

南太平洋域における衛星回線による宇宙測地データの

TCP/IP 伝送実験

-平成 15 年度実験：衛星ルータによる GPS、及び VLBI データの伝送速度評価-

市川隆一^{†a)}

高橋富士信^{††}

長谷川晃朗^{†††}

大崎裕生[†]

Eroni Vari^{††††}

PaserioSamisoni^{††††}

David A. Phillips^{†††††}

Michael Bevis^{††††††}

Feasibility Study of Satellite Data Transmission for Space Geodesy through the TCP/IP link in the South Pacific

ICHIKAWA, RYUICHI^{†a)}, Fujinobu TAKAHASHI^{††}, Akiyo HASEGAWA^{†††}, Hiro OSAKI[†], Eroni VARI^{††††}, Paserio SAMISONI^{††††}, David A. PHILLIPS^{†††††}, and Michael BEVIS^{††††††}

要旨 将来、島嶼地域などの遠隔地で小型 VLBI システムによる測地 VLBI 実験を行い、衛星回線などでデータを TCP/IP 伝送して e-VLBI を実施する場合を想定した評価のために、フィジー共和国スバ市、および通信総合研究所小金井本所において衛星回線による宇宙測地データの TCP/IP 伝送実験を行った。実験の主目的であった VLBI、および GPS データの TCP/IP 伝送では、spoofing 機能搭載の衛星ルータにより、衛星回線特有の RTT の影響がほぼ皆無となり、回線スループットの 92~94%もの高い伝送効率が達成された。一方、スバ市行政府ビル測量局にある IGS/GPS 点の観測データをフィジーからハワイまで伝送するという実験も試みた。しかしながら、衛星回線、および通常のインターネット回線での伝送には成功したが、行政府ビルから南太平洋大学までのわずか 2km の距離でのデータ伝送はまだ実現してなく、今後の課題である。

キーワード VLBI, GPS, 宇宙測地, TCP/IP データ伝送, 衛星ルータ

1. はじめに

VLBI^(注1)による地球姿勢^(注2)決定観測の高精度化を握

[†] 独立行政法人通信総合研究所鹿島宇宙通信研究センター宇宙電波応用グループ

Kashima Space Research Center, Communications Research Laboratory

893-1 Hirai, Kashima, Ibaraki 314-8501, JAPAN

TEL: +81-299-84-7142(direct), FAX: +81-299-84-7159

^{†††} 独立行政法人通信総合研究所カオス暗号チッププロジェクト

Communications Research Laboratory

^{††} 南太平洋大学

University of South Pacific, SUVA, Fiji Islands

^{††††} フィジー政府測量局

Lands and Survey Dept., SUVA, Fiji Islands

^{†††††} ハワイ大学太平洋 GPS 研究室

Pacific GPS Facilities, University of Hawaii, USA

^{††††††} オハイオ州立大学

Ohio State University, USA

a) E-mail: richie@crl.go.jp

(注1): Very Long Baseline Interferometry: 銀河系外の電波星(クエーサー)からの雑音信号を、数 1000km の距離を隔てた 2 地点にあるパラボラアンテナで同時に受信し、そのデータを相関処理解析することにより 2 地点間の距離と方向をミリの精度で測定する技術

(注2): 地球の自転速度や自転軸の変動の精密計測から得られる地球の姿勢、つまり自転速度や自転軸の向きは、大気や海洋の変動、氷河の氷の融解、地

るカギの一つとして南北両半球をまたぐ基線での観測がある。しかしながら、わが国の南側に伸びる基線を想定した場合、オーストラリア大陸以外はネットワークインフラも不十分な南太平洋の島嶼国がほとんどであり、e-VLBI^(注3)の実現まではまだほど遠いのが現状である。そのため、近い将来に小型 VLBI 観測局による実証観測を実施することを念頭に置いた場合、島嶼域などの遠隔地からの TCP/IP データ伝送が必要とされるノウハウを把握することが重要である。そこで、新ポストパートナーズ計画の一課題として“南太平洋域における衛星回線による宇宙測地データの準リアルタイム IP 伝送実験報告”の題目で平成 14~16 年度の 3 力年計画で研究を継続して

