

国土交通省 XRAIN の精度検証

—鉄道雨量計の観測値を真値とした解析—

○ [土] 中渕 遥平 [土] 鈴木 博人 (東日本旅客鉄道株式会社)

遠藤 理 (一般財団法人日本気象協会) [土] 中北 英一 (京都大学)

ACCURACY EVALUATION OF PRECIPITATION OF XRAIN
-ANALYSIS BY COMPARING WITH VALUES OBSERVED BY RAILWAY RAIN GAUGES-○ Yohei Nakabuchi, Hiroto Suzuki, (East Japan Railway Company)
Satoru Endo, (Japan Weather Association) Eiichi Nakakita, (Kyoto University)

In this study, we analyzed the accuracy of precipitation of XRAIN distributed by Ministry of Land, Infrastructure and Transport. This analysis was compared with 1-hour accumulated precipitation of XRAIN and that observed by 524 rain gauges along railway of East Japan Railway Company. As a result, it was found that precipitation of XRAIN is smaller than precipitation observed by rain gauges on average, and accuracy of XRAIN differs depending on areas. It was thought that the cause of latter was influence of distance and positional relation between weather radars of XRAIN and railway rain gauges.

キーワード：レーダ雨量，XRAIN，鉄道雨量計，精度検証

Key Words：Radar precipitation, XRAIN, railway rain gauges, accuracy evaluation

1. はじめに

国土交通省は、増加する集中豪雨や局所的な大雨による水害や土砂災害等に対して適切な河川管理や防災活動等に役立てることを目的に、2010年よりXバンドMPレーダを用いたレーダ雨量情報であるXRAINを配信している。XRAINは自治体や事業者の実務に活用可能なレーダ雨量情報の中で最も時間的・空間的な分解能が高く、これは防災に活用する上で大きな利点である。さらに2016年7月からは、使用する気象レーダについて、それまでのXバンドMPレーダに加えCバンドMPレーダを用いることで配信エリアが拡大されている¹⁾。近年、集中豪雨や局地的な大雨への対策として複数の鉄道事業者がレーダ雨量を活用した降雨時運転規制を検討または導入しており²⁾³⁾⁴⁾、鉄道でのXRAINの活用も今後広がっていくと考えられる。さらに、XRAINを初期値として将来の降水量を予測し、これを活用することで降雨時の鉄道の安全性の向上を図る研究も行われている⁵⁾。

このように、鉄道の安全性向上のため今後様々な場面での活用が期待されるXRAINであるが、利用にあたっては降水量の推定精度を把握した上で利用することが望ましい。配信エリア拡大前のXバンドMPレーダのみによるXRAINの精度については、国土交通省国土技術政策総研究所が地上雨量計で観測された降水量と比較し、地域毎の

定量的な精度検証を行っている⁶⁾。しかし、配信エリア拡大後のXバンドMPレーダとCバンドMPレーダを併用したXRAINについては、広範囲にわたって地上雨量計の降水量と比較し、地域毎の推定精度の特徴を明らかにした事例はまだない。東日本旅客鉄道株式会社（以下JR東日本とする）では、降雨時の列車運行の安全を確保するために約10km間隔で設置した雨量計で大雨を検知した場合に、運転中止や速度規制を実施する列車運転規制を行っている⁷⁾。これらの雨量計の観測値は、雨量計での較正を行わないXRAINとは独立の降雨量の観測値である。そこで本研究では、JR東日本の雨量計の観測値をその地点における降雨量の真値と仮定し、JR東日本の営業エリアである関東甲信越地方と東北地方を対象にXRAINの精度検証を行い、地域毎の推定精度の特徴を把握することを試みた。

2. 検証に用いた降雨量データ

2.1 XRAIN

気象レーダは、アンテナを回転させながら電波を照射し、降水量を推定する。XバンドMPレーダが導入される前から使用されていたCバンドレーダは、照射する電波が水平偏波のみであり、照射した電波が戻ってくるまでの時間から雨までの距離を測り、戻ってきた電波の強さから雨の強さを推定する。しかし、同じ強さの雨でも、その雨の粒径

分布が異なると戻ってくる電波の強さは大きく変化するため、降水量の推定精度を確保するために地上雨量計の観測値による較正が必要となる。雨量計による較正には時間を要するため、例えば国土交通省のCバンドレーダ全国合成システムでは5分間隔の1kmメッシュ毎の雨量が、5分遅れで配信される⁹⁾。一方、XRAINでは1分間隔の250mメッシュ毎の降雨強度が、ほぼリアルタイムに配信される。

