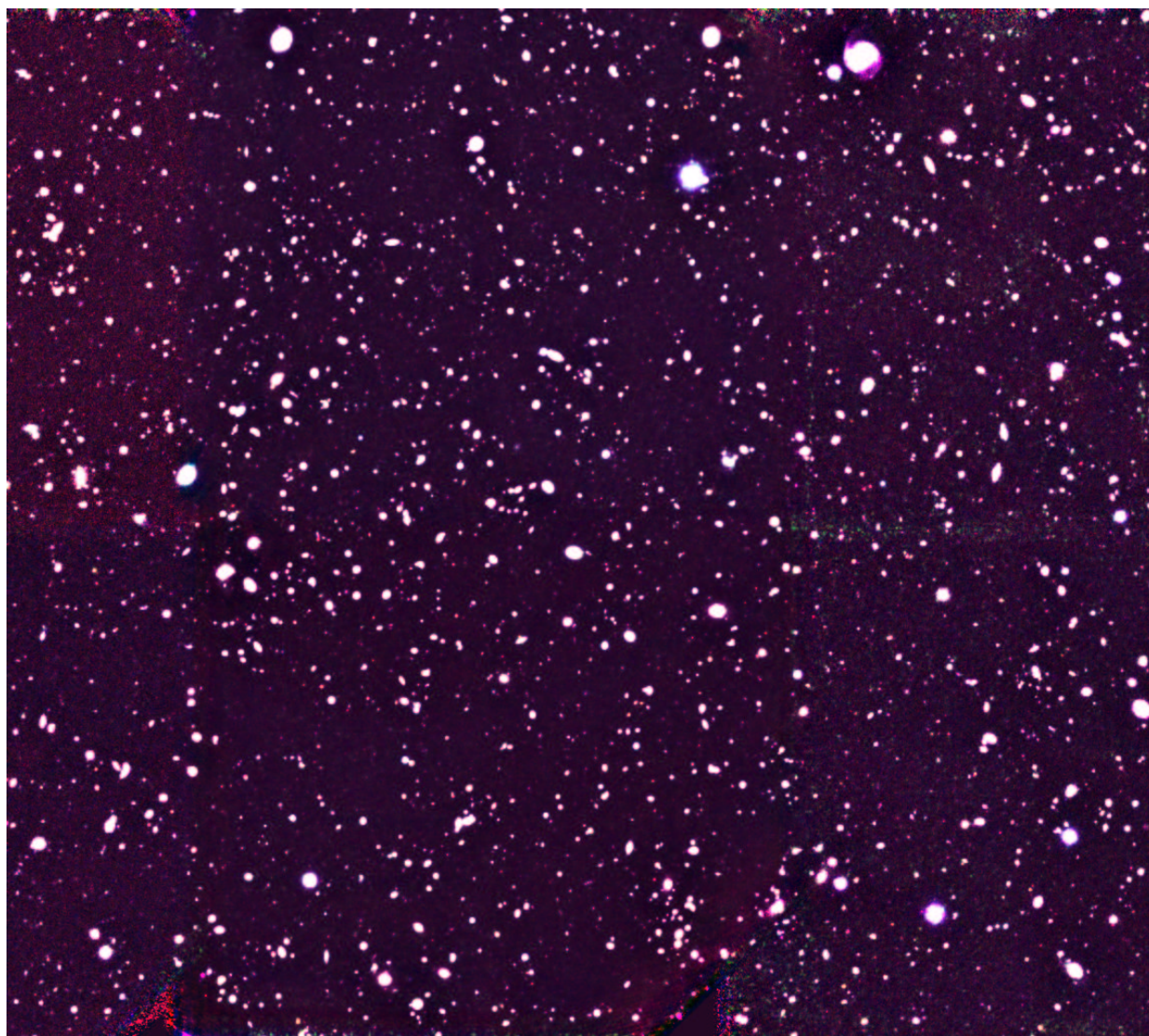


MOIRCS撮像データ処理講習用テキスト

ver 0.95



2007年 10月 1-5日 すばる秋の学校

鍛冶澤 賢（国立天文台）

目次

1	はじめに	3
2	近赤外撮像観測	3
3	MOIRCS	5
4	MCSRED とは	6
5	MCSRED の取得方法	7
6	MCSRED の使い方	7
6.1	インストール、準備	7
6.1.1	IRAF の準備	7
6.1.2	IRAF v2.12.1 の場合	9
6.1.3	環境変数の設定	10
6.1.4	SExtractor	10
6.1.5	MCSRED の始め方	10
6.2	一括実行タスク: mcsall	12
6.2.1	本講習で用いる観測データ	12
6.2.2	入力リストの準備	15
6.2.3	画像のチェック	15
6.2.4	タスクの実行	18
6.3	画像のモザイク	21
6.3.1	モザイクタスク dmosimg	22
6.3.2	天体検出 gsexcat	24
6.3.3	位置合わせと足し合わせ gmkgtrimages	25
6.4	標準星データ	28
6.4.1	部分読みについて	29
6.4.2	標準星データの処理	29
6.5	その他のタスク	34
6.6	使用上の注意	34
7	mcsall では行われない工程	35
7.1	NODDING 観測のデータ処理	35
7.2	一度足し合わせた画像から天体マスクを作る	35
7.3	フリッジパターンの処理	37
7.4	部分読み出しデータの処理	37
A	mcsall で使われる各タスクについて	40
A.1	mcs_mkflat	40
A.2	sbselksky	41
A.3	qmsepkskyb	42
A.4	quadcor	43

A.5	mcsgeocorr	43
A.6	gsextcat	43
A.7	gmkgtrimages	44
B	mcsall の各工程で出力されるファイル	46

1 はじめに

このテキストはすばる望遠鏡の近赤外撮像分光装置 MOIRCS の撮像データ処理の方法について説明したもので、2007 年すばる秋の学校での講習用に書かれたものです。特に MOIRCS 撮像データ処理のために用意されたパッケージ MCSRED の使い方を中心に説明しています。MCSRED は IRAF 上で動作しますが、IRAF の詳しい説明についてはこのテキストでは割愛します。また、近赤外撮像観測及びデータ解析に関する一般的な説明についても割愛します（次節で紹介している文献を参照してください）。

本テキストに関するご意見、コメント等ございましたら下記までお寄せ下さい。

鍛冶澤 賢

181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1

国立天文台光赤外研究部

E-mail: kajisawa "at-mark" optik.mtk.nao.ac.jp

2 近赤外撮像観測

一般的な近赤外撮像データの特徴や処理の流れについては、すばる IRCS 撮像データ解析マニュアル (http://optik2.mtk.nao.ac.jp/subaru_red/IRCS/) が非常に参考になります。近赤外撮像観測の特徴を手っ取り早く掴みたい方はこちらの 2-5 章を参照してください。

近赤外撮像データ処理はおおよその流れは可視光 CCD 観測のデータ解析とそれほど違いはありません。CCD による撮像データ解析一般についてはすばるデータ解析講習会資料だったもの v0.991 (http://optik2.mtk.nao.ac.jp/subaru_red/SPCAM/) の 1-2 章が参考になると思います。可視近赤外の撮像データ解析について未経験であったり、ほとんど知識がないという方はこちらの方も見ておかれると便利です。

撮像観測における可視光と近赤外の主な違いには

- 近赤外域では空、背景光が非常に明るい
- 検出器の振る舞いが異なる

といった点があります。特に背景光が非常に明るいことにより、検出器の飽和を防ぐため 1 回の積分時間が可視光に比べて短かめに制限され、結果として処理するフレーム数が多くなる傾向があります。また、一枚のフレームをパッと見ただけでは極端に明るいもの以外はほとんどの天体が空に埋もれてしまって何も（空しか）見えないということがよくあります（図 1。ある程度処理を進めると図 2 のように天体が写っていることがはっきりわかります）。

撮像データ処理のおおよその流れは

1. ダーク引き

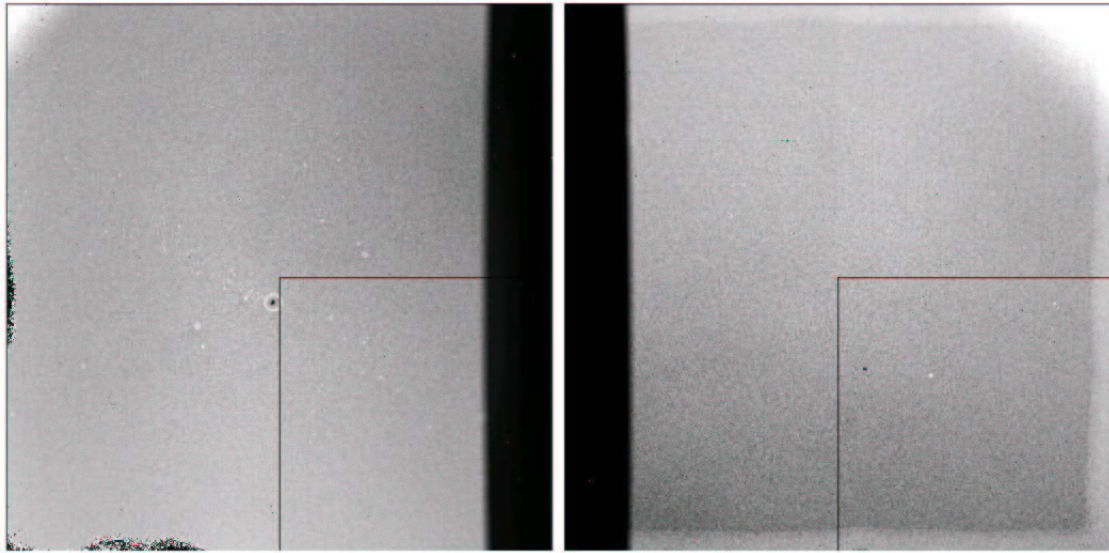


図 1: MOIRCS の生データ。左が channel-1、右が channel-2。

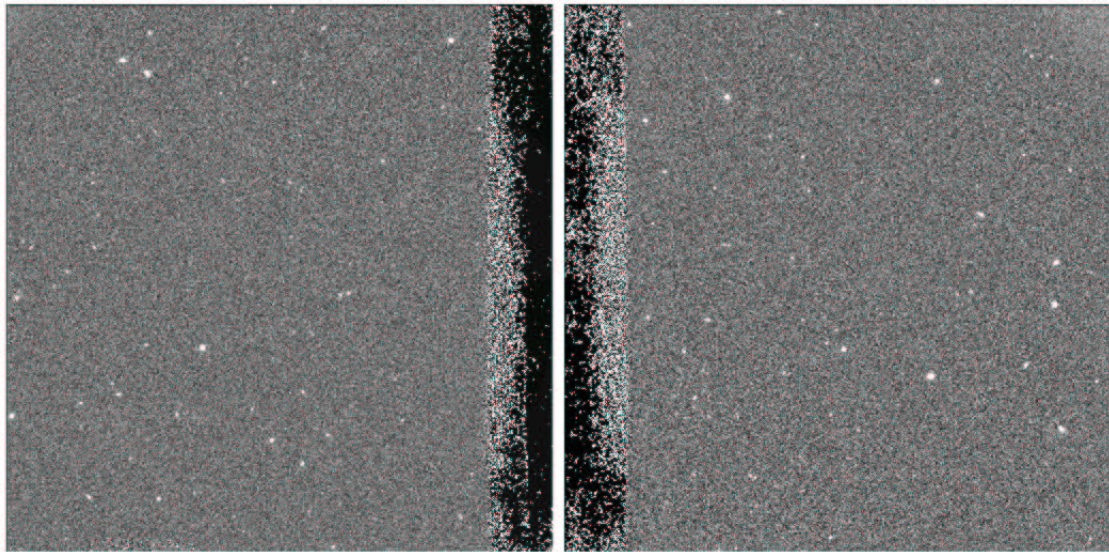


図 2: 図 1 の生データをフラットフィールド、スカイ引きを行ったデータ。

2. 感度ムラの補正（フラットフィールド）
3. 背景光（スカイ）引き
4. 歪み補正
5. 位置合わせ
6. 足し合わせ

のようになります。

可視光や近赤外の撮像観測では通常積分するごとにちょっとずつ位置をずらしながら観測するディザを行います。これは検出器の bad pixel が天球上での一定の位置の情報を損失させることを回避したり、同じ天体を検出器上の複数の位置に置くことでフラットフィールドなどのピクセルごとの系統的な誤差を軽減するためです。このため複数回に渡って積分し

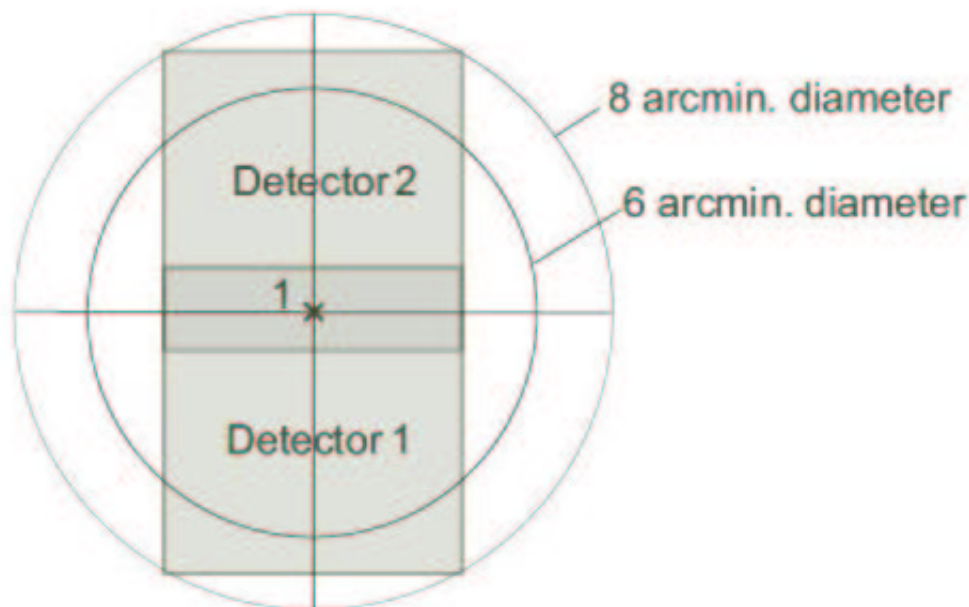


図 3: すばるのカセグレン焦点での MOIRCS の視野

たデータを足し合わせる前に視野内の天体が同じ場所にくるように位置合わせを行う必要があります。またディザを使って取得されたデータでは、複数のフレームを位置合わせせずにメジアンをとることによって天体の影響のほとんどない空だけの画像（メジアンスカイ）を作ることができ、これをスカイ引きに用いることができます。近赤外データでは可視光に比べて背景光が明るく、またその時間変動が激しい傾向があるので、スカイをどれだけきれいさっぱり引けるかという点がその後の解析の精度を決める重要な要素になることがよくあります。

歪み補正とは望遠鏡と観測機器の光学系による歪みを取り除く作業です。光学系による歪みが大きく残ったままだとディザを使って観測したフレーム同士を視野全体に渡ってきちっと位置合わせできなくなったりします。また弱い重力レンズの解析などでは天体の微妙な形状の測定においてこの歪みが解析に悪影響を及ぼしたりする場合もあります。

3 MOIRCS

MOIRCS(Multi-Object InfraRed Camera and Spectrograph) はすばる望遠鏡のカセグレン焦点で使われる近赤外広視野撮像分光装置です。MOIRCS の詳細についてはすばる望遠鏡 webpage (<http://subarutelescope.org/Observing/Instruments/MOIRCS/index.html>) を参照してください。ここでは撮像モードのデータについて簡単に説明します。

