

NASA/ESAの現状と国際計画への参画/協力の枠組み

光赤天連・戦略的中型シンポジウム

2022/2/22

宇宙科学研究所

山田亨

JAXAミッションと国際協力

世界の潮流と JAXAミッション

米国 宇宙物理 Decadal Survey 2020 と NASA計画

欧州 ESA Voyage2050 と Cosmic Vision

- **JAXA リードのミッションへの国際協力（主に宇宙物理ミッション）**

X-ray: Ginga / ASCA / Suzaku / ASTRO-H / **XRISM**

IR : Akari, Solar Phys: Yohko / Hinode

LiteBIRD, JASMINE

- **海外リードのミッションにJAXA がメジャーな参加**

Bepi Colombo[ESA, planetary], **SPICA (canceled)**

- **海外リードの大型計画に特徴やヘリテージを活かして部分参加**

“戦略的海外共同計画”

JUICE [ESA, planetary] Hera [ESA, planetary/exploration]/

Roman [NASA], WSO-UV [Russia], Athena [ESA],

Dragonfly [NASA, planetary], Comet Interceptor [ESA, Planetary]

- **PI-led Mission-of Opportunity contributions e.g., IXPE**

SPICA中止を受けて



- 「国際共同プロジェクトにおける概念設計_検討委員会報告書」
2021年8月
- 宇宙研執行部による今後の対応方針
(2021年10月 2021年度第2回理学工学合同委員会資料*)

* 宇宙理学・工学メンバは、委員会資料から参照
(メンバ外の方は、ご相談ください。)

- 5.1 科学コミュニティ・提案チームに対する提言
- 5.2 組織論的観点
- 5.3 マネジメント体制の観点
- 5.4 技術的観点

(→野上さん講演)

JAXA科学ミッションにおける国際協力



	国際協力の考え方
戦略的中型	ミッション立案過程において、国際協力の可能性、利点、必須性、リスクを検討・評価。ミッション立案時に国際貢献分に対する十分なリスクマージンを取ることが必要。立案し推進するミッションについては初期段階から組織的に対応をすすめる。 300億円規模→マネジメントリスクを低減し確実な実現をはかるため400億円以下。
公募型小型	WG、コンセプト公募提案、ミッション定義段階を通じて、提案チームの主体的な調整が必要。とくに提案時においては未確定の 国際貢献分に100%リスクマージン を求める方針。プロプロジェクト候補選定審査以降に組織的な対応も行う。 150億円規模→マネジメントリスクを低減し確実な実現をはかるため180億円以下。
戦略的海外共同 (海外ミッション)	日本の強みを生かし、国際優位性を高めると共に、 開発リスクを持ち込まないようヘリテージのある機器又は衛星で実現できることを重視 する。 プロジェクト総経費は概ね5～15億円を想定するが、最大50億円とする。 JAXAで複数計画が併走し、年間では10億円以下程度。
小規模計画	宇宙科学研究所が提供できない飛翔機会を必要として国内外の飛翔体に搭載する小型衛星やサブペイロード、海外の観測ロケット・大気球、国際宇宙ステーションなどの有償の飛翔機会を利用することより優れた科学成果を期待できる研究計画。外部資金とのマッチングファンド方式が基本。2億円/課題、数億円/年程度。

戦略的海外共同計画

宇宙研プログラムディレクター
理工学委員会資料(2020/5/07)



6. 戦略的海外共同計画

6.1. 戦略的海外共同計画とは

海外ミッションへのマイナーパートナーとしての参加や国際宇宙探査の観測機器の搭載機会等を活用するなど、多様な機会を最大に活用し、成果創出の最大化を図る枠組み。

日本の強みを生かし、**国際優位性を高めると共に、開発リスクを持ち込まないようヘリテージのある機器又は衛星で実現できることを重視**する。
プロジェクト総経費は概ね5～15億円を想定するが、最大50億円とする。

戦略的海外共同計画

宇宙研プログラムディレクター
理工学委員会資料(2020/5/07)



6.2. 要件 以下の要件をすべて満たすこと。

(a) 科学的意義

- 日本主導のミッションでは獲得できない成果創出機会であること。
- メジャーパートナー機関から参加要請があつての参加であること。
- 日本からの参加があることで実現可能となる部分が、ミッション全体の科学的価値を高めること。

(b) 実現性

- 日本担当分を実現するためのコスト、体制、スケジュールが合理的であること。
- ハードウェア提供を伴う場合には、有するヘリテージからの大きなジャンプがなく、コスト見積もり精度と開発見通しが十分に高いこと。
- 日本チームと全体ミッションチームとのコミュニケーションがスムーズにできていること。
- 輸出入管理等での問題がないことが示されていること。

(c) 日本のコミュニティにもたらされるもの

- 十分に広い範囲の日本の科学者に成果創出機会をもたらすこと。
- ここに参加することが「日本の強みを伸ばす」ということに貢献し、その後の国際的優越性へとつながること、あるいは、この参加を契機として日本にとって新しく魅力的な分野が根付くことになること。
- これらのメリットが必要となるコストに見合ったものであること。

(d) JAXAとしての意義価値

- ここに参加することでJAXA宇宙科学の国際ブランドが向上すること。

(e) コスト制約

- 戦略的海外共同計画全体で10億円/年を経費の制約とする。プロジェクト総経費は、概ね5~15億円を想定するが、最大50億円とする。

理工学委員会 宇宙科学の将来フレームワーク検討委員会



(8/3 理工学委員会資料より、プログラムディレクタからの提案)

タスク:5~10年以降における宇宙科学のフレームワークの在り方についての議論と提言。] その時期にリーダーシップを発揮するはずの若手を主体に、宇宙科学の現行のバウンダリーコンディションを覆すことまで踏み込んだ、ミッション創出・推進の枠組みの改善・改革の提言を、実現の方策(関係部署の説得ロジックの構築)まで踏み込んで、継続的に行う。

- 位置付け:理工委の下で常設委員会とする。広い視点に立って臨機に議論と提言を行い、提言は理工委・執行部において共有され、適宜、宇宙科学の推進方策案に反映されるものとする。
- メンバ:各期の開始時において、若手45歳以下。理学4、工学4の計8名を目安とする。任期は理工委と同一とし、年齢の条件を満たせば再任可とする。メンバは理工委構成員に限定しない。人選は理工委委員長が行う。
- アドバイザならびにオブザーバ:必要に応じ宇宙科学ミッションカテゴリ設計TF長(最初の1年ないし2年)、PD、研究総主幹、副所長、理工両委員長が加わる。背景状況等の把握のため、メンバ、アドバイザ、オブザーバ以外の者が、参考人として会議に出席することは妨げない。適宜、アドバイザ等からメンバに宇宙科学のフレームワークならびに、本委員会での検討課題等について、チュートリアルを実施する。

JAXA ミッションと国際協力

世界の潮流と JAXA ミッション

米国 宇宙物理 Decadal Survey 2020 と NASA 計画

欧州 ESA Voyage2050 と Cosmic Vision

宇宙物理分野の展望



日本の展望

XRISM

LiteBIRD
JASMINE HiZ-G

次期中型

長期展望

大きな世界の流れ

	2021	2025	2030	2035	2040
汎用・ 大型宇宙望遠鏡	JWST (NIR/MIR)		Athena (X-ray)		NASA6m (UV/Opt/IR)
広視野サーベイ	eROSITA	Euclid	Roman		
系外惑星 専用 半専用	TESS	PLATO	ARIEL Roman		NASA6m
時間変動 マルチメッセンジャ		NASA_TD		LISA	
地上望遠鏡	Subaru/8-10m ALMA Rubin LIGOs/KAGRA	CMB_S4	ELT SKA	TMT/GMT: NGVLA:	

世界の潮流におけるJAXAミッション (1/6)



■ XRISM

カロリメータによる高エネルギーX線での**高エネルギー分解能観測**

(軌道上 Chandra/XMM/NuSTARとの相補性、Athenaへの発展性)

2020年代で唯一の天文台型X線衛星

(X線観測分野では日米欧の連携、露・欧は全天サーベイ、米は偏光・時間変動、宇宙の構造形成・化学進化、宇宙プラズマ物理の新展開)

(JWST/Roman/Euclid は銀河、冷たいガスを通じて宇宙構造を観測)

■ LiteBIRD

2020年代唯一の選定された CMB スペースミッション

インフレーション： LiteBIRD (スペース、大角度スケール)、CMB Stage IV (地上)

ダークエネルギー： Roman, Euclid (スペース)、すばる、Rubin など (地上)

■ JASMINE

近赤外線での位置天文学、天の川銀河中心領域

(Gaia は可視光、全天、天の川銀河のより全貌)

近赤外線でのトランジット・モニタ系外惑星観測 (TESS/PLATO は可視光、広域、大サンプル)

世界の潮流におけるJAXAミッション (2/6)



