

ゲリラ豪雨検知のための短時間雨量を計測できる雨量計の開発：動作試験の初期結果

山田磨耶*¹・宮地篤士*¹・高田 拓*²

Development of New Rain Gauge with a High Time Resolution for Guerrilla Heavy Rain: Initial Results of Test Experiments

Maya YAMADA, Atsushi MIYAJI, Taku TAKADA

Summary

Because of the recent increase of sudden, intense rainstorms in Japan, Japanese have coined the term Guerrilla heavy rain. Guerrilla heavy rain is generally unpredictable, heavy rainfall in a short time. It sometimes causes heavy damage such as serious landslides and flooding. If we can better understand these storms through detection and measurement, evacuation advisories could be issued and damage mitigated. In this study, we developed a new rain gauge with a high time resolution and examined its performance. In the case of less than 60 second measurements, the rain gauge can infer heavy rain to be observed within 3 minutes. We are planning to set numerous gauges over a wide area with internet connections, which permits estimation of the area and speed of the storms. Thus, prediction of arrival time and duration of guerrilla heavy rain is possible.

1. 序 論

ゲリラ豪雨とは、気象学的に定義されている言葉ではないが、集中豪雨や局地的大雨を指す言葉である。集中豪雨とは、同じ場所で数時間にわたって、100mmから数百mmの雨量をともなう強い雨のことである。局地的大雨とは、数十分程度の短時間に狭い範囲に数十mm程度以上の雨量をもたらす雨のことであり^[1]、集中豪雨とは厳密には異なる。局地的大雨の中でも、予測が困難で短時間に多量の降水を伴う雨をゲリラ豪雨と呼ぶ。ゲリラ豪雨は、重大な土砂災害や状況の急変による大事故、地下空間や家屋の浸水などの大きな被害を引き起こす。これらの被害を抑えるために、ゲリラ豪雨発生の事前予測や早期観測の精度向上が求められており、ゲリラ豪雨の発生や状況を早期に検知することで、避難勧告などの対処が可能となる。

雨量あるいは降水量とは、一定時間に降った雨が流れ去らずにそのまま溜まった場合の水の深さを表す^[1]。降水量の計測を行う機器を雨量計と呼び、主に転倒ます型雨量計と貯水型雨量計の2種類が利用される。気象庁や公共自治体などによる計測では、主に転倒ます型雨量計が利用されている。転倒ます型雨量計は降水を受水器で受け、二つの「ます」からなる転倒ますに降水を注ぐ。転倒ますに一定量の降水——大半のものは0.5mmないし1.0mm——が貯まると、ますが転倒して排水を行う。このときの転倒数を計測することで降水量が分かる。貯水型雨量計は貯水ビンに貯まった雨水を雨量ますに移し、その重さから降水量を計測する。一般的には、10分間や1時間あたりの雨

* 1 高知工業高等専門学校 電気情報工学科 4年生

* 2 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科 准教授

量として利用されている。また、0.5mm以下の雨量に関しては、統計的に無視されており、降水確率0%であっても、雨が降ることがある要因になっている。

一方、降水の面的分布とその強度を求めるものに、気象レーダー（パラボラ式）がある。気象レーダーでは、アンテナを回転させてマイクロ波を発射し、発射したマイクロ波が戻ってくるまでの時間や強さで、雨までの距離や雨の強さを計測する^[1]。その計測範囲が広い点、5分程度の比較的短時間で測定が可能な点がメリットである。実際の雨量を測定していないため、雨量の精度は正確でない。域内の雨量計による雨量の補正などを経て使用される。近年、より高速な観測を可能にしたフェーズドアレイレーダーの導入も広まっている。電子スキャン方式のフェーズドアレイレーダーでは、現象の断面を撮影する速さが1回あたり3.3秒程度と高速観測が可能である^[2]。過去の降水域の動きと現在の降水の分布の関係を用いて、1～6時間先までの降水の分布を1km四方の精度で予測している^[1]。他にも、傘にマイクロフォンを装着し、傘に当たった雨粒の音を採集・解析することで雨量の分布を予測する研究^[3]や、自動車のワイパーの動作から雨の強さの空間分布を推定する研究^[4]がなされている。これらの研究では、多地点でのデータを効率よく取得できるが、雨量を精度よく見積もるためには、まだ多くの課題がある。

