

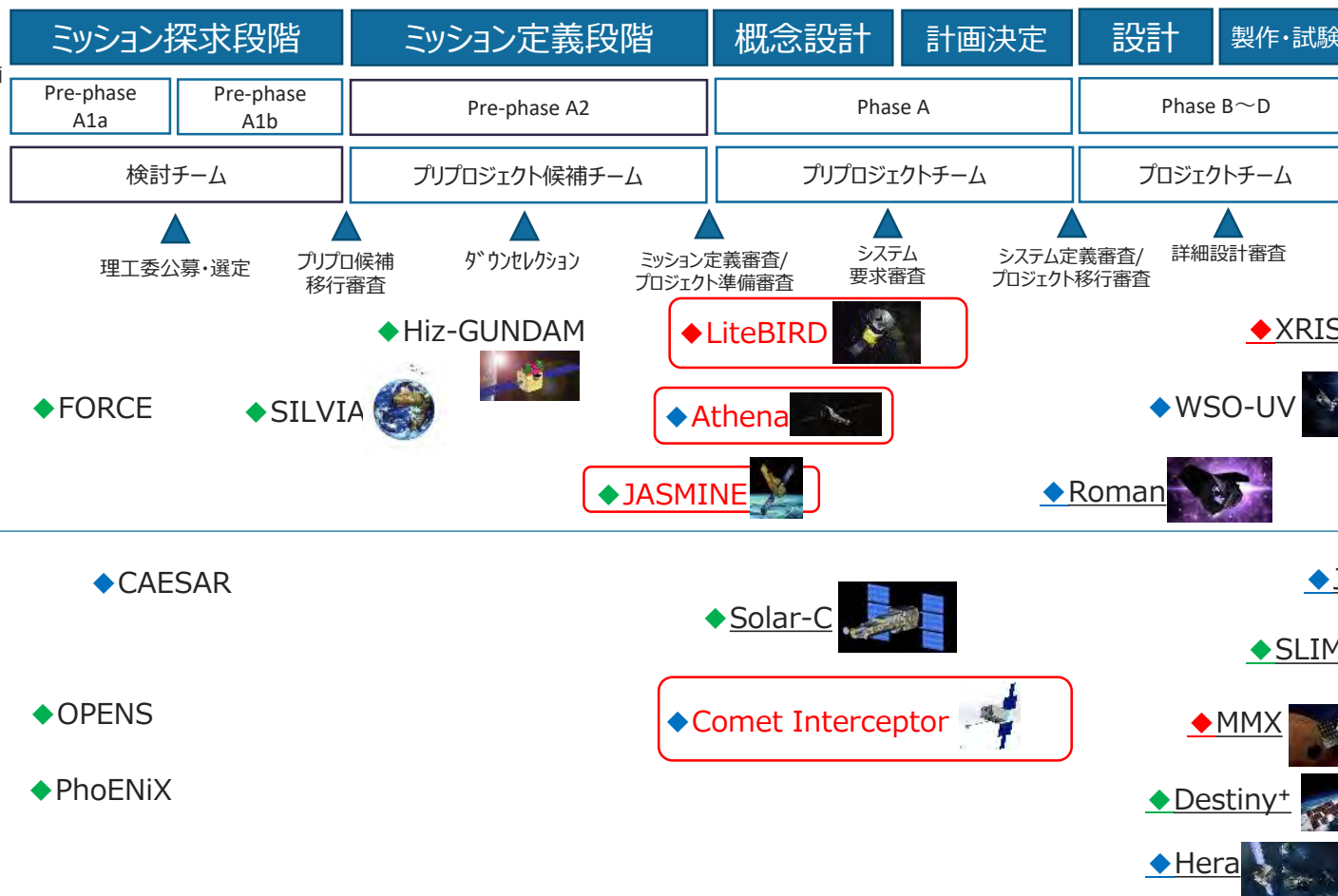
APPENDIX



宇宙科学・探査ミッションの進捗・今後の計画（全体概要）



- ◆ : 戦略的中型計画
- ◇ : 公募型小型計画
- ◆ : 戦略的海外共同計画
- ※候補含む。



宇宙物理学分野

太陽系科学分野



各衛星・探査機打ち上げ年表（予定）



計画	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025	FY2026	FY2027	FY2028	FY2029	～2030年代前半
戦略的中型	 XRISM		 MMX				 LiteBIRD		<u>戦略的中型</u> (今後立案)
公募型小型	 SLIM		 DESTINY+		 Solar-C	 JASMINE			 <u>Hiz-GUNDAM</u> or <u>Silvia</u> or 今後公募案件
戦略的海外共同	 JUICE		 Hera Comet Interceptor <small>(電気試験モデル提供)</small>	Athena (EM提供)	 Roman			 <u>Comet Interceptor</u>	 <u>Athena</u> <u>FY2034</u>

凡例

ミッション名 工程表記載計画

ミッション名 宇宙研内計画

長周期彗星探査計画 Comet Interceptor

施策の概要・目的

- 欧州宇宙機関(ESA)が主導する彗星探査ミッション「Comet Interceptor」に参画し、彗星の中でも特に始原的とされるカテゴリーに属する長周期彗星あるいはオウムアムアに代表される恒星間天体を、人類として初めて直接探査する。
- 太陽-地球系のラグランジュ点(L2点)に到着後、到達可能な未知天体を地上観測を行って最大3~4年待機し、母船と2機の超小型探査機(子機)の複数機構成で当該天体をフライバイして多点観測を行う。
