NICT 鹿島 VLBI グループの機関報告

関戸 衛, 岳藤 一宏, 氏原 秀樹, 川合 栄治, 近藤 哲朗, 堤 正則, 宮内 結花, 長谷川 新吾
国立研究開発法人情報通信研究機構　時空標準研究室/鹿島宇宙技術センター

概 要

NICT の VLBI グループはプロジェクトミッションとして、長距離周波数精密比較への VLBI の応用を目指した研究開発を進めている。2018 年夏にはこのプロジェクトで使用する 34m アンテナの主鏡背面補修工事が行われ、その後主鏡面の精度改善のため Holography 観測と面調整を実施した。2018 年の当グループの活動について概要を報告する。

1　はじめに

鹿島 VLBI グループでは、多くの受信周波数を持つ鹿島 34m アンテナおよび、S/X の常温受信機を持つ鹿島 11m、小金井 11m アンテナに加え、2 台の 2.4m 直径広帯域アンテナを運用している。表 1 に鹿島 34m、鹿島 11m、小金井 11m の典型的な受信機性能を示す。また参考として、図 1 に同アンテナの SEFD(System Equivalent Flux Density) の周波数特性の測定値を示す。我々は、これらの観測装置を使って広帯域 VLBI を使った長基線精密周波数比較技術の開発を進めているほか、国際 VLBI 事業（IVS) の国際 VLBI 観測に定常的に参加し、国際的に地上と天球の基準座標系の維持にも貢献している。鹿島 34m アンテナは設置から 30 年が経過し、主鏡背面構造の錆びの対策のため 2018 年 6-9 月の時期に主鏡背面構造の補修工事を実施した。またこの工事に伴って発生する鏡面のゆがみを補正するため、人工衛星の電波を使った Holography 観測を行い、鏡面の修正を行った。

2　広帯域 VLBI の長基線周波数比較への応用技術開発

NICT の VLBI グループでは、VLBI 技術を応用した精密周波数比較のプロジェクトを進めており、このために小型広帯域の VLBI 観測システムを開発している [1]。2017 年まで産業技術総合研究所との共同研究により国内の検証実験を行い、2018 年夏には小型 VLBI 局をイタリアの Medicina 観測所に設置して、イタリアの国立計量研究所 (INRiM) の Yb 光格子時計と NICT 小金井の Sr 光格子時計の比較実験を開始している (図 2)。イタリアに小型アンテナを設置した時期は、後述するように鹿島 34m アンテナが補修工事を行っており使用できなかったため、設置した小型アンテナの性能確認のためのフリンジテスト観測を、国土地理院石岡 13m アンテナの協力を得て実施した。この機会を利用して謝意を表したい。

3　鹿島３４mアンテナ

鹿島 34m アンテナは、主鏡背面構造の錆びの補修のため、2018 年 6-8 月にかけて補修工事を実施し、一部劣化の著しい箇所については鉄骨構造の一部交換を実施した。2016 年秋に我々自身が高所作業車を使った調査により劣化を確認し、予算の確保や工事設計などに時間がかかり実施まで約 1 年半を要した。一部劣化の激しい鉄骨材の部分交換により主鏡パネルの面精度の劣化があらかじめ予想された。このため、2017 年より Holography 法による面測定技術を習得準備した。Holography 測定方法については、経験と実績のある野辺山の御子柴 廣氏、半田一幸氏に相談し、野辺山 45m アンテナで行っている方法等を教えていただいた。野辺山では、ベクトルボルトメータを使って測定対象の 45m アンテナと小型基準アンテナとの間の振幅、位相を測定を行っている。我々の場合は VLBI サンプラ (K5VSSP) を使って、34m アンテナと小型基準アンテナで衛星の信号を受信・記録し、相関処理によって位相と振幅の測定を行った。同様な相関処理による Holography は HartRAO26m アンテナで行われている [2]。

補修工事が一段落した 9 月 9 日から 9 月 19 日の期間で、Holography 観測と面調整を繰り返し実施した結果、工事直後には p-p12.7mm, RMS1.2mm であった面精度は、修正後 p-p 2.3 mm、RMS 0.3 mm まで回復・改善した。

