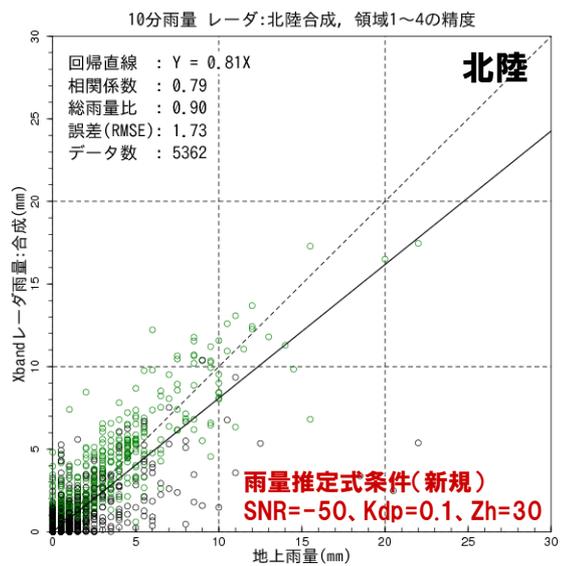
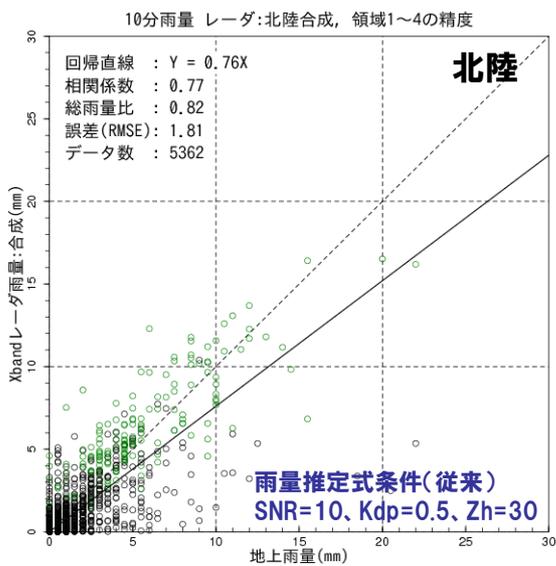
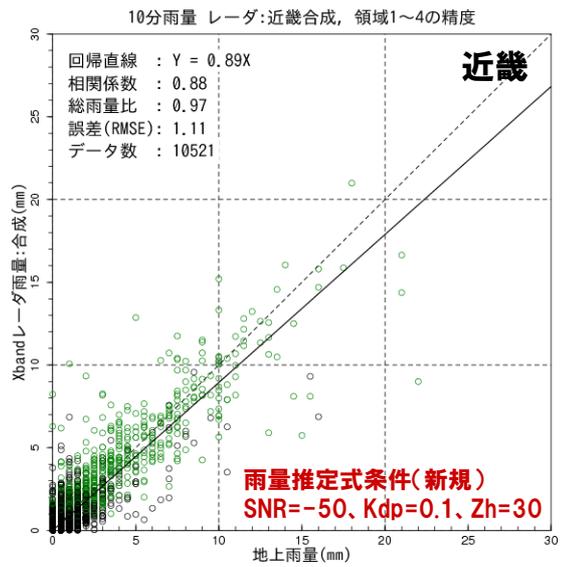
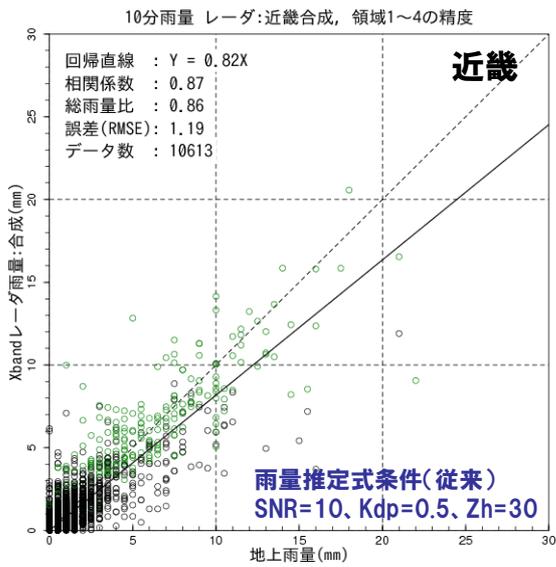


図 10.45 合成雨量と地上雨量の比較 (全領域、10分雨量)

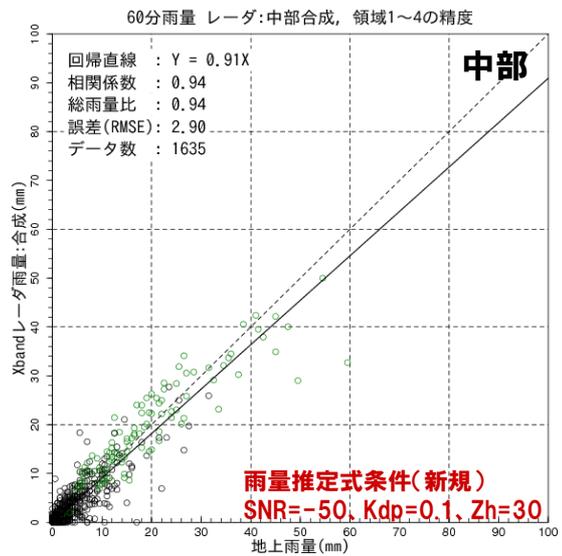
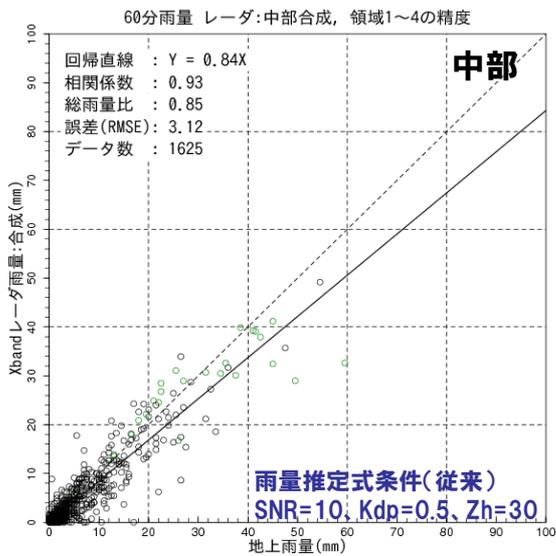
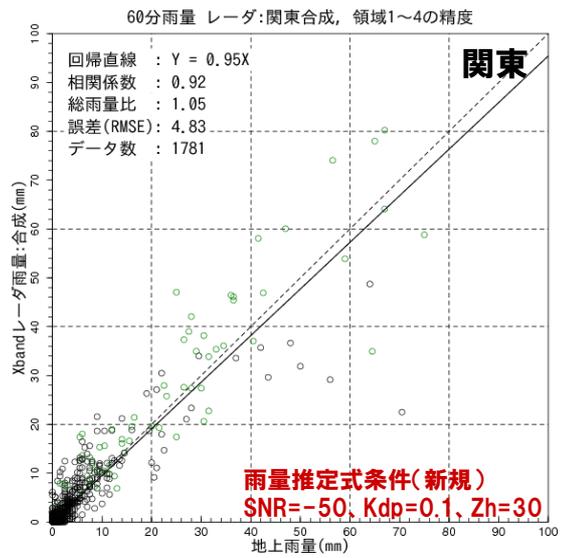
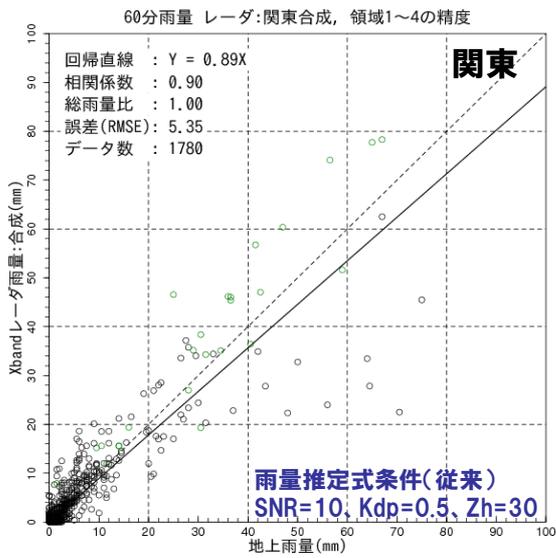


図 10.46 合成雨量と地上雨量の比較 (全領域、60分雨量)

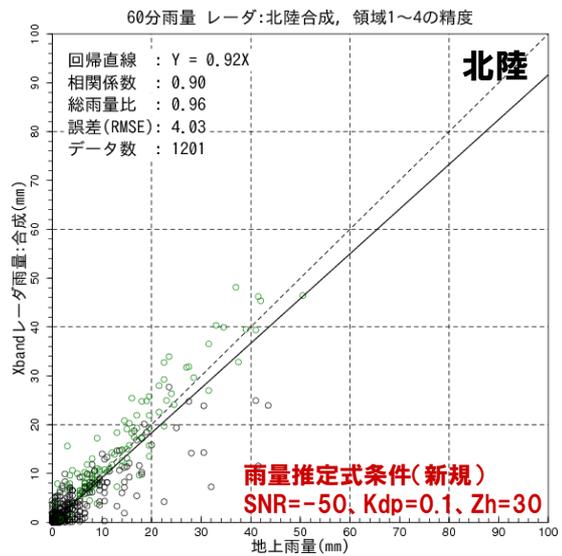
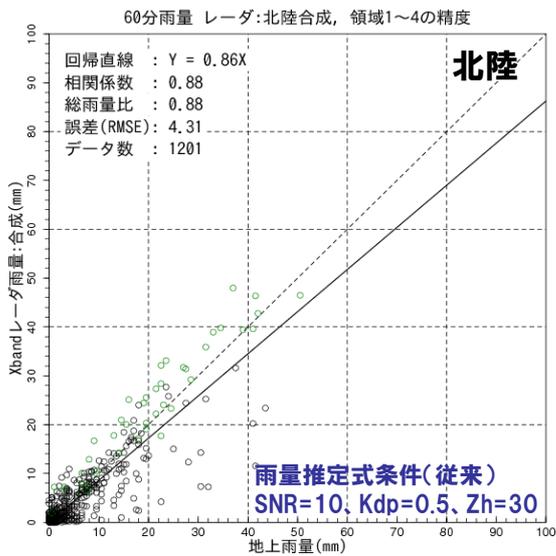
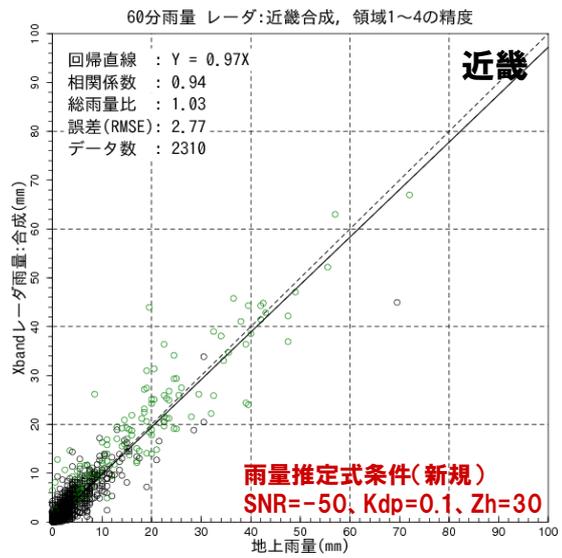
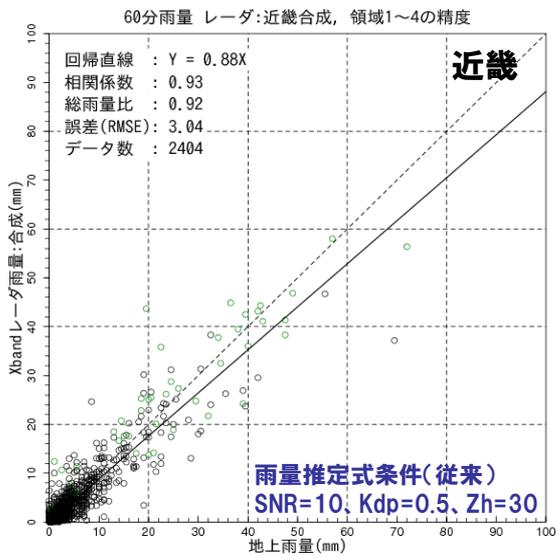


図 10.47 合成雨量と地上雨量の比較 (全領域、60分雨量)

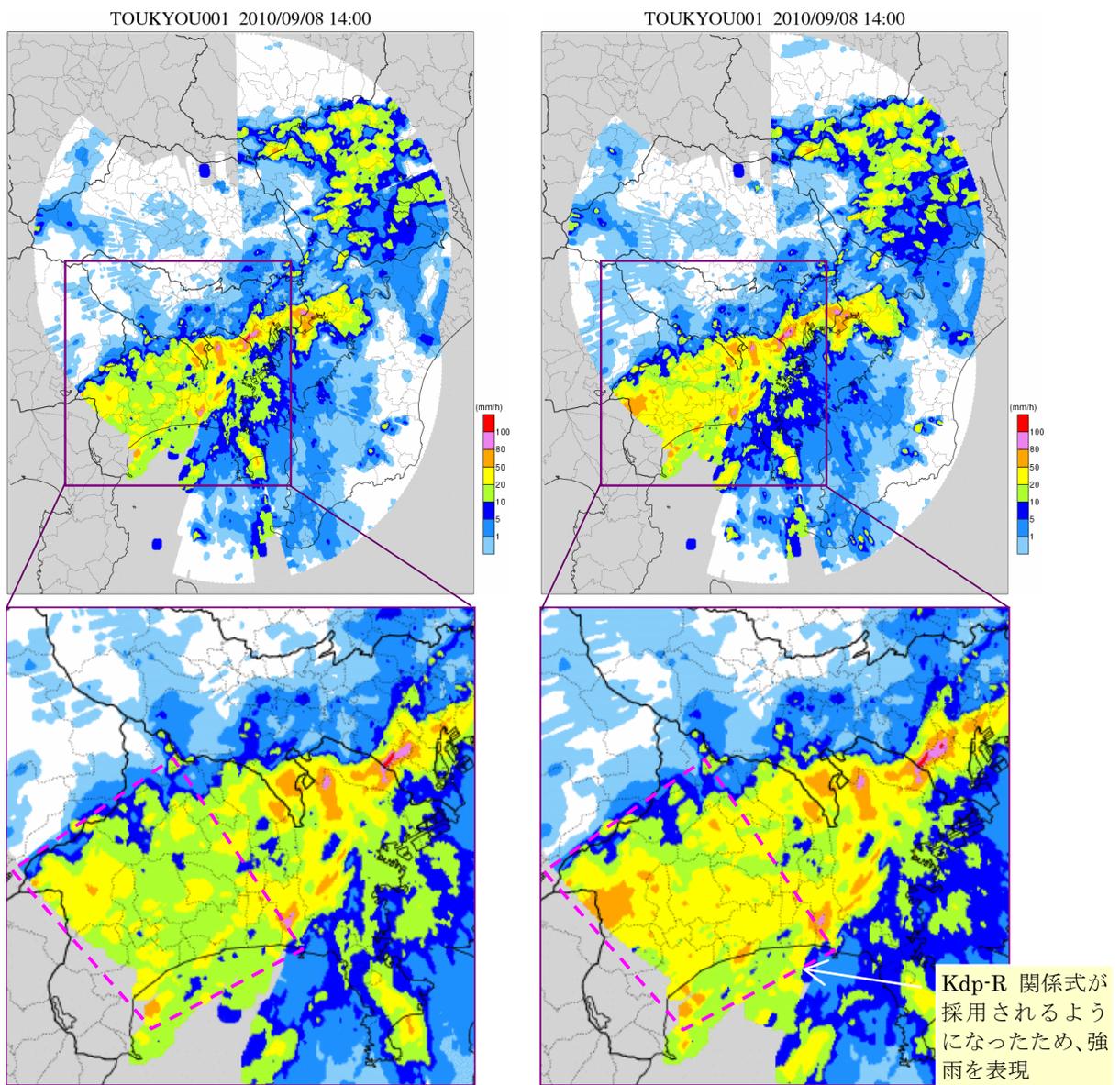


図 10.48 Kdp-R 関係式の使用条件の最適化前後における合成雨量画像 関東
 (左 : Kdp-R 関係式の使用条件 (拡張前)、右 : Kdp-R 関係式の使用条件 (拡張後))

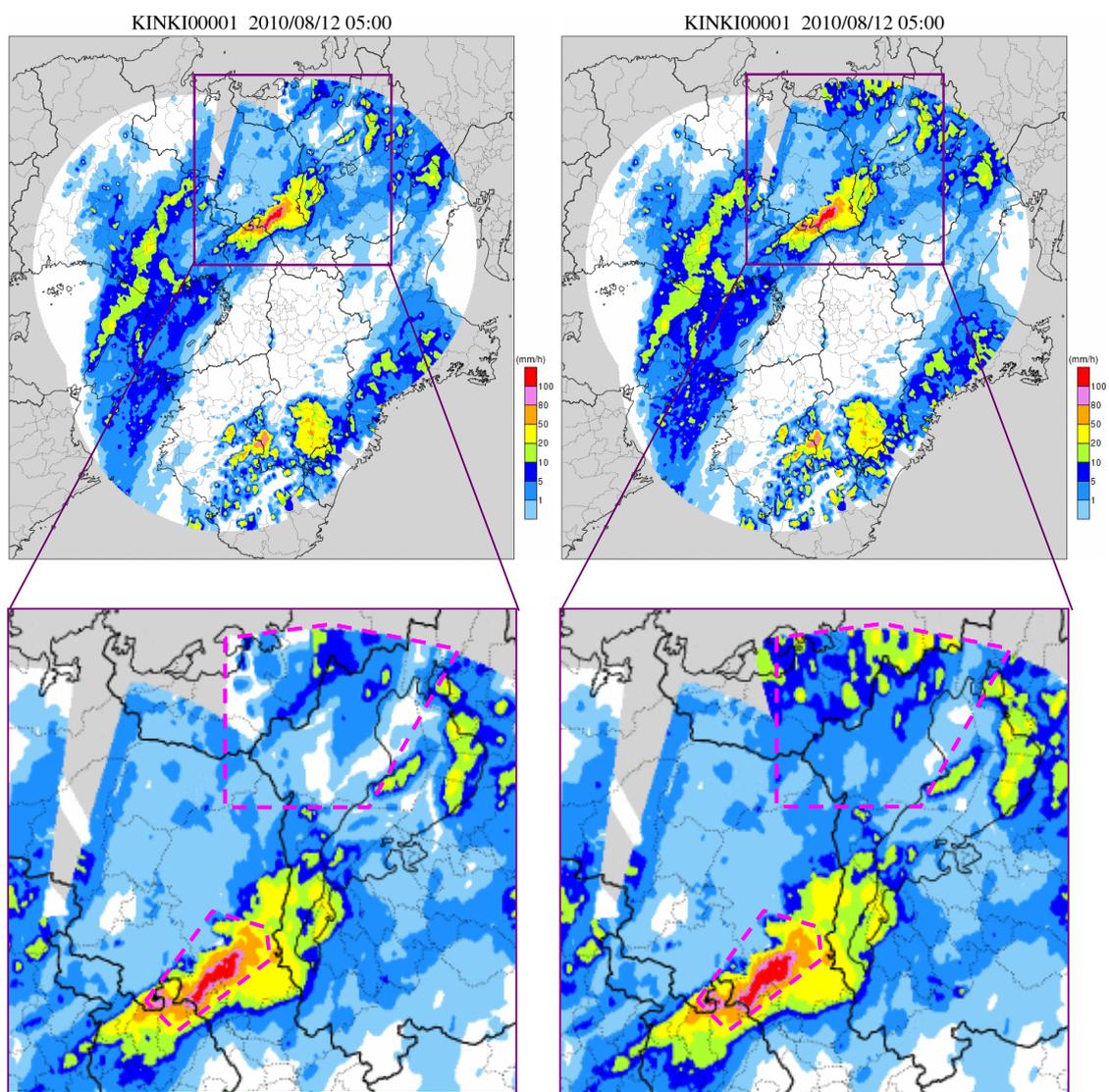


図 10.49 Kdp-R 関係式の使用条件の最適化前後における合成雨量画像 近畿
 (左：Kdp-R 関係式の使用条件 (拡張前)、右：Kdp-R 関係式の使用条件 (拡張後))

表 10-8、表 10-9 は全域（領域 1～4）について 2010 年観測における Kdp-R 関係式の使用条件、適用範囲を拡張した Kdp-R 関係式の使用条件で算出した各地域の合成雨量と地上雨量の関係から、10 分雨量における相関係数、回帰係数、RMSE、総雨量比を算出した結果を示す。相関係数に大きな変化は見られず観測のばらつきの改善は見られない。また、回帰係数、総雨量比からいずれの地域も量的に過小評価傾向を示しているが、Kdp-R 関係式の適用範囲の拡張により全ての地域で過少評価傾向が改善され最大で 10%程度改善されている地域があることを確認できる。

表 10-8 Kdp-R 関係式の使用条件の最適化前後における合成雨量の精度指標（10 分雨量）

	関東		中部		近畿		北陸	
	従来	新規	従来	新規	従来	新規	従来	新規
相関係数	0.84	0.86	0.87	0.87	0.87	0.89	0.77	0.79
誤差	1.81	1.71	1.19	1.14	1.19	1.11	1.81	1.73
回帰係数	0.87	0.93	0.80	0.87	0.82	0.89	0.76	0.81
総雨量比	0.95	1.02	0.80	0.89	0.86	0.97	0.82	0.90

表 10-9 Kdp-R 関係式の使用条件の最適化前後における合成雨量の精度指標（60 分雨量）

	関東		中部		近畿		北陸	
	従来	新規	従来	新規	従来	新規	従来	新規
相関係数	0.90	0.92	0.93	0.94	0.93	0.94	0.88	0.90
誤差	5.35	4.83	3.12	2.90	3.04	2.77	4.31	4.03
回帰係数	0.89	0.95	0.84	0.91	0.88	0.97	0.86	0.92
総雨量比	1.00	1.05	0.85	0.94	0.92	1.03	0.88	0.96

10章1節4項 まとめ

Kdp-R 関係式の適用範囲の拡張を検討した結果、 $Zh=30[\text{dBZ}]$ 以上かつ $Kdp=0.1[^\circ/\text{km}]$ 以上かつ $SNR=-50[\text{dB}]$ 以上の条件としても降雨分布に問題等は生じず、観測精度においても改善することが示された。これは約 $4[\text{mm/h}]$ で Z-R 関係式、Kdp-R 関係式を切り替えることを意味し、2010 年観測における Kdp-R 関係式の使用条件では約 $14[\text{mm/h}]$ であることから、弱雨時において Kdp-R 関係式が用いられる頻度が増加することを意味する。

Kdp-R 関係式の適用範囲の拡張による評価の結果、2010 年の観測における Kdp-R 関係式の使用条件に対して、Kdp-R 関係式が用いられ頻度が平均して約 2.5 倍増加し、弱雨、強雨時ともに Kdp-R 関係式が用いられる頻度が増加していることが確認された。また、全ての地域で合成雨量の過小傾向が改善され、最大で 10%程度改善されている。以上より、Kdp-R 関係式の適用範囲の拡張により Xバンド MP レーダの観測精度の向上が図られていることがわかる。2011 年 5 月頃より、ここでの検討結果を反映した運用が行われている。

10章2節 合成雨量作成手法と降雨減衰補正の改良による合成雨量の精度向上

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。本節では、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、合成雨量の高精度化を図る。

10章2節1項 合成雨量作成手法の高度化の検討

一般的に、レーダの観測精度は、遠方となるほど観測高度が高くなることや、スキャンボリュームが大きくなることで精度が低下する。

図 10.50 は、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示している。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 以遠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 以遠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、レーダ遠方のレーダ雨量が過小傾向であり、これが近傍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。

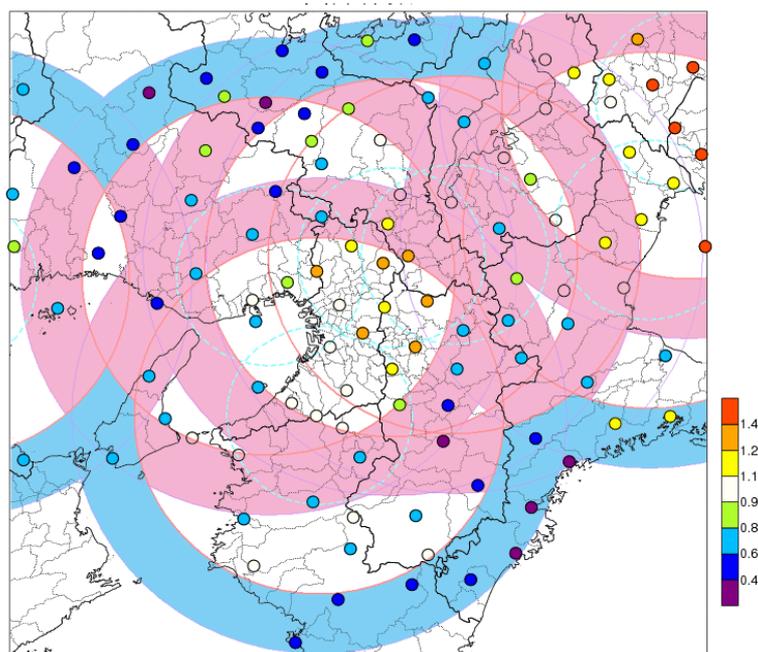


図 10.50 レーダ雨量と地上雨量の回帰係数の分布 (2011年の台風12号事例)

合成雨量の作成手法として、「クレスマン内挿手法」が用いられている（付録 B に詳述）。合成雨量は、内挿点（直交座標）と個々のメッシュ（極座標）の水平方向の距離と、鉛直方向の距離を重み係数とした重み付け平均により算出される。そのため、遠方となる程、観測高度が高くなるため、鉛直方向の内挿距離によりレーダからの距離による重みが間接的に考慮されていると言える。しかし、近畿地域のように山頂に設置されているレーダは、観測仰角が低いため、レーダ近傍と遠方のビーム高度差は小さく、重みの差は小さい。そこで、レーダ遠方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、レーダ遠方のレーダ雨量が合成される影響の軽減化を図る。

■ 重み項目の追加の検討

レーダ遠方のレーダ雨量が合成されることによる精度低下の改善を目的として、合成処理に新たな重み項目の追加を検討した。検討した重み項目は、レーダからの距離が近いほど観測精度が高いこと、Z-R 関係式に比べて Kdp-R 関係式の方が精度の高いことを考慮し、「レーダからの距離」と「雨量推定式の違い」の 2 種類としている。

表 10.10 は重み項目の組合せである。図 10.51 は、レーダからの距離に関する重み関数である。レーダからの距離に関する重み関数は、レーダから半径 30km 以内の観測精度は高く、60km 以遠では低下することから、レーダから 30km 以内の重みを 1 とし、30km から 60km にかけて重みを徐々に小さくし、60km 以遠の重みを 0.01 としている。これにより、当該レーダに対して 60km 以遠の合成メッシュにおいて、他レーダに対しては 60km 以内の合成メッシュである場合は、当該レーダのレーダ雨量は合成に用いられてないことにほぼ等しい。また、当該レーダのレーダ雨量のみの場合は、合成に用いられることとなる。図 10.52 はレーダからの距離に雨量推定式の違いを考慮した重み関数（青：Z-R 関係式、赤：Kdp-R 関係式）である。雨量推定式の違いによる重み関数は、Z-R 関係式と Kdp-R 関係式の重みの差が大きくなると、図 10.53～図 10.55 に示すように強雨域が不自然に広がったことから、重みの差を 2 倍以内に抑えるようにしている。

表 10.10 検討手法と重みの種類

重み項目の 組み合わせ	重み			
	水平方向の距離	鉛直方向の距離	レーダからの距離	雨量推定手法
現状	○	○	×	×
M10	○	○	○	×
M20	○	○	○	○

※本章における現状とは、2010年の運用を示す。

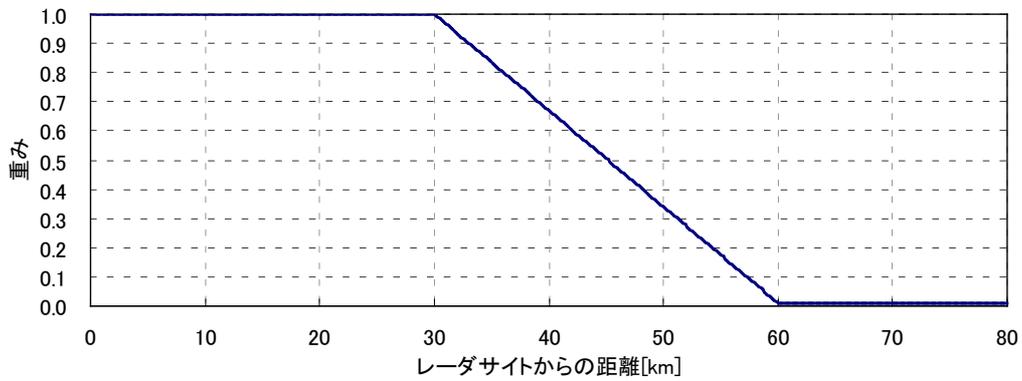


図 10.51 レーダからの距離に関する重み関数

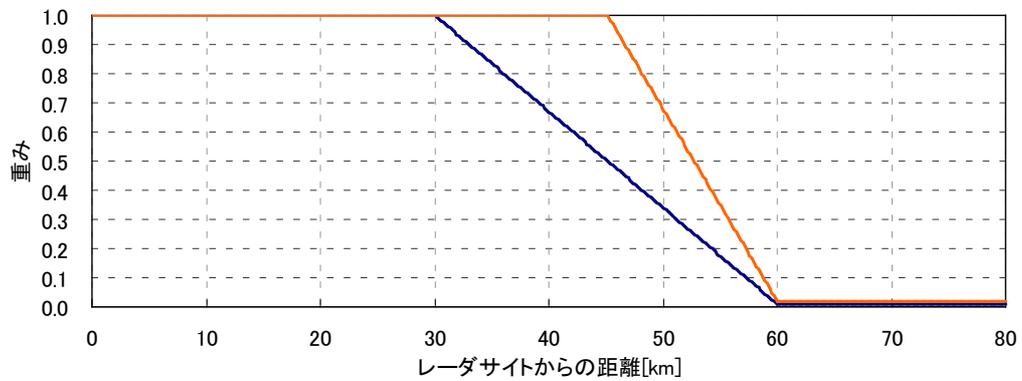


図 10.52 レーダサイトからの距離に雨量推定式の違いを考慮した重み関数

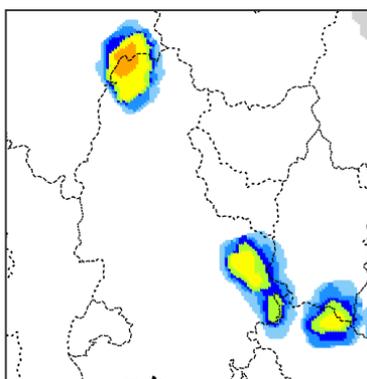


図 10.53 雨量推定式の違いによる重みに差がない場合の雨量分布

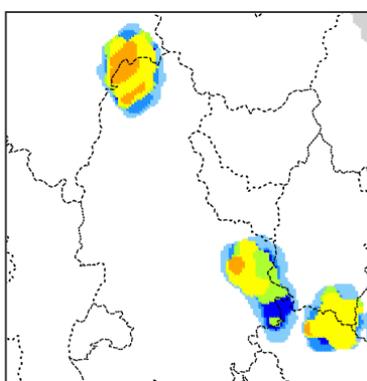


図 10.54 雨量推定式の違いによる重みが2倍以上の場合の雨量分布

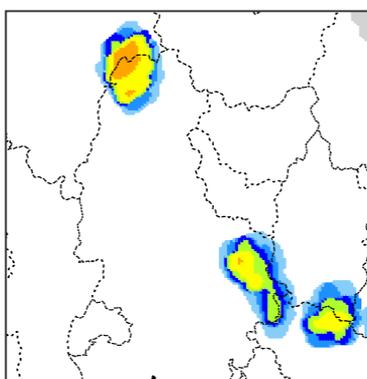


図 10.55 雨量推定式の違いによる重みが2倍以下の場合の雨量分布

■ 合成雨量作成手法の高度化の評価

重み項目を追加した合成処理（M10、M20）と現状の合成処理の精度比較を行った。図 10.56～図 10.57 は、降雨分布の比較である。また、図 10.58～図 10.101 は領域区分毎の地上雨量との比較である。

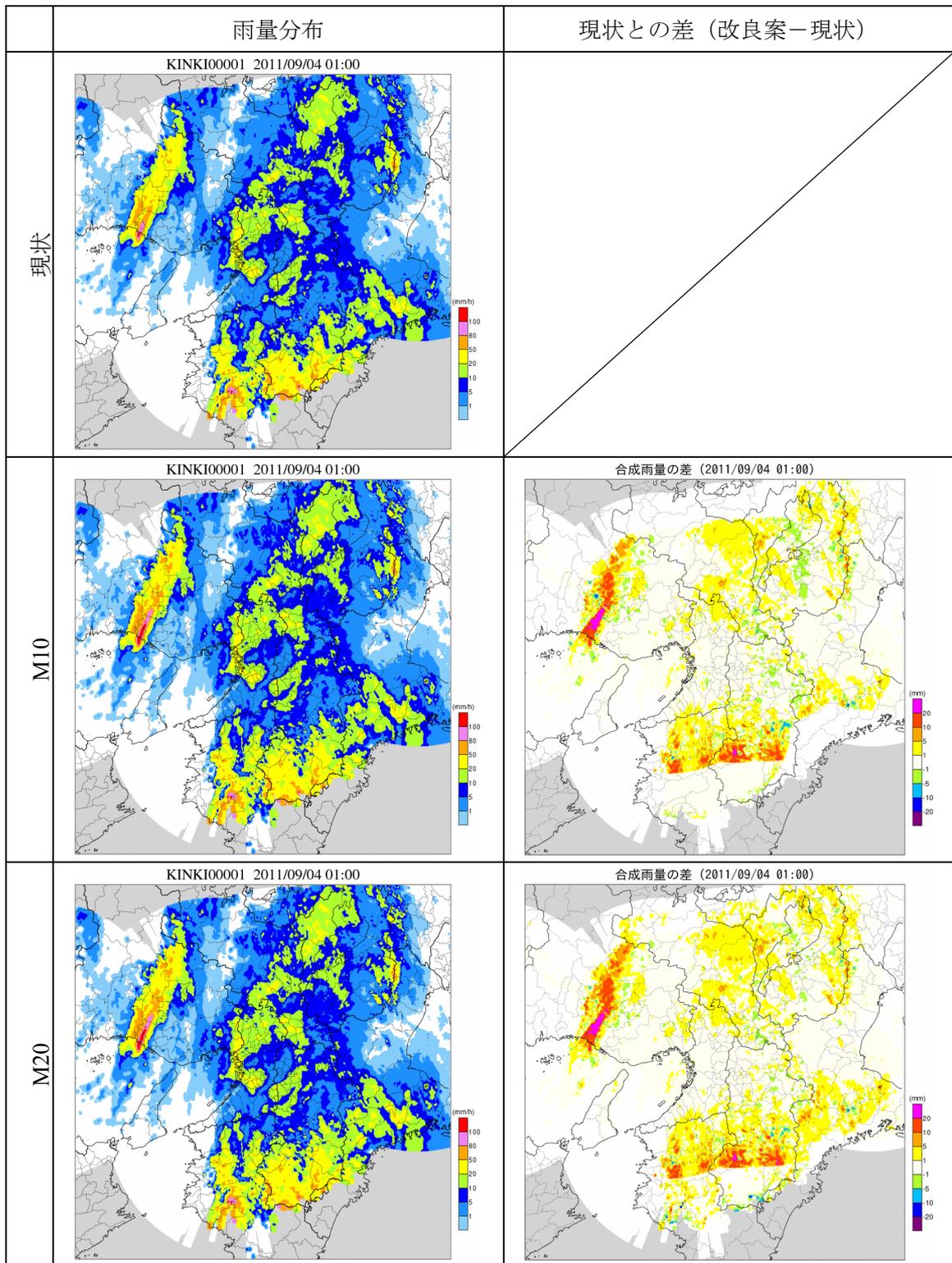


図 10.56 雨量分布の比較 (近畿)

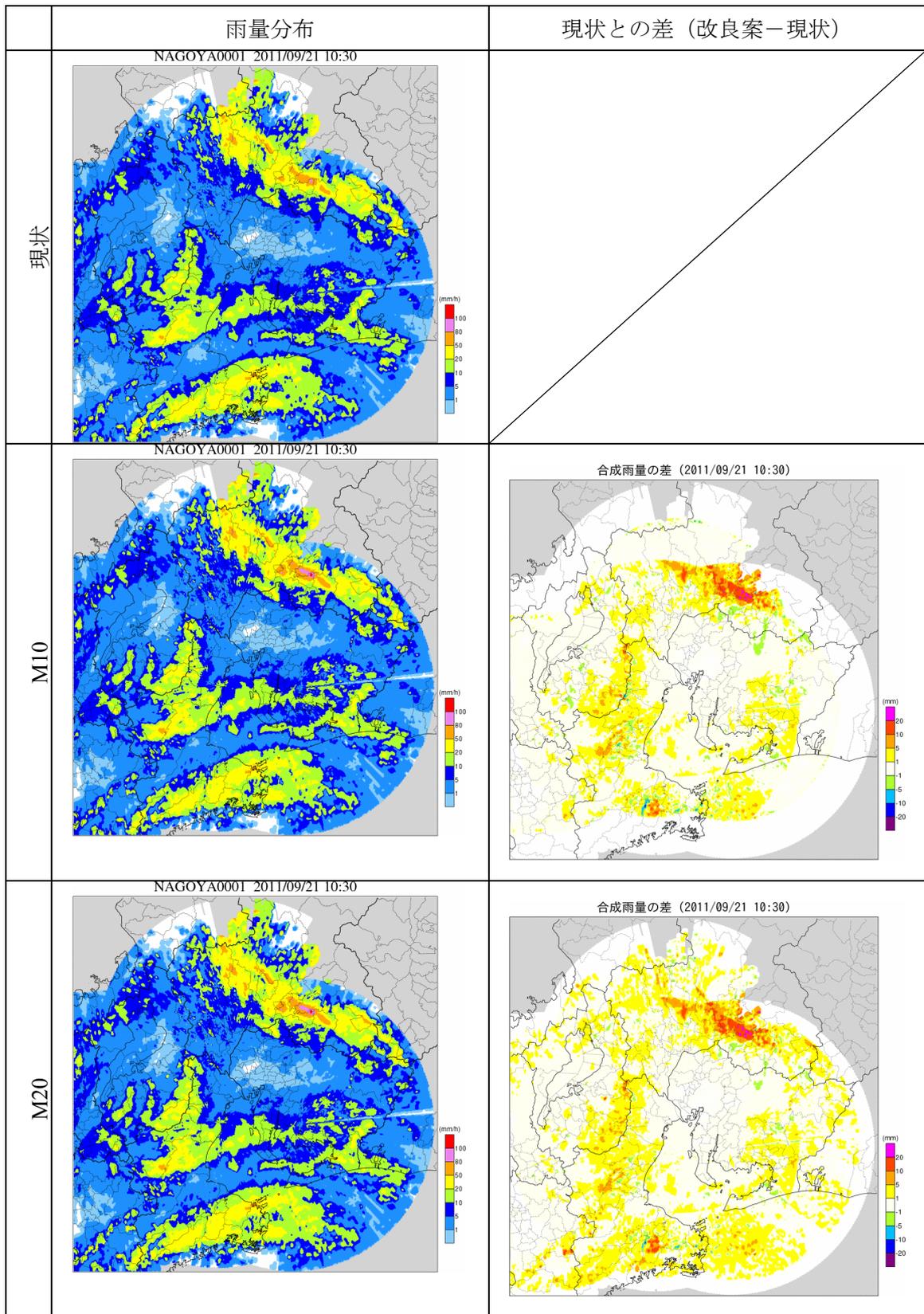


図 10.57 雨量分布の比較 (中部)

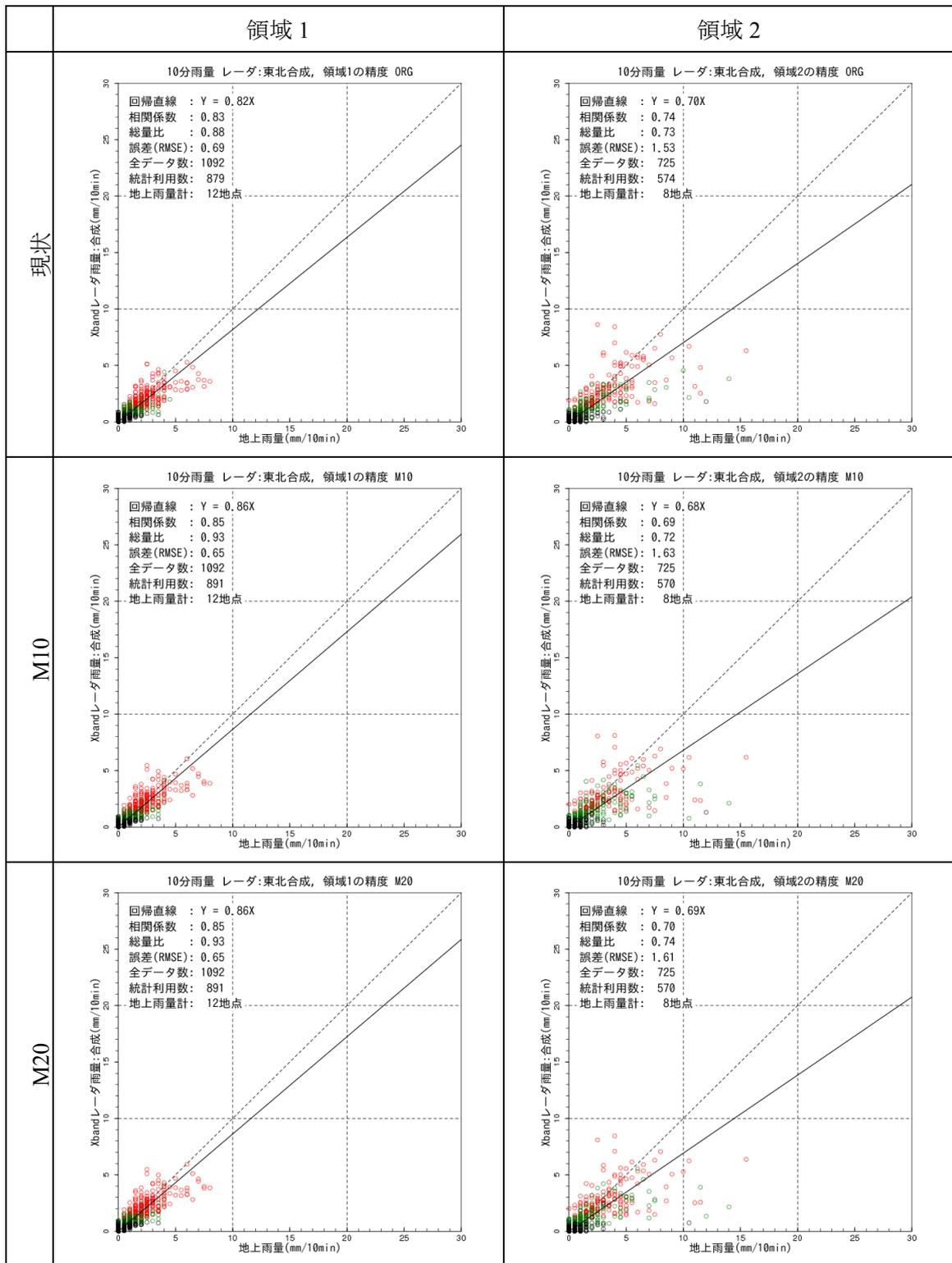


図 10.58 現状と改良案の比較 (栗駒山周辺、10分雨量、領域 1-2)

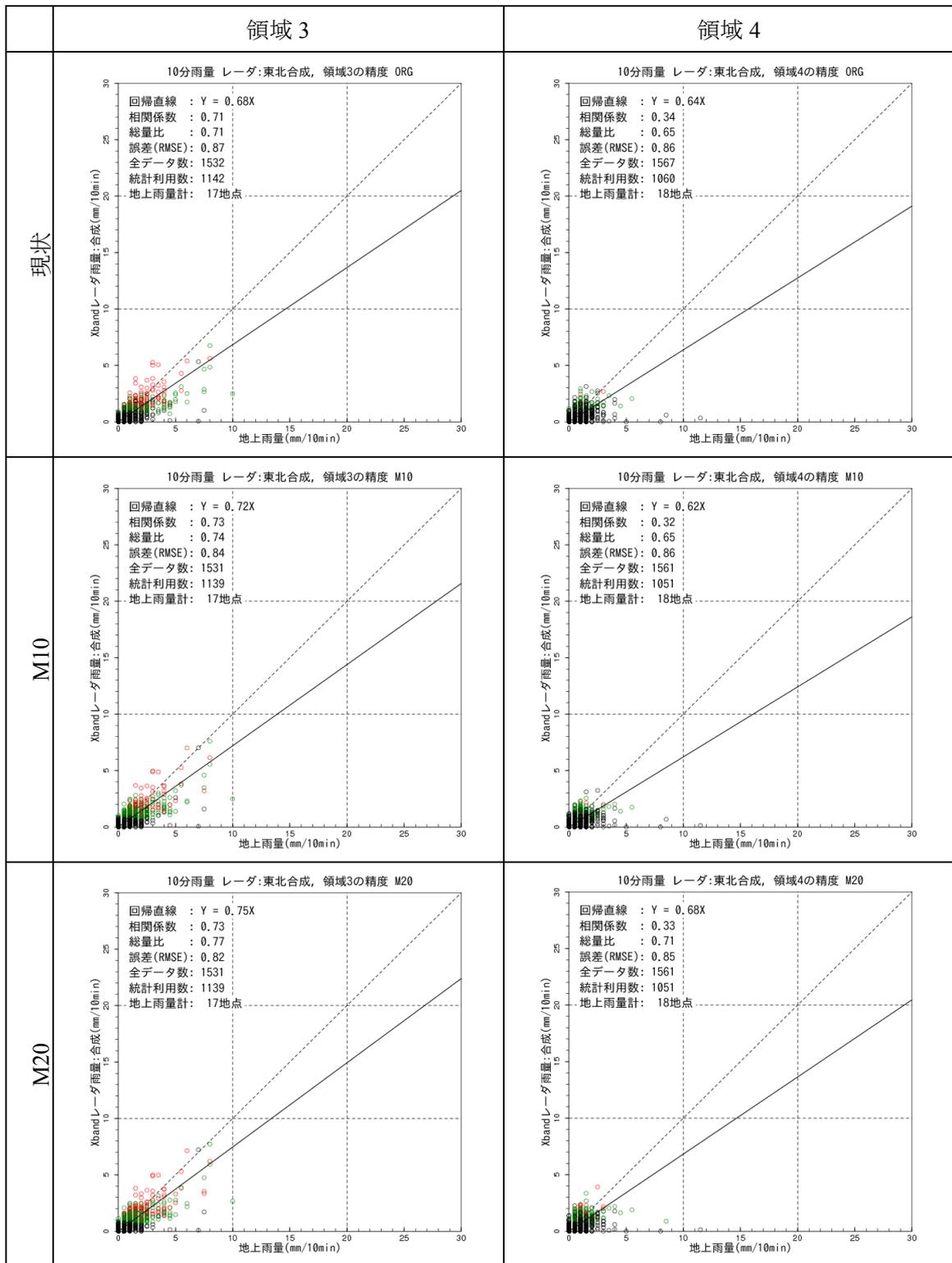


図 10.59 現状と改良案の比較 (栗駒山周辺、10分雨量、領域3-4)

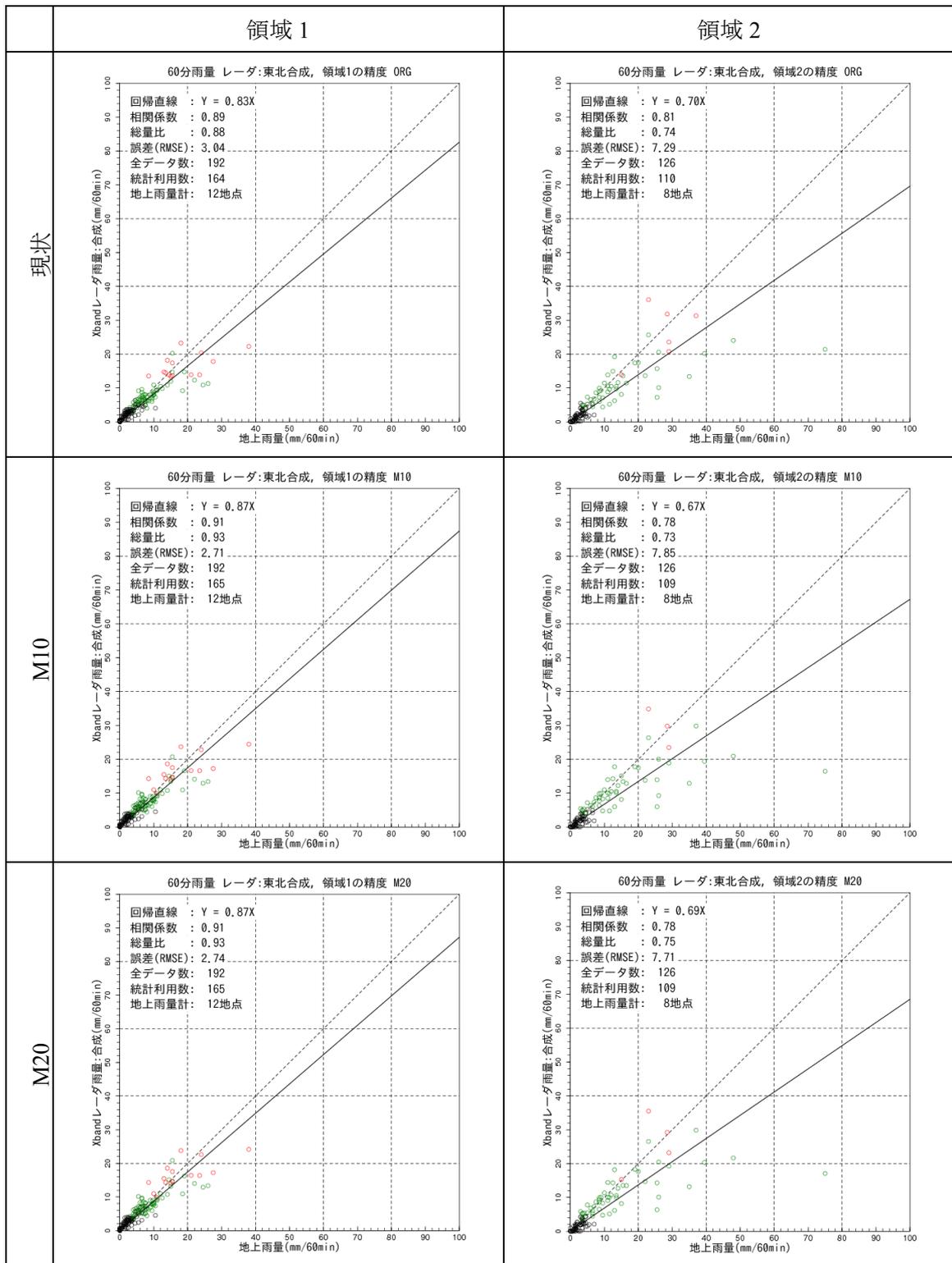


図 10.60 現状と改良案の比較 (栗駒山周辺、60分雨量、領域 1-2)

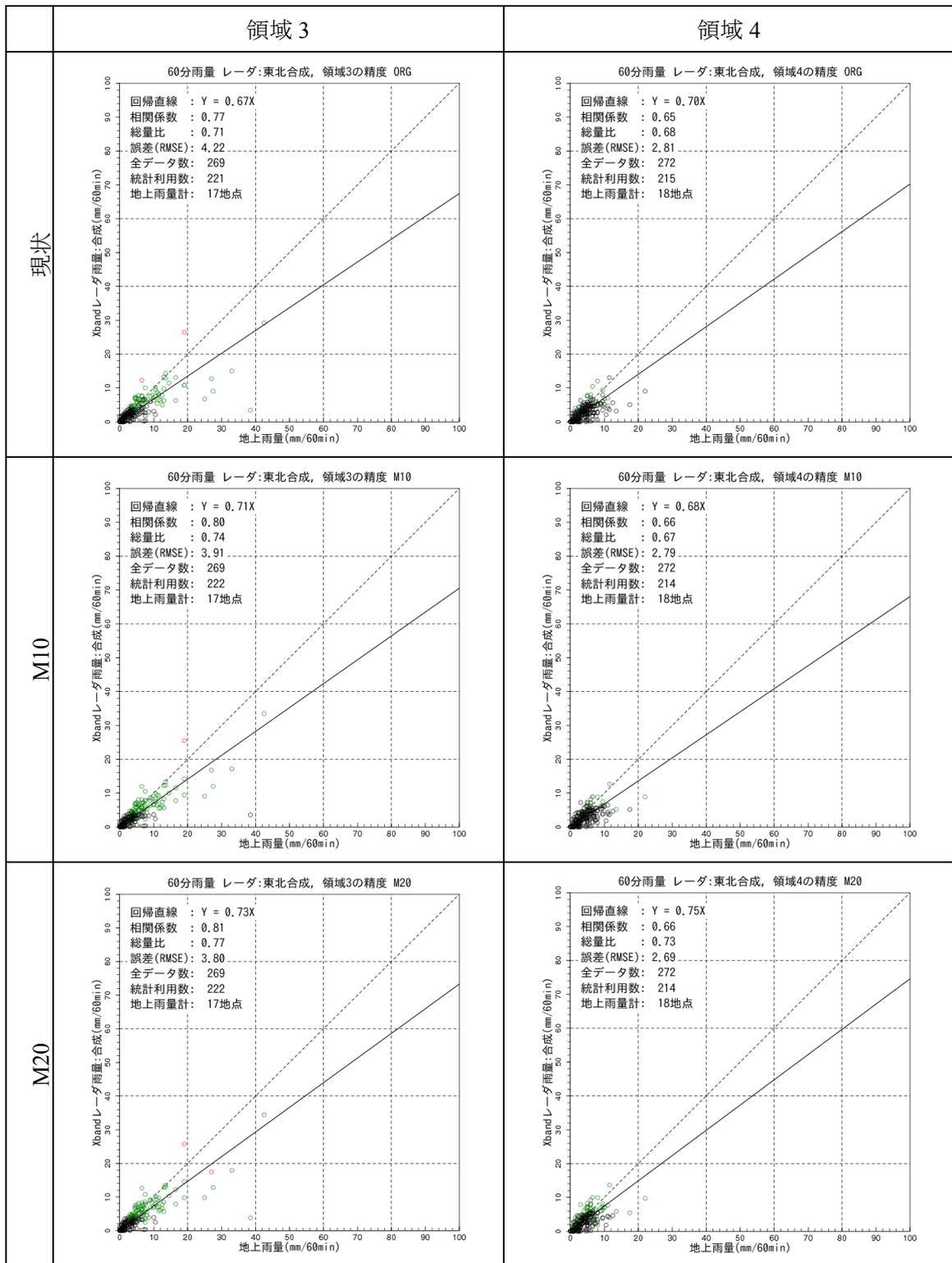


図 10.61 現状と改良案の比較 (栗駒山周辺、60分雨量、領域3-4)

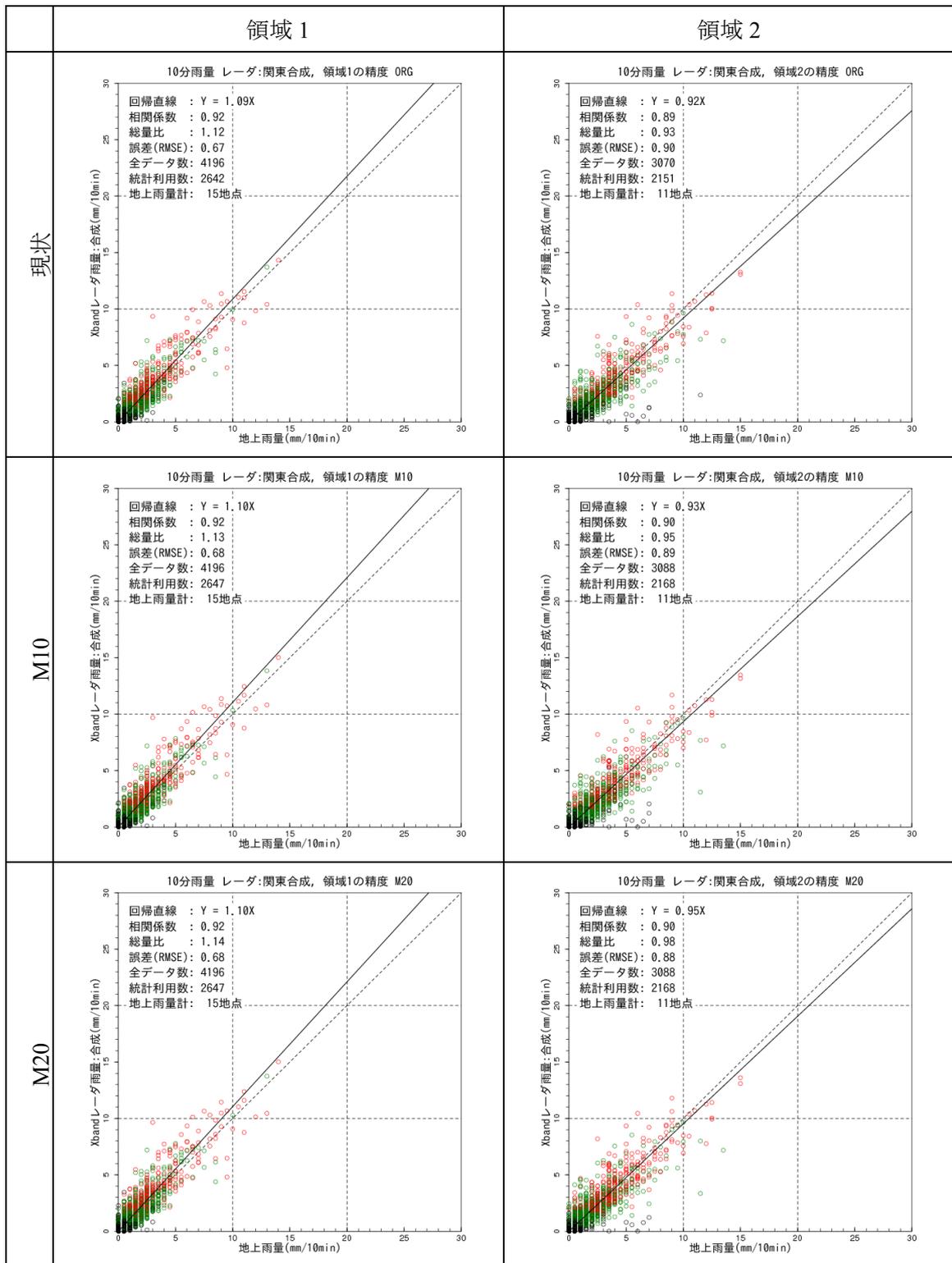


図 10.62 現状と改良案の比較 (関東、10分雨量、領域1-2)

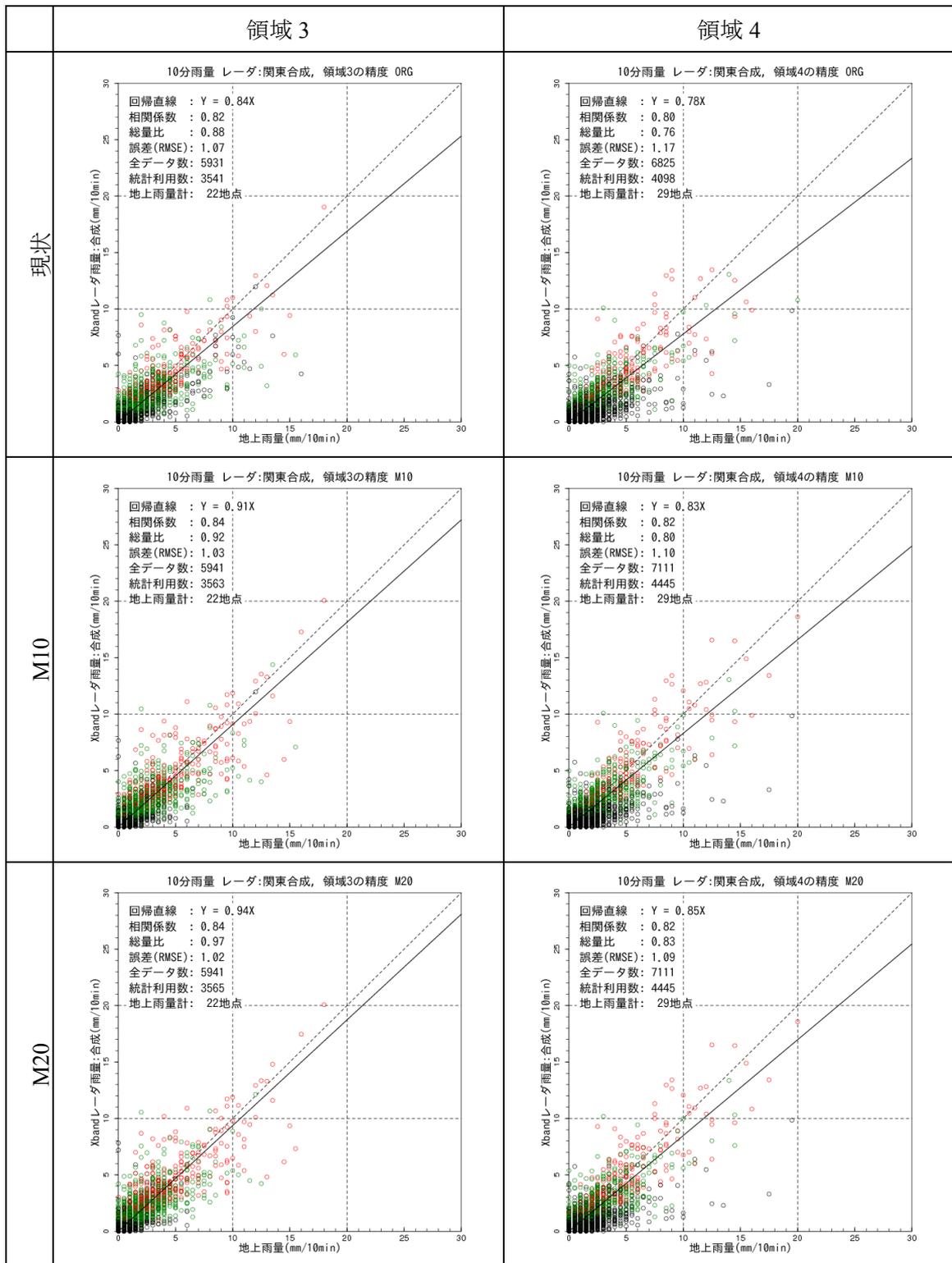


図 10.63 現状と改良案の比較 (関東、10分雨量、領域3-4)

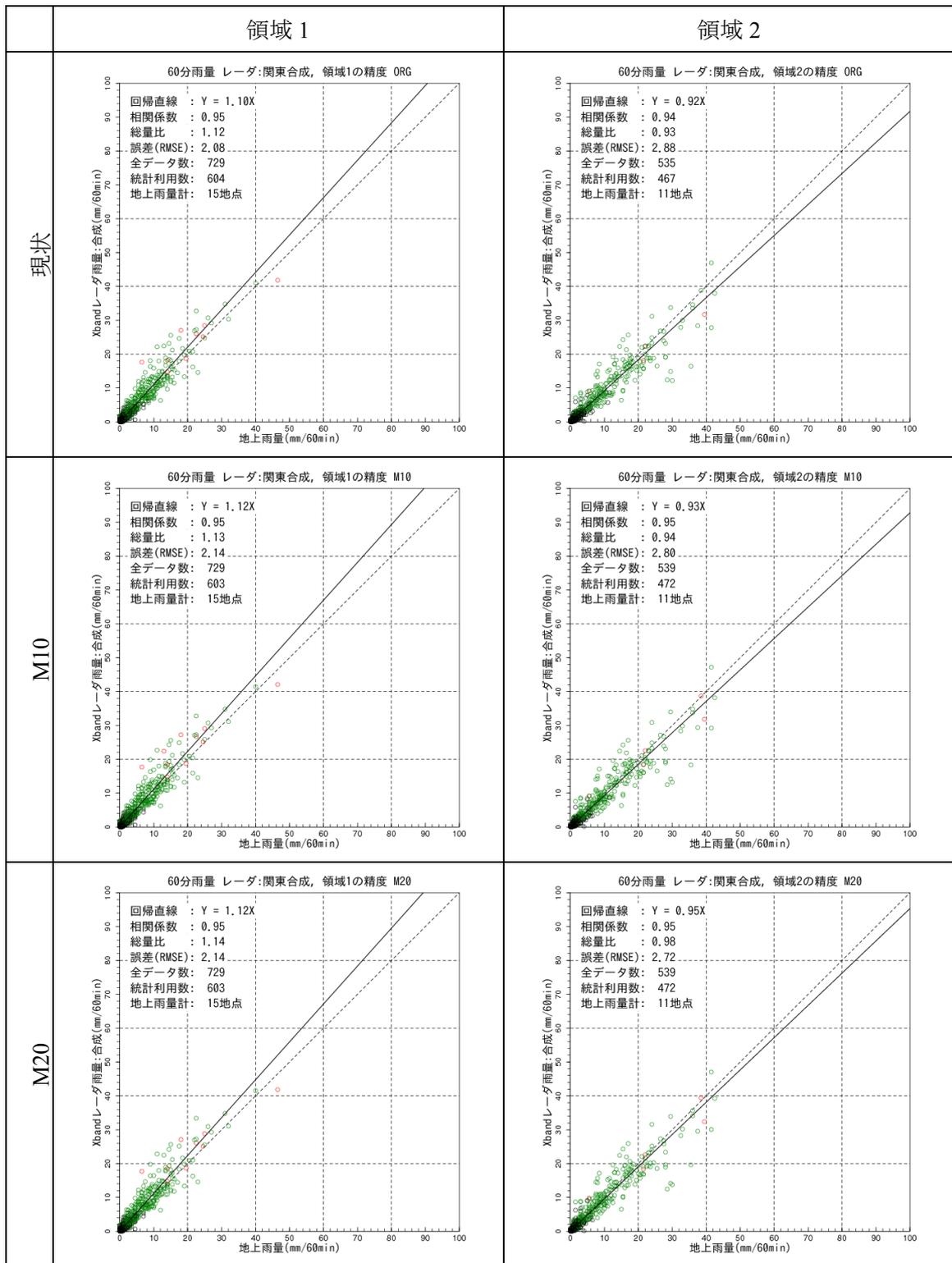


図 10.64 現状と改良案の比較 (関東、60分雨量、領域1-2)

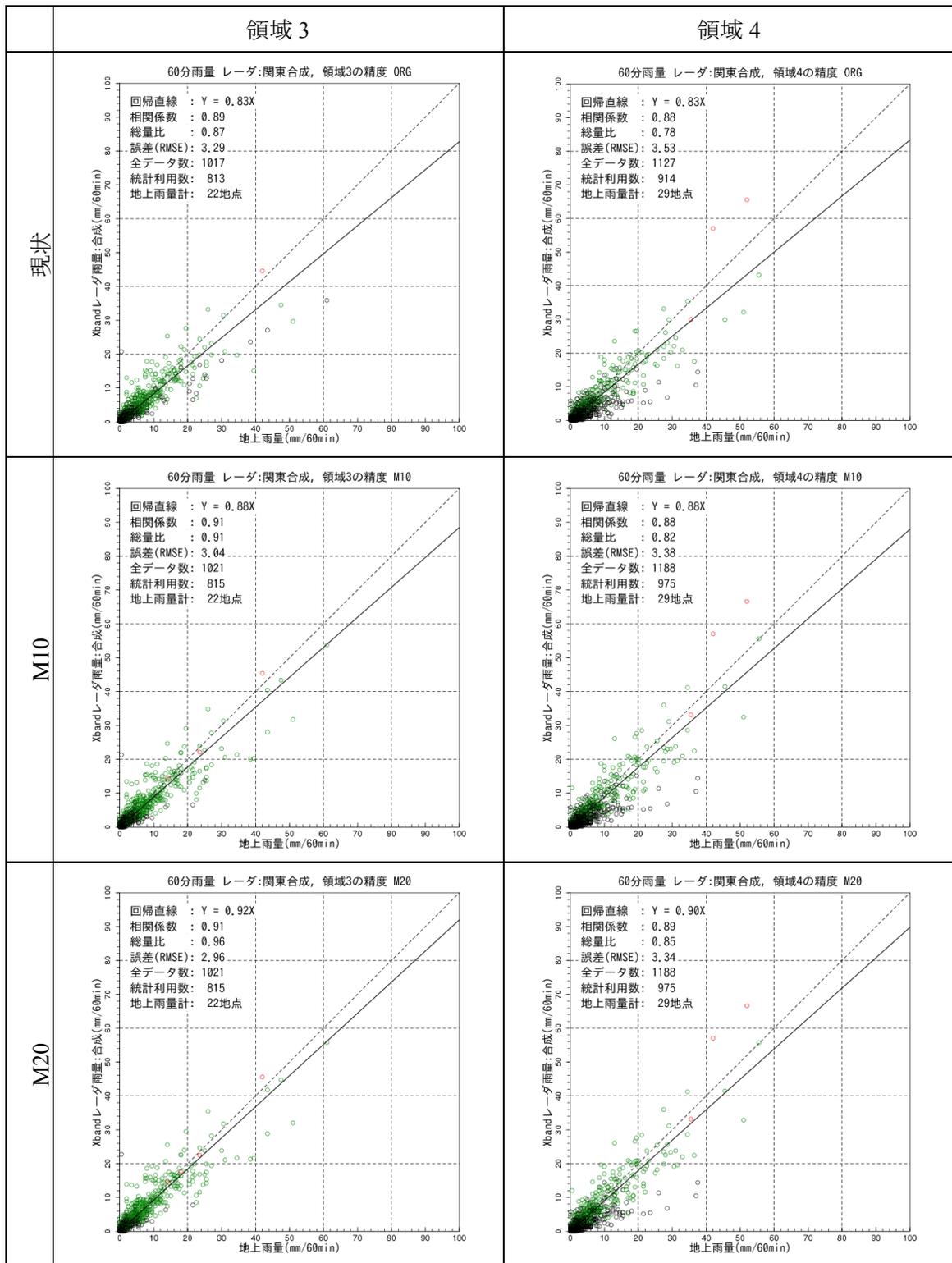


図 10.65 現状と改良案の比較 (関東、60分雨量、領域3-4)

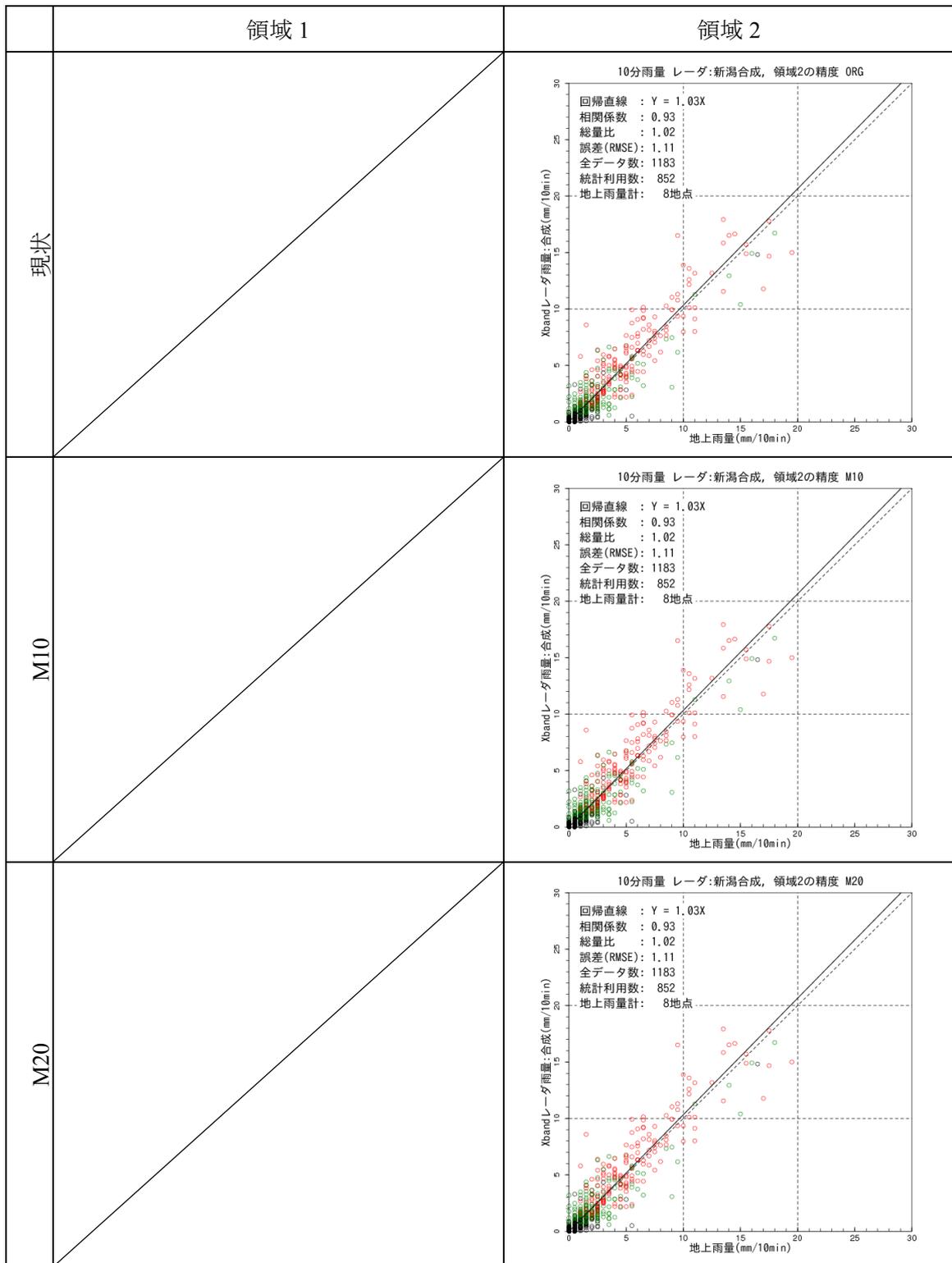


図 10.66 現状と改良案の比較 (新潟、10分雨量、領域1-2)

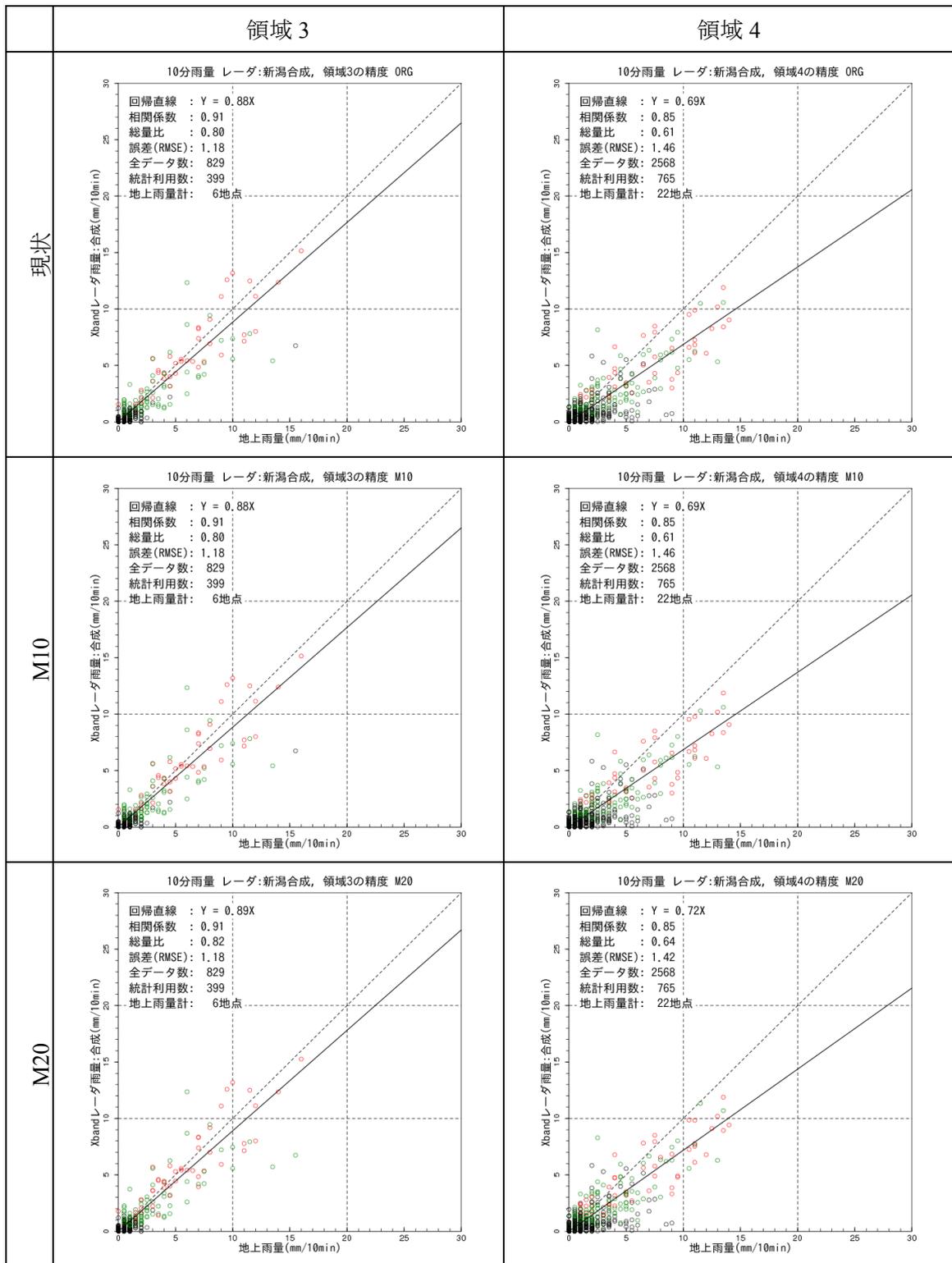


図 10.67 現状と改良案の比較 (新潟、10分雨量、領域3-4)

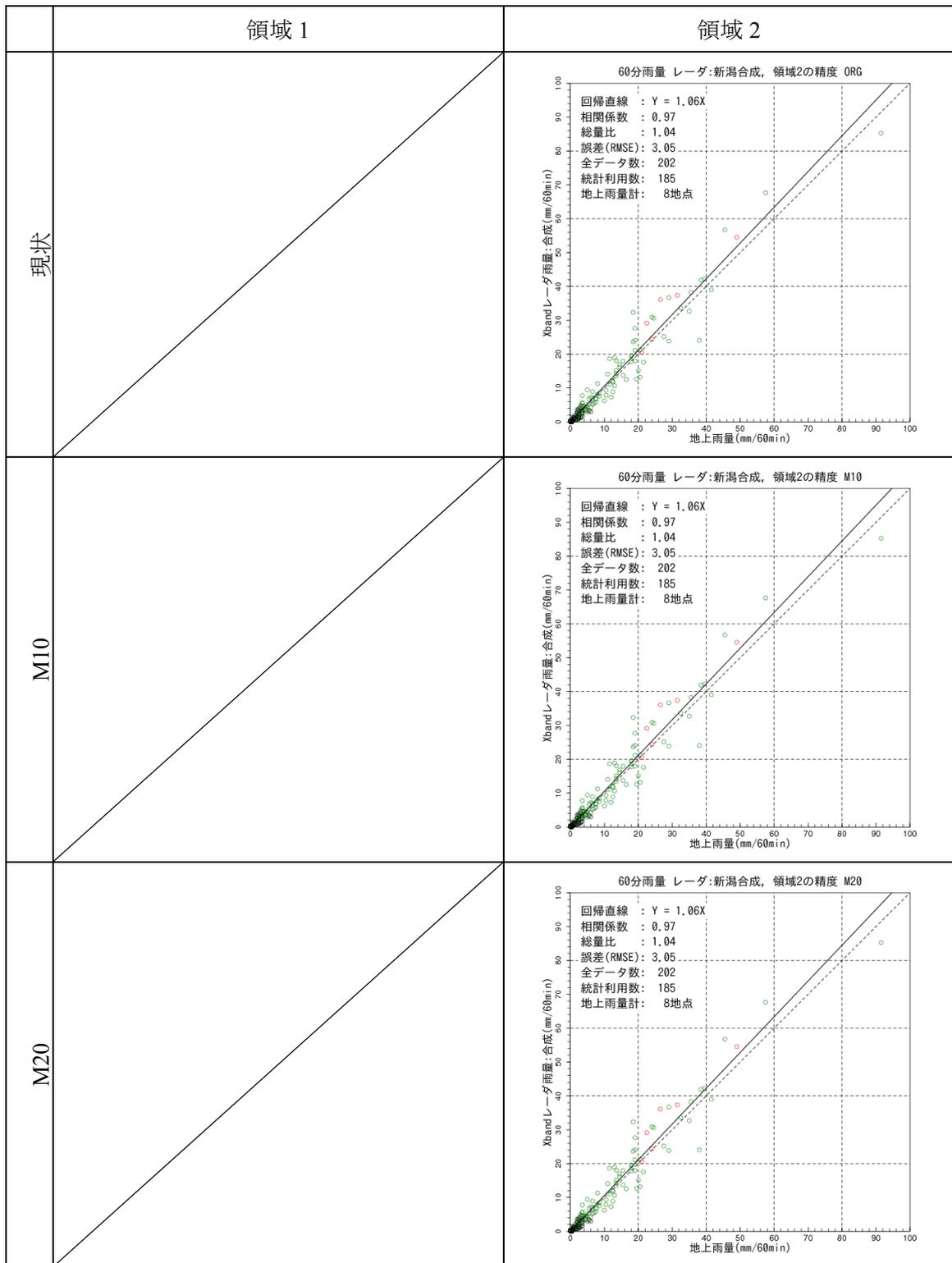


図 10.68 現状と改良案の比較 (新潟、60分雨量、領域1-2)

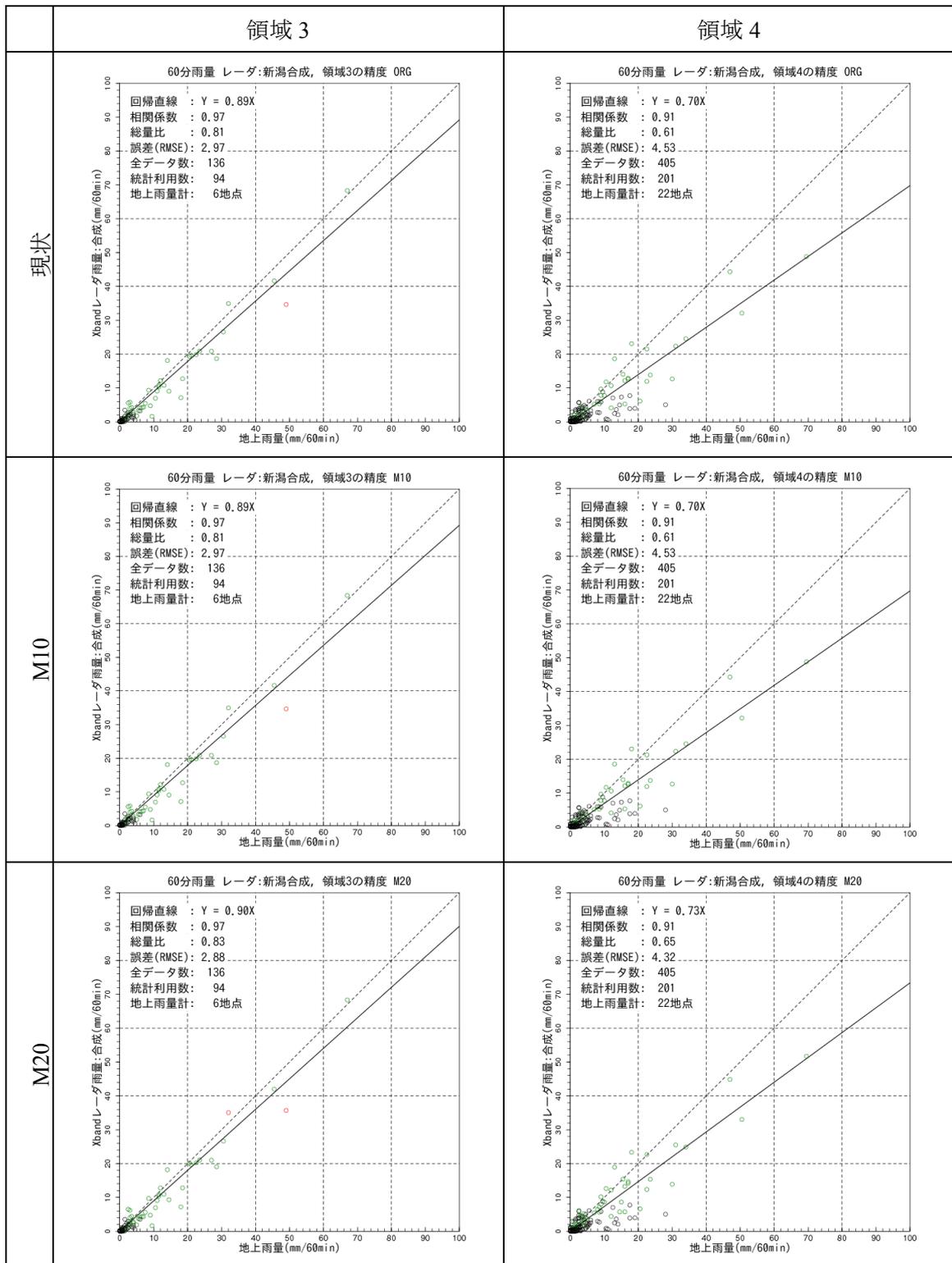


図 10.69 現状と改良案の比較 (新潟、60分雨量、領域3-4)

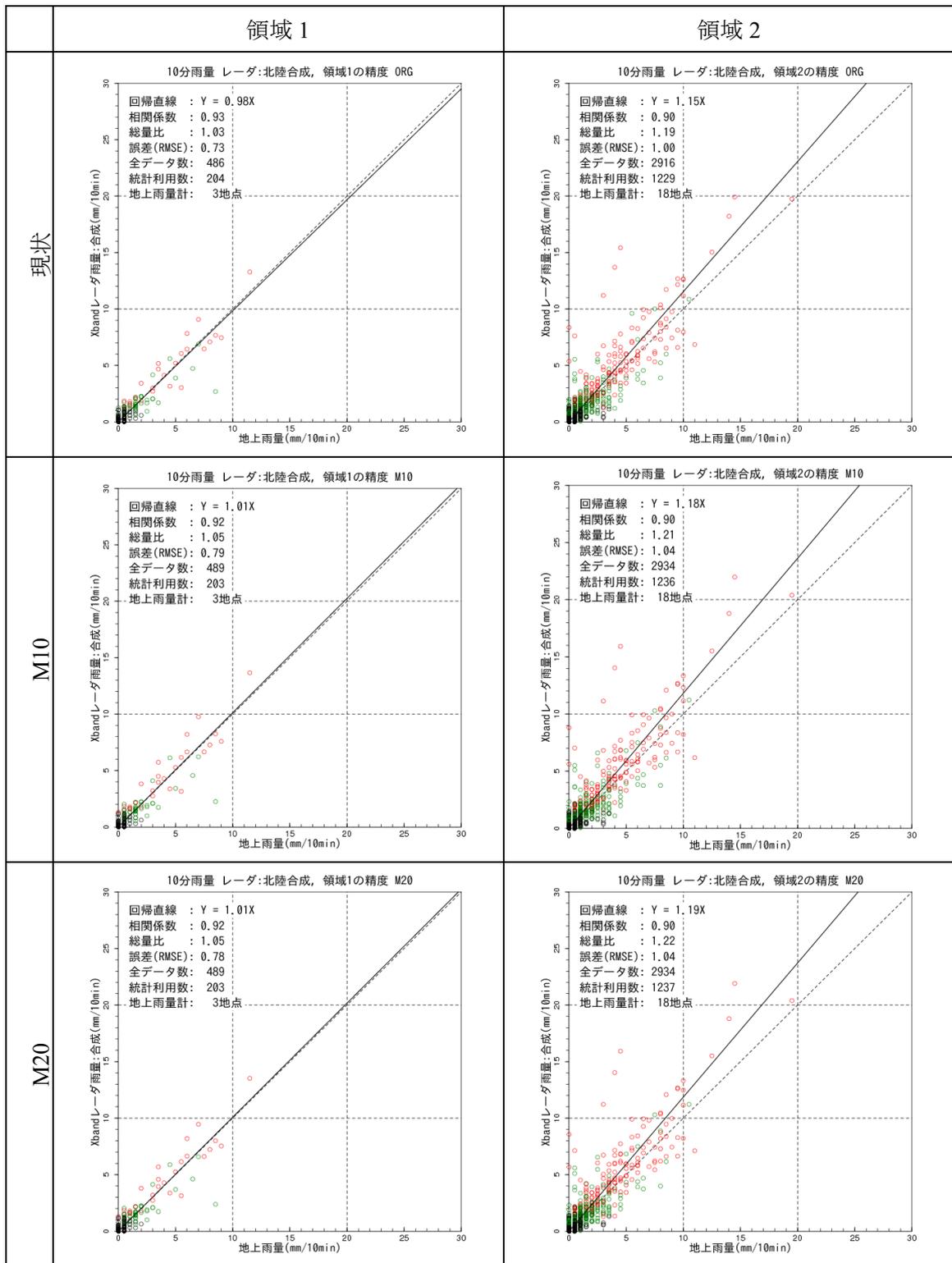


図 10.70 現状と改良案の比較 (富山・石川、10分雨量、領域 1-2)

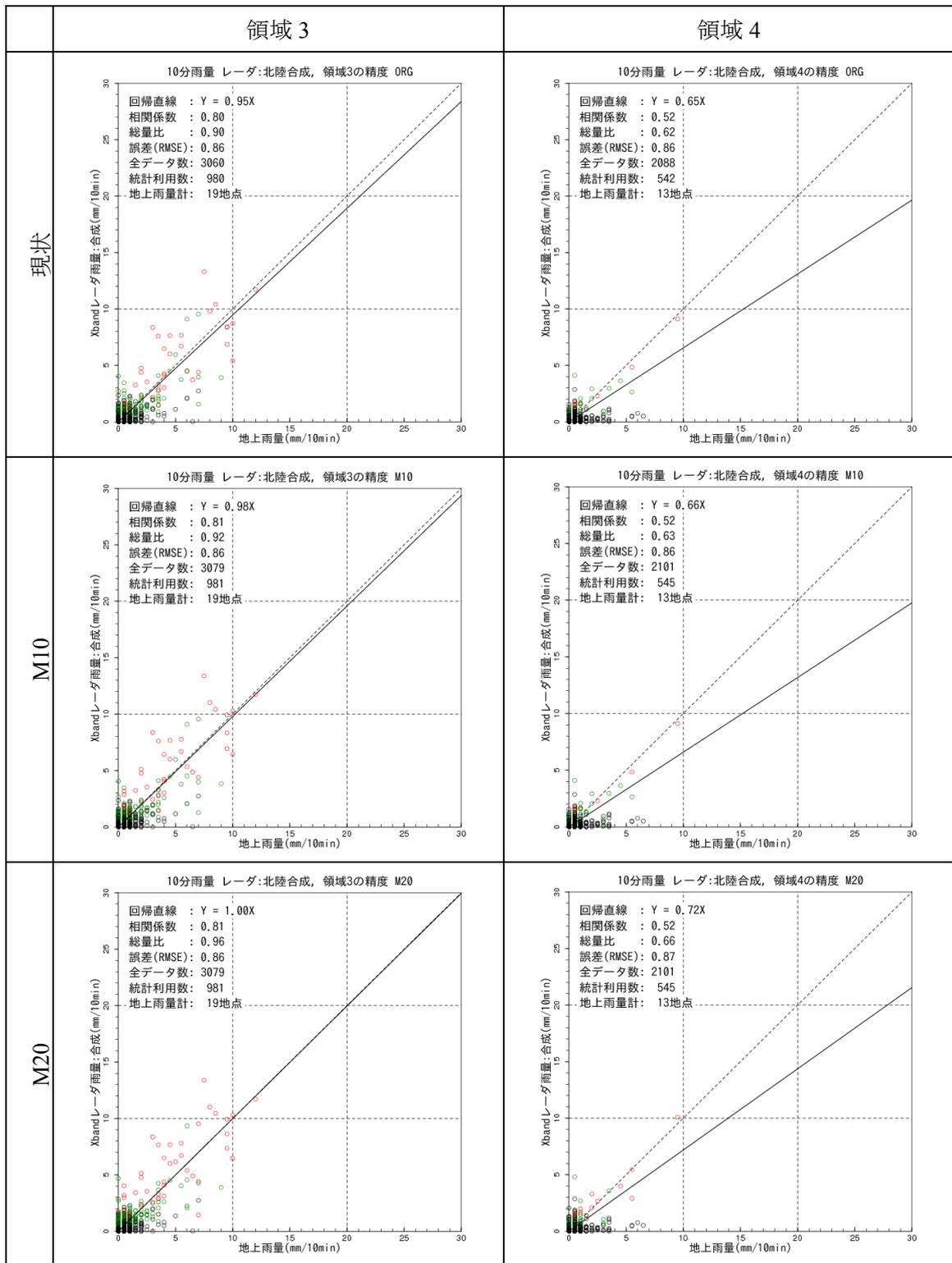


図 10.71 現状と改良案の比較 (富山・石川、10分雨量、領域3-4)