- JAXAは、3機の探査機のうちの子機1機を提供し、そこに搭載した可視カメラ、水素コロナ撮像器、プラズマ計測パッケージ(イオン質量分析器と磁力計)により彗星の観測を行う。

期待される効果

【プロジェクト全体の成果・効果】

- 人類として初めて訪問する長周期彗星(または恒星間天体)の核表面・コマを多角的に撮像・分光して形状、構造、コマの組成等を明らかにするとともに、同時多点観測により彗星周囲のプラズマ-太陽風相互作用を明らかにする。その結果、太陽系科学コミュニティが標榜する二つの科学テーマ「(1)太陽系における生命生存可能環境の形成の理解、(2)宇宙ガスを支配する普遍的な法則の解明」に対し、他の太陽系天体探査では得られない重要な知見を提供する。

【我が国の参加により得られる成果・効果】

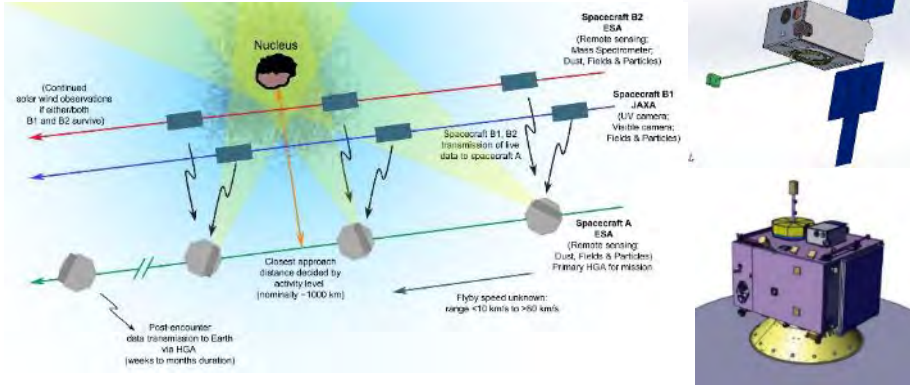
- 太陽系始原天体探査による太陽系形成の理解という日本の小天体探査シナリオを、はやぶさ・はやぶさ2・DESTINY+によるsnow line内側の理解から、彗星探査によるsnow line外側までを含めた総合的な理解へと拡大することが可能になる。
- 日本が培ってきた小型・超小型探査機技術および観測機器技術を生かした国際協力であり、本ミッションを通じてさらに日本の強みとして国際優位性を高めることが可能になる。

必要性・喫緊性

- 長周期彗星(あるいは恒星間天体)の探査は、近年の地上望遠鏡(e.g., Vera Rubin天文台)の性能向上に伴い実現性が高まっているものであり、その先駆けとして早期に実施する意義が大きい。
- 本計画はESAの計画であり、日本が開発する子機のフライトモデルを2026年度にESAに引き渡す必要がある。

