

NICT 機関報告

関戸 衛、川合 栄治、市川 隆一、岳藤 一宏、氏原 秀樹、Hobiger Thomas、
堤 正則、長谷川 新吾、宮内 結花
情報通信研究機構 時空標準研究室

1 はじめに

NICTのVLBIグループは、(1)日本標準時を維持・管理しているグループ、(2)原子時計を開発しているグループ(3)時刻・周波数の比較技術を研究しているグループと一緒に、時空標準研究室を構成し、時間と空間の計測技術を研究対象としている。

現在NICTのVLBIグループの研究開発ミッションターゲットは、VLBIを使った遠隔地の周波数比較技術の開発である。我々のグループが所有する34mアンテナ、11mアンテナに加えて、小型パラボラアンテナ(1.5m, 1.6m)を使って、大陸間の距離で精密な周波数比較を実現する。

現在の世界時は、セシウム原子の発振するマイクロ波をカウントした時計であるが、光の周波数をカウントする光周波数標準の開発が世界各国で進められており、近い将来にそれを世界時の基準とするため、周波数の確からしさ(確度)の確認のため、遠隔地(大陸間)の周波数比較を精密に行うことが必要とされている。図1に衛星双方向(TWSTFT)、GPSやVLBIの周波数計測精度をアラン標準偏差で示している。

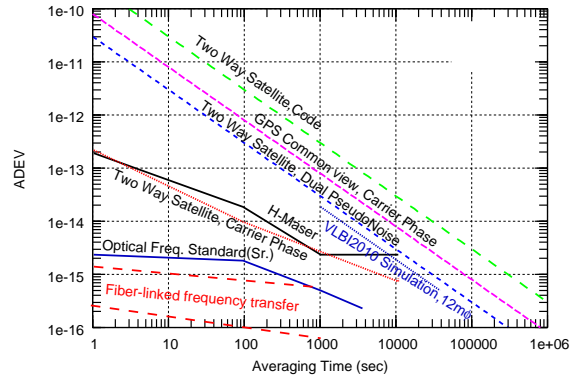


図 1: 周波数比較技術と、周波数標準のアラン標準偏差

2 周波数比較VLBIプロジェクト

2.1 広帯域 VLBI 観測システムの開発

光周波数標準器の研究開発機関に設置可能な、1.5m/1.6m 直径の小型アンテナを使って VLBI 観測を行うために、(1)大型のパラボラアンテナと共同観測を行うことによる感度改善と、(2)広帯域化による感度改善、(3)3-14GHzの超広帯域の観測による遅延の精度向上により小型アンテナでも十分な精度で VLBI 観測の遅延計測が可能であると見込んでいる。例えば、34mアンテナと共同観測することにより1.5m/1.6mのアンテナのペアは、7m相当のアンテナペアでの観測と同等のSNRが得られる。更に現在の256MHzのデータ取得帯域幅の観測が、1GHzの帯域幅となることでSNRは2倍となり、現在の観測帯域幅で10m相当のアンテナでの観測となる。直線2偏波と4つのバンドの合成によりSNRはさらに改善することが期待される。表1に新しいVLBIシステム(Gala-V)の観測パラメータを示す。従来

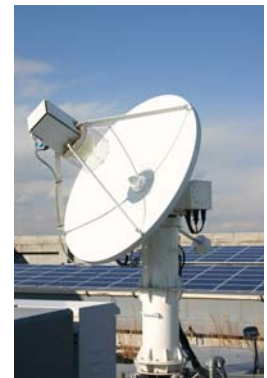


図 2: 広帯域(3-14GHz)の観測が可能となる小型アンテナ

表 1: 新しい広帯域 VLBI 観測システム (Gala-V) の主要諸元

アンテナ	1.6m/1.5m と 30m 級のアンテナ
観測周波数帯 [GHz]	3.2-4.2, 4.8-5.8, 9.6-10.6, 12.8-13.8
サンプリングレート [MHz]	2048
偏波	直線 2 偏波

の2/8GHzの周波数を使った測地 VLBI 観測に代わって、2-14GHz を観測周波数帯域とする VLBI2010 という技術仕様の超広帯域の VLBI システムが IVS(国際 VLBI 事業) により提唱され、各国で開発が進められている。我々の広帯域 VLBI システムも、この技術仕様をベースとして開発を進めており、完成後は各国の VLBI2010 の観測システムとの共同観測も念頭においている。

表1の観測周波数は、鹿島、小金井、つくばでの電波環境の調査を行なって決定した周波数であるが、観測周波数が1.6GHzの整数倍の観測周波数とすることで、サンプリングのエイリアシング効果を積極的に利用して、全てのRF信号をひとつのサンプラでA/D変換し記録を行うことができる「RFダイレクトサンプリング」方式を試験導入する予定である。これが成功すれば周波数変換器を省略したコスト削減とシステムの簡略化が可能になる。「RFダイレクトサンプリング」方式の実用性の確認実験は2013年度に行う計画である。この3-14GHzの広帯域観測を34mアンテナで可能にするため、新しく搭載するフィードホーンを現在設計中であり、これも2013年中に搭載する計画である。

また、VLBI2010に準拠したGala-Vシステムでは、直線偏波の受信システムであることや広帯域観測となることから相互相関処理の量が従来に比べて飛躍的に増加する。このため、新たな分散処理型ソフトウェア相関器を検討中である。

