

キューー観測システムの 開発状況

前原裕之（国立天文台）

キュー観測：ToO課題

即時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



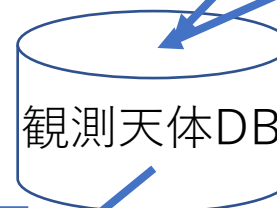
- コマンドをキューに登録



- 観測を実行

自動観測・キュー観測システムが実施

ToO課題のPI
が実施



天体情報登録

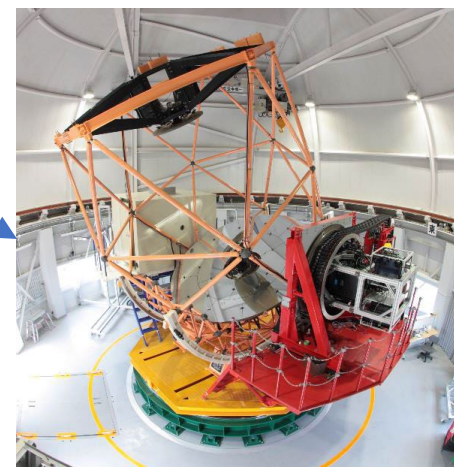
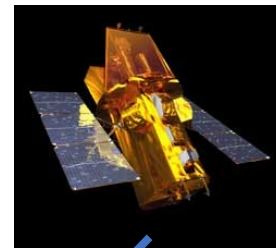
観測評価プログラム
(コマンドの自動生成)

天体情報取り出し・
観測可否評価

観測コマンド登録

キューシステム

観測実行



キュー観測：クラシカル課題

- 高頻度・長期モニター観測

- 高頻度・長期間の観測（たとえば1日30分、5年で~1000回観測する）が必要なサイエンスは現在のように観測者が岡山現地まで来て観測するスタイルでは実現が難しい
- 例：系外惑星の視線速度サーベイ

