

すばる望遠鏡中間赤外撮像分光装置用 画像表示簡易解析システムの開発

中村京子, 宮田隆志*, 片堅 宏一†

(2000年10月16日受理)

Development of Quick Look and Analysis System for Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer on the Subaru Telescope

Kyoko NAKAMURA, Takashi MIYATA*, and Hirokazu KATAZA†

Abstract

We have developed a portable quick look and analysis system for use at Subaru telescope with Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer (COMICS). The COMICS has both imaging camera and long slit grating spectrograph in 8–26 μm wavelength range. The camera has 1 CCD and the spectrograph has 5 CCDs. During observations, we have to check 6 images at once and analyze quickly. We have newly developed a quick-look and data analysis software for the purpose. The system, called XFC (X fits viewer For Comics), is based on the X window system and can be used on UNIX and LINUX systems.

1. はじめに

すばる望遠鏡¹⁾の第一期共同利用観測装置の一つであるCOMICS²⁾ (COoled Mid-Infrared Camera and Spectrometer) の画像表示簡易解析システムXFC (X fits viewer for Comics)を開発した。

COMICSは中間赤外域での撮像および分光を目的とした観測装置であり、現在、ハワイ島マウナケア山頂のすばる望遠鏡で試験観測中である。観測可能な波長域は8–26 μm (NバンドおよびQバンド)、撮像およびスリットビューワー用に検出器1個、分光用には中分散で広い観測波長域を実現するため、分散方向に検出器を5個並べる。分光の波長分解能はNバンドで250×2500、Qバンドで2500–10000、検出器のサイズは、撮像分光共に320×240ピクセルである。

中間赤外域の観測では、望遠鏡や大気など室温物体からの黒体放射が非常に強く、これが大きな背景放射として検出される。さらにこの背景放射は短時間で変動することが知られ、これを精度良く差し引くために、早い読みだし、Chop and Nodの手法による観測を行う必要がある。そのため短時間に膨大なデータが発生するので、観測効率を上げるためには、“検出器で取得した頻繁に変わる最新画像を確実に自動表示すること”が重要になる。

汎用ソフトウェアに、画像表示システムとしてはSAOimage³⁾、SAOtn⁴⁾ およびSkyCat⁵⁾ 等があり、

解析システムとしてはIRAF⁶⁾が存在する。但し、これらは汎用高機能であるがゆえに計算機に負荷を与え、また使用者に複雑な作業を要求するものであり、従って観測後に取得データを時間をかけて解析する際には有用であるが、観測中に取得データを随時表示し、簡単な解析を実行するにはかえって扱いにくい。さらに、四千メートルを越えるマウナケア山頂での作業能力は地上に比べて極端に低下するため、複雑な作業手順が必要なシステムでは誤りが多発し、ひいては観測効率が下がる原因ともなる。すなわち、“少ない作業手順で必要な解析ができること”も重要になる。

これらの理由により、COMICSでは観測中の画像表示および簡易解析を既存システムに頼るのではなく、新たにシステムを開発した。

2. プロトタイプシステム

COMICSにはMICS⁷⁾ (Mid-Infrared Camera and Spectrometer)というプロトタイプ観測装置がある。このMICSのために画像表示簡易解析システムPIMAN (Portable Image Monitor and ANalysis system on MICS)をまず開発したが、このPIMANがXFCの前身であるため、まずこのシステムについて述べる。

MICSは10 μm 帯域のNバンドで撮像分光を行い、検出器の数は1個、サイズは128×128ピクセルである。典型的なMICSの観測では、検出器を読みだしレート25msで駆動し、背景放射の差し引きのため、3Hzのチョッピング、0.03Hzのノッディングを行い、15秒に一回、各ノッディング・ポジションのデータが取得でき、30秒で観測した画像ファ

* 東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター(Institute of Astronomy, The University of Tokyo)

† 宇宙科学研究所(The Institute of Space and Astronautical Science)

イルが作成される。数分～数十分で新しい画像ファイルが作成される場合には既存のSAOimageやSAOtnng等を使って画像表示をすれば良く、光赤外の観測装置ではこれらシステムを観測モニタとしてよく用いている。MICSも当初、SAOtnngを使って観測中の画像を表示していた。ところがCPUに対する過負荷のために新しく作成した画像の表示を取りこぼすことが頻繁に起こり、画像表示のためだけに、再度撮像分光観測を行うことが少なからずあった。

