（続紙 1 ）

京都大学	博士（工学）	氏名	東　俊孝
論文題目	高分解能偏波ドップラーレーダを用いた車両走行時の降水影響評価とITSへの活用方策に関する研究		

（論文内容の要旨）

本研究では，公共放送等を通じて走行車両へ局地的豪雨の注意喚起情報を提供することを目的として，未だ確立されていない高分解偏波ドップラーレーダを用いた車両走行時の豪雨エリア判定基準の策定と ITS 分野における更なる活用方策を模索したものであり，全 8 章からなっている．

第 1 章は緒論であり，本研究の背景として，国民の超高齢化だけなく社会インフラの劣化対策という他国でも経験のない課題に直面する我が国において，ITS 活用による河川技術と道路交通技術の横断的利用による最適解の模索の必要性に対して概述した．とりわけ，既存施設の最大活用による経費削減，並びに横断的なインフラ基盤の連携による ITS の機能向上という世界的にみても未確立の研究課題を設定した．

第 2 章および第 3 章は本研究の前段である．第 2 章では，道路交通情報の歴史を整理した上で，既往研究のレビューとして国内外の「降雨と交通」に関わる文献を調査・整理した．瞬間的な降雨強度に基づいた判定基準自体が存在しない上に，我が国以外に公的機関が収集した道路交通情報をリアルタイムにドライバーへ放送するシステム自体が存在しないことが判った．加えて，第 3 章では，レーダを利用した精緻な降雨量の推定手法の歴史に触れた上で，利活用が十分とは言えない立体観測時の偏波パラメータの内容を理解するという視点から，高分解能偏波ドップラーレーダの代表格である X バンド MP レーダの観測原理を解説した．加えて，現業化されている高性能レーダ雨量計ネットワーク（XRAIN）の整備状況と課題を整理し，5 章における雨滴粒径分布の代表値である中央値 D_0 の推定手法ならびに 6 章の降雨予測手法に関する先行研究を各々整理した上で，高分解能偏波ドップラーレーダを用いた手法の課題を取り纏めた．

第 4 章では，移動体の速度を考慮した降雨強度推定手法を開発した．「運転者が感じる降雨強度：走行時降雨強度」を新たに定義した上で，降雨強度の推定式を考案した．強雨時に一般道を基準速度 50 km h^{-1} で走行した場合，普通車のフロントガラス上では約 2 倍の降雨強度になることを示した．なお，検討の初期段階では人工降雨による停止車両の前方視認性を議論している．このため，走行車両の気流場を数値シミュレーションにより再現した上で，フロントガラスへ到達する降水粒子の割合に基づき，従来の走行時降雨強度の推定手法も検証した．

その結果，強雨時に一般道を平均的な基準速度で車両が走行した場合，フロントガラスに衝突すべき雨滴総数の約 15 %が，気流場により低減されることを確認した．このため，気流場の補正係数として 0.85 を従来の推定式に連乗し，最終的な走行時降雨強度推定式とした．最終的には，XRAIN 合成雨量（停車時降雨強度）50 mm h^{-1} かつ向かい風 5 m s^{-1} において，普通車が一般道を 50 km h^{-1} で走行した場合，走行時降雨強度が 100 mm h^{-1}（停車時降雨強度の 2 倍）になることを証明した．

京都大学	博士（工学）	氏名	東　俊孝

第 5 章では，局地的豪雨の降り始めに見られる大粒子に対して，偏波パラメータから得られる雨滴粒径分布の中央値（D_0）を積極的に活用し，上空で早期探知する方策を検討した.具体的には,先行研究で有用性が示されている Z_{DR} 手法の利用を主体とし，大粒子を捉えた地上観測値に基づき新たな関数に調整した．加えて，降雨のピーク時から終息までの D_0 も安定的に推定することを想定し，新たな関数に調整した Z_{DR} 手法と従来の K_{DP} 手法で別々に D_0 を推定した後，いずれか大きな値を採用する「新たな併用手法」を開発した．さらに，偏波レーダ網の複数基地局及び観測仰角を利用した上空の CAPPI データを新たな併用手法の入力値とすることで，降雨減衰の影響を最小限に留める効果を期待した.

検証の結果,「新たな併用手法」による D_0 推定では，地上観測で大粒子を観測する 2 分前に高度 500 m で大粒子の探知に成功した．加えて，降雨強度 50 mm h^{-1} 以上の強雨を地上観測する 5 分以上前に大粒子（D_0 が 3 mm 以上）の上空探知に成功した．さらに，本研究で提案した「新たな併用手法」は，元の手法が持つ特徴を最大限活用しており、高度 1000 m において「強雨の降り始め」だけでなく，強雨のピーク時（降雨強度 50 mm h^{-1} 以上）から強雨の終息までの D_0 を安定的に推定できる可能性を示した.

