

2003年度
VERAステータスレポート

国立天文台VERA推進室

第1版 2003年10月14日

目次

1	システム	3
1.1	アレイ	3
1.2	アンテナ	4
1.2.1	基本設計	4
1.2.2	駆動系	4
1.2.3	能率	4
1.2.4	ビームパターン、ビームサイズ	5
1.2.5	指向精度（ポインティング）	7
1.3	受信機	10
1.4	周波数変換部	10
1.5	デジタル信号処理部	11
1.6	データ記録系	11
1.7	相関処理	13
1.8	各種較正	13
1.8.1	時刻較正、バンドパス較正	13
1.8.2	温度較正	13
1.8.3	位相較正	13
1.9	測地	14
1.9.1	測地観測の観測周波数帯域	14
1.9.2	観測モード、バックエンド装置	14
1.9.3	局位置精度（2003年10月現在）	14
1.9.4	GPSとのコロケーション	14
1.9.5	プレート運動など	15
1.9.6	地球回転パラメータ	15
2	観測提案に際して	16
2.1	観測可能なモード	16
2.2	観測提案者に要求される条件	16
2.3	観測天体に関する制限	16
2.4	分解能	16
2.5	感度	17
2.6	観測天体に関する情報	17
2.7	野辺山 45m、鹿島 34m の参加について	18
2.8	観測データの公開について	19
3	観測の実行とデータ解析	20
3.1	観測の準備	20
3.2	観測、相関処理	20
3.3	データ解析	20

はじめに

VERA 計画は、世界に先駆ける位相補償 VLBI 観測装置として 10 余年間構想を練ってきた観測システムです。VLBI による専用の位相補償観測装置として飛躍的に高精度なアストロメトリー観測を可能にし、多くの科学的な成果が期待されています。1998 年度補正予算により調査費的な予算が認められ、1999 年度補正予算によって水沢局・入来局・小笠原局の 3 局の予算が認められ、2000 年度より建設が開始されました。さらに 2000 年度の補正予算によって石垣島局の建設予算も認められ、2001 年度末には VERA 4 局の建設が完了しました。その後は試験観測を積み上げて来ており、2002 年 2 月には初フリンジを検出し、同 10 月には 1Gbps 記録系でのフリンジも検出に成功しています。この間、VERA プロジェクトチームは一丸となり、アンテナシステムの立ち上げ・VLBI 観測システムの立ち上げを行って来ており、その甲斐あって 2003 年度より試験的共同利用を開始することが可能になりました。試験的共同利用ということで、試験観測による観測システム性能の確認は十分に行われていません。特に位相補償性能については不十分ですが、共同利用観測によってさらに性能の確認を進める一方で、科学的な成果を上げて行きたいと思います。本共同利用観測は、従来の J-Net 観測の拡張という意味もあり、VERA 4 局（水沢局・入来局・小笠原局・石垣島局）に加えて野辺山 45m 鏡、通信総合研究所鹿島 34m 鏡も参加します。国内での VLBI 観測網はこれによってマッピング性能も大幅に向上します。VERA の共同利用の開始によって、日本における VLBI によるサイエンスがさらに大きく発展することと確信しております。

VERA 統括責任者

小林 秀行

1 システム

1.1 アレイ

VERAのアレイは、水沢、入来、小笠原および石垣島の4つの観測局からなる。VERAの4観測局の位置を表1にまとめる。全6基線のうち、最短基線は入来-石垣島間の1019km、最長基線は水沢-石垣島間の2270kmである。全4局で観測した際に得られるUVカバレッジの例を図1に示す。また、最長基線長から期待される最高分解能はK帯(22GHz)で約1.2 mas、Q帯(43GHz)で約0.6 masである。

表 1: VERA 観測局位置

局名	東経 (° ' ")	北緯 (° ' ")	楕円体高 (m)	標高 (m)
水沢	141 07 57.199	39 08 00.726	116.5	75.7
入来	130 26 23.593	31 44 52.437	573.6	541.6
小笠原	142 12 59.809	27 05 30.487	273.2	223.0
石垣島	124 10 15.578	24 24 43.834	65.1	38.5

局名	X (m)	Y (m)	Z (m)	IVS2 ^a	IVS8 ^b	CDP ^c
水沢	-3857241.8552	3108784.8509	4003900.5858	Vm	VERAMZSW	7362
入来	-3521719.5683	4132174.7532	3336994.3259	Vr	VERAIRIK	7364
小笠原	-4491068.8943	3481544.8287	2887399.6225	Vo	VERAOGSW	7363
石垣島	-3263994.6477	4808056.3570	2619949.3953	Vs	VERAISGK	7365

