

8. VLBI (長基線干渉計) 実験報告 その1

(2) 国内共同実験の成果

黒岩博司* 杉本裕二* 川口則幸* 吉野泰造* 近藤哲朗* 浜 真一* 国森裕生*
 高橋幸雄* 雨谷 純* 栗原則幸* 木内 等* 金子明弘* 日置幸介*
 高橋富士信*¹ 河野宣之*²
 馬場義男*³ 吉村好光*³ 金子英樹*³ 齊藤 隆*³ 松坂 茂*³ 新田 浩*³ 川口 保*³

1 はじめに

電波研究所は、K-3型VLBIシステムを完成させ、昨年から環太平洋日米共同実験及び北極圏を挟む国際的な共同実験を本格的に進めている⁽¹⁾が、これとは別に、建設省国土地理院が昭和56年度より進めてきた直径5mのアンテナをもつ可搬型VLBI装置の開発に技術協力を行ってきた。国土地理院のVLBI装置は、電波研究所鹿島支所の直径26mアンテナとの共同VLBI実験に使用することを前提として開発され、K-3 VLBIシステムのデータアクワイジションターミナル⁽²⁾及び自動運用ソフトウェア⁽³⁾を導入して、昭和58年度にほぼ全装置が完成した(但し水蒸気ラジオメータは昭和59年度に完成)⁽⁴⁾。

そこで、電波研究所及び国土地理院は、1984年7月、国土地理院のVLBI装置の性能及び機能確認と鹿島-筑波基線の精密決定等を目的として、26mアンテナと5mアンテナを結ぶ約55kmの基線(図1)において、我が国では初の測地を目的とするVLBI実験を実施した⁽⁵⁾。実験は順調に行われ、すべての電波源の観測において相関を検出するとともに、基線解析の結果は、地上測量で得られた値と、地上測量の誤差範囲と見なせる約11cmの差で一致した。これにより、電波研究所及び国土地理院の両VLBI装置は、国内精密測地に十分応用出来ることが明らかとなり、今後予定されている広域地殻変動の測定や測地

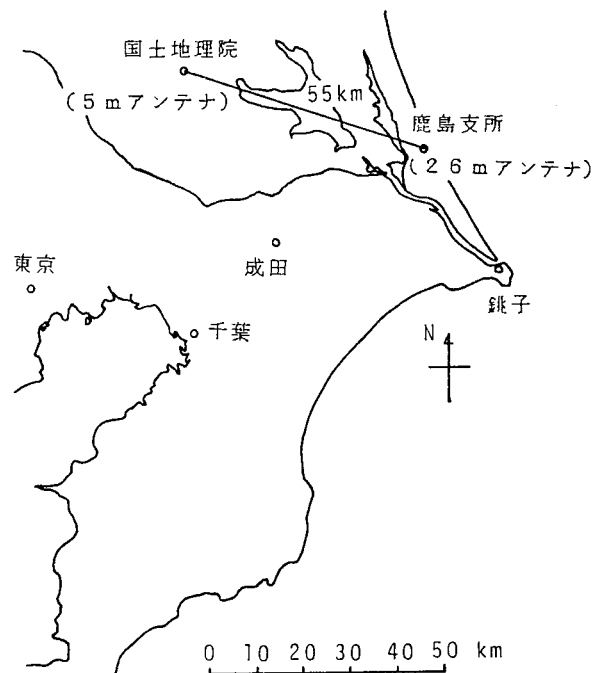


図1 鹿島-筑波基線

* 鹿島支所 *¹ 電波応用部 *² 標準測定部 *³ 国土地理院

網の規正を目的とする共同実験のための貴重な第一歩を踏み出すことが出来た。

本報告では、1984年7月に行った電波研究所と国土地理院の共同実験の結果を中心として、さらに電波研究所と東京天文台野辺山宇宙電波観測所とが進めている共同VLBI実験の結果の概要について報告する。

