野辺山電波ヘリオグラフ（NoRH）解析マニュアル
ver. 2.3

国立天文台 野辺山太陽電波観測所

2000 年 10 月 16 日

目 次

1 はじめに **4**

1.1 前バージョンからの変更点 4

2 解析ソフトを使うには **4**

2.1 IDL を用いて解析する場合の準備 4

2.2 IDL を用いないで解析する場合の準備 5

3 IDL による解析 **6**

3.1 SSW/IDL 立ち上げ 6

3.2 データベース 6

3.2.1 観測時刻・観測ログ 6

3.2.2 イベントリスト 6

3.2.3 当番報告 7

3.3 時系列データ 7

3.3.1 相関値 tcx データ 7

3.3.2 相関値 tsx データ 8

3.4 画像データ 8

3.4.1 野辺山観測所アーカイブに置いてある合成済画像 8

3.4.2 画像合成の前処理 — 観測生データの転送 8

3.4.3 画像合成 9

3.5 データ解析 10

3.5.1 画像読み込み・表示 10

3.5.2 ビームパターン 11

3.5.3 太陽面座標グリッド 11

3.5.4 画像に関する情報を得るには 11

3.5.5 SolarSoftware のマッププロシジャを使うには 11

3.5.6 輝度温度 (T_b) から放射束密度へ (F_ν) の変換 11

3.5.7 円偏波率をもとめる 12

3.5.8 画像どうしのビームサイズをそろえる 12

3.5.9 スペクトル分布をもとめる 12

3.5.10 部分領域の光度曲線・円偏波率・スペクトル変動曲線 13

3.5.11 光学的に薄い非熱ジャイロシンクロトロン放射 (試験公開) 13

3.5.12 光学的に薄い熱制動放射 (試験公開) 14

3.6 具体的なデータ解析の例 15

3.6.1 イベント選択 15

3.6.2 光度曲線 15

3.6.3 画像合成 16

3.6.4 画像プロット 16

3.6.5 偏波率分布 18

3.6.6 スペクトルグラム 18

3.6.7 データの解釈 19

3.7 その他 20

3.7.1 生データを直接よみこむ 20

3.7.2 アンテナ・アンテナ組番号とアンテナ名との対応 21

3.7.3 野辺山からみた太陽の位置を得るには . . . 21
3.7.4 SZ ファイルを自作するには . . . 21

4 IDL をつかわない解析 22
4.1 データベース . . . 22
4.2 時系列データ・画像の解析 . . . 22
4.3 画像データ . . . 22
4.3.1 野辺山観測所アーカイブに置いてある合成済画像 . . . 22
4.3.2 観測生データの転送 . . . 22
4.3.3 画像合成 . . . 23
4.4 AIPS 利用のための前処理 . . . 24

5 画像合成プログラムの詳細 25
5.1 Hanaoka . . . 25
5.2 Koshix . . . 27
5.3 Fujiki . . . 28
5.4 画像合成プログラムのコンパイル . . . 30

A NoRH データ 32
A.1 NoRH の観測モード . . . 32
A.2 「スケジュール」とは . . . 32
A.3 生データ (ss17,ss34,se17,se34) . . . 32
A.4 SZ ファイル (sz00) . . . 32
A.5 画像 (ifa,ifs,ifz,ipa,ips,ipz) . . . 33
A.6 観測時刻情報 (info) . . . 33
A.7 右左偏波位相差 (rlphdif) . . . 34
A.8 平均相関値 (tsa,tsz) . . . 34
A.9 平均相関値ダイジェスト (tca,tcz) . . . 35
A.10 イベントリスト (eva,evz) . . . 35
A.11 観測ログ (lob) . . . 35
A.12 観測当番報告 (rep) . . . 36
A.13 太陽追跡情報 (track_table) . . . 36

B FITS ヘッダ 36
B.1 ヘッダー規格 . . . 36
B.2 ヘッダーの例 . . . 39
B.3 サブルーチンへの実装 . . . 41

C データアーカイブ匿名 FTP サイト 42

D 謝辞 42

1　はじめに

このマニュアルは、国立天文台野辺山太陽電波観測所の電波ヘリオグラフ (NoRH) のデータ解析ためのマニュアルである (Nakajima et al. 1994; Nishio et al. 1994; Hanaoka et al. 1994)。具体的な内容構成は以下の通り。このパッケージを使用するための設定について第 2 節で、IDL による解析について第 3 節で、IDL を使わない解析について第 4 節で画像合成プログラムの詳細については第 5 節で述べる。付録では、NoRH データについての詳細を A 節でそこで用いられている FITS 形式ファイルのヘッダについて B 節でのべる。最後に国立天文台太陽電波観測所データアーカイブを C 節で紹介する。

このパッケージに関する質問や要望は以下に電子メールを送ってほしい。

nsro-service@solar.nro.nao.ac.jp

電波ヘリオグラフの最新の情報は国立天文台太陽電波観測所のウェブページを参照してほしい。URL は

http://solar.nro.nao.ac.jp/norh/

である。

1.1　前バージョンからの変更点

ver 2.2 からの変更

- スペクトル解析用ルーチン norh_polariz (第 3.5.7 節)・norh_alpha (第 3.5.9 節) の大幅更新。ramaty_gysy・dulk_gysy (第 3.5.11 節)・dulk_frfr (第 3.5.12 節) の追加。
- 画像プロット用簡易ルーチン norh_plot (第 3.6.4・3.6.5 節) norh_plot_alpha (第 3.6.6 節)。
- 生データを直接読むルーチン norh_rd_rdt (第 3.7.1 節)。
- 太陽位置 (方位角・仰角) を得るルーチン norh_t2azel (第 3.7.3 節)。
- アンテナ番号・アンテナ組番号と名前の対応 (第 3.7.2 節)。
- SZ ファイルの作り方 (第 3.7.4 節)。
- norh_dat の削除
- 太陽追跡情報 ephe データの追加

2　解析ソフトを使うには

ここで紹介する電波ヘリオグラフ解析ソフトを使うには、以下の設定が必要である。

2.1　IDL を用いて解析する場合の準備

(1) **SolarSoftware** のインストール

「 SolarSoftware (SSW)」をサブパッケージ「 Radio/NoRH 」を含めてインストールする。これ以外にも Yohkoh/SXT を含めることを強く推奨する。これらのパッケージがインストールされていない場合はコンピュータ管理者に相談してほしい。「 SolarSoftware 」の配布元は、http://www.lmsal.com/solarsoft/ である。このマニュアルでは SSW をインストールしたトップディレクトリを${SSW} と定義する。また NoRH サブパッケージのトップディレクトリを${NORH} (通常は${SSW}/radio/norh) と定義する。

(2) **NoRH** データベースのインストール

国立天文台野辺山データアーカイブ ftp://nsro-archive.nro.nao.ac.jp/pub/norh/data

や CD-ROM からデータベースをコピーしてインストールする。${NORH}/data にインストールするのがデフォルト。

注意 **1** ！NoRH データベースのうち tsx データ (付録 A.8 節参照) は、サイズが大きく転送に時間がかかる。このデータは解析には絶対必要というわけではないので転送しなくてもよい。

注意 **2** ！野辺山のネットワークを過負荷にしないために、初期設定は CD-ROM をつかって、その後の更新だけネットワーク経由で行うという方式をしてくれるよう強く要望する。

(3) 個人環境の設定

環境設定ファイル~/.cshrc 中で

```
setenv SSW SSWのディレクトリ[1]
setenv SSW_INSTR ‘‘norh’’
setenv NORH ${SSW}/radio/norh
source ${SSW}/gen/setup/setup.ssw
source ${NORH}/setup/setup.norh
```

を適当な箇所に書き加える。ただし環境変数${SSW} はサイトによって異なるので注意。また他の観測機器も同時解析する場合は

```
setenv SSW_INSTR ‘‘norh sxt’’
```

などとする。ディスクスペースの都合などの理由からサイトによっては NoRH データベースをデフォルト (${NORH}/data) とは異なる場所にインストールしている場合がある[2] 。その際は、

```
setenv NORHDB NoRHデータベースのディレクトリ
```

とする。

2.2 IDL を用いないで解析する場合の準備

(1) **NoRH** ソフトウェアのインストール

NoRH ソフトウェアを展開する。展開する大元のディレクトリは任意である。このマニュアルではこのディレクトリを${NORH} と定義する。なお配布 CD-ROM には NoRH ソフトのオリジナルが入っているのでそれを${NORH} にインストールしてもよい。

(2) **NoRH** データベースのインストール

国立天文台野辺山データアーカイブ ftp://nsro-archive.nro.nao.ac.jp/pub/norh/data

や CD-ROM からデータベースをコピーしてインストールする。${NORH}/data にインストールするのがデフォルト。

注意 **1** ！NoRH データベースのうち tsx データ (付録 A.8 節参照) は、サイズが大きく転送に時間がかかる。このデータは解析には絶対必要というわけではないので転送しなくてもよい。

注意 **2** ！野辺山のネットワークを過負荷にしないために、初期設定は CD-ROM をつかって、その後の更新だけネットワーク経由で行うという方式をしてくれるよう強く要望する。

(3) 個人環境の設定

環境設定ファイル~/.cshrc 中で

```
setenv NORH NoRHのディレクトリ[3]
source ${NORH}/setup/setup.norh
```

を適当な箇所に書き加える。ただし環境変数${NORH} はサイトによって異なるので注意。ディスクスペースの都合などの理由からサイトによっては NoRH データベースをデフォルト (${NORH}/data) とは異なる場所にインストールしている場合がある[4] 。その際は、

```
setenv NORHDB NoRHデータベースのディレクトリ
```

とする。

[1] 野辺山観測所では /sgi1/ssw
[2] 野辺山観測所ではデフォルトでよいので設定不要
[3] 野辺山観測所では /archive/pub/norh
[4] 野辺山観測所ではデフォルトでよいので設定不要

3 IDLによる解析

3.1 SSW/IDL立ち上げ

この節で紹介するNoRH用IDLプロシジャはすべてSolarSoftware(SSW)に依存している。前節の設定を行った後実際に解析する際はSSW/IDLを立ち上げる。

```
unix% sswidl <CR>
```

3.2 データベース

3.2.1 観測時刻・観測ログ

観測時刻についてはデータベースがある('info'データ：付録A.6)。たとえば1998年7月1日UT(から24時間のあいだ)に取得した17GHz定常データ(1秒積分)の観測スケジュールを表示するには

```
IDL> norh_pr_info,'1998-07-01' <CR>
```

1998年7月1日UTから7月3日UTまででであれば

```
IDL> st_time='1998-07-01' <CR>
IDL> ed_time='1998-07-03' <CR>
IDL> norh_pr_info,st_time,ed_time <CR>
```

17GHzイベントデータ(50/100ミリ秒積分)のリストを表示するには

```
IDL> norh_pr_info,st_time,ed_time,/event <CR>
```

34GHzイベントデータ(50/100ミリ秒積分)のリストを表示するには

```
IDL> norh_pr_info,st_time,ed_time,/event,freq=34 <CR>
```

とする。結果は

```
               Start       End    Schedule   StFr    EdFr
                (UT)       (UT)
 1998-06-30 22:45:22  06:44:56   980701        1  28775
 1998-07-01 22:45:24  06:44:57   980702        1  28774
```

のようになる。出力1行あたり1スケジュール(付録A.2)で、左から、スケジュールの開始時刻・終了時刻・スケジュールID・開始フレーム番号・終了フレーム番号である。また、観測ログ(付録A.11)を同時に表示するには

```
IDL> norh_pr_info,st_time,ed_time,/log <CR>
```

とする。先ほどのリストに加えて

```
### 92/07/10
*Delay offset table was cleared around 14h because
the online software bug was found.
```

と表示される。

3.2.2 イベントリスト

イベントについてはデータベースがある('evx'データ： 付録A.10)。たとえば1998年4月23日UTのイベントのリストを表示するには

```
IDL> norh_pr_evx,'1998-04-23' <CR>
```

1998年4月23日UTから4月27日UTまででであれば

```
IDL> st_time='1998-04-23' <CR>
IDL> ed_time='1998-04-27' <CR>
IDL> norh_pr_evx,st_time,ed_time <CR>
```

34GHzのイベントを表示するには

IDL> **norh_pr_evx,st_time,ed_time,freq=34 <CR>**

相関値 0.015 (すなわち 1.5%) 以上のイベントのみの場合は

IDL> **norh_pr_evx,st_time,ed_time,criterion=0.015 <CR>**

GOES クラス・活動領域 NOAA 番号なども同時に表示する場合は[5]

IDL> **norh_pr_evx,st_time,ed_time,/goes <CR>**

さらに「ようこう」硬 X 線望遠鏡のカウント数も同時に表示する場合は[6]

IDL> **norh_pr_evx,st_time,ed_time,/goes,/hxt <CR>**

とする。結果は

```
              Start      Peak       End    Dur    Max Cor. / GOES NOAA  Loca- / HXT
              (UT)       (UT)       (UT)  (sec)  (x 10^-4) /             tion / Low  Med1  Med2  High
1992-11-02 02:40:31  02:49:18  03:40:30   3599       1769 / X9.0             / 5278  1500   210    30
1992-11-05 06:06:44  06:20:41  06:39:59   1995        171 / M2.0             / 68    36    22    15
1992-11-23 03:33:42  04:31:07  06:37:18  11016        555 / C9.1 7347 S09W13 / 12     7     5    10
```

