

NICT 機関報告

関戸 衛¹、川合 栄治¹、岳藤 一宏¹、氏原 秀樹¹、ホビガー トーマス¹、
堤 正則¹、長谷川 新吾¹、宮内 結花¹、竹川 俊也^{1,2}、市川 隆一¹、小山 泰弘¹、近藤 哲朗¹

1: 情報通信研究機構 時空標準研究室 (鹿島・小金井)

2: 慶應大学 理工学部

1 主な観測施設

1.1 34mアンテナ

震災復旧 鹿島34mアンテナは、2011年3月の地震の影響により、方位角(Az)のレールと車輪が損傷し、その両方を交換する必要があった。これらを新たに製造しインストールする復旧工事が2013年3月末まで完了した。図1に新しいAz車輪を示す。レール円周の中心軸の芯出しを行ってその中心に垂らした糸に対して、車輪の軸に取り付けた望遠鏡を使って 10^{-5} ラジアン精度で設置された。また、レールの高さの精度は、半径約10mの円全周に渡って、平面に対する残差RMSを0.1mm以下となるように、レール面の高さ測定・研磨を行って調整した。



図1: 交換された新しいホイールは望遠鏡を使ってレール円の中心軸に対してアラインメントをとった。

L-band 受信機の RFI 対策 2011年頃よりL-bandのシステム雑音温度の上昇、LNA出力に1480MHzの高調波が確認されるなど、携帯基地局の放射する干渉電波(RFI)によってLNAが飽和領域で動作していることが分かった。携帯電話会社と協議し、対策として冷凍デューワー内のLNA前段に超伝導フィルタ(通過帯域: 1405-1420MHz, 1600-1720MHz)を設

置することとした。2013年12月に設置が完了し、その結果LNAの飽和問題は解消された。

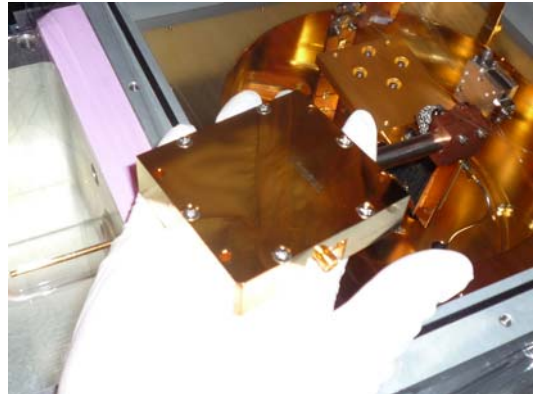


図2: L-bandのRFI対策として導入した超伝導フィルタ

各受信機の状態 表1に2013年の34mアンテナの受信機性能を示す。L-band, S/X-band, K-band NICTが進めるGALA-Vプロジェクト[1]の一貫として、2013年末に、34mアンテナに広帯域フィードを搭載し、2014年初めにビーム調整とSEFD測定を行った。新しい受信機は6-12GHzの周波数帯域に感度を持ち、直線1偏波の受信が可能である。32GHz, 43GHzの受信機については、2013年は性能確認ができていない。

1.2 11mアンテナ

表1に受信機性能をまとめて示す。

鹿島11mアンテナ 鹿島宇宙技術センターに設置されている11mアンテナは、幸い震災でも大きな影響を受けずに正常に運用を続け、震災後の鹿島局位置の測定するための国際・国内の測地VLBI観測や、周波数比較VLBI実験、銀河中心ブラックホール(Sgr-A*)へのガス落下のモニタ観測などに使用してきた。

表 1: 34m,11m アンテナ施設の受信機性能

受信機	偏波	周波数	性能 (2013 年の状況)
鹿嶋 34m アンテナ			
L-band	RHCP/LHCP	1405-1420MHz, 1600-1720MHz	SEFD ~ 500Jy
S-band	RHCP/LHCP	2193-2350MHz	SEFD ~ 250Jy
X-band	RHCP/LHCP	8180-9080MHz	SEFD ~ 370Jy
WIDE	V-Linear Pol.	6-14GHz	SEFD ~ 1500 Jy
K-band	LHCP	22 - 24 GHz	SEFD ~ 1300 Jy
Ka-band	RHCP	31.7-33.7GHz	未使用
Q-band		42.3-44.9GHz	未使用
鹿嶋 11m アンテナ			
S-band	RHCP/LHCP	2212-2360MHz	SEFD ~ 4000Jy
X-band	RHCP/LHCP	7700-8680MHz	SEFD ~ 5000Jy
小金井 11m アンテナ			
S-band	RHCP/LHCP	2212-2360MHz	SEFD ~ 4000Jy
X-band	RHCP/LHCP	7700-8600MHz	SEFD ~ 9000Jy
MARBLE-1 1.6m アンテナ			
Wide	VPOL (HPOL)	3.5 - 14GHz	SEFD ~ 7.e5 Jy
MARBLE-2 1.5m アンテナ			
Wide	VPOL (HPOL)	3.5 - 14GHz	SEFD ~ 1.e6 Jy

しかし、2013 年 10 月の観測時に信号ケーブルが断線する事故が発生し、運用を停止しており、2014 年 2 月末の普及を目指している。

小金井 11 m アンテナ NICT 小金井本部の 11m アンテナは鹿嶋の VLBI グループと小金井の宇宙環境インフォマティクス研究室で共同で運用している。当研究室は鹿嶋 11m アンテナと同様に国際・国内の測地 VLBI 観測や、周波数比較 VLBI 実験で運用してきた。そのほかの主な時間帯は宇宙環境インフォマティクス研究室の運用で NASA の STEREO (Solar TERrestrial RELations Observatory) 衛星のテレメトリダウンリンクに使用されている。(http://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/beacon/beacon_secchi.shtml) また、2013-2014 年については、当研究室と慶應大学理学部の共同研究に基づいて、銀河中心ブラックホール (Sgr-A*) へのガス落下のモニタ-観測にも使用してきた (第 3 節参照)。

