

# 近赤外線撮像観測 データ解析概論

国立天文台   ハワイ観測所   中島   康

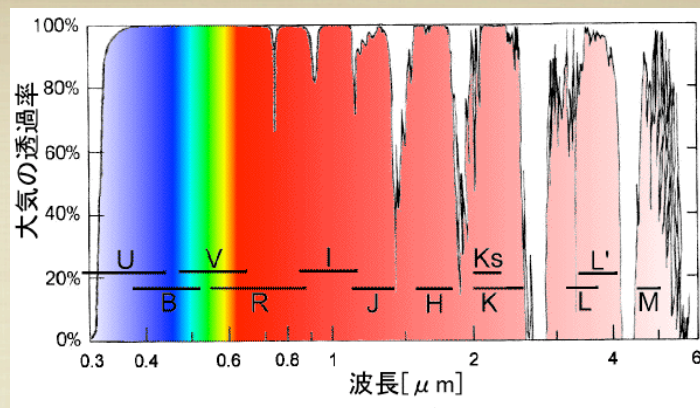
## 今日のおはなし

- 天文学での赤外線、赤外線で見えてくる世界
- 観測とデータ処理(赤外撮像編)
  - デジカメではちっと撮るのとは大違い
  - 観測時に仕込んでデータ処理で収穫

# 天文学での赤外線

- 天文学では波長 1 - 数百  $\mu\text{m}$ の電磁波を**赤外線**という
  - 近赤外線 1- 5  $\mu\text{m}$
  - 中間赤外線 10  $\mu\text{m}$ 前後
  - 遠赤外線 数十 $\mu\text{m}$  ~
  - 定義は厳密ではない

## バンド



- 近赤外~中間赤外では大気の窓に対応して、**J, H, K, L, M, N, Q** バンドというフィルターがある
- それらフィルターを透過する電磁波のことをJバンドの光などと呼んだり、その光(波長)での明るさをJ等級などによぶ



