

McLean 輪読第 8 回 p.385-394

学籍番号 05-162003 理学部天文学科 4 年 小川貴士

2017 年 6 月 28 日

11.1 Introduction

赤外線

- 宇宙の膨張により遠方銀河の可視光は赤外領域になる
- 星形成領域の観測が可能
- 銀河系の中心の観測が可能
- 冷たい星間物質は赤外線で光る
- 量子力学的な回転/振動は赤外領域で観測できる

可視/赤外の境界線は？

- 人間の目の長波長側の限界 720[nm](0.72[μm])
- シリコンのバンドギャップ 1.1[μm]
- 背景光の性質が変わる 2.2 – 2.4[μm]
- 短波長側:大気の OH からの放射
- 長波長側: 夜空や装置からの熱的放射

分類

- near-infrared(NIR):0.9 – 5.5[μm]
- short-wave infrared(SWIR):0.9 – 2.5[μm]
- thermal near-infrared:2.5 – 5.5[μm]

large-format IR array の登場により

- NIR:可視光 \rightarrow 0.5 μm
- Mid-infrared(MIR): \sim 0.5 μm \rightarrow \sim 30 μm
- far-infrared(FIR): \sim 30 μm \rightarrow \sim 200 μm *¹
- < 200 μm \rightarrow サブミリ波 *²

*¹ 長波長では地上での観測は難しくなり、成層圏からの観測が考えられる

*² 電波天文学と近くなってくる

11.1.1 Early history of infrared astronomy

- 1800年、Sir William Herschel が、太陽光の可視光の長波長側の外側で温度が上がっている*3ことを発表した (calorific rays)
- Sir William は銀河系内に密集した星が消えたように見える領域があることを発見した (holes in the sky)*4

11.1.2 The beginning of modern infrared astronomy

PbS

- 第二次世界大戦の際に軍事的需要から結果的に赤外線天文学が進歩
- 室温でバンドギャップ 0.41[eV]
- 4.2[K] でバンドギャップ 0.286[eV]

TMSS

- two-micron sky survey(TMSS)
- 解像度 4 分秒角
- 可視光では暗いが赤外では明るい天体の発見

Ge:Ga

- PbS が感応しない長波長ではどうするか？
- 液体ヘリウムで冷却した、gallium-doped germanium bolometer(Ge:Ga)(1961, Frank Low)
- 波長に依存しない応答 → より長い波長帯での研究
- Frank は他にも、NASA Learjet(航空機) に載せる装置の開発/BN objects(赤外線では観測できない天体)*5の発見などの業績がある

1960-70 年代の発展

- PbS は InSb(indium antimonide) に取って代わられる (Don Hall が主導)
- Mount Lemon Infrared Observatory(Catalina Mountains)
- 1.5m infrared flu collector on Tenerife(Canary Islands)
- Hyland 氏による南半球の空の探査
- Allen Anglo-Australian Telescope
- Kuper Airborne Observatory(KAO) ... などの

*3 そして太陽のスペクトルのどの箇所よりも温度が上がっていた

*4 ダストによる吸収

*5 中質量の原始惑星と考えられている

その後

- U.K. 3.8m Infrared Telescope(UKIRT)
- NASA 3m Infrared Telescope Facility(IRTF)
- 5m Hale telescope

11.1.3 The launch of IRAS

- Anglo-American-Dutch Infrared Astronomical Satellite(IRAS)(1983 年)
- $12\mu\text{m}$, $25\mu\text{m}$, $60\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$ での観測
- 2450,00 の天体カタログ (それまでに知られていた 100 倍以上)
- Vega のまわりのダストシェル、スターバースト銀河などの新しい発見
- ヨーロッパが 1995 年に ISO(Infrared Space Observatory) を打ち上げる
- アメリカが 2003 年に SIRTf(Space Infrared Telescope Facility) を打ち上げる
- この間にハッブル宇宙望遠鏡に NICMOS が積み込まれる

11.1 Infrared Wavebands

11.2.1 Atmospheric windows

- 水と二酸化炭素が宇宙からの赤外放射をブロックする
- 特定の波長帯では吸収が起こらない (大気の窓と呼ぶ)→ 図 1
- poor window at $30 - 35\mu\text{m}$
- K_{short} $2.0 - 3.3\mu\text{m}$, K' $1.95 - 2.30\mu\text{m}$, L' $3.5 - 4.1\mu\text{m}$ などの特定の場所のためのバンド

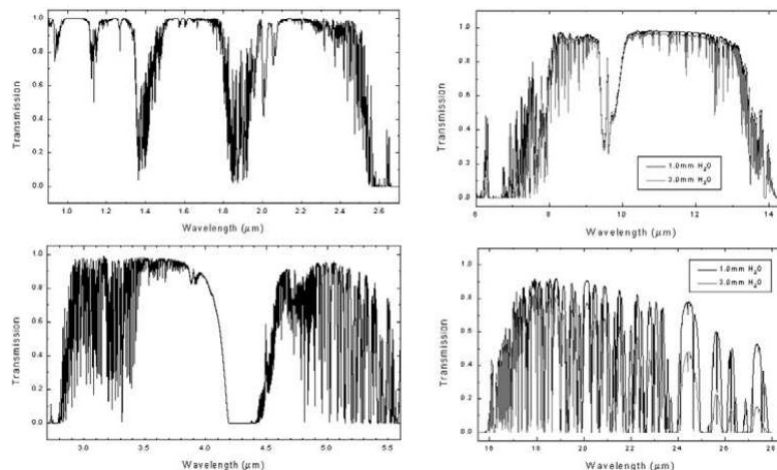


図 1 atmosphere window

Table 11.1. Infrared windows in the Earth's atmosphere.

