

15th. OISTER Workshop @Himeji, Dec. 12, 2024

# 東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5m望遠鏡の観測装置

高橋 英則

東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター

nori@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

吉井 謙 (東京大学/アリゾナ大学), 宮田 隆志, 河野 孝太郎, 峰崎 岳夫, 本原 顕太郎, 酒向 重行, 江草 芙実, 左近 樹,  
小西 真広, 上塚 貴史, 鮫島 寛明, 松林 和也, 諸隈 佳菜, 山岸 光義, 今井 正亮, 西村 優里,  
堀内 貴史, 平尾 優樹, 櫛引 洸佑, 加藤 夏子, 沼田 瑞樹 (東京大学)



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO



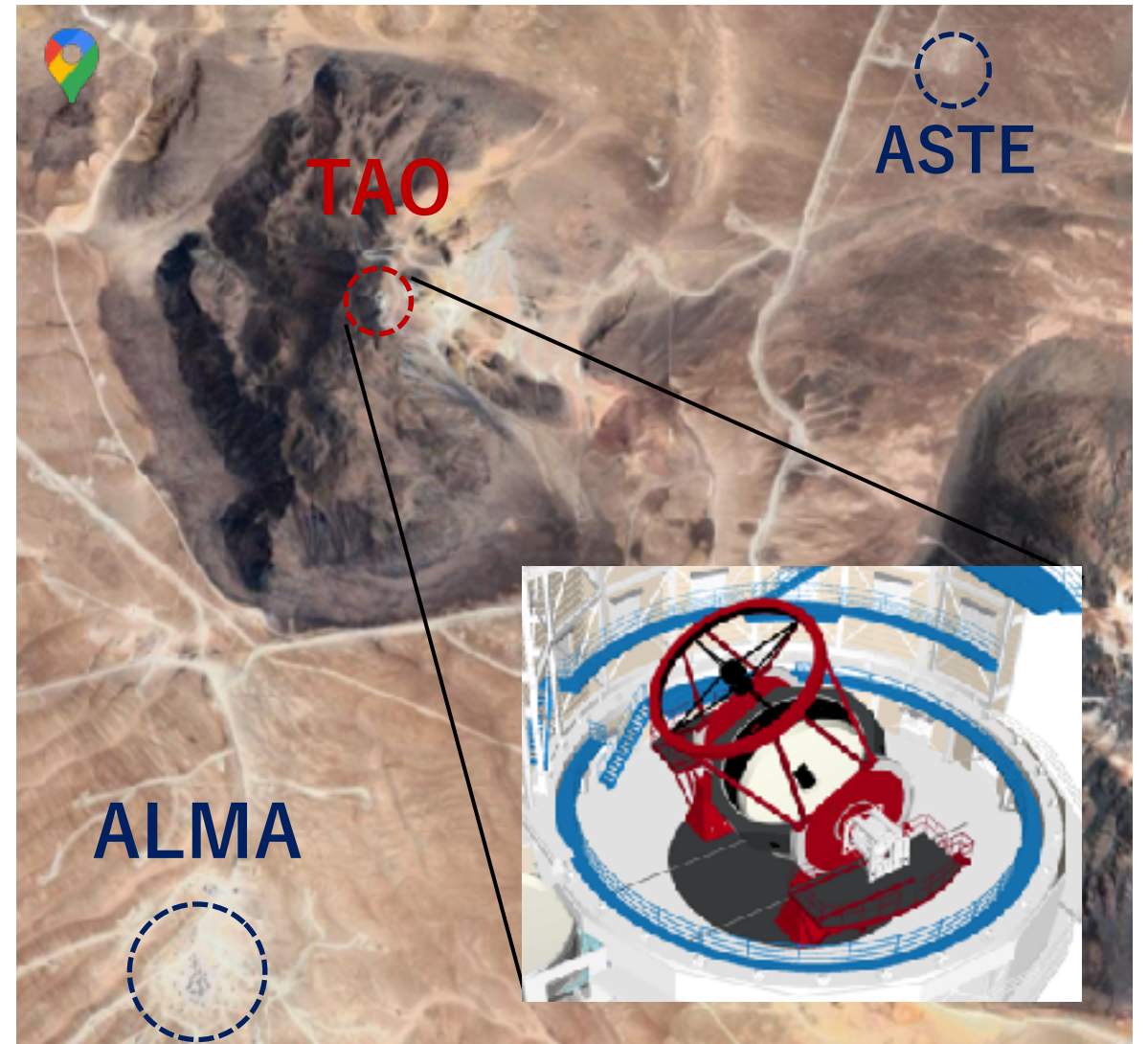
東京大学 大学院  
理学系研究科・理学部  
SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO



TAO PROJECT  
The University of Tokyo Atacama Observatory

# TAO望遠鏡サイト

- チリ共和国・アタカマ地方、  
チャナントール山山頂
- 標高5640m（世界最高標高の天文台）



# TAO望遠鏡サイト

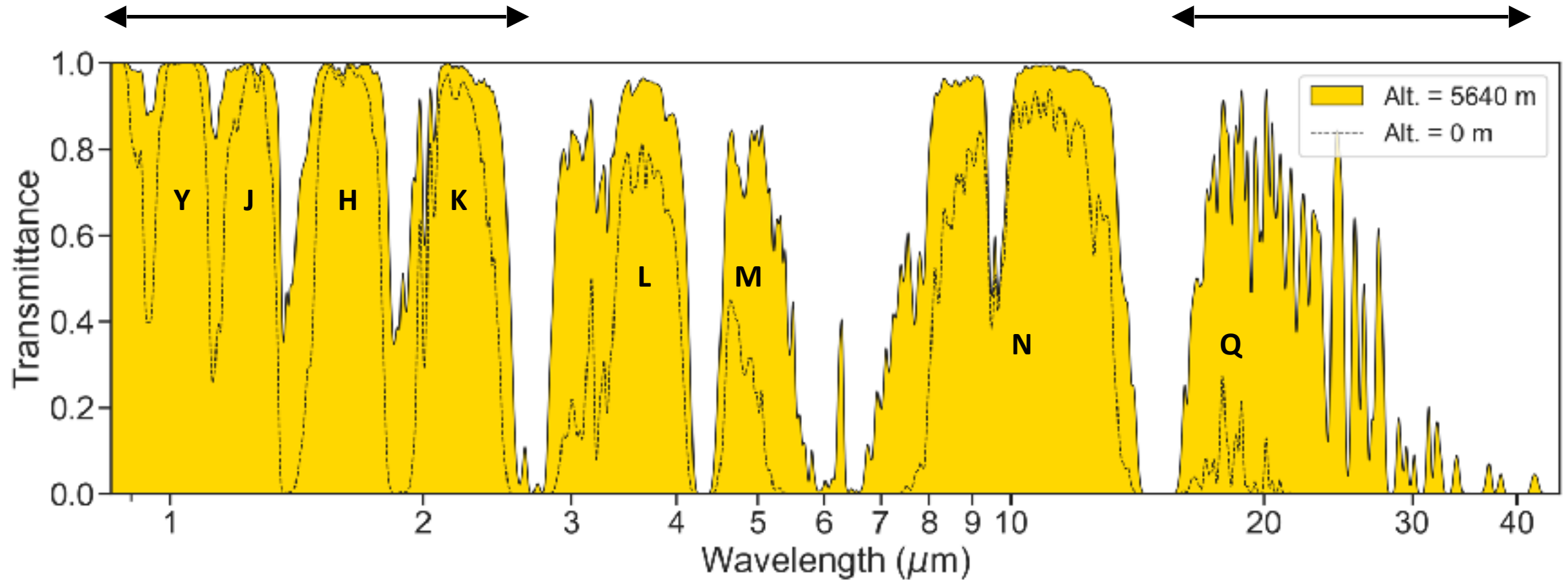
"The University of Tokyo Atacama Observatory" on Google Maps!



# 赤外線観測に最適な環境

近赤外線(0.9–2.5 $\mu\text{m}$ ) : 連続的な大気の窓

中間赤外線(>20 $\mu\text{m}$ ) : 新たな窓



# TAOの歴史と望遠鏡・観測装置



プロジェクト始動

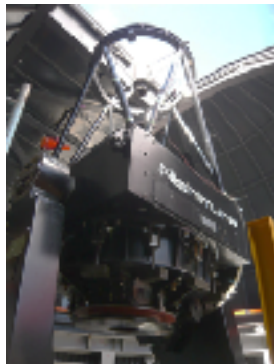


徒歩による初登頂

旧TAO道路完成



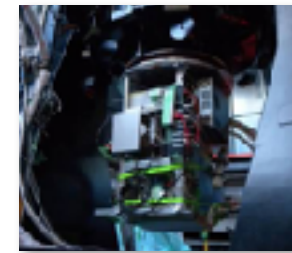
miniTAO



ANIR



MAX38



# 観測装置 w/ miniTAO 1m



可視画像



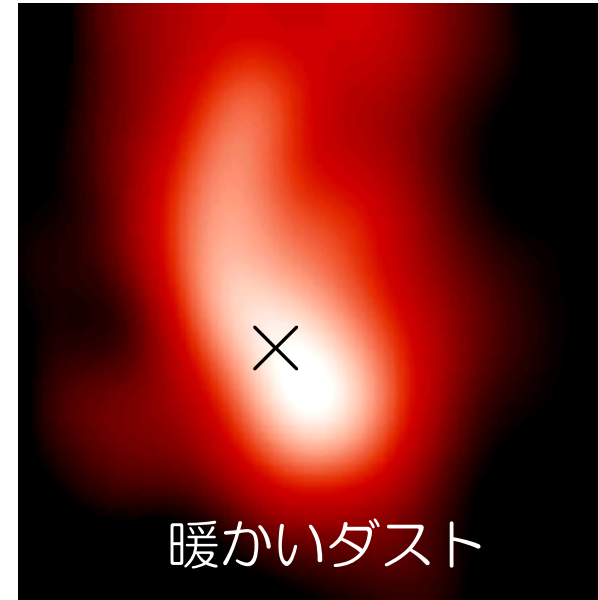
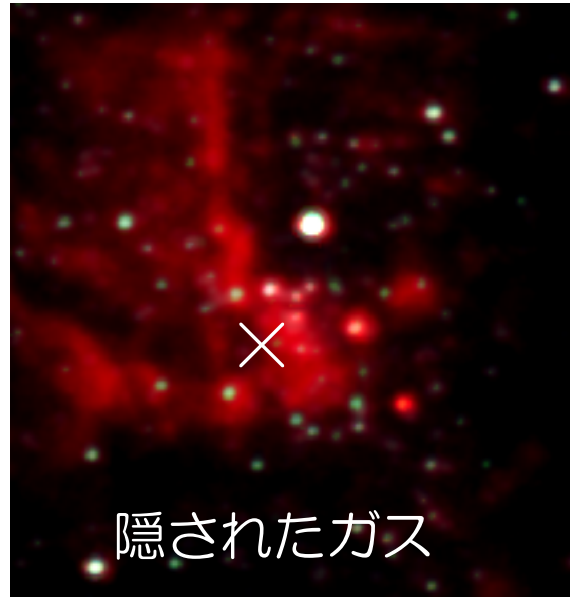
近赤外線カメラ (ANIR)

近赤外線画像



中間赤外線カメラ (MAX38)