ゲリラ豪雨の発生を早期に観測し、降水域の範囲や移動の速さ、移動方向などを測定するため、短時間で高精度な計測を行う雨量計の製作・試験を行った。60秒以下の計測時間により、1台の雨量計でもゲリラ豪雨の観測開始を2～3分以内に察知することができる。今回開発した雨量計を広範囲に多数設置し、インターネットを介してデータ解析することで、ゲリラ豪雨の広がりや進行速度を見積もることができ、ゲリラ豪雨の到来時刻や継続時間の予測に役立てることができる。

2. 雨量計の開発

本雨量計の開発には、マイコンボードRaspberry Pi2を用いた。高機能なマイコンで、GPIOを介したセンサ制御や、USB等の接続が可能で、簡易観測装置などでよく利用されている^[5]。開発した雨量計の概要と短時間雨量を自動計測するシステムについて説明する。

2.1 雨量計の構成と計測手順

開発した雨量計の概観を図1に示す。本雨量計は、雨水を貯水する貯水部と貯水した雨水を計測する計量部からなる。一般的な転倒ます型雨量計と同様に貯水部と計量部を分けた。貯水部と計量部にはサーボモータを取り付けており、サーボモータを180°回転させることによって貯水部から計量部へ水を移し、計量後は計量部の排水をサーボモータで行う。排水を徹底させるため、2回転させている。雨量計の構成を図2に示す。径の大きい貯水部ではトルクの大きいサーボモータ(S03T)を、径の小さい計量部では、トルクの小さいサーボモータ(PIC)を使用している。また、計量は、浮きを入れた計量容器を撮影し雨量の計測を行う。撮影には、USB接続のwebカメラを用いており、画像解析により浮きの位置を同定することで、溜まった水の高さを推定している。雨量の計測後に、貯水部を元に戻し、貯水を再開する。サーボモータの制御および、撮像画像の解析は、Python言語で記述したプログラムで行っている。

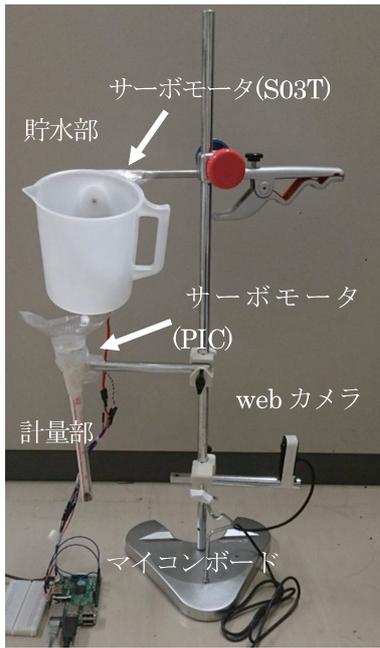


図1. 雨量計の概観

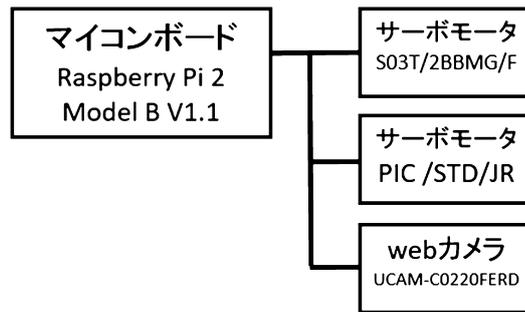


図2. 雨量計の構成

2.2 単位時間雨量の計測と計測頻度の検討

本観測装置では、計量部の径を貯水部の径より小さくすることで、短時間の少ない雨量でも精度の高い雨量計測を実現している。ここで、貯水部の径を $R_{貯}$ 、計量部の径を $R_{計}$ とすると、貯水部に $h_{貯}[\text{mm}]$ の雨が貯まったとき、貯水部における雨の体積 $V_{貯}$ は $V_{貯} = \pi (R_{貯})^2 h_{貯}$ となる。計量部に移した後の水位を $h_{計}[\text{mm}]$ とすると、計量部における雨の体積 $V_{計}$ は $V_{計} = \pi (R_{計})^2 h_{計}$ である。すべての水を移すことができたとすると、 $V_{貯} = V_{計}$ となるので、 $h_{計} = h_{貯} (R_{貯}/R_{計})^2$ と表される。計量部では、貯水部で観測される水位の $(R_{貯}/R_{計})^2$ 倍の水位として計測できる。今回製作した装置は半径比が8:1なので、64倍の水位として計測できる。表1に雨の強さごとの単位時間雨量をまとめた。この表をもとに、ゲリラ豪雨観測に必要な単位時間雨量と計測頻度を検討する。

