近赤外線面分光ユニット SWIMS IFUの開発状況

@面分光研究会 2019

櫛引洸佑(東京大学)

細畠拓也、竹田真宏、山形豊(理化学研究所)、 森田晋也(東京電機大学)、

尾崎忍夫、都築俊宏(国立天文台)、

本原顕太郎、高橋英則、河野志洋、小西真広、 加藤夏子、寺尾恭範、中村洋貴(東京大学)

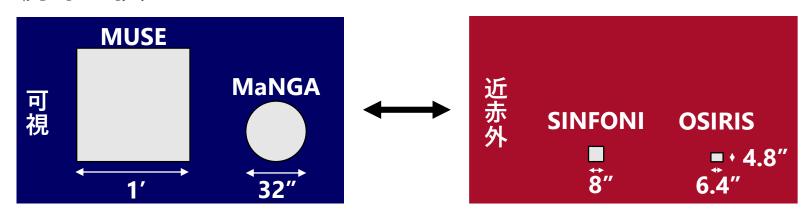
近赤外線面分光

近赤外線観測の利点

- ●可視に比べてダスト減光を受けにくい
- ●高赤方偏移天体の可視、UVスペクトル

現状の課題

●視野が狭い

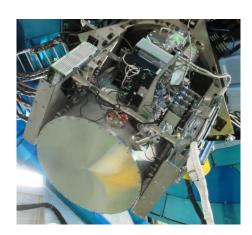


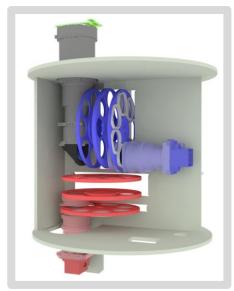
SWIMS

TAO6.5m望遠鏡の近赤外撮像分光装置 SWIMS

- ●*λ*=0.9-1.45, 1.45-2.5µm二色同時観測
- ●φ9'.6の広視野撮像
- ●最大~30天体の広波長帯域(0.9-2.5µm) スリット多天体分光
- ●IFUによる面分光(開発中)

すばる望遠鏡でのPI装置としての 運用を目指し準備中

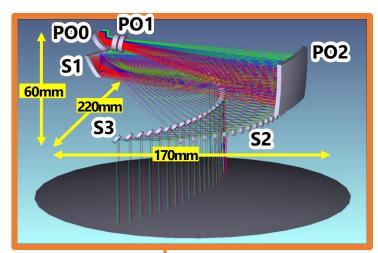


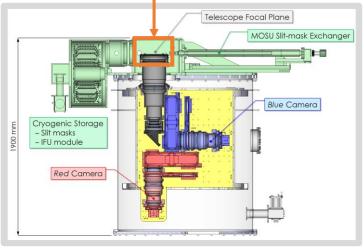


SWIMS-IFU

スライスミラー方式 面分光ユニット

- ●広視野 17.2"×12.8" @TAO 従来装置の4倍
- ●広波長帯域 0.9 - 2.5μmを一度に分光 他装置の2倍以上の効率





他装置との比較

	SWIMS-IFU		SINFONI	NIFS	OSIRIS
望遠鏡(口径)	Subaru (8.2m)	TAO (6.5m)	VLT UT3 (8.2m)	Gemini North (8.1m)	Keck I (10m)
観測波長(µm)	0.9-1.45/1.45-2.5		1.1-2.45	0.95-2.4	1-2.4
波長域	上記全域を一度に		J, H, K, H+K	Z, J, H, K	z, J, H, Kの BBとNB
$\lambda/\Delta\lambda$	~1000		~3000	~5000	~3800
空間分解能	seeing limited (~ 0.5")		0.250" - 0.025"	0.1"	0.10" - 0.02"
視野	14''×5.2''	17.2"×12.8"	8"×8" - 0.8"×0.8"	3"×3"	0.32" × 1.28" - 4.8" × 6.4"

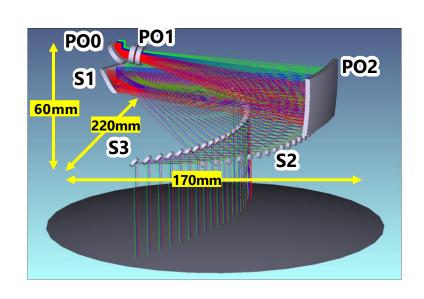
→ 広波長域、広視野による広がった天体の効率的な観測

SWIMS-IFU limiting magnitude[AB]@Subaru

S/N=5, exptime=1hr, IFU-throughput=0.8 J=20.9, H=20.7, K=20.7

SWIMS-IFU開発における難点

- ●小さく、複雑な全体の形状
- ●平面、球面、楕円面という 多様な形状のミラー
- ●合計80面の鏡面の位置較正 20µm、0.01degの精度
- → 通常の研磨加工では 鏡面作成が困難 アライメント機構などは 付けられない