a: IVS 2文字コード b: IVS 8文字コード

c: CDP(NASA Crustal Dynamics Project) コード

座標値はすべて2003.0年元期。座標値の精度については、1.9 測地の項を参照のこと。

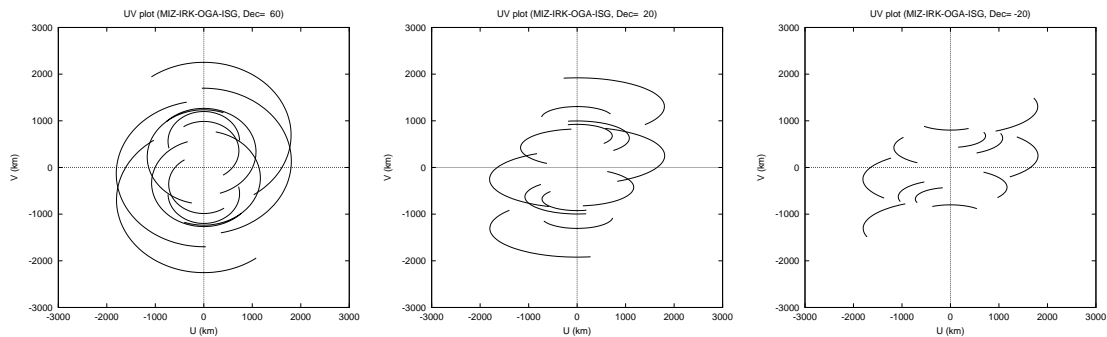


図 1: VERA4局で観測した時のUVカバレッジ(±3000 km)。全局ともEL20度以上で観測したとして計算。左から、天体の赤緯60°、20°、-20°。

1.2 アンテナ

1.2.1 基本設計

VERAのアンテナは4局とも同一設計であり、主鏡部は開口直径20m、焦点距離6m、副鏡は直径2.6mで、焦点はカセグレン焦点、マウントはAZ-EL方式である。カセグレン焦点部には2ビーム受信機構が設置されており、2つの天体を同時に観測することができる。2ビーム観測用の受信機は駆動可能な2つのプラットフォーム上にそれぞれ設置されており、2天体の離角を $0.32^\circ \sim 2.2^\circ$ の間で自由に設定可能で、視野回転機構(Field Rotater, FR)により2ビーム受信部全体が回転することで2天体同時追尾を行う。

また、単一ビーム観測の際には、2ビーム受信機のうちどちらか一つをアンテナ光軸上(離角オフセット0度)に設置して観測することが可能である。

1.2.2 駆動系

アンテナの駆動性能について、駆動速度、加速度、追尾可能範囲等を表2にまとめる。

表 2: VERA アンテナ駆動性能

駆動軸	追尾可能範囲	最大駆動速度	最大駆動加速度
AZ*	$-90^\circ \sim 450^\circ$	$2.1^\circ/\text{sec}$	$2.1^\circ/\text{sec}^2$
EL	$5^\circ \sim 85^\circ$	$2.1^\circ/\text{sec}$	$2.1^\circ/\text{sec}^2$
FR*	$-270^\circ \sim 270^\circ$	$3.1^\circ/\text{sec}$	$3.1^\circ/\text{sec}^2$

* AZ角は北が 0° 、東が 90° 。FR角は、ビーム1が天側、ビーム2が地側に来るときが 0° で、天体からアンテナを見たときに時計回り方向が正。

1.2.3 能率

VERAの各局の開口能率を表3に示す。これらの値はいずれも木星の観測から得られたもので、常温ダミー(R-Sky)およびsecZ法による温度較正を用いてアンテナ温度 T_a^* を計測し、木星の輝度温度を160K(Kバンド)、170K(Qバンド)と仮定して計算した。各局とも、概ね設計値通りの値が得られている。また、2ビーム駆動機構により受信機が光軸中心からずれた場合の開口能率の離角依存性についても測定されている。その結果は図2に示すように、Kバンドでは能率はほぼ離角によらず一定であるが、Qバンド帯では離角0度付近と2度付近で能率が10-20%程度下がる傾向が確認されている。

表 3: VERA 20m アンテナの開口能率 (離角 0.0 度)

局名	帯域	観測日	η_A (%)
水沢	K	Oct.2003	50.5 ± 1.8
	Q	Oct.2003	47.2 ± 5.8
入来	K	Oct.2003	54.0 ± 2.5
	Q	Oct.2003	45.8 ± 0.9
小笠原	K	Nov.2002-Feb.2003	44.8 ± 3.8
	Q	Nov.2002-Feb.2003	43.0 ± 2.5
石垣島	K	Sep.2002	42.5 ± 1.6
	Q	Sep.2002	40.4 ± 0.6

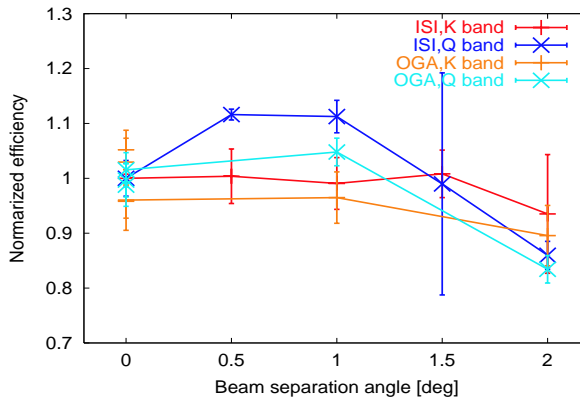


図 2: 小笠原局、石垣島局における、開口能率の離角依存性。離角 0.0 度の開口能率で規格化した値。Q バンドでは、離角 0.5-1.5 度で離角 0.0 度よりも能率が高くなっている。

1.2.4 ビームパターン、ビームサイズ

VERA20 m アンテナの K バンドでのビームパターンの例を図 3 に示す。サイドローブレベルは、小笠原局の 2.0 度離角でのビームパターンで -10dB という高い値が確認されているが、その他は概ね -15dB 程度となっている。また、サイドローブには非対称な構造が見られるものの、メインビームの形は離角によらず対称的なガウシアンになっている。表 4 に、ポインティング観測時の十字スキャンで得られたビームサイズ (HPBW) を K、Q バンドともまとめる。この測定でもビームサイズは離角に依存せず、ほぼ一定値となっている。

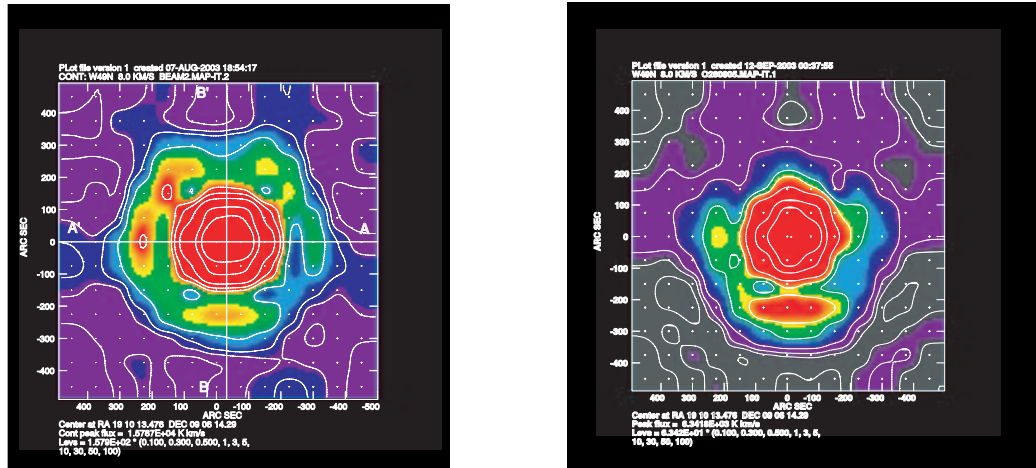


図 3: 入来局、K バンド受信機 A、離角 0.0 度のビームパターン（左）と、小笠原局、K バンド受信機 A、離角 2.0 度のビームパターン（右）。いずれも、W49N の水メーザーを 75" 角グリッドでマッピング。