第 6 章では，現業用レーダが捉えた 3 次元観測値の利用を前提とし，関東地方で頻発するマルチセル型ストームの早期探知を試みた．具体的には，降水セル内に存在する対流コアの自動探知の手法を検討した上で，豪雨のタマゴ探知からマルチセル型ストームの形成過程を移動軌跡として捕捉する方法を整理した．解析対象は，過去 3 カ年（2014 年～2016 年）の夏季に東京都心周辺へ冠水をもたらした 10 事例である.

解析の結果，10 件中 5 件の冠水事例において，XRAIN によるマルチセル型ストームの早期探知及び移動追跡に成功した．典型的なゲリラ豪雨事例については，XRAIN の 3 次元観測データを用いることにより，豪雨のタマゴの探知から降水セルの発達・移動を自動で識別できる．加えて，東京都心周辺の冠水事例では，奥多摩地域で発生した豪雨のタマゴが南東方向へ移動するパターンが顕著となり，マルチセルが多摩地域で形成された後，発達したマルチセル型ストームが都心西部を来襲している状況を確認した．さらに，XRAIN により危険な降水セル内に 3 個以上の対流コアを探知した場合は，マルチセル型ストームによる豪雨リスクを 45 分以上前に回避できる可能性を示した．言い換えると，高分解能偏波ドップラーレーダによる対流コアの自動探知技術は，関東地方で頻発するマルチセル型ストームの早期警戒に適用できる可能性を示した.

第 7 章では，第 4 章で開発した移動体の速度を考慮した降雨強度推定に基づき，新たな豪雨エリア判定基準と公的サービスの実用化に向けた内容を取り纏めた．加えて，第 5 章及び第 6 章で整理した内容は，豪雨エリアサービスの発展形態として位置づけられる予測情報の提供に向けた方策を提示し，本章の締めくくりとした.

第 8 章は結論であり，各章で得られた成果について要約するとともに，高分解能偏波ドップラーレーダを用いた車両走行時における豪雨エリア判定基準の策定と ITS 分野における活用方策を示し，今後の更なる発展への課題についても整理した.

（続紙 ２ ）

氏　名	東　俊孝

（論文審査の結果の要旨）

本論文は，公共放送等を通じて走行車両へ局地的豪雨の注意喚起情報を提供することを目的として，国土交通省により現業化されている高性能レーダ雨量計ネットワーク（XRAIN）を用いて，未踏領域であった車両走行時の降雨強度推定や定量的な物理量に基づいたゲリラ豪雨の早期探知を進展させたものであり，得られた主な成果は次の通りである．

1. 先行研究では未着手である「運転者が感じる降雨強度：走行時降雨強度」を定義した上で，降雨強度の推定式を新たに考案した．屋内降雨設備による前方視認性の検証や数値シミュレーションによる走行車両周辺の雨滴の挙動解析を実施した．最終的には，停車時降雨強度 50 mm h^{-1} かつ向かい風 5 m s^{-1} において，普通車が一般道を平均的な基準速度 50 km h^{-1} で走行した場合，走行時降雨強度が 100 mm h^{-1}（停車時降雨強度の 2 倍）になることを証明した．
2. 雨滴粒形分布の推定手法を改良した上で，世界でも例の無い定量的な物理量に基づいて局地的豪雨の何分前に大粒子を上空探知できるか検証した．具体的には，地上雨滴計データから算出したレーダ反射因子差に基づき，大粒子を含む雨滴粒径分布の中央値推定が可能な関数に調整した．加えて，XRAIN により 3 次元観測された偏波パラメータを入力値とすることで，強雨が地上観測される 5 分以上前に高度 500 m の大粒子の探知に成功した．この結果は，局地的豪雨の前兆現象を早期探知できる可能性を示すものであり，車両等の移動体が最適ルートの選択や進行の有無を判断する際に有用な支援情報と成り得る．
3. 京都大学防災研究所中北らによって開発されたゲリラ豪雨の早期探知の理論を土台とし，首都圏に甚大な被害をもたらすマルチセル型ストームの早期探知を試みた．国土交通省により現業化されている XRAIN を利用し，関東地方を対象領域としている．解析の結果，XRAIN の 3 次元観測値に基づく新たなマルチセルの自動探知の理論は，東京都心周辺で冠水が発生する 45 分以上前に，豪雨の危険度を事前提供できる可能性を示した．車両等が移動する前の行動計画の段階で災害リスクを回避できる可能性があり，移動体の円滑な交通流を実現する上でも貢献できる．

本論文は，現業化された高分解能偏波ドップラーレーダを用いて未踏領域であった車両走行時の降雨強度推定や定量的な物理量によりゲリラ豪雨の早期探知の進展を示したものであり，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，平成２９年８月２５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：　平成 29 年　12 月　24 日以降