もともとSAOtnngを使用した理由は、SAOimageの次期バージョンであることから完成度の高さを期待し、さらにTcl/Tkを使っていることからカスタマイズがしやすいことに魅力を感じたからであった。SAOtnngが観測モニタとして十分に機能しない以上、従来のSAOimageで画像表示しIRAFにより簡易解析をするという方法に戻ることがまず考えられたが、MICSの表示システムをSAOimage用に作り変えるよりは、MICSに特化した、画像表示と簡易解析の双方が簡便に行えるシステムを新たに開発するほうが、今後の保守及び必要に応じた機能追加がしやすくなるという利点が得られ、また必要な機能のみを持つためにシステム全体の負

荷の軽減が図られる。さらにCOMICSでの使用も視野に入るために、将来性もかなり有望である。これらの理由により、MICS専用の画像表示簡易解析システムであるPIMANを作成することとなった。

図1にPIMANのGUIを示す。これは、GUI上に画像を表示し、画像上の指定した領域のX軸方向の光量を計算し、その結果をグラフ表示したものである。PIMANのGUIは画像表示部分と簡易解析表示部分から成っており、GUIの上半分には最新の観測画像を自動表示し、画像の色や階調の変更、簡易解析をする領域の指定などが行え、下半分には簡易解析をした結果を文字列およびビットマップグラフで表示する。

次にPIMANのシステム構成を図2に示す。プログラムは画像表示系と簡易解析計算系に分かれ、互いに独立している。処理速度を早くすること、グループメンバであれば理解可能で変更も容易にできることを考慮し、C言語で記述した。さらに、MICSはSunワークステーション上のシステムで観測するため、PIMANの開発も同計算機で行ったが、UNIX系のワークステーション上であればどのマシンでもデフォルトで使用可能になるよう、XウィンドウシステムのXツールキットを使ってGUIを作成した。

PIMANの画像表示系は、まず新規作成画像ファイル(FITSファイル)を自動で読み込みかつGUI上に表示し、さらにカラーマップの変更、階調の変更、拡大表示、ブリンク等の基本表示機能、そして簡易解析を行う領域の指定、簡易解析の選択実行、ビットマップグラフの表示、グラフのプリントアウト等が行え、これらはマウス操作を主とする。画像の自動表示では、Xツールキットのファイルモニタ関数を組み込んでファイルを監視している。

簡易解析はMICSが観測中に必要とする最小限の機能、すなわち標準偏差、PSF、XYZの三軸方向の光量計算の五種類があり、これらの計算結果を文字列およびグラフ出力する。グラフは Super Mongoにより作成し、フリーソフトのnetpbmでビットマップ形式に変換した。表示系と計算系間の通信には、Xウィンドウの機能の一つであるプロ

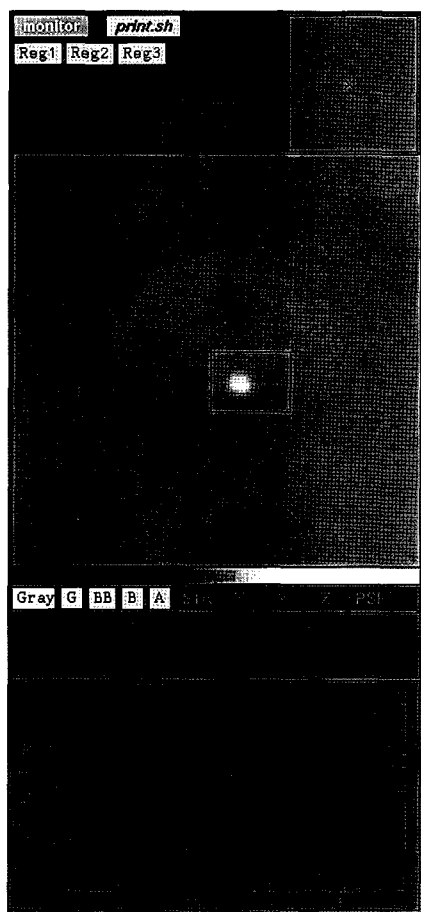


図1. PIMANのGUI

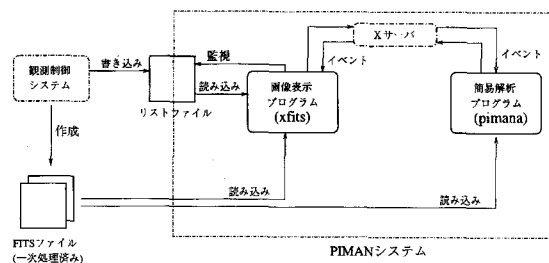


図2. PIMANのシステム構成

表1. PIMANのグラフィック能力

項 目	値
ビジュアルクラス	PseudoColor(疑似カラー)
カラーマップ	デフォルトカラーマップ
カラーセルの個数	64
デフォルト表示色	グレースケール
その他の表示色	緑, A, B, BB (注)

