

気象レーダーデータを用いた 現況降雨量サービスの鉄道運行への適用

Real-time Rainfall Estimation Service Using Weather Radar Data for Railway Operations

山上 優太 YAMAGAMI Yuta 古田 哲朗 FURUTA Tetsuro

近年、局地的大雨が頻発しており、鉄道などの社会インフラの現場では、こうした降雨を想定した安全かつ安定な運用が求められている。しかし、局地的な降雨は空間的なばらつきが大きく、運用判断に十分な精度で降雨状況を把握することは容易ではない。

このような中で、東芝は、長年培ってきた気象レーダーの解析技術を基盤として、気象データサービスを提供している。その一つである現況降雨量サービスは、高精度な雨量推定技術により、現在の降雨状況をリアルタイムに把握することを可能としている。今回、実際の鉄道路線を対象として現況降雨量サービスの雨量推定技術を適用した結果、従来は困難だった局地的大雨の観測が可能になり、鉄道運行の安全性向上及び安定運用に寄与することを確認した。

Given the frequent occurrence of localized torrential downpours, there is a growing need to ensure the safe and stable operation of social infrastructure, including railways, taking such rainfall into consideration. However, accurately assessing the rainfall conditions necessary for operational decisions is difficult due to the high spatial variability of localized rainfall.

Toshiba Corporation has been providing a variety of weather data services based on its accumulated experience in the development of weather radar data analysis technologies. As part of these efforts, we have been developing a real-time rainfall estimation service capable of monitoring rainfall conditions using highly accurate rainfall estimation technologies. We conducted evaluation experiments on the technologies for this service using an actual railway line and verified that they can observe localized torrential downpours, which have been difficult to predict until now, with a high degree of accuracy and are expected to contribute to enhanced safety and stable railway operations.

1. まえがき

近年、線状降水帯などの局地的大雨が各地で頻発している。現在、我が国において1時間降水量80 mm以上の猛烈な雨の頻度は、1980年頃と比較して約2倍に増加しており⁽¹⁾、気候変動が社会インフラの安全性及び安定的な運用に与える影響は年々深刻さを増している。

鉄道をはじめとする社会インフラの現場では、雨量計などの地上設備や気象予報に基づく運用が行われてきた。しかし、地上設備の点数が限られることやその空間的偏りにより、局地的大雨を的確に観測することは困難である。一方、地上設備の増設には導入コストや設置条件といった制約が大きく、大規模な増設は、現実的には難しい。このため、地上雨量計だけでは、社会インフラの安全・安定運用を十分に支えることには限界がある。

これを解決するために、広範囲にわたる雨量分布を高頻度で観測できる手段として、気象レーダーが活用されている。気象レーダーは雨粒からの電波の反射を観測して、降雨の範囲や雨の強さを測定する装置である。気象レーダーの利活用技術を高度化することで、社会インフラへの被害や影響

を抑えて、気象災害に対するレジリエンスを向上させることが求められている。

東芝は、気象レーダーメーカーとしての実績と社会インフラ領域で培ってきた知見を生かし、高度な解析技術に基づく気象データサービスの提供を進めている。ここでは、その一つである現況降雨量サービスを取り上げ、鉄道事業における実証実験を通じて得られた実用面での有効性を示すとともに、社会インフラのレジリエンス向上に向けた気象レーダーデータ利活用の展望について述べる。

2. 社会インフラ向け気象データサービスの概要

当社は、全国に整備された国土交通省の気象レーダーの解析処理前データ(以下、生データと呼ぶ)が2022年に商業利用可能になったことを契機に、2023年に気象データサービスを開始した。気象レーダーの生データをクラウドシステムに取り込み、品質管理を行う極座標系一次処理や、複数レーダーの3次元合成、雨量推定など用途に応じた解析を行い、サービスとして提供している(図1)。現況降雨量サービスは、雨量を地上の250 m四方のメッシュごとに高精度かつリアルタイムに推定する。降雨予測サービスは、上空の雨粒

