2024.03.08 OISTER WS

なゆた望遠鏡の観測自動化

高橋 隼

(兵庫県立大学)

自動化の背景・目的

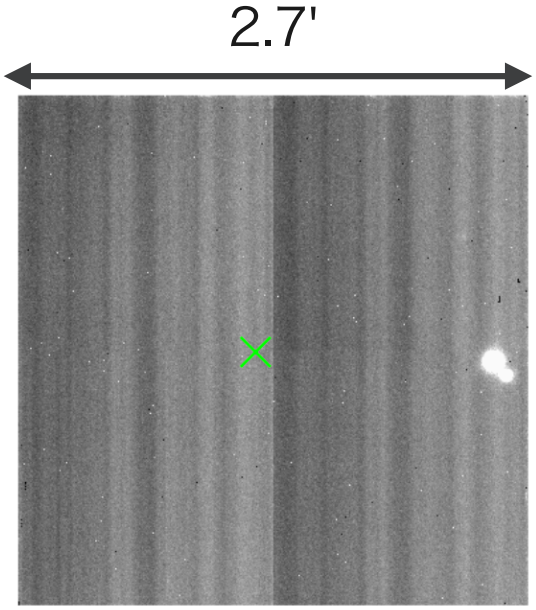
- なゆた望遠鏡の運用は、かなりの部分を人力（人による判断、手作業）に頼っている。
    - 観測作業に労力・時間をとられ、解析・論文化が遅れがち。
    - 近年はサービス観測が増加し、スタッフの負担増。

- **観測にかける労力・時間の削減**を主な目的に、数年前から自動化に取り組んできた。

- 多装置、多モード、多テーマの汎用性は維持する。
- 完全な自動望遠鏡化は想定していない。

指向精度の改善

- これまでの状況
  - なゆた望遠鏡の指向誤差は1分角弱。指向精度を向上しないと観測自動化は難しい。
  - 制御システムには指向解析 (pointing analysis) 機能が組み込まれているが、ハードウェア構成の改変により使用できない。