# 赤外線で見えてくる世界

- 低温天体

- 6000Kの太陽は $0.5\ \mu\text{m}$ で明るい、
- 1000Kの天体は $3\ \mu\text{m}$ で明るい

- 塵に埋もれた天体

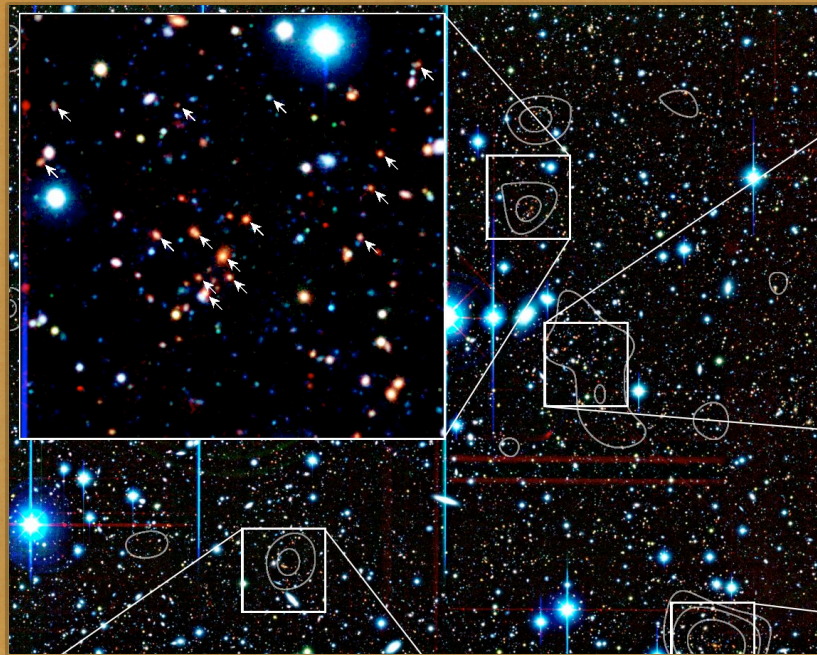
- 星間塵の吸収  $A_v : A_k = 10 : 1$

- 遠方銀河

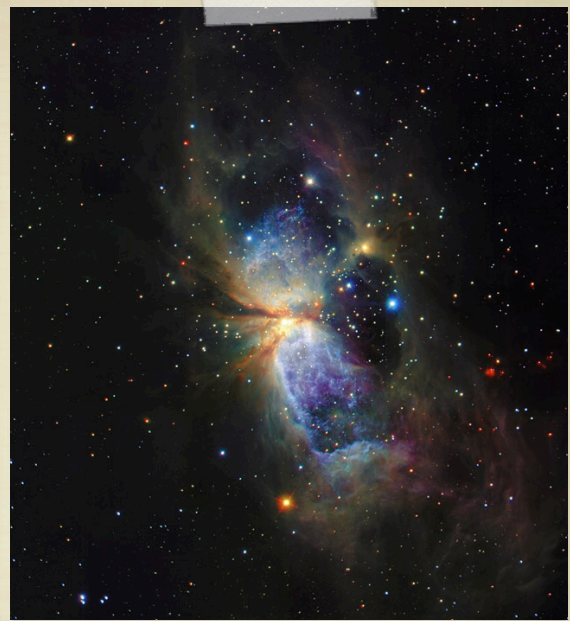
- 赤方偏移  $z=3$  の天体では  $0.5\ \mu\text{m} \rightarrow 2\ \mu\text{m}$







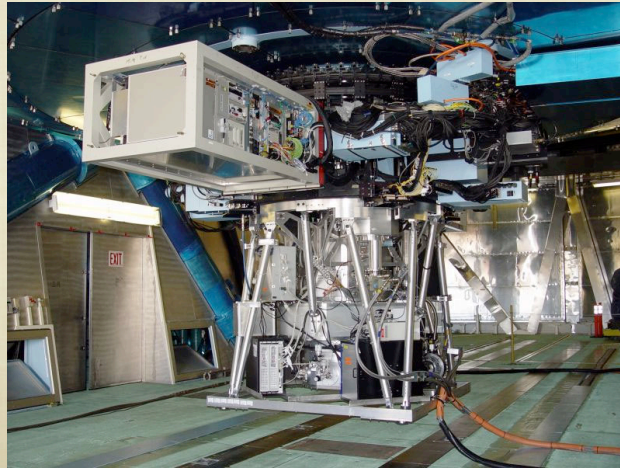
- こういった画像はデジカメ  
ではちっと撮るように簡単  
に出てくるものではない
- 適切な観測手法とデータ処  
理を必要とする





# 観測とデータ処理(撮像)

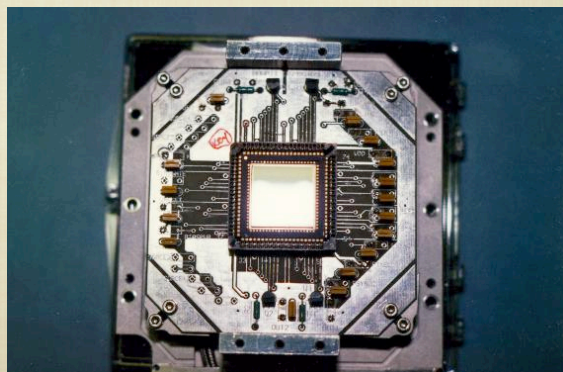
- 望遠鏡の焦点に観測装置を置いてデータを取得する。  
すばるの場合、赤外線撮像データがとれる装置は  
MOIRCS, IRCS, COMICS, HICIAO。



MOIRCS

## 2次元アレイ検出器

- 観測装置の中で、フィルターを透過した赤外線を  
赤外線2次元アレイ検出器の各ピクセルがとらえる
- CCDのようなものだが、厳密にいうと**CMOS**タイ  
プの検出器。