(注)表示色のA, B, BBは, SAOimageのカラーマップを参考に作成した。

表2. PIMANの画像表示に関する諸元

項 目	値
ウインドウ	XツールキットのAthenaウィジェット
表示する画像の数	1
画像表示のスケール	最大384×390ピクセル
画像表示ファイル形式	FITS形式
画像表示ファイルのデータ型	8ビット, 16ビット, 32ビット
表示する解析結果グラフの数	1
解析結果表示のスケール	384×216ピクセル
解析結果表示のファイル形式	PBM形式(ビットマップ形式)
解析結果の最大表示文字数	約180文字

パティを採用し, イベントによるアプリケーション間通信を行っている。

表1にPIMANのグラフィック能力を示す。ワークステーション上で使うことを念頭に置きビジュアルクラスはPseudoColor対応とし, 色はSAOimageで使われているカラーマップが見やすいため, これを参考に作成した。

次に, 表2にPIMANの画像表示に関する諸元を示す。MICSの検出器サイズは128×128ピクセルだが, これを等倍で表示すると小さすぎて見にくいので, 拡大して表示できるようにした。さらに, 複数のデータ型で記述されたFITSファイルが読み込める用に配慮した。

MICSはPIMANを使用して, マウナケア山頂の3.8 m赤外線望遠鏡UKIRT(United Kingdom Infra-Red Telescope)で主に観測した。PIMANは短時間で作成される最新観測画像を確実に自動表示するという, MICSの要請に十分応える表示能力を発揮し, さらに簡易解析をしほり, かつマウスクリックのみの単純操作で使えるために観測者の負担を少なくし, 観測効率の向上に大いに貢献した。

3. COMICS用画像表示簡易解析システム

次にPIMANを土台として作成した本システム, XFCについて説明する。

3.1 本システムの特徴

XFCに求められた機能のおおまかな項目は, (ア)観測で取得したデータを即時に自動表示する, (イ)複数検出器の画像を同時に表示する, (ウ)負荷が少なく安定している, (エ)使いやすいインタフェースである, の四点であった。後に(オ)計算機依存性を少

なくする, が加えられ, この五点を満足させるシステムを作成する必要があった。この(オ)については, PIMANはワークステーションでの使用を前提に作成したのでPseudoColorのビジュアルクラスのみに対応を考えればよかったのだが, 近年, パソコンにLINUXシステムを載せてXウインドウを表示する場合が多くなり, 観測中でもLINUXマシンを観測補助マシンとして簡易解析を行う必要が生じた。LINUXシステムではビジュアルクラスはTrueColorが使える, そのため対応ビジュアルクラスを増やすことが要求された。

ところで, COMICSの画像生成に要する時間は, 天体導入時で5~30秒, 積分時には30秒~10分程度である。これはPIMANですでに十分達成できていたが, COMICSはMICSに比べ検出器の数が増え, 検出器のスケールも大型化している。そこで, PIMANのFITSファイル読み出し部分に若干変更を加えて高速化をはかり, さらに(イ)および(オ)の機能を新たに加えてXFCを開発した。

ここで, XFCと各汎用ブラウザ+解析ソフトとの特徴を簡単に比較したのが表3である。もともとSAOimageおよびSAOimgは解析システムのIRAFとの連携を取るよう開発されたブラウザであり, SkyCatはデータベースやカタログを表示する際に適したシステムである。従って, これらは一画像を時間をかけて解析する場合には威力を発揮するものといえる。翻ってXFCの方は, 中間赤外の観測中に使うことを前提として開発したものであり, 当然観測モニタとしては他の追従を許さない。さらに, 観測時には天文データとして適した画像がとれたかどうかを確認する程度の解析機能があれば十分のため, 簡易解析もかなり絞ることができ, それが結果として計算機に対する負荷の軽減につながった。加えて, 汎用ブラウザは『汎用』機能をもつがゆえに改造を前提としておらず機能追加は難しいが, XFCはその点においても有利といえる。すなわち, XFCは簡易解析とそれ以外の部分を別工程で作成したために互いに干渉しない作りになっており, インタフェースさえ合わせておけば簡易解析の内容をいかに変更しようとも, コンパイルをし直すという手間があるとはいえ, 即座にその変更結果を反映できる。さらに, 簡易解析の個別機能はサブモジュール化されているため, 書き換える箇所も限定されている。変更作業にあたっては, もちろんXFC全体のシステムを理解する必要はなく, この時に必要なことはC言語によるプログラミングの知識のみである。

