

つくばVLBI観測局の概要

The Outline of the Tsukuba VLBI Station

測 地 部 大木章一・石原 操・根本恵造・岩田昭雄
福崎順洋・谷澤 勝・高島和宏・永田勝裕

Geodetic Department

Shoichi OGI, Misao ISHIHARA, Keizo NEMOTO,
Masao IWATA, Yoshihiro FUKUZAKI, Masaru YAZAWA,
Kazuhiro TAKASHIMA, Katsuhiko NAGATA

要旨

平成7年度の第二次補正予算により整備が行われていたつくばVLBI観測局が完成し、平成10年度より運用が開始された。つくばVLBI観測局は、アンテナ部、フロントエンド部、バックエンド部、周波数標準部及び観測制御部から構成される。

これにより、つくばVLBI観測局、新十津川VLBI観測局、父島VLBI観測局、始良VLBI観測局及び鹿島VLBI観測局より構成される、5局8基線の国内超長基線測量網が構築された。

現在、水準測量やGPS測量などにより、つくばVLBI観測局のアンテナ中心位置決定や座標取り付け観測を進めている。

つくばVLBI観測局は、今後、定期的な国内超長基線測量の主局として機能するとともに、国際VLBI観測事業にアジア地域を代表する観測局として参加することとなる。世界最高水準の観測局の運用開始により、世界測地網の構築やプレート運動の把握により大きな貢献をすることが可能となった。

1 はじめに

国土地理院では、昭和56年度よりプレート運動の検出、海面変動の監視等を目的に、VLBI関連機器の研究・開発を開始した。

昭和61年度には、可搬型VLBI観測装置が整備され、以降、鹿島VLBI観測局を主局とする国内移動観測を実施してきた。これにより、国内8ヶ所でVLBI観測が行われ、その成果が日本測地系に取り付けられた。移動局は、平成7年度には、韓国にも運ばれ、日韓VLBI共同観測を実施した。

平成4年度以降は、NASAとの共同研究により、国際的な共同観測事業であるDOSE（固体地球力学事業）及びCORE（地球回転連続観測事業）に参加し、国際超長基線測量事業を継続している。

鹿島VLBI観測局により実施されてきた国際超長基線測量によって、我が国の測地網を世界測地系であるITRF座標系に取り付けることが可能となった。この成果は、現在国土地理院が進めている新しい日本測地系(測

地成果2000)の構築において、これまでの経緯度原点に相当する成果として活用されることとなった。さらに、国内VLBI観測点に取り付けられた世界測地系の座標は、新しい日本測地系の中で骨格的な役割を与えられている。

平成9年度までに、国内の新十津川、父島及び始良に固定観測局が整備された。また、関連処理装置がつくばの本院宇宙測地館に導入され、一貫した解析処理を行うことが可能となった。そしてこの度、つくばVLBI観測局が、平成9年度末に完成し、平成10年6月6日の観測開始式より、国際超長基線測量を開始した。平成10年6月25日から26日にかけての国内超長基線測量にも参加し、本格的な運用が開始された。

本稿では、まずつくばVLBI観測局の概要を報告する。次に、国内超長基線測量網を構築する関連施設及びつくばVLBI観測局を高精度で運用するために不可欠なアンテナの中心位置決定測量等について紹介し、最後に、今後の運用計画について報告する。

2 つくばVLBI観測局の概要

つくばVLBI観測局は、以下の5つの装置から構成される。

- (1) アンテナ
- (2) フロントエンド
- (3) バックエンド
- (4) 周波数標準
- (5) 観測制御装置

2.1 アンテナ部

アンテナ部は、主反射鏡、放射給電部、支持構造、駆動機構及びアンテナ基礎部から構成される。図-1にアンテナ外観を示す。主反射鏡の直径は、32mで、形状は、鏡面修正カセグレンである。鏡面精度は、実測で0.14mm(rms)と高精度に仕上がっている。放射給電部は、副反射鏡、ビーム導波管、1次放射器、S/Xバンド分波器、円偏波発生器から構成されている。ビーム導波管は、S/XバンドおよびKバンドのビーム導波管をそれぞれ設置し、観測室から遠隔制御で、S/XバンドおよびKバン

ドの切り替えが可能である。S、X共に、右旋、左旋の両円偏波のどちらかが給電可能である。

支持構造部については、主反射鏡の支持構造をパネルで覆い、かつファンにより空気を循環させることにより、温度不均一による鏡面精度の悪化を防ぐ工夫をしている。また、支持柱には、日除けカバーを取り付け、日射による温度変化に伴うアンテナ中心点の変動を極力抑えるように設計されている。

駆動機構については、マウント方式がホイール&トラック方式で、AZ軸、EL軸共に、毎秒3度という、大型のVLBI用アンテナとしては、世界一の高速駆動が可能である。VLBI観測では、アンテナの向きを切り替えながら、24時間で、延べ200個あまりの電波星からの電波を受信するが、高速駆動により受信個数をより多くすることができ、測位精度の向上が見込まれる。

アンテナ基礎部は、直径2m、長さ45.5mの基礎杭を21本打設し、経年的な沈下を最小限に食い止めるようにした。

アンテナ能力は、当初、鹿島VLBI観測局と同程度のものと計画していたが、COREにつくばVLBI観測局が参加するために、NASAと打ち合わせの上、鹿島の26mアンテナの2倍の能力を有するように設計した。完成後に、アンテナ能力の実測を行ったが、開口効率で、Sバンドが66%、Xバンドが65%という値が得られた。(Kバンドについては、未測定である。)

