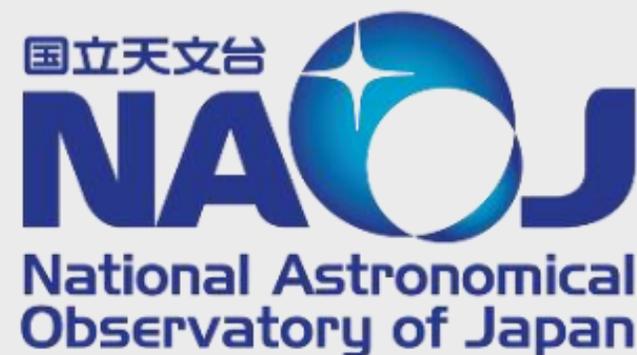


# 国立天文台の今後10年 から20年のビジョン

常田佐久（国立天文台）  
光赤天連シンポジウム  
2021年9月9日



# お話の内容

1. TMTへの対応
2. 大型プロジェクトをどう考えるか?
  - 2.1. 国立天文台は大型観測施設の建設運用に主要な役割を果たし続ける
  - 2.2. 大型観測装置の日本の天文学への貢献と外部の評価
  - 2.3. すばる後継計画 (すばる 2) 事前評価
3. 建設・運用予算の確保
  - 3.1. 貢献額を決める 2 つの条件
  - 3.2. 大規模学術フロンティア促進事業
  - 3.3. 大規模学術フロンティア促進事業の課題
  - 3.4. どうすべきか?
4. 米国・中国の動向
5. 宇宙科学における国立天文台の役割
6. まとめ

# 1. TMTへの対応

- ① TMTの実現は、天文学分野だけでなく日本の学術の発展にとっても極めて重要である。私はTMTは実現できると考えているし、対文科省の観点からも、国立天文台がTMTを未完のまま終了させるというオプションはない。
- ② 日本の天文学コミュニティ、ひいては、より広い日本の学術コミュニティが、TMT建設をあきらめない点でone voiceでいることが、最も大事である。
- ③ 30m級望遠鏡が複数台必須との世界の科学コミュニティのコンセンサスはすでに得られている。30m望遠鏡本体の設計は完了しており製造開始できる事と、分割鏡のかなりの部分が製造済である事が、日本の強みとなる。
- ④ コミュニティの強い意志と日本の強みを背景に、文科省関係局、米NSF幹部、AURA長官、日本および米国の連邦（国）・州議会関係者、GMTO、ESO等と連携していく。
- ⑤ なお、将来計画として宇宙望遠鏡LUVOIR、HabExなどが候補に挙がっているが、予算規模はTMTに比べて格段に大きく、一筋縄では実現できない。主鏡口径30mで回折限界を達成できるTMTは、これらのミッションに対して、十分その必須性を説明できる。

### 2.1. 国立天文台は大型観測施設の建設運用に主要な役割を果たし続ける

#### 大型光学赤外線望遠鏡「すばる2」

=国内外の研究者による共同利用観測=  
(すばるの機能を強化したすばる2へ移行)

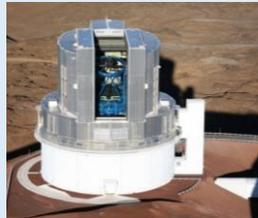
##### 【特徴】

超広視野観測が可能な世界唯一の大型望遠鏡。

- ・世界最大級の口径8.2m、世界最高精度で研磨された一枚ガラスの主鏡。
- ・最先端技術を活用した新観測装置の開発で、世界をリード。

##### 【建設場所】

米国ハワイ州マウナケア山頂域  
(標高約4,200m)



建設費：約395億円

建設期間：1991~1999年度

#### 大型電波望遠鏡「アルマ2」

=日本、米国、欧州による国際協カプロジェクト=  
(ALMA=Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array)

##### 【特徴】

ミリ波からサブミリ波までを観測できる巨大電波望遠鏡。

- ・12mアンテナ54台、7mアンテナ12台(計66台)。
- ・広範囲(16 km、山手線サイズ)の配置が可能。

##### 【建設場所】

南米チリのアタカマ高地(標高5,000m)



建設費：約251億円

建設期間：2004~2013年度

#### 30m光学赤外線望遠鏡「TMT」

=日本、米国、中国、インド、カナダが計画を推進=  
(TMT=Thirty Meter Telescope)

##### 【特徴】

従来の望遠鏡の3倍以上の解像度、10倍以上の集光力、100倍以上の感度を持った口径30mの光学赤外線望遠鏡。

- ・日本は望遠鏡本体や主鏡の製作などを担当。
- ・広視野のすばると高感度のTMTの連携は日本のユニークな強み。

##### 【建設予定場所】

米国ハワイ州マウナケア山頂域(標高4012m)



建設費：約375億円+国内経費40億円

建設期間：2032年度の完成を目指す

### これら3つの大型プロジェクトの推進により国立天文台が創出する新しい天文学

- ① ダークエネルギーの性質の解明(すばる、TMT)
- ③ 地球型系外惑星の探査(すばる、アルマ、TMT)
- ⑤ マルチメッセンジャー天文学の推進(すばる)

- ② 宇宙最初期の天体形成の解明(すばる、アルマ、TMT)
- ④ 生命の起源の探究(アルマ、TMT)

## 2. 大型プロジェクトをどう考えるか

## 2.1. 国立天文台は大型観測施設の建設運用に主要な役割を果たし続ける

すばる年次計画終期に伴う事業移行評価・すばる後継計画（すばる2）事前評価が終了

本計画は、我が国の科学技術・学術を牽引する一翼となっている大型光学赤外線望遠鏡「すばる」の超広視野・高解像度観測能力を飛躍的に向上させるものであり、高い緊急性、戦略性を持ち、国内外の研究者コミュニティの合意や社会・国民の支持を得られる計画として評価できる。

これまでの優れた成果をベースとした4つの科学目標を達成するため、PFS, ULTIMATE等の新しい観測装置の開発や、今後重要な要素となる現有装置の老朽化対策を実施することにより、他で代替することができない望遠鏡として、引き続き我が国が主導的な役割を果たしながら世界の天文学を牽引し、国際競争力を維持していくことが期待される。

以上を総合的に勘案し、本計画は積極的に進めるべきであり、早急に着手すべきであると評価する。

大規模学術フロンティア促進事業現行計画の終期等

	すばる	アルマ	TMT (※)
現行年次計画 終期	2021年度	2022年度	2021年度
後継計画	すばる2	アルマ2	—
Road Map 掲載状況	RM2020掲載 すばる2	RM2020掲載 アルマ2	—

(※) 2019年度の大型プロジェクト作業部会による進捗評価の結果、2021年度末までにプロジェクト完了の見通しが明らかとなった場合、改めて進捗評価をするとされた。

## 2. 大型プロジェクトをどう考えるか

## 2.1. 国立天文台は大型観測施設の建設運用に主要な役割を果たし続ける

すばる年次計画終期に伴う事業移行評価・すばる後継計画（すばる2）事前評価が終了

本計画は、我が国の科学技術・学術を牽引する一翼となっている大型光学赤外線望遠鏡「すばる」の**超広視野・高解像度観測能力**を飛躍的に向上させるものであり、**高い緊急性、戦略性**を持ち、国内外の研究者コミュニティの合意や社会・国民の支持を得られる計画として評価できる。

これまでの優れた成果をベースとした4つの科学目標を達成するため、**PFS, ULTIMATE**等の新しい観測装置の開発や、今後重要な要素となる現有装置の**老朽化対策**を実施することにより、**他で代替することができない望遠鏡**として、引き続き**我が国が主導的な役割**を果たしながら**世界の天文学を牽引し、国際競争力を維持**していくことが期待される。

以上を総合的に勘案し、本計画は積極的に進めるべきであり、早急に着手すべきであると評価する。

大規模学術フロンティア促進事業現行計画の終期等

	すばる	アルマ	TMT (※)
現行年次計画 終期	2021年度	2022年度	2021年度
後継計画	すばる2	アルマ2	—
Road Map 掲載状況	RM2020掲載 すばる2	RM2020掲載 アルマ2	—

(※) 2019年度の大型プロジェクト作業部会による進捗評価の結果、2021年度末までにプロジェクト完了の見通しが明らかとなった場合、改めて進捗評価をするとされた。

## 2. 大型プロジェクトをどう考えるか

### 2.1. 国立天文台は大型観測施設の建設運用に主要な役割を果たし続ける

#### 大型光学赤外線望遠鏡「すばる2」 ＝国内外の研究者による共同利用観測＝

【特徴】  
超広視野観測が可能な世界唯一の大型望遠鏡。  
・世界最大級の口径8.2m、世界最高精度で研磨された一枚ガラスの主鏡。  
・最先端技術を活用した新観測装置の開発で、世界をリード。

【建設場所】  
米国ハワイ州マウナケア山頂域  
(標高約4,200m)



建設費：約395億円  
建設期間：1991~1999年度

#### 大型電波望遠鏡「アルマ2」 ＝日本、米国、欧州による国際協カプロジェクト＝

(ALMA=Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array)

【特徴】  
ミリ波からサブミリ波までを観測できる巨大電波望遠鏡。  
・12mアンテナ54台、7mアンテナ12台(計66台)。  
・広範囲(16 km、山手線サイズ)の配置が可能。

【建設場所】  
南米チリのアタカマ高地(標高5,000m)



建設費：約251億円  
建設期間：2004~2013年度

#### 30m光学赤外線望遠鏡「TMT」 ＝日本、米国、中国、インド、カナダが計画を推進＝

(TMT=Thirty Meter Telescope)

【特徴】  
従来の望遠鏡の3倍以上の解像度、10倍以上の集光力、100倍以上の感度を持った口径30mの光学赤外線望遠鏡。  
・日本は望遠鏡本体や主鏡の製作などを担当。  
・広視野のすばると高感度のTMTの連携は日本のユニークな強み。