世界の宇宙物理学（系外惑星含む）ミッション（2015~2030 打上/打上予定）

軌道上/実施済 開発中

機関・国 など	超大型 (>\$1B)	大型 (概ね \$500-1000M)	中型 (概ね \$200-500M)	小型 (概ね~\$200M)
米国 NASA	JWST (2021)/ Roman		SPHEREx, (MIDEX) (Time Domain)	TESS (2018) IXPE (2021)
欧州 ESA	(Athena/LISA ~2032-34打上)	Euclid / PLATO / ARIEL		CHEOPS (2019)
中国		SST-Surveyor	DAMPE (2018), HXMT (2016)	QUESS (2016), Einstein Probe
インド				ASTROSAT (2015)
ロシア		Spektr-RG (2019) Spektr-UF(WSO-UV)		
日本 JAXA			XRISM LiteBIRD	JASMINE

世界の潮流におけるJAXAミッション (2/6)



世界の宇宙物理学 (系外惑星含む) ミッション (2015~2030 打上/打上予定)

専用 ~半専用

機関・国 など	超大型 (>\$1B)	大型 (概ね \$500-1000M)	中型 (概ね \$200-500M)	小型 (概ね~\$200M)
米国 NASA	JWST (2021) / Roman		SPHEREx	TESS (2018) IXPE (2021)
ESA	(Athena/LISA ~2032-34打上)	Euclid / PLATO / ARIEL		CHEOPS (2019)
中国		SST-Surveyor	DAMPE (2018), HXMT (2016)	QUESS (2016), Einstein Probe
インド				ASTROSAT (2015)
ロシア		Spektr-RG (2019) Spektr-UF(WSO-UV)		
日本 JAXA			XRISM LiteBIRD	JASMINE

世界の潮流におけるJAXAミッション (2/6)



世界の宇宙物理学 (系外惑星含む) ミッション (2015~2030 打上/打上予定) **特化計画主体型** 公募観測主体型

機関・国 など	超大型 (>\$1B)	大型 (概ね \$500-1000M)	中型 (概ね \$200-500M)	小型 (概ね~\$200M)
米国 NASA	JWST (2021)/ Roman		SPHEREx	TESS (2018) IXPE (2021)
ESA	(Athena/LISA ~2032-34打上)	Euclid / PLATO / ARIEL		CHEOPS (2019)
中国		SST-Surveyor	DAMPE (2018), HXMT (2016)	QUESS (2016), Einstein Probe
インド				ASTROSAT (2015)
ロシア		Spektr-RG (2019) Spektr-UF(WSO-UV)		
日本 JAXA			XRISM LiteBIRD	JASMINE

世界の潮流におけるJAXAミッション (3/6)



X線 可視・近中間赤外 遠赤外 電波 重力波

宇宙のなりたちについての主要な課題	JAXA将来ミッション	世界の将来ミッション
ビッグバン理論を越えた宇宙の時空の起源		
宇宙のインフレーション	LiteBIRD	
宇宙の加速膨張とダークエネルギー		Roman Euclid
宇宙の構造の形成と進化		
ダークマター／大規模構造形成	XRISM	Roman Euclid WSO-UV Athena
初代星／初代銀河／初代BH	HiZ-Gundam (SPICA)	JWST Roman Athena SPHEREx
銀河内部・周辺構造の形成・進化とその物理	JASMINE (SPICA)	JWST WSO-UV LISA
惑星形成	(SPICA)	JWST
物質循環、固体・有機物深化	XRISM, (SPICA)	JWST Athena
宇宙における生命の可能性		
系外惑星探査	JASMINE	PLATO Roman
系外惑星キャラクター化		JWST ARIEL Roman WSO-UV
極限物理現象の解明		
SMBH・BH・中性子星合体、強重力	HiZ-Gundam	LISA IXPE
高エネルギープラズマ物理	XRISM	IXPE Athena

JAXA ミッションと国際協力

世界の潮流と JAXA ミッション

米国 宇宙物理 Decadal Survey 2020 と NASA 計画

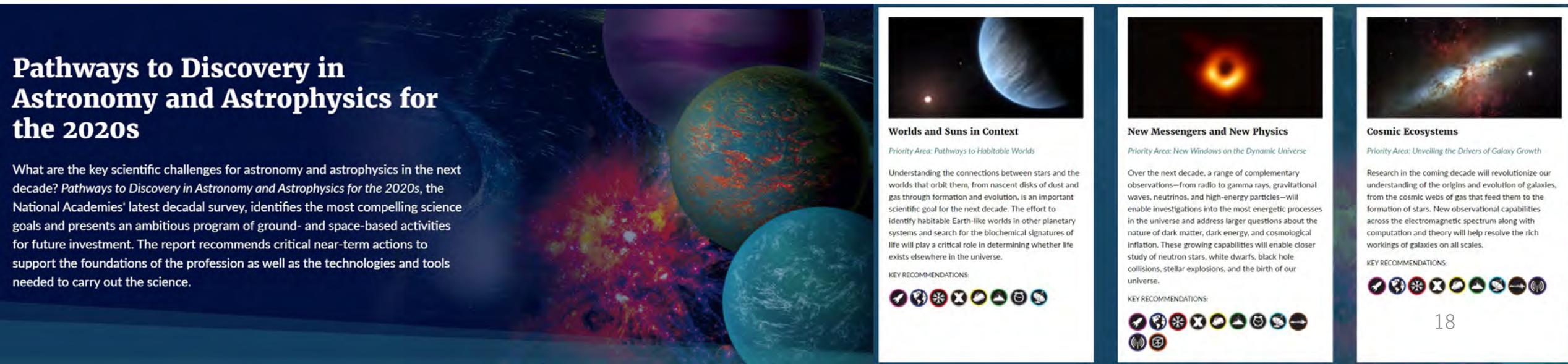
欧州 ESA Voyage2050 と Cosmic Vision

Pathways to Discovery in Astronomy and Astrophysics for the 2020s

米国の天文・宇宙物理分野の Decadal Survey のレポートが、2021年11月4日（現地時間）公開された。

目指すべき主要科学目的として、以下の3課題が挙げられている。

- [1] Worlds and Suns in Context
(ハビタブル系外惑星へのとりくみ)
- [2] New Messengers and New Physics
(地上CMB、時間変動天体（タイム・ドメイン）、重力波、高エネルギーニュートリノ)
- [3] Cosmic Ecosystem
(銀河形成と進化の物理、銀河周辺ガス・銀河間ガスとの相互作用)



Pathways to Discovery in Astronomy and Astrophysics for the 2020s

What are the key scientific challenges for astronomy and astrophysics in the next decade? *Pathways to Discovery in Astronomy and Astrophysics for the 2020s*, the National Academies' latest decadal survey, identifies the most compelling science goals and presents an ambitious program of ground- and space-based activities for future investment. The report recommends critical near-term actions to support the foundations of the profession as well as the technologies and tools needed to carry out the science.



Worlds and Suns in Context

Priority Area: Pathways to Habitable Worlds

Understanding the connections between stars and the worlds that orbit them, from nascent disks of dust and gas through formation and evolution, is an important scientific goal for the next decade. The effort to identify habitable Earth-like worlds in other planetary systems and search for the biochemical signatures of life will play a critical role in determining whether life exists elsewhere in the universe.

KEY RECOMMENDATIONS:





New Messengers and New Physics

Priority Area: New Windows on the Dynamic Universe

Over the next decade, a range of complementary observations—from radio to gamma rays, gravitational waves, neutrinos, and high-energy particles—will enable investigations into the most energetic processes in the universe and address larger questions about the nature of dark matter, dark energy, and cosmological inflation. These growing capabilities will enable closer study of neutron stars, white dwarfs, black hole collisions, stellar explosions, and the birth of our universe.

KEY RECOMMENDATIONS:





Cosmic Ecosystems

Priority Area: Unveiling the Drivers of Galaxy Growth

Research in the coming decade will revolutionize our understanding of the origins and evolution of galaxies, from the cosmic webs of gas that feed them to the formation of stars. New observational capabilities across the electromagnetic spectrum along with computation and theory will help resolve the rich workings of galaxies on all scales.

