

平成30年7月豪雨における国土交通省 XRAIN による積算雨量

前坂 剛*

Accumulated Rainfall Analyzed Using MLIT's XRAIN Data for the Heavy Rain Event of July 2018 in Japan

Takeshi MAESAKA

**Storm, Flood and Landslide Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
maesaka@bosai.go.jp*

Abstract

The accumulated rainfall data analyzed by XRAIN were compared with radar/raingauge-analyzed precipitation data provided by JMA for the Heavy Rain Event of July 2018 in Japan. The XRAIN analysis data indicated underestimation in mountainous areas far from the radars. In particular, the underestimation was remarkable in the western Shikoku Island and Gifu Prefecture. A new C-band polarimetric radar has been operational after the event in the western Shikoku Island, which may improve the quantitative estimation of rainfall henceforth. The use of an additional gap-filling X-band radar may be effective in mountain shadow zones such as those in the northern Gifu Prefecture. The XRAIN analysis data also indicated slight overestimation in the southern Okayama Prefecture. This overestimation could be due to the overestimation of rainfall attenuation at the boundaries of short and long pulse areas by the Tsuneyama radar, and also around ground clutters near the Kumayama radar.

Key words: XRAIN, Accumulated Rainfall, The Heavy Rain Event of July 2018

1. はじめに

2008年の夏季に局地的な大雨を原因とする多くの水害が発生した(兵庫県神戸市の都賀川, 石川県金沢市の浅野川, 東京都豊島区雑司が谷など)。このような災害を引き起こす局地的な大雨は, 急激に発達し(10分程度), 狭いエリア(水平スケール~10 km以内)で大雨をもたらすことから, これまでの気象観測網ではその降雨強度を正確に捉えることが難しかった。

一方, 当時, 防災科学技術研究所(以下, 防災科研という)では, 神奈川県海老名市と千葉県木更津市に設置した2台のXバンドマルチパラメータ(MP)レーダーを運用し, 偏波間位相差情報を用いた新し

い降雨強度推定手法の検証実験を行っていた。その際, 2008年8月5日に東京都豊島区雑司が谷で発生した局地的大雨の降雨強度の時空間的分布を高精度に捉えることに成功した。

この成果を踏まえ, 国土交通省ではXバンドMPレーダーのネットワークを全国の主要都市に配備することを決定し, 防災科研は国土交通省からの委託により観測データから降水強度をリアルタイムに推定し, 地域毎に合成するプログラムの開発・実装を行った(前坂, 2017)。このシステムにより作成された水平格子解像度約250 m, 更新頻度1分の降水強度分布は2010年7月より試験配信され, 2012年7月からはこのシステムにXRAIN(X-Band

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

polarimetric RAdar Information Network) の愛称がつけられた。

この X バンド MP レーダーの全国配備と平行して、国土交通省の運用する C バンドの気象レーダーの MP レーダーへの更新が順次進められ、X バンドの MP レーダーと C バンドの MP レーダーの両方を合成した降水強度プロダクトが作成・配信されるようになった(若松・佐藤, 2016)。その際、愛称は XRAIN のまま、意味は eXtended RAdar Information Network に変更された。

XRAIN では降雨強度の推定手法として K_{DP} -R 関係式を用いている。この手法は従来用いられてきた Z-R 関係式よりも降雨の粒径分布に対する依存性が小さく、降雨強度の推定手法として優れている(Maki *et al.*, 2005)。従来の Z-R 関係式を用いた手法では、その精度を高めるために、雨量計による観測値を用いたキャリブレーションを必要とした。しかし、雨量計の量子化誤差を抑えて精度の良いキャリブレーションを行うためには少なくとも 10 分程度の積算時間が必要であり、その即時性に問題があった。 K_{DP} -R 関係式を使用している XRAIN の降雨強度情報は雨量計によるキャリブレーションを行わなくても従来手法と同等以上の精度があることが確認されており(土屋ら, 2016)、情報の 1 分更新が可能となった。

雨量計によるキャリブレーションを行わない即時的な降水強度情報である XRAIN のデータは、時間・空間分解能が高く、全国をカバーしているため、災害をもたらした顕著な豪雨の解析にも用いられる。平成 30 年 7 月豪雨のような長期間にわたる降雨事例においても、その期間内に含まれる比較的短時間に発生した豪雨の解析に有用である。しかし、XRAIN のデータは雨量計によるキャリブレーションが行われていないため、もし XRAIN のデータに系統的なバイアスがあるならば、長期間にわたる XRAIN 積算雨量と雨量計による積算雨量には差が生じるはずである。

本研究では、平成 30 年 7 月豪雨において、XRAIN データを用いて解析された長期間の積算雨量が、雨量計に基づく積算雨量(本研究においては気象庁解析雨量を使用)とどの程度の差があるのか、またその差にはどのような地域特性があるのかについて調査し、XRAIN データの系統的なバイアス特

