

# 立入困難区域における UAV 可搬型 リアルタイム雨量観測デバイスの開発

さかもと 坂本 あいの<sup>1</sup>・かないひろみち 金井 啓通<sup>1</sup>・ながたなおみ 永田 直己<sup>1</sup>・きたはらりょうた 北原 遼太<sup>1</sup>・しまだとおる 島田 徹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国際航業株式会社（〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1）

災害現場では、災害の拡大防止のために、早期に災害関連事象の監視に着手する必要がある。しかし、災害現場への立ち入りは困難、かつ、危険なため、遠隔地から状況を把握する技術が求められる。そこで、私たちは、災害現場の遠隔監視を目標として、様々なモニタリング技術を開発してきた。

本論文では、雨量観測デバイスの開発を取り上げることとし、UAV での運搬・設置が可能で経済性に優れた観測装置の選定と、現場への設置、観測精度の確保、連続的な観測・通信の確保のために検証と改良を重ねた過程を示し、最後には今後に向けての課題と展望に触れる。

**Key Words** : 立入困難区域, デバイス開発, 雨量観測, UAV による運搬, 小型, 軽量, 安価

## 1. 開発の目的・目標

近年、線状降水帯の発生による洪水や、がけ崩れ・土石流といった土砂災害への関心が高まっている。その土砂災害の中でも、河道閉塞や火山噴火による降灰を原因とする災害は、その規模や破壊的な性質から、特に災害の拡大防止に努める必要がある。

河道閉塞は大雨や大地震によって斜面が大規模に崩れ、崩壊土砂が河川の水の流れをせき止める現象である(写真-1)。日が経つと閉塞部の上流側で水位が上昇し河岸が水没するほか、水位上昇とともに閉塞部を河川水が越流するなどして、閉塞した土砂を決壊させる。その結果、下流部に大洪水や泥流が及び、大きな被害を引き起こす。



写真-1 2011年紀伊半島大水害で発生した大規模な河道閉塞（国際航業（株）・（株）パスコ共同撮影）

一方、火山噴火によって火山灰が降り積もると、山林の保水能力を妨げ、少しの雨でも土石流が頻発し、火山灰と共に地山の土石や樹木を押し流して、破壊的な被害をもたらす<sup>1)</sup> (写真-2)。

こうした被害を少しでも軽減するには、現地の降雨状況を早い時期から刻々と把握する必要があるが、災害現場は立入困難で危険なため、遠隔地から現地状況を把握する技術が求められる。また、災害対策工の施工までには長期間を要するため、できるだけ長期にわたる連続観測が求められる。

これに応える方法の一つは、XバンドMPレーダによる雨量推定である。これは相当の精度を有するが、上空の雨粒から間接的に雨量を推定するため、地上付近の雨量分布とは異なることがある。そのため、



写真-2 雲仙普賢岳の噴火に伴い頻発した土石流による被害の状況（参考文献1より）

地上に雨量観測デバイスを設置して直接観測できれば、両者の結果を相互に補い、一層リアルな降雨量の分布を推定できる。

ただし、繰り返しになるが災害現場は立入困難である。そこで、研究開発に際しては、雨量計を UAV によって運搬・設置すること、また、必要な観測精度と長期にわたる連続的な観測・通信を実現することを目標に掲げて、雨量観測デバイスの開発に着手した。

## 2. 開発の課題

開発に際しては、まず適切な地上雨量計を選定する必要がある。一般に転倒マス型雨量計が広く使用されているが、設置には水平の確保が求められる。しかし、UAV による設置では水平確保が困難なため、水平でなくても観測可能な機器が必要となる。

また、①UAV による運搬を考慮すると軽量であること、②最低でも1ヶ月間の連続観測と観測結果の送出手が可能であること、③複数台を同時に投入し、災害等により損傷した場合はすぐに代替機を投入できるだけの経済性と入手の容易さが確保できること等が望まれる。これより、開発するデバイスは、小型・軽量・安価であることを基本とした。

