

# すばる超広視野多天体分光器PFSの装置と 共同利用の現状について

越田進太郎

PFS A Project

国立天文台ハワイ観測所



# 目次

- 装置現状

- ファイバー透過率: 1% 以下のレベルで維持。
- ファイバー配置制度: 95%のファイバーで 20-50 um
- AG 安定性の向上: AGカメラ位置の調整、保持機構の改善。

- データ解析パイプライン現状

- 散乱光の除去
- スカイ差し引き精度向上
- 近赤外データの解析

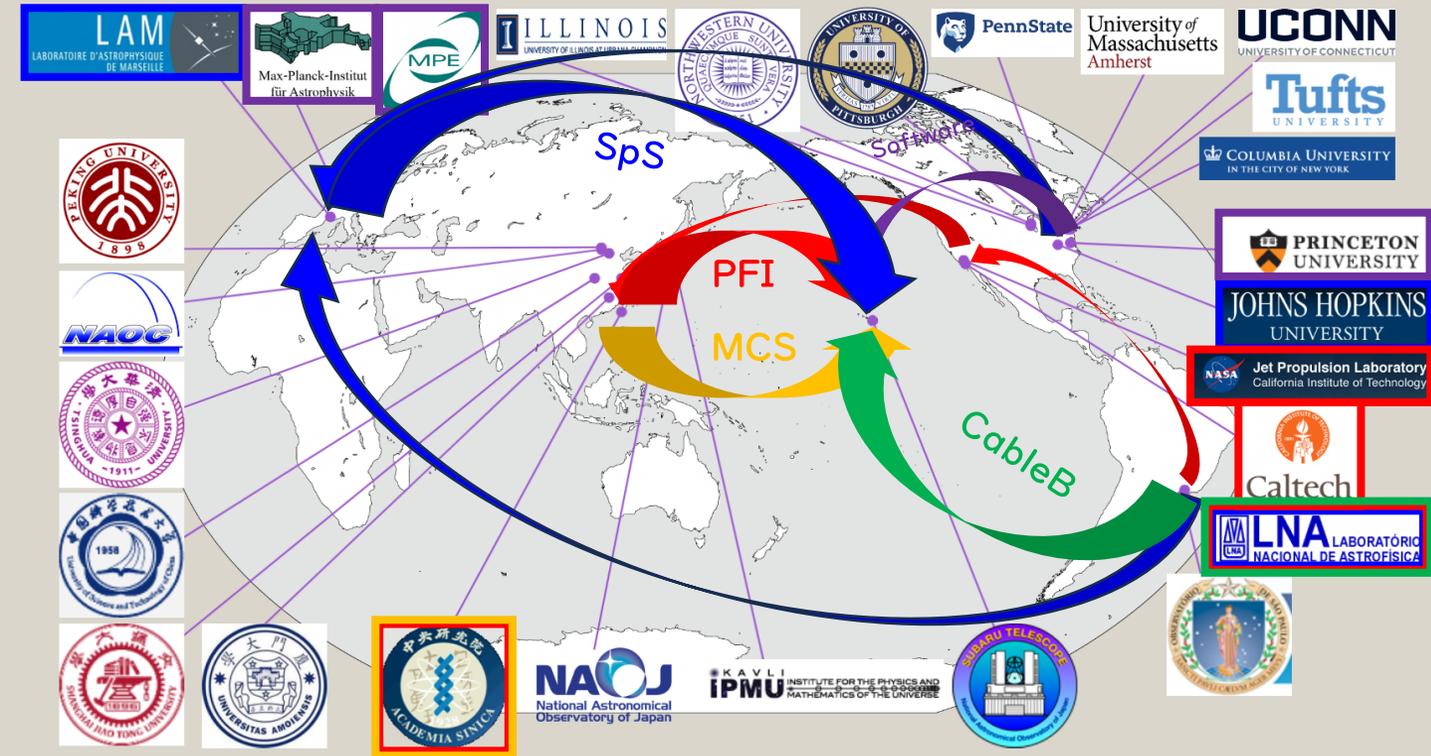
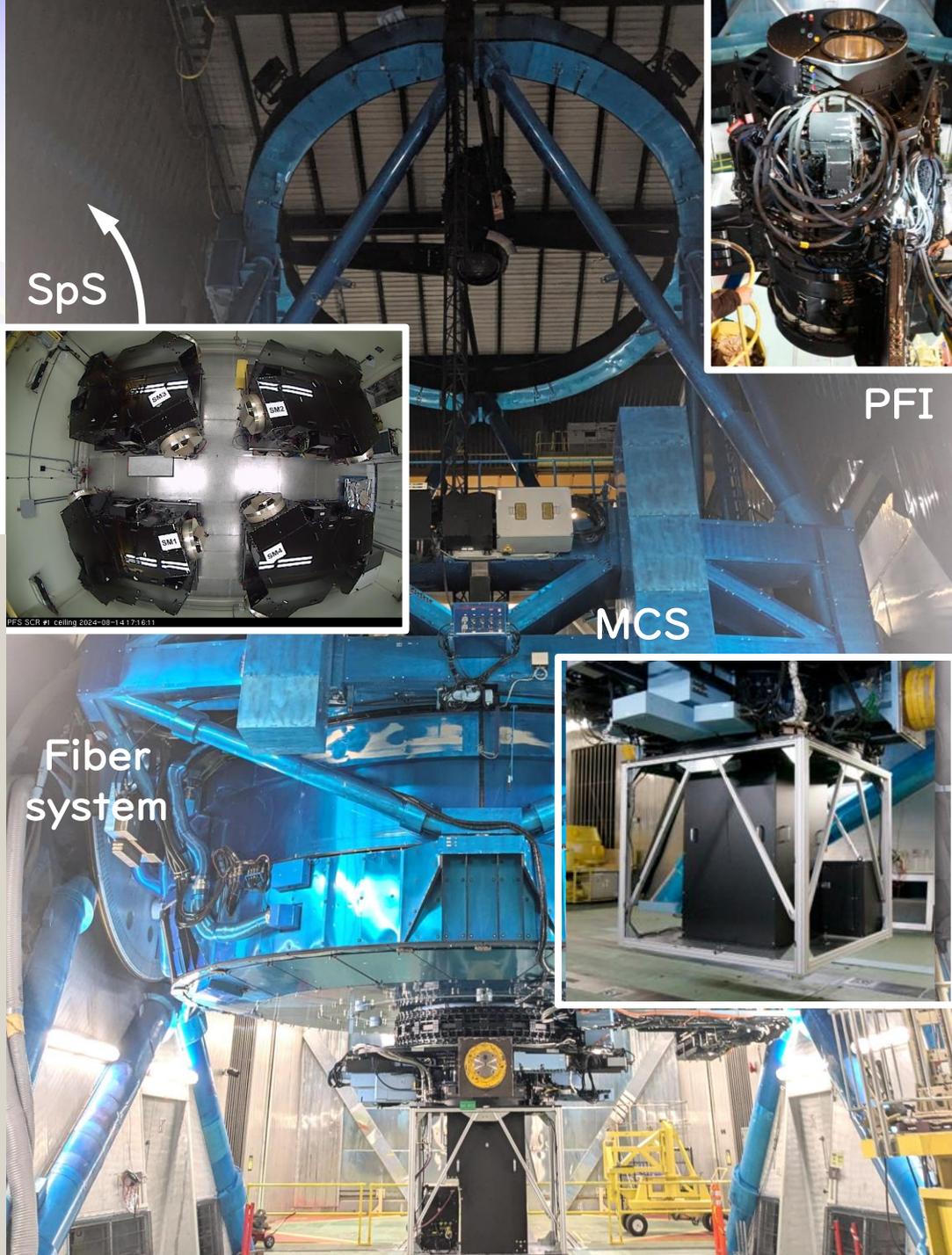
- 共同利用観測現状

