COMICS DATA REDUCTION MANUAL Ver.0.0

Yoshiko K. Okamoto

2001 年 5 月 24 日

目次

1 INTRODUCTION OF COMICS **4**

1.1 Mid-Infrared Astronomy 4

1.2 Overview of the Instrument 4

1.3 装置概要 4

2 COMICS Data Set **6**

2.1 'chop and nod' と生データの構成 6

2.2 解析の流れ 9

2.3 観測時の諸条件 11

2.3.1 ピクセルスケール 11

2.3.2 波長分解能 11

2.3.3 位置精度 11

2.3.4 ポインティング 11

2.3.5 画像上の方向とスリットの向き 11

2.3.6 分光の際の空間一定軸の歪曲 11

2.3.7 標準星による補正について 11

2.3.8 エアマスの影響と大気補正 11

3 FITS FILE AND HEADER **13**

3.1 1-8 行目 13

3.2 すばる共通ヘッダ 14

3.2.1 望遠鏡に関するパラメータ 14

3.2.2 光学系のセッティングに関するパラメータ 14

3.3 COMICS 固有ヘッダ 16

4 一次解析の方法: 手順 / コマンド一覧 **18**

4.1 撮像の解析: 方法まとめ 19

4.2 分光の解析: 方法まとめ 20

4.3 ログダイジェストの例 21

5 一次解析の方法: 詳説 **24**

5.1 下準備: 元データの統一化と情報の整理 24

5.1.1 頻出 FITS HEADER 一覧の作成 24

5.1.2 ECO 画像の統一 (B000) 24

5.2 ダーク、フラット 26

5.2.1 ダークの作成 26

5.2.2 ダークリストの作成 26

5.2.3 フラットの作成 27

5.2.4 分光 (ドームフラット) 27

5.2.5 撮像 (スカイフラット) 28

5.2.6 バッドピクセルのリストアップ . . . 29
5.2.7 ダーク上のホットピクセル . . . 29
5.2.8 フラット上のバッドピクセル . . . 29
5.2.9 ケラレ等で光が入らなくなっているピクセル . . . 29
5.2.10 フラット画像のバッドピクセル . . . 30
5.3 天体データ、標準星データの解析 . . . 31
5.3.1 チョップ差引 (COMQ 画像を使う) . . . 31
5.3.2 単位時間化 . . . 31
5.3.3 フラット処理 . . . 31
5.3.4 (場合によって) すじ補正 . . . 31
5.4 天体データ、標準星データの解析: 撮像 . . . 32
5.4.1 同じ位置でとった画像ファイルを平均化 . . . 32
5.4.2 dither 処理のためのマスク作成 . . . 32
5.4.3 dither 処理のためのシフト量測定と画像シフト . . . 32
5.4.4 周期ノイズののっている画像の補正 . . . 33
5.4.5 スカイレベルの補正 . . . 33
5.4.6 星のカウントの解析 . . . 33
5.4.7 画像のシフト . . . 33
5.4.8 重み画像の作成と画像重ね合わせ . . . 33
5.4.9 残ってしまったバッドピクセルの補間 . . . 35
5.4.10 フラックス補正 . . . 35
5.4.11 波長間の位置合わせ . . . 36
5.4.12 撮像画像のノイズ . . . 36
5.4.13 個々の解析 . . . 36

表一覧

1.1 COMICS の主な仕様 5

図一覧

2.1 COMICS で得られるデータ：天体に対して少しずつ位置をずらして ‘chop and nod’ を行うことで、A∼D の 4 枚で 1 組の画像データが得られる。 (chop, nod の方向は実際には任意。) A,B,C,D のそれぞれは図 ??に示すようにさらに複数の画像からなる。 7

2.2 COMICS で得られるデータ：図 ??に示した、各 chop, nod ビームの画像は、通常、さらに複数の画像からなる。これは、各 nod ビームにおいて、複数回 chop をおこなうためである。各 chop ビームでの画像はさらに、複数回の読みだしに伴う複数枚の画像の和、もしくは生データになっている。 . . 8

2.3 解析 1. chop and nod データの差引: 観測の結果得られた 4 枚 1 組の画像データを、まず、同 nod beam、異 chop beam の画像の差引を行う (A,C → α、 B,D → β; chop 差引)。次に残存パターンを除去するために chop 差引でできた 2 枚の画像の差引を行う (α,β → I)。天体のうち、カウントが正で残る部分 (白) と負になって残る部分 (黒) がある。 10

2.4 分光画像における波長、空間方向の決定：波長一定軸については、生データを足し合わせて大気の放射スペクトル画像を作り、大気透過率モデルと比較することで波長同定を行う。空間一定軸については、星のスペクトル画像から、波長方向の検出器軸に沿った断面についてガウシアンフィットを行ってピークを検出して決定する。 12

5.1 34

第 1 章

INTRODUCTION OF COMICS

1.1 Mid-Infrared Astronomy

中間赤外線とは、波長が 5∼30μm 程度の赤外線である。中間赤外線域には 2 つの大気の窓があり、地上からの観測が可能であるが、高い背景放射による制限や検出器技術の問題から、最近まで観測が進んでいなかった。しかし、近年になって、量子効率の良い 2 次元アレイ検出器が登場し、さらに、大型光赤外線望遠鏡の建設が進んだこともあって、効率がよく分解能の高い中間赤外線観測が可能な段階になりつつある。このような状況のもと、すばる望遠鏡用の第一期装置の一つとして開発されたのが Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer (COMICS) である。

中間赤外線は、いくつかの特徴的性質を持っている。まず、可視光に比べて透過力が高いため、埋もれた天体を観測するのに適している。一般的に、可視光で埋もれた天体については、近赤外線より長い波長での観測が行われるが、中間赤外線はシリケイトによる吸収があるものの、近赤外線よりもさらに透過力が高い。

第 2 に中間赤外線の波長 (∼5∼30μm) は、黒体では 100K∼400K の放射のピークに相当し、この程度の温度の物質から効率的に放射される。それゆえ数百 K 程度の低温度の天体の観測に適している。このような天体としては星周のダスト、原始惑星系円盤、原始星などが考えられるが、これらの天体の観測的研究によって、たとえば晩期型星の進化や、星形成・惑星系形成の理解がすすむことが期待される。

第 3 に、中間赤外線の波長域には、多くのダストによる放射・吸収の feature が存在するため、ダストの物性を理解するのには中間赤外線による観測が重要である。たとえば 9.7μm、 18μm 付近には、シリケイトによると考えられている feature がある。これは、前述の波長をピークとしてひろく中間赤外線全域にわたる形をしている。他に、未同定赤外線バンドとよばれる環状の炭素系固体物質によると考えられている feature が 6.2,7.7,8.65,11.25,12.8μm 付近をピークとした広い feature として様々な天体で観測されている。

1.2 Overview of the Instrument

1.3 装置概要

COMICS は、先に第 I 部で述べた、中間赤外線で期待される天文学的な観測を可能にするための装置である。狙っている研究対象は、近傍・遠方銀河、星惑星系形成、星間ダスト、太陽系天体、など多岐にわたっている。機能としては、中間赤外線域での撮像と長スリット分光の両者を備えている。望遠鏡の放射を極力抑えるため、すばる望遠鏡のカセグレン焦点に設置する。すばる望遠鏡の口径をいかした高空間分解観測を実現するため、ピクセルスケールが ∼0.13”/pix(撮像の場合) に設計されている。分光モードでは、 10μm 帯および 20μm 帯については、波長分解能が R∼2500 の中分散観測モードを持ち、 10μm 帯ではさらに高い分解能 R∼10000 高分散モードでの観測を目指している。回折格子は、それぞれのモード用に 1 種類ずつ、計 3 つを用いる。検出器は、 8∼28μm まで感度のあるアメリカ Hughes 社 Santa Barbara Research Center 製の、 Si:As 320x240 BIB 型検出器を用いる。 BIB 型検出器は、高い量子効率を持ち、検出限界と観測効率の向上には必須の検出器である。この検出器を、撮像モードでは 1 個を用いて、撮像観測を行う。撮像側の検出器は、分光モードではスリットビュワーとして機能し、スリットと天体の位置関係を正確に知ることができる。分光の場合、検出器を 5 個並べて用い、効率良くスペクトル像を得る。検出器を並べる際には検出器どうしの間にすきまがあいてしまうので、回折格子を少し回転することですきまに落ちていた波長の

光を観測する。すき間のあけかたをうまくとって、回折格子の角度を 2 種類で、ある波長範囲の中を効率良くすき間なくカバーできるようにする。これによって、 $10\mu m$ 帯中分散モードでは回折格子角度 2 種類で大気の窓のほぼ全域をカバーできる。 $20\mu m$ 中分散モードでは $20\mu m$ 帯の大気の窓を短波長側と長波長側にわけ、それぞれを回折格子角度 2 種類でカバーできる。 $10\mu m$ 帯と $20\mu m$ 帯では、波長が 2 倍程度異なるため、またシーイングの変動も考えて、 5 種類の幅を変えたスリットを用意している。 COMICS の主な仕様を表 1.1にまとめておく。

	撮像	分光
ピクセルスケール	0.130”/pix	0.165”/pix
検出器	320x240 Si:As ×1	320x240 Si:As ×5
視野	42”×31”	ロングスリット、 40”
観測波長	N,Q バンド	
波長分解能	R∼10,100	R∼2500(,10000(N バンドのみ)
システム効率	50% 以上	30% 以上

システム効率は、大気・検出器の量子効率を除いた場合の $10\mu m$ での値

表 1.1: COMICS の主な仕様

常温では $10\mu m$ に黒体放射のピークが来るため、中間赤外線を観測する装置は、装置自身を冷却することが必要である。このため、 COMICS は、光学系および光学部品を制御するための駆動部品をすべて真空容器内にいれ、冷凍機 2 台を用いて光学部品を 30K 以下まで冷却する。検出器部分は、暗電流をさげるためにさらに低温にする必要があり、独立に熱パスをつけて、 4K 程度まで冷却する。

第 2 章

COMICS Data Set

COMICS による観測、および観測データの解析を行う上では、 COMICS におけるデータ取得の方法とデータファイルの構成についてよく理解しておかねばならない。

2.1 'chop and nod' と生データの構成

COMICS の観測では、中間赤外線域の高い背景放射に対応して、高速読出を行うとともに、変動のはやい背景放射成分をうまく差し引くために、副鏡 chop(以下単に、 chop) と主鏡 nod(以下単に、 nod) を併用している。 chop は、背景放射変動の高周波数成分を落とす目的で行われ、 0.1 ~ 数 Hz 程度の周波数と、数 ~ 30" の振幅 (peak to peak) が用いられる。しかし、 chop は副鏡をふることで行っており、 chop による 2 ビーム間では厳密には、使う光学系の部分が微妙に違っており、そのビーム間の差し引き画像には低レベルの残存パターンが生じる (残存パターンのレベルは望遠鏡放射率等に依存すると思われるが、すばるの場合には UKIRT 等に比べると非常に低い)。このため、暗い天体の観測を行おうとするときには、この残存パターンが検出限界を悪化してしまう。これを防ぐ目的で行うのが nod である。これは、目的天体とは少しずらした場所で、目的天体をとるのと同様の chop、差し引きを行って、同じ残存パターンを発生し、目的ビームでの差し引き画像からさらに差し引くことで残存パターンを除去するものである。このため、 nod の周波数は比較的遅くて良く、通常は数分で 1 nod ペアをとる。

COMICS で得られる画像データは図 2.1および図 2.2に示すようになっている。基本的には図 2.1に示すように、天体に対して少しずつ位置をずらして chop と nod を行い、検出器上の異なる位置に天体像を得る。 chop は、各 nod ビームで行う。これによって、おおもとでは A~D の 4 枚で 1 組の画像データを読み出している。 chop と nod の方向 / 振幅は目的天体によって選ぶ必要がある。例えば、 diffuse cloud のないところにある点源に対しては、振幅は 10" 程度、方向は任意 (通常 chop に対する副鏡の安定性が高い方向が選ばれる) でよいが、広がった天体や、 diffuse cloud 中の天体などでは、天体サイズや diffuse cloud のムラを考慮して最適のものを選ばねばならない。 (ただしこの場合でも、副鏡の振幅や周波数には性能の限界があるし、また振幅が大きすぎたり、周波数の遅すぎる chop は、背景差し引きに意味をなさないので、注意を要する) これによって、たとえば広がった天体等では、検出器上は'chop and nod' による 4 ビームでの像のうち例えば、 1 つないし 2 つしかのらないという設定もありうる。また、観測対象が点源の場合には、 chop と nod を同一方向に行うことで全ビームでの天体像をスリット上にのせて分光することも可能である。たとえば暗めの標準星等では、そのようにして SN を上げることも可能である。

