

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15103

研究課題名（和文）次世代型降水量浸水深モバイル観測システムの開発

研究課題名（英文）Development of mobile observation systems for measuring precipitation and inundation height

研究代表者

小野村 史穂 (Onomura, Shiho)

東京理科大学・理工学部土木工学科・助教

研究者番号：40822937

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：自動車への搭載に特化した降水量浸水深モバイル観測システムを開発した。降水量と浸水深の計測には、車載に適した超小型ドップラーセンサと水位センサを用い、モバイル通信モジュールを取り付けたマイコンに接続することで、計測及びデータ収集・転送可能なシステムを構築した。ドップラーセンサによる雨量計測は新たな試みであり、定点観測を通して弱雨から強雨まで計測可能であることを確かめた。さらに、実際の車両に搭載した移動観測を実施し、ドップラーセンサのシグナルに周囲の風況や車両の移動速度を加味した補正を適用することで、雨量の移動観測が可能であり、移動経路に沿った細かな降雨変化を捉えることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

各地で豪雨による水害が発生する中、都市部等の人々が暮らす空間は複雑であり、安全な避難に必要となる詳細な降水および浸水状況を把握することは難しい。本研究では、車への搭載に特化した降水量浸水深移動観測システムを開発しており、人々の動線に沿ったローカルな情報の提供に繋がる可能性がある。また、近年の地上気象観測網衰退を補う手段として、車での移動観測に期待が高まっている。他の気象要素を測定する小型デバイスと合わせて移動気象観測システムへと進化させることで、これまでにない密な地上気象観測データの取得ができ、異常気象の早期察知、気象予測精度の向上、車の自動運転サポートなど多岐に渡って役立つことが考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a mobile measurement system of rainfall intensity and inundation depth was developed. The system consists of a compact doppler sensor and a water level sensor connected to a single-board microcontroller with a LTE communication module, which operates their measurements, and collects and transfers the observation data. Since rainfall measurements by the compact doppler sensor was a new idea, the sensor was tested through fixed-point observations and mobile observations. The sensor successfully responded light rain to heavy rain (up to about 100 mm/h). Also it was able to capture the large change of rainfall intensity in mobile observations, as long as the signals by the sensor were properly corrected in terms of local wind conditions and vehicle's traveling speed.

研究分野：水文気象学

キーワード：移動観測 センシング技術 自動車 豪雨 浸水 水害 IoT モビリティネットワーク

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

気候変動による極端気象の増加が予測される中、我が国では豪雨の発生頻度が増加している。平成27年関東・東北豪雨や平成29年九州北部豪雨など、毎年全国各地で大雨による冠水や土砂崩れが起こり、人々の生活に多大なる被害をもたらしてきた。国土交通省や気象庁は、レーダー雨量や地上観測雨量、河川水位を基に、注意・警戒情報を発しているが、都市部や山岳域等、人々が暮らす空間は極めて複雑であり、十分に細やかな降水・浸水状況を把握することは難しい。突然の豪雨や冠水により、避難が遅れて犠牲になる人も後を絶たない。そのことから、避難経路となる人々の動線に沿った降雨・浸水情報を早期に把握し安全な避難行動へと繋げる必要がある。

人々が行き来する道路への観測センサ設置は制約も多い。そのことから、自動車等の移動体にセンサを取り付ける移動観測手法がある。車載型気象観測キットは国内外で既に販売されているが、その多くは既存の気象センサの組み合わせで気温・湿度・風速等を測定し、降水量の観測は含まれていない。その理由に、最も一般的な降水量測定方法（転倒ます雨量計）が移動観測に適さないことが挙げられる。加速度が作用する移動体上では、シーソー式の転倒ますに外力が作用するため、正確な計測が難しい。浸水深については、自動車の安全な走行に重要な情報であるものの、移動観測の前例自体は皆無に等しい。近年、レーザーや電波を用いて降水量や水位を計測することも可能になってきているが、それら観測機器は高価で、定点観測を想定した設計ゆえに、可搬性が乏しい。

一方、モビリティネットワークの進化は目覚ましく、自動車は情報を収集し発信するデバイスへと変化を遂げつつある。そうした中、安全な走行や防災の観点から、気象データの重要度は高く、とりわけ災害や事故に結びつきやすい雨量や浸水深データの需要は高い。

### 2. 研究の目的

本研究課題が描く将来構想は、人々の生活空間を行き来する自動車を降水量浸水深モバイル観測システムとし、これまで把握できなかったローカルな降水浸水情報を収集・解析することで、社会全体の被害監視に役立てることである。この将来構想を具現化するべく本研究の目的は、自動車への搭載に特化した簡易かつ小型の降水量浸水深観測システムを開発・検証することである。本研究の学術的独自性と創造性は、既成の固定観測用センサを使用または改変するのではなく、車載式として負担の少ない観測システムの開発を行うところにある。降水量は、すでに搭載されているドライブレコーダーのように車内に固定した小型カメラでフロントガラスに付着する雨滴を撮影し、その画像から推定する手法を採用する。浸水深の測定では、超音波センシング技術を用い、車外に取り付け易い超小型で安価なセンサを開発する。また、降水量や浸水深の移動観測結果は非常に稀であり、既存の定点観測で取得されているデータとの相違や移動観測データの有用性については、十分に検証されていない。したがって、観測している自動車の運動や変化する観測環境も同時に記録し、移動観測特有の性質や複雑な観測場の影響を分析し、データの利用価値について定量的な評価を行っていく。