3.2 本システムの構成

XFCのシステム構成はPIMANを踏襲して作成したが, いくつかの点に変更を加えた。図3にXFCの内部構成を示す。

表3. XFCと各汎用ブラウザ+解析ソフトとの比較

項目	XFC	SAOimage	SAOtng	SkyCat
光・近赤外観測時のモニタ	○	○	○	○
中間赤外観測時のモニタ	○	×	×	×
IRAFの画像ブラウザ	×	○	○	×
データベースの画像ブラウザ	×	×	×	○
ビジュアルクラスTrueColorに対応	○	×	×	×
計算機に対する負荷	○	△	×	△
機能追加・変更作業のしやすさ	○	×	×	×

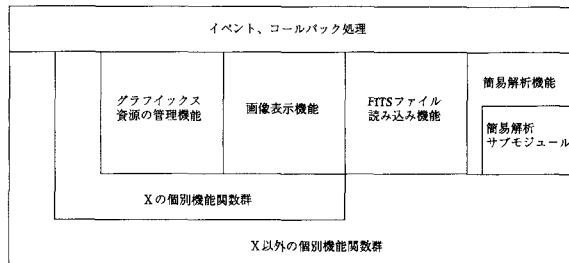


図3. XFCの内部構成

まずPIMANではあいまいであった階層構造を厳密化し、階層の下位に行くに従い機能を細分化し、最下位の関数は上位の関数が任意に使えるように作成した。このために一機能のデバッグがやりやすくなり、プログラム作成の時間も短縮できた。

次に、PIMANでは画像表示系と簡易解析計算系の二つのプログラムに分けていたが、アプリケーション間通信でデータのやりとりをすると、多少の時間のロスが出る上にプログラムのまとまりもあまりよくない。さらにプログラム自体もそれほど巨大なものではなく、二つに分ける積極的理由も見当たらなかったため、XFCでは一体化させた。また、PIMANでは計算結果のグラフを表示する部分をあらかじめ用意していたが、XFCでは六つの画像表示領域があるためにグラフ用の表示部分を設けることができず、ポップアップウインドウ上にグラフを表示することとした。

XFCの構成は、大きく四つの機能に分けられる。すなわち、グラフィックス資源の管理、画像表示、FITSファイル読み込み、および簡易解析である。これらの機能が最下層の一関数一機能の関数を自在に使い、それぞれの機能を実現している。この中で簡易解析は独自のサブモジュールを有し、解析部分の機能追加及び変更はこのサブモジュールのみを変更することで実現できるよう配慮している。なお、最下層の関数群であるが、Xリソースの取得やGUI上への文字列の表示等のXを使った関数群と、入力引数のチェックやメモリエリアの取得等のXに関係しない関数群との二つに大きく分かれている。

3.3 本システムの諸元および機能

XFCのグラフィック能力を表4に示す。PIMAN

表4. XFCのグラフィック能力

項目	値
ビジュアルクラス	PseudoColor(擬似カラー), TrueColor
カラーマップ	デフォルトカラーマップ
カラーセルの個数	64
デフォルト表示色	グレースケール
その他の表示色	緑, A, B, BB (注)

(注)表示色のA, B, BBは、SAOimageのカラーマップを参考に作成した。

表5. XFCの画像表示に関する諸元

項目	値
ウインドウ	XツールキットのAthenaウィジェット
表示する画像の数	撮像1, 分光5
画像表示のスケール	最大336×262ピクセル
画像表示ファイル形式	FITS形式
画像表示ファイルのデータ型	8ビット, 16ビット, 32ビット, 64ビット
表示する解析結果の数	最大5
解析結果表示のスケール	512×512ピクセル
解析結果表示のファイル形式	GIF形式
解析結果の最大表示文字数	約270文字