2 国土地理院との共同VLBI実験

国土地理院との共同実験は、各地に5mアンテナを移動させて26mアンテナとVLBI観測を行い、広域地殻変動の測定や測地網の規正（三角点をVLBIで精密決定することにより測地網全体の精度を上げること）を行うことを主な目的とするものである。今回報告する実験は、そのための基礎実験としてなされたものであり、VLBIで得られる基線長や2局の時刻差が正しいものであるかどうかを確認するため、VLBI実験と同時に地上測量、ポータブルクロックによる時刻比較も実施している。以下、この実験の結果並びに本年8月に実施した再現性のチェックのための2度目のVLBI実験結果の速報について述べる。

2・1 地上測量の結果

VLBIで求められる基線長と従来の測地技術である地上測量によって得られる基線長を比較するために、VLBI実験に先立ち、筑波局及び鹿島局の位置の測量が国土地理院により実施された（1983年10月～1984年2月）⁽⁶⁾。ここで、筑波局及び鹿島局の位置とは、それぞれ5mアンテナ及び26mアンテナのAz軸とEl軸の直交点（VLBIの測地基準点）のことである。

地上測量は、筑波局については、国土地理院構内の『筑波原点』及び『筑波山』を基準として、また鹿島局については、図2に示す三角点『平井』『筒井』及び26mアンテナ近傍に設置した金属標を基準として、それぞれ三角測量及び水準測量により行われた。なお、三角点の位置は、高精度なレーザ測距によって求められた値（学術成果値）を用いた。表1にこの地上測量の

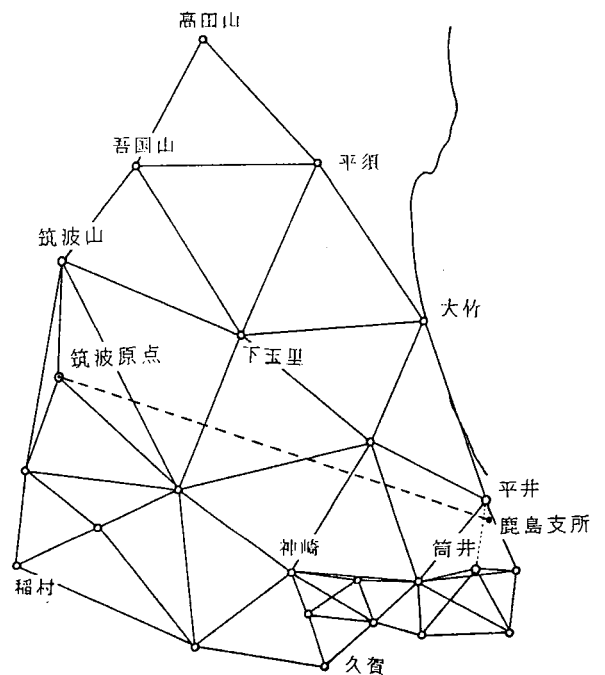


図2 地上測量に用いた三角点

結果を示す。筑波原点を固定点としているため、筑波局の緯度、経度の測量精度は極めて良いが、鹿島局の緯度、経度には地表面の長さにして、それぞれ約26cm、15cmの誤差がある。水準測量では、ジオイド（平均海水面と同じ重力ポテンシャル面）からの高さが測定されるが、地球中心を原点とする直交座標系で位置を表わすためには、ジオイドの基準楕円体からの高さ（ジオイド高）をこれに加える必要がある。ジオイド高は各種の方法により与えられているが、こ

表1 筑波局及び鹿島局の位置
(地上測量結果、日本測地座標系)

	筑波局	鹿島局
緯度(北緯)	36度 6分 8.8037 秒±0.7cm	35度57分 3.168秒±25.8cm
経度(東経)	140度 5分24.9426 秒±0.4cm	140度39分57.799秒±14.6cm
高さ*	28.973 m ±0.1cm	45.02 m ± 1 cm
高さ**	30.47 m	44.52 m

* ジオイドからの高さ(水準測量値)
**ベッセル楕円体からの高さ(水準測量値+ジオイド高)

ここでは天文観測データによる値、筑波局+1.5m、鹿島局-0.5mを採用した。なお、ジオイド高の誤差は1m程度と見積もられているが、それによる基線長の誤差は1cm以下であり、基線長の比較においてはこれを無視することが出来る⁽⁶⁾。

