



ハワイ観測所の現況と 将来計画

国立天文台ハワイ観測所

吉田道利



OPTICAL & INFRARED ASTRONOMY FOR THE NEXT DECADE

Keynote/Invited Speakers for Science Sessions

SOLAR SYSTEM

Mike Brown (Caltech)
David Tholen (UH-IfA)
Fumi Yoshida (CIT-PERC)
Glenn Orton (JPL)
Hideyo Kawakita (Kyoto Sangyo U.)
JJ Kavelaars (NRC-HIA)
Rosemary Pike (ASIAA)
Ruobing Dong (U. of Victoria)
Takafumi Ootsubo (JAXA)

EXOPLANET & STAR FORMATION

Motohide Tamura (U. of Tokyo)
Masahiro Ikoma (U. of Tokyo)
Mitsuhiro Honda (Kurume U.)
Olivier Guyon (Subaru/U. of Arizona)
Tyler D. Groff (Princeton U.)
Yumiko Oasa (Saitama U.)

LOCAL GROUP & NEARBY GALAXIES

Vasily Belokurov (U. of Cambridge)
Brent R. Tully (UH-IfA)
Eric Deng (DKU-KIAA)
Karoline Gilbert (STScI)
Kim Venn (Univ of Victoria)
Laura Ferrarese (CNRC-NRC)
Masashi Chiba (Tohoku U.)
Michael Rich (UCLA)

GALAXY FORMATION

Sandra Faber (UCSC/UCO Lick)
Annalisa Pillepich (MPIA)
Caitlin M. Casey (U. of Texas)
Camilla Pacifici (NASA Goddard)
David Sanders (UH-IfA)
Gwen Rudie (Carnegie Observatories)
Ivo Labbe (Swinburne U.)
Sirio Belli (MPE)
Taddy Kodama (Tohoku U.)
Takahiro Morishita (STScI)

SUPERMASSIVE BLACK HOLES

Masayuki Akiyama (Tohoku U.)
Jenny Greene (Princeton U.)
Kohei Ichikawa (Tohoku U.)
Luis Ho (PKU)
Xin Liu (U. of Illinois)
Chris Harrison (ESO)
Silvia Mateos (IFCA)
Stephanie La Massa (Yale U.)

TIME DOMAIN

Jeff Cooke (Swinburne U.)
Francisco Forster (U. Chile)
Marcelle Soares-Santos (Brandeis Univ)
Sigeru Yoshida (Chiba U.)
Takashi Moriya (NAOJ)

General Session

User's Meeting FY2019

International Partnerships

Synergies with WFIRST & TMT

WFIRST Special Session

Large & Intensive Programs

Subaru's Future Instrument (ULTIMATE)
and More!

SUBARU 20TH ANNIVERSARY

THE 5TH NAOJ SYMPOSIUM
THE 7TH SUBARU SCIENTIFIC
MEETING

IN HAWAII

November 17-22, 2019

Waikoloa Beach Marriott
Resort and Spa (HI, US)

Deadlines:

**Abstract Submission
Due on June 15**

**Early Registration
Due on July 31**

See details on the website



<https://subarutelescope.org/subaru20anniv>

すばる20周年記念シンポジウム = 第7回すばるサイエンスミーティング

参加者:244人 (14か国) (外国人100名以上、女性比率20%)

招待講演:53, 一般講演:149, ポスター:57

Participants:

244 people from 14 countries
(gender ratio = Male 4 : Female 1)

Presentation:

Plenary session: 53 talks

Parallel Science sessions: 149 talks + 57 posters

Exoplanet and Star Formation: 20 talks + 5 posters

Galaxy Formation: 37 talks +12 posters

Local Group and Nearby Galaxies

: 29 talks + 4 posters

Solar System: 10 talks

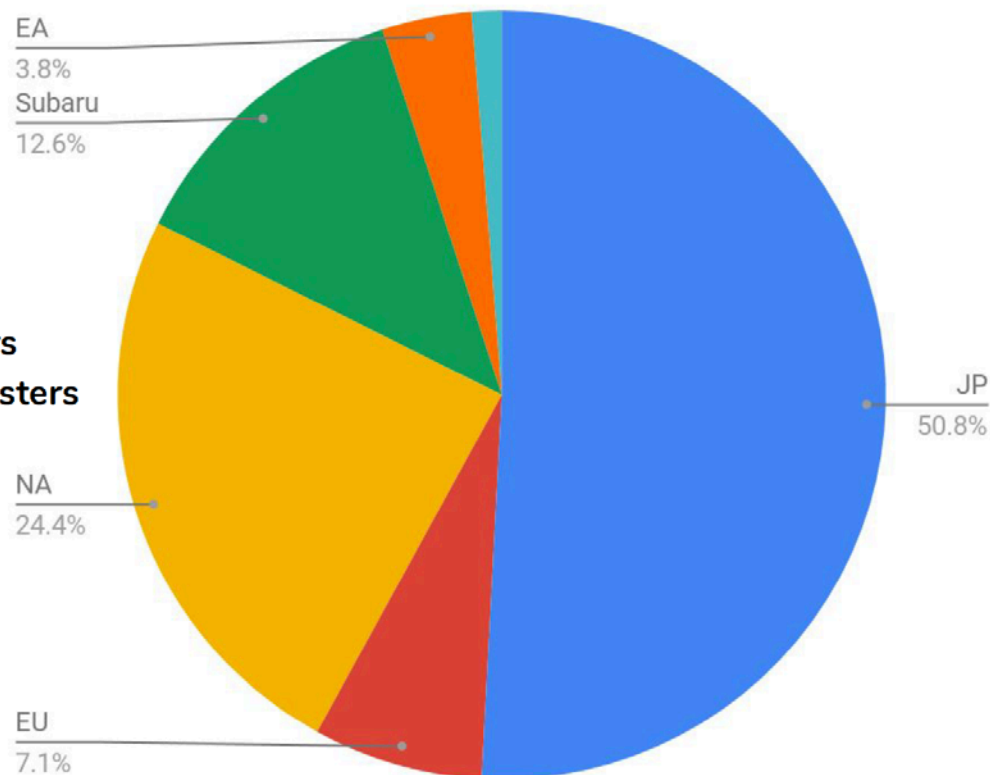
Supermassive Black Hole: 22 talks +5 posters

Time Domain: 12 talks + 2 posters

SMBH & Time: 7 talks

PFS science: 12 talks

Instruments and Software: 29 posters



2020/09/16
Region ratio (affiliation based)

3



2020/09/16

4



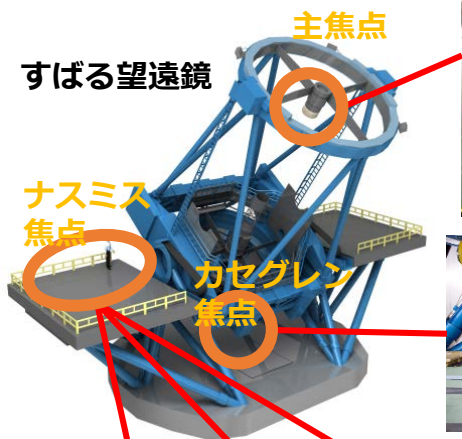
最近の主な観測成果



科学観測における成果

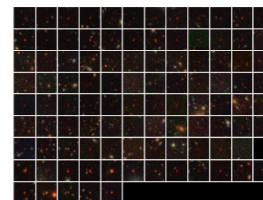
多様な観測装置と最新の科学成果

6

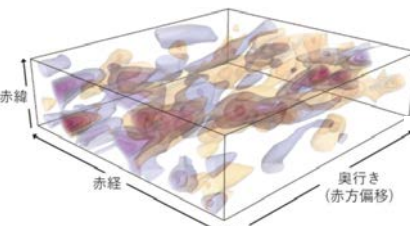


超広視野主焦点カメラHSC

ハッブル宇宙望遠鏡の
1500倍の視野を持つ世界
最高性能の可視光カメラ



宇宙初期に大量の巨大
ブラックホールを発見
(2018,2018)



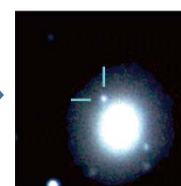
ダークマターの世界最大の
3次元地図の作成 (2018)



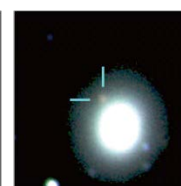
多天体近赤外線撮像分光装置 MOIRCS

400万画素の赤外線検出器を
備え、広視野撮像と50天体
同時多天体分光ができる赤外
線観測装置

2017.08.18-19



2017.08.24-25

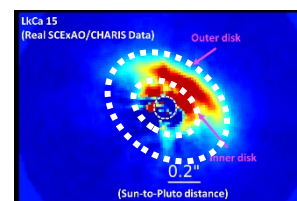


重力波源からの光
をはじめて捉え、
追跡観測すること
に成功 (2017)



近赤外線高コントラスト 面分光装置CHARIS

極限補償光学を用いて超高
解像度で恒星周囲を分光で
きる観測装置

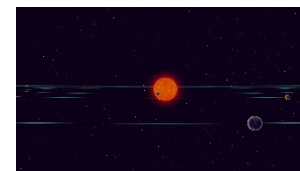


高コントラスト撮像
観測で、太陽系外惑
星と惑星の形成現場
に迫る (2019)



近赤外ドップラー分光装置IRD

恒星の運動を毎秒2mの精度で
測り、恒星の周囲を周る惑星を
検出できる観測装置

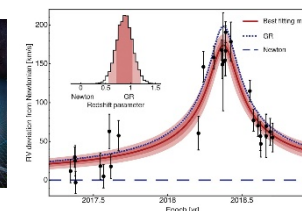
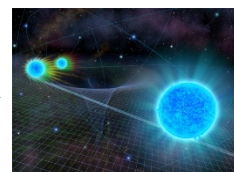