のようになる。

3.2.3 当番報告

1998 年第 17 週以後のデータであれば、データ当番の週ごとの報告をみることができる ('rep' データ：付録 A.12)。1998 年第 20 週の報告は

IDL> **norh_pr_rep,1998,20 <CR>**

3.3 時系列データ

一日の観測が終了するとその日の相関値の時間変化のデータを収めたファイルが生データから自動作成される。これを元にして相関値のプロットを描ける。以下がその手順である。プロットされる量は、「電波ヘリオグラフの (短い基線長のものをのぞいた) アンテナ対群の信号相関値の平均値」である。フレアなどの強い電波信号がやってくるとこの相関値も上昇することがわかっているので光度曲線の代用にできる (17GHz で相関値 1%ごとに 30 SFU ぐらい)。電波放射密度のほんとうの光度曲線を描くためには各時刻ごとの画像から放射密度を求める必要がある (3.5.6 参照) のでたいへんな計算量を要するのに対して相関値は直接観測量なのですぐにもとまるのでこちらで代用することが多い。また相関値は信号強度にあまりよらないので天候などの影響をうけにくいという利点もある。しかし、相関値は最大値 1 という上限をもっており、実際の電波フラックスが強くなるとかならずしも光度を反映しなくなることに注意する必要がある。

3.3.1 相関値 tcx データ

tcx データはメモリ占有量が少なくて軽いという利点がある (付録 A.9)。しかし偏波情報がない。読み込むには、例えば 1998 年 4 月 20 日 JST の 17GHz であれば

IDL> **norh_rd_tcx,'1998-4-20',index,data <CR>**

とする。1998 年 4 月 23 日 JST から 4 月 27 日であれば、

IDL> **norh_rd_tcx,'1998-04-23','1998-04-27',index,data <CR>**

とする。34GHz は、

IDL> **norh_rd_tcx,'1998-4-20',index,data,freq=34 <CR>**

とする。イベントモードは

IDL> **norh_rd_tcx,'1998-04-23',index,data,/event <CR>**

とする。また直接ファイルを指定してもよく

[5] ようこうソフト・データベースがインストールされていることが必要
[6] ようこうソフト・データベースがインストールされていることが必要

IDL> **norh_rd_tcx,file,index,data <CR>**
として読み込む。グラフ表示するには、
IDL> **utplot,index,data <CR>**
とする。

3.3.2 相関値 tsx データ

tsx データは偏波情報をふくむ (17GHz のみ) (付録 A.8)。ただしデータ量が多く読み込むのに時間がかかる。例えば 1998 年 4 月 20 日 JST の 17GHz であれば
IDL> **norh_rd_tsx,'1998-4-20',index,data <CR>**
として読み込む。1998 年 4 月 23 日 JST から 4 月 27 日であれば、
IDL> **norh_rd_tsx,'1998-04-23','1998-04-27',index,data <CR>**
とする。34GHz は、
IDL> **norh_rd_tsx,'1998-4-20',index,cor,freq=34 <CR>**
とする。イベントモードは
IDL> **norh_rd_tsx,'1998-04-23','1998-04-27',index,data,/event <CR>**
とする。また直接ファイルを指定してもよく
IDL> **norh_rd_tsx,file,index,data <CR>**
とする。グラフ表示するには、
IDL> **utplot,index,data(0,*) <CR>** ; 17GHz 右円偏波成分
IDL> **utplot,index,data(1,*) <CR>** ; 17GHz 左円偏波成分
IDL> **utplot,index,data <CR>** ; 34GHz

3.4 画像データ

3.4.1 野辺山観測所アーカイブに置いてある合成済画像

野辺山太陽電波観測所アーカイブ (第 C 節参照) ではいくらかの画像がすでに合成されて公開されている (表 1 参照)。まずはこれらを転送して解析するのをすすめる。

表 1: 野辺山観測所アーカイブに置いてある合成済画像

種類	周波数	合成プログラム	収録時期	収録ディレクトリ
10 分間隔	17GHz	koshix	1998 年以後	images/10min
南中時 (3:00UT)	17/34GHz	koshix/hanaoka	1992 年 7 月以後	images/daily
イベント *	17/34GHz	hanaoka/fujiki	1992 年 6 月以後	images/event
弱イベント *	17/34GHz	hanaoka	1992 年 6 月以後	images/eventw
GOES M・X イベント	17/34GHz	hanaoka	1992 年 6 月以後	images/goes_event

*: ここでいう「イベント」は最高相関率が 1.5%以上のもの、「弱イベント」は最高相関率 0.5%以上 1.5%以下のもの。

3.4.2 画像合成の前処理 — 観測生データの転送

画像合成するためには生データと SZ ファイルと (付録 A.3・A.4) を国立天文台野辺山データアーカイブ (付録 C) から手元のワークステーションにネットワーク経由で転送するという前処理が必要になる。以下

がその方法である。

注意！ 生データは 1 ファイル (10 分観測) あたり約 16Mbyte ある。国立天文台野辺山から (ネットワーク的に) 遠隔地にあるサイトのユーザーは、この節の方法ではなく、CD-ROM の郵送によりデータ取得することを強く推奨する (付録 C)。

(1) 基本 — 等時間間隔で画像を作るための 17GHz 生データを転送する場合

例えば、UT 1997 年 4 月 20 日の 1 時 30 分から 3 時 30 分まで 600 秒おきの 17GHz の画像を作るのに必要な生データを転送する場合は

IDL> **st_time='1997-04-20 1:30:00'** <**CR**>
IDL> **ed_time='1997-04-20 3:30:00'** <**CR**>
IDL> **interval=600** <**CR**>
IDL> **norh_trans,st_time,ed_time,interval** <**CR**>

(2) 任意時刻の 17GHz 生データを転送する場合

例えば、UT 1997 年 4 月 20 日の 1 時 30 分・1 時 40 分と 4 月 21 日の 2 時 00 分の 17GHz の画像を作るのに必要な生データを転送する場合は

IDL> **time=['1997-04-20 1:30:00','1997-04-20 1:40:00' ,' 1997-4-21 2:00:00']** <**CR**>
IDL> **norh_trans,time** <**CR**>

(3) 34GHz 生データ

34GHz の画像を作るのに必要な生データを転送する場合は

IDL> **norh_trans,time,freq=34** <**CR**>

(4) イベントモード

イベントモード (50/100msec 積分) の画像を作るのに必要な生データを転送する場合は

IDL> **norh_trans,time,/event** <**CR**>

3.4.3 画像合成

画像合成プログラムは、Hanaoka・Koshix・Fujiki がある。それぞれのプログラムが対応するデータについては表 2 を参照のこと。また詳細については第 5 節参照。

注意！ 画像合成プログラムはすべて Fortran77 (一部 90) で書かれている。この節で説明する IDL プロシジャは、これらの実行形式バイナリへの入力ファイルを生成したあとにコマンドを外部呼び出ししている。このソフトウェアパッケージには **Sun/Sparc・NEC/SX・NEC/EWS** の各計算機用のコンパイル済み実行形式バイナリが含まれているのでこれらの計算機上では実行することができる。これ以外の計算機での使用には各自でのコンパイルが必要になる (商用数値計算ライブラリの購入が別途必要。第 5 節参照)。

(1) 基本 — 等時間間隔で

例えば、UT 1997 年 4 月 20 日の 1 時 30 分から 3 時 30 分まで 600 秒おきの 17GHz の画像を作る場合は

IDL> **st_time='1997-04-20 1:30:00'** <**CR**>
IDL> **ed_time='1997-04-20 3:30:00'** <**CR**>
IDL> **interval=600** <**CR**>
IDL> **norh_synth,st_time,ed_time,interval** <**CR**>

こうするとローカルマシンでプログラムが走る。リモートマシンで走らせるには

IDL> **norh_synth,st_time,ed_time,interval,host='sx'** <**CR**>

また NQS[7] ジョブとして投入するには

IDL> **norh_synth,st_time,ed_time,interval,host='sx',queue='B'** <**CR**>

こうするとキュージョブクラス'B' で画像合成プログラムが走る。

[7] NQS とは Network Queing System の略でスーパーコンピュータの事実上の標準ジョブ管理システムプログラムである。

(2) 任意時刻

フレアなど興味ある現象がおこったときなどに任意時刻・時間間隔の画像を描く場合がある。例えば、UT 1997 年 4 月 20 日の 1 時 30 分・1 時 40 分と 4 月 21 日の 2 時 00 分の 17GHz の画像を作る場合は

IDL> **time=['1997-04-20 1:30:00','1997-04-20 1:40:00',' 1997-4-21 2:00:00']** <**CR**>

IDL> **norh_synth,time** <**CR**>

(3) 34GHz

34GHz の画像合成をするには

IDL> **norh_synth,time,freq=34** <**CR**>

とする[8] 。

(4) イベントモード

イベントモード (50/100msec 積分) の画像合成をするには

IDL> **norh_synth,time,/event** <**CR**>

とする。

(5) Koshix や Fujiki を使う

画像合成プログラムはデフォルトでは Hanaoka である。Koshix や Fujiki [9] を使うには

IDL> **norh_synth,time,prog='koshix'** <**CR**>

とする。

(6) 部分像を合成する

部分像を合成するには、視野中心の太陽面中心からのずれ (x,y) と視野 (必ず正方形) とを指定する。ずれは、[1] 1 秒角 または [2] ピクセルを単位とする二通りの指定方法がある。ピクセルサイズについては表 2 を参照のこと。視野はピクセル単位で与える。プログラムごとに許容する視野があるので表 2 を参照のこと。

視野中心へ太陽中心から (-431,54) 秒角ずれた視野 (256×256) ピクセルの画像をつくるには

IDL> **norh_synth,time,cenfnl=[-431,54],size=256** <**CR**>

視野中心へ太陽中心から (100,-20) ピクセルずれた視野 (128×128) ピクセルの画像をつくるには

IDL> **norh_synth,time,cenunit='pixel',cenfnl=[100,-20],size=128** <**CR**>

(7) 指定した正確な時刻の画像を合成したいとき

デフォルトでは info データベース (付録 A.6 節) によって時刻とフレーム番号との対応を取得する。しかしこの方法では指定したものに対して 1 秒程度ずれた時刻の画像を合成してしまうことがある。これを 100 ミリ秒精度でおこなうには tsx データベース (付録 A.8) を使う[10] 。その方法は

IDL> **norh_synth,st_time,ed_time,interval,/usetsx** <**CR**>

3.5 データ解析

3.5.1 画像読み込み・表示

ファイル (群) 名を直接指定して IDL で画像を読み込んで解析する。。

IDL> **norh_rd_img,file,index,data** <**CR**>

これで輝度温度 (単位 K) 画像が配列 data に格納されて、構造体 index が生成される。画像表示は

IDL> **stepper, data, norh_get_info(index)** <**CR**>

[8] 34GHz 合成ができるのは現在 Hanaoka だけで、Koshix と Fujiki とは未対応である。

[9] Fujiki は部分像しか合成できないので視野中心座標の指定が別途必要。

[10] info データベースは、観測スケジュールの開始時刻と終了時刻とだけを含んでいる。いっぽう tsx データベースはデータフレーム個々の時刻情報を含んでいる。

3.5.2 ビームパターン

ビームパターン (半値の等高線; half power beam width [HPBW]) を画像に重ねて描くには

IDL> **beam=norh_beam(index)** <**CR**>
IDL> **ocontour,beam,levels=[0.5]** <**CR**>

3.5.3 太陽面座標グリッド

表示した画像に太陽の緯度経度グリッドを重ね合わせるには

IDL> **stepper, data(*,*,0), norh_get_info(index(0))** <**CR**>
IDL> **norh_grid, index(0)** <**CR**>

とする。画像上マウスカーソルで指定した位置の、太陽面座標 (緯度経度) を求めるには

IDL> **norh_grid, index(0), /read_out** <**CR**>

3.5.4 画像に関する情報を得るには

画像の時刻 (UT) を得るには

IDL> **print,fmt_tim(index)** <**CR**>

画像の観測周波数を得るには

IDL> **print,norh_gt_freq(index)** <**CR**>

画像の偏波情報 (R+L か R-L か) を得るには

IDL> **print,norh_gt_polariz(index)** <**CR**>

画像中心が、太陽中心を原点とした秒角単位の座標でどこにあるかを表示するには

IDL> **print,norh_gt_imgcen(index)** <**CR**>

画像のロール角 (常にゼロ) を得るには

IDL> **print,norh_cen(index,roll=roll)** <**CR**>

画像の積分時間を得るには

IDL> **print,norh_gt_expdur(index)** <**CR**>

3.5.5 SolarSoftware のマッププロシジャを使うには

異なる観測機器で取得したデータを重ね合わせるには、D. Zarro 氏が SolarSoftware パッケージに提供しているマッププロシジャ(詳しくは `http://orpheus.nascom.nasa.gov/~zarro/idl/maps.html`) を用いるのが便利である。NoRH データをマップ形式に変換するには次のようにする。