2・2 第一回VLBI実験

(1) 観測

表2に今回のVLBI実験で観測した電波星、観測の主要パラメータを示す。観測電波源は米国のPolaris実験で使用されていて位置の良くわかっているものを中心に16個選んだ。1回の観測時間は簡単のため、すべての星で一定(6分)とした。鹿島-筑波基線のような短距離基線では、両局のアンテナはほぼ同一の方

表2 第一回共同実験スケジュール

観測日時	1984年 7月18日10時~19日12時26分			
観測電波源 (16個)	OJ287	4C39.25	0733-174	4C67.05
	0235+164	NRA0150	0552+398	3C273B
	OQ208	3C345	0454+844	3C454.3
	2243-123	0106+013	1642+690	3C84
観測数	80			
観測時間	360 秒/ 観測			
受信周波数 (MHz)	Xバンド	8210.99, 8220.99, 8250.99, 8310.99		
	(8ch)	8420.99, 8500.99, 8550.99, 8570.99		
	Sバンド	2217.99, 2222.99, 2237.99, 2267.99		
	(6ch)	2292.99, 2302.99		
受信帯域幅	2MHz/ 1チャンネル			

向を指向するため、観測誤差が基線ベクトルの水平方向に対し偏らないようにスケジュールを組む必要がある。そのため、図3に示すように天空を平等に観測するような観測スケジュールをたてた。観測は、自動運用ソフトウェアKAOS⁽³⁾を用いて順調になされ、80個の観測データが20巻の磁気テープに取得された。

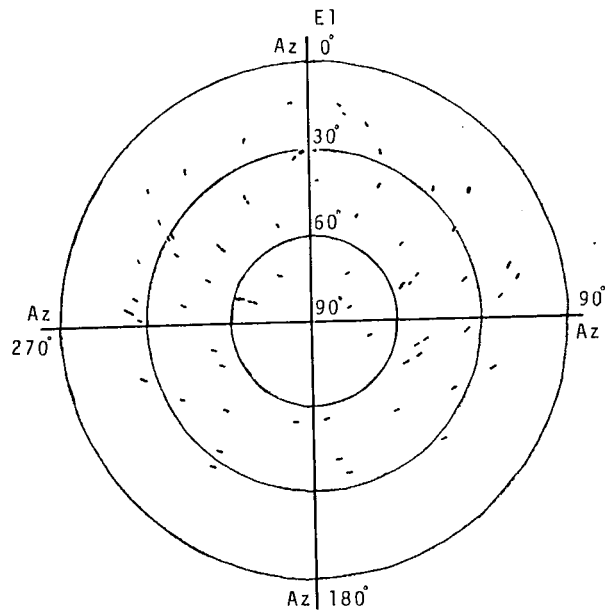


図3 観測 Az, E1 の分布

(2) 相関処理及び基線解析

観測データは、K-3型相関器⁽⁷⁾、相関器制御ソフトウェアKROSS⁽⁸⁾、バンド幅合成ソフトウェアKOMB⁽⁹⁾を用いて相関処理された。表3に、相関処理により得られたXバンドの相関振幅、遅延時間及び遅延時間変化率(遅延率)の分散を示す。

この表に示すように、すべての電波源について相関が検出され、また遅延時間の分散も、一部の電波源を除き、0.1nsec以下となった。このことから、データ取得は良好に行われたと判断される。

表3 Xバンド相関処理結果

相関処理によって得られた遅延時間、遅延率をもとに解析ソフトウェアKLEAR⁽¹⁰⁾、KAPRI⁽¹¹⁾を用いて鹿島-筑波基線の基線解析を行った。推定パラメータは、基線ベクトルの3成分(X, Y, Z)、2局のクロックオフセット差、クロックレート差、大気伝搬遅延差である。最小二乗推定を精度良く行うためには、観測値と予測値の残差を線形化するために高精度な予測値を必要とする。ここでは、地球回転パラメータにはBIHのFINALデータ、鹿島局の位置には日米シス