球内部でのコアとマントルとの力のやりとり、あるいはプレート運動や地震の影響などによって複雑にその振幅や周期が常に変化している。この地球姿勢は、自転の速さにしてわずか 100 万分の 1 秒から 1000 分の 1 秒程度、北極や南極での地軸の位置にするとほんの数 cm ~ 数 10cm 程度にすぎないが、惑星探査船の軌道決定や、GPS などの衛星測位には不可欠な情報であり、VLBI は地球姿勢をもっとも高精度に計測できる観測手段である。

(注3): Internet によるデータ伝送と汎用 PC によるデータ取得、およびソフトウェアによる VLBI データ相関処理などを核とした次世代 VLBI 技術の総称

いる。

新ポストパートナーズ基地局のあるフィジー共和国は、地球物理学・測地学の観点からも興味深い地域でもある。ここでの VLBI 観測、およびこれと GPS 観測網との結合は、地域の測地基準網高精度化、プレート運動計測によるテクトニクス解明、海水準変動モニターなどの研究にも寄与が期待できる。

2003年度については、疑似 Ack 送出により局間遅延の影響を軽減可能な spoofing 機能搭載の日本電気(株)製衛星ルータ [1] を用いて、日本-フィジー共和国間で GPS、及び VLBI の観測データを TCP/IP 伝送し、データ伝送速度の評価を行った。なお、伝送する GPS データは、実験期間中にフィジー共和国スバ市の南太平洋大学構内において臨時に我々が設置する GPS 点、および同市行政府ビルにあるハワイ大学が設置した IGS^(注4)/GPS 点から取得されたデータであり、これらについてはフィジーから通信総合研究所小金井本所新 PP 実験室経由でハワイ大学が設置するサーバーへ ftp 伝送するまでを実験に含めている。本報告では、2003年2月に実施した本実験の結果について述べる。

2. 実験の概要

2.1 実験実施場所

日本側は小金井本所3号館1階 PP 実験室、フィジー共和国側は首都のスバ (SUVA) 市南太平洋大学、および同市行政府ビル測量局オフィスで実験を実施した。また、通信総合研究所鹿島宇宙通信研究センター、およびハワイ大学にもサーバーを設置した。フィジー共和国国内での実験実施場所の地理的な位置関係については図1を参照して頂きたい。

2.2 衛星通信実験日時

実験で衛星回線を使用した時間帯は以下の通りである。また、実験当日の天候概況もあわせて示す。

- 2004年2月9日 04:00 - 06:30(UTC)[13:00-15:30(JST)/16:00-18:30(FST)] 天候：午前晴、午後雨
- 2004年2月10日 01:00 - 04:00(UTC)[10:00-13:00(JST)/13:00-16:00(FST)] 天候：雨、ときおり激しいスコール
- 2004年2月12日 01:00 - 03:00(UTC)[10:00-12:00(JST)/13:00-15:00(FST)] 天候：雨、実験開始時の13:00-13:30FST 頃強く降るなお、上記は日本-フィジー間の衛星通信が可能であった時間帯であるが、実験準備とデータ整理にそれぞれの時間帯の前後2~3時間程度を要している。

(注4)：International GPS Service: 全世界約300カ所に存在する高精度 GPS 観測点を統括する組織機関。ただし、個々の観測点は世界の様々な機関によりそれぞれ運営され、お互いの協力によって精密な GPS 軌道の迅速な提供、地球物理学・測地学への貢献などの事業を行っている

2.3 ネットワーク構成

今回の実験の概念図を図2に示す。図に示すように、今年度についてはフィジーに設置された GPS 観測局のデータ、および以前取得した VLBI 観測データを衛星回線を用いて TCP/IP 伝送し、そのスループット速度を評価することを主目的とした。また、将来の遠隔地からの測地データの準リアルタイム伝送を念頭に置き、フィジーにおいて観測された GPS データを迅速に衛星回線、および通常のインターネット回線経由でハワイ大学まで伝送することも副次的な目的とした。

