

近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU すばる望遠鏡でのファーストライト

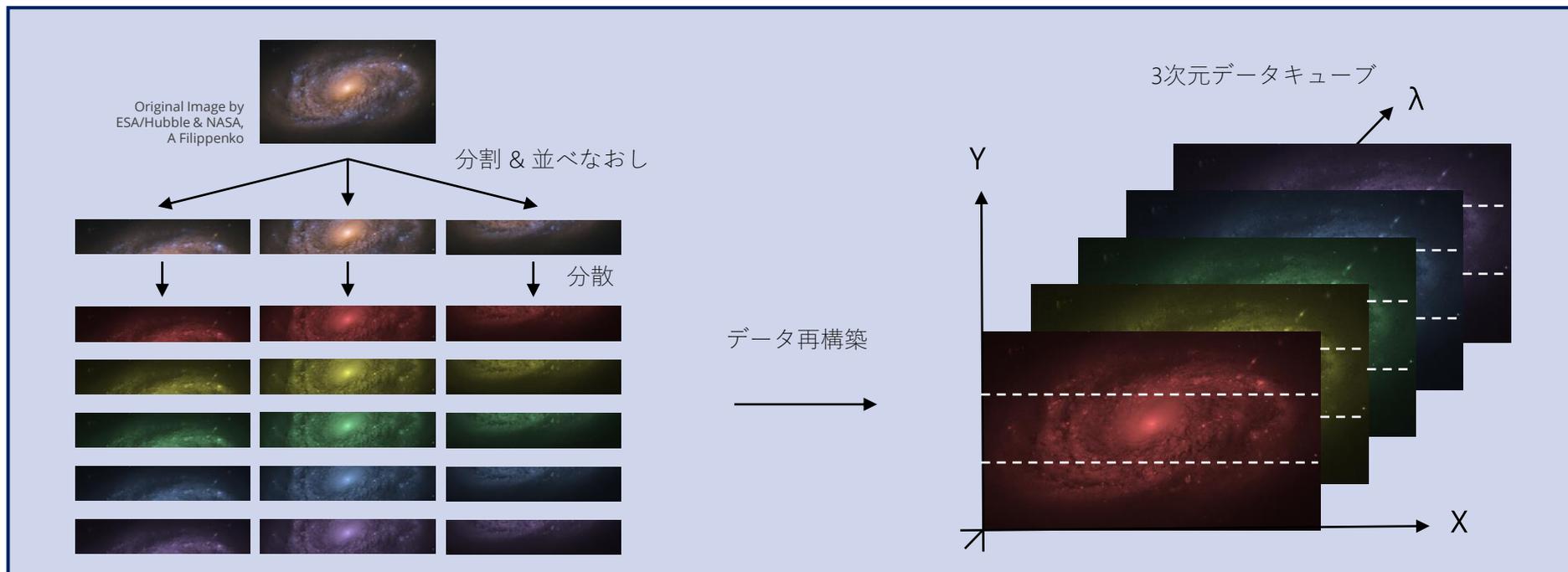
2022年度 光赤天連シンポジウム

櫛引洸佑(東京大学 D3)

尾崎忍夫(国立天文台), 竹田真宏, 細畠拓也, 山形豊(理化学研究所),
森田晋也(東京電機大学), 中川桂一, 佐伯峻生, 大竹豊(東京大学),
都築俊宏, 三ツ井健司, 沖田博文(国立天文台),
本原顕太郎(国立天文台, 東京大学), 高橋英則, 小西真広, 小山舜平,
加藤夏子, 陳諾, 穂満星冴(東京大学)

面分光

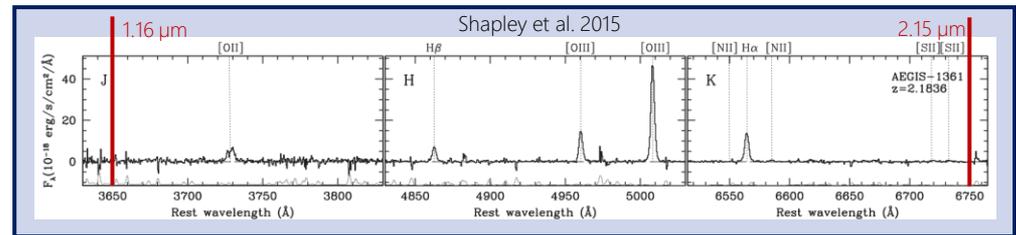
- **二次元の視野全体**の**空間分解したスペクトル**を**一度の露光**で取得する観測手法
- 特に可視で大規模に実施: MUSE(VLT), MaNGA(SDSS), ...



