

TAO望遠鏡のハードウェアとソフトウェア開発

東京大学 天文学専攻 ユン・ジェウン

2024年 12月 15日

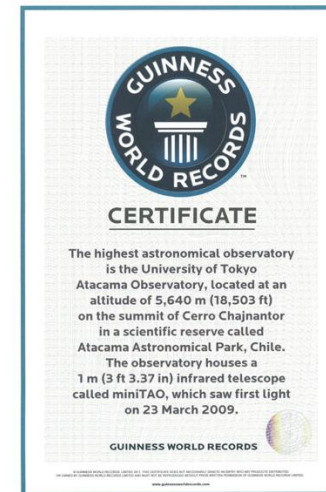
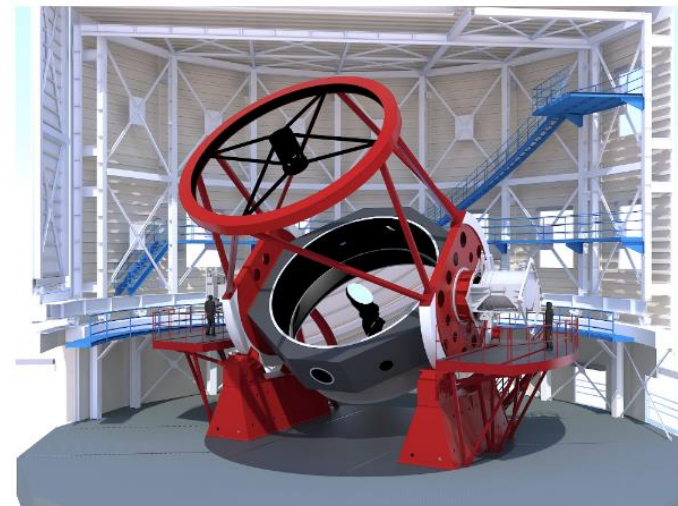
1. TAO望遠鏡のSWIMS分光器開発

1. 6.5m TAO望遠鏡

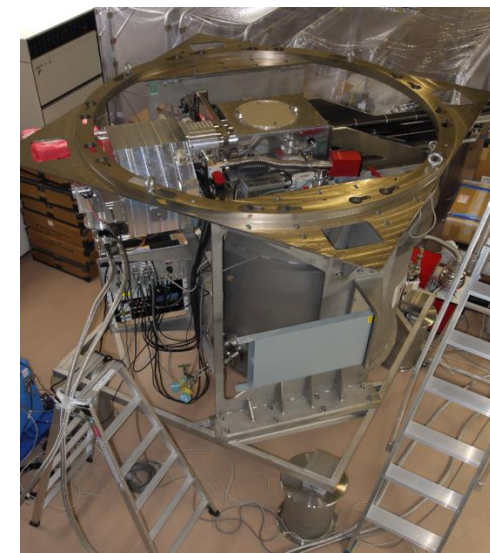
- TAO: The University of Tokyo **A**tacama **O**bservatory
- 世界で最も高い天文台に設置される望遠鏡
- 東京大学の最高グレードの研究プロジェクト
- 近赤外線分光器SWIMSデバイスが設置

2. SWIMSデバイス

- SWIMS: **S**imultaneous-color **W**ide-field **I**nfrared **M**ulti-object **S**pectrograph
- 40個の天体同時観測可能
- 近赤外線2つの波長領域(0.9~1.4/1.4~2.5 μ m)を同時に観測可能
- 目標：初期宇宙の銀河進化研究



