

技術試験衛星Ⅷ型「きく8号」を用いた 災害対応センサデータ伝送実験

石塚忠範・森田耕司・清水武志・山越隆雄・中尾正博・橋本剛正

1. はじめに

独立行政法人土木研究所（以下、「土研」）と独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下、「JAXA」）は、平成24年9月10日に「技術試験衛星Ⅷ型（ETS-Ⅷ）を用いた災害対応センサデータの伝送実験」に関する共同研究協定を締結し、その実証実験を行った。

火山噴火に伴う降灰等のモニタリングは災害の発生予測や減災の重要な情報となるが、大規模な噴火時には地上の通信設備の損傷等により通信ネットワークが寸断される状況が想定される。

そこで、噴火活動が活発な桜島において、土研・日本工営（株）が共同で作成した自動降灰・降雨量計で得られたデータを技術試験衛星Ⅷ型（以下、「きく8号」）回線経由で降灰下に配信可能であるか実証するため、平成24年10月から平成25年3月までデータ伝送の実験を行った。

なお、これらの成果は、本稿の他に、共同研究報告書¹⁾や土木研究所Webマガジン²⁾にも公表している。併せて参考にされたい。

2. 実験概要と桜島の噴火活動

2.1 きく8号の概要

きく8号はJAXAが時代のニーズに応じた新技術の宇宙実証を目的とした技術試験衛星（ETS）「きく」シリーズの8機目の静止衛星で、2006年12月18日に打ち上げられた。実証する技術の一つとして、PDAサイズの超小型端末（以下、「通信端末」）を用いた山岳や防災を対象とした通信実験がある。

2.2 自動降灰・降雨量計

自動降灰・降雨量計は、火山灰及び降雨を円筒状容器に収集し、同容器に備えられている水位計

と重量計を用いて火山灰の堆積量と雨量を計測する装置である。同装置は、火山噴火に伴う立入禁止等の区域であっても火山灰の回収等を必要とせずに降灰量を継続的に計測できる点が特徴である。通常は携帯電話と同様の通信ネットワークを介してデータを基地局に転送する。

2.3 本実験の概要

本実験は鹿児島県桜島有村川流域に設置した自動降灰・降雨量計（図-1）にきく8号回線に対応した通信端末を接続し、降灰下においてきく8号を経由してデータ通信が正常に行われるか検討することが目的である。実験に使用した機器の構成を表-1に示す。現地で取得したデータは、きく8号を経由して筑波宇宙センターに設置した実験システム基地局に伝送され、電子メールにてJAXAから土研に提供される。データの流れの概略を図-2に示す。

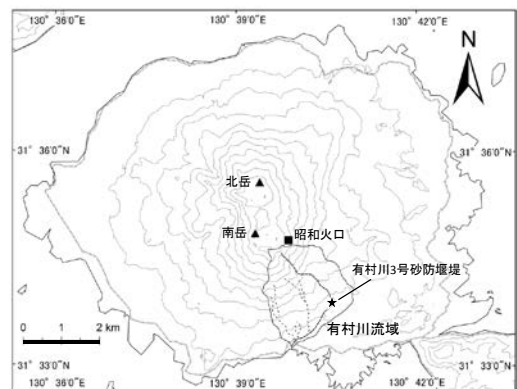


図-1 自動降灰・降雨量計設置地点位置図

表-1 実験に使用した機器

設備・機器名	数量	設置場所
1 自動降灰・降雨量計センサ	1台	鹿児島県桜島 有村川流域
2 ETS-Ⅷ(きく8号)超小型通信 端末	1台	鹿児島県桜島 有村川流域
3 超小型通信端末 実験システ ム基地局外付アンテナ (1.2m)含む	1台	JAXA筑波 宇宙センター
4 データ送信用PC端末	1台	JAXA筑波 宇宙センター