通常、 A,B,C,D の各画像は図 2.2に示すようにさらに複数の画像からなる。 nod ビームの一方において、 chop を n 回 (ChopNum は 2n) 繰り返した場合には、ビーム A での画像データは、まず $A_1 \sim A_n$ という n 回分の画像をもつ。さらに、 A_1,A_2,....,A_n のそれぞれは、早い読みだしにともない、通常、複数 (m 回) の exposure(読みだし) 画像の、和 ($\Sigma_i A_j^i$)、もしくは、複数のままの生画像 (A_j^1, A_j^2, A_j^3,....,A_j^m) からなっている (この exposure のレベルでは、 exposure 複数回に先だって空読み exposure が入るが、これは画像としては残らないので、副鏡の復帰性能等を考える時以外は考慮する必要はない)。 chop のもう一方のビーム C についても同様の構成になっており、こうして、ある nod ビームについて、 2 つの chop ビームでの画像が階層構造をなして、 1 つのデータファイルとして得られる。これが別 nod ビームについての 1 データファイル (B:$B_1 \sim B_n$, D:$D_1 \sim D_n$) と組になって、一つのきれいに解析可能なデータセットとなる。

この文書では以下のように各階層の画像の表記を定義する。

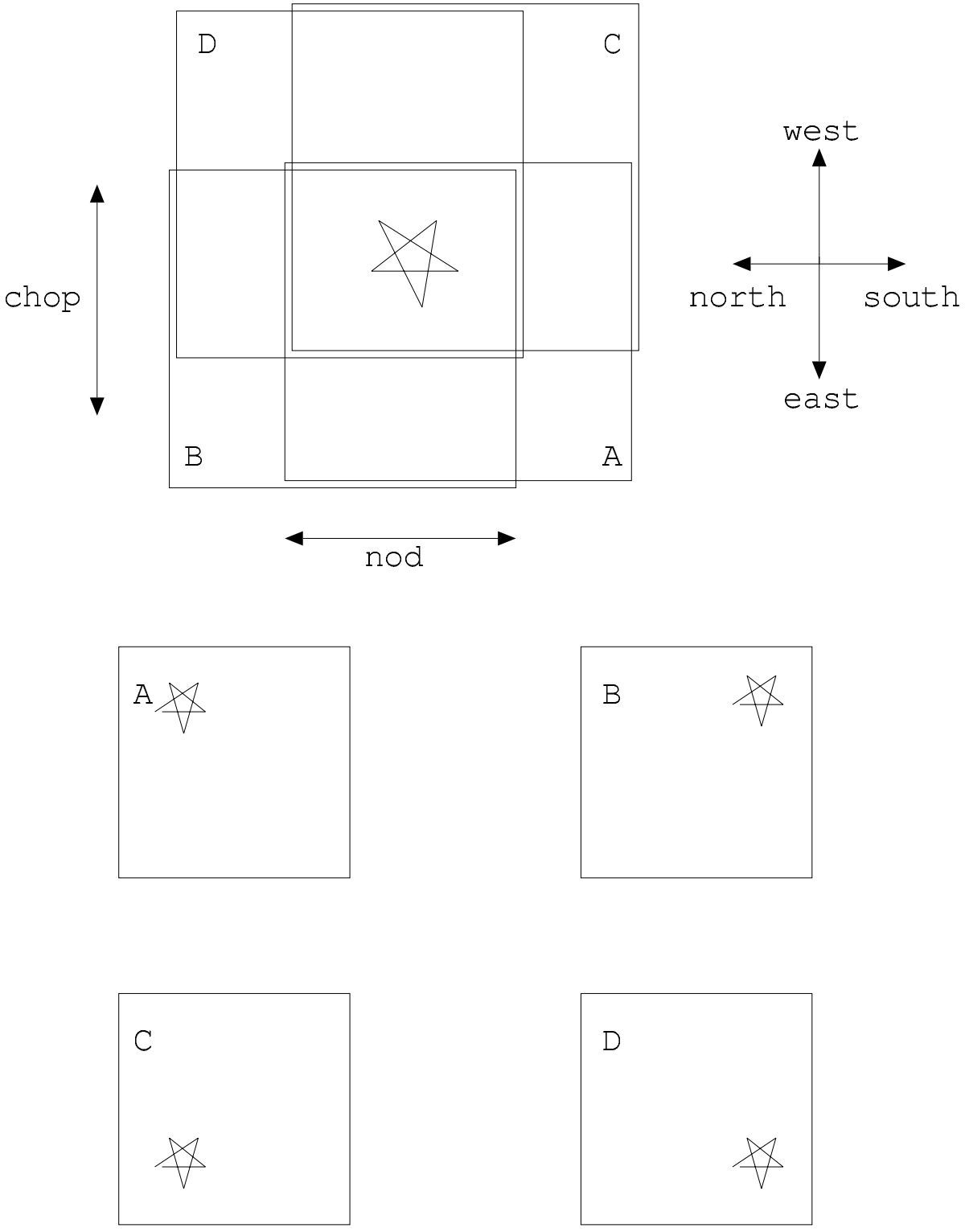

図 2.1: COMICS で得られるデータ：天体に対して少しずつ位置をずらして ‘chop and nod’ を行うことで、 A∼D の 4 枚で 1 組の画像データが得られる。 (chop, nod の方向は実際には任意。) A,B,C,D のそれぞれは図 2.2に示すようにさらに複数の画像からなる。

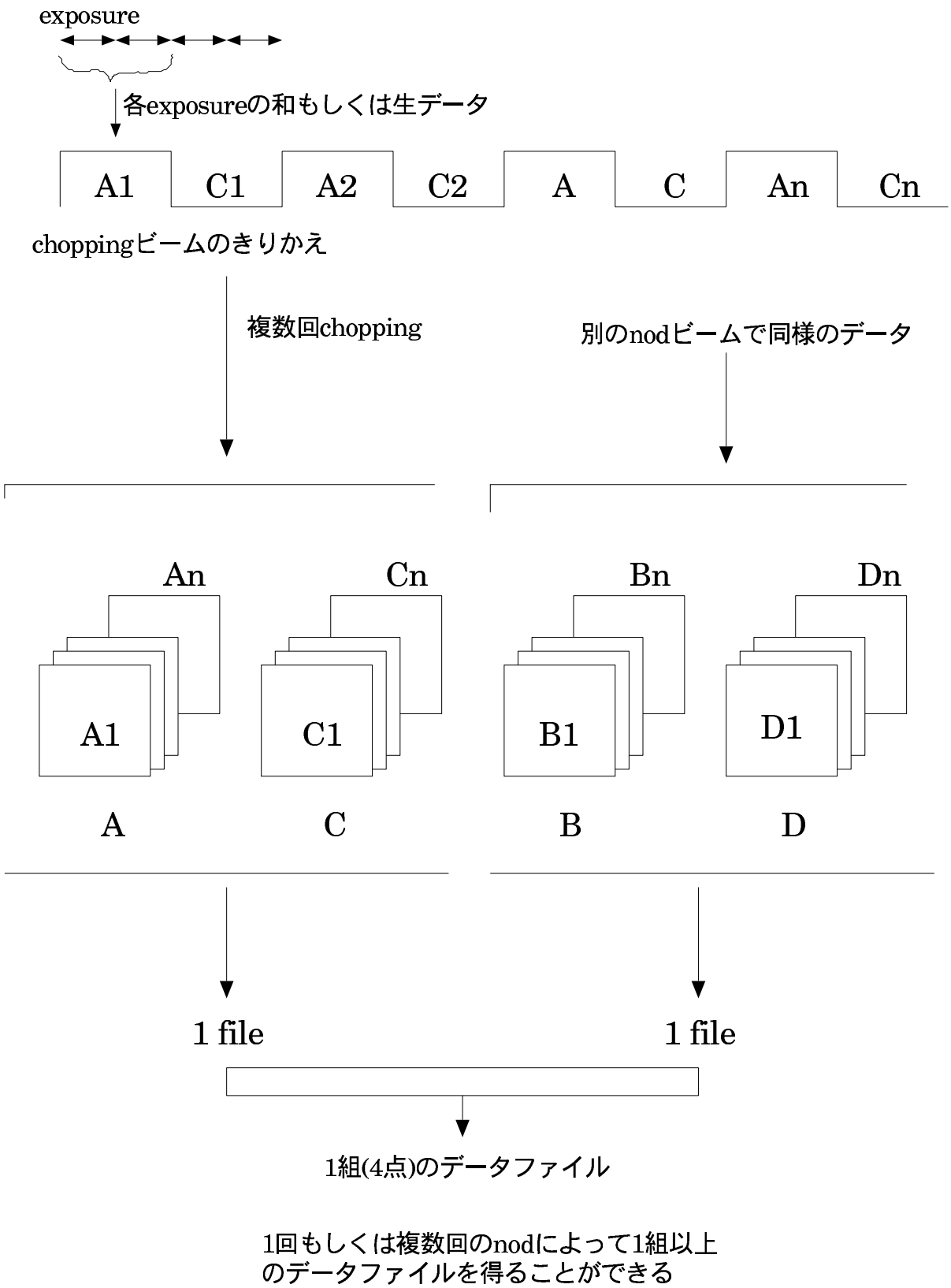

図 2.2: COMICS で得られるデータ：図 2.1に示した、各 chop, nod ビームの画像は、通常、さらに複数の画像からなる。これは、各 nod ビームにおいて、複数回 chop をおこなうためである。各 chop ビームでの画像はさらに、複数回の読みだしに伴う複数枚の画像の和、もしくは生データになっている。

呼び方	対応	表記
nod beam	nod によるビーム位置が同じであるもの	A と C 内の全画像、等
chop beam	chop によるビーム位置が同じであるもの	A 内の全画像、等
beam	chop, nod による、天空上の位置が違うところでの画像に対応	A, B, C, D
file	取得された画像データの各 FITS ファイルに対応	A と C の組み、 B と D の組み
frame	同一 nod beam 内での各 chop ごとの画像のまとまり	A 等の右下の添字
exposure	各読みだし	A 等の右上の添字

COMICS では、このうち、クロック変数 CoAdd で次の 3 種類のモードから選択して画像をとっている。

1) RAW モード (CoAdd=0):
全 exposure, 全 frame を残す。
各ファイル内の画像は、 A_i^j, C_i^j

2) ADD モード (CoAdd=1):
同一 frame 内の exposure は全て足しあわせてしまい、全 frame を残す。
各ファイル内の画像は、 $\Sigma_j A_i^j$, $\Sigma_j C_i^j$

3) ECO モード (CoAdd=2):
同一 frame 内の exposure は全て足しあわせてしまい、さらに chop beam ごとに全 frame を足しあわせる。その結果、各 chop beam 1 枚の画像、合計 2 枚の画像しか残らない。
各ファイル内の画像は、 $\Sigma_{i,j} A_i^j$, $\Sigma_{i,j} C_i^j$

なお、実際にはドームフラットの取得等で、 chop, nod なしでデータを取得することもある。この場合には、 Chop=0 になっているはずで、 ChopNum パラメータで指定された数だけの frame が取得される。 (各 frame 内で指定された数だけの exposure が行われる点は同じである) このモードでは、 CoAdd=0 の時に全 exposure 画像が残され、 CoAdd=1 のときには各 frame 内で全 exposure の足し合わせを行うので ChopNum 枚数分の画像が残される。 CoAdd=2 のときには全画像が足し合わせられて結局 1 枚の画像が 1 ファイルの中に残ることになる。

2.2 解析の流れ

観測データを天文学的考察を行うための基礎情報のレベルまで解析することを一次解析と呼ぶ。この基礎情報からそれぞれの天文学的目的に基づいた解析、考察を行うことを二次解析と呼ぶことにする。この文書では一次解析の方法について述べる。

ここでは解析の概略をつかむために、観測で得られたデータの解析のおおまかな流れについて述べる。

1.chop and nod データのさしひき 前述したように、観測天体についてはそれぞれ異なる場所に天体のうつっている 4 枚組の画像がとれている。これについてまず、同じ nod beam でとられた異 chop beam の画像の差引を行う (chop 差引)。すなわち、図 2.2で、

$$(A_1 - C_1) + (A_2 - C_2) + \cdots\cdots + (A_n - C_n) = \alpha$$

$$(B_1 - D_1) + (B_2 - D_2) + \cdots\cdots + (B_n - D_n) = \beta$$

として、 chop 差引をした 2 枚の画像 α, β を作る (図 2.3)。これによって、暗電流とともに、背景光の大部分は差し引けるが、光学系の異なる部分を使うことによる残存パターンがのる。そこで次にこうしてできた 2 枚の絵どうしのさしひきを行う (nod 差引)。すなわち、

$$\alpha - \beta = I$$

として、 nod 差引をした画像 I を得る。この処理によって、天体以外の部分については、信号はノイズレベルまで下がる。複数回 nod している場合には、画像 I を複数作ることができる。