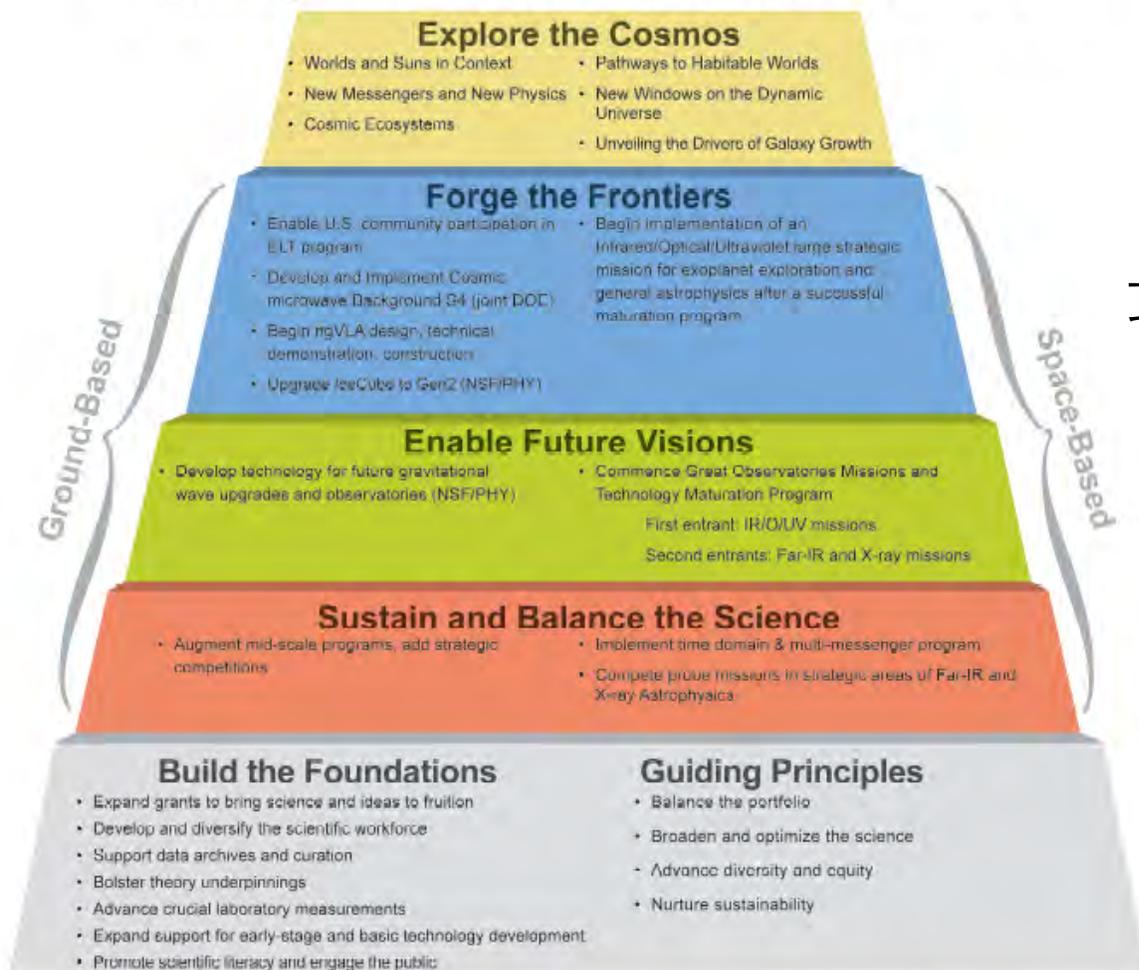
KEY RECOMMENDATIONS:



18

提言の区分け

Realizing the Astro2020 Program: Pathways From Foundations to Frontiers



科学目的

最先端を切り開く計画

成立性の検討

持続的発展

基盤の充実
基本方針

FIGURE 1.2 The recommended program includes elements that pave the way to transformative science by building a strong research and technology foundation, promoting programs on a range of scales that balance and sustain observational capabilities, enabling future large projects, and advancing new frontier observatories.

2章 科学目的

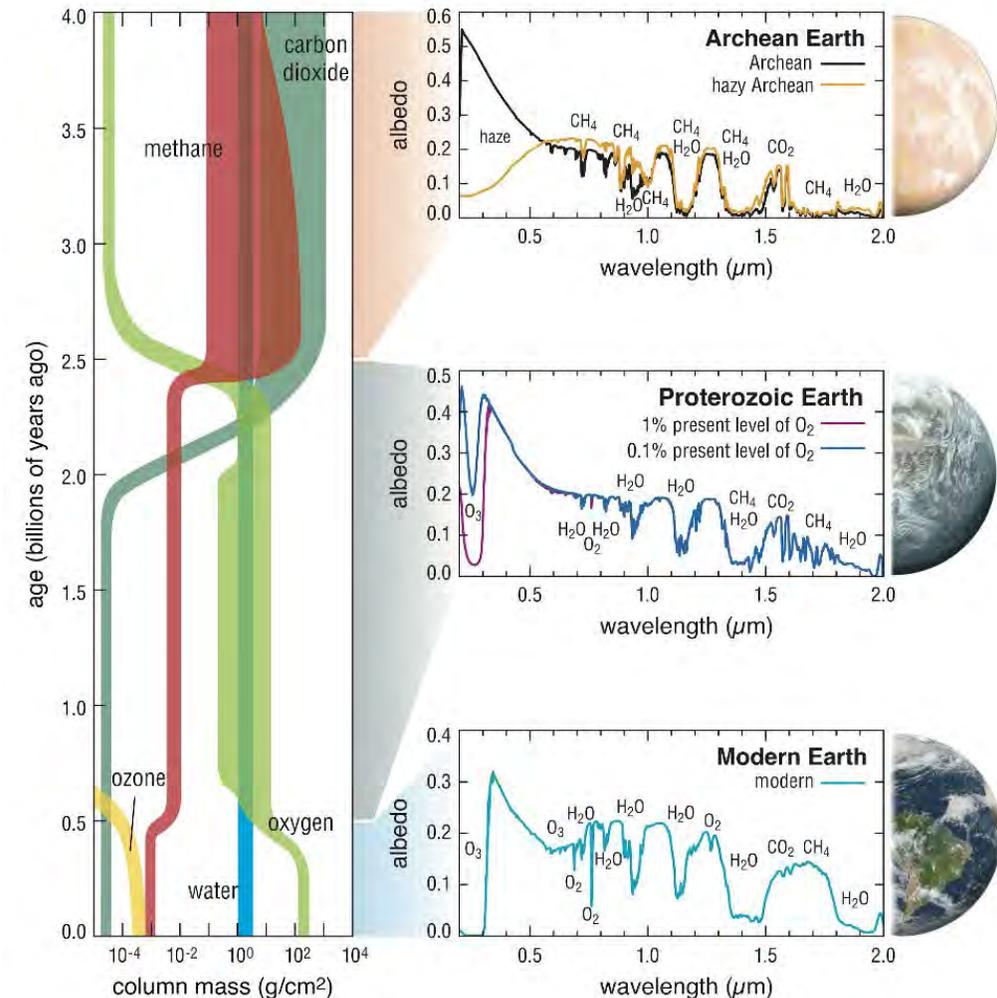
[1] Worlds and Suns in Context

Priority Area: Pathways to Habitable Worlds

多様な惑星系について、恒星とその活動性、惑星形成過程、惑星の性質などを相互関係の中で理解する。

最優先課題として、地球類似型惑星の発見への挑戦は“Are We Alone?”という根本的な問いに答える科学目的である。今後の数十年に進めるべきは、そのような地球類似惑星のうち、最も観測可能が高いものについて、キャラクターゼーション（大気や惑星の性質の詳細観測）および生命の兆候を調べることである。

- 地上超大型望遠鏡と極限補償光学による高コントラスト観測
- 100億分の1の高コントラスト観測を実現するスペースの高安定・大型（紫外線/可視光/赤外線）宇宙望遠鏡
- 生命が存在可能な条件を解明するため、様々なタイプの恒星の活動性を明らかにする高空間分解能・高エネルギー分解能を持つX線宇宙望遠鏡
- 惑星形成、進化、大気についての理論・実験的研究

