



## 防災現場における S&F の現場実証

The Feasibility Study of the Store and Forward at the Real Disaster Field

秋山 演亮<sup>1</sup>，山口 耕司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>和歌山大学宇宙教育研究所，<sup>2</sup>オービタルエンジニアリング

36,000km上空の静止軌道ではなく、数百km程度の地球低軌道を周回する衛星を利用することで、山間部等の通信環境に乏しい地域に設置された地上センサーから省電力でデータ転送を可能とする、Store & Forward技術の実証試験を開始した。

キーワード：Store & Forward，地上センサネットワーク，地球低軌道周回超小型衛星

### 1. 僻地での通信インフラ整備の必要性

既に老朽化が始まってはいるが、これまでの積極的なインフラ投資により、日本では国土の隅々にまで有線・無線による通信網が構築されてきた。しかし未だに紀伊山地深部等、人里離れ主要交通網からも隔絶した地域では、地上の通信環境は整備されていない。今後、少子高齢化に伴い、このような地域に新たなインフラ投資をすることは極めて困難である。また既に整備された場所であっても、人口減少等が激しい過疎地においては、施設の老朽化に伴い、段々とインフラ設備が失われていくことが懸念されている。

人里離れた場所であっても、集中豪雨等により大規模な深層崩壊が発生した場合には、人口が密集する下流地域に人命損失を伴う大きな被害をもたらす。実際、2011年に襲来した台風12号の際には、紀伊山地各所で大規模な深層崩壊・土砂災害が発生し、上流から下流に至るまで大きな被害を引き起こした<sup>1)</sup>。土砂が河川を堰き止めることにより急速に成長した堰き止めダムに、近傍で発生した別の深層崩壊により発生した土砂が流れ込み、山間部にもかかわらず大規模な津波が発生、多くの被害を生み出している。また近傍に形成された栗平地区の堰き止めダムでは、多量に溜まった水を輩出する作業が行われていたが、2014年にはさらに別の台風による集中豪雨の被害により、仮排水路及び暗渠管の流失、縦横侵食等が発生している<sup>2)</sup>。

このような「災害が発生する可能性が高い地域」、また「災害発生後のモニタリングが必要な地域」に関

して、現地の気象状況を収集すると同時に、堰き止めダム水位の管理や各種装置の動作状況の監視等を行うために、通信インフラが必要となる。従来ではこのような場合、静止軌道上に配置された通信衛星が利用されてきた。しかし静止軌道は地表から36,000kmと非常に遠く、また、地上の通信機器は大電力を必要とする。そのため、重量機材や燃料の搬入も困難であり、かつ深層崩壊発生後の現場に発電機を持ち込む必要が生じ、運用面でもコスト高を招いていた。また前述のように、栗平地区ではその後に新たに発生した集中豪雨被害により、仮排水路及び暗渠管の流失、縦横侵食等に加えてこれら発電機の流出被害も発生している。このような現状を踏まえ、災害発生予測箇所、災害復旧現場等において、より簡便な通信インフラの開発が強く求められている。動画や静止画の転送を行う場合には広帯域の通信インフラが必要とされるが、水位情報や雨量計情報、あるいは機器の動作状況などの情報は極めてコンパクトな通信量としてまとめることが出来るため、より広く現場で使われることを主目的とし、超狭帯域（ウルトラナローバンド）での通信ではあるが極めて安価な通信インフラが構築されれば、その利用用途はかなり広がると予測される。

世界に目を転じれば、前述のような通信インフラの乏しい地域は、各地に散見される。例えばミャンマーにおける農村部の小集落への電力供給を可能とする省電力水力発電装置は魅力的なプロジェクトであるが、発電機の運行を管理する技術者は、そのような集落中

に見つけることは困難である。しかしウルトラナローバンドの安価な通信インフラがあれば、都市部に居住する技術者に、容易に運行情報を送信することが出来る。あるいはヨーロッパから中央アジアにかけての水資源に乏しく、また様々な有毒鉱物等も多く産する地域においては、水質汚染の監視は重要項目である。一般に水質汚染の状況は、宇宙からのリモートセンシングでは判別が困難であるが、地上に設置されたイオンセンサを用いることで、極めて安価で簡単に計測することが出来る。あるいは過去の原爆実験や各施設の事故により放射能汚染に曝されている地域においても、地上に置かれたセンサーによる放射線量の測定が必要不可欠である。このような地上センサからの情報を収集する手法としても、ウルトラナローバンドの通信インフラは重要な役割を果たすと考えられる。

