

## WINDS 衛星を介した災害時バックアップ通信 -ネットワークアクセラレータによる遅延対策-

新井康平\*・藤崎清孝\*\*・池見洋明\*\*・升屋正人\*\*\*・宮原照昌\*\*\*\*

### Backup Communication Routing Through Internet Satellite, WINDS for Transmitting of Disaster Relief Data -Countermeasure for Round Trip Delay which occurs in between Satellite and Ground with Network Accelerator -

By

Kohei Arai, Kiyotaka Fujisaki, Hiroaki Ikemi, Masato Masuya and Terumasa Miyahara

**Abstract:** A countermeasure for round trip delay which occurs in between satellite and ground with network accelerator is investigated together with operation system dependency on effectiveness of accelerator. Also disaster relief data transmission is attempted for mitigation of disaster together with acceleration of disaster relief pictures and information from the disaster occurred areas to local government in order for create evacuation information to the residents in the suffered areas due to disaster. As the experimental results, it is found that (1) antennas for communication to the internet satellite, WINDS can be set-up within a 10minutes, (2) network accelerator shows an enough performance for transmission of disaster relief data of MODIS satellite data and moving pictures of disaster relief, (3) also acceleration of transmission of disaster information from the residents to local government and evacuation information from local government to the residents.

**Key words:** Disaster mitigation, Network accelerator, Internet satellite (WINDS), MODIS data

#### 1. はじめに

本研究は WINDS 衛星(超高速インターネット衛星)[1]を介した通信路を災害時におけるバックアップ通信路として利用する手法およびその効用の確認を行うとともに通信品質の把握、ならびに、通信品質向上のためのサイトダイバーシティ[2]の効果を実証するとともに地すべり等の九州地域における地域的防災情報通報システム[3]を実現することを目的として実施した。

WINDS 衛星は平成20年2月に打ち上げられた。現在、ミッションチェックが JAXA・NICT によって執り行われ、既に総務省の「WINDS 衛星の利活用に係る公募研究」に採択され、平成21年3月の利用が許可されたものが実験を実施している。筆者達は WINDS 衛星を地域における災害時のバックアップ通信路として利用するシステムが

地域に役立つことを実証するとともに地すべり等の地域的災害監視のための防災情報通報システムを実証している。

WINDS 衛星と地球局との間に電波伝搬遅延および WINDS 衛星搭載の ATM スイッチ[4]に 0.8 秒の遅延があり、これが TCP/IP 通信の際の ACKNOWLEDGE 等のデータ転送手順における妨げになり、実効伝送速度は極めて甚大な劣化を招く。これを克服するため、ネットワークアクセラレータが開発されているが、この性能を確認する必要がある。また、通信制御に用いるマシンの OS 依存性についても同様に確認の必要性がある。

WINDS 衛星を介した回線を天災、障害時に確立することにより、天災、障害時に既存の回線が切断されたとしても WINDS 衛星を介した回線に切り替えることによりバックアップ回線確保が可能となる。このような天災、障害時に重要な情報、すなわち、被災状況、避難情報、障害復旧のためのログ情報等をバックアップ回線を用いて通信することにより、障害復旧を早期に行うことがで

平成21年10月31日受理

\*理工学部知能情報システム学科

\*\*九州大学大学院システム情報科学研究院

\*\*\*鹿児島大学学術情報基盤センター

\*\*\*\*(株)エルム

©佐賀大学理工学部

きるようになり、被災地域住民を早期に避難させることもできるようになる。本研究では局所的にクローズする地すべり災害を取り上げ、そのモニタおよびデータ伝送方法を確立することにした。

## 2. 実験方法

実験目的は科学ミッションおよび工学ミッションに分けられる。科学ミッションは、防災情報、被災状況を観測した衛星データの送受信、被災状況を撮像した動画像および気象ロボット計測データの送受信、防災情報通報所要時間の短縮、降雨減衰模擬実験であり、

工学ミッションは、

- (1) WINDS 衛星を介した回線へのバックアップ切り替え (10 分以内)、
  - (2) TCP/IP プロトコルによる IP 伝送実験におけるアクセラレータ依存性、OS 依存性、
  - (3) ネットワーク性能評価方法の確立
- である。

