



大型光学赤外線望遠鏡による 国際共同研究の推進

学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会
事前評価資料

自然科学研究機構 国立天文台

2021(令和3)年7月



全体概要

大型光学赤外線望遠鏡による国際共同研究

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」の機能を強化した「すばる2」により、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



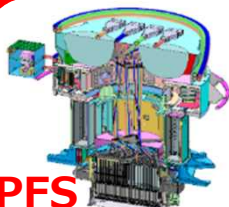
超広視野撮像



超精密視線速度測定

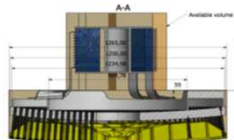
国際協力開発

PFS: 2023年完成、
ULTIMATE: 2027年完成



PFS

超広視野多天体
分光観測



ULTIMATE

広視野高解像
赤外線観測

すばる2

国際共同運用



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、

- ・ ダークマター・ダークエネルギー
- ・ 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：233億円

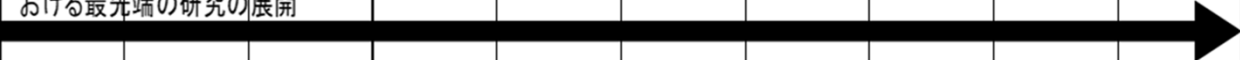
推進体制：国立天文台が中心となって望遠鏡・観測装置の維持運用を行う。観測装置開発は国内外の大学・研究機関と国立天文台の協力によって実施する。すばる望遠鏡は超広視野観測が可能な世界唯一の大型望遠鏡であり、本計画によって国際的優位性を一層高め、世界の拠点となる。



全体概要

すばる 2 の年次計画

3

計画概要		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。											
【年次計画】													
項目 (研究テーマ)		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	10年目以降	備考
すばる望遠鏡の機能強化													
超広視野多天体分光器（PFS）及び超広視野高解像赤外線観測装置（ULTIMATE）の開発		PFSの開発と運用 ULTIMATEの開発					ULTIMATEの運用						
成果指標		PFS観測開始				ULTIMATE－Subaruの完成	ULTIMATE－Subaruの観測						
すばる望遠鏡による「暗黒物質、暗黒エネルギー」、「宇宙の構造形成、銀河形成・進化」、「マルチメッセンジャー天文学」、「地球型惑星候補の同定」等の研究		すばる望遠鏡による国際共同利用研究:4大科学目標を中心とした多様な天文学分野における最先端の研究の展開  暗黒物質と暗黒エネルギーの性質の探求及びニュートリノ質量の決定  宇宙の構造形成、銀河形成・進化の物理過程の理解  マルチメッセンジャー天文学の展開  地球型惑星候補天体の同定 											
成果指標		年間論文数138本				年間論文数150本					年間論文数150本		

超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



計画の学術的意義・研究計画

すばる2の主たる科学目標

(マスタープラン2020重点大型施設計画認定、ロードマップ2020記載)

4

科学目標1：ダークマター・ダークエネルギーの性質の探求 及びニュートリノ質量の決定

- 超広視野主焦点カメラHSC、超広視野多天体分光器PFSを用いてダークマターとダークエネルギーの正体を究明し、ニュートリノ質量を決定する。

科学目標2：宇宙の構造形成、銀河形成・進化の 物理過程の理解

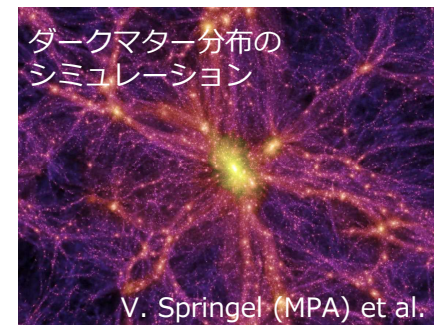
- 広視野高解像赤外線観測装置 **ULTIMATE**で前人未到の超遠方宇宙探査を実現し、宇宙最初期に生まれた天体の性質とその進化過程を解き明かす。

科学目標3：マルチメッセンジャー天文学の展開

- ブラックホールや中性子星の合体、ニュートリノバーストを、重力波望遠鏡やニュートリノ観測装置、他望遠鏡と協力して観測し、物質の起源を探る。

科学目標4：地球型系外惑星候補天体の同定

- アストロバイオロジーセンターと密接に連携しながら**IRD**を用いた地球型系外惑星の間接探査を推進し、将来のTMTを用いた直接撮影、生命探査に繋げる。



超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

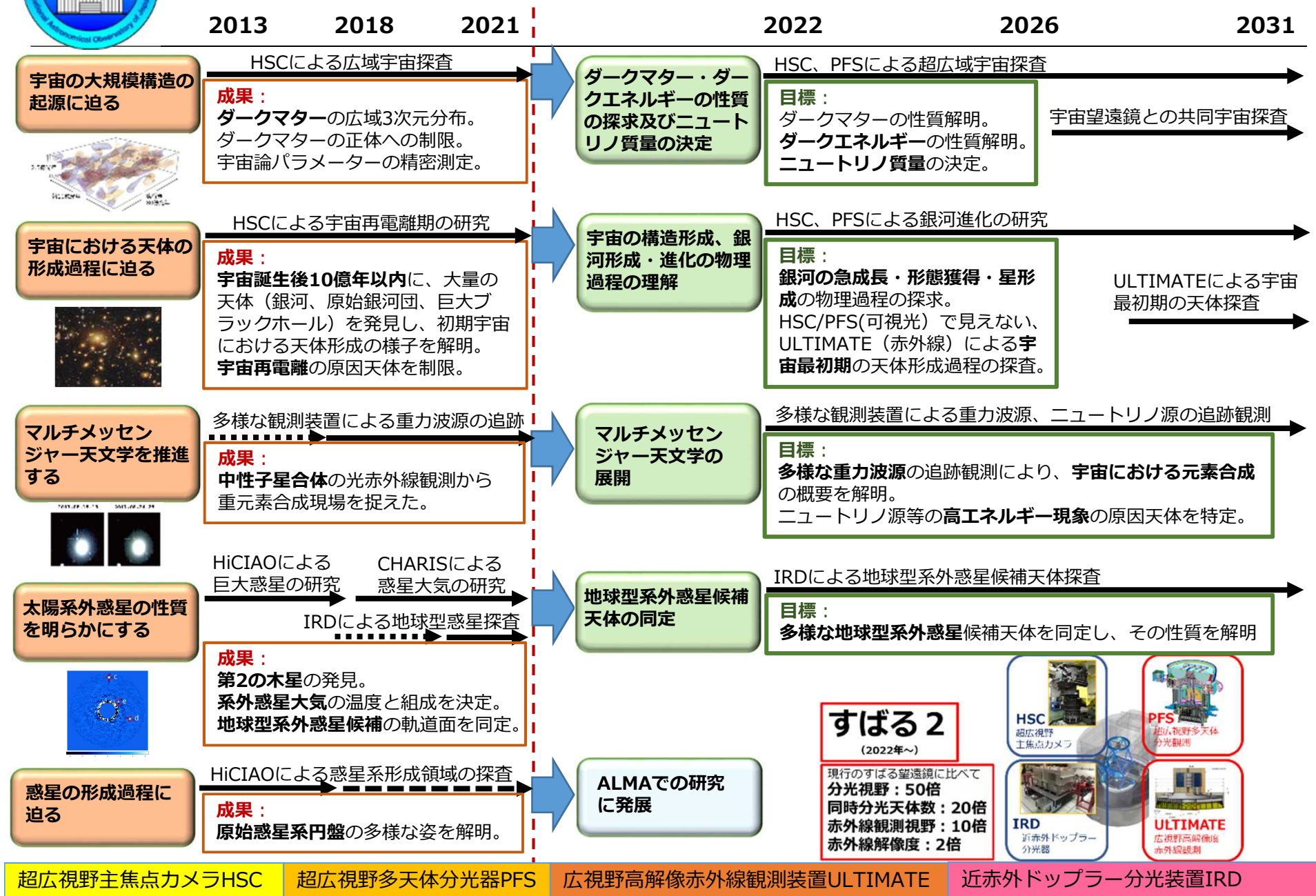
広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



