

# MIRTOS のデータ解析\*

友野大悟†

## 概要

MIRTOS は、中間赤外線での高空間分解能撮像のための観測装置である。この観測装置は、中間赤外線と近赤外線の 2 つの撮像系を持ち、同時に同じ視野を観測することができる。中間赤外線で 0.067 秒、近赤外線で 0.027 秒という細かいピクセルスケールを備え、中間赤外線で 32msec、近赤外線で 96msec という高い時間分解能で撮像データを生成する。このデータから、観測後に像の動きを検出し、それをキャンセルするようにならずしながら足し合わせることで、大気によるゆらぎを補正し、回折限界の像を得ることができる。

ここでは、MIRTOS のデータの解析のために、その手順とともに、生成される FITS ファイルのヘッダについて、説明する。

## 1 MIRTOS とは

MIRTOS (Mid-Infrared Test Observation System) は、中間赤外線 ( $\lambda \sim 8\text{--}13 \mu\text{m}$ ,  $20 \mu\text{m}$ ) での回折限界での撮像のための、観測装置である。大気ゆらぎ (シーイング) の影響の少ない中間赤外線でも、大気ゆらぎによる像位置の変化は、像の空間分解能の低下をもたらす。このため、MIRTOS では、大気の変化の少ない、0.1 秒未満の短かい積分時間に区切った多数の撮像データを取得し、観測後に像位置の変化を補正しながら足し合わせる、Shift-and-Add という手法を用いて、回折限界の空間分解能を保ったまま、長時間の積分を可能にした。

一方、中間赤外線では、地球大気などからの熱放射のため、可視光線や近赤外線と比較して、感度が悪い。また、一般的に中間赤外線に興味のある観測対象は、可視光線ではダストの吸収により、検出できないものが多い。MIRTOS では、中間赤外線での明るさが充分ではない観測対象にたいしても、Shift-and-Add を施すことを可能にするため、ダスト吸収の少ない近赤外線と同時に短時間積分像を取得し、像位置のずれを参照できるようにした。これらの 2 つの撮像系は、ダイクロイックミラーによって、同時に同じ視野を観測する。われわれは、この手法を二波長 Shift-and-Add と呼んでいる [1]。図 1 に MIRTOS の外観と、その動作原理を示す。

\*Based on data collected at Subaru Telescope, which is operated by the National Astronomical Observatory of Japan.

†Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, tomono@mpe.mpg.de

表 1: MIRTOS の基本的なパラメータ

	近赤外線	中間赤外線
検出器	SBRC InSb 256×256 ピクセル	SBRC Si:AS IBC 320×240 ピクセル
	<10 $\mu$ sec の精度で同期	
ピクセルスケール	$\lambda/2D$ (2.2 $\mu$ m 8.2m) = 0.028"	$\lambda/3D$ (8 $\mu$ m 8.2m) = 0.067"
視野	7.1"×7.1" <sup>a</sup>	21.5"×16.1"
フィルター <sup>b</sup>	J, H, K'	10 $\mu$ m バンド内の 1 $\mu$ m 幅各種, 18.5 $\mu$ m
検出限界 <sup>c</sup>	K' で 4.8 Jy (Shift-and-Add 参照用 0.1+0.1 秒積分)	10 $\mu$ m で 0.5 Jy 20 $\mu$ m で 2.5 Jy (Shift-and-Add 結果 12+12 秒 積分)

<sup>a</sup> 近赤外線の視野は、中間赤外線の視野の隅に位置する

<sup>b</sup> 透過波長幅を表 2 に示す

<sup>c</sup> 典型的なスナップショット観測の 5 $\sigma$  の検出限界

中間赤外線では、時間変化する背景放射を効率良く差し引くため、望遠鏡の副鏡を振動させることにより視野を高速に切り替えるチョッピングと、望遠鏡全体の指向方向を変化させることにより視野を切り換えるノッディングを併用して、観測を行なうことが多い。しかし、MIRTOS のこれまでのデータには、副鏡の振動機構の不調のため、チョッピングを行わず、ノッディングのみを行なったものが多い。

表 1 に、MIRTOS の基本的な仕様を示す。装置についての詳細については、参考文献 [2] や [3] を参照されたい。参考文献の一部は、2001 年 10 月現在、<http://www.rzg.mpg.de/~tomono/biblio/mirtos/> より閲覧できる。