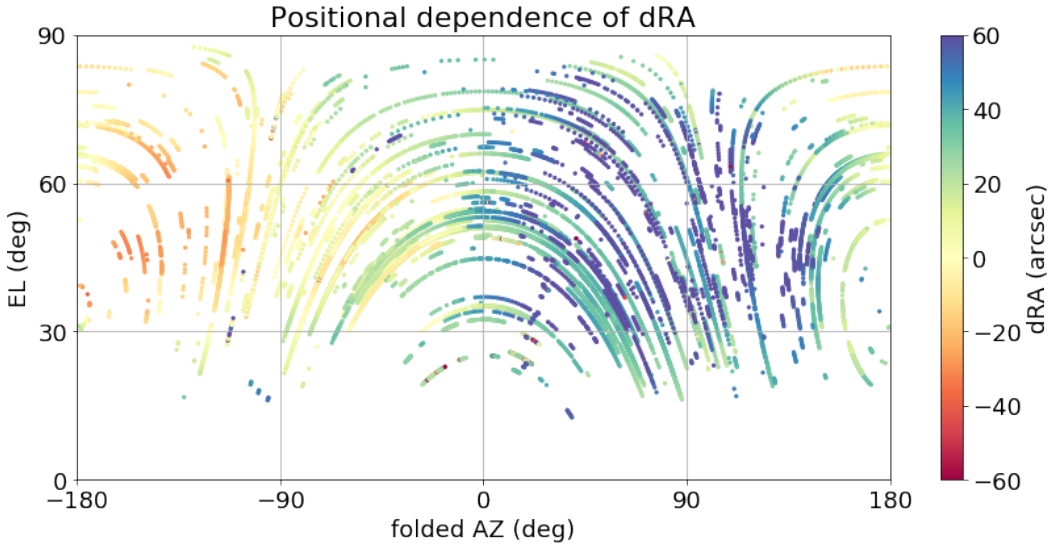


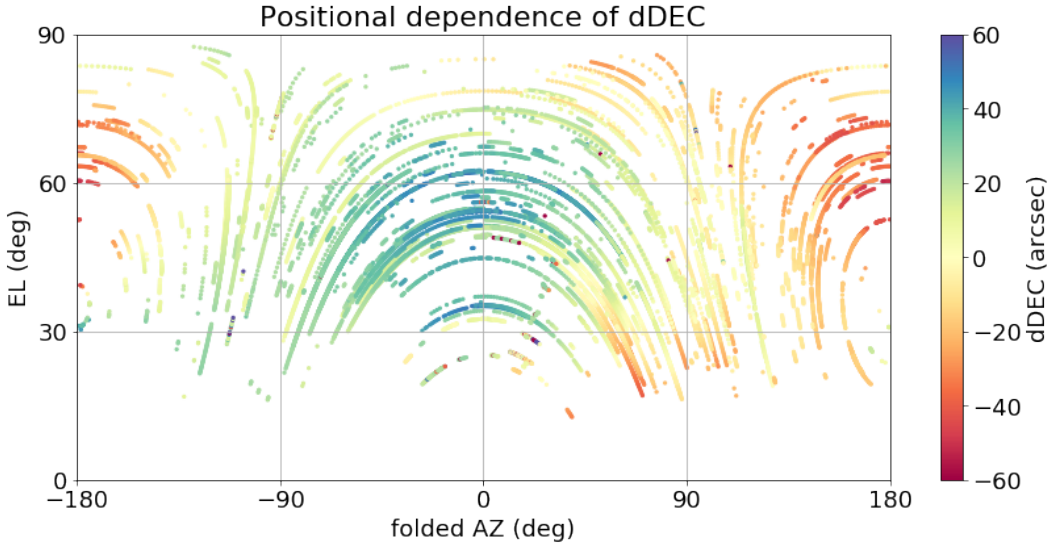
▲ ポインティング直後の画像例 (NIC)

- 簡易的な指向解析 (高橋, 2022, SAG)
  - 2014-2022年にNICで観測した約1.8万枚の画像を利用。
  - WCS情報をもとに指向誤差を測定。
  - 指向誤差 (dRA, dDEC) の方位 (AZ, EL) 依存性を導出。