すばる望遠鏡の科学目標ロードマップ

5



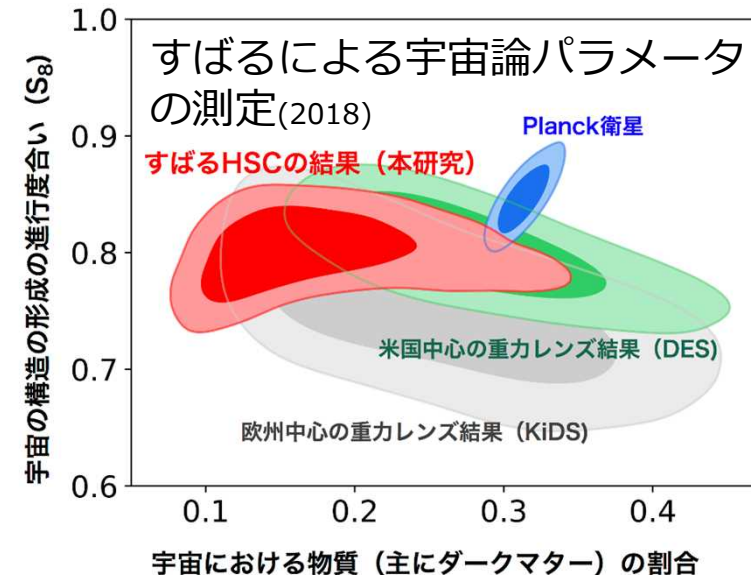
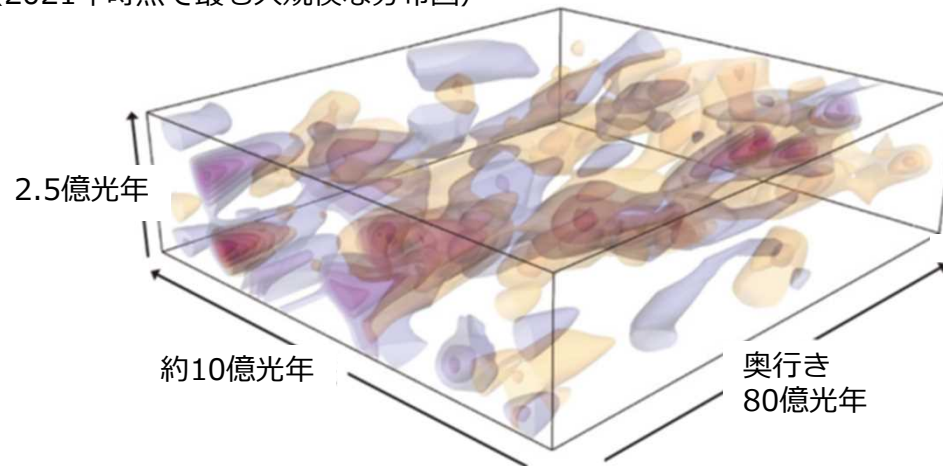


計画の学術的意義・研究計画

科学目標 1：ダークマター・ダークエネルギーの性質の探求及びニュートリノ質量の決定

6

すばるが描き出したダークマターと銀河の3次元分布
(2021年時点で最も大規模な分布図)



以上の成果は超広視野撮像観測計画が10%程度終了した現時点で得られたものであり、すばる2ではこれより8倍程度の大規模化を達成する。さらに、銀河までの距離測定を精密化して、宇宙論パラメータの測定精度を格段に向上させる。

- **超広視野主焦点カメラHSCによる超広視野撮像観測**で数億個の銀河を撮影して銀河の形状のゆがみを距離ごとに測定し、**ダークマターと銀河の大規模3次元分布**を描き出すとともに、ダークマター候補の**原始ブラックホール**を探索する。
- **超広視野多天体分光器PFSによる超広視野分光観測**で多数の銀河の距離を遠方まで精密に測定し、宇宙論パラメータをこれまでにない精度で測定し、**ダークエネルギーの性質を解明**するとともに、ダークマターの一部を担う**ニュートリノの質量**を世界に先駆けて信頼性高く測定する。



計画の学術的意義・研究計画

科学目標2：宇宙の構造形成、銀河形成・進化の物理過程の理解

7

【広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATEによる赤外線宇宙深撮像】

超遠方宇宙を高解像度で広く探査し、銀河形成期の宇宙の全体像を探るとともに、HSC、PFSも駆使して、近傍宇宙に至るまでの銀河の成長史を明らかにする。そのデータを元に、次世代超大型望遠鏡、アルマ2、宇宙望遠鏡などと連携し、銀河形成・進化の謎を解明する。



【ULTIMATE、HSC、PFSによる宇宙探査 - 銀河進化史の解読】

ULTIMATEを用いて、宇宙誕生後5億年以内の銀河幼年期、銀河の成長期（宇宙誕生後20～40億年）を探査して、銀河の形成と形態獲得の歴史を明らかにする。HSC、PFSを駆使して成長期から成熟期に至る銀河探査を行い、さらにULTIMATEで近傍銀河の広視野高解像観測を行って、銀河の成熟過程を解明する。

超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



計画の学術的意義・研究計画

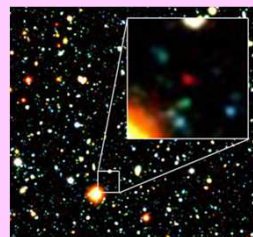
すばる2・ULTIMATEが切り拓くサイエンス

天体形成のすべてを明かす ～銀河の「揺り籠から墓場まで」～



① **銀河形成期の観測**: 従来の観測では見るのが困難であった宇宙最初期(宇宙誕生から5億年以内)の銀河を捉え、人類の知の地平線を超える。

宇宙で最初に生まれた天体はどんな姿をしていたのか？



宇宙の誕生 (=宇宙の果て)

① **幼年期**

宇宙誕生後5億年)

② **銀河形態の起源**: 遠方銀河の高解像度観測により、従来の観測では「点」にしか見えなかった成長期の銀河の構造を暴き、銀河の形態獲得の歴史を解明する。

銀河の形状・骨格はいつ・どこで作られたのか？



② **成長期**

(20~40億年)

③ **銀河成熟プロセスの解明**: 近傍銀河の広視野高解像度観測によって銀河を個々の星・ガス雲にまで分解し、銀河が成長を止める瞬間(新しい星を作らなくなる瞬間)を捉える。

銀河はいつまで成長を続けることができるのか？

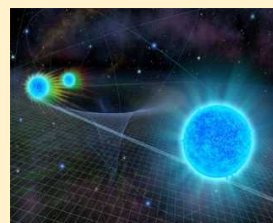


③ **成熟期**

(100億年~現在)

④ **ブラックホールの素性解明**: 従来の200倍の効率で天の川銀河中心領域のブラックホールを探索し、ブラックホールの個数/質量/空間分布を完全解明する。

この宇宙にブラックホールはいくつあるのか？



現在の宇宙

④ **我々の銀河系**

時間 (宇宙の年齢 = 138億年)

10億年

30億年

100億年

現在

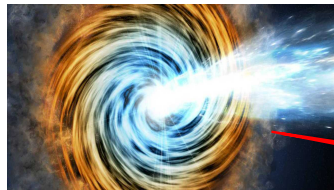


計画の学術的意義・研究計画

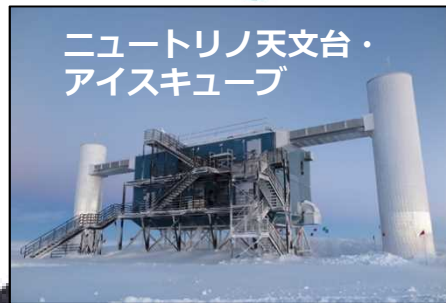
科学目標3：マルチメッセンジャー天文学の展開

9

ニュートリノバースト天体
超高エネルギー宇宙線を加速



高エネルギー
ニュートリノ



ニュートリノ天文台・
アイスキューブ

中性子星合体
金などの重元素を生成



重力波

重力波望遠鏡KAGRA



宇宙の重力波源やニュートリノ発生源からの
光赤外線を、すばる望遠鏡がとらえる。

光赤外線



すばる望遠鏡

- 重力波望遠鏡やニュートリノ検出装置だけでは、重力波やニュートリノの発生源の正体を十分に理解できない。
- すばる2は、その**超広視野観測性能**を活かして、発生源からの光赤外線をとらえて起源天体を明らかにし、他の観測施設と連携して**重元素と宇宙線の起源を探る。**

超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD

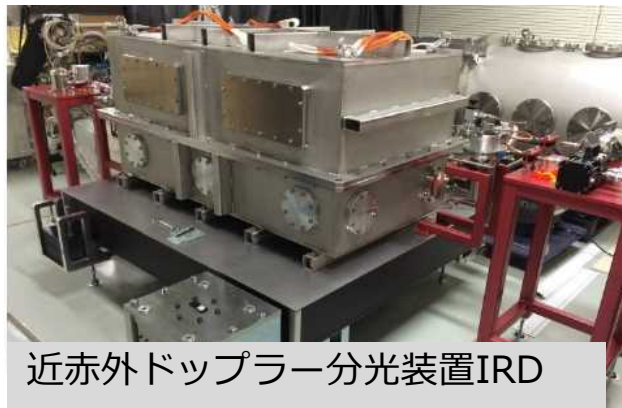
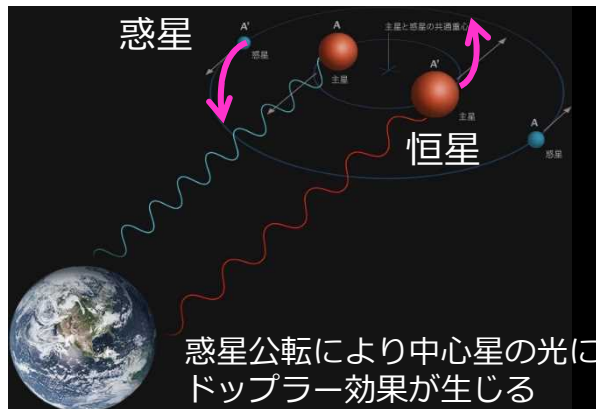


