

2章 アンテナ運用の設定

所期の目標である「精度の高いレーダ雨量情報を1分間隔配信、1分遅れ配信で提供」することを実現するために、XバンドMPレーダの導入計画策定時（2008～2009年）は、1仰角合成（1分毎に1仰角の観測を行い、複数レーダの1仰角データから合成雨量を作成）を想定していた。しかし、「観測仰角に関する検討（3章に詳述）を踏まえ、複数仰角（2仰角）により観測されたデータを用いて複数レーダの合成雨量を作成」することが適切であることや、所期の目的に加え「豪雨の早期探知技術の開発や降雨予測の精度向上を目的としたボリュームスキャンを実施」する必要が生じた。本章では、上記の要件を満たすXバンドMPレーダのアンテナ運用を設定するために、2010年の初期調整時（試験運用開始前）に行われた、アンテナ回転速度、仰角変更パターンの検討について述べる。

2章1節 仰角変更パターンの検討

XバンドMPレーダ観測に求められる下記の3要件を満たす仰角変更パターンの検討を行った。

- 1) 精度の高いレーダ雨量情報を1分間隔配信、1分遅れ配信で提供
- 2) 複数仰角（2仰角）により観測されたデータを用いて複数レーダの合成雨量を作成
- 3) ボリュームスキャンの実施。