【建設予定場所】  
米国ハワイ州マウナケア山頂域



建設費：約375億円+国内経費40億円  
建設期間：2032年度の完成を目指す

将来プロジェクト？

これら3つの大型プロジェクトの推進により国立天文台が創出する新しい天文学

- ① ダークエネルギーの性質の解明(すばる、TMT)
- ② 宇宙最初期の天体形成の解明(すばる、アルマ、TMT)
- ③ 地球型系外惑星の探査(すばる、アルマ、TMT)
- ④ 生命の起源の探究(アルマ、TMT)
- ⑤ マルチメッセンジャー天文学の推進(すばる)

？

既存プロジェクトとの整合性（サイエンスケース）は？  
プロジェクトの規模と体制は？

## 2. 大型プロジェクトをどう考えるか

## 2.1. 国立天文台は大型観測施設の建設運用に主要な役割を果たし続ける

## 大型光学赤外線望遠鏡「すばる2」

=国内外の研究者による共同利用観測=

## 【特徴】

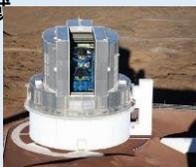
超広視野観測が可能な世界唯一の大型望遠鏡。  
 ・世界最大級の口径8.2m、世界最高精度で研磨された一枚ガラスの主鏡。  
 ・最先端技術を活用した新観測装置の開発で、世界をリード。

## 【建設場所】

米国ハワイ州マウナケア山頂域  
 (標高約4,200m)

建設費：約395億円

建設期間：1991~1999年  
 度



## 大型電波望遠鏡「アルマ2」

=日本、米国、欧州による国際協カプロジェクト=

(ALMA=Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array)

## 【特徴】

ミリ波からサブミリ波までを観測できる巨大電波望遠鏡。  
 ・12mアンテナ54台、7mアンテナ12台(計66台)。  
 ・広範囲(16 km、山手線サイズ)の配置が可能。

## 【建設場所】

南米チリのアタカマ高地

建設費：約251億円

建設期間：2004~2013年度



## 30m光学赤外線望遠鏡「TMT」

=日本、米国、中国、インド、カナダが計画を推進=

(TMT=Thirty Meter Telescope)

## 【特徴】

従来の望遠鏡の3倍以上の解像度、10倍以上の集光力、100倍以上の感度を持った口径30mの光学赤外線望遠鏡。  
 ・日本は望遠鏡本体や主鏡の製作などを担当。  
 ・広視野のすばると高感度のTMTの連携は日本のユニークな強み。

## 【建設予定場所】

米国ハワイ州マウナケア山頂域

建設費：約375億円+国内経費40億円

建設期間：2032年度の完成を目指す



## 将来プロジェクト

?

## これら3つの大型プロジェクトの推進により国立天文台が創出する新しい天文学

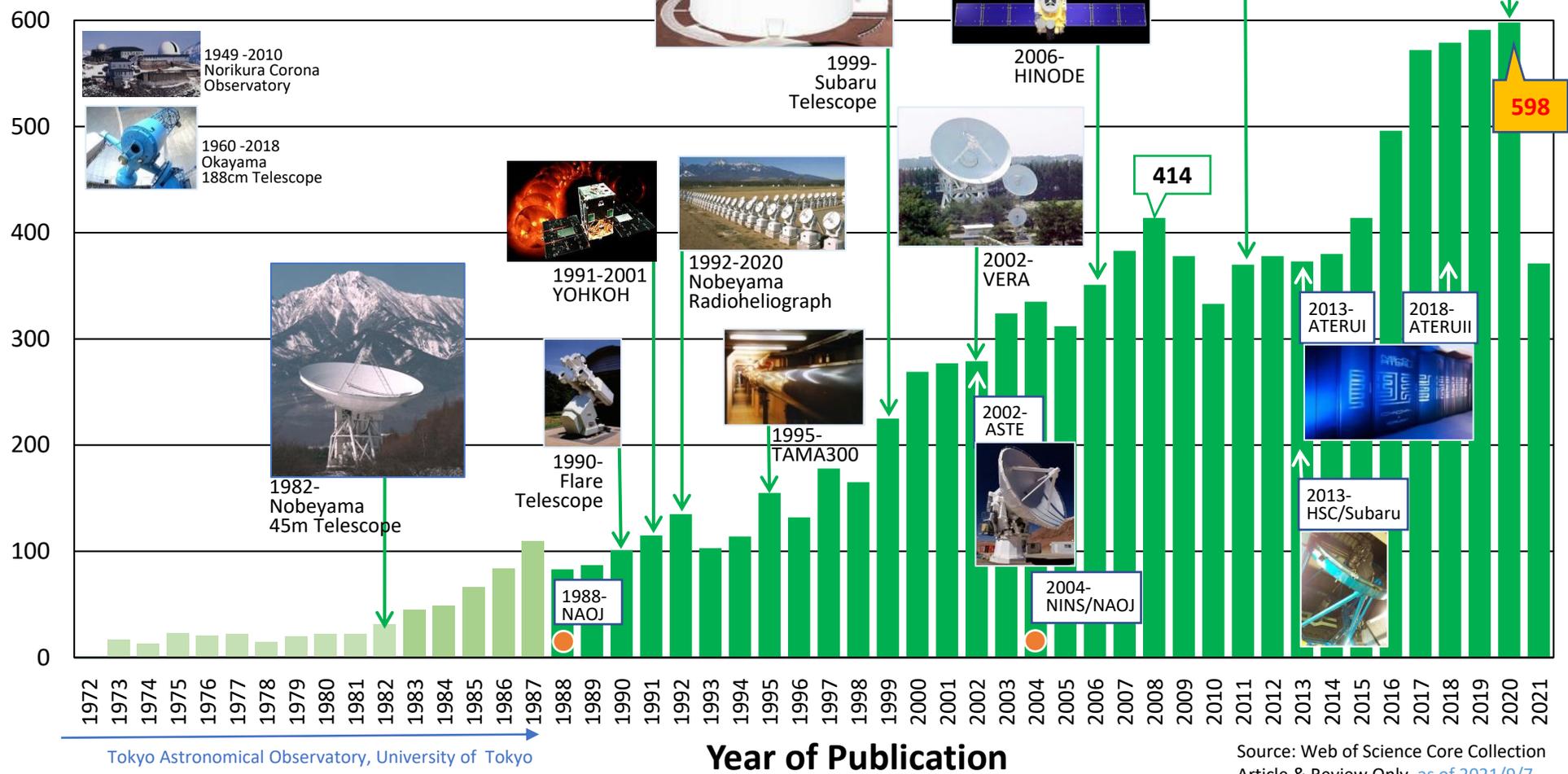
- ① ダークエネルギーの性質の解明(すばる、TMT)
- ② 宇宙最初期の天体形成の解明(すばる、アルマ、TMT)
- ③ 地球型系外惑星の探査(すばる、アルマ、TMT)
- ④ 生命の起源の探究(アルマ、TMT)
- ⑤ マルチメッセンジャー天文学の推進(すばる)

?

# 2. 大型プロジェクトをどう考えるか

## 2.2. 大型観測装置の日本の天文学への貢献と外部の評価

Number of Refereed Papers including NAOJ Authors (TAO-NAOJ 1972-2021\*)



Tokyo Astronomical Observatory, University of Tokyo

Source: Web of Science Core Collection Article & Review Only as of 2021/9/7

国立大学法人評価委員会  
第3期中期目標期間  
(2016～2021年度)  
4年目終了時評価の結果

●全体  
第3期中期目標期間(4年目終了時評価)に係る業務の実績に関する評価結果(国立大学法人評価委員会)

●教育研究の状況  
中期目標の達成状況に関する評価結果(大学改革支援・学位授与機構)

研究に関する**現況分析**結果(大学改革支援・学位授与機構)

2. 大型プロジェクトをどう考えるか  
2.2. 大型観測装置の日本の天文学への貢献と外部の評価  
学部・研究科等の研究に関する**現況分析**結果(自然科学研究機構)

学部・研究科等	研究活動の状況		研究成果の状況	
国立天文台	【4】	特筆すべき高い質にある	【4】	特筆すべき高い質にある
核融合科学研究所	【3】	高い質にある	【3】	高い質にある
基礎生物学研究所	【3】	高い質にある	【3】	高い質にある
生理学研究所	【3】	高い質にある	【2】	相応の質にある
分子科学研究所	【4】	特筆すべき高い質にある	【4】	特筆すべき高い質にある

※ 現況分析の判定は【1】～【4】。【4】が最高。

1. 国立天文台

分析項目Ⅰ 研究活動の状況

【判定】 特筆すべき高い質にある

【判断理由】  
研究活動の基本的な質を実現している。  
次世代の天文学を担う萌芽的プロジェクトを設立し、**装置開発プロジェクトや将来計画の検討グループを設置して研究体制を強化している**。具体的には、平成31年4月に四つの研究部(理論、光赤外、電波、太陽天体プラズマ)を統合して「科学研究部」を設立し、「アルマ望遠鏡で実証する惑星形成円盤の偏波基礎理論」や「重力波源となる中性子星連星を形成する超新星爆発の研究」といった理論と観測の垣根を超えた研究業績をあげている。

【優れた点】  
○ 次世代の天文学を担う萌芽的プロジェクトの設立を促し、装置開発プロジェクトや将来計画の検討グループを設置して体制を強化した。

【特色ある点】  
○ 研究体制の見直しを行い、平成31年4月に4つの研究部(理論、光赤外、電波、太陽天体プラズマ)を統合して「科学研究部」を設立した。事務作業を集約するとともに、**理論研究と観測研究の融合、多波長天文学、マルチメッセンジャー天文学**といった天文学分野の新たなキーワードのもとで研究者が自由な発想に基づく研究を行い、理論と観測の垣根を超えた多くの成果が産み出された。