第二の地球候補の軌道面
が恒星の自転軸と垂直で
あることを解明
(2020)



近赤外線分光撮像装置 IRCS

補償光学を用いて高解像度・
高波長分解能で撮像・分光が
できる赤外線観測装置



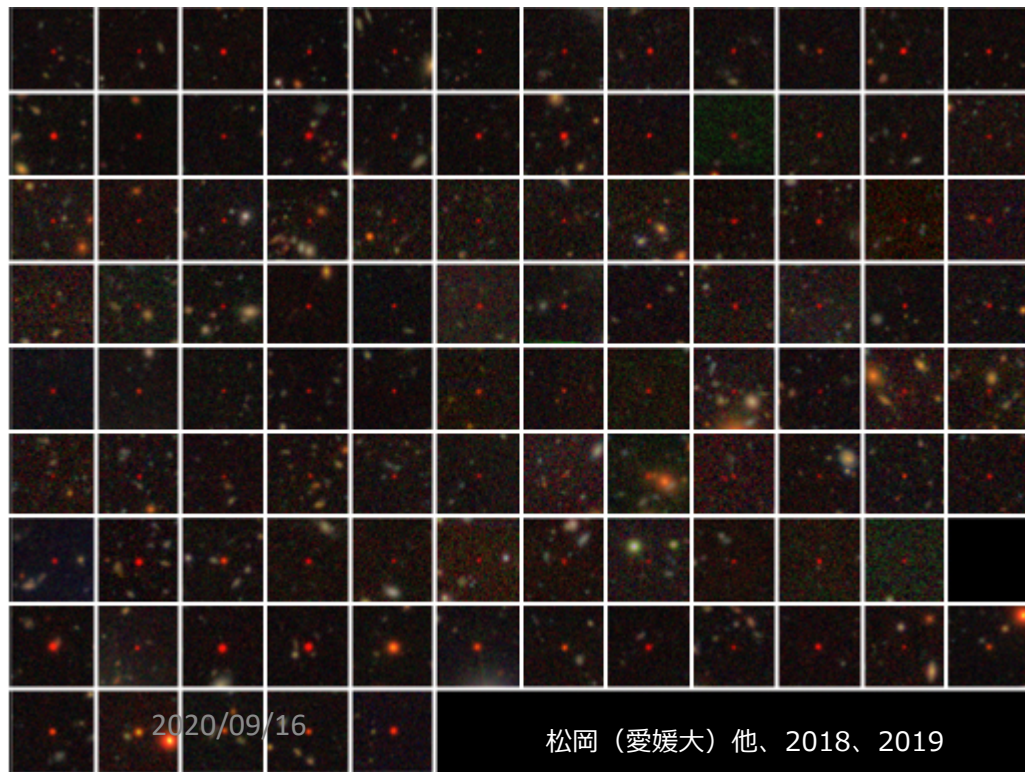
超巨大ブラックホールの周
りの恒星の運動から、ア
インシュタインの一般相対性
理論を検証 (2019)

2020/08/15

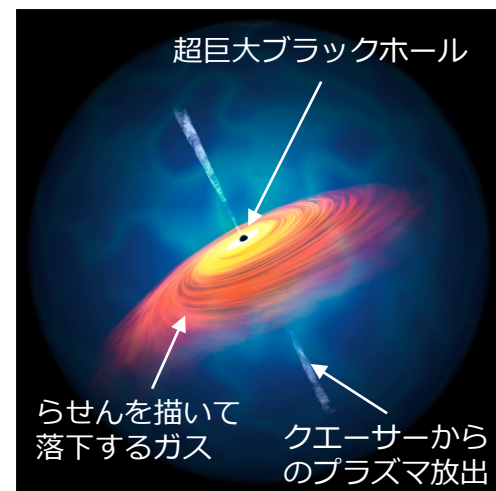
宇宙における天体の形成過程に迫る

宇宙誕生後 10 億年以内の宇宙再電離期に (太陽の1億倍以上の質量を持つ) 超巨大ブラックホールを多数発見 (松岡 (愛媛大) 他、2018、2019)

- 超広視野主焦点カメラHSCの広視野を活かして、宇宙誕生後 10 億年以内の宇宙再電離期に超巨大ブラックホールをエンジンとする「クエーサー」を多数発見。
→ 宇宙初期に超巨大ブラックホールが普遍的に存在することを示すとともに宇宙再電離への影響が明らかになった。



すばる望遠鏡により発見された100個のクエーサー(左図の各格子の中心にある赤い点)。これらのクエーサーは超巨大ブラックホールをエンジンとし、宇宙誕生後10億年に存在していた。



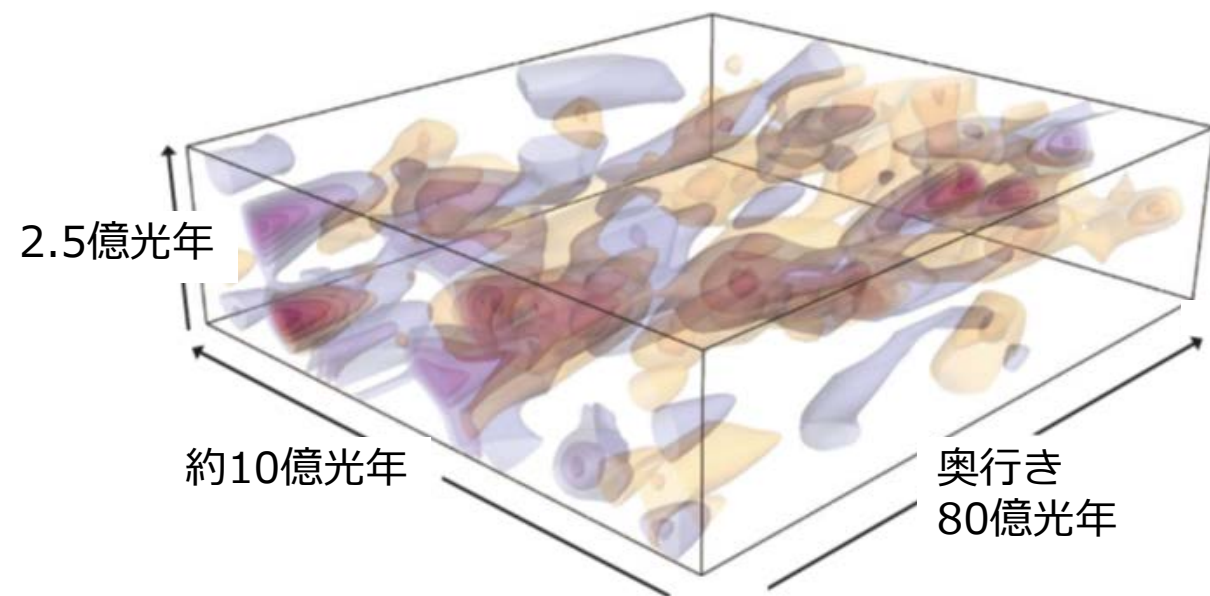
クエーサーの想像図。中心に超巨大ブラックホールがあり、そこに落下するガスが超高温に加熱され、明るく光るとともに、プラズマを放出している。



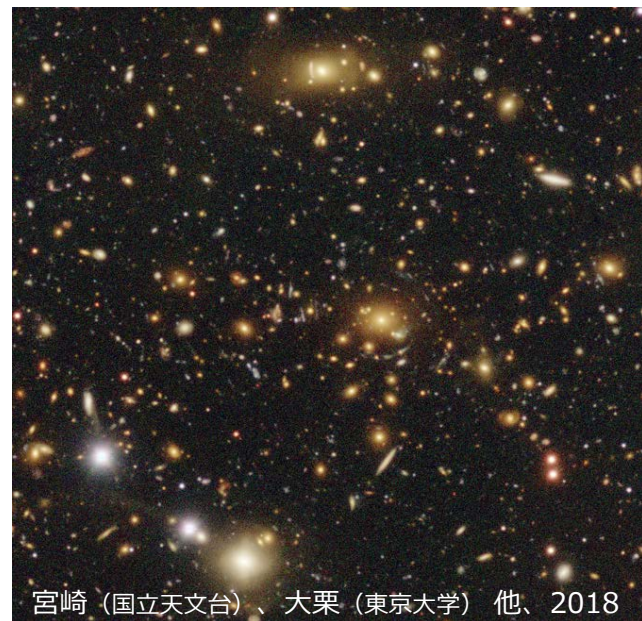
宇宙の大規模構造の起源に迫る

かつてない広さと解像度のダークマターの3次元地図を構築

- 160平方度の範囲で、2000万個以上の銀河を撮影。 (宮崎 (国立天文台)、大栗 (東京大学) 他、2018)
- 銀河の形状を精密に測定し、重力によって光をゆがめるダークマターの分布と銀河の分布を描き出した。その**広さ・解像度ともに史上最高**。
- ダークマター塊の数や質量と宇宙膨張理論モデルを比較することで、**ダークマター・ダークエネルギーの性質に迫る**ことができる。



すばる望遠鏡が明らかにしたダークマターの分布(紫)と銀河の分布(橙)。ダークマターの集積しているところに銀河も密集している(茶色)が、ダークマター塊の間にも銀河の集団があり、その理由については今後の研究が待たれる。