中間赤外線画像





# TAOの歴史と望遠鏡・観測装置

エンクロージャー完成



プロジェクト始動



徒歩による初登頂

旧TAO道路完成



山麓研究棟@SPdA



望遠鏡仮組@播磨



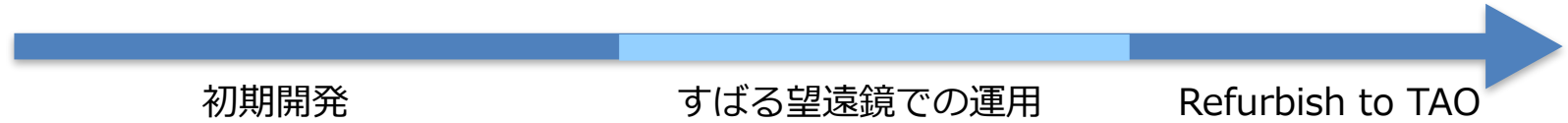
6.5m主鏡完成 @アリゾナ



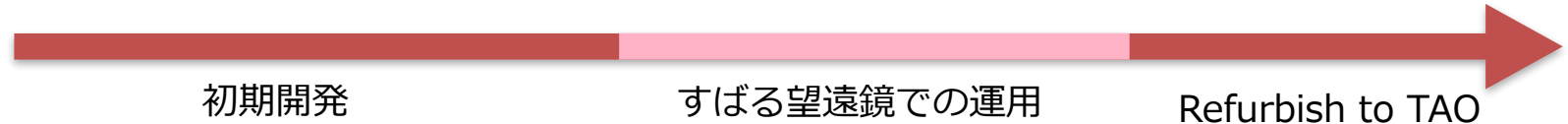
観測運用棟完成



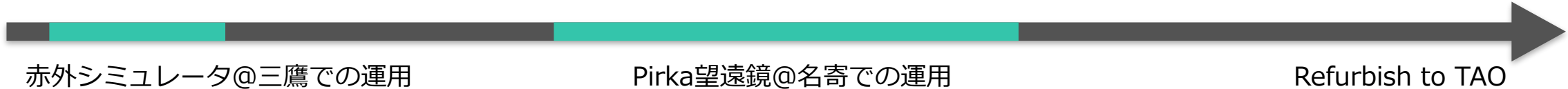
SWIMS



MIMIZUKU



NICE



# TAO @summit of Co. Chajnantor

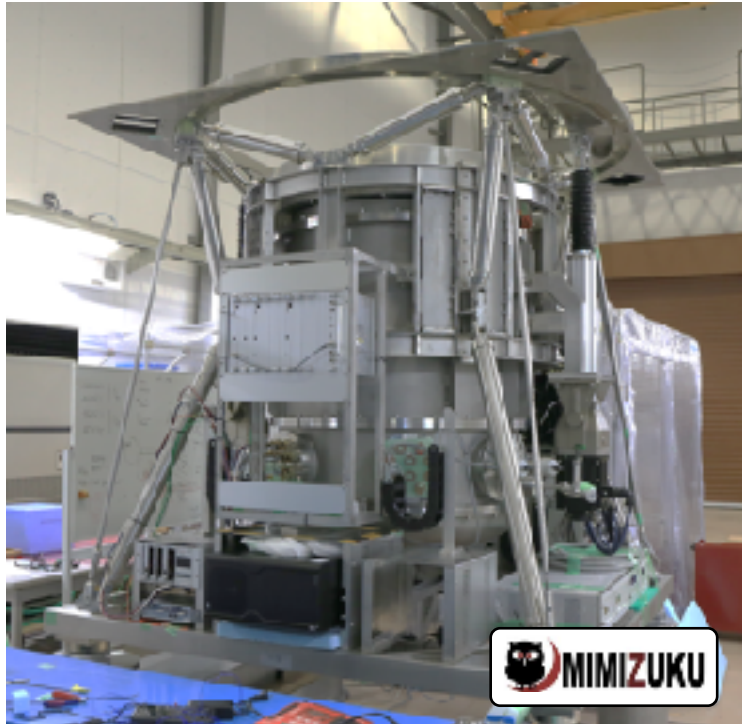


これまで：mini TAO 1m望遠鏡  
これから：TAO 6.5m望遠鏡



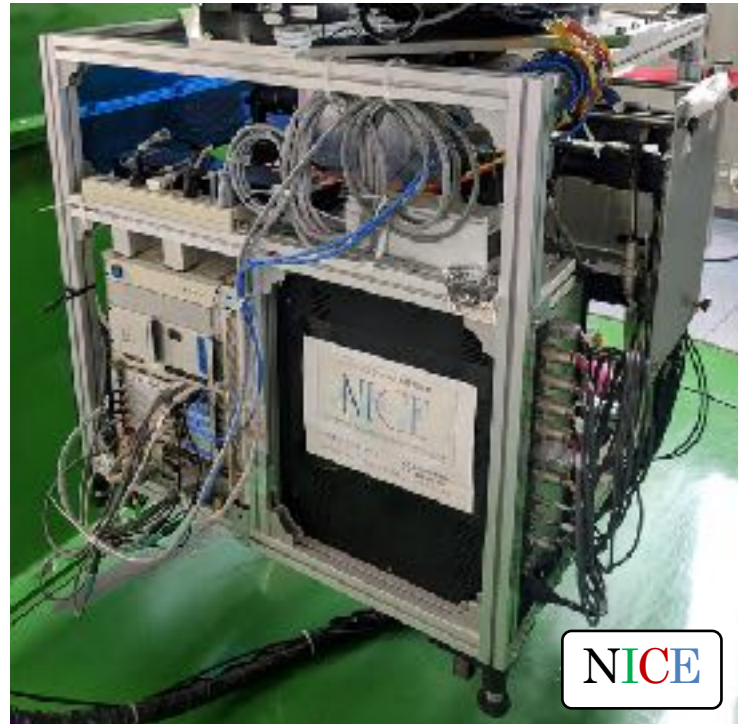


# TAO第1期観測装置



## MIMIZUKU

(MIR; Imaging/Spectroscopy)



## NICE

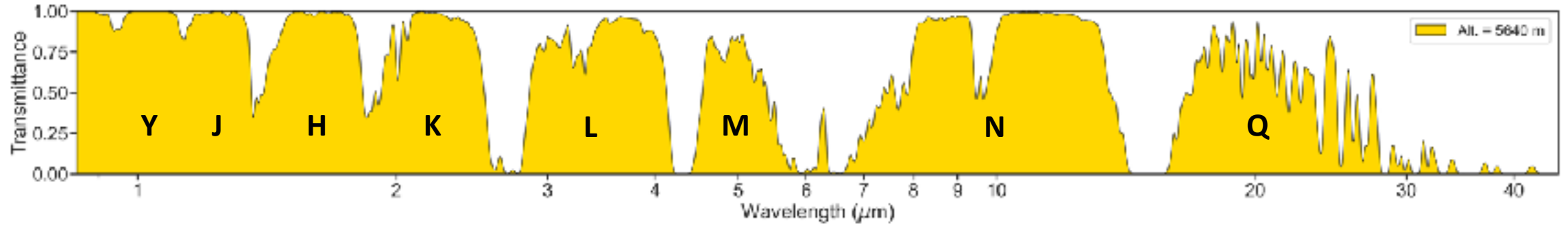
(NIR; Spectroscopy/Imaging)



## SWIMS

(NIR; Imaging/Spectroscopy)

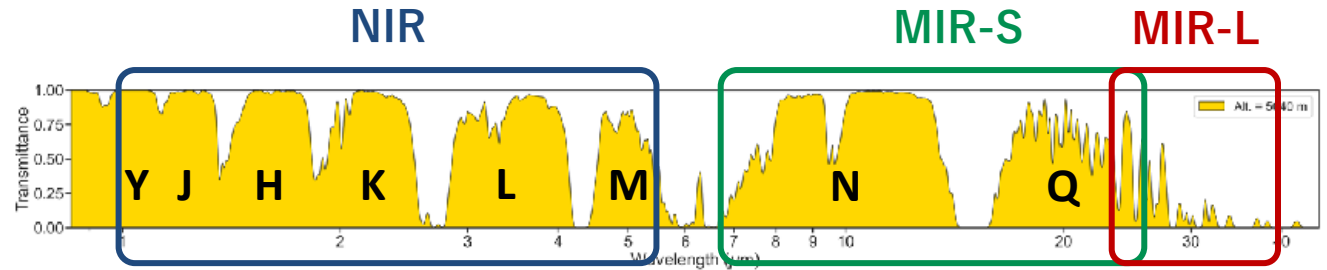
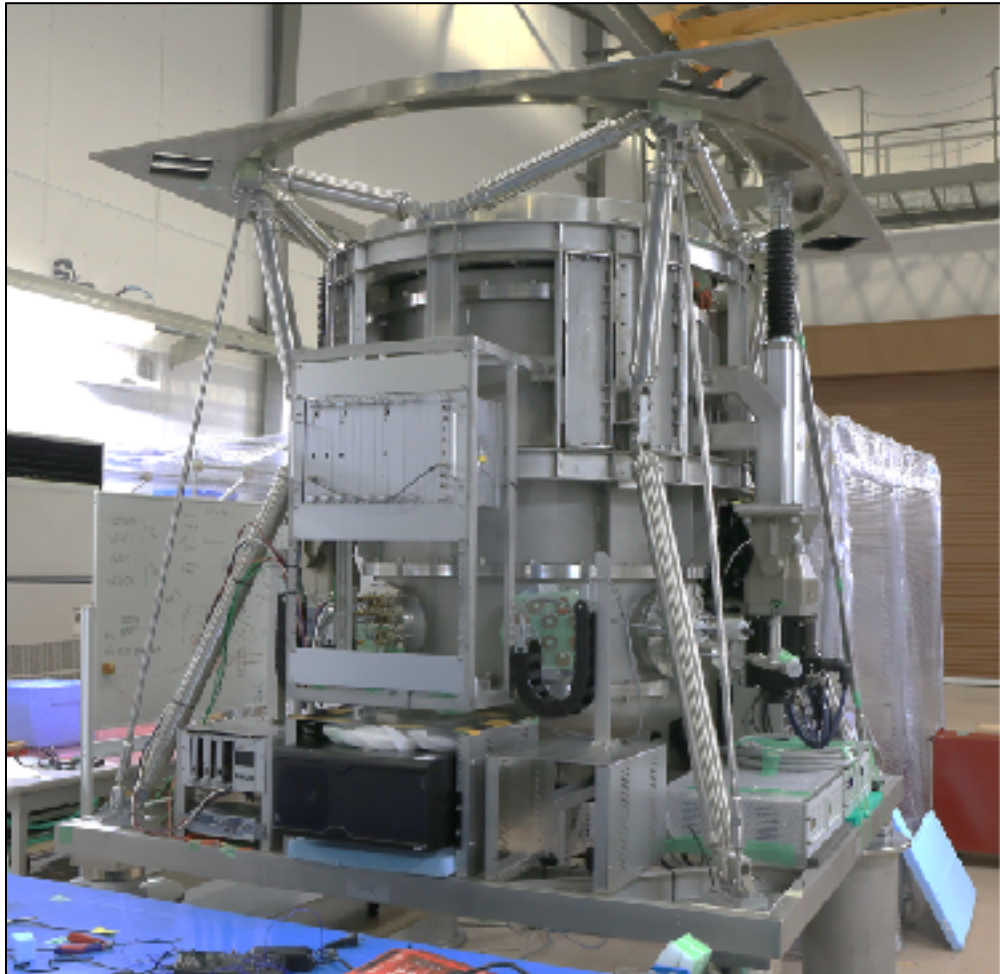
# 赤外線波長域をカバーする観測装置



←→ NICE

←→ SW/M5

←→ MIMIZUKU



Channel	NIR	MIR-S	MIR-L
Wavelength	1.0–5.3 $\mu\text{m}$	6.8–26 $\mu\text{m}$	24–38 $\mu\text{m}$
Detector	HgCdTe 1k	Si:As 1k	Si:Sb 128
Pixel Scale	0.069 "/pix	0.11 "/pix	0.24 "/pix
Field of View	1.2' x 1.2'	2.0' x 2.0'	31" x 31"
Spatial Resolution	~0.5" (seeing limited)	0.5"–0.9" (diff. limited)	0.9"–1.3" (diff. limited)
Wavelength Resolution ( $\lambda/\Delta\lambda$ )	210–660	110–170	N/A

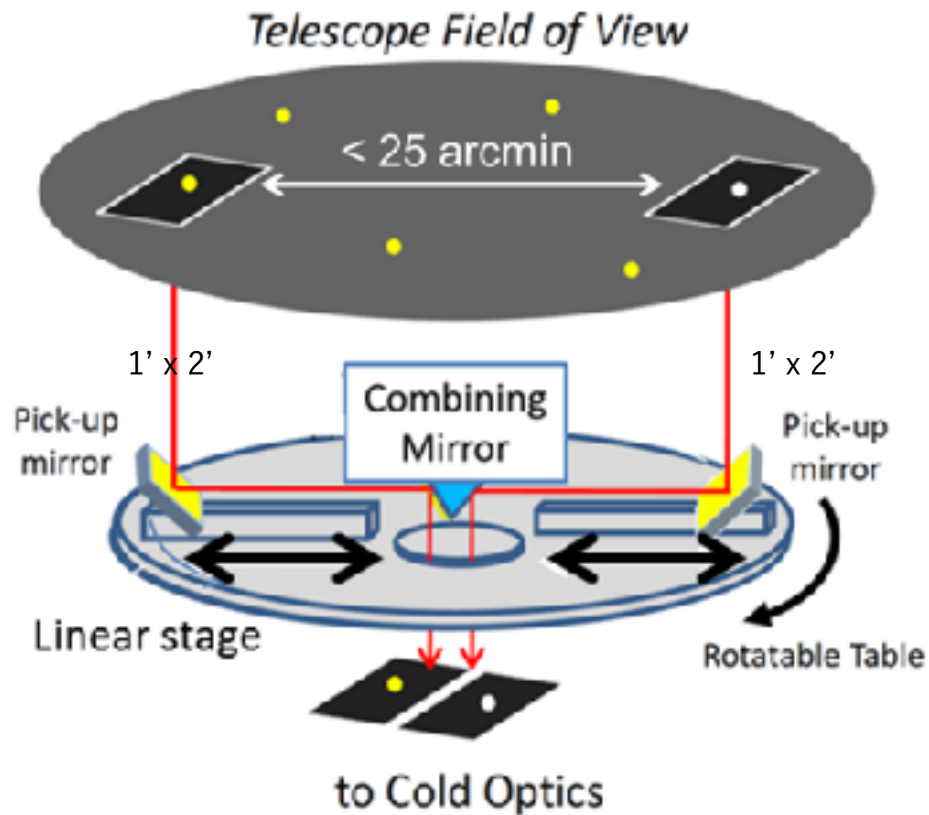
<https://www3.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/mimizuku/pub/>



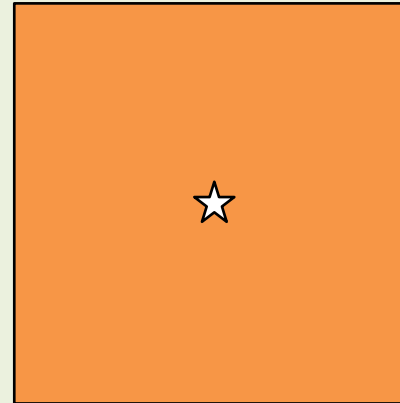
# MIMIZUKU – フィールドスタッカー (FS)



