

# OISTER短期滞在実習 すばる望遠鏡（PFS）活動報告

市原晋之介

京都大学 理学研究科宇宙物理学教室 修士1年

# 謝辞

初めに、

高橋準様、大朝由美子様を始めとするOISTER関係者様

受入担当の森谷友由希様を始めとするハワイ観測所の皆様

末広曜子様を始めとする国立天文台の皆様

野上大作准教授を始めとする短期滞在実習を支えていただいた皆様

へ、心より感謝申し上げます。

# PFSとは？

from : <https://pfs.ipmu.jp/ja/instrumentation.html>

## PFS(Prime Focus Spectrograph)

- 2025Aから稼働するすばる望遠鏡搭載の分光器
- 同時に約**2400天体**の分光が可能！

Fibers array

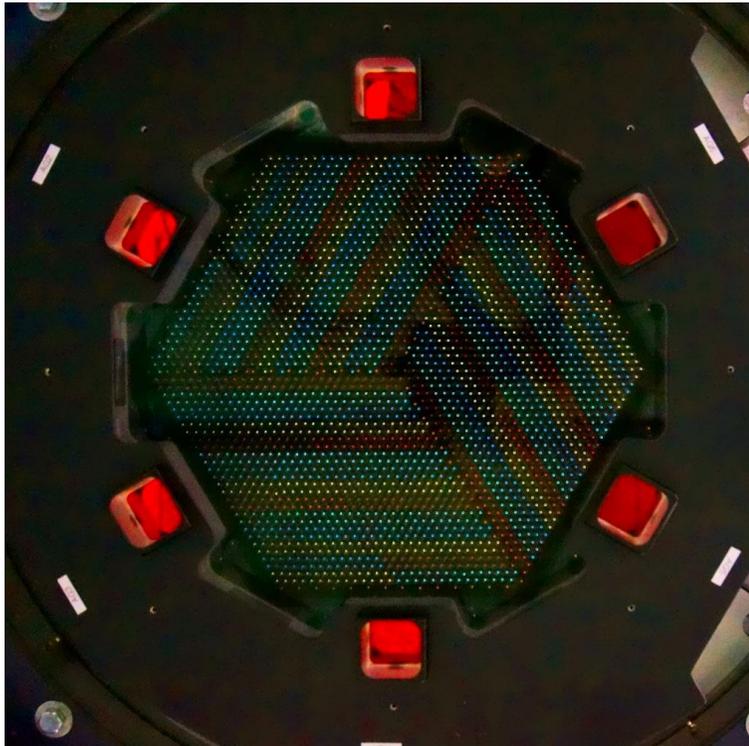


Table 1. PFS major instrument parameters

Prime Focus Instrument (PFI)				
Field of view (hexagonal)	Diameter of circumscribed circle: 1.38 deg Area: 1.25 deg <sup>2</sup>			
Number of fibers	2394 science fibers and 96 fixed fiducial fibers.			
Fiber density	2000 deg <sup>-2</sup> (0.6 arcmin <sup>-2</sup> )			
Fiber core diameter	127μm (=1.12 (1.02) arcsec at the field center (edge), respectively)			
Positioner pitch	8mm (=90.4 (82.4) arcsec at the field center (edge), respectively)			
Positioner patrol field diameter	9.5mm (=107.4 (97.9) arcsec at the field center (edge), respectively)			
Fiber minimum separation	~30 arcsec			
Fiber configuration time	~60-100 sec (TBC)			
Number of AG cameras	6			
Field of view per AG camera	5.1 arcmin <sup>2</sup>			
Sensitivity of AG camera	<i>S/N</i> =30(100) for <i>r</i> = 20 mag (AB), 1(10) sec exposure.			
Spectrograph System (SpS)				
Spectral arms	Blue	Red		NIR
		Low Res.	Mid. Res.	
Spectral coverage	380-650nm	630-970nm	710-885nm	940-1260nm
Dispersion	0.7 Å/pix	0.9 Å/pix	0.4 Å/pix	0.8 Å/pix
Spectral resolution	2.1 Å	2.7 Å	1.6 Å	2.4 Å
Resolving power	2300	3000	5000	4300
SpS throughput	53% (at 500nm)	57% (at 800nm)	54% (at 800nm)	33% (at 1100nm)

<https://www.nao.ac.jp/research/project/pfs.html>

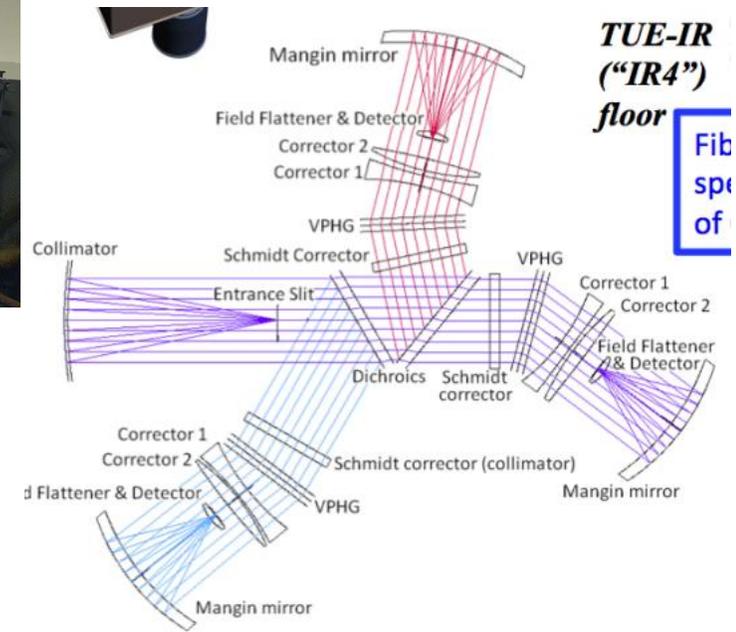
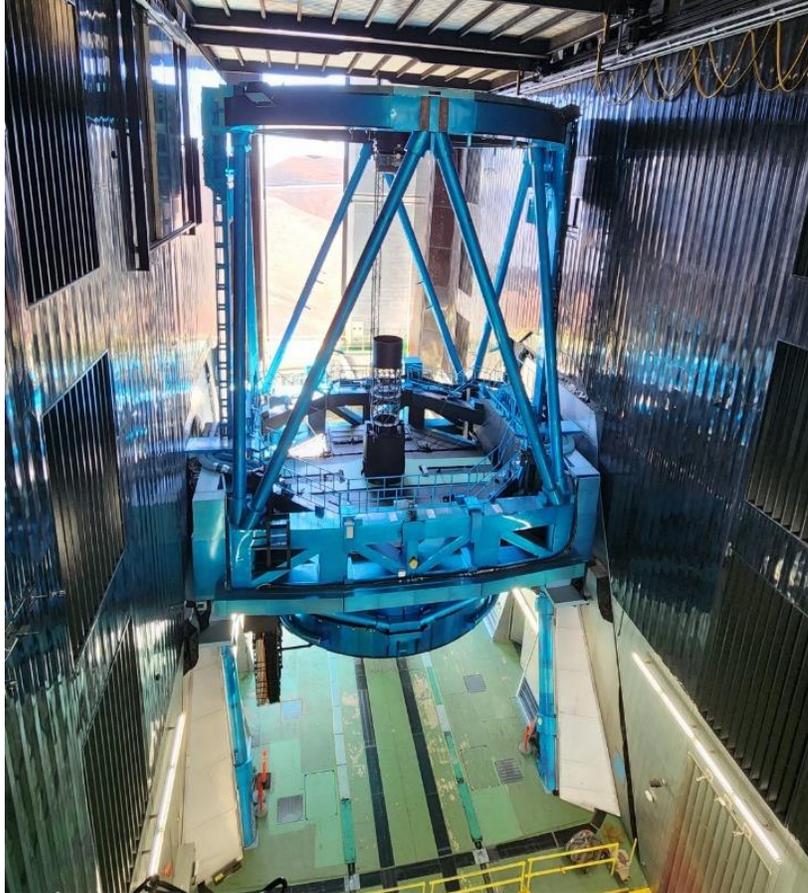
<https://hal.science/hal-01428082/document>