MOIRCS は 2 つの HAWAII-2 というアレイ検出器を使って $4 \times 7 \text{ arcmin}^2$ の視野をカバーしています（図 3 & 4、以後このテキストでは 2 つの検出器を channel-1、channel-2 などと呼びます）。各々の HAWAII-2 アレイは $2048 \text{ pix} \times 2048 \text{ pix}$ のフォーマットで、ピクセルスケールは $0.117 \text{ arcsec/pixel}$ です。2 つの検出器の互いに接している方では約 300 pix の幅に渡って光が入ってこない領域があります（図 4、この領域は分光モードの観測で使わ

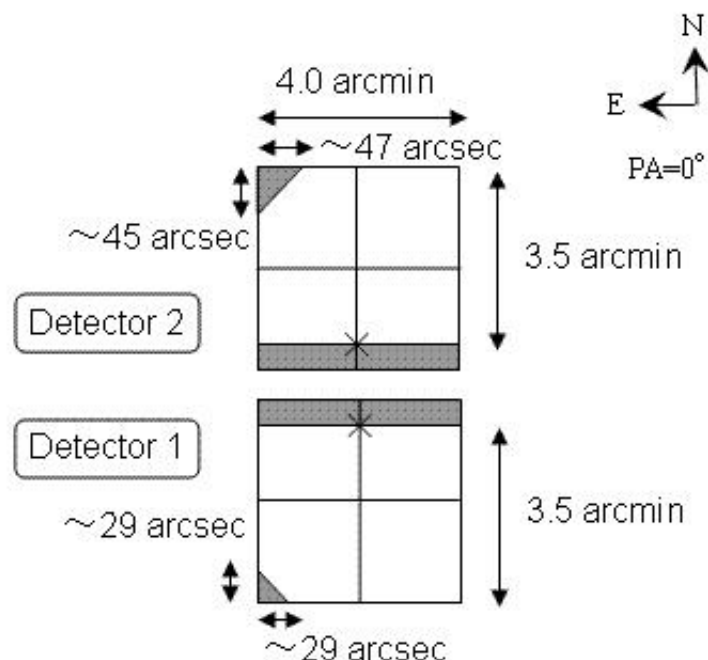


図 4: 2 つの検出器による MOIRCS の視野。左側の上と下の角はけられによってデータとしては使えない領域。Detector 1 の上部と Detector 2 の下部の帯状の領域も光が当たっておらず撮像観測では使用されない。

れます)。

1 回積分が行われる度に各々の検出器に対して 1 つずつ、計 2 つの FITS ファイルが生成されます。MOIRCS の生データの FITS ファイルは MCSA000?????.fits (????? はフレーム ID ナンバーが入ります) という名前がついていますが、channel-1 (図 4 における Detector 1) の検出器に対応する FITS ファイルは常に奇数のフレーム ID ナンバー (つまり下一桁が 1, 3, 5, 7, 9)、channel-2 (Detector 2) の検出器の FITS ファイルは常に偶数のフレーム ID ナンバー (channel-1 のナンバーに 1 を足した数) を持ちます。例えば、MCSA00014043.fits と MCSA00014044.fits がそれぞれ同時に観測された channel-1 と channel-2 の検出器のデータで、その次の積分のデータは MCSA00014045.fits と MCSA00014046.fits といった具合です。実際の FITS データの X、Y 軸の方向は図 3 や図 4 を時計回りの方向に横倒しした向きになっています (図 1 参照)。

4 MCSRED とは

MCSRED は国立天文台・ハワイ観測所の田中壱氏によって開発されている MOIRCS 撮像データ解析用ソフトウェアです。2007 年 10 月現在においても引き続き開発中の段階であり、今後も頻繁に改良・変更等が行われる可能性がありますので、MCSRED webpage (<http://www.naoj.org/staff/ichi/MCSRED/mcsred.html>) をある程度の頻度でチェックされることを推奨します。

5 MCSRED の取得方法

MCSRED は MCSRED webpage: <http://www.naoj.org/staff/ichi/MCSRED/mcsred.html> から最新版をダウンロードできます。

以下このテキストでは MCSRED 2007-09-18 版を前提として使い方を説明します。

6 MCSRED の使い方

通常 MOIRCS での観測の際に MCSRED を使いたい観測者に対しては、Support Scientist (SS) から簡単な説明がなされます。もし歪み補正についてのみのパッケージを使いたい場合には、SS から専用のタスクを受け取ることもできます。

以下は MCSRED についての完全な記述ではなく、どのように MCSRED を使っていけばよいかを簡単に説明したものです。

歪み補正及び 2 つの検出器のモザイクパターンは MOIRCS の昇温-冷却が行われる度に変わります。歪み補正データベースのバージョンが処理・解析しようとしている観測データに合ったものかどうかについては常に注意を払う必要があります。

6.1 インストール、準備

MCSRED は IRAF ver 2.12.2 の使用を前提としています。また SExtractor パッケージも必要です。

まず、MCSRED webpage からダウンロードした tar ファイルを任意のディレクトリに展開します。

```
$ tar xvzf mcsred20070918.tar.gz
```

6.1.1 IRAF の準備

MCSRED は IRAF 上で動作します (IRAF で動く複数のタスクからなるパッケージです)。また、本講習では MCSRED のタスク以外のちょっとした処理やデータのチェックなどにも IRAF を用います。

IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) は NOAO (アメリカ光学赤外線天文学観測所) から配付されている天文データの解析を行うための汎用ソフトです。IRAF homepage: <http://iraf.noao.edu/> からダウンロードして使うことができます。

今回の講習では基本的には光赤外データ解析計算機 sb 系マシン を使って MOIRCS 撮像データ処理を行います。sb 系マシンにはすでに ver 2.12 の IRAF がインストールされていますので、これを使って MCSRED を動作させることができます。ver 2.11 以前のバージョンの IRAF では、MCSRED で用いているいくつかの IRAF タスクがなかったり、タスクのパラメータが異なっていることによって、MCSRED が適切に動作しない場合があるので注

意が必要です。

IRAF を使うために、まず mkiraf というコマンドを実行します。任意のディレクトリで “mkiraf” と入力します。

```
$ mkiraf
- creating a new uparm directory
Terminal types: xgterm,xterm,gterm,vt640,vt100,etc.
Enter terminal type:
```

とターミナルタイプを尋ねてきますので、ここでは xgterm を選択します。

```
Enter terminal type: xgterm
A new LOGIN.CL file has been created in the current directory.
You may wish to review and edit this file to change the defaults.
```

となって、コマンドを実行したディレクトリに login.cl という IRAF のログインファイルが新しく作られます。このファイルには IRAF の各種の設定についての情報が入っています。MCSRED を使うためには、この login.cl に次のような追加・変更を行います。

以下の 2 文を追加 (login.cl の一番最後の keep と書いてある行のすぐ上にでも書き加えておくとよいでしょう)：

```
task $mcsred = (tar ファイルを展開したディレクトリのフルパス)/MCSRED/mcsred.cl
set dir_mcsred = "(tar ファイルを展開したディレクトリのフルパス)/MCSRED/"
```

以下の 1 行の変更 (“# Uncomment and edit to change the defaults.” の行の少し下に変更する文があります。変更した行の頭の '#' も忘れずに消しておきます。):

```
#set stdimage = imt800      —>      set stdimage = imt2048
```

IRAF を起動するには xgterm & と入力して新しくターミナルを開き、その開いたターミナルで login.cl のあるディレクトリに入って (login.cl を作ったディレクトリでそのまま xgterm & と打ってターミナルを開けば、そのターミナルはすでに login.cl のディレクトリに入った状態になっているはずです) cl と打ち込みます。

```
$ cl
```

```
NOAO Sun/IRAF Revision 2.12.1-EXPORT Wed Jul 10 13:33:04 MST 2002
This is the EXPORT version of Sun/IRAF V2.12 for SunOS 4 and Solaris 2.8
```

```
Welcome to IRAF.  To list the available commands, type ? or ??.  To get
detailed information about a command, type 'help command'.  To run a
command or load a package, type its name.  Type 'bye' to exit a
```

package, or 'logout' to get out of the CL. Type 'news' to find out what is new in the version of the system you are using. The following commands or packages are currently defined:

apropos	guiapps.	lists.	plot.	system.
color.	guidemo.	mscred.	proto.	tables.
dataio.	images.	noao.	softtools.	utilities.
dbms.	language.	obsolete.	stdsdas.	

cl>

これで IRAF が立ち上がりました (login.cl が無いディレクトリで cl コマンドを実行しても IRAF がうまく起動しないので注意が必要です)。

MCSRED のいくつかのタスクは IRAF タスクのパラメータがデフォルトの値になっていることを前提としています。上で説明したように新しく login.cl を作って IRAF を起動したばかりの状態では各タスクのパラメータはデフォルト設定の状態なので、そのまま MCSRED を使用できます。すでに login.cl を作ったあとに IRAF を使用していて、色々なタスクのパラメータを書き換えている場合には、IRAF に入った状態で

cl> unlearn iraf

のように unlearn を実行することで IRAF の全タスクのパラメータをデフォルト値に戻すことができます。現在の各タスクのパラメータ設定を別途残しておきたい場合には、IRAF のログインディレクトリ (login.cl があるディレクトリ) にある uparm/ 以下のファイルを unlearn を実行する前に別の場所にバックアップしておく必要があります。

IRAF を終了させるには logout コマンドを使います。

cl> logout

6.1.2 IRAF v2.12.1 の場合

今回の講習で使う sb 系マシンには IRAF v2.12.1 がインストールされています。MCSRED が前提として v2.12.2 との違いでソースの CL スクリプトを修正しておく必要がある箇所があります。

MCSRED のソースの CL スクリプトファイルは MCSRED の tar ファイルを展開したディレクトリの下に MCSRED/ ディレクトリにあります。

```
$ cd (tar ファイルを展開したディレクトリ)/MCSRED/
$ ls
```

とすると、****.cl という拡張子のついた CL スクリプトファイルがずらっとでてきます。そのなかの basename.cl というファイルの中で、"stridx" というタスクを使っている部分がありますが、これは IRAF v2.12.1 では導入されていないので使えません。かわ

りに <http://optik2.mtk.nao.ac.jp/subaru.red/MOIRCS/> に置いてある IRAF v2.12.1 用の `basename.cl` をダウンロードして、MCSRED/ディレクトリにコピーしておきます。

また、今回の講習では使いませんが、`invmask.cl` についても IRAF v2.12.1 で使うために 1 箇所修正しておく必要があります (7.2 節参照)。

6.1.3 環境変数の設定

MCSRED を動作させるには、前もって環境変数 `MCSRED_DIR` を定義しておく必要があります。

例: `bash` の場合

ホームディレクトリにある `.bash_profile` か `.bashrc` のファイルに以下の 1 文を書き加えます。

```
export MCSRED_DIR="(full path to the extracted directory)/MCSRED"
```

`tcsh` の場合

ホームディレクトリの `.cshrc` に以下の 1 文を加えます。

```
setenv MCSRED_DIR (full path to the extracted directory)/MCSRED
```

6.1.4 SExtractor

MCSRED の主要なタスクを使うためには SExtractor がインストールされている必要があります。SExtractor は光赤外分野で広く用いられている天体検出及び測光を行うためのソフトウェアです。もしまだインストールされていない場合には

http://terapix.iap.fr/rubrique.php?id_rubrique=91

からダウンロードしてインストールします。

sb系マシンではすでに SExtractor がインストールされていますので、今回の講習では改めてインストールする必要はありません。

6.1.5 MCSRED の始め方

`.bashrc`、`.cshrc` などを再読み込みした後、`cl` コマンドで IRAF を起動します。

```
(例えば) source ~/.cshrc
(login.cl のあるディレクトリで)
$ cl
cl>
```

それから `mcsred` と打ち込むことによって MCSRED パッケージが読み込まれます。

```
cl> mcsred

basename      fringesub      listprep      mossbing      sbselfsky
```

checkfrsb	gcrsbing	mcs_mksflat	nodlistprep	subskyimage
checkwdither	gmkgtrimages	mcsall	prmask	tsubanomaly
chkgmpdata	gsextcat	mcsdisplay	psfestimate	
cleanall	imreflection	mcsgeocorr	qchkfrsb	
cutpr	invmask	mcsimstat	qmsepskysb	
dmosing	kage	mkdome	quadcor	

mc>

MCSRED がロードされると “mc>” のプロンプトが表示されます。その上に表示されているのは MCSRED に入っているタスクのリストです。うまくいかない場合には login.cl の設定などをもう 1 度チェックしてみます。

ds9 等の画像表示ツールも立ち上げておきます。

(例えば) mc> !ds9 &

以上で MCSRED を使うためのおおまかな準備は完了です。

6.2 一括実行タスク: mcsall

mcsall はひとつの撮像データ処理を自動で一括して行うタスクです。mcsall はいわゆる「ディープ・フィールド」データ用になっており、非常にサイズの大きな天体が写っている場合にはスカイ引きなどの作業でうまくいかない可能性があります。ここでいう「非常に大きな」とは観測時に行うディザの幅に対してのものです。例えば視野の 1/4~半分を占めるような天体がある場合には mcsall は適切に動作しません。そのようなサイズの大きな天体を観測する場合には、観測時に GETOBJECT コマンドにおいて SKYNOD オプションを使ったりします。SKYNOD オプションを使用した観測データの処理・解析については別途専用のタスクが用意されています (7.1 節参照)。

また mcsall では 1 フレームごとにディザした (ずらして観測した) データになっていることが前提になっています。通常 MOIRCS の撮像観測では 1 フレームごとにディザして観測していますが、特別な理由でディザせずに同じ場所で連続して何フレームか観測しているような場合にはそのまま mcsall で処理することはできないので注意が必要です。

mcsall では次のような処理を行います (() 内は各工程に対応するタスク名):

- 1) 天体マスク作成 (mcs_mksflat)
- 2) フラットフィールド (imarith)
- 3) メジアンスカイ引き (sbsselfsky)
- 4) スカイの引け残りを低次関数 fitting を使って処理 (qmsepskysb)
- 5) 象限間の溝の補正 (quadcor)
- 6) 歪み補正 (mcsgeocorr)
- 7) 各フレームにおける天体検出 (gsextcat)
- 8) 位置合わせ及び足し合わせ (gmkgtrimages)

この他に入力 FITS ファイルリスト作成用タスク (listprep、6.2.2 節)、2 つの検出器のデータをモザイクするタスク (dmosimg、6.3.1 節) などが mcsall とは別にあります。以下では mcsall の使い方を簡単に説明します。mcsall で使われている各タスクの説明については Appendix A を参照してください。

6.2.1 本講習で用いる観測データ

今回は 2005 年 12 月 9 日に観測された HDF-N (Hubble Deep Field North) というブランクフィールドの MOIRCS 撮像データの処理を行います。ブランクフィールドとは特別な天体があるわけではなく、宇宙の一般的な性質を表していると考えられる視野のことです。今回の場合、遠方の (暗い) 銀河を調べるために極端に明るい天体がない領域として選択された視野になっていて、mcsall を使って処理を行うのに適したデータとなっています。このデータはハワイ大学の観測者によって取得されたものですが、すばる望遠鏡の観測データは通常観測から 1 年半後には公開されて、だれでも手に入れて使うことができます。

今回使うデータは sb 系マシンの “ /mb24h/kajiswms/GOODSN/MOIRCS_UH/FITS/ ” のディレクトリに置いてあります (http://optik2.mtk.nao.ac.jp/subaru_red/MOIRCS/ に

も tar ファイルが置いてあります)。

これらはすばる望遠鏡のアーカイブから 2005 年 12 月 9 日のデータを取得したものです。

```
$ ls /mb24h/kajiswms/GOODSN/MOIRCS_UH/FITS/
```