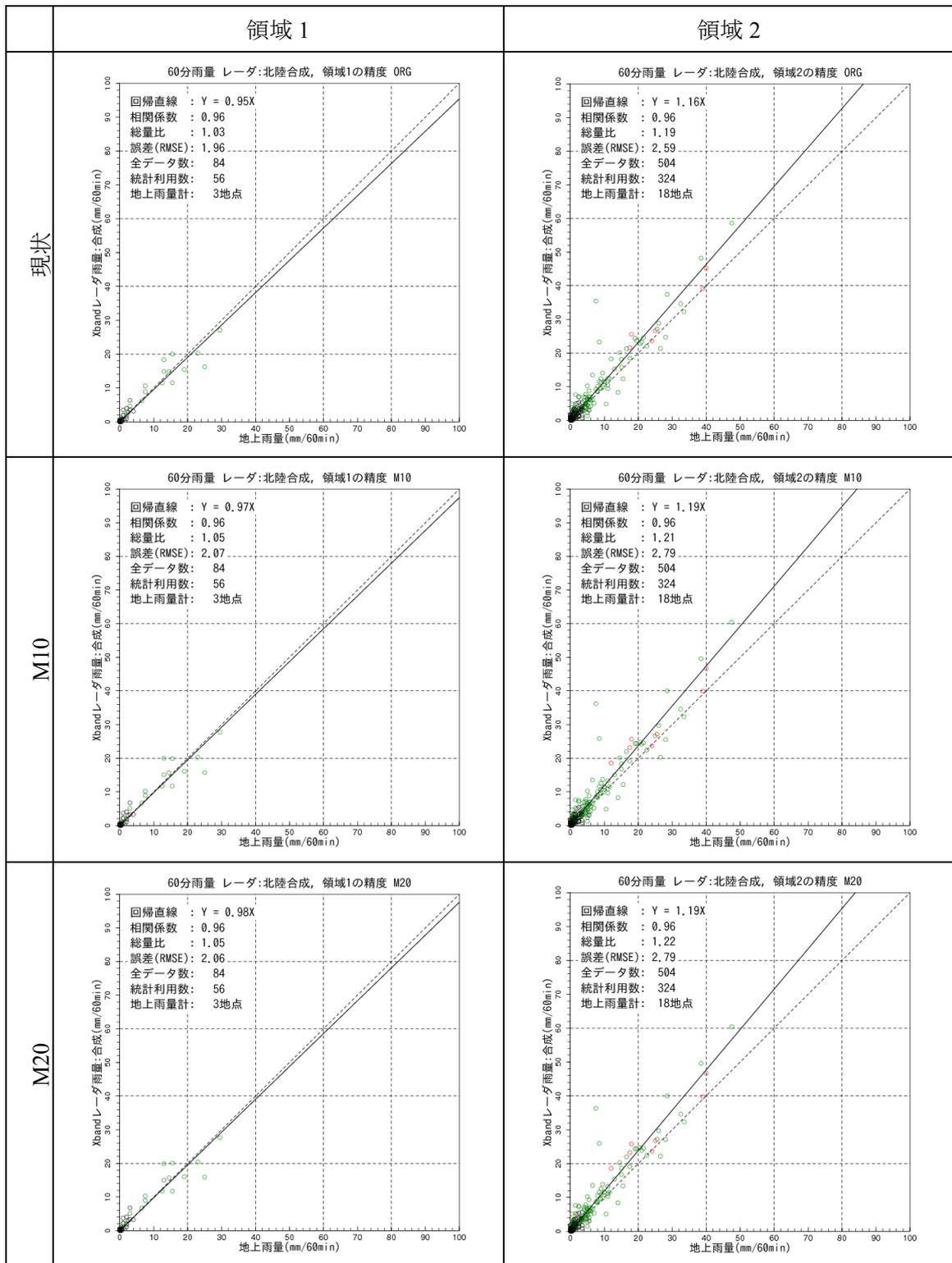


図 10.72 現状と改良案の比較 (富山・石川、60分雨量、領域 1-2)

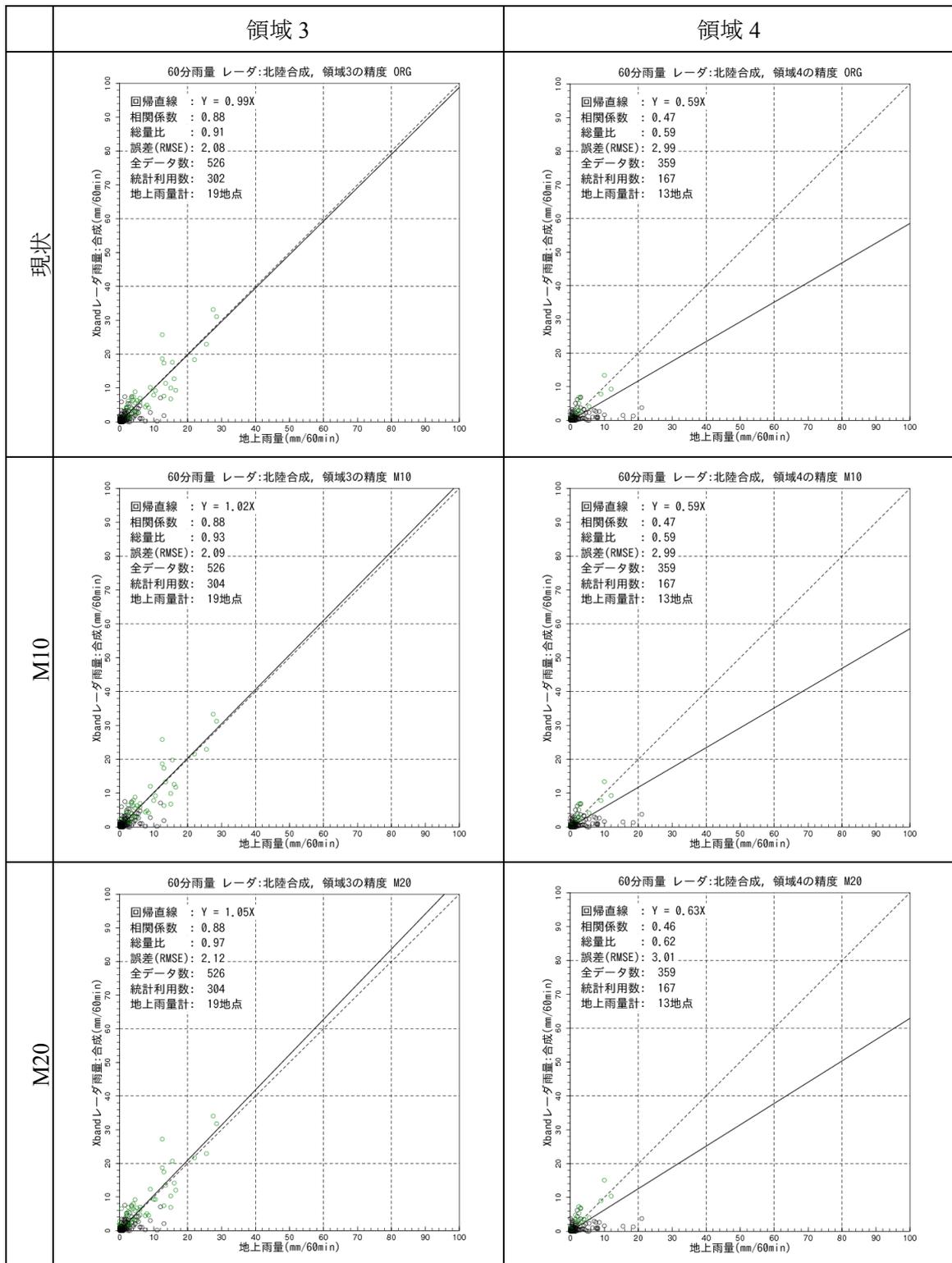


図 10.73 現状と改良案の比較 (富山・石川、60分雨量、領域3-4)

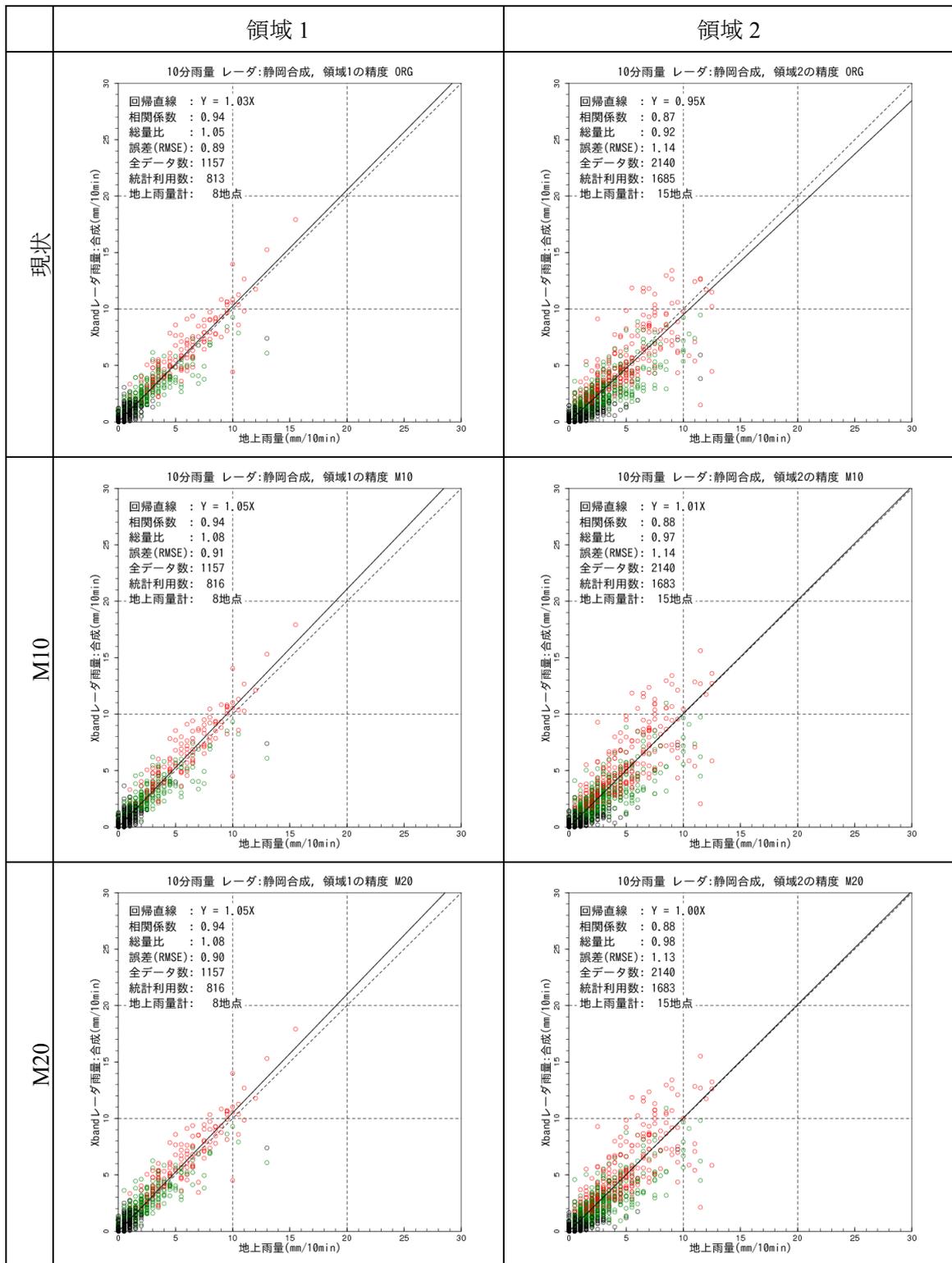


図 10.74 現状と改良案の比較 (静岡、10分雨量、領域1-2)

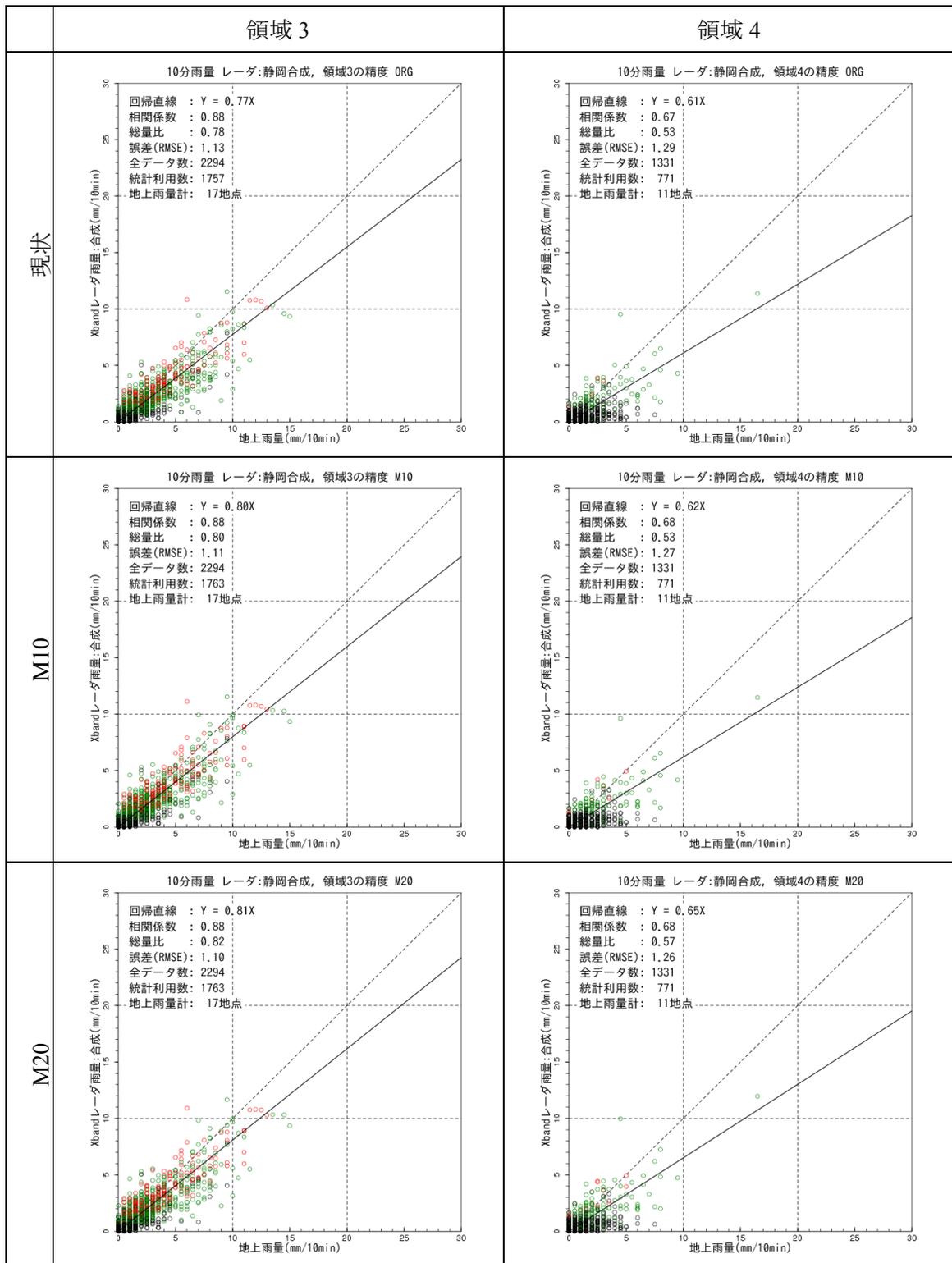


図 10.75 現状と改良案の比較 (静岡、10分雨量、領域3-4)

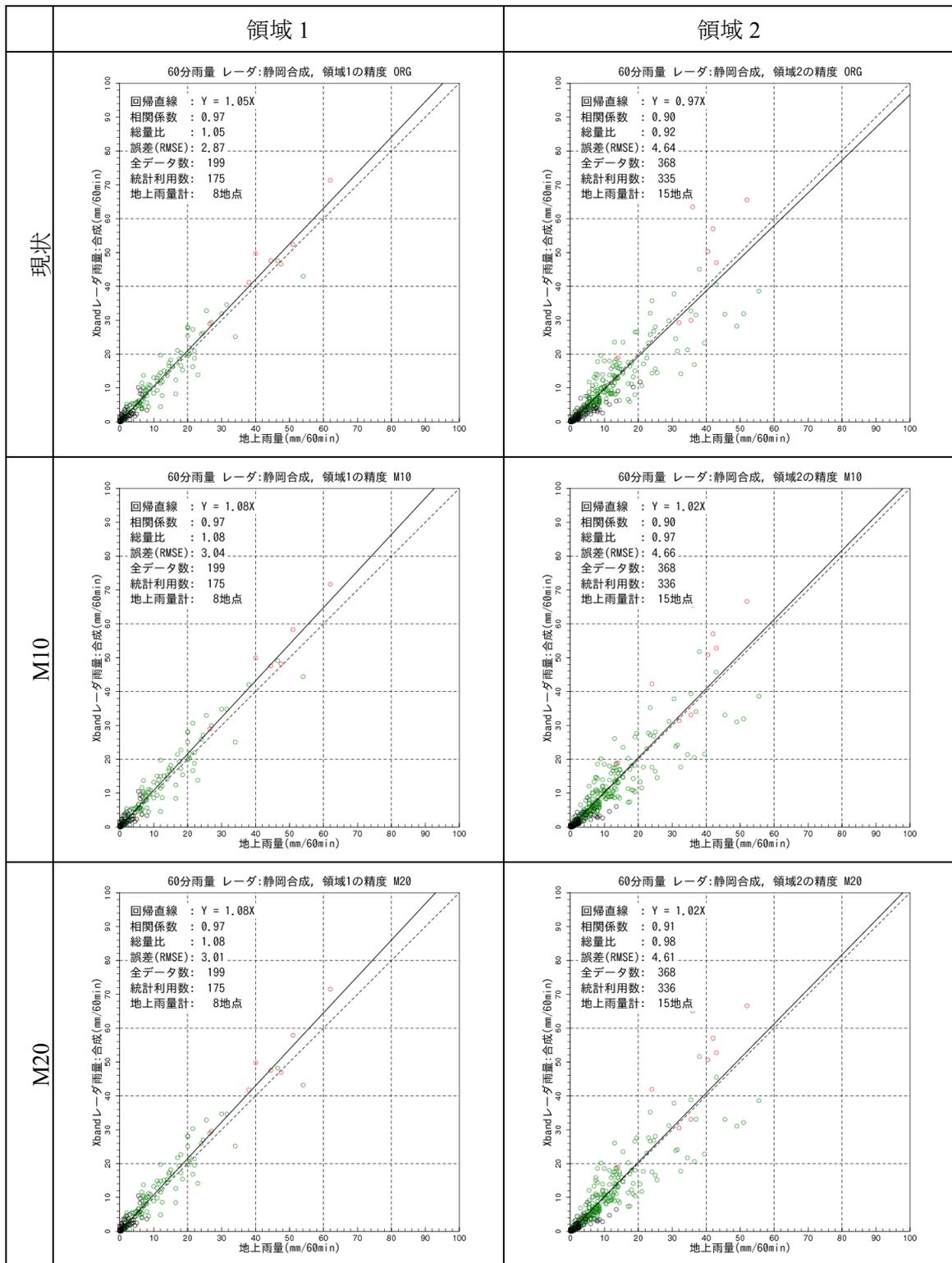


図 10.76 現状と改良案の比較 (静岡、60分雨量、領域1-2)

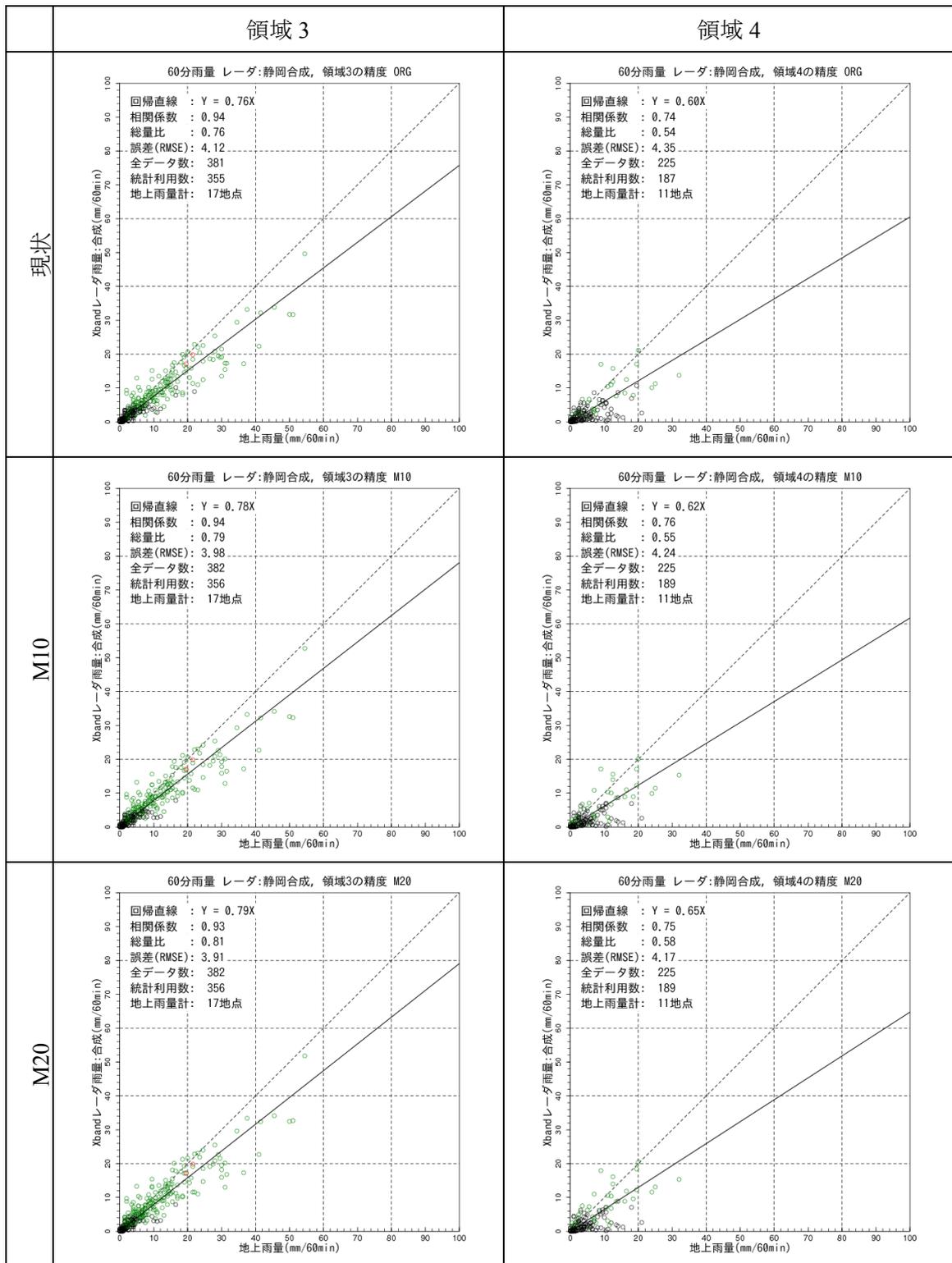


図 10.77 現状と改良案の比較 (静岡、60分雨量、領域3-4)

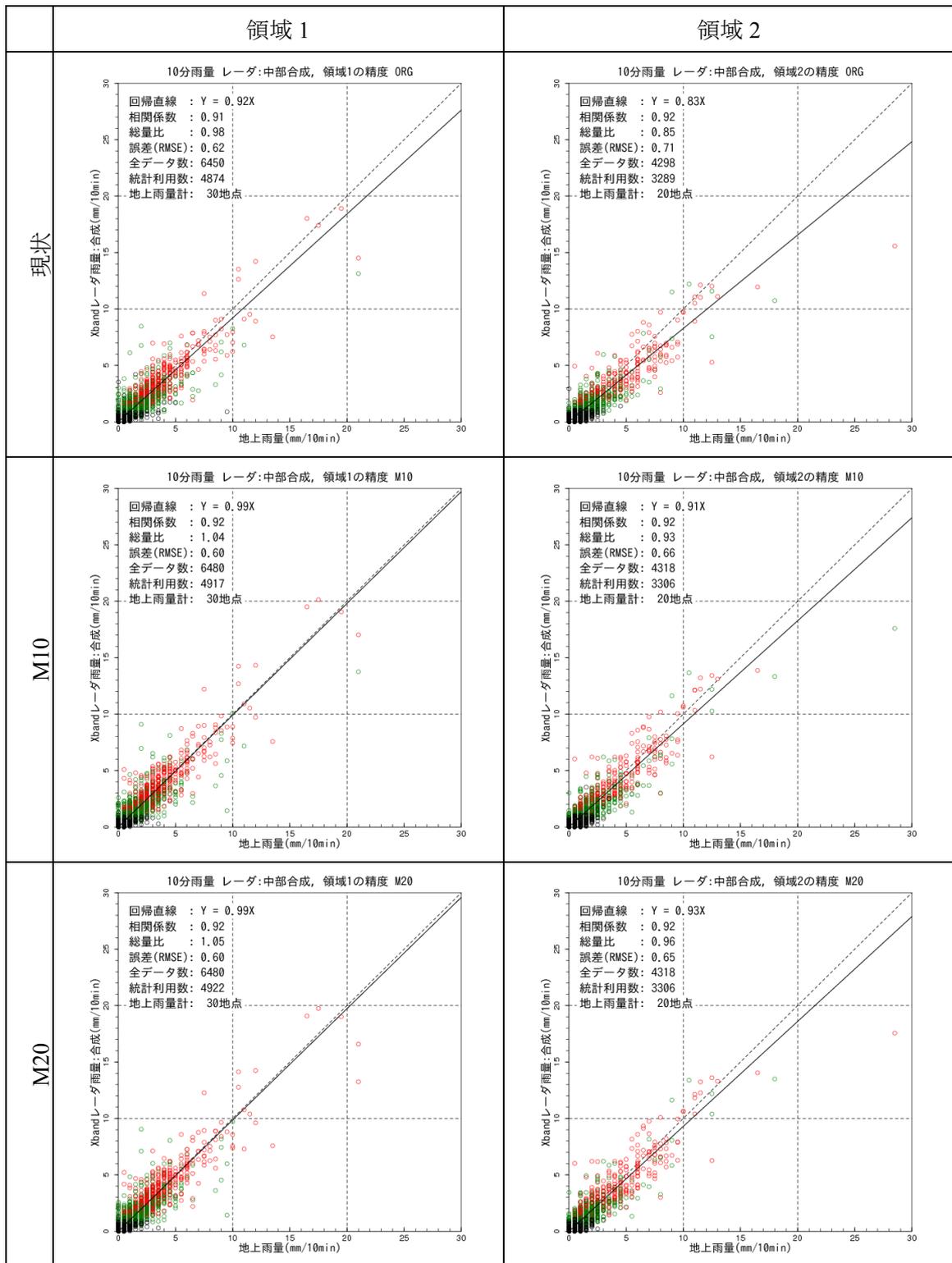


図 10.78 現状と改良案の比較 (中部、10分雨量、領域1-2)

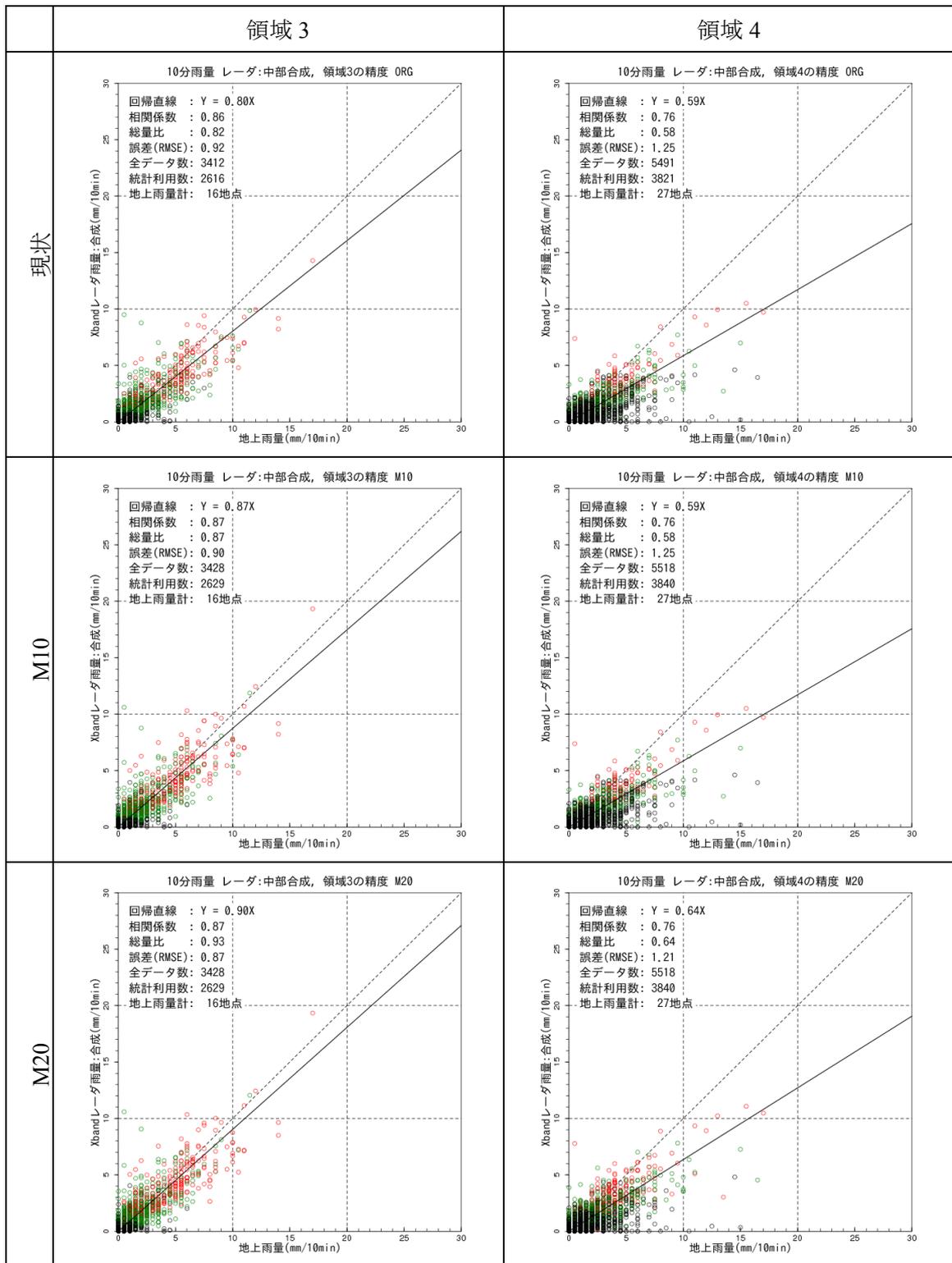


図 10.79 現状と改良案の比較 (中部、10分雨量、領域3-4)

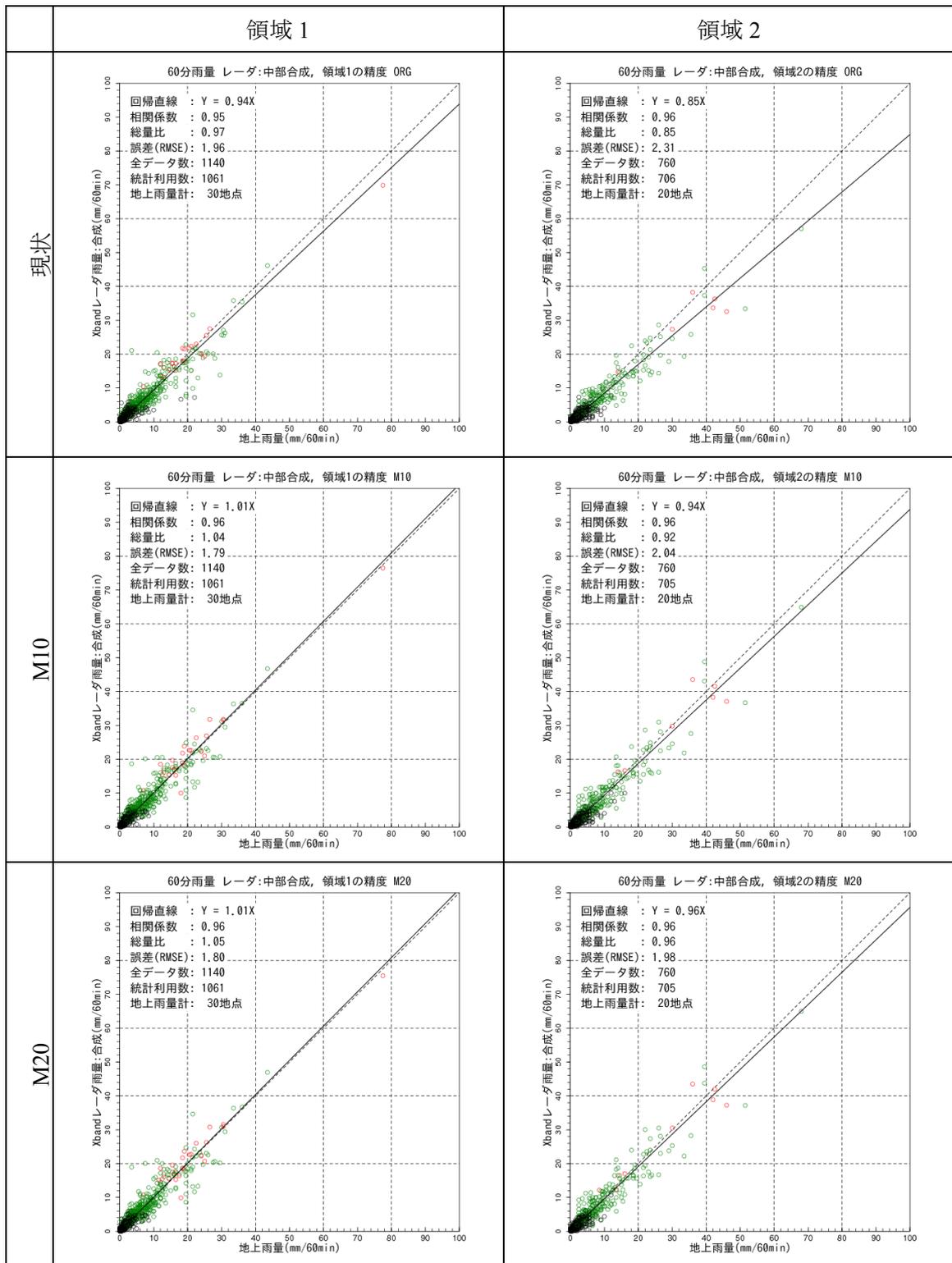


図 10.80 現状と改良案の比較 (中部、60分雨量、領域1-2)

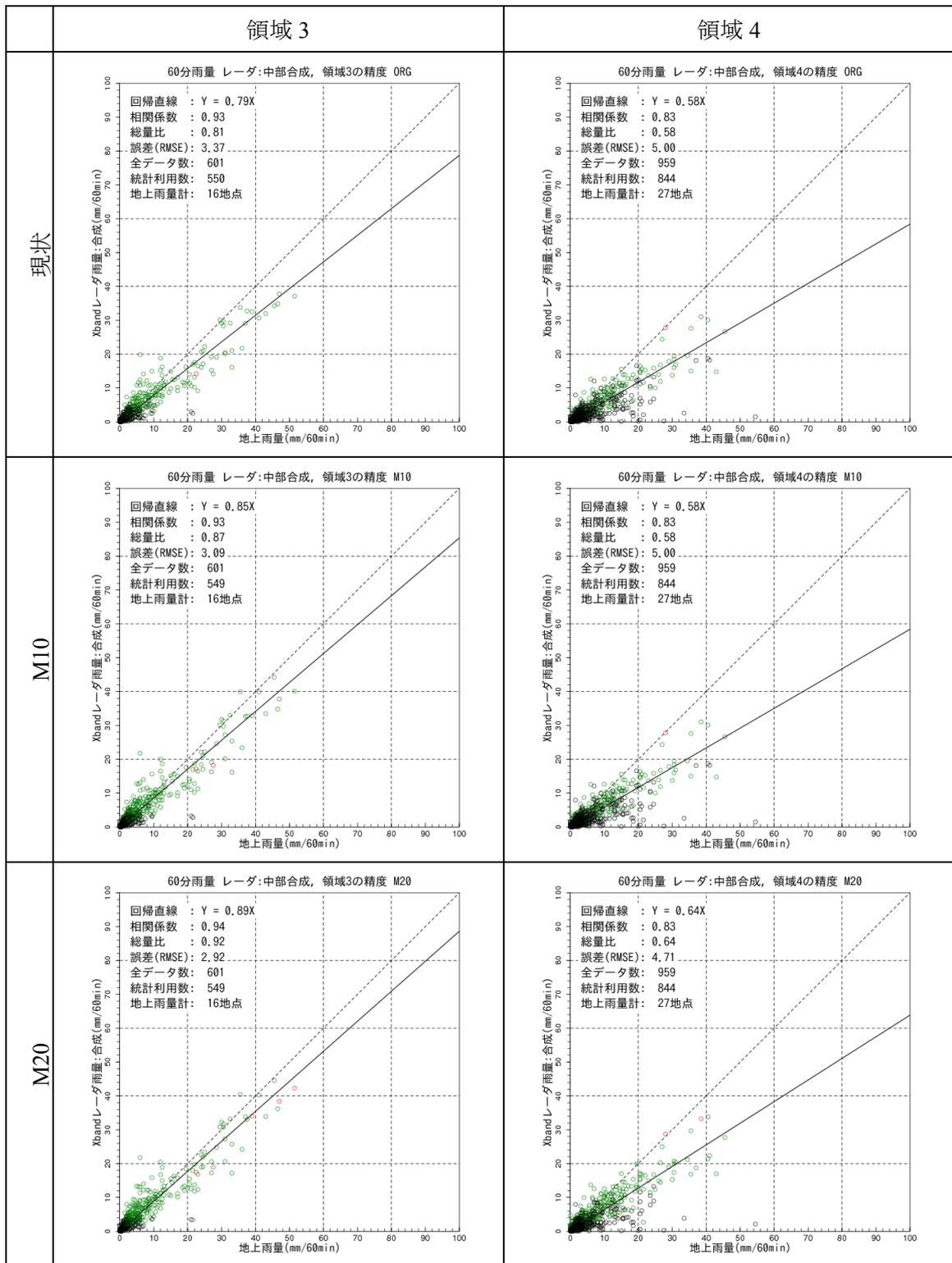


図 10.81 現状と改良案の比較 (中部、60分雨量、領域3-4)

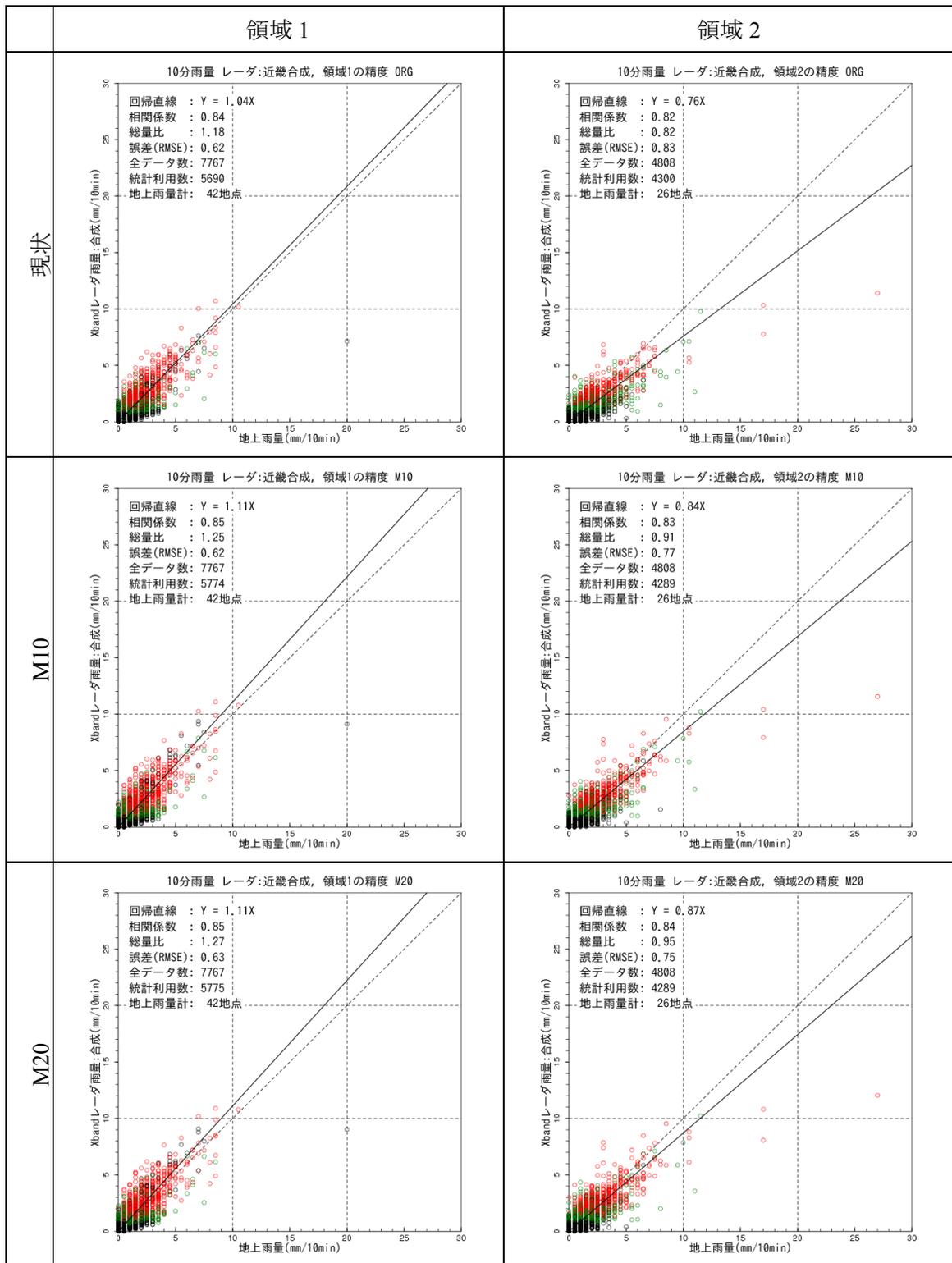


図 10.82 現状と改良案の比較 (近畿、10分雨量、領域1-2)

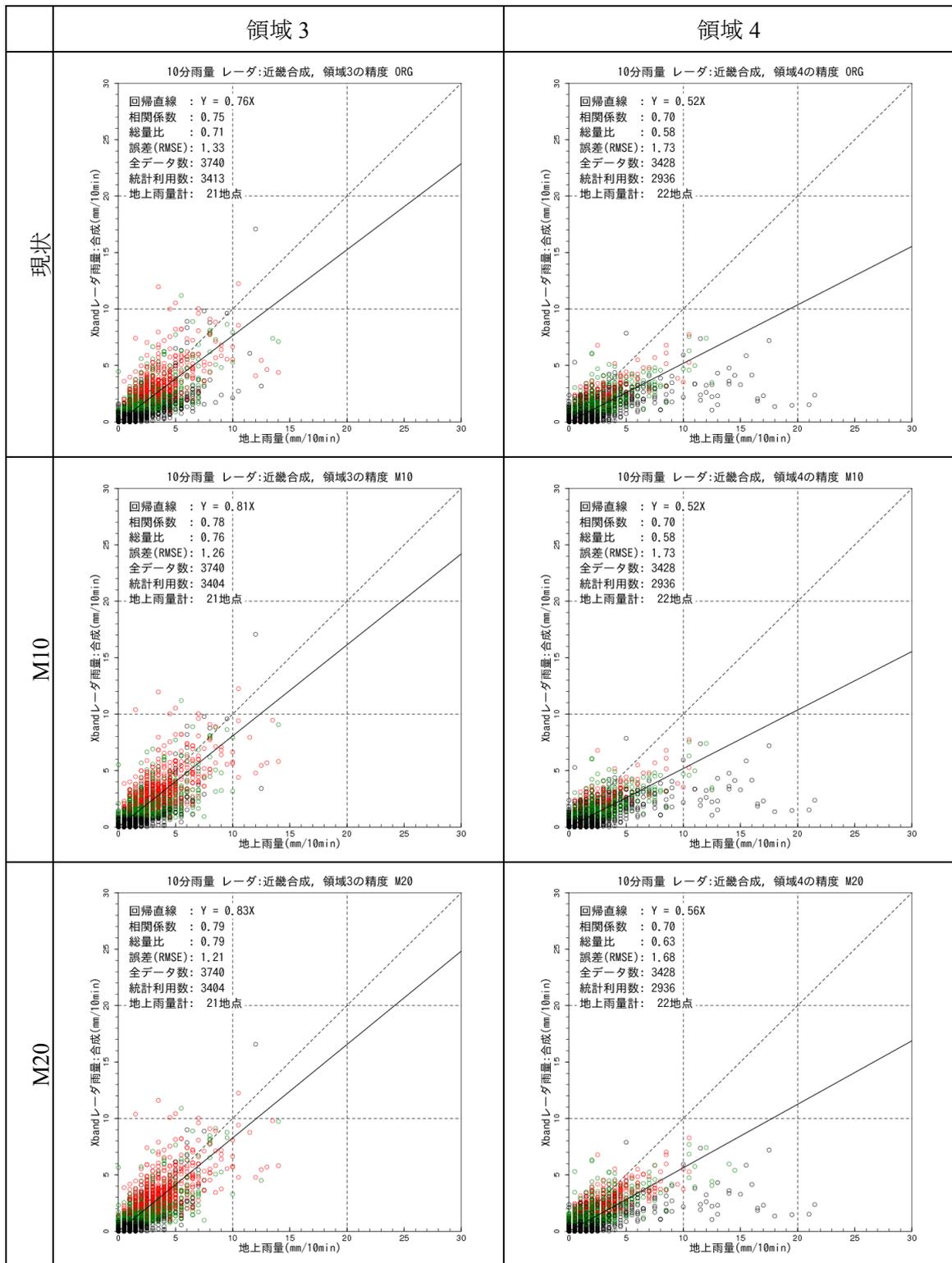


図 10.83 現状と改良案の比較 (近畿、10分雨量、領域3-4)

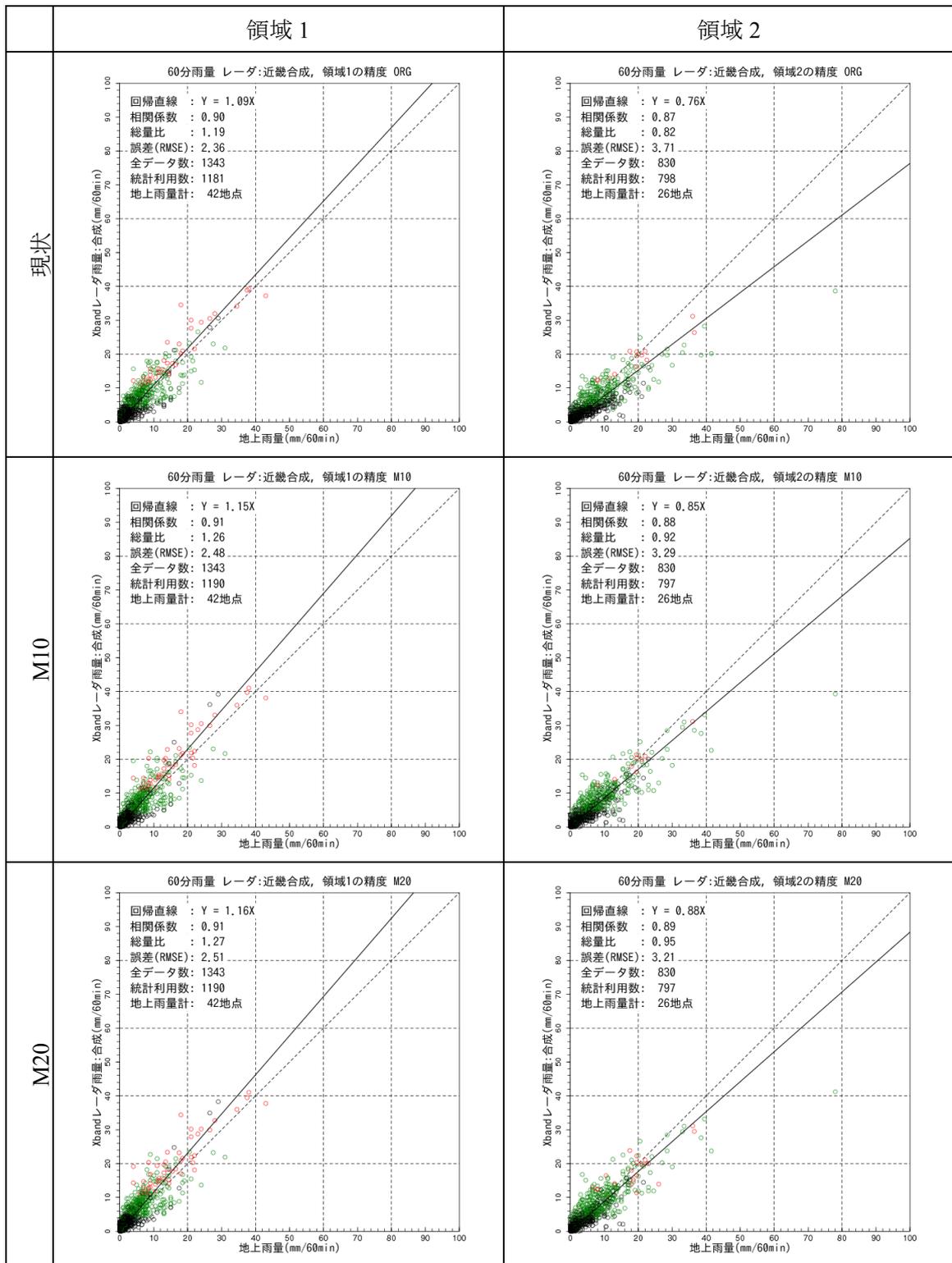


図 10.84 現状と改良案の比較 (近畿、60分雨量、領域1-2)

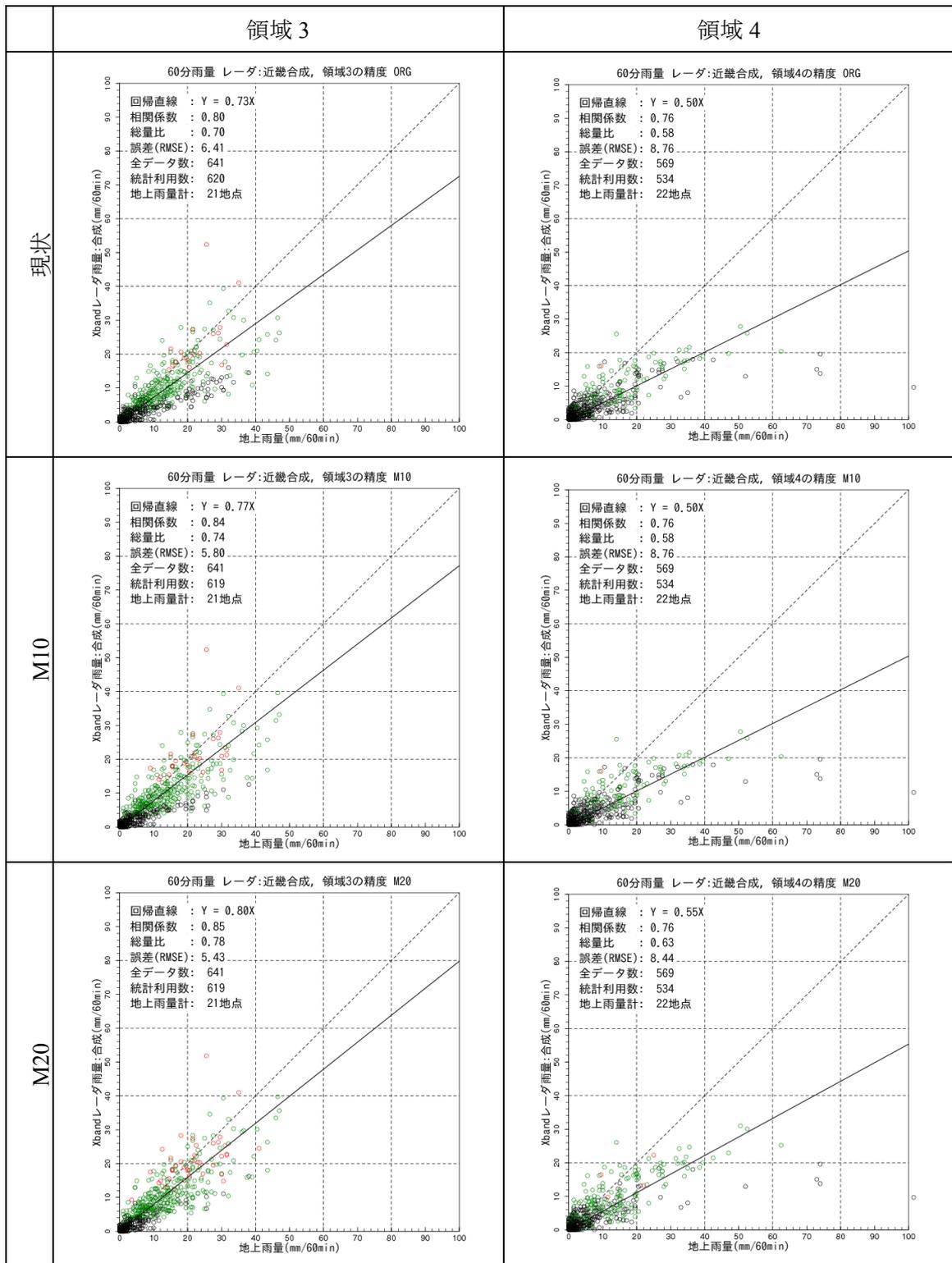


図 10.85 現状と改良案の比較 (近畿、60分雨量、領域3-4)

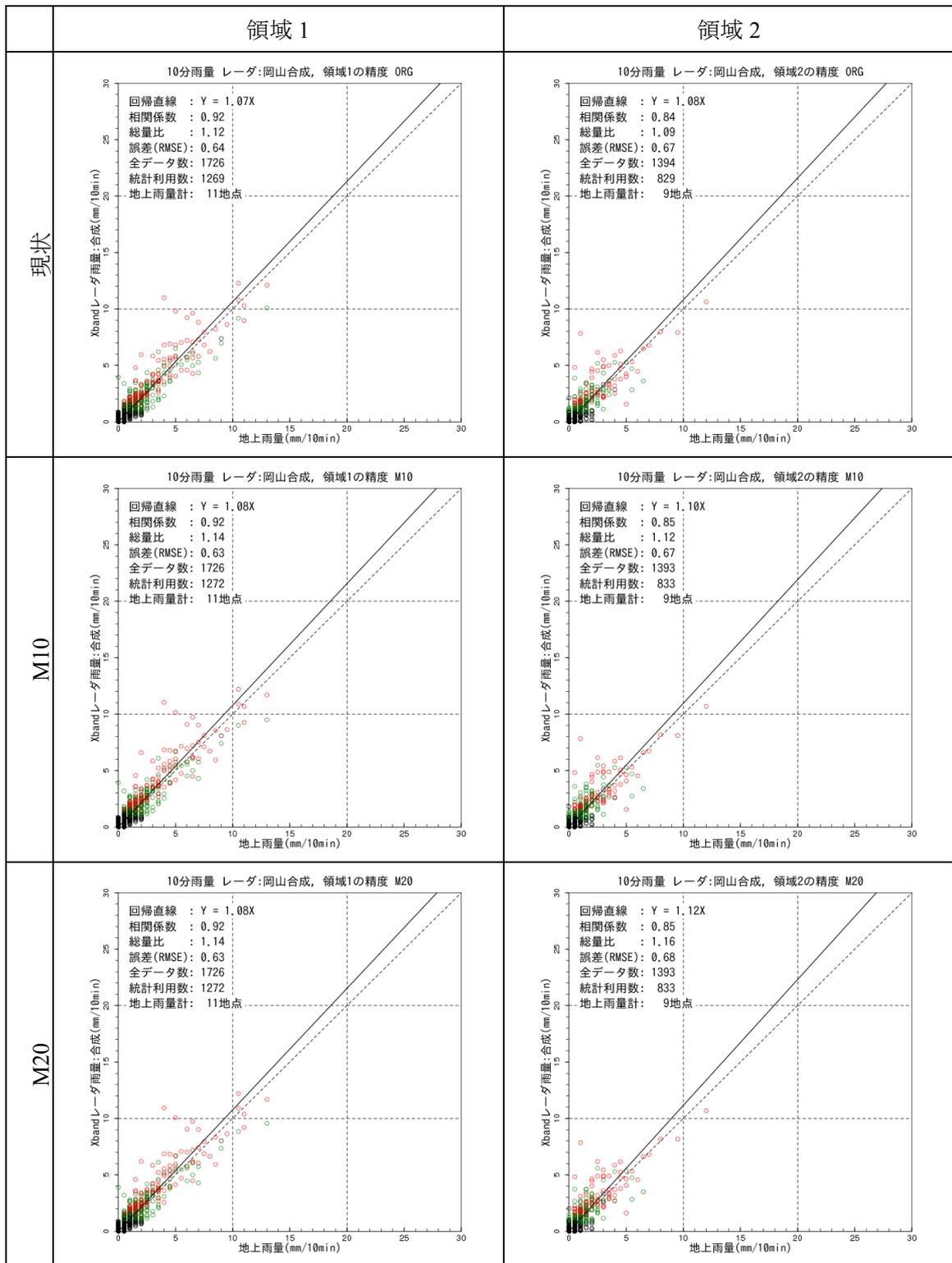


図 10.86 現状と改良案の比較 (岡山、10分雨量、領域1-2)

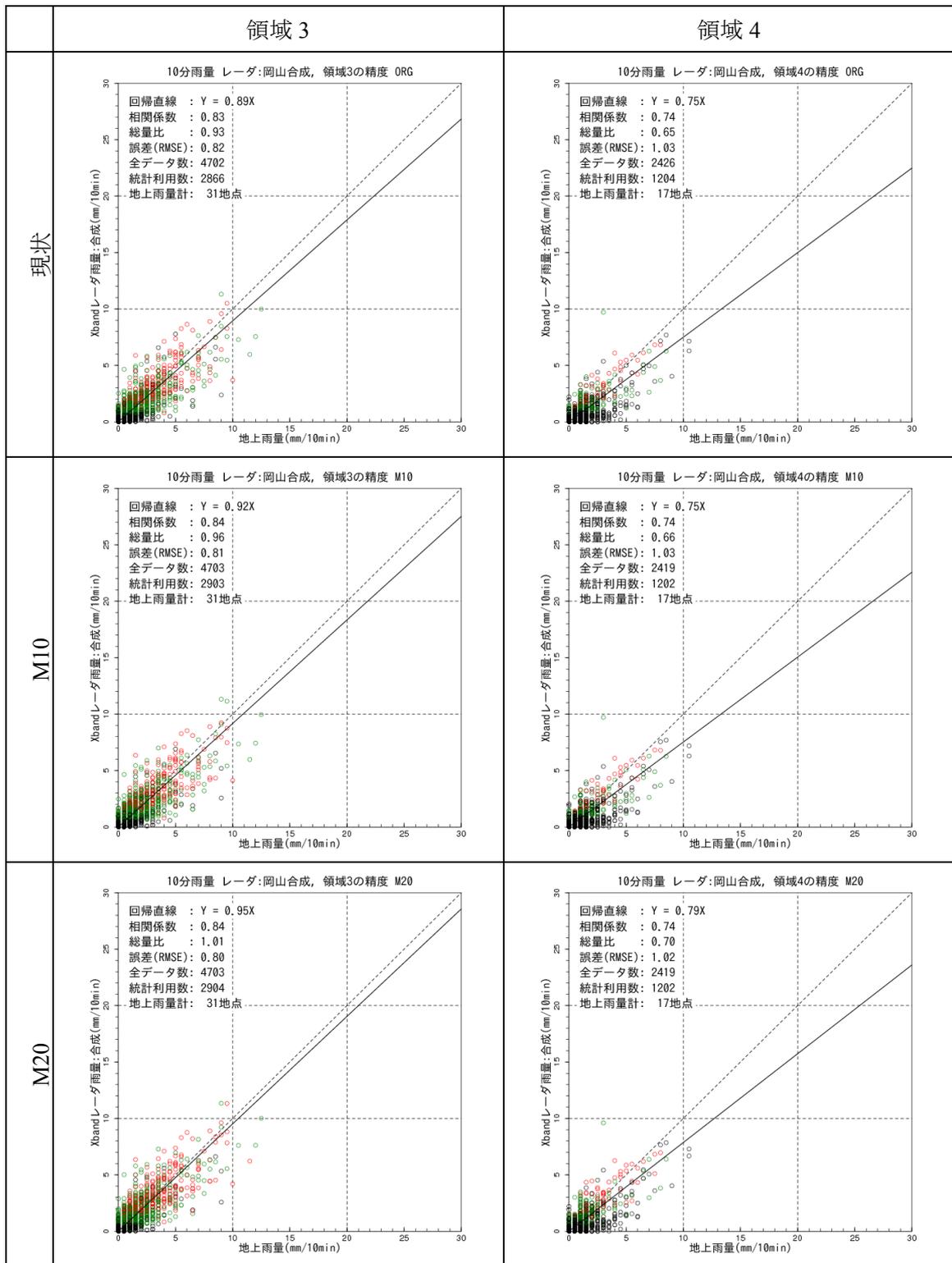


図 10.87 現状と改良案の比較 (岡山、10分雨量、領域3-4)

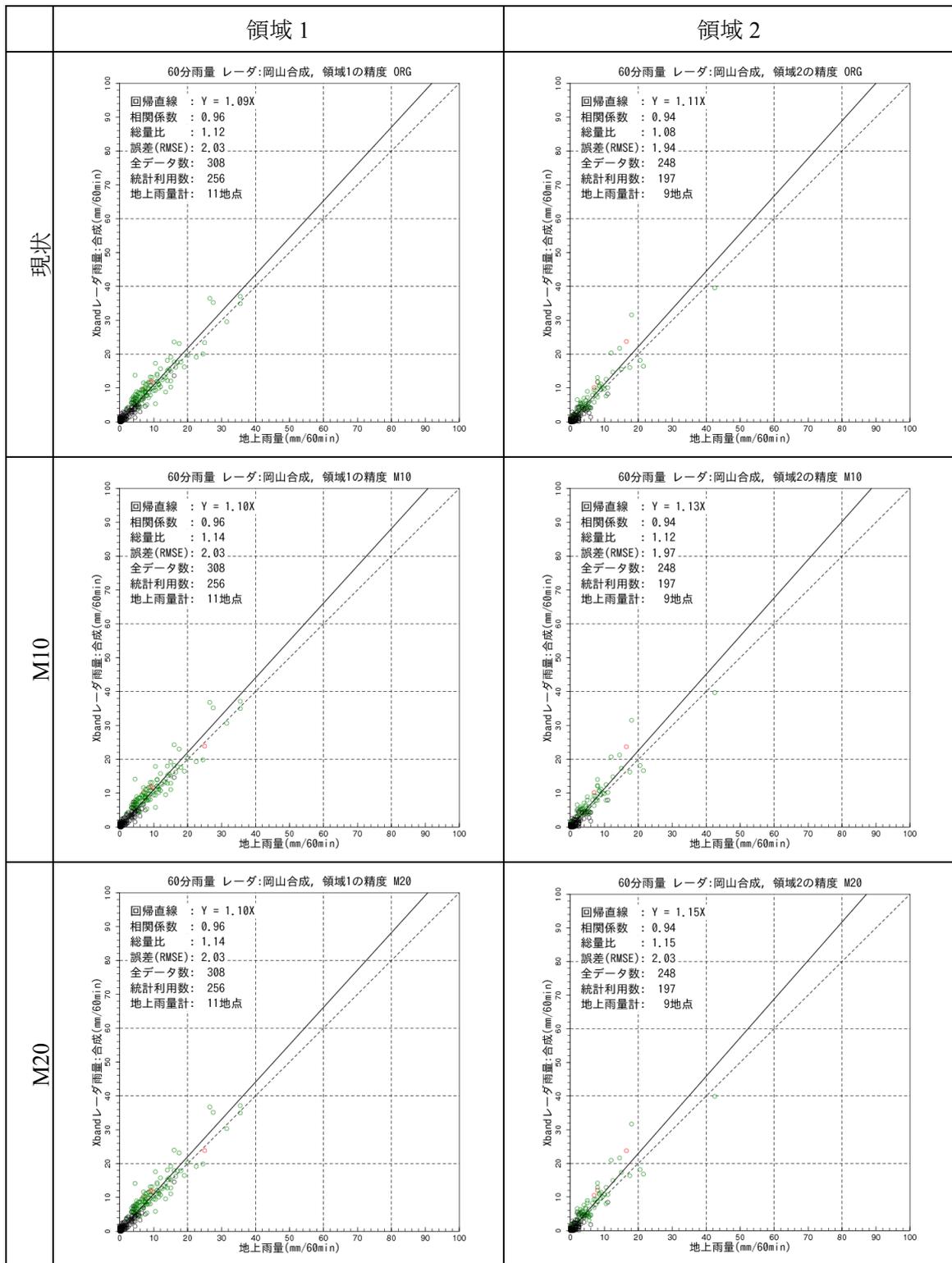


図 10.88 現状と改良案の比較 (岡山、60分雨量、領域1-2)

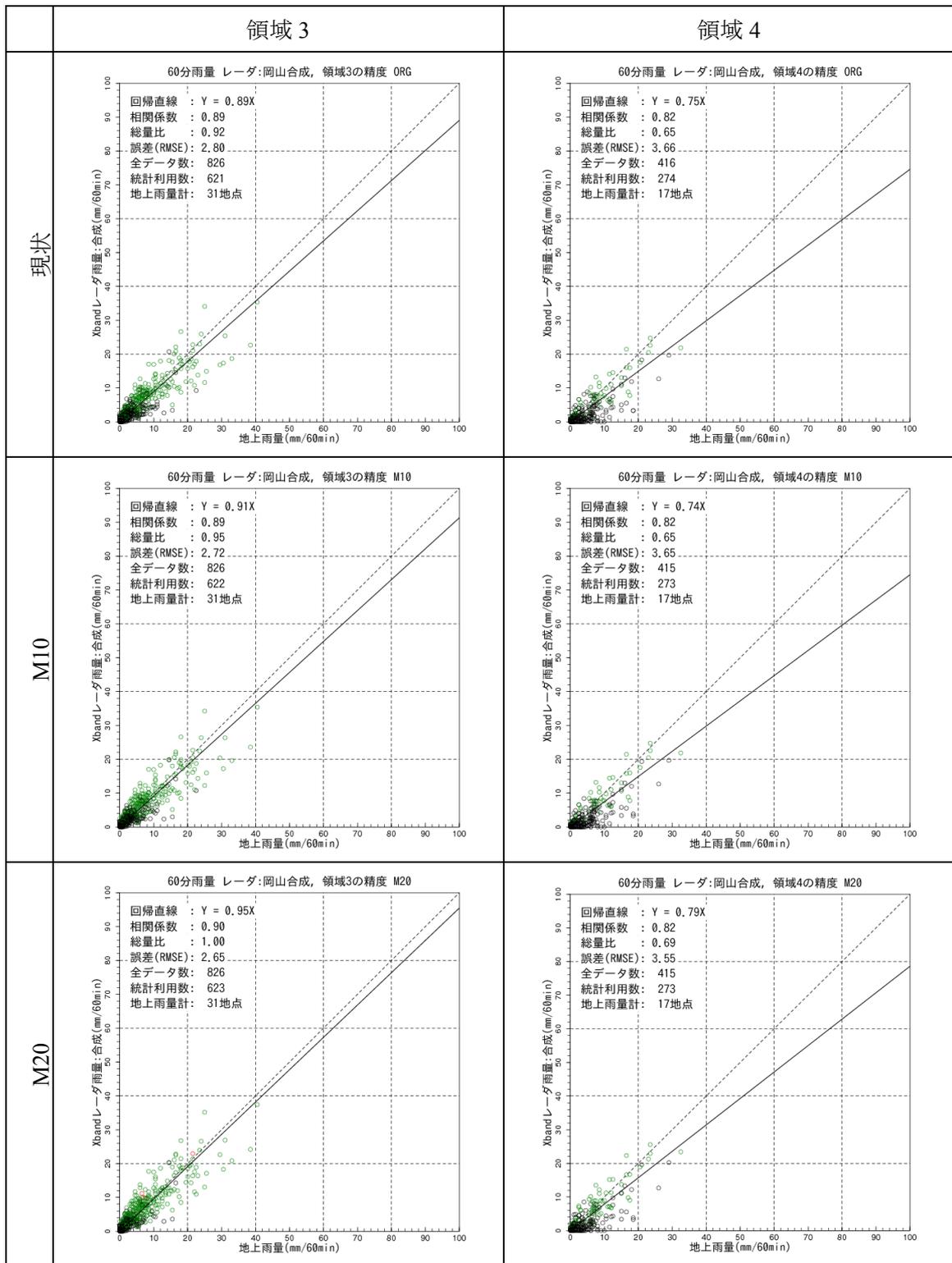


図 10.89 現状と改良案の比較 (岡山、60分雨量、領域3-4)

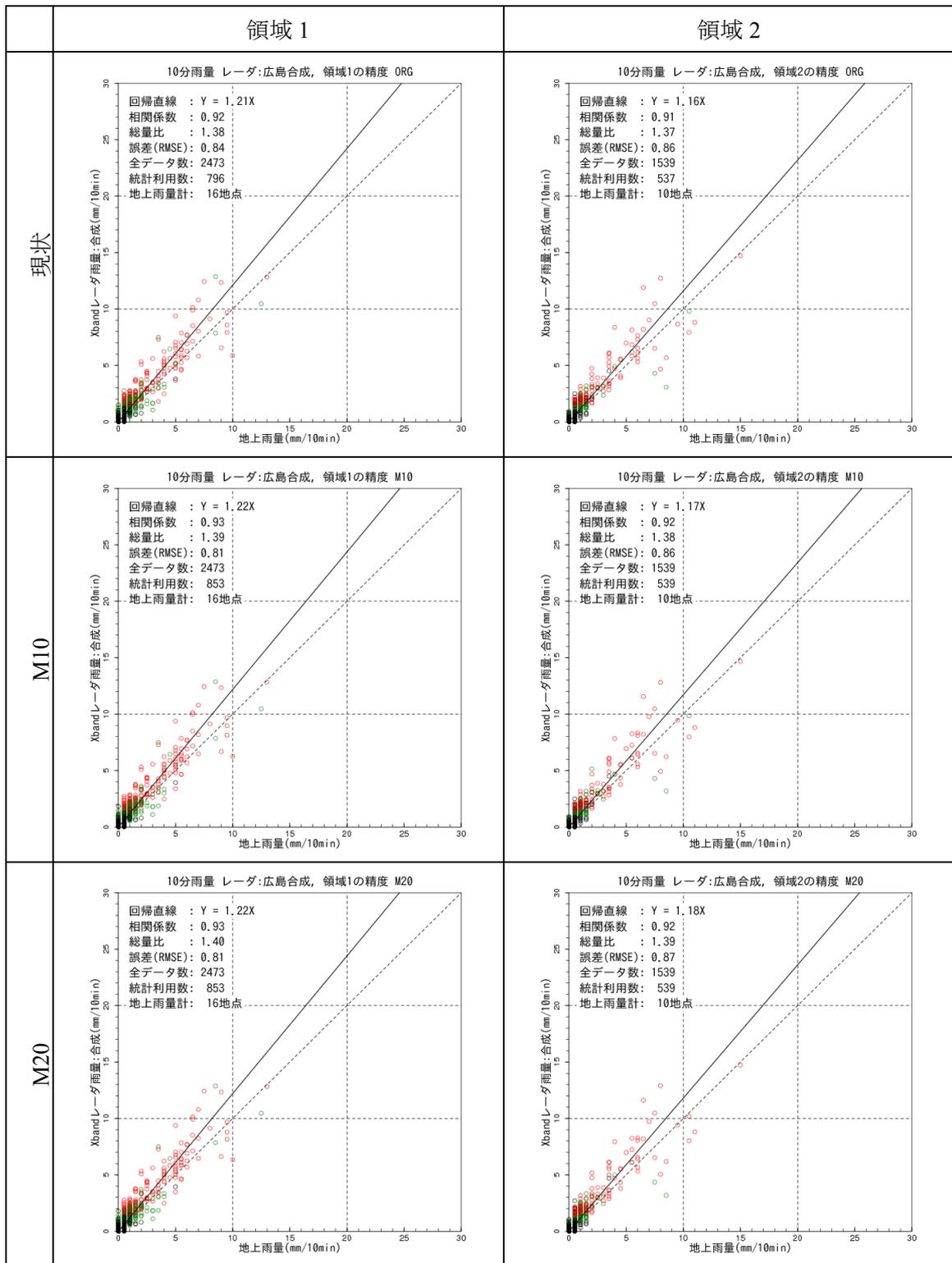


図 10.90 現状と改良案の比較 (広島、10分雨量、領域1-2)

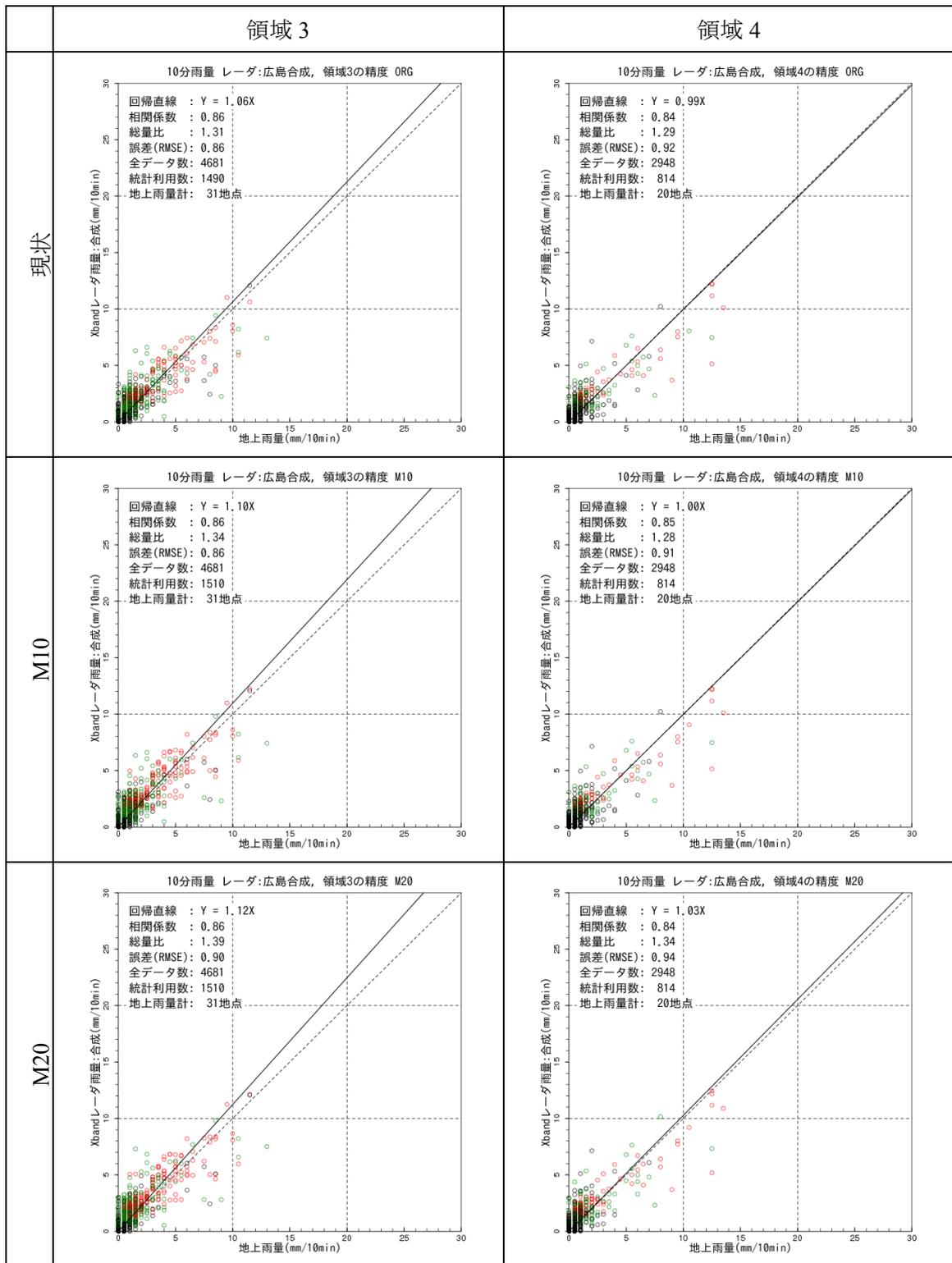


図 10.91 現状と改良案の比較 (広島、10分雨量、領域3-4)

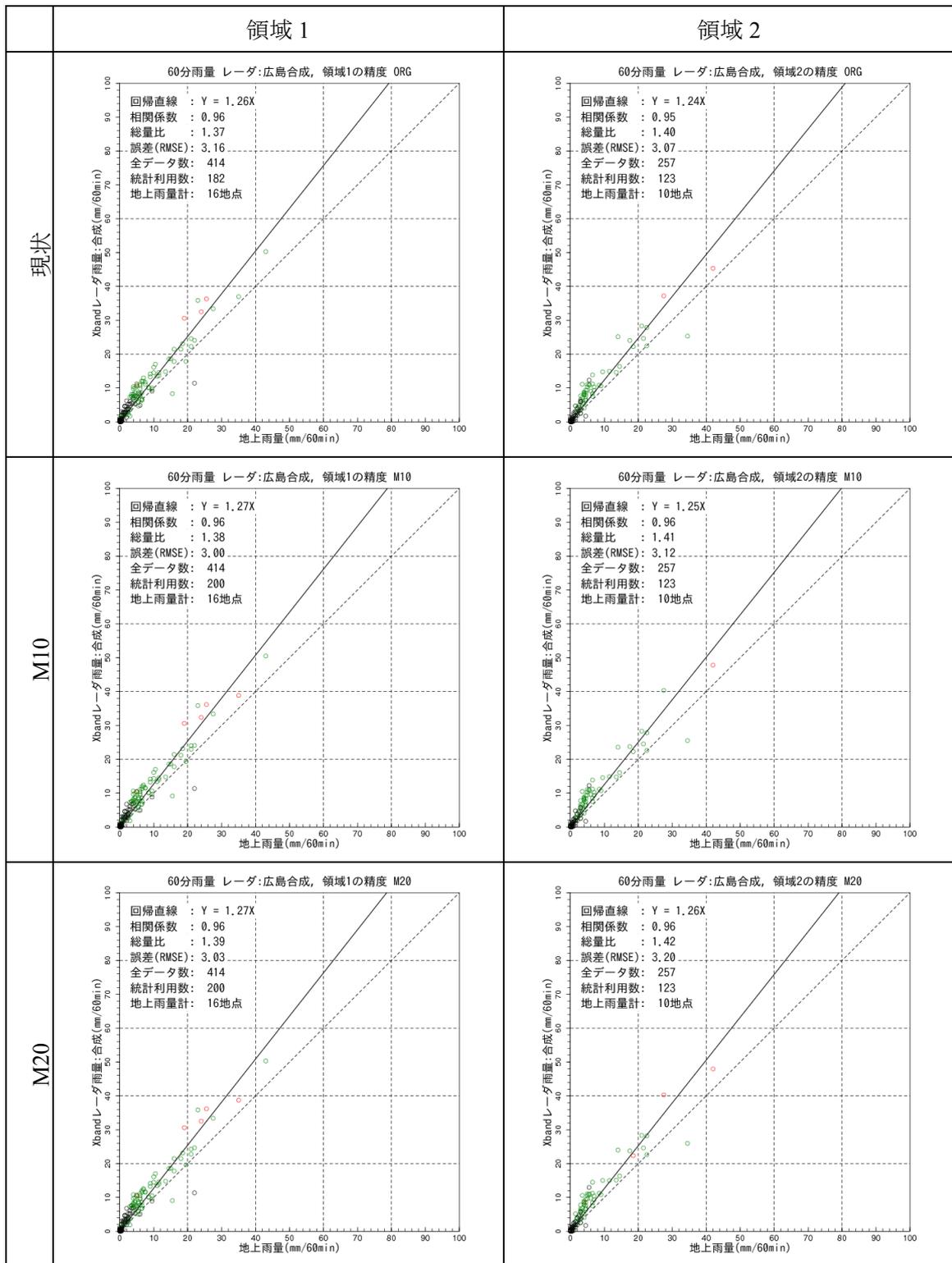


図 10.92 現状と改良案の比較 (広島、60分雨量、領域1-2)

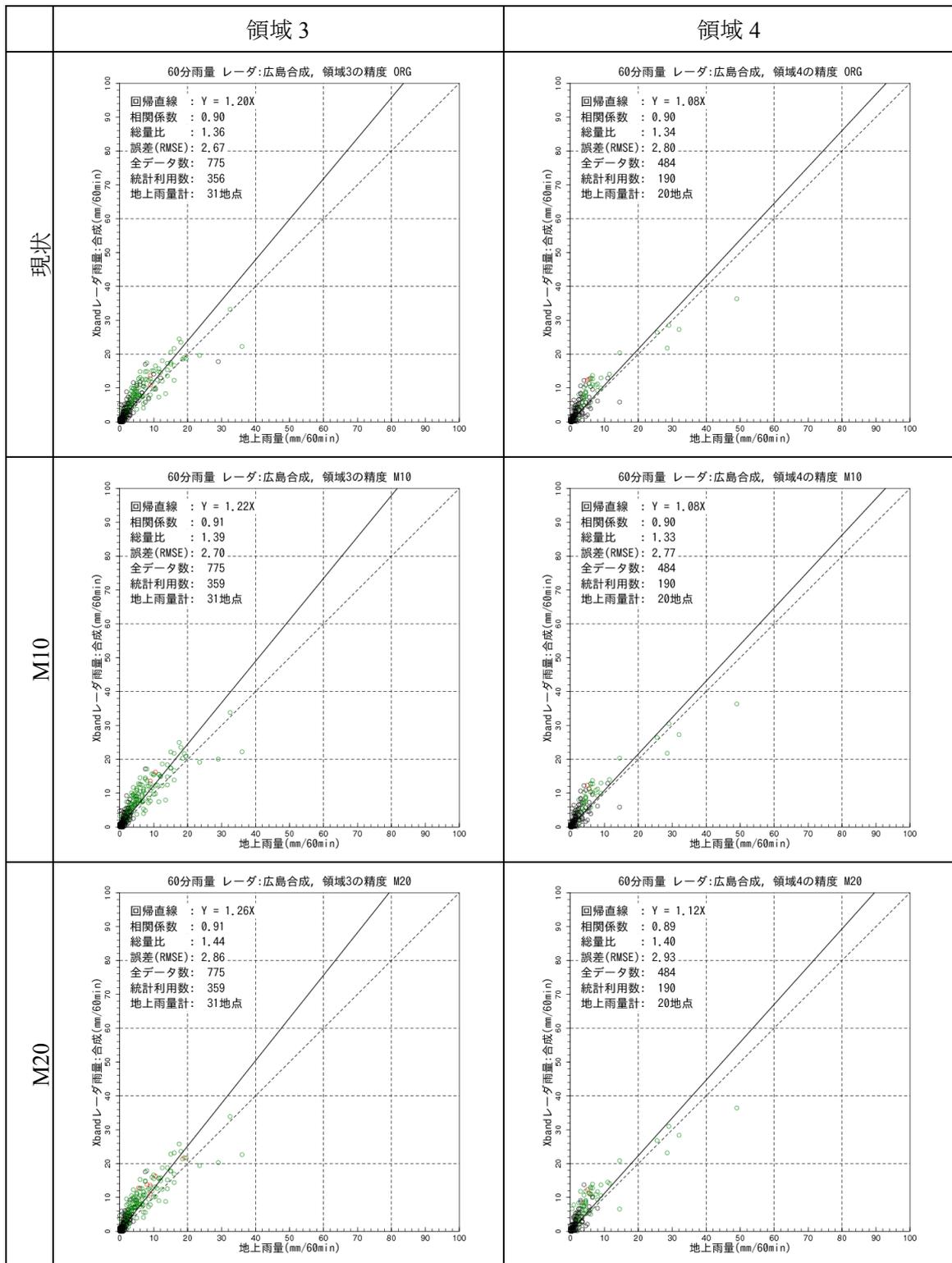


図 10.93 現状と改良案の比較 (広島、60分雨量、領域3-4)

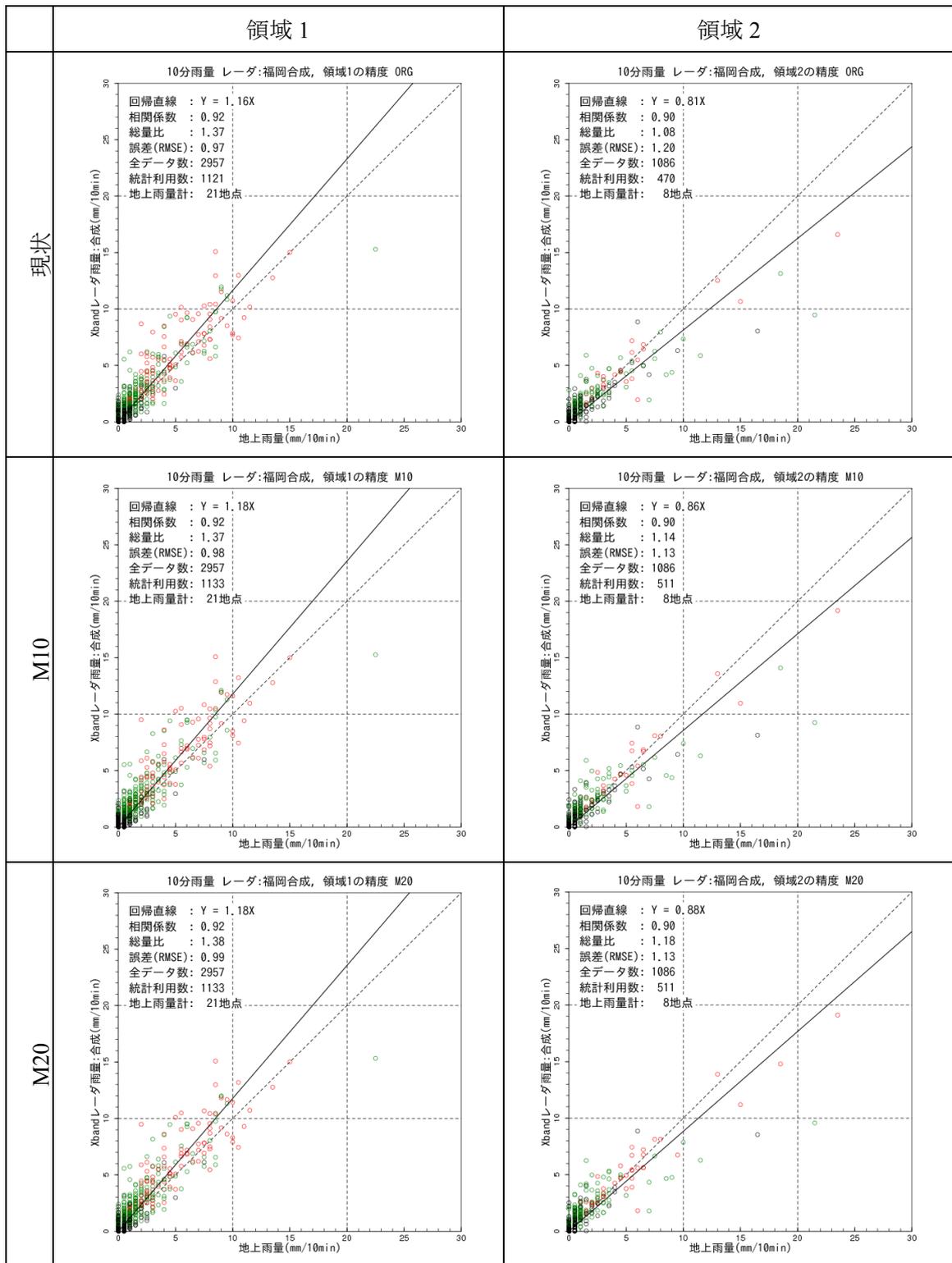


図 10.94 現状と改良案の比較 (九州北部、10分雨量、領域 1-2)

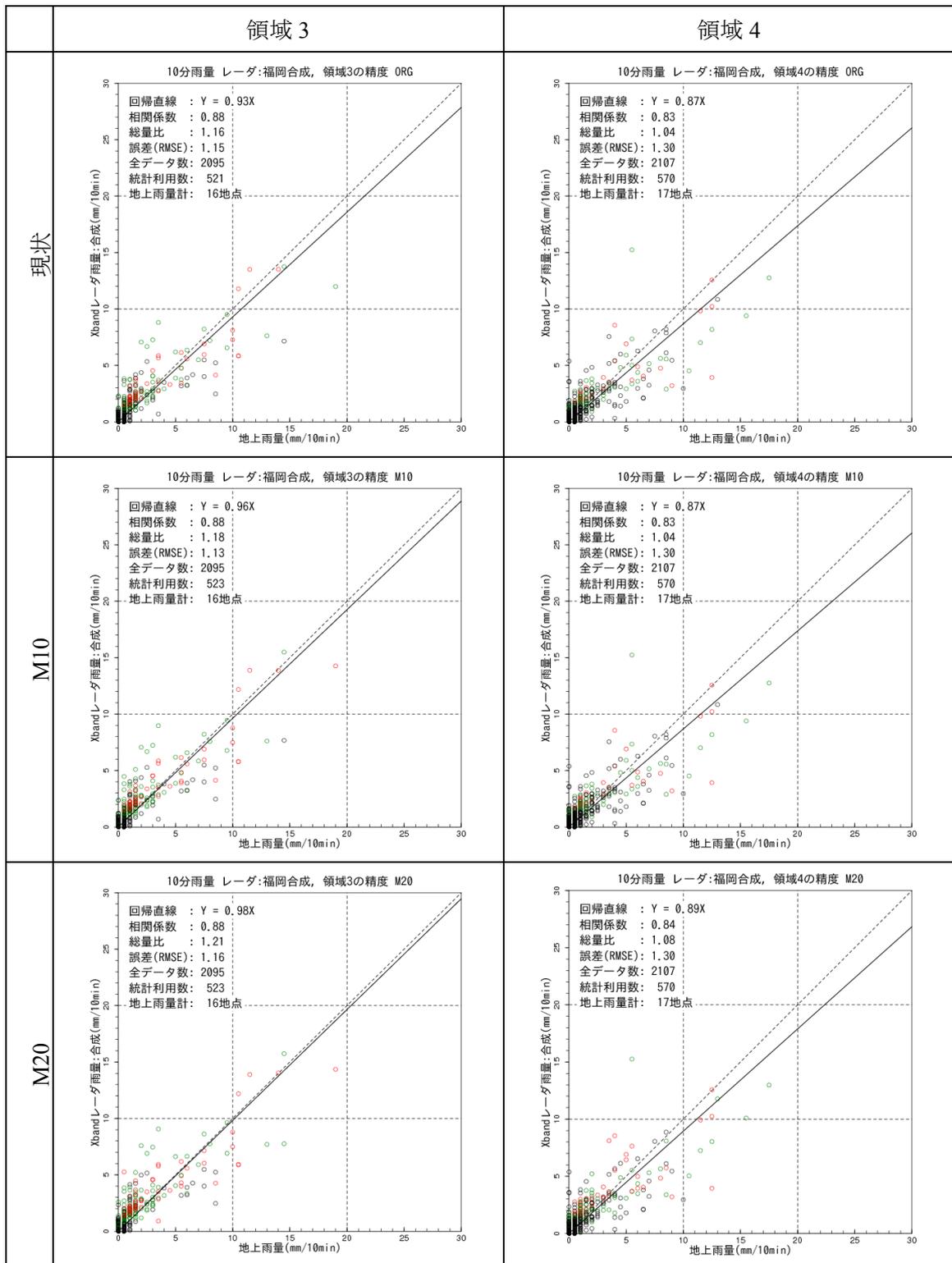


図 10.95 現状と改良案の比較 (九州北部、10分雨量、領域3-4)

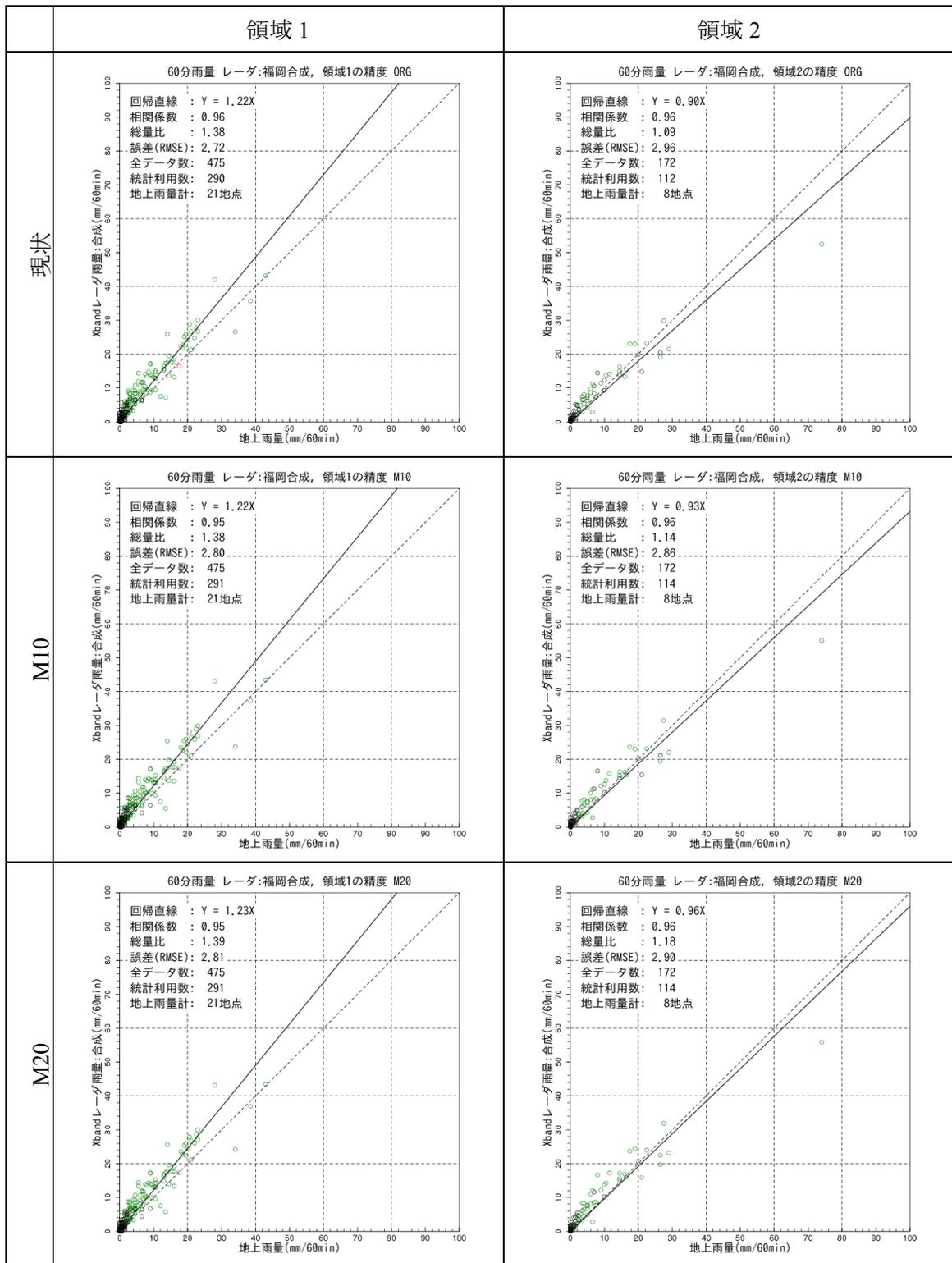


図 10.96 現状と改良案の比較 (九州北部、60分雨量、領域1-2)