# すばる実習の内容

8月下旬から9月上旬の約3週間滞在した

1. すばる望遠鏡の訪問
2. テスト観測データを用いたフレア星に関する解析
3. Quick lookツールにいくつか機能を追加した.
4. (試験観測の参加)

# すばる望遠鏡の訪問



<https://hal.science/hal-01428082/document>

# ①テストデータの解析 (pfsMergedの表示)

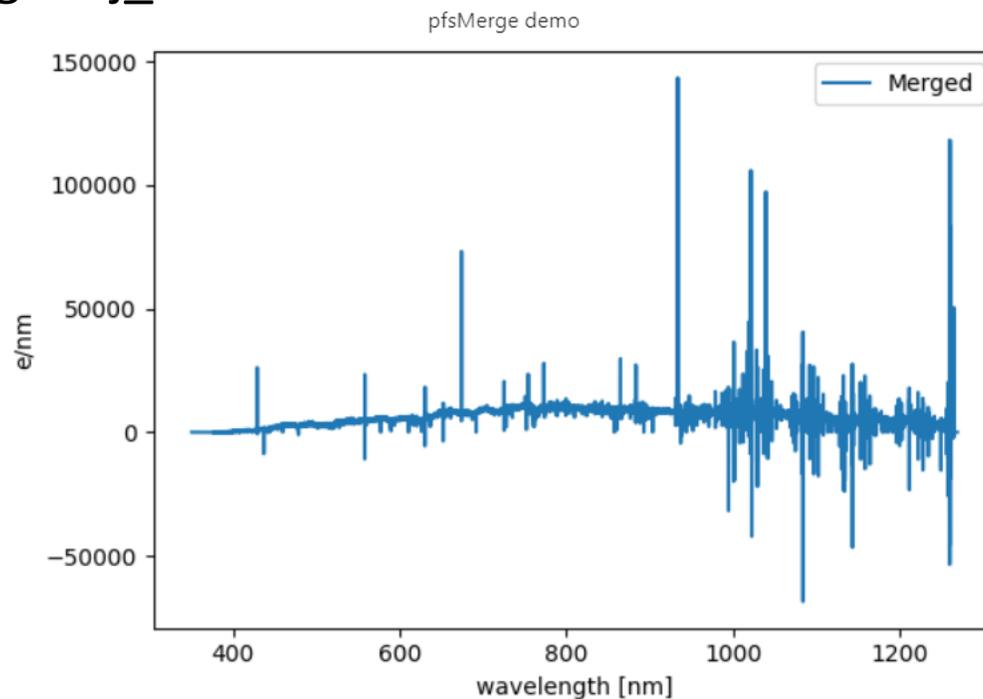
- Visitを入力
  - Gaiaカタログにもデータがある天体の g. bp. rp等級, ファイバー番号, object\_IDをテーブルで表示

e.g. visit = 110607

	f1	f2	f3	f4	f5	fiberId	objId	mag1	mag2	mag3	spec
0	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2	3660034240453652992	19.142972	19.379397	18.946347	1
1	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	5	3660033175301750400	19.549300	20.700867	18.756499	1
2	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	6	3660033385755972736	19.626185	20.573530	18.848048	1
3	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	10	3660034622706310528	18.797433	18.995379	18.625132	1
4	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	12	3660034721489996672	19.577603	19.797970	19.422669	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1743	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2594	3660082172289165696	19.243728	20.533960	18.400260	4
1744	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2595	3660085097161997824	20.053756	20.770266	19.393020	4
1745	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2600	3660086810853913472	20.367023	21.304095	19.495305	4
1746	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2601	3660086398537043712	18.456195	19.537424	17.708554	4
1747	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2603	3660086673414965888	19.558597	19.743030	19.261355	4

- そこからobject\_IDを入力
  - pfsArm(カメラ毎のスペクトル), pfsMerged(pfsArmを統合したスペクトル)を表示

e.g. obj\_ID='3660073792808067584'



# ①テストデータの解析

G,K,M型星を探すために、Gaia DR3から有効温度等を検索  
(撮られている天体のdec,raをカバーする長方形でqueryをかけて、  
objIDが共通の天体のみテーブルを結合)

psfConfigの範囲内の天体をGaiaから抽出>df0と結合

```
[1]: #ra,decの最大値、最小値を抽出
max_ra = df0['ra'].max()
min_ra = df0['ra'].min()
max_dec = df0['dec'].max()
min_dec = df0['dec'].min()

#ra,decの中点をとり、それを中心にすべてを囲える長方形内を検索する
ra_ave = (max_ra + min_ra)/2.0
ra_width = max_ra - min_ra
dec_ave = (max_dec + min_dec)/2.0
dec_width = max_dec - min_dec

print(ra_ave, ra_width, dec_ave, dec_width)

211.7941239650824 1.3660386302813663 -0.1199492121043618 1.210517488257893

[2]: coord = SkyCoord(ra=ra_ave, dec=dec_ave, unit=(u.degree, u.degree), frame='icrs')
width = u.Quantity(ra_width, u.deg)
height = u.Quantity(dec_width, u.deg)
r = Gaia.query_object_async(coordinate=coord, width=width, height=height)

INFO: Query finished. [astroquery.utils.tap.core]

[3]: df_gaia = r.to_pandas()

[4]: df_gaia
```

	dist	solution_id	DESIGNATION	SOURCE_ID	random_index	ref_epoch	ra	r
0	0.012663	1635721458409799680	Gaia DR2 3660048705903646080	3660048705903646080	1476051984	2015.5	211.782513	0.

```
[18]: #psfConfigとGaiaカタログの結合
df0 = pd.merge(df0, df_gaia_rename, on='objId', how='left')

[19]: df0
```

	f1	f2	f3	f4	f5	fiberId	objId	ra_x	dec_x	propId	mag1	ma
0	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2	3660034240453652992	211.706117	-0.276767	S24A-EN16	19.142972	19.3793
1	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	5	3660033175301750400	211.761152	-0.297928	S24A-EN16	19.549300	20.7008
2	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	6	3660033385755972736	211.763459	-0.269376	S24A-EN16	19.626185	20.5733
3	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	10	3660034622706310528	211.816112	-0.275840	S24A-EN16	18.797433	18.9953
4	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	12	3660034721489996672	211.827610	-0.266056	S24A-EN16	19.577603	19.7973
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1743	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2594	3660082172289165696	211.927155	0.090589	S24A-EN16	19.243728	20.5333
1744	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2595	3660085097161997824	211.904750	0.085224	S24A-EN16	20.053756	20.7703
1745	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2600	3660086810853913472	211.891194	0.166598	S24A-EN16	20.367023	21.3040
1746	g_gaia	bp_gaia	rp_gaia	none	none	2601	3660086398537043712	211.865626	0.152914	S24A-EN16	18.456195	19.5374

# M,K,G型星に着目する理由

## 市原の専攻 > 恒星フレア

恒星フレアは若いM,K,G型星で活発に起こることがわかっている  
e.g. EV Lac(とかげ座EV星) 0.4 event/h @optical (Schmidt et al. 2012)

若い恒星は磁気活動が活発で大規模フレアを起こしやすい

太陽フレア :  $10^{29-32}$  erg

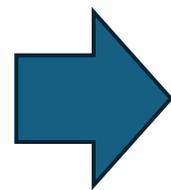
恒星フレア :  $10^{33}$  erg を超えるスーパーフレアが頻発



# ①フレア星候補の検索

- カタログ内の有効温度(今回のデータではteff\_gspphotを使用)を用いて、天体のスペクトル型の判別

スペクトル型	有効温度[K]
O	30,000 –
B	10,000 – 30,000
A	7,500 – 10,000
F	6,000 – 7,500
G	5,200 – 6,000
K	3,700 – 5,200
M	– 3,700