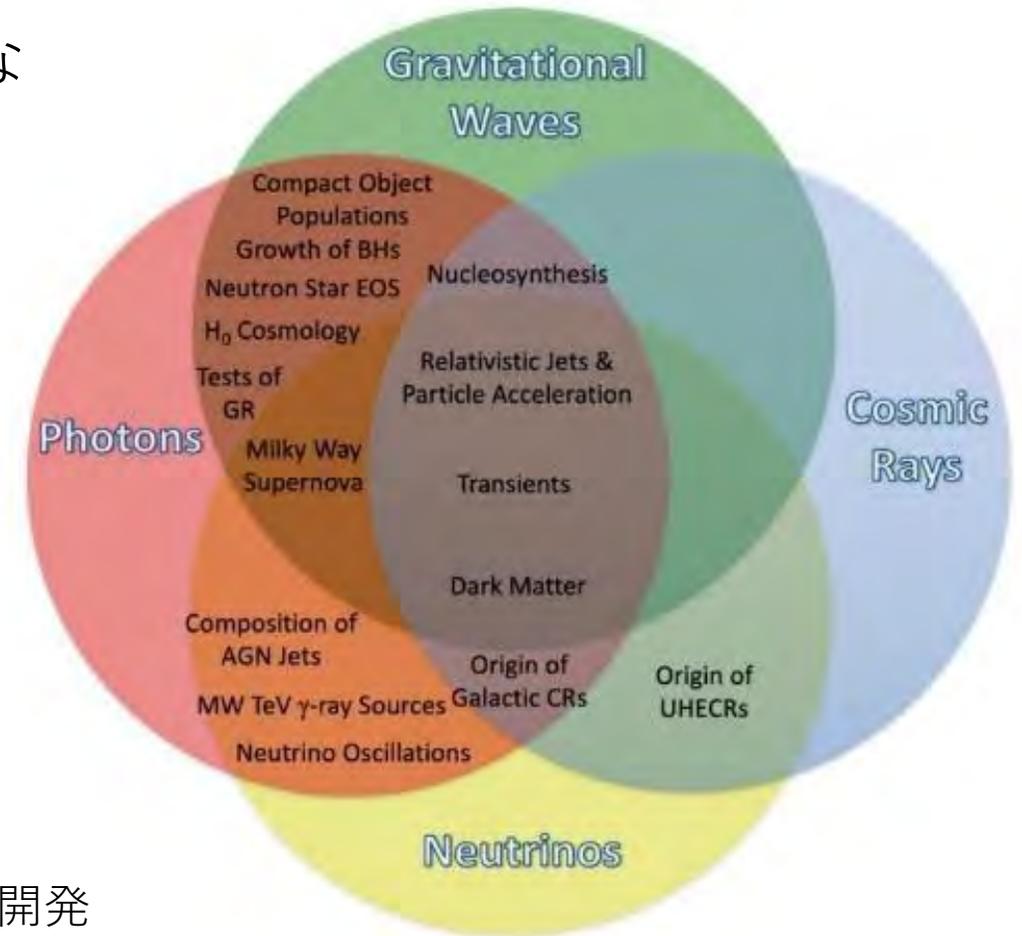


[2] NEW MESSENGERS AND NEW PHYSICS

Priority Area: New Windows on the Dynamic Universe

電磁波、重力波、ニュートリノ、高エネルギー宇宙線など様々なメッセンジャーによる相補的な知見に基づく、中性子星、白色矮星、BH衝突、恒星の爆発などの研究

- 多波長をカバーしてトランジエント現象の光度・スペクトルの変動を調べる地上および衛星の中型・小型計画
- 重力波で検出される中性子星合体現象の対応天体を詳細に観測する地上超大型およびスペース大型（紫外/可視光/近赤外）望遠鏡
- 中性子星やBH、およびその合体現象からの相対論的ジェットを検出する強力な次世代電波干渉計
- インフレーションで生じる原始重力波の痕跡を探す次世代のCMB偏光観測望遠鏡
- 現在の地上重力波実験のアップグレードと次世代のための技術開発
- 高エネルギーニュートリノ実験の高感度・高解像度化
- 高密度天体の合体による重力波観測からの信号を数値的に理解し解釈するための理論やソフトウェアの開発

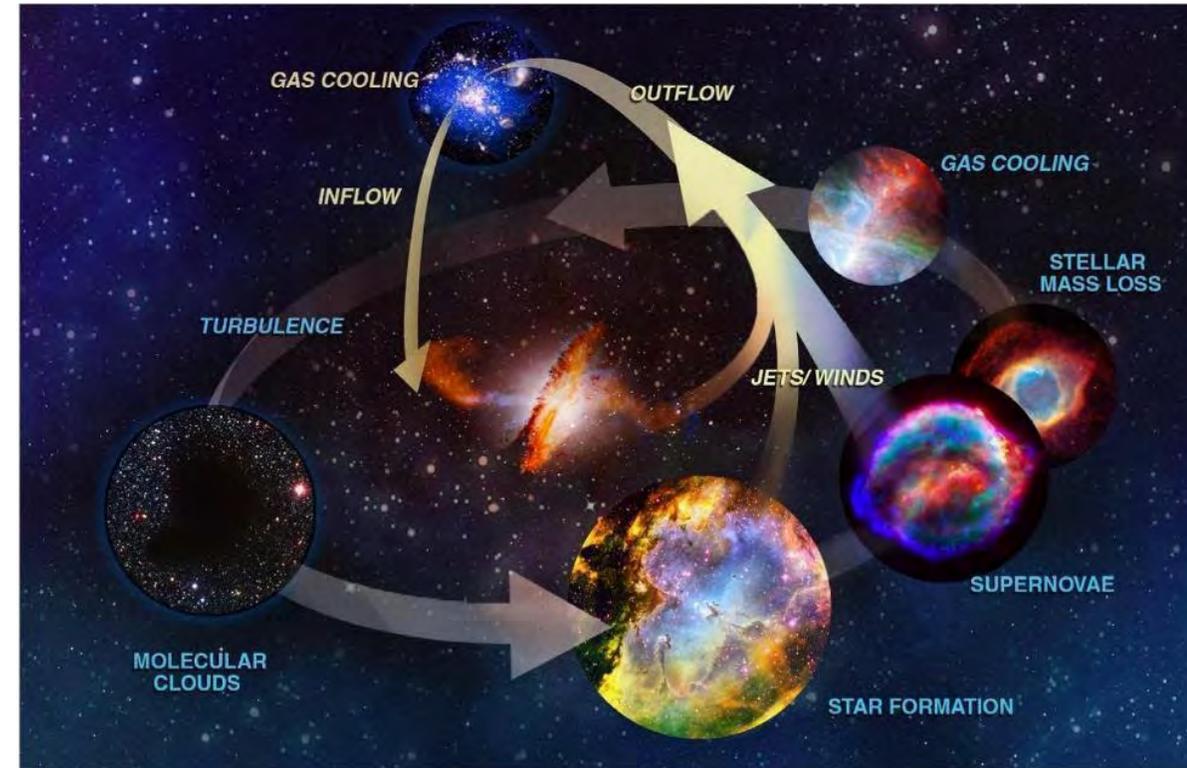


[3] Cosmic Ecosystems

Priority Area: Unveiling the Drivers of Galaxy Growth

様々な時間および空間スケールにわたる銀河形成と銀河における星・惑星形成の過程を理解する。

- 初期の宇宙の静止系紫外線の波長域の放射・吸収を観測する地上20-40m望遠鏡。銀河周囲のガスの化学組成、温度、密度、運動の測定。
- 同じ初期の宇宙の分子ガス分布を求め、銀河周囲の冷たいガスや、銀河のAGNへ供給されるガスの分布や運動を調べる次世代VLA電波望遠鏡
- より近傍の宇宙で銀河形成進化の物理を詳細に調べるスペースの次世代大型（紫外線/可視光/赤外線）望遠鏡
- 上の計画と相補的に高空間分解能、高波長分解能でダストに含まれたBH形成やガスの流出を調べるための遠赤外線およびX線の計画
- 新たな観測と結びつき銀河形成を理解する理論的發展