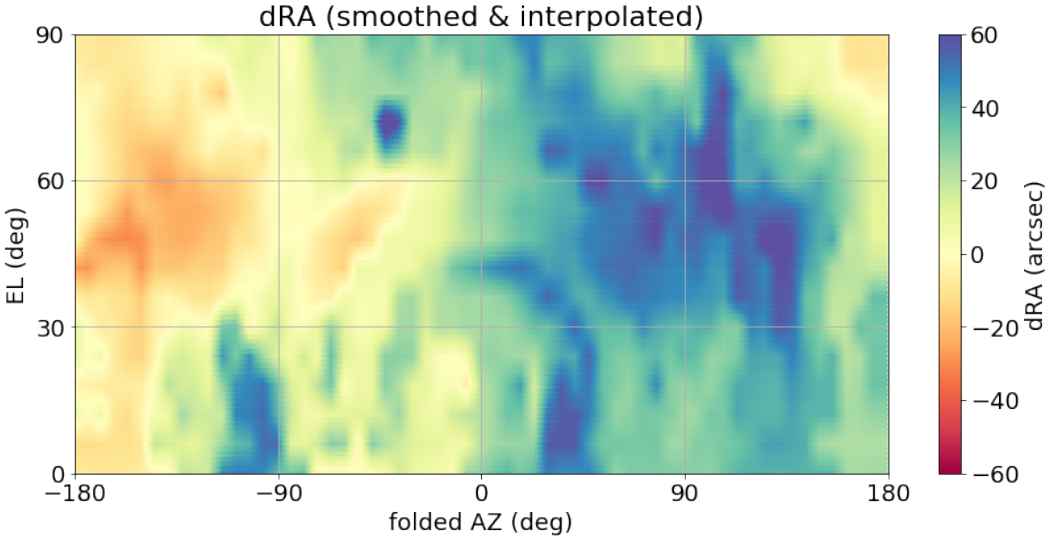
指向精度の改善

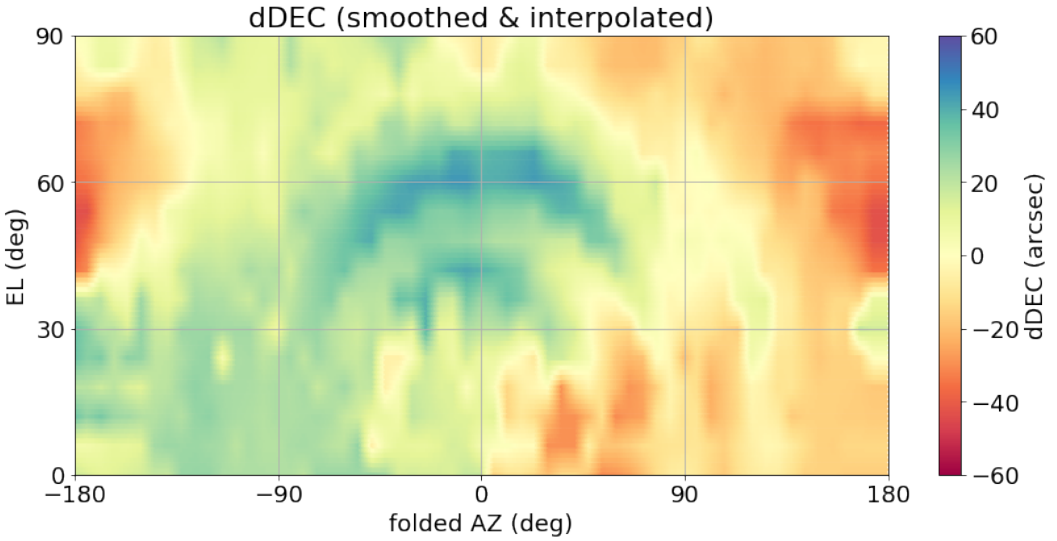
指向誤差の測定点



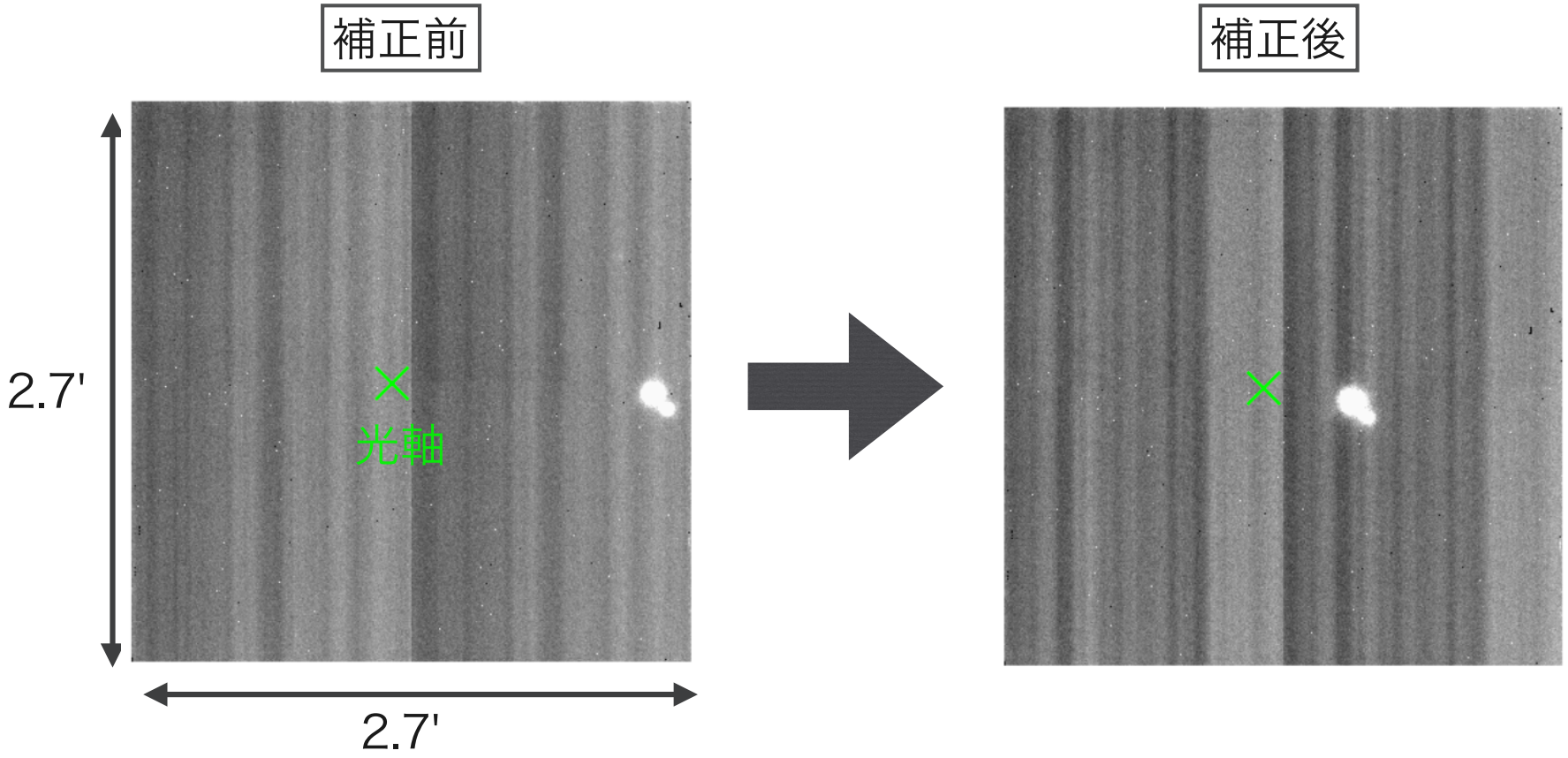


補間後「モデルマップ」





指向精度の改善



指向誤差が 46″±19″ から 15″±8″ に減少

pinpointコマンド

- NICの偏光観測 (視野: 24"x69") やスリット分光観測については、前述の簡易補正のみでは不十分。
- 天体導入時に取得した画像を用いて、さらなる指向補正を行う"pinpoint"コマンドを開発。
  - コマンド例: pinpoint nic "HIP 40071" -q 4

装置　　天体名　　目標ピクセル位置
（この例では第4象限の中心）
SIMBADから座標取得

- 主たる動作
  1. 対象天体が視野内で圧倒的に明るいことが分かっている場合は、テスト画像中に写った最も明るい天体を対象天体と認識して補正。
  2. WCS付与に成功した場合は、WCS情報をもとに補正。
  3. 1, 2 とも不可の場合、近隣フィールドの明るい星を使って指向補正量 (ΔRA, ΔDEC) を測定。補正量を対象天体に適用。

数秒角の精度で導入できるようになった　(ただし、曇るとNG)

手作業の自動化 (NIC)

- 典型的な観測の流れ (NIC)

作業	ツール	人による判断・手作業
ポインティング	望遠鏡GUIソフト、または、nayuta -p コマンド	テスト画像から、目標天体を同定.