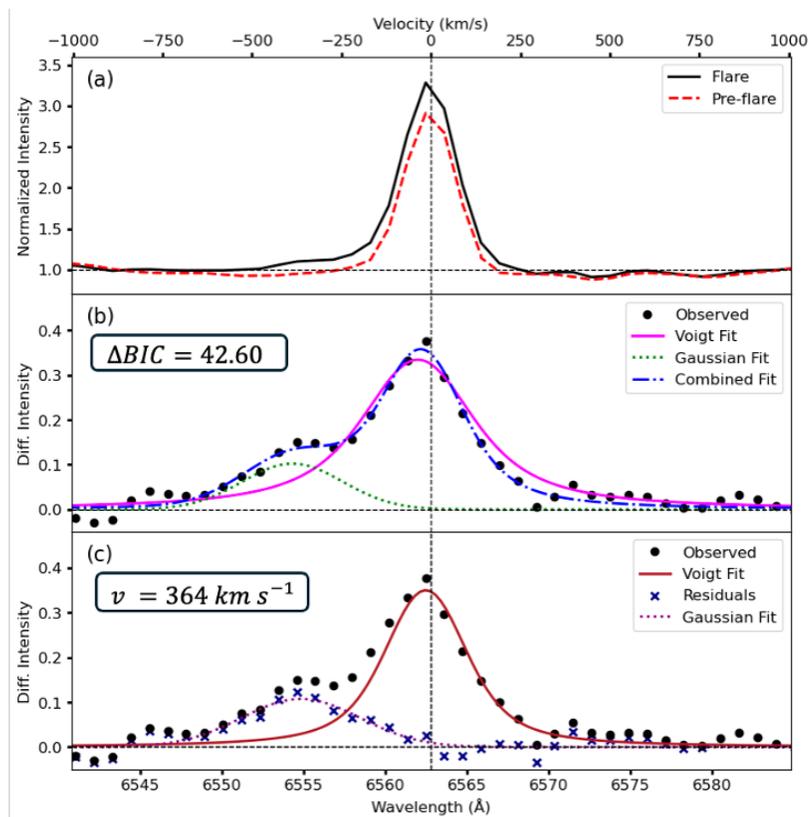


今回はM,K,G型星に着目  
(スクリプト内の温度の閾値を変えるだけで、他の型の星も検索可)

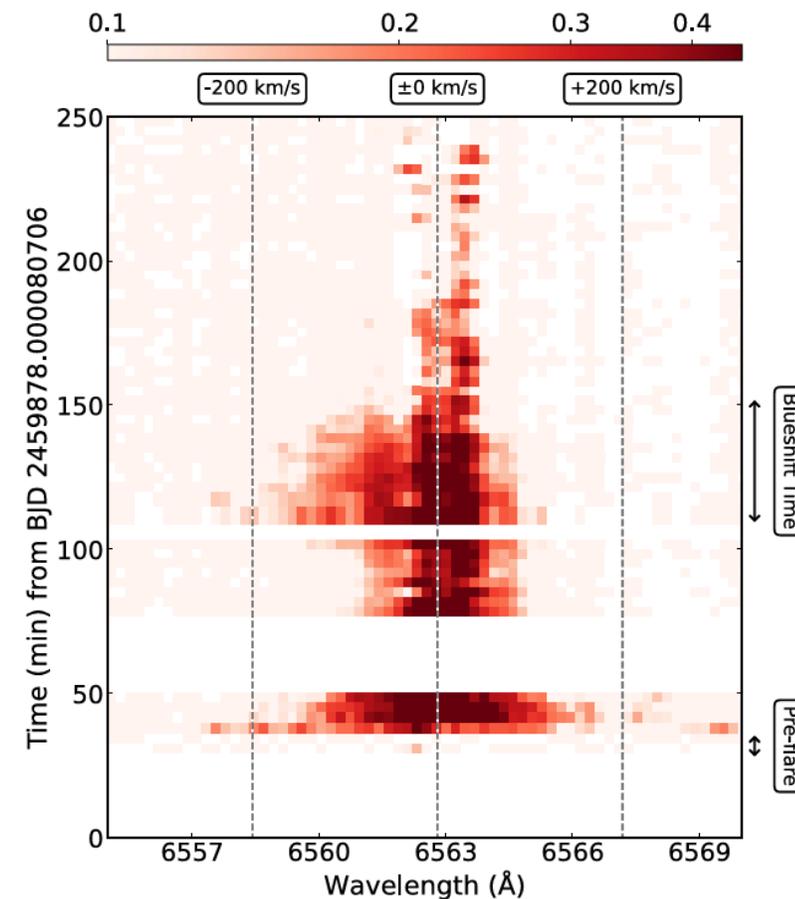
参照 : Table VIII in Habets, G. M. H. J. & Heintze, J. R. W. 1981

# ① フレア星候補の検索

pfsMergedスペクトルの等価幅の計算を行った  
水素バルマー線の等価幅や非対称性の時間変化は、  
空間分解できない恒星フレアのダイナミクスの解明に重要



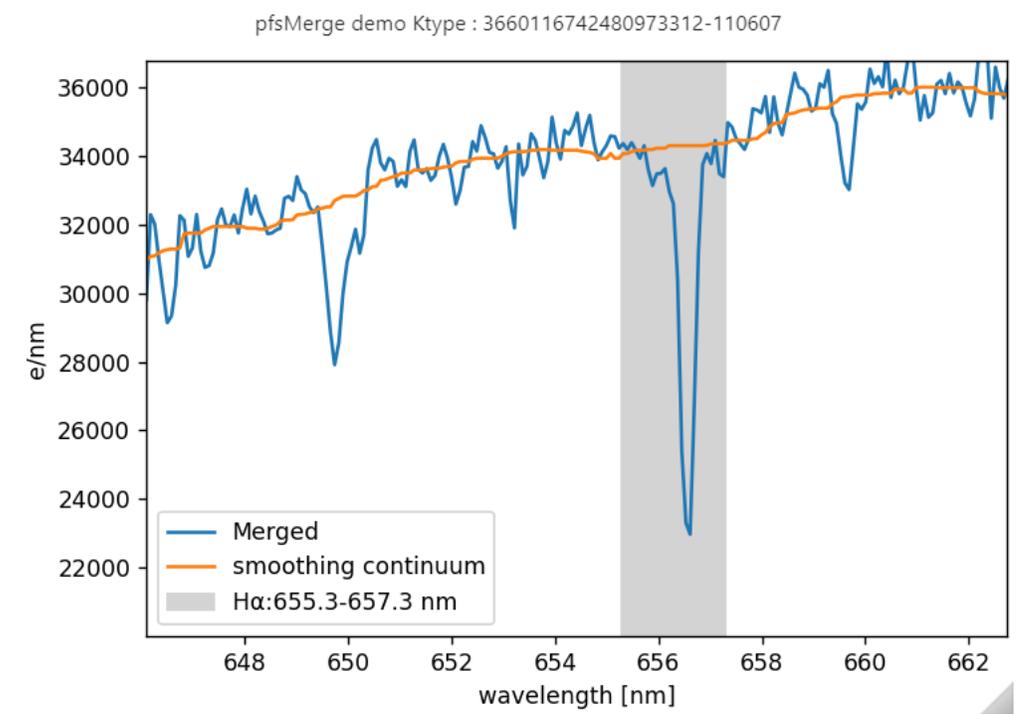
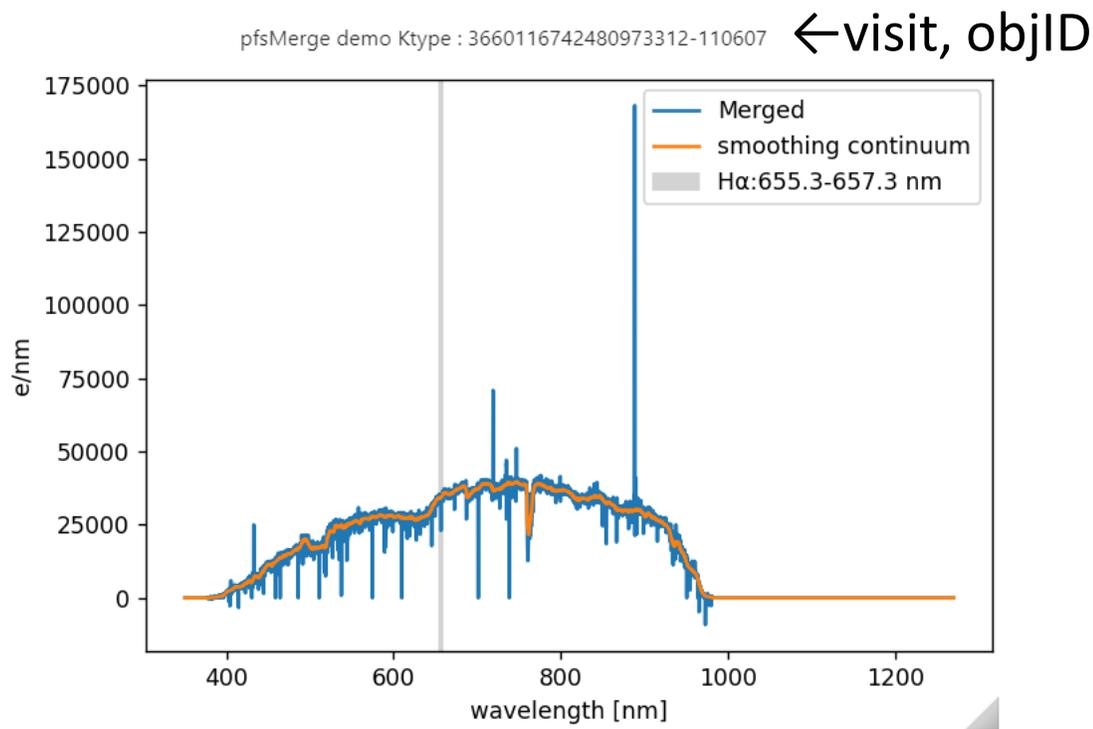
Kajikiya + 2024 (arXiv)



