

美星天文台 101cm 望遠鏡
IRAF による分光データ整約のすすめ

第 1.0 版

川端哲也 (美星天文台)

2005 年 5 月

もくじ

1	はじめに.....	4
2	初期設定.....	5
2.1	インストール.....	5
2.2	FITSフォーマット.....	5
2.3	login.cl の設定.....	5
2.4	IRAFを起動する前に.....	6
(1)	ds9 の起動 : ds9.....	6
(2)	xgtermの起動 : xgterm.....	6
2.5	IRAFの起動 : cl.....	6
2.6	動作テスト.....	7
2.7	observatoryの設定 : observatory.....	8
3	天体分光器.....	9
4	CCD画像について.....	10
4.1	CCD画像の用語.....	10
(1)	フレーム.....	10
(2)	ピクセル.....	10
(3)	カウント.....	10
(4)	ゲイン.....	10
4.2	CCD画像に写っているもの.....	10
(1)	バイアス.....	10
(2)	ダーク.....	10
(3)	スカイ.....	11
(4)	宇宙線イベント.....	12
(5)	オブジェクト.....	12
4.3	フラット.....	13
4.4	観測で得られる画像.....	13
(1)	オブジェクトフレーム.....	13
(2)	バイアスフレーム.....	13
(3)	ダークフレーム.....	13
(4)	フラットフレーム.....	13
(5)	コンパリソフフレーム.....	13
5	低分散分光データ解析.....	14
5.1	観測野帳.....	14
5.2	チュートリアル.....	16
(1)	データのあるディレクトリーに移る : cd.....	16
(2)	ファイルを確認 : ls.....	16

(3)	データの状況を確認 : <code>imstat</code>	16
(4)	画像のチェック : <code>display</code>	17
(5)	バイアスフレームの合成 : <code>imcombine</code>	18
(6)	フラットフレームの合成 : <code>imcombine</code>	20
(7)	フラットからバイアスを引く : <code>imarith</code>	21
(8)	フラットの規格化 : <code>imarith</code>	21
(9)	オブジェクト (目的星・標準星) フレームの一次処理 : <code>imarith</code>	21
(10)	オブジェクトの空間方向への広がりを調べる : <code>implot</code>	22
(11)	オブジェクトフレームの前後のコンパリソンをチェックする.....	26
(12)	オブジェクトフレームの一次元化 : <code>apall</code>	28
(13)	コンパリソンフレームの一次元化 : <code>apall</code>	34
(14)	標準星フレームの一次元化.....	38
(15)	コンパリソンの波長同定 : <code>identify</code>	38
(16)	オブジェクトスペクトルへ波長同定の結果を登録 : <code>refspectra</code>	43
(17)	登録したパラメーターで波長較正 : <code>dispcor</code>	44
(18)	スペクトルの確認 : <code>splot</code>	45
(19)	標準星による強度較正 ① : <code>standard</code>	46
(20)	標準星による強度較正 ② : <code>sensfunc</code>	48
(21)	標準星による強度較正 ③ : <code>calibrate</code>	51
(22)	スペクトルのグラフ表示 : <code>splot</code>	51
(23)	処理したデータをテキストで出力する : <code>wspectext</code>	54
6	このドキュメントについて.....	55
7	参考文献.....	55
8	Appendix A.....	56
8.1	IRAFを使う前に知っておきたいこと.....	56
(1)	<code>unix</code> の基本コマンド.....	56
(2)	<code>vi</code> エディターの使い方.....	56
8.2	パッケージについて.....	56
8.3	<code>unix</code> コマンドの使用.....	57
8.4	コマンドの短縮.....	57
8.5	コマンド履歴の編集 : <code>ehistory</code>	58
8.6	ヘルプ : <code>help</code>	58
8.7	パラメーター設定 : <code>eparam</code>	58
8.8	パラメーター表示 : <code>lparam</code>	58
8.9	パラメーター設定画面からコマンドを実行する.....	58
8.10	複数のファイルをリストにしてパラメーターに設定する.....	58
8.11	ファイルを削除する : <code>imdel</code>	59
8.12	同じコマンドを繰り返す : <code>^^</code>	59

1 はじめに

天体分光は、遙か彼方の天体の組成や運動を調べることができる天体観測の強力な手段です。私たちは、天体のスペクトルを観察することで、より深く宇宙の不思議に触れることができます。美星天文台でも 101cm 望遠鏡と分光器を一般に公開しています。こうした機会やインターネット上で得られた分光データを本格的に処理するには、世界の天文学者が標準的に使用している解析ソフト IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) を使用することになります。IRAF はアリゾナ州ツーソンにあるアメリカ国立光学天文台 (National Optical Astronomy Observatories) の IRAF プログラミンググループによって開発されサポートされています。かつてはワークステーションでしか動かなかった IRAF が Linux や FreeBSD などの PC-Unix の登場で、今では誰もがダウンロードし家庭のパソコンで使用できるようになりました。

<http://iraf.noao.edu/>

しかしながら、いきなり研究者向けの解析ソフト IRAF を使用するには高いハードルがあります。そこで、多くの人に天体分光のおもしろさを知ってもらうためにこのドキュメントを書きました。

このドキュメントは、美星天文台の 101cm 望遠鏡で得られたデータに対して著者の経験的な手法を紹介しているので、ここで紹介した解析方法がベストであるとは限りません。また、ここに載っていないコマンドを利用した方が良いこともあるかもしれません。誤りがありましたら著者までご連絡下さい。

Windows 上でより簡便に分光データの解析をしたい方は、著者によって開発された BeSpec をご利用下さい。このソフトは高校生を対象とした観測実習に使用するために開発したフリーソフトです。

<http://www.bao.go.jp/soft/>

川端哲也 (美星天文台)
kawabata@bao.go.jp

2 初期設定

2.1 インストール

インストールについては、『IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) インストールリファレンス』(川端善仁 著)を参照して下さい。

2.2 FITS フォーマット

FITS (Flexible Image Transport System) 「フィッツ」フォーマットは、世界共通の天文学のデータフォーマットです。テキストで書かれたヘッダーとバイナリーデータからなります。FITS フォーマットについて詳しくは「日本 FITS 委員会」のホームページをご覧ください。FITS フォーマットの情報以外にも FITS フォーマットに対応したソフトが紹介されています。

<http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~kanamitu/fits/>

日本 FITS 委員会のホームページは、福岡教育大学の金光研究室で運営されています。

2.3 login.cl の設定

IRAF の初期設定は login.cl です。IRAF は login.cl があるディレクトリーで起動します。インストール直後の login.cl の設定では、出力ファイル形式が imh になっています。これを fits ファイルに書き換えます。「#」はコメントアウトです。ここでは以下の部分を書き換えます。

```
# LOGIN.CL -- User login file for the IRAF command language.
```

```
# Identify login.cl version (checked in images.cl).
```

```
if (defpar ("logver"))
```

```
    logver = "IRAF V2.12.2 January 2004"
```

```
set home          = "/home/kawabata/" ← ユーザー名「kawabata」とき
```

```
set imdir         = "HDR$" ←処理後のファイルは全てカレントディレクトリーに出力する
```

```
set uparm        = "home$uparm/"
```

```
set userid       = "kawabata" ← ユーザー名「kawabata」とき
```

```
# Set the terminal type.
```

```
if (envget("TERM") == "xterm") {
```

```
    if (!access (".hushiraf"))
```

```
        print "setting terminal type to xgterm..."
```

```

    stty xgterm
} else {
    if (!access (".hushiraf"))
    print "setting terminal type to xterm..."
    stty vt100
}

# Uncomment and edit to change the defaults.
#set      editor      = vi
#set      printer     = lp
#set      pspage      = "letter"
set       stdimage    = imt1024
#set      stdimcur    = stdimage
#set      stdplot     = lw
#set      clobber     = no
#set      filewait    = yes
#set      cmbuflen    = 512000
#set      min_lenuserarea = 64000
set       imtype      = "fit" ← 画像ファイルは全て FITS ファイルとして扱う
#set      imextn      = "oif:imh fxf:fits,fit plf:pl qpf:qp stf:hhh,??h"

. . . . .

```

2.4 IRAF を起動する前に

IRAF を起動する前にコンソールから `ds9` と `xgterm` を起動しておきます。

(1) `ds9` の起動 : `ds9`

`ds9` は FITS ファイルを表示する FITS ブラウザです。IRAF では、画像の標準出力先として `ds9` を使
用します。

```
$ ds9&
```

(2) `xgterm` の起動 : `xgterm`

IRAF は `xgterm` 上で起動することでグラフを表示することができます。

```
$ xgterm&
```

2.5 IRAF の起動 : `cl`

`xgterm` 上でカレントディレクトリーに `login.cl` があることを確認してから `cl` コマンドを実行しま
す。

```
$ cl
```

NOAO PC-IRAF Revision 2.12.2-EXPORT Sun Jan 25 16:09:03 MST 2004

This is the EXPORT version of PC-IRAF V2.12 supporting most PC systems.

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:

```
dataio.      images.      lists.      obsolete.   proto.      system.
dbms.        language.   noao.       plot.       softtools.  utilities.
```

cl>

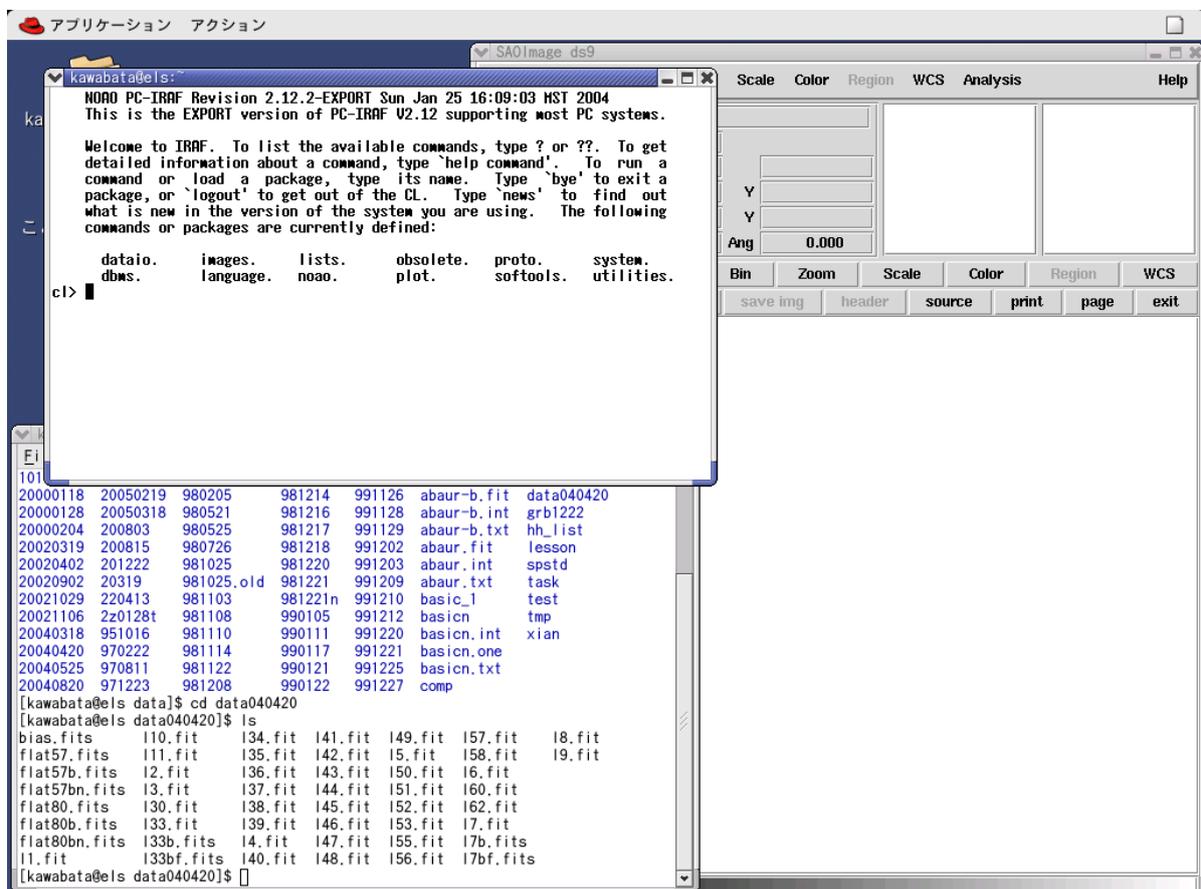


図 2-1 IRAF を起動したときのディスクトップ (OS/RedHat)

2.6 動作テスト

```
cl> disp dev$pix 1
```

```
cl> implot dev$pix
```

を実行して、画像 (M51) とグラフが表示されれば大丈夫です。

2.7 observatory の設定 : observatory

データを処理する時に天体の高度を計算するためにそのデータを撮った観測所のパラメーターを聞かれることがあります。ここで、前もって観測所のパラメーターを設定しておきます。パラメーターの設定には `epa` コマンドを使用します。これから何回も出てくるので、Appendix の「コマンドの短縮」、「パラメーター設定 : `eparam`」、「パラメーター設定画面からコマンドを実行する」について目を通しておいて下さい。

cl> epa observatory ←コマンドラインからコマンドを入力

```

                I R A F
          Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = noao
      TASK = observatory

command =          set  Command (set|list|images)
obsid   =          Bisei Observatory to set, list, or image default
images   =          List of images
(verbose=          no) Verbose output?

(observa=          obspars) Observatory identification
(name   = Bisei Astronomical Observatory) Observatory name
(longitu=          226.452) Observatory longitude (degrees)
(latitud=          34.669) Observatory latitude (degrees)
(altitud=          430.) Observatory altitude (meters)
(timezon=          -9.) Observatory time zone
override=          obspars Observatory identification
(mode    =          ql)

:wq
```

カーソルを移動させて各パラメーターを設定します。latitud と altitud はそれぞれ「hh:mm:ss.s」「+/-dd:mm:ss.s」という形式でも入力可能です。最後に「:」を入力すると左下にカーソルが移動して「wq」でパラメーターが保存されます。

3 天体分光器

分光観測では、目的によっていろいろな種類の分光器が使用されます。図 3-1 は回折格子を用いた典型的なスリット分光器の概略図です。スリット分光器では、スリットを望遠鏡の焦点面に置き、スリットを通った光のみ分光器へ入射させます。入射した光は、コリメーターレンズにより平行光に変換され、回折格子でスペクトルに分けられた後、カメラレンズで分光されたスリット像を CCD 上に結像します。星雲のように広がった天体では、図 3-1 のようにスリットで切り取られた天体像の一部が、横が波長、縦が空間に対応する 2 次元のスペクトルとして写ります。広がった天体に限らず、恒星のような点光源を分光した場合でも、空間方向に空のスペクトルが写ります。解析では、天体に重なった空の成分（「スカイバックグラウンド」と呼ぶ）を取り除く必要があります。

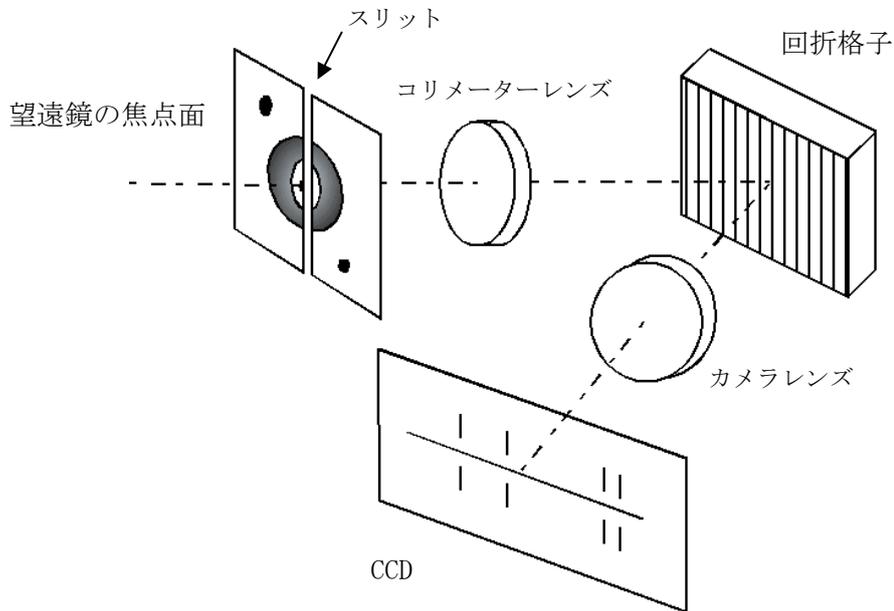


図 3-1 スリット分光器

4 CCD 画像について

CCD カメラは、光を電子に変えてデジタル画像を撮ることができます。撮像観測では、望遠鏡の焦点に CCD カメラを置いて天体の空間分布を写します。分光観測では、分光器の焦点に CCD カメラを置いて天体のスペクトルを撮影します。画像には、天体からの光だけでなく、いろいろなノイズが重なって写っています。こうしたノイズを取り除くために補正用の画像も観測の時に撮影します。

4.1 CCD 画像の用語

(1) フレーム

CCD カメラで得られる画像のことをフレーム (frame) と呼びます。

(2) ピクセル

CCD の 1 画素のことを 1 「ピクセル」 (pixel) と呼びます。CCD にはピクセルサイズやピクセル数がいろいろなものがあります。

(3) カウント

CCD は、光の量を電子の量に変換し電子の量を測定することで光の量の 2 次元分布、つまり画像を得ることができます。画像の各ピクセルの値を「カウント」値 (count) と呼びます。カウント値が高いほど光の量が大きいことを意味します。

(4) ゲイン

電子 1 個を何カウントとしてデジタル変換をするか、その変換係数をゲイン (gain) と呼びます。

4.2 CCD 画像に写っているもの

(1) バイアス

バイアス (bias) とは、CCD チップから読み出す際に含まれる電荷のことで、光を当てなくとも一定の量のカウント値を持った画像が得られます。CCD で得られる画像には全て下駄としてプラスされています。バイアスフレームのピクセルごとのカウント値のムラが読み出しノイズ (readout noise) です。

(2) ダーク

ダーク (dark) とは、熱的に発生した電子 (暗電流) によって、CCD に光を当てなくても発生するカウント値のことでダークカウントとも呼ばれます。ダークカウントは CCD の温度と露出時間に依存し、温度が高いほど、露出時間が長いほど増えます。特に冷却温度が低くない電子冷却式の CCD カメラで問題になります。窒素冷却式や冷凍機によって CCD を -130 度近くまで冷却すればダークカウントは無視できるほど少なくなります。

(3) スカイ

地上からの天体観測では、地球大気を通して天体を観測するため、天体のスペクトルの他に地球の上層大気から放射される酸素 ([O I]) や水酸基 (OH) などの夜光や、蛍光灯 (Hg I) などの街の光が地球大気で散乱され、天体のスペクトルに重なって写ります。この成分を「スカイバックグラウンド」(sky background) または「スカイ」(sky) と呼びます。また、人工の光で空が明るくなってしまふことを光害 (ひかりがい) といいます。