→ 超精密切削加工による一体加工

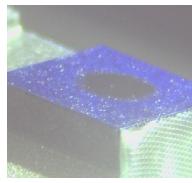
超精密切削加工による一体加工

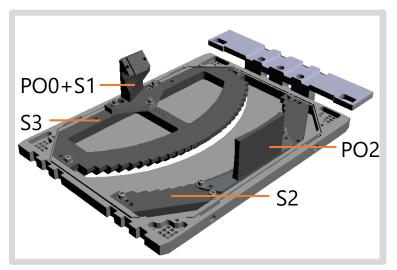
超精密切削加工

- ●nmオーダーでの制御が可能
- ●切削加工のみで鏡面に仕上げ
- → ボールエンドミルにより
 必要な形状全てを加工可能
- → 一つの母材から複数の ミラーを削り出すことで 位置較正負担も軽減

80個の鏡面を4つの母材から切り出す







※理化学研究所 先端光学素子開発チームとの共同開発

これまでの開発

超精密加工技術の確立

- 母材:特殊アルミ合金RSA6061 (RSP Technology)採用
- ダイヤモンドエンドミルによる鏡面作成 (Kitagawa et al. 2016, Kono et al. 2018)
 - →面粗さ、面形状の評価
- ミラーアレイの加工試験
 - → ミラー間の相対位置の評価

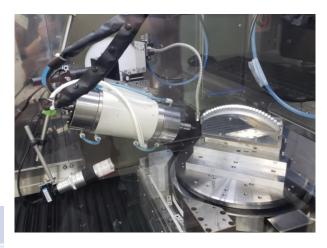
→ 今年3月に最初のミラーアレイが完成!!

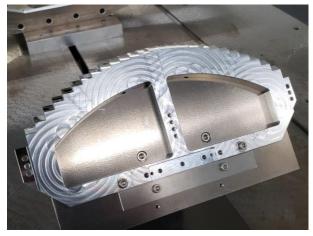
スリットミラーアレイ(S3)

- ●SWIMS-IFUの最終的な結像面
- ●曲率の異なる26個の球面鏡

加工条件(仕上げ)

使用加工機	ULG-100D(5A) (理研所有)	
使用工具(半径)	ボールエンドミル (0.46mm)	
送り速度 100mm/min		
回転数	20000rpm	
ピッチ	10µm	
切込み量	1µm × 2 回	
使用母材	RSA6061	





→ およそ1週間の加工期間で26面の鏡面が完成!!

3つの評価ポイント

項目	影響	定義	測定方法	要求
面粗さ	反射率	空間周期 20µm以下の 高周波成分の RMS値	干渉計 NewView 7200 (Zygo)	< 10nm
面形状	結像性能	設計形状からの ずれの P-V 値	干渉計 Verifire QPZ (Zygo)	< 200nm
ミラー間 相対位置	効率	設計相対位置からの 並進三軸各方向の ずれの大きさ	三次元測定機 LEGEX (Mitutoyo) & PFU-3 (三鷹光器)	各方向 < 20µm

評価結果

面粗さ

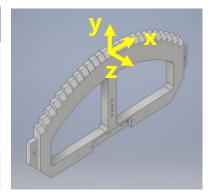
平均±標準偏差	7.36 ±2.12nm (要求 < 10nm)
最大	12.84nm
最小	4.42nm

面形状

平均±標準偏差	168.72 ±32.06nm (要求< 200nm)
最大	277.09nm
最小	117.31nm

ミラー間相対位置

	x	у	Z
平均 ±標準偏差	2.16 ±6.14μm (要求< 20μm)	1.90 ±2.23μm (要求< 20μm)	-0.30 ±1.65μm (要求< 20μm)
最大	17.68µm	8.93µm	2.39µm
最小	-7.012µm	-0.87µm	-3.33µm



全3項目でほぼ要求精度を満たすミラーアレイが完成!!

瞳ミラーアレイ 加工試験

- ●SWIMS-IFUの瞳結像面
- ●12個の球面と14個の楕円面
- ●面の向きが複雑

加工条件(仕上げ)

, ,			
使用加工機	ULG-100D(5A) (理研所有)		
使用工具(半径)	ボールエンドミル (1.0mm)		
送り速度	きり速度 100mm/min		
回転数	25000rpm		
ピッチ	10μm		
切込み量	1μm × 2 回		
使用母材	A6061		





→ およそ1週間の加工期間で26面の鏡面が完成!!

今後の展望

年度	製作物		試験、観測	
	前半	後半	前半	後半
2019		・ 瞳ミラー アレイ(S2)		• S2結像試験
2020	PO2ミラーPO1レンズ (外注)全体構造体 (外注)	スライス ミラーアレイ (S1)PO0ミラー		組み上げ 完成実験室での 性能試験
2021	観測用ソフト	• 解析ソフト	SWIMSに インストール試験観測 @Subaru	• 性能評価
2022			共同利用 科学観測 @Subaru	・ SWIMS TAO移設