

車載型降雨観測システム構築に向けた移動観測手法の実験的検討

東京理科大学	正会員	○小野村 史穂
東京理科大学	非会員	堀田 滋
東京理科大学	正会員	仲吉 信人
東京理科大学	正会員	二瓶 泰雄

1. 研究背景と目的

毎年豪雨による甚大な水害が発生しており、流域にもたらされる降水量を把握することが必要である。流域雨量は、地上雨量計や気象レーダーの観測データを用いて空間的に積算して求められるが、地上観測点の粗い空間分布やレーダーによる観測誤差を伴い、十分に推定されていない。近年、市民科学を利用した地上雨量観測が検討及び実施されている。その一つに、自動車等を用いた降雨の移動観測がある(Bartos et al., 2019 ; 赤松ら, 2019)。Bartos et al. (2019)は、自動車の自動ワイパーの情報を用いた降雨の観測を実施し、定量性には欠けるものの、気象レーダーで捉えにくい弱雨や降雨の始まりを把握することに有用であることを示した。

そこで本研究では、自動車等の移動体を用いて、より定量的な地上降水量を取得することを目指し、車載型観測装置として適した小型降雨観測システムを開発することを目的とする。定点観測に用いられてきた既存の転倒マス雨量計やレーザー式雨滴計は、その物理特性や装置の大きさから移動観測には適さない。本研究では、動体検出素子として流通・小型・低コスト化が進む24GHz帯のドップラーモジュール、および赤外線発光・受光ダイオードを用いて2種類の降雨センサ（ドップラーセンサと赤外線センサ）を独自に作成した。これらを実降雨と人工降雨下で検証し、降雨センサとしての可能性を評価した結果を示す。

2. 研究手法

(1) 降雨センサの作成

ドップラーセンサは、図-1a に示す 25mm×25mm×7mm の超小型Kバンドのトランシーバであるドップラーモジュール (InnoSenT GmbH, IPM-165) を用いた。ドップラーモジュール及び配線一式を防水するため、市販の透明アクリルケース（一辺 150 mm の正方体）の内側から張り付け、ケース越しに前を通過する雨を検知できるようにした（図-1b）

赤外線センサは、波長 950 nm の発光・受光ダイオードの一对から成る（図-2a）。それらは、向き合うように

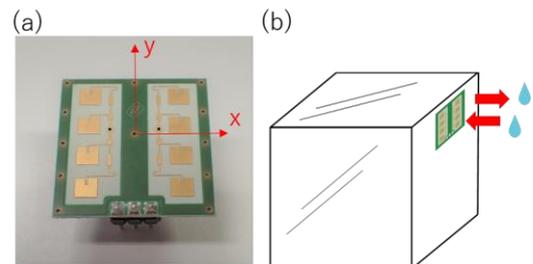


図-1 ドップラーモジュール (a) とそれを用いて作成したドップラーセンサ (b)

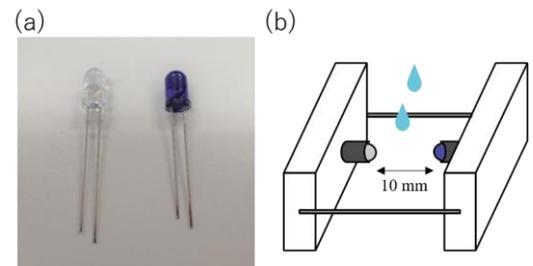


図-2 赤外発光受光ダイオード (a) とそれを用いて作成した赤外線センサ (b)

針金で固定し、受光部と発光部の距離は 10mm とした（図-2b）。その間を物体が通過すると、赤外線受光量が減少し、信号が出力される仕組みである。また、発光部と受光部間の指向性の向上と周囲光の影響を除くため、発光・受光ダイオードそれぞれの先端のみを露出し、側面をテープで遮蔽した。配線一式は、樹脂やテープで簡易的に固定及び防水加工を施した。

(2) 屋外定点観測による検証

開発した2種のセンサの降雨に対する応答性を確認するため、定点での降雨観測実験を行った。実験は、2019年9月18日10:36から15:16まで、千葉県に位置する東京理科大学野田キャンパス5号館屋上で行った。2種のセンサは、データロガーに接続し、出力された信号をアナログ電圧 (10Hz) で記録する。開発したセンサの信号応答と降雨強度[mm h⁻¹]を比較するため、市販の簡易転倒マス雨量計 (Netatmo, NET-OT-000006) とレーザー式雨量計 (Thies, LPM) も併設した。

キーワード 降雨, 地上雨量, 移動観測, ドップラーモジュール, 赤外発光受光ダイオード

連絡先 〒270-0136 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 野田キャンパス 5 号館 TEL 04-7124-1501(内線 4072)

