

## II-13 自動運用ソフトウェア (KAOS)

小園 晋一\* 村上 秀俊\*\*

(昭和59年7月3日受理)

### 1. はじめに

VLBI 観測は離れた2局ないし数局で同一電波源を同時に受信するため、各局では多種の観測装置の制御及びデータ収集を、決められた観測スケジュールに従って行うことが要求される。そこで、観測を正確に行うため計算機により各観測装置を制御している。この計算機ソフトウェアは、K-3 観測装置との整合性、また日米共同実験を行うことから、米国の Mark-III システム<sup>(5)</sup> の自動運用ソフトウェア F.S (Field System)<sup>(6)</sup> との観測スケジュール及びログ・データのフォーマットの完全な互換性を要求される。この観測スケジュールとログ・データは、データ処理解析ソフトウェアにも使用され、Mark-III システムでは、そのデータフォーマットに SNAP (Standard Notation for Astronomy Procedure) 形式を採用している。K-3 システムでは、これらの要求を満足し、全装置の制御を IEEE-488バスで統一した簡潔な制御体系で行うことにより、機動性に富んだ信頼性の高い自動運用ソフトウェア (KAOS: K-3 Automatic Operation Software) を開発した。

KAOS は、K-3 型 VLBI システムの観測に用いる装置を SNAP 形式の観測スケジュールに従って制御し、必要なデータを収集するとともに運用状況をログ・データとして記録するソフトウェアである。KAOS の基本機能は以下の通りである。

- ① SNAP 形式の観測スケジュールを解釈し、K-3 制御プロトコルに変換して装置を運用する。
- ② 収集したデータやステータスを SNAP 形式に変換してログ・データを編集する。
- ③ 装置を定期的にモニタし、異常時にオペレータに通報する。

### 2. KAOS の構成

KAOS は第1図に示すように複数のプログラムが互いに関連し、観測装置の制御、データ収集及びログ・データの編集を行う。これらのプログラムはコマンド処理系、ログ・データ処理系、さらに観測運用をサポートす

るプログラムに分けられている。

K-3 観測装置の制御コマンドに採用している SNAP コマンドは、プロセス制御やデータ収集などに有効な FORT 言語を拡張したもので、天文観測の煩雑な装置の設定やデータ収集などを実時間処理する言語である。

次に KAOS を構成するプログラムの概要について述べる。

#### ◎OPRIN (オペレータ・インタフェース・プログラム)

観測業務のための初期化処理及びオペレータ・インタフェースを行う。初期化処理により、各プログラム・テーブルを作成し、基本プログラムの初期化起動を行う。また、オペレータから入力されたコマンドにより、各プログラムの起動及び SNAP コマンドの実行要求を行う。

#### ◎BOSS (スケジュール、ログ管理プログラム)

OPRIN から入力された SNAP コマンドの種別を判定し、装置運用コマンドであれば QUIKR にコマンド実行要求を行う。もし、装置運用コマンド以外であれば BOSS で実行する。また、システム時刻管理、ログ・データの作成処理を行う。

#### ◎QUIKR (SNAP コマンド・インタプリタ)

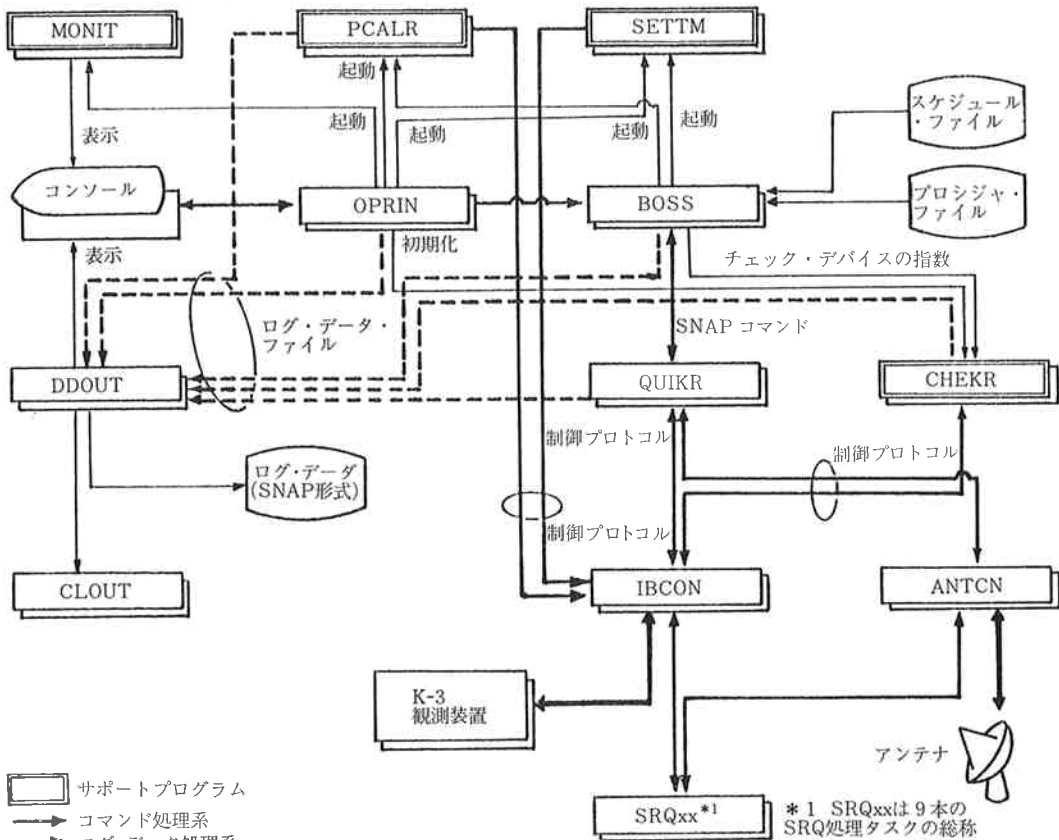
BOSS より与えられた SNAP コマンドを K-3 制御プロトコルに変換し、IBCON または ANTCN に出力する。SNAP コマンドには、コマンドと1対1に対応するコマンド処理サブルーチンが与えられている。さらに、そのサブルーチンは関連するもの同士が集まりセグメントを形成している。1つの SNAP コマンドが与えられると、それに対応するサブルーチンが登録されているセグメントに制御が渡り、コマンドの処理が行われる。