### 2.1 実験コンフィギュレーション

実験コンフィギュレーションを図 1 に示す。

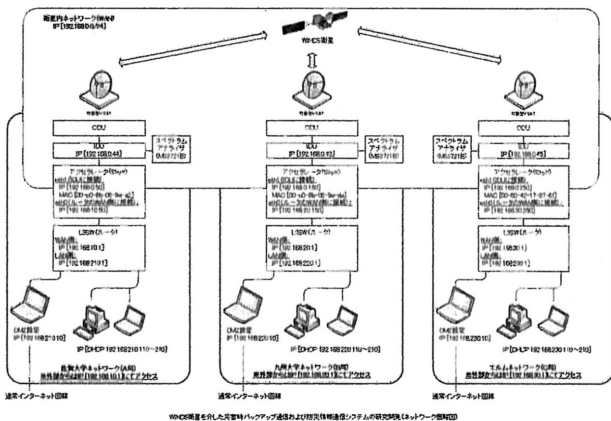


図1 WINDS衛星を介したIP通信実験コンフィギュレーション

九州大学、佐賀大学、鹿児島大学、ならびに、鹿児島県離島を WINDS 衛星を介したネットワークによって結び、災害を模擬したダミーデータを用いて防災情報通報システムを構築することを目標としている。そのため、本実験では 3 機関を WINDS 衛星を介して IP 接続している。端末からルータを介し、アクセラレータ(SkyX)[5]に接続し、その後、Internal Data Unit (IDU)およびOuter Data Unit

(ODU)を介して WINDS アンテナ(可搬型 VSAT アンテナ)<sup>1</sup>に接続している。このアンテナは 6 ピースからなる 1mφ のパラボラアンテナであり、以下の手順で送信する。IDU はユーザ機器から ETHERNET I/F で受信したデータを符号処理変調し 1.9GHz~2.5GHz 帯送信 IF 信号として BUC に出力する。BUC はシングルコンバージョン方式の周波数変換により 27.5GHz~28.1GHz 帯送信信号を固体電力増幅器に出力する。固体電力増幅器は送信信号を約 40W に増幅し、1.0mφ アンテナへ出力する。また、IDU は送信 IF 信号に重畳して DC+24V、10MHz 基準信号を BUC に供給する。さらに、固体電力増幅器の利得設定、状態監視等を行う。送信電力の設定は、IDU の出力レベル調整と固体電力増幅器の利得を調整し行う。IDU の出力レベル調整は、ビットレート変更時の送信電力制御およびケーブル損失補正時に調整し、20dB 以上の調整範囲を有している。固体電力増幅器の利得調整は、降雨補償の送信電力制御に使用し、10dB の設定範囲を有している。

受信の際の手順は以下の通りである。1.0mφ アンテナより出力された 17.7GHz~18.3GHz 帯再生系受信 RF 信号および 18.9GHz 帯網受信 RF 信号を LNC に入力し、シングルコンバージョン方式の周波数変換により 1.38GHz~1.98GHz 帯 IF 信号を RCI Controller に出力する。RCI Controller は GPS 受信信号による自局の位置情報及び電気コンパスによる真北情報により、AZ、EL を算出し WINDS の方向に 1.0mφ アンテナを指向させる。RCI Controller は内部にビーコン受付機を内蔵し、受信信号レベルが最大となるように 1.0mφ アンテナを駆動させる。また、RCI Controller に入力された 1.38GHz~1.98GHz 帯 IF 信号はカップラにより信号分配され、IDU に出力する。IDU は受信したデータに復調符号処理を行い、ETHERNET I/F でユーザ側にデータを送付する。IDU は受信 IF 信号に重畳して DC+24V、10MHz 基準信号を LNC に供給する。

災害時に防災無線・有線が切断したような場合、当該アンテナを持って被災地に赴き、アンテナを展開して WINDS 衛星に指向させ、通信路を確保するのに要する時間は、10 分以内であることを確認した。