- 共同利用観測が 2025.3 からリスクシェアモードで開始。
- ターゲット重複問題
- IFU-like モード開始



# Prime Focus Spectrograph

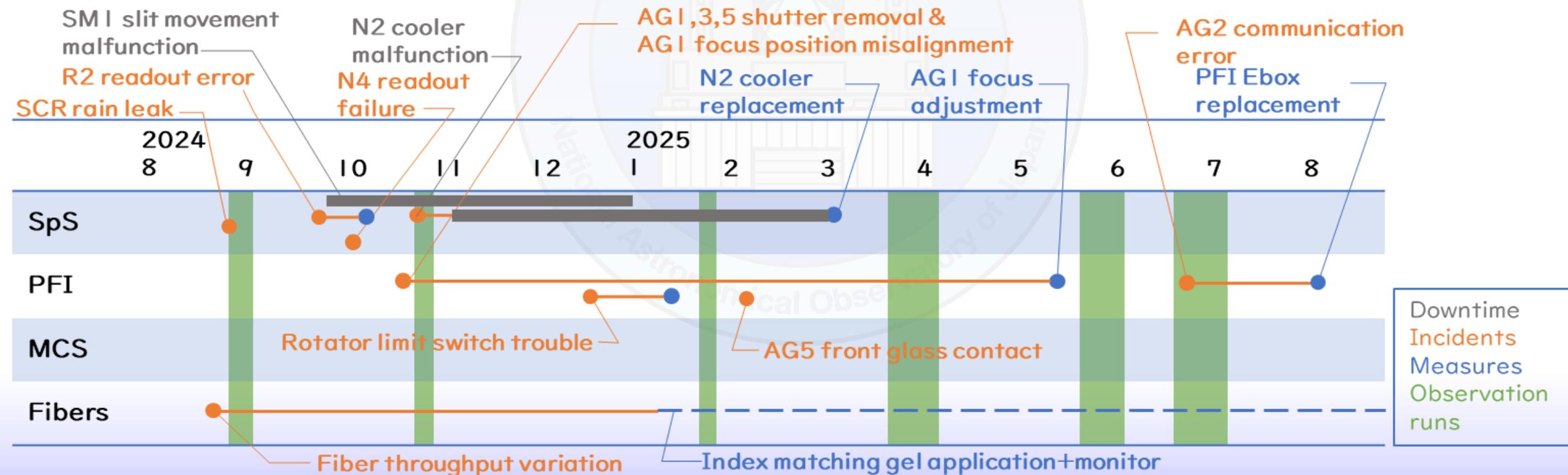
- すばる超広視野多天体分光器
  - 1.25 平方度の視野内の天体を約2400本の光ファイバーで同時分光
  - 3チャンネルで 380~1260nm の波長をカバーする。
- 国際協力による開発を経て、2024年8月に全装置がすばるに揃った。



# 装置現状

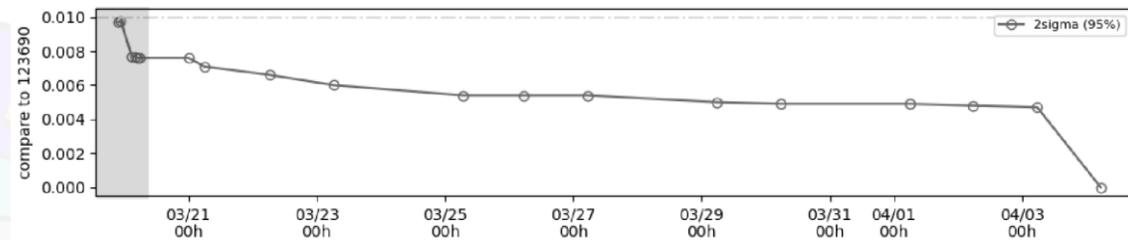
- PFS は安定した運用が続いている。
  - 夜間観測ランでのダウンタイムはほぼない。
    - SMI スリット駆動部の不調 (9/2024~1/2025)
    - SM2 近赤外カメラ冷凍機不調 (10/2024 to 3/2025)
- 2025年3月から共同利用観測を開始、継続中: リスクシェアモード

Instrumentation history at Subaru since full installation



## ファイバー透過率時間変化

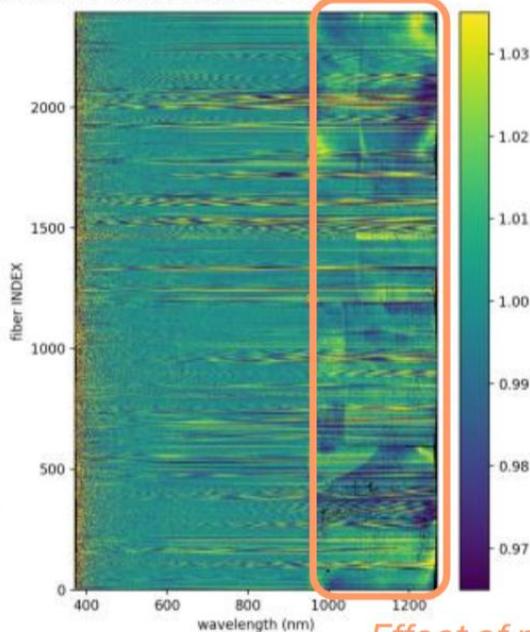
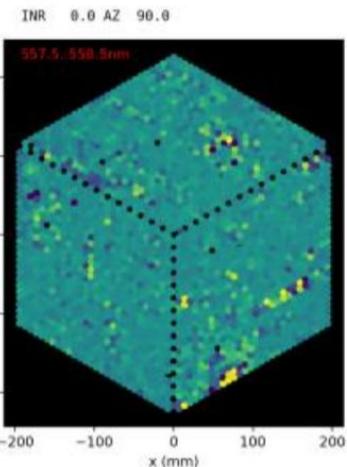
- ファイバー透過率の時間変化
  - 数時間単位
  - ~数%
- 屈折率マッチングジェルが効果的
  - 1ラン(2~3週間)を通して<1%レベルに抑制可能
  - ラン毎の清掃が大変なので、洗浄装置の開発が進行中。



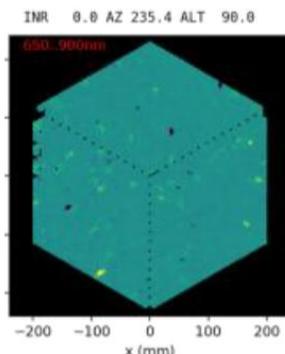
Fiber throughput variation through run 21 (2025.3)

2024-08-28T07:23Z pfsMerged /114616 Normalized per fibre INR 0.0 AZ 90.0

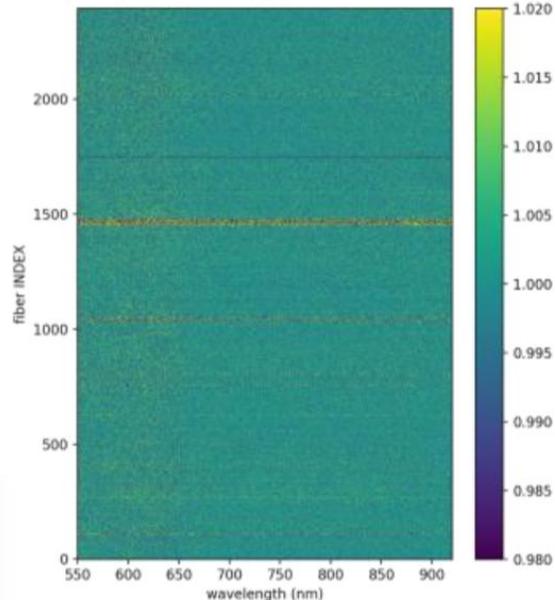
w/o gel



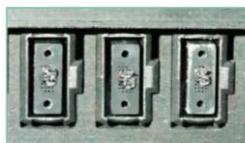
w/ gel



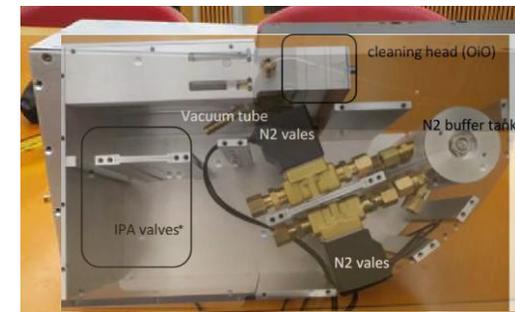
2025-01-23T12:57Z pfsMerged /119778 n\_block = 1



