

# 星食観測のデジタル記録処理支援プログラムの開発

鈴木充広, 福良博子: 航法測地課

## Development of a Support Program for the Digital Data Processing of the Occultation Observations

Michihiro Suzuki, Hiroko Fukura : Geodesy and Geophysics Division

### 1. はじめに

下里, 美星, 白浜の3水路観測所及び本庁水路部では, 月による星の掩蔽現象(以後, 「星食」と呼ぶ)の観測を行っている。従来, この観測の記録はペンオシログラフ(アナログ記録)によって行われていたが, 平成5年度末から下里水路観測所を皮切りに順次デジタルオシログラフ(デジタル記録)を用いた観測へと移行しつつある。今回は, 下里水路観測所において開発されたデジタルオシログラフを用いた観測記録の読み取りプログラム「GRAP \_\_AMI」について説明するとともに, このプログラムを中心とした星食観測データの処理支援システムについて報告する。

### 2. 星食観測におけるアナログ及びデジタル記録

星食観測は, 星食現象が起こった時刻を, 正確に測定する観測である。

水路観測所における星食観測には, 光電管を用いて, 星の光を電気信号に変換し, その変化を記録する光電管観測と, 観測者が眼視によって現象を観測し, キースイッチ等を用いて, その瞬間を記録する眼視観測とがある。何れの観測も, JJY や GPS を用いた正確な時計装置から発せられる時刻信号を同時に記録し, 現象の起こった時刻を決定している。

なお, 記録は原則として, 光電管観測は1ミリ秒, 眼視観測は0.01秒まで読み取っている。

#### (1) アナログ記録と読み取り

ペンオシログラフの記録(アナログ記録)は, 熱ペンによって, 感熱紙に電圧変化が連続的に記録されたものである。星食現象の瞬間は, 感熱紙上の波

形から決定し, その時刻は同一記録紙上に記録された時刻信号を補間して決定する。

記録の読み取りには, 特別な装置は必要ないが, 光電管観測の場合, 1ミリ秒まで時刻を読み取るために, 紙送り速度100mm/秒を用いるとして, 記録紙上で0.1mmの精度で, 読み取ることが必要である。

#### (2) デジタル記録と読み取り

デジタルオシログラフの記録は, 一定のサンプリング間隔で測定された電圧の値が, サンプリングの順番に内蔵のメモリーに離散的に記録されている。時刻信号を同時に記録しておくことは, アナログ記録と同じであるが, 星食現象を記録した波形と, 時刻信号とは, サンプリングの番号によって対応させることができる。サンプリング間隔は, 観測に必要な精度に応じて変更可能であり, 下里水路観測所では, 原則として0.5ミリ秒のサンプリング間隔を用いている。

記録の読み取りには, 何らかの特別な装置(デジタルオシログラフ本体でも可能)が必要である。

#### (3) アナログ及びデジタル記録の長所と短所

アナログ記録の長所は, 特別な装置を介せずに, 現象位置の確認が行なえることである。短所は, 記録が紙上に描かれた波形であるため, 解析のために, 後処理で加工するといった操作には, 適さない点である。

デジタル記録の場合は, 記録が一見して数値の羅列としか見えず, 現象位置の確認には, 特別なハードウェアやソフトウェアが必要な点が短所である。長所は, 記録がデータファイルの形態をとるため, コンピュータを利用したデータの加工や管理が容易な点である。先にデジタル記録の短所とした, 特別の



ハードウェアやソフトウェアの必要性も、見方を変えれば、ハードウェアやソフトウェアの進歩によって、既存の観測データを、より高度に解析することが可能となると考えれば、必ずしも短所とはいえない。

記録の保存、管理及び再利用の可能性の面から両記録について比較すると、アナログ記録の場合は記録紙のゼロックスコピーを取って保存する程度で、再利用される可能性は低い。これに対して、デジタル記録の場合、記録がデータファイルであるのでデータの質を損なうことなく複製することや、データベースとして管理することが容易で、再利用される可能性は高い。また、デジタル記録は、光磁気ディスク(MO)や光ディスク(CD-ROM)などを用いれば、1～数年の観測記録を1枚のディスクに収めることができるので、記録保管の点でも優れている。

### 3. GRAP\_\_AMI 作成の経緯

平成5年度末、下里水路観測所にデジタルオシログラフ(NEC三栄製RT3100J)が導入され、星食観測に試験的に使用されるようになった。

この装置は、観測した波形を内蔵のメモリーに格納し、必要があればメモリー内容をSRAMカードにファイルとして出力することができる。

実際にデジタルオシログラフを星食観測に使用してみたところ、記録の収録自体には問題がなかったが、記録を再生し、星食現象の時刻を読み取る手段が整備されておらず、記録をデジタルオシログラフの画面に表示して読み取るか、或いは記録した波形を記録紙に出力させて記録紙上で読み取る以外になく、デジタル記録の利点が全く生かせなかった。このため、星食記録の読み取り支援プログラムとしてGRAP\_\_AMIを作成することとした。

GRAP\_\_AMIは、当初デジタルオシログラフのデータファイルを直接読み込み、画面に表示して、現象の有無を確認する機能のみのソフトウェアとして作成した。作成して実際に使用してみると、当時観測所で使用していた、現在の計算機の水準から見れば、格段に計算能力の劣ったパーソナルコンピュータ(以後、「PC」と呼ぶ)上でも、デジタルオシログラフ本体で操作するより、遥かに早い表示が

可能であった。このことから、記録の読み取り作業をデジタルオシログラフ本体からPC上へと、全面的に移行することも十分可能と考え、読み取りに必要な各種機能を追加して現在に至った。

折しも読み取り作業のPC上への移行開始時期は、市販のPCの計算能力が飛躍的にアップ(わずか2～3年で20倍以上)した時期に一致していたため、それ以前であれば計算能力的に、実装を見送らねばならなかったであろう各種のノイズ除去処理、現象位置の自動検索機能等も付け加えることができた。

### 4. GRAP\_\_AMI 開発環境及び動作環境

#### (1) 開発環境

GRAP\_\_AMIはMS-DOS上で開発した。開発には主にC言語を使用し、アセンブラ言語及びC++言語を一部に用いた。使用コンパイラ等は以下の通り。

コンパイラ	Borland C++ V3.1
(98版は)	Borland C++ V3.0)
アセンブラ	TASM V3.2
リンカ	TLINK V5.1

#### (2) 動作環境

計算機本体	IBM PC-AT 互換機
	NEC PC-98シリーズ
	その他(上記機種種の互換機等)