近赤外線面分光

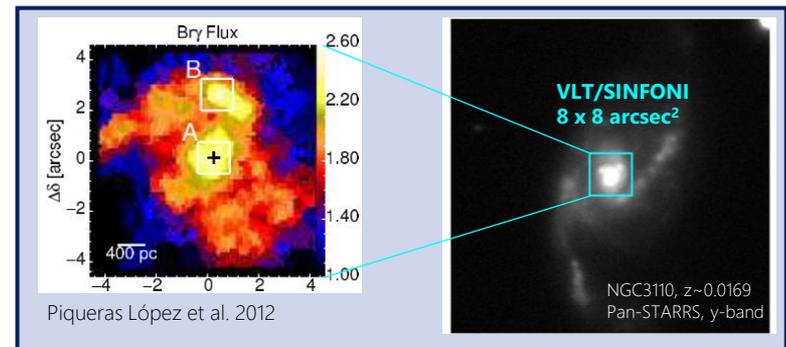
重要性

1. ダスト減光の強い天体 (Starburst銀河、星形成領域など)
 - 可視光はダスト減光の影響が強い
→ 近赤外線は影響が少ない
2. 高赤方偏移天体
 - 赤方偏移した可視スペクトル
 $z \sim 2$ (Cosmic Noon)



問題点

1. **視野が狭い** $< 10 \times 10$ arcsec²
 - 近傍天体の一部のみ
ブラインドサーベイには全く不向き
2. **同時観測波長域が狭い** (近赤1-2バンドのみ)
 - 複数輝線の観測が非効率



→ 広波長域の既存近赤外線分光器SWIMSに広視野面分光ユニット(IFU)を開発

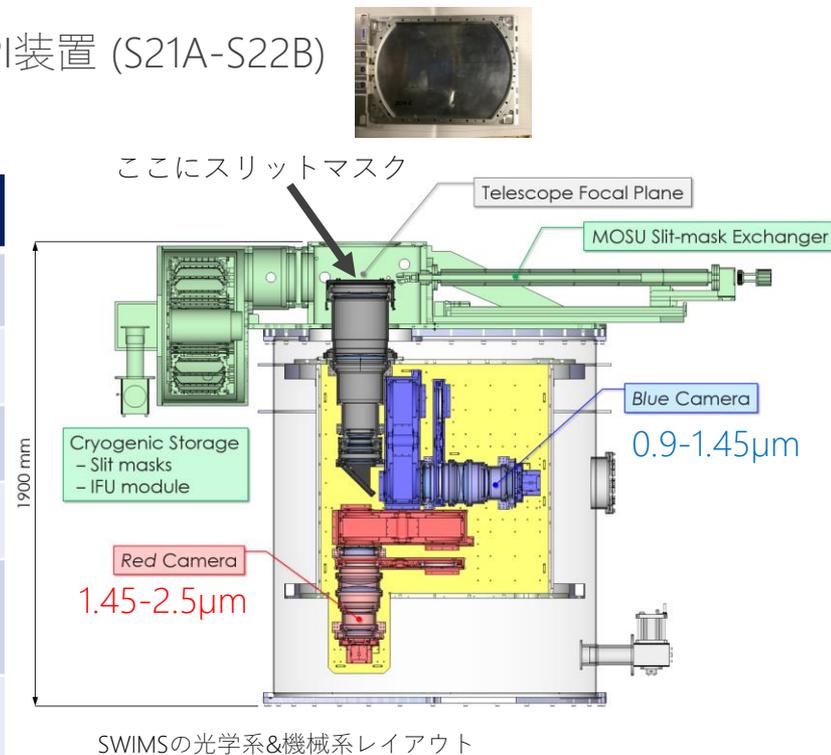
SWIMS

Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph

TAO 6.5m望遠鏡の第一期装置 & すばる望遠鏡 PI装置 (S21A-S22B)