Effect of persistence



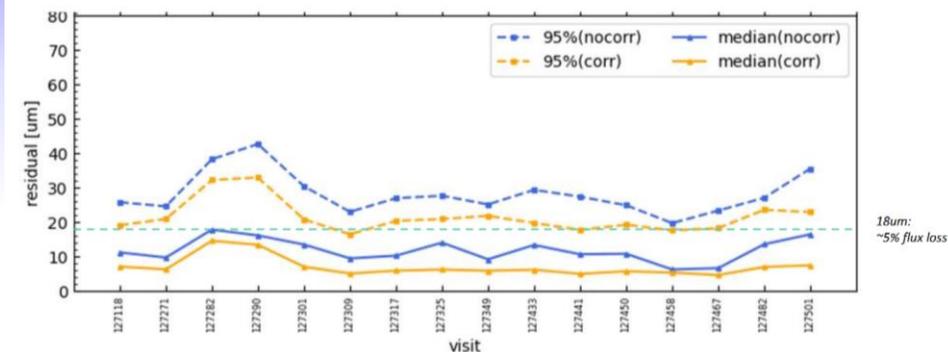
Prototype of the index matching gel cleaner for CableB connectors.



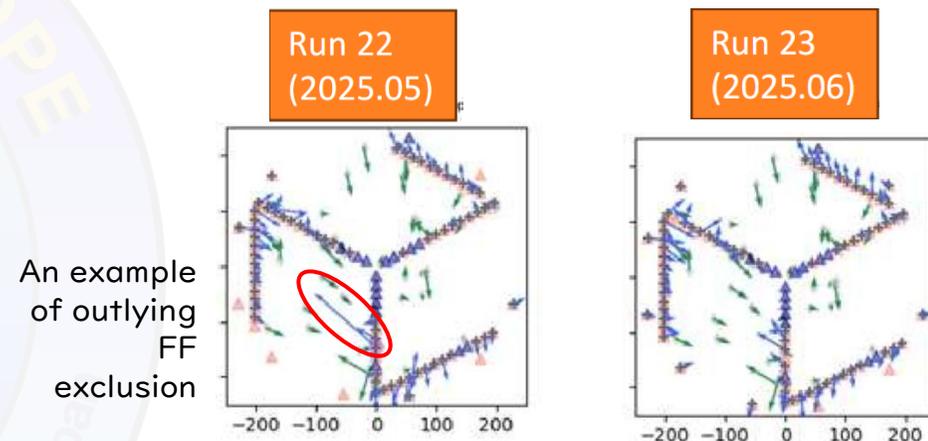
# 装置現状 (cntd.)

## ファイバー配置精度

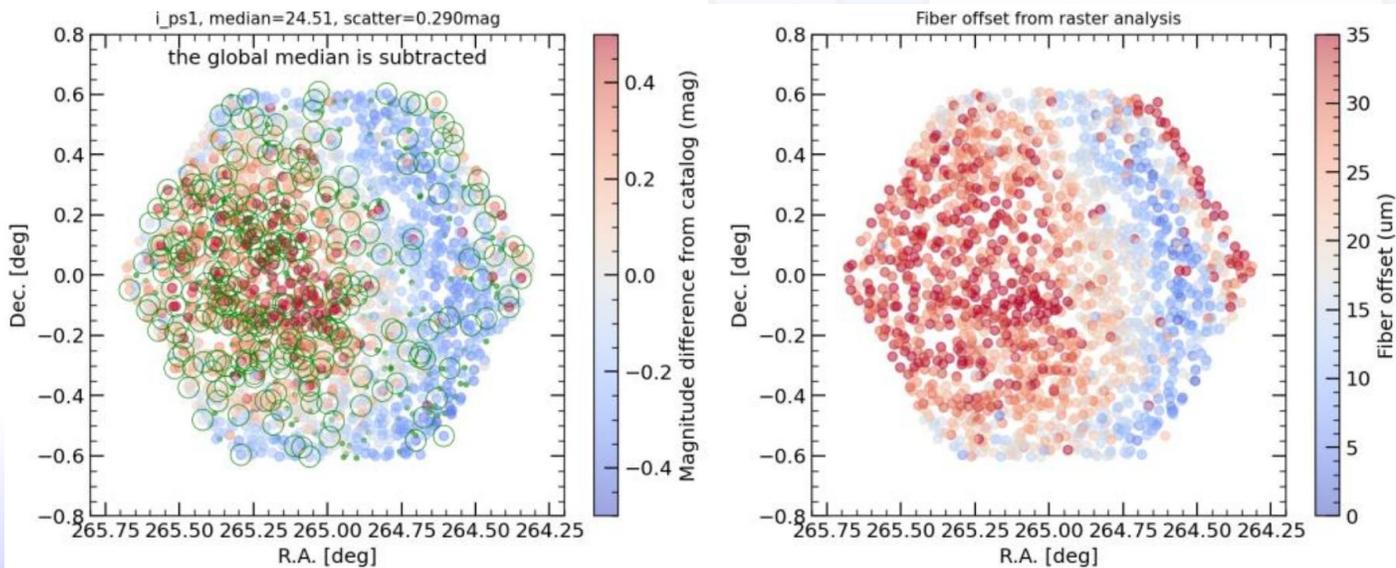
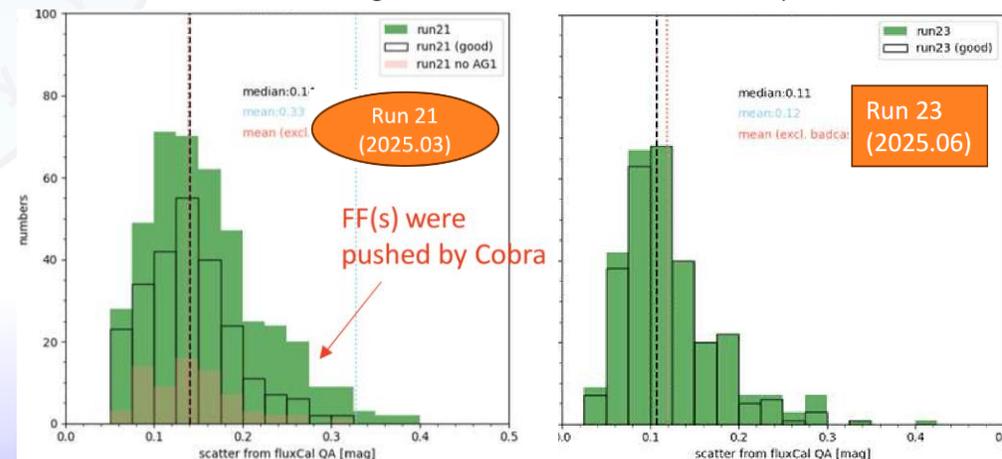
- 95% のファイバで、20-50  $\mu\text{m}$  の配置精度を達成している。
  - Raster scan による測定。
- 一方観測されるフラックスには0.1 mag 以上のばらつきがある。
  - パターンにファイバ配置誤差との相似がみられ、ファイバー配置精度が主な原因か。
- ファイバー配置精度の向上
  - 変位量の大きい Fiducial fiber の除外
  - MCS-PFI 座標変換計算の精密化 (望遠鏡姿勢依存性)



Fiber configuration accuracy measured by raster scan.



