

赤外線撮像観測入門

国立天文台 ハワイ観測所 中島 康

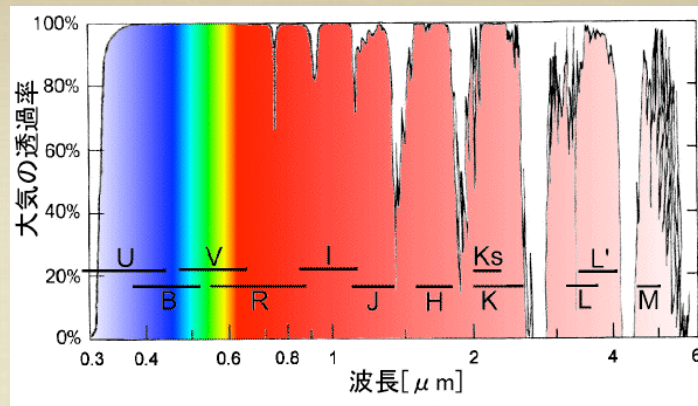
今日のおはなし

- 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 μm の電磁波を**赤外線**という
 - 近赤外線 1- 5 μm
 - 中間赤外線 10 μm 前後
 - 遠赤外線 数十 μm ~
 - 定義は厳密ではない

バンド

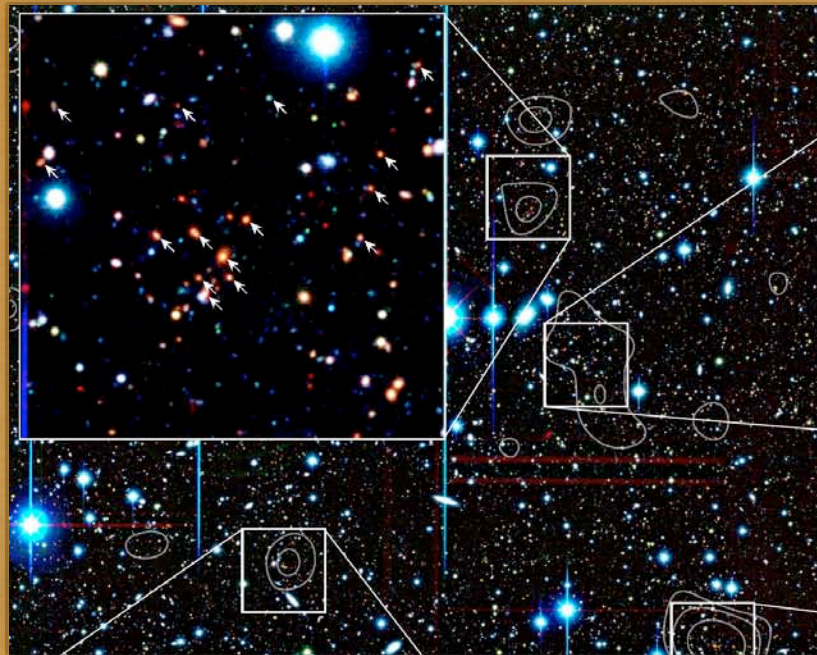


- 近赤外~中間赤外では大気の窓に対応して、**J, H, K, L, M, N, Q** バンドというフィルターがある
- それらフィルターを透過する電磁波のことをJバンドの光などと呼んだり、その光(波長)での明るさをJ等級などによぶ

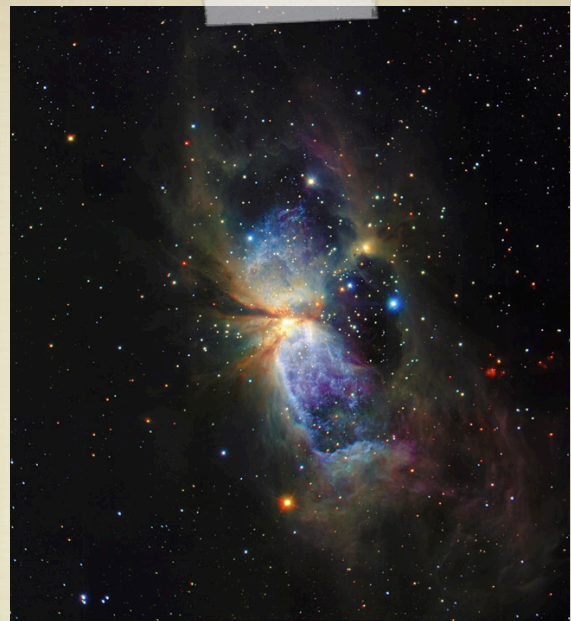
赤外線で見えてくる世界

- 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 $0.5 \mu\text{m} \rightarrow 2 \mu\text{m}$