と ls コマンドを実行すると、MCSA000?????.fits という名前の MOIRCS の生データの FITS ファイルがずらっと出力されます。

このディレクトリには 12 月 9 日に観測されたすべてのデータが置いてあって、HDF-North 以外のいくつかの天体のデータや明るさの基準を決めるための標準星のデータも含まれています。どの天体をどのような設定でどれだけ観測したデータなのかという情報は各 FITS ファイルのヘッダと呼ばれるファイルの頭の方の部分に書き込まれています。IRAF にはこれらの情報を取り出すためのいくつかのタスクが用意されています。例えば、

```
mc> imheader /mb24h/kajiswms/GOODSN/MOIRCS_UH/FITS/MCSA00014027.fits
l+
```

と入力すると、指定した FITS データのヘッダ部分がまとめて出力されます。また、hselect タスクを用いることで知りたい情報だけをまとめて取り出すこともできます。

```
mc> hselect /mb24h/kajiswms/GOODSN/MOIRCS_UH/FITS/*.fits FRAMEID,
OBJECT,FILTER01,EXPTIME yes
```

MCSA00013675	DARK	J	13.000
MCSA00013676	DARK	K_CONT	13.000
MCSA00013685	DARK	J	13.000
MCSA00013686	DARK	K_CONT	13.000
MCSA00013687	DARK	J	13.000
MCSA00013688	DARK	K_CONT	13.000
MCSA00013689	DARK	J	13.000
MCSA00013690	DARK	K_CONT	13.000
.....			

hselect は最初の引数の “/mb24h/kajiswms/GOODSN/MOIRCS_UH/FITS/*.fits” で指定された FITS ファイルのヘッダから、次の “FRAMEID,OBJECT,FILTER01,EXPTIME” で指定されたキーワードの情報を読み取り、出力します。FRAMEID がフレーム番号のことで一番左に出力されていて、以下 OBJECT, FILTER01, EXPTIME がそれぞれ観測した天体、観測に用いたフィルター、積分時間を表しています。

3 節で述べたように奇数のフレーム番号が channel-1 の検出器のデータ、偶数番号が channel-2 の検出器のデータになっています。上の例ですと、channel-1 では J バンドフィルターを、channel-2 の方では K_CONT フィルターを使ってダークを 13 秒間の積分でとったデータであることがわかります (ダークフレームの観測ではどのフィルターで観測しても関係ない

のでこのようになっていますが、通常の天体の観測では channel-1 と channel-2 で常に同じフィルターを使います)。

このような情報から使いたいデータを選び出すことができます。情報を見たい度にこのタスクを実行するのは面倒なので、この結果をファイルに保存しておきます。これから自分が作業するのに使うディレクトリに移動し、

```
mc> hselect /mb24h/kajiswms/GOODSN/MOIRCS_UH/FITS/*.fits FRAMEID,  
OBJECT,FILTER01,EXPTIME yes > header.txt
```

と打つと、今度は結果が header.txt というファイルに書き込まれます。このファイルを

```
mc> less header.txt
```

などとやって中身を見てみると、先ほど画面上に出力されていた結果が入っているはずです。ずっと下の方まで見ていくと

MCSA00014016	LOCKMANHOLE	KS	100.000
MCSA00014017	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014018	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014019	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014020	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014021	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014022	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014023	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014024	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014025	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014026	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014027	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014028	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014029	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014030	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014031	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014032	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014033	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014034	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014035	HDFN2	KS	100.000
MCSA00014036	HDFN2	KS	100.000
MCSA00014037	HDFN2	KS	100.000
MCSA00014038	HDFN2	KS	100.000
.....			

という部分がでてきます。この HDFN1、HDFN2 の部分が Hubble Deep Field North (HDF-N) のデータであることを表しています。数字の 1 と 2 は二通りの視野をとったので

その視野ごとに数字が振ってあります。フレーム ID 番号は観測された順番（つまり時系列）になっていますので、

HDFN1 を 100 秒積分で 9 回観測 → HDFN2 の視野に移って同様に 9 回観測 → HDFN1 に戻って 9 回観測 → また HDFN2 へ → またまた HDFN1 を観測

の順番で、それぞれ HDFN1 が 9×3 回、HDFN2 が 9×2 回観測されていることを確認してみてください。データがすべて K バンド（正確には K_s バンド）で観測されたものであることも確かめられると思います。今回の講習ではこれらのデータの処理を行ってみます。

6.2.2 入力リストの準備

mcsall は 2 つの検出器のデータをそれぞれ独立に処理します。それに伴って入力する FITS ファイルリストもそれぞれの channel に対応したリストになります。この入力ファイルリストをタスク listprep を使って作ります。

listprep はこれから処理しようとしている FITS ファイルが置かれているディレクトリ、作成されるリストのルート名、一括処理したいデータのうちの最初の ID ナンバー、同じく最後の ID ナンバーをそれぞれ指定して実行すると、channel-1 と channel-2 それぞれに対応する FITS ファイルリストを作成します。例えば、前節で見たデータのうち HDFN1 の視野の最初の 9 枚分を一括処理する場合、

```
mc> listprep /mb24h/kajiswms/GOODSN/MOIRCS_UH/FITS/ hdfn1 14017 14034
```

と打ち込むと、

hdfn1_1.lst — channel-1 の FITS ファイルリスト

hdfn1_2.lst — channel-2 の FITS ファイルリスト

という 2 つのファイルが出来上がります。hdfn1_1.lst には奇数番号の FITS ファイル、hdfn1_2.lst には偶数番号の FITS ファイル名が書き込まれています。

6.2.3 画像のチェック

mcsall は入力パラメータとして大雑把なシーイングサイズ（PSF の FWHM）とデータのサチュレーションレベル（検出器の各ピクセルが飽和してしまう、又は線形性を失ってしまう目安のカウント）を入力する必要があります。処理しようとしている観測データの PSF を大雑把でいいので調べておきます。

観測に参加している場合には、大抵 PSF をチェックしながら観測を進めたり、その PSF の情報を観測ログにメモしたりしているので、おおよその値はすでに見当がついている場合が多いと思います。今回のようにアーカイブから取得したような場合には、まずはデータの様子を調べてみます。

2 節で述べたように生データそのままでは空に埋もれて天体の様子がはっきりわからない

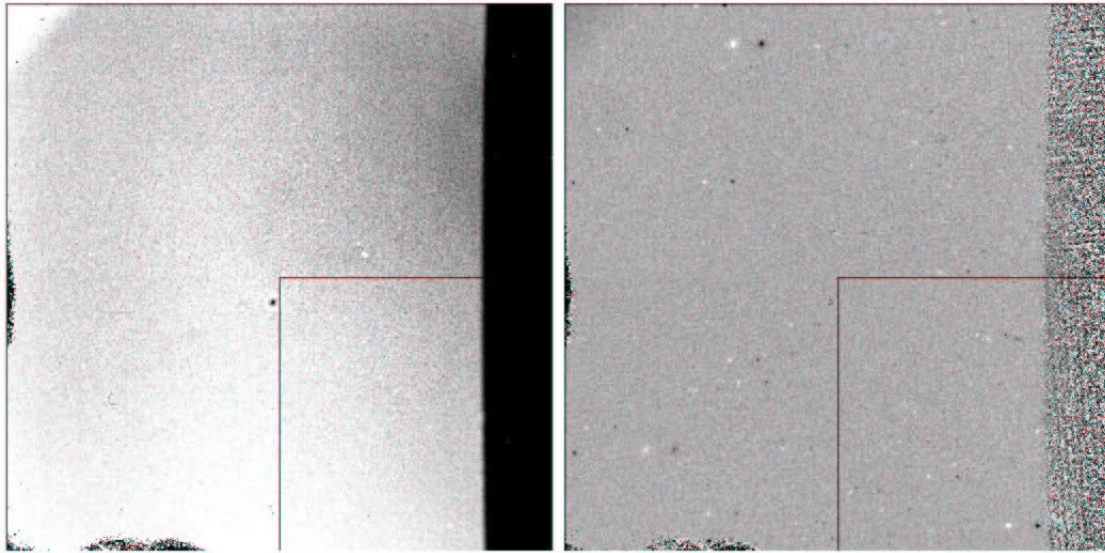


図 5: 生データ（左、MCSA00014017.fits）と生データを直後に取られた生データで割った画像（右、MCSA00014017.fits/MCSA00014019.fits）

ので（図 5）、ここでは手っ取り早くデータの様子を見るために、ある生データをそのすぐ後にとられた生データで割ってみます。

まずは生データを見てみます。例えば

```
mc> display MCSA00014017.fits 1 zr- zs- z1=7000 z2=18000
```

次に生データをすぐ後のデータで割り算して、様子を見てみます。

```
mc> imarith MCSA00014017.fits / MCSA00014019.fits ql14017.fits
mc> display ql14017.fits 1 zr- zs- z1=0.95 z2=1.05
```

天体が見えるようになったら、サイズを測ってみます。

```
mc> imexamine
```

と入力すると、ds9などの画像表示ソフト上にカーソルが出ますので、カーソルを天体の上まで持っていき'a'を入力します。

```
mc> imexamine
#   COL    LINE   COORDINATES
#   R     MAG   FLUX    SKY    PEAK    E    PA BETA ENCLOSED   MOFFAT DIRECT
1546.00  808.41 1546.00 808.41
    17.57  31.75  2.702   1.019 0.07123 INDEF   57 3.09    6.27    5.69   5.92
```

ここで、ENCLOSE, MOFFAT, DIRECT といったあたりが天体の FWHM の推定値を示し

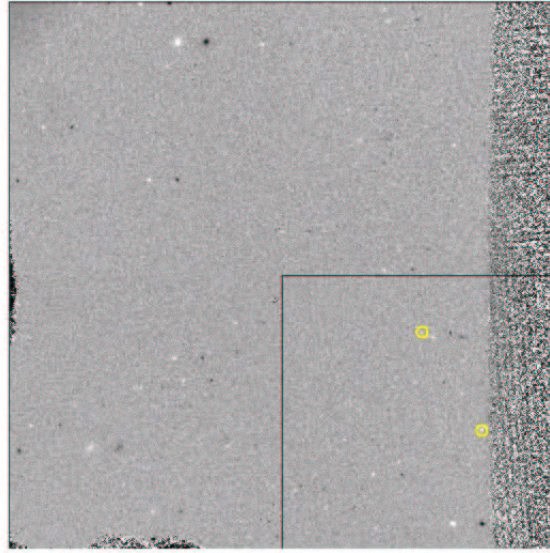


図 6: 生データを直後に取られた生データで割った画像。2つの星が黄色の○で囲まれている。

ています（単位はピクセル）。見えているいくつかの天体に対して試してみます。

```
mc> imexamine
```

#	COL	LINE	COORDINATES								
#	R	MAG	FLUX	SKY	PEAK	E	PA	BETA	ENCLOSED	MOFFAT	DIRECT
1546.00	808.41	1546.00	808.41								
17.57	31.75	2.702	1.019	0.07123	INDEF	57	3.09	6.27	5.69	5.92	
1364.85	280.42	1364.85	280.42								
20.71	31.40	3.714	1.018	0.046	0.41	-4	1.44	7.89	7.09	6.95	
1771.63	446.80	1771.63	446.80								
18.78	30.61	7.669	1.017	0.1179	0.22	88	4.10	6.49	6.33	6.25	
524.76	1381.21	524.76	1381.21								
21.89	30.88	6.022	1.018	0.06351	0.21	28	2.32	7.32	7.84	7.30	
126.43	1578.40	126.43	1578.40								
18.10	30.80	6.451	1.017	0.1055	0.15	-22	4.23	6.28	6.47	6.06	
631.54	1897.00	631.54	1897.00								
28.80	29.17	29.04	1.018	0.1134	0.06	70	3.00	13.33	9.61	9.61	

こうして測った天体のうち、小さなサイズを持つものが星又は星に近い天体と考えられます。例えばこの例では 図 6 で黄色の丸で囲まれた 2 つ天体は星です。このようにサイズの小さい天体の FWHM のおおよその値を PSF の目安として覚えておきます。

imexamine は画像表示ソフト上で 'q' を入力すると終了します。

サチュレーションレベルは COADD=1 の通常のデータの場合、およそ 22000 ADU（channel-1 の場合、channel-2 だと 25000ADU 程度）が目安になります。COADD=3 の場合は $22000 \times 3 = 66000$ ADU が目安になります。COADD とは、全く同じ場所である程度の積分時間を

とりたいたにもかかわらず、近赤外観測のように明るい背景光によって1回の積分時間が短く制限されてしまう場合に、各ピクセルから読み出したカウント値を FITS ファイルに書き出さずにメモリに蓄えておき、また次の積分で読み出されたカウント値をメモリ上で足しあげておいて、複数回積分した後にその合計のカウント値を FITS ファイルに書き出すという手法のことで、おおよそ COADD した回数倍だけ大きい値のカウントの FITS データとなります。COADD の回数も各 FITS ファイルのヘッダに情報として与えられていて、

```
mc> hselect @hdfn1_1.lst FRAMEID,COADD,EXP1TIME,EXPTIME yes
```

MCSA00014017	2	50.000	100.000
MCSA00014019	2	50.000	100.000
MCSA00014021	2	50.000	100.000
MCSA00014023	2	50.000	100.000
MCSA00014025	2	50.000	100.000
MCSA00014027	2	50.000	100.000
MCSA00014029	2	50.000	100.000
MCSA00014031	2	50.000	100.000
MCSA00014033	2	50.000	100.000

のように見ることができます。この場合 COADD=2 で、前節で見た積分時間 100 秒というのは実は 1 回 50 秒の積分を 2 回 COADD した結果だったことがわかります (EXP1TIME というキーワードが 1 回の積分時間を示していて、EXPTIME は合計の積分時間 COADD × EXP1TIME の値になっています)。

6.2.4 タスクの実行

mcsall では 2 つの検出器のデータを独立に処理します。2 つの検出器のデータをモザイクするためには、mcsall で歪み補正 (3.2.2 節における工程 6) まで処理したデータを使ってタスク dmosimg (次節で説明) を実行することになります。

mcsall を実行する前にまずパラメータのチェックを行います。

```
mc> lpar mcsall
inlist = "hdfn1_1.lst" The list of raw images in current directory
resimg = "hdfn1_nol_ch1.fits" output final image name
(dodk = no)          Subtract the dark frame ?
(dark = )            The name of the user-supplied Dark Frame
(dosf = yes)         Use a self-flat instead of external flat data?
(flat = )            The name of the sky flat or user-
(jump = 1)           jump the i-th procss
(bye = 8)            stop at the i-th procss
(nself = 3)          2 x nself frames are used for making sky
(minfw = 5.)         Minimum FWHM for matching catalog
(maxfw = 15.)        Maximun FWHM for matching catalog
```

```

(satur = 22000.)          Saturation count
(thres = 5.)              SExtractor: detect_thresh
(conn = 16)               SExtractor: connected pixel
(disg = yes)              Display the process?
(config = "dir_mcsred$DATABASE/ana_dec05.cfg") the name of mcsred config
(mode = "q")