2023年度の実施内容

- 衛星システム及びミッション機器の設計を行いEM・PFM製作に着手する。



Comet Interceptorミッションのイメージ図

(左: 3機の探査機による彗星フライバイ観測、右上: 日本が提供する超小型探査機(子機)、右下: 母探査機に搭載された2台の子機)

日本からの参加形態

- 3台の探査機(S/C A, B1, B2)のうち、子機の1台を担当する。残りの母船(S/C A)と子機の1台(S/C B2)は欧州が担当。
- 可視カメラ、水素コロナ撮像器、プラズマ計測パッケージ(イオン質量分析器と磁力計)を日本の担当する子機に搭載し、彗星の観測を行う。

基礎データ

探査機主要諸元

- 重量: 約950kg(推進薬含む、母船+子機2機)
- 寸法: 2.5 x 2.5 x 2.0 m
- 打上げ年度: 2029年度(予定)
- 打上げロケット: アリアン6(主衛星であるARIELとの相乗り打ち上げ)
- 運用期間: 6年(ラグランジュ点での待機期間3~4年を含む)
- 探査機システム担当: ESA(欧州宇宙機関)
- 観測機器担当: 各国機関(日本は、可視カメラ、水素コロナ撮像器、プラズマ計測パッケージを搭載した子機1機を担当)

大型国際X線宇宙望遠鏡 Athena

施策の概要・目的

- 欧州宇宙機関(ESA)Cosmic Vision Large Class-2 ミッションに採択された、2030年代の大型国際X線天文衛星「Athena」計画に参加し、これまでにない大面積X線望遠鏡と、優れた分光力を備え、2030年代の大型天文台時代におけるX線領域を担う。
- サイエンステーマは”The Hot and Energetic Universe”、宇宙大規模構造に伴う100万度以上の高温プラズマ、超新星残骸、ブラックホール周辺の降着円盤、加速された粒子による放射などを直接観測できるというX線領域の特徴を生かして、宇宙の熱く活動的な姿、その成り立ちを明らかにする。

期待される効果

【プロジェクト全体の成果・効果】

- 銀河や銀河団の背景にある物質の大集積の成立過程を定量的に示し、ダークマターやダークエネルギーに支配された宇宙の時空構造を明らかにする。
- ブラックホールの存在数を100億年以上過去まで正確に測定し、銀河とブラックホールがどのようにこの宇宙に生じ成長してきたか、それによりどれだけのエネルギーが開放され、宇宙の姿に影響してきたかを明らかにする。
- 重力波観測など、2030年代の新たなフロンティア領域に対し、国際X線天文台として観測協力を行ない、統合的な宇宙像の構築に参画する。

【我が国が参加により得られる成果・効果】

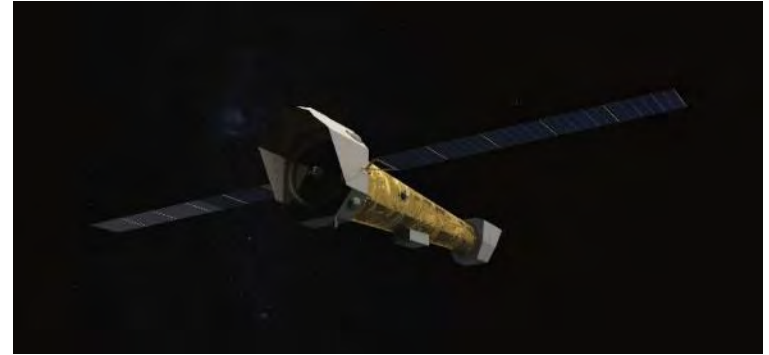
- 「あかり」「ひとみ」など軌道上で極低温観測を可能にした日本の機械式冷凍機を提供し、ミッションを成功に導き科学観測に多くの科学者が参加し、観測・解析・科学成果の創出を行なう。