IDL> **norh_index2map,index,data,map** <**CR**>
IDL> **plot_map,map** <**CR**>

3.5.6 輝度温度 (T_b) から放射束密度へ (F_ν) の変換

ヘリオグラフ画像は輝度温度 (単位 K) の分布である。これを各ピクセルからやってくる輝度 (単位 SFU/sterad) に変換するには

IDL> **fi=norh_tb2flux(data,index,/intensity)** <**CR**>

またある画像全体や部分領域からやってくる面積分した放射束密度 (単位 SFU) を知るには次のようにする。画像全体からやってくる放射束密度であれば

IDL> **fi=norh_tb2flux(data,index)** <**CR**>

部分領域 $i0 \leq i \leq i1$、$j0 \leq j \leq j1$ ピクセルの領域の放射を求めるには

IDL> **box=[i0, i1, j0, j1] <CR>**

IDL> **fi=norh_tb2flux(data,index,box=box) <CR>**

部分領域指定は (x, y) 座標 (太陽中心が原点で単位は秒角) でもよく、$x0 \leq x \leq x1$、$y0 \leq y \leq y1$ の領域の放射を求めるには

IDL> **abox=[x0, x1, y0, y1] <CR>**

IDL> **fi=norh_tb2flux(data,index,abox=abox) <CR>**

3.5.7 円偏波率をもとめる

17GHz データについては (R+L) と (R–L) との画像の組合わせから円偏波率をもとめることができる。円偏波率の画像は、放射メカニズムを判断したり、コロナ磁場強度を測定するのにつかう。定義は

$$r_c \equiv \frac{F_\nu^{(R-L)}}{F_\nu^{(R+L)}} = \frac{T_b^{(R-L)}}{T_b^{(R+L)}}$$

最小が–1 (完全左円偏波) 最大が+1 (完全右円偏波)。求め方は

IDL> **file='./ipa990828_005642' <CR>**

IDL> **norh_rd_img,file,indexa,dataa <CR>**

IDL> **file='./ips990828_005642' <CR>**

IDL> **norh_rd_img,file,indexs,datas <CR>**

IDL> **fi17=norh_tb2flux(dataa,indexa,/intensity) <CR>**

IDL> **fv17=norh_tb2flux(datas,indexs,/intensity) <CR>**

IDL> **norh_polariz,indexa,fi17,indexs,fv17,indexp,pol,mvdp <CR>**

pol が円偏波率 r_c の分布画像。mvdp は得られた pol が有効なピクセルについては 1 が無効なピクセル (たとえば信号が弱いなどの理由で) についてはゼロがはいっている。indexp は pol に対応するインデックス。実際は、放射束密度に変換する過程を省いて輝度温度を用いてもよい (結果は同じになる)。

IDL> **norh_polariz,indexa,dataa,indexs,datas,indexp,pol,mvdp <CR>**

3.5.8 画像どうしのビームサイズをそろえる

1995 年 10 月以後は、17 と 34GHz との 2 周波数で観測されている。これらの画像を同時に用いてスペクトル解析をするためには画像どうしのビームの大きさをそろえる必要がある。以下のようにする。

IDL> **norh_rd_img,file0,index0,data0 <CR>**

IDL> **norh_rd_img,file1,index1,data1 <CR>**

IDL> **norh_convol,index1,index0,data0,index0c,data0c <CR>**

norh_convol は、index1 に対応するビームで data0 をたたみこむ。data0c のピクセルの大きさはビームと画像とで粗い方になる。同様に

IDL> **norh_convol,index0,index1,data1,index1c,data1c <CR>**

こうしてできあがった data0c と data1c とはビームサイズが互いに等しくピクセルサイズも等しい (元の粗い方と等しい)。

3.5.9 スペクトル分布をもとめる

17GHz と 34GHz との画像の組合わせからスペクトル分布をもとめることができる。スペクトル画像は、放射メカニズムを判断したり、非熱電子のべき指数を測定するのにつかう。求まる量は α で定義は

$$F_\nu \propto \nu^\alpha$$

である。NoRH は 2 周波数で測定しているので実際は

$$\alpha = \frac{\log\left(F_\nu^{34\mathrm{GHz}}/F_\nu^{17\mathrm{GHz}}\right)}{\log\left(34\mathrm{GHz}/17\mathrm{GHz}\right)}$$

としてもとめる。なおふたつの画像 (17GHz と 34GHz と) は視野が一致していることが必要である。

IDL> **file='./ipa990828_005642'** <**CR**>
IDL> **norh_rd_img,file,indexa,dataa** <**CR**>
IDL> **file='./ipz990828_005642'** <**CR**>
IDL> **norh_rd_img,file,indexz,dataz** <**CR**>
IDL> **fi17=norh_tb2flux(dataa,indexa,/intensity)** <**CR**>
IDL> **fi34=norh_tb2flux(dataz,indexz,/intensity)** <**CR**>
IDL> **norh_convol,indexz,indexa,fi17,indexa_c,fi17_c** <**CR**>
IDL> **norh_convol,indexa,indexz,fi34,indexz_c,fi34_c** <**CR**>
IDL> **norh_alpha,indexa_c,fi17_c,indexz_c,fi34_c ,indexal,alpha,mvda** <**CR**>

alpha がスペクトルべき指数 α の分布画像。mvda は得られた alpha が有効なピクセルについては 1 が無効なピクセル (たとえば信号が弱いなどの理由で) についてはゼロがはいっている。indexal は alpha に対応するインデックス。

3.5.10 部分領域の光度曲線・円偏波率・スペクトル変動曲線

連続した画像から、そのある空間部分の光度・円偏波率・スペクトルの時間変動曲線を得るには以下のようにする。

IDL> **abox=[23,35,33,41]** <**CR**>
IDL> **fi17=norh_tb2flux(dataa,indexa,abox=abox)** <**CR**>
IDL> **fv17=norh_tb2flux(datas,indexs,abox=abox)** <**CR**>
IDL> **fi34=norh_tb2flux(dataz,indexz,abox=abox)** <**CR**>
IDL> **norh_polariz,indexa,fi17,indexs,fv17,indexp,polariz,mvdp** <**CR**>
IDL> **norh_alpha,indexa,fi17,indexz,fi34,indexal,alpha,mvda** <**CR**>

としてデータを作り、表示は、

IDL> **utplot,indexp,polariz** <**CR**>
IDL> **utplot,indexal,alpha** <**CR**>

などとする。

3.5.11 光学的に薄い非熱ジャイロシンクロトロン放射 (試験公開)

注意：改良についてのコメント歓迎。

放射領域物理量から放射を求めることができる。
Dulk (1985) の方法と Ramaty (1969) の方法とが用意されている。ここでは電子の分布関数が以下のようなものであると仮定している。

$$\frac{dNV(E)}{dE} = K\left(\frac{E}{E_0}\right)^{-\delta}。$$

E は電子のエネルギー (keV)、$NV(E)$ はエネルギー E 以上の電子数 (particles)。この分布はパラメータ δ と E_0 と K とによって記述されるが、K のかわりに $NV(E_0) = K/(\delta-1)/E_0^{\delta-1}$ を与える方が物理的な意味が明確になるのでそちらを実際は用いる。以下のプロシジャでは Dulk (1985) にならい、$E_0 = 10$ keV で固定している。

(a) 物理量から放射を求める

放射領域の、電子分布べき指数 δ・磁場強度 (G)・視線と磁場とのなす角度 (度)、さらに (エネルギー 10keV 以上の) 非熱電子数 (個) を入力すると、放射束密度 (SFU)・円偏波率が以下のように得られる。Dulk (1985) の方法では

IDL> **dulk_gysy,delta,bb,theta,nv,freq,fi,rc <CR>**

注意：知りたい周波数 freq (GHz) も与えること。さらに放射源の大きさ (立体角であたえる。単位は sterad) をあたえると光学的厚さが求まる。

IDL> **dulk_gysy,delta,bb,theta,nv,freq,fi,rc,omega,tau <CR>**

同様に Ramaty (1969) の方法では

IDL> **ramaty_gysy,delta,bb,theta,nv,freq,fi,rc <CR>**

IDL> **ramaty_gysy,delta,bb,theta,nv,freq,fi,rc,omega,tau <CR>**

注意：周波数 freq (GHz) は自動的に生成・出力される。

(b) 放射から物理量を求める

Dulk (1985) の近似モデルにもとづいて、放射から放射領域物理量を求めることができる。

2 周波数 (17 と 34GHz) 分の放射束密度の強度 (I 成分) からは電子分布べき指数がただちに求められる。

IDL> **norh_alpha,indexa,fi17,indexz,fi34 ,indexal,alpha,mvda <CR>**

IDL> **norh_alpha2delta,alpha,delta <CR>**

電波ヘリオグラフではこれに加えて 17GHz の円偏波 (V 成分) のデータがあるのでこれを用いて物理量を得ることができる。ただし、得るべき物理量 3 つ (磁場強度・視線と磁場とのなす角度・非熱電子数) のうちどれかひとつを仮定しなければならない。

IDL> **norh_gysy_inv,fi17,fi34,delta,fv17,thetain,bb,nv,/assumetheta <CR>**

IDL> **norh_gysy_inv,fi17,fi34,delta,fv17,bbin,nv,theta,/assumebb <CR>**

IDL> **norh_gysy_inv,fi17,fi34,delta,fv17,nvin,theta,bb,/assumenv <CR>**

さらに放射源の大きさ (立体角であたえる。単位は sterad) をあたえると光学的厚さが求まる。

IDL> **norh_gysy_inv,fi17,fi34,delta,fv17,thetain,bb,nv,/assumetheta ,omega,tau <CR>**

IDL> **norh_gysy_inv,fi17,fi34,delta,fv17,bbin,nv,theta,/assumebb ,omega,tau <CR>**

IDL> **norh_gysy_inv,fi17,fi34,delta,fv17,nvin,theta,bb,/assumenv ,omega,tau <CR>**

注意：画像の場合は事前にビームサイズをそろえること (3.5.8 節参照)。

3.5.12 光学的に薄い熱制動放射 (試験公開)

注意：改良についてのコメント歓迎。

(a) 物理量から放射を求める

Dulk (1985) の近似モデルにもとづいて、放射領域物理量から放射を求めることができる。

放射領域の電子温度 (K)・視線方向磁場強度 (G)・ボリュームエミッションメジャ (cm^{-3}) を入力すると、放射束密度 (SFU)・円偏波率が以下のように得られる。

IDL> **dulk_frfr,te,b_loc,vem,freq,fi,rc <CR>**

さらに放射源のサイズ (sterad) をあたえると光学的厚みも得られる。

IDL> **dulk_frfr,te,b_loc,vem,freq,fi,rc,omega,tau <CR>**

(b) 放射から物理量を求める

Dulk (1985) の近似モデルにもとづいて、放射から放射領域物理量を求めることができる。

17GHz 放射束密度の I 成分・V 成分をあたえると、視線方向磁場と $VEM/\sqrt{T_e}$ (VEM はボリュームエミッション メジャ・T_e は電子温度) とが求まる。

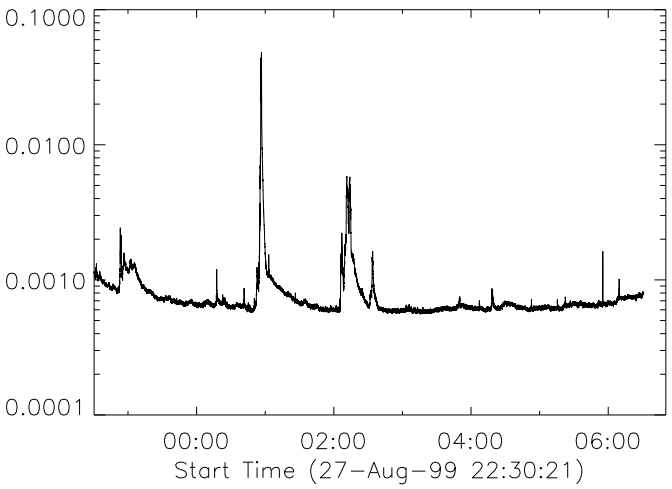

図 1: 光度曲線 (相関値プロット)

IDL> **norh_frfr_inv,freq,fi,fv,b_los,vem_over_sqrtte <CR>**

電子温度かボリュームエミッション メジャを仮定するともう一方が求まる。

IDL> **norh_frfr_inv,freq,fi,fv,b_los,tein,vem,/assumete <CR>**

IDL> **norh_frfr_inv,freq,fi,fv,b_los,vemin,te,/assumevem <CR>**

さらに放射源の大きさ (立体角であたえる。単位は sterad) をあたえると光学的厚さが求まる。

IDL> **norh_frfr_inv,freq,fi,fv,b_los,tein,vem,/assumete,omega,tau <CR>**

IDL> **norh_frfr_inv,freq,fi,fv,b_los,vemin,te,/assumevem,omega,tau <CR>**

3.6 具体的なデータ解析の例

この節では解析の例を記す。

3.6.1 イベント選択

重要なイベントについては、電波ヘリオグラフのウェブサイトに紹介されている。まずはそこをみて概要をつかむのがのぞましい。URL は

`http://solar.nro.nao.ac.jp/norh/`

3.6.2 光度曲線

イベントを選びだしたら、光度曲線をみてみよう。電波ヘリオグラフでは、「 相関値 」とよばれる量のプロットを電波放射密度の光度曲線の代用とするのが便利である。よみこみとプロットは以下のようにする (図 1)。

IDL> **norh_rd_tcx,'1999-8-28',index,data <CR>**

IDL> **utplot,index,data,/ylog <CR>**

こうしてプロットされる量は「 電波ヘリオグラフの (短い基線長のものをのぞいた) アンテナ対群の信号相関値の平均値 」である。フレアなどの強い電波信号がやってくるとこの相関値も上昇することがわかってい

