



すばる望遠鏡における 観測装置開発の現況

美濃和 陽典

(国立天文台ハワイ観測所)

本日のお話し

- 1.すばるで行われている装置開発の現況と、今後の装置運用、開発プランについて
- 2.すばる次世代補償光学プロジェクト(ULTIMATE-Subaru)
- 3.IRCS+AO188用多天体分光スリットモジュールの開発について

現在の装置ラインナップ

7 facility instruments+ 1 facility Adaptive Optics

Visible



IFU搭載予定

FOCAS



S17Aで運用停止

Suprime-Cam



多天体スリット
搭載予定

HDS



宮崎さん講演

HSC

Infrared



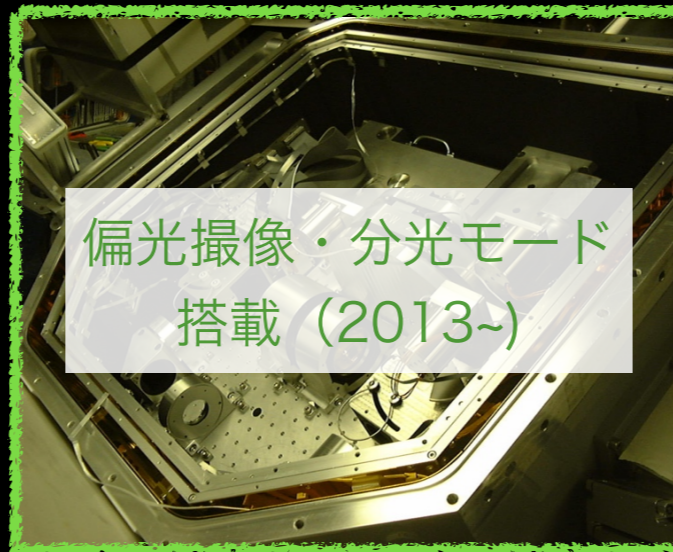
運用停止

FMOS



検出器変更
(2015~)

MOIRCS



偏光撮像・分光モード
搭載 (2013~)

IRCS



COMICS

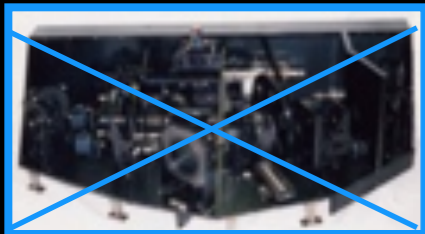


AO188

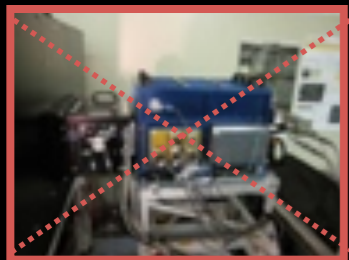
持ち込み装置ラインナップ

NsIR

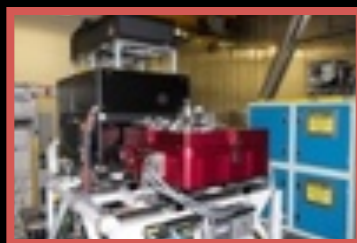
Kyoto3DII
(~2017.2)



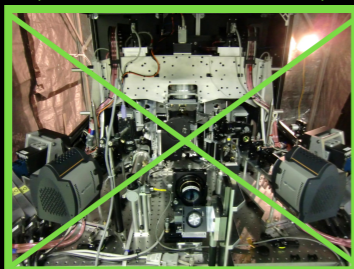
HiCIAO



CHARIS
(2016.7~)



RAVEN
(~2015.7)



IRCS

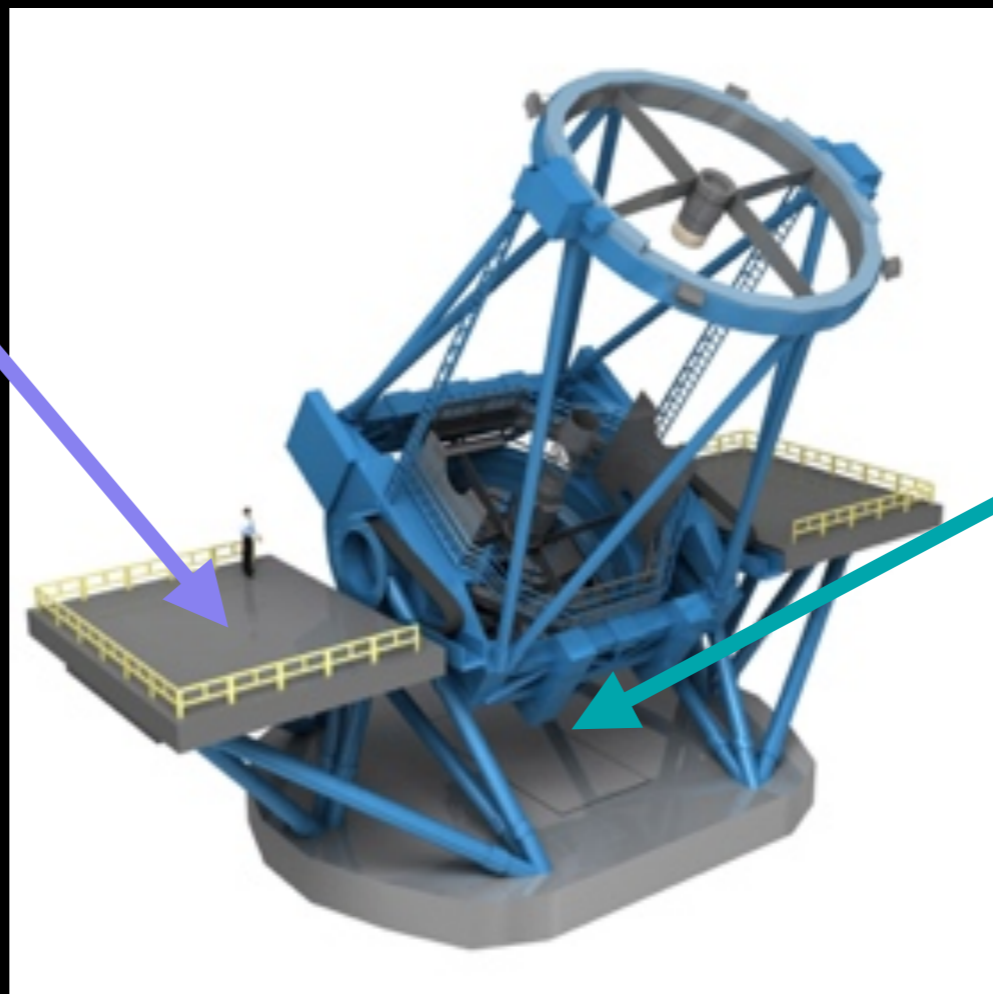
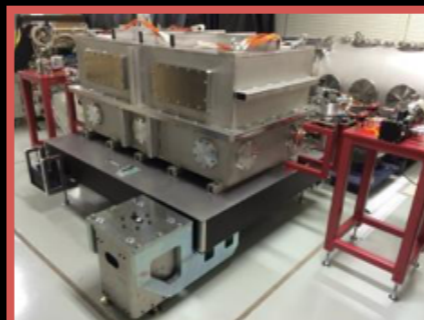
A0188

SCExAO



Coude

IRD(2017.1~)



