

B-10 地球温暖化による海面上昇等の影響予測に関する研究

(2) 宇宙測地技術を用いた海面上昇の影響予測に関する研究

① 超小型可搬型VLBI局の開発に関する研究

研究代表者 郵政省通信総合研究所 高橋幸雄

郵政省通信総合研究所 関東支所 宇宙電波応用研究室 高橋幸雄  
栗原則幸  
日置幸介  
今江理人  
金子明弘  
企画部

平成2-4年度合計予算額 46,339千円

[要旨]

海水面の変動の監視は従来、各所に設置されている験潮所において行われている。しかしながら、験潮所自体の地殻変動による高度変化が生じた場合、正しい潮位データが測定されているかの判別が困難である。このため、正確な検潮データを取得するためには、験潮所の高度変化を別途観測することが不可欠である。通信総合研究所では、従来鹿島宇宙通信センターにおいて宇宙測地技術であるVLBI（超長基線電波干渉系）技術の研究開発と大型パラボラアンテナによる国内外の観測局とのVLBI観測により、cm～mmオーダーの精密測位を日本のパイオニアとして実施している。

本研究課題では、通信総合研究所鹿島局との間でVLBI観測が可能な超小型可搬型VLBI局を開発し、国内の験潮所近傍の基準点の位置変動を高精度に観測し、各験潮所の位置変動観測のためのGPS精密測位のための基準点を与えることを目的として平成2年度より開始したものである。

3年間の開発研究の結果、世界最小の直径2.4mアンテナVLBI局が完成し、鹿島34mアンテナとのVLBI試験観測の結果、所期の性能が得られ、験潮所位置変動監視のための基準点観測の見通しが得られた。

[キーワード] VLBI、GPS、験潮所、海面上昇、温暖化

## 1. 序

地球温暖化による長期的な海面上昇は、社会的・経済的にも地球環境モニターの観点からも重要な問題である。この海面変動の変動量や将来の変動をどのように測定するかという測定法の確立が急務である。海面変動を測定するには、衛星から海面までの距離を測定する方法もあるが、長期間安定で均一なデータ提供が続いている験潮データを使用することも重要である。潮位データの長期変動には不規則な海流の変化・季節変動・気圧変化・地域的な海水温度変化・地域的な地下水の変動など、様々な影響が含まれる。

海面変動の実態や予測を議論するには、こうした地域的・季節的変動を含んだ各地域のデータと地球規模の平均的な変化とを区別して測定しなければならない。しかし、ここで基準となる潮位データには、測定すべき海面変動以外に、験潮所の地殻変動も重畳している。そこで真の海面上昇を測定するには、験潮所の正確な位置変化の測定が不可欠である。宇宙測地技術を用いた高精度測位装置であるVLBIの超小型移動局で全国に配置した約10箇所の基準点(基準網)を測定する。さらに、GPSで基準点と験潮所の位置を結合することにより、全国の験潮所の位置変化を、VLBI基準網に対して正確に測定することができる。このVLBI基準網は、国際VLBI観測により世界の測位基準座標系とも結合している。したがって、日本で測定した潮位データによる変化と、各国の潮位データを同じ基準座標系で取り扱うことができ、世界全体の変化を精密に捕えることができる。そのために、超小型可搬VLBI局の開発を行った。この計画は、国土地理院と共同で実施している。

## 2. 研究・開発目的

VLBI観測は大型のアンテナと高価で大型の観測装置を必要とし、機動性には乏しいものとされている。米国では、トレーラーに組立てアンテナを搭載した車載型VLBI局の例があるが、我が国では、道路事情の課題、開発経費の問題などから、車載局の開発は困難であった。