仰角変更パターンは、複数仰角（2仰角）による合成を前提として、「1分間隔2仰角合成」、「連続2仰角合成」、参考として「1仰角合成」の計3パターンを検討した。

■ 1分間隔2仰角合成

θ_0 及び θ_1 による観測¹を1分毎に交互に行い、現時点の観測データと1分前の観測データを用いて合成雨量を作成。（図 2.1）

■ 連続2仰角合成

1分間に θ_0 及び θ_1 の2仰角の観測を連続して行い、この2仰角の観測データを用いて合成雨量を作成。（図 2.2）

■ 1仰角合成

θ_0 の観測を1分毎に行い、 θ_0 のみで合成雨量を作成する。（図 2.3）

¹ ここでの θ_0 及び θ_1 は複数仰角（2仰角）観測の低仰角 θ_0 、高仰角 θ_1 を示す。

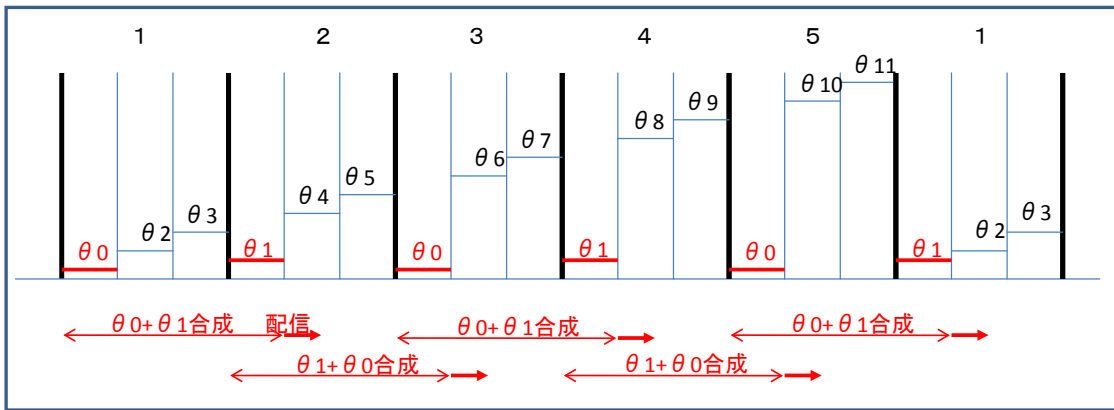


図 2.1 1分間隔2仰角合成のイメージ（上段の数字は1分目、2分目、、、を示す）

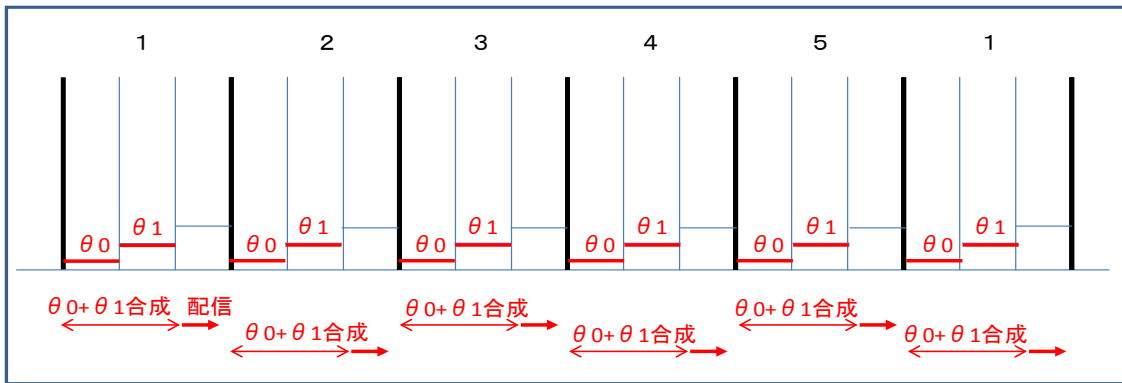


図 2.2 連続2仰角合成のイメージ（上段の数字は1分目、2分目、、、を示す）

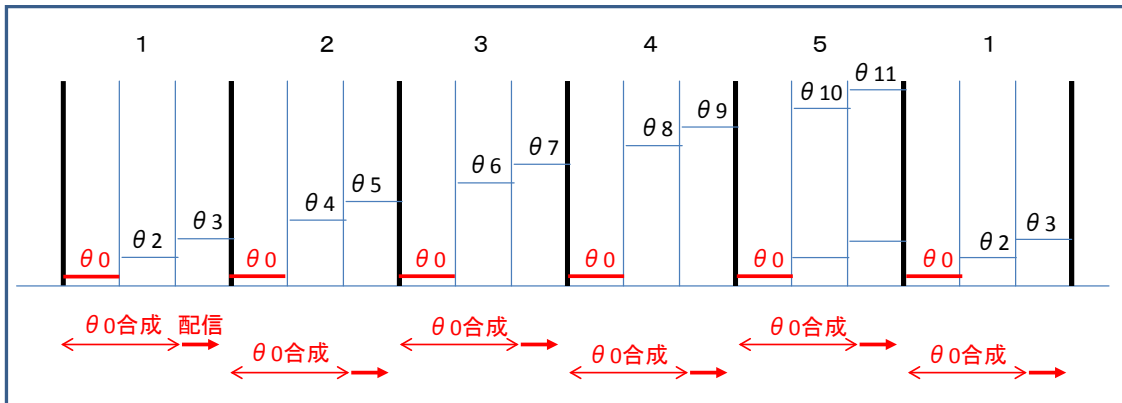


図 2.3 1仰角合成のイメージ（上段の数字は1分目、2分目、、、を示す）

図 2.4～図 2.9 は、各仰角変更パターンにより作成した合成雨量画像である。各パターンで雨域形状に違いは見られないが、1 仰角合成では、雨域が抜けていることや、地形遮蔽による遮蔽領域によって観測領域が狭くなっていることが確認できる。

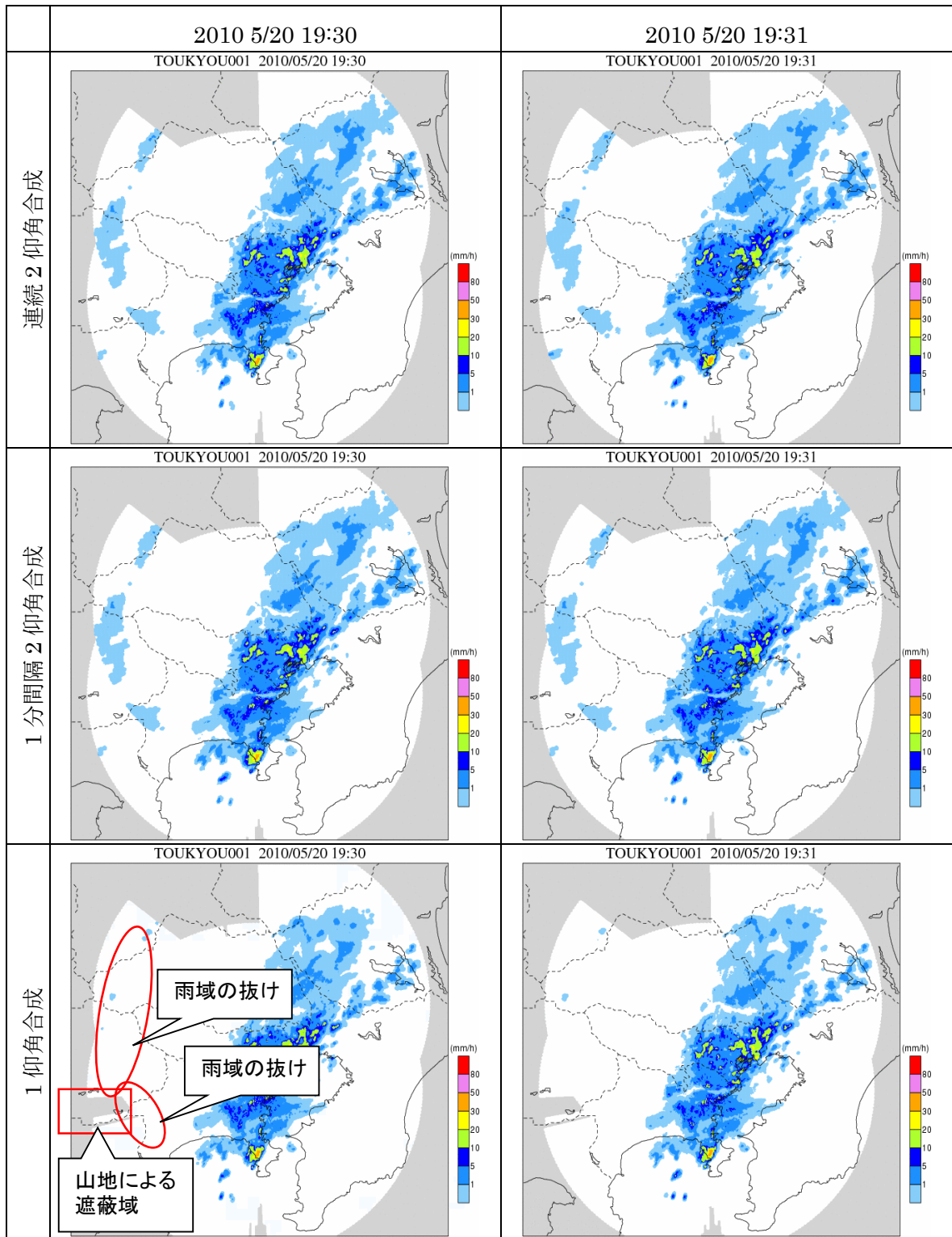


図 2.4 仰角変更パターン別の合成雨量画像 (関東地域)