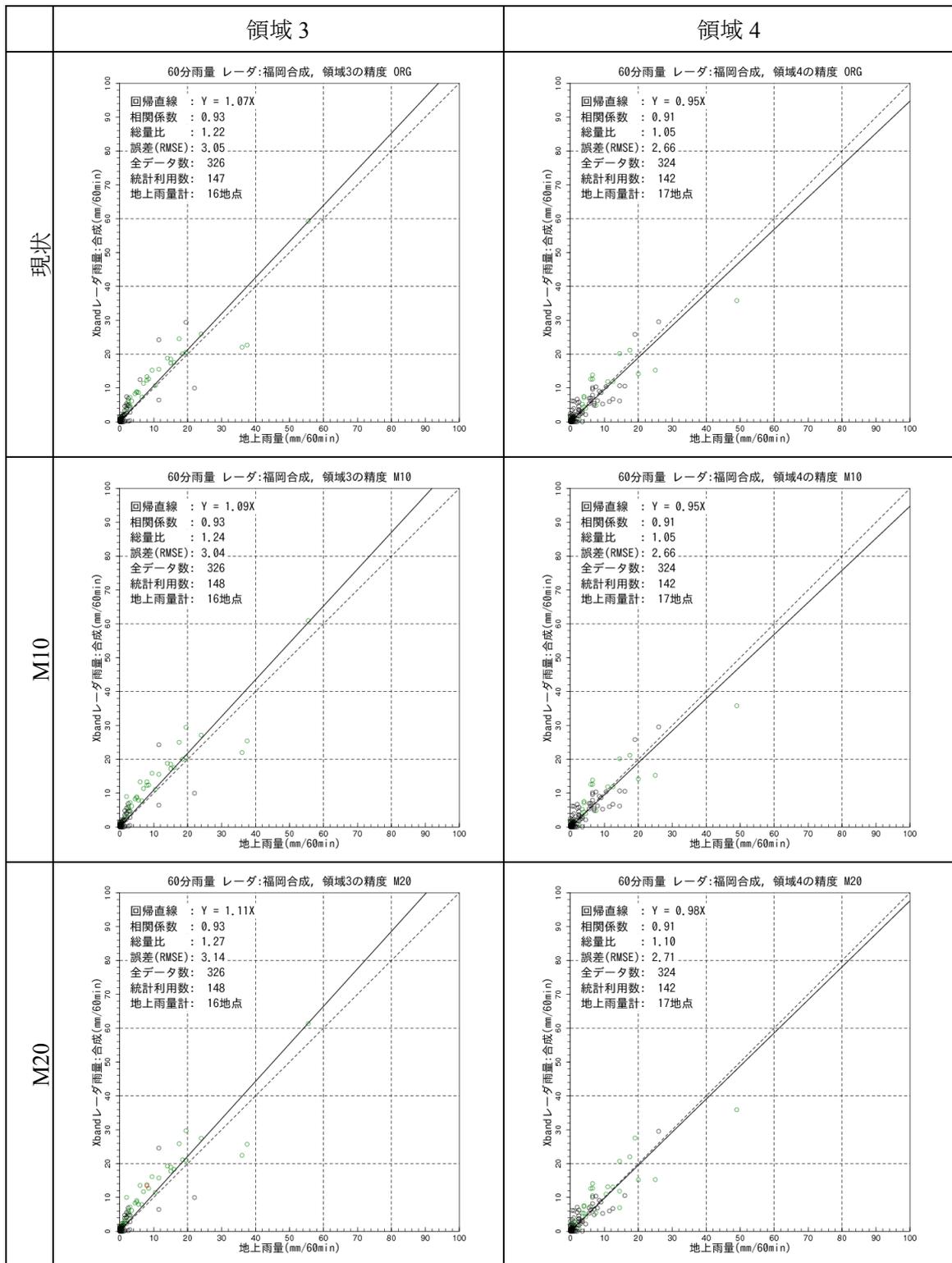


図 10.97 現状と改良案の比較 (九州北部、60分雨量、領域3-4)

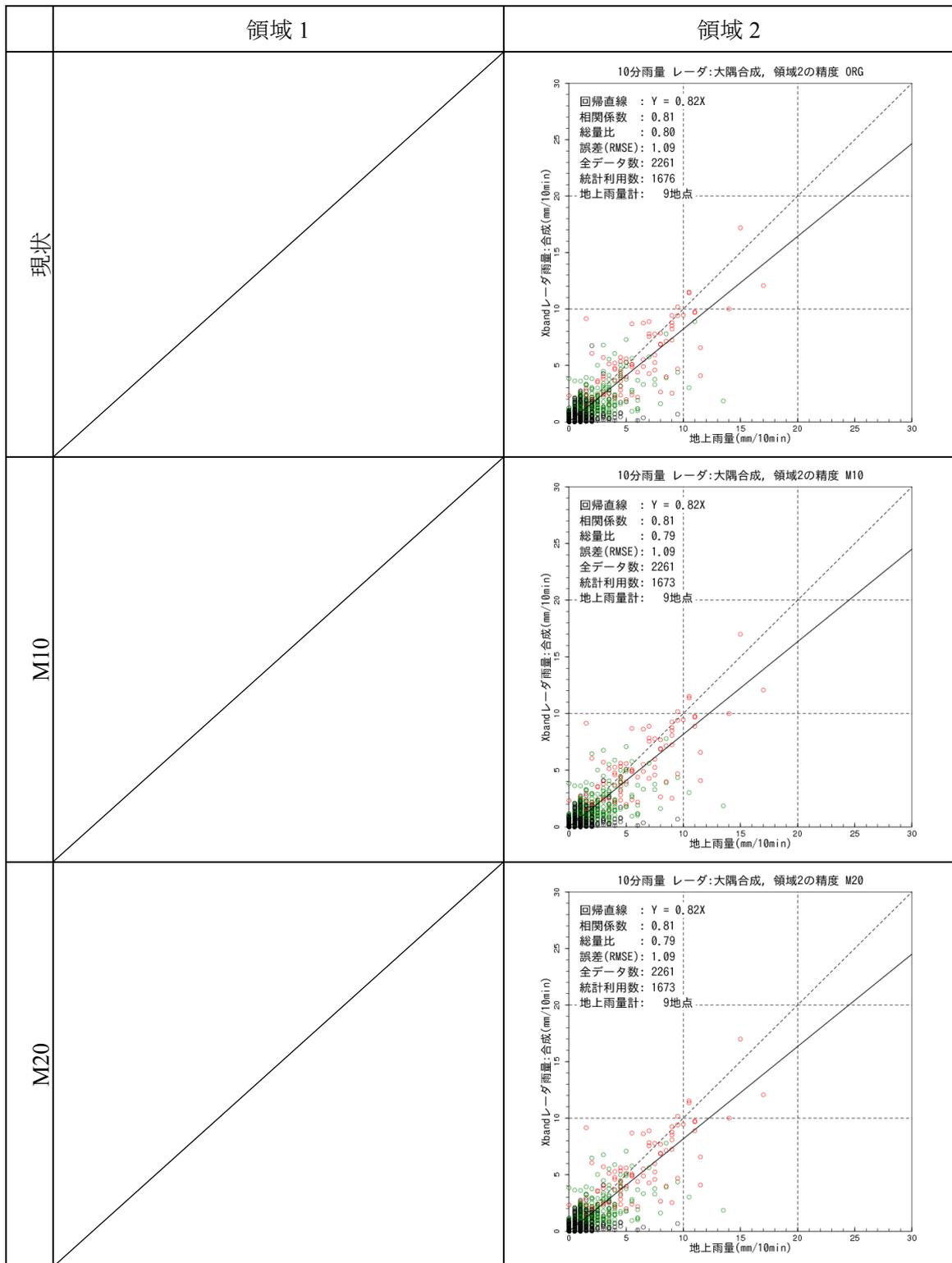


図 10.98 現状と改良案の比較 (桜島周辺、10分雨量、領域1-2)

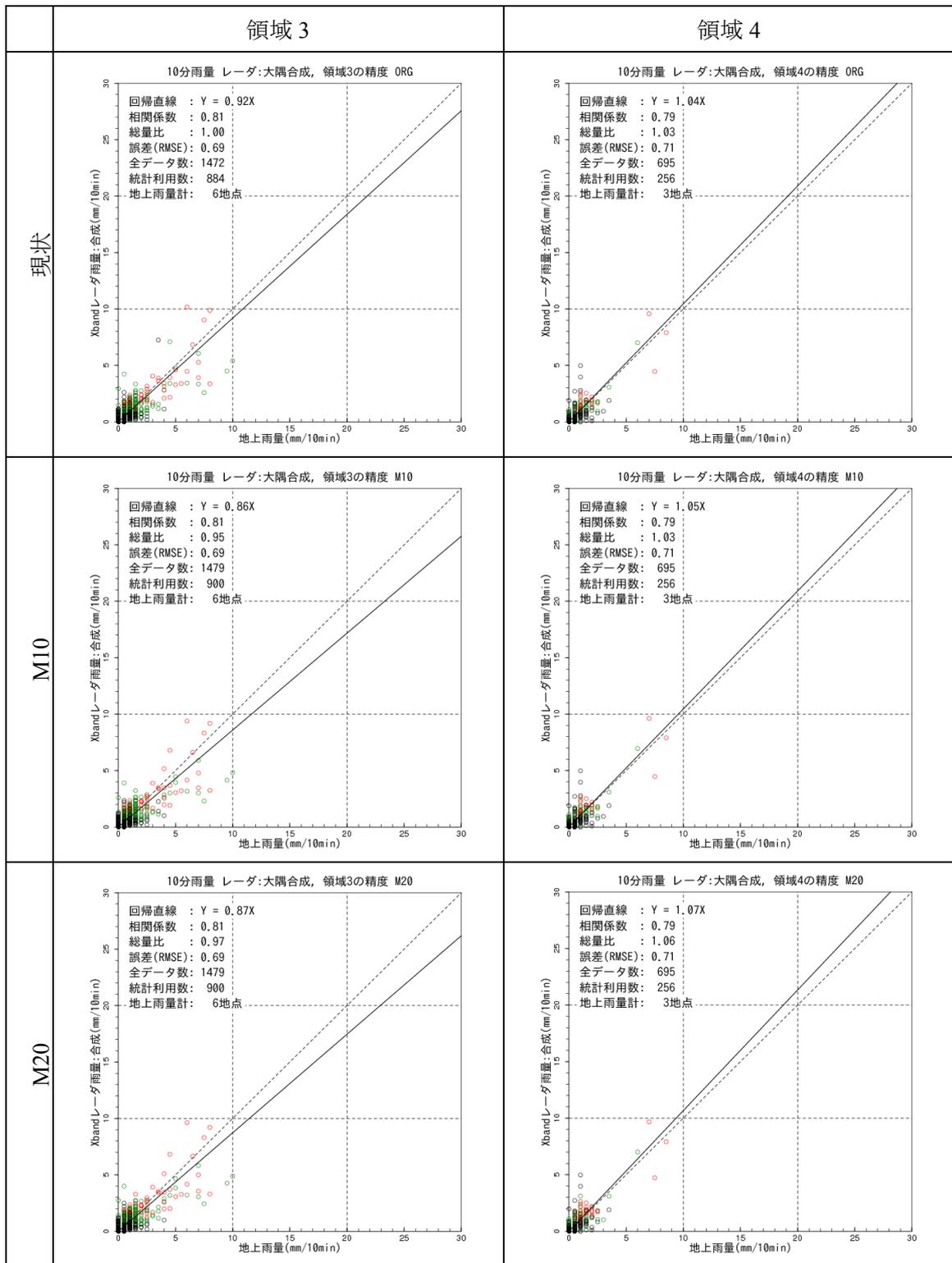


図 10.99 現状と改良案の比較 (桜島周辺、10分雨量、領域 3-4)

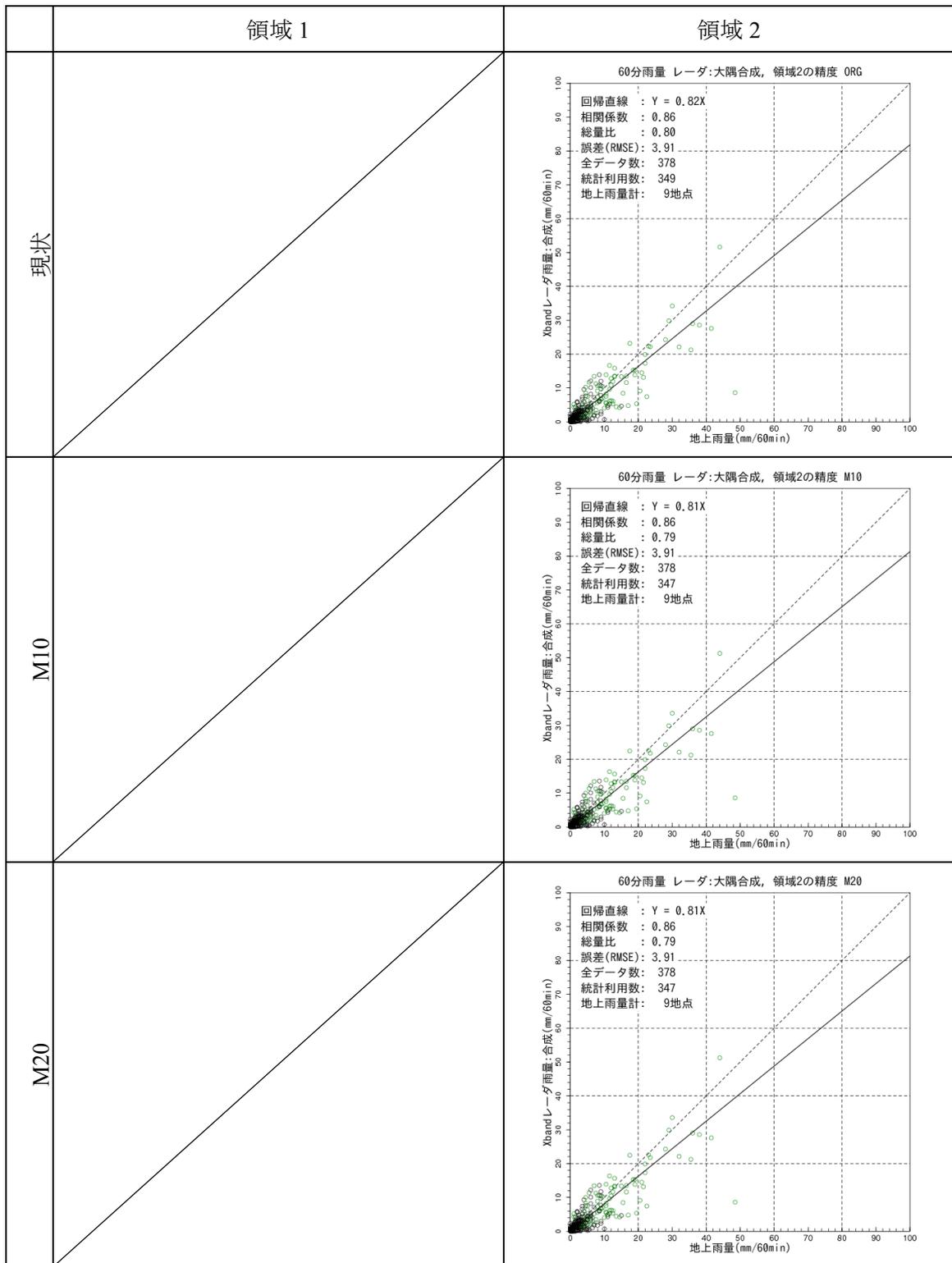


図 10.100 現状と改良案の比較 (桜島周辺、60分雨量、領域1-2)

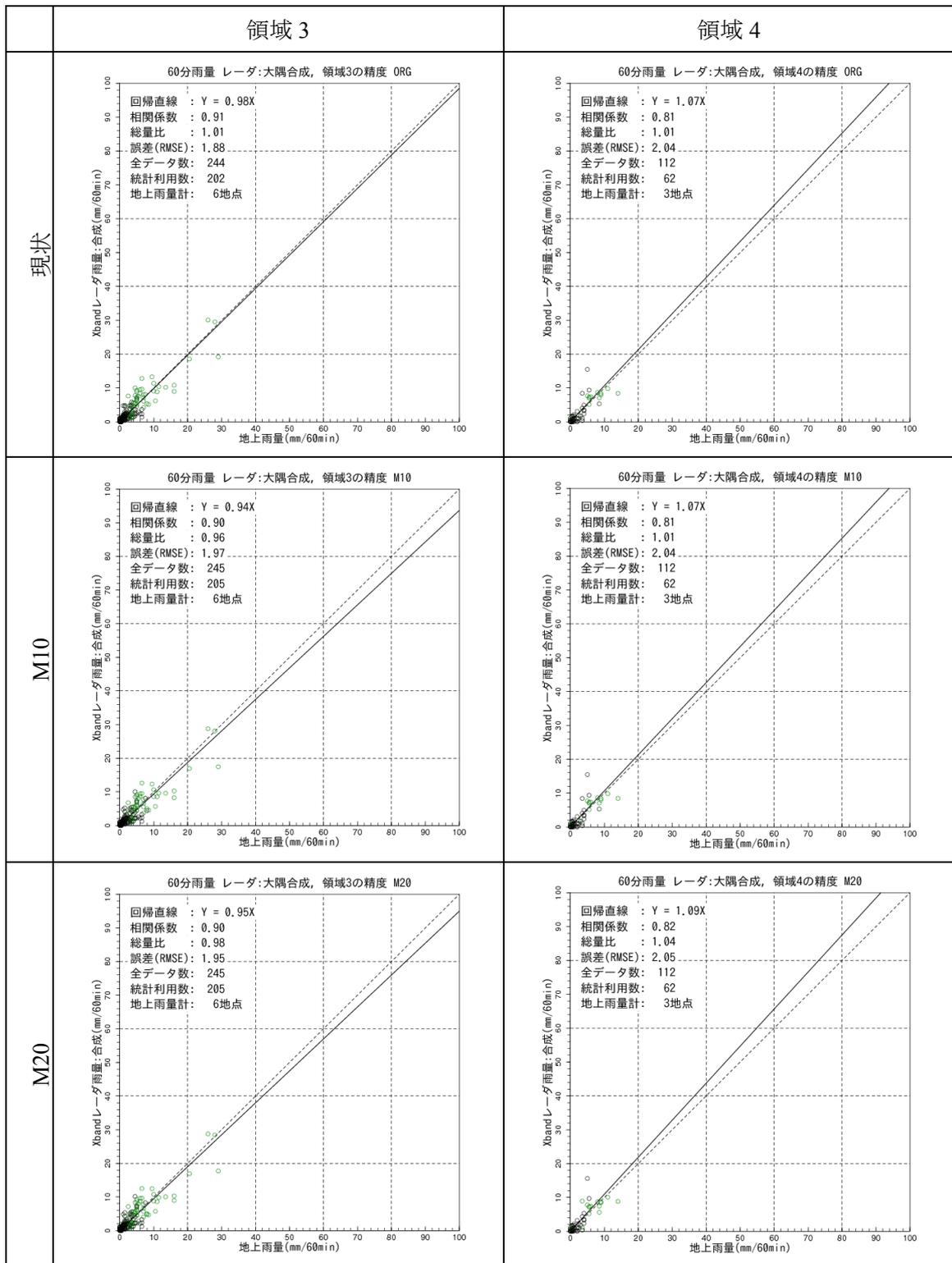


図 10.101 現状と改良案の比較 (桜島周辺、60分雨量、領域3-4)

表 10.11～表 10.18 は地上雨量との比較における精度指標である。レーダからの距離の重みに加えて、雨量推定式の重みを考慮する方法 (M20) を採用することで、遠方 (領域 3、4) の過小傾向が改善する。遠方の精度の悪いデータが混入しにくくなるため、領域 1 では過大傾向となる。

表 10.11 相関係数（10分雨量）の比較

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
栗駒山周辺	現状	0.83	0.74	0.71	0.34
	M10	0.85	0.69	0.73	0.32
	M20	0.85	0.70	0.73	0.33
関東	現状	0.92	0.89	0.82	0.80
	M10	0.92	0.90	0.84	0.82
	M20	0.92	0.90	0.84	0.82
新潟	現状		0.93	0.91	0.85
	M10		0.93	0.91	0.85
	M20		0.93	0.91	0.85
富山・石川	現状	0.93	0.90	0.80	0.52
	M10	0.92	0.90	0.81	0.52
	M20	0.92	0.90	0.81	0.52
静岡	現状	0.94	0.87	0.88	0.67
	M10	0.94	0.88	0.88	0.68
	M20	0.94	0.88	0.88	0.68
中部	現状	0.91	0.92	0.86	0.76
	M10	0.92	0.92	0.87	0.76
	M20	0.92	0.92	0.87	0.76
近畿	現状	0.84	0.82	0.75	0.70
	M10	0.85	0.83	0.78	0.70
	M20	0.85	0.84	0.79	0.70
岡山	現状	0.92	0.84	0.83	0.74
	M10	0.92	0.85	0.84	0.74
	M20	0.92	0.85	0.84	0.74
広島	現状	0.92	0.91	0.86	0.84
	M10	0.93	0.92	0.86	0.85
	M20	0.93	0.92	0.86	0.84
九州北部	現状	0.92	0.90	0.88	0.83
	M10	0.92	0.90	0.88	0.83
	M20	0.92	0.90	0.88	0.84
桜島周辺	現状		0.81	0.81	0.79
	M10		0.81	0.81	0.79
	M20		0.81	0.81	0.79

※精度の高い方を色塗りで示す

表 10.12 相関係数（60分雨量）の比較

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
栗駒山周辺	現状	0.89	0.81	0.77	0.65
	M10	0.91	0.78	0.80	0.66
	M20	0.91	0.78	0.81	0.66
関東	現状	0.95	0.94	0.89	0.88
	M10	0.95	0.95	0.91	0.88
	M20	0.95	0.95	0.91	0.89
新潟	現状		0.97	0.97	0.91
	M10		0.97	0.97	0.91
	M20		0.97	0.97	0.91
富山・石川	現状	0.96	0.96	0.88	0.47
	M10	0.96	0.96	0.88	0.47
	M20	0.96	0.96	0.88	0.46
静岡	現状	0.97	0.90	0.94	0.74
	M10	0.97	0.90	0.94	0.76
	M20	0.97	0.91	0.93	0.75
中部	現状	0.95	0.96	0.93	0.83
	M10	0.96	0.96	0.93	0.83
	M20	0.96	0.96	0.94	0.83
近畿	現状	0.90	0.87	0.80	0.76
	M10	0.91	0.88	0.84	0.76
	M20	0.91	0.89	0.85	0.76
岡山	現状	0.96	0.94	0.89	0.82
	M10	0.96	0.94	0.89	0.82
	M20	0.96	0.94	0.90	0.82
広島	現状	0.96	0.95	0.90	0.90
	M10	0.96	0.96	0.91	0.90
	M20	0.96	0.96	0.91	0.89
九州北部	現状	0.96	0.96	0.93	0.91
	M10	0.95	0.96	0.93	0.91
	M20	0.95	0.96	0.93	0.91
桜島周辺	現状		0.86	0.91	0.81
	M10		0.86	0.90	0.81
	M20		0.86	0.90	0.82

※精度の高い方を色塗りで示す

表 10.13 平均二乗誤差（10分雨量）の比較

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
栗駒山周辺	現状	0.69	1.53	0.87	0.86
	M10	0.65	1.63	0.84	0.86
	M20	0.65	1.61	0.82	0.85
関東	現状	0.67	0.90	1.07	1.17
	M10	0.68	0.89	1.03	1.10
	M20	0.68	0.88	1.02	1.09
新潟	現状		1.11	1.18	1.46
	M10		1.11	1.18	1.46
	M20		1.11	1.18	1.42
富山・石川	現状	0.73	1.00	0.86	0.86
	M10	0.79	1.04	0.86	0.86
	M20	0.78	1.04	0.86	0.87
静岡	現状	0.89	1.14	1.13	1.29
	M10	0.91	1.14	1.11	1.27
	M20	0.90	1.13	1.10	1.26
中部	現状	0.62	0.71	0.92	1.25
	M10	0.60	0.66	0.90	1.25
	M20	0.60	0.65	0.87	1.21
近畿	現状	0.62	0.83	1.33	1.73
	M10	0.62	0.77	1.26	1.73
	M20	0.63	0.75	1.21	1.68
岡山	現状	0.64	0.67	0.82	1.03
	M10	0.63	0.67	0.81	1.03
	M20	0.63	0.68	0.80	1.02
広島	現状	0.84	0.86	0.86	0.92
	M10	0.81	0.86	0.86	0.91
	M20	0.81	0.87	0.90	0.94
九州北部	現状	0.97	1.20	1.15	1.30
	M10	0.98	1.13	1.13	1.30
	M20	0.99	1.13	1.16	1.30
桜島周辺	現状		1.09	0.69	0.71
	M10		1.09	0.69	0.71
	M20		1.09	0.69	0.71

※精度の高い方を色塗りで示す

表 10.14 平均二乗誤差（60分雨量）の比較

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
栗駒山周辺	現状	3.04	7.29	4.22	2.81
	M10	2.71	7.85	3.91	2.79
	M20	2.74	7.71	3.80	2.69
関東	現状	2.08	2.88	3.29	3.53
	M10	2.14	2.80	3.04	3.38
	M20	2.14	2.72	2.96	3.34
新潟	現状		3.05	2.97	4.53
	M10		3.05	2.97	4.53
	M20		3.05	2.88	4.32
富山・石川	現状	1.96	2.59	2.08	2.99
	M10	2.07	2.79	2.09	2.99
	M20	2.06	2.79	2.12	3.01
静岡	現状	2.87	4.64	4.12	4.35
	M10	3.04	4.66	3.98	4.24
	M20	3.01	4.61	3.91	4.17
中部	現状	1.96	2.31	3.37	5.00
	M10	1.79	2.04	3.09	5.00
	M20	1.80	1.98	2.92	4.71
近畿	現状	2.36	3.71	6.41	8.76
	M10	2.48	3.29	5.80	8.76
	M20	2.51	3.21	5.43	8.44
岡山	現状	2.03	1.94	2.80	3.66
	M10	2.03	1.97	2.72	3.65
	M20	2.03	2.03	2.65	3.55
広島	現状	3.16	3.07	2.67	2.80
	M10	3.00	3.12	2.70	2.77
	M20	3.03	3.20	2.86	2.93
九州北部	現状	2.72	2.96	3.05	2.66
	M10	2.80	2.86	3.04	2.66
	M20	2.81	2.90	3.14	2.71
桜島周辺	現状		3.91	1.88	2.04
	M10		3.91	1.97	2.04
	M20		3.91	1.95	2.05

※精度の高い方を色塗りで示す

表 10.15 総雨量比（10分雨量）の比較

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
栗駒山周辺	現状	0.88	0.73	0.71	0.65
	M10	0.93	0.72	0.74	0.65
	M20	0.93	0.74	0.77	0.71
関東	現状	1.12	0.93	0.88	0.76
	M10	1.13	0.95	0.92	0.80
	M20	1.14	0.98	0.97	0.83
新潟	現状		1.02	0.80	0.61
	M10		1.02	0.80	0.61
	M20		1.02	0.82	0.64
富山・石川	現状	1.03	1.19	0.90	0.62
	M10	1.05	1.21	0.92	0.63
	M20	1.05	1.22	0.96	0.66
静岡	現状	1.05	0.92	0.78	0.53
	M10	1.08	0.97	0.80	0.53
	M20	1.08	0.98	0.82	0.57
中部	現状	0.98	0.85	0.82	0.58
	M10	1.04	0.93	0.87	0.58
	M20	1.05	0.96	0.93	0.64
近畿	現状	1.18	0.82	0.71	0.58
	M10	1.25	0.91	0.76	0.58
	M20	1.27	0.95	0.79	0.63
岡山	現状	1.12	1.09	0.93	0.65
	M10	1.14	1.12	0.96	0.66
	M20	1.14	1.16	1.01	0.70
広島	現状	1.38	1.37	1.31	1.29
	M10	1.39	1.38	1.34	1.28
	M20	1.40	1.39	1.39	1.34
九州北部	現状	1.37	1.08	1.16	1.04
	M10	1.37	1.14	1.18	1.04
	M20	1.38	1.18	1.21	1.08
桜島周辺	現状		0.80	1.00	1.03
	M10		0.79	0.95	1.03
	M20		0.79	0.97	1.06

※精度の高い方を色塗りで示す

表 10.16 総雨量比（60分雨量）の比較

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
栗駒山周辺	現状	0.88	0.74	0.71	0.68
	M10	0.93	0.73	0.74	0.67
	M20	0.93	0.75	0.77	0.73
関東	現状	1.12	0.93	0.87	0.78
	M10	1.13	0.94	0.91	0.82
	M20	1.14	0.98	0.96	0.85
新潟	現状		1.04	0.81	0.61
	M10		1.04	0.81	0.61
	M20		1.04	0.83	0.65
富山・石川	現状	1.03	1.19	0.91	0.59
	M10	1.05	1.21	0.93	0.59
	M20	1.05	1.22	0.97	0.62
静岡	現状	1.05	0.92	0.76	0.54
	M10	1.08	0.97	0.79	0.55
	M20	1.08	0.98	0.81	0.58
中部	現状	0.97	0.85	0.81	0.58
	M10	1.04	0.92	0.87	0.58
	M20	1.05	0.96	0.92	0.64
近畿	現状	1.19	0.82	0.70	0.58
	M10	1.26	0.88	0.74	0.58
	M20	1.27	0.95	0.78	0.63
岡山	現状	1.12	1.08	0.92	0.65
	M10	1.14	1.12	0.95	0.65
	M20	1.14	1.15	1.00	0.69
広島	現状	1.37	1.40	1.36	1.34
	M10	1.38	1.41	1.39	1.33
	M20	1.39	1.42	1.44	1.40
九州北部	現状	1.38	1.09	1.22	1.05
	M10	1.38	1.14	1.24	1.05
	M20	1.39	1.18	1.27	1.10
桜島周辺	現状		0.80	1.01	1.01
	M10		0.79	0.96	1.01
	M20		0.79	0.98	1.04

※精度の高い方を色塗りで示す

表 10.17 回帰係数（10分雨量）の比較

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
栗駒山周辺	現状	0.82	0.70	0.68	0.64
	M10	0.86	0.98	0.72	0.62
	M20	0.86	0.69	0.75	0.68
関東	現状	1.09	0.92	0.84	0.78
	M10	1.10	0.93	0.91	0.83
	M20	1.10	0.95	0.94	0.85
新潟	現状		1.03	0.88	0.69
	M10		1.03	0.88	0.69
	M20		1.03	0.89	0.72
富山・石川	現状	0.98	1.15	0.95	0.65
	M10	1.01	1.18	0.98	0.66
	M20	1.01	1.19	1.00	0.72
静岡	現状	1.03	0.95	0.77	0.61
	M10	1.05	1.01	0.80	0.62
	M20	1.05	1.00	0.81	0.65
中部	現状	0.92	0.83	0.80	0.59
	M10	0.99	0.91	0.87	0.59
	M20	0.99	0.93	0.90	0.64
近畿	現状	1.04	0.76	0.76	0.52
	M10	1.11	0.84	0.81	0.52
	M20	1.11	0.87	0.83	0.56
岡山	現状	1.07	1.08	0.89	0.75
	M10	1.08	1.10	0.92	0.75
	M20	1.08	1.12	0.95	0.79
広島	現状	1.21	1.16	1.06	0.99
	M10	1.22	1.17	1.10	1.00
	M20	1.22	1.18	1.12	1.03
九州北部	現状	1.16	0.81	0.93	0.87
	M10	1.18	0.86	0.96	0.87
	M20	1.18	0.88	0.98	0.89
桜島周辺	現状		0.82	0.92	1.04
	M10		0.82	0.86	1.05
	M20		0.82	0.87	1.07

※精度の高い方を色塗りで示す

表 10.18 回帰係数 (60分雨量) の比較

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
栗駒山周辺	現状	0.83	0.70	0.67	0.70
	M10	0.87	0.67	0.71	0.68
	M20	0.87	0.69	0.73	0.75
関東	現状	1.10	0.92	0.83	0.83
	M10	1.12	0.93	0.88	0.88
	M20	1.12	0.95	0.92	0.90
新潟	現状		1.06	0.89	0.70
	M10		1.06	0.89	0.70
	M20		1.06	0.90	0.73
富山・石川	現状	0.95	1.16	0.99	0.59
	M10	0.97	1.19	1.02	0.59
	M20	0.98	1.19	1.05	0.63
静岡	現状	1.05	0.97	0.76	0.60
	M10	1.08	1.02	0.78	0.62
	M20	1.08	1.02	0.79	0.65
中部	現状	0.94	0.85	0.79	0.58
	M10	1.01	0.94	0.85	0.58
	M20	1.01	0.96	0.89	0.64
近畿	現状	1.09	0.76	0.73	0.50
	M10	1.15	0.85	0.77	0.50
	M20	1.16	0.88	0.80	0.55
岡山	現状	1.09	1.11	0.89	0.75
	M10	1.10	1.13	0.91	0.74
	M20	1.10	1.15	0.95	0.79
広島	現状	1.26	1.24	1.20	1.08
	M10	1.27	1.25	1.22	1.08
	M20	1.27	1.26	1.26	1.12
九州北部	現状	1.22	0.90	1.07	0.95
	M10	1.22	0.93	1.09	0.95
	M20	1.23	0.96	1.11	0.98
桜島周辺	現状		0.82	0.98	1.07
	M10		0.81	0.94	1.07
	M20		0.81	0.95	1.09

※精度の高い方を色塗りで示す

10章2節2項 降雨減衰補正の高度化の検討

図 10.102 は、全レーダについて、レーダから 0～30km、30～60km、60km～72.5km、72.5～80km の範囲の地上雨量計の 10 分雨量を対象に、レーダ雨量と地上雨量を比較したものである。Kdp-R 関係式の使用条件の下、赤は 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-R 関係式により算出 (Kdp-R 雨量)、黒は 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)、緑は 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。表 10.19 は、レーダからの距離別に精度指標を整理したものである。レーダの観測精度はレーダから離れるに従って低下している。なお、72.5km 以遠では、縁付近の異常値出現を防ぐため主に Z-R 関係式を採用する仕組みに変更 (本章 4 節) したため、ほぼ全て Z-R 雨量となっている。図 10.103～図 10.105 は、0～30km、30～60km、60km～80km の範囲毎に、Kdp-R 雨量と Z-R 雨量を別々に整理したものである。Kdp 雨量率とは、総雨量に占める Kdp 雨量の割合、Z-R 雨量率とは総雨量に占める Z-R 雨量の割合を示している。特に 60km 以遠では、総雨量に占める Z-R 雨量の割合が大きく、また、強雨時においても Z-R 関係式が多く適用されている。さらに Z-R 雨量は過小傾向を示している。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。

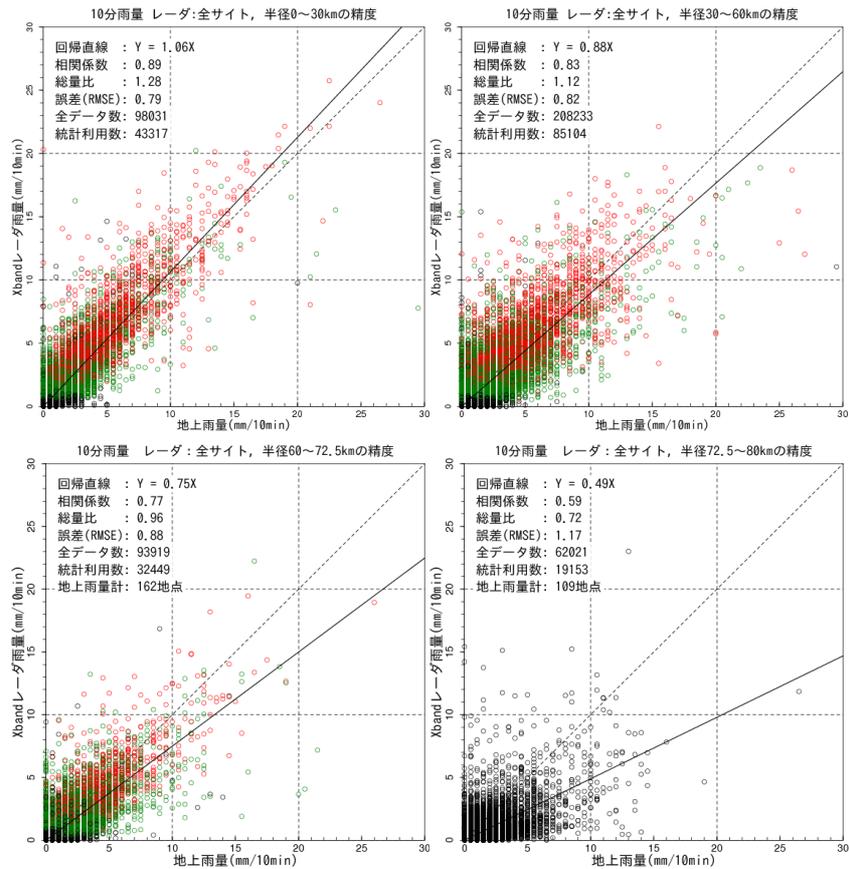


図 10.102 レーダからの距離別精度

表 10.19 レーダからの距離別精度の精度指標

雨量算定方式	0~30km				30~60km				60~72.5km				72.5~80km			
	相関係数	誤差	総雨量比	回帰係数	相関係数	誤差	総雨量比	回帰係数	相関係数	誤差	総雨量比	回帰係数	相関係数	誤差	総雨量比	回帰係数
K _{DP} 方式のみで算出した雨量	0.88	1.83	1.25	1.13	0.80	1.84	1.16	0.99	0.81	1.75	1.08	0.92	-	-	-	-
主にZ-R方式で算出した雨量	0.63	0.39	1.38	0.81	0.47	0.43	1.04	0.53	0.46	0.56	0.82	0.46	0.59	1.17	0.72	0.49
複合雨量(現運用方式)	0.89	0.79	1.28	1.06	0.83	0.82	1.12	0.88	0.77	0.88	0.96	0.75	0.59	1.17	0.72	0.49

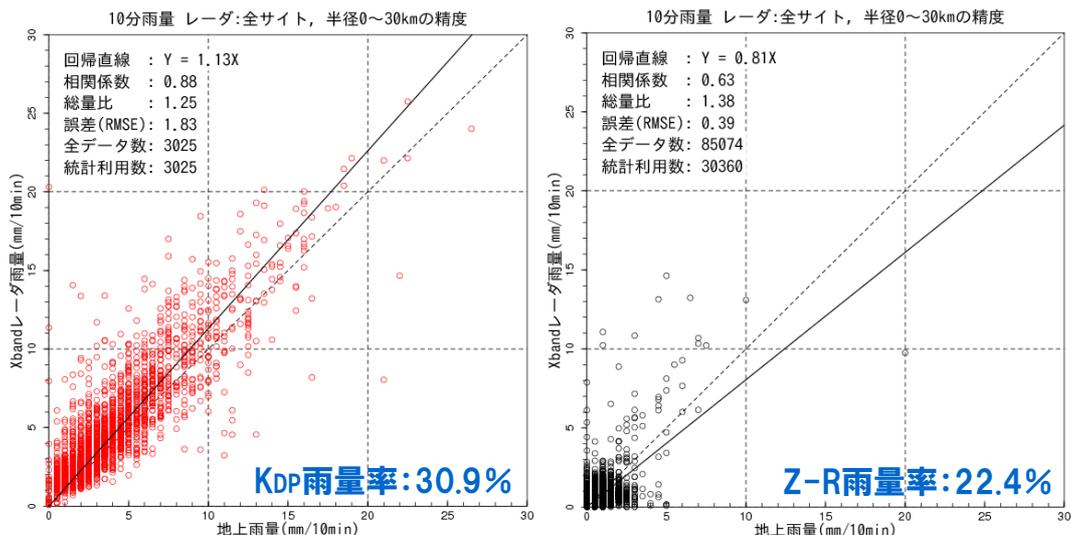


図 10.103 レーダからの距離別精度 0~30km (左: Kdp雨量、右: Z-R雨量)

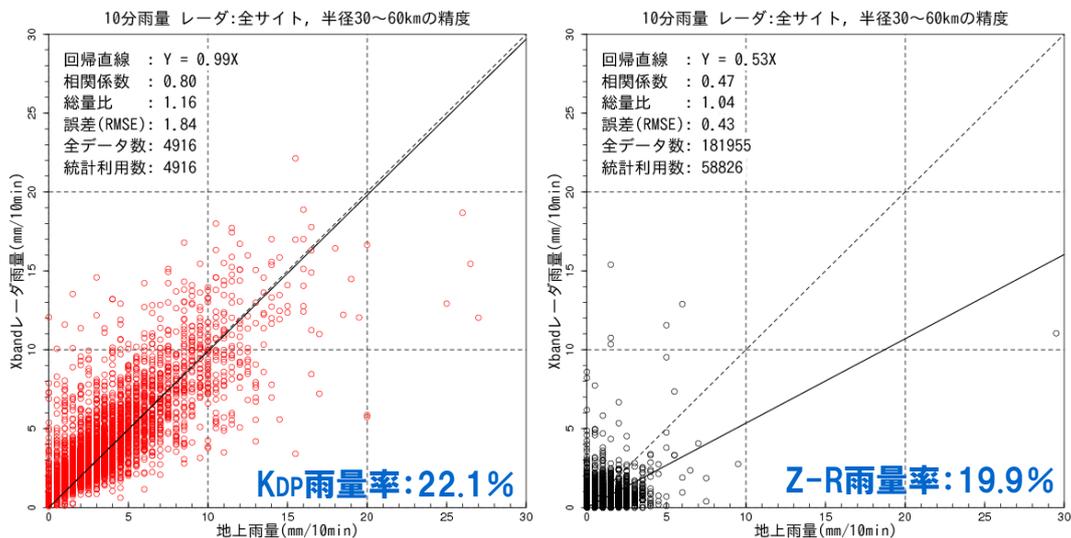


図 10.104 レーダからの距離別精度 30~60km (左: Kdp雨量、右: Z-R雨量)

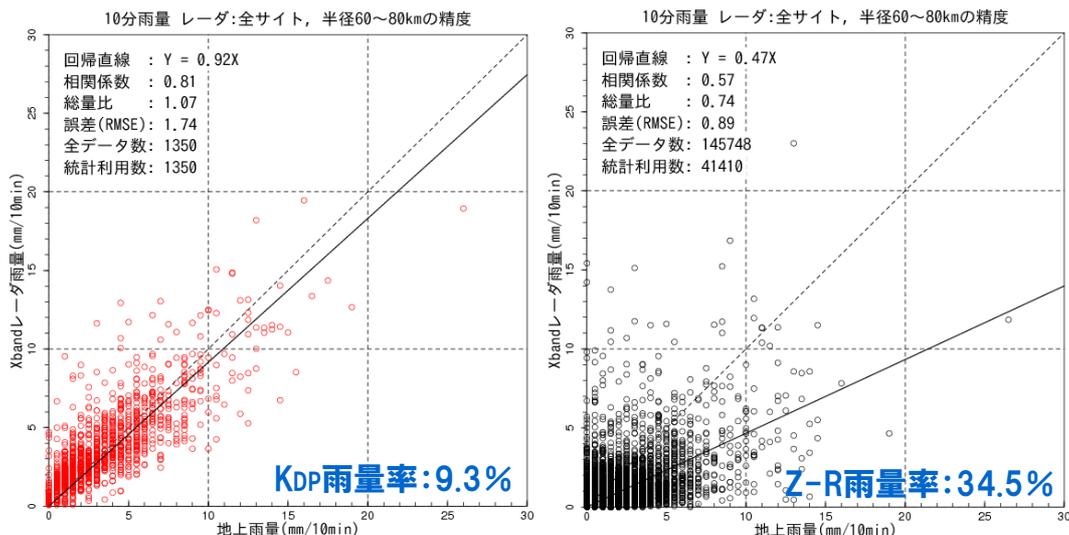


図 10.105 レーダからの距離別精度 60～80km (左 : Kdp 雨量、右 : Z-R 雨量)

■ 降雨減衰補正処理

XRAIN におけるレーダ反射因子 (Z_h) の降雨減衰補正は、各メッシュの K_{dp} から単位距離当たりの降雨減衰量 (A_h) を算出し、レーダから当該メッシュまでの A_h を積算し、積算した A_h をレーダ反射因子に加算する。そのため、降雨域にも関わらず A_h が算定されていないメッシュがある場合、レーダ遠方程、減衰補正量が過小評価され、 Z_h 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ると考えられる。

図 10.106 は現状の降雨減衰補正の手順である。XRAIN の雨量算定処理において Z_h は、減衰補正前の Z_{h1} と、 K_{dp} -R 関係式の使用条件の判定に用いられる Z_{h2} と Z-R 関係式による降雨強度算出に用いられる Z_{h3} の 3 種類がある。 Z_{h2} は得られている全ての K_{dp} (K_{dp1}) を用いて減衰補正前のレーダ反射因子 (Z_{h1}) を減衰補正して算出される。 Z_{h2} が 30dBZ 以上かつ K_{dp} が 0.1°/km 以上の場合、 K_{dp} -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。Z-R 関係式による降雨強度算出に用いられる Z_{h3} は、 Z_{h2} が 30dBZ 以上のメッシュの K_{dp} (K_{dp2}) を用いて Z_{h1} を減衰補正して算出される。弱雨域では、 Z_{h2} が小さい値を示しているのにも関わらず過大な値の K_{dp} が算出され、 K_{dp} -R 関係式により降雨強度算出された場合、孤立的な強雨が散在した雨量分布となる (本章 1 節)。これを回避するため、XRAIN では、 Z_{h2} 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、 Z_{h3} の減衰補正について、弱雨域に散在する過大な値の K_{dp} を減衰補正に用いることで、過大に補正された Z_{h3} 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、 Z_{h2} により降雨強

度を判定し、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、Zh2とZh3で異なるKdpを用いた減衰補正が行われている。

現状のZh2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、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。

Zh 閾値として「Kdp2の抽出に用いる Zh 閾値」と「Kdp-R 関係式の使用条件に用いる Zh 閾値」の2種類の閾値が存在し、現状は同値であるが、本節では、Kdp2の抽出に用いる Zh 閾値について検討し、可能な限り弱雨時のKdpも用いて減衰補正し、Z-R関係式による降雨強度算出の精度向上を図り、レーダ遠方の過小傾向を改善する。

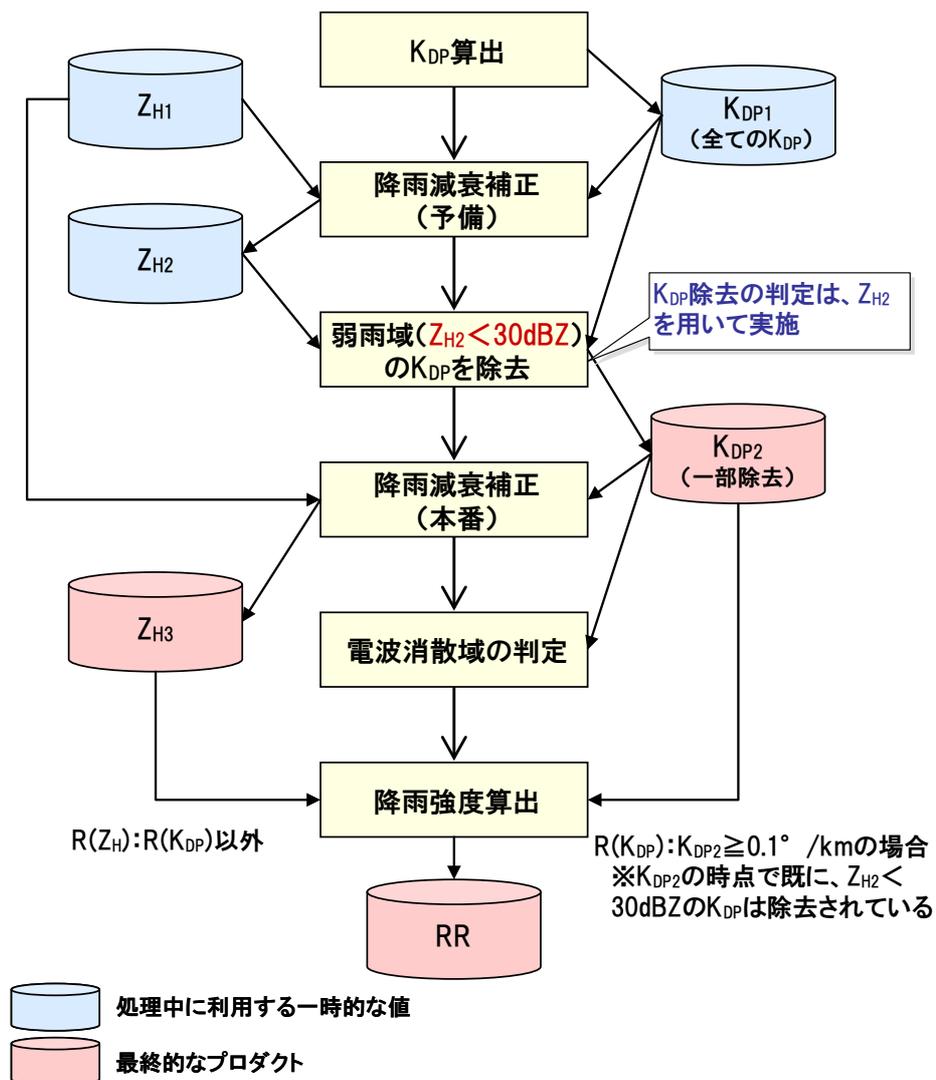


図 10.107 は、降雨減衰補正の流れを実データによって示している。この事例では、Zh 閾値 (K_{DP2} を抽出するために用いる閾値 (=30dBZ)) より大きい Z_{H2} (図中赤線) が少ないため、 Z_{H3} の減衰補正に用いられる K_{DP2} が少なくなる。このような事例では、Zh 閾値を引き下げることによって、 K_{DP2} が増加し、適切に減衰補正された Z_{H3} が得られることが期待される。

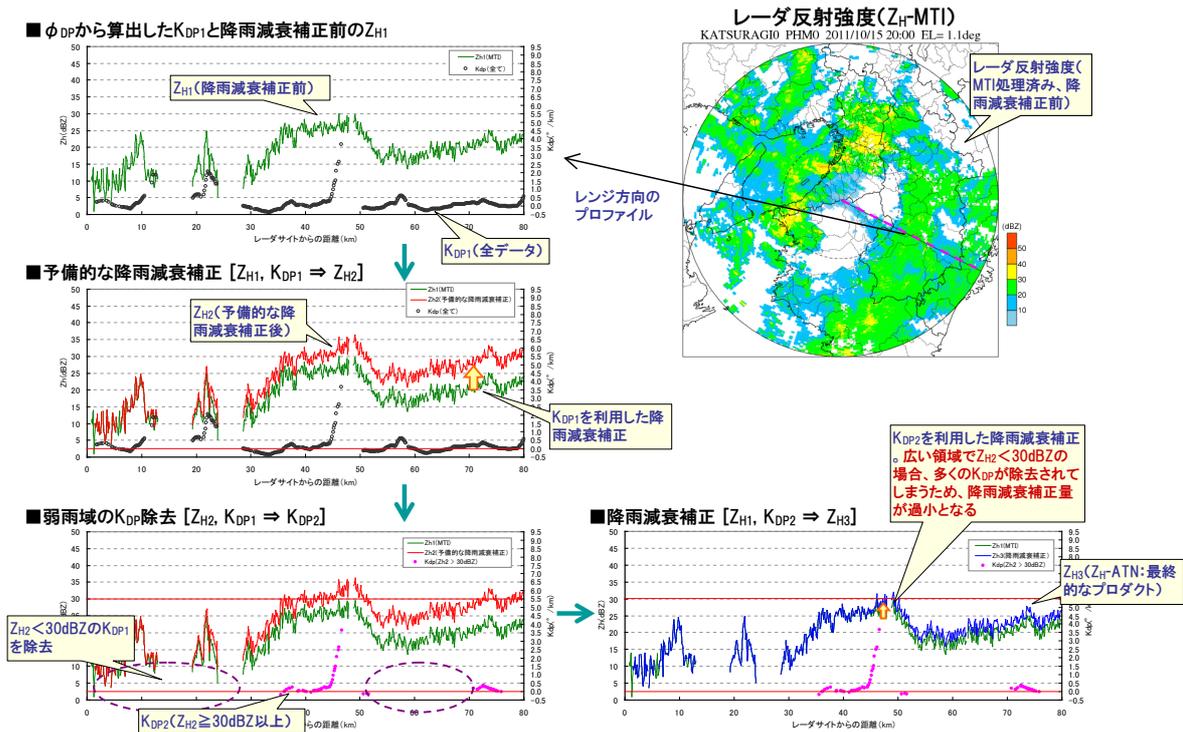


図 10.107 実データによる降雨減衰補正の流れ

■ ϕ_{DP} 及び K_{DP} プロファイル

K_{DP} の算出精度が高く、全ての K_{DP} を利用していれば、 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイルは一致するはずである。現状は、 Z_h 閾値 (=30dBZ) を用いて利用する K_{DP} を制限しているため、 ϕ_{DP} プロファイルに比べて K_{DP} 積算値のプロファイルは過小となる。

図 10.108～図 10.113 は、 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイルの比較である。 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイルは、概ね一致している。しかし、降雨強度の弱い (30dBZ 以下) 雨域が、広域に分布している事例では、 ϕ_{DP} プロファイルに比べて K_{DP} 積算値が過小となっている。

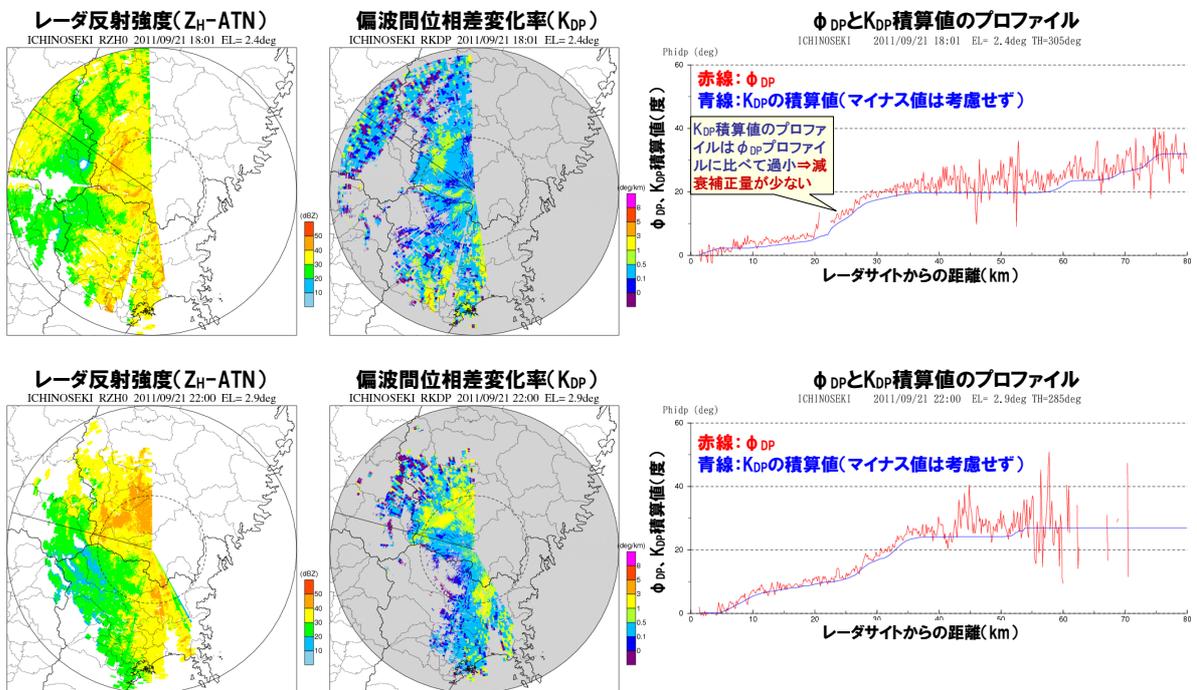


図 10.108 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイル (1)

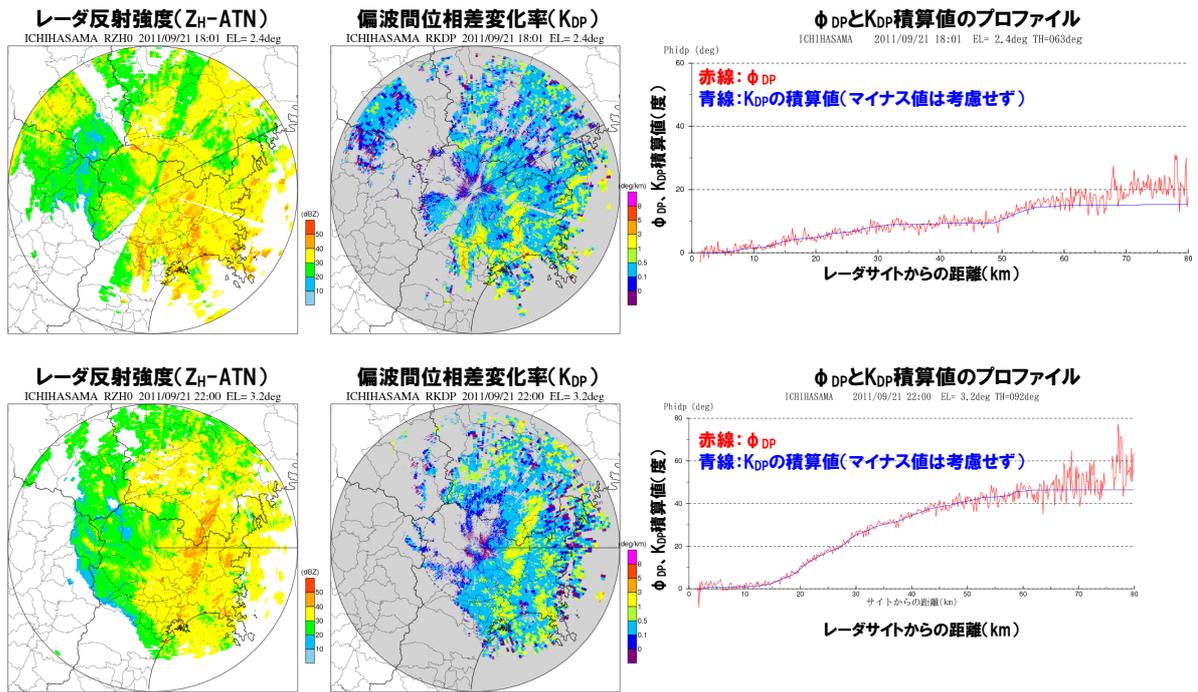


図 10.109 Φ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイル (2)

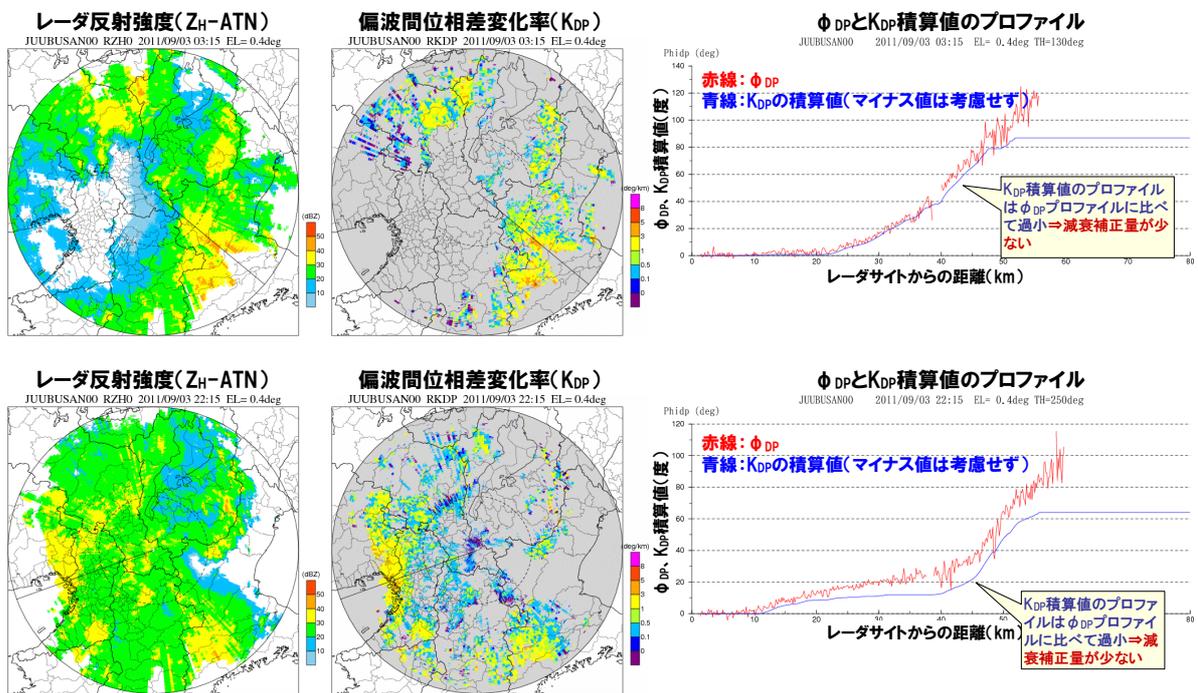


図 10.110 Φ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイル (3)

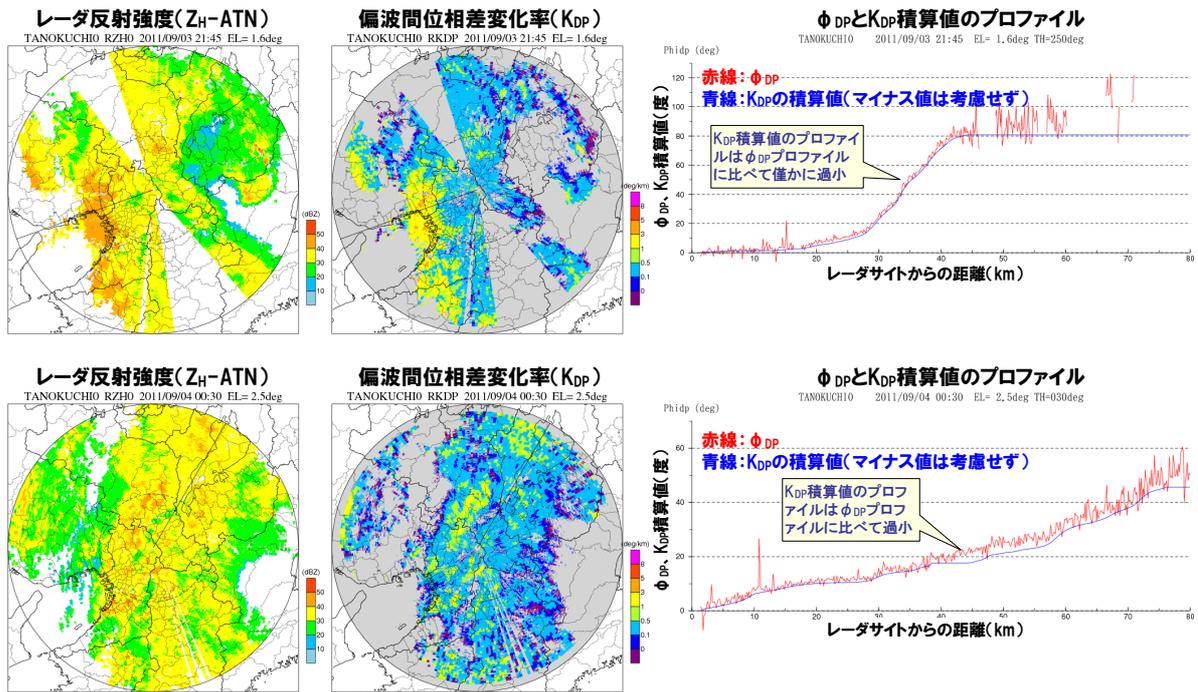


図 10.111 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイル (4)

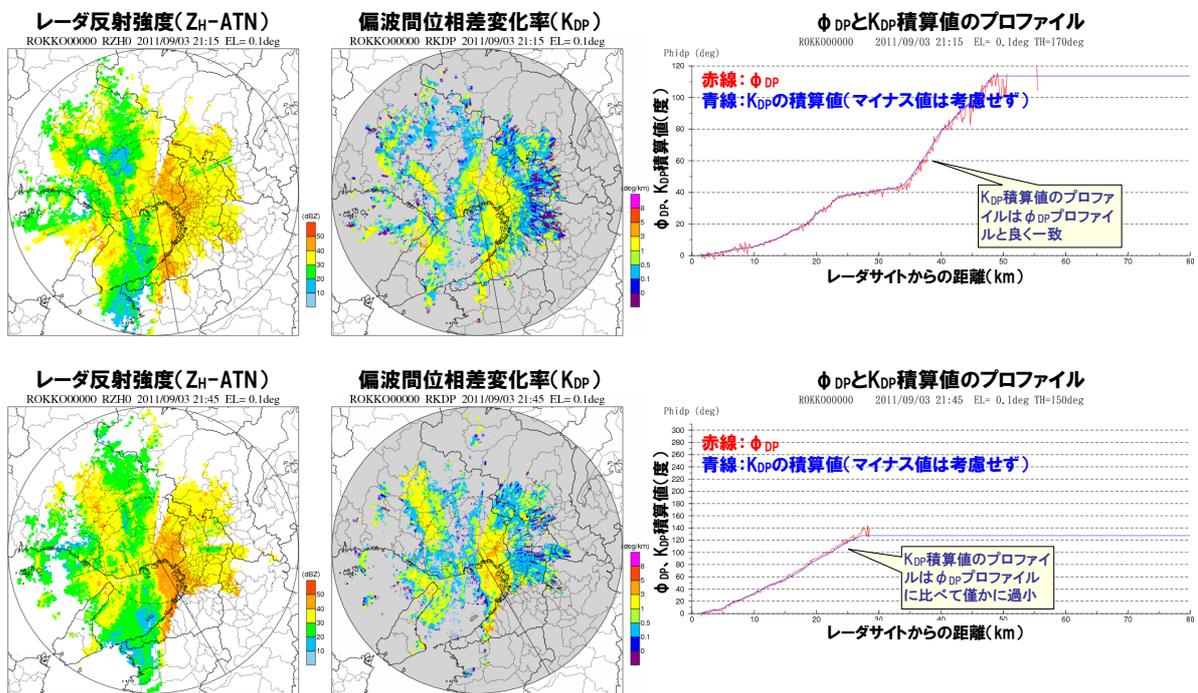


図 10.112 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイル (5)

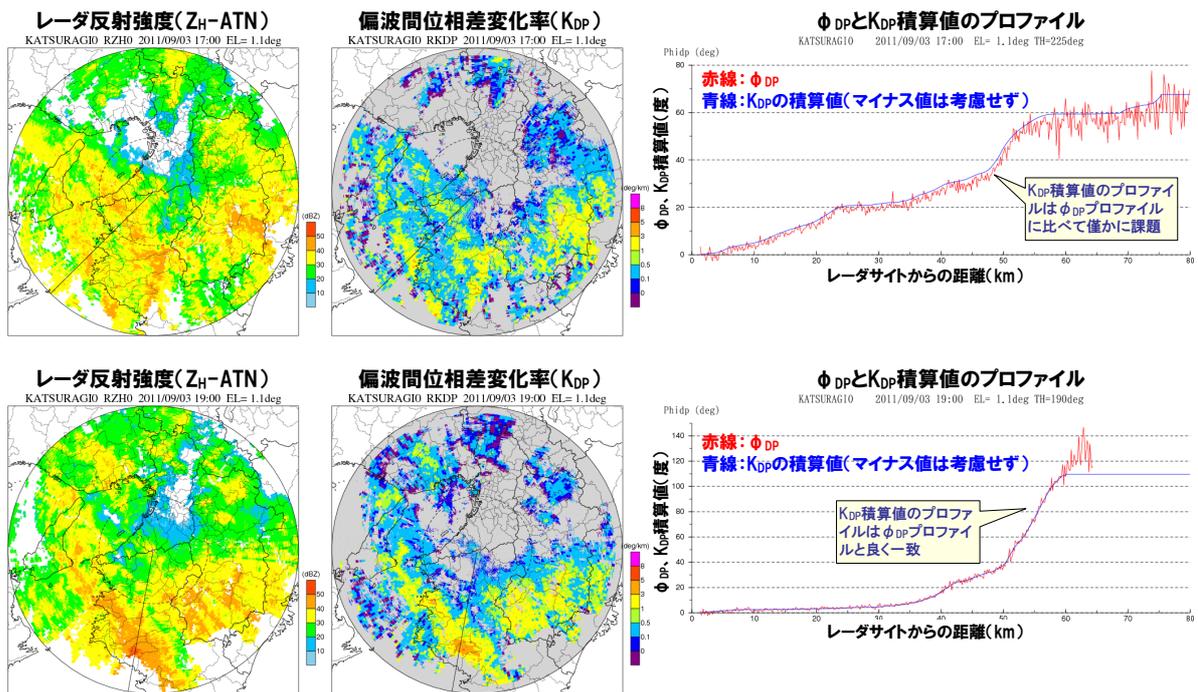


図 10.113 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイル (6)

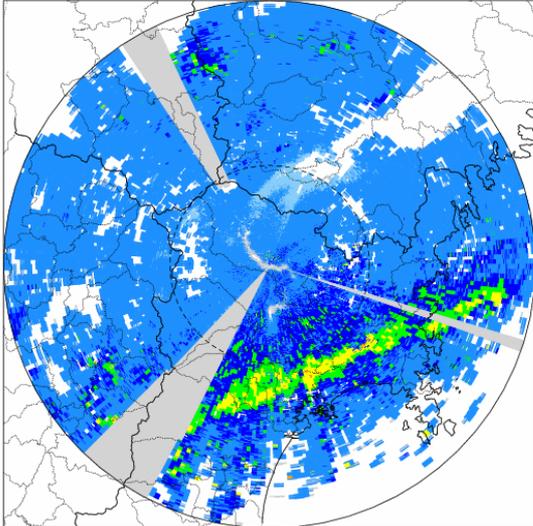
■ 降雨減衰補正の改良の検討

Zh 値として「 K_{dp2} の抽出に用いる Zh 閾値」と「 K_{dp} -R 関係式の使用条件に用いる Zh 閾値」の 2 種類の閾値が存在する。図 10.114～図 10.115 は、これら 2 種類の閾値を 10dBZ に変更した場合の降雨分布である。 K_{dp} -R 関係式の使用条件に用いる Zh 閾値を 10dBZ に引き下げると、弱雨域中にノイズ状の異常な強雨が出現する（本章 1 節）。そのため、 K_{dp2} の抽出に用いる Zh 閾値のみ変更（10dBZ に引き下げる）することとした。

Z_H閾値 (現状)

減衰補正時=30dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ

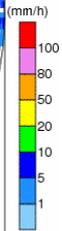
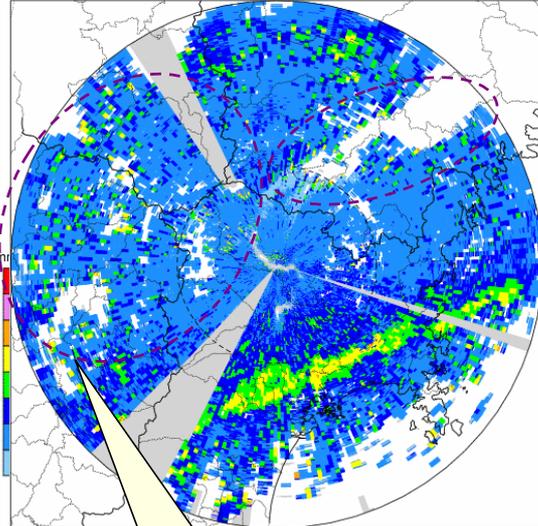
ICHIHASAMA RRR0 2011/09/21 00:01 EL= 2.4deg



Z_H閾値

減衰補正時=10dBZ、R(K_{DP})採用時=10dBZ

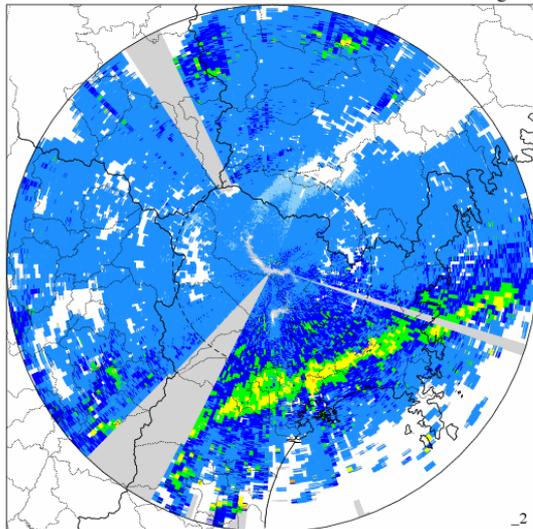
ICHIHASAMA RRR0 2011/09/21 00:01 EL= 2.4deg



Z_H閾値 (プログラム改修)

減衰補正時=10dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ

ICHIHASAMA RRR0 2011/09/21 00:01 EL= 2.4deg



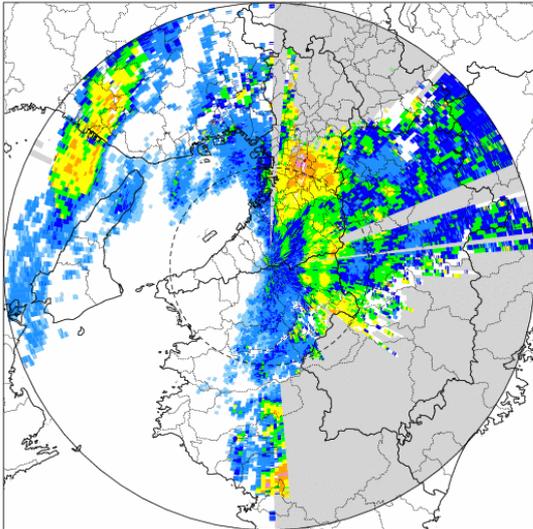
R(K_{DP})採用時のZ_H閾値を10dBZに下げると、**弱雨域のノイズが目立つようになる**

図 10.114 降雨分布の確認 (1)

Z_H閾値 (現状)

減衰補正時=30dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ

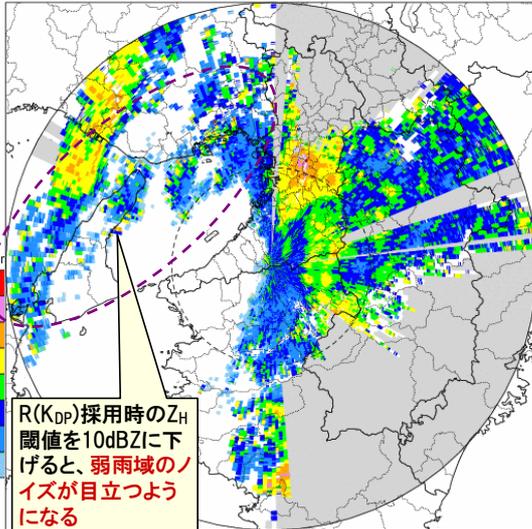
KATSURAGIO RRR0 2011/09/04 02:31 EL= 0.1deg



Z_H閾値

減衰補正時=10dBZ、R(K_{DP})採用時=10dBZ

KATSURAGIO RRR0 2011/09/04 02:31 EL= 0.1deg



R(K_{DP})採用時のZ_H閾値を10dBZに下げると、弱雨域のノイズが目立つようになる

Z_H閾値 (プログラム改修)

減衰補正時=10dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ

KATSURAGIO RRR0 2011/09/04 02:31 EL= 0.1deg

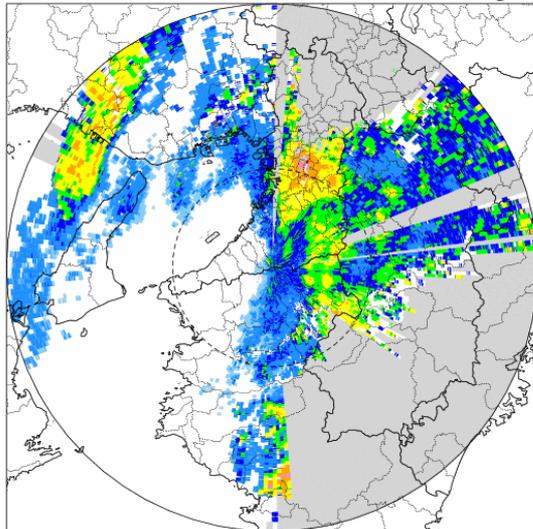


図 10.115 降雨分布の確認 (2)

■ 降雨減衰補正の改良アルゴリズム

図 10.116 は、降雨減衰補正の改良アルゴリズムである。現状のアルゴリズムでは、「Kdp₂の抽出に用いる Zh 閾値」と「Kdp-R 関係式の使用条件に用いる Zh 閾値」について同値であるため閾値は区別されていない。改良アルゴリズムでは、「Kdp₂の抽出に用いる Zh 閾値」と「Kdp-R 関係式の使用条件に用いる Zh 閾値」について区別し、「Kdp-R 関係式の使用条件に用いる Zh 閾値」は、30dBZ を設定し、「Kdp₂の抽出に用いる Zh 閾値」は、30dBZ (現状) から 10dBZ に引き下げることで、減衰補正に可能な限り多くの Kdp を使用できるようにしている。なお、閾値の 10dBZ は、相当小さな値であり、感度の高いレーダサイト近傍以外はほとんど出現しない。そのため、ほぼ全ての Kdp が減衰補正に利用されることと等価であることを示している。図 10.117～図 10.121 は、現状アルゴリズムと改良アルゴリズムの比較である。改良アルゴリズムを適用することで、レーダ雨量が増加し、レーダ遠方程、増加傾向が大きい。また、縁付近 (72.5km 以遠) は、ノイズ対策として Kdp-R 関係式が使用されないため、降雨減衰補正の改良によるレーダ雨量の増加傾向が大きい。

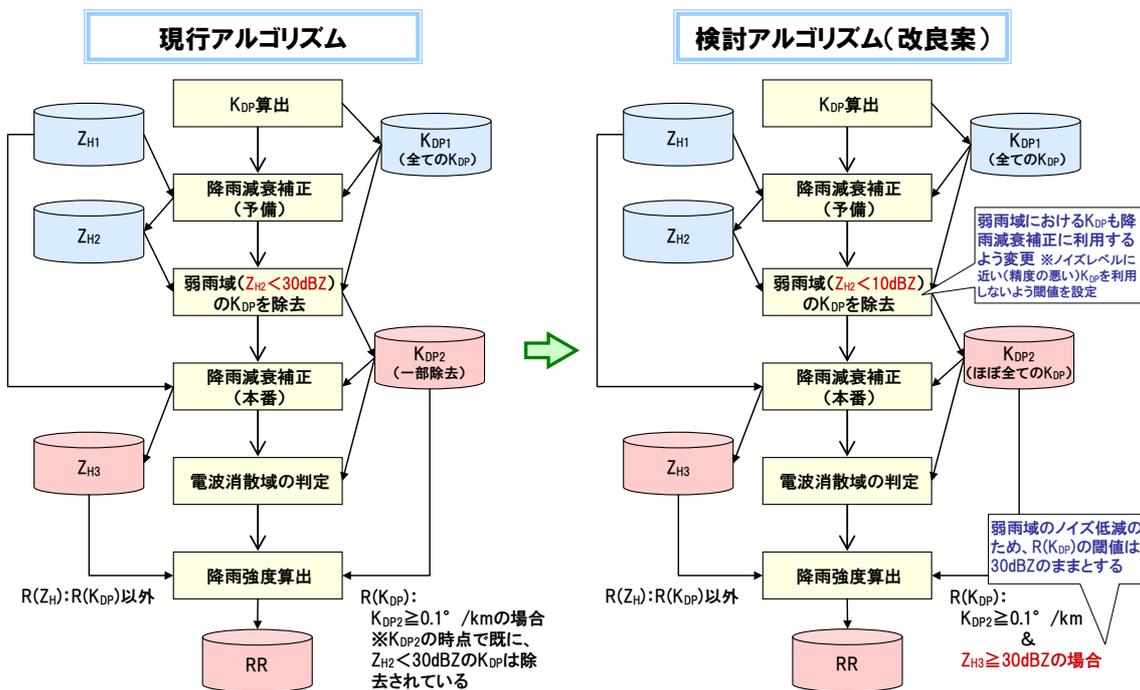
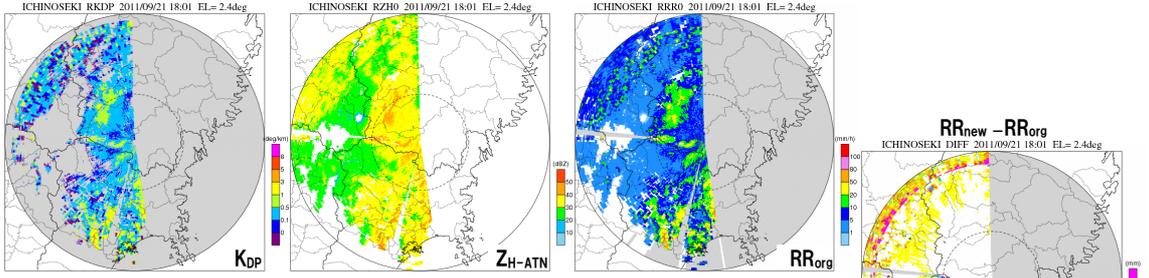


図 10.116 検討したアルゴリズム (左: 現状、右: 改良案)

現状:減衰補正時=30dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ



改良案:減衰補正時=10dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ

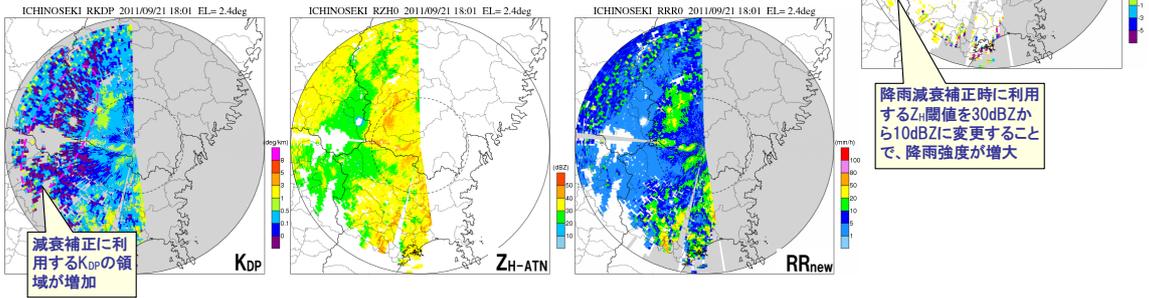
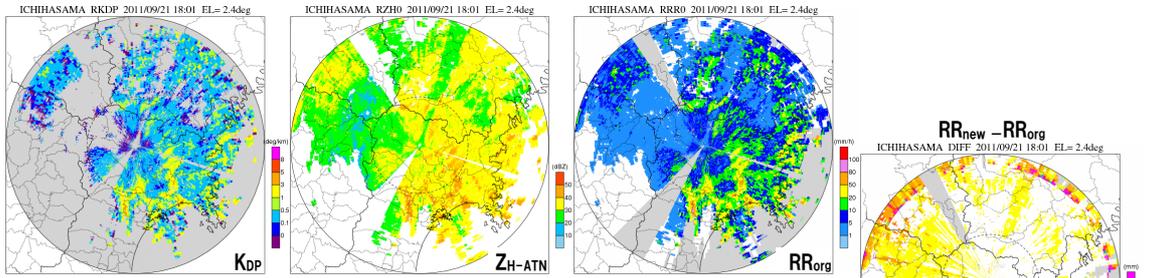


図 10.117 現状 (上段) と改良案 (下段) の比較 (1)
(右図は RRnew (改良案) と RRorg (現状) との差)

現状:減衰補正時=30dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ



改良案:減衰補正時=10dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ

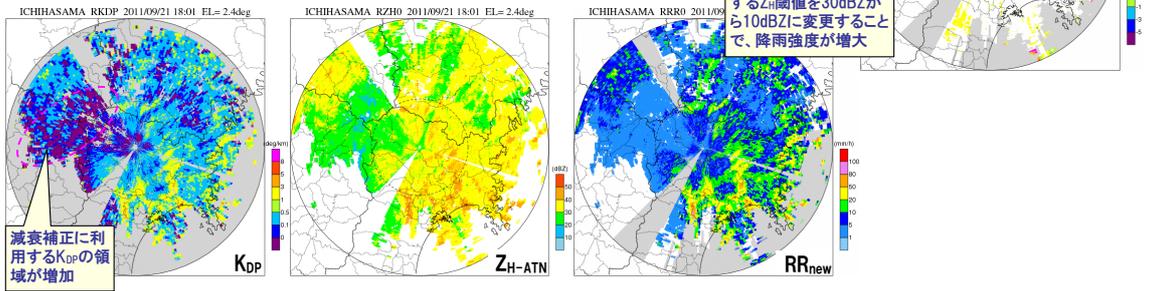
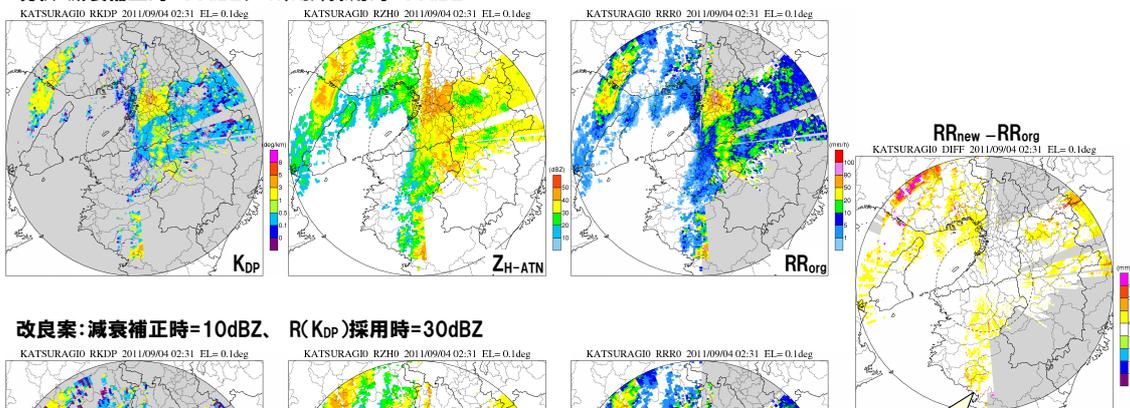


図 10.118 現状 (上段) と改良案 (下段) の比較 (2)
(右図は RRnew (改良案) と RRorg (現状) との差)

現状:減衰補正時=30dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ



改良案:減衰補正時=10dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ

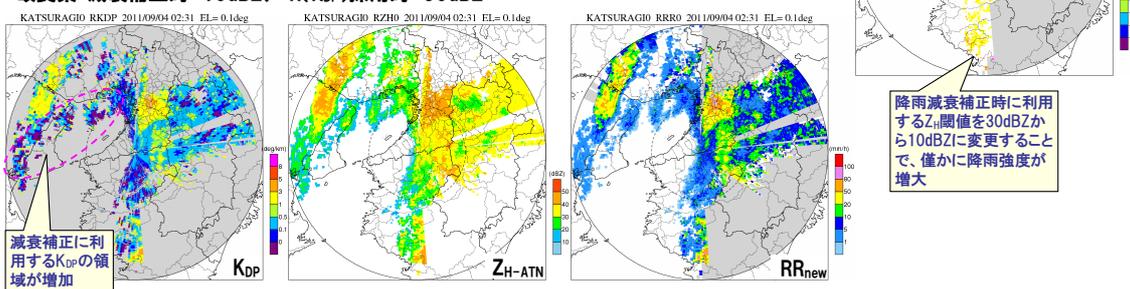
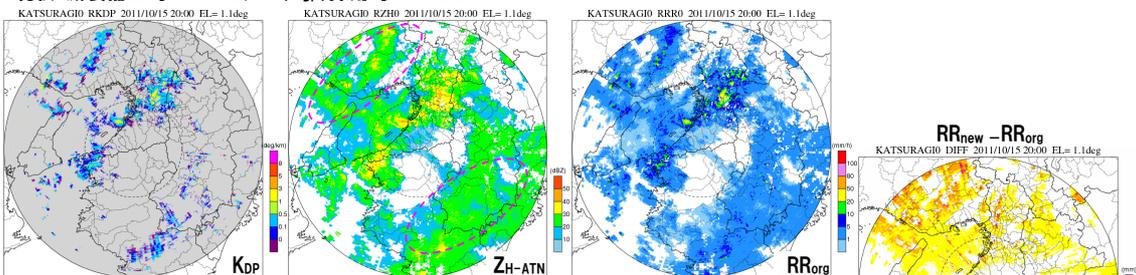


図 10.119 現状 (上段) と改良案 (下段) の比較 (3)
(右図は RRnew (改良案) と RRorg (現状) との差)

現状:減衰補正時=30dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ



改良案:減衰補正時=10dBZ、R(K_{DP})採用時=30dBZ

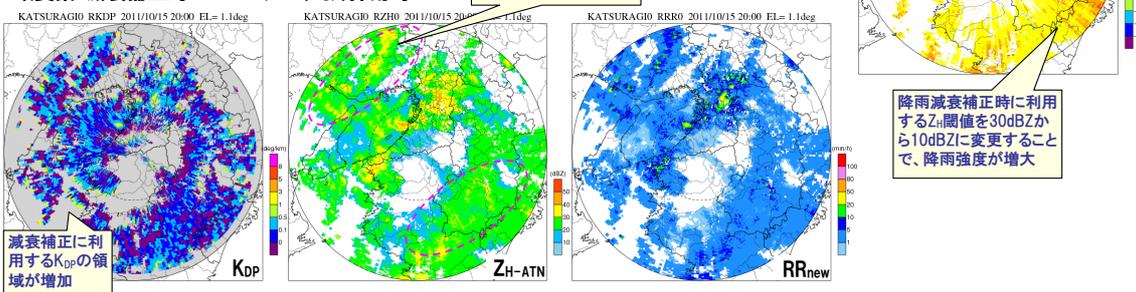


図 10.120 現状 (上段) と改良案 (下段) の比較 (4)
(右図は RRnew (改良案) と RRorg (現状) との差)

現状：減衰補正時=30dBZ、 $R(K_{DP})$ 採用時=30dBZ

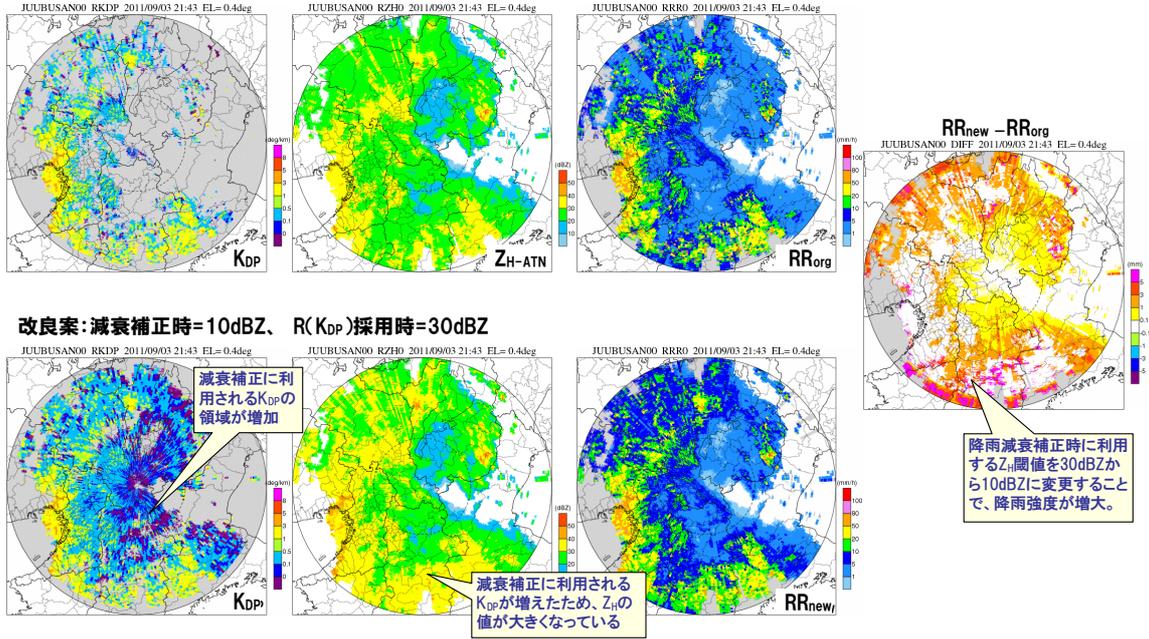


図 10.121 現状（上段）と改良案（下段）の比較（5）
（右図は RR_{new} （改良案）と RR_{org} （現状）との差）

図 10.122～図 10.125 は、現状アルゴリズムと改良アルゴリズムによる ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値のプロファイルの比較である。改良アルゴリズムにより ϕ_{DP} と K_{dp} 積算値のプロファイルの一致度が向上していることが確認できる。