表1. 単位時間雨量と雨の強さ^[1]

雨の強さ	1時間当たりの雨量(/hour)	計量部の水位(/min)	計量部の水位(/20s)
弱い雨	10 mm未満	10.7 mm未満	3.6 mm未満
強い雨	10 mm以上	10.7 mm以上	3.6 mm以上
	30 mm未満	32.0 mm未満	10.7 mm未満
かなり強い雨 (避難推奨)	30 mm以上	32.0 mm以上	10.7 mm以上
	60 mm未満	64.0 mm未満	21.3 mm未満
ゲリラ豪雨 (警告必要)	60 mm以上	64.0 mm以上	21.3 mm以上

本観測装置の計量部の最大水位は20mmである。60秒ごとの計測の場合は、強い雨の一部と弱い雨の計測が可能である。後述するが、高さの計測精度は0.2mm程度であるため、1時間あたり0.19mm程度の非常に弱い雨でも計測できる。一方、20秒ごとの計測の場合、かなり強い雨までが計測可能である。計量部の最大水位20mmであれば、1時間あたりの雨量は56.3mmに相当するた

め、満水した場合は、ゲリラ豪雨と判断してもよいだろう。弱い雨に関しては1時間あたり0.6mm程度の雨まで正確に計測できる。このように、ゲリラ豪雨の判断が可能で、弱い雨からかなり強い雨までの、様々な雨に対応できるため、20秒の計測で観測装置を動かすことを当面の目標としている。ゲリラ豪雨の雨量の計測範囲を広げる必要がある場合は、計測時間をさらに短くすることも可能である。ただし、日常的な降雨時の雨量は10mm未満であり、60秒の貯水でも十分に計測可能であることから、本観測装置の試作機は1サイクル60秒として計測している。

3. 動作試験の結果と計測精度の検証

3.1 動作試験の結果

雨量計試作機の完成後、動作試験を行い、計測誤差を見積もった。動作試験では、貯水部に手で水を入れ、1サイクルの動作と画像解析による計測結果を確認した。サーボモータは正常に動作し、自動撮影、画像解析を行った。なお、貯水部への入水量は、計量部の容器と同じ規格の容器で水量を計測した。表2、表3に動作試験結果の一例を示す。

表2. 動作試験結果の一例(貯水部から計量部)

貯水部への入水量[mm]	計量部の水量(目測)[mm]	移動で発生する差[mm]
3.0	3.0	0
6.0	5.5	-0.5
10.0	10.2	+0.2
14.0	13.5	-0.5
19.0	18.5	-0.5

表3. 動作試験結果の一例(計量部の自動計測)

計量部の水量(目測)[mm]	画像解析による計測[mm]	目測と画像解析の差[mm]
1.2	1.3	+0.1
6.5	6.2	-0.3
9.1	9.8	+0.7
14.0	14.1	+0.1
18.0	18.1	+0.1

3.2 計測精度の検証

表2より、貯水部から計量部に水を移す際に、0.2~0.5mmの差が生じている。これは貯水容器やじょうごなどの、計量部分以外に水滴として付着する水量の増減によるものと考えられる。差の生じ方にはばらつきがあるため、差を想定した上で計測結果に適切な補正をかけることは難しい。計測結果には最大±0.5mmの誤差がある。ただし、本雨量計の主な目的は、20秒毎の降水量が21.3mm以上となるゲリラ豪雨の検知であるため、実用上問題ない。

一方で、表3から分かるように、計量部での画像解析による計測誤差は平均で0.1~0.2mmであった。計量部の最小目盛りが1mmなので、目視での計測精度は0.1mm程度であり、画像解析の精度としては十分である。ただし、画像の状態によっては、浮きの位置を適切に認識できないことが原因で、測定できなかったり、0.5mm以上の誤差が生じたりすることがあった(表3中段の+0.7mmの場合)。解決策に関しては3.3で議論する。図3に、カメラによる計量部の撮影画像(左)と撮影画像の走査部分にラインを書き込んだ加工画像(右)を示す。画像解析の成否を確認するため、図3右に示す画像を出力するようにした。計量部の上端、下端に貼り付けた黄緑のテープが認識