### 2.2 SkyX を用いる VPN の構築

図 2 に SkyX の設定方法を示す。SkyX の重要な設定には、iroute/skyx-max/skyx/save/load 等があり、これ

<sup>1</sup> VSAT システム (Very Small Aperture Terminal) システムは、通信衛星を介する双方向通信システムのひとつであり、通信衛星と通信制御を行う VSAT 制御地球局 (親局:HUB 局)、各地に置かれる VSAT 地球局 (子局:VSAT) および公衆電気通信回線網により、ネットワークが構成される。

らの設定が正常に行われていれば、正しく機能する。最も重要な SkyX のコマンドとしては、次のものがある。

- ip-route — ネットワークのルーティング設定
- SkyX-map — SkyX を有効とするネットワーク構成の設定
- SkyX — SkyX の機能を有効/無効を設定
- save / load — 設定機能の保存/読み込み

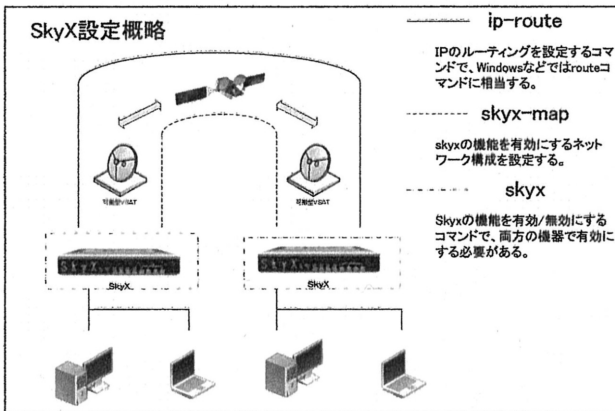


図2 SkyX の設定

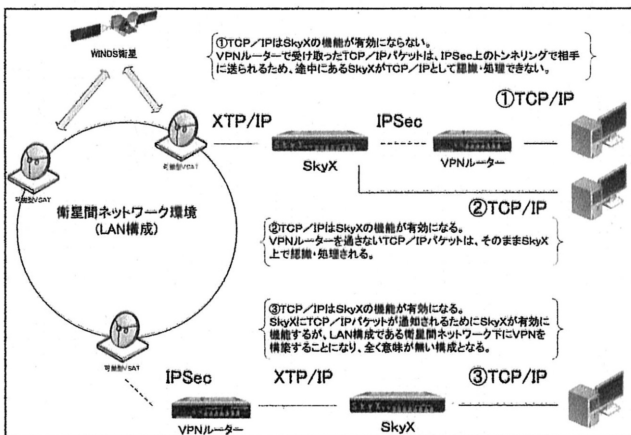


図3 SkyX と VPN 構築

SkyX を接続した環境で VPN(IPSec)を構築すると、SkyX が有効に機能しない。これはネットワークプロトコルの起因する問題で、IPSec がレイヤ2におけるでのトンネリングによる VPN であるために、その上を流れる TCP/IP のデータを SkyX が認識できないことに原因がある。この問題を解決する方法として、接続方法を VPN→SkyX から SkyX→VPN に変更するか、TCP/IP で実現される VPN を構築する必要が考えられる。前者は、SkyX は衛星間ネットワークに接続であり、既に LAN 環境であるところに VPN を構築することになる。VPN のセキュリティ効果も期待されるが、衛星間ネットワーク自体が強固なセキュリティ環境下にあるので、この方法による

VPN 構築は意味がない。また、TCP/IP を利用する VPN として SSTP や SSL-VPN が考えられるが、これらの VPN 構築には、認証サーバーを構築する必要がある。SSL-VPN は今回使用した FprtiGet-60B (簡易DMZ機能は使用できない)にサポートされており、これを用いることとした。また、SSTP は Windows2008Server でサポートされているが、認証が正常に動作しない不具合があり使用しないことにした。

図3に SkyX と VPN 構築の考えられる方法を示す。SkyX 下に VPN を構築しても、SkyX の機能は有効にならない。また逆の構成では、VPN を構築する必要性がない。

### 3. 実験結果

#### 3.1 Iperf によるロス等の測定および ftp によるファイル転送

ネットワーク性能評価に Iperf を利用し、ftp によるファイル転送を通じて行った。なお、ネットワークの遅延時間に関しては、Ping 等で計測し結果、常に 800msec であることを確認した。

