

宇宙飛行士
= *Astronaut*



©Shutterstock

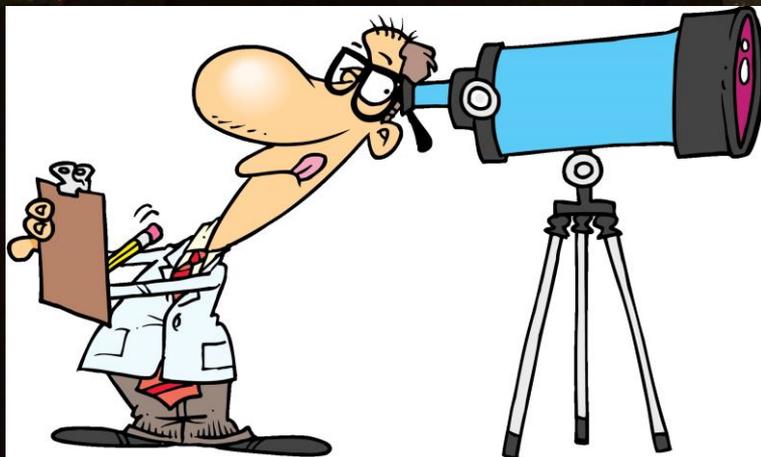
占星学 = *Astrology*
占星学者 = *Astrologist*



©SCORPIOSEASON

天文学者...?

天文学 = *Astronomy*, 天文学者 = *Astronomer*
天体物理学 = *Astrophysics*, 天体物理学者 = *Astrophysicist*



背が低い、足が短い、メガネをかけている、
白衣を着ている...!?

- 理論研究
- 観測研究
- 観測装置開発研究

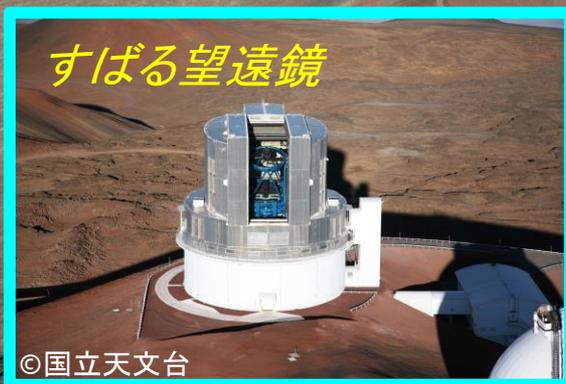


©ToonClipart.com

ハワイ島マウナケア山頂: 標高 4200m

麓のヒロというまちから車で2時間弱(途中高地順応のため標高 2800m にある中間施設でとる30分間の休憩含む)。帰りの所要時間は(途中休憩不要なこともあり)もっと短い。

- ✓ 宇宙に近い!
- ✓ それだけ空気を避けていち早く天体からの光を受けられる!
- ✓ 雲の上! 晴天確率 \uparrow !
- ✓ 街明かりがないから夜が暗い!



- 田村は 2012 年にカブリ IPMU へ赴任しましたが、
- それまで 6 年半ほどハワイ観測所に勤務し、観測装置の立ち上げ、運用に携わりつつ銀河の研究をしてました。

ハワイ島マウナケア山頂の星空は本当に見事です！

頭上**一面**に広がる星々のその「近さ」には驚かされます。
手を伸ばすと、触れそうな気さえします。

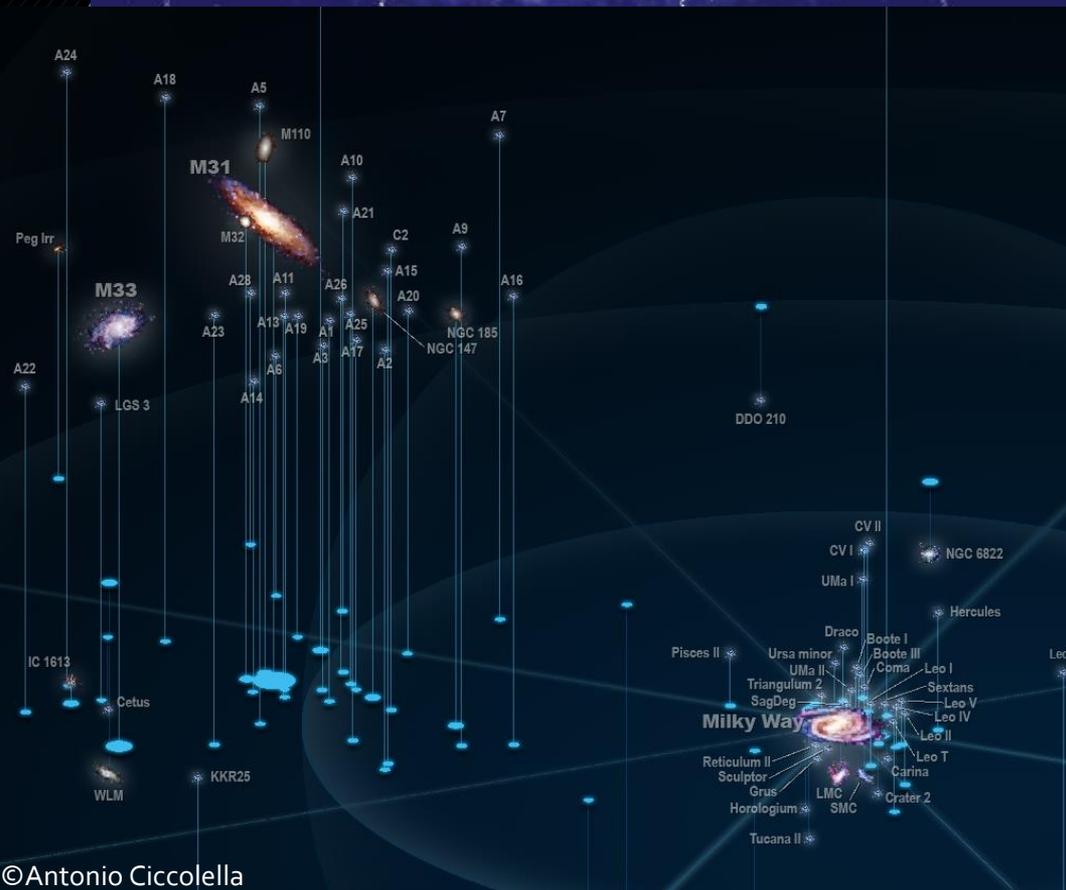
・・・「面」？

夜空の奥行きは宇宙を理解する上で一つの重要なテーマ。

宇宙は、奥深くて、大きい！

我々はどこにいるのか。

©国立天文台



©Fairfax Media

©Antonio Ciccolella

約150万個の銀河の大規模探査（サーベイ）

Sloan Digital Sky Survey (1999-; 米国2.5m望遠鏡)

Sloan Digital Sky Survey

Miguel A Aragon (JHU), Mark Subbarao (Adler P.), Alex Szalay (JHU)

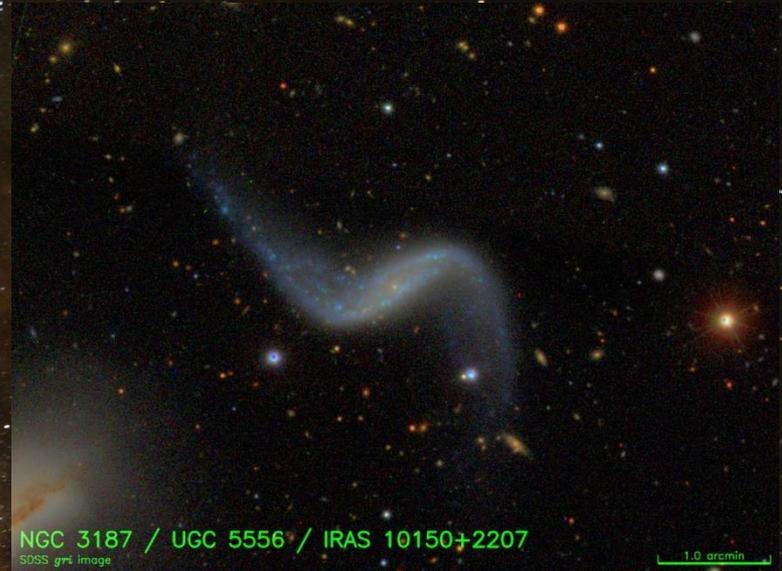
個性豊かな？銀河たち



NGC 2403

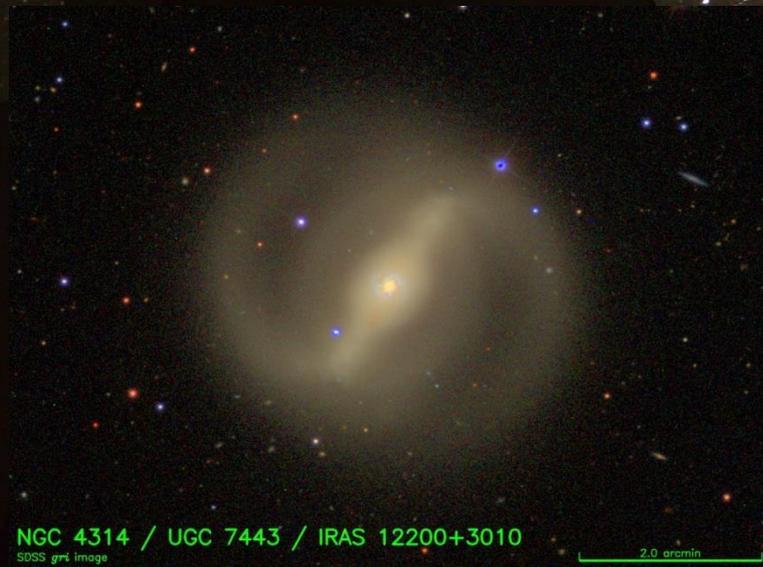
Suprime-Cam (B, R, IA651)
October 13, 2005

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
Copyright ©2005 National Astronomical Observatory of Japan. All rights reserved.



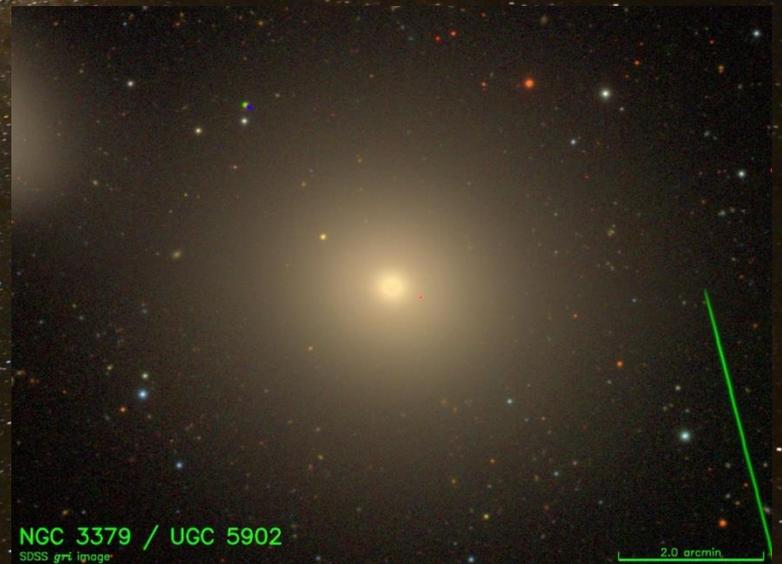
NGC 3187 / UGC 5556 / IRAS 10150+2207
SDSS *gri* image

1.0 arcmin



NGC 4314 / UGC 7443 / IRAS 12200+3010
SDSS *gri* image

2.0 arcmin



NGC 3379 / UGC 5902
SDSS *gri* image

2.0 arcmin

まとめてみると、こんな傾向がある (1)

銀河ハッブル系列



色	赤い	←→	青い
ガスの量	少ない	←→	多い
星形成活動	不活発	←→	活発

まとめてみると、こんな傾向がある (2)

銀河はどこにでもいる。でも、...