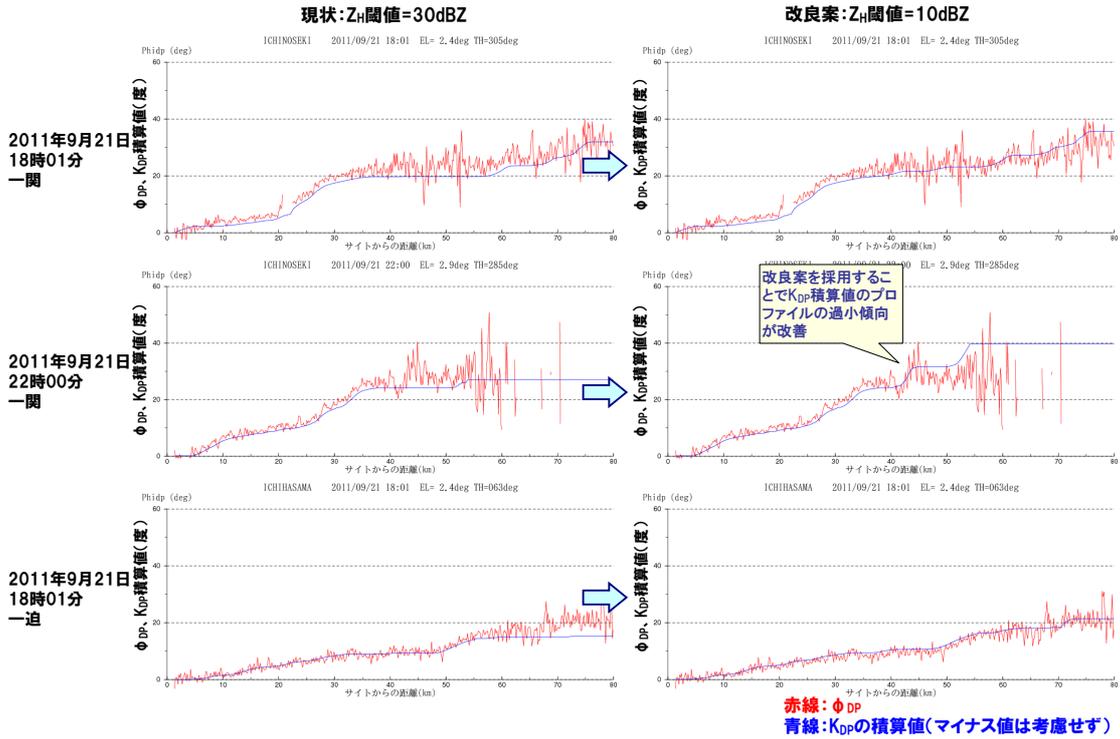


図 10.122 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値プロファイルの比較 (左: 現状、右: 改良案)

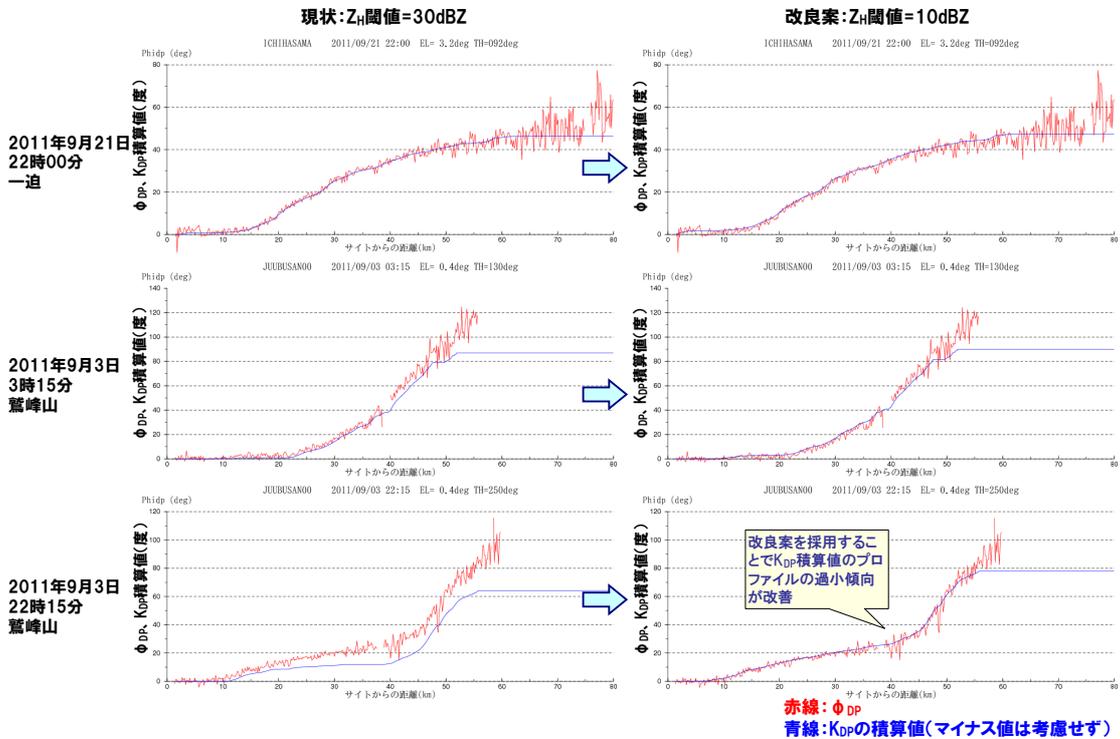


図 10.123 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値プロファイルの比較 (左: 現状、右: 改良案)

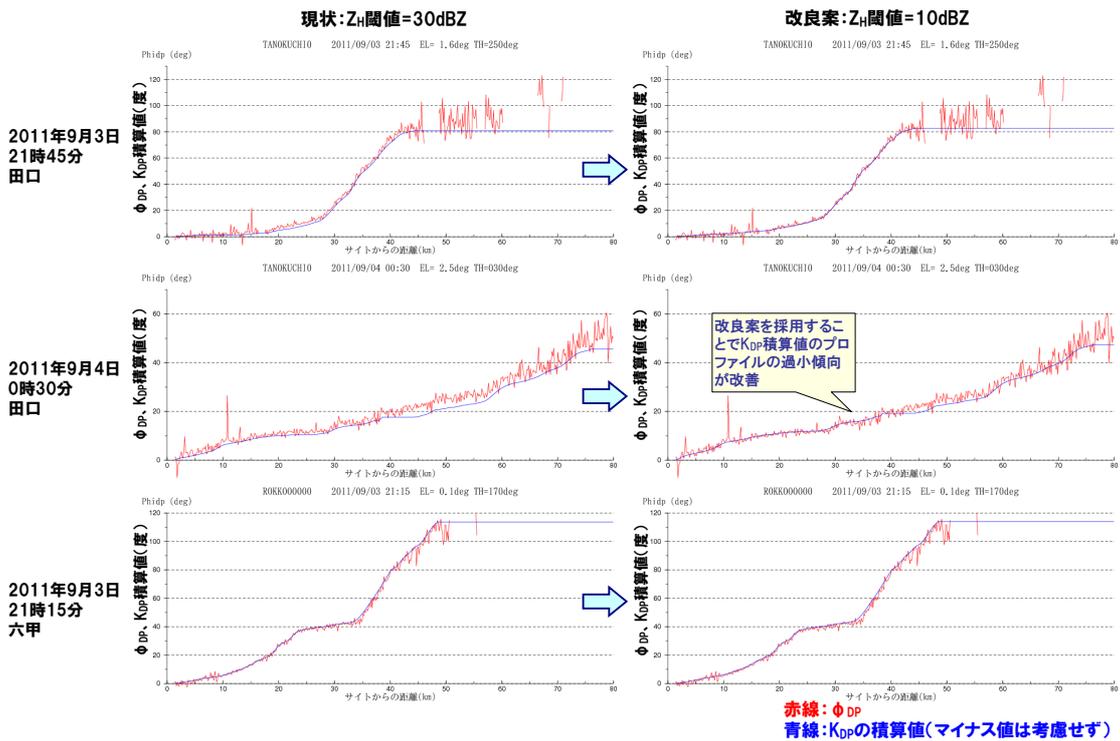


図 10.124 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値プロファイルの比較 (左: 現状、右: 改良案)

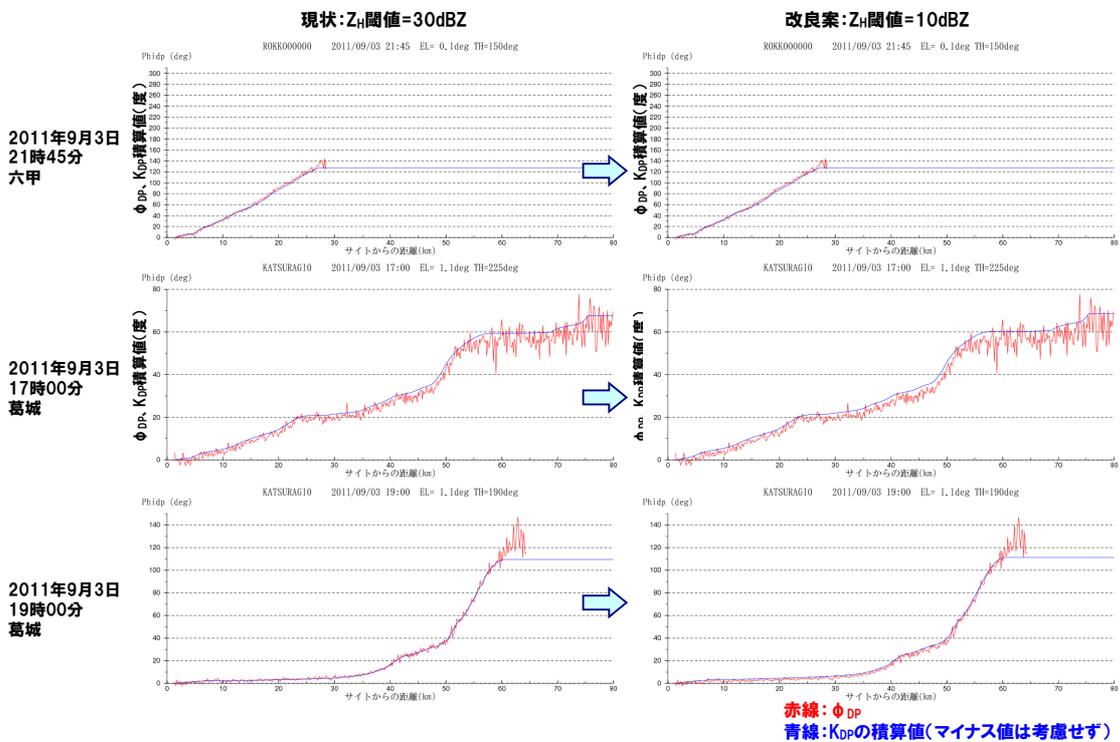


図 10.125 ϕ_{DP} と K_{DP} 積算値プロファイルの比較 (左: 現状、右: 改良案)

■ 電波消散域の推定精度

XMP レーダは、強い降雨減衰により電波が返ってこないことがあり、そのような範囲（電波消散域）は降水が存在するのにもかかわらず無降水となり、0mm/h として晴天域として扱われる。電波が返ってくれば、Kdp を用いた精度の高い降雨強度算定や減衰量の推定が可能となる。XMP レーダでは、Kdp を用いて減衰量を算定することで、電波消散域を判定し、その領域を欠測として扱っている。しかし、実際は電波消散として欠測と判定できずに、無降水となる場合がある。無降水は 0mm/h として扱われるため、そのまま合成されると、合成雨量が過小傾向となる場合がある。

図 10.126～図 10.128 は、現状アルゴリズムと改良アルゴリズムの比較結果である。改良アルゴリズムを適用することで、現状アルゴリズムでは、電波消散域と考えられる領域が“無降水”となっている。改良アルゴリズムでは、そのような領域が電波消散域と判定されていることが確認できる。改良アルゴリズムを適用することで、電波消散域の判定精度が向上し、合成雨量の精度向上が期待される。

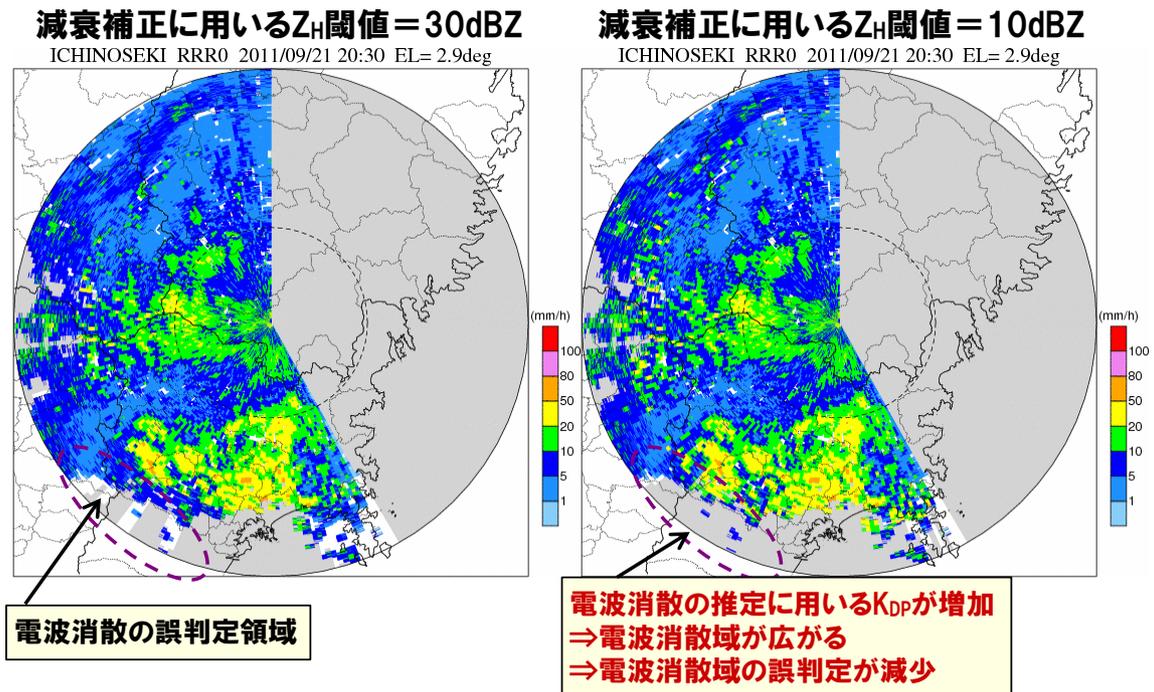
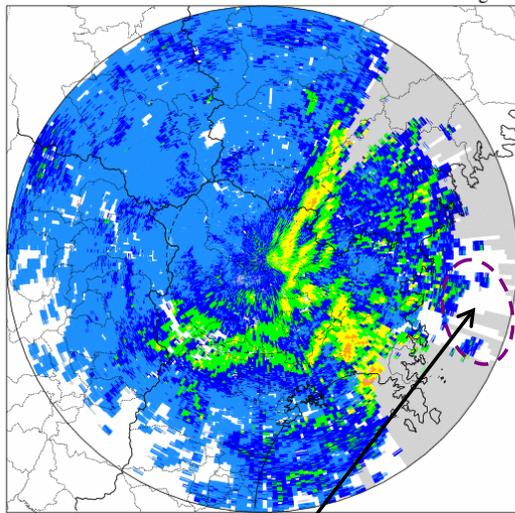


図 10.126 電波消散域の推定精度の向上（左：現状、右：改良アルゴリズム）

減衰補正に用いるZ_H閾値 = 30dBZ

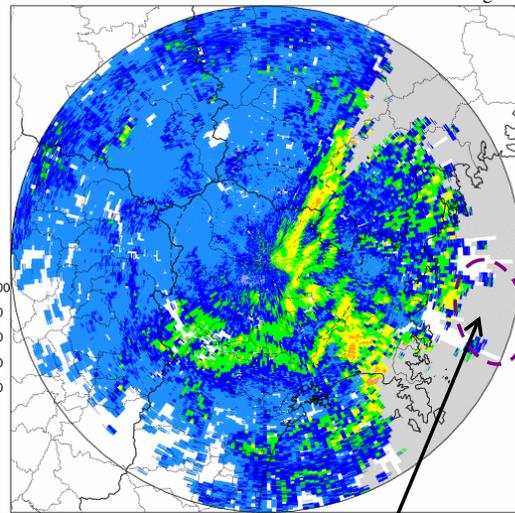
ICHIHASAMA RRR0 2011/09/21 17:30 EL= 3.2deg



電波消散の誤判定領域

減衰補正に用いるZ_H閾値 = 10dBZ

ICHIHASAMA RRR0 2011/09/21 17:30 EL= 3.2deg

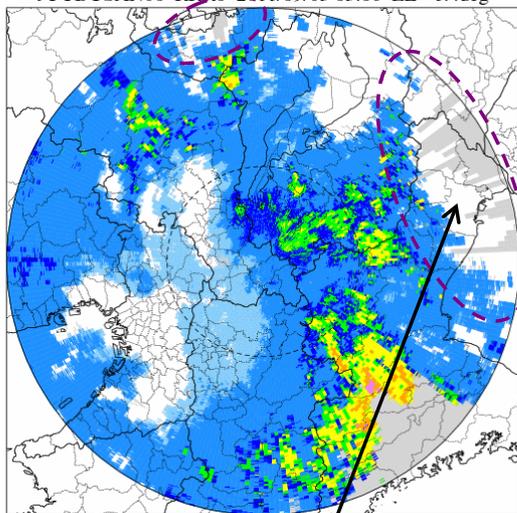


電波消散の推定に用いるK_{DP}が増加
⇒電波消散域が広がる
⇒電波消散域の誤判定が減少

図 10.127 電波消散域の推定精度の向上 (左: 現状、右: 改良アルゴリズム)

減衰補正に用いるZ_H閾値 = 30dBZ

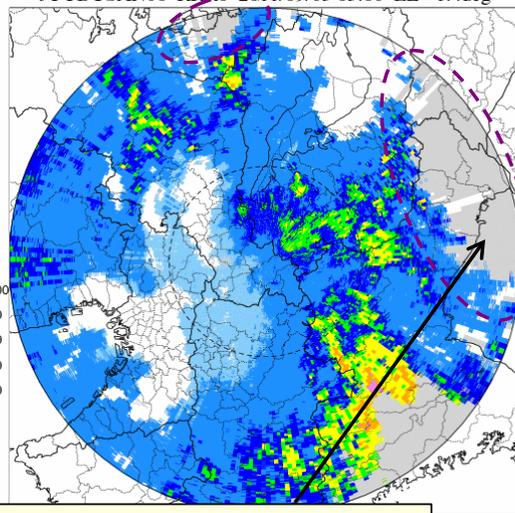
JUUBUSAN00 RRR0 2011/09/03 03:00 EL= 1.4deg



電波消散の誤判定領域

減衰補正に用いるZ_H閾値 = 10dBZ

JUUBUSAN00 RRR0 2011/09/03 03:00 EL= 1.4deg



電波消散の推定に用いるK_{DP}が増加
⇒電波消散域が広がる
⇒電波消散域の誤判定が減少

図 10.128 電波消散域の推定精度の向上(左: 現状、右: 改良アルゴリズム)

■ 降雨減衰補正の改良の検証

表 10.20 に事例を対象に、降雨減衰補正の改良による遠方の過小傾向の改善効果を検証した。

表 10.20 検証事例

地域	期間	降雨原因
栗駒山周辺	2011年9月21日13時～22日04時	台風15号
関東	2011年7月19日04時～20日05時	台風6号
	2011年9月20日22時～21日20時	台風15号
近畿	2011年9月02日22時～04日06時	台風12号

図 10.129～図 10.136 は、現状、改良アルゴリズムにより算出されたレーダ雨量と地上雨量と比較したものである。図 10.137、図 10.138 は、遠方における過小傾向の改善度合いを確認するため、総雨量比をレーダからの距離毎に整理したものである。改良アルゴリズムによりレーダ近傍 (0～30km) は現状のレーダ雨量よりも僅かに増加し、より過大傾向となる。レーダの遠方程、レーダ雨量の増加率が大きくなっており、レーダ遠方の過小傾向の改善が確認できる。図 10.139 は、レーダ近傍 (0～30km) の総雨量比を 1 とし、各距離の総雨量比に換算したものである。改良アルゴリズムにより、遠方において約 8% の量的な改善が見られ、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。表 10.21 は、精度指標 (相関係数、RMSE、回帰係数) を整理したものである。改良アルゴリズムにより、特にレーダ遠方 (60～80km) の相関係数、RMSE、回帰係数が改善されている。

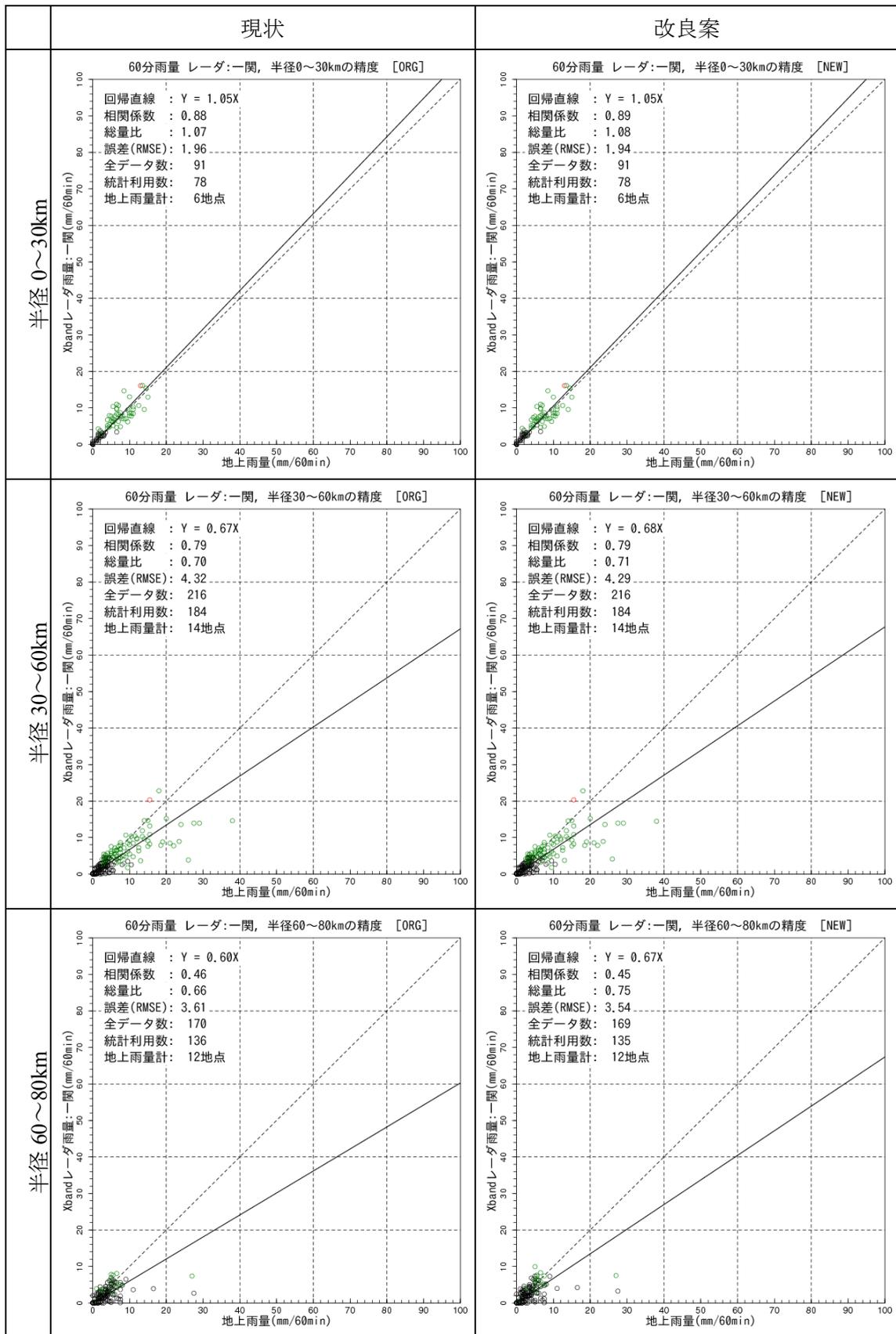


図 10.129 現状 (左) と改良案 (右) の比較：一関サイト

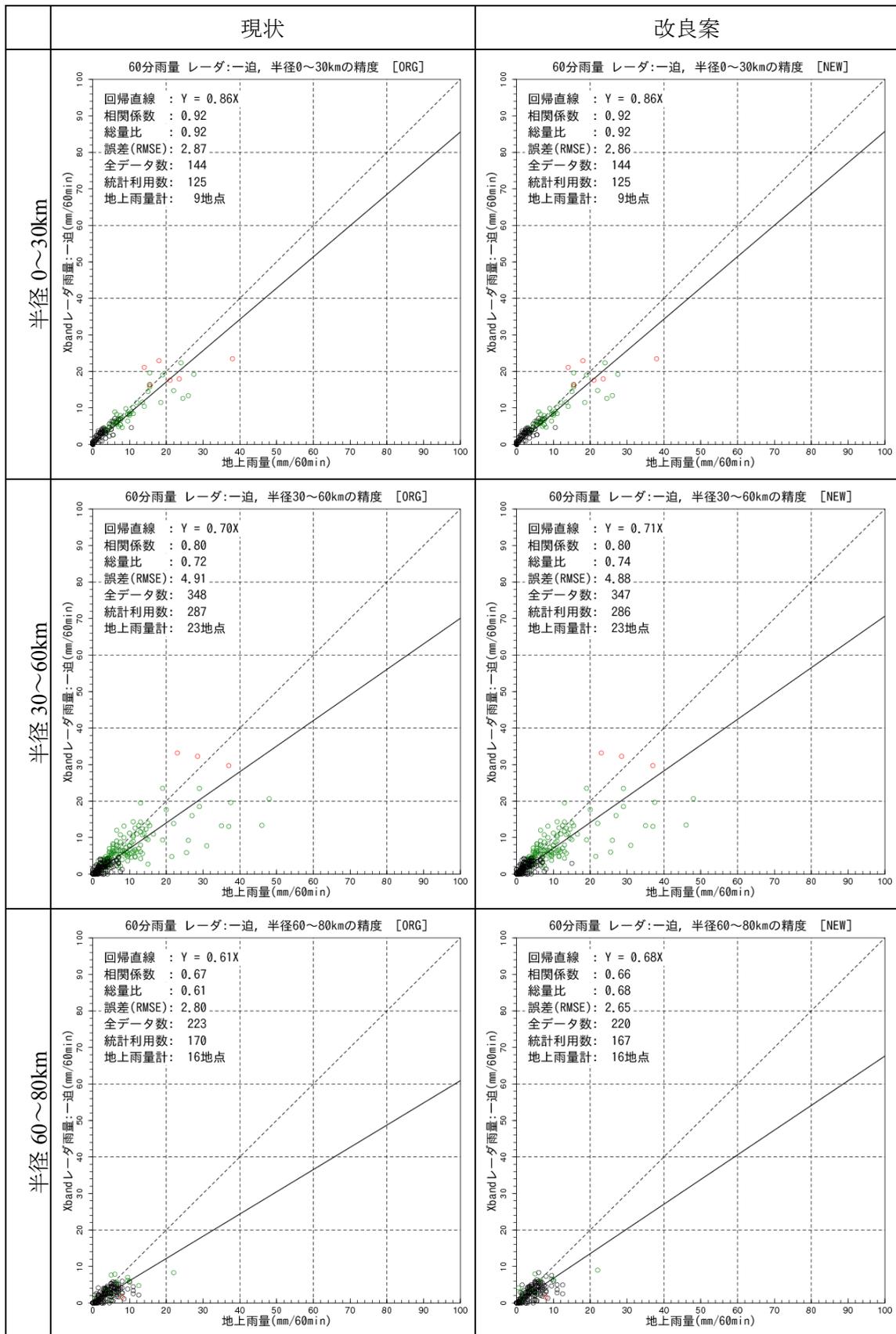


図 10.130 現状 (左) と改良案 (右) の比較:一迫サイト

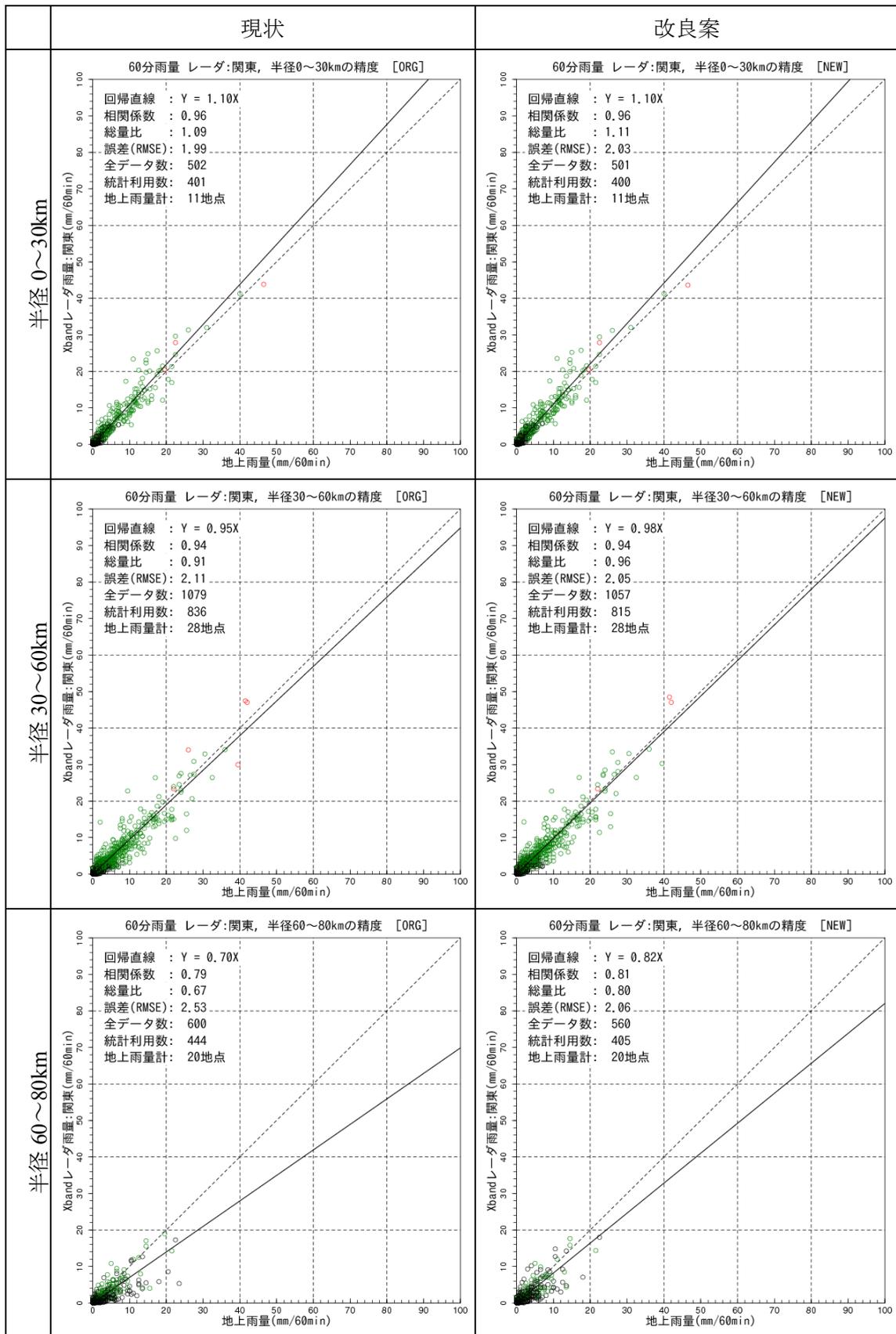


図 10.131 現状 (左) と改良案 (右) の比較: 関東サイト

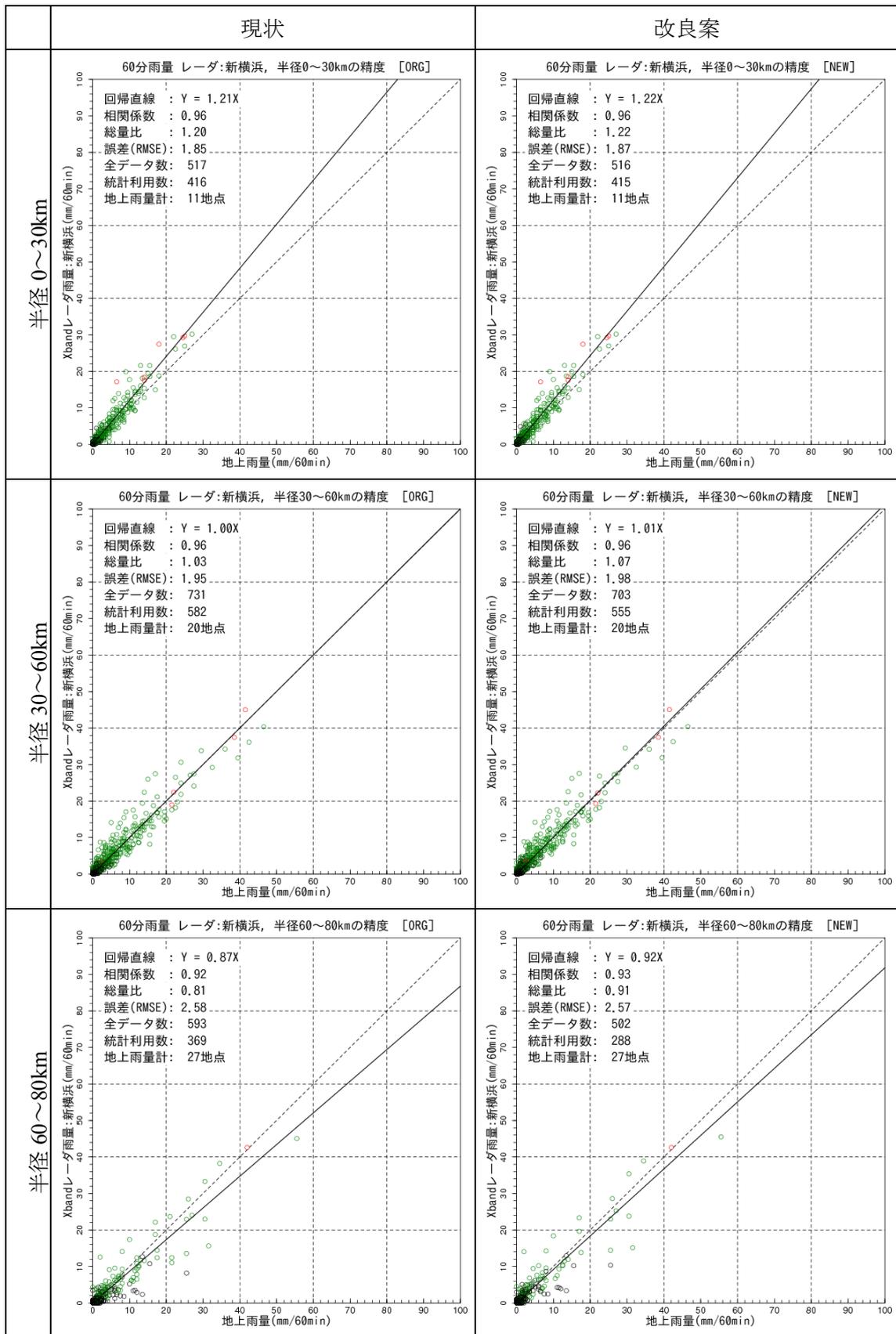


図 10.132 現状 (左) と改良案 (右) の比較 : 新横浜サイト

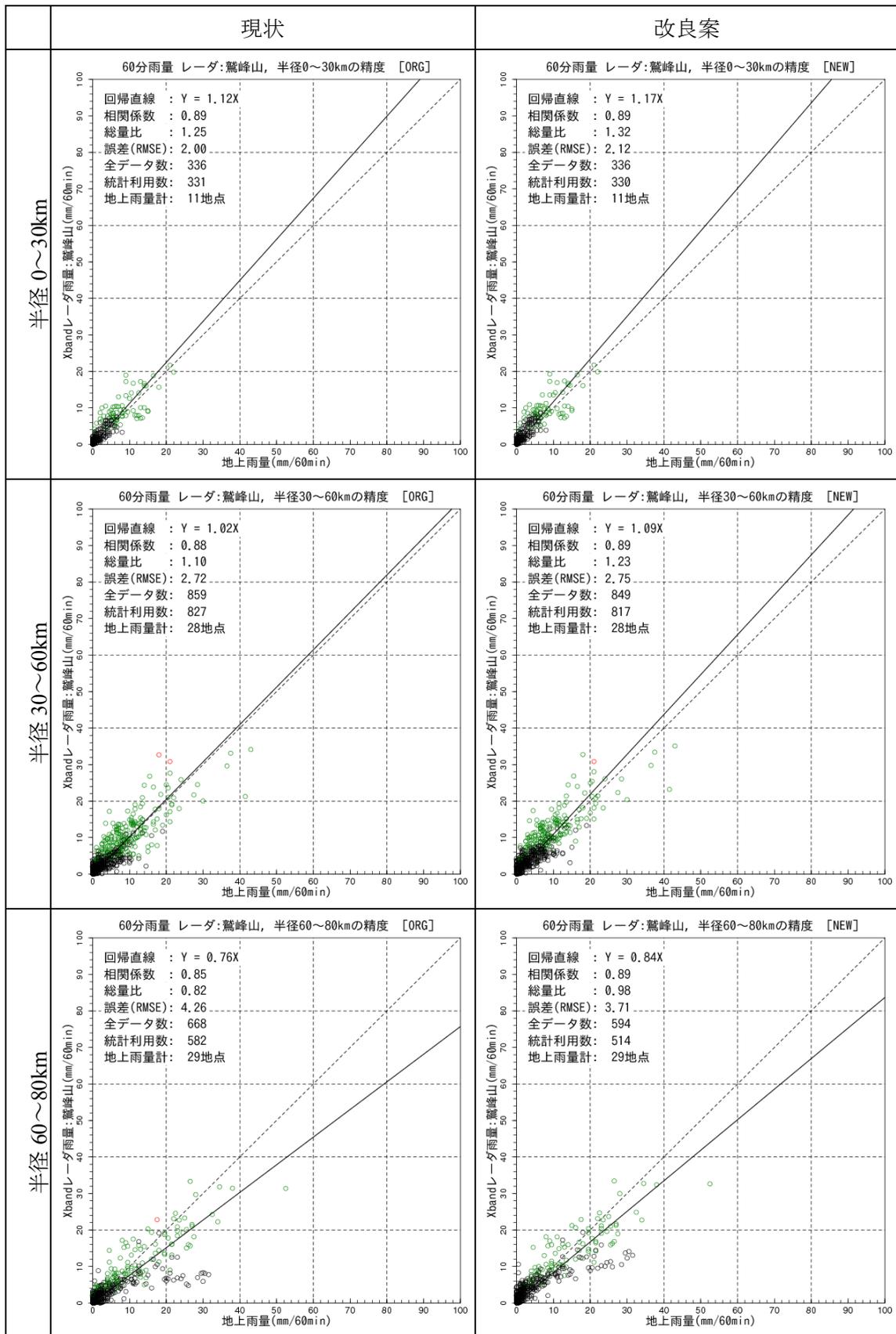


図 10.133 現状 (左) と改良案 (右) の比較: 鷲峰山サイト

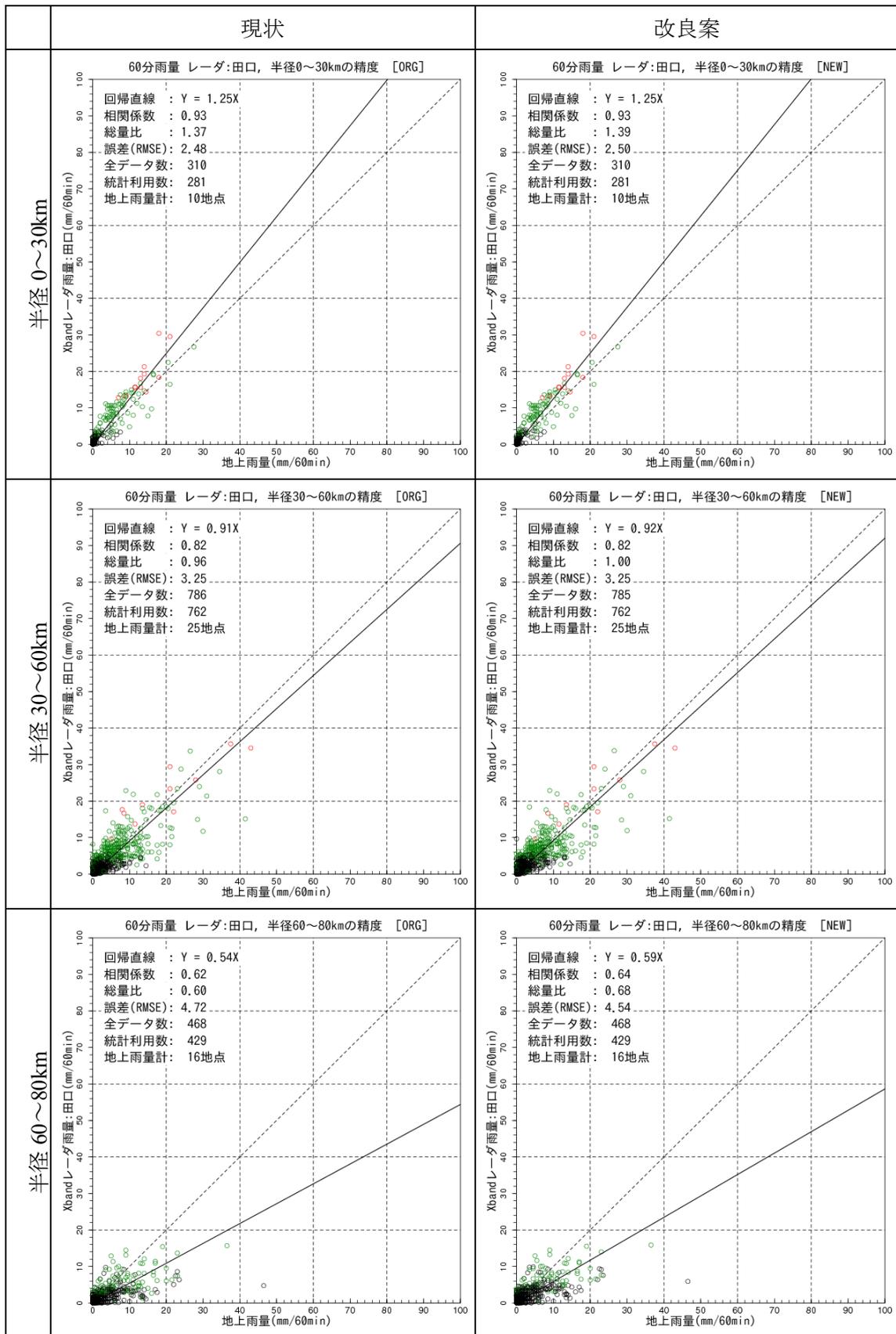


図 10.134 現状 (左) と改良案 (右) の比較: 田口サイト

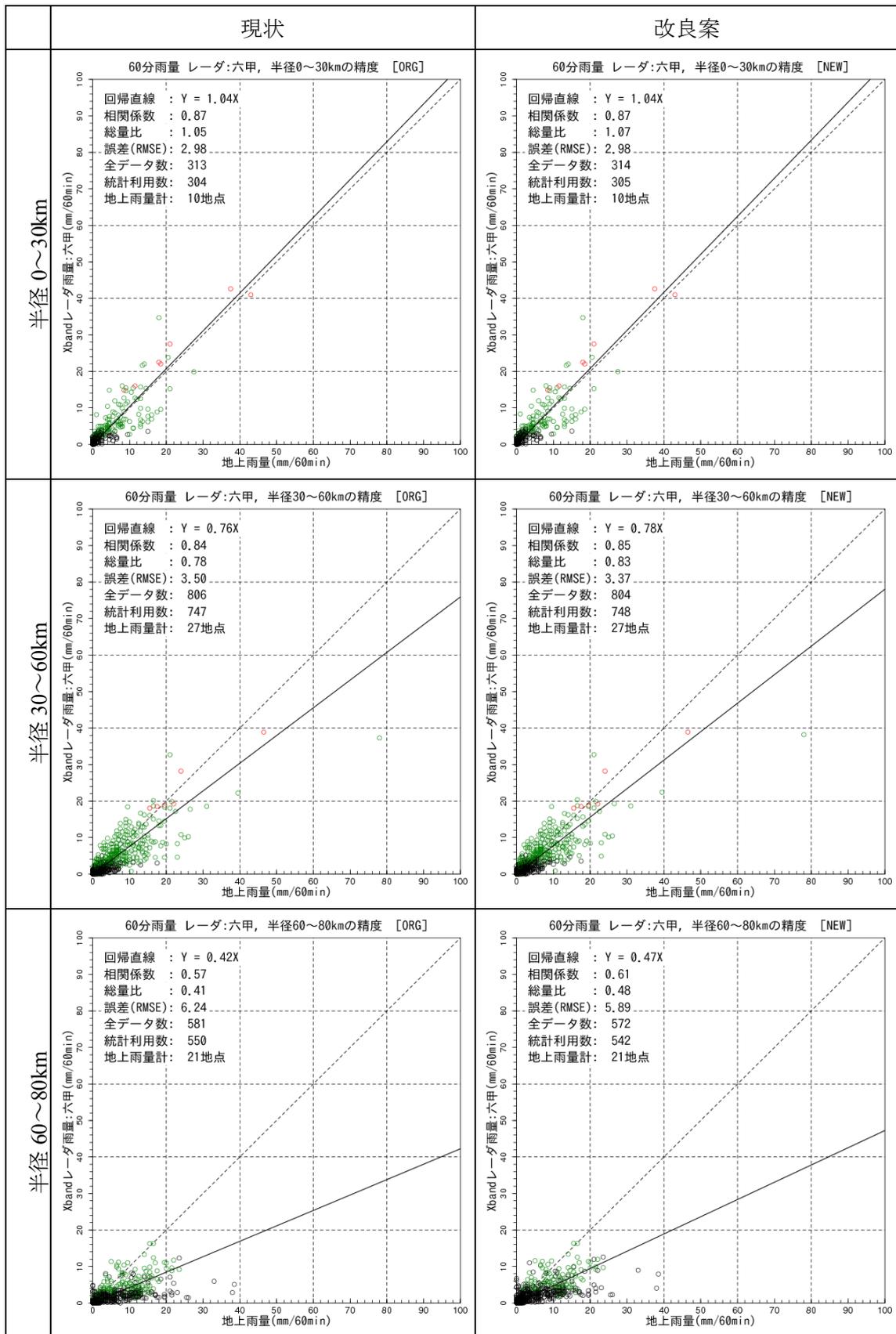


図 10.135 現状 (左) と改良案 (右) の比較: 六甲サイト

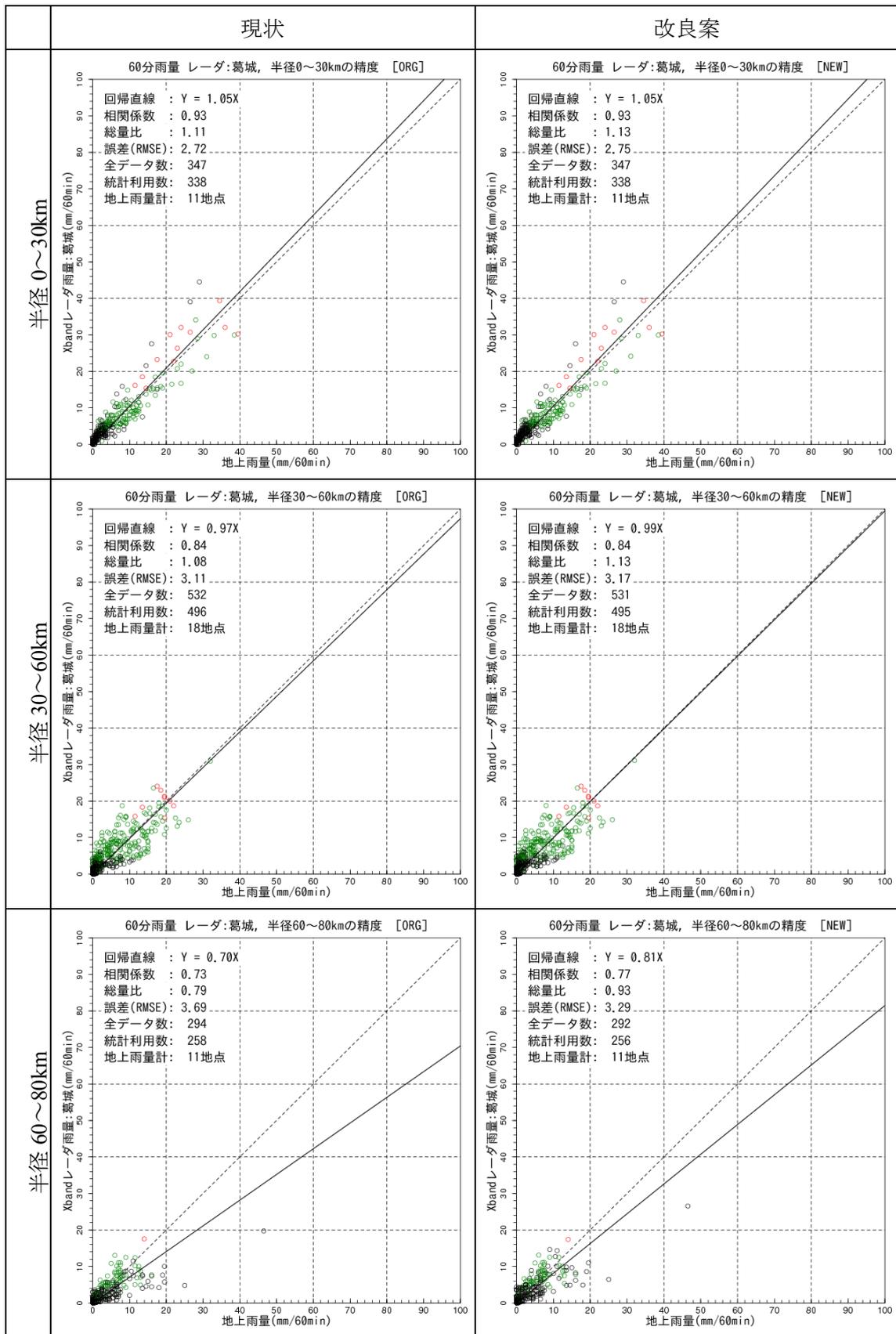
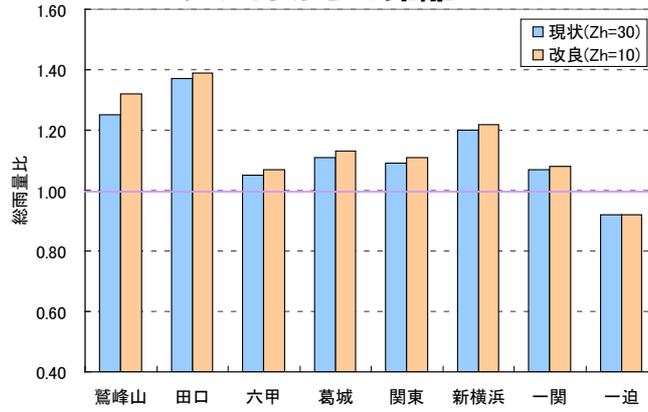
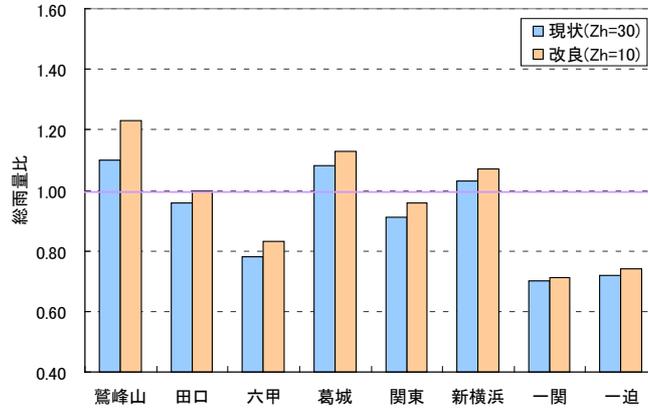


図 10.136 現状 (左) と改良案 (右) の比較: 葛城サイト

レーダサイトからの距離:0~30km



レーダサイトからの距離:30~60km



レーダサイトからの距離:60~80km

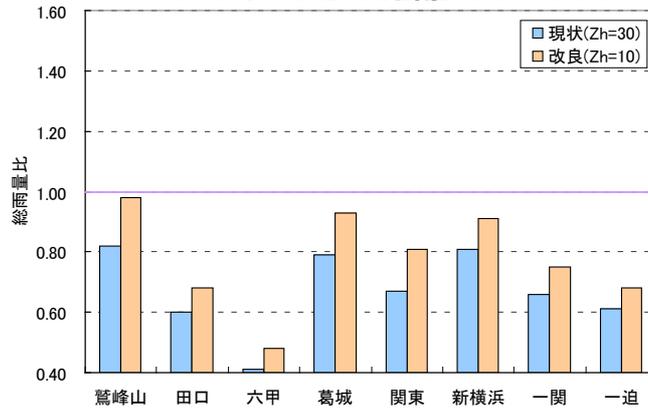


図 10.137 総雨量比の比較

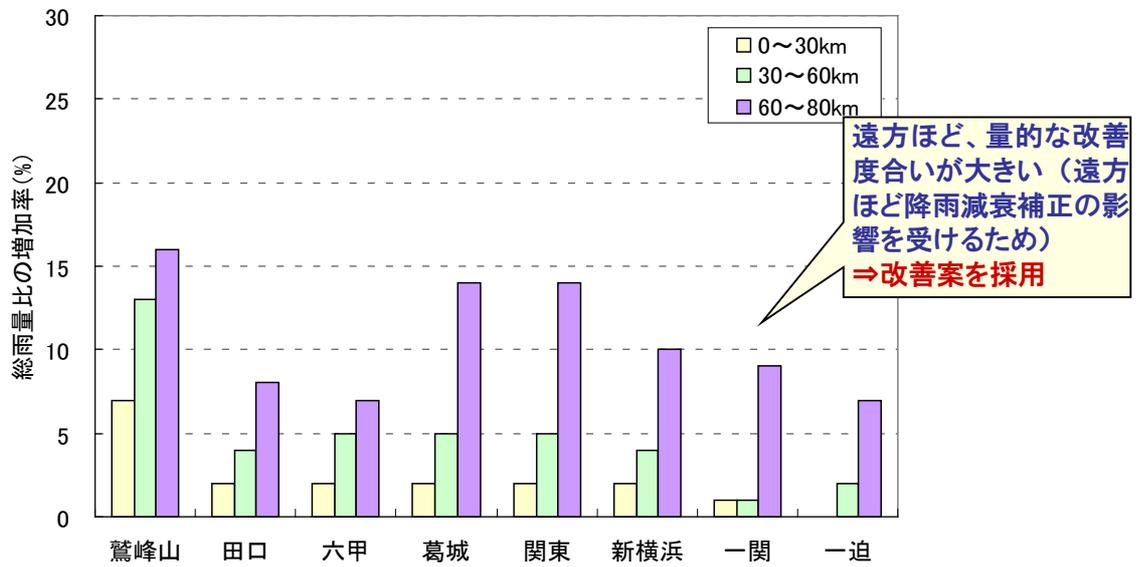


図 10.138 量的な改善率

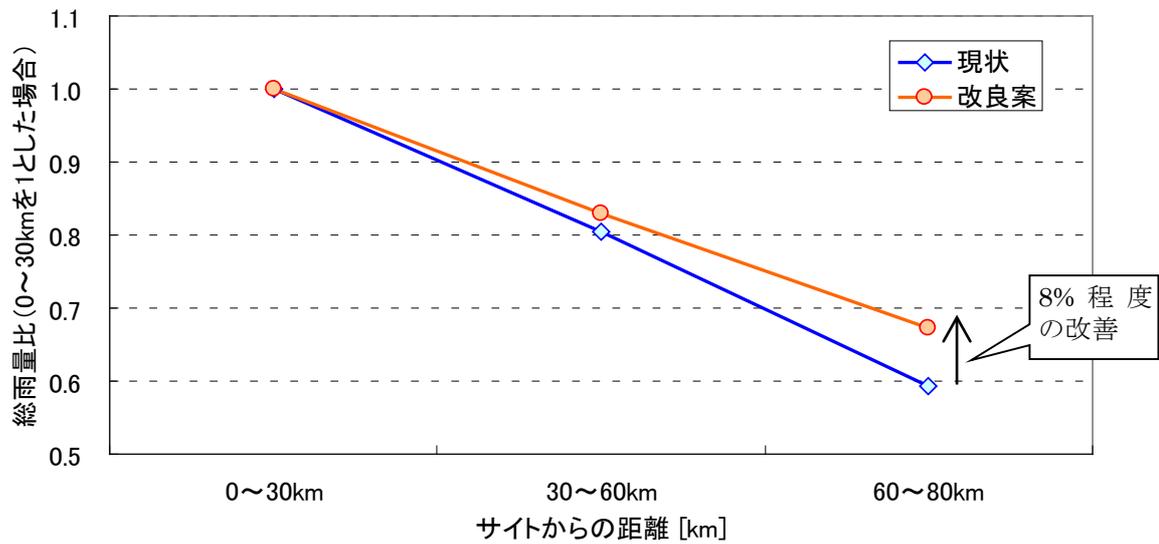


図 10.139 レーダサイトからの距離と総雨量比の関係

表 10.21 精度指標の比較

相関係数		※精度の高い方を水色塗りで示す							
		鷲峰山	田口	六甲	葛城	関東	新横浜	一関	一迫
0~30km	現状	0.89	0.93	0.87	0.93	0.96	0.96	0.88	0.92
	改良案	0.89	0.93	0.87	0.93	0.96	0.96	0.89	0.92
30~60km	現状	0.88	0.82	0.84	0.84	0.94	0.96	0.79	0.80
	改良案	0.89	0.82	0.85	0.84	0.94	0.96	0.79	0.80
60~80km	現状	0.85	0.62	0.57	0.73	0.79	0.92	0.46	0.67
	改良案	0.89	0.64	0.61	0.77	0.81	0.93	0.45	0.66

平均二乗誤差 [mm]		鷲峰山	田口	六甲	葛城	関東	新横浜	一関	一迫
0~30km	現状	2.00	2.48	2.98	2.72	1.99	1.85	1.96	2.87
	改良案	2.12	2.50	2.98	2.75	2.03	1.87	1.94	2.86
30~60km	現状	2.72	3.25	3.50	3.11	2.11	1.95	4.32	4.91
	改良案	2.75	3.25	3.37	3.17	2.05	1.98	4.29	4.88
60~80km	現状	4.26	4.72	6.24	3.69	2.53	2.58	3.61	2.80
	改良案	3.71	4.54	5.89	3.29	2.06	2.57	3.54	2.65

回帰係数		鷲峰山	田口	六甲	葛城	関東	新横浜	一関	一迫
0~30km	現状	1.12	1.25	1.04	1.05	1.10	1.21	1.05	0.86
	改良案	1.17	1.25	1.04	1.05	1.10	1.22	1.05	0.86
30~60km	現状	1.02	0.91	0.76	0.97	0.95	1.00	0.67	0.70
	改良案	1.09	0.92	0.78	0.99	0.98	1.01	0.68	0.71
60~80km	現状	0.76	0.54	0.42	0.70	0.70	0.87	0.60	0.61
	改良案	0.84	0.59	0.47	0.81	0.82	0.92	0.67	0.68

10章2節3項 降雨減衰補正、合成雨量作成手法の高度化の評価

降雨減衰補正の改良、合成処理手法の改良（M20）を併せて（M21）精度検証を行った。検証は、近畿地域の台風12号事例について実施した。図10.140、表10.22は、精度検証結果である。降雨減衰補正及び合成手法の改良の両者を反映することで、遠方（領域2～4）の精度が向上している。特に、領域4の量的な改善度合いが大きい。しかし、減衰補正量が増大する分、近傍（領域1）は過大傾向となっている。

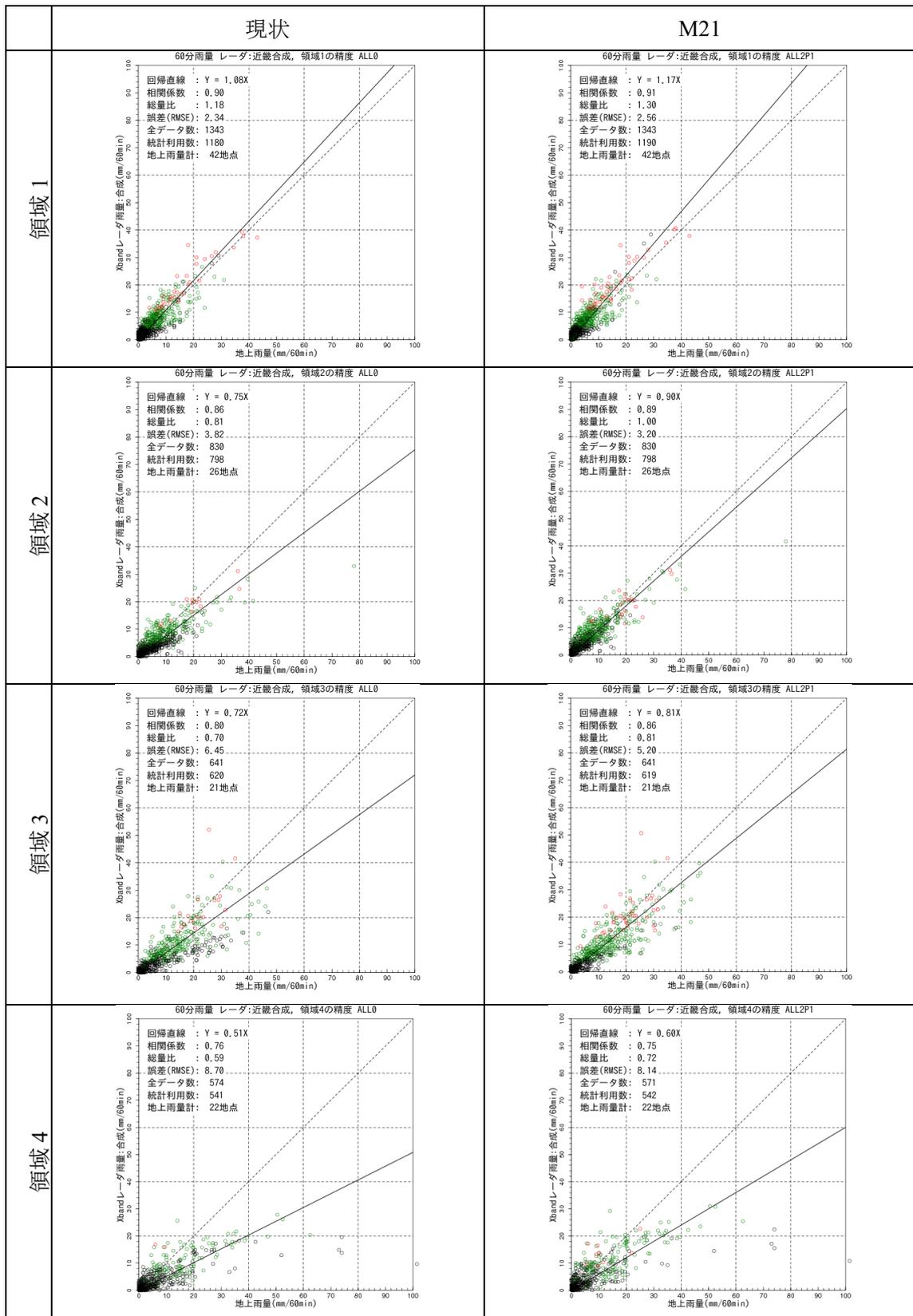


図 10.140 現状と改良案 (M21) の比較 (近畿)

表 10.22 現状と M21 (減衰補正と合成手法の高度化の両方を考慮)

		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
相関係数	現状	0.90	0.86	0.80	0.76
	M21	0.91	0.89	0.86	0.75
誤差(mm)	現状	2.34	3.82	6.45	8.70
	M21	2.56	3.20	5.20	8.14
総雨量比	現状	1.18	0.81	0.80	0.59
	M21	1.30	1.00	0.81	0.72
回帰係数	現状	1.08	0.75	0.72	0.51
	M21	1.17	0.90	0.81	0.60

※精度の高い方を色塗りで示す

10章2節4項 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、 Z_{h3} 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ことと同等である 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。2012年5月頃より、ここでの検討結果を反映した運用が行われている。

10章3節 隣接合成

電波消散による観測不能領域の発生を回避するには、複数台で異なる方向から観測することが有効である。そのため、2011年以降の運用では隣接地域のレーダで当該地域を観測範囲に含むレーダを、合成処理において当該地域のレーダとして合成（隣接合成）することとした。

10章3節1項 中部地域と近畿地域の隣接合成

2011年以降の運用では隣接合成を実施することとしたため、中部地域、近畿地域において隣接合成を行うことで極端な精度低下が生じないか確認を行った。隣接合成の影響を受ける範囲（図 10.141）の地上雨量計を対象に、2010年7月14日～15日の事例に対して隣接合成範囲の精度を検証した。

図 10.142～図 10.143 は隣接合成の影響を受ける範囲において、隣接合成の実施前後の合成雨量と地上雨量の関係である。隣接合成の実施前における合成雨量と地上雨量の関係を左列に、隣接合成を実施後の合成雨量と地上雨量の関係を右列に示している。表 10-23 は隣接合成の実施前後における合成雨量と地上雨量の関係から求めた精度指標である。図 10.144～図 10.145 は隣接合成の実施前後における降雨の分布形状の比較である。

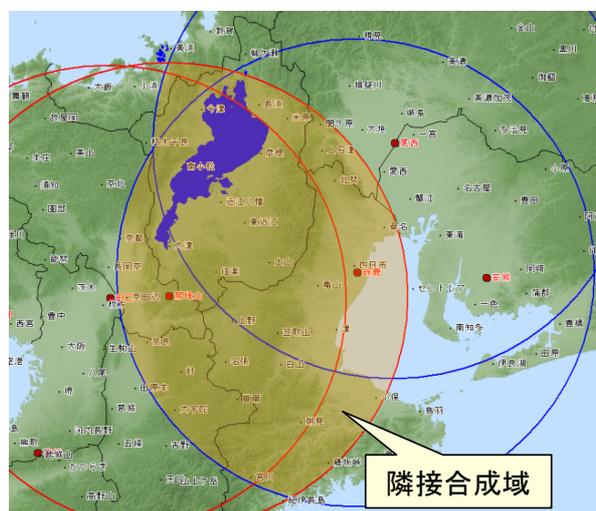


図 10.141 隣接合成の影響を受ける範囲

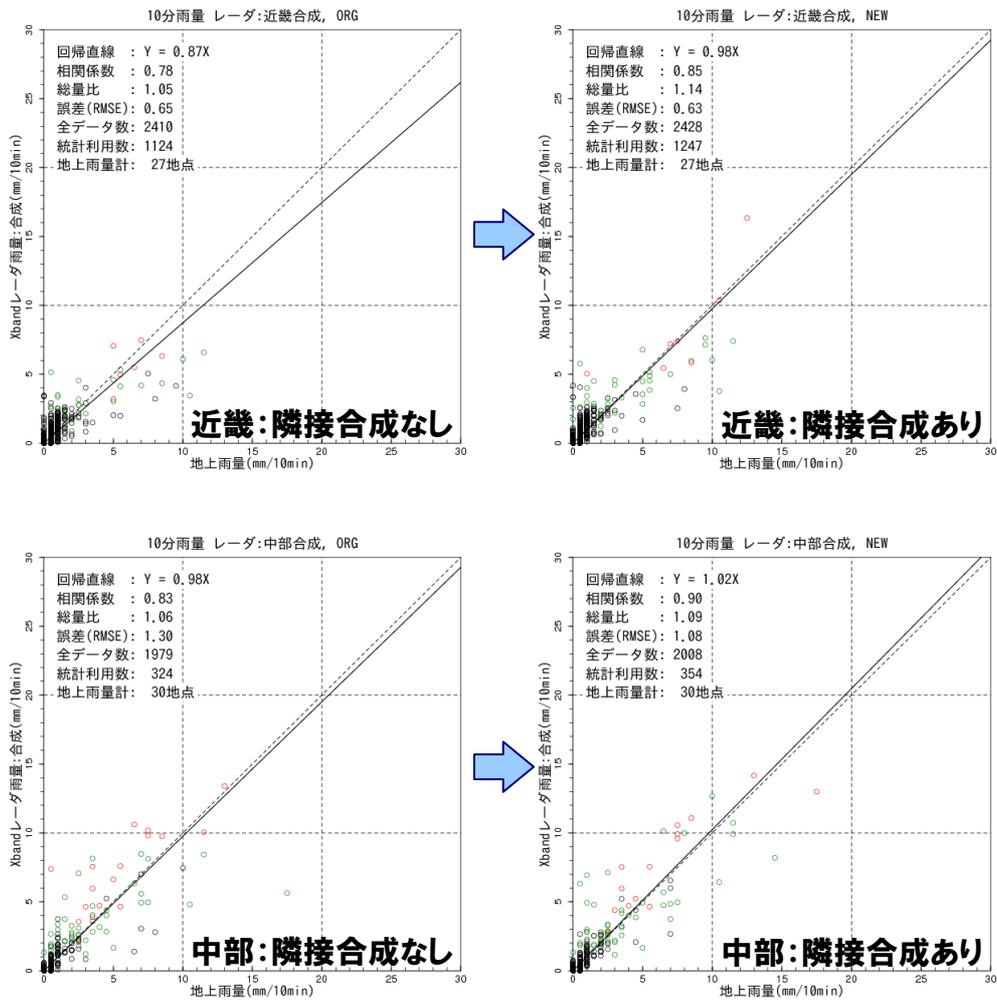


図 10.142 隣接合成の実施前後における合成雨量と地上雨量の関係 (10分雨量)

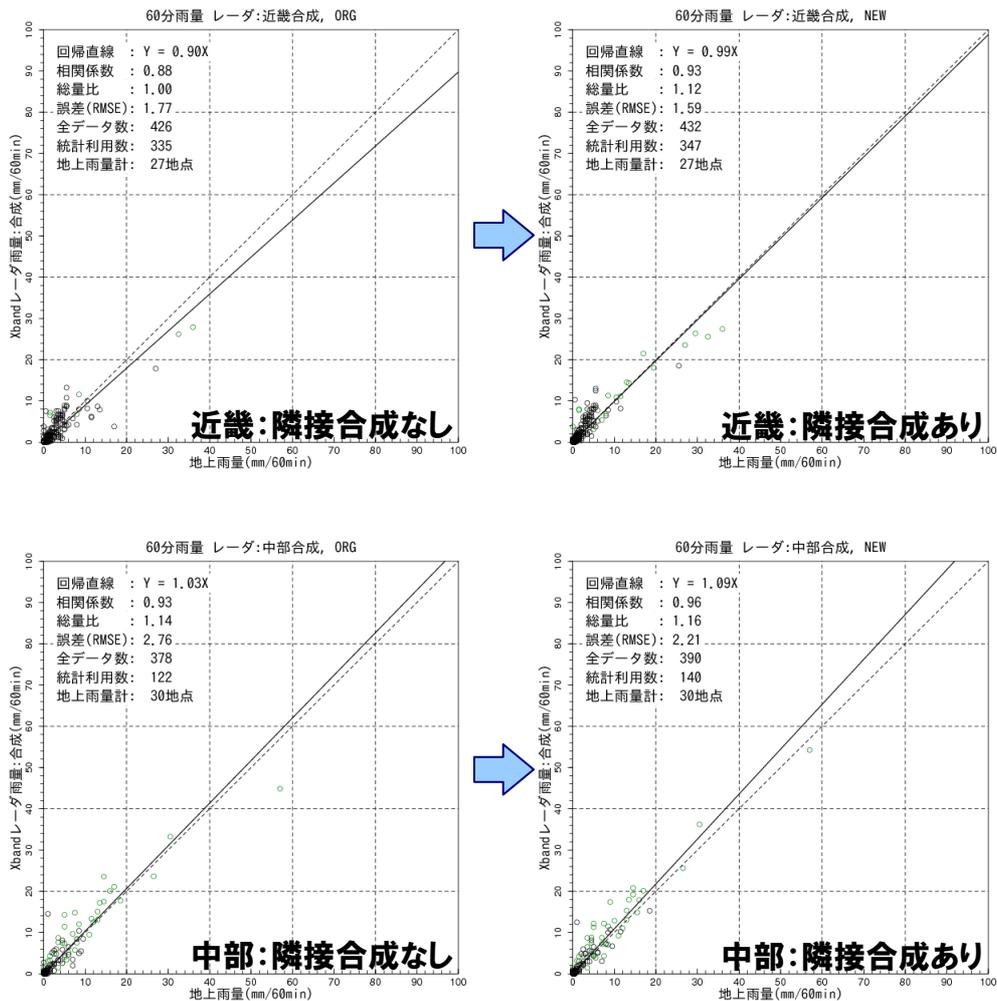


図 10.143 隣接合成の実施前後における合成雨量と地上雨量の関係（60分雨量）

表 10-23 隣接合成の実施前後における精度指標

	隣接合成なし		隣接合成あり	
	近畿	中部	近畿	中部
相関係数	0.78	0.83	0.85	0.90
回帰係数	0.87	0.98	0.98	1.02
誤差	0.65	1.30	0.63	1.08

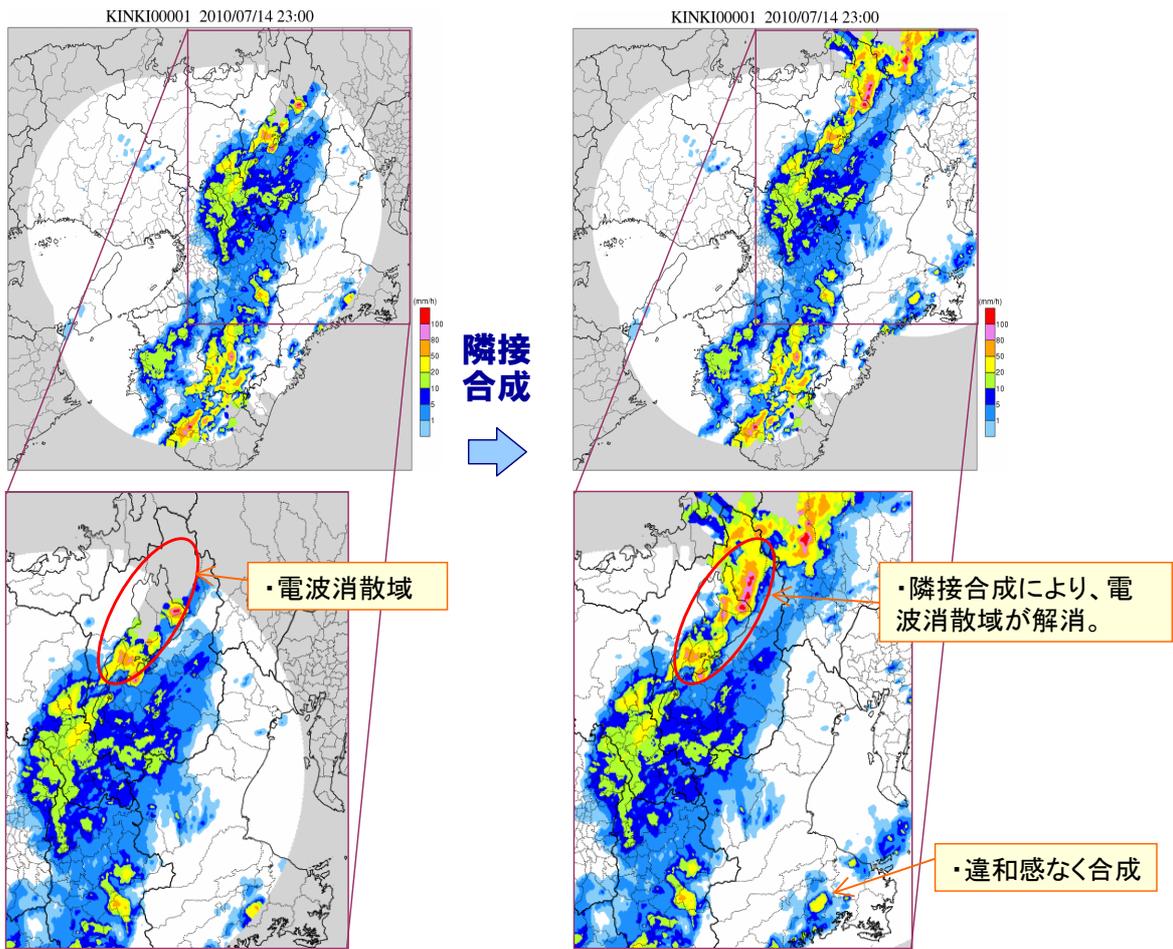


図 10.144 隣接合成の実施前後における雨域形状（近畿地域）
（近畿地域に鈴鹿、尾西サイトを追加）

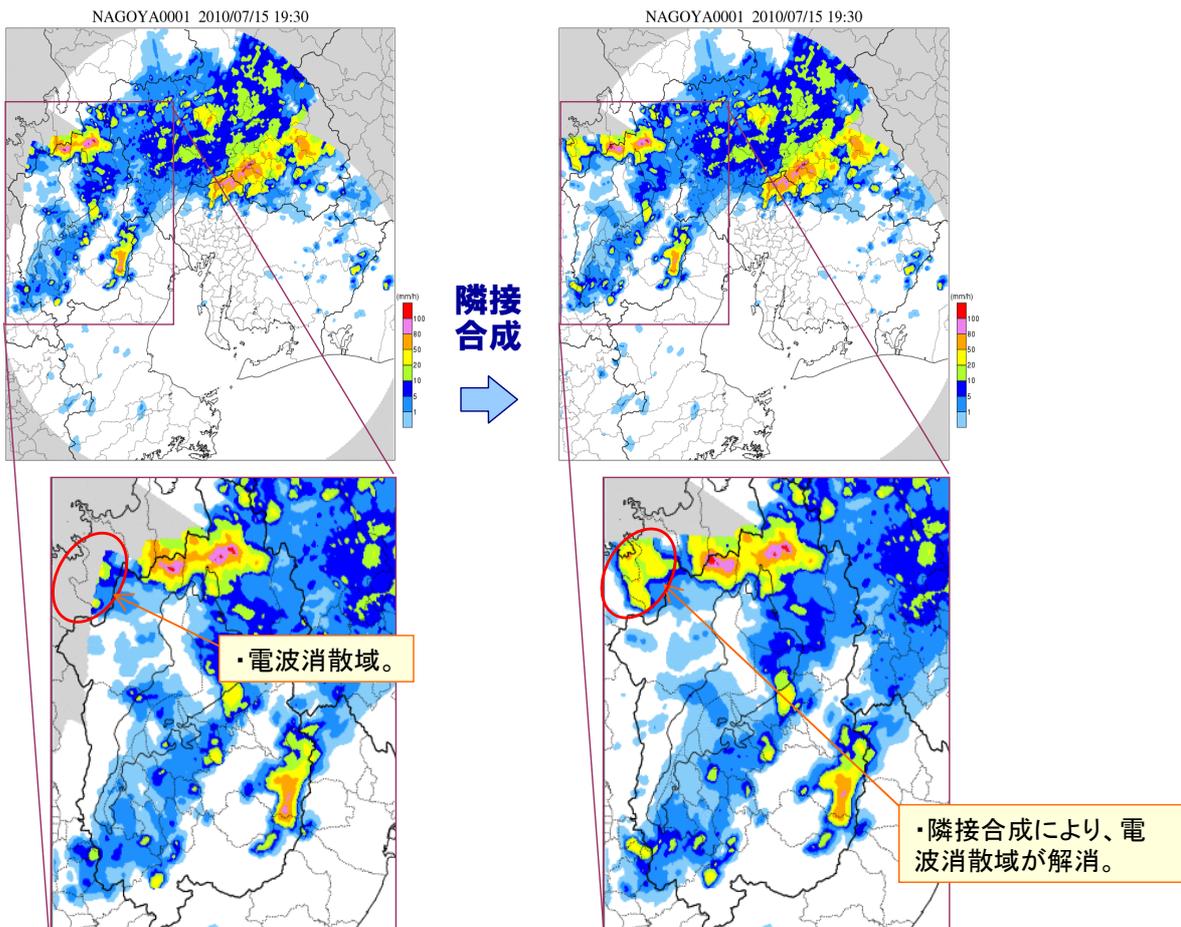


図 10.145 隣接合成の有無における雨域形状 (中部地域)
(中部地域に鷲峰山、田口サイトを追加)

以上より、隣接合成による極端な精度低下が発生していないことが確認でき、電波消散域が補完されている。また、違和感のない雨域形状となっていることが確認できる。中部地域と近畿地域の隣接合成は、2011年5月頃より行われている。

10章3節2項 近畿地域と岡山地域の隣接合成の精度検証

2011年以降の運用では隣接合成を実施することとしたため、近畿地域の合成雨量に岡山地域（熊山サイト）の隣接合成を行うことで極端な精度低下が生じないか確認を行った。図10.146に示す隣接合成の影響を受ける範囲のアメダス地点を対象に、2011年5月21日～23日の事例に対して隣接合成範囲の精度を検証した。図10.147～図10.148は隣接合成の実施戦後による観測精度である。また、図10.149は降雨の分布形状を比較したものである。隣接合成により精度が低下は見られず、雨域形状も違和感は見られない。

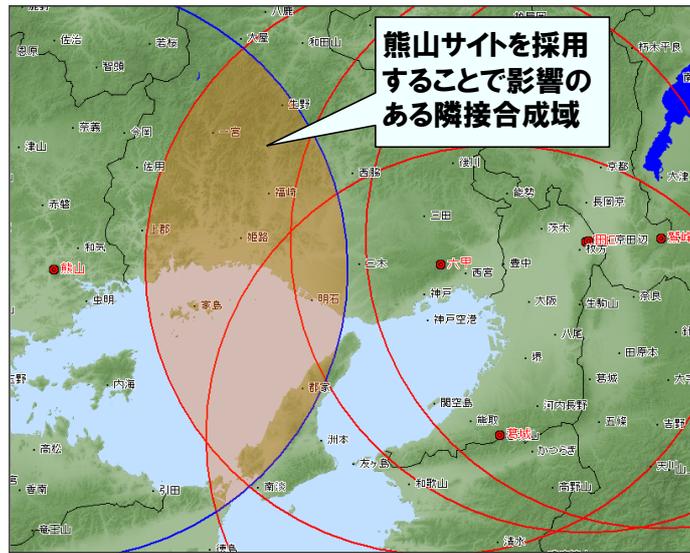


図 10.146 検証対象地域

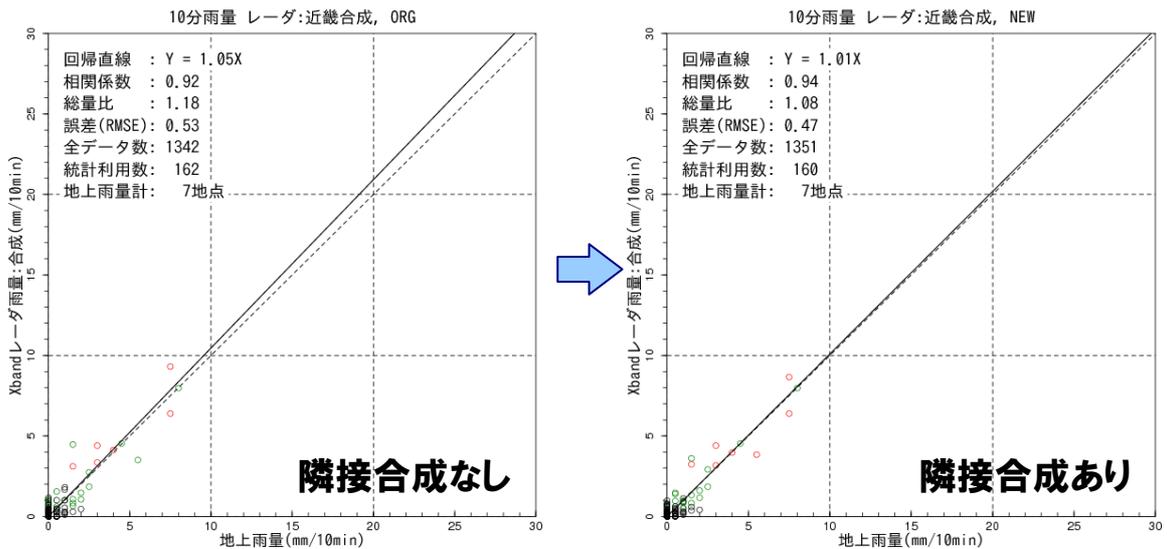


図 10.147 隣接合成の実施前後による精度の比較 (10分雨量)

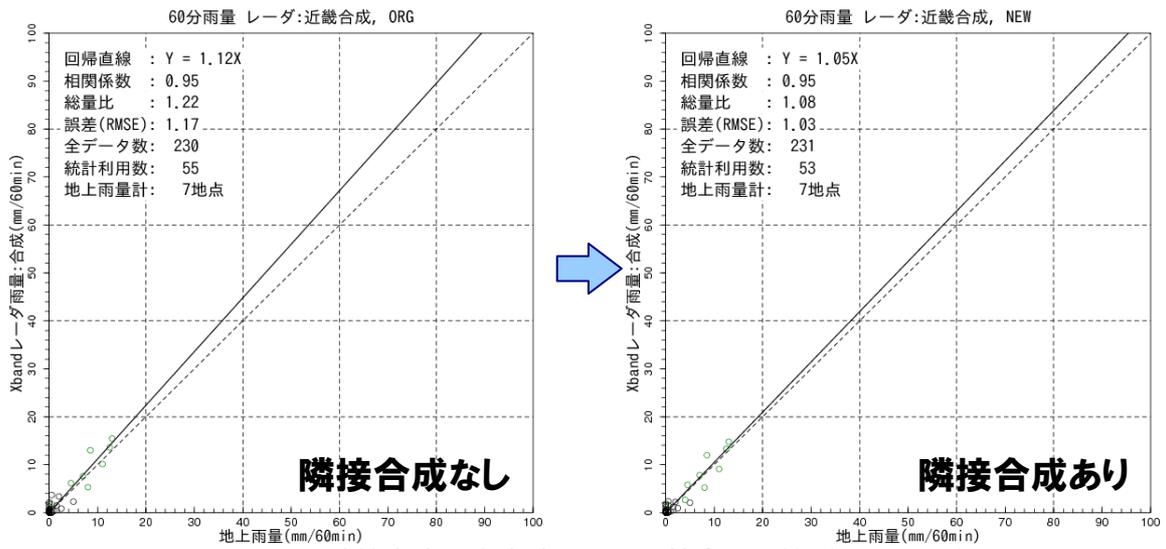


図 10.148 隣接合成の実施前後による精度の比較 (60分雨量)

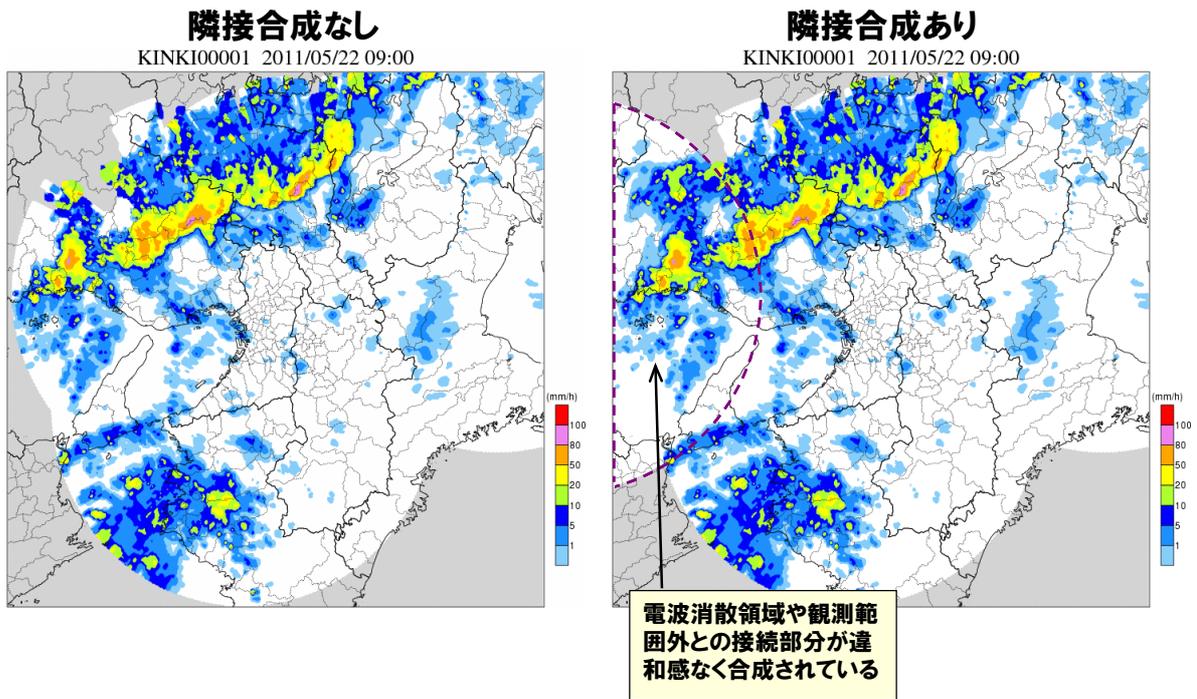


図 10.149 隣接合成による分布図の確認 (近畿地域)

以上より、隣接合成による極端な精度低下が発生していないことができ、電波消散域を補完できている。また、違和感のない雨域形状となっていることが確認できる。近畿地域と岡山地域の隣接合成は、2011年7月頃より行われている。

10章3節3項 関東地域と静岡地域との隣接合成の精度

2011年以降の運用では隣接合成を実施することとしたため、関東地域の合成雨量に静岡地域(香貫山サイト)の隣接合成を行うことで、極端な精度低下が生じないか確認を行った。図 10.150 に示す隣接合成の影響を受ける範囲のアメダス地点を対象に、2011年8月4日、2011年8月7日の事例に対して隣接合成範囲の精度検証を実施した。

図 10.151～図 10.152 は隣接合成の実施前後の観測精度である。また、図 10.153～図 10.154 は降雨の分布形状を比較したものである。隣接合成により精度が低下していないことが確認でき、雨域形状も違和感が無いことが確認できる。

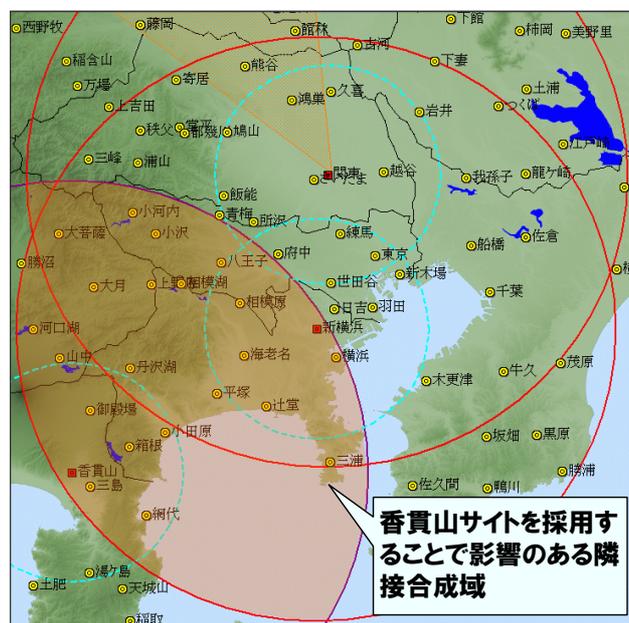


図 10.150 検証対象地域

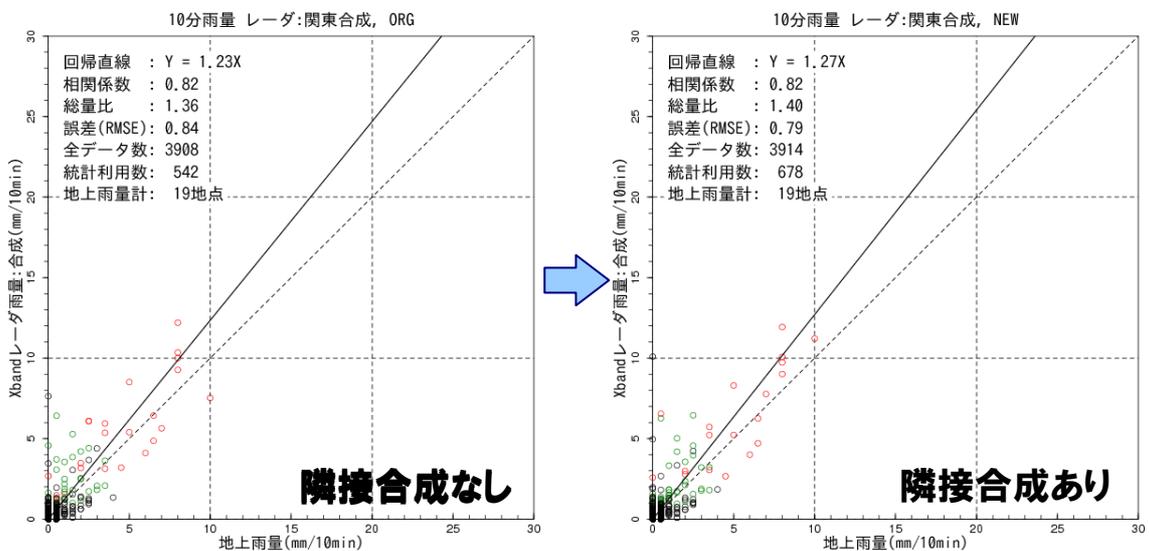


図 10.151 隣接合成の有無による精度の比較 (10分雨量)

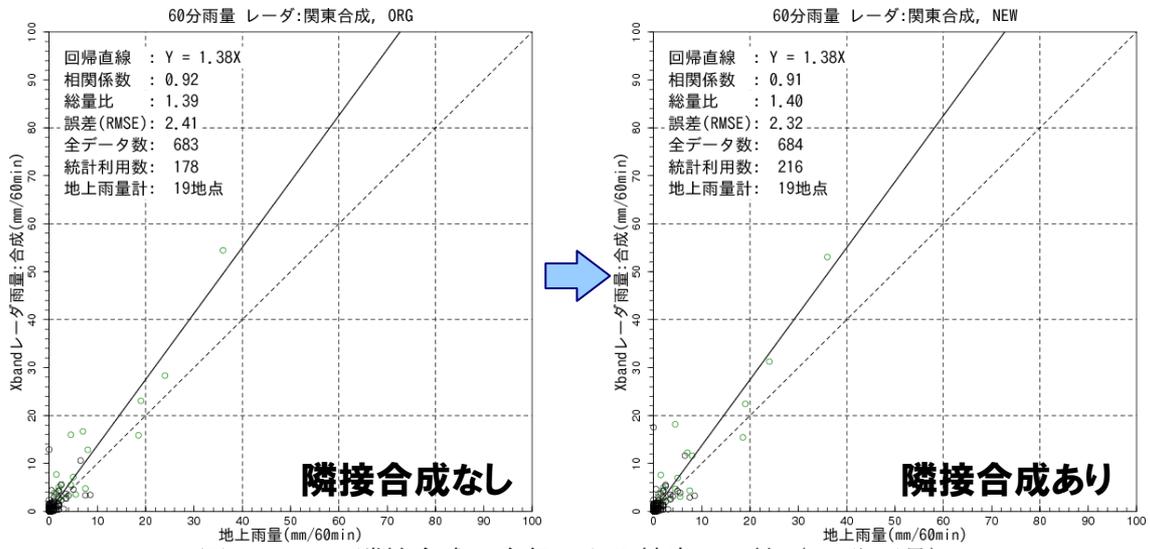


図 10.152 隣接合成の有無による精度の比較 (60分雨量)

