

IV-1 概 説

高橋 富士信*

(昭和59年7月3日受理)

1. はじめに

VLBI 実験手順は大きく4つのフェーズに分けることができる。これらは①実験・観測の計画, ②観測とデータ取得, ③データ処理, ④データ解析である。これらの中で①と④のフェーズをこの IV. 「データ解析ソフトウェア」において取扱う。

データ解析の目的は, VLBI 相関処理により求められた遅延時間データより, 基線ベクトル, 地球回転, 時刻同期誤差を求めることである。

米国の Mark-III グループでは, 本ソフトウェアに相当して, スケジュール作成のための SKED, アプリオリモデル計算のための CALC, パラメータ推定のための SOLVE が開発されている⁽¹⁾。またデータの管理のため, Mark-III 型データベースシステムとこれを支援するカタログシステムが利用されている。

本ソフトウェアの設計時に, これらの Mark-III ソフトウェアについて詳細に分析した。Mark-III ソフトウェアは1970年代初頭からの経験の蓄積の上に成立しており, 米国の VLBI 解析に関連する研究手法の集大成というべきものである⁽²⁾。

本ソフトウェアの開発は, 米国 Mark-III グループの援助を受けながらも一方, Mark-III ソフトウェアの欠点は改善し, 日本独自の統一的数据ベースの導入に代表される新しい特色を導入したものとなっている。

本ソフトウェア開発は次の基本方針のもとに行われた。

- (1) システム全体として, 一貫性・統一性をもつこと。
- (2) 日本独自の理論やアイデアを盛り込むこと。
- (3) 今後の発展に対応できる拡張性を有すること。
- (4) 米国システムとの互換性を保つこと。

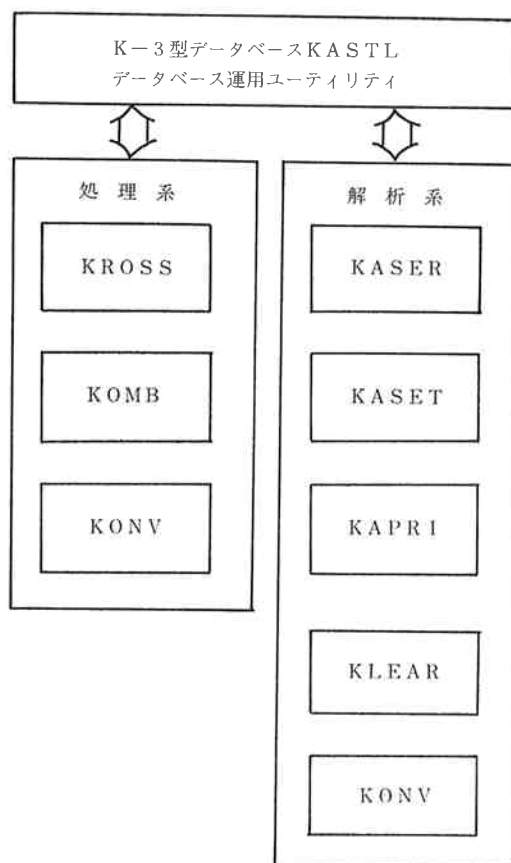
本ソフトウェアの開発は1981年4月より開始され, 1983年9月に完了した。Mark-III ソフトウェアの長所を受け継ぎ, 更に高精度化・統一化されたソフトウェアシステムとなっている。

2. データ解析ソフトウェアの構成

VLBI データ解析は, 約1万 km の基線長をセンチメ

ートルの精度で求めるために, 高精度の演算をする必要があるとともに, データの取扱いを厳しく管理する必要がある。

本ソフトウェアの構成上の特徴は, データの一元的管理のために一貫したデータベースを基盤とした, 統一・総合的体系をもつシステムであることである。VLBI データの様に, 多様でかつ大量のデータを長期間にわたり保存・管理してゆくためには, 一貫したデータベースが必要である。米国は VLBI の先進国であるが, 場所的に処理系データベースと解析系のもののが切り離されているため, しばしば両者の間でパラメータの不一致が発生している。



第1図 K-3 型処理・解析ソフトウェアの構成

* 鹿島支所 第三宇宙通信研究室

第1図に K-3 型処理・解析ソフトウェアの構成を示す。データベースとその管理システム KASTL が本ソフトウェア全体を統合しており、その下に処理系(KROSS, KOMB, KONV から成る。III. K-3型 相関・一次処理システム参照のこと)と解析系(本ソフトウェア)が密接に関係付けられている。