グラフィックス 320×200  
～ 32767×32767

テキスト表示 80×20以上  
(VT100型エスケープシーケンス対応)

マウス等 マイクロソフトマウス  
(MSマウスインターフェイス規格対応品)

OS MS-DOS (V3.1以降)

または、互換OS

主メモリー 約250Kbyte(最小構成)以上  
拡張メモリー EMS 約2 Mbyte

(LIM規格V3.2以上)

上記制限を満たせば、ごく初期のPC98シリーズ上でも動作するが、快適な環境を得たいならばi486DX程度以上のCPUを搭載した計算機を使用することを推奨する。



なお、SRAM カード (デジタルオシログラフのデータカード) からの読み取りを行う場合は、上記の他に PCMCIA 読み取り用の環境も必要である。

### 5. GRAP \_\_AMI の特徴

GRAP \_\_AMI は次のような特徴を持つ

#### (1) マンマシンインターフェイス

##### a. マウスの使用

画面の拡大縮小、読み取り位置の設定等の操作にマウス (及び互換デバイス) を用いる。

##### b. 対話形式の処理方式

各種コマンドの実行は、キーボードから、実行するコマンドの頭文字を入力することによって行う。

##### c. 画面中心の処理

ほとんどの処理は、表示されている画面及びその近傍のデータについて行われる。これは、読み取り者が、一旦現象位置を確認した場合、現象位置付近を中心として波形データを表示しているであろうから、その位置から離れた部分のデータは処理の対象から除外しても影響が少ないためである。

#### (2) 読み取り支援機能

##### a. 現象位置の自動検索機能

マウスで指定されたデータの近傍 (通常数秒) で、現象位置と考えられる箇所を探し、その位置を示す。

##### b. 記録波形の強調処理

読み込み時に、信号の大域的な変化の概要を示す線を表示する。これによって信号変化の小さな記録の場合、現象のおおよその位置がわかりやすくなる。

また、局所的な変化を強調する処理も指定可能である。

##### c. ノイズ除去機能

デジタルフィルタにより、ノイズ除去を行うことができる。

##### d. 現象位置での諸量計算

読み取りコマンド ('R') によって現象時刻、S/N 比、 $\Delta t$  を計算する。

#### (3) カスタマイズ機能

観測所毎、あるいは観測毎に異なる、各種機器設定値を、外部の設定ファイルで変更可能とした。

#### (4) 機種依存箇所の分離

#### a. デジタルオシログラフの機種依存性の分離

デジタルオシログラフの機種に依存する箇所をプログラム本体から分離することで、現在使用されている以外のデジタルオシログラフ導入の際の、移植作業を軽減することを目的としている。

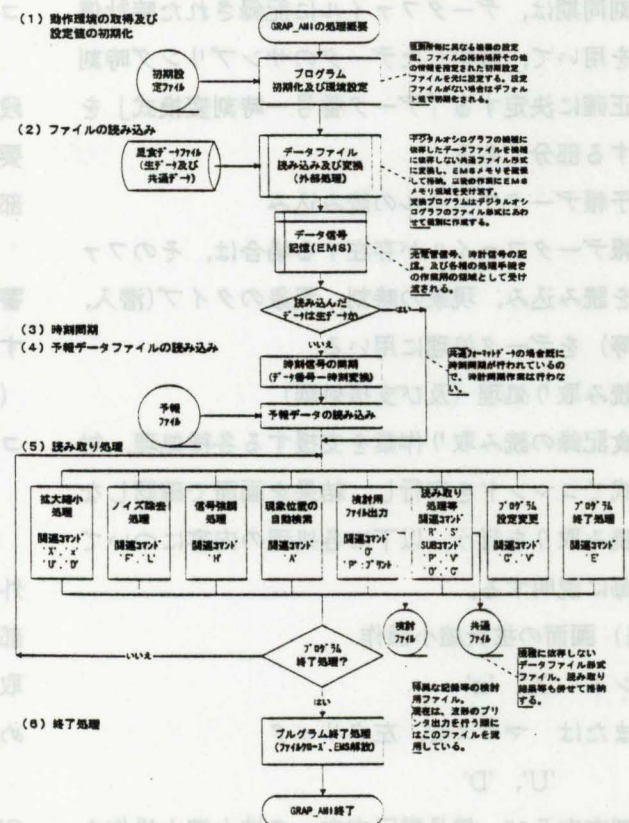
デジタルオシログラフのデータファイルの形式を、機種に依存しない形式のファイル (以後、「共通データファイル」と呼ぶ) へ変換する部分がこれに当たる。

#### b. 汎用ソフトウェアの使用

プリンタ出力等、PC 及びその周辺機器の機種への依存の度合いが大きい部分を汎用ソフトウェアの使用を想定することで切り離れた。

### 6. GRAP \_\_AMI 処理概要

GRAP \_\_AMI の処理は以下のような手順で進行する (図 1 参照)。



第 1 図 GRAP \_\_AMI の処理概要。GRAP \_\_AMI はデジタルオシログラフのデータを読み込み、星食現象時刻の読み取りを行う。読み取りに際して、対話形式で読み取り作業を支援する各種機能を提供する。



## (1) 動作環境の取得及び設定値の初期化

初期設定ファイルによって、使用した観測機器の設定値、入出力ファイルディレクトリ等の動作環境の設定を行う。初期設定ファイル名が指定されない場合は「GRAP\_\_AMI.CFG」が指定されたものと見なす。

初期設定ファイルが見つからない場合は、プログラム内に埋め込まれたデフォルト値によって、初期化される。

## (2) ファイル変換と読み込み

ファイルの読み込みに際して、読み込むファイルが、デジタルオシログラフの機種に依存したファイルであると認識した場合は、その機種のデータファイルを共通データファイルへと変換する外部プログラム(下里「RT31J.EXE」、美星、白浜、本庁は「RT31N.EXE」)を起動する。共通データファイルの受け渡しは、計算機内蔵の拡張メモリ(EMS)を通して行う。

## (3) 時刻同期

時刻同期は、データファイルに記録された時計信号等を用いて、取得したデータのサンプリング時刻を、正確に決定する「データ番号—時刻変換式」を作成する部分である。

## (4) 予報データファイルの読み込み

予報データファイルが存在する場合は、そのファイルを読み込み、現象の時刻、現象のタイプ(潜入、出現等)をデータ処理に用いる。

## (5) 読み取り処理(及び支援処理)

星食記録の読み取り作業を支援する各種処理。対話形式でコマンドを実行し、結果を画面で確認しながら読み取りを行う。以下に各処理の内容について種類毎に説明する。

## (5.1) 画面の拡大縮小操作

コマンド: 'X', 'x'