- 二色同時 広視野撮像 & スリット多天体分光

	TAO	Subaru
撮像視野	Φ9.6'	6.6' x 3.3'
ピクセルスケール	0.126"/pix	0.095"/pix
各arm検出器数	4	2
フィルター	Y, J, H, Ks, 8 x MB, 10 x NB	
同時分光波長域	0.9 – 1.45 μm (Blue arm) & 1.45 – 2.5 μm (Red arm)	
波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda$ (0.5"スリット)	700 - 1200	600 - 1000



→ スリットマスクと同様に望遠鏡焦点面に挿入するだけで、
SWIMSを面分光モードに切り替える光学ユニットを開発

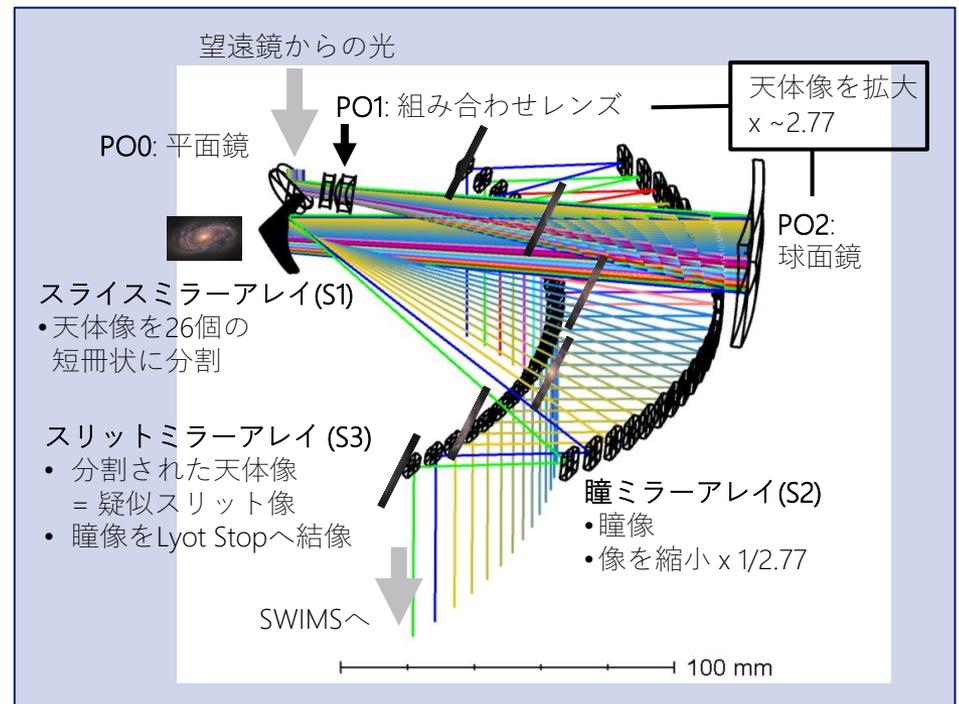
面分光ユニット SWIMS-IFU

- シーイングでの観測に最適化したイメージライサー方式の光学系

SWIMS-IFU 仕様値 (Subaru)	
視野	~ 13.5 x 10.4 arcsec ²
スライス幅	~ 0.4 arcsec
スライス数	26 (CH+13~CH+1, CH-1~CH-13)
ピクセルスケール	0.095"/pix
IFU効率	> 70%