計画の学術的意義・研究計画

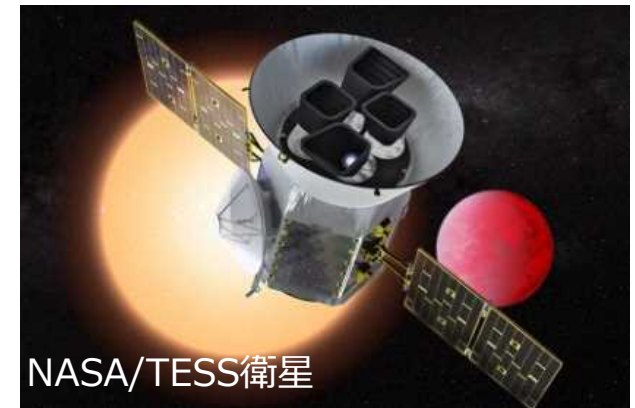
科学目標4：地球型系外惑星候補天体の 同定

10

- 地球は生命を宿す唯一の惑星か、それともありふれた惑星か？
- 近赤外ドップラー分光装置**IRD**を用いて、**地球型系外惑星の間接探査**を推進する。
 - 銀河系に多数存在する低温星を集中的に観測し、地球型系外惑星を探す。
 - NASAの系外惑星探査衛星TESSと連携し、TESSが発見した系外惑星候補をIRDで詳細観測して、惑星の特徴を明らかにする。
 - 生命を宿す「第二の地球」の有望な候補天体を、TMTに提供する。



近赤外ドップラー分光装置IRD



NASA/TESS衛星



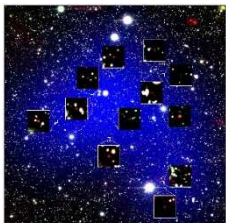
計画の学術的意義・総合性

すばる 2 計画のもとらす多様な天文学

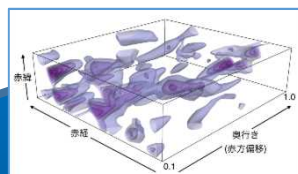
11

すばる望遠鏡は国際共同利用により、天文学の広い研究領域における科学的成果を挙げ続けている。すばる2では、目玉となる超広視野観測に加えて多彩な観測装置を提供するとともに、大規模サーベイデータを活用して多様な研究を展開する。

130億光年かなたに原始銀河団を発見(播金他2019)



史上最大の暗黒物質の地図(大栗他2018)



観測的宇宙論
暗黒物質・宇宙膨張

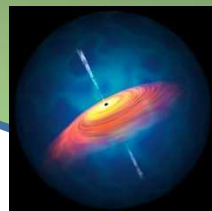
銀河形成・銀河進化
初期宇宙探査

銀河進化
近傍銀河研究
銀河考古学



近傍銀河
NGC1068に過去の銀河合体の証跡を発見(田中他2017)

130億光年かなたに大量の超巨大ブラックホールを発見(松岡他、2019)

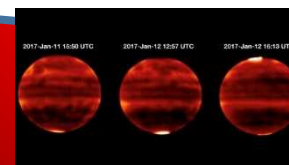


活動銀河中心核
巨大ブラックホール

銀河系
星間物質

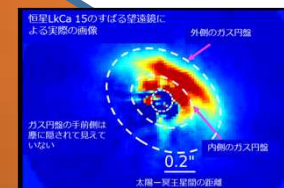


太陽系天体



オーロラによる木星大気の加熱機構の解明(Sinclair他2019)

若い恒星の周りの原始惑星系円盤の構造解明(Currie他2019)



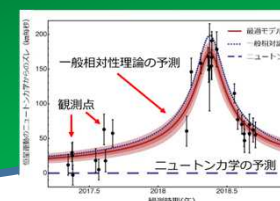
系外惑星・惑星形成

恒星・突発天体



中性子星がったからの光赤外線放射観測による重元素起源の解明(内海他、2017)

銀河系中心の超巨大ブラックホール近傍を周る恒星の運動観測による一般相対論の検証(Do他、2019)





計画の学術的意義・総合性 すばる2の国際連携

すばる2は国際的な天体観測網の中で
確固たる地位を築き、連携して科学
研究を推進する。

12



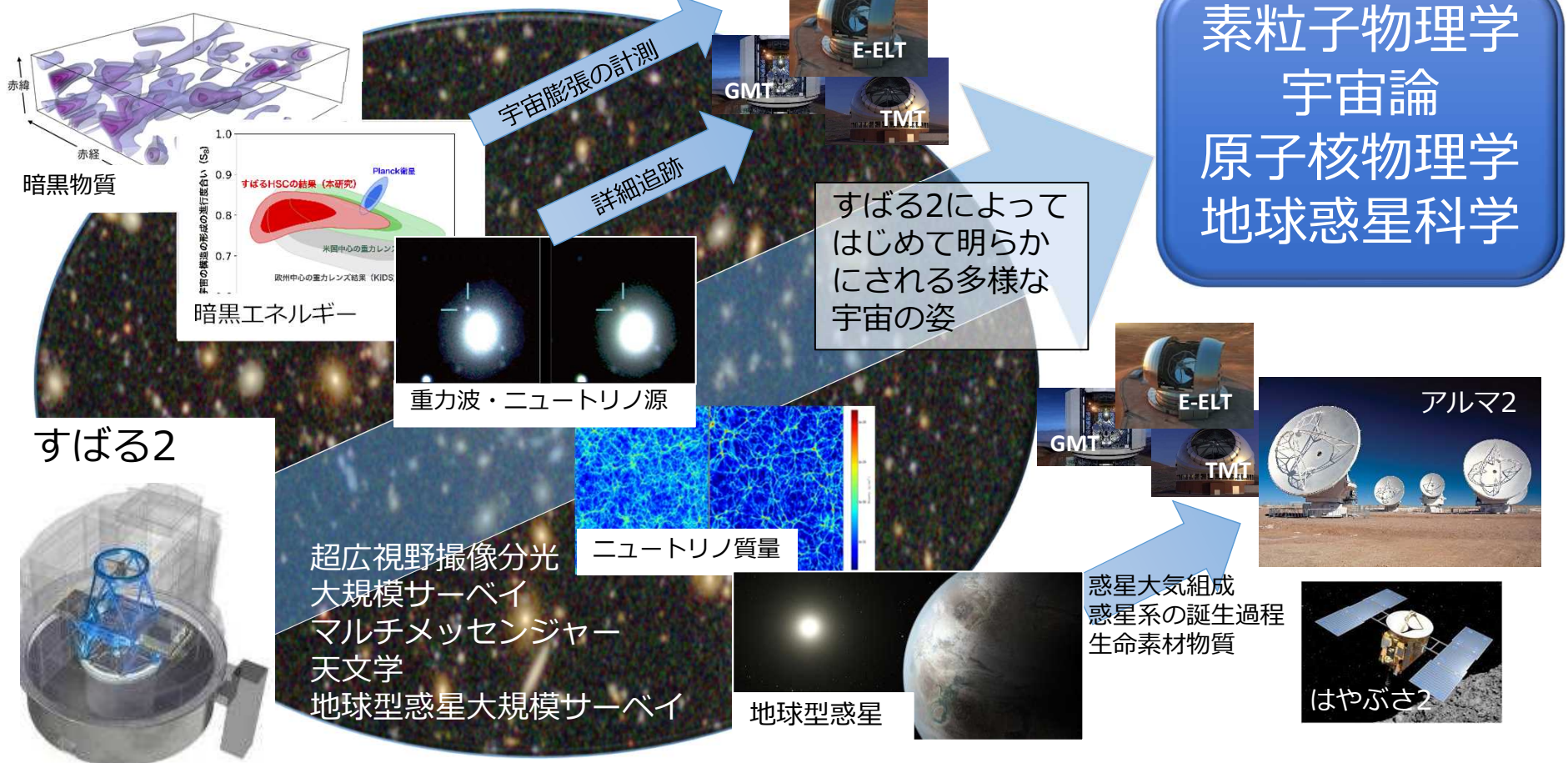


計画の学術的意義・融合性

宇宙の姿を明らかにし、他の科学分野に革新をもたらす

13

すばる2は、大規模サーベイ観測、マルチメッセンジャー天文学、地球型惑星探査により、暗黒物質、暗黒エネルギー、ニュートリノ、重力波、中性子星、系外惑星等の研究に天文学観測によってアプローチし、素粒子物理学、宇宙論、原子核物理学、地球惑星科学に革新をもたらす。