©2dF GRS

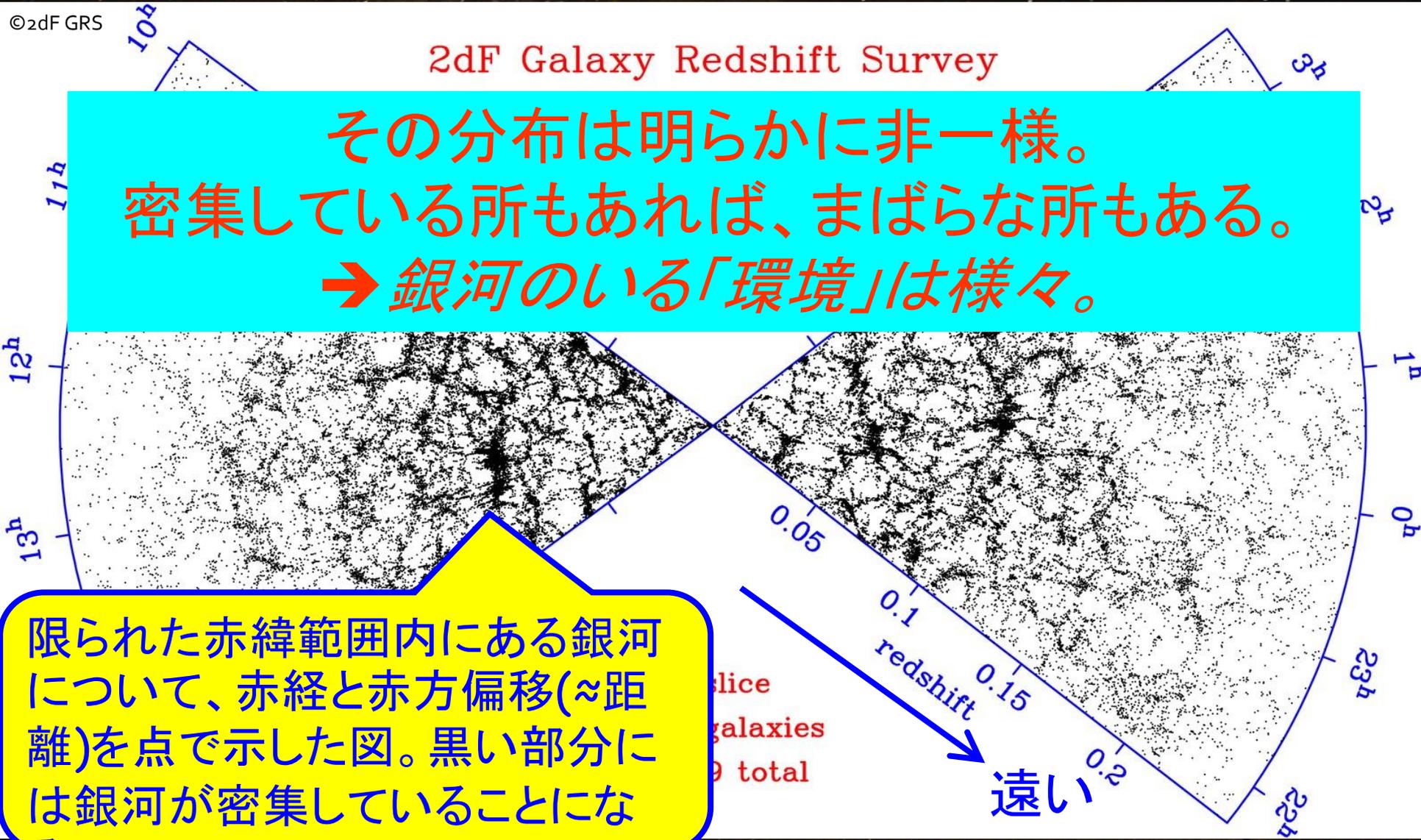
2dF Galaxy Redshift Survey

その分布は明らかに非一様。
密集している所もあれば、まばらな所もある。
→ 銀河のいる「環境」は様々。

限られた赤緯範囲内にある銀河について、赤経と赤方偏移(～距離)を点で示した図。黒い部分には銀河が密集していることにな

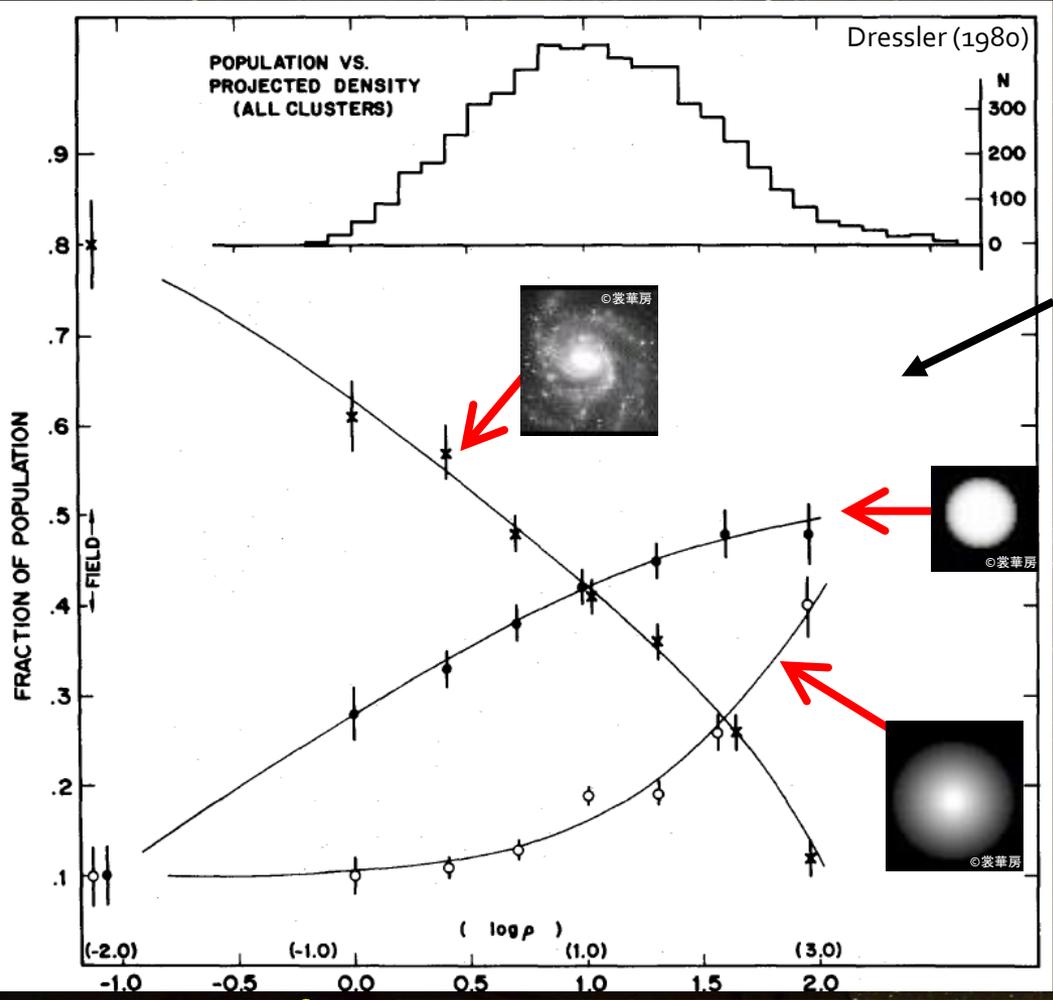
slice
galaxies
total

遠い



まとめてみると、こんな傾向がある (3)

都会好きな銀河、田舎好きな銀河?!



横軸：銀河の数密度
 縦軸：各形態の銀河の割合

銀河が密集している領域には楕円・レンズ状銀河が多く、まばらな所では渦巻きや不規則型が多い。

→ 銀河がより密集している

(e.g. Dressler 1980; Dressler et al. 1997)

なぜこういうことになっているのだろうか??

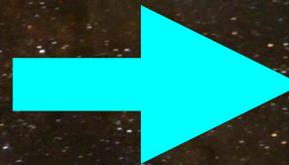
- ★ 大昔からずっとこうだった?
- ★ 最近まで変化が続いた末の結果?
- ★ 理由を物理で説明すると??



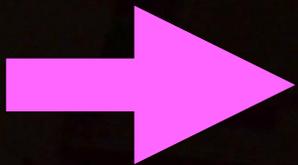
- 遠くの銀河を「統計的に」研究して、銀河の生い立ちを理解する。
- 近くの銀河を詳しく調べて生い立ちを探る。

遠くの銀河を観測する

©国立天文台



光の速さは有限なので、より遠くの銀河から出た光が我々に届くには、より長い時間が必要。



遠くの銀河を観測することは、昔の銀河の姿を見ることになる！

遠くの銀河を見分けるには？

What is the Reionization Era?

^ Schematic Outline of the Cosmic History

赤方偏移 "z"

現在がゼロ、昔にさかのぼるほど大きい値。

$$\lambda_{\text{観測}} = \lambda_0 (1+z)$$

昔の銀河が発した光は、(1+z) 倍だけ波長が長くなって我々に観測される！

時間



ビッグバン

輻射と物質が分離

暗黒時代

再電離完了

10億年
(z~6)

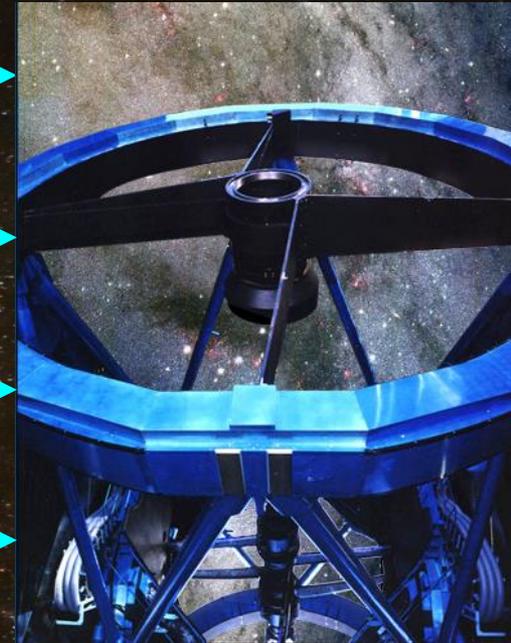
137億年
(z~0)