宮崎 (国立天文台)、大栗 (東京大学) 他、2018

左の結果の元となった画像の一部。この画像に写っている天体はすべて遠方銀河である。

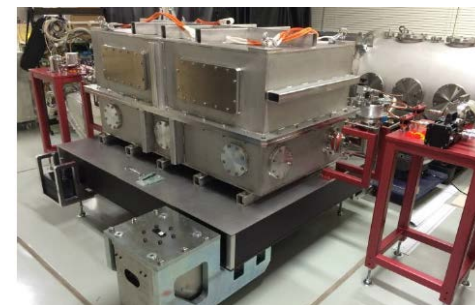


太陽系外惑星の性質を明らかにする

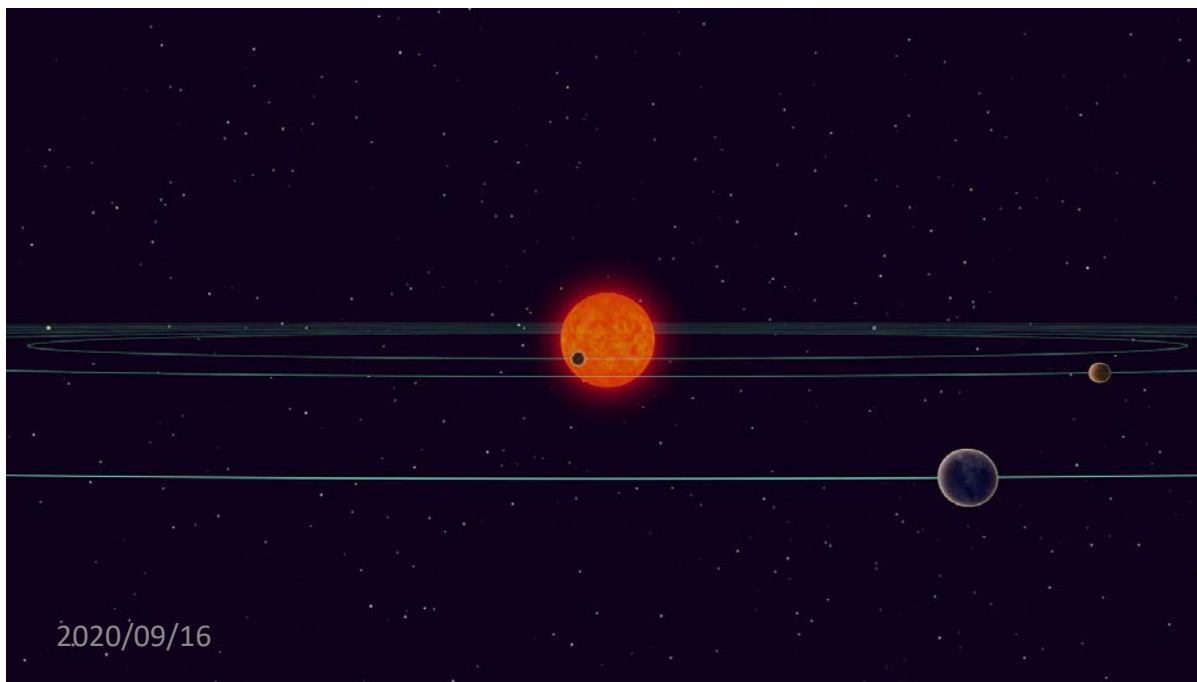
第二の地球候補の軌道面が主星の自転軸と垂直であることを突き止めた

平野（東京工業大学）他、2020

- 近赤外ドップラー分光装置IRDで恒星TRASPPIST-1の動きを超精密に測定した。
- 恒星の周囲を周る3つの惑星の軌道面が主星の自転軸とほぼ垂直でそろっていることを突き止めた。3つの惑星の中には2つの地球型惑星候補が含まれており、地球側惑星候補の軌道面が分かったのは世界初である。
- **地球側惑星検出大規模サーベイの最初の成果**



近赤外ドップラー分光装置IRD



2020/09/16

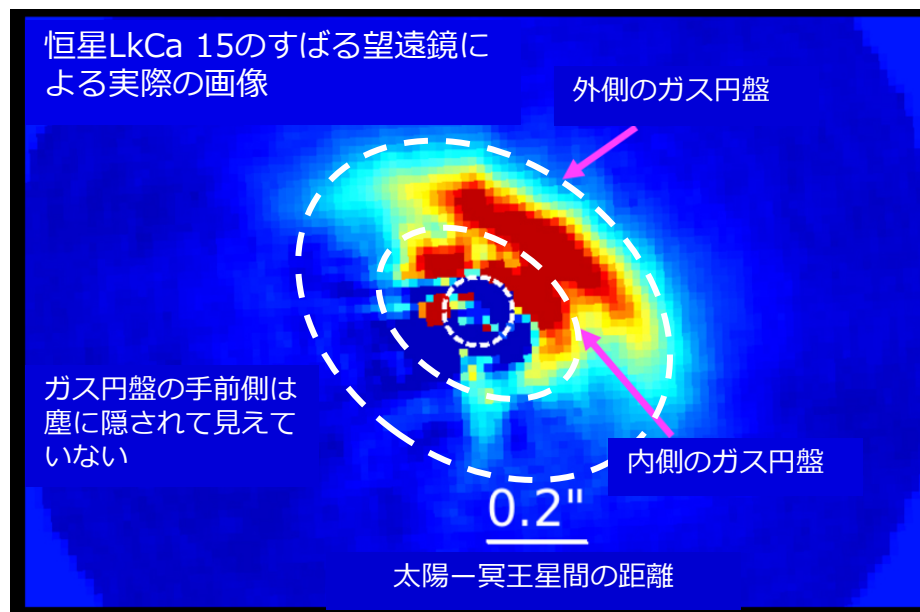
TRASPPIST-1の想像図。IRDで観測した結果、この恒星をまわる3つの惑星（うち2つは地球型惑星候補）の軌道面が主星の自転軸とほぼ垂直でそろっていることがわかった。この惑星系は太陽系に似た構造をしている可能性が示唆される。

惑星の形成過程に迫る

高コントラスト撮像観測で、太陽系外惑星と惑星の誕生現場に迫る

(Currie (NASA研究員)他、2019)

- すばるコロナグラフィック極限補償光学装置 (SCEXAO)と近赤外線高コントラスト面分光装置CHARISを用いて、生まれたばかりの恒星LkCa 15の周囲を詳細観測した。
- 星の周囲に、惑星の元となるガス円盤（原始惑星系円盤）が二重構造をしていることが判明したが、他の観測で示唆されている「惑星」は検出できなかった。
→形成された惑星が小さいことを示唆 →小さい惑星から形成されるのか？
- **若い恒星の周囲での惑星形成過程に新たな知見**を与えた。





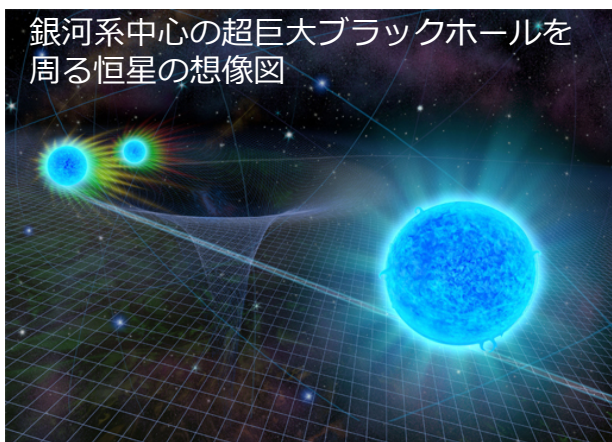
すばる望遠鏡の観測成果

アインシュタインの一般相対論の検証

超巨大ブラックホールを周る恒星を観測し、アインシュタインの一般相対性理論の検証をした

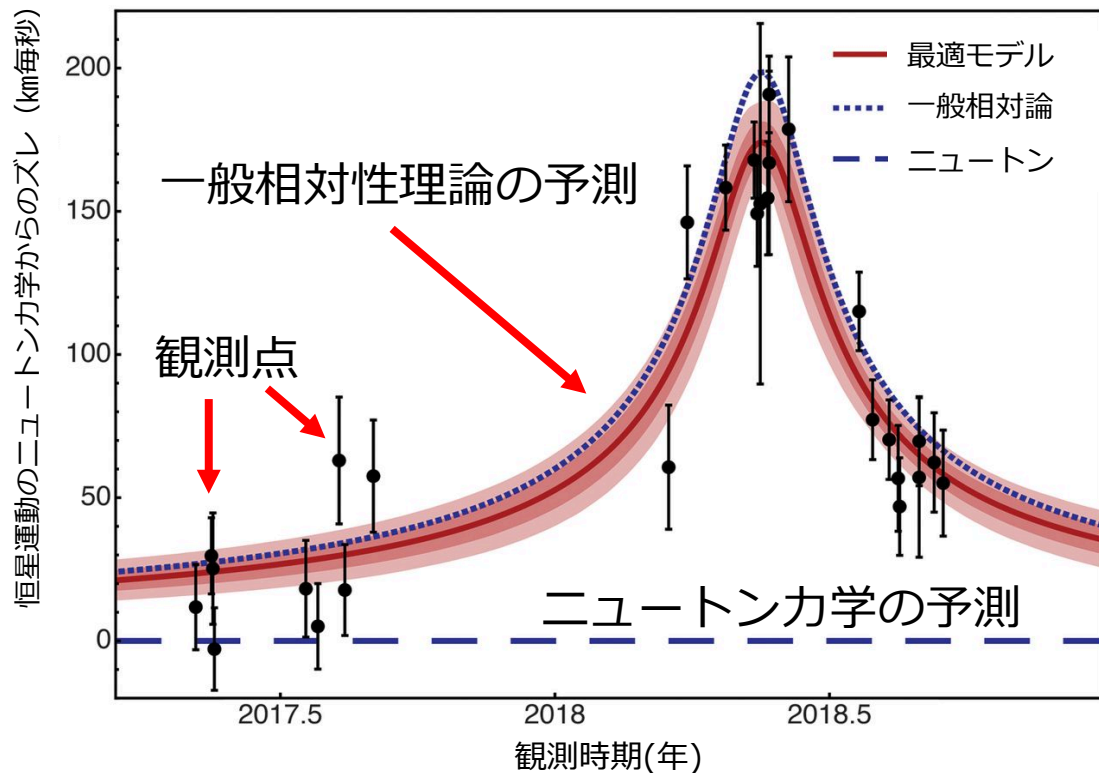
(Do (カリフォルニア大)、西山 (宮城教育大)他、2019)