#### ◎IBCON (IEEE-488バス・インタフェース・プログラム)

QUIKR で変換された制御プロトコルにより各観測装置の制御、データ収集を行う。QUIKR ないし SRQxx で起動されると80バイトのデータを入力し、装置識別コードとコマンド・モードをチェックして制御プロトコルに従い命令を装置に出力する。出力要求命令であれば装置からデータを入力し、システム・データ・エリアに格

\* 鹿島支所 衛星管制課

\*\* 元 鹿島支所 第三宇宙通信研究室



第1図 KAOS のプログラム関連図

納する。(アンテナを除く)

◎ANTCN (アンテナ制御プログラム)

IBCON と同じ機能でアンテナとの入出力を行う。アンテナの初期設定を行うと共に、星の追尾 (SOURCE) コマンドの場合はアンテナ追尾プログラム (ANTTR) を起動する。ANTTR は追尾開始時、現在のアンテナ位置と星の位置から追尾角度を算出し ANTENNA を介して II-2 で述べられている APIU (Antena Pointing Interface Unit) に出力する。

◎DDOUT (データ・ロギング・プログラム)

編集されたログ・データをディスクファイルに書き込み、ターミナルに表示する。また拡張表示、拡張ログの機能を持ち、SNAP プロシジャの実行ログの表示、あるいはロギングを行うか行わないかの選択ができる。

◎CLOUT (クラス・データ・リリース・プログラム)

DDOUT でログ・データ転送を行うのに用いるシステムエリアをイニシャライズする。

◎SRSxx (SRQ 処理プログラム)

- xx : FM (フォーマッタ)
- xx : TP (データレコーダ)
- xx : IF (IF 信号分配器)
- xx : VC (ビデオ変換器)
- xx : WX (気象測器)
- xx : FE (フロントエンド)
- xx : DE (デコーダ)
- xx : WR (水蒸気ラジオメータ)
- xx : AN (アンテナ)

各観測装置からの SRQ (service request) により起動され、対応する SRQ 処理プログラムのアラーム処理及びデータ入出力を行う。また、エラーメッセージを編集し、ログする。

◎SETTM (システム時刻設定プログラム)

自動運用計算機の内部タイマーを K-3 観測の基準時刻 (水素メーザをもとに管理するフォーマッタの時刻) と一致させるためのプログラムである。これにより、データレコーダで記録される観測データの時刻とログ・デ

ータの運用時刻を一致させることができる。VLBI 観測は精密な時刻差を測定するから、正確な時刻管理が必要である。通常は KAOS の立ち上げ時に BOSS により自動的にセットされるが、OPRIN を介して起動することも可能である。フォーマットとの入出力は IBCON を用いる。

◎PCALR (位相較正処理プログラム)

遅延較正器で測定する観測局のシステムに起因する位相誤差を実時間処理するプログラムである。位相誤差が遅延時間の決定精度を左右するため、データ処理解析の段階で精密に補正するが、実時間モニタにより装置の動作状況を把握できる。これは必要に応じてスケジュールまたは OPRIN を介して起動される。装置との入出力は IBCON を用いる。

◎MONIT (モニタ表示画面プログラム)

第2図に示すように装置の代表的なステータスをコンソール上に表示するプログラムである。MONIT は装置との入出力は行わず、SNAP コマンド実行時に得られる各値をシステムの共通変数管理プログラムを介して入力し表示するものである。通常25秒おきに繰り返されるが、繰り返し時間は OPRIN を介して起動する時に指定可能で、いったん起動をかけるとプログラム自身が時刻管理を行ない中止命令が与えられるまで処理を継続する。

◎CHEKR (デバイス・チェック・プログラム)

各観置のパラメータ及びステータスが SNAP コマンドで指定したとおりか、正常状態であるかどうかを判定し、そうでない場合にエラーメッセージを出力するプログラムである。システムの共通変数の値と IBCON を介して得られる実データの比較による判定をする。IBCON

と CHEKR 自身による時刻管理で20秒ごとに起動される。また、SNAP コマンドで装置にアクセス中のものは自動的に処理を中断できるようになっている。

また、KAOS には今まで述べてきた観測業務に直接利用するプログラム以外に次のようなオフラインで用いるプログラムがある。

(1) SKCNV (スケジュール変換プログラム)

米国から送られてくるスケジュールファイルを、指定したディスクにコピーするとともに、次のような処理を行う。

a. ソースファイルの作成

スケジュールファイル中のアンテナ関係の SNAP コマンドだけを抜き出しソースファイルを作成する。

b. スケジュールファイルのチェック

○コマンドはすべて SNAP コマンドか、またはプロシジャであること。

○時刻コマンドが昇順になっていること。また、スケジュールの最初の時刻が現時点より未来の時刻であること。

○レコーダの Start コマンドと Stop コマンドの直前には必ず時刻コマンドが存在すること。

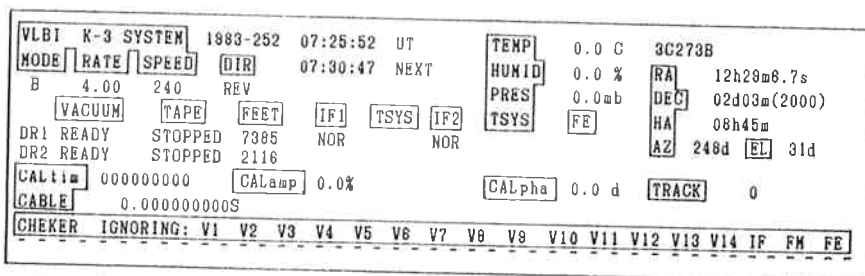
(2) PFMED (プロシジャ作成プログラム)

任意の SNAP コマンドを組み合わせ、必要なプロシジャを作成する。

(3) ALARM (アラームファイル作成プログラム)

観測業務で作成したログ・データから、装置のアラーム情報をアラームファイルに記録する。また、アラームファイルの内容を装置ごとに表示することも可能である。

(4) LOGEX (ロギング情報表示プログラム)