表 4: アンテナのポインティング観測で得られたビームサイズ

局名	帯域	HPBW[AZ]	HPBW[EL]	データ数
		(arcsec)	(arcsec)	
水沢	K	148.14±8.36	146.65±9.01	478
入来	K	148.10±12.66	148.33±12.64	840
小笠原	K	152.87±9.24	152.38±9.28	1725
石垣島	K	153.09±11.53	153.70±12.23	871
水沢	Q	74.48±7.66	70.09±9.55	183
入来	Q	78.41±7.40	77.02±7.52	562
小笠原	Q	77.72±7.05	76.79±7.53	312
石垣島	Q	78.77±8.32	77.08±8.47	246

誤差は標準偏差 (1σ)

1.2.5 指向精度（ポインティング）

VERA の 20m アンテナは、プロジェクト内で指向精度確認のポインティング観測とアンテナ器差補正が行われている。強度が強かつ位置が正確（～数秒角の精度）なレーザー源を AZ、EL 3 点ずつの十字スキャンで観測し、全方位でのポインティングオフセットの測定を行っている。測定されたポインティングオフセットを、以下のモデルによってフィッティングして器差パラメータを決定し、それを反映して指向精度を向上させている。

$$\begin{aligned}\delta Az = & A_1 \sin(Az) \sin(El) - A_2 \cos(Az) \sin(El) + A_3 \sin(El) + A_4 \cos(El) + A_5 + \\ & A_9 \sin(2Az) \sin(El) - A_{10} \cos(2Az) \sin(El) + \\ & A_{11} \sin(2Az) \cos(El) + A_{12} \cos(2Az) \cos(El)\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}\delta El = & A_1 \cos(Az) + A_2 \sin(Az) + A_6 + A_7 \cos(El) + A_8 \sin(El) + \\ & A_9 \cos(2Az) + A_{10} \sin(2Az) + \\ & A_{13} \left[\frac{El - 40}{30} \right] + A_{14} \left[\frac{El - 40}{30} \right]^2\end{aligned}\quad (2)$$

上式で、 A_1 - A_8 は標準的な経緯台方式の望遠鏡の器差パラメータ、 A_9 - A_{12} はポインティングオフセットに対して $2AZ$ の周期性を持つ高次の項、 A_{13} - A_{14} は重力変形に対して三角関数よりパラメータの分離度が高く、かつ低仰角でのポインティングオフセットの発散をもフィッティングできる多項式の経験的な項である。VERA では、 A_1 - A_6 、 A_9 - A_{14} の 12 パラメータで器差補正を行う。

上式を用いて機差補正を行った後の指向誤差例を入来局の場合について図 4 に示す。また、器差補正後の各局の指向精度を表 5 にまとめる。各局ごとに K バンド受信機 A を中心に設置して観測を行い、器差パラメータを決定し、その結果を用いて K バンド受信機 A と B、Q バンド受信機 A と B 全てで同様の補正を行い、バンドごと（K バンド受信機 A + B、Q バンド受信機 A + B）にポインティングオフセットの標準偏差をまとめてある。全ての受信機で、同じ器差パラメータを用いても 10 秒角程度の指向精度が保障されているため、観測者が観測直前にポインティング観測により補正を行う必要はない。

ただし、離角が 0 度以外で観測を行う場合には図 5 のように FR 角に対して三角関数的なふるまいをするオフセットが最大で 15" 程度生じる場合がある。これは、2 ビーム駆動機構の離角が理想値よりも開きすぎるためと考えられており、来年度以降補正される予定である。

表 5: VERA 20m アンテナの指向精度

局名	帯域	観測日	σ^a (arcsec)	σ_{AZ}^b (arcsec)	σ_{EL}^c (arcsec)
水沢	K	Aug-Sep.2003	6.206	6.039	6.369
	Q	Aug-Sep.2003	5.473	4.857	6.026
入来	K	Aug-Sep.2003	8.915	7.674	10.003
	Q	Aug-Sep.2003	8.170	5.377	10.226
小笠原	K	Aug-Sep.2003	8.813	7.941	9.606
	Q	Aug-Sep.2003	***	***	***
石垣島	K	Aug-Sep.2003	10.163	8.074	11.890
	Q	Aug-Sep.2003	10.897	12.723	8.679