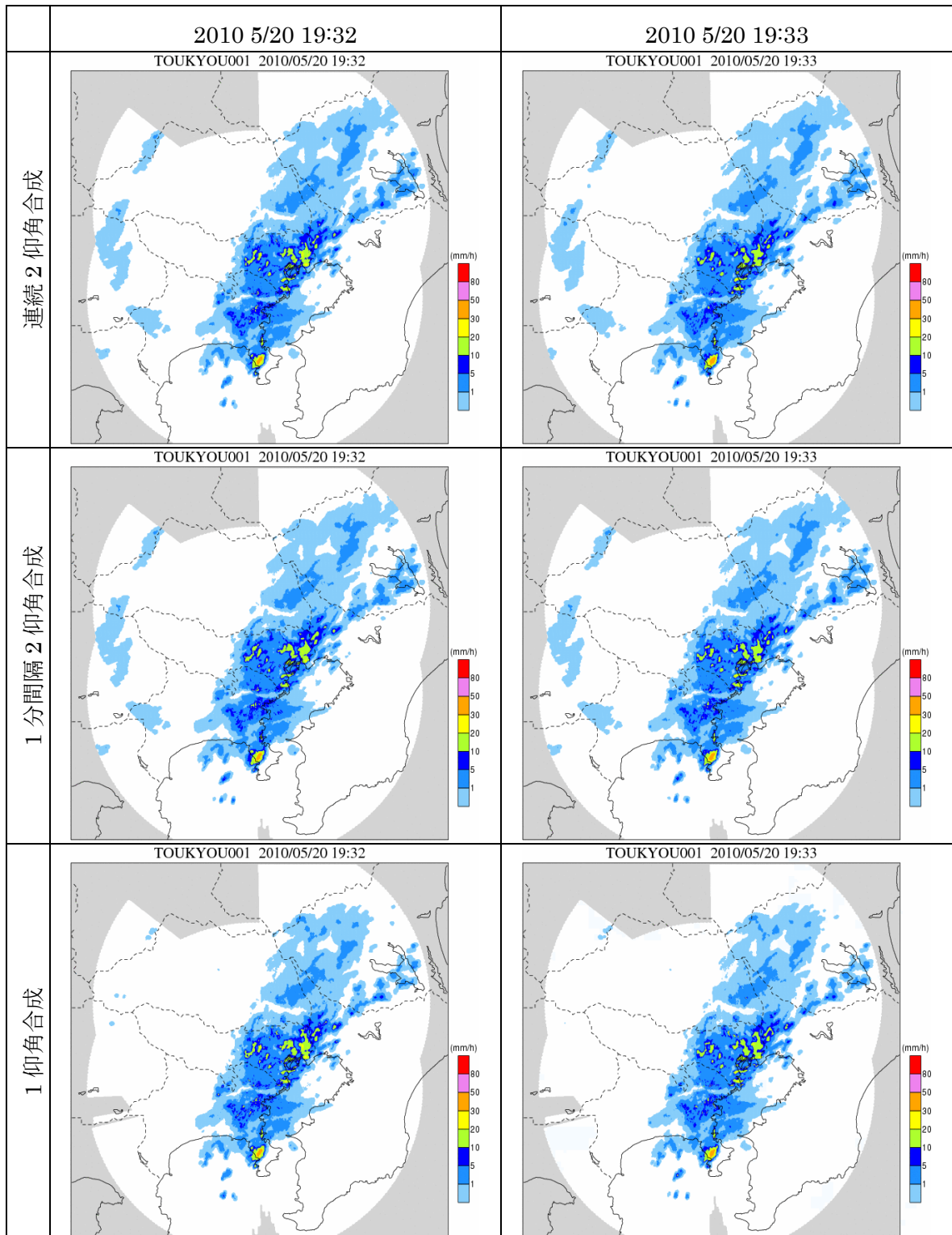


図 2.5 仰角変更パターン別の合成雨量画像 (関東地域)