## 2 FITS データ

### 2.1 2つの撮像系と FITS ファイル

図 2 に示すように、MIRTOS は、ID の異なる 2 つの生データ (MIRA) ファイルを、中間赤外線撮像系と近赤外線撮像系から、同時に生成する。一つの MIRA ファイルは、中間赤外線あるいは近赤外線の約 3 秒間のデータを含む。

MIRA ファイルは、各短時間積分フレーム<sup>1</sup>を、AXIS3 方向に時間順にすべて保存したものである。フレーム時間間隔は、M\_FRTIME に記載されており、M\_TWID により MIRA ファイル間の同時性を保証している。状況によっては、中間赤外線あるいは近赤外線のみが生成されている。この場合は、同じ M\_TWID を持つ MIRA ファイルは 1 つしか存在しない。

<sup>1</sup>ここでは、AXIS3 の値が同じ二次元データをフレームと呼ぶ。

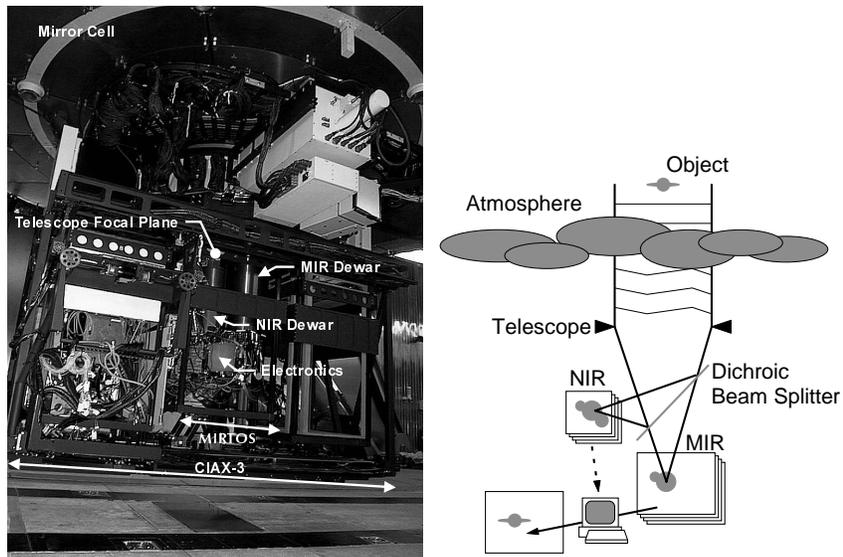


図 1: すばる望遠鏡カセグレン焦点に取り付けられた MIRTOS と、その動作原理。(左) MIRTOS は、カセグレン焦点小型観測装置自動交換機構 (CIAX-3) に収納されている。(右) 星像の位置は、大気ゆらぎ (シーイング) によって刻々と変化する。観測後に計算機上で星像の移動を検出し、その移動をキャンセルするように足し合わせることで、シーイングの影響の無い星像を再現する。

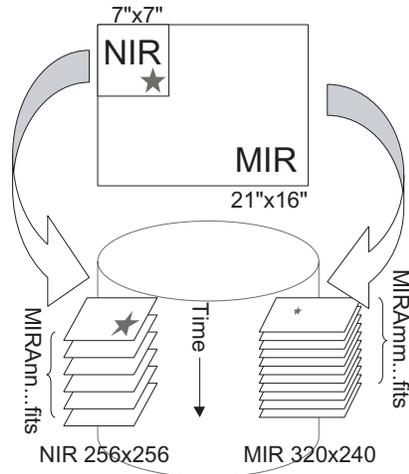


図 2: 2つの撮像系から生成されるデータと、そのMIRAファイルへの収納。時間軸がMIRAファイルのAXIS3軸となる。同時に2つのMIRAファイルが生成され、M\_CHIDで中間赤外線と近赤外線を識別される。

簡易解析(MIRQ)ファイルは、MIRAファイルを、チョッピングやノッディングにしたがって、加減算したものである。ヘッダ最後のHISTORYを参照することにより、どのMIRAファイルを利用したかわかる。MIRQファイルは、一連のノッディング観測(通常は、1つの抽象化コマンド)から同時に、中間赤外線のものと同赤外線のもの、合計2つが生成される。最終的な解析の際には、像位置の動きを補正するShift-and-Addが必要だが、MIRQファイルでは、同じピクセルからの信号が足し合わされただけで、像位置の動きは補正されていない。