[図1]。 TAO望遠鏡の模式図とギネス記録



[図2]。 SWIMSデバイス

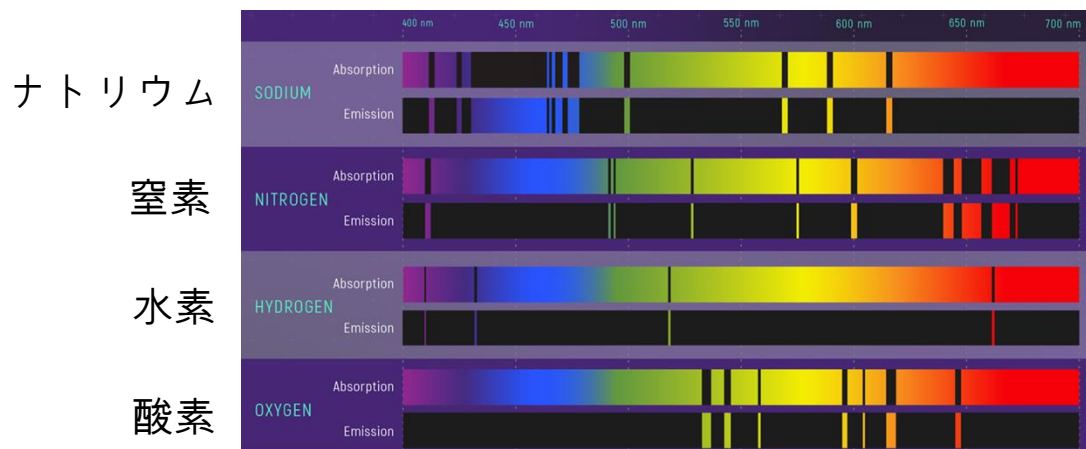
1. TAO望遠鏡のSWIMS分光器開発

3. なぜSWIMS装置(分光器)の開発が重要なのですか？

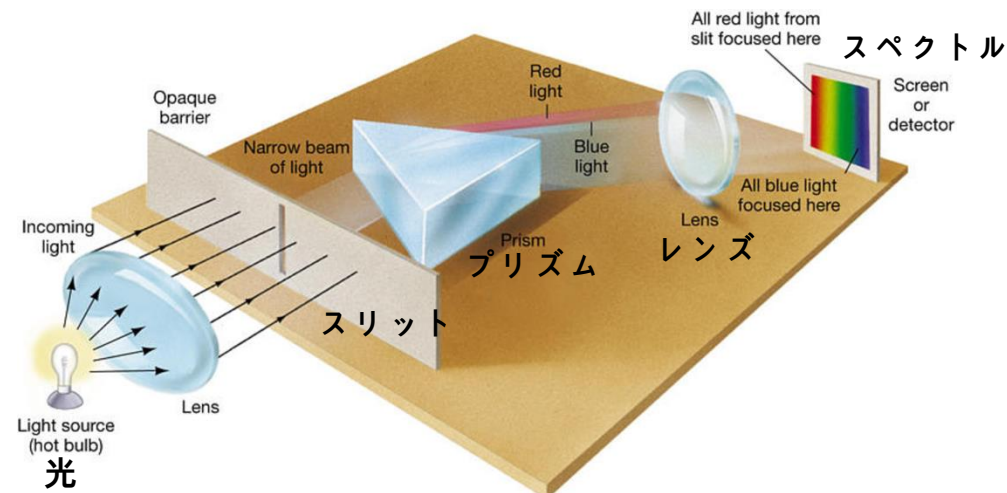
- 望遠鏡では銀河の明るさと形だけ分かる
 - 望遠鏡だけでは銀河の温度、構成物質などが分からない
 - 各元素ごとに固有のスペクトルを持っている
 - 分光器は銀河のスペクトルを分析することができる
- SWIMS (分光器) デバイスは、銀河のさらなる物理的特徴を明らかにすることができます。



