

3.4.2 一次処理ソフトウェア

関戸 衛*¹ 近藤 哲朗*¹ 木内 等*²
高橋 幸雄*¹ 小山 泰弘*¹
(1995年10月16日受理)

3.4.2 CORRELATION PROCESS CONTROL SOFTWARE

By

Mamoru SEKIDO, Tetsuro KONDO, Hitoshi KIUCHI,
Yukio TAKAHASHI, and Yasuhiro KOYAMA

The Key Stone Project provides daily crustal deformation monitoring data around the metropolitan area. Cross-correlating the observed data is one of the most important parts of the system. Arrival time differences of radio signals from quasars among observation stations are derived from processing a large amount of observed data. The quantity of raw data is about 2×10^{12} bytes per day. To process these data semi-automatically, KATS (KAnameishi data processing Togo Software (Togo means unification)) was developed. KATS enables operations to easily process and store data in the Mark-III database, which is widely used as data storing system in the geophysical VLBI community. The following functions are supported by KATS: controlling equipment (data recorders, data output interface, correlators, and tape auto-changers) for the correlation procedure, monitoring the cross-correlation result, calculating with the bandwidth synthesis method, and storing data in the Mark-III database. These procedures are done semi-automatically and with a simple mouse operation. A computer network allows simultaneous distributed computation for multi-baseline bandwidth synthesis. This paper gives an overview of cross correlation system and the function of software "KATS".

[キーワード] 分散処理, ネットワーク, マン・マシンインタフェース, VLBI, 相関処理, 帯域幅合成, Mark-III データベース,

Distributed computation, Network, Man-machine interface, VLBI, Cross-correlation, Bandwidth synthesis, Mark-III database.

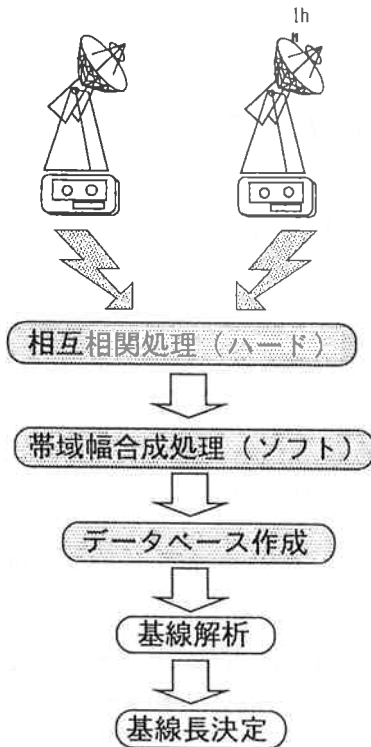
1. ま え が き

Key Stone Project (KSP) では、測地 VLBI の技術を使って4つの観測局の相対位置を毎日 mm オーダーの精度で測定し、首都圏周辺の地殻変動を観測しようという計画である。VLBI とは、各観測局で磁気テープを使って記録された電波屋からの電波信号を、中央局でテープを再生して相関処理し、そのデータを解析してアンテナ間の正確な距離を測る技術である。このうち、中央局における相関処理では、各局のテープを同期再生

し、実験で取得される(24時間実験の場合 2×10^{12} バイト(フロッピーディスク 200 万枚以上)にもおよぶ)大量のデータから、アンテナ間の正確な到達時間差を算出する処理である。ここで述べる一次処理ソフトウェアとは、相関器という専用のハードウェアを使った相関処理(「3.4.1 相関処理装置」参照)、ソフトウェアによる帯域幅合成処理(「3.4.3 バンド幅合成処理ソフトウェア」参照)と、基線解析に必要な Mark-III データベースの作成(「3.4.4 データ解析ソフトウェア」参照)までを含めた処理の事をいう。相関処理では6台の相関器がそれぞれ1基線分の相関結果を出力する。さらにこれを、帯域幅合成処理することによって遅延時間の精決定