# 観測での積分

- アレイ検出器に望遠鏡からの光を当てた状態で、ある時間の間に来た光をカウントすることを**積分する**という。20秒積分とか言う。カメラの露出みたいなもん。赤外検出器では通常シャッターは使わない。読み出しのリセットを行う。

## 赤外地上観測の積分

- 望遠鏡の主鏡や大気は常温(~300K)なので赤外線  
で光る。背景のカウント数がすぐに上昇。
- 各ピクセルは井戸に電子をためていくようにその  
数をカウント。井戸の深さには限度(full-well)が  
ありカウント数には上限がある。(Saturation: サ  
チる) 1枚で長時間積分できない。
- 20秒積分 x 10枚 -> 200秒積分のようにする。



# S/N比

- 10秒積分で星の明るさが100カウントだとする。  
ポアソン統計でゆらぐのでノイズは $\sqrt{100} = 10$  \*。  
このときこの星の**S/N比(Signal-to-Noise ratio)**  
は $100/10=10$ であるという。
- 1000秒積分すると、明るさは $100 \times 100 = 10000$ カ  
ウントで、ノイズは $\sqrt{10000} = 100$ なので $S/N=100$   
である。
- $S/N \propto \sqrt{(\text{積分時間})}$

\*最も効く項のみ考慮

# 生データ

- アレイ検出器から積分して出てきたデータのことを  
**生データ(raw data)**という
- 生データ
  - 天体以外の信号を含む。除きたい
  - ピクセル間の感度ムラ、光学系の透過ムラの影響  
を受ける。補正したい
  - 光の強度を電子の個数に変換している。Jyある  
いは $\text{erg/s/cm}^2/\text{Hz}$ あるいは等級が知りたい

**観測時にやっておくことがある！**

# 天体からの信号 $+ \alpha \times \beta$

- $\text{raw}(x,y) = \text{flat}(x,y) \times [\text{object}(x,y) + \text{added}(x,y)]$
- $\text{flat}(x,y)$  : ピクセル間の感度むら, 光学系の透過むら  
 $\text{object}(x,y)=\text{const.}$  の光がやってきたとしても  
 $\text{flat}(x,y) \times \text{const.}$  が検出される。
- $\text{added}(x,y) = \text{dark}(x,y) + \text{skybias}(x,y) + \text{badpixel}(x,y)$

