

3.3 実時間 VLBI システム

3.3.1 KSP での実時間 VLBI システム概要

今江 理人*¹ 浜 真一*² 吉野 泰造*²

(1995年10月16日受理)

3.3 REAL-TIME VLBI SYSTEM

3.3.1 THE CONCEPT OF REAL-TIME VLBI SYSTEM FOR THE KEY STONE PROJECT

By

Michito IMAE, Shin'ichi HAMA, and Taizoh YOSHINO

A real-time VLBI using high-speed data transmission network for the VLBI observation data is being planned for KSP (Key Stone Project) VLBI stations in cooperation between CRL and NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corp.). The real-time VLBI is expected to be one of the breakthrough technologies for improving VLBI performance.

In the KSP project we are planning to connect four VLBI stations by a high-speed digital data network which has a maximum transmission capability of 2.4 Gbps. The observed data at each KSP VLBI station will be transmitted to the correlation center located at the CRL Headquarters in Koganei and will be processed by the correlation processor in real time.

This system is one of the most significant technologies in the KSP project, and will give us crustal deformation data quickly. It is expected to be very useful for predicting earthquakes in the Tokyo Metropolitan Area.

[キーワード] VLBI, ATM, 超高速デジタルネットワーク, 実時間データ伝送.

VLBI, ATM, High-speed digital network, Real-time data transmission.

1. ま え が き

実時間での VLBI (Very Long Baseline Interferometry; 超長基線電波干渉計) 観測データの伝送, 処理は, 従来の VLBI の持つ各種の制約を打破するブレークスルー的な技術として国内外の VLBI 関連機関で検討が進められつつある画期的な技術である。

当所で整備を進めつつある首都圏広域地殻変動観測システム (KSP; Key Stone Project) は, 首都圏直下型地震調査研究のための精密地殻変動の監視という使命を有しており, 高精度の地殻変動観測データを迅速に関係機

関へ提供すること重要な機能の一つである。同システムは, VLBI と SLR (Satellite Laser Ranging; 衛星レーザー測距) という現代の精密宇宙測地技術を組み合わせたものである。

このため, KSP における VLBI システムでは, NTT (日本電信電話株式会社) との共同研究の下, KSP 4 局を超高速デジタルネットワークで結合し, 観測データの実時間伝送, 並びに, 実時間相関処理の実現に向けて準備を進めている。

本技術開発, 並びに, 整備が実現できれば, 観測と同時の相関処理, 2~3 時間間隔での mm オーダーでの地殻変動解析結果の算出という世界に類を見ない観測システムの実現が可能となる。

*¹ 標準計測部 周波数標準課

*² 標準計測部 時空技術研究室

本稿では、実時間 VLBI の概念、KSP における実時間 VLBI の概要に関して紹介する。

2. VLBI と実時間データ伝送

2.1 VLBI 観測

VLBI は、第 1 図に示すように、電波天文観測技術の一つである電波干渉計を元にして発展してきた観測技術であり、観測局間の距離（基線長）をより長くするため、

- ①各局に独立、かつ、高安定ローカル信号源を用いて観測すること
- ②高速のデータレコーダー等の記録装置により受信信号の記録を行うこと

を特徴とする観測手段である。

この両者により、観測局間の基線長に制限をなくすことができ、地球上のほぼ任意の地点との間での VLBI 観測を可能にしたわけである。

高安定ローカル信号源としては、水素メーザー型原子周波数標準器といった短期安定度に優れた原子時計を用いることにより、100～1000 秒という積分時間を可能にし、微弱な電波星からの信号を利用することを可能にしている。

一方、データレコーダーは VLBI 観測システムの中核となるもので、記録レートが観測上の帯域幅を上限づけ

るとともに記録方式（記録媒体、レコーダーの形式）が処理システムを含む VLBI システム全体を特徴づける重要な要素である。

即ち、観測データの記録装置と記録媒体（現状では、データレコーダーと磁気テープ）が観測と相関処理の間に介在しているため、各観測局、相関処理局の記録方式の互換性の問題があり、VLBI 技術革新と普及面での課題の一つでもある。