以上より、開発上の課題は次のとおり設定した。また、図-1には、その関係を例示する。

- ・課題1：小型・軽量・安価な雨量計の選定
- ・課題2：長期間の連続観測・通信の実現
- ・課題3：UAVによる運搬・設置の実現

なお、次の章では、各課題への工夫・対応を示す。

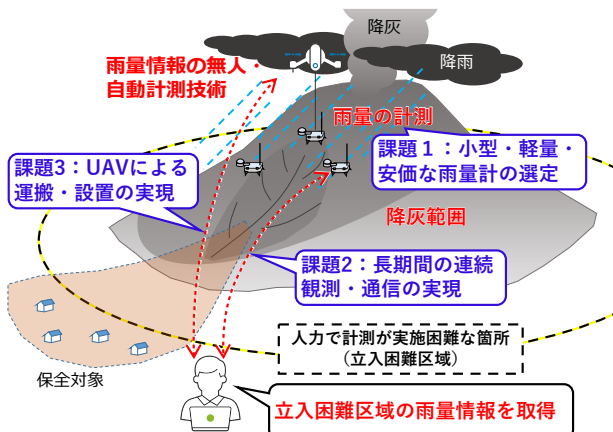


図-1 活用手順と課題 (例：降灰後の土石流)

## 3. 各課題への工夫・対応

### (1) 課題1：小型・軽量・安価な雨量計の選定

小型・軽量・安価なものとして、HYDREON CORPORATION 社製の光学式雨量計 RG-15 (以降、RG-15 と記す。)を使用した(図-2)。RG-15は、重量130g、サイズは高さ：約5cm、横：約7cmのドーム型雨量

計である。RG-15では、ドーム内部より照射される光線の反射率の変化量を降雨量へ変換している。

なお、RG-15と転倒マス型雨量計の精度比較は十分に実施されておらず、精度検証が必要となる。以降では、RG-15の精度検証の結果を報告する。

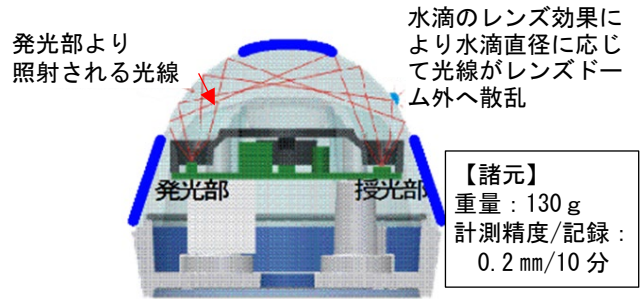


図-2 光学式雨量計 RG-15 の諸元

### a) 機器の精度検証

RG-15の精度検証のため、実際の降雨を用いて、転倒マス型雨量計との比較を行った。取得データの信頼性を検証するために機器を6個使用し、各個体による差を確認した。また、雨量計の設置箇所が水平でない場合も考慮し、RG-15の角度によって精度が変化するかを検証するため、設置角度を0度、15度、30度の3種類としてそれぞれ観測した(表-1)。

表-1 観測期間

検証	検証内容	観測期間	備考
1	設置角度による差の確認	令和3年10月4日17:40 ~12月23日9:00	No1、No2：設置角度0° No3、No4：設置角度15° No5、No6：設置角度30°
2	個体による差の確認	令和4年7月29日17:10 ~8月16日11:10 令和4年9月22日18:40 ~11月7日9:20	No1~6：設置角度0°
3		令和4年8月16日12:30 ~9月7日8:40	No1~6：設置角度15°
4		令和4年9月7日9:50 ~9月22日18:20	No1~6：設置角度30°

### b) 検証結果・解決策

検証1~4より、RG-15と転倒マス型雨量計で観測した雨量は、強い相関(相関係数:0.74~1.04)が確認された(図-3)。また、検証2~4より、RG-15の個体差は確認されなかった。検証2では30mm/h程度の強い雨を観測しているが、転倒マス型雨量計との相関は維持されたため、RG-15は大きな降雨強度も観測できるといえる。ただし、RG-15は転倒マス型雨量計に比べて観測した雨量を過大に評価する傾向が確認されたため、活用の際には、補正係数を掛ける必要があることが分かった。

次に、設置角度による差の確認を行ったところ、検証1~4より、設置角度0度の時が最も転倒マス型雨量計との相関が強く(相関係数:0.82~1.04)、取得データのばらつきが少ない( $r^2$ :0.93~0.99)こ

とが確認された。しかし、設置角度 30 度では転倒マス型雨量計との相関は強い(相関係数:0.80~1.04)が、取得データのばらつきが大きくなる傾向 ( $r^2$ : 0.82~0.95) が見られた。なお、検証1では、同時期の雨で設置角度による差を確認していることから、設置角度 30 度で取得データに大きなばらつきがみられる要因としては、雨の影響ではなく、設置角度による影響が推測される。