超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



計画の学術的意義・国際性

すばる 2 計画の国際的位置付け

すばる望遠鏡の共同利用成果については、世界で高く評価されている。大規模サーベイを中心とする**すばる2**は、これをさらに進めるものとして、国際的な学術コミュニティの中で計画推進の議論を進めてきた。**すばる2**の根幹をなす観測装置についても国際レビューで評価を受け、開発を進めている。

すばる望遠鏡の成果論文の5年ごとの推移 (Top10%・Top1%論文シェア: InCites 2021年7月6日)

	2011年 - 2015年				2016年 - 2020年			
	論文数	Top10%論文シェア	Top1%論文シェア	国際共著率	論文数	Top10%論文シェア	Top1%論文シェア	国際共著率
すばる	695	18.85%	1.87%	84.46%	717	16.46%	3.35%	90.24%
日本全体*	8,458	13.01%	1.53%	65.87%	10,242	12.92%	2.03%	72.86%
世界全体*	101,348	9.92%	1.0%	48.74%	113,162	9.51%	0.97%	52.56%

*: 天文学・天体物理学分野 (article, reviewのみ)



PFS開発に関する国際レビュー

- ・ 概念設計レビュー@東京大学IPMU (2012)
- ・ 初期設計レビュー@国立天文台ハワイ観測所 (2013)
- ・ 分光器最終設計レビュー@マルセイユ天体物理研究所 (2014)
- ・ 主焦点装置最終設計レビュー@米国ジェット推進研究所 (2015)
- ・ ファイバー位置計測カメラ最終設計レビュー@台湾中央研究院 (2015)
- ・ 制御ソフトウェアシステム設計レビュー@東京大学IPMU (2017)

ULTIMATE開発に関する国際レビュー

- ・ 地表層補償光学装置概念設計レビュー@国立天文台ハワイ観測所 (2018)

超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



研究者コミュニティの合意 すばる2に向けた科学者コミュニティの拡大

【科学者コミュニティの合意】

- 日本の光赤外線天文学者のコミュニティ「光学赤外線天文連絡会」から、すばる2計画は、学術的価値、緊急性、各分野での連携、実現性の観点から総合評価S（最高評価）を受け、マスタープラン2020に強く推薦された。ユーザーズミーティングなどを通じてコミュニティと情報共有・熟議を重ねて練り上げてきた結果である。

【科学者コミュニティとの協働】

- HSC/IRD/PFS/ULTIMATE開発は、国内外の研究機関が10億円規模の資金を獲得し投資しながら推進している。

【ユーザーコミュニティの広がり】

- すばる望遠鏡ユーザーは、光学赤外線天文学、電波天文学、高エネルギー天文学など他波長の観測天文学分野および理論天文学分野、さらには宇宙論、原子核物理、素粒子物理、重力波、分子化学、宇宙生物学などの研究分野にも広がりを持っている。

【国際的なユーザーコミュニティ】

- 2020年末までに、上記研究分野にまたがる延べ17,589名(国内97機関 12,911名、国外276機関 4,678名)の研究者に観測時間を提供し、国際的なユーザーコミュニティを構築してきている。
- また、超広視野観測を軸として、NASAの惑星探査機New Horizons、NASA/ESAの次世代宇宙望遠鏡WFIRST/Euclidとの共同研究を推進中である。



すばるユーザーズミーティング(2019)



超広視野多天体分光器
PFSコラボレーション
ミーティング@上海



PFSコラボレーション
ミーティング@カリフォル
ニア



広視野高感度赤外線観測装置ULTIMATEサイエンス
ワークショップ(2018)



すばる-WFIRST共同研究ワークショップ(2018)



計画の実施主体

日本主導の国際協力による効率的な開発と運用

【実施体制】 すばる望遠鏡運用の経験をもとに、すばる2の運用は国立天文台が中心となって行い、超広視野撮像分光観測能力を活かして世界をリードする。そのため、下記に示す装置開発の国際協力体制に加え、インド・カナダ・米国・東アジア諸国と国際協力に関する議論を開始した。

自然科学研究機構・国立天文台



三鷹オフィス

ハワイ観測所：すばる2の運用主体

運用

総経費 233億円

すばる望遠鏡運転経費：年間13.6億円

老朽化対策費：年間4億円

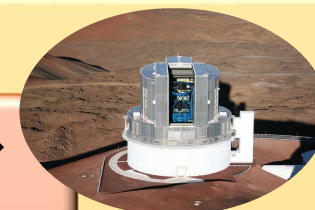
望遠鏡機能強化（GLAO）：27億円

広視野赤外線装置開発経費：30億円

必要人員・人材育成

国立天文台職員：約60名（ハワイ＋三鷹）、
ハワイ現地雇用職員：約60名。

望遠鏡運用および観測装置開発、国際共同
利用を通じて、研究者と技術者を育成する。



すばる望遠鏡



ハワイ山麓施設

国際協力

インド・カナダ・
米国・東アジア

国際共同開発

国際共同開発

超広視野主焦点カメラHSC 運用中

機関レベルの合意を国立天文台、東京大学Kavli IPMU、プリンストン大学、台湾中央研究院天文及天文物理研究所が締結し、開発した。

近赤外ドップラー分光装置IRD 運用中

自然科学研究機構アストロバイオロジーセンターとハワイ大学が開発した。

超広視野多天体分光器PFS 開発中

国立天文台が以下の組織と機関レベル・部局レベル・研究グループレベルの合意を締結し、開発中。

参加機関：東京大学Kavli IPMU、プリンストン大学、台湾中央研究院天文及天文物理研究所、カリフォルニア工科大学、NASAジェット推進研究所、ジョンズ・ホプキンス大学、マルセイユ天体物理学研究所、マックスプランク天体物理学研究所、ブラジル大学連合、中国コンソーシアム、北米東部大学連合

広視野高解像赤外線観測装置 ULTIMATE 設計中

国立天文台が以下の組織との共同開発を検討し、装置設計を開始。

参加機関：東北大学、東京大学、オーストラリア天文学公社、オーストラリア国立大学、台湾中央研究院天文及天文物理研究所

超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



共同利用体制

多くの研究者に研究基盤を提供してきた すばる望遠鏡の豊かな共同利用実績

17

【共同利用体制の充実度】

すばる2では、国立天文台がすばる望遠鏡で培った共同利用体制を継承し、TMTと一体運用することによってさらに効率的・効果的な共同利用を実施する。

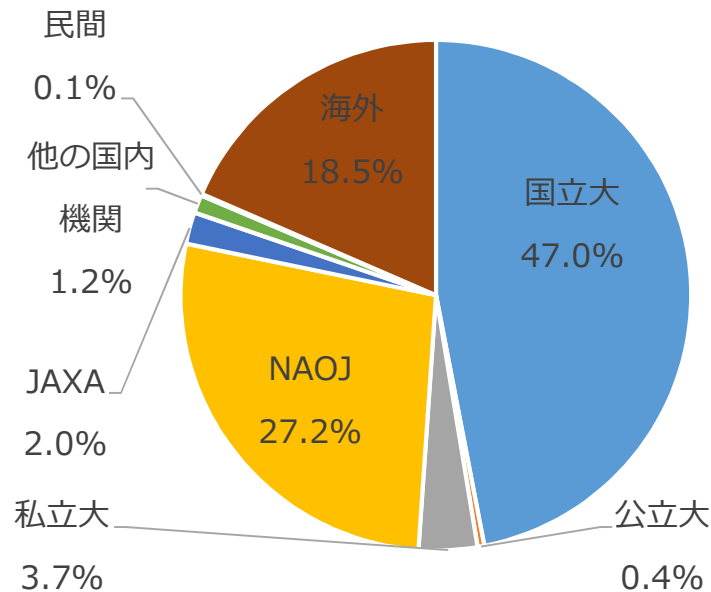
【共同利用状況】

- ・ 年間約240夜を国際共同利用に提供。
- ・ 観測提案競争率：直近2年で平均約4.5倍
- ・ 国内大学院生の提案採択数：208件
(海外を含む全採択数：1,660件)