必要性・喫緊性

- Athenaが必要とする精密分光の実現には、XRISM同様極低温(100mK)でのセンサが必要であり、そのためには日本が確立してきた宇宙用機械式冷凍機を利用することが唯一の解である。
- 日本でこれほどの大型鏡を打ち上げることはできず、「はくちょう」以降の日本のX線天文学の歴史を踏まえたXRISMを支えた日本の技術を生かすには、Athenaへの参画が唯一の手段。打ちあげは2030年代であるものの、ESAによる開発はすでに基本設計フェーズに入っており、2025年度にEMの引き渡しが必要である。

2023年度の実施内容

- ミッション機器の基本設計を実施、EM製作に着手する。



日本からの参加形態

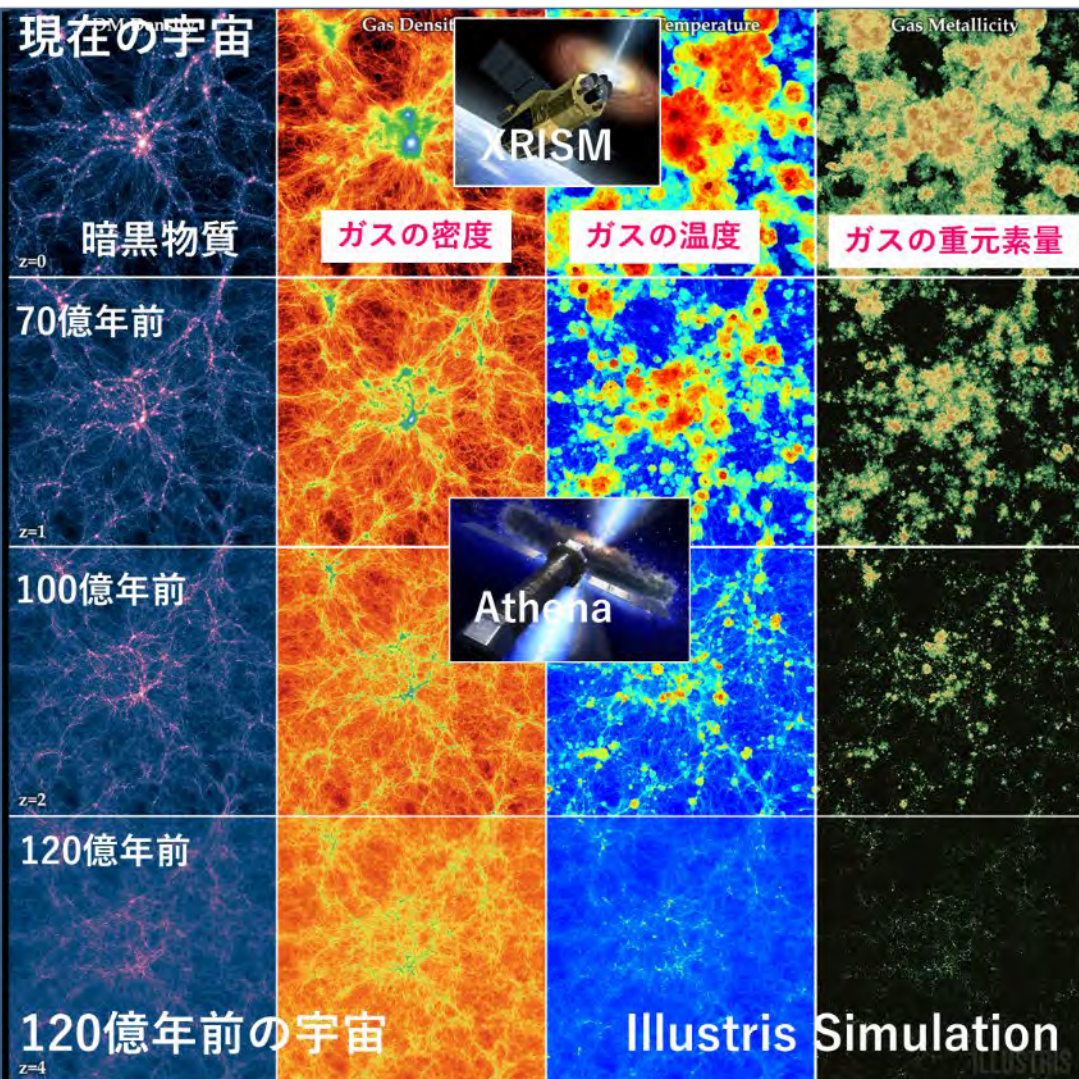
- キーサイエンスに関する科学観測立案、実行に参画し、科学成果の最大化に貢献する。
- 精密分光観測器に必要な機械式冷凍機(ジュールトムソン冷凍機)、駆動装置等を供給する。
- 打ちあげ後の運用に協力、また観測機器のキャリブレーションに貢献する。