2.2 VLBI の高精度化等のための課題

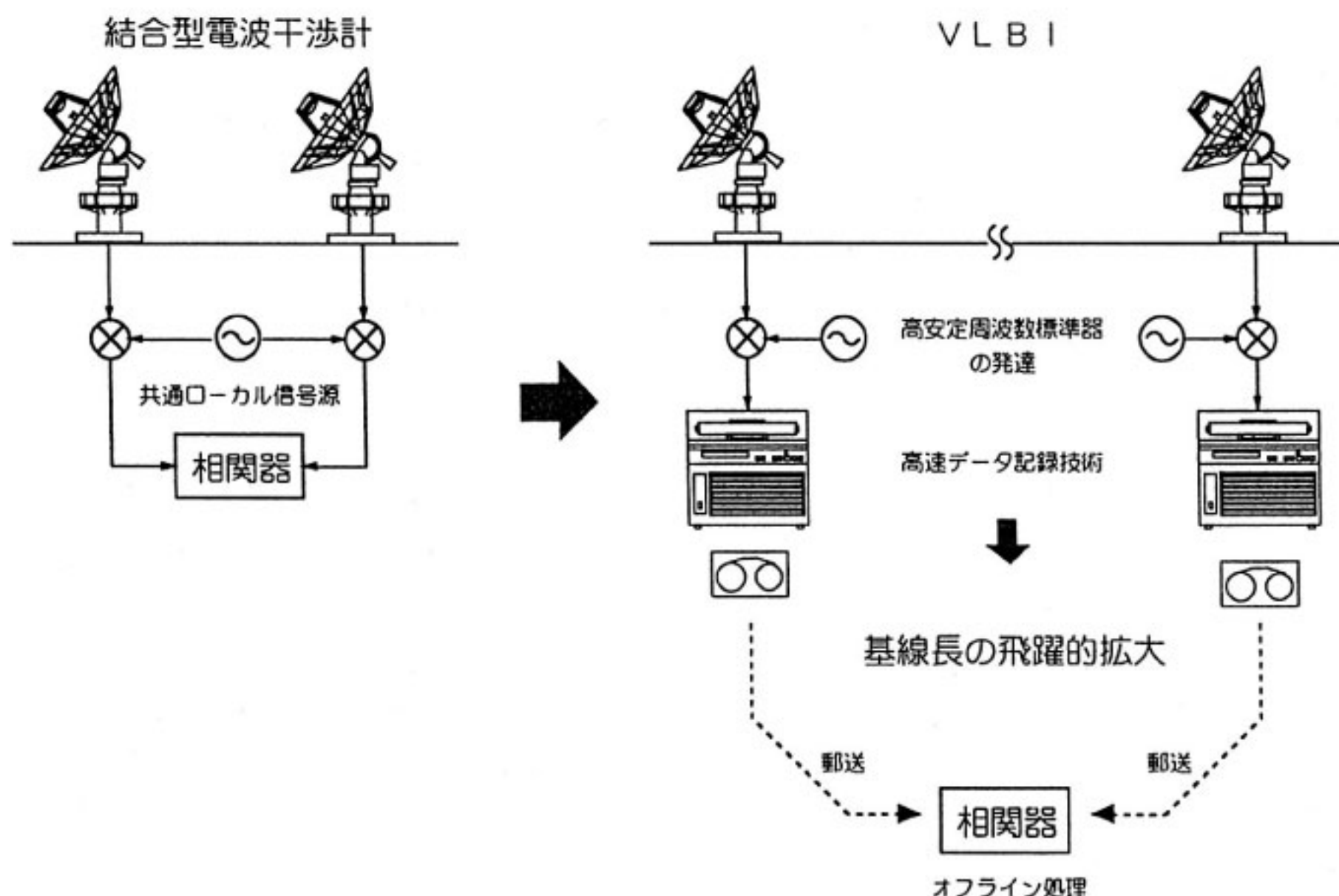
VLBI における観測精度向上、また、運用上での課題としては以下のものを挙げる事ができる。

(1) データレコーダーの記録レート

VLBI 観測は、（熱雑音に起因する部分に関して）観測帯域幅をより広くすることにより観測精度を向上することが可能である。しかしながら、データレコーダーの記録レートの制約上、観測記録帯域幅に上限があり、精度向上のための課題となっている。