現在

夜空を見て、天の川銀河の昔の姿はコレダ！、とは言えないので・・・

銀河の歴史を「統計的に」眺める

©国立天文台



夜空を見て、天の川銀河の昔の姿はコレだ！、とは言えないので…

銀河の歴史を「統計的に」眺める

©国立天文台



たくさんの銀河を集めて赤方偏移別に分類、
各時代の銀河をよく調べてみる。

銀河の性質(形、明るさ、など)は、時代ととも
に、どう変わって来ているだろうか？
あるいは変わってないのだろうか？？

望遠鏡(すばる) + 観測装置(PFS) → 研究



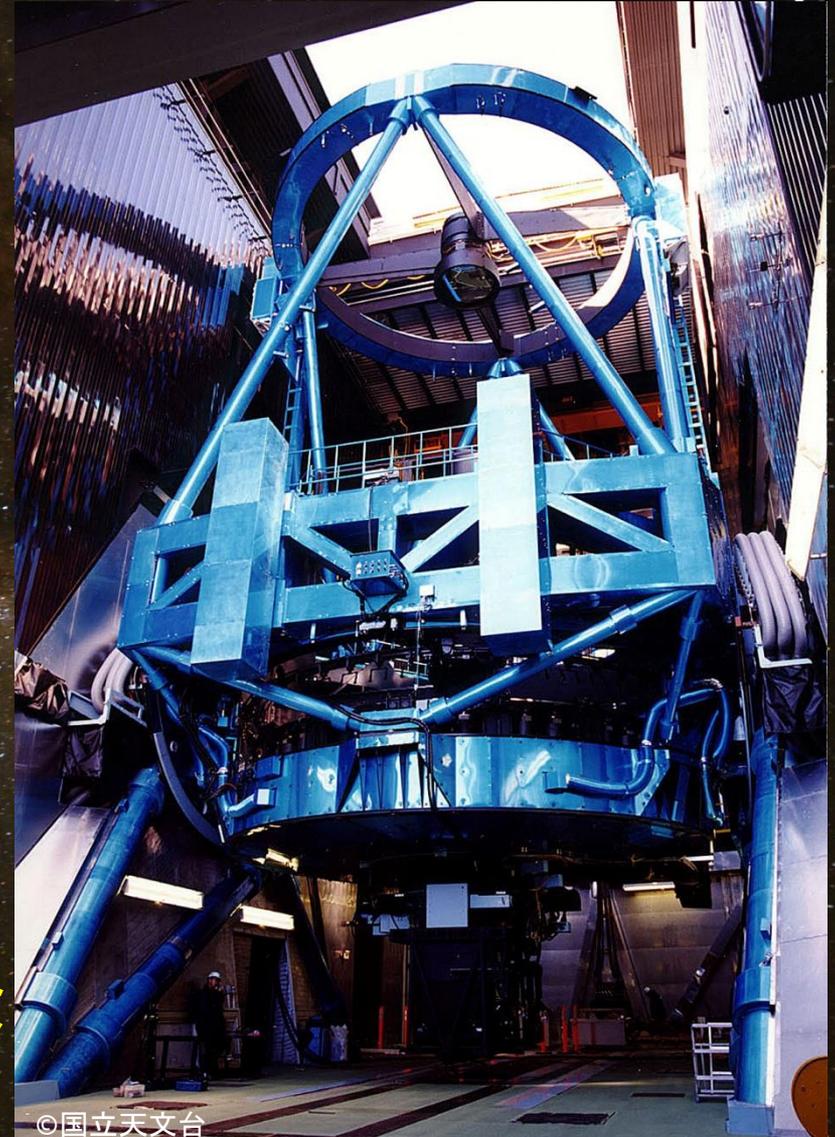
©Univ. of Hawaii

夕暮れ時、マウナケア中腹(標高約2800m)にあるオニヅカビジターセンターにて。

望遠鏡(光を集め焦点を結ぶ)

- + アイピース
- + 眼
- + 視神経

↔ PFS のような
観測装置



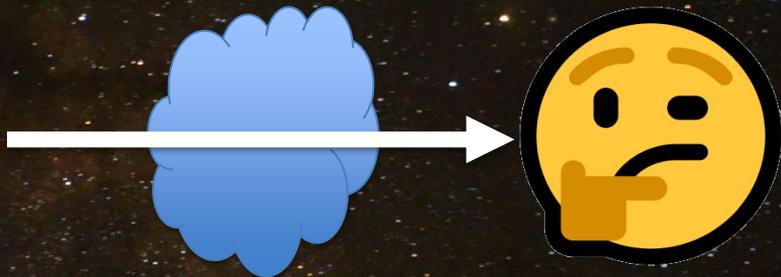
©国立天文台

PFS とは？

キーワード (1): 分光観測装置

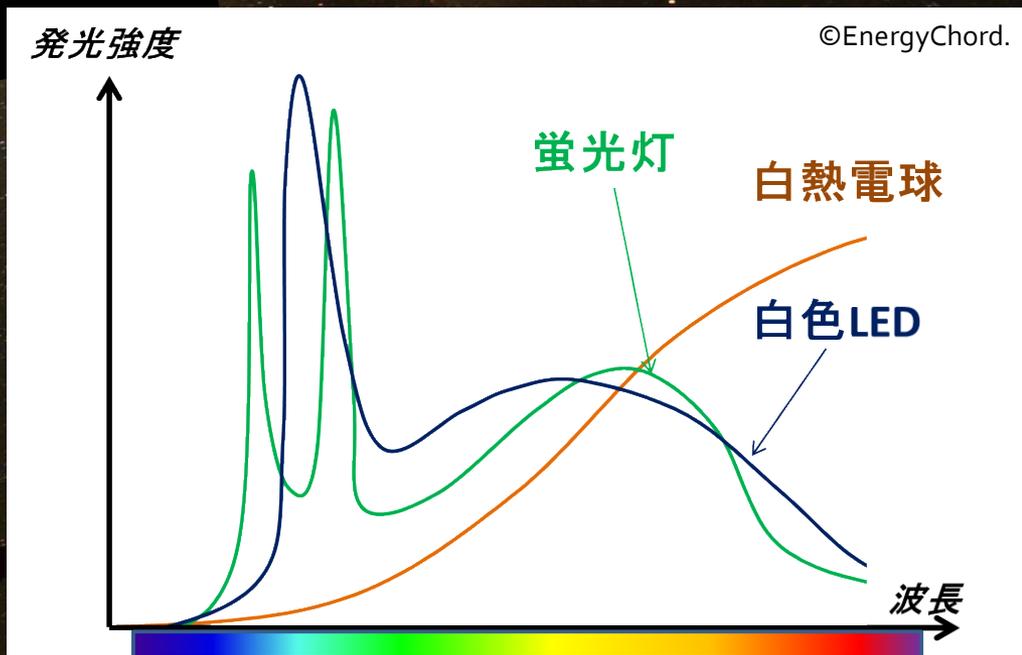


Wikipediaより引用



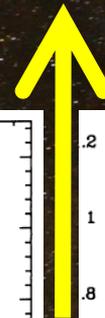
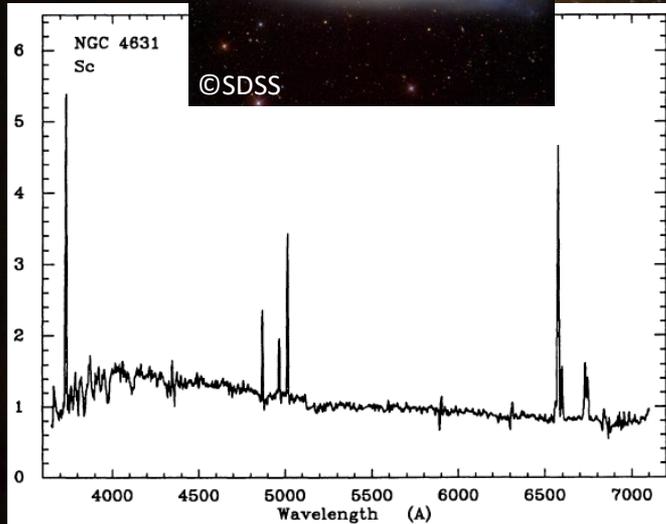
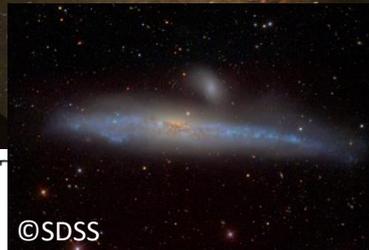
発光メカニズム？
光源との間に何があるか？

