

諏訪之瀬島火山噴煙の映像観測システム

学術情報基盤センター 升屋 正人

1. はじめに

諏訪之瀬島の御岳（おたけ）は、平成 25 年 12 月 26 日以降活発な噴火活動を継続しており、気象庁は火口周辺警戒（噴火警戒レベル 2、火口周辺規制）を出して警戒を呼びかけている。気象庁や大学による地震計や GPS などの観測機器が複数設置されて常時観測が行われているほか、諏訪之瀬島内のキャンプ場とおよそ 25 km 離れた中之島から、気象庁による映像観測が行われている。映像観測では火山噴煙の様子を監視・記録でき、噴火の規模や噴煙による被害の予測が可能となる。このため映像観測は有効な火山観測の手段の一つである。また、噴煙の立体的な把握や、機器に障害が発生した場合にも観測を継続するため、複数箇所からの映像観測が望ましい。過去には、情報通信基盤整備に関する研究[1,2]のために臨時に設けた通信回線を用い、諏訪之瀬島分校体育館に設置したネットワークカメラ（可視・近赤外）による映像観測も行われていた。しかし、この映像観測システムは通信回線の撤去により現在は停止しており、早期の再開が求められている。

火山噴煙の映像観測は遠隔から行うことになるため通信回線が欠かせない。しかし、通信回線は住民の生活や事業所の活動で使用されるために整備されており、火山噴煙の映像観測の適地において必ずしも利用できるとは限らない。観測機器のデータ収集は、主に小容量のデータ通信専用回線を用いて行われているが、利用料金が高額であるため多数の箇所での観測は難しい。また、回線敷設に時間がかかるため、火山活動が活発化した後に観測を行おうとしても通信回線の準備に時間がかかってしまう。

そこで本研究では、光ファイバによるインターネット接続サービスなどの固定系の通信回線が整備されていない地域において、移動系の通信回線である携帯電話回線を活用し、火山噴煙の映像を取得して送信するシステムを構築し、併せて、観測映像を蓄積しインターネットに公開するシステムを開発することにした。これにより、携帯電話回線が利用できる任意の場所において火山噴煙の映像観測を行い、インターネットを介してその映像を参照できるようになる。国内すべての地域で携帯電話回線を利用できるわけではないが、固定系の通信回線に比べて利用できる場所は多い。本研究のシステムを用いることで、携帯電話回線の利用が可能な場所であればどこでも、火山活動の活発化に伴う監視体制の強化を即時実施することが可能となる。

2. 鹿児島県内離島火山における通信回線の整備状況

気象庁が常時観測体制を構築している火山を有する鹿児島県内の離島は、硫黄島（気象庁は薩摩硫黄島と呼称）、口永良部島、口之島、中之島、そして、諏訪之瀬島である。いずれの離島も情報通信基盤の整備状況は本土と大きく異なる。以下にその詳細を記す。

2.1 硫黄島（三島村）の通信回線

硫黄島においては、三島村が整備した光ファイバによるインターネット接続サービスを利用できる。このサービスは、鹿児島県枕崎市と三島村の竹島、硫黄島、黒島を結ぶ、総延長およそ 200 km の海底ケーブルを介して提供されており、三島村役場による公設公営のインターネット接続サービスである。島内の光ケーブルは台風などによる電柱倒壊の影響を防ぐため地下に埋設されている。すでに光ケーブルが配線されている住宅や事業所において利用することに問題は無いが、島内の任意の地点において回線を利用する場合、その場所までの光ケーブルの配線工事が必要となる。この工事費は高額であり、また、工事にはある程度の期間を要する。また、上流回線の通信帯域が限られており、利用者が多い時間帯など、十分な速度が得られないこともある。

携帯電話回線は NTT ドコモの第 3 世代携帯電話 (3G) サービスである FOMA のみが利用でき

る。携帯電話事業者が利用している上流回線は NTT 西日本が整備しているマイクロ回線による通信網であると想定される。この携帯電話回線を用いたデータ通信を行う場合、最大でも 1 Mbps 程度の通信帯域しか確保できない。

2.2 口永良部島（屋久島町）の通信回線

口永良部島において利用可能な固定系の情報通信基盤はアナログ電話回線（加入電話）のみである。光ファイバによるサービスは無く、電話線を用いた DSL によるサービスも提供されていない。デジタル通信である ISDN のサービスもあるが、提供数が限られているため一般の世帯や事業所では利用できないと考えられる。もし利用できたとしても、通信帯域は 64 kbps にとどまる。