XRAINの気象レーダは、水平偏波と垂直偏波の2種類の電波を送受信するMP（マルチパラメータ）レーダとなっている。MPレーダは二偏波の位相差の距離変化量であるK_{DP}（偏波間位相差変化率）を活用して雨滴の扁平状況を正確に把握することで、反射された電波の情報から精度高く降水量を推定することが可能である。これにより、地上雨量計による較正を行わずとも正確な降水量が推定できるため、リアルタイムの高頻度な配信が可能となっている。

冒頭に述べたように、XRAINの気象レーダは2016年7月から、それまでのXバンドMPレーダに加えてMP化したCバンドレーダを用いることで観測エリアが大幅に拡大したり。図1に、東日本エリアにおける2018年7月時点のXRAINの気象レーダの配置状況と各気象レーダの定量観測範囲を示す。定量観測範囲とは、気象レーダが、上空から落下する氷の粒が解けて雨の粒に変わる高さ（融解層）よりも低い高度の雨量を観測でき、降水量を定量的に測定できる範囲のことを示す。XバンドMPレーダは約3cmと波長が短く詳細な観測が可能であるが、電波が減衰しやすいため観測範囲が狭い。一方Cバンドレーダは約5cmと波長が長いので観測範囲が広いが、観測品質がXバンドMPレーダと異なる。国土交通省は、CバンドレーダをMP化することでXバンドMPレーダと組合せて用いることを可能にし、観測範囲が拡大した。なお、定量観測範囲の外側の領域は定性観測範囲と呼ばれ、定量観測範囲よりも推定

精度は低下する⁹⁾。

2.2 JR 東日本の雨量計データ

JR 東日本の雨量計は、列車運転規制を実施するために在来線では沿線に約10km間隔で設置されている⁹⁾。雨量計は、2020年4月1日時点で529基が設置されており、一部の雨量計が駅間に設置されているのを除くと駅構内に設置されている。雨量計の設置箇所は、駅構内の空き地、ホーム上、駅舎や事務所の屋上などさまざまである。雨量計は1回の転倒が0.5mmの転倒ます型雨量計であり、1分毎に1mm単位の降雨水量が記録されている。

2.3 解析の対象期間と地点

解析の対象期間は、XバンドMPレーダとCバンドMPレーダ併用後のXRAINオフラインデータが得られる2017年7月からの2暖候期、すなわち2017年7月から10月と2018年5月から10月の10ヶ月間とした。解析の対象地点は前述した529地点のうち、検証の対象期間において東日本大震災などの災害からの復旧が未完了で通常の観測が行われていなかった5地点を除く、524地点を対象とした。なお、解析は1時間雨量を対象として行った。

3. XRAINの精度検証方法

XRAINの精度検証は、JR 東日本の雨量計の観測値をその地点における降雨量の真値と仮定し、JR 東日本の雨量計で観測された降雨量とその雨量計の地点を含むメッシュのXRAINと比較する。XRAIN、JR 東日本の雨量計の観測値ともデータ間隔は1分であるため、1分毎の前1時間雨量を比較した。なお、XRAINの1時間雨量は、1分毎に前60分間の降雨強度（mm/h）を平均して算出した。

精度検証の評価指標としては、2種類のデータ群間の類似性を評価する相関係数と量的な一致度を評価する回帰係数を用いて行った。回帰係数は雨量計で観測された1時間雨量をx、同時刻におけるXRAINによる1時間雨量をyとしたときの、近似直線 $y = ax$ のaの値とした。

本研究ではJR 東日本の雨量計毎に、XRAINと雨量計の観測値の相関係数と回帰係数を求めた。検証に用いるデータについては、全降雨量データを用いると、データ数は多く統計的な信頼性は高くなるが、防災の観点からは重要度の低い小さい雨の影響を強く受けることになる。そこで、XRAINと雨量計観測値の1時間雨量の少なくとも一方が1mm以上となるデータを抽出した場合と、気象庁のやや強い雨の基準である1時間雨量10mm以上となるデータを抽出した場合の2通りの精度を検証することとした。

なお、最終的には各雨量計の気象レーダからの距離、複数のレーダとの位置関係や地形条件等XRAINの推定精度に影響すると考えられる要素の影響度合を定量的に評価することが重要であると考えが、本検証ではまずは地域毎の精度の違いや傾向を俯瞰的に把握することを目的に検証を行った。