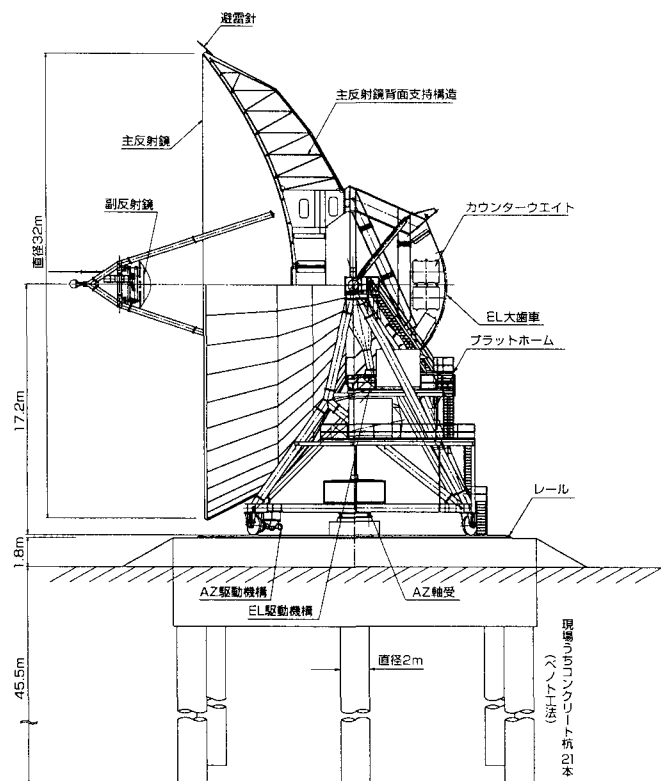
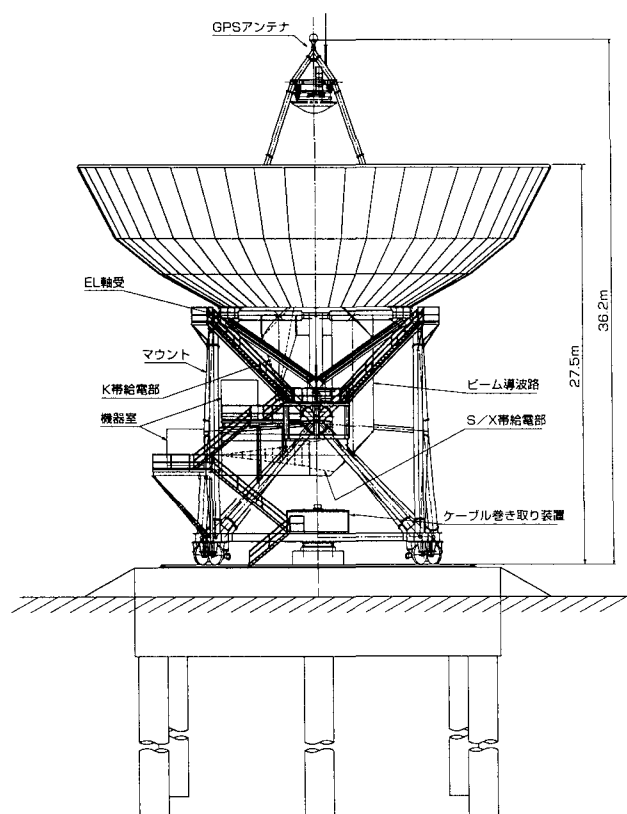
2.2 フロントエンド部

フロントエンド部は、低雑音増幅器、周波数変換器、光伝送装置及び位相校正装置から構成され、アンテナの機械室（フロントエンド室）に収納されている。

低雑音増幅器は、電波星からの微弱な信号を検出するために、極力低雑音である必要がある。そこで、Xバン

表－1 アンテナ部仕様

形 式	鏡面修正カセグレンアンテナ ホイールアンドトラック方式 AZ-ELマウント
直 径	主反射鏡 32m 副反射鏡 3.133m
受信周波数	Sバンド 2.10～2.50GHz Xバンド 7.78～8.98GHz Kバンド 19.5～25.0GHz
耐風速	最大瞬間風速 60m/秒
耐震性	最大加速度 400cm/秒 ² 、震度7
重 量	450トン
鏡面精度	標準偏差 0.5mm以下
交点精度	1mm以下
交角精度	0.01度以下
鉛直度	0.01度以下
可動範囲	方位角 ±355度 仰角 0～90度
最大駆動速度	方位角 3度/秒 仰角 3度/秒
アンテナ制御	角度分解能 0.001度



図－1 アンテナ外観

ドの低雑音増幅器は、液体ヘリウム冷却型を採用した。また、Sバンドの低雑音増幅器は、常温型のFET（電界効果トランジスタ）型である。等価雑音温度は、Xバンドが25ケルビン（K）、Sバンドが40Kと、低雑音を達成している。そして、アンテナ等価雑音温度を加えたシステム等価雑音温度としては、天頂で、Xバンドが55K、Sバンドが62Kとなっている。

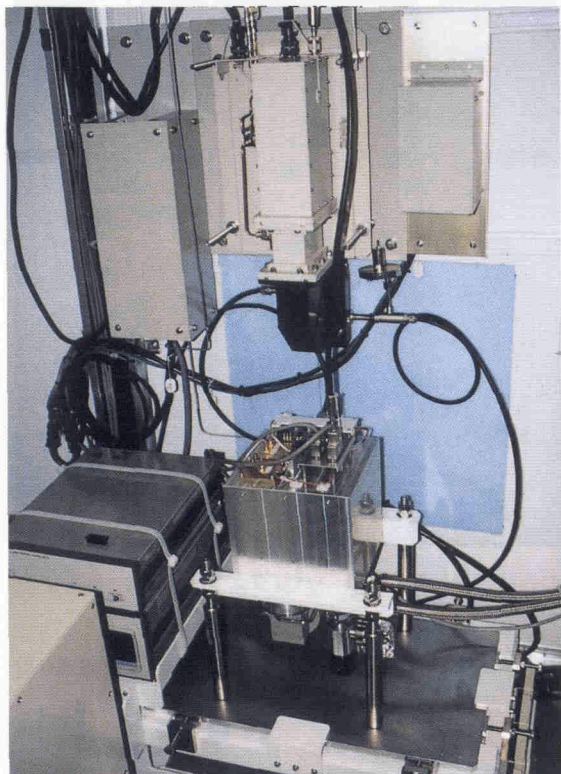


写真-1 フロントエンド部

アンテナ開口効率とシステム等価雑音温度から、アンテナの受信能力が決まる。これは、VLBIの分野では、SEFD（System Equivalent Flux Density：システム等価フラックス密度）と呼ばれる量で、アンテナの受信能力を示す。SEFDの定義式は、

$$SEFD = \frac{8}{\pi} \frac{k}{D^2} \frac{T_{sys}}{\eta} \quad (\text{Jy: Watt/m}^2/\text{Hz/sec})$$