Inoue + 2024 (PASJ)

# ① フレア星候補の検索

今回はH $\alpha$ に着目したが，波長幅の項を変えることで他のラインも計算可  
データ各点から $\pm 25$ データ内の中央値を取ることでスムージングスペクトルを作成  
スムージングスペクトルからの差分から等価幅を計算



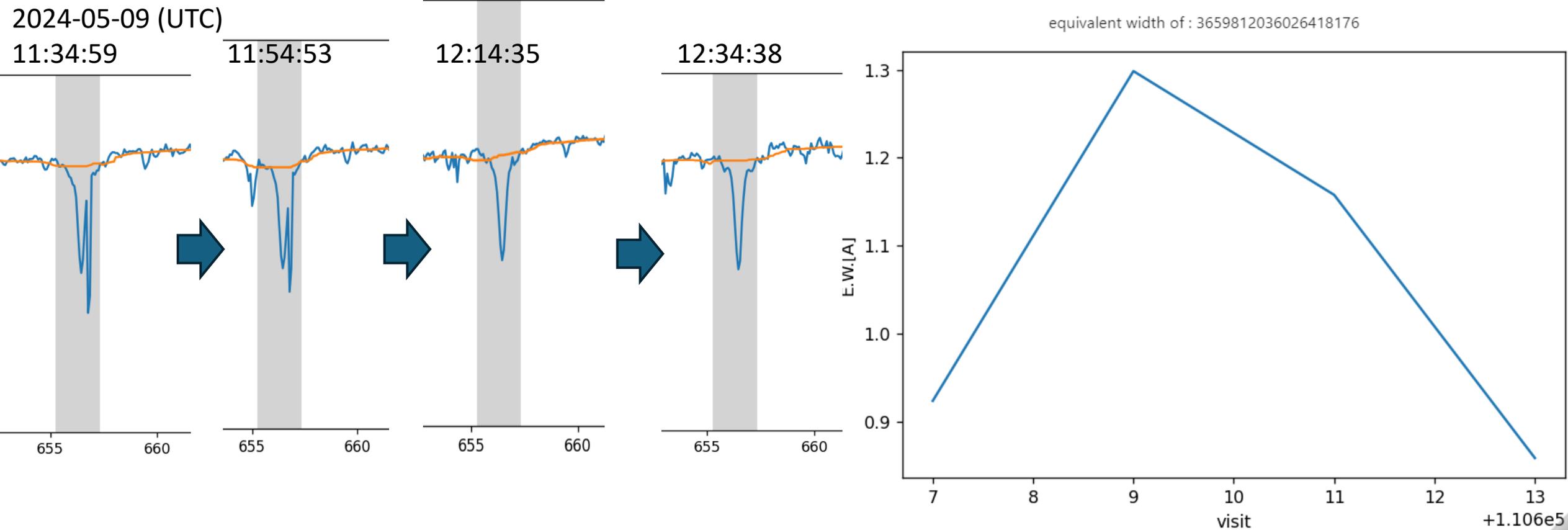
0.06422504986205227  
1

←等価幅[nm], カメラ番号

0.06422504986205227  
1

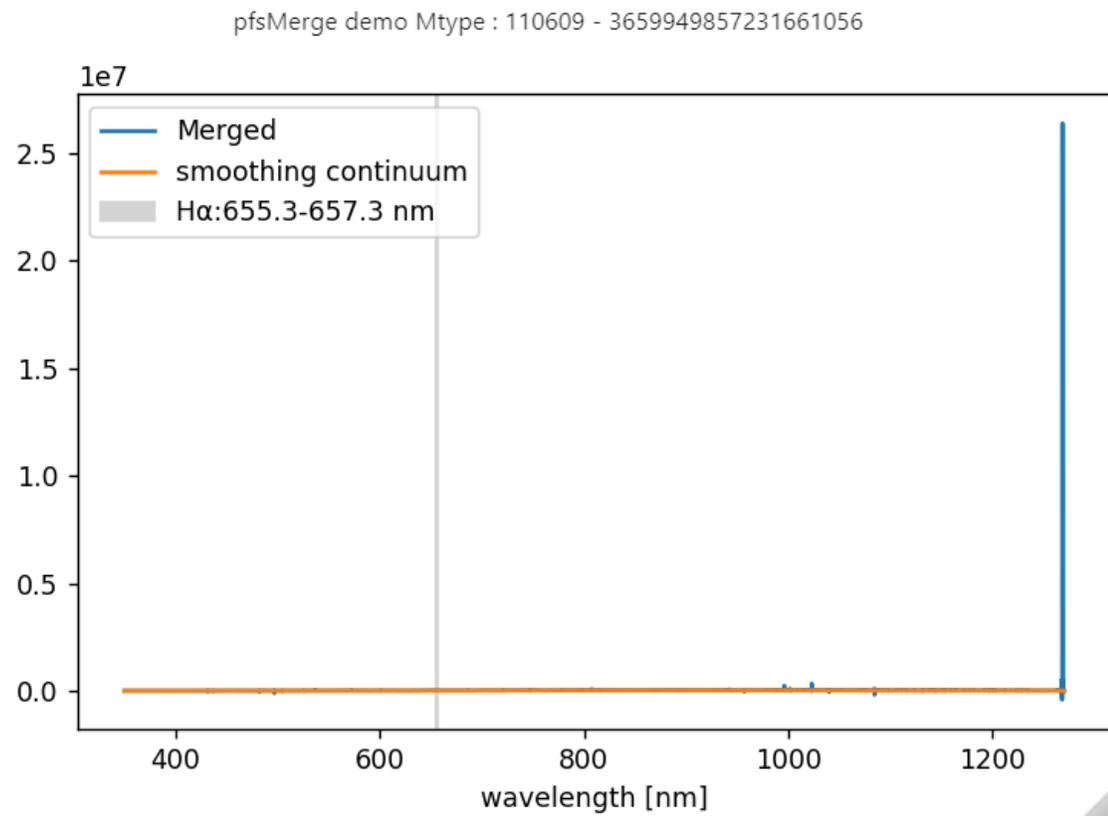
# ①フレア星候補の検索

4visit取られている天体を，visit毎に等価幅を計算し時間変化をプロット  
M型星を全て確認したが，大きな変化は見られなかった



# ① フレア星候補の検索

等価幅の大きな天体を検索したが、continuumがちゃんと取れておらず、誤計算なものが多かった。（ファイバーに天体が収まっていないことが原因？）  
＞ 今後はフラックスの大きさや波長幅でフィルターにかける等の対策が必要。