```

各パラメータの説明：

dodk, dark — ダーク引きを行うかどうか、また行う場合に用いるダークフレームを指定するパラメータです。MOIRCS データでは通常ダーク引きは行っていません。これはダーク自体のカウントレベルが比較的小さいことに加えて、実際に天体やドームフラットの観測の場合には、ラレント画像又は残光と呼んでいる検出器への光の入射強度に依存した（今のところ正確に測定できていない）成分がデータに加わっていて、これがダークに比べてかなり大きいことが理由です。このラレント成分がのっていることによってフラットフレームの作成に系統的な誤差（おおよそ 2-3% から最大 8% 程度と推定されています）が生じます。

dosf, flat — セルフフラットを使用するかどうかを指定するパラメータです。flat パラメータにはセルフフラットを使う場合は作成されるセルフフラットフレームのファイル名を、セルフフラットを作成せずにすでに手元にあるドームフラットなどを代わりに使用する場合は使用するフラットフレーム名を入力します。ドームフラットの方がセルフフラットに比べて天体やフリンジの影響（例えば 7.2 節、7.3 節参照）を受けない利点がありますが、全体的な感度の傾きがドームフラットでは天体を観測した時と多少異なるという欠点もあります。また、ドームフラットを使う場合は同じ観測ランで取得されたドームフラットを用います。これは、MOIRCS の昇温-冷却が行われる度に 2-3% レベルで各ピクセルの感度の変動が見られるためです。今回の講習ではセルフフラットを使った処理を行うので、dosf は "yes" にしておきます。

jump, bye — もし mcsall が 6.2 節で述べた工程のどこか途中で終了してしまった場合、jump パラメータで指定する番号の工程から再スタートさせることができます。逆に mcsall を途中で止めたい場合は bye パラメータで指定する番号の工程で終了させることができます。

nself — スカイ引きの工程で用いるメジアンスカイを何枚のフレームから作成するかを指定するパラメータです。ある 1 枚の天体フレームに対するメジアンスカイはその天体フレームの直前の nself 枚及び直後の nself 枚、合わせて $2 \times nself$ 枚から作られることになります。通常 nself=3-4 が使われることが多いです。個々のフレームの積分時間や観測時のスカイコンディションに応じて程よい値を選びます（A.2 節参照）。

minfw, maxfw — 画像の位置合わせの工程で使う天体の大きさ（FWHM の最小値と最大値）の範囲を指定します。minfw には処理しようとしているデータの PSF より少し小さいくらいの値を入れておきます。これによって各画像の星よりもずっと小さいバッドピクセルや宇宙線が位置合わせの工程に悪影響を及ぼすことを防ぐことができます。maxfw

には観測データの PSF の 2 倍の値、 $2 \times \text{FWHM}$ 程度を入力しておくといいいでしょう。あまりにサイズの大きな天体では位置を決める精度が落ちてしまう危険性があります。

satur, thresh, conn — 位置合わせの工程で使うための天体を検出する際に用いる SExtractor のパラメータを指定します。それぞれ SExtractor での SATUR_LEVEL, DETECT_THRESH, DETECT_MINAREA, の各パラメータに対応しており、天体にフラグを立てるサチュレーションレベル（サチってしまっている天体では位置が正確に求まらない危険性があるので、これを除くために使います）やどれくらい有意にスカイより高いカウントのピクセルがどの程度つながっていたら天体と見なすかを指定します。thresh パラメータは通常 SExtractor の DETECT_THRESH に使われる値よりも大きめに設定しておきます（A.6 節参照）。6.2.3 節で述べたように、サチュレーションレベルの目安は 22000（25000） $\times$ COADD ですが、（2007-9-11 版以降の）mcsall では COADD のファクター分の補正を自動で行うので、satur には常に COADD=1 に対する目安である 22000（25000）程度を入力しておきます。

disp — 自動で処理の途中経過の画像表示を行うかどうかを指定します。画像表示を行う場合には mcsall の実行前に ds9 などの画像表示ツールが立ち上がっていることを確認してください。

config — 処理しようとしている観測データに対応するコンフィギュレーションファイルを指定します。MOIRCS の昇温-冷却が行われる度に歪み補正に関連するデータベースは変更されます。観測データの歪み補正及びその後の位置合わせを正しく行うためにはそのデータに合ったコンフィギュレーションファイルを指定する必要があります。以下にコンフィギュレーションファイル名と対応する観測時期を示します。

ana_jan05.cfg	2005 年 1 月（機能試験観測）
ana_dec05.cfg	2005 年 12 月（機能試験観測）
ana_jan06.cfg	2006 年 1 月-3 月
ana_mar06.cfg	2006 年 4 月-7 月
ana_aug06.cfg	2006 年 8 月-10 月
ana_nov06.cfg	2006 年 11 月 - 2007 年 1 月
ana_feb07.cfg	2007 年 2 月-3 月
ana_may07.cfg	2007 年 4 月-6 月
ana_aug07.cfg	2007 年 7 月-10 月

例えば今回の講習で使うデータは 2005 年 12 月 9 日の観測データですので、ana_dec05.cfg を入力することになります。

準備ができれば、例えばシーイングが 4.5-6.0 ピクセル程度の観測データの場合、

```
mc> mcsall hdfn1_1.lst hdfn1_nol_ch1.fits dosf+ flat=Selfflat_1_ch1.fits minfw=4.  
maxfw=15 satur=22000 thres=4.5 conn=10 config=dir_mcsred$DATABASE/ana_
```

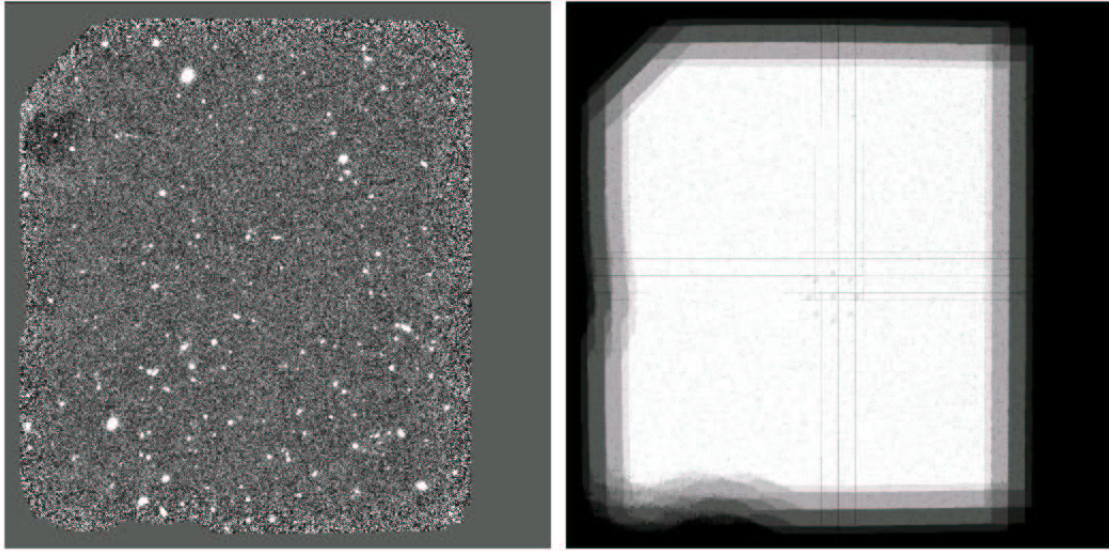


図 7: mcsall で足し合わせた画像（左）と exposure map（右）

dec05.cfg

のように実行します。

タスクの所用時間はコンピュータの性能に依存します。一例を挙げると、DUAL CPU 3.6 GHz, 4GByte memory の PC を用いた場合で、20 枚のフレームのデータの処理に約 35 分程かかります。

mcsall が終わると図 7 のような足し合わせ画像が出力されます。足し合わせた画像とともにログファイルや exposure map など出力されます（6.3.3 節参照）。また、mcsall の各段階でどのようなファイルが出力されるかについては Appendix B を参照してください。

上の例では channel-1（hdfn1_1.lst）のデータの足し合わせでしたが、足し合わせができたら channel-2 の方のデータに対しても同様に mcsall を実行します。

6.3 画像のモザイク

channel-1 と channel-2 のデータ画像のモザイクを行うためにタスク dmosimg が用意されています。dmosimg は歪み補正済みの 2 つの検出器のデータを入力すると、入力した 2 枚の画像をモザイクした画像を出力します。

作業手順としては、

- 1) mcsall で歪み補正（6.2 節で述べた工程 6）まで処理したデータ（ファイル名は gcSBsbflMCSA000?????.fits）のリストを dmosimg に入力。
- 2) dmosimg はそれぞれの組（channel-1 と channel-2）をモザイクした画像を出力。
- 3) gsextcat を用いて各モザイク画像において位置合わせのための天体検出（6.2 節の工程 7）
- 4) gmkgtrimages を用いて各モザイク画像の位置合わせ及び足し合わせ（6.2 節の工

程 8)

と結局、6.2 節で述べた mcsall の工程の 6) と 7) の間に dmosimg の処理を加えた形になります。

画像のモザイクを行う際にはモザイクする 2 つの画像のゼロ点 (1ADU/sec あたりの明るさ) を合わせるために、前もって 2 つの検出器の感度の比を求めておく必要があります。dmosimg ではこの 2 つの検出器の感度比を表すパラメータ `sc` が次のように定義されています。

$$\text{channel-1 の感度} = \text{sc} \times \text{channel-2 の感度}$$

6.3.1 モザイクタスク dmosimg

dmosimg は mcsall でフラットフィールド、スカイ引き及び歪み補正の処理をされたデータのリストを入力すると、各フレームの channel-1 と channel-2 をモザイクした画像を出力します。

最初に次の例のようにして入力ファイルリストを用意します。入力リストは mcsall で出力される画像のうち gcSBsbfMCSA000?????.fits を順番に並べたものです (mcsall で出力されるファイルについては Appendix B 参照)。

```
mc> files gc*fits > gcall.lst
mc> type gcall.lst
gcSBsbfMCSA00014017.fits
gcSBsbfMCSA00014018.fits
gcSBsbfMCSA00014019.fits
gcSBsbfMCSA00014020.fits
....
```

dmosimg の入力リストには同時に観測された channel-1 と channel-2 のデータがセットで存在していることが前提となっています。また、リストは奇数番号のファイル (channel-1 データ) で始まり、偶数番号のファイル (channel-2 データ) で終わっている必要があります。

次にパラメータのチェックです。

```
mc> lpar dmosimg
inlist = ""           input distortion-corrected file list
froot =               the root name for mosaicked individual images
(sc = 0.8)           Sensitivity scale factor of chip 2.
(config = "dir_mcsred$DATABASE/ana_feb07.cfg") the name of mcsred config
```

```
(sky = yes)          subtract sky?
(dispatch = yes)      Display the result?
(mode = "q")
```

inlist — 上で作成した入力ファイルリストを指定します。

froot — 出力されるモザイク画像のルート名を指定します。出力されるファイル名は例えば次のようになります。

```
tmos_000?.fits (?=1,2,3,...)
mos_gcall.lst ... 出力画像のリスト。(mos_入力リスト名)
```

sc — 前節で述べた channel 間の感度比を表すパラメータです。sc は基本的には天体データとともに取得した標準星データから求めたそれぞれの channel でのゼロ点の差から求めます（標準星データの処理については 6.4 節参照）。

$$sc = 10^{[ZP(ch1) - ZP(ch2)]/2.5}$$

ここで ZP(ch1) と ZP(ch2) はそれぞれ channel-1 と channel-2 のゼロ点です。ディザ幅をある程度以上の大きさで観測した場合には、mcsall でそれぞれの channel で独立に足し合わせた後に channel-1 の足し合わせ画像の右端と channel-2 の足し合わせ画像の左端にある程度の幅の共通部分ができるので、この境界近くの領域に比較的明るい天体が両方の画像に写っている場合にはそれらの天体のカウントを測って感度比を決めることができることもあります。

現在使われている各広帯域フィルターでの sc の目安を以下に紹介しておきます（MCSRED のタスクで作成したスカイフラットやドームフラットを使用した場合の値です）。

```
# 20060601 - Ks+CSL:  sc=0.813 (under the use of the mcsred flatfield data)
# 20061210 - J+CSL:   sc=0.8913 (under the use of the mcsred flatfield data)
# 20061210 - H+CSL:   sc=0.9120 (under the use of the mcsred flatfield data)
```

config — mcsall の時と同様に観測データに合ったコンフィギュレーションファイルを指定します。

sky — スカイ引きを行うかどうかを指定します。”sky=yes”にした場合、モザイクを行う前に各 channel の真ん中付近の領域（[700:1300,700:1300]）でメジアン値を求め、その値をスカイとして画像全体から引き去ります。

準備ができたら実行します。例えば、

```
mc> dmosimg gcall.lst tmos sc=0.813 config=dir_mcsred$DATABASE/ana_dec05.cfg
```

図 8 のようなモザイク画像が対応する枚数分出来上がります。デフォルト設定における出力される各モザイク画像のフォーマットは 3569 pix × 2048 pix で、ピクセルスケールは

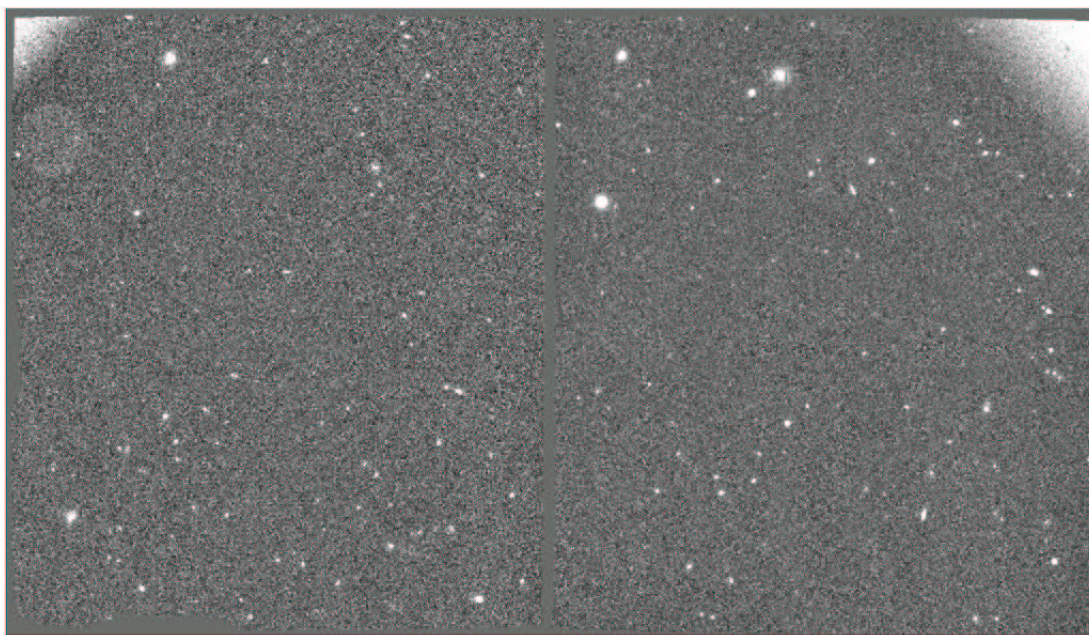


図 8: dmosimg でモザイクした画像

0.117 arcsec/pix になっています。dmosimg は画像データのカウンタ値を channel-1 の方に合わせるので、出来上がったモザイク画像のゼロ点は channel-1 に対して求めた値を使います。

Elevation が 45 度以下のデータでは装置のたわみによって dmosimg におけるデフォルト設定のモザイク規則では合成の精度があまり良くないので注意が必要です。dmosimg でうまく合成されない場合は mcsall で足し合わせた各 channel のデータに WCS を張って channel 間の相対位置を決定するなどの作業が必要になります。

6.3.2 天体検出 gsexcat

gsexcat は MOIRCS 画像で天体検出を行うためのタスクです。パラメータは次のようになっています。

```
mc> lpar gsexcat
  infile = "@mos_gcall.lst" Input image name (allow @list format)
  detmin = 12                -DETECT_MINAREA parameter in sextractor (int).
  thresh = 5.                -DETECT_THRESH parameter in sextractor (real).
  satur = 22000.             -SATUR_LEVEL parameter in sextractor.
  minfw = 5.                 Minimum size of objects for output catalog.
  maxfw = 15.                Maximum size of objects for output catalog.
  (disp = yes)               Display and check result by display?
  (recent = no)              Execute recentering for SExtractor output?
  (nlimit = yes)             Limit the number of SExtractor output object?
  (cx0 = 101)                Beginning x coordinages for cut-out region
```

```

(cy0 = 101)           Beginning y coordinages for cut-out region
(cwx = 1848)          x size of the cut-out region
(cwy = 1848)          y size of the cut-out region
(mode = "q")