a :標準偏差、 b :AZ オフセット標準偏差、 c :EL オフセット標準偏差。

小笠原局 Q 帯については現在測定中。

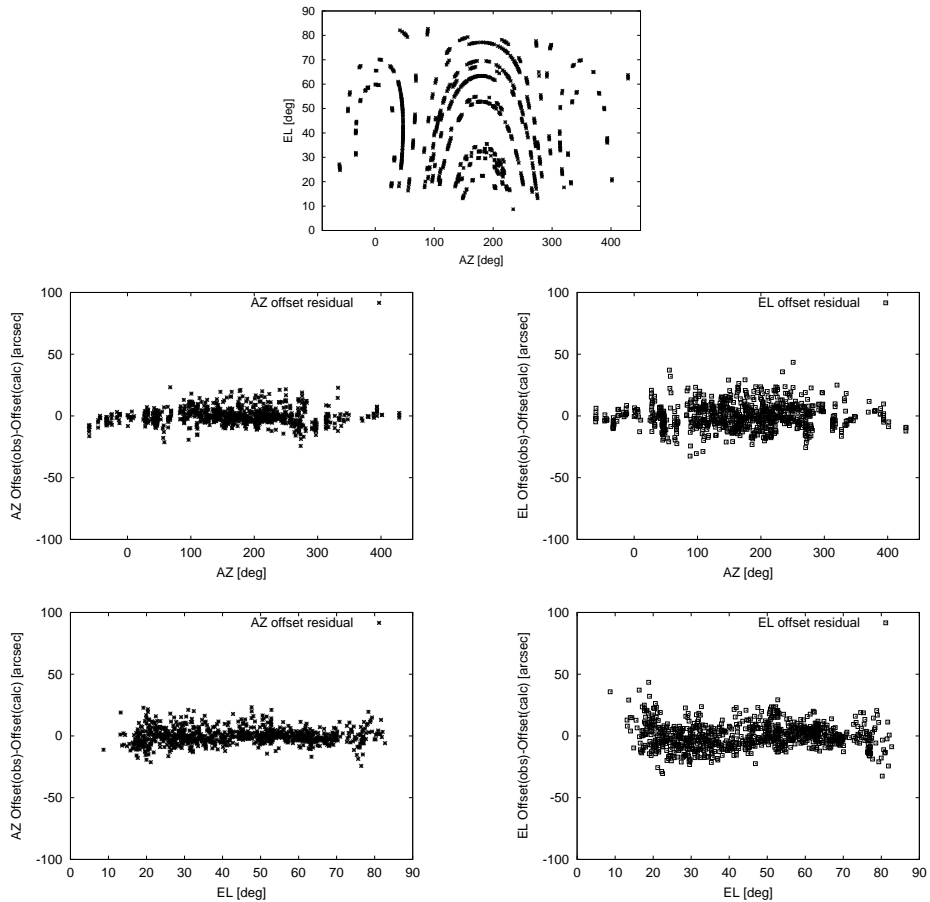


図 4: 入来局での器差補正後の指向誤差。上段は観測天体の AZ-EL 分布、中段は AZ 角に対する AZ、EL 角残差、下段は EL 角に対する AZ、EL 角残差。

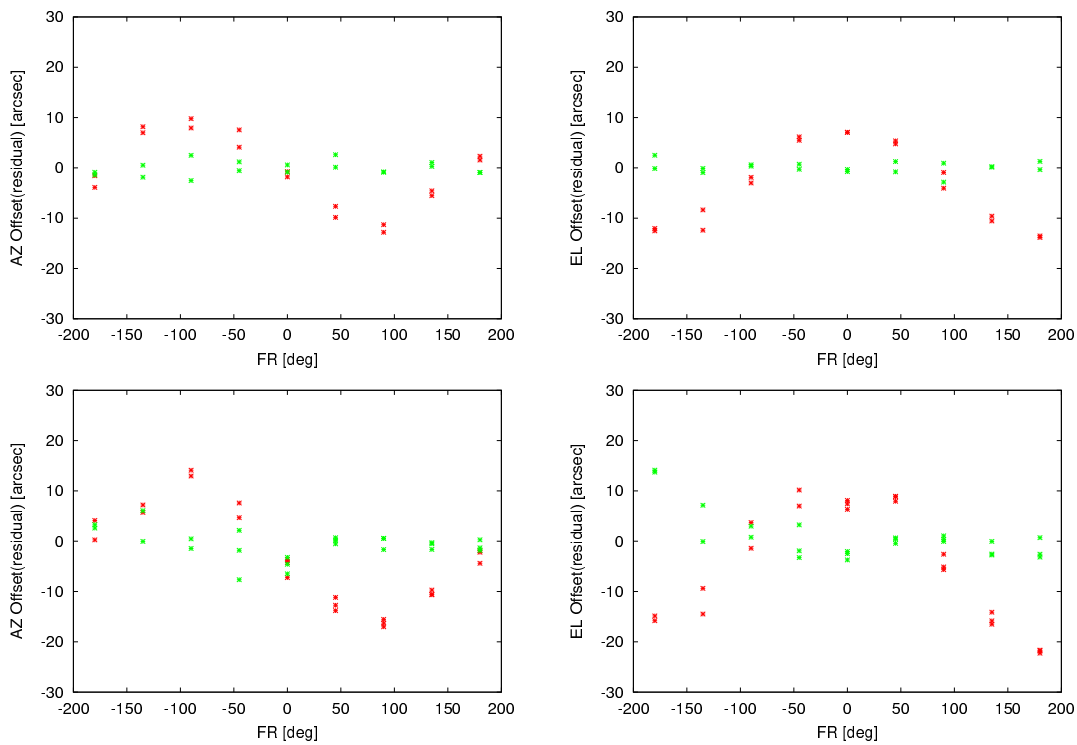


図 5: 2 ビーム離角 1.0 度および 2.0 度設定時の入来局 K バンドポインティングオフセットの FR 角依存性。赤の点が離角オフセットがある時の追尾誤差で、緑は基準となる離角オフセット角 0 度の追尾誤差を示す。(上) 離角 1.0 度、(下) 離角 2.0 度でそれぞれ左が AZ 角、右が EL 角。

1.3 受信機

VERAの各アンテナには4バンド(S、X、K、Q)の受信機が搭載されており、このうちK(22GHz帯)、Q(43GHz帯)がVERAの主観測帯域であり、両帯域とも2ビーム同時観測が可能である(K、Q混合の同時観測は不可)。S/X(2GHz帯、8GHz帯)は測地観測用として各局に1式ずつ配備されており、共同利用では公開されない。表6にK帯、Q帯の受信機性能についてまとめる。また、図6に帯域内の雑音温度特性の例を示す。

表 6: VERA 受信機性能

帯域	受信可能周波数帯	受信機雑音温度	受信偏波
K	21.5 - 23.8 GHz	30 ~ 50 K	左旋円偏波
Q	42.5 - 44.5 GHz	120 ~ 200 K	左旋円偏波