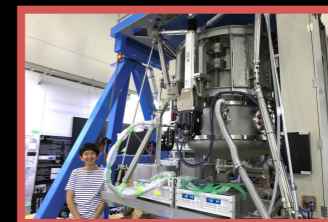
受入審査中の持ち込装置

Cs

SWIMS



MIMIZUKU

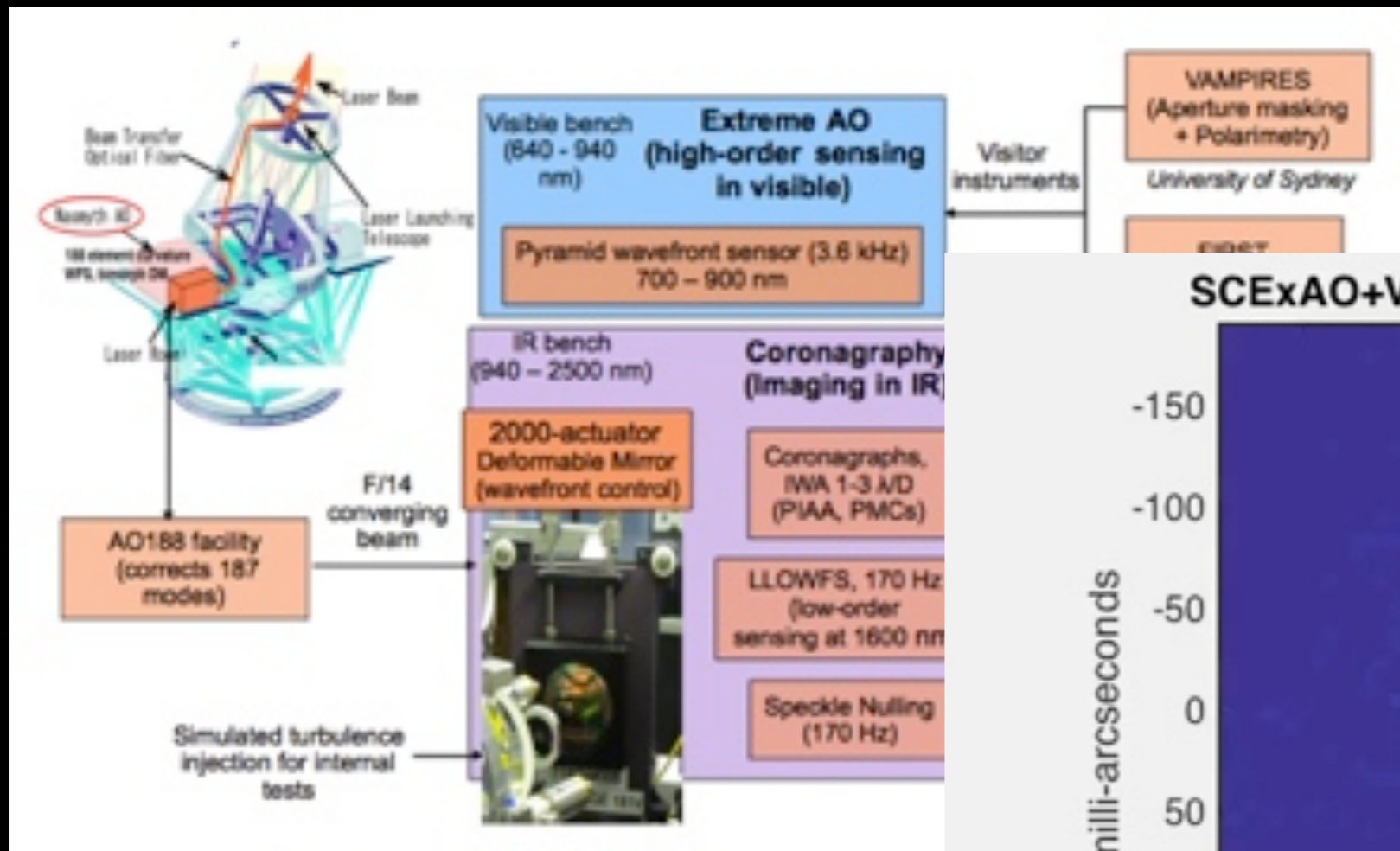


- ・コミッションングのみすばるで行う予定(2017-2018)。
- ・サイエンス観測の予定はなし。

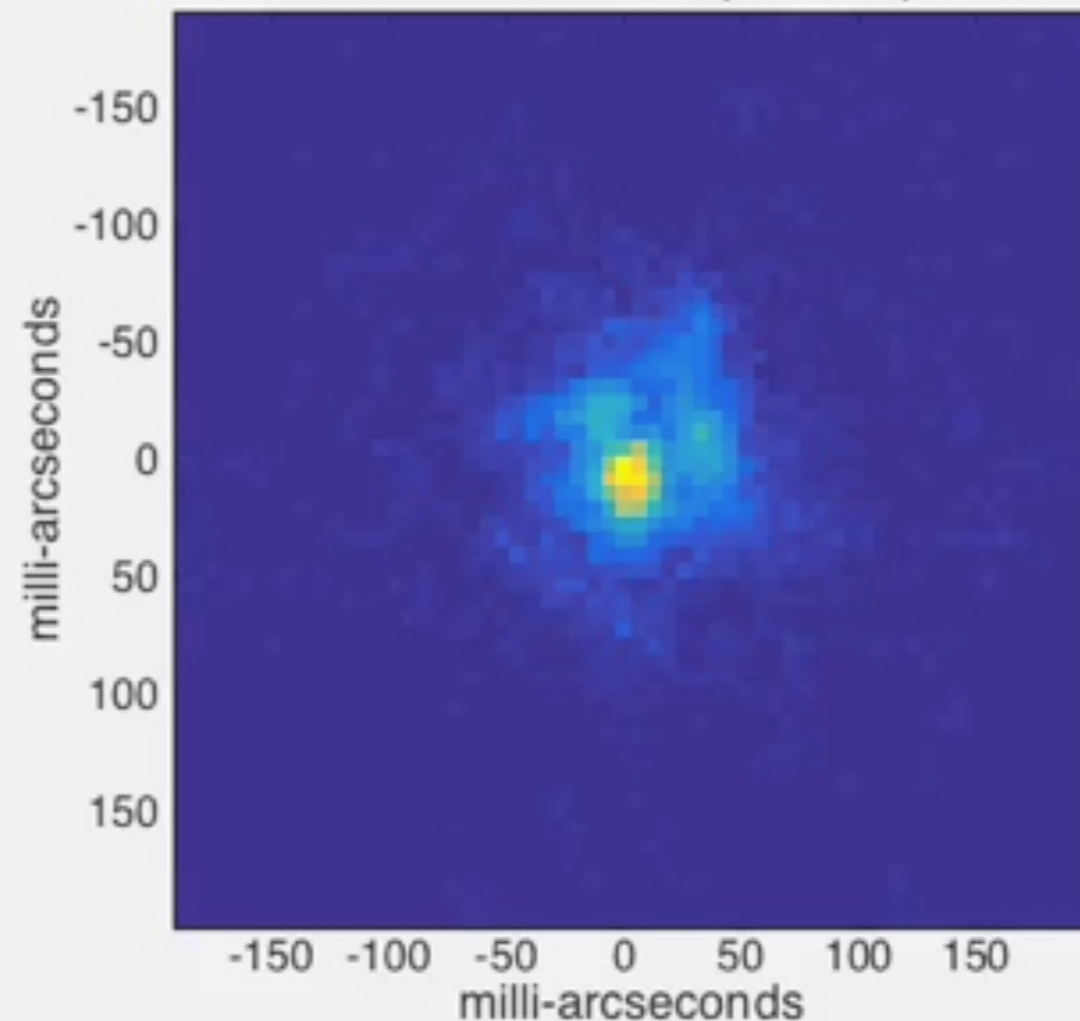
系外惑星探査用持ち込み装置

短いタイムスケールで新しい技術の開発、試験を繰り返し、常に最新の結果を得る

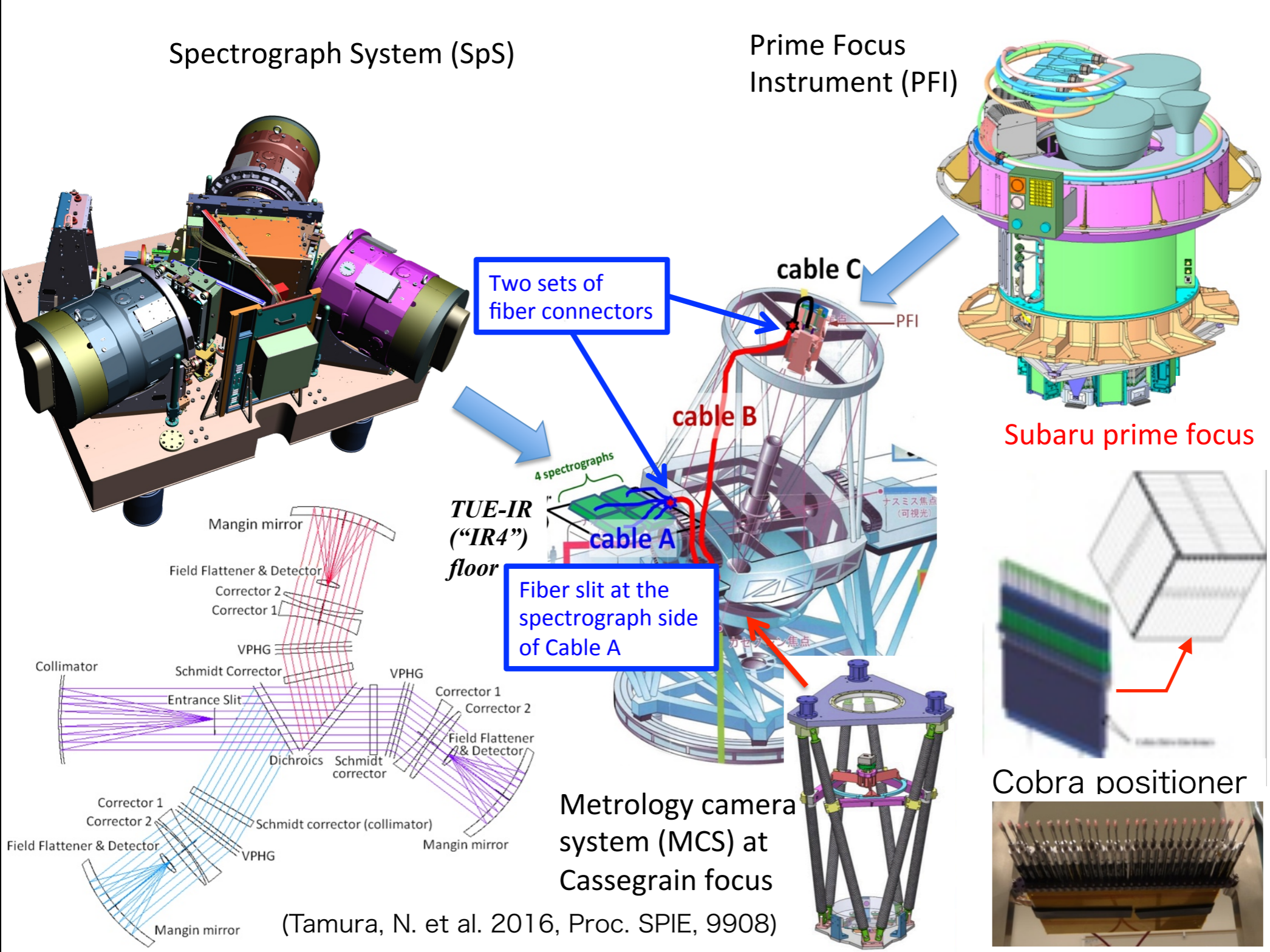
SCExAO: Subaru Coronagraph Extreme AO



SCExAO+VAMPIRES PSF, 625nm, 18ms dit



現在開発中の装置 PFS (Prime Focus Spectrograph)