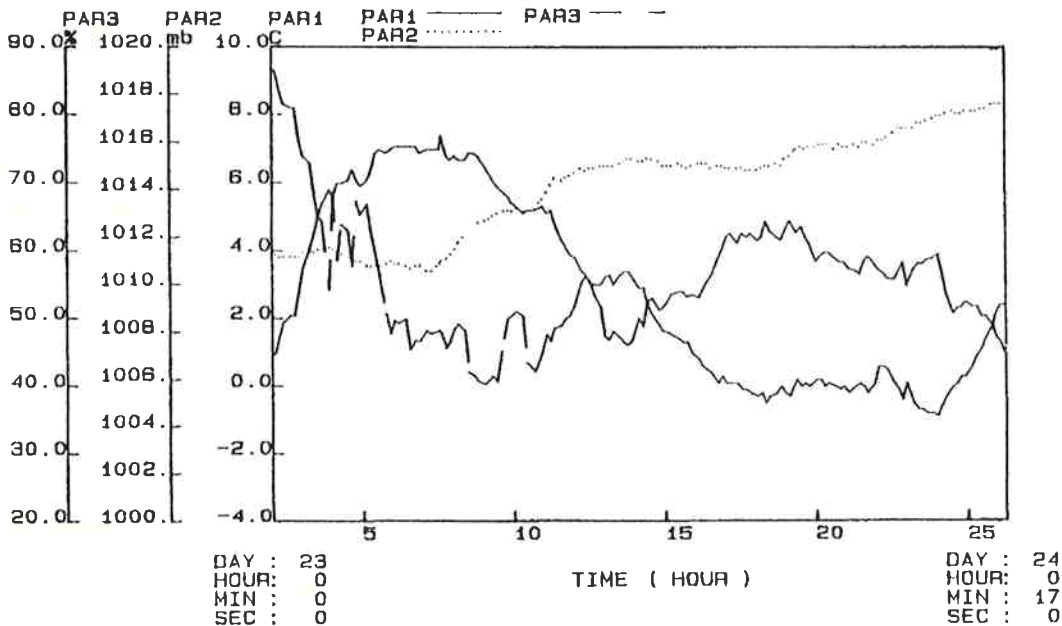


MODE } フォーマットのステータス	TSYS } IF信号分配器での取得データ	FE } フロントエンドのスイッチ設定
RATE } フォーマットのステータス	CALtim } PCALR での取得データ	RA } SOURCEコマンドのパラメータ
SPEED } フォーマットのステータス	CALamp } PCALR での取得データ	DEC } SOURCEコマンドのパラメータ
DIR } フォーマットのステータス	CALpha } PCALR での取得データ	HA } アンテナの角度データ
VACUUM } データレコーダのステータス	TRACK } DCALの取得データ	AZ } アンテナの角度データ
TAPE } データレコーダのステータス	CABLE } DCALの取得データ	EL } アンテナの角度データ
FEET } データレコーダのステータス	TEMP } 気象測器の取得データ	
IF1 } IF信号分配器のステータス	HUMID } 気象測器の取得データ	
IF2 } IF信号分配器のステータス	PRES } 気象測器の取得データ	

CHEKR IGNORINGCHECK の対称としない装置名

第2図 MONIT の表示画面

LOG FILE : [LOG>1  
 DATE : 1984 JAN. 22 COMMAND = WX



第3図 LOGEX のグラフ出力例

観測業務で作成されるログ・ファイルの内容を、オペレータの指定するデバイスに種々のフォーマットで表示する。表示方法としては次のものがある。

- a. ログ・データのリスト出力
  - 全データの出力
  - データ中の時刻  $t_1$  から  $t_2$  までの出力
  - データのサマリ出力
- b. ログ・データ中、任意のコマンドのパラメータのグラフ化  
 コマンド特有のパラメータを時系列に従い、グラフィック・デバイスに折れ線グラフで表示する。同時表示可能なパラメータは最大5個まで。第3図に例を示す。
- c. オリジナルスケジュールとログを比較し、スケジュールにありログにもある観測についてはログ・データサマリを表示し、ログにない観測についてはスケジュールの観測開始時刻と星名のみを表示する。

### 3. KAOS の運用

#### 3.1 観測スケジュール

先に述べたように VLBI 観測は複数局で同時に行うため、観測スケジュールは各観測局共通のオリジナルスケジュールを用いる。各観測局ではそのオリジナルスケジュールを基に、各局に合った SNAP 形式の観測スケジ

ュールに変換する。K-3 システムでは IV-7 で詳しく述べられているスケジュール作成プログラム (KASER) によって、K-3 観測装置に合った SNAP 形式の観測スケジュールに変換し、K-3 観測装置の制御及びデータ収集を行う。

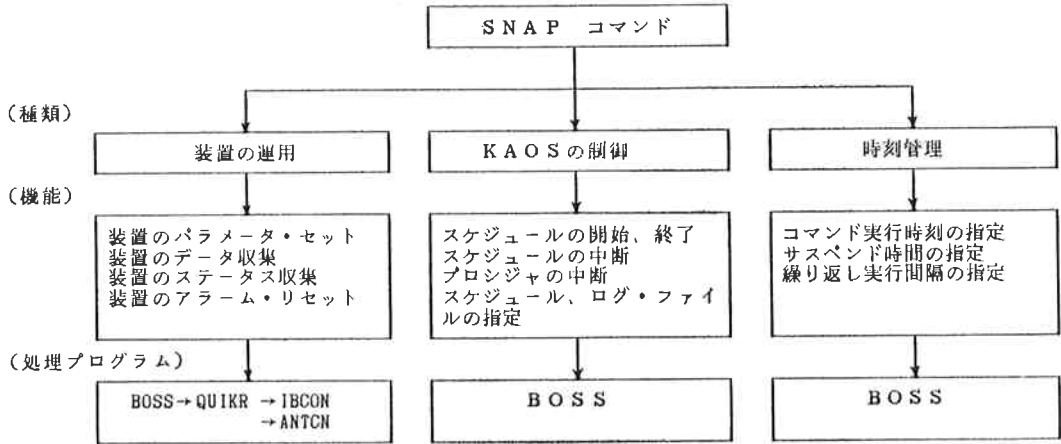
観測スケジュールを構成する SNAP コマンドは、第4図に示すように装置を運用するものと、KAOS 自体を制御するもの、さらに時刻管理を行うものに分けられ、その総数は70を越す。また、手順の決まった一連のコマンド群の組み合わせを1つのプロシジャとして定義し、手順の簡易化を計る機能を持っている。すなわち、複雑な運用を可能とするとともに初心者でも操作しやすいように考慮が払われている。

