

Subaru 2

Satoshi Miyazaki
Subaru Telescope
NAOJ

Requests from a symposium chair

- Science Roadmap of Subaru 2
- How was Subaru 2 evaluated by the evaluation committee, and recommended as one of the 'Large Scale Academic Frontier Project' ?

Talk Outline

- Subaru 2
 - Outline
 - Science Cases and the Roadmap
- Evaluation Committee
 - The Members
 - Process: occurred in FY2021
 - 1. End-term evaluation over the past 9 years (Project transition evaluation)
 - 2. Program evaluation of the next 10 years (Preliminary evaluation)
 - 3. Annual Plan formulation
 - What were recommended ?
- Roles of Subaru N > 2 in the long run (private thought)

Subaru 2: the Key slide



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



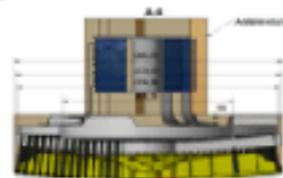
超精密視線速度測定

国際協力開発

PFS: 2023年完成、
ULTIMATE: 2027年完成



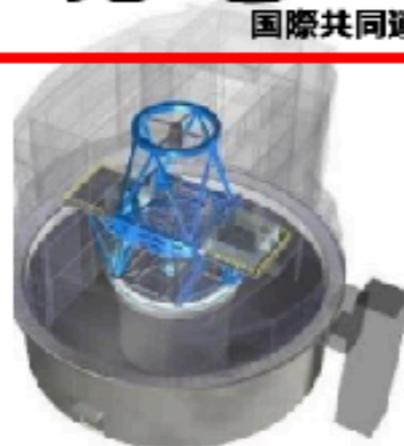
PFS
超広視野多天体
分光観測



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。

Subaru 2: the Key Science Cases

3



すばる2の主たる科学目標

Case 1: Probing the nature of dark matter/dark energy and the measurement of neutrino mass

- 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。

Case 2: Understanding of the large scale structure and physical process of galaxy formation/evolution

- 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。

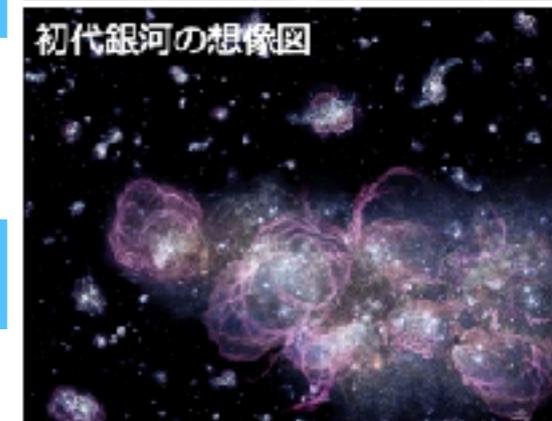
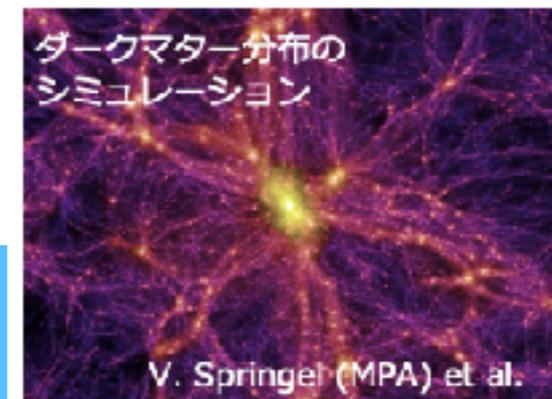
Case 3: Promotion of Multi Messenger Astronomy