HSCと主焦点ユニット (POpt2)を共有



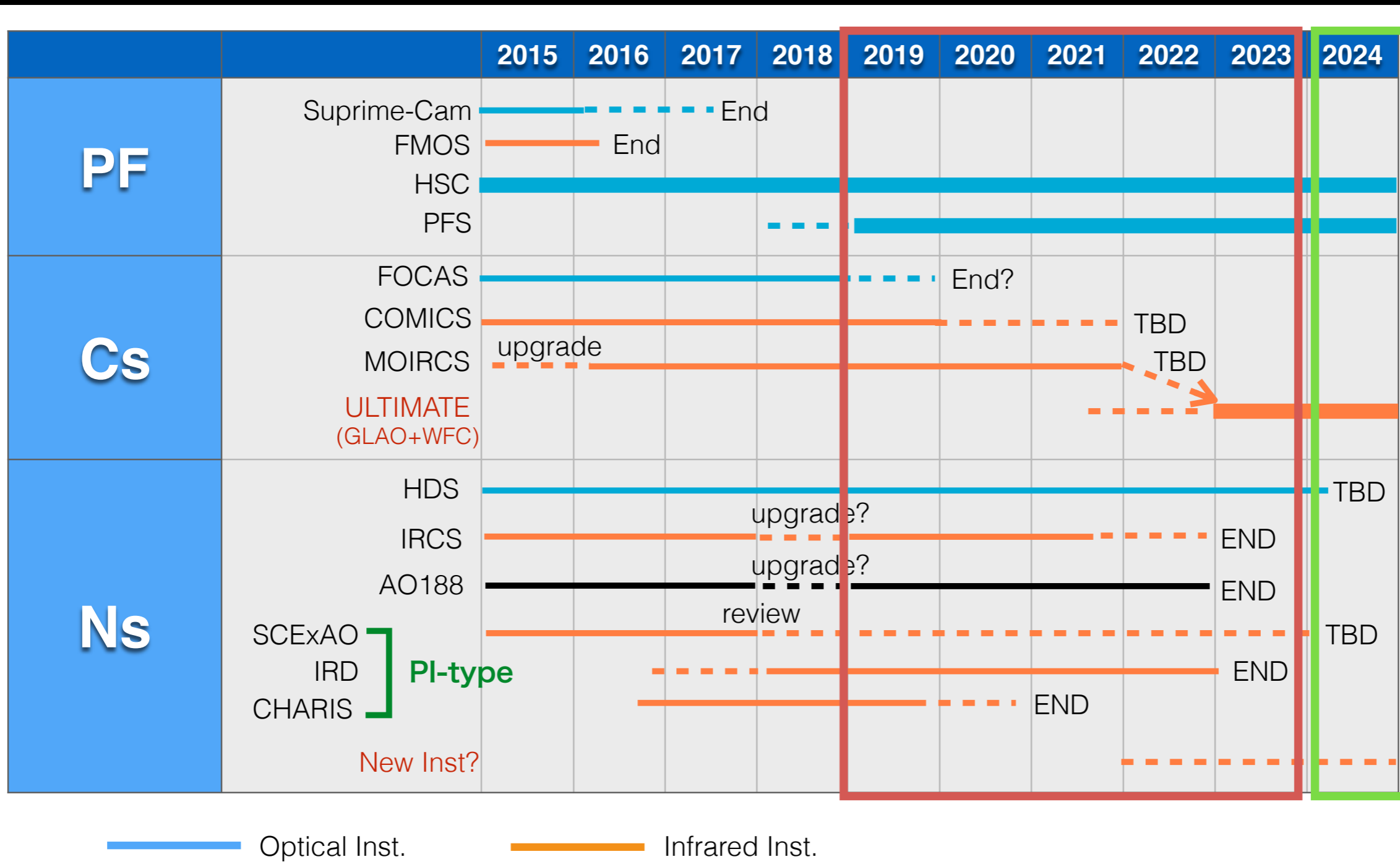
2018年からすばるで試験開始
2019年から運用開始予定

詳細は下農さんの講演で

今後の装置計画



(1). PFS~ULTIMATE

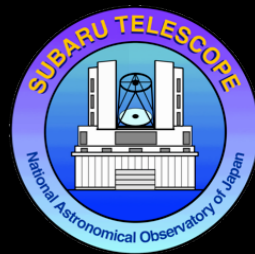


(2). ULTIMATE~TMT



今後の装置計画

- ・ すばるはHSC, PFSでサーベイ望遠鏡として非常にユニーク
- ・ TMTが10年先になるため、しばらくは非サーベイ装置のユニークさも維持しなくてはならない（既存装置のアップグレード、新規装置）
- ・ 一方で、PFS以降はリソース不足のため装置の削減（特にカセグレン）を考えていく必要がある。
- ・ 限られたリソースを最大限に活用するため、競争力のない（機能アップグレードのない）装置はデコミッションしていくなどの「選択と集中」が必要
- ・ 大学からの小規模の持ち込み装置開発、既存装置アップグレードは大歓迎
- ・ どの装置を残すか、アップグレードをしていくかは、観測所でも議論はしているが、最終的にはコミュニティからのインプットが必要
- ・ 次回のすばるユーザーズミーティングで議論



ULTIMATE-SUBARU

with Wide-Field Ground-Layer Adaptive Optics

Subaru Telescope

National Astronomical Observatory of Japan

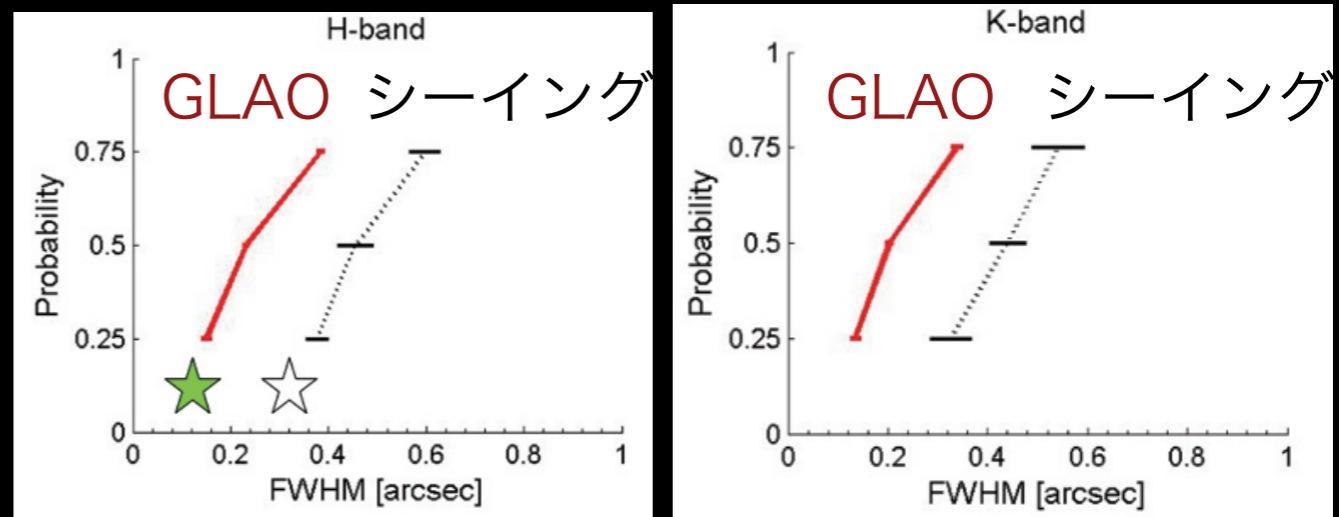
ULTIMATE-Subaru プロジェクトの紹介



すばるの次世代装置開発：近赤外線

地表層補償光学 x 広視野近赤外線装置

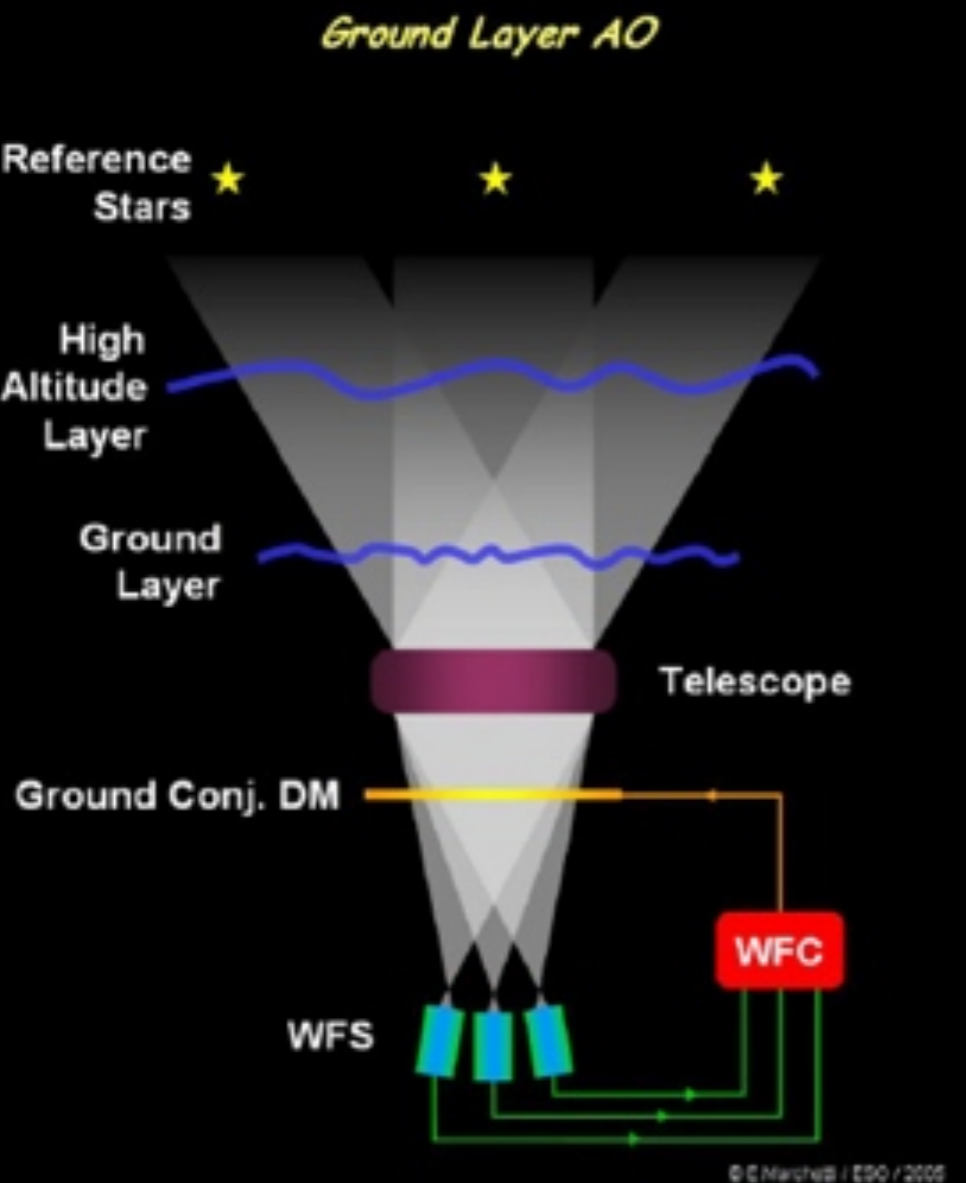
GLAOによる星像改善シミュレーション



On-sky performance with RAVEN

(Oya et al. 2014)

