

VLBI 観測局の高度化に関する研究（第5年次）

実施期間	平成 15 年度～平成 19 年度		
測地部宇宙測地課	小門 研亮	栗原 忍	
	重松 宏美	町田 守人	
	岩田 悦郎	谷本 大輔	

1. はじめに

国土地理院のつくば VLBI 観測局では、VLBI 観測局の高度化として、Kバンドを用いた VLBI 観測システムの構築と地球自転計測（UT1 観測）の迅速化に関する研究を行った。

2. 研究内容

2. 1 Kバンドを用いた VLBI 観測システムに関する研究

1) 研究の背景

測地 VLBI では、観測周波数帯域として伝統的に S バンド（2 GHz 帯）と X バンド（8 GHz 帯）が用いられてきた。近年、S/X バンドでは携帯電話・衛星通信など商用目的への周波数資源の割り当てが進んでいる。これらの人工的な電波源は現代社会に利便性をもたらす反面、VLBI 観測が使用する周波数帯域と重複する。深宇宙の天体電波源から伝播してくる極微弱の宇宙電波を受信しようとする際に強力な商用電波源に埋もれてしまい、測地 VLBI にとって障害となる。限られた周波数資源をこれらの競合相手から宇宙電波観測のために保護する手厚い法規制は十分には整備されておらず、測地 VLBI 観測にとって危機的な状況を呈している。将来的には高周波の K バンド（20 GHz 帯）へ測地 VLBI 観測の観測帯域移行を検討しなければならない。国土地理院のつくば 32m アンテナは、第 1 斜鏡を切り替えることによって、S バンド・X バンド同時受信のほか、K バンドでの単独受信が可能な設計仕様になっている（図-1）。

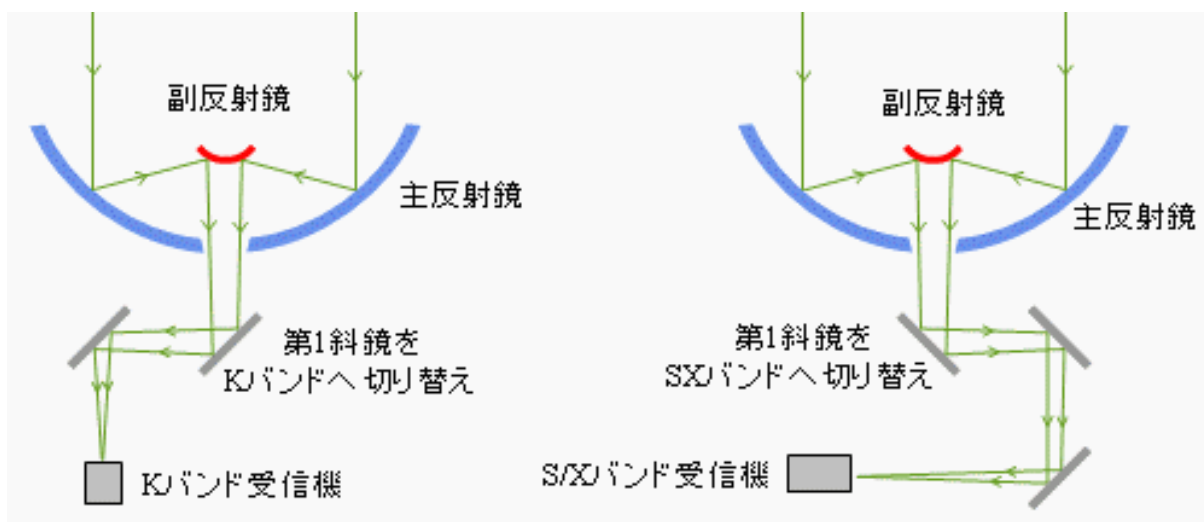


図-1 つくば 32m アンテナの給電部

Kバンド測地観測の実用化へ向けた基礎的な知見の拡大を図るため、Kバンドでの宇宙電波観測に関する豊富な技術を持つ筑波大学と2005年4月に共同研究を提携して、Kバンド受信観測システムの開発やKバンドでのアンテナ性能評価に取り組んできた。

2) 研究概要

筑波大学・宇宙観測研究室と共同でKバンド受信機を開発する。これをつくば32mアンテナに搭載して、受信機の性能評価、試験観測、受信機調整を実施する。その後、20GHz帯で天体電波源の観測を実施して、測地VLBIに使用可能な天体の調査をおこなう。