- すばる望遠鏡の補償光学装置を用いて、我々の銀河系中心の超巨大ブラックホールを周る恒星の運動を観測（ケック望遠鏡と共同）
- 観測された運動が、一般相対性理論の予測する運動と見事に一致。**強重力場での一般相対性理論を検証**した。



銀河系中心の超巨大ブラックホールを周る恒星の想像図

すばる望遠鏡とケック望遠鏡が観測した恒星の運動（右図・黒丸）。ニュートン力学の予測（水平破線）と大きくずれており、一般相対性理論の予測（点線）と非常によく一致している。



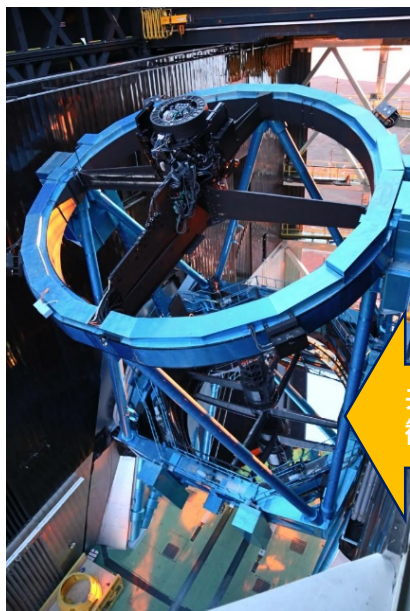


すばる望遠鏡の国際共同研究

ニューホライゾンとの共同観測

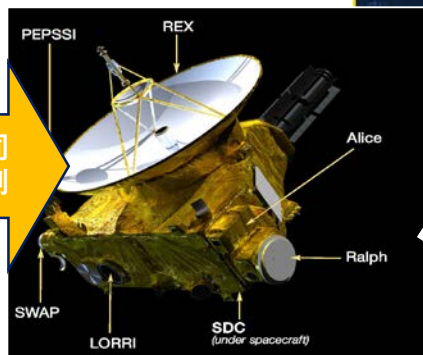
NASAの惑星探査機ニューホライゾンと、すばる望遠鏡との国際共同観測を行い、太陽系の外縁天体の謎に迫る。

- すばる望遠鏡で太陽系外縁天体を発見し、ニューホライゾンで近接撮影する。
→ 暗い太陽系外縁天体の発見は、超広視野主焦点カメラを持つすばる望遠鏡でしかできない。NASAから共同観測の強い要望。
- ニューホライゾンの近接撮影で謎に包まれた太陽系外縁天体の詳細に迫る。
- 5月、6月、8月、10月に合計15半夜（HSC）を割り当てて観測実施。

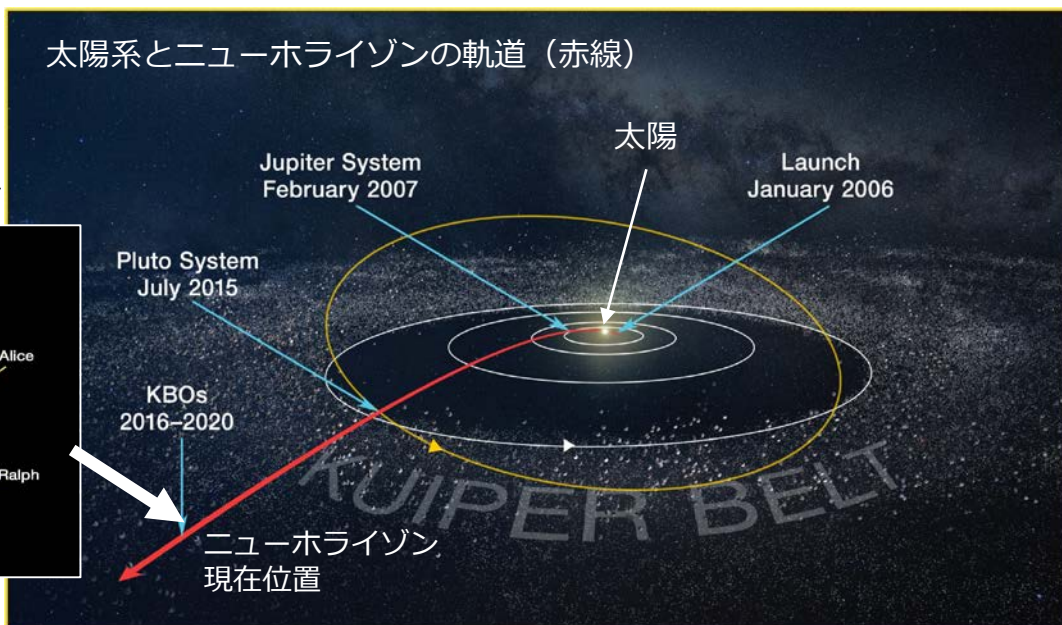


すばる望遠鏡

ニューホライゾン



共同
観測

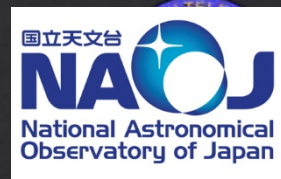




観測装置



稼働中の観測装置



◇ 観測所共同利用装置

- ◇ 主焦点超広視野カメラ: HSC [Pr]
- ◇ 微光天体撮像分光装置: FOCAS [Cs]
- ◇ 高分散分光器: HDS [Ns]
- ◇ 多天体近赤外撮像分光装置: MOIRCS [Cs]
- ◇ 近赤外線撮像分光装置: IRCS [Ns]
- ◇ 冷却中間赤外線撮像分光装置: COMICS [Cs] → 共同利用停止(2020/7)

◇ 持ち込み装置 (PIタイプ装置)

- ◇ 赤外線ドップラー分光装置: IRD [Coude]
- ◇ コロナグラフ高解像撮像分光装置: CHARIS [Ns]
- ◇ すばる極限補償光学装置: SCE_xAO [Ns]

◇ adaptive optics

- ◇ 188 素子波面補償光学装置: AO188 [Ns]

新観測装置

IRD (赤外線ドップラー分光装置)

- ◇ A fiber fed **high-dispersion ($R=70,000$) NIR spectrograph** with laser frequency comb → precision of radial velocity measurement ~ 2 m/s in H-band
- ◇ Detection of earth-like mass planets around M-dwarfs
- ◇ Science operation started in S18B.
- ◇ SSP started in S19A.



開発中の観測装置

PFS (超広視野多天体分光器)

(2023年より科学運用開始予定)

A fiber fed **multi-object spectrograph** attached to the prime focus of Subaru

2,400 fibers FOV: **1.25 deg²**

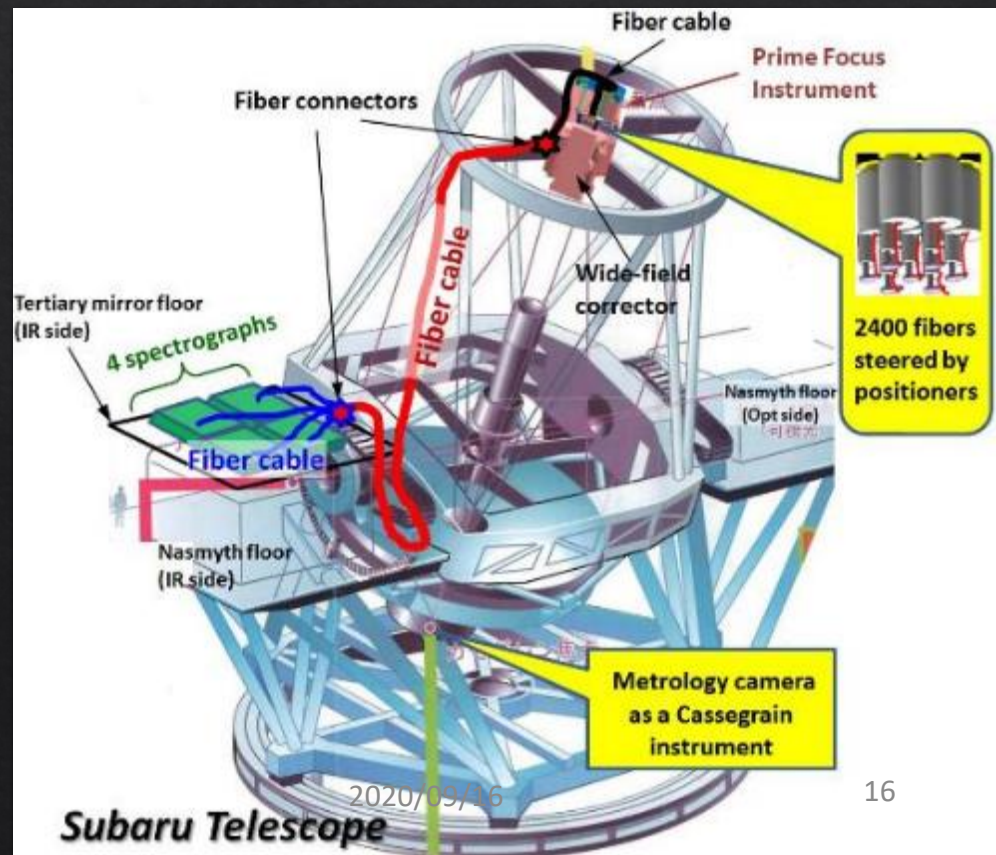
λ range: 0.38 – 1.26 μm

Spec. R: 2,300 – 5,000

Sensitivity

Band	magnitude
Blue (0.38 – 0.65 μm)	22.5
Red (0.65 – 0.97 μm)	22.4
NIR (0.97 – 1.26 μm)	21.4