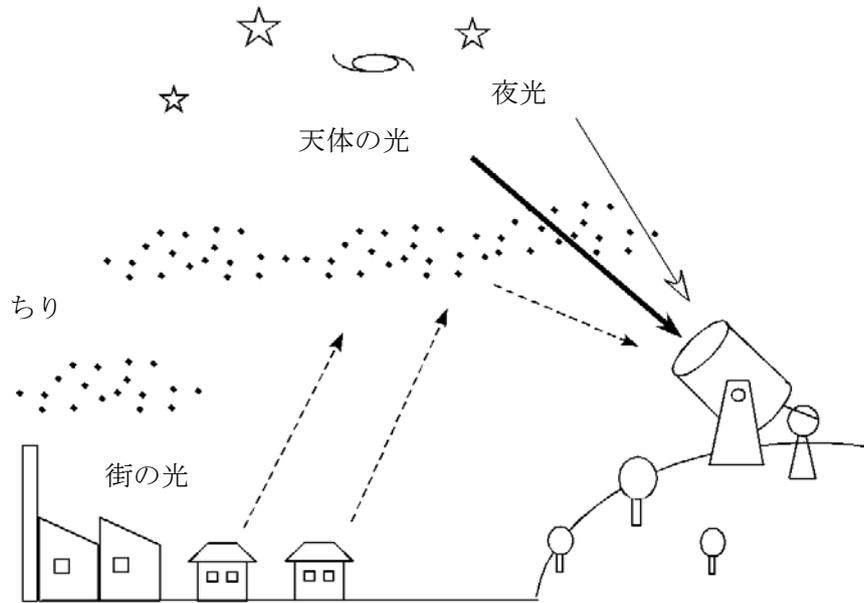


図 4-1 光害 (ひかりがい) と夜光

図 4-2 は、美星天文台で地球大気のスぺクトルを写した画像です。地球大気のスぺクトルは、スリット全体にあたるため、縦に長い線として写ります。画像中でボツボツ写っている点は、宇宙線イベントです。

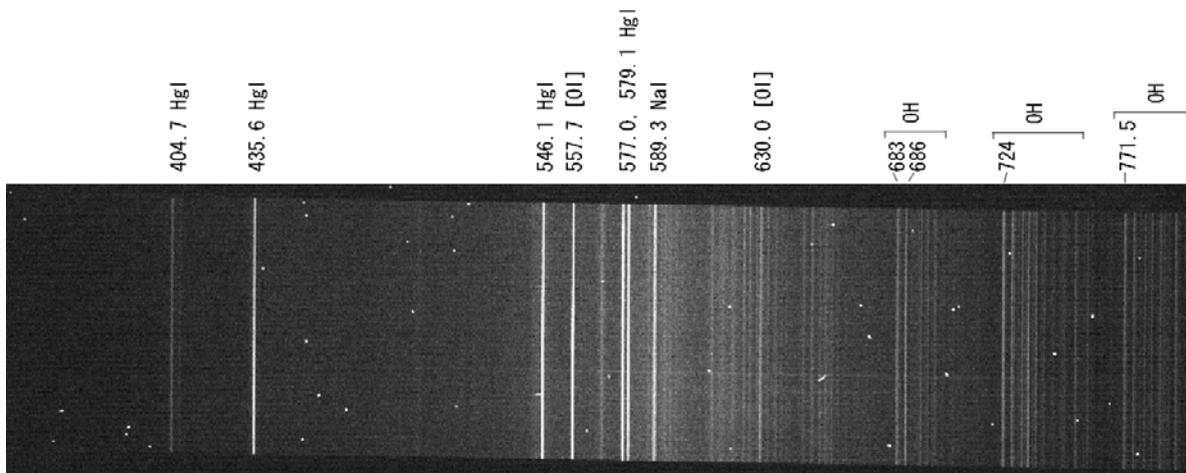


図 4-2 地球大気のスぺクトル画像

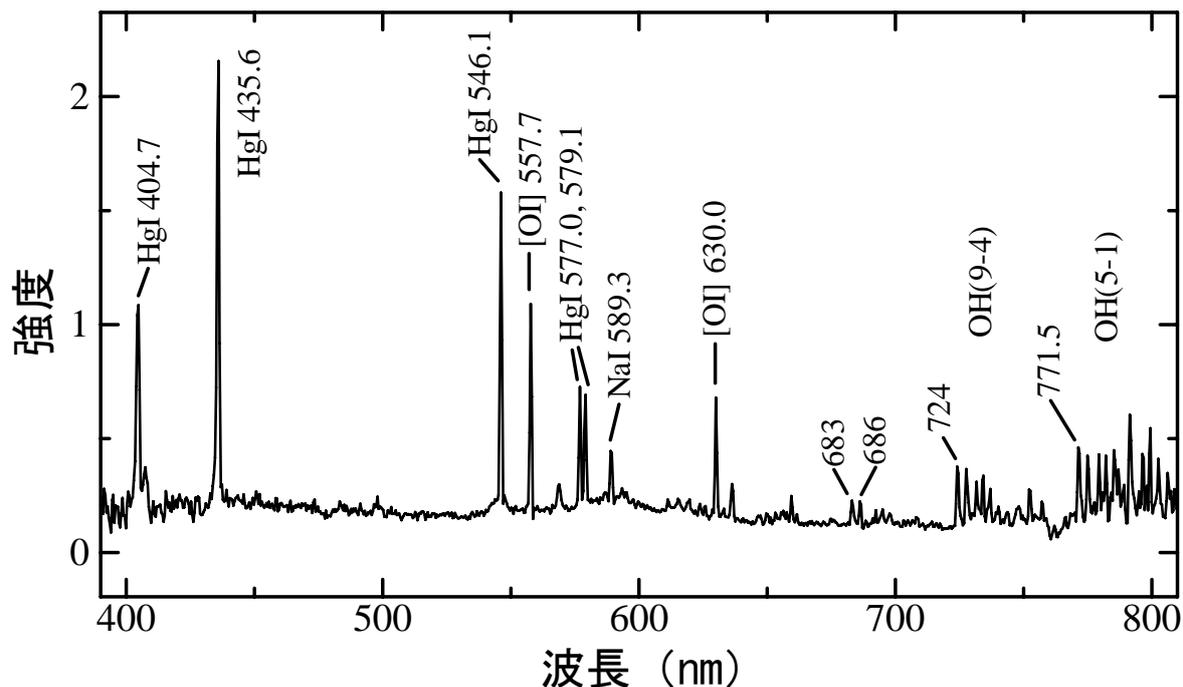


図 4-3 美星天文台での空（夜光と人工光）のスペクトル

(4) 宇宙線イベント

上空から降り注ぐ宇宙線がたまたま CCD に衝突したときに発生する電子によって、画像に高いカウント値を持つピクセルが現れます。これが宇宙線イベント (cosmic ray event) と呼ばれる現象です。露出時間が長いとそれだけ宇宙線と遭遇する確率が高いので宇宙線イベントは多くなります。

(5) オブジェクト

天体のことを「オブジェクト」 (object) とよび、天体に対して露出した CCD 画像のこととオブジェクトフレームと呼びます。オブジェクトフレームは、バイアス+ダーク+スカイ (×フラット) +天体の光 (×フラット) が重なっており、グラフで表すと図 4-4 のようになります。ここでフラットについては次に説明します。

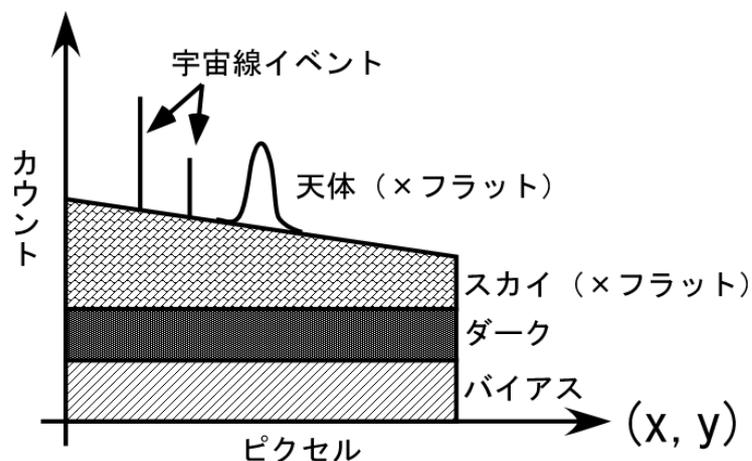


図 4-4

4.3 フラット

CCD の全てのピクセルに同じ明るさ量の光を当てたととしても、ピクセルには感度ムラがあるので、ピクセルごとに異なるカウント値を持つ画像が得られます。また、天体の光が望遠鏡や分光器を通ってくる際に光学的な収差や光学部品の表面に付いたホコリによる影響で、CCD の場所によって感度が異なってきます。これら全てを含んだ感度ムラを補正するための画像が「フラットフレーム」(flat frame)です。分光観測の場合のフラットは、ハロゲンランプなどの光源を望遠鏡と同じF値でスリットに一樣に当てて撮影します。

4.4 観測で得られる画像

(1) オブジェクトフレーム

オブジェクトフレーム(object frame)は天体に対して露出をかけた画像のことです。分光観測のときはスペクトルの画像であるし、撮像観測の時は天体のイメージが写ります。

(2) バイアスフレーム

バイアスフレーム(bias frame)は、CCD のバイアス成分を得るためにシャッターを閉じた状態で、露出時間 0 秒で得た画像です。

(3) ダークフレーム

ダークカウントは CCD の温度と露出時間に依存するので、オブジェクトフレームと同じ冷却温度、同じ露出時間で、ダークフレーム(dark frame)を取得します。窒素冷却や機械式の冷凍機を使って -130 度まで冷却すれば暗電流はほとんど発生しないのでダークカウントはゼロになりダークフレーム取得する必要はありません。

(4) フラットフレーム

CCD のピクセル間の感度ムラや望遠鏡や分光器の光学系による収差、ケラレ、フィルターのゴミ、などによる CCD チップ上の感度ムラを補正するために取得する画像です。撮像観測の場合は、望遠鏡を完全に均一な明るさのパネルに向けフラットを取得したり薄明を撮ったりします。分光観測の場合は、分光器の内部にあるハロゲンランプなどの光源をつかって取得します。

(5) コンパリソフレーム

コンパリソフレーム(comparison frame)とは、分光観測の時に波長較正のために取得するフォロカソードランプのスペクトル画像です。美星天文台では鉄・ネオン輝線を出すフォロカソードランプを使用しています。コンパリソフレームは、オブジェクトフレームの前後に撮影し、もし、コンパリソフレームに写っているスペクトルが移動していたら、その間のオブジェクトフレームは使用することができません。

5 低分散分光データ解析

5.1 観測野帳

低分散分光観測 (Herbig Ae/Be 型星)

観測日 2004年4月20日 温度? 湿度?

分光器の設定 5700Å ホーダーカットフィルター-1 (素通し)

8000Å ホーダーカットフィルター-2 (5000Å以下カット)

表 5-1 2004年4月20日の観測野帳

天体	開始時間 (日本標準時)	波長 (Å)	露出時間 (秒)	ファイル名 (.fit)	備考
Bias	19:23	-	0	11~15	CCD -127 度
comp	19:35	5700	3	16	
AB Aur	19:36	"	300	17	高度 33 度。雲アリ。ガイド少し外れる。
comp	19:42	"	3	18	
comp	19:43	8000	3	19	CCD -127 度
AB Aur	19:44	"	600	110	高度 31 度。
comp	19:55	"	3	111	
	22:35				101cm フォーカス微調整
comp	22:53	5700	3	130	
HR5501	23:01	"	30	133	高度 46 度
comp	23:02	"	3	134	
Flat	23:10	"	20	135~139	CCD -130 度
Flat	23:15	8000	30	140~144	
Bias	23:19	-	0	145~149	
comp	23:23	8000	3	150	
HR5501	23:24	"	30	151	高度 49 度
comp	23:26	"	3	152	
comp	23:31	"	3	153	
HD141569	23:35	"	300	155	
comp	23:41	"	3	156	
comp	23:42	5700	3	157	コンパリソン切替ミラー逆転
HD141569	23:43	"	300	158	
HD141569	23:50	"	200	160	
Comp	23:49	"	3	162	ミラー修正。これを用いる。

ここで表中の天体欄の意味は、**AB Aur** : オブジェクトフレーム、**HD141569** : オブジェクトフレーム、**HR5501** : オブジェクトフレーム (標準星)、**Bias** : バイアスフレーム、**Comp** : コンパリソフフレーム、**Flat** : フラットフレームです。波長は写っているスペクトルの中心波長で波長幅は約 **4000 Å** です。ファイル名は低分散スペクトル (**low dispersion spectrum**) の観測なので、「I」(エル) を頭に付けた番号が振ってあります。

5.2 チュートリアル

データを作業するディレクトリーにコピーしたら、以下の手順で処理を進めてゆきます。

(1) データのあるディレクトリーに移る : cd

```
cl> cd data040420
```

(2) ファイルを確認 : ls

```
cl> ls
```

```
l1. fit  l30. fit  l37. fit  l41. fit  l46. fit  l50. fit  l56. fit  l62. fit
l10. fit l33. fit l38. fit l42. fit l47. fit l51. fit l57. fit l7. fit
l11. fit l34. fit l39. fit l43. fit l48. fit l52. fit l58. fit l8. fit
l2. fit  l35. fit l4. fit  l44. fit l49. fit l53. fit l6. fit  l9. fit
l3. fit  l36. fit l40. fit l45. fit l5. fit  l55. fit l60. fit
```

(3) データの状況を確認 : imstat

バイアスやフラットフレームに宇宙線イベントがないか確認します。

```
cl> imstat l?.fit (「1」 + 1文字 + 「.fit」のファイルについて imstat)
```

#	IMAGE	NPIX	MEAN	STDDEV	MIN	MAX
	l1. fit	262144	256. 2	3. 948	238.	274.
	l2. fit	262144	256. 4	3. 899	238.	273.
	l3. fit	262144	256. 3	3. 893	240.	272.
	l4. fit	262144	256. 3	4. 099	239.	703. (※)
	l5. fit	262144	256. 8	3. 908	239.	275.
	l6. fit	262144	968. 9	3948.	244.	64794.
	l7. fit	262144	365. 6	692. 7	243.	43955.
	l8. fit	262144	948. 8	3849.	244.	64793.
	l9. fit	262144	817. 3	3227.	243.	64793.

```
cl> imstat l??fit (「1」 + 2文字 + 「.fit」のファイルについて imstat)
```

#	IMAGE	NPIX	MEAN	STDDEV	MIN	MAX
	l10. fit	262144	379. 1	1088.	243.	64791.
	l11. fit	262144	816. 7	3192.	243.	64792.
	l30. fit	262144	935.	3802.	243.	64777.
	l33. fit	262144	356. 5	1065.	242.	24708.
	l34. fit	262144	941. 2	3890.	244.	64777.
	l35. fit	262144	9082.	8748.	294.	27145.
	l36. fit	262144	9514.	9166.	297.	28667.
	l37. fit	262144	9459.	9115.	299.	28311.
	l38. fit	262144	9754.	9399.	297.	29253.

l39. fit	262144	9798.	9442.	301.	29315.
l40. fit	262144	13254.	12251.	345.	39141.
l41. fit	262144	13273.	12268.	346.	39331.
l42. fit	262144	13152.	12150.	340.	38918.
l43. fit	262144	13197.	12192.	335.	38982.
l44. fit	262144	13200.	12194.	342.	38994.
l45. fit	262144	256.7	3.578	240.	273.
l46. fit	262144	256.8	15.05	240.	7533. (※)
l47. fit	262144	256.9	3.572	241.	275.
l48. fit	262144	257.	3.573	240.	272.
l49. fit	262144	256.	3.57	240.	274.
l50. fit	262144	791.9	3019.	242.	60619.
l51. fit	262144	295.3	494.5	240.	12852.
l52. fit	262144	820.	3154.	243.	62684.
l53. fit	262144	804.1	3040.	241.	48558.
l55. fit	262144	369.6	1428.	242.	39883.
l56. fit	262144	785.9	3017.	242.	63851.
l57. fit	262144	267.9	62.92	242.	1363.
l58. fit	262144	494.9	2483.	243.	57677.
l60. fit	262144	401.9	1467.	243.	33707.
l62. fit	262144	957.2	3927.	244.	64778.

※：宇宙線イベントがある可能性アリ

(4) 画像のチェック : display

例えば、バイアスフレームに宇宙線イベントがあるかどうか `display` コマンドを使って調べます。

`cl> disp l4`

frame to be written into (1:4) (1): ←

z1=245. z2=269.

()の中はデフォルト値、または、前に使った値が入っている。変更しないときは、ENTERでOK.