今回の実験では、図3に示すようなネットワークを構成してデータ伝送を行った。図に示すように、小金井側にネットワークカード2枚差しの PC 1台 (Linux) を用意し、プライベートアドレスで構成される衛星通信系と、小金井から外部へインターネット経由でデータ伝送を行うためのブリッジシステムとした。フィジー側は計4台の PC (Windows 系3台、及び Linux 1台) を HUB を介して繋ぎ、それぞれにプライベートアドレスを固定で割り振った。なお、小金井側、フィジー側共に ftp クライアント & サーバーとして機能するように必要なソフトウェアが前もってインストールされている。

2.4 周波数設定

小金井-フィジー間は Superbird C 衛星を介して TCP/IP 接続され、この衛星系は双方向の通信ができるように2つのチャンネルを使用した。周波数設定は、表1の通りである。

2.5 衛星ルータ

今回の TCP/IP 伝送実験のために、小金井とフィジーの両局に spoofing 機能搭載の衛星ルータ (図4) を接続して実験した。

通常の TCP/IP 伝送では、2局間の往復遅延時間 (RTT: Round Trip Time) の影響により、その回線で可能な最大伝送速度よりもスループットが低下し、スループットと RWIN (TCP 受信窓サイズ “TCP Receive Window Size”^(注5)) の関係は式 (1) にあるように、

$$\begin{aligned} \text{スループット} [byte/sec] \\ = RWIN \text{ 値} [KB] / \text{往復遅延時間} [s] \end{aligned} \quad (1)$$

で知られる。例えば Windows98 マシンでの標準的な値である RWIN 値 8KB、往復遅延時間約 540msec の場合データスループットは 14.8KB(118.5Kpbs) となり、設定値の 1.536Mbps のわずか 8% の速度でしか伝送できない。また、Linux や FreeBSD などの OS で標準的な RWIN 値 64KB でも、948.0Kpbs のスループット、62% の伝送効率となり、40% 近くも低下する。

一方、衛星ルーターには spoofing と呼ばれる、疑似

(注5)：伝送系路上で 確認応答なしに一度に送信可能な最大のバケットサイズ

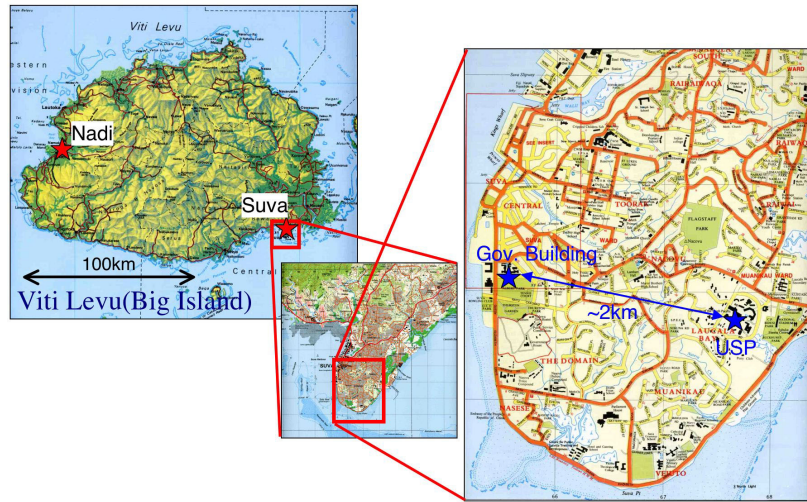


図 1 今回の実験実施場所の地理的位置関係 (この図はフィジー測量局発行の図幅を用いて作成した)