## 2.2 FITSヘッダ

表4-6にMIRAファイルのヘッダの例を、表7にMIRQファイルのヘッダの例を示す。MIRQファイルのヘッダは、最初に処理に利用されたMIRAファイルからコピーされ、編集されたものである。

MIRAファイルやMIRQファイルでは、M\_CHIDキーワードの値で中間赤外線と近赤外線とを識別できる。天体名OBJECTとデータ種別DATA-TYPは、観測時に人手により入力しているため、不正確な場合がある。World Coordinate System(WCS)についての情報は、視野の回転については正しい値が設定されている。また、望遠鏡の指向方向(RA、RA2000、DEC、DEC2000)と参照点の座標(CRVALn)は正しいが、参照点の検出器上での位置(CRPIXn)は常に検出器の中心となっており、不正確である。なお、データによっては、CRVALnやCRPIXnが不正確なものがあるかもしれない。MIRAファイルのAXIS3軸

には時間が割り当てられている。データによっては、CDEL3 に正しい値が設定されているが、CRVAL3 は常に 0 で、CUNIT3 は CUNIT2 とミスタイプされている。正しくは、CRVAL2 と CDEL2 の単位は、1 つめの CUNIT2 に記されている “degree” であり、CRVAL3 と CDEL3 の単位は、2 つめの CUNIT2 に記されている “sec” である。また、CRVAL3 の値は、DATE-OBS や UT 等から決定すべきである。

以下、ヘッダ項目のうち、解析にかかわりの強いものについて、ヘッダに現れる順番に述べる。

NAXIS3: MIRA ファイルでは、AXIS3 方向に時刻軸がとられている。MIRQ ファイルの場合は、AXIS3=1 面に簡易解析結果の平均が、AXIS3=2 面に総和が、AXIS3=3 面に加減算の回数が記録されている。

INSROT: インストゥメントローテータの望遠鏡に対する角度が度単位で記録されている。デコンボリューションをする際には、ポイントスプレッドファンクション (PSF) の参照データに、この値の近いデータを利用すべきである。なお、INST-PA には、インストゥメントローテータの天球に対する角度が記録されている。

FILTER01 FILTER02: 広帯域フィルターの名前が記録されている。フィルター名と透過波長との関係を表 2 に示す。

M\_BEAMn: 各フレームの視野の種別をあらわす。U、u、D、d のうち一文字が 1 フレームに相当し、時間順に、ノッキング・チョッピングの状況に応じて、そのフレームに相当する文字が記されている。表 3 に、文字と対応する視野、MIRQ を作成する際の処理を示す。MIRA ファイルの Ascii extension table にも同様の情報が記録されている。MIRQ ファイルではこの情報は正しくない。

M\_CHID: 上にも述べたように、中間赤外線と近赤外線とを区別する。MIR か NIR を値に持ち、それぞれ、中間赤外線、あるいは、近赤外線撮像装置からのデータであることを示す。

M\_OBSID: 1 回の抽象化コマンドから作られた MIRA ファイルは、同じ M\_OBSID を持つ。

M\_TWID: 同時に得られた MIRA ファイルに、同じ ID が付与される。これにより、中間赤外線のデータと近赤外線のデータの同時性が保証される。

表 2: MIRTOS のフィルターの名前と透過波長幅。中間赤外線撮像系のフィルター N-S は、直径が充分ではないため、視野の一部を遮っている<sup>a</sup>。近赤外線撮像系のフィルター L' と M' では、ビームスプリッターの反射率が充分ではないため、結像性能が悪い。

フィルター名	中心波長 ( $\mu\text{m}$ )	半値半幅 ( $\mu\text{m}$ )
J	1.25	0.08
H	1.64	0.15
K'	2.12	0.18
L'	3.78	0.35
M'	4.68	0.12
N	7.73	0.35
O	8.89	0.38
P	9.69	0.47
Q	10.60	0.49
R	11.85	0.55
S	12.33	0.59
W11779	11.75	1.75
18	18.00	0.50
M185B7	18.50	0.54
21	20.80	0.45
M245B5	24.45	0.56
OPEN	全波長を透過	