である。ここで、 k はボルツマン定数、 T_{sys} はシステム等価雑音温度、 π は円周率、 D はアンテナ直径、 η は開口効率である。この定義式からわかるとおり、SEFD値が小さい程、受信能力が高い。つくばアンテナのSEFDは、Xバンドが300Jy、Sバンドが320Jyと求められた。この値は、世界中のVLBIアンテナの中でも、5位以内に入る数値である。

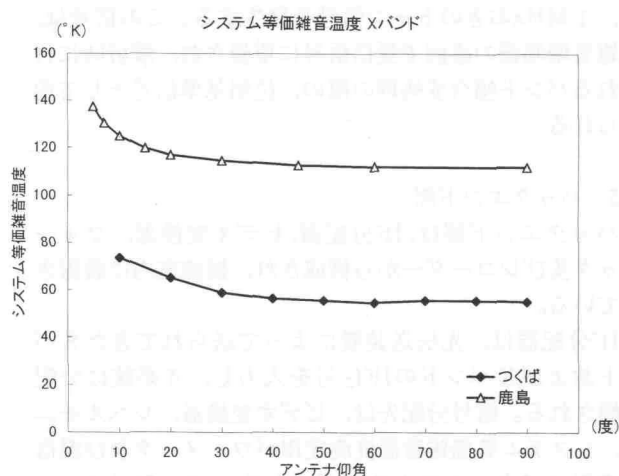


図-2 システム等価雑音温度

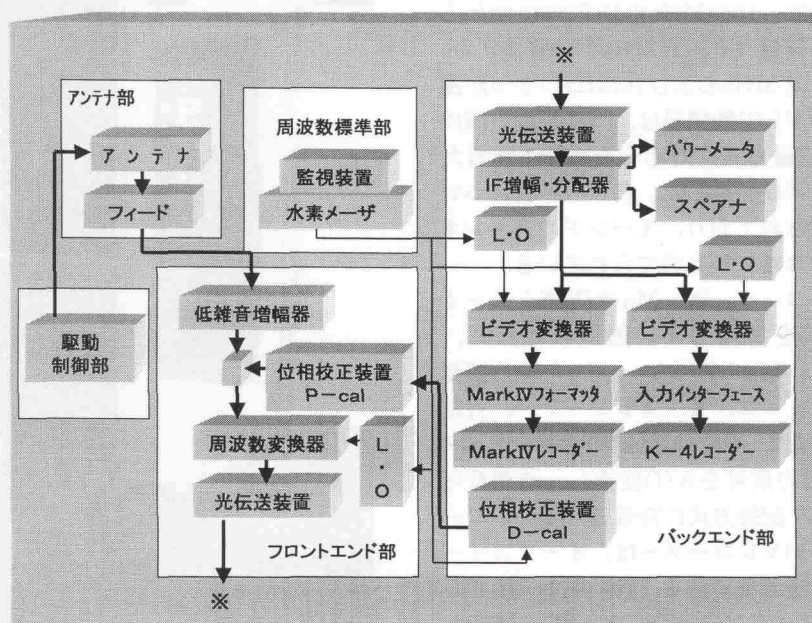


図-3 システムブロック図

低雑音増幅器からのSバンドおよびXバンド信号は、周波数変換器に入力され、中間周波数（IF）に変換される。つくばアンテナでは、観測精度の向上のため、従来のものに比べて、受信帯域幅を広くした。そのため、Xバンドの帯域を3つに分けて、計4つの周波数変換器を設置した。また、広帯域用のビデオコンバータや光伝送装置に対応するため、周波数変換器の出力信号は、従来用いていた帯域（100～500MHz）から、500～1000MHzに変更した。

光伝送装置は、周波数変換器からの出力信号を光信号に変換し、光ファイバーを通して、観測室まで伝送する。光伝送装置を採用したことで、伝送帯域内周波数特性劣化を最小限に押さえるとともに、落雷時の過電流の観測室内への漏れ込みも防ぐことができる。

位相校正装置は、周波数標準からの5MHzの信号から、1MHzおきのトーン信号を発生する。この信号は、低雑音増幅器の直前で受信信号に重畳され、解析時に行われるバンド幅合成処理の際の、位相基準信号として用いられる。

2.3 バックエンド部

バックエンド部は、IF分配器、ビデオ変換器、フォーマッタ及びレコーダーから構成され、観測室内に設置されている。

IF分配器は、光伝送装置によって送られてきたSバンドおよびXバンドのIF信号を入力し、4系統に分配増幅される。信号分配先は、ビデオ変換器、レベルモニタ、システム等価雑音温度測定用パワーメータ及び混信調査用スペクトルアナライザである。IF分配器は、レベル調整用のプログラマブル減衰器が装備されており、最適レベル調整が可能である。

ビデオ変換器は、500～1000MHzのIF信号の中から任意の周波数をビデオ帯域（0～16MHz）に変換する。出力信号の帯域幅は、2MHzおよび16MHzの2つが選択可能である。つくばVLBI観測局は、国際観測と国内観測の異なる2つの記録方式に対応する必要があるため、ビデオ変換器を2系統装備した。各々の系統について16チャンネルに分配されており、Xバンド8チャンネル、Sバンド8チャンネルに割り当てられている。

フォーマッタ及びレコーダーは、MarkIV型とK-4型の2つの記録方式を採用した。国際観測用に、MarkIVフォーマッタ、MarkIVレコーダー、国内観測用に、入力インターフェース、K-4レコーダー、自動テープ交換装置を整備している。MarkIVフォーマッタは、ビデオ変換器の出力信号をA/D変換し、時刻符号を付加しながらMarkIV記録方式に符号化して、レコーダーに出力する。MarkIVレコーダーは、オープンリール型の大容量データ記録装置である。2000年から始まるCOREの正規の観測モード（512Mbps）に対応可能な記録速度を有している。入力インターフェースは、