と異なる点は、対応するビジュアルクラスにTrueColorが加わった点のみである。

次に画像表示に関する諸元を表5に示す。PIMANとはウインドウ作成方法、画像表示ファイルの形式が一致するのみで、他はCOMICS独自の仕様に合わせて変更した。

3.4 本システムの表示機能

XFCの立ち上げはコマンドで行う。すなわち、UNIX系マシン上で xfc と打ち込む。これで図4のようなGUIが立ち上がる。立ち上がりと同時に、FITSファイル名一覧が書かれているリストファイルを読み込み、その最終行に書かれているFITSファイルを読み込みグレースケールで画像表示する。XFCを終了させる場合は、画像表示部分にマウスを移動し、キーボードから q を入力する。

次に、表示機能および操作方法を表6に示す。画像の自動表示は、Xツールキットの監視関数にリストファイルの入出力を一定周期で監視させることで実現している。FITSファイルを新規に作成した際、このリストファイルの最終行にそのFITSファイル名を書き込むと、監視関数が感知しXFCに通知する。そこでXFCはリストファイルの最終行を読み取り、当該FITSファイルからデータを読み込み画面に表示する。

その他表示機能もPIMANとほぼ同様であるが、簡易解析結果グラフの表示方法は大きく変え、これはフリーソフトのXVを利用した。さらに、一般の観測中ではZ軸方向に重ね合わせたファイルを画像表示するが、Z軸方向の任意の一枚の画像も表示できるような指定も行えるようにした。

