

ToO自動観測に向けた せいめい望遠鏡のキュー観測 システム開発状況

前原裕之（国立天文台）

3.8mせいめい望遠鏡

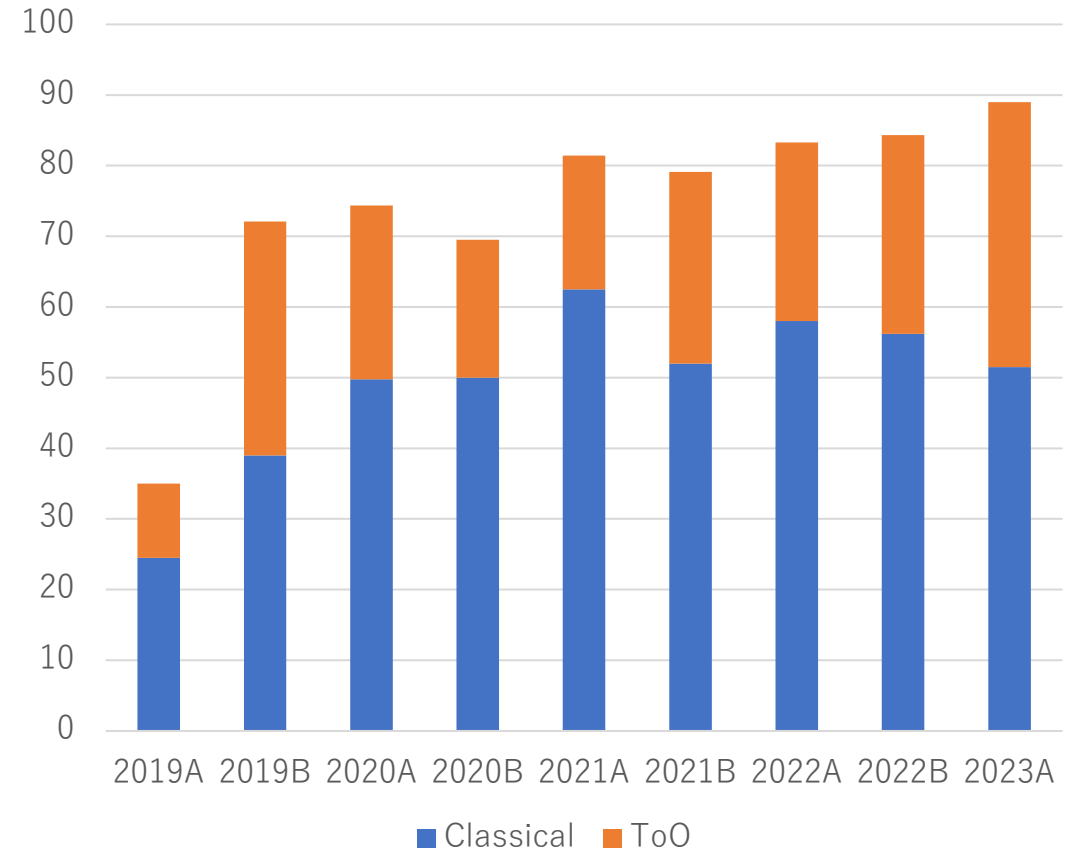
- 京都大学が2018年に岡山に設置
- 2019年から科学観測開始
 - 観測時間の50%が全国大学共同利用に供されている
- 観測装置
 - KOOLS-IFU（可視光面分光装置）
 - TriCCS（3色同時高速撮像・分光）
 - GAOES-RV（視線速度精密測定用高分散分光器）
 - 近赤外偏光撮像装置（2024年中？）