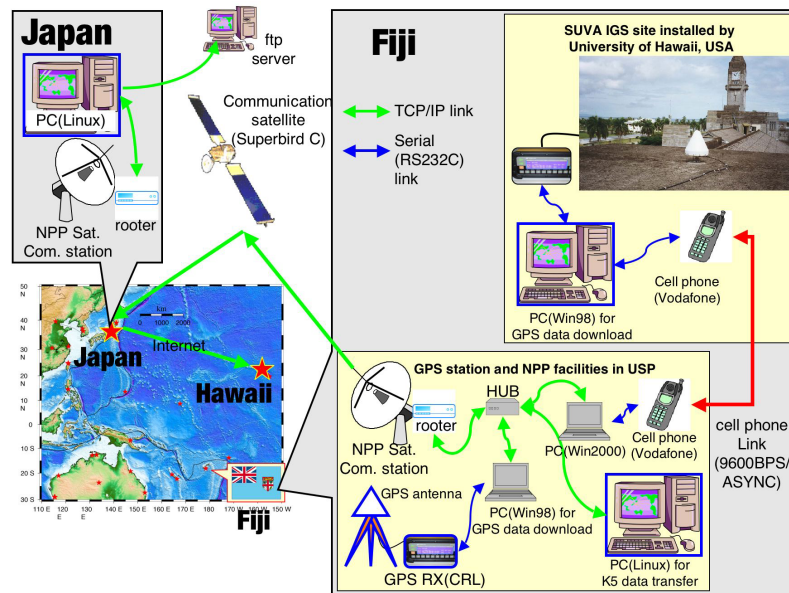


図 2 衛星回線による TCP/IP データ送信実験の概念図

Ack を送受信側に返すことによって長距離の通信でも RTT の影響を軽減できる機能が搭載されている。ルータにはコンパクトフラッシュメモリが搭載され、そこに専用の linuxOS がインストールされている。ルータの設定は 10baseT ケーブルを PC との間で繋いで WEB ブラウザで行う。設定画面は非常にシンプルでわかりやすい。なお、spoofing 機能のオンとオフの切り替えのみは、フラッシュメモリ上の OS に telnet 接続して初期設定ファイルを vi などのエディタで書き換えて行う。ルータの設

表 1 新 PP 衛星折り返し実験 ch の周波数設定

経路	CH1	CH2
uplink	14213.500MHz	14216.500MHz
downlink	12486.500MHz	12483.500MHz

定は今までに使用したものと格段に簡単であり、今回の実験でも初日 (2/9) の実験開始時に特に問題なく衛星回線経由での TCP/IP 接続が確立できた。衛星ルータの詳細については文献 [1] に詳しい。

Plan B

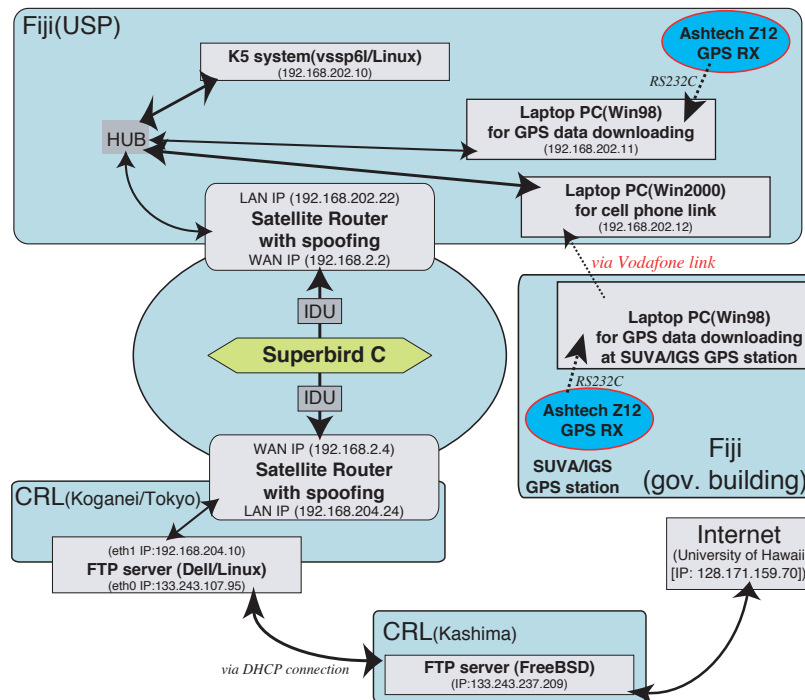


図 3 実験における機器構成、およびネットワーク構成図



図 4 衛星ルーターの写真



図 5 行政府ビル測量局オフィス会議室内に設置された GPS。左が CRL、そして右がハワイ大学の GPS 受信機 (2つは同機種である)。2 台の受信機の後方にアンテナ分配器が見える。