OS を WindowsXP とした場合のサイズの異なるファイルを ftp 転送した結果を以下に示す。

SkyX ON File: WindsTestSmall.dat (1079064 bytes)

場所	所要時間(s)	転送速度(Kbytes/sec)
九州大←佐賀大	1.06	1016.07
佐賀大←九州大	1.08	1000.99

SkyX OFF File: WindsTestSmall.dat (1079064 bytes)

場所	所要時間(s)	転送速度(Kbytes/sec)
九州大←佐賀大	129.92	8.31
佐賀大←九州大	146.63	7.36

SkyX ON File: WindsTest.dat (310677846 bytes)

場所	所要時間(s)	転送速度(Kbytes/sec)
九州大←佐賀大	84.61	3671.88
佐賀大←九州大	75.94	4091.20

このとき、アップリンクの速度が 51Mbps に設定し、送信レベルは 30MBps の転送レートをパケットロス無しで送れるように調整した。SkyXOn/Off の差は歴然としている。約 125 倍の転送速度が SkyX を用いることによって達成できていることを確認した。また、サイズの大きなファイル転送の場合は、全体の 12.9 % の転送レートが実現できることが分かった。ファイルサイズが小さい場合は 5.7 % になっており、小さいファイルでは Windows 内のロス等もあり、実効転送速度が低下することが確認できた。

#### 3.2 OS 依存性

次に OS を WindowsVista に変更して同様に File:

WindsTestSmall.dat (1079064 bytes)を用いて ftp 転送実験を行った。その結果を以下に示す。

場所	所要時間(s)	転送速度(Kbytes/sec)
SkyX ON		
九州大←佐賀大	1.33	813.77
佐賀大←九州大	1.33	813.77
SkyX OFF		
場所	所要時間(s)	転送速度(Kbytes/sec)
九州大←佐賀大	30.48	35.40
佐賀大←九州大	28.64	37.68
※Auto Tuning 機能 ON/OFF での比較(九州大←佐賀大)		
両局 ON	36.64	29.45
九州大のみ OFF	37.45	28.81
両局 OFF	41.99	25.70

単純に転送時間だけを比較しても、約 4.97 倍近く高速がされていることがわかり、WindowsVista の転送ファイルサイズの AutoTuning (『TCP 受信ウィンドウ自動チューニング』)が有効であることを確認した。

### 3.3 被災状況を観測した地球環境観測衛星 MODIS データの伝送実験

TCP/IP および UDP 通信によって MODIS データを伝送する実験を行った。TCP/IP の SkyXOFF の場合を図 4 に、また、ON の場合を図 5 にそれぞれ示す。グラフの横軸は画像のファイル名、左軸が転送サイズ、右軸が転送レートを表す。青線は実際のファイルサイズを表しており、桃線が実際の転送サイズ、緑線はその際の転送レートである。すなわち、青線と桃線が重なり合うときが、全くデータロス無しで送られたことを示す。本来 TCP/IP はデータの送信は保証されるが、いずれのファイルも 11-14 秒程度で送信が中断されている。ACKNOWLEDGE の確認が取れずに中断したものと考えられる。SkyXON ではデータロスが少なくなることが確認できる。本来なら転送レートは一定のはずだが、ファイルサイズに応じて変動する。これは TCP が送信データを保証するために、再送処理などでデータ送信量が増える、TCP 特有のスロースタートが影響しているのではないかと考える。すなわち、ファイルを送信し始める段階ではスロースタートし、徐々に転送速度を上げるので、ファイルが大きいかほど転送レートが上がると考えられる。

次に UDP 伝送実験の結果を図 6 に示す。UDP ではパケットロスが計測される。左軸を転送サイズと転送レートにし、右軸をパケットロスにした。注目すべきは、転送レートがほぼ一定になることである。TCP では複雑な

フロー制御や輻輳処理のために転送レートが一定していないが、UDP では一切のハンドシェークがないために転送レートが安定している。また、このような測定ではディスクアクセスなどによる影響があるが、Iperf による計測はその影響を考慮して計測している。