この両者の連絡が K-3 型解析システムの最大の特徴であり、処理系・解析系相互間で天文・測地の理論的計算や物理定数を共通化することに成功している。

解析系は、データベースのセットアップ・ソフトウェア KASET, 予測物理モデルの精密計算をするソフトウェア KAPRI, 基線解析のためのソフトウェア KLEAR, スケジュール作成ソフトウェア KASER そしてデータ変換ソフトウェア KONV から成っている。

第2図に、各ソフトウェアの運用手順の流れを示す。VLBI の実験計画からデータ解析までの各手順は直線的である。まず KASER を利用して実験目的に適した観測計画を作成する。更に観測機器を自動運用するスケジュールへ変換する準備作業も KASER により行われる。

日本側の観測は KAOS, Mark-III 側の観測は Field System によって自動化されている(KAOS および Field System については II-13 を参照のこと)。

観測終了後、各観測局からの観測ログを用いて、データベースの骨組みが KASET によって構築される。このデータベースの上に相関処理 KROSS とバンド幅合成 KOMB が実行される(KROSS, KOMB については III. 参照)。

次に KAPRI によりアプリオリ値を計算し、KLEAR によりパラメータ推定をして、基線ベクトルや極運動を精密に決定する。

以上の作業後、KASTL によりデータベースの更新や保存をする。この様にして得られた処理解析結果を日米間で交換する際に KONV を使用している。

3. データベースシステム (KASTL) の概要

米国側 Mark-III システムでは、処理施設と解析施設がヘイスタック観測所(マサチューセッツ州)とゴダード宇宙飛行センター(メリーランド州)に分離しているのでデータベースは切り離されている。厳密には米国の処理施設にはデータベースはなく、データファイルを階層的に使用している。

K-3 型ソフトウェアでは IV-2 で詳述されている様に、データベースの骨格となるスキーマ構造をもつ KASTL と呼ばれる総合的データベースが利用できる。データ項目がスキーマにより厳密に定義されているの

で、必要なデータ項目を一意的に読み出すことができる。

4. 予測値計算ソフトウェア (KAPRI) の概要

極めて高精度な VLBI 観測データを使用して、測地に応用するためには、IV-5 で述べる様な、多種多様でかつ最高精度の天文・測地・地球物理のモデルを、正確に利用して最小2乗推定に必要なアプリオリ値を計算する必要がある。

KAPRI では、次の3個の前提をもつ。

(1) 時系は、TBD (Barycentric Dynamical Time: 太陽系重心における力学時)を基準とする。これは太陽系慣性系における相対論的座標時 CT (Coordinate Time) と等価である⁽³⁾。CT に適当な一定項を付加して、これまで使用されている暦表時 ET (Ephemeris Time) に代わる基準時系としている。

(2) 座標系は、J2000.0年系(Jはユリウス日を示す)を採用する。これまで一般的には、B1950年系(Bはベッセル年初を示す)が使用されてきているが、衛星やVLBIによる測地の進展により、B1950年系では、宇宙新技術への対応が出来なくなってきており、関係機関において、J2000.0年系への全面的な変更が進んでいるところである。

(3) 地球の自転軸は、これまでの瞬間回転軸(角運動量の主軸)から、平均形状軸(平均マントルの形状主軸)へ変更する。これにより、特にこれまでオポルツァー項として付加していた日周極運動が不要となる⁽³⁾。

これらの前提をもとに、文部省緯度観測所、建設省国土地理院の協力を受けて、KAPRI を製作した。

5. 基線解析ソフトウェア (KLEAR) の概要

III の相関・一次処理システムによって求められた観測値 O と、KAPRI によって求められた予測値 C の差から、最小2乗法によって必要なパラメータの推定をおこなうものが KLEAR である。