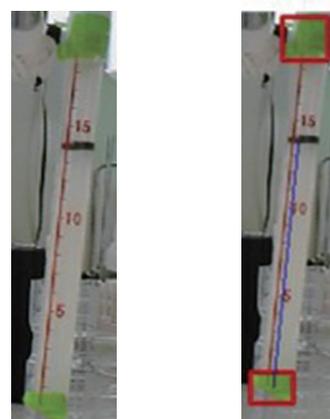


図3. 計測時に撮影された画像(左)、端の判定(赤い四角)と走査部分(青線)を示した画像(右)

され、赤い四角で囲まれていることが確認できる。また、青線は、上端と下端の座標を結ぶ線上にあり、浮きの位置が正しく認識されていることが確認できる。画像解析では、黒い浮きを同定するため、RGB値の総計が閾値を下回る条件を用いた。以上をまとめると、本雨量計の誤差は、0.1～0.7mm程度の精度である。

3.3 画像解析システムの改善

前述したように、撮影した画像の状態によっては、画像解析が適切に行われない場合がある。現行のプログラムでは、画像上で計量部の上端と下端を結ぶ線上に存在するピクセルのRGB値を調べ、その総計が閾値を下回ると、黒の浮きの下端が存在していると判断することで雨量を計測している。このアルゴリズムでは、一番初めに黒と判断した点を、浮きの下端と認識するため、水位を低く見積もる場合がある。また、撮影を行う環境が明るすぎると、画像上での浮きが白っぽくなりRGB値が用意した閾値を下回らず、水位が得られない場合がある。

画像解析のプログラムに関しては、アルゴリズムの検討を行う。基本的には、RGB値が閾値を最初に超えた点を浮きと判断するのではなく、計量部の全範囲の中で、最もRGB値が黒に近く、浮きと同程度の高さ方向の幅がある部分を選ぶようにする。この方法により、撮影環境の明るさで浮きのRGB値が従来の閾値を下回った場合も浮きを判定できる。加えて、浮きが水平方向の幅をもつことを利用して、水平方向の何点かで同様の判定を行い、計測の信頼性を高めることを考えている。

3.4 今後の展望

まずは、屋内などの外乱の少ない環境下で雨量計の長時間動作を確認する。次に、雨の強さや風の有無が雨量の計測に及ぼす影響や、観測装置と反射した雨滴が貯水量にどの程度影響しているかを検討するための簡易実験を行う。実験条件は徐々に屋外での降雨の環境に近づけ、防水性が充分であることや観測装置の強度、ソフトウェア処理の耐久性を検証する。計測精度や強度、防水性を十分に検証した上で、実際の降雨で本観測装置を用いて雨量を計測し、その実用性を検証する。

ゲリラ豪雨の発生は昼夜を問わないが、現段階で本観測装置は、周囲が暗くなる夜間の計測は行えない。実用性を高めるに、夜間や曇りなどでも計測可能にするべきである。計量部内の浮きの位置を認識できれば雨量の計測は可能なので、浮きを蛍光色のものにするだけで夜間の計測を実現できると考えられる。

4. 雨量計ネットワーク構築の設計

ここでは、雨量計ネットワークを構築し、一般的なゲリラ豪雨の広さや移動速度などを求めるのに必要な雨量計間の距離を検討する。ゲリラ豪雨を発生させる雲は主に積乱雲であり、その水平方向の広がり数は数キロ～数十キロメートルである^[1]。降雨の範囲が狭い場合にも対応するためには、少なくとも2km程度以下の間隔で雨量計を設置する必要がある。一方で、降雨の範囲が広いゲリラ豪雨の動きを追いかけるために、四方10km以上の範囲に雨量計を設置したい。

一方で、ゲリラ豪雨の発生を観測したのち、その移動方向や移動速度を予測するために必要な時間を検討する。ゲリラ豪雨の移動速度は、一般的な雲の移動速度と同程度の50km/h \div 14m/s^[6]未満と仮定した。ある2地点で、ゲリラ豪雨の観測開始時刻が異なれば、ゲリラ豪雨の移動速度を見積もることができ、他地点でのゲリラ豪雨の到来時刻を予測できる。ゲリラ豪雨の移動速度が10m/sの場合、2km間隔で雨量計を設置すると、3分未満でその予測を行うことができる。複数箇所の雨量計のデータと比較することで、より予測の精度を高めることができる。