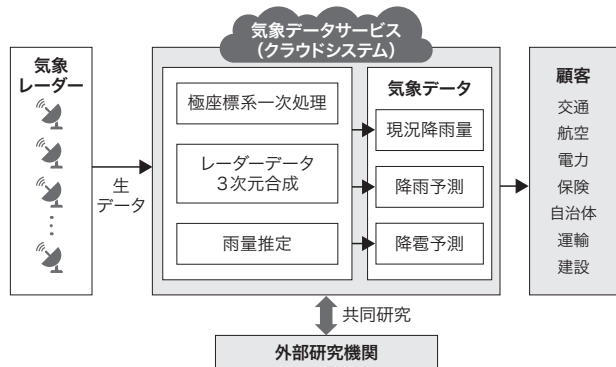


図1. 気象データサービスの概要

気象レーダーの生データをクラウドシステム上で解析し、高付加価値の気象データを提供する。

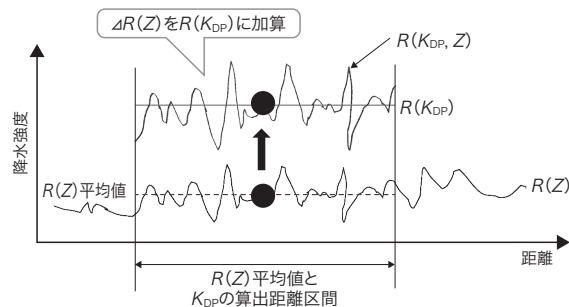
Overview of weather data services

の量を高さ方向に積算した値の時間変化量から雨雲の移動方向を推定して、雨粒の落下地点を予測することで30分先までの降雨量を高精度に予測する。降雹（ひょう）予測サービスは、上空の降水粒子を判別する技術を活用して、30分先までの降雹を予測する。

3. 現況降雨量サービスの雨量推定技術

現在、気象レーダーとして主流の二重偏波気象レーダー⁽²⁾は、電波の進行方向に対して水平、及び垂直にそれぞれ電場が振動する2種類の偏波を同時に送受信することで、雨雲を観測する。特徴として、雨量が多く粒径の大きい雨粒ほど空気抵抗を受けてつぶれ、横長になる性質を利用して、偏波間位相差から高精度な雨量推定ができる。こうした特徴から、降水強度（弱雨、強雨）に応じた雨量推定技術を組み合わせることにより、現況降雨量を算出している。

- (1) 弱雨の雨量推定技術 多様な降雨事例でのレーダー反射因子 Z や各種偏波情報を含むレーダー観測情報に加え、AMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System)の雨量データなどを用いて機械学習モデルを構築して、雨量推定を行う。
- (2) 強雨の雨量推定技術 偏波間位相差変化率 K_{DP} を用いて強雨の雨量推定を行う。 K_{DP} は、雨量精度に優れる一方、算出距離区間で偏波間位相差の傾きを算出する必要があるため、距離分解能が低く、細かな雨量分布を得にくい。そこで当社は、強雨に適した新たな雨量推定技術を開発した。この技術では、雨量精度に優れる K_{DP} と、距離分解能が高い Z の双方の利点を組み合わせている⁽³⁾。まず、 K_{DP} と K_{DP} に基づく降水強度 $R(K_{DP})$ に加え、 Z に基づく降水強度 $R(Z)$ とその平均値を算出す

図2. $R(K_{DP}, Z)$ の算出イメージ

算出距離区間の雨量を $R(K_{DP})$ として、 $\Delta R(Z)$ 分の変動を加算することで $R(K_{DP}, Z)$ を算出する。

Calculation of precipitation rate $R(K_{DP}, Z)$

る。次に、 $R(Z)$ と $R(Z)$ 平均値との差分に相当する細かな変動 $\Delta R(Z)$ を算出し、 $\Delta R(Z)$ を $R(K_{DP})$ に加算して、 K_{DP} と Z に基づく降水強度 $R(K_{DP}, Z)$ を算出する。これにより、強雨時における雨量を、高精度かつ高い距離分解能で推定可能な雨量推定技術を確認した（図2）。

4. 鉄道運行における現況降雨量サービスの有効性検証

4.1 現況降雨量サービスの位置付け

鉄道事業者向け現況降雨量サービスは、沿線の広域な雨量分布を、高解像度かつリアルタイムに把握して提供し、駅・橋梁（きょうりょう）・盛り土区間など運行の安全性に直結する地点の現状確認を支援する。従来の観測手法である地上雨量計は、観測値の信頼性が高い一方、設置間隔が数十kmと広く、局地的大雨を十分に観測できない。このため、地上雨量計地点のデータだけに基くと、過大又は過小な判断になるリスクがある。例えば、運行ルート上では降雨が確認されていないのに、周辺の地上雨量計で観測された雨量が閾（しきい）値を超えたことで、不要な運転規制が行われるケースがある。逆に、局地的大雨を観測できず、規制の判断が遅れるケースも想定される。現況降雨量サービスは、250 mメッシュの高解像度な雨量分布を提供することにより、これらのリスクの低減及び回避を支援する。