基礎データ

衛星主要諸元

- 重量: ~7000 kg
- 寸法: ~13m
- 打上げ年度: 2034年(予定)
- 打上げロケット: Ariane-6 (予定)
- 運用期間: 4年(要求) - 10年(目標)
- 探査機システム担当: ESA
- 観測機器担当: X線ミラー: ESA, 精密分光観測器(X-IFU): CNES (フランス) 他コンソーシアム, 広視野観測器(WFI): MPE(ドイツ) 他コンソーシアム
- 衛星軌道: Lagrange point -2

銀河団構造形成のシミュレーション



宇宙初期の密度ゆらぎの成長
巨大な銀河団構造形成
(シミュレーション)

暗黒物質の分布にX線で観測される
高温ガスの構造を重ねたもの



銀河団中心部
(暗黒物質)



銀河団中心部
(銀河)

12

宇宙の大規模構造のタネはインフレーションによる初期のわずかな密度のゆらぎ

CMB強度分布に見られるわずかな凸凹も初期の密度ゆらぎを反映

インフレーションは、「時空のゆらぎ」「密度のゆらぎ」を同時に生成する。

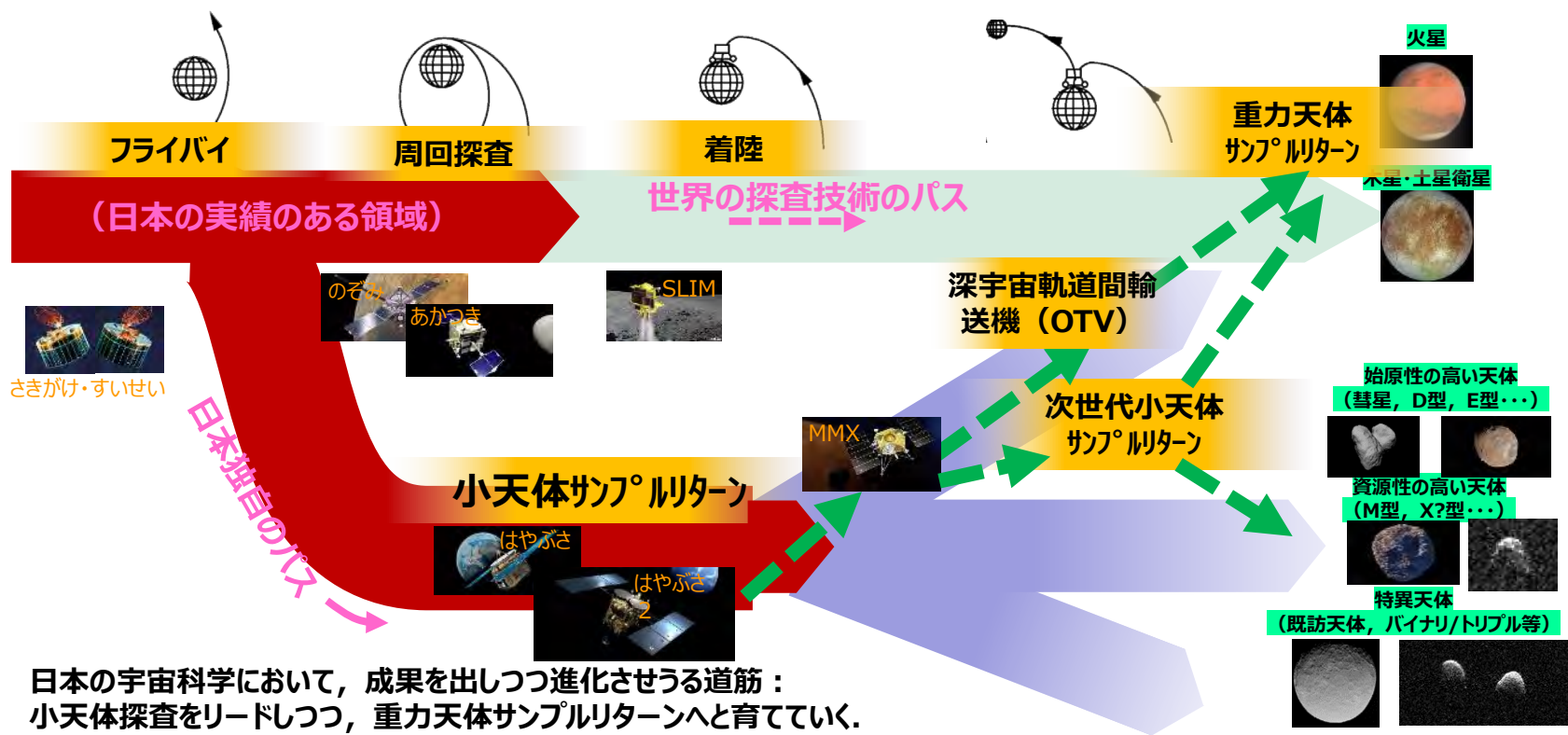
「時空のゆらぎ」が伝播した原始重力波の痕跡をCMBの偏波パターンとして観測することからインフレーションを検証し、ビッグバンに至った過程を知ることができる