<sup>a</sup> フィルターは検出器近くの収束光内に設置されている。

表 3: ビーム種別文字と加減算

	主ノッディング方向	副ノッディング方向
主チョッピングビーム	U 加算	D 減算
副チョッピングビーム	u 減算	d 加算

M\_QREDID: この MIRA ファイルから生成された MIRQ ファイルの ID を示す。

M\_CHOPTM M\_CHOPTH M\_CHOPPA M\_NODTM M\_NODTH M\_NODPA: チョッピングノッディングそれぞれについて、1 周期にかかる時間、振り幅、方向を示す。チョコッピングが行なわれなかった場合、M\_CHOPxx はすべて-1 になる。

M\_FRTIME: MIRA ファイルの各フレームの時間間隔が記録されている。多くのデータでは、読み出し回路の帯域の制限により、近赤外線フレーム間隔は、中間赤外線フレーム間隔の 3 倍となっている。

データによっては、CDELTA3 にも同様の情報が記録されているが、その場合でも CRVAL3 は常に 0 であり正しくない。また、CUNIT3 は CUNIT2 とミスタイプされている。

HISTORY: MIRQ ファイルのヘッダ最後の HISTORY 項目には、簡易解析に使用した MIRA ファイルの ID が記録されている。

### 3 解析手順

図 3a のような短時間積分像は、簡易処理によって図 3b のような状態になっている。MIRQ ファイルによりこのようなデータの質を判断し、元になる MIRA ファイルを取得して Shift-and-Add を施すことにより、図 3c のような高空間分解能の像が得られる。

MIRTOS のデータ解析は、1) バックグラウンドの差し引きなどの前処理、2) Shift-and-Add、3) デコンボリューション等の後処理、という順ですすめられる。MIRQ ファイルは、1) の処理の後、一連のフレームを単純に足し合わせたものである。

#### 3.1 前処理

以下の順にデータの取得とバックグラウンドの差し引きを行なう。

1. MIRQ ファイルを眺めて、データの質と天体の位置を把握する。望遠鏡のポインティング時には、すべてのフレームを足し合わせた、時間分解能の低い MIRA ファイルが生成されているので、注意が必要である。NAXIS3 やファイルの大きさによって区別できる。
- 2 波長 Shift-and-Add が必要な場合は、対応する近赤外線のデータも必要である。ほとんどの場合、MIRQ の ID を  $\pm 1$  すれば得られる。MIRA または MIRQ の M\_TWID によって同時に積分されたことを確認できる。