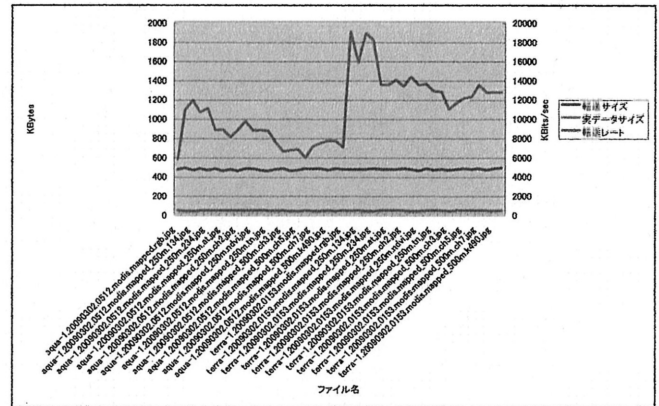


図 4 SkyXOFF における MODIS データ伝送実験

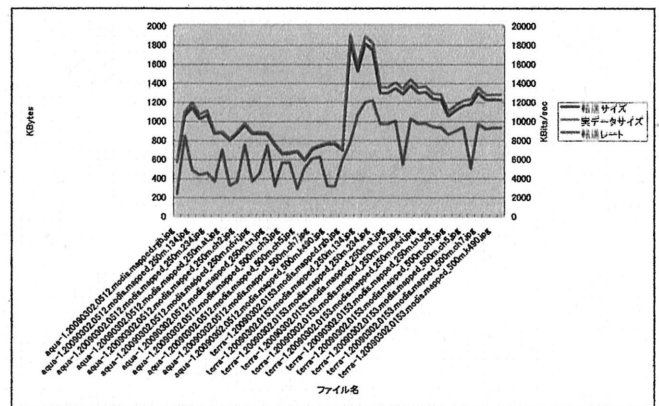


図 5 SkyXON における MODIS データ伝送実験

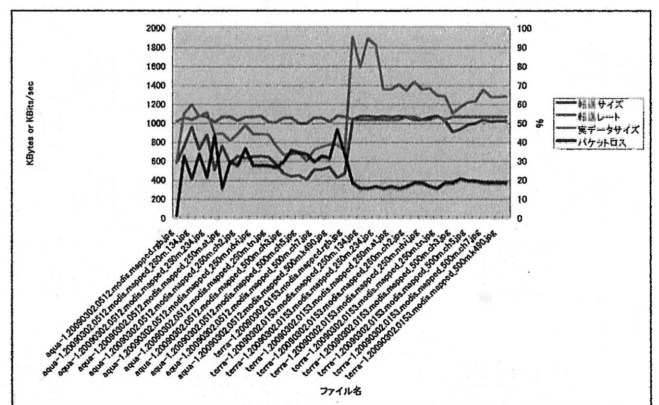


図 6 MODIS データの UDP 伝送実験結果

転送サイズも転送レートも UDP の方が優れている。このことから衛星間ネットワークでは、TCP の複雑なハンドシェークが大きなネックになっていることが分か

る。なお、UDP で実データサイズと転送サイズが合わないのは、VPN ルータによるパケットロスが原因と考えられる。アンテナ調整時はパケットロス無しで調整されているので、この差はない。

### 3.4 インターネットカメラによる被災状況撮影動画像の伝送実験

インターネットカメラによる動画配信試験を行った。SkyX を ON および OFF したときの動画像を比較した。結果的に、SkyX を ON しても OFF しても画像に影響は一切見られなかった。これはインターネットカメラで使用されているプロトコルが RTP(UDP ベースのプロトコル)である為、一切影響を受けていないのは当然である。