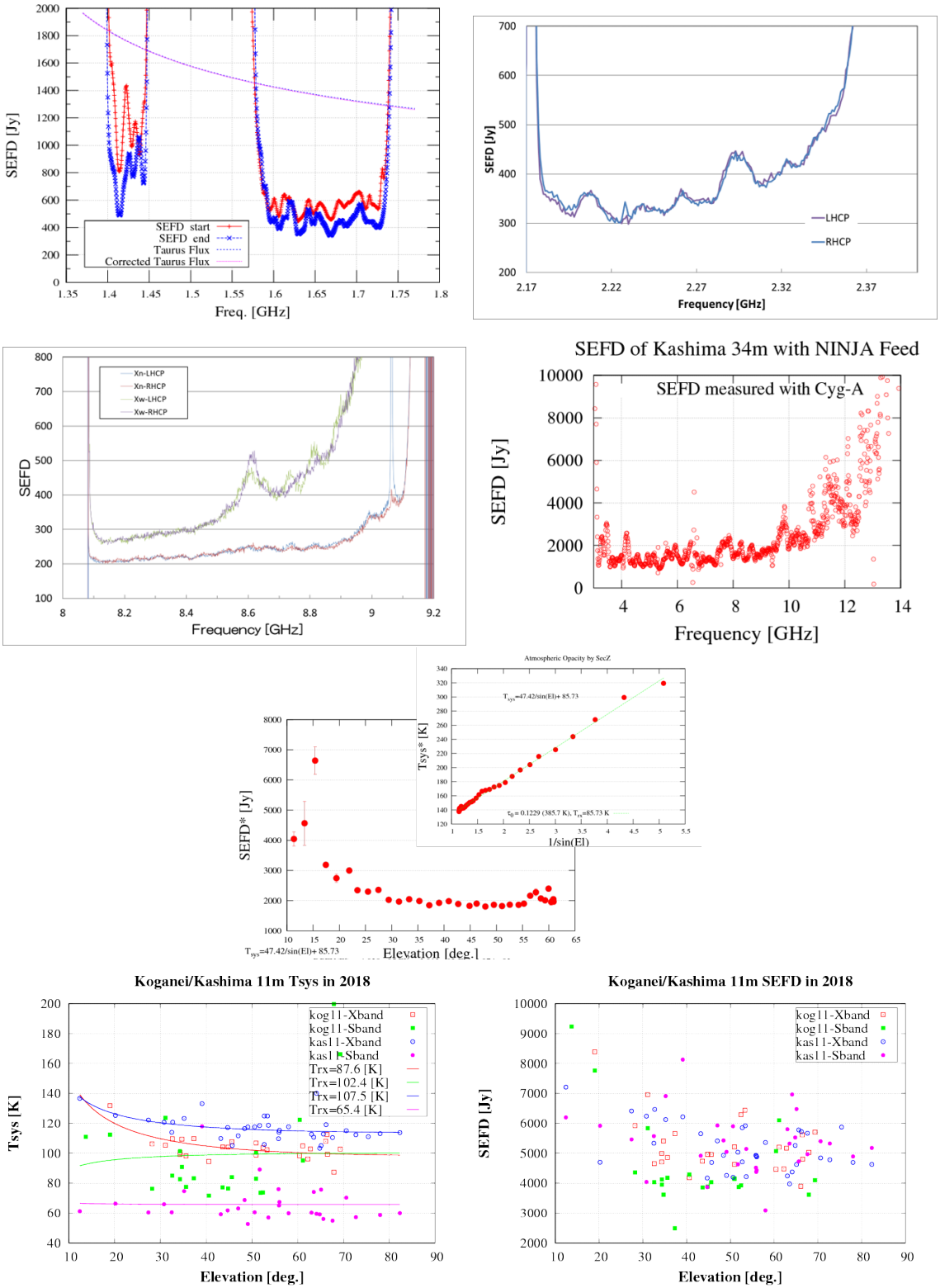

図 1: 鹿島 34m の SEFD の周波数特性と、鹿島 11m、小金井 11m アンテナの Tsys と SEFD の仰角依存性。左上から右下の順に L,S,X,Wide,K(鹿島 34m) の SEFD と,S/X(Kas11,Kog11) の Tsys,SEFD。

表 1: 鹿島 34m、鹿島 11m、小金井 11m の受信機の典型的な SEFD,Tsys, 開口効率を示す。測定は、2018 年前半までに得られている値であり、後述の鏡面調整後の測定は含まない。鹿島 34m の X-band は 2 系統 (通称 Narrow,Wide) の値を示している。また、Wide-band 及び K-band の Tsys 測定値は R-Sky 法によるもので修正システム雑音温度 Tsys*である。

