

VERAによる 異周波数間相対VLBI 実験の提案

～ 第一回 VERA ユーザーズミーティング ～

土居 明広
(東大天文D2 / VSOP 室)

概要

手法の原理と問題

低周波で取得したターゲット自身の位相を周波数比倍して、高周波で取得したデータに適用することで、異周波間の位置天文をおこなう。このアイデア自体は昔からあったが、『電離層での分散性遅延』と『2周波受信システム間の機器位相差』のせいで、周波数間で位相情報が保存しない問題があり、実現は不可能と考えられてきた。

この研究の新しいところ

『電離層での分散性遅延』と『2周波受信システム間の機器位相差』に対処する簡易な観測法を発明。くわしくは下の別ポスターと別冊子を参照

VERAに対する提案

2周波マップの重ね合わせという位置天文はサイエンス的に渴望されている。H₂OメーザーとSiOメーザーの分布は異なり、それらの位置関係は天体物理的に重要な情報。参照電波源に利用されるような活動銀河核ジェットコアは光学的に厚いので、周波数によって分布(位置)が異なる。この現象は、ブラックホール周辺の環境を探るうえで重要な情報。6本ジャッキを制御するプログラムを改修するだけで、VERAでもこの手法でサイエンスができるようになる。このような観測を定常的におこなえる観測装置は他に無いので、先駆的で独占的なサイエンスを生み出せる。

この手法の利点

装置内経路長誤差があってもよい
secZ 効果を受けない
電離層モデルがなくてもよい

以下を同時に達成可能

- ・ 相対位置精度 < 20 マイクロ秒角
- ・ イメージダイナミックレンジ > 100

試み

VLBA …… Max-planckのグループによる3C279の43-86GHzでのイメージング実験。VLBAアンテナは周波数を7秒間で変えられるため可能。部分的に成功。電離層に対してどう対処したかは記述されていないが、VLBAはGPSデータを用いたアプリアリ較正が定着しているため問題は小さい。

KVN …… 韓国のVLBIグループが建設中。周波数選択膜を用いた多周波同時受信で、まさにこの手法を軸にしたシステム。ミリ波帯のため、電離層の影響は小さい。

VSOP …… 共軸ホーンのため、1.6-5 GHz同時受信での実験が可能。現在、VSOPチームによって実験が計画中。

VSOP-2 …… 位相補償ワーキンググループにて私が提案中。周波数が数秒で変えられるシステムに設計すれば、地上局には少なくともVLBAとKVNがあるので可能。

この手法の制限

大気コヒーレンス時間内に2周波のデータを
取得しなければならない

1 ビーム内の位置天文しかできない

2 周波ともにフリンジを検出しなければならない

用途

H₂OメーザーマップとSiOメーザーマップの
正確な重ね合わせ

光学的に厚い活動銀河核ジェットの
異周波マップの重ね合わせ 例:最後のトラベ

異周波マップの重ね合わせは
科学的に非常に重要な調査法だが、
絶対位置基準を持たないVLBIでは
基本的にできなかった。
周波数が違えば参照天体の天体構造も違うので
これは現行VERAでも同じ。
この手法はそれを可能にする。

この手法のポイント

『幾何遅延をターゲット自身で較正』

セルフキャリブレーションは、アレイの精度が悪くてもある1方向の空に対してだけならば、ほぼ完璧な較正法。(しかし現行の2ビーム(異なる空の方向)で較正テーブルを共有すれば、幾何遅延誤差・secZ効果が入ってくる。)

ターゲットの空の方向でセルフキャリブレーションできれば、ターゲットに関する較正テーブルは完璧なはず。空の方向が同じであれば、違う周波数で得たセルフキャリブレーションの解でも有効。たとえば、22 GHzでのセルフキャリブレーションの解を43 GHzの生データに適用するのは有効。(注: 電離層や2周波受信システム間の機器位相差がなければ、の話)

この手法のポイント

『周波数間位相差をキャリブレータで較正』

電離層では分散性遅延が挿入されるので、位相を単純に周波数比倍してもダメ。GPSデータから直接TECを測定することも対処できるが(例: VLBA)、日本上空ではなかなか難しい。

2周波受信システム間では機器位相差が存在するので、位相を単純に周波数比倍してもダメ。パルス信号を入れることも対処できる(例: VLBA)、メーザーの観測には敬遠される。

キャリブレータのデータで上記2つに対する較正テーブルを作る。

キャリブレータの構造は2周波で同じでなければならない(たとえば完全な点源)。この条件は厳しいが、ELが低くなければ少々離角が離れていてもよい(例えば 10 deg)ので見つけやすい。

2ビームでは > 2deg の離角は対応できないが、ターゲットと同時に見る必要は必ずしもないので、アンテナを振ればよい。

この場合キャリブレータを見る頻度は、電離層と機器位相差の変化するタイムスケール(30分)ぐらいでよいだろう。

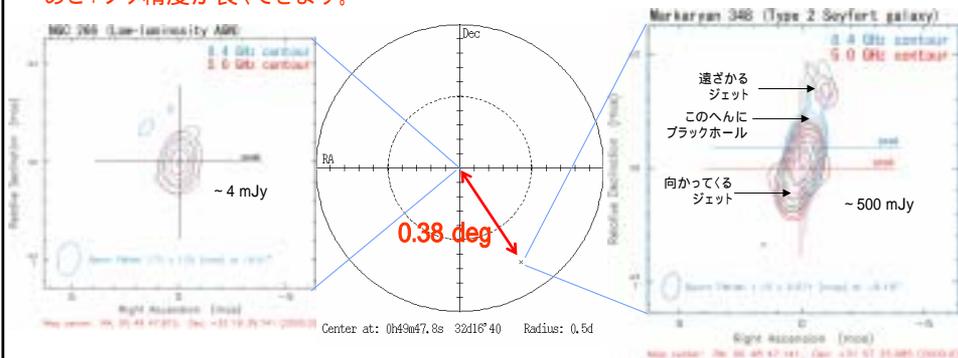
VERAでおこなうには

以下をアップグレード

22 / 43 GHz の切り替えを5秒以内に行えるように。
周波数切り替えの際、6本ジャッキが一度ホームポジションに戻るソフトウェア仕様を改造するだけで可能。

類似の研究例 連続波—連続波相対VLBIの2周波重ね合わせ

この手法ではない(現行VERAでできる方の手法)が、VLBAを用いて1周波相対VLBIを2周波分おこなって重ねてみました(Doi et al. 2004?)。異周波間相対VLBIを使えば、あと1ケタ精度が良くなります。



低光度 AGN は、我々の銀河中心核SgrA*と同様非常に小さな(<1000AU)のコンパクトな系外電波源である。よって、どの周波数で見ても同じ位置に点源として見ることが保証されているので、位置基準として最適であった。

0.77 mas の輝度ピークずれを0.15 mas の精度で検出(図中の+印の長さが位置精度を表しているのはナイ)。ビームの大きさはあわせてある。北側のジェットはコアだと考えられていたが(Ulvestad et al. 1999)、多周波重ねあわせにより、上図のような構造を同定することができた。ジェットに沿った吸収分布をはじめて議論できるようになる。