- 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

Case 4: Identification of the candidates of earth-like exo-planets

- 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。

の性質の探求



Subaru 2: the Annual Schedule

Budget request

5



すばる2の年次計画

大規模学術フロンティア促進事業の年次計画

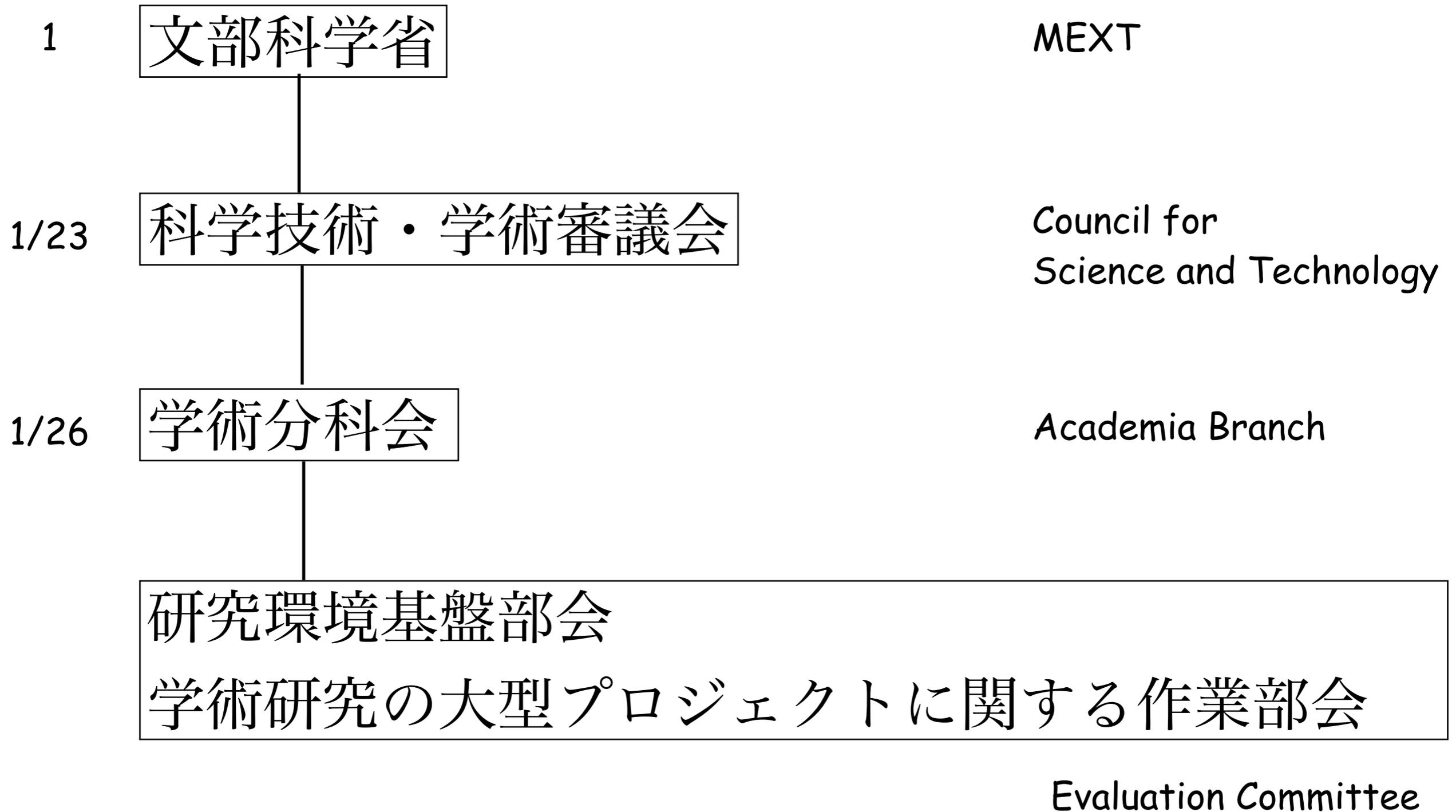
新規(実施主体案)

計画名称	大型光学赤外線望遠鏡による国際共同研究の推進	
実施主体	自然科学研究機構国立天文台	
所要経費	23,330百万円	計画期間 2022年から2031年(10年間)
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リ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。	
研究目標(研究テーマ)	①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 ②宇宙の構造形成、銀河形成・進化の物理過程の理解 ③マルチメッセンジャー天文学の展開 ④地球型惑星候補天体の同定	