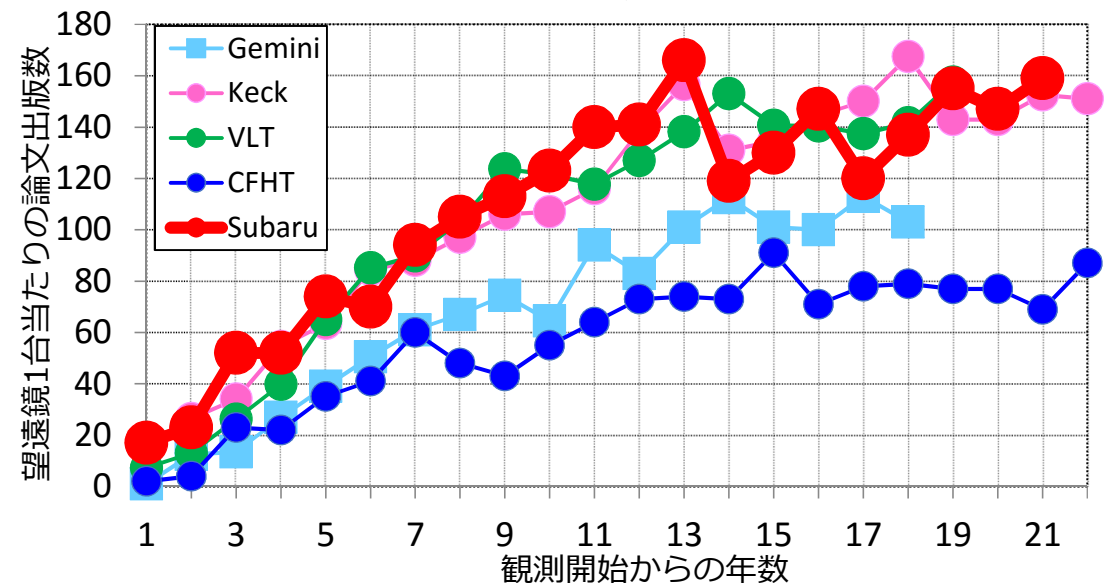
【共同利用実績】

- ・ 共同利用研究者数（2000年～2020年）：
延べ**17,589名**（うち海外研究者4,678名）
- ・ 総論文数**2,282本**（2020年末時点）、
うち **Nature/Science に37本**。
- ・ 博士論文数（国内）**156本**。

所属機関別の観測者数



すばるの観測論文数





共同利用体制

すばる2の共同利用運用

18

三鷹オフィス

役割

- 共同利用業務
- 観測データ管理

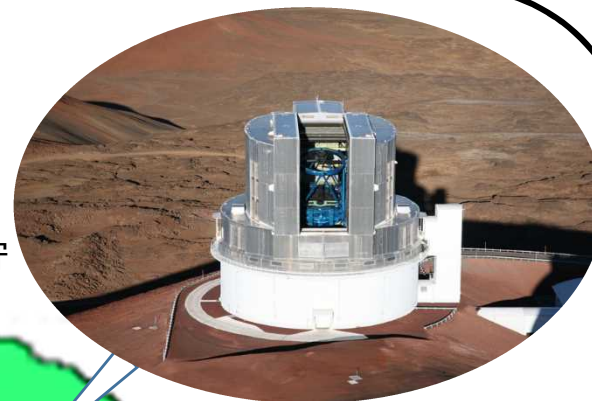
三鷹



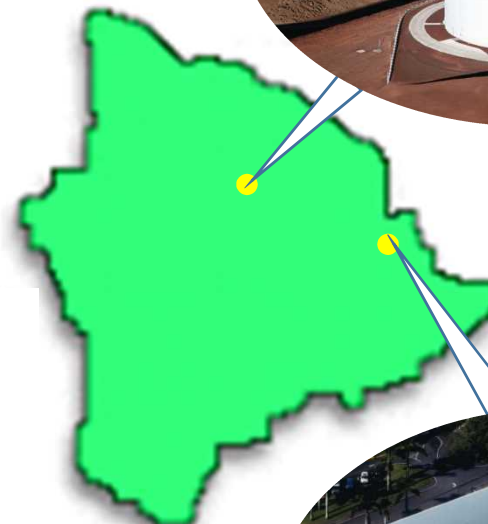
ハワイ山頂施設

役割

- 観測実施
- 望遠鏡保守
- 観測装置定常保守



ハワイ



ハワイ山麓施設

役割

- 山頂作業の基地
- 観測装置修繕保守
- 観測装置開発
- 事務支援



共同利用支援

国内・海外研究
コミュニティ

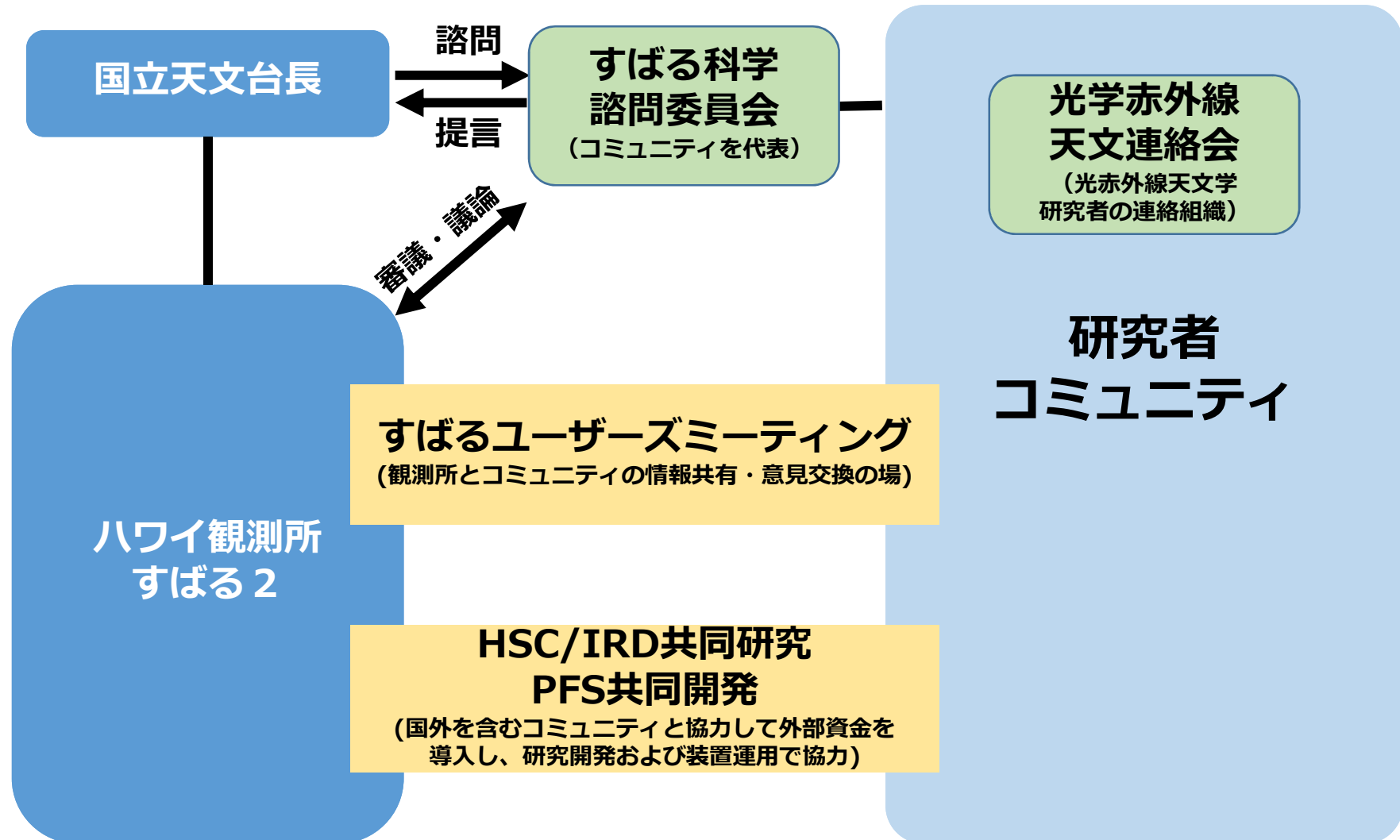
観測



共同利用体制

研究者コミュニティとの関係

19





計画の妥当性

国際協力や外部資金を活用した周到な準備

すばる2計画の予算化に向け、装置開発、すばる望遠鏡の国際共同運用・共同利用、コミュニティ拡大の各観点において周到に準備を進めている。

【観測装置の開発】

- **HSC/IRDは既に運用中**であり、HSCの観測から観測史上最大の暗黒物質3次元分布図が得られるなど、既に成果が上がりつつある。
- **PFSとULTIMATEの開発を担うプロジェクトを国立天文台内に設置。**
- **PFSは国際協力のもとで、開発費90億円（開発経費87億円、設置経費3億円）を外部資金で確保して開発が進行中**である。
- **ULTIMATEは科研費2億円獲得による基礎開発**を行いつつ、オーストラリア・台湾との国際協力開発を目指した**装置設計も進行中**である。



米国ジョーンズ・ホプキンス大学で組み立て中の、PFS向け近赤外カメラ



ハワイ観測所で開発中のULTIMATE用レーザー光源システム

【すばる2 国際共同運用・共同利用に向けて】

- **すばる望遠鏡共同利用の経験を活かし、効率的・効果的な共同利用を展開**するため、すばる2・TMTの一体運用計画を進めている。
- すばる2の国際共同運用に向け、**米国・カナダ・インド・中国と議論を開始**した。
- 国際パートナーのユーザーコミュニティとの連携を強めるべく、研究会や若手対象の観測・データ解析講習会などを開催している。



