

II. 5 南大東島局用 11 m アンテナシステム 及び超小型 VLBI 局

金子 明弘*¹ 佐藤 正樹*² 澤田 史武*³
山本 伸一*² 栗原 則幸*² 雨谷 純*¹
(平成元年10月6日受理)

II. 5 THE 11 M ANTENNA SYSTEM FOR MINAMI-DAITO ISL. STATION AND THE HIGHLY TRANSPORTABLE VLBI STATION

By

Akihiro KANEKO, Masaki SATOH, Fumitake SAWADA, Shin'ichi YAMAMOTO,
Noriyuki KURIHARA, and Jun AMAGAI

An 11 m antenna was constructed at Kashima in December 1987, and has been used for monitoring satellite conditions. It is planned to transport this antenna to Minami-Daito Isl. in the future, for the VLBI experiments to monitor the motion of the Philippine sea plate.

A 3 m antenna has been developed for a highly transportable VLBI station. This antenna is the smallest VLBI antenna in the world. Three experiments have been carried out using this antenna, and it is confirmed that this antenna can perform well in the VLBI network.

1. はじめに

昭和62年度大型補正予算で西太平洋電波干渉計計画⁽¹⁾が認められ、34 m, 10 m, 11 m アンテナを建設した。このうち 11 m アンテナは、南大東島局用として計画されたが性能テストを兼ねて、関東支所鹿島宇宙通信センター構内に設置し衛星管制や宇宙局監視などに暫定的に使用している。11 m アンテナを南大東島へ移設するまでの間、3 m アンテナを用いた超小型 VLBI 局を移動し実験を行うことになった。

超小型 VLBI 局は、従来から使用している K-3 型 VLBI システムと互換性を持つ小型の K-4 型 VLBI システムを使用して、移設が容易な様に設計されている。昭和63年度には、この超小型 VLBI 局を小金井、稚内、沖縄へ移動し 26 m 鹿島アンテナとの間で VLBI 実験を行い、各観測点の位置を高精度に決定した。各観測点の位置は GPS (Global Positioning System) 衛星精密

軌道推定実験等に利用されている。11 m アンテナを南大東島に移設した後も、超小型 VLBI 局と西太平洋電波干渉計と併用して移動実験を行うことにより、各プレートの内部変形が測定できるであろう。

本報告では 11 m アンテナシステムと、超小型 VLBI 局の開発及び実験について述べる。

2. 11 m アンテナシステム

本アンテナは南大東島 VLBI 局用として計画されたが、鹿島での試験観測も兼ねて、暫定的に衛星追尾用⁽²⁾に使用されている。

2.1 11 m アンテナシステム構成

第1図に 11 m アンテナの外観を、第2図に 11 m アンテナシステムの構成を、第1表に 11 m アンテナの諸元を示す。駆動速度が速く低軌道の周回衛星の追尾にはその威力を発揮する。また天頂付近を通過する衛星を追尾する際、方位角軸を機械的に傾斜させ、方位角駆動速度を見かけ上小さくさせるチルト機構を備えている。このチルト機構によりアンテナ 架台上部を東西方向に ±2.4 度の範囲で傾けることができる。チルトの制御に

*1 関東支所 鹿島宇宙通信センター 第三宇宙通信研究室

*2 電波部 電磁圏伝搬研究室

*3 通信・放送衛星機構 君津衛星管制センター



第1図 11 m アンテナ外観

は、アンテナ・コントロール・ユニット（ACU）内で判断するオートチルトモードと、オペレータが判断するマニュアルチルトモードの2種類が用意されている。オートチルトモードは衛星を追尾中に高仰角（80度以上）になると自動的に動作する。どちらのモードもチルトに

第1表 11 m アンテナ諸元

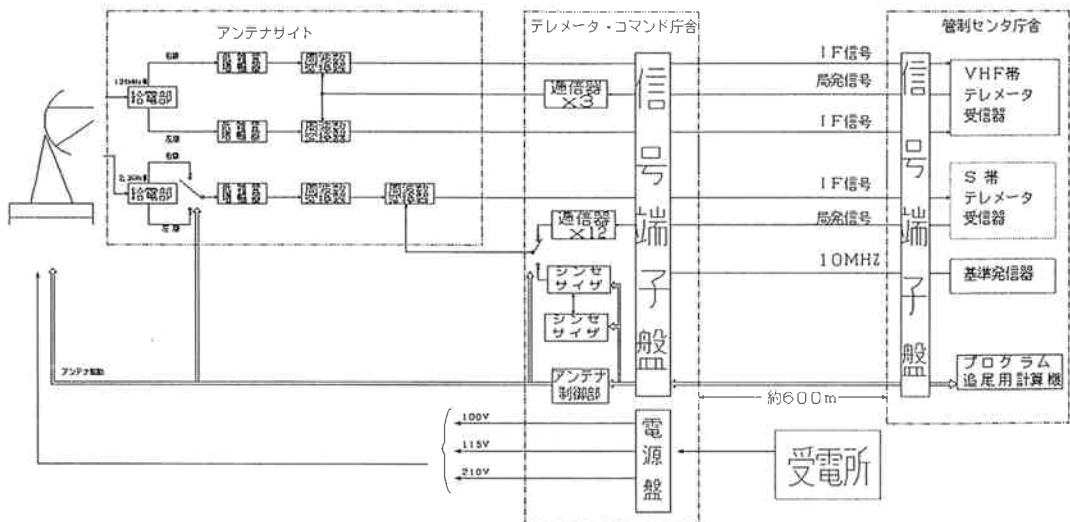
	機能及び性能
アンテナ直径	11 m
受信周波数	VHF 136.0~136.605 MHz
	Sバンド 2200.0~2320.0 MHz
給電方式	フロントフィード
受信偏波	VHF 右旋/左旋同時受信
	Sバンド 右旋/左旋切替受信
G/T	VHF -16 dB/K 以上
	Sバンド 24 dB/K 以上
駆動速度	Az 11度/秒
	EI 5度/秒
駆動範囲	Az ±360度
	EI -2~182度
チルト角度範囲	±2.5度