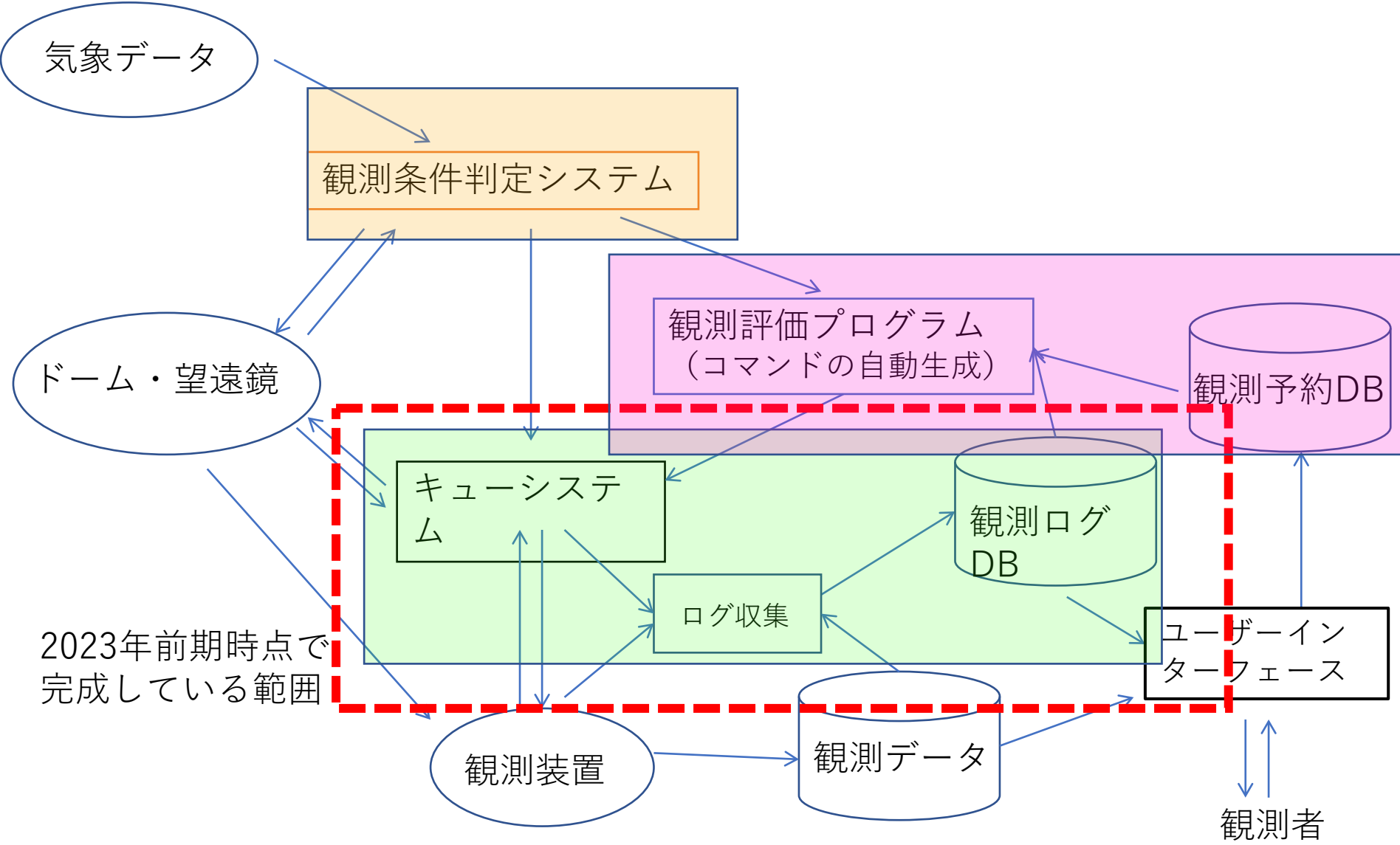
- すき間時間の活用

- 割り当て観測時間全てで観測天体が見えない場合などは半日単位の割り当てでは無駄な時間が発生してしまう

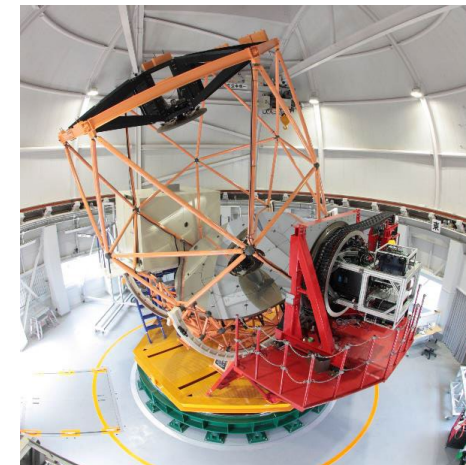
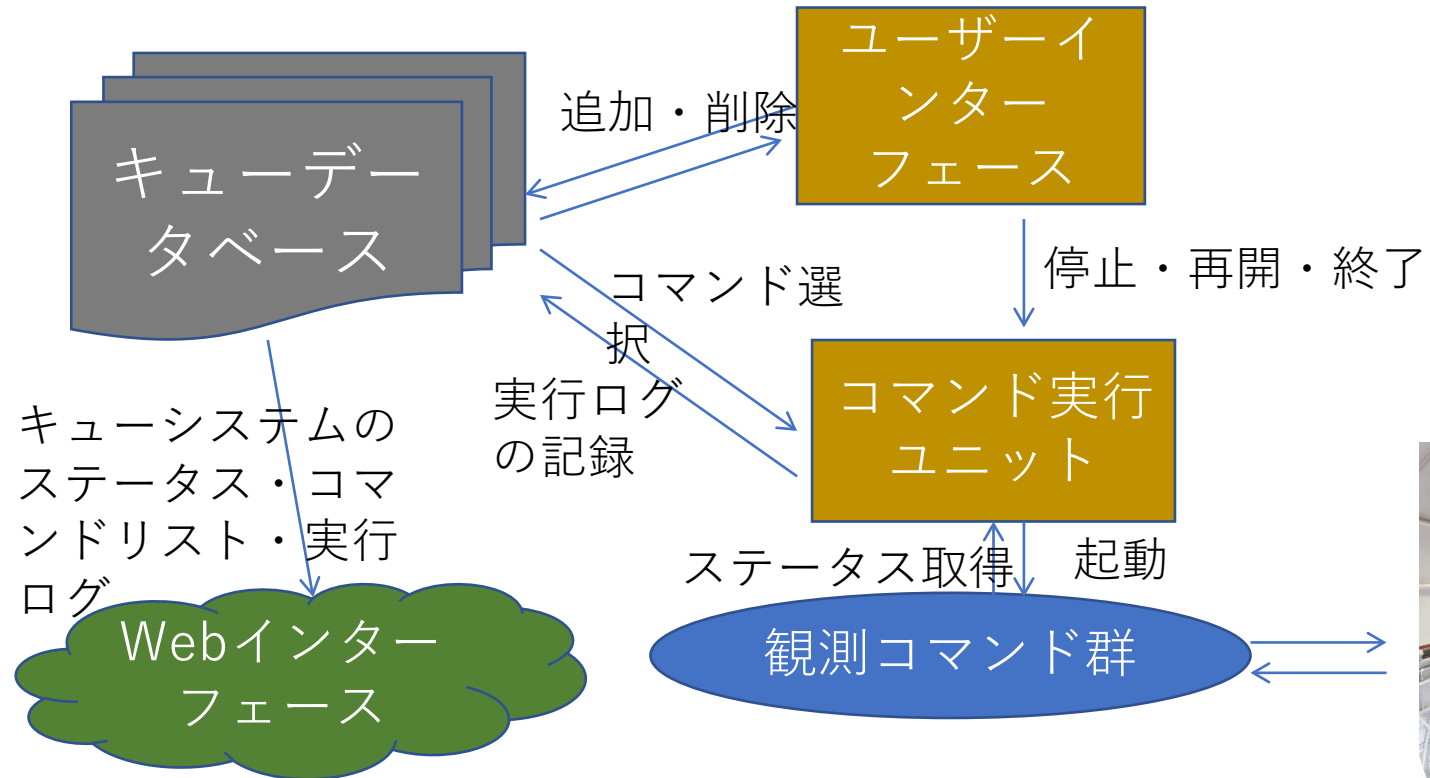
- 観測効率の向上