多地点設置のためには、雨量計1台あたりのコストを抑える必要がある。表4に示すように試作機一台の製作費は10,864円である。マイコンボードに使用したRaspberryPi2 Model Bは同程度の機能性を持ちながらより小型で安価なRaspberry Pi Zero (¥500ほど)を代用することで5,000円以上の費用削減が見込めるため、交換の検討を行う。ただし、後述するように、雨量計をインターネットに接続するために、さらに部品を追加しなければならない。サーボモータやwebカメラの買い替えは、性能的な面からは可能であり、検討する必要がある。

表4. 構成部品の価格

マイコンボード	¥5,600
micro SD	¥750
貯水部容器	¥864
計量部容器	¥0
貯水部サーボモータ	¥1,296
計量部サーボモータ	¥864
Webカメラ	¥1,490

雨量計の設置場所は、計測雨量に影響が出ず、インターネットに接続できる環境である必要がある。そのため建物の近くや屋根の下など、雨量計のすぐ近くに遮蔽物がない環境でなければならない。現時点では、無線LAN子機で付近のアクセスポイントにアクセスしてインターネット接続する方法を考えており、無線LAN子機の通信範囲がおおよそ100~150mであるので、周辺にインターネット環境がありながらも、開けた場所に置く予定である。

5. まとめ

本研究では、ゲリラ豪雨の発生やその状況を把握することを目的に、従来の雨量計より短時間かつ同程度の精度で計測を行う雨量計を開発し、そのネットワーク化を目指した。本稿では製作した試作機とその動作試験の結果を述べた。動作試験では、60秒毎の計測を行い、雨量計の機械的な動作や画像解析による計測誤差の確認・検証を行った。動作試験の結果より、雨水の移動や計量部の固定など、ハードウェア面において、水滴の付着、水跳ね等により、最大で0.5mmの差が生じることが分かった。ただし、この差は本雨量計の観測目的を考えると、問題のある量ではない。画像解析による計測に関しては、誤差0.1~0.2mmと、計量部の最小目盛りの十分の一程度であり、十分な結果である。

最終的には20秒を1サイクルとする計測を行う雨量計を完成させ、雨量計同士のネットワークを構築する。本雨量計で20秒の計測を行えば、毎時30mm以上の「かなり強い雨」までの雨の強弱を正確に測定でき、加えてゲリラ豪雨の発生を検知できる。また、本雨量計のネットワークを構築することで3分程度の計測により、その広がりや進行速度を見積もり、ゲリラ豪雨の到来時刻や継続時間を予測することができる。

謝 辞

本雨量計の開発・動作実験では、高知工業高等専門学校専攻科の益岡葵氏、同電気情報工学科の

川上舞帆氏、山崎千寛氏にご協力いただきました。本研究に使用した雨量計は一般財団法人WNI気象文化創造センターからの助成金により開発することができました。また、本観測装置で使用した計量容器は株式会社撰より提供していただきました。ここに感謝の意を示します。

参考文献

- [1] 国土交通省気象庁、気象庁
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2016/11/03)
- [2] 気象庁気象研究所、フェーズドアレイレーダー
<http://www.mri-jma.go.jp/Facility/phasedarrayradar.html> (2016/11/03)
- [3] 細川茂樹、藤波香織、プローブ傘による降雨マップシステムの作成手法に関する研究、情報処理学会第74回全国大会、6、2、2012
- [4] 田島隆行、若山公威、佐藤龍哉、時津直樹、岩田彰、インターネットITSにおけるプローブデータ通信量の削減、情報処理学会研究報告高度交通システム (ITS)、25、61-67、2003
- [5] 益岡葵、大原万里奈、前田栄一、上田真也、高田拓、OS搭載型マイコンボードによるバルーンサットの開発：初期開発と実証試験、高知工業高等専門学校学術紀要、60、49-58、2015
- [6] 森田正光、全国子ども相談室「いきもの」
<http://www.tbs.co.jp/kodomotel/science/0049.html> (2016/11/03)

受理日：2016年11月4日