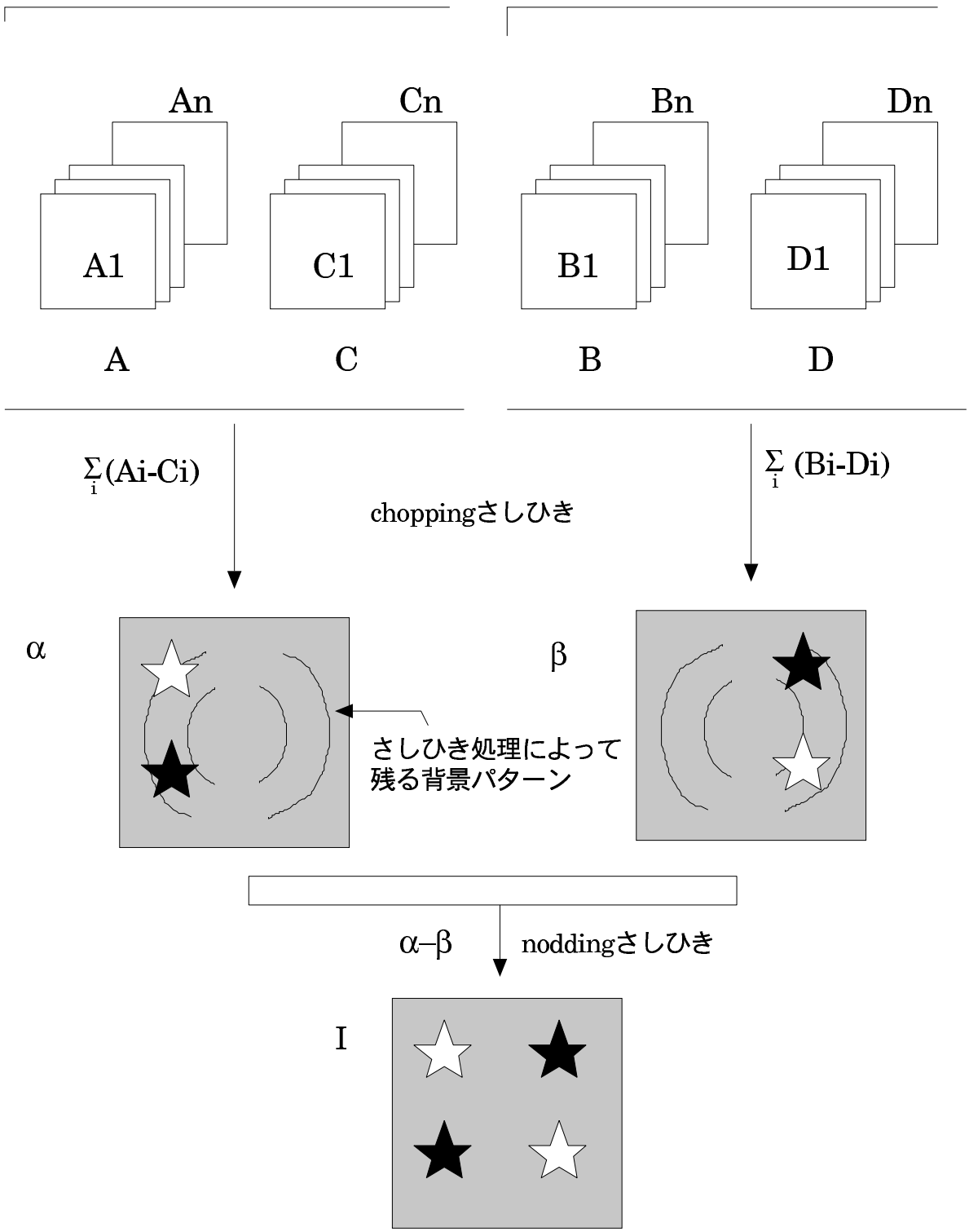

図 2.3: 解析 1. chop and nod データの差引: 観測の結果得られた 4 枚 1 組の画像データを、まず、同 nod beam、異 chop beam の画像の差引を行う (A,C → α、 B,D → β; chop 差引)。次に残存パターンを除去するために chop 差引でできた 2 枚の画像の差引を行う (α,β → I)。天体のうち、カウントが正で残る部分 (白) と負になって残る部分 (黒) がある。

2. フラット処理　chop 差引、 nod 差引後の画像をフラットで割り感度ムラ補正をする。差引前の画像ではなく、差引後の画像に対してフラット処理をする理由はフラットの作成方法は、後述するが、ドームフラットとスカイフラットがあり、現在は主として撮像にスカイフラットを、分光にドームフラットを用いる。ドームフラットといっても特にランプ等を使用するのではなく、ドーム、ウインドスクリーン、ミラーカバー等の熱放射をそのまま利用する。

3. 画像変換 (ゆがみ補正)、波長較正　分光では、回折格子に対して光線をななめ入射させるため、スペクトルが検出器上で曲線を描く。点源の観測の場合には特に補正をする必要がない場合も多いが、拡散源内のスペクトル分布などを知りたいときには、このゆがみの補正を行わねばならない。その上で波長較正を行う。

ゆがみの補正は以下のように行う。まず、標準星等の点源天体を観測した同一ファイル内で、 chop 差引をして星 (点源) のスペクトル画像から、空間一定曲線を抽出する。これとは別に、同一ファイル内 (同一 nod beam 内) で全 chop beam の足し合わせや平均等をとる。ここからダークを引き、フラットで割るとスカイのスペクトル画像が得られる。ここでスカイの輝線から、波長一定曲線を抽出する (図 2.4)。後者の画像からは、大気輝線を大気放射率モデルと比較・同定することで波長較正も行う。

4. 標準星による補正　観測天体と同様に解析した標準星によって、カウントを明るさに補正する。

中間赤外線域では、標準星が他波長ほど正確かつ広く整備されてはいない。最近、 Cohen らが中心になって、 IRAS/LRS 観測等をもとにかなり大きな標準星データを発表したのが最も大きなサンプルであろう。他に、 UKIRT などが WEB 上で公開している標準星リストもあるが、これは 20 個ほどの非常に明るい天体に限られている。

Cohen らの論文では、 N,Q バンドで数十 ~ 数百程度の波長分解能での各星の明るさが示されている。 COMICS の分光観測はロングスリット分光であるので、特に拡散源の解析の際には、スリット効率の違いに注意する必要がある。また撮像観測では、フィルターセットごとの明るさは N バンドでは全く整備されていないといってよく (N バンドという広帯域での明るさの情報が一部公開されているが、そのような観測は、高背景放射のためにまずなされない)、各フィルターでの星の明るさは、 Cohen らの論文にあるスペクトルデータの積分をして求める。

ここで注意すべきことは、中間赤外線の場合には、エアマスもさることながら、雲の有無が大気吸収に大きく影響していることである。中間赤外線域の観測では空がもともとこの波長で非常に明るいために、多少雲が出て透過率が落ちた場合でも、スカイノイズ (背景放射の変動量) が増えるが、観測を継続できる場合がままある。このような場合には、同じエアマスでとった標準星でも、雲の有無によって大気吸収を補正し切れないことが起こる。標準星による補正は、なるべく標準星での割算後にスペクトルの連続波が大気吸収に似た形の凹凸を持たないということを確認しながら行わねばならない。

2.3　観測時の諸条件

2.3.1　ピクセルスケール

2.3.2　波長分解能

2.3.3　位置精度

2.3.4　ポインティング

2.3.5　画像上の方向とスリットの向き

2.3.6　分光の際の空間一定軸の歪曲

2.3.7　標準星による補正について

2.3.8　エアマスの影響と大気補正

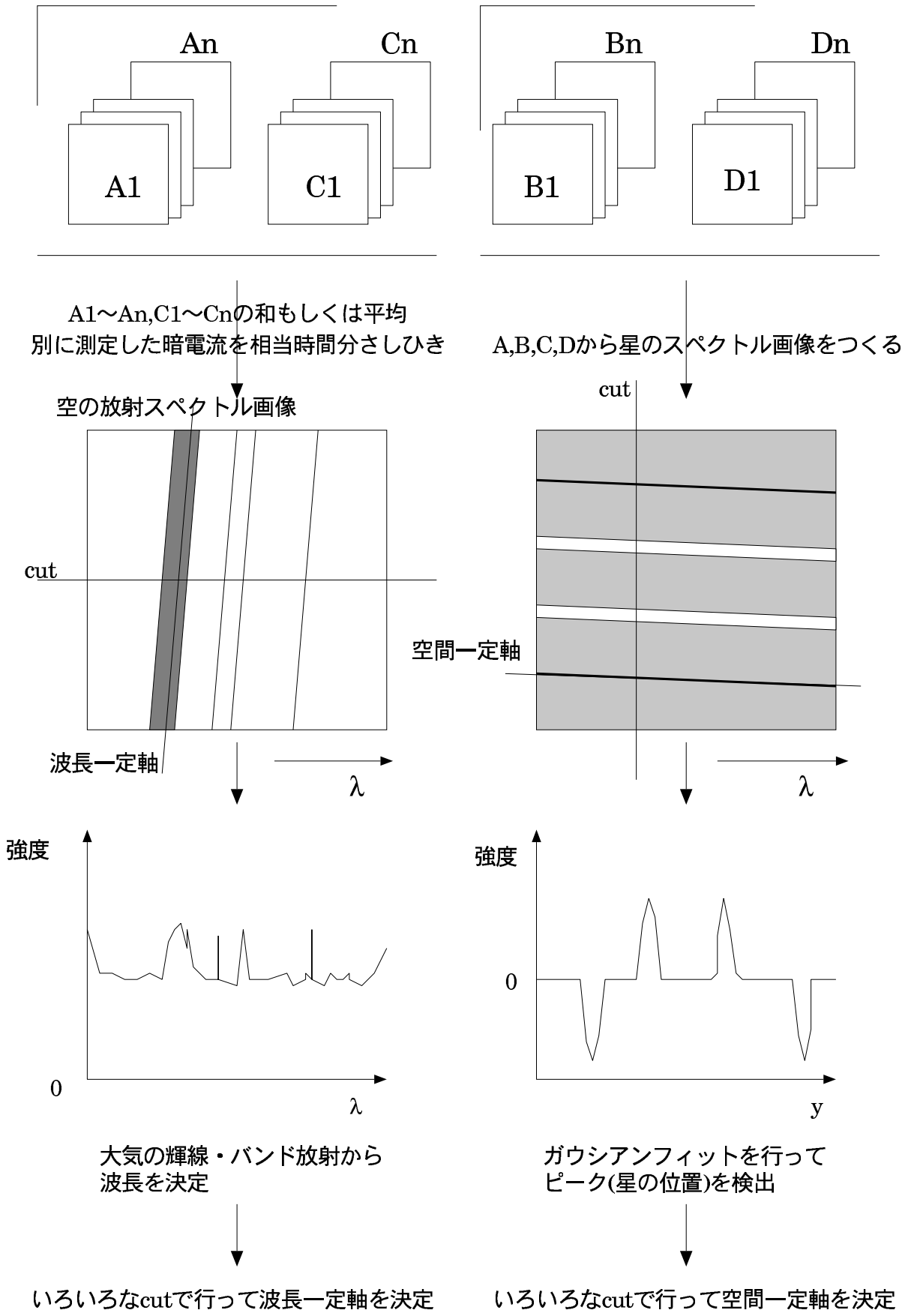

図 2.4: 分光画像における波長、空間方向の決定：波長一定軸については、生データを足し合わせて大気の放射スペクトル画像を作り、大気透過率モデルと比較することで波長同定を行う。空間一定軸については、星のスペクトル画像から、波長方向の検出器軸に沿った断面についてガウシアンフィットを行ってピークを検出して決定する。

第 3 章

FITS FILE AND HEADER

COMICS で取得した画像は、 FITS ファイル形式にのって 2 系列が発生される。一つは、 COMA で始まる画像ファイル群、もう一つは、 COMQ で始まる画像ファイル群で、それぞれ、 8 桁の画像番号が続く。現在のところ、 COMA, COMQ とも、 8 千万番台の画像ファイルは、実験データ関連のもので、通常観測データとは関連がない。

ここで、 COMA ファイルは前記の CoAdd モードそれぞれに応じて取得された生の画像で、 COMQ ファイルは COMA ファイルをもとに、同一 chop beam の画像は和をとり、異なる chop beam の画像は差し引きをした (これはすなわち、 on-beam の画像は + のまま、 off-beam の画像は− をかけて、全 frame を足し合わせたものに相当する)、 chop 簡易処理済の画像である。

以下、 COMICS で取得した画像ファイル (FITS 形式) のヘッダーについて述べる。

3.1 1-8 行目

```
SIMPLE  =                    T / Standard FITS format
BITPIX  =                  -64 / # of bits per pixel
NAXIS   =                    4 / # of axis in data
NAXIS1  =                  320 / # of pixels/row
NAXIS2  =                  241 / # of rows
NAXIS3  =                    1 / # of frames
NAXIS4  =                    1 / # of detectors
EXTEND  =                    F / ASCII Extension Table
```