せいめい望遠鏡: 共同利用の状況

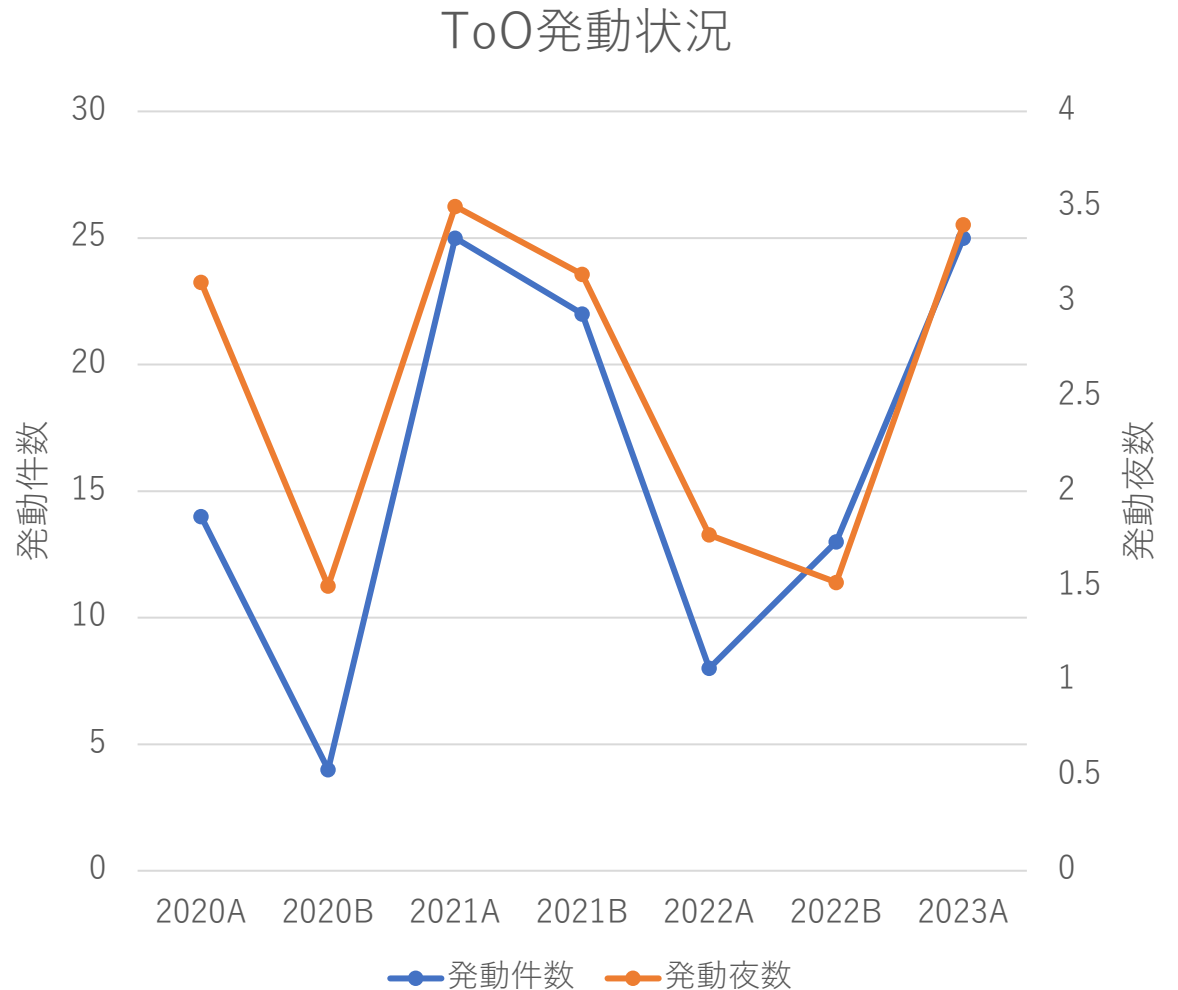
- 各セメスターの夜数
 - 共同利用: 60-70夜
 - 京大時間: 60-70夜
 - 大学間連携は京大時間内で実施 (上限10%)
- 50-60夜程度をクラシカル課題 (予め日程の決まっている観測課題) に割り当て
- 残り10-20夜程度はDDT
 - ToOの補填、クラシカル観測課題への追加割り当て、現地職員の科学観測・エンジニアリング時間として利用
- ToO課題は30夜前後を採択
 - DDTの夜数 (= 補填可能な夜数) よりも多めに割り当てている
 - 晴天率が1/3→実際に発動して観測が行われるのは要求夜数の1/3程度と想定される。

共同利用採択夜数



ToO観測の状況

- 発動方法
 - 共同利用: Slackで連絡
 - 京大時間: Webフォームから連絡
- 発動状況（共同利用）
 - 2023Aは39夜採択に対し発動は25件で合計3.4夜
 - 多くてもToO採択夜数の10-15%
 - 半分は京大時間で発動できないこと、晴天率が1/3であることを考慮すると、最大でも1/6程度しか発動されないことを考慮すると妥当か？