または マウス右、左クリック

'U', 'D'

時刻方向及び、信号電圧方向への拡大縮小操作を行うことができる。読み取り者が読みやすい大きさまで、自由に拡大縮小することができる。

## (5.2) ノイズ等除去操作

コマンド: 'F', 'L'

FFT 変換—逆変換によるバンドパスフィルタ、線形変化除去フィルタなどによってデータからノイズを除去する機能を有する。

ノイズを除去することによって、等級の暗い星の観測や、薄明時の観測、月の輝面率(明るい部分の割合)の大きな時期の観測など、条件の悪い星食の記録の読み易さが増す。

この部分は、従来のアナログ記録で行なえない、デジタル記録ならではの処理である。

## (5.3) 信号強調処理

コマンド: 'H'

ローパスフィルタによる信号レベル変化の、全体像を強調する操作と、ハイパスフィルタによる局所変化の強調処理機能。デジタル記録ならではの処理である。

なお、ローパスフィルタ処理は、時刻同期作業直後に自動的に行われる。

## (5.4) 現象位置の自動検索

コマンド: 'A'

データを解析して、現象位置を検索する機能。現段階は、実験的な機能として、もっぱら読み取りに要する手間を省くための「読み取り支援機能」の一部として用いることが多い。

将来的には、現象位置の認識に関するノウハウを蓄積し、より高い精度での「自動読み取り」を目指す。

## (5.5) 検討ファイル出力とプリント機能

コマンド: 'O'

'P' (波形のプリントアウト)

特異な記録が得られた場合など、標準的な解析以外の、解析処理を実施することを考えて、記録の一部分をテキストファイル化して出力する機能。読み取り結果や予報データについても併せて出力するため、これ自体でも観測記録とすることが可能。

記録波形のプリントアウトについては、現在の GRAP\_\_AMI にその機能が用意されていないため、検討ファイルを一時的に流用して汎用グラフ化ソフトへの入力ファイルを作成し、グラフ化ソフトによって波形のプリントアウトを行うことで代用し



ている。

#### (5.6) 読み取り処理

コマンド: 'R'

'S' (セーブコマンド)

セーブコマンドのサブコマンド:

'P', 'V', 'O'

現象位置を確定し、その位置にマウスカーソルを移動して、読み取りコマンドを実行することによって、時刻、S/N比、 $\Delta t$ を計算し画面に数値及びグラフィックスによって表示する。また、回折光パターンの現れた記録の読み出しのために、現象前後で変化した信号レベルの1/4の線をあわせて表示する。

なお、読み取りコマンド実行は何度でも行うことができ、正しい読み取りが行われた後にファイルセーブコマンドを指定することで、共通ファイルへ結果を出力する。

サブコマンド、「P」、「V」は、読み取った観測記録が、光電管観測か、眼視観測かを区別するためのコマンドである。

「O」は、従来アナログ記録で行われていた「現象の開始位置」、「終了位置」の読み取り方式と、互換性を保つためのコマンドである。

#### (5.7) プログラムの設定変更

コマンド: 'C', 'V'

コマンド「C」での変更は、GRAP \_\_AMI 起動後、初期設定ファイル内の設定値を、一時的に変更したい場合などに用いる。

このコマンドによる設定値の変更は、動作中のGRAP \_\_AMI についてのみ有効となるもので、初期設定ファイルを変更するものではない。

また、画面表示に関する設定のように、他に大きな影響を与えない設定値については、より簡便な変更手段「V」を用意した。

#### (5.8) プログラムの終了指定

コマンド: 'E'

読み取りが終了(または中止)した場合に、読み取りルーチンの対話モードを終了し、必要な各種プログラム終了手続きへと、制御を移す。

なお、読み取りコマンド'R'が実行された後に、セーブコマンドが実施されていない場合は、この箇

所でセーブコマンド実行が促され、ファイルの出力ミス等を防止している。

#### (6) 終了処理

GRAP \_\_AMI が、起動に際して確保した各種資源の解放、及び画面モードの初期化等を行う箇所である。

前述した処理概要の(1)は、各観測所によって異なる種々の設定をGRAP \_\_AMI の動作に反映させるための処理であり、(2)は、使用するデジタルオシログラフのデータファイルを、共通データファイルへ変換し、読み込む部分である。

(1)~(3)までの処理によって、使用する機種に依存する部分を吸収する。

### 7. GRAP \_\_AMI の各部処理の内容

前述した概要に沿って、特に重要な部分、特徴的な各部分での処理について説明を加える。

#### (1) 動作環境の取得及び設定値の初期化

現在の星食観測結果の読み取りには、デジタルオシログラフのデータファイルからだけでは得られない、多くのデータ、数値等が必要である。これらの値は、各観測所毎に、機器の設定値、読み取りの環境等が異なるため、読み取りプログラムは何らかの方法で、この値を取得し、動作に反映させなければならない。

GRAP \_\_AMI は、変更の可能性のある諸数値を、初期設定ファイルとしてプログラムと分離し、このファイルの変更で、プログラム本体を修正せずに、動作を制御する方式を採用した。初期設定ファイルは一定の書式を持ったテキストファイルで、エディタで修正可能である。MS-DOS の、CONFIG. SYS ファイルに相当するファイルと考えることができる。

初期設定ファイルについては別添サンプル (GRAP \_\_AMI. CFG) を参照されたい。

#### (2) ファイル変換と読み込み

デジタルオシログラフの機種に依存したデータファイルを標準的な形式に変換し、EMS メモリに名前付きで格納する。この処理を行うプログラムは、外部プログラムとしてGRAP \_\_AMI とは別に作



GRAP\_AMI. CFG (サンプル)