るので光度曲線の代用にできる (17GHz で相関値 1%ごとに 30 SFU ぐらい)。電波放射密度のほんとうの光度曲線を描くためには、各時刻ごとの画像から放射密度を求める必要がある (3.5.6 参照) のでたいへんな計算量を要するのに対して、相関値は直接観測量なのですぐにもとまるのでこちらで代用することが多い。また相関値は信号強度にあまりよらないので天候などの影響をうけにくいという利点もある。しかし、相関値は最大値 1 という上限をもっており、実際の電波フラックスが強くなるとかならずしも光度を反映しなくなることに注意する必要がある。

3.6.3 画像合成

次に選びだしたイベントについて画像合成をしよう。そのまえに、重要なフレアについてはたいていすでに合成された画像のファイルが用意されていることが多いのでまずはそちらをしらべてほしい。ファイルは、FTP サーバ `ftp://nsro-archive.nro.nao.ac.jp/norh/images` あるいは NoRH ウェブページからもたどれる[11] 。

さて、それでも「自分で合成する」という人は次のふたつのコマンドを実行する。ここではさきほどの光度曲線にみられたイベントのピーク付近の時刻の像を 1 枚合成してみる。

IDL> **norh_trans,['1999-8-28 0:56:42']<CR>**

IDL> **norh_synth,['1999-8-28 0:56:42']<CR>** [12]

前者は、生観測データ (`ss17990828...` とか `sz00990828...` とかいう名前のファイル。 Fourier 成分が入っている) を野辺山テープアーカイブからカレントディレクトリに転送する作業である。転送量やネットワーク状態にもよるが数分程度かかる。ここで「`No such file or directory.`」という警告メッセージがでることがあるが無視してよい。転送がうまくいったらカレントディレクトリに `ss17990828027` (約 16Mbyte)、`sz00990828001` (約 200byte) というファイルができるはずである。そして上の二つ目のコマンドが実際の画像合成であり、画像 1 枚あたり数十秒から数分程度かかる。実行するとカレントディレクトリに `ifa990828_005642`、`ifs990828_005642` という二つのファイルができる。これが画像を含んだ FITS フォーマットのファイルで前者が (R+L) 成分、後者が (R–L) 成分である。スペクトル解析をおこなうためには同時刻の 34GHz の画像もつくろう。

IDL> **norh_trans,['1999-8-28 0:56:42'],freq=34<CR>**

IDL> **norh_synth,['1999-8-28 0:56:42'],freq=34<CR>** [13]

同様に生観測データ(`ss34990828...`、`sz00990828...` など)が転送されて `ifz990828_005642` というファイルが合成される。 34GHz は (R+L) 成分しかない。

3.6.4 画像プロット

つぎに画像を実際に表示してみよう。すでに合成された画像をつかうことにする。ファイルは `ipa990828_005642` をつかう。このなかには「画像・部分像・17GHz の (R+L)・1999 年 8 月 28 日 00:56:42UT」のデータが入っている。よみこみ表示は

IDL> **file='./ipa990828_005642' <CR>**

IDL> **norh_rd_img,file,indexa,dataa <CR>**

IDL> **stepper,dataa,norh_get_info(indexa) <CR>**

IDL> **norh_grid,indexa <CR>**

簡易表示は (図 2)

IDL> **norh_plot,indexa,dataa <CR>**

表示されるデータの単位は、「輝度温度 (K)」である。太陽の北が上。

[11] 野辺山観測所ではディレクトリ `/archive/pub/norh/images` 以下にある

[12] 野辺山観測所ではオプション host='sx' をつけると合成が速くすむ。

[13] 野辺山観測所ではオプション host='sx' をつけると合成が速くすむ。

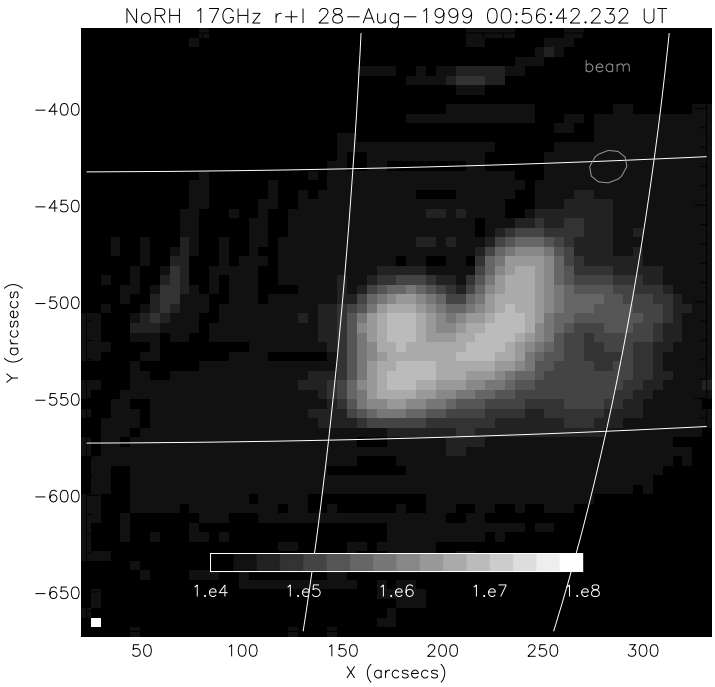

図 2: 17GHz (R+L) 画像

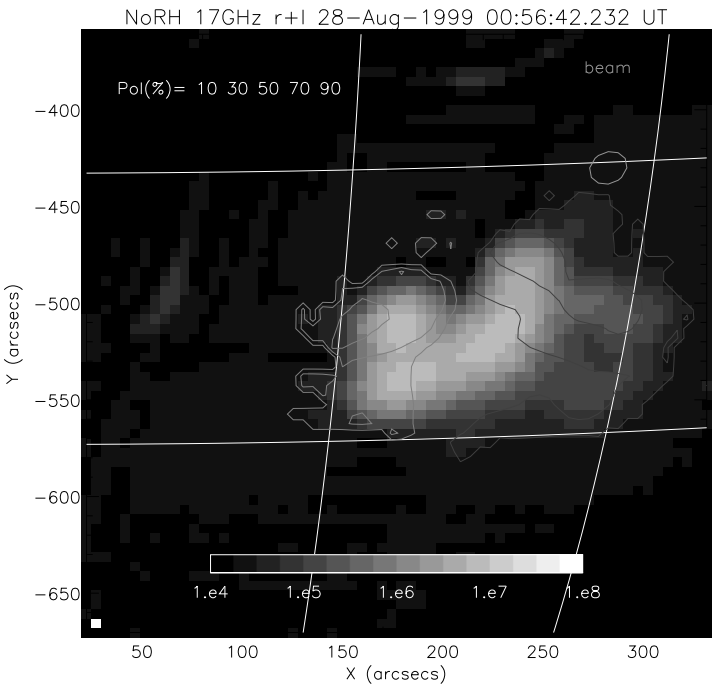

図 3: 17GHz 円偏波率画像

他波長と重ね合わせるにはマップ形式に変更するのがよい。

IDL> **norh_index2map,indexa,dataa,mapa <CR>**

IDL> **plot_map,mapa,/cont,/grid <CR>**

IDL> **beam=norh_beam(indexa,xbeam=xbeam) <CR>**

IDL> **contour,beam,!x.crange(0)+xbeam,!y.crange(0)+xbeam,/over,levels=[0.5] <CR>**

3.6.5 偏波率分布

17GHz データについては (R+L) と (R–L) との画像の組合わせから円偏波率をもとめることができる。定義は

$$r_c \equiv \frac{F_\nu^{(R-L)}}{F_\nu^{(R+L)}} = \frac{T_b^{(R-L)}}{T_b^{(R+L)}}$$

最小が–1 (完全左円偏波) 最大が+1 (完全右円偏波)。円偏波率の画像は、放射メカニズムを判断したり、コロナ磁場強度を測定するのにつかう。作り方は以下のとおり。

IDL> **file='./ips990828_005642' <CR>**

IDL> **norh_rd_img,file,indexs,datas <CR>**

IDL> **fi17=norh_tb2flux(dataa,indexa,/intensity) <CR>**

IDL> **fv17=norh_tb2flux(datas,indexs,/intensity) <CR>**

IDL> **norh_polariz,indexa,fi17,indexs,fv17,indexp,pol,mvdp <CR>**

pol が円偏波率 r_c の分布画像。mvdp は得られた pol が有効なピクセルについては 1 が無効なピクセル (たとえば信号が弱いなどの理由で) についてはゼロがはいっている。indexp は pol に対応するインデックス。簡易表示は (図 3)

IDL> **norh_plot,indexa,dataa,indexp,pol,mvdp <CR>**

他波長と重ね合わせるにはマップ形式に変更するのがよい (図 3)。

IDL> **norh_index2map,indexp,pol*mvdp,mappol <CR>**

IDL> **plot_map,mappol,/cont,levels=[-0.8,-0.4,-0.2,0.2,0.4,0.8] <CR>**

3.6.6 スペクトルグラム

17GHz と 34GHz との画像の組合わせからスペクトル分布をもとめることができる。求まる量は α で定義は

$$F_\nu \propto \nu^\alpha$$

である。NoRH は 2 周波数で測定しているので実際は

$$\alpha = \frac{\log\left(F_\nu^{34\mathrm{GHz}} / F_\nu^{17\mathrm{GHz}}\right)}{\log\left(34\mathrm{GHz}/17\mathrm{GHz}\right)}$$

としてもとめる。スペクトル画像は、放射メカニズムを判断したり、非熱電子のべき指数を測定するのにつかう。

IDL> **file='./ipz990828_005642' <CR>**

IDL> **norh_rd_img,file,indexz,dataz <CR>**

IDL> **fi34=norh_tb2flux(dataz,indexz,/intensity) <CR>**

次に 17GHz と 34GHz 画像とでビームサイズをそろえる。

IDL> **norh_convol,indexz,indexa,fi17,indexa_c,fi17_c <CR>**

IDL> **norh_convol,indexa,indexz,fi34,indexz_c,fi34_c <CR>**

なおプロシジャ norh_convol は、画像間のビームサイズの違いを修正する作業をおこなっている。つまり

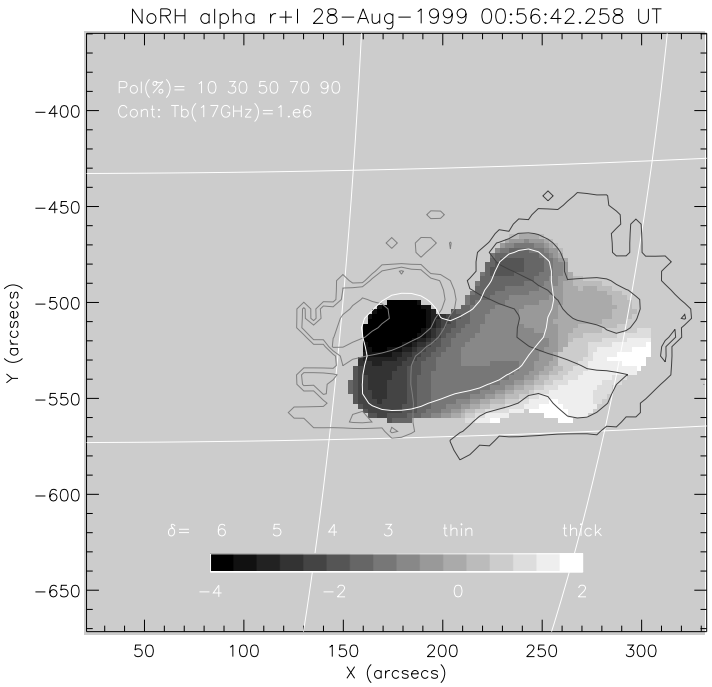

図 4: スペクトルグラム (グレースケール)、$T_b^{17\mathrm{GHz}} = 1\mathrm{MK}$ の等高線 (太線)、偏波率等高線 (細線)

17GHz 画像を 34GHz ビームでたたみこみ、34GHz 画像を 17GHz 画像でたたみこんでいる。そしてスペクトル画像をもとめる。

IDL> **norh_alpha,indexa_c,fi17_c,indexz_c,fi34_c,indexal,alpha,mvda <CR>**

alpha がスペクトルべき指数 α の分布画像。mvda は得られた alpha が有効なピクセルについては 1 が無効なピクセル (たとえば信号が弱いなどの理由で) についてはゼロがはいっている。indexal は alpha に対応するインデックス。簡易表示は (図 4)

IDL> **norh_plot_alpha,indexal,alpha,mvda,indexp,pol,mvdp,indexa,dataa <CR>**

他波長と重ね合わせるにはマップ形式に変更するのがよい。

IDL> **norh_index2map,indexal,alpha*mvda,mapalpha <CR>**

IDL> **plot_map,mapalpha,dmin=-4,dmax=2 <CR>**

3.6.7 データの解釈

図 5 のチャート図にそって解釈する。物理量が得られるのは、「光学的に薄いシンクロトロン放射」か「光学的に薄い熱制動放射」である。Dulk (1985) の近似モデルにもとづいて放射領域の物理量と放射との対応関係を求めることができる。