図-2 データの流れ



図-3 機器設置状況



図-4 通信端末保護状況

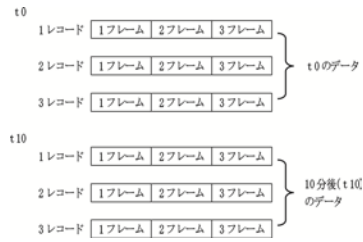


図-5 レコード生成イメージ

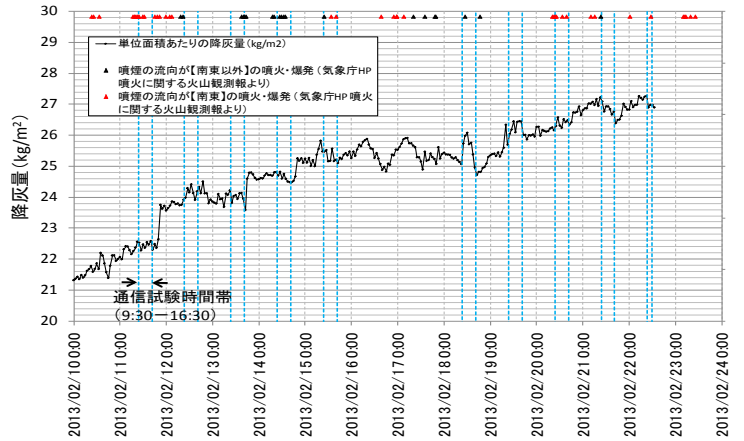


図-6 通信試験実施期間中の累積降灰量の推移

3. 実験方法・結果・考察

3.1 事前検討

桜島で行う本実験に先立ち、JAXA筑波宇宙センター構内において、自動降灰・降雨量計と通信端末の接続に関する試験や、きく8号回線を使用した通信試験を実施した。データ送信を行うための自動降灰・降雨量計の制御プログラムの修正作業等も並行して実施した。実施内容を以下に示す。

(1) 通信端末とのインターフェース確認

通信端末と自動降灰・降雨量計の仕様を比較し、インターフェースについて仕様上では大きな問題がないことを確認した。

(2) インターフェースの接続試験

自動降灰・降雨量計のデータロガーに仮のプログラムを入れて、UART（汎用非同期送受信回路）制御により通信可能か確認試験を実施した。その結果、問題なくロガーの情報を通信端末に伝送できることを確認した。

(3) 通信端末の取り付けと事前実証

データ送信を行うための自動降灰・降雨量計の制御プログラムの修正作業等を行った。伝送するデータは、データ通信量を考慮して「日時(年月日時分)・重量(kgf)・水位(cm)」の3項目とした。

接続試験では、送信データと受信データの整合性、電源ON時間が90秒で問題ないか、データ伝送のバックアップ処理、データ欠損時の状況の確認を行った。

3.2 桜島における実験

平成25年1月29日、鹿児島県鹿児島市桜島有村川3号堰堤近傍に設置している自動降灰・降雨量計に通信端末を設置した(図-3)。通信端末は防水プラスチック製容器に収納し、それを自動降灰・降雨量計付近に打ち込んだ単管パイプに、アンテナが方位角155°、仰角50°となるように取り付けた。また、プラスチック製容器の上面に火山灰が堆積すると通信を妨げるおそれがあるため、凸型の外被(ペットボトルを切断したもの)を更にかぶせた(図-4)。

データ伝送には広域ビーム(西日本ビーム)を使用し、後述の時間帯において10分間隔でデータを伝送した。データは固定データ長のフレーム3つで構成されるレコードからなる。受信率を上げるため、10分間隔で3つの同一のレコードを通信端末から送信し、1レコードでも受信が成功していれば有効なデータが受信できる(図-5)。

表-2 データ伝送実験結果

日付 時間帯	送信	受信	欠測	成功率	桜島側天候
	データ	データ	時間数*		TKSC側天候
2013年2月11日	43	38	5	88.40%	快晴
9:30~16:30	(129)	(102)	(27)	-79.10%	晴後一時曇
2013年2月12日	43	43	0	100.00%	曇後雨
9:30~16:30	(129)	(110)	(19)	-92.40%	曇後一時雨
2013年2月13日	43	43	0	100.00%	晴
9:30~16:30	(129)	(128)	(1)	-99.20%	晴一時霧
2013年2月14日	43	36	7	83.70%	曇時々雨
9:30~16:30	(132)	(109)	(23)	-82.60%	曇後一時晴
2013年2月15日	43	38	5	88.40%	晴時々曇一時雨
9:30~16:30	(129)	(101)	(28)	-78.30%	雨時々曇
2013年2月16日	43	43	0	100.00%	大雨後一時曇
9:30~16:30	(129)	(86)	(43)	-66.70%	雨時々曇
2013年2月17日	43	43	0	100.00%	雨一時曇
9:30~16:30	(129)	(106)	(23)	-82.20%	曇時々雨
2013年2月18日	43	41	2	95.30%	快晴
9:30~16:30	(129)	(94)	(35)	-72.90%	晴
2013年2月19日	43	42	1	97.70%	晴
9:30~16:30	(129)	(104)	(25)	-80.60%	晴
2013年2月20日	16	16	0	100.00%	曇一時晴
9:30~12:00	(48)	(43)	(5)	-89.60%	薄曇後一時晴
計	403	383	20	95.00%	
65時間40分	(1212)	(983)	(229)	-81.10%	