最近公表された米国天文学の将来展望(ASTRO2020, 全米科学アカデミー)では、米国では地上観測によってこのテーマに取り組むこととされた一方で、宇宙からの観測の重要性も指摘されている。

LiteBIRD計画はインフレーション時の原始重力波に起因する時空のゆらぎによって生じた特徴的な偏光のパターンを検出することを目指す。宇宙からの観測で可能となる大角度スケールでのパターンはより手前の構造に影響されない測定が可能。

- 探査の究極形態「より遠くの・より大きな」天体への「往復・着陸」探査を、日本の強みを活かして進める。
- 「はやぶさ」→「はやぶさ2」→「MMX」と繋いだ探査技術を、より高度な天体探査技術（次世代サンプルリターン）、より遠方・高重力天体への航行技術（深宇宙軌道間輸送技術）へ。そして重力天体サンプルリターンを目指す。



日本の宇宙科学において、成果を出しつつ進化させうる道筋：
小天体探査をリードしつつ、重力天体サンプルリターンへと育てていく。

©JAXA, NASA, ESA

小天体フライバイ探査の将来形態（イメージ図）

1. Comet Interceptor型の超小型探査機×多数※による深宇宙コンステレーション

小天体フライバイサイクラー軌道に複数の探査機を配備することで、地球近傍小天体を定期的に観測しながら（プラネタリー・ディフェンスへの貢献も含）、突発的に現れる恒星間天体等の天体を狙う。

2. DESTINY+型高能力親機 + Comet Interceptor型子機によるフォーメーションフライバイ

高い軌道制御能力で特に面白い天体（メインベルト天体等）を目指す。複数の視座からの観測・時間差をつけての観測によりフライバイ探査の価値を高める。

- ※超小型探査機を多数飛ばすことによって、小天体に関する統計的性質を得るという理学目的に加えて、
- ❖ 超小型探査技術に関する統計的情報を得ることでの信頼性向上
- ❖ 高頻度な技術実証機会の獲得
- ❖ 企業の育成・動機付けにも繋がる。

① ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)の特徴

- 口径6.5mによる大集光力（ハッブルの7倍）、高解像度（ハッブルの2倍以上）
- 冷却望遠鏡（40K以下）、熱的に安定する太陽-地球L2軌道（ハッブルは常温、地球周回軌道）
- 近赤外線～中間赤外線（0.6-28.5 μ m）帯の観測（ハッブルは0.1-2 μ mの紫外～近赤外）
- 多彩な手法の近・中間赤外赤外線分光観測（マイクロシャッターによる多天体分光など）
- 主な科学目的（当初計画 Gardner et al. 2006, Space Science Review）
 - 宇宙初期の星形成・銀河形成（The End of the Dark Age: First Light and Reionization）
 - 銀河の形成と進化（Assembly of Galaxies）
 - 星形成・惑星形成（The Birth of Stars and Protoplanetary Systems）
 - 系外惑星・生命の可能性（Planetary Systems and the Origins of Life）