視野20分角超にわたって
一様にシーイングを向上させる
(FWHM < 0.2 arcsec at K-band)



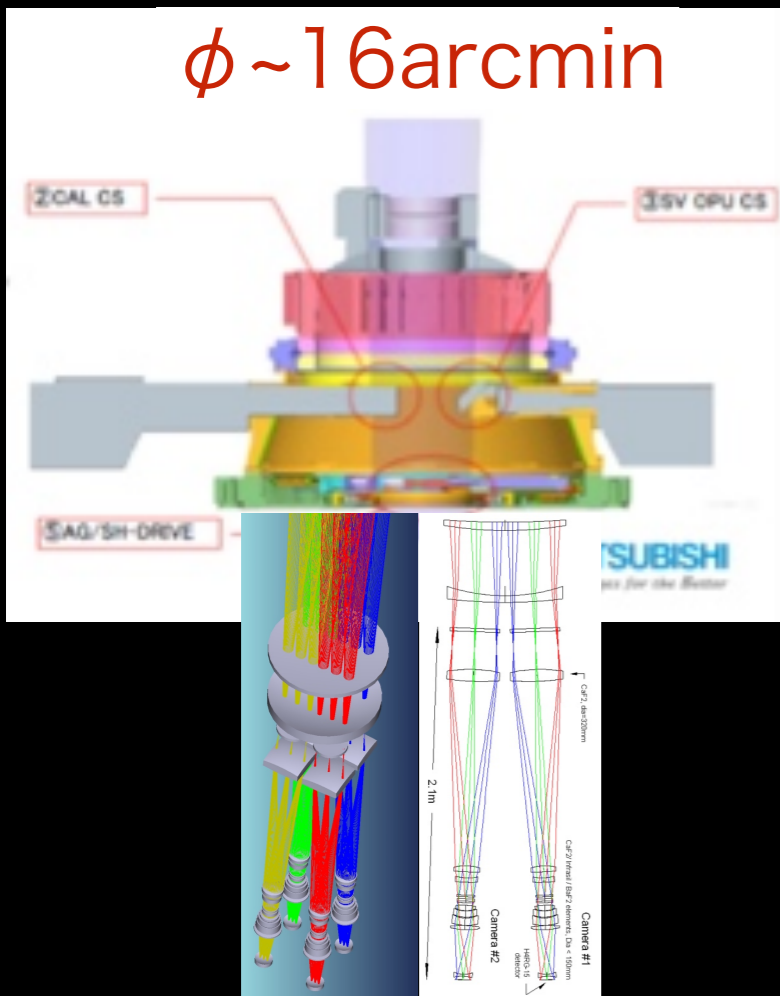
HSC, PFSによるすばるのサーベイ戦略を近赤外線にまで拡張

ULTIMATE-Subaru: 装置概要

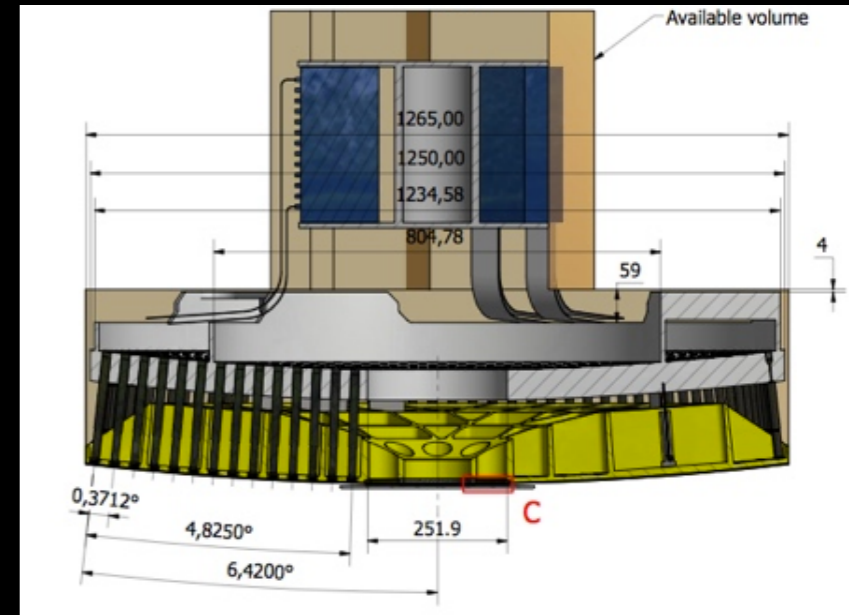
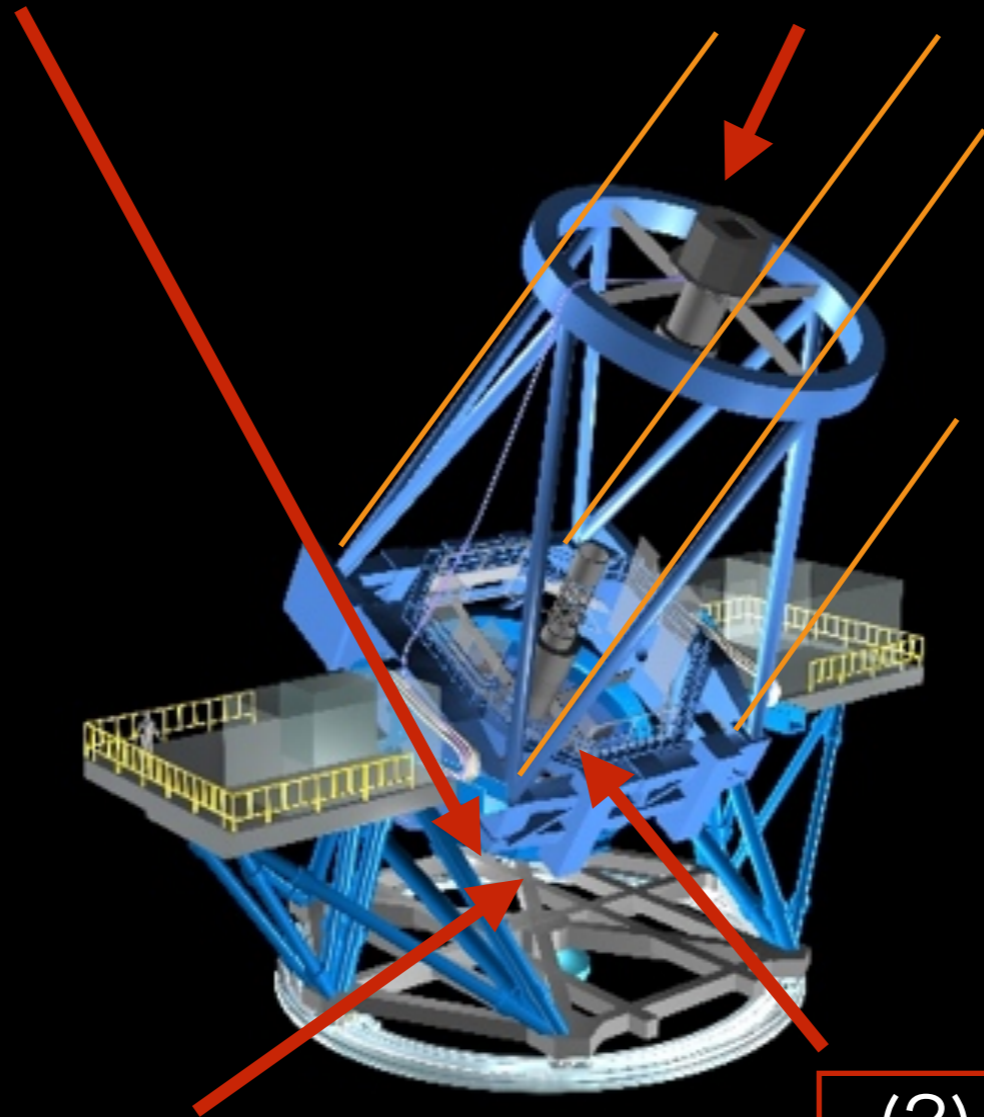
(3) 波面センサー x 8

カセグレン焦点

$\phi \sim 16 \text{ arcmin}$



(1) 可変副鏡



Microgate ADS

(2) レーザーガイド星 x 4

TOPICA ファイバーレーザー (589nm) x 2

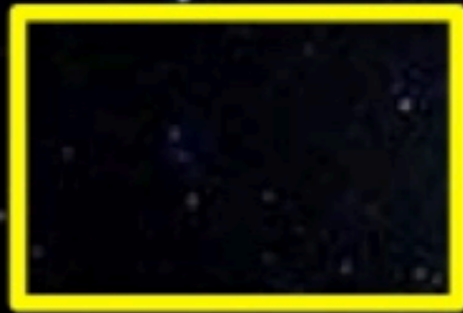
(4) 広視野近赤外線撮像装置

- ・ 撮像装置を第1期装置として検討
- ・ 多天体分光、多天体面分光についても第2期装置として検討

ULTIMATE-Subaru: 視野比較

2020年代の近赤外線装置との視野比較

Subaru/MOIRCS
(4' x 7')



VLT/HAWK-I
(7.5' x 7.5')



ULTIMATE-Subaru
(16' x 16')

Subaru/IRCS
(1' x 1')



HST/WFC3
(2.0' x 2.3')



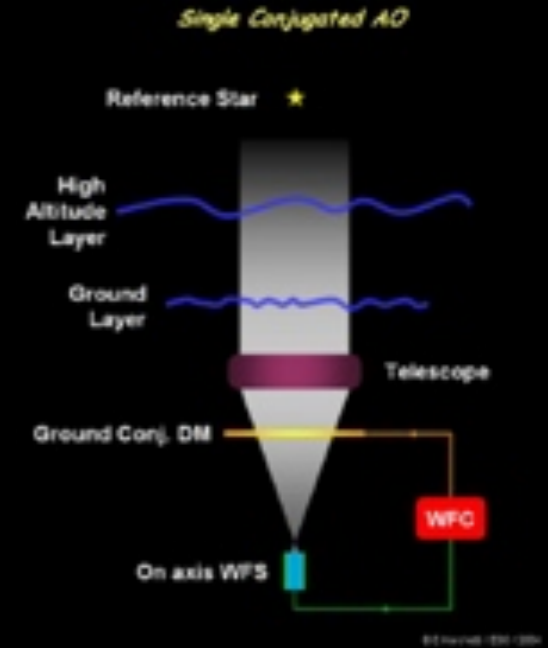
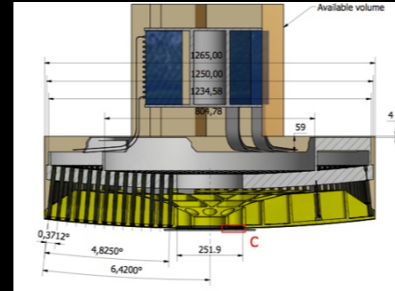
JWST/NIRCAM
(2 x 2.2' x 2.2')

