

## VLBI 周波数比較への応用と GALA-V システムの開発 (V) VLBI application for Frequency Transfer and Development of GALA-V System (V)

関戸 衛<sup>1\*</sup>; 岳藤 一宏<sup>1</sup>; 氏原 秀樹<sup>1</sup>; 近藤 哲朗<sup>1</sup>; 宮内 結花<sup>1</sup>; 堤 正則<sup>1</sup>; 川合 栄治<sup>1</sup>; 長谷川 新吾<sup>1</sup>;  
瀧口 博士<sup>1</sup>; 市川 隆一<sup>2</sup>; 花土 ゆう子<sup>1</sup>; 小山 泰弘<sup>3</sup>; 渡部 謙一<sup>4</sup>; 鈴木 智也<sup>4</sup>; 福崎 順洋<sup>5</sup>;  
小室 純一<sup>6</sup>; 寺田 健次郎<sup>7</sup>; 難波 邦考<sup>7</sup>; 高橋 留美<sup>7</sup>; 岡本 慶大<sup>7</sup>; 青木 哲郎<sup>7</sup>; 池田 貴俊<sup>8</sup>  
SEKIDO, Mamoru<sup>1\*</sup>; TAKEFUJI, Kazuhiro<sup>1</sup>; UJIHARA, Hideki<sup>1</sup>; KONDO, Tetsuro<sup>1</sup>; MIYAUCHI, Yuka<sup>1</sup>;  
TSUTSUMI, Masanori<sup>1</sup>; KAWAI, Eiji<sup>1</sup>; HASEGAWA, Shingo<sup>1</sup>; TAKIGUCHI, Hiroshi<sup>1</sup>; ICHIKAWA, Ryuichi<sup>2</sup>;  
HANADO, Yuko<sup>1</sup>; KOYAMA, Yasuhiro<sup>3</sup>; WATABE, Ken-ichi<sup>4</sup>; SUZUYAMA, Tomonari<sup>4</sup>; FUKUZAKI, Junyou<sup>5</sup>;  
KOMURO, Jun-ichi<sup>6</sup>; TERADA, Kenjro<sup>7</sup>; NAMBA, Kunitaka<sup>7</sup>; TAKAHASHI, Rumi<sup>7</sup>; OKAMOTO, Yoshihiro<sup>7</sup>;  
AOKI, Tetsuro<sup>7</sup>; IKEDA, Takatoshi<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構 時空標準研究室, <sup>2</sup> 総務省情報通信国際戦略局技術政策課, <sup>3</sup> 情報通信研究機構 国際連携推進室, <sup>4</sup> 産業技術総合研究所 計量標準総合センター 周波数システム研究室, <sup>5</sup> 国土地理院, <sup>6</sup> 情報通信研究機構 社会還元促進部門 研究開発支援室, <sup>7</sup> 情報通信研究機構 社会還元促進部門 情報システム室, <sup>8</sup> 情報通信研究機構 ネットワークアーキテクチャ研究室

<sup>1</sup>National Institute of Information and Communications Technology, Space-Time Standards Laboratory, <sup>2</sup>Global ICT Strategy Bureau Technology Policy Division, The Ministry of Internal Affairs and Comm., <sup>3</sup>National Institute of Information and Communications Technology, International Relations Office, <sup>4</sup>AIST, National Metrology Institute of Japan, Frequency Measurement Systems Section, <sup>5</sup>Geospatial Information Authority of Japan, <sup>6</sup>NICT, Outcome Promotion Department, Development support Section, <sup>7</sup>NICT, Outcome Promotion Department, Information System Section, <sup>8</sup>National Institute of Information and Communications Technology, Network Architecture Laboratory