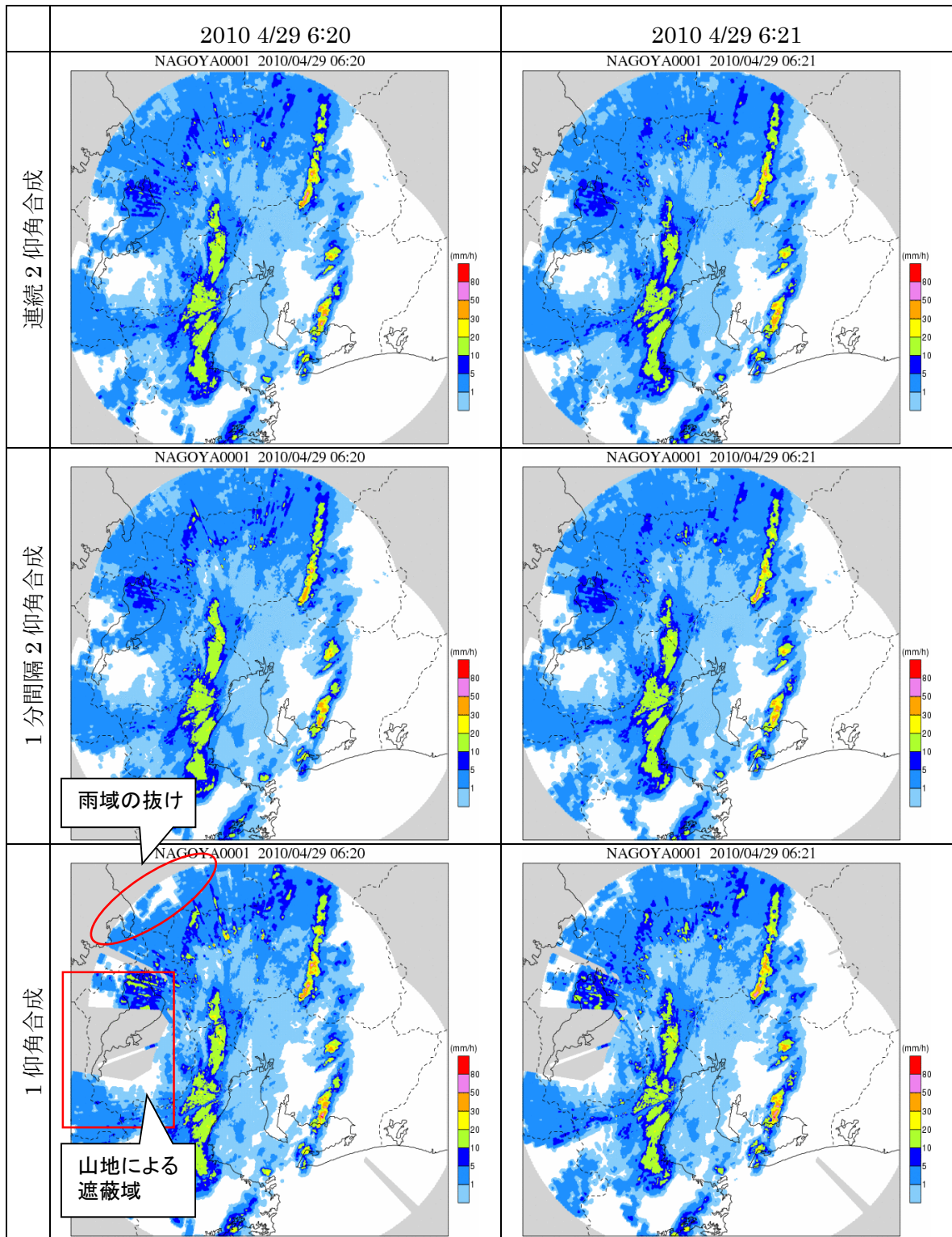


図 2.6 仰角変更パターン別の合成雨量画像 (中部地域)