図 5-1 バイアスフレーム (l4)。白い点は宇宙線イベント。

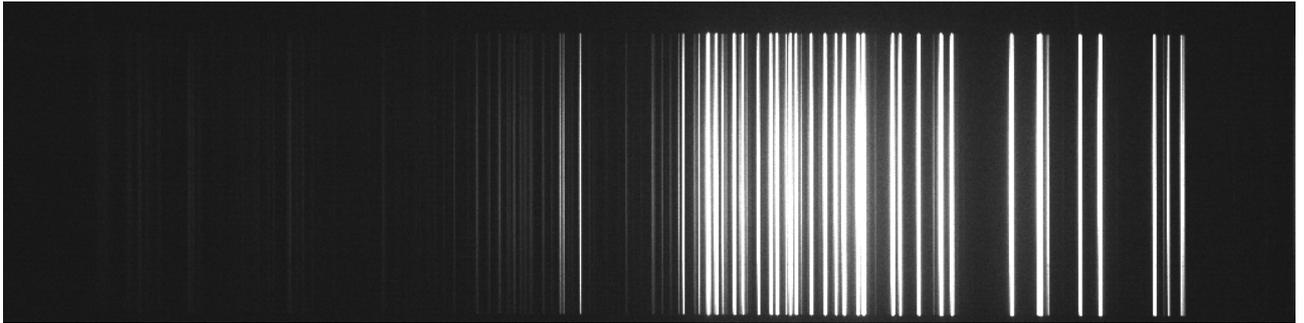


図 5-2 コンパリソフレーム(16)。鉄ネオンの輝線スペクトル

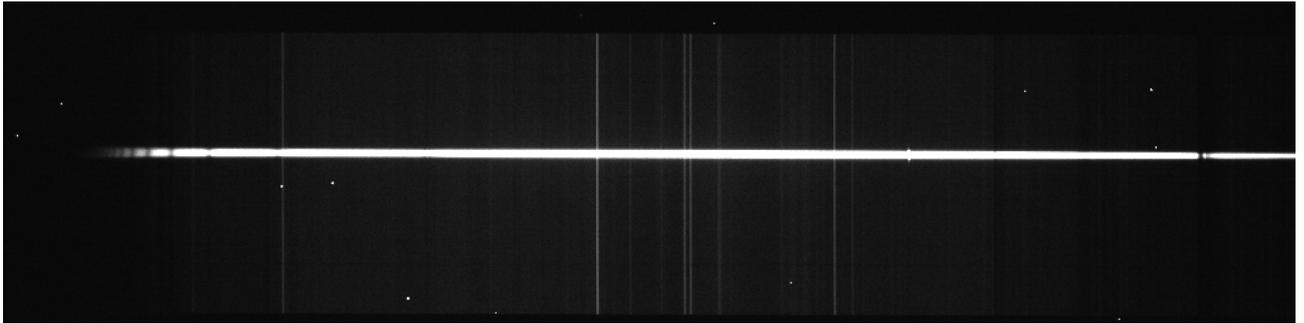


図 5-3 オブジェクトフレーム(17)。ABAur のスペクトル。縦に線として写っているのが空のスペクトル (スカイバックグラウンド)。横一本の線が ABAur のスペクトル。



図 5-4 フラットフレーム(135)。

(5) バイアスフレームの合成 : imcombine

宇宙線イベントがあるフレームを使用しなくても良いですが、画像が複数ある時は `imcombine` のシグマクリップ機能を使って、複数の画像の同じピクセルに対して、統計的に値が飛び抜けて外れているものを除外して平均化することができます。

```
cl> epa imcomb
```

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

```
PACKAGE = immatch
```

```
TASK = imcombine
```

```
input   =      I1,I2,I3,I4,I5  List of images to combine ← 入力ファイル名
```

```
output  =      bias  List of output images ← 出力ファイル名
```

```
(headers=      ) List of header files (optional)
```

(bpmasks=) List of bad pixel masks (optional)
 (rejmask=) List of rejection masks (optional)
 (nrejas=) List of number rejected masks (optional)
 (expmask=) List of exposure masks (optional)
 (sigmas =) List of sigma images (optional)
 (logfile= STDOUT) Log file

(combine= average) Type of combine operation ← average を選択
(reject = sigclip) Type of rejection ← シグマクリップを使用
 (project= no) Project highest dimension of input images?
 (outtype= real) Output image pixel datatype
 (outlimi=) Output limits (x1 x2 y1 y2 ...)
 (offsets= none) Input image offsets
 (masktyp= none) Mask type
 (maskval= 0.) Mask value
 (blank = 0.) Value if there are no pixels

(scale = none) Image scaling
 (zero = none) Image zero point of
 (weight = none) Image weights
 (statsec=) Image section for c
 (exptime=) Image header exposure time keyword

(lthresh= INDEF) Lower threshold
 (hthresh= INDEF) Upper threshold
 (nlow = 1) minmax: Number of l
 (nhigh = 1) minmax: Number of h
 (nkeep = 1) Minimum to keep (po
 (mclip = yes) Use median in sigma

(lsigma = 1.) Lower sigma clippin ← 1 シグマ以下はクリップ
(hsigma = 1.) Upper sigma clippin ← 1 シグマ以上はクリップ
 (rdnoise= 0.) ccdclip: CCD readout noise (electrons)
 (gain = 1.) ccdclip: CCD gain (electrons/DN)
 (snoise = 0.) ccdclip: Sensitivity noise (fraction)
 (sigscal= 0.1) Tolerance for sigma clipping scaling correction
 (pclip = -0.5) pclip: Percentile clipping parameter
 (grow = 0.) Radius (pixels) for neighbor rejection
 (mode = ql)

:go ←

Apr 18 16:20: IMCOMBINE

```
combine = average, scale = none, zero = none, weight = none
reject = sigclip, mclip = yes, nkeep = 1
lsigma = 1., hsigma = 1.
blank = 0.
```

Images

```
l1
l2
l3
l4
l5
```

Output image = bias, ncombine = 5

(6) フラットフレームの合成 : imcombine

バイアスフレームと同様にフラットフレームを合成します。コマンドは、設定済のパラメーターを使用するのであれば、インタラクティブに使用したり、コマンドラインからパラメーターを付けて実行したりできます。実行後に合成したフレームに宇宙線イベントが無いかなどを `display` コマンドでチェックしておきます。

cl> imcomb (インタラクティブに実行)

List of images to combine (l1,l2,l3,l4,l5): l35,l36,l37,l38,l39 ←

List of output images (bias): flat57 ←

Apr 18 16:27: IMCOMBINE

```
combine = average, scale = none, zero = none, weight = none
reject = sigclip, mclip = yes, nkeep = 1
lsigma = 1., hsigma = 1.
blank = 0.
```

Images

```
l35
l36
l37
l38
l39
```

Output image = flat57, ncombine = 5

cl> imcomb l40,l41,l42,l43,l44 flat80 (パラメーターを付けて実行)

Apr 18 16:29: IMCOMBINE

```
combine = average, scale = none, zero = none, weight = none
```

```
reject = sigclip, mclip = yes, nkeep = 1
lsigma = 1., hsigma = 1.
blank = 0.
```

Images

```
140
141
142
143
144
```

```
Output image = flat80, ncombine = 5
```

(7) フラットからバイアスを引く : imarith

imarith を使って画像の演算をおこないます。

```
cl> imarith flat57 - bias flat57b
```

```
cl> imarith flat80 - bias flat80b
```

(8) フラットの規格化 : imarith

フラットフレームの画像の平均値でそれ自身を割って画像の平均値を1にします。こうすることで天体フレームをフラットで割るときに天体フレームのカウント値が極端に小さな値にならないようにします。

```
cl> imstat flat57b, flat80b
```

#	IMAGE	NPIX	MEAN	STDDEV	MIN	MAX
	flat57b.fits	262144	9325.	9240.	44.	29031.
	flat80b.fits	262144	12958.	12210.	92.5	38670.

```
cl> imarith flat57b / 9325 flat57bn
```

```
cl> imarith flat80b / 12958 flat80bn
```

```
cl> imstat flat57bn, flat80bn
```

#	IMAGE	NPIX	MEAN	STDDEV	MIN	MAX
	flat57bn.fits	262144	1.	0.9908	0.004718	3.113
	flat80bn.fits	262144	1.	0.9423	0.007138	2.984

(9) オブジェクト（目的星・標準星）フレームの一次処理 : imarith

オブジェクトフレームからバイアスを引き、フラットで割ります。

以後、5700Åの観測だけを処理します。目的星のファイルは17、標準星は133を使用します。

```
cl> imarith I7 - bias I7b
```

```
cl> imarith I33 - bias I33b
```

```
cl> imarith I7b / flat57bn I7bf
```

```
cl> imarith I33b / flat57bn I33bf
```

(10) オブジェクトの空間方向への広がりを調べる : implot

CCD に写った天体のスペクトルは、シーイングやガイドエラーによってスリットの空間方向に幅をもっています。この幅を見積もって、一次元化するときの設定するパラメーターのヒントにします。これを調べるには `implot` コマンドを使用します。`implot` は、CCD 画像の任意の縦 (column) 横 (line) を切り出して 1 次元グラフとして表示します。

`cl> implot l7bf`

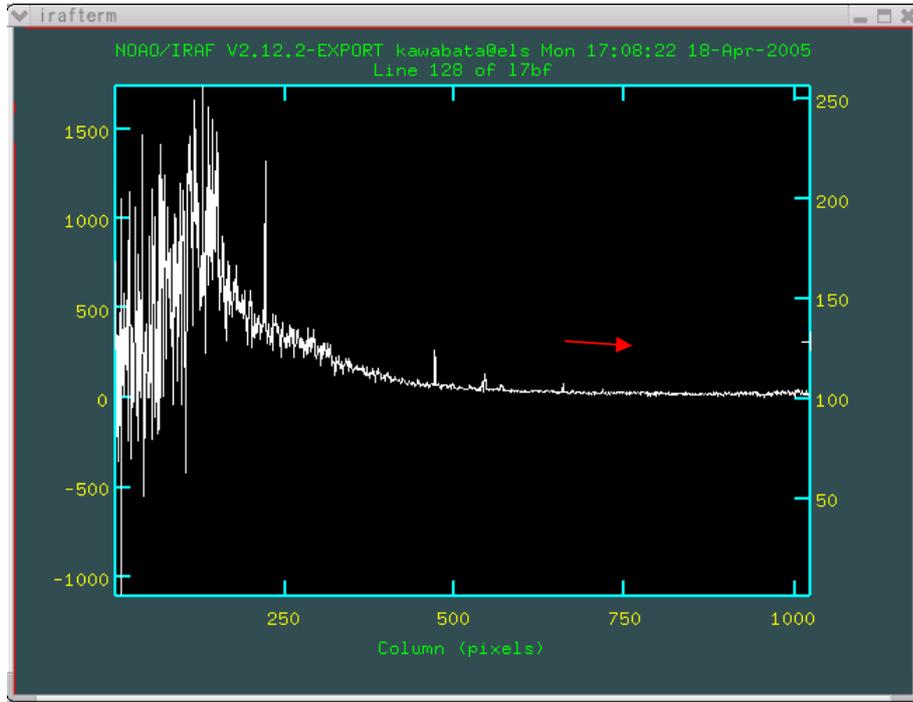


図 5-5

図 5-5 の横軸は Column つまり画像の X 方向、左の縦軸はカウント値です。タイトルにあるように Line 128 (画像の Y=128 の横一列) を表示しています。右の縦軸は何 line 目を表示しているかを示しており 128 近くに横線のマークがあります。「l」 (line) キーをグラフ上で押すとカーソルがある座標の画像の X 方向をグラフとして表示します。「c」 (column) キーを押すと画像の Y 方向を表示します。

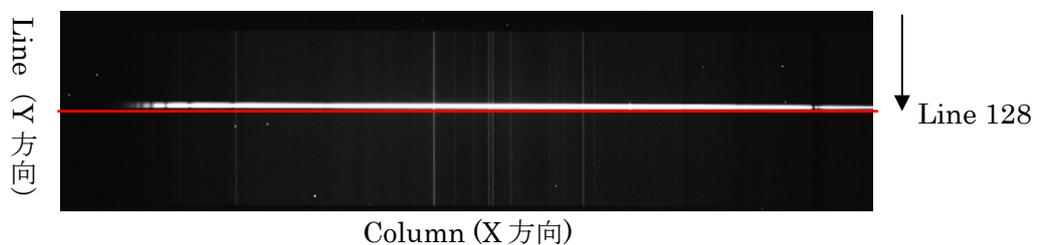


図 5-6 画像の赤線の部分 (断面) がグラフ表示されている。

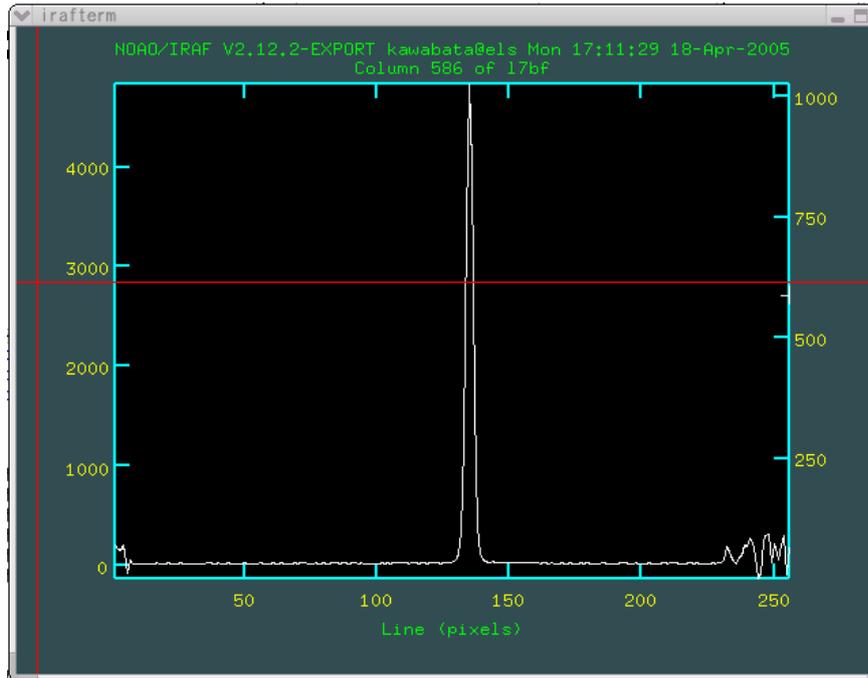


図 5-7 「c」 を押した時の表示。真ん中のピークが天体のスペクトルが写っている部分。

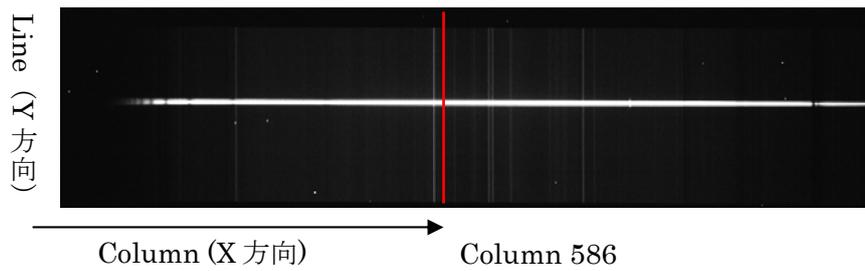


図 5-8

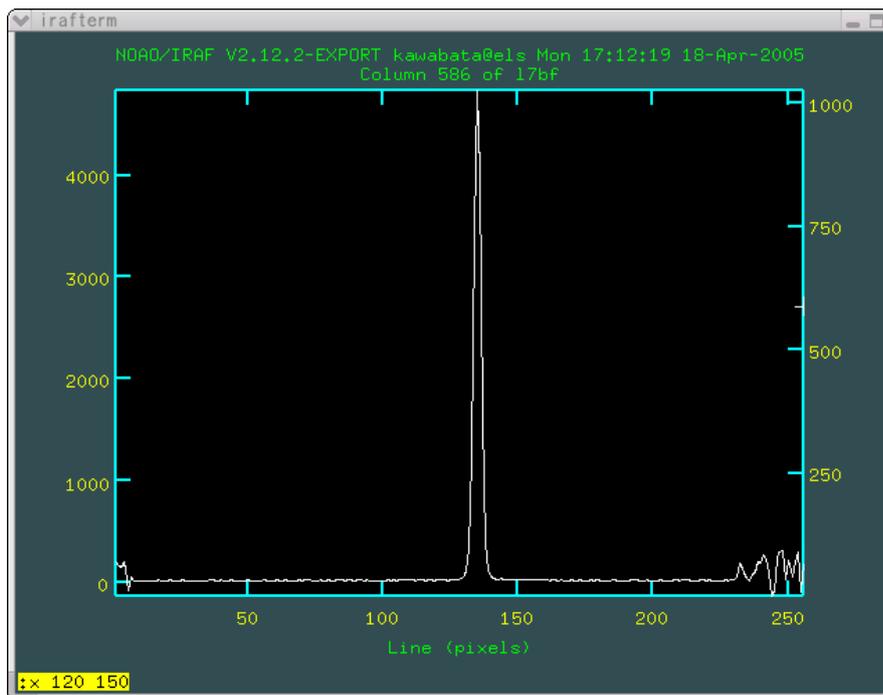


図 5-9

図 5-9 で、「:」 キーを押して「x 120 150」と入力するとその部分が拡大されます。

:x 120 150

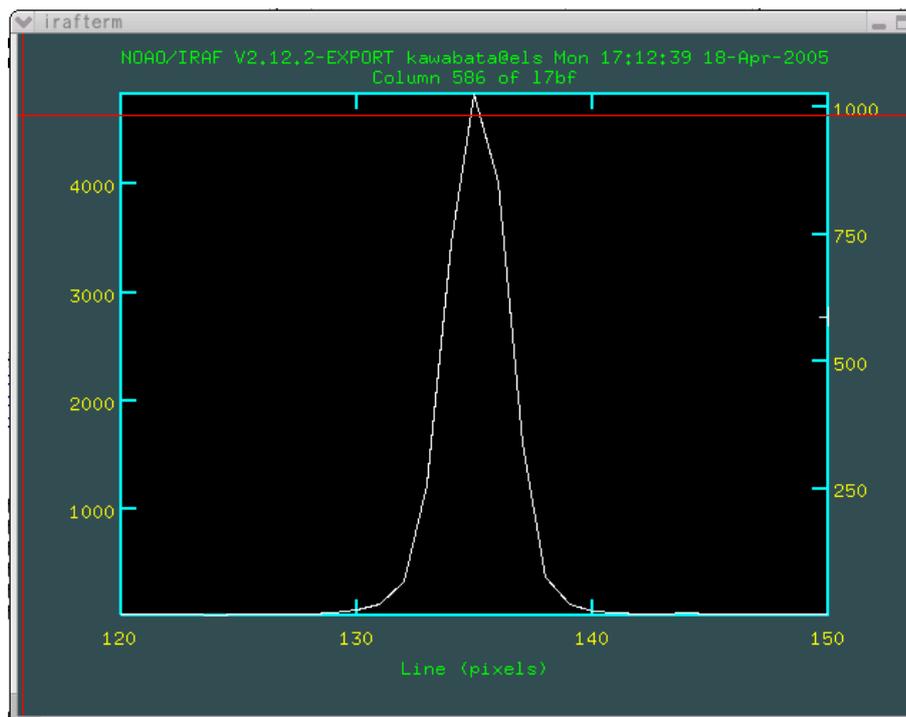


図 5-10 拡大図

この幅がスペクトルの空間的な広がりです。ここではおよそ 8 ピクセルに渡っているので、8 ピクセル幅でスペクトルを抽出することになります。「:x」のみ入力すればフルスケールになります。

implot コマンドリファレンス

? (ヘルプが表示される) 全てのグラフ画面に共通

q (終了) 全てのグラフ画面に共通

l (line の 1 本を表示)

c (column の 1 本を表示)

:x a b (a~b の X 座標を表示する、x のみでフルスケール)

:y a b (a~b の Y 座標を表示する、y のみでフルスケール)

:c a b (column の a~b を足し合わせて表示)

:l a b (line の a~b を足し合わせて表示)