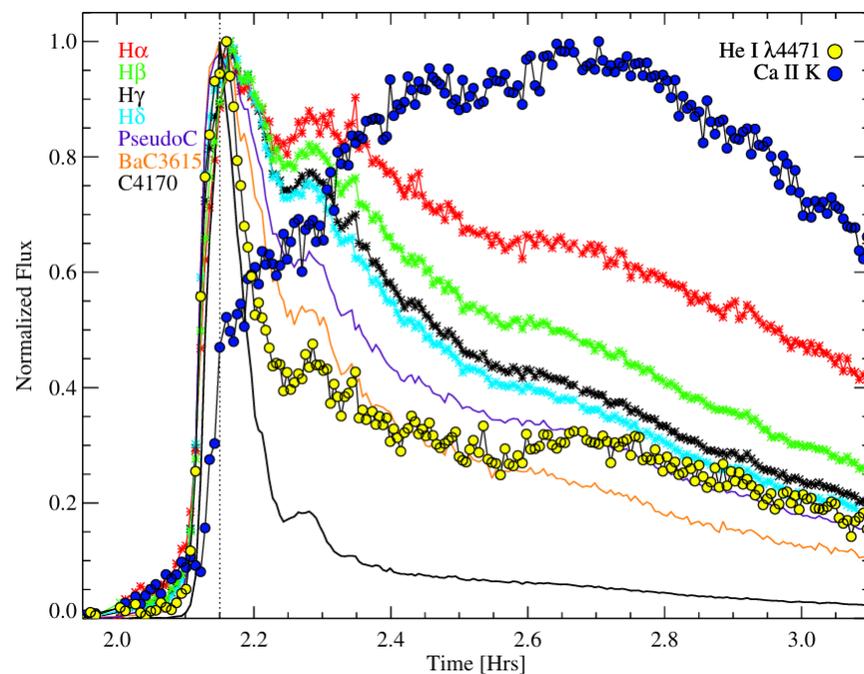


# ①フレア星候補の検索

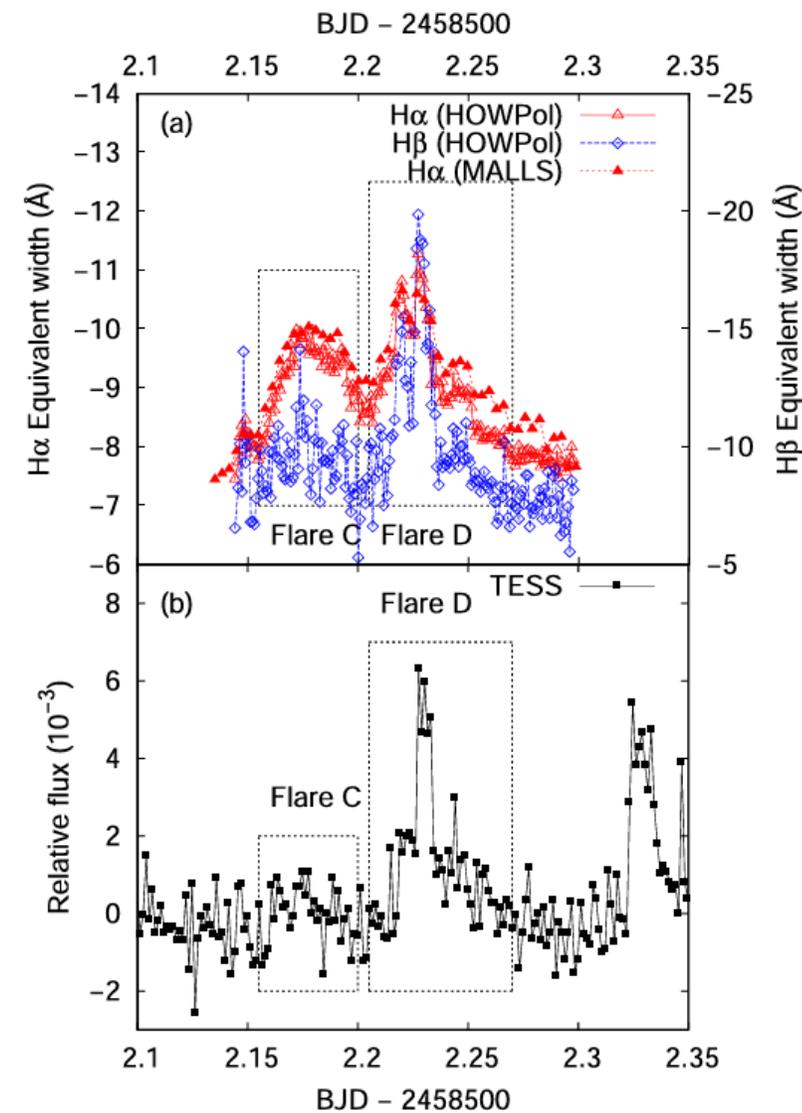
e.g. Maehara + 2021.

(まだ詳しい観測計画はできていないが、)

短時間変動を見ることで、non white-light flareを検出できると嬉しい



Kowalski + 2013.



# ① 実際の観測に向けて

散開星団の観測で、同年齢の恒星の統計的解析を行いたい（分光ではあまり行われていない）

波長分解能はKOOLS-IFUのVPH683と同程度、波長域はより広い

> line asymmetry や Paschen jumpの観測が可能

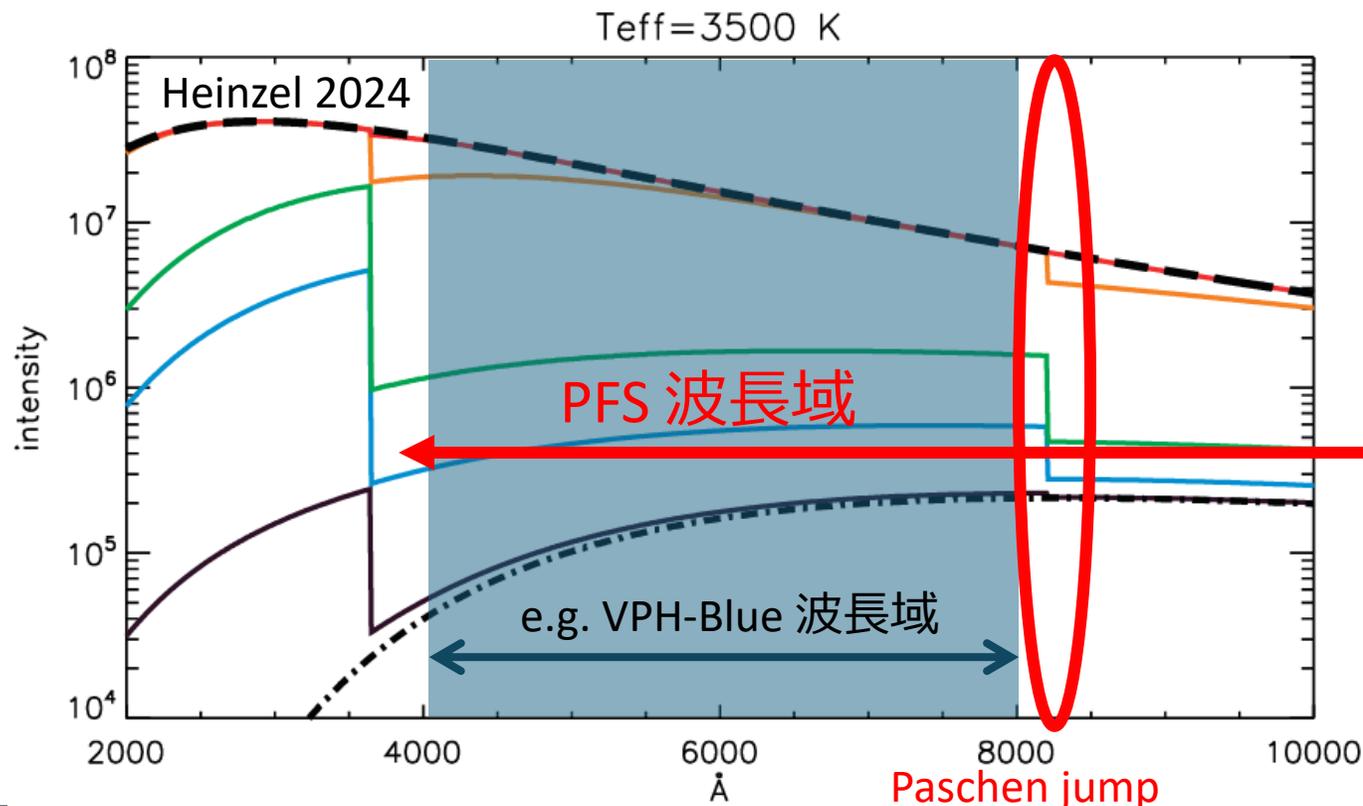
一方で、  
・ファイバーからの位置ずれ  
・大気分散による像ずれ（補正されているかも？）