最初の 8 行は完全に FITS フォーマット規約にのっている。

ここで、 BITPIX はデータのビット数を表し、ここに - のつくものは、浮動小数点数、つかないものは整数を示している。現在、 COMA 画像は BITPIX=??、 COMQ 画像は BITPIX=-64? である。 COMICS の解析用ソフト q_シリーズを使って画像を解析すると、発生する新しい画像ファイルではすべて、 BITPIX=-64 になる。

NAXIS は、画像ファイルの次元数を表し、 COMICS の場合には、検出器の x 軸 (NAXIS1)、 y 軸 (NAXIS2)、時間軸 (複数 frame, exposure; NAXIS3) の 3 軸に加えて、検出器軸 (複数ある検出器に対応; NAXIS4) という 4 軸目が存在するので、 NAXIS=4 になっている。言い替えれば、分光系で複数の検出器があって同時にスペクトル画像が取得されるが、それらはみな同じファイルに格納されることになる (ちなみに、撮像や低分散分光では検出器を 1 個しか使わないが、この場合にも NAXIS4=1 として、 NAXIS=4 で扱われる)。

COMICS では 320x240 の検出器を使っているので、 NAXIS1=320, y 軸についてはこれに加えて参照用の column があり (?)NAXIS2=240 になっている。 NAXIS3 の値は、そのときのクロック設定によって変動する。 NAXIS4 の値は、撮像であれば 1、分光では意味のあるデータとして画像を格納する検出器は変えることが可能で、それによって値が変化する。

なお、分光と撮像では同時に画像を取得できるが、画像ファイルは連続する画像番号を持つ二つの別々のファイルとして生成される。通常は偶数・奇数と撮像・分光の対応は一定しているはずで、撮像の方が分光よりも 1 番だけ早い画像番号を持つ。

3.2 すばる共通ヘッダ

最初の基本ヘッダに続く

```
COMMENT = ' +++++++++++++++++++ SUBARU COMMON'
```

以降、観測装置固有ヘッダ (下記) までのヘッダは、すばる共通ヘッダである (FITS の手引 第 3.2 版等参照)。ここには、観測時刻、座標等の他、 COMICS のフィルター、回折格子、レンズ等のセッティングが記述されている。

3.2.1 望遠鏡に関するパラメータ

望遠鏡に関するパラメータのうち、 COMICS 観測で注意を要するのが以下のヘッダである。

```
INSROT  =              -72.158 / Instrument Rotator angle (deg)
INST-PA =                9.566 / Instrument Rotator P.A. (deg)
AUTOGUID= 'ON      '           / Auto Guider on/off
M2-TYPE = 'CS_IR   '           / Type of the Secondary Mirror (Opt/IR)
M2-TIP  = 'CHOPPING'           / 2nd Mirror tip-tilt on/off
M2-ANG1 =               -0.978 / 2nd Mirror Angle-1
M2-ANG2 =                0.687 / 2nd Mirror Angle-2
M2-POS1 =               -1.104 / 2nd Mirror Position-1
M2-POS2 =               -1.571 / 2nd Mirror Position-2
```

最初の二つは、インストゥルメント・ローテータの角度の情報で、特に INST-PA が天体に対するローテータ角度になる。 AUTOGUID がオートガイダーを使っていたかどうか、で、使うことが多いが、曇っているときなど、可視光でのガイダー性能が中間赤外線での観測性能を劣化する場合には使用していないこともある。 M2- で始まるキーワードが副鏡関連の情報で、特に、 M2-ANG1, M2-ANG2, M2-POS1, M2-POS2 は副鏡 chop の振幅、角度の情報を持つべきところであるが、現在のところおそらくステータスをとった瞬間の副鏡の位置等を示しているようで、正しい設定値を示していないようである。

3.2.2 光学系のセッティングに関するパラメータ

```
OBS-MOD = 'spectroscopy                  '   / Observation Mode
FILTER01= 'F01C10.50W6.00                '   / Filter name/ID (pre-opt filter-1)
FILTER02= 'H21                           '   / Filter name/ID (pre-opt filter-2)
FILTER03= 'F08C11.60W1.10                '   / Filter name/ID (img-opt filter)
FILTER04= 'L01L10I                       '   / Lens  name/ID (img-opt)
DISPERSR= 'G01L10L                       '   / Identifier of the disperser used
SLIT    = 'S02W160             '             / Identifier of the slit
SLT-LEN =               39.600 / Length of the slit used
SLT-PA  =                  0.0 / Slit Position Angle (degree)
SLT-WID =                0.330 / Width of the slit used
SLTCPIX1=                120.0 / Slit center projected on detector(pix)
SLTCPIX2=                160.0 / Slit center projected on detector(pix)
```

OBS-MOD は、観測モードで、撮像の画像ファイルであれば (slit viewer としての使用下でも)"imaging", 分光の撮像の画像ファイルであれば "spectroscopy" となる。

FILTER01, 02, 03, 04 はそれぞれ、使っている COMICS の前光学系フィルターの 1, 2、撮像系フィルター、レンズの名前が記入される。 (これらの名前で、最初の 1 文字はフィルター (F)、レンズ (L)、回折格子 (G) の別、続く 2 桁の数字が、各光学要素の ID 番号で、その後の文字列が光学要素の性質の記述である。例えばフィルターでは C.... というのが中心波長 (ミクロン単位) を、 W.... というのが波長幅 (ミクロン単位) を示す (設計値のものもあるので、正しい値は別を参照のこと)。 H?? というのはフィルターホイールで素通しが選択されていることを示す (H

の後の番号は穴位置の ID)。レンズでは、 L10 (L20) は 10(20) ミクロン帯用、最後についている I(P) は、撮像用 (瞳撮像用) の意味。回折格子でも、 L10,L20 はレンズと同じ意味で、最後についている L,M,H はそれぞれ低分散、中分散、高分散の各モードを示す。

SLIT は使用しているスリットの名前で (S がスリット、続く 2 桁が ID)、 W... はスリットの幅 (ミクロン) を示す。160 ミクロンのスリット幅が分光の 2 ピクセル (0.33") に相当する。この幅は、 SLT-WID に書かれている。 S??W000 は、スリットの切られていないただのミラーを示し、これが選択されている場合には完全な撮像を行っている (分光系には光は入らない)。また、 S??D... とある場合には、ピンホール直径を示している。 SLT-LEN はスリット長で、これは画像のケラレがなければ一定。 SLTCPIX1, SLTCPIX2 は COMICS では実際の厳密な設定は反映されていない。

他にも共通キーワードはたくさんあるが、特に座標関係は現在のところ全く正確なものを反映していないので使用しないこと。

```
COMMENT = ' ------------------------- Size, Coordinate etc..'
DETPXSZ1=               0.0500 / Detector pixel size in axis1 (mm)
DETPXSZ2=               0.0500 / Detector pixel size in axis2 (mm)
CDELT1  =           0.00004583 / X Scale projected on detector(#/pix)
CDELT2  =           0.00004583 / Y scale projected on detector(#/pix)
CTYPE1  = 'RA---TAN  '         / Pixel coordinate system
CTYPE2  = 'DEC--TAN  '         / Pixel coordinate system
CUNIT1  = 'degree    '         / Units used in both CRVAL1 and CDELT1
CUNIT2  = 'degree    '         / Units used in both CRVAL2 and CDELT2
CRPIX1  =                120.0 / Reference pixel in X (pixel,IMG)
CRPIX2  =                160.0 / Reference pixel in Y (pixel,IMG)
PROJP1  =                  0.0 / Projection type of the first axis
PROJP2  =                  0.0 / Projection type of the second axis
PC001001=           0.16618362 / Pixel Coordinate translation matrix
PC001002=          -0.98609483 / Pixel Coordinate translation matrix
PC002001=           0.98609483 / Pixel Coordinate translation matrix
PC002002=           0.16618362 / Pixel Coordinate translation matrix
BSCALE  =           1.00000000 / Real=fits-value*BSCALE+BZERO
BZERO   =           0.00000000 / Real=fits-value*BSCALE+BZERO
BUNIT   = 'ADU       '         / Unit of original pixel values
BLANK   =                    0 / Value used for NULL pixels
BLANK   =                    0 / Value used for NULL pixels
WCS-ORIG= 'comics19991124      '             / Origin of the WCS value
COMMENT = '  (So far, WCS parameters are incorrect)'
```

以下のうち、 WAV-MIN, WAV-MAX 等に本来ならばフィルター幅や観測波長を記すべきかもしれないが、現在は分光についてのみ、 N バンド全域の値を書くということを行っている。また、 EXPTIME は frame あたりであって、 (しかも正確なのか？)、全積分時間ではない。 DET-TMP は、撮像・分光検出器の各マウントでの実測温度である。変換係数を示している GAIN の値は正しくない。

```
COMMENT = '         --- Spectroscopy only'
DISPAXIS=                    1 / Dispersion Axis  in frame
WAV-MIN =            7500.0000 / Shortest wavelen (nm)
WAV-MAX =           13500.0000 / Longest wavelen (nm)
WAVELEN =           10500.0000 / Central wavelen (nm)
COMMENT = ' ------------------------- COMICS Detector'
EXPTIME =                 0.30 / Total integration time per frame(sec)
```

```
DET-TMP =                  8.00 / Detector temperature (K)
GAIN    =              350.000 / AD conversion factor (electron/ADU)
```

3.3 COMICS 固有ヘッダ

すばる共通ヘッダに続く

```
COMMENT = ' +++++++++++++++++++ COMICS ORIGINAL'
```

以降の "Q_" で始まるヘッダは、 COMICS 固有ヘッダである。クロック、観測モード、窓等の情報はほとんどここに含まれている。

```
COMMENT = ' +++++++++++++++++++ COMICS ORIGINAL'
COMMENT = ' ------------------------- Type of the data'
Q_DTYPE = 'spectroscopy      ' / type of this data  spec/img/slitview
Q_OBSID =                10391 / Data Serial Num of COMICS A-sequence
COMMENT = ' ------------------------- Pre-Optics'
Q_WINDOW= 'W01Ge             ' / Entrance Window
Q_M1MOTA=                 1449 / Pulse count of 1st mir. outer frame
Q_M1MOTB=                 1765 / Pulse count of 1st mir. inner frame
Q_GRTPOS=                 4785 / Grating Position in pulse
COMMENT = ' ------------------------- Temperature '
COMMENT = ' (Not yet completed)'
Q_DETTPI= 'unknown           ' / COMICS DETECTOR TEMP IMAGING
Q_CFTPI = '8.00              ' / COMICS COLD FINGER TEMP IMAGING
Q_DETTS1= 'unknown           ' / COMICS DETECTOR TEMP SPEC POS-1
Q_DETTS2= 'unknown           ' / COMICS DETECTOR TEMP SPEC POS-2
Q_DETTS3= 'unknown           ' / COMICS DETECTOR TEMP SPEC POS-3
Q_DETTS4= 'unknown           ' / COMICS DETECTOR TEMP SPEC POS-4
Q_DETTS5= 'unknown           ' / COMICS DETECTOR TEMP SPEC POS-5
Q_CFTPS = '8.00              ' / COMICS COLD FINGER TEMP SPEC
Q_OPTTP = '29.98             ' / COMICS OPTICS TEMP
COMMENT = ' ------------------------- Detector bias,clock'
Q_S1CHIP= 'IBC-105           ' / COMICS SPEC-POSITION-1 CHIP ID
Q_S2CHIP= 'IBC-131           ' / COMICS SPEC-POSITION-2 CHIP ID
Q_S3CHIP= 'NOT_INSTALLED     ' / COMICS SPEC-POSITION-3 CHIP ID
Q_S4CHIP= 'NOT_INSTALLED     ' / COMICS SPEC-POSITION-4 CHIP ID
Q_S5CHIP= 'NOT_INSTALLED     ' / COMICS SPEC-POSITION-5 CHIP ID
```

Q_DTYPE に、分光 / 撮像どちらのデータか、 Q_OBSID に画像番号がある。 Q_WINDOW は、現在の窓設定 (W が窓、続く 2 桁数字が ID、 Ge は 10 ミクロン専用、 KBr とあれば 10,20 共用窓)、 Q_M1MOTA, Q_M1MOTB が入射平面鏡の角度 (パルス表記)、 Q_GRTPOS が回折格子の角度 (パルス表記) である。 Q_CFTPI, Q_CFTPS が撮像 / 分光検出器マウントの温度、 Q_DETTPI, Q_DETTS1, Q_DETTS2, Q_DETTS3, Q_DETTS4, Q_DETTS5 は各検出器に隣接する温度計の温度だが、後者は現在のところ読んでいない。 Q_OPTTP が光学定盤の温度である。いずれも単位はケルビン (K)。