[図3]。望遠鏡のレンズで観測した画像



[図4]。様々な物質のスペクトル

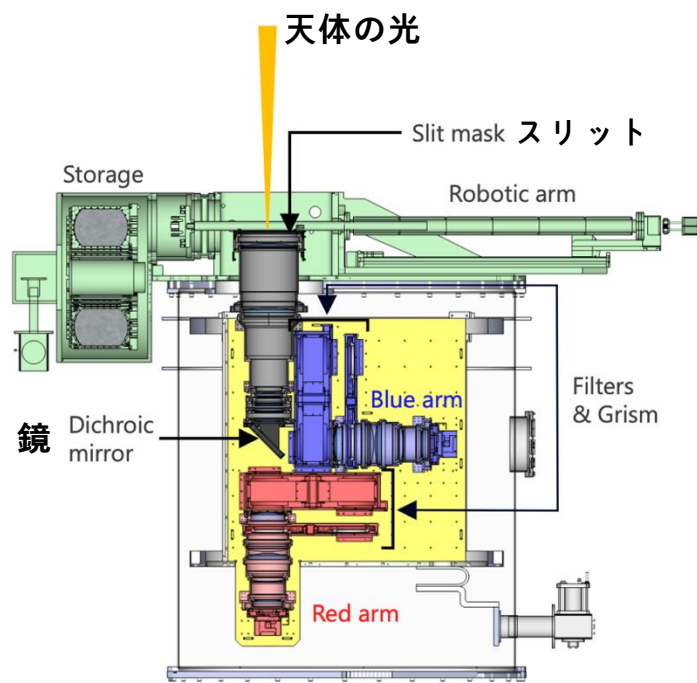


[図5]。プリズムを通る光のプロセス

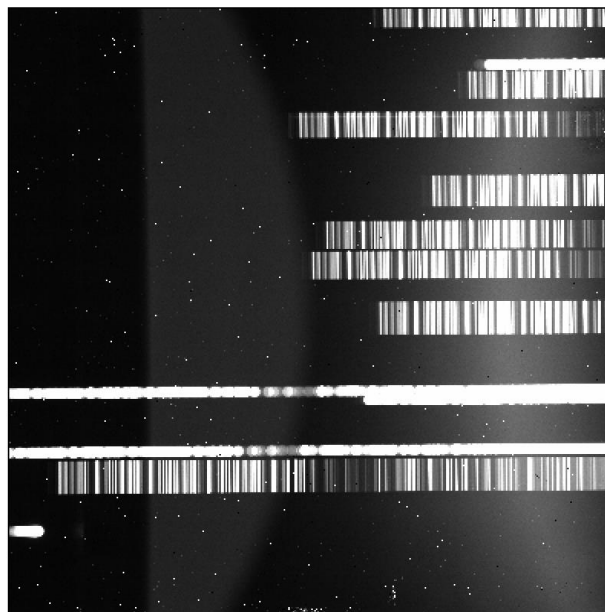
1. TAO望遠鏡のSWIMS分光器開発

4. 分光画像

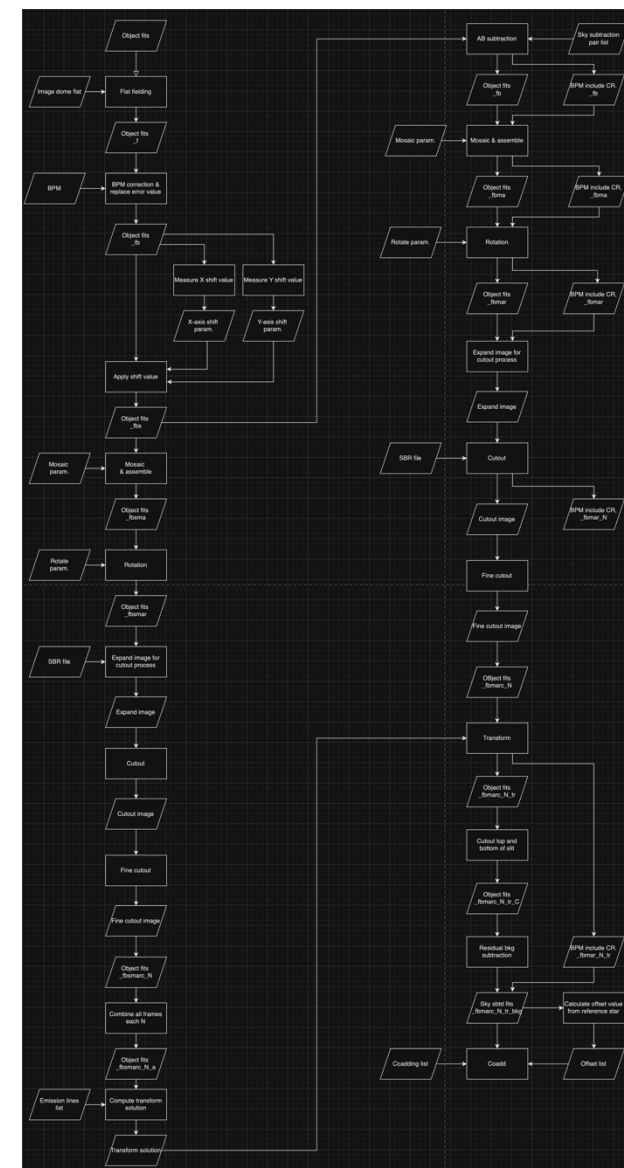
- 天体の特徴を理解するためには、多くのデータ処理プロセスが必要です
(1枚の画像 = 約1日かかります)
 - 大気と宇宙のほこりを取り除く
 - デバイスのノイズ除去
 - 地球大気のスペクトル除去
 - 観測対象の分離
- 他にも多くのコースが必要