によってfluxを正しく測れない可能性も。

> TESS等と測光同時観測



天文学辞典  
大気分散

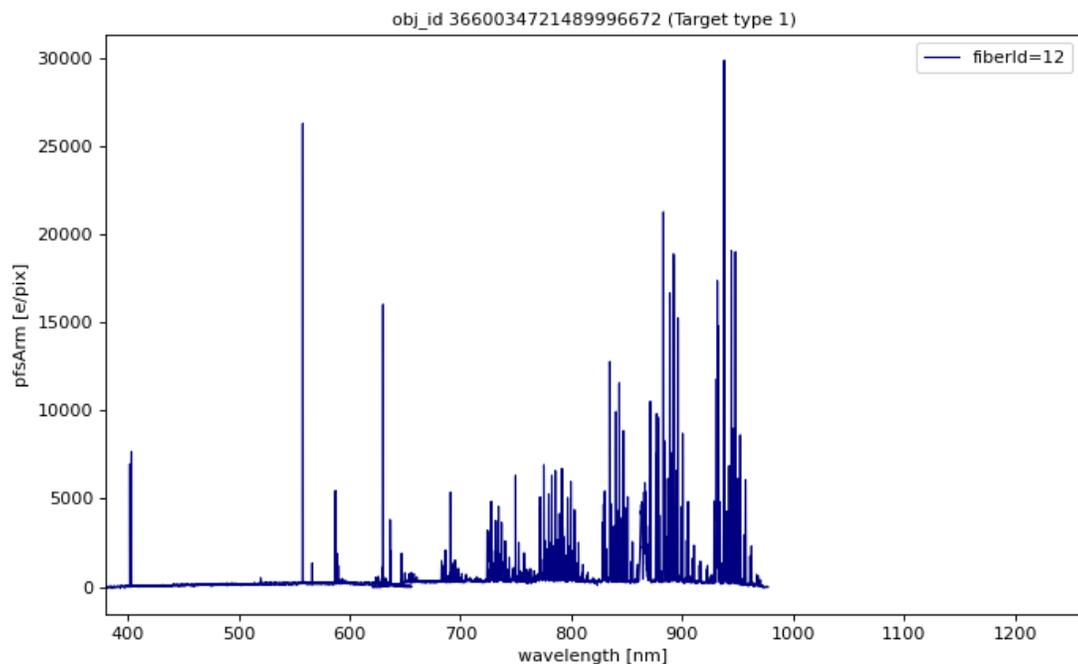


## ② Quick Look

### もともとの機能

Visitとfiber\_IDを入力することで、  
対応する天体のpfsArmのスペクトル（波長[nm] vs フラックス[e/pix]）を表示

e.g. `$ python3 /work/ichihara/test/ql_1Dspec.py 110607 12`



一方で、

実際の観測時は、観測者が目的天体の  
object\_IDを知っている想定

>> object\_IDから検索したい



## ② Quick Look

### 追加した機能

- Object IDからの表示を可能に
- 軸の変更(e/pix >> e/nm)
- カメラ毎に色分け
- Cosmic rayの影響を受けているorサチレーションしているデータ点の表示
- 興味のあるラインのガイド表示 (red shiftを考慮に入れることも)

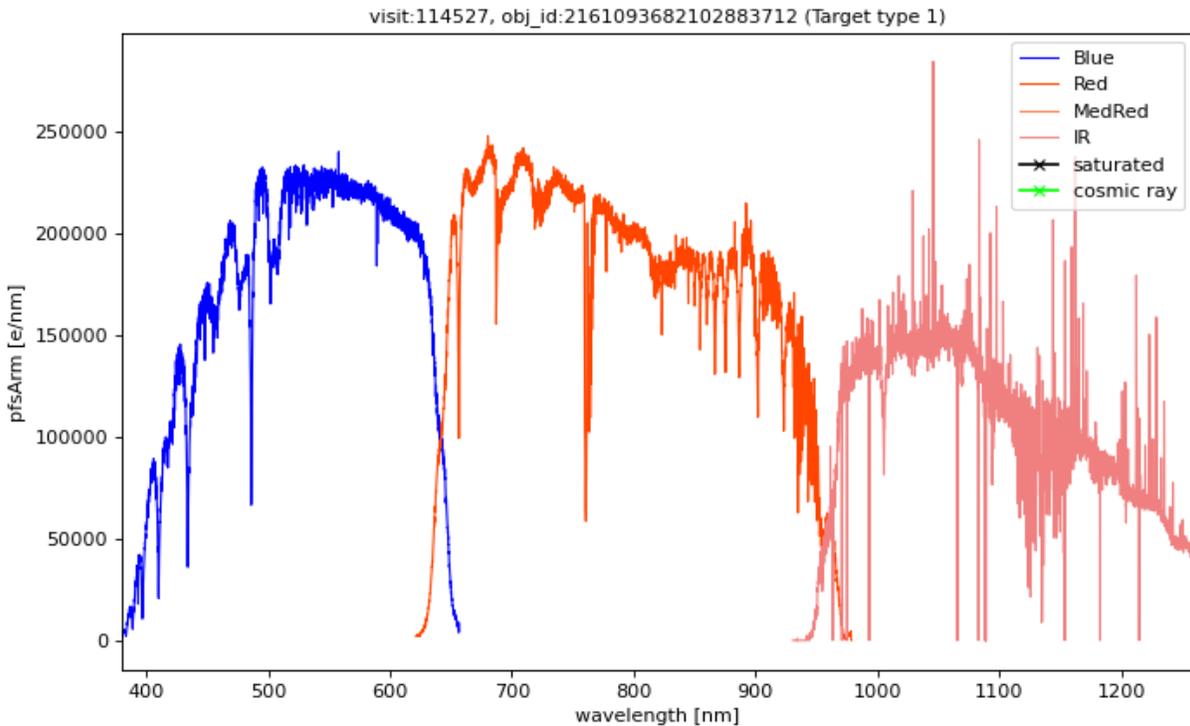
試験観測の際に、その場で撮られたデータに対して実際に使用した

# ② Quick Look

## 追加した機能

Visitとobject\_IDからpfsArmを表示

e.g. `$ python3 /work/ichihara/test/ql_1Dspec-ichihara.py 114527 2161093682102883712`



コマンドラインに

Visit, fiber\_ID, obj\_ID, 使用されたカメラ  
を表示

```
=====  
visit :114527  
obj_Id :2161093682102883712  
fiber_Id :47  
=====  
camera:['b1' 'r1' 'n1']
```