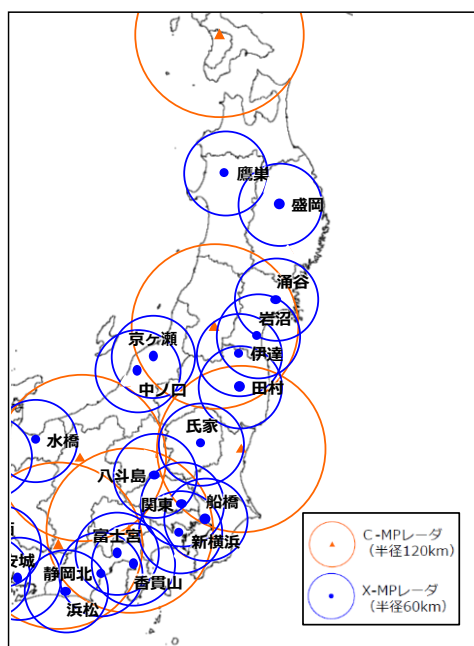


図1 XRAINの気象レーダの定量観測範囲

4. 精度検証結果

図2に雨量計地点毎のXRAINと雨量計の観測値の関係の例を示す。左側の図は複数のXバンドMPレーダで観測される領域にある山手線品川雨量計の結果を、右側の図は単一のCバンドMPレーダのみで観測される領域にある羽越本線仁賀保雨量計の結果を示す。図中の相関係数および回帰直線は1mm以上のデータでの結果を示す。また、図中の破線はやや強い雨の基準10mmを示しており、基準値10mm以上のデータを抽出した解析はこの破線以上の領域のデータを用いて検証している。図2から、XRAINと雨量計の観測値の一致度は地点によって異なる。これは使用する気象レーダの種類や数の影響と考えられる。雨量計524地点について、同様にXRAINと雨量計の観測値の相関係数、回帰係数をもとめ、それらの頻度分布を整理した結果を図3に示す。図3の上段が相関係数、下段が回帰係数の頻度分布の結果を示す。相関係数について、1時間雨量の

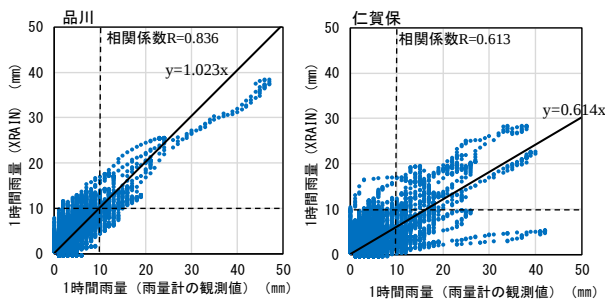


図2 XRAINと雨量計の観測値の1時間雨量の関係。左が品川雨量計、右が仁賀保雨量計の結果を示す。

基準値1mm以上でデータを抽出した場合は、相関係数が0.8から0.9となる地点が最も多く平均値は0.737であった。一方1時間雨量の基準値10mm以上でデータを抽出した場合は、相関係数が0.6から0.7となる地点が最も多く平均値は0.493であった。また、標準偏差は基準値1mmで0.147、基準値10mmで0.308となっていた。相関係数の結果から、やや強い雨でのXRAINの推定精度は全降雨での推定精度

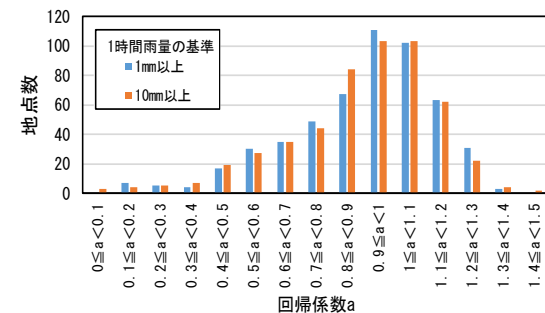
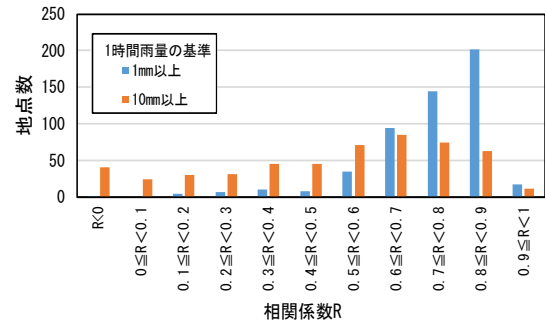