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

Evaluation Committee



Evaluation Committee: the members

【学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会委員】

◎：主査

(令和3年4月1日現在)

(臨時委員)

石原安野	千葉大学グローバルプロミネント研究基幹教授
上田良夫	大阪大学大学院工学研究科教授
◎小林良彰	慶應義塾大学 SDM 研究所上席研究員・名誉教授、 ルーテル学院大学理事
中野貴志	大阪大学核物理研究センター長
長谷山美紀	北海道大学副学長、大学院情報科学研究院長
原田尚美	国立研究開発法人海洋研究開発機構地球環境部門長
松岡彩子	京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析 センター教授
山本佳世子	株式会社日刊工業新聞社論説委員兼編集委員
山本智	東京大学大学院理学系研究科教授

(専門委員)

岡部寿男	京都大学学術情報メディアセンター長
嘉糠洋陸	東京慈恵会医科大学教授
鈴木裕子	鈴木裕子公認会計士事務所長
高橋真木子	金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント研 教授
長谷川美貴	青山学院大学理工学部教授
三原智	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所教 情報・システム研究機構監事、筑波大学名誉教授
吉武博通	

【アドバイザー】**[Advisors]**

井上一	JAXA 宇宙科学研究所名誉教授
永原裕子	独立行政法人日本学術振興会学術システム研究セン 副所長、東京工業大学地球生命研究所フェロー
國枝秀世	あいちシンクロトロン光センター所長

Evaluation Committee: Evaluation of the past 9 years

別添

大規模学術フロンティア促進事業の年次計画										
計画名称	大型光学赤外線望遠鏡「すばる」の共同利用研究									
実施主体	【中心機関】自然科学研究機構国立天文台【連携機関】北大、京北大、京大、京工大、名大、京大、神戸大、兵庫県立大、甲南大、広島大、愛媛大、鹿児島大、米國(ハワイ大、プリンストン大、ケック天文台)、台湾(天文及天文物理研究所)、カナダ(ビクトリア大)、ドイツ(マックスプランク天文物理研究所)、ジュネー天文台等									
所要経費	建設費総額 約395億円 年間運用経費 約20億円 ※このうち、老朽化に伴う突発的な不具合など、執行・運用経費の増額等については、実施体制に対し、本事業予算に頼らない、多様な財源の確保を求める。	計画期間	建設期間 平成3(1991)～11年度(1999)、9年計画 運用期間 平成12年度(2000)より本格観測 〔事前評価 平成2年(1990)、中間評価 平成12年(2000)、進捗評価 平成25年(2013)、令和元年(2019)〕							
計画概要	銀河誕生時の宇宙の姿を探り、太陽系外の惑星の謎に迫るため、米國ハワイ州ハワイ島マウナケア山頂に建設した口径0.2mの大型光学赤外線望遠鏡(すばる)を用いて、国内外の研究者による共同利用観測を推進する。									
研究目標(研究テーマ)	1. ビッグバン後10億年以内の宇宙初期を観測し、宇宙における天体の形成過程を研究 2. 遠方宇宙を広い天域にわたって観測することにより、宇宙の大規模構造の起源を研究 3. 太陽系外惑星を直接観測し、その性質を研究 4. 重力波、ニュートリノ観測と密着した新たな天文学(マルチメッセンジャー天文学)の推進 5. 惑星系形成領域を観測し、惑星の形成過程を研究									
年次計画	2013	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (R元)	2020 (R2)	2021	2022 (R4)
1. ビッグバン後10億年以内の宇宙初期を観測し、宇宙における天体の形成過程を研究	Galaxy Evolution									
2. 遠方宇宙を広い天域にわたって観測することにより、宇宙の大規模構造の起源を研究	Cosmology									
3. 太陽系外惑星を直接観測し、その性質を研究	ExoPlanet1									
4. 重力波、ニュートリノ観測と密着した新たな天文学(マルチメッセンジャー天文学)の推進	Multi Messenger									
5. 惑星系形成領域を観測し、惑星の形成過程を研究	ExoPlanet2									
6. 運用体制の見直し	TMTに役割が引き継がれる研究テーマ、主観測に特化した観測機とする運用により終了する研究テーマ等を明確にして、すばるの運用の役割にメリハリをつけるとともに、国際協力等により、運営費の大幅な削減に取り組む。									
評価の実施時期	-	-	-	-	進捗評価	-	進捗評価	-	-	-