これら操作方法是汎用ブラウザのSAOimageとは

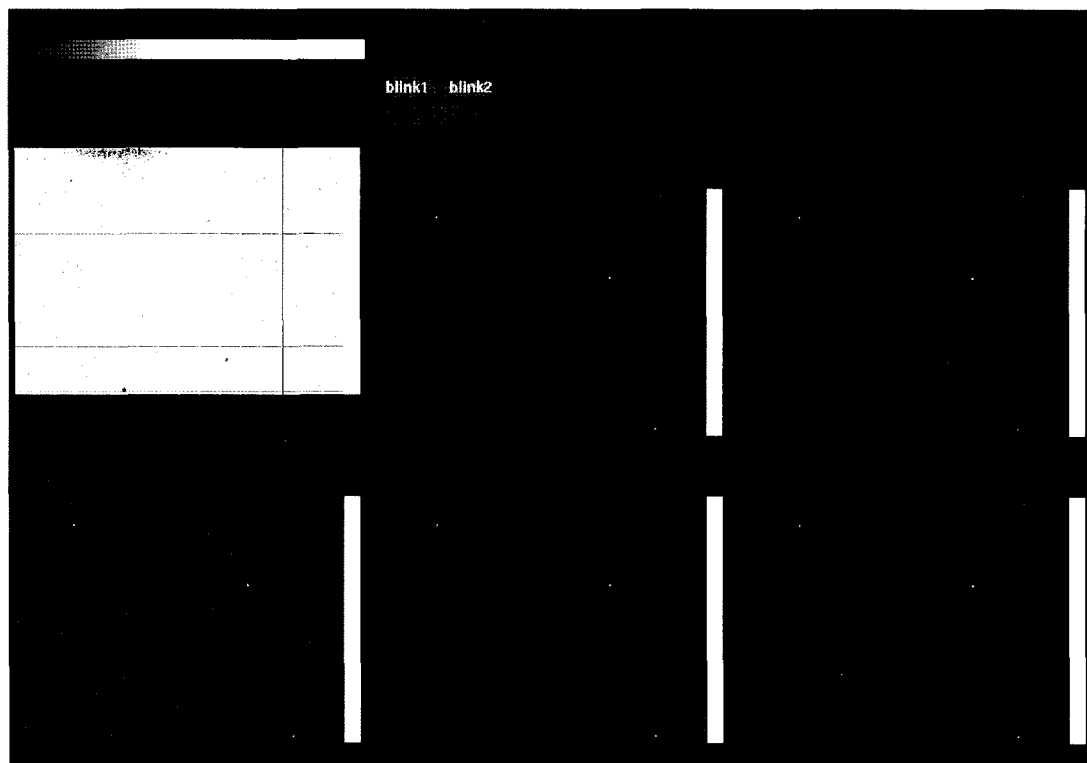


図4. XFC立ち上がり画面

表6. 表示機能と操作

機能項目	内 容	操 作
静 的 情 報		
バージョン情報	XFCのバージョン番号をタイトルバーに表示	自動表示
監視ファイル名	監視するリストファイル名をタイトルバーに表示	自動表示
FITSファイル名	現在画像表示しているFITSファイル名を表示	自動表示
FITS最大最小値	FITSファイルの最大最小カウント値を表示	自動表示
表 示 操 作		
カラーバー	現在の表示色のカラーバーを表示	常時表示
色	デフォルトグレーを含め五つ	コマンドボタン押下
階調	色の階調を変更	左マウสดラッグ(上下左右)
座標表示	画像上マウス位置のFITS座標を表示	自動表示
カウント値	画像上マウス位置のFITSカウント値を表示	自動表示
カウント値変更	FITSファイルの最大最小カウント値変更	キーボード入力, 再描画
カーソル移動	画像上のマウスカーソルを1FITS座標単位で移動	矢印キー(上下左右)
拡大表示	画像上のマウス位置中心の32×32を4倍拡大表示	自動表示
ブリンク	現表示画像を保存	コマンドボタン押下
ブリンク再描画	ブリンクした画像を再描画	Shiftキー+左・真中マウス
z方向画像表示	z軸方向のファイルの指定	キーボード入力
解 析 操 作		
解析領域指定	画像上の解析したい領域を指定	真中マウスボタン
解析領域変更	画像上の解析したい領域を変更	右マウスボタン
解析領域消去	画像上の解析領域を消去	コマンドボタン押下
解析実行	解析領域の簡易解析を実行	コマンドボタン押下
解析結果	解析結果グラフをXVで表示	自動表示

ば同様の方式にしたため、使い勝手が良く明解かつ容易で、初心者であっても短時間で習得できる。

3.5 本システムの簡易解析機能

XFCで行える簡易解析を表7に示す。簡易解析の種類は全部で六つあり、PIMANと異なる点は望遠鏡の方向を計算するパッケージが追加されたことである。

六つの簡易解析それぞれには一つのコマンドボタンが対応している。簡易解析を行う領域を画像上にマウスを持って行って指定し、解析したい種類のコマンドボタンを押下すると、SuperMongoを通してGIF形式のグラフが作成され、XVによりディスプレイ上にポップアップで表示される。但し、標準偏差の結果だけはグラフはなく、計算結果を文字列でXFC上に表示する。図5にY軸方向の切り出しの簡易解析を行った場合の画面を示す。

表7. XFCの簡易解析

簡易解析ボタン	説 明
STA	標準偏差の計算
X	X軸方向の光量の計算とグラフ表示
Y	Y軸方向の光量の計算とグラフ表示
Z	Z軸方向の光量の計算とグラフ表示
PSF	PSFの計算とグラフ表示
TEL	望遠鏡の方向の計算と表示

4. 今後の展開

本ソフトウェアは1999年12月のCOMICS試験観測より使用を開始した。現在も引続き、COMICSの観測および解析で使用されている。COMICS用のシステムとしては開発が一段落したため、次には他観測装置でも利用できるよう、COMICSに特化した部分を減らし汎用化を図っている。ところで、あるシステムが広く使われるようになるためには、ソフトウェアのコンパイルが簡単にできることが重要である。現在、XFCではUNIX系の異なるマシン上でのコンパイルにあたり、Makefileを手で書き直しているが、これを自動で行うよう変更を加える予定である。また、XFCでは六枚の観測画像を表示するが、COMICSで作成するFITSファイルは二つであり、五つの分光用検出器のデータは一ファイルにまとめている。そこで、一表示画像一FITSファイルのデータも表示できるよう、併せて改良していく予定である。

謝辞

本稿を作成するにあたり、天文機器開発実験センターの数名の方より貴重な助言をいただいたことに感謝します。さらには査読者の方からは丁寧なコメントをいただき、本稿をより内容の濃いものにすることができました。併せてここに謝意を表します。