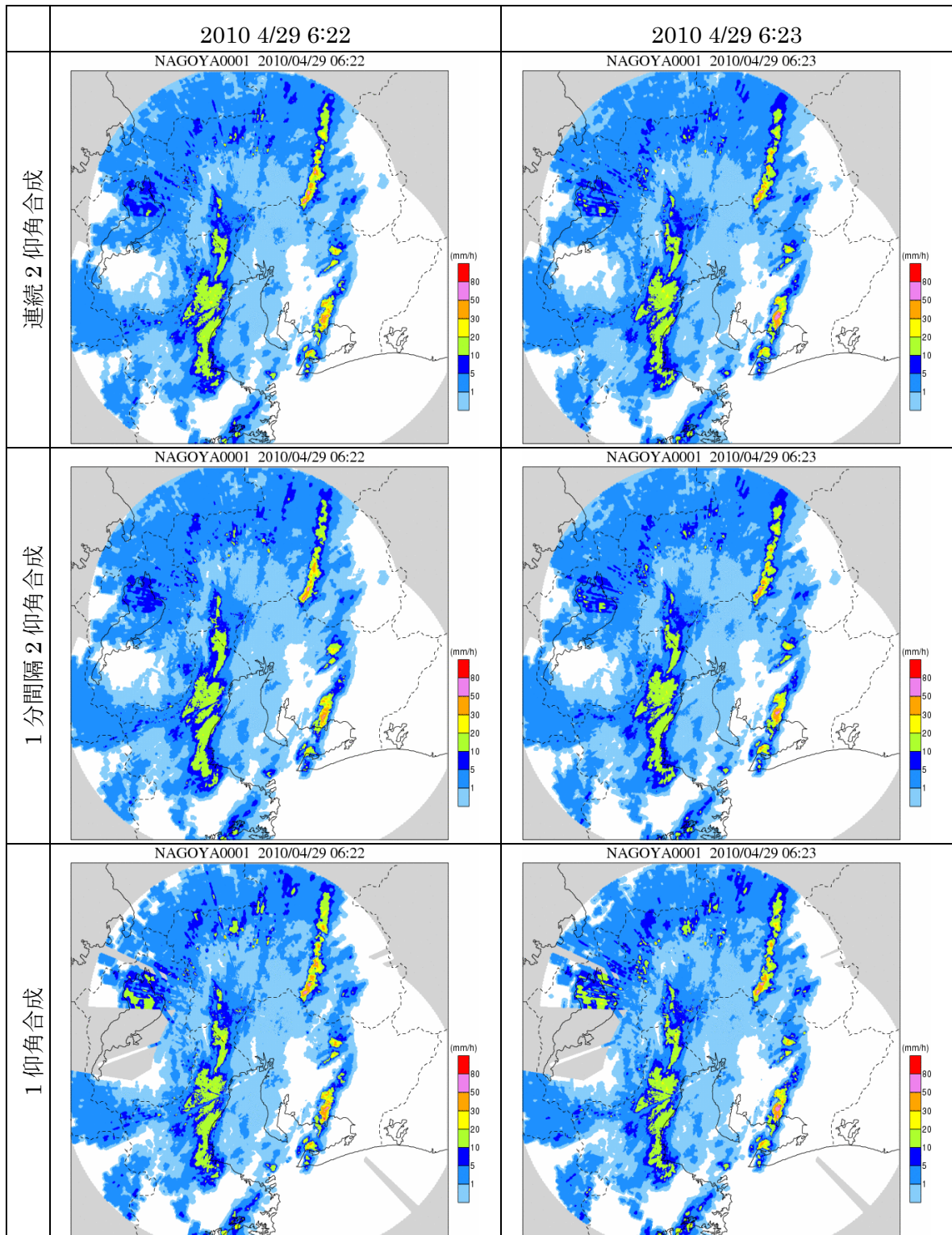


図 2.7 仰角変更パターン別の合成雨量画像 (中部地域)

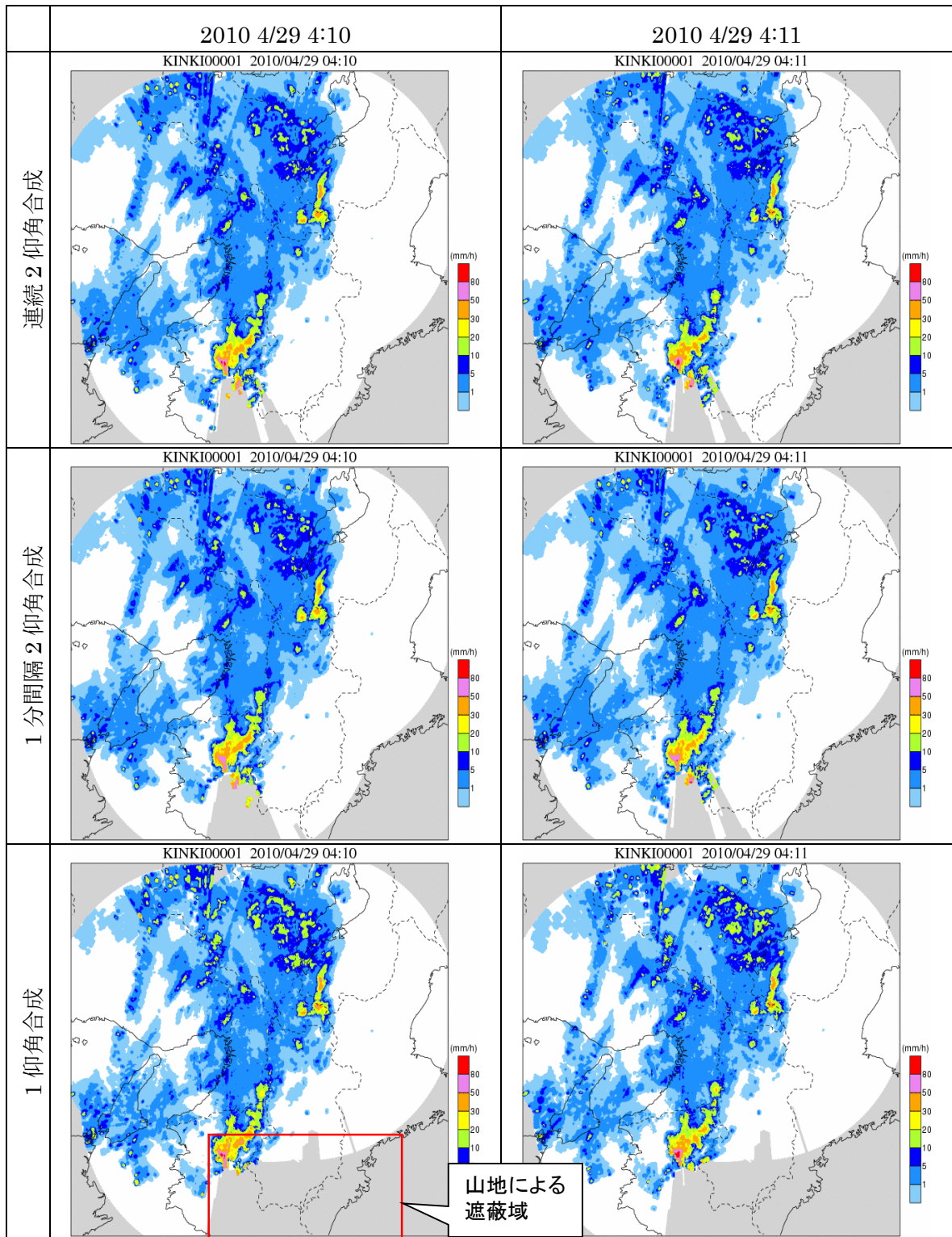


図 2.8 仰角変更パターン別の合成雨量画像 (近畿地域)