()内の数字はレコード数を示す。

※：ある時刻のレコードがすべて欠測となった時刻の数

伝送実験は、2013年2月11日から22日にわたり行った。今回の実験ではデータ送受信機器の電源管理を手動で行う必要があったため、伝送時間帯は、2013年2月11日～15日および18～21日の9:30～16:30、22日の9:30～12:00である。図-6にデータ伝送実験期間中の累積降灰量の推移を示す。図中の青い破線で挟まれた時間帯が通信試験の時間帯である。実験期間中に降灰量が多い時期が2月11日の夜間及び2月18日～19日にかけての深夜にあった。どちらの期間も、データ伝送を実施していない時間帯であったため、降灰が多い状況下でのデータ伝送実験は実施できなかった。

3.3 結果と考察

実験の結果を表-2に示す。データ通信は、通信端末と衛星との直接通信であるため、回線状況としては非常に厳しい組み合わせであったものの、全ての送信データのうち約81%に当たる983レコードが正常に受信された。10分毎に1つもレコードが受信できなかった欠測時間数は全体で20回であった。これ以外の時間では最低でも1レコードは受信できていたことになる。したがって、10分間単位の計測値を得るという意味においては、約95%の成功率であった。さらに、1時間毎に1つもレコードが受信できなかった事は1度も

表-3 受信エラー考察

状況	考察
(1) 8~9レコードを受信したがセンサデータが入っていない、または文字化けしている。センサデータは8~9フレーム連続で正常に受信できているケースが多い。	CRCエラーが発生していないことから衛星回線が原因ではなく、センサのデータもしくはセンサと超小型端末間のインタフェースの問題であると推測される。
(2) 1~2レコードしか受信できていない。9フレームのうち、途中の幾つかのフレームにCRCエラーが発生し、正常に受信できていないケースが多い。	CRCエラーの発生は、衛星回線の影響による。
9フレームのうち最後の1フレームにCRCエラーが発生し受信できていない。	受信開始時刻が正常受信時より1フレーム分遅いことから、超小型端末とセンサと時刻ずれによる電源ON/OFFの非同期、センサからのデータ入力同期のずれ等の要因が推測される。受信開始時刻は正常であるにもかかわらず、最後の1フレームの送信途中で超小型端末の電源がOFFされているように見られるケースもあった。
(3) 4レコードしか受信できていない。1レコードを2フレームにて受信し、4レコードのデータが生成されている。	通常は1レコード3フレームであるが、センサデータ数値の桁数が少ない場合(データ情報量が少ない場合)に1レコードが2フレームとなる場合がある。特に異常では無い。 例：14.72538(8桁)、13.19(5桁)