```

inlist — 天体検出にかける画像ファイル名、又は画像ファイルのリストを入力します（画像のリストを入力する場合はリストファイルの名前の頭に '@' をつけ加えます）。

detmin, thresh, satur — SExtractor の DETECT_MINAREA, DETECT_THRESH, SATUR_LEVEL の各パラメータを指定します（6.2.4 節の satur, thresh, conn の項参照）。

minfw, maxfw — SExtractor によって検出された天体のうち位置合わせに用いる天体のサイズ（FWHM）の範囲を指定します。これらのパラメータで指定される範囲外のサイズの天体はカタログから除かれます（6.2.4 節の minfw, maxfw の項参照）。

recent — 検出された天体の中心座標を center タスクを用いて再評価するかどうかを指定します。

nlimit — nlimit オプションを使うと明るい方から 90 個までの天体のみのカタログが出力されます。

cx0, cy0, cwx, cwy — SExtractor で検出された天体のうち位置合わせに用いる天体の座標範囲を指定します。cx0, cy0 が始点の X 座標、Y 座標を表し、cwx, cwy が用いる領域の X 方向、Y 方向の大きさを示します（[cx0:cx0+cwx-1, cy0:cy0+cwy-1] の領域の天体が位置合わせに使われます）。

cx0, cy0, cwx, cwy パラメータのデフォルト設定は mcsall のように各 channel 独立に処理する場合を想定した値になっているので、モザイク画像の位置合わせを行う場合には、例えば cx0=100, cy0=100, cwx=3369, cwy=1848 のような値を入力します。

```

mc> gsexcat @mos_gcall.lst 12 5 4 10 cx0=100 satur=22000 cy0=100 cwx=3369
cwy=1848

```

detmin, thresh などの天体検出の条件を決めるパラメータや用いる天体のサイズ範囲を指定する minfw, maxfw のパラメータは、最終的な（位置合わせに使われる）天体数がおおよそ 50-150 くらいになるように設定しておくことをお勧めします（nlimit オプションを "yes" にしておくことで、カタログされる天体数を明るい順に 90 個までに制限することができるので便利です）。天体数が少なすぎたり、又は多すぎたりすると次の位置合わせの工程で失敗することがあります。

6.3.3 位置合わせと足し合わせ gmkgtimages

gmkgtimages は各フレームの相対位置を測定して位置合わせをして、最後に足し合わせを行うタスクです。

```

mc> lpar gmkgtrimages
    inlst = "mos_gcall.lst" The list of input images with associated
    output = "hdfn1mos_no1.fits" Name of result image
    (chkbox = no)           Automatically define the final image size?
    (xbox = 300)           Dither box size in x in pixels
    (ybox = 300)           Dither box size in y in pixels
    (xc1 = 150)            Relative x coord of 1st image in dither box
    (yc1 = 150)            Relative y coord of 1st image in dither box
    (xdim = 2048)          Input image size in x
    (ydim = 2048)          Input image size in y
    (allcomb = yes)        Execute the final combine process?
    (combine = "average")  Type of the final combine operation
    (reject = "sigclip")   Type of rejection
    (zero = "none")        Image zero point offset
    (fitgeo = "shift")     geomap type: SHOULD BE rotate/shift
    (lsigma = 3.)          Lower sigma clipping factor
    (hsigma = 3.)          Upper sigma clipping factor
    (skip = no)            Skip all processes except the final combine?
    (disp = yes)           display the final result?
    (gtrlst = " ")         List of images for final combine
    (mode = "q")

```

inlst — 入力ファイルリストを指定します。前節の gsexcat と同じファイルを指定します（ただし '@' は必要ありません）。

output — 出力される足し合わせ画像のファイル名を指定します。

chkbox — 出力される足し合わせ画像のサイズフォーマットをタスクに自動決定させるかどうかを指定します。

xbox, ybox — 入力される画像のサイズに対する出力される足し合わせ画像のサイズフォーマットの増分を示します。xbox, ybox に観測時に使ったディザ幅を指定しておく、どの方向に振ったフレームに対しても端が切れることなくすっぽり収まる足し合わせ画像のサイズを確保できます（ただしディザ幅ピッタリにすると厳密に正しく中心をとらないとすぐにいずれかのフレームの端が切れてしまうので、通常はディザ幅よりさらに余裕をもった値を入力しておきます）。

xc1, yc1 — 入力リストの最初の画像と出力される足し合わせ画像の相対シフト量を指定します。入力リストの最初の画像の (X_PIXEL, Y_PIXEL) の点が足し合わせ画像の (X_PIXEL+xc1, Y_PIXEL+yc1) の座標にくるように座標系がとられます。

xdim, ydim — 入力する画像のサイズフォーマットを指定します。

allcomb — 足し合わせを行うかどうかを指定します。”allcomb= no”を入力すると、gmkgtrimages は各フレームの相対シフト量を測って位置合わせを行った段階で終了します。

combine, reject, zero, weight, lsigma, hsigma — 足し合わせをする際の imcombine のパラメータを指定します。combine は average, median, sum など足し合わせの方法を示します。reject は sigma clipping などの統計的にはずれたデータを除去するアルゴリズムを指定します。sigma clipping 系の除去アルゴリズムを用いる場合には lsigma, hsigma で sigma clipping factor (何 σ 以上平均値からはずれていたら除去するか) を高低それぞれに対して指定します。zero は定数を加減算することでスカイの高さ (メジアン値) を合わせるかどうかを指定します。weight は重み付き平均で足し合わせる時の重みの付け方を指定します。各フレームの積分時間で重みをつける ”exptime” と、各フレームの pixel-to-pixel 統計の分散の逆数で重みをつける ”sigma” のオプションがあります。

fitgeo — 位置合わせを行う際にどのような座標変換 (geomap) を行うかを指定します。XY 方向の平行移動で合わせる ”shift” と、XY シフトに回転も含めた ”rotate” のいずれかを選択します。

gtrlst — 足し合わせの直前の位置合わせを済ませた画像のリストの名前を指定します。

skip — “skip=yes” にすると、gmkgtrimages は相対シフト量の測定と位置合わせの処理を飛ばして、最後の足し合わせのみを行います。この場合、gtrlst にすでに位置合わせの処理が済んでいる画像のリストを入力する必要があります。一度 gmkgtrimages を実行した後に足し合わせの方法や除去アルゴリズムだけを変更して、再度足し合わせ作業を行いたい場合などに使います。

gmkgtrimages では出力画像 (足し合わせた結果及び足し合わせる直前の位置合わせした各フレーム) は 1 秒積分あたりのカウントにスケールされています (A.7 節参照)。

gsxcat と同様にデフォルトのパラメータ設定は個々の channel のデータの処理に適したものになっています。モザイク画像に対して gmkgtrimages を行う場合には、xdim=3569, ydim=2048 などと入力画像のフォーマットを指定する必要があります。

```
mc> gmkgtrimages mos_gcall.lst MOSRESULT.fits xdim=3569 ydim=2048 gtrlst=
GTRmos_gcall.lst
```

一度 gmkgtrimages を実行後に、今度は重み付け平均の代わりにメジアンを使い、minmax の除去アルゴリズムで足し合わせたい場合には、

```
mc> gmkgtrimages mos_gcall.lst MOSRESULT2.fits xdim=3569 ydim=2048 comb=
median reject=minmax gtrlst=GTRmos_gcall.lst skip+
```

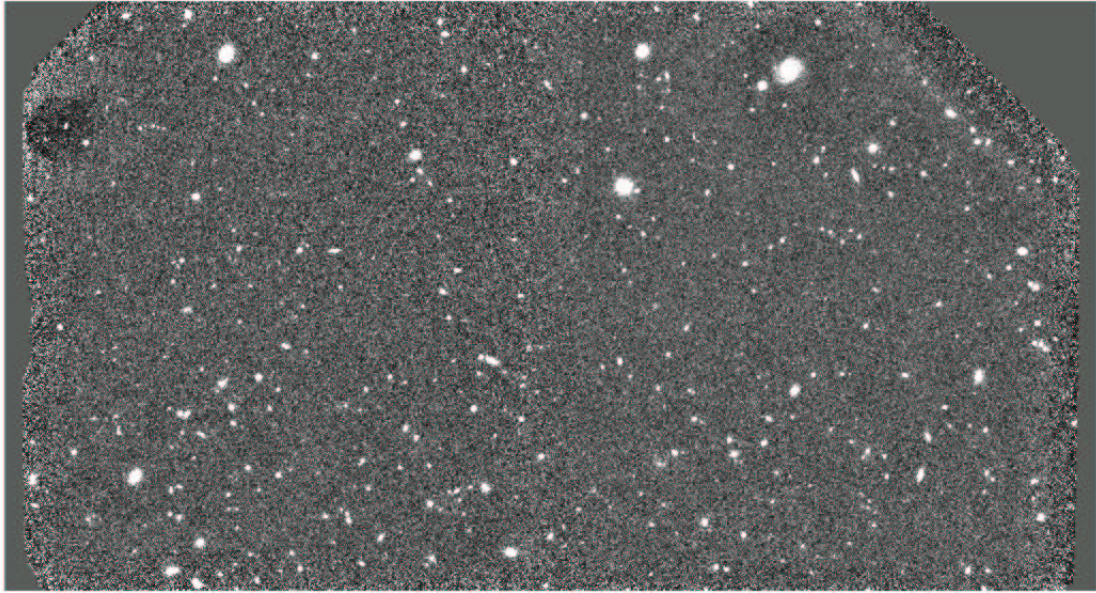


図 9: モザイク画像を gmkgtrimages で足し合わせた画像

足し合わせが完了すると図 9 のような画像が出力されます。足し合わせた画像データと位置合わせされた各フレーム（及び各フレームの bad region に対するマスク画像）の他に、以下のファイルが出力されます。

gmp 入力リスト.log — ログファイル（上の例の場合 gmpmos_gcall.lst）
 exp_出力画像ファイル名.pl — exposure map（1ADU が 1 秒積分に相当している画像、exp_MOSRESULT.fits.pl）
 sgm_出力画像ファイル名 — sigma image（足し合わせする時の各ピクセルでのフレーム間の標準偏差の画像、sgm_MOSRESULT.fits）
 出力画像ファイル名.pl — 足し合わせ画像に対する bad region のマスクデータ（MOSRESULT.pl）

6.4 標準星データ

通常の撮像観測では測光ゼロ点（1ADU/sec あたりの明るさ）を決めるための標準星を天体データとなるべく近いコンディション（天体を観測した直前又は直後、天体となるべく近い airmass 等）で観測します。標準星のデータも通常の全体読み出しのデータの場合には天体と同じように mcsall で処理することができます。ただし、標準星の観測においては部分読み出しが使われることがあり、この場合は mcsall を使って一括処理することはできず、別途個々のタスクを使って処理することになるので注意が必要です（7.4 節参照）。

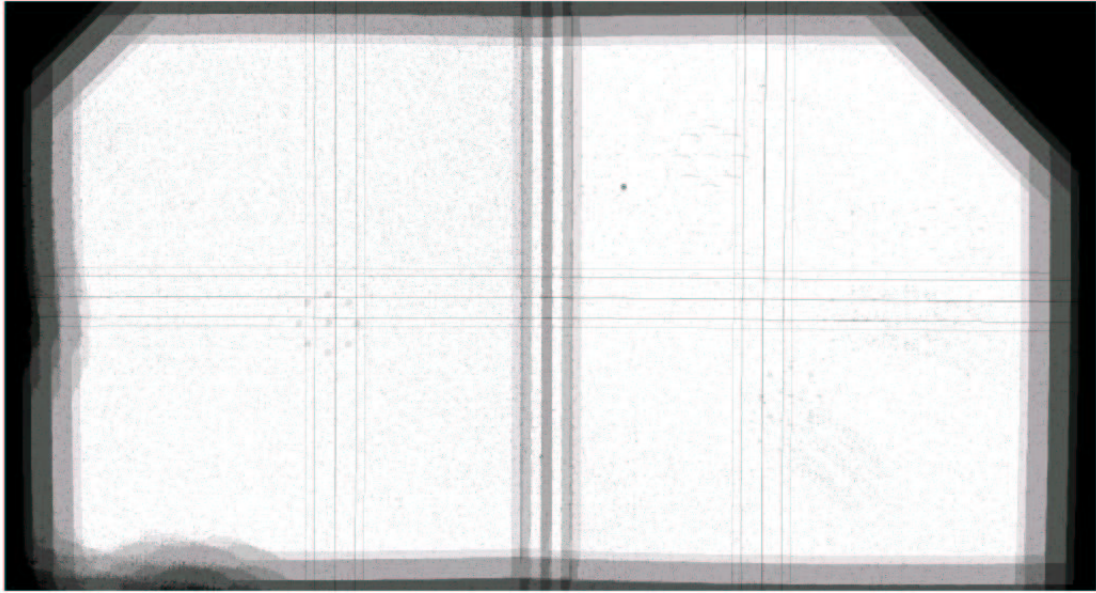


図 10: 足し合わせたモザイク画像に対する exposure map

6.4.1 部分読みについて

MOIRCS にはシャッターがないので、可能な最低露出時間は検出器の読み出し時間に依存しており、通常使われている全体読み出しでは 13 秒積分が最低露出時間となっています。標準星は基本的に比較的明るいので、13 秒も積分するとサチって（検出器が飽和して）しまうことがあります。デフォーカスして像をぼかすことで星のピークの明るさを減らして検出器の飽和を回避することができる場合もありますが、明るめの標準星を観測する際には検出器の読み出しを真ん中の一部（全体の 2048pix × 2048pix のうち、1024×1024 や 512×512 など）に限定することによって読み出し時間を短くして、より短い積分時間にすることがあります。部分読みしたかどうかの情報は FITS ファイルのヘッダの PRD-MIN[12], PRD-RNG[12] というキーワードに記録されています。今回の講習で扱う標準星データは全体読み出しのデータですので、mcsall を使って処理できます（部分読みデータの処理については 7.4 節参照）。

6.4.2 標準星データの処理

標準星のデータについては通常 1 枚 1 枚のフレームにおいて十分高い S/N のデータになっている場合が多いので、必ずしも足し合わせる必要がなかったり、画像上の異なる位置での系統的な誤差の有無などを見る場合にはスカイ引き（あるいは歪み補正）まで進んだ段階で処理を止めることもあります。mcsall を途中で止めたい場合には例えば "bye=5" と指定しておく、スカイ引きを行った段階でタスクが終了します（6.2.4 節参照）。

標準星データの処理で重要な点は天体データを処理した時と全く同じフラットを用いることです。ここでは天体データと同様に 2005 年 12 月 9 日の観測の標準星データ処理の例を紹介します。まず、6.2.1 節で作ったヘッダリストを見てみます。下の方まで見ていくと、

```
mc> less header.txt
```

```
MCSA00014102    HDFN1    KS        100.000
```

MCSA00014103	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014104	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014105	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014106	HDFN1	KS	100.000
MCSA00014107	FS33	KS	30.000
MCSA00014108	FS33	KS	30.000
MCSA00014109	FS33	KS	30.000
MCSA00014110	FS33	KS	30.000
MCSA00014111	FS33	KS	30.000
MCSA00014112	FS33	KS	30.000
MCSA00014113	FS33	KS	30.000
MCSA00014114	FS33	KS	30.000
MCSA00014115	TWILIGHT	KS	13.000
MCSA00014116	TWILIGHT	KS	13.000

と、HDFNの観測の直後にFS33という天体が観測されていることが分かります。このFS33はUKIRT Faint Standards

(http://www.jach.hawaii.edu/UKIRT/astronomy/calib/phot_cal/faint_stds.html や Leggett et al. 2006, MNRAS, 373, 781 を参照) と呼ばれる近赤外撮像観測でよく使われる標準星リストにある標準星の一つです。このデータを処理してゼロ点を求めます。

