

# ELECTRONIC IMAGING IN ASTRONOMY

## Detectors and Instrumentation

### 11. Electronic imaging at infrared wavelengths

櫛引洸佑

理学部天文学科 4 年

2017/7/12

## ● 11.6 Infrared Instruments

- 11.6.1 General issues
- 11.6.2 IR cameras
- 11.6.3 Infrared spectrometers
- 11.6.4 AO cameras and integral field spectroscopy

## ● 11.7 The impact of infrared arrays

- 11.7.1 Ground-based observing
- 11.7.2 The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
- 11.7.3 IR astronomy in space

## ● 11.6 Infrared Instruments

- 11.6.1 General issues
- 11.6.2 IR cameras
- 11.6.3 Infrared spectrometers
- 11.6.4 AO cameras and integral field spectroscopy

## ● 11.7 The impact of infrared arrays

- 11.7.1 Ground-based observing
- 11.7.2 The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
- 11.7.3 IR astronomy in space

## 11.6.1 IR 装置作成での難点

- 可視装置の IR 版を作るには難点が多くある。
  - 特に低温にする必要があるため
- 頑丈な IR 光学材料 (ZnS、ZnSe) は可視を通さない。  
⇔ 可視でも IR でも良く通す結晶物質 (CaF<sub>2</sub>、BaF<sub>2</sub>) では壊れやすすぎる。
- 低温での屈折率を知る必要もある。
- 散乱光を除くための黒色バツフルにも注意 ⇒ IR emitter になる。  
*"if it's black it must be cold, if it's white then make it gold."*
  - アルマイトは不適。
  - Special infrared black paint: Parsons black, Aeroglaze, Nextel
  - これらのペイントを使うときにも注意しないと低温サイクルではがれる。

## 11.6.1 IR 装置作成での難点

- 低温にすると膨張係数の違いによって、異なる物質のパーツが異なる分だけ収縮する。  
⇒ レンズホルダーが光学部品とぶつかったり、間隔が変化したりする。  
⇒ 全てあらかじめ計算して、冷えた時に適切な状況になるように。
- レンズを守るホルダー: aluminum barrel にスリットを入れたもの

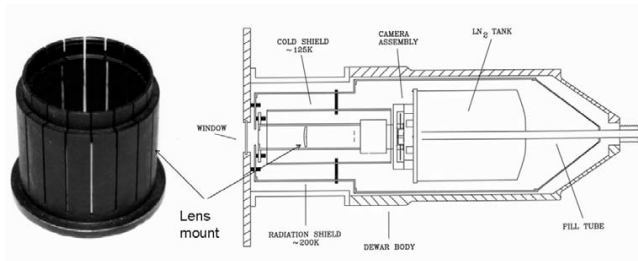


Fig 1: Mclean 教科書より

## 11.6.1 IR 装置作成での難点

- 瞳の像は” cold stop ” を置く理想的な位置にできる。  
⇒ cold stop のサイズと瞳像のサイズを合わせると、望遠鏡内の暖かい部分からの望まない光線を除ける。  
⇒ Lyot stop
- Cold filter は瞳像の近くに置き、平行光部が良い。
- 冷却は液体寒剤か closed-cycle refrigerators で行われる。

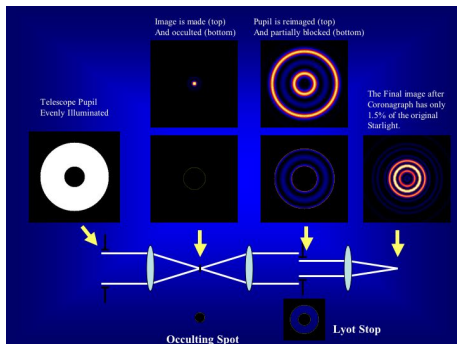


Fig 2: <http://lyot.org/background/coronagraphy.html>

## ● 11.6 Infrared Instruments

- 11.6.1 General issues
- 11.6.2 IR cameras
- 11.6.3 Infrared spectrometers
- 11.6.4 AO cameras and integral field spectroscopy

## ● 11.7 The impact of infrared arrays

- 11.7.1 Ground-based observing
- 11.7.2 The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
- 11.7.3 IR astronomy in space

## 11.6.2. IR camera の例

- Short-wave mer-cad-tel (cutoff at  $2.5 \mu\text{m}$ ) が popular
- $\text{LN}_2$ -cooled cameras ( $256 \times 256$  or  $1,024 \times 1,024$  pixels) は CCD のコントローラで簡単に操作できる。
- CCD のようにより大きいカメラには multiple arrays を用いる。
- University of Hawaii's ULBCam  
(2.2 m (88-inch) telescope on Mauna Kea)
  - Mosaic of four  $2,048 \times 2,048$  HgCdTe (H2-RG) arrays
  - from Teledyne
  - developed by Don Hall
  - JWST near-infrared camera (NIRCam) のために開発されている検出器を使っている。