(2) 記録媒体の互換性

各観測局が保有している VLBI システムの違いにより、一般的には互換性がないため、VLBI 観測が不可能な場合が多い。これは、技術的な問題というよりも相関処理体制に起因する問題であるが、一般的に相関処理局は単一の VLBI システムを想定して構築されている場



第 1 図 結合型干渉計から VLBI へ
高安定原子標準による“独立ローカル”，大容量データ記録装置の発展により，“基線長”に依存しない観測が可能となった。

合がほとんどであることによるものである。

例えば、S2方式の観測局とK-4方式の観測局とは、両者の混合相関を行う相関処理装置が存在しないため、VLBI観測が事実上不可能である。

(3) 処理解析までの時間的遅れ

データレコーダー等の記録装置で記録媒体に記録し、相関局で処理解析を行う場合、記録媒体（通常磁気テープ）の輸送に要する時間的遅れ、また、相関局では、記録されたデータを再生することにより相関処理を行うため、再生に時間を要することから、通常近距離の場合数日、国際基線の場合、1ヶ月オーダーの時間的遅れを生じることが常である。

2.3 超高速デジタル信号伝送とVLBI

最近の光ファイバー、並びに、光伝送システムの発達に基づく超高速デジタルネットワーク技術の発展が急速であり、156 Mbpsでの商用運用、2.4 Gbpsでの基幹回線の実用化、またさらには、Tbpsオーダーでの超高速データ通信の実現など、大容量・高速化への話題に事欠かない程である。また、通信方式としても、ATM (Asynchronous Transfer Mode; 非同期転送モード)⁽¹⁾ といった通信モードの導入により、高速伝送路で各種メディアとの整合性を確保することが可能になっており、その進歩は目覚ましい。