[図6]。SWIMS構造

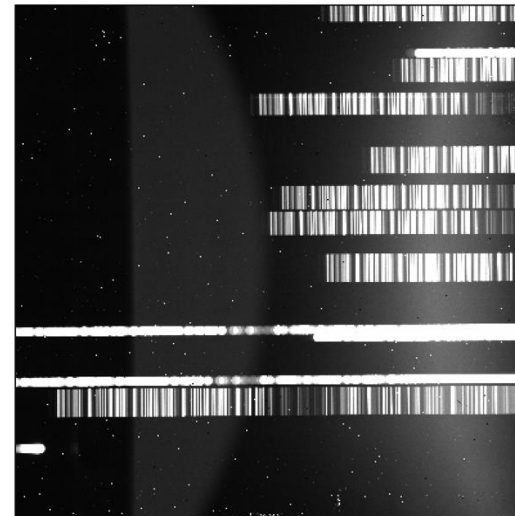
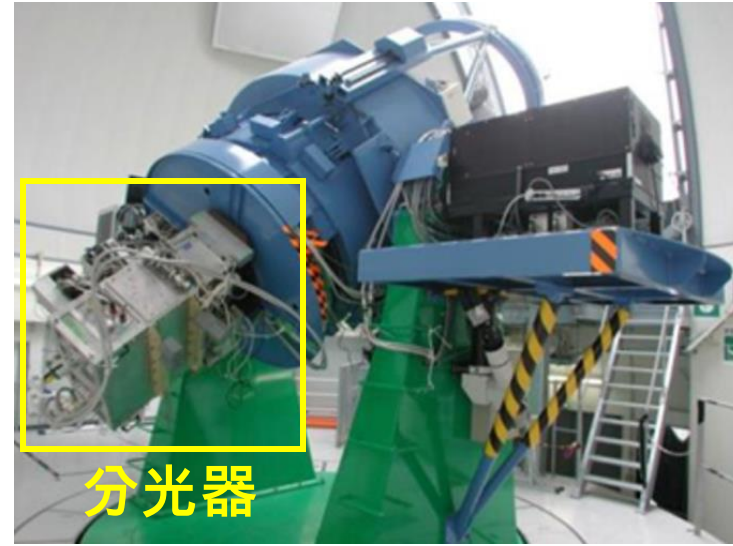


[図7]。望遠鏡の分光器で観測した銀河イメージ



[図8]。分光画像データ処理過程

1. TAO望遠鏡のSWIMS分光器開発



2. 望遠鏡データ分析プログラムの開発

1. 多くのデータが必要

- 多くのデータが蓄積されると天体の変化が分かる
- データが多いほど画像が鮮明になる
- 長い時間観測を通じて見えない天体が見えるようになる
- 天体の特徴を詳しく知るためには、多数の観測データが必要



短時間観測



長時間観測

[図9]。カメラの位置を木の固定



短時間観測



長時間観測

[図10]。カメラの位置を天体に固定

2. 望遠鏡データ分析プログラムの開発

2. 多くのデータの問題

- 多くのデータ → 長いデータ分析に時間がかかる
 - 観測画像の単位: frame
 - 1秒観測 = 60 frame
 - 10分観測 = 600秒 = 36,000 frame
- 人が行くとミスをする可能性がある