- 一晩で多数の天体を撮る場合は手動観測よりは時間効率が向上する（かも？）

最終的に作りたい自動観測システムの全体像



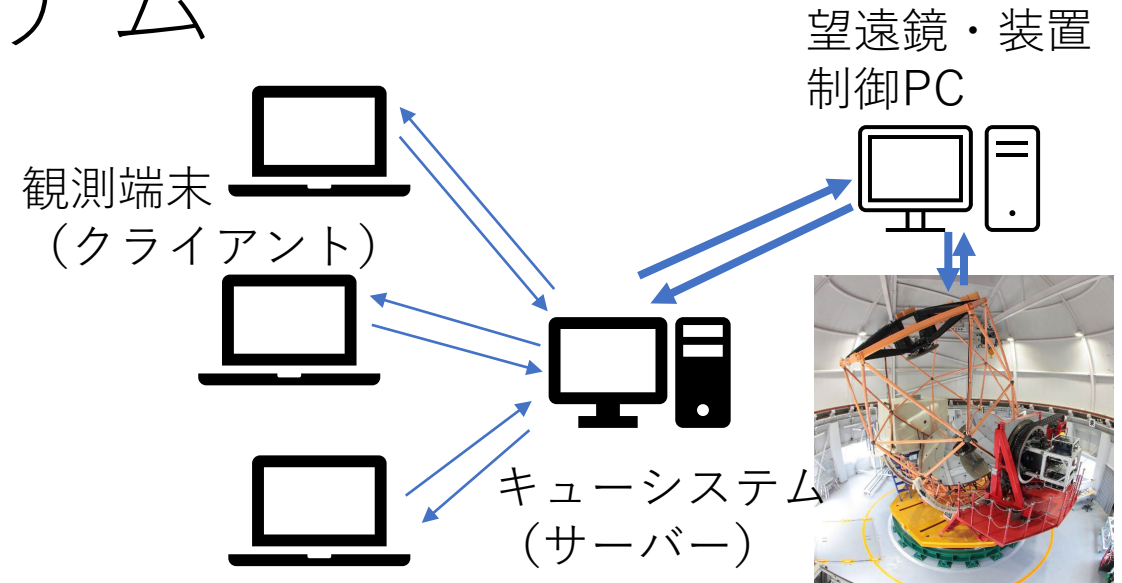
キュー観測システムの概要



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、較正光源の取得
- 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