### 3.5 インターネット接続

WINDS を介した通信路を確保した後にインターネット接続することを考えている。実験コンフィギュレーションを図 7 に示す

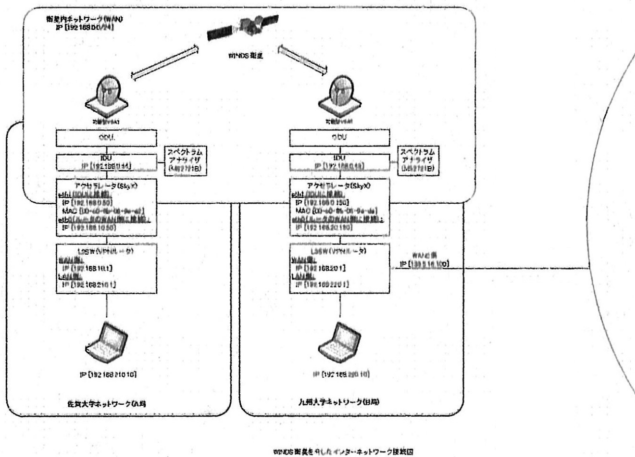


図 7 インターネット接続実験

インターネット接続試験の目的は、『WINDS 衛星を介した災害時バックアップ通信および防災情報通信システム』において、インターネット上で動作するアプリケーションの利用を可能にするものである。例えば、インターネットカメラで画像配信試験を行っているものをインターネット上の Skype 等に置き換えることにより安価な WEB カメラで済むことにもなり、幅広く防災情報を収集、伝送することが可能になる。

接続試験を佐賀大学-九州大学間で行った。インターネットクラウドに接続するのは九州大学であり、佐賀大学から衛星間ネットワークを通じて九州大学に設置した VPN ルータからインターネットに接続できるようにした。この間に接続している機器は、PC および SkyX と VPN ルータのみであり、それぞれのルーティングを設定

することで接続が可能になった。衛星間ネットワークを経由してインターネットに接続していることを Tracert コマンドにより確認した。図 8 は、佐賀大学から WINDS・九州大学を経由して、Yahoo のホームページに対して Tracert コマンドを発行しているところである。

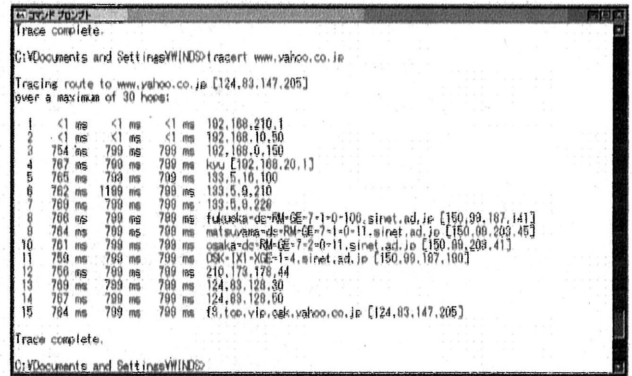


図 8 Tracert によるインターネット接続の確認

### 3.6 降雨下における伝送実験

WINDS 衛星の伝送周波数 Ka 帯における降雨減衰の影響は多大である。降雨下における伝送実験を実施するべく実験機関を 8 月 10 日から 3 週間に設定したが、降雨が観測されたのは以下の 2 日だけであった。

8/22	九州大学	8:40 前後	最大 8.0mm
	佐賀大学	12:00 前後	最大 13.5mm
8/28	九州大学	7:50-10:50	最大 0.5mm
	佐賀大学	11:00-12:00	最大 0.5mm

8 月 22 日における佐賀大学の WINDS 衛星からの受信電界強度を図 9 に示す。ディップが降雨による減衰を示している。これと図 10 の佐賀地方気象台の観測降水量データと比較すると降雨時において受信電界強度が低下していることが分かる。8 月 22 日の佐賀大学における降雨下では受信電界強度が -75db まで下がっており、このときの C/N0 の値は 81db まで下がっていることが分かった。

WINDS 衛星は降雨補償機能を持っている。しかし、周辺の影響を考えて送信出力は最低限に抑えるべきである(C/N0 を 95db 以上にする)。そのためには、降雨量に対する出力補償値を算定する必要がある。この計算式の導出は、降雨下における伝送実験で計測するデータに基づくのが最も良いと思われる。また、降雨予想の精度が向上すれば、どの時間帯にどの程度の送信出力補償を行えばよいか事前にプログラムできるようにもなる。