Histogram of flux non-uniformity



Flux non-uniformity example in a FoV (left) and comparison with the fiber offset pattern

## 近赤外カメラ n2 検出器交換

- PFS 近赤外カメラの検出器 H4RG が persistence を持っている。
  - N2 が特に影響が大きい。
  - スペアと交換する話が持ち上がっている。
- スケジュール (TBC)
  - N2 取外し: 2026.2
  - JHUにて交換作業: 2026.3-6
  - PFS に再取り付け: 2026.8
- S26A 期ではN2がダウンタイムに入る。
  - 近赤外波長での観測効率が約  $\frac{3}{4}$  に減少する。

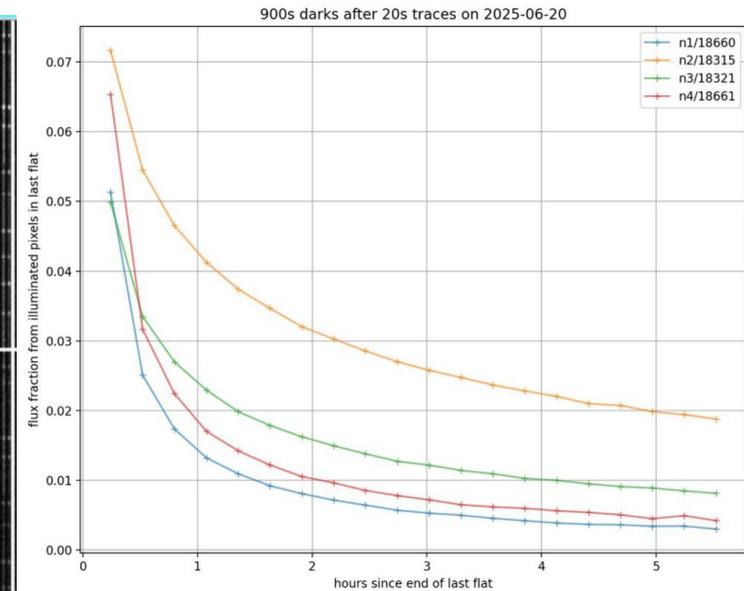
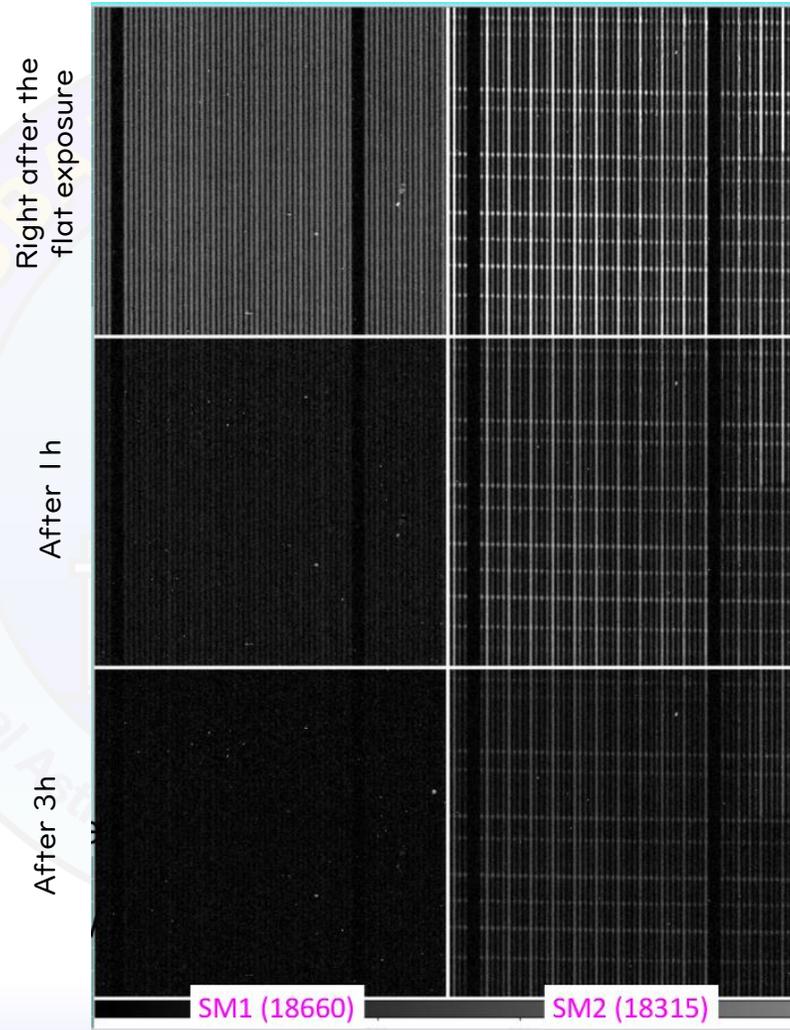


Image of persistence pattern of NIR detectors with SM1 and 2 (left) and their attenuation (right)

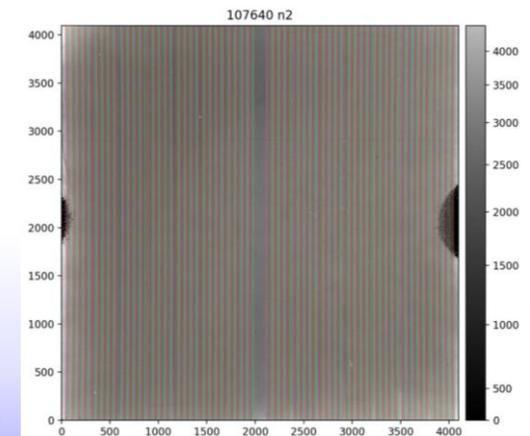


Image of new NIR detector)

## 装置現状 (cntd.)

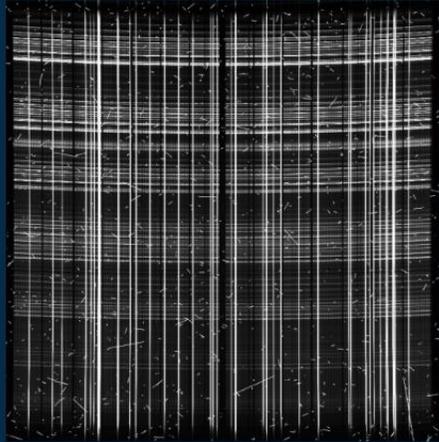
- オートガイド機能の改善・調整
  - 動作不良シャッターの除去
  - On-sky データを用いた測定・調整
    - カメラ位置
    - ファイバーフォーカス位置との差分測定
  - カメラ保持機構の改善
- ファイバーシステムの維持管理
  - CableC (PFI のファイバ)コネクタの検査・修繕



# データ解析パイプラインの現状

## Data Reduction Pipeline (DRP)

(real) 2D image of red camera



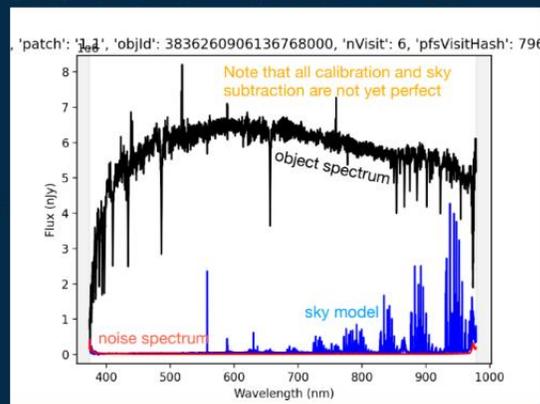
extraction



2D-DRP

- Reduce 2D raw images to 1D spectra
  - Basic instrumental signature removal
  - Wavelength calibration
  - Sky subtraction
  - Spectral extraction
  - Merge 3 arms
  - Flux calibration
  - Coadd multiple visits

(real) 1D extracted spectrum of a star



1D-DRP



- Measurement of physical quantities
  - Redshift of galaxies
  - Radial velocity of stars
  - etc.