*¹ 関東支所 宇宙電波応用研究室

*² 標準計測部 時空技術研究室



第1図 VLBI データ処理の流れと KATS の役割

を行い、この結果を VLBI データの解析（「3.4.4 データ解析ソフトウェア」）に使われる Mark-III データベースに格納する。以上の一連の作業が VLBI に不慣れなオペレータでも連日滞りなく行えるように、作業の自動化・省力化と操作の簡便化を図って作成されたソフトウェアが KATS (KNameishi data processing Togo Software: 要石データ処理統合ソフトウェア) である。第1図に観測から基線長が決定されるまでの処理の流れを示している。このうち網掛けがしてある部分が KATS の担当する部分である。

2. システムの概要

KATS は、上に述べた一次処理を、複雑なコマンドを打つことなく行うためのマン・マシンインタフェースを提供する。このシステムでは最大4局6基線の相関処理を同時に行うことができる。CPU パワーを必要とする帯域幅合成処理では、ネットワークに接続された高速のワークステーションを使って相関処理と同時に帯域幅合成処理を進行させ、処理時間を短縮する工夫がなされて

いる。

2.1. システム構成

相関処理システムの機器構成図を第2図に示す。このシステムは、小金井の地震変動観測中央局舎のデータ解析室に設置され、KSP の LAN (Local Area Network) に接続されている。相関処理の内容及び、個々の装置の詳細については文献^(1,3)を参照して頂くことにして、ここでは各計算機、装置の関連、及び通信について説明する。

2.1.1. ホスト計算機

KATS は第2図中のホスト計算機 (HP 9000/735 ワークステーション) 上で稼働する。ホスト計算機はオペレータとのマン・マシンインタフェースを担当し、相関処理から、帯域幅合成、データベース作成、データのバックアップまでの作業のための統合環境をオペレータに提供する。実際の相関処理に必要な機器の制御は、次に述べる相関処理制御計算機が行う。ホスト計算機は相関処理制御計算機と RS-232C を通じて相関処理コマンドの送信・装置のステータスの取得などをおこなう。帯域幅合成処理、データベース作成、等の処理も実際にはそれぞれ担当の計算機 (帯域幅合成処理用計算機と解析用計算機) が行うが、その処理の指示、データ共有等は Ethernet (プロトコル: TCP/IP) を使って、ホスト計算機とそれぞれの計算機間で処理される。(情報の受け渡しに使われるファイルについては第1表を参照。)