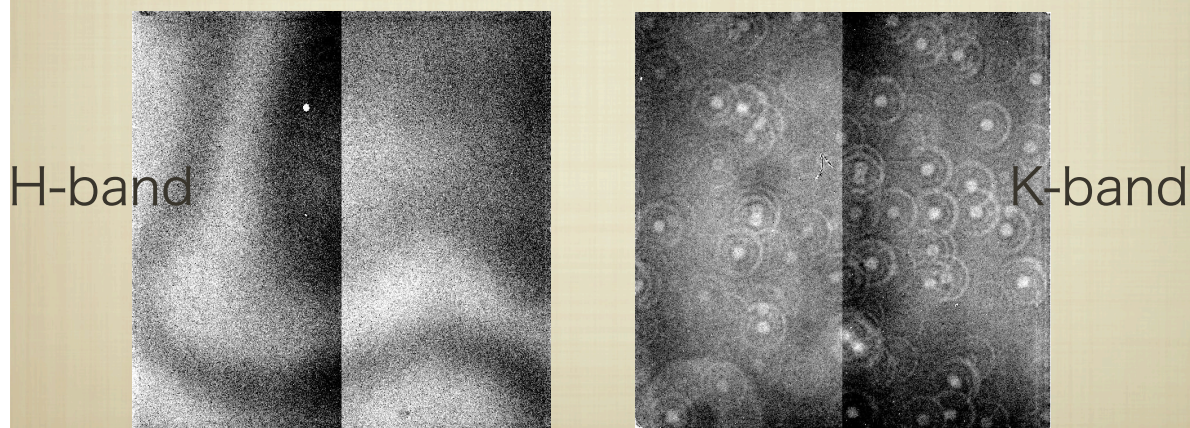
## ダーク

- $\text{dark}(x,y)$  : ダーク、暗電流。アレイに光があたらなくても積分時間に応じて載ってくる成分。
- シャッターを閉じて、天体と同じ(1枚あたりの)積分時間でダーク用データを何枚か撮る。観測前や後に撮る。
- その平均を生データから引く



# sky-bias

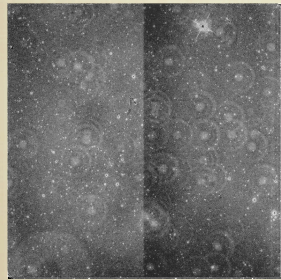
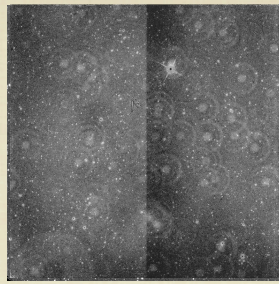
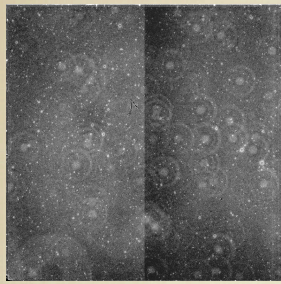
- 主にK-bandより長い波長で熱的な放射成分
- 主にH-bandでOH夜光の輝線成分によるフリンジパターン(newton ring)
- HAWAII array 特有のリセットアノマリースロープ



## skybias を作る

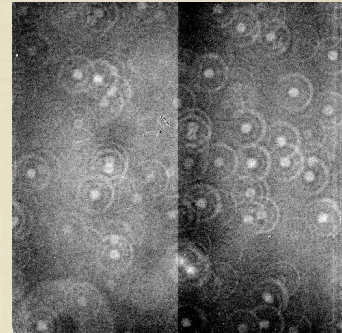
- 天体を積分する近い時間のうちに
  - 天体に近い方角で星が込み合っていない視野を
  - 少しずつ望遠鏡の向きを変えて
  - 天体と同じ積分時間で
  - 10枚くらい撮る。
- 
- 全てのピクセルが、ほとんどの撮像で星のない空を見るとすると、これらの画像の平均(median)をとることで星が消えて、skybiasだけがのこる





少しずつ位置を  
変えたフレーム

medianをとる  
星が消える



これを生データから引く

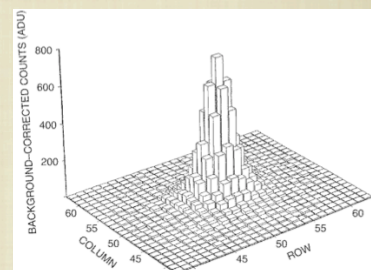
## badpixel

- アレイ検出器(特に赤外)には**バッドピクセル**がある。  
死んでるピクセル。

- 望遠鏡の向きを少しずつ変えて、次々と撮っていく。

### ディザリング(dithering)

視野の広さよりは十分に小さく  
星の広がり(fwhm)よりは大きく



- 同じ空の範囲がバッドピクセルに常に落ちないようにする。星が重なるように全ての画像を重ねて平均をとる(+clipping)と最終的にバッドピクセルが消える。



# フラット

復習 ■  $\text{raw}(x,y) = \text{flat}(x,y) \times [\text{object}(x,y) + \text{added}(x,y)]$