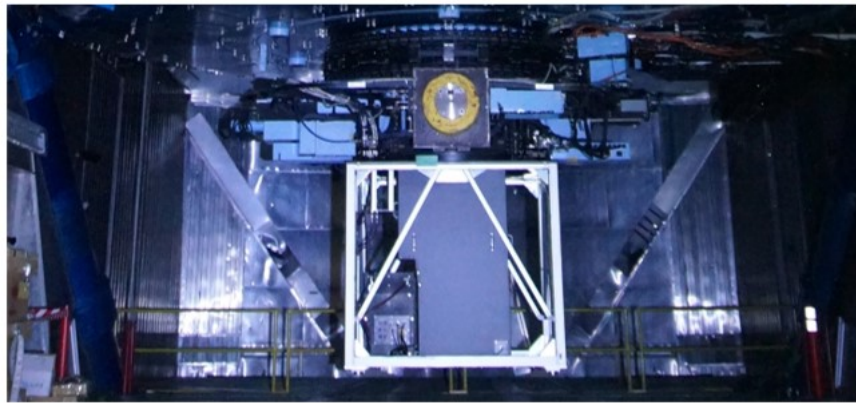
S/N = 5 @ 1 hour exposure



すばる望遠鏡に設置されたPFSの コンポーネント



分光器1号機
(2019年設置・試験中)



メトロジカメラ
(2018年設置・試験終了)

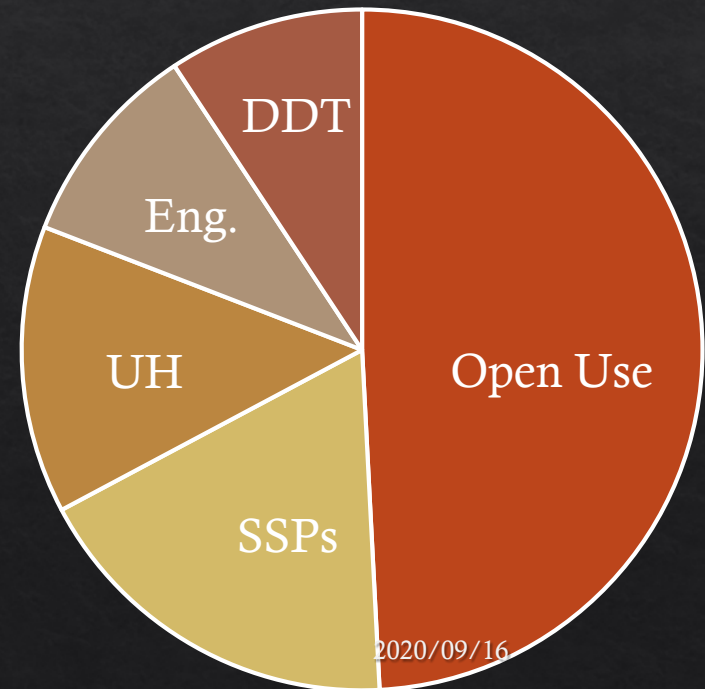


共同利用運用とその成果

◇ 望遠鏡時間のカテゴリ (夜数/半期)

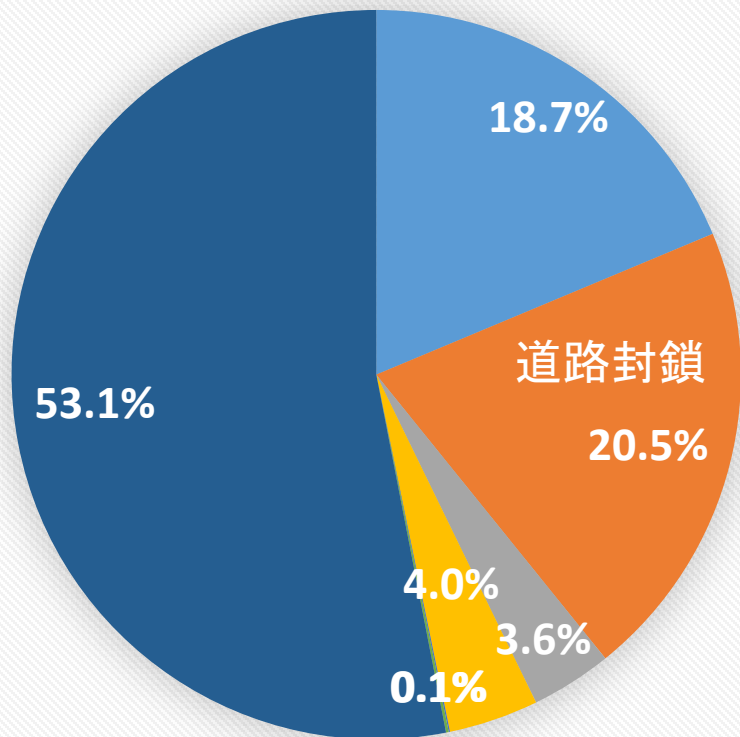
1. 一般共同利用 (Open Use) (80 – 100 夜)
2. すばる戦略枠プログラム (SSPs) (30 - 35 夜)
3. ハワイ大学時間 (UH) (26 夜)
4. エンジニアリング時間 (18 夜)
5. 所長時間 (DDT)

(18 夜: 半分はSSPに割り当て)



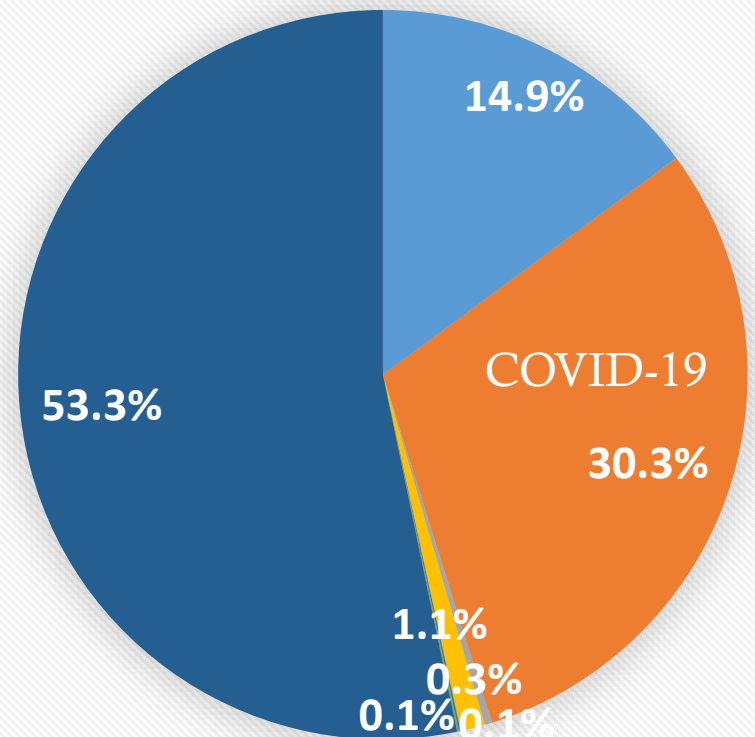
観測時間(除Engineering Time)実績 (S19B~S20A)