将来的な自動ToO観測

- 他の望遠鏡での発見情報をもとに観測天体をデータベースに登録



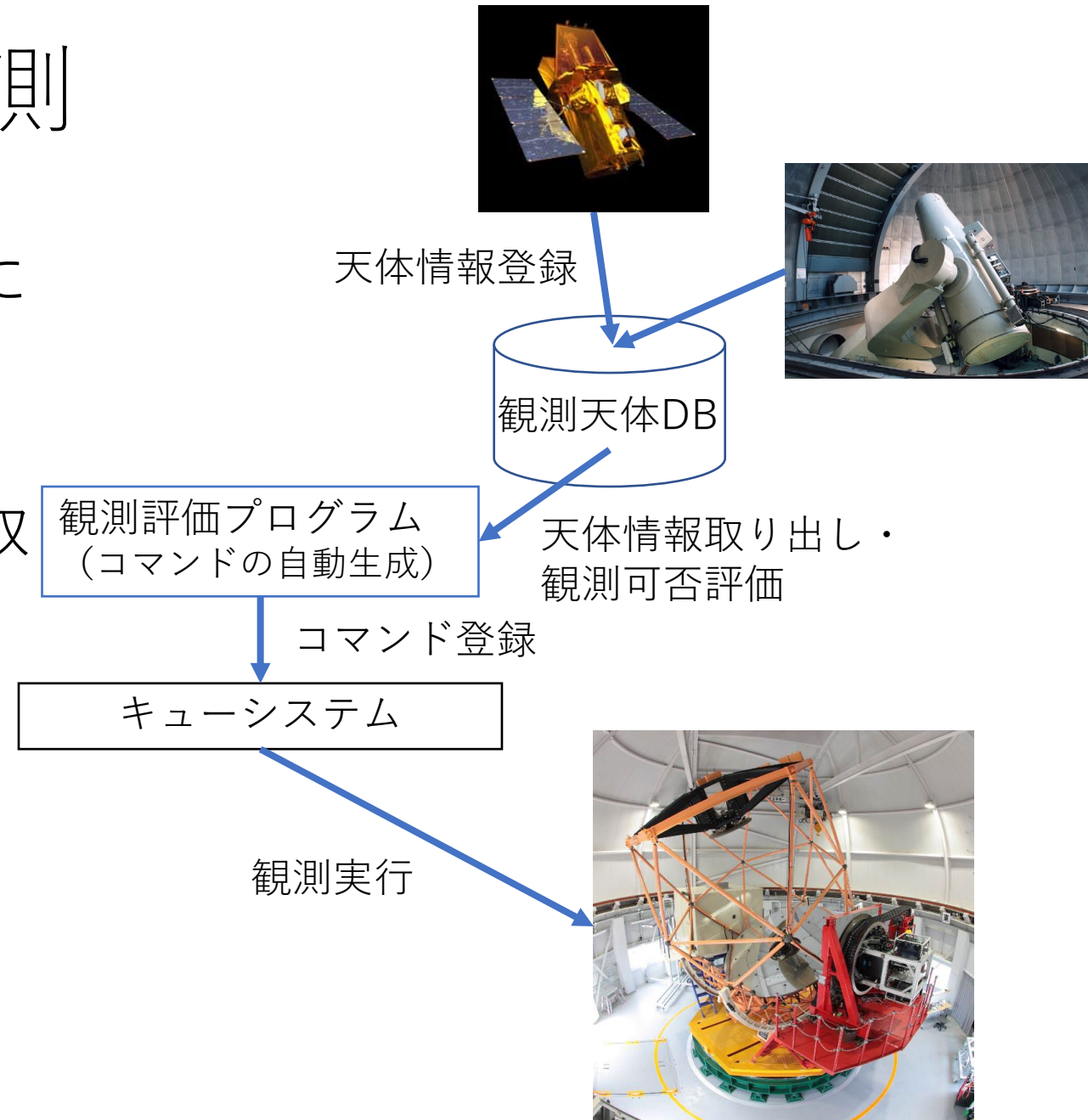
- データベースから天体の情報を取り出して観測の可否を決定



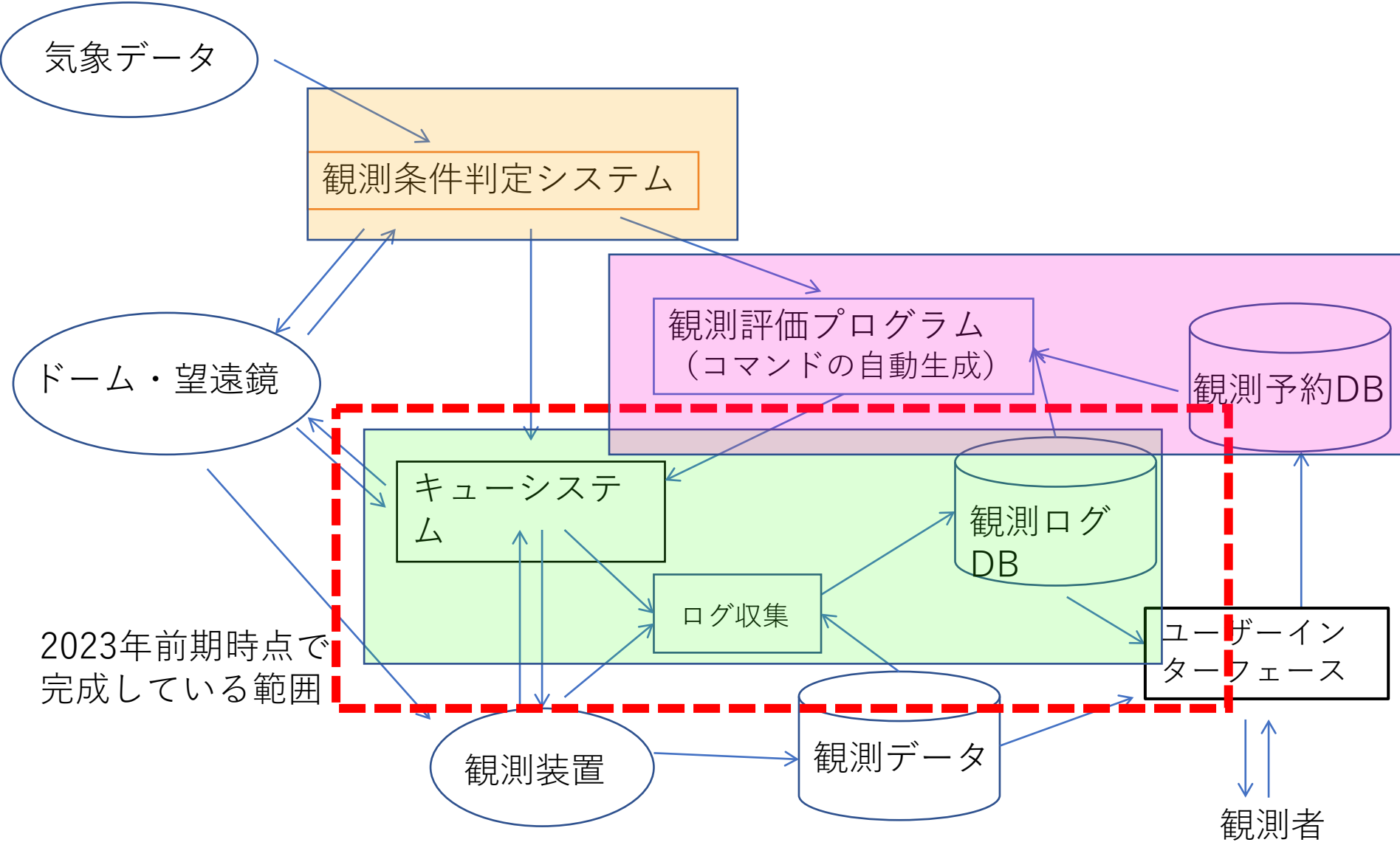
- コマンドをキューに登録



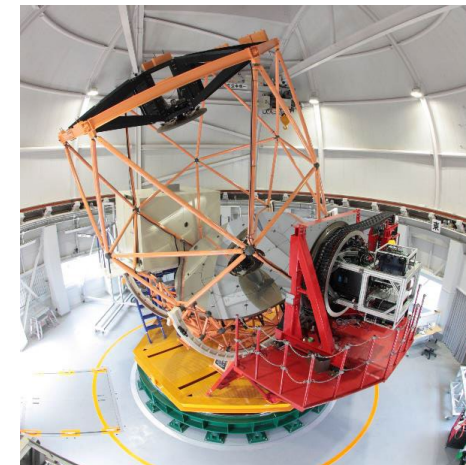
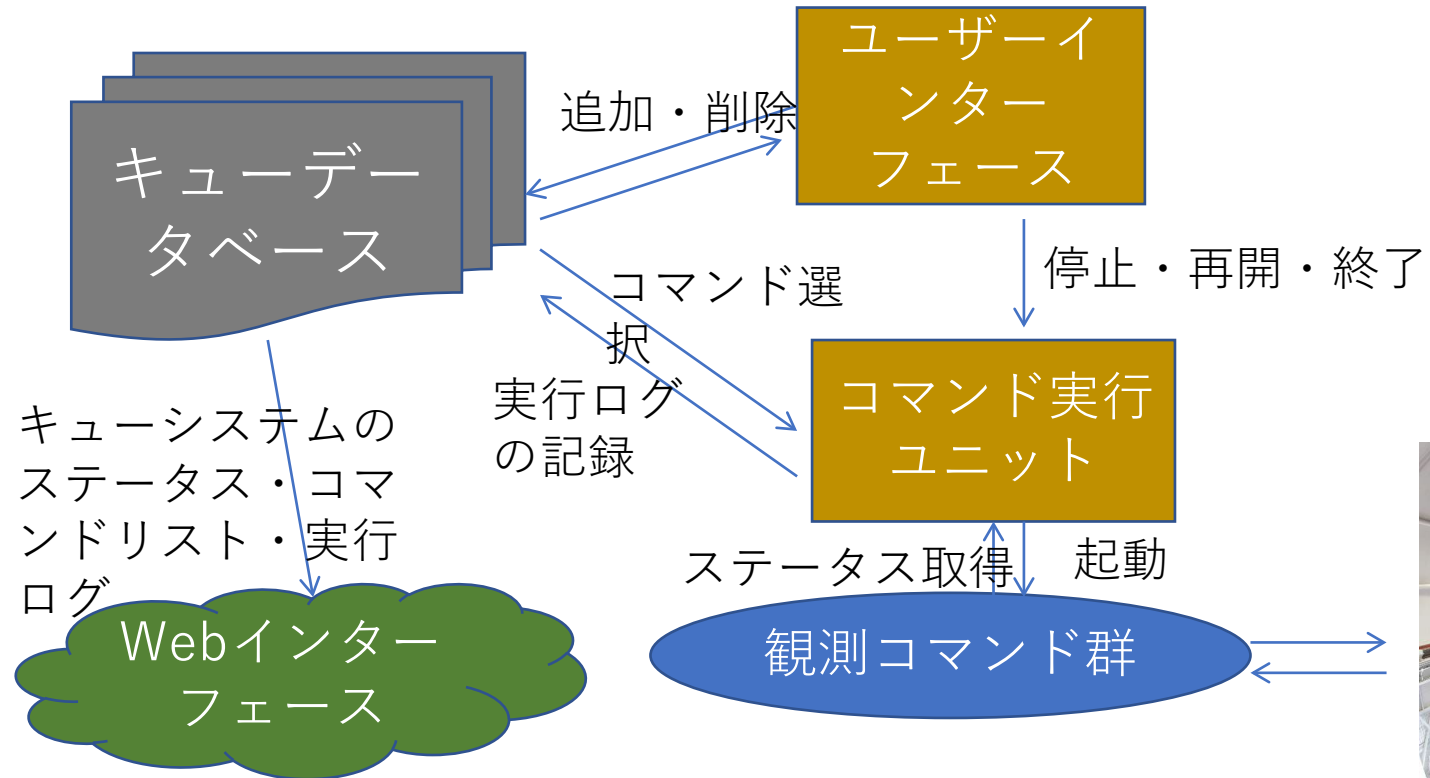
- 観測を実行



最終的に作りたい自動観測システムの全体像



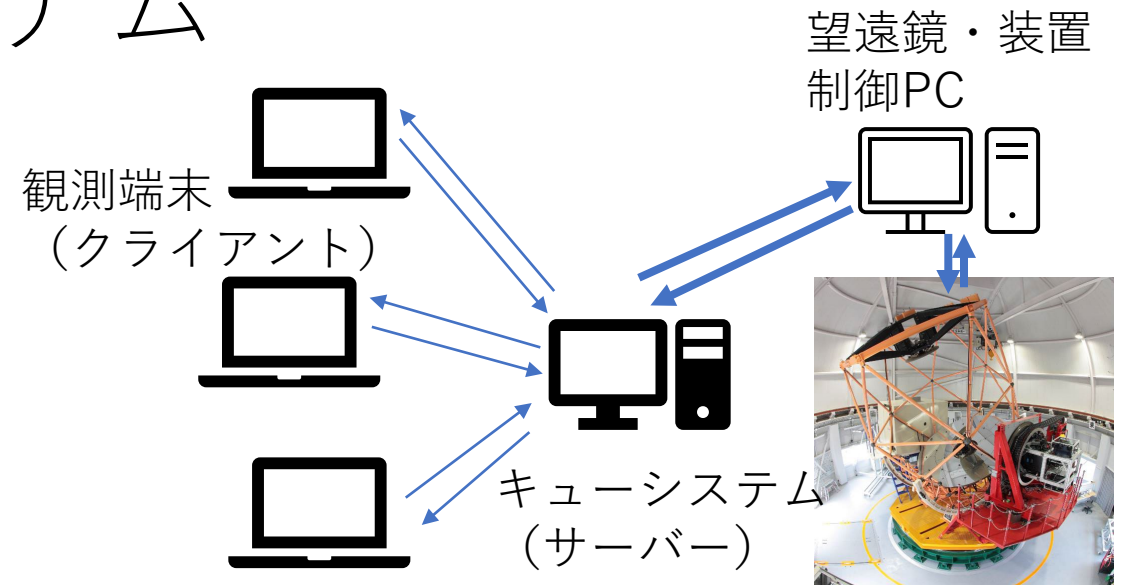
キュー観測システムの概要



望遠鏡・ドーム・観測装置

現状のキュー観測システム

- ユーザーが作成した観測コマンドファイルをキューに投入して観測を実行
 - 以下の動作が可能
 - SHカメラを用いた主鏡セグメントの調整
 - 観測装置視野への天体導入 ※KTOOLS-IFUの視野 (8"×8") の任意の位置へ天体を導入可能
 - オフセットガイダー用のガイド星の選択、ガイダーの自動設定
 - BIAS/DARK、ドームフラット、校正光源の取得
- コマンドラインのUIとWebベースのステータス確認用ページを用意
- 天体が見つからない場合などエラー時にはキューシステムが一時停止状態に移行
 - Slackへエラーを通知
 - 失敗したコマンドを再実行して観測を続ける or エラーが起きたコマンドに依存している部分をキャンセルして次の天体観測を行うことが可能