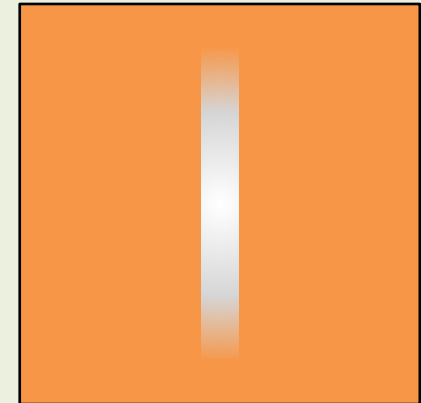
- 参照星を同時に取得
- 大気の影響の補正



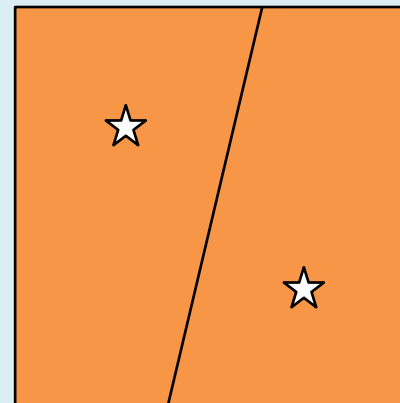
Imaging (Normal)



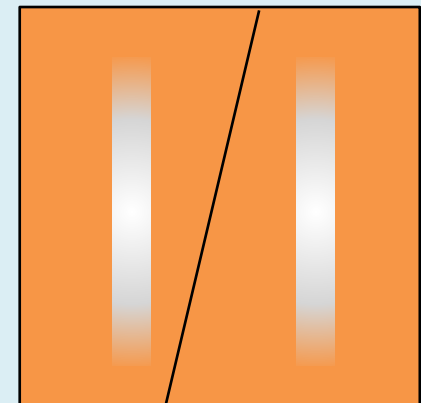
Spectroscopy (Normal)

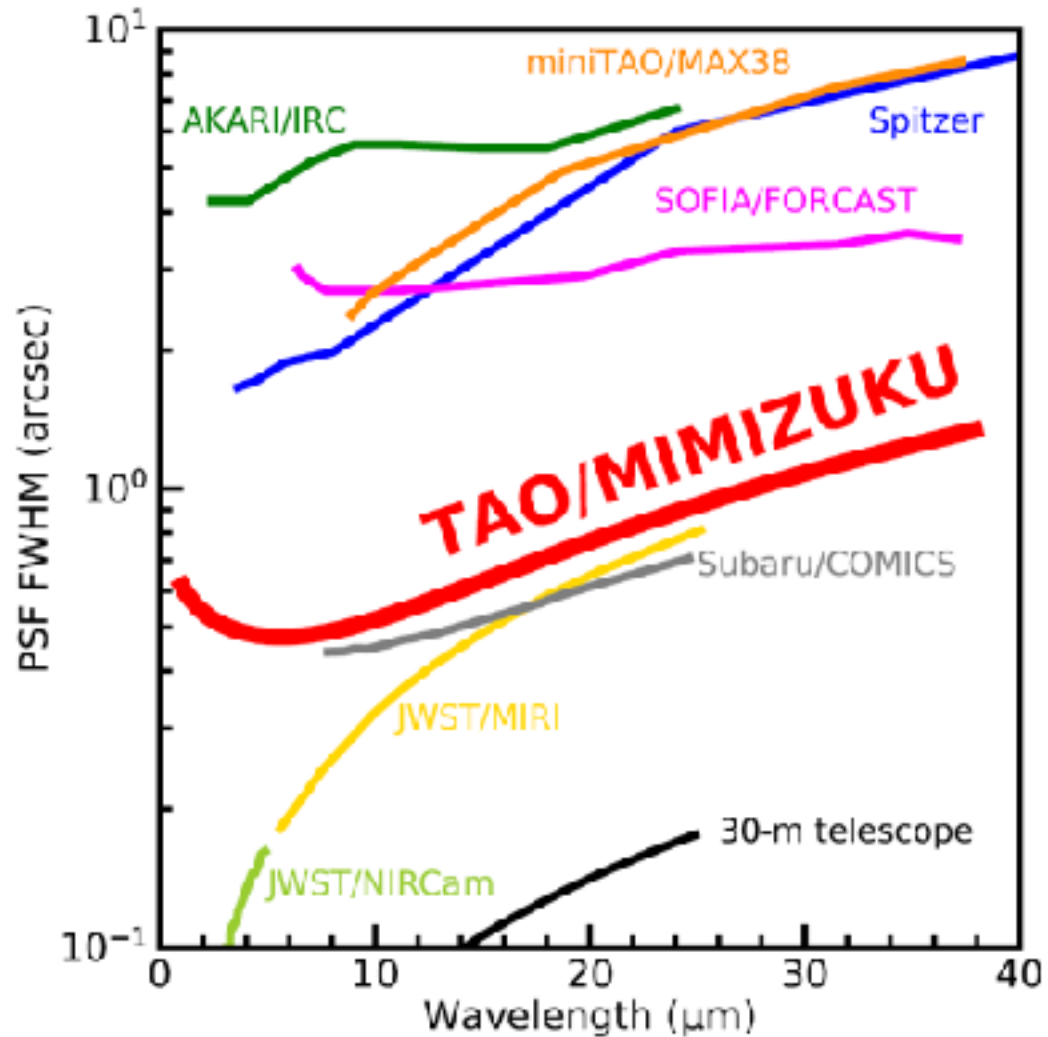


Imaging (FS)



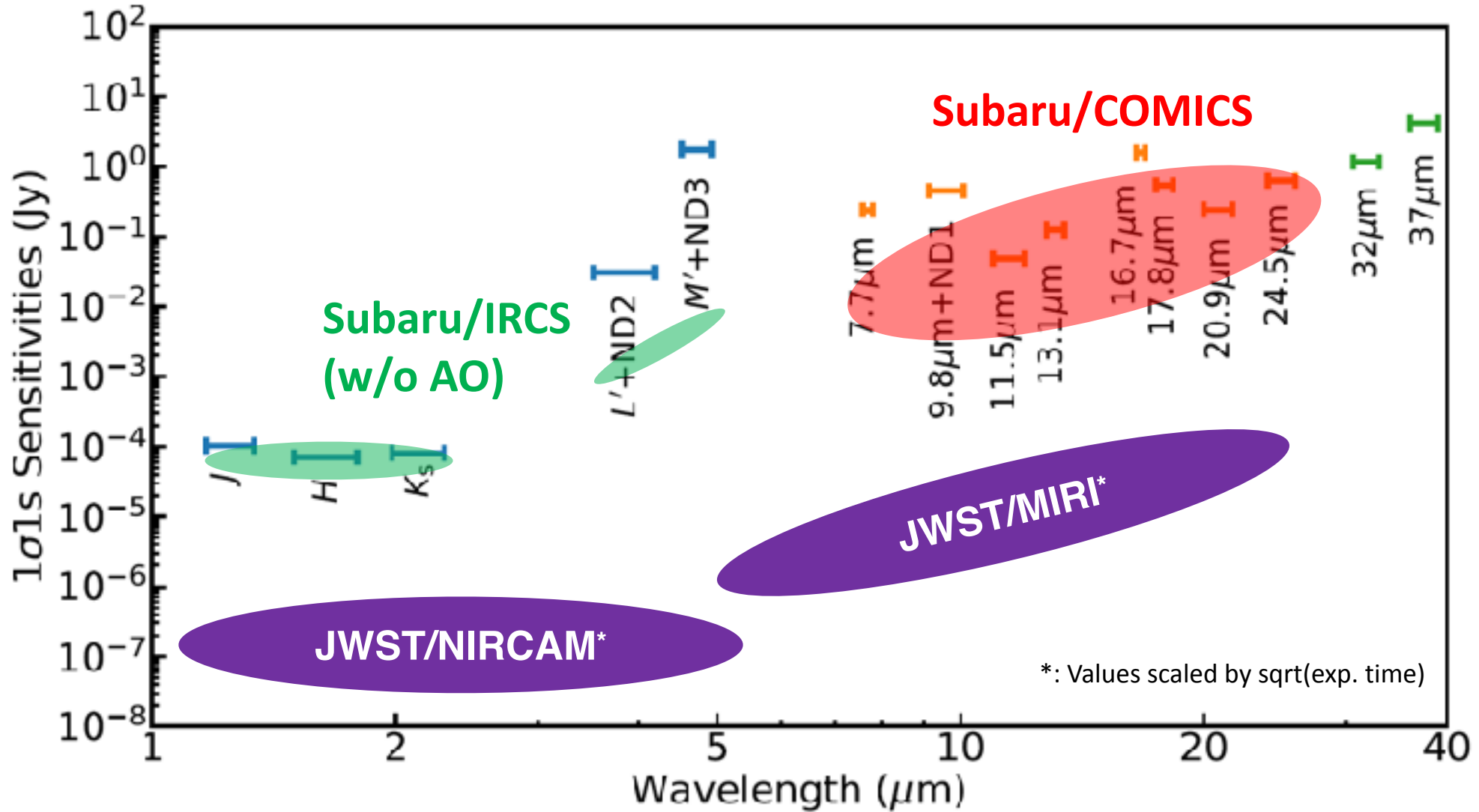
Spectroscopy (FS)





- < 6 μm: Seeing limited
- > 6 μm: Diffraction limited
  - Comparable with JWST
- ~30 μm: Best instrument in spacial resolution for the next 10+ years

# MIMIZUKU – 感度 (イメージング)



# NICE — 近赤外エシエル分光器 (+ 撮像モード)



Parameter	I	J	H	K
Wavelength	0.95–1.20 $\mu\text{m}$	1.17–1.47 $\mu\text{m}$	1.41–1.78 $\mu\text{m}$	1.73–2.45 $\mu\text{m}$
Slit Width (dispersion)	0.5" or 1.0" or 1.5"			
Slit Length (spacial)	; 1.8"			
Resolution	~2600 (0.5") or ~1700 (1.0") or ~1600 (1.5")			
Limiting Magnitude†	16.5	16.4	15.6	15.2
Detector	NICMOS-3 (256 x 256 pixels, 6.25 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ )			
Pixel Scale	0.32"/pixel			
Filter	IJ (SPEC), HK (SPEC), J (IMG), H (IMG), Ks (IMG)			
Field of View (IMG)	50.26" x 50.26"			
Spacial Resclution (IMG)	0.20"/pixel			