分析項目Ⅱ 研究成果の状況

【判定】 特筆すべき高い質にある

【判断理由】  
学術的に卓越している研究業績、社会・経済・文化的に卓越している研究業績が、それぞれ、19件、4件との評価を受けており、現況分析単位の目的・規模等を勘案し、特筆すべき高い質にあると判断した。  
**特に、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ**の性能を活かし、58万個の遠方銀河のサンプルを用いた大規模統計研究を行っている。宇宙論モデルとの比較研究により、宇宙と星の誕生・進化は、重力による構造形成と宇宙膨張の二つの要素によって説明されることを示している。さらに、宇宙黎明期を対象とした大規模なクエーサー探査観測を行い、100個近い巨大ブラックホールを発見し、その個数密度等の精密測定から、巨大ブラックホールの起源に関する理論モデルとの詳細な比較を可能にしている。

資料3  
[https://www.niad.ac.jp/sub\\_hyouka/kokudai2020/3\\_2020\\_88\\_sizen\\_kagaku\\_3.pdf](https://www.niad.ac.jp/sub_hyouka/kokudai2020/3_2020_88_sizen_kagaku_3.pdf)

## 2. 大型プロジェクトをどう考えるか

# (参考) 大学共同利用機関の検証結果について

### (科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会)

#### 自然科学研究機構 国立天文台

世界最先端の観測装置・研究施設を運用して共同利用・共同研究に供することにより顕著な研究成果を上げている。また、研究成果の発信という点でも他の機関の範となる取組が行われ、自己検証のとおり、大学共同利用機関として備えるべき要件に照らして十分な活動を行っていると認められる。

限られた予算で効率的な運用を進めるため、台内・研究者コミュニティの意見を十分に取り入れながら、長期的視野に立った機関の運営が求められる。

#### (優れた点等)

○**すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡、スパコン・アテルイII等の最先端の観測装置・研究施設を運用し、共同利用・共同研究に供することにより、国内のみならず国際的な天文学・天体物理学分野の中核研究拠点としての役割を果たしている。国際共著論文の割合やTOP 1%、10%論文の割合が高いレベルで推移し、顕著な研究成果を上げている。**

○総研大を中心とした大学院教育、将来に向けた研究者の育成に一定の寄与を果たしている。

○新分野の創成について、マルチメッセンジャー天文学、宇宙・天文学と基礎生物学の新たな融合分野「アストロバイオロジー」（宇宙生物学）の展開を図る等の意欲的な取組が見られる。今後は、これら以外の新たな分野へのチャレンジも期待される。

○研究成果をそのプロセスを含めて社会に幅広く発信しており、広報普及活動において他の大学共同利用機関のモデルとなっていると言える。

#### (課題、改善を要する点等)

○今後の天文学の方向性を踏まえた国立天文台の運営方針、共同利用施設の在り方等について、台内や研究コミュニティとの対話を重視し、意思疎通をより活発にし、長期的視野に立った計画的な検討が行われるべきである。

○すばる望遠鏡等の老朽化対策、運営費の確保が課題である。また、巨大化する大型プロジェクトについては、国際分担の議論をより進めることが重要である。

○ハワイ現地での建設工事が中断しているTMT（30m望遠鏡）について、代替案やすばる望遠鏡との一体的運用の在り方も含め、引き続き今後の方針を検討すべきではないか。

○研究教育職員のダイバーシティ（女性、外国人）への配慮について、より努力が求められる。

○国際的な中核研究拠点として、自己検証において他の世界的な天文学分野の研究機関とのベンチマークが必要ではないか。

○大学共同利用機関はコミュニティが一体となって運営に当たる組織であり、各種会議の議事録、規則などは適切に公開されるべきである。

#### (その他)

○天文学においてプロジェクトや観測装置等が年々巨大なものとなっていく中、限られた予算で効率的な運用を進めるため、経費の国際分担の在り方を含めた適切な国際連携の一層の推進を図るとともに、JAXA 宇宙科学研究所及び大学等との連携の一層の強化を図ることが望ましい。



東アジア	米欧
<b>建設期</b>	
 <p>② ACAアンテナ ※米欧50台のみでは描けない 正確な画像を実現 7mアンテナ 12台 12mアンテナ 4台</p> <p>③ 受信機システム バンド 4,8,10</p> <p>④ 信号伝送・変換・評価部 ACA用</p> <p>⑤ 高分散相関器 ACA用</p>	 <p>① サイト建設 インフラ工事 (米欧)</p> <p>② 12mアンテナ 25台 (米) 25台 (欧)</p> <p>③ 受信機システム バンド 3,6 (米) バンド 7,9 (欧)</p> <p>④ 信号伝送・変換・評価部 米欧アンテナ用</p> <p>⑤ 基本型相関器 米欧アンテナ用</p>
<b>建設期に計画され、開発完了を目指している項目</b>	
 <p>③ 受信機システム バンド 1</p> <p>⑤ 高分散相関器 ACA分光計</p>	<p>③ 受信機システム バンド 5 (欧+米) バンド 2 (欧+日本)</p>

世界が注目する大規模プロジェクトへの安定的・継続的な支援を図るべく、「ロードマップ」等に基づき、国際的な競争・協調に迅速かつ適切に対応できるよう支援し、戦略的・計画的な推進を図る。

・ 「大規模学術フロンティア促進事業」概要

- 2012年度に「大規模学術フロンティア促進事業」創設。
- 2021年度予算額は331億円。
- 現在、年次計画に基づき、14プロジェクトを推進。
- 対象事業選定の流れ
  - 日本学術会議が、広範な研究分野コミュニティの意向を踏まえて「マスタープラン」を策定。
  - 文科省科学技術・学術審議会が、マスタープランも参考に、大型プロジェクト推進に当たっての優先度を明らかにする観点から「ロードマップ」を策定。
  - 文科省が、ロードマップに基づき、早急に着手すべき新規プロジェクトを検討し、科学技術・学術審議会に諮った上で、概算要求を行う。

### 3. 建設・運用予算の確保

#### 3.2. 大規模学術フロンティア促進事業

**大規模学術フロンティア促進事業等の一覧(14プロジェクト)**

<p><b>日本語の歴史的典籍の国際共同研究ネットワーク構築計画</b> (人間文化研究機構国文学研究資料館)</p> <p>日本語の歴史的典籍30万点を画像データベース化し、新たな異分野融合研究や国際共同研究の発展を目指す。古典籍に基づき過去のオーロラの研究、江戸時代の食文化の研究など他機関や産業界と連携した新たな取組を開始。</p> 	<p><b>フロンファクトリー(PF)による物質と生命の探究</b> (高エネルギー加速器研究機構)</p> <p>学術研究、さらには産業利用を通じ物質の構造と機能の解明を目指す。白川先生(2000年ノーベル化学賞)、赤崎先生・天野先生(2014年ノーベル物理学賞)などの研究に貢献。</p> 
<p><b>大型光学赤外線望遠鏡「すばる」の共同利用研究</b> (自然科学研究機構国立天文台)</p> <p>米国ハワイ島に建設した口径8.2mの「すばる」望遠鏡により、銀河が誕生した頃の宇宙の姿を探る。約129億光年離れた銀河を発見するなど、多数の観測成果。</p> 	<p><b>高輝度大型ハドロン衝突型加速器(HL-LHC)による素粒子実験</b> (高エネルギー加速器研究機構)</p> <p>CERNが設置するLHCについて、陽子の衝突頻度を10倍に向上し、現行のLHCよりも広い質量領域での新粒子探索や暗黒物質の直接生成等を目指す国際共同プロジェクト。日本(LHCにおける国際貢献の実績を活かし、引き続き加速器及び検出器の製造を国際分担。</p> 
<p><b>大型電波望遠鏡「アルマ」による国際共同利用研究の推進</b> (自然科学研究機構国立天文台)</p> <p>日米欧の国際協力によりすでに建設した口径12mと7mの電波望遠鏡からなる「アルマ」により、生命関連物質の探索や惑星・銀河形成過程の解明を目指す。</p> 	<p><b>新しいステージに向けた学術情報ネットワーク(SINET)整備</b> (情報・システム研究機構国立情報学研究所)</p> <p>国内の大学等を100Gbpsの高速通信回線ネットワークで結び、共同研究の基盤を提供。国内900以上の大学・研究機関、約300万人の研究者・学生が活用。</p> 
<p><b>超大型望遠鏡TMT計画の推進</b> (自然科学研究機構国立天文台)</p> <p>日米加中印の国際協力により口径30mの「TMT」を米国ハワイに建設し、太陽系外の第2の地球の探索、最初に誕生した星の検出等を目指す。</p> 	<p><b>南極地域観測事業</b> (情報・システム研究機構国立極地研究所)</p> <p>南極の昭和基地での大型大気レーザー(PANSY)による観測等を継続的に実施し、地球環境変動の解明を目指す。オゾンホールが発見など多くの科学的成果。</p> 
<p><b>超高性能プラズマの定常運転の実証</b> (自然科学研究機構核融合科学研究所)</p> <p>我が国独自のアイデアによる「大型ヘリカル装置(LHD)」により、高温高密度プラズマの実現と定常運転の実証を目指す。また、将来の核融合炉の実現に必要な学理の探求と体系化を目指す。</p> 	<p><b>スーパーカミオカンデによるニュートリノ研究の推進</b> (東京大学宇宙線研究所)</p> <p>超大型水槽(5万トン)を用いニュートリノを観測し、その性質の解明を目指す。2015年梶田博士はニュートリノの質量の存在を確認した成果によりノーベル物理学賞を受賞。また、2002年小柴博士は、前身となる装置でニュートリノを初検出した成果により同賞を受賞。</p> 
<p><b>スーパーKEKBによる実験研究</b> (高エネルギー加速器研究機構)</p> <p>加速器のビーム衝突性能を増強し、宇宙初期の現象を多数再現して「消えた反物質」「暗黒物質の正体」「質量の起源」の解明など新しい物理法則の発見・解明を目指す。前身となる装置では、小林・益川博士の「CP対称性の破れ」理論(2008年ノーベル物理学賞)を証明。</p> 	<p><b>大型低歪重力波望遠鏡(KAGRA)計画</b> (東京大学宇宙線研究所)</p> <p>一辺3kmのL字型のレーザー干渉計により重力波を観測し、ブラックホールや未知の天体等の解明を目指すとともに、日米欧による国際ネットワークを構築し、重力波天文学の構築を目指す。</p> 
<p><b>大強度陽子加速器(J-PARC)による実験研究</b> (高エネルギー加速器研究機構)</p> <p>日本原子力研究開発機構と共同で、世界最大級のビーム強度を持つ陽子加速器施設を運営。ニュートリノなど多様な粒子ビームを用いて基礎研究から応用研究に至る幅広い研究を推進。</p> 	<p><b>ハイパーカミオカンデ計画の推進</b> (東京大学宇宙線研究所、高エネルギー加速器研究機構)</p> <p>ニュートリノ研究の次世代計画として、超高感度検出器を備えた総質量26万トンの大型検出器の建設及びJ-PARCの高感度化により、ニュートリノの検出性能を著しく向上。素粒子物理学の大統一理論の鍵となる未発見の陽子崩壊探索やCP対称性の破れなどのニュートリノ研究を通じ、新たな物理法則の発見、素粒子と宇宙の謎の解明を目指す。</p> 