→ 時間を短縮し、正確なデータ処理のためにプログラミング開発が必要



[図11]。長時間、人がデータ処理過程を行うと、疲労が蓄積しミスをする可能性が増える

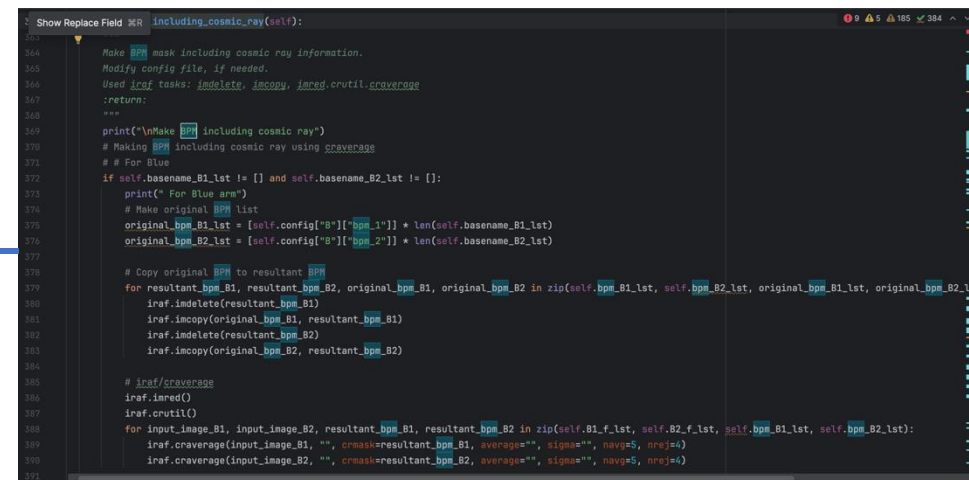
2. 望遠鏡データ分析プログラムの開発

3. 自動データ処理プロセス

- ソフトウェアを動作させるプログラミングコード
ファイルを入力
- パラメータ情報入力
- コースの命令入力

```
$ ipython
> %logstart (WhateverYouLike).py
> from swims_mosred_ver20231019.py import SwimsMosRed
> obj = SwimsMosRed(configfile="config_file.ini")
> obj.make_spectral_flat() # Create spectral flat
> obj.flat_fielding()
> obj.make_bpm_including_cosmic_ray() # Take a long time
> obj.bpm_correction() # Take a long time
> obj.mosaic()
> obj.rotate()
> obj.cutout() # Check cutout region and select y (yes) or n (no). Also check which slit you want to reduce.
(> obj.reload_config(configfile="config_file.ini") # Only if config file is changed to adjust cutout regions)
(> obj.cutout() # Only if config file is changed to adjust cutout regions)
> obj.comp_transform(n) # n is the labeling number of the slit you want to reduce.
```

[図12]。天体観測データ処理プロセス



```
Show Replace Field RR including_cosmic_ray(self):
364 Make BPM mask including cosmic ray information.
365 Modify config file, if needed.
366 Used iraf tasks: imdelete, imcopy, iraf.crutil.ccraverage
367 :return:
368 ***
369 print("\nMake BPM including cosmic ray")
370 # Making BPM including cosmic ray using ccraverage
371 ## For Blue
372 if self.basename_B1_lst != [] and self.basename_B2_lst != []:
373     print(" For Blue arm")
374     # Make original BPM list
375     original_bpm_B1_lst = [self.config["B"][f"bpm_{i}"] * len(self.basename_B1_lst)
376     original_bpm_B2_lst = [self.config["B"][f"bpm_{i}"] * len(self.basename_B2_lst)
377
378     # Copy original BPM to resultant BPM
379     for resultant_bpm_B1, resultant_bpm_B2, original_bpm_B1, original_bpm_B2 in zip(self.bpm_B1_lst, self.bpm_B2_lst, original_bpm_B1_lst, original_bpm_B2_lst):
380         iraf.imdelete(resultant_bpm_B1)
381         iraf.imcopy(original_bpm_B1, resultant_bpm_B1)
382         iraf.imdelete(resultant_bpm_B2)
383         iraf.imcopy(original_bpm_B2, resultant_bpm_B2)
384
385     # iraf.ccraverage
386     iraf.inred()
387     iraf.crutil()
388     for input_image_B1, input_image_B2, resultant_bpm_B1, resultant_bpm_B2 in zip(self.B1_f_lst, self.B2_f_lst, self.bpm_B1_lst, self.bpm_B2_lst):
389         iraf.ccraverage(input_image_B1, "", ccrmask=resultant_bpm_B1, average="", sigma="", navg=5, nre=4)
390         iraf.ccraverage(input_image_B2, "", ccrmask=resultant_bpm_B2, average="", sigma="", navg=5, nre=4)
391
```

