

NICT 機関報告

市川隆一¹、関戸衛¹、川合栄治¹、瀧口博士¹、岳藤一宏¹、木村守孝¹、堤正則¹、石井敦利^{1,3,4}、Thomas Hobiger²、宮内結花¹、長谷川新吾¹、小山泰弘²、近藤哲朗^{2,5}

¹ 情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター、² 情報通信研究機構、³ 国土地理院、

⁴ 株式会社エーイーエス、⁵ 亞洲大学

1 はじめに

本報告では、2009年度の情報通信研究機構(以下“NICT”と略す)におけるVLBI関連研究の概要について述べる。今年度は第2期中期計画の4年目にあたり、全5カ年の中期計画の中でもそろそろ成果の取りまとめに傾注する時期となる。また、2008年度のプロジェクト再編から1年以上が経ち、光・時空標準グループ次世代時空計測プロジェクトとしての研究推進もほぼ軌道に乗りつつある。特に時刻比較の分野で、“衛星双方向”や“GPS搬送波”などの高精度比較技術とVLBI時刻・周波数比較技術とを並行して実施、あるいは小金井において日本標準時と直結した水素メーザと11mアンテナとが光ファイバ周波数伝送で接続されるなど、目に見える連携も増えてきた。よって、昨年度報告に引き続き、NICT全体枠での“機関報告”とする。

また、今年度は韓国国土地理情報院とNICTとの間でMOUが締結され、韓国測地VLBIの実現に対してNICTがより強力に支援する体制が整いつつある。総務省からの電波利用料枠での受託研究である、“広域電波強度分布測定技術の研究開発”と“統計的手法による放射電力測定技術の研究開発”の2課題については、実験機器の開発が進み、本格的な実証実験を行う段階となっている。以下、個別の課題について述べる。

2 2009年度の個別の研究開発課題

2.1 e-VLBI 技術開発

2008年度に国土地理院(以下“GSI”と略す)に対して行った技術移転に基づく、GSIつくば32m局とドイツWettzell局との間で毎週実施しているUT1計測のための“Intensive実験”は定常運用とみなせるレベルに達し、今年度は4日に1回以上の頻度で観測が実現している。国際e-VLBI実験の大きな成果として、世界天文年

2009を記念する大規模実験に鹿島34m局も参加し、実験成功に寄与したことがある。この実験は、2009年11月18日18:00UTから19日18:00UTに行われた。その他、4、5、及び7月にはJIVEとの22GHz/eVLBI実験に成功している。ソフトウェア開発の面に関連しては、

1. VLBI標準データフォーマット(VDIF:VLBI Data Interchange Format)の策定では2008年度に引き続き関戸主任研究員がメンバとして寄与
2. ADS2000、及びADS3000+を用いた測地VLBI実現のため変換ソフトなどの整備
3. 2006年度より国立天文台(以下“NAOJ”と略す)からの研究受託に基づくVERAソフトウェア関連器“GICO3”の開発完了
4. 上記でも述べた“Intensive実験”の迅速化に向けたデータ伝送ソフトウェア開発

などが主たる成果となる。

その他、鹿島34m局は、2009年度もIVS定常観測に計12回*参加し、国際測地座標系の高精度維持に引き続き寄与している。

2.2 距離基準超小型VLBIシステムの研究開発

距離基準超小型VLBIシステムとは、GPSや光波測距儀の検定を目的として測量法に則って運用される距離比較基線場の較正を目的として、NICTがGSIと共同で開発する分割可搬型VLBIシステムのことである。実際の運用では、本システムを比較基線場の両端に設置し、これらと30m級の大口徑アンテナとで観測網を構成する(図1)[1]。ここで、実際にフリンジを求めるのは、図1にある基線 RX 、及び RY であり、これらから間接的

*T2,RDV,CRFの各実験の他、GSIつくば局代替のIntensive実験1回を含む

にXYを算出する。この手法による基線場構成システムを、我々は“MARBLEシステム (Multiple Antenna Radio-interferometer for Baseline Length Evaluation System/距離基準用多アンテナ干渉計システム)”と呼んでいる。