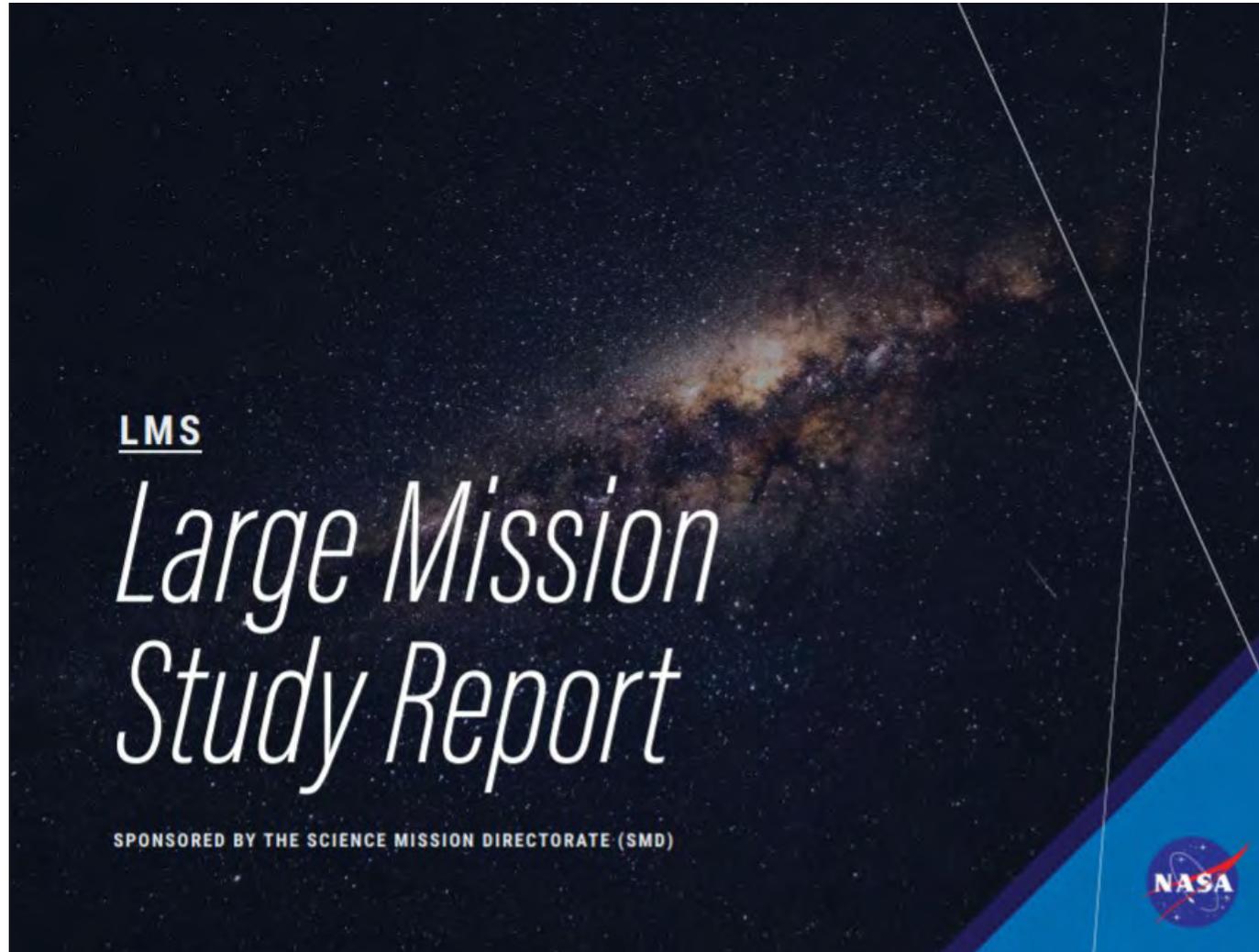


読み解く①

- 単純にコストの大きさを分けるのではなく、「機能」で分類
- NASA, NSF の予算プロファイルの不定性も認識し、最先端の大型プログラムの実施を提言すると共に、持続発展可能なバランスも重視することを、あわせて提言。
- とくにスペースの大型プログラムについては、どのようにして全波長的にミッションを実現するかが大きな課題。
Great Observatories (Hubble/Chandra/Spitzer/Compton) を成功例に、multi-decadal なアプローチを提唱。
挑戦的大型ミッションでは、Decadal Survey 提言を踏まえつつより大きな早期段階の投資によりミッションコンセプトと技術的成立性を同時に成熟させ、また、チェックと軌道修正の仕組みを持つことが必要。

NASA Large Mission Study Report (2020)

https://science.nasa.gov/science-red/s3fs-public/atoms/files/SMD_LMS_eBook_report2.pdf



Recommended Program (科学計画の推薦)

スペース計画：

■ Implementing the Next Great Observatories：

➤ Great Observatories Mission and Technology Maturation Program

Great Observatories を目指して、成立性を担保する検討を実施すること自体を答申。

この対象としてまず検討を実施するのが、次の IR/I/UV 6m off-axis 宇宙望遠鏡ミッションでまず、6年間で～\$800M を想定。Maturation Program自体はさらに継続してゆく。

➤ Large (~6 m aperture) infrared/optical/ultraviolet (IR/O/UV) space telescope

最優先課題として、[口径6m程度の紫外線・可視光・近赤外線ミッション (\$11b)] の検討を行うことを提言。2030年までに見極めて、2040年代前半に打ち上げを目指す。

ハビタブル惑星直接観測と革新的天文観測が主要課題。IRは近赤外線を指す。

つづいて検討する課題として X線・遠赤外（それぞれ、\$3-5B）で、Great Observatories を目指す)

妥当なコスト範囲 (~\$10B程度と思われる) かつ、**十分な数(~25個)のハビタブル地球の直接観測が可能**、かつ、様々な天文課題で革新的であることから、口径6mの off-axis 望遠鏡案を答申。

Matuarition Program 検討を～5-6年程度行って、見極めがついてはじめて「実施」に進める、という提言。

■Sustaining and Balancing the Science

➤ Time domain and multi-messenger follow-up program

時間変動現象と、（重力波、ニュートリノ天体のフォローアップなど）マルチメッセンジャー観測を実現する小型～中型ミッションの実施を提言。

➤ Astrophysics Probe-Mission Program

コストキャップ \$1.5B の（フラッグシップとエクスペローラのギャップを埋める）ミッション 枠。

10年に1機程度を提言。最初に推薦する優先度の高いものとして、

- SPICA のギャップをうめる遠赤外線ミッション

- Athena と相補的なX線ミッション

を答申。1機目は、Strategic UV/O/IR のミッション検討開始後、（その検討がすすむ）～5年後から技術およびミッション成熟検討を進めて2030年代に実現を目指す。2機目は2040年代。

地上大型計画 New Large Facilities

➤ The US Extremely Large Telescope Program

地上望遠鏡計画として、TMTを含むUS-ELTプログラムが最優先計画として位置づけられた。

課題はコストで、NSFに2023年を目処に外部評価を実施し投資規模を決定することを推奨。

➤ The Cosmic Microwave Background Stage 4 Observatory

➤ The Next Generation Very Large array

重要性、必須性を評価するが、まずは計画検討、プロトタイプアンテナの試作などをすすめることを提言。

Technology Foundations and Small and Medium Scale Sustaining Programs

6.1 THE TECHNOLOGY FOUNDATIONS

6.2 SMALL AND MEDIUM-SCALE PROGRAMS

オープンな競争的。\$数M ~ \$300M

Balloon

能力と頻度について需要やペイロードへの投資に見合うものかを評価する外部レビューを行い、より最適化を提言。参入バリアを下げることを提唱。

Sounding Rockets

必要な機会で、継続すべし。

Explorer

2010 Decadal Report で指摘されたレベルでの実施を維持し、今後も継続することを提言

Pioneer Program2020

初めて sub-orbital class をリードする人材への投資。\$20M。

Explorer クラスのリーダーへの発展を期待

読み解く②

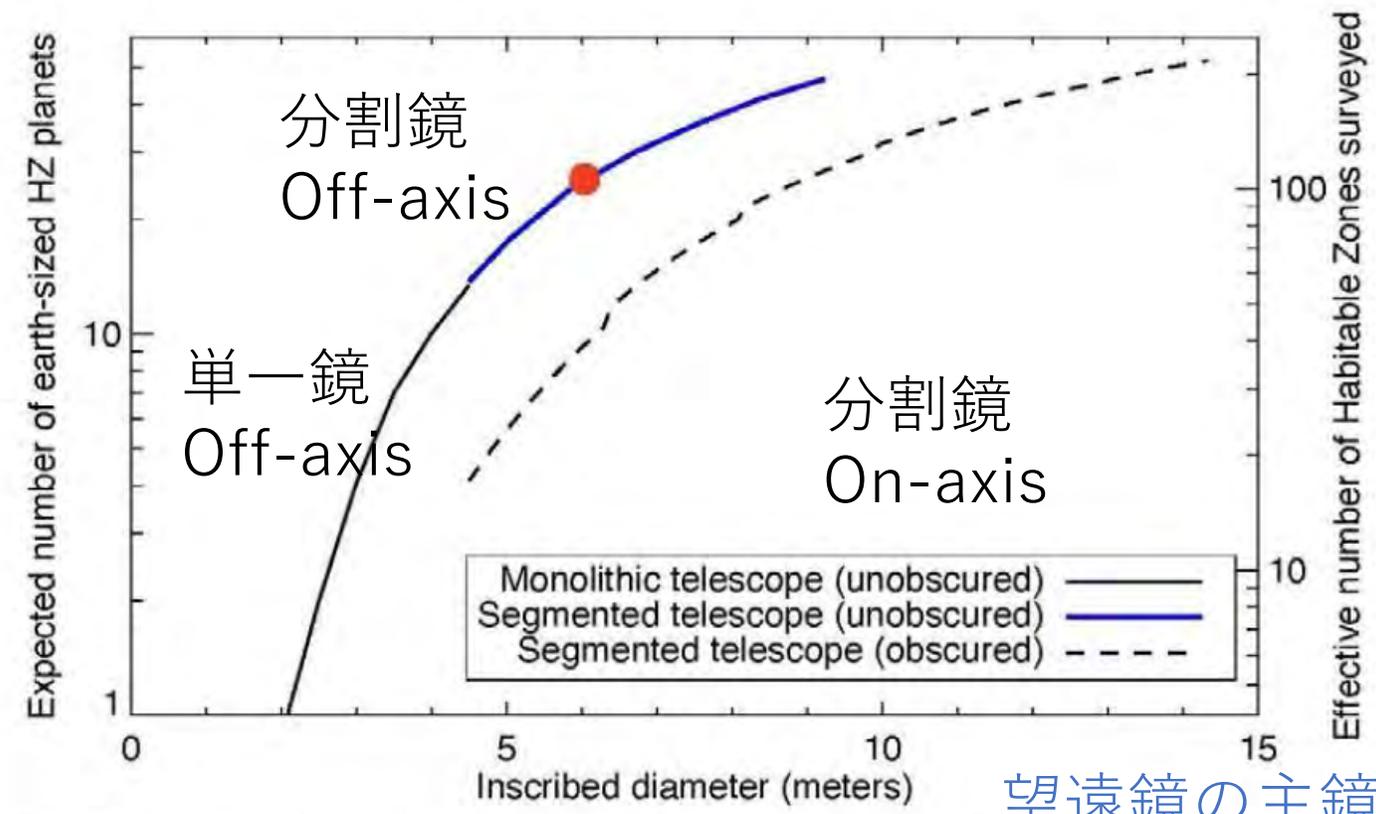
- **最優先大型計画はハビタブル地球類似惑星の直接観測と革新的な天文観測を可能とする大型（紫外線/可視光/近赤外）宇宙望遠鏡。2040年代前半の打上、\$11Bを想定。**
- 大型計画は、10年スケールを越えるので、**その実施は、pan-decadal 的に**すすめる必要があると認識
- この時点で「名前のついた計画」として推薦するのではなく、優先して検討すべきミッションのコンセプトは提言するが、技術およびミッション成熟のための検討を（相当なコストを割り当て）実施する。
- **～6年程度の検討（～\$800M想定）のあと、実施段階（Phase A～）**に入っゆく。この検討段階で、技術成熟度についてTRL=6 を求める。
- **優先課題として「ハビタブル地球類似惑星」の直接観測を考えるため、望遠鏡の基本的なアーキテクチャが決まり（口径6m以上）、そのための最低コスト評価が想定される。**ただし、LUVOIR/HabExなどNASAの大型計画概念検討の自己コスト評価に対しては、Decadal の独立評価は60-70%高額。