[図13]。プログラミングコード

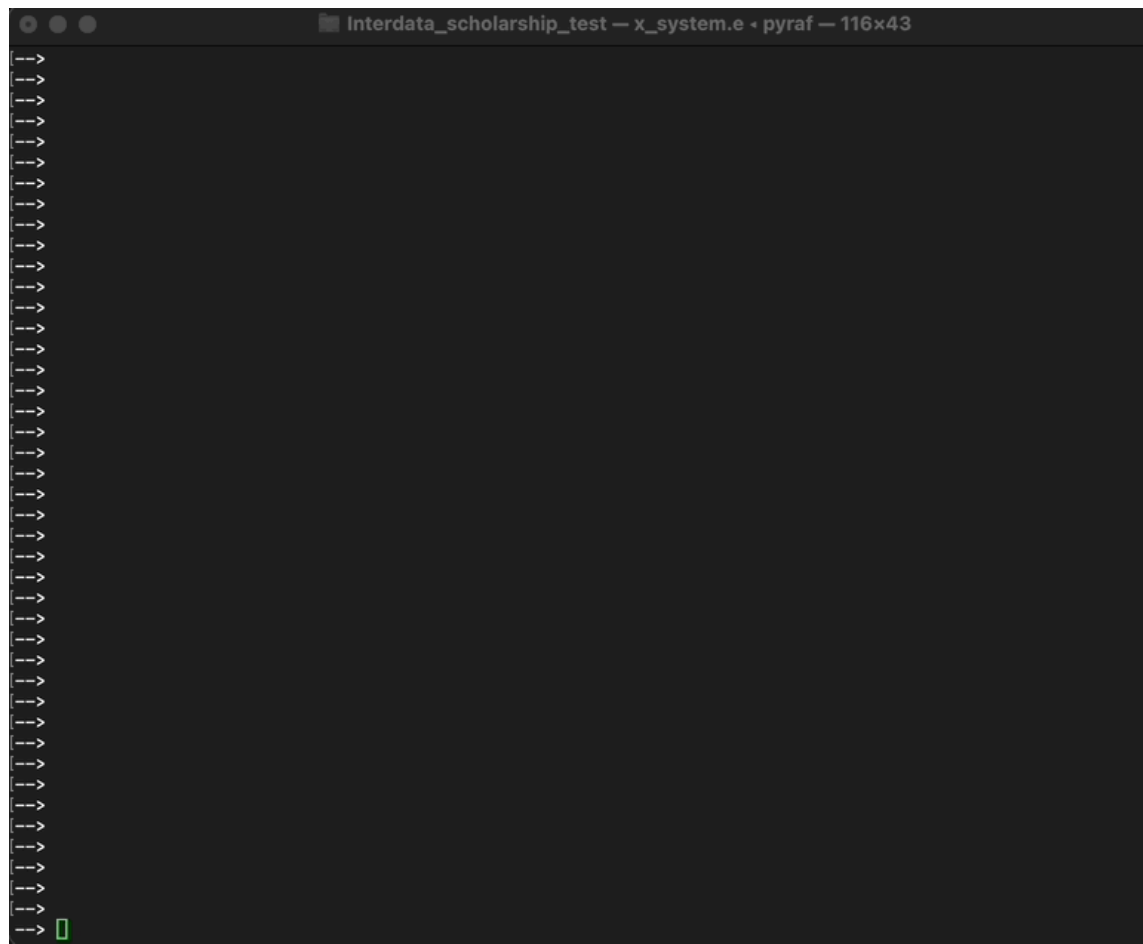
```
[Dirs]
# ABBA file directory
Data = ../Working/Data
Caldata = ../Working/Caldata
Interdata = ../Working/Interdata

[B]
# Frame IDs without the last 1 and 2
# Frame IDs to make spectral dome flat
Domeflat_On_start =11962
Domeflat_On_end =11972
Domeflat_Off_start =11973
Domeflat_Off_end =11982
# General calibration data
domeflat_1 = ${Dirs:Caldata}/dome_flat_B1_20220205.fits
domeflat_2 = ${Dirs:Caldata}/dome_flat_B2_20220205.fits
bpm_1 = ${Dirs:Caldata}/bpm_s22a_b1.fits
bpm_2 = ${Dirs:Caldata}/bpm_s22a_b2.fits
mosaic_1 = ${Dirs:Caldata}/mc_s21a_b1.dbs
transform_1 = wcSWSB00078901.fits
mosaic_2 = ${Dirs:Caldata}/mc_s21a_b2.dbs
transform_2 = wcSWSB00078902.fits
rotation_angle = -0.061
# Observation dependent
object_start = 11893
# object_end = 11896
# object_end = 11894
object_end = 12302
# object_end = 12301
```

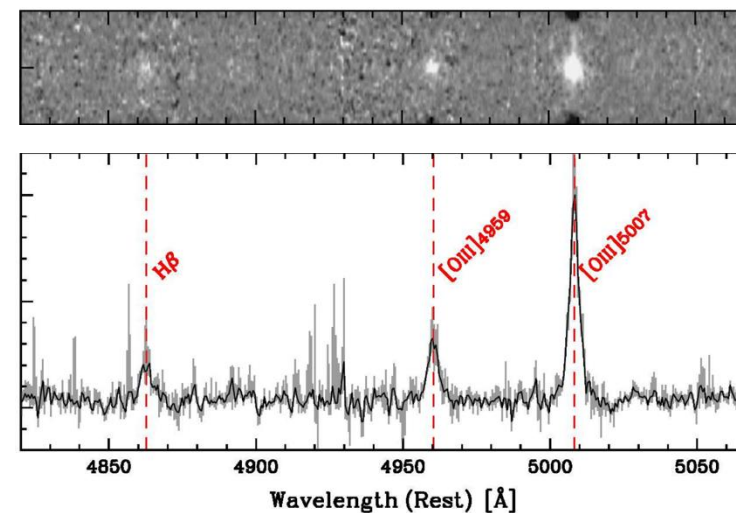
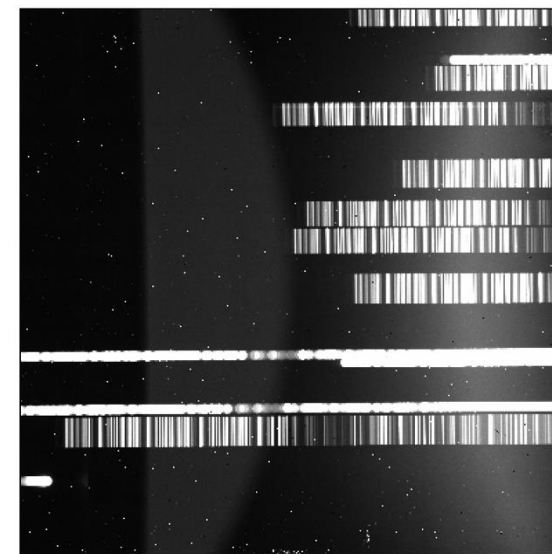
[図14]。パラメータ入力