## 11.6.2. IR camera の例

- HAWK-I
  - for Nasmyth focus of UT4 (ESO の 4 つの 8 mVLTs のうちのひとつ in Chile)
  - 4 つの 2K×2K HgCdTe array(少し古めの H2 タイプ from Teledyne) ( $0.9\ \mu\text{m}$ - $2.5\ \mu\text{m}$ )
  - 高処理能力 (high-throughput) な光学系で  $7.5' \times 7.5'$  の視野
- Wide Field Cameras (WFCAM) for the 3.8 m UKIRT
  - four 2K×2K HgCdTe arrays
  - UKIDSS という深いサーベイで用いられる。
  - 広い視野と大きな望遠鏡でのプレートスケールのために大きくなっている
  - forward Cassegrain position に位置する
  - 全てまとめられた低温 Schmidt camera を用いている
- NEWFIRM (New Extremely Wide-Field IR Mosaic)
  - $5\ \mu\text{m}$  まで感度のある最大のカメラ
  - NOAO 4 m telescope on Kitt Peak
  - four closed-butted 2K×2K InSb arrays from Raytheon

## ● 11.6 Infrared Instruments

- 11.6.1 General issues
- 11.6.2 IR cameras
- 11.6.3 Infrared spectrometers
- 11.6.4 AO cameras and integral field spectroscopy

## ● 11.7 The impact of infrared arrays

- 11.7.1 Ground-based observing
- 11.7.2 The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
- 11.7.3 IR astronomy in space



## 11.6.3. NIRSPEC

- cross-dispersed infrared echelle spectrograph  
(大望遠鏡用の NIR( $1-5\mu\text{m}$ ) で唯一の cross-dispersed)
- Keck Telescope
- $1,024 \times 1,024$  InSb array from Raytheon
- ナスミス焦点位置に固定。  
⇒ 重力方向が一定。 ⇒ 光学系は真空容器内の底に広げられる。  
⇒ 他の5つの面はOリングで密閉。
- 大きな装置なので温度勾配をなくす必要あり。
  - $A/L$  が最大になるように、アルミニウム部分の断面が大きくなるようにする。
  - 冷たい部分からより冷却が必要な部分へと銅ストラップを付ける
- 全体の光路は囲われる必要があり、すべてのものが cold shield で囲われ熱光子を防ぐ。

## 11.6.3. その他の IR Spectrometers

- CRIRES
  - VLT
  - 高いスペクトル分解能
  - スペクトルは 4 つの  $512 \times 1,024$  InSb array (Raytheon) に広がる
- MICHELLE (MIR)
  - 7-26  $\mu\text{m}$  imager and spectrometer
  - Gemini-N 8 m telescope
  - $320 \times 240$  Si:As IBC array (Raytheon)

## ● 11.6 Infrared Instruments

- 11.6.1 General issues
- 11.6.2 IR cameras
- 11.6.3 Infrared spectrometers
- 11.6.4 AO cameras and integral field spectroscopy

## ● 11.7 The impact of infrared arrays

- 11.7.1 Ground-based observing
- 11.7.2 The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
- 11.7.3 IR astronomy in space



## 11.6.4. OSIRIS

- Keck telescope で AO 用に最適化されている。
- UCLA で James Larkin によって開発
- Lenslet 方式
- $2K \times 2K$  HgCdTe (H2) detector
- Keck 10 m telescope の AO システムによって空間分解能は回折限界で  $0.053''$
- 波長分解能は  $R \sim 4,000$





## 11.6.4. Integral field spectroscopy

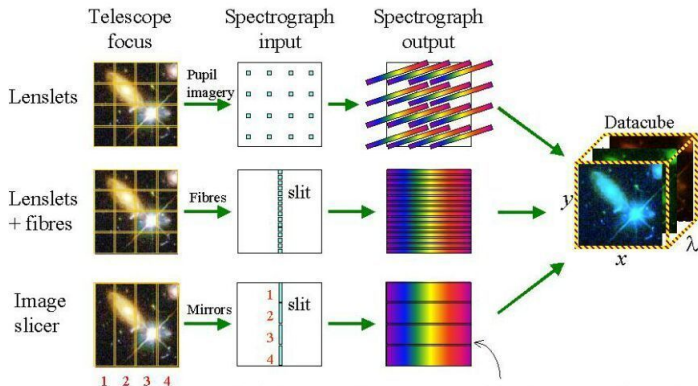


Fig 6: <https://www.dur.ac.uk/cfai/spectroscopy/introductiontointegralfieldspectroscopy/>

