

## III. 新技術の開発

### III. 1 概説

近藤哲朗\*

(平成元年10月6日受理)

#### III. DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGY

#### III. 1 OUTLINE OF THE K-4 VLBI SYSTEM

By

Tetsuro KONDO

A newly developed K-4 VLBI data acquisition system by the Communications Research Laboratory (CRL) is compatible with conventional K-3 and Mark-III VLBI systems but is much more compact in size and the recorder capability is much higher. The K-4 recorder has a helical scanning head and uses a 3/4 inch wide cassette tape. Although the tape is shorter and narrower than the tape for K-3 (1 inch×9500 feet open reel tape), it is possible to record 16 channels of data simultaneously (14 channels in case of K-3 recorder) for 4 hours (about 10 times as long as K-3) in one tape. This diminishes the operator's work load, and contributes to reduced running cost.

A Satellite Laser Ranging (SLR) system has also been constructed at HQ/CRL. Collocational observations of SLR and VLBI systems are planned to check systematic errors and to combine both coordinate systems adopted in analyses.

An ionospheric delay measurement system using a Global Positioning System satellite has also been developed. This system is promising in correcting the ionospheric delay when a VLBI experiment is carried out with a single frequency band.

#### 1. はじめに

1983年に通信総合研究所(当時電波研究所)が開発したK-3型VLBIシステムは、米国で開発された測地目的のMark-III VLBIシステムと互換性を有したシステムであり、米国以外で開発されたVLBIシステムとしては初の本格的なシステムで、1984年からの国際VLBI共同実験に参加し、現在に至るまで日米実験等で活躍している。しかしながら、K-3システムの記録時間はテープ1巻あたり僅か26分間であり、通常の1日に及ぶ実験時には頻繁なテープ交換が必要となる。この記録時間の短さはオペレータへの大きな負担を強いる他に、K-3システムの運用経費(観測テープの購入費や輸送経

費)が高い原因ともなっている。今後、VLBI観測時のオペレータへの負担を軽減するためにも、また運用経費を引き下げるためにも高密度大容量記録システムの開発が必要である。また超小型VLBI局用として用いるためにも小型のシステムが望まれている。

西太平洋電波干渉計の開発とともにこうしたデータ取得システムの小型化、記録の高密度大容量化を目指した新システムの開発が始まった。本論文ではK-4型という名称で開発されてきているこれらの装置を概説する。

またVLBIに関連する技術として、通信総合研究所本所に建設された宇宙光通信センターのSLR(Satellite Laser Ranging)装置およびGPS(Global Positioning System)衛星を利用したの電離層遅延補正装置についても概説する。

\* 関東支所 鹿島宇宙通信センター 第三宇宙通信研究室

## 2. VLBI システムの互換性

VLBI 観測が成立するためには、各システム間でのあらゆる意味での互換性が要求される。その互換性とは受信方式（受信電波の偏波、受信周波数、受信チャンネル数、受信側波帯および受信帯域幅）の互換性であり、記録方式の互換性である。例えば2局で受信した偏波がお互いに異なっているのは相関が出ないし、受信周波数が異なっているのはもちろん相関は出ない。例え受信周波数が同じであっても用いる側波帯（上側波帯か下側波帯）が異なれば相関はでない。また受信帯域幅やチャンネル数が異なると受信信号の有効活用ができない。受信方式の互換性が保たれたとしても記録方式が異なってしまうと、その記録データを持ち寄っての相関処理が現実問題として不可能となってしまう。システムに用いられる周波数標準の安定度が悪くは相関はでないことはいうまでもない。このように VLBI 観測は周波数標準の安定度まで含めた完全な互換性（コヒーレンスと呼ぶこともできる）を保ったまま信号処理が行われて初めて成立する観測である。

さて、新しい VLBI システムを開発していく場合、2つの道が考えられる。1つは既存のシステムと互換性を保つ方法、もう1つは全く既存のシステムにはとらわれない独自の道を進む方法である。新システムのチェックを簡単に行うためには既存のシステムと互換性を保つのがよく、また現在世界中に展開している VLBI 局を相手にした国際実験を実施していく上でも既存のシステムと互換性を保つ方が有利である。しかし、独創性を発揮した新システム開発は困難となるであろう。

一方、互換性ととらわれない立場を取る場合、新しい発想でのシステム開発が可能となるが、システムの総合的なチェックや VLBI 実験を行うためには最低2式が必要となる。また国際的 VLBI 網を展開していくには既存のシステムを置き換えていかななくてはならず、現実問題としてかなりの困難が予想される。

両者の特長を活かした立場として計算機などの置き換えに見られる上位互換性を保つ方法がある。通常の新型計算機では既存のソフトウェアを有効に活用しつつ（つまり互換性を保ちつつ）演算速度の向上など高性能化を図っている。この場合通常はプログラミング言語やオペレーティングシステムの段階で互換性が保たれており、それ以外の表面に見えないところで高性能化されているのであるが、K-4 システムの場合も丁度これと似ている。