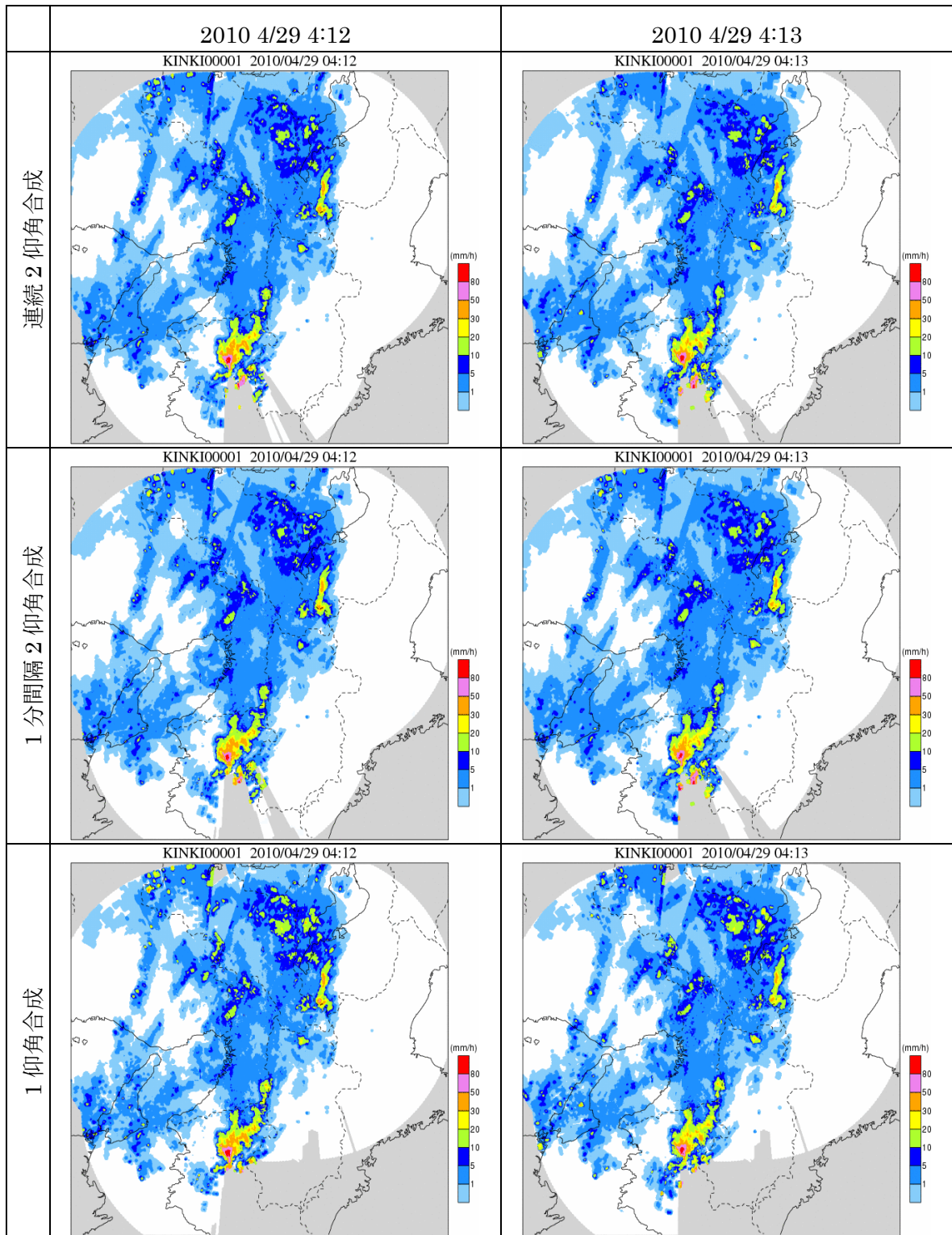


図 2.9 仰角変更パターン別の合成雨量画像 (近畿地域)

図 2.10 は「1 分間隔 2 仰角合成」と「連続 2 仰角合成」の合成雨量（1 分雨量）の比較、図 2.11 は「1 仰角合成」と「連続 2 仰角合成」の合成雨量（1 分雨量）の比較である。連続 2 仰角合成が最も精度が高いと考えられるが、いずれの仰角変更パターンでも雨量は良く対応し、その差は小さい。