2.2 C5++宇宙測地技術統合ソフトウェア

現在、地球上の基準座標系は、VLBI、GNSS、SLRなど、それぞれの宇宙測地技術により計測された座標系を、それぞれの測地解と観測の共分散行列を使って統合解析して得られている。そして、更なる精度の改善のためには、それぞれの宇宙測地技術のデータを観測データレベルで統合して解析することが求められている。

NICTでは、一橋大学の坪氏、JAXA/ISASの竹内氏らと共同で、基準座標系として必要なさまざまな観測に係る効果(時系や地球の自転運動、潮汐や気圧などによる地球の変形、信号の宇宙空間、地上観測に関わる伝播などの物理現象)の最新の標準モデル IERS Conventions 2010[1]を組み込んだC++言語のクラスライブラリを開発している。これは、坪氏を中心として開発されてきたSLR解析ソフトウェアCONCERTO04[2]をC++の言語で発展させたものであり、これを使ってSLR、VLBI、GPSなどの宇宙測地技術のデータを解析するアプリケーションの開発を開発している。既に、地球回転パラメータの推定などができるVLBI解析ソフトウェアを開発し[3]、更にGNSSとSLRの統合解析ソフトウェアを開発中である。

3 観測施設

3.1 34 mアンテナ

鹿島宇宙技術センターの34mアンテナは、2011年の震災の影響を受けて4つあるAZホイールの一つに損傷が見つかり、2013年3月まで交換工事のため運転を中止している。2013年4月以降は、新しい広帯域VLBIシステムのフィード(2.1節)を搭載し、小型アンテナと組み合わせたVLBI実験を行う予定である。表2に34mアンテナの受信機の性能を示している。但し、2012年はアンテナがほとんど稼働していないため十分な測定ができていない。

3.2 11m アンテナ

34mアンテナが震災の影響で使用できない中で、鹿島、小金井の11mアンテナは大変安定したS/XバンドのVLBI観測ができるVLBIシステムとして、周波数比較の基礎実験やADS3000+を使ったデジタルフィルタの試験などに活用している。また、IVSの国際観測T2セッション、APSGセッションに参加しているほか、国土地理院が国内の測地VLBI観測サービスとして実施しているJADE観測にも参加し、グローバルな座標系の中でのVLBI局の位置の変化をモニタしている。また、2013年秋に我々の銀河中心にある、巨大なブラックホールSgr-A*に物質が落ち込み、様々な周波数領域で増光することが期待されている[4]。2012年はNICTが6月、10月、に鹿島 小金井の11mアンテナ基線を使って、S/Xバンド2周波で1週間前後、Sgr-A*

表 2: 34-m アンテナの受信機

Band	frequency (MHz)	Trx (K)	Tsys (K)	Efficiency	SEFD (Jy)	Polarization
L	1405-1435	18	45	0.68	200	L/R
S	2193-2350	19	72	0.65	340	L/R
X-n (*)	8180-9080	40	48	0.68	210	L/R
X-wL(#)	8180-9080	40	67	0.68	300	L/R
X-wH(#)	7860-8360	-	67	0.68	300	L/R
K	22000-24000	105	141	0.5	850	L
Ka	31700-33700	85	150	0.4	1100	R
Q	42300-44900	180	350	0.3	3500	- (†)

* : 8 GHz narrow band LNA . # : 8 GHz wide band LNA. † : No Polarizer



		Kashima	Koganei
Input Frequency (MHz)	S band	2212 ~ 2360	2212 ~ 2360
	X Low band	7700 ~ 8200	7700 ~ 8200
	X High band	8180 ~ 8680	8100 ~ 8600
Local Frequency (MHz)	S band	3000	3000
	X Low band	7200	7200
	X High band	7680	7600
SEFD [Jy]	X-band	5700	9500
	S-band	3300	5500

図 3: 鹿島 11m アンテナ (左上) と小金井 11m アンテナ (左下)、およびアンテナの受信機性能表 (右)。

のモニタ観測を実施した。2013 年からは 慶応大学、茨城大学が主体となって 2013 年秋ころまで Sgr-A*の観測を継続する予定である。

小金井 11m アンテナについては、VLBI 観測などで使用していないときは、NICT の宇宙環境インフォマティクス研究室がおこなう NASA の太陽観測衛星 STEREO-A/B の衛星のダウンリンク信号の受信に使用されている。

参考文献

- [1] IERS Conventions (2010). Gerard Petit and Brian Luzum (eds.). (IERS Technical Note ; 36) Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts fur Kartographie und Geodasie, 2010. 179 pp., ISBN 3-89888-989-6.
- [2] Otsubo, T. and T. Gotoh, SLR-based TRF Contributing to the ITRF2000 project, IVS 2002 General Meeting Proceedings, pp. 300-303, 2002.
- [3] Hobiger, T., T. Otsubo, M. Sekido, T. Gotoh, T. Kubooka, and H. Takiguchi., “Fully automated VLBI analysis with c5++ for ultra-rapid determination of UT1”, Earth Planets Space, **62**, pp. 933-937, 2010.
- [4] Gillessen, S., et al., A gas cloud on its way towards the supermassive black hole at the Galactic Centre, Nature, Volume 481, Issue 7379, pp. 51-54 (2012).