3) 得られた成果

2006年12月にKバンド受信機を搭載して第1段階の稼動確認であるエンジニアリング・ファーストライトを達成した。このうち、本格的なKバンド観測の実施に向けて、各種の機器調整やポインティング観測を続けてきた。単一鏡モードでの観測から、定在波と思われる周期的な雑音が認められた。微弱な天体の観測にとって妨げとなることから、雑音をできるだけ小さくする必要があり、定在波の解消が検討された。定在波の節にあたる副鏡付近への電波吸収体仮設と、フィドーム（雨避けカバー）の一時的撤去などの試験を実施して、フィドームで大きな反射がおきて、ホーン下の冷却受信機の信号入力窓との間での反射を含む定在波が立っていることがわかった。従来のフィドームを取り外し、より反射の少ないゴアテック製のフィドーム膜へ交換した（2007年10月21日）。これによって定在波が大幅に減少して、ほぼ設計仕様どおりの精度で観測が可能になった。また、Kバンド受信機取り付け位置付近に発生していた結露に対策を講じて、雑音の低減に努めた。Kバンド用分光計を設置していたKバンド・シェルターの空調機が不安定だったため、より室温が安定している観測局舎バックエンド室へ分光計を移動させた。またアンテナの指向性を向上させ、全天で誤差 $\text{rms} \sim 20''$ 以下の精度とした。11月以降、精力的に天体物理学的観測を続けている。

4) 今後の取り組み

輝度が判明している天体（惑星、月）を使ってアンテナ利得の測定をおこない、アンテナの観測性能の向上を図る。Kバンド受信機及び制御系を最適状態へ調整して、全天での大規模な天体電波源の掃引を実施して、Kバンドで利用可能な天体電波源の調査に取り組む。

2. 2 地球自転計測（UT1 観測）の迅速化に関する研究

1) 研究の背景

地球自転の速さ（UT1）は、人工衛星の軌道決定や宇宙探査、さらにGPS観測データの解析等に欠かせない情報であるが、時々刻々と変化しているため予測が難しいパラメータである。この予測精度を向上させるため、VLBI観測による実測値をできる限り早く算出・提供することが求められている。IVSでは、UT1計測のみを目的とした1時間観測を実施しており、つくば32mアンテナもこの観測に参加している。しかしながら、これらの観測ではUT1を算出するまでに観測終了後、数時間～数日かかっている。そこで、宇宙測地課では、情報通信研究機構（NICT）やスウェーデン、フィンランドのVLBI観測局と提携して、観測終了後30分以内でのUT1算出を目指して計測実験を実施してきた。

2) 研究概要

準リアルタイムでの UT1 計測を実現させるには、数十 Gbyte にも及ぶ大容量の VLBI 観測データをリアルタイムで転送し、迅速にデータ処理・解析を行う必要がある。そのため、NICT とともにインターネットを用いたリアルタイムでの高速データ転送技術やデータ処理・解析の自動化などの開発、実験に取り組んだ。

VLBI 観測におけるリアルタイムデータ転送には、観測中のデータ記録速度である 256Mbps 以上の速度が必要となる。そこで、Tsunami と呼ばれる高速データ転送用の UDP プロトコルを使用し、観測されたデータを自動的にネットワーク転送するシステムを開発した。これにより、スウェーデンのオンサラ観測局、あるいはフィンランドのメツァホビ観測局で観測されたデータのリアルタイム転送が可能となった。

相手観測局から転送されたデータは Mark5 と呼ばれるフォーマットであり、つくばの K5 フォーマットと異なる。これらのデータを相関処理するには、Mark5 データを K5 データにフォーマット変換する必要がある。転送されたデータを逐次フォーマット変換し、相関処理を実行する自動スクリプトを作成した。相関処理後のデータ解析についても、NICT で開発された自動解析プログラムを使用することにした。これらのプログラムやスクリプトを使用することにより、データ転送から解析までのプロセスをほぼ自動で実施することができ、全プロセスが問題なく完了すれば、観測終了後数分での UT1 算出が可能となった。