「光学的に薄いシンクロトロン放射」であれば非熱電子のべき指数 δ がわかる。ここでは電子の分布関数が以下のようなものであると仮定している。

$$\frac{dNV(E)}{dE} = K\left(\frac{E}{E_0}\right)^{-\delta} 。$$

E は電子のエネルギー (keV)、$NV(E)$ はエネルギー E 以上の電子数 (particles)。この分布はパラメータ δ と E_0 と K とによって記述される。図 5 のチャート図で「光学的に薄いシンクロトロン放射」であること

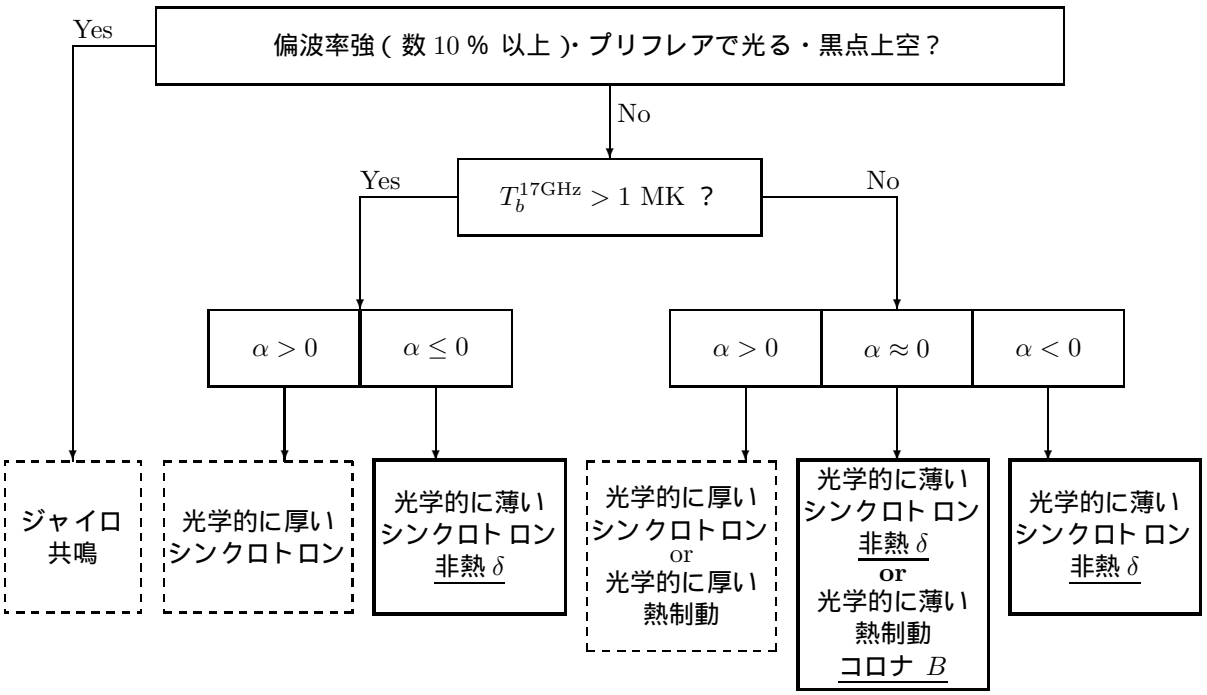

図 5: スペクトル画像から放射メカニズムを解釈するチャート図

がわかったらあとは α から

$$\delta = -1.1(\alpha - 1.2)$$

として δ をもとめる。

「光学的に薄い熱制動放射」であればコロナ磁場の視線方向成分強度 B がわかる。図 5 のチャート図で「光学的に薄い熱制動放射」であることがわかったらあとは偏波率 r_c から

$$B \approx 30\mathrm{G}\left(\frac{r_c}{1\%}\right)$$

として B をもとめる。

たとえば図 4 については以下のように解釈できる。まず、$(x, y) = (180, -520)$ 付近の強偏波源は「ジャイロ共鳴放射」であると予想される。可視光マグネトグラムを使って黒点の有無を調べることでこれを確認できる。つぎに $T_b^{17\mathrm{GHz}} = 1\mathrm{MK}$ の等高線 (太線) をみるとそれよりも明るくて $\alpha < 0$ な個所が「光学的に薄いシンクロトロン放射」であると解釈できる。ここの α から δ がすぐ計算できてループ状の構造の両端が真中よりも非熱電子のべき指数が「軟かい」ことがわかる。つぎに $T_b^{17\mathrm{GHz}} < 1\mathrm{MK}$ の領域であるがこのうち $(x, y) = (270, -500)$ 付近は $\alpha \approx 0$ なので「光学的に薄いシンクロトロン放射」か「光学的に薄い熱制動放射」か区別がつかない。もし軟 X 線でこの個所が明るければおそらく「熱制動放射」でそうでなければ「シンクロトロン」であると予想される。前者であればコロナ磁場の視線方向成分強度が偏波率からもとめられる。それ以外の個所は $\alpha > 0$ なので光学的に厚い放射で物理量の情報はえられない。

3.7 その他

3.7.1 生データを直接よみこむ

生データを直接よみこむ方法は

IDL> **norh_rd_rdt,st_time,ed_time,rdata,header <CR>**

デフォルトは 17GHz であるが 34GHz を読む場合は

IDL> **norh_rd_rdt,st_time,ed_time,rdata,header,freq=34 <CR>**

ただし以上は${NORH}/rawd 以下に生データがインストールしてある場合 (野辺山ではインストール済) である。ファイルを単独にコピーしてよみこむにはそのディレクトリを以下のように指定する。

IDL> **norh_rd_rdt,st_time,ed_time,rdata,header,dir_raw='.' <CR>**

直接ファイル名を指定する場合は

IDL> **norh_rd_rdt17,file,rdata,header <CR>**

IDL> **norh_rd_rdt34,file,rdata,header <CR>**

とする。

データに対応する時刻 (JST) を得るには

IDL> **timej=norh_rdt2timej(rdata) <CR>**

3.7.2 アンテナ・アンテナ組番号とアンテナ名との対応

アンテナ番号に対応するアンテナ (84 基) の名前を得るには

IDL> **antname=norh_antnum2name(indgen(84)) <CR>**

逆は

IDL> **antnum=norh_antname2num(['n15','w01']) <CR>**

相関 (COR) データの各要素を指定するアンテナ組番号に対応するアンテナペア (84*83/2 組) の番号を得るには

IDL> **ant=norh_pair2ant(indgen(84*83/2)) <CR>**

逆は

IDL> **pair=norh_ant2pair([0,28]) <CR>**

3.7.3 野辺山からみた太陽の位置を得るには

野辺山での太陽の位置、すなわち方位角 (azimuth)・仰角 (elevation) を得るには

IDL> **norh_t2azel,time,az,el <CR>**

単位はともに degree である。

3.7.4 SZ ファイルを自作するには

もし何らかの理由で SZ ファイルを自作しなければならない場合は

IDL> **norh_mksz,date <CR>**

NoRH アンテナが一部異常などで、画像合成の際にそのアンテナで取得したデータを使わないようにするための SZ ファイルは

IDL> **norh_mksz,date,['n1','e10'] <CR>**

この例ではアンテナ N01 と E10 とを不使用にしている。

4 IDLをつかわない解析

この節では、IDLをつかわないでCシェルなどの基本的なUNIXコマンドや天文学で標準的なソフトIRAFやAIPSだけで行うデータ転送・画像合成について説明する。

4.1 データベース

観測時刻(info)・観測ログ(lob)・イベントリスト(evx)はいずれもASCIIテキストファイルでありエディターソフトなどで開いて直接読むことが可能である。それぞれの書式の詳細については付録A節参照のこと。

4.2 時系列データ・画像の解析

アンテナ平均相関値の時系列データ(tcx・tsx)・画像(ifx・ipx)はいずれもFITS形式ファイルであり適当な天文データ解析ソフトウェア(IRAF・AIPS)で読んで表示することができる。

4.3 画像データ

4.3.1 野辺山観測所アーカイブに置いてある合成済画像

野辺山太陽電波観測所アーカイブ(第C節参照)では合成されて公開されている(表1参照)。まずはこれらを転送して解析するのをすすめる。

4.3.2 観測生データの転送

手元のコンピュータで画像合成をするには、生データと、対応する日付のSZファイル(付録A.3・A.4節参照)とが必要である。これを転送するには`norh_trans`コマンドを利用するのが便利である。このコマンドはCシェルスクリプトで書かれているのでUNIX環境であればどこでも使える。また直接NSROの匿名FTPサーバにログインして手動で転送してもよい。

注意! 生データは1ファイル(10分観測)あたり約16Mbyteある。国立天文台野辺山から(ネットワーク的に)遠隔地にあるサイトのユーザーは、この節の方法ではなく、CD-ROMの郵送によりデータ取得することを強く推奨する(付録C参照)。

(1) norh_transを使って

入力ファイル(例えば`input`)を適切に編集した後

`unix%` **`norh_trans input <CR>`**

とする。生データとともに対応する日付のSZファイルも転送される。入力の書式は

```
ss17980214006          # 17GHz
ss34980214006          # 34GHz
ss17920812002 b        # スケジュール b
se17990216085759       # イベント
```

のようにする。転送する生データ1ファイルに対して1行で、一日に複数スケジュールがあった日の定常データに対しては

(生データファイル名) (スケジュールID)

とする。スケジュール・生データファイル名については付録A節参照のこと。

(2) 匿名FTPサーバに直接はいって

unix% **ftp nsro-archive.nro.nao.ac.jp <CR>**

としてディレクトリ/pub/norh/raw 以下が NoRH の生データである。この場合対応する日付の SZ ファイルも忘れずに転送する。

4.3.3 画像合成

画像合成プログラムは、Hanaoka・Koshix・Fujiki がある。それぞれのプログラムが対応するデータについては表 2 を参照のこと。また詳細については第 5 節参照。

注意！ 画像合成プログラムはすべて Fortran77 (一部 90) で書かれている。この節で説明する C シェルスクリプトは、これらの実行形式バイナリを外部呼び出ししている。このソフトウェアパッケージには **Sun/Sparc・NEC/SX・NEC/EWS** の各計算機用のコンパイル済み実行形式バイナリが含まれているのでこれらの計算機上では実行することができる。これ以外の計算機での使用には各自でのコンパイルが必要になる (商用数値計算ライブラリの購入が別途必要。第 5 節参照)。

画像合成するには norh_synth コマンドを利用するのが便利である。入力ファイル (例えば input) を適切に編集した後

unix% **norh_synth input <CR>**

とする。入力の書式は画像合成プログラムごとに異なる。第 5 節を参照のこと。

デフォルト画像合成プログラムは Hanaoka で 17GHz であるが 34GHz の画像合成をするには

unix% **norh_synth -p hanaoka34 input <CR>**

Fujiki を使うには

unix% **norh_synth -p fujiki17 input <CR>**

Koshix を使うには

unix% **norh_synth -p koshix17 input <CR>**

とする。

4.4 AIPS 利用のための前処理

電波天文学で標準的な画像合成ソフトパッケージである AIPS を利用するために必要な前処理について述べる。これには NoRH の生データを AIPS で利用可能なフォーマットに再構成する必要がある。そのためのプログラムが `c2fits` である。

17GHz のデータであれば

unix% **c2fits17 < input <CR>**

34GHz のデータであれば

unix% **c2fits34 < input <CR>**

とする。入力ファイルの書式 (見本が`${NORH}/soft/c2fits` 以下に置いてある) は

```
Inputs file for C2FITS17
-----------------------------------------------------------------
Data file path and prefix     : ./ss17921008
Ephemeris file path and name  : ./sz00921008001
Frame info file path and name : ./info
Phase diff file path and name : ../../../data/rlphdif/sun0706_2rlphdif
Output file path and name     : 921008F
Start time                    : 110000
End time                      : 111000
UT or JST?                    : JST
Image Averging time           :  10
Image Increment               : 300
Smoothing Time (sec)          :   1
Bypass Amplitude Calibration? :  NO
Fixed Calibration Interval?   :  NO
Start time of interval        : 120001
End time of interval          : 120010
Dump calibration solutions?   :  NO
Skip output of FITS files?    :  NO
-----------------------------------------------------------------

Note 1: The meaning of bypassing the amplitude calibration is that
        instead of computing the amplitude of the complex gains
        explicitly, the value 1.0 is used for all antennas. If the
        amplitude calibration is bypassed the amplitude smoothing
        time is ignored.

Note 2: If a fixed calibration interval is used, the smoothing time
        is ignored. It is assumed that the time standard for the
        fixed calibration interval is the same as that of the data
        interval.
```

表 2: 画像合成プログラムのまとめ

	対応データ [Yes/No]			ピクセルサイズ [arcsec]		視野 [pixel]	
	17/34GHz	定常/イベント	全面像/部分像	17GHz	34GHz	17GHz	34GHz
Hanaoka	Y/Y	Y/Y	Y/Y	4.9	2.45	≤ 512	≤ 1024
Koshix	Y/N	Y/Y	Y/Y	4.9	–	≤ 512	–
Fujiki	Y/N	Y/Y	–/Y	2.45	–	128	–

	特徴
Hanaoka	フレアに向く。広がった成分は不向き
Koshix	広がった低輝度成分に向く。フレアには不向き
Fujiki	コンパクトな電波源を高空間分解能で