The screenshot shows a web browser displaying the 'Queue' interface. The 'Status' section shows 'PID: UNKNOWN' and 'Status: finished'. The 'Queue command list' section shows a table with columns for queue id, exec, sequence, parent queue id, and command. The 'Queue command log (2023-05-12)' section shows a table with columns for queue id, date start, date end, command, and exec status.

queue id	date start	date end	command	exec status
4853	2023-05-12 18:48:52	2023-05-12 18:49:18	autoSH.sh 21:37:00.22 +44:21:04.3	1
4852	2023-05-12 18:48:50	2023-05-12 18:48:51	agctl.py --feedback=off	0
4851	2023-05-12 18:48:45	2023-05-12 18:48:49	agctl.py --exp=off	0
4850	2023-05-12 18:43:19	2023-05-12 18:43:23	agctl.py --exp=off	0
4849	2023-05-12 18:43:16	2023-05-12 18:43:17	agctl.py --feedback=off	0
4848	2023-05-12 18:42:26	2023-05-12 18:43:15	triccs.py gri 15 3 auto	0
4847	2023-05-12 18:42:16	2023-05-12 18:42:25	tel_point3.py --object=GL213700+442104 --ra=21:37:00.22 --dec=+44:21:04.3 --rot=star --inst=triccs --propid=23A-K-0001 --observer=Taguchi_test5 --nas2offset=0	0
4846	2023-05-12 18:42:14	2023-05-12 18:42:15	prop_id.py 23A-K-0001 Taguchi_test5	0
4845	2023-05-12 18:42:12	2023-05-12 18:42:12	agctl.py --feedback=off	0

キューファイルの生成

- 天体の情報や装置の設定から観測コマンドを記述したキューファイルを生成可能

The screenshot shows a web browser window with the URL `o.kwasan.kyoto-u.ac.jp/queue/kools_obs_script/form2.html`. The page title is "KOOLS-IFU auto-observing script generator".

Form fields include:

- Proposal ID:
- Observer(s):

Object data (cont380 format)	Grism	Exp. time	Num. of Exp.	M1 alignment	Pointing correction	Auto Guide	No wipe mode	Rotator Offset
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>
<input type="text"/>	VPH-blue <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	<input checked="" type="radio"/> Off <input type="radio"/> On	0 <input type="text"/>

Save as file: YES NO
Output format: Queue file Shell Script

生成されるキューファイルの例

```
seimei@user-interface: ~/maehara
File Edit View Search Terminal Help
PROPID=23A-N-BE02
OBSERVER=Maehara
OBJECT=PNVJ06245297+0208207
RA_STR=06:24:52.89
DEC_STR=+02:08:18.4
IFU_X=11
IFU_Y=10
GRISM=VPH-blue
EXPTIME=120
PA=-90

agctl.py --exp=off
agctl.py --set-exptime=5000 --set-gain=10
agctl.py --exp=on
agctl.py --feedback=off

autoSH.sh ${RA_STR} ${DEC_STR}
  tab ofocus.py 0.05
    nearbystar.py ${OBJECT} ${RA_STR} ${DEC_STR} kools ${PA}
  tab tab ag_offset.py ${DEC_STR} on
    agtarget.py
    ag_offset.py ${DEC_STR} off
    find_obj.py ${IFU_X} ${IFU_Y} 6.0e5 2.0 ${GRISM} 10
    tel_point3.py --object=${OBJECT} --ra=${RA_STR} --dec=${
{DEC_STR} --rot=star --inst=kools --propid=${PROPID} --observer=${OBSERVER} --nas2offset=${PA}
    search_guidestar.py ${RA_STR} ${DEC_STR}
    find_guidestar.py
      agctl.py --feedback=on
      kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
      kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
      kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
      kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
      kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
      kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}

    ofocus.py -0.05
  agctl.py --feedback=off
  agctl.py --exp=off
~
(END)
```

- 行頭にtabを挿入することで依存関係の設定が可能
 - 複数入れることもできる
 - 例: SHカメラによる主鏡調整が成功したら以後のコマンドを実行する、というような動作が可能
- shell script風の変数が使用可能
 - ユーザーによる編集やキューファイルを再利用する際の利便性を考慮
 - キューへ登録するときに値が入る

```

seimei@user-interface: ~/maehara
File Edit View Search Terminal Help
PROPID=23A-N-BE02
OBSERVER=Maehara
OBJECT=PNVJ06245297+0208207
RA_STR=06:24:52.89
DEC_STR=+02:08:18.4
IFU_X=11
IFU_Y=10
GRISM=VPH-blue
EXPTIME=120
PA=-90

agctl.py --exp=off
agctl.py --set-exptime=5000 --set-gain=10
agctl.py --exp=on
agctl.py --feedback=off

autoSH.sh ${RA_STR} ${DEC_STR}
  ofocus.py 0.05
  nearbystar.py ${OBJECT} ${RA_STR} ${DEC_STR} kools ${PA}
    ag_offset.py ${DEC_STR} on
    agtarget.py
    ag_offset.py ${DEC_STR} off
      find_obj.py ${IFU_X} ${IFU_Y} 6.0e5 2.0 ${GRISM} 10
        tel_point3.py --object=${OBJECT} --ra=${RA_STR} --dec=${
DEC_STR} --rot=star --inst=kools --propid=${PROPID} --observer=${OBSERVER} --nas2offset=${PA}
          search_guidestar.py ${RA_STR} ${DEC_STR}
            find_guidestar.py
              agctl.py --feedback=on
              kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
              kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
              kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
              kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
              kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
              kools.py ${GRISM} ${EXPTIME}
              ofocus.py -0.05
agctl.py --feedback=off
agctl.py --exp=off
~
(END)