4.2 鉄道インフラでの実証実験

鉄道事業者の沿線を対象に、現況降雨量サービスの有効性を確認するための実証実験を行った。この実験では初めに、地上雨量計の過去データを用いて、現況降雨量サービスによる雨量（以下、現況降雨量データと呼ぶ）の精度検証を行った。次に、現況降雨量データが、地上雨量計非設置地点の適切な雨量を提供できることを確認した。更に、現況降雨量サービスをリアルタイムに閲覧可能な環境を構築し、

実運用に近い条件下での評価を行った(図3)。

4.2.1 地上雨量計設置地点における現況降雨量データの精度検証

地上雨量計設置地点において、現況降雨量データと地上雨量計データを比較して、精度検証した。10分間と1時間の雨量について、二つのデータの相関係数とRMSE(二乗平均平方根誤差)を算出した(図4)。現況降雨量データの10分間と1時間雨量は、降雨ピークの発現時刻と雨量の時間変化において、地上雨量計データと良好に一致した(図4)。また、両者の時間雨量データ(1時間雨量)の間には高い相関が認められた(図5)。これらの結果から、地上雨量計設置地点における現況降雨量データの精度は、地上雨量計データと同等であることを確認した。

4.2.2 地上雨量計非設置地点の現況降雨量データと近接地上雨量計データとの比較

従来、地上雨量計非設置地点の雨量は、近くの地上雨量計(以下、近接地上雨量計と呼ぶ)のデータと同様の観測値を持つものとしていた。そこで、地上雨量計非設置地点の現況降雨量データと近接地上雨量計データを比較することによ

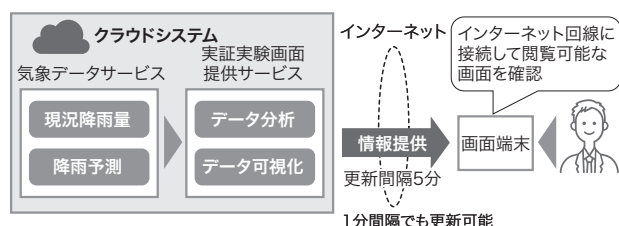


図3. 実証実験システム概要

気象データサービスの分析・可視化結果をインターネットでリアルタイムに閲覧可能な環境とした。

Overview of demonstration experiment system

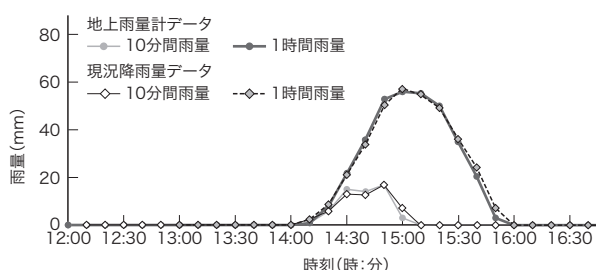


図4. 現況降雨量データの解析結果の例

地上雨量計による1時間・10分間雨量の観測値と現況降雨量データを比較した結果、両者は雨量の立ち上がりから、ピーク、減衰過程に至るまでおおむね良く一致した。

Comparison of ground rain gauge data and real-time rainfall estimation service results

り、近接地上雨量計データを用いることの妥当性について検証した。

ここでは、地上雨量計設置地点から約5 km離れた地上雨量計非設置地点を対象にした。その結果、地上雨量計非設置地点においては、現況降雨量データと近接地上雨量計データの相関係数が低く、RMSEは図5と比較して大きい傾向を確認した(図6)。これは、数km程度の近距離であっても雨量分布が異なる場合があり、地上雨量計非設置地点では、近接地上雨量計データが、必ずしも降雨状況を正確に反映しないことを示唆している。