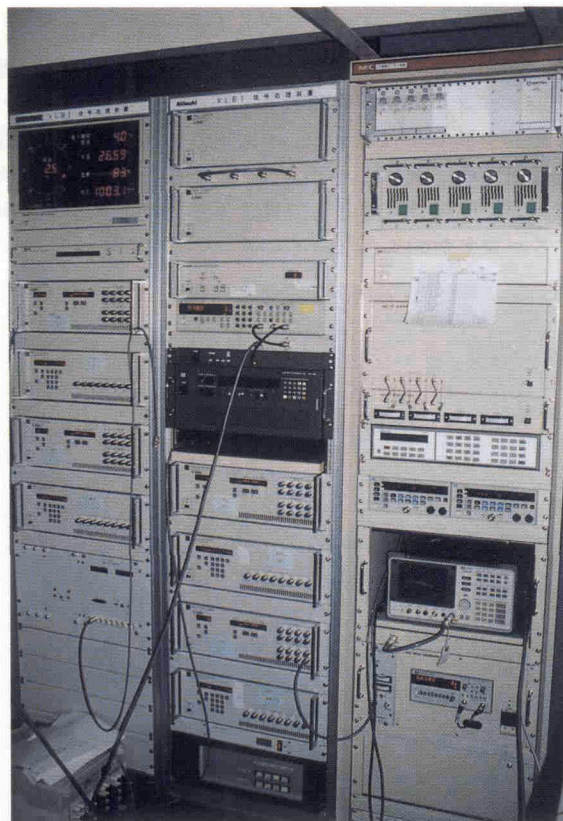


写真-2 バックエンド部

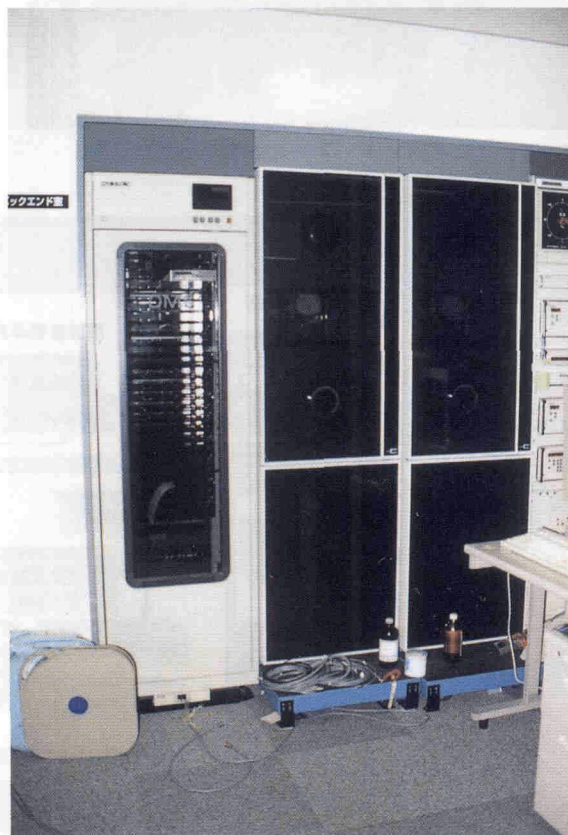


写真-3 データデコーダ

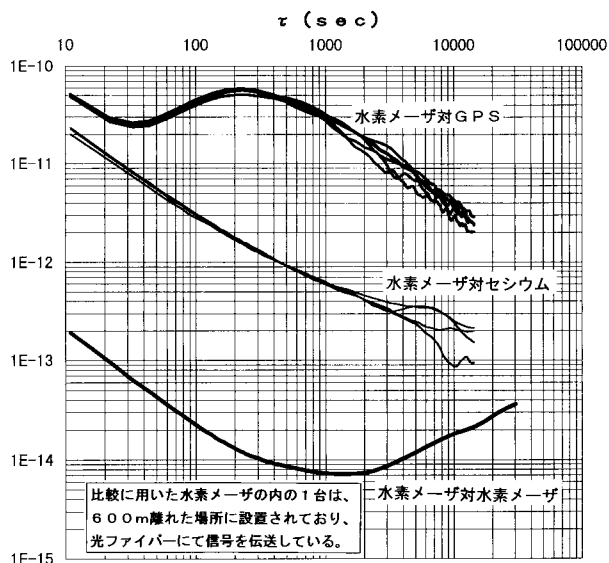


図-4 時刻比較のグラフ

MarkIVフォーマットと同じように、ビデオ変換器の出力信号をA/D変換して、時刻符号を付加しながらK-4記録方式に符号化して、レコーダーに出力する。また、入力インターフェースは、デジタルフィルタを搭載しており、記録モードを設定することによって、自動的に受信帯域幅が選ばれる。K-4レコーダーは、カセット型の大容量データ記録装置で、最大記録速度は、256 Mbpsである。自動テープ交換装置は、最大24巻搭載可能で、24時間の観測においても自動的にテープ交換することができる。

2.4 周波数標準部

VLBIシステムとは独立な局部発振器を持った干渉計であり、この局部発振器の安定度は、直接、観測精度に影響を与える。数mmの基線精度を得ようとするためには、 10^{-15} の安定度を有する発振器が必要となり、通常は水素メーザ周波数標準器が用いられる。したがって、水素メーザの運用及び管理はVLBIにとって重要であり、つくば局では、セシウム原子時計や可搬型VLBI装置で使用している水素メーザ等と常時比較監視している。また、設置場所においての外部磁場の変動は、水素メーザの出力信号の安定度に大きく影響するので、水素メーザ室内の内壁全面に、磁気シールドとしてパーマロイ（ミューメタルとも呼ばれる高透磁率材料で、ニッケルと鉄の合金）施工を行っている。これにより、外部磁場の変動に対して水素メーザ室内の磁場変動が1/6程度に軽減される。また、室外及び水素メーザ室内に磁力計を設置し磁場変化を常時監視している。さらに、観測機器が収納されている各室（電気室を除く）については、携帯電話等の外部電波に対して影響が起きないように、電磁波シールドとして銅鋼施工を行っている。

2.5 観測制御装置

観測制御装置とは、上記の4つの装置（アンテナ、フロントエンド、バックエンド、周波数標準）を制御・監視するための計算機である。オペレータは、基本的にこの観測制御装置を操作することにより、個々の機器をオペレートする。

現在まで、国土地理院のVLBI観測では、独自の観測制御装置「Gaos」を導入し、その観測システムの高度化を図ってきた。つくばVLBI観測局には、国内観測用として、この「Gaos」の最新バージョンであるSun Solalis上で動作する「WS-Gaos」が導入されている。これは、他の国内観測局と類似のインターフェースを持ち、GUI（グラフィカルユーザーインターフェース）により、視覚的で容易な操作が可能となっている。