よる方位角、仰角の補正は、ACU内で行われコンソールには実際のアンテナ指向角度が表示される仕組みになっている。

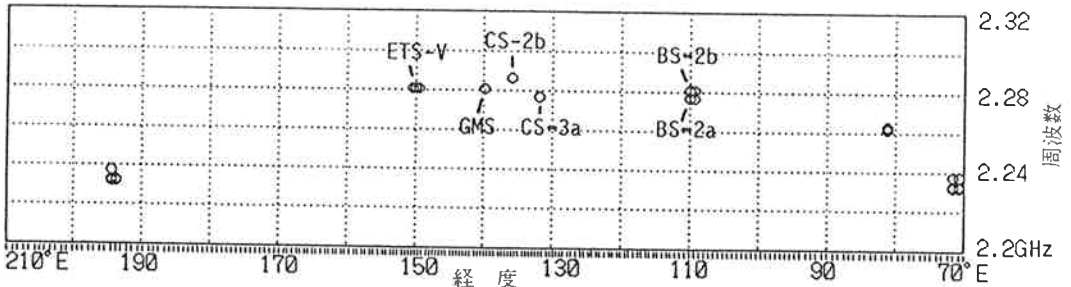
本システムは、これまで行われてきた衛星管制業務を継続できるようにも設計されている。VHF帯、S帯共に給電部から周波数変換部までを新設し、データ収集部は既設の物を使用している。本アンテナは34 m 庁舎よりパーソナルコンピュータにより制御している。

2.2 建設

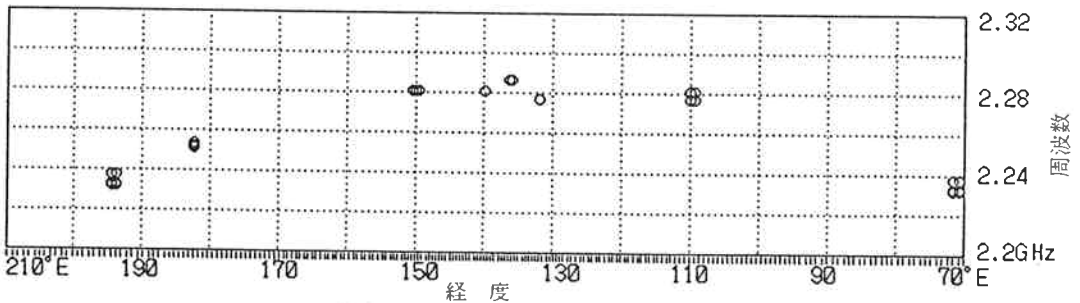
11 m アンテナはコマンド 局舎前の ECS 用 テレメトリアンテナを撤去し、その跡地に建設された。それまで18 m アンテナで行っていた、衛星管制業務を中断なく11 m アンテナに移行する必要があったが、18 m アンテナ跡地を34 m アンテナ建設に使用する為に、18 m アンテナを昭和62年10月末までに撤去しなければなら



第2図 11 m アンテナシステム構成



(a) 1988. 7.22 18H



(b) 1988. 7.23 18H

第3図 静止軌道監視実験の結果例

ず、11 m アンテナの受信ができる12月中旬までの約2ヶ月間管制業務を中断せざるをえなかった。

衛星管制課では昭和62年10月から昭和63年1月末までカナダの国際電離層観測衛星 (ISIS-2) を使用して日本・アメリカ・カナダの国際実験 (サイプル実験) が予定されていた。そこで衛星管制課では簡易受信システムを作成し、サイプル実験に参加した。

2.3 衛星データの受信

18 m アンテナでは、プロセス制御計算機 (M-9100-30F) を中心とした CSSC (Computer System for Satellite Control) によって自動運用 (アンテナ制御、データ収集等) を行っていたが、11 m アンテナシステムの導入に伴いアンテナ制御を分離独立させた。11 m アンテナでの運用は、アンテナ制御用パーソナルコンピュータ (HP-9000-310) に軌道計算のための軌道要素、または指向角度情報を入力し、プログラム追尾ソフトウェアにより行う。

昭和63年1月19日に11 m アンテナによる ISIS-2 のビーコン受信に成功した。また、同月22日にはサイプル実験中の ISIS-2 のテレメトリデータを受信した。