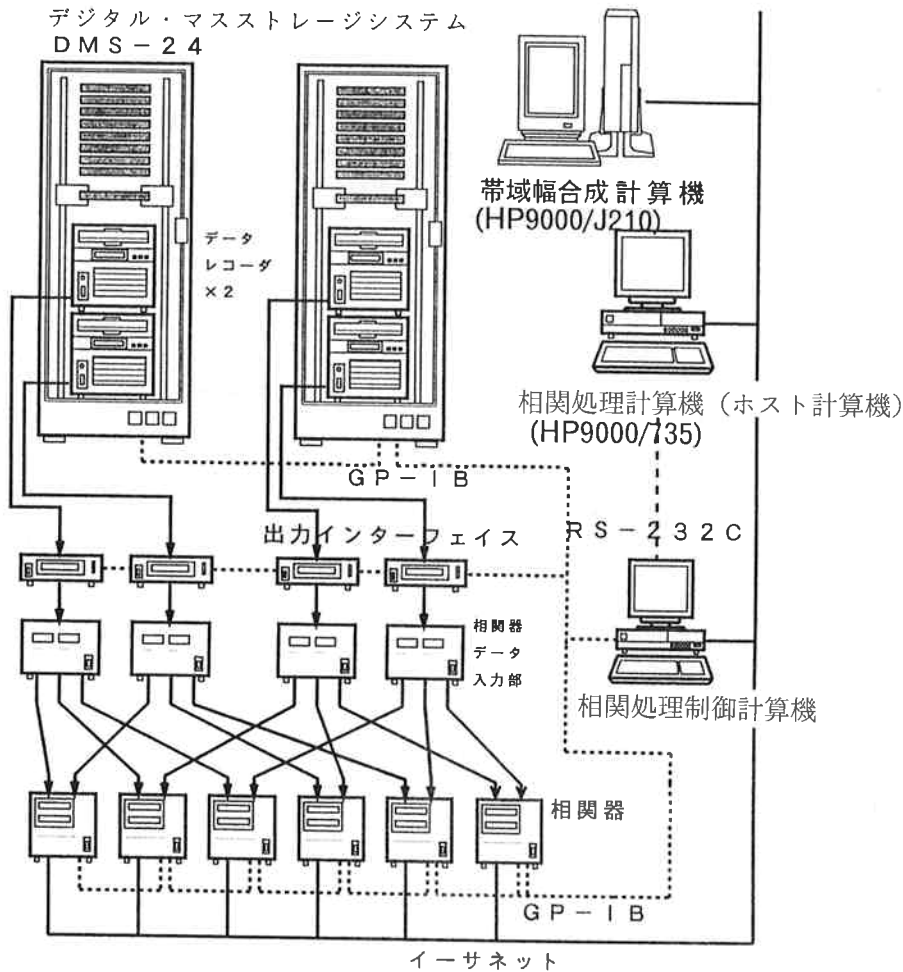
2.1.2. 相関処理制御計算機

ホスト計算機は相関処理制御計算機 (第2図、以下単に制御計算機と呼ぶ) に対し RS-232C を使ってコマンドを送り、制御計算機がそれにつながる一切のハードウェアの制御を GP-IB バスを使っておこなう。逆にハードウェアで生じたトラブルなどの情報は GP-IB バスで各機器から制御計算機に集められてその内容が解釈され、ホスト計算機に RC-232C を使って伝えられ、オペレータへ通知される。DMS を使ったテープの切り替え、出力インタフェースを制御しての各レコーダ間の同期、相関器の積分開始・終了など、OBS*単位での相関処理作業の一切を、この相関処理制御計算機が管理している⁽³⁾。

2.1.3. 相関器

相関器は6台あり (第2図)、一台の相関器が一基線の相関処理を担当し、最大4局6基線の相関処理を同時に行うことができる。各相関器はそれぞれ内部に CPU (Motorola: 68040) を持ち、各基線の予測値計算を独立に行うなど、分散処理を特徴としている⁽³⁾。相関出力結果ファイル (KROSS File) の書き込みは Ethernet を通じて行われる。PC-NFS の機能によって、各相関器からみてホスト計算機のハードディスクをあたかも自分の

* observation の略。VLBI 観測の最小単位。



第2図 テープベースの相関処理システム

ハードディスクであるかのように扱うことができ、そこに各相関器から、時分割で書き込みが行われる。書き込みのタイミングや書き込む宛先はTPC/IPのレベルで管理されており、ユーザは全くそれを意識せず使用できる。

2.1.4. 帯域幅合成処理

遅延時間の精決定をおこなう帯域幅合成処理⁽⁴⁾では、Ethernetを使ったワークステーション間のNFSにより複数の帯域幅合成処理用計算機(WS)間で相関処理出力ファイル(KROSS Files)を共有し、処理を複数のWSに分散して行なうことができる。このような分散処理を行わせる理由は、この処理が最もCPUパワーを必要とする処理だからである。KATSはそれぞれのWSに対し、リモートシェルコマンドを使って帯域幅合成処理ソフトウェア(KOMB)⁽⁴⁾を起動し、それぞれ指定の