② JWSTの打上げ

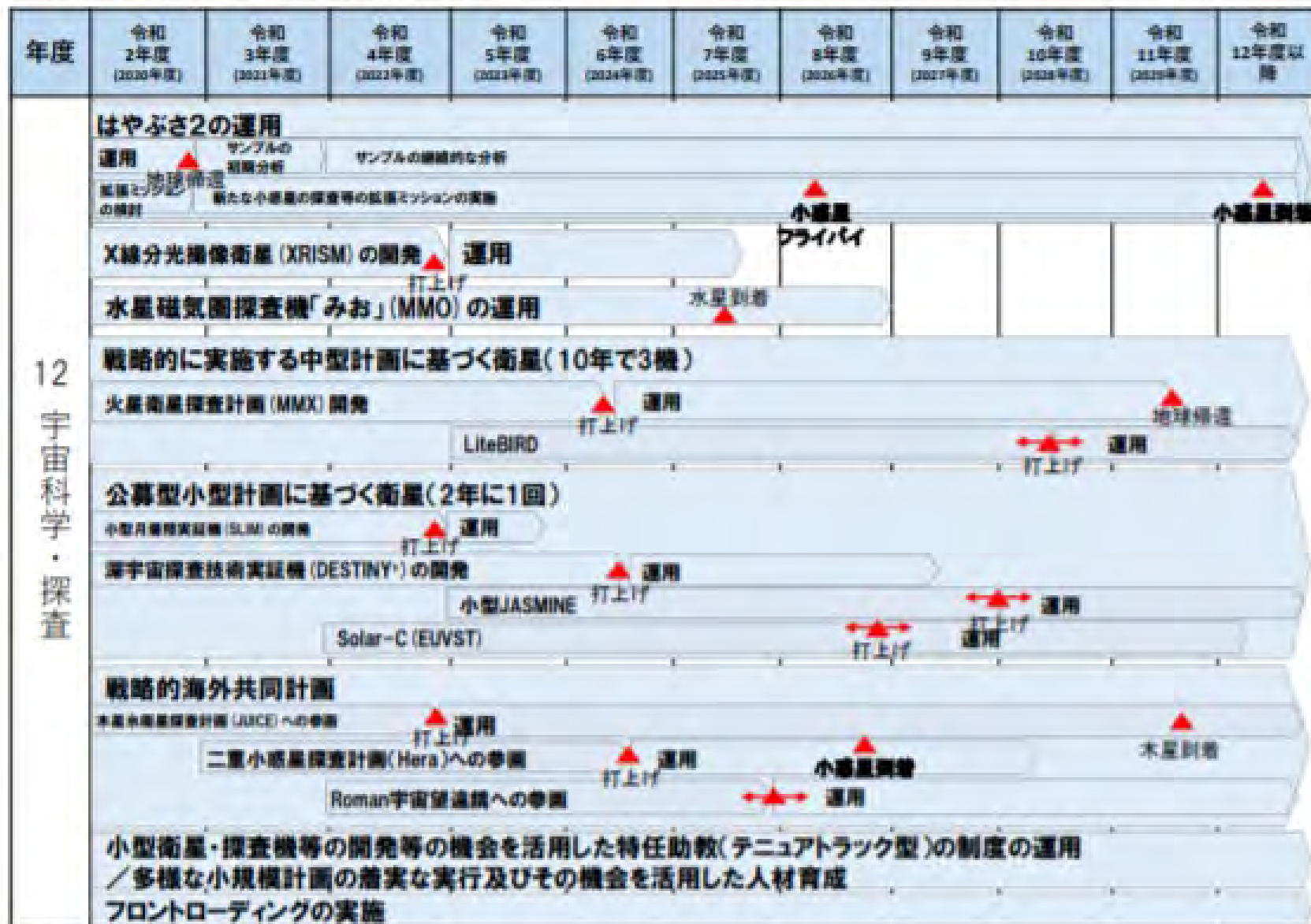
- 2021年12月25日、順調に航行し太陽-地球 L2 軌道に到着。サンシールド、副鏡構造、主鏡の展開にも成功し、順調に冷却中。