3. 実験結果

3.1 GPS 観測点の設置

まず、2月9日の午前中にスバ市行政府ビル測量局オフィスにおいて、ハワイ大学が過去に設置したものの故障のためここ数ヶ月にわたって稼働していないGPS観測点の受信機を正常な受信機と交換すると共に、我々の臨時観測用GPS受信機を併設した(図5)。ここで、行政府ビル屋上に設置したアンテナ(図6)からのGPS信号を分配器で分けて双方の受信機に入力した(図5の後方に分配器が見える)。

ちなみに、この行政府ビルのGPS観測点は、現在全世

界に約300カ所に存在するIGS観測点の一つであり、フィジーとその東方約800kmに位置するトンガとの間にあるラウ海盆(Lau Basin)の背弧海盆拡大^(注6)の様子を把握し、周辺のテクトニクスを解明するためにハワイ大学が展開した南太平洋GPS観測網のキー局でもある。Bevis et al.[1995][2]によれば、トンガ海溝の東側では年

(注6): プレートの沈み込み帯において、沈み込まれる側[上盤側]のプレートの海溝に面した場所に海溝軸に沿ってしばしば弧状列島が形成される。こうした場所では、弧状列島の海溝とは反対側、つまり背中側に海洋底が現れて徐々に拡大する現象がみられる。これを背弧海盆拡大という。例としてLau Basinの他に日本海、マリアナトラフ周辺がある。



図 6 1997年にハワイ大学が行政府ビル屋上に設置した GPS アンテナ。



図 8 南太平洋大学構内のポストパートナーズ実験室に設置されたルーター、IDU など。

間約 25cm という世界に例をみないプレート運動速度が求められており、Lau Basin の拡大速度も最大約 17cm が得られている。

次に、午後より南太平洋大学構内に簡単なベンチマークを設置し、これを基準点として図 7 にあるように臨時の GPS 観測を開始した。



図 7 南太平洋大学構内に設置した GPS 観測点。後方は新ポストパートナーズ計画で使用している衛星通信用アンテナ



図 9 同じくポストパートナーズ室内の NetMeeting 用のネットワーク分配架と南太平洋大学の高橋富士信氏。

3.2 iperf によるスループット計測

GPS 設置後、フィジー時間 16 時 (日本時間 13 時) より南太平洋大学構内のポストパートナーズ実験室において衛星通信実験を開始した。図 8、及び 9 に示すように、実験室には衛星ルータ、UDP の他、NetMeeting 用の WindowsPC、ビデオ会議用のビデオカメラとモニターなどの各種機器が設置されている。既に述べたように衛星ルータによる TCP/IP の伝送経路確立は問題なく、すぐにデータスループット計測ツールの iperf により、フィジー日本間のスループット計測を実施した。なお、このとき今回使用した衛星ルータの特徴である spoofing 機能 (既述) を ON として計測を行った。

まず、ping 送出により確認したフィジー-小金井間の

往復時間は約 536msec であった。ちなみに、この値から式 (1) より、通常の TCP/IP 伝送で RWIN 値 64KB とすると、期待される伝送速度は 955.0Kbps、今回の衛星回線では 62%の伝送効率となる。

次に、iperf によるスループット速度計測を複数回行ったところ、結果は表 2 のようになった。

小金井側がサーバ、RWIN 値が 64Kbps のケースで、一部伝送速度が遅い事例がみられるものの、全体的には小金井サーバ/フィジークライアント、小金井クライアント/フィジーサーバの双方向共に 1.44Mbps となった。これは、今回の実験での最大可能スループット 1.536Mbps の約 94% に達する速度である。spoofing 機能を使用しない通常の衛星経由の TCP/IP 伝送では往復遅延時間の影響を顕著に受けてスループットは半分、ないしはそれ以下に低下することが既にこれまでの実験で確認されており、今回の結果により遠隔衛星通信においても spoofing 機能の有効性が確認できた。iperf 計測後は WindowsXP マシンどうしによる NetMeeting のテストに移ったが、こちらは映像は滑らかに送られるものの音声伝送に問題あるため翌日再度テストすることとなった。

次に、2日目の2月10日実験の前半に前日に引き続き

表 2 衛星ルータの spoofing 機能 ON の場合の iperf 計測結果。小金井側をサーバにした場合、フィジーにした場合の双方で示している。伝送効率率は衛星回線の伝送スเปック 1.536Mbps に対する割合を%で示した値。