視野 微調整	xyoffset2	DS9をクリックしてオフセット値を与える
フォーカス合わせ	autofocus	副鏡 z 位置のサーチ範囲を引数に与え、 DS9をクリックして星像FWHMを測定する天体を指定
露出時間の決定	特になし	テスト撮像し、DS9でカウントを見て、適切な露出時間を考える
データ取得	Lo, DL	

手作業の自動化 (NIC)

- 典型的な観測の流れ (NIC)

作業	ツール	人による判断・手作業
ポインティング	望遠鏡GUIソフト、また は、	テスト画像から、目標天体を同定
視野 微調整	xyc	る
フォーカス合わせ	aut	る
露出時間の決定	特に	適切
データ取得	Lo, DL	

pinpoint: 補正機能付きポインティングコマンド。指定したピクセル付近に天体を導入。

fulautofocus: サーチ範囲は気温から自動設定。画像に映るすべての星像のFWHMを測定。

exptime4sn: 数回テスト撮像し、所望するSNに必要な露出時間を導出。

手作業の自動化 (MALLS)

- 典型的な観測の流れ (MALLS)

作業	ツール	人による判断・手作業
分光器の光学設定	専用GUIソフト	GUI操作して、グレーティング種類、スリット幅等を選択
ポインティング	望遠鏡GUIソフト、または、nayuta -p コマンド	テスト画像から、目標天体を同定
スリットへの導入	onslit	DS9上で目標天体をクリックする
オートガイド開始	autoguide	スリットビューア画像からスリットを視認し、ガイド目標ピクセルをクリック
データ取得	mls	