VLBI 観測は数分ごとに電波源を切換えながら、2日間程度の間繰り返して実験を行うのが一般的である。2日間で約150回の観測を行う。1回の観測ごとに各観測装置のパラメータ設定及びデータ収集を行うために、2日間の観測スケジュールは膨大なものとなる。第1表に実観測の観測スケジュール (SNAP 形式) の一部を、第2表にプロシジャの一部を示す。また、実験に使用するオリジナルスケジュール、SNAP 形式の観測スケジュール、プロシジャ及び実験のログ・データはデータ解析にも使用されるのでファイル名を統一し分かりやすくしている。

第1表 観測スケジュール

"MARK-III SCHEDULE FILE (V.4.2)"	
"K-3TEST SCHEDULE FILE 830428"	
SOURCE=3C345, 164117.6, 395410.9, 2000.0	
SX2C1 ★ 1	
READY ★ 2	
! 326175830	
PREOB ★ 3	
! 326175900	
TAPE	
ST=FOR, 120	1 observation
MIDOB ★ 4	
! 326180050	
ET	
! +3S	
TAPE	
POSOB ★ 5	
SOURCE=00Q208, 140445.6, 284129.5, 2000.0	電波星の設定コマンド
SX2C1	各装置, パラメータ・セット・プロシジャ
! 326180330	実行時刻指定コマンド
PREOB	校正データ取得プロシジャ
! 326180400	
TAPE	レコーダ・ステータス収集コマンド
ST=FOR, 120	レコーダ・スタート・コマンド
MIDOB	データ収集プロシジャ
! 326180730	
ET	レコーダ・ストップ・コマンド
! +3S	サスペンド時間指定コマンド
TAPE	
POSOB	ダミープロシジャ
SOURCE=1637+574, 163717.4, 572615.9, 2000.0	
MIDTP	
SX2C2	
FASTF=0M41S	
! 326181030	
PREO2	
! 326181100	
TAPE	
ST=REV, 120	
MIDOR	
! 326181430	
ET	
! +3S	
TAPE	
POSOB	

★ n はプロシジャ名



第4図 SNAP コマンドの体系と処理プログラム

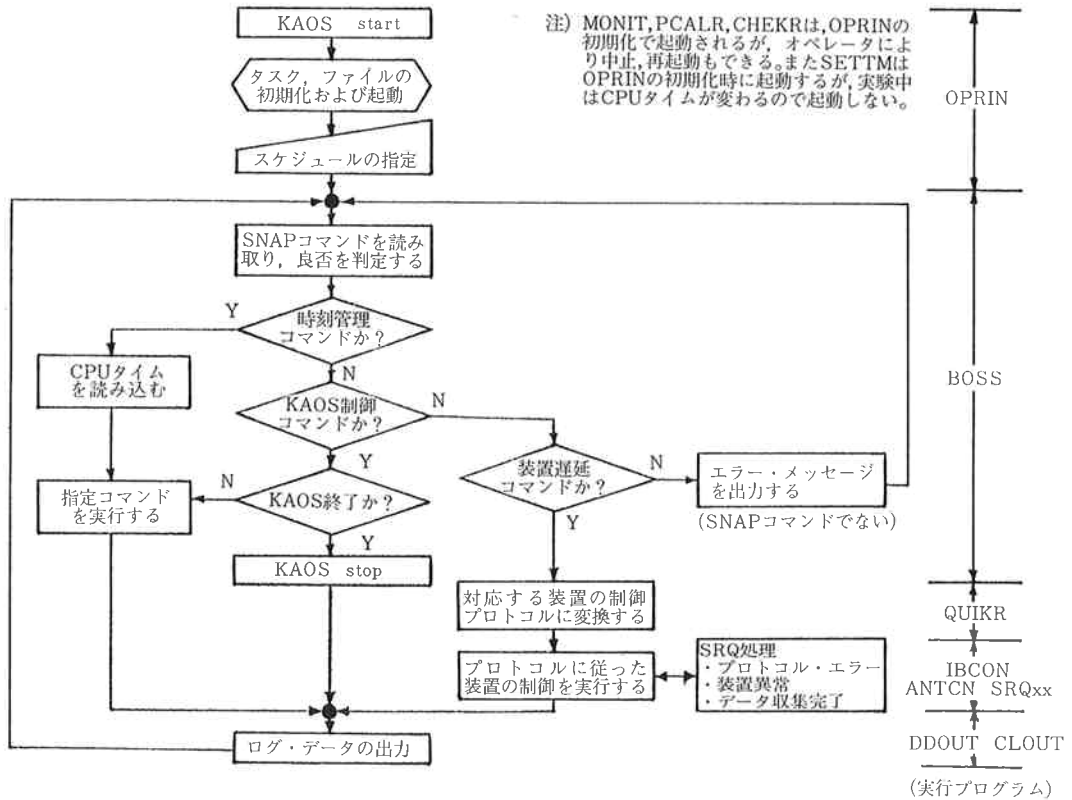
第2表 プ ロ シ ュ ャ

DEFINE SX2C1	84056143820X
VCSX	ビデオ・コンバータ・パラメータ・セット・コマンド
SX2C1 の内容	FORM=C, 4.000,, 8B41538D4250
IFDSX	IF 信号分配器パラメータ・セット・コマンド
ENABLE=G1, G3	データ・レコーダ記録トラック指定コマンド
ENDDEF	
DEFINE PREOB	84056144037X
ONSOURCE	アンテナ・ステータス取得コマンド
PREOB の内容	!+5S
WVPOINT=	水蒸気ラジオ・メータの角度設定コマンド
ENDDEF	
DEFINE READY	84056144048X
XDISP=ON	ログ・データの拡張表示を行う
NEWTAPE	データ・レコーダのニューテープ・メッセージ・コマンド
ST=FOR, 120	データ・レコーダのスタート・コマンド
!+5S	
ET	レコーダのストップ・コマンド
READY の内容	!+5S
TAPE=LOW, RESET	データ・レコーダの RAW TAPE=ON, footage counter =RESET
TAPE	データ・レコーダのステータス取得コマンド
LABEL	データ・レコーダ・テープ・ラベル設定コマンド
XDISP=OFF	
ENDDEF	