従来我が国での可搬型VLBI局の例としては、国土地理院の5mアンテナ局、当所の3mアンテナ局が代表的なものであった。

また、VLBI観測機器に関しても、従来米国主体で開発が進められ、Mark-III VLBIシステムが国際的な基準システムであり、我が国でも当所がMark-IIIシステムと互換のK-3 VLBIシステムを開発し国際VLBI実験を実施してきているが、Mark-III、K-3システムとも大型な観測システムであった。当所では、K-3システムの開発経験に基づき、これと互換性のあり、コンパクトかつより信頼性の高いVLBIシステムとして、カセット方式デジタルデータレコーダーを核とするK-4 VLBIシステムを開発し、上記3mアンテナ局と組み合わせて小型VLBI局を開発した実績がある。

今回の海面変動観測用超小型VLBIシステムの研究開発の目的は、上記の小型VL

B I局開発の経験を生かし、かつ、相手局として鹿島3.4 mアンテナとした最小限度の小型機動性に富んだVLBI局を開発し、観測所位置の精密測定のための基準点の測定を迅速に行えることの実証を行うことを主目的とし、開発後、数年～10年間のデータの蓄積に基づき海水面変動の監視を行うものである。

### 3. 研究成果

#### (1) 2.4 mアンテナ局

相手局として当所鹿島3.4 mアンテナXバンドを想定し、観測精度を従来のVLBI観測と遜色のないもの、また、我が国の道路事情や輸送先での組立て作業上簡便であることなどの要請から、アンテナ口径としては2.4 m、また、開発経費の制限から、受信周波数帯としてはXバンド(8 GHz帯)のみとした。

表1は開発した2.4 m VLBI局の諸元を示すもので、2.4 m程度の小型アンテナとしては標準的な開口効率である。また、受信系は保守の容易さ、信頼性から常温LNAを使用している。また、図1に完成した2.4 mアンテナ外観で、筑波の国土地理院観測棟屋上に設置された状態を示している。

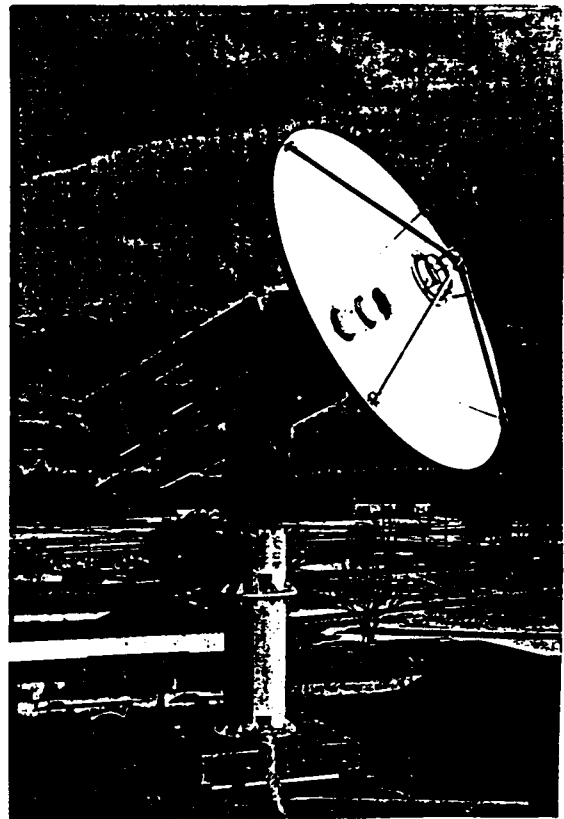


図1 2.4 mアンテナ局外観

表1 2.4 mアンテナVLBI局諸元

アンテナ部	開口径	2.4 m
	給電方式	カセグレンタイプ
	受信周波数帯	Xバンド
	効率	50%
架台・駆動部	Az・Elevationマウント	
	駆動速度	1.5° sec

受信系	常温 F E T L N A ( $T_{sys} = 120 K$ )
バックエンド系	K-4タイプ
制御系	パソコンでのアンテナ・バックエンド制御
周波数標準系	当面 Cs + X' t a l 標準 可能ならば H - m a s e r 標準
電離層遅延補正	2周波方式GPS電離層遅延測定装置利用