基線の処理を行わせる。この処理で算出された遅延時間差等の情報は、出力結果ファイル(KOMB Files)に出力される。

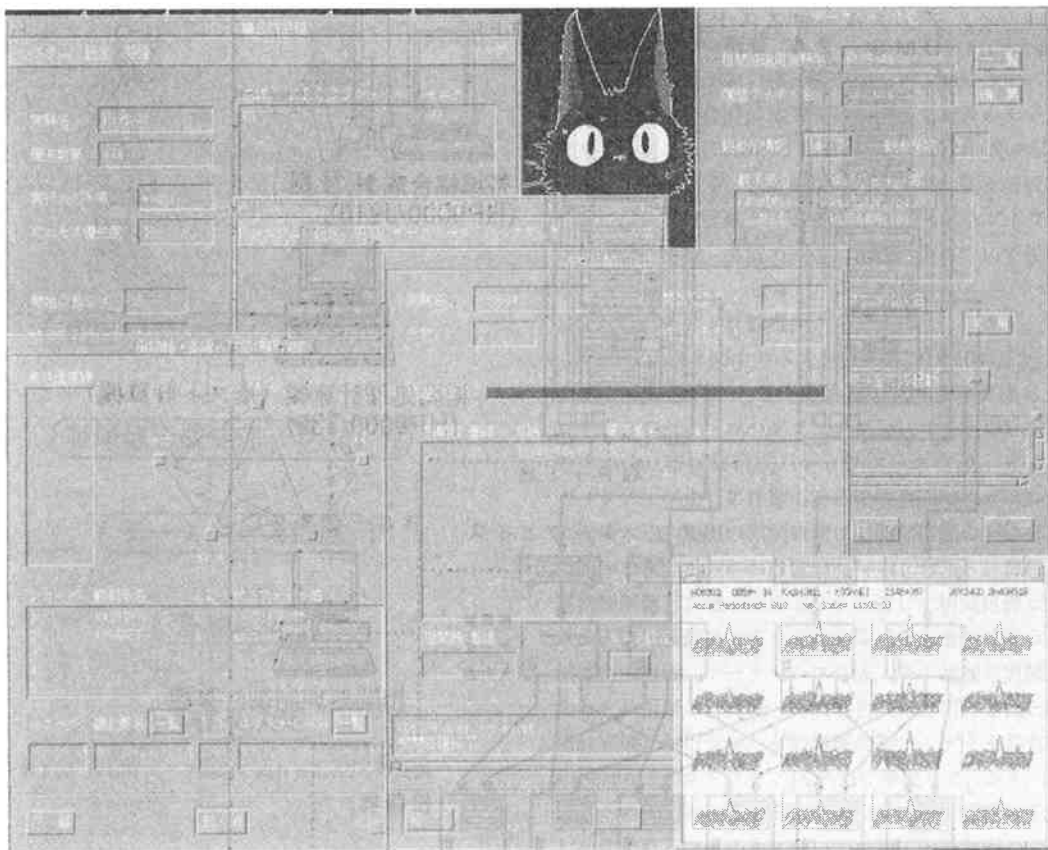
2.1.5. データベースの作成

KOMBファイルから遅延時間等の情報を引き出し、気象データ、惑星歴データ、地球回転パラメータ等と共に、VLBIの基線解析に必要なMark-IIIデータベースを作成する。この作業を実際に行うのは解析用WSであるが、これもネットワーク(Ethernet)を通じてKATSから起動される⁽⁵⁾。

2.2. KSP 相関処理システムの特徴

これまでに通信総合研究所で開発されたK3型相関処理システム⁽¹⁾と比較して、KSPの一次処理システムでは以下のような優れた特徴を持っている。

- 人に優しいマン・マシンインタフェースと統合環境



第3図 KATSのマンマシン・インタフェース例

これまでの相関処理システムでは相関処理・帯域幅合成・Mark-IIIデータベースの作成のために複雑なコマンドを打って処理を行う必要があり、VLBIに関する程度のノウハウが必要であった。