また、つくばVLBI観測局は、国内観測局の主流局となるだけでなく、従来から運用している鹿島VLBI観測局と共に、次世代の国際VLBI観測プロジェクト「CORE（地球回転連続観測事業）」に参加する予定となっている。そのため、国際観測用の観測制御装置として「FS9」（Field System Version 9）を導入した。このFS9の特徴は、「国際的なVLBI観測システムの標準であり、整合性がとれる。」「次世代国際VLBI観測プロジェクトCOREで採用されるVEXフォーマットに対応している。」「受信データの質をみるためのシステム等価雑音温度およびSEFD（System Equivalent Flux Density）が自動的に測定できる。」等、国際観測に必要な高性能な機能を有している。

3 関連施設

3.1 つくば中央局

つくば中央局の役割は次の4つである。

- (1) 観測スケジュール作成
- (2) 遠隔監視
- (3) 相関処理
- (4) 基線解析

VLBI観測に先立って、観測のスケジュール作成を計算機にて行う。観測スケジュールは、NASA/GSFC作成のソフト「SKED」を使用して作られ、各観測局にインターネットを通じて配布できるようになっている。

観測前及び観測中は、遠隔監視装置を用いて、各観測局の機器の状態や測定値をモニタできるようになっている。この遠隔監視装置は、ワークステーション及び監視カメラ装置をネットワーク接続して構成されており、リアルタイムでの監視が可能となっている。

各観測局において記録した磁気テープは、つくば中央局に送られ、相関処理装置にて処理が行われる。この装置は3局3基線を同時に処理することができ、自動テープ交換装置により、ほぼ自動的な処理が可能である。

最後に、相関処理されたデータを基に、NASA/GSFC作成のソフト「solve」を用いて基線解

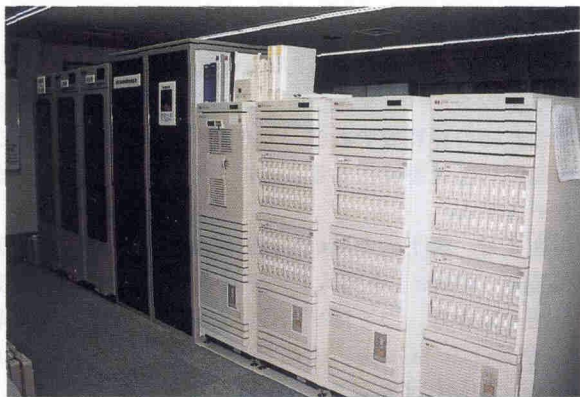


写真-4 相関処理装置

析が行われる。「solve」は、GUIを使用しており、オペレータがマウスを使って、視覚的に処理することにより、各観測局の位置を数mm程度の精度で、求めることが可能である。

3.2 国内VLBI観測局

(1) 新十津川VLBI観測局

北海道新十津川町に平成5年度補正予算で整備された固定VLBI観測施設である。北米プレートに位置する。直径3.8mのパラボラアンテナ、水素メーザ周波数標準装置及び遠隔監視・制御装置等から構成されており、平成7年度から運用を開始し、既に定期的な観測が行われている。

(2) 父島VLBI観測局

東京都小笠原村父島に平成7年度補正予算で整備された固定VLBI観測施設である。フィリピン海プレートに位置する。直径10mのパラボラアンテナ、水素メーザ周波数標準装置及び遠隔監視・制御装置等で構成されている。父島は、四方を海に囲まれており、また局舎から海までは数百mしか離れていない。そのため、アンテナ及び局舎は塩害を考慮し耐久性のある設計となっている。平成9年8月から運用を開始した。

(3) 始良VLBI観測局

鹿児島県始良町に平成7年度補正予算で父島VLBI観測局と同時に整備された施設である。ユーラシアプレートに位置する。アンテナ及び観測機器の仕様は、父島VLBI観測局と同一である。平成9年7月から運用を開始した。

4 VLBIアンテナの中心位置決定とアンテナ変位量の測定

VLBI観測で得られる成果は、アンテナ中心の位置関係（基線ベクトル）である。

アンテナ中心を高精度に決定しても、各国内にある基準点とアンテナ中心との位置関係が高精度に決定されなければ、VLBI観測の目的のひとつである「地球基準座標系の構築・維持及び日本測地系との結合や測地網の規

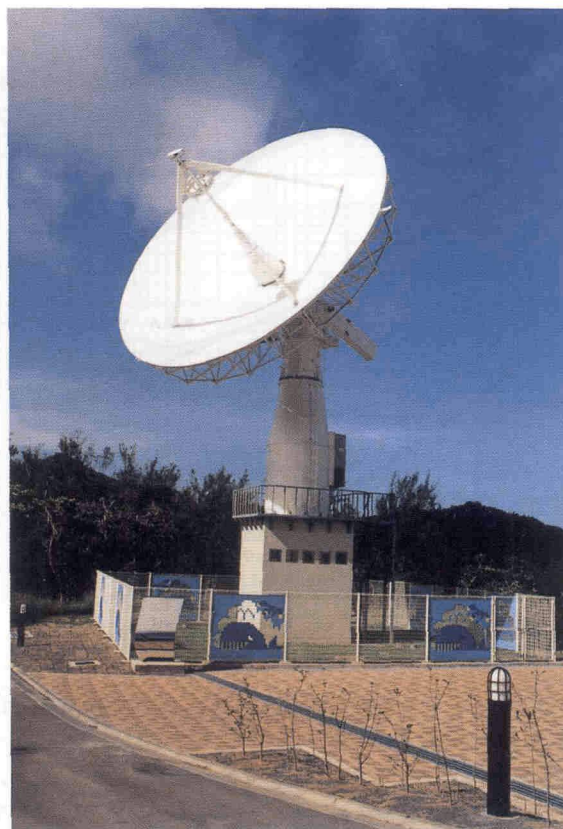


写真-5 父島VLBI観測局

正」は達成されない。

本章では、VLBIアンテナの中心（AZ軸とEL軸の交点）位置の決定方法及び基準点等との取付観測並びに重量450トン・直径32mの大型アンテナがもたらす各種変位量の測定等について報告する。

4.1 GPS（RTK法）によるアンテナ中心位置の決定

VLBIアンテナ中心と電子基準点等の座標結合のため、VLBIアンテナの副反射鏡上部にGPS測量機のアンテナ（チョークリングアンテナ、レドーム付き）を取り付けるとともに、GPS測量機の受信機部（Trimble 4000SSi-GSS/U）を観測局舎内に装備した。平成10年6月に、VLBIとGPSの座標結合のため、VLBIアンテナ及び比較基線No.11、電子基準点92110（つくば1）においてRTK-GPS測量を実施した。

