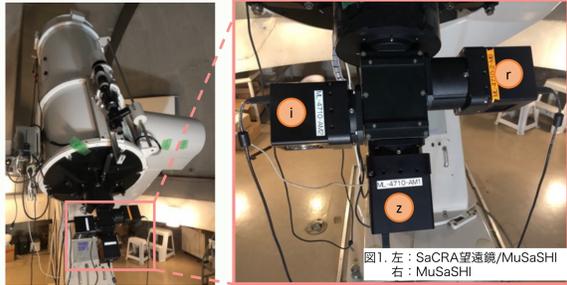


三波長同時撮像装置MuSaSHIのぐんま天文台150cm望遠鏡搭載と観測

第13回OISTER WS@名古屋大学

金井昂大, 大朝由美子(埼玉大学), 高橋英則(東京大学), 橋本修(ぐんま天文台)

MuSaSHI



- 埼玉大学55cm"SaCRA"望遠鏡(F6.5)用に開発(潮田 修士論文 2016, Oasa et al. 2020)
- r,i,zバンド同時撮像観測+偏光観測
- レンズを用いない高効率(50-70%)な収束光学系
- SaCRA搭載時の限界等級(S/N \geq 10, rバンド) ~17.3等(5min), ~18.5等(30min)

三波長同時偏光撮像装置"MuSaSHI"

光学系	ウェッジ付き ダイクロイックミラー
観測波長	r(550-680nm) i(700-810nm) z(820-1000nm)
重量	~10kg
大きさ	~40cm \times 40cm \times 15cm
CCD	FLI ML4710
画素数(画素サイズ)	1056 \times 1027(13 μ m)
観測視野 @SaCRA(F6.5)	12.8' \times 12.4' (0.74"/pix)

ぐんま天文台150cm望遠鏡



最大4つの観測装置を搭載可能な一方、多色同時撮像機能を持つ観測装置が存在しない

ぐんま天文台150cm望遠鏡

口径	150cm
焦点距離	1830cm
F値	12.2
カセグレン焦点	近赤外撮像分光装置 (GIRCS)
ナスミス焦点(1)	観望用
ナスミス焦点(2)	高分散エシェル分光器 (GAOES; せいめい望遠鏡へ移設)
ペントカセグレン 焦点(1)	空き → MuSaSHI 搭載予定
ペントカセグレン 焦点(2)	低分散分光撮像装置 (GLOWS)

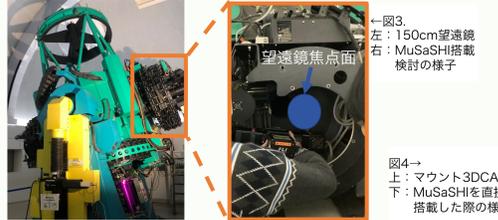
MuSaSHIを搭載することで
ぐんま天文台150cm望遠鏡で
高精度な多色同時撮像観測を行なう

直接搭載

ペントカセグレン焦点に搭載。焦点面に直接搭載するマウントを設計・製作し、観測を行なった(OISTER 教育プログラム2019-2020)

マウント開発

望遠鏡焦点面フランジからMuSaSHIを上下に支持するマウントを設計

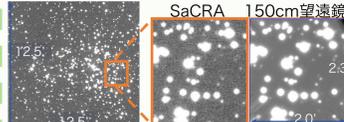


性能評価

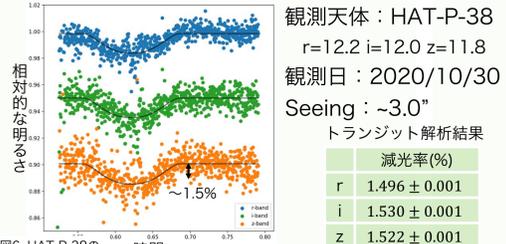
MuSaSHI@150cm望遠鏡

F値	12.2
観測日	2020/10/28-30 2021/12/08 2022/01/18-20
観測視野	2.57' \times 2.50' (0.146"/pix)
限界等級 S/N \geq 10, rバンド, 積分時間 300s	r:18.0mag (SaCRA:17.3mag)