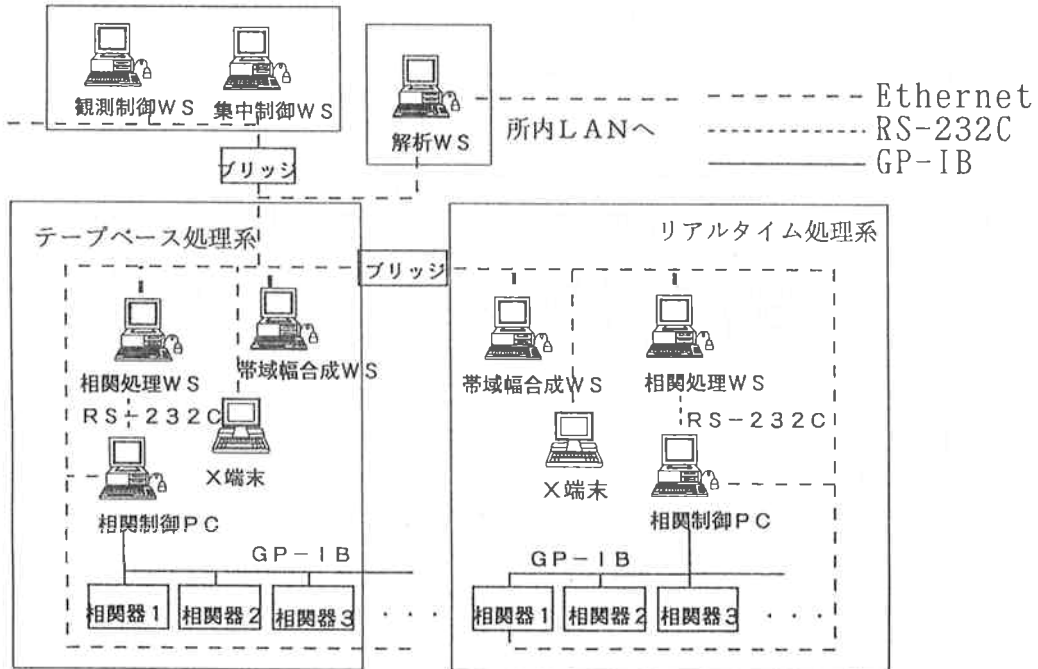
KSPではVLBIの専門家でないオペレータが連日の相関処理をおこなうことを想定しており、一台の計算機に対する容易な操作で相関処理・帯域幅合成・Mark-IIIデータベースの作成まで一貫した作業を行う必要がある。そのためにKATSでは、GUI (Graphical User Interface) を使用して、オペレータはほとんどキーボードからコマンドを打つ事なく、マウスのみの操作で全ての作業ができるように設計されている。第3図にグラフィカル・ユーザインタフェースの例を示す。

● Ethernet を利用したデータ転送システム

K3相関処理システムでは、相関処理が終了した後GP-IB インターフェースを用いて制御計算機にデータを転送し、更に帯域幅合成処理のためにミニコン (HP

1000/A 900) へ、やはり GP-IB を使ってデータ転送を行っていた。GP-IB を使ったデータ転送には時間がかかる上、処理が相関処理→データ転送→帯域幅合成処理と、全ての処理がシーケンシャルであり、計算機の処理スピードも遅かったため、24時間実験の処理に二日程度も要していた。

KSPでは相関処理データは、各相関器がホスト計算機のハードディスクにネットワークを通じて直接書き込むよう設計されている。そのため相関処理時に逐次ホスト計算機へのデータ転送が行われ、データ転送の時間が必要ない。更に、OBS単位でデータ転送が行われるため、相関器側で次のOBSの処理をしている間に、ホスト計算機側では前のOBSに対する帯域幅合成処理を並行して進める事ができる。これらにより相関処理・帯域幅合成のVLBIデータ処理に要する時間を、観測時間とほぼ同程度まで短縮させることができた。KATSでは、ホスト計算機と相関器の間の制御にはRS-232C (ホスト計算機—相関処理制御計算



第4図 コンピュータネットワークとして見た相関処理システム構成

機)とGP-IB(相関処理制御計算機一各装置)を使い、データ転送は全てネットワーク(Ethernet)経由で行われている。このように制御線とデータ線とが完全に分離しているのもKATSの特徴である(第2図)。

●帯域幅合成処理の並列分散処理

二次処理である帯域幅合成処理は、相関処理の一連の作業の中でも最もホスト計算機のCPUパワーを必要とする処理である。KSPで多基線処理を行なう際には、複数の帯域幅合成処理が同時に走ることになる。KATSでは、ネットワークに接続された複数のワークステーション間でNFS(Network File System)を使ってデータを共有し、複数の基線の処理を別々のワークステーションに割り振って処理を分散させ、処理速度を落とす事なく複数基線の処理を行うシステムとなっている(第4図)。それぞれのWSにどの基線を割り当てるかは、KATSの設定画面でオペレータが設定する。