2. 望遠鏡データ分析プログラムの開発

4. 自動データ処理の実行



[図15]。データ処理の自動実行

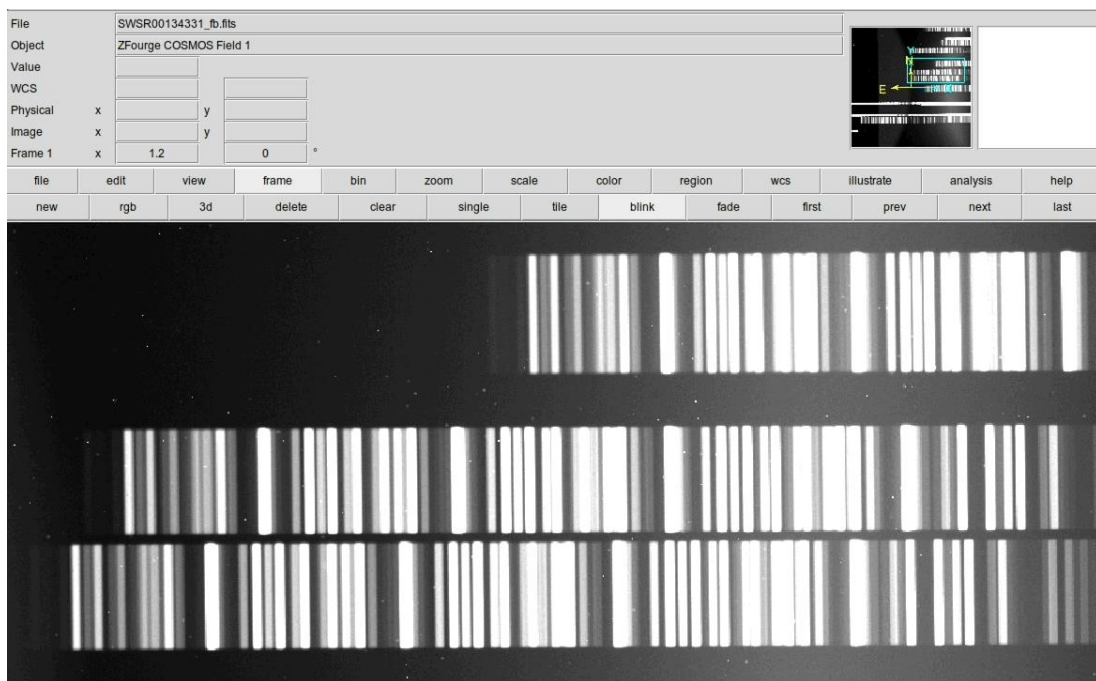


[図16]。銀河のスペクトル

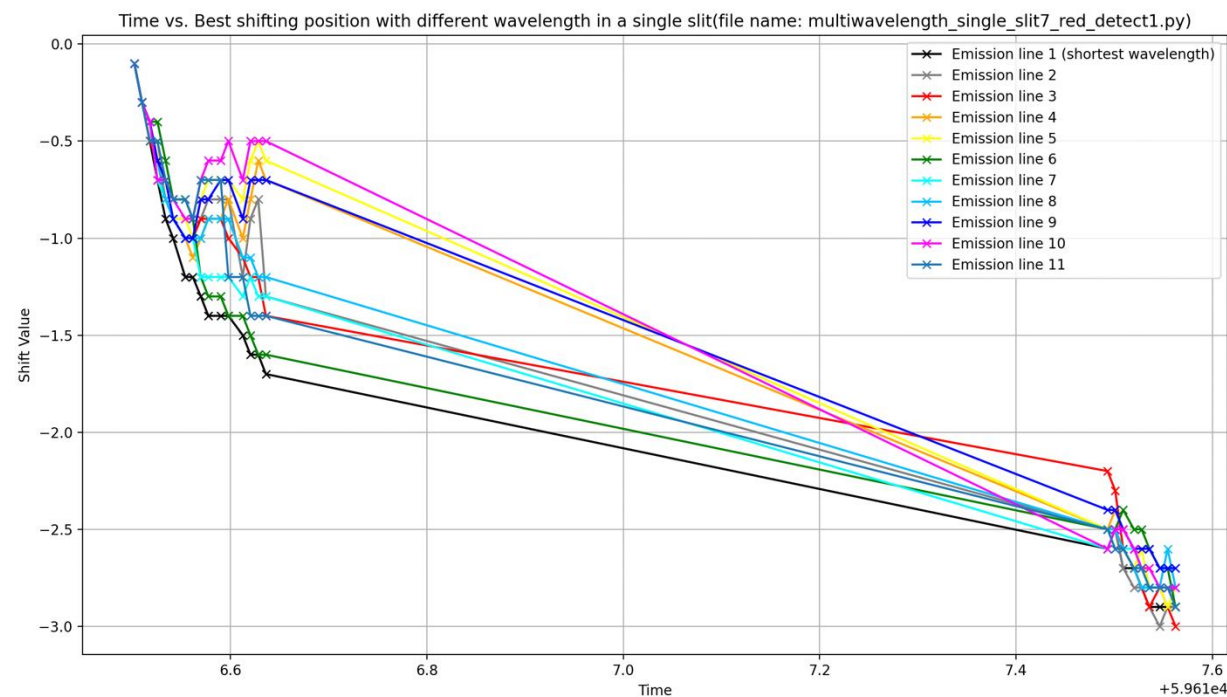
2. 望遠鏡データ分析プログラムの開発

5. 現在研究進行状況

- 画像の位置が変化している
- 自動的に画像の位置を一致させるプログラミングコードの開発中