➔ 既存装置より広視野&広波長帯域で効率の良い観測

- スリットマスクと同様に扱うため、コンパクトな光学系

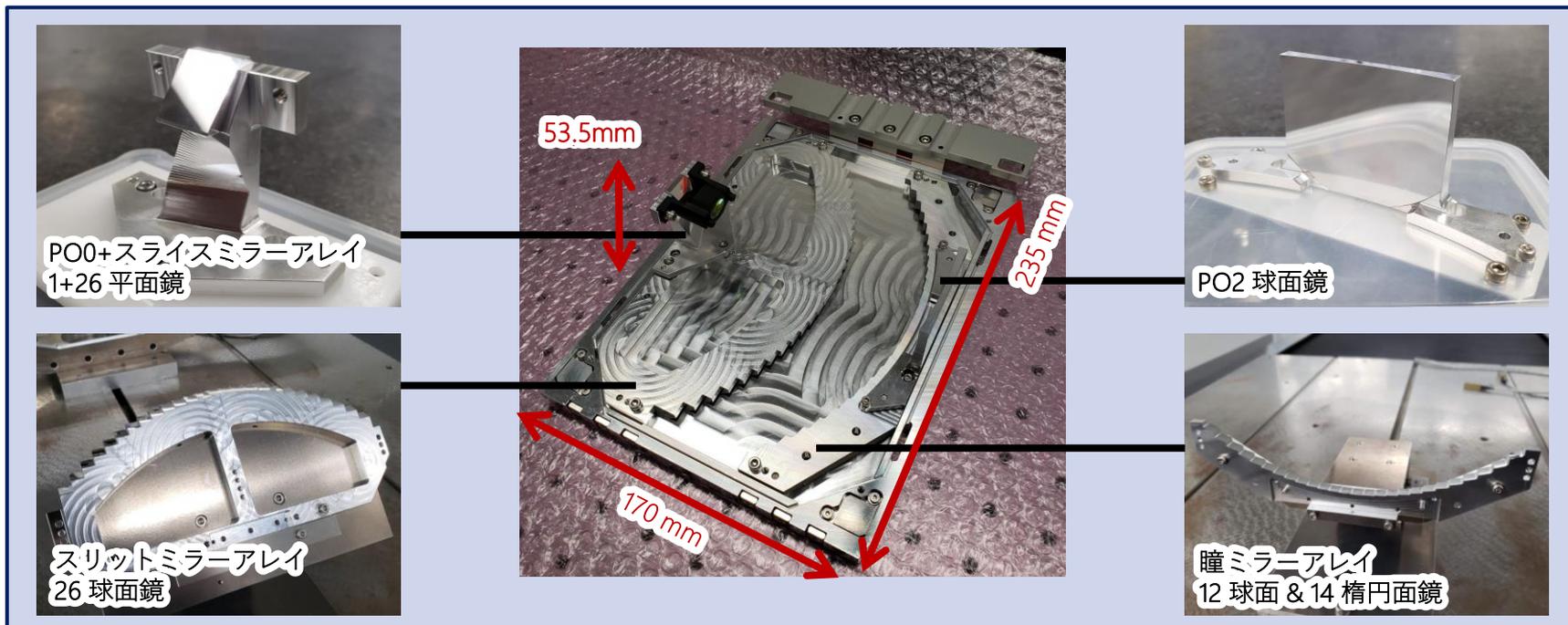


*銀河画像 ©ESA/Hubble & NASA

超精密切削加工を用いた製作

動作精度 < 1nm の超精密加工機 ULG-100D(5A) (理研所有) と高精度ダイヤモンド工具

- 面粗さ rms < 10nm
- 形状誤差 P-V < 300nm
- 複数鏡面の一体加工 → アライメント負担の軽減



すばる望遠鏡での試験観測

基本情報

日時	2022/3/27 前半夜 (HST) *2022/3/25 日中に較正データ取得
天気	晴天
実施項目	<ul style="list-style-type: none">● 天体導入● 標準星 HIP51684 (IFU撮像 & 分光)● 球状星団 M3 (IFU撮像)