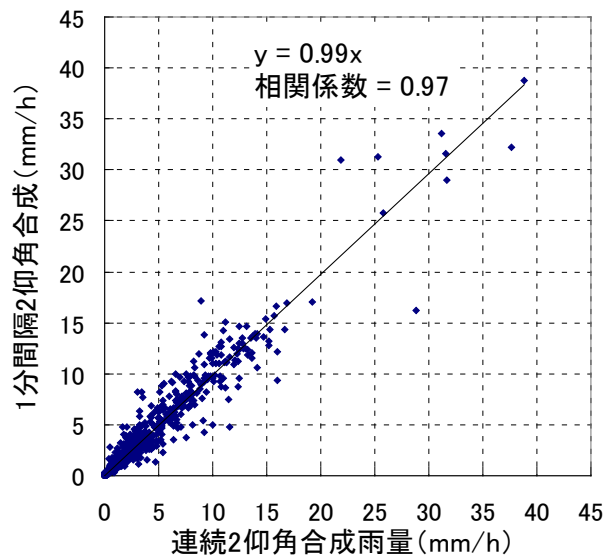


図 2.10 「1 分間隔 2 仰角合成雨量」と「連続 2 仰角合成雨量」の比較
(近畿地域：2010 年 5 月 23 日～24 日)

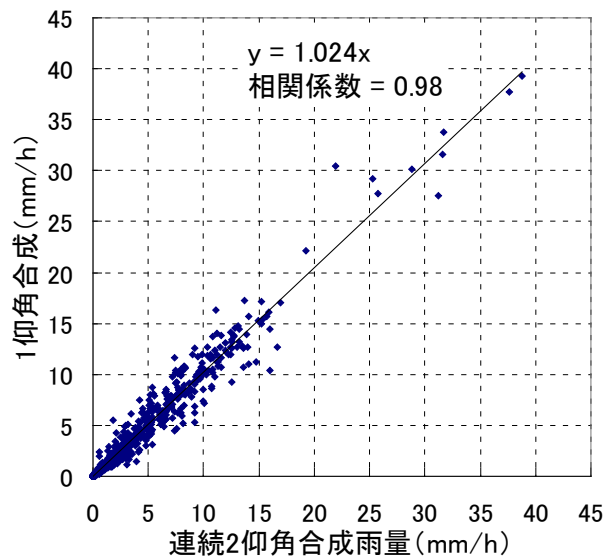


図 2.11 「1 仰角合成雨量」と「連続 2 仰角合成雨量」の比較
(近畿地域：2010 年 5 月 23 日～24 日)

図 2.12 は各仰角変更パターンにより作成される合成雨量（1 分値）の時系列である。3 パターンともに雨量時系列は良く一致しているが、連続 2 仰角合成に対して、1 分間隔 2 仰角合成は、ピークが平滑化されていることが確認できる。1 分間隔 2 仰角合成は、現時刻と 1 分前の雨量の平均であることが原因であると考えられる。

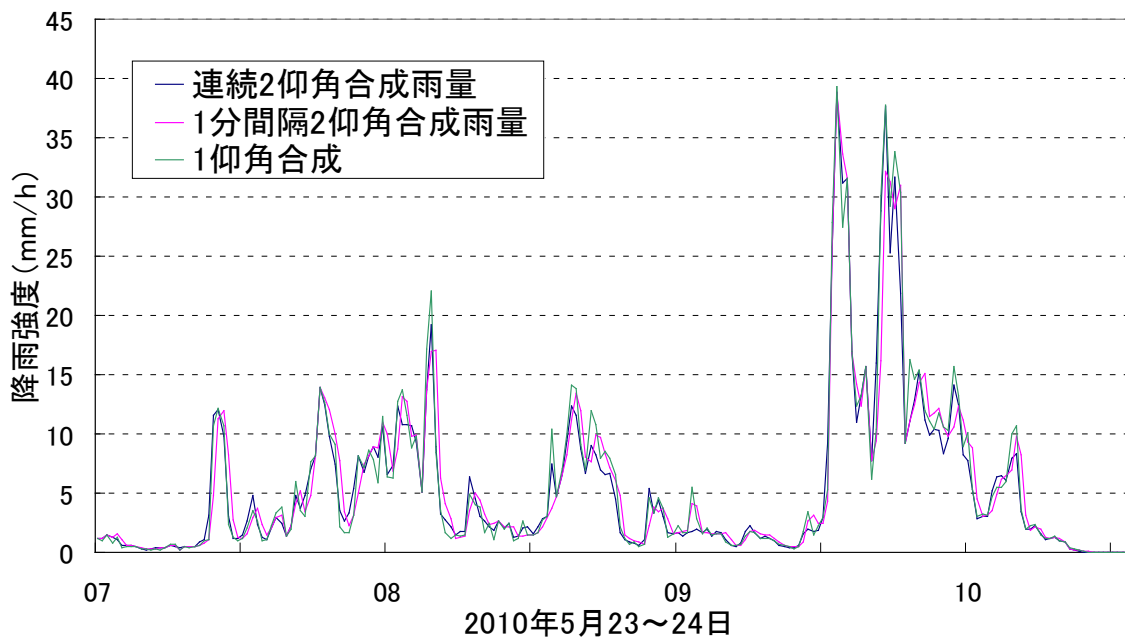


図 2.12 各仰角変更パターンにより作成される合成雨量の時系列（近畿地域）

表 2-1 は、各仰角変更パターンにおける雨域形状、雨量、雨量時系列の結果及び特徴を整理したものである。いずれの仰角変更パターンにおいても 1 分間隔配信、1 分遅れ配信は可能である。