## 2. S & Fシステムとその概要

近年においては、多くの国が独自に地球観測衛星を製造・打上を行うようになってきた。カメラ等のセンサー技術の高度化・小型化に伴い、50kg級の小さな衛星でも、地上分解能数mの観測が可能となるなど、大型衛星に負けない実用化が進んでいる<sup>3)</sup>。我が国では超小型衛星の技術を海外に移転し、各国の独自資本により衛星を製造・打上、国際的なコンステレーションネットワークとして運用するプロジェクトも進められている<sup>4)</sup>。これらの活動により今後、地球低軌道を周回する超小型衛星の数はますます増加することが予測されている。これらの衛星の多くは、主に地球観測を行うことを目的に設計されてきた。同時に最近では地球表面からの距離がわずかに数百km程度と静止軌道に比べて非常に近い位置にある特性を利用し、通信衛星として利用するStore & Forwardシステムが提案されている<sup>5)</sup>。

もちろんこれまでも同様のシステムは存在しており、極軌道を周回する衛星を利用したアルゴス(ARGOS)は既に30年以上も国際協力により運用されている。アルゴスシステムは地球環境に関するデータを収集するウルトラナローバンドの通信インフラとして機能しているが、用途が研究に限定されているため、実際の防災等の実務に利用するには難がある。また実務に利用が可能な商業システムとして、オープンコム等も運用されている。オープンコムでも地球低軌道を利用

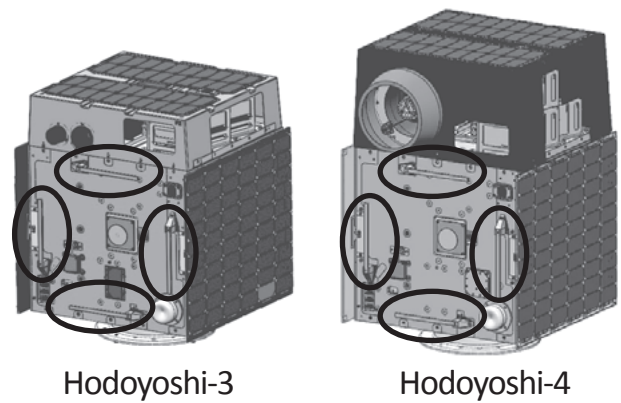


図1 ほどよし3・4号機に取り付けられたS&F用アンテナ位置図 (NESTRA 提供)



図2 ほどよしS&Fにおける地上センサ例 (NESTRA 提供)

し、30余機におよぶ衛星網によってウルトラナローバンドの通信インフラが確立しているが、1byteあたりの通信量が0.6円/文字前後と、比較的高価な値段設定に留まっている。

ほどよし3号機・4号機には、地上センサからのデータを収集し蓄積、地上局に送信するStore & Forwardを実現するための受信アンテナが取り付けられている(図1)。また両機にはUHFパケットデータレコーダが搭載されており、収集されたデータを一括して保存、地上へと送信することが可能である。ほどよし衛星におけるS&Fシステムでは、省電力で稼働する地上センサの開発も進めている。地上センサは1個1万円以下を目指しており、1台の子機に複数のアナログ・デジタルセンサを接続、アドホックな無線ネットワークにより情報を送信することが可能である。

両衛星はオープンコム衛星(40kg)とほぼ同等(約50kg)の重量を持っているため、打上コストとしては現状ではオープンコム衛星とはあまり変わらない。しかしS&F機能に特化した衛星は3Uサイズ(約3kg)程度で衛星全体を製造可能であり、打上費用を大幅に低減することが出来、送信コストの低減も期待できる。また同時に、通信機器の性能向上により、地上に置か

れたセンサ間ネットワークに利用される920MHz帯の通信を、宇宙で「拾いあげる」ことも視野に入れた研究開発を行っている。オープンコムでは地上センサシステム間のネットワークはサービスとして提供されていないが、ほどよし衛星による S&F システムでは、衛星による通信に加えて、地上センサや地上やバルーンに取り付けられた中継器等を結ぶ、地上センサネットワークも併せて検討している。衛星通信を目的とした機器に比べて、このような地上ネットワークを主目的として開発された通信機器は免許等の取得も宇宙通信用と比べると比較的容易であるため、同じく通信料金の低減に寄与することが期待される。

### 3. 学内・栗平地区における実証実験

2014年5月2日、和歌山大学は近畿地方整備局と、連携・協力に関する協定を締結、紀伊半島における防災上の課題に対応すべく、協力関係を進めることとなった。そこで UNIFORM プロジェクトを推進し、またほどよし3号機・4号機における S & F システムの開発にも客員教授が参画する当宇宙教育研究所では、地上通信インフラに欠け、特に災害が酷く今後の二次災害・三次災害の恐れのある栗平地区において、S & F システムの実証試験を開始した。(図3)