Q_S1CHIP, Q_S2CHIP, Q_S3CHIP, Q_S4CHIP, Q_S5CHIP は検出器 ID で、インストールされていないところには、 "NOT_INSTALLED" と表記される。

これらのキーワードの後に、検出器を駆動しているバイアス電圧、電流の値が記されている (Q_SPVSC ~ Q_SPCS44)。それに続いてクロック情報が書かれる。

```
Q_CLKFL = '/home/comics/clock/test_8/802/t00400.001.01.002.00' / Macro File
Q_CLKMN = 'ChopAdd_A         ' / Clock Macro Pattern Name
Q_CLKMCC= '                                                  ' / Macro Comment
Q_PIXTIM=                  400 / Clock duration for a pixel (0.1us)
Q_POSTAD=                    1 / Post AD time (0.1us)
Q_RRSTRT=                    1 / Reset Row Start Width (ND)
Q_CHWB  =                    1 / Wipe Exporsure Number in a Chop-beam
Q_CHEB  =                    2 / Exporsure Number in a Chop-beam
Q_CHCN  =                   50 / Chopping Number in this file
Q_CHAM  =                    1 / Add Mode 0:RAW 1:ADD 2:ECO
Q_CHOP  =                    1 / Chopping ON=1 OFF=0
Q_DTST  =                    1 / Sort Flag (1:Sorted)
Q_BANK  = 'A026-B024                     '   / Enumeration of Bank and Frame#
```

Q_CLKFL は、クロックのマクロネーム、 Q_CLKMN は Q_CLKFL にあるマクロのうちで使われたクロックパターンネーム、 Q_CLKMCC がマクロに対するコメントである。重要なのは、 Q_PIXTIM(読みだしレート)、 Q_RRSTRT(電子的 ND 量設定値)、 Q_CHWB(各 frame 中の空読み回数)、 Q_CHEB(各 frame 中のデータとして認識されている読みだし回数)、 Q_CHCN(chop 回数× 2)、 Q_CHAM(CoAdd モード)、 Q_CHOP(chop しているかどうか)、 Q_DTST(ソートがされているか)、 Q_BANK(バンク切替えによる画像の格納状況)、である。このうち、ソートがされているか、というのは、電子的な配列に沿って読まれ並んでいるデータから、画像としてのピクセル配列に沿ってデータを並べなおしてあるかどうかということである。また、バンク切替えとは、画像の読み出しと格納を時間を有効に使って行うために、最初に読み出してデータを格納する場所 (バンク) を二つ (A と B) 持っているところに、どのように画像を保存したか、ということに関連する。上記の例では、発生した画像のうち、 A に 26 枚、 B に 24 枚を格納している。画像取得の CoAdd モードが RAW(0) または ADD(1) のときにはバンク切替えは問題にならないが、 ECO(2) のときに、このバンク切替えのために残る画像枚数が実際には 2 枚にならないということが起きている。バンク切替えでは、

そして最後がチョッピングの状態を示すキーワードで、

```
COMMENT = ' ------------------------ CHOPPING'
Q_CHTHRW=                10.00 / Chopping Throw
Q_CHDEG =                 0.00 / Chopping Degree
COMMENT = ' ------------------------ FITS VERSION'
Q_GETVER= '3.14              ' / FITS header VERSION
END
```

Q_CHTHRW がチョッピング振幅 (peak-to-peak, arcsec)、 Q_CHDEG がチョッピングの position angle(Degree) である。

第 4 章

一次解析の方法: 手順 / コマンド一覧

以下に解析の手順一覧を示す。これは特に解析データに問題がない場合の手順であって、フラット精度の確認や、画像に系統的ノイズがのってしまった場合などには、さらにそのための処理を行う必要がある。

COMICS では、解析が他波長と異なる部分が多いこともあって、独自の解析プログラムをいくつか用意している。これは C 言語で書かれており、 q_シリーズ解析プログラム (以下単に q_シリーズ) と読んでいる。解析者は、このプログラムソースをそのまま使っても良いし、自らの環境や解析に合わせて書き換えることも可能だが、統一されたバージョン管理が COMICS グループまたは COMICS のサポートグループによってなされるであろう。

q_シリーズは、大きく 2 つに分けることができる。一つは山頂で観測する際のごく簡単な簡易解析にも使うような、画像の加減乗除、 column/row /time に沿った切り出し、領域の統計演算を行う、 q_arith, q_list_stat などである。さらに、本解析時に使うことを目的とした、ヘッダのリスト作成、画像の単位時間化、波長較正、を行う、 q_headlst, q_unittime, q_sky_nlow などがある。

ただし、 q_シリーズでは扱っていない処理も多く、このような部分 (主に画像のゆがみ変換、シフト等の処理) は IRAF 等別のソフトウエアに通す (あるいは自分で解析プログラムを作成する) 必要があるが、現状では、 q_シリーズ + IRAF で一通りの解析ができるはずである。 q_シリーズの各コマンドの使い方は、コマンド名をコマンドラインから入力すれば出て来る。

以下に手順と対応コマンドの一覧を示しておく。各手順の内容については次章で詳しく説明する。

なお、解析するにあたっては、「0. 下準備」の段階で観測ログダイジェストのようなものを作成しておくと、後でデータの内容や解析すべきデータのリストがわかりやすくて良い。 (FITS ヘッダにも情報が書かれているが、ヘッダは長く、また画像枚数が非常に多くなるので、このような手書きのログがあるほうが便利)

4.1 撮像の解析: 方法まとめ

0. 下準備	クロック、光学系等チェック	q_headlst
	ECO 画像の処理	q_ecosum
1. 撮像用フラットの作成	ダーク作成	q_list_stat,q_fcombine,
	(1exp ないし 1frame あたり)	q_arith
	天体画像からダーク差し引き	q_subdark
	チョップビームごとに画像を分離	q_bsep
	frame 間統計処理、 file 間統計処理	q_list_stat
	規格化	q_list_stat
	デッドピクセルおよびゴミピクセルのチェック	q_2val, q_badpix
2. 天体データ、	チョップ差し引き	COMQ 画像
標準星データの解析	積分時間で割って単位時間あたりになおす	q_unittime
	フラットで割る	q_arith
	標準星のカウントをはかる	q_photo or IRAF:imexamine
	1 カウントあたりのフラックス値を求める	
	天体のフラットで割算済の画像に「1count	q_arith
	あたり flux 値」をかける	
	dither 処理など	IRAF:imshift, mask 処理,
		mask のある画像の足し算、等

撮像用フラットは、入射平面鏡かスリットが天体の方向によって微妙に変化するらしく、異なる天体をとっていたときの画像を使うと、微妙にずれたごみかなにかのせいで凹凸のある画像のようになってしまい、うまくわれない。よくはないが、その天体をとっていたときのセルフスカイだけでフラットとするほうがよい。

4.2 分光の解析: 方法まとめ

0. 下準備	クロック、光学系等チェック	q_headlst
	ECO 画像の処理	q_ecosum
1. 分光用フラットの作成	ドーム作成	q_list_stat,q_fcombine,
	(1exp ないし 1frame あたり)	q_arith
	ダーク作成	q_list_stat,q_fcombine,
	(1exp ないし 1frame あたり)	q_arith
	(ドーム- ダーク) 作成	q_arith
	規格化	q_list_stat
	デッドピクセル、ゴミピクセルのチェック	q_badpix
2. 天体データ	チョップ差引	COMQ 画像
標準星データの解析 1	file 毎に積分時間でわり単位時間データに直す	q_unittime
	(すじひき効果を補正 †	画像の状態による手作業)
	フラットで割る	q_arith
	デッドピクセル、ゴミピクセルの処理	??? mask?
3. 変換用軸だし	天体、標準星の空スペクトルの作成	COMA 画像から作成
	1) (天体ないし標準星) - ダーク	q_subdark
	2) 複数枚画像になっている場合、平均化	q_list_stat
	3) フラットで割る	q_arith
	自動波長較正	q_sky_nlow
	空間一定線検出	q_startrace
	(標準星スペクトル像で星のトレース)	
	軸だし	
	変換プログラム用対応表の作成	q_transtable
4. 変換	3 の対応表に基づき変換を求める	IRAF: geomap
	2 の最終結果を変換 (データ、空とも)	IRAF: geotran
5. 波長および位置の較正	4 の変換結果に自動波長較正	q_sky_nlow
	4 の変換結果で空間一定線検出	q_startrace
	(標準星スペクトル像で星のトレース)	
	結果をまとめる (正しいか、やり直しか)	
6. 標準星による大気補正	標準星観測データと既知データの比から	q_list_stat, stdf_comics
	天体の波長での効率を求める	
	効率を二次元画像化	q_mkimg
	効率を天体の波長に合わせてシフト	IRAF:imshift
	天体を効率の二次元画像で割る	q_arith
	天体データのデータキューブ化	q_list_stat
7. 二次解析	積分輝線強度を求める	con_line_comics

† 2000 年 12 月以降 (リセットレベルを読むようにクロックが改良された後) のデータでは不要。

4.3 ログダイジェストの例

観測時のメモは、解析に必要な情報は全部網羅しているものの、そのままでは見にくく、どれが有用なデータかわかりにくい。そこで、 a2ps で 1-2 枚の出力になるくらいに、

- 天体名
- chopping パラメータの変更
- InstPA パラメータの変更
- 有用画像の番号
- 分光、撮像の別、各フィルター
- 望遠鏡の移動
- focus 合わせの実行

くらいを残し、左 10 文字程度見出し、右内容、で構成した簡単なファイルを作成する。ちゃんとしたログは別にあるので、ここでは、ためしに移動してとってみた画像などの番号は残さず、そういう場合には、移動量のみ個別に残してかいておく。

クロックの情報は、画像のヘッダに全て書かれており、 q_シリーズを使えば自動的に単位時間あたりのカウントに直してくれるので、クロックパラメータ自体を書く必要はあまりないが、できれば同じクロックで取っている画像をまとめてリストするようにするのがよく、さらに、天体を載せてみただけ、のような画像はリストせず、解析に使うものだけをリストするのが分かりやすいだろう。

例

```
################################################################################
#                                                                              #
#                       2000/7/20   log digest : effictive version             #
#                                                                              #
#                OBJECTS:        G35.20                                        #
#                                K3-50A                                        #
#                STANDARDS:      HD161096                                      #
#                                HD189319                                      #
################################################################################
grating  回折格子を調整： 4785 から 4790
         11290/91

focusAG  Z=-0.1102  seeing 1.2 arcsec
PA=0     InRo PA=0.0
ChopW=30 Chop 30 arcsec  direction 0.0
ChopD=0

================================================================================

標準星   HD161096(Standard)
         11306

         Ra -5.06  Dec 1.3
         11308

         11310--11313   分光
         11314/15   分光

         11316, 11318   撮像、しかし半月型に見えるのはなぜ？

================================================================================
focusAG  Z=-0.0061 ; seeing 0.8"
         status update
================================================================================

G35.20   つぎはキノコ G35.20 へ向ける

         11322  撮像、暗い
PA=-45   PA=-45deg
         11326    撮像
move     RA=-4.136 , Dec=-1.378
         11328    撮像

位置 1
move     Ra -1.5 Dec -1.5   分光での変なスジがのるのを嫌って移動
         11338--11353  分光
```

```
位置 2
move     Ra -0.424 Dec 0.424
         11354    撮像
         11356---11371  分光

位置 3
move     Ra -0.424 Dec 0.424
         11372---11387

位置 4
move     Ra -0.424 Dec 0.424
         11388--11403

focusAG  Z=0.1378

位置 5
         11406   再導入
move     Ra -1. Dec +1
move     Ra -1.5 Dec -1.5
         11408      撮像
         11410--11425   分光

位置 6
move     Ra 0.424 Dec -0.424
         11426--11441   分光

位置 7
move     Ra 0.424 Dec -0.424
         11442--11457   分光

位置 8
move     Ra 0.424 Dec -0.424
         11458   撮像
move     Ra 0.15 Dec -0.15
         11460--11475   分光

位置 9
move     右下のぼんやりしたものにスリットあてる試み; AG0 で移動
         Ra 0.184 Dec -6.434
chopD    Chop direction 160
         11476
         11478--11485

撮像
move     Ra -1.84 Dec 8.27
11.6um   11488--11493
8.7um    11494--11499
9.8um    11500--11505
12.5um   11506--11511

move     Ra 1.84 D 1.84
12.5um   11512--11517
8.7um    11518--11523
9.8um    11524--11529
11.6um   11530--11535
10.3um   11536--11541

最後のほうピントぼけてたかも
================================================================================

chopW    Chop 10" , P.A.=0
PA=0
focusAG  Z=0.2385 ; seeing 0.5

================================================================================

標準星   HD189319
10.3um   11546  撮像
10.3um   11548
12.5um   11550
8.7um    11552
9.8um    11554
11.6um   11556

move     RA -2.206 , Dec -0.368
         11558
         11564--11567   分光

move     RA -1.838 , Dec -1.838
         11570/11571   分光、ちょっとはずれ気味

move     RA 0.1838 , Dec 0.1838
         11572--11575   分光、ちょっとはずれ気味

PA=0     Instrument Rotator PA を-45 deg から 0 deg に
move     11576   天体再導入 (PA を変えたときにロストしたので)

move     RA -0.65  Dec -1.30
```

```
         11578--11581  撮像
         11584--11589  分光

================================================================================

K3-50A   K3-50A
         11590   撮像

chopW    Chop throw : 0"に  ???
move     RA -0.91 , Dec -2.34
         11592   撮像

         11594--11603   分光、  右下の星 166,133

move     RA -0.26 , Dec -0.91
         11604--11613   分光、  右下の星 158,131

move     RA= -0.389 , Dec 0  いまの PA=0
         11614--11623   分光、  右下の星 159,128

move     RA= -0.389 , Dec 0
         11624--11633   分光、  右下の星 159,125

move     RA= -0.389 , Dec 0
         11634--11643   分光、  右下の星 159,122

================================================================================
DomeFlat Wind Screen
         11646--11651 : dome : 50-1-24-0-1-100, 100-1-12-0-1
DARK     11652--11657 : dark : 50-1-24-0-1-100, 100-1-12-0-1
         11658--11663 : dark : 50-1-24-0-1-100, 400-1-3-0-1

================================================================================
```