Subaru Science Operation : S19B



Weather Other Instrument Telescope
Gen2 Operation Observation

Subaru Science Operation : S20A

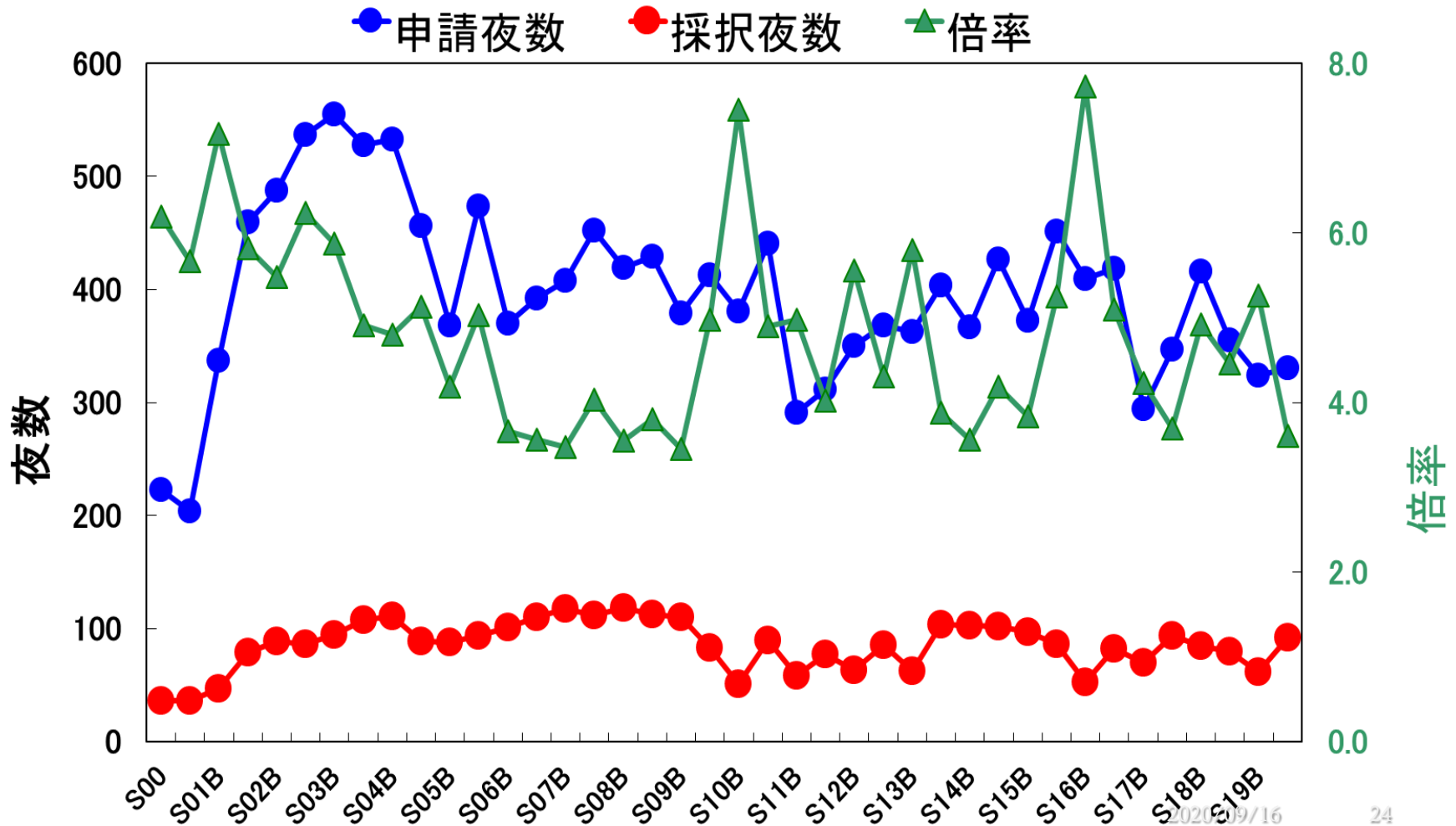


Weather Other Instrument Telescope
Gen2 Operation Observation

2019年～2020年にかけてのトラブル

- ◇ 2019年7月下旬～ TMT反対運動のため、マウナケアアクセス道路が封鎖。7月18日～9月5日まで49夜が失われた。2019年12月末から封鎖は解かれている。
- ◇ 2020年3月末～ コロナウィルス蔓延により、ハワイ州に在宅命令。3月25日～5月17日まで54夜が失われた。5月18日より山頂作業は最低限(山頂作業人数を10人以下)、山麓勤務は在宅勤務推奨で運用を継続。

共同利用実績（申請・採択夜数）





すばる戦略枠プログラム

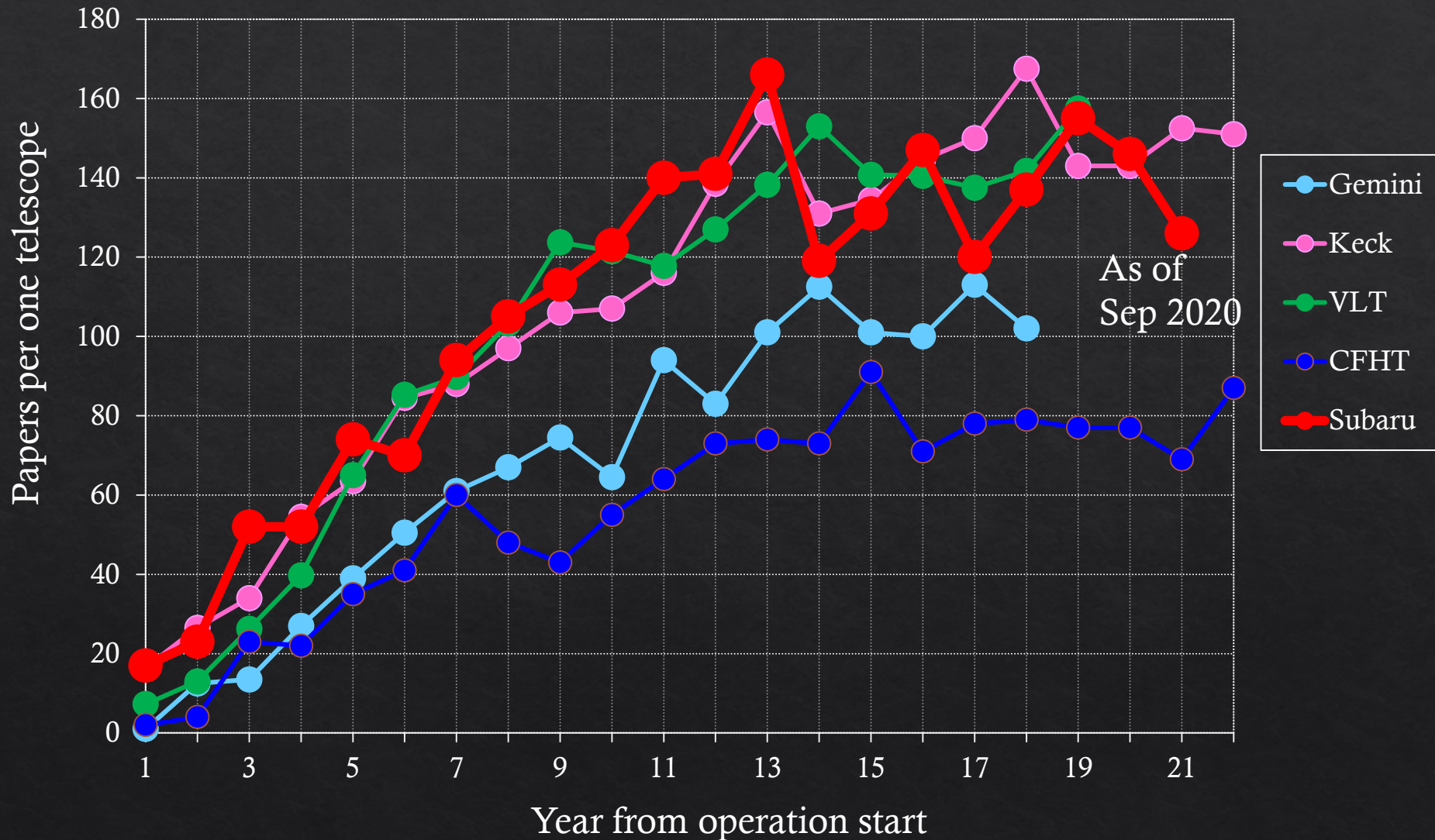
- ◇ Exceptionally large project using unique/expedient instruments of Subaru Telescope
- ◇ **HSC SSP (2014 - 2020) 300+30 nights ongoing**
 - ◇ “Wide-field imaging with **Hyper Suprime-Cam**: Cosmology and Galaxy Evolution”

2nd Public Data Release (2019 May): 174 nights data
<https://hsc-release.mtk.nao.ac.jp>

- ◇ **IRD SSP (2019 - 2025) 170 nights ongoing**
 - ◇ “Search for Planets like Earth around Late-M Dwarfs: Precise Radial Velocity Survey with **IRD**”
- ◇ **PFS SSP (2022 - 2027?) 300 - 360 nights in preparation**
 - ◇ Large international **PFS** collaboration

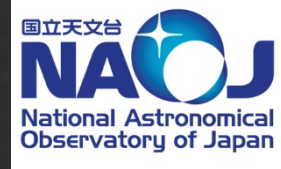


Number of Publications

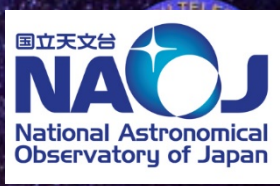




Subaru Press Release 2019



- ◇ **Nov. 18** : Subaru Telescope Detects the Mid-infrared Emission Band from Complex Organic Molecules in **Comet** 21P/Giacobini-Zinner
- ◇ **Oct. 22** : The Whole Picture of **Distant Supercluster** in Three Dimensions
- ◇ **Oct. 7** : **Saturn** Surpasses Jupiter After Discovery of 20 New Moons
- ◇ **Oct. 3** : **Massive Filaments** Fuel the Growth of Galaxies and Supermassive Black Holes
- ◇ **Sep. 26** : Oldest Galaxy **Proto-cluster** forms "Queen's Court"
- ◇ **Aug. 23** : Storms on **Jupiter** Seen by Multi-Wavelength Observations
- ◇ **Jul. 25** : Einstein's **General Relativity** Theory Is Questioned But Still Stands 'For Now,' Team Reports
- ◇ **Jun. 21** : Subaru Telescope Identifies the Outermost Edge of our **Milky Way** System
- ◇ **May 29** : Subaru Telescope Captures 1800 **Exploding Stars**
- ◇ **May 20** : Star Formation in **Young Galaxies** Not Affected by Environment
- ◇ **May 13** : Subaru Telescope Sheds New Light on an Obscured **Infant Solar System**
- ◇ **Apr. 29** : **Star** with Strange Chemistry is from Out of Town
- ◇ **Apr. 9** : **Jupiter's** Atmosphere Heats Up Under Solar Wind
- ◇ **Apr. 1** : Subaru Telescope Helps Determine that **Dark Matter** is not Made Up of Tiny Primordial Black Holes
- ◇ **Mar. 13** : Astronomers Discover 83 **Supermassive Black Holes** in the Early Universe



すばる望遠鏡の将来と 観測装置開発

2020/09/16

28

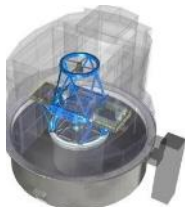


0. 全体概要

すばる 2 計画：超広視野観測で天文学を牽引

ハワイ島マウナケア山頂に設置した**大型光学赤外線望遠鏡「すばる」**の機能を強化し、**超広視野撮像分光による大規模サーベイ観測**を中心として国際学術コミュニティに供し、宇宙の構造進化と元素の起源に迫る。