アメリカの磁気圏観測衛星 (DE-1) に関しては、昭和63年2月14日に受信しデータ取得に成功した。

平成元年5月、衛星管制課廃止にともない、DE-1 の運用は本所からの電話回線を使用したリモートコントロ

ールに移行した。

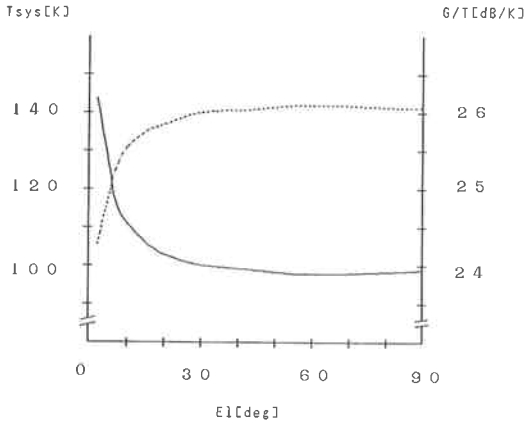
2.4 宇宙局監視実験

宇宙局監視⁽³⁾とは、静止軌道および周回軌道における各種宇宙局の軌道・周波数の利用状況をサーベイすることである。今後も増え続ける人工衛星の監視を行うため、宇宙局監視の基本技術を早急に確立する必要がある。そこで鹿島では、11 m アンテナを使用して静止衛星及び周回衛星についてそれぞれ次のような実験を計画している。

(1) 静止衛星の宇宙局監視

静止衛星は、静止軌道と地上局の位置が分かれば軌道要素が分からなくても衛星を捉えることが出来る。当支所からは東経70-210度の範囲の静止軌道が見渡せる。11 m アンテナの S バンド受信系を使用して、その可視範囲に沿って0.8度の経度ステップで走査し、各経度において受信帯域のスペクトルの観測を行った。こうして得た監視データを表示すると第3図のようになる。(a)(b)図の71度、194度に信号が現れているが、(a)(b)図ともに同一経度、同一周波数の所に現れているのでこれはまだ同定されていない静止衛星と推定される。(a)図の81度、(b)図の182度にも信号が現れているが、もう一方の図には現れていないためこれは地上無線あるいは低高度衛星の信号の混入と推定される。

(2) 周回衛星の宇宙局監視



第4図 11 m アンテナ仰角特性
 実線はシステム雑音温度、
 破線はG/Tの仰角特性を示す。

軌道要素の不確定な衛星の捕捉・追尾を行う。具体的には、以下の手順で行う予定である。

- ① 別途準備されている VHF の簡易干渉計により概略軌道を決定する。
- ② 概略軌道から衛星の予測値を計算する。
- ③ 予測値周辺にアンテナを指向させて、真の衛星位置をサーチする。
- ④ 予測値からのズレを基に軌道を反復修正する。

2.5 VLBI 用アンテナとしての性能

通常、測地 VLBI では S・Xバンドの2周波で天体電波源を受信している。11 m アンテナは、Xバンド系がまだ整備されていないので、昭和62年12月にSバンドで電波星を受信し、特性測定を行った。

(1) システム雑音温度の仰角特性

システム雑音温度 (T_{sys}) の測定は、方向性結合器を経由して加えたノイズソースの注入雑音温度 (T_{ND}) を基準として、ノイズソースからの雑音を加えた時と加えない時の比 Y_1 から次式で求めた。

$$T_{sys} = T_{ND} / (Y_1 - 1)$$

T_{ND} は方向性結合器の結合度・ノイズソースの ENR より見積った。第4図に特性を示す。実験がシステム雑音温度の仰角特性である。

(2) G/T の仰角特性

約2分先の天体電波源の位置を予め計算しておき、その位置にアンテナを固定して天体電波源の通過を待ち受けた。このとき、アンテナ指向に関する誤差が排除できるよう、天体電波源の赤緯方向に5ステップ(中心を挟んで±0.25度づつ)の赤緯オフセットを加えた。これにより、システム雑音温度に対する天体電波源からの電波による雑音の増加の割合 Y_2 が測定できる。G/T は Y_2 を用いて次式から求める。

第2表 主な電波源の予想振幅強度

電波源名	電波源 相関強度 (Jy)	相関振幅(%)	
		11 m-34 m	10 m-26 m
0106+013	2.60	0.185	0.036
0234+285	1.32	0.093	0.042
0552+398	2.03	0.144	0.024
0742+103	1.60	0.114	0.046
1548+056	1.12	0.080	0.024
1803+784	0.53	0.038	0.032
2230+114	1.05	0.075	0.029

1 Jy = 10^{-26} W/m²/Hz

$$G/T = (Y_2 - 1) \frac{8\pi k}{K_c S \lambda^2}$$

λ : 観測波長 [m]

k : ボルツマン定数 (1.38×10^{-23} J/K)

S : 電波源の相関強度 [W/m²/Hz]

K_c : 電波源の拡がり補正係数

で計算される。

測定には天体電波源 CAS-A を使用した。第4図に特性を示す。破線が G/T の仰角特性である。

(3) 予想相関振幅強度

上記の特性測定の結果と 34 m アンテナの特性⁽⁴⁾ を使用し、11 m と 34 m アンテナで VLBI 実験を行った場合の S バンドでの予想相関振幅強度を計算した。