Galaxy Evolution

Cosmology

ExoPlanet1

Multi Messenger

ExoPlanet2

期末評価

Evaluation Committee: Evaluation of the past 9 years

Galaxy Evolution

Cosmology

ExoPlanet1

Multi Messenger

ExoPlanet2

科学目標	科学目標に対する成果
<p>1. ビッグバン後10億年以内の宇宙初期を観測し、宇宙における天体の形成過程を研究する</p> <p>超広視野主焦点カメラで、宇宙誕生後10億年以内の宇宙再電離期の銀河を観測する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・超広視野主焦点カメラHSCの広視野を活かして、ビッグバン後10億年以内に多数の超巨大ブラックホールおよび原始銀河団を発見し、宇宙再電離の時期に新たな示唆を与えるとともに、銀河の集積が開始された時期を明らかにした。 ・さらに初期宇宙を観測するための広視野高解像度赤外線観測装置ULTIMATEの設計を進めた。
<p>2. 遠方宇宙を広い天域にわたって観測することにより、宇宙の大規模構造の起源を研究する</p> <p>超広視野主焦点カメラと超広視野多天体分光器により遠方宇宙を広い天域にわたって観測し、宇宙の大規模構造のもとになったダークマターの分布を明らかにする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・超広視野主焦点カメラHSCを用いてダークマターの大規模広域探査を行い、これまでにない高解像度・広範囲のダークマターと銀河の3次元分布を描き出した。 ・宇宙の加速膨張探査を行うため、超広視野多天体分光器PFSの開発を進め、装置を構成する各コンポーネントを順次すばる望遠鏡に搭載して試験を行った。
<p>3. 太陽系外惑星を直接観測し、その性質を研究する</p> <p>高コントラスト観測装置および高分散分光器を用いて、系外惑星を観測し、その性質を明らかにする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高コントラストコロナグラフ撮像装置HiCIAOを用いて8個の太陽系外惑星の直接観測を行い、第2の木星を発見した。 ・近赤外線ドップラー分光装置IRDによる地球型惑星探査の戦略枠プログラムを開始した。 ・近赤外高コントラスト面分光装置CHARISを用いて系外惑星大気研究を進めた。
<p>4. 重力波、ニュートリノ観測と協調した新たな天文学（マルチメッセンジャー天文学）を推進する</p> <p>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、他波長望遠鏡と協力して観測し、物質の起源を明らかにする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・HSCを用いて重力波の追跡観測を行い、光赤外線対応天体を検出し、連続的な追跡観測に成功。中性子星合体によって金やプラチナ、生命活動の必須元素の一つであるヨウ素などの重元素が合成されている証拠を掴んだ。
<p>5. 惑星系形成領域を観測し、惑星の形成過程を研究する</p> <p>高コントラストカメラを用いて惑星系形成領域や生まれたての惑星を観測し、惑星の形成過程を研究する</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・HiCIAOを用いて多数の原始惑星系円盤を観測し、その構造を解明。 → アルマ望遠鏡につながる成果を多数生み出すことができた。

List of Declared Scientific Achievements

Evaluation Committee: Evaluation of the past 9 years

Schedule:

【本作業部会における事業移行評価の経過】

Site visit on 2021/5/12

- ①現地調査（国立天文台（東京都三鷹市）令和3年5月12日（水））
※本作業部会主査と事務局により調査

Hearing on 2021/05/18

- ②ヒアリング（令和3年5月18日（火））
※実施主体からのヒアリング及び若手含む実施研究者との意見交換

Summary and conclusion on 2021/6/15

- ③とりまとめ審議（令和3年6月15日（火））

Evaluation Committee: Evaluation of the past 9 years

Hearing:

