

京都大学	博士（工学）	氏名	中渕 遥平
論文題目	降雨時列車運転規制への活用のための地形性降雨を考慮した短時間降雨予測手法の開発に関する研究		
（論文内容の要旨）			
<p>鉄道では、災害が発生する恐れのある大雨を検知した場合に、列車を徐行または停車させる列車運転規制を行うことで降雨災害による事故を防いでいる。列車運転規制に関する既往の研究は、雨量計やレーダー雨量の実況値でより適切に危険な大雨を捕捉することを目的としたものであり、列車運転規制に降雨予測情報を活用した研究事例はない。本論文は、大雨時の列車運行の安全性をさらに向上させることを目的に、列車運転規制への活用のための短時間降雨予測手法の開発に取り組んでいる。本論文の特徴として、現業機関での活用を見据え国土交通省 XRAIN によるレーダー推定雨量を予測の初期値として活用していること、予測精度を安全性・安定性の両面から評価していること、予測精度向上のためのアプローチとして Seeder Feeder 効果による地形性降雨の発生機構を考慮していることの 3 点が挙げられる。具体的に、本論文は全 8 章から構成されており、それらの要旨を以下に示す。</p> <p>第 1 章は序論であり、本論文の位置付けを示している。具体的には、鉄道における列車運転規制の役割、既往研究の特徴、さらなる安全性向上のための課題である駅間停車の防止が重要であることと、そのために降雨予測手法の開発に関する研究を行うことを述べている。</p> <p>第 2 章では、列車運転規制方法の詳細と関係する既往研究について述べるとともに、さらなる安全性向上のための課題である運転規制発令時の駅間停車の防止について、具体的な事例を示しながら述べている。</p> <p>第 3 章では、まず列車運転規制における駅間停車の防止のために必要となる降雨予測情報のリードタイムが 10 分～20 分であることを明らかにした上で、CX 合成雨量を初期値とする移流モデルと気象庁が配信する高解像度降水ナウキャストを取り上げ、列車運転規制の発令予測精度の検証方法として実測と予測の規制時刻差に着目した検証を行っている。さらに、予測が適中しなかった事例としては、台風事例における山間部の雨量計地点が顕著に多く、移流モデルによる予測手法の予測精度をさらに向上させるためには、予測計算において地形性降雨の発生機構を考慮することが有効と考えられることを明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、降雨予測に Seeder Feeder 効果を考慮した地形性降雨算定手法を導入する有効性を検証している。X バンド MP レーダーでは地表付近の地形性降雨が捉えられず CX 合成雨量が過少推定となっていた 2019 年 10 月の台風 19 号通過時の箱根山周辺を対象として、地上雨量の推定精度の検証を行っている。その際、既存の空間分解能 3km から 1km への高解像度化と地形性降雨算定手法における落下する雨滴の捕捉率 c について、レーダー観測情報から推定する方法を検討している。本章の検証における、</p>			

レーダーの観測高度以下で発達する地形性降雨を再現することで、山間部における地上降雨量の推定精度を向上させるというアプローチはこれまでの研究にない新しい視点で、実事例での検証結果から実際に推定精度が向上することを示していることは大きな成果である。

第5章では、XRAIN 立体観測データを初期値として、移流モデルと地形性降雨算定手法を組み合わせることによる精度向上効果について検証し、地形性降雨を考慮することで山間部の予測精度が向上することを明らかにしている。また、立体観測から得られる複数高度の降雨強度 CAPPI データを入力値とするアンサンブル予測手法を提案している。本章で提案している立体観測データを用いて地形性降雨を考慮したアンサンブル予測を行う手法は、Seeder Feeder 効果により下層ほど雨量が大きくなる地形性降雨発達時の現象の特性と、レーダーによる様々な高度の観測値を組合わせたこれまでにない発想である。