栗平地区は紀伊山地中央部近傍に位置し、主要道路

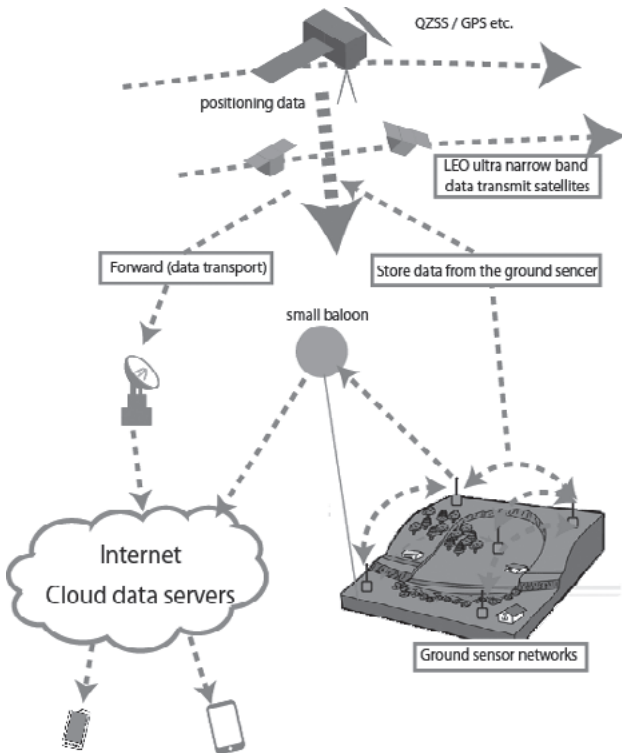


図3 栗平地区 S&F 実証試験 模式図

とも隔絶されており、地上の通信インフラに乏しい。現在は静止衛星等を使った通信インフラが整備されているが、維持費用は非常に高価である。現地は1km×1kmに渡り深層崩壊が発生しており、2011年の災害発生当初は100mを越える水深の堰き止めダムが形成されていた。その後、復旧作業が進められてたが、2014年には更なる災害に直面し、一部改修施設も流されるなどの被害が発生している。

栗平地区における S&F 装置の実証を実施するために、まずは学内において雨量計・水位計等を組み込んだ地上センサ、中継局による、地上センサネットワークの設置試験を実施した。図4に配置図を、図5に地上ネットワーク構成図を示す。また図6・図7に計測器の様子を示す。

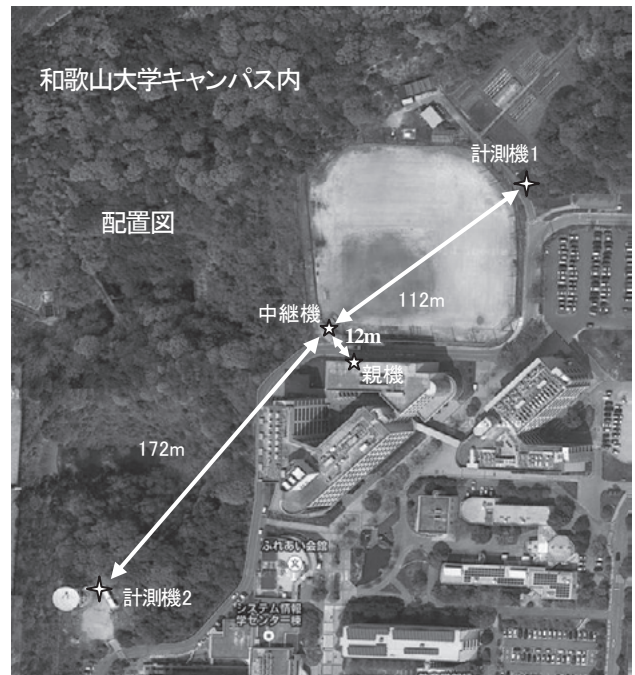


図4 機器配置図

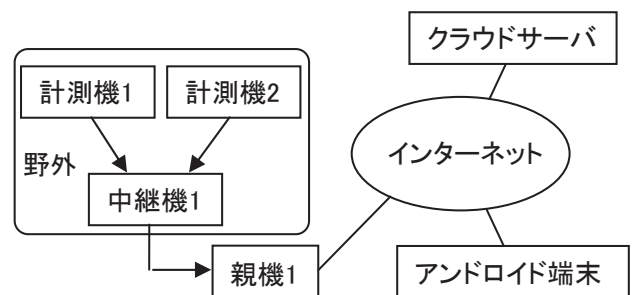


図5 地上ネットワーク構成



図6 計測器1 (水位計測)