表 4: MIRA ファイルのヘッダ例 1/3. COMMENT の一部を省略した

```

SIMPLE = T / Standard FITS format
BITPIX = 32 / Number of bits storing pix values
NAXIS = 3 / Number of axis in frame
NAXIS1 = 336 / Number of pixels/row
NAXIS2 = 240 / Number of rows
NAXIS3 = 96 / Number of frames
EXTEND = T / ASCII Table for Z-frame description
COMMENT MIR Primary header for MIRTOS
OBSERVER= 'Tomono' / Names of observers
PROP-ID = 'o98014 ' / Proposal ID
DATASET = 'DS0000 ' / Dataset ID
INSTRUME= 'MIRTOS ' / Name of instrument
INS-VER = '0.92 1999Oct' / Ver. of instrument (Testing at the summit)
FRAMEID = 'MIRA00005053' / FITS File sequential number
EXP-ID = 'MIRE00003621' / ID of the simultaneous exposure
OBS-MOD = 'Imaging ' / Observation Mode
OBS-ALOC= 'Observation' / Allocation mode for Instrument
DATA-TYP= 'OBJECT ' / object/flat/pupil/pupil_flat/dark/bias
OBSERVAT= 'NAOJ ' / Observatory
TELESCOP= 'Subaru ' / Telescope/System
TELFOCUS= 'Cassegrain' / Focus
INSROT = -153.634 / Ins. Rotator Angle
INST-PA = 150.000 / Ins. Rotator Position Angle (N:0 E:90)
CRPIX1 = 160.0 / Reference pixel in X (pixel)
CRPIX2 = 120.0 / Reference pixel in Y (pixel)
CRPIX3 = 1.0 / Reference pixel:frame in Z (pixel)
CRVAL1 = 40.67110417 / RA of the reference pixel
CRVAL2 = 0.01597500 / Dec of the reference pixel
CRVAL3 = 0.00000000 / Rel. sec of the reference frame
COMMENT 990518 CRVAL/CRPIX are not well-measured yet
COMMENT 991122 CRVAL set by equinox.c
CDEL11 = 0.00001860 / X Scale projected on detector(#/pix)
CDEL12 = 0.00001860 / Y scale projected on detector(#/pix)
CDEL13 = 0.03136000 / Frame interval
CTYPE1 = 'RA---TAN' / Pixel coordinate system
CTYPE2 = 'DEC--TAN' / Pixel coordinate system
CTYPE3 = 'RELATIVE_T' / Pixel coordinate system
CUNIT1 = 'degree ' / Units used in both CRVAL1 and CDEL11
CUNIT2 = 'degree ' / Units used in both CRVAL2 and CDEL12
CUNIT3 = 'sec ' / Units used in both CRVAL3 and CDEL13
TIMESYS = 'UTC ' / Time System used in the header
RADECSYS= 'FK5 ' / The equatorial coordinate system
PROJP1 = 0.0 / Projection type of the first axis
PROJP2 = 0.0 / Projection type of the second axis
LONGPOLE= 180.0 / The North Pole of standard system (deg)
PC001001= -1.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
PC001002= -0.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
PC002001= -0.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
PC002002= 1.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
PC003003= 1.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix for time-ax
CD1_1 = -0.00001860 / Pixel Coordinate translation matrix
CD1_2 = -0.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
CD2_1 = -0.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
CD2_2 = 0.00001860 / Pixel Coordinate translation matrix
CD3_3 = 1.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix for time-ax
WCS-ORIG= 'WCSset.c(Nov 22 1999) w/offset(+) 150.00' / Origin of WCS value
BSCALE = 1.00000000 / Real=fits-value*BSCALE+BZERO
BZERO = 0.00000000 / Real=fits-value*BSCALE+BZERO
BUNIT = 'ADU ' / Unit of original pixel values
BLANK = 2147483647 / Value used for NULL pixels
DATE-OBS= '1999-12-31' / UTC obs start date (22:36:12 1999/12/30 HST)
UT = '08:36:12.000' / HH:MM:SS.S UTC at typical time(=start)
HST = '22:36:12.000' / Hawaii Standard Time at typical time(=start)
LST = '04:51:37.261' / Local Sidereal Time at typical time(=start)
MJD = 51543.35847222 / Modified Julian Day at typical time(=start)
UT1-UTC = 0.35632 / UT1-UTC of the day (sec)
EXPTIME = 0.031200 / Total integration time per frame(sec)
EXP1TIME= 0.031200 / Integration time per readout(sec)
OBJECT = 'NGC 1068' / Target Description
RA = '02:42:41.065' / HH:MM:SS.SSS RA 22:36:06 1999/12/30
DEC = '-00:00:57.51' / +/-DD:MM:SS.SS DEC pointing
EQUINOX = 2000.000 / Standard FK5 (year)
RA2000 = '02:42:41.065' / HH:MM:SS.SSS RA (J2000) pointing
DEC2000 = '+00:00:57.51' / +/-DD:MM:SS.SS DEC (J2000) pointing
AZIMUTH = 241.65814 / Azimuth of telescope pointing (degree)
ALTITUDE= 52.74821 / Altitude of telescope pointing(degree)