↔ スペクトルの特徴

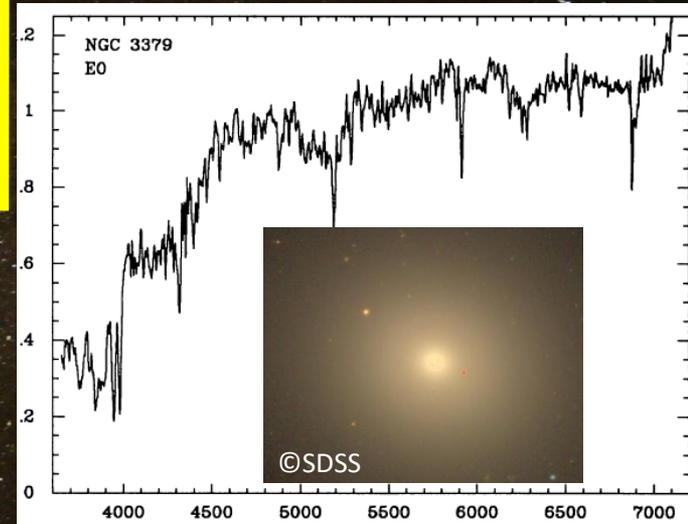


PFS とは？

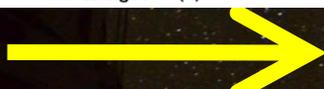
キーワード (1): 分光観測装置



光の強度



観測波長

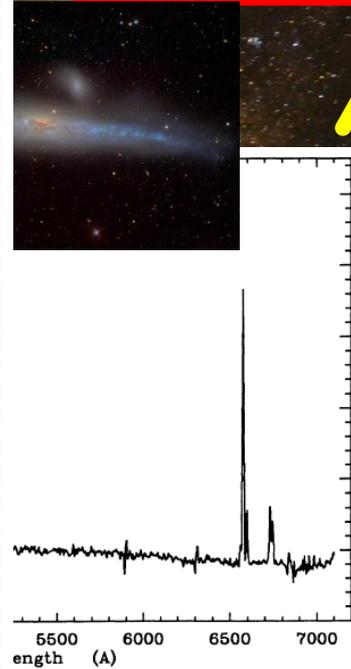
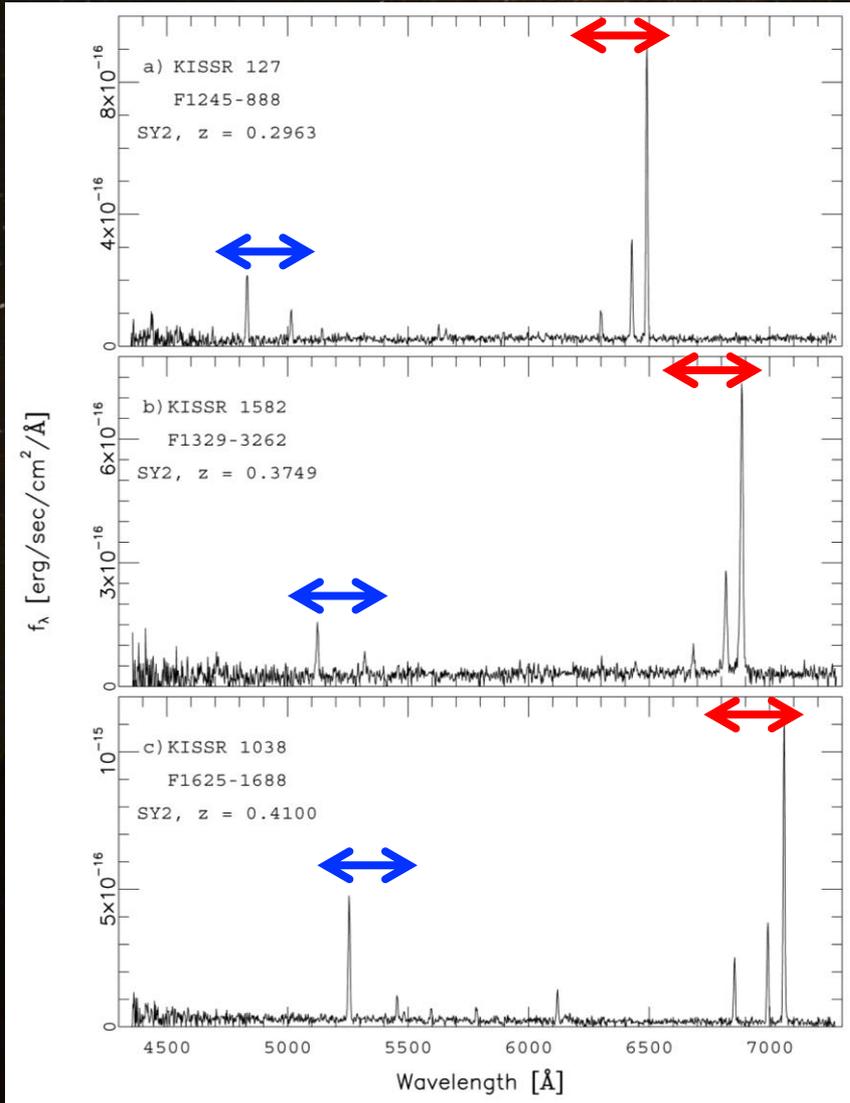


PFS とは？

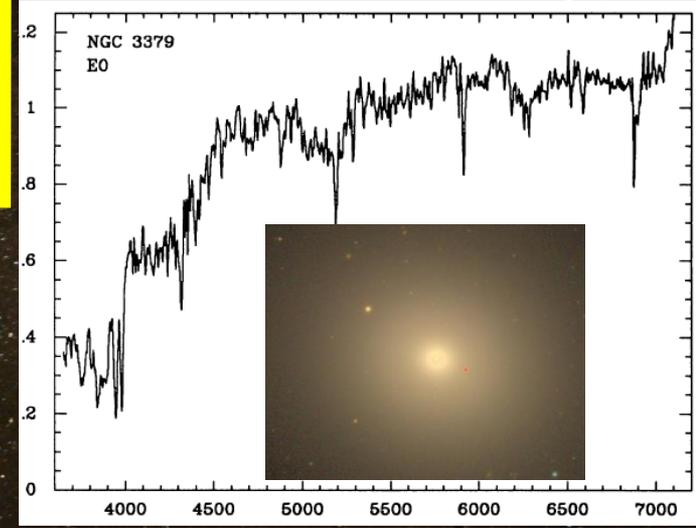
キーワード (1): 分光観測装置

©Eric Feigelson (Penn State Univ.)

スペクトルは、銀河の赤方偏移、星形成活動の活発さ、ガス・星の化学組成、星の年齢、等々を知るための重要な情報源。



光の強度



Kennicutt (1992)

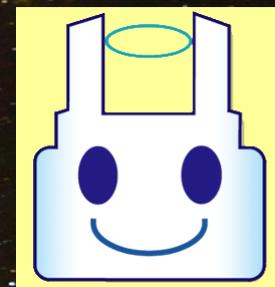
8.2m望遠鏡すばるとタッグを組む！

そもそも遠くの銀河を観測するのは難しい・・・



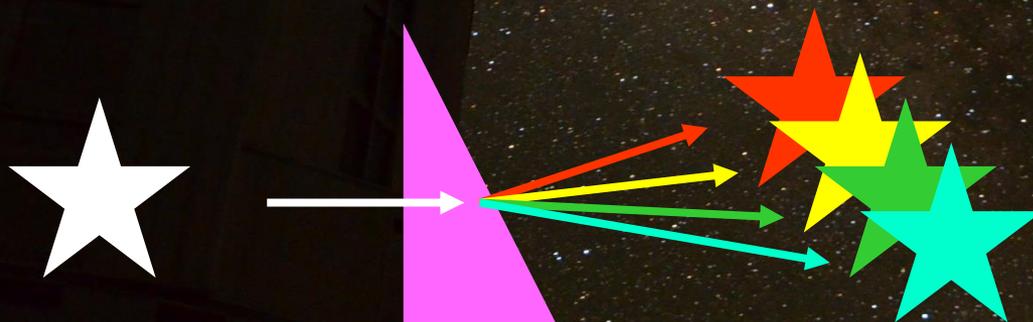
遠くに持っていくほど、どんどん暗く見えるようになる・・・

©国立天文台



望遠鏡

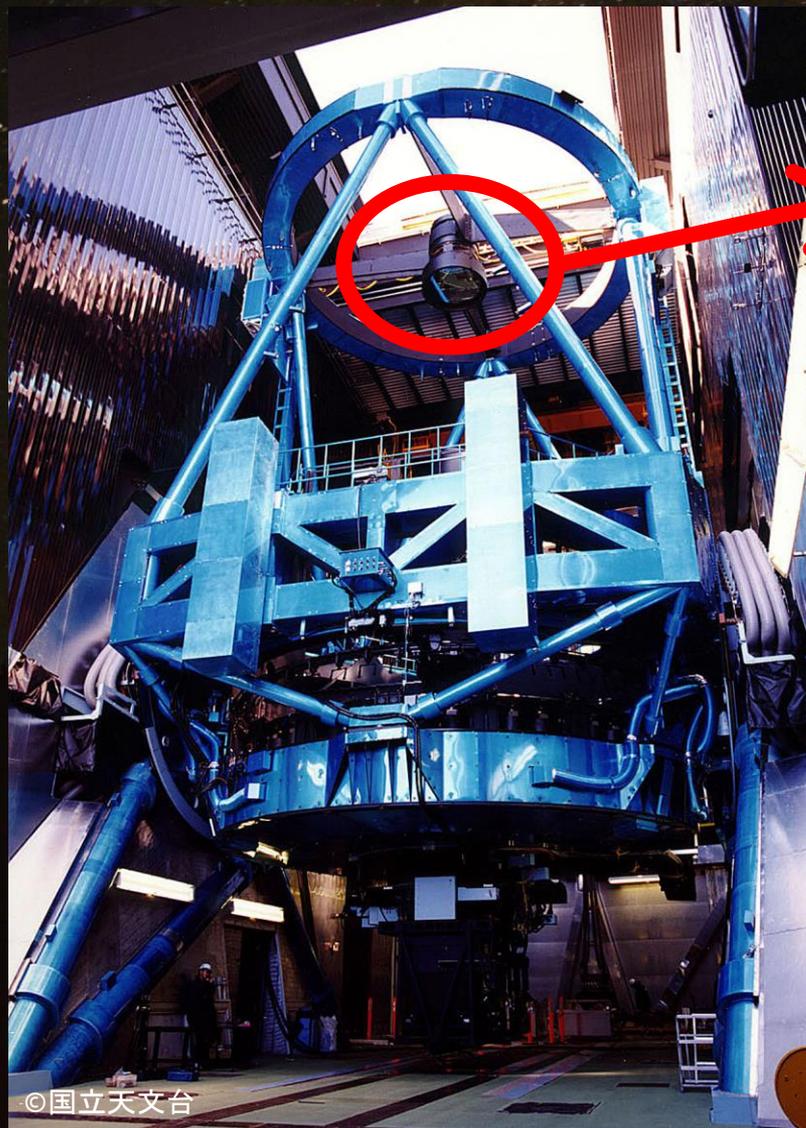
撮像ならまだしも、分光観測となるとなおさら ...



光が分散されて「薄く」検出器に届く・・・

PFS とは？

キーワード(2): すばる主焦点広視野!!



©国立天文台



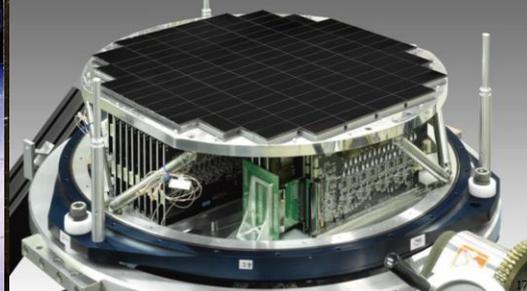
©国立天文台

Hyper Suprime Cam (HSC)

- 世界最大のデジタルカメラ
- 高さ3m
- 重さ3トン
- 約9億画素

©浜松ホトニクス

116 HPK FD CCDs



浜松ホトニクス：
高感度CCD(電荷結合素子)アレイ

PFS とは？

キーワード(2): すばる主焦点広視野!!



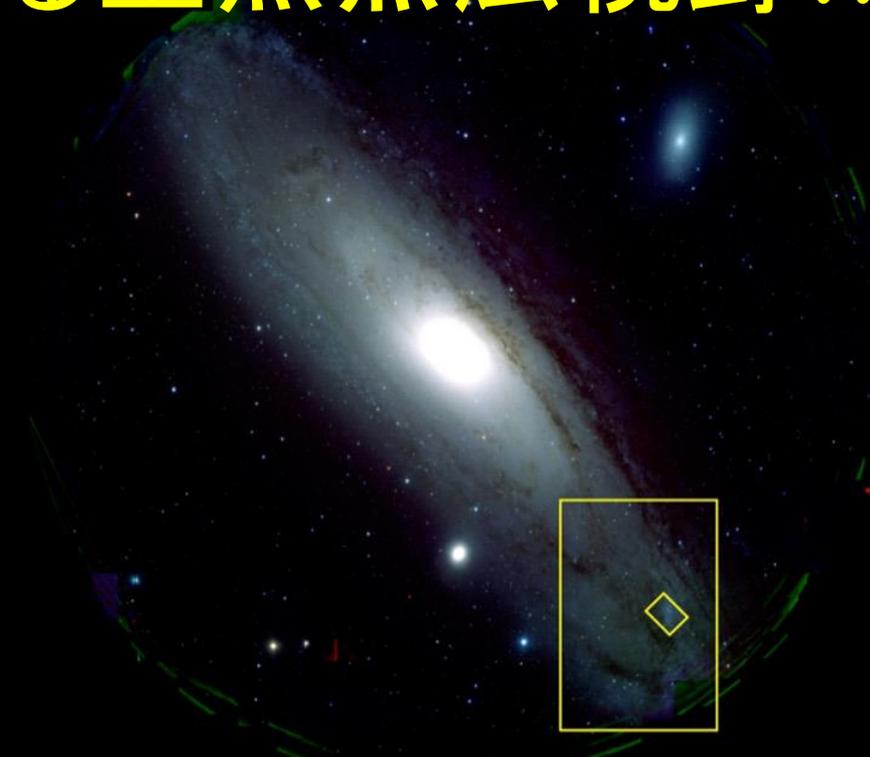
満月の典型的な
見かけの大きさ
(視直径 0.5 度角)



