

McLean ぜ 三

大澤担当分

# 11.1 INTRODUCTION

- ☑ 赤外線観測は天体物理学において極めて重要
  - 宇宙膨張により、遠方の天体の可視光が赤外線領域に入ってくる。
  - 赤外線は可視光よりも減光せず、ガスやダストのクラウドに覆われている星形成領域を研究できる。
  - ☑ 銀河系の中心を観測できる。
  - cold interstellar material は遠赤外線を放射するので赤外線観測によりダストを研究できる。
  - 分子のエネルギー遷移ではエネルギーの低い赤外線の光子を放出するので、赤外線分光はISMやcoolest starsの化学を研究するのに強力なツールになっている。

☑ 可視光と赤外線の境界は？

- ☐  $2.2\mu\text{m}-2.4\mu\text{m}$  : この波長を境に背景光の原因が変化
- ☐  $< 2.2\mu\text{m}$  : 背景光は大気上層のOH輝線が支配的
- ☐  $> 2.2\mu\text{m}$  : 背景光は大気や望遠鏡の熱的放射が支配的

☑ 赤外線の分類

- ☐ 近赤外線(NIR) :  $0.9\mu\text{m}-5.5\mu\text{m}$  。さらに細分化されて
  - $0.9\mu\text{m}-2.5\mu\text{m}$  : short-wave infrared (SWIR)
  - $2.5\mu\text{m}-5.5\mu\text{m}$  : thermal near-infrared
- ☐ 中間赤外線(MIR) :  $\sim 5\mu\text{m}-30\mu\text{m}$  。
- ☐ 遠赤外線(FIR) :  $\sim 30\mu\text{m} - \sim 200\mu\text{m}$  。

## 11.1.1 Early history of infrared astronomy

### ☑ Sir William Herschel (1738-1822)

#### ☐ “Calorific rays” の発見

太陽光をプリズムに透過させて、可視光のスペクトルの赤色光を越えた位置に温度計を置くと、温度計が上昇した。この見えない放射を”calorific rays”と命名

#### ☐ “holes in the sky” の発見

銀河系の星が高密に分布しているところに不規則な形をしたdark regionを発見。 ”holes in the sky”と命名

☑ E.E. Barnard (1857-1923)

- ☐ ハーシェルによる”holes in the sky”の発見のおよそ一世紀後にカタログ化して、”holes in the sky”はガスとダストの高密なクラウドであると認識。

☑ Robert J. Trumpler (1886-1956)

- ☐ interstellar medium は星間塵に満たされており、青色光を赤色光よりも弱めて赤化することで遠方の天体の観測に影響していると提唱。

→ 赤外線での研究がゆっくりを幕を開ける

## 11.1.2 The beginning of modern infrared astronomy

軍需により赤外線検出器が発達 → PbS

- ☑ TMSS “two-micron sky survey”
  - 2分角の画像を作成して、30,000平方度(全天の73%)をカバー
  - 可視光では極めて暗い”1st-magnitude” infrared sources を発見(可視光では30等の減光で見えない)。
  - オリオン大星雲の中心に赤外線では非常に明るい、可視光では見えない天体(BN天体)を発見。

液体ヘリウムで冷却したGe:Gaの登場 → PbSよりも長波長

- ☑ 気球とロケットによる赤外線観測
  - オリオン大星雲のBN星のまわりに赤外線で輝くクラウド (Kleinmann-Low Nebula) を発見。
  - これは後に、他の波長の総計よりも大きな赤外線放射をしている遠方の銀河たちと判明。

軍需により再び発達 → InSb

- ☑ Kuiper Airborne Observatory (KAO)  
輸送機C-141Aを改造して口径91.5cmの望遠鏡を搭載
  - 天王星のまわりにあるリングを検出 etc...

## 11.1.3 The launch of IRAS

- ☑ IRAS : The Anglo-American-Dutch Infrared Astronomical Satellite
  - ☐ 1983年1月25日打ち上げ、10ヶ月運用。
  - ☐ 12 $\mu$ m, 25 $\mu$ m, 60 $\mu$ m, 100 $\mu$ mの波長で全天mapping
  - ☐ 245,000個を超える点源をカタログ化し、“標準星”の  $\alpha$  Lyrae (Vega)のまわりのdust shellや75,000個ものスターバースト銀河を発見。