電波源	相関振幅 ($\times 10^{-2}$)	遅延時間の分散 (nsec)	遅延率の分散 (ps/s)
0J287	0.043	0.044	0.010
4C39.25	0.066	0.033	0.010
0733-174	0.017	0.116	0.026
4C67.05	0.018	0.112	0.024
0235+164	0.020	0.099	0.021
NRA0150	0.063	0.032	0.007
0552+398	0.067	0.028	0.067
3C273B	0.433	0.005	0.001
0Q208	0.033	0.062	0.014
3C345	0.139	0.016	0.004
0454+844	0.017	0.152	0.035
3C454.3	0.102	0.020	0.005
2243-123	0.026	0.082	0.019
0106+013	0.045	0.044	0.009
1642+690	0.012	0.168	0.040
3C84	0.777	0.002	0.000

テムレベル実験(1984年2月)で求められた値、筑波局の位置には今回の地上測量で得られた値、大気モデルにはMariniのモデルを用いた。クロックオフセット及びレートは、7月18日12時UT、16時UT付近に飛び(jump)が見られたので、01:01UT(実験スタート時刻)、12:00UT、18:00UTにエポックを設け3つの区間に分けて推定した。なお、地球回転パラメータとしては、BIHデータよりIRISデータの方が精度が良いとされているが、鹿島-筑波基線のような短距離基線では、地球回転パラメータに10ミリ秒程度の違いがあっても、基線ベクトルには余り影響しない。それゆえ、ここではBIHデータを用いて基線解析を行った。

解析には、80個の観測データの内の、信頼性が高い49個のデータを使用した。

2.3 地上測量値とVLBIの解析結果の比較

表4に地上測量値及びVLBIの基線解析結果をそれぞれベッセル座標系、VLBI座標系で示す。座標原点

が異なるため、局位置の(X,Y,Z)には大きな差が見られるが、基線長及び基線ベクトルの成分は、良く合っている。特に座標系に依存しない量である基線長は、VLBIと地上測量の差が9cmと地上測量の誤差±10cmの範囲で一致している。これにより電波研究所及び国土地理院の両VLBI装置を用いたVLBI観測によって国内精密測地が十分可能であることが分かる。なお、表4には、ジオイド高を含まな

表4 地上測量値とVLBI解析結果の比較 (単位 m)

		地上測量値(A) (ベッセル座標系)	VLBI解析結果(B) (VLBI座標系)	差* (B)-(A)
筑波局	X	-3957025.59 (-3957024.66)	-3957170.97	-145.38
	Y	3309729.84 (3309729.07)	3310237.04	507.20
	Z	3737028.76 (3737027.88)	3737709.84	681.08
鹿島局	X	-3997745.04 (-3997745.36)	-3997890.31**	-145.27
	Y	3276073.47 (3276073.73)	3278580.38**	506.91
	Z	3723437.25 (3723437.54)	3724119.10**	681.85
鹿島-筑波 基線ベクトル	X	40719.46 (40720.70±0.14)	40719.34±0.05	-0.12
	Y	33656.37 (33655.34±0.13)	33656.66±0.04	0.29
	Z	13591.51 (13590.34±0.21)	13590.74±0.05	-0.77
基線長	L	54548.64 (54548.65±0.10)	54548.55±0.01	-0.09

・地上測量値のカッコ内の値はジオイド高を0とした場合の値

* (A) は、ジオイド高を含む値

**鹿島局の位置は日米システムレベル実験(1984年2月)で求められたもの。地球回転パラメータとしてはBIHデータ使用

い地上測量値も示してあるが、2・1で述べたように基線長はジオイド高を含む場合とほぼ同じ値である。

ベッセル座標系とVLBI座標系は原点の平行移動の他、Z軸まわりでの回転もあるため、局位置や基線ベクトルの比較は、座標系を同じにして行う必要がある。このため表5に地上測量値をWGS72座標系を介してVLBI座標系に換算した値とVLBI結果の差を示した。なおベッセル座標系からVLBI座標系への変換については、文献(1)に示されているので、ここでは省略する。

表5からまず言えることは、局位置(X, Y, Z)のX成分及びZ成分について地上測量値とVLBIの結果に大きな差があることである(X成分で4.5m程度、Y成分で3~4m程度)。この差は、ジオイド高の誤差を含めても地上測量の誤差では説明出来ず、ベッセル座標系からWGS72座標系への変換また