この超高速デジタル伝送をVLBIへ応用—実時間で

のVLBIデータ伝送—することが、VLBIの課題のいくつかを解決する手段として、内外のVLBI関係機関で検討がなされつつある。

即ち、記録手段に依存しないため、

- (1) VLBI広帯域化
- (2) レコーダーの互換性の問題の解消
- (3) 処理解析の迅速化

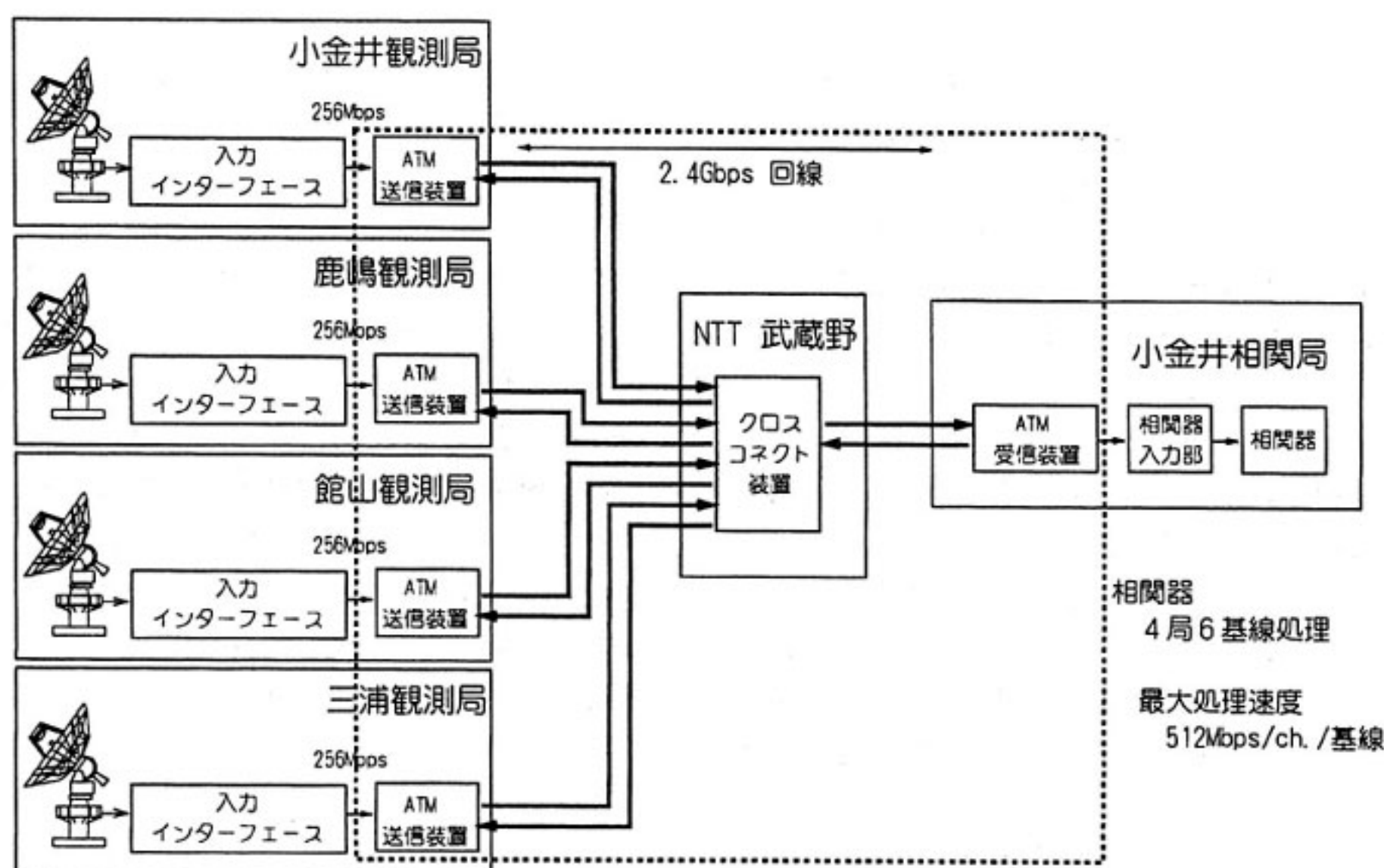
が期待できる。

VLBI側から見た場合、“VLBI各局を通信回線で結合した電波干渉計”と考えることができ、ある意味でVLBIの“先祖帰り”とも言えることが出来る。

3. KSPにおける実時間VLBI

第2図にKSPシステムにおける高速デジタル回線を用いた実時間VLBIシステムの概念図を示す。

各観測局にはVLBI観測装置、超高速デジタル回線へのインターフェース装置(ATM送信装置)等が設置され、小金井相関処理局には、超高速デジタル回線とのインターフェース装置(ATM受信装置)と相関処理装置が設置される⁽²⁾。各観測局と相関処理局との間は、2.4 Gbpsの超高速デジタル回線で結合されるが、各局からの信号は、一度NTT武蔵野に設置されるクロスコネクタ装置へ集められ、このクロスコネクタ装置と相関処理局との間は、1系統の2.4 Gbps



第2図 KSP-VLBI 4局を結ぶ実時間VLBIシステムの構成
点線内部分がATM高速デジタルネットワークによる部分で、レコーダー方式との互換性を有している。

の回線で結合されている。即ち、相関処理局へは、4局分のデータが1回線で伝送されるネットワーク形態を取っている。

各観測局における VLBI 観測装置は基本的には通常のレコーダーベースの VLBI 観測装置と同様であり、アンテナで受信/周波数変換された IF 帯の信号をデジタルサンプリングする⁽³⁾。

各観測局でのサンプリングレートは受信信号から 16 チャンネル (1 チャンネル 8 MHz 幅) を選択し、1 ビットサンプリングモードで 16 Mbps/ch., 即ちトータルで 256 Mbps で観測することを基本としている。これは、通常のレコーダーベースの VLBI 観測との互換性を考慮したものである。実際に回線にインターフェースされる信号としては、タイミングに関する情報等もふくまれるため、一局あたり 300 Mbps 程度のデータ量となる。

KSP における超高速デジタル回線は、KSP 用に専用線的に利用で可能であり、KSP 用に特化した伝送方式をとることも可能であるが、将来への発展性を考慮し、ATM 方式を用いた送受信装置の設計がされている。

この際の ATM 方式送受信装置の制約条件として、

- ① ATM でのセル化に伴う受信データの揺らぎ (ジッター) を受信装置側で吸収すること。
- ② 回線の伝送遅延による各観測局からのデータの遅延を受信装置側で吸収すること
- ③ セルの欠落や不要なセルの発生がないこと