### 3.2 運用

KAOS は観測スケジュールに従って時間順にコマンドを実行していく。第5図にその処理概要を示す。すなわち、OPRIN を介してオペレータからスケジュールが

指定されると、順番に SNAP コマンドを読み込み BOSS で種別を判定する。装置運用コマンド以外であれば BOSS で実行し、装置運用コマンドであれば QUIKR を起動して SNAP コマンドから対応する制御プロトコル



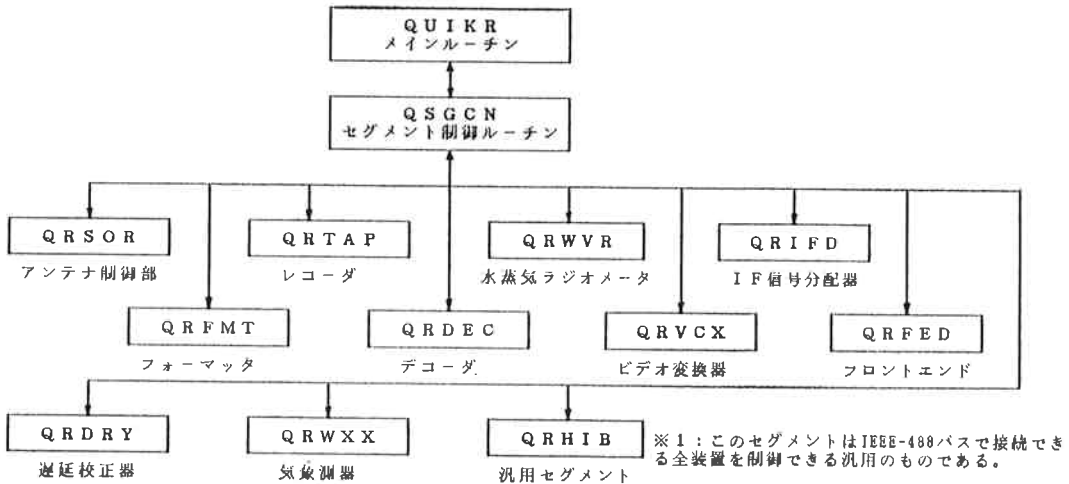
第5図 KAOS のスケジュール処理概要と実行プログラム

に変換する。IBCON と ANTCN はこの制御プロトコルをうけて実際に装置との入出力を行う。もし入力されたコマンドが星の追尾 (SOURCE) コマンドの場合は、アンテナ初期補正プログラム (CATCH) が起動され星の切替えを行い、星の角度を計算し初期補正を行う。さらに、初期補正が終了すると制御が ANTCN にわたり ANTCN でアンテナ追尾プログラム (ANTTR) を起動する。ANTTR は入力された J 2000 年系の赤経・赤緯データから、大気補正、アンテナの軸補正を含んだ角度を計算し任意の時間間隔で、APIU に指向角度 (Predict) と角度増分、Predict 更新周期 (PRC) を ANTCN を介して出力する。運用中、装置から SRQ が発生すると SRQxx が起動され必要な処理を行う。これでコマンド処理が終了し、DDOUT と CLOUT によってログ・データがコンソールに表示され、ディスクファイルに書き込まれる。このうち装置運用コマンドを処理する QUIKR は、第6図のように各装置ごとにセグメント化され、各セグメントには SNAP コマンドの処理に対応するそれぞれのサブルーチンが登録されている。このサブルーチンにより SNAP コマンドが制御プ

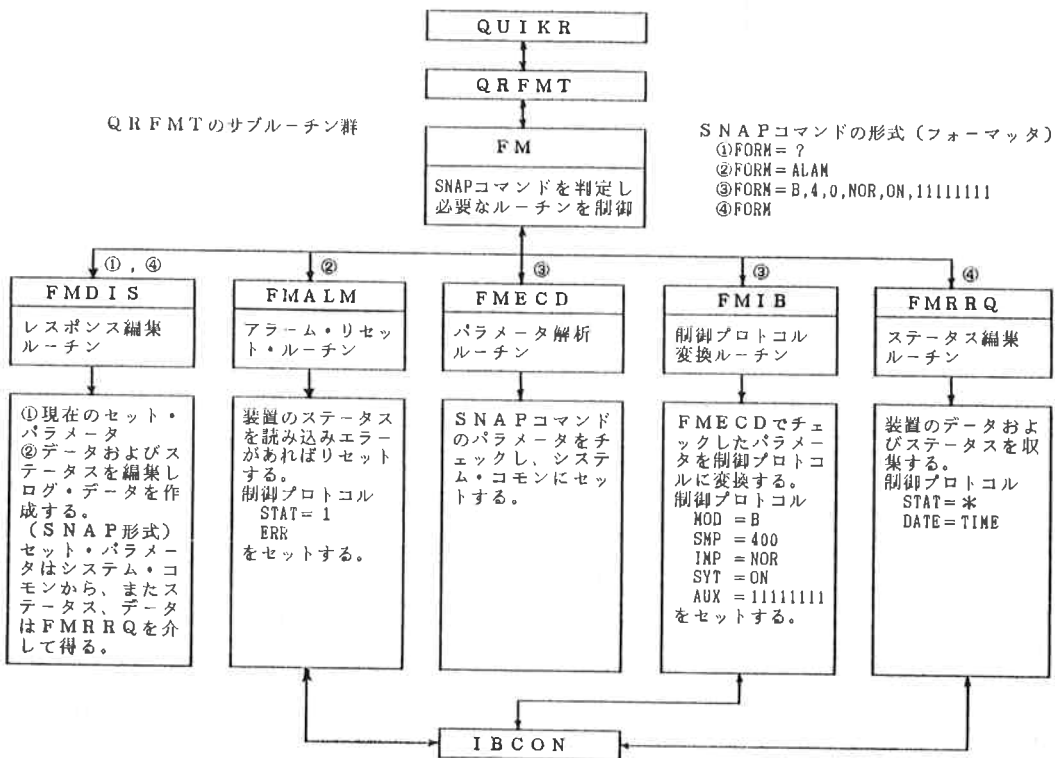
ロトコルに変換されるのである。例として第7図にフォーマットのセグメント構成を示す。SNAP コマンドは、まず QRFMT モジュールを起動し、次に6個のサブルーチンを活用して対応する SNAP 制御プロトコル変換を実現する。このように KAOS では装置ごとにプログラムのセグメント化を図り、SNAP コマンド処理別にサブルーチンを構成することにより、多種にわたる複雑な観測運用を簡潔な制御体系にまとめている。QUIKR セグメントの1つである QRHIB は、K-3 観測装置だけでなく IEEE-488 バスで制御可能な他の装置や測定器を制御プロトコルを用いて直接運用できる汎用ソフトウェアである。機動性に富んだシステムの実現に QRHIB は重要な役割を果たしている。

