

# VERA 計画の現状と科学目標

笹尾哲夫

国立天文台

## 1 地上 VLBI 統一計画 VERA が目指すもの

98 年度第三次補正予算で、VERA 計画に関連する「高周波高感度 VLBI 観測システム」が認められる運びになった。これにより、VERA の本格的建設に備えて受信機系、伝送系、記録系などを整備することができる。計画全体の要求額に比べれば、今回認められる額はまだまださやかなものであり本計画の実現に向けてさらに一層の努力が必要なことは言うまでもないが、これによって VERA の実質的な第一歩を踏み出すことができるととらえている。この段階で、VERA 計画の科学目標を再確認し、観測計画を具体化することが重要であろう。

VERA は「地上 VLBI 統一計画」である。1994 年末から 1995 年にかけて国内 VLBI 関連研究者の活発な議論を経て、「地球回転電波位置天文用 VLBI」、「国内ミリ波 VLBI 観測網」、「国際ミリ波 VLBI」の 3 計画が合流して練り上げられたのが VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) 計画であった。計画では、VLBA など既存の VLBI アレイにはない特徴として位相補償相対 VLBI を最も重視することとした。科学目標は

- 位相補償相対 VLBI による高精度天体位置計測
  - － 銀河系動力学
  - － 星・惑星生成領域の距離と物理
  - － ミラ型変光星の周期 光度関係を始めとする宇宙距離尺度の検定
- VLBI 天体イメージ合成
  - － AGN 位相準拠イメージング
  - － 国内ミリ波 VLBI
  - － 国際ミリ波 VLBI
- 測地・地球回転
  - － 日本列島広域地殻変動
  - － 地球回転国際観測
- 単一鏡ミリ波観測
  - － 43GHz 帯分子分光
  - －  $\geq 86$ GHz 帯分子分光 (将来)

に置かれた。

さらに、現在日本の VLBI グループが予定しているふたつの宇宙ミッションである SELENE/RISE 及び VSOP-2 の両計画に対して、地上観測局網として、またそれらの計画を担う研究グループの成長を支える場として貢献することの重要性が確認された。

高精度天体位置計測における科学目標を達成するためには、フリンジ位相差を観測量として、天体メーザー源など銀河系内天体の位置を、近接するクエーサーなど銀河系外電波源を基準に、10 マイクロ秒角台の精度で測ることが必要である。装置計画は、この目標にそってたてられている。これによって、日本の天文学は、世界に先駆けて全銀河系規模で天体の距離（年周三角視差）と固有運動を測定する能力を手に入れることになる。そこからは、銀河系内ダークマターの総質量と分布の力学的決定など、大きな成果が期待される。また、位相準拠長時間積分を生かしたミリ波帯 VLBI イメージングなど、高分解能イメージ合成の面でも、他にはない特徴を持つ装置となる。

## 2 科学目標と今日のシステム構想

装置計画の根幹を成すのは、VLBI位置計測精度とコヒーレントに積分できる時間を共に制限する最大の要因である大気位相揺らぎの効果を相殺除去する位相補償相対 VLBI 技術である。この技術を実現する方式は、観測目標と予算規模のせめぎあいの中で、ペアアンテナ法、高速スイッチング法、同時 2 ビーム + 高速スイッチング法、と推移してきた。

2 ビーム + 高速スイッチング法を基本とする今日のシステム構想の下で、各科学目標は、次のようにして達成できると考えている。

- 高精度天体位置計測（目標位相差精度数度）
  - ← 主として離角 2 度以内の電波源対を対象とする同時 2 ビーム相対 VLBI 観測
- 位相準拠イメージング（目標位相差精度 60 度以下）
  - ← 主として明るい参照源と目的天体との高速スイッチング相対 VLBI 観測
- 国際ミリ波 VLBI
  - ← 開口能率 40% 以上（43GHz 帯）の通常 VLBI
- 測地・地球回転
  - ← 2GHz/8GHz 帯の通常 VLBI
- 単一鏡ミリ波観測
  - ← 開口能率 40% 以上（43GHz 帯）、20% 以上（86GHz 帯）の集光力 + デジタル分光計

これらの目標を実現するには、高い開口能率及びスイッチング性能と同時 2 ビーム機能を両立させるアンテナデザインが必要になる。通常のパラボラアンテナをベースに、電波源対の離角にあわせてふたつの受信機を最適給電位置に移動配置し、位置角に応じて鏡軸のまわりを回転させる機構によって、この課題は達成可能な見通しが得られつつある。さらに、光学系、受信機系、伝送系で発生する位相差の較正法を確立することが重要である。

## 3 観測時間配分のイメージ（私案）

以上のようないく種類もの科学目標を実行するための観測時間配分は、どのようなものになるだろうか。もちろん、実際の配分は、将来の共同利用プログラム委員会が決めるべきものである。また、今後の具体的なシステム構築の参考にする案も、VERA 推進小委員会などの議論を経て作るべきだろう。以下に示すのは、「こんな編成も可能」というイメージを持つための、全くの私案である。