電子基準点92110は、DMCA無線を利用したRTK-GPSの実験用基準局であり、今回の観測はこれを利用したものである。また、比較基線No.11は、IGS（国際GPS地球力学事業）の観測点である「TSKB」やVLBI 5m局観測点等と座標結合されている。なお、各観測点は国土地理院構内にある。

観測は、EL軸を仰角90度及び60度に固定した状態で、AZ軸を1回転、等速度（毎秒0.2度）で回転させ、1秒毎に1回の割合でデータを取得した。そして、GPSアンテナの軌跡が円であると仮定して中心を求めた。円の半径の誤差は、各々、5.3mmと5.7mmであった。また、

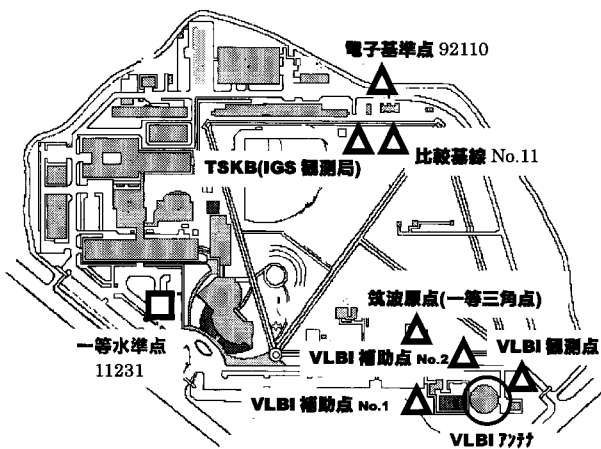


図-5 観測点配点図

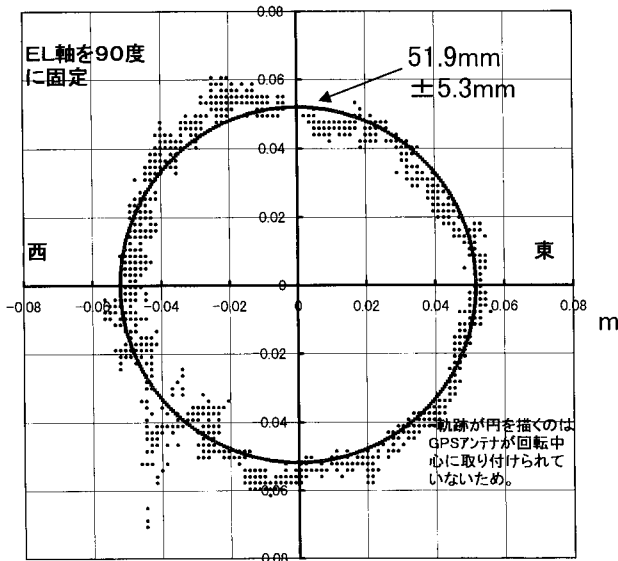


図-6 RTK-GPS結果グラフ

表-2 RTK-GPS結果のグラフ

観測点	ITRF94		Epoch 1997.0
	X(m)	Y(m)	Z(m)
tukuba GPS(TSKB)	-3957199.253	3310199.656	3737711.733
tukuba VLBI(5mELAZ)	-3957172.946	3310237.940	3737708.971
比較基線NO11	-3957207.654	3310189.135	3737711.483
32mアンテナELAZ中心	-3957408.739	3310229.335	3737494.790

両者の中心位置の較差は、東西方向で6mm、南北方向で1mmであった。

次に、鉛直(高さ)成分を求める観測として、AZ軸を北から0度、90度、180度、270度に固定して、各々の固定位置において、EL軸を30度~90度まで回転させてデータを取得した。EL軸方向に対しても軌跡が円であると仮定して円の半径を求めた。

この結果、円の半径は19.194m ± 8.5mmとなった。

以上の結果を、図-6に示す。また、観測結果を元にして得られたVLBIアンテナ中心位置(ITRF94に準拠、元期1997.0)等の成果を表-2に示す。

4.2 GPS(スタティック法)によるアンテナ中心位置の決定

VLBIアンテナを指向させることにより、半円球上の均等な合計36ヶ所にGPS観測点を設定し、アンテナを静止させた状態でスタティック法によるGPS観測を行い、アンテナ中心の位置を求めるものである。

この観測では、VLBIアンテナに常設されたGPSアンテナの他に、アンテナ周囲に設置したVLBI観測点(1点)とVLBI補助点(2点)及び比較基線端点(1点)の合計5点による同時観測を行った。また、GPSアンテナの位相中心誤差を考慮し、全点同種類のアンテナ(チョークリングアンテナ)を使用するとともに、VLBIアンテナに常設されたGPSアンテナの指向方向に他の4点のアンテナも合わせて観測を実施した。

観測時間は、1観測点あたり2時間、データ取得間隔は15秒である。

GPSデータの解析には、精密暦等を使用して三次元座標を求め、最小二乗法により半円球の中心位置を求めることとなる。現在、観測値を用いた「TSKB」や電子基準点等のデータを利用して解析作業を進めているところである。

4.3 トータルステーションによるアンテナ中心位置の決定

この方法は、VLBI観測点(1点)とVLBI補助点(2点)の合計3点にトータルステーションを整置して、アンテナの数ヶ所に反射点を設けて、その間の距離と鉛直角を同時に測定(最低2点から同時に測定が可能なが条件)して、アンテナ中心の位置を求めた。

この場合においても、VLBIアンテナを半円球上の均等な合計18ヶ所に指向させ、アンテナを静止させた状態で観測を行う。

この観測により得られたデータから、水平面に設定した直角座標系のXY座標を求め、最小二乗法により中心位置を求める。

4.4 基準点等との取り付け観測

ここでいう基準点とは、従来から設置されている三角点や水準点に加えて、最近全国規模で整備された電子基準点や国土地理院の構内にあるIGS観測点の「TSKB」等も含まれる。