相関振幅強度 ρ は次の式から求められる。

$$\rho = L \frac{S^2}{8\pi k} \sqrt{G/T_{11} \cdot G/T_{34}}$$

ここで

L : コヒーレンスロス (0.9⁽⁵⁾)

G/T_{11} : 11 m アンテナの G/T

G/T_{34} : 34 m アンテナの G/T

である。第2表に VLBI 実験に使用される主な星の 11 m-34 m の予想相関振幅を示す。電波源の相関強度は Morabito⁽⁶⁾ の論文による。10 m-26 m の相関振幅は、平成元年7月と8月に行われた鹿島と南鳥島間で行われた VLBI 実験で得られた観測値である。これら比較した電波源は、干渉計の分解能よりも十分に電波放射域の狭い星である。すべての電波源で 10 m-26 m 基線で得られた値よりも大きな相関振幅が予想されている。これは両局のアンテナ直径の積が約1.5倍になっているため、より高い基線決定精度が得られることが期待される。

今後、11 m アンテナは FSS (Frequency Selective Surface) サブリフレクタを装備し、Xバンドをカセグレン焦点で給電することにより2周波化し南大東島へ移設する予定である。

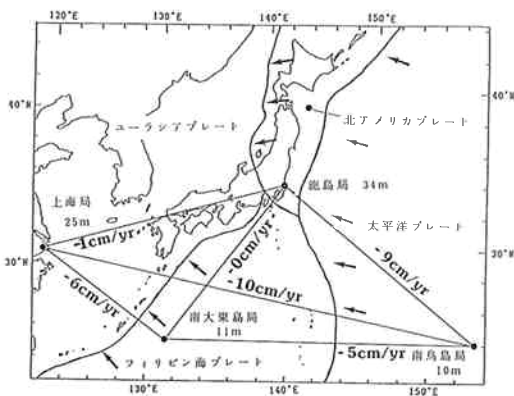
2.6 南大東島

11 m アンテナの移設が予定されている南大東島は、沖縄本島の東方 392 km に位置する標準的隆起環礁である。東西 5.78 km 南北 6.54 km、周囲 20.8 km の短楕円形で、山はなく一番高いところで標高 75.8 m である。海岸線が岩石地帯、中央部は盆地と沼地である。島の総面積は 3074 ha であるが、その 6 割は農耕地でありサトウキビが栽培されている。島内にある重機の数に限られている。しかもサトウキビの収穫期には使用できない。

南大東島は西太平洋電波干渉計で相対運動を測定しようとしている 4 つのプレートのうち、フィリピン海プレート上に位置している (第 5 図参照)。フィリピン海プレート上の日本領土としては、東端に伊豆諸島、小笠原諸島等が、中央に沖の鳥島がある。フィリピン海プレートの東端は、太平洋プレートが東から沈み込んでくるため、応力で変形が生じている可能性があり、また沖の鳥島は島というより岩礁でありアンテナの設置ができない。南大東島に VLBI 局を設置した場合、上海局との基線は年 6 cm 縮み鹿島局との基線は変化ないことが予想されており、年に 1 度のわりあい VLBI 実験が行われれば、数年でフィリピン海プレートの動きが実測されることになる。

沖縄本島と南大東島の間には、定期便が一日 2 便就航しているが、使用している飛行機が座席数 19 席の小型機であるため航空券の入手が非常に困難である。また、天候に左右され、欠航も珍しくない。従って実験要員の移動には航空便が使用できるが、実験機材の空輸は非常に困難である。

南大東島での食糧や生活物資はすべて船舶輸送に依存している。定期輸送は、定員 70 名、499 t の貨物船によって週 1 回程度行っている。島で収穫されたサトウキビは、この船で本島に輸送される。南大東島にある 3 つの



第 5 図 日本付近のプレート

港はいつでも防波堤がなく、少しでも波がたつと接岸できない。

移設にあたり、システムの輸送にかかる時間をかなり多めに取っておく必要がある。また、実験の実施時期は、気象の安定している時期で、かつサトウキビの収穫期ではない 11 月～12 月がよい。

3. 超小型 VLBI 局

通信総合研究所では、昭和 60 年度から 3 m アンテナを使用した超小型 VLBI 局を開発してきた。昭和 63 年度に、超小型 VLBI 局を使った移動実験を行った。ここでは超小型 VLBI 局と移動実験について述べる。第 6 図に 3 m アンテナの外観を、第 7 図に超小型 VLBI 局の構成を示す。第 3 表に 3 m アンテナの諸元を示す。