MOIRCSは2つの検出器があるので、それぞれの検出器に標準星を入れて観測する必要があります。通常まずどちらかのchannelに標準星を入れて、画像上のいくつかの点で観測してから、もう片方のchannelをまた数回観測するというを行います。ここではMCSA00014107からMCSA00014114まで4枚のフレームに渡って標準星FS33を観測していて、最初の2枚ではchannel-2に標準星を入れ(つまりMCSA00014108とMCSA00014110に標準星が写っている)、後の2枚ではchannel-1(MCSA00014111とMCSA00014113)に標準星を入れて観測しています。

これをmcsallで処理するためにまずリストを作ります。

```
mc> listprep /mb24h/kajiswms/GOODSN/MOIRCS_UH/FITS/ FS33 14107 14114
```

標準星が入っていない方のチップには関係のない(となりの)空が写っていますが、スカイ引きに使えるので、標準星が写っているかどうかにかかわらず一緒に処理を行います。mcsallに入力する前に一応この標準星データが全体読み出しデータかどうかを確認しておきます(部分読み出しのデータの処理にはmcsallは使えません)。

```
mc> hselect @FS33_1.lst FRAMEID,PRD-RNG1,PRD-RNG2 yes
```

MCSA00014107	2048	2048
MCSA00014109	2048	2048
MCSA00014111	2048	2048
MCSA00014113	2048	2048

PRD-RNG1, PRD-RNG2はそれぞれX、Y軸方向の部分読み出しの範囲を示していて、2048 pixelということは画像全体を意味しますので、部分読み出しを使っていないことがわかり

ます。

全体読み出しであることを確認したら、mcsall を実行します。

```
mc> mcsall FS33_1.lst FS33_ch1.fits dosf- flat=Selfflat_1_ch1.fits bye=5
```

フラットは天体データで使ったものと同じものを使います (dosf="no" にして、flat パラメータに天体データで用いたフラットフレームを入力します)。ここでは最後まで足し合わせることをせずスカイ引きまでの工程で処理を止めます (どのみち channel-1 の最初の 2 枚と channel-2 の方の後半の 2 枚は関係のない空が写っているだけです)。“bye=5” と指定して mcsall を実行すると歪み補正を行う前の段階でタスクが終了します。channel-2 についても同様に mcsall を実行しておきます。例えば

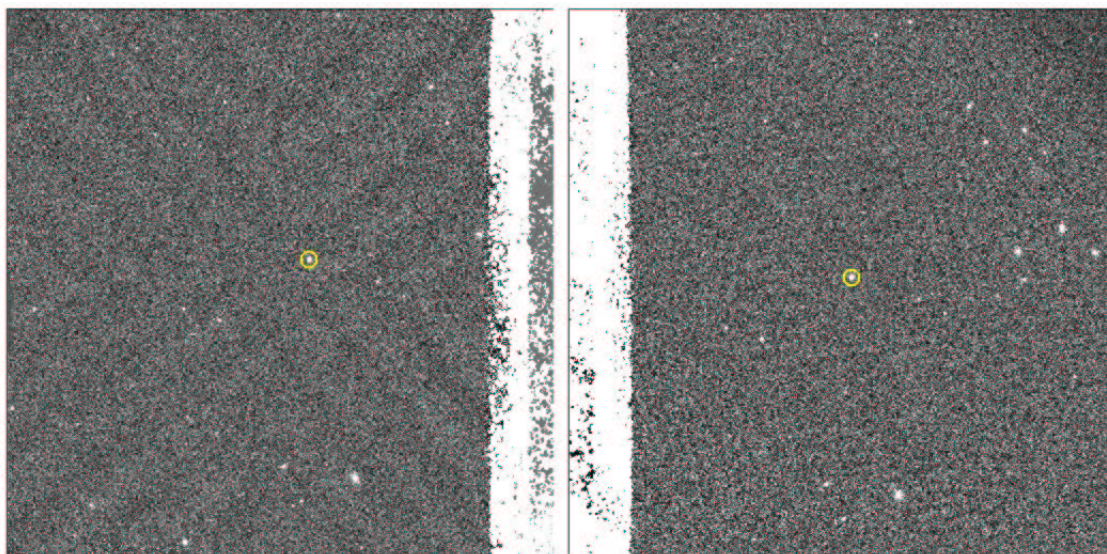


図 11: スカイ引きまで処理した標準星データ (左: channel-1, SBsbfMCSA00014111.fits, 右: channel-2, SBsbfMCSA00014108.fits)。黄色い○で囲まれている天体が標準星 FS33.

```
mc> mcsall FS33_2.lst FS33_ch2.fits dosf- flat=Selfflat_1_ch2.fits bye=5
```

処理がスカイ引きまで進むと図 11 のような画像ができているはずです。ここでは非常に (説明が) 簡単な方法でゼロ点を求めてみます。まず上に述べた UKIRT Faint Standards の webpage (詳しくは Leggett et al., 2006, MNRAS, 373, 781 参照) を見ると FS33 の K バンドでの等級は $K = 14.296 \pm 0.011$ であることがわかります。あとは MOIRCS のデータ上でこの星がどれだけの単位時間あたりのカウント値になっているかを測ればゼロ点を求めることができます。

とりあえず channel-1 の方の画像を表示させます。例えば

```
mc> display SBsbfMCSA00014111.fits 1 zr- zs- z1=-100 z2=150
```

ここでは天体のカウント値を測るのにデータのチェックでも使った imexamine タスクを

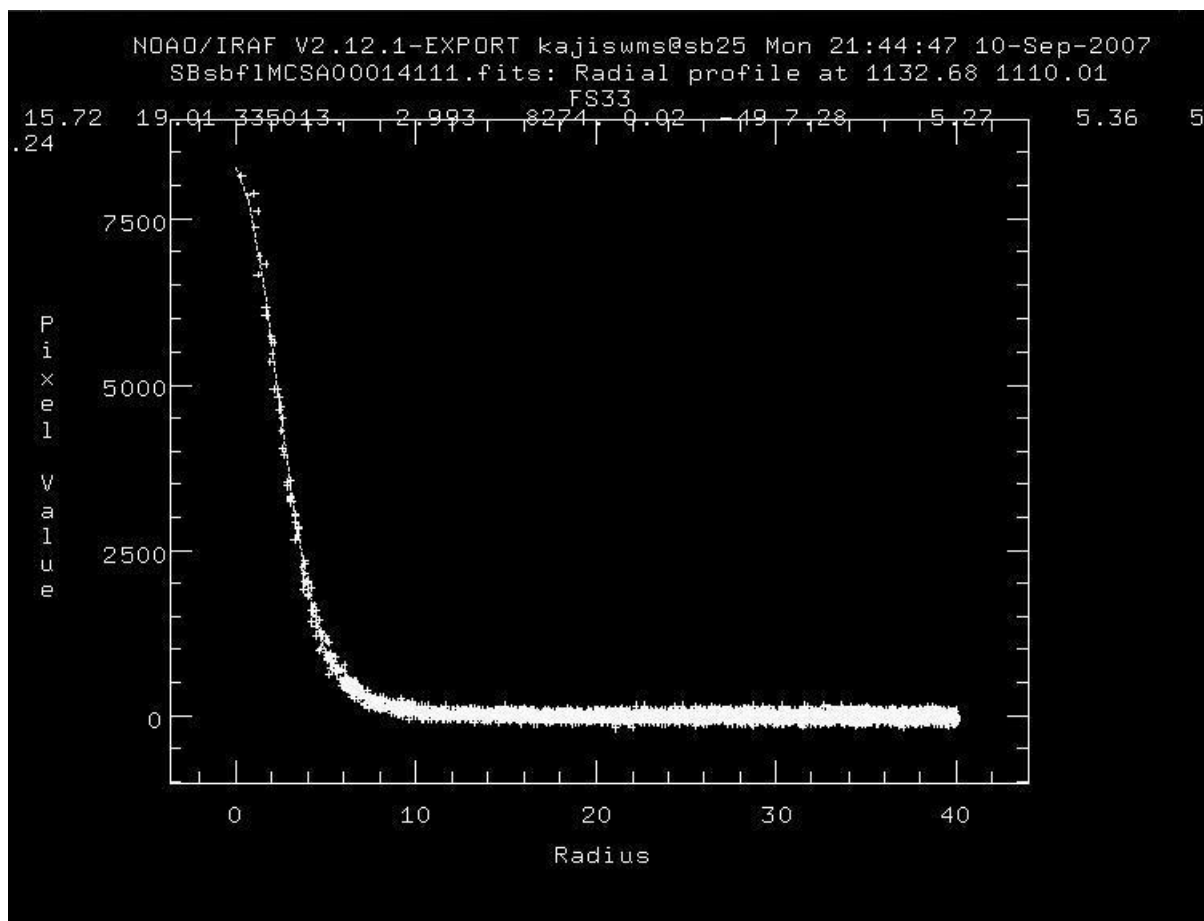


図 12: imexamine で r を入力した時の図。指定した天体の輝度プロファイルを表示する。

使ってみます。

```
mc> rimexam.rplot=40
```

などとしておいてから、imexam を実行します。

```
mc> imexamine
```

ここで ds9 などの画像表示ツール上にカーソルが出ますので、FS33（図 11 参照）の上にカーソルを持っていき、'r' と入力します（通常はファインディングチャートなどを見て、画像上のどの星が目的の標準星かを確認します。UKIRT Faint Standards については、例えば <http://mthamilton.ucolick.org/techdocs/standards/ARNICA.tb1.html> の webpage にチャートが置いてあって便利です）。すると図 12 のような指定した天体の輝度プロファイルを表示する図が表示されます。この輝度プロファイルを見てどの程度外側までいくと空と見分けがつかなくなるかの見当をつけて、どれくらいの半径で天体のカウント値を測るかを決めます。ここでは例えば（一旦 'q' で imexamine を終了して）

```
mc> rimexam.radius=15
```

```
mc> rimexam.buffer=5
```

```
mc> rimexam.width=10
```

とでもしておきます。radiusが天体のカウント値を測る半径を示し、bufferが天体を測る半径からスカイを見積もる内側の半径まで距離を、widthがスカイを見積もる円環の幅を表します。この例の場合、半径 15 ピクセルの円で天体のカウント値を測り、半径 20 から 30 ピクセルの円環でスカイを見積もってこれを天体から引き去るということになります。半径を決めたら再度 imexamine を実行してカーソルを FS33 まで持っていき、今度は 'a' を入力します。

```
# COL LINE COORDINATES
# R MAG FLUX SKY PEAK E PA BETA ENCLOSED MOFFAT DIRECT
1132.68 1109.94 1132.68 1109.94
15.71 19.01 335871. 1.91 8265. 0.02 -50 6.88 5.26 5.36 5.24
```

ここで "FLUX" というところの値が天体のカウント値です。上の header.txt で見たようにこのデータが 30 秒積分であることを考慮すると 1 秒あたり、 $335871/30 = 11195.7$ ADU/sec となります。このカウント値が $K = 14.296$ の明るさに相当しているので、ゼロ点は

$$ZP(ch1) = 14.296 + 2.5 \times \log_{10}(11195.7) = 24.42$$

と計算されます。channel-2 の方でも同様に imexamine でカウント値を測ってみると、例えば SBsbflMCSA00014108.fits では、

```
# COL LINE COORDINATES
# R MAG FLUX SKY PEAK E PA BETA ENCLOSED MOFFAT DIRECT
1058.47 1042.94 1058.47 1042.94
16.07 18.79 410440. 2.842 9299. 0.07 67 3.49 5.38 5.48 5.36
```

となっていて、

$$ZP(ch2) = 14.296 + 2.5 \times \log_{10}(410440/30) = 24.64$$

となります。

例えばこの channel-1 と channel-2 のゼロ点を使って channel 間の感度比を求めてみると、

$$sc = 10^{[24.42-24.64]/2.5} = 0.817$$

となって、6.3.1 節で述べた値とほぼ一致していることがわかります。これらのゼロ点を使って天体データ上で検出された天体の明るさを求めることができます。

6.5 その他のタスク

mcsallでは各工程において色々なファイルが出力されます（Appendix B参照）。MCSREDにはこれらの出力ファイルのうち途中経過のものを掃除するタスク cleanall があります。例えば、

```
mc> ceanall hdn1_1.lst level=0
```

のように mcsall での入力リストを指定して使います。level パラメータはどれだけのファイルを消してしまうかの度合いを表すパラメータです。

- level=0: tar でまとめるのみ。生画像以外すべて tar ファイルに残る。
- level=1: スカイ引き済み画像、マスクファイル、天体カタログ、フレーム間相対位置情報ファイルを残し、残りの（比較的再生容易な）ファイルを消す。
- level=2: 最終結果とリスト以外は全て消す。

6.6 使用上の注意

MCSRED を使用する際にはソースの CL スクリプトを読まれることを強く推奨します。スクリプト中にあるパラメータをチューニングすることによって、よりよい結果が得られる可能性が十分あります。ソースファイルは最初に tar ファイルを展開したディレクトリの下に MCSRED/ というディレクトリにあります。同じディレクトリに README_Sep0907.txt という README ファイルもあるので、一読されることを推奨します。mcsall で使われるタスクについての詳しい説明などがあります。また MCSRED の修正、アップデートの詳細はやはり同じディレクトリにある revise.log というファイルや MCSRED webpage の revision history (<http://www.naoj.org/staff/ichi/MCSRED/history.html>) を参照してください。

MCSRED パッケージに関する論文は現在準備中です (I. Tanaka et al. 2007, in preparation)。また、MCSRED はこれからもアップデートが重ねられることが予想されます。MCSRED website を通じて最新のアップデートをチェックされることを推奨します。

<http://www.naoj.org/staff/ichi/MCSRED/mcsred.html>

有用な意見、コメントを歓迎いたします。MCSRED に関するご意見、ご質問は

田中 壱

国立天文台ハワイ観測所

E-mail: ichi “at-mark” naoj.org

宛までお願いします。

（本テキストに関するご意見、コメントは kajisawa”at-mark”optik.mtk.nao.ac.jp 宛までお願いします）

7 mcsallでは行われない工程

今回の講習では mcsall を中心に取り扱いますが、MOIRCS撮像データ処理において mcsall では取り扱われない処理が必要な状況もあり得ます。ここでは、そのような例をいくつか紹介します。

7.1 NODDING 観測のデータ処理

Nodding は広がった天体の観測に用いられる手法で、MOIRCSでは GETOBJECT コマンドにおいて “SKYNOD” オプションを指定することにより実行されます。この観測モードにおいては通常のディザを用いた観測とは異なり、

天体 1 → スカイ 1 → 天体 2 → スカイ 2 → 天体 3 ...