はWGS72座標系からVLBI座標系への変換において生じた座標変換による誤差と考えられる。また、地上測量及びVLBIでの基線ベクトルの各成分が、地上測量の誤差と見なせる範囲でほぼ一致していることから、この座標変換の誤差は平行移動によるものと考えられる。なお、WGS72座標系からVLBI座標系への座標変換には長さの変換(スケール変換)が含まれているため、VLBI座標系に変換したときの基線長はベッセル座標系での値と若干異なる。表5に示すように、VLBI座標系で比較した場合の地上測量とVLBIでの基線長の差は、表4のときより長く、約11cmである。しかしこの場合でも、VLBIの結果は地上測量値と良く一致していると言える。

VLBIの結果の再現性のチェックのために、1985年8月に2回目の共同VLBI実験を鹿島-筑波基線で実施した。表6に、1回目及び2回目の実験の基線解析結果を示す。2回の実験の結果は誤差の範囲内で良く一致していることが分かる。但しZ成分の差は6cmとやや大きいのが、この原因については、現在検討中である。再現性の良い結果が得られたことは、VLBIの観測結果の信頼性が高いことを示しており、先

表5 VLBI座標系での比較(単位 m)

		地上測量値のVLBI座標系変換値	VLBI結果との差
筑波局	X	-3957175.54	4.52
	Y	3310236.57	0.46
	Z	3737706.98	2.90
鹿島局	X	-3997894.93	4.58
	Y	3276580.09	0.27
	Z	3724115.46	3.70
鹿島-筑波 基線ベクトル	X	40719.39	-0.05
	Y	33656.48	0.18
	Z	13591.52	-0.78
基線長	L	54548.66	-0.11

地上測量値はジオイド高含む

に述べた基線長の差が地上測量の誤差によることを裏づけるものと考えられる。

なお、1回目及び2回目のいずれの実験においても、大気伝搬遅延補正に用いたMariniモデルのパラメータ修正値（天頂方向の伝搬遅延）は、約0.01nsecと小さかった。これは鹿島-筑波基線のような近距離基線においては、大気の状態に余り差がないために伝搬遅延

表6 VLBI結果の再現性 鹿島-筑波基線 (単位 m)

		1984年 7月実験	1985年 8月実験	差
基線 ベクトル	X	40719.34±0.05	40719.35±0.03	0.01
	Y	33656.66±0.04	33656.66±0.03	0.00
	Z	13590.74±0.05	13590.68±0.03	-0.06
基線長	L	54548.55±0.01	54548.54±0.01	-0.01

の差が、モデルによって十分補正されたか、差そのものが小さかったことによるものと思われる。このため、基線解析や次に述べる時刻比較において、大気伝搬遅延の影響は無視出来る程小さいと考えられる。

2・4 時刻同期結果

VLBIによれば 1nsec以内の高精度な時刻同期が期待出来る。しかしそのためには、局内遅延時間の高精度な補正が必要である。そこで、VLBIによる時刻比較の確度を評価するため、1回目の鹿島-筑波基線のVLBI実験において、ポータブルクロック(PC)を用いた2局の原子標準の時刻同期をVLBIと同時に実施した。ここでは、その結果を述べる。

(1) 局内遅延時間の補正

VLBIの時刻基準は2局が使用している原子標準すなわち水素メーザである。両局の水素メーザ間の時刻差を τ_c 、基線ベクトルと観測電波星のベクトルから定まる幾何学的遅延時間を τ_g 、2局の局内遅延時間差を τ_i 、2局の伝搬遅延時間差を τ_p とすると、VLBIで観測される遅延時間 τ は、