(3) 人工降雨装置を用いた移動計測実験

上記2種のセンサによる降雨移動観測の実現可能性を確かめるため、人工降雨下で計測実験を行った。人工降雨装置は、実物大スケール開水路（1m×15m×2m）の上端に設置されており（図-3）、水路中央上端1mおきの10個のノズルから雨を降らすことができる。計測は、人工降雨装置動作中の開水路内を移動しながら行った。本実験の移動には、自動車の代わりに開水路内を移動可能な小型の車輪付きスチールラック（図-4）を用いた。ラックには、検証用のレーザー式雨量計と転倒マス雨量計、2種類の開発したセンサを、地上高0.5mになるよう固定した。降雨の移動計測は、図-3に示すように、開水路内の人工降雨帯長さ約10mをラックの向きを変えずに、速度3-4km/h程度で往復して行った。降雨強度を変化させた4パターンで計測している。

3. 結果と考察

降雨による応答性は、ドップラーセンサが赤外線センサより明らかに高くなったため、ここではドップラーセンサの結果のみを示す。ドップラーセンサから出力された電圧値より、降雨による変動成分を抽出するため、1秒の移動平均値からの偏差の絶対値を1分毎に平均した。まず、屋外定点観測によるその変動成分とレーザー式雨量計から得られた降雨強度の関係を図-5に示す。ドップラーセンサによる変動成分は、降雨強度と高い相関を示し、回帰分析により線形の関係式 $y=21.0x-0.27$ ($R^2=0.78$) が導かれた。これにより、計測値から降雨強度を推定できる可能性がある。

移動計測で得られたドップラーセンサの変動成分も、レーザー式雨量計及び転倒マス雨量計と相関が見られた（図略）。そこで、定点観測から得られた上記回帰式を用いて、移動計測から得られたドップラーセンサの変動成分を降雨強度へと変換し、レーザー式雨量計の計測値と比較した結果を図-6に示す。ドップラーセンサから推定した降雨強度は、レーザー式雨量計による降雨強度と相関は示されたものの、大幅に過小評価していることが分かった。その原因として、実降雨と人工降雨の環境条件や降雨強度の違い、移動による計測誤差等が考えられる。センサの改良に向け、今後さらに精査していく。

参考文献

- 1) Bartos, M., Park, H., Zhou, T., Kerkez, B., Vasudevan, R.: Windshield wipers on connected vehicles produce high-accuracy rainfall maps. *Sci. Rep.*, Vol.9, pp.1-9, 2019.
- 2) 赤松, 良, 齋藤, 和, 齋藤, 大: 車載雨量モニタリングシステムの開発に向けた光学式雨量計の実用性の検証. 土木学会論文集B1(水工学), 75(2), I_649-I_654, 2019.



図-3 人工降雨装置と実験の様子

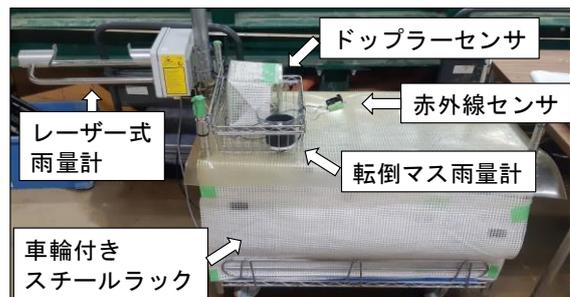


図-4 各種センサを搭載した車輪付きスチールラック

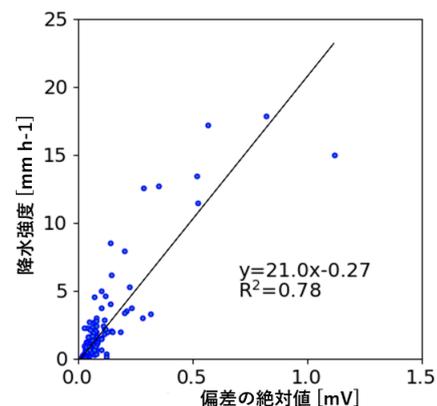


図-5 ドップラーセンサによる電圧の偏差絶対値とレーザー式雨量計による降雨強度の相関図

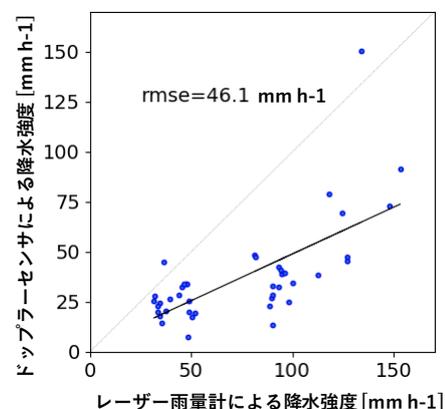


図-6 ドップラーセンサの計測値から推定された降雨強度とレーザー式雨量計の計測値の比較