以上より RG-15 は、傾斜 30 度未満であれば、斜面地形が卓越する環境でも、補正係数を掛けることで、転倒マス型雨量計の代用として活用できると考える。

今後は傾斜 30 度以上で取得データが大ききばらつき要因を探るために、風速・風向・設置角度の関係を検証する必要がある。

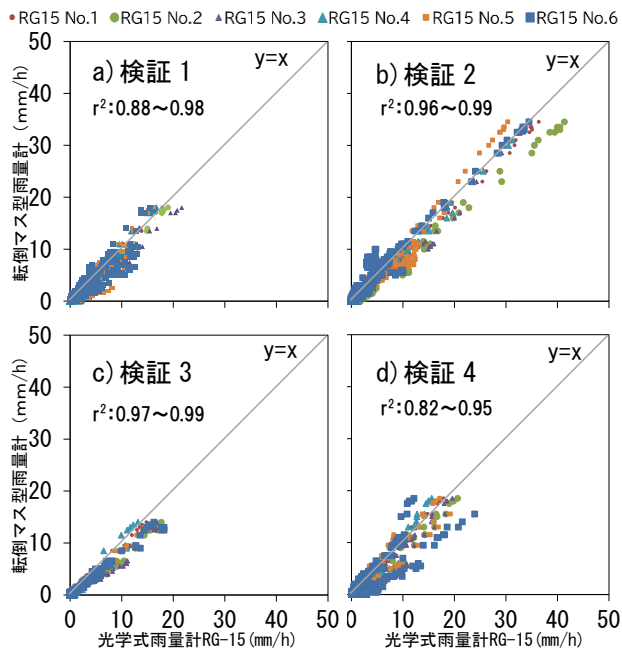


図-3 転倒マス型雨量計と RG-15 の精度比較

## (2) 課題2：長期間の連続観測・通信の実現

前項より RG-15 が利用可能であることを確認したため、デバイスを試作した(図-4)。このデバイスの長期間継続的な観測・通信を実現するため、電力には Li-Po バッテリーを使用した。これにより、観測・通信を同時に実施しても 40 日程度は継続してデータ取得・送付が可能となる。また、通信機器については、省電力で広域通信が可能な LPWA 通信機器 (RFLINK 社製の通信モジュール) を使用した。なお、過年度に簡易的な通信試験を実施し、送信アンテナの高さは地上から 40cm 離すことで通信が安定することを確認したため、開発したデバイスは送信アンテナの高さを 40cm 確保した。

試作したデバイスで通信が可能か、実際の災害現場を想定して小浅間山にて通信試験を行ったので、以下で報告する。

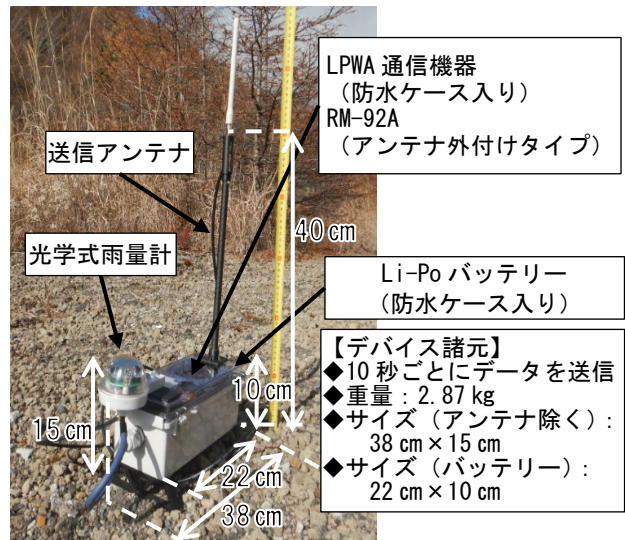


図-4 雨量観測デバイスの構成

## a) LPWA 通信の有効性検証

試作したデバイスを小浅間山山頂に設置し、RG-15 に雨滴を想定した水滴を付けることで通信試験を行った。なお、デバイスを設置する環境による通信状況の変化を検証するため、小浅間山山頂で植生がない場所(裸地)と植生がある場所から送信した(図-5)。あわせて、受信アンテナの高さや送受信機の距離による通信可否を検証するため、受信機はデバイスから約 1 km~4 km の距離を確保し、受信アンテナの高さは 150cm, 200cm, 300cm, 400cm の 4 種類を組み合わせて通信試験を実施した(図-6)。