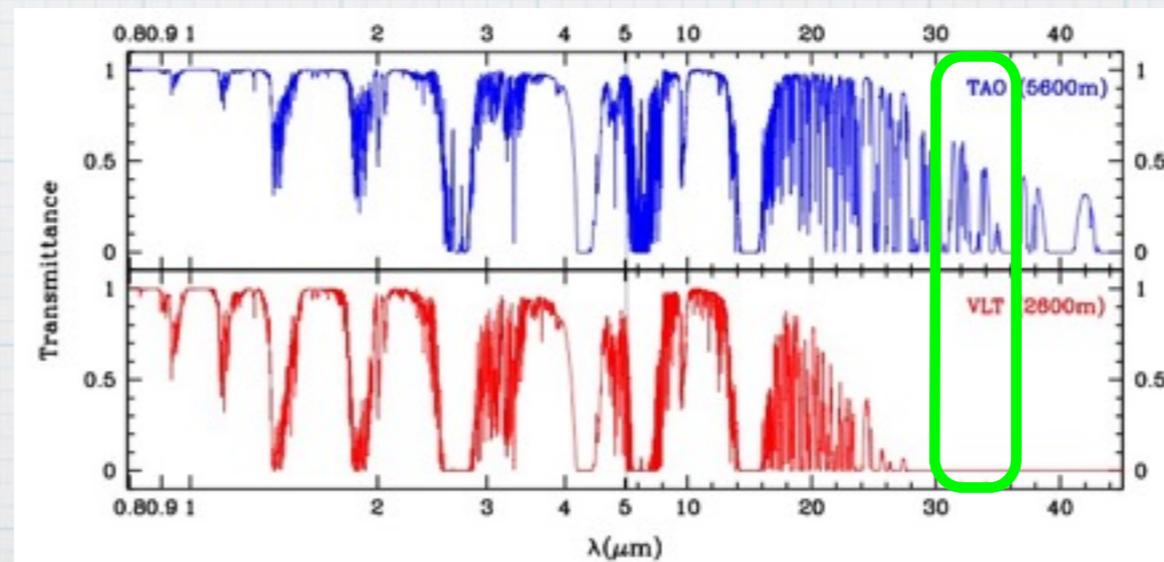
IRASの成功により、ESAとNASAでfollow-up missionが行われた。

- ☑ ESA → ISO (Infrared Space Observatory)
- ☑ NASA → the Spitzer Space telescope