ボリュームスキャンについては、連続 2 仰角合成では、5 分間に 5 仰角程度であり、ボリュームスキャンの実施目的に対して有効なデータセットが得られないと考えられる。1 分間隔 2 仰角合成では、5 分間に 10 仰角程度のボリュームスキャンが可能である。

観測精度については、散布図において、連続 2 仰角合成雨量と 1 分間隔 2 仰角合成雨量を比較した結果、その差異は僅かであった。また、雨量時系列については、1 分間隔 2 仰角合成は、1 分スケールの降雨変動においては、ピーク付近等が平滑化されることが確認された。しかし、1 分間隔 2 仰角合成によるピーク付近の平滑化は 10 分雨量といった積算値とした場合、大きな差異は生じないと整理した。

以上より、X バンド MP レーダ観測に求められる 3 要件を満たす仰角変更パターンとして、1 分間隔 2 仰角合成を仰角変更パターンとして適用することとした。

表 2-1 各仰角変更パターンで作成される合成雨量の特徴

	1 分間隔 2 仰角合成	連続 2 仰角合成	1 仰角合成
1 分間隔配信	可	可	可
ボリュームスキャン	可	難	可
観測精度	○ ²	◎	○
雨量時系列	雨量ピークの平滑化	問題無し	○
雨域の分布形 (瞬間値)	問題無し	問題無し	地形遮蔽等による一部欠測
雨域の分布形 (動画)	一部の地域 ³ で 2 分間隔動画	問題無し	地形遮蔽等による一部欠測

2章2節 アンテナ回転速度の検討

配信用観測（合成雨量を作成するための観測）の他に、ボリュームスキャン観測を行うこととなったことから、配信用観測に加え、ボリュームスキャン観測のアンテナ回転速度について検討した。

■ 配信用観測のアンテナ回転速度

降水粒子によって散乱される信号は時間的に変動し、ある一定の品質の観測データを求めるためには、受信信号を平均化する必要がある。真木ら⁴は、Kdp を用いた降雨強度算定を精度良く行うためには、平均化に利用するデータサンプル数は 100 程度必要であることを示している。真木らの研究結果に従うと、方位分解能あたりのパルスヒット数を 100 程度以上確保するためにはアンテナ回転速度は 3.5rpm 以上となる。所期の目的から配信用観測の精度を確保することが重要であるため、配信用観測のアンテナ回転速度は 3.5rpm を採用することとした。なお、パルスヒット数の計算方法は以下のとおりである。

$$N = \frac{60}{V \cdot n} PRF$$

N :パルスヒット数[回/方位方向分解能]、 V :アンテナ回転速度[rpm]

n :方位方向分割数[個]、 PRF :繰り返し周波数[Hz]

² 合成処理において高仰角より低仰角の観測データに重みが付くように合成されるため 1 分間隔 2 仰角合成で作成される合成雨量は、2 分毎に低仰角観測の影響を強く受ける

³ 遮蔽等により高仰角のみでしか観測されない地域

⁴ 真木雅之、岩波越、三隅良平、朴相郡、圓山憲一、須藤美穂子、渡部勲、森脇寛、V. N. Bringi、D. I. Lee、M. Jang、H. K. Kim、上田博、若林勝：偏波間位相差情報を用いた降雨強度、雨水量の 3 次元分布の測定、日本気象学会 2003 年度秋季大会講演予稿集、pp.259

■ ボリュームスキャン観測のアンテナ回転速度

ボリュームスキャン観測は、豪雨の早期探知や降雨予測、豪雨の気象構造の分析に用いられることを踏まえると、短時間に多仰角で仰角間隔を密にして、高い高度まで観測することが理想的である。ボリュームスキャン観測のアンテナ回転速度は、前記のとおり配信用観測のアンテナ回転速度を 3.5rpm、また、仰角変更パターンは 2 章 1 節の検討より 1 分間隔 2 仰角合を前提に、仰角変更に必要な時間等の制約も踏まえ検討した。

仰角変更パターンから、1 分間に 2 仰角のボリュームスキャン観測となり、配信用観測後の残り時間で、2 仰角のボリュームスキャン観測を実施することとなる。仰角変更に必要な時間も踏まえると、アンテナ回転速度は 4.5rpm 以上に設定する必要があることが実機による動作検証を通じて明らかとなった。

以上よりボリュームスキャン観測のアンテナ回転速度は 4.5rpm を採用することとした。

2章3節 まとめ

アンテナ運用設定の検討を行い、仰角変更パターンは 1 分間隔 2 仰角合成、アンテナ回転速度は 3.5rpm（配信用観測）、4.5rpm（ボリュームスキャン観測）を適用することとなった。ここで検討されたアンテナ運用設定は、共通設定として全てのレーダに適用されている。本章の検討において、所期の目的である高精度のレーダ雨量を 1 分間隔で配信することと、ボリュームスキャン観測の実施を両立させることを可能とした。これを可能とした 1 分間隔二仰角合成は二階堂義則氏（当時本省電通室長）により提案されたものである。これにより所期の目的を達成することに加え、豪雨の早期探知技術（京都大学）、VIL ナウキャスト技術（防災科研）の開発等の様々な技術開発が行われた。また、高解像度ナウキャスト（気象庁）に XRAIN のボリュームスキャン観測が取り込まれており、降雨予測の精度向上が図られている。