```



表 6: MIRA ファイルのヘッダ例 3/3

```

COMMENT
COMMENT (: Subaru Device Dependent Header for MIRTOS :)
COMMENT
COMMENT === ID
M_CHID = 'MIR' / ID of camera channel of MIRTOS
M_FILEID= 'MIR_991230_00106' / filename of this data in MIRTOS
M_OBSID = 'OBS_991230_00138' / ID of set of chop/nod observation
M_TWID = 'TW_991230_00138' / ID of two-wavelength simultaneous file
M_FLATID= 'NA' / FRAMEID of the most recent flat field
M_DARKID= 'MIRA00004864' / FRAMEID of the most recent dark exposure
M_BIASID= 'NA' / FRAMEID of the most recent dark exposure
M_QREDID= 'MIRQ00002711' / FRAMEID of quick reduction file this goes
M_DETO1 = -1.00000 / Rel X pos of NIR from MIR on sky (pixel)
M_DETO2 = -1.00000 / Rel Y pos of NIR from MIR on sky (pixel)
COMMENT === Chopping and Nodding
M_CHOPTH= -1.000 / Chopping period for a cycle (sec)
M_CHOPTH= -1.00 / Chopping throw (arcsec)
M_CHOPPA= -1.00 / Chopping P.A. origin:source/pointing (deg)
M_NODTM = 6.0 / Nodding period for a cycle (sec)
M_NODTH = 60.00 / Nodding throw (arcsec)
M_NODPA = 0.00 / Nodding P.A. origin:source/pointing (deg)
COMMENT === M_RF are Reference Square Corners in Pix, -1:NA 0:No ref in image
M_RFX1PP= -1 / Corner 1 X for Chop+ Nod+
M_RFY1PP= -1 / Corner 1 Y for Chop+ Nod+
M_RFX2PP= -1 / Corner 2 X for Chop+ Nod+
M_RFY2PP= -1 / Corner 2 Y for Chop+ Nod+
M_RFX1MP= -1 / Corner 1 X for Chop- Nod+
M_RFY1MP= -1 / Corner 1 Y for Chop- Nod+
M_RFX2MP= -1 / Corner 2 X for Chop- Nod+
M_RFY2MP= -1 / Corner 2 Y for Chop- Nod+
M_RFX1PM= -1 / Corner 1 X for Chop+ Nod-
M_RFY1PM= -1 / Corner 1 Y for Chop+ Nod-
M_RFX2PM= -1 / Corner 2 X for Chop+ Nod-
M_RFY2PM= -1 / Corner 2 Y for Chop+ Nod-
M_RFX1MM= -1 / Corner 1 X for Chop- Nod-
M_RFY1MM= -1 / Corner 1 Y for Chop- Nod-
M_RFX2MM= -1 / Corner 2 X for Chop- Nod-
M_RFY2MM= -1 / Corner 2 Y for Chop- Nod-
COMMENT === Temperature
M_T-TMP = -1.00 / Temp Ctrl Stage (K) 19:16:21 1999/12/07
M_T-POW = 0.38 / Heater power (W) 22:35:07 1999/12/30
M_C-TMP2= -1.00 / CCC 2nd stage(K) %%d
M_C-TMP1= -1.00 / CCC 1st stage(K) %%d
M_O-TMP = 46.78 / Optics Temp(K) 22:35:07 1999/12/30
M_A-TMP1= -1.00 / Ambient #1(K) %%d
M_A-TMP2= -1.00 / Ambient #2(K) %%d
M_A-TMP3= -1.00 / Ambient #3(K) %%d
M_W-TMP = -1.00 / CCC Coolant Out (K) %%d
M_W-CUR = -1.00 / CCC Coolant (l/min) %%d
COMMENT === Clock
M_CLKFL = '/home/mirtos/Clocks/991126mir/clkdat/ibc' / Clock file name
M_CLKMR = 'NODNd240_Nf48_Nc001I01W00' / Clock pattern marco name 22:10:49 1999/1
M_CLKMC = '96NOV26_NOD' / Clock alias name
M_PIXTIM= 0.0000050 / Clock duration for a pixel (sec)
M_FRTIME= 0.0313600 / Time to sweep one frame (sec)
M_CBANK = 'A' / Running clock bank when data was taken
M_CEFCT = F / Clock activity when data taken (T:Conv F:Idle)
COADD = 1 / Number of readouts in a frame
DET-NSMP= 1 / Number of readouts in a frame
DET-SMPL= 'destructive' / Sampling method
COMMENT === AMP (NIR only)
M_A-GAIN= -1 / Wallace Instruments pre-amp gain
M_A-BWTH= -1 / Wallace Instruments pre-amp BW(KHz)
COMMENT === FMC
M_JPORT = 0 / jport value when data got @22:36:17 1999/12/30
M_REFSUB= T / Subtraction of reference column T:done
M_ARRANG= 'FITS' / Data sequence FITS/Raw-hardware version/qred version
M_BANK = 'A' / Bank where the data was stored
COMMENT == BlackBody
M_BBPOS = F / Black Body Position T:In F:Out
M_BBTMP = -1.0 / Temperature of Black Body (K) %%d
END

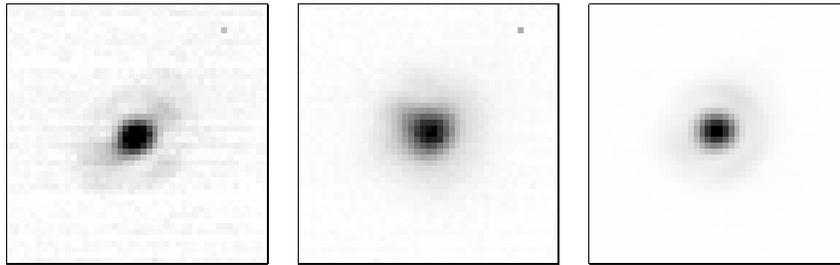
```