# 11.2 INFRARED WAVEBANDS

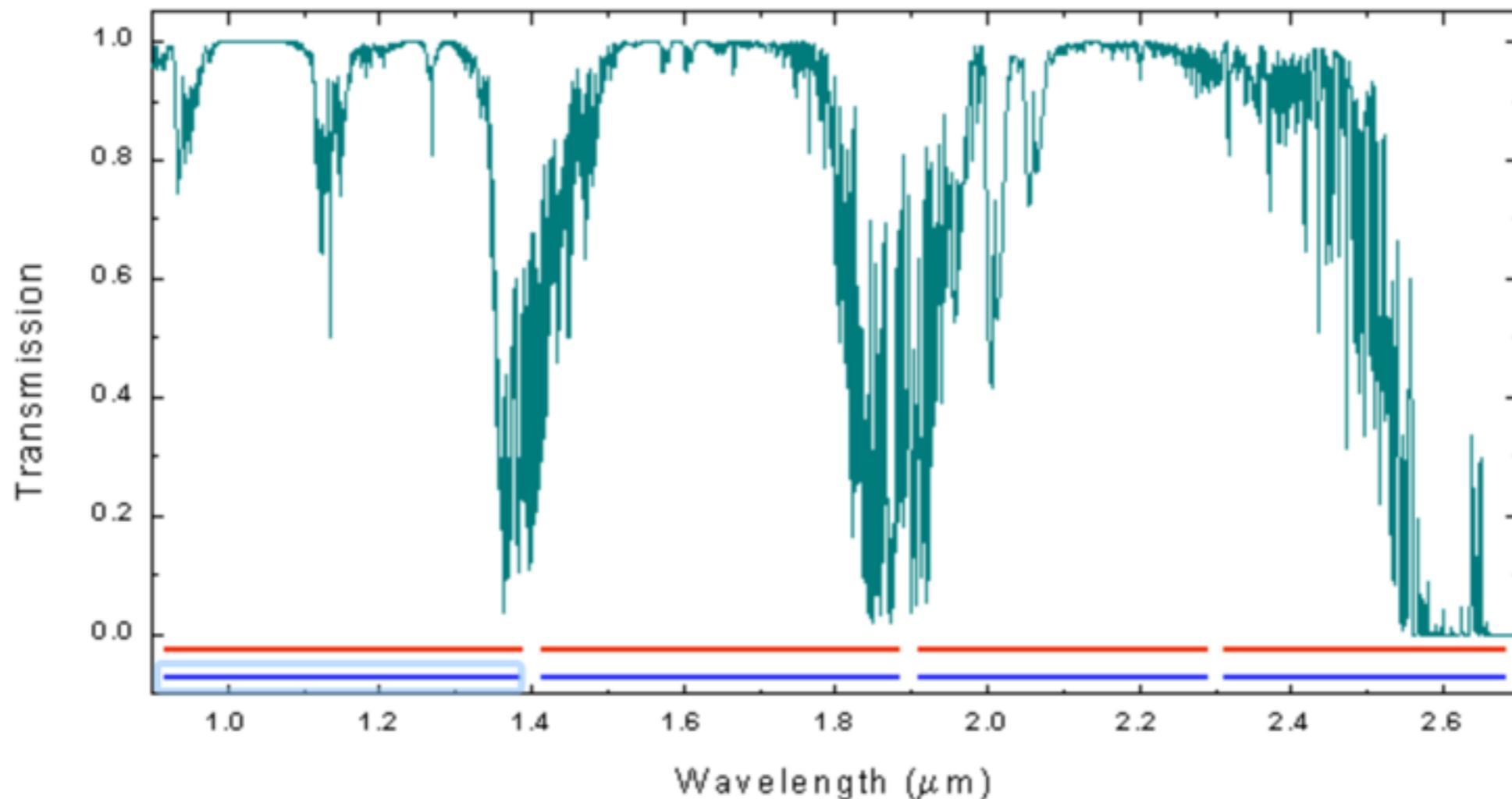
## 11.2.1 Atmospheric windows

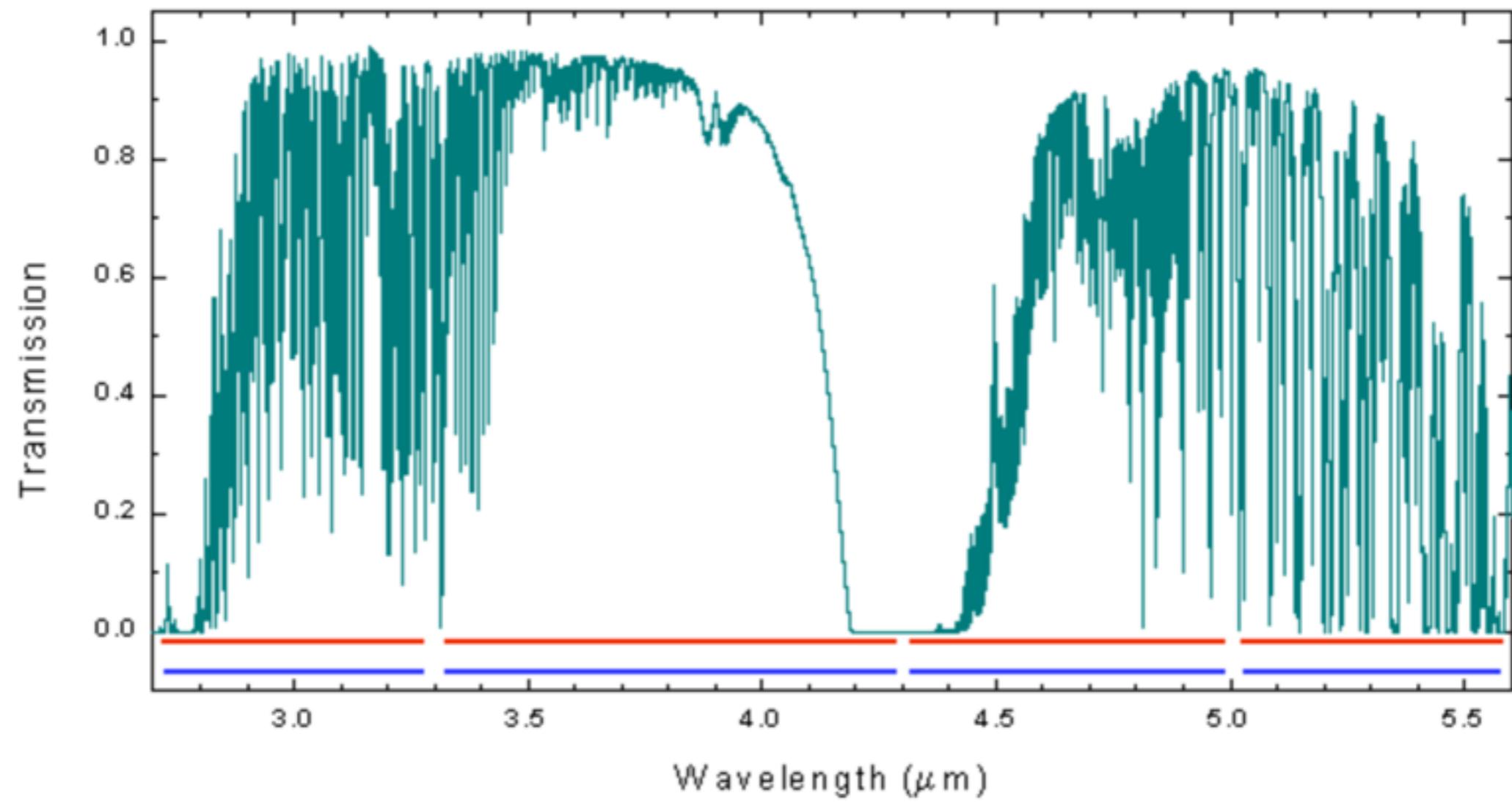
- ☑ 大気の窓：地球の大気を透過してくるスペクトル
  - 水蒸気(H<sub>2</sub>O)やCO<sub>2</sub>によって宇宙からの赤外線放射の多くは遮断されてしまう。
  - この大気の窓によって測光バンドが決められる。
  - 30μm-35μmには relatively poor window (Xと表す) があって、高度が高い場所や南極大陸などでは観測できる。