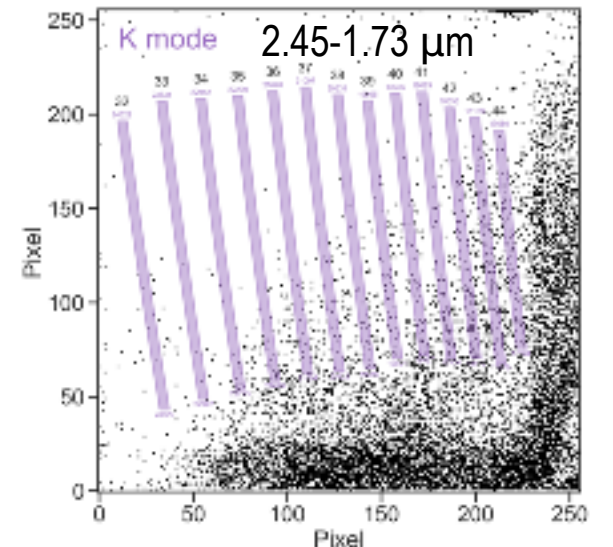
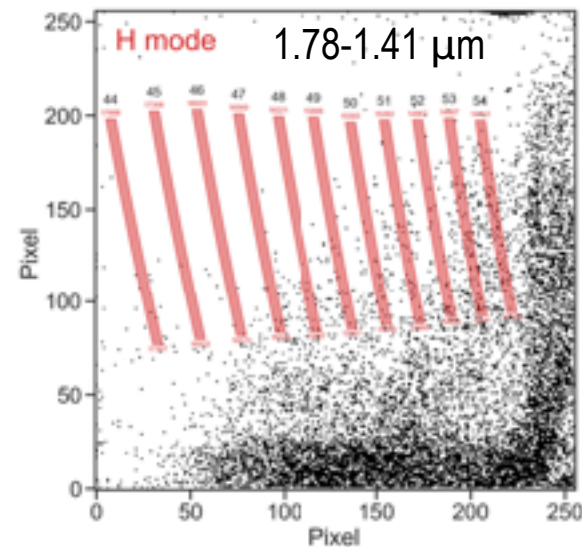
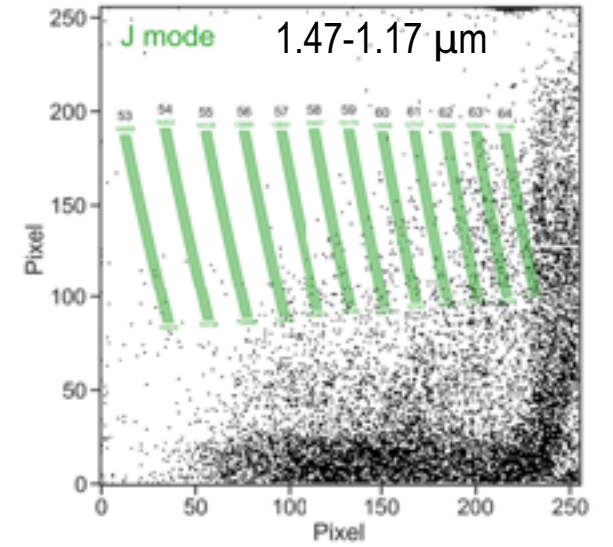
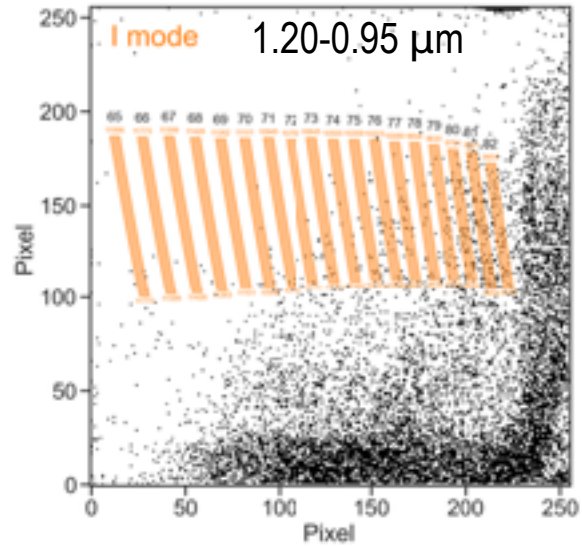
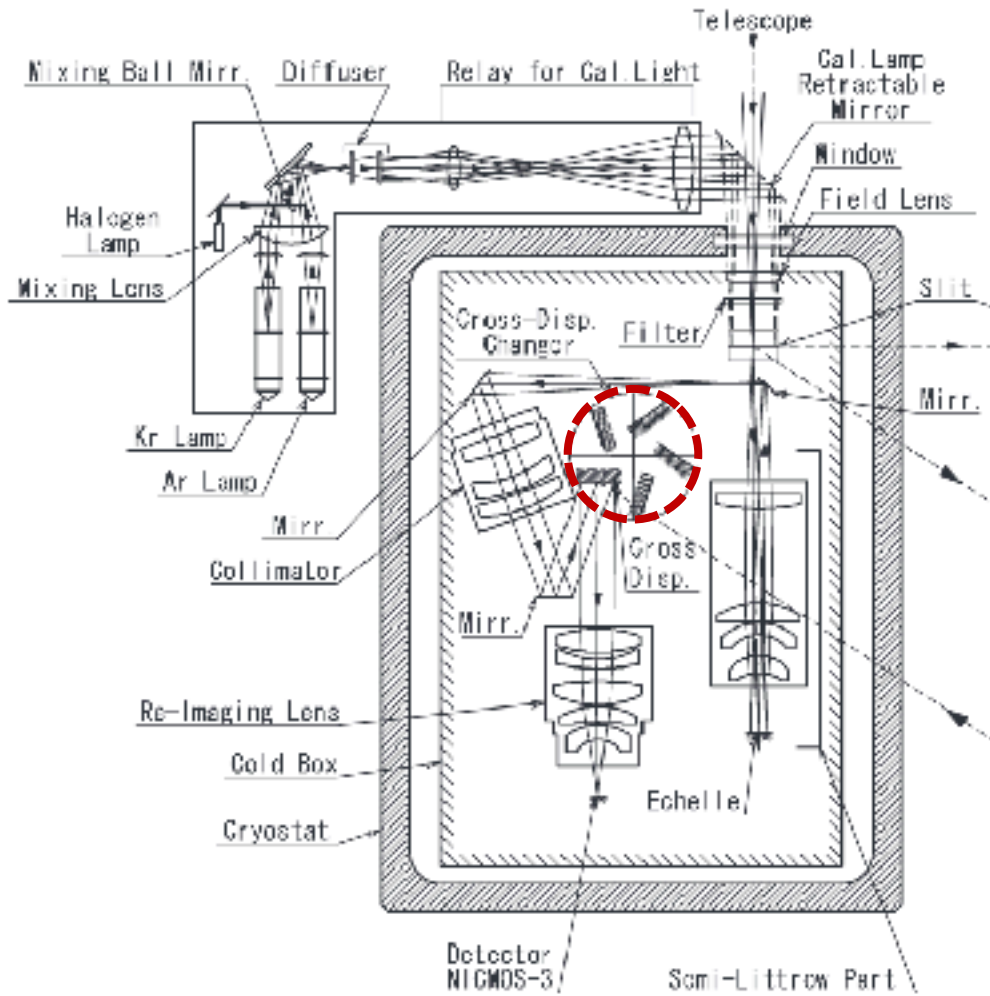
† Limiting magnitudes are in Vega system, calculated by assuming a point source with flat SED, 600 sec integration,  $S/N = 10 \text{ pixel}^{-1}$  (w/o binning), 0.5" x 1.5" slit, and seeing = 0.7".

0.5  $\mu\text{m}$  4.5  $\mu\text{m}$

HP: [https://www3.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/nice/NICE\\_HP/](https://www3.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/nice/NICE_HP/)

Inst. Paper: Yamamuro et al. (2007, PASJ, 59, 387)

# NICE — エシエル分光モード

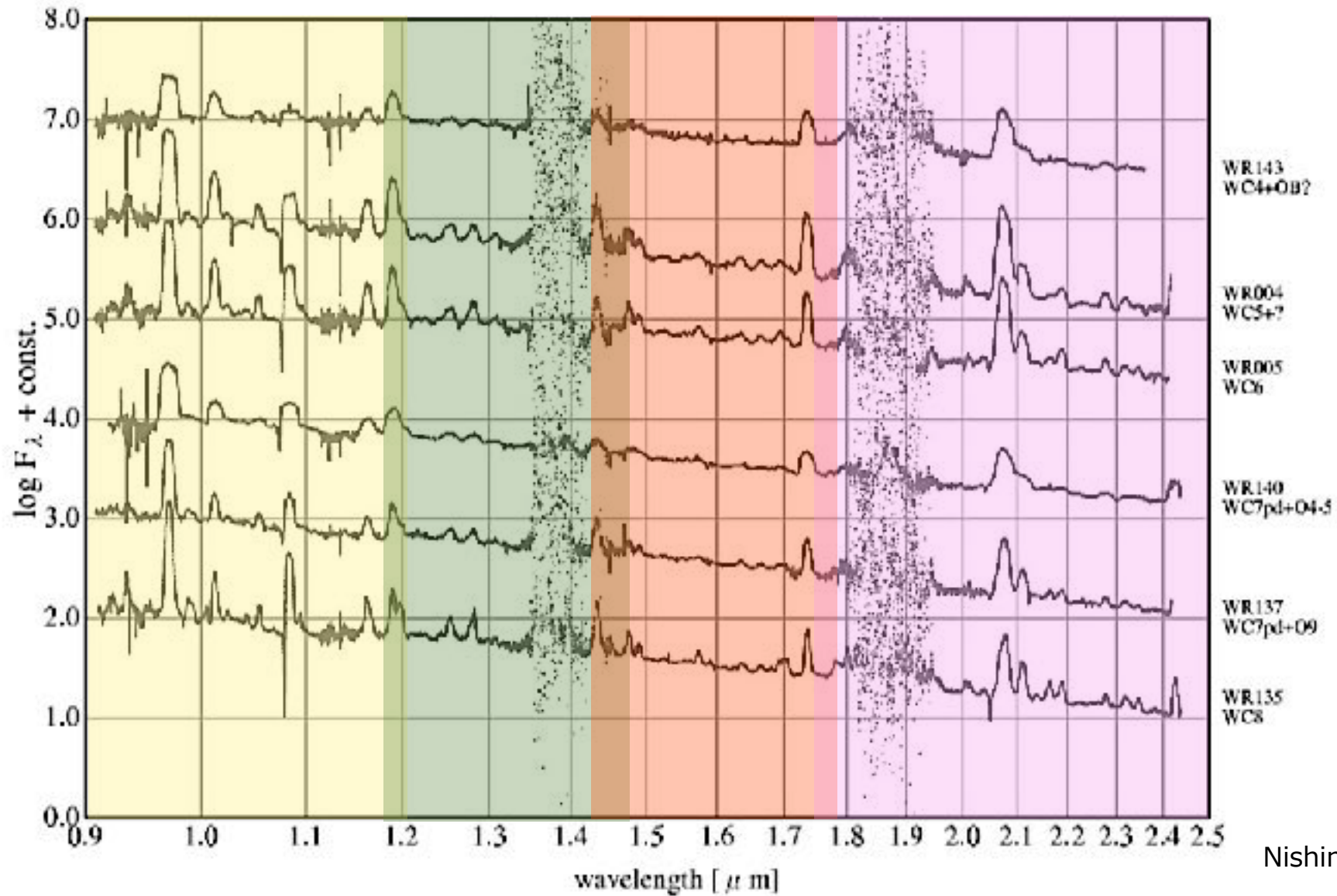






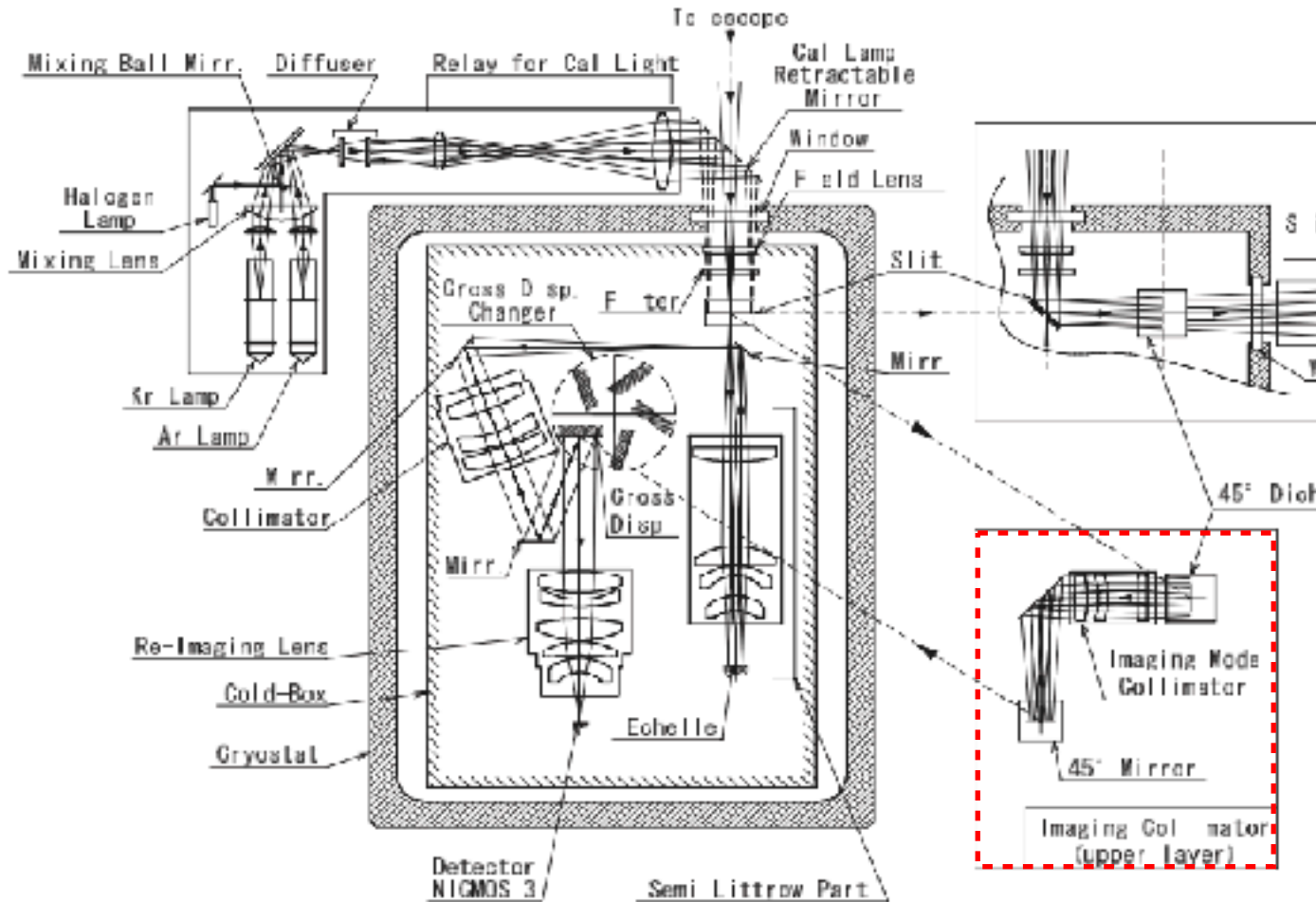
# NICE — エシエル分光モード

WC/WRの近赤外線スペクトル

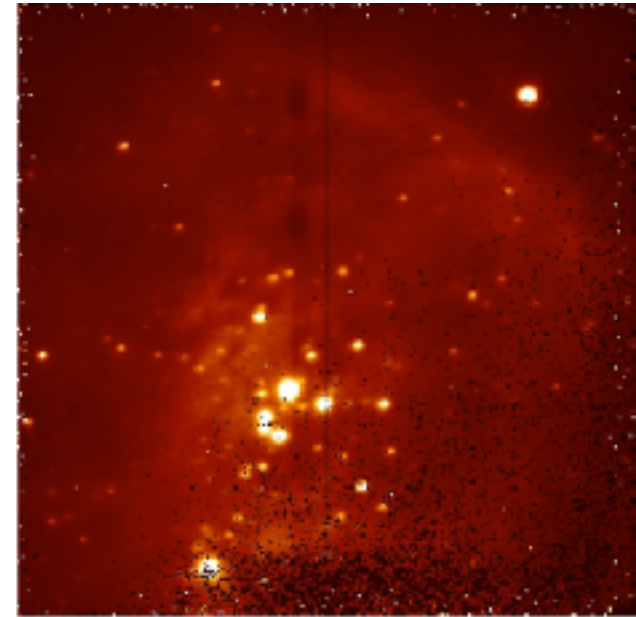


Nishimaki2008

# NICE — 撮像モード J, H, Ks-band



Trapezium (Ks-band)