Queue command log detail

Queue command list

queue id	exec. sequence	parent queue id	command	exec status
4853	21:37:00.22 +44:21:04.3		autoSH.sh	1
4852			agctl.py --feedback=off	0
4851			agctl.py --exp=off	0
4850			agctl.py --exp=off	0
4849			agctl.py --feedback=off	0
4848			tricc.py gri 15 3 auto	0
4847			tel_point3.py --object=GL213700+442104 --ra=21:37:00.22 --dec=+44:21:04.3 --rot=star --inst=tricc --propid=23A-K-0001 --observer=Taguchi_test5 --nas2offset=0	0
4846			prop_id.py 23A-K-0001 Taguchi_test5	0
4845			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

KOOLS-IFUの場合の観測の流れ

- SHカメラを用いた主鏡セグメントの調整

- 観測天体近くで同程度の高度の3等より明るい天体を自動選択し、SHカメラを用いた調整を自動実行

- 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

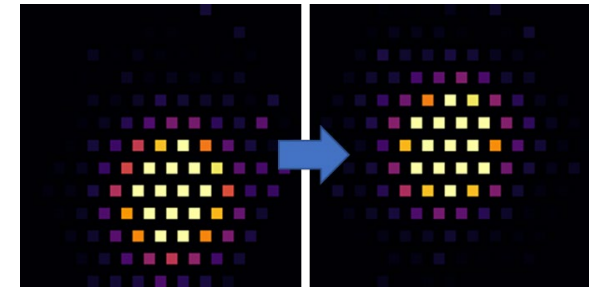
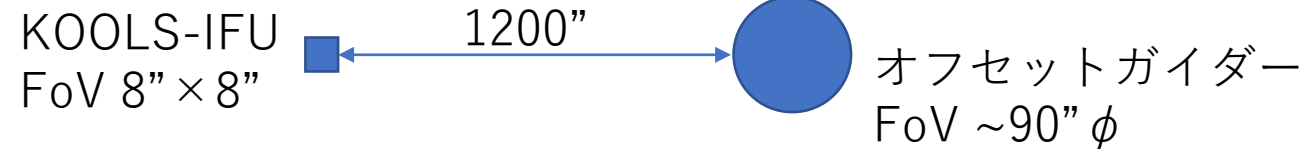
- 観測天体導入

- 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



観測までにかかる時間：KOOLS-IFUを用いたの観測例 (2023/08/25のToO観測)

11:02:06：曇って失敗したSHカメラを用いたM1調整を再開

11:02:06-11:03:27：SHカメラを用いたM1調整

11:03:31-11:40:49：オフセットガイダーを用いた指向誤差補正

11:04:50-11:05:36：KOOLS-IFUを用いた精密位置補正

11:05:47-11:06:20：オートガイド自動設定

11:06:21：最初の天体光の積分開始

• 晴れていて星の検出がうまくいく条件下であればコマンドをキューに登録してから4-5分で科学観測用の積分が始められる

- 自動M1調整：~1-1.5分
- ポインティング：<1分
- オフセットガイダーでの位置補正：<1分
- KOOLS-IFUでの位置補正：1-1.5分
- オートガイド自動設定：~0.5分