Center wavelength (μm)	Designation of the bandwidth	Width (FWHM) (μm)
1.25	J	0.3
1.65	H	0.35
2.2	K	0.4
3.5	L	1.0
4.8	M	0.6
10.6	N	5.0
21	Q	11.0

図2 atmosphere window

11.2.2 The high-background problem

- 背景光の主要因:OH の輝線, 望遠鏡による熱放射
- 熱放射を決める要因: 絶対温度 T (黒体放射の式 $B_\lambda(T)$ から B が求まる), 放射率 (emissivity) ε (反射率を R とすると、 $\varepsilon = 1 - R$ から求まる) *6
- 夜空: $0.43\mu\text{m}$ で $m \approx 24$, $2.2\mu\text{m}$ で $m \approx 13.5$, $10\mu\text{m}$ で $m \approx 0.0$
- 望遠鏡を増やせば、望遠鏡からの熱放射は抑えられる
- マウナケア山頂では気温は 1°C 、南極では -13.6°C から -82.8°C 、成層圏では平均 -50°C で水蒸気も非常に少ない

Chopping

- 副鏡を振動させる
- 3m-4m 級望遠鏡 (ex. IRTF, UKIRT) は直径 0.24-0.31m の副鏡, 小さい f/ratio ($\sim f/35$)
- 8m-10m ではそれより大きい (ex. Gemini 天文台の 1.0m)
- 経緯台式望遠鏡では chopping の方向は変化できるようにしなければならない
- 典型的な chopping の振動数は $10 - 20[\text{Hz}]$
- 星を含む領域からすぐそばの星を含まない領域を差し引く
- nodding を行って勾配を除去する ($\sim 0.05[\text{Hz}]$)

*6 キルヒホッフの法則から、放射率 ε と吸収率 α は等しい

$$\varepsilon = \alpha \quad (1)$$

また、エネルギー保存よりある波長で

$$R + \varepsilon + \tau = 0 \quad (2)$$

ただし τ は透過率。黒体では $\tau = 0$ より

$$R = 1 - \varepsilon \quad (3)$$

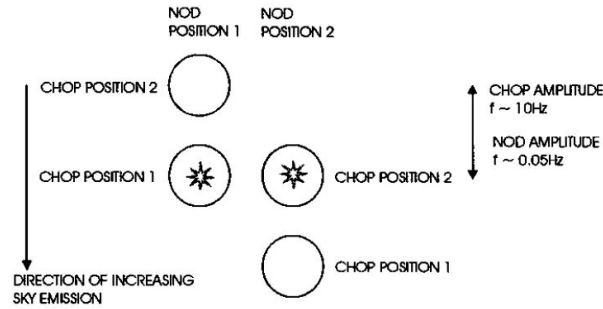


図3 chopping/nodding

$$C_1(x) = S + B_{tel,1} - B_{tel,2} + \left(\frac{d}{dx} B_{sky}\right) \Delta x \quad (4)$$

$$C_2(x) = S - B_{tel,1} + B_{tel,2} - \left(\frac{d}{dx} B_{sky}\right) \Delta x \quad (5)$$

$$\therefore S = \frac{1}{2} (C_1(x) + C_2(x)) \quad (6)$$

- S : source flux
- B : 望遠鏡とスカイのバックグラウンド (1,2 は Δx だけ離れている)

chopping は $3.5\mu\text{m}$ より長波長で必要、nodding は短波長でも正確に背景を差し引くには必要

- 副鏡を使うもう一つの理由は、プレートのスケールを引き延ばすことで小さい F 値 (slow f/ratio) は特定の検出器のピクセルに入る背景光を減らすことができるから
- chopping をするために副鏡のサイズが小さくなり、主鏡からの光でいっぱいになる → 副鏡が系の瞳の位置を決めることになる
- 副鏡は一般に black baffle で包まない：副鏡によって装置内部に生じる像がスカイによって囲まれているようにするため (背景光が温かい black baffle で囲んだときより小さくなる)
- 副鏡はしばしば金で覆われる：IR ではアルミニウムより反射率が高い
- 副鏡の中心部に反射鏡か穴をつける：主鏡の中心の Cassegrain hole の影響を除去できる
- この方法でつくられた望遠鏡を infrared-optimized と呼ぶ

11.3 Infrared array detectors

11.3.1 The infrared "array" revolution, deja vu(前半)

McLean 先生が Spitzer の IRAC を開発するまでの苦労話がかかれています。

- 1974-1984 年にいくつかの会社が infrared array device を開発したが、どれもサイズが非常に小さかった (32×32 かそれ以下)
- 早期では Craig McCreight らによる 32×32 配列の InSb 検出器 (1983) が最も優れていた

*7

*7 以下櫛引くんの担当分が続きます。