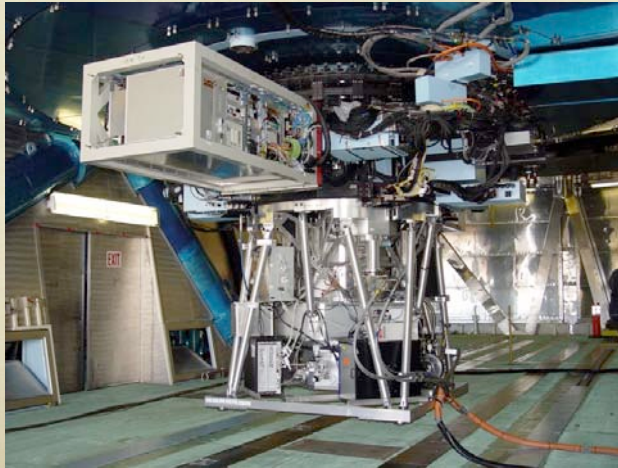


- こういった画像はデジカメ
ではちっと撮るように簡単
に出てくるものではない
- 適切な観測手法とデータ処
理を必要とする



観測とデータ処理(撮像)

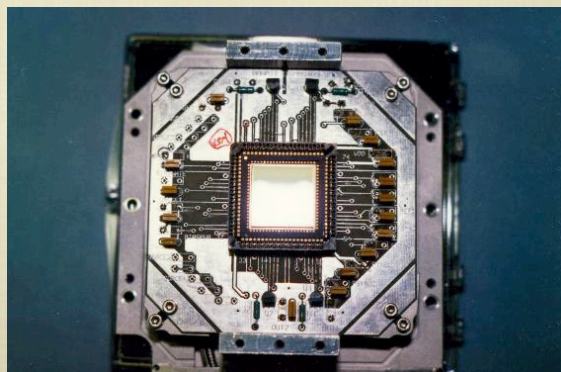
- 望遠鏡の焦点に観測装置を置いてデータを取得する。すばるの場合、赤外線撮像データがとれる装置はMOIRCS, IRCS, COMICS, HICIAO。



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 $+ \alpha \times \beta$

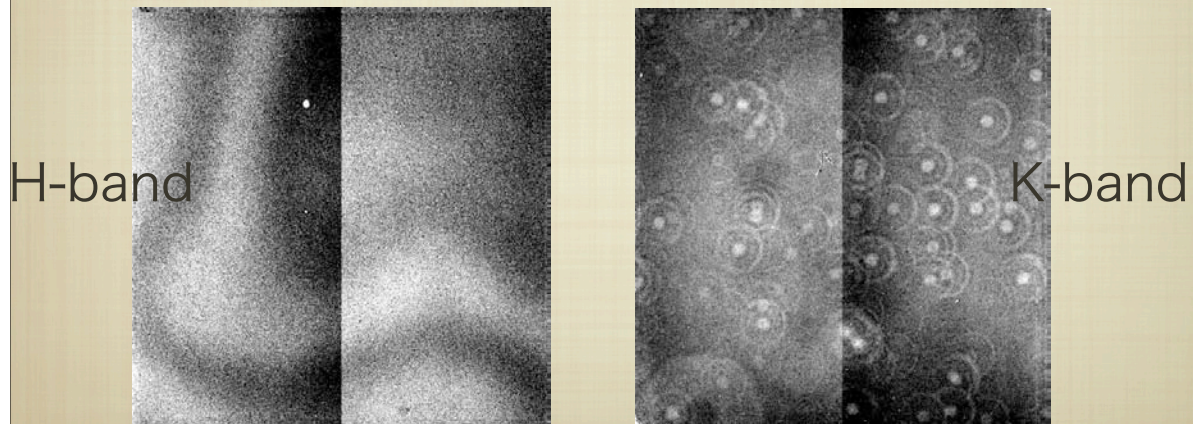
- $\text{raw}(x,y) = \text{flat}(x,y) \times [\text{object}(x,y) + \text{added}(x,y)]$
- $\text{flat}(x,y)$: ピクセル間の感度むら, 光学系の透過むら
 $\text{object}(x,y)=\text{const.}$ の光がやってきたとしても
 $\text{flat}(x,y) \times \text{const.}$ が検出される。
- $\text{added}(x,y) = \text{dark}(x,y) + \text{skybias}(x,y) + \text{badpixel}(x,y)$