※フォーカス合わせ(自動化済)、分光露出時間の決定（自動化未）は記載省略

手作業の自動化 (MALLS)

- 典型的な観測の流れ (MALLS)

作業	ツール	人による判断・手作業
分光器の光学設定	専用GUIソフト	GUI操作して、グレーティング種類、スリッ
ポインティング	望遠鏡	は、
スリットへの導入	ons	
オートガイド開始	auto	
データ取得	mls	

setmalls: コマンドラインで分光器を設定

pinpoint: 補正機能付きポインティングコマンド。スリット付近に天体を導入。

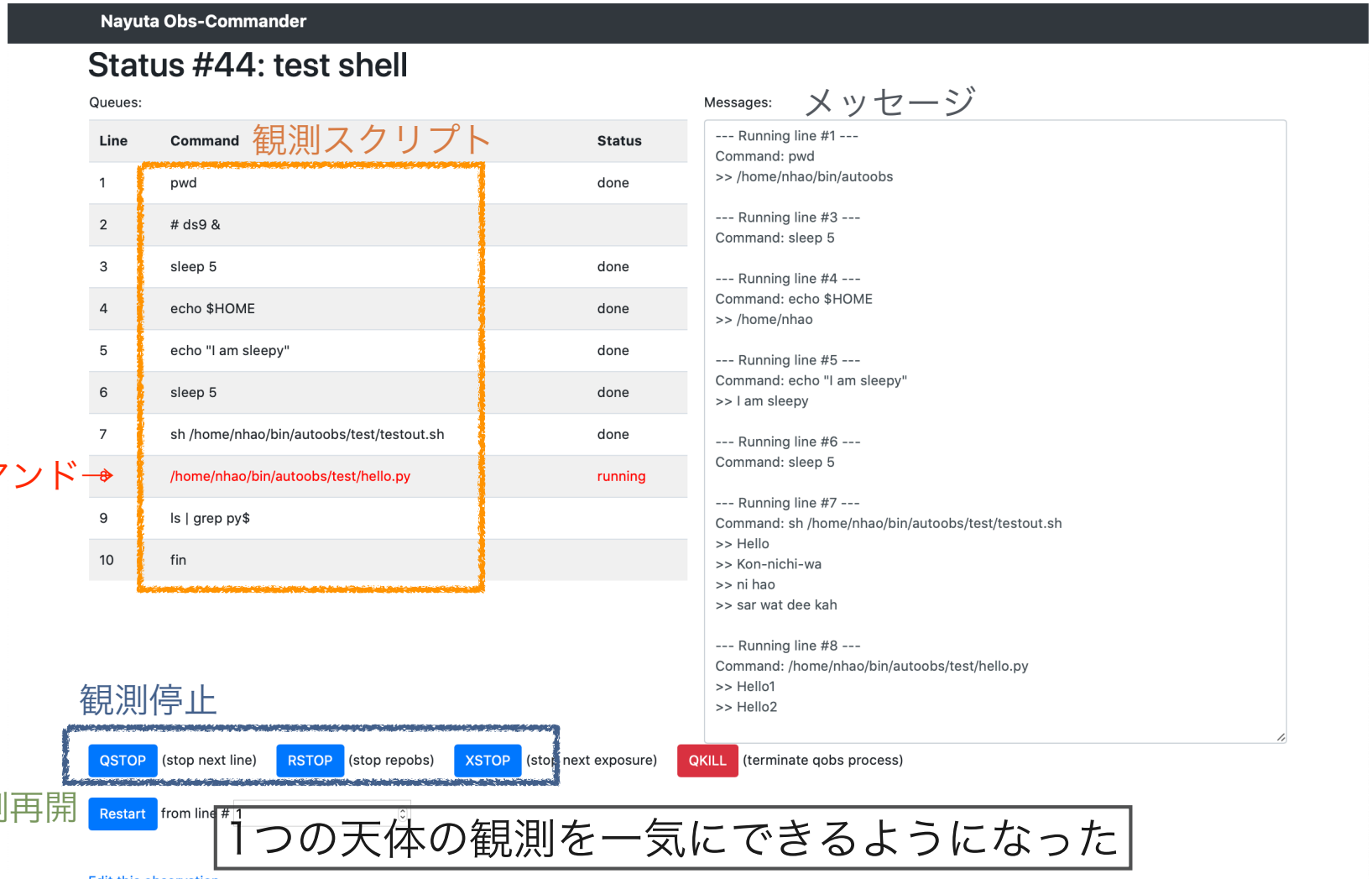
findslit: コンパリソン画像からスリット位置を測定

startAG: 天体位置の最終微調整、AG露出時間決定、AG開始

※フォーカス合わせ(自動化済)、分光露出時間の決定（自動化未）は記載省略

スクリプト観測ウェブアプリ

- コマンドを並べたスクリプトを実行すれば、ポインティングからデータ取得まで一気にできるはず。
- 観測者が進捗を把握したり、中断・修正・再開等がしやすいようにウェブアプリ"obs-commander"を作成した。



1つの天体の観測を一気にできるようになった

複数天体の観測への対応

- 一晩中「手離し」の観測を実現するには、設定の異なる複数天体の観測を連続的に実施する必要がある。
- 1つのスクリプトにすべての観測を記述すると柔軟性に乏しい。
- obs-commander "Night-Plan" モードを追加。
- 「プラン」は 「レシピ」の集まり
  - 1つのレシピは1天体の観測情報（観測可能時刻、優先度、スクリプト等）