すばる望遠鏡



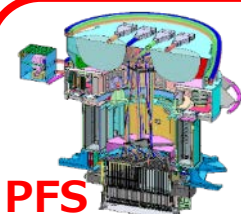
超広視野撮像



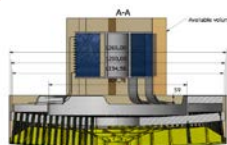
超精密視線速度測定

国際協力開発

PFS: 2022年完成、
ULTIMATE: 2026年完成

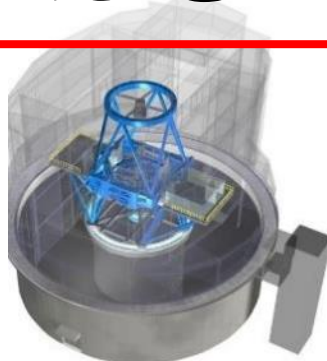


PFS
超広視野多天体
分光観測



ULTIMATE
広視野高解像度
赤外線観測

すばる 2



現行のすばる望遠鏡に比べて
分光視野：50倍
同時分光天体数：20倍
赤外線観測視野：10倍
赤外線解像度：2倍

学術的意義：

超広視野撮像分光により、

- 暗黒物質・暗黒エネルギー
- 宇宙史にわたる大規模構造の進化と銀河進化、
- マルチメッセンジャー天文学による強重力場での天体現象と元素の起源
- 地球型系外惑星天体の同定

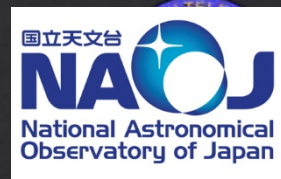
の研究に取り組み、人類の宇宙理解を大きく進める。

計画期間：2022年～2031年
総経費：210億円

推進体制：国立天文台が中心となって望遠鏡・観測装置の維持運用を行う。観測装置開発は国内外の大学・研究機関と国立天文台の協力によって実施する。すばる望遠鏡は超広視野観測が可能な世界唯一の大型望遠鏡であり、本計画によって国際的優位性を一層高め、世界の拠点となる。



ULTIMATE-Subaru



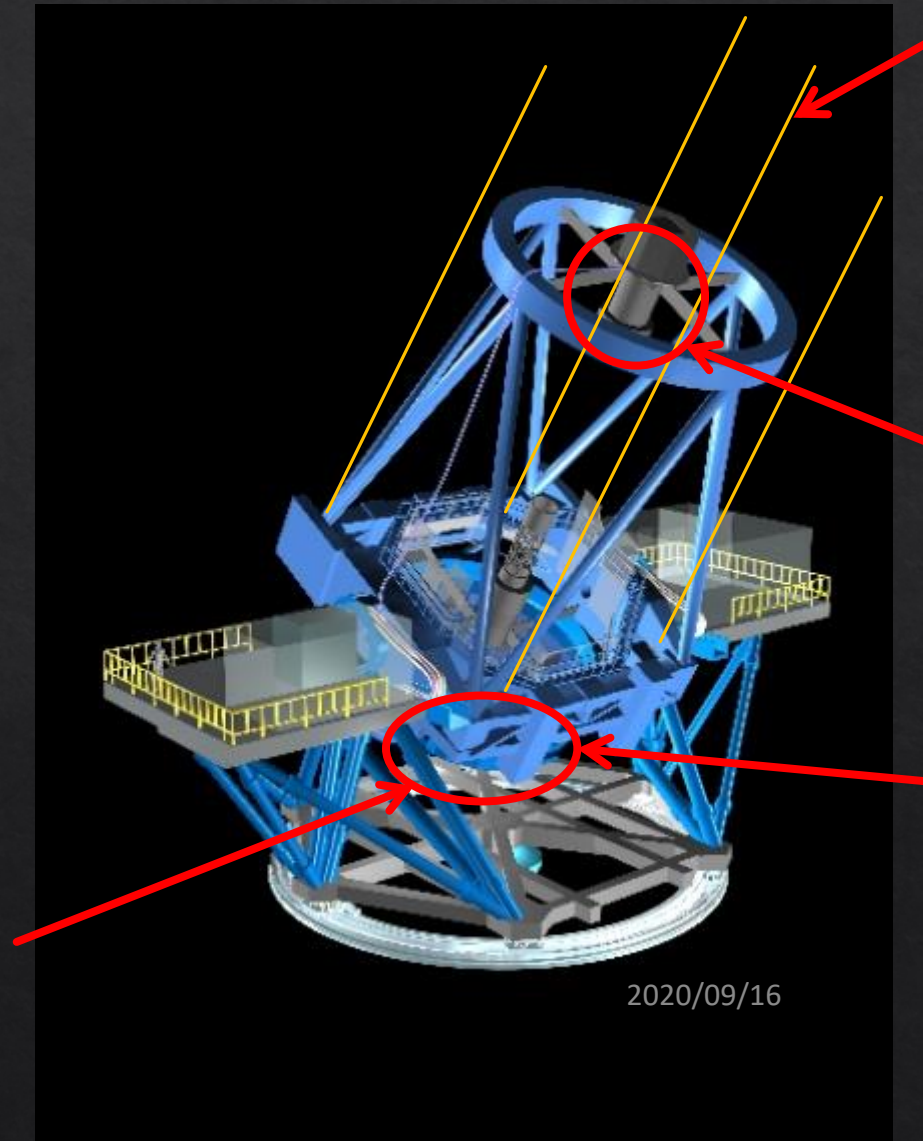
(preliminary design phase)

Wide field near-infrared observation facility using ground layer adaptive optics (GLAO) system

Conceptual Design Review was done in Oct. 2018 !!

Science Operation: 2026

Wide Field Near-infrared Instruments



4 Laser Guide Star System

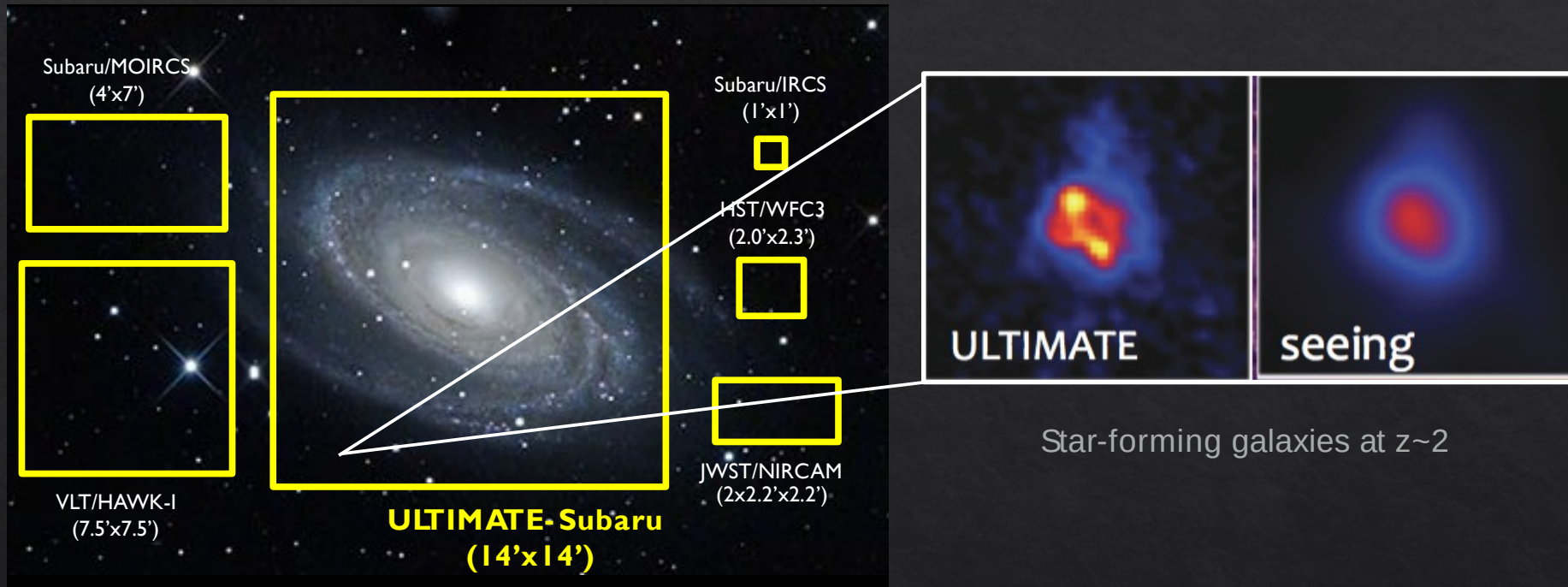
Deformable Secondary Mirror

Wavefront Sensors

2020/09/16

ULTIMATE-Subaru

High-Res “AND” Wide-Field NIR Capabilities



ULTIMATE-Subaru will deliver:

- ▶ Subaru's original **High-redshift targets** to **follow-up with TMT**
- ▶ **Spatially-resolved** studies of the objects found by HSC/PFS
- ▶ **SDSS-like** comprehensive imaging/spec. survey for **high-redshift universe** ($z > 2$).
- ▶ Synergy with the future **surveys** by **wide-field space missions** (good synergy with **WFIRST**)

2020/09/16

Subaru wide-field capabilities in 2020s

HSC (operational)



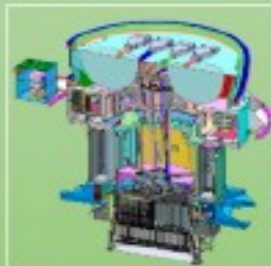
Optical
(0.38 – 1.1 μm)
FoV
1.7 deg²

Seeing limited
($> 0.4''$)
Imager

Limiting mag.
with 1h exp.

Band	mag
g	27.8
r	27.2
i	26.5
z	25.9

PFS (2022 -)



Optical – J-band
(0.38 – 1.26 μm)
FoV
1.3 deg²

2,400 fibers
1.05" ϕ
Multi-object sp.
0.38 – 1.26 μm

Limiting mag. with 1h exp.