携帯電話回線は集落によって利用可否の状況が異なる。口永良部島内には、本村、前田、向江浜、新村、寝待、田代、湯向の集落があるが、屋久島に近く、その間が海となっている湯向集落では、屋久島に設置されている携帯電話基地局と通信が可能である。NTT ドコモとソフトバンクは、口永良部島内に基地局を設置してその他の集落をサービスエリアとしているが、田代、寝待の 2 集落については、本村集落から離れており電波が到達しないことからサービスエリアとはなっておらず携帯電話不感地区となっている。

NTT ドコモは番屋ヶ峰山上に基地局を設置しているほか、本村集落と湯向集落に基地局の電波を増幅して送受信を行うブースター局を設置している。本村集落のブースター局は番屋ヶ峰の基地局と接続しており、湯向集落のブースター局は屋久島の永田地区に設置されている基地局に接続している。番屋ヶ峰基地局は FOMA にしか対応しておらず、番屋ヶ峰基地局と本村ブースター局が携帯電話サービスを提供する本村、前田、向江浜、新村の各集落では FOMA しか利用できない。また、通信帯域については硫黄島と同じく最大でも 1Mbps 未満である。複数台での利用に際しては、この最大帯域を共有することになるため、数百 kbps を下回ることになる。これに対して、LTE サービスである Xi に対応している屋久島永田基地局のブースター局が設置されている湯向集落は、Xi のサービスエリアとなっており、通信帯域は 2 Mbps（2014 年の実測値）以上である。

ソフトバンクは本村集落のはずれ、前田集落に近い場所に基地局を設置しており、3G サービスのみ提供されている。上流回線との接続に衛星回線を用いているため、サービスエリア内において通話ができるものの、データ通信はメールも含め十分に利用はできない。一方、湯向集落には基地局は設置されていないが、屋久島に設置されている基地局のサービスエリアとされており、LTE の利用が可能である。

au は口永良部島内に基地局を設置しておらず、ホームページで公開しているエリアマップでも口永良部島にはサービスエリアは無いことになっている。しかし、湯向集落においては、ソフトバンクと同様、屋久島に設置されている基地局との接続が可能であり、LTE の利用ができる。

しかし、これら 3 事業者の LTE を利用できる湯向地区からは口永良部島新岳の山体を望むことはできず、映像観測で利用することはできない。口永良部島内の観測適地である番屋ヶ峰山上では、NTT ドコモの FOMA しか利用できず、その帯域は本土などに比べて十分でない。

2.3 口之島・中之島・諏訪之瀬島（十島村）の通信回線

口之島、中之島、諏訪之瀬島においては、十島村によるブロードバンド接続サービスが提供されている。十島村のブロードバンドサービスは、上流回線として NTT 西日本の海底ケーブルを借用している。十島村の 7 つの離島のうち、NTT 西日本の海底ケーブルが陸揚げされているのは、中之島、悪石島、宝島の 3 島のみであり、ほかの 4 島については十島村が無線装置による島間回線を整備してブロードバンド接続サービスを提供している。口之島は中之島と、諏訪之瀬島は悪石島と 18 GHz 帯および 5 GHz 帯の無線装置で接続している。住民世帯および事業所向けには、島内に設置された基地局と無線で接続する FWA 方式によりサービスが提供されている。FWA 方式によるサービスは、光ファイバによるサービスに比べれば整備費用が安価であるが、数十万円以上の専用の装置が必要であり、また、基地局との見通しが悪い場合はサービスを利用できない。また、十島村においても三島村と同様、上流回線の帯域不足の問題がある。

データ通信可能な携帯電話回線としては NTT ドコモの 3G サービスである FOMA のみが利用できる。携帯電話事業者が利用している上流回線は NTT 西日本が海底ケーブルを介して提供して

いる専用回線であるため、三島村よりは通信帯域が広い。ただし、実測値で最大でも 2~3 Mbps 程度の速度である。ソフトバンクの基地局も島内に設置されているが、口永良部島と同様、衛星回線を上流に用いるタイプであり、データ通信での利用には適さない。

3. 限られた通信帯域下での映像観測の方法

映像観測には、動画による観測と静止画による観測の 2 種類がある。ハイビジョン画質による高精細な動画による観測を行うことができれば、必要な場面を切り出すことで高精細な静止画を生成することもできるため、これが最善である。ところが、高精細な動画による観測を行う場合、高価な撮影機器が必要であることに加え、大容量のデータを送信するための大容量の通信回線と大容量の動画データを保存するディスク装置が必要となる。離島火山では十分な帯域の通信回線の確保が困難であるため、高精細な動画による観測は不可能である。