図-5 送信機の設置状況

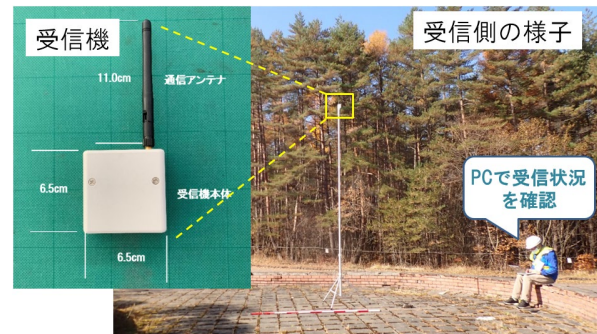


図-6 受信機の設置状況

## b) 検証結果・解決策

山頂部のような見通しの良い裸地に送信機を設置した場合、送受信機の距離が約 4 km でも通信可能で

あった。また、周辺が植生に囲まれた場所に送信機を設置した場合では、約4km離れた箇所では若干の通信の遅延があったが、受信アンテナを300cm以上確保すれば通信可能であった(表-2)。

今後は、雨天時における通信可能距離の把握や、遅延の発生有無を把握することが重要となる。また、別の通信規格の使用も視野に入れて検証・改良を続けていく必要がある。

表-2 通信試験結果

○：通信可(遅延なし) △：通信可だが遅延有 ×：通信不可

送受信機の距離		受信アンテナの高さ (cm)			
		150	200	300	400
裸地からの送信	約1km	○	○	○	○
	約2km	○	○	○	○
	約4km	○	○	○	○
植生有地点からの送信	約1km	○	○	○	○
	約2km	○	○	○	○
	約4km	△	△	○	○

### (3) 課題3：UAVによる運搬・設置の実現

浅間山噴火(レベル3相当)を想定し、立入規制範囲外から規制範囲内(小浅間山山頂)への雨量観測デバイスの運搬・設置試験を実施した。

#### a) 実施方法

機器設置位置は、小浅間山山頂の現地状況を確認して選定した。設置位置の位置情報は、単独測位で計測し、計測した位置情報をUAVのフライトプランに入力した。UAVに試作デバイスを取り付け、自律飛行による約1kmの運搬・設置試験を実施した。

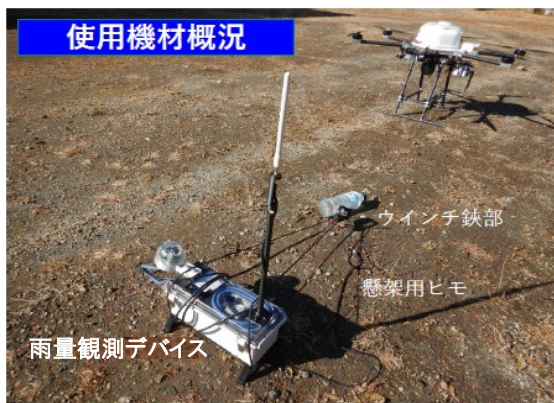


図-7 運搬に用いた機材

#### b) 検証結果・解決策

UAVの自律飛行による運搬・設置が可能であることを確認した。なお、単独測位により取得した位置座標から約3mずれたが、デバイスを設置することができた(図-8)。設置位置がずれた理由としては、位置座標を単独測位で取得したことと、UAVの位置座標のずれが考えられる。ただし、半径3m程度の範囲を設置位置として指定することで問題なく活用

できると考える。

今後は、指定した座標と設置位置の誤差の要因を検証し、より誤差が小さくなる方法を検討することが重要となる。



図-8 機器設置時の状況

## 4. 結論と今後の展望

今回開発した雨量観測デバイスの精度検証によって得られた知見をもとに、以下の改良方針を考えた。

**方針①** RG-15の設置角度と風向きや風速の関係を検証する。

**方針②** LPWA通信機器で雨天時の通信可能距離の把握、遅延発生の有無を把握する。並行して、別の通信規格の使用を視野に入れて検証・改良を進める。

**方針③** UAVによる運搬・設置については、指定した座標と設置位置の誤差の要因を検証し、より誤差が小さくなる方法を検討する。

デバイスの改良後には、運用上の課題を検証するために、UAVによる遠隔からの運搬・設置、観測、通信までの一貫した試験を行い、実用化に向けた手順書の作成を進める。

今後、観測・通信デバイスは、センサー部を音・振動・映像センサーなどに入れ替えることで、雨量情報以外のデータを取得・活用できる可能性が高い。さらに、汎用性が高く、小型・軽量・安価という特性を生かすことで、災害現場に限らず、交通インフラなどのモニタリングにも活用できると考える。

**謝辞**：本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】 Grant番号【JPMJMS2032】の支援を受けた。

また、国土交通省利根川水系砂防事務所には、現地試験実施のために関係機関と調整をして頂いた。ここに厚く御礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局 HP：防災の取り組みと過去の災害 主な災害の概要,  
[http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai/index\\_c11.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai/index_c11.html) (2023-07-27 参照)