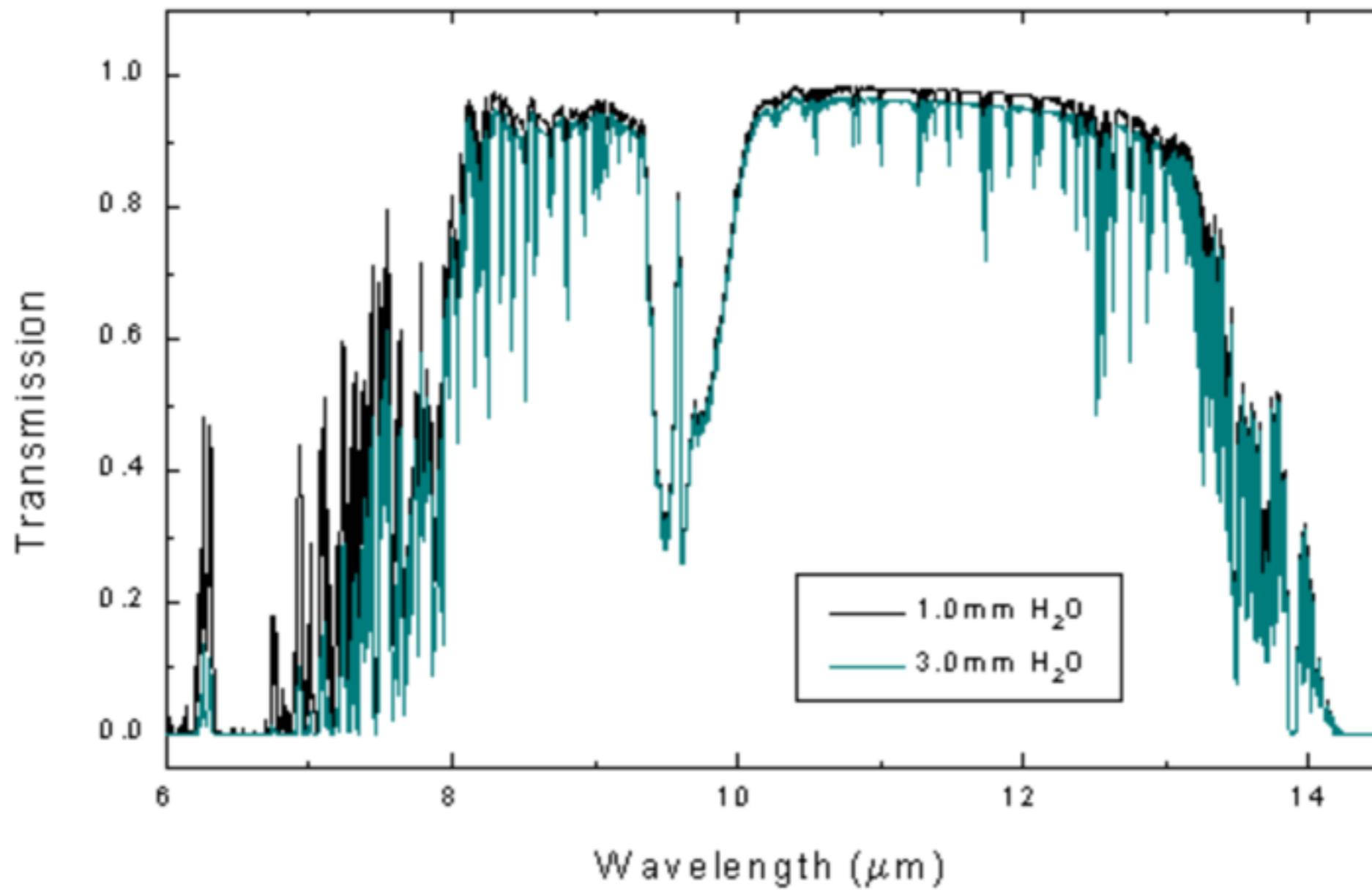


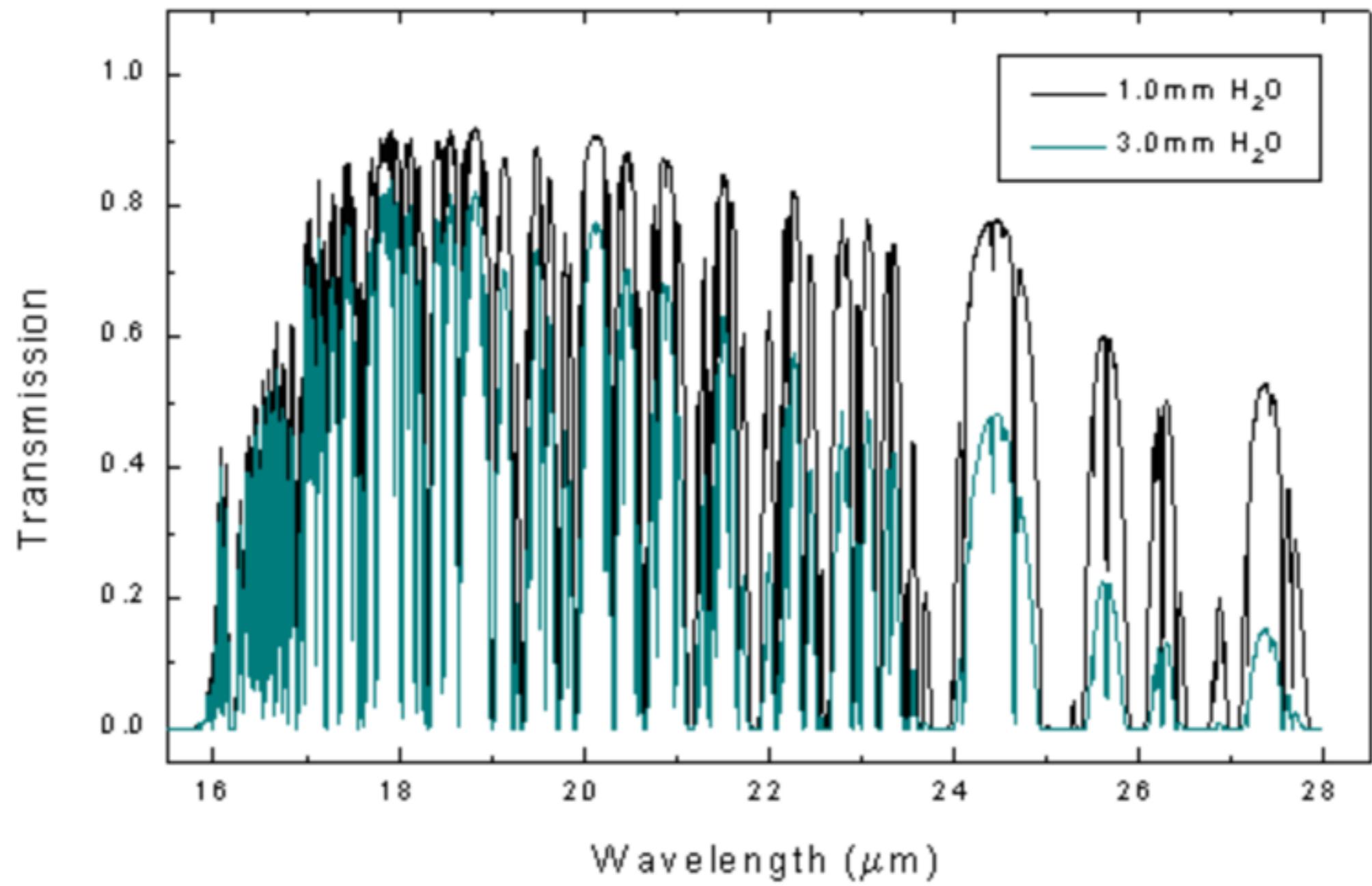
- ATRAN codeを使って得られたマウナケア上空のNIRとFIRの透過率を示す。以下4枚の画像は Gemini Observatory web siteから。