可変副鏡による多様なすばるの性能向上

GLAOだけではなく、望遠鏡自身の性能を向上
非サーベイ観測にも貢献

TMT第1期装置がカバーしない装置仕様をすばる+可変副鏡で実現

- 高分散分光 ($R > 100,000$)
- 熱赤外線観測 (> 3.0 ミクロン)
- 極限補償光学 (Extreme AO)

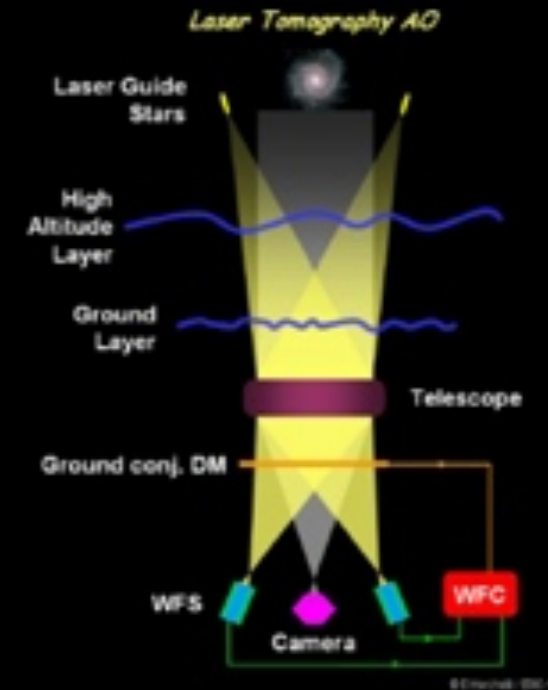


Single Conjugate AO (SCAO)による熱赤外線観測の性能向上

- ストレール比 ~ 1.0 (> 3.0 ミクロン)
- 熱背景放射を増やすことなく、既存赤外線装置(IRCS, COMICS) の性能を大幅に向上

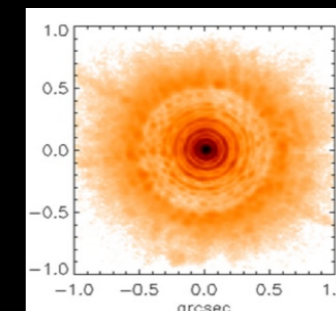
レーザートモグラフィAO (LTAO)による可視域 (< 1.0 micron)の性能向上

- 可視での高ストレーン比 > 0.5 at 0.7 micron
- AO+HDSによる可視高分散分光 ($R \sim 160,000$)
- AO+FOCAS or Kyoto-3DIIによる可視面分光



極限補償光学(ExAO)による可視～近赤外線(0.6-2.5ミクロン)の観測性能向上

- 既存のSubaru Coronagraphic Extreme AO (SCEXAO)の性能、透過率 (感度) 向上
- 可視～近赤外線で高コントラスト観測を実現



Hバンド
ストレーン比 ~ 0.8
LBT可変副鏡

ULTIMATE-Subaru: 今後の方針

- HSC, PFSに続くすばるの広視野戦略としてGLAO+近赤外線装置で大規模近赤外線サーベイを行うULTIMATE-Subaru計画を推進
- 2017年度末のConceptual Design Review、2023年のファーストライトに向けて検討中
 - GLAOと撮像装置のfeasibility studyから開始
- ULTIMATE-Subaruの開発への参加をすばるの国際共同運用への寄与とすることを検討
 - まずはオーストラリアとAO開発の協力体制を築くところから始つつある
 - 観測装置の開発については、オーストラリア、カナダ、台湾との協力体制を検討
- ULTIMATE-Subaruはすばるの次期Facility装置であり、日本のコミュニティの理解と協力が必須
 - ULTIMATE-Subaruのサイエンス検討、装置仕様検討への「日本のコミュニティ」の参加を求む！
 - 日本のコミュニティの意見を元に装置仕様を構築していくべき
 - 今が装置仕様に意見を反映させる絶好のタイミング