開始時刻
リハーサル 5/10 14:00
本番 5/12 12:50

現地視察 スケジュール案 ver5

時間	場所	紹介する事項	準備する物品	若手
00:00 - 00:10	ATC1F廊下 HSC画像前	すばる望遠鏡の中でHSCが果たす役割 HSCで取得した画像の紹介 研究の意義 世界における独自性	廊下に貼ってあるポスター すばる望遠鏡の模型(解析研究棟から移動しておく)	
00:10 - 00:15	移動			
00:15 - 00:35	ATC3F検出器 実験室	HSCプロジェクトの鍵となるCCDの開発を、浜松ホトニクスとの共同で進め、高い性能のものを得られたこと。 基幹部品である読み出し回路は、世界的にも高性能なものを自分達で開発したこと。その他様々なものは自分達で作ったこと、将来計画として赤外線センサーの開発を進めていること。(さらに、時間が許せば、FOCAS IFUの紹介を行う)	CCDの検査装置 約250個のCCD保管容器(空箱) 開発したエレクトロニクス 大型フィルターの試作品 真空デュワーの試作品(FOCAS IFU試作部品)	中屋 鎌田 (尾崎)
00:35 - 00:40	移動			
00:40 - 00:45	3D & MEショップ	HSC/FOCAS IFU等の重要部品を作成した		鶴澤
00:45 - 00:50	移動			
00:50 - 01:00	解析研究棟 1F 計算機室	計算機クラスター いかに多くの計算機資源が必要かを示す 台内の理論グループから一世代前の計算機を譲り受ける等して、効率的に資源を活用していること。	設置してある計算機 ポスター	古澤 小池
01:00 - 01:20	解析研究棟1F 院生セミナー 室	1. 取得された画像の処理 2. HSCを用いた研究のハイライト ダークマター分布・宇宙論 遠方超新星(Time Domain) 3. CHARISによる成果	プロジェクター 8Kディスプレイ	古澤 宮崎 守屋(科学研究部) 葛原(ABC)