サーバ	小金井		フィジー				
	RWIN サイズ [KB]	64	128	8	32	64	128
1 回目 (Mbps)	0.163	1.44	1.44	1.44	1.43	1.44	
2 回目	0.661	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	
3 回目	0.663	1.44	1.44	-	1.44	1.43	
4 回目	1.25	1.44	-	-	-	-	
5 回目	1.43	-	-	-	-	-	
平均 (Mbps)	0.83	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	
伝送効率率 (%)	54	94	94	94	94	94	

iperf の計測を行った。この日は、衛星ルータの spoofing 機能 OFF、および従来使用している CISCO ルータ使用の条件で計測した。衛星ルータで spoofing 機能 OFF の場合の結果を表 3 に、CISCO ルータによる計測結果を表 4 に示す。

双方の結果共に、RTT の影響を顕著に受け、RWIN の値に応じてほぼ同程度の数値となっている。ただ、CISCO ルータでの計測で、RWIN 値が大きい場合にスループットが突然下がる事例があった（表 4 中で数値の右肩に * が付いている）。この原因として、ルータのバッファのオーバーフローなどが考えられるが現時点では不明である。

3.3 ftp によるデータ伝送評価

10 日の実験では、iperf 計測に引き続き、本実験の主目的である宇宙測地データの伝送を試みた。ただし、衛星ルータを使用し、spoofing 機能は ON である。まず、GPS データについては、約 2MB の RINEX/GPS データをバイナリ圧縮した 975183byte のデータを小金井側クライアント、フィジー側サーバとして 3 回 ftp/get した。その結果、1 回目 5.52 秒、2 回目 5.48 秒、3 回目 5.48 秒で伝送を終え、それぞれのスループットは、176.7KB/sec、178.0KB/sec、および 178.0KB/sec となり、伝送効率の平均は 92.4% となった。次に、200MB の K5/VLBI データを小金井側サーバ、フィジー側クライアントとして同様に ftp/get した実験では、データは 18 分 15 秒で伝送され、このときのスループットは 178.26KB/s (伝送効率約 93%) であった。

ftp 伝送実験終了後、衛星ルータを引き続き用いて WindowsXP による NeMeeting テストを行い、映像・音声共に高い品質で伝送できていること確認され、衛星ルータが NetMeeting でも有効であることが確かめられた。

3.4 IGS/GPS データ伝送

今回の実験では、スバ市行政ビルにある IGS/GPS 点のデータをポストパートナーズ実験室まで伝送し、これらも USP の GPS 観測データと共に衛星回線により小金井、および鹿島のサーバを経由してハワイ大学へ送ることも目的の一つとして掲げていた。現在、大部分の IGS 観測点データが観測終了後数時間以内にインターネット経由で世界数力所のデータセンター（例えば、CDDIS、

JPL、Bern 大学など）に伝送される。

しかしながら、フィジーの IGS 点にはネットワーク接続がないため、現地測量局のスタッフが PC にダウンロードされたデータを ZIP ディスクにコピーして数ヶ月毎にハワイ大学に送付し、これをハワイ大のスタッフがデータセンターに ftp 伝送するという非常に手間取る方法を取っている。

今回、将来的のより円滑、かつ迅速なデータ伝送を目指して、図 2 にあるように行政ビルと南太平洋大学との間に携帯電話 “Vodafone” のリンクを確立して IGS/GPS データをポストパートナーズ実験局に収集することを試みた。図 1 の右側に示したスバ市街図にあるように 2 カ所の間はわずか 2km ほどしか離れていないが、この間を繋ぐことにより衛星回線経由で IGS/GPS データを迅速にハワイ大学へ送ることが出来る。

この考えの元に、実験の準備を 11 日に行ったが、残念ながら “Vodafone” による回線接続は失敗に終わった。そこで、次に行政ビル測量局の内線電話を臨時に借り、南太平洋大学からダイアルアップで IGS/GPS データを収集することを試みた。具体的には、行政ビルと南太平洋大学の双方にモデム付きノート PC を設置して、Windows のダイアルアップサーバー機能を用いて 2 台の PC 間の通信を行った。だが、この方法も通信が確立せず、残念ながら 2 地点間のデータ伝送にまで至らなかった。