読み解く③

- ORIGINS（遠赤外）、Lynx（X線）のStrategic mission の検討に対しては、将来的に多波長の天文台群を実現する Great Observatories 方式を提言。
- 遠赤外、X線の Strategic ミッションは、「ハビタブル地球類似惑星を一定数観測」という要請はないので、よりスケラブルで、概念検討の提案（～\$8-10B）より小規模の、それぞれ\$3–5Bでの実施を提言。
- ギャップを埋めるため、Probe Class では、「X線」「遠赤外」ミッションを提言。\$1.5B コストキャップで、2030年代に1機、2040年代に1機を目指す。
- ビデオ配信のデブリーフィングでは、SPICAの経緯を受けて、Probe に FIR の優先を提言したことを明言した。

6m off-axis 紫外/可視/赤外望遠鏡とハビタブル地球類似惑星の観測

観測できる
ハビタブル地球類似惑星の期待値



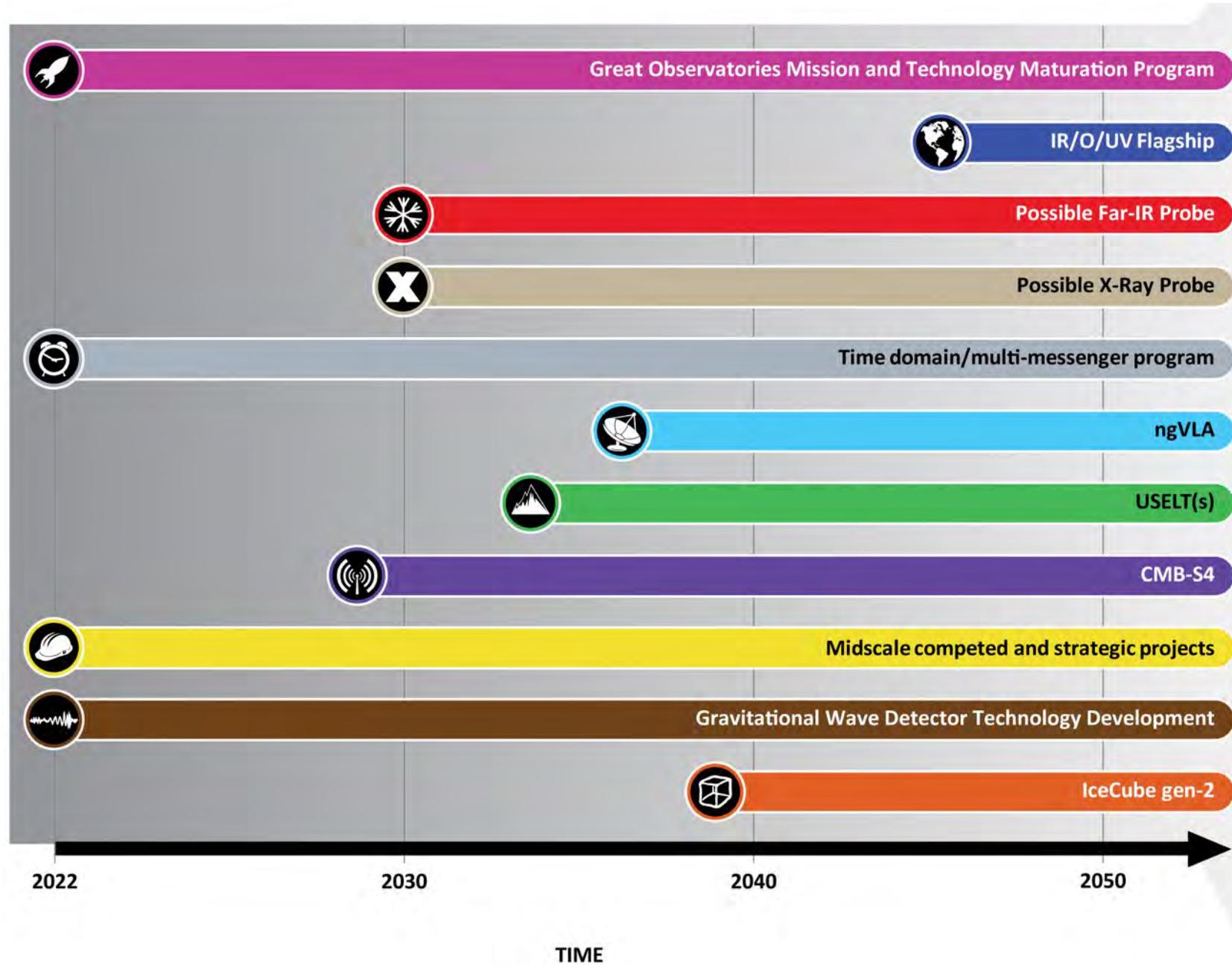
25個以上の
ハビタブル地球類似惑星の
観測を要請

→ Off-axis 6m望遠鏡

望遠鏡の主鏡口径(内接半径)

FIGURE 7.6 Potentially habitable exoplanet yield vs telescope diameter for different telescope architectures. Right axis shows the number of habitable zones surveyed (weighted by completeness); left axis shows the expected number of planets discovered assuming the occurrence rate of rocky planets in the optimistic habitable zones of different stars, $\eta_{\text{earth}}=0.24$ (Bryson et al. 2021). The red dot shows the expected yield for the target 6-m inscribed diameter. NOTE: Habitable zone is defined as 0.95-1.67 AU for planets of 0.8-1.4 Earth radii. SOURCE: Adapted from C. Stark (Space Telescope Science Institute), D. Mawet (California Institute of Technology), and B. Macintosh (Stanford University).