国際パートナーシップ研究会@東京（2017年）



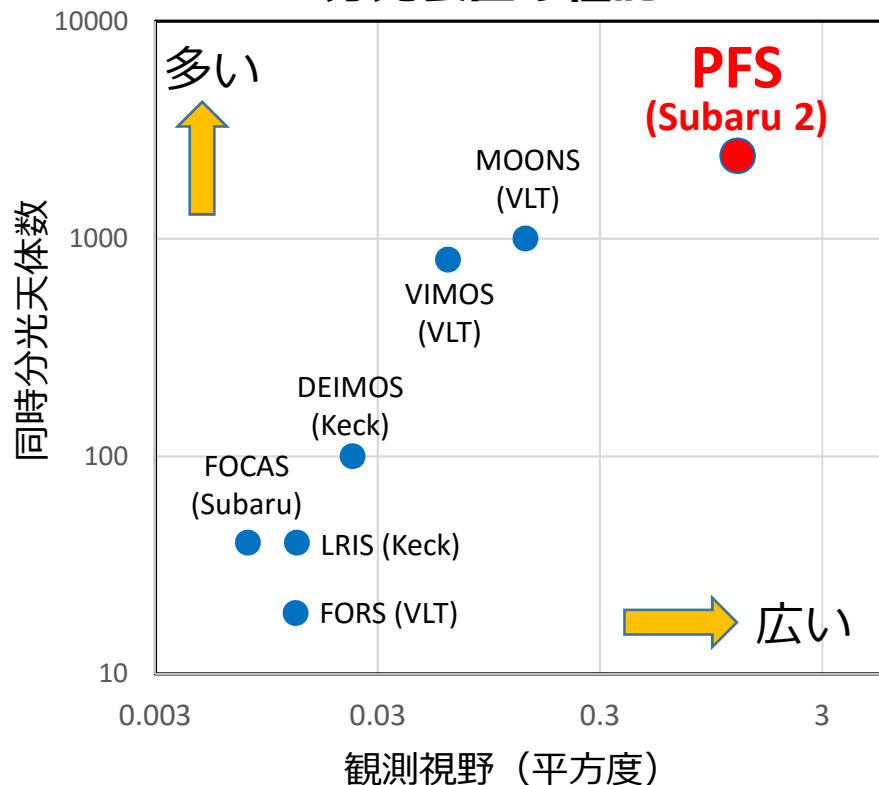
計画の妥当性

すばる2・PFSの圧倒的な性能

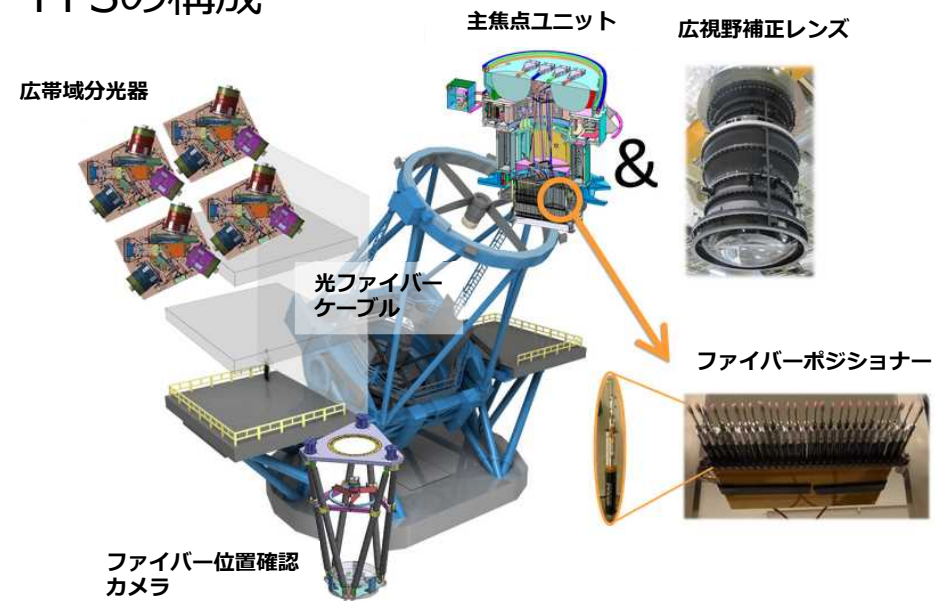
21

- ダークエネルギーの正体に迫るには、広視野多天体分光観測による宇宙の構造形成史の理解が必須。
- PFSは、他の8-10m級望遠鏡が持つどの分光装置よりも広い視野(1.25平方度)を持ち、同時に分光できる天体数が多く(2,400天体)、ダークエネルギー研究において、他の望遠鏡・観測装置を圧倒的に凌駕する。

2020年代の8-10m望遠鏡 分光装置の性能



PFSの構成



PFSは、すばる望遠鏡の主焦点に、コンピューターで位置制御される2,400本の光ファイバーを配置し、望遠鏡が捉えた天体の光をファイバーで4台の広帯域分光器に導く。上図のように多くのコンポーネントからなる複雑かつ巨大な観測装置である。

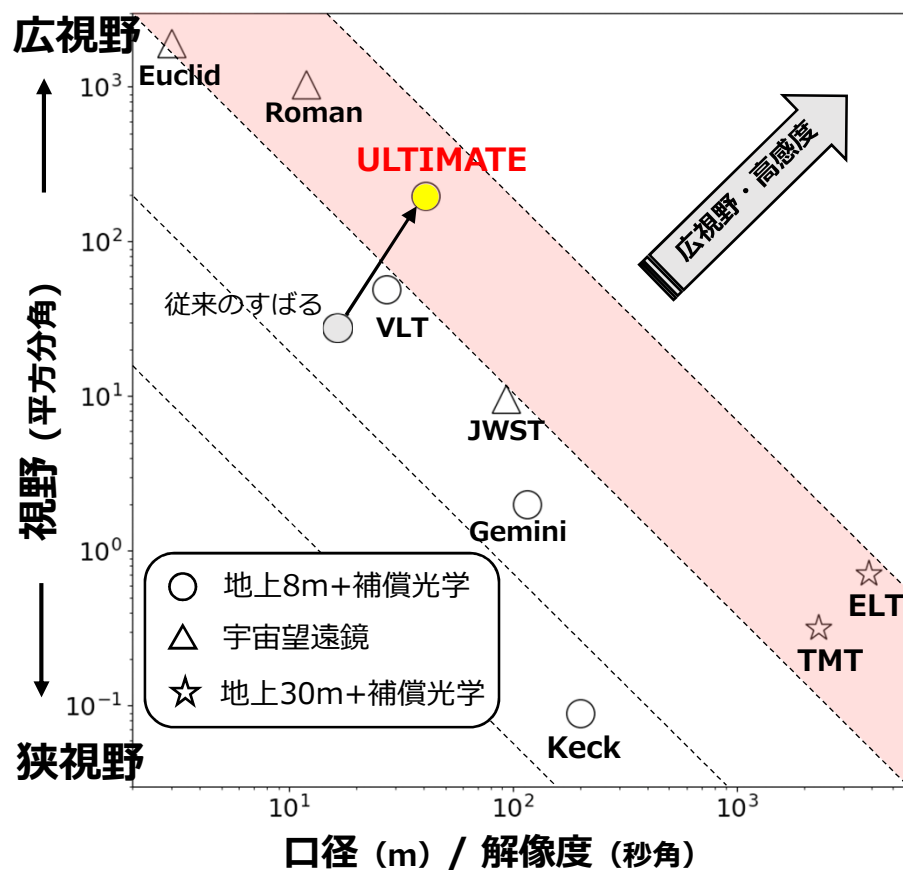


計画の妥当性

すばる 2・ULTIMATEの優位性

- 2020年代以降の赤外線観測は宇宙望遠鏡による**広視野探査観測**と、地上大望遠鏡（8~30m）による**狭視野高解像度観測**に大別される。
- すばる 2・ULTIMATEでは**補償光学の広視野化（GLAO）**により、宇宙望遠鏡に匹敵する**広視野探査能力と高解像度観測能力を両立**させ、我が国独自の赤外線観測戦略を実現する。

2020年代の赤外線観測装置計画



	ULTIMATE	Euclid	Roman
主鏡口径 (m)	8.2	1.2	2.4
視野 (平方分角)	200	2,000	1,000
解像度 (秒角)	0.2	0.4	0.2
波長範囲 (μm)	<2.5	<1.8	<2.1
サイト	北半球	スペース	スペース
面分光	可	不可	不可
狭帯域観測	可	不可	不可
コスト	\$57M	\$1,200M	\$3,600M
観測開始	2028	2022	2026