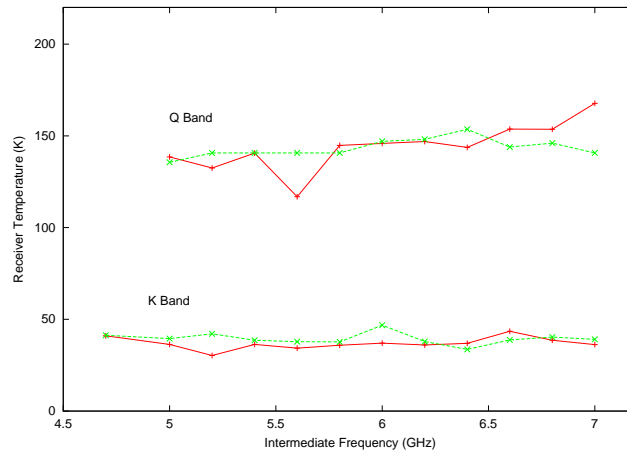


図 6: VERA 受信機の帯域内雑音温度特性例 (入来局)。赤がビーム 1、緑がビーム 2 で、温度が高い方が Q バンド。周波数は IF 帯域の周波数で表示しており、K バンドでは 16.8GHz を、Q バンドでは 37.5GHz をそれぞれ足すと観測周波数に変換される。

1.4 周波数変換部

受信機で増幅された信号は第 1 局部発信機から出る基準信号と混ぜ合わされることにより、4.7GHz ~ 7GHz の中間周波数帯域 (Intermediate Frequency、IF) へと変換される。この第 1 局部発信機は周波数固定であり、K バンドでは 16.8GHz、Q バンドでは 37.5GHz である。IF は各ビームごとに 1 チャンネルずつある。IF 出力は、ベースバンド変換部シンセサイザからの基準信号と混ぜ合わされてベースバンド周波数 (0-512MHz) に変換される。このシンセサイザは 2 ビーム間で共通であり、周波数は 4GHz ~ 7GHz の間で可変である。地球回転によるドップラー効果

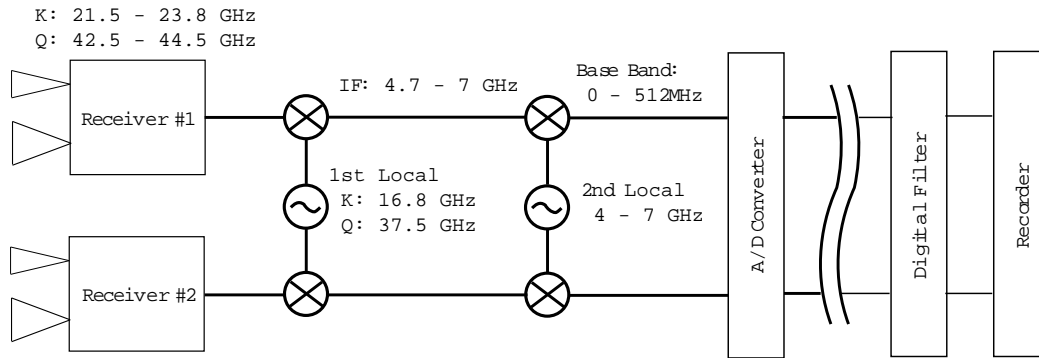


図 7: VERA の周波数変換部の概念図

を補正する周波数追尾は観測後相関処理時に行われ、観測中はベースバンドシンセサイザーの周波数は一定値に保たれる。図 7 に周波数変換部の概念図をまとめる。

1.5 デジタル信号処理部

ベースバンド出力 (0 ~ 512MHz x 2 beam) はアンテナ上部機器室内に設置された A/D 変換器によってデジタル化され、光ファイバーを通じて各局観測棟のデジタル信号処理装置に転送される。デジタル化の際の量子化ビット数は 2 ビット、帯域幅は 512MHz であり、各ビームあたり 2048Mbps (Mega bit per second) のレートで信号が伝送される。

一方、後述するように記録系の最大レートは 2 ビーム合わせて 1024Mbps であるので、A/D 変換器によって量子化された信号をフィルタリングして必要な周波数帯のみを切り出して記録する必要がある。この帯域の切り出しはデジタルフィルターによって行われ、比較的自由にチャンネル (CH) 数や帯域幅を設定できる。今回の試験的共同利用で使用可能なモードは、表 7 に示す 3 モードである。

1.6 データ記録系

データ記録系には 2 種類のレコーダーが存在し、VSOP 用に開発され J-Net でも使われてきた DIR1000M (記録速度 128Mbps) と、VERA 用に新たに開発された DIR2000 (記録速度 1024Mbps) が使用可能である。ともに 2 ビットサンプリングで記録されるので、記録可能な総帯域幅は DIR1000 系が 32MHz、DIR2000 系が 256MHz である。テープ 1 巻あたりの記録時間は DIR1000 系では 2 時間であり、DIR2000 系では 80 分である。なお、デジタルフィルターの観測モードによっては (VERA7、VERA10 等)、DIR1000 系と DIR2000 系に同時記録することも可能である。

表 7: VERA デジタルフィルタモード

モード名	レート	総 CH 数	各 CH 帯域幅	CH 番号	ビーム	帯域
VERA1	1024Mbps	2	128 MHz	1	A	256 - 384 MHz
				2	B	256 - 384 MHz
VERA7	1024Mbps	16	16 MHz	1	A	256 - 272 MHz
				2	B	128 - 144 MHz
				3	B	144 - 160 MHz
				4	B	160 - 176 MHz
				5	B	176 - 192 MHz
				6	B	192 - 208 MHz
				7	B	208 - 224 MHz
				8	B	224 - 240 MHz
				9	B	240 - 256 MHz
				10	B	256 - 272 MHz
				11	B	272 - 288 MHz
				12	B	288 - 304 MHz
				13	B	304 - 320 MHz
				14	B	320 - 336 MHz
				15	B	336 - 352 MHz
				16	B	352 - 368 MHz
VERA10	1024Mbps	16	16 MHz	1	A	256 - 272 MHz
				2	B	256 - 272 MHz
				3	A	272 - 288 MHz
				4	B	272 - 288 MHz
				5	A	288 - 304 MHz
				6	B	288 - 304 MHz
				7	A	304 - 320 MHz
				8	B	304 - 320 MHz
				9	A	320 - 336 MHz
				10	B	320 - 336 MHz
				11	A	336 - 352 MHz
				12	B	336 - 352 MHz
				13	A	352 - 368 MHz
				14	B	352 - 368 MHz
				15	A	368 - 384 MHz
				16	B	368 - 384 MHz