サチレーションデータがあれば黒,

Cosmic rayの影響を

受けているデータがあれば黄緑で×印が付く

## ② Quick Look

### 追加した機能

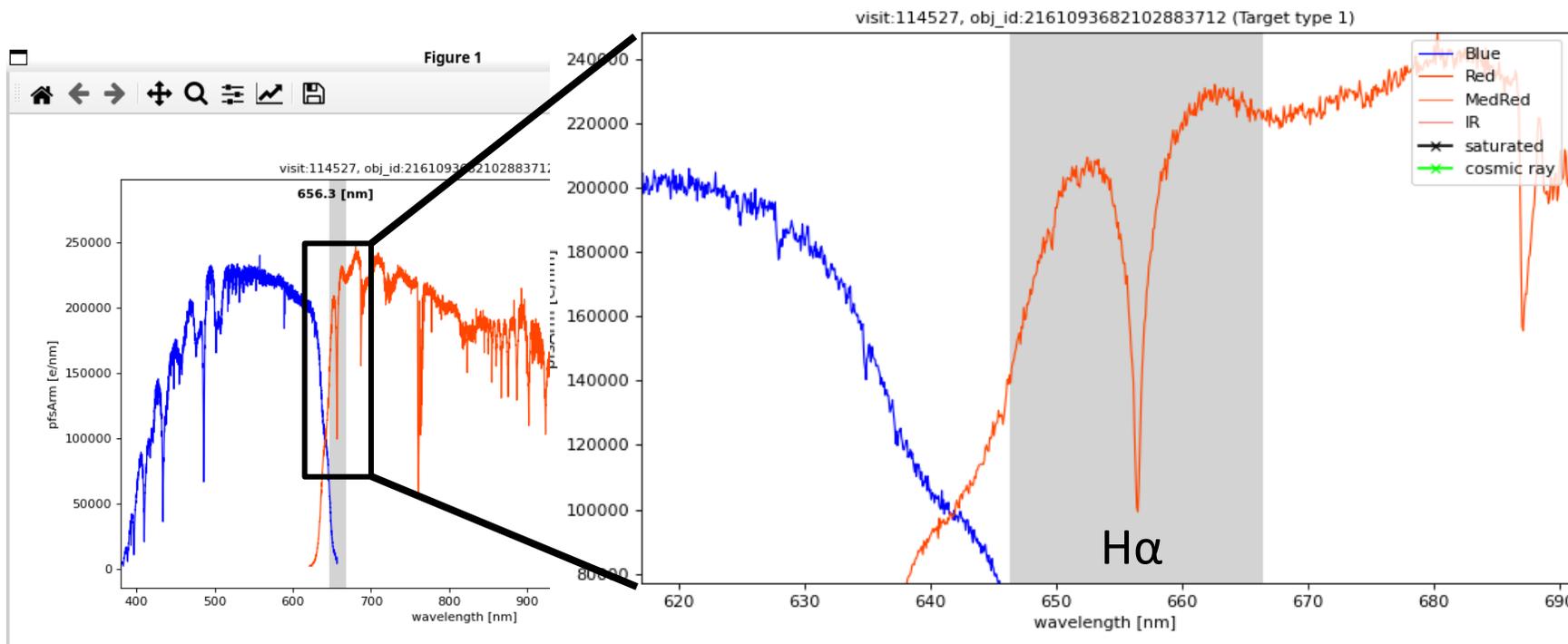
ラインを見たいとき, 指定した場所にshaded areaを表示

e.g. `$ python3 /work/ichihara/test/ql_1Dspec-ichihara.py 114527 2161093682102883712 600`

> 波長幅を入力待ち > 入力

コマンドラインに

Visit, fiber\_ID, obj\_ID,  
使用されたカメラ, 波長範囲  
を表示



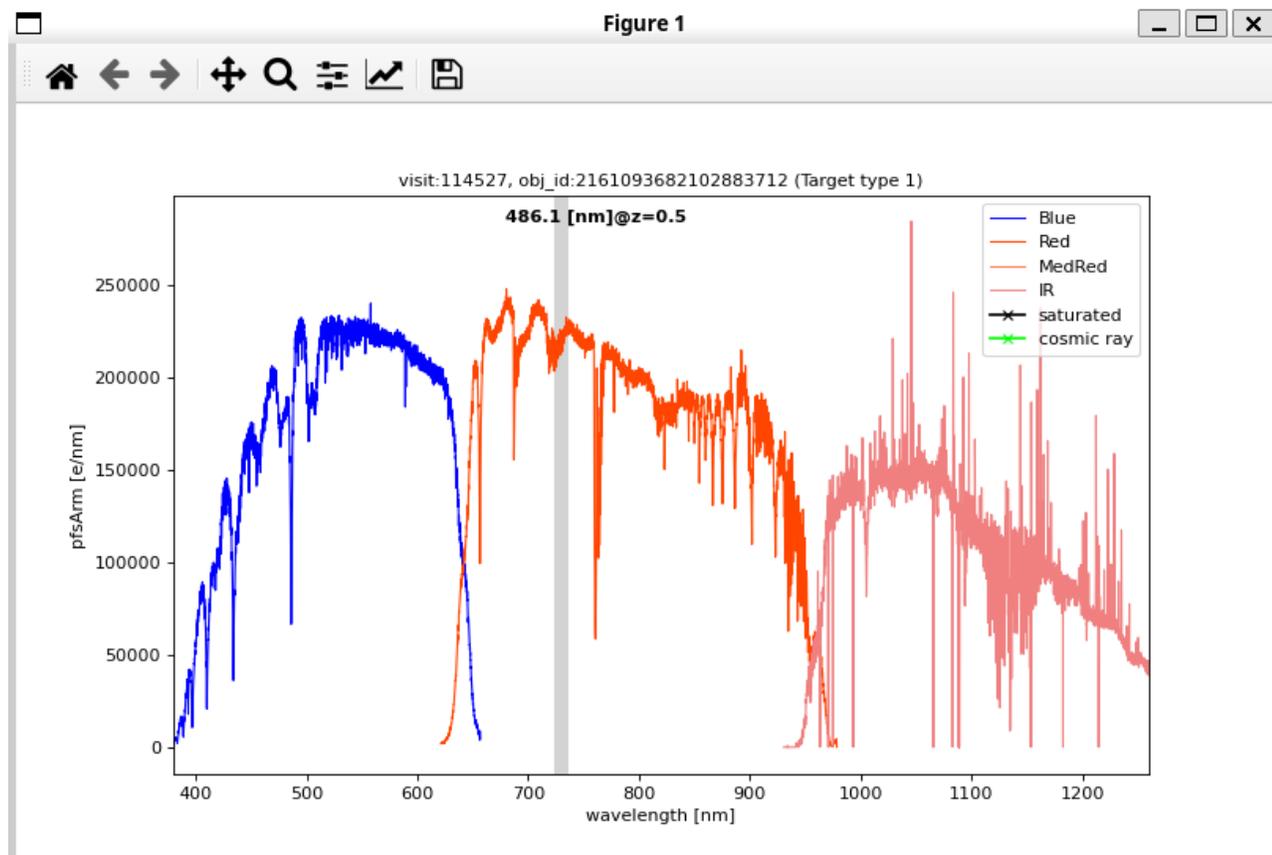
```
=====  
visit :114527  
obj_Id :2161093682102883712  
fiber_Id :47  
=====  
camera:['b1' 'r1' 'n1']  
shaded area range:  
[646.3,666.3]
```

## ② Quick Look

### 追加した機能

Red shiftした天体を観測する時,  $z$ と入力するとred shiftを考慮した波長幅を表示

e.g. `$ python3 /work/ichihara/test/ql_1Dspec-ichihara.py 114527 2161093682102883712 z 486.1`



