

列車運転規制への活用を目的とした短時間降雨予測手法に関する研究
Investigation on accuracy improvement methods of short-term rainfall prediction
for the train operation control

○中渕遥平・鈴木博人・遠藤理・金原知穂・中北英一

○Yohei NAKABUCHI, Hiroto SUZUKI, Satoru ENDO, Chiho KIMPARA, Eiichi NAKAKITA

Railway operators enforce train operation control based on precipitation observed by rain gauges to ensure safe train operation in the times of heavy rainfall. By utilizing rainfall prediction methods to it they may make train operation safer. We studied about several methods for correcting prediction rainfall values by the translation model. We evaluated the accuracy improvement of each method by verifying accuracy of quantitative precipitation and predicting the time of the issues of the train operation control with 10 minutes ahead prediction. As a result, it was found that the prediction accuracy was significantly improved by the correction with the error ensemble prediction.

1. はじめに

鉄道では、降雨に起因した土砂災害などから列車運行の安全を確保するために、雨量計の観測値に基づいて運転中止や速度規制といった列車運転規制を行っている¹⁾。列車運転規制では、降雨量が運転中止基準値に達すると、直ちに列車の運行を停止する。そこで、列車指令員は列車が駅間で停止することを防ぐために、降雨量が運転中止基準値に達する時刻を予想して、運転中止の発令前に駅に列車を停車させている。しかし、雨が急に強くなる場合など、予想が外れると列車が駅間で停車し、列車と乗客を長時間に亘り大雨の中留めることになる。これを防ぐため、短時間降雨予測技術により降雨量が規制値に達する時刻を予測し、運転中止が発令される前に、より確実に駅で列車を停車する手法の研究を進めている。

本研究では、短時間降雨予測技術として運動学的降雨予測手法である移流モデル²⁾を用い、10分先の降雨予測を対象として、得られる予測値の補正手法を検討と予測値による運転規制の発令予測精度評価を行った。移流モデルの初期値としては現在現業機関で活用可能なレーダ雨量の中で最も時空間分解能の高いXRRAIN (eXtended Radar Information Network) を用いた。

2. 使用するデータ

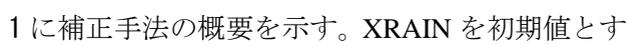
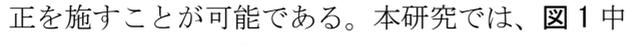
予測値の精度を評価するための真値として、東日本旅客鉄道の鉄道沿線に設置された雨量計で観測された実測値を用いた。対象地点は関東エリアのJR雨量計188地点とした。対象期間は、XRRAIN

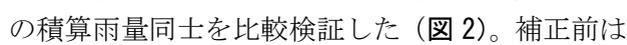
が現行のXバンドMPレーダとCバンドMPレーダの合成雨量となって以降の、2017年7月~10月および2018年5月~10月の2暖候期とした。

3. 補正手法の検討

移流モデルから得られる10分先予測値を補正する手法として以下の3手法を検討した。

- 予測値と実測値の平均的な比から予測値を補正するバイアス補正
- 予測誤差を予測開始時刻まで細かい時間間隔で算出し、それらの平均値を最新の予測値に補正量として反映するエラーアンサンブル補正
- 予測値に対してバイアス補正を行った上でエラーアンサンブル補正

b)のエラーアンサンブル補正は短時間降雨予測の補正手法として中北ら³⁾が検討したもので、 1に補正手法の概要を示す。XRRAINを初期値とする移流モデルでは、初期時刻を1分間隔とすることができ、予測開始時刻の直前の数十分間で多数の予測誤差を集計でき、統計的に有意な補正を施すことが可能である。本研究では、 1中の $\Delta t=1$ [分]、 $t=20$ [分]として補正を行った。

各補正手法の補正効果を確認するため、雨量計の実測値と同地点・同時刻の予測値の10分先までの積算雨量同士を比較検証した( 2)。補正前は過少な予測値を示す傾向があるが、各補正によりそれが改善されている。特にバイアス補正とエラーアンサンブル補正を組合せた手法では、予測誤差のピークが0mm付近となっており、予測バイアスのない予測値が得られる補正となっていた。

4. 運転規制の発令予測精度の評価結果

各補正手法の予測値による、運転規制の発令時刻の予測精度を評価した。過少な予測値により見逃しとなることと、実測値の規制発令時刻と大きく差のある時刻に発令を予測することはそれぞれ安全性、安定性（列車の定時性）を損なうことに直結する。そこで、適中事例を、実測値の規制発令時刻の±5分の範囲で規制発令が予測できた事例と定義した。評価結果を表1に示す。捕捉率、適中率はそれぞれ安全性、安定性を評価する指標である。補正前は過少な予測傾向であることから、空振りが少なく適中率は高い値を示すが、捕捉率は約30%であり安全性の面で課題がある。一方エラーアンサンブルを用いた補正では、捕捉率が約60%と約2倍に向上し、さらに適中率も約70%と高い値を示し、安定性もある程度確保されている。特にバイアス補正とエラーアンサンブル補正を組合せた補正は捕捉率、適中率とも最も高い値を示し、補正によって予測バイアスのない予測値が得られたことの効果が表れたと考えられた。