$$\tau = \tau_g + \tau_c + \tau_i + \tau_p$$

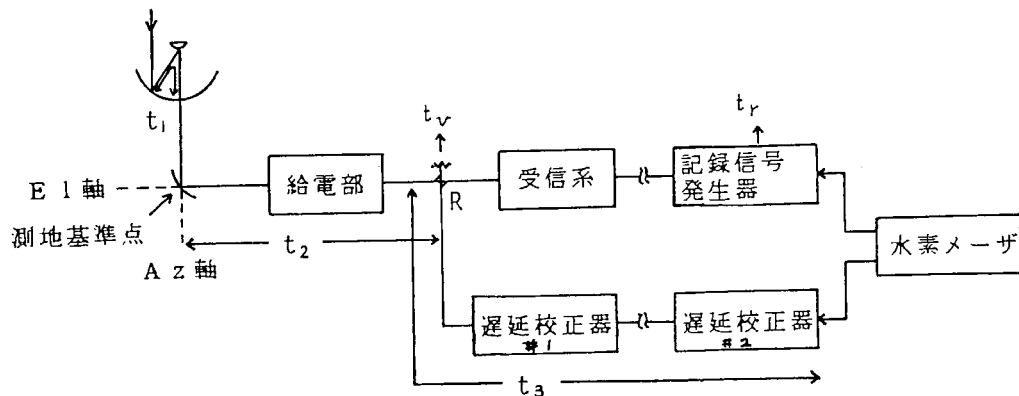
と表せる。従って時刻差 τ_c を求めるためには τ_g 、 τ_i 、 τ_p を補正する必要がある。今回の実験では、十分な観測量があるために τ_g は τ_c と分離して推定されており、また τ_p は2・3で述べたようにMariniモデルにより精度良く補正出来ていると考えられるので、必要な補正量は τ_i のみと考えて良い。

バンド幅合成によって得られる遅延時間は、遅延校正信号⁽²⁾の注入点以降の遅延

が差し引かれたものである。それゆえ、VLBIの処理結果得られる2局の時計の時刻差は、図4に示した時刻 t_v すなわち遅延校正信号の注入点を基準点とする時刻である。しかし、通常時刻比較は、原子周波数標準として用いられている水素メーザの時刻信号またはそれと同等な記録信号発生器の時刻信号（図4 t_r ）を用いて行われるため、遅延校正信号の注入点とそれらの時刻比較点の時刻差（遅延時間）を補正する必要がある。そのため、局内遅延時間の補正としては、図4に示すように、アンテナ開口面と測地基準点（Az-EI直交点）で生じる遅延 t_1 、測地基準点と遅延校正信号の注入点Rまでの遅延 t_2 、及び遅延校正信号の注入点と時刻比較点の時刻差 t_3 を考慮する必要がある、局内遅延時間の補正量は、

$$t_1 + t_2 - t_3$$

で与えられる。今回の時刻同期実験では、鹿島局、筑波局それぞれでこの局内遅延補正量を求め、この値の2局での差をVLBIの結果から差引くことにより、水素メーザ間の時刻差を求めた。



$$t_r = t_v - (t_1 + t_2 - t_3)$$

遅延校正器#1は、前置増幅器近傍に設置され位相校正信号を発生する

遅延校正器#2は、記録信号発生器近傍に設置され遅延校正器#1と#2の遅延時間の変動を測定する

図4 局内遅延時間の補正

(2) VLBIによる時刻比較とPCの比較

PCによる時刻比較は、実験前後に国土地理院のセシウム標準を鹿島局に移動して鹿島局にあるセシウム標準とPCの時刻差を測定して行った。VLBI実験中は鹿島局及び筑波局とも自局のセシウムと水素メーザ間の時刻差を測定しているため、この時刻差とPCによる鹿島局及び筑波局のセシウム標準間の時刻差から2局の水素メーザ間の時刻差を求めることが出来る。実験期間中の水素メーザの時刻の動きは一樣と考えられるので、2局の時刻差は測定したデータから一次式で近似した。

クロックパラメータの推定エポックにおけるVLBIとPCの時刻同期結果を表7に示す。VLBIとPCの差は実験スタート時の2nsecから、実験終了時には、約13nsと大きくなっている。これは、時間変化率がVLBIとPCで約0.19psec/sec異なっているためである。時間変化率がVLBIとPCで異なった原因については明確になっていないが、原因の一つとしてPCに使用