5 画像合成プログラムの詳細

この節では NoRH 標準画像合成プログラム Hanaoka・Koshix・Fujiki について詳細に述べる (表 2)。計算機 Sun/Sparc・NEC/EWS・NEC/SX 上で動作する実行形式バイナリがこのパッケージには付属している。これ以外で実行するには各自でのコンパイルが必要になるがこれについては第 5.4 節を参照のこと (商用数値計算ライブラリの入手が別途必要)。

5.1 Hanaoka

最も基本的な、太陽全面像におけるポイントソースのクリーンを行って像を作る。また、17/34GHz の両方に対応している。フレアのデータ解析において最初に全体像を把握するのに適している。一方、広がったソースには対応していない。

現在のバージョン　ver. 6.2
対応している計算機　NEC/SX、NEC/EWS、Sun/Sparc
対応しているデータ　17GHz/34GHz、定常/イベントモード、全面像/部分像
ピクセルサイズ　4.9 arcsec/pixel (17GHz)、 2.45 arcsec/pixel (34GHz)
視野　17GHz は 512 pixel(全面像) 以下 、34GHz は 1024 pixel(全面像) 以下
使用法

(1) `unix% hanaoka17 < input`
(2) `unix% norh_synth -p hanaoka17 input`
(3) `IDL> norh_synth,time,prog='hanaoka',freq=17`
(4) `unix% hanaoka34 < input`
(5) `unix% norh_synth -p hanaoka34 input`
(6) `IDL> norh_synth,time,prog='hanaoka',freq=34`

入力ファイル input の具体例

行番号は便宜上つけたもの。また (*) 印をつけたものは通常変更しなくてよい。

見本が${NORH}/soft/synthesis/hanaoka 以下に置いてある。

17GHz

```
 1:  .                ; 出力ディレクトリ
 2:  ss17980419       ; 生データファイル
 3:  sz00980419001    ; SZ ファイル
 4:  512              ; 出力画像視野サイズ
 5:  1,0,0            ; 出力画像中心の太陽中心からのずれ
 6:  1                ; 開始フレーム番号
 7:  3600             ; 終了フレーム番号
 8:  600              ; フレーム間隔
 9:  1                ; *キャリブレーション積分フレーム数
10:  1                ; *画像合成積分フレーム数
11:  -0.5,-0.5        ; *CLEAN 終了判定値その 1  (R+L),(R-L)
12:  0.01             ; *CLEAN 終了判定値その 2
```

34GHz

```
 1:  .                ; 出力ディレクトリ
 2:  ss34980419       ; 生データファイル
 3:  sz00980419001    ; SZ ファイル
 4:  1024             ; 出力画像視野サイズ
 5:  1,0,0            ; 出力画像中心の太陽中心からのずれ
 6:  1                ; 開始フレーム番号
 7:  3600             ; 終了フレーム番号
 8:  600              ; フレーム間隔
 9:  1                ; *キャリブレーション積分フレーム数
10:  1                ; *画像合成積分フレーム数
11:  -1               ; *CLEAN 終了判定値その 1
12:  0.01             ; *CLEAN 終了判定値その 2
```

入力ファイル input の詳しい内容

(**1** 行め) 出力ディレクトリ

(**2** 行め) 生データファイル

定常モードデータの場合、生データのファイル名は ss*FFYYMMDD###* (*FF* は周波数で 17 か 34、*###*は 001 から 048 の番号) のようになっているが、ファイル番号の 3 桁の整数部分より前、すなわち ss*FFYYMMDD* を書く。イベントモードデータの場合はファイル名を書く。

(**3** 行め) **SZ** ファイル生データに対応する日付の SZ ファイル名

(**4** 行め) 出力画像の視野ピクセル数

ここで指定したピクセル数を一辺とする正方形画像が出力される。17GHz の場合、もともと 512x512 画素なので、512 とすると全画面、それ以下であれば部分像が切り出される。34GHz の場合は 1024x1024 が全面像。ピクセルサイズは 17GHz(34GHz) 画像は 4.9(2.45) 秒角。

(**5** 行め) 出力画像中心の太陽中心からのずれ

最終的に太陽面中心をずらした画像を作りたい場合に値を入れる。単位は 1 のとき arcsec、2 のときピクセルである。ずらさない場合は 1,0,0 と入れるが、この場合太陽面中心と画像中心とが一致する ([1,1]-[512,512] の画像の場合、256 番目と 257 番目のピクセルの境界)。

(**6** 行め) 像合成を行う最初のフレーム番号

0 を指定すると不等間隔のフレーム指定になる。

(**7** 行め) 像合成を行う最後のフレーム番号

不等間隔のフレーム指定のときは像合成を行うフレームの数を入れる。

(8 行め) フレーム間隔
不等間隔のフレーム指定の時は像合成するフレームを並べて入力する。複数行にわたってもよい。

(9 行め) アンテナ位相利得計算の積分フレーム数

(10 行め) 画像合成を行うときの積分するフレーム数

(11 行め) **CLEAN** の終了判定値 (の下限)
ダーティマップ上の最大値がこの値になるまで CLEAN が行われる。単位は輝度温度 (静穏太陽面が 1 万度)。なお、次項の判定値の方が大きいときはそちらが採用される。正の数値の場合そのままの値が採用され、負の数値を与えると、その絶対値をディスクの明るさにかけた値が判定値となる。17GHz では、R+L と R-L とにそれぞれ指定するが、通常-0.5 つまりディスクの明るさの半分まで CLEAN をするのが適当である。34GHz では、R+L のみで、通常-1 つまりディスクの明るさまで CLEAN するのが適当。

(12 行め) **CLEAN** の終了判定値を計算するファクター
このファクターはダーティマップ上の最大値に対してどこまで CLEAN するかを指定する。明るいソースが無いような場合は CLEAN 判定値が小さくなってしまうが、前項の判定値の方が大きい場合はそちらが採用される。通常 0.01 にしておくとサイドローブを CLEAN することはないが、やや S/N の悪い画像ではもう少し大きい方が安全である。

5.2 Koshix

Steer アルゴリズムを用いて、広がったソースを含む低輝度のコンポーネントまでクリーンする。静穏領域やフィラメントの像合成に適しているが、フレア時の像合成には向いていない。

現在のバージョン　ver. 6.2
対応している計算機　NEC/SX、NEC/EWS、Sun/Sparc
対応しているデータ　17GHz (34GHz は未対応)、定常/イベントモード、全面像/部分像
ピクセルサイズ　4.9 arcsec/pixel
視野　512 pixel(全面像) 以下
使用法

(1) `unix% koshix17 < input`
(2) `unix% norh_synth -p koshix17 input`
(3) `IDL> norh_synth,time,prog='koshix',freq=17`

入力ファイル `input` の具体例
行番号は便宜上つけたもの。また (*) 印をつけたものは通常変更しなくてよい。
見本が`${NORH}/soft/synthesis/koshix` 以下に置いてある。

```
 1:  .                ; 出力ディレクトリ
 2:  ss17980419       ; 生データファイル
 3:  sz00980419001    ; SZ ファイル
 4:  512              ; 出力画像視野サイズ
 5:  1,0,0            ; 出力画像中心の太陽中心からのずれ
 6:  1                ; 開始フレーム番号
 7:  3600             ; 終了フレーム番号
 8:  600              ; フレーム間隔
 9:  1                ; *キャリブレーション積分フレーム数
10:  1                ; *画像合成積分フレーム数
11:  3000,3000        ; *CLEAN 終了判定値 (R+L),(R-L)
```

(**1** 行め) 出力ディレクトリ

(**2** 行め) 生データファイル
定常モードデータの場合、生データのファイル名は ss*FFYYMMDD*### (*FF* は周波数で 17 か 34、### は 001 から 048 の番号) のようになっているが、ファイル番号の 3 桁の整数部分より前、すなわち ss*FFYYMMDD* を書く。イベントモードデータの場合はファイル名を書く。

(**3** 行め) **SZ** ファイル生データに対応する日付の SZ ファイル名

(**4** 行め) 出力画像の視野ピクセル数
ここで指定したピクセル数を一辺とする正方形画像が出力される。17GHz の場合、もともと 512x512 画素なので、512 とすると全画面、それ以下であれば部分像が切り出される。34GHz の場合は 1024x1024 が全面像。ピクセルサイズは 17GHz(34GHz) 画像は 4.9(2.45) 秒角。

(**5** 行め) 出力画像中心の太陽中心からのずれ
最終的に太陽面中心をずらした画像を作りたい場合に値を入れる。単位は 1 のとき arcsec、2 のときピクセルである。ずらさない場合は 1,0,0 と入れるが、この場合太陽面中心と画像中心とが一致する ([1,1]-[512,512] の画像の場合、256 番目と 257 番目のピクセルの境界)。

(**6** 行め) 像合成を行う最初のフレーム番号
0 を指定すると不等間隔のフレーム指定になる。

(**7** 行め) 像合成を行う最後のフレーム番号
不等間隔のフレーム指定のときは像合成を行うフレームの数を入れる。

(**8** 行め) フレーム間隔
不等間隔のフレーム指定の時は像合成するフレームを並べて入力する。複数行にわたってもよい。

(**9** 行め) アンテナ位相利得計算の積分フレーム数

(**10** 行め) 画像合成を行うときの積分するフレーム数

(**11** 行め) **CLEAN** の終了判定値
ダーティマップ上の最大値がこの値になるまで CLEAN が行われる。単位は輝度温度 (静穏太陽面が 1 万度)。R+L と R-L とにそれぞれ指定する。

5.3 Fujiki

空間周波数が高い成分を強調することで、フレアなどのコンパクトなソースを細いビームで像合成する。常に部分像を出力するので、あらかじめ太陽のどの部分に焦点を合わせて像合成を行うか決めておく必要がある。フレア中の画像を詳細に解析するのに適している。

現在のバージョン　ver. 6.2
対応している計算機　NEC/SX、NEC/EWS、Sun/Sparc
対応しているデータ　17GHz (34GHz は未対応)、定常/イベントモード、部分像
ピクセルサイズ　2.45 arcsec/pixel
視野　128 pixel 固定
使用法

(1) `unix% fujiki17 < input`
(2) `unix% norh_synth -p fujiki17 input`
(3) `IDL> norh_synth,time,prog='fujiki',freq=17`

入力ファイル input の具体例

行番号は便宜上つけたもの。また (*) 印をつけたものは通常変更しなくてよい。

見本が${NORH}/soft/synthesis/fujiki 以下に置いてある。

```
 1:  .                ; 出力ディレクトリ
 2:  ss17980419       ; 生データファイル
 3:  sz00980419001    ; SZ ファイル
 4:  1,0,0            ; 出力画像中心の太陽中心からのずれ
 5:  1                ; 開始フレーム番号
 6:  3600             ; 終了フレーム番号
 7:  600              ; フレーム間隔
 8:  1                ; *キャリブレーション積分フレーム数
 9:  1                ; *画像合成積分フレーム数
10:  10               ; リファレンスフレーム
11:  1                ; *リファレンスフレームのキャリブレーション積分時間
12:  1                ; *リファレンスフレームの像合成積分時間
13:  10000,10000      ; *CLEAN 終了判定値その 1 (R+L),(R-L)
14:  10000,10000      ; *CLEAN 終了判定値その 2 (R+L),(R-L)
15:  0.01             ; *CLEAN 終了判定値その 3
```

(**1** 行め) 出力ディレクトリ

(**2** 行め) 生データファイル

定常モードデータの場合、生データのファイル名は ss*FFYYMMDD*### (*FF* は周波数で 17 か 34、### は 001 から 048 の番号) のようになっているが、ファイル番号の 3 桁の整数部分より前、すなわち ss*FFYYMMDD* を書く。イベントモードデータの場合はファイル名を書く。

(**3** 行め) **SZ** ファイル生データに対応する日付の SZ ファイル名

(**4** 行め) 出力画像中心の太陽中心からのずれ

最終的に太陽面中心をずらした画像を作りたい場合に値を入れる。単位は 1 のとき arcsec、2 のときピクセルである。ずらさない場合は 1,0,0 と入れるが、この場合太陽面中心と画像中心とが一致する。

(**5** 行め) 像合成を行う最初のフレーム番号

0 を指定すると不等間隔のフレーム指定になる。

(**6** 行め) 像合成を行う最後のフレーム番号

不等間隔のフレーム指定のときは像合成を行うフレームの数を入れる。

(**7** 行め) フレーム間隔

不等間隔のフレーム指定の時は像合成するフレームを並べて入力する。複数行にわたってもよい。

(**8** 行め) アンテナ位相利得計算の積分フレーム数

(**9** 行め) 画像合成を行うときの積分するフレーム数

(**10** 行め) リファレンス画像のフレーム番号

(**11** 行め) リファレンス画像合成を行うときのアンテナ位相利得計算の積分フレーム数

(**12** 行め) リファレンス画像合成を行うときの積分するフレーム数

(**13** 行め) **CLEAN** の終了判定値 (の下限)

ダーティマップ上の最大値がこの値になるまで第 1 段階の CLEAN が行われる。単位は輝度温度 (静穏太陽面が 1 万度)。なお、15 行目の判定値の方が大きいときはそちらが採用される。 R+L と R-L とにそれぞれ指定する。

(**14** 行め) **CLEAN** の終了判定値 (の下限)