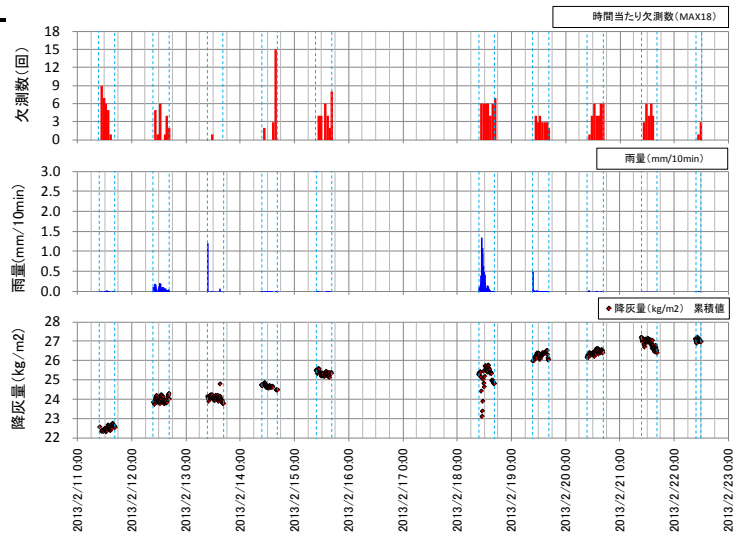


図-7 通信試験期間中の欠測レコード数と雨量、降灰量

無かった。時間単位の観測としては、ほぼ100%成功していたと評価できる。

一方、正常に受信されなかったレコードは、全体の約19%に当たる229レコードであった。これらの欠測、エラーについて、原因と考察を整理して表-3に示す。受信エラーが含まれる2月15日の端末受信ログファイルを分析すると、通信端末から送信された129レコードのうち、基地局側では28レコードが欠損し101レコードを受信した。その欠損した28レコードのうち12レコードはきく8号の衛星回線が原因となるCRC(巡回冗長検査; 誤り検出符号の一つ)エラー、残りの16レコードについては、衛星回線以外の部分(通信端末とセンサ間のインタフェース等)の問題と思わ

れる文字化けやデータの抜けが発生していた。この衛星回線以外の部分が問題と思われる16レコードが正常に受信できていれば、2月15日の受信率は90.7%に達する。衛星回線上で発生したエラーに比べ衛星回線以外の部分で発生したと思われるエラーが上回っており、端末とセンサ間のインターフェースを改修することにより受信率はさらに向上すると考えられる。

時間毎に欠測レコード数を集計したものを、試験期間中の雨量や降灰量と比較し(図-7)、欠測レコード数と気象条件、降灰条件との相関を検討した。欠測レコード数が最も多い2月18日は、通信試験期間中で最大の雨量が観測された日である。しかし、18日の通信試験時間帯において、雨量は11時頃をピークにして夕方には降り止むが、時間単位で集計した欠測レコード数にはほとんど時間的な変動が見られなかったことから、両者に因果関係があるとは認め難い。一方、降灰の通信への影響については、通信試験期間中で最も降灰が多かった時期はいずれも夜間であり、通信試験を実施している時間帯に降灰量計で顕著に降灰が観測された時間帯が無かったため、今回の試験では情報を得ることができなかった。

4. まとめ

平成24年度に共同研究で実施した成果を要約する。

- 1) 自動降灰・降水量計ときく8号の通信端末との接続が正常に実施できた。

- 2) 顕著な降灰が無い状況では、計測値を得る観点では10分単位では95%、1時間単位ではほぼ100%のデータ通信が可能であった。

- 3) 欠測したデータの原因は、きく8号の衛星回路より通信端末と自動降灰・降水計のインターフェースに多くみられた。

以上の共同研究成果を踏まえ、今後は、2013年7月に国土交通省九州地方整備局に新たに設置された九州防災・火山減災センターとも協力して、より実際の運用を目指した共同研究を、JAXA、九州地方整備局、土研の3者で取り組みを進めていく予定である。

参考文献

- 1) (独)土木研究所土砂管理研究グループ(火山・土石流)・(独)宇宙航空研究開発機構:技術試験衛星Ⅷ型(ETS-VIII)を用いた災害対応センサデータの伝送実験に関する共同研究報告書、共同研究報告書第454号、2013
http://www.pwri.go.jp/team/volcano/manual/kenkyu_report/files/kyoudou454.pdf (2013-8閲覧)
- 2) (独)土木研究所火山・土石流チーム:独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)と共同研究協定を締結、土木研究所Webマガジン、Vol.31、2013
<http://www.pwri.go.jp/jpn/webmag/wm031/index.html>

石塚忠範



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 首席研究員
Tadanori ISHIZUKA

森田耕司



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員
Koji MORITA

清水武志



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員
Takeshi SHIMIZU

山越隆雄



国土交通省水資源・国土保全局砂防部(前)(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員
Takaho YAMAKOSHI

中尾正博



(独)宇宙航空研究開発機構第一衛星利用ミッション本部 衛星利用推進センター 上席開発員(ミッションマネージャ)
Masahiro NAKAO

橋本剛正



(独)宇宙航空研究開発機構第一衛星利用ミッション本部 衛星利用推進センター 主任開発員
Gousei HASHIMOTO