VERA7、10 に関しては任意の 2CH を DIR1000 系に同時記録可能。

1.7 相関処理

相関処理は、国立天文台三鷹キャンパスにある FX 相関器で行われる。同時に相関処理できる最大局数は、DIR2000 系記録の場合 5 局、DIR1000 系記録の場合 10 局であり、VERA4 局の DIR2000 系記録、あるいは VERA + 野辺山 45m + 鹿島 34m の DIR1000 系記録のどちらの観測モードも 1 回の相関処理で相関可能である。ただし、DIR1000 系と 2000 系の混合相関はできない。データ出力時の 1 局あたりの最大分光点数は、DIR1000 系の場合全チャンネル合計で 1024 点、DIR2000 系の場合 2 ビームの全チャンネル合計で 2048 点である。また、相関器出力の時間分解能は通常 1 秒程度に設定されるが、最大 25 ミリ秒までの高い時間分解能も可能である（但し相関器出力データ量が膨大になる）。

1.8 各種較正

1.8.1 時刻較正、バンドパス較正

各局の時刻同期は、周波数標準装置と GPS との時刻比較により 0.1 マイクロ秒の精度で得られている。この精度以下の時刻オフセット較正やクロックレート（時刻オフセットの時間変化率）較正は、観測中に少なくとも 1 回、位置が正確に知られている明るい連続波源を観測することで行われる。また、システムの周波数特性の較正（バンドパス較正）も明るい連続波源の観測によって行われる。

1.8.2 温度較正

VERA の各局各ビームには常温ダミーのチョッパーホイールが搭載されており、各スキャンが始まる前に R-Sky 法によるシステム雑音温度計測が可能である。さらに、天体観測中はスカイレベルを常にモニターしているので、スキャン前後の常温ダミーのレベルを内挿してやることにより、常時システム雑音を得ることができる。

1.8.3 位相較正

2 ビーム間で発生する機械的位相差（光路長差）を補正するために、2 ビーム観測中は主鏡面上に搭載された較正雑音源が点灯され、2 ビーム間での位相が常時モニターされる。現在、位相較正の精度については検証中であり、総合的な較正精度については未定である。なお、雑音源の点灯によりシステム雑音温度は 22GHz 帯で 7K 程度、43GHz 帯で 15K 程度増加する。

1.9 測地

基線長を決める測地観測は VERA のプロジェクト観測として行われ、その最新の結果が相関処理の際に利用される。VERA 局間の相対的な基線長決定は VERA の 4 局で閉じた観測として行われ、国際座標系との結合は、国土地理院の測地観測に水沢局が参加することで行われる。測地システムの詳細は以下の通りである。

1.9.1 測地観測の観測周波数帯域

測地観測は S/X 帯 (2GHz/8GHz) で行われ、その周波数帯域は S 帯が 2210~2330 MHz、X 帯が 8180~8600 MHz である。S 帯において、周波数を上方に移動した観測 (2230~2260MHz) には対応していない。

1.9.2 観測モード、バックエンド装置

水沢局のみ K-4 バックエンドを有し、主として国土地理院との測地観測、国内互換観測に使用される。その主な性能は、帯域幅 4MHz、量子化ビット数 1bit、16 チャンネル (トータル 128Mbps 記録) であり、チャンネル割り当ては、S 帯 6ch (8ch のうち 6ch を使用)、X 帯 8ch となっている。

また、VERA 網専用の測地観測は VERA 用のデジタルデータ処理システムを用いて行われ、その主な性能としては、帯域幅 16MHz、量子化ビット数 2bit、16 チャンネル (トータル 1024Mbps 記録) であり、S 帯 4ch、X 帯 12ch とした S/X 帯での観測および、K 帯 16ch (32MHz 間隔で 16ch すべて K 帯) での観測も可能である。また、RISE 観測用に RISE/SELENE 専用ターミナルが RISE グループにより準備される予定である。

1.9.3 局位置精度 (2003 年 10 月現在)

水沢局については、ITRF 系で 10~20mm 程度の精度 (解の推定誤差の 2σ として) を達成している。また、現在国土地理院と水沢局間の測地観測を月 1 回程度で繰り返し実施しているので、年度末には ITRF 系で 10mm の精度には達するものと思われる。

また、入来局、小笠原局、石垣島局では GPS による決定で、推定 40mm 程度の精度が得られているが、VLBI 自身による位置決定は、まだ行われていない。

1.9.4 GPS とのコロケーション

VERA 各局では GPS の連続観測を行っている。30 秒サンプリングを行っているが、技術的には離島局も含め 1 秒サンプリングも可能である。観測データは水沢局

にネットワーク経由で自動的に収集している。水素メーザ、ないし、セシウム原子時計による外部 5MHz 基準信号を使用している。GPS アンテナの位置は、データの蓄積により mm 台の精度が出ていると思われるが、庁舎内での局所的な座標結合の精度（特に上下位置関係）が悪く、入来局、小笠原局、石垣島局の座標精度は 40mm 程度と見積もられている。

1.9.5 プレート運動など

プレート運動の速度は、最大 70mm/年 に達する。また、地震によるステップ的な変位もある。たとえば 5 月 26 日の宮城沖地震では水沢局は 15~20mm の変位が生じている。座標の精度として 1mm~10mm の精度が必要な場合は、これらの変位を適切に取り扱う必要がある。GPS による半年~2 年のデータで、ある程度の精度でプレート運動の実測値が得られている。比較データとしては、水沢局：水沢 10m アンテナ、入来局：国土地理院始良局、小笠原局：国土地理院父島局、水路部可搬型 SLR、石垣島局：水路部可搬型 SLR などの実測データがある。