ULTIMATE-Subaruの検討（開発、サイエンスどちらでも）

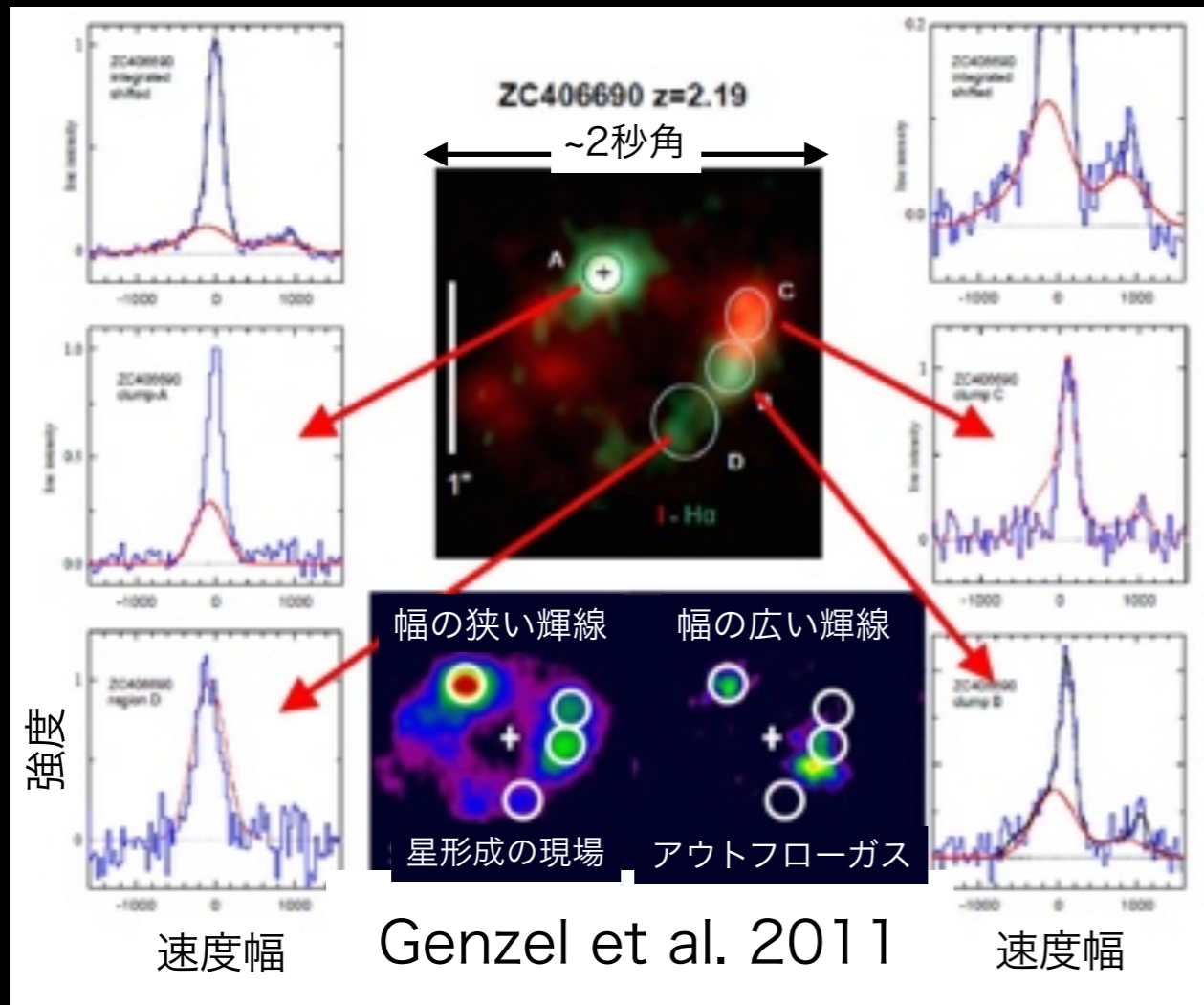
にご関心のある方は是非ご連絡ください



IRCS+AO188用 多天体分光モジュールの開発

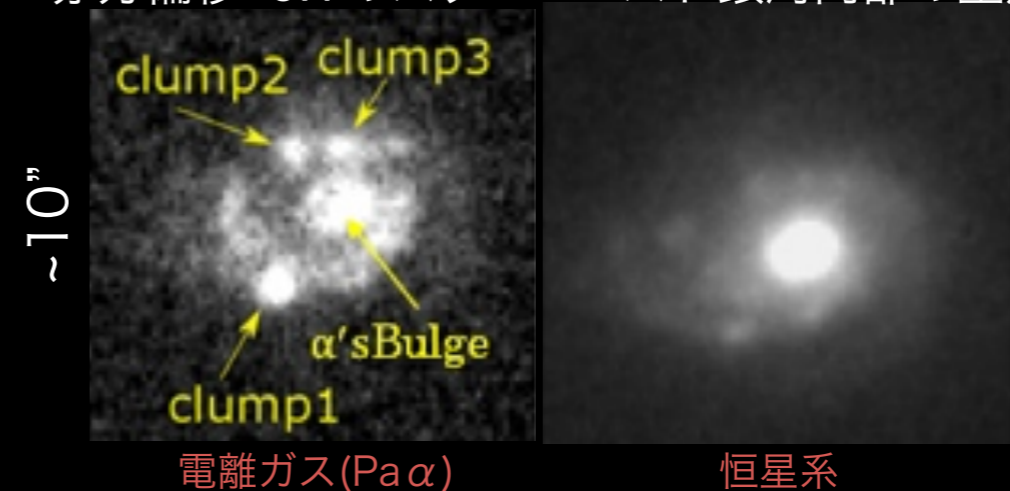
研究の目的：星形成銀河におけるフィードバック過程の解明

VLT/SINFONI (面分光) を用いた
z~2星形成銀河からのアウトフローの研究

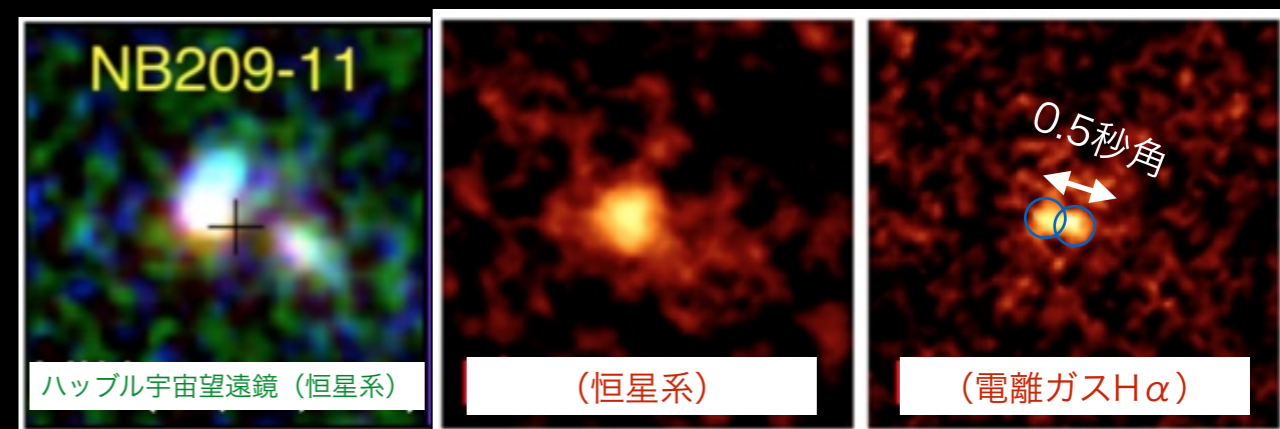


IRCS+AO188の狭帯域撮像による
銀河内部の星形成領域の探査

赤方偏移~0.1のスターバースト銀河内部の星形成



赤方偏移~2.2のコンパクトなクランピー星形成銀河

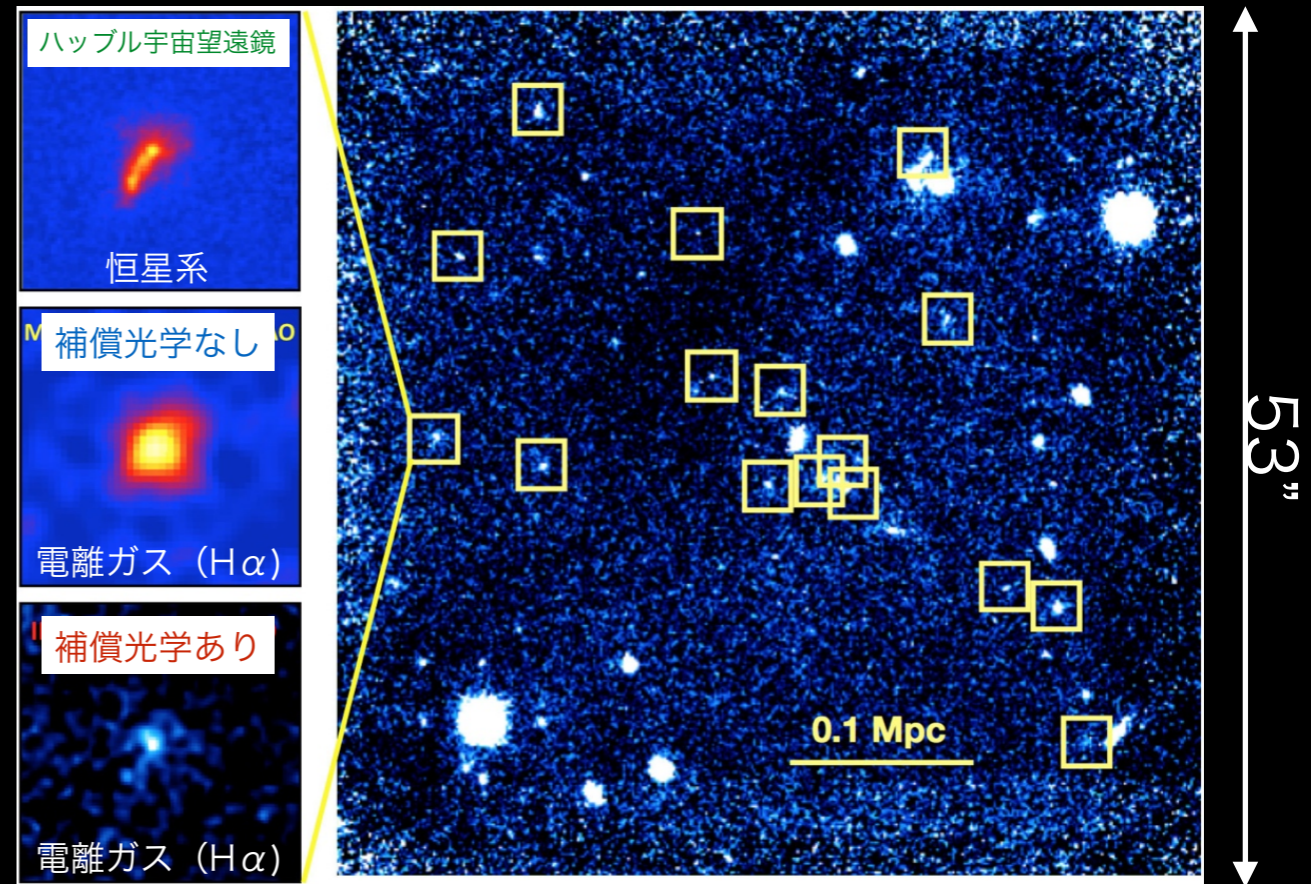


銀河内部の星形成領域クランプからのアウトフローの有無を検証し、星形成におけるフィードバック過程の質量、周辺環境に対する依存性を明らかにする。

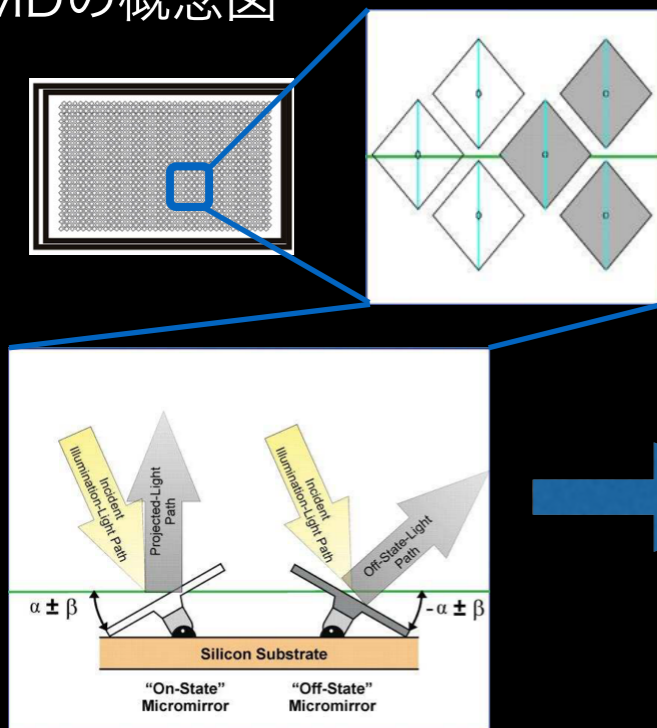
MEMSデバイスを用いた多天体分光

- ・ 補償光学付き多天体分光装置は世界初
- ・ 多天体IFUが理想的だが、VLT/KMOS程度の大規模装置(24IFU/ ϕ 7 arcmin)が必要
- ・ IFUではなく、同一天体内に複数スリットで観測することで、代用できる
- ・ MEMSデバイス (デジタルマイクロミラーデバイス DMD)を用いることで、視野内に自在にスリットを配置することができる
- ・ 将来的に広視野多天体分光器へ応用することを目指す (ULTIMATE-Subaru用多天体分光器など)