第 5 章

一次解析の方法: 詳説

ここでは解析は UNIX もしくは Linux 上で行うことを想定している。

5.1 下準備: 元データの統一化と情報の整理

5.1.1 頻出 FITS HEADER 一覧の作成

解析途中で、各元画像の取得状態 (クロック、光学系、温度、望遠鏡の状態、温度など) を確かめるのに使いやすいように、各画像のファイル名と、ヘッダを一覧にしたファイルを、大分類ごとに作成。リストを作りたい画像ファイルをリスト (listfile) にして q_headlst を実行。たとえば、データのあるディレクトリが /data1/20000720A のとき、リストを作りたいディレクトリで

```
ls /data1/20000720A/COMA* | awk '{print substr($1,1,16),substr($1,18,12)}' > 720.lista
ls /data1/20000720A/COMQ* | awk '{print substr($1,1,16),substr($1,18,12)}' > 720.listq
```

として画像リストのファイルを作成してから、

```
q_headlst @720.lista 720a.clk 720a.opt 720a.temp 720a.tel1 720a.tel2
q_headlst @720.listq 720q.clk 720q.opt 720q.temp 720q.tel1 720q.tel2
```

などとする。

5.1.2 ECO 画像の統一 (B000)

CoAdd モードが ECO(2) で取得した画像では、取得されたデータファイルには、 2 枚の画像しか含まれないのがそもそもの設定である。だが、現在のバンク切替えの上では、 chop をしている (いない) 場合には ChopNum が 4(2) 以上の場合には実際には 4(2) 枚の画像を含んでいる。しかし、この 4(2) 枚が、透過な積分時間には対応しない場合がある (たとえば、 ChopNum=50 で chop しているときには、 12 chop beam の和画像が 2 枚、 13 chop beam の和画像が 2 枚発生する)。これはこのあとのデータ処理にうまく乗らないので、ここでビーム毎に足し算し、各ビーム 1 枚の画像を含む、本来の ECO 画像に直す。

このとき、 q_ecosum を使うが、このプログラムは、 2 番目の引数を指定しないと、入力ファイルを、出力結果で置換するので、注意を要する。 (CoAdd モードが 2 でない画像、 CoAdd=2 で画像枚数が 1 ないし 2 枚の場合には何もしない)

```
q_ecosum @720.lista
```

元画像に保持したい場合には、 ECO で取得した画像を、元画像は、各データディレクトリにさらに別ディレクトリ (例： ECOORG) や別ファイルにうつしておき、 q_ecosum を通して本物の ECO になるようにした画像を、同じファイル名でデータディレクトリ直下においておく。このとき、入力ファイルを別名に変更しておき、出力ファイルにもとの COMA 系列と同じファイル名を与えるのは、この後のデータ処理を、他の CoAdd モードで取得した画像と同列に扱うためである。

```
q_ecosum @inputlist @outputlist
```

q_ecosum のバグ　現在は、 CoAdd モードが 2 でないファイルの処理にかかると、そのまま何もせずにプログラムが終了し、リストの次のファイルに進まない。ここは改善予定。

5.2 ダーク、フラット

5.2.1 ダークの作成

ダークは、観測終了後もしくは観測開始前に取得される。天体や標準星、ドームをとったのと同じ exposure 型のクロックで取得されているはずだが、 frame 数や CoAdd モードは自由なので、必ずしも全く同じクロックが使用されるとは限らない。むしろ、ダークのノイズの測定などのため、 CoAdd モードは 0(RAW) ないし 1(ADD) が普通で、また、 chop もしない場合が多い。ここでダークを求めるというのは結局、 1 exposure あたりのダーク量を示す画像を作成することに相当する。

方法としては、同じクロックの画像は file 内での平均をとってから、ファイル間平均をとり、さらに、画像 1 枚あたりに含まれる exposure 数で割って、各基本クロック 1exp あたりのダークになおす。

例えば、下表のような 11658-11663 の画像から、撮像ダークを作成する場合を考える。

画像 No.	stare/chop	クロック	積分時間 [sec](注 1)	できたダーク (注 2)
11658, 11660, 11662	stare	50-1-24-0-1-100	0.8958000	0720imdark50_1

注 1: 積分時間とは、 COMA 画像の 1 frame あたり積分時間。
= (i) CoAdd=0 のとき 1exp 積分時間
(ii) CoAdd=1 のとき 1exp 積分時間 × 1 frame あたり exp 数
注 2: 0720imdark50_1: PP=50, ND=1 での撮像 1exp あたりのダーク \\

まず、各ファイルの時間方向平均 (frame 間平均) をとる。これには、 q_list_stat が使える。 q_list_stat で、ファイル名と、 (検出器、) ピクセル範囲 (全範囲 "- -")、を指定し、 ":" で、時間方向平均であることを示す。次にこの出力結果 (m11658 m11660 m11662) を、 q_fcombine でファイル間平均 (ave) をとる。もともとの COMA00011658 等の画像では、各 frame 24 exposure され、 CoAdd=1 で和が求められているので、平均画像も 24 exposure 分に相当する。これを補正するために最後に q_arith での割算を行う。

```
q_list_stat /data1/20000720A/COMA00011658 1 - - : m11658
q_list_stat /data1/20000720A/COMA00011660 1 - - : m11660
q_list_stat /data1/20000720A/COMA00011662 1 - - : m11662
q_fcombine m11658 m11660 m11662 ave=0720imave
q_arith 0720imave / 24.0 0720immdark50_1
```

5.2.2 ダークリストの作成

上で作ったダーク画像は、リストにいれておくと後でフラットを作成するときなどに、 q_subdark から簡単に参照できるので便利。

ダークリストファイル darklist の例

```
20000622 img    50     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0622imdark50_1
20000622 spc   100     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0622spdark100_1
20000622 spc   200     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0622spdark200_1
20000622 spc   400     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0622spdark400_1
20000622 spc    50     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0622spdark50_1
20000625 img    50     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0625imdark50_1
20000625 spc   100     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0625spdark100_1
20000625 spc   200     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0625spdark200_1
20000625 spc   400     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0625spdark400_1
20000625 spc    50     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0625spdark50_1
20000720 img    50     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0720imdark50_1
20000720 spc   400     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0720spdark400_1
20000721 img    50     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721imdark50_1
```

```
20000721 img    50   100   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721imdark50_100
20000721 img    50   120   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721imdark50_120
20000721 img    50   140   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721imdark50_140
20000721 spc   200     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721spdark200_1
20000721 spc   400     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721spdark400_1
20000721 spc    50     1   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721spdark50_1
20000721 spc    50   235   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721spdark50_235
20000721 spc    50   236   /home/okamoto/red/200007/DARK/0721spdark50_236
```

フォーマットは q_subdark で指定される。 1column 目が日付、 2column 目が撮像 (img)/ 分光 (spc) の別、 3column 目がピクセルレート、 4columnd 目が電子的 ND 値、 5column 目がそのダーク画像のファイル名 (フルパスで書いておくのが良い)。日付は、任意の形式で書いてよいが、 q_subdark の日付引数はこのファイルに書かれている日付を参照する必要がある。

5.2.3 フラットの作成

フラットには、ドームフラットとスカイフラットのいずれかを使う。撮像ではドームフラットはスカイと同じクロックで取得すると saturate してしまうので、普通セルフスカイフラットを用いる。また、分光ではスカイ画像には大気輝線が入ってしまい、微妙な波長ずれがあると補正できなくなるので、普通ドームフラットを用いる。以下では、撮像でスカイフラットを、分光でドームフラットを使うとして述べる。

5.2.4 分光 (ドームフラット)

次のようなドームの画像とダークの画像があったとする。

	画像 No.	クロック
ドーム画像	11647, 11649, 11651	100-1-12-0-1-100, stare
ダーク画像	11653, 11655, 11657	100-1-12-0-1-100, stare

このとき、ドームからダークを引いた画像の平均を作って規格化すれば良い。例えば、下記のように、各ファイルの平均、標準偏差画像を作り (1 行目がその例)、ドームファイル同士、ダークファイル同士で平均、標準偏差を求め (2,3 行目)、ドームからダークを引き (4 行目)、光が入っている領域を選んで規格化 (5 行目)。この画像の誤差は、標準偏差の二乗和 (6 行目)、

```
q_list_stat /data1/20000720A/COMA00011647 1 - - : m11647 s11647
q_fcombine m11647 m11649 m11651 ave=dome sig=domes
q_fcombine m11653 m11655 m11657 ave=dark sig=darks
q_arith dome - dark dd
q_list_stat dd 1 21:300 21:220 1 | awk '{printf("q_arith dd / %8.2f 720 \n",$5)}' | csh
q_arith domes s darks dds
q_list_stat dd 1 21:300 21:220 1 | awk '{printf("q_arith dds / %8.2f 720.sigma \n",$5)}' | csh
```

あるいは、ドーム画像のリスト (domefilelist) と、前節で述べたダーク画像 / ダークリストの作成をした上で、ファイルごとにドームからダークを引いた画像ファイルを作成、統計処理しても良い。この方法では、 COMA ファイルに対して行うと COMA と同じだけの枚数の実数型の画像ファイルが生成されるので、記憶領域を結構要する。しかし、 stare モード (chop なし) で取得した COMQ ファイルであれば、すでに COMA 画像内の平均が COMQ になっており、この方法を使っても領域を無駄に使うことがなく、楽です。

```
q_subdark @domefilelist 200007 darklist @outputlist
q_fcombine @outoutlist ave=tmp1 sig=tmp1
q_list_stat tmp1 1 21:300 21:220 1 | awk '{printf("q_arith tmp1 / %8.2f flat720\n",$5)}' | csh
```

5.2.5 撮像 (スカイフラット)

スカイをフラットに使う場合には、何もうつっていないスカイの画像を別に取得するか、セルフスカイフラットを使うかの 2 通りが考えられる。後者の場合、 chop をしているので、 chop beam ごとのスカイ平均などからスカイフラットを作り、 off-beam sky を on-beam データのフラットとして使う (あるいはその逆)。そのため、 chop beam ごとに画像を分離する必要がある。

撮像では、スリット上に一度結像するため、スリット表面のムラがフラットに反映されてしまう。このため、撮像 / スリットビュワーでは撮像でとったスカイ、各スリット幅のスリットでとったスカイをフラットとしてを使う必要がある。

また、少なくとも撮像系フィルターを変えた場合にも、検出器上で観測される感度の凹凸 (スリット表面模様かゴミに対応すると思われる) が動くので、同じフィルターでフィルターを動かさずにとったスカイを使う方が無難である。

光学系の安定性が高ければ、例えば一晩通してとった同フィルターでの撮像データからできる off-beam ごとのスカイの平均などをとってフラット精度を高めることができるはずだが、現状ではできない。それゆえ、同じ天体を同じフィルターのまま取っているときのセルフスカイの範囲で平均化するのが次の手段である。しかし、これもファイルごとに検出器上で観測される感度の凹凸位置が動くので、実際にはまさしくその画像を取得していたときの off-beam のスカイ画像をフラットとして使っている。

(フラットが平坦であれば、検出器上で観測される感度の凹凸の動きはさほど問題にならないが、実際には 2-3pixel を典型的なスケールとして、振幅 10% 程度ででこぼこしているので、問題を回避できていない)