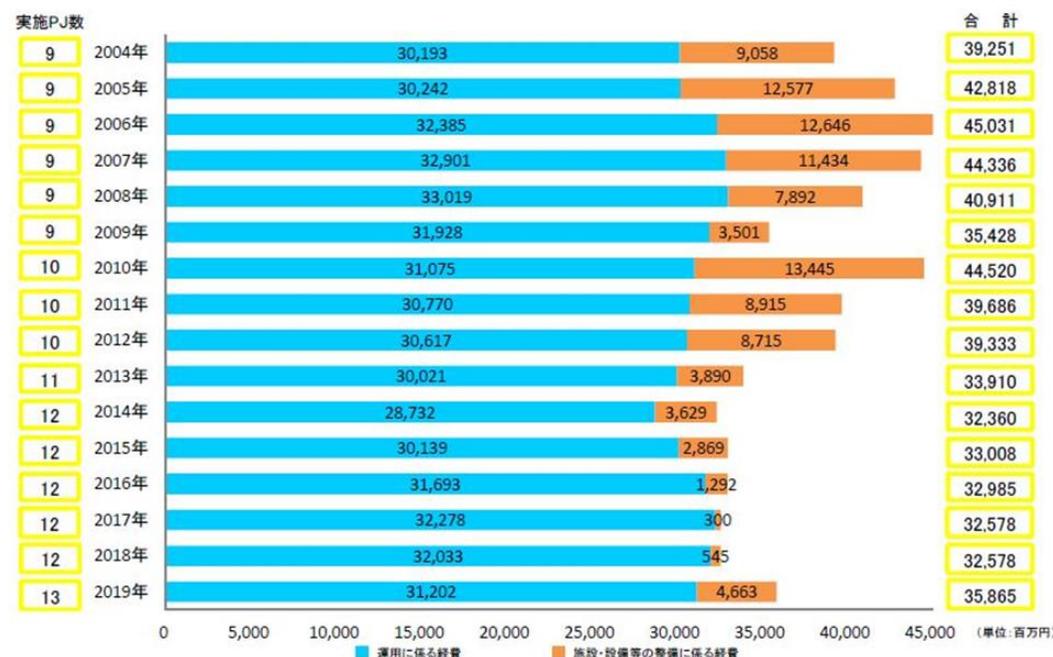
(2021.6.18「第4期中期目標期間における国立大学法人運営費交付金の在り方に関する検討会」資料より)

## 3. 建設・運用予算の確保

## 3.3. 大規模学術フロンティア促進事業の課題

- **2012年度の事業創設以降、予算は増えていない:** 事業創設の趣旨は、大型プロジェクトの「安定的・継続的な支援による戦略的・計画的な推進」だが、減少傾向にある国立大学法人運営費交付金の枠内にあるため、2012年度創設以降、プロジェクト数が増えているにもかかわらず予算は増えていない。
- **学術研究であり運営費も不可欠:** 学術以外にも広く活用可能な施設であれば、別途運営費を確保できる可能性はあるが、共同利用者は大学等が中心であり、開発・設置終了後も運営に対する支援が不可欠である。
- **支援プロジェクトを終了できず、新規プロジェクト追加の可能性が低い:** 学術研究であるため、上記の通り、開発・設置終了後の運営支援等が不可欠であり、支援プロジェクトを終了できず、新規大型プロジェクトが採択される可能性も低くなっている。

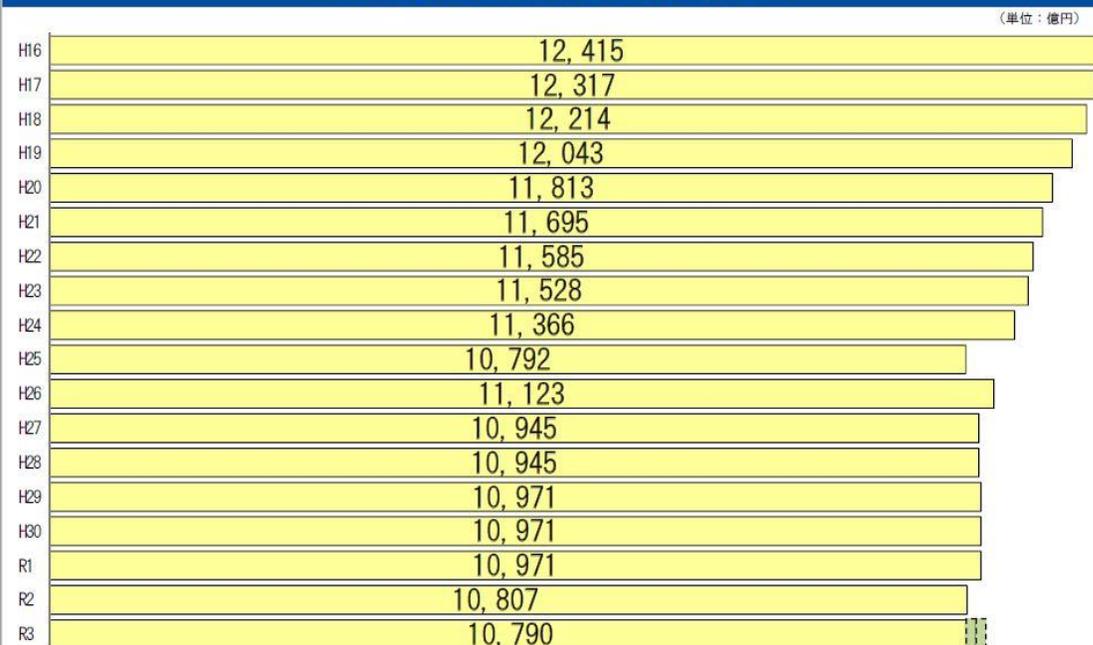
「大規模学術フロンティア促進事業等」の当初予算額の推移



※「運用に係る経費」は国立大学法人先端研究推進費補助金を含む  
 ※各年度の予算額は「南極地域観測事業」及び「放射光施設による実験研究」を含む  
 ※2019年度の施設・設備等の整備に係る経費には国土強靱化に係る臨時・特別措置分を含む

(2019.4.23「学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会」資料より)

国立大学法人運営費交付金予算額の推移



※平成29年度・平成30年度予算額には、国立大学法人機能強化促進費を含む。  
 ※令和2年度予算から、高等教育修学支援新制度の授業料等減免分を内閣府に計上。  
 ※令和3年度予算においては、用地一括購入長期借入金債務償還経費（令和2年度までの経費）の当然▲減（▲44億円）がある。

令和2年度第3次補正予算  
 基盤的設備整備：100億円、最先端研究基盤整備：102億円

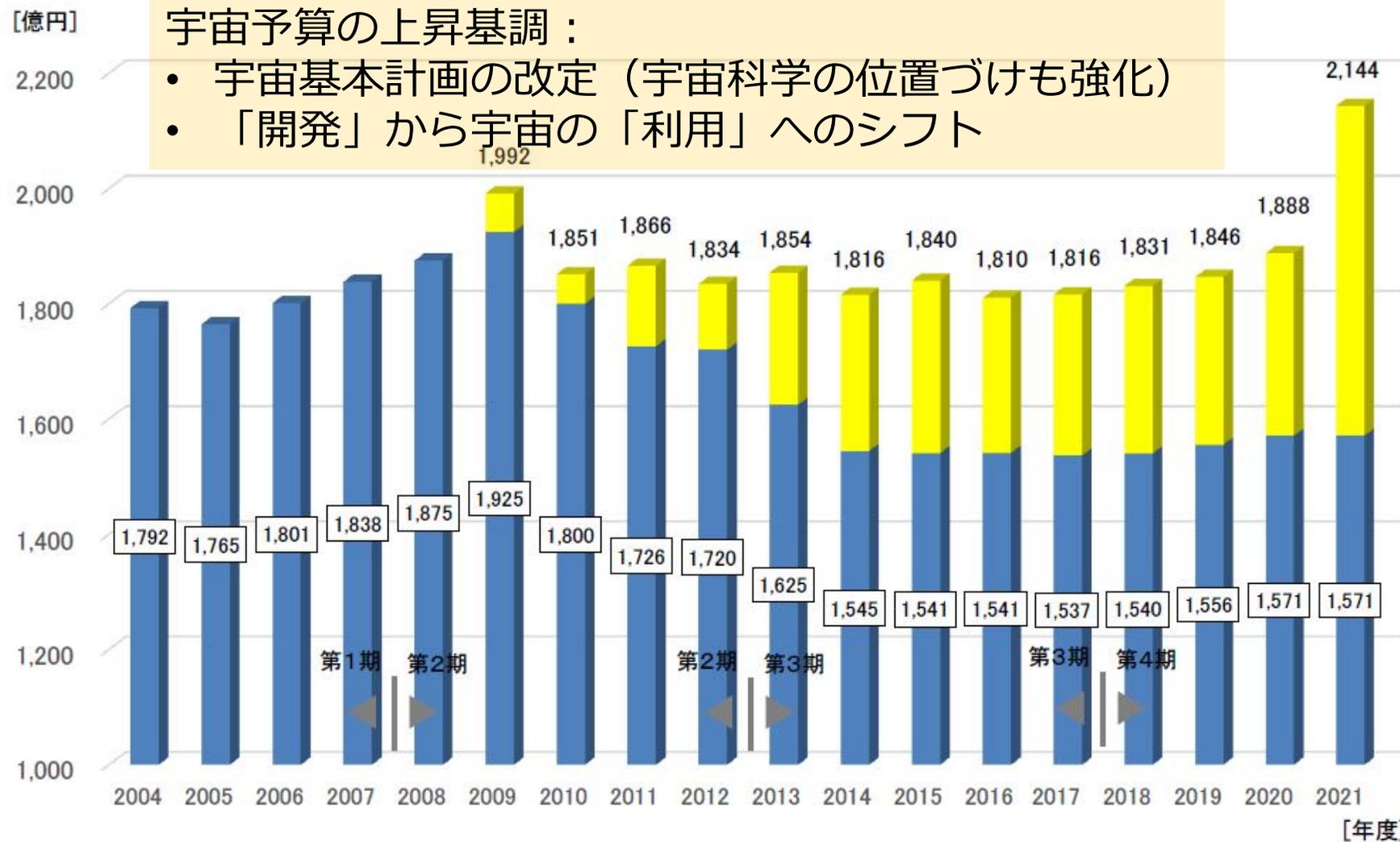
(2021.6.18「第4期中期目標期間における国立大学法人運営費交付金の在り方に関する検討会」資料より)