:c 1 1000

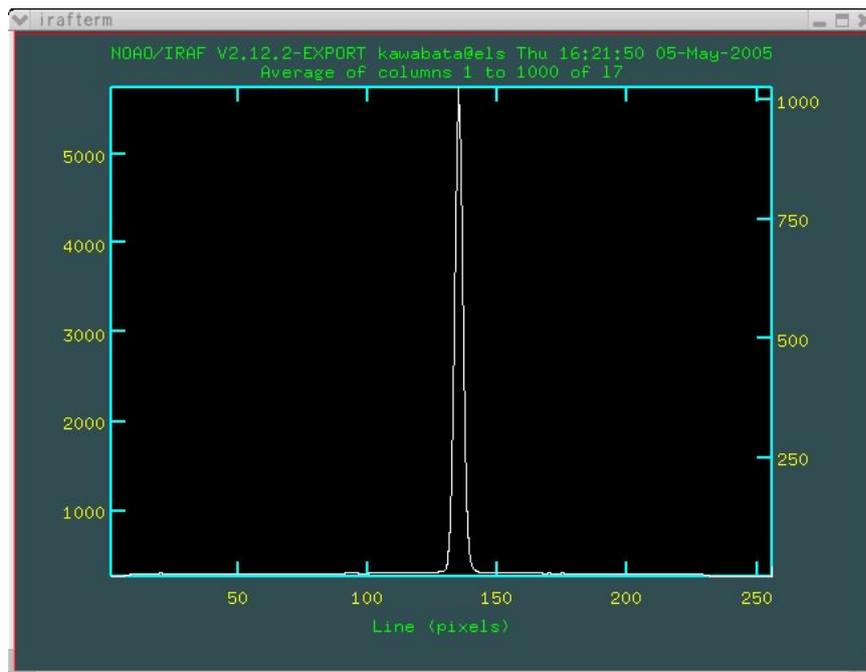
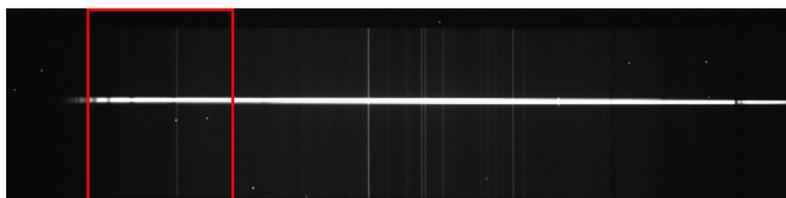


図 5-11 「:c 1 1000」 を入力したときの表示



a

b

図 5-12 「:c a b」 の画像の範囲

:l 135 140

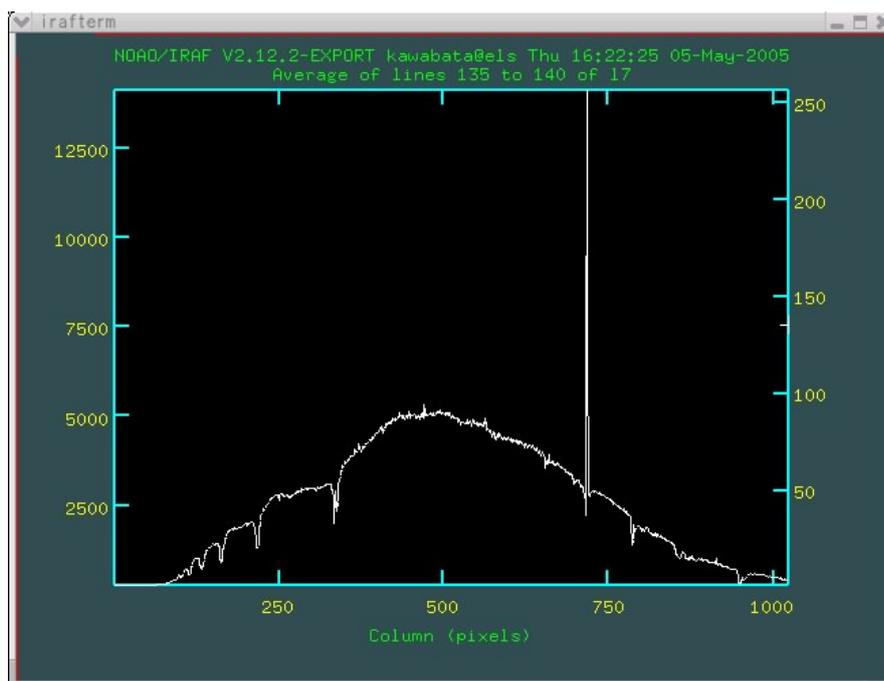


図 5-13 「:l 135 140」 を入力したときの表示

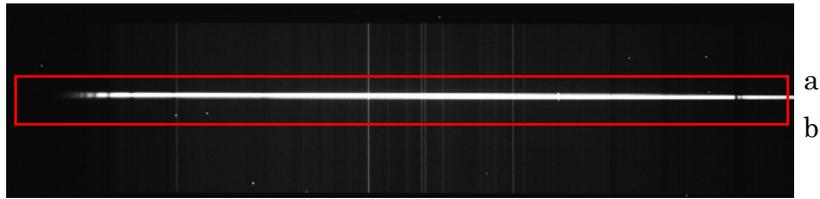


図 5-13 「:l a b」の画像の範囲

(11) オブジェクトフレームの前後のコンパリソンをチェックする

オブジェクトフレームの前後に撮影したコンパリソフフレームのスペクトルが動いていないかチェックします。スペクトルの移動が問題になるほど大きければ、その間に写したオブジェクトフレームはデータとして信用できないので、捨てるほかありません。まず、16のコンパリソフフレームを `implot` コマンドで表示してみます。

`cl> implot l6`

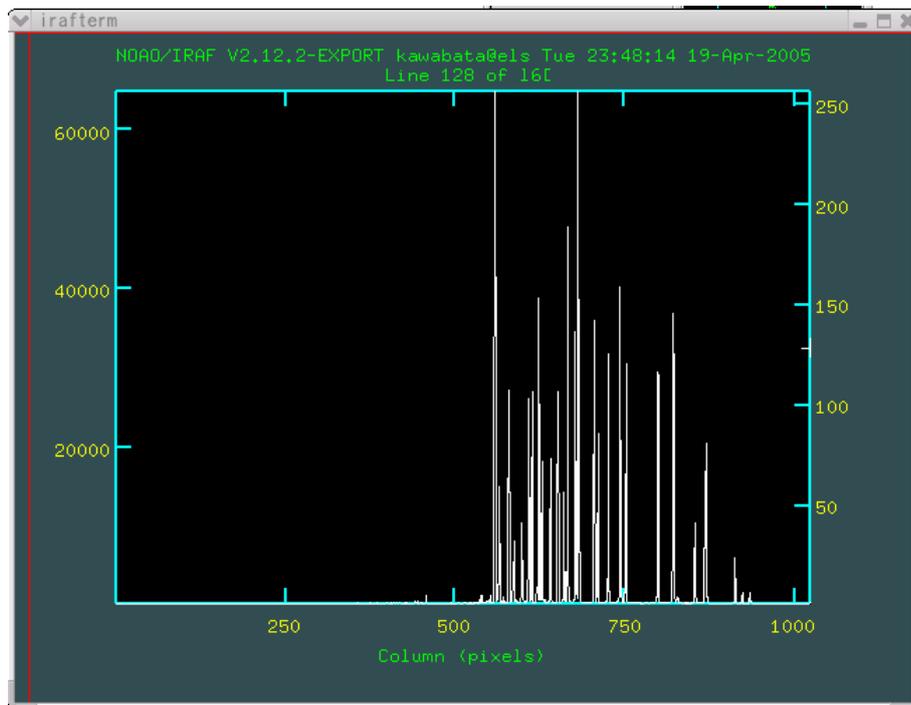


図 5-14 コンパリソフフレームの `implot` 表示

コンパリソフフレームのスペクトルの最大は 60000 カウントを超えています。ここでオブジェクトフレーム (17) の前後に撮影されたコンパリソフフレームの差をとり、その画像を `implot` コマンドで表示してみます。

`cl> imarith l6 - l8 t1`

`cl> implot t1`

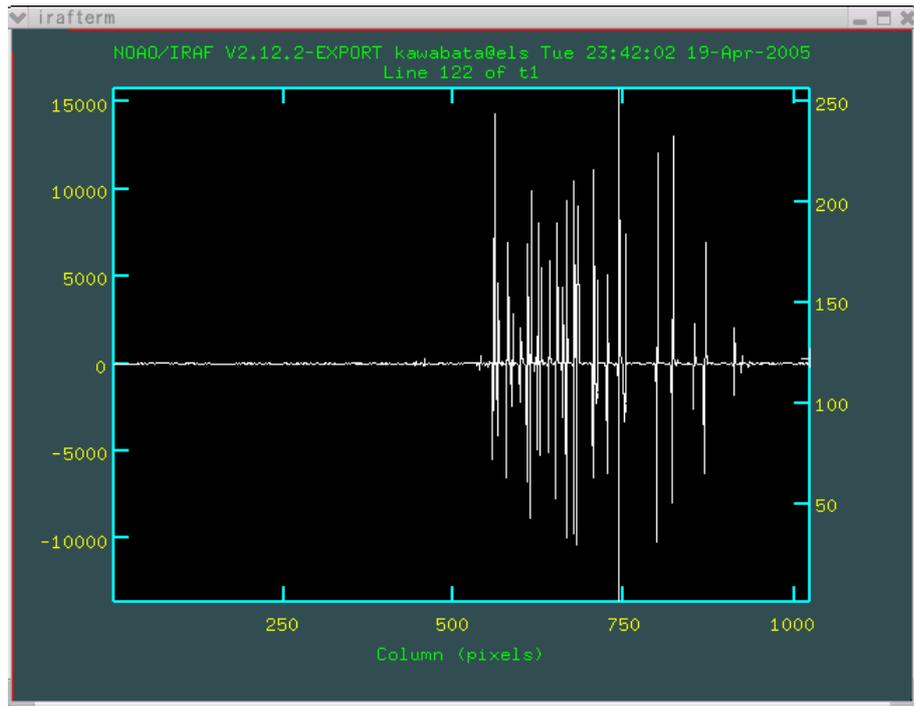


図 5-15 差分の表示

最大・最小が 15000 程度です。コンパリソンの移動が大きければ、最大・最小の幅が大きくなります。一部を拡大してみます。

: x 600 650

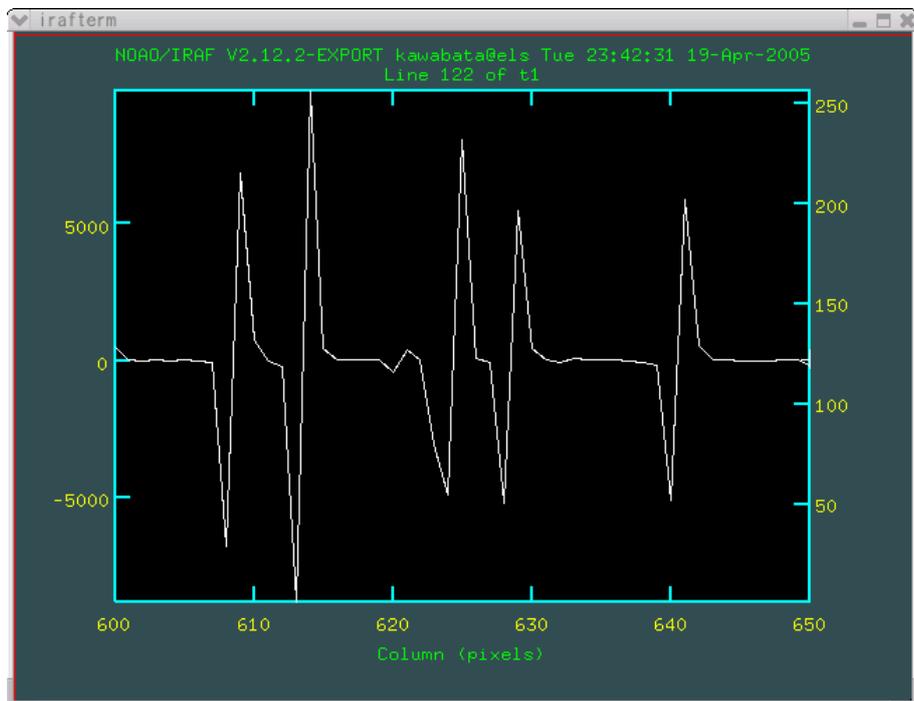


図 5-16 拡大図

16 に比べて差し引いた 18 のスペクトルが少し左にずれているのでこのような形のグラフになります。ズレの量が 1 ピクセルより小さいので使用することにしましょう。こうしたスペクトルの場合は、16 と 18 を足した画像をコンパリソンプレーンとして波長較正に使うことを考えます。

cl> imarith l6 + l8 l6_8

(12) オブジェクトフレームの一次元化 : apall

apall コマンドを使って天体スペクトルを画像から抽出します。apall を使用するには、twodspec パッケージの apextract パッケージに移ります。

cl> tw

apextract. longslit.

tw> ap

```

apall      apedit      apflatten  apnormalize apscatter
apdefault@ apfind      apmask     aprecenter  apsum
apdemos.   apfit       apnoise    apresize    aptrace

```

apall のパラメータを設定します。詳しくは apall のヘルプを見て下さい。

cl> epa apall

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = apextract

TASK = apall

```

input    =          l7bf List of input images ← 入力ファイル名
(output  =          l7bfa) List of output spectra ← 出力ファイル名
(apertur=          ) Apertures
(format  =          multispec) Extracted spectra format
(referen=          ) List of aperture reference images
(profile=          ) List of aperture profile images

```

なし「” ”」と入力するとカラの設定になる

```

(interac=          yes) Run task interactively?
(find    =          yes) Find apertures?
(recente=          yes) Recenter apertures?
(resize  =          no) Resize apertures?
(edit    =          yes) Edit apertures?
(trace  =          yes) Trace apertures?
(fittrac=          yes) Fit the traced points interactively?
(extract=          yes) Extract spectra?
(extras  =          yes) Extract sky, sigma, etc.?
(review  =          yes) Review extractions?
(line    =          INDEF) Dispersion line
(nsum    =          10) Number of dispersion lines to sum or median

```

Interactive を yes にすると Find 以下の項目が問われてくる。Find 以下は各項目を Interactive に実行するかどうか。Resize 以外は全て Yes とした。

```

# DEFAULT APERTURE PARAMETERS

(lower =
(upper =
(apidtab=

-4.) Lower aperture limit relative to center
4.) Upper aperture limit relative to center
) Aperture ID table (optional)

# DEFAULT BACKGROUND PARAMETERS

(b_func=
chebyshev) Background function
(b_order=
2) Background function order
(b_sampl=
-20:-8,8:20) Background sample regions
(b_naver=
-100) Background average or median
(b_niter=
0) Background rejection iterations
(b_low_r=
3.) Background lower rejection sigma
(b_high_r=
3.) Background upper rejection sigma
(b_grow =
0.) Background rejection growing radius

# APERTURE CENTERING PARAMETERS

(width =
5.) Profile centering width
(radius =
10.) Profile centering radius
(thresho=
0.) Detection threshold for profile centering

# AUTOMATIC FINDING AND ORDERING PARAMETERS

nfind =
1 Number of apertures to be found automatically
(minsep =
5.) Minimum separation between spectra
(maxsep =
1000.) Maximum separation between spectra
(order =
increasing) Order of apertures

# RECENTERING PARAMETERS

(aprecen=
) Apertures for recentering calculation
(npeaks =
INDEF) Select brightest peaks
(shift =
yes) Use average shift instead of recentering?

# RESIZING PARAMETERS

(llimit =
INDEF) Lower aperture limit relative to center

```

幅 8 ピクセルなので - 4
ピクセルを設定する。

幅 8 ピクセルなので + 4
ピクセルを設定する

スカイバックグラウンドの
領域の設定 (グラフ参照)

負はメジアン (中央値)。数字はメ
ジアンをとるピクセル数。-100 に
しておけばバックグラウンド領域
全てでメジアンをとる。メジアン
をとる意味は宇宙線イベントによ
る影響をなくするため。

```
(ulimit = INDEF) Upper aperture limit relative to center
(ylevel = 0.1) Fraction of peak or intensity for automatic width
(peak = yes) Is ylevel a fraction of the peak?
(bkg = yes) Subtract background in automatic width?
(r_grow = 0.) Grow limits by this factor
(avglimit = no) Average limits over all apertures?
```

TRACING PARAMETERS

```
(t_nsum = 10) Number of dispersion lines to sum
(t_step = 10) Tracing step
(t_nlost = 3) Number of consecutive times profile is lost before
(t_function = legendre) Trace fitting function
(t_order = 10) Trace fitting function order
(t_sample = *) Trace sample regions
(t_naverage = 1) Trace average or median
(t_niterations = 0) Trace rejection iterations
(t_low_rejection = 3.) Trace lower rejection sigma
(t_high_rejection = 3.) Trace upper rejection sigma
(t_grow = 0.) Trace rejection growing radius
```

EXTRACTION PARAMETERS

```
(background = fit) Background to subtract
(skybox = 1) Box car smoothing length for sky
(weights = none) Extraction weights (none|variance)
(pfit = fit1d) Profile fitting type (fit1d|fit2d)
(clean = no) Detect and replace bad pixels?
(saturation = INDEF) Saturation level
(readnoise = 0.) Read out noise sigma (photons)
(gain = 1.) Photon gain (photons/data number)
(lower_rejection = 4.) Lower rejection threshold
(upper_rejection = 4.) Upper rejection threshold
(nsubapertures = 1) Number of subapertures per aperture
(mode = ql)
```

スカイの差し引き none : しない fit : する

:go ↵

Find apertures for I7bf? (yes): ↵

アパーチャーを探すか? Yes

Number of apertures to be found automatically (1): ↵

アパーチャーの数は？ 1

Edit apertures for l7bf? (yes): ↵

アパーチャーをエディットするか？ Yes

ここでグラフが現れます。

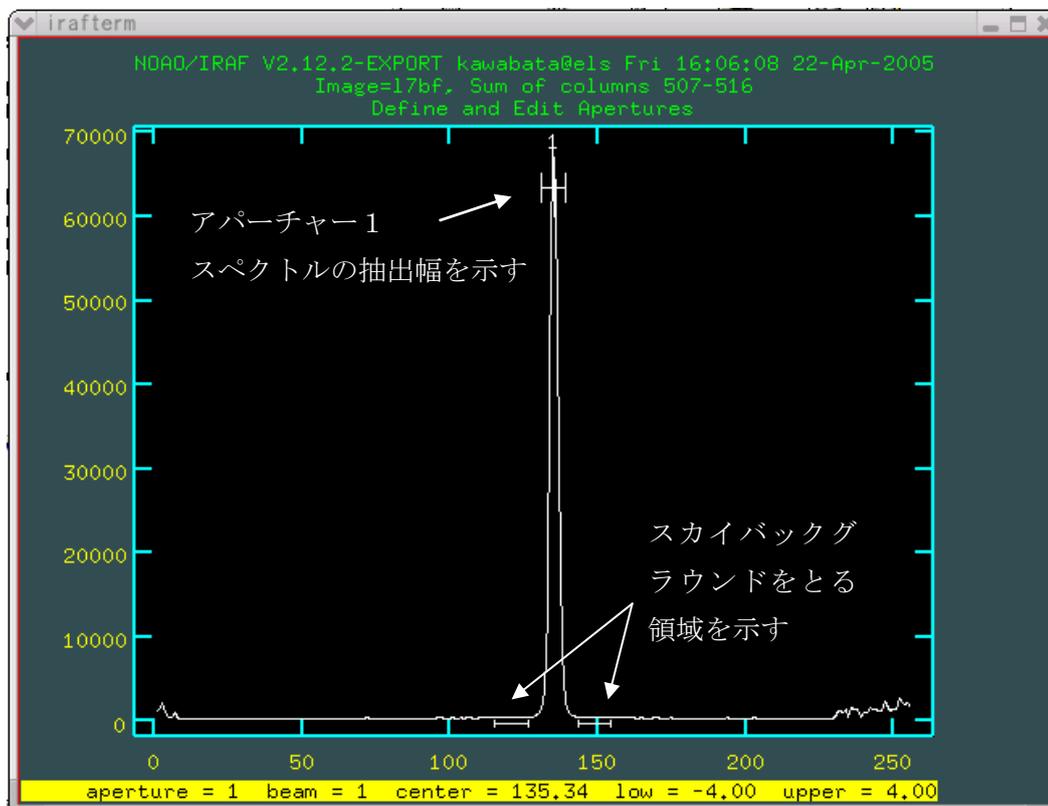


図 5-17

図 5-17 はスペクトルの断面図です。横軸が column (画像の縦軸) で縦軸がカウント値です。ここでは、column の 507 ピクセルから 516 ピクセルを足し合わせて表示しています。アパーチャーとは、抽出するスペクトルの部分のことを意味し、この分光器では 1 本なので値は 1 です。エッセル分光器のスペクトルの場合は何本にもなるので 2 以上の値になります。