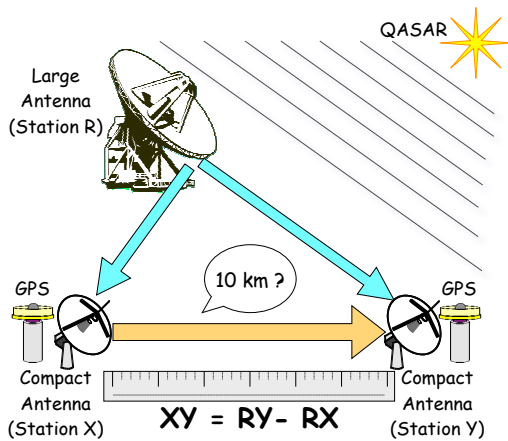


図 1: MARBLE システムのコンセプト

これまでに、我々は図 2 に示すように、距離基準超小型 VLBI システムの初号機、及び 2 号機を開発し、今年度前半までにそれぞれ NICT 鹿島と国土地理院つくば構内への設置を終えた。2009 年 6 月 25-26 日に初号機を用いた最初の測地実験に成功、さらに 2009 年 12 月 24-25 日には初号機と 2 号機の双方を用いた測地実験に成功した。一方、MARBLE システムのコンセプトそのものの検証を目的として、過去の測地 VLBI 観測データの再解析を行ったほか、2009 年 6 月の測地実験データによる解析でも検証した。その結果、後者の実験では、鹿島 11m 局と 34m 庁舎屋上に設置した MARBLE 超小型 VLBI システム初号機との間の基線長を $193845.6 \pm 2.3\text{mm}$ と求めることに成功した。これにより、MARBLE コンセプトの妥当性がほぼ確認できたと同時に、超小型 VLBI システムの測地利用に一步弾みがついたと言える。

2.3 位置認証技術の研究開発

位置認証技術開発に関しては、これまでも、(1)“位置認証サーバ VPS(verified position service)”の改良、及び (2) 数値気象予報データの波線追跡計算による大気伝搬遅延除去の開発を併行して進めてきた。前者については、最新のネットワークセキュリティへの対応を目的として、サーバの再構築をはかり、試験運用を再



図 2: 距離基準超小型 VLBI システム初号機 (左: NICT 鹿島)、及び 2 号機 (右: GSI つくば)。

開している (<http://vps.nict.go.jp/Login.html>)。後者については、昨年度までに“KASHIMA RAYtracing Tools (KARAT)”として開発してきたツールの有効性がほぼ確認できた。最近では、干渉型合成開口レーダ (In-SAR) 観測での大気遅延除去応用やより高分解能の数値予報モデルを用いた方式への発展研究を進めるほか [2]、汎用 PC 用の高性能グラフィックプロセッサによる数値演算高速・並列化技術“GPGPU(General-purpose computing on graphics processing units)”の導入も果たした [3]。また、KARAT を用いた WEB 上での GPS データ補正試験サービス“KASHIMA RAYtracing Service (KARATS)”の試験運用も 2010 年 1 月 27 日より開始した (<http://vps.nict.go.jp/karats/index.html>)。

2.4 VLBI による精密時刻比較

VLBI を用いた高精度周波数・時刻比較手法の確立を目指した研究については、可変長同軸管を用いて標準信号の伝搬路を変化させることにより精度評価を行った。図 3 に示すように、水素メーザからの標準信号供給路に可変長同軸管を挟み、VLBI、GPS、DMTD の 3 つで伝搬路変化量の比較を行った。その結果、DMTD の変化量を基準とした場合、変化量の差のばらつきが、GPS で 18ps 、VLBI では 8ps と 2 倍以上良い値が得られた。その他、鹿島 11m 局に水素メーザや信号分配器を収納する恒温室を設置し、また小金井では日本標準時の生成系に信号供給を行っている水素メーザと 11m 局とを結ぶ光ファイバ標準信号伝送系を敷設するなど、周辺インフラの整備に努めている。2010 年度は、距離基準超小型 VLBI システムを用いた時刻比較 VLBI 実験を鹿島-小金井間で実施すべく準備中である。