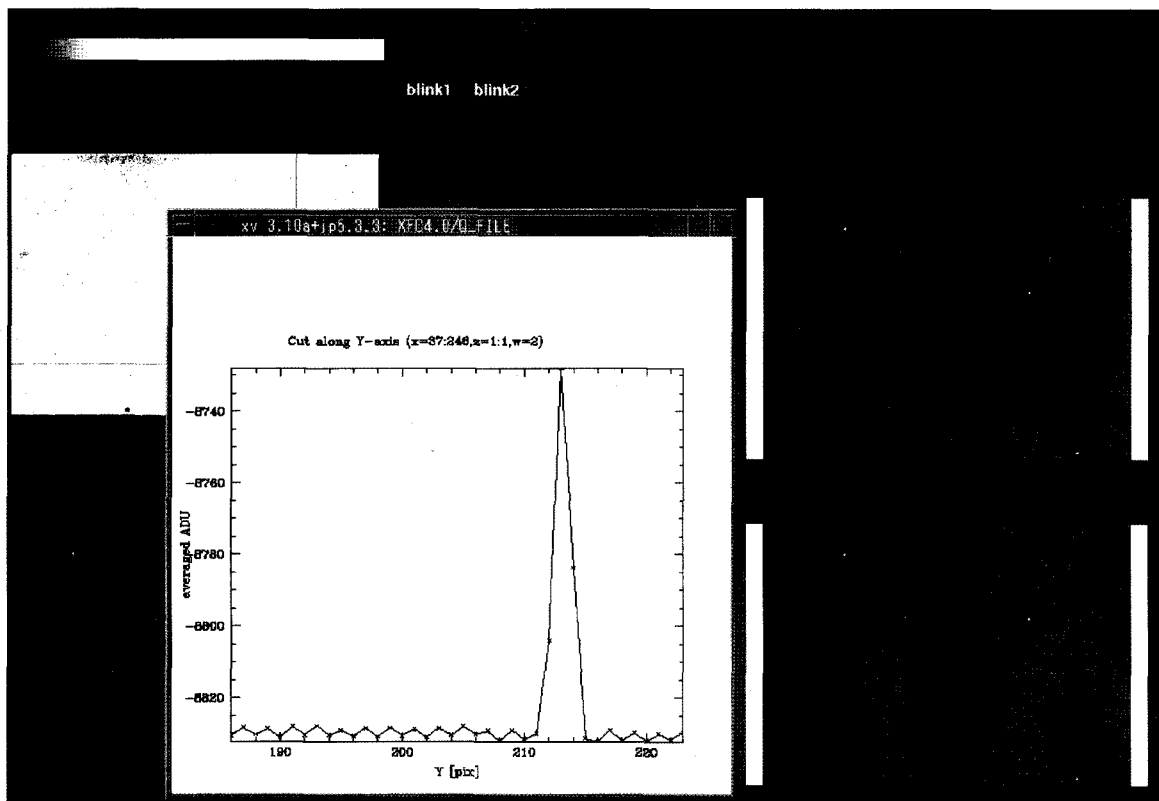


図5. 簡易解析結果表示画面

参考文献

- 1) N. Kaifu: Subaru Telescope, in *Advanced Technology Optical/IR Telescopes VI, Proc. SPIE*, **3352**, ed. L. M. Stepp, 14–22 (1998).
- 2) H. Kataza, Y. Okamoto, T. Onaka, S. Takubo, S. Sako, K. Nakamura, T. Miyata, and T. Yamashita: COMICS: The Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer for the Subaru Telescope, *Proc. SPIE*, **4008**, 132 (2000).
- 3) D. J. Mink: Browsing Images in World Coordinate Space with SAOimage in *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, A. S. P. Conf. Ser., **101**, ed. G. H. Jacoby and J. Barnes, pp.96–99 (1996).
- 4) E. Mandel: The SAOtng Programming Interface in *Astronomical Data Analysis Software and Systems VI*, A. S. P. Conf. Ser., **125**, ed. G. Hunt and H. E. Payne, pp.253–256 (1997).
- 5) M. A. Albrecht, A. Brighton, T. Herlin, P. Biereichel, and D. Durand: Access to Data Sources and the ESO SkyCat Tool in *Astronomical Data Analysis Software and Systems VI*, A. S. P. Conf. Ser., **125**, ed. G. Hunt and H. E. Payne, pp.333–336 (1997).
- 6) D. Tody: The IRAF Data Reduction and Analysis System, in *Instrumentation in Astronomy VI* ed. D. L. Crawford, *Proc. SPIE*, **627**, 733–756 (1986).
- 7) T. Miyata, H. Kataza, Y. Okamoto, T. Tanabe, T. Onaka, T. Yamashita, K. Nakamura, and H. Shibai: MICS: A New Mid-Infrared Camera and Spectrometer for ground-based astronomy, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, **111**, 750–764 (1999).