つくばVLBI観測局のアンテナ中心位置決定の際には、これらの全ての基準点等と関連づけた観測(三角網、水準網、GPS網等との結合)を実施している。

このことにより、本章の冒頭で述べた「日本測地系との結合や測地網の規正」等が達成される。

今後の作業としては、つくばVLBI観測局において、絶対重力の測定やGPSによる高精度な高さの測定等も検討している。

地球規模の基本的な網となる地球基準座標系を構築するVLBI観測網は、あらゆる種類の測地データにより、統合的に関連づける必要があるといえる。

このためにも、今後も既存の手法等に限定されず、趣向を凝らした方法により、さまざまな取り付け観測を実施していく予定である。

4.5 アンテナ基台変位（傾斜・沈下量）の測定

アンテナを支える基礎部には、直径2mの杭が21本、地下45.5mまで埋設されている。しかし、アンテナの重量が450トンあり観測局近傍の地質等によってはアンテナが沈下することも考えられるので、季節的変動等を考慮し、周期的に年4回程度、一等水準測量によりアンテナ基台変位の測定を実施している。

この測定では、国土地理院構内にある一等水準点を出発点に筑波原点を経由し、アンテナ周囲に設置されているVLBI観測点（1点）とVLBI補助点（2点）及びアンテナ基台部分に設置した16点の測定点を使用している。

第1回目の測定で得られた結果のうち特徴的な点は、16点のうちアンテナレール止めボルトに設置した4ヶ所の比高差が平均0.4mmと極めて水平度が高いことである。現在、2回目の測定が終了し解析中である。

今後は、データを蓄積して、国土地理院構内で定期的に測定されている地下水位測定データ等も参考にして、

アンテナ基台の変位を長期的に監視していく計画である。

4.6 アンテナ変位（鉛直性）の測定

アンテナを固定位置にロックさせた状態（STOW）において、アンテナ周囲に設置されているVLBI観測点（1点）とVLBI補助点（2点）にトータルステーションを整置し、各点から視通が可能なアンテナの上部・中部・下部の3ヶ所（鉛直線上）に目標点を設けて、目標点の位置を3点から同時に測定する。

この測定も、アンテナ基台の傾斜・沈下量の測定と同様に、季節的変動等を考慮して、周期的に年4回程度実施する予定である。現在、2回目の測定が終了したところである。今後もデータを蓄積して、季節的な環境変化が大型アンテナにどのような影響を与えるのか等について監視していく計画である。

5 運用計画

5.1 国内超長基線測量

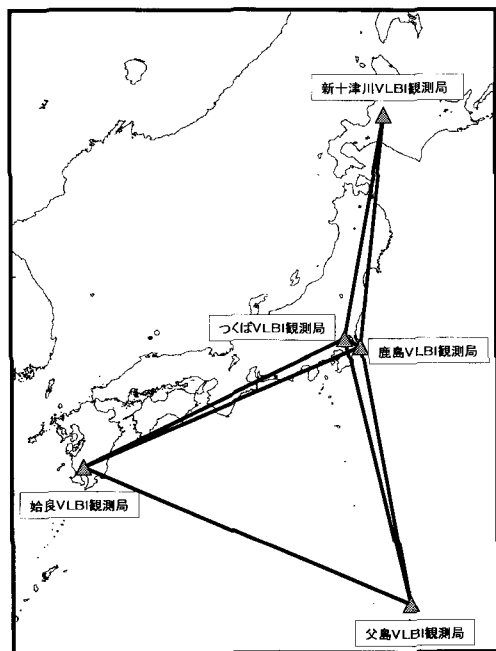
「日本とその周辺のプレート運動の検出」、「海面変動観測の高精度化に必要な験潮場の位置変動の監視」、「GPS衛星軌道追跡局の位置変動の監視」、「我が国の測地網及び電子基準点網の規正」等を目的として、昭和61年度より平成6年度までの間に、可搬型VLBI装置を国内8ヶ所の観測点に延べ12回移動して国内超長基線測量を実施してきた。一方、各国で行われている最近までの観測で、移動観測点の観測精度は1～2cmであるのに比べ、固定観測局では数mmの精度が得られている。このため、以前から整備してきたVLBI移動観測システムに加え、国内固定観測システムの充実を計る必要が生じていた。今回のつくばVLBI観測局の完成により、これまでに整備されてきた新十津川、始良、父島の各観測局と、従来から観測を続けている鹿島観測局（26mアンテナ）を加えたVLBI国内固定観測局網の態勢が整った（図-7）。

各観測局には、基本的に同一の機能を有するシステムが整備され、運用の統一化が図られている。

この固定観測システムを用いて、日本付近のプレート運動の検出及び全国に配備されたGPS電子基準点網の規正を目的として、年に4回程度の国内VLBI観測網全5局による24時間同時観測を実施していく計画である。平成10年度は、初回の観測として6月に全5局の同時観測を行い、各局とも良好な観測データが取得された。さらに長い間国内超長基線測量の主局として地球基準座標系の値が与えられている鹿島VLBI観測局とつくばVLBI観測局との結合観測を、NASAの提唱する位相遅延方式等により、郵政省通信総合研究所の34mVLBIアンテナを含めた3局により実施する計画である。この取り付け測量により、鹿島VLBI観測局からつくばVLBI観測局に、国内超長基線測量網の主局としての役割が移る



写真-6 水準測量風景



図－7 国内超長基線測量網図

ことになる。

5.2 国際超長基線測量

VLBIは、数千kmの長距離を数mmの精度で測定することが可能であり、プレート運動や地球自転の変化等を正確に求めることができる。このような地球規模の現象を把握するVLBI観測は、各国が協力して実施することが必要である。これまでの国際協力によるVLBI観測をさらに発展させた次世代の国際プロジェクトCOREが、NASAの提唱により進められている。つくば観測局は、今後COREの中心的な観測局として参加していくことになる。

COREは、世界の高性能なVLBI観測局により、地球回転を連続して観測するという計画である。この場合、連続というのは文字通り切れ目のない24時間、365日の観測を意味する。高性能なVLBI観測局を性能によっていくつかのグループに分け、各々が交代で週1回から2回の24時間観測を実施して、グループからグループへと観測を引き継いでいくというものである。つくばVLBI観測局は、これまでの国際VLBI観測で生じていたアジア地域の空白域を埋めるために、最上級のCORE-A局としての参加を検討している。