- 一様な光を異なる強度で観測することで、

$$\text{raw1}(x,y) = \text{flat}(x,y) \times [\text{const1} + \text{added}(x,y)]$$

$$\begin{aligned} - ) & \text{raw2}(x,y) = \text{flat}(x,y) \times [\text{const2} + \text{added}(x,y)] \\ \hline & \text{flat}(x,y) \\ & = [\text{raw1}(x,y) - \text{raw2}(x,y)] / (\text{const1} - \text{const2}) \end{aligned}$$

- 多くのペアを観測して平均をとる

- トワイライトフラット 薄明時に空の明るさがどんどん変わって行くのを観測。
- ドームフラット ドームを閉じて、フラット板に照明をONとOFFの状態で撮影。
- 観測所や装置によって、どちらがよいか、担当者にきくのがよい。
- 検出器の感度ムラや光学系の透過ムラなんていうのは、そう変わったりするものでもないので、何ヶ月かにわたる蓄積のフラットを使わせてもらってもよい。

# スカイフラット

- $\text{raw}(x,y) = \text{flat}(x,y) \times [\text{object}(x,y) + \text{added}(x,y)]$   
において  $\text{added}(x,y) = \text{const}' + \text{added}'(x,y)$  として  
 $\text{object}(x,y) + \text{const}' \gg \text{added}'(x,y)$  とみなせる  
場合、

$$\text{raw}(x,y) \sim \text{flat}'(x,y) \times [\text{object}(x,y) + \text{const}']$$

のように近似して、sky-biasフレームから

$$\text{flat}'(x,y) = \text{skybias}(x,y) / \overline{\text{skybias}(x,y)}$$

としてフラットを求めることがある。これをスカイフラットとよぶ。目標とする測光精度や、観測事情などに応じて判断する。(σ ~ 0.1 mag くらいならOK)

# 標準星観測

- 明るさのわかっている天体～測光標準星を観測することで、アレイでのカウント数と物理量の対応をつけることができる。
- 天体に近い場所の標準星をえらぶ。同じ量の大気吸収/散乱 → 大気減光。
- 雲などが無く、標準星と天体の大気減光が目標の精度以内の場合、その夜を測光夜(photometric night)とよぶ。
- 明るい星の明るさのばらつきが目安となる



- J( $1.2\mu\text{m}$ ), H( $1.6\mu\text{m}$ ), K( $2.2\mu\text{m}$ )のバンドで観測するときは、2MASSカタログとの相対測光が可能な場合もある。

求める測光精度(>0.03mag)

フィルター変換

## データ処理の流れ

- $\text{raw}(x,y) = \text{flat}(x,y) \times [\text{object}(x,y) + \text{added}(x,y)]$