具体的な現況降雨量データの観測事例として、図7に局

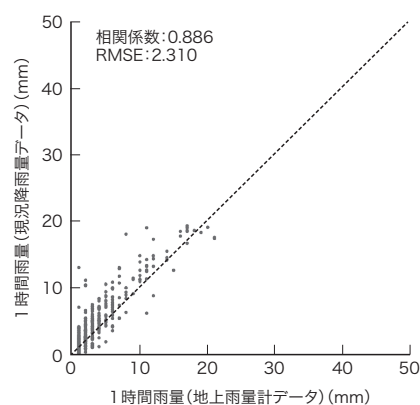


図5. 地上雨量計設置地点における現況降雨量データと地上雨量計データの1時間雨量の比較散布図

現況降雨量データは、地上雨量計データと高い相関を示す。

Scatter plot of one-hour rainfall data from rain gauge and real-time rainfall estimation service at same site

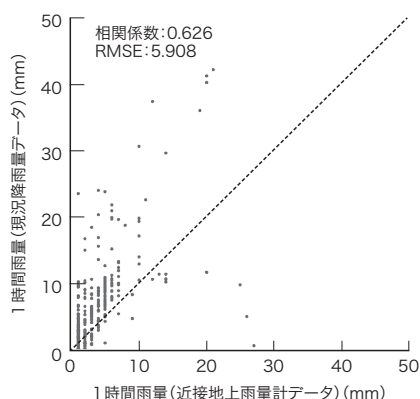


図6. 地上雨量計非設置地点における現況降雨量データと近接地上雨量計データの比較散布図

近接地上雨量計データは、現況降雨量データとの相関が低く、RMSEは大きい。

Scatter plot of one-hour rainfall data from rain gauge and real-time rainfall estimation service at nearby site

地的大雨発生時における雨量分布のスナップショットを示す。この事例は、地上雨量計が設置されたA駅と、地上雨量計非設置地点であるC駅、及び二つの間に位置する地上雨量計非設置地点であるB駅の周辺において、局地的大雨が発生したと推定されるケースである。A駅とC駅では、いずれも降雨がほとんど観測されていない一方、現況降雨量データでは、B駅付近を中心とした区間において、1時間雨量50 mmから80 mmを超える猛烈な雨が明瞭に検出されている。このような局地的大雨は、従来の地上雨量計の観測網では検知できず、正確な降雨状況の把握が困難であったと考えられる。

現況降雨量データは、大上雨量計設置地点において地上雨量計と同等の精度を示すことが分かり、地上雨量計非設置地点においても、局地的な降雨状況を含む雨量情報を提供できる。

5. 鉄道運行への適用効果

この実証における鉄道事業者へのヒアリングから、現況降雨量サービスを鉄道運行に適用することにより、以下のような効果が得られる可能性を確認した。

- (1) 適切な運転規制 雨量分布に基づき、局地的大雨が発生している区間だけを対象とした運転規制が可能になる。これにより、必要以上に広範囲での運転見合わせを回避しながら、運行の安全性を確保できる。
- (2) 運転時のリスク回避 雨量分布を把握することで、地上雨量計の観測網では把握が困難であったリスク、例えば、大雨が降っているエリアへの列車進入や駅間停車のリスクを低減できる。
- (3) 運転再開のための確認作業の効率化 路線周辺の雨量分布は、運転再開時の巡回、及び安全確認作業において、大雨の影響を受けた区間を優先的に確認するなど、降雨状況を考慮した効率的な優先順位付けを

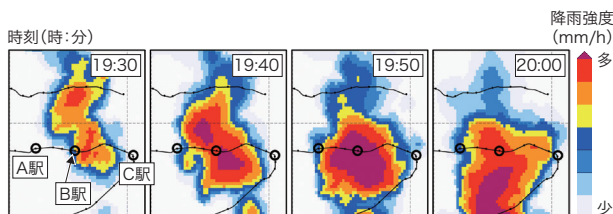


図7. 局地的大雨時のスナップショット

雨量計が設置されているA駅及び地上雨量計非設置地点であるC駅では降雨が観測されていないのに、数駅離れた地上雨量計非設置地点のB駅周辺では、時間雨量50 mmから80 mmを超える大雨が検知された。

Successive snapshots of precipitation distribution during localized torrential downpour

可能とし、復旧判断の迅速化につながる。

6. 気象レーダーデータの活用による社会インフラ運用

気象レーダーデータに基づく雨量分布は、鉄道に限らず、ほかの社会インフラにおいても有効である。例えば、道路分野では、アンダーパスの冠水など、局地的大雨に伴う危険事象が短時間で発生する場合がある。周辺の降雨状況を雨量分布として把握できれば、危険度の高まりを早期に察知し、交通規制の判断や安全確認の優先順位付けを合理的に行うことが可能となる。