1.3 MARBLE1(1.6 m, 1.5m) アンテナ

距離基準のプロジェクトのため開発された MARBLE-1 及び MARBLE-2 の小型アンテナを 3.5-14GHz(直線偏波) の超広帯域の観測ができるシステムへ改修する作業を行い、直線 1 偏波について広帯域観測を行

う準備が整った。2013 年度は MARBLE-1 を鹿島宇宙技術センターからつくばの産業技術総合研究所に移し、2014 年度は周波数比較実験を行う予定である。

2 研究開発

2.1 広帯域 VLBI システムの開発

研究室のミッションである、VLBI 技術による遠隔周波数比較を達成するため、小型アンテナと大型アンテナを組み合わせることで広帯域の VLBI 観測システムを開発している。観測周波数帯域は国際的な VGOS 仕様を念頭に、3-14GHz の広い周波数帯域を観測する。従来の観測帯域幅を 10 倍に拡大することで、SNR を改善し、遅延計測精度を 1 桁向上させることを目指している。2013 年は MARBLE-1 (1.6m), MARBLE-2(1.5m) アンテナの LNA 交換、広帯域の PCAL 信号発生器、1-18GHz の RF 信号を伝送できる伝送システムを整備した。また、大型アンテナの 34 m アンテナはカセグレンフィードで、焦点位置からサブレフの見込み角度は全幅 34 度であり、一般に知られている広帯域フィード (60-90 度のビーム幅) では対応できないため、独自で広帯域のフィード設計/試作フィードの搭載を行い、2014 年年始に SEFD ~ 1500 Jy を確認した。また、新しい技術提案として周波数

変換することなしにデータを取得する RF ダイレクトサンプリング方式のサンプリング GALAS を開発し、実用化の試験を行っている。

2.2 統合解析ソフトウェア

VLBI、GNSS、SLR などの宇宙測地技術はこれまでそれぞれのシステムの解析解を共分散行列レベルで統合し、地球回転のパラメータ変動や局位置や、基準座標系の構築がなされてきた。今後はそれぞれの宇宙測地技術の観測データレベルで統合解析を行い、整合性のある解を求めることが求められている。NICT は一橋大学や JAXA と共同で SLR の解析ソフトウェア CONCERTO をバージョンアップして、IERS Conventions の宇宙測地に関するモデルを包含した C++ の統合解析ライブラリを開発している。Hobiger et al.2013 はこのライブラリを使って SLR と VLBI、ローカルタイのデータを統合した解析ソフトウェアを開発し、チリ地震後の TIGO 局の地殻変動がより明瞭に観測できる事を示した [2]。現在 GNSS,VLBI,SLR を含めた統合解析ソフトウェアの開発を進めている。また数値気象モデルから大気の屈折率を計算し、観測データに大気遅延量の補正を行う KARATS のシステムも測地だけでなく、位置精度を求める位置天文 VLBI で注目されている。

2.3 VDIF/VTP ソフトウェアの開発

VLBI Data Interchange Format (VDIF) は、データの互換性を必要とする VLBI のデータフォーマットとして、主要な VLBI システムの開発を行っている米国 MIT/Haystack, NRAO, 欧州 JIVE、日本/NICT、豪州/CSIRO の各種データ収集機器に装備されつつある。また VDIF データをネットワーク伝送するプロトコル VDIF Transport Protocol (VTP) も仕様が制定され (<http://vlbi.org/>) ている。ドイツ Wettzell 局とつくば局で地球回転の迅速な VLBI 観測を目的として行われている INT2 実験においてデータをリアルタイムにドイツからつくばに伝送するシステムには、NICT が開発したソフトウェアが使われている。更に広帯域 VLBI のデータ取得システムである GALAS もネットワーク越しにデータを出力する。これらの記録ソフトウェア (eVLBI システム) の開発も NICT が引き続き進めている。

3 その他の観測プロジェクト

3.1 Sgr-A モニタ観測

2013 年から 2014 年にかけて銀河中心のブラックホールにガス雲が落下することが予想されており、鹿嶋 11m-小金井 11m の VLBI 基線を使ってモニターを行う観測を 2013 年 2 月から慶応大学と共同で行っている [3]。2013 年 10 月の鹿嶋 11m アンテナの故障のため現在は観測を停止しているが、それまでの観測データから Sgr-A* の X-band の放射は極めて安定していること等が分かっており、アンテナ復旧し次第、観測を再開する予定である。

3.2 Crab パルサー GRP 観測

パルサーは地上では実現できない究極の物理状態の天体とし注目される観測対象である。鹿嶋 34m アンテナは L-band、S-band の低周波の受信機を使って観測をしており、Crab パルサーの観測から通常の数万 数百万倍のパルス強度を持つ Giant Radio pulse (GRP) を検出している。

参考文献

- [1] 関戸、他、広帯域 VLBI システム Gala-V の開発、2013 年度 VLBI 懇談会シンポジウム集録、2013/12/24-26 筑波大学、2014.
- [2] Hobiger, T., et al., Observation level combination of SLR and VLBI with c5++: A case study for TIGO, *Adv. Space Res.*, Vol. 53, pp. 119-129, 2014.
- [3] Takekawa, S., et al., Flux monitoring observations of Sgr A at S/X bands with the NICT Kashima-Koganei VLBI System, *IVS NICT-TDC News No. 33*, pp. 18-20, 2013.