	Kashima34m					Kashima11/Koganei11	
Band	L	S	X	Wide	K	S	X
Tsys [K]	60	70	55, 40	200	140	70	120
SEFD [Jy]	270	350	300, 220	1900	2000	5000	5000
Efficiency [%]	68	61	56, 55	32	21	41	70

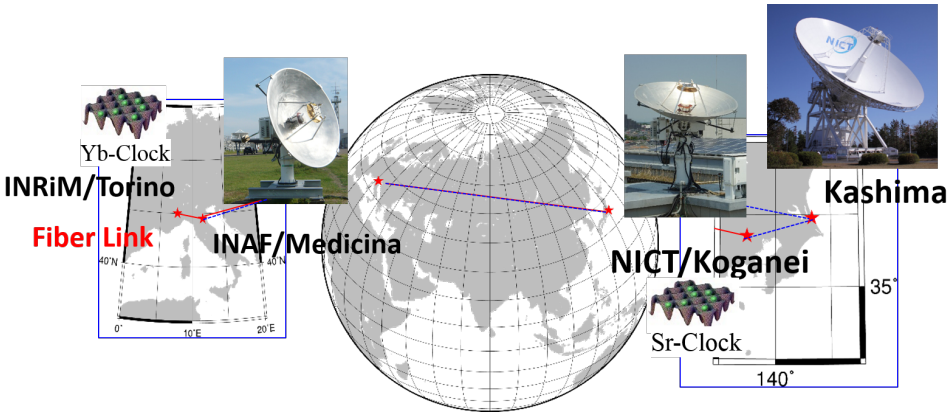

図 2: イタリアの国立計量研究所 (INRiM) で開発している Yb 光格子時計の信号はファイバリンクにより、イタリア天体物理学研究所 (INAF) の MedicinaVLBI 観測所に伝送される。イタリアの Yb の周波数と NICT 小金井本部の Sr の周波数を基準とする 2 つの小型アンテナの間で、VLBI 観測による周波数比較を行う。長基線による相関フラックスの低下を大型アンテナ (Kashima34) の観測によりサポートし、閉合遅延関係を使って小型アンテナ間の遅延量が得られる。

34m アンテナにはもともと主鏡表面からボルトを回して面の高さを変える機構があったが、建設時の調整後は使用しておらず、ボルトの固着を取る作業が最も大変であった。Holography による面測定と面調整は、作業前には確実にできる保証がないため発注により業者に作業依頼できるものではなかったため、7-9 月の期間でアンテナの補修工事で組まれた足場を利用して、職員自らボルトの溝の清掃・潤滑油の塗布等の作業を行った。

また、アンテナが停止している時期に合わせて、コイルの絶縁抵抗低下が問題となった 2 台の方位角駆動モータの交換・保守作業と、冷却受信 (L-band,S/X-band,K-band) の冷凍機ついても、冷凍機メーカによる保守を実施した。

4 基準座標系維持のための国際測地 VLBI 観測、および共同研究に基づく電波天文観測

プロジェクトミッションである周波数比較実験のほかに、国際的基準座標系 (ITRF,ICRF) の維持のため、国際 VLBI 事業 (IVS) とアジアオセアニア VLBI グループ (AOV) の企画する国際測地 VLBI 観測に鹿島 34m アンテナ、鹿島 11m、小金井 11m アンテナを使って定常的に参加している。NICT は日本標準時を維持し、国内に「うるう秒」をアナウンスする役割を担っており、閏秒の挿入を決定する地球の回転を計測する VLBI 観測は NICT にとっても重要な活動であると考えている。