1.9.6 地球回転パラメータ

VERA では、地球回転パラメータ (X 、 Y 、 $\Delta UT1$ 、 $\Delta\phi$ 、 $\Delta\epsilon$) をルーチン的には決定しない。IERS 中央局から提供される地球回転パラメータを、既知のデータとして解析に用いる。なお、IERS Bulletin A の Daily の解の精度は、 X 、 Y で 0.1mas 程度、 $UT1$ で 0.02ms 程度、10 日先の予測値で X 、 Y は 3.0mas 程度、 $UT1$ で 1.6 ms 秒程度である。

2 観測提案に際して

2.1 観測可能なモード

今回の試験的共同利用において公開される周波数帯は Kバンド (22GHz 帯) である。2 ビーム観測モードは公開されるが、総合的な位置天文精度に関する性能評価は現在行われている最中であり、未定である。そのため 2 ビーム観測モードを用いる観測提案は、2 天体間の相対位置計測ではなく、2 ビームを用いた位相補償イメージングを主眼とする観測提案が推奨される。また、VERA4 局に、国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45m 望遠鏡および通信総合研究所鹿島 34m 望遠鏡を加えた全 6 局の観測モードも公開される (ただし、野辺山 45m および鹿島 34m は単一ビームモードのみである)。

2.2 観測提案者に要求される条件

2003 年度の共同利用は、VERA として初めての共同利用であり、観測可能なモードに制限の付いた、試験的共同利用という位置付けにある。現在 VERA のシステムは立上げ段階にあり、観測提案者は装置や解析ソフト等に関するトラブルについて、VERA グループと共にリスクを負うことを要求される。このため、観測提案を行うことができる主観測提案者 (PI) は、国内研究機関に所属する研究者に限られる。さらに、観測提案者と VERA グループ間での問題認識やシステムへのフィードバックを円滑に行えるように、観測提案者は観測採択後、少なくとも 1 名の VERA グループメンバーを共同研究者として入れることを要求される。

2.3 観測天体に関する制限

以下は、VERA で現在進められているプロジェクト観測であり、このプロジェクトに含まれる観測天体については、今回の共同利用で観測することはできない。各プロジェクトで観測を予定している全天体のリストは、別途 VERA のホームページ上にて公開される。

- Sgr A* の距離測定 (主担当者: 小林)
- 近傍ミラ型変光星の距離と周期光度関係 (主担当者: 面高)
- オリオン-モノセロス領域巨大分子雲の距離と立体構造 (主担当者: 廣田)

2.4 分解能

基線長から期待される分解能は、 λ/D で見積もることができ、最長基線 2272km についてこれを適応すると、期待される分解能は K 帯 (22GHz) で約 1.2 mas、Q 帯

(43GHz) で約 0.6 mas である。実際の合成ビームの形は UV カバレッジに大きく影響を受け、また、基線が UV 面上に投影されるために実際の分解能は上記の値より劣化する。

2.5 感度

ある天体を観測したときに各基線で期待される雑音レベル σ_{bl} は

$$\sigma_{bl} = \frac{2k}{\eta} \frac{\sqrt{T_{sys,1}T_{sys,2}}}{\sqrt{A_{e1}A_{e2}}\sqrt{2B\tau}}, \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 k はボルツマン定数、 η は量子化効率 (約 0.88)、 T_{sys} はシステム雑音温度、 A_e は能率込みのアンテナ有効開口面積、 B はバンド幅、 τ は積分時間である。K バンドのシステム雑音温度 T_{sys} は、冬場の晴天時で典型的に 200K 前後、最も条件のいいときには 150K 以下であるが、離島局では夏場の昼間には晴天時でも 400K を超えることがある (いずれも天頂での値)。また積分時間 τ は条件にもよるが、大気揺らぎによるコヒーレンスロスのため通常 2 分程度、最も条件のいいときでも 3 分程度を超えると感度ロスが発生する。冬場の晴天時程度の観測条件のもと VERA1 モードで連続波源を観測したとして、開口能率 $\sim 50\%$ 、 $B = 128\text{MHz}$ 、 $\tau = 120\text{sec}$ 、 $T_{sys} = 200\text{K}$ を代入すると、 $\sigma_{bl} = 23\text{mJy}$ となり、 $S/N = 7$ で検出できる最小フラックスは 160mJy となる (VLBI 観測の場合、フリッジ検出に必要な S/N 比は最低で 5 程度、通常 7 以上が望まれる)。また、メーザーについては、上と同様の気象条件および積分時間で VERA7 モード (メーザー用チャンネル帯域 16MHz) で 512 点分光を行ったとすると、 $B = 31.25\text{KHz}$ となり、 $\sigma_{bl} = 1.5\text{Jy}$ 、 $S/N = 7$ での検出感度は 10.2Jy となる。上と異なるパラメーターでの雑音レベルの推定は、以下の式を用いて行うことができる。

$$\sigma_{bl} = 23 \times \left(\frac{T_{sys,1}}{200\text{K}}\right)^{1/2} \left(\frac{T_{sys,2}}{200\text{K}}\right)^{1/2} \left(\frac{B}{128\text{MHz}}\right)^{-1/2} \left(\frac{\tau}{120\text{sec}}\right)^{-1/2} \text{mJy}. \quad (4)$$

2 ビーム観測を行う場合、少なくともどちらか片方のビームは、上記の明るさ以上を持つ連続波源またはメーザー源を観測する必要がある。これより弱い天体を観測する場合には、明るい天体とペアにして 2 ビーム観測を行い、位相補償による長時間積分を行う必要がある。位相補償後の長時間積分については、参照天体が十分明るければ、積分時間 τ の平方根に比例して S/N が改善される。