Command ID	Start Time	End Time	Command	Status
5396	2023-08-25 11:45:31	2023-08-25 11:45:33	wait_exp_finish.py	0
5395	2023-08-25 11:27:55	2023-08-25 11:27:56	queue.py pause	0
5382	2023-08-25 11:24:36	2023-08-25 11:27:54	kools.py VPH-blue 180	0
5393	2023-08-25 11:17:17	2023-08-25 11:17:18	queue.py pause	0
5381	2023-08-25 11:16:18	2023-08-25 11:17:16	kools.py VPH-blue 180	0
5380	2023-08-25 11:12:58	2023-08-25 11:16:17	kools.py VPH-blue 180	0
5379	2023-08-25 11:09:40	2023-08-25 11:12:57	kools.py VPH-blue 180	0
5378	2023-08-25 11:06:21	2023-08-25 11:06:20	kools.py VPH-blue 180	0
5377	2023-08-25 11:06:19	2023-08-25 11:06:20	agctl.py --feedback=on	0
5376	2023-08-25 11:06:05	2023-08-25 11:06:18	find_guidestar.py	0
5375	2023-08-25 11:05:47	2023-08-25 11:06:04	search_guidestar.py 17:27:43.32 -16:12:18.8	0
5374	2023-08-25 11:05:27	2023-08-25 11:05:46	tel_point3.py --object=SwiftJ1727.8-1613 --ra=17:27:43.32 --dec=-16:12:18.8 --rotator_inst=kools --rapid=23B-N-CT05 --observer=Maehara --pac2effects=00	0
5373	2023-08-25 11:04:50	2023-08-25 11:05:36	find_obj.py 11 10 3.0e5 2.0 VPH-blue 10	0
5372	2023-08-25 11:04:43	2023-08-25 11:04:49	ag_offset.py -16:12:18.8 off	0
5371	2023-08-25 11:04:14	2023-08-25 11:04:42	agtarget.py	0
5370	2023-08-25 11:04:07	2023-08-25 11:04:13	ag_offset.py -16:12:18.8 on	0
5369	2023-08-25 11:03:31	2023-08-25 11:04:06	nearbystar.py SwiftJ1727.8-1613 17:27:43.32 -16:12:18.8 kools -90	0
5368	2023-08-25 11:03:30	2023-08-25 11:03:30	rm -f /tmp/.ag_on	0
5367	2023-08-25 11:03:28	2023-08-25 11:03:28	prop_id.py 23B-N-CT05 Maehara	0
5386	2023-08-25 11:02:06	2023-08-25 11:03:27	autoSH.sh 17:27:43.32 -16:12:18.8	0
5385	2023-08-25 11:00:38	2023-08-25 11:01:53	autoSH.sh 17:27:43.32 -16:12:18.8	1

TriCCS（撮像モードの場合の観測の流れ

- SHカメラを用いた主鏡セグメントの調整
 - 観測天体近くで同程度の高度の3等より明るい天体を自動選択し、SHカメラを用いた調整を自動実行
- 観測天体導入
 - TriCCSは視野が12.6'×7.5'と広いため、精密な指向誤差補正は不要
- ガイド星自動選択
 - 天体位置からを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
- **観測までにかかる時間：2-3分程度**
 - 自動M1調整：~1-1.5分
 - ポインティング：<1分
 - オートガイド自動設定：~0.5分

※分光モードではスリット(幅1")への天体導入が必要となるのでKTOOLS-IFUと同等の時間になる見込み (~4-5分)

今後のキュー観測・自動観測システムの開発予定

● ~~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



23Aから公開 (リスクシェア)

- 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

● 天体リストから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

● TriCCS分光モード、GAOES-RVなど新装置への対応



24Aからの試験観測開始
を目指して開発中

● 第2フェーズ (2025?-)

● 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

議論に向けて

- 共同利用でのキュー観測をどのように実施するか？（案）
 - クラシカル観測：**できるだけキュー観測で実施**
 - 当初：手動キュー観測
 - 当夜の観測者が望遠鏡、装置、キューシステムを立ち上げ
 - 観測は天体リストに登録し自動生成したキュー or 観測者が編集したオリジナルのキューファイルをキューシステムに登録して実行
 - **課題：これまでの観測モードとの併用をどうするか？**
 - 将来：自動キュー観測
 - PIが天体リストに登録→割り当て日に観測を実行
 - 割り当て日以外も他に観測がない等であれば（最低優先順位で）観測する
 - ToO観測：**原則キュー観測**
 - PIが天体リストに登録→課題の優先順位に応じて実行中の観測に割り込み
 - 実行中のコマンドが上位の優先順位の場合は終了するまで実行できない
 - キューシステム内のコマンド実行時間＝消費時間が割り当て夜数を超えたら打ち切り