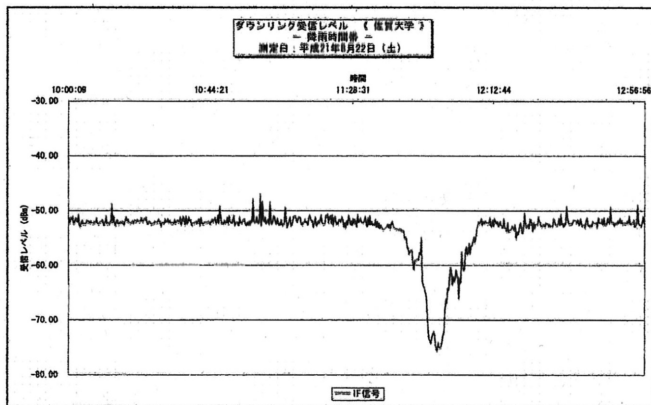


図9 8月22日における佐賀大学のWINDS衛星からの受信電界強度

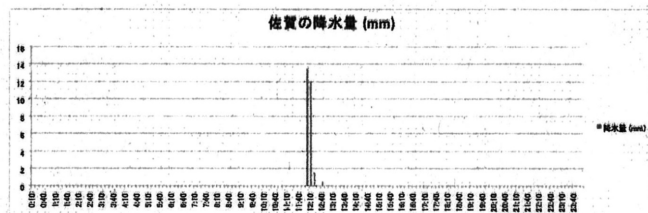


図10 佐賀地方気象台の観測降水量データ

#### 4. あとがき

本研究で得られた成果を以下にまとめる。科学ミッションに対する成果は、

- (1) 防災情報、被災状況を観測した衛星データ(MODIS250m)の送受信をUDPプロトコルにて行い、初期の想定性能にて問題なく送受信できることを確認した。
- (2) 被災状況を撮像した動画像(Skype)の送受信を行い、良好な画質にて可能であることを確認した。これらに要する時間は10秒以内である。
- (3) 地方自治体から災害対策本部を經由して避難情報を通報するための所要時間を10分短縮可能なことを確認した。
- (4) 電波吸収体による降雨減衰模擬実験の結果、衛星画像、動画像、気象ロボットデータをある程度はロスなしにて送受信が可能であることを確認した。減衰をアッテネータにて実現した実験では臨界点を越えると途端に送受信が不可能になることも分かった。
- (5) WINDS を介したバックアップ通信路の確保に要する時間は可搬型VSAT1mφアンテナの組み立てに係る10分であることが分かった。

また、工学ミッションに対する成果は、

- (1) WINDS 衛星を介した回線へのバックアップ切り替えが容易に行えることを確認した(10分以内)。
- (2) TCP/IP プロトコルによる IP 伝送実験におけるアクセラレータ(SkyX)の効果は絶大であった。OS 依存性を確認

したところ、Vista-Vista が最良であることを確認した。これは Vista の『TCP 受信ウィンドウ自動チューニング』が効果をもたらしている。

(3) ネットワーク性能評価方法は Iperf を用いて確立した。

#### 謝辞

本研究は総務省予算事業、戦略的情報通信研究開発推進制度 SCOPE(地域 ICT 振興型研究開発)に基づき実施したものであり、本研究遂行に当たり、ご支援、ご協力戴いた総務省九州総合通信局関係各位に深謝の意を表します。また、実験遂行に当たり多大なご協力を戴いた、JAXA, NICT WINDS 衛星利用実験協議会、九州航空宇宙開発推進協議会、九州大学、鹿児島大学および佐賀大学の関係各位等に感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] <http://www.jaxa.jp/projects/sat/winds/>
- [2] 常川、鹿子嶋、小型筐体上水平配置ダイポールアンテナのダイバーシチ特性解析、信学論、J75-B-II 巻、9号(1992.9) pp.629~637
- [3] 新井康平、藤崎清孝、WINDS 衛星を介した災害時バックアップ通信および防災情報通報システム、総務省九州総合通信局主催、SCOPE 研究発表会、熊本市現代美術館 5F アートロフト、6月20日、2008
- [4] 西村、大前、岡田、次世代マルチメディア通信におけるマルチキャスト ATM スイッチ：SSMAP(Singlecast Stuffed Multicast Advanced Processing) ATM スイッチ、電子情報通信学会技術研究報告、OFS、オフィスシステム 100(540) pp.37-42 20010105、2001
- [5] [http://www.yuantong.cn/sirvou/Skyx\\_DS\\_J\\_0307.pdf](http://www.yuantong.cn/sirvou/Skyx_DS_J_0307.pdf)