Suprime-Cam
ファーストライト
(1999年1月公開)



Suprime-Cam
(2001年9月公開)

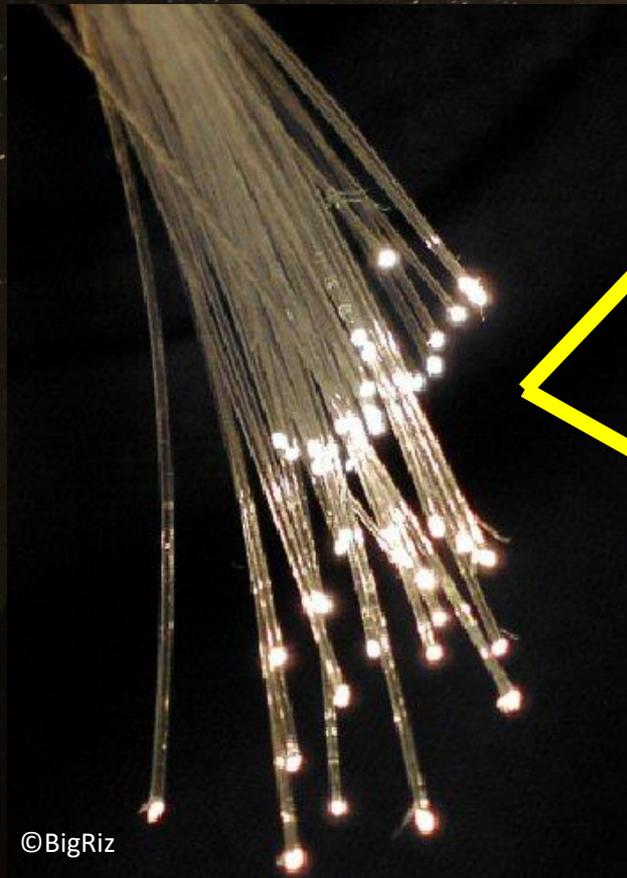


Hyper Suprime-Cam
(2013年7月公開)

PFS でもこの超広視野
を活用します!

PFS とは？

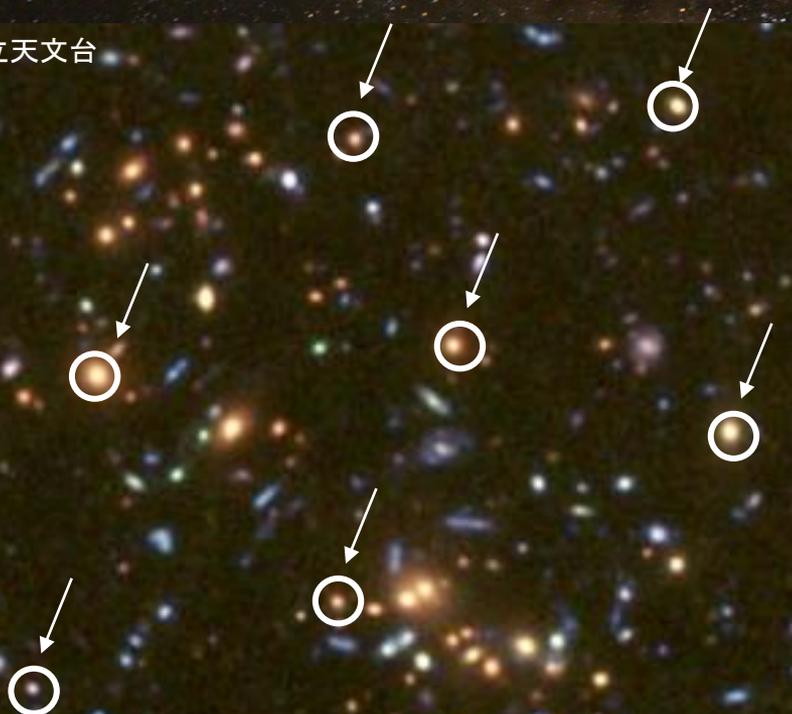
キーワード (3): 光ファイバー



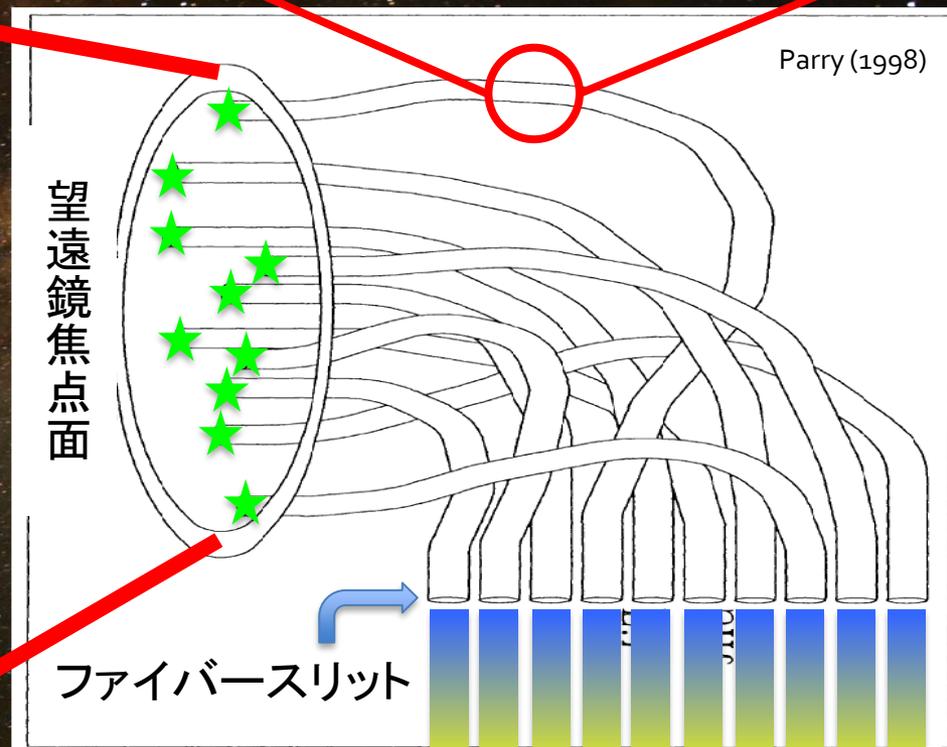
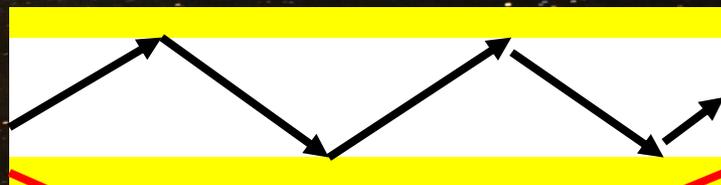
焦点面全体で合計、
2394本のファイバー
を観測に使用可能

分光したい天体の写る場所に光ファイバーの一端を置く。
~10ミクロンの精度!

©国立天文台



ファイバーに入った光は「コア」と呼ばれる部分の中を反射を繰り返しながら効率よく進み他端へと伝わる。



ファイバーの他端は一系列に並べて(ファイバースリット)分光器の入り口に。出射した光には分散がかけられスペクトルとして検出器上に結像し、記録される。

ファイバー位置制御装置「コブラ」



pixta.jp - 42789



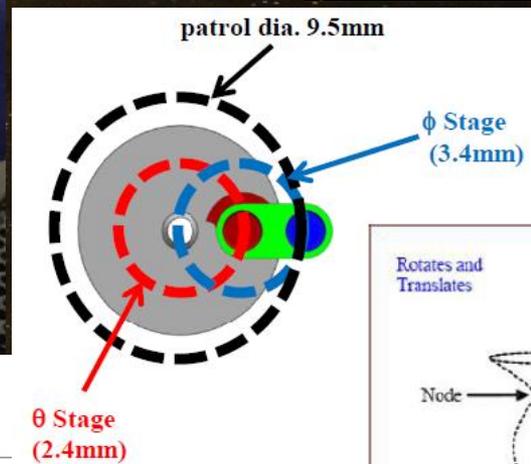
© 2020 Drinkstuff & Barmans Ltd.



Cobra Fiber Positioners
for the Subaru Telescope Prime Focus Spectrograph



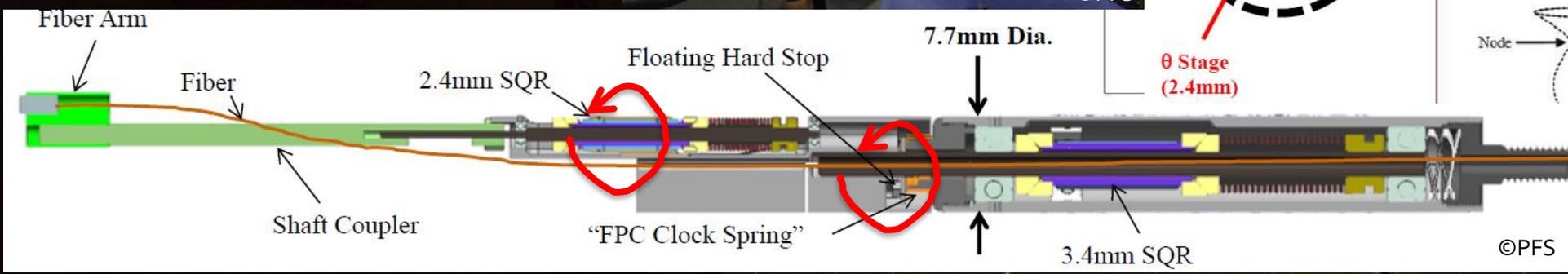
©PFS



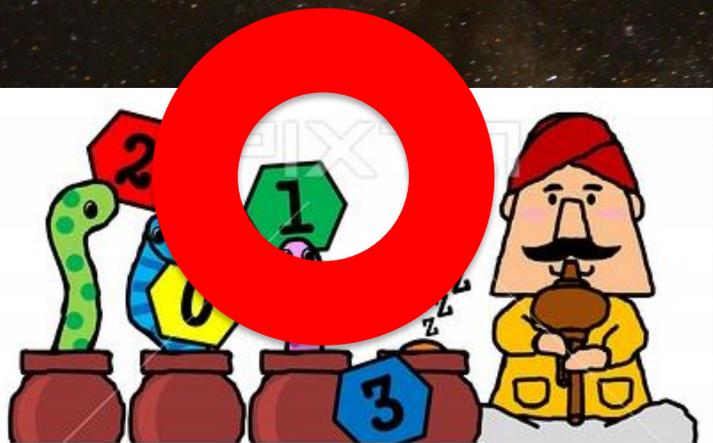
Rotates and Translates

©PFS

©New Scale Inc.