50"

50"

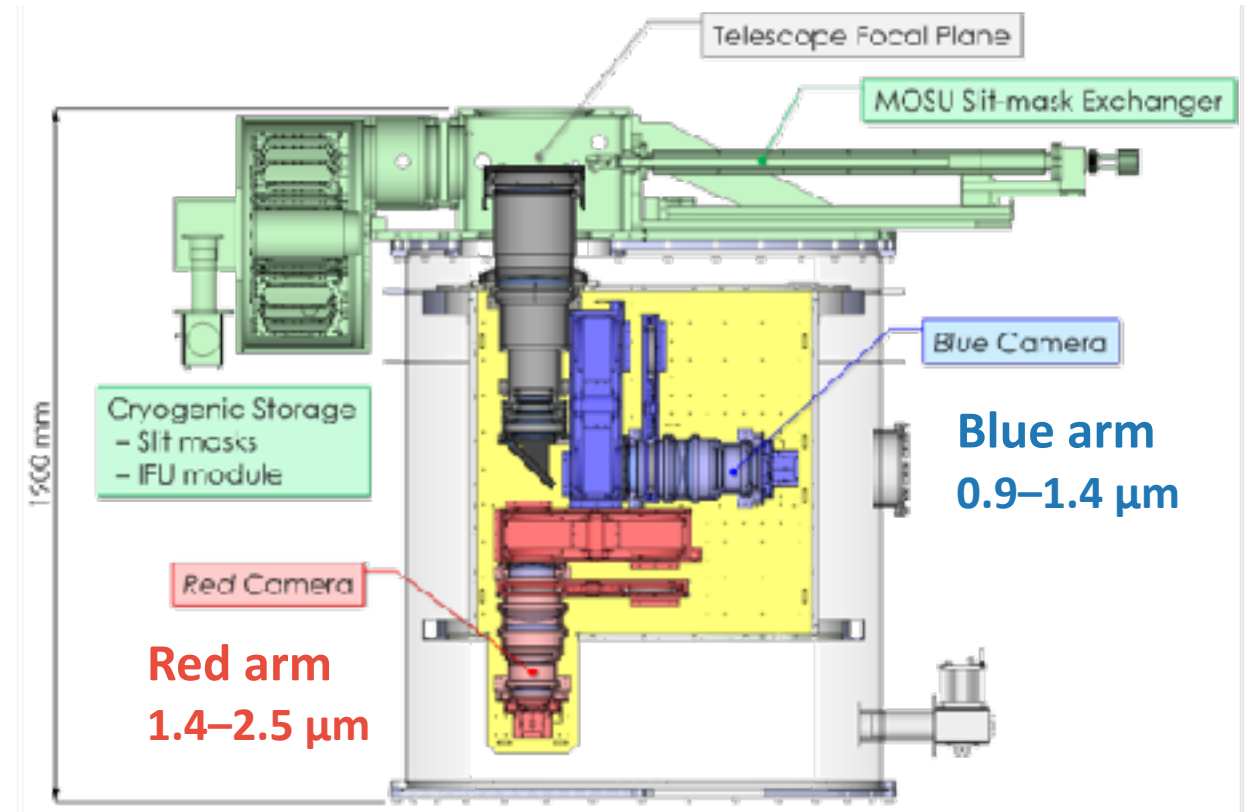


**SWIMS**  
Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph

# — 近赤外多天体分光撮像カメラ



- **SWIMS** : Simultaneous-color **W**ide-field **I**nfrared **M**ulti-object **S**pectrograph

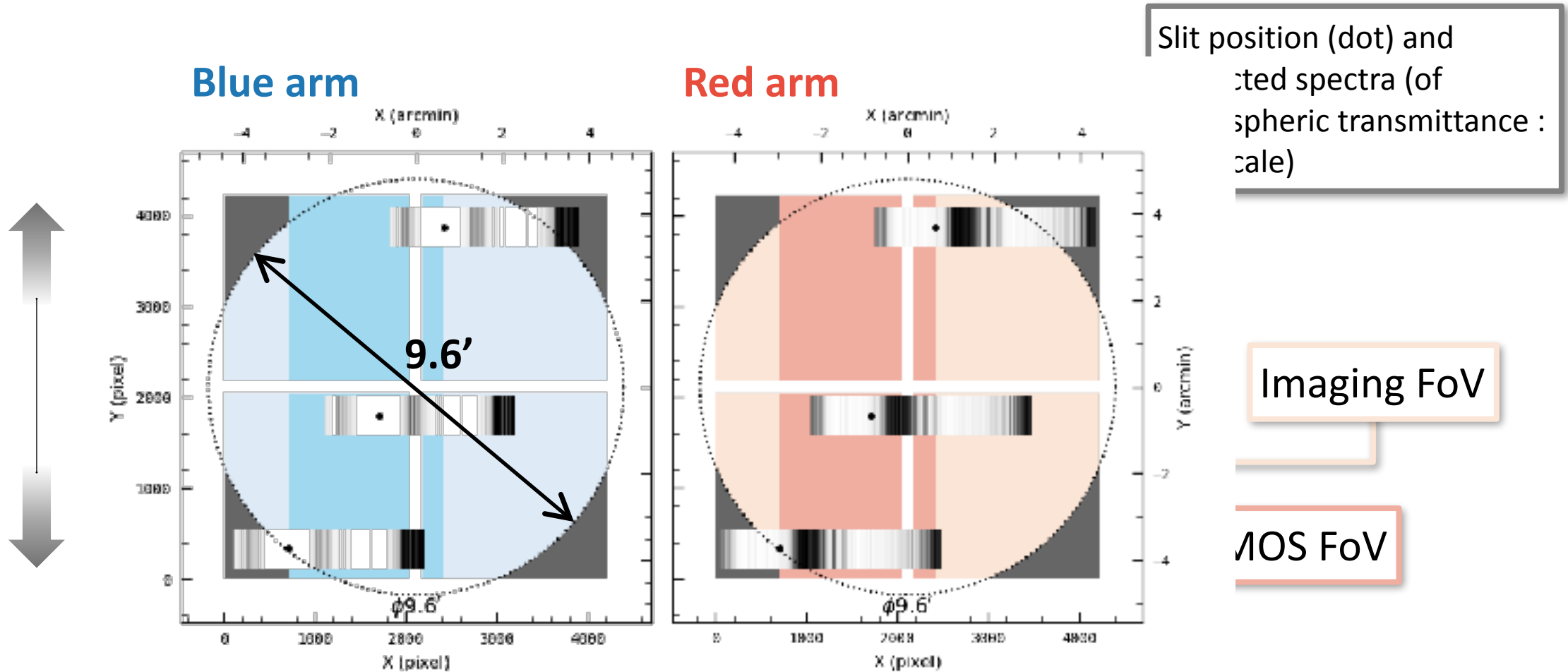




SW/M5  
Sims/Bandpass-color Wide Field Infrared Multi-object Spectrograph

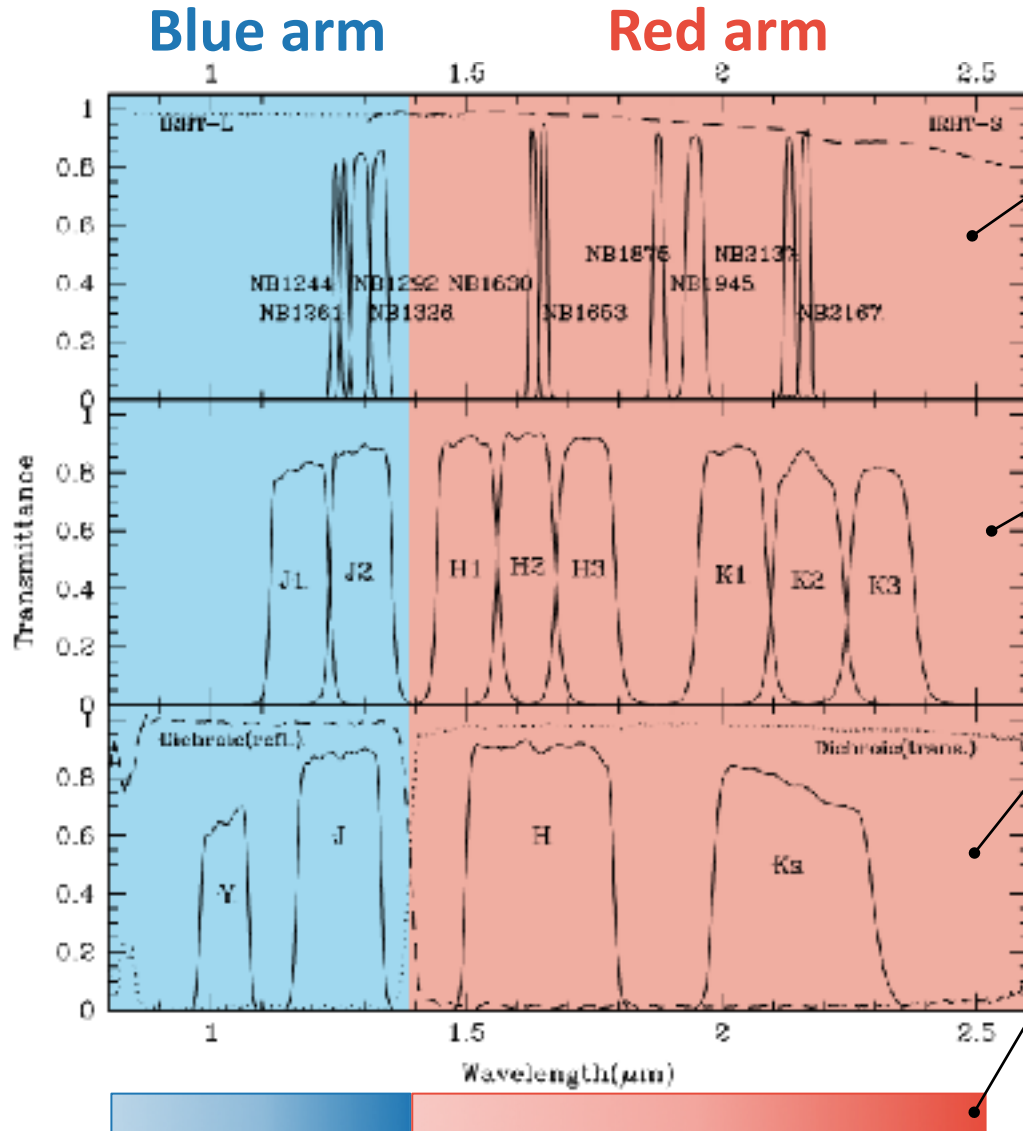
# 特徴：広視野

- 各アーム 2 個の検出器（すばる仕様）から、4 個の検出器へのアップグレード計画中。





# 特徴：多様なフィルターシステム



“SWIMS-18” 6 NBFs +  $\alpha$

- Paschen- $\alpha$  ON/OFF (1.875/1.945  $\mu\text{m}$ )
- Paschen- $\beta$  ON/OFF (1.292/1.326  $\mu\text{m}$ )

“SWIMS-18” 8 MBFs

Mauna Kea 4 BBFs

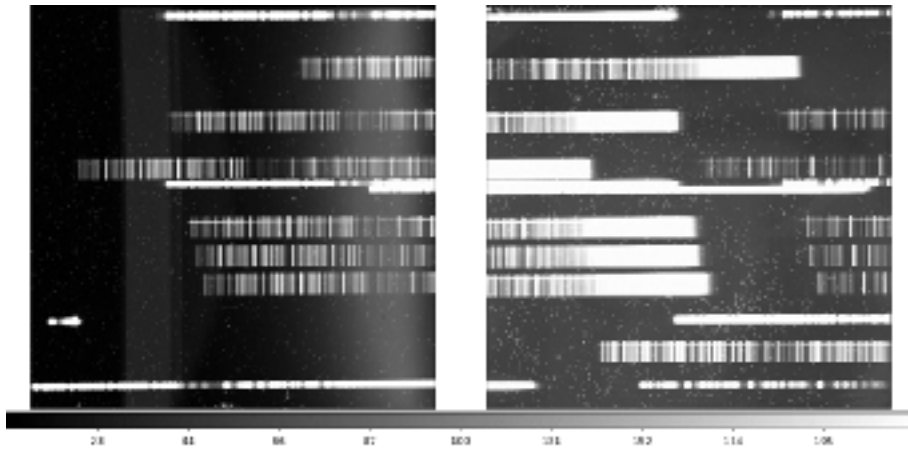
1 Grism for each arm

	Range ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta\lambda_{\text{pix}}$ ( $\text{\AA}/\text{pix}$ )	$\lambda/\Delta\lambda$ (for 0.5" slit)
<b>Blue arm</b>	<b>0.9–1.4</b>	<b>2.40</b>	<b>700–1200</b>
<b>Red arm</b>	<b>1.4–2.5</b>	<b>4.57</b>	<b>600–1000</b>