3.1 システム構成

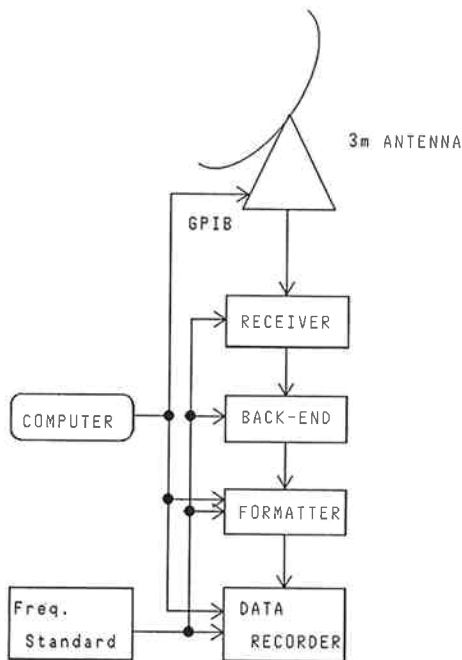
(1) アンテナ受信系

直径 3 m のアンテナは VLBI 局に使用しているアンテナとしては、世界最小である。

アンテナ開口径が小さくなると S/N 比が低下し、熱雑音誤差が増加するため、遅延時間決定精度が劣化する。しかし、この誤差は観測周波数帯域幅を広げることで減少させることができる。そこで超小型 VLBI 局では通常の周波数帯域のほぼ 2 倍の帯域を受信することで、



第 6 図 3 m アンテナ外観 (小金井移動時に撮影)



第7図 超小型 VLBI 局の構成

第3表 3m アンテナ諸元

	機能及び性能
アンテナ直径	3 m
受信周波数 (L)	7860~8280 MHz
(H)	8180~8600 MHz
給電方式	カセグレン
受信偏波	右旋
G/T	23.0 dB/K
駆動速度 Az	10度/秒
E1	10度/秒
駆動範囲 Az	±270度
E1	-2~182度
重量	1.4 t

S/N 比の低下による遅延決定精度の劣化を補償している。このため本システムでは、Xバンドの高周波側と低周波側の2系統の周波数帯を設け、この2系統をバンド幅合成によって結合することで広帯域化⁽⁹⁾を図った。

(2) バックエンド

IF 分配部、16台のビデオコンバータを同一筐体に納め、小型軽量化を図ったK-4型バックエンド⁽⁹⁾を使用した。昭和63年度の移動実験では、記録信号発生装置にK-3型を使用した⁽¹⁰⁾が、将来的にはK-4型データレコーダ⁽¹⁰⁾に組み込まれている記録信号発生部（入力インターフェイス）を使用する予定である。

(3) データレコーダ

現在はK-3型データレコーダを使用しているが、大

型で移動に不便である。またテープ1巻あたり約26分と記録時間が短く、使用するテープの本数が多くなり少しでも荷物も減らしたい移動実験には不向きである。そのため将来的には、手軽に持ち運びが出来るカセット方式で、テープ1巻あたり約3時間と記録時間が長いK-4型データレコーダを使用する予定である。

(4) 周波数標準

通信総合研究所とアンリツ株式会社が、共同で小型可搬の水素メーザ周波数標準器を開発した。この移動型水素メーザは、キャビティ部にアルミを用いて軽量化すると共に、量子系、エレクトロニクス系とも小型化し1つのラックに納められている。バッテリーにより、近距離の移動は発振状態を保って行うことができる。この移動型水素メーザを、沖縄実験に使用した。稚内実験にも、この移動型水素メーザを使用する予定であったが、降雪期の前までに開発が間に合わなかったため、高安定な水晶発振器をセシウム原子周波数標準に長期成分で位相同期をかけた周波数標準⁽¹¹⁾を使用した。

(5) 自動運用ソフトウェア

昭和60年に実施された日中共同 VLBI 予備実験に使用したパーソナルコンピュータ（HP9816相当品）上で動作する自動運用ソフトウェア⁽¹²⁾を基に、超小型 VLBI 局用に改造し使用した。日本実験で使用したソフトウェアはアンテナのプログラム追尾（以下プロ追と略す）ルーチンが無かったが、今回の改造でプロ追ルーチンを追加した。星の位置計算・プロ追はリアルタイムで行われるため、シングルタスクのパソコンではプロ追中は他のデバイスの制御ができないが、観測の手順を変更することにより従来のマルチタスクで動作している自動運用ソフトウェア⁽¹³⁾と同等の制御が行えるようになった。

なお、この自動運用ソフトウェアはアンテナ制御部を南鳥島 10 m アンテナ用に改造し使用した⁽¹⁴⁾。将来、11 m アンテナを南大東島へ移設したときにも、この自動運用ソフトウェアを使用する予定である。

(6) 電離層遅延補正

通常、測地目的の VLBI では Xバンドと Sバンドの2周波を受信し、電離媒体の分散性を利用して、電離層補正を行っている。しかし、小口径のアンテナになるほど2周波を効率よく同時受信することが難しくなる。また2周波分の受信系を装備することにより、システムが複雑になり、コストも高くなる。超小型 VLBI 局ではこの理由により Xバンドのみ受信を行っているため、別の方法で電離層遅延補正を行う必要がある。

今回行った移動実験の電離層遅延補正は、通信総合研究所の電波観測所で取得している観測データ（電離層 F2 領域における臨界周波数； f_oF_2 ）を用いる方法を採



第8図 移動実験配置図

第4表 63年度の超小型 VLBI 局移動実験

移動先	観測日	実験目的
小金井	'88 9/20	小金井基準点の確立
稚内	'88 10/ 5	GPS 軌道推定, GPS 測位との比較
沖縄	'89 2/ 3	GPS 軌道推定, GPS 測位との比較