●トラブル時に代替可能なシステム

観測したデータを磁気テープに記録し相関処理するデータベース処理も、高速通信回線を使ってリアルタイムデータ伝送を行なう実時間データ処理⁽²⁾も相関器、計算機等のハードウェアはほとんど同じ構成に

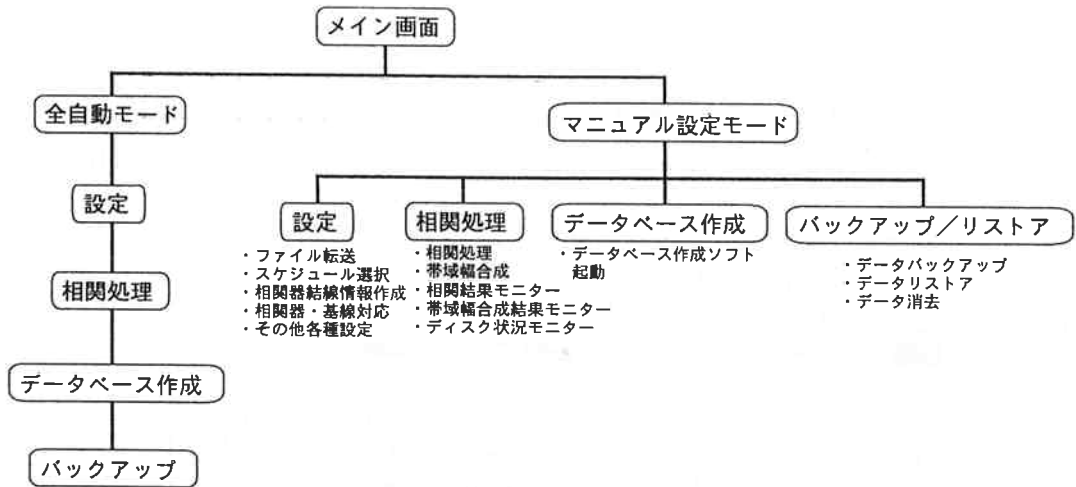
なっており、データベース系とリアルタイム系の装置の互換性は、地殻変動観測のデータを連日滞りなく提供するという、システムの目的からしても重要な点である。

3. KATSの動作概要

KATSは一次処理に必要な情報を全てファイルの形で記憶しているため、処理の途中で一旦KATSが終了してもどこまで処理が進んだかを覚えており、処理を途中から再開する事ができる。また、相関処理制御計算機との情報交換も一部はファイル転送によっておこなっている。第1表にKATSが使用するファイルのリストを示す。

3.1 動作フロー

第5図にKATSの動作フローの概要を示す。KATSは大まかに2つの処理モードがある。一つは「全自動モード」でありもう一つは「マニュアル設定モード」である。「全自動モード」は相関処理からデータベース作成までの作業を一連の流れとしてまとめたもので、オペレータはホスト計算機の指示に従って処理を進めることで一次処理を全て完了する事ができる。「マニュアル設定モード」は個々の作業を単独で指定し実行する事がで



第5図 KATSの動作の概要

きるモードである。第2表に各動作項目の内容を説明している。相関処理におけるそれぞれの機器の制御は以下のような手順で行われる。

1) 設定

オペレータが処理を行うスケジュールの選択を行い、各観測局のログファイルと地球回転パラメータファイルなどから相関処理に必要な情報をファイルに書き出す(第1表)。さらに、処理を行うためのいくつかの設定(レコーダの割当や相関処理範囲など)を行いそれらの情報を各種ファイルに書き込む。

2) 相関処理開始

ホスト計算機はオペレータの設定に従って制御計算機に相関処理開始の指令をRS-232Cを通じて送る。

3) テープの同期再生

制御計算機はホスト計算機からRS-232Cを通じて相関処理開始の信号を受け取ると、Ethernetを通じて相関処理に必要な情報ファイル(第1表:COR_INF)をホスト計算機から取得する。この情報を元に制御計算機はテープオートチェンジャー、レコーダを制御してデータの書き込まれている場所を探し、テープレコーダ同士を同期させる。