### 3. 建設・運用予算の確保

(参考)

2021年度 宇宙航空研究開発機構 予算 1,571億円

2020年度補正予算を加味 2,144億円(前年度比 +13.6%)



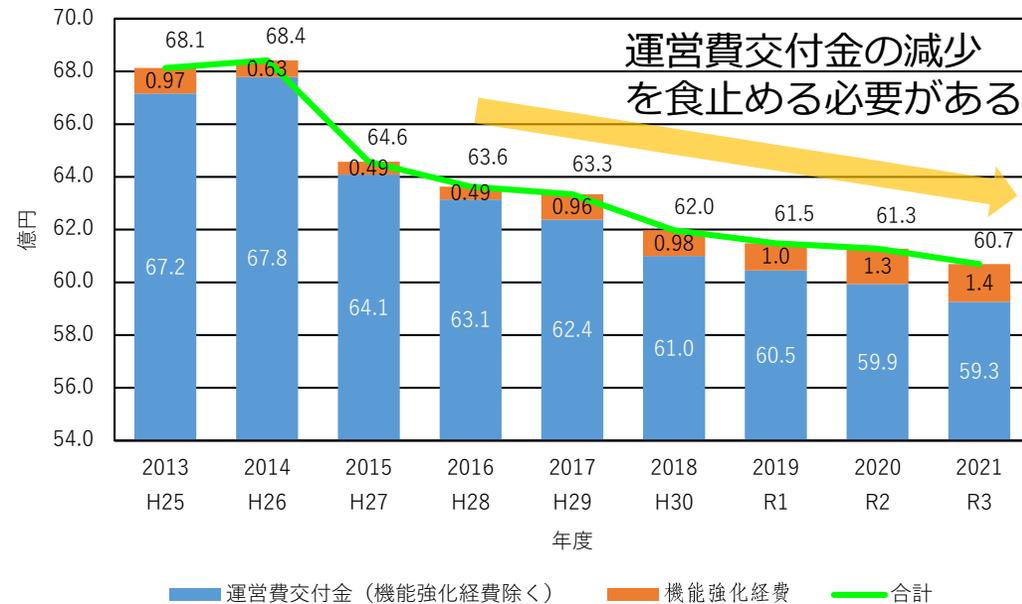
### 3. 建設・運用予算の確保 3.4. どうすべきか？

大規模学術フロンティア促進事業の予算の不足も深刻化する一方、運営費交付金の減少は今後も続くと想定

対策：

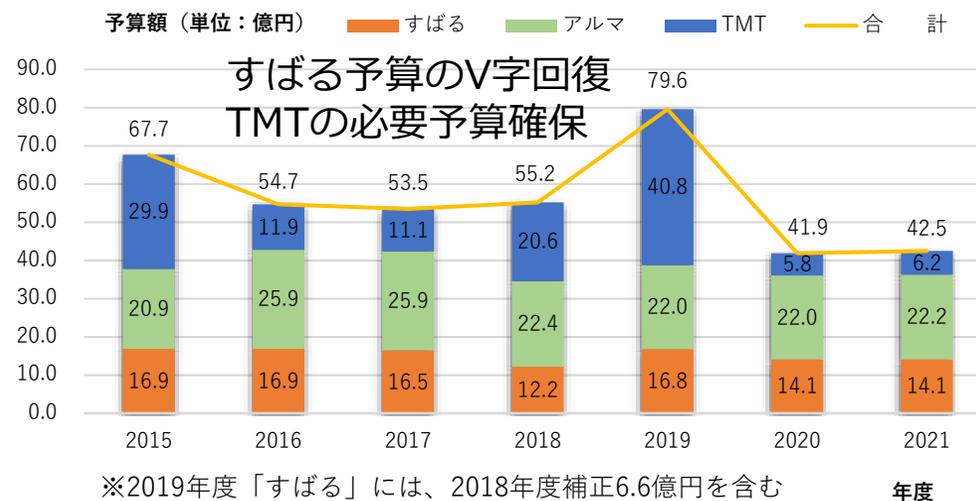
- ① 運営費交付金の減少：運営費交付金の状況と今後の予想・それを受けて今後とるべき対応（案）の共有。
- ② 大規模学術フロンティア促進事業：すばる2・ALMA2・TMTの予算の確保のための、的確な対応。「大規模学術フロンティア促進事業」の予算は、「国立大学法人運営費交付金」（高等教育局国立大学法人支援課所管）の一部と「国立大学法人先端研究推進費補助金」（研究振興局学術機関課所管）よりなっている。文科省や財務省の最近の審議会における議論も注視しつつ、天文フロンティア議連等も活用し、天文学大型施設の価値を訴えつつ、日本の学術を支えるフロンティア促進事業予算の見える化を行う。

運営費交付金



運営費交付金の減少を食止める必要がある

大規模学術フロンティア促進事業



※2019年度「すばる」には、2018年度補正6.6億円を含む  
 ※2021年度「すばる」には、2020年度補正4.3億円を含む

## 3. 建設・運用予算の確保

### 3.4. どうすべきか？

令和4年度概算要求のポイント (文科省HPより)

#### 目的

- 最先端の大型研究装置等により人類未踏の研究課題に挑み、**世界の学術研究を先導**。
- 国内外の優れた研究者を結集し、**国際的な研究拠点を形成**するとともに、国内外の研究機関に対し**研究活動の共通基盤を提供**。

#### 令和4年度 要求の方向性

#### 大規模学術フロンティア促進事業等

- ✓ 「ハイパーカミオカンデ計画」を含めた**学術研究の大型プロジェクトを着実に推進**
- ✓ 研究・教育のDXを支える「SINET」の高度化など、**最先端の学術研究基盤を強化**

- **学術成果以外にももう一つ成果の軸がほしい？**
- **インパクトのある研究成果 (e.g. ノーベル賞級の成果)？**

#### これまでも学術的価値の創出に貢献

- **ノーベル賞受賞**につながる研究成果の創出に貢献
- スーパー-Bファクトリーによる新しい物理法則の探求
- スーパーカミオカンデによるニュートリノ研究の推進

H20小林誠氏・益川敏英氏 H14小柴昌俊氏、H27梶田隆章氏  
→「CP対称性の破れ」を実験的に証明 →ニュートリノの検出、質量の存在の確証  
※高度化前のBファクトリーによる成果

- 年間1万人以上の国内外の研究者が集結する**国際的な研究環境で若手研究者の育成**に貢献

- 研究成果は**産業界へも波及**

**大強度陽子加速器施設 (J-PARC)**  
(高エネルギー加速器研究機構)

最大級のビーム強度を持つ陽子加速器施設による2次粒子ビームを用いた物性解析  
⇒**タンパク質構造解析による治療薬の開発**



**すばる望遠鏡**  
(自然科学研究機構国立天文台)

遠方の銀河を写すための超高感度カメラ技術  
⇒**医療用X線カメラへの応用**



#### 大規模学術フロンティア促進事業等の例

#### 研究データの活用・流通・管理を促進する 次世代学術研究プラットフォーム

(情報・システム研究機構国立情報学研究所)



- 全国900以上の大学や研究機関、約300万人の研究者・学生が活用する我が国の教育研究活動に必須の学術情報基盤
- 研究・教育のDXを支える基盤となる**「次世代学術研究プラットフォーム」を構築**
- ✓ ネットワーク基盤の高度化 (全国を100→400Gbps化、接続点(ノード)の拡大)
- ✓ 研究データ基盤によるデータ駆動型研究の推進

#### ハイパーカミオカンデ計画の推進

(東京大学宇宙線研究所、高エネルギー加速器研究機構)

ハイパーカミオカンデ (岐阜県飛騨市神岡町)

大型検出器 (直径74m、幅≒60m、総重量26万トン) ⇒SKの5倍規模

ニュートリノビーム

新型光検出器 (約4万本) ⇒SKの2倍の光感度

大強度陽子加速器J-PARC (茨城県東海村)

- 日本が切り拓いてきたニュートリノ研究の次世代計画
- 超高感度光検出器を備えた大型検出器の建設及びJ-PARCのビーム高度化により、**ニュートリノの検出性能を著しく向上** (スーパーカミオカンデの約10倍)
- 令和9年度からの観測を目指し、**大型検出器建設のための空洞掘削や、J-PARCのビーム性能向上等年次計画に基づく計画を推進**