③ JWSTの初期観測

- 機能確認、基本性能確認につづく5ヶ月間に、すべてのデータが即時公開される Early Science Release 観測が行われる。公募に基づき選ばれた13課題。
- 公募観測は Cycle 1(6000時間)としてすでに公募され、266課題が採択（日本人が研究代表の課題も含む）。全世界の研究者にデータが公開される大規模課題（13課題）も含まれる。

宇宙基本計画工程表（令和3年度改訂）

（3）宇宙科学・探査による新たな知の創造



※以上すべて文部科学省

1.2. 宇宙科学・探査

2021年度未までの取組状況・実績

- はやぶさ2で回収したサンプルのキュレーション及び分析を実施するとともに、拡張ミッションを開始した。
- 国際水星探査計画（BepiColombo）の探査機について、欧州宇宙機関と協力し、2025年度の水星到着を目指して着実に運用した。
- X線分光撮像衛星（XRISM）及び小型月着陸実証機（SLIM）は2022年度打上げ、火星衛星探査計画（MMX）及び深宇宙探査技術実証機（DESTINY+）は2024年度打上げを目指し開発を進めた。
- 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星（LiteBIRD）及び赤外線位置天文観測衛星（小型JASMINE）は、海外機関の参加状況を踏まえ開発体制を再構築し、技術のフロントローディングを活用しつつ、計画具体化の検討を行った。高感度太陽紫外線分光観測衛星（Solar-C(EUVST)）も計画具体化の検討を行った。
- 超小型探査機での深宇宙探査に必要な技術及び日本の強みである冷凍機技術等について、フロントローディング（開発スケジュール遅延やコスト増を招く可能性のあるキー技術について一定の資源を投入して事前に実証を行う）を実施した。
- 欧州宇宙機関が実施する水星氷衛星探査計画（JUICE）及び二重小惑星探査計画（Hera）への参画に向けた開発等、小型衛星・探査機やミッション機器の開発等の機会を活用した特任助教（テニュアトラック型）の制度及び小規模計画の機会を活用した人材育成を推進した。

2022年度以降の主な取組

- 宇宙科学・探査の着実な実施に向け、フロントローディングの成果を活用しつつ、我が国全体で戦略的なミッションを立案し、計画の規模や打上げ時期に柔軟性を持って開発を進めるとともに、フロントローディングを引き続き実施する。
- はやぶさ2で回収したサンプルの解析を行うとともに、はやぶさ2の残存リソースを最大限活用し新たな小惑星の探査等を目標とする拡張ミッションを行う。
- 国際水星探査計画（BepiColombo）の探査機について、欧州宇宙機関と協力し、2025年度の水星到着を目指して着実に運用する。
- 2029年度の人類初の火星圏からのサンプルリターン実現に向け、2024年度に火星衛星探査計画（MMX）の探査機を打ち上げるべく開発を進める。
- X線分光撮像衛星（XRISM）及び小型月着陸実証機（SLIM）は2022年度の打上げ、深宇宙探査技術実証機（DESTINY+）は2024年度の打上げ及び高感度太陽紫外線分光観測衛星（Solar-C(EUVST)）は2026年度の打上げを目指して開発を進める。
- 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星（LiteBIRD）及び赤外線位置天文観測衛星（小型JASMINE）は、引き続き技術のフロントローディングを活用したキー技術の先行検討を着実に実施するとともに、開発移行へ向けた準備を進める。
- 欧州宇宙機関が実施する水星氷衛星探査計画（JUICE）及び二重小惑星探査計画（Hera）、NASAが実施するRoman宇宙望遠鏡への参画に向けた開発を進めるとともに、ロシア宇宙機関が実施する国際紫外線天文衛星（WSO-UV）への参画に向けた検討を進める。
- 小型衛星・探査機やミッション機器の開発等の機会を活用した特任助教（テニュアトラック型）の制度及び小規模計画の機会を活用した人材育成を引き続き推進する。