SaCRAとの観測画像比較



系外惑星トランジット観測



科学観測が可能であることを確認!
・視野が狭い(2.6' \times 2.5')
・過度なオーバーサンプリングなど
観測効率の低さが課題

課題

- 観測視野が狭い(2.6' \times 2.5')
- 過度なオーバーサンプリング(Seeing 3" \approx 20pix)
- 搭載に時間がかかる
- 取り付け再現性が低い
- **レデューサー開発**
F12.2 \rightarrow F \sim 6.5(MuSaSHI設計値)に変換
+搭載位置をフランジ手前に変更
- 配線の安全性/安定性
- 望遠鏡と制御PCの接続
- 望遠鏡情報の取得
- **通信/制御系の更新**
(配線BOXの製作+ソフト整備)

レデューサー開発・環境整備

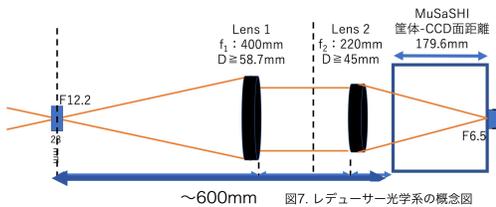
観測効率の向上+安定した運用を目的としてレデューサー開発や環境整備を実施(OISTER 教育プログラム2020-2021)

レデューサー開発

- 2枚のレンズ(L₁,L₂)を用いたF変換光学系
L₁:焦点距離f₁,口径D₁, L₂:焦点距離f₂,口径D₂
- (持ち込み装置のため)取り付け再現性の高い筐体設計

レンズ選定条件

- f₂ \geq 180mm
- f₂/f₁ \leq 0.53(@F6.5)
- D₁ \geq f₁/12.2+28mm (観測視野実サイズ)
- D₂ \geq 1500 \times f₁ / 18300 (主鏡瞳サイズ)
- コーティングが500-1000nm

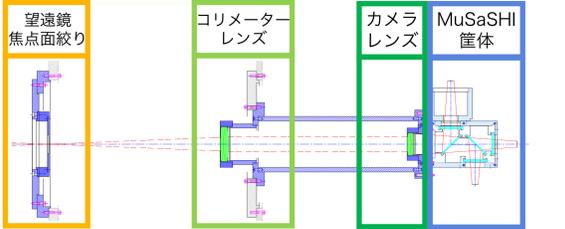


メーカー	焦点距離	口径
コリメーター レンズ	エドモンド 75 \times 400 VIS-NIR	400mm 75mm
カメラレンズ	シグマ DLB-50-220PPM	220mm 50mm

F12.2 \rightarrow F6.7 (4.7' \times 4.6'; 0.27"/pix)
を実現するレンズの組み合わせ

筐体設計

- 長さ: ~400mm
- 重量: ~3kg
- レデューサー/MuSaSHI
接続部分の取り付け再現性
→位置決めピン(径3mm)採用
- 焦点面絞り(迷光対策)



環境整備

- 焦点マウントで光 \rightarrow 有線LAN 変換
→ 配線がMuSaSHI搭載焦点のみで完結
- 150cm望遠鏡に合わせたソフトウェア整備
→ 望遠鏡制御と接続
望遠鏡情報のfitsヘッダー書き込み