そこで衛星回線実験の際に、次善の策として、前もって手動でダウンロードした行政ビル IGS/GPS 点のデータをポストパートナーズ実験室内のサーバにコピーし、これを小金井経由でハワイ大学のサーバまで送り込むという手順でのデータ伝送を行った。実験最初の 30 分ほどスバ側の降雨が激しく、これによる減衰と思われる回線断やルータのハングアップなどの障害があったものの、最終的には伝送そのものは問題なく行われ、ほぼ初期の目標を達成することが出来た。

4. 現地研究者との情報交換

実験終了後、JICA 事務所をお借りして、南太平洋大学の海洋地質学者 Susanne Pohler 博士、およびフィジー政府 Mineral Resources Department の Bhaskar Rao 博

表 3 衛星ルータの spoofing 機能 OFF の場合の iperf 計測結果。表の記載方法は表 2 と同じ。

サーバ	小金井					フィジー				
	RWIN サイズ [KB]	8	16	32	64	128	8	16	32	64
1 回目 (Mbps)	0.095	0.179	0.326	0.571	0.590	0.253	0.323	0.452	0.622	0.631
2 回目	0.095	0.179	0.327	0.571	0.588	0.259	0.332	0.464	0.623	0.639
3 回目	-	-	-	-	-	0.253	0.332	0.470	0.612	0.630
平均 (Mbps)	0.095	0.179	0.327	0.571	0.589	0.255	0.329	0.462	0.619	0.633
伝送効率 (%)	6.2	11.7	21.3	37.2	38.3	16.6	21.4	30.1	40.2	41.2

表 4 CISCO ルータを用いた場合の iperf 計測結果。表の記載方法は表 2 と同じ。

サーバ	小金井					フィジー				
	RWIN サイズ [KB]	8	16	32	64	128	8	16	32	64
1 回目 (Mbps)	0.100	0.189	0.343	0.601	0.619	0.252	0.328	0.254*	0.618	0.633
2 回目	0.099	0.188	0.344	0.601	0.618	0.259	0.319	0.470	0.615	0.636
3 回目	-	-	-	-	-	0.254	0.329	0.465	0.285*	0.638
4 回目	-	-	-	-	-	-	0.326	0.256*	0.174*	-
5 回目	-	-	-	-	-	-	-	0.459	0.613	-
6 回目	-	-	-	-	-	-	-	0.469	0.619	-
平均 (Mbps)	0.1	0.189	0.344	0.601	0.619	0.255	0.326	0.396	0.487	0.636
伝送効率 (%)	6	11.7	21.2	37.2	38.3	16.6	21.4	25.7	31.7	41.4

士と懇談を持った (他に SOPAC[South Pacific Applied Geoscience Commission] 関係者と南太平洋大の GIS 研究者も参加)。懇談の位置付けとしては、まずは情報交換であり、我々の実験の趣旨説明、VLBI や地球姿勢の説明と共に、南半球基線的重要性と同時に VLBI が地域の測地座標系の高精度化に寄与できる可能性があることを述べた。両博士からは、フィジーではまだ測地学や地球物理学的な面での受け皿が大学や政府機関でも不十分で、少しずつ理解を深めてもらう努力が必要との話があったが、全体としては我々の実験について好感を持って頂いたようである。

また、現地研究者より、行政ビル測量局に安価な PC を設置し、これを測量局既設のネットワークに繋げてハワイ大までデータ伝送する可能性について提案があった。だが、現状ではセキュリティ上の制約で測量局内から外部のインターネットへ接続することは難しく、実現はまだ先のようである。

5. ま と め

まず、実験の主目的であった VLBI や GPS のデータを遠隔地からデータセンターへ衛星回線で TCP/IP 伝送することについてはほぼ達成できた。特に、spoofing 機能搭載の衛星ルータにより、衛星回線特有の RTT の影響を最小限にして回線スループットのほぼ 100%近い性能を引き出すという初期の目標を上回る成果を得たことは特筆すべきである。また、今回は我々の GPS、および VLBI データとあわせてハワイ大学の GPS データをフィジーからハワイまで伝送するという実験も試みたが、衛星回線、および通常のインターネット回線に関する部分については成功した。