1. 撮像画像のリストを作成、分光のリストも同時に作っておく。画像リストには、ダーク、フラット、 stare モードで取得した画像は含まれないように編集する。また、ヘッダのみの画像も含まれないようにしておく。さらに、データとして使う画像のみ残しておく。

```
ls /data1/20000720A/COMA* | awk 'substr($1,25,5)%2==0{print $0}' > 720imga
ls /data1/20000720A/COMQ* | awk 'substr($1,25,5)%2==0{print $0}' > 720imgq
vi 720imga
vi 720imgq
```

2. COMA 画像に対してスカイ- ダークを行ってから、ビーム毎に画像を分け、さらにビーム毎に平均化。

まず出力先リストを作成 (ここでは作業ディレクトリの直下に画像を置く例)。

```
awk '{print "a"substr($1,25,5)"d"}' 720imga > 720imga_sd
```

ビーム分離用リストも作成 (bm1: on-beam, bm2: off-beam)。

```
awk '{print $1".bm1"}' 720imga_sd > 720imga_sd1
awk '{print $1".bm2"}' 720imga_sd > 720imga_sd2
```

このリストファイルを使って、ダーク差引 (q_subdark) および ビーム分離 (q_bsep)。

```
q_subdark @720imga 20000720 DARK/darklist @720imga_sd
q_bsep @720imga_sd @720imga_sd1 @720imga_sd2
awk '{print "yes | rm "$1}' 720imga_sd | csh
```

1 行目が、 720imga に入っている画像に対して、サブディレクトリ DARK にある darklist からダーク画像を指定して、適合ダークを引いた画像を作成している。これが、 720imga_sd で指定された画像に出力される。次に、 2 行目で、 720imga_sd(COMA 画像で各フレームでダークを引いた frame がしまわれている画像) を、 chop beam ごとに分離して、 720imga_sd1 にあるファイルと、 720imga_sd2 にあるファイルにしまっている。通常 q_bsep では大量の、しかも COMA 画像を扱うので、出力結果も含めると大量の記憶領域を使用する。そのため、作業がすんだ後はすぐに一時ファイルを消す方がよい (3 行目)。

こうしてビームごとに分離された画像を、例えば平均化したり、メジアンをとったりという統計処理をしてスカイフラットを作成すれば良い。以下は、各ファイルごとに平均 (m_XXXXX) と標準偏差 (s_XXXXX) をとっている例で、やはり一時ファイルはすぐに消去している (3,4 行目)。

```
cd IMGFLAT/0720
awk '{print "q_list_stat "$1" 1 - - : m_"$1" s_"$1"}' 720imga_sd1 | csh
awk '{print "q_list_stat "$1" 1 - - : m_"$1" s_"$1"}' 720imga_sd2 | csh
awk '{print "yes | rm "$1"}' 720imga_sd1 | csh
awk '{print "yes | rm "$1"}' 720imga_sd2 | csh
```

必要に応じてこうしてできた画像を規格化し、フラットとする。(規格化する際には、スリットの有無によって規格化のスケールが変化してしまうことに注意)

5.2.6 バッドピクセルのリストアップ

5.2.7 ダーク上のホットピクセル

検出器には、カウントが saturate してしまっているホットピクセル (群) がある。これはチョップ差引した画像や、ドームやスカイからダークを引いて作った画像上ではカウントがほぼゼロになるため、バッドピクセルとして検出できない。そこで、たとえばダーク画像を使ってホットピクセルを探す。ホットピクセルというのは、

- 完全に + 側にさちっているピクセル
- (周辺のダークレベルに比べて)saturation の半分程度までカウントが上がっているピクセル

に該当するものとしてみなせる (このようなピクセルはリセットレベルを読むように変更した後もそんざいするだろうか？)。そこでこのようなピクセルに対して値 1 を、そうでないピクセルには値 0 をいれた画像を作成してホットピクセル記憶画像とする。ダーク画像 darkimg で、値の範囲が例えば 0-12000 程度だったときには、半分の 6000 カウントを閾値として q_2val を使って、次のように画像を二値化すればよい。

```
q_2val darkimg darkimg.bp 6000 upper
```

5.2.8 フラット上のバッドピクセル

フラットのような光の入っているフレームで見ると、明らかに周辺に比べてカウントが低いピクセル (やその群) が存在する。これは検出器上のゴミやスリット上の金蒸着のムラのために感度が落ちている場所であると考えられる。このようなピクセルの他に、作成済のフラット上で、カウントが異様に低く明らかにバッドピクセルとわかるものや、フラット上ですじが残ってしまっいて以降使えないピクセル位置などを、 q_badpix, q_2val などを使って処理したり、目で読んで追加等を行う。 q_badpix は、入力画像で各ピクセル値が周辺ピクセルの平均値と比べてある割合よりも高いもの、低いものに値 0 を、その間のものに値 1 をいれた画像を作成する。たとえば、フラット画像 flat0720 で、周辺平均よりも 20% 以上ぶれているピクセル (80% 以下と 120% 超) を取り出したいときには

```
q_badpix flat0720 0.8 1.2 flat0720.bp
```

とすればよい。ここで、どの程度ぶれた値をバッドピクセルとするかについてはいくつか値を変えて様子を見てみる必要がある。

5.2.9 ケラレ等で光が入らなくなっているピクセル

上記二つの処理では、検出器のはしの方でケラレ等で光が入らなくなっているピクセルは拾い出せない。そこで、このようなピクセルは手で指定してやる必要がある。たとえば、 x=1-320, y=1-20 の範囲がケラレている場合には、まずそのケラレている範囲を 1 で埋めたリストを作成してから、テキストファイルを画像ファイルに変換する。

```
awk 'END{for(i=1;i<=241;i++){for(j=1;j<=320;j++){if(y<=20){print 1}else{print 0}}}}' > kerare
q_mkimg kerare kerare.bp 320 241 1 1
```

5.2.10　フラット画像のバッドピクセル

以上から、フラット画像上のバッドピクセルは、”ダーク上のホットピクセル + フラット上のバッドピクセル + ケラレピクセル”として得られる。ここまでででできているダーク上のホットピクセル画像 (darkimg.bp) と、フラット上のバッドピクセル画像 (flat0720.bp)、ケラレ画像では悪いピクセルの値が逆になってしまわれているので、最初のを (-1) 倍しておいてから足し算し、二値化することで悪いピクセルの論理和 (flatbp0720) をとる。

```
q_arith darkimg.bp \* -1 darkimg.bp.inv
q_arith darkimg.bp.inv + flat0720.bp tmp1
q_arith tmp1 + kerare.bp tmp2
q_2val tmp2 1.5 flatbp0720
```

5.3 天体データ、標準星データの解析

5.3.1 チョップ差引 (COMQ 画像を使う)

chop をして取得した画像で、背景の差引のために on-beam 画像と off-beam 画像の差引を行う。これは実際には COMQ 画像が結果に相当する。

$\Sigma(on-beam$画像$-off-beam$画像$)$

COMQ 画像は各 chop beam については和になっているので、もし frame 間や exposure 間の平均や標準偏差が必要な場合には、 q_bsep によってビームを分離し、それに q_list_stat 等で統計処理を行う。

5.3.2 単位時間化

COMICS では画像取得のクロックが多様なため、以後の解析で特に積分時間の扱いをあまり考えないで済むようにするために、 COMQ 画像 (NAXIS3=1 で積分時間が計算できる正しいクロック情報が書かれている画像ファイル) に対しては、そのファイルの持つ各 frame が単位 on-source 積分時間 (1sec) あたりのカウントになおすコマンド (q_unittime) が用意されている。このコマンドを目的天体と標準星の全てのファイルに行っておくと、あとで明るさに直すときに積分時間の違いを考慮する必要がない。

例： `q_unittime datafile`

5.3.3 フラット処理

単位時間あたりになおった COMQ 画像を、分光 / 撮像それぞれのフラットで割っておく。

5.3.4 (場合によって) すじ補正

2000 年 7 月までに取得されたデータは、リセットレベル低下に伴う出力カウントレベルが下るすじ (column 方向) が画像上に頻繁にのる。このような場合には、その画像でもっとも大きなシステマティックノイズが何かを見た上で (すじ / スカイノイズの引き残し (変動) / 周期ノイズ)、すじが dominant であれば、天体ののっていないところのレベル低下量で天体のところを補正する。

レベル低下の起き方は、検出器の読みだし column にそって天体などの (周辺よりも) 明るめの光が入った直後で急激に落ち、その後指数的に戻るという形を示す。 (詳しくは岡本によるレポート「検出器のホットピクセルとすじひき現象、にじみ現象の性質」参照) だから、レベル低下量の補正では、天体の像やスペクトルの入った後でなるべく天体に近いほうの数 ~ 10rows で、各 column ごとの column 方向の平均を作って、全ピクセルから同じ column での値を引く、というような作業を行うのがよい。

分光ではさらに、天体スペクトルが入った位置を含む数 rows に、 row 方向にほぼ同量のレベル低下が起きることが確認されている。これはたとえば低分散分光であれば、検出器の端の方でフィルター透過率落ちて光がほぼ入らなくなっている数 columns を使って各 row 方向の row 平均を作って、全ピクセルから同じ row での値を引くという作業を行うのがよい。

撮像ではさらに、全 channel で channel 内の同じ場所にレベル低下がおきるしみのようなものが見られることがある。これらは、星がうつっていない channel いくつかでの channel 内各ピクセルごとの平均を作って、全チャンネルピクセルを合わせてひく、というのがよい。

5.4 天体データ、標準星データの解析: 撮像

5.4.1 同じ位置でとった画像ファイルを平均化

同位置、同フィルター、同クロックでとったフラット処理済み画像を平均化。(クロックは、同クロックでなくても、単位時間あたりにした画像どうしならば平均化してよい) このとき、望遠鏡の移動が間に入っている画像同士では若干の位置ずれは避けられないので、別にして扱う。この処理のためには、どこかにリストディレクトリを作って、種類ごとに分けた画像のリスト (フルパス指定) があると便利。

例: ファイル M82_08.7.p1, M82_08.7.p2 はそれぞれ位置 1, 2 で取得した M82 の 8.7μm 画像のフラット処理済のもののリストがあるとする。ファイル M82_08.7.p1 の中身:

```
/home/okamoto/red/200007/UNITTM_IMG/0720/q11494uf
/home/okamoto/red/200007/UNITTM_IMG/0720/q11496uf
/home/okamoto/red/200007/UNITTM_IMG/0720/q11498uf
```

ファイル M82_08.7.p2 の中身:

```
/home/okamoto/red/200007/UNITTM_IMG/0720/q11494uf
/home/okamoto/red/200007/UNITTM_IMG/0720/q11496uf
/home/okamoto/red/200007/UNITTM_IMG/0720/q11498uf
```

このファイルがあると、コマンド q_fcombine を使って、画像の平均等がとれる。

```
q_fcombine @M82_08.7.p1 ave=aveM82_08.7.p1 med=medM82_08.7.p1 sig=sigM82_08.7.p1
```

5.4.2 dither 処理のためのマスク作成

§ 5.4.1でできた、異なる位置でとった同天体、同フィルター、同時間あたり画像を位置を合わせて平均化する。このとき、まずバッドピクセルのマスクを作って、平均化手続きのときにバッドピクセルのデータは使わないようにする (バッドピクセル画像の作り方は § 5.2.8を参照。

マスクを作るために、§ 5.4.1のグループごとにフラットを平均化し、各 § 5.4.1でできた画像のためのマスク画像を作成。このフラットのバッドピクセル (マスク画像; ex flatM82_08.7.p1) と、ダークのバッドピクセル (マスク画像; darkimg.bp) と、さらにケラレのバッドピクセル (マスク画像; kerare.bp) を合成して、トータルのバッドピクセル (マスク画像) を作成 (他に、これら 3 種にはあらわれないような、カウントが画像間で著しく変動するようなピクセルコラムなどがあった場合には、その画像も合成する)。

```
q_arith darkimg.bp + kerare.bp tmp1.bp
q_arith tmp1.bp + flatM82_08.7.p1 maskM82_08.7.p1
```

あるいは、

```
q_fcombine darkimg.bp kerare.bp flatM82_08.7.p1 ave=maskM82_08.7.p1
```

とすれば、マスク合成ができる。

5.4.3 dither 処理のためのシフト量測定と画像シフト

dither 画像の足し合わせのためには、各画像間での位置ずれ量を測定してシフトしなければならない。ある天体の画像の視野内に点源がいくつか写っている場合には、これら点源の位置を q_photo 等で測定し、 X、 Y 方向のずれ量を求めれば良い。

しかし、通常 dither 処理をしなければならないのは広がった天体であり、また中間赤外線画像では多くの場合同一視野内に他の点源がうつらないことから、別の方法で位置ずれを測定する必要がある。一つの方法は、同一天体の同一フィルター、異位置画像のそれぞれで、天体のほぼ同じ部分を含む矩形領域 (できれば天体全体を含みながら大きすぎない領域) を指定し、その矩形領域の X 方向および Y 方向それぞれでの圧縮のプロファイルを比較する。これら