一方、装置との入出力は IBCON と ANTCN を介して行われる。アンテナの制御は星の追尾角度の更新命令が最も高い優先度を与えられているため、他の装置を統一的に扱う IBCON とは独立した ANTCN を用いている。両者の構造は基本的には同じであるが、分離したことによりアンテナの実時間制御処理速度が向上した。

IBCON と ANTCN はともに一般的な IEEE-488 バ

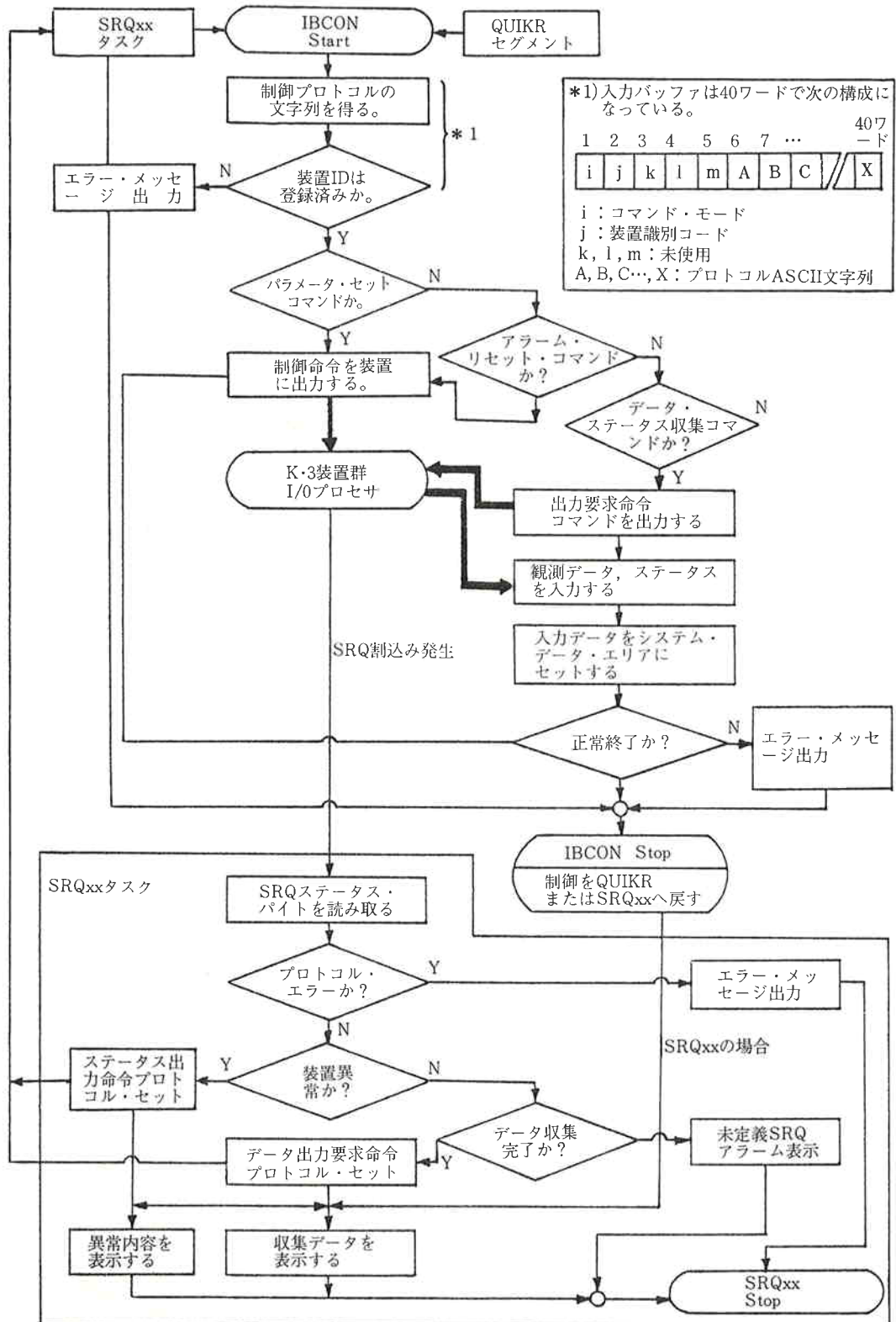


第6図 QUIKR のセグメント構成図

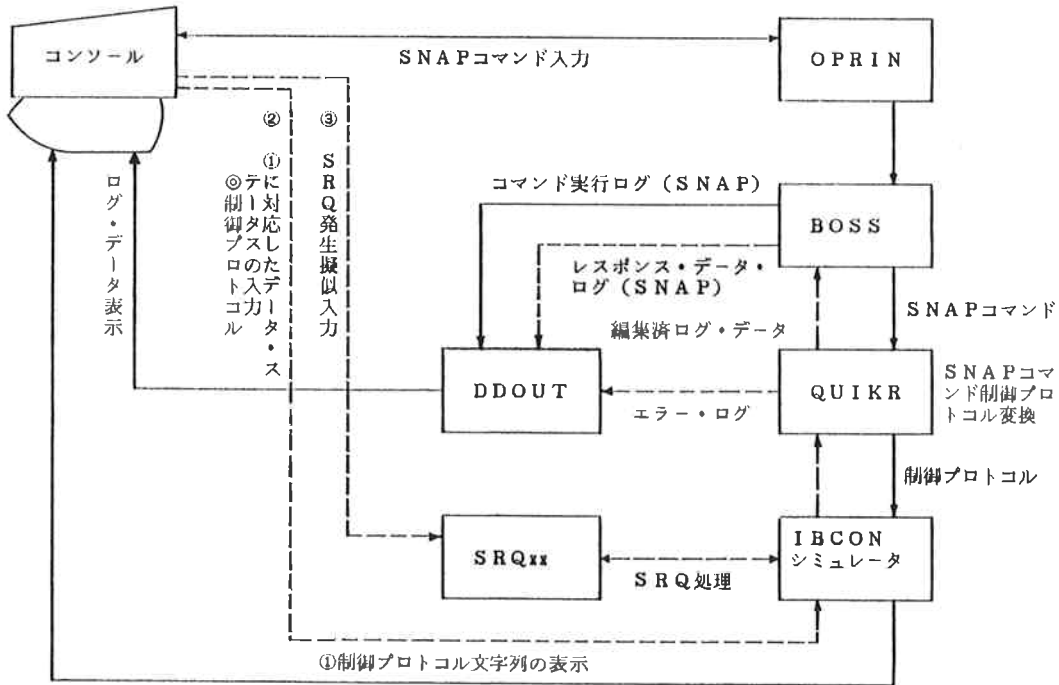


第7図 QRFMT の構成と機能



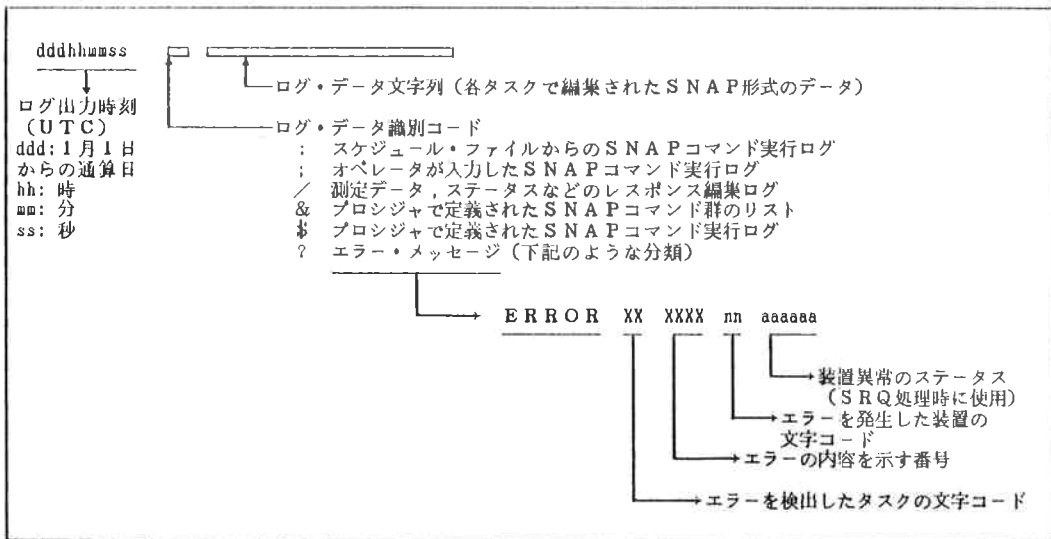


第8図 IBCON と SRQxx による装置制御の流れ



第9図 IBCON シミュレータを使った処理機能

第3表 ログ・データのフォーマット



ス制御手法を用いている。HP1000 モデル 10Lはこの制御ユーティリティが豊富であるため、複雑かつ高度な制御を容易に実現できた。SRQ 処理も含めた制御系の処理を第8図に示す。

IBCON または ANTNCN は QUIKR で起動されると制御プロトコルに従って装置に命令を出力する。この処理中に何らかの原因で SRQ が発生すると、装置に応じた SRQxx が起動され、SRQ ステータスバイトを読