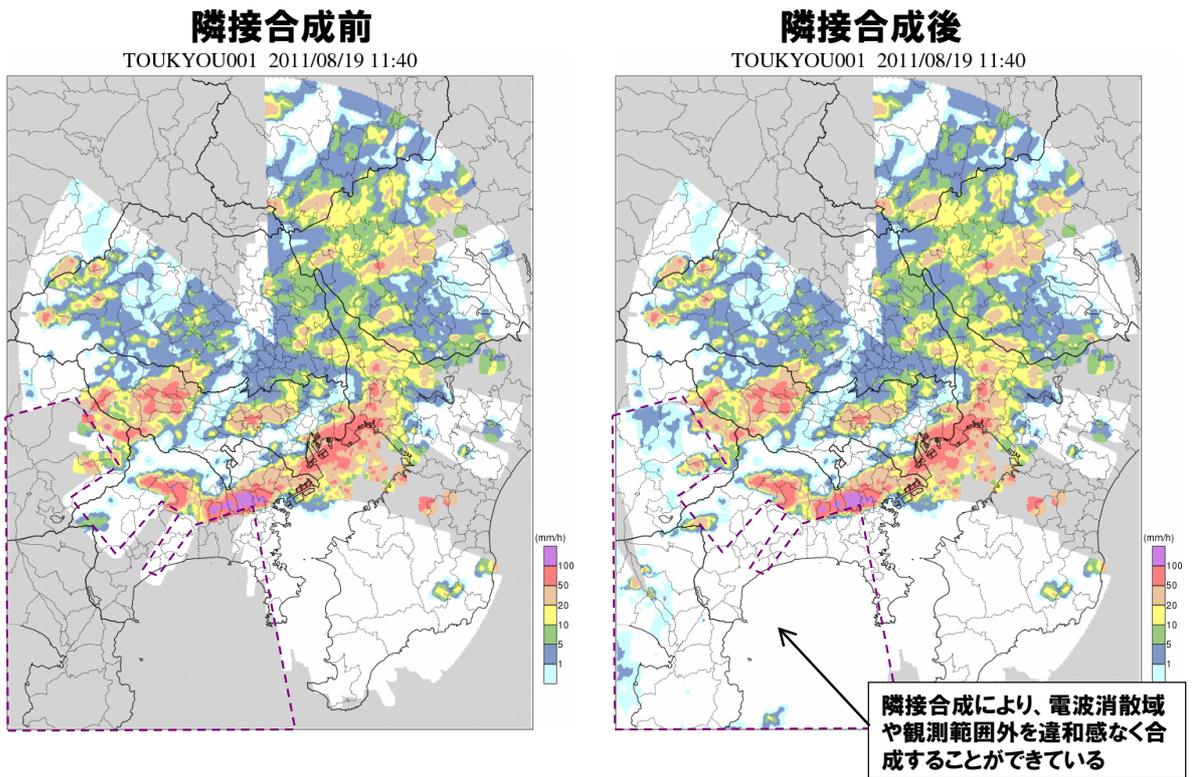


図 10.153 隣接合成による分布図の確認 (関東地域)

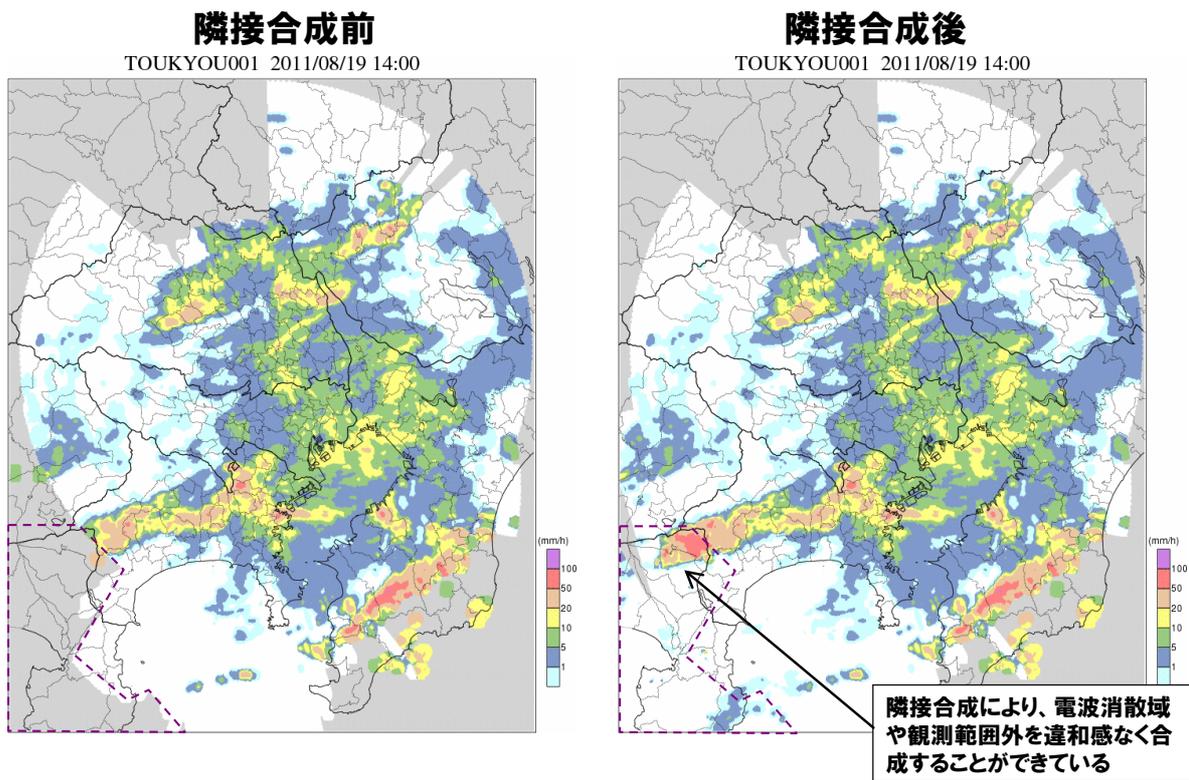


図 10.154 隣接合成による分布図の確認（関東地域）

以上より、隣接合成による極端な精度低下が発生していないことができ、電波消散域を補完できている。また、違和感のない雨域形状となっていることが確認できる。関東地域と静岡地域の隣接合成は、2011年9月頃より行われている。

10章3節4項 隣接合成状況

表 10-24 隣接合成の実施状況

	合成所属エリア	隣接合成エリア
関東(さいたま)	関東	静岡(H24～)
新横浜	関東	静岡(H23～)
尾西	中部	近畿(H23～)、富山・石川(H24～)
鈴鹿	中部	近畿(H23～)
安城	中部	近畿(H24～)
六甲	近畿	岡山(H23～)、中部(H24～)
葛城	近畿	中部(H24～)、岡山(H24～)
田口	近畿	中部(H23～)、岡山(H24～)
鷲峰山	近畿	中部(H23～)
水橋	富山・石川	-
能美	富山・石川	中部(H24～)
一迫	岩手・宮城	-
一関	岩手・宮城	-
熊山	岡山	近畿(H23～)、広島(H24～)
常山	岡山	広島(H23～)、近畿(H24～)
牛尾山	広島	岡山(H23～)、九州北部(H24～)
野貝原	広島	九州北部(H23～)、岡山(H24～)
菅岳	九州北部	広島(H24～)
九千部	九州北部	-
風師山	九州北部	広島(H23～)
古月山	九州北部	広島(H24～)
桜島	桜島周辺	-
静岡北	静岡	関東(H23～)
富士宮	静岡	関東(H24～)
香貫山	静岡	関東(H23～)
京ヶ瀬	新潟	-
中ノ口	新潟	-

10章3節5項 まとめ

2010年より運用を開始した地域の隣接合成は、隣接合成の影響範囲を対象に、その領域の地上雨量と合成雨量を比較し精度が低下しないことを確認した上、実施している。なお、2011年以降に運用を開始した地域のレーダについては、初期調整時から隣接合成を考慮して精度検証が行われている。2011年の運用では、レーダ遠方の観測データが隣接合成されて、精度低下を招く場合があると考え、レーダ遠方の観測データが隣接合成されるレーダは隣接合成対象のレーダから除いている。2012年以降の運用では、地域間で観測範囲が重なる範囲の雨量値が同一となるように、Webで表示される範囲（その地域に所属するレーダの半径80kmを外接する範囲）を観測するレーダを全て隣接合成対象レーダとしている。

10章4節 外縁処理の追加

図 10.155 は、2011 年に試験運用開始前の九千部局レーダで観測された観測範囲の縁付近において弱雨域内に発生した異常な強雨である。この現象は 2011 年度に運用開始した他のレーダにおいても発生していたが、Web の表示範囲を拡大（各地域に所属する複数レーダの観測範囲（半径 80km）を重ねた外接円に拡大）したことで目立つようになっていた。この現象の原因は図 10.156 に示すように、レーダの観測範囲の外縁では、 ϕdp の平滑化や Kdp の算出が、適切な算定区間で行われなため、異常に大きい値の Kdp が算出される場合があるためである。これを改善するために、 ϕdp のオフセット値、 ϕdp の品質管理処理（無効化処理）の一つの ϕdp の標準偏差の閾値、雨量算定に用いる Kdp の最大値、 $Kdp-R$ 関係式の使用条件の Zh 閾値について感度分析を行ったが、いずれも顕著な改善効果はみられなかった。そのため、図 10.157 に示すように、レーダ観測範囲の外縁からサイト側に一定距離の区間（レーダサイトから 76.25~80km までの 3.75km の区間）では、 $Z-R$ 関係式により雨量算定を行い、また、レーダ観測範囲の外縁からサイト側に一定距離離れた区間（レーダサイトから 72.5~76.25km までの 3.75km の区間）では、 Kdp が得られている場合、 $Z-R$ 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値で雨量を算出する処理に変更した。重み付けはレーダ側の区間末端で $Kdp-R$ 雨量の重み係数を 1（ $Z-R$ 雨量の重み付けは 0）としている。外縁処理の変更の変更は 2011 年 6 月頃に行われている。

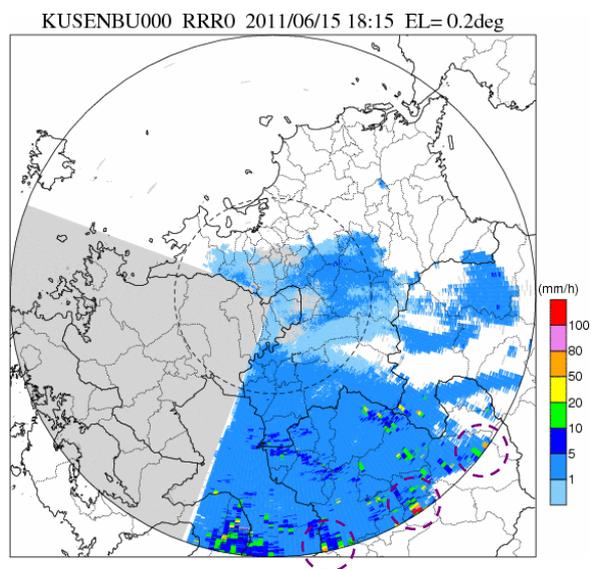


図 10.155 観測範囲の縁付近における異常な強雨の発生例（九千部局）

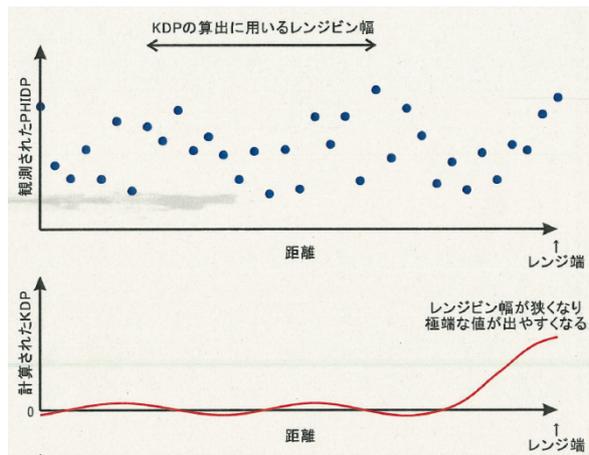


図 10.156 観測範囲の縁付近における異常な強雨の発生原因

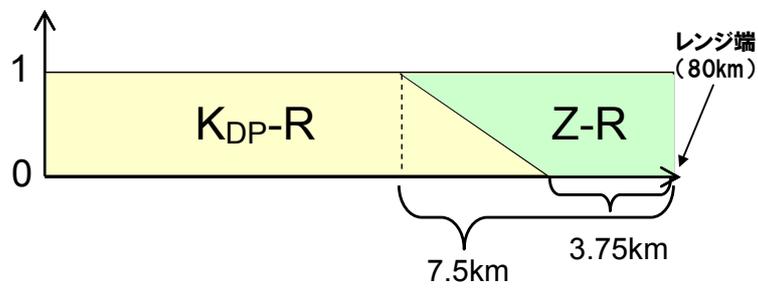


図 10.157 レーダ観測範囲外縁付近の雨量算定処理における重み (降雨中で Kdp、Z の両方が求めた場合の重み)

10章5節 運用開始後の観測仰角の見直し

10章5節1項 栗駒山周辺地域における観測仰角の見直し

栗駒山周辺地域のレーダは、山地等による遮蔽が多く、 $\theta 0$ (30km 先のビーム高度が 1km となる仰角) で観測可能な範囲が狭い。そこで、栗駒山周辺地域では $\theta 0$ の観測仰角の見直しを行うため、ボリュームスキャンのデータを利用し $\theta 0$ の代替候補として選定し、H23 年度においてはボリュームスキャン観測を実施せず、4 仰角観測 ($\theta 0$ の代替候補として選定した $\theta 0A$ 、 $\theta 0B$ を含めた 4 仰角) を行っている。図 10.158～図 10.159 は一迫、一関局のレーダからの距離とビーム高度の関係で、図 10.160～図 10.164 は、ボリュームスキャンのデータを利用し $\theta 0$ と $\theta 1$ の間の仰角のレーダ反射因子 (NOR 系、減衰補正前) を図化したものである。紫破線の範囲に注目すると一迫、一関局ともに約 2.4° 以上で遮蔽の影響が小さくなること確認できことから、 $\theta 0A$ 、 $\theta 0B$ は、 2.4° 、 2.5° として、表 10-25 に示す観測スケジュールで運用した。

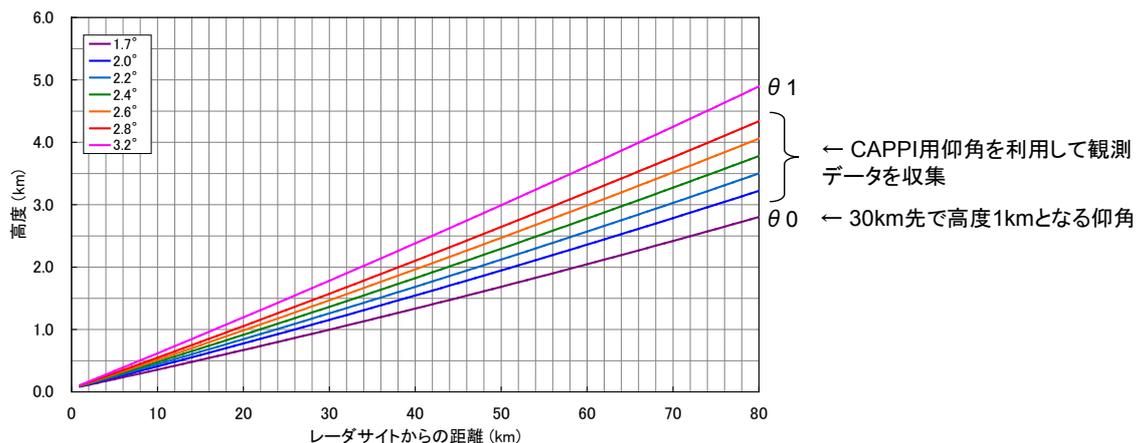


図 10.158 レーダからの距離とビーム高度の関係 (一迫局)

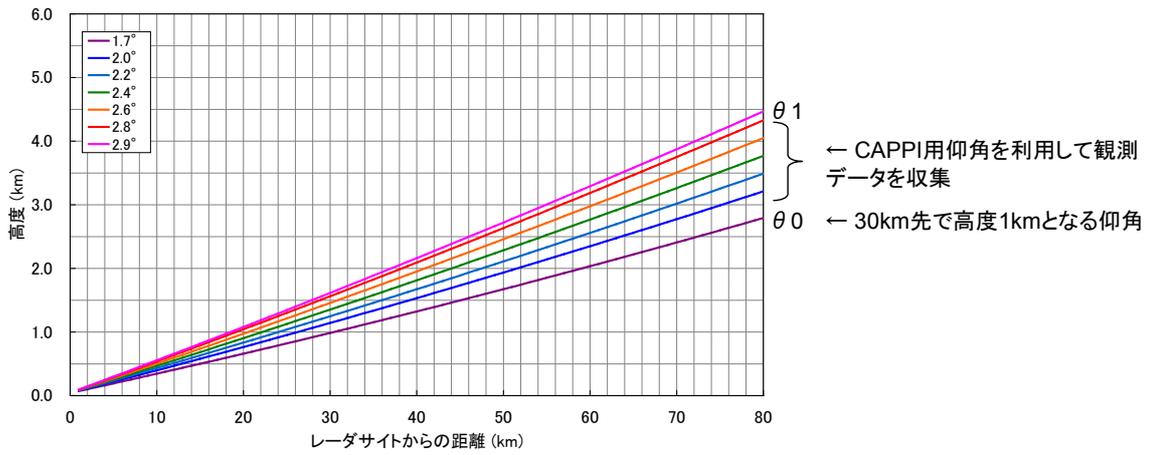


図 10.159 レーダからの距離とビーム高度の関係（一関局）

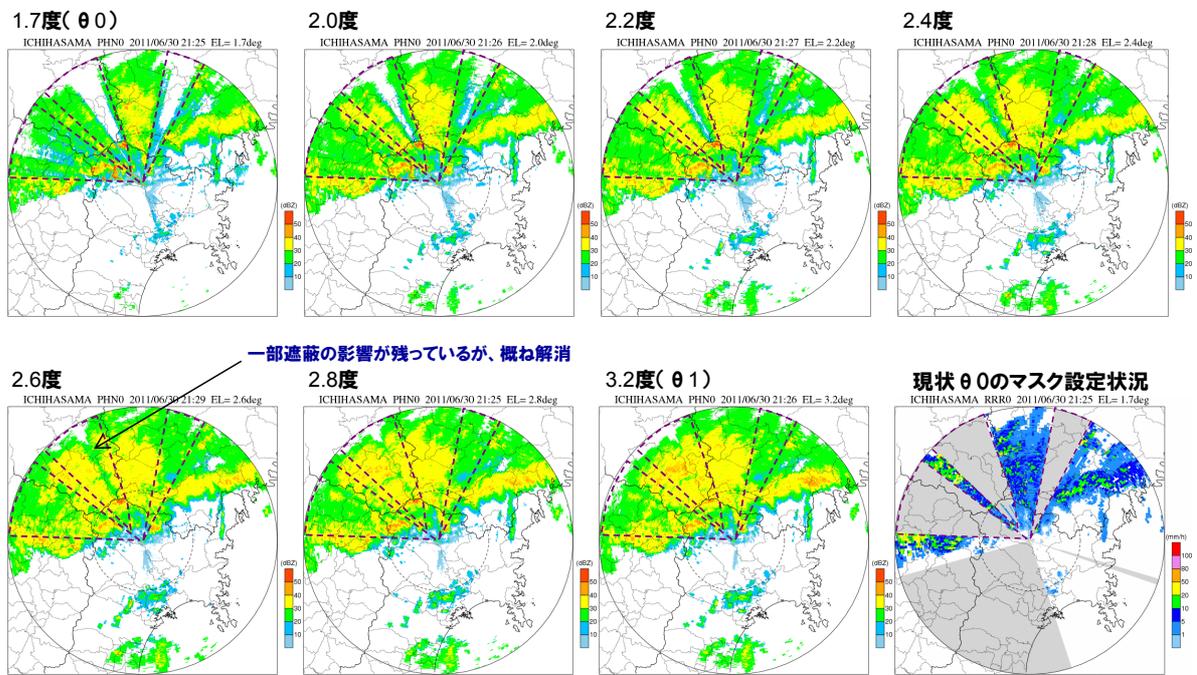


図 10.160 各観測仰角のレーダ反射因子(NOR) 一迫局

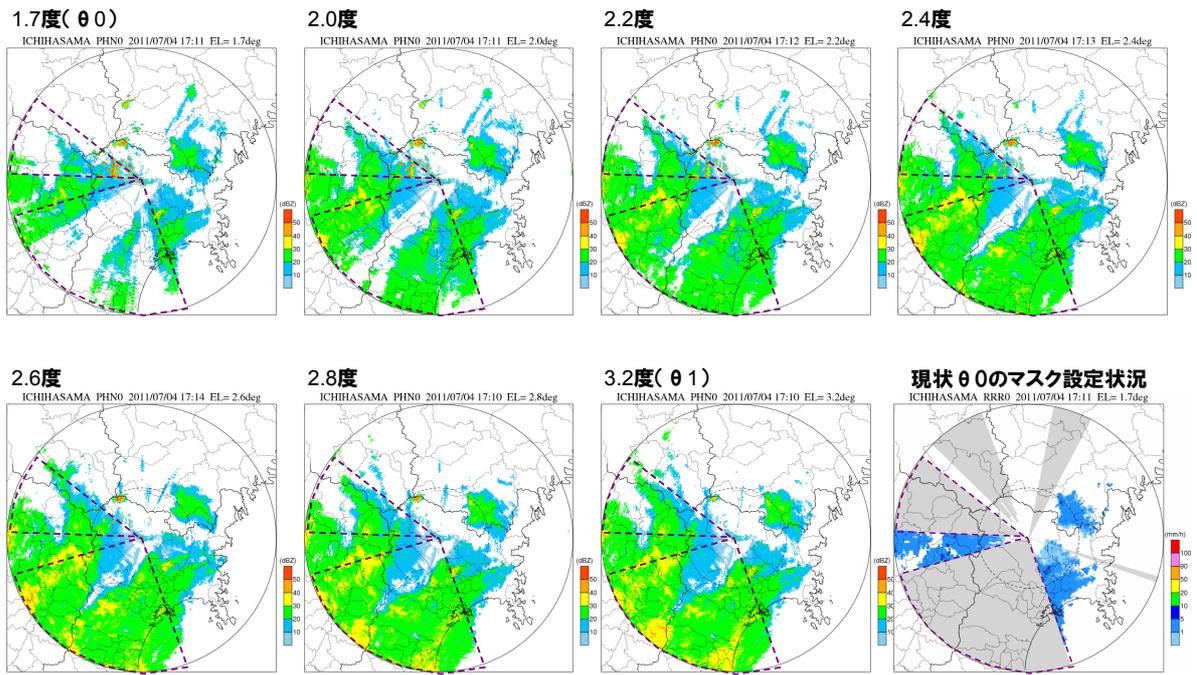


図 10.161 各観測仰角のレーダ反射因子(NOR) 一迫局

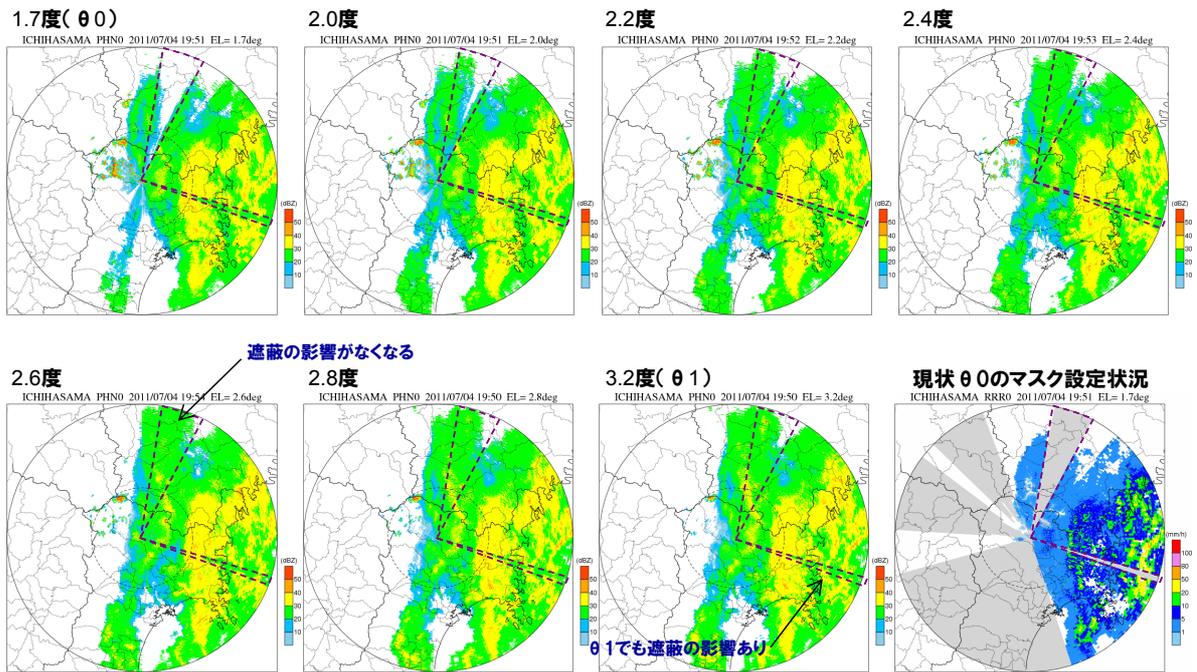


図 10.162 各観測仰角のレーダ反射因子(NOR) 一迫局

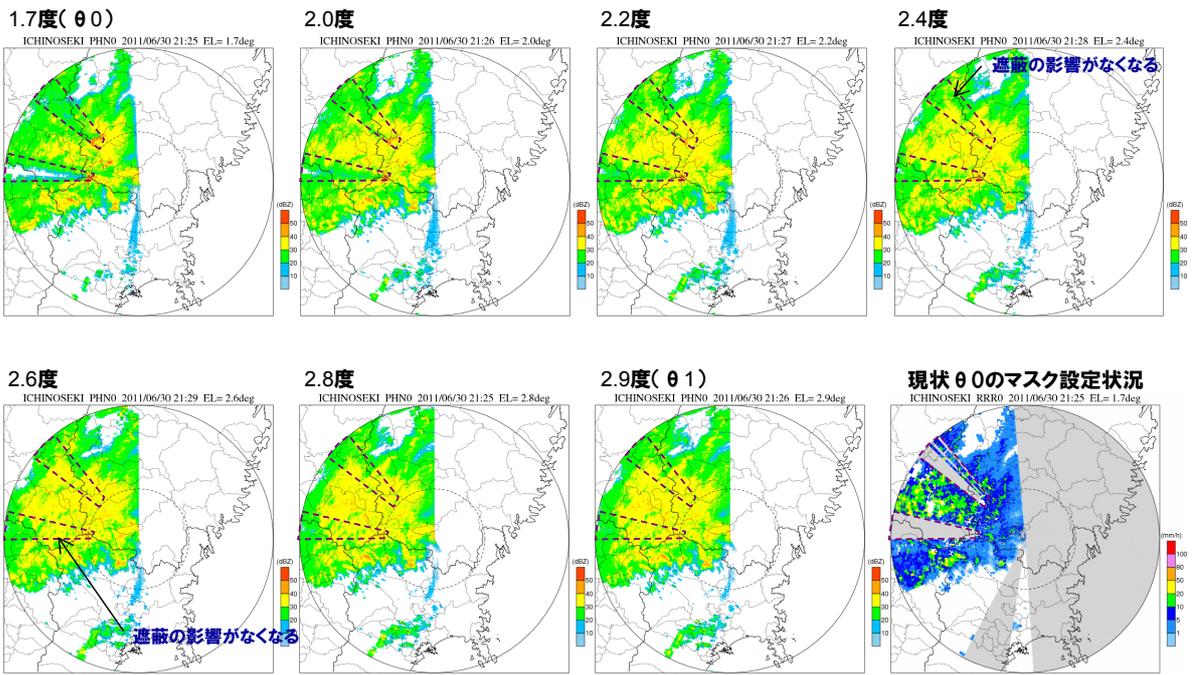


図 10.163 各観測仰角のレーダ反射因子(NOR) 一関局

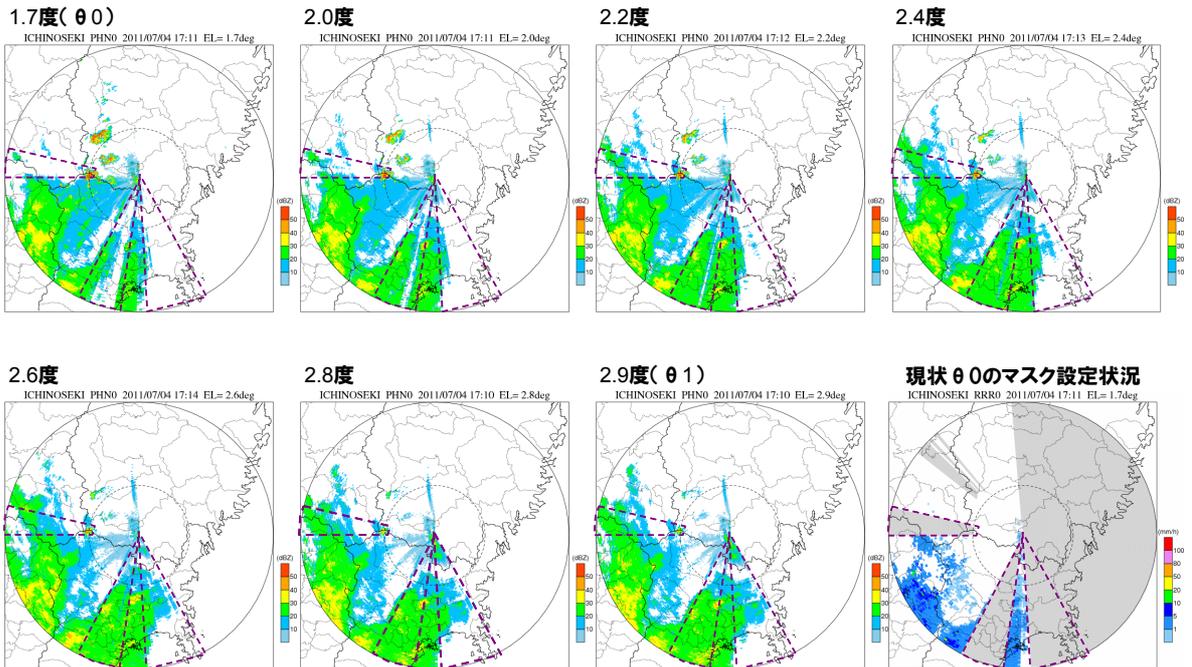


図 10.164 各観測仰角のレーダ反射因子(NOR) 一関局

表 10-25 4 仰角運用の観測スケジュール

1 分目	2 分目	3 分目	4 分目	5 分目	6 分目	7 分目	8 分目	9 分目	10 分目
θ_0, θ_{0A}	θ_1, θ_{0B}								

図 10.165～図 10.166 は、 θ_0 、 θ_{0A} 、 θ_{0B} 、 θ_1 における地形や人工物による遮蔽状況である。灰色領域は地形による遮蔽を、紫色領域は人工物による遮蔽を示している。観測可能な範囲は全体の半分以下であることが分かる。

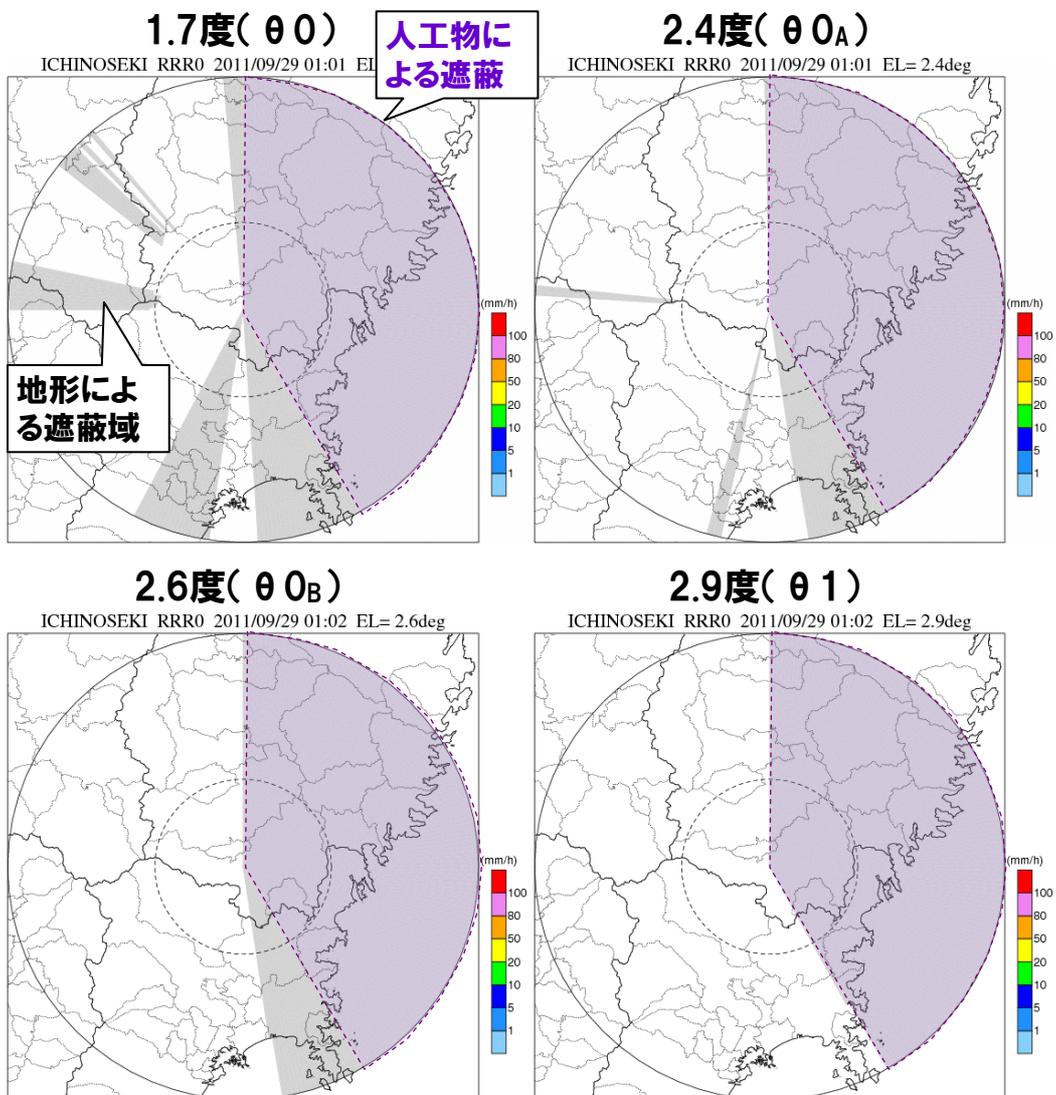


図 10.165 地形や人工物による遮蔽状況（一関局）

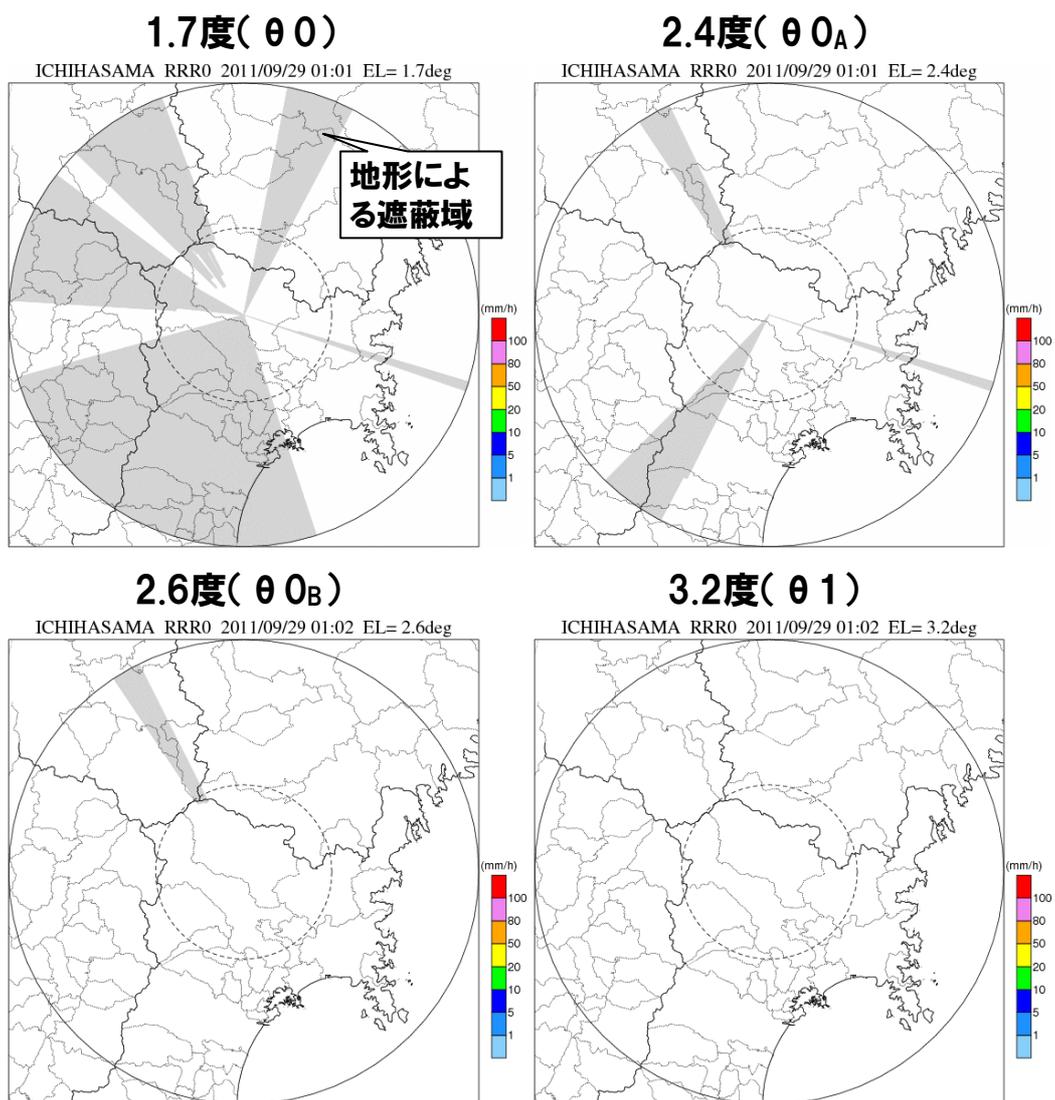


図 10.166 地形や人工物による遮蔽状況（一迫局）

表 10-26 に示した 4 案の合成雨量を作成し、「遮蔽により $\theta 0$ が観測できない領域」、「 $\theta 0$ が観測可能な領域」、「全領域」に分類して合成雨量の精度検証を行った。表 10-27 は、検証に用いた事例の選定手順、表 10-28 は選定された降雨事例である。

表 10-26 合成雨量作成に用いる仰角の組合せ案

合成案	合成方法	利用仰角 (観測仰角の低い順)	備考
案 1	2 仰角合成 ($\theta 0 + \theta 1$)	$\theta 0$ 、 $\theta 1$	従来の考え方で設定した $\theta 0$ を採用
案 2	2 仰角合成 ($\theta 0_A + \theta 1$)	$\theta 0_A$ 、 $\theta 1$	$\theta 0$ の代わりに $\theta 0_A$ を採用する案
案 3	3 仰角合成 ($\theta 0 + \theta 0_A + \theta 1$)	$\theta 0$ 、 $\theta 0_A$ 、 $\theta 1$	案 1 に加えて $\theta 0_A$ を合成に利用する案
案 4	4 仰角合成 ($\theta 0 + \theta 0_A + \theta 0_B + \theta 1$)	$\theta 0$ 、 $\theta 0_A$ 、 $\theta 0_B$ 、 $\theta 1$	4 仰角全て利用して合成する案

表 10-27 対象降雨の選定手順

項目	内容
選定基準 (対象地点)	領域 1、2 のアメダス地点を対象
対象期間	2011 年 7 月 15 日*~9 月 30 日 (*4 仰角観測の開始日)
選定手順	①1 時間雨量の上位 10 位の前後 6 時間を抽出 ②10 分雨量の上位 10 位を抽出し、①の期間にない場合は同様に前後 6 時間を抽出

表 10-28 対象降雨事例

No	期間	降雨原因
1	2011/07/26 06:00~2011/07/26 19:00	大気不安定 (上空寒気)
2	2011/07/27 09:00~2011/07/27 23:00	大気不安定 (上空寒気)
3	2011/07/29 12:00~2011/07/30 02:00	前線 (新潟・福島豪雨)
4	2011/08/06 09:00~2011/08/06 21:00	大気不安定 (日射による昇温)
5	2011/09/21 14:00~2011/09/22 04:00	台風 15 号

■ 遮蔽により $\theta 0$ が観測できない領域の精度

遮蔽により $\theta 0$ が観測できない領域の精度を比較した。図 10.167 は検証に用いたアメダス地点である。図 10.168~図 10.169 は、各案の合成雨量について地上雨量と比較したものである。

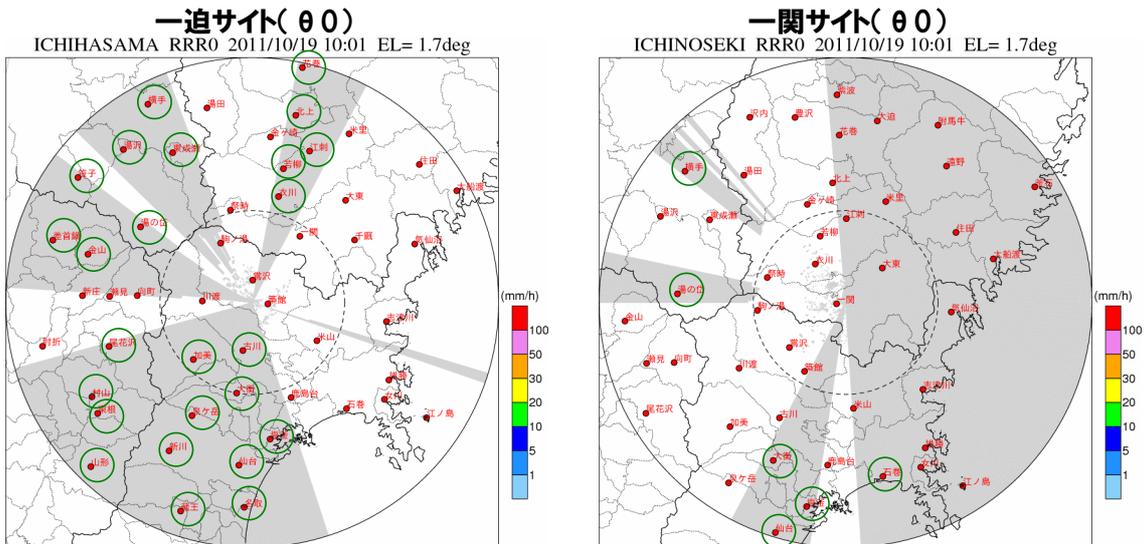


図 10.167 検証対象地点 (図中緑丸)

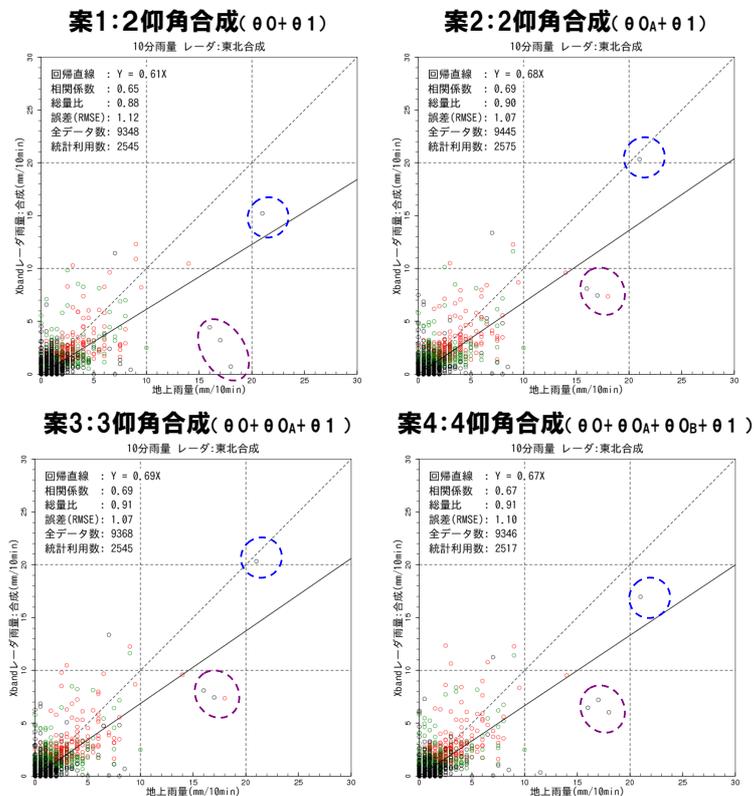


図 10.168 4案の精度比較 (10分雨量)

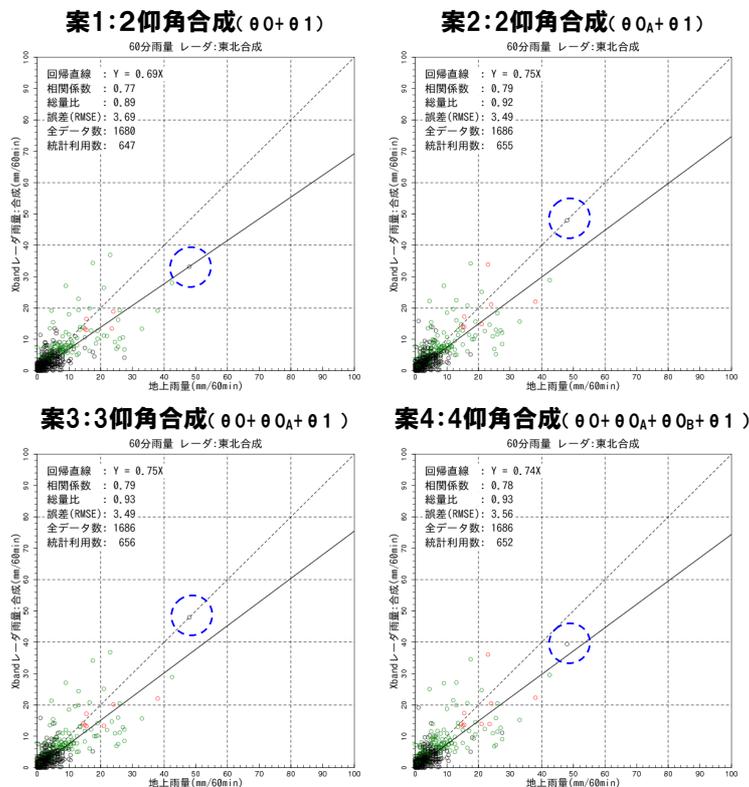


図 10.169 4 案の精度比較 (60 分雨量)

表 10-29～表 10-30 は各案の合成雨量の精度指標である。案 1 は、他の案に比べて量的に過小であり、誤差も大きいことがわかる。案 2 と案 3 の精度が良いが、案 1 以外の 3 案の差は小さい。

表 10-29 統計指標の比較 (10 分雨量)

	相関係数	誤差	回帰係数	総雨量比
案 1 : 2 仰角 $\theta 0 + \theta 1$	0.65	1.12	0.61	0.88
案 2 : 2 仰角 $\theta 0A + \theta 1$	0.69	1.07	0.68	0.90
案 3 : 3 仰角 $\theta 0 + \theta 0A + \theta 1$	0.69	1.07	0.69	0.91
案 4 : 4 仰角 $\theta 0 + \theta 0A + \theta 0B + \theta 1$	0.67	1.10	0.67	0.91

表 10-30 統計指標の比較 (60分雨量)

	相関係数	誤差	回帰係数	総雨量比
案1: 2仰角 $\theta 0 + \theta 1$	0.77	3.69	0.69	0.89
案2: 2仰角 $\theta 0A + \theta 1$	0.79	3.49	0.75	0.92
案3: 3仰角 $\theta 0 + \theta 0A + \theta 1$	0.79	3.49	0.75	0.93
案4: 4仰角 $\theta 0 + \theta 0A + \theta 0B + \theta 1$	0.78	3.56	0.74	0.93

■ $\theta 0$ が観測可能な領域の精度

$\theta 0$ が観測可能な領域の精度を比較した。図 10.170 は検証に用いたアメダス地点である。

図 10.171～図 10.172 は、各案の合成雨量について地上雨量と比較したものである。

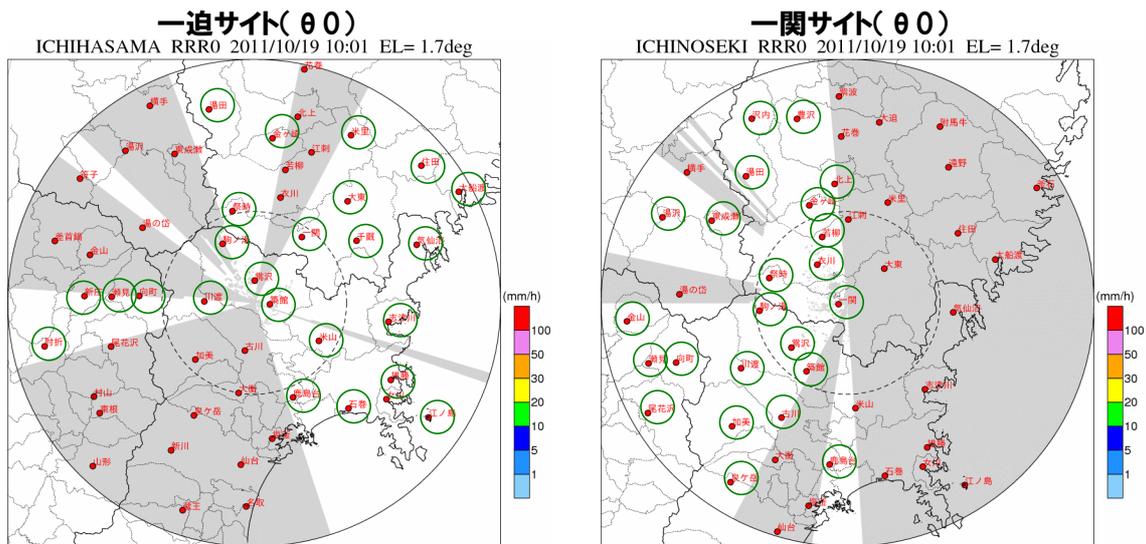


図 10.170 検証対象地点 (図中緑丸)

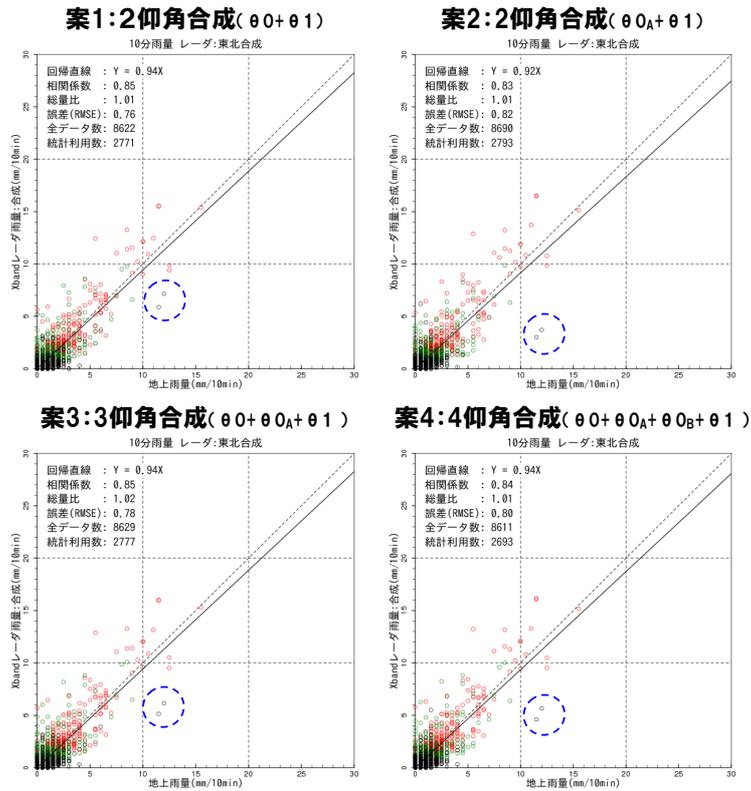


図 10.171 4案の精度比較 (10分雨量)

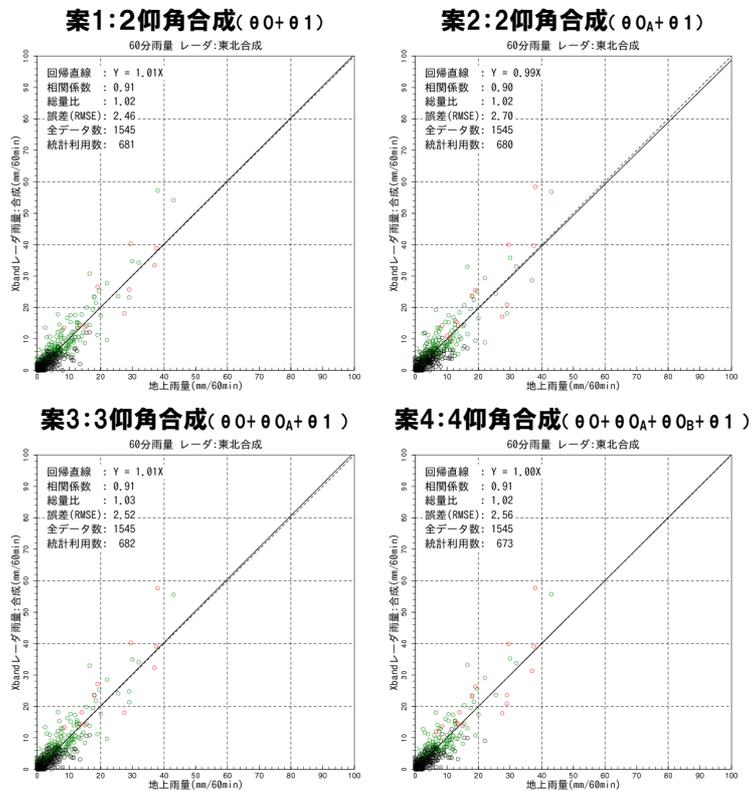


図 10.172 4案の精度比較 (60分雨量)

表 10-31～表 10-32 は各案の合成雨量の精度指標である。案 2 は θ_0 を利用しないため、 θ_0 が観測可能な領域の精度は、その他の手法に比べると若干低下するが、各案ともに差は小さい。

表 10-31 統計指標の比較 (10 分雨量)

	相関係数	誤差	回帰係数	総雨量比
案 1 : 2 仰角 $\theta_0 + \theta_1$	0.85	0.76	0.94	1.01
案 2 : 2 仰角 $\theta_{0A} + \theta_1$	0.83	0.82	0.92	1.01
案 3 : 3 仰角 $\theta_0 + \theta_{0A} + \theta_1$	0.85	0.78	0.94	1.02
案 4 : 4 仰角 $\theta_0 + \theta_{0A} + \theta_{0B} + \theta_1$	0.84	0.80	0.94	1.01

表 10-32 統計指標の比較 (60 分雨量)

	相関係数	誤差	回帰係数	総雨量比
案 1 : 2 仰角 $\theta_0 + \theta_1$	0.91	2.46	1.01	1.02
案 2 : 2 仰角 $\theta_{0A} + \theta_1$	0.90	2.70	0.99	1.02
案 3 : 3 仰角 $\theta_0 + \theta_{0A} + \theta_1$	0.91	2.52	1.01	1.03
案 4 : 4 仰角 $\theta_0 + \theta_{0A} + \theta_{0B} + \theta_1$	0.91	2.56	1.00	1.02

■ 全領域の精度

全領域の精度を比較した。図 10.173 は検証に用いたアメダス地点である。図 10.174～
 図 10.175 は各案の合成雨量について地上雨量と比較したものである。

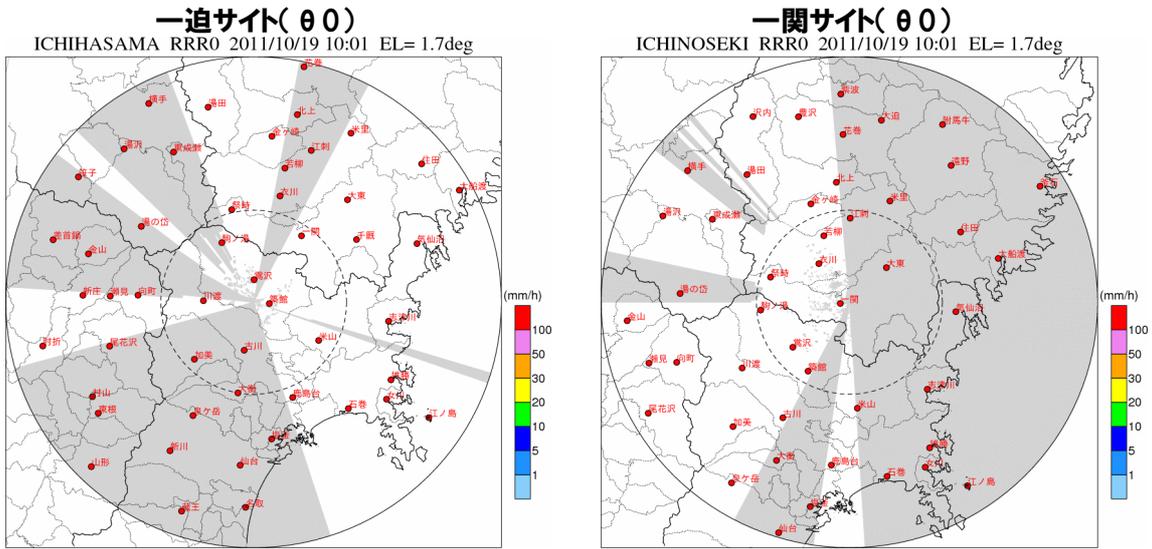


図 10.173 検証対象地点 (全地点)

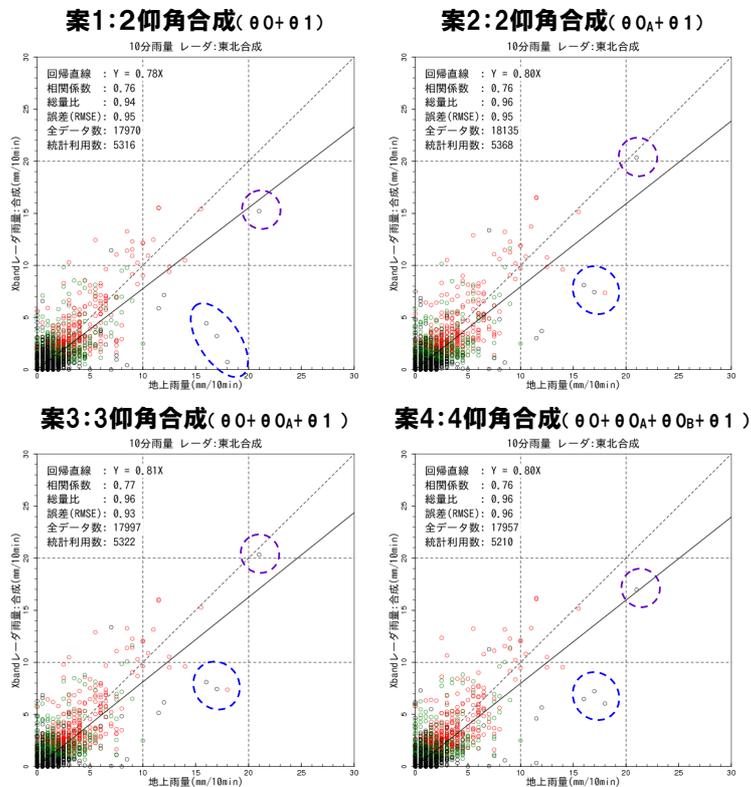


図 10.174 4案の精度比較 (10分雨量)

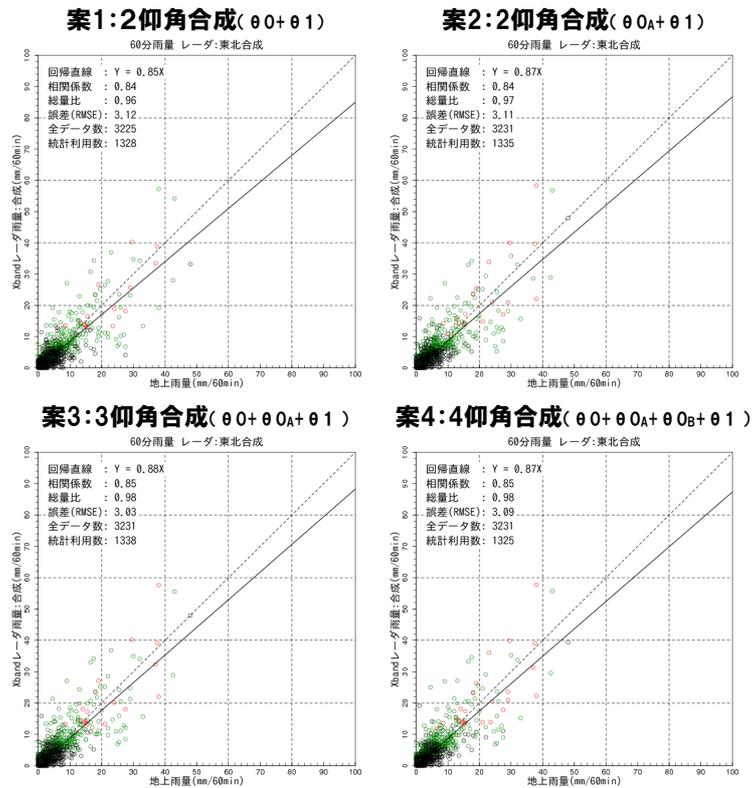


図 10.175 4 案の精度比較 (60 分雨量)

表 10-33～表 10-34 は、は各案の合成雨量の精度指標である。各案の差はほとんどない。

表 10-33 統計指標の比較 (10 分雨量)

	相関係数	誤差	回帰係数	総雨量比
案 1 : 2 仰角 $\theta 0 + \theta 1$	0.76	0.95	0.78	0.94
案 2 : 2 仰角 $\theta 0A + \theta 1$	0.76	0.95	0.80	0.96
案 3 : 3 仰角 $\theta 0 + \theta 0A + \theta 1$	0.77	0.93	0.81	0.96
案 4 : 4 仰角 $\theta 0 + \theta 0A + \theta 0B + \theta 1$	0.76	0.96	0.80	0.96

表 10-34 統計指標の比較 (60分雨量)

	相関係数	誤差	回帰係数	総雨量比
案 1 : 2 仰角 $\theta_0 + \theta_1$	0.84	3.12	0.85	0.96
案 2 : 2 仰角 $\theta_{0A} + \theta_1$	0.84	3.11	0.87	0.97
案 3 : 3 仰角 $\theta_0 + \theta_{0A} + \theta_1$	0.85	3.03	0.88	0.98
案 4 : 4 仰角 $\theta_0 + \theta_{0A} + \theta_{0B} + \theta_1$	0.85	3.09	0.87	0.98

表 10-35 は検証結果を整理したものである。観測精度およびボリュームスキャン観測の可否を考慮すると、案 2 が望ましいことから、 θ_{0A} を新たな θ_0 と設定し、2 仰角合成による合成雨量の作成およびボリュームスキャン観測を行うこととし、2012 年以降はここで見直した仰角により運用されている。

表 10-35 合成雨量作成に採用する観測仰角 (総合判定)

	遮蔽により θ_0 が観測できない領域	θ_0 が観測可能な領域	全領域	ボリュームスキャン観測
案 1 : 2 仰角合成 ($\theta_0 + \theta_1$)	△	◎	○	◎
案 2 : 2 仰角合成 ($\theta_{0A} + \theta_1$)	◎	○	◎	◎
案 3 : 3 仰角合成 ($\theta_0 + \theta_{0A} + \theta_2$)	◎	◎	◎	×
案 4 : 4 仰角合成 ($\theta_0 + \theta_{0A} + \theta_{0B} + \theta_3$)	○	◎	◎	×

10章5節2項 静岡地域の仰角見直し

静岡地域は、周囲を山地に囲まれているため遮蔽が多く、当初設定した仰角 ($\theta 0$ 、 $\theta 1$) では、観測範囲が非常に限られている。静岡地域では、ボリュームスキャンデータを利用して $\theta 0$ の代替候補を選定し、2011年10月21日より、ボリュームスキャン観測を中止し、4仰角観測 ($\theta 0$ の代替候補として選定した $\theta 2$ 、 $\theta 3$ を含めた4仰角) を行っている。図 10.176～図 10.178 は各観測仰角の遮蔽状況である。これらの遮蔽状況を踏まえ、表 10-36 に示す仰角を設定し4仰角での観測を実施している。図 10.179～図 10.181 は仰角別の遮蔽率である。

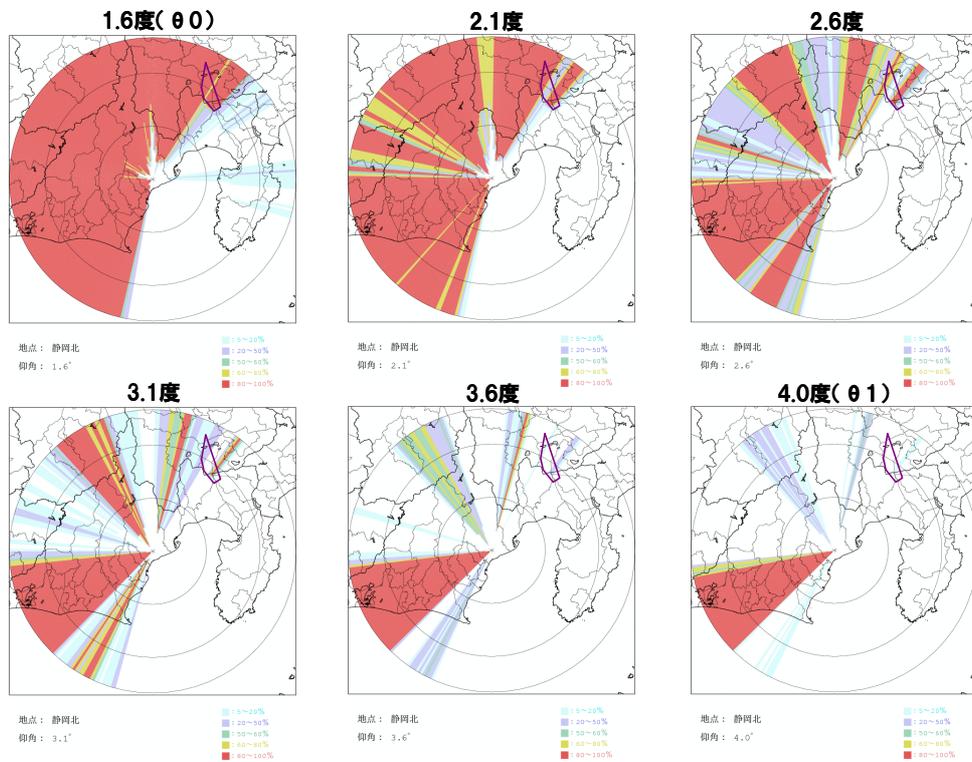


図 10.176 各観測仰角の遮蔽状況 (静岡北局)

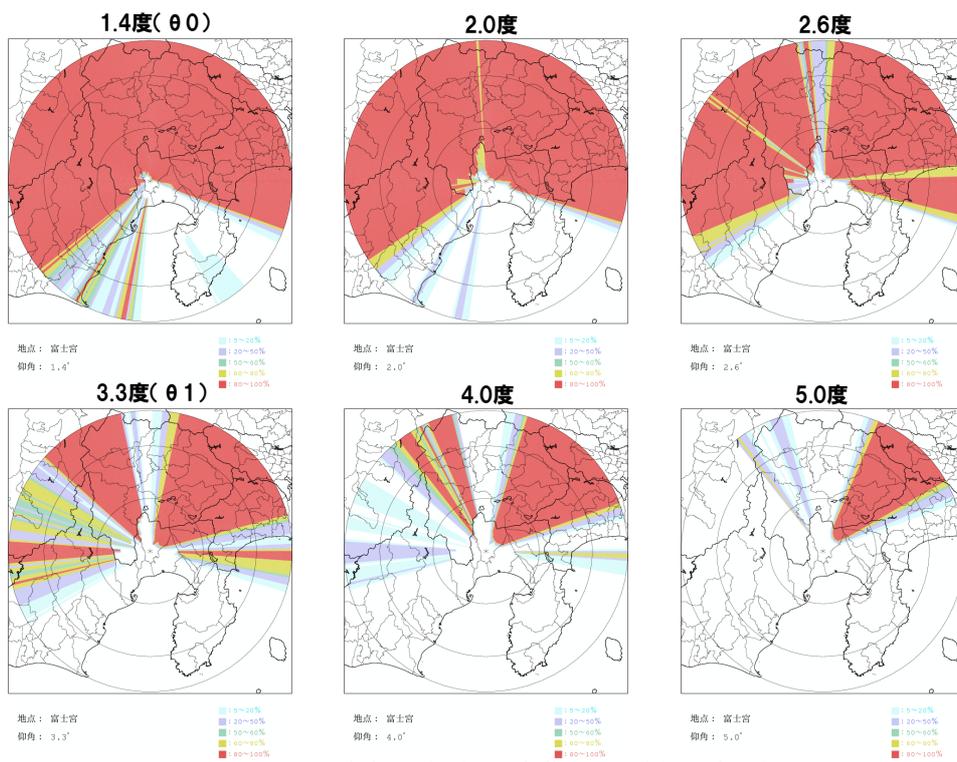


図 10.177 各観測仰角の遮蔽状況 (富士宮局)

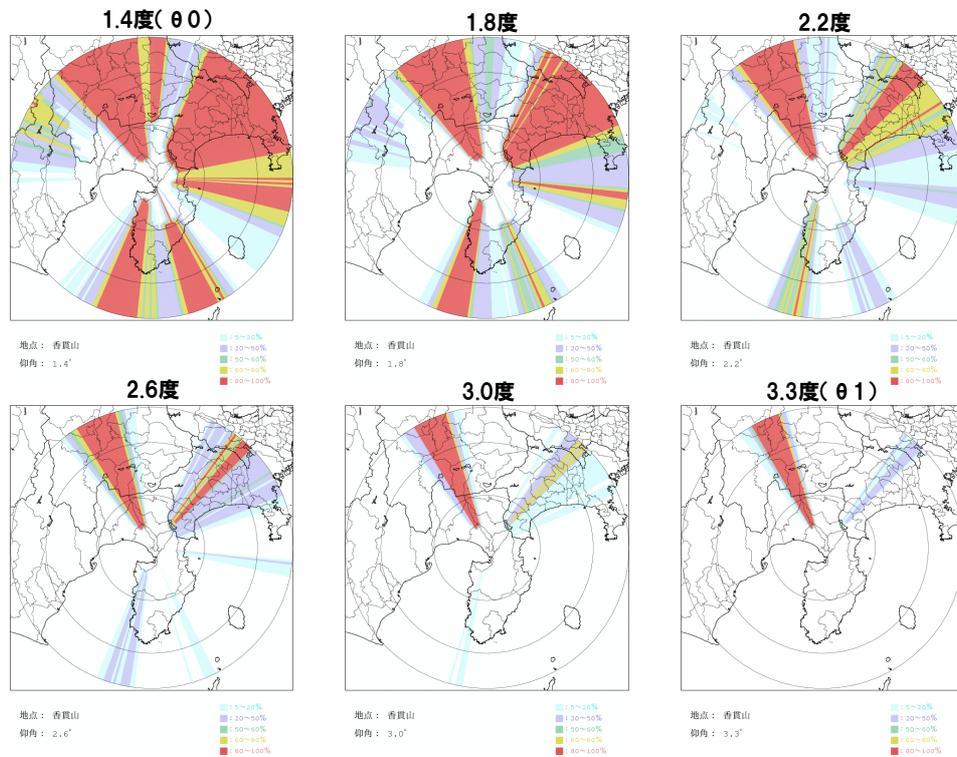


図 10.178 各観測仰角の遮蔽状況 (香貫山局)

表 10-36 仰角設定値

サイト	$\theta 0$	$\theta 1$	$\theta 2$	$\theta 3$
静岡北	1.6	4.0	3.1	3.6
富士宮	1.4	3.3	4.0	5.0
香貫山	1.4	3.3	2.2	3.0

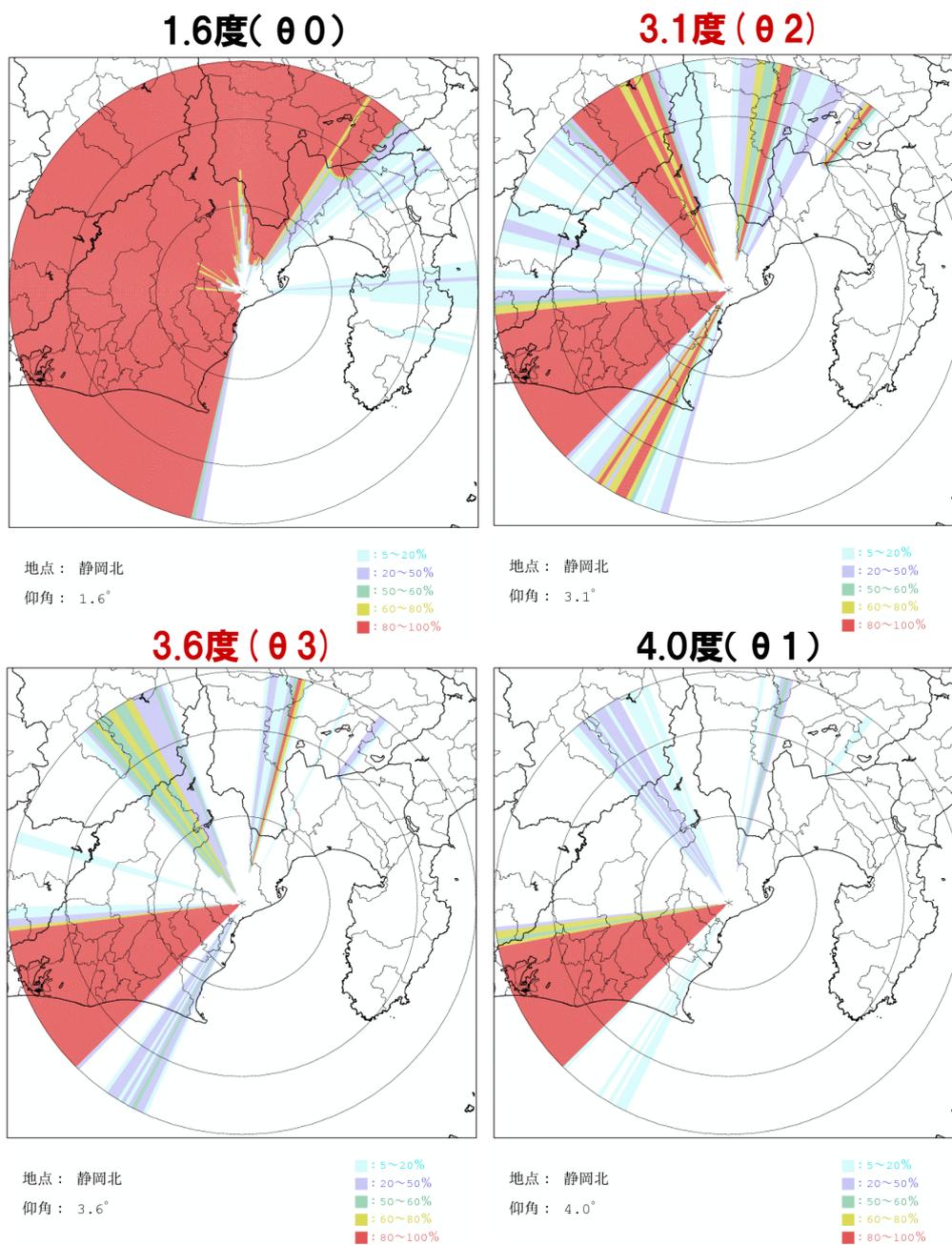


図 10.179 静岡北サイトの遮蔽率

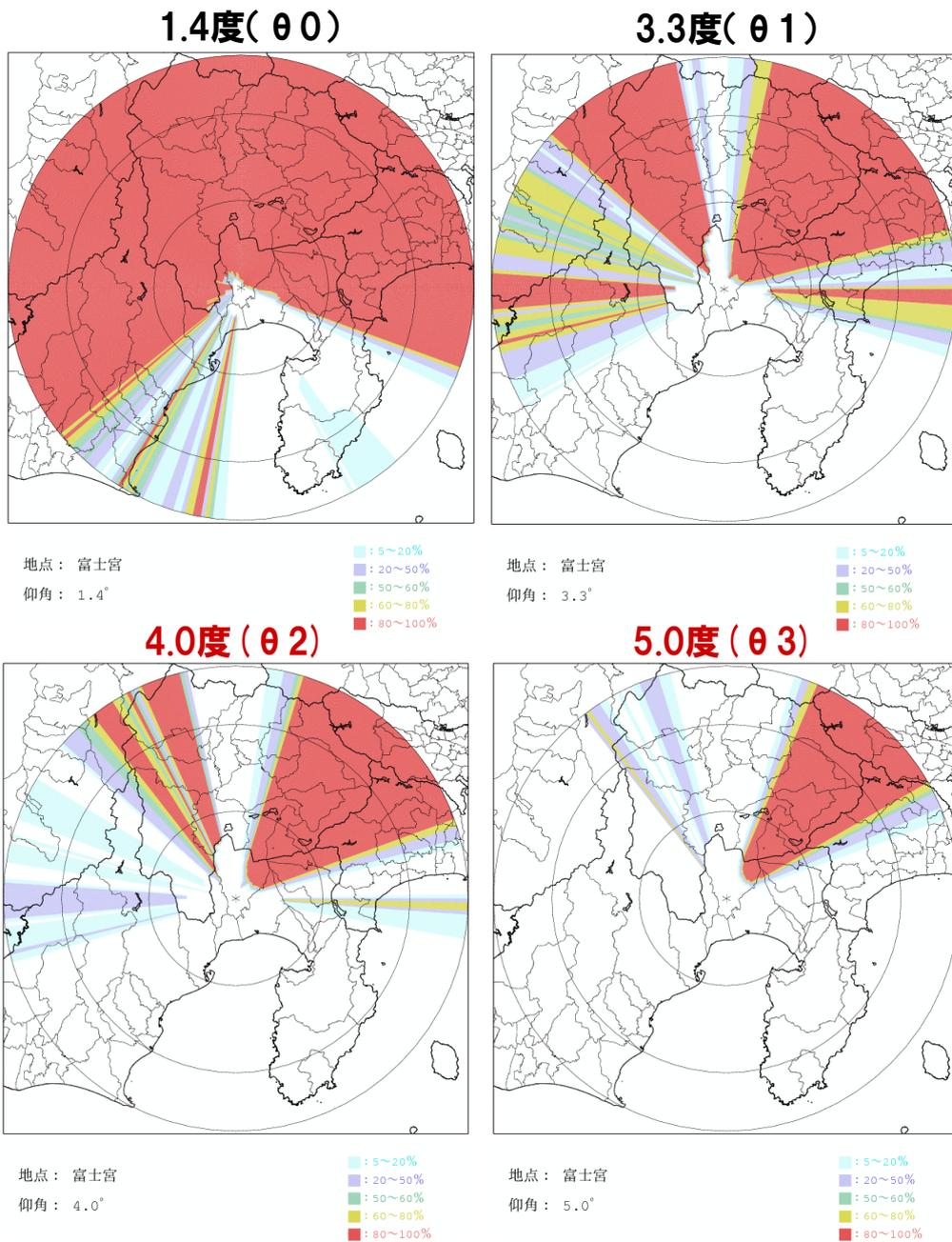


図 10.180 富士宮サイトの遮蔽率

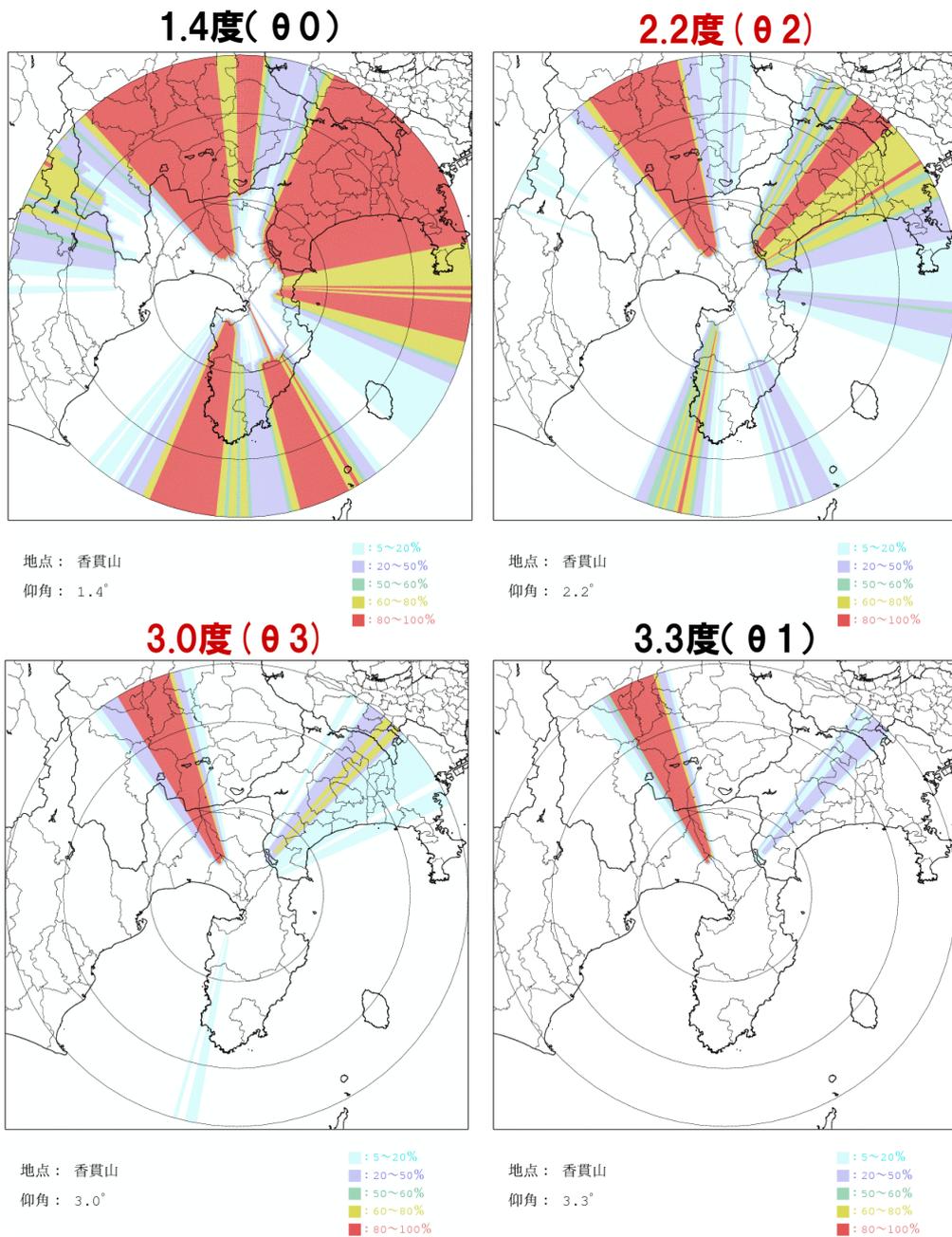


図 10.181 香貫山サイトの遮蔽率

各レーダの $\theta 0$ 、 $\theta 1$ の見直しについて、表 10-37 に示す検討を行った。仰角の見直しの検討に用いた事例は、気温 0°C の高度がある程度高くなった 6 月以降の事例を対象に、領域内のアメダス地点を対象に 60 分雨量の上位事例から、表 10-38 に示す事例を抽出し対象事例とした。

表 10-37 仰角見直しの検討

サイト	$\theta 0$ の検討	$\theta 1$ の検討
静岡北	$\theta 0$ を θa に上げる	$\theta 1$ を θb に下げる
富士宮	— (※)	$\theta 1$ を θa に上げる
香貫山	$\theta 0$ を θa に上げる	$\theta 1$ を θb に下げる

※ $\theta 0$ と $\theta 1$ で遮蔽状況が大きく変わらないため

表 10-38 対象事例

No	期間	降雨原因
1	2012 年 6 月 16 日 17 時～17 日 08 時	梅雨前線
2	2012 年 6 月 19 日 07 時～20 日 05 時	台風 4 号
3	2012 年 6 月 21 日 20 時～22 日 15 時	低気圧

仰角見直しの判断として、「精度の高い仰角を採用候補」、「精度が同程度の場合は、観測可能領域が広い仰角を採用候補」とすることとした。なお、量的な過小は B 、 β に左右されるため、極端に過大・過小でないかぎり、精度は相関係数、RMSE により評価することとし、相関係数の差が 0.05 以内、RMSE の差が 0.5 以内であれば同程度と判定した。

■ 静岡北局の仰角見直し

図 10.182 は、現状の $\theta 0$ と仰角の見直し候補である θa による降雨観測状況を示している。灰色は地形による遮蔽域（遮蔽率 50%以上）を、紫色は電波消散域等の欠測域を示している。図 10.183 は、現状の $\theta 1$ と仰角の見直し候補である θb の観測状況を示している。現状の $\theta 1$ はビーム高度が高いため雨滴の存在する高度よりも上空を観測していることがわかる。

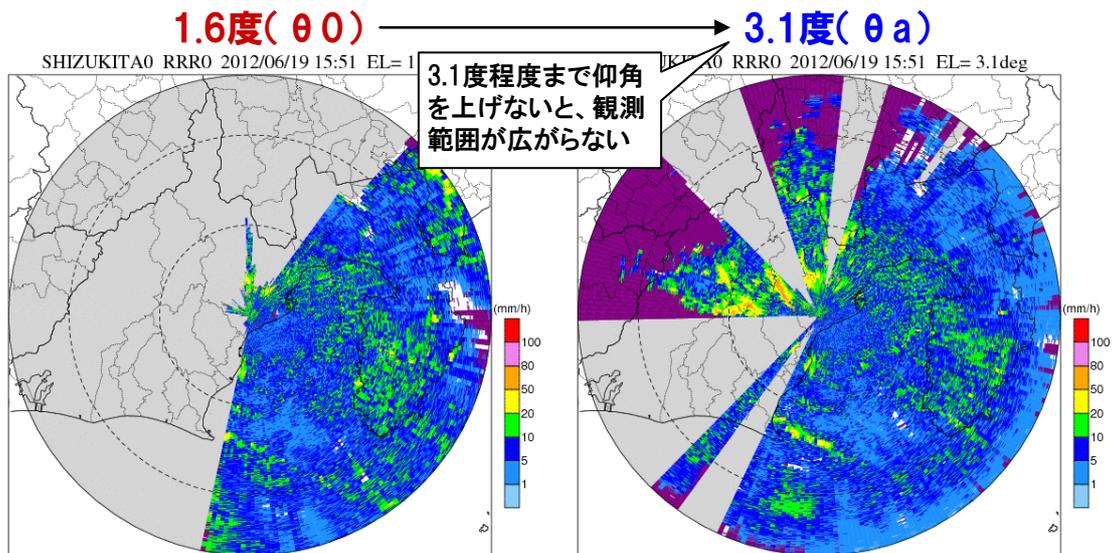


図 10.182 降雨観測状況 静岡北局
(2012年6月19日：台風4号)

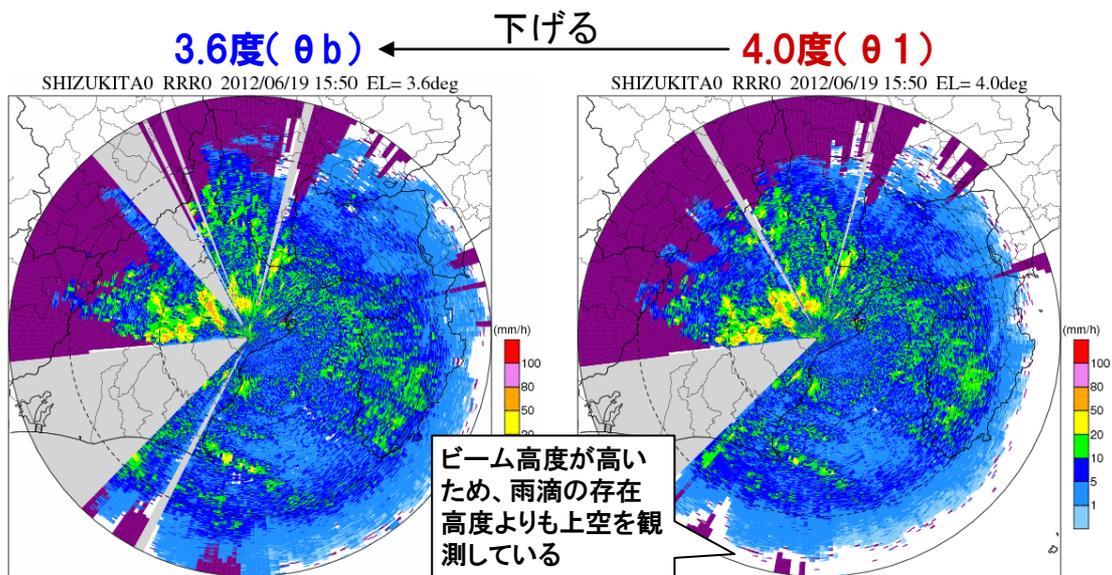


図 10.183 降雨観測状況 静岡北局
(2012年6月19日：台風4号)

図 10.184 は、現状の運用仰角と見直し候補の仰角におけるレーダからの距離と高度の関係を示している。現状の $\theta 1$ は観測高度が4km以上となるレーダから50km以遠に対してマスクを適用している。そのため、見直し候補の仰角についても観測高度が4km以上となる56km以遠(θb)、64km以遠(θa)にマスクを設定した上で、検討することとした。

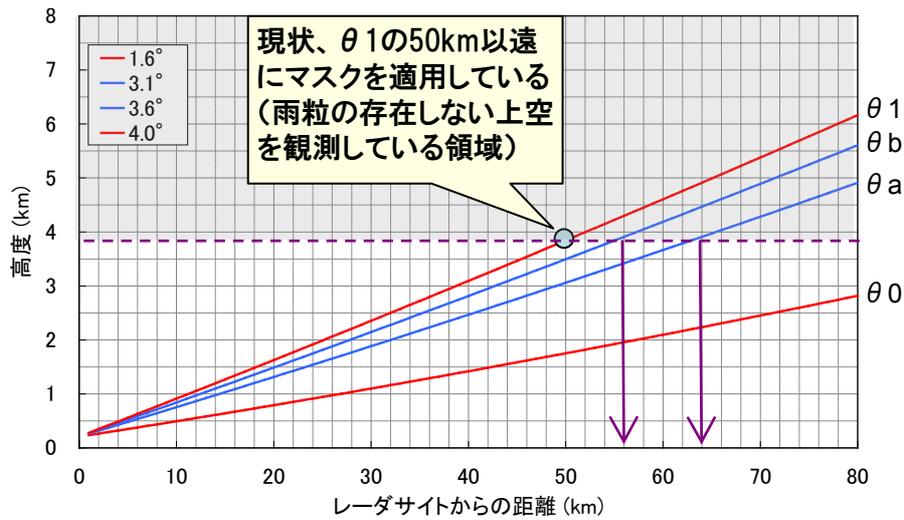


図 10.184 各仰角のレーダからの距離と高度の関係

■ 静岡北： $\theta 0$ の見直し ($\theta 0$ を上げる検討)

図 10.185 は、 $\theta 0$ の遮蔽状況、64km 以遠にマスクを適用した θa の遮蔽状況を示している。図 10.186 は、両方の仰角で観測可能な地上雨量計を対象にレーダ雨量と地上雨量の比較したものである。表 10-39 は、 $\theta 0$ 、 θa の精度を比較したものである。1.6 度 (現状) での精度が高いことから、静岡北の $\theta 0$ は変更しないこととした。

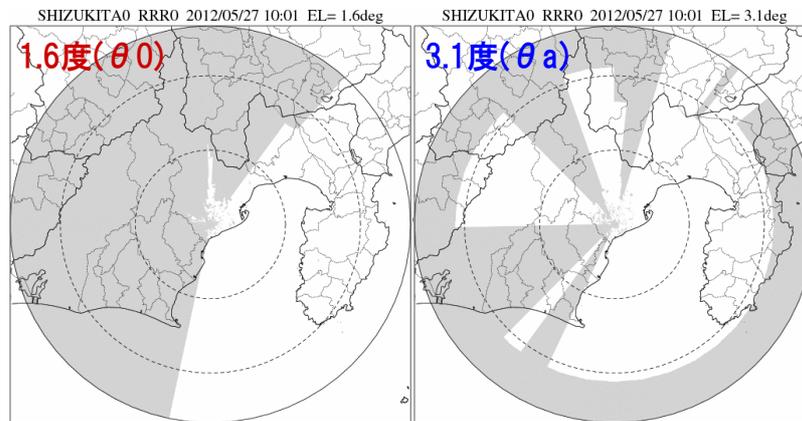


図 10.185 $\theta 0$ 、 θa における遮蔽状況 (θa は 64km 以遠にマスク適用)

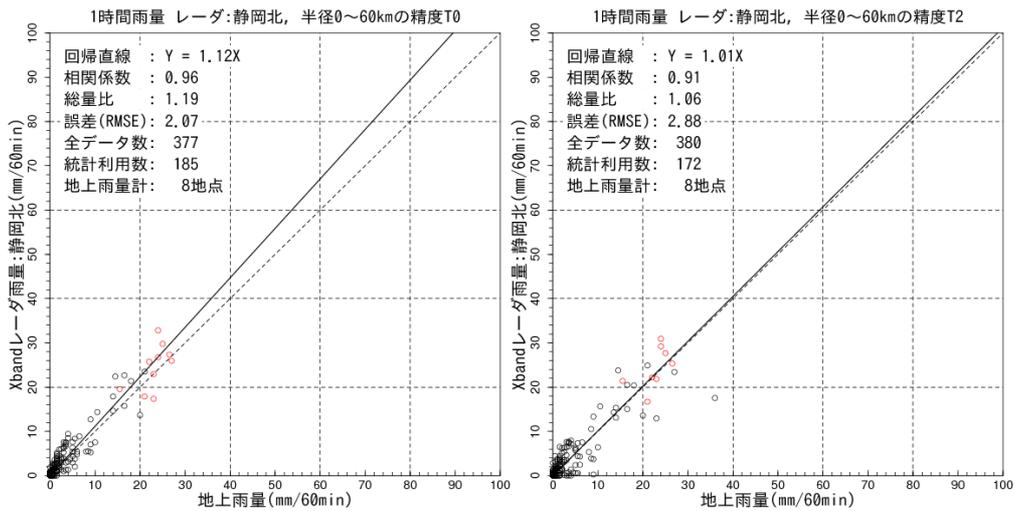


図 10.186 レーダ雨量と地上雨量の比較 (左 : 1.6 度(θ_0)、右 : 3.1 度(θ_a))