```

キュー登録

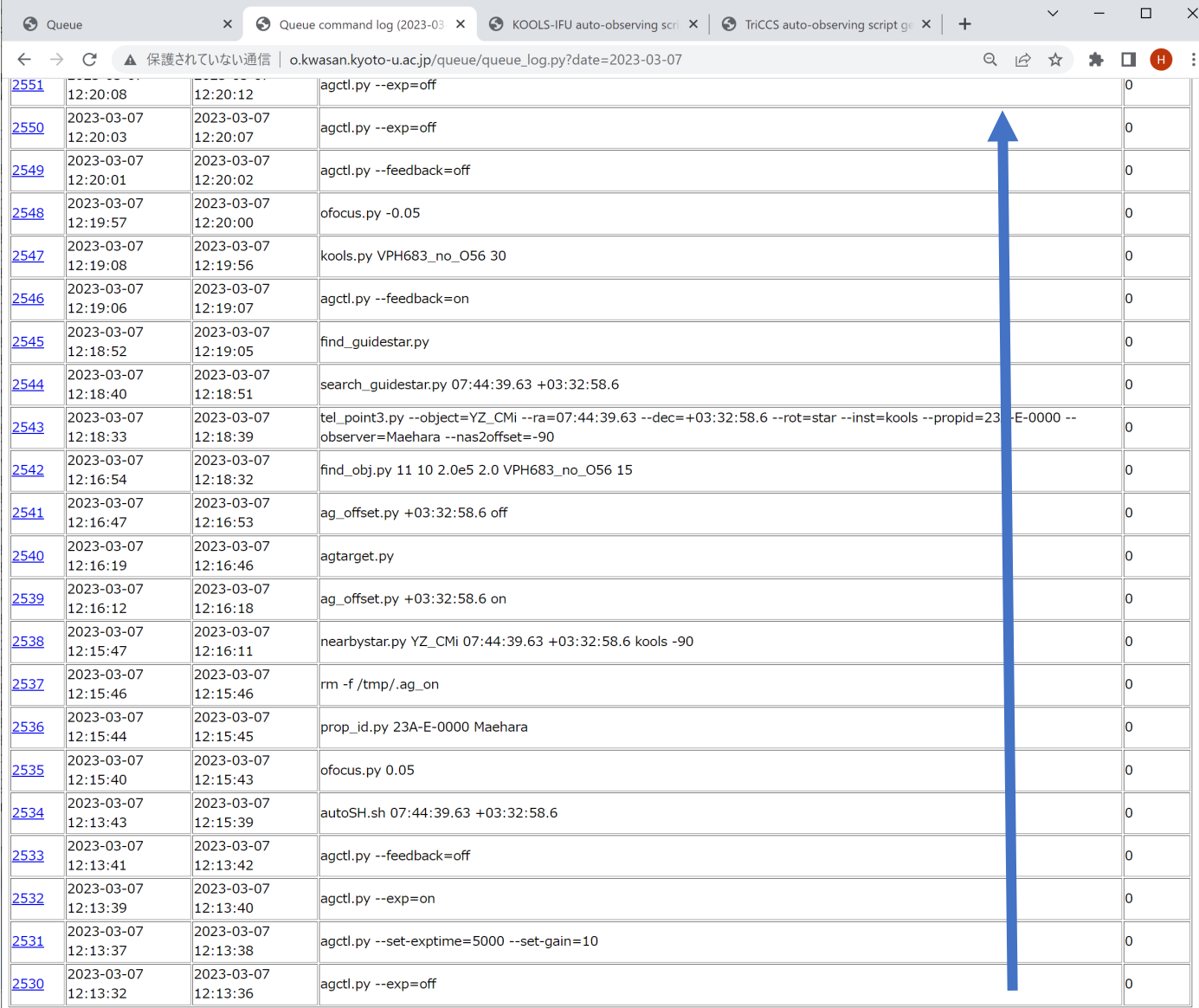


Queue command list

queue id	exec. sequence	parent queue id	command
4859	1		agctl.py --exp=off
4860	2		agctl.py --set-exptime=5000 --set-gain=10
4861	3		agctl.py --exp=on
4862	4		agctl.py --feedback=off
4863	5		autoSH.sh 06:24:52.89 +02:08:18.4
4864	6	4863	ofocus.py 0.05
4865	7	4863	nearbystar.py PNVJ06245297+0208207 06:24:52.89 +02:08:18.4 kools -90
4866	8	4865	ag_offset.py +02:08:18.4 on
4867	9	4866	agtarget.py
4868	10	4865	ag_offset.py +02:08:18.4 off
4869	11	4867	find_obj.py 11 10 6.0e5 2.0 VPH-blue 10
4870	12	4869	tel_point3.py --object=PNVJ06245297+0208207 --ra=06:24:52.89 --dec=+02:08:18.4 --rot=star --inst=kools --propid=23A-N-BE02 --observer=Maehara --nas2offset=-90
4871	13	4870	search_guidestar.py 06:24:52.89 +02:08:18.4
4872	14	4871	find_guidestar.py
4873	15	4872	agctl.py --feedback=on
4874	16	4872	kools.py VPH-blue 120
4875	17	4872	kools.py VPH-blue 120
4876	18	4872	kools.py VPH-blue 120
4877	19	4872	kools.py VPH-blue 120
4878	20	4872	kools.py VPH-blue 120
4879	21	4863	ofocus.py -0.05
4880	22		agctl.py --feedback=off
4881	23		agctl.py --exp=off