性を明らかにする。

2. 解析手法

2.1 XRAIN

XRAIN 降雨強度データは国土交通省が実施する水防災オープンデータ提供サービスにより、一般財団法人河川情報センターから配信されているものを使用した。このデータは X バンドの MP レーダーに加え、C バンドの MP レーダーも降雨強度推定に用い、4 分の 1 基準メッシュ(三次メッシュ)の格子点に合成したものである(若松・佐藤, 2016)。水平格子解像度はおよそ 250 m であり、このデータは 1 分毎に更新される。河川情報センターからは全国を 6 地域(北海道, 東北, 関東, 中国, 九州, 沖縄)に分割したデータが配信されており、本研究では中国地域(九州から近畿地方をカバー)と関東地域(近畿地方から関東甲信越地方までをカバー)のデータを使用した。

平成 30 年 7 月豪雨では 2018 年 6 月 28 日から 7 月 8 日の間に多くの降雨が観測されたため、これらの降雨強度(単位は mm hour⁻¹)データから 1 分間雨量を推定し、2018 年 6 月 28 日 0001 JST から 7 月 28 日 2400 JST の 15840 データを積算した(11 日間分)。

2.2 気象庁解析雨量

気象庁解析雨量は気象庁の気象レーダー観測により解析した降雨量を、気象庁や自治体などが運用する雨量計の観測結果を用いてキャリブレーションを行ったものであり、水平格子解像度約 1 km の前 1 時間積算降雨量として 30 分毎に提供されている。雨量計は地上の積算降雨量を高精度に計測することができる測器であるが、レーダーに比べて空間分解能が悪い。気象庁解析雨量は気象レーダーと雨量計の弱点を相互に補うことにより、空間分解能と精度を向上させたものであり、現時点で空間分解能と精度のバランスが最もよい雨量情報である考えられる。そのため、本研究では XRAIN による積算雨量をこの気象庁解析雨量による積算雨量と比較する。

本研究では、一般財団法人気象業務支援センターからリアルタイムに配信されているデータを用い、2018 年 6 月 28 日 0100 JST から 7 月 28 日 2400 JST の間の毎正時における 264 データの積算を行うことにより 11 日間の積算雨量を求めた。

2.3 積算雨量の比較

前述の方法により求めた 11 日間の積算雨量は水平解像度が異なるため、まず気象庁解析雨量による積算雨量のデータを XRAIN と同じ格子点にバイリニア法を用いて内挿した。その後、XRAIN による積算雨量から気象庁解析雨量による積算雨量を減算することにより、XRAIN データの過小・過大評価の地域分布を解析する。なお、海上にあっては雨量計が設置されていないため、雨量計によるキャリブレーション効果はあまり期待できない。よって、本研究においては陸上のデータのみ解析する。

3. 解析結果と考察

3.1 中国地域

図 1 は XRAIN 降雨強度データ (中国地域) より解析した 2018 年 6 月 28 日 00 JST から 7 月 8 日 24 JST までの 11 日間積算雨量の分布を示している。陸上の領域のほとんどで 300 mm 以上の積算雨量が解析され、およそ東西に延びる山地 (中国山地、四国山地、九州山地、筑紫山地) の南側では 500 mm を越える領域が解析されていることから、これらの極大値の形成には地形効果 (南寄りの下層風が山地によりブロックされたことにより強制的な上昇気流が形成されたこと) が寄与していたと考えられる。特に、四国山地の南側では 800 mm を越える積算雨量が解析されている。一方、山岳等によるレーダービームの遮蔽により生じたくさび状の極小域も見られる。

図 2 は気象庁解析雨量により解析された図 1 と同期の 11 日間積算雨量の分布を示している。積算雨量の大まかな分布は図 1 とよく似ていることから、雨量計によるキャリブレーションを行っていない XRAIN の積算雨量が、雨量計観測から大きく離れていないことが分かる。

図 3 は図 1 と図 2 の差を詳しく解析するために、図 1 の積算雨量から図 2 の積算雨量を減算したものを示している。なお、気象庁解析雨量であっても、海上には雨量計が存在せず、その補正効果は限定的であるため、海上の領域においては値を表示していない。図 3 では同時に XRAIN を構成する X バンドおよび C バンドの MP レーダーの位置を、それぞれ黒三角と黒丸のシンボルで示している。この図から、レーダーの設置場所に比較的近い場所では、XRAIN

と気象庁解析雨量による積算雨量には大きな差が無く、XRAIN による積算雨量が地上の雨量計観測に近い値を示していることが分かる。

一方、レーダーの設置場所から遠い山地において、XRAIN の積算雨量が気象庁解析雨量に比べて著しく小さな値となっている領域がある (たとえば九州山地や中国山地)。この原因として、レーダーからの観測距離が遠くなることにより生じる、

- 目標体積の増大に伴う降水のビーム充填率の問題
- 観測高度が高くなることによる上空と地上との降雨強度の差
- S/N 比の悪化に伴う K_{DP} の導出の困難

などが考えられる。

XRAIN の積算雨量の最も顕著な過小評価は四国西部で見られる。特に四国の南西部では 500 mm 以上の過小評価となっている。これは、平成 30 年 7 月豪雨の期間中、この地域付近で XRAIN の降雨強度合成に用いられていたレーダーが無く、先に挙げた要因が顕著に現れたためと考えられる。豪雨期間後の 2018 年 7 月 9 日から図 3 に白丸で示す明神山の C バンド MP レーダーが本運用を始めたことから、現在ではこの過小評価が大きく改善していると期待される。