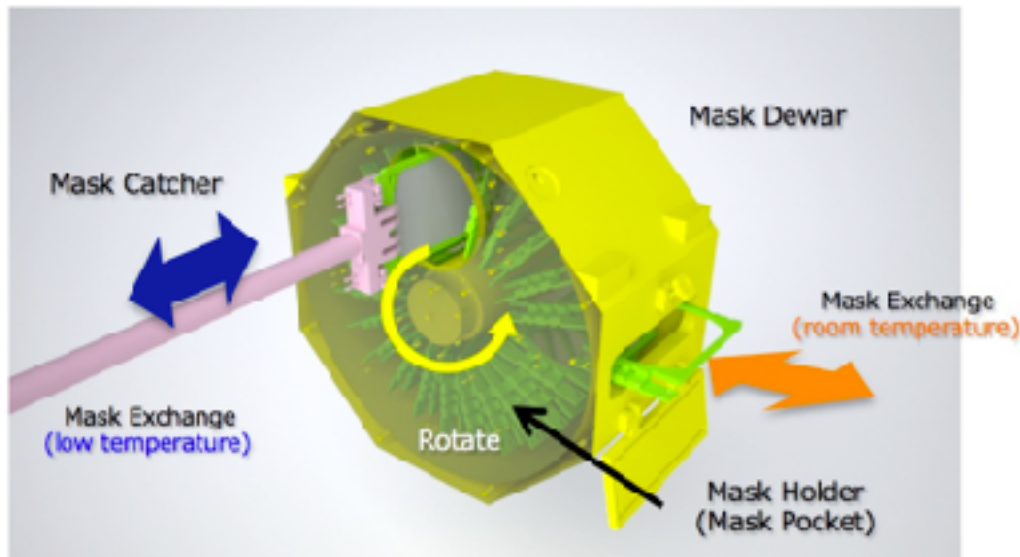


SW/M5  
Suzaku Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph

# 特徴：多天体分光（Multi-Object Spectroscopy : MOS）



- 各マスクシートに20-30スリット
- マスク収納（カルーセル）に15枚のマスクシートをストア可能
- マスク交換時のサーマルサイクル～3日間
- 検出器ギャップあり  
( $\sim 312 \text{ \AA}$  for blue;  $\sim 594 \text{ \AA}$  for red)

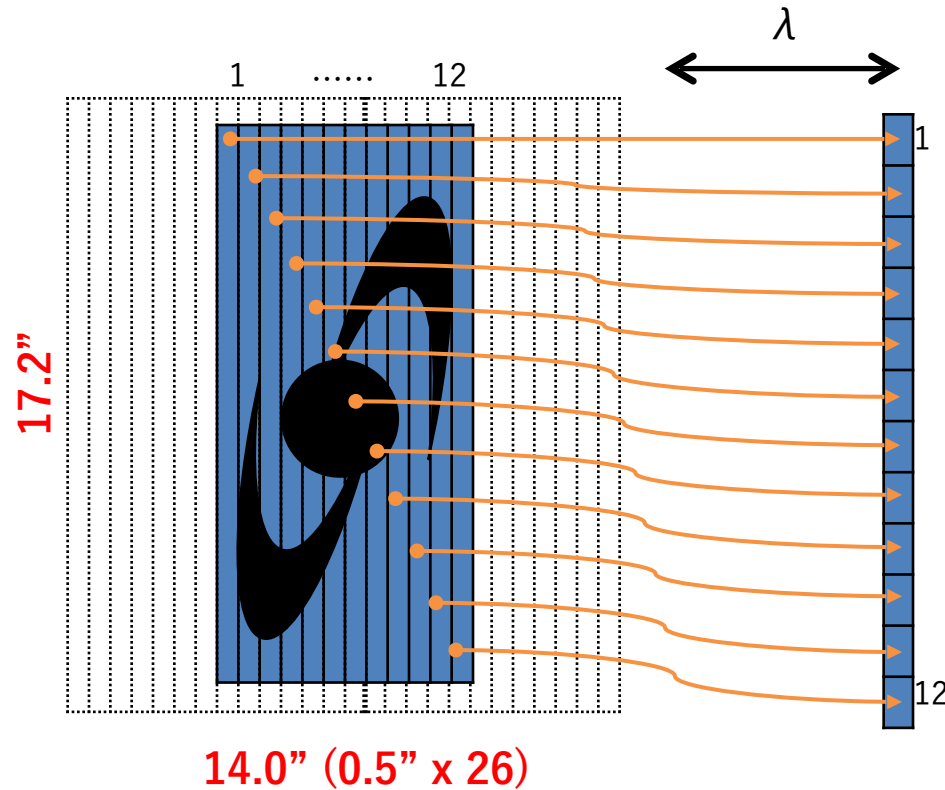
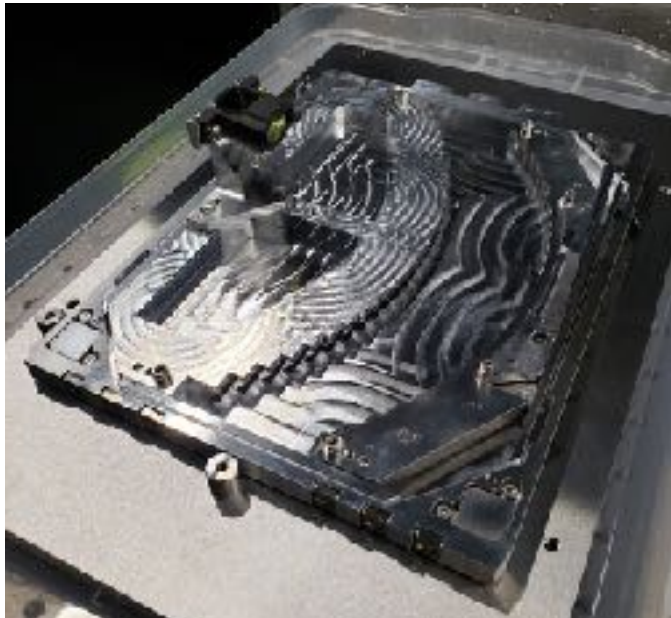




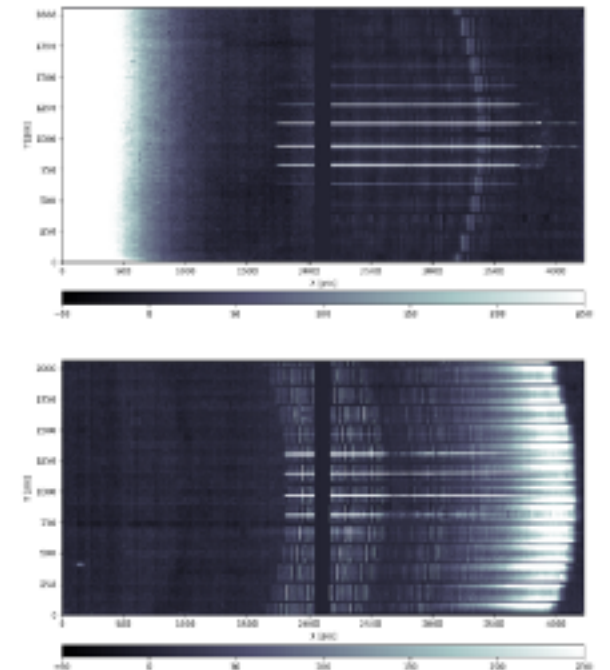
SW/M5  
Simultaneous-cover Wide Field Infrared Multi-object Spectrograph

# 特徴：面分光 (Integral Field Unit : IFU)

- イメージスライサー型面分光ユニット
- すばる望遠鏡での試験観測に成功。(Kushibiki+2024, JATIS)
- TAO望遠鏡用光学ユニットを新たに設計中。
- 検出器の増設により、視野も広くなる。

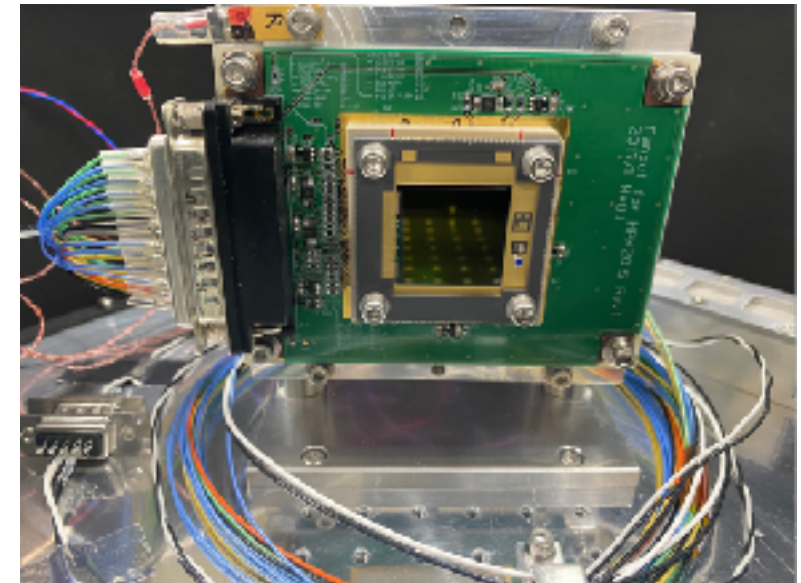
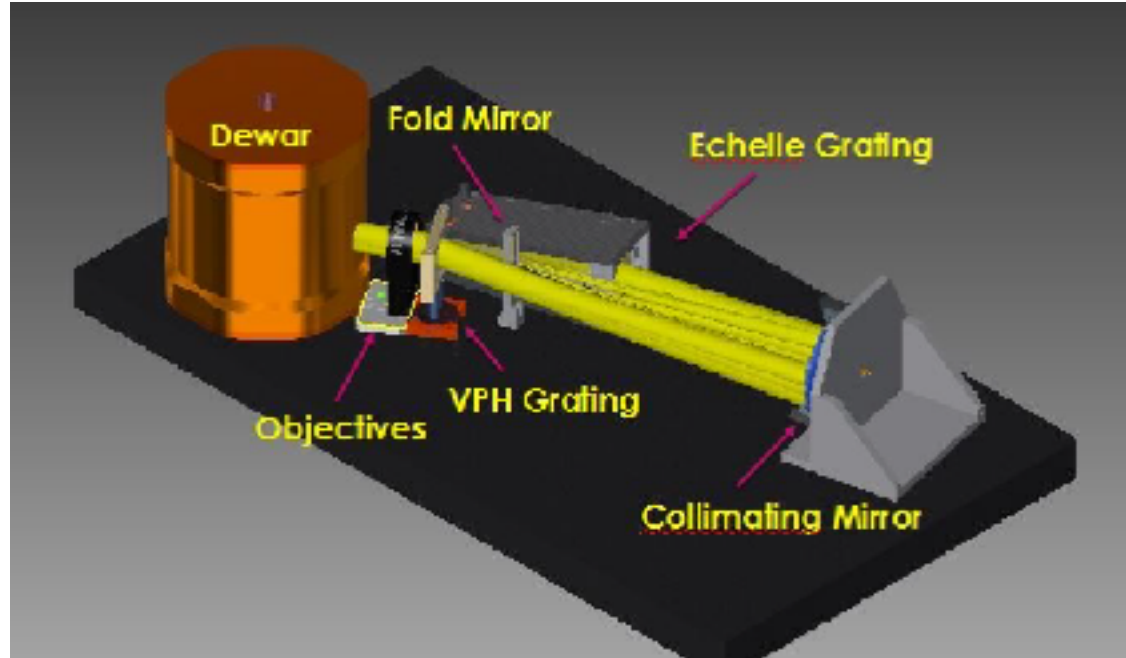


Test image taken at Subaru.