天体光積分開始までにかかる時間

- KOOLS-IFUの場合：現状ではおおむね5-5.5分
 - M1調整: 1.5-2分
 - 近くの星での指向誤差補正 (pointing込み) : 2-3分
 - ※KOOLS-IFUの場合のみ
 - ガイド星選択: ~0.5分
- TriCCS (撮像モード) の場合：2-3分程度
 - 視野が広いので精密な指向誤差補正が不要
 - 分光モードではKOOLS-IFUと同等の時間になる見込み

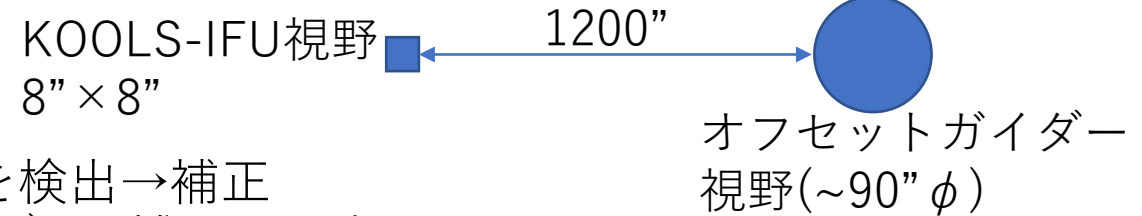


Queue ID	Start Time	End Time	Command	Status
2551	12:20:08	12:20:12	agctl.py --exp=off	0
2550	2023-03-07 12:20:03	2023-03-07 12:20:07	agctl.py --exp=off	0
2549	2023-03-07 12:20:01	2023-03-07 12:20:02	agctl.py --feedback=off	0
2548	2023-03-07 12:19:57	2023-03-07 12:20:00	ofocus.py -0.05	0
2547	2023-03-07 12:19:08	2023-03-07 12:19:56	kools.py VPH683_no_O56 30	0
2546	2023-03-07 12:19:06	2023-03-07 12:19:07	agctl.py --feedback=on	0
2545	2023-03-07 12:18:52	2023-03-07 12:19:05	find_guidestar.py	0
2544	2023-03-07 12:18:40	2023-03-07 12:18:51	search_guidestar.py 07:44:39.63 +03:32:58.6	0
2543	2023-03-07 12:18:33	2023-03-07 12:18:39	tel_point3.py --object=YZ_CMi --ra=07:44:39.63 --dec=+03:32:58.6 --rot=star --inst=kools --propid=23A-E-0000 --observer=Maehara --nas2offset=-90	0
2542	2023-03-07 12:16:54	2023-03-07 12:18:32	find_obj.py 11 10 2.0e5 2.0 VPH683_no_O56 15	0
2541	2023-03-07 12:16:47	2023-03-07 12:16:53	ag_offset.py +03:32:58.6 off	0
2540	2023-03-07 12:16:19	2023-03-07 12:16:46	agtarget.py	0
2539	2023-03-07 12:16:12	2023-03-07 12:16:18	ag_offset.py +03:32:58.6 on	0
2538	2023-03-07 12:15:47	2023-03-07 12:16:11	nearbystar.py YZ_CMi 07:44:39.63 +03:32:58.6 kools -90	0
2537	2023-03-07 12:15:46	2023-03-07 12:15:46	rm -f /tmp/.ag_on	0
2536	2023-03-07 12:15:44	2023-03-07 12:15:45	prop_id.py 23A-E-0000 Maehara	0
2535	2023-03-07 12:15:40	2023-03-07 12:15:43	ofocus.py 0.05	0
2534	2023-03-07 12:13:43	2023-03-07 12:15:39	autoSH.sh 07:44:39.63 +03:32:58.6	0
2533	2023-03-07 12:13:41	2023-03-07 12:13:42	agctl.py --feedback=off	0
2532	2023-03-07 12:13:39	2023-03-07 12:13:40	agctl.py --exp=on	0
2531	2023-03-07 12:13:37	2023-03-07 12:13:38	agctl.py --set-exptime=5000 --set-gain=10	0
2530	2023-03-07 12:13:32	2023-03-07 12:13:36	agctl.py --exp=off	0

観測の流れ

- 位置補正用天体導入

- 観測天体の位置から20'以内にある11等より明るい天体をGaia DR3カタログから検索して望遠鏡をその天体に指向する



- 指向誤差補正

- オフセットガイダーを用いて位置補正用天体を検出→補正
- 視野~3分角、ポインティング誤差 (RMS~7-8") の補正には十分
- その後、KOOLS-IFU自体を使ってIFU上の指定した位置に天体を導入