ファイバー位置制御装置「コブラ」



pixta.jp - 42789



©PFS

20 Drinkstuff & ans Ltd.



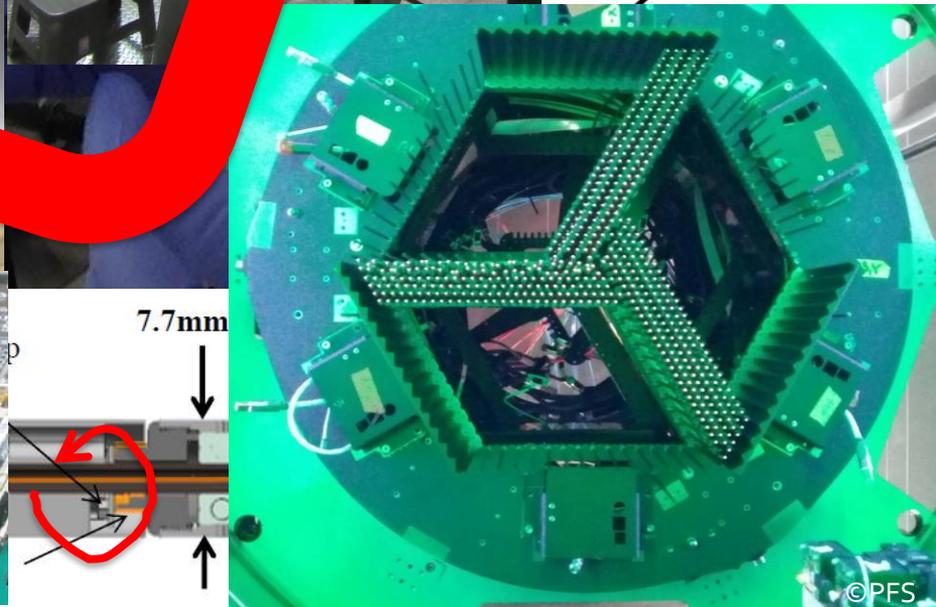
patrol dia. 9.5mm



©PFS



©PFS



7.7mm

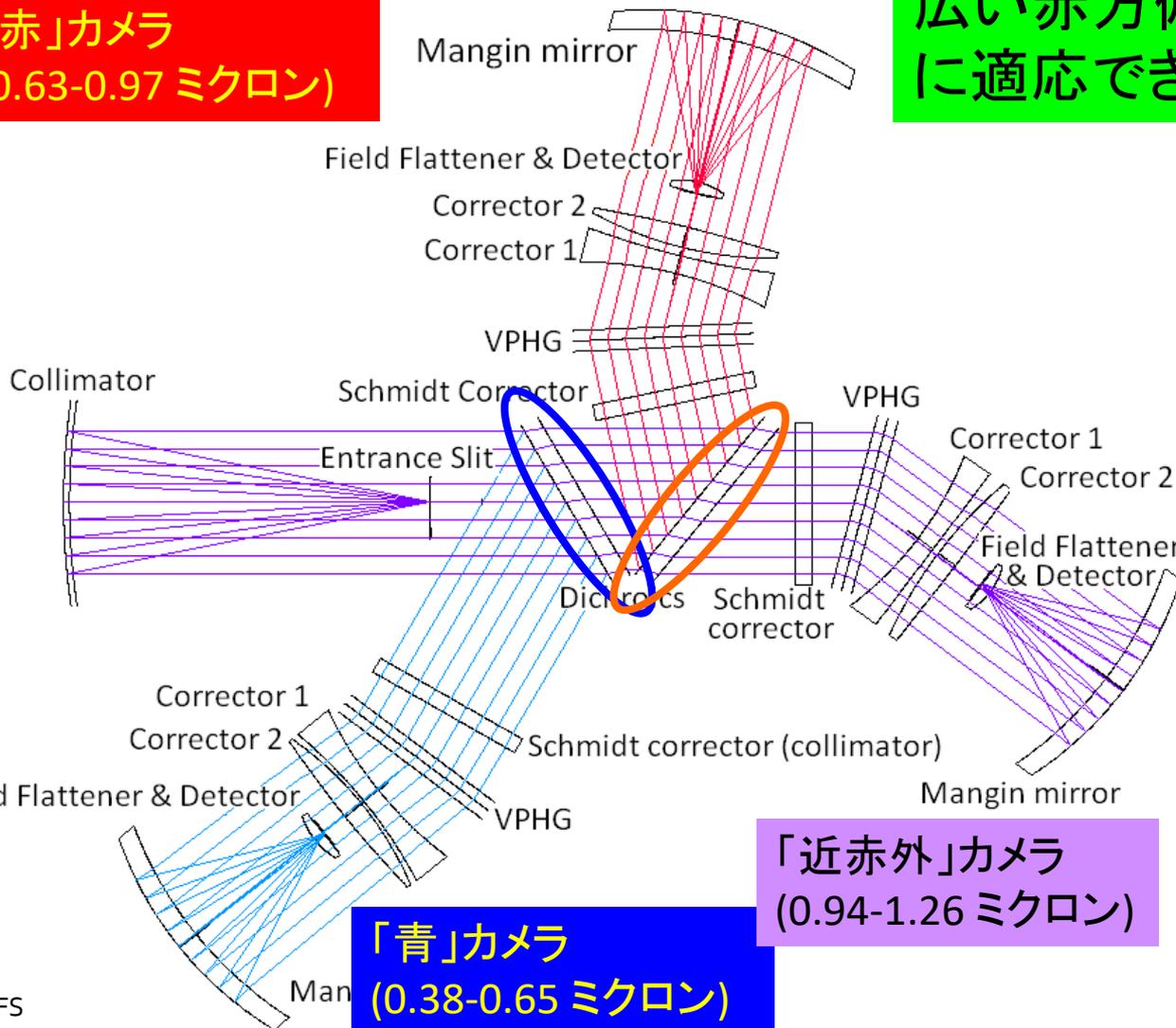
©PFS

PFS とは？

キーワード (4): 広い波長域をいっぺんに観測！

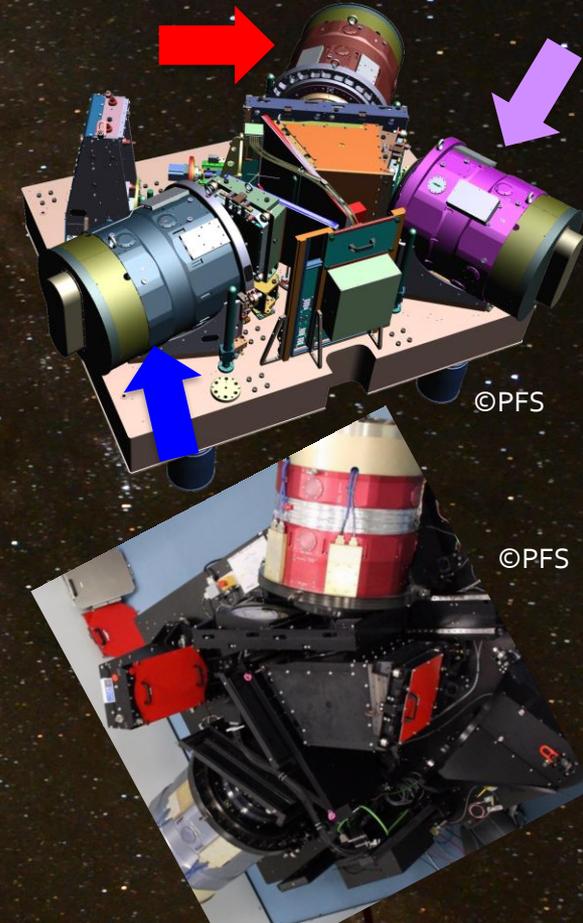
「赤」カメラ
(0.63-0.97 ミクロン)

広い赤方偏移範囲(= 時代範囲)
に適應できることに相当！



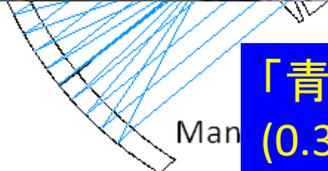
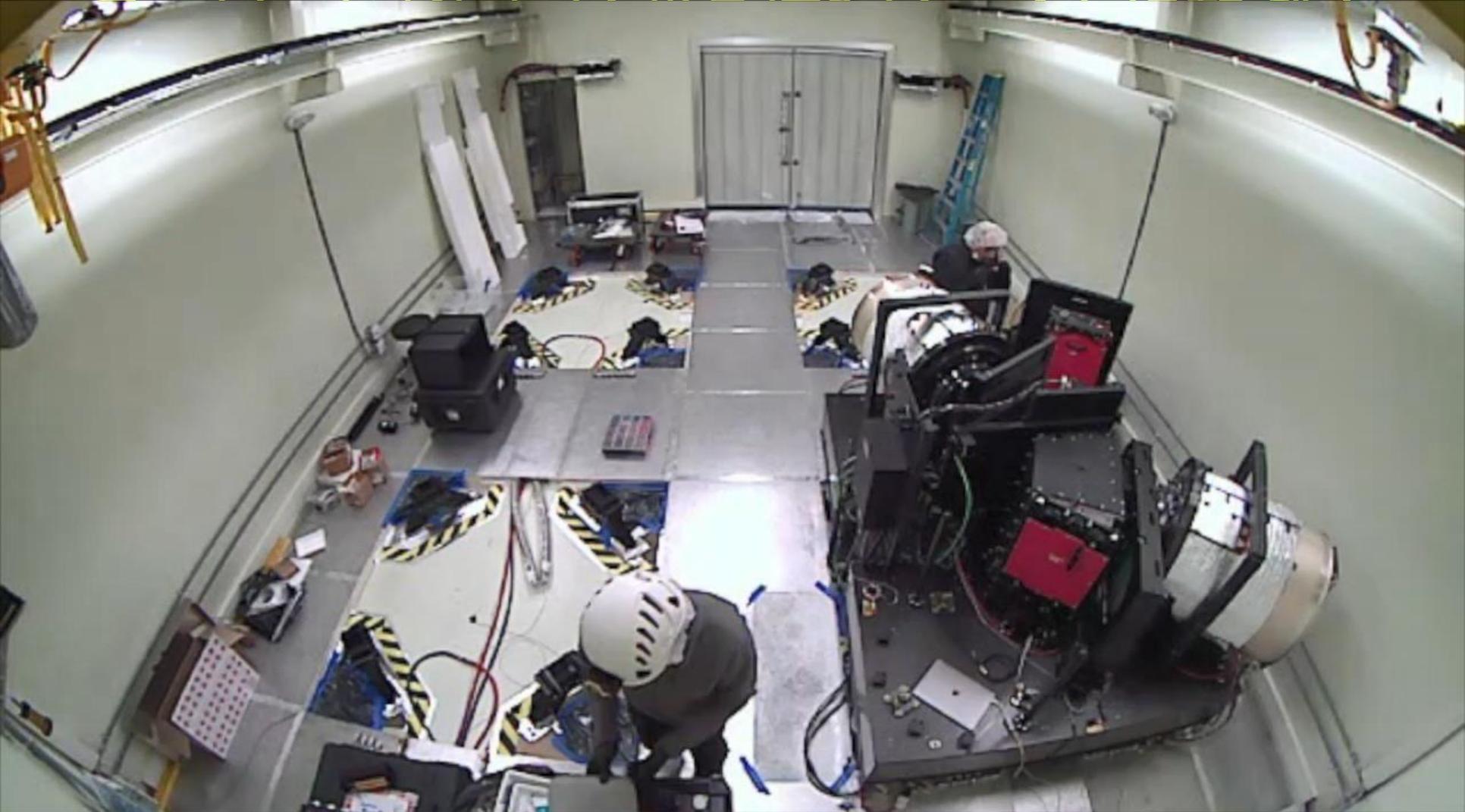
「近赤外」カメラ
(0.94-1.26 ミクロン)