GRAP\_AMIの動作を制御する各種設定値を記録している。  
この内容に従って、GRAP\_AMIは動作する。  
(このサンプルは下里水路観測所の設定値を参考としたもの。)

```

:ENVIRON
STATION      = SIMOSATO # 観測所名
EDITOR       = MIFESH.EXE # 標準エディタプログラム
$EDITOR      = EDIT.COM # 標準エディタプログラム

:TEXT # 文字列表示位置の設定関連
TITLE        = 1 # 表示範囲、ファイル名の表示行
COMMAND      = 2 # 操作命令表示行
STATUS       = 3 # コール位置情報表示行
READSTATUS   = 4 # 読み取り位置情報表示行

:ALL # プログラム全体に関連する事項
CLOCKCH     = 1 # 時刻信号入力チャンネル番号
DATACH      = 5 # 光電記録信号入力チャンネル番号

:VIVE
DATA_VIVE   = ON # データ信号表示 ON/OFF
GUIDE_VIVE  = ON # データ信号表示 ON/OFF
CLOCK_VIVE  = ON # 時計信号表示 ON/OFF
GX          = 0:100 # データ信号表示範囲 (左右方向: 全データ共通)
GY          = 17:100 # データ信号表示範囲 (上下方向: 全データ共通)
DATA_LY    = 70 # データ表示範囲相対比率 (上下方向)
GUIDE_LY   = 20 # データ概要表示範囲相対比率 (上下方向)
CLOCK_LY   = 5 # 時計信号表示範囲相対比率 (上下方向)

:FILE # 入出力ファイル関連事項
$DATAFILE   = DAT4*.LZH
DATAFILE    = E:\VOCCDAT\VOCC9602*.LZH
CUTFILE     = CUT.DAT # データファイルの一部をテキストファイルとして出力する場合の名
READFILE    = .VOCC_R_02.TXT
CHECKFILE   = .VOCC_C_02.TXT
TEMPFILE    = .VOCC_TMP.TXT # 一時使用の読み取りファイル
PREDECTFILE = .VOBSFILVOBSFIL02.DAT
OCCDDIR    = . # 共通フォーマットファイル出力ディレクトリ
TEMPDIR     = C:\WORKY # 一時作業ファイル展開ドライブディレクトリ
FILETYPE    = FILETYPE.LST # データファイルのタイプ判別と変換プログラムの管理

:TIME # 時刻信号関連事項
SYNCHRONIZE = END # 時刻同期に用いる内部時計時刻 (Start,End)
SIGNALHILEVEL = 2.5 # これ以上の電圧を時刻 (秒&分) 信号とみなす (単位 V)
SECSIGNALWIDTH = 0.2 # 秒信号の継続時間 (単位 SEC)
MINSIGNALWIDTH = 0.4 # 分信号の継続時間 (単位 SEC)

:FILTER # フィルタリング関連事項
FFT_SPAN    = 16 # FFT LOWPASS FILTER 処理単位 (データ個数)
FFT_CUTP   = 8 # FFT LOWPASS FILTER 不通過波長 (データ個数)

:MANUAL # 手動読み取り関連事項
BAD_SD      = 2 # 読み取りの際、データの良否を決定する基準
SD_SPAN     = 0.3 # 読み取りの際、標準偏差を計算する範囲 (単位 SEC)
$SD_SPAN    = 0.1 # 読み取りの際、標準偏差を計算する範囲 (単位 SEC)

:AUTO # 自動読み取り関連事項
ABAD_SD     = 3 # 自動検索等で、データの良否を決定する基準
ASD_SPAN    = 0.4 # 自動検索等で、標準偏差を計算する範囲 (単位 SEC)
$ASD_SPAN   = 0.3 # 自動検索等で、標準偏差を計算する範囲 (単位 SEC)
ASEARCHWIDTH = 2.0 # 自動検索範囲 (単位 SEC)
$ASEARCHWIDTH = 6.0 # 全自動検索範囲 (単位 SEC)
    
```

成する (現在 RT31J. EXE, RT31N. EXE がある)。

この方式の採用で、デジタルオシログラフのデータファイル形式が異なる場合にも、比較的容易に対処することができる。また、読み込むデータが、どの機種で記録されたものかを調べるための外部プログラム (FILETYPE. EXE) 作成した。GRAP\_AMI は、上記の各プログラムを内部から呼び出し、機種に依存したデータの処理を本体から切り離れた。

使用したデジタルオシログラフの機種を判別するプログラム、FILETYPE. EXE は、現在使用している機種以外のデジタルオシログラフが将来導入される可能性を考え、機種判別の情報をテキスト形式のファイルで管理している。このテキストファイルを書き換える事によって、判別プログラム本体を変更することなく、将来の機種にも対応することが可能

FILETYPE. LST (サンプル)

FILETYPE. EXE プログラムが使用するデータファイル。読み取る星食データが、どの機種のデジタルオシログラフによって得られたものかを判別し、機種毎に適切な処理プログラムを呼び出すための情報が記録されている。

```

# FILETYPE.LST

# 星食共通データフォーマットファイル Ver 0.01
001 OCD001.EXE [1,OccDatV0.01]

#RT3100J Type (下里)
100 RT31J.EXE [1,RT31DAT]

#RT3100N Type (本庁、美星、白浜)
101 RT31N.EXE [1,rt32DAT] [41,Ver 1.0]

255 UnknownFile
    
```

である。判別に用いるデータファイルについては別添サンプル (FILETYPE. LST) を参照されたい。

(3) データの読み込み (その他)

読み取り動作とは直接関係がないが、観測のデータ処理は月単位で行われることが多いため、これを特定のディレクトリにまとめて管理することが多い。また1日に複数星の観測があった場合には、1日分を1つのアーカイブファイルにまとめて管理すると便利である。GRAP\_AMI は、このような使用状況に対応するために、簡単なファイル管理機能を有している。使用するアーカイブは、初期設定ファイルで指定できるようになっているが、このプログラムの内部にあるアーカイブファイル内の元ファイル名検索ルーチンが、現在のところ LHA 方式 (内部コード「1 h 5」) にしか対応していないため、それ以外のアーカイブの使用については、動作の保証ができない。

(4) 時刻同期

光電管を用いた星食観測においては、1ミリ秒まで現象時刻を読み取ることから、光電管の波形記録と、時刻とを正確に関係付けなければならない。

デジタルオシログラフのサンプリング間隔そのものは、十分に精度が高いため、観測開始からの経過時間は、正確に求めることができる。しかし、観測の開始時刻を記録するために用いられる内部時計の記録の精度が、1秒単位までしかないうえ、内部時計を正確にあわせる手段も用意されていないことから、記録されている観測開始時刻は、標準時に対して数秒から十数秒の誤差を含んでいると考えなければならない。このため、現在は光電管等の信号と同



時に、デジタルオシログラフの別のデータチャンネルに時計装置からの時刻信号（毎秒、毎分の矩形信号）を記録し、この記録とデジタルオシログラフの内部時計の値を用いて、時刻の同期を行っている。時刻同期は、以下の手順で行う。

#### a. 秒信号の位置の取得

データファイルから、時計信号を記録したチャンネルのデータを取り出し、記録されている最初の秒信号から最後の秒信号まで、その立ち上がり位置を調べ、発見したすべての立ち上がり位置を用いて、実際のサンプリング間隔と、最初の秒信号の立ち上がり位置を、最小二乗近似により求める。