したセシウム標準のレートが大きかったための測定誤差が考えられている。

今回の実験では、VLBIで可能とされている1nsecの時刻同期精度の確認は出来なかったが、局内遅延時間を補正すれば現時点においても、少なくとも十数nsecの精度の時刻同期がVLBIによって行えることが示されたと考える。

表7 時刻同期結果の比較

		時刻差(nsec)		
時刻(1984年7月18日UT)		01:01	12:00	16:00
VLBI解析結果		357147.0	357231.4	357261.1
局内遅延補正後のVLBI解析結果(A)		357087.8	357172.2	357201.9
ポータブルクロックによる測定値(B)		357085.7	357161.5	357189.2
差 (B)-(A)		-2.1	-10.7	-12.7
		時間変化率(psec/sec)		
時刻(1984年7月18日UT)		01:01	12:00	16:00
VLBI解析結果(A)		2.11	2.09	2.12
ポータブルクロックによる測定値(B)		1.92		
差 (B)-(A)		-0.19	-0.17	-0.20

3 野辺山宇宙電波観測所との共同VLBI実験

電波研究所では、電波源の構造の測地VLBIに及ぼす影響を調べる等の目的のために、野辺山宇宙電波観測所と共同VLBI実験を行っている。1984年12月には、野辺山宇宙電波観測所に導入されたMARK III VLBIシステムが稼働した⁽¹³⁾ことにともない、野辺山宇宙電波観測所の直径45mアンテナと26mアンテナとで試験観測を、また1985年3月にはXバンド右旋偏波及び左旋偏波を受信し異なる偏波間での相関検出を目的とする24時間実験を行った。

ここでは、これらの実験の速報を述べる。なお、45mアンテナにはS、Xバンドの受信系が整備されていなかったため、これらの実験は、鹿島支所で開発したXバンド受信機を45mアンテナのフィード部に取り付けて行われている。

① 45mアンテナのVLBI座標系での位置の決定

$$X = -3871023.49\text{m} \pm 5\text{cm}, \quad Y = 3428106.80\text{m} \pm 5\text{cm}, \quad Z = 3724039.52\text{m} \pm 6\text{cm}$$

1984年の日米VLBI実験から求められた鹿島局の位置を基準として、Xバンド信号のみから決定した。電離層遅延はモデルによって補正した。

② 右旋及び左旋偏波間での相関検出

3C273bにおいて右旋及び左旋偏波間での相関が検出された。結果については、現在データ解析中であり、これについては、今後報告される予定である。

③ 大気のゆらぎの検出

45m及び26mという大型アンテナを用いたVLBIではS/Nを極めて大きくとれる。この特長を生かして、大気による位相変動を相関関数の位相（フリンジフェーズ）のパラッキから求めた。その結果、大気による位相変動がアラン分散で 1×10^{-13} 程度であることが分った⁽⁴⁾。

4 おわりに

1984年7月に実施した、電波研究所と国土地理院との共同VLBI実験の結果を中心に述べてきた。この実験の結果、VLBI及び地上測量による鹿島-筑波基線の長さは地上測量の誤差と見なせる約11cmの差（但し、地上測量値をVLBI座標系に変換したときのVLBI及び地上測量の差）で一致し、電波研究所と国土地理院の両VLBI装置が、国内精密測地に十分応用出来ることが示された。今後、両VLBI装置を用いて広域地殻変動の測定、測地網の規正等を目的とするVLBI実験を行っていく予定であるが、両VLBI装置は、十分その性能を発揮するものと期待される。なお、今回の地上測量には通常の光学測距を用いて行ったが、この理由は鹿島-筑波間を直接レーザ測距する方法では伝搬途中の大気補正の限界のために精度が期待出来なかったことによる。今回行った以上の精度でVLBIの結果の確認を行うために、当面可能な方法として、5mアンテナを短距離移動させてその移動量の測定比較を行うことを検討している。

今回の実験により、現在採用されているベッセル座標系からVLBI座標系への座標変換に平行移動と考えられる座標軸のずれがあることが分かった。詳細な分析には多くの観測データが必要であるが、より精度の良い座標変換を決めるための貴重なデータを取得出来たものとする。また今回の実験では、ポータブルクロックによる時刻同期とVLBIの時刻同期の比較も行い、電波研究所と国土地理院の両VLBI装置