赤方偏移~2.5の原始銀河団のH α 輝線画像



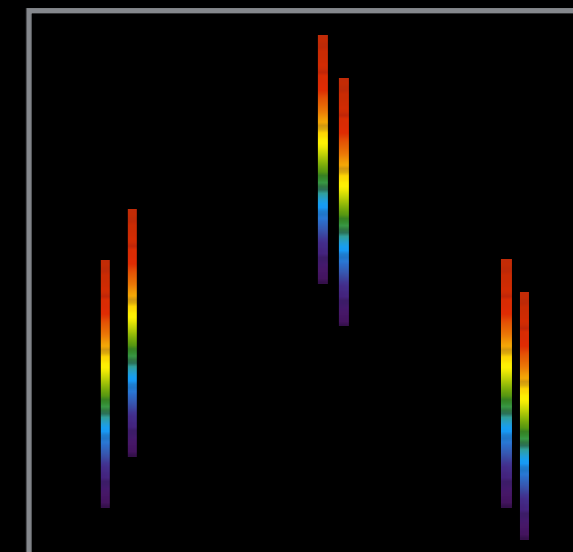
DMDの概念図



スリット配置例

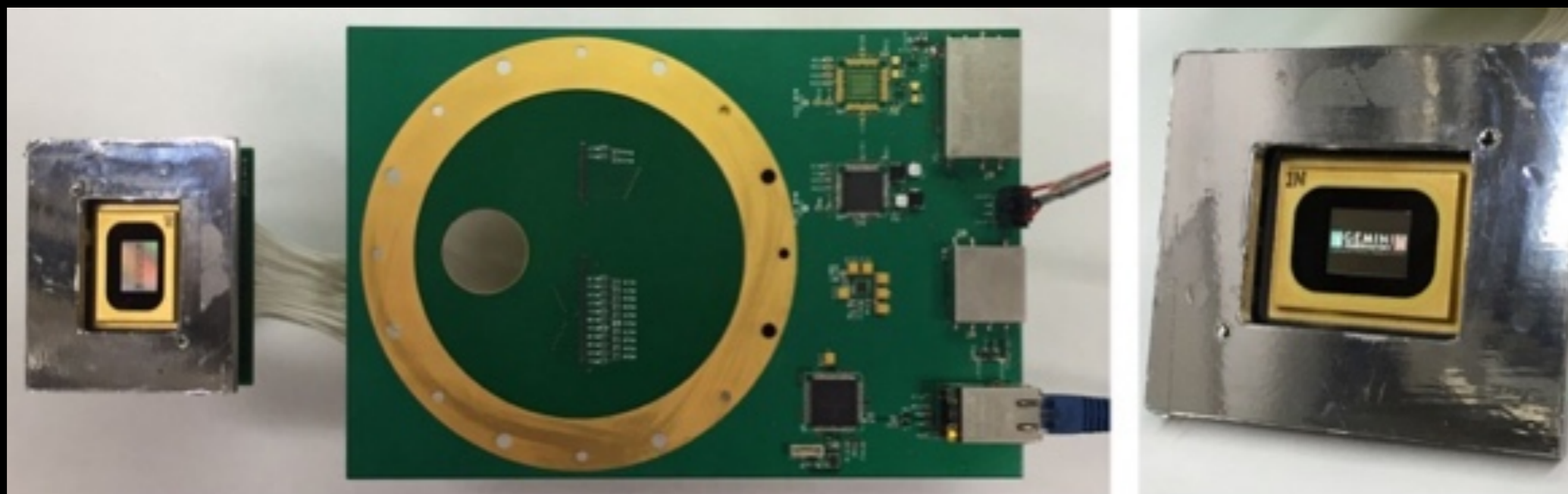


得られるスペクトル



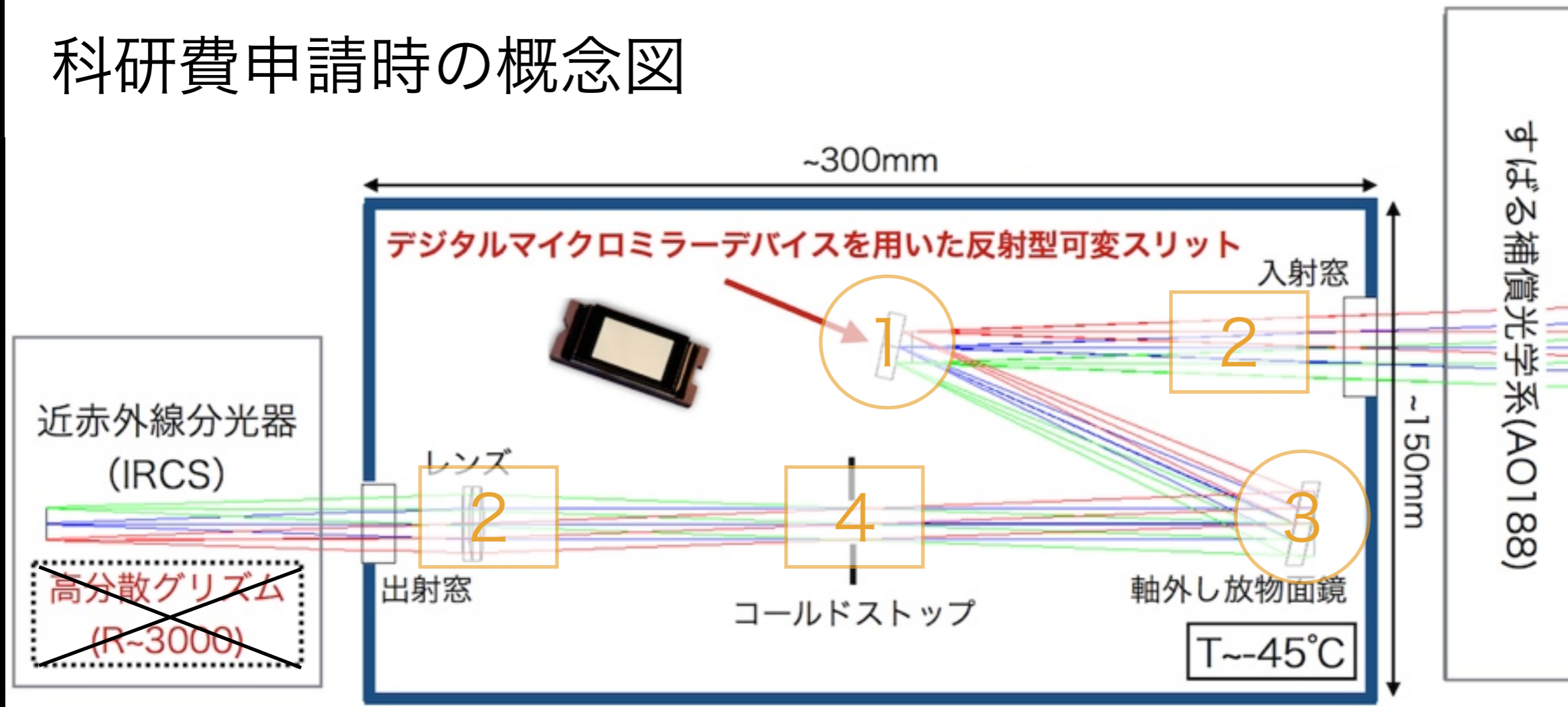
デジタルマイクロミラーデバイス(DMD)

- ・ Texas Instrument DLP series
- ・ 主にプロジェクターで使用されている
- ・ 天文観測装置で利用された例あり (KPNO/IRMOS)
- ・ Johns Hopkins UniversityでGeminiの次期装置計画 (GMOX)用に冷却環境用制御ボードが開発され、試験が行われている。
- ・ Kバンド帯での透過率を確保するために、ウィンドウをCaF₂に交換 (L-1 standards and technology, INC)
- ・ すばるでもJHUからボードを購入し、来年度から試験を行う予定。



IRCS+AO188用多天体分光モジュール

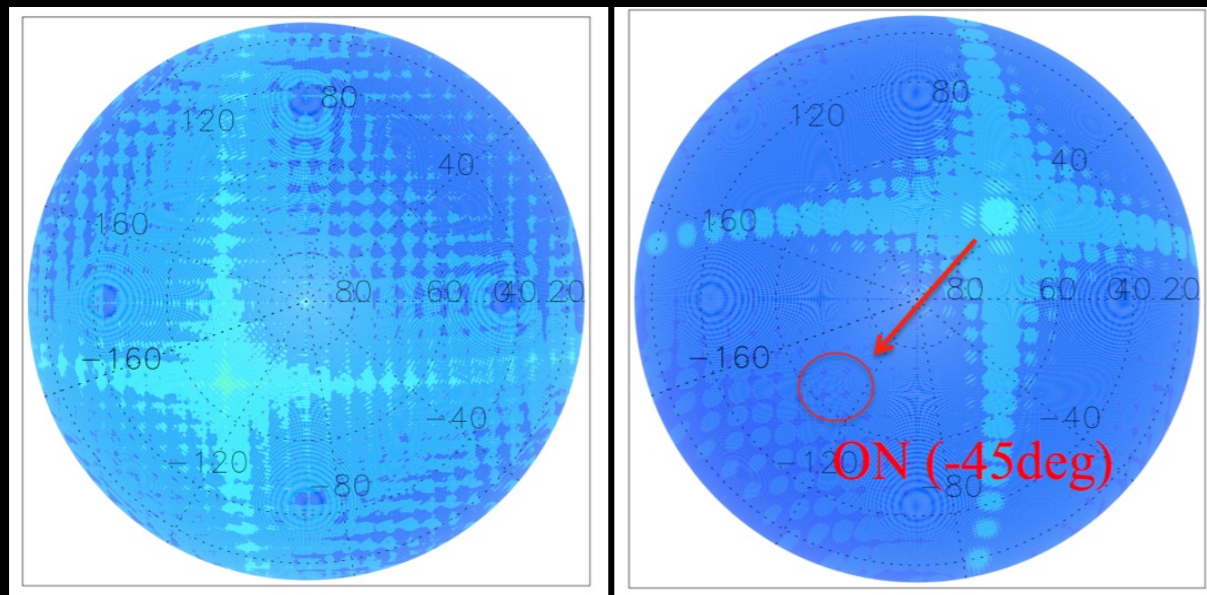
科研費申請時の概念図



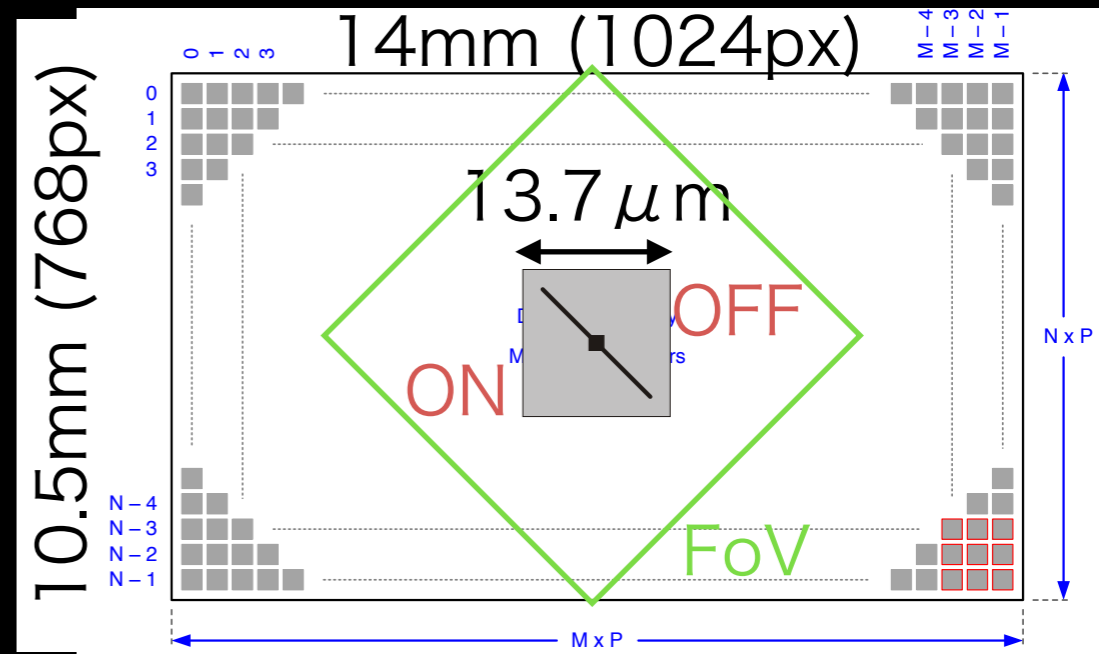
1. 真空冷却環境用DMD制御ボードの入手により、Kバンド帯まで観測モードを拡張。ただし、使用できるDMDのモデルが限定。
2. IRCSの視野(53"x53")を全てカバーするため、**マイクロミラーによる回折の影響**を少なくするため、F変換が必要 (13.9 → 3.5以下)。適切なF比を検討中。
3. コリメータとして、放物面ではなく、球面 (+補正板) を使用。
4. 将来的にチューナブルフィルターを試験するための場所を確保。