図 3 には高城山と釈迦岳の C バンドレーダーからくさび状の過小評価領域が伸びている。これはレーダービームが山岳等により遮蔽されたことが原因であると考えられる。通常、地上の降雨強度を求める観測を行う場合、観測仰角として、グラウンドクラッタや遮蔽の影響が小さい低めの仰角を選択する。しかし、レーダービームの伝搬経路は大気屈折率に依存し、大気屈折率は水蒸気の鉛直傾度に大きく依存する。気象条件によっては、レーダービームが想定していた高度よりも低い高度を伝搬することがあり、遮蔽率が想定よりも大きくなる場合がある。

ここまで、図 3 における過小評価に注目してきたが、岡山付近では過大評価の傾向を示す地域が広がっている。図 4 は図 3 におけるその地域を拡大した図である。常山の X バンド MP レーダーの周囲に同心円状の過大評価領域が見られる。この同心円状の領域がこのレーダーの短パルスと長パルス領域の切り替え境界付近であることから、この境界で偏波間位相差の不連続が生じ、そのため、正の値を持つ

偽の K_{DP} が算出されたものと考えられる。この偽の K_{DP} は過大な降雨強度を推定すると同時に、過大な降雨減衰補正の原因となる。過大な降雨減衰補正により、その距離以遠のレーダー反射因子が過大に見積もられるため、 $Z-R$ 関係式による降水強度推定も過大評価となる。熊山のレーダーの周りにも過大評価領域が散見される。この過大評価はグラウンドクラッ

タにより生じた偽の K_{DP} が原因である可能性があり、同様にその距離以遠の降雨強度が過大評価されている。これらの偽の K_{DP} パターン（不自然な同心円状の分布や、定常的に同じ場所に出現するもの）は、その場所の降雨強度の過大評価だけではなく、レーダーから見たその後ろ側の降雨強度の過大評価の原因にもなることに注意する必要がある。

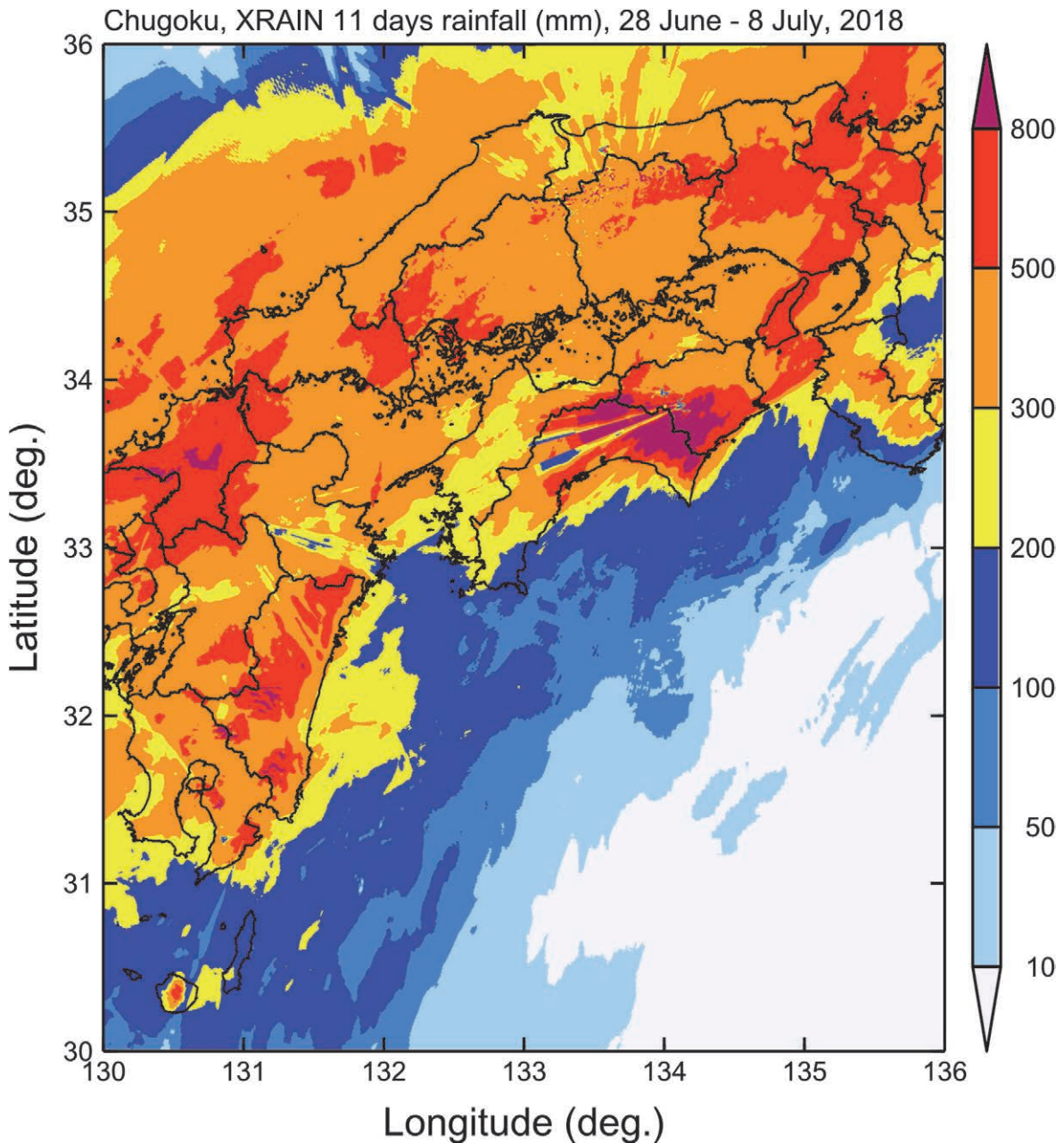


図1 XRAIN (中国地域) 降水強度データより解析した2018年6月28日00 JSTから7月8日24 JSTまでの11日間積算雨量(mm)