ダーティマップ上の最大値がこの値になるまで第 2 段階の CLEAN が行われる。単位は輝度温度 (静穏太陽面が 1 万度)。なお、15 行目の判定値の方が大きいときはそちらが採用される。 R+L と R-L とにそれぞれ指定する。

(15 行め) CLEAN の終了判定値を計算するファクター
このファクターはダーティマップ上の最大値に対してどこまで CLEAN するかを指定する。明るいソースが無いような場合は CLEAN 判定値が小さくなってしまうが、前項の判定値の方が大きい場合はそちらが採用される。通常 0.01 にしておくとサイドローブを CLEAN することはないが、やや S/N の悪い画像ではもう少し大きい方が安全である。

5.4 画像合成プログラムのコンパイル

NoRH 画像合成プログラムは Fortran77 (一部 90) で書かれている。計算機 Sun/Sparc・NEC/EWS・NEC/SX 上で動作する実行形式バイナリがこのパッケージには付属している。これ以外で実行するには各自でのコンパイルが必要になるので以下に手順を説明する。なお商用数値計算ライブラリの取得が必要になる。以下の手順でコンパイルする。

(1) 数値計算ライブラリのインストール
以下の数値計算ライブラリをインストールする。

Fujitsu/SSLII	商用	`http://www.fujitsu.co.jp/`
NEC/ASL	商用	`http://www.nec.co.jp/`

NEC/ASL は、NEC/SX・NEC/EWS でのコンパイル時のみ必要。

(2) FITSIO ライブラリのインストール
FITS 形式ファイルの出入力ライブラリである FITSIO パッケージを取得してインストールする。
`http://legacy.gsfc.nasa.gov/docs/software/fitsio/`

(3) HeliogLib のコンパイル。
`${NORH}/soft/helioglib` 以下の HeliogLib をコンパイルする。

(4) 画像合成プログラムのコンパイル。
`${NORH}/soft/synthesis` 以下の各プログラムをコンパイルする。

表 3: NoRH データ

接頭子	データ内容	ディレクトリ
ss17,ss34	生データ (定常モード)	任意 [raw/steady]
se17,se34	生データ (イベントモード)	任意 [raw/event]
sz00	SZ ファイル	任意 [raw/steady,data/sz_update]
ifa,ifs,ifr,ifl,ifz	全面画像	任意 [images]
ipa,ips,ipr,ipl,ipz	部分画像	任意 [images]
info	観測時刻情報	data/info
rlphdif	右左偏波位相差	data/rlphdif
tsa,tsz	平均相関値	data/tsx
tca,tcz	平均相関値ダイジェスト (R+L のみ)	data/tcx
eva,evz	イベントリスト	data/evx
lob	観測ログ (アンテナ不調の情報など)	data/lob
rep	観測当番報告	data/rep

[ ] : 国立天文台 野辺山太陽電波観測所アーカイブ (nsro-archive) での置場所

表 4: ファイル名にもちいる略記

YY	西暦年号の末 2 桁
MM	月
WW	週
DD	日
HH	時
MN	分
SS	秒
LLL	ミリ秒
###	通し番号
S	スケジュール ID
	(時刻の早いものから”a”、”b”、、、。
	一日に単一スケジュールの時は省略)

A NoRHデータ

この節では、NoRH データについて詳細を述べる (表 3)。表 4 の略記を用いる。

A.1 NoRH の観測モード

NoRH の観測モードは基本的には 2 つあり定常モード では 1sec 積分でデータを記録する。観測データは 600 フレームつまり 600sec 分ごとに分割したファイルとして記録され (付録 A.3) できた順番に通し番号がつけられる。いっぽうイベント モードでは 100msec 積分 (1995 年 10 月の 2 周波化以前は 50msec 積分) でデータを記録する。短時間スケールの信号変動 (ふつうはフレア) が受かったときにこのモードになる。イベントモードでは 1 フレア 1 ファイルでフレアが開始した年月日時分秒で名付ける。

A.2 「スケジュール」とは

NoRH のひとつづきの観測単位は「スケジュール」とよばれる。原則として 1 日あたり 1 スケジュールであるが、装置トラブルなどにより途中停止したりすると 1 日に複数のスケジュールがあったりする。スケジュール ID はこれらのスケジュールを区別するための名前であり「日付 + アルファベット 1 文字」である。1 日に単一スケジュールしかない場合は「日付」のみである。たとえば 1992 年 7 月 10 日は単一スケジュールのみなのでスケジュール ID は 920710 で表される。また同年 7 月 12 日は 2 つスケジュールがあったので早い時刻から 920712a・920712b と名付ける。

A.3 生データ (ss17,ss34,se17,se34)

ファイル名

`ss17`*YYMMDD###* 定常モード 17GHz
`ss34`*YYMMDD###* 定常モード 34GHz
`se17`*YYMMDDHHMNSS* イベントモード 17GHz
`se34`*YYMMDDHHMNSS* イベントモード 34GHz

HHMNSS はデータの開始時刻。

作成単位

定常モードは 600 フレーム (10min) ごとに 1 ファイル。イベントモードはイベントごとに 1 ファイル。

置場所

任意。国立天文台 野辺山太陽電波観測所アーカイブでは `raw`。

A.4 SZ ファイル (sz00)

像合成の際に必要な以下のパラメータをいれたファイル。(1) 野辺山の緯度経度と暦とから換算した太陽の位置情報。[前日・当日・翌日各正午の視赤緯・時角・視半径・太陽軸の傾き・太陽中央緯度](2) アンテナの好不調 [N01 から N28・E28 から E01・W01 から W28 の順で 0:像合成に使用、1:像合成に不使用]

ファイル名

`sz00`*YYMMDD*`001`

作成単位

1 日ごとに 1 ファイル。

置場所

任意。国立天文台 野辺山太陽電波観測所アーカイブでは `raw/steady`。また、アンテナ不調などが観測から数日以後に判明した場合は更新されるがそのファイルは `data/sz_update` に置いてある。

A.5 画像 (ifa,ifs,ifz,ipa,ips,ipz)

画像をおさめた FITS フォーマットのファイル。FITS ヘッダの詳細な内容については付録 B 参照。データの単位は輝度温度 (静穏太陽面は 1 万度)。

ファイル名

定常モード

ifa*YYMMDD_HHMNSS*	全面像	17GHz	(R+L)
ifs*YYMMDD_HHMNSS*			(R−L)
ifz*YYMMDD_HHMNSS*		34GHz	(R+L)
ipa*YYMMDD_HHMNSS*	部分像	17GHz	(R+L)
ips*YYMMDD_HHMNSS*			(R−L)
ipz*YYMMDD_HHMNSS*		34GHz	(R+L)

イベントモード

ifa*YYMMDD_HHMNSS.LLL*	全面像	17GHz	(R+L)
ifs*YYMMDD_HHMNSS.LLL*			(R−L)
ifz*YYMMDD_HHMNSS.LLL*		34GHz	(R+L)
ipa*YYMMDD_HHMNSS.LLL*	部分像	17GHz	(R+L)
ips*YYMMDD_HHMNSS.LLL*			(R−L)
ipz*YYMMDD_HHMNSS.LLL*		34GHz	(R+L)

例

ifa981123_020533 全面像 17GHz R+L 定常 1998 年 11 月 23 日 2:5:33 UT

ipz981123_020533.824 部分像 34GHz R+L イベント 1998 年 11 月 23 日 2:5:33.824 UT

置場所

任意。国立天文台 野辺山太陽電波観測所アーカイブでは images 下に日毎画像・10 分毎画像・ イベント画像 (最大平均相関値 1.5%以上) が置いてある。

A.6 観測時刻情報 (info)

観測をおこなった開始・終了時刻・対応するデータフレーム番号・データを記録した CD-ROM のボリューム名をおさめた ASCII テキストファイル。

ファイル名

info*YYMM*s 定常モード

info*YYMM*e イベントモード

作成単位

月ごとに 1 ファイル。

置場所

data/info 下に置いてある。

内容例

```
s99030108001 ss17990301001 990301 080023 140022 000001 021600 TRACK
s99030108001 sz00990301001
s99030108002 ss17990301037 990301 140023 151458 021601 026076 TRACK
s99030108002 ss34990301001 990301 080023 151458 000001 026076 TRACK
s99030108002 sl00990301001
s99030108002 sz00990301001
```

第 1・3・4 行が生データの記録である。この行の左の列から、マスター CD-ROM のボリューム番号、一連のファイル群のうち先頭のものの名前、観測年月日、ファイルに対応する開始時刻 (JST)・終了時刻

(JST)・開始フレーム番号・終了番号・記録モード (TRACK は通常観測)。この例では、「 1999 年 3 月 1 日の 8:00:23JST (フレーム番号 1 番) から 14:00:22JST (同 21600 番) までの 17GHz データがファイル名 ss17990301001 から (ss17990301036 まで) として's99030108001' というボリューム名の CD-ROM に記録保管されている 」、「 同日の 14:00:23JST (フレーム番号 21601 番) から 15:14:58JST (同 26076 番) までの 17GHz データがファイル名 ss17990301037 から (ss17990301048 まで) として's99030108002' というボリューム名の CD-ROM に記録保管されている 」また「 同日のの 8:00:23JST (フレーム番号 1 番) から 15:14:58JST (同 26076 番) までの 34GHz データがファイル名 ss34990301001 から (ss34990301048 まで) として's99030108002' というボリューム名の CD-ROM に記録保管されている 」ということを示す。第 2 行は SZ ファイルの記録で「 ファイル sz00990301001 が's99030108001' というボリューム名の CD-ROM に記録保管されている 」ことを意味する。

A.7 右左偏波位相差 (rlphdif)

現在までに 3 ファイルつくられている。それぞれに適用する期間は以下の通り。このファイルは、像合成プログラムの旧バージョンで必要であったが現在は使っていない。しかし C2FITS ではまだ必要である。

ファイル	適用期間
sun0628rlphdif	1992-6-28 以前
s971101rlphdif	1997-10-30 から 1997-11-06 と 1998-01-21 から 1998-01-26
sun0706_2rlphdif	上記以外

ファイル名

s*YYMMDD*rlphdif

作成単位

アンテナの状態に応じて不定期につくられる。

置場所

data/rlphdif

A.8 平均相関値 (tsa,tsz)

各アンテナ間の相関値を平均したもの・観測時のステータス・輝度をおさめた FITS フォーマットのファイル。最大値は 1 つまり 100%。FITS ヘッダの詳細な内容については付録 B 参照。

ファイル名

tsa*YYMMDDS*	17GHz	定常モード
tsz*YYMMDDS*	34GHz	定常モード
tsa*YYMMDD_HHMNSS*	17GHz	イベントモード
tsz*YYMMDD_HHMNSS*	34GHz	イベントモード

HHMNSS はデータの開始時刻。

作成単位

スケジュール/イベントごとに 1 ファイル。

置場所

${NORH}/data/tsx 下に置いてある。

A.9　平均相関値ダイジェスト (tca,tcz)

各アンテナ間の相関値を平均したものをおさめた FITS フォーマットのファイル。最大値は 1 つまり 100%。FITS ヘッダの詳細な内容については付録 B 参照。

ファイル名

tca*YYMMDDS*	17GHz	定常モード
tcz*YYMMDDS*	34GHz	定常モード
tca*YYMMDD_HHMNSS*	17GHz	イベントモード
tcz*YYMMDD_HHMNSS*	34GHz	イベントモード

HHMNSS はデータの開始時刻。

作成単位

スケジュール/イベントごとに 1 ファイル。

置場所

data/tcx 下に置いてある。

A.10　イベントリスト (eva,evz)

ある基準で選びだしたイベント (フレア) の一覧表。ASCII テキストで書いてある。

ファイル名

eva*YYMM*	17GHz
evz*YYMM*	34GHz

作成単位

月ごとに 1 ファイル。

置場所

data/evx 下に置いてある。

内容例

```
      1  1999-04-01  23:00:47    23:11:24  23:02:42    637     23    17.7     0.6 22/ 19
```

1 イベント 1 行で左から、通し番号・日・開始時刻 (UT)・終了時刻 (UT)・最大値時刻 (UT)・継続時間 (sec)・最大平均相関値 × 32768 などである。この例では 1999 年 4 月 1 日 23:00:47UT 開始、23:02:42 最大、23:11:24 終了の 637sec 継続のイベントが検知されたことをしめす。最大相関値は 23/32768=0.007=0.7% であった。

A.11　観測ログ (lob)

アンテナ不調や天候不良など、のちの画像合成に役立つ情報を ASCII テキストで記述してある。

ファイル名

lob*YYMM*

作成単位

月ごとに 1 ファイル。

置場所

data/lob

内容例

```
    ### 99/03/10
       Due to an ice sticked to 84 antenna dishes, data quality is
       not good during the following times (before the sun shined
       and melt the ice):
           Mar. 10, 00:00 UT - Mar.10, 02:30 UT.
```

A.12　観測当番報告 (rep)

観測当番が一週間ごとにつくる報告で、太陽活動の様子や興味深いイベントなどについて記述してある。

ファイル名

rep$YYWW$

作成単位

週ごとに 1 ファイル。

置場所

data/rep

A.13　太陽追跡情報 (track_table)