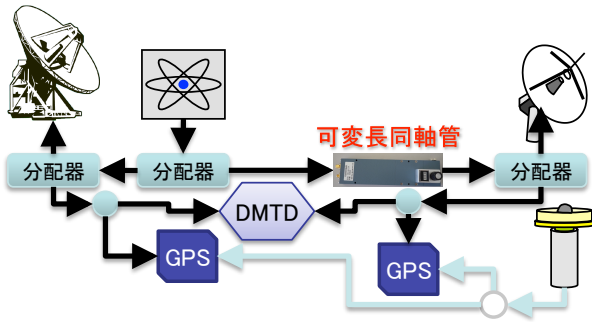


図 3: 可変長同軸管を用いた VLBI 時刻比較法の評価。

2.5 総務省受託研究

2.5.1 広域電波強度分布測定技術の研究開発

限られた周波数資源の有効利用を実現するために、100MHz-3GHz の帯域で広く利用されている信号の時空間強度分布を把握する技術開発を進めている。この技術を、“DoREMI: Distribution of Radio Emission Measurement Interferometer” と名付け、2007 年度には 1GHz 以下の低周波数部受信系の設計と試作、2008 年度は 1-3GHz の高周波数部受信系の設計と試作 (2 式)、さらに 2009 年度は高周波数部受信系の残りの 2 式を製作した。2008 年度には、水平方向からの信号を効率良く受信可能な曲面反射鏡を試作したほか、市販品として製品化されている涙滴型アンテナとを比較したが、双方を検討した結果、2009 年度の製作では涙滴アンテナを採用することにした。また、高速 A/D サンプラ ADS3000+ の改修にも着手した。これまでに、1 チャンネルで 2Gsp/s の高速サンプリングを実現しているが、データ量が大量となるため、処理に非常に時間を要する問題がある。また、帯域内に強い信号が入ると他の周波数の信号の SN が充分に取れなかった。そこで、帯域信号抑圧フィルタを実装してフラットな特性を持たせ、かつ 16 チャンネルに分割して処理したい帯域を出力させるような拡張を ADS3000+ に施すこととした。この拡張を行う前段階での周波数切り出しテスト結果も良好であり、2009 年度末までに新たな機能を実装した ADS3000+ が稼働する予定である。

2.5.2 統計的手法による放射電力測定技術の研究開発

本課題は、電波天文学的手法を応用し、一定の積分時間をかけて非常に微弱な信号 (例: UWB など) の検出

を行う技術を確認することを目指し、2008 年度から開発を開始した。なお、本システムの名称を、“System to Investigate Radio Intensity Using Statistics (SIRIUS)” と名付けた。名称にもあるように、この開発の主眼は、統計的な有意性の有無を検定することで微弱電波検出の評価基準とすることにある。

2008 年 10 月が実質的な開始時期だったため、まだ具体的な進展はあまりないが、想定する信号の周波数帯は、800MHz-26GHz で、低周波数部 (800MHz-3GHz)、中周波数部 (3-9GHz)、及び高周波数部 (9-26GHz) の 3 つに分けて開発を行う予定である。今年度は低周波数部受信系開発を進め、ホーンアンテナを用い、90 度フェイズシフターを用いて位相をずらして USB と LSB の双方を受けられる仕組みを考えている。データ取得系として VSSP32 を用いるほか、計算機にフェライトスイッチを実装し、対象電波源からの信号と、校正用の信号とを交互に取得できる機構とすることを考えており、1 台の PC だけで自動データ取得と制御の双方が可能となる。

3 鹿島 34m の現況

錆による鹿島 34m アンテナの構造劣化を防ぐために、2008 年度に引き続き、今年度についても大規模補修工事を実施した。ただし、今年度については、今後の補修工事計画の資料とするために、まず 2009 年 5 月に 2 週間程かけて構造体への錆進行状況の調査を実施した。その上で、2009 年 9-10 月期に、図 5 に示す箇所 of 工事を行った。これにより前年度と合わせて主鏡面のほぼ 70% の補修を終えたことになる。ただし、主鏡の錆はかなり偏在しており、この 2 年間の工事で実際に補修必要箇所のほぼ 90% に対処がなされた。また、2009 年 6 月には、劣化が激しかったセンターフィードのフィドームを ECOTEC1200[®] という膜材で交換した。しかしながら、10 月以降になり、この新フィドームへの雨の吸収による影響と思われるシステム雑音温度の増加が 22GHz 受信の際に認められるようになった。再度膜材の選択を検討した結果、GORE-TEX[®] を新たに採用し、2010 年 1 月に再度交換を行った。交換後はシステム雑音の異常上昇は認められていない。

4 まとめ

NICT 機関報告として、グループ再編により再構築された研究開発プロジェクトと総務省受託課題の進捗状

況、鹿島 34m アンテナの現況、及び今後の予定などを紹介した。幸いにしてそれぞれのプロジェクトで目覚ましい成果を上げつつあり、第2期中期計画の折り返しを何とか無事に終えつつある。今後、成果のとりまとめのフェーズに入ると同時に、次期中期計画に VLBI 関連研究をどのように位置付けるかが大きな課題である。内外との連携をさらに深めつつ、次期計画の検討を進めていくつもりである。

5 謝辞

本編で述べた 34m アンテナフィードーム膜材の更新に至る 22GHz でのシステム雑音温度上昇の計測は鹿児島大学井村氏他によって得られた。この計測によって、34m アンテナの性能低下を食い止めることができた。この場をお借りして感謝の意を表す。