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依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

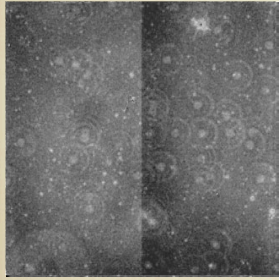
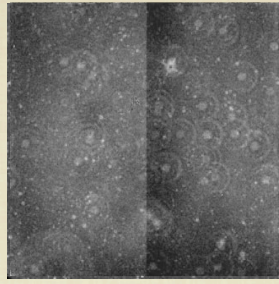
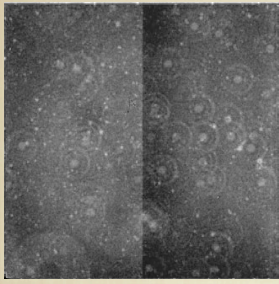
sky-bias

- 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ッジパターン(newton ring)
- HAWAll array 特有のリセットアノマリースロープ



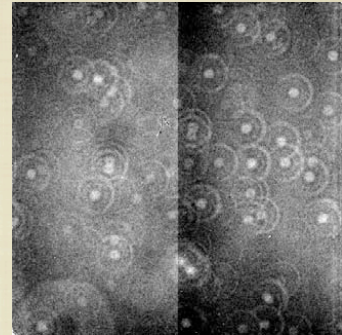
skybias を作る

- 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



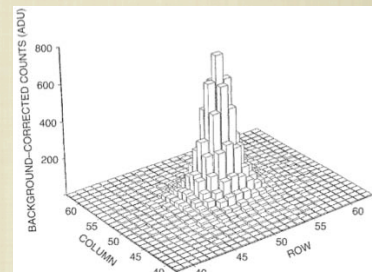
これを生データから引く

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

- 一様な光を異なる強度で観測することで、

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

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

- 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す、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 ~ 0.1mag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。同じ量の大气吸収/散乱 → 大气減光。
- 雲などが無く、標準星と天体の大气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

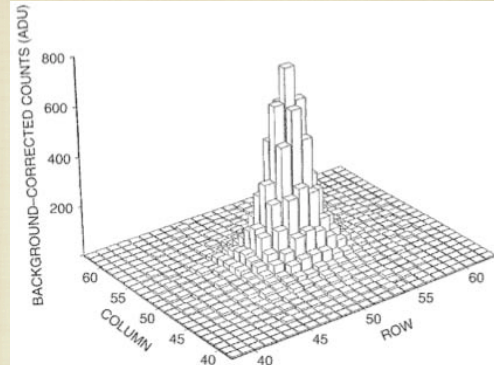
- $\text{raw}(x,y) = \text{flat}(x,y) \times [\text{object}(x,y) + \text{added}(x,y)]$

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。
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)

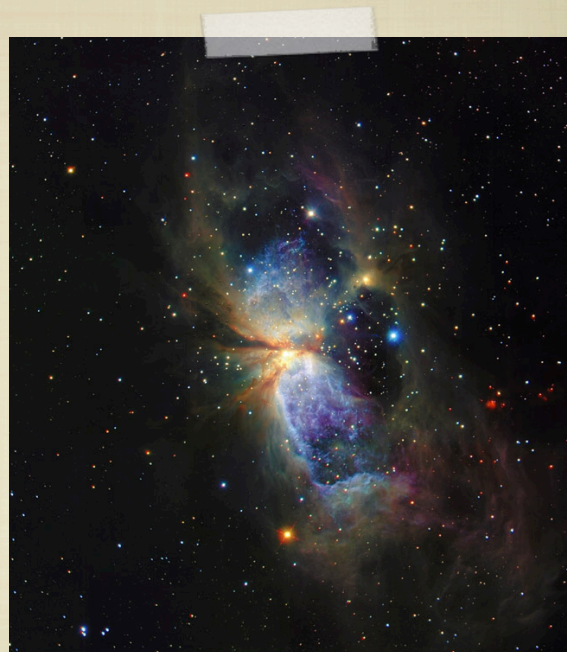
次は測光

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