図7 計測器2 (雨量計測)

PROJECT		
wakayama		
TERMINAL		
池 水位変化		
SENSOR	VALUE	UPDATED
温度	4.3	2015-02-04 23:07:05
気圧	1004.3	2015-02-04 23:07:05
水位	37.4	2015-02-04 23:07:06
TERMINAL		
雨量(和歌山大12mアンテナ)		
SENSOR	VALUE	UPDATED
雨量	0.0	2015-02-04 23:07:33
温度	5.7	2015-02-04 23:07:33
気圧	1004.3	2015-02-04 23:07:33

図8 モバイル端末表示例

920MHz帯の通信機により形成された地上ネットワークにより、計測データは中継器を通じて親機に転送される。親機は学内の無線LANに接続され、インターネット網を介し、神奈川県内のNESTRAに置かれたクラウドサーバにデータを蓄積。ユーザはモバイル端末等を使い、データを閲覧することが出来る(図8)ことが確認できた。また太陽電池パネルと蓄電池のみにより、2ヶ月近くはわたり機器の動作が可能で

あることを確認することが出来た。

その後、これらの装置を栗平地区に設置し、同様に地上局ネットワークによりデータ収集が出来ることを確認した。現在、オーブコム衛星との通信端末を親機に接続し、同衛星によるネットワークを介して、データが転送されることを年度内に実施予定である。

#### 4. 今後の予定

本年度中にオーブコム衛星を使ったデータ転送を確認後、来年度からいよいよ、ほどよし衛星を使ったS&Fシステムの実証実験を開始する予定である。またS&Fシステムにおいては、衛星のみならず地上の通信系と複合化した、通信ネットワークの構築を目指している。そこで来年度は、現地周辺に中継局を搭載した係留気球を設置することも予定している。これらの中継器を介して、麓の地上通信インフラによるインターネット網まで接続、クラウドサーバへとデータを転送する実験も予定している。また同時に、地上の各センサの位置情報をcm単位で計測することにより、表層の動きを同時に把握することで、土砂災害を事前に検知する試みも実施予定である。センサの位置計測に関しては、将来的には準天頂衛星の利用も視野に入れているが、現段階では安価で小型な受信機がまだ開発されていない。そこで地上に電子基準となる装置を設置することにより、深層崩壊が起こった1km四方の表層土の動きを検出することを目指している。

我が国のみならず海外諸国においても、土砂災害は喫緊の課題である。またこれら諸国においては通信インフラも欠如していることが多い。そこで本システムをまずは国内の実際の災害復旧現場できちんと実証し、その成果を分析した後、新しい防災・減災・災害復旧のためのシステムとして、海外に展開していきたいと考えている。

#### 謝辞

本研究を実施するにあたり、国土交通省および近畿地方整備局、紀伊山地砂防事務所の皆様には、大変お世話になりました。また現地計測に際しては、株式会社エイト日本技術開発様の御協力をいただき実施しました。また栗平地区での計測に当たっては、復旧工事を御担当される大成建設株式会社様にご多大のお世話になりました。心よりお礼申し上げます。

また本研究の実施にあたっては、東京大学中須賀先生率いるほどよし衛星チームの御指導・御協力をいただいております。また S&F システムに関しては、NESTRA の技術協力をいただき、実施しています。こちら併せまして、感謝いたします。

なお、本研究の活動の一部は、総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通して助成されたものです。また UNIFORM プロジェクトは、文部科学省からの補助金事業として実施しています。心からの感謝を申し上げます。

#### 引用・参考文献

- 1) 土木学会:土木学会"平成23年台風12号土砂災害調査報告書", [http://committees.jsce.or.jp/report/n\\_ode/51](http://committees.jsce.or.jp/report/n_ode/51)
- 2) 国交省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所:"平成26年台風11号による赤谷地区及び栗平地区の河道閉塞部の一部侵食の発生について", [http://www.kkr.mlit.go.jp/scripts/cms/kiisanchi/info11/data/pdf/info\\_2/20140812\\_01.pdf](http://www.kkr.mlit.go.jp/scripts/cms/kiisanchi/info11/data/pdf/info_2/20140812_01.pdf)
- 3) 間瀬 一郎ほか"ほどよし3号機, 4号機の軌道上初期性能",宇宙科学技術連合講演会講演集 58, 6p, 2014-11-12
- 4) 秋山演亮「超小型衛星の世界と宇宙教育・キャパシティービルディング」宇宙教育研究所紀要(2012)
- 5) 松本健ほか"ほどよし3, 4号機のデータ蓄積中継(S&F)実証実験概要",宇宙科学技術連合講演会講演集58, 4p, 2014-11-12