Fig. 1 Accumulated rainfall (mm) analyzed using XRAIN precipitation intensity data from 00 JST 28 June 2018 to 24 JST 8 July 2018 (11 days).

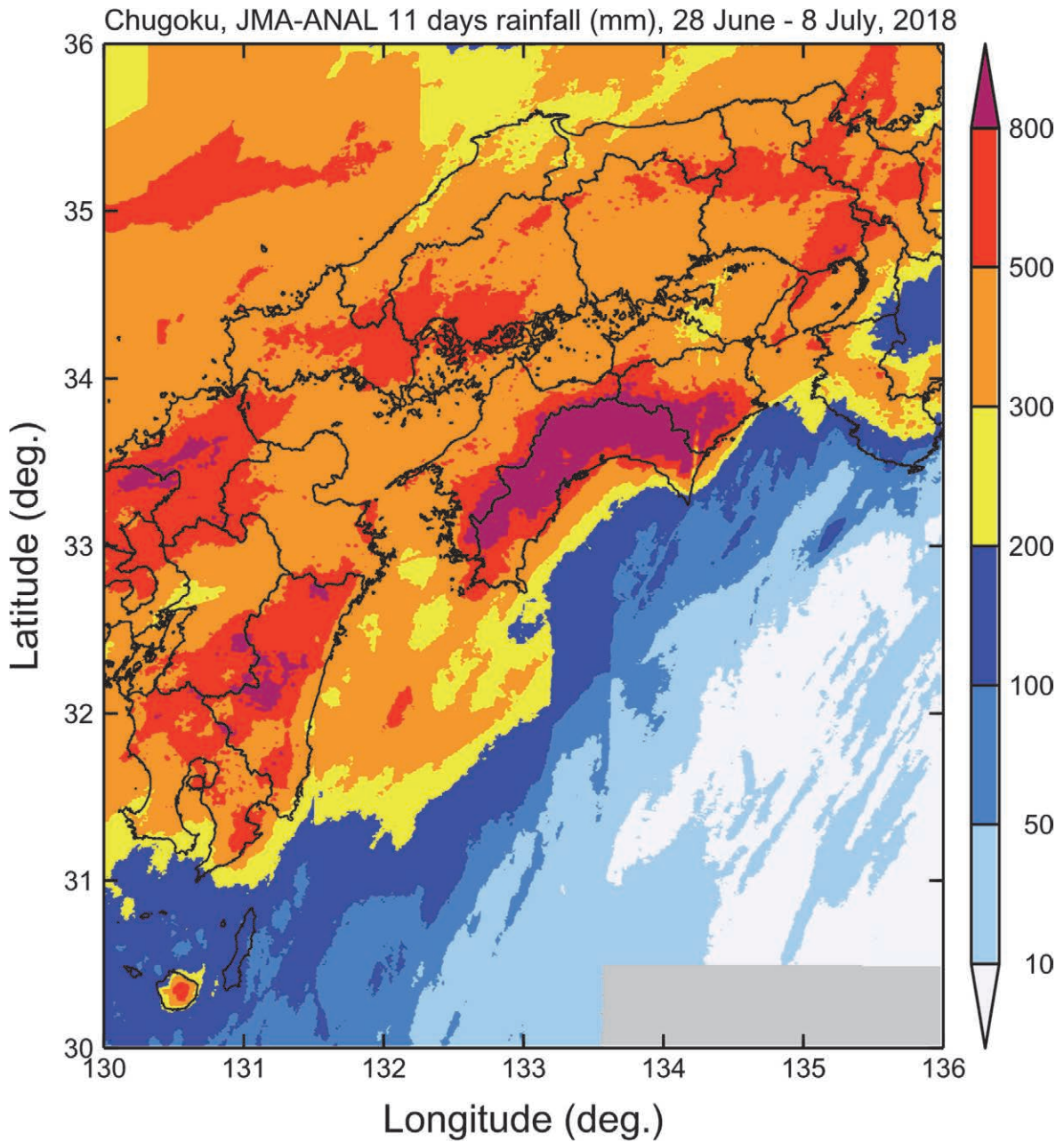


図2 気象庁解析雨量データより解析した2018年6月28日00 JSTから7月8日24 JSTまでの11日間積算雨量(mm)。30分毎に更新される1時間積算雨量のうち、毎正時のデータのみを使用した。図の領域は図1に同じ

Fig. 2 Accumulated rainfall (mm) analyzed using radar/raingauge-analyzed precipitation data by JMA from 00 JST 28 June 2018 to 24 JST 8 July 2018 (11 days). The map domain is the same as that in Fig. 1.