Courtesy: Kiyoto Yabe

## • Data Reduction Pipeline (DRP)

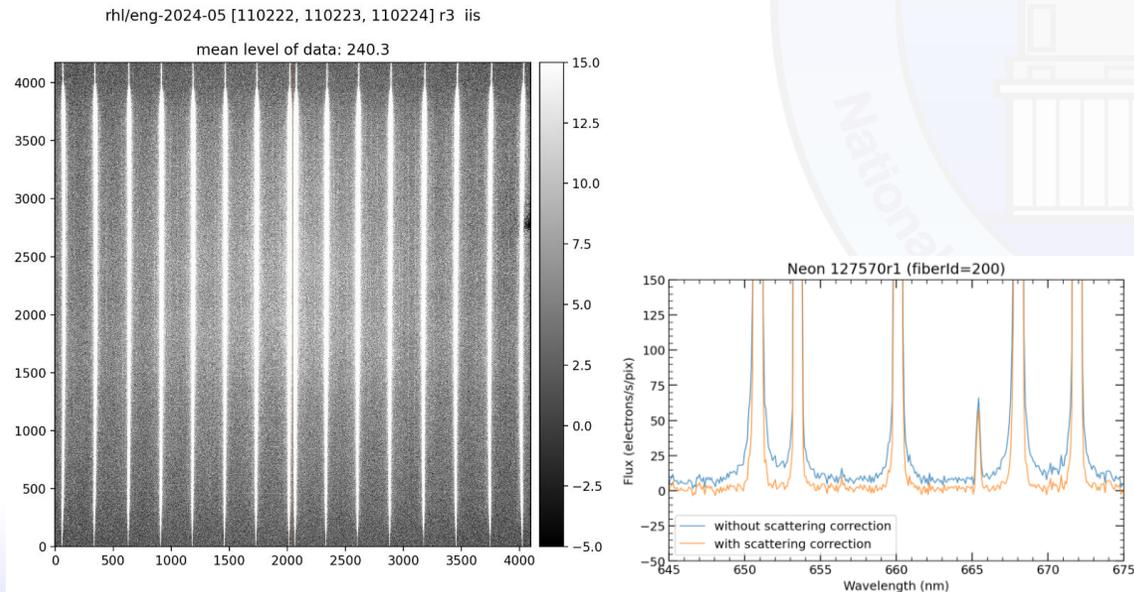
- **2D DRP**: 2次元データへの基本的なデータ整約、スカイ引き、スペクトル次元化、波長チャンネル統合、フラックス校正、複数積分の重ね合わせを行う。
- **LAM 1D**: 一次元スペクトルデータから赤方偏移や輝線フラックスなどの情報を抽出する。
- 共同利用での運用が開始された。
  - **Onsite QA (2D)**: 積分直後のデータ解析と実効積分時間 (EET) の計算
  - **The Science Platform (2D+1D)**: 各観測ランまたは Semester 毎にデータを解析し、サイエンスプラットフォームでPIに公開する。

## • 種々の改善が進行中。

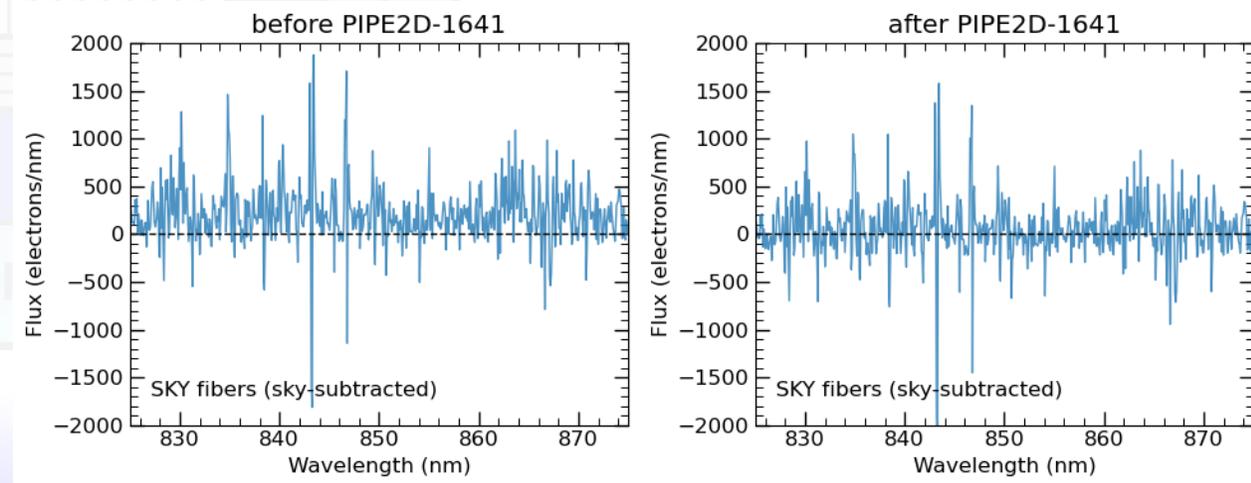
- 散乱光の除去
- スカイ差し引きの改善
- 近赤外データ解析の改善

## 散乱光の除去

- 分光器モジュール内部の光学系による散乱光が各カメラで観測されている。
- モデルでフィッティングをし差し引きを行うモジュールが DRP に実装された。
  - カメラ、分解能ごとにひとつひとつパラメータ調整を行った。
  - 特に近赤外波長帯でやや差し引きすぎる場合があるので、調査を継続している。

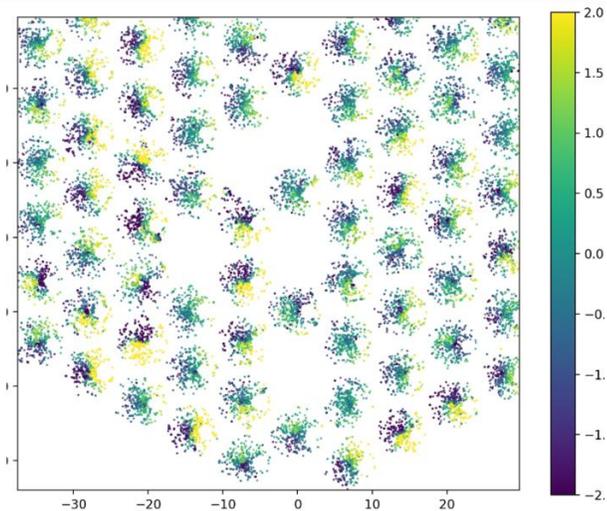


Scattered light pattern (left) and example of subtraction with a Neon spectrum (right)