## 4. 米国・中国の動向

# 米国の科学技術政策

- 科学技術での米国優位を脅かす傾向が顕在化しつつあり、5つの「未来の産業」におけるグローバルリーダーシップの維持・強化を目指す。(人工知能(AI)、量子情報科学、先進製造、高度通信、バイオテクノロジー)
- バイデン政権・連邦議会は、中国との競争も念頭に、AI・バイオ等の重要技術分野の研究基盤強化として国立科学財団(NSF)の基礎研究等も強化。

### <バイデン政権>

- 大統領記者会見(2021.3.26)：中国との競争も念頭に、連邦研究開発予算を1600億ドルから4500億ドル以上に増額。
- 米国雇用計画(8年計画)：重要技術分野(AI、バイオ技術等)における研究基盤の改善として、国立科学財団NSFへの投資に500億ドル、研究機関の研究基盤改善に400億ドルなど。
- 2022年度予算教書：科学技術・宇宙関係の研究開発予算を135億ドル増(8.5%増)の1713億ドルに。(国立科学財団NSFは基盤的研究開発強化等で17億ドル増、国立衛生研NIHは90億ドル増、エネルギー省DOEは43億ドル増)

### <連邦議会>

- 上院：超党派提案の「エンドレス・フロンティア法案」等、複数の対中国法案が一本化され、「米国イノベーション競争法」として6月に可決。国立科学財団(NSF)の技術イノベーションに5年間で290億ドル、エネルギー省(DOE)の重要分野(AI、量子など)に5年間で170億ドル等が盛り込まれている。
- 下院：「未来のためのNSF法」(NSF予算85億ドルを2026年度に179億ドルに倍増)、「未来のためのDOE科学局法」(DOE科学局予算70億ドルを2026年度に110億ドルに増額)、が6月に可決。

# 中国の基礎研究・大型研究施設等

## 「科学技術イノベーション第13次5カ年計画(2016-2020年)」(2016年国務院)

- 科学技術研究の改革・発展と、国民経済や最前線の科学技術などを念頭にイノベーション展開を目指す。
- 全体目標：2020年までにイノベーション力を世界15位以内とする、など。
- 具体的目標「自主イノベーション力の向上」の指標
  - 研究経費のGDP比2.5%
  - 研究開発費に占める基礎研究比率を大幅引上げ
  - 科学技術論文被引用回数を世界第2位、など
- 基礎研究に関しては、科学における地位と世界への影響力を大きく向上させることを目指し、
  - 好奇心主導の基礎研究支援の強化による独自理論・発見の促進
  - 粒子物理と核物理、宇宙と天文等の重大科学技術インフラの整備による世界最先端の科学研究の強化等を実施。

## 「国民経済と社会発展第14次5カ年計画」(2021年3月)

- 「強国戦略」のうち「科技強国」が最もコアなテーマであり、2035年まで、これまで以上に科学技術に投資拡大し、科学イノベーションを推進する。
- 先端研究分野として、「深宇宙の探知」(宇宙の起源・変遷など基礎科学研究、火星・小惑星探査、月探査事業、等)、
- 大型科学技術施設として、加速器駆動核変換研究装置、高海拔宇宙線天文台、なども掲げる。

## 4. 米国・中国の動向

## 中国の基礎研究・大型研究施設等

イノベーション力強化を掲げつつ、その供給源である基礎研究の強化、重大科学技術インフラ整備等を推進

- ・イノベーション力：世界15位以内目標 → 2020年に14位(Global Innovation Index rankings)を達成
- ・研究経費のGDP比：2020年2.5%目標 → 2018年で2.14%
- ・科学技術論文被引用数：世界2位目標 → 2018年にトップ10%高被引用論文数の世界一を達成

### 500メートル球面電波望遠鏡（FAST、通称「天眼」）

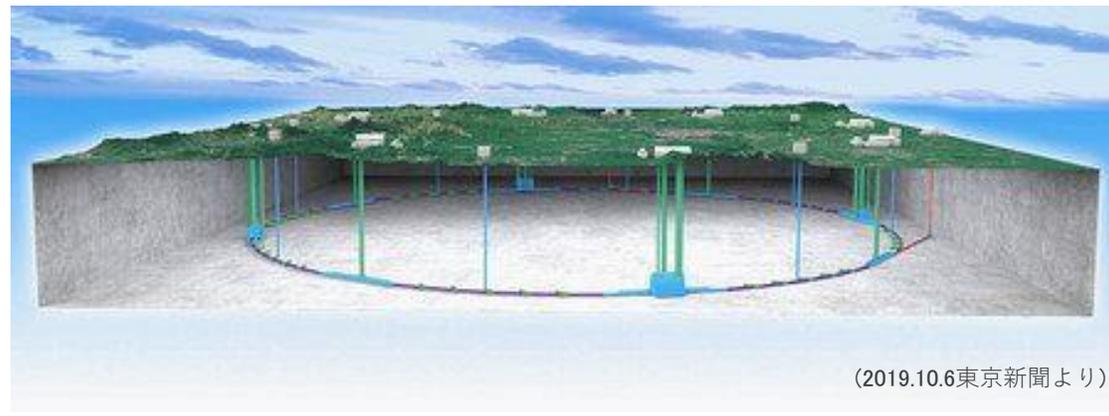
- ・世界最大の電波望遠鏡で、137億光年よりも先の宇宙を見通せる。
- ・建設費約12億元(185億円)。
- ・2016年9月稼働開始、2020年1月正式稼働。
- ・2021年3月以降、10%以上の観測時間を外国科学者に開放。
- ・正式稼働から1年間で、300個以上のパルサー、宇宙の謎である高速電波バーストを複数回発見。



(c)Xinhua News/AFPBB News

### 円形電子-陽電子衝突型加速器（CEPC）

- ・素粒子物理学の標準モデルを超える新しい発見を目的として、世界クラスの大規模加速器基地（円周約100km。250GeV近くの電子-陽電子衝突で多数のヒッグス粒子を生成）を構築する計画。
- ・建設は2022年開始、2030年完了の予定。
- ・実験は2040年まで約10年間の予定  
（国家経済と社会発展第14次5ヶ年計画）



(2019.10.6東京新聞より)

# 4. 米国・中国の動向

## 中国における宇宙開発

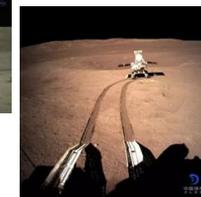
### 宇宙科学分野に積極的に取組み

- 暗黒物質粒子探査衛星「悟空(Wukong)」
  - ・ 2015.12打上げ
  - ・ 宇宙高エネルギー粒子検出で**世界最先端**
- 量子暗号通信実験衛星「墨子」
  - ・ 2016.8打上げ
  - ・ 盗聴できない暗号通信技術を**世界初搭載**
- X線天文衛星「慧眼(Huiyan)」
  - ・ 2017.6打上げ
  - ・ **中国初**のX線天文衛星
- 重力波観測技術実験衛星「太極一号」
  - ・ 2019.8打上げ
  - ・ 重力波探査技術の軌道上**実証に成功**



### 月裏側の着陸・探査、サンプルの地球帰還を達成

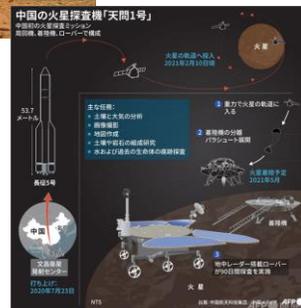
- 嫦娥3号(2013.12打上げ)
  - ・ **世界3か国目の月面着陸成功。**
- 嫦娥4号(2018.12打上げ)
  - ・ 地球上で困難な低周波**電波観測**等を実施。
- 嫦娥5号(2020.11打上げ)
  - ・ 月面試料の地球への持帰り(**サンプルリターン**)に成功(2020.12)。(世界3か国目)



### ロシアと協力して2035年までに国際月研究基地建設も計画

### 火星で既に探査中。更に有人探査も計画

- 火星探査機「天問1号」
  - ・ 2020打上げ
  - ・ 2021.5に**火星軟着陸成功**(旧ソ連と米国に次ぎ**世界3か国目**)
- 2回目の火星探査機
  - ・ 2028年に送り込む計画。
- 火星有人探査
  - ・ 2040-60年の間に行う計画。



### 独自の中国宇宙ステーションが完成間近

- 中国宇宙ステーション(CSS)のコアモジュール「天和」
  - ・ 2021.4に軌道投入成功。
- 3名の飛行士がCSSに到着
  - ・ 2021.6、有人宇宙船「神舟17号」で打上げ。
- 中国宇宙ステーション(CSS)
  - ・ 計11回の打上げで、2022年(完成予定)。