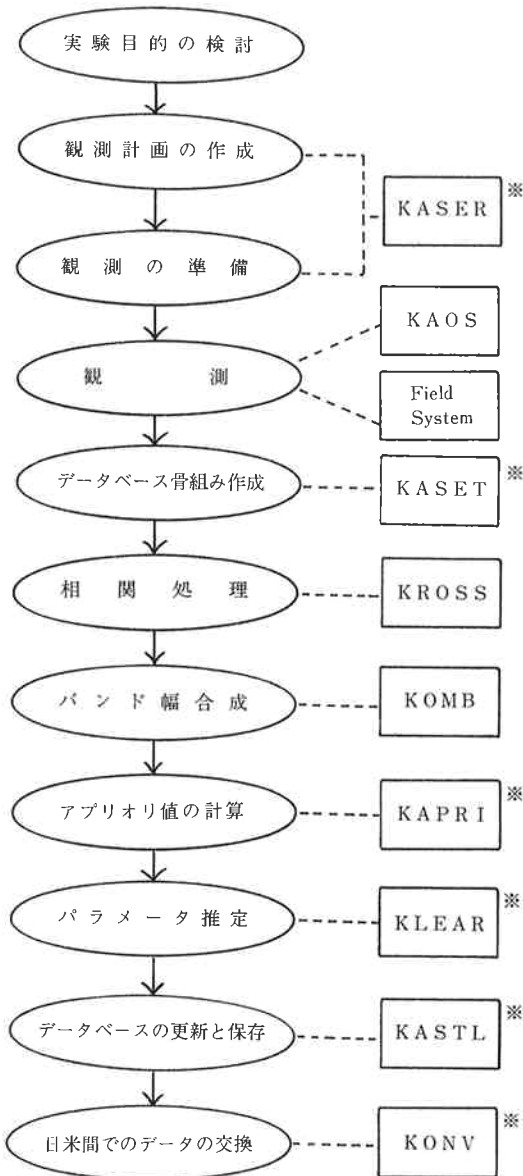
KLEAR の特徴点を以下に列挙する。

(1) 線型化された最小2乗法を使用するので、非線型の場合の様な繰り返し推定法は不必要である。

(2) 通常使用される逆行列法の他、より安定に最小2乗解を得ることができる QR 分解法⁽⁴⁾の併用のための考慮が払われている。

(3) カイ2乗検定による再重み付けが可能である。

(4) 推定パラメータの選択を会話的におこなうことができる。



第2図 K-3型処理・解析ソフトウェアの運用手順 ※印のソフトウェアについて IV. で詳述している

6. スケジュール作成ソフトウェア (KASER)

II-13で述べられている様に、K-3型観測システムはKAOSと呼ばれるソフトウェアにより自動運転される。このKAOSは、SNAP (Standard Notation for Astronomy Procedures) という Mark-III と両立する言語で運用される。このPSNA言語はアセンブラ言語と同様に、誰でもが容易に使用できるものではない、KASERの第1の役割は、一般の利用者が容易に記述できる高級スケジュール言語から、SNAP言語に変換する

ことである。

しかしながら、高級スケジュール言語の理解のみではVLBIの観測スケジュールは作成できない。各アンテナの諸条件や、観測機器の構成、観測する電波星の仰角等々の条件を基礎にして、より目的に適したスケジュールを作成する必要がある。この目的に便利な機能を提供するのがKASERの第2の役割である。

7. 概要データ相互変換ソフトウェア (KONV) の概要

米国では、処理系と解析系が場所的に分離しているため、処理をするヘイスタック観測所と、解析をするゴダードの間には、AテープとBテープという2種類のテープによりデータ交換をしている。

日本側では、処理系と解析系が同じ場所という条件を生かして、より効率的な α テープと β テープを使用している。しかし、米国とのデータの相互比較においては、Aテープ・Bテープの型式に変換する必要がある。KONVはこのためのソフトウェアである。

8. まとめ

研究開発の分野のソフトウェアは、一般に、ソフトウェア自体が発展・成長するものであり、またハードウェアとソフトウェア間の矛盾はソフトウェア側で対応することが求められるので、際限の無い更新・改良が常に伴う。K-3型データ解析ソフトウェアについても、不十分な点が各所に見られるが、これらは長期的に手直ししてゆく予定である。

また現在HP/1000の上で稼働しているが、より大型の高速機上へ移植することも検討している。本ソフトウェア全体について、構造化やブロック化を実現してきているので、他機種への移植には本質的困難は少ないであろう。

参考文献

- (1) Ma, C.; "Very Long Baseline Interferometry Applied to Polar Motion, Relativity and Geodesy", NASA Technical Memorandum 79582, 1978.
- (2) Ryan, J. W., Ma, C., and Vandenberg, N. R.; "The Mark-III VLBI Data Analysis System", NASA X-945-80-25, 1980.
- (3) 高橋幸雄, IV-5 アプリアリモデル計算ソフトウェア, 本特集号, 1984.
- (4) 中川徹・小柳義夫, 最小二乗法による実験データ解析 東京大学出版会, 1982.