補償光学とは？

地球大気によって乱された天体からの光をリアルタイムで補正し、地上望遠鏡の解像度を向上させる観測技術。



緊急性

超広視野観測能力で世界を牽引

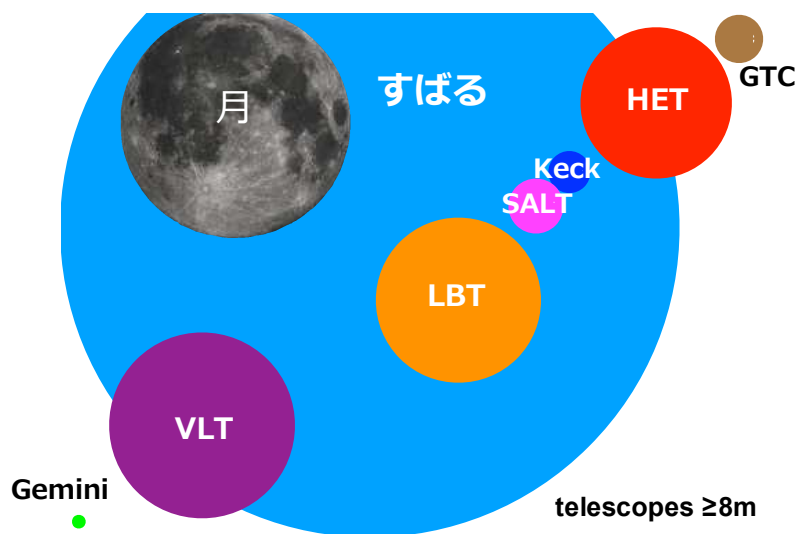
超広視野撮像分光観測能力を活かして世界をリード。

23

【超広視野撮像分光天文学の推進】

- 現在、すばる2に匹敵する超広視野観測能力を持つ望遠鏡は他に無い。一方、視野ですばる2を上回る**ベラ・ルービン天文台**（旧名LSST）が南米チリで建設中であり、これが**本格稼働するまでに、すばる2の超広視野撮像観測で重要領域をカバーするとともに、超広視野分光観測をスタートする。**
- すばる2はベラ・ルービン天文台が備えていない**分光観測能力と赤外線観測能力**があるため、**遠方銀河の精密観測やダークエネルギー究明で、すばるに続き、すばる2が世界をリードする。**

世界の8m級望遠鏡の視野の比較（青色がすばるの視野）



主鏡有効径	8.2メートル	6.7メートル
視野	1.8 平方度	9.3 平方度
観測天域	北天	南天
分光機能	一度に2,400天体	無
赤外線観測機能	有	無
観測開始時期	HSC: 2013年 PFS: 2023年	2024年

超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



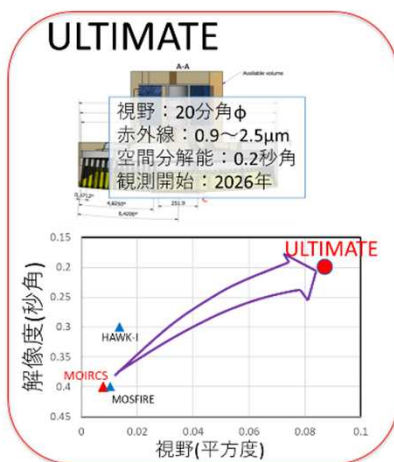
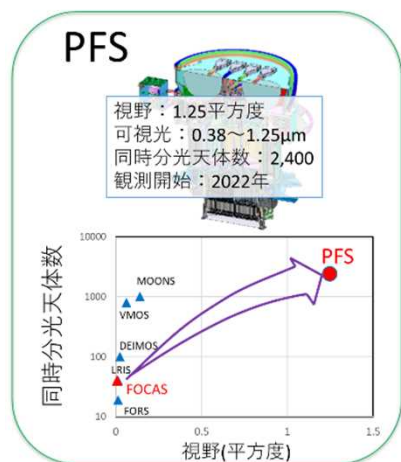
戦略性

我が国の強みを延ばし、他分野に波及

24

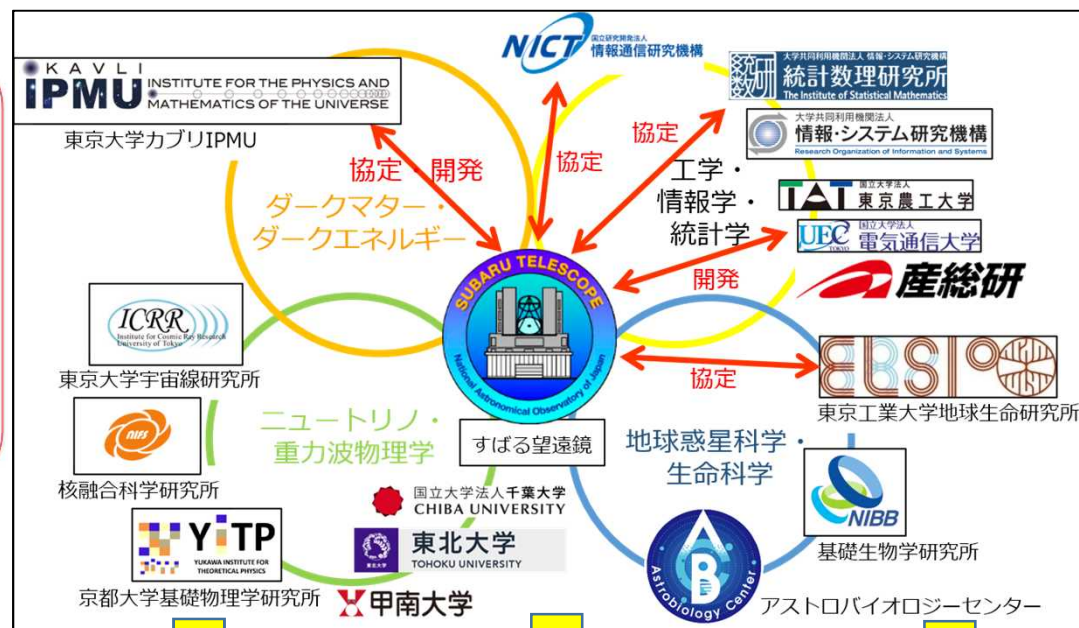
すばる2は、超広視野撮像分光観測、広視野高解像赤外線観測を駆使して広く宇宙を探索し、天文学分野で世界トップレベルの成果をあげる。

物理学、地球惑星科学などとの連携を深めるとともに、観測装置開発や大規模データ処理で工学・情報科学・統計学などの分野に波及効果をもたらす。



超広視野多天体分光器PFS、広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATEにより、すばる望遠鏡の広視野観測能力を飛躍的に高め、我が国の天文学を大きく発展させる。

他分野への展開



宇宙論 素粒子物理学
原子核物理学 重力波物理学
プラズマ物理学
地球物理学 生命科学

高感度可視センサ
高感度赤外線センサ
次世代補償光学
光ファイバー技術
レーザー周波数コム

サイエンス

超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



戦略性

頭脳循環と我が国の発展への寄与

25



すばる2の観測装置開発および大規模サーベイ観測の国際共同研究を、関係各国の研究者・ポスドク・学生が互いに行き来しながら推進し、我が国の学術研究および技術開発の発展に寄与する。

超広視野主焦点カメラHSC

超広視野多天体分光器PFS

広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATE

近赤外ドップラー分光装置IRD



社会や国民の支持

社会に貢献する「すばる2計画」

【SDGsへの貢献】

4 質の高い教育を
みんなに



本計画が挑む宇宙の謎の解明は人類普遍の興味であり、日本の科学の「フラッグシップ」として国民の科学に対する理解増進と教育基盤の発展に大きく貢献する。

すばる望遠鏡広報活動実績

科学成果発表件数	280件以上(1999年以降)
新聞掲載数	115件(2018年度)
ウェブサイトアクセス数	平均19,000件/日
Twitterフォロワー数	59,000人以上

3 すべての人に
健康と福祉を



HSC向け高感度可視光センサはX線にも感度を持ち、医療用レントゲン撮影装置にも応用され、医療被曝の低減に貢献している。また、JAXAスペースガードセンターの宇宙デブリ探索カメラに搭載されている。

9 産業と技術革新の
基盤をつくろう



すばる用に開発された高感度可視光センサ（左）とそれを搭載したデブリ探索望遠鏡（右）

超広視野撮像分光観測実現のための「革新的センシング」「ビッグデータ処理」「先進的光学」技術はSociety 5.0の技術課題であり、技術革新基盤の構築に貢献する。