動画による観測は、100 分の 60 秒間隔や 100 分の 30 秒間隔などの短い時間間隔での静止画による観測に相当する。通常の動画ファイルの形式では、動画に含まれるそれぞれの静止画は前回撮影した静止画との差分情報しか含まないが、短時間に大量の映像が生成されるためデータ量は大きくなる。少ないデータ量で動画による観測を行う場合、縦横の画素数を小さくする必要があり低い画質になってしまう。こうした低い画質の動画から切り出すことができる静止画は画質が低く、画像解析による噴煙の分析に際して十分とはいえない。しかし、撮影間隔を長くすることで、縦横の画素数を大きくすることができる。噴煙観測に必要な撮影間隔については、火山噴煙観測研究の専門家である木下紀正鹿児島大学名誉教授より 10 秒おきでよいとの示唆を得た。

そこで本研究では、静止画を 10 秒おきに取得することとし、利用できる通信帯域で送信可能な最大の画素数での観測を行うことにした。このとき、10 秒おきに撮影した動画ではなく、10 秒おきに撮影した静止画を用いる。これにより、静止画が必要な場合に切り出す必要がなくなる。また、動画が必要な場合は蓄積された静止画を用いて後から生成できる。保存に必要なディスク装置の容量を小さくでき、任意の日時の映像を参照することができるようになる。

4. システムの構成

本研究のシステムは、広い地域で利用可能な NTT ドコモの FOMA を用いることとし、離島における通信回線の状況を考慮して、最大でも 100 kbps を超えない通信帯域を前提とすることにした。開発した火山噴煙の映像観測システムは携帯電話回線を活用した映像取得・送信システムと映像の蓄積・公開システムの 2 つのシステムからなる (図 1)。

4.1 映像取得・送信システムのシステム構成

映像取得・送信システムは、火山噴煙を撮影するカメラ、カメラの映像を取得しデータ化して送信するコンピュータ、携帯電話回線に接続する装置で構成される (図 1)。

4.1.1 火山噴煙を撮影するカメラ

火山噴煙の撮影に利用できるカメラの条件として、コンピュータでその映像を取得できると広い画角の映像を撮影できることがあげられる。一般に広く利用されているデジタルビデオカメラは HDMI による映像出力機能を持っているが、HDMI をコンピュータに取り込むには専用のキャプチャボードが必要であり、また、コンピュータも高性能なものでなければならず、装置が大型化してしまう。高精細な静止画を撮影できるデジタル一眼レフカメラは、レンズの交換により広い画角にも対応できコンピュータへの取り込みが可能であるが、シャッター回数に寿命があり、多数回の撮影を繰り返すと故障の可能性が大きい。このため、コンピュータと USB 接続する、いわゆる Web カメラを用いることにした。Web カメラはテレビ電話アプリケーション等で用いることが前提のものが多く、視野角が狭いものが多いが、本研究では市販されているものの中でも視野角が広い Logitech C930e webcam を用いることにした。この Web カメラは 90 度 (35 mm 判に換算して焦点距離 18 mm に相当) の視野角を持ち、最大 1920×1080 ピクセルの映像をコン

コンピュータに取り込むことができる。光学ズーム機能は無いが、オートフォーカス機能を持つ。

4.1.2 カメラの映像を取得，データ化して送信するコンピュータ

屋内外を含め，さまざまな場所での火山噴煙観測を前提とした場合，デスクトップ PC やサーバなど，大型のコンピュータは不適切である。小型のデスクトップ PC やノート PC でも，まだサイズが大きい。そこで，超小型コンピュータに分類される Raspberry Pi 3 を用いることにした。Raspberry Pi 3 は，シングルボードコンピュータとも呼ばれる名刺サイズのコンピュータで，Web カメラを接続可能な USB 端子とネットワーク接続可能な LAN 端子を持つ。オペレーティングシステムとして Linux を動作させることができ，さまざまな動作を制御できるほか，任意のアプリケーションを開発して実行させることもできる。CPU 性能は高くないが，USB 接続した Web カメラの映像を取得するには十分である。ただし，ディスク装置として microSD メモリカードを用いているため，大量のデータを保存することはできない。