この際に使用する秒信号が、時計信号へのノイズの混入などにより、不正確である可能性もあるので、予め、デジタルオシログラフに設定されている、サンプリング間隔データから求めた秒信号間隔と、実際の秒信号の間隔が、その前後の秒信号に対して0.5%を超える誤差を含んでいる場合は、除外することとしている。

多数の秒信号位置を使って、立ち上がり位置とサンプリング間隔を求めることによって、局所的な秒信号のふらつきやノイズによる歪みの影響を除いている。また副次的な効果として、時計信号を量子化する際に起こる時刻データの量子化誤差を小さくする効果もある。ただし、このような方式をとっても、シャノン-染谷の標本化定理（文献1）が示すとおり、最悪の条件では、時刻同期の精度はサンプリング間隔の2倍以下にはならないと考えるべきである。

#### b. 分信号の位置の取得

各観測所の時計装置（AQ-1000等）は、毎正分毎に、他の秒信号と長さの異なる矩形波を発生させることができる。このため、矩形波の継続時間によってそれが「正分」を示す秒信号か、それ以外の秒信号かを判別することができる。

秒信号、毎正分の秒信号の長さについては、初期設定ファイルによって任意に指定することができる。

仮に分信号が発見できなかった場合、現在は、最初の秒信号を「仮の分信号」と見なして処理を続け

る。この場合、次におこなう標準時との同期が、正しく行われなくなる。この点については、必ず分信号を記録するように、観測時に十分注意する必要がある。

#### c. 標準時との同期

現在使用しているデジタルオシログラフには、内部時計があり、データ収録の開始及び終了の際に、内部時計の示す時刻が記憶される。記憶された値は、データをファイルにセーブする際に、併せてファイルに記録される。ファイルに記録された値は、内部時計自体に、日毎に2~4秒程度の進み遅れがあるうえ、1秒未満の単位の時刻を記録することができないため、このままでは使用できない。しかし、1日の観測の開始時点で、おおよその時刻あわせを行えば、実際の時刻と内部時計との誤差を、数秒以内に治めることは容易である。内部時計の誤差がこの程度と考えることができれば、bで得た時計信号の分信号位置と、記録された内部時計の時刻とが30秒以内の誤差となるように内部時計の値を修正して、標準時と取得データ番号を同期させることができる。同期の考え方は次のとおり。

内部時計の記録開始時刻	Mo (秒)
オシログラフサンプリング間隔	st (秒)
分信号立ち上がりのデータ番号	N
分信号立ち上がりの時刻	Ro (秒)
内部時計値の補正量	te (秒)

とする。内部時計の誤差は±30秒より小さいと仮定すれば

$$i) +30 > te > -30$$

$$ii) Ro = Mo + (N \times st) + te$$

また、Roは分信号の立ち上がりであるからこれを秒で表せば

$$iii) Ro = 60 \times m \quad (m: \text{整数})$$

i~iiiまでの式から

$$m = [(Mo + (N \times st) + 30) / 60]$$

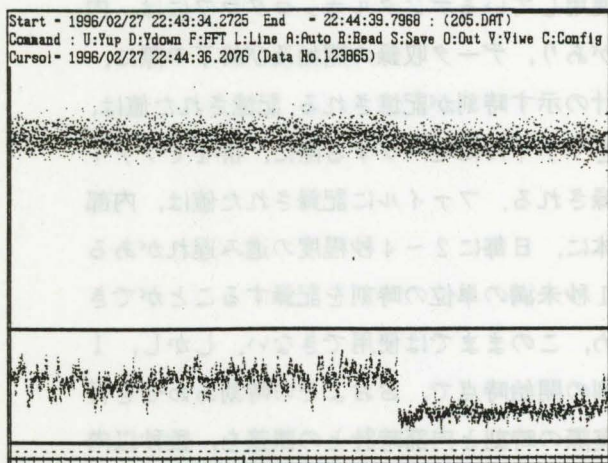
([ ] は整数部のみ取出すガウス記号)

となり、mが求める「分」を表す。

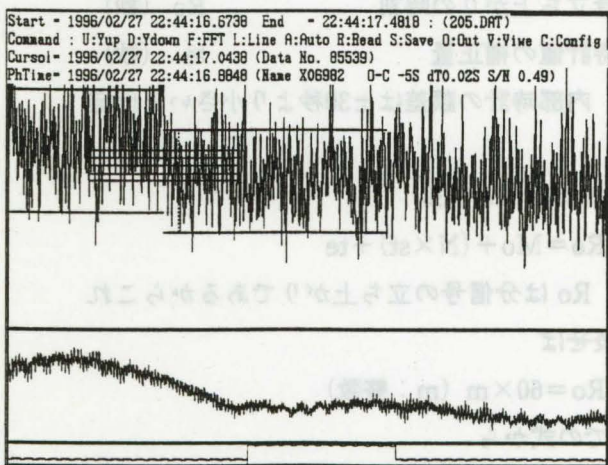
a~cの結果をもとにして、データの番号から時刻を求める式を作成する。現在使用しているデジタルオシログラフのサンプリング間隔の相対精度は十



分に高く、aにより求めた平均のサンプリング間隔を用いれば、1分間の観測中で1ミリ秒の誤差を生ずることはなかった（実際の誤差は、おおむねその数分の1）ことから、近似式は1次式で十分な精度を得ることができる。



第図 2-a GRAP \_\_AMI 処理画面 (全体)  
1度の星食観測で得られた全データを表示した状態。観測時間は、約1分7秒。データ量は、512Kbyte。画面最上段が、光電管からの信号。中段が光電管信号の全体の変化を強調処理したデータ。下段は時刻信号と、時刻同期確認のための秒信号線。画面情報の文字は、表示データの範囲やマウスカーソルの位置、有効なコマンド一覧などを表示している。



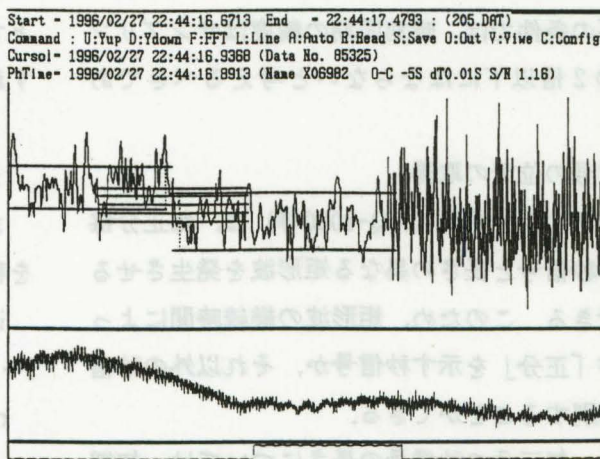
第図 2-b GRAP \_\_AMI 処理画面 (現象位置付近)  
2-aのデータから、星食現象の付近を拡大した状態。図の左右の範囲はおおよそ0.8秒に相当する。上段の光電管信号も上下方向に約2.3倍拡大してある。画面の左側に数本見える縦、横の線は'R'コマンド実行により描画される。