スカイバックグラウンドのフィッティング状況を確認するためにこの画面で「b」(back ground) キーを押すと図 5-18 が現れます。

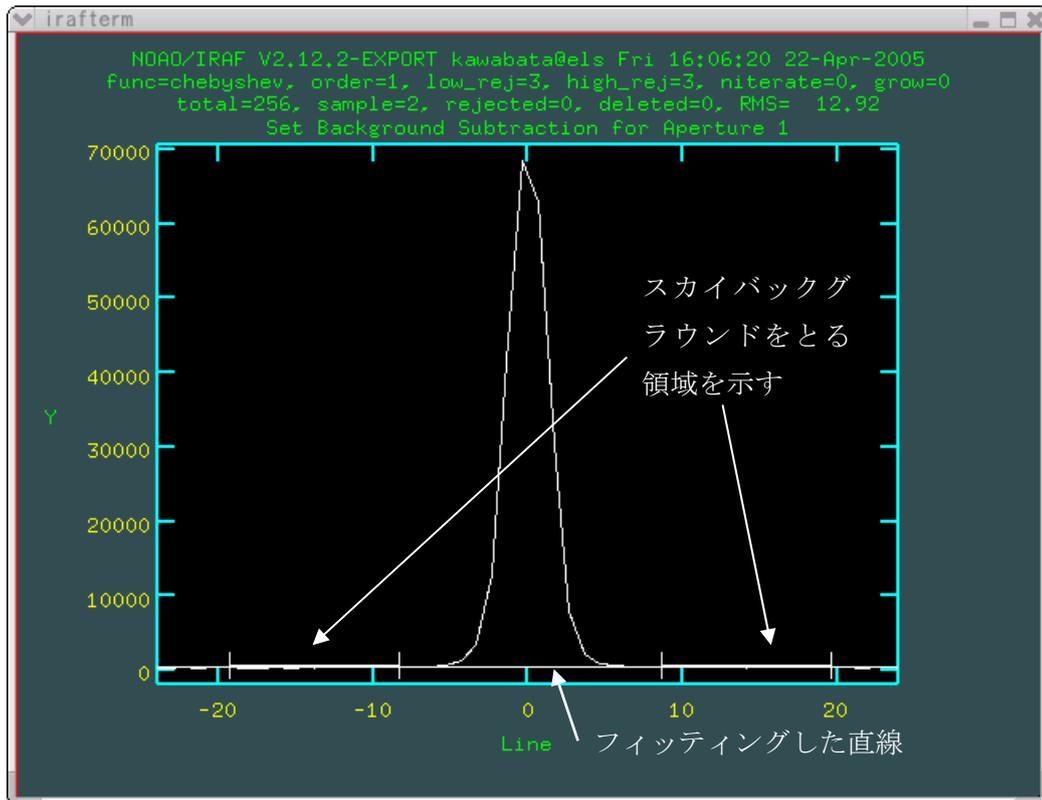


図 5-18

天体のスペクトルにスカイが重なっているので天体スペクトルが写っている左右（画像上では上下）でスカイバックグラウンドを補完して、天体のスペクトルを抽出するときにバックグラウンドを差し引いて抽出します。この領域があまり遠いとバックグラウンドの引き残りが起こるので注意して下さい。「q」（quit）キーを押すと前に戻ります。さらにもう一度「q」キーを押すと次に進みます。

Trace apertures for l7bf? (yes): ←

アパーチャーをトレースするかどうか？ Yes

Fit traced positions for l7bf interactively? (yes): ←

トレースする場所をインタラクティブにフィットするかどうか？ Yes

Fit curve to aperture 1 of l7bf interactively? (yes): ←

当てはめる曲線をインタラクティブにフィットするかどうか？ Yes

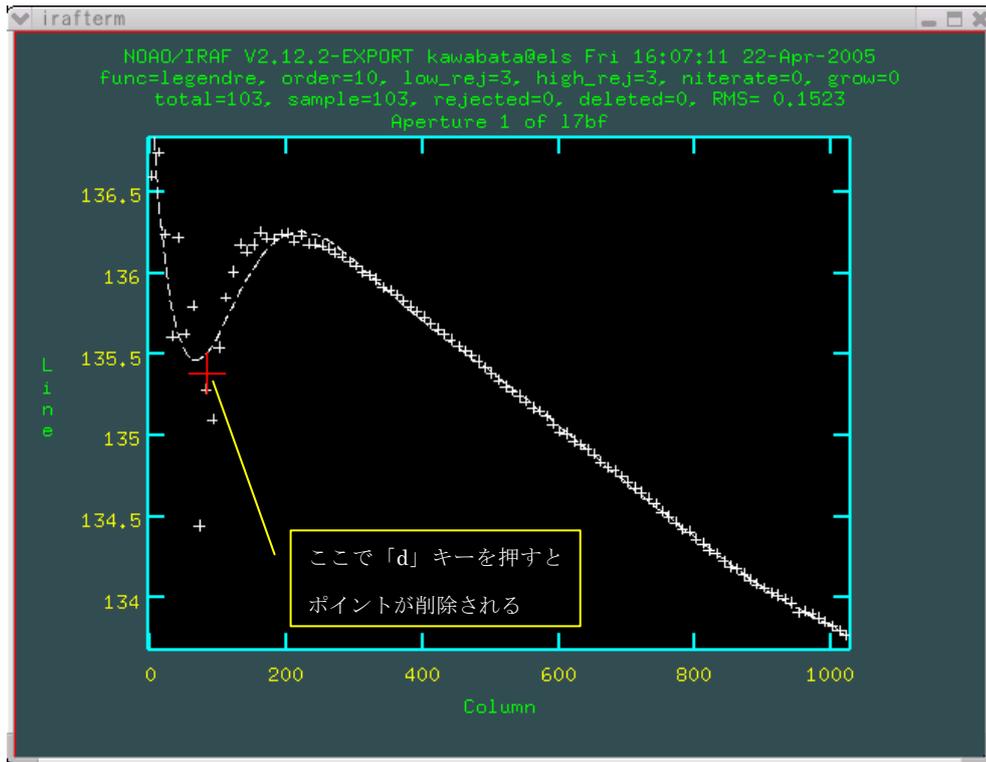


図 5-19

図 5-19 はスペクトルのピークをトレースしたグラフです。横軸は column、縦軸はピークのある Line の座標で、グラフの左の方は天体スペクトルの S/N が悪いためうまくフィットしていません。このグラフは美星天文台の分光器の場合で、グラフの形は分光器や観測波長によって異なります。グラフ上でフィッティングに使いたくない点は、カーソルを点に合わせて「d」(delete) キーを押すと削除できます。その後「f」(fit) キーを押すと再フィットします。

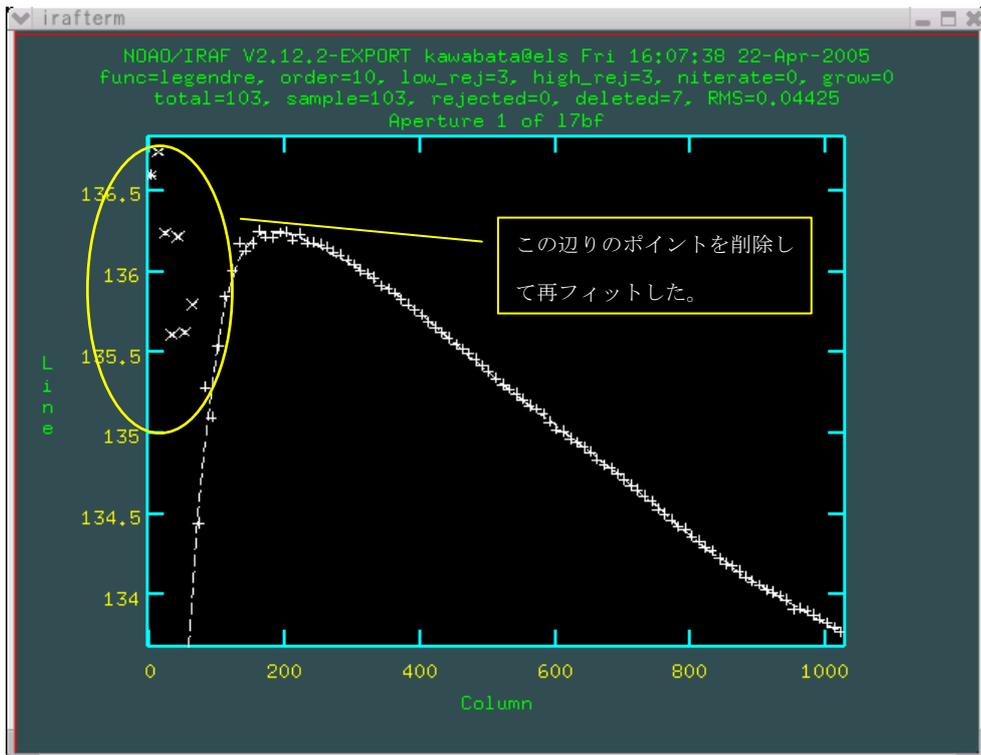


図 5-20

図 5-20 は再フィットしたグラフです。×マークは「d」キーによって消した点です。「q」キーで次に進みます。

Write apertures for l7bf to database? (yes): ↵

データベースにパラメータファイルを出力するか? Yes

処理しているデータのあるディレクトリーの下に **database** ディレクトリーが作成されてその中に **ap17bf** というファイルが作成されます。ここで **yes** としてもファイルを削除すると処理をやり直すことができます。

Extract apertures spectra for l7bf? (yes): ↵

スペクトルを抽出するか? Yes

Review extracted spectra from l7bf? (yes): ↵

l7bf から抽出したスペクトルを表示するか? Yes

Review extracted spectra for aperture 1 from l7bf? (yes): ↵

l7bf から抽出したアパーチャー 1 のスペクトルを表示するか? Yes

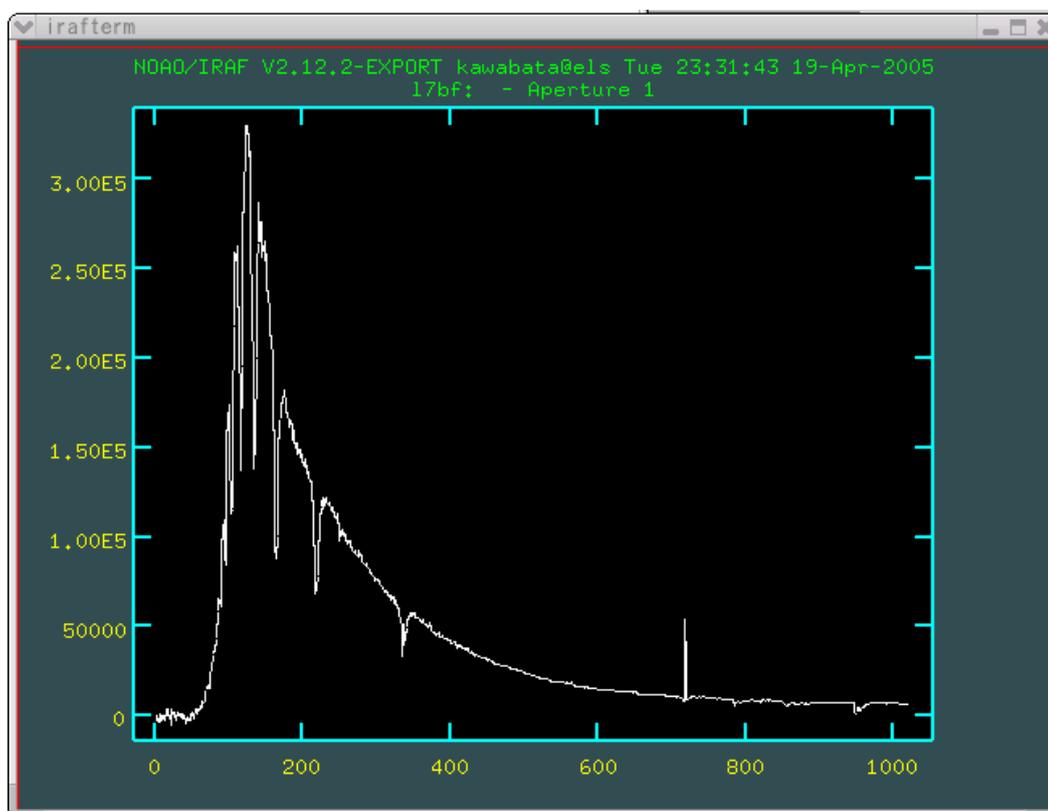


図 5-21

図 5-21 が **apall** によって画像から抽出されたスペクトルです。「q」キーを押すと終了します。

(13) コンパリソフフレームの一次元化 : **apall**

次にオブジェクトフレームに対応するコンパリソフフレームを一次元化します。オブジェクトフレーム (l7bf) の抽出パラメーターを参照することで、オブジェクトフレームで抽出した箇所と同じ部分を正確に抽出します。

ap> epa apall

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = apextract

TASK = apall

input = 16_8 List of input images
(output = 16_8a) List of output spectra
(apertur=) Apertures
(format = multispec) Extracted spectra format
(referen= 17bf) List of aperture reference images
(profile=) List of aperture profile images

(interac= yes) Run task interactively?
(find = no) Find apertures? ← アパーチャーを検索しない
(recente= no) Recenter apertures? ← 再センタリングしない
(resize = no) Resize apertures? ← リサイズしない
(edit = no) Edit apertures? ← エディットしない
(trace = no) Trace apertures? ← トレースしない
(fittrac= no) Fit the traced points interactively? ←
インタラクティブにトレースポイントをフィットしない

(extract= yes) Extract spectra?
(extras = no) Extract sky, sigma, etc.? ← スカイを差し引かない
(review = yes) Review extractions?

(line = INDEF) Dispersion line
(nsum = 10) Number of dispersion lines to sum or median

DEFAULT APERTURE PARAMETERS

(lower = -4.) Lower aperture limit relative to center
(upper = 4.) Upper aperture limit relative to center
(apidtab=) Aperture ID table (optional)

DEFAULT BACKGROUND PARAMETERS

(b_func= chebyshev) Background function
(b_order= 1) Background function order
(b_sampl= -20:-8, 8:20) Background sample regions

参照ファイル名。抽出前
のオブジェクトフレー
ムを指定する。

(b_naver= -100) Background average or median
 (b_niter= 0) Background rejection iterations
 (b_low_r= 3.) Background lower rejection sigma
 (b_high_= 3.) Background upper rejection sigma
 (b_grow = 0.) Background rejection growing radius

APERTURE CENTERING PARAMETERS

(width = 5.) Profile centering width
 (radius = 10.) Profile centering radius
 (thresho= 0.) Detection threshold for profile centering

AUTOMATIC FINDING AND ORDERING PARAMETERS

nfind = 1 Number of apertures to be found automatically
 (minsep = 5.) Minimum separation between spectra
 (maxsep = 1000.) Maximum separation between spectra

(order = increasing) Order of apertures

RECENTERING PARAMETERS

(aprecen=) Apertures for recentering calculation
 (npeaks = INDEF) Select brightest peaks
 (shift = yes) Use average shift instead of recentering?

RESIZING PARAMETERS

(llimit = INDEF) Lower aperture limit relative to center(avglimi=
 no) Average limits over all apertures?