### 3. 研究の方法

#### (1) 降水量及び浸水深移動観測手法の開発

自動車への搭載に特化した降水量浸水深観測手法の開発を行った。当初の計画通り、自動車のフロントガラスに付着する雨滴の画像から雨量を推定するため、透明平板に付着した雨滴から雨量を推定する手法を開発した。一方で、開発を進める過程で移動観測への適用が難しいことも分かり、IoT デバイスとして流通する小型赤外線センサやドップラーセンサを用いた新たな降水計測手法の開発に着手した。室内人工降雨装置下での実験や屋外観測の結果を踏まえて、その有用性を検討した。また浸水深計測には、小型超音波センサや水位センサを採用し、実験的に移動観測への適用を検証した。

#### (2) 移動観測試験

(1) で開発したドップラーセンサによる降水量観測システムを普通自動車に搭載して降水移動観測を実施した。ドップラーセンサによる降水シグナルを比較検討するため、レーダー式雨滴計も車載した。さらに、センサからの信号は、周囲の風況や車体の移動状況から影響を受けるため、風向風速計と高精度な GPS 等も搭載している。ただし、本研究実施期間中の降雨時に、冠水した道路に遭遇しなかったため、浸水深センサを用いた移動観測試験は実施できていない。

#### (3) 既存の雨量プロダクトとの比較

移動観測では厳密に比較対象となる雨量データが存在しないため、VICS でドライバーに配信されている国土交通省 C バンド X バンド合成雨量データに加え、気象庁が配信している固定観測地点での地上雨量データを用いて比較解析を行った。自動車の運動や観測環境の影響を加味し、移動観測データ特有の性質を整理するとともに、モバイル観測データの有用性を検証する。

#### (4) 車両浸水状況把握に向けた検討

車両へ浸水深センサを導入するにあたり、道路冠水時の車両浸水状況を把握するため、実車両を用いた車両浸水実験を実施した。車内外の水位を測定することで、車両の水没リスクを評価し、浸水深センサの適切な設置方法等を検討する。

#### (5) モバイル観測データ収集システムの構築

移動観測は、人々の動線に沿って、観測地点が変化するため、データを自動で収集、転送する仕組みが必要不可欠である。モバイル通信モジュールを搭載したマイコンに、(1) で開発したセンサや GPS 等を接続して計測データを収集することで、データ転送可能な小型ロガーを作成する。転送されたデータは、収集用サーバーに集めて可視化する。

#### (6) 移動観測データの利活用に向けた検討

移動観測から得られる降水量・浸水深データの利用価値について評価し、改善点や利活用に向けた提案を行う。また、自動車のモビリティネットワークへの参画を視野に入れた今後の展開事項について整理する。

### 4. 研究成果

本研究から得られた成果を以下に示す。

#### (1) 降水量及び浸水深移動観測手法の開発

降水量の移動観測手法として、雨滴画像を用いて計測する手法 (図-1) と動体検知用小型ドップラーセンサを適用する手法 (図-2) を開発、検討した。人工降雨装置を用いた実験及び実降雨下での観測結果から、どちらの測定手法も雨量の変化を的確に捉えていることが確かめられた。とりわけ、小型ドップラーセンサは移動観測への適用可能性が高く、弱雨から強雨 (~100 mm/h) までの急激な変化も的確に捉えていた。設置方法や耐久性に課題が残るものの、新たな小型かつ

安価な雨量観測手法として十分な性能を発揮することが示された。浸水深の観測手法として、小型の超音波センサと水位センサ（図略）を実験的に検証し、両者ともに高い時間分解能で水深の変動を捉えていた。どちらも性能とサイズの観点から移動観測へ適用可能であることを確かめた。



図-1 雨滴画像から雨量を計測する手法

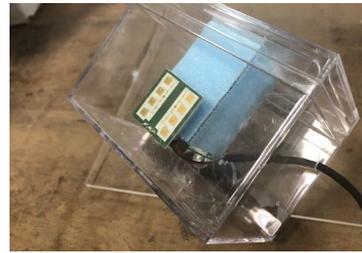


図-2 小型ドップラーセンサによる手法

## (2) 自動車を用いた降水移動観測と既存の降水観測データとの比較

(1)で開発した小型ドップラー降水センサを一般車両に取り付け、降水の移動観測を実施した（図-3）。雨量の比較用としてレーザー式雨滴計、走行環境やルート、速度を把握するための風向風速計やGPS等も搭載した。