1 年 365 日のうち、メンテナンス、システム較正、トラブル対策等に要する時間を除いて、300 日程度が観測可能日として残ると仮定する。そうすれば、

- 高精度天体位置計測 年間 150 日 (50%)
  - 1 天体あたり 1 回 4 時間、年周視差と固有運動を導くために 1-2 年に 6 回の観測が必要と仮定すると、24 時間 / 天体。年間 100 日を本観測、残りの 50 日を参照電波源探査や特に興味ある天体の追加観測に振り向けるとして、10 年間で 1000 天体が観測できる。
- VLBI 天体イメージ合成 年間 60 日 (20%)
  - 1 日 2 天体とすると、年間 120 天体が観測可能となる。さらに、この目的のためには、高精度天体位置計測用の観測データのイメージング利用も可能と考えられる。
- 測地・地球回転 年間 45 日 (15%)
  - 1 週間に 1 回程度の観測を仮定する。この観測は、VERA 観測網の基線較正観測の意味も持っている。
- 単一鏡ミリ波観測 年間 30 日 (10%)
  - 4 局を同時に使えば、実質 120 日をさまざまな天体の観測に使える。メンテナンス期間に空いている局を使うことも考えられる。
- 技術開発試験観測 年間 15 日 (5%)

というような時間配分が可能になる。

VERA の場合、観測はあらかじめ準備されたスケジュールに基づいて行われ、気象条件に応じて 43GHz 帯、22GHz 帯、8GHz 帯の観測を使い分けることができるので、観測時間が天候によって左右される度合いはミリ波やサブミリ波の望遠鏡に比べれば少ない。とはいえ、年間稼働率が 80% を超えるという上記の仮定は、実際に生じるトラブルや調整の程度によっては困難になるかもしれない。しかし、仮に稼働率が 60% 程度まで落ちるとしても、上記のようなバランスでの時間配分は可能であろう。もちろん、SELENE/RISE や VSOP-2 のスペースミッション期間中は、そのための観測を優先的に行う特別の時間配分が必要となる。

#### 4 今後の課題

位相補償相対 VLBI の可能性については、従来の検討で基本的見通しは明らかになっていると考えている（例えば、笹尾、1997; Asaki et al., 1996, 1998; Sasao et al., 1997）。しかし、その見通しを更に確実にし、実際の観測につなげるには、なお多くの課題が残されている。それらを、順不同であげるなら、以下のようになる。

- 大気位相補償

- 鹿児島、水沢で稼働中の静止衛星電波を利用した位相モニターシステムのデータに基づく位相補償精度の推定
- 位相モニターシステムを用いた静止衛星同士の相対 VLBI 観測による位相補償の実証
- VLBA による相対 VLBI 観測結果の解析
- 成層大気による超過光路長の仰角依存性の補正法

- 観測対象電波源

- 参照用連続波電波源
  - \* 銀河面近傍での VLBI による連続波電波源の探査  
銀河面近傍は、天体メーザー源が集中しているにもかかわらず、VLBA Astrometric Calibrator Survey (Peck and Beasley, 1998) の探査が進んでいない領域である。
  - \* 既存の VLBI 電波源カタログ中の天体の 22GHz 帯相関フラックス測定
  - \* 参照用電波源の構造が位置計測に及ぼす影響のシミュレーション
- 天体メーザー源
  - \* 水メーザー源の速度 位置微細構造が位置計測に及ぼす影響
  - \* 晩期型星周辺の水メーザー源の固有運動の測定と直線性の検証
  - \* 一酸化珪素メーザー源の高頻度観測による固有運動測定可能性の検討
- VERA 観測用 VLBI 電波源データベースの作成

- 観測解析ソフトウェア

- 天体位置計測解析ソフトウェアの開発
- 測地観測データの FITS → Mark3 DB フォーマット変換
- 位相準拠イメージング用ソフトウェアの整備
- VERA 観測スケジュールリングソフトウェアの開発
- 想定スケジュールに基づく天体位置計測の詳細誤差解析

- 高分解能イメージ合成

- VERA によるイメージ合成シミュレーションと観測計画
- 位相準拠イメージング観測法の検討と対象電波源対リストの作成

- 単一鏡ミリ波観測
  - 対象分子線及び周波数の選定、ミリ波分光用観測システムの設計
  - 観測法及び観測計画の検討
- 銀河系動力学シミュレーション
  - 数百ないし千個の電波源の精密位置計測で何をどこまで言えるかの検討
  - 想定データによるシミュレーション

上記の他にも、VERA 完成時に向けて解明すべき研究テーマはいくつもあるだろう。このような諸課題に、「VERA サイエンスグループ」を作って取り組んでいきたいと考えている。関心を持つ多くの研究者の積極的なご参加を期待している。

## References

- Asaki, Y., Saito, M., Kawabe, R., Morita, K., and Sasao, T., 1996, Phase Compensation Experiments Using the Paired Antennas Method, *Radio Science*, **31**, 1615–1625.
- Asaki, Y., Shibata, K-M., Kawabe, R., Roh, D-G., Saito, M., Morita, K., and Sasao, T., 1998, Phase Compensation Experiments with the Paired Antennas Method, 2, Millimeter-Wave FringeCorrection Using Centimeter-Wave Reference, *Radio Science*, **33**, 1297–1318.
- Peck, A.B., and Beasley, A.J., 1998, A VLBA Calibrator Survey, *J.A. Zensus, G.B. Taylor, and J.M. Wrobel (eds.), IAU Colloquium 164: Radio Emission from Galactic and Extragalactic Compact Sources, ASP Conference Series*, **144**, 155–156.
- 笹尾、1997、VERA 計画における位相補償方式の検討、国内 VLBI ネットワークコロキウム集録 (面高俊宏、「国内 VLBI ネットワークによる天体観測」研究成果報告書), 111–127.
- Sasao, T., Asaki, Y., Okudaira, A., and Omodaka, T., 1997, Reference-Radio-Source Candidates for VERA Observations, *Proceedings of Technical Workshop for APT and APSG 1996*, 257–261.