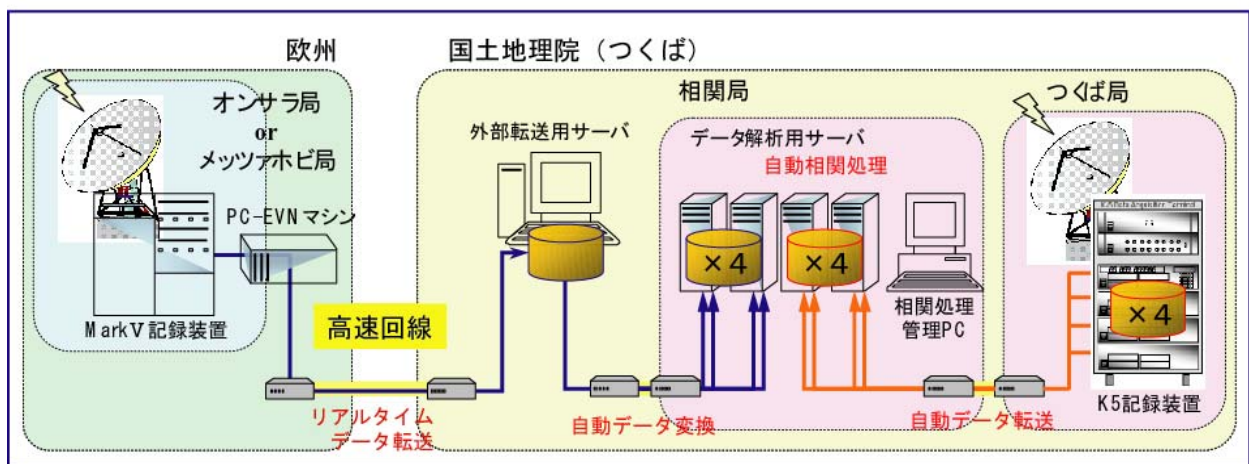


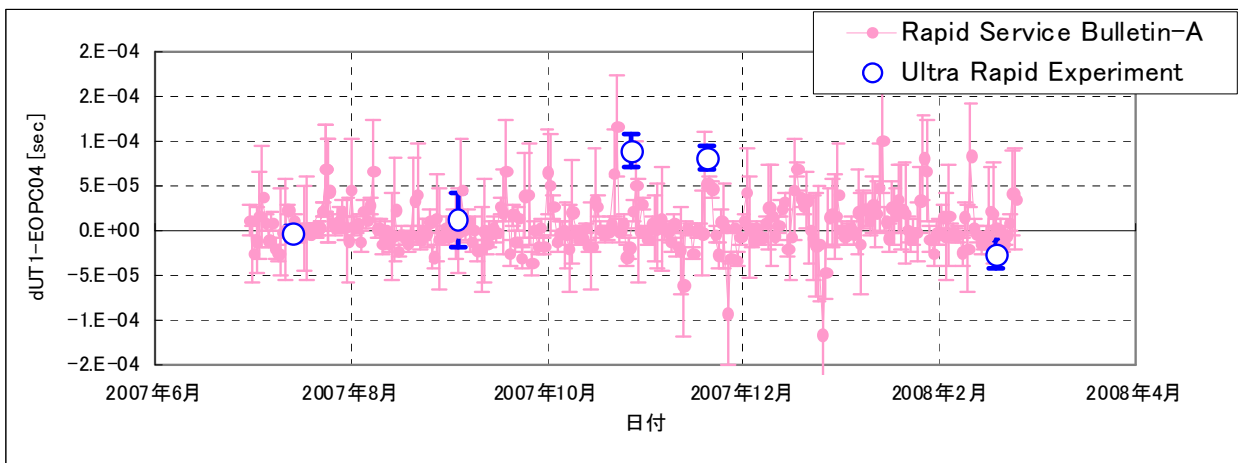
図-2 準リアルタイム UT1 計測実験のプロセス図

3) 得られた成果

構築したシステムを用いて、計 5 回の観測実験を実施した。実施日と実験結果は表-1 のとおりである。実験当初から各プロセスで問題が発生したものの、実験を重ねるごとにこれらの問題を解決し、最終的に観測終了後 3 分 45 秒での UT1 算出に成功した。この結果は従来の算出時間である数時間～数日を大幅に短縮したものであり、現時点において、世界で最も早く算出された実測値であると言える。算出した UT1 誤差は $15 \mu \text{ sec}$ 以下であった。定常的に実施されている UT1 観測の場合、 $10 \mu \text{ sec}$ 以下であるため、これと比較するとやや精度が低い。これは観測スケジュールが UT1 観測に最適化されていなかったことによるものであると思われる。図-2 では、IERS (国際地球回転観測事業) で求められた地球回転パラメータの速報値 (Bulletin-A) と本実験の結果を比較した。

表－1 各実験結果①

実験日	実験内容	算出 UT1 誤差 [μ sec]
2007/7/14	リアルタイムデータ転送に失敗. 観測終了後にデータ転送・変換, 相関処理, データ解析を実施.	6.90
9/7	リアルタイムデータ転送に成功. 自動データ変換プログラムが正常に動作せず失敗. 観測終了後にデータ変換, 相関処理, 解析を実施	30.77
10/29	リアルタイムデータ転送・自動データ変換に成功. 自動相関処理に失敗. 観測終了後に相関処理, 解析を実施.	19.47
11/22	全てのプロセスに成功. 自動データ変換が予想以上に遅く, 観測終了後, 約 50 分後に UT1 算出.	12.86
2008/2/22	全てのプロセスが正常に動作. 観測終了 3 分 45 秒後に UT1 算出.	15.00



図－3 実験結果と IERS Bulletin-A との比較

4) 今後の取り組み

つくば VLBI 観測局・相関局は IVS による UT1 観測に毎週末参加しており, これまで 1 日～3 日後に解析結果を提供してきたが, 今回の実験で, 観測終了後数分での UT1 算出が可能となった. 今後, この定常観測に本実験のシステムを導入し, 観測直後に解析結果を提供する予定である.

3. 結論

VLBI 観測局の高度化に関する研究として, Kバンドを用いた VLBI 観測システムに関する研究と地球自転計測の迅速化に関する研究を進めた. 両研究は現在, 実際の測地 VLBI 観測で実用化するまでには至っていないものの, 試験観測 (Kバンドについては単一鏡での天文観測) に成功したことで実用化に向けて大きく前進したと言える. 今後, これらの研究成果を実用化するため, 観測システムの整備を実施する予定である.