第6章では、列車運転規制への活用に向けたより実践的な予測方法として、CX 合成雨量を初期値とする地形性降雨を考慮した降雨予測手法について検討している。CX 合成雨量から簡易に地形性降雨 R_o と非地形性降雨 R_N を推定する手法として、5分程度異なる時刻における地形性降雨算定結果から得られる比を用いて推定することが可能であることを明らかにしている。また、地形性降雨が山間部で発達・停滞する性質のものであることから、短時間先までであれば初期時刻時点で算定される R_o がその場でそのまま停滞しても実現象を表現できるとする仮定のもと、予測計算の初期時刻において推定される R_o と予測先時刻における移流された R_N を合算する予測方法の導入を検討し、10分～20先の予測について精度の高い予測結果が得られることを明らかにしている。

第7章では、第6章で提案した地形性降雨を考慮した短時間降雨予測手法について、多くの鉄道雨量計で列車運転規制の基準値を超過した降雨事例を対象に、予測精度の検証および雨量計観測値とのリアルタイムの誤差傾向から補正するエラーアンサンブルの導入検討を行った。エラーアンサンブル補正により移流モデルのみの予測、地形性降雨を考慮した予測とも10分先予測で80%付近、20分先予測で65%付近の高い捕捉率を示すことを明らかにしている。さらに、地形性降雨を考慮した予測の方が実規制時刻よりも早めの発令を予測する地点が多く、確実に安全を確保するという観点から優位性があることを明らかにしている。また、提案手法について複数の降雨事例での列車運転規制の発令予測精度を検証し、いずれの事例でも高い精度で運転規制の発令を予測できることを明らかにしている。第6章で検討した地形性降雨を考慮した短時間降雨予測手法について、安全性・安定性の両面による評価から駅間停車の防止に活用可能であることを証明しており、さらなる安全性向上のために列車運転規制に降雨予測を用いることの有用性を示したことになる。

第8章は結論であり、本研究で得られた結果をまとめるとともに、今後の研究課題について言及している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、大雨時の列車運行の安全性をさらに向上させることを目的に、列車運転規制への活用のための短時間降雨予測手法の開発に取り組んでいる。本論文の特徴として、現業機関での活用を見据え国土交通省 XRAIN によるレーダー推定雨量を予測の初期値として活用していること、予測精度を安全性・安定性の両面から評価していること、予測精度向上のためのアプローチとして **Seeder Feeder** 効果による地形性降雨の発生機構を考慮していることの3点が挙げられる。その主な成果は次の通りである。

1. 列車運転規制における駅間停車の防止のために必要となる降雨予測のリードタイムが 10 分～20 分であることを明らかにした上で、CX 合成雨量を初期値とした移流モデルの予測精度をさらに向上させるためには、予測計算において地形性降雨の発生機構を考慮することが有効であることを明らかにしている。
2. 地形性降雨算定手法について、空間分解能 1km への高解像度化と、落下する雨滴の捕捉率 c をレーダー観測によって実時間推定される粒形分布情報から推定するという2つの切り口から改良を検討し、レーダーの観測高度以下で発達する地形性降雨を再現することで、山間部における地上降雨量の推定精度が向上することを明らかにしている。
3. **Seeder Feeder** 効果により下層ほど雨量が大きくなる地形性降雨発達時の現象の特性を踏まえて、気象レーダーの立体観測から得られる複数高度の降雨強度 CAPPI データを入力値としたアンサンブル予測手法を提案している。
4. CX 合成雨量を初期値とする、地形性降雨を考慮した実践的な短時間降雨予測手法を提案し、複数の降雨事例を対象とした列車運転規制の発令予測精度を安全性・安定性の両面での検証から、いずれの事例でも高い精度で運転規制の発令を予測できることを明らかにしている。この結果は、列車運行の安全性向上のため、列車運転規制に降雨予測を用いることの有用性を示したことになる。

以上のように本論文は、これまで研究が積み重ねられてきた地形性降雨算定手法を応用して、地形性降雨を考慮した実践的な降雨予測手法を開発するとともに、列車運行のさらなる安全性向上に開発手法が有用であることを安全性・安定性両面の評価から明らかにしている。本論文で得られた成果は、列車運行における防災・減災に向けて工学的に非常に重要な知見であり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年8月1日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日：2023年10月1日以降