み取り、対応を決める。プロトコルエラー以外の SRQ 割り込みの場合は、装置のステータスまたは測定データを収集するため再び IBCON を起動して必要な情報を得る。

また、KAOS は第9図に示すような IBCON シミュレータ機能を持つ。これは装置との入出力をコンソールを介して行うもので、SNAP コマンドと制御プロトコルの変換やログ・データの編集を装置を使わずに実行す

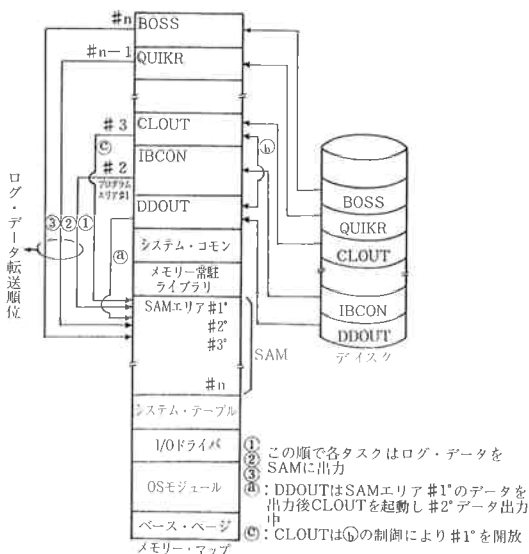
るプログラムである。制御実行部を統一したことと合わせて、観測装置及びソフトウェアの保守や改修などが容易なシステムを実現するうえで重要なプログラムである。

ログ・データは第1図のように DDOUT によってディスクファイル及びコンソールに表示される。ログ・データは第3表に示すフォーマットに統一され、ログ・データ識別コードによってその内容を判別している。エラー・ログ以外の SNAP コマンド及びプロシジャの実行とレスポンスに関するものは、BOSS で管理され DDOUT に出力される。

ログ・データの編集は、各 QUIKR セグメントで行っているが、出力管理を DDOUT に統一することでシステム内の多重構造化を避け、集中化を実現した。エラーメッセージは、ソフトウェアと観測装置の双方で検出される項目数が300個以上になるが、第3表のようにプログラムとエラー番号及び装置の各コードの組み合わせでその原因を判定できるようになっている。オペレータの負担を極力軽減するシステムとなっている。