表 7: MIRQ ファイルのヘッダ例

```

SIMPLE = T / Standard FITS format
BITPIX = 32 / Number of bits storing pix values
NAXIS = 3 / Number of axis in frame
NAXIS1 = 336 / Number of pixels/row
NAXIS2 = 240 / Number of rows
NAXIS3 = 3 / 1:average 2:added data 3:# of adds (qred)
EXTEND = F / No ASCII Table
:
(中略)
:
HISTORY add. of FRAMEID:MIRA00005053 M_FILEID:MIR_991230_00106 at 22:37 1999/12/
HISTORY M_BEAMn referred
HISTORY rejected 0 pix with min:-2147483648 max:2147483647
HISTORY add. of FRAMEID:MIRA00005054 M_FILEID:MIR_991230_00107 at 22:38 1999/12/
HISTORY M_BEAMn referred
HISTORY rejected 0 pix with min:-2147483648 max:2147483647
HISTORY add. of FRAMEID:MIRA00005057 M_FILEID:MIR_991230_00108 at 22:40 1999/12/
HISTORY M_BEAMn referred
HISTORY rejected 0 pix with min:-2147483648 max:2147483647
HISTORY add. of FRAMEID:MIRA00005058 M_FILEID:MIR_991230_00109 at 22:41 1999/12/
HISTORY M_BEAMn referred
HISTORY rejected 0 pix with min:-2147483648 max:2147483647
HISTORY add. of FRAMEID:MIRA00005061 M_FILEID:MIR_991230_00110 at 22:43 1999/12/
HISTORY M_BEAMn referred
HISTORY rejected 0 pix with min:-2147483648 max:2147483647
HISTORY add. of FRAMEID:MIRA00005062 M_FILEID:MIR_991230_00111 at 22:44 1999/12/
HISTORY M_BEAMn referred
HISTORY rejected 0 pix with min:-2147483648 max:2147483647
HISTORY add. of FRAMEID:MIRA00005065 M_FILEID:MIR_991230_00112 at 22:45 1999/12/
HISTORY M_BEAMn referred
HISTORY rejected 0 pix with min:-2147483648 max:2147483647
HISTORY add. of FRAMEID:MIRA00005066 M_FILEID:MIR_991230_00113 at 22:47 1999/12/
HISTORY M_BEAMn referred
HISTORY rejected 0 pix with min:-2147483648 max:2147483647
END

```



a. 短時間積分      b. 通常積分      c. Shift-and-Add

図 3:  $\beta$  And の  $11.7\mu\text{m}$  での撮像結果。それぞれの枠は  $3\times 3$  秒の視野を持ち、上が北、左が東である。a. は 0.032 秒間積分されたフレーム 1 枚の像である。それを 96 枚、単純に足し合せると、b. のようになる。この像の FWHM は 0.34 秒である。同じデータに Shift-and-Add を施すことにより、c. のように回折リングが見えるようになる。これにより、FWHM は 0.20 秒まで改善された。

2. MIRA ファイルを入手する。MIRQ ファイルのヘッダの最後にある HISTORY を参照することにより、必要な MIRA ファイルがわかる。SMOKA で対応していただける可能性もある。
3. バックグラウンドを引く。基本的には、ノッディングの対となる MIRA ファイルの、全てのフレームのメジアンを平均を差し引く。ノッディング対の MIRA ファイルは、対象となる MIRA ファイルと同じ M\_OBSID を持つものの中から、観測時間が近いもの (ID が近いもの) を使う。  
デコンボリューションの際には、バックグラウンドとして使うフレームのピクセル値のばらつきから、雑音の強さを見積っておく必要がある。観測夜によっては、フラットフィールドのためのデータも存在する。
4. 中間赤外線では、冷凍機ヘッドによる検出器の温度変化により、信号電圧が 1Hz 程度で定期的に変化している。バックグラウンドを差し引いた後に、各フレームで、そのフレーム全体のメジアンを引くことにより、影響を小さくできる。さらに、検出器駆動パラメータの問題により、ピクセル走査方向へのシグナルの漏れが見られる。このため、各フレームで長方形領域のメジアンを引く必要がある。