1. フラットの観測データからフラット画像を作成する。

あるいは既存のものをもらってくる

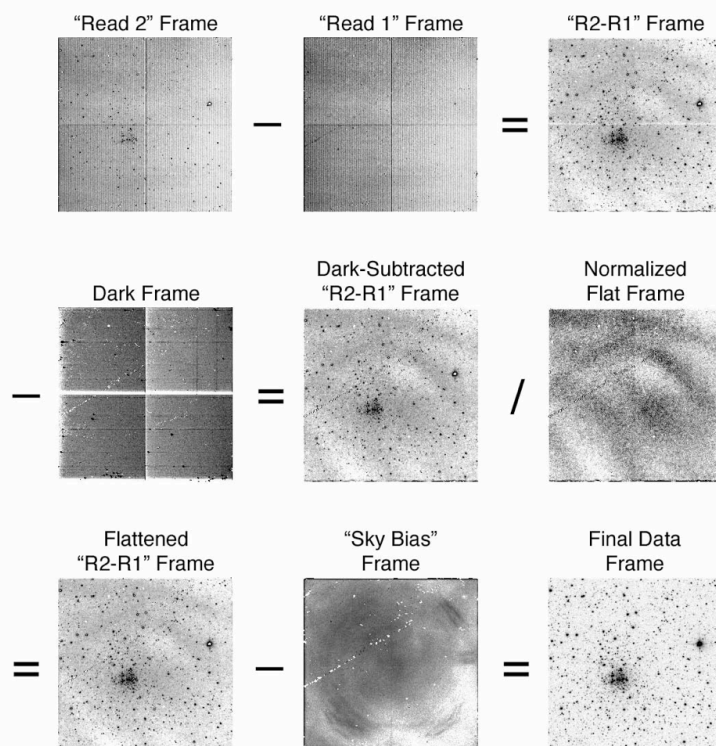
2. darkの観測データ(~10枚)から平均のdarkを作成する。

3. 生データからdarkを引き、フラットで割る。

4. スカイバイアスを作成する。

5. 4の結果からスカイバイアスを引く。

## 2MASS Instrumental Frame Calibration ( $K_s$ Band)



6. 星の位置を手がかりに、フレーム間の位置ずれを計算

7. フレームをシフトして重ねる(平均+clipping)

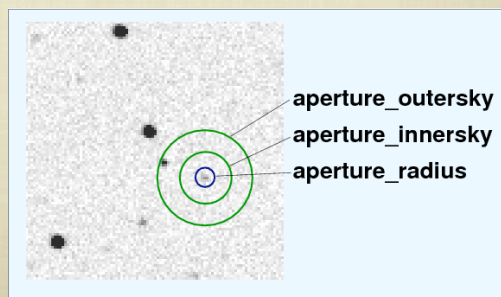
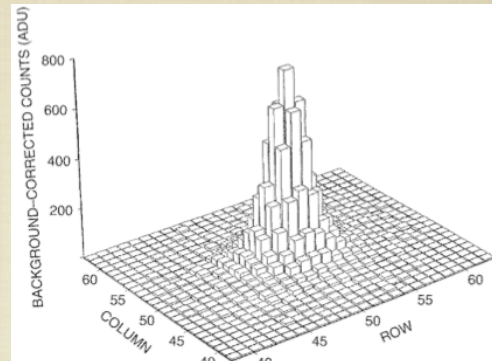


次は測光

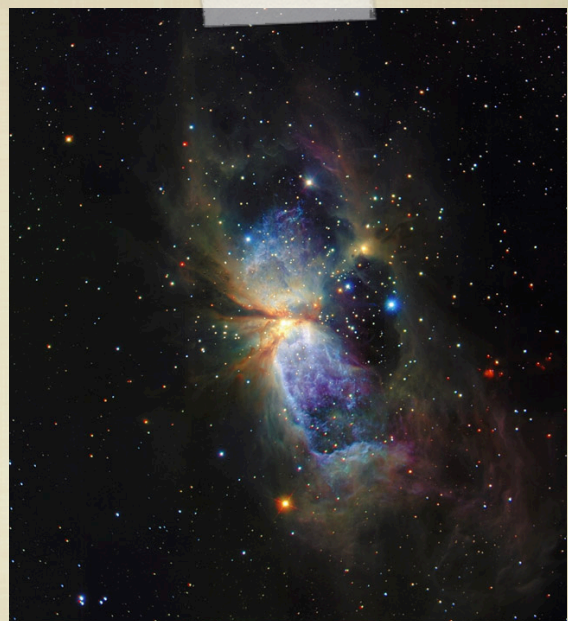


# アパーチャー測光

- 星を含む円内のカウントを総計する。
- 明るさの分かっている星のカウントと比べて、明るさを求める。



- 3つのバンドで観測して、それぞれにRGBの色を対応させて合成すると、擬似カラー画像ができる(プレゼン用)



# 計算機でのデータ処理

- データはFITS形式という形式のファイル
- 一般的にはIRAFという天文データ処理ソフトウェアを使う事が多い。
- UNIX/Linux が必須。
- pythonなどのスクリプト言語ができると便利。

- 他、混み合った場所の測光であるとか、広がった天体の測光、宇宙線の除去の処理など、いろいろあるが、初歩的なのはこのくらい



おしまい