- 11.6 Infrared Instruments
  - 11.6.1 General issues
  - 11.6.2 IR cameras
  - 11.6.3 Infrared spectrometers
  - 11.6.4 AO cameras and integral field spectroscopy
  
- 11.7 The impact of infrared arrays
  - 11.7.1 Ground-based observing
  - 11.7.2 The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
  - 11.7.3 IR astronomy in space

## 11.7.1 2MASS

- 近赤外検出器の発展による新たなより深いサーベイ
- 50,000 回で空全体をカバー、2 arcsec の空間分解能
- Mike Strutskie and many other group
- 二つの 1.3 m 望遠鏡
  - 北半球: Mt. Hopkins in Arizona (1997 年 6 月～)
  - 南半球: Cerro Tololo in Chile (1998 年 3 月～)
- 3 つの  $256 \times 256$  HgCdTe infrared array
  - それぞれが J( $1.25 \mu\text{m}$ ), H( $1.65 \mu\text{m}$ ), K( $2.17 \mu\text{m}$ ) バンドに対応
- time delay integration: sky-scanning の間、副鏡を傾けて像を固定する
  - 積分時間は 7.8 s
  - 一晩に 70 平方度をマッピング
  - 限界等級は  $S/N = 10$  で  $J = 15.8$   $H = 15.1$   $K_s = 14.3$

## 11.7.1 2MASS / DENIS

- 2MASS All-Sky Catalog

- digital atlas: 4 million  $8 \times 16$  arcmin atlas image (分解能 4 arcsec)
- point source catalog:  $\sim 300$  million stars の正確な位置とフラックス
- extended source catalog: 1,000,000 以上の galaxies と nebulae

- DENIS

- 南半球の近赤外サーベイ
- 二つの赤外バンド (J:  $1.25 \mu\text{m}$  と K:  $2.16 \mu\text{m}$ ) と一つの可視バンド (I:  $0.82 \mu\text{m}$ )
- Chile, La Silla にある ESO の 1 m 望遠鏡
- 1996~2001
- 限界等級  $\text{Gunn} - i = 18.5$ ,  $J = 16.5$ ,  $K_s = 14.0$

## 11.7.1 UDKIDSS

### ● UKIRT Infrared Deep Sky Survey

- 北天の 7,500 平方度、幅広い銀緯で、JHK を  $K = 18.3$  まで。
- 五つのサーベイ。
  - Large Area Survey (LAS): 4000 sq. degs,  $K=18.4$ , extraGalactic (オレンジ)
  - Galactic Plane Survey (GPS): 1800 sq. degs,  $K=19.0$ , Galactic (紫)
  - Galactic Clusters Survey (GCS): 1400 sq. degs,  $K=18.7$ , Galactic (緑)
  - Deep Extragalactic Survey (DXS): 35 sq. degs,  $K=21.0$ , extraGalactic (青)
  - Ultra Deep Survey (UDS): 0.77 sq. degs,  $K=23.0$ , extraGalactic (赤)
- WFCAM を用いて行う。

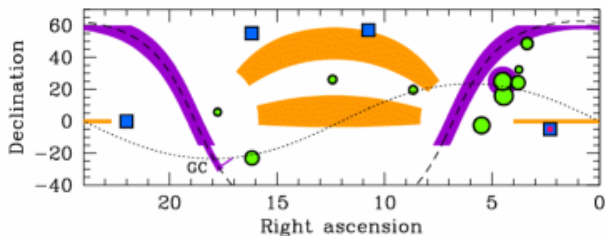


Fig 7: <http://www.ukidss.org/surveys/surveys.html>

# 1 11.7.1 VISTA

- 南半球の新たなサーベイ
- 平均サイズ 0.34 arcsec の 67 million pixel を持った近赤外カメラ
- 広帯域フィルター Z, Y, J, H, K<sub>s</sub>、狭帯域フィルター 1.18  $\mu\text{m}$
- 16 の HgCdTe VIRGO detector を組み合わせたカメラ (McLean, Figure 11.18)
- 主鏡で  $f/1$ 、カセグレンで  $f/3.25$

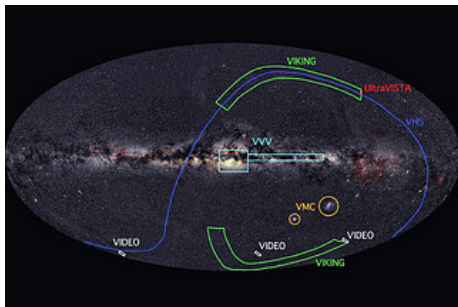


Fig 8: <http://www.eso.org/public/teles-instr/paranal-observatory/surveytelescopes/vista/surveys/>