4) 複数基線の相関処理と結果の出力

制御計算機がそれぞれの相関器に、必要な情報(電波源位置、観測局位置、観測時間など)を提供する。個々の相関器がそれぞれ一つづつの基線の処理を担当

し、与えられた情報をもとに、予測される電波の到達時間差を計算する。同期したデータレコーダから送られてくる時刻符号が開始時刻になると相関器は処理を開始し、ネットワークファイルシステム(Network File System)によりディスクを共有しているホスト計算機のハードディスクに結果を書き込む(「3.4.1 相関処理装置」)。

5) 複数のWSによる帯域幅合成

相関処理が終了すると直ちに帯域幅合成処理を行い、遅延時間の精決定をおこなう(「3.4.3 バンド幅合成ソフトウェア」)。帯域幅合成では、処理を複数のWSに割り振っておこなわれ、処理の高速化が図られている。

6) データベースの作成

一実験分の処理が終了したら、解析用WSのデータベース作成ソフトを起動し、Mark-IIIデータベースを作成する(「3.4.4 データ解析ソフトウェア」)。

7) データのバックアップ

必要に応じてDATテープヘデータのバックアップとディスクのファイルの消去を行う(現在手動による操作であるが将来自動バックアップ機能が加えられる予定である)。

4. おわりに

首都圏地殻変動観測プロジェクト(KSP)は、首都圏

第1表 KATS 処理状況を保存したり相関処理制御計算機と情報をやり取りするためのファイル群.

ファイル呼称	ファイル名	記述内容
相関器・基線/対応ファイル	COR_BASE	相関器番号, 基線 ID, 処理 FLAG(既処理・未処理)
相関情報ファイル	COR_INF	相関処理に必要な全ての情報: 実験名, スケジュールファイル名, 観測局名, 観測局の座標 (x,y,z), 電波源名, 電波源座標 (α, δ), 観測周波数テーブル, 各局のクロックパラメータ ($\tau, \hat{\tau}$, クロックエポック), 地球回転パラメータ, パラメータピリオド, 相関処理モード (ノーマル/サーチ), (フリンジサーチ用) 共通チャンネル (基線 ID, チャンネル), 観測情報 (OBS 番号, 電波源名, 観測開始時間 - 終了時間, テーブラベル, ID カウンター値)
メッセージファイル	COR_MSG	相関制御計算機からのエラー・ワーニングメッセージファイル
パラメータファイル	CRSS_PAR	実験名, スケジュールファイル名, 相関処理モード (N/S), パラメータピリオド 相関処理開始 OBS 番号, 終了 OBS 番号, 地球回転パラメータ, 各局のクロックパラメータ
制御計算機情報ファイル	CTL_INF	制御計算機のための絶対パス付きファイル名
DB 処理状況ファイル名	DB_INF	DB 起動フラグ (0-9), 実験名, DB 用履歴ファイル名, 観測局名, ログファイル名
地球回転パラメータファイル	ERP_INF	エポック, 地球回転パラメータ
バンド幅合成処理設定ファイル	KOMB_SET	実験名, KOMB 実行ホスト名, 基線 ID, プロセス優先度, KOMB 処理許可フラグ, 処理周波数帯域 (S/X)
KROSSNAME ファイル	KROSS_NM	基線 ID, 相関出力ファイル名
観測情報ファイル	OBS_INF	実験名, スケジュールファイル名, スケジュールファイルに定義された全ての観測情報 (OBS 番号, 電波源名, 観測開始時間, 終了時間, テーブラベル, ID カウンター値)
レコーダ・相関器/結線ファイル	REC_COR	相関器番号, X 局レコーダ番号, Y 局レコーダ番号
レコーダ・観測局/対応ファイル	REC_STAT	局レコーダ番号, 観測局名, ログファイル名
フリンジサーチファイル名	SRCH_INF	観測局順位, フリンジサーチ用電波源名, フリンジサーチ用共通チャンネル, (自動クロックサーチ用) クロックサーチ幅, レートサーチ幅, オフセットステップ, レートステップ, フリンジ検出判定基準 (SNR)