GRAP \_\_AMI では、時刻同期以後は、これによって得られた近似式を用いて、時刻を求めている。ただし、内部時計の値は秒以下の情報を持たず、それ自体に1秒以内の不確実性を有するので、実際の運用ではこの点を考慮して、内部時計を±29秒以内の誤差となるように合わせる必要がある。

(5) 読み取り操作と画面構成

読み取りは、読み取り者が画面を見ながら、記録に応じた各種の処理を対話的におこなう。この処理には、従来のペンオシログラフでの観測ではできなかった、各種のノイズ除去操作、信号の強調操作なども含まれる。参考として実際の観測データ処理中の画面を示す(図2-a, b, c)。図2-aはデータの全体像を表示したものである。これに対しb, cは記録を読みやすい大きさまで拡大し読み取りコマンド'R'を実行したところである。b, cの違いはcの画面の左側2/3ほどの領域にFFTを利用したノイズ除去フィルタがかけられている点である。フィルタのかかっていない残り1/3と比較することで、このフィルタの効果がわかる。

この図に示された画面は上下方向に3つの区画に分割されているが、これは上が光電管からの信号データ、中が光電管信号の変化の概要を示す曲線、下が時計信号である。上中下の領域の大きさ、表示、非表示などは、自由に変更することができる。



第図 2-c GRAP \_\_AMI 処理画面 (ノイズ除去処理)  
2-bのと同じ区域を表示。ただし画面左2/3の領域には、FFTを利用したノイズ除去処理を施した。



なお、時計信号が表示されている箇所には、時刻同期後の計算式によって求めた秒信号位置に、細線を表示（分信号にはやや太い線）しているので、時刻同期が正しく行なえたかどうかを一目で確認することができる。

#### (6) 現象位置の自動検索について

読み取りモード中の'A'コマンドは現象位置の自動検索機能である。現時点では、本格的自動読み取り機能というより、自動読み取りに関するノウハウを得るために取り付けた機能という位置づけである。

現象位置の判定は基本的には、指定された時刻の範囲内でS/N比が最大となる箇所を探すことによって行っており、補助的に予報データの現象タイプ（潜入、出現など）を使った判定を併用している。探索する時刻範囲は、読み取り者がマウスで指定した時刻を中心として設定されるが、予報データがある場合は、GRAP \_\_AMI 起動直後に、予報時刻を中心とした領域が、自動的に設定される。

現在の判定方法は、アナログ記録の読み取りの際に得た、経験的ないくつかの判定法を、デジタルオシログラフの記録に対して用い、その結果を比較検討して採用したものである。

この方法の長所は、現象位置の判定が比較的安定していることである。反面、0.05秒以下といった短い範囲内においては、S/N比の変化が、極めてわずかであることから、高い精度での位置判定には不向きである。

判定方法が単純なため、実装は容易であるが、判定確度はやや落ちる。判定の確度については、80%程度以上のデータに関しては、問題なく判定できるようである。自動読み取りが実用的と認められるには、OCRソフトなどの例から考えて95%を超える確度を達成する必要があると考えられるので、今後とも判定確度向上のための改良を加えていきたい。

また、現方式による現象位置検索の時刻精度は、前述したとおり、高い精度が得られない。これを補う方法として、記録波形をフィッティングして、現象時刻を決定する方式を検討中である。星食現象の記録波形は、理論的には回折光パターンを示す（文

献2）は）であるから、回折光パターンに対してフィッティングを行えばよいと考えている。しかし、いくつか解決しなければならない問題があり、現段階では、実装に至らなかった。

なお、現方式は、信号とノイズの比（S/N）によって現象位置を検索するため、デジタルオシログラフの記録レンジ（記録できる電圧の範囲）に対して、星食現象による信号変化（電圧変化）が極めて小さい記録については、人間の読み取り者より、確実に現象位置を見出す傾向がある。

#### (7) S/N比と精度（ $\Delta t$ ）について

星食の読み取りでは、現象時刻の他にS/N比と現象時刻についての精度 $\Delta t$ を求める。S/N比計算のためにノイズの振幅を求める必要がある。S/N比の計算方法については、省略する（S/N比は記録の状態を知るための参考として使われることが多いので、従来の値と近い数値となるように、ノイズの幅として $2\sigma$ を用いた）。精度 $\Delta t$ については従来の方式に加え数値的に $\Delta t$ を推定する方式を採用した。

$\Delta t$ の推定は以下の式を用いている。

$$\Delta t = (3 \times N_s / S)^2 \times st$$

$N_s$  : ノイズの標準偏差

$S$  : 信号レベルの変化

$st$  : サンプル間隔

上式において、「 $N_s/S$ 」はS/N比の逆数である。計算には、現象前後で $N_s$ がより大きな方を用いて計算する。なお、 $\Delta t$ については0.01秒以下の桁数については、すべて切り上げている。

従来の $\Delta t$ の求め方は、記録の処理につきまとう「読み取り誤差」と、記録波形に現れる「現象位置の不確かな領域の幅」が分離しておらず、アナログ記録の読み取りのために、便宜的に考案された感がある。このため、デジタル記録を用いた処理にまで、従来方式を持ち込むことには疑問があり、式による推定法を採用した。

#### (8) 星食記録の共通データファイル

星食記録の保存を考えると、デジタルオシログラフの出力する生の記録での保存は、ファイルの大きさの点及び、現象時刻の読み取り結果等を保存できない点などの不都合がある。このため、必要充分



データファイル (サンプル)