また、気象レーダーデータを活用することで、地上観測設備の新設や維持管理が不要となり、低コストで導入できる点でも有用である。降雨状況を雨量分布として、かつ継続的に把握できるようになることで、限られた人員で運用される社会インフラにおいて、現地確認や巡回など、人員に依存した運用を補完できる。

雨量分布を現場で活用可能な形で提供する技術は、社会インフラ全般の安全性と運用効率を高めるための基盤として位置付けられる。気象レーダーデータを有効に活用できる環境を整えて、今後の気象災害に対するレジリエンス向上に貢献していく。

7. 今後の展望

図8に、気象データサービスが目指す将来像を示す。CPS（サイバーフィジカルシステム）は、フィジカル空間で観測し

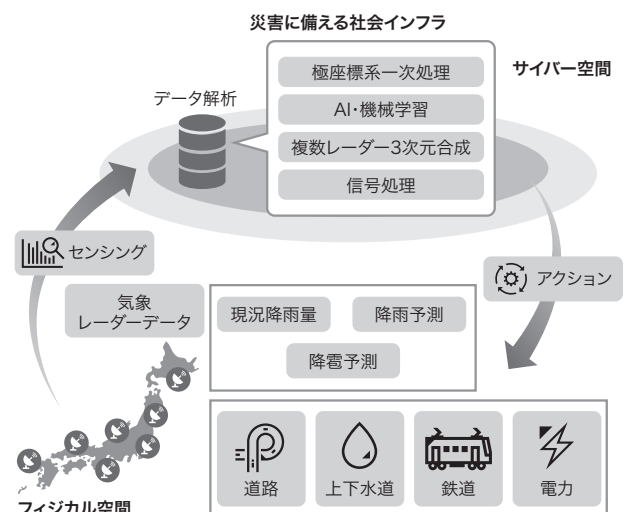


図8. 気象データサービスが目指すCPS

気象レーダーで観測したフィジカル空間における気象データをサイバー空間で解析・予測し、その結果を社会インフラ運用にフィードバックして、活用する。

Cyber-physical systems (CPSs) supported by weather data services

たデータをサイバー空間で解析し、その結果をフィジカル空間にフィードバックすることで、新たな価値を創出するシステムである。気象データサービスのCPSを通じて、現在から将来にかけての気象状態を把握・予測し、意思決定支援や予測制御などに活用することで、災害に強い社会インフラの安定運用を実現して社会全体のレジリエンス強化に貢献する。突風や降雪など、降雨以外の気象災害による被害の回避・軽減も社会的に求められており、これらの課題に対応するため、気象データサービスの更なる拡充と社会実装に取り組んでいく。

8. あとがき

現況降雨量サービスは、広域・高解像度・高頻度で雨量分布を提供することにより、現場における運用判断を直接支援し、被害の未然防止、早期復旧、効率的な巡回・点検計画の立案など、多面的な効果をもたらす。このサービスが、駅間における大雨リスクの検知など、鉄道運行の安全性の向上にも有効であることを示した。

当社は今後も、気象レーダーデータと社会インフラの運用データを統合したCPSの実現に向けて、サービスの高度化と適用フィールドの拡大を継続する。また、気象レーダーデータを活用した社会インフラのレジリエンス向上を通じて、安全で持続可能な社会の形成に貢献していく。

文 献

- (1) 気象庁. “大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化”. <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html>, (参照 2026-04-03).
- (2) 和田将一, ほか. 広範囲の降雨を精細に観測する気象レーダー技術. 東芝レビュー. 2014, **69**, 12, p.7-10.
- (3) Ochi, S. et al. "A Radar Quantitative Precipitation Estimation Method Achieving Both High Range Resolution and Accuracy". 41st International Conference on Radar Meteorology. Toronto, 2025-08, American Meteorological Society, 2025, Poster #130.



山上 優太 YAMAGAMI Yuta
ICTソリューション事業部 データ事業推進部
土木学会会員
Data Business Promotion Dept.



古田 哲朗 FURUTA Tetsuro
ICTソリューション事業部 データ事業推進部
日本気象学会会員
Data Business Promotion Dept.