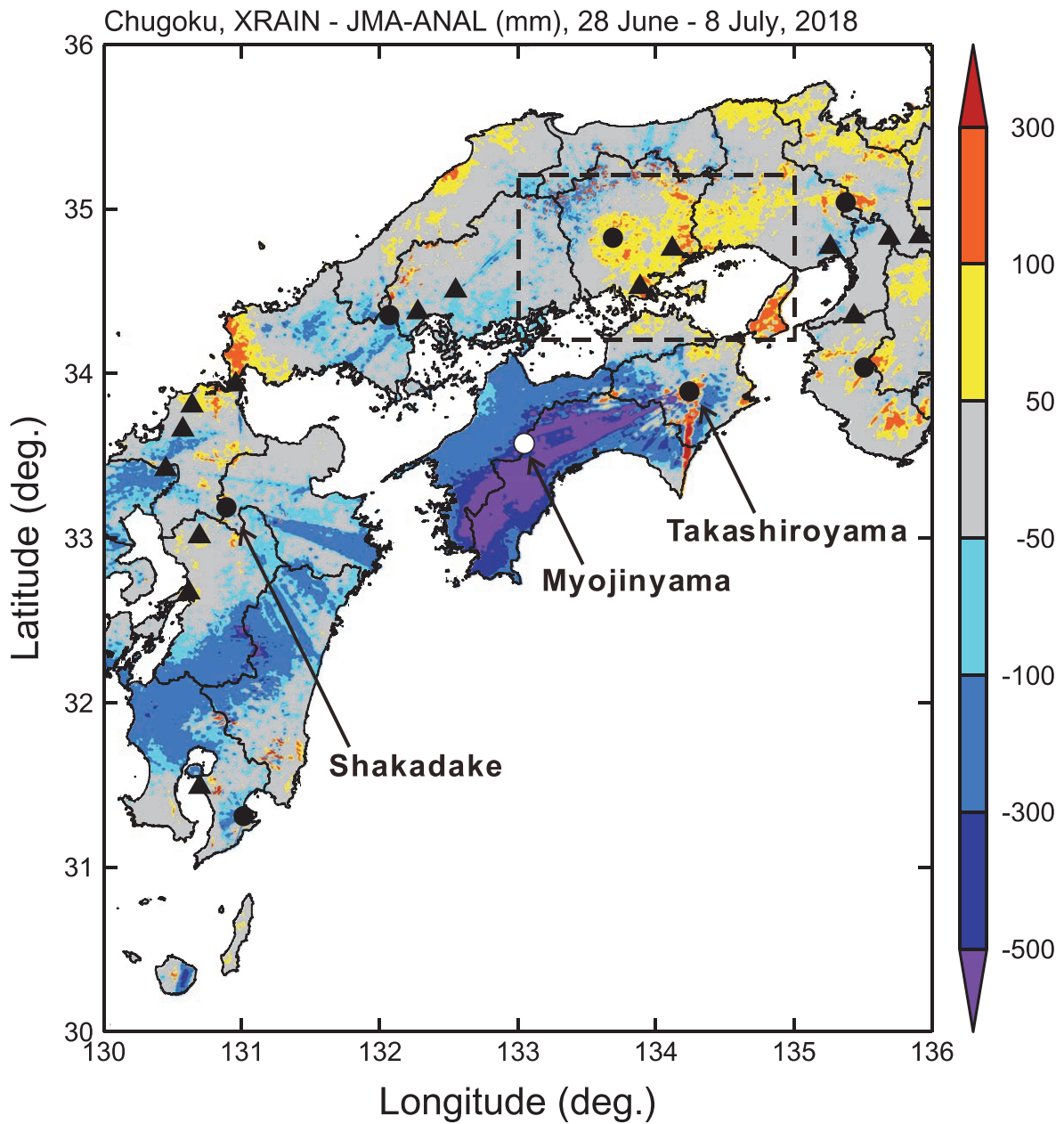


図3 気象庁解析雨量から解析した積算雨量(図2)に対するXRAINデータから解析した積算雨量の差(mm). 積算期間は図1および図2と同じ. 黒三角はXバンドMPレーダーの設置場所. 黒丸はCバンドMPレーダーの設置場所を示す. 白丸は解析期間後に運用が開始されたレーダー(明神山)の位置を示す. 破線で示す矩形は図4の領域に対応する. なお, 雨量計の無い海上の領域では積算雨量の差を表示していない

Fig. 3 Difference (mm) between the XRAIN analysis data (Fig. 1) and JMA analysis data (Fig. 2). The accumulation period is the same as those in Figs. 1 and 2. The closed triangles and circle indicate the locations of X- and C-band MP radars, respectively. The open circle shows the radar location on Myojinyama; this radar was operational after the analysis period. The rectangle with broken lines corresponds to the area shown in Fig. 4. Note that the difference in the accumulated rainfall is not shown for ocean areas because there are no rain gauges there.