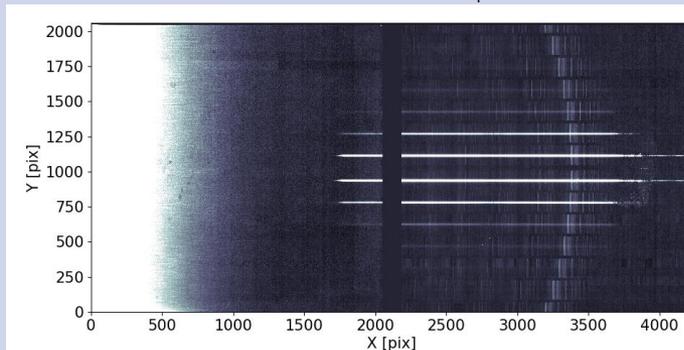
評価項目

- 結像性能 ● IFU効率 ● 迷光

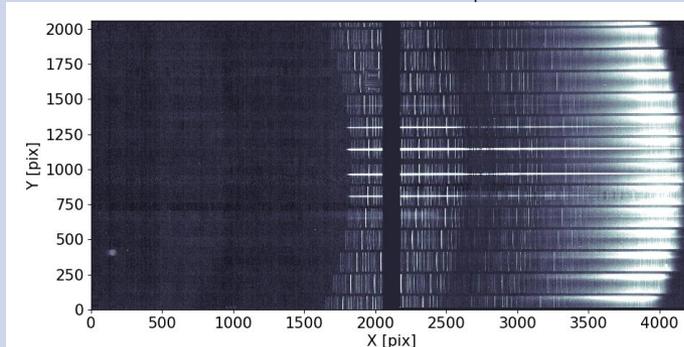


IFU視野中心で観測した標準星

Blue arm: 0.9 – 1.45 μ m



Red arm: 1.45 – 2.5 μ m

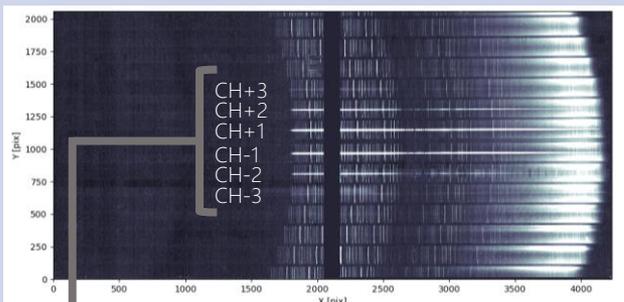


※ 12チャンネルのみの評価

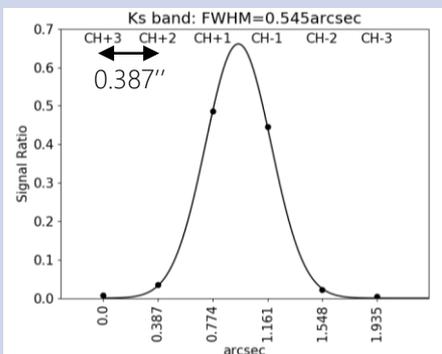
結像性能

- 当日のseeing (FWHM=0.39-0.56 arcsec)と比べて、劣化は0.1 arcsec程度と **ほぼ設計通り**

スライスミラーアレイでの結像

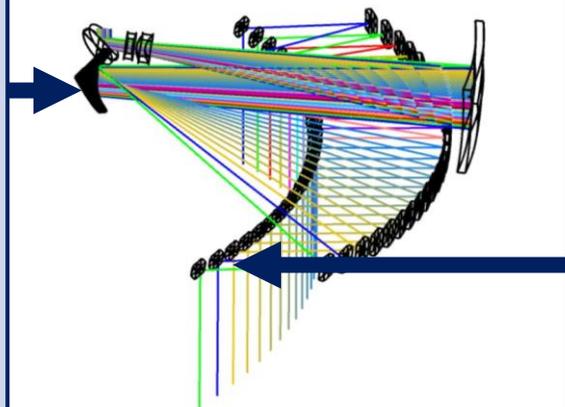


6チャンネルに渡る標準星スペクトル
= スライス幅0.387arcsecでサンプリング
されたスライスミラーでの点像

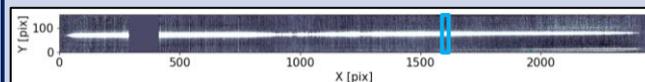


各CHが占める
信号の割合を
ガウシアン
フィット

➔ FWHM = 0.48 – 0.58 arcsec
(想定値 0.393 – 0.562 arcsec)