のように、1 フレーム天体を観測する度に視野を振ってスカイフレームを取得して、また天体を撮るといった作業を繰り返します。このようなデータに対しては MCSRED では現在以下のようなタスクが用意されています。

- subskyimage — スカイフレームに対する天体マスク作成、スカイ引き、フラットフィールドを行う
- gcrsbimg — 歪み補正を行う（1 つの channel 用）
- mossbimg — 両方の channel のデータの歪み補正およびモザイクを行う
- nodlistprep — channel / 天体 / スカイ別リストを作成する

ここではおおよその作業の流れのみを述べておきます。

1) hselect などデータをチェック（subskyimage は全ての入力フレームが同じ積分時間を前提としていることに注意）。

2) listprep で channel-1 と channel-2 のリストを作成。

3) subskyimage でスカイ引き、フラットフィールド、スカイフレームの天体にマスクの各作業を行う。

4) gcrsbimg で歪み補正を行う。

5) gsexcat で位置合わせ用の天体検出（ディザ観測と同様）

6) gmkgtrimages で位置合わせ及び足し合わせ（ディザ観測と同様）

詳しくは最初に MCSRED の tar ファイルを展開したディレクトリの下に MCSRED/ディレクトリにある MOIRCS_SKYNOD_REDUCE.txt を参照してください。

7.2 一度足し合わせた画像から天体マスクを作る

mcsall では 最初の mcs_mkflat タスクにおいて、各生画像に対して天体を検出してマスクを作成していますが、当然ながら複数枚のフレームを位置合わせして足し合わせた画像

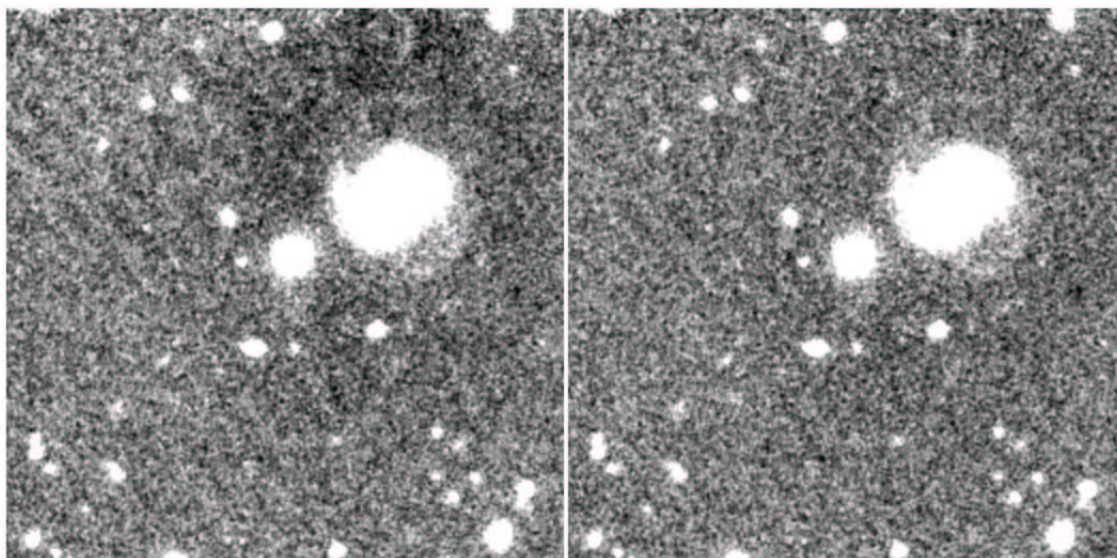


図 13: mcsall で足し合わせた画像（左）と一度足し合わせた画像から天体マスクを作って再処理を行った画像（右）。（今回のデータではそれ程大きな違いはないかも...）

においてはより高い S/N で、より暗いところまで天体を検出することができます。一般に天体のより暗いところまでマスクをかけてメジアンスカイフレームを作ってスカイ引きを行った方が出来上がり画像のスカイのでこぼこをより小さくすることができます（図 13）。特に視野中に明るい天体がある場合や非常に長時間に渡る深いデータの場合はこの効果が大きくなります。

この作業を行うには、例えば mcsall で一度足し合わせの処理まで行って、その画像上で天体検出を行ってマスクを作り、それを使って再度フラットフィールドやメジアンスカイ引きの工程からやり直すという方法があります。

現状 MCSRED には invmask という一回足し合わせた画像から新たにマスクを作り、それを使ってフラットフレームを作り直すというタスクが用意されています（今回の講習で使う IRAF v2.12.1 においては、invmask 中で使われている geoxytran の direction パラメータが存在しません。ソースファイル invmask.cl 中の geoxytran の direction パラメータの記述部分を削除する必要があります）。

invmask を使った処理のおおまかな流れは

- 1) 1 回 mcsall を行ったディレクトリで invmask を実行する。
- 2) invmask は足し合わせ画像を使って各フレーム用の新しい天体マスクを作る (objmsk000?????.pl、?????はフレーム ID ナンバー)
- 3) mcsall と invmask を実行したディレクトリにある生データ (MCSA000?????.fits) と新しい天体マスク (objmsk000?????.pl) を別のディレクトリに移す
- 4) 移したディレクトリに移動して mcsall を実行

これで新しいマスクを使って、フラットフィールドやスカイ引き、最終的な足し合わせまでの処理が行われます。

近い将来さらにこの工程全体をカバーするタスクが導入される可能性があります。

7.3 フリンジパターンの処理

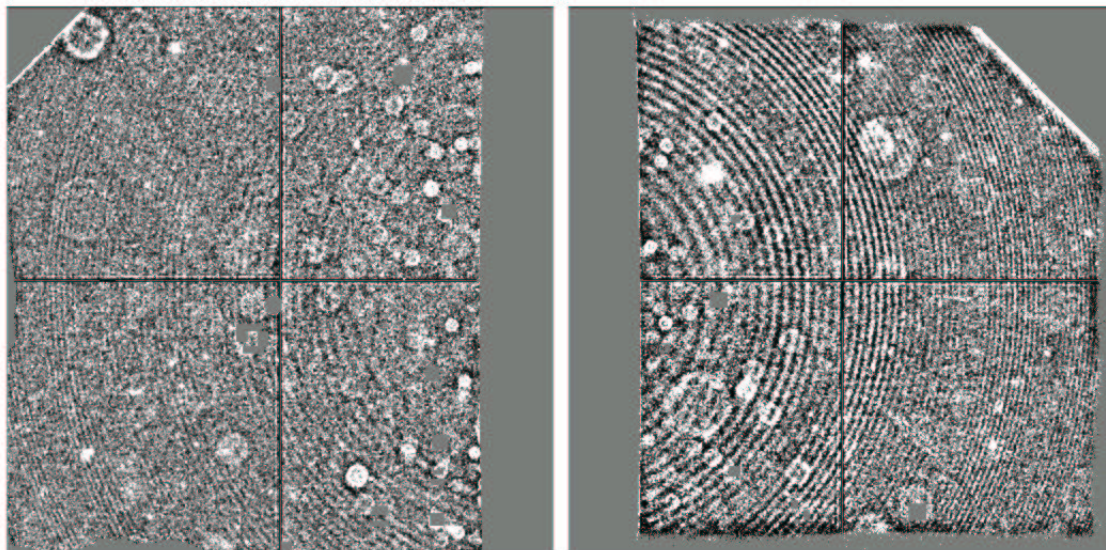


図 14: 生データ（左：MCSA00014017.fits, 右：MCSA00014018.fits）をドームフラットで割り大雑把にスカイを引いて、 $\sigma = 2\text{pix}$ のガウシアンでなました画像。画像全体に渡る大きな縞模様がフリンジパターン（小さな丸はゴミや bad pixel がガウシアンでなまったもの）。

天体データをドームフラットで割るとよくわかりますが（図 14）、MOIRCS データにはフリンジパターンが乗っています（特に K バンドや channel-2 で強い傾向があります）。これらはスカイコンディションがメジアンスカイが作られるタイムスケールで安定している場合にはメジアンスカイ引きの工程で引き去られますが、比較的短いタイムスケールで激しく変動している場合などにはスカイ引きを行った後でも引け残ってしまいます。また、セルフスカイフラットにも（多くの場合せいぜい 1-2% 以下のレベルでの影響ですが）このパターンが乗ることになります。

現在 MCSRED にはフリンジ処理のためのタスクは実装されていませんが、近い将来フリンジ処理用のタスクが導入される可能性があります。ここでは図 15 にフリンジ処理の方法の 1 例を紹介しておきます。

また、将来的には MOIRCS にフリンジパターンが表れにくい新しいフィルターが導入されることで、この問題が劇的に軽減される可能性があります。

7.4 部分読み出しデータの処理

6.4.1 節で述べたように、明るい標準星の観測などでは短時間露出を行うために検出器の部分読み出しをすることがあります（図 16）。これらのデータに対しては mcsall で一括処理することはできません。この部分読み出しデータの処理のために MCSRED では prmask、cutpr といったタスクが用意されています。prmask が部分読み出しデータにおける天体マスクを作成するタスク、cutpr が部分読み出しデータのうち読み出し部分だけを切り出すタ

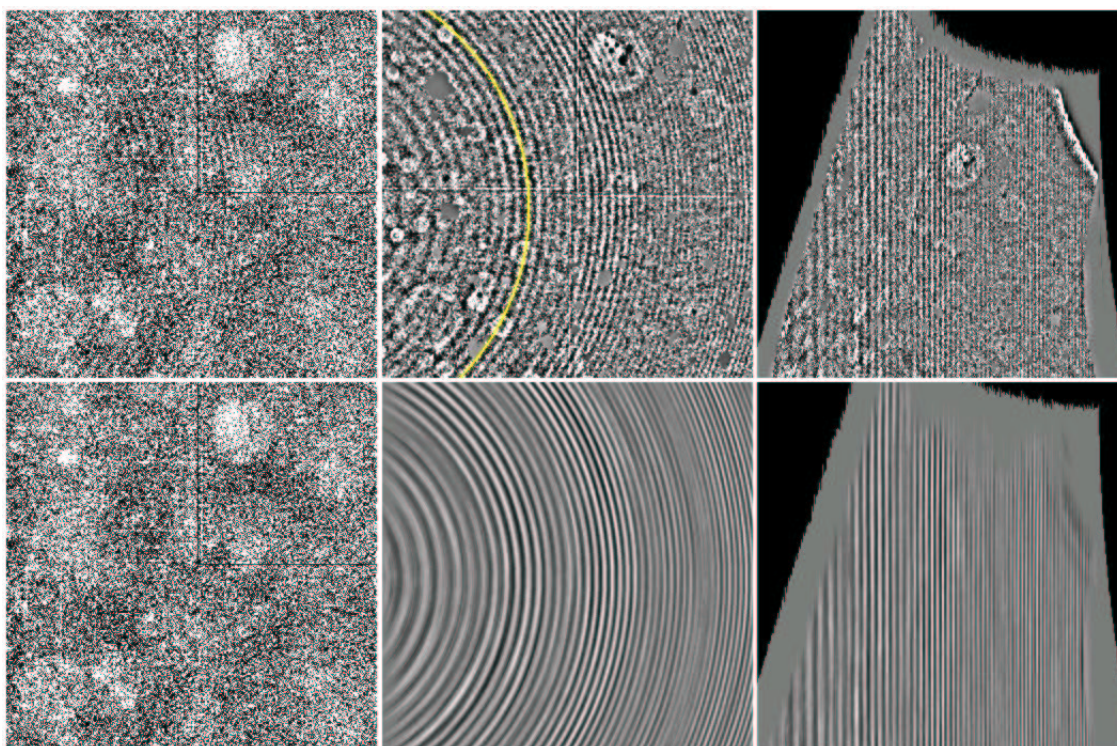


図 15: フリンジ処理の一例。左上：生データをドームフラットで割ってスカイを引いた画像。真ん中上：天体にマスクをしてガウシアンでなましてフリンジパターンを目立たせて、パターンの中心を見積もる。右上：横軸に半径、縦軸に position angle をとった座標系に座標変換することで、フリンジパターンは縦方向の縞模様になる。右下：縦方向にメジアンフィルターをかける。真ん中下：もとの座標系に逆変換。左下：もとの画像から差っ引く。

スクです。

部分読み出しデータの処理のおおまかな流れは次のようになります。

- 1) prmask で天体マスクを作成。
- 2) フラットフレームで割り算（標準星データの場合は天体データの処理で使ったものと同じフラットフレームを使う）
- 3) sbselfsky でメジアンスカイ引きを行う
- 4) cutpr で読み出し部分だけを切り出す
- 5) 必要に応じて（通常の qmsepskysb の代りに）tsubanomaly を使ってスカイの引き残りを処理する

ここで tsubanomaly は qmsepskysb と似たような処理を（読み出し部分を切り出したデータのように）サイズが異なるデータに対しても行うタスクです。

歪み補正を行う場合には cutpr で読み出し部分を切り出す前に mcsgeocorr 等を使用します。ただし部分読みはほとんど標準星観測時のみに使われているので、通常、部分読みデータに歪み補正を施すことはあまりないと思われます。

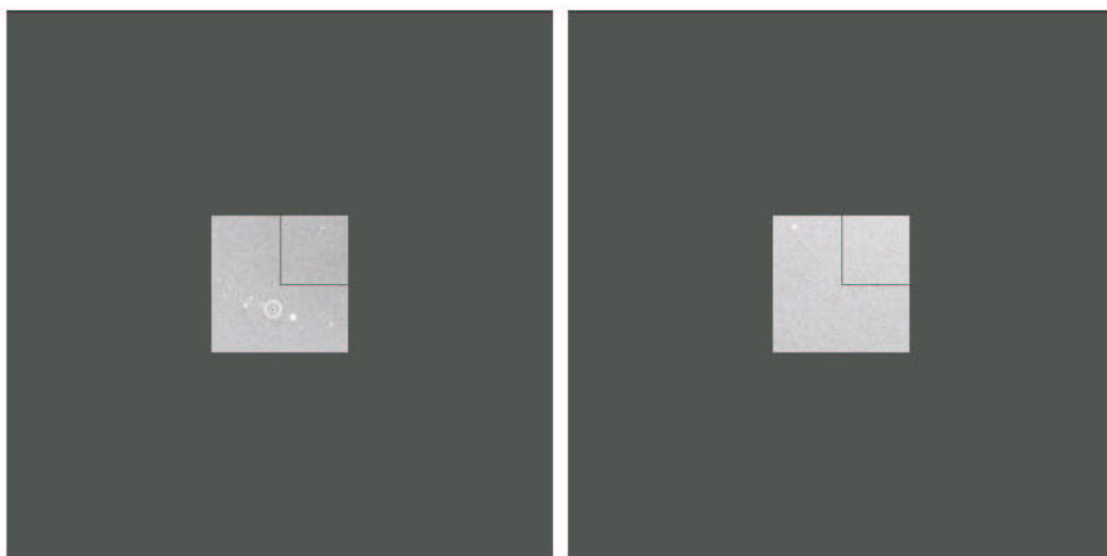


図 16: 部分読み出しデータの例（左: channel-1, 右: channel-2）。この例では真ん中の 512pix × 512 pix の部分だけが読み出されている。

A mcsall で使われる各タスクについて

ここでは一括実行タスク mcsall の中に含まれている各タスクについて説明します。

A.1 mcs_mkflat

mcs_mkflat はセルフスキフラットを作成するためのタスクです。また、その課程で作られる各フレームに対する天体マスクは後のメジアンスキ引きなどの工程でも使用されるため、mcsall では仮にセルフフラットを使用しない (dosf=no) 場合においてもまず始めに mcs_mkflat が実行されます。図 17 はセルフスキフラットの一例を示しています。ダークは 2005 年 12 月以降のデータでは比較的小さな値であり、通常のデータ処理においてダーク引きは行われていません。

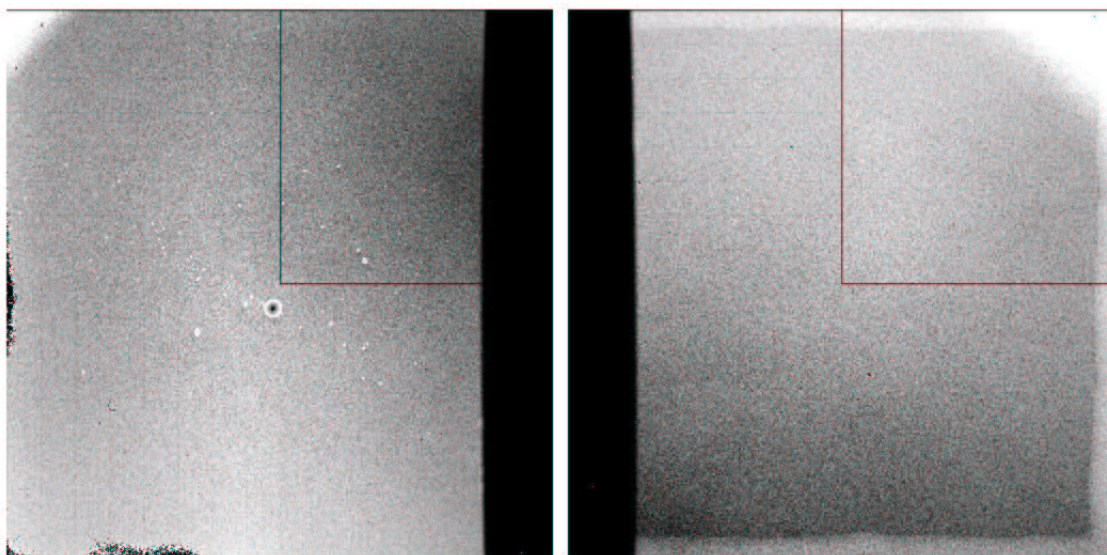


図 17: K バンドのセルフフラット (左: channel-1, 右: channel-2)