TRACING PARAMETERS

(t_nsum = 10) Number of dispersion lines to sum
 (t_step = 10) Tracing step
 (t_nlost= 3) Number of consecutive times profile is lost befo
 (t_func= legendre) Trace fitting function
 (t_order= 10) Trace fitting function order
 (t_sampl= *) Trace sample regions

```

(t_naver=          1) Trace average or median
(t_niter=          0) Trace rejection iterations
(t_low_r=         3.) Trace lower rejection sigma
(t_high_=         3.) Trace upper rejection sigma

(ulimit =        INDEF) Upper aperture limit relative to center
(ylevel =        0.1) Fraction of peak or intensity for automatic width
(peak =         yes) Is ylevel a fraction of the peak?
(bkg =          yes) Subtract background in automatic width?
(r_grow =        0.) Grow limits by this factor
(t_grow =        0.) Trace rejection growing radius

```

EXTRACTION PARAMETERS

```

(backgro=          none) Background to subtract
(skybox =         1) Box car smoothing length for sky
(weights=        none) Extraction weights (none|variance)
(pfit =         fit1d) Profile fitting type (fit1d|fit2d)
(clean =         no) Detect and replace bad pixels?
(saturat=       INDEF) Saturation level
(readnoi=        0.) Read out noise sigma (photons)
(gain =         1.) Photon gain (photons/data number)
(lsigma =        4.) Lower rejection threshold
(usigma =        4.) Upper rejection threshold
(nsubaps=        1) Number of subapertures per aperture
(mode =         q1)

```

スカイを差し引かない
ので fit を none にする。

:go ↵

オブジェクトフレーム 17bf のパラメーターを参照して抽出するので、抽出箇所をインタラクティブに確認しながら進める必要はありません。

Write apertures for I6_8 to database (yes): ↵

Extract aperture spectra for I6_8? (yes): ↵

Review extracted spectra from I6_8? (yes): ↵

Review extracted spectrum for aperture 1 from I6_8? (yes): ↵

ここで抽出したグラフが現れます。「q」を押すと終了します。

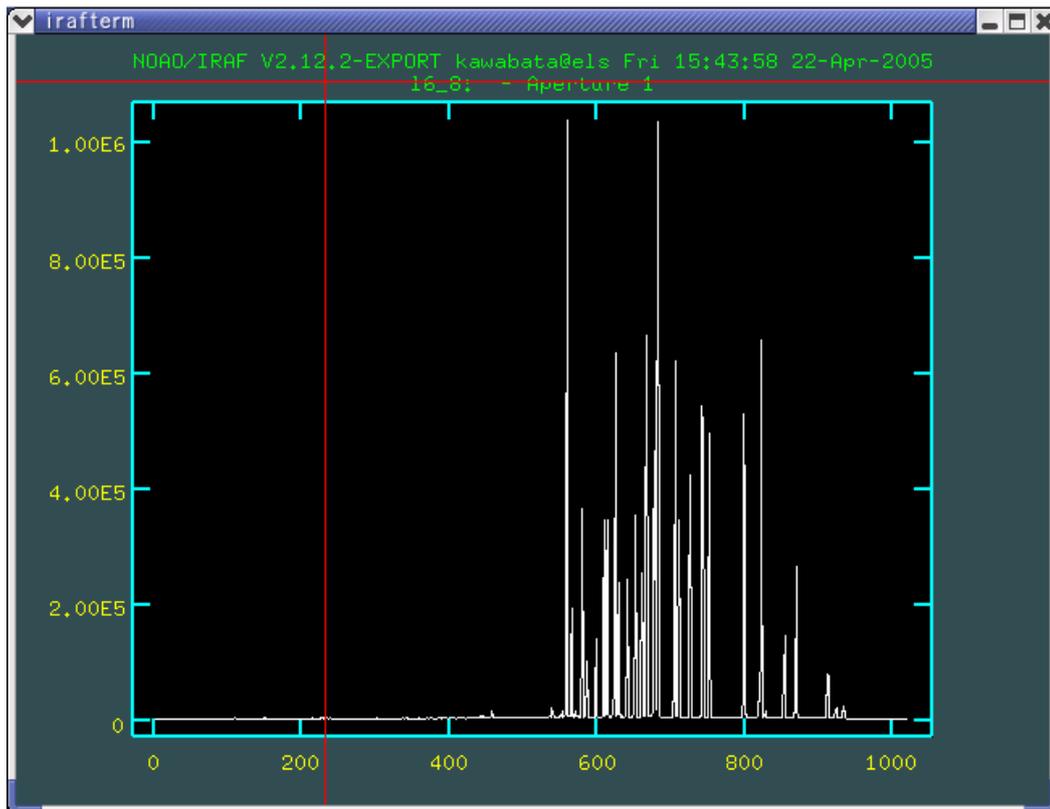


図 5-22 apa11 で抽出されたコンパリソフフレームのスペクトル

(14) 標準星フレームの一次元化

標準星のオブジェクトフレームと標準星のコンパリソフフレームを一次元化します。目的星と標準星ではスリットに星が落ちた位置が異なるので参照できません。標準星が写っているオブジェクトフレーム (I33bf) に対して「オブジェクトフレームの一次元化」と同様に処理を行い、コンパリソフフレーム (I30_34) についても同様に処理します。

出力ファイル名 標準星 : I33bfa
 コンパリソフ : I30_34a

(15) コンパリソフの波長同定 : identify

抽出したスペクトルの横軸の単位は「ピクセル」になっています。次にコンパリソフフレームの輝線を同定して「ピクセル」から「波長」へと変換するための関係式を導き出します。これには onedspec パッケージの identify コマンドを使用します。波長同定には天文台で用意している鉄・ネオンの波長テーブルファイルが必要で、ここでは baofenelw2.dat を使用します。また、鉄・ネオンの波長同定チャートを見ながら、輝線と波長の同定を行います。

ap> one (onedspec パッケージに移る)

aidpars@	dopcor	reidentify	sensfunc	specplot
autoidentify	fitprofs	rspectext	setairmass	specshift
bplot	identify	sapertures	setjd	splot
calibrate	lcalib	sarith	sfit	standard

continuum	mkspec	sbands	sflip	telluric
deredden	names	scombine	sinterp	wspectext
dispcor	ndprep	scoords	skytweak	
disprans	refspectra	scopy	slist	

on> epa ident

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = onedspec

TASK = identify

images = I6_8a Images containing features to be identified

(section= middle line) Section to apply to two dimensional images

(databas= database) Database in which to record feature data

(coordli= /home/kawabata/data/comp/baofenelow2.dat) User coordinate list

↑ 美星天文台で使用している鉄ネオンの波長テーブルファイル名
ファイルの置いてある場所によって異なるので注意。

(units =) Coordinate units

(nsum = 10) Number of lines/columns/bands to sum in 2D image

(match = -3.) Coordinate list matching limit

(maxfeat= 50) Maximum number of features for automatic identif

(zwidth = 200.) Zoom graph width in user units

(ftype = emission) Feature type

(fwidth = 4.) Feature width in pixels

(cradius= 5.) Centering radius in pixels

(thresho= 0.) Feature threshold for centering

(minsep = 2.) Minimum pixel separation

(functio= legendre) Coordinate function

(order = 4) Order of coordinate function

(sample = *) Coordinate sample regions

(niterat= 0) Rejection iterations

(low_rej= 3.) Lower rejection sigma

(high_re= 3.) Upper rejection sigma

(grow = 0.) Rejection growing radius

(autowri= no) Automatically write to database

(graphic= stdgraph) Graphics output device

(cursor =) Graphics cursor input

波長同定でズームした
ときの表示幅

3次関数を用いて
フィット

```

crval = Approximate coordinate (at reference pixel)
cdelt = Approximate dispersion
(aidpars= ) Automatic identification algorithm parameters
(mode = ql)

```

:go ↵

コンパリソンのグラフが現れます。十字カーソルを輝線のピークにあわせて「m」(mark) キーを押すとグラフの左下にマークされた輝線の波長を入力することができます。

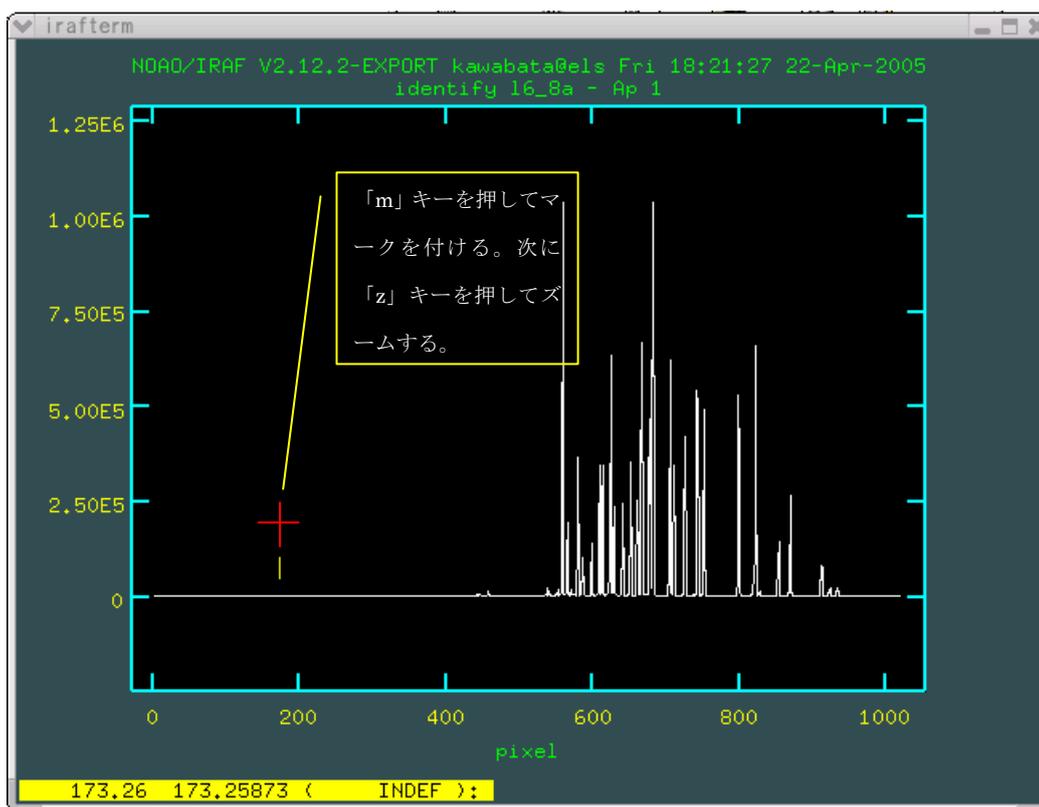


図 5-23

はじめはオートスケールで強い輝線しか表示されないなので、0 ピクセルから 400 ピクセルの間の波長同定をする時は、まず 200 ピクセル付近で「m」キーを押して「|」マークを適当に付け、波長は入力せずに[ENTER]キーを押します。

次に「|」マークにカーソルをあわせて「z」(zoom) キーを押すとズームされます。

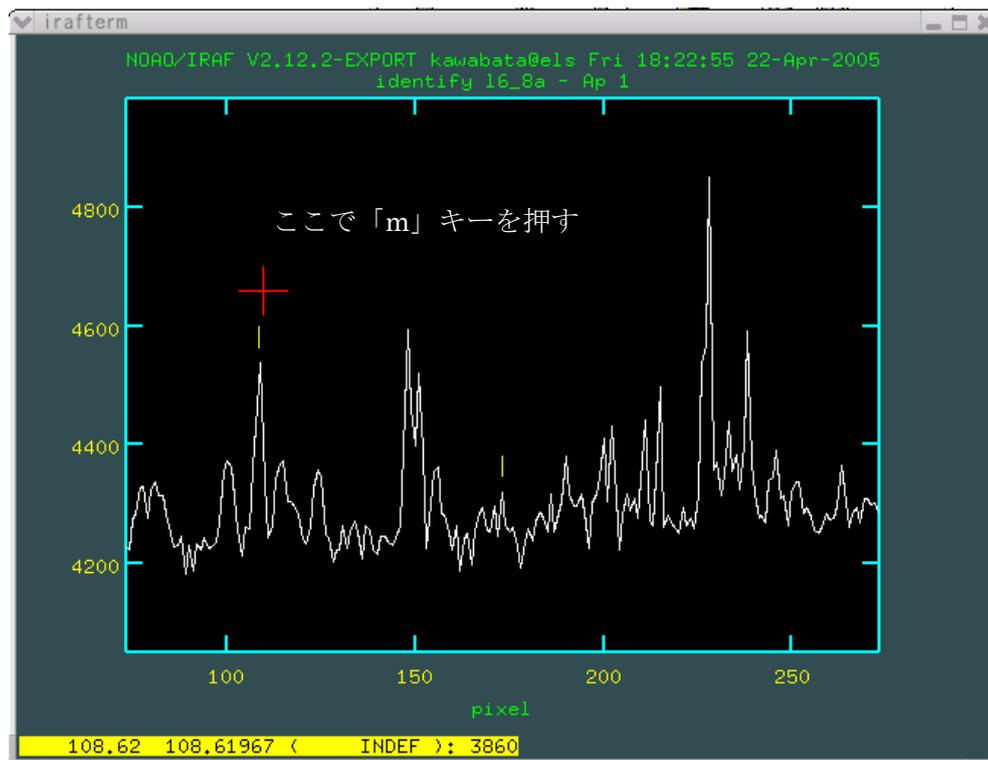


図 5-24

鉄・ネオンの波長同定チャートから対応する輝線を見つけて、ピークに十字カーソルをあわせて「m」キーを押す、波長を入力します。ここでは 3860 \AA の輝線なので「3860」と入力します。これで一本の輝線が同定されました。間違えば時はマークにカーソルをあわせて「d」(delete) キーを押すと削除されます。ズームを解除したいときは「p」(pan) キーで全領域のグラフに戻ります。

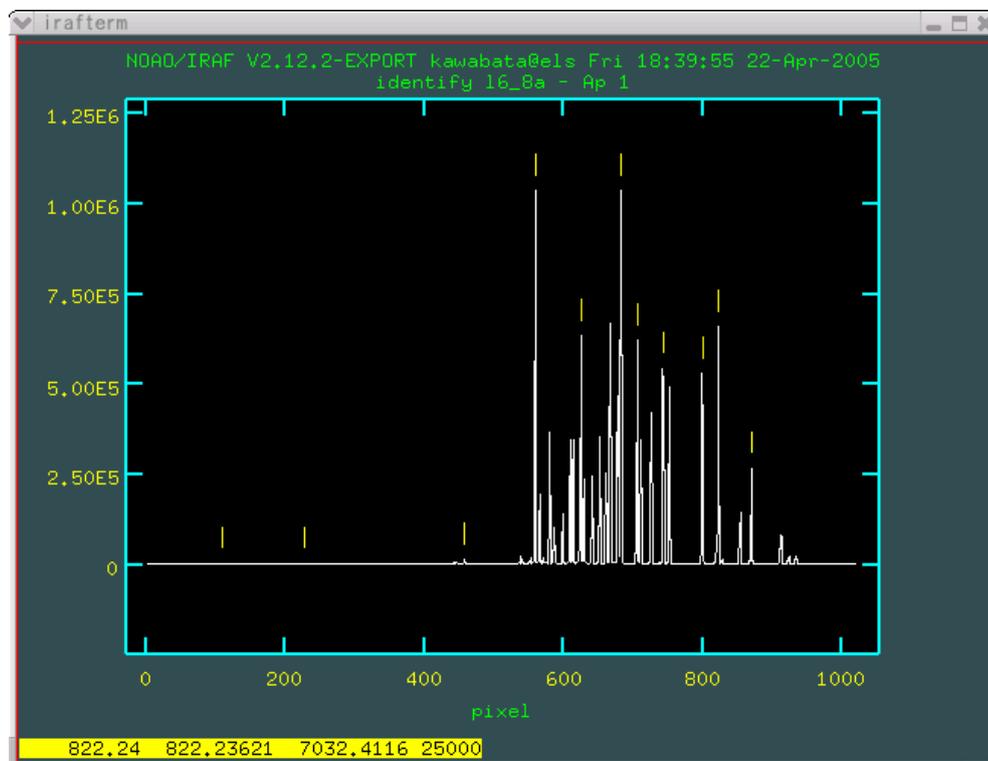


図 5-25

このようにして、スペクトル全域に渡り 10 箇所くらい輝線の波長同定をします。最後に「l」(line)

キーを押すと自動的に輝線を同定しマークが付き、関数でピクセルと波長の関係をフィットした結果が図 5-26 のように表示されます。横軸が波長になっていることに注意して下さい。

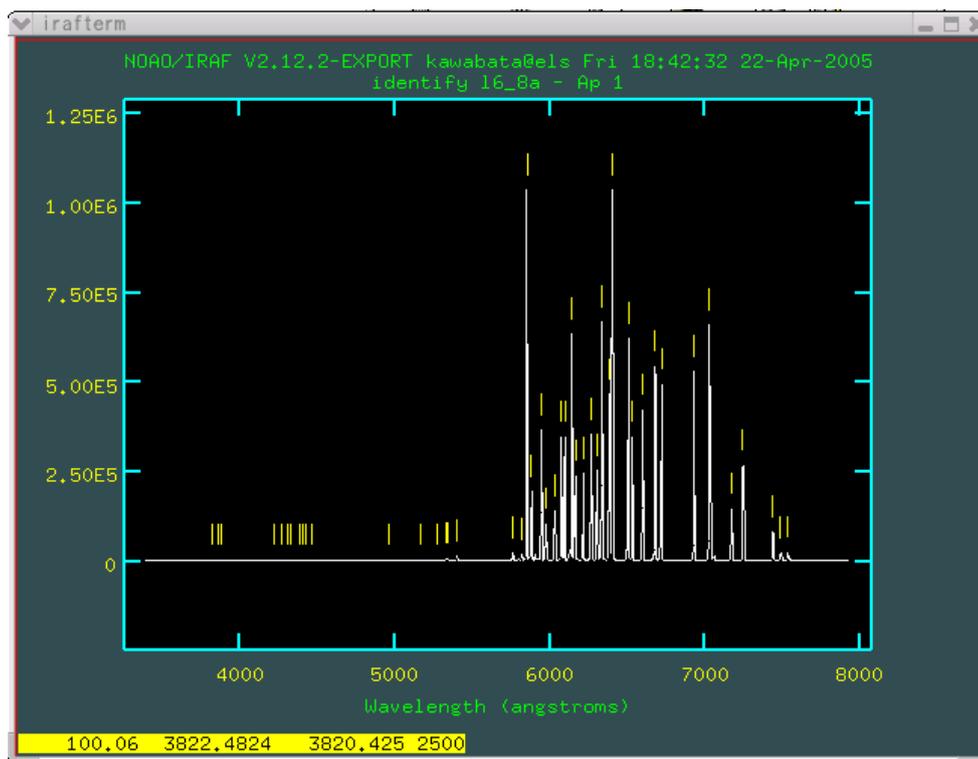


図 5-26

ここで「f」(fit) キーを押すとフィットした関数と検出した輝線ピークの場合の誤差が表示されます。

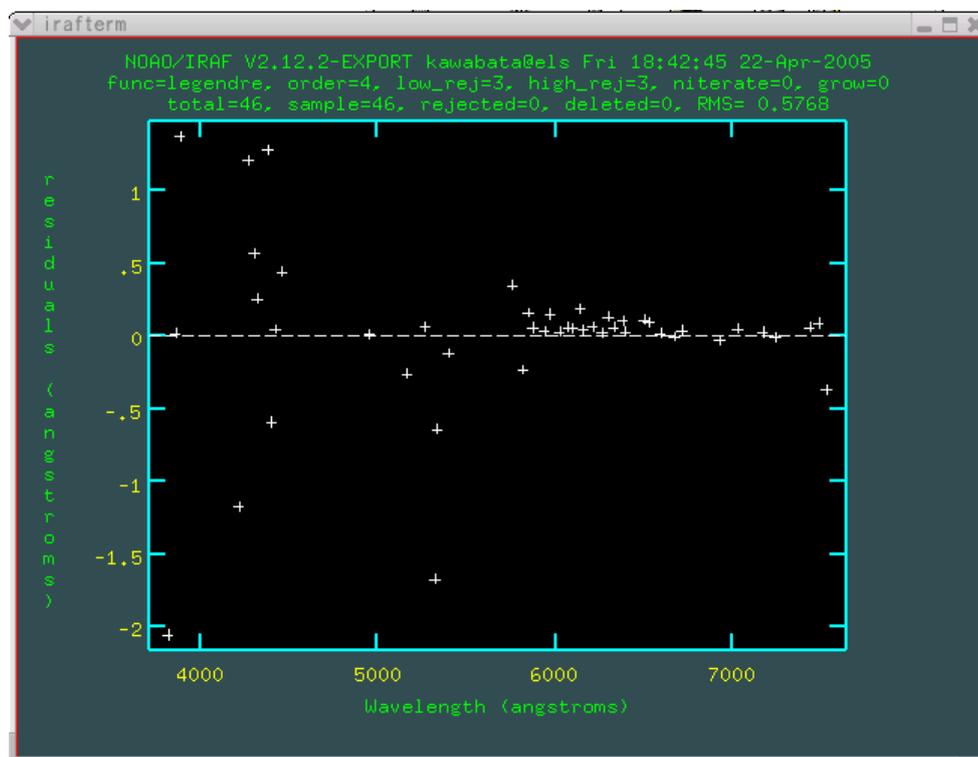


図 5-27

図 5-27 の横軸は波長で、縦軸はここでは 3 次の legendre 関数を用いてフィットした残差です。こ

ここでは系統的な残差があるかどうかをチェックします。系統的な残差がある時は次数を増やして調整します。グラフの右上に波長の決定誤差（分解能ではない）が **RMS=0.5768** となっており、1ピクセルに対応する分解能 $\sim 5\text{\AA}$ より十分小さい値で決まっているのでこれで **OK** とします。もし、オーダーを変えたいときは、「:」キーで左下のコマンドラインに移って「: order 5」としてから「f」(fit) キーでフィットすれば修正されます。ここでもフィットに使用したくないポイントを「d」(delete) キーで削除できます。