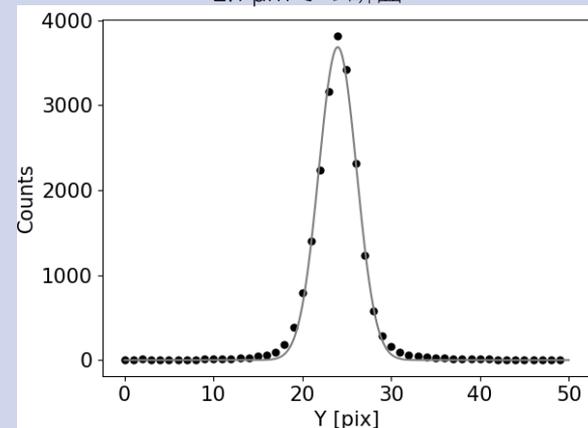


検出器での結像 ~スリットミラーでの結像



観測されたスペクトルの空間方向の広がり
= 最終的な点像のサイズ

2.1 μmでの断面



1.0, 1.2, 1.6, 2.1 μmで測定 & ガウシアンフィット

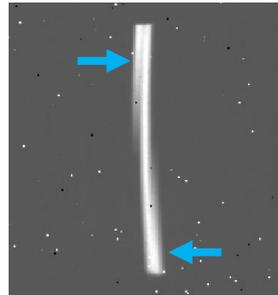
➔ FWHM = 0.45 – 0.64 arcsec
(想定値 0.47 – 0.62 arcsec)

熱迷光

観測された迷光

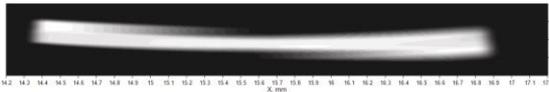
- 長波長(Ks-band)のみ
 - 疑似スリット像の両脇に上下半分ずつだけ短冊状の像
- 2.1 μ mより長波長のスペクトルで大幅な感度劣化

Ks-band ドームフラットオフ IFU撮像



原因 = 望遠鏡バッフルやカセグレン穴付近からの熱輻射

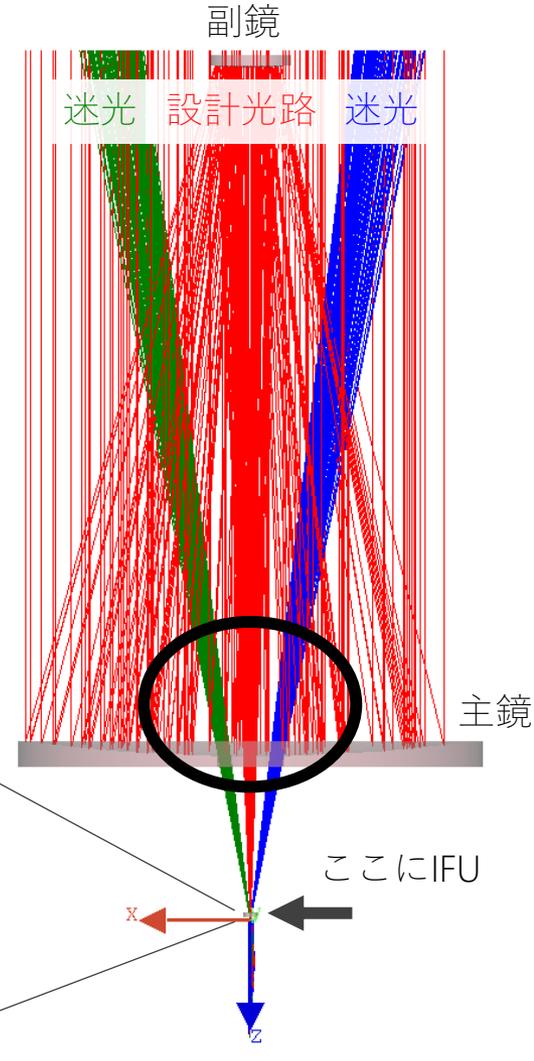
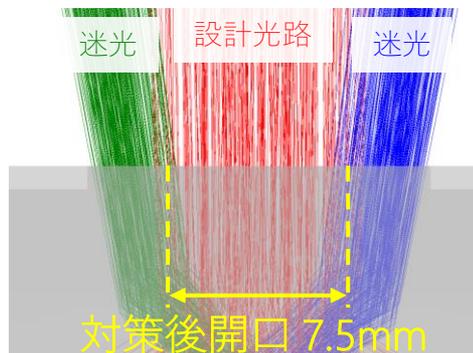
- 迷光光路の主鏡穴付近にはバッフルなど常温構造多数