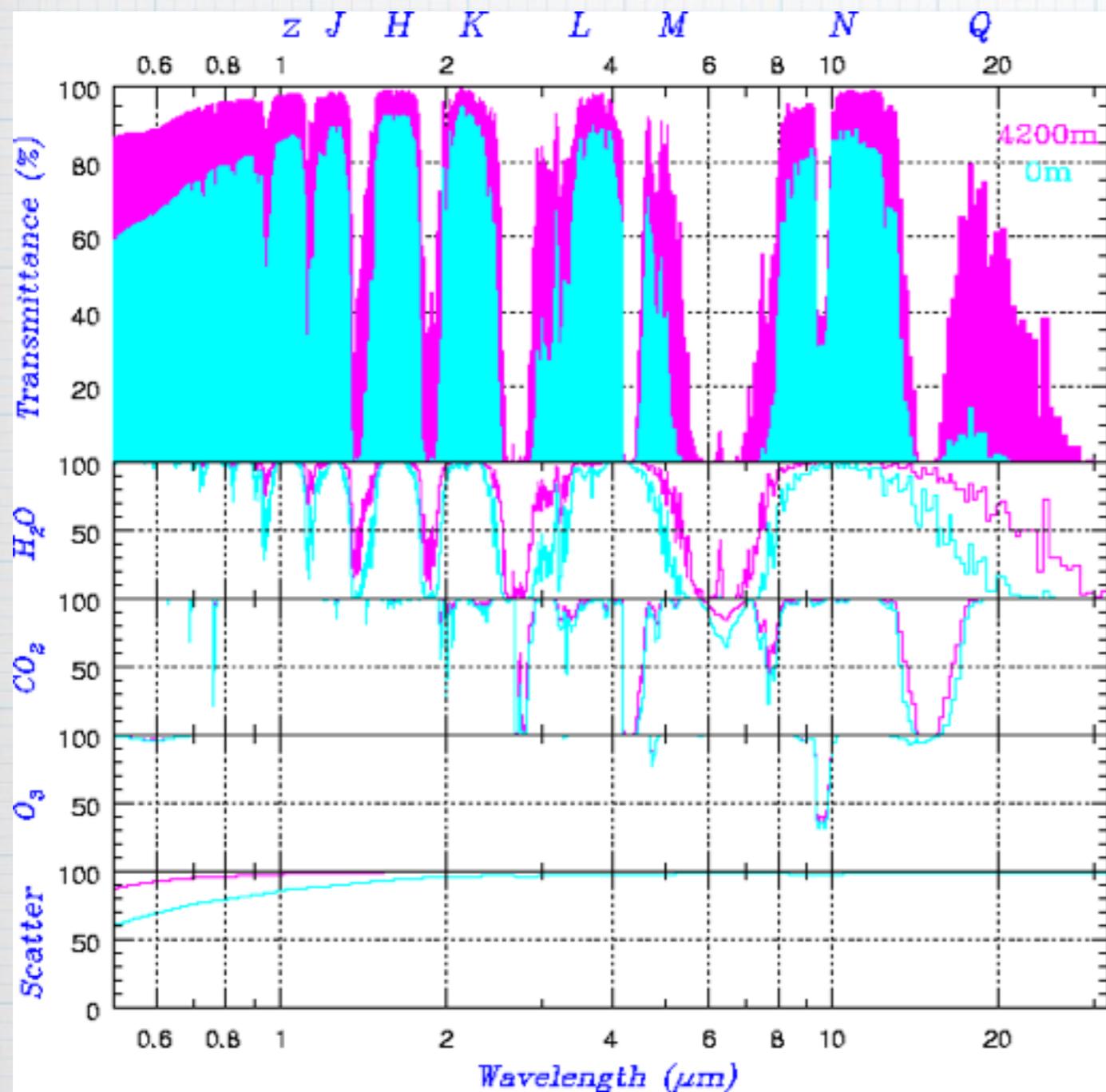
water vapour column : 1.6mm  
airmass : 1.0