Write feature data to the database (yes)? ↵

結果をデータベースに保存するか? Yes

標準星用のコンパリソンスペクトル (I30_34a) についても同様に処理します。

```

identify コマンドリファレンス
? (ヘルプが表示される)
q (終了)
m (mark マーク)
d (delete 削除)
l (自動同定)
p (pan フルスケール表示)
r (re-plot グラフの再作画)
f (fit フィット)
l (Initialize 初期化)
:order a (次数の設定 a-1 次)

```

(16) オブジェクトスペクトルへ波長同定の結果を登録 : refspectra

コンパリソンのスペクトルから求めたピクセルと波長の関係式を refspectra コマンドを使ってオブジェクトのスペクトルに登録します。

on> epa refspectra

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = onedspec

TASK = refspectra

```

input    =          l7bfa List of input spectra
(referen=          l6_8a) List of reference spectra
  (apertur=          ) Input aperture selection list
  (refaps =          ) Reference aperture selection list
  (ignorea=          yes) Ignore input and reference apertures?
  (select =          interp) Selection method for reference spectra
  (sort   =          ) Sort key

```

```

(group =                ) Group key
(time =                no) Is sort key a time?
(timewra=             17.) Time wrap point for time sorting
(overrid=             no) Override previous assignments?
(confirm=             yes) Confirm reference spectrum assignments?
(assign =             yes) Assign the reference spectra to the input spectr
(logfile=             STDOUT, logfile) List of logfiles
(verbose=             no) Verbose log output?
answer =             yes  Accept assignment?
(mode =               ql)

```

:go ↵

[l7bfa] refspect1='l6_8a' Accept assignment? (no|yes|YES) (yes): ↵

l7bfaに l6_8a の割り当てをするか? Yes

以下のようにコマンドラインから入力しても同様です。

on> refspect l33bfa referen=l30_34a

[l33bfa] refspect1='l30_34a' Accept assignment? (no|yes|YES) (yes): ↵

on>

(17) 登録したパラメーターで波長較正 : dispcor

refspect コマンドで登録した結果を dispcor コマンドでオブジェクトスペクトルに適用します。

on> epa dispcor

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = onedspec

TASK = dispcor

```

input =                l7bfa List of input spectra ← 入力ファイル名
output =               l7bfad List of output spectra ← 出力ファイル名
(lineari=             yes) Linearize (interpolate) spectra?
(databas=            database) Dispersion solution database
(table =              ) Wavelength table for apertures
(w1 =                 INDEF) Starting wavelength
(w2 =                 INDEF) Ending wavelength
(dw =                 INDEF) Wavelength interval per pixel
(nw =                 INDEF) Number of output pixels
(log =                no) Logarithmic wavelength scale?
(flux =               yes) Conserve flux?
(samedis=            no) Same dispersion in all apertures?
(global =             no) Apply global defaults?

```

```

(ignorea=          no) Ignore apertures?
(confirm=         no) Confirm dispersion coordinates?
(listonl=        no) List the dispersion coordinates only?
(verbose=        yes) Print linear dispersion assignments?
(logfile=         ) Log file
(mode   =        ql)

```

:go ↵

```
l7bfa: REFSPEC1 = 'l6_8a 1.'
```

```
l7bfad: ap = 1, w1 = 3390.665, w2 = 7942.04, dw = 4.449047, nw = 1024
```

コマンドラインから以下のように入力しても同様です。

on> dispcor l33bfa l33bfad

```
l33bfa: REFSPEC1 = 'l30_34a 1.'
```

```
l33bfad: ap = 1, w1 = 3378.855, w2 = 7935.603, dw = 4.454299, nw = 1024
```

(18) スペクトルの確認 : **splot**

横軸が波長に変換されたスペクトルは **splot** コマンドで表示することができます。 **splot** コマンドの詳細な使い方は「(22) スペクトルのグラフ表示:splot」を参照して下さい。

on> splot l7bfad

Image band to plot (1:) (1): ↵

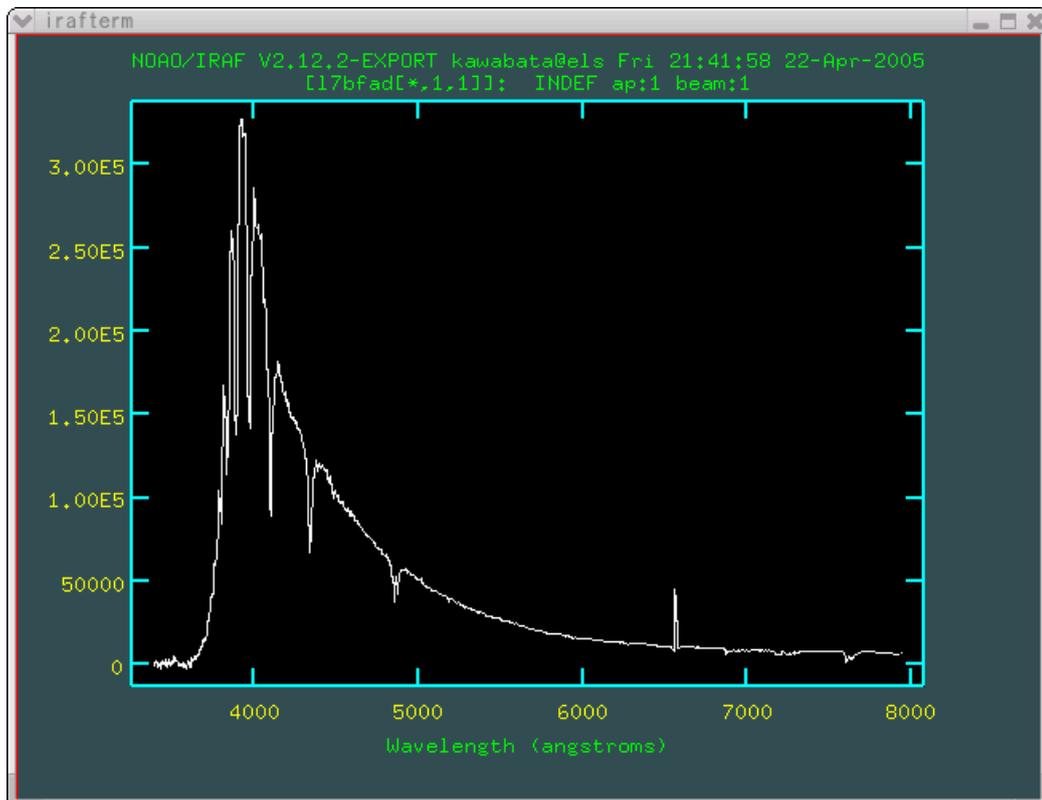


図 5-28

「q」 (quit) で終了。

(19) 標準星による強度較正 ① : standard

観測した標準星のスペクトルと IRAF が持つ標準星のスペクトルデータを対応させたファイルを作ります。IRAF は、以下のディレクトリーに標準星のスペクトルデータを持っています (インストールした場所によって異なるので注意)。ここにある README ファイルに標準星リストが示してあります。

`/iraf/iraf/noao/lib/onedstds/`

観測をする前にどの標準星を用いるか、このリストから選んでおく必要があります。標準星の座標については ESO の標準星カタログが便利です。

<http://www.eso.org/observing/standards/spectra/>

ここでは 16\AA ごとのフラックスが示されている `/iraf/iraf/noao/lib/onedstds/spec16cal/` にある `hr5501` を標準星としているので、このディレクトリーと標準星名の「HR5501」をパラメーターとして入力します。

on> epa stand

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = onedspec

TASK = standard

input = I33bfad Input image file root name ←入力ファイル名

output = I33bfad Output flux file (used by SENSFUNC)

(samesta= yes) Same star in all apertures?

(beam_sw= no) Beam switch spectra?

(apertur=) Aperture selection list

(bandwid= INDEF) Bandpass widths

(bandsep= INDEF) Bandpass separation

(fnuzero= 3.6800000000000E-20) Absolute flux zero point

(extinct=) Extinction file

(caldir = /iraf/iraf/noao/lib/onedstds/spec16cal/) Directory containing calibrat

(observa=)_.observatory) Observatory for data

(interac= yes) Graphic interaction to define new bandpasses

(graphic= stdgraph) Graphics output device

(cursor =) Graphics cursor input

star_nam= HR5501 Star name in calibration list ← 標準星の名前

airmass = 1. Airmass ← ココでは1

exptime = 30. Exposure time (seconds) ← 露出時間 (秒単位)

mag = 5.68 Magnitude of star ← 標準星の等級

magband = V Magnitude type ← 等級のバンド

teff = B9.5V Effective temperature or spectral type ←スペクトル型

出力ファイル名。次の sensfunc で使用する。拡張子が付かないファイルとなるので入力ファイル名と同じでも構わない。

使用する標準星のデータがある IRAF のディレクトリー名

```

answer =          yes (no|yes|NO|YES|NO!|YES!)
(mode =          q!)
:go

```

Extinction file: ↵

No extinction correction applied

l33bfad: Exposure time (seconds) (30.): ↵

l33bfad[* ,1,1](1): ↵

STANDARD: Observatory parameters for Bisei Astronomical Observatory

latitude = 34.669

l33bfad: Airmass (1.): (1.): ↵

Star name in calibration list (HR5501): ↵

l33bfad[1]: Edit bandpasses? (no|yes|NO|YES|NO!|YES!) (yes): ↵

extinction ファイルを指定しないときは、extinction correction (大気による散乱吸収の影響を除去する) は実行されません。この時は、天体の高度は考慮に入らないので airmass の値も「1」としておきます。理想的には、標準星と目的星を同じ時刻に同高度で観測していれば、これで構わないのですが、実際は時間が離れていたり高度が違ったりするので誤差を生じます。本来、この誤差を少なくするために観測所で測定した大気の透過特性 (extinction file) を用意して extinction correction を行います。ただし、実際は日本の場合、大気の状態も季節や時間によって変化するので補正が困難です。多くの場合は、観測をする一晩のうちになるべく近い時間、同高度で標準星を観測して OK としています。

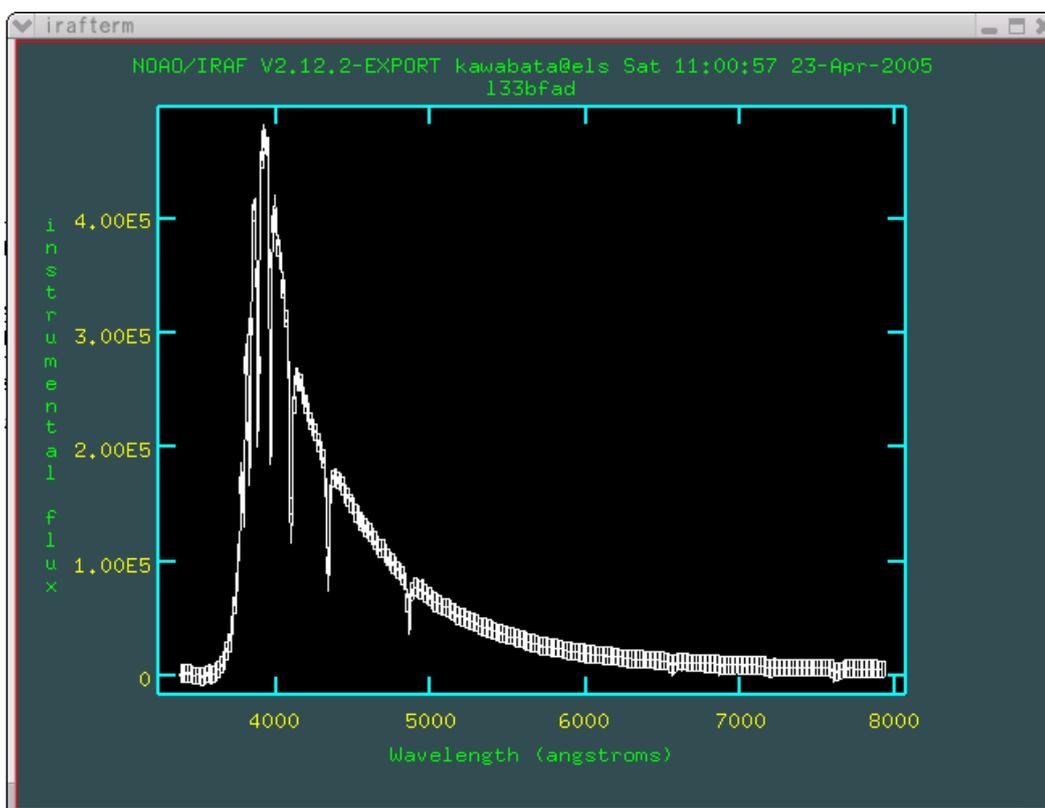


図 5-30

図 5-30 は、観測した標準星のスペクトルに強度較正に使用する部分のバンドパス（波長幅）が示されています。吸収線や S/N が悪いところのデータは使わないようにカーソルをあわせて「d」（delete）キーで削除してゆきます。

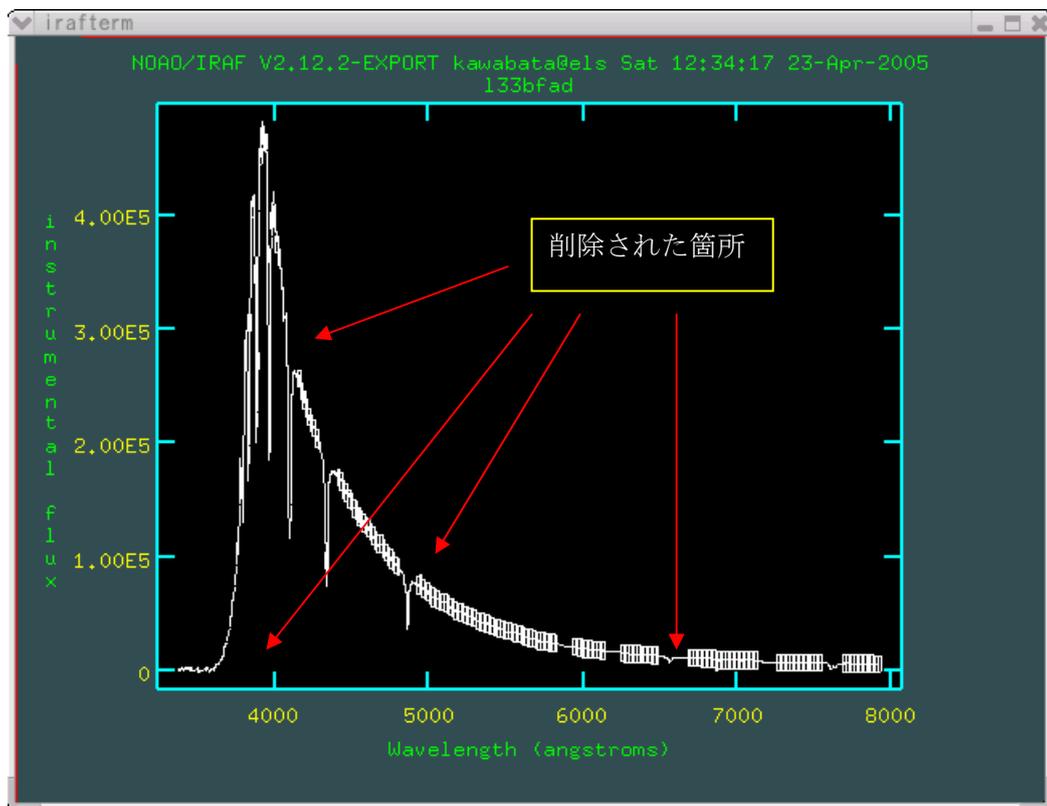


図 5-31

削除をしてゆくと例えば図 5-31 のように所々マークが抜けたグラフになります。これで良ければ「q」（quit）キーで終了すると拡張子なしの l33bfad ファイルが出力されます。l33bfad ファイルには、バンドパスごとの標準星のフラックスとカウント値がテーブル化されます。

on> type l33bfad

```
[l33bfad] 1 1024 30.00 1.000 3378.855 7935.603
```

波長	フラックス	バンドパス	カウント
3812.00	3.8191E-11	16.000	976071.
3828.00	3.3230E-11	16.000	767767.
3844.00	3.8788E-11	16.000	1096640.
3860.00	4.5488E-11	16.000	1452914.
3876.00	3.6366E-11	16.000	1250546.
3892.00	3.4795E-11	16.000	975698.

(20) 標準星による強度較正 ② : sensfunc

standard コマンドでテーブル化された標準星のデータに対して、sensfunc コマンドを用いて感度曲線を関数として求めます。

on> epa sensf

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = onedspec

TASK = sensfunc

standard= I33bfad Input standard star data file (from STANDARD)

sensitiv= I33bfad Output root sensitivity function imagename

↑ 出力ファイルは自動的に I33bfad.0001.fits となるので同じ名前でも良い。

(apertur=) Aperture selection list

(ignorea= no) Ignore apertures and make one sensitivity funct

(logfile= logfile) Output log for statistics information

(extinct=) Extinction file

(newexti= extinct.dat) Output revised extinction file

(observa=)_.observatory) Observatory of data

(functio= legendre) Fitting function

(order = 10) Order of fit

(interac= yes) Determine sensitivity function interactively?