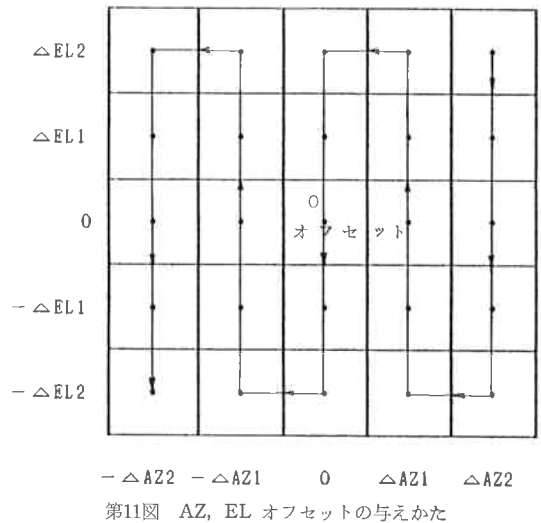
観測スケジュールではプロシジャの活用により簡単に思える運用も、各プロシジャごとの結果をログ・データとして出力すると100行以上になり、数100個のプロシジャが含まれる1回の実験では膨大な量となる。したがって必要なログの抽出のためにフォーマットを統一しておくことが重要である。

各プログラム間でのログ・データ文字列の転送には第10図のようにメモリ内の SAM (System Available Memory) といわれるエリアを介して行う。それぞれのプログラムからのデータは順次 SAM に書き込まれ、



第10図 ログ・データ処理時のメモリ・マップ

ログを管理する DDOUT は SAM 内のデータを順に取り込み出力する。ただし、このエリアの容量は有限であるため、ログを出力したデータについては次の処理のために開放しなければならない。このため DDOUT はデータの出力後 CLOUT を起動して該当エリアをクリアしている。このようにデータ転送をメモリ上で行い、かつマルチタスク処理によって、ログ・データの処理量が膨大であるにもかかわらず迅速なロギング管理を実現できた。コマンド及びログ・データの処理はすべてスケジュールに基づく KAOS の不可欠な機能であり、BOSS によって各プログラムの制御を総括的に行う中枢部である。また、KAOS は VLBI 観測運用以外にもメッシュ観測機能がある。メッシュ観測とは第11図のように指向予測計算角度をオフセット0とし、上下左右対称に  $\Delta Az/\Delta El$  のオフセットを与えてアンテナを制御し、各ポイントでの受信強度のデータを収集するものである。この機能を用いて VLBI 観測で使用される 26m パラボラアンテナの軸補正観測を行った。この結果、標準偏差で  $0.003^\circ$  と軸校正パラメータを得ることができた。KAOS では大気補正を含んだ星の軌道計算値に、軸オフセットを加えて用いている。



第11図 AZ, EL オフセットの与えかた

#### 4. KAOS の試験運用

最初に述べたように KAOS に要求される機能としては次の2つがある。

- ① KAOS と K-3 観測装置の整合性
- ② SNAP 形式に基づくスケジュール及びログの F. S との互換性

KAOS の完成にともない上記の機能を確認するために試験運用を行った。K-3 各観測装置は、マイクロコンピュータを内蔵しており、IEEE-488 バスを介して与え

られる命令コードを受け、それを解釈し対応する制御をしている。一方、KAOSでは各観測装置の制御をSNAPコマンドを用いて1つのコマンドで複数の制御プロトコルを与えている。また、K-3独自のSNAPコマンドであるHPIBコマンドを用いると、観測装置に対して個々の制御プロトコルを送出することも可能である。このため、①の試験に関してはHPIBコマンドを使い、制御プロトコルを1つ1つ送出し観測装置の動作を確認した。次に、各観測装置に対応するSNAPコマンドを実行し、複数の制御が満足に行われていることを確認していった。最後にK-3観測装置の総合的な動作確認をテストスケジュールを作成して行った。②については計算機とKAOSを米国に送り、IBCONシミュレータを用いてMark-IIIとの直接比較を行った。また、米国で実施した観測スケジュールとログを入手し、そのスケジュールに従いKAOSを運用して作成されたログ・データと比較を行った。その結果、KAOSに要求される2つの機能が十分満足されていることが確認された。さらに、1984年11月に行われた日米試験観測、1984年1月、2月の日米システムレベル実験を通じてKAOSの信頼性も確認された。

### 5. おわりに

以上、KAOSについて述べてきたが、この特長をまとめると。

- ① 多数の装置をIEEE-488バス制御で統一したことにより、人間に分かりやすく、かつ保守や改修の容易性や機動性に富んだシステムになっている。
- ② SNAP形式を全面的に採用しているので米国のMark-IIIシステムと互換性があり国際的な実験を

可能とした。

- ③ 多数の処理のマルチタスク化が図られ、統一化と分散化という相反する課題を有効に結合させ、簡潔な処理体系を実現した。
- ④ IBCONシミュレータによりソフトウェアのデバックが簡単になっている。

KAOSの信頼性については、試験運用等を通して幾重にも確認しており十分なものと考えている。

1984年から5か年にわたる日米共同実験を行う上でKAOSの果す役割は大きなものとなるだろう。

### 参 考 文 献

- (1) 村上, 高橋, 国森, 鈴木; “K-3型自動運用ソフトウェア(KAOS)”, 日本天文学会・1982年春季大会, 148
- (2) 村上, 高橋, 吉野; “K-3型VLBI自動運用ソフトウェア(KAOS)の運用”, 日本天文学会・1983年春季大会, B98
- (3) 村上秀俊; “VLBIシステムの自動運用ソフトウェアKAOS”の開発, 日経コンピュータ, 1983. 12. 26
- (4) 小園, 村上, 金子, 栗原; “超長基線電波干渉計(VLBI)システムの開発報告 その6. 計算機システム及び自動運用ソフトウェア”, 信学全大 P2746, 昭59
- (5) Vandenberg, N. R. et al, “Overview of the Mark-III VLBI system”, NOAA Technical Report NOS 95 NGS 24, Apr. 1982.
- (6) Vandenberg, N. R. et al., Mark-III Field System Documentation, July 1982.