### 1. はじめに

NICT は、遠隔周波数比較技術の一つとして広帯域 VLBI を使った周波数比較技術の開発を進めている。このプロジェクト (GALA-V) は、遠距離に置かれた複数のアンテナを使って 3-14GHz の電波星からの電波を受信し、複数のアンテナ間の原子時計の周波数差を精密に比較する計画である。VLBI 周波数比較は、既にある周波数比較技術としての衛星双方向に比べて、多地点の比較が一度に可能で通信衛星の有無に依存せず、GPS を使った方法に比べて衛星の軌道情報の誤差に影響されないなどの利点がある。広帯域観測という点では次世代の測地 VLBI 技術の国際標準仕様として各国が開発をすすめている VGOS (VLBI2010 Global Observing System) に準拠しており、周波数比較だけでなく精密測地学にも利用できる。NICT は広帯域フィードと受信機を独自に開発して 34m アンテナに搭載し、小型の VLBI アンテナをつくばの産業技術総合研究所 (以下、産総研) と、東京小金井市の NICT に設置し、NICT の維持する日本標準時である NICT の UTC [NICT] と産総研の維持する UTC [NMIJ] との比較実験を行っている。測地学への寄与としては、国内の VGOS 局として完成した国土地理院の石岡測地観測局との試験観測を実施し、世界初となる 8 GHz 帯域幅の超広帯域信号の合成に成功した。これにより VLBI の遅延計測精度が格段に向上することが期待される。また米国 MIT の Westford 局との 9500 km の基線で広帯域 VLBI システムを使った初の国際観測を実施して、MIT と NICT それぞれの相関処理でフリッジを検出し、システムの互換性の調整確認を実施している。

### 2. 産総研-NICT 小金井間の周波数比較 VLBI 実験

GALA-V 周波数比較プロジェクトでは、日本標準時を維持する NICT と原子周波数標準を開発している産総研に小型 VLBI アンテナを設置し、VLBI 技術を使った周波数比較のテストベッドとして UTC [NICT] と UTC [NMIJ] の比較実験を行っている。8GHz の周波数で 1GHz 帯域幅を使った観測では、GPS とほぼ同程度の比較ができることを確認した。今後、長期の周波数比較試験や、以下に述べる広帯域の受信システムへ帯域幅を広げた実験を行っていく予定である。

### 3. 国土地理院石岡局との超広帯域の VLBI 試験観測

国土地理院が 2014 年に石岡測地観測局に完成した VGOS 仕様の口径 13m の広帯域 VLBI アンテナ (以下「石岡 13m アンテナ」) は、鹿島 34m アンテナに次いで国内で 2 番目に大きな広帯域観測が可能な VLBI 観測局である。我々は 2014 年末から 2015 年はじめに掛けて、NICT 鹿島 34m アンテナと石岡 13m アンテナの基線で試験観測を実施した。電波星から来る 6-14GHz の周波数帯域の電波を、6つのバンド (バンド幅 1GHz) でデータ取得し、相関処理した結果すべてのチャンネルでフリッジを検出した。更に広帯域のバンド幅合成ソフトによって 6つのバンドのトータル 8GHz 帯域幅の位相を合成することに成功した。このような超広帯域の VLBI 計測は世界初であり、理論的には数十フェムト秒の遅延計測精度となる。しかし実際にはさまざまな誤差要因により精度は低下するため、今後実際の計測精度検証を進めていく。

#### 4. 広帯域 VLBI システム初の国際 VLBI 実験

NICT の進める GALA-V プロジェクトでは、ダイレクトサンプリング方式の新しい独自のデータ取得系を開発するのと並行して、VGOS との共同観測も視野に入れたデータ収集システムの開発を進めている。2015 年 1 月には、米国 MIT の Haystack 観測所の Westford18m アンテナと鹿島 34m アンテナとの間で世界初となる、広帯域 VLBI システムを使った 9500km 基線の国際 VLBI 観測を成功させた。Haystack 観測所と NICT それぞれの取得データは JGN-X, APAN, Internet2 の高速インターネット回線を通して交換され、検証のため両機関でデータ処理を行ってフリッジが確認された。

#### 5. まとめ

GALA-V 周波数比較プロジェクトでは、広帯域 VLBI 観測システムを使って、国土地理院石岡測地観測局との広帯域観測や、米国との試験観測に成功し、VGOS システムとの互換性を考慮しつつ、新しい広帯域の VLBI 観測システムの整備を進めている。2015 年度はこのシステムを使って広帯域化の効果を確認し、長期の周波数比較実験等を行って VLBI 周波数比較の精度検証を進める。

キーワード: 超長基線電波干渉計, 時刻周波数比較

Keywords: Very Long Baseline Interferometry, Time and Frequency Transfer