直下の地震予知に役立つ事を目的に, VLBI で測定した4つの観測局間の基線長データを連日気象庁に提供する計画である。一次処理は, 天体からの電波の観測局間の到達時間差を抽出する処理を滞りなく行う, KSP のシステムの要の一つを担っている。

5. 謝 辞

KATS の製作に尽力下さったケティ株式会社の佐藤

氏に厚く感謝致します。KATS の運用に際し, 多くの有益な助言を頂いた標準計測部の浜真一主任研究官に心から感謝します。また, KATS の開発と運用に当たって支援して頂いた鹿島宇宙電波応用研究室の皆さんに感謝します。

参 考 文 献

- (1) 電波研究所季報 K-3 型超長基線電波干渉計 (VLBI)

第2表 KATSの作業内容リスト

分類	動作内容	説明
設定	ファイル転送	集中制御計算機から観測スケジュール、観測ログファイルをローカルのディレクトリに転送してくる。
	レコーダ・相関器／結線情報登録	レコーダと、相関器の間の物理的な結線状況を登録する。
	相関器・基線／対応	各レコーダにそれぞれ観測局を割り当てる。それぞれの局のログファイル名を設定する。
	パラメータファイル設定	クロックパラメータ、地球回転パラメータを設定する。
	フリンジサーチファイル編集	自動フリンジサーチで使用するクロックパラメータのサーチ幅、ステップ値等を設定する。
	バンド幅合成処理設定	帯域幅合成を行う際の帯域(S/X)、バンド幅合成の分散処理を行う際のリモートホスト名等を設定する。
	相関処理モード設定	相関処理のモード(フリンジサーチ、通常処理)の設定
処理	相関処理(フリンジサーチ)	クロックパラメータを決定するために相関器全チャンネルに同一の信号を分配し、相関ユニット毎にラグをずらして相関処理を行う。サーチ幅は 512 lag(128 μ s @4Mbps, 32 μ s@16Mbps)。
	相関処理(通常処理)	全てのチャンネルの相関処理を行う(「3.4.1 相関処理装置」)。
	帯域幅合成	周波数軸上で広い帯域内に分散して配置された各チャンネルのデータを合成し、高精度の遅延時間決定を行う(「3.4.3 バンド幅合成ソフトウェア」)。
	相関処理結果モニター(3D)	相関処理された結果を一チャンネル分だけ合成し、3次元の相互相関関数(ビジビリティ関数)を表示する。
	相関結果モニター(text)	相関処理された結果を一チャンネル分だけ合成し、そのピーク位置と振幅を全チャンネル分テキスト画面に表示する。
	帯域幅合成結果モニター(3D)	相関処理された結果を全チャンネル分、帯域幅合成処理し、3次元の遅延分解関数を表示する。
	帯域幅合成結果モニター(2D)	帯域幅合成処理した結果の、テキストによるグラフ表示をする。
データベース	データベース作成	MK-III データベースに実験結果のデータを格納する(「3.4.4 データ解析ソフトウェア」)。
バックアップ／リストア	バックアップ	実験単位で cross file, KOMB file の一方又は両方を指定して、tar アーカイブで DAT テープにデータのバックアップを行う。同時に DAT 用のラベルを印字する。
	リストア	DAT テープからデータのリストアを行う。
	削除	バックアップ済みのデータを消去する。

システム開発特集号 Vol.30 Special issue No.1 November 1984.

- (2) 浜 真一, 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.
- (3) 木内 等, 他, "3.4.1 相関処理装置", 通信総研季, 42, 1, pp.91-98, Mar.1996.
- (4) 近藤哲郎, 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.
- (5) 小山泰弘, 他, "3.4.4 データ解析ソフトウェア", 通信総研季, 42, 1, pp.121-130, Mar.1996.