表 10-39 θ_0 、 θ_b の精度比較

	θ_0	θ_a
相関係数	0.96	0.91
RMSE(mm)	2.07	2.88

■ 静岡北 : θ_1 の見直し (θ_1 を下げる検討)

図 10.187 は、50km 以遠にマスクを適用した θ_1 の遮蔽状況、56km 以遠にマスクを適用した θ_b の遮蔽状況を示している。図 10.188 は、両方の仰角で観測可能な地上雨量計を対象にレーダ雨量と地上雨量の比較したものである。表 10-40 は、 θ_1 、 θ_b の精度を比較したものである。精度は同程度あることから観測可能領域が広い 4.0 度を θ_1 とし、 θ_1 は変更しないこととした。

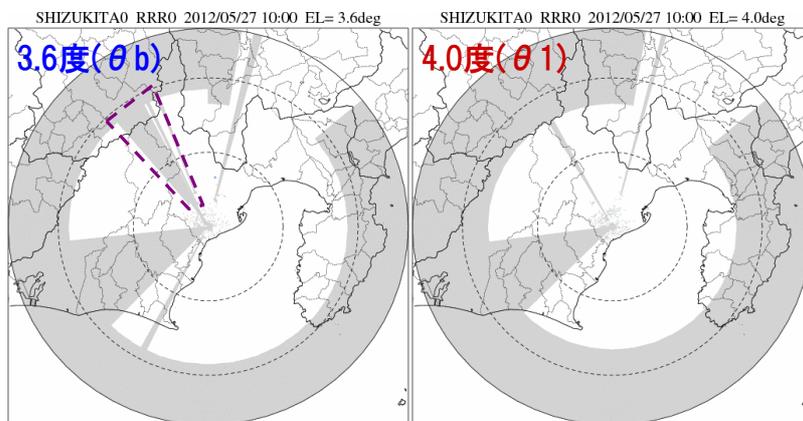


図 10.187 θ_1 、 θ_b における遮蔽状況
(θ_b は 56km、 θ_1 は 50km 以遠にマスクを適用)

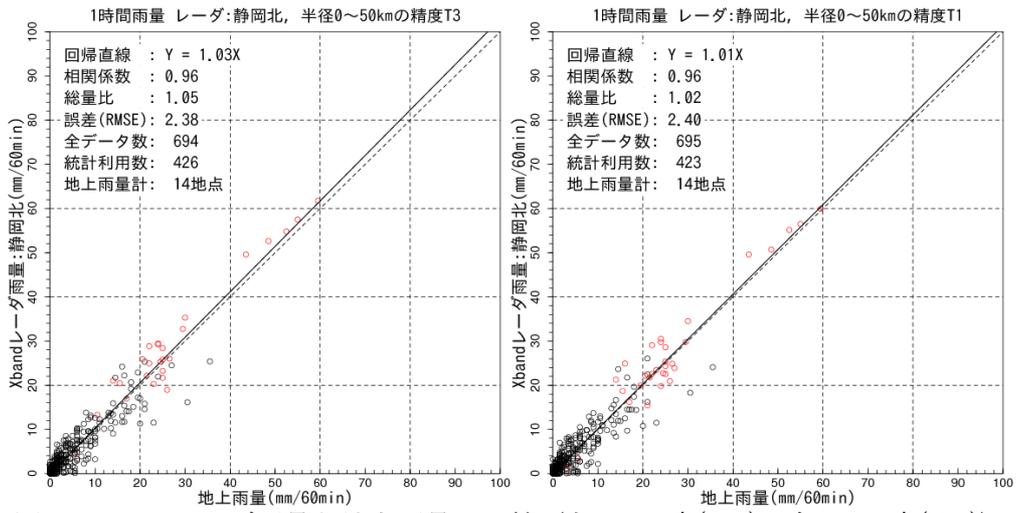


図 10.188 レーダ雨量と地上雨量の比較 (左: 3.6度(θb), 右: 4.0度($\theta 1$))

表 10-40 $\theta 1$ 、 θb の精度比較

	θb	$\theta 1$
相関係数	0.96	0.96
RMSE(mm)	2.38	2.40

■ 富士宮局の仰角見直し

図 10.189 は、現状の $\theta 1$ と仰角の見直し候補である θa の観測状況を示している。見直し候補である θa はビーム高度が高いため雨滴の存在する高度よりも上空を観測していることがわかる。

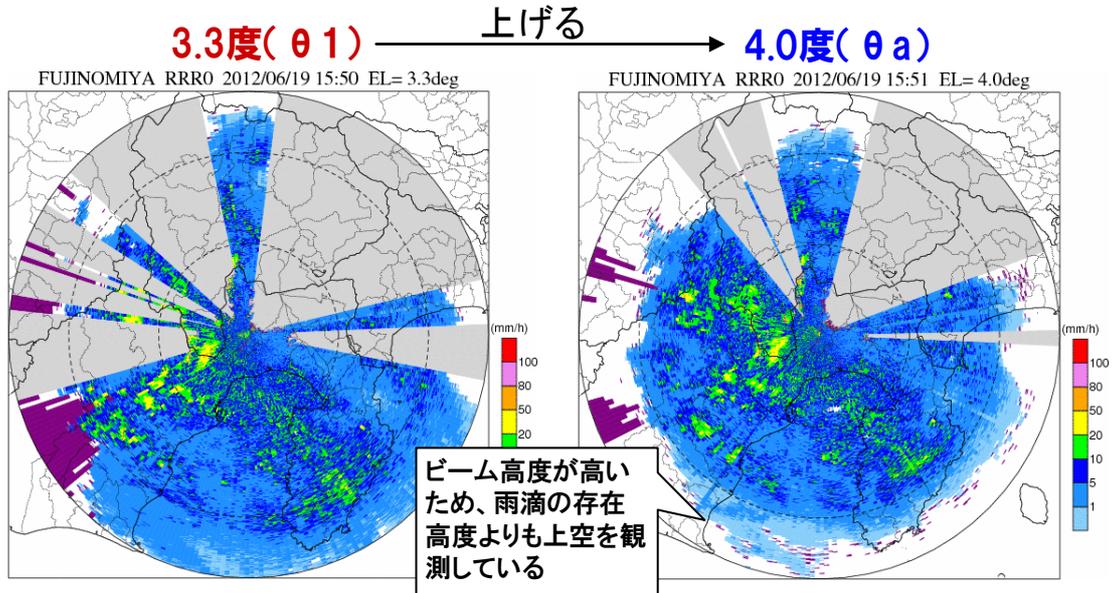


図 10.189 降雨観測状況 富士宮局
(2012年6月19日：台風4号)

図 10.190 は、現状の運用仰角と見直し候補の仰角におけるレーダからの距離と高度の関係を示している。現状の $\theta 1$ は観測高度が 4km 以上となるレーダから 60km 以遠に対してマスクを適用している。そのため、見直し候補の仰角についても観測高度が 4km 以上となる 50km 以遠 (θa) にマスクを設定した上で、検討することとした。

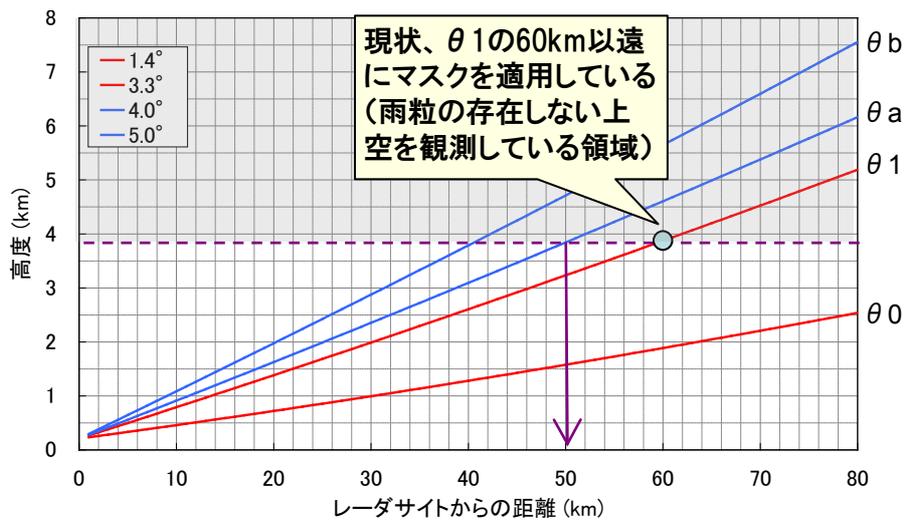


図 10.190 各仰角のレーダからの距離と高度の関係

■ 富士宮： $\theta 1$ の見直し ($\theta 1$ を上げる検討)

図 10.191 は、50km 以遠にマスクを適用した θa の遮蔽状況、60km 以遠にマスクを適用した $\theta 1$ の遮蔽状況を示している。図 10.192 は、両方の仰角で観測可能な地上雨量計を対象にレーダ雨量と地上雨量の比較したものである。表 10-41 は、 $\theta 1$ 、 θa の精度を比較したものである。精度は同程度あることから観測可能領域が広い 4.0 度を採用し、 θa を $\theta 1$ に変更することとした。

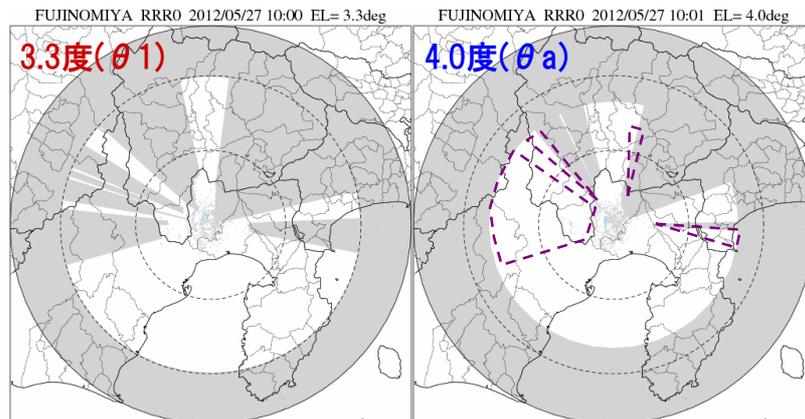


図 10.191 $\theta 1$ 、 θa における遮蔽状況
(θa は 50km、 $\theta 1$ は 60km 以遠にマスクを適用)

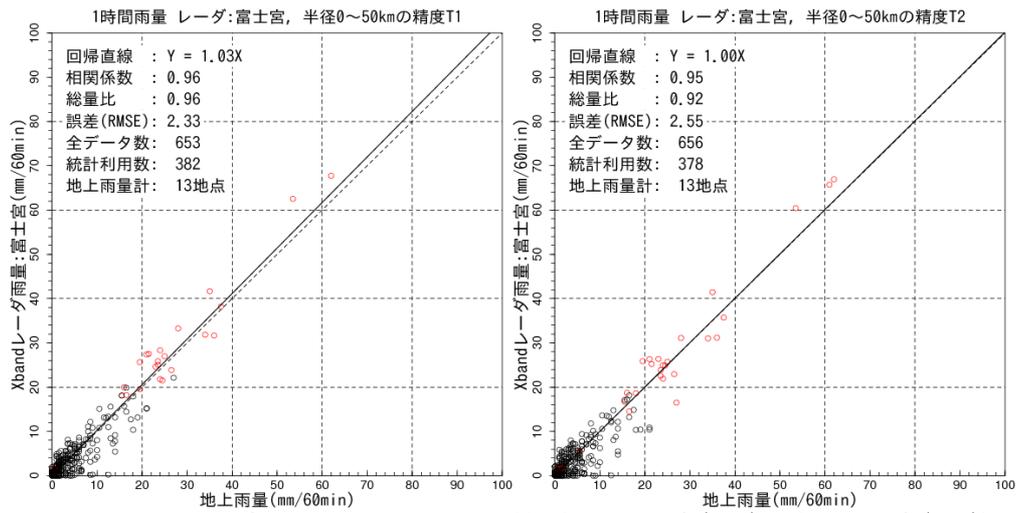


図 10.192 レーダ雨量と地上雨量の比較 (左 : 3.3度($\theta 1$), 右 : 4.0度(θa))

表 10-41 $\theta 1$ 、 θa の精度比較

	$\theta 1$	θa
相関係数	0.96	0.95
RMSE(mm)	2.33	2.55

■ 香貫山局の仰角見直し

図 10.193 は、現状の θ_0 と仰角の見直し候補である θ_a による降雨観測状況を示している。灰色は地形による遮蔽域（遮蔽率 50%以上）を、紫色は電波消散域等の欠測域を示している。図 10.194 は、現状の θ_1 と仰角の見直し候補である θ_b の観測状況を示している。

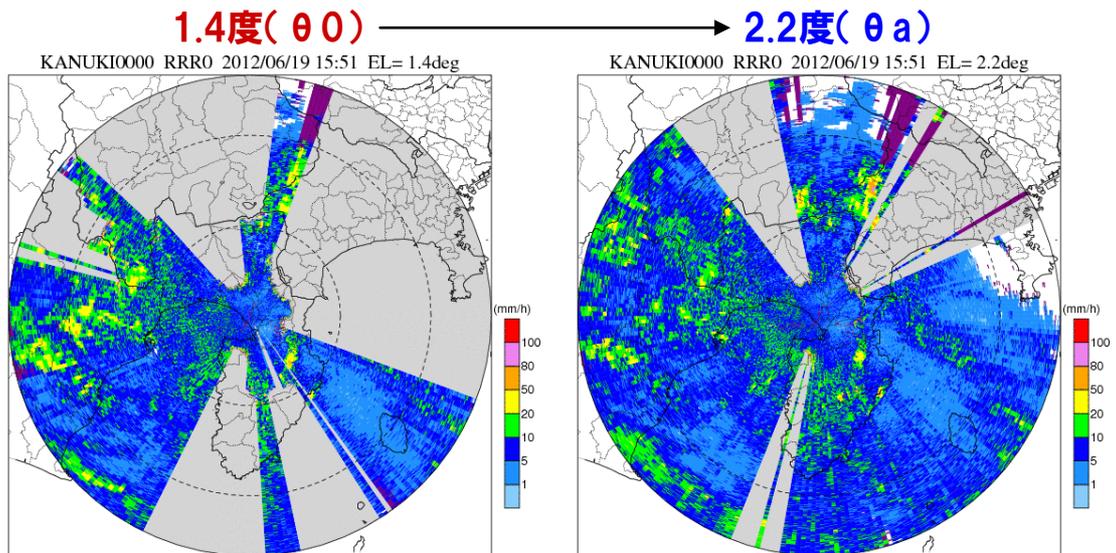


図 10.193 降雨観測状況 香貫山局
(2012年6月19日：台風4号)

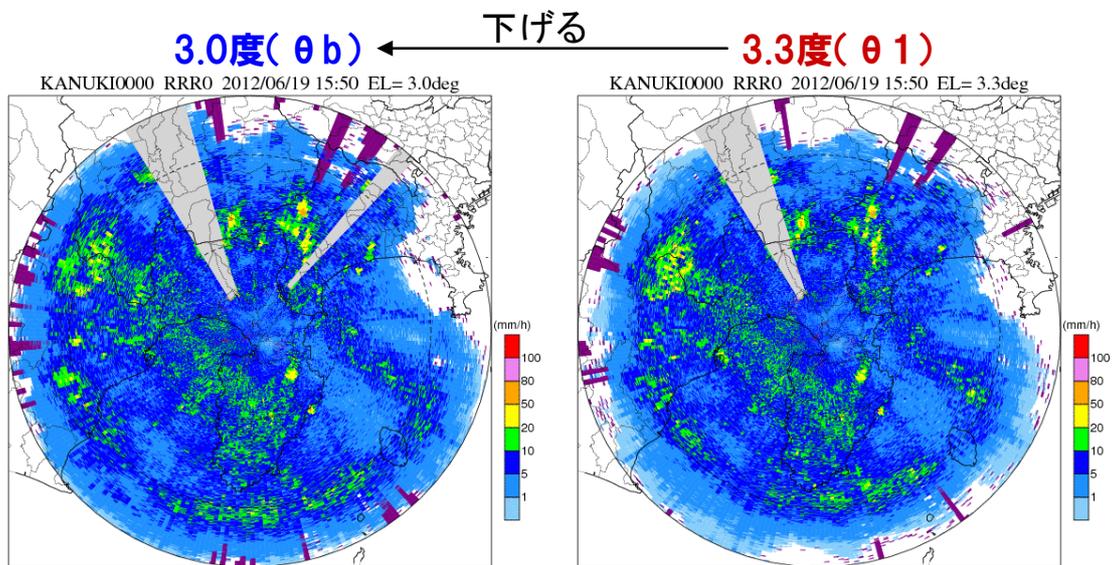


図 10.194 降雨観測状況 香貫山局
(2012年6月19日：台風4号)

図 10.195 は、現状の運用仰角と見直し候補の仰角におけるレーダからの距離と高度の関係を示している。現状の $\theta 1$ は観測高度が4.5km以上となるレーダから70km以遠に対してマスクを適用している。そのため、見直し候補の仰角についても観測高度が4.5km以上となる76km以遠(θb)にマスクを設定した上で、検討することとした。

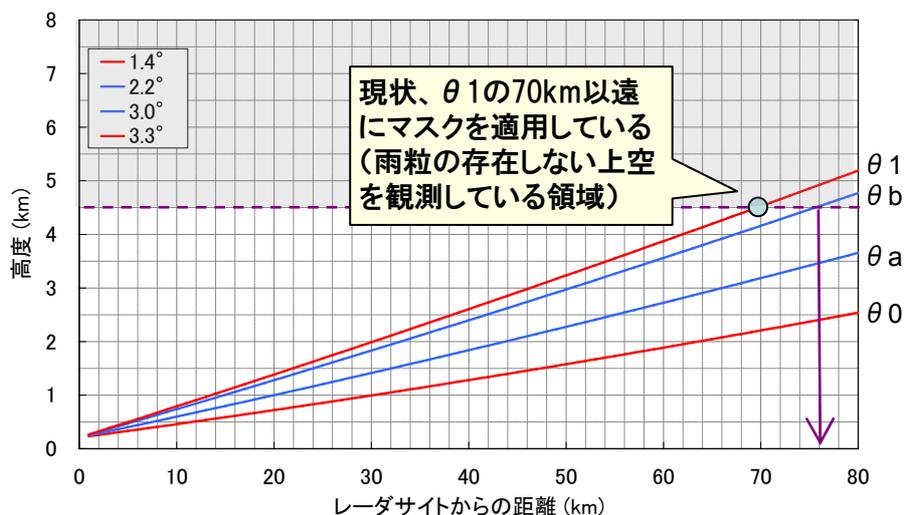


図 10.195 各仰角のレーダからの距離と高度の関係

■ 香貫山： $\theta 0$ の見直し ($\theta 0$ を上げる検討)

図 10.196 は、 θa の遮蔽状況、 $\theta 0$ の遮蔽状況を示している。図 10.197 は、両方の仰角で観測可能な地上雨量計を対象にレーダ雨量と地上雨量の比較したものである。表 10-42 は、 $\theta 0$ 、 θa の精度を比較したものである。精度は同程度あることから観測可能領域が広い2.2度を採用し、 θa を $\theta 0$ に変更することとした。

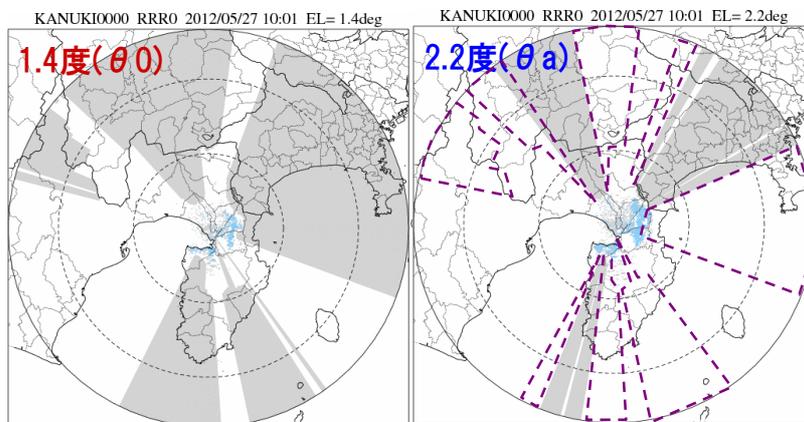


図 10.196 $\theta 0$ 、 θa における遮蔽状況

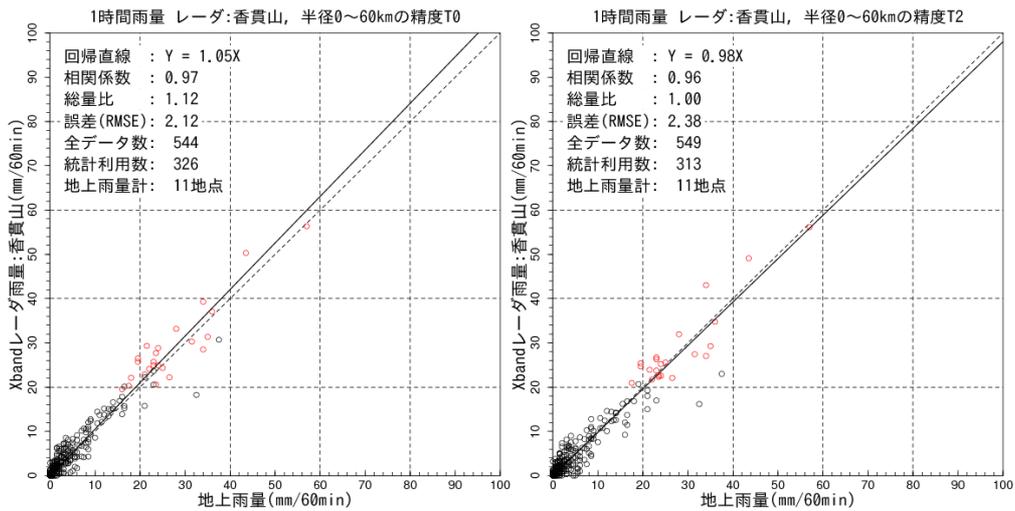


図 10.197 レーダ雨量と地上雨量の比較 (左 : 1.4 度(θ_0)、右 : 2.2 度(θ_a))

表 10-42 θ_0 、 θ_a の精度比較

	θ_0	θ_a
相関係数	0.97	0.96
RMSE(mm)	2.12	2.38

■ 香貫山 : θ_1 の見直し (θ_1 を下げる検討)

図 10.198 は、76km 以遠にマスクを適用した θ_b の遮蔽状況、70km 以遠にマスクを適用した θ_1 の遮蔽状況を示している。図 10.199 は、両方の仰角で観測可能な地上雨量計を対象にレーダ雨量と地上雨量の比較したものである。表 10-43 は、 θ_1 、 θ_b の精度を比較したものである。精度は同程度あることから観測可能領域が広い 3.3 度を θ_1 とし、 θ_1 は変更しないこととした。

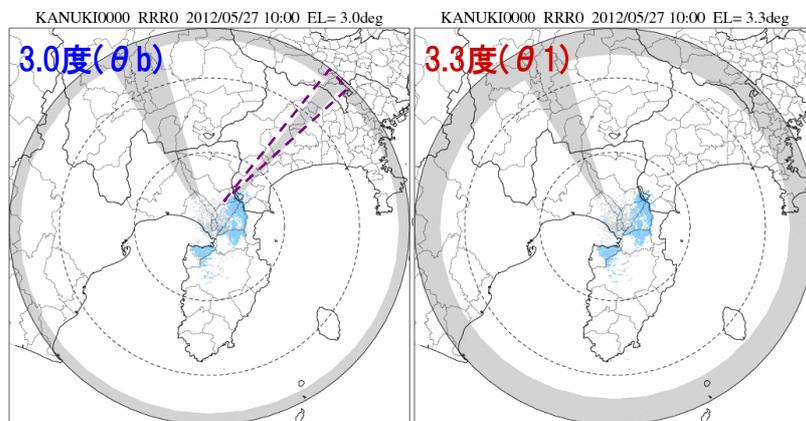


図 10.198 θ_b 、 θ_1 における遮蔽状況

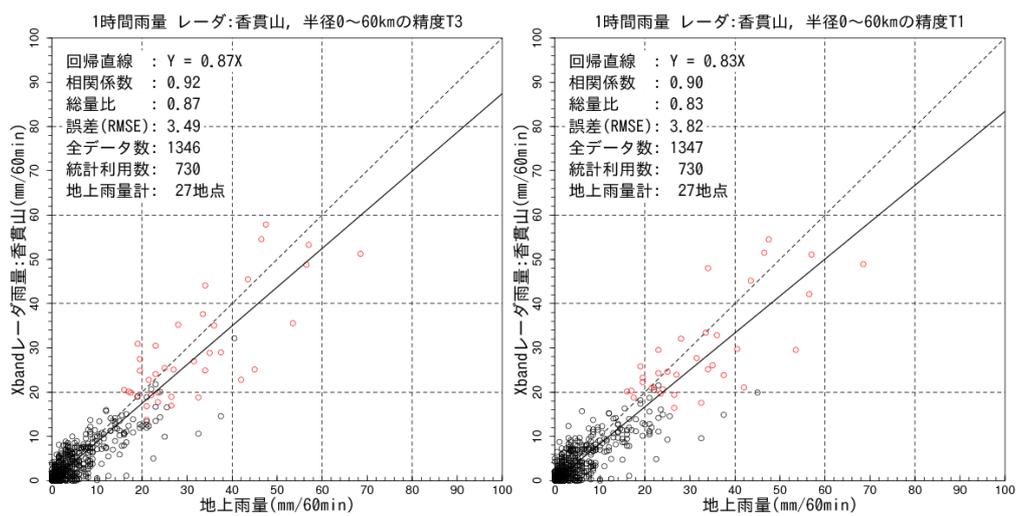


図 10.199 レーダ雨量と地上雨量の比較 (左: 3.0度(θb), 右: 3.3度($\theta 1$))

表 10-43 $\theta 0$ 、 θa の精度比較

	θb	$\theta 1$
相関係数	0.92	0.90
RMSE(mm)	3.49	3.82

■ 合成雨量による検証

現状の仰角による 2 仰角合成雨量、見直した仰角による 2 仰角合成雨量、現状及び見直し候補の仰角による 4 仰角合成雨量の精度比較を行なった。表 10-44 は、そのぞれの合成に利用する仰角を整理したものである。

表 10-44 合成に利用する仰角

	静岡北	富士宮	香貫山
2 仰角合成 (現状)	$\theta 0$ 、 $\theta 1$	$\theta 0$ 、 $\theta 1$	$\theta 0$ 、 $\theta 1$
2 仰角合成 (案)	$\theta 0$ 、 $\theta 1$	$\theta 0$ 、 θa	θa 、 $\theta 1$
4 仰角合成 (案)	$\theta 0$ 、 $\theta 1$ 、 θa 、 θb	$\theta 0$ 、 $\theta 1$ 、 θa 、 θb	$\theta 0$ 、 $\theta 1$ 、 θa 、 θb

図 10.200～図 10.214 は各仰角合成パターンによる合成雨量と地上雨量の比較を示している。

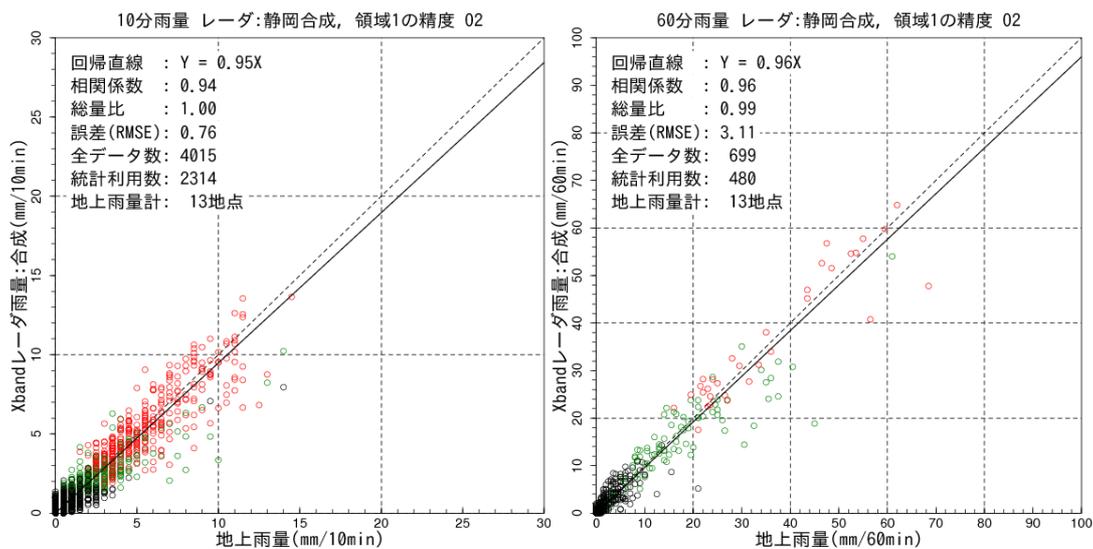


図 10.200 合成雨量と地上雨量の比較 領域 1 2 仰角合成 (現状)
(左 : 10 分雨量、右 : 60 分雨量)

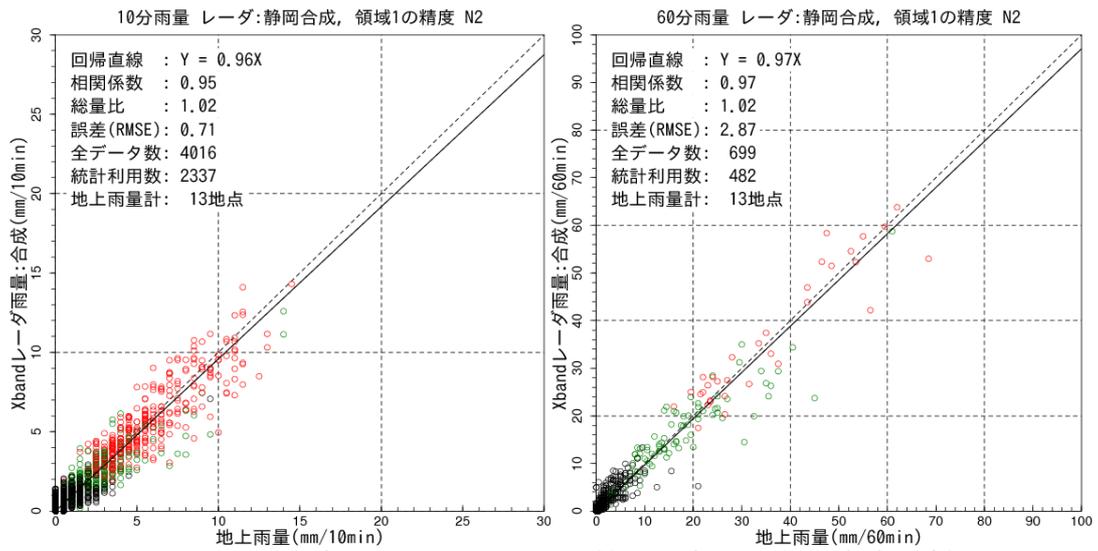


図 10.201 合成雨量と地上雨量の比較 領域1 2仰角合成(案)
 (左: 10分雨量、右: 60分雨量)

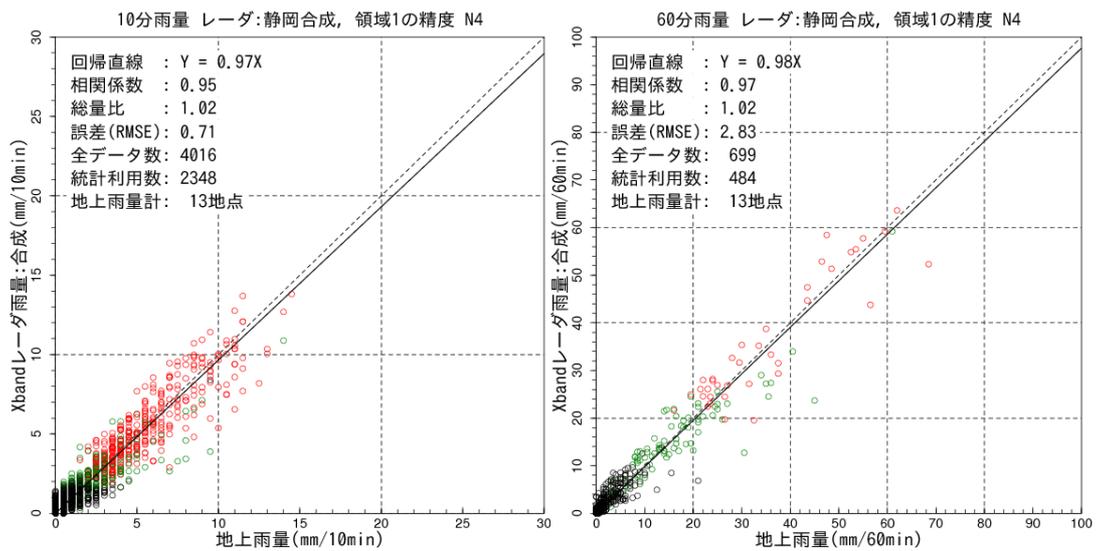


図 10.202 合成雨量と地上雨量の比較 領域1 4仰角合成(案)
 (左: 10分雨量、右: 60分雨量)

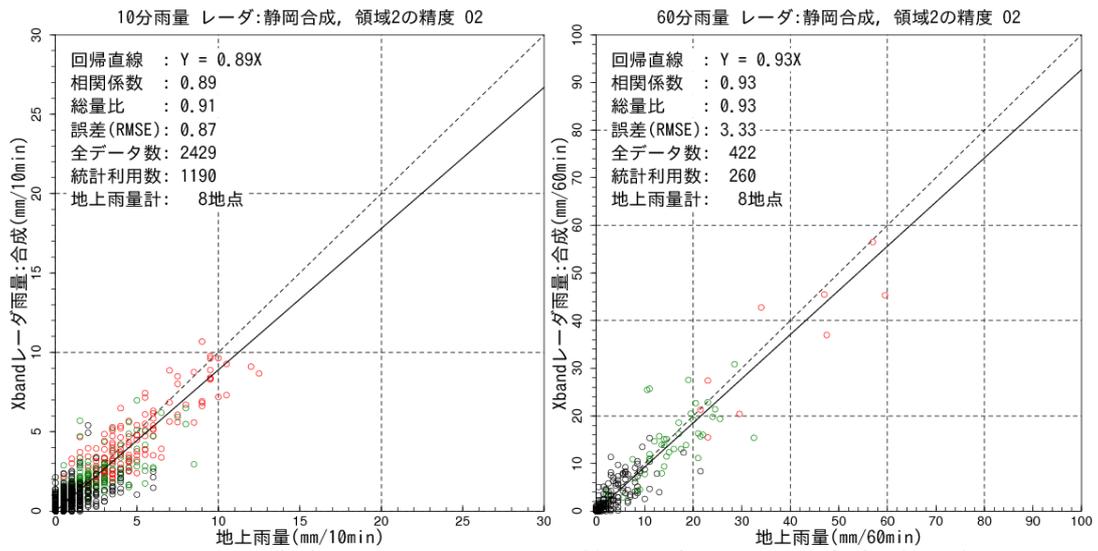


図 10.203 合成雨量と地上雨量の比較 領域 2 2 仰角合成 (現状)
 (左 : 10 分雨量、右 : 60 分雨量)

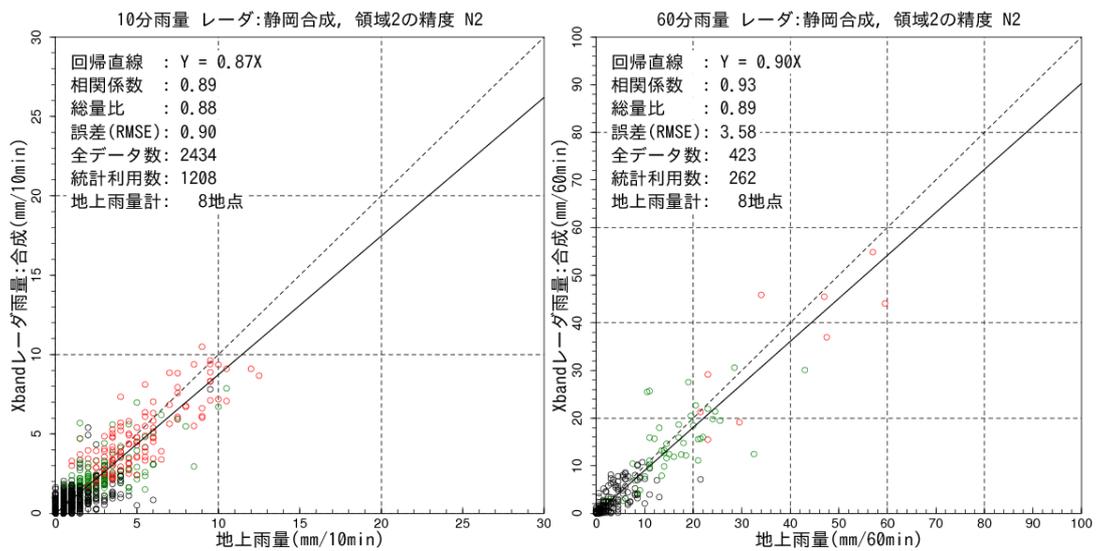


図 10.204 合成雨量と地上雨量の比較 領域 2 2 仰角合成 (案)
 (左 : 10 分雨量、右 : 60 分雨量)

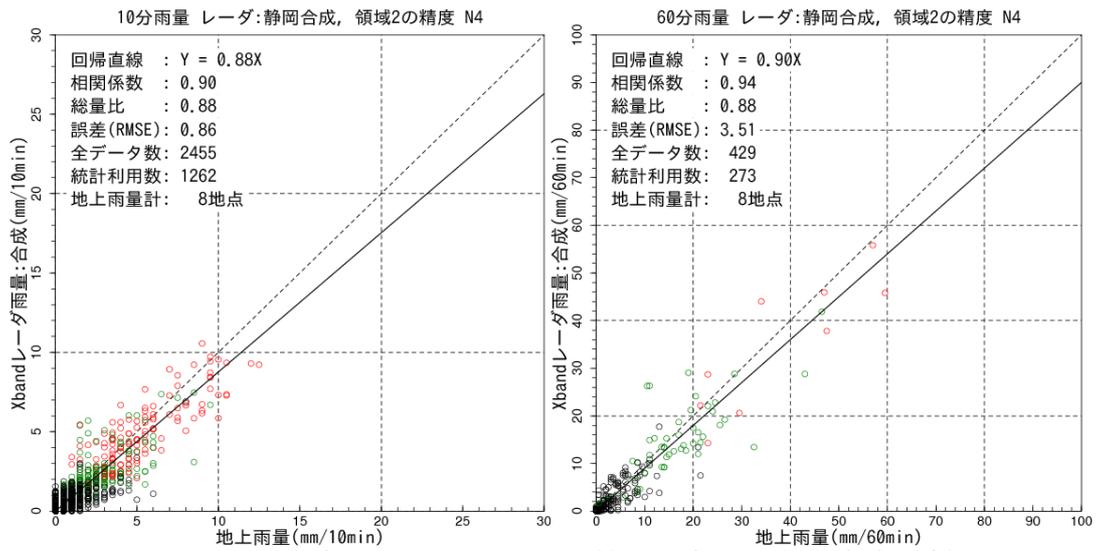


図 10.205 合成雨量と地上雨量の比較 領域2 4仰角合成 (案)
 (左: 10分雨量、右: 60分雨量)

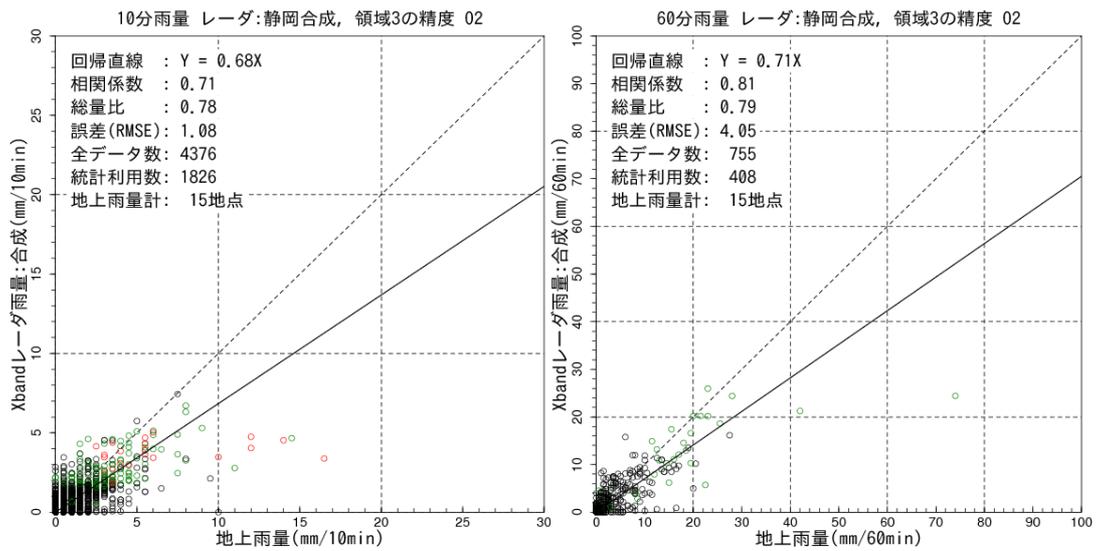


図 10.206 合成雨量と地上雨量の比較 領域3 2仰角合成 (現状)
 (左: 10分雨量、右: 60分雨量)

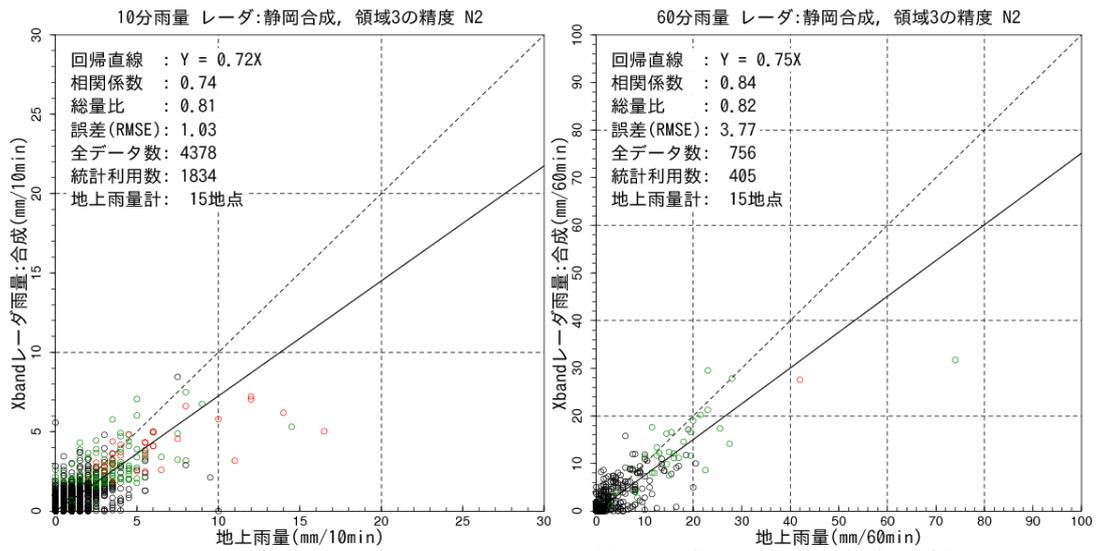


図 10.207 合成雨量と地上雨量の比較 領域3 2仰角合成 (案)
(左: 10分雨量、右: 60分雨量)

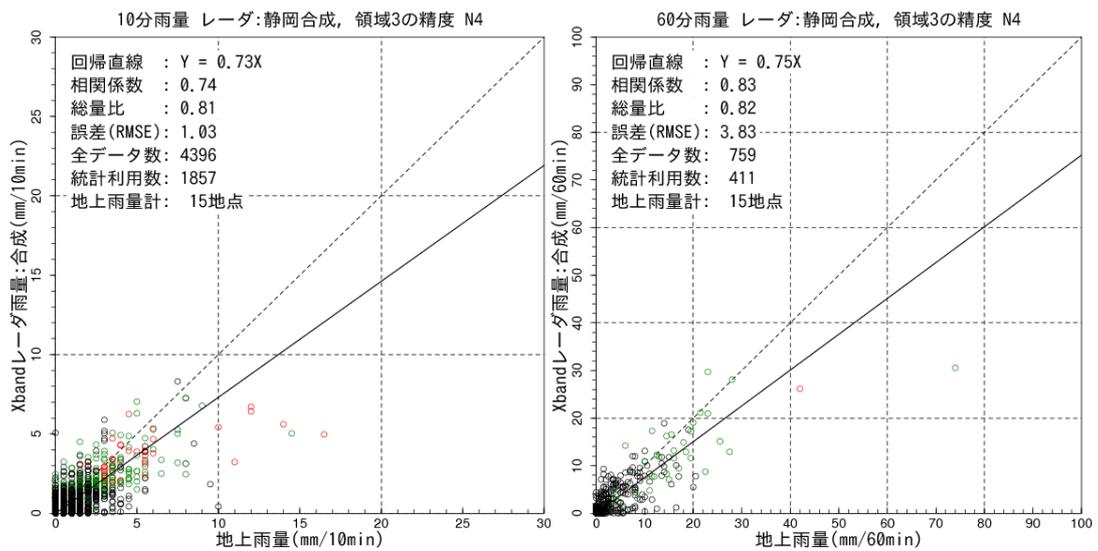


図 10.208 合成雨量と地上雨量の比較 領域3 4仰角合成 (案)
(左: 10分雨量、右: 60分雨量)

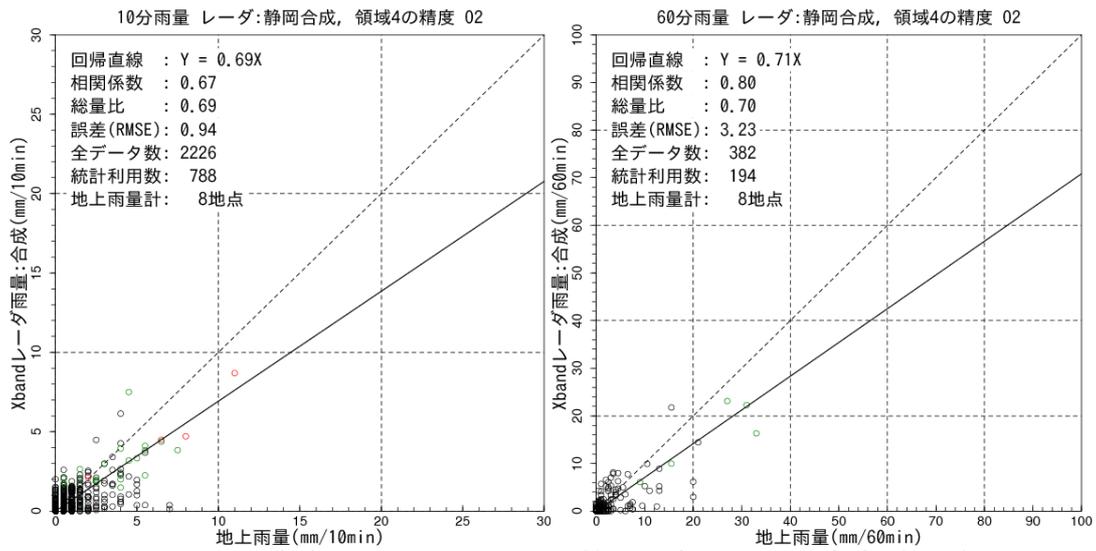


図 10.209 合成雨量と地上雨量の比較 領域 4 2 仰角合成 (現状)
 (左 : 10 分雨量、右 : 60 分雨量)

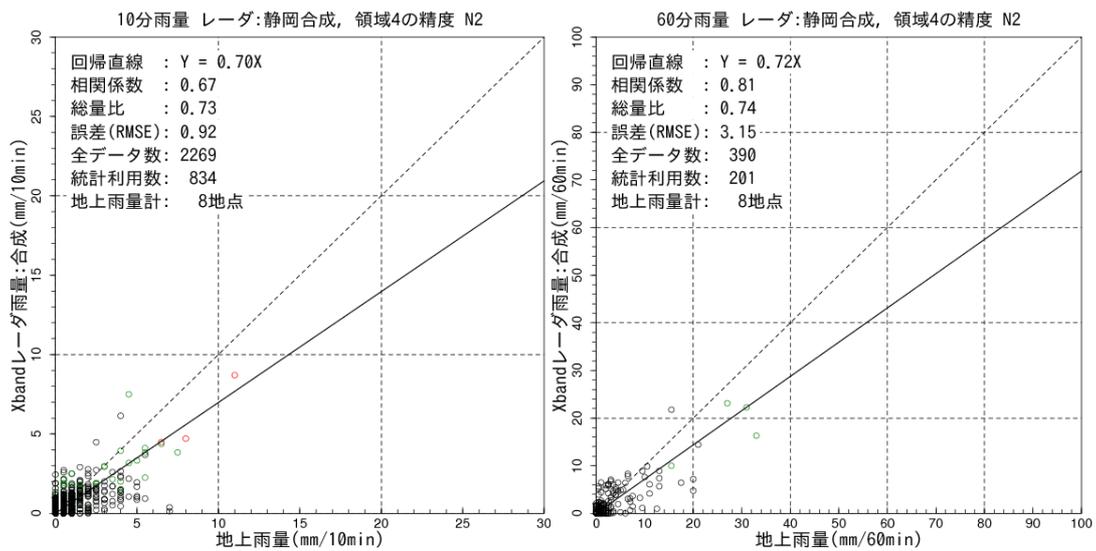


図 10.210 合成雨量と地上雨量の比較 領域 4 2 仰角合成 (案)
 (左 : 10 分雨量、右 : 60 分雨量)

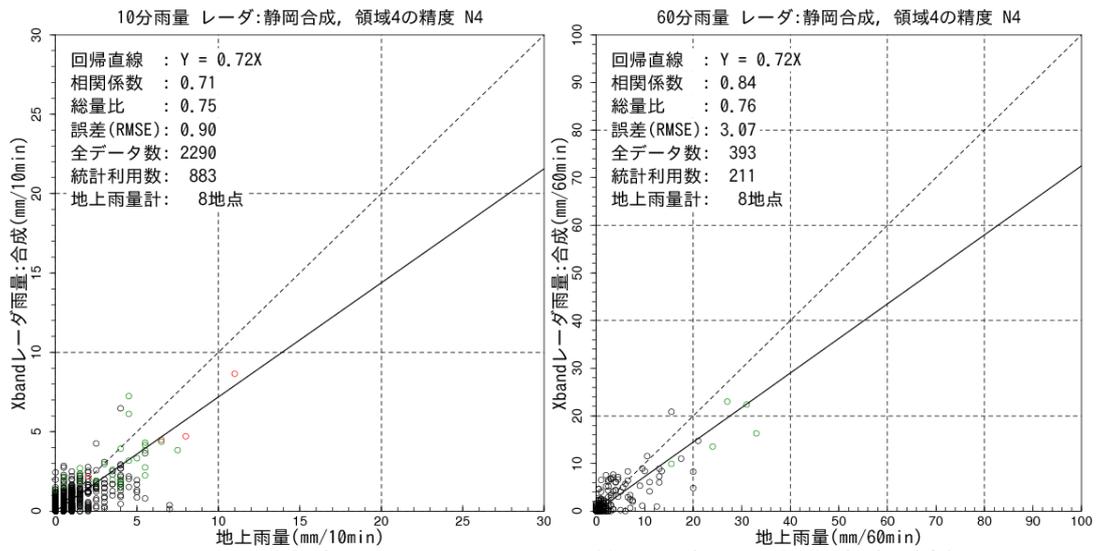


図 10.211 合成雨量と地上雨量の比較 領域1 4仰角合成 (案)
 (左: 10分雨量、右: 60分雨量)

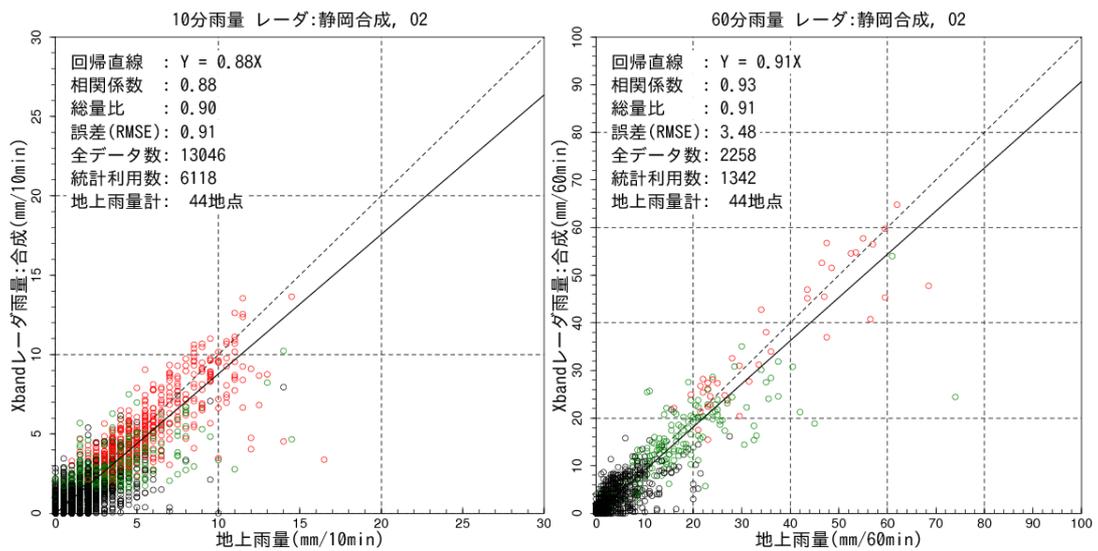


図 10.212 合成雨量と地上雨量の比較 全領域 2仰角合成 (現状)
 (左: 10分雨量、右: 60分雨量)

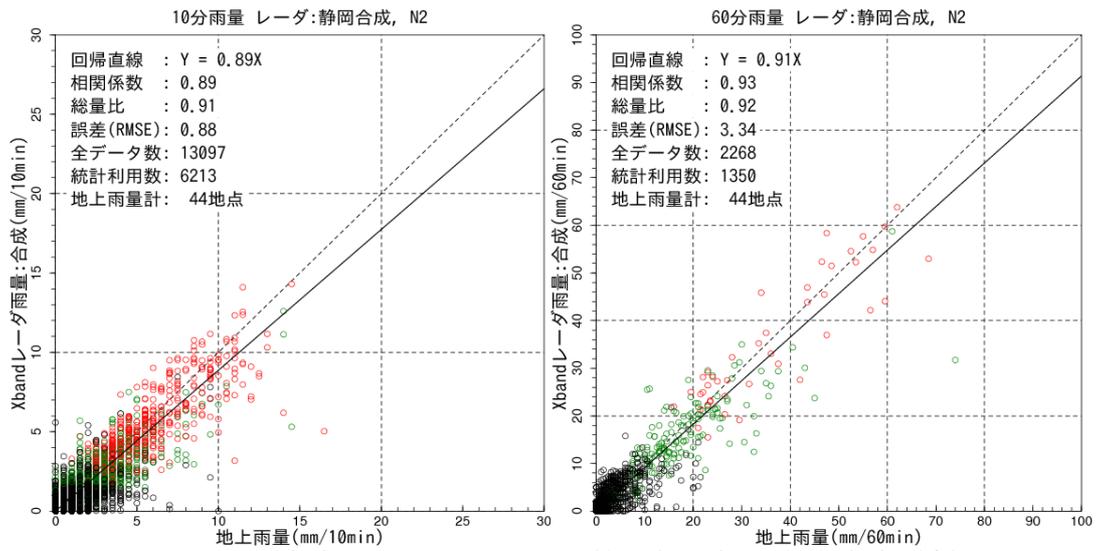


図 10.213 合成雨量と地上雨量の比較 全領域 2 仰角合成 (案)
 (左: 10分雨量、右: 60分雨量)

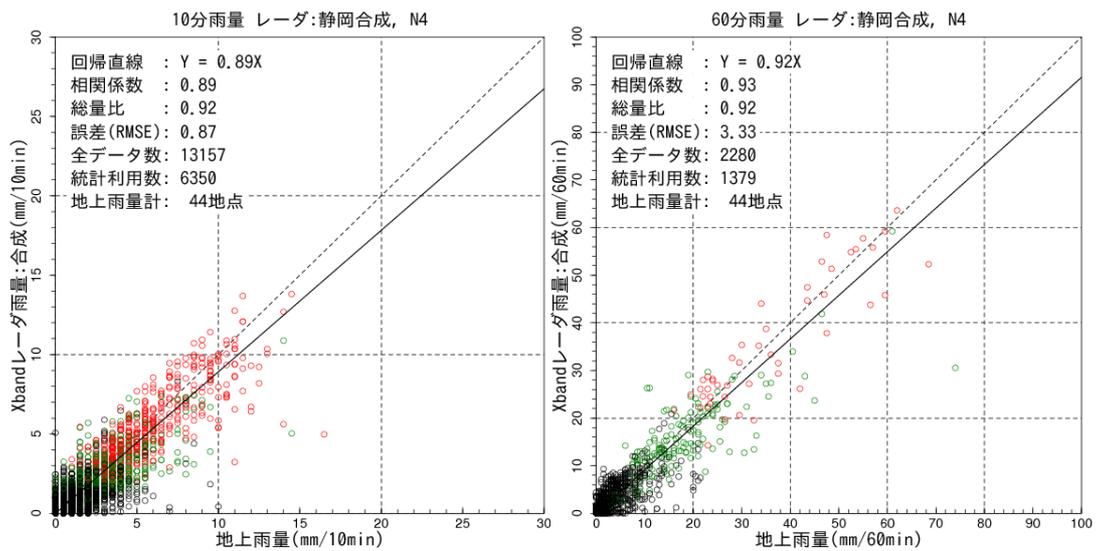


図 10.214 合成雨量と地上雨量の比較 全領域 4 仰角合成 (案)
 (左: 10分雨量、右: 60分雨量)

表 10-45～表 10-46 に各仰角合成パターンによる合成雨量の精度比較を示す。2 仰角合成（現状）と、2 仰角合成（案）、4 仰角合成（案）の精度は同程度である。精度差はほとんどなく、4 仰角合成は、ボリュームスキャン観測を実施することができないため不採用とする。

表 10-45 各仰角合成パターンによる合成雨量の精度比較 10 分雨量

領域	2仰角合成(現状)				2仰角合成(案)				4仰角合成(案)			
	相関係数	RMSE (mm)	総雨量比	回帰係数	相関係数	RMSE (mm)	総雨量比	回帰係数	相関係数	RMSE (mm)	総雨量比	回帰係数
領域1	0.94	0.76	1.00	0.95	0.95	0.71	1.02	0.96	0.95	0.71	1.02	0.97
領域2	0.89	0.87	0.91	0.89	0.89	0.90	0.88	0.87	0.90	0.86	0.88	0.88
領域3	0.71	1.08	0.78	0.68	0.74	1.03	0.81	0.72	0.74	1.03	0.81	0.73
領域4	0.67	0.94	0.69	0.69	0.67	0.92	0.73	0.70	0.71	0.90	0.75	0.72
全域	0.88	0.91	0.90	0.88	0.89	0.88	0.91	0.89	0.89	0.87	0.92	0.89

表 10-46 各仰角合成パターンによる合成雨量の精度比較 60 分雨量

領域	2仰角合成(現状)				2仰角合成(案)				4仰角合成(案)			
	相関係数	RMSE (mm)	総雨量比	回帰係数	相関係数	RMSE (mm)	総雨量比	回帰係数	相関係数	RMSE (mm)	総雨量比	回帰係数
領域1	0.96	3.11	0.99	0.96	0.97	2.87	1.02	0.97	0.97	2.83	1.02	0.98
領域2	0.93	3.33	0.93	0.93	0.93	3.58	0.89	0.90	0.94	3.51	0.88	0.90
領域3	0.81	4.05	0.79	0.71	0.84	3.77	0.82	0.75	0.83	3.83	0.82	0.75
領域4	0.80	3.23	0.70	0.71	0.81	3.15	0.74	0.72	0.84	3.07	0.76	0.72
全域	0.93	3.48	0.91	0.91	0.93	3.34	0.92	0.91	0.93	3.33	0.92	0.92

■ カバー状況

図 10.215～図 10.218 は現状の θ_0 、 θ_1 、見直した θ_0 、 θ_1 及び静岡 3 基のそれぞれの 2 仰角によるカバー状況を示している。見直した θ_0 では、低高度の観測可能範囲が増加していることがわかる。また、2 仰角合成 (案) では複数基・仰角で観測可能な範囲が増加し、1 仰角でしか観測できない範囲 (青色) が減少していることがわかる。

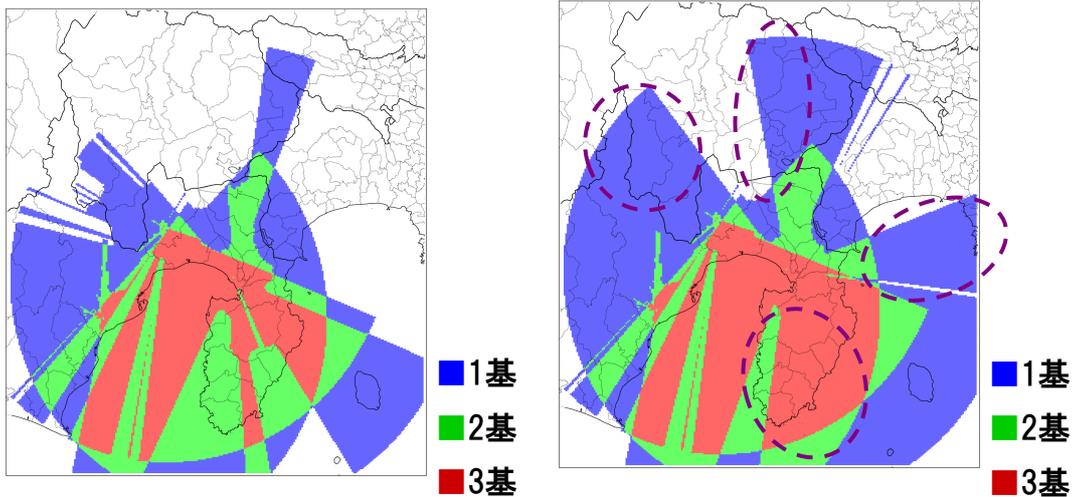


図 10.215 θ_0 によるカバー状況 (左: 2 仰角合成 (現状)、右: 2 仰角合成 (案))

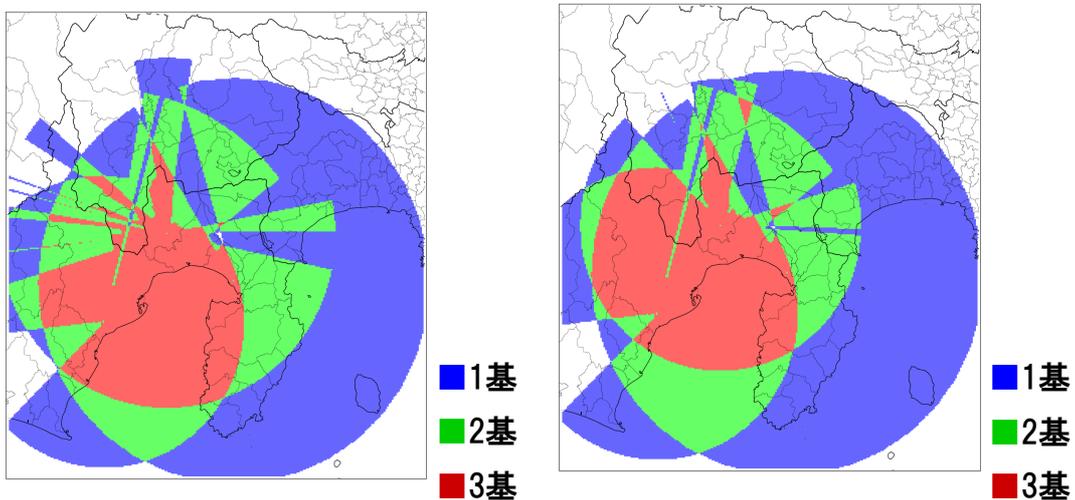


図 10.216 θ_1 によるカバー状況 (左: 2 仰角合成 (現状)、右: 2 仰角合成 (案))

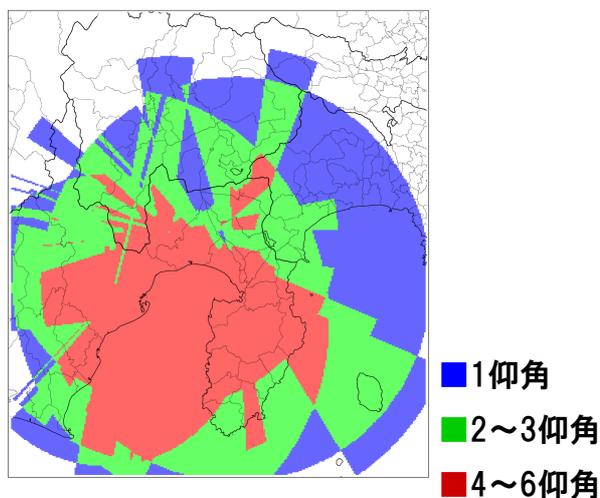


図 10.217 3基2仰角によるカバー状況 2仰角合成 (現状)

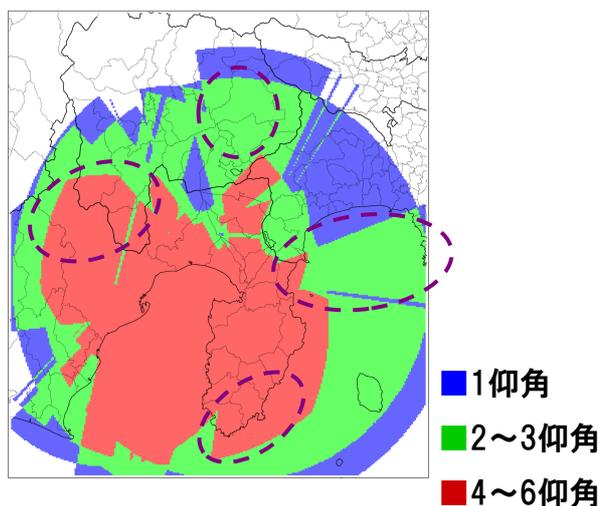


図 10.218 3基2仰角によるカバー状況 2仰角合成 (案)

以上より、2仰角合成 (現状) と、2仰角合成 (案) の精度は同程度である。また、XバンドMPレーダでは、強雨による電波消散が問題となることから、複数基・複数仰角によりカバー可能な範囲の広い「2仰角合成 (案)」を、新たな観測仰角とし、2012年出水期以降はここで見直された仰角により運用されている。

10章6節 速度幅棄却処理による降雨エコー除去の検討

非降水エコー(グラウンドクラッタや2次エコー)を除去する仕組みの1つに、速度幅(W) 閾値による Prh-MTI 等の観測データの棄却処理が、基地局の信号処理装置内に実装されている(付録Aに詳述)。台風12号の検証過程において、本来は非降水エコーの除去を目的としている速度幅棄却処理により、正常な降雨域が除去される事象が確認された。本節では、速度幅棄却処理によって正常な雨域が除去される状況の確認と対策の検討を行った。

10章6節1項 速度幅棄却状況の確認

■ 台風時の棄却状況

速度幅は、観測ボリューム内におけるドップラー速度の分散を表している。台風のような強風時には速度幅が大きくなりやすいと考えられる。そのために、台風事例を対象に「レーダ反射強度(Zh-NOR)」、「レーダ反射強度(Zh-MTI)」、「速度幅(W)」の分布図を作成し、速度幅棄却処理による正常な降雨エコーの除去状況を確認した(図10.219～図10.229)。

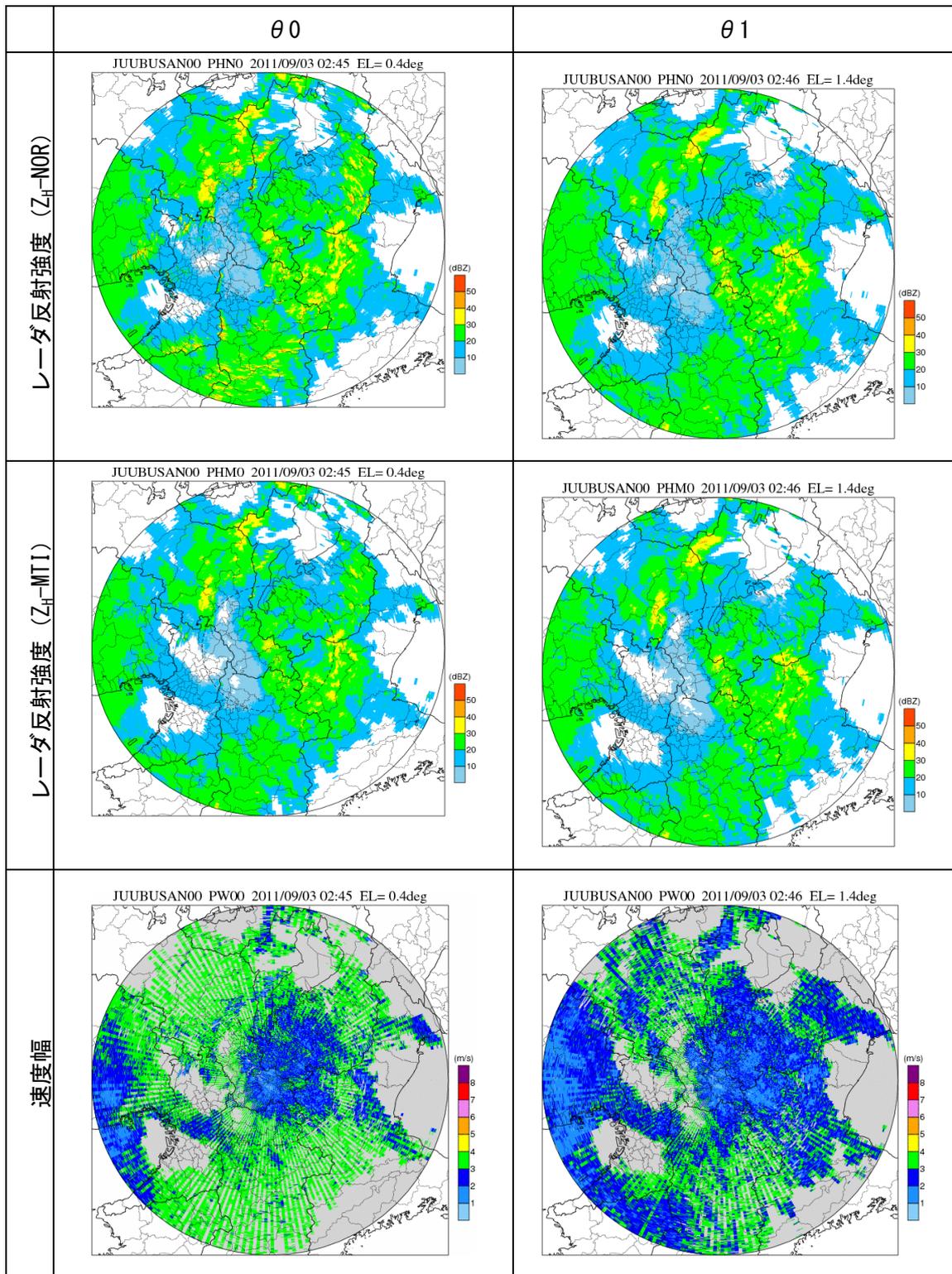


図 10.219 速度幅棄却状況の確認 (鷲峰山、台風 12 号)
(速度幅棄却による正常降雨の除去は見られない)

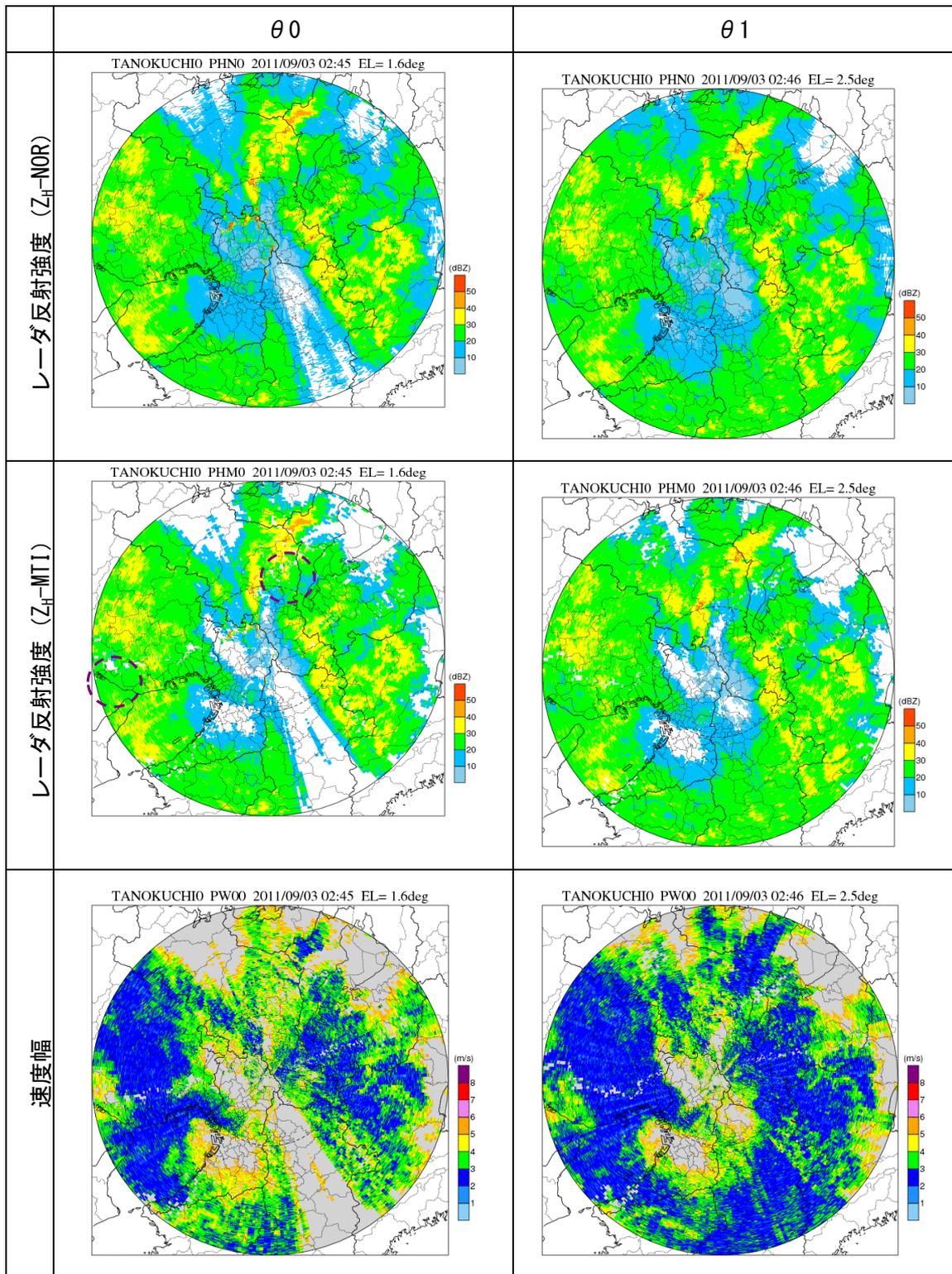


図 10.220 速度幅棄却状況の確認 (田口、台風 12 号)
(速度幅棄却による正常降雨の除去が見られる)

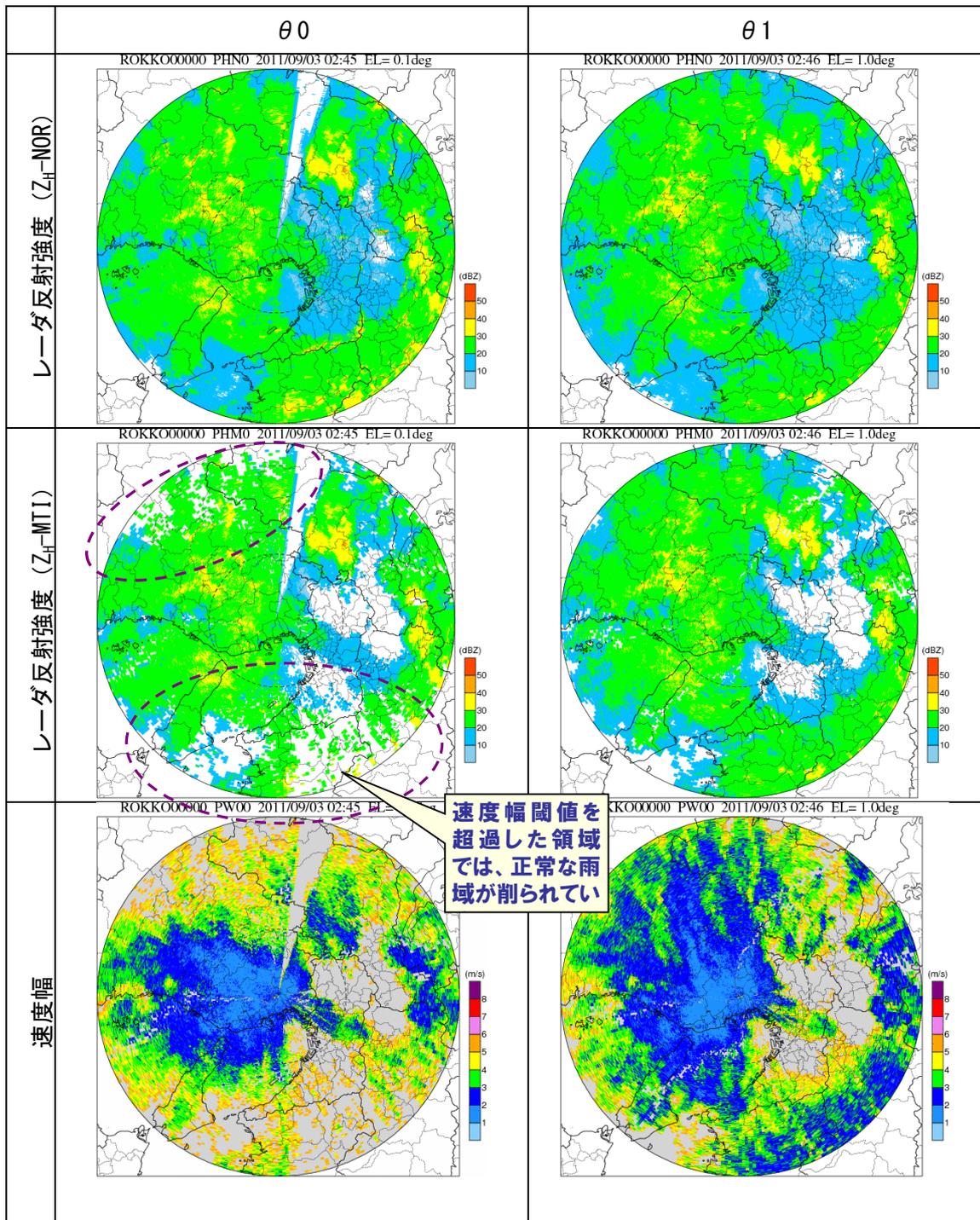


図 10.221 速度幅棄却状況の確認 (六甲、台風 12 号)
(速度幅棄却による正常降雨の除去が見られる)

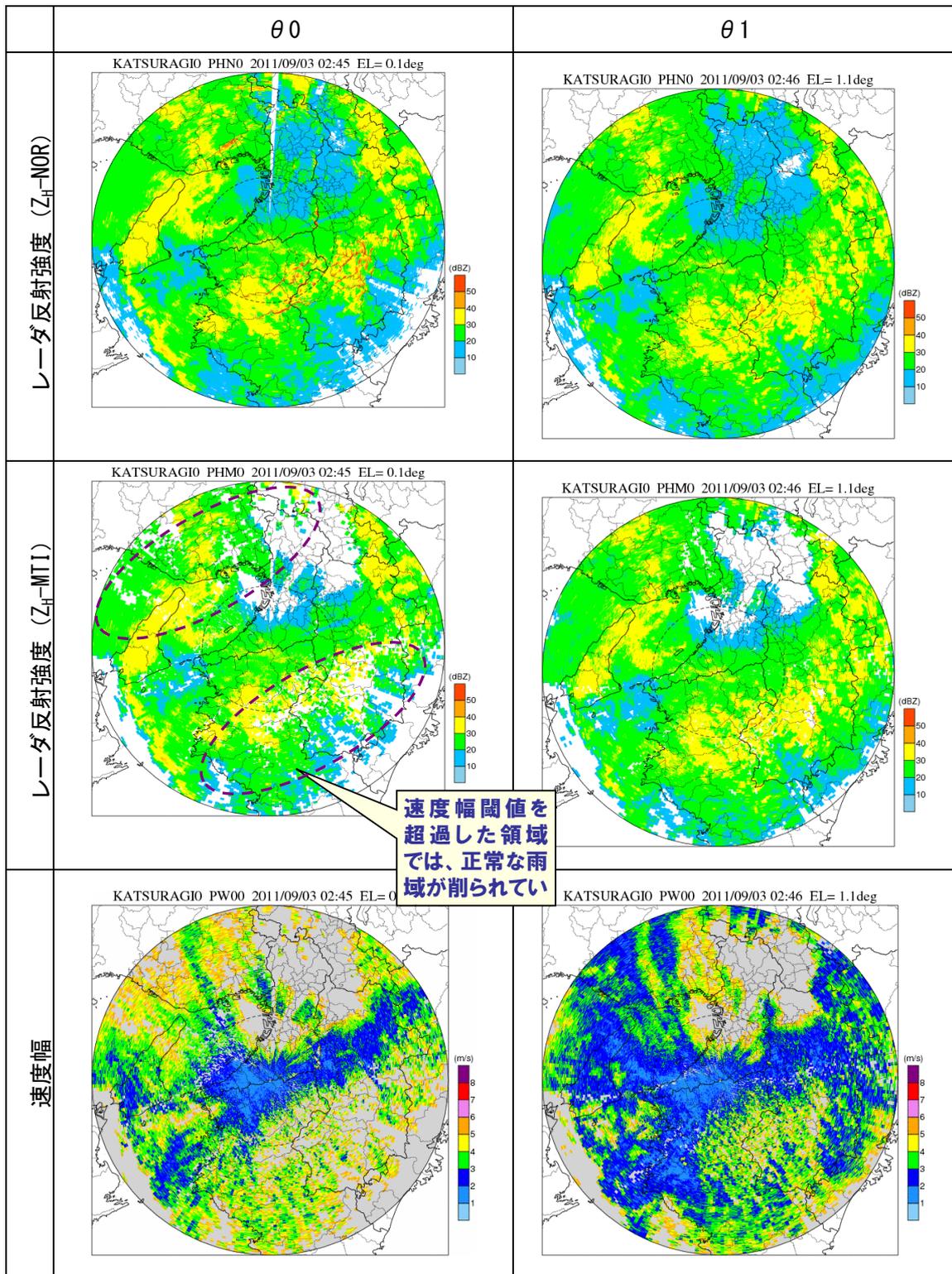


図 10.222 速度幅棄却状況の確認 (葛城、台風 12 号)
 (速度幅棄却による正常降雨の除去が見られる)

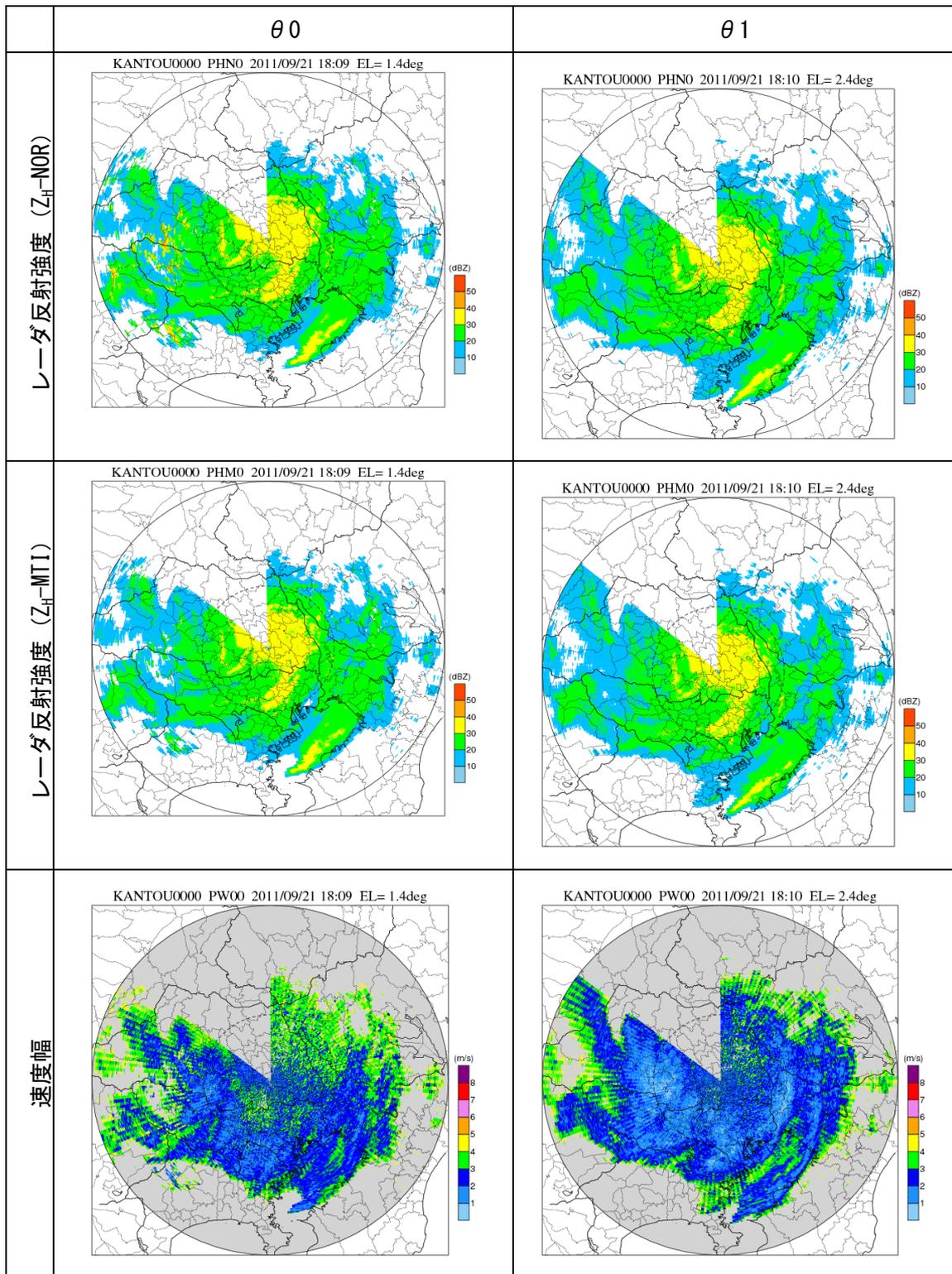


図 10.223 速度幅棄却状況の確認 (関東、台風 15 号)
 (速度幅棄却による正常降雨の除去は見られない)

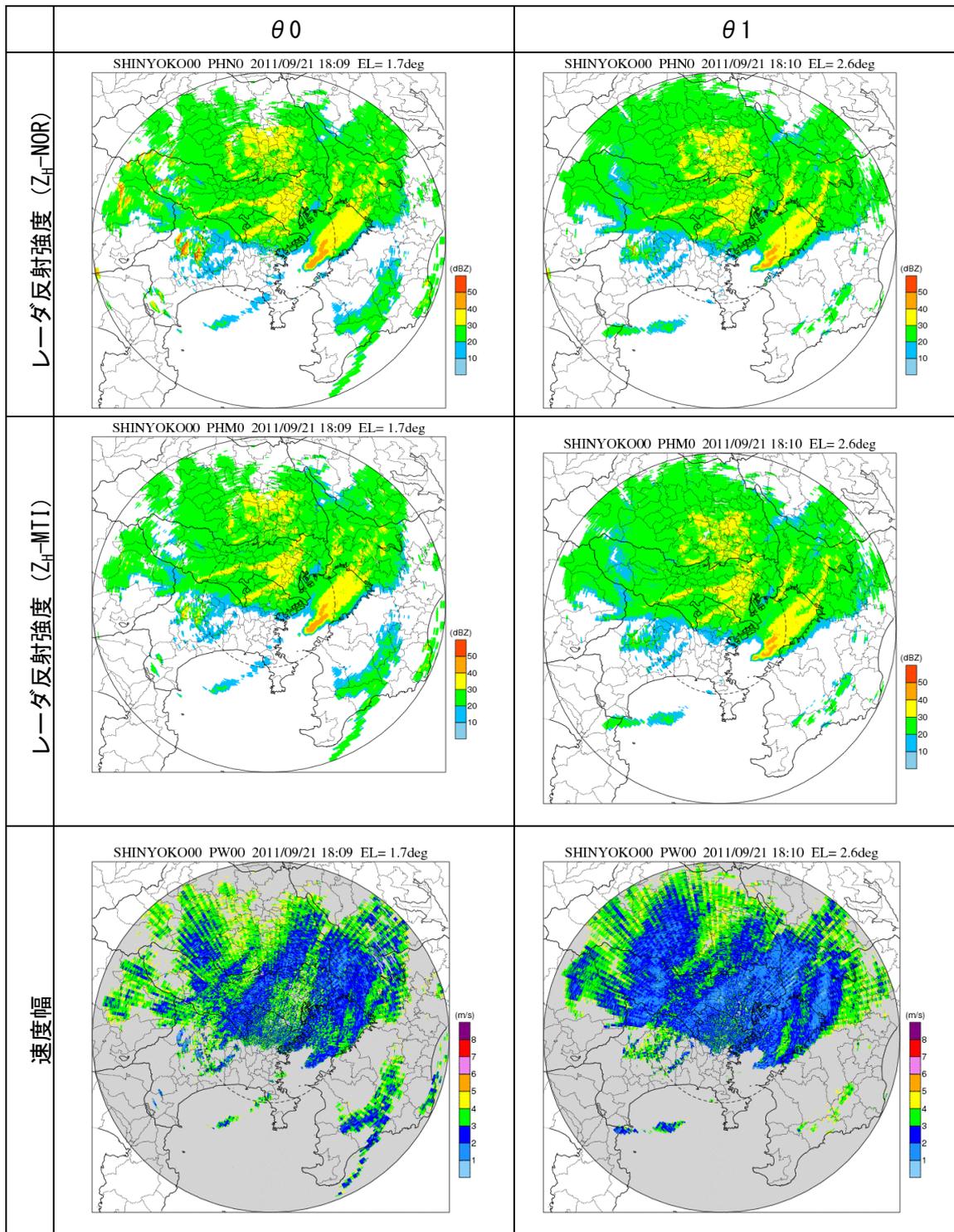


図 10.224 速度幅棄却状況の確認 (新横浜、台風 15 号)
 (速度幅棄却による正常降雨の除去は見られない)

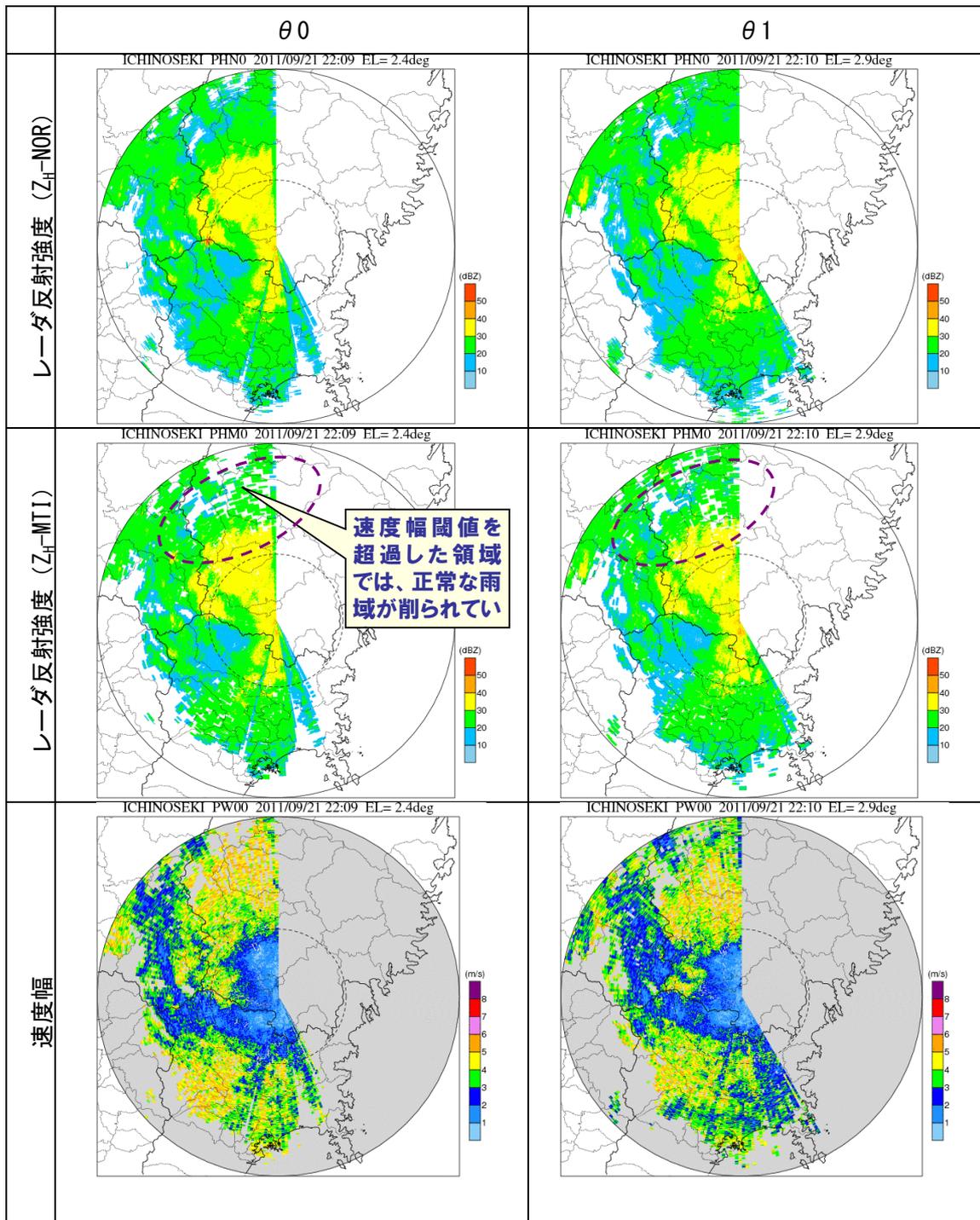


図 10.225 速度幅棄却状況の確認 (一関、台風 15 号)
(速度幅棄却による正常降雨の除去が見られる)