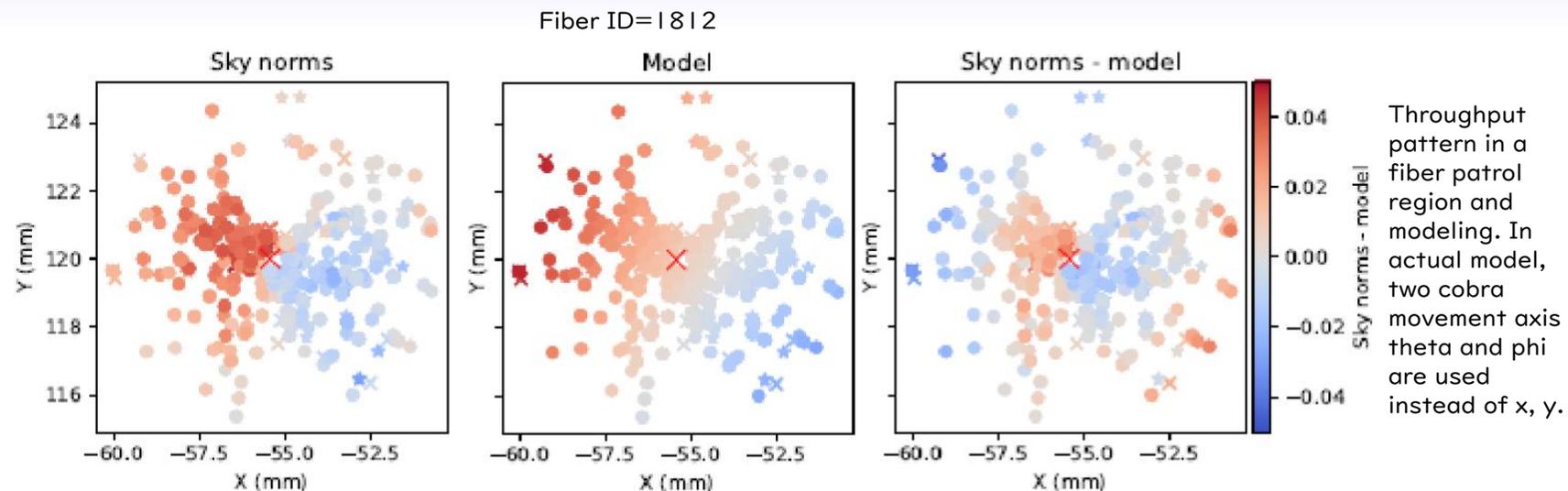


Example of sky subtraction before (left) and after (right) the scattered light correction

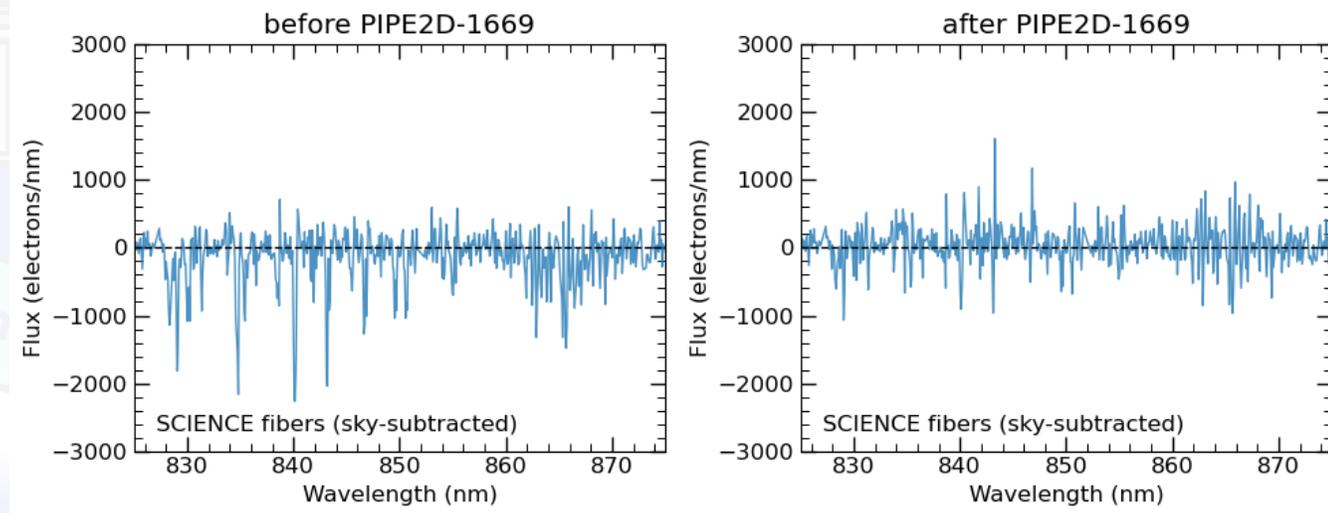
## スカイ差し引き



Throughput variation of each Cobra in their patrol regions



- ファイバー透過率変化の抑制によって大幅に安定化した。
- 一方、各 Cobra の位置によりさらに透過率の変化があることが分かった。~4%
  - 望遠鏡主光線に対するファイバーの傾きが原因。
  - 現在経験則によるモデルフィットで差し引き、0.5% レベルに抑制が可能となった。
  - DRPに組み込み済み。

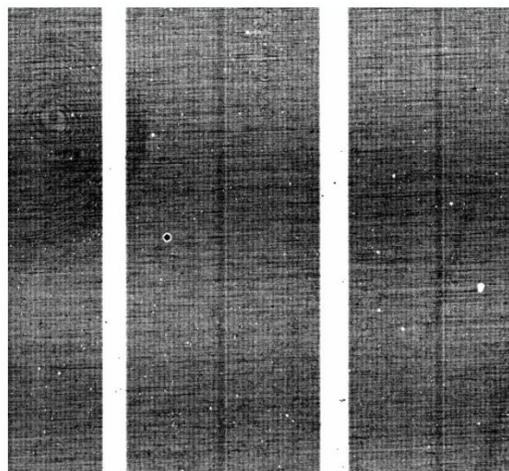


Sky subtraction before (left) and after (right) the pattern correction

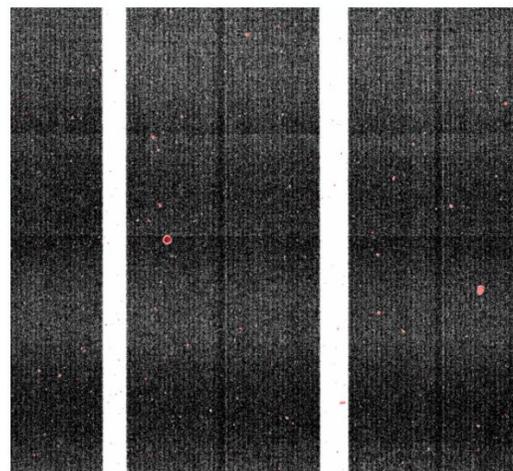
## 近赤外データ解析

- 近赤外検出器非線形性の評価
  - JHU における試験データで N3 (SM3 の近赤外カメラ) の非線形性評価が行われた。
  - 近赤外データの非均一なパターンが改善された。
  - 今後はすばるで改めて系統的にデータを撮り、他のカメラも含めて非線形性の評価を進める。
- Persistence の DRP 上での改善の検討は非線形性評価が完了してから行われる予定。