(graphs = sr) Graphs per frame

(marks = plus cross box) Data mark types (marks deleted added)

(colors = 2 1 3 4) Colors (lines marks deleted added)

(cursor =) Graphics cursor input

(device = stdgraph) Graphics output device

answer = yes (no|yes|NO|YES)

(mode = ql)

:go ←

No extinction correction applied

Fit aperture 1 interactively? (no|yes|NO|YES) (no|yes|NO|YES) (yes): ←

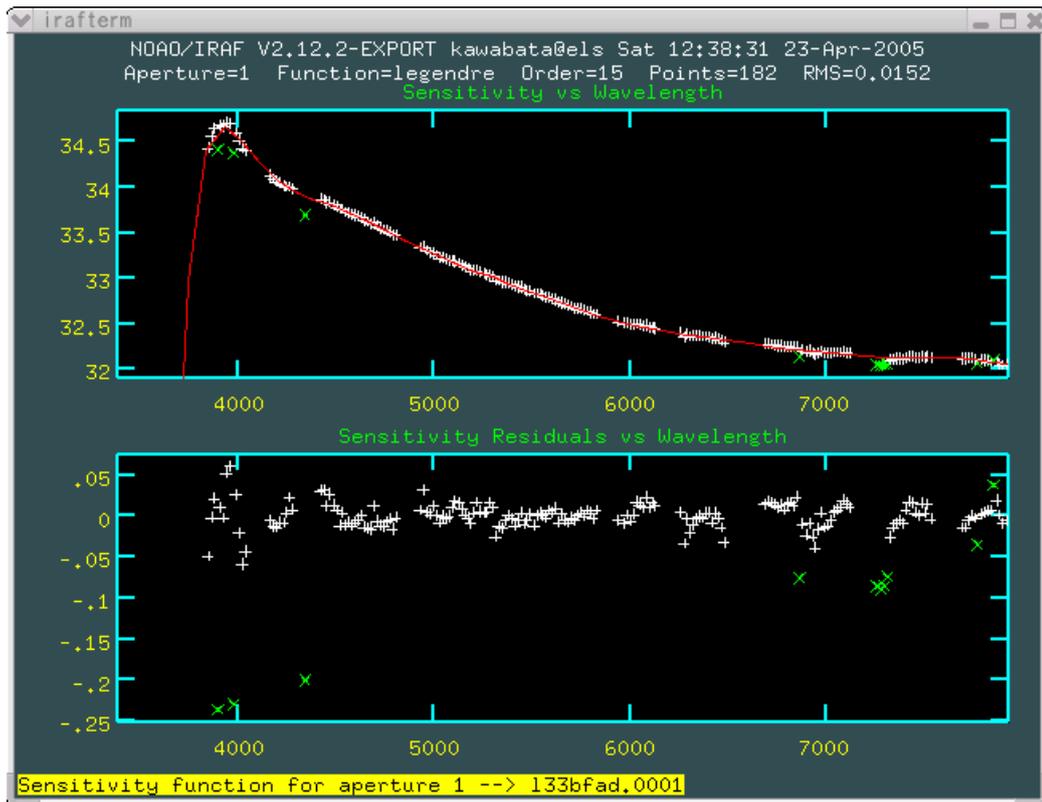


図 5-32 sensfunc で表示されるグラフ

削除したいポイントにカーソルを当て「d」(delete)キー次に「p」(point)キーでデータが削除されます。削除したら「f」(fit)キーでフィットさせます。これを繰り返して感度曲線を作ります。もし関数の次数が足りなければ「: order 15」などして次数を適当に増やします。この処理は、目的天体の連続光のなめらかさに影響を及ぼすので、試行錯誤を繰り返しながらいろいろと試してみる必要があります。最後に「q」(quit)キーで終了します。

sensfunc コマンドリファレンス

? (ヘルプが表示される)

q (終了)

d (delete 削除) + p (point データポイントの削除)

r (redraw 再表示)

f (fit フィット)

q (quit 終了)

:order a (次数を a にする)

(21) 標準星による強度較正 ③ : calibrate

sensfuncによって求められた感度曲線を calibrate コマンドで目的天体のスペクトルに適用します。

on> epa calib

```

                                I R A F
                        Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = onedspec
      TASK = calibrate

input  =          I7bfad  Input spectra to calibrate ← 入力ファイル名
output =          I7bfadc Output calibrated spectra ← 出力ファイル名
(extinct=          no) Apply extinction correction?
(flux   =          yes) Apply flux calibration?
(extinct=          ) Extinction file
(observa=        )_ .observatory) Observatory of observation
(ignorea=          no) Ignore aperture numbers in flux calibration?
(sensiti=          I33bfad) Image root name for sensitivity spectra
↑ sensfuncによって求めた感度曲線ファイル。名前は上記のでOK。
(fn      =          no) Create spectra having units of FNU?
airmass =          1.  Airmass ←エアマスここでは「1」
exptime =          300. Exposure time (seconds) ←露出時間 (秒)
(mode   =          ql)
:go ←
```

I7bfadc:

I7bfad: Exposure time (seconds) (300.): ←

WARNING: 2 pixels outside of flux calibration limits

Flux calibration applied

これでフラックスキャリブレーションが行われペクトルの処理が完了しました。WARNING でたが恐らく S/N が悪い部分についてでしょうからここでは問題にしません。

(22) スペクトルのグラフ表示 : splot

処理したスペクトルを表示するには splot コマンドが便利です。splot は表示するだけでなくスペクトルの測定もできます。

on > epa splot

```

                                I R A F
                        Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = onedspec
      TASK = splot
```

```

images =          l7bfadc List of images to plot ←入力ファイル名
line =           1 Image line/aperture to plot
band =          1 Image band to plot
(units =         ) Plotting units
(options=       auto wreset) Combination of plotting options:
                        auto, zero, xydraw, histogram,
                        nosysid, wreset, flip, overplot

(xmin =         3800.) Minimum X value of initial graph
(xmax =         8000.) Maximum X value of initial graph
(ymin =         INDEF) Minimum Y value of initial graph
(ymax =         INDEF) Maximum Y value of initial graph
(save_fi=       splot.log) File to contain answers
(graphic=       stdgraph) Output graphics device
(cursor =       ) Graphics cursor input

                        # PARAMETERS FOR ERROR ANALYSIS
(nerrsam=       0) Number of error samples (<10 for no errors)
(sigma0 =       INDEF) Constant gaussian noise term (INDEF for no erro
(invgain=       INDEF) Inverse gain term (INDEF for no errors)

                        # PARAMETERS FOR CONTINUUM FITTING
(functio=       spline3) Fitting function
(order =        1) Order of fitting function
(low_rej=       2.) Low rejection in sigma of fit
(high_re=       4.) High rejection in sigma of fit
(niterat=      10) Number of rejection iterations
(grow =        1.) Rejection growing radius in pixels
(markrej=      yes) Mark rejected points?

                        # PARAMETERS FOR OVERPLOTING STANDARD STAR FLU
star_nam=       Standard star name
mag =          Magnitude of star
magband =      Magnitude type
teff =        Effective temperature or spectral type
(caldir =       ) _.caldir Directory containing calibration data
(fnuzero=      3.6800000000000E-20) Absolute flux zero point

                        # PARAMETERS USED IN INTERACTIVE QUERIES
next_ima=      Next image to plot

```

ここでは波長範囲を指定しない
とスペクトル両端のS/Nが悪い
部分が強調されて表示される
のであえて設定している。
グラフ上で「a」キーを使って
インタラクティブに調整しても
良い。

```

new_imag=          Image to create
overwrit=         Overwrite image?
spec2   =         Spectrum
constant=        Constant to be applied
waveleng=        Dispersion coordinate:
linelist=        File
wstart  =         Starting wavelength
wend    =         Ending wavelength
dw      =         Wavelength per pixel
boxsize =          3 Smoothing box size (odd number)
(mode   =          ql)

```

:go ↵

パラメーターを特に設定しなければコマンドラインから実行できます。

on > splot ファイル名

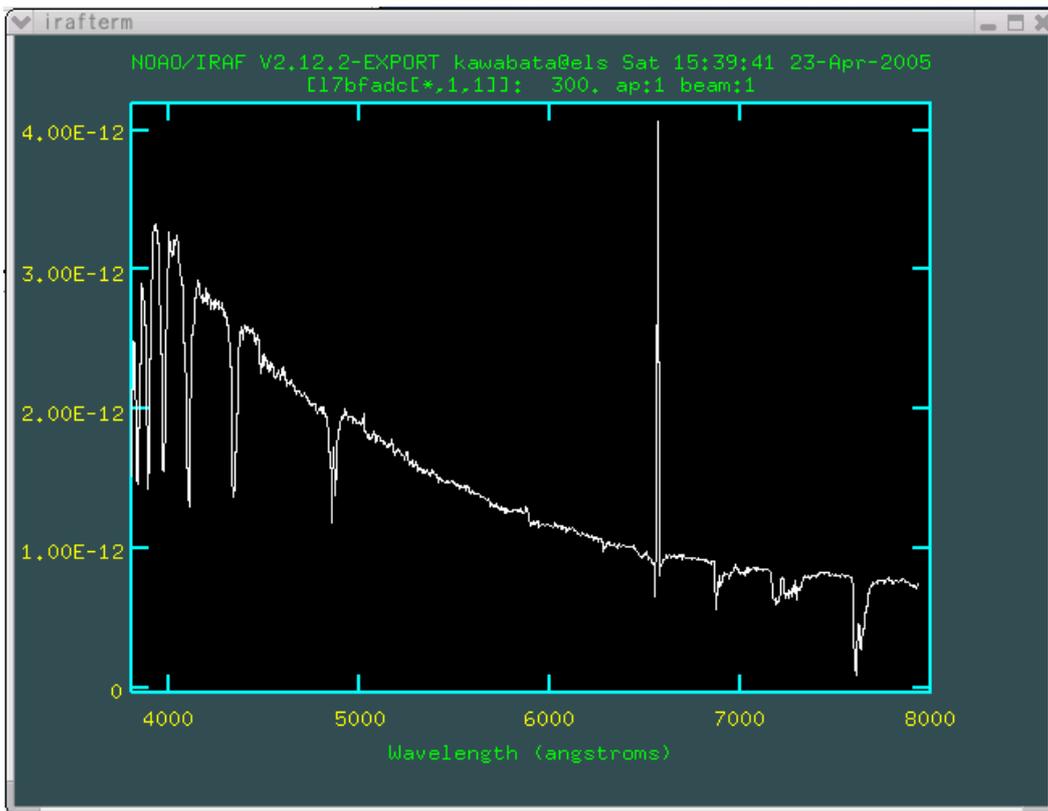


図 5-33 splot でスペクトルを表示したところ

splot コマンドリファレンス (よく使う)

? (help ヘルプが表示される)

q (quit 終了)

c (全表示)

r (再表示)

a (2回でカーソルの間の座標範囲を拡大する)

k (2回でガウスフィット)

e (2回で等価幅の測定)

s (スムージング+値入力)

:unit (横軸の単位を変える 例 :unit km/s 6563angstroms)

(23) 処理したデータをテキストで出力する : wspectext

処理したスペクトルを windows 上のグラフソフトで表示したいときは、wspectext コマンドでデータをテキストファイルにして出力すれば利用できます。

on > epa wspec

I R A F

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = onedspec

TASK = wspectext

input = l7bfadc[*],1:1 Input list of image spectra

output = l7bfadc.txt Output list of text spectra

(header = no) Include header?

(wformat= %0.4f) Wavelength format

(mode = q1)

:go ↵

6 このドキュメントについて

このドキュメントは、美星天文台の分光器をできるだけ多くの方に利用してもらうために 2005 年 4 月に美星天文台で開催した「IRAF による低分散分光データ解析講習会」の際に準備したテキストを修正したものです。美星天文台では、この講習会以前にも IRAF のインストール講習会や IRAF による中分散分光データ解析講習会を開催してきました。こうした講習会の際に参加者によってまとめられたテキスト（井上和俊 2003、天体スペクトル解析のすすめ）を参考に執筆しています。美星天文台の分光器によって得られたデータを前提として書かれていますが、一般の分光器で得られたデータについても適応できるはずです。幅広く利用していただければ幸いです。著者の思いこみで書かれている部分があるかもしれませんが、注意深くヘルプを参照しながら解析を行って下さい。誤りがあったときは、著者までお知らせ下さい。

この文章は自由にコピーして配布しても構いませんが、著作権は川端哲也が保有しています。内容を修正して利用したい場合は、著者へご相談下さい。

7 参考文献

A User's Guide to Reducing Slit Spectra with IRAF

Phil Massey, Frank Valdes, Jeannette Barnes, 1992

天体スペクトル解析のすすめ (IRAF を使用して)

井上和俊, 2003, 美星天文台 成果報告集 (2001-2003)

JAHOU スペクトルカリキュラムワークブック

日本ハンズオンユニバース協会 (JAHOU: Japan Association for Hands-On Universe) スペクトルカリキュラムワーキンググループ

CCD による観測方法/データ処理方法 徹底解剖

天文情報処理研究会 第 27 回会合集録, 国立天文台天文データ解析センター発行, 1996

可視・近赤外域での天文データ処理手引 1997 年版

天文情報処理研究会, 国立天文台天文データ解析センター発行, 1997

すばる観測データの解析

天文情報処理研究会 第 46 回会合集録, 国立天文台天文データ解析センター発行, 2001

8 Appendix A

8.1 IRAF を使う前に知っておきたいこと

(1) unix の基本コマンド

IRAF は UNIX 系 OS 上で動作しますので、ファイル管理など unix の知識が必要になります。基本コマンド (ls, cd, cp, mv, rm, pwd, etc.) やファイル構造などについて勉強しておきましょう。

(2) vi エディターの使い方

IRAF のパラメーター選定画面は vi エディターの使い方に似ています。vi エディターの簡単な使い方に慣れておきましょう。

8.2 パッケージについて

IRAF はパッケージという単位でコマンドが管理されています。ロードされるパッケージを変えることで、いろいろなコマンドを使い分けることができます。Help コマンドで使用できるコマンド・パッケージの説明が表示されます。まず、IRAF を起動すると以下のようなメッセージが表示されます。

```
$ cl
```

```
NOAO PC-IRAF Revision 2.12.2-EXPORT Sun Jan 25 16:09:03 MST 2004
```

```
This is the EXPORT version of PC-IRAF V2.12 supporting most PC systems.
```

```
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:
```

```
dataio.      images.      lists.      obsolete.   proto.      system.
dbms.        language.   noao.       plot.       softtools.  utilities.
```

```
cl>
```

ここで、dataio. images. がパッケージです。「.」が付いているのがパッケージの意味です。help コマンドでパッケージの簡単な説明が現れます。

```
cl> help
```

```
dataio - Data format conversion package (RFITS, etc.)
dbms - Database management package (not yet implemented)
images - General image processing package
language - The command language itself
lists - List processing package
```

```

    local - The template local package
obsolete - Obsolete tasks
    noao - The NOAO optical astronomy packages
    plot - Plot package
    proto - Prototype or interim tasks
softtools - Software tools package
    system - System utilities package
utilities - Miscellaneous utilities package

```

例えば、`images` パッケージをロードすれば、さらに `images` パッケージの中のいくつかのパッケージが表示されます。

cl> images

```

    imcoords.  imfit.      immatch.    tv.
    imfilter. imgeom.    imutil.

```

im>

コマンドプロンプトが「cl」から「im」に変わったことに注意して下さい。これは、`images` パッケージの中で仕事をしているということを表しています。さらに、`imfit` パッケージの中にはいると以下の3つのコマンドが使用できることが分かります。

im> imfit

```

    fit1d      imsurfit   lineclean

```

im> help

```

    fit1d - Fit a function to image lines or columns
    imsurfit - Fit a surface to a 2-D image
    lineclean - Replace deviant pixels in image lines

```

パッケージからログアウトしたい場合は、「bye」を入力すると前の状態に戻ります。

im> bye

```

    imcoords.  imfit.      immatch.    tv.
    imfilter. imgeom.    imutil.

```

im> bye

```

    dataio.    images.    lists.      obsolete.  proto.    system.
    dbms.     language. noao.       plot.      softtools. utilities.

```

cl>

8.3 unix コマンドの使用

IRAF 上で unix コマンドを使用するときはコマンドの頭に「!」を付けます。

cl> !コマンド名

8.4 コマンドの短縮

コマンドを入力する場合、コマンドが判別できる最低限の文字数でコマンドは有効になります。例えば、画像を演算する「`imarith`」であれば、

```
cl> imarith
```

と、全部入力しなくても

```
cl> imar
```

だけでも、有効です。ただし、パッケージによってロードされているコマンドが変わるので、何文字までで判別可能であるか状況が変わることがあります。

8.5 コマンド履歴の編集 : ehistory

おなじようなコマンドを何回も繰り返したいときなど、コマンド履歴を編集して実行するのが便利です。

```
cl> imarith file1 - bias1_5 file1b
```

```
cl> eh
```

```
imarith file2 - bias1_5 file2b <- 前のコマンド履歴の「1」を「2」に編集して実行
```

```
cl>
```

8.6 ヘルプ : help

```
cl> help コマンド名
```

コマンドのヘルプが表示されます。コマンド名を入力しないと現在のパッケージやコマンドの説明が表示されます。

8.7 パラメーター設定 : eparam

```
cl> epa コマンド名
```

コマンドのパラメーターを設定できます。パラメーター設定の画面は vi エディターと同じ使用方法です。

8.8 パラメーター表示 : lparam

```
cl>lparam コマンド名
```

コマンドに設定されているパラメーターを表示させます。リダイレクト「>」を使ってファイルに出力を保存することもできます。

8.9 パラメーター設定画面からコマンドを実行する

「epa コマンド名」パラメーターを設定して、そのままコマンドを実行するのは、vi エディターと同様で、「:」を入力してからコマンド行に移って「go」で実行されます。

```
:go ← (実行)
```

```
:q! ← (パラメーターを保存せずに終了)
```

```
:wq ← (パラメーターを保存して終了)
```

8.10 複数のファイルをリストにしてパラメーターに設定する

例えば、以下の5つのファイルの和を取りたいときは、

```
cl> list
```

```
file1.fits  
file2.fits  
file3.fits  
file4.fits  
file5.fits
```

ファイル名を列挙したファイルリストをエディターまたは `files` コマンド等の出力をリダイレクト「>」して作ります。

```
%vi filelist
```

```
file1
```

```
file2
```

```
file3
```

```
file4
```

```
file5
```

```
:wq
```

コマンドの入力ファイル名に「@filelist」と入力すれば、ファイルリストを使ってコマンドが実行されます。「@」がリストファイルの意味です。パラメーター設定画面でも同様に指定できます。

```
cl> imcomb @filelist outfile
```

```
Mar 18 19:33: IMCOMBINE
```

```
combine = average, scale = none, zero = none, weight = none
```

```
reject = sigclip, mclip = yes, nkeep = 1
```

```
lsigma = 3., hsigma = 3.
```

```
blank = 0.
```

```
Images
```

```
file1
```

```
file2
```

```
file3
```

```
file4
```

```
file5
```

```
Output image = outfile, ncombine = 25
```

8.11 ファイルを削除する : imdel

```
cl> imdel ファイル名
```

8.12 同じコマンドを繰り返す : ^^

直前のコマンドを繰り返すとき

```
cl> ^^
```

```
imdel . . . .
```