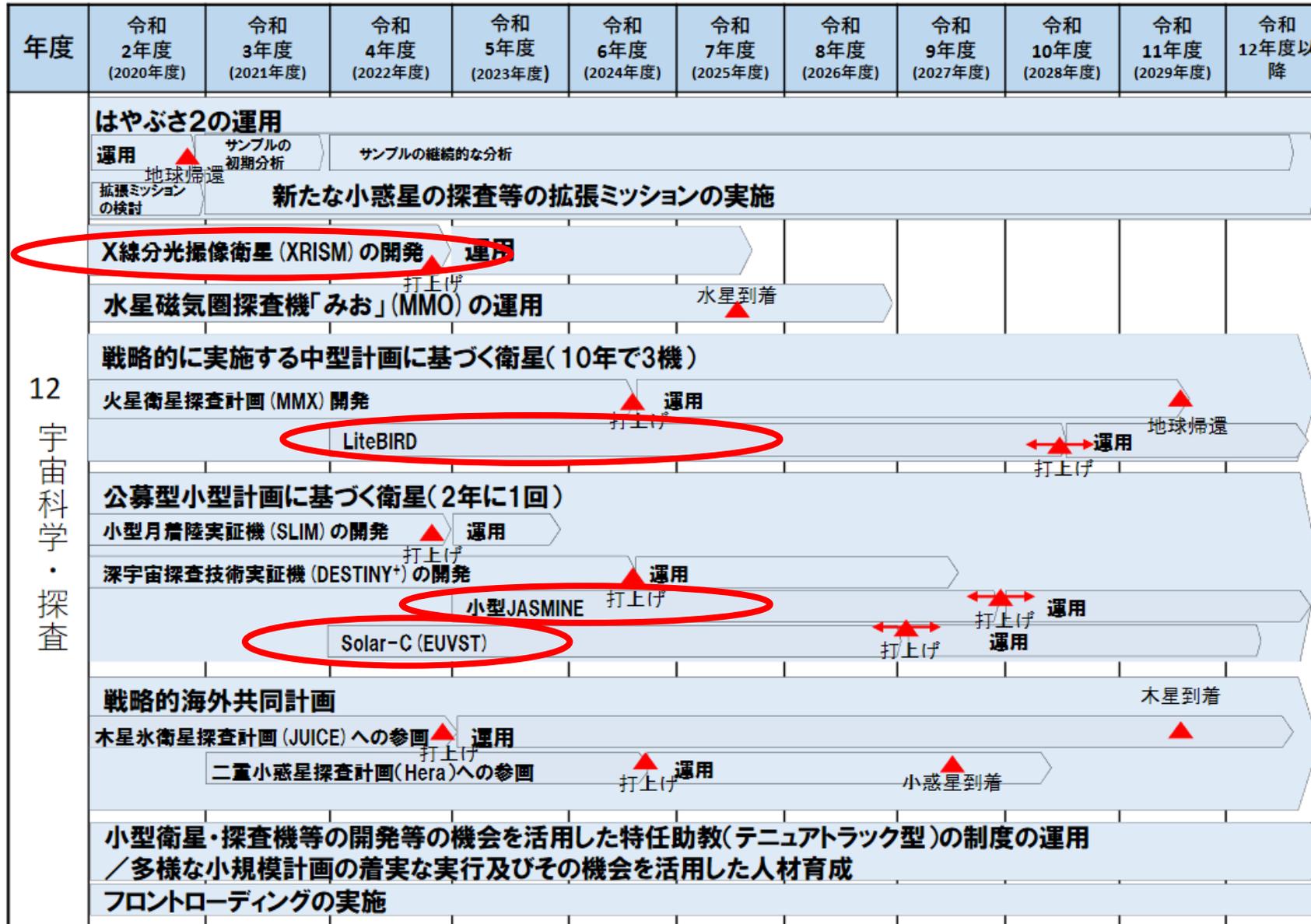
天和に到着した中国宇宙飛行士



2022年頃の完成を目指す中国宇宙ステーション(CSS)

## 5. 宇宙科学における国立天文台の役割

(参考) 宇宙基本計画工程表(令和2年度改訂) (令和2年12月15日宇宙開発戦略本部決定)



※以上すべて文部科学省

## 5. 宇宙科学における国立天文台の役割

- 2006年打ち上げの「ひので」以降、天文ミッションは途絶えており、現状は危機的。
- 地上天文学での先端技術開発や人材育成は、宇宙プロジェクトにとって本質的に重要であり、国立天文台は衛星や探査機の搭載装置の開発に有利な状況にある。地上も宇宙も大きな差異があるわけではなく、地上で実証してこそスペースへの適用が可能となる。この潜在力をもっと活用すべき。
- 地上天文学の発展という国立天文台の本務をわきまえた上で、難しい高度の観測装置・ミッションを提案実施していくべきでないか。
- 国立天文台では、これまで宇宙プロジェクトに、プロジェクト室毎に取り組んできた。そこで得られた「スペースに必要な基礎技術」を先端技術センターに集約・発展させ、大学も含めて必要とするところに提供できれば、スペース天文学の裾野を広げ、より戦略的な取組を行えるのではないか。
- アルテミス計画で活性化している月探査の検討においても、地上天文学と連携した月面天文台など、天文学分野の優位な技術力や科学力を生かしたミッション提案も期待されている。

# 5. 宇宙科学における国立天文台の役割 (好事例) 観測ロケット実験・CLASPシリーズ

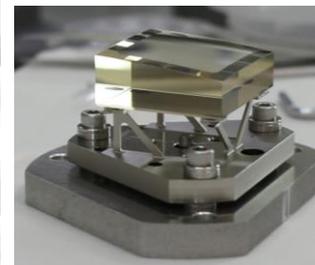
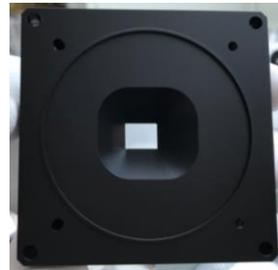
## ～紫外線の高精度偏光分光観測という新しい扉を拓く～

- ロケットが宇宙空間を飛行する5～6分間の観測
- CLASP(2015年打ち上げ), CLASP2 (2019年). いずれも世界初となる紫外線の偏光スペクトルを取得. 現在, 2021年10月打ち上げ(CLASP2.1)に向けて射場で準備中
- 国際協力:
  - NAOJ & ISAS (日): 下記以外の観測装置
  - NASA (米): ロケット, CCD, フライトエレキ (回転駆動機構除く)
  - IAS (仏): 回折格子

観測装置部分: 全長2.5 m



NAOJ先端技術センター(ATC)での組み立て&試験



振動試験@JAXA

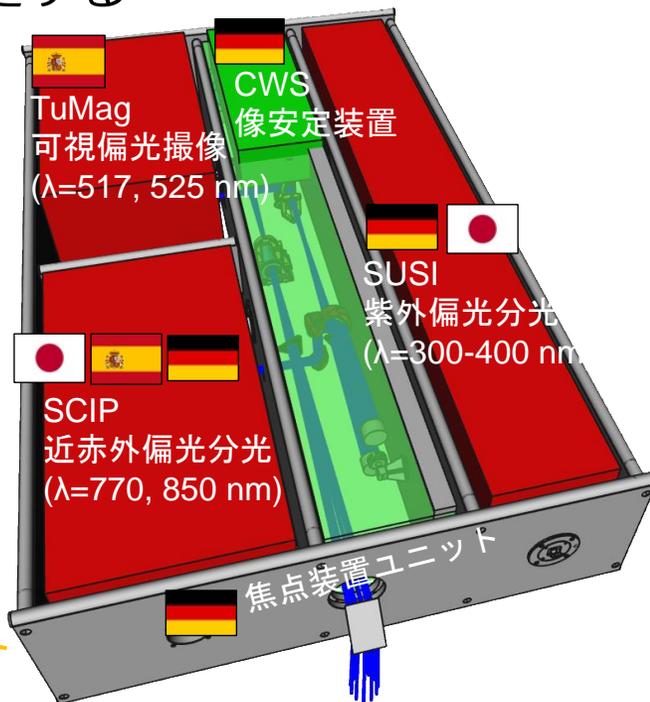
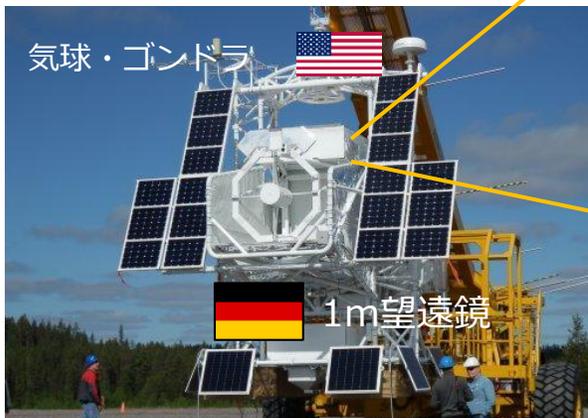


White Sands Missile Range (米国・ニューメキシコ州) での打ち上げ

# 5. 宇宙科学における国立天文台の役割 (好事例) 気球太陽望遠鏡SUNRISE-III

高解像度・高感度・多波長の偏光分光観測で  
太陽大気の3次元磁場構造を測定する

- 口径1m(ひので衛星の2倍)
- 大西洋上空>35kmを約1wk飛翔
- 国際協力
  - ドイツ(マックス・プランク他)
  - アメリカ (NASA, APL)
  - 日本 (NAOJ, JAXA)
  - スペイン (アンダルシア他)



衛星用に技術開発し、CLASPロケットで飛翔実証

SUNRISE用に高速化 (3.2s/rot -> 0.5s/rot)

マックス・プランク担当紫外装置に同じ回転駆動機構を提供

高精度偏光観測のための  
宇宙用回転駆動機構

## 日本主担当の近赤外線偏光分光装置 SCIP (スキップ)

高精度光学素子・偏光素子と  
温度変化に耐える光学構造を  
NAOJ・ATCで開発

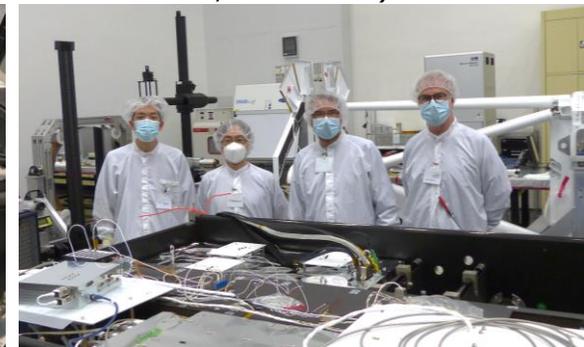


カメラ・制御エレキをスペインと  
共同開発

NAOJ・ATCにて組立と性能実証

2021年8月に国内開発完了しドイツへ

SCIPを焦点装置ユニットに組み込み、アライメント  
(於マックスプランク太陽系研究所, 2021.9.3)



# 5. 宇宙科学における国立天文台の役割 (好事例) 気球太陽望遠鏡SUNRISE-III

高解像度・高感度・多波長の偏光分光観測で

日本主担当の近赤外線偏光分光装置

地上観測から出発した国立天文台の太陽グループは、ATCと連携して、宇宙光学システムの開発で国際的にも高いレベルにあると言える。同様に、地上観測装置の開発実績のある光赤外コミュニティも、ATCを活用する・一緒に開発することにより、スペースへの本格的展開が可能ではないか。