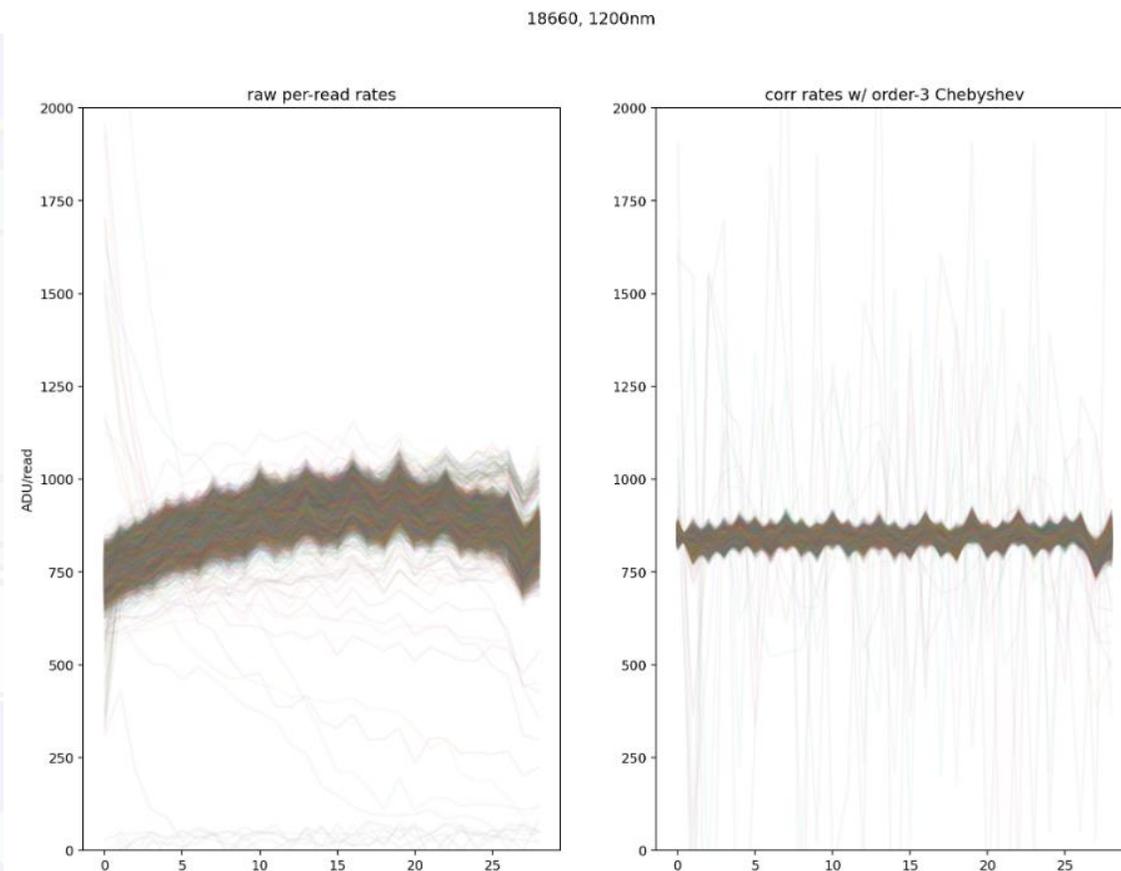
Raw



Corrected. Same stretch.



Test with the drift flat data taken at Subaru. Before correction (left) and after (right)

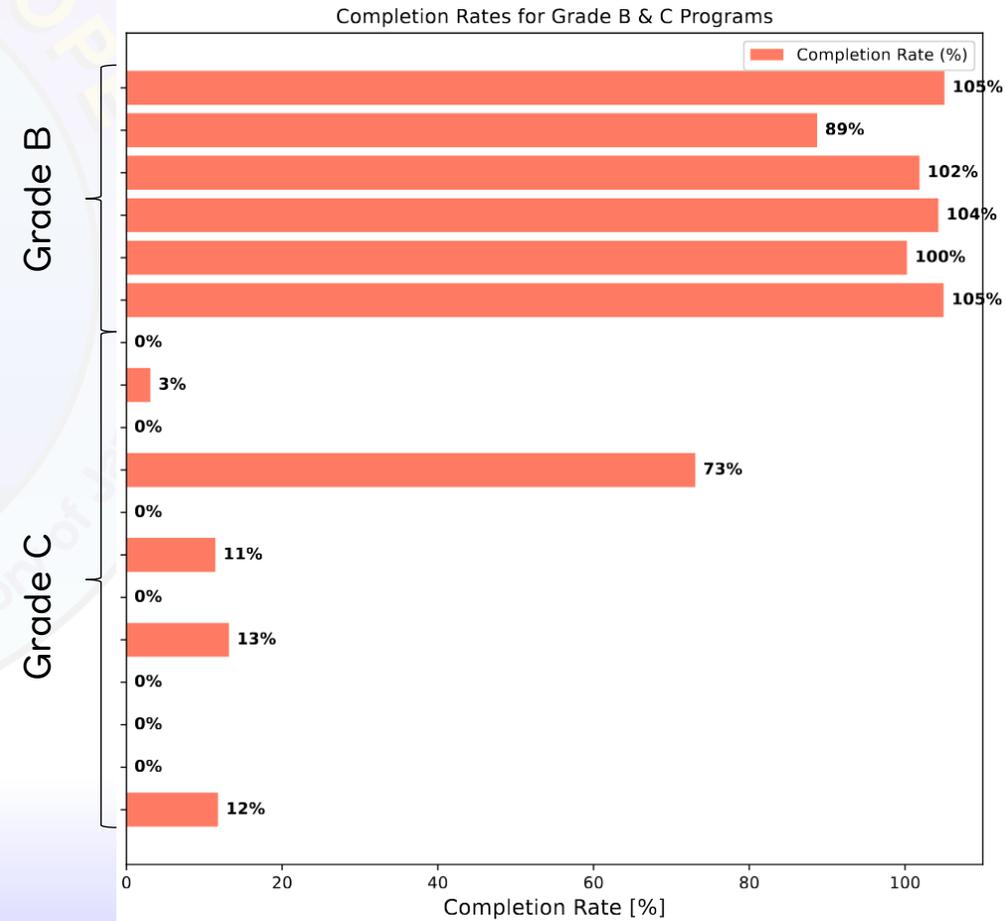


Non-linearity per pixel measured with the laboratory data (left) and correction with 4<sup>th</sup> polynomials (right)

# 共同利用観測の現状

| S25A allocation |          |
|-----------------|----------|
| Queue           | 15 night |
| Classical ToO   | 1.5      |
| SSP             | 14       |
| UH              | 5.5      |

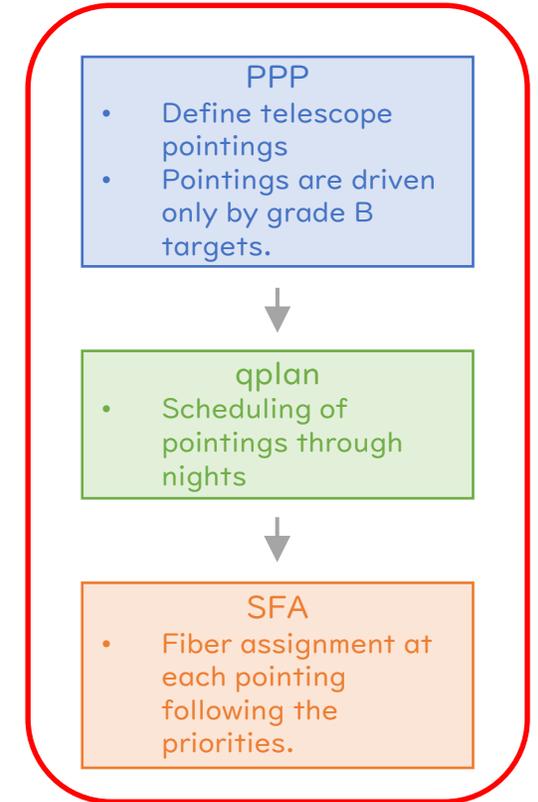
- PFS 共同利用観測が開始された。
  - 2025.3 より
  - リスクシェアモード
- S25A
  - クラシカル、キュー、SSP、ToO の全てのモードで観測の遂行に成功した。
  - 採択課題についてはファイバー時間ベースでほぼ 100% の達成率を実現した。
- データ配布
  - STARS でラン毎に生データを配布
  - サイエンスプラットフォームにてDRP解析データを配布
  - S25A については、ラン毎の解析データを配布済み。セメスターを通した解析データはもうすぐ配布できる見込み。
- S25B の観測を遂行中。