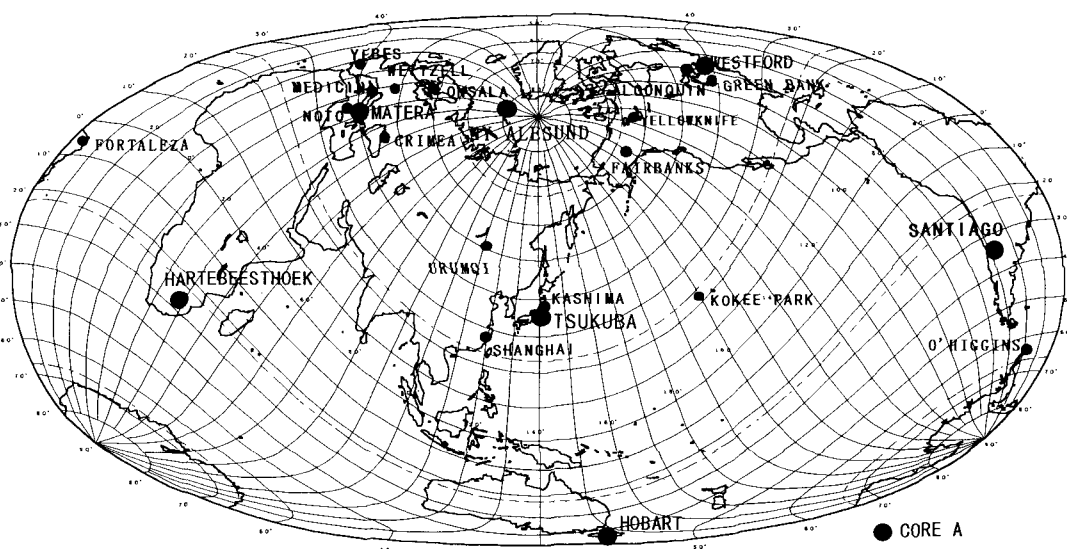
NASAからの強い要請に応え、つくばVLBI観測局において、平成10年10月より月1回の24時間観測を開始する。今後、平成12年度までには、週1回の観測に参加する方向で検討中である。

COREでは、従来のプレート運動の検出に加え、地球回転パラメータの決定と監視を大きな目的としている。原理的に宇宙の慣性基準系に基づくVLBI観測以外に、現時点では地球回転パラメータを取得できる宇宙測地技術は存在しない。GPSやSLR等の測定精度を上げるためには、VLBIによってのみ与えることができる正確な地球回転パラメータが不可欠となる。これら宇宙測地技術の高精度化により、より正確な地球基準座標系の構築にも寄与することができる。COREへのつくば観測局の参加により、国際VLBI観測の中でも、アジア地域を代表する観測局として、確かな成果が得られていくものと期待される。

5.3 国際VLBI事業 (IVS)

現在、IVS (International VLBI Service) と呼ばれるVLBI観測に関する国際機関の設立準備が進んでいる。

これまでに、準備委員会が設立され、平成10年度の春



図－8 COREの観測局

に組織規約案が決定された。現在、参加機関の調整が進んでいるところである。平成11年3月には、参加機関が決定され、第1代の評議委員会が設置されて機関が発足する予定となっている。平成11年7月には、IUGG（国際測地学地球物理学連合）の総会に公式に報告され、国際的な測地機関として認定される。

組織の目的は、(1)「VLBI観測事業の促進」、(2)「研究開発活動の促進」、(3)「VLBI成果の利用者との相互交流を高め、グローバルな地球観測の枠組みの中にVLBIを位置づけること」となっている。

組織は、

- (1) VLBI観測局
- (2) オペレーションセンター
- (3) 相関局
- (4) 解析センター
- (5) データセンター
- (6) 技術開発センター
- (7) 中央事務局
- (8) 評議会
- (9) 準会員
- (10) 関係諸機関

から構成される。

国土地理院は、現在IVSへの参加準備を進めており、つくばVLBI観測局の本格的運用によって更なる国際貢献ができることを確信する。

5.4 二国間、二機関超長基線測量

汎地球的な観測網を構築する一方で、つくばVLBI観測局を用いた二国間型の基線観測に関する提案も寄せられている。既に実績のある韓国についても繰り返し観測の提案が寄せられている。また、マレーシア国からは、移動観測局の観測に関する要望が寄せられている。さらに、ドイツ国連邦地図測量庁からは、VLBIの同時連続観測を日本で開発されたK-4型システムで実施する内容で打診されている。

南極地域については、文部省国立極地研究所主体で南極地域VLBI観測が実施されているところであるが、国土地理院においても、第40次南極地域観測隊に職員を派遣し、観測を実施することとなっている。

また、国内においては、VLBI観測技術を持つ郵政省通信総合研究所及び文部省国立天文台との共同研究協定を締結しており、今後も、こうした機関との協力関係の維持が重要である。

6 まとめ

つくばVLBI観測局を中心として、新十津川、父島及び始良にVLBI観測局が設置され、国内超長基線測量網の一応の整備が終了した。長く我が国のVLBI観測の主局となってきた鹿島VLBI観測局は、その役割をつくばVLBI観測局に移すことになる。また、国土地理院本院内の宇宙測地館につくば中央局が設置され、観測の監視から基線解析までの一貫した処理を国土地理院の施設のみで実施することも可能となった。

これまでに施設的には充実を見たものの、本格的な運用は、平成10年度に開始されたばかりであり、課題も多い。

まず、国内5局の同時運用及び国際連続観測を実施するための人的資源の確保が不可欠である。国際的な調整を含めた高度な観測の計画・実施には、人材の育成からの対応をとる必要がある。また、並行して、観測の自動化の推進やリアルタイム化、オンライン化等の研究を進め、観測負荷を軽減していく必要もある。

今後は、国際的な枠組みの中で観測を実施していくことになるが、国際協力の拡大や国内組織の設立など、研究だけでなく、体制整備面も重要な検討課題となる。

最後に、これらの関連施設の整備は、日本のVLBI技術の先駆けである郵政省通信総合研究所の全面的な支援なくしては実現し得なかったものであり、深く感謝の意を表するものである。

参考文献

- 大木章一（1998）：国際VLBI観測の成果と新たな展開，国土地理院技術資料A・1-NO.199
石原操，大木章一（1998）：VLBI国際共同観測，日本測量協会応用測量論文集，1998. 6 Vol. 9
石原操，飛田幹男，福崎順洋（1998）：宇宙電波で地球を測る，日本測量協会，測量1998. 1
NASA Goddard Space Flight Center（1997）：Geodetic VLBI for the New Millennium, CORE White Paper 1997. 6