## (2) VLBI実験結果

平成4年度までに開発・整備した超小型可搬型VLBI局(2.4mアンテナ局)を用いた本格実験を行い、その性能を確認した。10月15日に国分寺3m局、筑波2.4m局、鹿島26mアンテナ局間で実験を行った。本来の主局である鹿島34mアンテナ局は改修のため使用できず、約3倍性能が悪い鹿島26mアンテナ局との実験となった。また、鹿島26mアンテナ局のトラブルにより実験は16時間と、通常より短くなってしまった。本実験で得られた2.4m筑波局位置は、次の通りである。

表2 2.4m筑波局の位置、推定誤差

2.4m筑波局の位置(鹿島26mアンテナ基準)	
X	$-3957200.5316 \pm 0.0219$ m
Y	$3310182.8856 \pm 0.0187$ m
Z	$3737735.0314 \pm 0.0230$ m
基線長	$54500.4527 \pm 0.0056$ m
垂直成分誤差	3.59 cm
水平成分誤差	南北 0.50 cm
	東西 0.66 cm
有効データ	97個 / 142観測
遅延残差	0.086 ns (2.6 cm)

この結果は、同時に参加した通信総合研究所が所有する3 mアンテナシステムに比べ、2割程度よい結果であった。これまで通信総合研究所独自の移動実験に使用され、良い位置測定結果を提供してきた3 mアンテナと同等以上の性能を持つ小型で可搬性の高いアンテナが誕生したことになる。さらに、理論的に評価した誤差と比較してみたところ、理論的な評価よりも少し良い結果となった。

以上のことから、今回の実験でわかった主なポイントを列挙する。

- ① 超小型可搬型2.4 m局がVLBI測地実験に充分使用できること。
- ② 鉛直誤差(3 cm)・水平誤差(5 mm)とも予測以上の良さであること。
- ③ 残差が非常によい(90 ps)こと。

### (3) 電離層補正法の確立

国内小型VLBI移動局の場合、装置を簡単化するため、更に受信信号の広帯域化を図り受信効率を高めるために1周波観測を採用するのが常である。したがって、電離層遅延補正が必要である。当研究所で開発した”GTR2”というGPS衛星を用いた電離層観測装置により、この補正を行う予定である。昨年1991年7月3日に行われた鹿島・マ

ーカス1000 km基線の場合について検討した。電離層遅延補正の変動の一部は、仰角依存性が類似する大気伝搬遅延推定値の中に含まれる。従って、Xバンド1周波観測における電離層遅延の付加誤差は、時系や大気伝搬遅延を推定した後の残差である。その結果、電離層遅延の付加誤差は、仰角10度以上で150 ps、仰角20度以上で100 psと評価できた。その後、電離層補正モデルの改良が行われ、GPSデータから計算された電離層補正が、VLBIでの2周波による電離層補正に比べ誤差100 psで計算できた。図2に、2周波VLBIによる電離層補正とGPSデータによる電離層補正の計算値との比較を示す。更に、大気伝搬遅延の推定の一部に含まれるので、現在の1周波による電離層補正は、1000 km程度の基線でも100 ps以下(恐らく60-80 ps)と考えられる。この誤差は、超小型局の場合、他の誤差要因に比べて小さくなり、1周波観測が可能であることが示された。