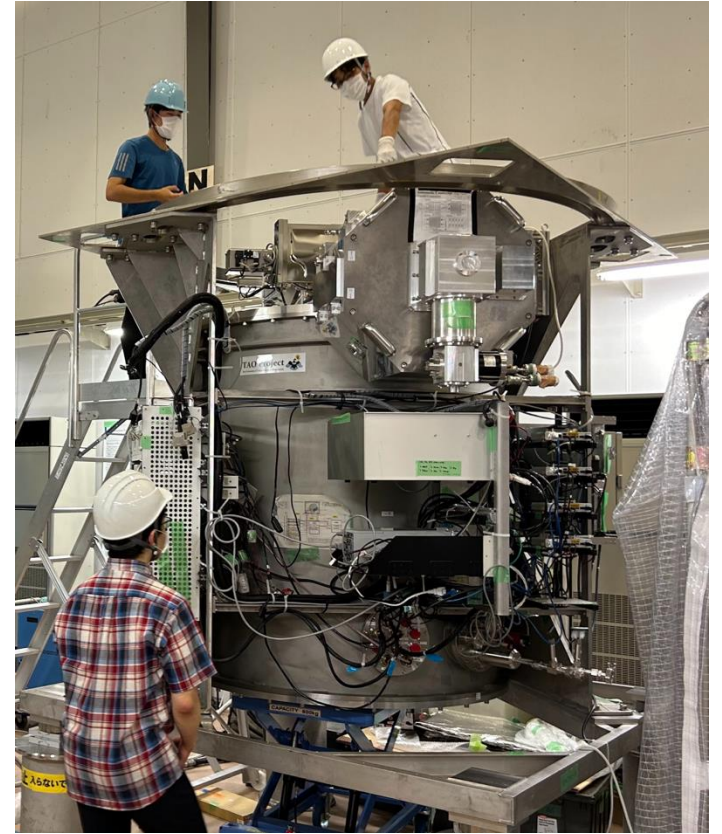
[図17]。画像の位置が一致しない



[図18]。経時的な画像の位置変化

3. まとめ

- 東京大学最高等級の研究プロジェクトを実施
- 日本の大学の最大の望遠鏡開発プロジェクト
- 2倍以上の広いスペクトル範囲で、40個の天体同時観測可能
- これまでに行われたことのない非常に暗い天体に対してもデータ処理が可能
- 自動的に画像の位置を一致させるプログラミングコードの開発中



[図19]。 SWIMS装置開発過程

発表をお聞きくださり、ありがとうございます。