期待されるタイムライン。左端が観測開始またはプログラム開始。

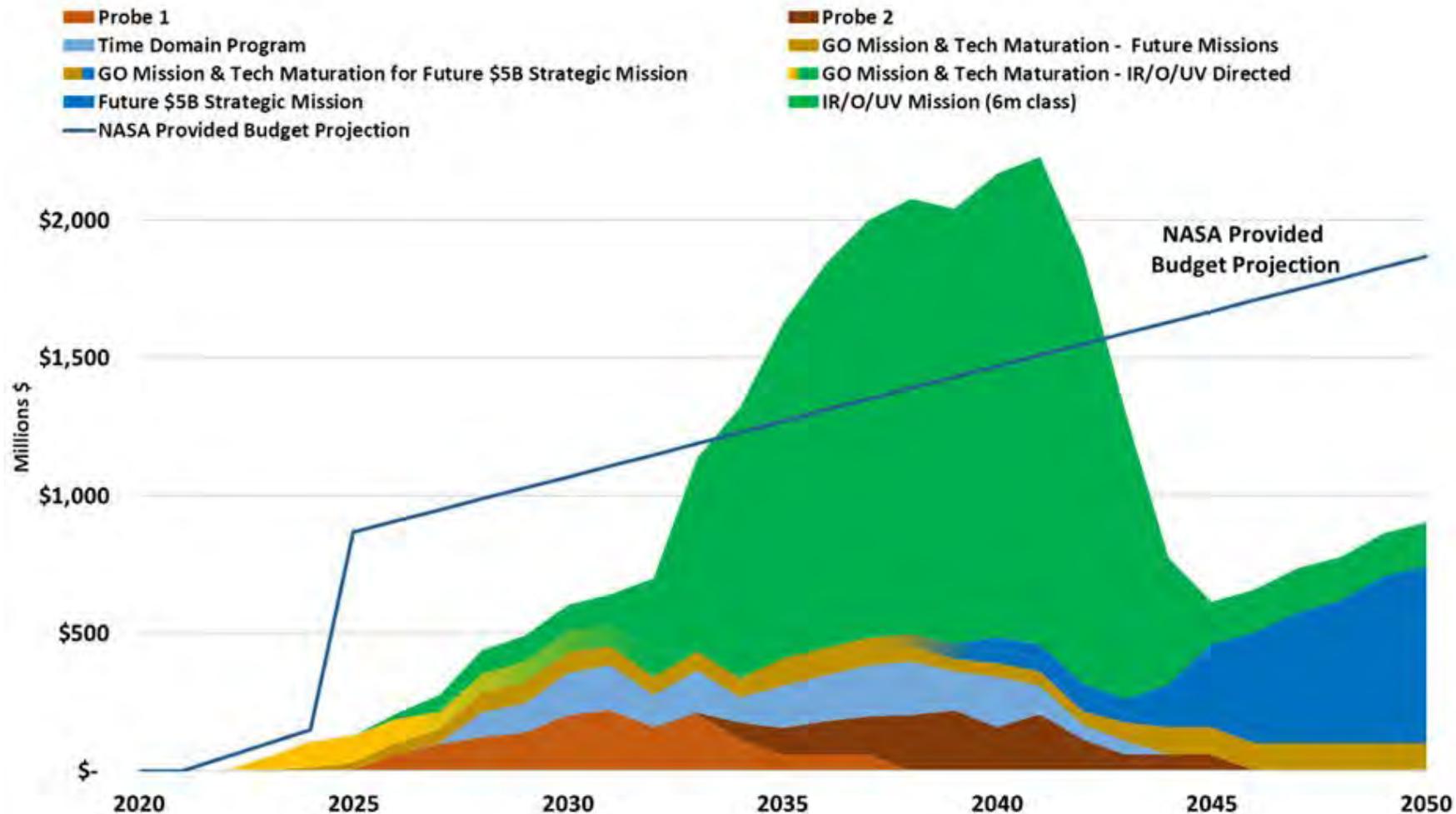


7.2 BUDGETARY GUIDANCE FOR NEW PROGRAMS AND PROJECTS

FY2021-2025 予算要求案 FY2025 で \$1900M

FY2026-2040 予算外挿 毎年2%筒の増加 FY2040 で \$2500M

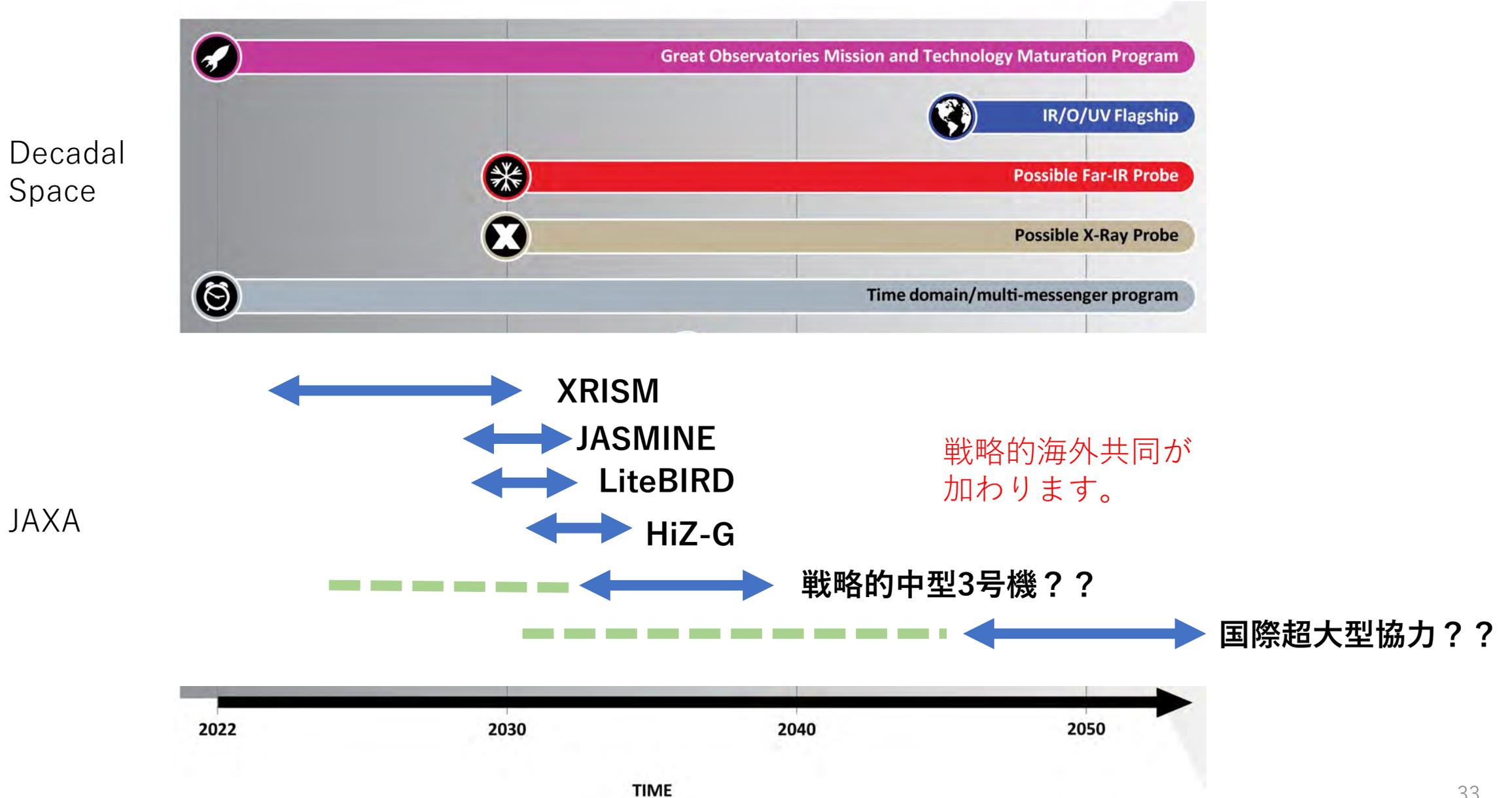
最も楽観的なシナリオ（青線）だが、本レポートではこれをガイドラインとして採用。



本ASTRO2020
での提言プログラムの
コストプロファイル。

これに概ね～\$1B
が既存の計画分として
加わる。

5. タイムラインのおおまかな比較



Astrophysics Probe Announcement of Opportunity Community Announcement

The NASA Science Mission Directorate (SMD) has released a Community Announcement www.SAM.gov notice ID NNH22ZDA008L concerning its intention to solicit investigations for the Astrophysics Probe Program.

The National Academies' 2020 Decadal Survey in Astronomy and Astrophysics, *Pathways to Discovery in Astronomy and Astrophysics for the 2020s* (<https://www.nap.edu/catalog/26141/pathways-to-discovery-in-astronomy-and-astrophysics-for-the-2020s>), recommends probe missions to be competed in broad areas identified as important to accomplish the survey's scientific goals. For the coming decade, the Decadal Survey recommends a far-infrared mission or an X-ray mission designed to complement the European Space Agency (ESA's) Athena mission.

Release of this special notice	January 2022
Release of draft AO:	June 2022 (target)
Release of final AO:	January 2023 (target)
Preproposal conference:	~ 3 weeks after final AO release
Proposals due:	90 days after AO release
Selection for competitive Phase A studies:	Early 2024 (target)
Concept study reports due:	Late 2024 (target)
Down-selection:	Mid 2025 (target)

JAXA ミッションと国際協力

世界の潮流と JAXA ミッション

米国 宇宙物理 Decadal Survey 2020 と NASA 計画

欧州 ESA Voyage2050 と Cosmic Vision

ESA Voyage2050

Athena, LISA 以降の Large-Class 基軸となる計画策定

- Whitepapers <https://www.cosmos.esa.int/web/voyage-2050/white-papers>
- 10/29-31 Voyage2050Workshop (Madrid)



[Voyage 2050](#) » [Home](#)

Home
Workshop registration
Workshop programme
Workshop: second announcement
White Papers
Senior Committee
Call for Membership of Topical Teams
Call for White Papers

VOYAGE 2050 LONG-TERM PLANNING OF THE ESA SCIENCE PROGRAMME

***** Registration is open for the Workshop *****
***** See [second announcement](#) and [registration form](#)*****

4 March 2019

The Science Programme of the European Space Agency (ESA) relies on long-term planning of its scientific priorities. The first long-term plan, Horizon 2000, was the result of an exercise started in 1983, and it was followed by an extension, Horizon 2000 Plus, that resulted in the initiation of the Gaia and BepiColombo missions. The successive planning exercise, [Cosmic Vision](#), was started in 2004 and is the current basis against which the content of the Science Programme is set.

Cosmic Vision is the result of a bottom-up process that began with a consultation of the broad scientific community. The plan, which comprises a variety of missions and extends up to 2035, defines the wide-ranging and ambitious scientific questions to be addressed by missions in the ESA Science Programme.