シミュレーションで得られた設計光路+迷光像

対策

- IFUの入射開口を狭める
14.5mm \rightarrow 7.5mm
(設計光路 > 90%
迷光 < 10%)



SWIMS-IFU開発 まとめと今後の展望

まとめ

- **SWIMS-IFU**はTAO 6.5m望遠鏡用近赤外線観測装置SWIMSに**広視野13.5" x 10.4"**の面分光機能を追加する**イメージスライサー方式の面分光ユニット**である。
- SWIMS-IFUは超精密切削加工によって完成し、2022年3月に**すばる望遠鏡で初めての試験観測**を実施した。
- 性能評価
 - ✓ **結像性能**はスライスミラーアレイ位置、スリットミラーアレイ位置ともに**ほぼ設計通りでFWHM=0.45 – 0.64 arcsec**。
 - ✓ **IFU効率は50 – 75%**と短波長側と長波長側で仕様の70%を下回る。特に**長波長側の効率減少の原因は明らかになっていない**。
 - ✓ 望遠鏡バッフル構造からの**熱放射による迷光**が見られた。対策を検討中。

今後の展望

- S22B期にすばる望遠鏡共同利用に公開され、**一件の科学観測**が予定されている。
- **TAO 6.5m望遠鏡用の新SWIMS-IFU**では今回の開発からの**フィードバックにより性能の改善**を目指し設計を進める。

光赤外コミュニティーへ 個人的に思うこと

近赤外線“広視野”面分光は未開拓かつ需要はありそう → やるなら今！？

- 最近の方向性は高空間分解能 & 中-高分散 → 視野は狭い
- 広視野近赤IFUは計画されているものでも26" x 20"程度 (Magellan/MIRMOS)
- (MUSEを思い浮かべると...)冷却下で多数のIFU&分光器や検出器など課題は多い

既存装置

将来装置

Gemini/NIFS

3" □
3"

Gemini/GNIRS

3.2" □
4.8"

TMT/IRIS

2.25" □
4.4"

E-ELT/HARMONI

6.12" □
9.12"

VLT/KMOS

2.8" □
2.8"

VLT/ERIS(SINFONI)

8" □
8"

GMT/GMTIFS

2" □
4"

JWST/NIRSpec

3" □
3"

Subaru/SWIMS-IFU

4.8" □ (10.4")
13.5"

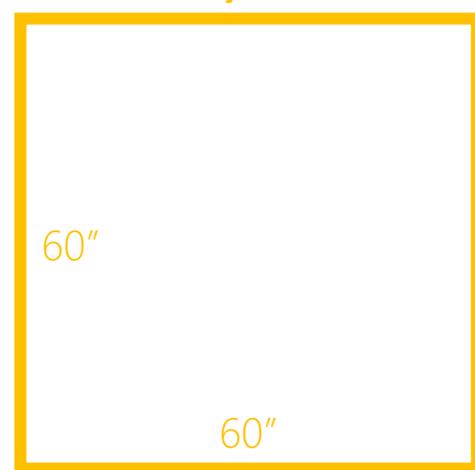
Keck/LIGER

6.8" □
13.2"

Magellan/MIRMOS

20" □
26"

VLT/MUSE



Keck/OSIRIS

4.8" □
6.4"

光赤外コミュニティへ 個人的に思うこと

近赤外線“広視野”面分光は未開拓かつ需要はありそう → やるなら今！？

- 最近の方向性は高空間分解能 & 中-高分散 → 視野は狭い
- 広視野近赤IFUは計画されているものでも26" x 20"程度 (Magellan/MIRMOS)
- (MUSEを思い浮かべると...)冷却下で多数のIFU&分光器や検出器など課題は多い

装置開発人材育成のために学生と教員の方へ思うこと

- サイエンス的な興味を持ち、ゼミや研究会に積極的に参加
- 様々な開発現場(小型、大型)を見る & 見せる機会
- 装置開発に関わる若手を増やすためには今いる装置開発の若手を良く雇用
→ 潜在的に多く存在する“少し開発に興味ある”若手を引き込むきっかけ