左の図は京大の岩室先生の講義資料から。

バンド名：中心波長 [μm]：FWHM [μm]

J	1.25	0.3
H	1.65	0.35
K	2.2	0.4
L	3.5	1.0
M	4.8	0.6
N	10.6	5.0
Q	21	11.0

## 11.2.2 The high-background problem

いらない背景光の主なソースとして、以下の二つがある。

- ☑ OH輝線
- ☑ 望遠鏡からの黒体輻射

熱放射は二つの量から予測できる。

- ☑  $T$  [K] : 黒体輻射のスペクトルを決定する
- ☑  $\epsilon(\lambda)$  : 黒体輻射の何割がビームに加わるか決定する。

emissivity( $\epsilon$ )はキルヒホッフ則で見積もることができる：

$$\epsilon = 1 - R \quad (R \text{は反射率})$$

夜空は赤外線で明るい：

$$m \sim 24 (@\lambda = 0.43 \mu\text{m}), \quad m \sim 13.5 (@2.2 \mu\text{m}), \quad m < 0.0 (@10 \mu\text{m})$$

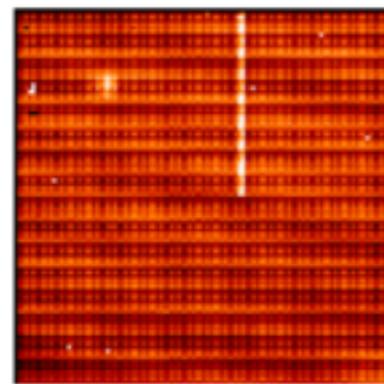
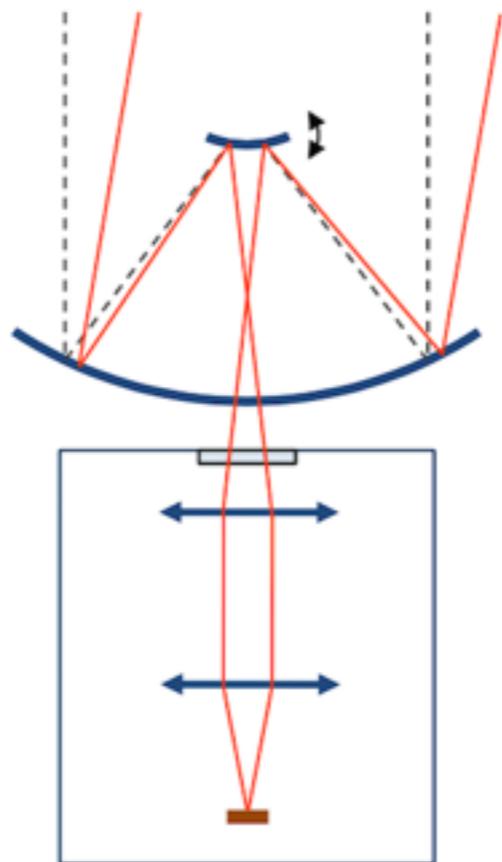
望遠鏡からのbackgroundを消すには望遠鏡全体を冷やす。

## 11.2.3 Chopping

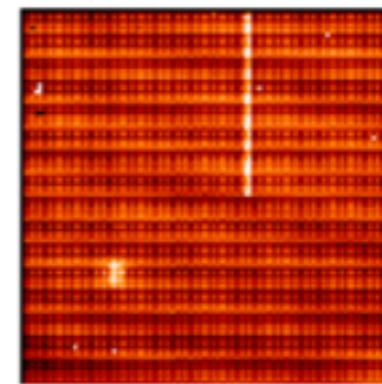
- ☑ 副鏡をパタパタ傾けて撮像した画像を差し引いて背景光を精度よく差し引く技術。
- choppingは典型的には  $\sim 10\text{-}20\text{Hz}$  で副鏡を振る。
- 天体付近のスカイのシグナルが変化しないうちに choppingで焦点面上の像の位置を変える。
- スカイのシグナルが変化していないと仮定すれば、画像の差をとることでスカイのシグナルを消せる。

# Chopping Technique

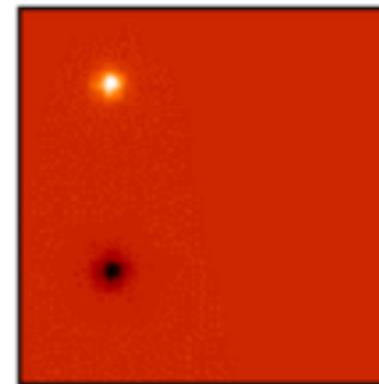
大気の変動よりも高速 (>a few Hz) で装置の視野を振ることで、背景光を精度良く差し引き  
8 $\mu$ mより長波長では必須の観測手法  
通常は望遠鏡副鏡を高速で傾けて使用



“On source”



“Off source”



“On source” - “Off source”