制御エレキをスペインと  
ATCにて組立と性能実証

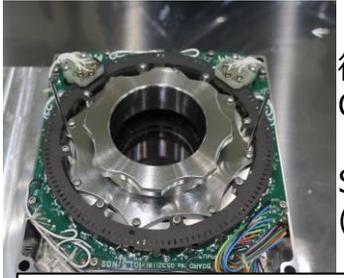
2021年8月に国内開発完了しドイツへ

- ・ 口径
- ・ 大
- ・ 国際
- ド
- ア
- 日
- ス

気球・



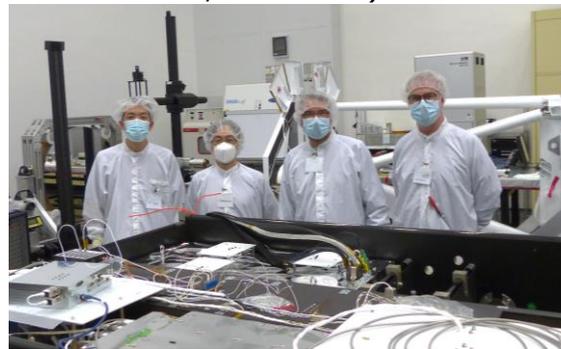
1m望遠鏡



衛星用に技術開発し、CLASPロケットで飛行実証  
SUNRISE用に高速化 (3.2s/rot -> 0.5s/rot)

マックス・プランク担当紫外装置に同じ回転駆動機構を提供

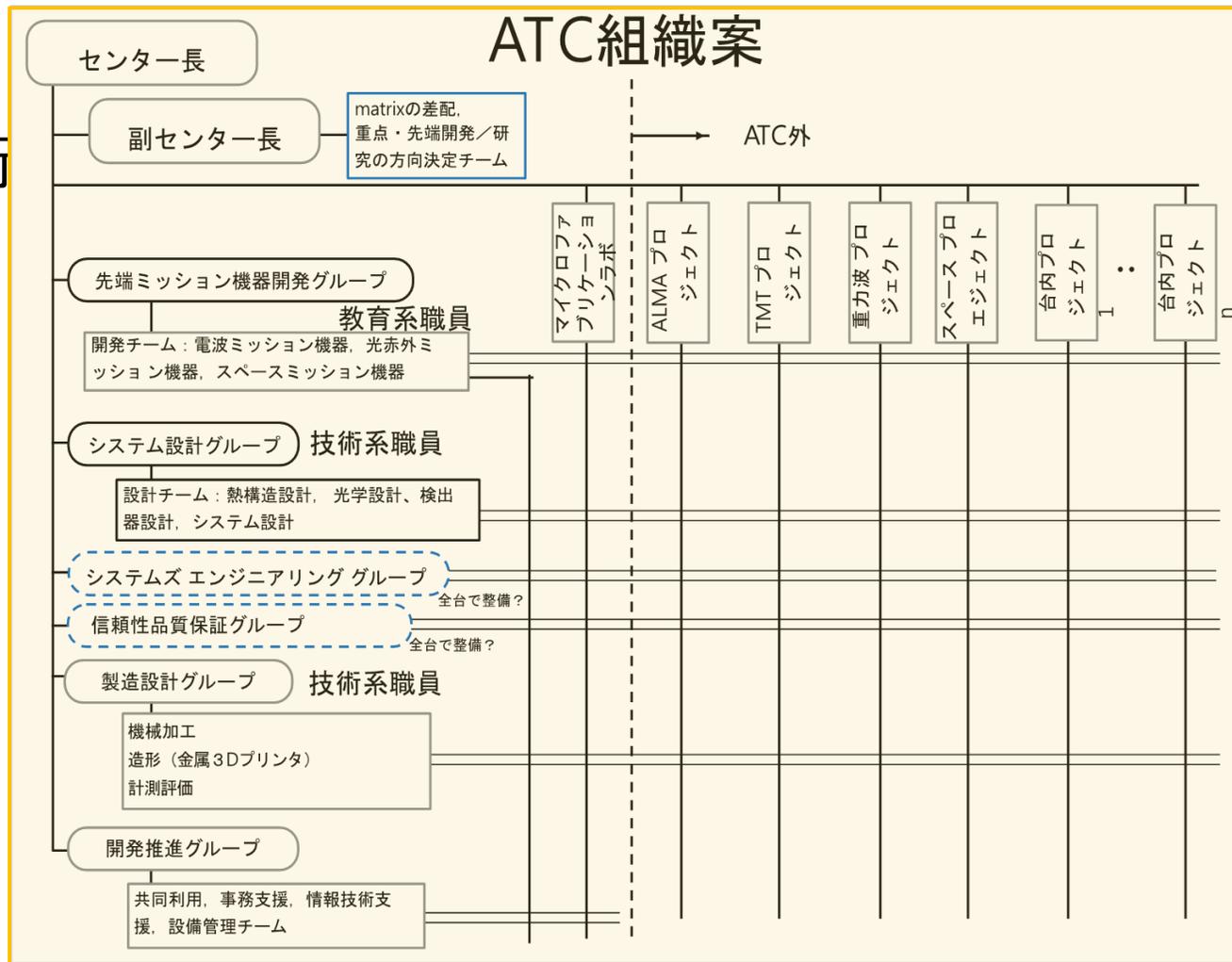
SCIPを焦点装置ユニットに組み込み、アライメント (於マックスプランク太陽系研究所, 2021.9.3)



高精度偏光観測のための宇宙用回転駆動機構

# ATC 技術力の強化(1) -技術の継承と発展

- 「プロジェクト」の縦割りではなく、技術分野毎の専門家集団が横糸として人材育成と技術継承を行いつつ、技術開発と、天文プロジェクトの開発にマトリックスで参加する体制を明確化し強化。
- ハードウェア技術を中心とする先端技術センター（ATC）にまず適用。
- 続いて、ソフトウェア技術のセンターとしての天文データセンターへの適用を検討中。また、望遠鏡の長期保守・保全の体制への応用も検討している。



## 5. 宇宙科学における国立天文台の役割

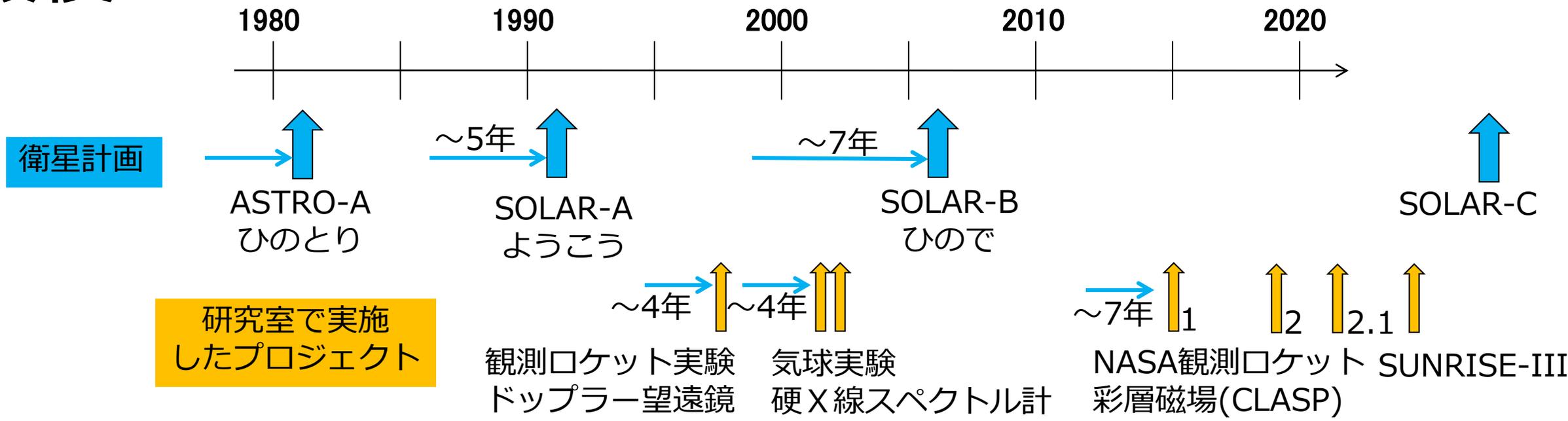
## ATC 技術力の強化(2)- 基盤的技術の強化

- 地上・スペースを問わず、全ての機器開発に必須となる熱構造設計とシステム設計に特に優れた能力と深い経験を持つ技師長（民間宇宙開発企業出身）を採用し、この分野の技術力強化するとともにプロジェクトを支える体制と能力も強化。
- 地上・スペースを問わず、大型の装置開発で重要となる上流設計とシステムズエンジニアリング技術を技師長の指導や、研修等により強化。
- スペースだけではなく大型の国際プロジェクトにおいても必須となりつつある安全・品質保証・保全設計をプロジェクト横断で横糸としてみる機能を、全台的に定義。

## 6. まとめ

- ポストTMTの検討を積極的に行うべきでないか。その際、高い学術的価値のみならず、プロジェクトの確実な実現性を示していく必要がある。
- 国際協力により、総コストを削減しつつ、ベストの観測装置に関与していく大方針のもとで、日本がコア技術を提供できるように、長期にわたりそれらを戦略的に育成していく観点が重要ではないか。
- 妥当な投資額については、日本の先端技術が提供できるIn-kind貢献とコミュニティの大きさに見合った必要な観測時間の確保を、バランスしていく必要がある。
- JAXAと協力して、宇宙からの天文学の発展を図る必要がある。
- 大型科学施設のための予算構造の抜本的改善が必要。

# 最後に



先端技術センター(2005-2013)  
ALMA受信機開発、ATCの充実

宇宙研(2013-2018)  
**ASTRO-H代替機(XRISM)**  
はやぶさ2, SLIM, MMX,  
DESTINY, **SPICA**  
観測ロケット、先端技術工場立上

国立天文台(2018-)  
**TMT**, ATCの充実

- 国際大型プロジェクトの実現のために
- コミュニティー (大学) と中核機関が一体になった開発
  - ボトムアップとトップダウンの融合
  - 危機に際しての国際的なネットワークの重要性