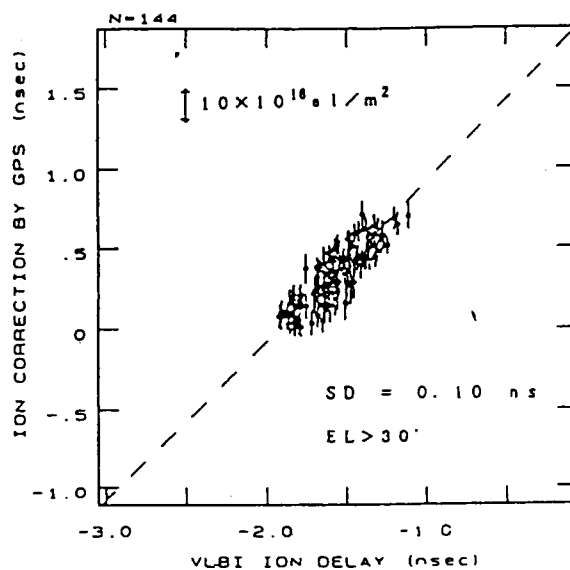


図2 電離層補正の比較

#### (4) 高安定位相校正信号の開発

当所はVLBIの心臓部分の一つである位相校正装置の開発を行い、良い性能を有することが確認できた。この位相校正装置を、この超小型VLBI局に取り付けた。従来の位相校正装置は温度環境に依存しやすく、その制御の難しさ疑似遅延の付加など大きな問題となっていた。特に、温度制御がない移動式の小型アンテナでは、こうした温度依存性が大きな障害になる。今回開発した新しい位相校正装置は、温度依存性が極めて少なく高安定な信号を供給する装置で、これまでの多くの問題を解決する画期的な装置である。この装置を取り付けることにより精密なVLBI測定ができるようになった。

#### 4. 考察

実際の各験潮所での海水面変動の長期変動は、験潮所の潮位測定誤差に、潮位データから長期変動を取り除く時の誤差を加えたものとなる。大きな誤差要因の一つである験潮所の位置変化の測定誤差を、実際に得られた精度から評価してみる。今回の位置の鉛直成分誤差3.6cmは、26mアンテナとの結果で、約3倍性能が良い34mアンテナを使用して24時間行えば、 $(3 \cdot 3 \cdot 2)^{1/2}$ 倍性能が良くなる。鉛直成分は約2cmと見積もることができる。実際は、長基線のため電離層補正誤差の0.1nsが付加されるので、 $2^{1/2}$ 倍悪くなる。そこで、3cmと考えるのが妥当である。もし、この精度 $\sigma$ で年2回N年間行くと、変化の精度は、 $(6 / (N \cdot (N^2 - 1)))^{1/2} \cdot \sigma$  cm/年となる。5年間で6mm/年、10年間で2mm/年となる。この誤差は、現在の海面上昇の推定変化とほぼ同等であり、5年以上の継続測定が必要である。

#### 5. まとめ

平成4年度で、精密な海水面変動モニターを行うために必要な超小型可搬型VLBI局の開発・整備を完了した。このアンテナを用いた本実験で実際の性能評価を行い、ほぼ理論的な評価に近い位置誤差で測定できることを実証した。これで、世界最小のVLBI局を用いた初めての海水面変動モニター専用の局が誕生したわけである。また、小型にするため1周波観測を採用したが、その場合問題となる電離層補正も、GPS衛星を用いた装置を利用して計算して補正が可能である。また、位相校正装置の温度依存性の問題も、新しい装置を開発し、それを取り付けることで、精密測地VLBI実験が常時可能となった。

#### 6. 今後の計画

今後は、装置開発よりも、移動実験を中心とした実際のデータ提供が重要である。そこで、今回開発した超小型VLBI局等を用いた基準点での移動実験を進める。こうした実験は、長期間データの蓄積が必要となり、最低5年以上の実験継続が望まれる。

## 研究発表の状況

- (1) 高橋幸雄、栗原則幸、金子明弘、村上 亮、米溪武次、松坂 茂、飛田幹男、”海水面変動モニター用2.4m小型アンテナの開発および試験観測”、日本測地学会第78回講演会、1992年10月
- (2) N. Kurihara, Y. Takahasi, A. Kaneko, M. Murakami, T. Kometani, S. Matuzaka, M. Tobita, ”2.4m mobile VLBI station for sea level monitoring system”, The International Workshop for Reference Frame Establishment and Technical Development in Space Geodesy (iRis'93 TOKYO)1993, January, Oral and Proceeding.
- (3) 高橋幸雄、栗原則幸、地球環境予測、解明のSTRATEGY 通信総合研究所の研究動向”、測地学と地球環境シンポジウム、1993年2月
- (4) 吉野泰造、高橋幸雄、栗原則幸、”郵政省通信総合研究所の計画”、月刊「地球」特集号、「測地学と地球環境」、1993年7月