用した。

将来は、GPS 衛星を 2 周波で受信して、全電子数を推定する GTR-2 受信機⁽¹⁵⁾を使用する予定である。

(7) 中性大気遅延補正

中性大気による遅延時間の補正には地上気温、気圧、湿度を用いて Marini モデル⁽¹⁶⁾を用いて行っている。移動実験では電波部大気圏伝搬研究室、稚内地方気象台、沖縄気象台から気象データを提供していただき解析に使用した。

3.2 移動実験

第 8 図に移動先を、第 4 表に移動先と実験目的を示す。これらの実験は、科学技術振興調整費の補助を受け、GPS 衛星の精密軌道推定実験⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾に用いる観測局位置の高精度測位を主目的に行われた。

今回の移動に用いた超小型 VLBI 局の構成は、3 m アンテナ、広帯域受信系、K-4 型ビデオコンバータ、K-3 型記録信号発生装置、K-3 型データレコーダとなっている。移動は 4t トラック（ユニック車）とライトバン各 1 台で、海上輸送はフェリーを用いた。第 9 図に移動時の 3 m アンテナの外観を示す。アメリカではジェット推進研究所が MV シリーズとして可搬型 VLBI 局を実用化しているが、日本の道路では車幅規制により



第9図 移動時の超小型 VLBI 局（苫小牧港にて撮影）

移動が困難である。我々が開発した超小型 VLBI 局は 3 m アンテナの主鏡面を 4t トラックの荷台に斜め積みするため、車幅規制内である。各観測点ではユニックアームを利用して 3 m アンテナの設置を行っている。

(1) 小金井実験

遠距離の移動実験の前に、超小型 VLBI 局システムの性能確認の目的で、通信総合研究所本所で最初の移動実験を行った。

昭和63年 9 月 9 日に 3 m アンテナシステムを移設し、9 月 20 日に実験を実施した。3 m アンテナは 3 号館西側に設置した。設置の容易さを考慮して地面に 3 m アンテナを設置したために、建物や樹木に空が遮蔽されてしまった。そのため可視範囲がかなり狭くなり、用意した観測スケジュールでは全観測の約 1/4 が観測不可能となってしまったので、実験直前に新たに観測スケジュールを作り直した。周波数標準は標準測定部原子標準研究室の水素メーザ周波数標準器を、時系の基準には同研究室のセシウム原子時計を使用させて頂いた。

なお、この結果は GPS 時刻比較、衛星レーザ測距 (SLR) とのコロケーション実験等にも使用されている。

(2) 稚内実験

昭和63年 9 月 30 日、通信総合研究所稚内電波観測所に 3 m アンテナシステムを移設し、10 月 5 日に実験を実施した。3 m アンテナは庁舎の北西に設置した。周波数標準には小型水素メーザを使用する予定であったが、開発が間に合わなかったため高安定な水晶発振器セシウム原子周波数標準を組み合わせて使用した。水晶発振器+セシウム原子周波数標準は小型で、しかも保守が容易なため移動実験には大変有利であるが、積分時間が 120 秒に制限されるため S/N を確保するため電波源が強い星に限られてしまう。超小型 VLBI 局で、初の 1000 km を超える実験でもあり、また水晶発振器+セシウム原子周波数標準を用いた実験としても 1000 km を超えるの

第5表 基線解析比較

	26m-3m(110km)	26m-5m(55km)
観測数	142	152
解析数	108	118
遅延時間残差 (σ_r)	0.072 nsec	0.079 nsec
遅延時間変化率残差	0.094 psec/sec	0.081 psec/sec
X成分推定精度	1.8 cm	1.5 cm
Y成分推定精度	1.4 cm	1.2 cm
Z成分推定精度	1.5 cm	1.4 cm
基線長推定精度	0.5 cm	0.4 cm

第6表 システム比較

		3 m アンテナ	5 m アンテナ
開口径	D	3 m	5 m
開口効率	η	37%	70%
システム雑音温度	T_{sys}	120 K	124 K
Xバンド等価帯域幅	ω_{RMS}	273 MHz	128 MHz
バックエンド		K-4	K-3
Xバンドch数	M	10	8

は初めての試験であった。

(3) 沖縄実験

平成元年1月28日、通信総合研究所沖縄電波観測所に3mアンテナシステムを移設し、2月3日に実験を実施した。3mアンテナは庁舎の北西に設置した。周波数標準はアンリツ株式会社が開発した小型で移動容易な水素メーザを使用した。据置型の水素メーザを移動させてVLBI実験を行った例は、過去にいくつか有るが、移動型の水素メーザを用いて短期間に移動実験を行ったのは、日本では今回の沖縄実験が初めてである。据置型の水素メーザを輸送して実験を行う場合は、現地で実験前

第7表 電離層補正の比較

電離層補正	観測局位置推定精度			基線長精度	遅延時間残差
	南北成分	東西成分	鉛直成分		
なし	12 mm	11 mm	56 mm	15 mm	0.107 nsec
あり	10 mm	10 mm	51 mm	14 mm	0.095 nsec

に3週間の慣熟期間が必要である。移動型水素メーザの移動は、バッテリーにより発振状態を保って行われたが、沖縄への移動途中でバッテリーがダウンしたため、量子系の真空度が低下し、キャビティ温度も低下してしまった。このため観測所に設置後、真空引きを行いキャビティ温度が安定するのを待って発振させた。移動型の水素メーザということでセットアップ期間を十分にとっていなかったため、安定な発振状態にならないうちに実験を行うことになってしまった。