主な工程は

- 1) (ダーク引き)
- 2) 天体マスク作成
 - 2-1) 各フレームを直後のフレームで割り算
 - 2-2) 象限ごとに低次関数で fit したものを差し引く
 - 2-3) bad pixel にマスクをしてメジアンフィルタをかけてから pixel-to-pixel 統計をとる
 - 2-4) 有意に値の高いピクセルとその回りを天体としてマスクを作る
- 3) セルフフラット作成
 - 3-1) 各フレームのメジアン値が最初のフレームに合うようにつかけ算で高さ合わせ
 - 3-2) 入力された全フレームを天体マスクをかけながらメジアンで足し合わせる
 - 3-3) 足し合わせた画像のメジアン値を測って、その値で割ることで規格化する
- 4) (作成したフラットを用いて入力ファイルのフラットフィールドを行うことも可能)

A.2 sbselfsky

sbselfsky はメジアンスカイ引きを行うタスクです。フラットフィールド処理された画像のリストを入力すると、各フレームに対してその直前及び直後の指定された枚数のフレームを使ってメジアンスカイを作り、それを用いてスカイ引きを行います。メジアンスカイ作成に用いる枚数は多いほど pixel-to-pixel 統計におけるノイズの軽減が期待できますが、その分より長い時間に渡るスカイの変動の影響を受けてしまうというトレードオフの関係になっているので、データの積分時間やスカイコンディションに応じてほどよい妥協点を探るとよいでしょう。なお、入力リストが3枚の場合、sbselfsky は自分自身も含めた全3枚を使ってメジアンスカイを作るので、扱いに注意が必要です。

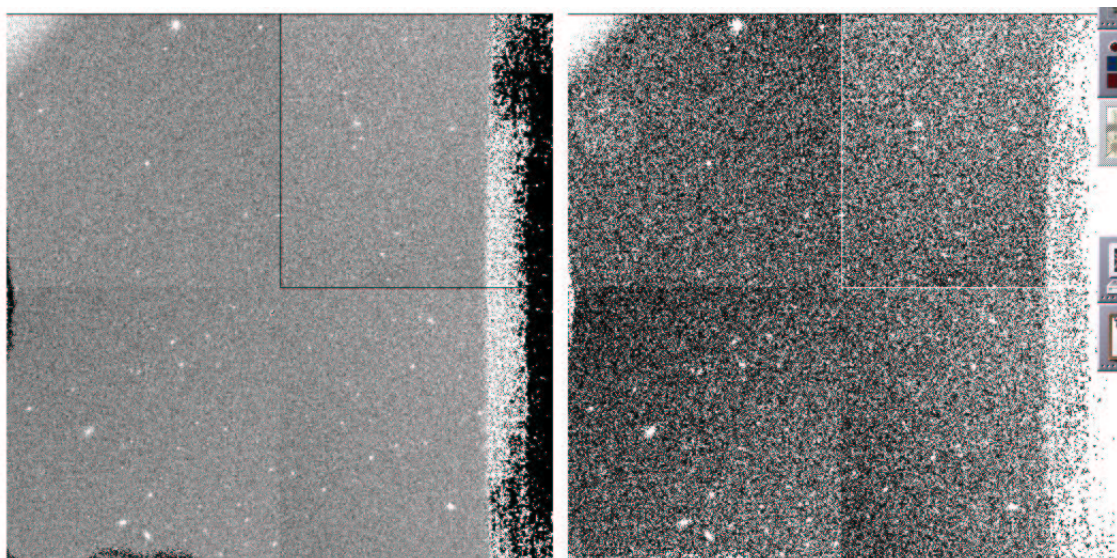


図 18: フラットフィールドした画像（左, flMCSA00014021.fits）とさらにメジアンスカイ引きを行った画像（右, sbflMCSA14021.fits）

主な工程は

- 1) 各フレームに対して直前、直後のフレームのリストを作成
リスト全体の枚数がメジアンスカイ作成に指定された枚数 ($2 \times \text{nsf}$) と比較して少ない場合、自らを除く全てのフレームでメジアンスカイを作る
- 2) メジアンスカイ作成
 - 2-1) メジアンスカイの材料フレームの中で天体フレーム自身と積分時間が異なるものは積分時間の比でスケールする
 - 2-2) 天体にマスクをかけながら足し合わせる
- 3) 作成したスカイフレームを天体フレームから差し引く

A.3 qmsepskysb

qmsepskysb は画像の各象限ごとに低次関数でスカイのフィッティングを行い、それをもとの画像から差し引くタスクです。mcsall においてはメジアンスカイ引きを行った後の画像のスカイの引き残りを処理するために使われます。MOIRCS データには天体やスカイに加えて、検出器への光の入射強度に依存して強さや傾きが変動するラテント成分が乗っていて、これがスカイの明るさの時間変動が比較的大きい場合にメジアンスカイ引きでのスカイの引き残りの原因となります。またこのラテント成分は象限間の境界においてカウントが不連続になっている風車のようなパターンをしているので (図 19 左)、qmsepskysb ではこれをきれいに差し引くために4つの象限それぞれ独立にスカイのフィッティング及びその差し引きを行っています。スカイの激しく変動している時などに、フィッティングが失敗して激しい波模様の画像になってしまうことがあるので、この工程の結果を良く確認しておくことが重要です。

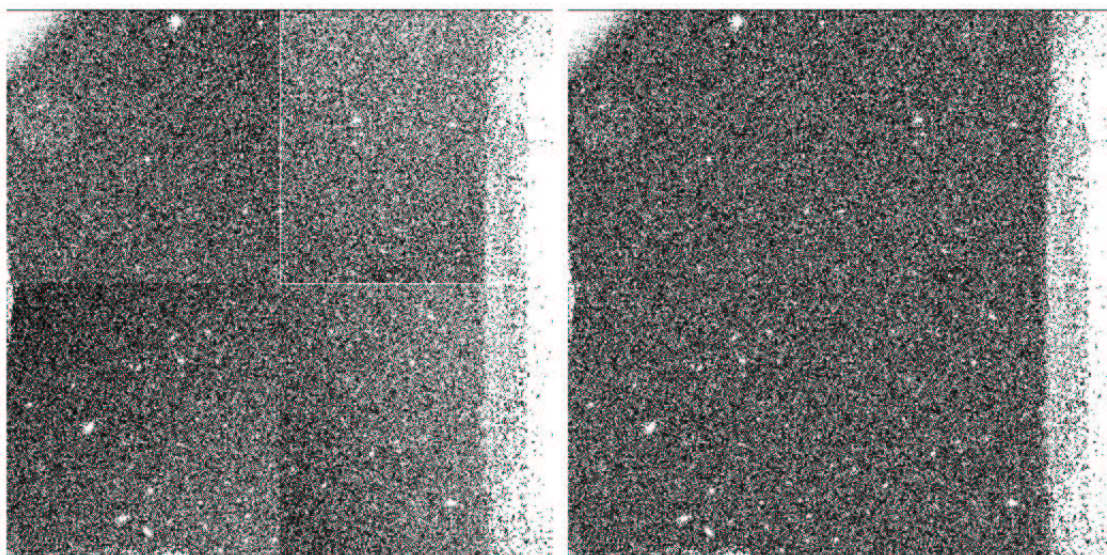


図 19: メジアンスカイ引きした画像 (左, sbflMCSA00014021.fits) と qmsepskysb でスカイの引き残りを処理して quadcor で象限間の溝を埋めた画像 (右, SBsbflMCSA14021.fits)

主な工程は

- 1) フィッティングに悪影響を及ぼす部分をマスク
 - 1-1) bad pixel、天体にマスクをして、channel-1(channel-2) の右端 (左端) の光が入っていない部分を隣り合う領域を反転させたものを使って埋めておく。
 - 1-2) 3×3 のメジアンフィルターをかけて極端な値のピクセルを除く。また、channel-1(channel-2) の左上 (右上) 角の部分はけられ (K-band においては熱源) があって急な勾配となっているのでこれにマスクをかけておく。
- 2) 各象限を切り出して imsurfit を使ってフィッティング
- 3) フィッティングされた低次関数をもとの画像から引く
- 4) 各象限をもとの一枚の画像に張り付ける

A.4 quadcor

quadcor は画像の各象限の間の境界上の感度のない溝の部分をつまわりのピクセルの値を使って補間するタスクです。

quadcor は元来ピクセルストレージのエラーによって生じていた各象限の間のずれを補正するために作られたタスクであり、2005年6月以前のデータに対してはこの補正を行います。このエラーは2005年6月に修正されていて、これ以後のデータに関しては象限間にずれはなく、単にその境界上に感度がない溝がある状態となっています。2005年6月以降のデータに関しては fixpix を用いてこの溝を埋める処理を行います。

A.5 mcsgeocorr

mcsgeocorr は歪み補正を行うタスクです。

入力されたコンフィギュレーションファイルが指定する歪み補正データベースを用いて geotran を行うことで、画像を歪みのない状態に変換します。MOIRCS の昇温-冷却が行われる度に歪み補正に関連するデータベースは変更されます。観測データの歪み補正を正しく行うためにはそのデータに合ったコンフィギュレーションファイルを指定する必要があります。MOIRCS の昇温-冷却が行われる度に球状星団の観測が行われており、そのデータから歪み補正用のデータベースが作られています。

オプションとして歪み補正の画像変換の前に cosmicray タスクを使って、宇宙線除去の処理を加えることもできます。

A.6 gsextract

gsextract は SExtractor を用いて MOIRCS 画像の位置合わせのための天体検出を行うタスクです。

タスクのパラメータによって SExtractor の天体検出に関わる主なパラメータを指定しますが、これらはデータのシーイングサイズや宇宙線の影響の度合などに応じて調節します。特に注意する点として、thresh パラメータを通常 SExtractor で使われる DETECT_THRESH の典型的な値よりも大きめに設定することがあります。これは歪み補正の画像変換によって隣り合うピクセル同士が相関を持ち、それによって画像の pixel-to-pixel の標準偏差が過小評価されてしまう効果を補正するためです。

パラメータによって指定された範囲のサイズを持つ天体のみがカタログされることに加えて、近くの天体と blend していたり、サチっているピクセルを含む天体もカタログから除かれます。

nlimit オプションを使うと明るい方から 90 個までの天体のみのカタログが出力されます。

主な工程は

- 1) パラメータで指定された範囲の画像を切り出し、bad pixel を fixpix を使って補間する
- 2) SExtractor を実行

- 3) 出力された天体カタログから指定された範囲外のサイズ (FWHM) を持つ天体を除く
- 4) (center タスクを使って検出された各天体の中心の再評価を行うことも可能)

A.7 gmkgtrimages

gmkgtrimages は画像の位置合わせ及び足し合わせを行うタスクです。

gsxcat で出力された各画像の天体カタログを使ってカタログマッチングを行い、相対位置を計算しています。xyxymatch タスクによるカタログマッチングは mcsall の中でも最も失敗しやすい工程の一つですが、失敗した場合は xyxymatch の torelance や ratio パラメータなどを調節して対処します。それでもカタログマッチングを失敗する場合は gsxcat の工程まで遡って、天体検出する領域をぎりぎりまで広くとった方がうまく動作することもあります。

xyxymatch に失敗した場合は gmkgtrimages はそのフレームを足し合わせからは除いて、failed_cat_” 入力リスト” という名前のファイルにそのフレーム名を出力します。

chkbox は各フレームの大雑把な位置関係を FITS ヘッダから計算して自動的に足し合わせ画像のサイズフォーマットを決定するオプションですが、現在では各フレーム間の位置関係において回転が含まれないこと (平行移動のみ) を前提としています。互いに回転しているフレーム同士の位置合わせ及び足し合わせを行う場合には chkbox オプションは使わず、xbox, ybox, xcl, ycl のパラメータで足し合わせ画像のサイズと座標を自分で設定する必要があります。

gmkgtrimages においては入力データは全て EXPTIME=1sec にスケールされ、足し合わせ画像も 1 秒積分にスケールされたデータになります。もとの積分時間の情報は ORG_EXP というヘッダキーワードに記録されます。

位置合わせされた各フレーム (GTgcSBsbfMCSA000?????.fits) とともに各フレームに対応したマスクデータ (GTgcSBsbfMCSA000?????.pl) も出力されますが、各フレームにおいてなんらかの理由で追加でマスクをしたい領域などがある場合には、このマスクデータを編集して再度足し合わせを行うとよいでしょう。

主な工程は

1) 位置合わせ

- 1-1) 各フレームの天体カタログを使って xyxymatch を実行し、入力リストの最初のフレームとのカタログマッチングを行う
- 1-2) 最初のフレームと対応づけられたカタログを使って、各フレームと最初のフレームとの相対位置 (変換式) を geomap で計算
- 1-3) 各フレームを geotran を使って最初のフレームに位置合わせ
- 1-4) bad pixel/region のマスク画像にも同様の変換を行って、位置合わせした各フレームに対するマスク画像を作成

2) 足し合わせ

- 2-1) 位置合わせした各フレームを積分時間で割り、1 秒当たりのカウント値にスケール
- 2-2) (足し合わせの重みに使う場合には) 各フレームの [700:1300,700:1300] の領

域での pixel-to-pixel の標準偏差を計算
2-3) imcombine でマスク、重みを使いながら足し合わせ

B mcsall の各工程で出力されるファイル

0) 入力リスト作成 (listprep)

channel ごとのリスト (“froot”_[12].lst)

1) 天体マスク、セルフフラット作成 (mcs_mksflat)

生 (or ダークを引いた) データリスト (bis”inlist”)

天体マスク (omskMCSA000?????.pl)

セルフフラットフレーム (flat で指定)

2) フラットフィールド (imarith)

フラットフィールドされたフレーム (flMCSA000?????.fits)

そのリスト (flbs”inlist”)

3) メジアンスカイ引き (sbselfsky)

メジアンスカイを引いたフレーム (sbflMCSA000?????.fits)

そのリスト (sbflbs”inlist”)

4) スカイ引け残りを低次関数 fitting で処理 (qmsepskysb)

低次関数を引き去ったフレーム (SBsbflMCSA000?????.fits)

そのリスト (SBsbflbs”inlist”)

5) 象限間の溝の補正 (quadcor)

溝を処理したフレーム (SBsbflMCSA000?????.fits ファイル名は変更されずに処理)

6) 歪み補正 (mcsgeocorr)

歪み補正済みフレーム (gcSBsbflMCSA000?????.fits)

そのリスト (dSBsbflbs”inlist”)

7) 天体検出 (gsextcat)

検出した天体のカタログ (gcSBsbflMCSA000?????.cat)

そのリスト (CATdSBsbflbs”inlist”)

8) 位置合わせ及び足し合わせ (gmkgtrimages)

入力リストの最初のフレームとマッチングされたカタログ (gcSBsbflMCSA000?????.gmp)

位置合わせ画像変換用データベース (gcSBsbflMCSA000?????.gtr geomap の出力ファイル)

位置合わせされた天体フレーム (GTgcSBsbflMCSA000?????.fits)

そのリスト (GTR_”inlist”)

位置合わせされたマスク画像 (GTgcSBsbflMCSA000?????.pl)

足し合わせ画像 (output で指定)

exposure map (exp_”output”.pl)

sigma 画像 (sgm_”outout”)

位置合わせ工程のログ (gmpdSBsbflbs" inlist")

位置合わせに失敗して足し合わせに含まれなかったフレームのリスト (failed_cat_" inlist")