図3 JR東日本管内の雨量計524地点におけるXRAINと雨量計の観測値の相関係数と回帰係数の頻度分布図

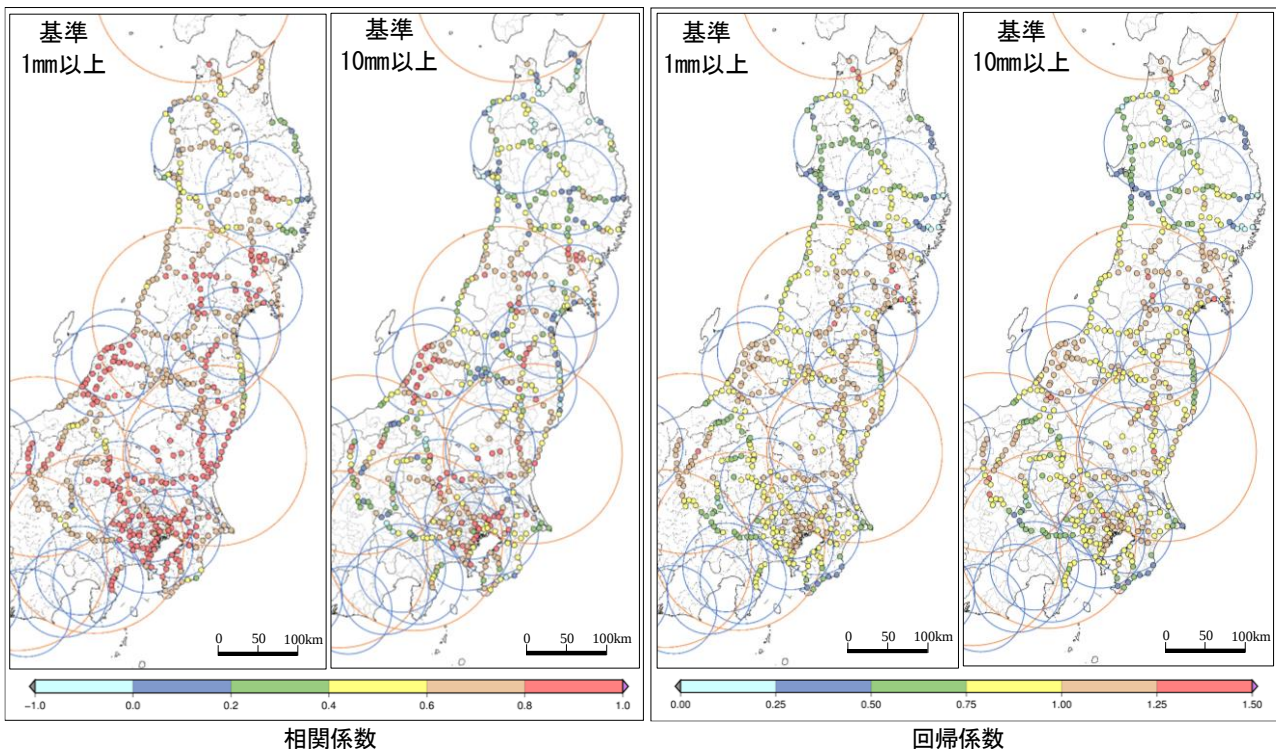


図4 JR東日本管内の雨量計524地点におけるXRAINと雨量計の観測値の相関係数と回帰係数の分布。左から、相関係数の1時間雨量の基準値1mm・10mmの結果、回帰係数の1時間雨量の基準値1mm・10mmの結果を示す。図中の円は青がXバンドMPレーダの、橙がCバンドMPレーダの定量観測範囲を示す。

よりも低くなり、地点毎の精度のばらつきも大きくなることがわかった。

回帰係数については、1 時間雨量の基準値を 1mm とした場合も 10mm とした場合もほぼ同じ頻度分布を示し、回帰係数が 0.9 から 1.0 となる地点が最も多く、平均値は基準値 1mm で 0.899、基準値 10mm で 0.893 となった。回帰係数の結果から、平均的には XRAIN は雨量計の観測値よりも 1 割程度小さい値を示す傾向にあると言える。

雨量計地点毎の精度にどのような違いがあるかをより詳細に見るため、各雨量計地点の相関係数、回帰係数の地理的な分布状況を図 4 に示す。図 4 には図 1 で示した XRAIN の気象レーダの定量観測範囲を併記している。相関係数の分布状況を見ると、関東平野や新潟県の中越から下越にかけてのように相関係数が高い地域と、長野県中部から山梨県北部にかけての地域や青森県、秋田県、岩手県などのように相関係数が低い地域があることが分かる。この傾向は基準値が 1mm の場合も 10mm の場合も概ね同じ傾向であるが、基準値が 10mm になると地域による相関係数の差異がより顕著に大きくなる傾向にある。回帰係数の分布状況を見ると、相関係数が高くなっていた地域は 1.0 付近の値を示す地点が多くある。一方相関係数が低くなっていた地域は 0.5 付近の値を示す地点が多くあり、平均して雨量計の観測値の半分程度の過少な値を示す傾向があった。