## ターゲット重複問題

- PFS ファイバー割り当て (観測プランニングソフト “Integration code”)
  1. キャリブレーションデータ (標準星、スカイ)
  2. 採択課題
  3. 非採択課題・コミュニティフィルター
  4. 観測所フィルター
- これらのグループの間にターゲットの重複があった場合の取り扱いについて、想定しきれていない動作があった。
  - 標準星と科学観測ターゲットに重複があった場合、標準星としてのみ観測された。
  - 採択課題と観測所フィルターに重複があった場合、採択課題が完了したのちに改めて観測所フィルターとして観測され、データが一般に公開された。
  - 非採択課題、コミュニティフィルターが観測所フィルターと重複した場合、観測所フィルターとしてのみ観測された。
- 対応・対策
  - 観測プランニングソフトウェアにチェックルーチンを実装。S25B から運用中。
  - S25Aについては重複したデータを科学観測プログラムのものであるとする。
  - 既に公開した観測所フィルター解析済データの公開を止め、修正済みのものを近日公開する。

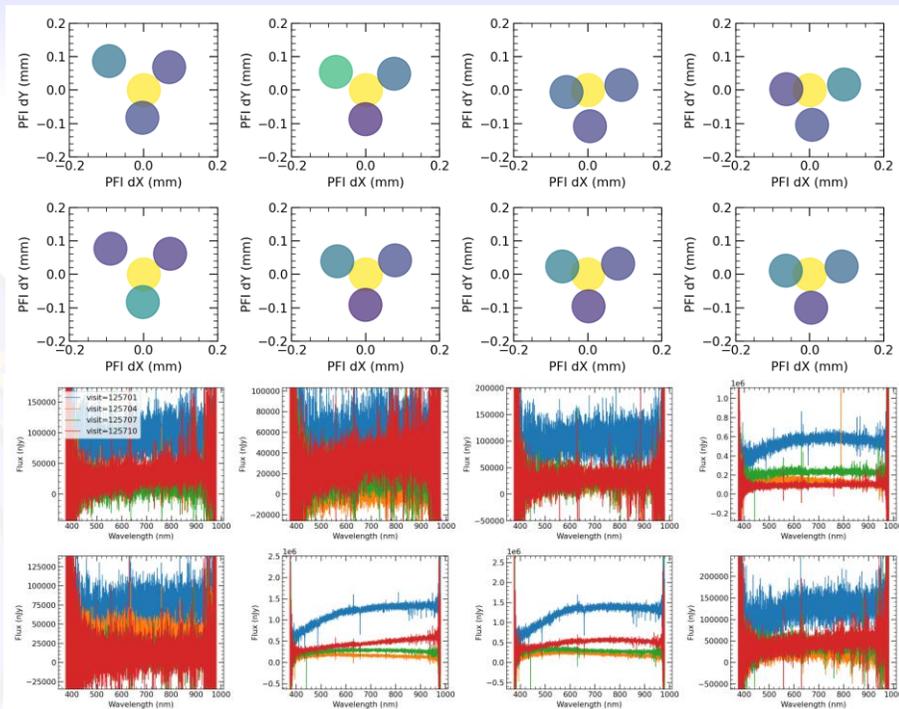
The Integration Code



## その他のアップデート

- IFU-like モードが S26A から利用可能。
  - ファイバーをパターンに沿って動かしながら積分を重ねる。
    - 現在は三角形または六角形のパターンが利用可能
  - クラシカルモードのみ。
    - ポインティングの専有、長時間積分が必要。
  - DRP は他のモードと同じプロダクトのみ提供する。
- キュー観測ステータスマニターページがオープンした。
  - PI が毎晩の進捗を確認できるサイト。
- 装置制御・観測遂行ソフトウェアの改善
  - 読み出し時間に望遠鏡を動かすことによるオーバーヘッド時間の削減
  - PFS 特有の装置ローテータ範囲 (-174~174 deg) への Gen2 の対応
  - Etc. Etc.

IFU-like mode demonstration in the engineering run in Jun. 2025. Actual fiber positions of selected fibers in IFU mode (upper panels) and the obtained spectra (lower panels)



Subaru PFS HSC

S25A PFS Report for Queue Administrator

| PID      | Status | Grade | Fiber Hours Allocated | Fiber Hours Completed | Completion Rate Hours(%) | Overall Compl Rate Obs(%) | Total OB Hours |
|----------|--------|-------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------|
| Progress | B      |       | 2977.35(OB#22706)     | 2613.83(GoodOB#4946)  | 88.99%                   | 97.12%                    | 5966.82        |
| Complete | B      |       | 18758.75(OB#68953)    | 18805.69(GoodOB#4953) | 100.23%                  | 58.84%                    | 24138.42       |
| Complete | B      |       | 18358.75(OB#20341)    | 19398.20(GoodOB#7699) | 105.67%                  | 93.38%                    | 20716.64       |
| Complete | B      |       | 2661.00(OB#1907)      | 2775.13(GoodOB#4955)  | 104.29%                  | 96.66%                    | 2275.97        |
| Complete | B      |       | 6507.00(OB#18127)     | 6628.02(GoodOB#13370) | 101.86%                  | 99.00%                    | 12240.51       |
| Complete | B      |       | 4363.50(OB#22305)     | 4579.82(GoodOB#3915)  | 104.96%                  | 86.42%                    | 7562.74        |
| Progress | C      |       | 4332.30(OB#9386)      | 3365.14(GoodOB#1415)  | 77.66%                   | 76.22%                    | 2285.91        |
| Progress | C      |       | 1227.80(OB#2305)      | 37.77(GoodOB#)        | 3.08%                    | 17.60%                    | 105.82         |
| Progress | C      |       | 30880.28(OB#147431)   | 4321.29(GoodOB#204)   | 11.42%                   | 84.13%                    | 4572.74        |
| None     | C      |       | 30.27(OB#)            | 0.00(GoodOB#)         | 0.00%                    | 0.00%                     | 0.00           |
| None     | C      |       | 3433.50(OB#2725)      | 0.00(GoodOB#)         | 0.00%                    | 0.00%                     | 0.00           |
| None     | C      |       | 1406.82(OB#1300)      | 0.00(GoodOB#)         | 0.00%                    | 0.00%                     | 0.00           |
| Progress | C      |       | 11764.00(OB#2362)     | 2385.56(GoodOB#)      | 20.29%                   | 15.81%                    | 6094.84        |
| None     | C      |       | 20.44(OB#)            | 0.00(GoodOB#)         | 0.00%                    | 0.00%                     | 0.00           |

# まとめ

- 装置
  - 屈折率マッチングジェルを用いることでファイバー透過率を 1% 以下のレベルで維持。
    - ジェル清掃装置を開発中。
  - 95%のファイバーで 20-50 um のファイバー配置精度を達成。フラックス非均一性の改善のためさらなる調査・解析を進めている。
  - AG 安定性の向上を図っている。AGカメラ位置の調整、保持機構の改善。
- データ解析パイプライン
  - 散乱光除去 に成功。
  - スカイ差し引き について、それぞれの Cobra の位置による効率の変化を検出、補正を実装。
  - 近赤外データの解析 N3カメラ検出器の非線形性評価を試験データで実行。
- 共同利用観測
  - 共同利用観測が 2025.3 からリスクシェアモードで開始。
    - S25A は採択課題の達成率100%で終了。
  - 複数プログラムのターゲット重複時の取り扱いに問題が発覚。S25A データ取り扱いを修正するとともに、S25B での発生を防いだ。
  - IFU-like モード開始: S26A