34m アンテナは電波天文観測が可能な国内有数の大型電波望遠鏡である。共同利用施設ではないが、共

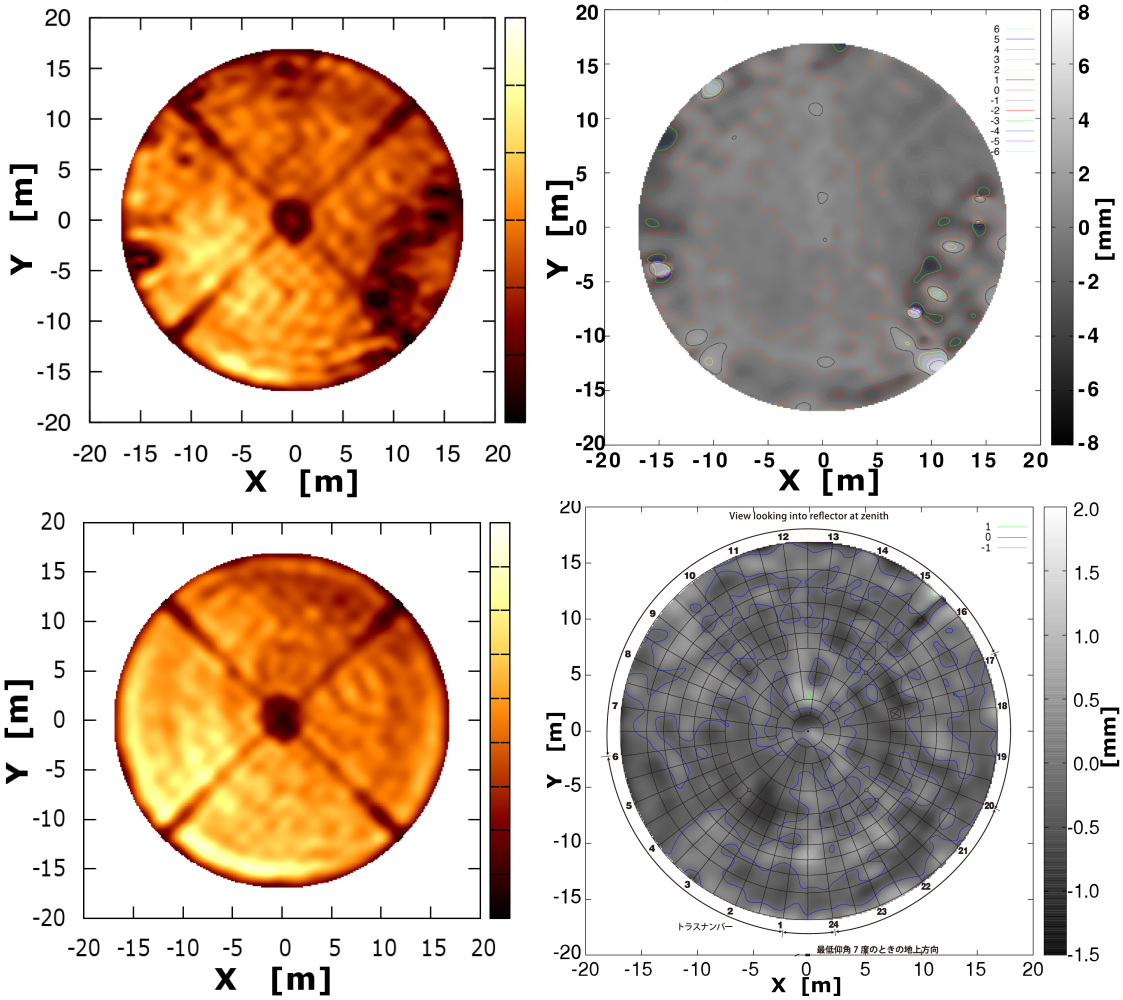

図 3: 左：振幅、右：位相 (主鏡面凹凸)。当初上段 (工事直後の Holography 測定結果 9 月 9 日) のように大きな凹凸を含んでいた鏡面の状態が、Holography 測定と面調整を繰り返した後、下段 (9 月 19 日) のように主鏡面上の分布と凹凸が改善した。

同研究ベースで国立天文台、鹿児島大学、帝京科学大学、筑波大学、東北大学、山口大学や茨城大学と共同研究に基づく電波天文観測も実施している。その主なものは、低周波での観測が有利なパルサー観測 (2GHz,8GHz)、水酸基メーザ観測 (1.6GHz)、木星電波観測、及び国内 VLBI ネットワーク（JVN) と東アジア VLBI ネットワーク (EAVN) の VLBI 観測 (8GHz,22GHz) である。

参考文献

[1] 関戸衛, ほか, “広帯域 VLBI システムの開 発と測地, 周波数比較実験の報告”, 測地学会誌, Vol.63, No.3, pp.157-169, 2018

[2] Benjamin Klein, “Holographic Measurement of the 26mHartRAO Telescope”, Master degree Thesis of Science in Engineering in the University of the Witwatersrand,Johannesburg, 2008. http://wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle/10539/6936/Benjamin_Klein_Msc_Dissertation.pdf