# 次期観測装置（開発中）：TARdYS

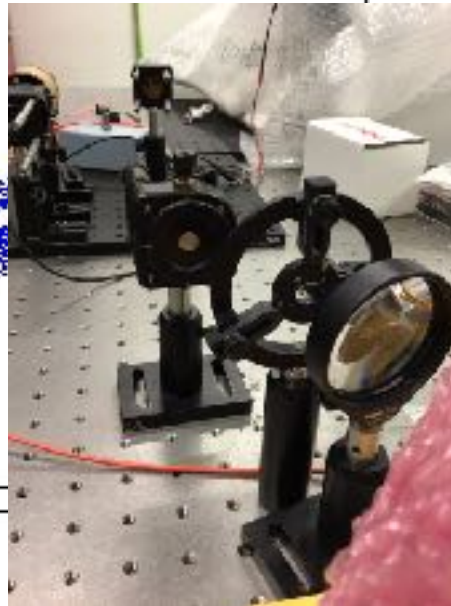
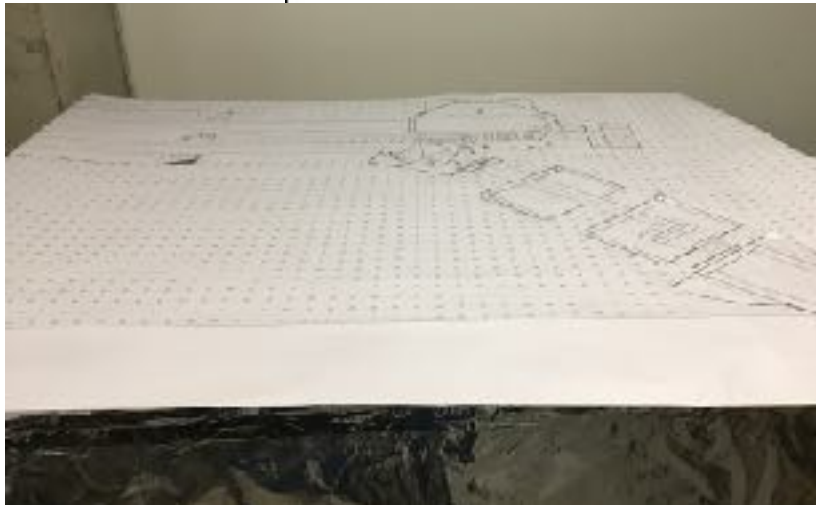
- TAO AIUC high Resolution (d) Y band Spectrograph
- チリ・カトリカ大学主導（w/東京大学、国立天文台）
- Y-band (0.84-1.15 $\mu\text{m}$ )
- Fibre fed型高分散分光器：R > 50,000
- InGaAs 1.3k x 1.3k, 1.7 $\mu\text{m}$  cutoff





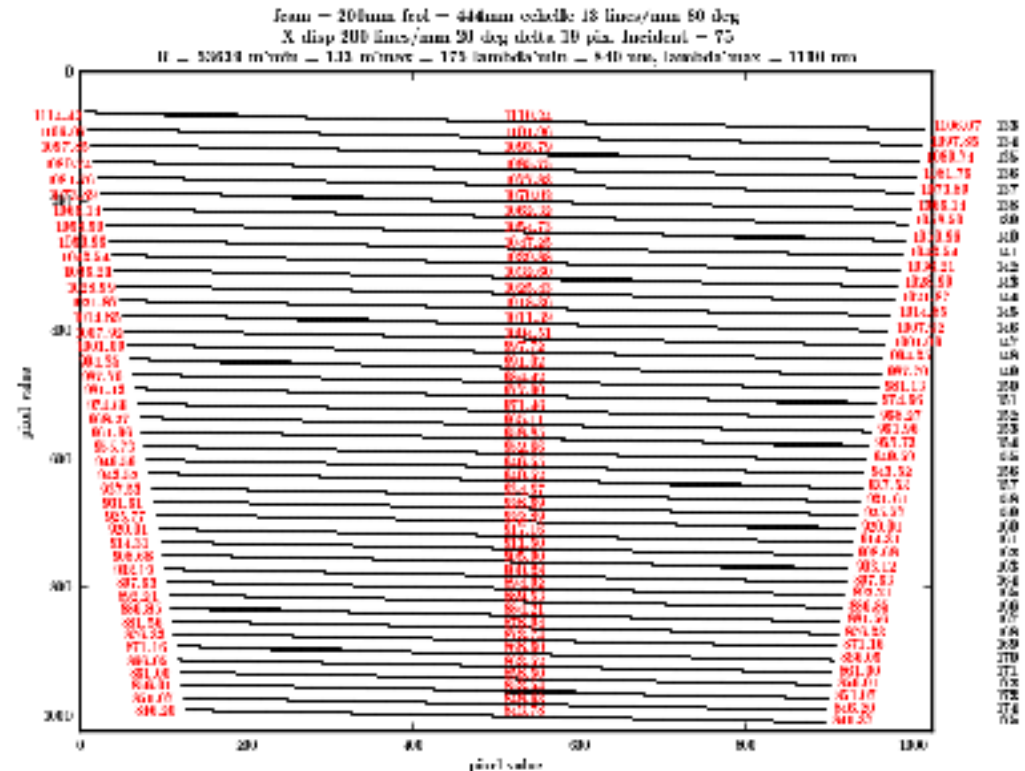
# Optics & Detector : TARdYS

- Slit : 100 $\mu$ m x 400  $\mu$ m
- Collimator f=550mm, F/20
- Light from the telescope is fed by a fiber
  - 50 $\mu$ m core fiber
  - F-conversion lenes necessary to match to F/20 (~4x magnification)
- Image slicer : split fiber core image into two (shown later)

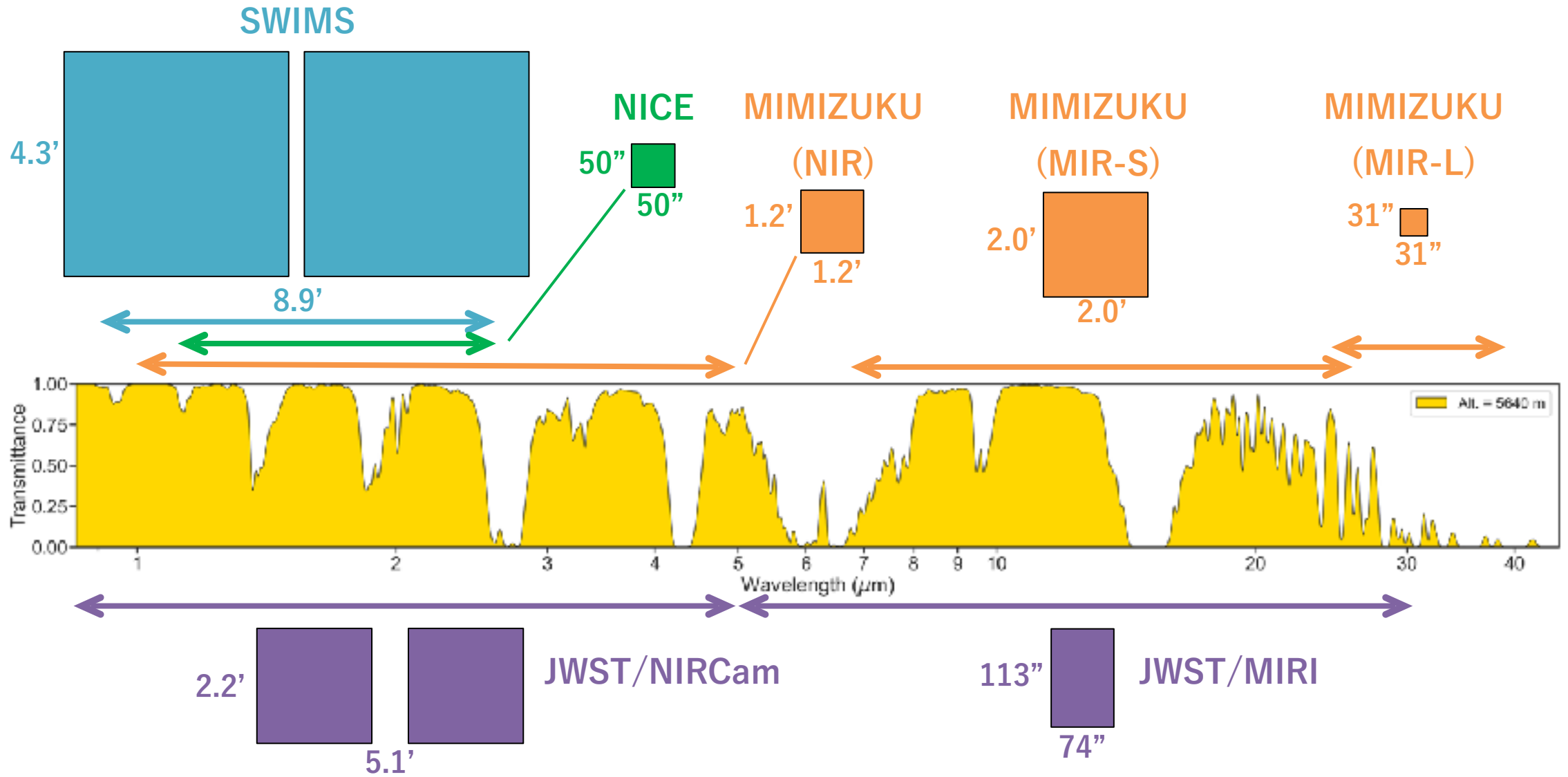


Configuration 1 of 7

- Spectral resolution :  $R > 50000$
- Wavelength Range : 0.84-1.15 $\mu$ m
- Detector : HAWAII-1RG