により十数nsecの確度で時刻同期が行えることが示された。

野辺山宇宙電波観測所との共同VLBI実験では、45mアンテナの位置を決定し、大気の位相変動（位相シンチレーション）を検出した。電波星の偏波特性の解析はこれから解析が行われる予定であるが、野辺山宇宙電波観測所との共同実験では、45mアンテナという大口径アンテナの性能を生かして数多くの電波源について電波源の構造解析のためのVLBI観測を行っていく予定である。

国内共同VLBI実験はまだ始まったばかりであり、本格的な共同実験はこれからである。今後、観測によるデータの蓄積及び解析処理を行いつつ所期の目的を達成するよう共同VLBI実験を進めていきたい。

最後に、野辺山宇宙電波観測所およびVLBI本部の関係各位、水素メーザの運用、時刻同期で協力いただいた周波数・時刻比較研究室の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

（参考文献）

- (1) 近藤哲朗、他：『VLBI（長基線干渉計）実験報告 その1（1）日米共同実験の成果』、第69回電波研究所研究発表会、昭和60年11月
- (2) 木内 等、他：『K-3型VLBI観測システム バックエンド』、電波研季報、Vol.30、特1（K-3型超長基線電波干渉計（VLBI）システム開発特集号）、Nov.1984
- (3) 小園晋一、他：『K-3型VLBI観測システム 自動運用ソフトウェア（KAOS）』、電波研季報 Vol.30、特1（K-3型超長基線電波干渉計（VLBI）システム開発特集号）、Nov.1984
- (4) 馬場義男、他：『国土地理院におけるVLBI装置の開発状況について』、宇宙新技術を用いた地球回転運動の研究に関するシンポジウム集録、1984年 2月
- (5) 杉本裕二、他：『国内VLBIシステムレベル実験成果の概要』、宇宙新技術および相対論位置天文学シンポジウム集録、1984年12月
- (6) S.Matsuzaka, et al: "The first geodetic VLBI experiment in Japan---comparison of the results by VLBI with those by conventional method---"、宇宙新技術および相対論位置天文学シンポジウム集録、1984年12月
- (7) 杉本裕二、他：『K-3型相関・一次処理VLBI観測システム 相関処理装置』、電波研季報 Vol.30、特1（K-3型超長基線電波干渉計（VLBI）システム開発特集号）、Nov.1984
- (8) 国森裕生、他：『K-3型相関・一次処理VLBI観測システム 相関器制御・データ収集ソフトウェア』、電波研季報 Vol.30、特1（K-3型超長基線電波干渉計（VLBI）システム開発特集号）、Nov.1984
- (9) 近藤哲朗、他：『K-3型相関・一次処理VLBI観測システム バンド幅合成ソフトウェア』、電波研季報 Vol.30、特1（K-3型超長基線電波干渉計（VLBI）システム開発特集号）、Nov.1984

- (10)高橋富士信 ,他 : 『K-3 型解析ソフトウェア パラメータ推定ソフトウェア (KLEAR) 』
電波研季報 Vol.30、特 1 (K-3型超長基線電波干渉計(VLBI)システム開発特集号)
Nov.1984
- (11)高橋幸雄 ,他 : 『K-3 型解析ソフトウェア アプリオリモデル計算ソフトウェア(KAPRI)
』、電波研季報 Vol.30、特 1 (K-3型超長基線電波干渉計(VLBI)システム開発特集号)
Nov.1984
- (12)今江理人、他 : 『K-3 型VLBI観測システム遅延時間校正装置』、電波研季報、 Vol.30、
特 1 (K-3型超長基線電波干渉計(VLBI)システム開発特集号) ,Nov.1984
- (13) H.Hirabayashi: "VLBI Research in Nobeyama Radio Observatory "、宇宙新技術および
相対論位置天文学シンポジウム集録、1984年12月
- (14)川口則幸、他 : 『超長基線電波干渉計(VLBI)による高精度測位についてーアンテナ工学の
立場からの概説及び誤差解析』、信学技報、SANE85-5, 1985年5 月