

VERA測地VLBI観測システムの更新と展望

Renewal of the VERA geodetic VLBI observation system, and the view of performance

寺家孝明, 田村良明, 小山友明, 河野裕介
T. Jike, Y. Tamura, T. Oyama, Y. Kono

国立天文台水沢VLBI観測所
Mizusawa VLBI Observatory, NAOJ

VERAが行う測地VLBI観測はVERA観測ネットワークの形状をモニタリングするための内部測地観測とネットワークをTRFに固定するための国際観測の二種類が行われている。後者の国際観測では、VERAはIVSが実施するセッションの中でT2とJADEIに参加し、年に凡そ8~10回の24時間実験を行ってきた。観測周波数帯は従来のS/X帯を踏襲している。しかし、VERAの観測システムに使用されているS/X帯の観測システムはCDP時代の帯域に準じており、VGOSの仕様どころか現在IVSが行っているX帯を広帯域にした観測仕様にも対応できていない。

2014年度終わりにJADEが終了しAOVセッションへの参加を代替とする方針で、VERAは国際観測への参加を継続している。しかし、AOVセッションでX帯を広帯域にする観測に参加できない状態であり、今後、VERAのS/X帯観測システムの仕様で行うことが出来る観測が将来的にいつまで可能かが未確定である。そこで、X帯の観測可能帯域を拡張すること、記録レートを上げて、今後も国際観測に参加できるための保険とすべく、S/X帯観測システムの改修を行った。



写真1 OCTAD (超高速AD変換装置/デジタルビデオコンバータ)

諸元
最大サンプリングレート 8192Mbps
量子化ビット数 2bit
10GbE入出力 10GbE-LR
10GbEチャンネル数 1ch
10GbEアプリケーションレイヤプロトコル VDF

国際観測の役割

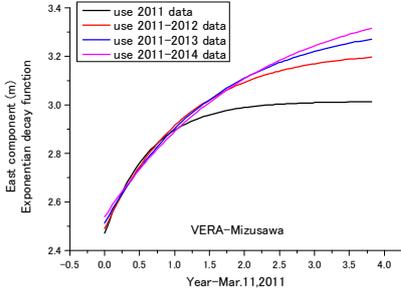


図1 水沢局のpost-seismic creepingに対する減衰指数関数のフィッティング結果

上図はフィッティングに用いる座標推定値の期間を1年ごとに伸ばした時の、座標推定値のフィッティングから得られる指数減衰関数の異なりを表している。水沢局の東北太平洋沖地震以後の位置変化は減衰指数関数で表されるが、期間を延ばすごとに特定数が伸びており、マントル内部の歪の粘性解消の効果が現れているが、このマントルの粘弾性モデルが正確ではないので、1年後の予測値には数cmの予測エラーが見込まれる。国際観測は、この水沢の動きの長周期的な位置変化をTRFの中で表すために行われる観測であり、絶対的な動きを定義するものである。

S/X帯改修

VERAではS/X帯は国際測地観測に用いられる。S/X帯観測システムの改修要綱は、X帯の観測帯域を1GHz幅(8.9GHz)にすること、記録を8MHz幅・16chとすることである。また、従来の狭帯域での観測も行うことが出来る条件である。サンプラーはOCTADを用い、8MHz-16ch-1bitに対応した。記録はVSRECによるHDDを用い、形式はV-DIFフォーマットである。将来的にはX帯とS帯は共にRF帯でダイレクトサンプリングする方法に変更する予定である。

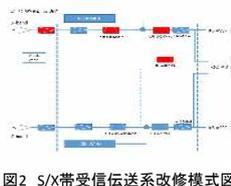


図2 S/X帯受信伝送系改修模式図

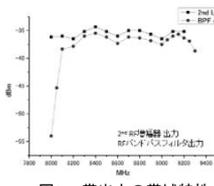


図3 X帯出力の帯域特性

K帯測地観測の広帯域化シミュレーション

OCTADをVERAが採用する場合の利点は、広帯域化による連続波源天体のフリッジ検出感度を向上させる事、そして広帯域を同時に受信することで天体の電波放射部分の周波数特性を調べることが出来る事がある。