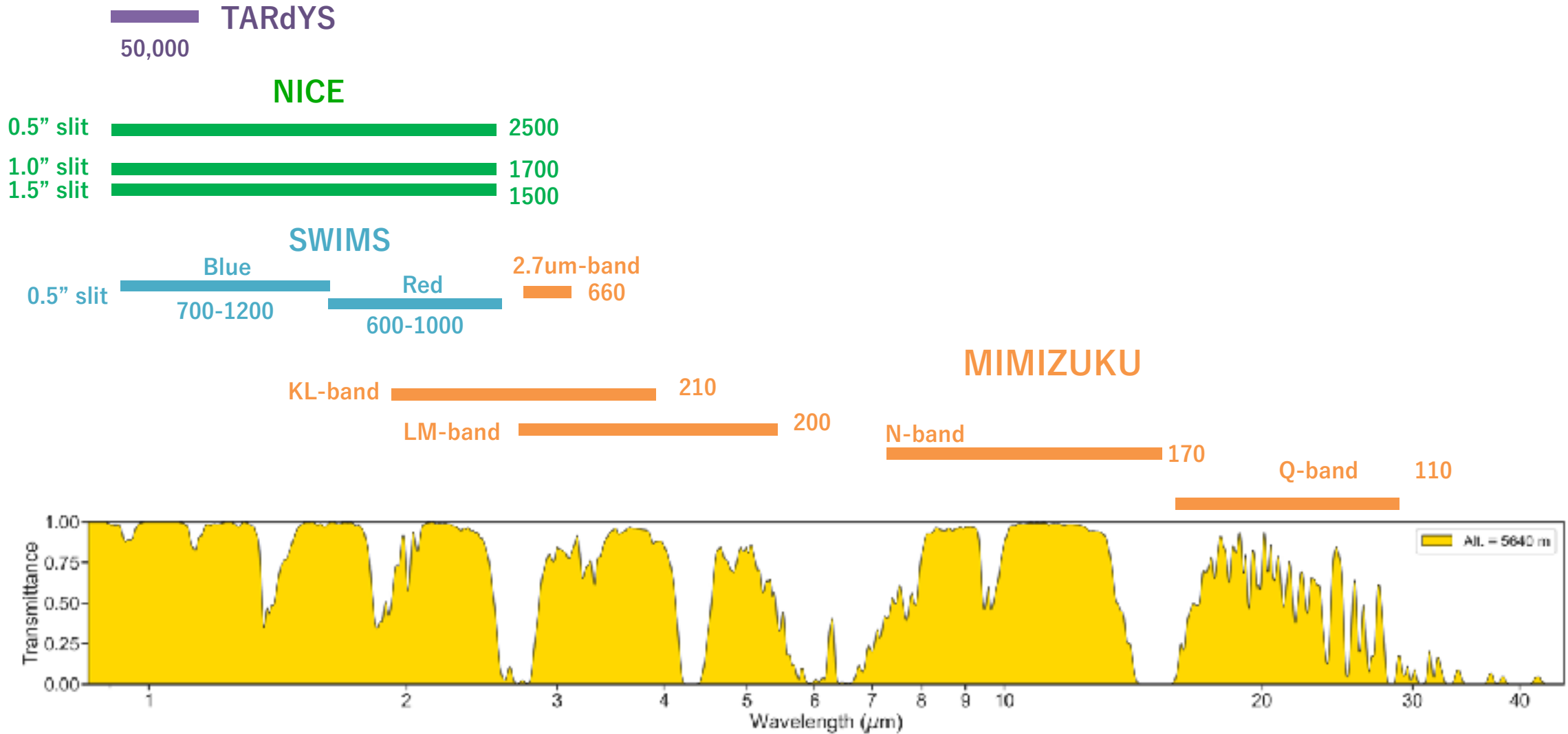


# 装置の視野比較



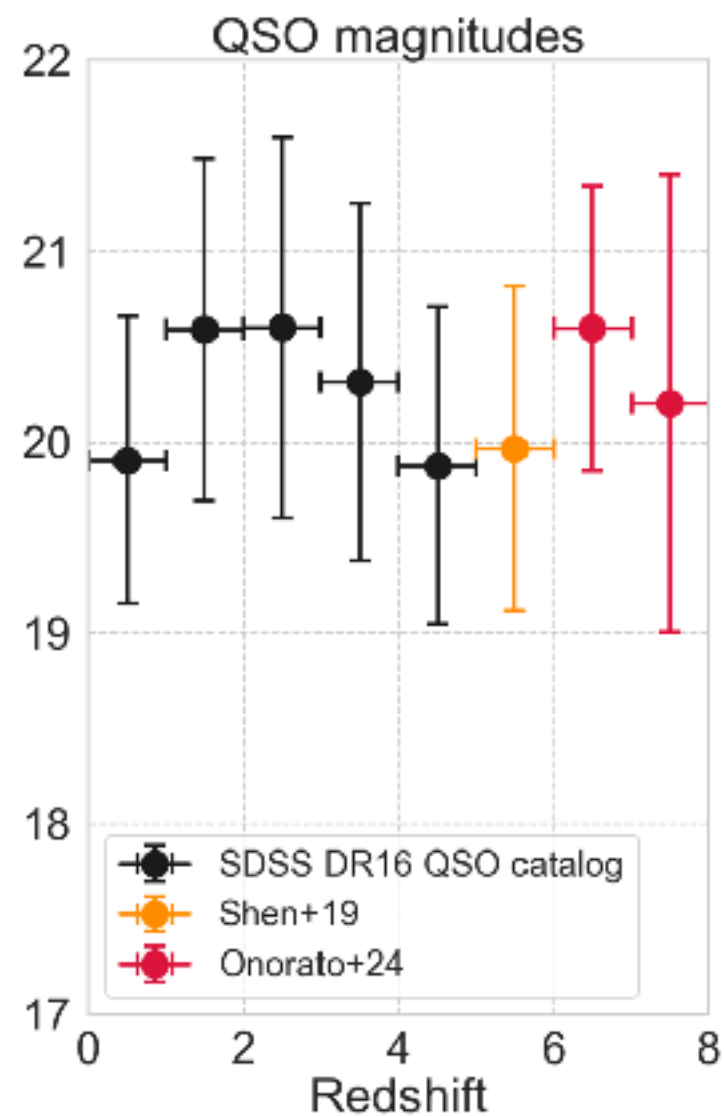
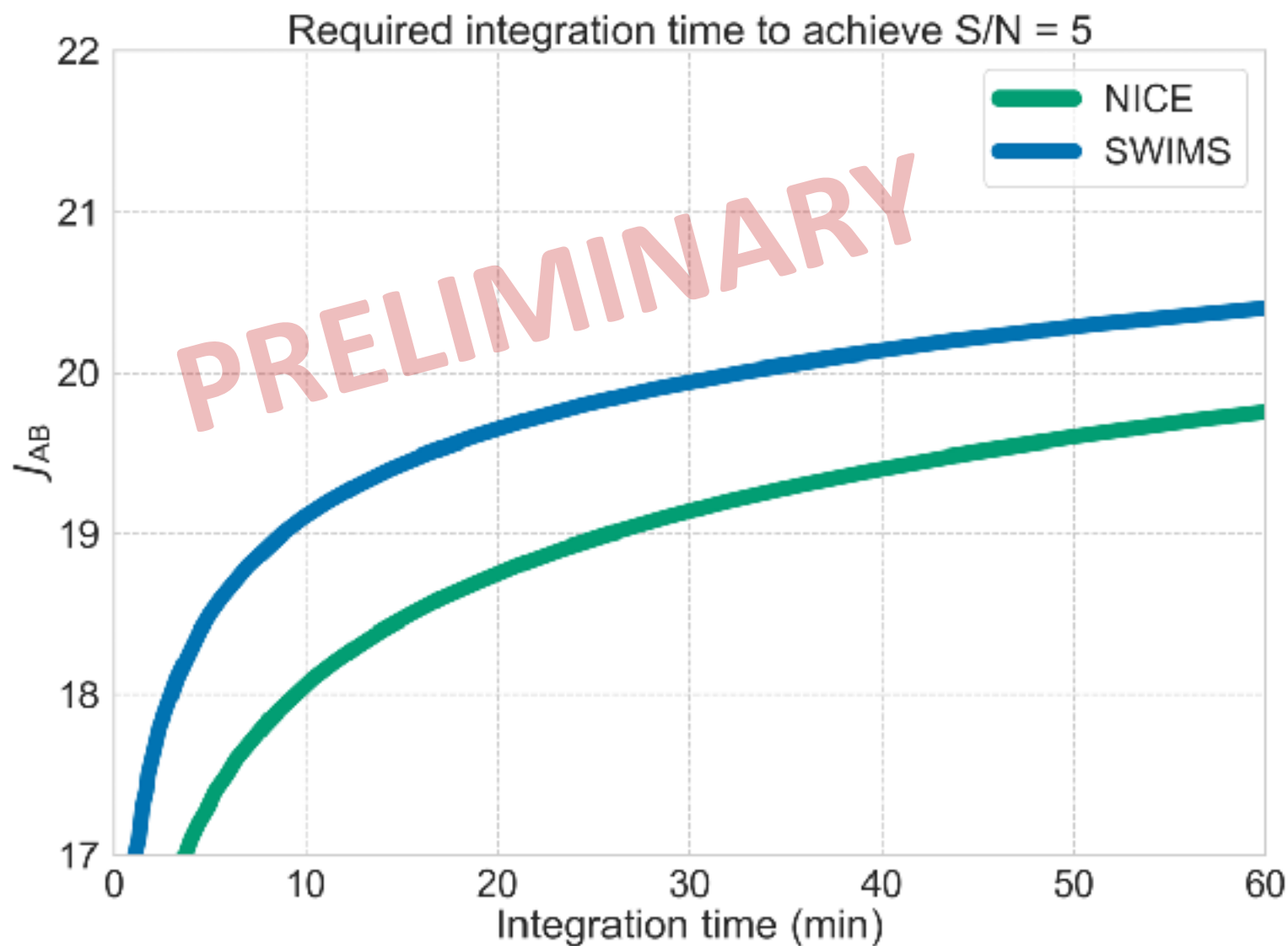


# 装置の分光性能





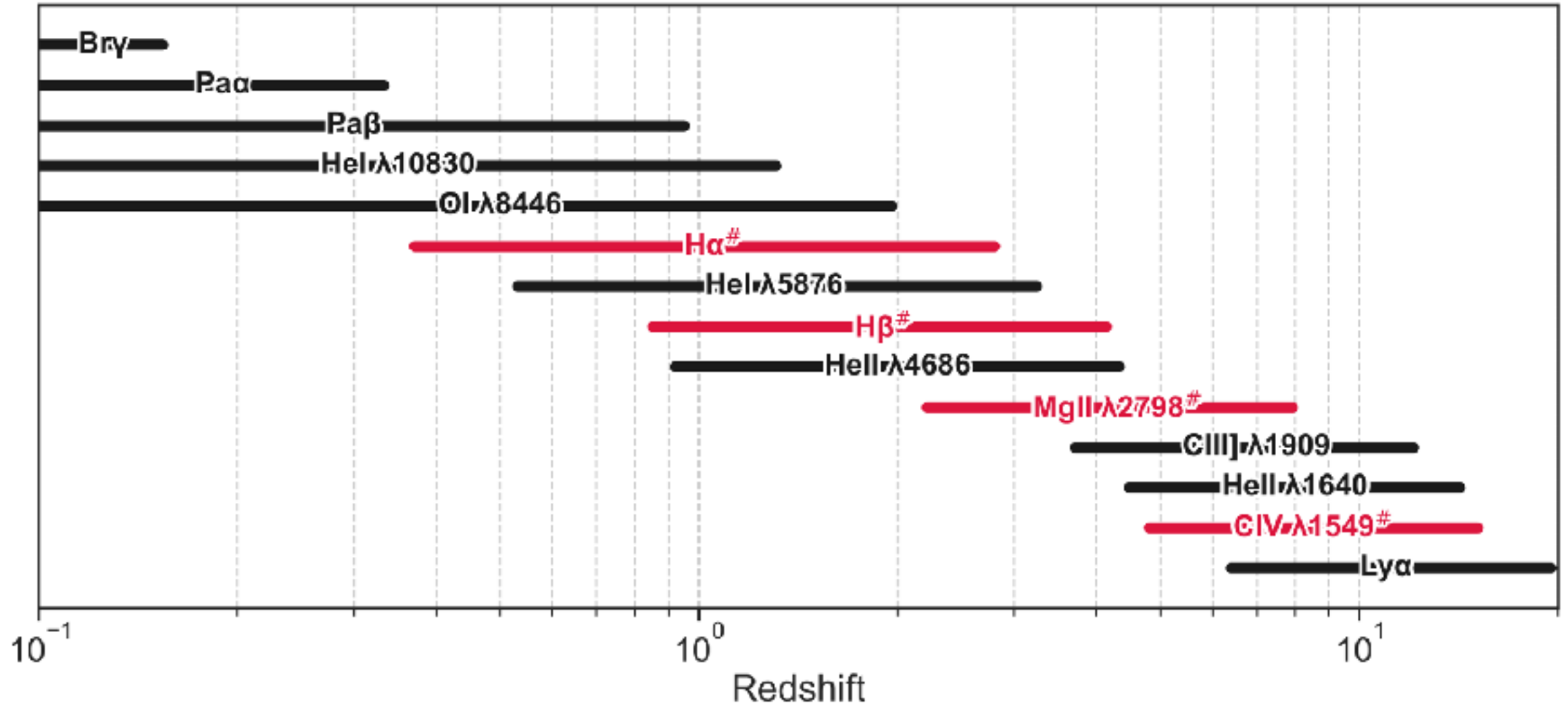
# 感度 — 近赤外分光



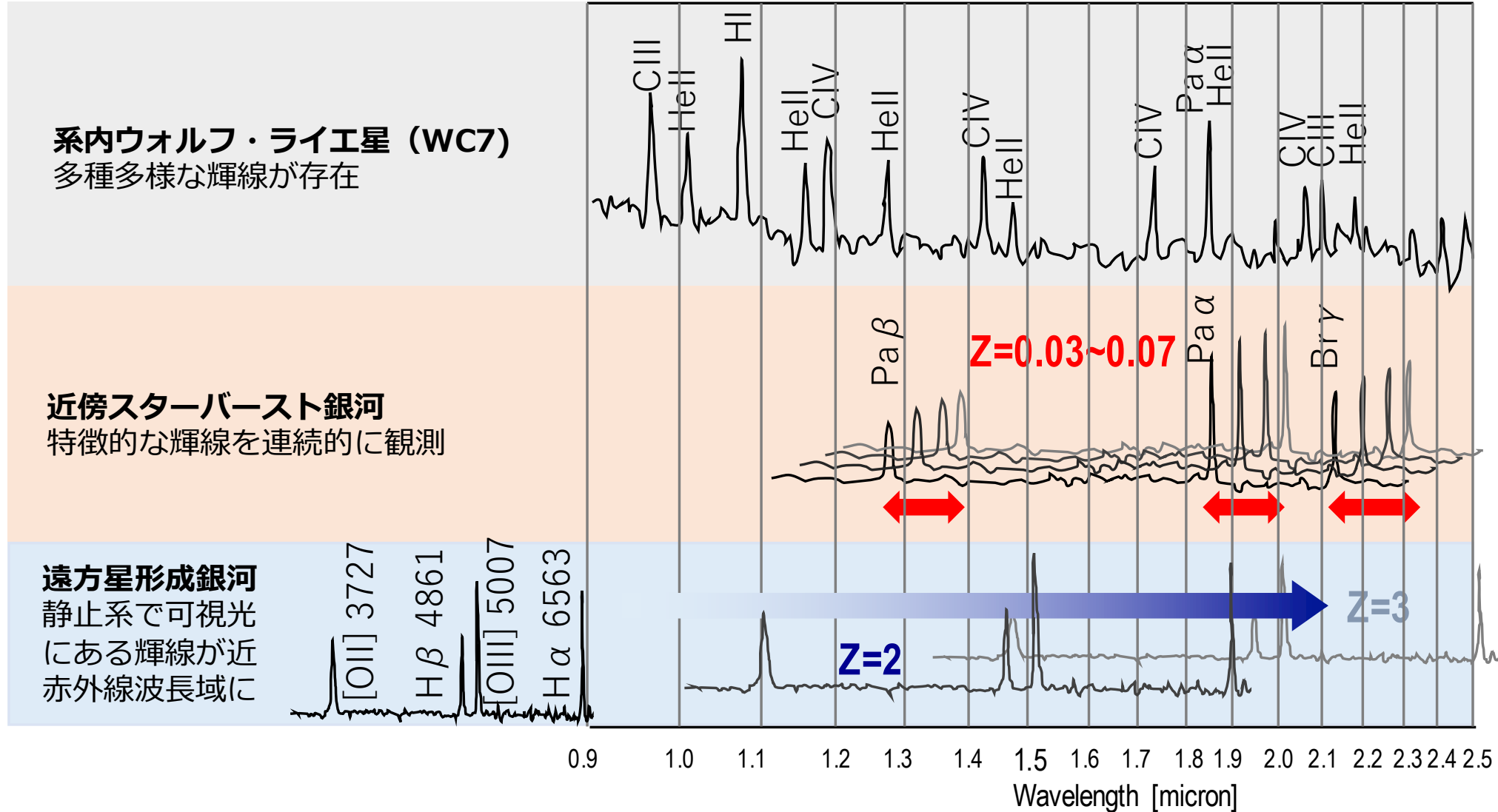


# ターゲットとなる輝線 (NICE/SWIMS)

(#) Can be used to estimate SMBH mass.



# ターゲットとなる輝線 (NICE/SWIMS)



# まとめ

## ● TAOプロジェクト

- 高標高、乾燥した環境、高い晴天率を利用して様々な**赤外線観測**を計画.
- 大学望遠鏡として若手の教育・研究を推進.
- チャナントール山頂施設 (@5640m)の完成.
- 望遠鏡、蒸着設備等を棟内に設置中.



## ● TAOの観測装置（第1期@ナスミス）

- **0.9-38um**までの広い波長範囲を3つの観測装置（NICE, SWIMS, MIMIZUKU）でカバー.
- 東大天文センター（@三鷹）でTAO輸送、望遠鏡設置に向けてリファービッシュ中.
- 2025年度以降順次チリ輸送、現地での観測準備.

## ● TAOの観測装置（第2期以降@ベントカセグレン）

- TARdYS
- U-band?
- 可視多色・分光?



上塚

kamizuka@ioa.s.u-tokyo.ac.jp



小西

konishi@ioa.s.u-tokyo.ac.jp



高橋

nori@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