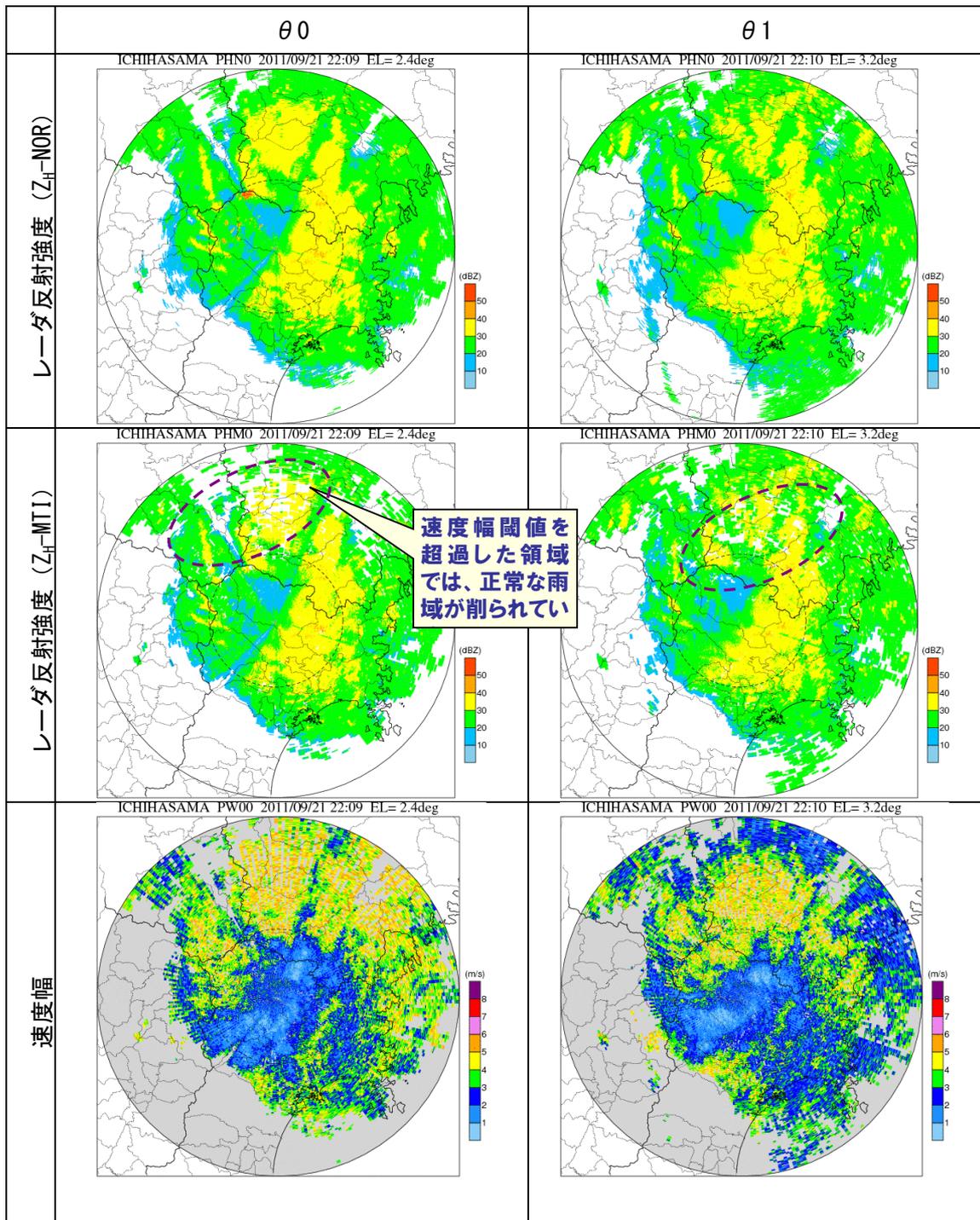


図 10.226 速度幅棄却状況の確認 (一迫、台風 15 号)
(速度幅棄却による正常降雨の除去が見られる)

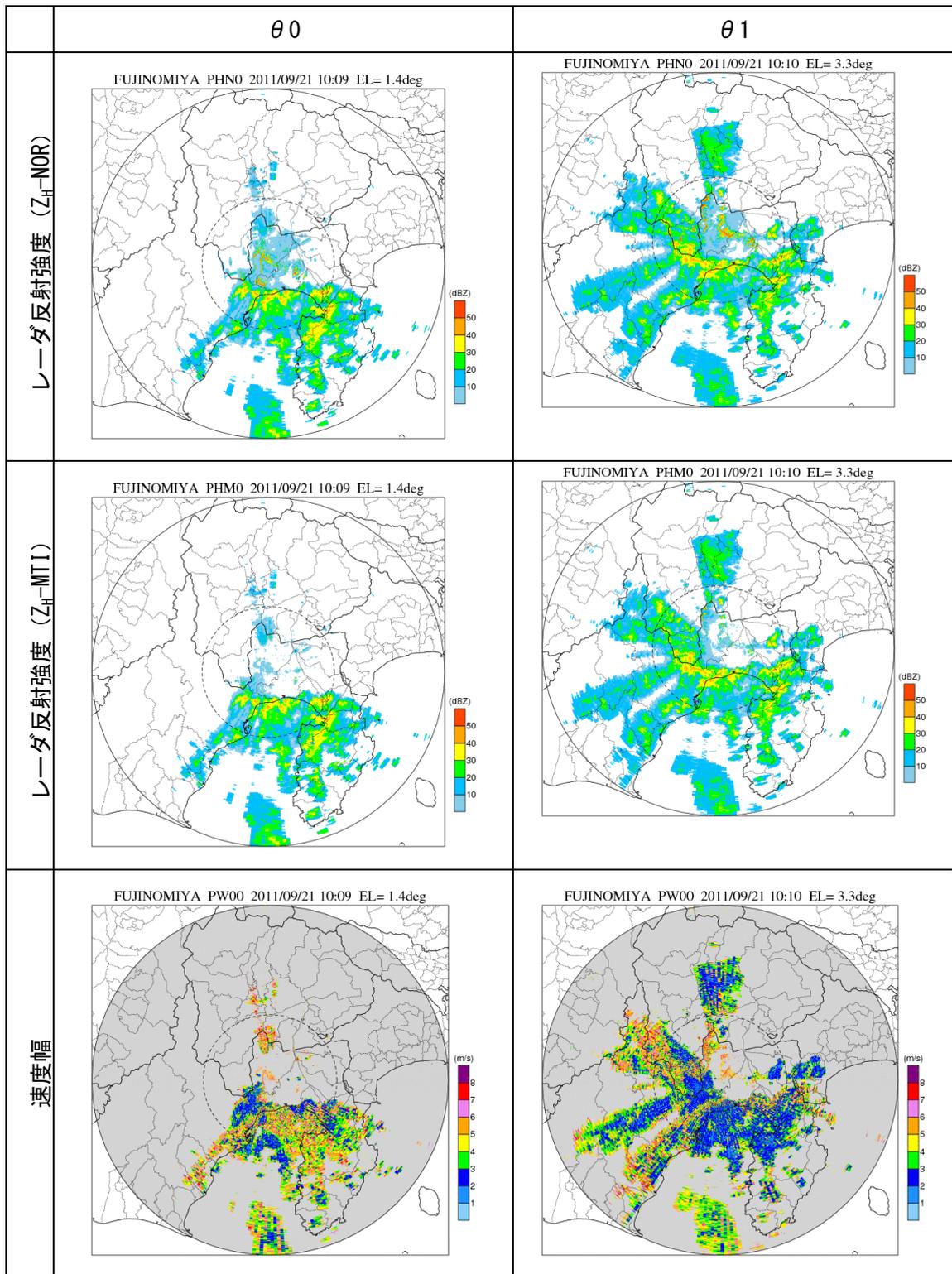


図 10.227 速度幅棄却状況の確認 (富士宮、台風 15 号)
 (速度幅棄却による正常降雨の除去は見られない)

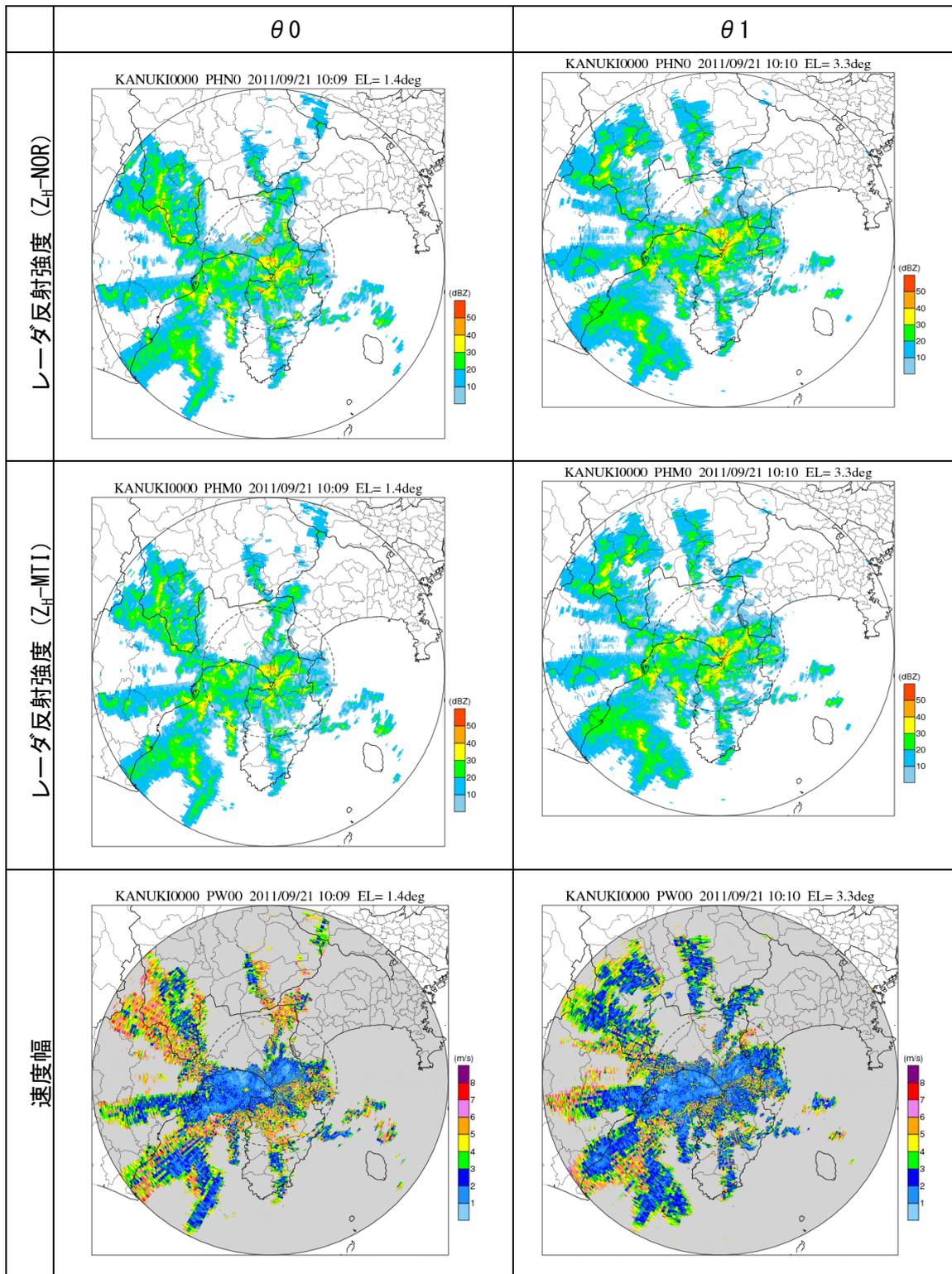


図 10.228 速度幅棄却状況の確認 (香貫山、台風 15 号)
 (速度幅棄却による正常降雨の除去は見られない)

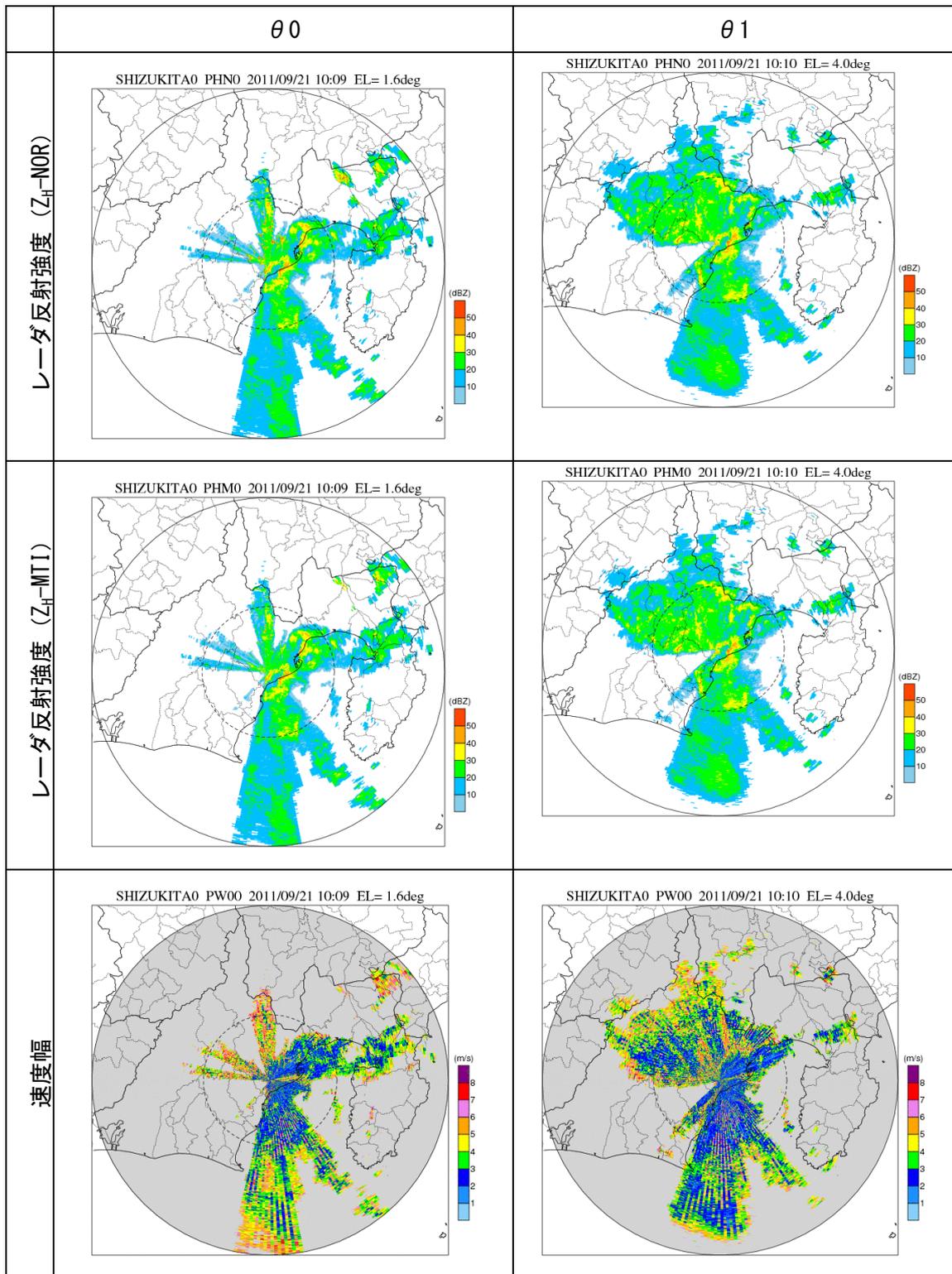


図 10.229 速度幅棄却状況の確認 (静岡北、台風 15 号)
(速度幅棄却による正常降雨の除去は見られない)

10章6節2項 閾値超過時における速度幅値の確認

速度幅閾値を超過しているメッシュの速度幅は欠測となっているため、田口、六甲、葛城レーダにおいて、速度幅を欠測としないように設定変更が行われた（2011年12月）。図10.230～図10.232は設定変更後のデータの確認結果である。台風以外においても、速度幅棄却による正常な降雨エコーの除去が発生しており、正常な降雨エコー域における速度幅は7m/sを超え、最大で8m/s程度の値の速度幅が出現している。

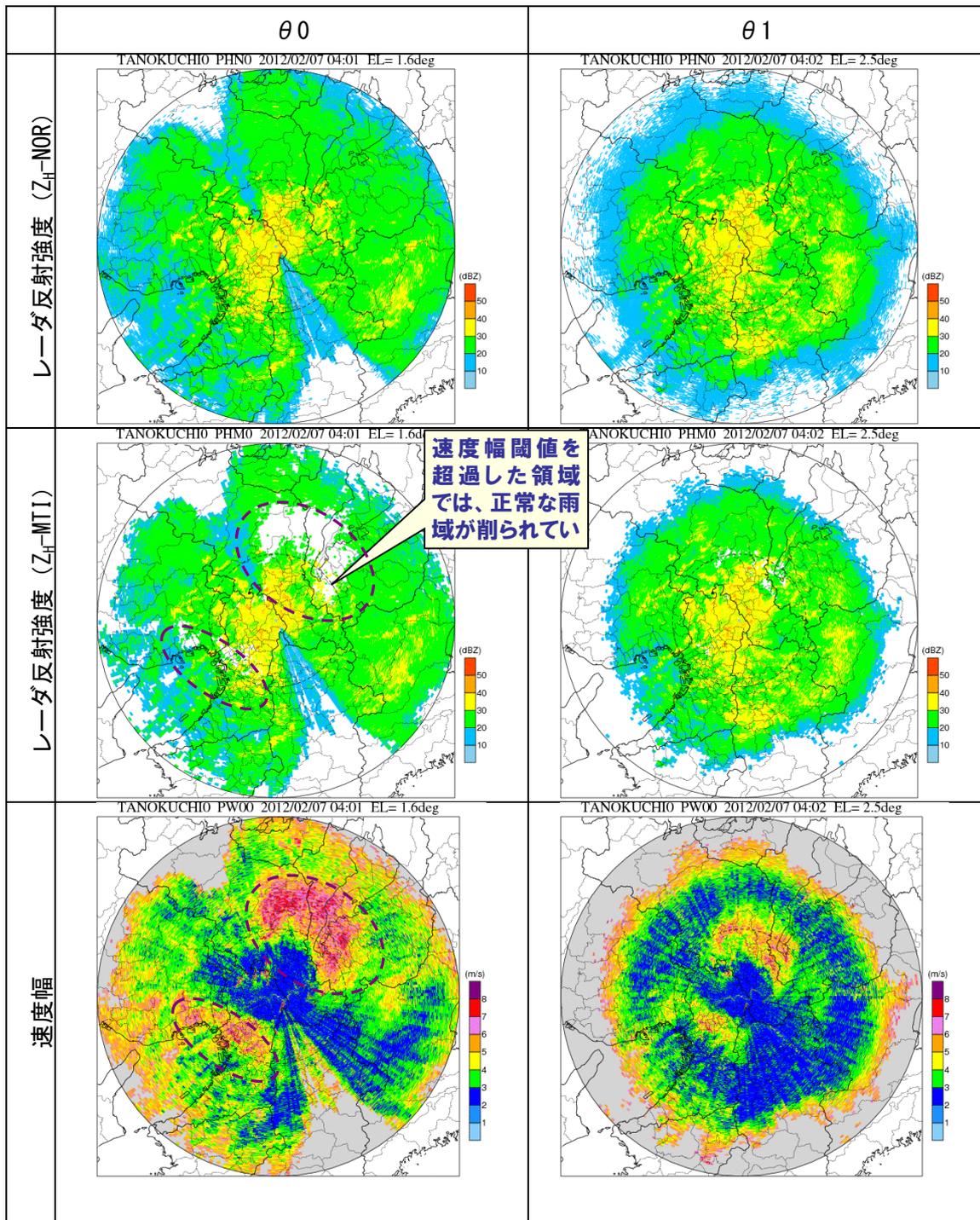


図 10.230 速度幅棄却状況の確認 (田口、低気圧)
(速度幅棄却による正常降雨の除去が見られる)

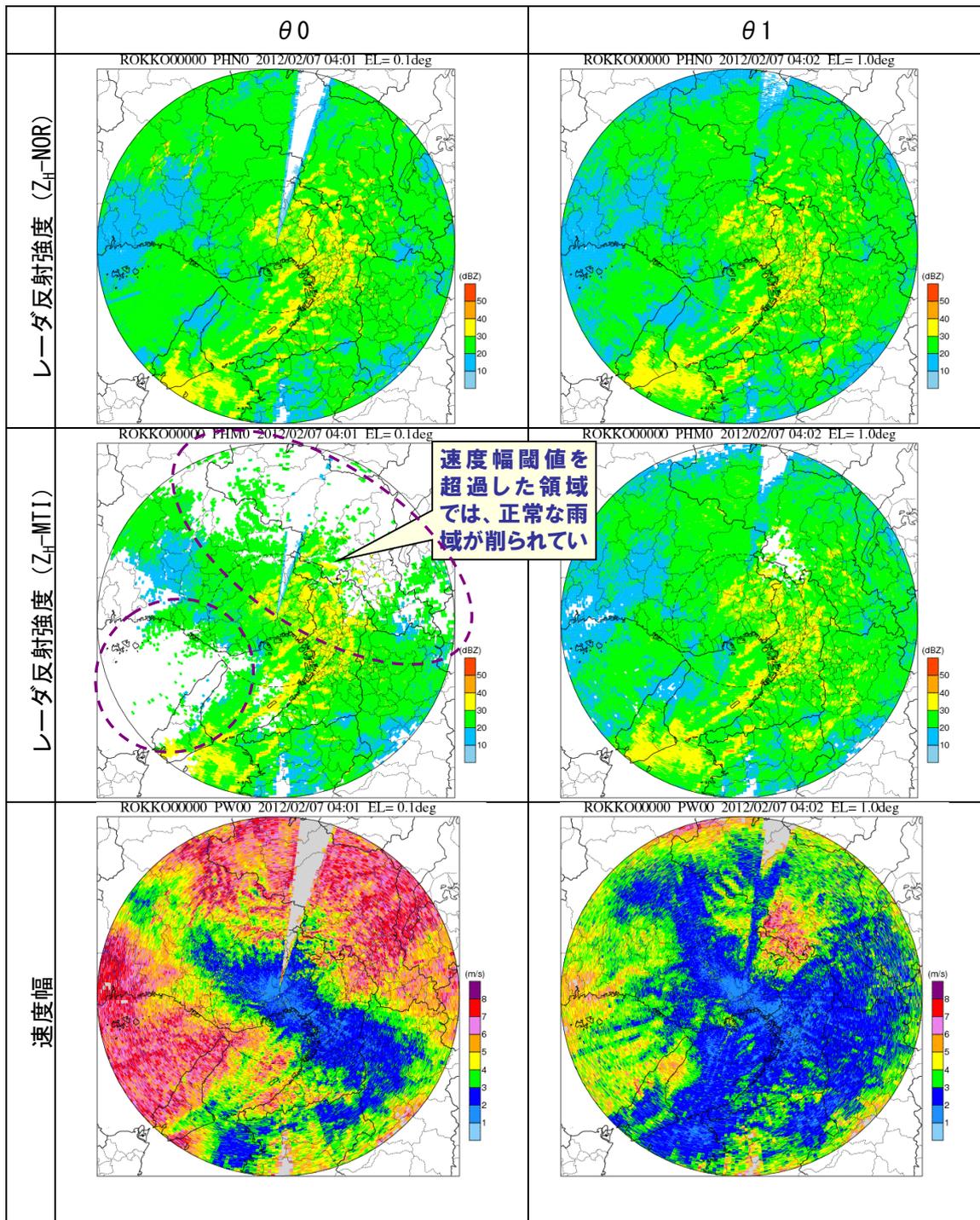


図 10.231 速度幅棄却状況の確認（六甲、低気圧）
（速度幅棄却による正常降雨の除去が見られる）

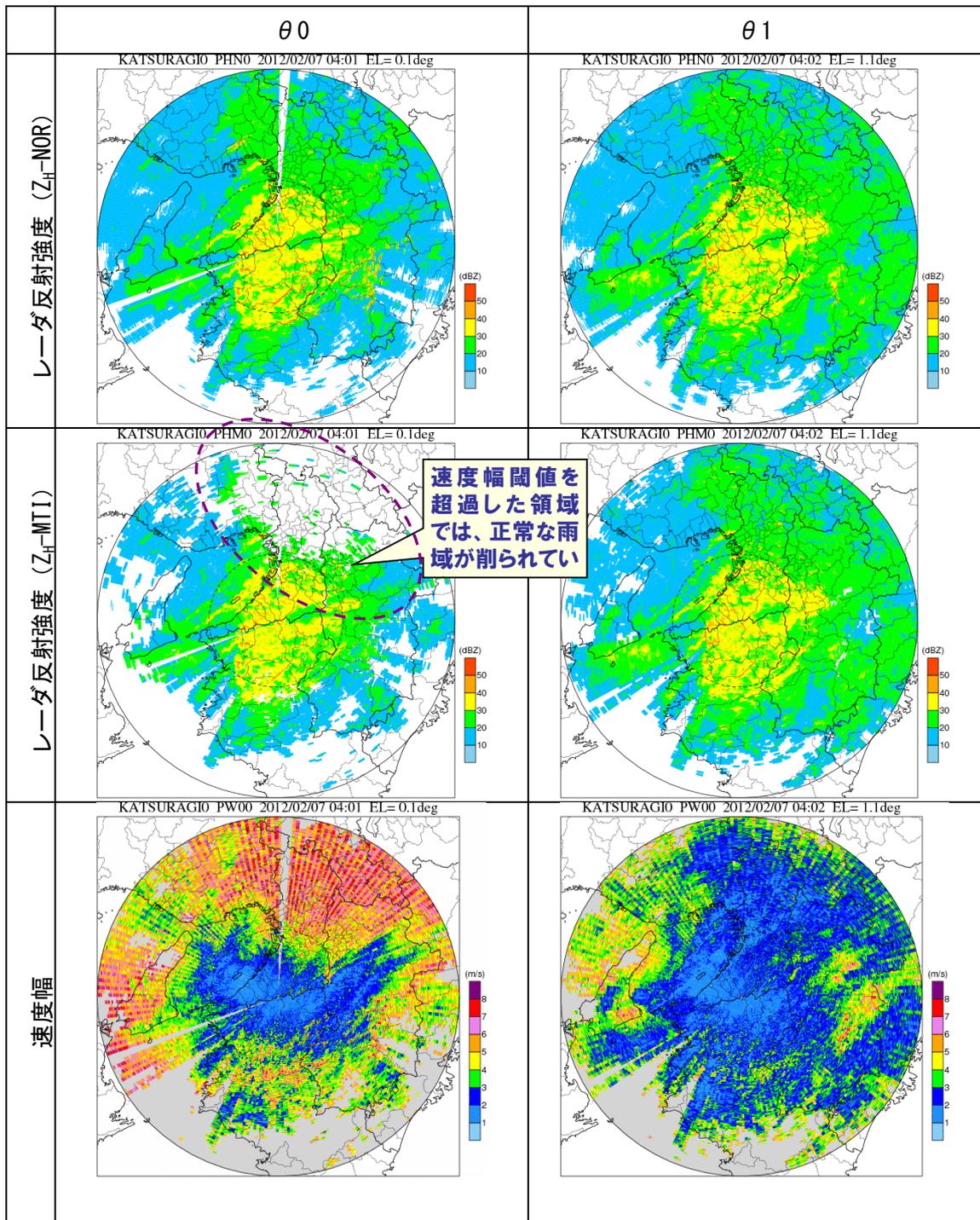


図 10.232 速度幅棄却状況の確認（葛城、低気圧）
 （速度幅棄却による正常降雨の除去が見られる）

表 10-47 は、近畿地域、静岡地域、関東地域、栗駒山周辺地域のレーダサイトを対象と速度幅棄却による正常な降雨エコー除去の発生状況を整理したものである。

表 10-47 速度幅棄却による正常な降雨エコーの除去状況

地域	サイト	発振方式	閾値	発生状況
近畿	鷲峰山	固体化	4.0m/s	—
	田口	クライストロン	6.0m/s	発生
	六甲		6.0m/s	発生
	葛城		6.0m/s	発生
静岡	富士宮	クライストロン	8.2m/s	—
	香貫山		8.2m/s	—
	静岡北		8.2m/s	—
関東	関東	クライストロン	4.5m/s	—
	新横浜		4.5m/s	—
栗駒山周辺	一関	固体化	6.0m/s	発生
	一迫		6.0m/s	発生

10章6節3項 速度幅棄却処理を OFF とした場合の確認

比較的頻繁に正常な降雨エコーの除去が発生していることが判明したため、試験的に六甲サイトにおいて速度幅棄却処理の停止（以降、OFF と称す）を 2012 年 2 月 9 日に実施した。図 10.233 は、晴天時における速度幅棄却処理の ON/OFF の比較、図 10.234 は、降雨時における比較である。棄却処理を OFF とすることで、正常な降雨エコーは除去されなくなったが、グランドクラッタや 2 次エコーの消え残りが発生しており、晴天時にクラッタ起因の降雨が見られる。

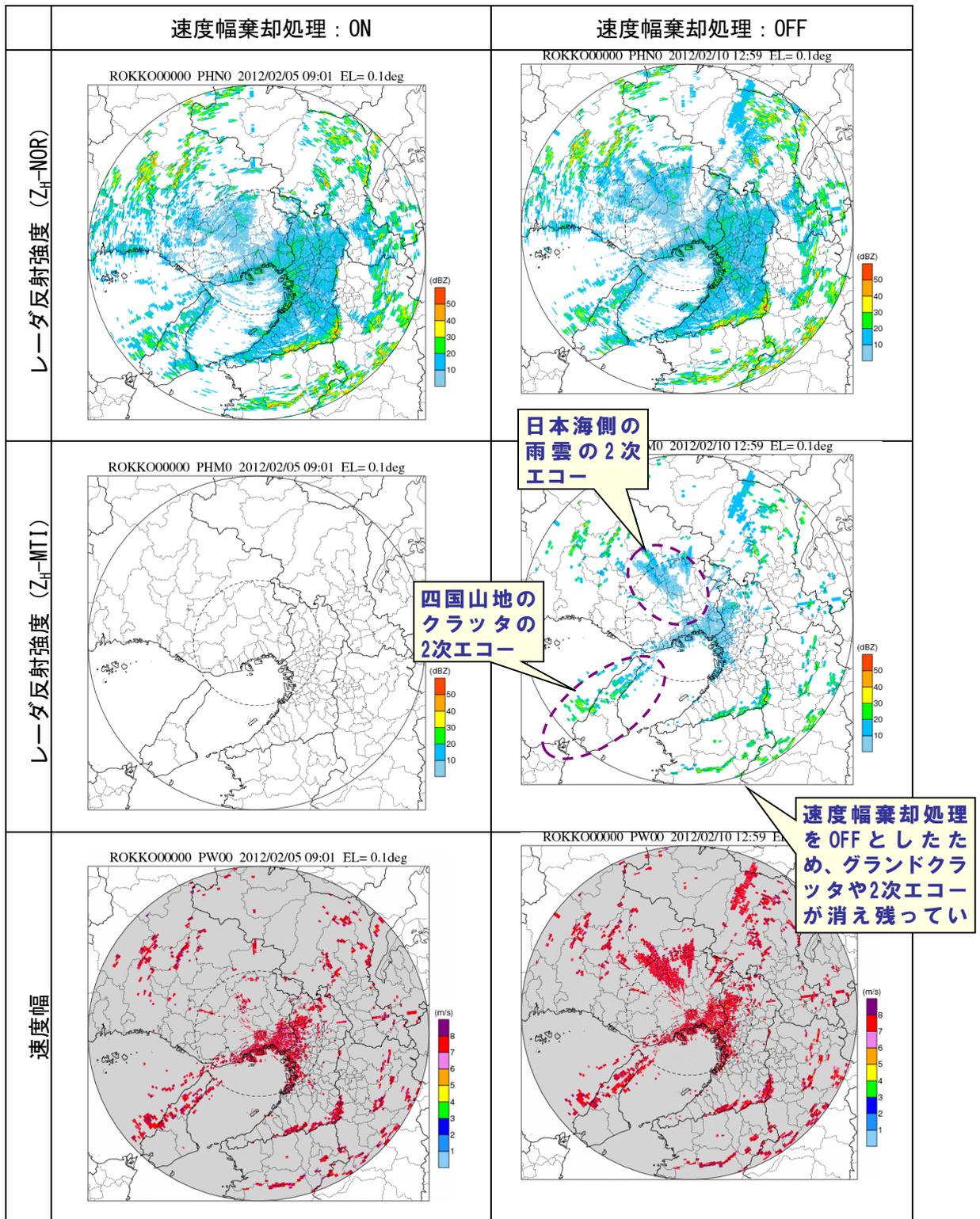


図 10.233 速度幅棄却状況の確認 (六甲、晴天時)

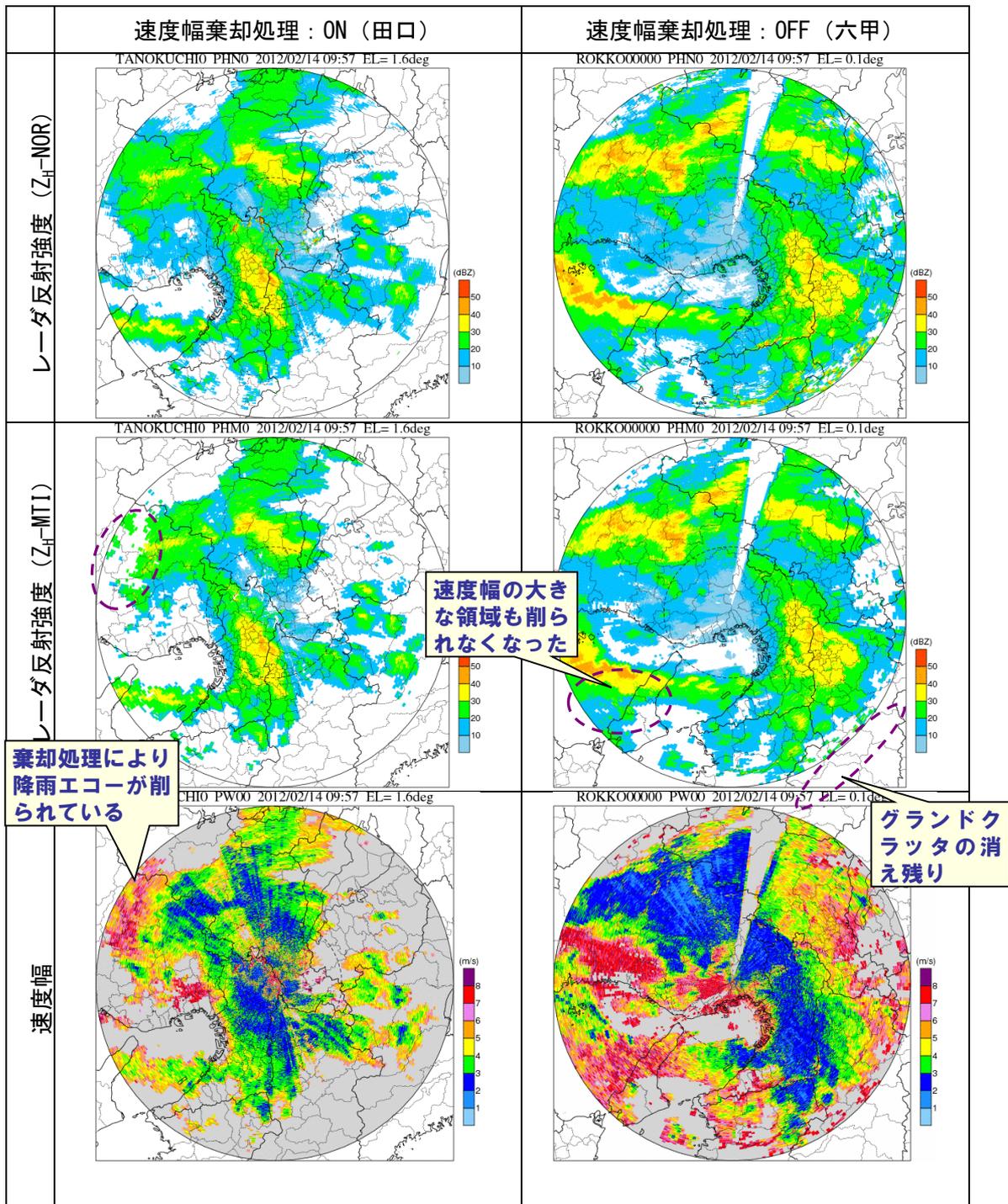


図 10.234 速度幅棄却状況の確認 (田口と六甲、降雨時)

10章6節4項 Dual PRF を ON とした場合の確認

速度幅棄却処理を OFF とすることで、消え残る 2 次エコーの低減対策として、Dual PRF 観測を開始（以降、ON と称す）した⁴。晴天時における Dual PRF 観測の効果を確認するために、変更時刻（13:35 頃）前後の時間帯で比較した（図 10.235）。図 10.236 は、速度幅棄却処理を ON としている葛城局との比較である。Dual PRF 観測を開始（ON）とすることで、完全には消えていないものの 2 次エコーが低減している。グラウンドクラッタについては、依然として消え残りが見られる。

⁴ 2012 年 2 月 23 日に、DualPRF 観測を行なっていなかった全サイトで開始

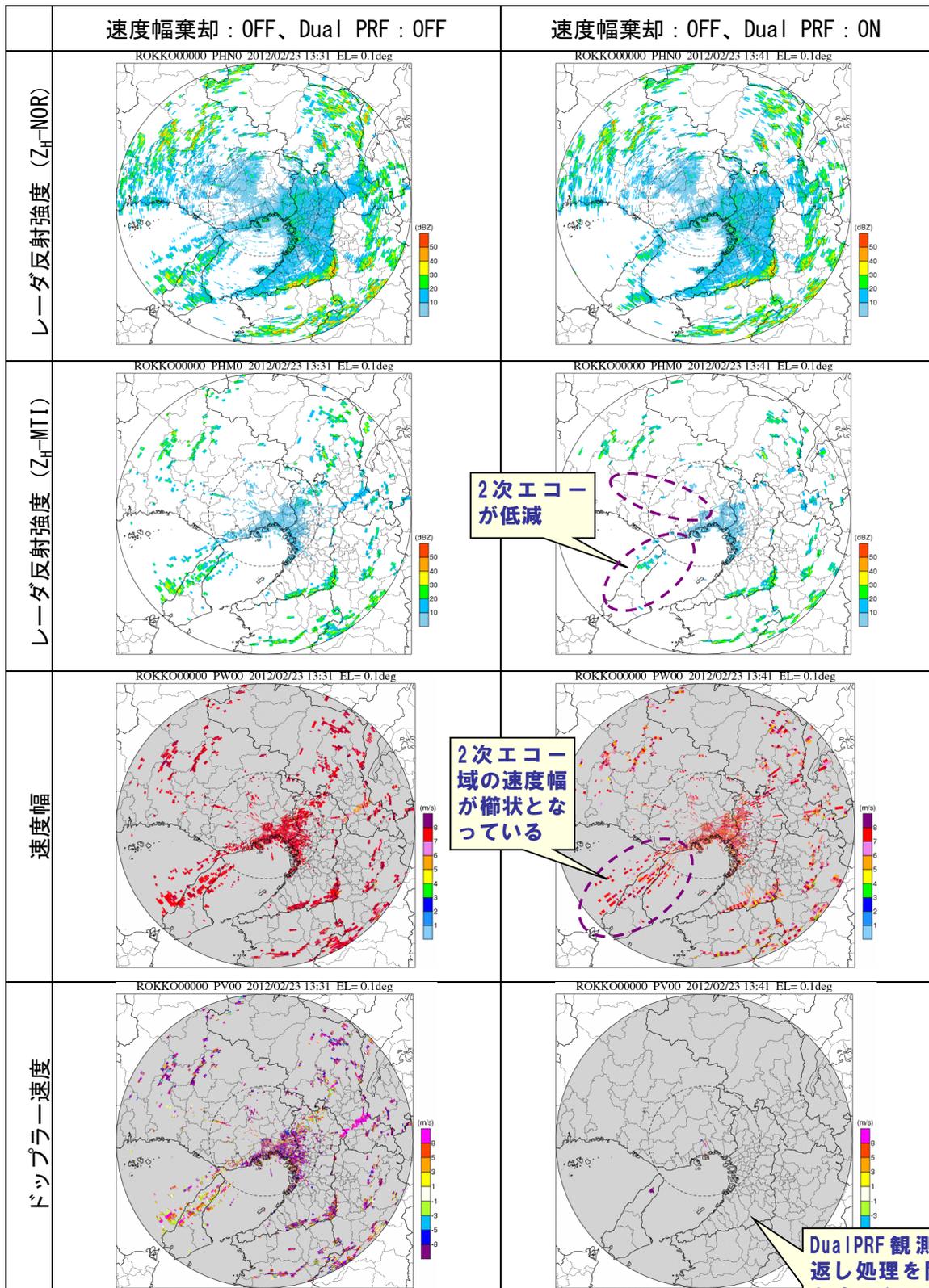


図 10.235 速度幅棄却状況の確認 (六甲、晴天時)

DualPRF観測 & 折り返し処理を開始したため、クラッタ域の異常に大きな速度は除去されるようになる

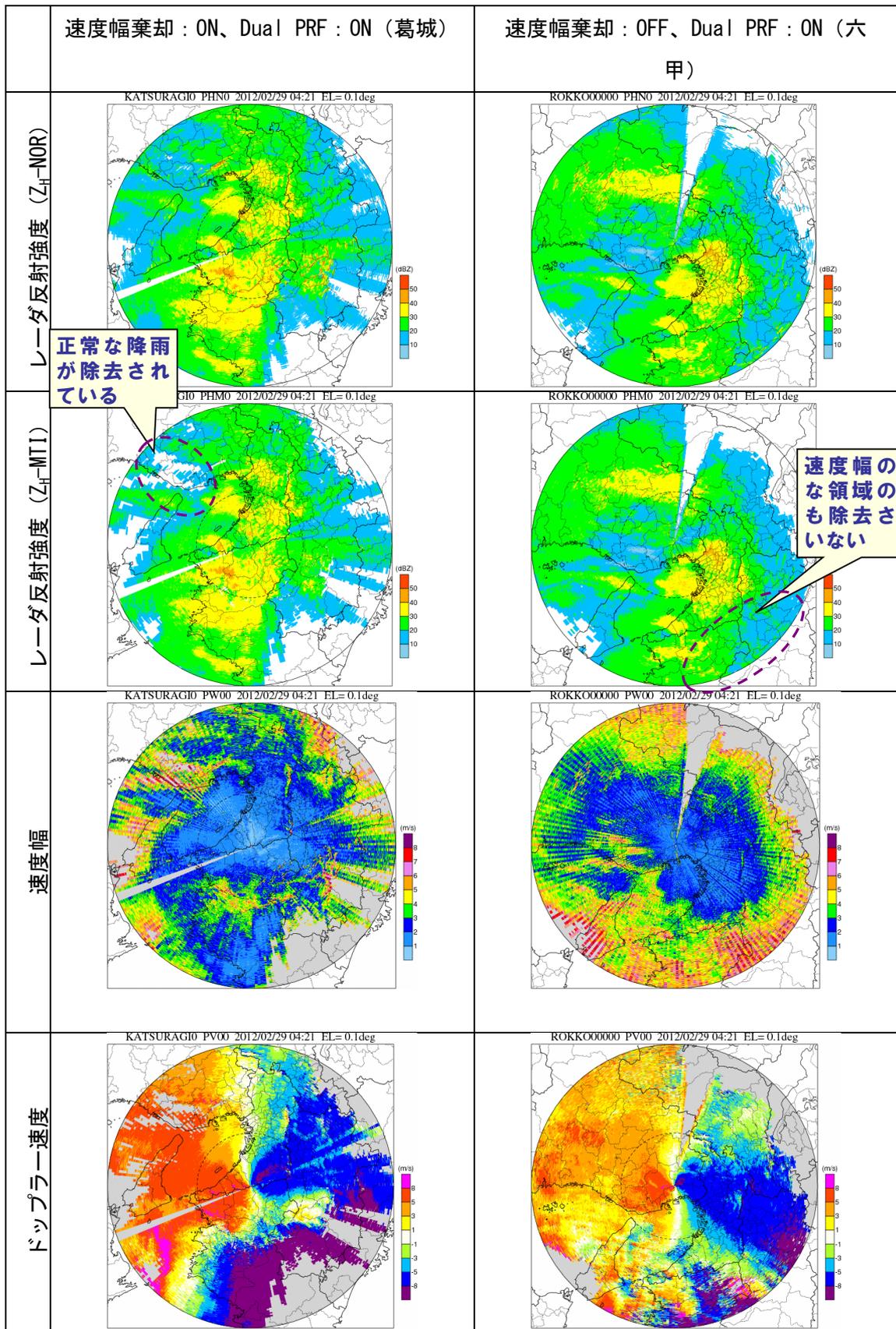


図 10.236 速度幅棄却状況の確認 (葛城と六甲、降雨時)

10章6節5項 MTI 調整後の確認

速度幅棄却処理を OFF としたことでクラッタの消え残りが顕著となったため、MTI の調整を行った。図 10.237 は MTI 調整前後の状況を示している。MTI の調整により無降雨時はクラッタの消え残りが無くなったが、降雨時は降雨エコーが削られている。

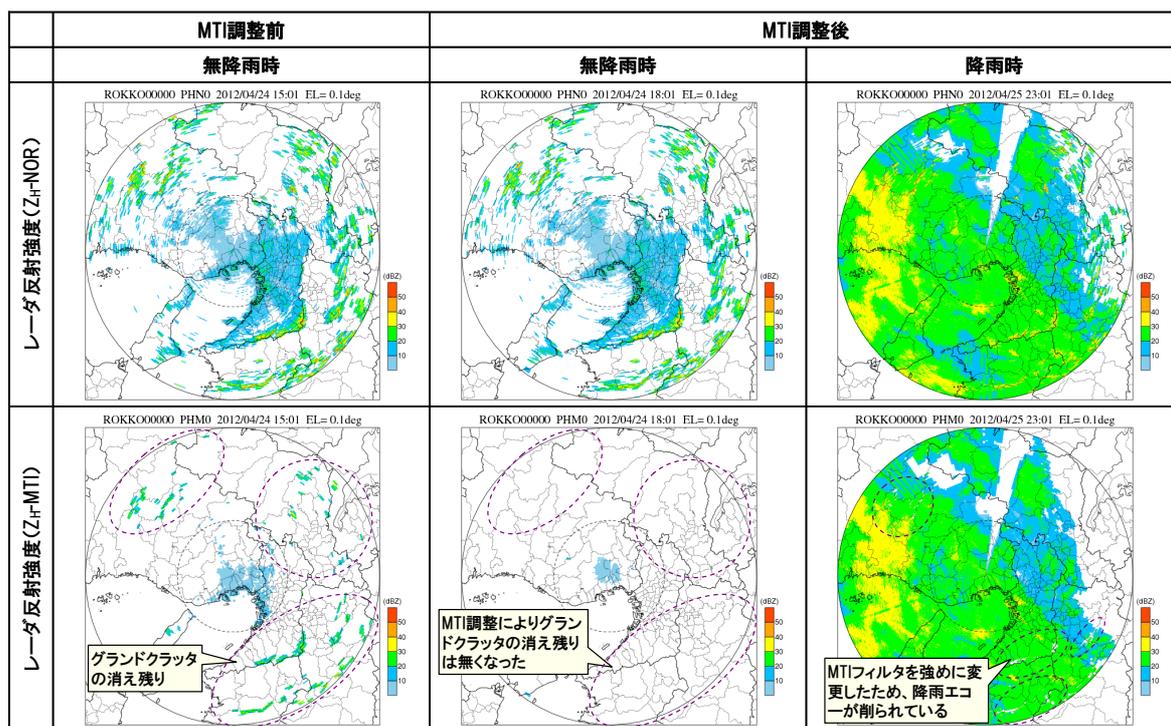


図 10.237 MTI 調整前後の比較

図 10.238 は MTI 調整後の二次エコーの出現状況を示している。画像処理等で消すことが困難な二次エコーが現れている。また、このときの速度幅、ドップラー速度を図 10.239 に示す。

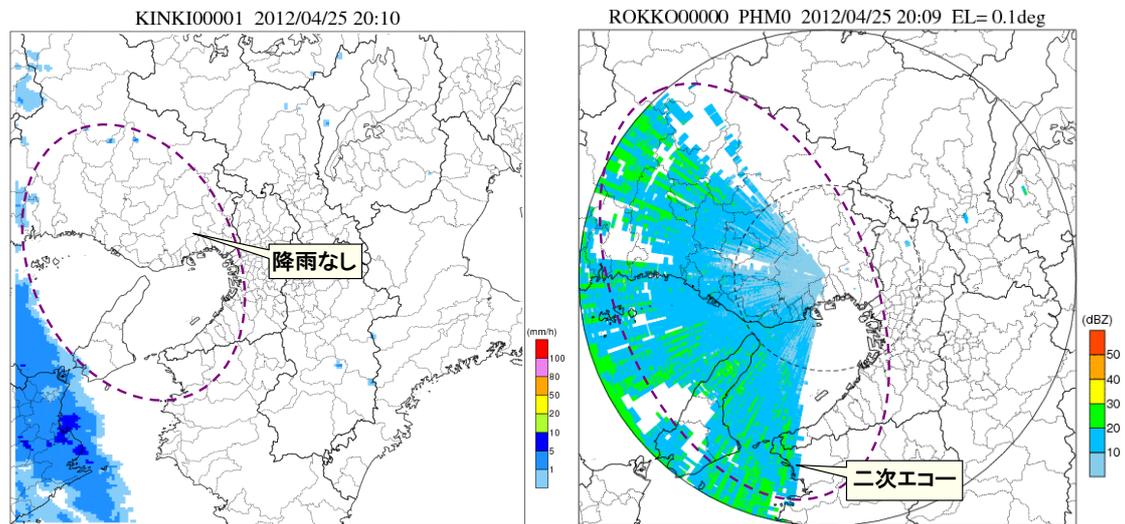


図 10.238 二次エコーの出現状況
(左：Cバンドレーダ、右：六甲局 レーダ反射強度(ZH-MTI))

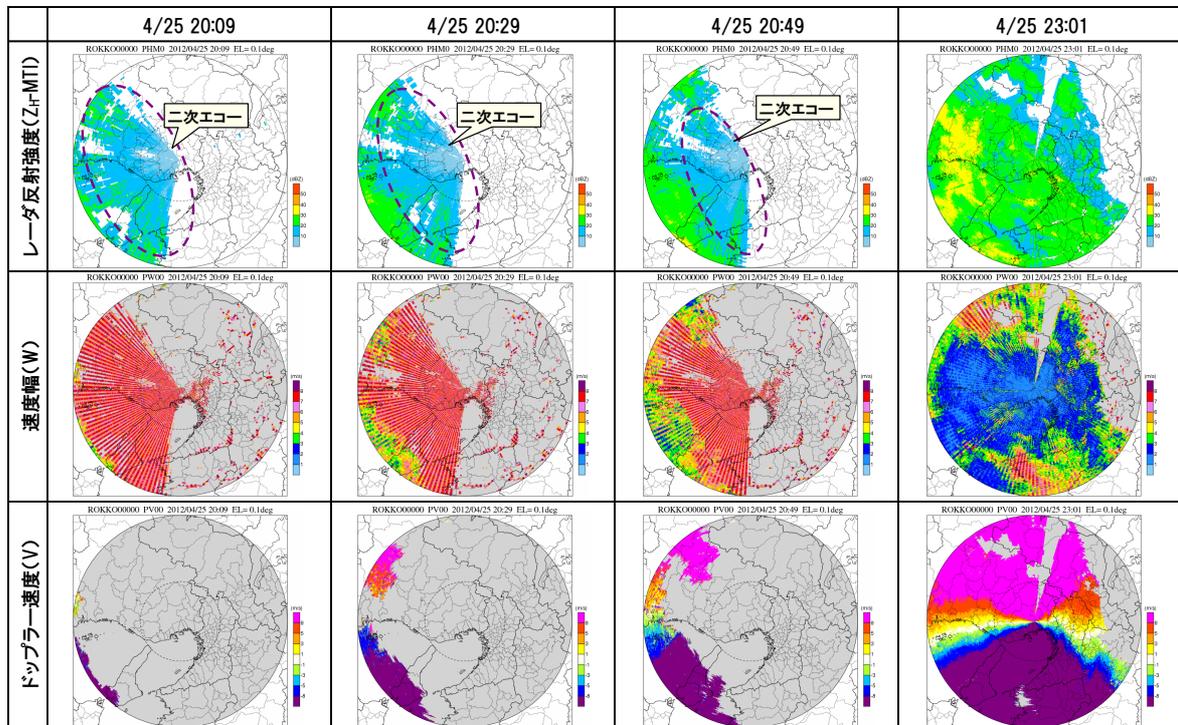


図 10.239 二次エコーの出現状況

ここまでの検討の経緯を図 10.240 に示す。二次エコーの消え残りが多いことは、一般の利用者に誤解を与えるため、六甲サイトの速度幅棄却処理を OFF から ON に変更した。

信号処理過程の位相制御において、受信信号の位相補正の誤差により、受信信号がノイズ化し、S/N が低下し、クラッタエコーのノイズレベルが上昇し、MTI の除去性能が低下し、一次エコーの速度幅が拡がり、二次エコーの誤判定が増加し、正常降雨が除去されていると考え、位相誤差の低減対策の実施することとした。

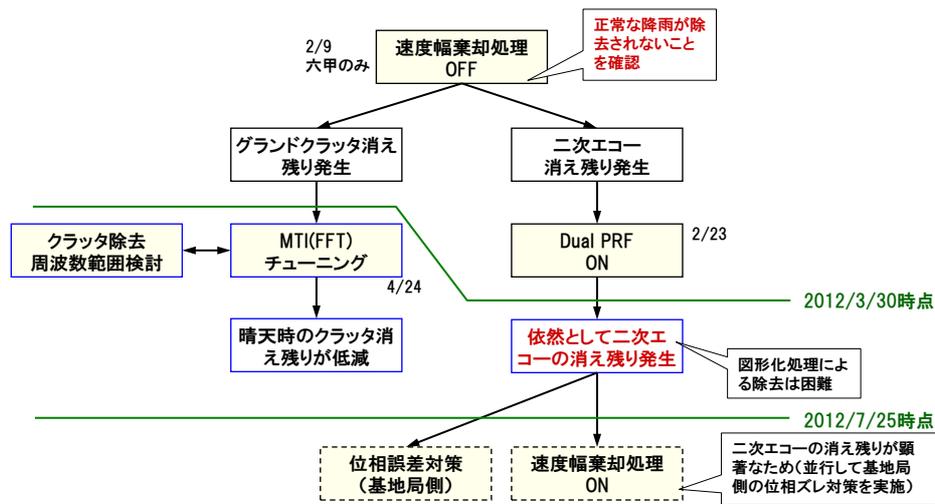


図 10.240 六甲局における検討状況

10章6節6項 位相ずれ調整

位相ずれ調整として、信号処理装置のデジタルマッチドフィルタの動作開始点及びパーストゲート開始点の調整を実施（2012年7月23日、六甲局）した。図 10.241 は、位相ずれ調整前後の地形エコーのドップラースペクトル、表 10-48 はドップラースペクトルの各種指標である。位相ずれ調整により、ノイズが低減している。

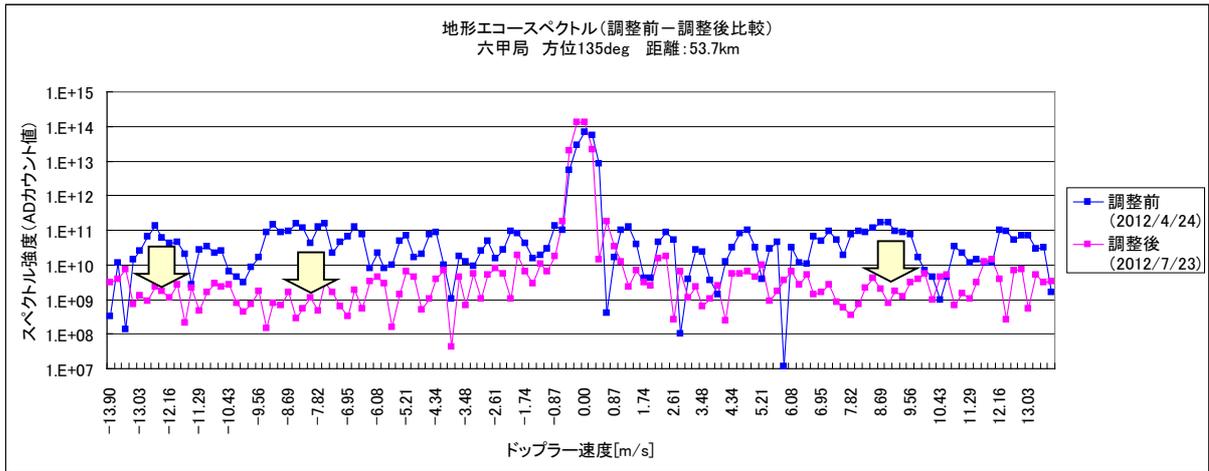


図 10.241 位相ずれ調整前後の地形エコーのドップラースペクトル

表 10-48 位相ずれ調整前後の地形エコーのドップラースペクトル指標

	調整前		調整後		単位
	実測値	理論値	実測値	理論値	
ピーク値	144.65	144.90	141.14	141.14	dB
SNR	17.32	36.93	36.25	36.08	dB
MTI前 速度	0.00	0.00	-0.02	-0.02	m/s
MTI前 速度幅	1.72	0.38	0.26	0.29	m/s

図 10.242 は、位相ずれ調整後の XMP レーダ（ドップラー速度）画像、C バンドレーダ雨量画像である。四国（淡路島上空）に、C バンドレーダでは降雨が観測されていないことから、二次エコーと推定される非降水エコーが分布している。この非降水エコーの速度幅は概ね 5m/s 以上であることがわかる。図 10.243 は、この二次エコーの動径方向プロファイルである。PRF により観測される速度幅が異なるが、高 PRF (1800pps) の場合は概ね 6.5m/s 以上、低 PRF (1440pps) の場合は概ね 5m/s 以上の速度幅で二次エコーが観測されていることから、速度幅検定処理を閾値 6m/s として再設定（9月13日）した。

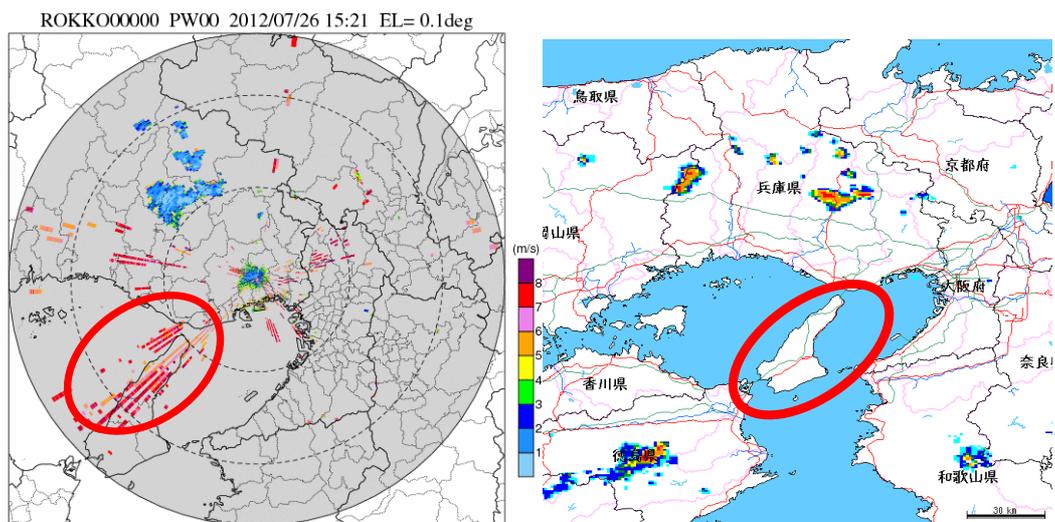


図 10.242 レーダ画像 (左: XMP レーダ (ドップラー速度)、右: C バンドレーダ)

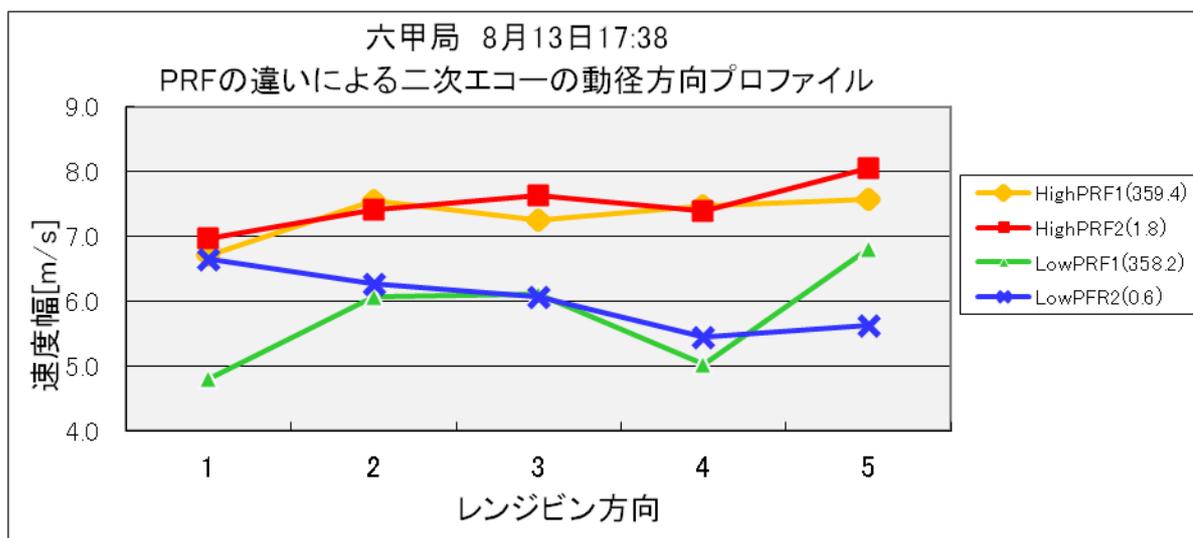


図 10.243 二次エコーの動径方向プロファイル

図 10.244～図 10.246 は、速度幅検定処理を閾値 6m/s と設定後の速度幅棄却の状況を示している。速度幅の大きい領域では降雨域が棄却されており、速度幅閾値処理では「強風時における正常な降雨域の速度幅」と「二次エコー域の速度幅」を完全に分離することができていない。

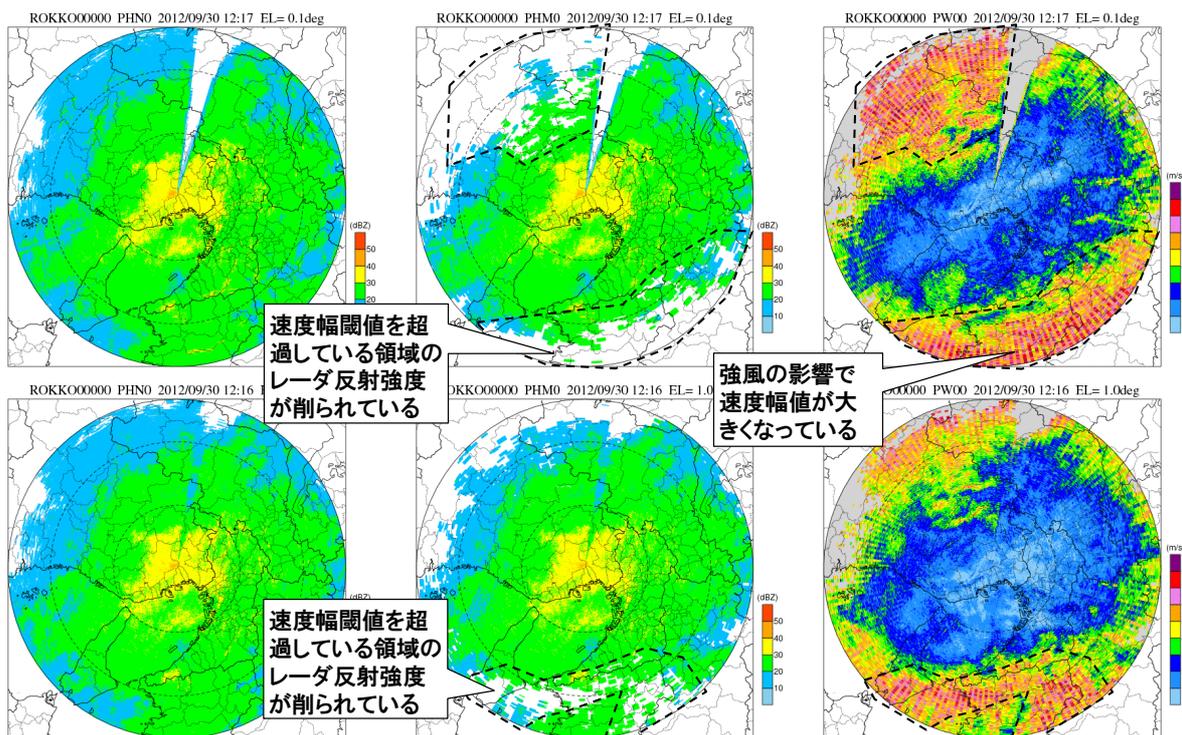


図 10.244 速度幅棄却の状況 六甲局
 (上: $\theta 0$ 、下: $\theta 1$ 、左: Zh-NOR、中: Zh-MTI、右: 速度幅)

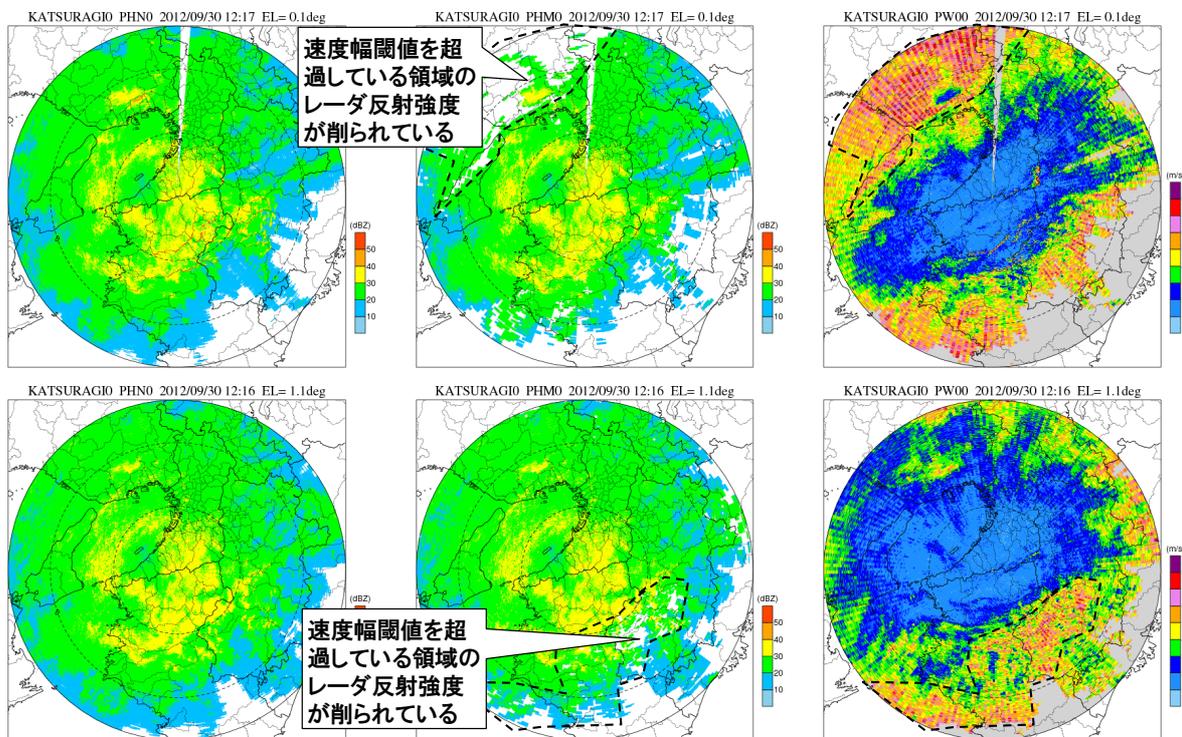


図 10.245 速度幅棄却の状況 葛城局
 (上: $\theta 0$ 、下: $\theta 1$ 、左: Zh-NOR、中: Zh-MTI、右: 速度幅)

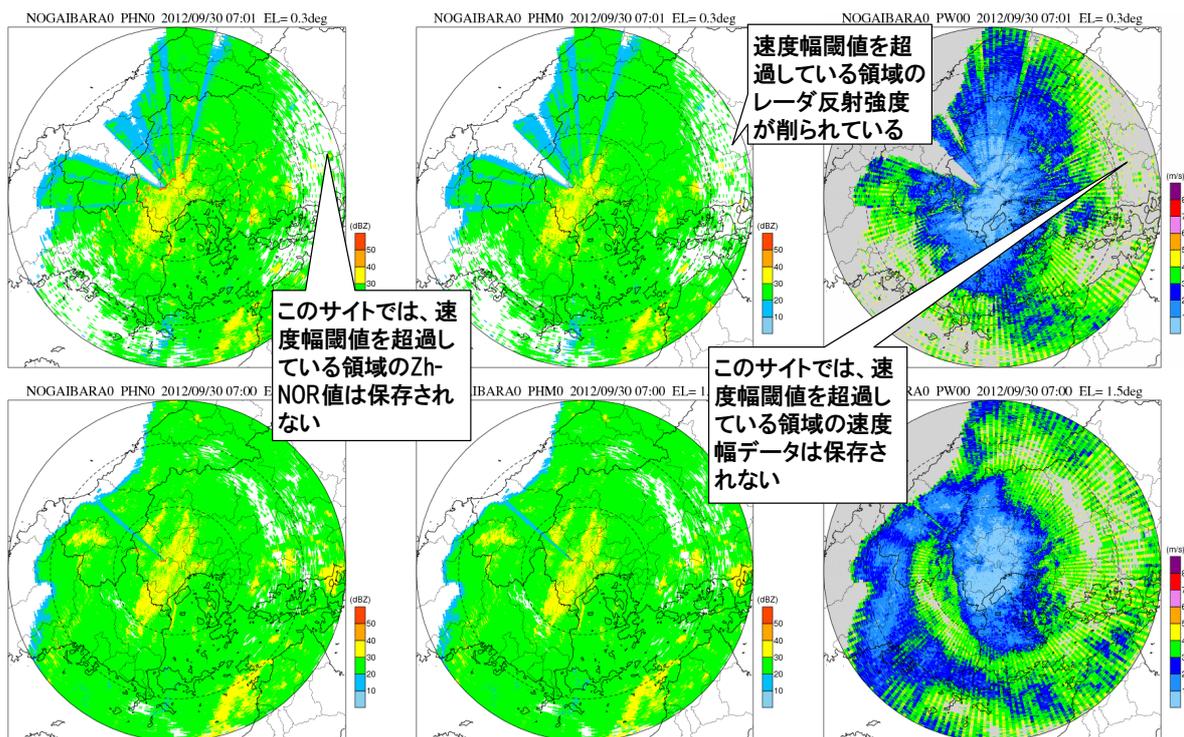


図 10.246 速度幅棄却の状況 野貝原局
 (上: $\theta 0$ 、下: $\theta 1$ 、左: Zh-NOR、中: Zh-MTI、右: 速度幅)

位相誤差の低減対策だけでは速度幅棄却の低減効果が低い。今後の対応として、二次エコー等の不要エコー除去と強風時の正常な降雨エコーの除去防止の両立について、ハード的対応（例えば、新たな信号処理手法の導入など）に加えて、ソフト的対応（例えば、棄却領域の欠測判定など）の検討も進める必要がある。

10章7節 DualPRF 設定

図 10.247～図 10.250 は、2010 年の試験運用前における DualPRF⁵設定の ON、OFF における累積雨量分布を示している。関東地域以外では DualPRF が ON の場合、累積雨量分布に放射状のパターンが出現している。そのため、2010 年の試験運用の開始当初は、全てのレーダの DualPRF 設定は OFF で運用された。

2010 年の試験運用の開始当初、鷺峰山、関東、新横浜局において、二次エコーが頻出していた(図 10.251、図 10.252)。鷺峰山、関東、新横浜局は二次エコーを除去するため、また、DualPRF 観測において楯状エコーが目立たないことから 2010 年 7 月 21～22 日に DualPRF を ON とした⁶。

2011 年度に運用開始をしたレーダについては、すべて Dual PRF 観測を ON として運用を開始している。2011 年 12 月 27 日から試験的に葛城、安城サイトについてのみ、Dual PRF 観測を開始した。図 10.253～図 10.255 は試験的に DualPRF 観測を ON とした際の累積雨量分布である。楯状のエコーがほとんど出現しないことが確認できたため、2012 年 2 月頃から DualPRF 観測が OFF となっていたレーダは、DualPRF 観測を ON とし、全てのレーダで Dual PRF 観測の設定が ON となっている。。

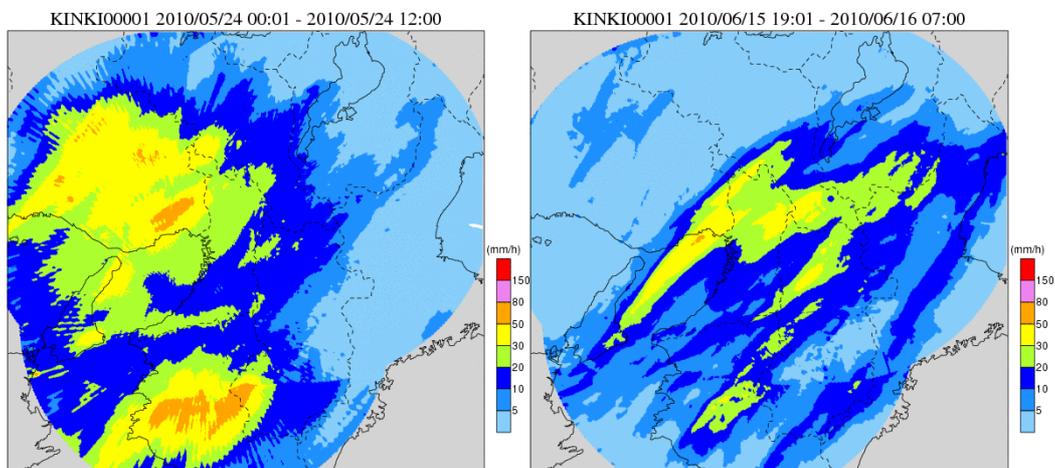


図 10.247 累積雨量分布 近畿 (左: DualPRF ON、右: DualPRF OFF)

⁵DualPRF の説明については付録 A を参考

⁶DualPRF 観測により二次エコーの発生は軽減したが、依然確認されていたため、速度幅による品質管理 (レーダ基地局におけるデータ無効化処理) の閾値を 2010 年 10 月 1 日に 12m/s から 4.5m/s へ変更している。

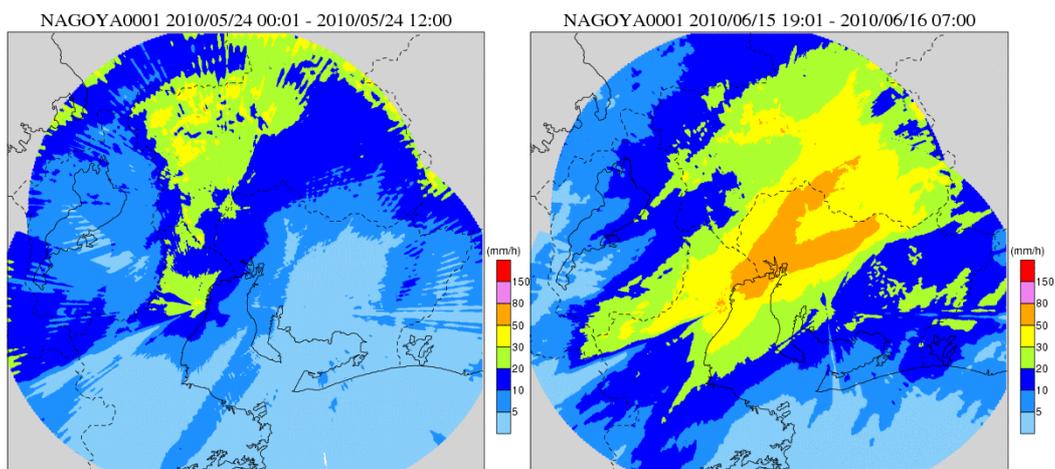


図 10.248 累積雨量分布 中部 (左: DualPRF ON、右: DualPRF OFF)

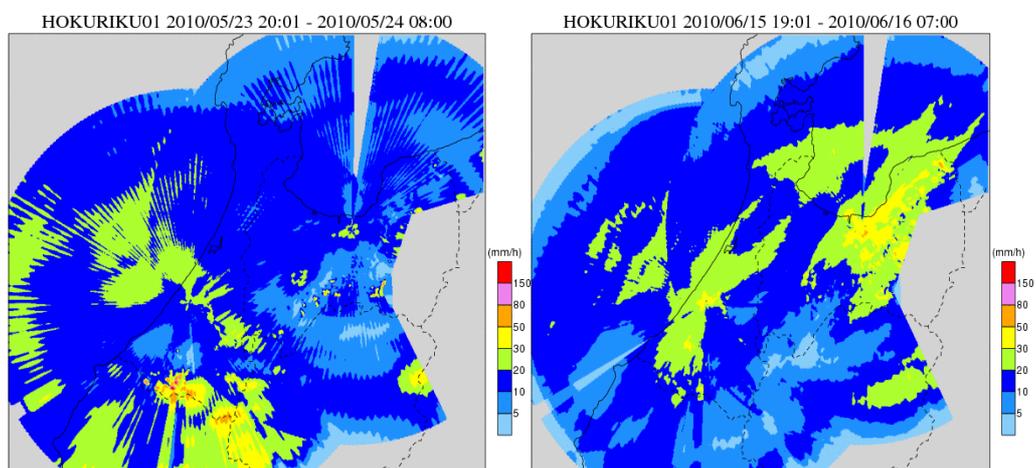


図 10.249 累積雨量分布 北陸 (左: DualPRF ON、右: DualPRF OFF)

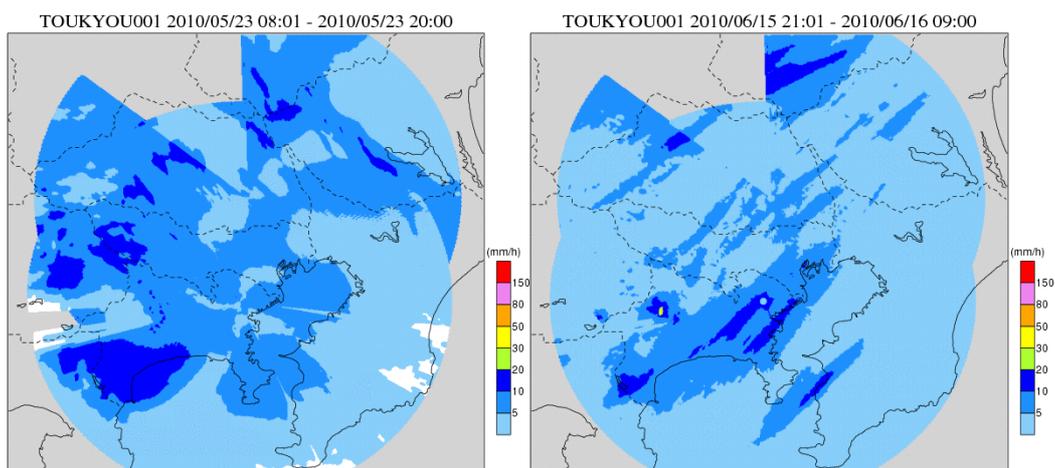


図 10.250 累積雨量分布 関東 (左: DualPRF ON、右: DualPRF OFF)

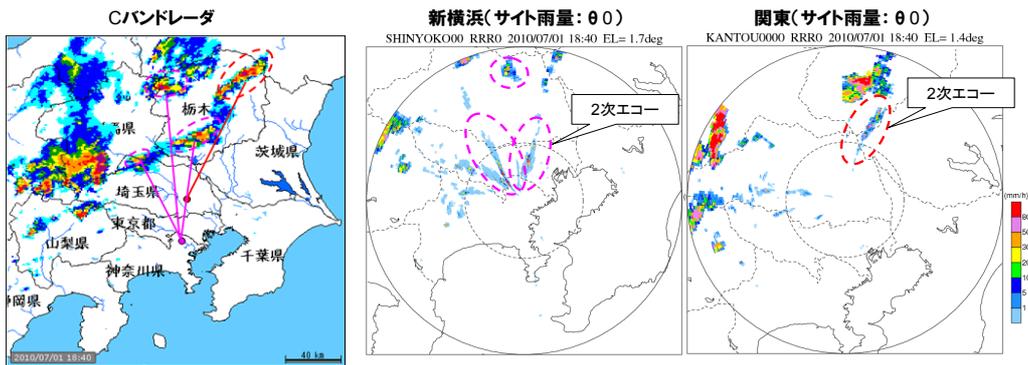


図 10.251 二次エコーの出現例 (関東、新横浜)

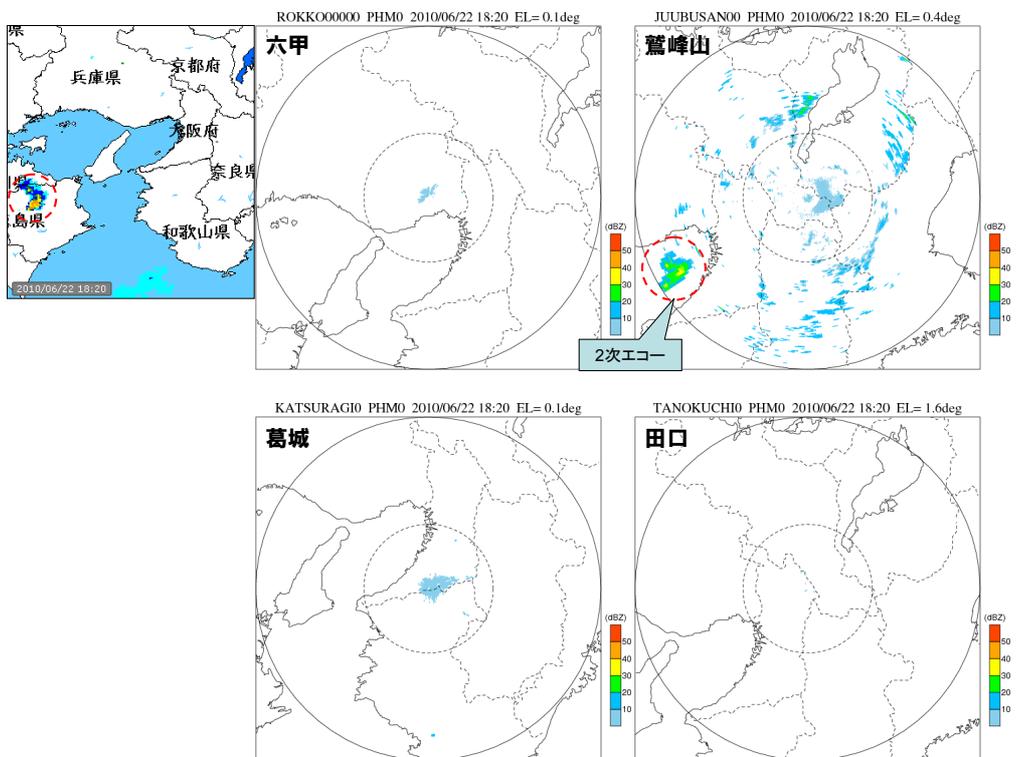


図 10.252 2次エコーの出現例 (鷺峰山⁷)

⁷徳島県に存在する強雨域 (鷺峰山の観測範囲外) が、2次エコーとして出現。その他3サイトでは2次エコーは出現していない。

12時間積算雨量 (2012/03/05 13:00) 欠測判定率=15%

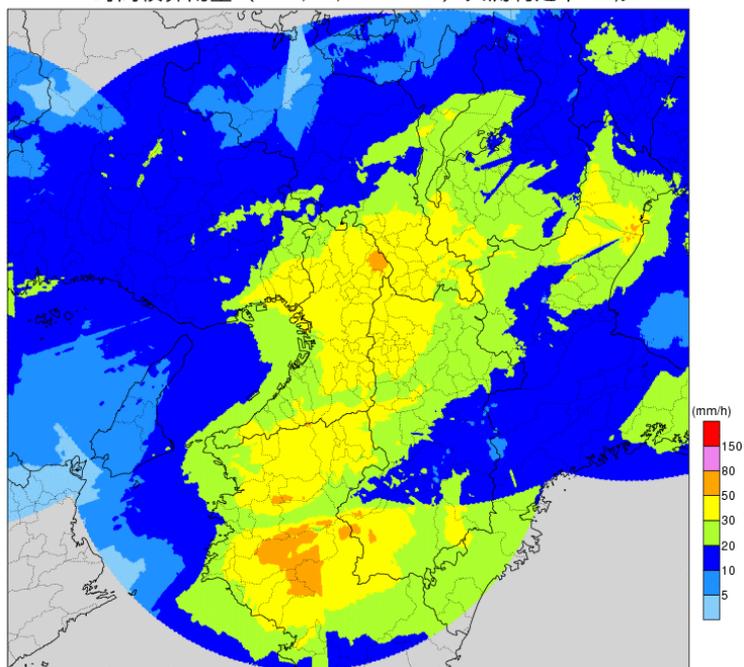


図 10.253 累積雨量分布 (近畿地域) 2012年3月5日

12時間積算雨量 (2012/03/05 13:00) 欠測判定率=15%

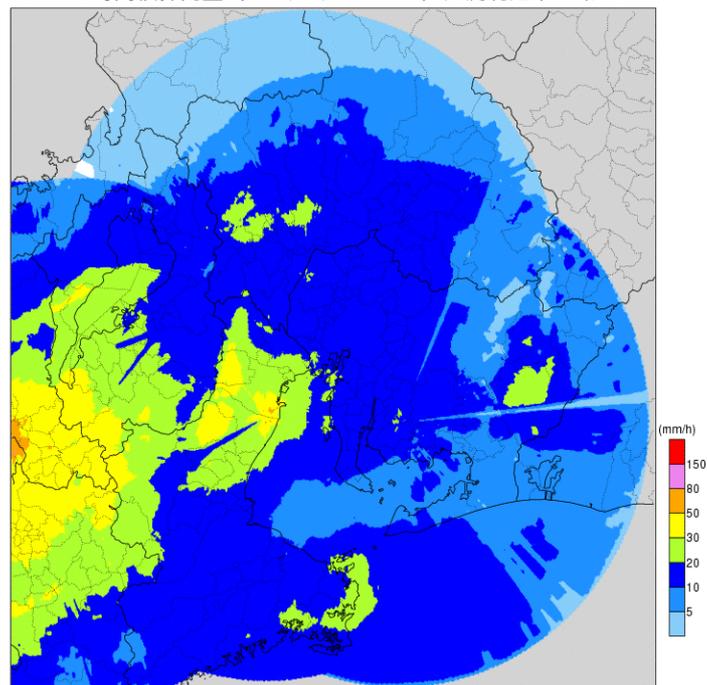


図 10.254 累積雨量分布 (中部地域) 2012年3月5日

12時間積算雨量 (2012/03/05 07:00) 欠測判定率=15%

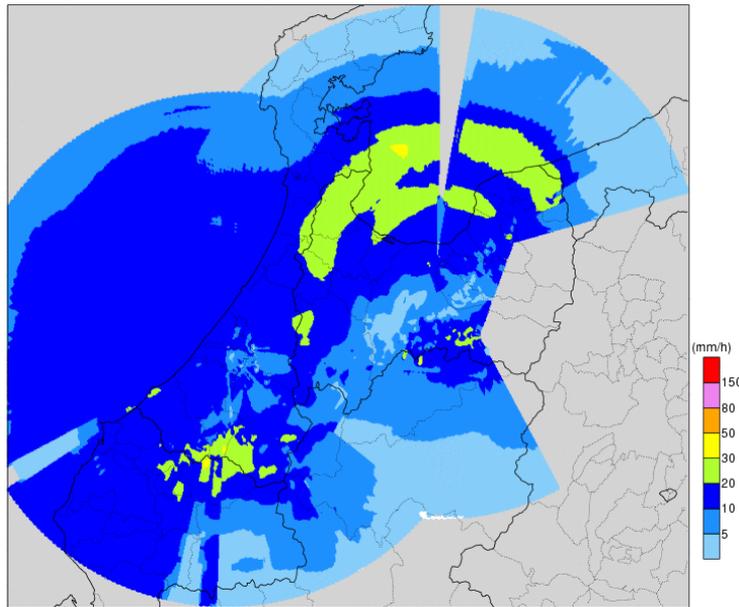


図 10.255 累積雨量分布 (富山・石川地域) 2012年3月5日

10章8節 合成に用いる最大高度

合成に用いるレーダ雨量の観測高度は、通常は5km以下としている。桜島局については、周辺地形の関係で仰角が高く設定され、遠方で観測高度が高くなり、観測精度が低下する。観測高度の高い遠方のレーダ雨量を合成に用いないために、合成に用いる最大高度の検討が初期調整時に行われた。図 10.256 は、桜島局における観測仰角 $\theta 0$ 、図 10.257 は $\theta 1$ における半径 30km 以内、半径 30~60km 以内の地上雨量を対象に 10 分雨量についてレーダ雨量と地上雨量を比較したものである。 $\theta 1$ の 30~60 km の観測精度が低いことが確認できる。

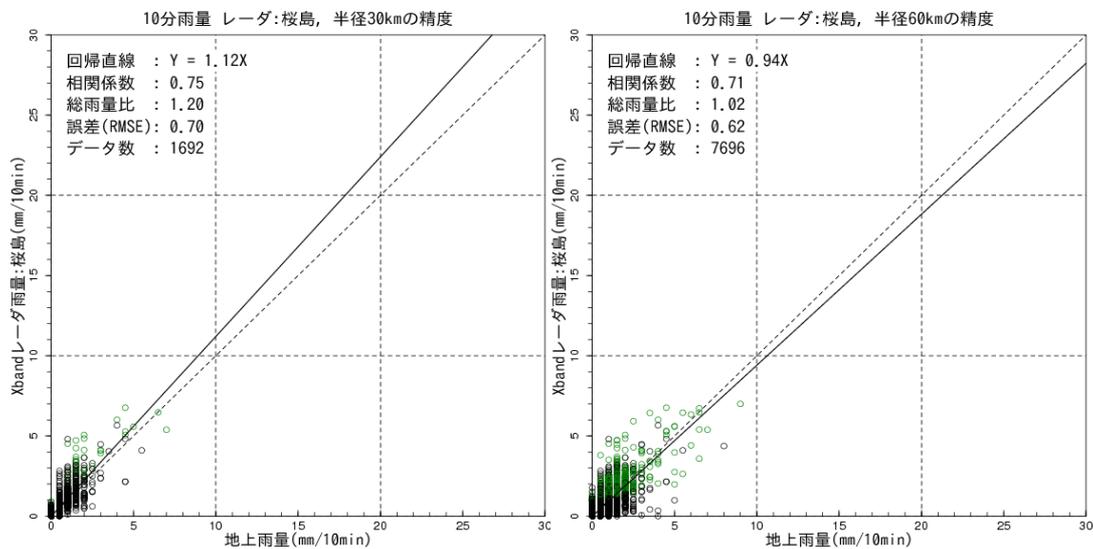


図 10.256 X-MP レーダ雨量と地上雨量の比較 桜島 $\theta 0$ 10 分雨量
(左：半径 30km 以内、右：30~60km 以内)

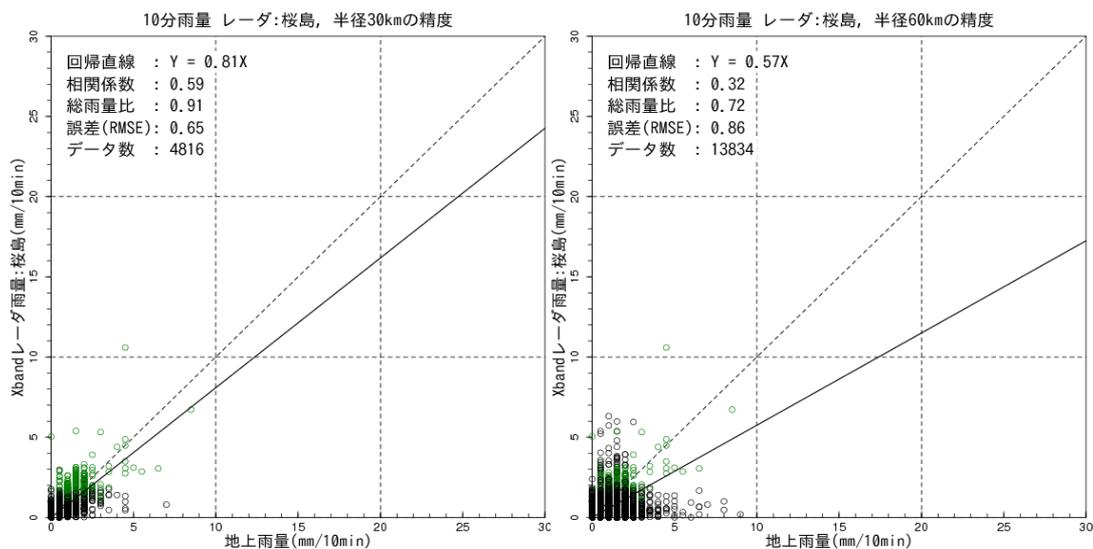


図 10.257 X-MP レーダ雨量と地上雨量の比較 桜島 $\theta 1$ 10 分雨量
(左：半径 30km 以内、右：30~60km 以内)

図 10.258 は、桜島局の $\theta 1$ における半径 30~40km、40~50km、50~60km の地上雨量を対象に 10 分雨量について、図 10.259 は 60 分雨量についてレーダ雨量と地上雨量を比較したものである。レーダから 30~40km においてはブライトバンドを観測し、過大傾向を示し、40km 以遠では雲頂付近を観測するために過小傾向となっている。なお、桜島局の $\theta 1$ は 6.0° でありレーダから 60km 先では高度 6.5km 付近を観測している⁸。