測地VLBI観測でもOCTADを用いることになるが、その場合の利点については広帯域化による感度向上と遅延時間誤差の縮小が挙げられる。測地VLBIで基線解析後に残される残差には、白色雑音誤差以外にも、大気伝搬遅延推定誤差や天体の位置・構造効果が残されていると考えられる。

天体の構造効果は干渉縞がUV面上を日周回転する際に干渉縞内に入ってくる電波放射体の不規則な構造が遅延時間に与える影響である。K帯でのVLBI観測天体の構造効果は、Charlot, 他(2010) [1]によってカタログ化されており、構造効果の大きさに応じて4クラス(structure index)に分けられている。この中で構造効果が当報告の調査期間中(2002年5月~2005年3月)に常にindex=1または2:

```
structure index=1, 0ピコ秒 <= τ_median < 3ピコ秒
structure index=2, 3ピコ秒 <= τ_median < 10ピコ秒
τ_median: UV面上の基線の変化に対する構造効果遅延補正の中央値
```

に収まっている天体を観測した場合、遅延時間誤差が6ピコ秒以内で収まる最小SNRでフリッジを検出するかどうか、その可否についてシミュレーションを行った。以上の条件に合致して計算に用いた総天体数は238個である。

Reference
[1] P. Charlot, et al: The celestial reference frame at 24 and 43GHz. II. Imaging, Astronomical Journal, 139:1713-1770, 2010 May, doi:10.1088/0004-6256/139/5/1713

| 記録モード/ サンプリングレート | 最小 SNR | 観測可能天体数 (EL<6° で検出可能な天体/フリッジ検出可能な天体総数) | 最小SNRでフリッジが検出される 最小中心FLUX密度(μJy) |
|--------------------------|-----------|---|-------------------------------------|
| 256MHzBW- 2bit/1Gbps | 280 | 0/4 | 4.54 |
| 512MHzBW- 2bit/2Gbps | 170 | 9/21 | 2.02 |
| 1024MHzBW- 2bit/4Gbps | 65 | 44/79 | 0.78 |
| 2048MHzBW- 2bit/8Gbps | 45 | 170/219 | 0.25 |

表1 記録レート(帯域幅)の変化に対する観測可能天体数

サンプリングレートは現在のVERAで行われている1GbpsからOCTADが可能な最大レートである8Gbpsまでの4段階とした。全計算での共通設定は、遅延時間決定精度を5ピコ秒、最大積分時間を120秒、各天体の仰角が5度以上~最大仰角の範囲、VERAの各4局(水沢、入来、小笠原、石垣島)から同時に観測可能であること、としている。

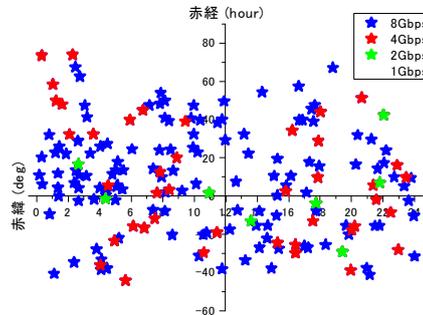


図4 表1の信号雑音比にてフリッジ検出が期待される天体の天球分布

以上の設定で計算を行った場合、測地観測を実行するために必要な天体を確保するには4Gbps以上、天球面に満遍ない分布であることを考慮するとOCTADの最大性能である8Gbpsのサンプリングレートが必要である結果となった。ただし、赤緯が75°以上の天体については条件に合う天体が無かったため、構造効果の大きい天体を選ぶか、構造効果の小さな天体を新たに探す必要がある。

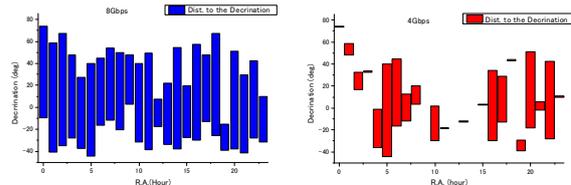


図5-a 各赤経での観測可能天体の赤緯方向の分布

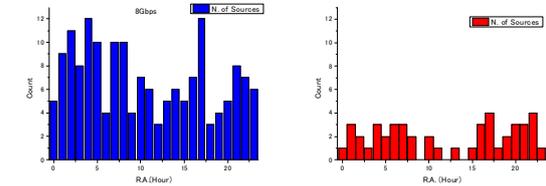


図5-b 各赤経での観測天体の個数分布