

VERA 計画の現状と展望

笹尾哲夫
国立天文台

1 VERA 予算の成立

1999 年度の第 2 次補正予算で、VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry: 天文広域精測望遠鏡) 計画の 3 局分の予算が認められた。1995 年に「地上 VLBI 統一計画」としてまとめられて以来ほぼ 5 年を経て、本格的な建設の段階に入る。

このような進展を見ることができたのは、推進母体である VLBI 懇談会の研究者の強い熱意と支持があったことはもちろんだが、われわれの声に熱心に耳を傾け、予算の成立に力を入れて下さった文部省研究機関課のみなさん、新規予算要求項目の第 1 位として強力に推進して下さった国立天文台台長、企画調整主幹、管理部のみなさん、大学と大学共同利用機関の新しい協力関係をめざして何度も文部省に足を運んで下さった鹿児島大学をはじめとする大学関係者のみなさん、計画の意義を認めて支持して下さった測地学審議会、天文学研連、測地学研連などの学術組織と著名な研究者の方々、計画に期待を寄せ応援して下さった観測局予定地の地元の方々など、多くの方々のご支持、ご協力の賜物である。心から感謝するとともに、良いシステムを作りあげ、全銀河系規模での天体の距離 (年周三角視差) と固有運動の測定をもとに世界に先駆けた独創的な研究成果をだして、ご親切に報いたいと思う。

今回の補正予算では、1 年間で次のようなシステムを建設する予定である。

アンテナ系	2 ビーム同時受信アンテナ (離角可変、最大 2 度)
受信機系	22GHz 帯 (水メーザー源、連続波源) 43GHz 帯 (一酸化珪素メーザー源、連続波源) 2/8GHz 帯 (月探査、地球科学、基線較正、連続波源)
伝送系	高位相安定光信号伝送
記録系	1Gbps 磁気記録再生装置
観測局	岩手県水沢市、鹿児島県入来町、小笠原村父島

ここでは、昨年度の VLBI 懇談会シンポジウム以来の計画推進の進捗状況を報告するとともに、今後解決すべき課題についてふれる。ただし、報告すべき事柄の多くは、国立天文台 VERA 推進室が 1999 年 7 月に開設したホームページ (<http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/index-j.htm>) で既に紹介されている。そこで詳しい内容はそちらに譲ることにして、主要点のみをかいつまんで報告する。

2 システム検討

2 ビーム同時受信アンテナ

ひとつのアンテナで近接するふたつの電波源を同時に観測できる2ビーム同時受信アンテナは、VERA計画の最大の技術課題である大気位相補償に最も適した装置であることは明らかだが、一方で、光軸から外れた場所に受信機を置くことによる収差損失、また器械的な要因で生じる2ビーム間の位相差などの問題がある。

このうち収差損失については、検討の初期の段階から、受信機を離角に応じた最適点に配置することによって、中心から1度のオフセット（両側で2度の離角）を取った場合でも満足できる感度が得られることが明らかになっていた。レイトレーシング法による数値計算結果によれば、少なくとも下表程度の開口能率は充分実現できる見込みである。

観測周波数帯別開口能率

周波数帯	2 GHz	8 GHz	22 GHz		43 GHz		86 GHz
			0° offset	1° offset	0° offset	1° offset	
開口能率	25%	55%	55%	50%	45%	35%	20 %*

* 収差補正レンズ使用時

他方、器械的な要因で生じる2ビーム間のシステム位相差の中で、最も測定しにくく、また実観測時の状況の予測も困難と思われていたのは、アンテナ主鏡、副鏡等の光学系の変形による光路長差で生じるものであった。これについては、専門メーカーの協力で、自重変形、風荷重変形、熱変形、ビーム内位相差、ホーン位置設定誤差等の各要因による光路長差が計算され、以下のことが明らかになった。

1. 自重変形による光路長差は数百 μm に達するが、その影響は、有限要素法等の構造解析で、仰角の関数として10%を切る精度で計算・予測できる。
2. その他の要因による光路長差変動は、2ビームの差を取る段階でかなり相殺され、おおむね設計目標値である $50\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下にとどまる。
3. 主鏡の変形で生じる予測不能な光路長差は、全ての要因について設計目標値よりかなり小さいため、アンテナ光学系の変形のうちで考慮すべきものは副鏡の変位のみである。
4. したがって、観測システムに起因する器械系位相差の要因としては、主として副鏡変形と受信機・伝送系内の位相変動を考えれば良い。

われわれは、これによって問題はかなりしぼりこまれたととらえており、川口則幸氏が提案した「雑音電波源法」を中心にシステム位相差較正法を確立する見通しを固めつつある。雑音電波源法とは、観測時に、主鏡中心付近に置いた人工雑音電波源から副鏡に照射する電波をふたつの受信機で受けて、天体から受信した電波と同じ経路を通してA/D変換し、相互相関を取って位相差を求め、それをもとにシステム位相差を推定・除去する方法である。光学系の変形による位相差が上記の諸条件を満たしている限り、自重変形効果の大部分を予測計算値を用いてあらかじめ取り去っておきさえすれば、雑音電波源における位相差は天体電波におけるシステム位相差と設計目標値を切る精度で一致するはずであり、従って較正が可能になる。

われわれは、この方法を補強するために、さらにいくつかの補助的な較正法を検討している。特に水沢局では、既設の10mアンテナを当分の間「補助アンテナ法」用に使って、システム位相差較正法を検証しようと考えている。これは、比較的強い電波源を、近距離に配置された10mアン

テナと新 20m アンテナの片方のビームで干渉計観測し、20m アンテナを駆動してふたつのビームを短時間に切り換えることによって、それらの位相差を直接求める方法である。