宮田先生の「天体観測学」のスライドより

- ☑ nodding : 望遠鏡自体を傾けて天体の”反対側”のスカイを測定することでsystematic trend を消し去る。

- 図のnod position 1 では、 $B_{tel}$ と $B_{sky}$ を望遠鏡とスカイの背景光として

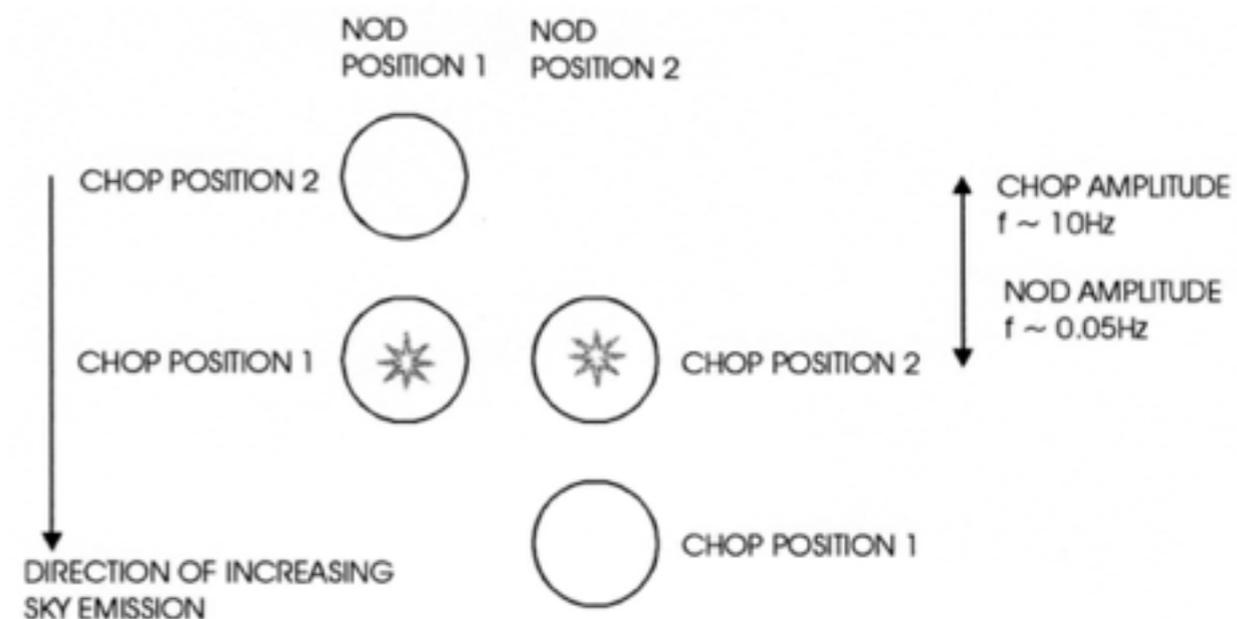
$$C_1(x) = S + B_{tel,1} - B_{tel,2} + (dB_{sky}/dx)\Delta x$$

- nod position 2では、同様に

$$C_2(x) = S - B_{tel,1} + B_{tel,2} - (dB_{sky}/dx)\Delta x$$

- 二つを足せば、天体からのシグナルが得られる。

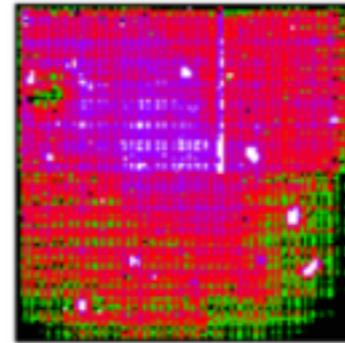
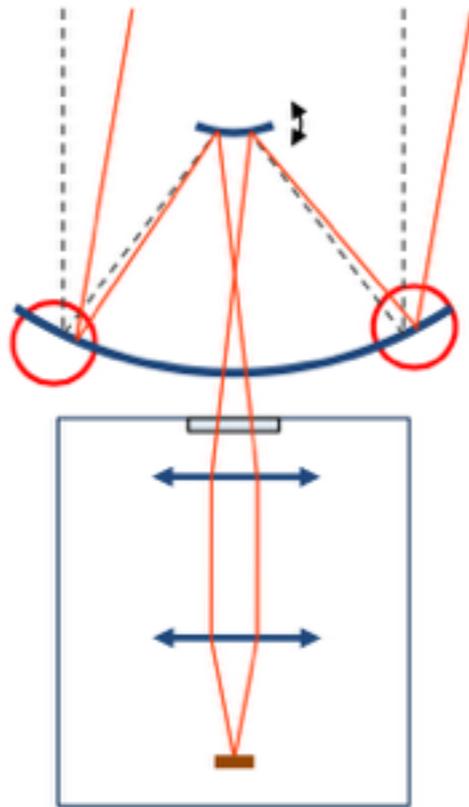
$$S = ( C_1(x) + C_2(x) )/2$$