5. 考察

地域によって XRAIN の推定精度に差異がある原因について考察する。2.1 で述べたように、XRAIN では気象レーダから照射される電波により雨滴の扁平状況を把握して降水量を推定する。そのため、気象レーダの照射線上に山岳等の遮蔽物がある場合は電波が遮られ、遮蔽物より遠方の降水量を推定することができない。また、電波は雨滴に当たると減衰するため、複数の強雨域が電波の照射線上に並んでいる場合などは、手前の強雨域で電波が減衰し、遠方にある強雨域の降水量の推定精度が低下する。XRAIN では複数の気象レーダの定量観測範囲内にある領域では、複数の気象レーダによる多方向からの観測値を合成した雨量値が算出されるため、単一の気象レーダのみで観測される領域よりも推定精度が高い⁹⁾。図 4 の相関係数の分布状況を見ると、高い相関係数を示す関東平野や新潟県の中越から下越にかけてなどは複数の気象レーダの定量観測範囲が広い範囲で重なっており、前述した複数の気象レーダによる観測値の合成による精度向上効果の表れと考えられる。このことは、今後 XRAIN の算出に用いられる気象レーダが増加すれば、推定精度が向上していく可能性も示唆している。

また、雨量計で較正を行う国土交通省解析雨量と比較したときの精度についても述べる。鈴木ら⁹⁾は解析雨量の精度を、本検証と同様に JR 東日本管内全域の約 500 地点の鉄道雨量計の観測値を真値として検証している。鈴木ら⁹⁾が本検証と同様に 1 時間雨量について 10mm 以上のデータ

を抽出して検証を行い、地点毎の相関係数を整理した結果と比較すると、XRAIN の相関係数が低い地域では、雨量計による較正を行う解析雨量のほうが相関係数は高くなる傾向が見られた。一方、XRAIN の相関係数が高い地域では、解析雨量と同等かそれ以上の相関係数を示す地点が多数確認でき、地域による XRAIN の有用性が確認できた。

6. まとめ

本研究では、JR 東日本の雨量計の観測値を用いて XRAIN の精度検証を行った。比較する雨量は 1 時間雨量を対象とした。この結果、XRAIN は雨量計の観測値よりも平均して小さな値を示す傾向があること、推定精度は地域によって異なることがわかった。また、後者の原因としては XRAIN に用いられる気象レーダと鉄道雨量計の位置関係が影響していることが考えられた。

雨量計による較正を行わなくとも、ある程度の精度で時間的・空間的に高分解能で面的な降雨量を推定できる XRAIN は、鉄道の安全性を向上させる上で幅広く活用できると考えられる。国土交通省は既存の C バンドレーダの MP 化と XRAIN への活用を順次進めており¹⁾、今後さらに広範囲に精度の高いレーダ雨量が配信されることが期待される。今後は、精度を踏まえた XRAIN の具体的な鉄道への活用手法についても検討を進めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省：国総研で開発した技術により「XRAIN」の配信エリアが拡大-国交省レーダ雨量計の研究開発 50 年の成果-、Press release, 2016.6.29.
- 2) 東海旅客鉄道株式会社：在来線全線区へのレーダ雨量を活用した運転規制の導入について、Press release, 2018.4.5.
- 3) 西日本旅客鉄道株式会社：局地的な大雨に対するさらなる安全性向上、Press release, 2020.9.24.
- 4) 鈴木博人、中北英一、高橋日出夫：レーダ雨量の列車運転規制への活用に関する研究、土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.3, I_54-I_70, 2017
- 5) 中渕遥平、鈴木博人、金原知穂、遠藤理、中北英一：降雨予測情報を用いた列車運転規制の発令予測精度の評価、土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.2, I_121 -I_126, 2019.
- 6) 国土技術政策総合研究所：XRAIN の実用化技術に関する検討資料、国総研資料、第 909 号、2016.8
- 7) 島村誠：降雨・河川増水に対する運転規制方法等の改正、日本鉄道施設協会誌, Vol.27, pp.437-440, 1989.
- 8) 上城政浩、武中英好、寺川陽：C バンドレーダ雨量計全国合成データの品質について、河川情報シンポジウム講演集, 2015, 6.1-6.8, 2015.12
- 9) 鈴木博人、中北英一、高橋日出夫：1km メッシュ解析雨量の精度検証-関東甲信越地方と東北地方における解析、土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, I_13-I_18, 2017