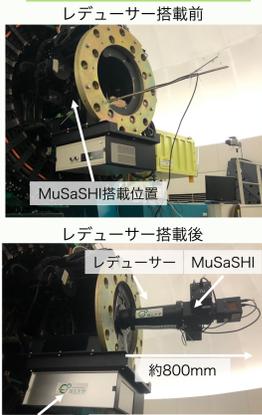


150cm望遠鏡+MuSaSHIでの
安定した運用を実現

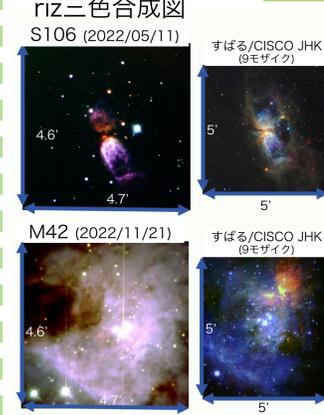
レデューサー搭載

開発したレデューサーとMuSaSHIを組み合わせて観測

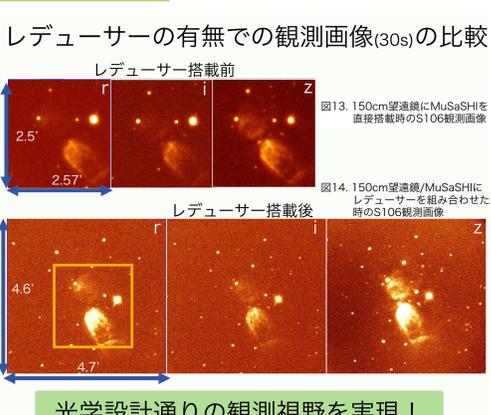
開発前後の比較



ファーストライト



レデューサーの有無での観測画像(30s)の比較



光学設計通りの観測視野を実現!

性能評価

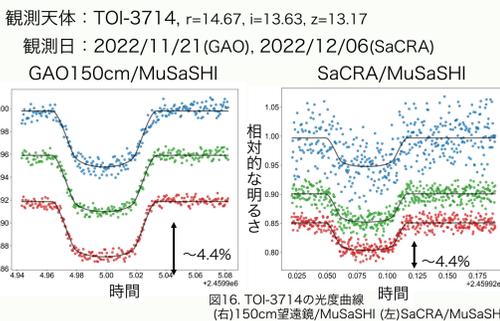


F値	6.7
観測視野	4.77' \times 4.61' (0.270"/pix)
限界等級 S/N \geq 10, 積分時間 300s	r: 19.4 mag i: 18.5 mag z: 18.3 mag

レデューサーとの組み合わせで
約1.4等深い観測を達成!

科学観測

太陽系外惑星トランジットの観測を行ない、SaCRA望遠鏡に搭載時の結果と比較

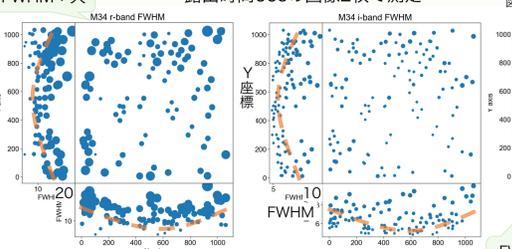


150cm望遠鏡にレデューサー+MuSaSHIを
搭載することで高精度な観測を達成!

課題

収差

レデューサーによる収差を調べるため、画像上の位置ごとの星のFWHMを測定



- FWHMの大きさ: z > r > i
- 画像位置によるFWHMの大きさ: 中心部 < 周辺部 @ r,i / 中心部 > 周辺部 @ z
→ バンド間の焦点位置の違いによる収差の変化
- 像面湾曲収差(視野中心-周辺での焦点位置ずれ)/非点収差が見られた。
→ 光学設計による再検討/補正レンズの導入

改善事例

- 望遠鏡焦点位置を手前にずらすレンズの導入
- レンズ枚数少 現行2+1枚
- 現レデューサーを活用
- △光軸調整が難しくなる
- △新規レデューサー筐体が必要?

光学系の詳細な検討
ATC共同利用等を活用予定

まとめ・今後の展望

ぐんま天文台150cm望遠鏡において
多色同時撮像観測

- SaCRA望遠鏡用に開発された
MuSaSHIを搭載し、観測を実施
- 直接搭載
視野が狭い(2.6' \times 2.5')
過度なオーバーサンプリング(0.15"/pix)
配線の安全性/望遠鏡との接続に課題
- レデューサー開発+搭載
視野の拡大(4.7' \times 4.6'; 0.27"/pix)
配線の改善+ソフトウェア整備
→ SaCRA搭載時と比較して
2等深い観測を達成! (S/N \geq 10, 300s)
19.4等@150cm望遠鏡 17.3等@SaCRA

- レデューサー導入後の課題
バンド間フォーカズズレ
→ シムによる対策を検討済み
zバンド限界等級/像面湾曲収差補正
→ 光学系の詳細な検討
 - 今後の展望
・レデューサー光学系の最適化
・SaCRAでのMuSaSHI2を開発
→ 150cm望遠鏡に現MuSaSHIを常駐
・(将来的に...)150cm望遠鏡専用の
多色同時撮像観測装置開発
(狭帯域多色同時撮像)
- レデューサー光学系改善に対して、佐藤修二先生からご助言をいただきました。また、OISTER教育プログラムの実施のため、高橋英則にご尽力いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。