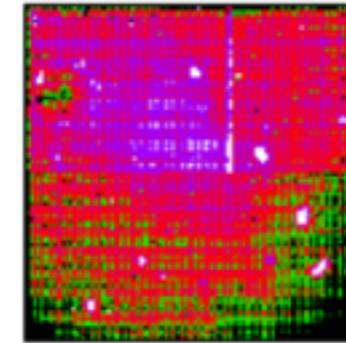
# “Chop & Nod” technique

厳密に見ると、  
Choppingによってビームが望遠鏡上で少しずれる

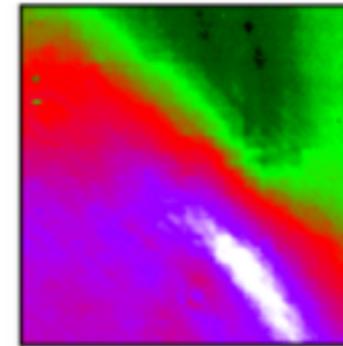
→ もしここに光るものがあると、  
背景光が綺麗に差し引けない



“On source”



“Off source”

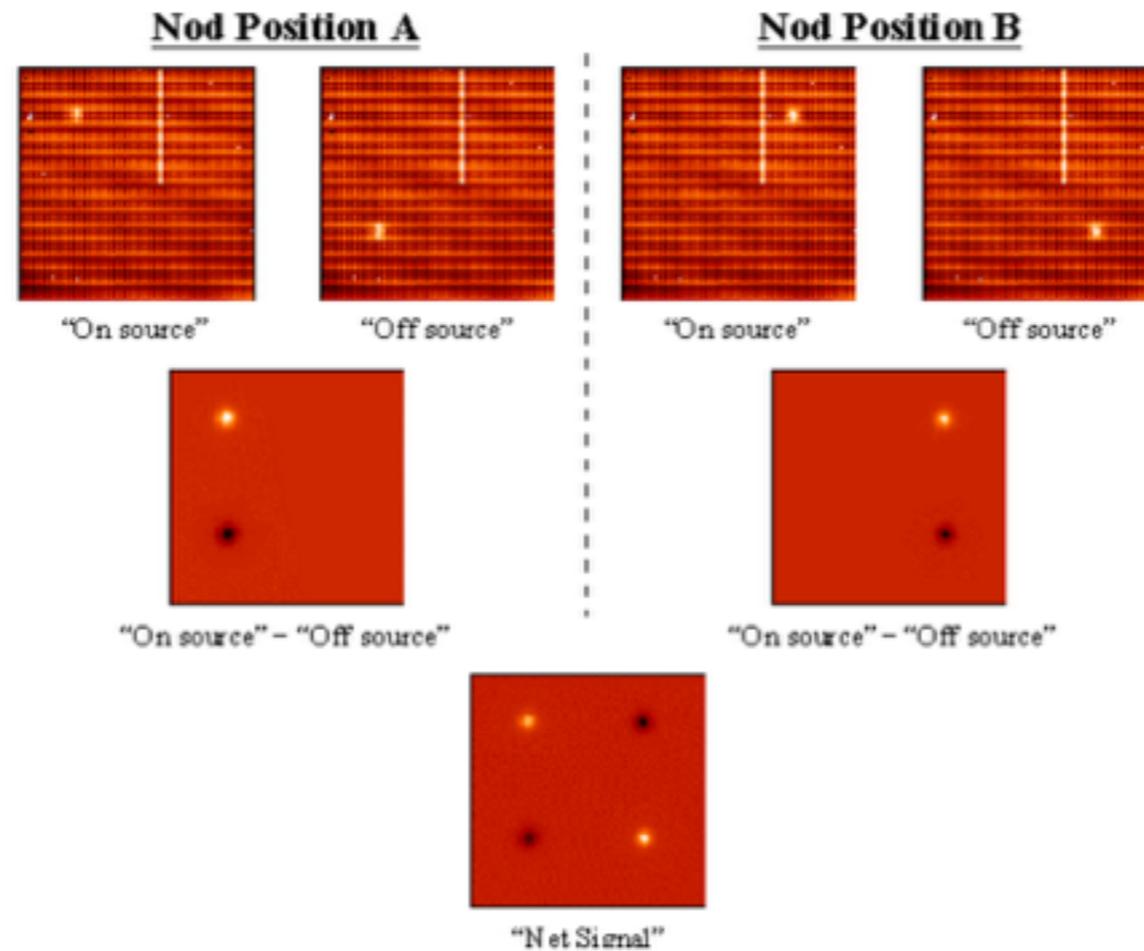


“On source” - “Off source”  
Choppingの残存パターン(residual pattern)

宮田先生の「天体観測学」のスライドより

# “Chop & Nod” technique

Chopping観測を行った後に、少しだけ望遠鏡を振って、同じChoppingを実行  
→ 残存パターンを除去



宮田先生の「天体観測学」のスライドより

- ☑ plate scaleを引き延ばして検出器のピクセル上の背景光を減少させるために副鏡にはslow f/ratio な鏡が使われる。
- IRTF(Infrared Telescope Facility)とUKIRTで~f/35
- ☑ choppingをするために副鏡は標準より小さいので、入射瞳は副鏡のサイズで決まる。(入射瞳が副鏡で決まるように設計)
- ☑ backgroundを小さくするために、暖かいバツフルは副鏡に取り付けられていない。
- ☑ 赤外線では金の方がアルミニウムよりも反射率が高いので副鏡は金でコーティングされることもある。
- ☑ 副鏡の中心に偏向ミラーや穴をある場合もある。これによってカセグレン式の主鏡の穴からくる熱的な光子を取り除ける。