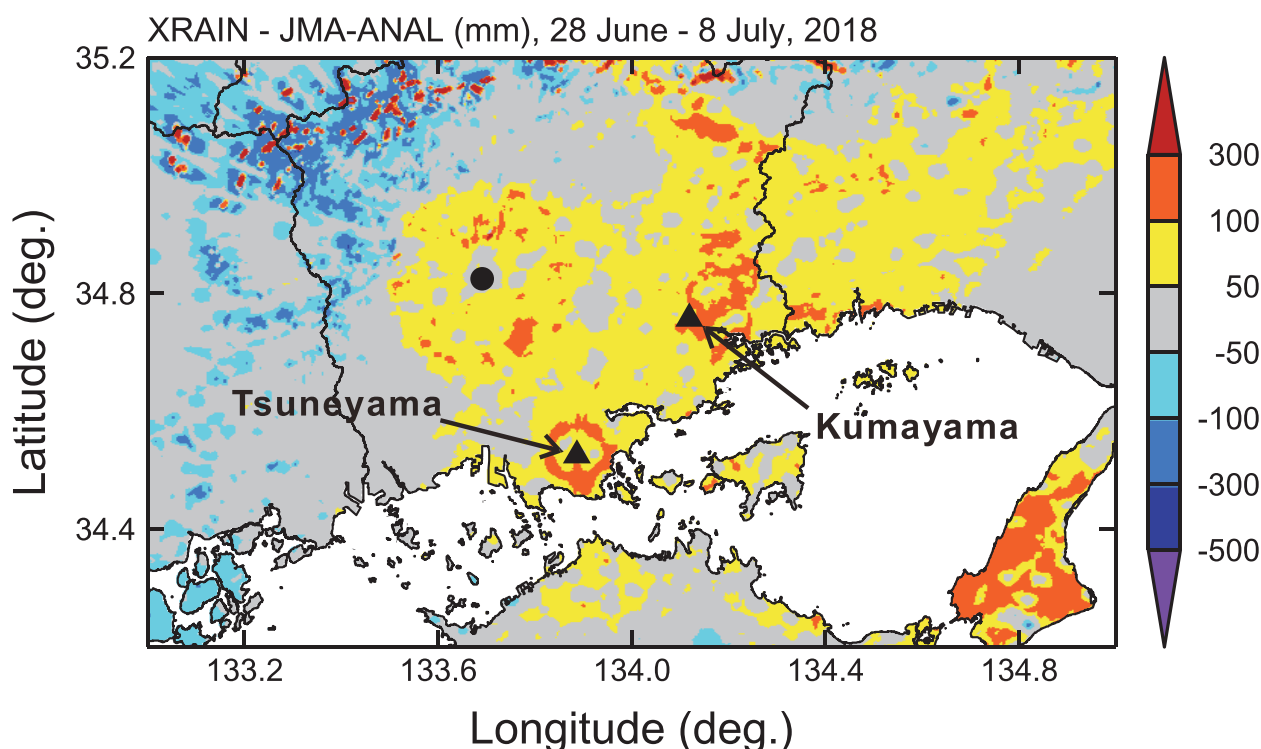


図 4 図 3 に同じ。ただし、図の領域は図 3 に示す矩形領域に対応
 Fig. 4 Same as Fig. 3, but the area corresponds the rectangle in Fig. 3.

3.2 関東地域

図 5 から図 7 は、図 1 から図 3 と同様の解析を XRAIN 関東地域のデータを用いて行ったものである。概ね前節の中国地域と同様な結果となっているが、岐阜県における過小評価は顕著である。特に岐阜県北部は周辺にレーダーがなく、また、蛇峠の C バンドレーダーの遮蔽域となっている。この地域の定量的な降雨量推定においては、X バンド MP レーダーの設置が有効であろう。

4. まとめ

平成 30 年 7 月豪雨において、雨量計によるキャリブレーションが行われていない XRAIN データを用いて解析された長期間の積算雨量が、雨量計に基づく積算雨量（本研究においては気象庁解析雨量を使用）とどの程度の差があるのか、またその差にはどのような地域特性があるのかについて調査し、XRAIN データの系統的バイアスの特性を明らかにした。両者は概ね一致していたが、XRAIN による

積算雨量はレーダーから遠い山地で過小評価傾向を示した。特に、四国西部と岐阜県でその傾向は顕著であった。豪雨期間の直後である平成 30 年 7 月 9 日から明神山の C バンド MP レーダーの運用が開始されたことから、四国西部の過小評価は改善されていると思われる。岐阜県北部のような大きな山岳による遮蔽域では観測域のギャップを埋めるような X バンド MP レーダーの設置が、この地域の定量的な降雨量推定において有効であろう。一方、偽の K_{DP} 算出により XRAIN による積算雨量が過大評価傾向を示す地域もあった。このような地域では偽の K_{DP} が算出された場所のみではなく、レーダーから見たその後ろ側の降雨強度の過大評価にも注意する必要がある。