## 3. K-4 システムの概要

K-4 システムは、従来のシステムと互換性を保ちつつ発展的により小型化およびより高密度大容量記録を目指したシステムである。

K-3 システムは、当時の最高技術を駆使して開発されたシステムではあるがバックエンド部の重量は500 kg 近くあり（その内レコーダ部は 250 kg あり人力での移設には少なくとも4人以上の人手と危険が伴う）、超小型 VLBI 局用として、もっと小型で軽量のシステムが望まれていた。最近の電子技術の進歩はバックエンド部の小型化（容積で約5分の1、重量で約3分の1、最も重たいレコーダ部でも僅か66 kgである）を可能とし、同時に高信頼性、高性能化も実現した。

現在の VLBI システムの問題点として運用経費の高さが挙げられることは既に述べた。K-3 システムでは1インチ幅×9500 フィート長（重量約5 kg、価額約10万円）のオープンリールテープを用いるが、1日の測地実験を行った場合、必要なテープ数は一局あたり約30巻程となる。これらのテープを相関処理局に運搬しなければならないが、国際実験の場合は、輸送費の制限が実際に行える実験回数の制限ともなってきた。また、実験中の頻繁なテープの交換はオペレータに大きな負担を強いている。これらの問題は高密度大容量記録を行うことで解決できるが、米国の VLBI 開発グループは現行の VLBI システムと同じレコーダを使いながら、1チャンネルあたりのトラック幅を狭くし、テープの幅方向のトラック数を増すことで記録密度の向上を図った。このシステムは Mark-IIIa と呼ばれている。今までのレコーダの改造で済むという長所はあるが、調整が面倒であったり、また今までと同じテープが使用できると言っても実際には高密度用に厳選されたテープしか使用できないなどの制約もある。

我々は高密度記録のために既存の固定ヘッド方式とは異なるヘリカルスキャン方式のデータレコーダを用いた。このレコーダは64 Mbps のデータを最大4時間記録できるが、最大の特長はカセット方式のテープを使用することである。そのためテープ交換が容易でありもはや VLBI 観測のための専門家を必要としない。さらにオートチェンジャーを用いてのテープの自動交換も考えており、その場合は24時間の無人運転も可能となる。

このレコーダへのデータ記録フォーマットはK-3やMark-IIIとは異なるが再生データ出力にインターフェース装置を設け、従来の方従のデータと互換性を保っている。これにより既存のK-3相関器での処理を可能としている。さらにレコーダ自体のデータの頭出し機能が

高く相関処理のための2台のレコーダの同期運転が極めて容易となり、相関処理ソフトウェアの負担軽減にもつながっている。

以上 VLBI バックエンドにおける新システムを概説したがデータの一次処理システムにおいても改良が行われた。今まで VLBI データの一次処理に使用されてきた計算機は老朽化が激しく、頻繁に起こる故障はたまた致命的なデータの消失につながっている。そのため一次処理を西太平洋電波干渉計の開発に伴って導入された新しい計算機に移行している。計算機の性能向上により、新型計算機へのソフトウェアの単純な移植のみでも処理能力の増大が図れるが、5年以上に及ぶ相関処理の経験からこれらの計算機を用いて、より使いやすい一次処理ソフトウェアの開発が行われた。なかでも K-4 相関処理ソフトウェアは使いやすさを追及して新たに開発されたソフトウェアであり、今まで2台の計算機を使って行っていた相関処理を1台の計測用計算機のみで行えるようにしている。さらに予測値計算の改良や2台のレコーダの同期手順の改良によって処理データの品質を上げること成功している。

#### 4. 関連技術の概要

SLR 装置は地上からレーザー光線パルスをコーナリフレクター搭載の衛星に照射し、パルス発射から反射光が戻ってくるまでの時間を高精度に測定することにより cm オーダーの精度で測位をする装置である。このように VLBI と同等の精度を持つ SLR での測位と VLBI の測位を同じ場所で行う (コロケーションと呼ぶ) ことにより、それぞれの測位方法で系統的な誤差が生じてい

ないかのチェックが行えるほか、それぞれで用いている座標系の結合が行える。通信総合研究所本所に建設された宇宙光通信センターの SLR 装置と超小型 VLBI 局を用いての、このようなコロケーション観測が計画されている。

また測地目的の VLBI 観測では電離層での伝播遅延を補正するため2周波数帯で電波星からの電波を受信する必要があるが、アンテナを小型化した場合2周波数帯の受信が技術的に困難となってくる。そこで1周波数帯だけを受信し電離層遅延は GPS 衛星を利用して補正しようということが考えられている。GPS 衛星を利用しての電離層遅延補正装置は GPS 衛星利用時刻比較の高精度化のため電離層遅延の実測値での補正を目的として開発された装置であり、超小型局を用いての VLBI 観測において電離層遅延補正データを得る方法としても有望視されている。

#### 5. おわりに

以上「西太平洋電波干渉計システム」の開発に伴って開発された K-4 VLBI システム、関連技術としての SLR システム、および GPS 衛星を用いての電離層遅延補正を概説した。電子技術の進歩はまさに日進月歩であり、僅か5年前に開発された K-3 システムも単なる老朽化の他に現在の技術水準から見ると古いものとなってきている。いずれ K-4 システムにもこの運命が待っているであろうが、K-4 は発展的システムであり汎用の高密度大容量レコーダは新方式の VLBI システム (例えば広帯域サンプリング) への道を切り開いていくであろう。