8 働きがいも
経済成長も



すばる望遠鏡運用によって、ハワイ現地の雇用を促進し、地域経済に貢献する。

16 平和と公正を
すべての人に



17 パートナースhipで
目標を達成しよう



国際共同による科学研究推進・観測装置開発によって、国の垣根を超えた協力関係を構築し、国際平和の礎を築く。



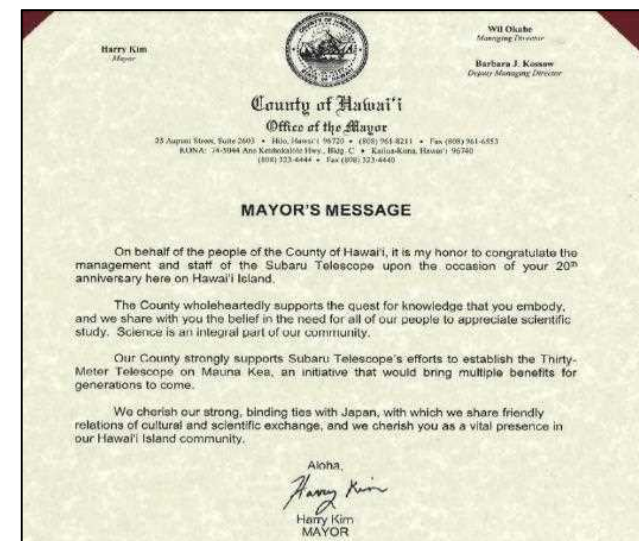
社会や国民の支持 地域社会との信頼関係

27

ハワイ観測所は、ハワイ地元との信頼関係を築くため、地元小中高校への教育支援や各種アウトリーチイベントによる科学普及などを通じて、地域社会に貢献した。

	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
山麓施設での講演・講義 (人数)	50件 (526)	23件 (389)	22件 (269)	23件 (392)	18件 (579)	16件 (472)	12件 (249)	コロナ禍 で中止
出前授業＋一般講演会@ハワイ (人数)	30件	37件 (1,133)	72件 (1,947)	59件 (1,613)	64件 (1,478)	49件 (1,446)	53件 (2,000)	コロナ禍 で中止
出前授業＋一般講演会@日本 (人数)	7件	16件 (1,453)	-	15件 (2,028)	32件 (2,098)	22件 (1,481)	2件 (120)	コロナ禍 で中止
リモート授業・講演会 (人数)	14件	13件 (1,944)	16件 (975)	11件 (949)	10件 (546)	10件 (917)	休止	5件 (3,000)
広報普及イベント@ハワイ (人数)	8件	8件 (5,940)	8件 (6,715)	13件 (6,675)	13件 (6,064)	12件 (3,570)	6件 (9,000)	1件 (1,000)
インターンシップ@ハワイ	0	0	6	4	6	7	5	5

- ・ オニヅカ・サイエンス・デイ@ハワイ大学
 - ・ 小学生・中学生対象
 - ・ ワークショップ、展示、ハンズオン
 - ・ 2018年イベント：114人の生徒が参加
- ・ ジャーニー・スルー・ザ・ユニバース
 - ・ 小学校から高校まで、マウナケア天文台職員が出前授業
 - ・ 2019年実績：ハワイ観測所から20人のスタッフが参加。55クラスを訪問。
- ・ アストロデイ@ショッピングセンター
 - ・ 一般市民対象 全マウナケア天文台が参加
 - ・ 展示、ハンズオン
 - ・ およそ600人の市民と直接触れ合う機会
- ・ セタまつり@ハワイ観測所
 - ・ ハワイ島日系人商工会議所と共催。
 - ・ そうめん流し、観測所員による出し物、等
 - ・ 2018年：約100名参加



ハワイ郡長ハリー・キムから届いた27 すばる
望遠鏡20周年へのお祝い

ハワイ地域社会と共同で行っている各種アウトリーチイベント



事業移行評価の留意事項

① 計画的な老朽化対策

建設開始からすでに20年以上が経過する中、自然災害等により顕在化する老朽化や定常的なメンテナンス不足に対し、計画を作成し順次対策を進めている。引き続き、観測に極めて重要な影響を及ぼす施設等のうち老朽化対策が真に必要なものを予め把握し、将来に向けた計画的な老朽化対策を講じていくことが必要である。後継計画の推進に当たっては、新たな観測装置の搭載による高度化に支障を来たさないよう、基本となる施設の計画的な老朽化対策が重要と考えられるが、どの時点までの運用を前提とした老朽化対策なのか、運用を続けるフェーズからクローズまでの道筋を見据えた将来計画に基づいた対策を行う事が必要である。

② 研究者の研究環境整備

本プロジェクトによる卓越した成果は、科学成果まで見通せる優秀な人材の高いモチベーションにより支えられている部分も大きい。特に、若手を含む研究者が、プロジェクトの運用業務にエフォートの多くを割かれ、自身の研究に専念できなくなることはないよう、業務の適切な分担への配慮など研究環境の整備に取り組む必要がある。また、メンター制度など若手研究者への支援体制を整備する取組や海外の同様の研究機関との流動性に関する状況を示すなど研究者が将来のキャリアプランを見通せるような取組を行う事も必要である。

③ 他の望遠鏡との連携・一体的な運用

後継計画の運用にあたっては、ローマン宇宙望遠鏡（NASA）やEuclid衛星（ESA）など次世代宇宙望遠鏡との共同研究や、マウナケア天文台群におけるケック天文台やジェミニ天文台との観測時間交換の実施など、現在の協力関係をさらに発展させることが必要である。また、チリのLSSTやE-ELTなど他の望遠鏡計画との連携についても検討を進めていくことが期待される。一方、国立天文台は、30m 光学赤外線望遠鏡（TMT）完成後には、TMT とすばる望遠鏡を一体的に運用する方針を掲げているが、TMT は、平成27年度より現地建設が中断しており、今後の見通しが明確といえる状況になく、一体的運用の在り方にも課題が生じている。後継計画の推進に当たっては、今後のTMT 計画の状況に合わせ、将来的な一体運用の在り方を検討することが不可欠である。また、TMT の見通しが不透明な状況にあるため、すばるとTMT の効果的な連携の観点から、柔軟かつ臨機応変に対応できる体制を検討することが必要である。



- 29

[illegible]



留意事項②への対応

- 現在のハワイ観測所では、若手研究者の業務工フォートは50%～70%に抑え、研究時間の確保に努めている。**各若手研究者にはスーパーバイザが付き、**観測所での業務分担と研究時間の確保、および、研究の達成度については、毎年、年度初めに国立天文台の「目標設定共有プロセス」に則って、**スーパーバイザと個々の研究者が面談を通じて年度目標と業務分担・工フォートを確認している。**さらに年度末に年度ごとの目標達成率を、研究者本人、スーパーバイザ、さらにその上司の間でチェックして過度な業務負担となっていないか、研究成果が十分挙げられているかどうかを確認しており、行き過ぎた業務負担がある場合は次年度の業務割合を調整するなどしている。また、ハワイ観測所では、すべての研究者が申請できる「**研究専任期間制度**」を設けており、3年間の間に3か月間を限度として、業務負担をゼロとして研究に専念できるようにしている。この期間には長期渡航も可能で、渡航費用および一定の研究費も支給する。こうした仕組みは、すばる2においても継続する。
- 若手研究者の研究活動を活性化するために、**所内セミナーを毎週開催**（これには近隣の天文台からも自由に参加できる）したり、観測に来所した研究者による特別セミナーなどを行うといった活動も行っていた。残念ながら、コロナ禍のため、昨年度からこのような取り組むは大きな制限を受け、オンラインを主としたものとなって、対面で直接議論する機会が失われているが、状況が好転し次第、復活させる。
- すばる2計画推進において、上記の取組のみでは不十分な場合もあると考えられるため、**よりきめ細かいサポート体制について、継続的に検討**をしていく。



留意事項③への対応

- 他の最先端望遠鏡・観測施設との連携については、**スライドp12**を参照されたい。
- すばる2で展開される科学研究は、広視野探査機能を活かした観測で発見される天体の追跡観測を要する課題を多数提起すると見込まれ、スライドp4～p10で示した研究課題は、将来の超大型望遠鏡（TMT、GMT、E-ELT）での観測で更なる発展が期待される。とりわけTMTは、すばる望遠鏡と同じ北半球のマウナケアに建設され、高い標高と安定した地球大気により、地球型系外惑星や宇宙最初の天体等の主要科学テーマに必要な赤外線観測で他の超大型望遠鏡に対し優位にある。また、すばる望遠鏡とその観測装置を実現した技術力は、すばる2とTMTの技術開発へと発展的につながっている。大型構造物の精密駆動や機械設計・制御、大型光学系、補償光学といったキー技術は、すばる2とTMTで共通しており、それぞれの開発におけるノウハウの蓄積は、他方の開発においても活かされる関係にある。
- このように、両望遠鏡は科学研究・技術開発両面で高いシナジーがある。すばる2の計画期間においては、TMT完成後の科学的連携を見据え、技術面での相乗的な効果を発揮しつつ、将来ハワイ観測所の元で一体的に運用し効率化を実現できるよう、検討・準備を進めていく。具体的な取組みとしては、広報と三鷹オフィスの事務に関して、TMTとハワイ観測所はすでに一体化を完了している。すばる2は、運用・開発によって人材育成や基礎技術の開発を行い、TMTの建設の諸段階に合わせて適切な人材供給や技術提供を行っていく。TMT完成の見通しが明確になり、TMTの運用の具体化が進めば、それに合わせて、これまで検討してきた一体的運用体制や移行計画を継続的に実施していく。