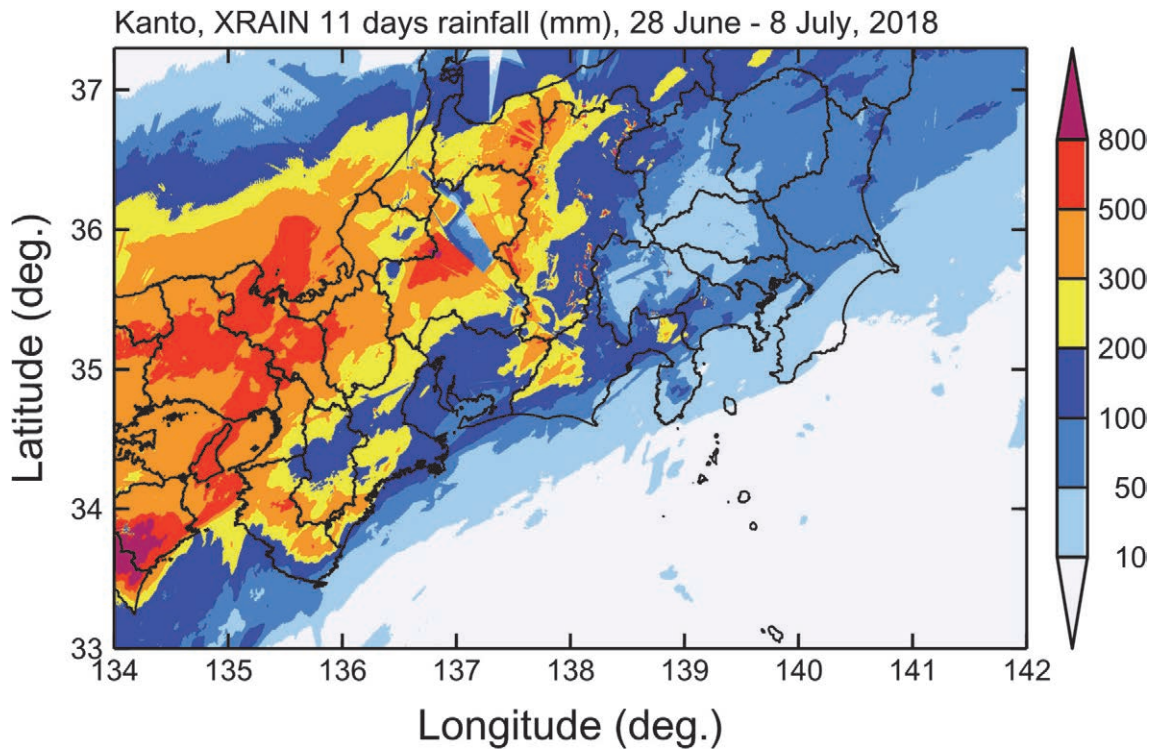


図5 図1に同じ。ただし、XRAIN 関東領域
Fig. 5 Same as Fig. 1, but for the XRAIN Kanto area.

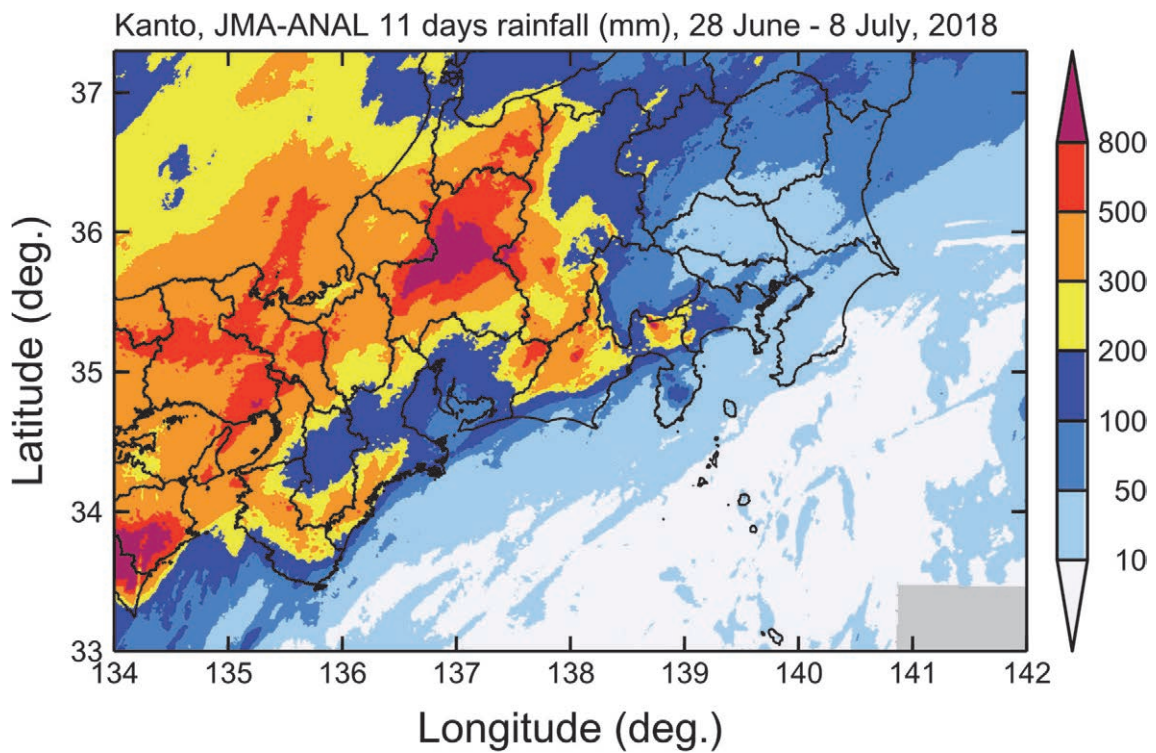


図6 図2に同じ。ただし、XRAIN 関東領域
Fig. 6 Same as Fig. 2, but for the XRAIN Kanto area.