- その時点で観測可能なレシピが優先度順に実行される。

Recipes:

Create a new recipe | Sort by Priority | Reverse　観測可能時刻　優先度

Recipe ID	Inst.	Program	Object	Obs. UT (h)	Priority	Status	Operations
29	NIC	star	HIP24254	15.3--20.1	10.0	None (None)	Edit Enable Disable Delete
39	NIC	planet	Saturn	11.7--19.0	5.0	None (None)	Edit Enable Disable Delete
38	NIC	star	Sirius	0.0--0.0	3.0	None (None)	Edit Enable Disable Delete
37	NIC	standard	HD165908	10.1--16.8	2.0	None (None)	Edit Enable Disable Delete
30	NIC	star	Polaris	10.1--20.1	1.0	None (None)	Edit Enable Disable Delete
165	NIC	star	Arcturus	10.1--12.4	1.0	None (None)	Edit Enable Disable Delete

Main operations:

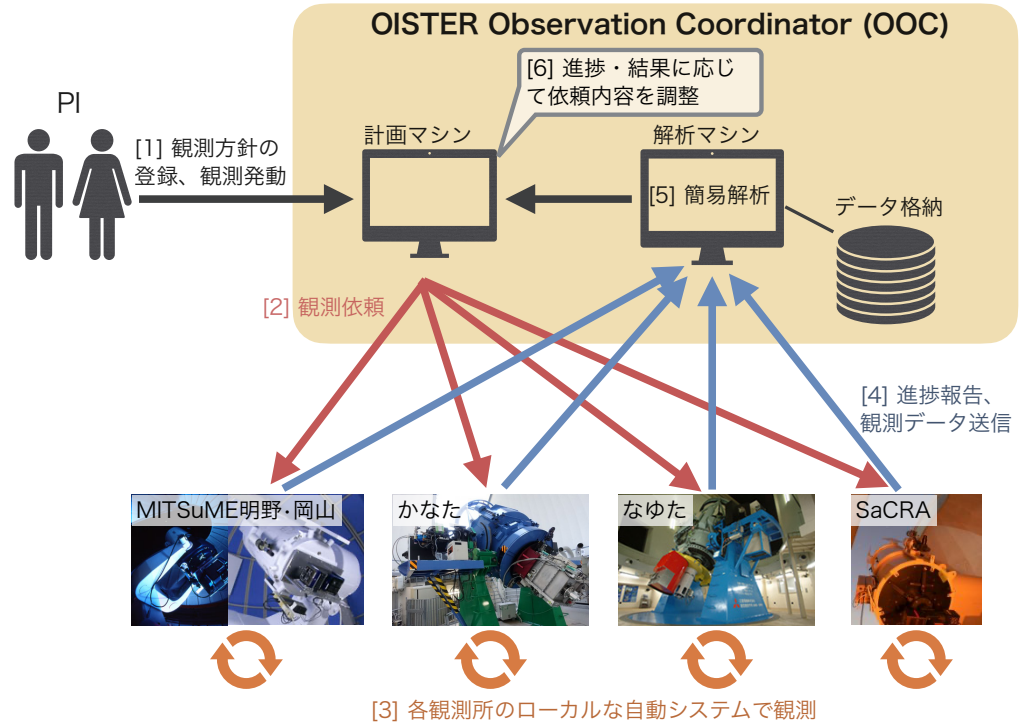
開始 Start night-plan | Wait and ask before starting the next recipe.