Band	mag
Blue (0.38 – 0.65 μm)	22.5
Red (0.65 – 0.97 μm)	22.4
NIR (0.97 – 1.26 μm)	21.4

ULTIMATE (2026 -)



Near-Infrared
(0.9 – 2.5 μm)
FoV
20' ϕ

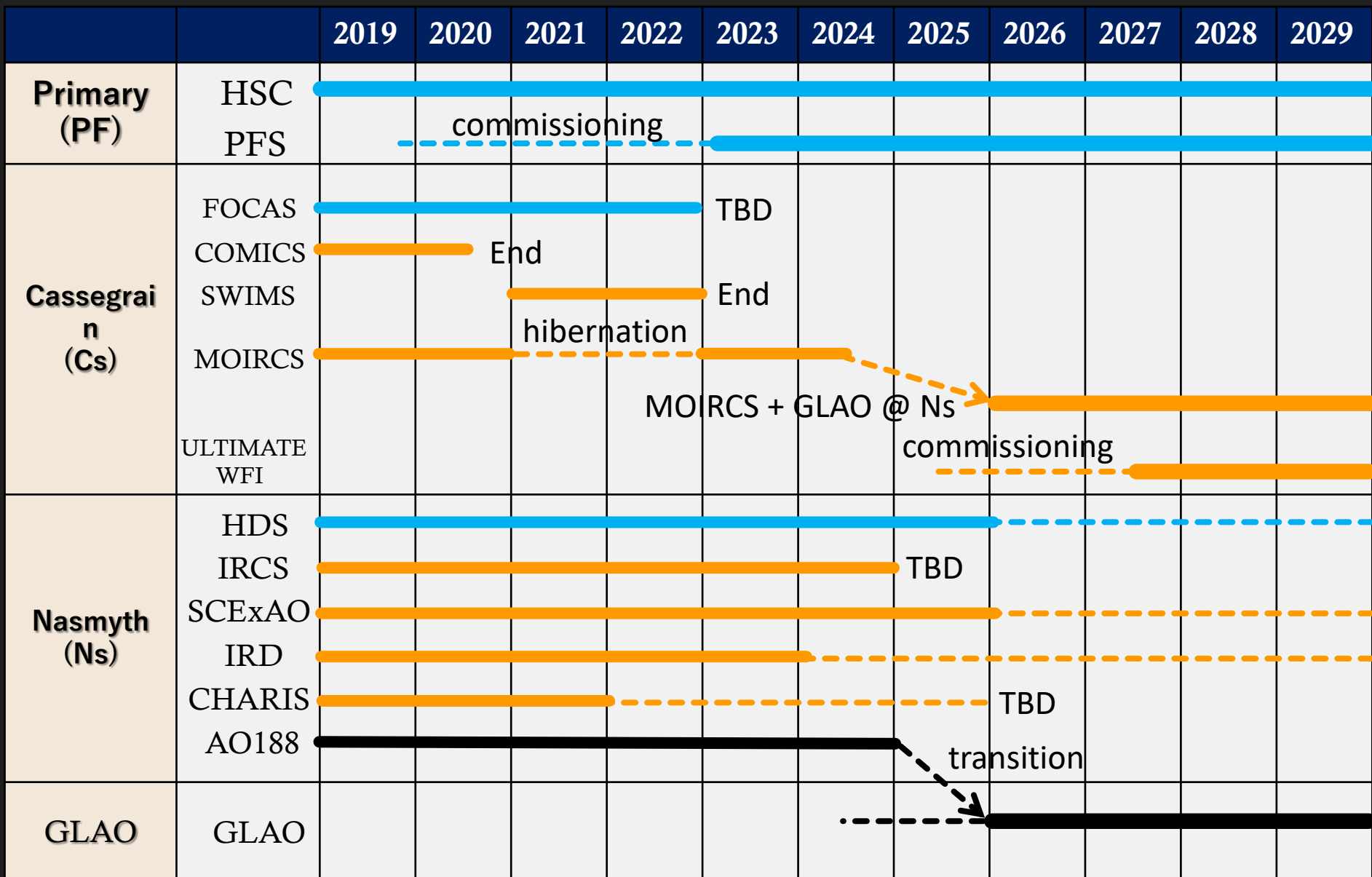
GLAO supported
0.2" resolution
(in K-band)
Imager (14'x14')
Multi-object sp.
(w/ MOIRCS)
IFU sp.

Limiting mag.
using GLAO
with 4h exp.

Band	mag
J	26.3
H	25.5
Ks	26.4
NB1340	26.1

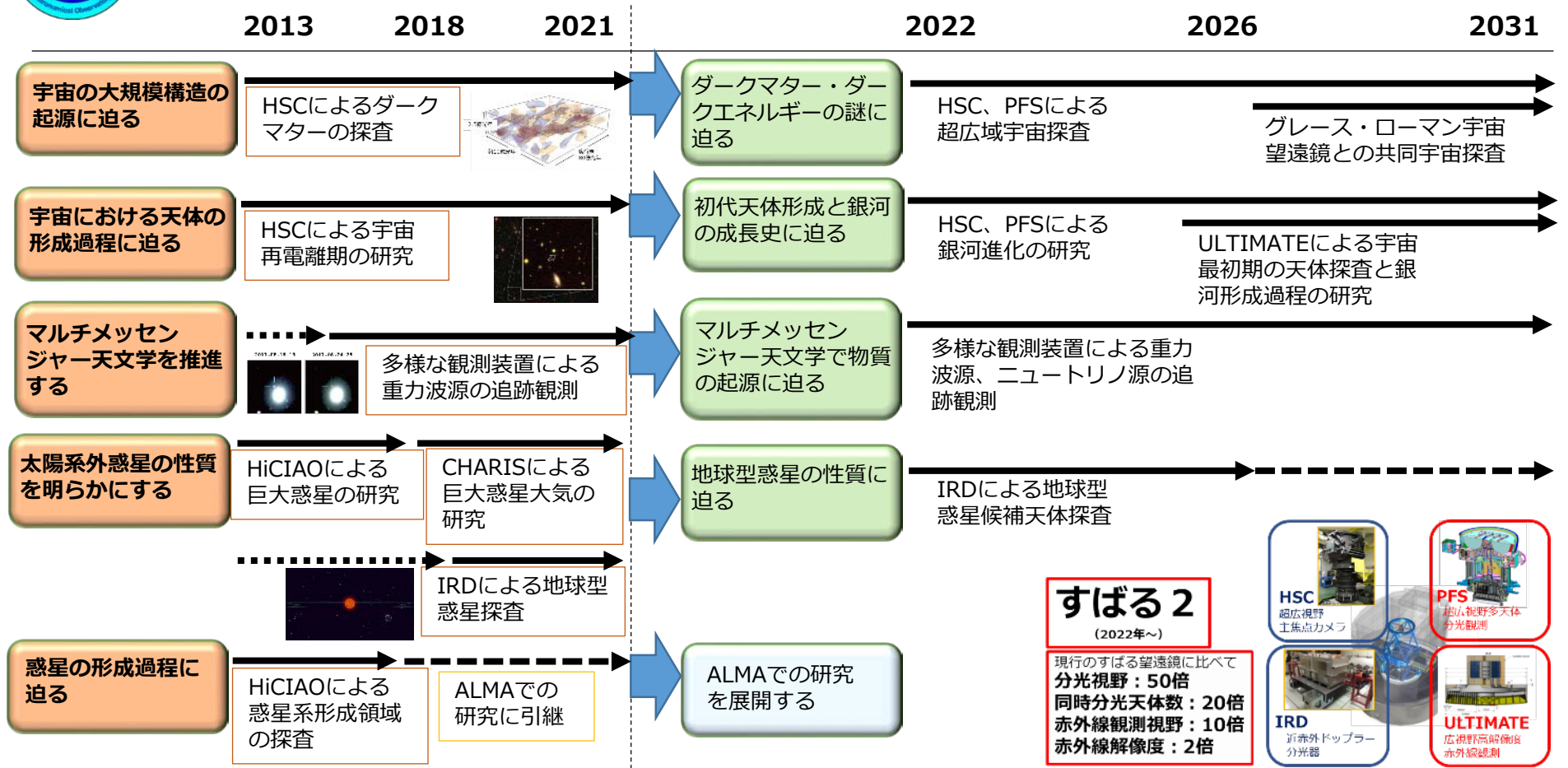


すばるの装置計画





すばる望遠鏡の科学目標ロードマップ



競合する
広視野撮像装置

DECam@セロ・
トコロ4m望遠鏡

ベラ・ルービン天文台
6.7m (旧名：LSST)

競合する
広視野分光装置

DESI@キット・
ピーク4m望遠鏡

マウナケア分光探査11m
望遠鏡MSE (検討中)

宇宙望遠鏡・
30m望遠鏡

Euclid宇宙望遠鏡
@ESA
JWST宇宙望遠鏡
@NASA

グレース・ローマン
宇宙望遠鏡 (旧名：
WFIRST) @NASA

TMT
E-ELT

2020/09/16

国際パートナーシップ

- ◇ すばるの運用が財政的にますます難しくなっていく中、国際パートナーとの共同運用の可能性を探ってきた。
- ◇ すばるの運用コストの低減のために、国際パートナーとの共同運用をすることが求められている。
- ◇ 以下の候補国との議論・交渉を行ってきた。
- ◇ 候補国:
 - ◇ インド
 - ◇ カナダ
 - ◇ オーストラリア
 - ◇ 中国・東アジア

このプロセスはコロナウィルスためにほとんど全く止まっている。

最後に

- ◆ 現在、すばる望遠鏡のサポート・アストロノマーを公募しています。
- ◆ AAS等にすでに公告を出していますが、10月31日締め切りとして近々tennet等にも流しますので、ふるってご応募ください。



Thank you