- 11.6 Infrared Instruments
  - 11.6.1 General issues
  - 11.6.2 IR cameras
  - 11.6.3 Infrared spectrometers
  - 11.6.4 AO cameras and integral field spectroscopy
- 11.7 The impact of infrared arrays
  - 11.7.1 Ground-based observing
  - 11.7.2 The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
  - 11.7.3 IR astronomy in space



## 11.7.2 SOFIA

- Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy (SOFIA)
- 望遠鏡
  - 2.7 m の放物線型主鏡
  - 双曲線型 (chopping) 副鏡
- 可視
  - FPI(Focal Plane Imager): optical guiding camera
  - WFI(Wide Field Imager) や FFI(Fine Field Imager) も使用可能
- 赤外装置については教科書参照

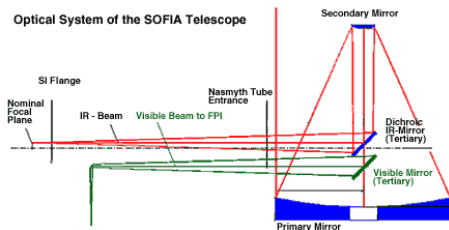


Fig 9:

<https://www.sofia.usra.edu/science/sofia-overview/sofia-telescope>

- 11.6 Infrared Instruments
  - 11.6.1 General issues
  - 11.6.2 IR cameras
  - 11.6.3 Infrared spectrometers
  - 11.6.4 AO cameras and integral field spectroscopy
  
- 11.7 The impact of infrared arrays
  - 11.7.1 Ground-based observing
  - 11.7.2 The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
  - 11.7.3 IR astronomy in space

## 11.7.3 NICMOS

- Near-Infrared Camera and Multi-Object Spectrograph
- Hubble Space Telescope
- 3つの隣り合ったカメラを持っている。それぞれが別々に同時に操作できる。
- 特別に作られた低ノイズ、高 QE の  
256×256-pixel HgCdTe ( $2.5\ \mu\text{m}$ ) array (Teledyne)
- もともと寒剤として固体窒素を使う。デュワーの寿命  $4.5 \pm 0.5$  の設計  
⇒ thermal short により camera3 の焦点が他の二つとずれ、寿命が短くなる  
⇒ 1999年1月から2002年3月まで使えなかった。  
⇒ NICMOS Cooling System (NCS) で解決
- HST の主鏡は形を保つために  $\sim 20^\circ\text{C}$   
⇒ これが赤外線での HST 利用の制約になる

## 11.7.3 Spitzer Space Telescope

- NASA
- 2003 年 8 月 25 日に打ち上げ
- beryllium mirror
  - 0.85 m
  - $f/12$
  - 5.5 K
- 3-180  $\mu\text{m}$  の撮像測光、5-40  $\mu\text{m}$  の分光、50-100  $\mu\text{m}$  の撮像測光
- 装置まとめ
  - IRAC: 3.6, 4.5, 5.8, 8  $\mu\text{m}$  の画像を同時に与える 4 チャンネルカメラ
  - IRS: 短波長の低高分散、長波長の低高分散を得る合計 4 つのモジュール
  - MIPS: 24, 70,  $\mu\text{m}$  (5 arcmin),  $\sim 200 \mu\text{m}$  (0.5 $\times$ 5 arcmin)

## 11.7.3 AKARI

- JAXA
- 2006 年 5 月
- IRAS 以来の赤外線サーベイ衛星
- 6 K に冷やした 68.5 cm 望遠鏡
- 波長は 1.7-180  $\mu\text{m}$
- 装置
  - FIS (Far-Infrared Surveyor): 50-80, 60-110, 110-180, 140-180  $\mu\text{m}$  の 4 つのバンド
  - IRC (InfraRed Camera): NIR(1.7-5.5  $\mu\text{m}$ )、MIR-S(5.8-14.1  $\mu\text{m}$ )、MIR-L(12.4-26.5  $\mu\text{m}$ )
- 2007 年 8 月 26 日に積んであった液体ヘリウムを使い切った。

## 11.7.3 WISE

- NASA's Wide-field Infrared Survey Explorer
- 4つのバンド: 3.4, 4.6, 12, 22  $\mu\text{m}$
- 40 cm のベリリウム望遠鏡とスキャンの間の視線を固定するスキャンミラー
- 8つ以上の位置からそれぞれ 11 秒ずつ積分  $\Rightarrow$  全天の 99% 以上を撮る。
- FOV=47 arcmin でピクセルスケールは 2.75" /pixel
- HgCdTe と Si:As array、1,024 $\times$ 1,024 pixels
  
- WISE は 2009 年 12 月～2011 年 2 月
- NEOWISE として 2013 年 9 月から再開