Stop next recipe | Stop next exposure | Show status of the running recipe

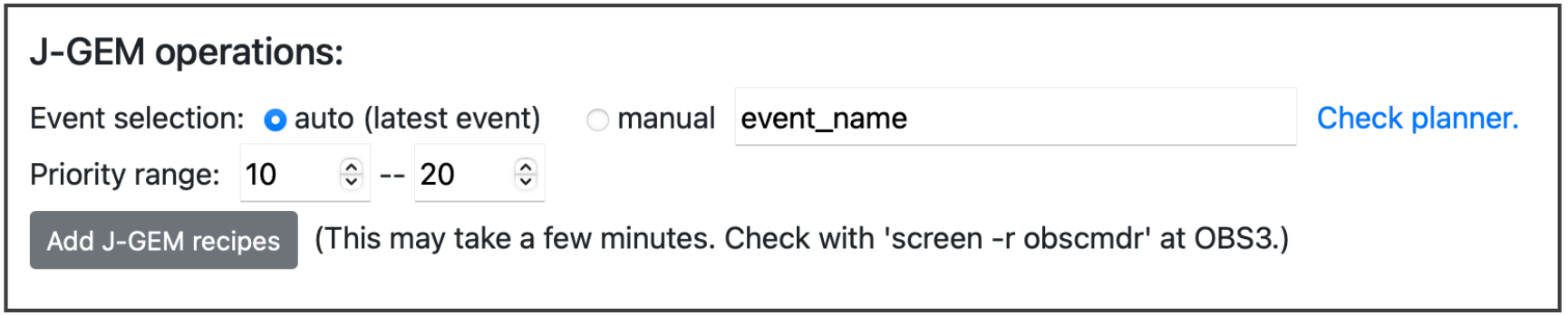
同一装置であれば、複数天体の観測を手離しで実行できるようになった

OISTER自動化への対応

- OISTER観測の自動化が構想されている。
- なゆたでは、obs-commanderを用いたシステムで対応する予定。
- 参考となる仕組み: J-GEM フォローアップ
- OISTERサーバから「観測スクリプトを作るに足る情報」が提供されれば、自動でobs-commanderにレシピを登録し、実行することができる。



▲ OISTER自動観測システムの概念図 (仮)



▲ obs-commander上の J-GEM レシピ作成画面

現状のまとめと今後

- pinpointコマンド等、人力作業を省く基礎ソフトを開発した。
- スクリプト観測用ウェブアプリ obs-commander を開発した。
    - 共同利用の継続観測やOISTERの長期モニター観測で利用。
    - 単一の装置であれば、複数天体の連続観測を実現。
- 現状では、制御室に観測者がいることを前提としている。
- 条件の良い夜だけでも**「後半夜の無人観測」**を早期に実現したい。そのためには下記の開発が必要。
    - 望遠鏡の安全確保（気象モニタの増強、降雨時のドーム自動閉鎖）
    - 遠隔地からの状況把握、制御
    - 緊急時のアラート
- その他の開発要素
    - カセグレン装置とナスミス装置の切り替えのCUI化
    - 悪天候への耐性
    - WFGS2への対応

参考: 利用したソフトウェア

- 2次元線形補間 (指向誤差マップ作成): scipy.interpolate.interp2d [py]
- 天体検出、FWHM測定、簡易測光: source extractor または、sep [py]
- WCS付与: astrometry.net (solve-field)
- 天体データベース (SIMBAD, Horizons等) 情報取得: astroquery [py]
- pythonからのDS9制御: pyds9 [py]
- エッジ検出 （スリット検出）: opencv (cv2) [py]
- ウェブアプリ (obs-commander)のフレームワーク: flask [py]
- データベース (レシピ・プラン) SQLite