共通フォーマットファイルの内容をテキスト化したもの。共通フォーマットファイル自体はバイナリファイルである。サンプルの上1/2ほどは、デジタルオシログラフの設定状況や、星食の予報データ、読み取り結果等がしめ、下1/2はサンプル番号、時刻(秒のみ)、光電管からの電圧、時計信号の電圧が記録されている

```

*****
Station : SIMOSATO
.... Setting Data
InputFile : C:\WORK\205.DAT
StartPoint: 22:44:16.7550 (Data 84962)
End Point: 22:44:17.0241 (Data 85500)
Sampling : 0.000500 Sec ( 0.50mSec)
Volt_Range: Data 1.00V Clock 10.00V
.... Predict Data
Star : X06982 (Mag 9.5 Ph D)
Condition: CA 55S PA 120.5 PL 62+
          : MEL 37 SEL
.... Read Data
PhTime : 1996/02/27 22:44:16.8845
DataNo. : 85221
FFT : 16 ( 8.0 mSec)
Condition: 0-C -5 dt 0.02 S/N 0.5 Rec P
.... ETC
Program : Read Mode
Reader : M.Suzuki
Time : 0.50002e-3 * N + 81814.2723
    
```

```

*****
DataNo. Time(S) Data_SG (V) Clock_SG(V)
84962 16.7550 0.272 -0.020
84963 16.7555 0.258 0.090
84964 16.7560 0.157 0.060
84965 16.7565 0.159 0.050
    
```

省略

```

85219 16.8835 0.321 0.020
85220 16.8840 0.371 0.060
85221 16.8845 0.309 0.055
85222 16.8850 0.264 0.080
85223 16.8855 0.215 0.100
    
```

省略

```

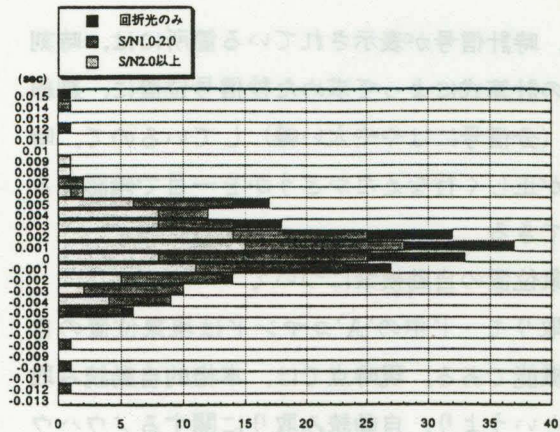
85496 17.0221 0.185 3.365
85497 17.0226 0.176 3.265
85498 17.0231 0.140 3.230
85499 17.0236 0.191 3.245
85500 17.0241 0.213 3.245
    
```

なデータを備え、冗長な部分を除いたデータファイルを出力する機能を実装した。現在のデータフォーマットについては、下里で行っていた処理に合わせて作ったもので、真の意味での「共通データファイル」とは言えないがこれを叩き台として改良を加えて、将来は各観測所間で、相互に観測結果を参照できるように体制を作ってゆきたい。

参考として、共通フォーマットに含まれる情報をテキスト化した結果を、サンプルとして掲げる。

8. デジタル・アナログ記録の比較

下里及び美星水路観測所では、デジタルオシログラフ導入以来、従来のアナログ記録装置と並行して



グラフ-1 アナログ-デジタル記録比較結果  
下里水路観測所で得られた同一の星食のデジタル記録及び、アナログ記録による読み取り時刻の差の分布(時刻の差は1ミリ秒刻み).227星の読み取り結果を比較している。

星食のデータを記録してきた。

以下に、下里水路観測所で得たデジタル及びアナログ記録の読み取り値の比較結果から、デジタルオシログラフ及び読み取りプログラム GRAP\_\_AMI の性能について評価したので報告する。

なお、眼視観測は、光電管観測に比べて観測精度が著しく劣ることから、今回の比較には用いず、光電管観測についてのみ比較した。

グラフ1は、平成6年8月から7年12月まで下里水路観測所で取得した星食データのうち、デジタルとアナログの両方で記録した227星のデータについて、その読み取り時刻を比較した結果である。デジタル記録の読み取りは、今回の比較のため新たに読み直したもので、単独の読み取り者(下里、宗田所長)による。アナログ記録については、既に読み取った値を用いたため、読み取り者は不特定である。なお、読み取りの最小単位は1ミリ秒である。

グラフ1の縦軸は「アナログ - デジタル」の値であり、横軸が個数を表している。

データカラムはそれぞれ、回折光パターンと判断して読み取ったもの(38星)、S/N比が2.0以上のもの(84星)、S/N比が1.0以上2.0未満のもの(105星)とに分けてある。

なお、このグラフは、下里水路観測所宗田所長か



らの提供資料を基に作成した。また、デジタルオシログラフの記録の読み取りには GRAP\_\_AMI を使用した。

比較の結果、最頻値は+1ミリ秒、平均値は+0.8ミリ秒、標準偏差は3.4ミリ秒となり、アナログ記録がデジタル記録に比べて約1ミリ秒遅れる傾向が認められる。この差が、デジタル記録とアナログ記録との系統誤差なのかどうかは、比較した数値の最小単位が1ミリ秒であることや、アナログ記録の読み取り者が異なることなどから、今回の比較のみでは結論することはできない。

また、グラフ中に見受けられる、 $\pm 0.01$ 秒以上の差のあるデータ(6星)については、アナログ記録の読み取りにおいても、ノイズ等により、現象位置の判断が難しい記録が数パーセント存在し、読み取り者によって、読み取り位置が $\pm 0.03$ 秒程度異なることがあること、今回の比較で、差の大きかった6星は、全体の3パーセント弱であることなどを考慮すると、この差はデジタル、アナログの違い云々と言うより、読み取り者が、現象位置と判断した箇所の違いによるもので、観測に用いた機器や、読み取りの精度そのものの違いによるものではないと考えられる。

今回の比較では、読み取り条件の不統一等があり、平均0.8ミリ秒の差の意味について、議論することは難しい。デジタル記録、アナログ記録のどちらが正しいかという判断を下せるものでもない。平均0.8ミリ秒の差等の意味を考えるためには、アナログ記録とデジタル記録について、より詳しい比較検討が必要であろうが、今回はそこまでの調べることができなかった。

ただ、星食観測にデジタルオシログラフ(及び GRAP\_\_AMI)を使用することの可否についてのみ考えるならば、今回のような不統一の条件下での比較であっても、従来のアナログ記録での読み取りとの差が、1ミリ秒のオーダーでなければ現れないものであること、現在の光電管観測の報告の最小単位が0.01秒であることなどを併せて考えれば、デジタルオシログラフを用いた星食観測は、アナログ記録を用いた観測に比して、遜色なく、十分に実用的

であるということができる。

## 9. 星食観測データの処理支援システムについて

水路観測所での星食観測は

- a. 観測準備計算
- b. 観 測
- c. 観測記録読み取り及びチェック
- d. 星食観測報告書の作成

の4つの段階に分けて考えることができる。

今回説明してきた GRAP\_\_AMI は、このうちの c についての処理を受け持つソフトウェアである。

処理の各段階は、それ以前の段階の処理結果を受けて成立する。また、各段階で用いられるデータは、共通あるいは、共通のデータの一部を変形して使用している場合が多い。

従来のアナログ記録を用いた観測では、b以降の作業で、最も重要なデータである星食現象の記録が、記録紙の上に描かれた波形であるという点が、各段階での、共通データの再利用への足枷となっていた。