4.1.3 携帯電話回線に接続する装置

映像取得・送信システムはインターネットを介して取得した映像を蓄積・公開システムに送信する。携帯電話回線を介して超小型コンピュータをインターネットに接続するには，超小型コンピュータ用の通信モジュール，USB 接続のモデム，そして，LAN 接続のルータ，の 3 種類の装置を利用できる。いずれの装置も本研究のシステムで利用が可能であるが，最も汎用的に利用できる LAN 接続のルータ (NEC Aterm MR04LN+クレドール) を用いることにした。超小型コンピュータの LAN ポートと LAN ケーブルにより接続することになるため，超小型コンピュータ故障時に超小型コンピュータのみを交換できるほか，将来超小型コンピュータの種類を Raspberry Pi 3 以外のものに替えた場合でも利用可能である。デスクトップ PC やノート PC を用いて開発したシステムを超小型コンピュータに移植することができるほか，携帯電話回線以外の通信回線の利用にも対応できる。

4.2 蓄積・公開システムのシステム構成

蓄積・公開システムは，映像取得・送信システムが送信した映像のデータをインターネット経由で受信する。また，蓄積した映像はインターネット上に公開する。このため，蓄積・公開システムはインターネットに接続したサーバ上に Linux を用いて構築することにした。このシステムは，大学内にサーバ機を置き，グローバル IP アドレスを付与してインターネットに接続することで実現できる。しかし本研究では，より簡便に利用を開始でき，停電や機器障害の影響が小さい，インターネット上の仮想専用サーバ (VPS: Virtual Private Server) サービスを用いることにした。

VPS サービスは，物理的なサーバの中に仮想的なサーバを複数台用意できる仕組みを用いて提供されているサービスで，みかけ上，物理的なサーバと同様に扱うことができる。物理的なサーバを共有する点はホスティングサービスと同じであるが，ホスティングサービスとは異なり，管理者権限を持って任意のオペレーティングシステムを利用でき，システムを構築する上での自由度が高い。利用したのは「さくらの VPS」上の VPS で，CPU は仮想 4 コア，メモリ 4GB，HDD400GB である。サーバの実体は大阪に設置されており，グローバル IP アドレスが付与されている。オペレーティングシステムとしては，無償で利用可能な Oracle Linux 7 を用いた。

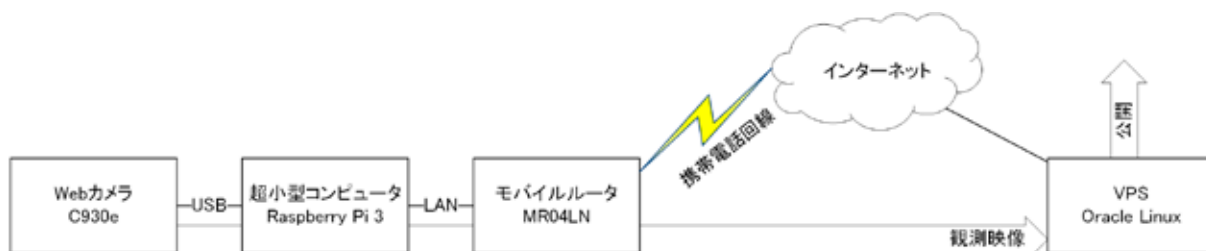


図 1: システム構成図

5. 開発した映像観測システム

映像取得・送信システムでは映像の取得を行い送信する仕組み、蓄積・公開システムでは蓄積した映像をインターネットに公開する仕組みを構築した。

5.1 映像取得・送信システム

映像取得・送信システムでは、Web カメラで撮影した映像を取得して一時的に保存し、蓄積・公開システムに送信した後に削除する。超小型コンピュータに Linux をインストールし、各種のコマンドを組み合わせてシステムを実現した。

5.1.1 オペレーティングシステムのインストール

超小型コンピュータには、Raspberry Pi 用 Linux である Raspbian Jessie を用いた。インストールには Raspberry 用の OS インストールツールである Noobs を使用する。インターネットに接続した PC を用いて Raspberry Pi の Web サイト[3]から Noobs をダウンロードし、microSD カードにコピーする。Noobs をコピーした microSD カードを Raspberry Pi に挿入すると OS のインストールを開始できる。このとき、Raspberry Pi には、USB キーボード、USB マウス、HDMI 接続のディスプレイを接続しておいた。インストール終了後に LAN ポートを介して Raspberry Pi 3 をインターネット接続し、コマンド「`apt-get update; apt-get upgrade`」によりオペレーティングシステムを最新にアップデートした。