野辺山の緯度経度と暦とから換算した太陽の位置情報。正午の視赤緯 (角度)・時角 (時間秒)・視半径 (角秒)・太陽軸の傾き・太陽中央緯度。

ファイル名

track_tableYY.dat

作成単位

年ごとに 1 ファイル。

置場所

data/ephe

B　FITS ヘッダ

この節では、NoRH が採用している FITS ヘッダの標準規格について述べる。実際は、アンテナ平均相関値の時系列データ (tcx・tsx)・ 画像 (ifx・ipx) で用いられている。

B.1　ヘッダー規格

(1) 必須部分

- 全ての FITS ファイルにおいて必須なキーワード

  FITS の規格上必須、かつ書式が固定されている。

  SIMPLE　: FITS 規格のファイルかどうかを示す。T のとき真

  BITPIX　: データのビット数及び型

  NAXIS　: データの次元数

  NAXIS1　: x 軸の画素数

  NAXIS2　: y 軸の画素数

- データ作成における基本情報 (全てのヘリオグラフ関連 FITS ファイルにおいて必須)

  電波ヘリオグラフ関連のファイルは、CLEAN 画像ばかりではなく様々なファイルがあるが、ここで記述する基本情報は、全てのファイルに共通な、必須とすべき情報である。

  ○ データの時刻に関する情報

STARTFRM　：使用したフレームの最初
ENDFRM　：使用したフレームの最後
JST-STRT　：STARTFRM の積分開始時刻 (JST)
JST-END　：ENDFRM の積分終了時刻 (JST)
JST-TIME　：JST-STRT と JST-END の中央、すなわち観測の中央時刻 (JST)
JST-DATE　：観測の開始時刻における日付 (JST)。日付の書式は yyyy-mm-dd とする
STRT-OBS　：UT で表した観測の開始時刻
END-OBS　：UT で表した観測の終了時刻
TIME-OBS　：UT で表した観測の中央時刻
DATE-OBS　：観測の開始時刻における日付 (UT)。日付の書式は yyyy-mm-dd とする

◦ データ種別に関する情報

OBJECT : sun で固定
TELESCOP : radioheliograph で固定
ORIGIN : nobeyama radio obs で固定
POLARIZ : rcp、lcp、r+l、r-l、l-r、r|l、(r-l)/(r+l)、unknown から選択
ATT-10DB : 00dB、10dB から選択
OBS-MODE : fix、alt から選択
OBS-FREQ : 17GHz、34GHz から選択
FRM-STAT : 1-sec obs、event、calib から選択
DATA-TYP : データの種類。cleaned_map など。特に書式を固定しない

◦ FITS ヘッダーのバージョン情報

電波ヘリオグラフ用に規定している FITS ヘッダーのバージョン番号を書く。本文書で規定しているのは電波ヘリオグラフデータ用 ver 2.0 である。

HDRIDENT : FITS ヘッダーのバージョン

(2) 暦のデータに関する情報

暦のデータは heliographic 座標の計算やビーム形状の計算に使用するので、画像のファイルでは必須である。時刻だけで決まるものの他に、野辺山ローカルなパラメーターもあるので、必ず記述する。内容は以下の通り。

SOLR : 太陽の視半径
SOLP : 太陽の北極方向角
SOLB : 太陽面中央緯度
DEC : 太陽の野辺山における赤緯
HOURA : 太陽の野辺山における時角
AZIMUTH : 太陽の野辺山における方位角
ALTITUDE : 太陽の野辺山における高度
ZANGLE : 太陽の天頂方向角
PMAT1/2/3/4 : 赤道座標- 地平座標の変換行列

(3) 像の座標に関する情報

CLEAN して投影効果を補正した画像については、他の波長の画像との位置合わせを行うため、必須である。FITS 規格に書式が定められているので、これに則った記述をする。

CTYPE1 / CTYPE2:
座標軸を記述する。通常 x 軸を太陽の西方向、y 軸を北方向に取るので、それぞれ solar-west と solar-north で固定とする。

CDELT1 / CDELT2: 1 ピクセルの大きさ。

CRVAL1/CRVAL2/CRPIX1/CRPIX2:
CRPIX1/CRPIX2 で表されるピクセルの中心の、CTYPE1/CTYPE2 の座標系での位置を CRVAL1/CRVAL2 で表す。CRVAL1/CRVAL2 を 0.00/0.00(太陽面中心) で固定し、画像中の太陽面中心の位置を CRPIX1/CRPIX2 でピクセル単位で表すのを標準とする。部分像の場合など、CRPIX1/CRPIX2 の値は画像の実際のサイズをはみだしても構わない。

FITS 規格においては、ピクセルの中心を位置の基準にしているので、ピクセルの境界や左下を基準にしている座標系との位置合わせには特に注意を要する。ちなみに、画像中心の太陽面中心からの距離と FITS キーワード との関係は以下のようになる。

$$\text{x-offset} = (\text{NAXIS1}/2+0.5\text{-CRPIX1})*\text{CDELT1}+\text{CRVAL1}$$

y-offset = (NAXIS2/2+0.5-CRPIX2)*CDELT2+CRVAL2

(4) 各プログラムに固有のパラメータ

像合成に関するパラメータなど、各プログラムにおける固有のパラメータを必要に応じて記述する。特に書式を限定しないが、共通に使えるキーワードについては統一性を持たせる必要がある。例えば、CLEAN画像ファイルの場合には、

・どのプログラムを使用したか

・キャリブレーションのパラメーター (キャリブレーションに使用したフレーム番号など)

・CLEAN など像処理に使用したパラメーター

という、同じ像合成を再現するのに必要なパラメーターを記述すると同時に、

・ディスクのフィッティングや CLEAN ソースの選択が正しくできているかどうか

を示す値を記述する。最低限のパラメータとしては以下のようなものがあり、これらのキーワードを使用することが推奨される。

PROGNAME	: データ処理のプログラムを記述する。特に書式を固定しない。
NFRCAL	: キャリブレーションに使ったフレーム数
CRITER	: CLEAN のしきい値
SOLR-FAC	: 光学太陽半径から電波の太陽半径を求めるための係数
MBEAMC	: アンテナ主ビーム形状を考慮した感度補正
NCOMPO	: CLEAN コンポーネント数
DDOFF1	: ダーティマップ上の太陽面の中心の x 軸方向のオフセット
DDOFF2	: ダーティマップ上の太陽面の中心の y 軸方向のオフセット
DSKBR	: ダーティマップ上での太陽面の明るさ
BUNIT	: 画像の値の単位を示す。通常絶対温度 (K)。

多段階のキャリブレーションや多段階の CLEAN などでより細かくパラメータを設定する必要がある場合は、もちろん上記のキーワードに拘束される必要はない。

(5) その他

これ以外にも必要な情報は、各プログラム内で独自のキーワードを使用して記述することを許容する。

B.2 ヘッダーの例

実際の太陽画像ファイルにおけるヘッダーの例を示す。

(1) 必須部分

• 全ての FITS ファイルにおいて必須なキーワード

```
SIMPLE  =                    T / file does conform to FITS standard
BITPIX  =                  -32 / number of bits per data pixel
NAXIS   =                    2 / number of data axes
NAXIS1  =                  512 / length of data axis   1
NAXIS2  =                  512 / length of data axis   2
```

• データ作成における基本情報 (全てのヘリオグラフ関連 FITS ファイルにおいて必須)

◦ データの時刻に関する情報

```
DATE-OBS= '1998-05-09'         /
TIME-OBS= '03:20:23.754'       /
STRT-OBS= '03:20:21.254'       /
END-OBS = '03:20:26.254'       /
JSTDATE = '1998-05-09'         /
JSTTIME = '12:20:23.754'       /
JST-STRT= '12:20:21.254'       /
JST-END = '12:20:26.254'       /
STARTFRM=                16499 /
ENDFRM  =                16503 /
```

◦ データ種別に関する情報

```
POLARIZ = 'r+l     '           /
ATT-10DB= '00dB    '           /
OBS-MODE= 'alt     '           /
OBS-FREQ= '17GHz   '           /
FRM-STAT= '1-sec obs'          /
DATA-TYP= 'cleaned_map'        /
OBJECT  = 'sun     '           /
TELESCOP= 'radioheliograph'    /
ORIGIN  = 'nobeyama radio obs' /
```

◦ FITS ヘッダーのバージョン情報

```
HDRIDENT= 'HeliogFITS 2.0'     /
```

(2) 暦のデータに関する情報

```
SOLR    =               952.22 / optical solar radius (arcsecond)
SOLP    =             -22.5235 / solar polar angle (degree)
SOLB    =              -3.3307 / solar b0 (degree)
DEC     =              17.2807 / declination (degree)
HOURA   =              2270.83 / hour angle (second)
AZIMUTH =              27.7610 / azimuth (degree)
ALTITUDE=              70.3056 / altitude (degree)
ZANGLE  =              23.5280 / zenithangle (degree)
PMAT1   =              0.98640 / projection matrix
PMAT2   =              0.09448 / projection matrix
PMAT3   =             -0.04883 / projection matrix
PMAT4   =              0.94981 / projection matrix
```

(3) 像の座標に関する情報

```
CRVAL1  =                 0.00 / arcsec
CRVAL2  =                 0.00 / arcsec
CRPIX1  =               257.00 /
CRPIX2  =               257.00 /
CDELT1  =              4.91106 / arcsec
CDELT2  =              4.91106 / arcsec
CTYPE1  = 'solar-west'         /
CTYPE2  = 'solar-north'        /
```

(4) 各プログラムに固有のパラメータ

• example for Hanaoka Hanaoka 画像合成プログラムの例

```
PROGNAME= 'snap2d17 v5.1  Y. Hanaoka' /
BUNIT   = 'K       '           / disk = 10000 K
SOLR-FAC=              1.01250 / radius correction factor
NFRCAL  =                    1 / number of calibration frames
CRINPUT =                -0.50 / clean criterion input
MBEAMC  = 'yes     '           / main beam correction
DISKRSTR= 'yes     '           / disk restoration
DDOFF1  =               -12.77 / x-offset of the dirty disk
DDOFF2  =                10.68 / y-offset of the dirty disk
DDCORR  =               0.9631 / correlation between dirty disk and model
DSKBR   =             37145.51 / brightness of the dirty disk
CRITER  =             24384.39 / clean criterion
NCOMPO  =                 1050 / number of clean components
```

• Koshix 画像合成プログラムの例

```
PROGNAME= 'snap2d51_koshix_vfast' /
FRAME   =                16501 /
ICAL    =                    3 / integration for calibration
ITGR    =                    3 / integration for restoration
ICLN    =                    3 / integration after restoration
BUNIT   = 'k       '           / disk = 10000 K
CRITER  =               3000.0 / CLEAN criterion
SOLR-FAC=              1.01250 / radius correction factor
GAINP   =                0.020 / CLEAN loop gain for estimation of sky and disk
GAINE   =                0.200 / CLEAN loop gain
TRIM    =                0.800 / CLEAN trim level
NCOMPO  =                66143 / number of CLEAN components
DDOFF1  =                  0.5 / x-offset of the dirty disk
DDOFF2  =                  0.9 / y-offset of the dirty disk
NCLNYN  = 'yes     '           / negative CLEAN
JCIMYN  =                    1 / jitter - add/sub - integration
PJIMYN  =                    1 / projection - integration
MBEAMC  = 'yes     '           / main beam correction
```

B.3 サブルーチンへの実装

上記のヘッダーを実際にファイルに書き込むためのサブルーチンが soft/helioglib 下に用意されている。

1. 必須部分 puthdr ルーチンを使用する。
2. 暦のデータに関する情報 putoep ルーチンを使用する。
3. 像の座標に関する情報 putcor ルーチンを使用する。
4. 各プログラムに固有のパラメータ 各プログラム内で適当なサブルーチンを設け、対応する。

C　データアーカイブ匿名 FTP サイト

観測データベースファイルは日々蓄積されていくので適宜更新する必要がある。国立天文台野辺山太陽電波観測所では生データを含むデータベースを匿名 FTP サーバで公開している。NoRH データの URL は

```
ftp://nsro-archive.nro.nao.ac.jp/pub/norh
```

である。また大量のデータ転送はネットワーク負荷を軽減するためにできるだけ CD-ROM による郵送をお願いしたい。電子メールでアドレス

```
nsro-service@solar.nro.nao.ac.jp
```

に報せてもらえればただちに作成して送る。

D　謝辞

以下の方々に感謝します。

SolarSoftware は、太陽観測データ解析用の IDL パッケージで、NASA のさまざまなプロジェクトのもとで支援を受けています。ようこうは、文部省宇宙科学研究所・アメリカ NASA・イギリス SERC の太陽観測共同プロジェクト衛星です。GOES はアメリカ NOAA/SEC の衛星です。AIPS 用ユーティリティプログラム C2FITS の開発は T. Bastian 博士 (NRAO) により、その後 S. White 博士 (University of Maryland) によって改良されました。NoRH ウェブサイトで公開しているムービーは D. Zarro 博士のつくった JavaSript プログラムで動いています。IDL は Research Systems Inc. が製造・販売しているデータ解析ソフトウェアです。S. Pohjolainen 博士は英語マニュアルを読んでコメントをくださいました。

参考文献

Dulk, G. A., 1985, ARAA, **23**, 169
Hanaoka, Y., et al., 1994, Proc. of Kofu Symp., 35
Nakajima, H., et al., 1994, Proc. of the IEEE, **82**, 705
Nishio, M., et al., 1994, Proc. of Kofu Symp., 19
Ramaty, 1969, ApJ, **158**, 753