デジタルオシログラフの導入は、この足枷を外す上で大きな効果がある。観測データが1つのファイルとなっていることで、それ以後の作業が、1台のPC上で行なえ、一旦作成されたファイルは、他の段階の処理に直接利用できるからである。

現在、b以降の作業は、デジタルオシログラフ等の機種に依存しない「共通データファイル」を中心として進む。

共通データファイルには、各段階で必要となるデータ、あるいは新たに付け加えられるデータを順次格納してゆく。

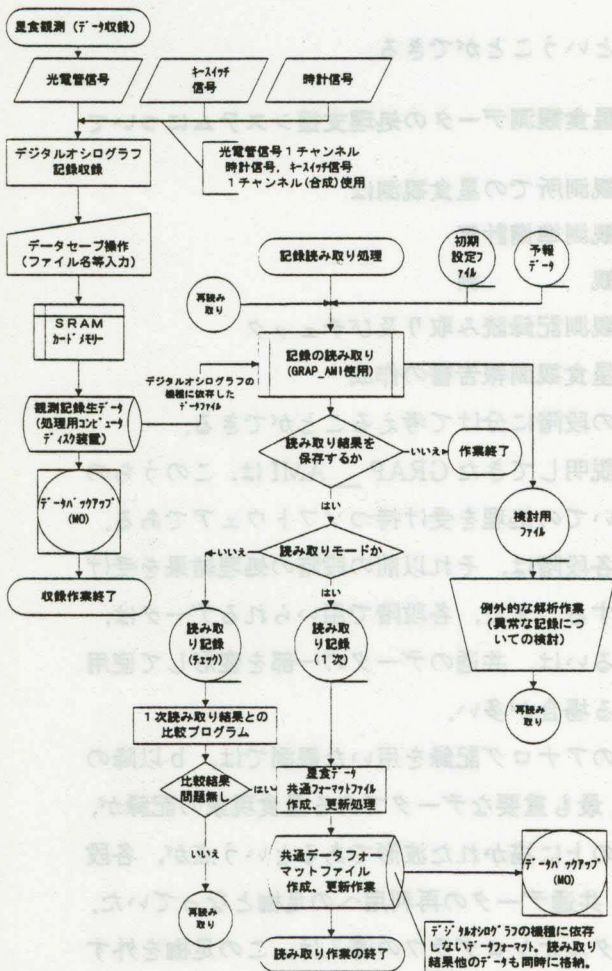
この結果、最終的には、この共通データファイル1つで、全ての作業が可能となる(図3a及び3b)。

さらに、既に自動化が進んでいるaを含めて、統一的なデータフローの体系を構成することができる(図4)。

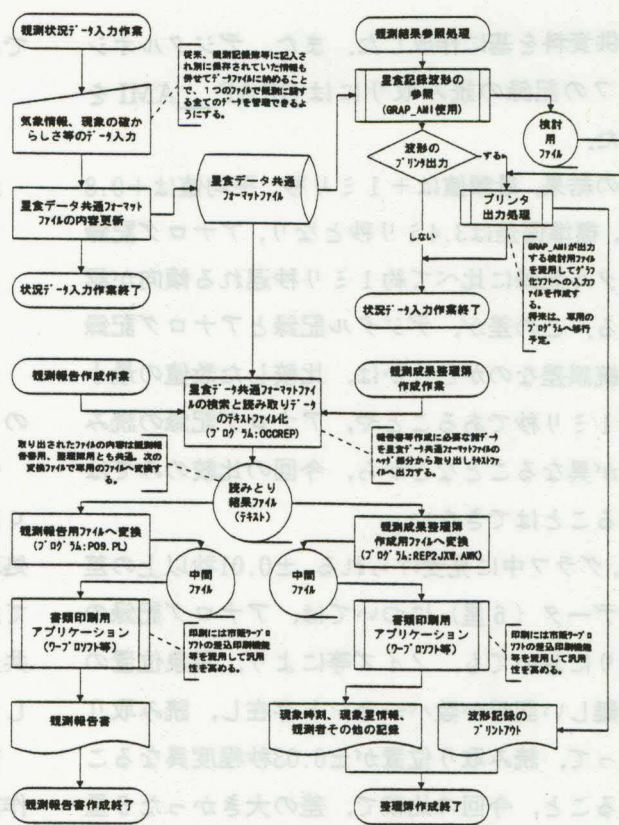
図4は、数年前の観測の流れを上段に置き、下段に現在の処理の流れを概念的に表したものである。

図では、現在の処理の方が煩雑に思えるが、各部の処理の多くは自動的に行われること及び、関連するデータの再利用が進んでいるため、労力は軽減さ





第図3-a デジタルオシログラフを用いた観測結果処理フロー (観測から記録読み取り及びチェックまでの処理) 星食観測によって得られた記録(デジタル記録)を用いて、現象時刻の読み取り(及び、チェック)を実行し、結果を共通データファイルへ出力するまでの処理



第図3-b デジタルオシログラフを用いた観測結果処理フロー (観測報告書、整理簿等作成処理) 共通データファイルを用いた観測報告書等の作成処理. 観測報告に必要な各種オフライン情報(気象情報等)を入力して、共通データファイルを完成させ、完成した共通データファイルを用いて、観測報告書その他を作成する。従来は、ほとんど手作業によっておこなわれていた。

れている。

図4において「星食観測関連データファイル群」としてある部分が、各処理に必要なデータファイルおよび、処理結果のデータファイルの集まりを示している。現段階では、各データファイルを統一的に管理する機構は存在しないが、将来的には、データファイルを統一管理する機構を作成し「星食観測データベース」として発展させてゆきたい。

星食観測データベースに至るまでには、乗り越えなければならない、いくつものハードルが存在するが、これが実現されるのも、そう遠い日のことでは無いと考えている。

最後に、GRAP\_\_AMI 他の開発及び試験にあたっては、宗田所長をはじめとした下里水路観測所の所員の方々、美星水路観測所吉田官、航法測地課奥村官他、多数の方々の協力、支援を頂きました。紙面をお借りして感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 安居院 猛, 中島 正之: FFT の使い方 P46-112
- (2) 田中 済: 星食の高時間分解能測光観測による恒星視直径の測定, 天文月報, P346-349 (Vol. 12, 1981)