複数回実施した移動観測では、移動経路に沿って弱雨～中雨を観測することに成功した。移動観測でのドップラー降水センサのシグナルを、風向風速や自動車の移動速度と合わせて解析したところ、車両で計測された相対風速に合わせて、センサのシグナルも変動する様子が見られた。そこで、相対風速を用いてシグナルを補正する方法を考案して適用したところ、補正後に降水強度と高い相関が見られ、ドップラーセンサを用いた移動観測で雨量の計測が可能であることが示された。

さらに移動経路に沿って抽出したレーダー雨量と比較した結果、おおむね雨量の変動が一致していることが確かめられた。一方で、全体的にレーダー雨量より移動観測による雨量の方が小さく、気象レーダーでは捉えきれない弱雨を移動観測では検知できていることが分かった。また、地上に離散的に配置されている雨量計では観測できない局所的な降雨も捉えており、降水移動観測の有用性が確かめられた。

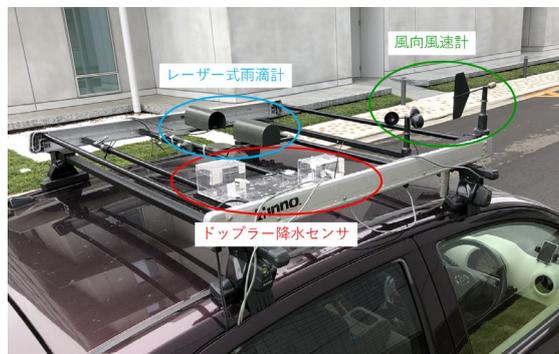


図-3 降水移動観測の様子

## (3) 浸水状況把握に向けた検討

5人乗り普通自動車を用いた車両浸水実験を実施し、車内外の水位を計測した結果、車外の水位が約0.4mに達すると車内の浸水が始まることが分かった。また、浸水した車内の水位は車外

の水位の変動に数分位相が遅れる形で変化している様子が見られた。車両の水没を回避し、安全な避難を行うためには、車外の危険浸水レベルを早期に検知することが重要であることが示された。

#### (4) 移動観測データ収集システムの開発

モバイル通信モジュールを取り付けた小型マイコンに、本研究で開発した小型ドップラー降水センサと水位センサ、GPS 等を接続し、計測及びデータ収集・転送を行う小型通信ロガーを作成した。クラウド上に一度データを転送し、ローカルサーバーにダウンロードした後、可視化を実行している。

#### (5) 移動観測データの利活用に向けた検討

人手を要する地上気象観測地点は世界的に減少傾向にあり、衰退する観測網を補う手段として、ICT 技術で繋がる自動車（コネクテッドカー）による気象モニタリングに期待が高まっている。気象変数の中でも温度や湿度、気圧、風速に関しては、移動観測に応用可能な小型センサデバイスが流通しているが、水害に繋がる可能性がある雨量については小型かつ移動観測に適用可能な測定手法がなかった。本研究で開発した小型降雨センサは、移動体を用いた降雨観測の可能性を見出すものであり、他の気象センサデバイスと合わせることで、これまでにない密な地上気象データベース作成を可能にするものである。こうした地上気象データは、人々の平穏な生活を脅かす極端な気象を早期に察知するだけでなく、気象予測精度向上への利活用や、今後さらなる進展が予想される車の自動運転を行うための大切な情報となり得る。さらに、浸水深センサを追加して周辺の浸水状況を共有することができれば、水害時の安全な避難誘導に繋がることも期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 小野村史穂, 鈴木宏輔, 仲吉信人	4. 巻 75
2. 論文標題 Image Disdrometerの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_1159-I_1164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.75.2_I_1159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小野村史穂, 南光一樹, 仲吉信人	4. 巻 76
2. 論文標題 小型ドップラー降雨センサを用いた降雨移動観測の試み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 _211- _216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.76.2_I_211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小野村史穂, 堀田滋, 仲吉信人, 二瓶泰雄	4. 巻 26
2. 論文標題 高解像度地上降雨データ取得に向けた移動観測手法の実験的検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.26.0_157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小野村史穂, 鈴木宏輔, 仲吉信人
2. 発表標題 Image Disdrometerの開発
3. 学会等名 土木学会 第64回水工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野村 史穂
2. 発表標題 小型ドップラー降雨センサを用いた降雨移動観測の試み
3. 学会等名 土木学会 第65回水工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shiho Onomura, Hikaru Saito, Makoto Nakayoshi
2. 発表標題 Performance of a small doppler sensor towards vehicle-based precipitation observation
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 18th Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shiho Onomura, Kousuke Suzuki, Makoto Nakayoshi
2. 発表標題 A new precipitation monitoring system: Image disdrometer
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野村史穂, 堀田滋, 仲吉信人, 二瓶泰雄
2. 発表標題 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
3. 学会等名 土木学会 令和2年度全国大会 第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 降水情報処理システム、降水情報処理方法、降水情報処理プログラム、及び無人航空機	発明者 小野村史穂，仲吉信人	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-186398	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------