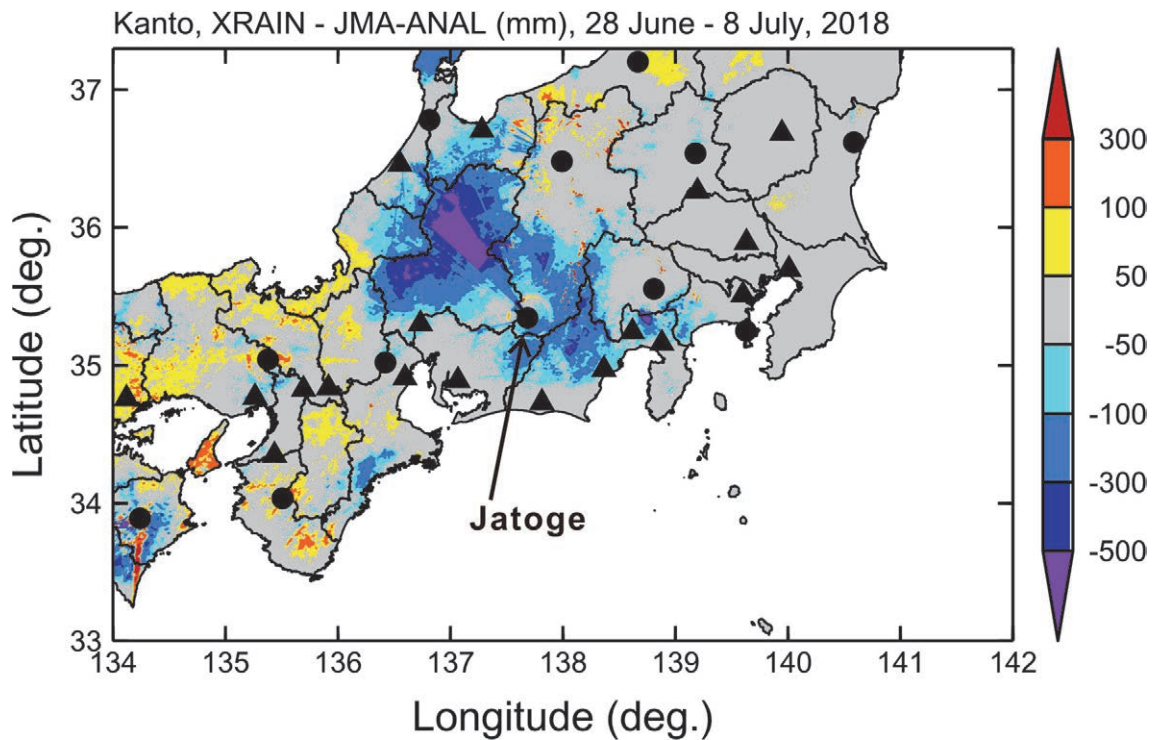


図 7 図 3 に同じ。ただし、XRAIN 関東領域
Fig. 7 Same as Fig. 3, but for the XRAIN Kanto area.

参考文献

- 1) 前坂 剛 (2017) : X バンド MP レーダ, 「豪雨のメカニズムと水害対策 降水の観測・予測から浸水対策, 自然災害に強いまちづくりまで」中谷剛・三隅良平 監修, エヌ・ティー・エス, 51-66.
- 2) 若松聡・佐藤宏明 (2016) : XRAIN 拡大試行版～公開までの取組み～. 平成 28 年度 河川情報シンポジウム 講演集, 5.
- 3) Maki, M., S.-G. Park, and V. N. Bringi (2005): Effect

of natural variations in rain drop size distributions on rain rate estimators of 3 cm wavelength polarimetric radar. *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 871–893.

- 4) 土屋修一・山地秀幸・川崎将生 (2016) : XRAIN 雨量観測の実用化技術に関する検討資料, 国土技術政策総合研究所資料 第 909 号.

(2019 年 6 月 6 日原稿受付,
2019 年 9 月 2 日改稿受付,
2019 年 9 月 3 日原稿受理)

要 旨

平成30年7月豪雨期間中におけるXRAINによる積算雨量を気象庁解析雨量と比較し、XRAINデータの系統的なバイアス特性を明らかにした。XRAINによる解析はレーダーから遠い山間部で過小評価を示し、特に四国西部と岐阜県において顕著であった。現在、新しいCバンドMPレーダーが西部四国で運用を開始したため、その定量的推定は改善していると思われる。また、岐阜県北部のレーダー遮蔽域にはXバンドレーダーの設置が有効であろう。一方、岡山県南部ではXRAINは弱い過大評価を示した。これは常山レーダーの短パルス域・長パルス域の境界や、熊山周辺のグランドクラッタ付近における過大な減衰補正によるものである。

キーワード：XRAIN, 積算雨量, 平成30年7月豪雨