ATC

ATC

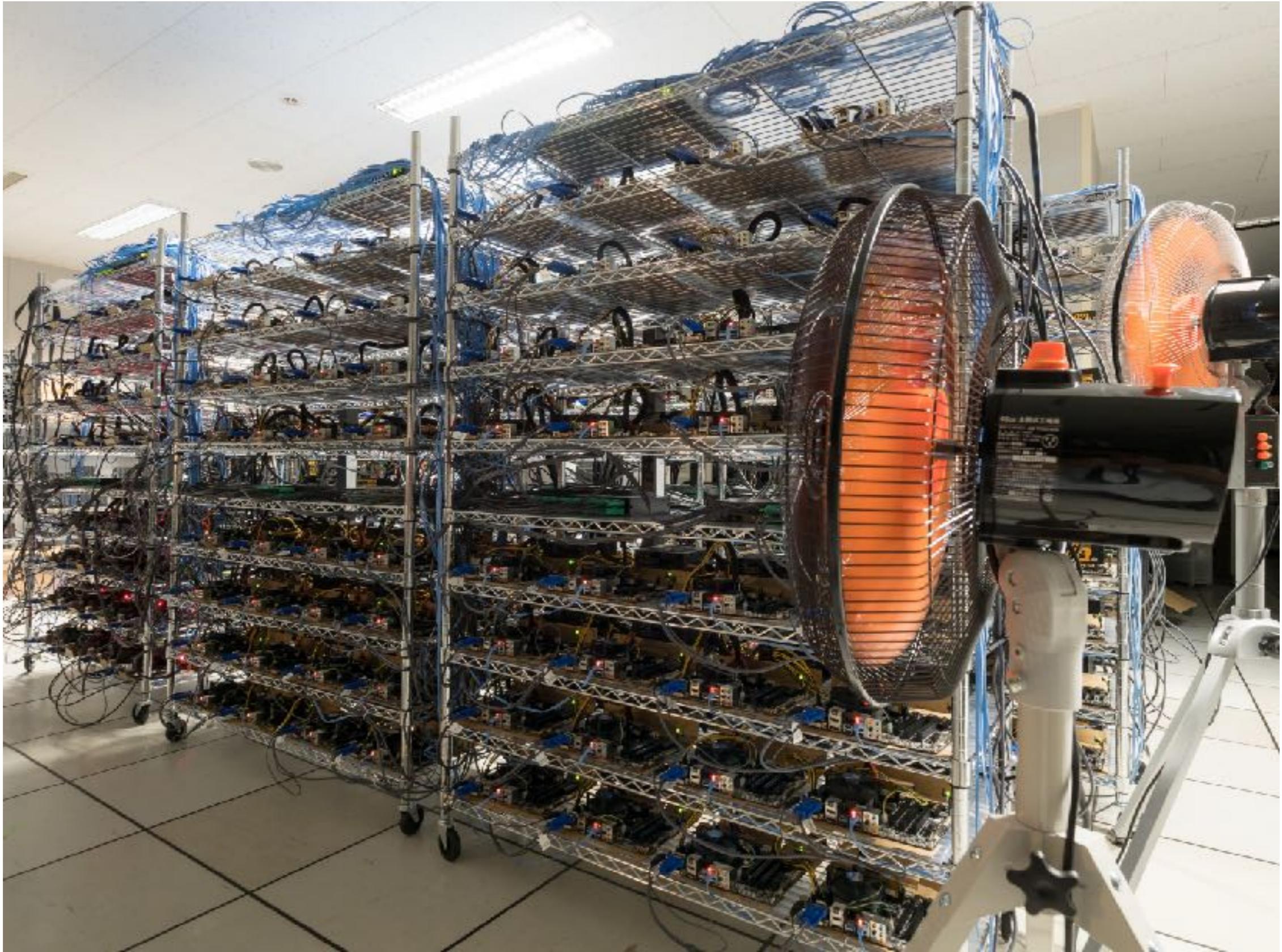
ATC

Computer Room

Talks on
Science Highlights

Evaluation Committee: Evaluation of the past 9 years

Computer Room:



Evaluation Committee: Evaluation of the past 9 years

Conclusion:

- Key findings:
 - Uniqueness of Subaru enables high productivity in all area of astronomy, and even beyond the classical astronomy segments
 - Project management in a good shape
 - High publicity owing to wide range of public outreach activities
- Recommended to move onto the next phase

Evaluation Committee: Subaru 2 Program Evaluation

Subaru 2 Proposal was evaluated by the same committee

Conclusion:

- Key findings:
 - Urgency
 - Strategy
 - Supports from tax-payers
 - Relationship with astronomy communities
 - All descriptions and the prospects are convincing
- Recommended for the "Large scale frontier project"

Evaluation Committee: Subaru 2 Program Evaluation

Points to note shown by the committee:

- Necessity of the steady renovations of facilities and the telescope
- Strengthen the common use and research collaborations even further
- Providing good research environments for those who support the operation of the observatory
- Promoting collaboration with other international partners that have access to advanced observing such as NASA Roman, ESA Euclid, US Rubin and E-ELT even further in addition to the established collaboration frame works with Keck and Gemini. Cooperation with TMT is important and should be flexible.
- Keep explaining tax payers to obtain supports. Risk communication professional might be critical to deal with delicate situations in Hawaii. Keep an eye on the economic security

Subaru International Collaborations

- Japan has a unique ground-based telescope ... 8.2 m Subaru Telescope
- Wide Field Imaging Camera (\emptyset 1.5 deg): HSC
- Multi object Spectrograph (\times 2500): PFS (to be ready soon)
- This attracts scientists globally and enables a variety of international collaborations. These secure the access of Japanese astronomers to the new and powerful observing facilities.
 1. eROSITA with German eROSITA Consortium
 2. Euclid with European Euclid Consortium
 3. Roman with US NASA
 4. Rubin with US NSF/DOE
 5. New Horizon with US NASA

Roles of Subaru $N > 2$ in the long run (private thoughts)

- Subaru as a test bench of TMT ~ 2030's
- Both science and instrumentations
- Subaru as a test bench of something beyond TMT ~ 2040's
- Prototyping efforts for future space missions ?

Summary

Keys to win the competition:

0. Explicitness

1. Uniqueness

2. International Collaboration