5.1.2 遠隔操作の設定

本システムは遠隔地に設置して自律的に運用できるシステムであるが、不具合発生時の対応やシステム調整のために SSH を用いて遠隔から操作できるようにする。インターネット接続時にグローバル IP アドレスが付与されるネットワークであれば特段の措置は必要ないが、携帯電話回線を介して接続する場合、付与される IP アドレスが接続のたびに変更になるほか、インターネットからアクセスできないプライベート IP アドレスである場合もある。このため、本システムから蓄積・公開システムに対して SSH によるリモートフォワーディングを設定して SSH トンネルを生成し、蓄積・公開システムを経由して本システムへの SSH アクセスを行うことにした。

具体的には、蓄積・公開システムに対して、以下のコマンドを実行する。SSH 接続を継続するため、`autossh` をインストールして用いた。X は映像取得・送信システムにアクセスするためのポート番号である。このコマンド実行後は、インターネットに接続した機器から「`ssh -p X [蓄積・公開システムのホスト名]`」とすることで、映像取得・送信システムにログインすることができる。

```
autossh -M 0 -o "ServerAliveInterval 30" -o "ServerAliveCountMax 3"  
-C -N -R X:localhost:22 [蓄積・公開システムのホスト名]
```

以下の内容のファイルを作成して `/etc/systemd/system/autossh.service` として保存し、コマンド「`systemctl enable autossh; systemctl start autossh`」により、自動起動の設定を行った。

```
[Unit]  
Description=AutoSSH  
After=network.target  
[Service]  
Environment="AUTOSSH_GATETIME=0"  
ExecStart=/usr/bin/autossh -M 0 -o "ServerAliveInterval 30" -o "ServerAliveCountMax 3"  
-C -N -RX:localhost:22 [蓄積・公開システムのホスト名]  
[Install]  
WantedBy=multi-user.target
```

5.1.3 Web カメラ映像の取得

USB ポートに接続した Web カメラ (Logicool C930e webcam) からの映像取得は `fswebcam` コマンドを用いて行う。標準ではインストールされていないので、「`apt-get install fswebcam`」としてインストールした。

Web カメラは動画として映像を撮影しているため、静止画を取得するため以下のコマンドを実行する。

```
fswebcam -q --no-title --no-banner --no-shadow --skip 10 --frames 3 --jpeg 80
-r 1280x720 [ファイル名.jpg]
```

「`-q`」は画面表示の省略、「`--skip 10`」は 10 フレームスキップした後に映像を取得、「`--frames 3`」は 3 フレームを取得して画像化、「`--jpeg 80`」は JPEG 画像の品質を 80 に指定、「`-r 1280x720`」は 1280×720 ピクセルで取得した映像を保存するためのオプションである。その他のオプションは取得画像にタイトルや取得時刻等の文字列が含まれるのを無効化するためのものである。10 フレームスキップするのは、カメラが露出とフォーカスの自動調整を行う時間を確保するため、3 フレーム取得するのは、よりノイズの少ない映像を取得するためである。また、JPEG 品質については、0 から 95 を設定でき、数値が大きいほど品質が高いが、ファイルサイズが大きくなる。これら 3 つのパラメータは撮影環境に応じて異なるため、設置時に試行錯誤により決定する。

5.1.4 映像データの送信

取得したデータは、以下のコマンドを用いて蓄積・公開サーバに送信する。

```
scp -q -C [ファイル名] [蓄積・公開サーバのホスト名]:[画像保存ディレクトリ名]
```

「`-q`」は画面表示の省略、「`-C`」は圧縮を指示する引数である。画像は JPEG 形式で保存しておりすでに圧縮されているため圧縮の効果は大きく無いが、通信帯域を少しでも節約するために設定する。パスワード入力を省略するため、公開鍵を生成して蓄積・公開サーバに登録した。

5.1.5 定期的な映像取得とファイルの送信

定期的な映像取得とファイル送信を行うため、以上のコマンドを組み合わせ、映像を取得してファイルを送信した後に削除するシェルスクリプトを生成した。ファイル取得時にファイル名が日付と時刻になるようにシェルスクリプトを記述することで、ファイル名で取得時刻がわかるようにした。このシェルスクリプトを、`crontab` を用いて以下のように 10 秒おきに起動するよう設定した。

```
* 6-19 * * * for i in `seq 0 10 59`;do (sleep ${i};[シェルスクリプト名]) & done;
```

このように `crontab` に指定することで、午前 6 時ちょうどから午後 7 時 59 分 50 秒まで、10 秒おきにシェルスクリプトを実行できる。実行する時刻は日出前から日没後とし、設置場所および季節に応じて調整する。