一方、ハワイ大学の観測点が設置された行政ビルから南太平洋大学までのわずか 2km の距離のデータ伝送

には成功せず、今後の課題となった。具体的な解決方法としては、今回測量局から好意的な協力が得られたことから、南太平洋大学のポストパートナーズ室に設置したサーバを用いて有線電話経由でのダイヤルアップにより IGS/GPS 受信機から直接データを吸い上げる方法が有効と考えられる。もし、有線電話の使用が定常的に可能となれば、毎日のデータは USP のポストパートナーズ室内のサーバーにため込んでおき、小金井-フィジー間の TCP/IP 衛星実験が実施されるタイミングに 5 ~ 10 分程度の時間で小金井、あるいは鹿島まで 100 日程度分の IGS/GPS データを伝送することも可能であり、検討の余地がある。

その他、現在通信総合研究所では測地用 GPS 観測データを簡便、高精度、かつ自動的に解析するための仕組みである、“高度精密測位システム APPS(Advanced Precise Positioning System)[例えば、[3]、[4] を参照]”を開発中である。通信総合研究所では、既に e-VLBI 技術による準リアルタイム地球姿勢に向けた開発研究を行っており、これと APPS を組み合わせることにより地球姿勢のみならず測地網結合などの目的でも迅速に測地解を得ることを目指している。南太平洋の島嶼域のようにこれまで観測の空白域であった地域からの GPS データを速やかに処理して結果を得る手法を確立することは、グローバルな測地網の高精度化にも寄与すると考えられる。そこで、次年度では、この APPS ヘフィジーの GPS データを受け渡し、観測終了から 2 4 時間程度で解析結果を得ることを目的として準備を進める予定である。

最後に、遠隔地での屋外観測によるデータ伝送という観点から、実験に際しての温度・湿度・気圧などの気象データ、観測点や上空の雲の様子などの画像データなどを付加して伝送できれば、より効果的な現地の状況把握に役立つと考えられる。現状では測地データ伝送でほぼ

スルーブット一杯まで使い切っているが、今後回線の余裕があれば、気象データ、および画像データもあわせて伝送することも現実的になるであろう。

謝辞 衛星回線使用について、無線従事者立ち会いで小金井本所企画部研究連携室研究開発ネットワーク推進 G の田中健二氏にお世話になった。また、企画室の五十嵐喜良氏にも実験準備段階から各種サポートを頂いた。(社)電波産業会 (ARIB) の飯田光元氏には衛星回線確保、当日の調整など多岐にわたってご支援頂いた。シモレックス (株) の村上かおり氏、国際通信企画 (株) の砂走正樹氏、白山工業 (株) の松下直史氏、日本電気 (株) の金内隆氏の各氏には衛星ルータ使用にあたっての丁寧な技術的支援を頂いた。電気通信大の鈴木雅久助教授からは衛星ルータを用いた TCP/IP 接続に関して有益なコメントを頂いた。さらに、私が所属する宇宙電波応用グループスタッフ、フィジー USP 内の JICA 事務所スタッフ、およびフィジー行政ビル測量局の皆さんにも大変お世話になった。ここに記して感謝の意としたい。

参考文献

- [1] 福田 浩三、衛星ルータによる TCP/IP 高スルーブットの実証実験、新ポストパートナーズ実験報告書、2003.
- [2] Bevis, M., F.W. Taylor, B.E. Schutz, J. Recy, B.L. Isacks, S. Helu, R. Singh, E. Kendrick, J. Stowell, B. Taylor, and S. Calmant, Geodetic observations of very rapid convergence and back-arc extension at the Tonga Arc, *Nature*, 374, 249-251, 1995.
- [3] 小山泰弘、市川隆一、後藤忠広、高羽浩、神崎政之、渡辺義康、熊敏、高木達、高精度測位システムのデータ解析サーバー試験運用結果、2002 年地球惑星科学合同大会、2002.
- [4] APPS 解説 WEB サイト
<http://www2.crl.go.jp/ka/radioastro/APPS/index.html>