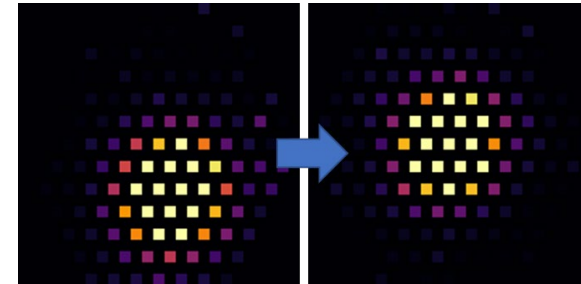
- 観測天体導入

- ガイド星自動選択

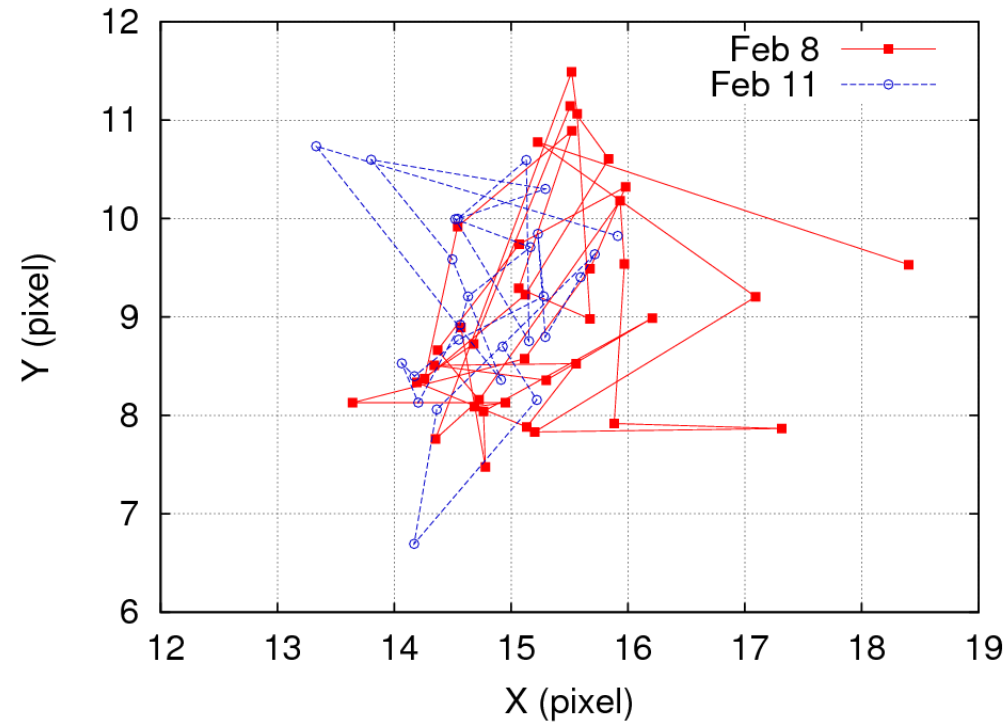
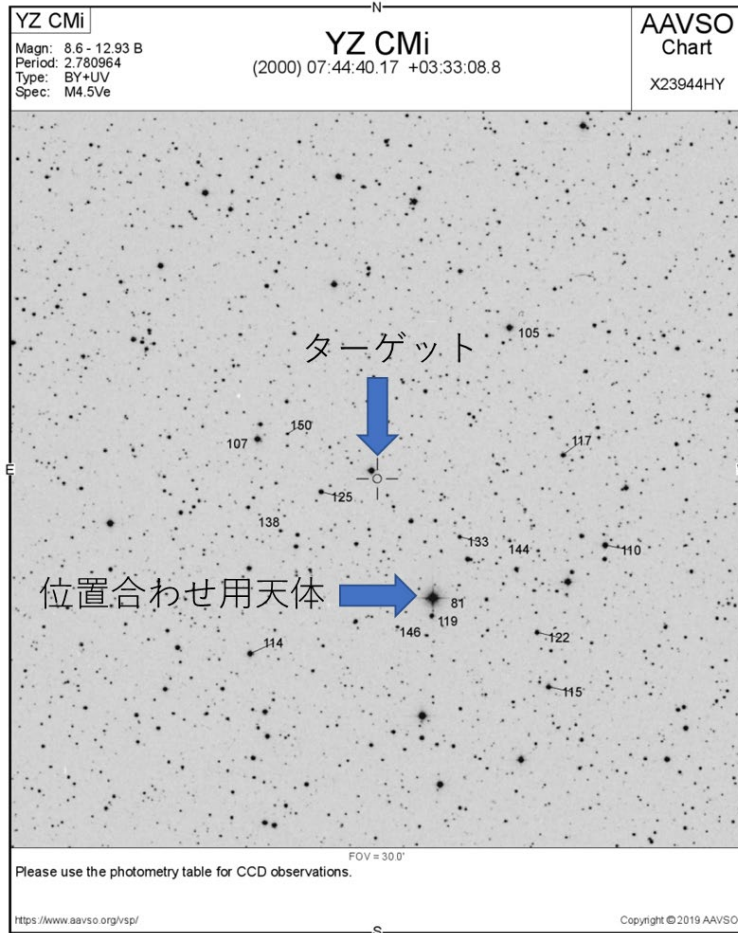
- 天体位置からオフセットガイダーの可動範囲にある14等より明るいガイド星をカタログから探し、適切なステージ位置へ移動
- →オフセットガイダーの積分開始&ガイド星検出
- →ガイド星の目標位置を設定し、追尾補正を開始

- 積分開始・オフセットガイドON/OFF

- それぞれの制御プログラムへコマンドを送る



KOOLS-IFU視野への導入精度



- 目標位置 : $X=15, Y=9$
 - 2/8 : $X_{RMS}=0.92, Y_{RMS}=1.10$
 - 2/11 : $X_{RMS}=0.62, Y_{RMS}=0.95$
 - $\sim 0.6''/\text{pix.}$ ($15''/25 \text{ pix.}$)

今後のキュー観測・自動観測システムの開発

• ~~第0フェーズ (2023)~~

• ~~観測スクリプトの整備~~

- ~~ユーザーがWebフォームで作成した観測スクリプトを実行して観測する (リスクシェアで公開中)~~

• **23Aから観測スクリプトを使った観測を共同利用に供する予定**

実施済

• 第1フェーズ (2023-2024)

• **手動キュー観測の共同利用での供用開始**

- ユーザーが天体リスト、観測モード、積分時間を指定して観測スクリプトを生成
- ユーザーが手動でキューシステムを制御、観測スクリプトをキューに投入して観測実行

➡ リスクシェアで公開中

• **ToO用に自動的にキューに観測スクリプトを投入する機能の実装・テスト** ➡ 開発中

• 第2フェーズ (2024? -)

• 天候など観測可能な条件の判断を自動化

- **観測者の判断を介さない全自動観測、自動ToOの開発**
- 複数装置への対応も含めて自動化するには環境モニターの増設・追加が必要 (外部資金申請予定)
- 最低でも3-5年くらいはかかる?