「青」カメラ
(0.38-0.65 ミクロン)



PFS とは？

「青」カメラ (0.38-0.65 ミクロン) | 「赤」カメラ (0.94-1.26 ミクロン) | 赤外線カメラ (1.65-1.9 ミクロン)



「青」カメラ
(0.38-0.65 ミクロン)

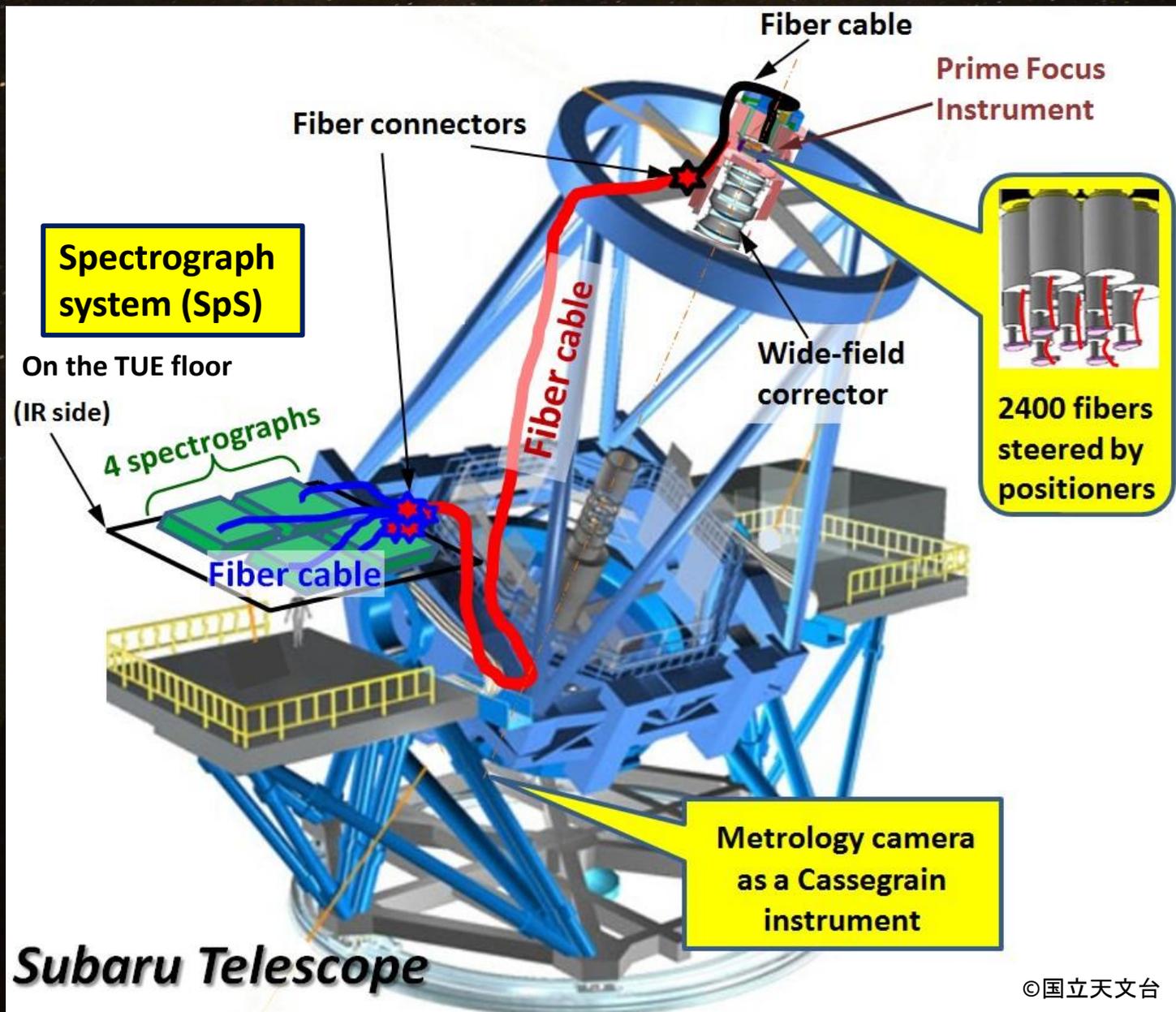
「赤」カメラ
(0.94-1.26 ミクロン)

©PFS



©PFS

すばる望遠鏡と PFS 全体像



主焦点望遠鏡とPFS 全体像

“分光器システム”

- 1台の分光器で~600本のファイバーを受け入れ、スペクトルを抽出。
- 4台で~2400本。
- 温度制御されたクリーンルームに設置。

Spectrograph system (SpS)

On the TUE floor
(IR side)

4 spectrographs

Fiber cable

“望遠鏡ファイバーケーブル” (~52m)

“主焦点装置 (PFI)”

- 直径 1.4 度角の視野
- 最大 2394 本のファイバーを観測に使用可能。
- ~1-2分程度で異なるファイバーへ移行できる見込み。
- ファイバーコネクタにより着脱可能。

Fiber cable

Wide-field corrector

2400 fibers steered by positioners

“メトロジカメラシステム”:

ファイバーを天体の場所に配置する際にカセグレン穴から主焦点を撮影しファイバーの現在位置を測定する。

Metrology camera as a Cassegrain instrument

Subaru Telescope

サブザル望遠鏡と PFS 全体像

“分光器システム”

“主焦点装置 (PFI)”



Subaru Prime Focus Spectrograph

as a Cassegrain
instrument

Subaru Telescope

©国立天文台

©StudioLiNDA



SUBARU PRIME FOCUS SPECTROGRAPH

On-sky commissioning from early 2021, & scientific use from 2022-2023.

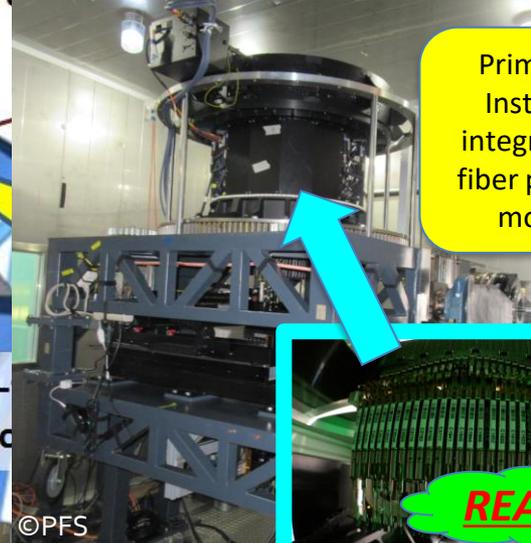


The fiber cable to be routed on the telescope under integration.



Clean room for PFS spectrograph system.

READY!



Prime Focus Instrument integrating the fiber positioner modules.



All fiber positioner modules have been integrated and tested.

The first spectrograph module fully assembled.

1st one is ... **READY!**



©PFS



READY!

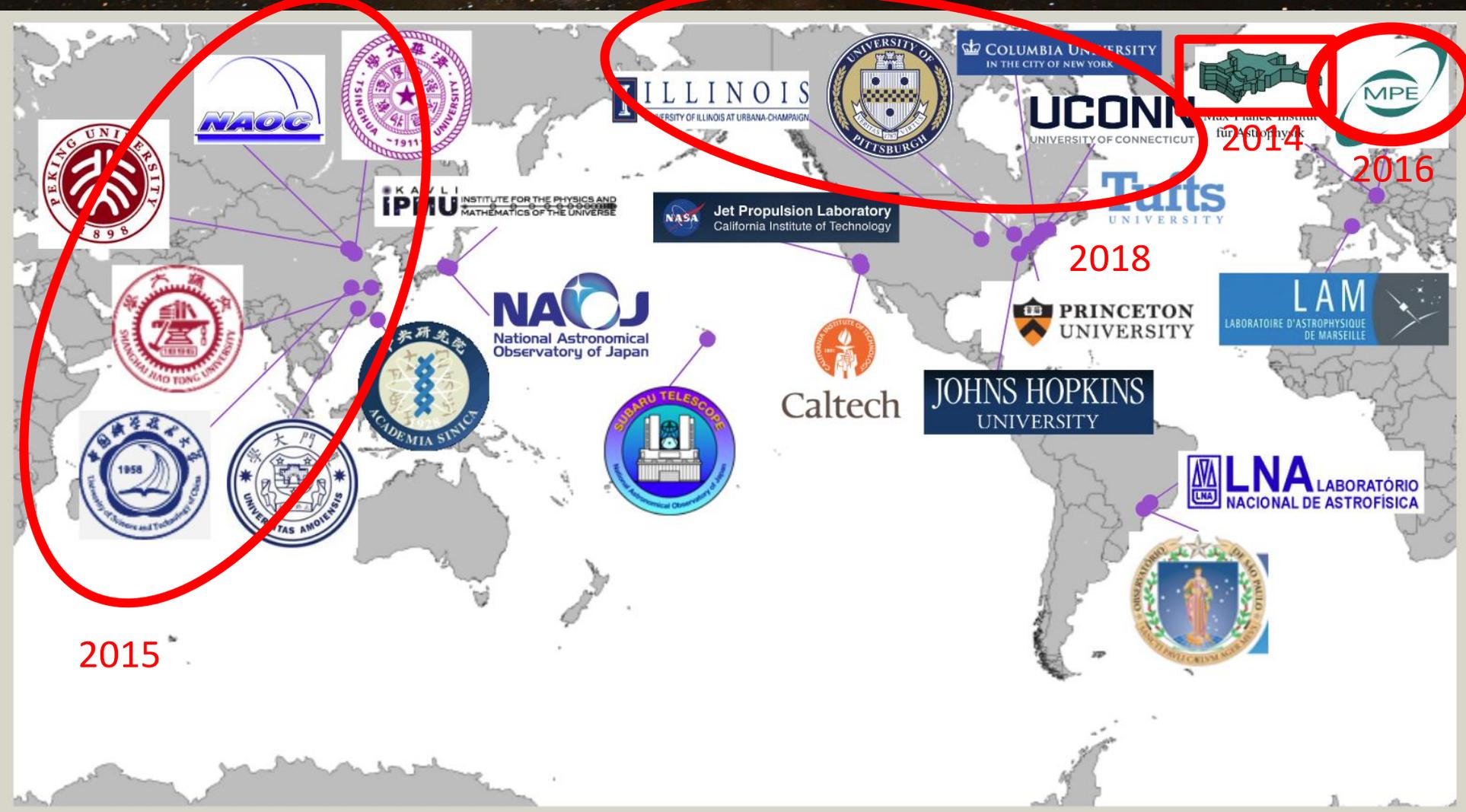
The metrology camera that has been fully integrated and tested on the telescope.