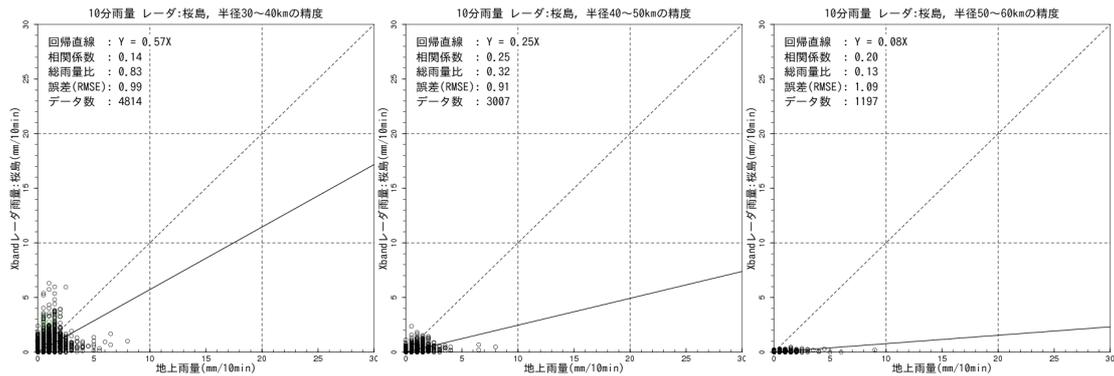


図 10.258 X-MP レーダ雨量と地上雨量の比較 桜島 $\theta 1$ 10 分雨量
(左 : 30~40km、中 : 40~50km、右 : 50~60km 以内)

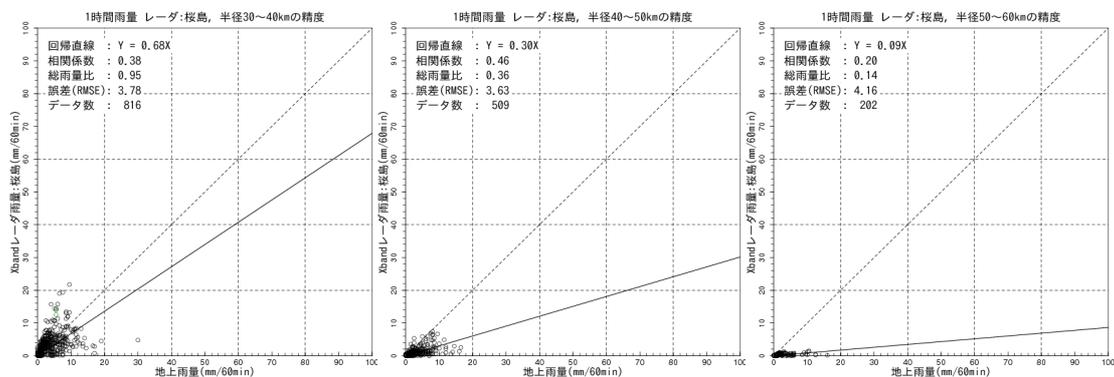


図 10.259 X-MP レーダ雨量と地上雨量の比較 桜島 $\theta 1$ 60 分雨量
(左 : 30~40km、中 : 40~50km、右 : 50~60km 以内)

図 10.260 は、合成に用いるデータの最大高度を 5km、4.5km、3.5km とした合成雨量について、レーダから半径 30km 以内の地上雨量を対象にレーダ雨量と地上雨量を 10 分雨量で比較したものである。図 10.261 は、レーダから半径 30km~60km の地上雨量を対象にレーダ雨量と地上雨量を 10 分雨量で比較したものである。合成に用いるデータの最大高度を下げることで、半径 30km 以遠の精度が向上していることから、桜島周辺地域の合成雨量は、合成に用いるデータの最大高度を 3.5km としている。

⁸ 桜島局の $\theta 1$ は 1.7° でレーダから 60km の観測高度は 2.0km 付近となる。

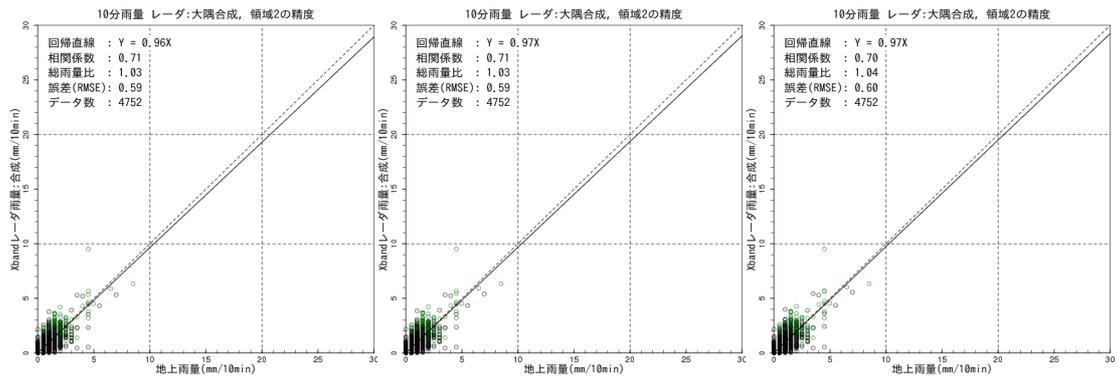


図 10.260 合成雨量と地上雨量の比較 桜島 半径 30km 以内 10 分雨量
(左：最大高度 5km、中：最大高度 4.5km、右：最大高度 3.5km)

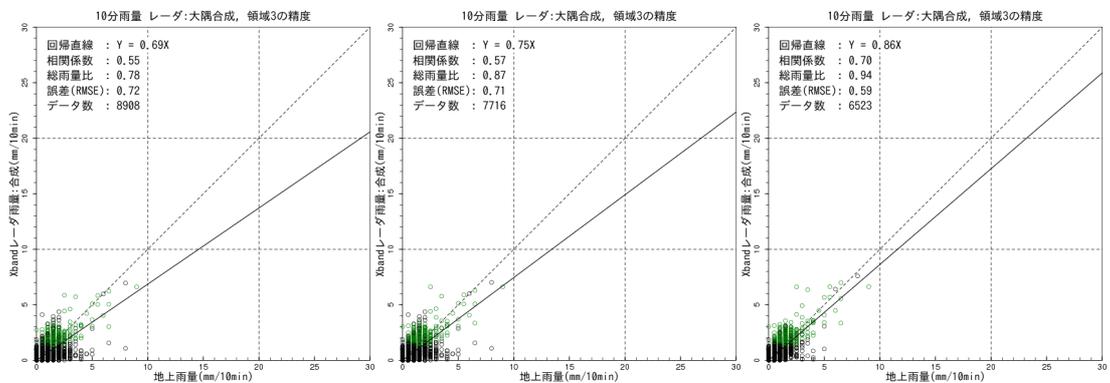


図 10.261 合成雨量と地上雨量の比較 桜島 半径 30~60km 10 分雨量
(左：最大高度 5km、中：最大高度 4.5km、右：最大高度 3.5km)

10章9節 MTI の調整

図 10.262 は、試験運用開始後に桜島周辺地域において確認されたグランドクラッタである。図 10.263 は、グランドクラッタの出現を確認した時刻における $\theta 0$ と $\theta 1$ の Zh を示している。桜島局の MTI 処理の調整が不十分であることが原因と考えられ、MTI 処理の調整が 2011 年 10 月頃に行われている。図 10.264 は、MTI 処理の調整後の観測状況である。また、図 10.265 は、MTI 処理の調整前後における晴天時の積算雨量の比較である。MTI 処理の調整によりグランドクラッタが消え、積算雨量が表示されていないことから適切に MTI 処理が調整されたことが確認できる。

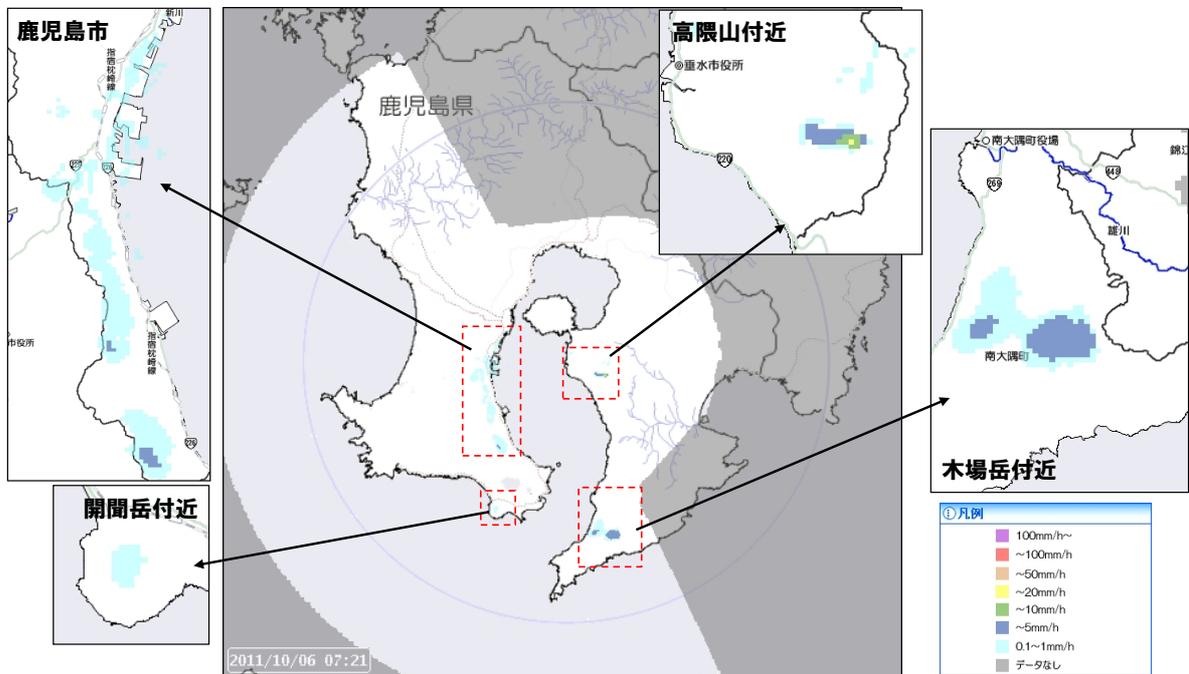


図 10.262 グランドクラッタの発生状況（桜島周辺地域）

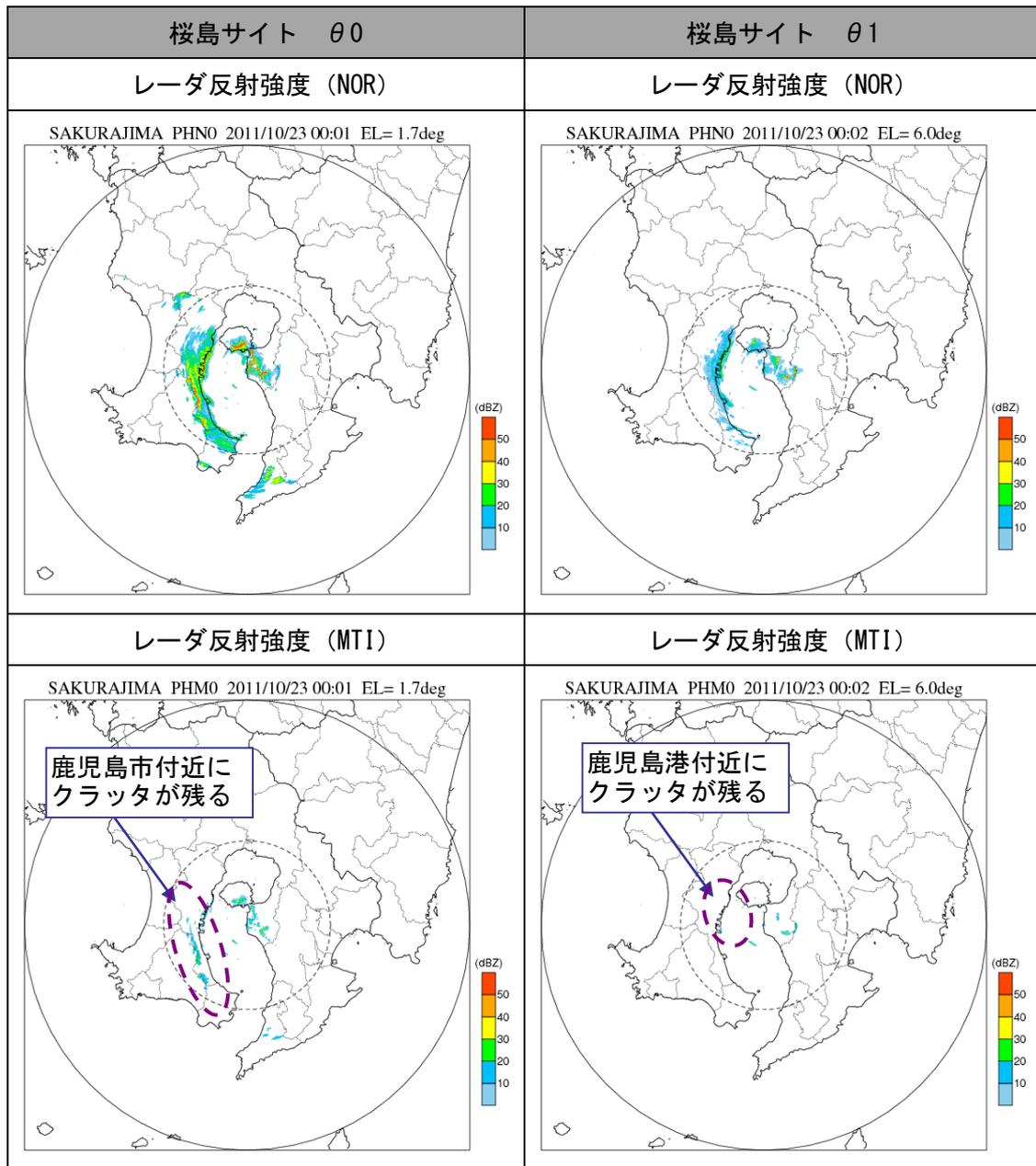


図 10.263 MTI 調整前の観測状況 (桜島周辺地域)

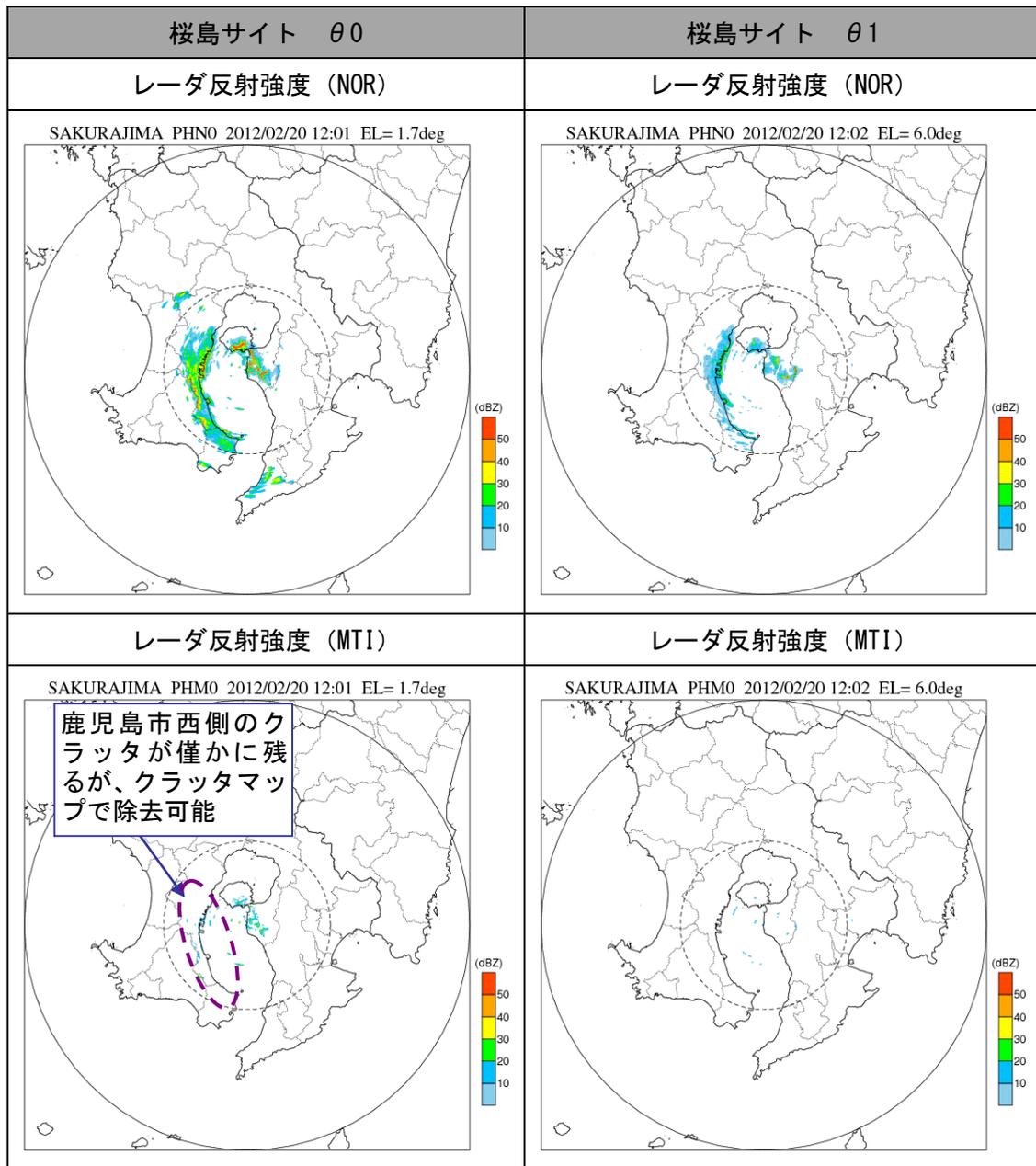


図 10.264 MTI 調整後の観測状況 (桜島周辺地域)

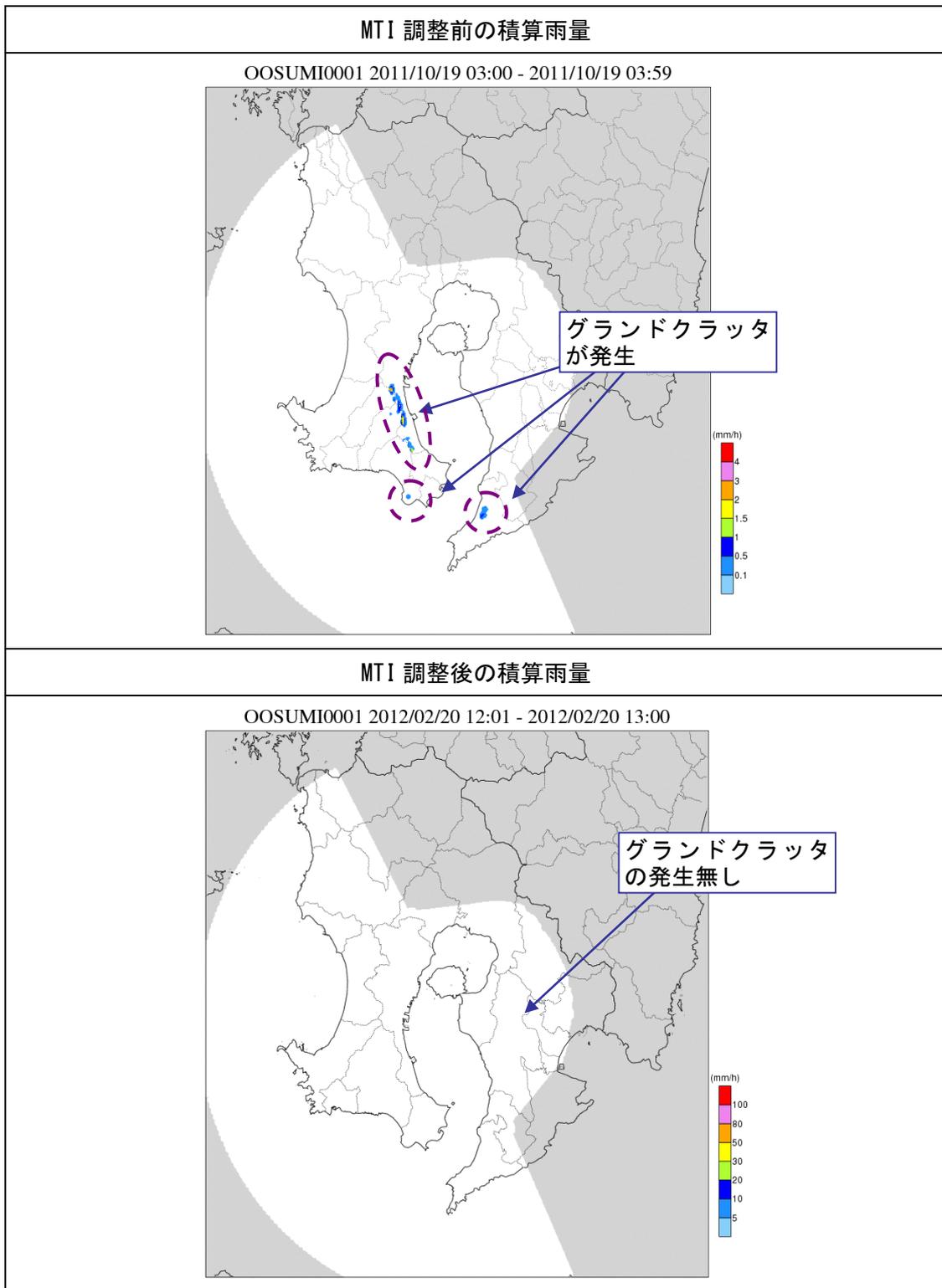


図 10.265 MTI 調整前後の積算雨量の比較（桜島周辺地域）

10章10節 クラッタマップの適用

試験運用開始後、クラッタの消え残りが顕著であった地域に対してクラッタマップを作成し適用している。グランドクラッタは、気象条件、時間帯、仰角設定、MTI 調整等の様々な要因によってクラッタの存在状況が異なる。そのためクラッタマップの見直しは適宜実施されている。

10章10節1項 関東地域へのクラッタマップの適用

関東、新横浜、鷲峰山レーダは Dual PRF が OFF の場合に 2 次エコーの消え残りが多いため、Dual PRF を ON に変更(2010 年 7 月 21~22 日)した。これによりグランドクラッタの出現状況が変化するため、クラッタマップを再作成し、再適用(2010 年 8 月 16 日)した。しかし、DualPRF が ON であっても 2 次エコーが完全に消えないため、速度幅を用いたフィルタ除去の見直し及び MTI の再調整を実施 (2010 年 10 月 1 日) している。これによりグランドクラッタの出現状況が変わったことから(図 10.266)、2010 年 10 月 2 日 0 時~10 月 3 日 17 時、10 月 8 日 19 時~23 時、10 月 10 日 19 時~11 日 20 時の晴天時データを用いてクラッタマップを作成している。図 10.266 からわかるように気象条件や時間帯によってクラッタの存在状況が異なり変動している、クラッタ強度の平均値を適用してもクラッタの消え残りが存在する。一方、クラッタ強度の最大値を適用すると降雨エコーの減算量が大きくなってしまふことから、試行錯誤の結果、関東地域のクラッタマップは平均値+標準偏差 $\times 5$ の値のクラッタマップを作成し、適用している(図 10.267)。

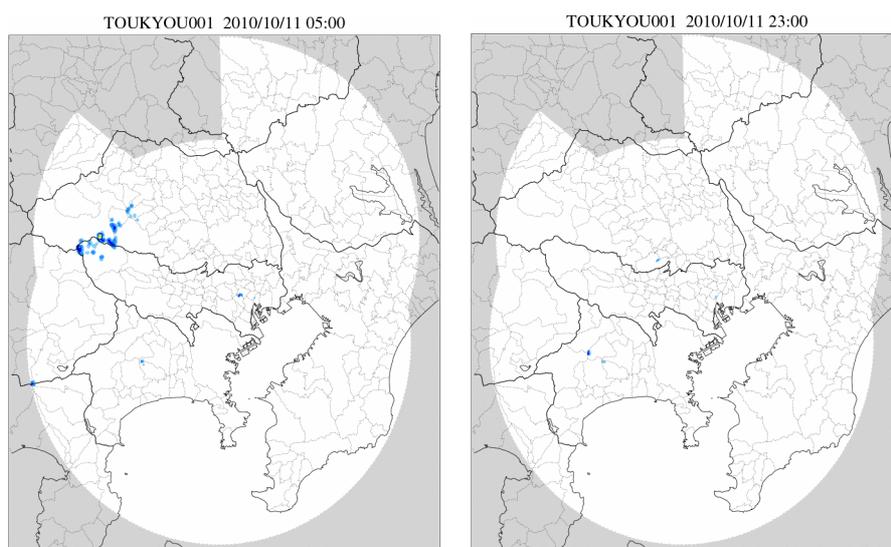


図 10.266 関東のクラッタ状況 (クラッタマップ適用前)

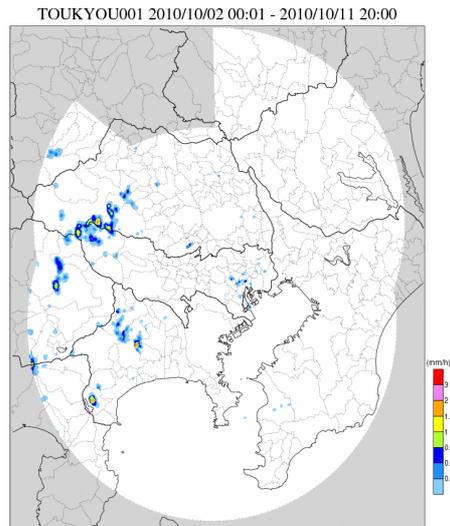


図 10.267 関東のクラッタマップ

10章10節2項 近畿地域へのクラッタマップの適用

2010年7月23日、8月1日、8月2日における晴天時データを用いてクラッタマップを作成した。近畿のクラッタの消え残り(図 10.268)は、関東と同様に気象条件や時間帯によって存在状況は異なり大きく変動するため、試行錯誤の結果、近畿地域のクラッタマップは平均値+最大×0.5の値としてクラッタマップを作成し、適用したている(図 10.269)。

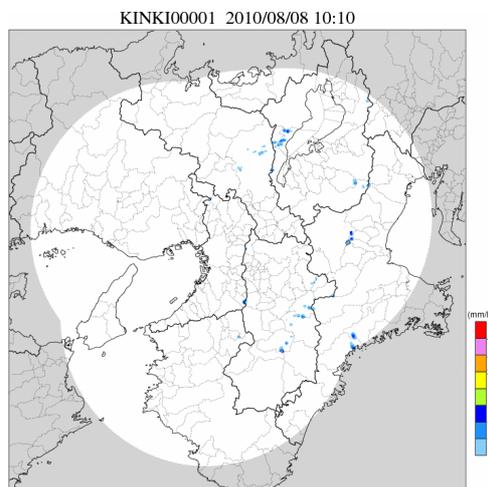


図 10.268 近畿のクラッタ状況 (クラッタマップ適用前)

KINKI00001 2010/07/23 07:01 - 2010/08/02 11:30

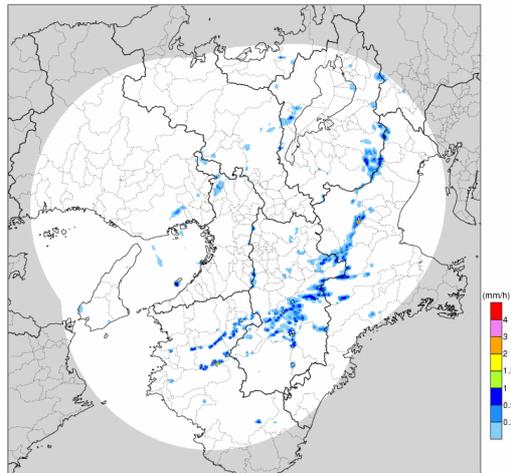


図 10.269 近畿のクラッタマップ

合成雨量にグランドクラッタが消え残る地域に対してクラッタマップを適用した。表 10-49 はクラッタマップの適用対象地域である。

表 10-49 適用したクラッタマップ一覧

地域	採用値	クラッタマップの作成に用いたデータ期間
栗駒山周辺	平均+5 σ	2011年7月2日5時~22時
新潟	—	—
静岡	—	—
岡山	平均+2 σ	2011年6月4日5時~17時
広島	平均+2 σ	2011年6月4日5時~17時
九州北部	平均+2 σ	2011年6月4日5時~17時
桜島周辺	平均+2 σ	2011年6月4日1時~13時

10章10節3項 栗駒山周辺地域へのクラッタマップの適用

図 10.270 は、2011年7月2日5時～22時の晴天時データを用いて作成した平均+2 σ 、平均+3 σ 、平均+5 σ のクラッタマップである。図 10.271 は作成したクラッタマップを適用した結果である。平均+3 σ では、クラッタが消え残っているが、平均+5 σ では、クラッタが概ね除去されていることが確認できることから、栗駒山周辺地域に適用するクラッタマップは平均+5 σ とした。

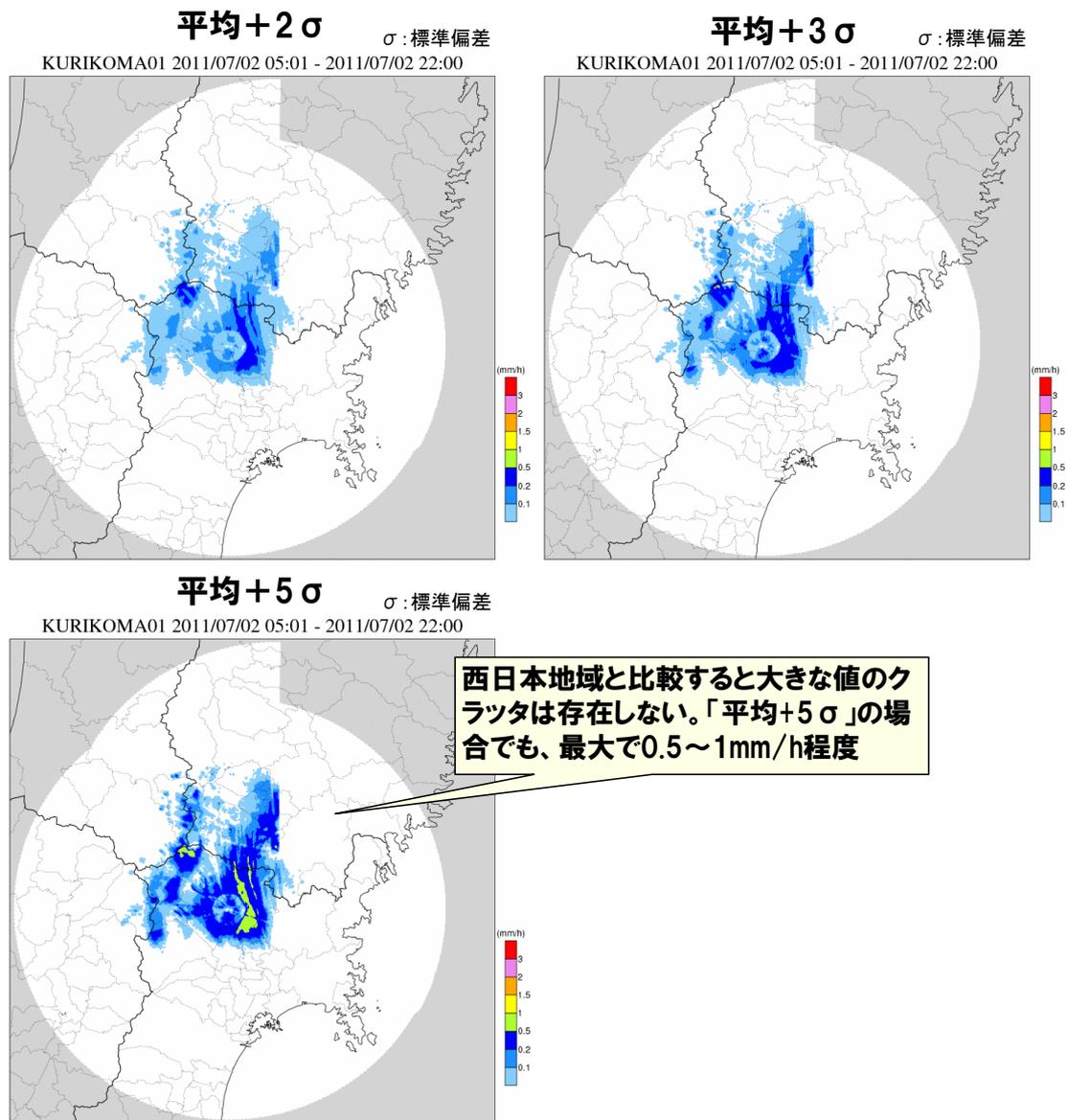
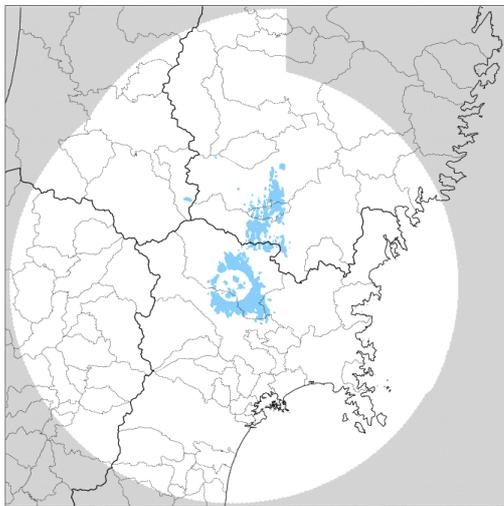


図 10.270 作成したクラッタマップ⁹

⁹弱雨域に絞った凡例となっていることに注意

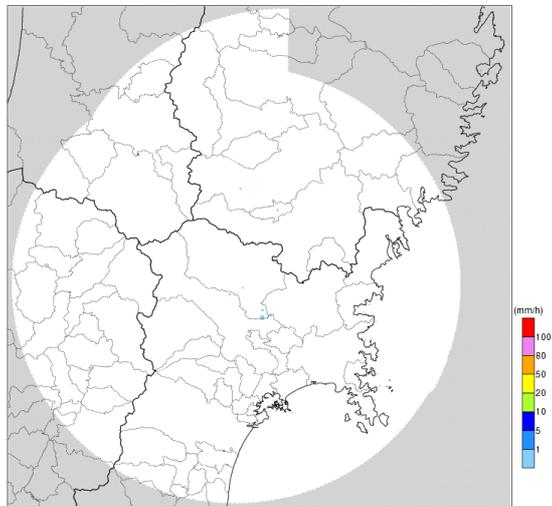
クラッタマップなし

KURIKOMA01 2011/07/02 14:00



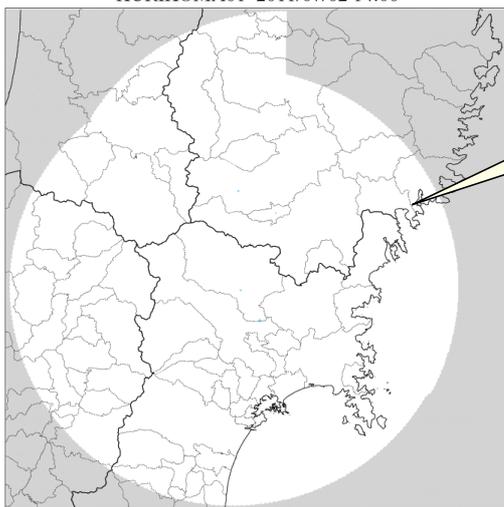
平均+3σのクラッタマップ適用

KURIKOMA01 2011/07/02 14:00



平均+5σのクラッタマップ適用

KURIKOMA01 2011/07/02 14:00



クラッタが概ね除去されている「平均+5σ」を採用

図 10.271 クラッタマップの適用結果¹⁰

¹⁰ クラッタマップの凡例とは異なっていることに注意

10章10節4項 岡山地域へのクラッタマップの適用

図 10.272 は、2011年6月4日5時～17時の晴天時データを用いて作成した平均、平均 $+\sigma$ 、平均 $+2\sigma$ のクラッタマップである。平均 $+2\sigma$ の段階で3mm/hを超過する大きなクラッタが存在している。図 10.273 は作成したクラッタマップを適用した結果である。平均 $+2\sigma$ でクラッタが概ね除去されていることが確認できることから、岡山地域に適用するクラッタマップは平均 $+2\sigma$ とした。

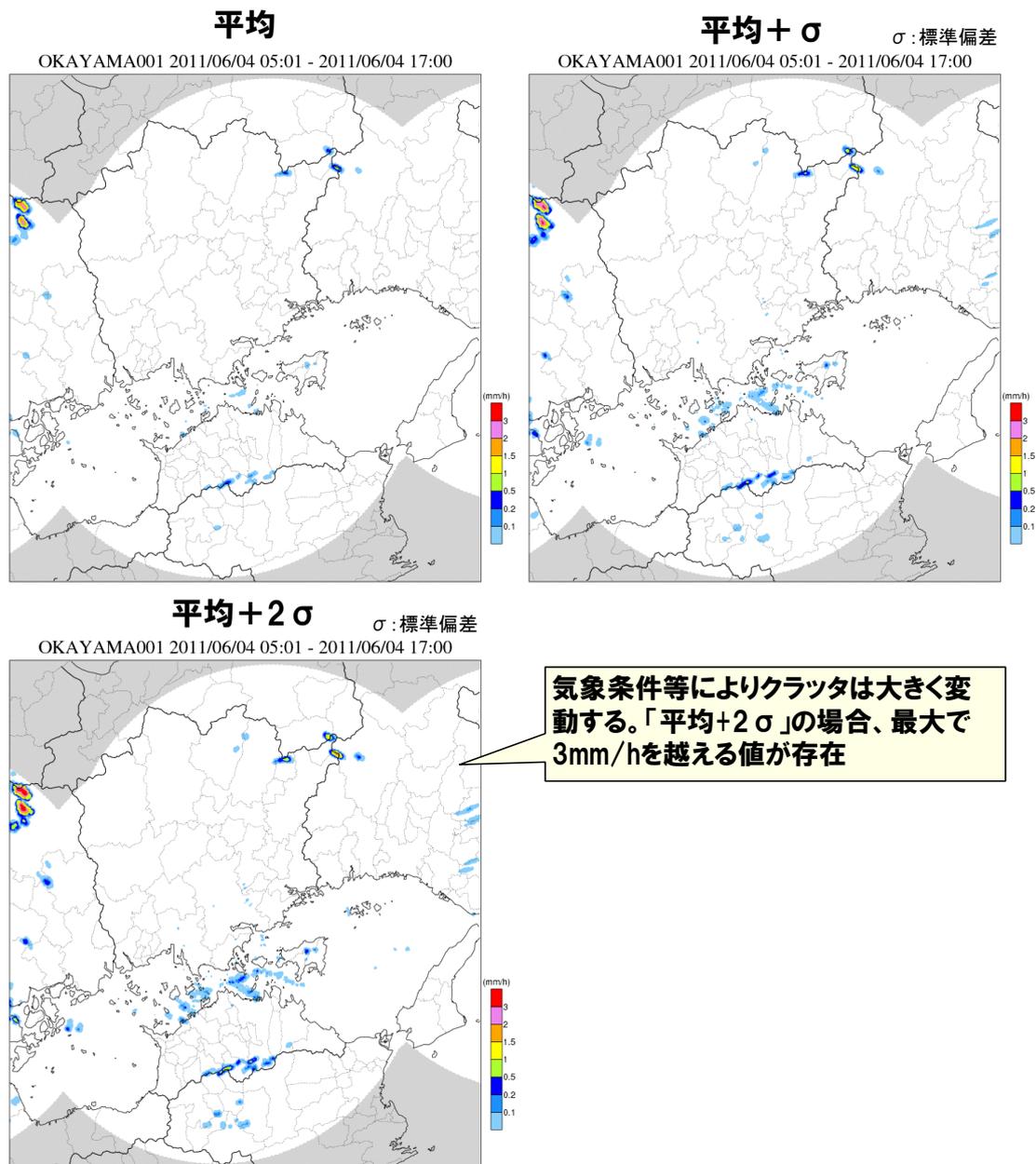
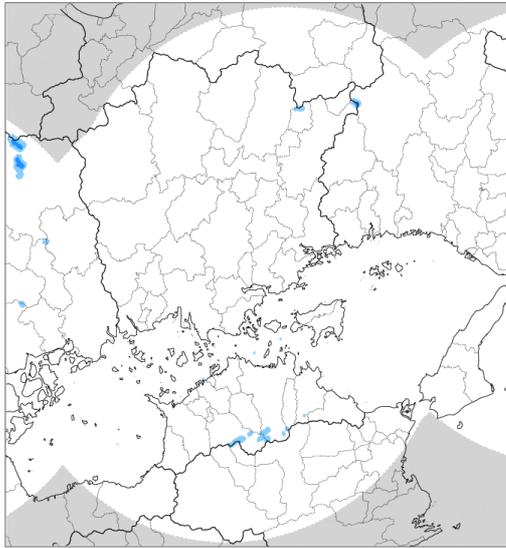


図 10.272 作成したクラッタマップ

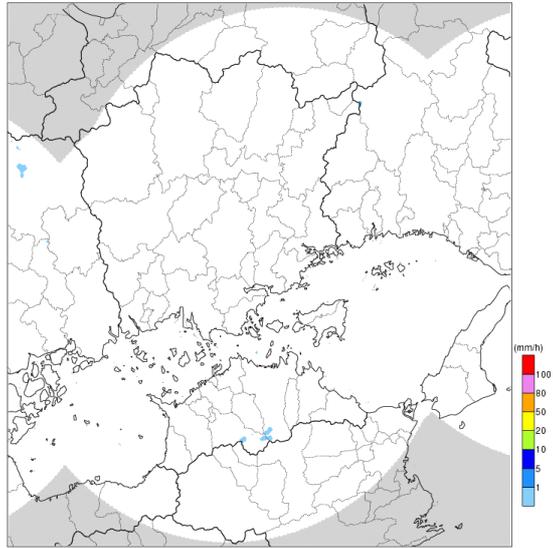
クラッタマップなし

OKAYAMA001 2011/06/04 13:00



平均 + σ のクラッタマップ適用

OKAYAMA001 2011/06/04 13:00



平均 + 2σ のクラッタマップ適用

OKAYAMA001 2011/06/04 13:00

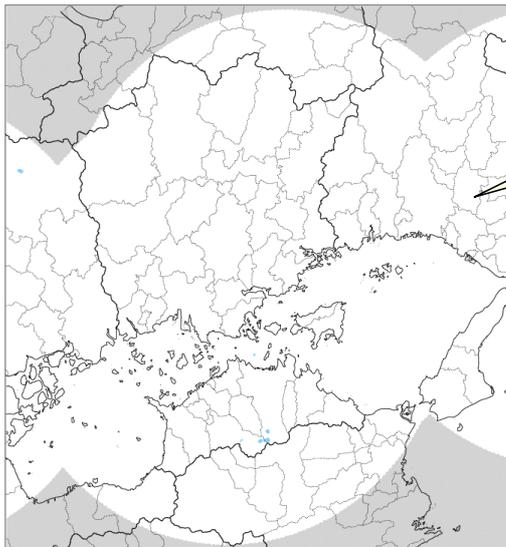


図 10.273 クラッタマップの適用結果

10章10節5項 広島地域へのクラッタマップの適用

図 10.274 は、2011 年 6 月 4 日 5 時～17 時の晴天時データを用いて作成した平均、平均 $+\sigma$ 、平均 $+2\sigma$ 、平均 $+3\sigma$ 、平均 $+5\sigma$ のクラッタマップである。平均 $+2\sigma$ で 3mm/h を超過する大きなクラッタが存在している。図 10.275 は作成したクラッタマップを適用した結果である。クラッタの変動が大きく、平均 $+2\sigma$ ではクラッタの消え残りが存在するが、平均 $+5\sigma$ では、多くの領域でクラッタマップの値が 3 mm/h を超過しており、雨域を消しすぎる懸念があるため、広島地域に適用するクラッタマップは平均 $+2\sigma$ とした。

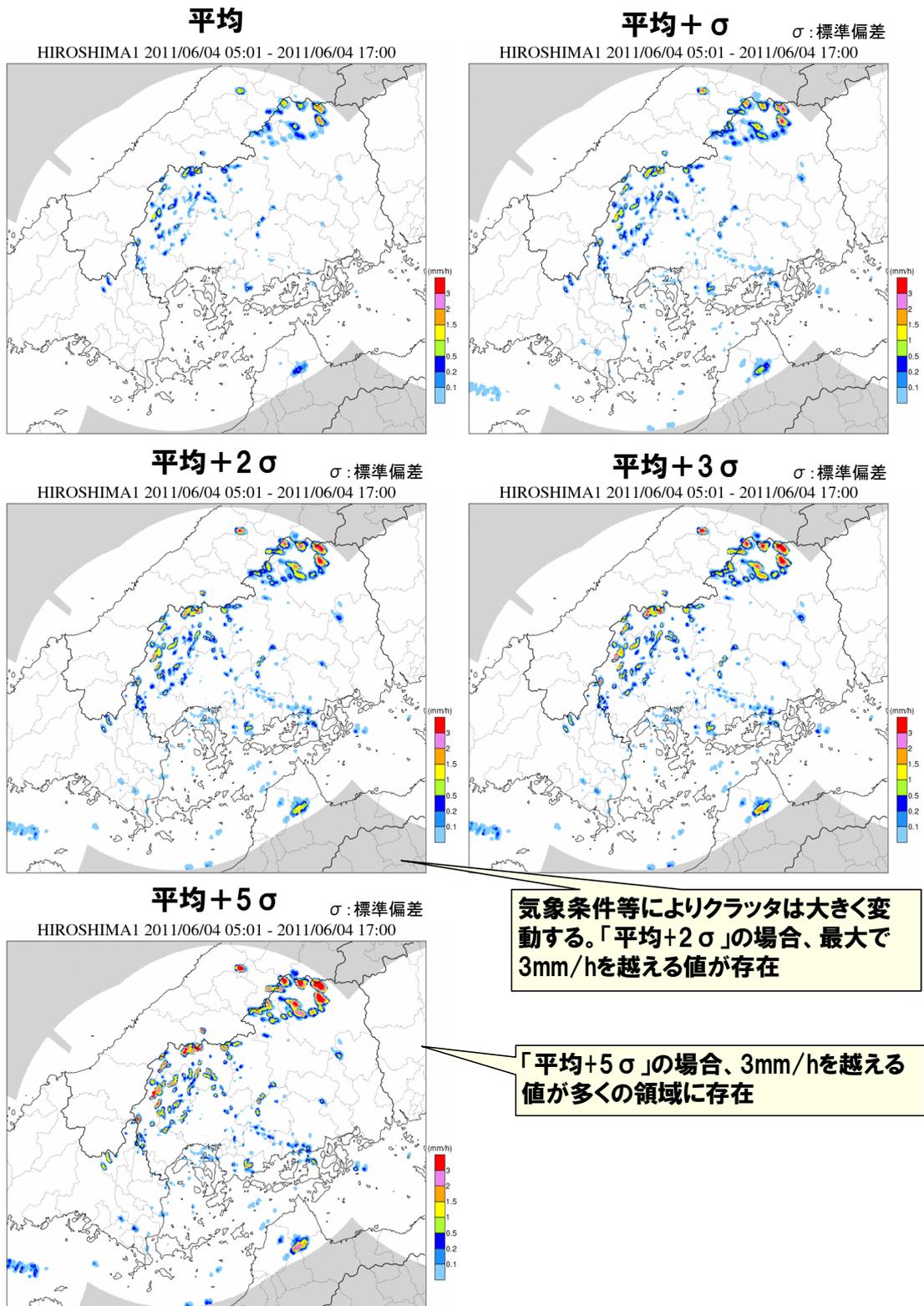
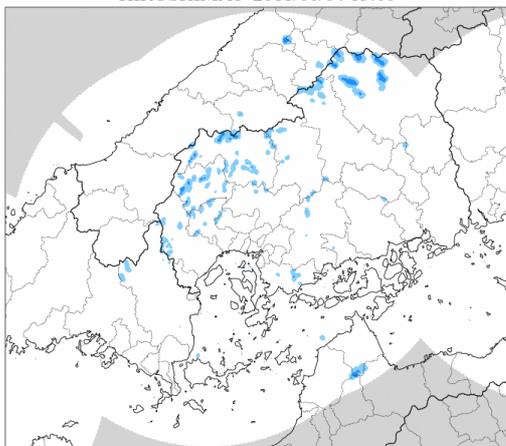


図 10.274 作成したクラッタマップ

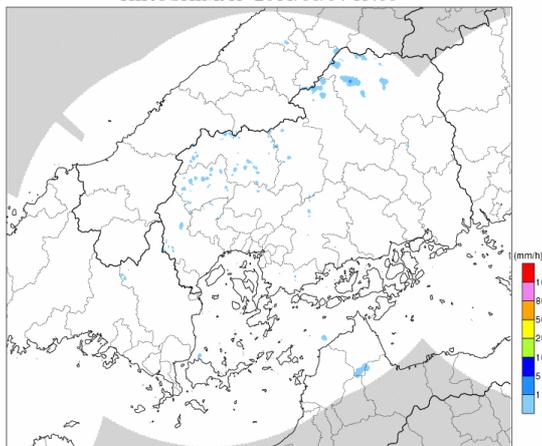
クラッタマップなし

HIROSHIMA1 2011/06/04 13:00



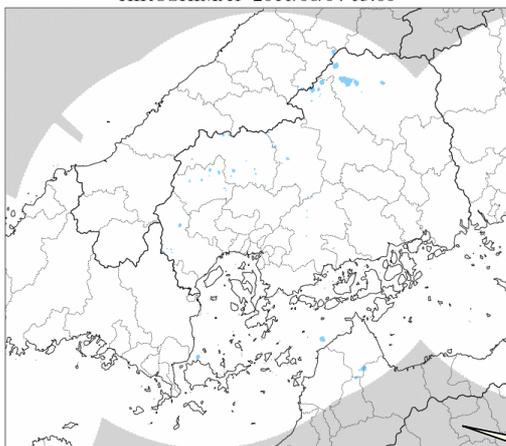
平均 + σ のクラッタマップ適用

HIROSHIMA1 2011/06/04 13:00



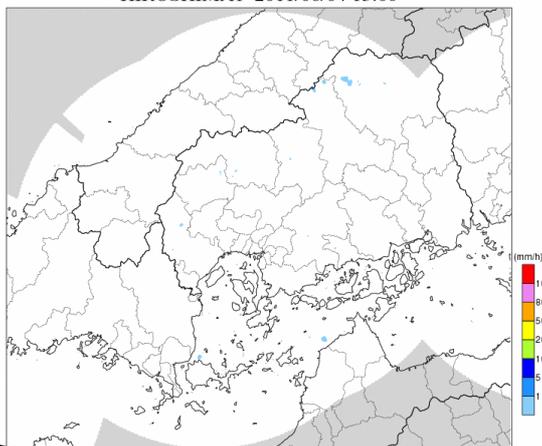
平均 + 2 σ のクラッタマップ適用

HIROSHIMA1 2011/06/04 13:00



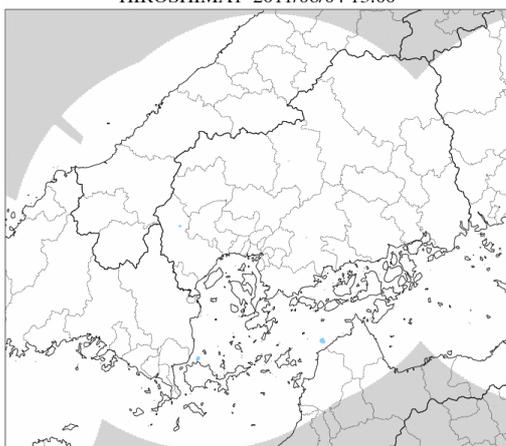
平均 + 3 σ のクラッタマップ適用

HIROSHIMA1 2011/06/04 13:00



平均 + 5 σ のクラッタマップ適用

HIROSHIMA1 2011/06/04 13:00



クラッタの値は変動が大きいので「平均 + 2 σ 」でも、完全には除去できていない。
⇒「平均 + 2 σ 」を採用するが、今後データを蓄積してクラッタマップの再作成が必要

「平均 + 5 σ 」を適用すると大部分のクラッタが除去されるが、降雨を除去しすぎる心配がある

図 10.275 クラッタマップの適用結果

10章10節6項 九州北部地域へのクラッタマップの適用

図 10.276 は、2011 年 6 月 4 日 5 時～17 時の晴天時データを用いて作成した平均、平均 $+\sigma$ 、平均 $+2\sigma$ 、平均 $+3\sigma$ 、平均 $+5\sigma$ のクラッタマップである。平均 $+2\sigma$ で 3mm/h を超過する大きなクラッタが存在している。また、周防灘などの海上にはシークラッタが存在している。図 10.277 は作成したクラッタマップを適用した結果である。平均 $+2\sigma$ でクラッタが概ね除去されていることが確認できることから、広島地域に適用するクラッタマップは平均 $+2\sigma$ とした。

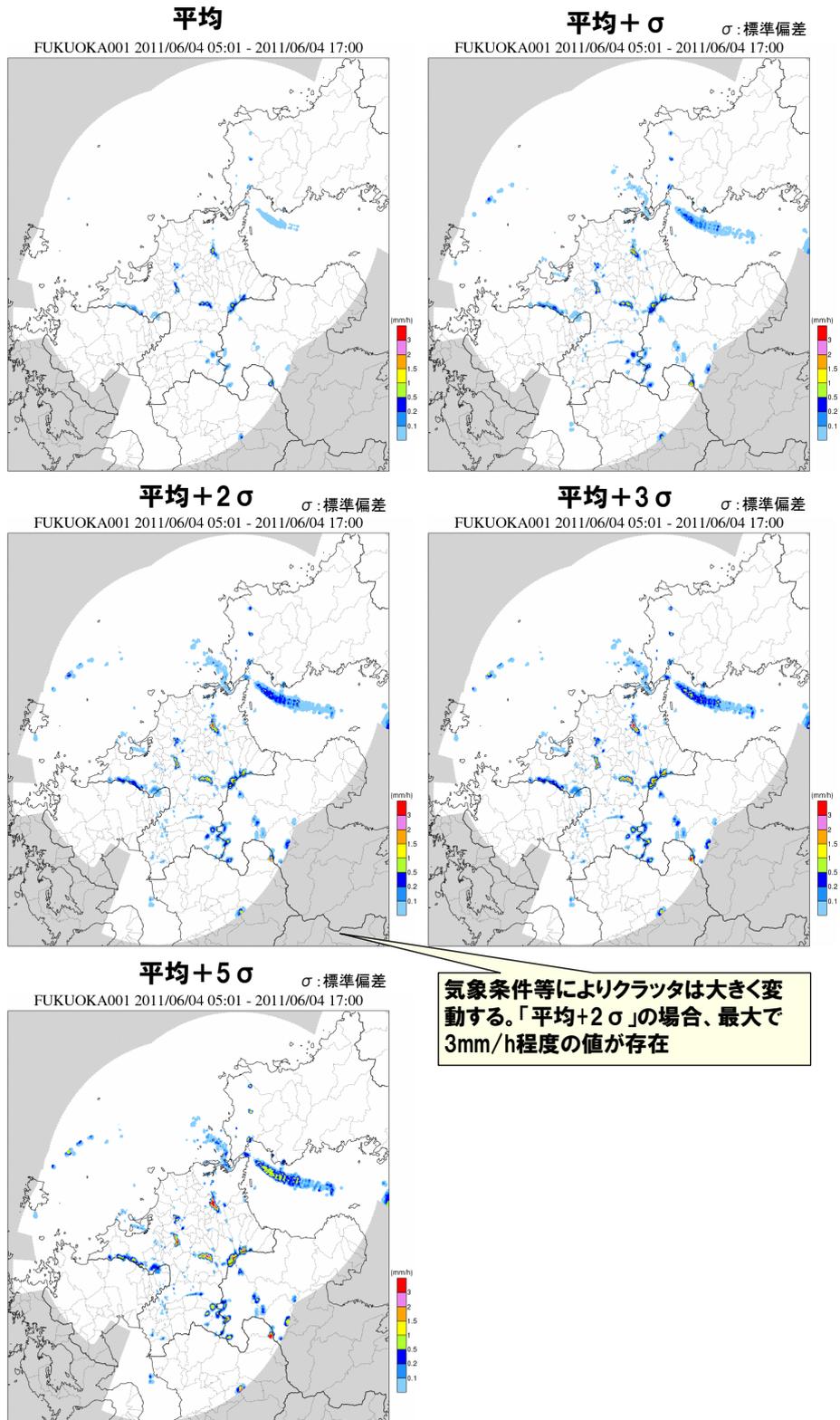


図 10.276 作成したクラッタマップ

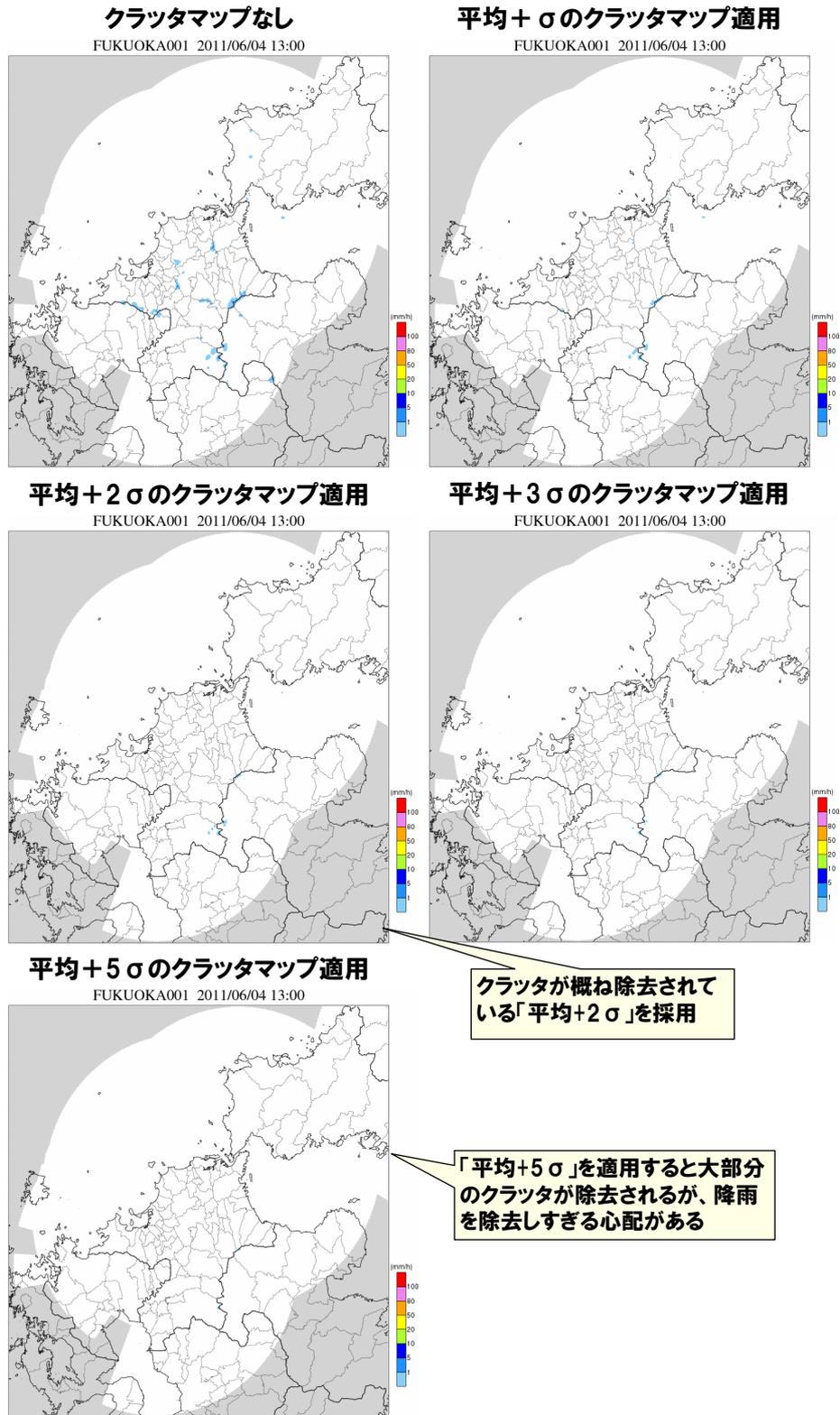


図 10.277 クラッタマップの適用結果

10章10節7項 桜島周辺地域へのクラッタマップの適用

図 10.278 は、2011 年 6 月 4 日 1 時～13 時の晴天時データを用いて作成した平均、平均 + σ 、平均 + 2 σ 、平均 + 3 σ 、平均 + 5 σ のクラッタマップである。平均 + 2 σ で 3mm/h を超過する大きなクラッタが存在している。図 10.279 は作成したクラッタマップを適用した結果である。平均 + 2 σ でクラッタが概ね除去されていることが確認できることから、桜島周辺地域に適用するクラッタマップは平均 + 2 σ とした。

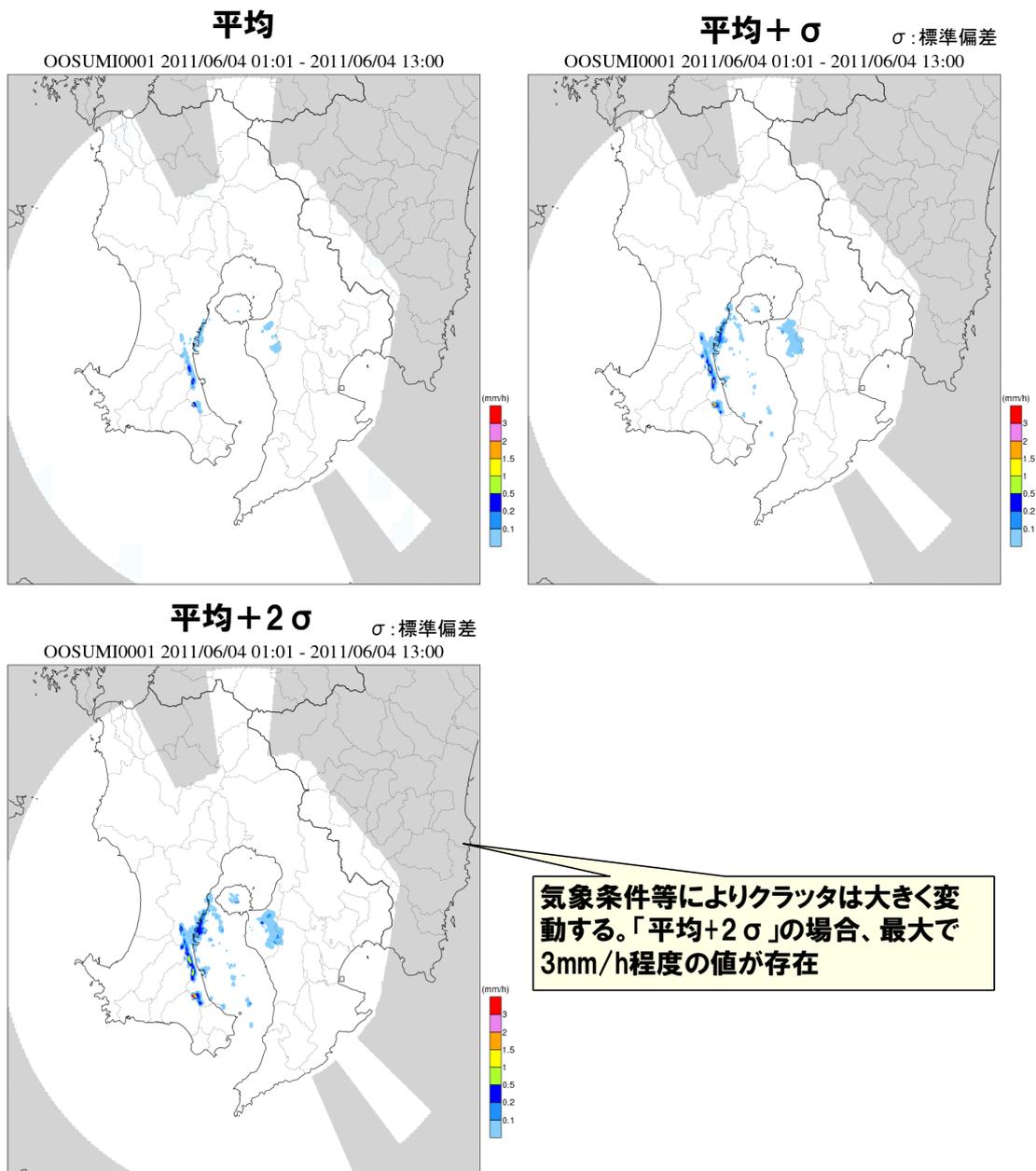
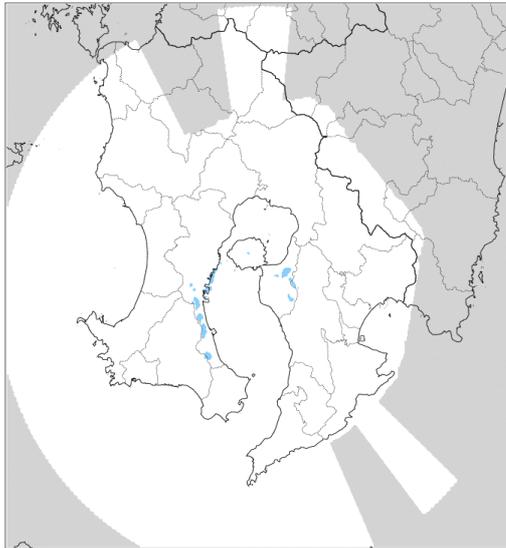


図 10.278 作成したクラッタマップ

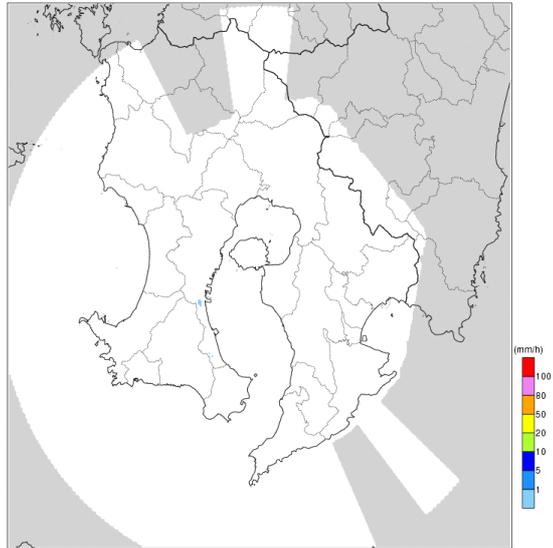
クラッタマップなし

OOSUMI0001 2011/06/04 10:50



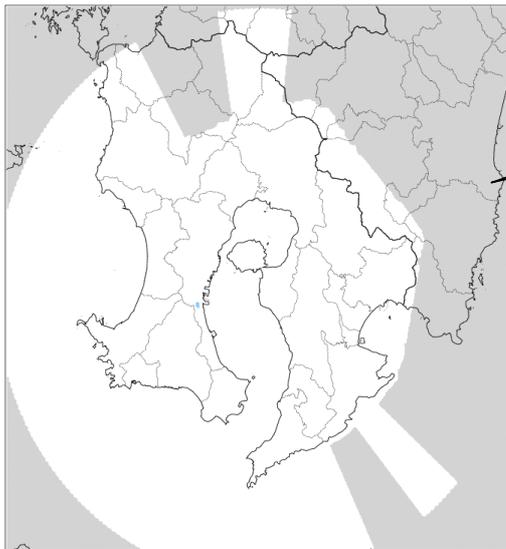
平均+ σ のクラッタマップ適用

OOSUMI0001 2011/06/04 10:50



平均+2 σ のクラッタマップ適用

OOSUMI0001 2011/06/04 10:50



クラッタが概ね除去されている「平均+2 σ 」を採用

図 10.279 クラッタマップの適用結果

10章11節 電波消散判定閾値の見直し

減衰量が基準値を超えた場合、電波消散が発生するものとしている。電波消散判定は、減衰量が 3mm/h 相当のレーダ反射強度を超えた場合、電波消散判定をしており、レーダ毎に設定されている B, β を基に $Z-R$ 関係式を介して判定閾値となる減衰量が算出される。図 10.281 は関東局における電波消散判定を説明したものである。レーダで受信可能な最低レベルの反射強度に、降雨減衰量を加えた際に、3mm/h 相当のレーダ反射強度 (25.06dBZ) を超えた場合に電波消散と判定される。レーダで受信可能な最低レベルの反射強度は、レーダ毎に固有の値であり、距離とともに、この値は大きくなる。この値が小さいレーダ程、感度の良いレーダとなる。また、3mm/h 相当のレーダ反射強度とレーダで受信可能な最低レベルの反射強度に差 (マージン) があるほど、電波消散は発生しにくいこととなる。

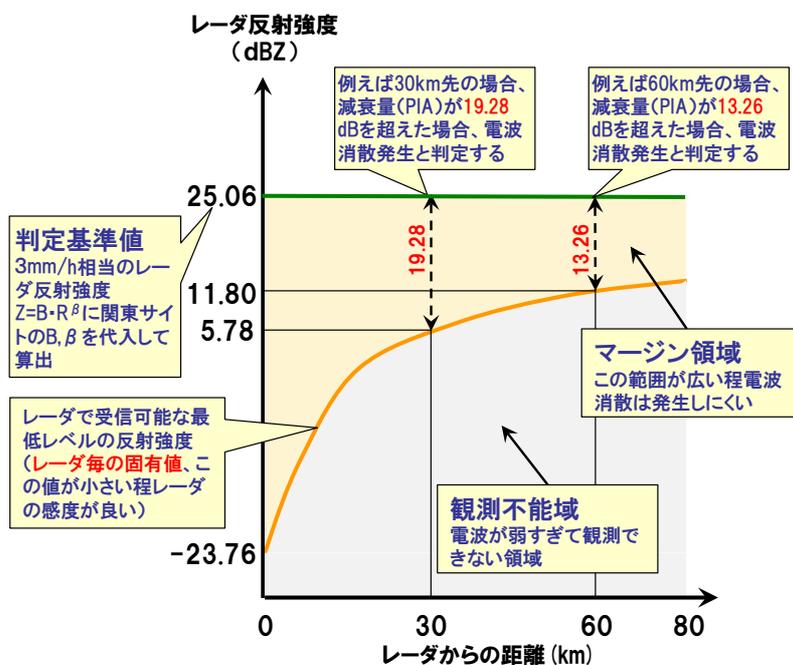


図 10.280 電波消散の判定方法 関東サイトの場合 (H23 設定値)

図 10.282 は、熊山局における電波消散判定を説明したものである。熊山局は受信可能な最低レベルが大きい。また、 B, β の変更で 3mm/h 相当のレーダ反射強度が小さくなり、マージン領域が狭くなったため電波消散が発生しやすくなっている。

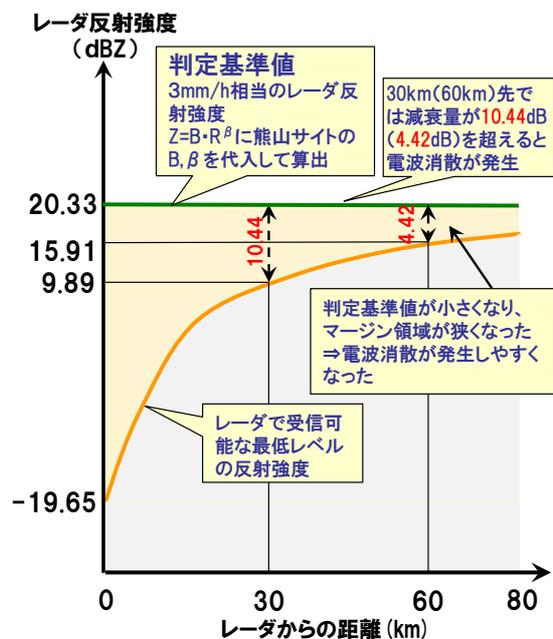


図 10.281 電波消散の判定方法 熊山サイトの場合 (H24 設定値)

表 10-50 は各レーダの 3mm/h 相当のレーダ反射強度、受信可能な最低レベル、60km 先におけるマージンの一覧である。3mm/h 相当のレーダ反射強度（現状の判定基準値）の全サイト平均値は 25.73dBZ、受信可能な最低レベルの全サイト平均値は-23.96dBZ、60km 先におけるマージンの全サイト平均値は 14.13dB となる。図 10.283 は全レーダ平均値による電波消散判定方法である。

表 10-50 3mm/h 相当のレーダ反射強度、受信可能な最低レベル、60km 先のマージン

サイト	ノイズレベル	レーダ定数	レーダで受信可能な最低レベルのZh	H23運用値			60km先のマージンが14.13dBとなるZh
				B	β	3mm/h相当のZh	
一関	-122.46	-99.62	-22.84	97.9	1.771	28.36	26.85
一迫	-122.62	-99.39	-23.23	40.5	2.169	26.42	26.46
関東	-107.00	-83.24	-23.76	50.5	1.682	25.06	25.93
新横浜	-107.00	-88.44	-18.56	54.0	1.681	25.34	31.13
京ヶ瀬	-121.85	-100.63	-21.22	155.0	1.518	29.15	28.47
能美	-109.67	-76.80	-32.87	141.1	1.448	28.40	16.82
水橋	-108.31	-77.47	-30.84	96.8	1.575	27.37	18.85
香貫山	-109.00	-80.11	-28.89	37.1	1.281	21.81	20.80
富士宮	-107.50	-80.71	-26.79	37.1	1.281	21.81	22.90
静岡北	-108.00	-83.42	-24.58	37.1	1.281	21.81	25.11
尾西	-109.35	-83.51	-25.84	146.1	1.598	29.27	23.85
安城	-109.76	-77.98	-31.78	121.0	1.592	28.42	17.91
鈴鹿	-109.42	-83.49	-25.93	247.8	1.451	30.86	23.76
六甲	-109.25	-82.53	-26.72	78.3	1.725	27.17	22.97
葛城	-110.27	-82.50	-27.77	67.0	1.743	26.58	21.92
田口	-108.56	-83.57	-24.99	100.5	1.543	27.38	24.70
鷲峰山	-105.50	-82.37	-23.13	30.4	1.716	23.02	26.56
常山	-108.00	-87.45	-20.55	82.7	1.510	26.38	29.14
熊山	-108.00	-88.35	-19.65	43.1	1.647	24.20	30.04
野貝原	-108.00	-87.69	-20.31	46.9	1.768	25.15	29.38
牛尾山	-108.00	-88.54	-19.46	54.7	1.828	26.10	30.23
九千部	-108.50	-89.40	-19.10	35.3	1.807	24.10	30.59
菅岳	-110.00	-87.84	-22.16	29.8	1.550	22.14	27.53
古月山	-107.50	-88.95	-18.55	59.0	1.739	26.01	31.14
風師山	-108.50	-86.34	-22.16	20.8	1.679	21.19	27.53
桜島	-108.50	-87.34	-21.16	54.5	1.679	25.37	28.53
平均			-23.96			25.73	

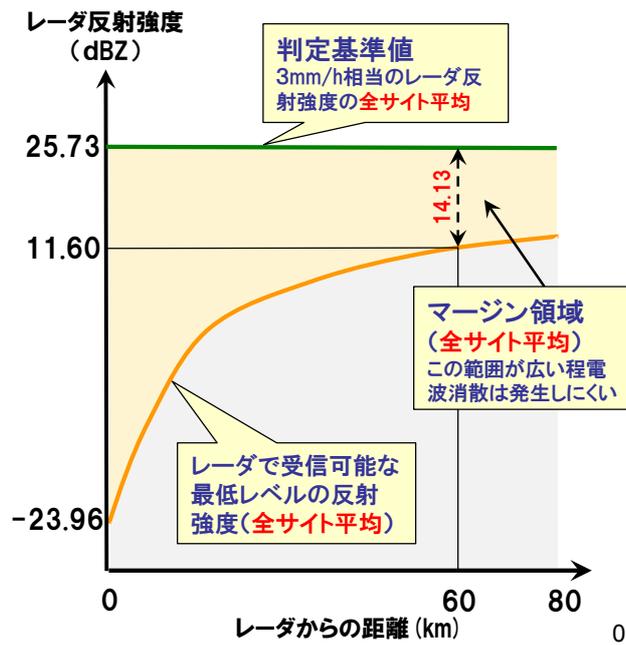


図 10.282 電波消散の判定方法 全サイト平均

現状は、全サイト同一の雨量強度値 3mm/h を設定し、レーダ反射強度に変換し、電波消散判定をしているが、 $B \cdot \beta$ の変更の影響を受ける。そこで、全サイト同一のレーダ反射強度値を設定し、3mm/h 相当のレーダ反射強度の全サイト平均値 26dBZ を全サイト共通に設定する案、マージンを全サイト一定で設定し、60km 先のマージンが 14.13dB で一定となるレーダ反射強度値をサイト別に設定する案を検討した（図 10.284）。

前者は、 $B \cdot \beta$ 変更の影響を受けない、設定する基準値が全サイトで同一、レーダの性能差（受信可能な最低レベルの差）を考慮すること可能、同じ条件の降雨を観測した場合、レーダ毎に電波消散の判定結果が異なることとなる。

後者は、 $B \cdot \beta$ 変更の影響を受けない、レーダ毎に個別に基準値を設定する必要がある、レーダの性能差を考慮できない、同じ条件の降雨を観測した場合、どのレーダでも同じ電波消散の判定結果が得られることとなる。

検討の結果「全サイト同一のレーダ反射強度値を設定」を採用することとし、2013 年度運用に反映されている。

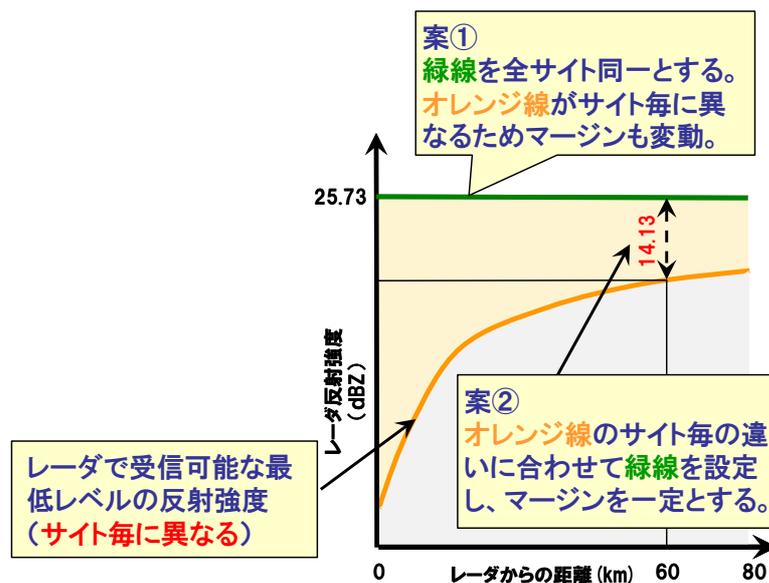


図 10.283 電波消散判定閾値の変更案

10章12節 レーダネットワーク観測の検証

XバンドMPレーダは、降雨による電波の減衰（降雨減衰）が大きく、レーダサイトから見て強雨域の後方で電波が完全に消散し、観測不能領域となる場合がある。そのため、XRAINを構成するレーダは、強雨時においても観測不能領域とならず、安定的な観測が必要とされる重点観測地域を、複数サイトのレーダでそれぞれ異なる方向から観測することで電波消散した領域を相互に補間可能なネットワークとなっている。XRAINのXバンドMPレーダについて、ネットワークにより電波消散した領域を相互補間することで観測不能領域の発生を回避する効果を分析した。

■ 電波消散判定

降雨減衰により電波が完全に消散した場合は、降雨域にもかかわらずNo echoとなり晴天域と見なされる。そのため、完全に電波消散する前に電波が消散したと見なして、電波消散と判定し欠測とする必要がある。XRAINでは、電波消散の判定は岩波(2007)¹¹の方法を用いており、「Z-R関係式で換算して降雨強度3mm/h以下の降雨を降雨減衰により検知できない領域」を電波消散領域と判定し欠測（観測不能）領域となる。なお、電波消散領域を他のレーダで補間することが可能である場合は、他のレーダにより観測された降雨強度が補間される。

■ 単サイト観測における観測不能領域の発生状況

関東地域に整備されている関東、新横浜レーダを対象に単サイト観測における観測不能領域の発生状況を整理した。対象とした事例は、表10-51に示す5事例である。観測不能領域の発生率をメッシュ毎に整理した平面分布を図10.285に示す。対象とした降雨事例、関東地域の降雨特性に関係しているものと考えられるが、関東の西の地域で観測不能領域の発生率が高くなっている。なお、観測不能領域の発生率とは、対象とする事例の期間の合計時間に対して、電波消散と判定された合計時間の割合を示している。レーダからの距離別に観測不能領域の発生率を整理した結果を図10.286に示す。レーダから離れるのに従い観測不能領域の発生率は増加するが、10km以内の発生率は0%、40km以内では1%程度以下となっている。

¹¹岩波越(2007)：Xバンド偏波レーダーによる降雨観測における簡易減衰補正，日本気象学会2007年度春季大会講演予稿集，p.128.

表 10-51 対象事例

No	期間	降雨原因
1	2011/06/21 12:00～2011/06/22 01:00	梅雨前線
2	2011/06/30 09:00～2011/06/30 22:00	不安定性降雨
3	2011/07/19 06:00～2011/07/20 07:00	台風 6 号
4	2011/07/29 13:00～2011/07/30 02:00	前線(新潟・福島豪雨)
5	2011/08/07 11:00～2011/08/08 00:00	不安定性降雨

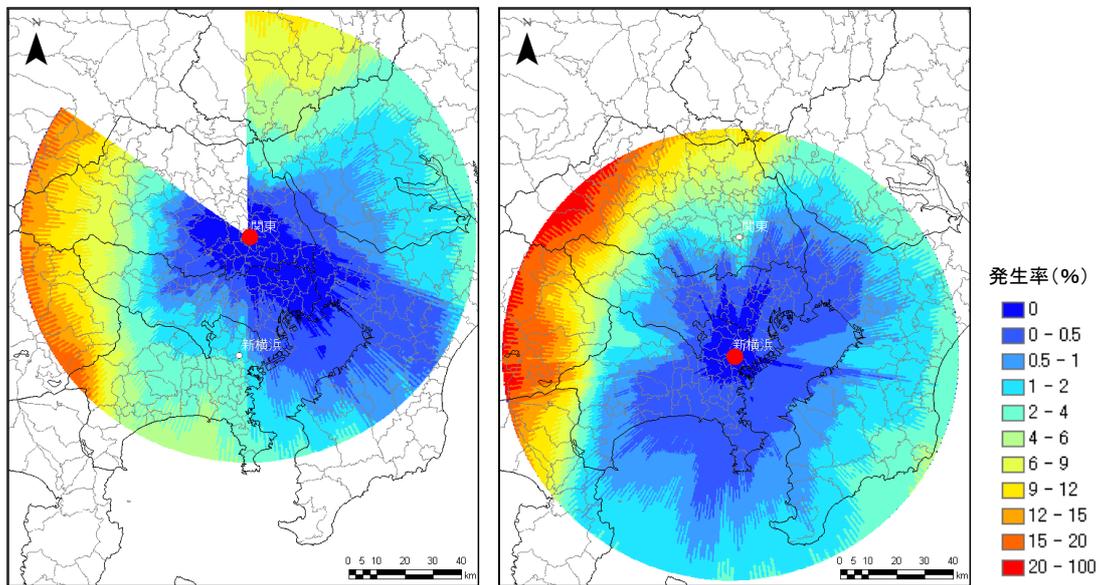


図 10.284 観測不能領域の発生率の平面分布
左：関東レーダ、右：新横浜レーダ

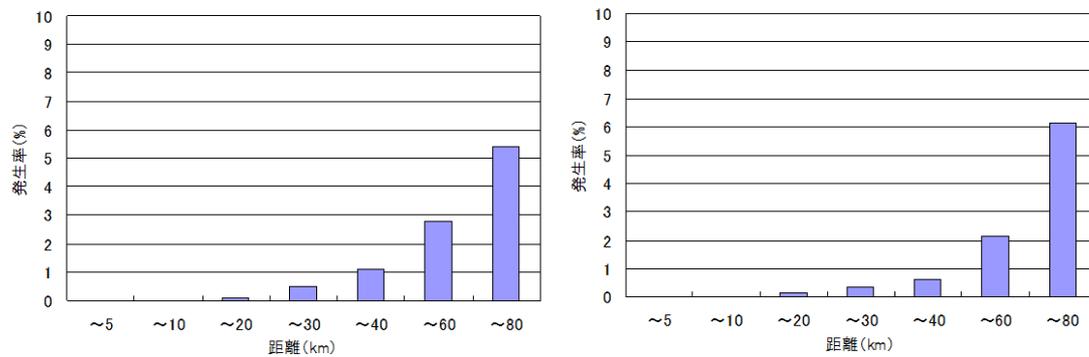


図 10.285 距離別の観測不能領域の発生率
(左：関東レーダ、右：新横浜レーダ)

■ ネットワーク観測における観測不能領域の発生、回避状況

関東地域を対象にネットワーク観測における観測不能領域の発生状況及び回避状況を整理した。対象レーダ及び事例は前記と同様である。ネットワーク観測における観測不能領域の発生率の平面分布を図 10.287 に示す。2 台のレーダにより観測されているメッシュでは、観測不能領域の発生率が低減していることが確認できる。対象メッシュと各レーダの距離の合計距離毎、対象メッシュと 2 台のレーダでなされる角度毎に観測不能領域の発生率を整理した結果を図 10.288 に示す。なお、図 10.289 は対象メッシュと各レーダ間の距離の合計距離の定義、対象メッシュと 2 台のレーダでなされる角度の定義を示しており、図 10.290 は合計距離、角度の平面分布を示している。合計距離が 60km 以下の領域、角度が 60 度以上の領域では観測不能領域の発生率は 0.1%以下となっている。観測不能領域の回避率の平面分布を図 10.291 に示す。観測不能領域の回避率とは、どちらかのレーダで観測不能領域であっても、他方のレーダにより観測された降雨強度を補間することで観測不能領域を回避することができた割合を示している。2 台のレーダに対して異なる方向から観測されているメッシュは回避率が高いことが確認できる。合計距離毎、角度毎に観測不能領域の回避率を整理した結果を図 10.292 に示す。合計距離が 80km 以下の領域、角度が 60 度以上の領域では観測不能領域の回避率が 99%以上となっている。

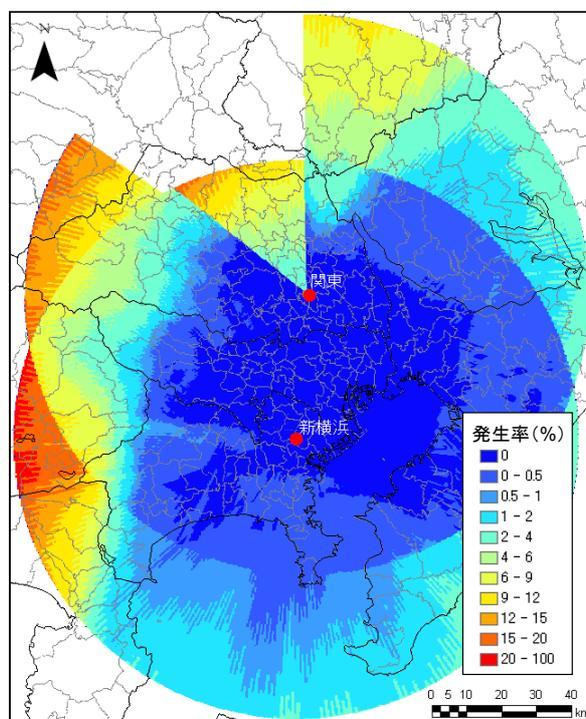


図 10.286 ネットワーク観測における観測不能領域の発生率の平面分布

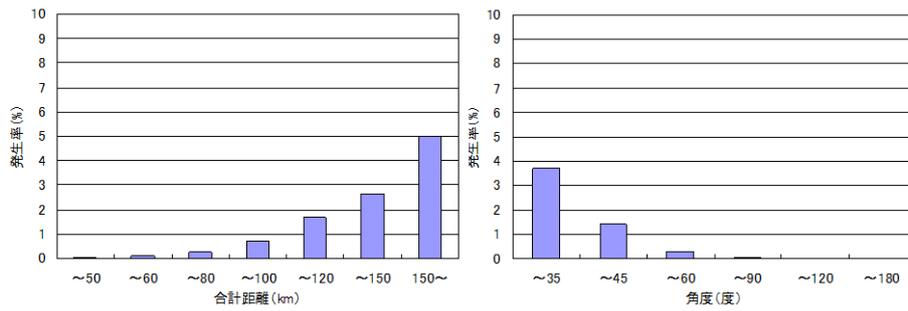


図 10.287 合計距離別、角度別の観測不能領域の発生率
(左：合計距離、右：角度)

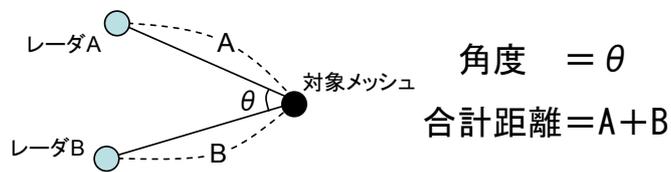


図 10.288 合計距離、角度の定義

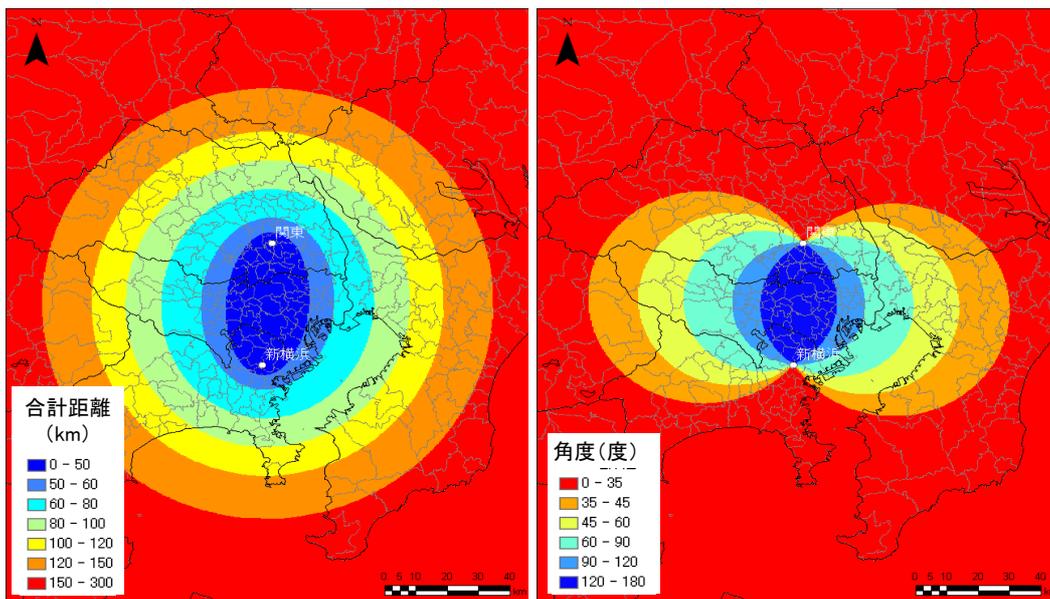


図 10.289 合計距離、角度の平面分布 (左：合計距離、右：角度)

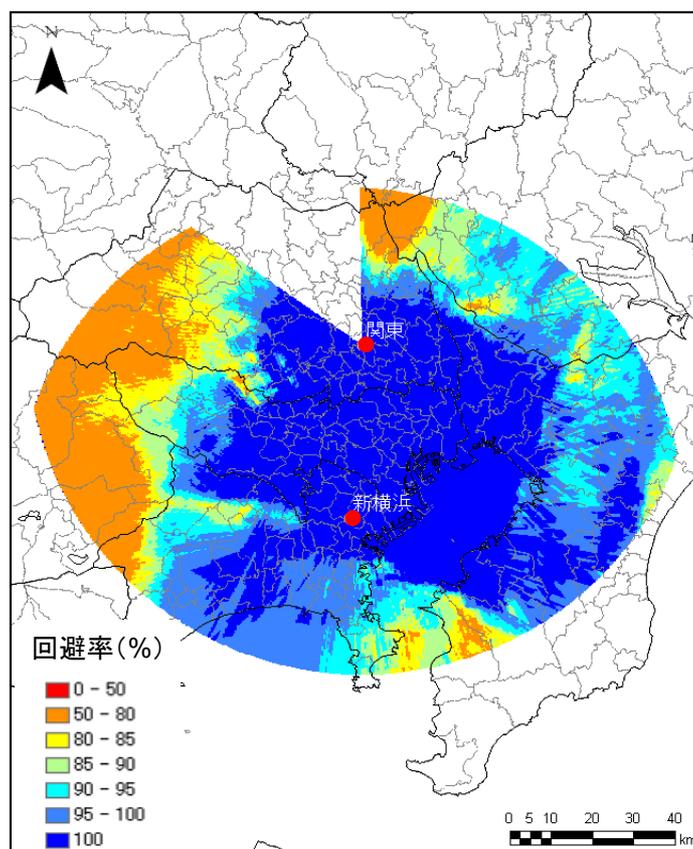


図 10.290 観測不能領域の回避率の平面分布

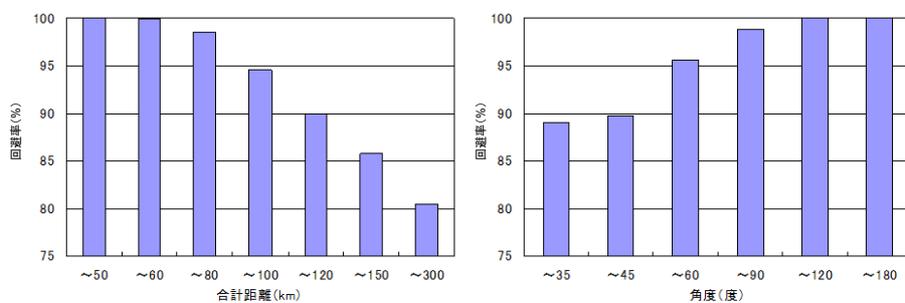


図 10.291 合計距離別、角度別の観測不能領域の回避率
(左：合計距離、右：角度)

地域の降雨特性、対象とする降雨事例、レーダの配置状況により異なることが考えられるが、ネットワーク観測による観測不能領域の発生回避について一定の効果が確認され、XバンドMPレーダネットワークによる降雨観測の有効性が示されている。