3.3 移動実験解析結果

第5表に鹿島-小金井基線と鹿島-つくば（建設省国土地理院、5mアンテナ）基線⁽¹⁹⁾の比較、第6表に超小型VLBI局と5m局の比較を示す。5mアンテナとほぼ同等な基線決定精度が得られたのは、小口径による相関振幅低下の影響を、バンド幅を広げた事による遅延時間決定精度の改善が補ったためと考えられる。遅延時間決定精度 σ_r と第6表に示す各値との間には次のような関係がある。

$$\sigma_r \propto \frac{1}{D\omega_{RMS}} \sqrt{\frac{T_{sys}}{\eta M}}$$

D : 開口径 [m]

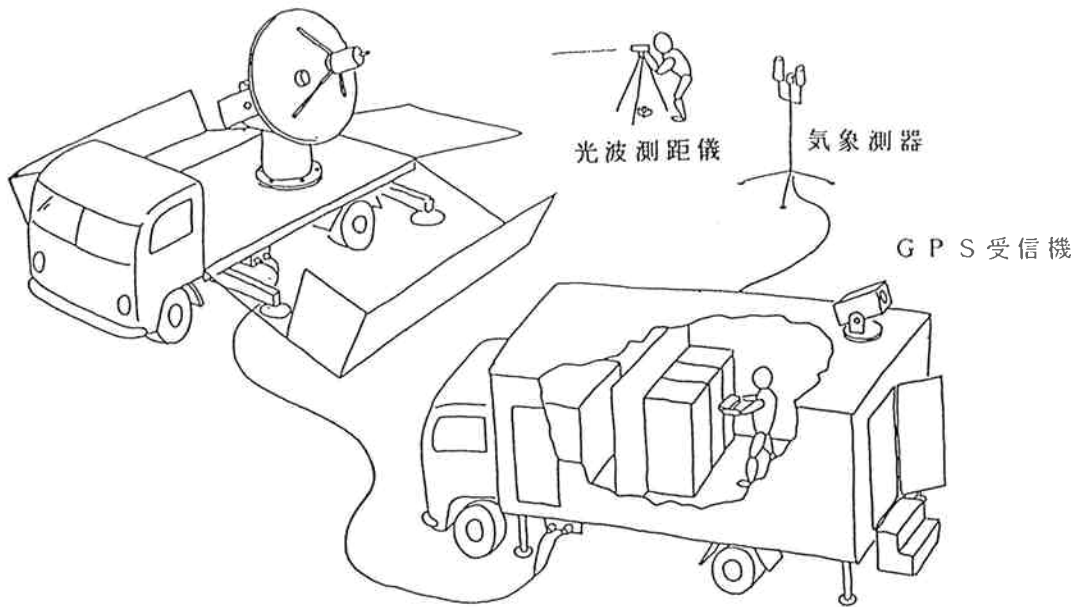
η : 開口効率

T_{sys} : システム雑音温度 [K]

第8表 移動実験解析結果

	小金井	稚内	沖縄
基線長	110 km	1051 km	1622 km
周波数標準	据置型 Hメーザ	セシウム+クリスタル	移動型 Hメーザ
観測積分時間	200, 400 sec	180 sec	200, 400 sec
解析/観測電波源数	16/16	6/9	14/16
解析/観測数	108/142	80/152	99/141
遅延時間残差	0.072 ns	0.130 ns	0.095 ns
遅延時間変化率残差	0.094 ps/s	0.868 ps/s	0.165 ps/s
X成分	-3942074.185 ±.019 m	-3520053.383 ±.017 m	-3507772.497 ±.029 m
Y成分	3368330.276 ±.017 m	2781821.765 ±.039 m	4521400.807 ±.037 m
Z成分	3701904.172 ±.018 m	4518213.923 ±.062 m	2807534.642 ±.024 m
南北成分誤差	0.6 cm	1.4 cm	1.0 cm
東西成分誤差	0.7 cm	1.0 cm	1.0 cm
鉛直成分誤差	2.9 cm	8.7 cm	5.1 cm
基線長誤差	0.5 cm	1.5 cm	1.3 cm

2.3m アンテナ



第10図 車載 VLBI 局の概念図

ω_{RMS} : Xバンド等価帯幅 (Hz)

M : Xバンドチャンネル数

この式から、超小型 VLBI 局の σ_r は 5 m アンテナに比べ約 5%程度小さくなる事がわかる。

第7表に沖縄実験データを使用し、電離層補正を行ったときと行わなかったときの基線解析結果の比較を示す。電離層補正を行った方が誤差、残差とも減少しており、電離層補正が有効だった事を示している。

第8表に解析の結果得られた各観測点の位置を示す。稚内実験は周波数標準に水晶発振器を使用したため基線推定後の残差が大きくなり基線決定精度が他の実験と比べて劣るが、水平成分に着目すれば 3 cm 程度の誤差におさまっている。いずれの実験も鉛直成分の決定精度が良くないが、これは VLBI 実験一般にいえることで伝搬媒質の影響等による。沖縄実験では移動型水素メーザのトラブルのため、小金井実験の結果と比べて多少誤差が大きくなっている。