2.6 観測天体に関する情報

時刻較正、バンドパス較正、あるいは、位相準拠用の参照電波源として観測可能な連続波天体については、米国国立電波天文台 (NRAO) の VLBA キャリブレーター

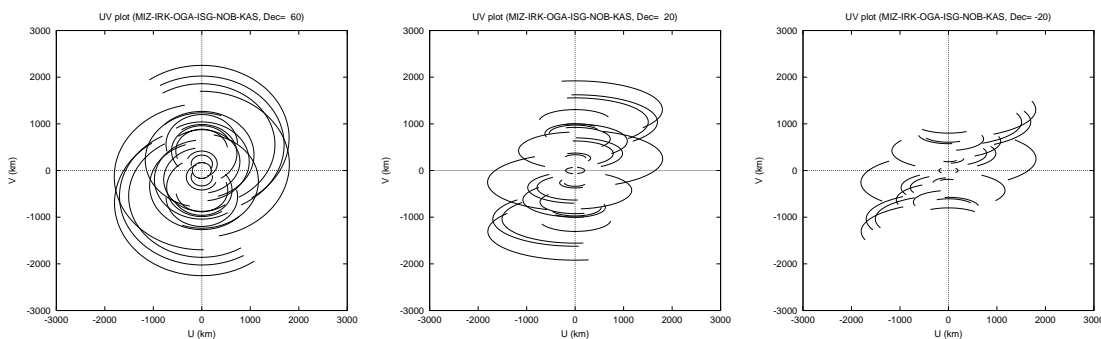


図 8: VERA4局+野辺山 45m+鹿島 34mで観測時の UV カバレッジ。全局とも EL20 度以上で観測したとして計算。左から、天体の赤緯 60°、20°、-20°。

サーベイが有用である。VLBA のホームページ

<http://www.aoc.nrao.edu/vlba/html/vlbahome/observer.html>

にて天体検索や全リストの取得が可能である。参照電波源は、前項で述べた最小検出フラックス以上のものが必須であり、また、時刻較正やバンドパス較正用のキャリアブレーターは 1 Jy 以上のものが望ましい。

水メーザー源のカタログについては、イタリア アルチェトリ天文台の

The Arcetri Catalog of H₂O maser sources

が有用である (Valdettaro et al. 2001, A&A, 368, 845)。ただし、メーザー源のフラックスについては強度変動が激しく、また、VLBIで観測すると分解されて相関強度が著しく低下することがあるので注意が必要である。また、カタログ中の位置精度も最大数 10 秒角の誤差を持ったものがあり、これも注意が必要である（通常、観測および相関処理に際しては 1~数秒角程度の位置精度が要求される）。

2.7 野辺山 45m、鹿島 34m の参加について

今回の試験的共同利用では、国立天文台野辺山 45m 望遠鏡および通信総合研究所鹿島 34m 望遠鏡を VERA4 局に加えたアレイでの観測も可能である。この両局の性能等については、J-Net のホームページ等を参考されたい。両局の参加不参加は観測提案の科学的価値および両局の混雑度を考慮しながら、野辺山および VERA のプログラム小委員会にて決定される。ただし、野辺山および鹿島局の記録系は DIR1000 系（記録速度 128MHz）のみであり、VERA4 局を含めた 6 局 15 基線の相関は DIR1000 系を用いた場合のみ可能であることに注意が必要である。図 8 に、全 6 局で観測した場合の UV 例を示す。

2.8 観測データの公開について

共同利用で取得した観測データは、相関処理終了後18ヶ月でアーカイブデータとして一般に公開される。

3 観測の実行とデータ解析

3.1 観測の準備

観測提案者は観測提案が受理されたら、指定された期日までに観測スケジュール作成を要求される。観測スケジュールの作成については、別途示される作成の手引きを参照のこと。また、スケジュール作成にあたっては、相談役として VERA 側のコンタクトパーソンが決められるので、問題等あれば連絡をとりながらスケジュール作成を進める。

3.2 観測、相関処理

観測運用および相関処理については、基本的に VERA グループが行い、観測提案者に要求される作業はない。観測および相関処理終了後、観測提案者には相関処理済み観測データが FITS 形式で渡される。相関処理済みの観測データは通常 FITS データ送付後 3ヶ月でリリースされるので、もし再度の相関処理を希望する場合には、この期間内に VERA プロジェクト側にその旨連絡する必要がある。

3.3 データ解析

現状 VERA 用の位置天文データ解析ソフトは開発途中であり、当面の間観測提案者は FITS 形式のデータを AIPS 上で処理することを要求される。その際、温度較正や位相較正など必要な較正情報も AIPS に取り込める形で別に提供される。

参考資料

VERA Web page (VERAに関する情報全般) : <http://veraserver.mtk.nao.ac.jp>

VLBA Calibrator Survey (VLBA キャリブレーターカタログなど) :

<http://www.aoc.nrao.edu/vlba/html/vlbahome/observer.html>

Arcetri Maser Survey (水メーザーのカタログ) :

Valdettaro et al. 2001, A&A, 368, 845

J-Net Web page (J-Net、野辺山、鹿島の VLBI 情報、FRINGE ファインダーの情報など) : <http://www.nro.nao.ac.jp/~miyaji/Jnet/>

AIPS (解析ソフト AIPSに関する情報) : <http://www.aoc.nrao.edu/aips/>

表 8: 連絡先

氏名	メールアドレス	分野
小林 秀行	hkobaya@hotaka.mtk.nao.ac.jp	プロジェクト統括、アンテナ、相関器
川口 則幸	kawagu@hotaka.mtk.nao.ac.jp	システム全般、受信機、デジタル系
真鍋 盛二	manabe@miz.nao.ac.jp	解析ソフト
亀谷 收	kameya@miz.nao.ac.jp	観測局全般
柴田 克典	shibata@hotaka.mtk.nao.ac.jp	観測運用、スケジュール作成
田村 良明	tamura@miz.nao.ac.jp	測地システム
廣田 朋也	tomoya.hirota@nao.ac.jp	単一鏡性能
本間 希樹	honmamr@cc.nao.ac.jp	位相較正