> Red shift入力待ち > 入力  
> 波長幅を入力待ち > 入力  
コマンドラインに

Visit, fiber\_ID, obj\_ID,  
使用されたカメラ, 波長範囲  
を表示

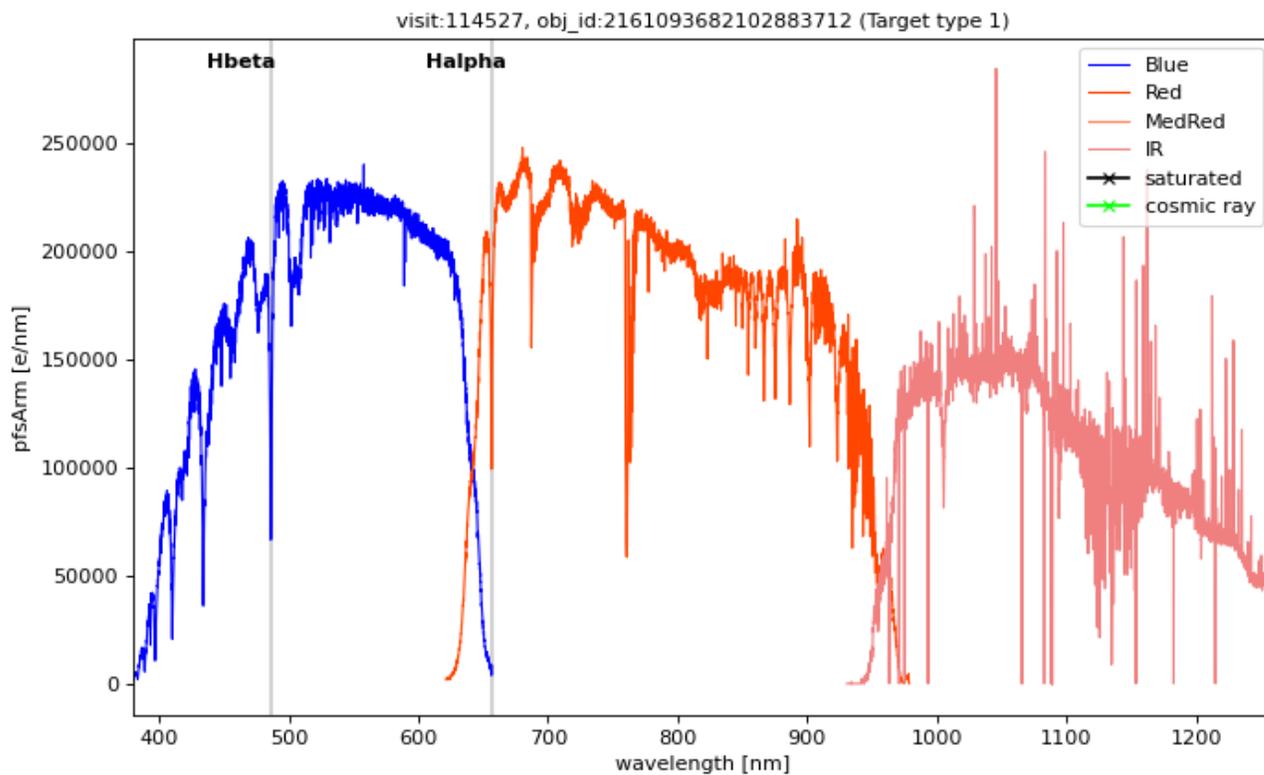
```
=====  
visit :114527  
obj_Id :2161093682102883712  
fiber_Id :47  
=====  
camera:['b1' 'r1' 'n1']  
shaded area range:  
[481.1,491.1]@z=0.5
```

# ② Quick Look

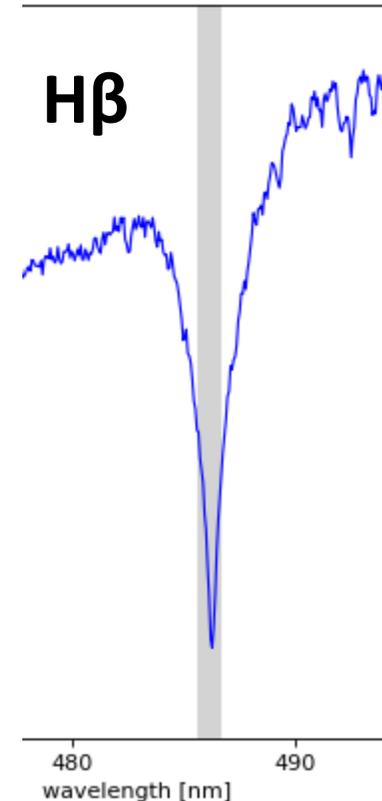
## 追加した機能

登録済みのラインは、名称入力でも表示できる。（現在は $H\alpha$ ,  $H\beta$ ,  $H\gamma$ のみ）

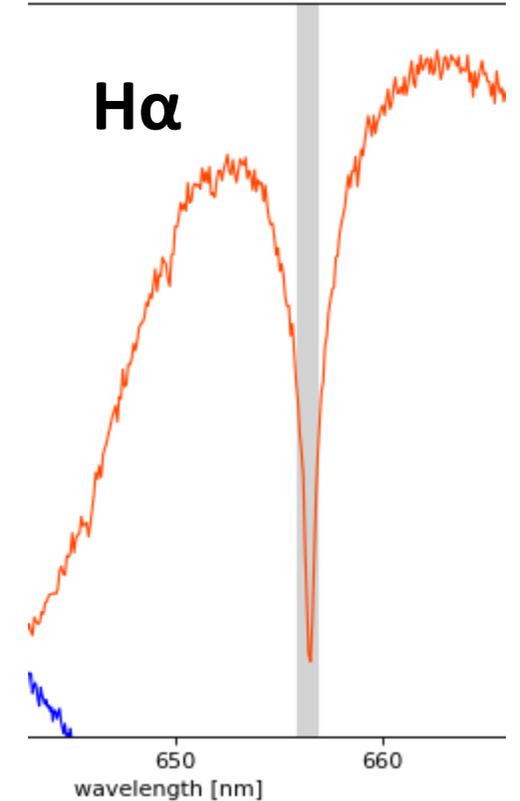
e.g. `$ python3 /work/ichihara/test/ql_1Dspec-linelist-ichihara.py 114527 2161093682102883712 Halpha`



:2161093682102883712 (Target t



\_id:2161093682102883712 (Target type 1)



## ② Quick Look

### 追加した機能

Quick lookをする際に、visit内にあるobj\_IDがわからずにobj\_IDを探すのに時間がかかっていた。

>> visit入力でobj\_IDを昇順で表示するスクリプトも作成

e.g. \$ python3 /work/ichihara/test/ql\_find\_obj-ichihara.py 114527

(一部抜粋)

```
['37773913294', '37773913461', '37773913587', '37773913799', '37773913936']  
['37773913970', '37773914764', '37773915390', '37773915577', '37773916241']  
['37773916291', '37773916481', '37773916761', '37773917102', '37773918009']  
['37773918615', '37773919381', '37773919559', '37773920609', '37773921469']  
['37773921588', '37773921675', '37773921806', '37773922643', '37773922804']  
['37773923022', '37773923091', '37773923309', '37773923489', '37773923832']  
['37773925282', '37773925711', '37773925874', '37773925946', '37773926080']  
['37773927773', '37773928063', '37773928331', '37773928543', '37773928559']  
['37773928805', '37773930371', '37773930598', '37773932328', '37773932704']  
['37773933302', '37773933497', '37773933553', '37773933563', '37773934108']  
['37773934261', '37773935557', '37773936094', '37773936244', '37773936866']  
['37773936954', '37773937105', '37773937367', '37773937851', '37773938615']  
['37773938809', '37773939238', '37773939565', '37773939659', '37773939940']  
['37773940581', '37773940904', '37773941868', '37773942577', '37773942761']
```

想定使用例は、ql\_find\_obj-ichihara.pyでobj\_IDを検索してコピーし、

ql\_1Dspec-ichihara.pyへペースト

# まとめ

- ①すばる望遠鏡の訪問 ②テスト観測データを用いたフレア星に関する解析  
③Quick lookツールにいくつか機能を追加した ④(試験観測の参加) を行った。

## 【振り返り】

- 8m級の大型望遠鏡を実際に体験し、できることの違い、  
(施設・人員の) 規模の大きさを肌で体感できた。
- PFSを用いてフレア研究の発展に貢献したい
- 私事ですが、英語に慣れた(スキルアップというより、心的ハードルが下がった)  
>> 国際学会や、海外の研究者との交流へ積極的になれた