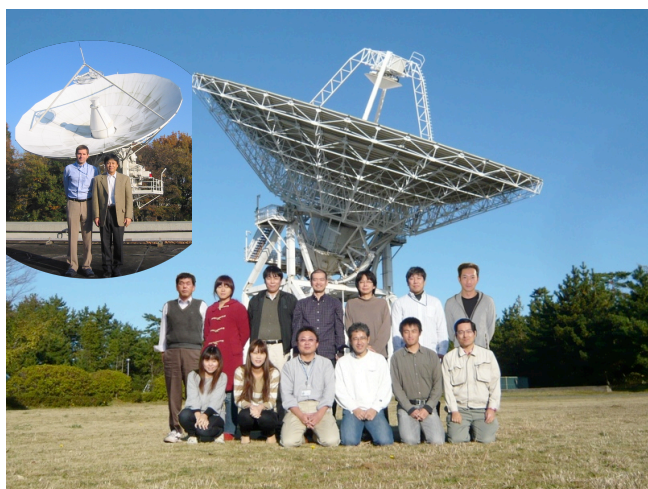


図 4: NICT の VLBI 研究スタッフ (鹿島及び小金井 /2009 年 11 月 18 日撮影)

参考文献

- [1] Ichikawa R., Ishii A., Takiguchi H., Koyama Y., Kondo T., Kokado K., Kurihara S., and Matsuzaka S., Present Status and Outlook of Compact VLBI System Development for Providing over 10km Baseline Calibration, TDC/News, Vol.30, pp.22–25, 2009.
- [2] Hobiger, T., Shimada, S., Shimizu, S., Ichikawa, R., Koyama, Y. and Kondo, T., Improving GPS

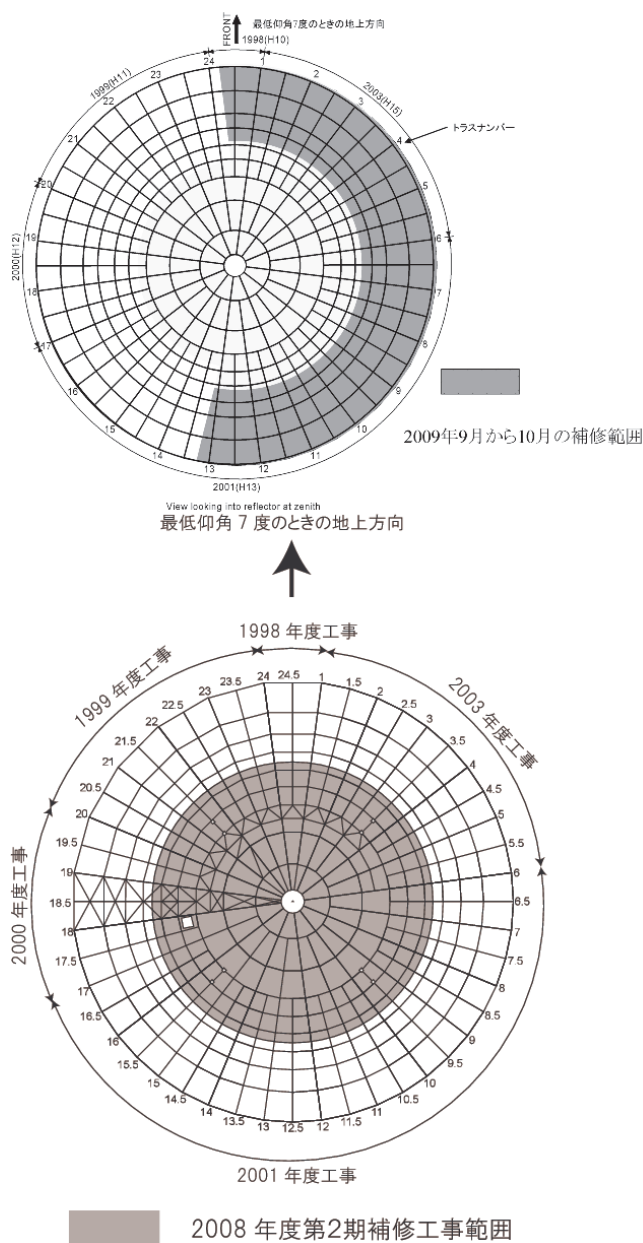


図 5: 2009 年 2 月、及び 2009 年 9-10 月に実施した鹿島 34m の補修工事箇所 (それぞれ灰色で塗った部分)

positioning estimates during extreme weather situations by the help of fine-mesh numerical weather models, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 72(2-3), pp. 262–270, 2010.

- [3] Hobiger T., Ichikawa R., Koyama Y., and Kondo T., Computation of Troposphere Slant Delays on a GPU, *IEEE Trans. Geo.*

Rem. Sens., Vol.47, No.10, pp.3313 – 3318,
10.1109/TGRS.2009.2022168, 2009.