マイクロミラーによる回折の影響

Texas Instrument: DLP7000



マイクロミラーに一様光が当たった場合の回折パターン



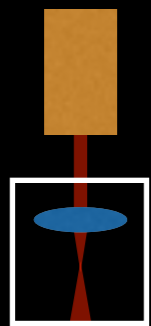
	Scale (mm/arcsec)	Micro-mirror FoV	FoV
F/13.9 (F変換なし)	0.526	0".026	14"x14"
F/3.5	0.132	0".103	56"x56"
F/1.5	0.057	0".241	131"x131"

K-band ($2.2 \mu\text{m}$)
回折限界分解能
~ 0".069

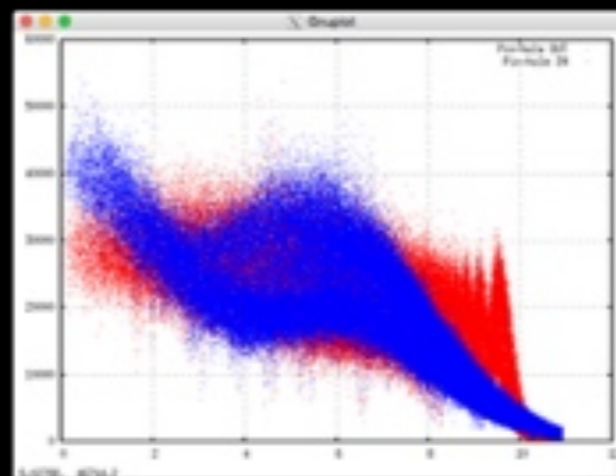
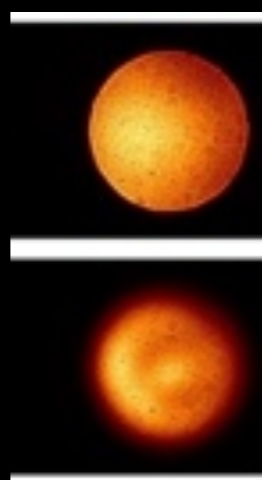
マイクロミラーサイズよりPSFが大きい場合の回折の影響は？

マイクロミラーによる回折の影響

635nm レーザーダイオード



スペーシャルフィルター



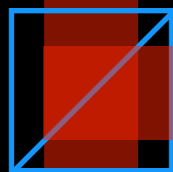
赤: ピンホール有
青: ピンホール無

f=100mm



アイリス

f=150mm



D=2~20mm

可変系鏡

f=100mm

カメラ

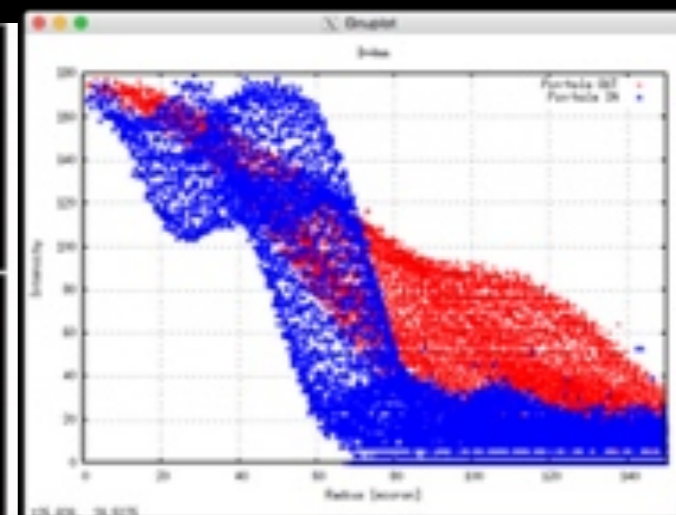
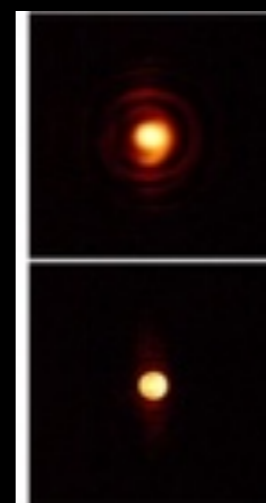
f=500mm

カメラ

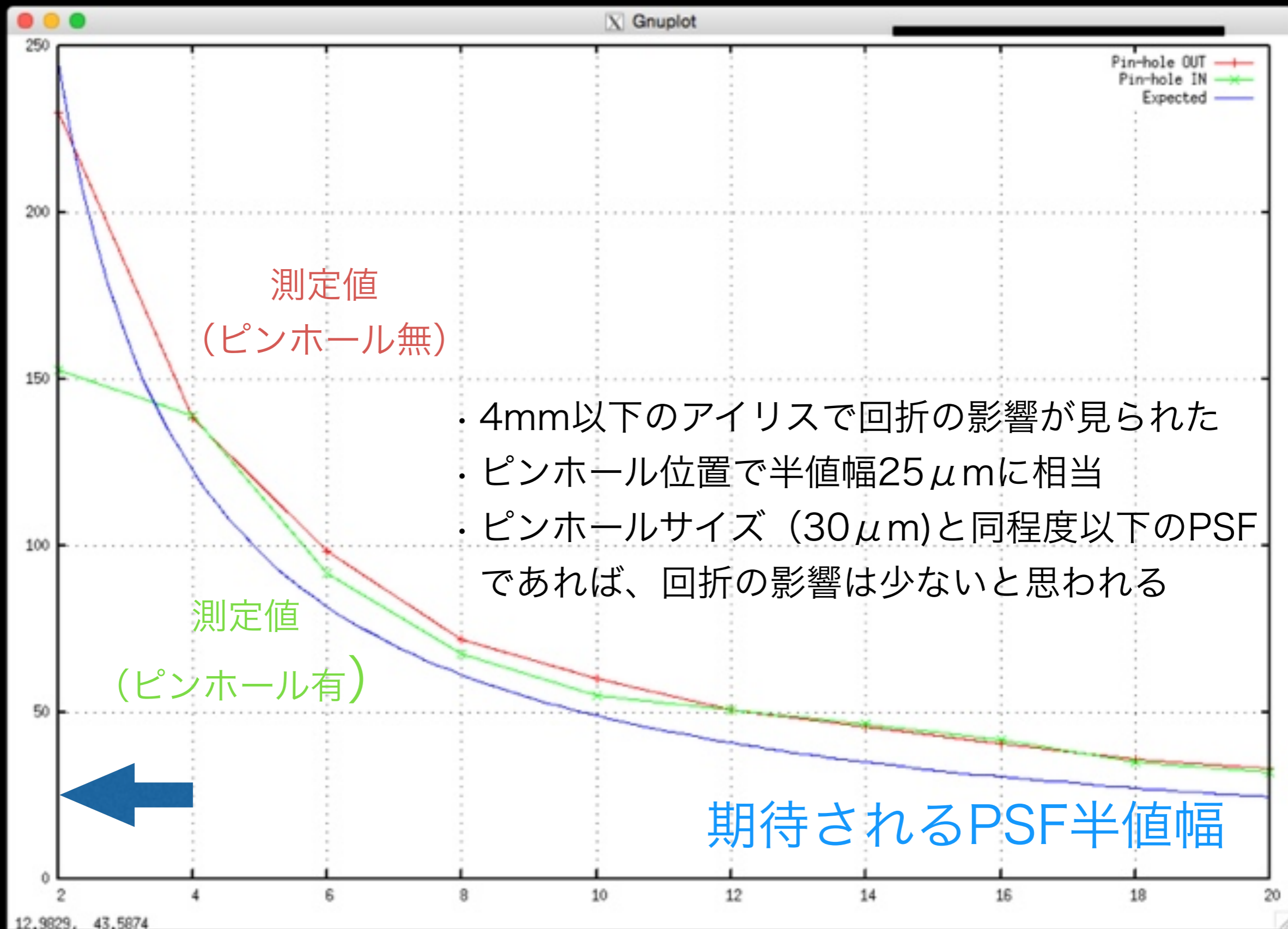
30 μ mピンホール
ピンホール位置でのPSFサイズ:
FWHM=5~50 μ m

大気揺らぎをシミュレート

※今回は平面鏡を使用 (揺らぎなし)



カメラでのPSFサイズ (μm)



測定値
(ピンホール無)

測定値
(ピンホール有)

- 4mm以下のアイリスで回折の影響が見られた
- ピンホール位置で半値幅 $25\mu\text{m}$ に相当
- ピンホールサイズ ($30\mu\text{m}$)と同程度以下のPSFであれば、回折の影響は少ないと思われる

期待されるPSF半値幅

アイリスサイズ (mm)

IRCS+AO188用多天体分光モジュール: まとめ

- MEMSデバイス（デジタルマイクロミラー）を用いた冷却多天体スリットモジュールの開発を行っている
- 本年度から若手A科研費で細々と開発検討を開始、2019年度の観測運用を目指す（が、試験的要素が多分にあるので、on-sky実験で終わる可能性もあり）
- 本年度は、マイクロミラーによる回折の影響を評価し、光学設計に必要なパラメータの決定、DMD単体の冷却試験をJHUと共同で行う
- 来年度以降、実物を使った実験を行う予定