4. ま と め

昭和62年に短期間で設置された 11 m アンテナを使用して衛星管制実験を行い、衛星データの受信に成功した。今後、11 m アンテナを VLBI 実験に使用できるように整備し、南大東島に移設して西太平洋干渉計実験を実施することにより、フィリピン海プレートの動きを初めて測ることができるであろう。

3 m アンテナを使用した超小型 VLBI 局で短期間の移

動 VLBI 実験を行い、各観測点の位置を決定し、初期の目的である GPS 衛星の精密軌道推定を行うために必要な精度をほぼ満足した。今後、相手局を 34 m アンテナにすることにより、より高精度な結果が得られるであろう。また、34 m アンテナを相手局にすることにより、第10図のような小口径アンテナ (2.3 m 程度) を使用した車載 VLBI 局の実現も可能であることが確認された。今後、小型のアンテナを使用した車載局の開発を行って、VLBI 測位をより簡便に行えるシステムを確立したい。

謝 辞

11 m アンテナシステム建設に関して、元鹿島支所・衛星管制課の皆様へ深く感謝致します。

移動実験に協力して頂いた総務部、関東支所管理課、原子標準研究室、稚内電波観測所、沖縄電波観測所、VLBI 本部、VLBI センターの皆様へ、また気象データを提供して下さい、稚内地方气象台、沖縄气象台の皆様へ深く感謝いたします。

移動型水素メーザはアンリツ株式会社から借用いたしました。

参 考 文 献

- (1) 日置幸介, 吉野泰造, “I. 2西太平洋電波干渉計システムの開発目的”, 本特集号.
- (2) 澤田史武, 佐藤正樹, 山本伸一, 栗原則幸, “実験

- 用衛星追尾アンテナ”, 昭和63年信学春季全大, B-158.
- (3) 澤田史武, 鈴木健治, 佐藤正樹, 川瀬成一郎, “静止軌道監視法の開発”, 平成元年信学春季全大, B-178.
- (4) 小山泰弘, 高羽浩, 栗原則幸, 川口則幸, “2.2鹿島局 34 m アンテナシステム”, 本特集号.
- (5) N. Kawaguchi; “Coherenceloss and delay observation error in Very-Long-Baseline Interferometry”, J. Radio Res. Lab., Vol. 30, pp. 59-87, 1983.
- (6) D. D., Morabito, A. E., Niell, R. A., Preston, R. P., Linfield, A. E., Wehrle, and J. Faulkner, “VLBI Observations of 416 Extragalactic Radio Sources”, Astron. J., Vol. 91, pp. 1038-1050, 1986.
- (7) J. Amagai, H. Kiuchi, and N. Kawaguchi, “Short baseline experiments using the highly transportable VLBI station”, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 38, pp. 672-675, 1989.
- (8) 川口則幸, 雨谷純, “超小型 VLBI 実験における超広帯域受信の効果”, 第 71 回測地学会予稿, 1980, 5 月.
- (9) 木内等, 雨谷純, 阿部ゆう子, “3.2 K-4 型バックエンド”, 本季報.
- (10) 浜真一, 木内等, 雨谷純, “3.3 K-4 型高密度レコーダ”, 本季報.
- (11) H. Kiuchi, J. Amagai, and N. Kawaguchi, “A highly stable crystal oscillator applied to geodetic VLBI”, J. Commun. Res. Lab., Vol. 36, pp. 107-124, 1989.
- (12) 金子明弘, 川口則幸, 雨谷純, “VLBI 用小型自動運用ソフトウェアの開発”, 宇宙新技術の天文学・地球物理学への応用シンポジウム, pp. 146-151, 1986 年.
- (13) A. Kaneko, H. Murakami, S. Kozono, F. Takahashi, and T. Yoshino, “Development of K-3 VLBI automatic operation software”, J. Radio Res. Lab., Vol. 32, pp. 155-166, 1985.
- (14) 浜真一, 雨谷純, “2.4 南鳥島用 10 m アンテナシステム”, 本季報.
- (15) 今江理人, 近藤哲朗, 三木干紘, “3.6 関連技術—GPS 衛星利用電離層遅延補正装置—”, 本季報.
- (16) J. W. Marini, and C. W. Murray, JR., “Correction of laser range tracking data for atmospheric refraction at elevations 10 degrees”, Goddard Space Flight Center, X-591-73-351, 1973.
- (17) Y. Sugimoto, N. Kurihara, H. Kiuchi, A. Kaneko, F. Sawada, T. Shirado, and Y. Saburi, “Development of GPS positioning system “PRE STAR””, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 38, pp. 644-647, 1989.
- (18) 金子明弘, 杉本裕二, 川口則幸, “GPS と超小型 VLBI 局のコロケーション実験”, GPS の測地利用および応用に関するシンポジウム, pp. 90-93, 1987年.
- (19) N. Kawaguchi, N. Kurihara, J. Amagai, F. Takahashi, and Y. Yoshimura, “Millimeter accuracy of geodetic VLBI measurements achieved on a 54 km baseline”, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 38, pp. 668-671, 1989.