## 3.2 Shift-and-Add

大気ゆらぎによる像位置の変化の検出をして、それを補正しながらフレームを足し合わせる。

1. 像の動きを検出する。空間周波数フィルタなどを通して、各フレームで参照星のピークの位置を検出する。近赤外線を参照して中間赤外線の像の Shift-and-Add をする (二波長 Shift-and-Add をする) 場合には、参照星の重心位置も同様に検出しておく必要がある。
2. 像をずらす量を決める。同一波長の像を参照する場合はピークの位置を、二波長 Shift-and-Add の場合は参照星のピークと重心の間の点の位置を、検出された位置の全フレームについての平均に合わせるように、各フレームに対して、像のずれを計算する。

二波長 Shift-and-Add の場合は、参照点を近赤外線でのピークと重心の間に定義する。波長の組み合わせや大気の状態により、最適な参照点はピーク位置と重心位置の間を移動するものと思われる。K' バンドの参照星で  $12.3\mu\text{m}$  の像を補正する場合には、K' バンドの参照星の重心を使えばよいという結果 [2]p.74 もあるが、各観測において、近赤外線での参照点を変化させて、中間赤外線での Shift-and-Add 結果を比較してみるべきである。

3. 像をずらしながら、足し合わせる。IRAF の `imshift` や `imcombine` などが利用できる。

筆者は未確認ではあるが、Shift-and-Add の前にピクセルスケールを細かくすると、デコンボリューションに有利である可能性がある。

### 3.3 後処理

IRAF の `lucy` 等のタスクで、デコンボリューションが可能である。デコンボリューションの際には、雑音の強さを正確に見積る必要がある。バックグラウンド作成の際のピクセル値のばらつきから見積った雑音を、それ以降の解析の進捗に合わせて足し合わせることにより、最終的な像の雑音の大きさを見積ることができる。

### 3.4 参照星に関する補足

解析結果として測光が必要な場合は、上記と同様の処理を明るさの標準星についても行なう。SN が充分であれば空間分解能は低くてもいいため、望遠鏡のポインティング時に生成された、時間分解能の低いデータも活用できる。測光には 10% 程度の精度が期待できるものと思われる。

後処理でデコンボリューションを施す際には、上記と同様の処理を、PSF の標準星についても行なう。この場合は、時間分解能の低いデータは除外しておく必要がある。また、望遠鏡光学系の非回転対称性の影響を軽減するため、インストゥumentローテータ角度 (INSROT) の近いデータを利用すべきである。

## 4 最後に

以上に、MIRTOS の典型的なデータ解析の手順をまとめた。これらの処理は、多数の MIRA ファイルに系統的に施す必要があるため、何らかの自動化が望ましい。

筆者は、解析を進めるうち、`awk` や `sed` 等を用いて解析用のスクリプトを生成するようになったが、チョッピングやノッディングの、どの視野に観測対象が含まれどの視野に含まれていないか、また、検出器上のどの辺に観測対象があるのか、ということ自動的に判別することができないため、DASH 等でも完全に自動化することはできなかった。今後はこのような情報をヘッダに含めるようソフトウェアの改良を施す必要がある。

## 謝辞

第 46 回天文情報処理研究会では、筆者が出席できないため、洞口俊博さんに代読をお願いしました。準備不足の発表資料に適切な補足をしていただき、感謝いたします。

MIRTOS の製作は、西村徹郎さんの発案のもと、片ざ宏一さん、土井由行さんほかの協力により可能となりました。筆者は、MIRTOS の製作中、日本学術振興会による援助をいただいております。MIRTOS のすばる望遠鏡での観測は、国立天文台ハワイ観測所や国立天文台すばるプロジェクト室などの方々の努力により、可能となりました。この場を借りて感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Daigo Tomono and Tetsuo Nishimura, 1997, “Near-infrared two-wavelength shift-and-add”, *Proc SPIE Vol. 3019*, 9–16.
- [2] Daigo Tomono, 2000, *Development of the new mid-infrared camera MIRTOS for the Subaru Telescope and its first results*, Ph. D. Dissertation, the Tokyo University, *Subaru Telescope Preprint and Reprint Series No. 101*.
- [3] Daigo Tomono, Yoshiyuki Doi, and Tetsuo Nishimura, 2000, “Test observation results from the mid-infrared imager MIRTOS for the Subaru Telescope”, *Proc SPIE Vol. 4008*, 853–860.