5.2 蓄積・公開システム

映像取得・送信システムで取得した画像は、日付と時刻がついたファイル名となり蓄積・公開システムに送信され、蓄積される。このファイルを表示するサーバアプリケーションを CGI(Perl) を用いて作成し、Web ブラウザから閲覧できるようにした (図 2)。サーバアプリケーションは随時機能の追加を進めており、最終的には日時を指定しての画像表示や、画像をクリックすることによる拡大機能、動画としての表示機能などを実装する予定である。



図 2：公開システムのプロトタイプ（桜島を対象とした試行画像）

6. 撮影画像のファイルサイズの検討

携帯電話回線をデータ通信に用いる場合、通信できる総容量は無制限ではない。携帯電話事業者と MVNO 事業者はさまざまなプランを用意しており、長期および短期のデータ伝送量に制限を設けている場合が多い。長期の制限としては、一月あたりのデータ伝送量に 500 MB から 10 GB の上限が設けられている。短期の制限としては 3 日あたりのデータ伝送量に 360 MB から 3 GB の上限が設けられている。上限を超過した場合は通信帯域が数百 kbps 程度に制限される。一方、伝送帯域を低速に固定したプランもある。これは伝送帯域 200 kbps を上限とする一方で、短期、長期とも伝送量に制限を設けないプランである。こうしたプランは月額料金が安価であり、2017 年 1 月時点で、税抜き月額 298 円のもの最も安価である。本研究では低コストによるシステムの実現を図るため、この低速固定のプランの利用を前提として、画像のファイルサイズを検討することにした。

撮影は 10 秒おきに行われるため、撮影と送信は 10 秒以内に終わなければならない。100 kbps の回線の場合、10 秒間で伝送できるデータ量は 1 メガビット = 125 キロバイトである。通信帯域が 200 kbps に制限されている回線といっても、上限での伝送ができるとは限らない。このため、本研究では半分の 100 kbps の通信帯域を前提とし、125 キロバイトをファイルサイズの上限とすることにした。

JPEG 画像の場合、サイズに影響するのは、画像のサイズ（画素数）、品質パラメータ、画像の特徴の 3 つである。画像のサイズが小さいほどサイズも小さくなるが、詳細な観測ができない。品質パラメータを小さくするほどサイズは小さくなるが、画質が低下する。画像特徴については、濃淡や色の変化が少ない画像ほどサイズが小さくなるが、撮影対象によって画像特徴が大きく異なる。このため、実際には撮影場所において試行錯誤が必要となる。

本研究では、画像のサイズとして 1280×720 ピクセルを用いることとし、JPEG の品質パラメータを試行錯誤により調整して、ファイルサイズを 125 キロバイト以下にすることにした。いくつかの画像で試行したところ、品質パラメータを 80 にすればファイルサイズが 100 キロバイト程度となり、この条件を満たすことがわかった。本システムで設定できる最高品質である 95 にした場合に比べ、画像品質の劣化は認められるが、注意深く見なければわからない程度のものであり、噴煙の観測に際して支障はないものと思われる。

7. まとめ

Web カメラ C930e を接続した超小型コンピュータ Raspberry Pi 3 をモバイルルータ MR04LN に接続した映像取得・送信システムと, VPS サービスを利用した蓄積・公開システムを構築した. 映像取得・送信システムは電源 ON だけで自律的に運用できるほか, 蓄積・公開システムを経由した遠隔操作が可能である. 観測は 10 秒おきに 1280×720 ピクセルのサイズの画像を取得することで行い, 通信回線として 100 kbps 以上の携帯電話回線を利用することができる.

今後, 諏訪之瀬島において長期の観測を実施し, システムおよび回線が長時間安定して稼働することができるかを評価するほか, 蓄積・公開システムの機能追加を進め, インターネット上に公開することで諏訪之瀬島火山の映像観測に資する予定である.

謝辞

本研究は平成 28 年度鹿児島大学地域防災教育研究センター調査研究プロジェクトとして行われた. また, 本研究の一部は平成 27 年度鹿児島大学国際島嶼教育研究センタープロジェクトとして行われた研究開発の成果を活用している.

参考文献

- [1] 升屋正人, “条件不利地域におけるコミュニティ・ブロードバンドの整備”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 107, No. 19, pp. 55-60, 2007.
- [2] 升屋正人, “離島におけるブロードバンドの整備”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 107, No. 463, pp. 67-72, 2008.
- [3] <http://www.raspberrypi.org/>