また、エラーアンサンブルによる補正の効果を降雨分布図からも確認すると（図3）、移流モデルによる予測では雨量計地点の強雨域が再現できていない場合でも、その時刻付近の予測誤差を反映して、運転規制の発令時刻付近では実測値に近い予測値となっていることが確認できた。以上から、XRAINを初期値とした移流モデルによる10分程度先の短時間降雨予測では、エラーアンサンブルを用いて直前の誤差を反映することで大きく精度が向上することがわかった。

5. 今後の課題

本研究では、得られる予測値を、実測値との比較から補正する手法を検討した。今後、地形の影響により発達、停滞する降雨（地形性降雨）を再現する物理モデルと移流モデルを組合せることでさらなる予測精度の向上を目指す。

参考文献

- 1) 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.35, pp.437-440, 1989.
- 2) 椎葉充晴，高埴琢馬，中北英一：移流モデルによる短時間降雨予測手法の検討，第28回水理講演会論文集，pp.423-428, 1984.
- 3) 中北英一・吉開朋弘・キム スンミン：地形性降雨を考慮したレーダー短時間降雨予測へのエラーアンサンブルの導入，土木学会論文集 B1(水工学)Vol.67, No.4, I_619-I_624, 2011.

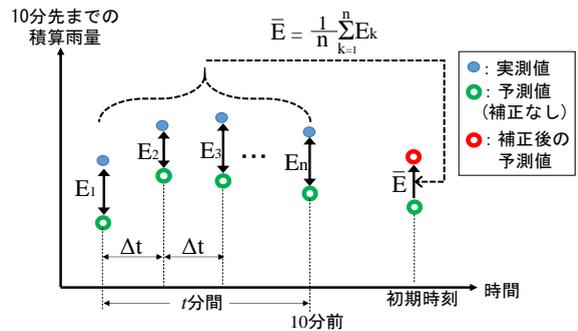


図1 エラーアンサンブルを用いた補正の概要（ Δt は予測の初期時刻の間隔、 t は補正に用いる時間範囲、 E_n は各時刻における予測誤差を示す）

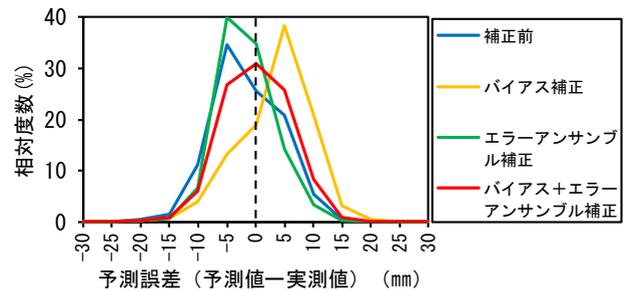


図2 各補正手法の予測誤差の頻度分布

表1 運転規制の発令予測精度の評価結果

	補正前	バイアス補正	エラーアンサンブル補正	バイアス+エラーアンサンブル補正
捕捉率	29.2% (45/154)	46.8% (72/154)	55.2% (85/154)	59.1% (91/154)
適中率	90.0% (45/50)	73.5% (72/98)	70.2% (85/121)	71.7% (91/127)

捕捉率：適中事例数/実測値による規制発令事例数

適中率：適中事例数/予測値による規制発令事例数

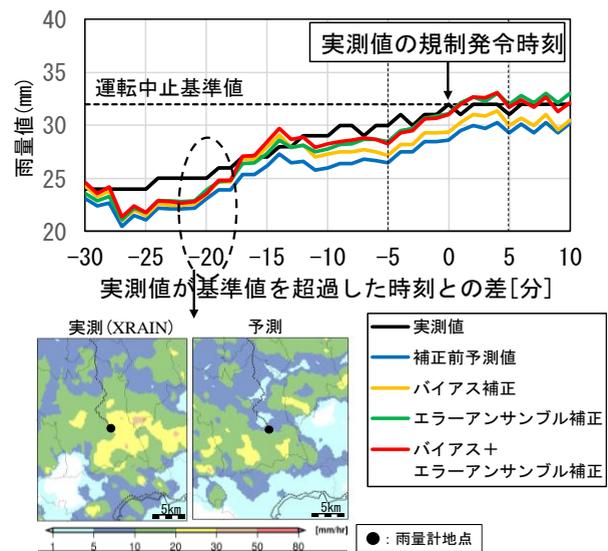


図3 エラーアンサンブル補正により精度が向上した事例（上段：各補正手法の雨量値の時間推移、下段：実測値の規制発令時刻の20分前における実測と予測の降雨強度分布図）