が VLBI 観測上、重要なファクターであり、本実時間 VLBI システムの設計概念としては、第 2 図の点線で区切られた部分におけるインターフェース条件が、従来のレコーダーベース VLBI と極力一致する様に設計を行っている。即ち、観測局にあっては、データレコーダーに信号を記録するイメージで、また、相関処理局においては、データレコーダーを再生した信号を相関器へ入力するイメージで観測データが伝送されるように伝送装置の設計を行っている。

相関処理装置は、基本的にレコーダーベースの相関処理装置と同一のものを用いており、その詳細は本特集号別稿に記述されているが、処理能力は 1 局あたり 512 Mbps の観測レートまで対応できる⁽⁴⁾。ただし、相関器運用ソフトウェアは、レコーダー対応のものに機能追加が必要である⁽⁵⁻⁶⁾。また、相関処理部は 4 局 6 基線分準備されており、KSP の 4 局データの全基線の処理が可能である。

当面は、データレコーダーとの互換性を維持するため 256 Mbps での実時間 VLBI の観測処理の早期実現を目標としているが、将来的には、512 Mbps での観測も可能な様にシステムの性能向上を図っていく予定である。

4. 実時間 VLBI の課題

実時間 VLBI は、2 で述べた現状の VLBI のブレークスルーとしての可能性を秘めたものであり、技術的に興味深いものではある。しかしながら、下記のようにいくつかの課題があり、万能のものではないことに注意を払う必要がある。

(1) 回線経費

科学的、或いは、技術的な問題ではないが、高速ネットワークの発達とはいっても、数百 Mbps~数十 Gbps といった大容量データ伝送に要する回線料は、現状では非常に高価である。今後、回線料のある程度の低廉化は期待できるが、何らかの抜本的方策が必要であろう。

(2) 同一観測データを用いた再 (相関) 処理が困難

当然ながら、バックアップ用のデータ記録系を持たない限り、実時間 VLBI 方式では生データは残らない。このため、同一のデータを再相関処理をするような観測形態には不向きな形態であるということができ、実時間 VLBI に適した利用形態に関する吟味が必要と考えられる。

(3) 地球回転パラメーターの影響

実時間で基線解析までを行う場合、地球回転パラメーターとしては、確定値を用いることはできない。このため、予測値を用いるが、その予測精度に起因した解析誤差を生じる可能性があり、また、解析手法に関する改良を行うなどの検討が必要である。

これらの課題を評価していく上でも、KSP における実時間 VLBI 実運用を行い、テストフィールドとして活用されることが期待される。

5. ま と め

本特集号別報告で述べられているとおり、KSP における小金井、鹿嶋、三浦の各観測局は、既にレコーダーベースでの実運用に入りあり、連日観測を行いつつある。これに実時間 VLBI 機能が付加されることにより、高時間密度で、かつ、観測後数時間での基線解析という世界に類を見ない VLBI 観測網が完成することになる。

本システムは、データレコーダーとの互換性から 256 Mbps でのデータ伝送を基本としているが、高伝送レートを利用した観測精度の向上に向けた研究開発にも活用が期待される。

謝 辞

KSP における実時間 VLBI 実現に関しては、当所の共同研究相手先である NTT 通信網総合研究所の関係各位の一方ならない御尽力のたまものであり、感謝する次

第です。

参 考 文 献

- (1) 川原崎, 他, “ATM 通信技術の動向”, 電子情報通信学会誌, vol.71, No.8, pp.806-814, 1989.
- (2) 渡邊, 他, “3.3.2 ATM 網におけるリアルタイム VLBI 通信装置構成”, 通信総研季, 42, 1, pp.79-84, Mar.1996.
- (3) 木内, 他, “3.2.2 データ取得系”, 通信総研季, 42, 1, pp.29-35, Mar.1996.
- (4) 木内, 他, “3.4.1 相関処理装置”, 通信総研季, 42, 1, pp.91-98, Mar.1996.
- (5) 浜, 他, “3.3.3 実時間データ処理システム”, 通信総研季, 42, 1, pp.85-89, Mar.1996.
- (6) 近藤, 他, “3.4.3 バンド幅合成ソフトウェア”, 通信総研季, 42, 1, pp.109-119, Mar.1996.