の相互相関をとって、ずれ量を測定する (実際には相互相関までとらずとも、目で見て比較することで 0.1pixel の精度で位置ずれが決定できる)。この方法を図 5.1に示す。このとき、領域内に含まれるバッドピクセル等が入ってしまった column や row は相互相関を取る場合はずすべきである。

5.4.4 周期ノイズののっている画像の補正

画像がひどくノイズで乱されているような場合には、その前に、このノイズを除去するような手作業が必要になる。これは、実際には、天体からの光がのっていないようなチャンネルのチャンネル間平均を、各チャンネルからひいたり、チャンネル内の各 row 平均を全同一 row ピクセルからひいたりすることでかなりの部分が除去できる。

5.4.5 スカイレベルの補正

天体の光が入っていないと考えられるような場所でも、背景放射の変動や雲の変動によって、スカイレベルが全体として 0 から有意にずれている場合がある。このような場合には、 0 次ないし 1 次のスカイ成分を画像からさしひいてスカイレベルをゼロにそろえる。

5.4.6 星のカウントの解析

5.4.7 画像のシフト

求まったずれ量をもとに、各画像を基準位置までシフトする。これには IRAF の imshift コマンドを使うが、 COMICS の画像は X、 Y、時間、検出器の 4 次元構成であるため、そのままでは imshift を通らない。そこで、 q_chgaxis を使って画像を 3 次元化する。

```
q\_chgaxis 3  aveM82_08.7.p1  aveM82_08.7.p1.nax3
q\_chgaxis 3 maskM82_08.7.p1 maskM82_08.7.p1.nax3
q\_chgaxis 3  aveM82_08.7.p2  aveM82_08.7.p2.nax3
q\_chgaxis 3 maskM82_08.7.p2 maskM82_08.7.p2.nax3
```

ただし、 q_chgaxis を通った後は、 W(検出器)、 Z(時間) をこの順で軸から落とし、一つ上の軸 (Z、 Y) に含ませてしまうだけなので注意。このような複雑さが面倒な場合には、解析最初の時点で各検出器ごとに画像ファイルを分離 / 再作成すべきである。この後、 imshift を実行。 imshift は、マスク画像に対しても実行。

```
imshift  aveM82_08.7.p1.nax3  aveM82_08.7.p1.sft  0.0  0.0
imshift maskM82_08.7.p1.nax3 maskM82_08.7.p1.sft  0.0  0.0
imshift  aveM82_08.7.p2.nax3  aveM82_08.7.p2.sft 159.8 -30.1
imshift maskM82_08.7.p2.nax3 maskM82_08.7.p2.sft 159.8 -30.1
```

5.4.8 重み画像の作成と画像重ね合わせ

画像の位置合わせとマスク作成ができれば、画像の足し合わせができる。ここで、各画像の積分時間 (単位時間あたりではなく) が異なる様な場合には、その積分時間で、画像どうしの統計処理を行う場合に重み付を行う。また、スカイ変動が著しかったりして、平均化したあとの値の絶対値にあまり意味がないような場合には、各画像での天体のカウントをそろえて平均化を行うほうがいいことも考えられる (天体の中にもバッドピクセルが多数あるような場合には、このように値をそろえないと、間違ったマップができてしまう)。このような場合にも、重み付統計処理を使うことで処理が実行できる。

ここで使うのは、ファイル間の平均画像を重みをつけて作成する q_wcombine である。重みは、マスク画像にしまうのがよい。そのため、まずマスク値をひっくり返してから二値化、重みの値をかける。たとえば位置 p1 ではあるクロックで 2 ファイル取得し、位置 p2 では同じクロックで 3 ファイル取得した、と言うような場合、

```
q_arith maskM82_08.7.p1.sft \* -1 tmp1
q_2val tmp1 tmp2 -0.00001 lower
q_arith tmp2 \* 2 wM82_08.7.p1.sft
```

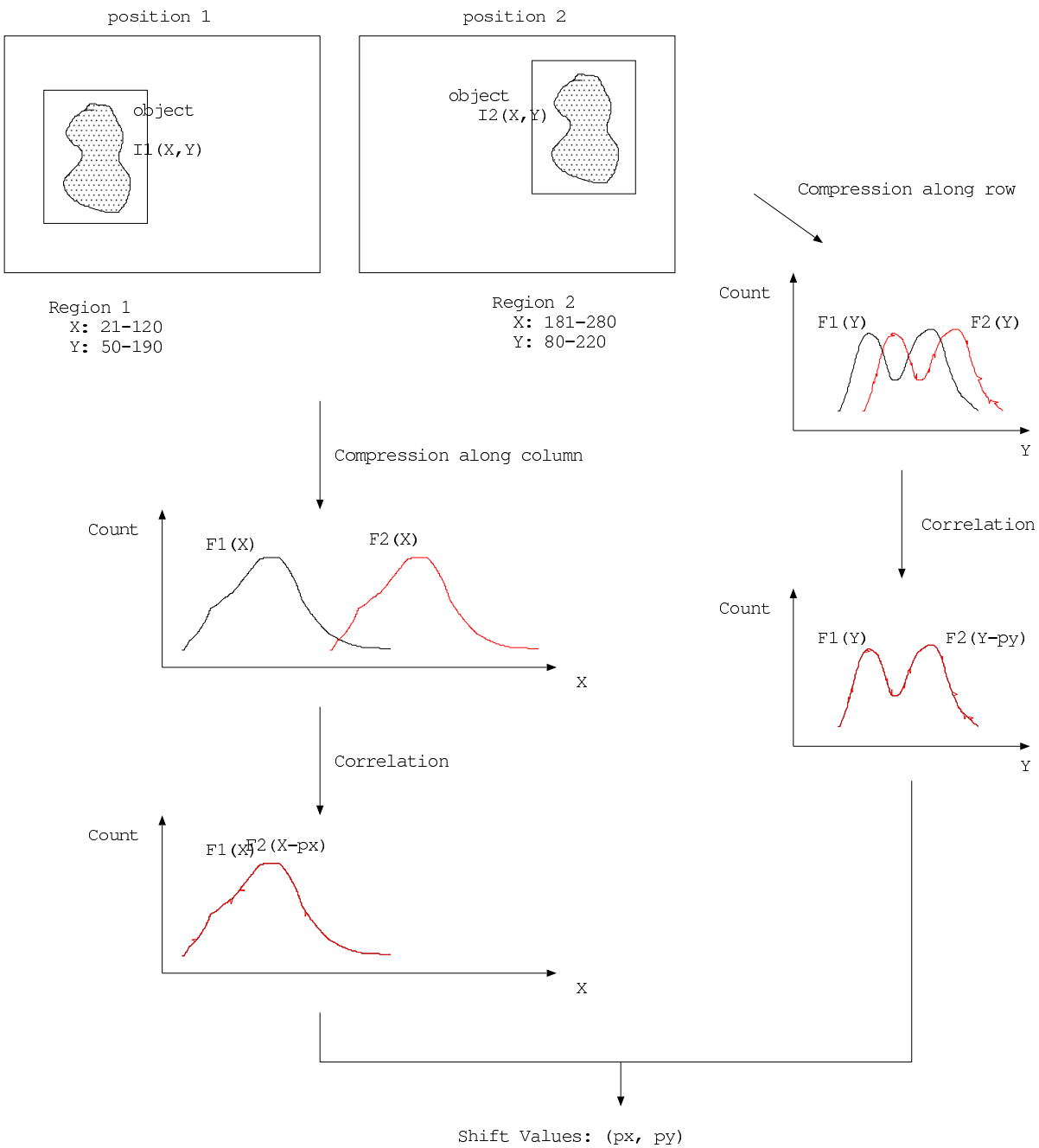
position 1
position 2
object
I1(X,Y)
object
I2(X,Y)
Region 1
X: 21-120
Y: 50-190
Region 2
X: 181-280
Y: 80-220
Compression along row
Count
F1(Y)
F2(Y)
Y
Compression along column
Correlation
Count
F1(X)
F2(X)
X
Count
F1(Y)
F2(Y-py)
Y
Correlation
Count
F1(X)
F2(X-px)
X
Shift Values: (px, py)

図 5.1:

```
q_arith maskM82_08.7.p2.sft \* -1 tmp1
q_2val tmp1 tmp2 -0.00001 lower
q_arith tmp2 \* 3 wM82_08.7.p2.sft
```

としたのち、両画像の重ね合わせ

```
q_wcombine @M82_08.7 @M82_08.7_msk M82_08.7
```

ここで、 M82_08.7 には、 aveM82_08.7.p1.sft, aveM82_08.7.p2.sft が、 M82_08.7_msk には wM82_08.7.p1.sft, wM82_08.7.p2.sft がリストされているものとする。

5.4.9 残ってしまったバッドピクセルの補間

画像の重ね合わせ処理後にも、画像を取得した位置の種類が少ないときなどバッドピクセルが残ってしまう場合もありうる。そのような場合には、バッドピクセルをリストして、 IRAF の fixpix などを使って補間する。そのようなピクセルがあるかどうかについては、マスク画像間の平均をとって 0(マスクされている) のままのピクセルがあるかどうかを調べればわかる。このとき、ケラレの場所は周辺から補正のしようがないので、除く (下の例ではたとえば、 x=282-320, y=1-23,236-240 は使えないし使う必要がない)。

```
q_fcombine @M82_08.7_msk ave=M82_08.7.msk
q_list_stat M82_08.7.msk 1 1-281 24-235 1 | awk '$5==0{print $2,$2,$3,$3}' > M82_08.7.fxpx
mv M82_08.7.msk M82_08.7.msk.fits
IRAF cl> fixpix M82_08.7.msk.fits M82_08.7.fxpx
```

これでも取れないバッドピクセル (たとえば、画像を目で見て明らかにカウントがおかしいところ) は、リストして手で直すしかない。

5.4.10 フラックス補正

ここまでの処理を、目的天体と標準星の両方について行ったら、標準星を使って目的天体のカウントを実際の明るさに直す。

まず、同じフィルター、近い Airmass で取得した標準星の、そのフィルターでの明るさを Cohen 氏らのデータベースから計算する。中間赤外線域では各フィルターでの明るさというのは N バンド全域等以外はほとんど求められていないので、フィルターの透過範囲分、 Cohen 氏らのスペクトルデータを積分することで求める (ちなみに、 $1[\mathrm{W/cm^2/\mu m}]=\lambda^2/3\times 10^{16}[\mathrm{Jy}]$)。フィルターの透過範囲はピーク全体の半分程度の透過率になるところで切って、以下のようになっている。

フィルター名	中心波長 [μm]	幅 [μm]
8.7μm	8.78	0.77
9.8μm	9.73	0.94
10.3μm	10.50	0.99
11.6μm	11.67	1.05
12.5μm	12.41	1.15

標準星に付いては、たとえば標準星像を囲む矩形領域内のカウント和や、 q_photo での簡易カウント測定結果、あるいは IRAF の測光タスクを使って星のカウントを求め、これと積分した星のフラックスと比較して、 1 カウントがどれだけのフラックスに相当するかを計算する。この変換係数を天体画像にかけてやれば、天体画像を明るさになおすことができる。天体が広がった天体の場合にはさらに 1pixel あたりの視野 (撮像では 0.13"/pixel、 0.0166 $\mathrm{arcsec^2/pixel}$) で割れば、輝度に直せる。

5.4.11　波長間の位置合わせ

カラー画像を作ったりするのに、異なるフィルターでとった画像どうしの位置をあわせたいときには、他にうつっている点源で位置をあわせるか、たとえば§ 5.4.3で述べた方法を異波長間でも適用してずれ量を求める、などしなくてはならない。しかし後者は天体自身の性質により、異波長間であわせるのが正しいのかについて検討する必要がある。このような方法が使えないのであれば、標準星画像などから、異フィルターの画像ではどの程度位置ずれを起こしているかを測定したり、望遠鏡トラッキングが異フィルター間でも十分ずれていないことを確かめたりする必要があるだろう。

5.4.12　撮像画像のノイズ

以上のようにしてできた画像のノイズを見積もるには、各画像ファイル間での天体カウントのバラツキをとる方法もあるが、測光のように精度が必要な場合以外であれば、スカイ部分のピクセル間のバラツキを調べるのがもっとも簡単である。これは、中間赤外線の場合非常に明るい天体を除いて、普通スカイの方が天体よりもずっと明るいために、入射カウントのゆらぎのほとんどはスカイが担っていることに起因している。ただしこの場合にはフラット処理がきちんと行えていなければならない。(そしてもちろん、天体がスカイに比べてずっと暗くなくてはならない)

5.4.13　個々の解析

ここまでくれば、後は各観測者の目的に応じた天文解析を行えば良い。