受信機系位相安定度試験

前回の VLBI シンポジウムで報告したように（笹尾、1999）、1998 年度の第 3 次補正予算で VERA 計画に関連する「高周波高感度 VLBI 観測システム」の経費が認められた。この経費で開発・導入した 2 系統の受信機系に共通の信号を入れて出力の位相差を測る試験が行なわれた。さらに通信総合研究所のご厚意で同所の電波暗室をお借りして、受信機系とデジタル系を組み合わせた位相安定度試験を開始しており、雑音電波源法による位相差測定精度の確認試験へと進む予定である。

これらについては、上記のホームページに写真入りの報告があるのでそれらを参照して欲しいが、局部発振器系、光伝送系を含めて、位相差の変動は設計目標内に納まっており、局部発振器における高周波基準信号の採用等により、環境温度が 10 度程度変化しても受信機系に起因する位相差の変化は数度程度にとどまるシステムが作れる見通しが得られている。

このほかにも、1 Gbps レコーダーがほぼ完成しているほか、デジタル系におけるサンプラー性能、相関処理系の 1 Gbps インタフェース、観測運用ソフト等の検討が進んでいる。デジタル系の検討では、デジタルフィルターの採用でシステム全体をより簡素で柔軟なものにする方向が追求されている。デジタル系に関しては、詳細な検討資料が、一定の保護処置のもとでホームページに収録されている。

3 観測局サイトの調査と用地確保

静止衛星の電波信号の大気による揺らぎを小型アンテナを用いた簡易干渉計で測定する位相モニター装置及び 43GHz 帯ラジオメーターを利用して、大気位相揺らぎと透過率を調べる研究が鹿児島、水沢、父島の 3 ヶ所で進められた。これにより、局予定地の大気揺らぎについて、時間構造関数、アラン標準偏差などの統計量が算出され、透過率も含めて頻度分布が得られた。その結果、これらの場所の大気条件の下で VERA の精度目標が達成できることを、実際のデータに基づいて客観的に確認できた。また、天候に応じて、観測対象や受信周波数を変更する柔軟な観測運用に向けて基礎資料が得られた。これらについても、VERA ホームページに詳しい報告があるので参照されたい。

水沢局及び鹿児島局予定地のボーリング調査、国立天文台管理部による父島、石垣島調査など、観測局建設をめざす調査も進んだ。また、国立公園内にある父島夜明山地区における局建設及び使用の許可を得るために、環境庁への申請手続きを進めている。

4 VERA 計画準備研究

この間、メーザー源と連続波源双方についての VERA のイメージング能力のシミュレーション、観測局予定地の大気条件や電波源の空間分布・強度分布を考慮した VERA 観測必要時間の見積もり、VERA で必要とする参照電波源の検討、相対 VLBI における大気位相補償と fringe fitting、参照電波源の構造効果が位置決定精度に及ぼす影響、などの準備研究が精力的に進められ、VERA ホームページに紹介されている。

特筆すべきこととして、野辺山宇宙電波観測所の特別なご配慮によって実現した 22GHz 帯 J-Net

VLBI 連続波電波源探査観測(1999年10月7日-10月11日)がある。これは、これまで探査の遅れていた銀河面付近(今回は北天のみ)で参照電波源を見つけることを目的としたもので、野辺山45m、通信総合研究所鹿嶋34m、鹿児島6m、水沢10mというJ-Net各局のアンテナが参加し、100時間に及ぶ観測を実行した。この観測によって、ほぼ事前の予想通り、54個の新しいVLBI電波源が発見され、多くのメーザー源が集中する銀河面付近での高精度相対VLBI観測への見通しがついた(詳細は、VERAホームページ内の本間希樹氏のページ参照)。今後、同様の探査観測を南天や43GHz帯にも広げ、VERA観測のための参照電波源の数を増やしていく予定である。

5 いよいよ建設へ

1年の間に新構想のアンテナを3基作り、離島を含む遠隔地に設置するのは容易なことではない。まず建設・立ち上げのための組織体制と執行計画を固めることが急務である。システム位相差の較正法の確立など、システム設計上の問題も急速に解決しなければならない。この2-3年は、建設と立ち上げに推進グループの力の大半を集中することが必要であろう。

その一方で、参照電波源の構造効果、大気の成層構造による $\Delta \sec z$ 効果など、観測法に関わる問題も実践的な解決法を急ぐ必要がある。2-3年後の試験観測開始に合わせて、解析ソフトウェアの開発を進めることも重要な課題である。さらに、観測開始とともに特徴ある初期成果をあげることができるように、興味ある観測目標の検討・選定も進めていく必要がある。

また、補正予算の性格上、設備費の4%程度と言われる特殊装置維持費以外には、観測運用のための経費は認められていない。運用経費の実現を主な内容とする予算要求をはじめ、確保に向けて道筋をつけねばならない。

さらに、計画はもともと国内に4局設置することを目標にしており、沖縄県石垣市に設置する予定の4局目をどのように実現していくかという問題もある。引き続き4局目の予算要求を続け、さまざまな機会をとらえて実現をはからねばならない。同時に、さらなる発展の可能性を拓くものとして、既にある程度の接触が始まっている韓国、中国、オーストラリアなど近隣諸国との協力・国際相対VLBI観測に向けた話し合いも進める予定である。

これらの問題をひとつひとつ解決しながら、計画の完全実現に向けて進んでいきたい。

参考文献

- [1] 笹尾、1999、VERA計画の現状と科学目標、1998年度VLBIシンポジウム集録、88-91.