Subaru Telescope

PFS とは？

キーワード (5): 国際共同プロジェクト

日本+6か国20機関以上による共同装置開発と、観測計画の立案





#09, カブリ IPMU (2017.11)

FS とは？

国際共同プロジェクト

による共同装置開発と、観測計画の立案



#10, 上海交通大学 (2018.12)

2015



#11, カリフォルニア工科大学(2019.12)

#12, カブリ IPMU
(2020.12 or 2021.02)

各機関が分担して開発製作した要素を一つのシステムに組み上げ、望遠鏡+観測装置として性能を出す

カメラ、検出器

ファイバー配置装置

分光器システム

焦点面ファイバー

主焦点装置、
メトロジカメラ

©国立天文台

光ファイバー
ケーブル

ファイバースリット

著作権: 白い地図工房

インターフェース管理、品質管理、文書管理、物流、契約、...

コミュニケーションはとても大事！

メール、文書、その他インフラは重要、だがやはり会話も不可欠。
かといって出張するにも限度がありしょっちゅう会えるわけもなく・・・



<http://sites.uml.edu/col/choose-technology/obtain-necessary-training/zoom/>
https://d2.alternativeto.net/dist/s/60cd845c-6321-df11-98b7-0022190f5762_2-full.jpg?format=jpg&width=1600&height=1600&mode=min&upscale=false

宇宙は平らでも、地球は丸いので、時差には抗いようもなく。。。

	日本との時差[時間]
ハワイ	-19 (実質5)
アメリカ西海岸	-16 (実質8)
アメリカ東海岸	-13 (実質11)
ブラジル	-12
フランス、ドイツ	-7
台湾	-1

	会議開始時間(日本時間)
火	23:00 (全機関)
水	5:00 (ハワイ、仏、米東)[隔週] 22:00 (ハワイ、仏、米東) 24:00 (ハワイ、仏、米東)[隔週]
木	7:30 (ハワイ、米、ブラジル、台湾)[隔週]
金	8:30 (米東)[隔週] 9:30 (米西、台湾、ブラジル)[隔週] 10:30 (ハワイ) 22:00 (主に仏、独、米東、台湾)
毎月	6:00 (全機関) ~10:00 (ハワイ)

PFS のムービー！

宇宙は

どのように
始まったのか？

宇宙に
終わり

はあるのか？

なぜ

我々は存在する
のか？

PFS インスタグラム

PFS のブログ

暗黒エネルギーの正体を知る

PFS ウェブサイト
<http://pfs.ipmu.jp/>

新着情報

近赤外カメラユニット1台目、組み上げ中 2020-04-17

主焦点装置の組み上げは今... 2020-03-24

ファイバーケーブルの組み上げ作業は今... 2020-02-07

第11回PFSコラボレーション会議 2020-01-24

1台目の分光器、すばる望遠鏡で組み上がる 2020-01-10

暗黒物質



すばるPFSでは、天の川銀河やアンドロメダ銀河のたくさんの星を観測して暗黒物質の性質や銀河形成への働きを解明します。

続きを読む

暗黒エネルギー



すばるPFSでは、銀河の位置と後退速度の大規模な観測を行って宇宙膨張を詳細に測定し、暗黒エネルギーの謎を解明します。

続きを読む

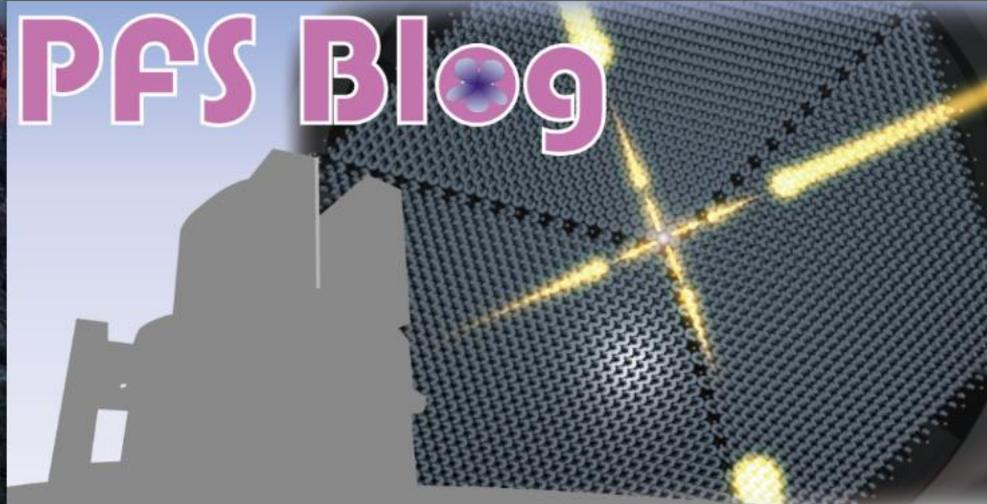
銀河の歴史



すばるPFSでは、大規模な分光観測を行って、宇宙初期から現在までの銀河の進化の様子を明らかにします。

続きを読む

PFSブログ <http://pfs.ipmu.jp/blog/>



近赤外カメラユニット1台目、組み上げ中

■ PFS Project 2020-04-17 コメントはまだありません



今回は、ジョーンズ・ホプキンス大学で進んでいる分光器の近赤外カメラの開発を紹介します。PFSプロジェクトで開発している分光... [Read more](#) »

主焦点装置の組み上げは今...

■ PFS Project 2020-03-24 コメントはまだありません



世界のあちこちで組み上げが進んでいるPFSプロジェクトの観測装置。今回は台湾で組み上げが行われている主焦点装置の様子を紹... [Read more](#) »

1台目の分光器、すばる望遠鏡で組み上がる

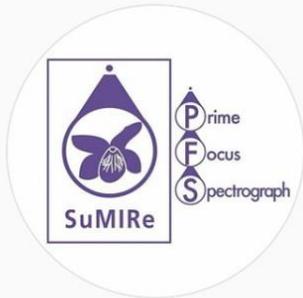
■ PFS Project 2020-01-10 コメントはまだありません



以前、PFSで開発している分光器の1台目が国立天文台ハワイ観測所へ輸送されたことを紹介しましたが（詳しくはこちら）、その... [Read more](#) »

原則、日本語、英語両方で寄稿
しています（一部日本語のみの
記事もあり）。

PFS インスタグラム “pfs_collaboration”



pfs_collaboration

プロフィールを編集



昨年12月に始めました!

Prime Focus Spectrograph

Prime Focus Spectrograph (PFS) is a new facility instrument on the 8.2m Subaru telescope for us to see the universe in 3D © 2010 PFS Project.

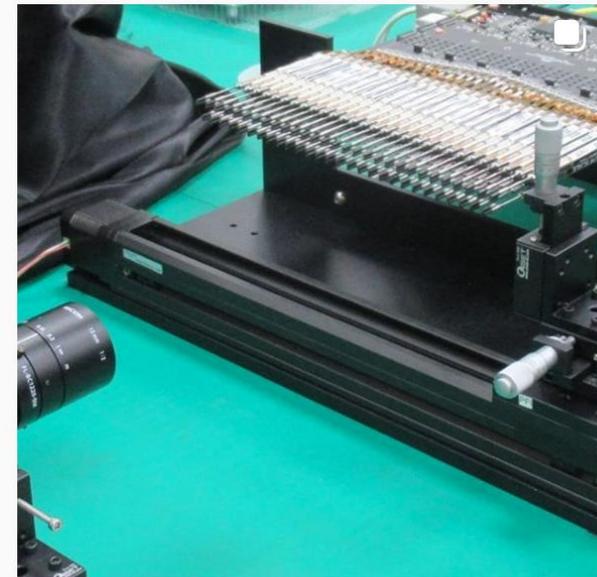
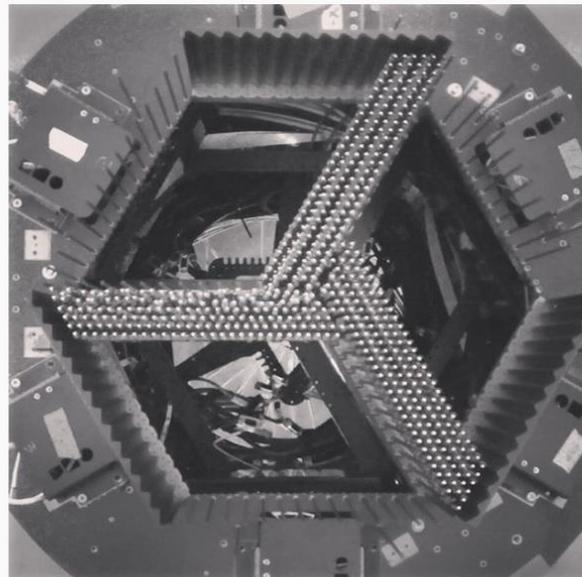
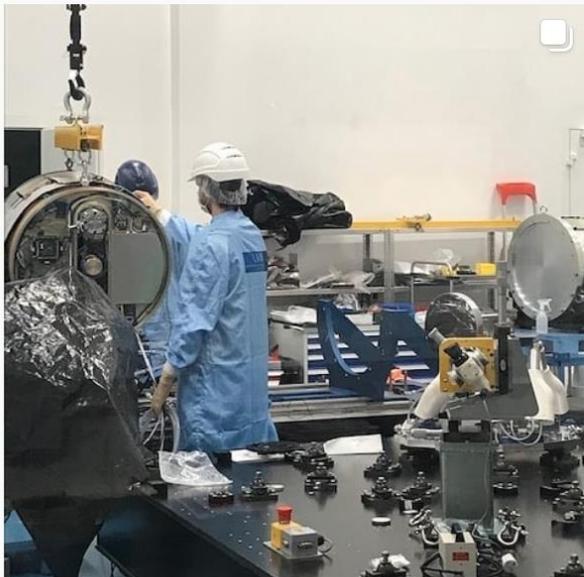
pfs.ipmu.jp

投稿

IGTV

保存済み

タグ付けされている人



PFS (“Prime Focus Spectrograph”)

～ まとめ ～

- すばる望遠鏡との強カタッグで遠くにある・暗い銀河や星まで一網打尽！
 - 直径 1.4 度角の視野に 2394 本の光ファイバー！
 - 広い波長域(0.38-1.26ミクロン)で様々な時代を見渡す！
- IPMU がリードする「すみれ計画」のもと、HSC とのタッグで現代天文学の謎に挑む！
 - 銀河の「生い立ち」と「個性」の起源
 - 宇宙の運命を握るダークマター、ダークエネルギーの正体
- 国際競争を勝ち抜き、日本がサーベイ天文学で世界をリードするチャンス！
 - PFS は ~2022-2023 年科学運用・サーベイ観測開始が目標。
 - 次世代計画との連携で長期にわたリユニークな研究を！

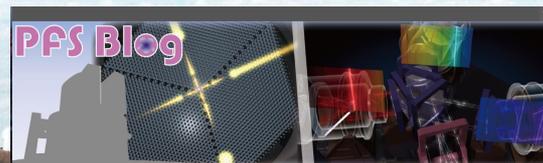
ハワイ島マウナケア山頂: 標高 4200m = 宇宙に近い!

PFS 装置開発にとってのゴール地点であり、
PFS を使って宇宙について新たな知見を獲得するスタート地点でもあります。

PFS ホームページ
pfs.ipmu.jp/ja

PFS ブログ
pfs.ipmu.jp/blog/ja

PFS インスタグラム
[pfs_collaboration](https://www.instagram.com/pfs_collaboration)



- 来年始めから試験観測開始、
- 2022-2023 年ごろから科学運用開始、
の予定。