The next planning cycle of the ESA Science Programme, Voyage 2050, is now underway. In keeping with the bottom-up, peer-reviewed nature of the Science Programme, the definition of

DOCUMENTATION

[Letter of Invitation - White Papers \(pdf\)](#)

[Letter of Invitation - Topical Team membership \(pdf\)](#)

[Call for White Papers \(pdf\)](#)

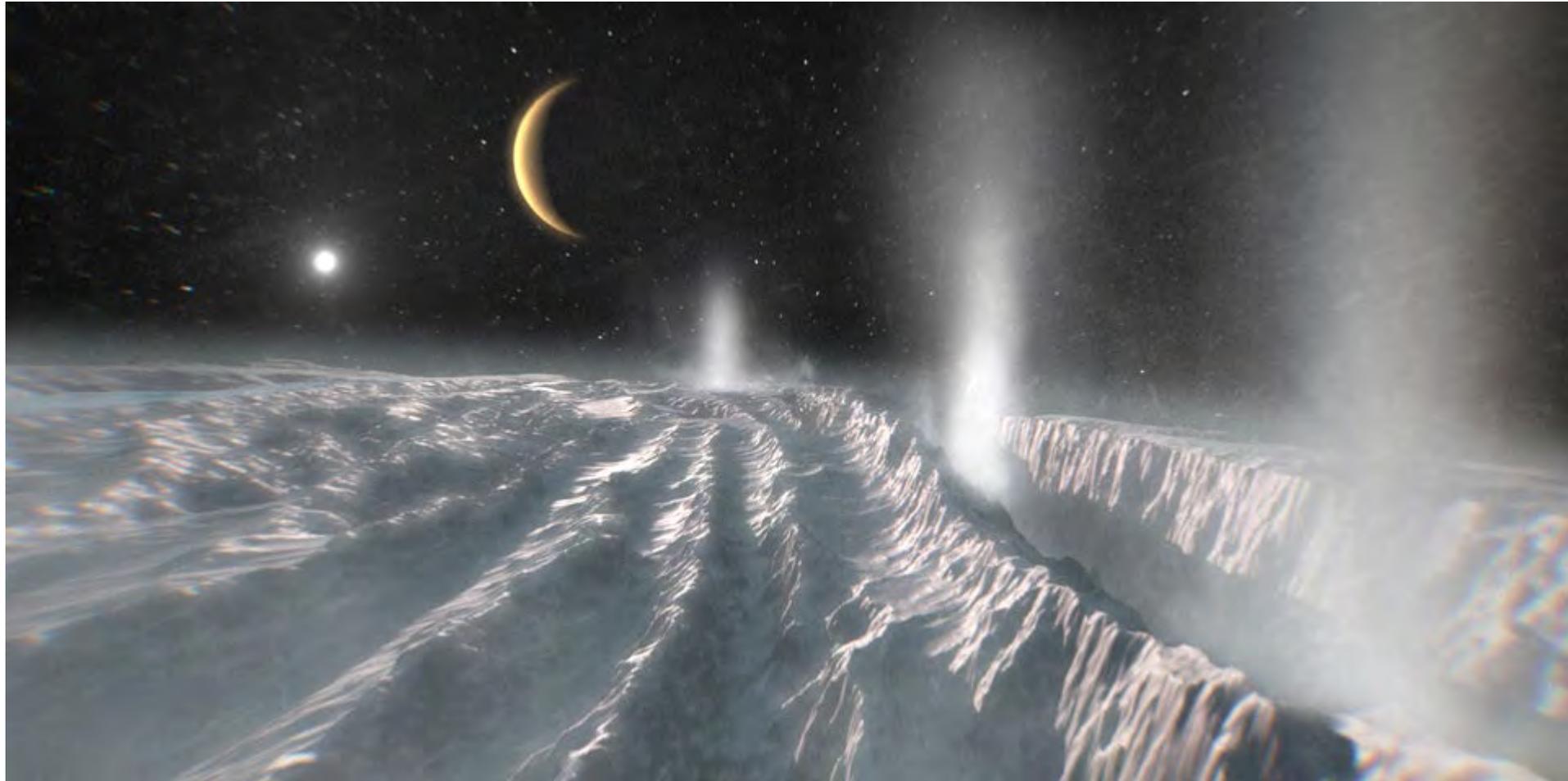
[Call for Membership of Topical Teams \(pdf\)](#)

Voyage 2050 sets sail: ESA chooses future science mission themes

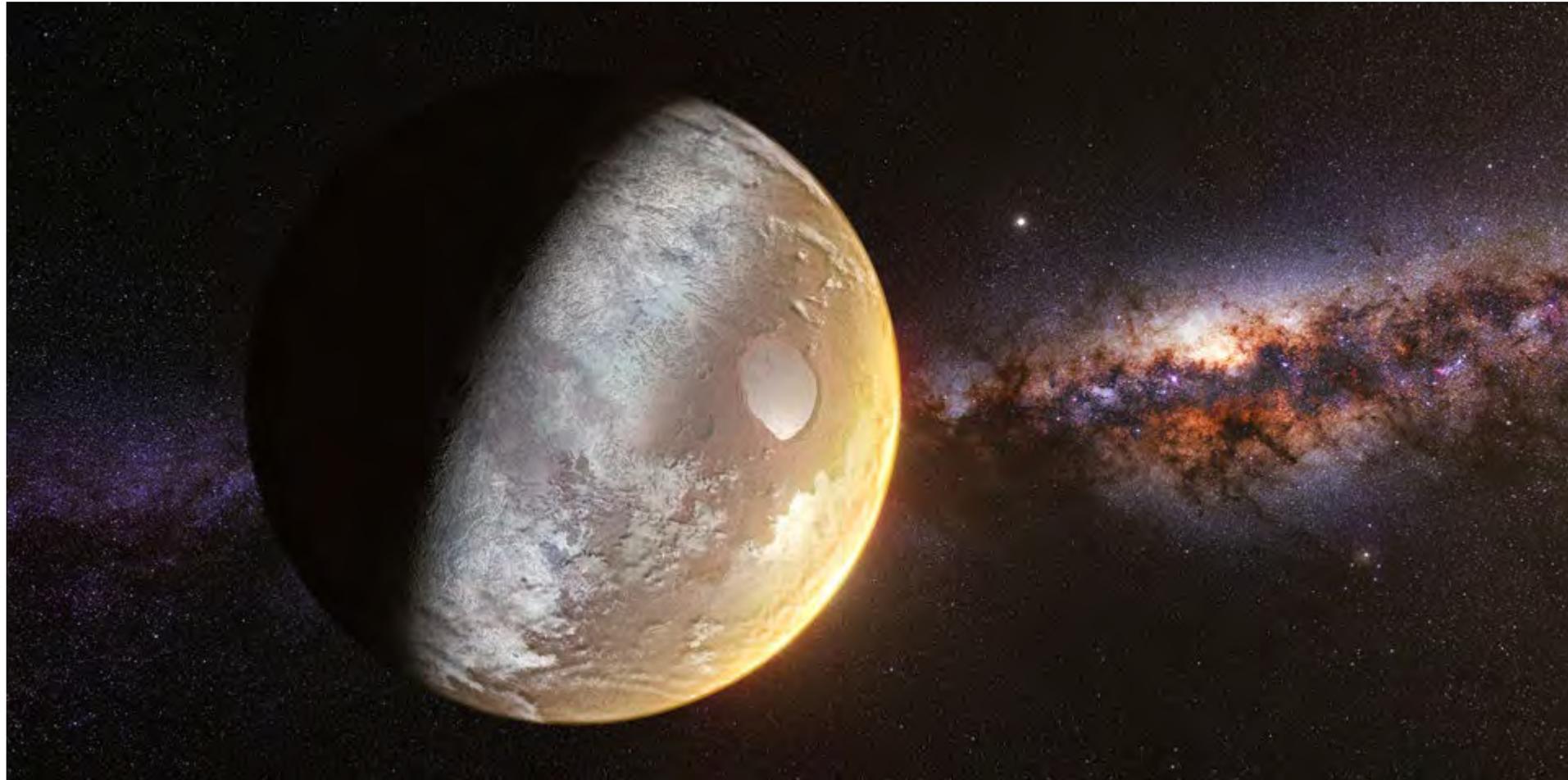
https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Voyage_2050_sets_sail_ESA_chooses_future_science_mission_themes



Moons of the giant planets



From temperate exoplanets to the Milky Way



New physical probes of the early Universe



世界の潮流におけるJAXAミッション (4/6)



世界の宇宙物理学（系外惑星含む）ミッション（2015~2030 打上/打上予定, 2030年代以降の展望）

機関・国 など	超大型 (>\$1B)	大型 (概ね \$500-1000M)	中型 (概ね \$200-500M)	小型 (概ね~\$200M)
米国 NASA	JWST (2021)/ Roman 6m [UV/Opt/NIR] FIR/X-ray Probe		SPHEREx, (MIDEX)	TESS (2018) IXPE (2021)
ESA	Athena/LISA CV-L4/L5	Euclid / PLATO / ARIEL CV-M7/M#		CHEOPS (2019)
中国		SST-Surveyor	DAMPE (2018), HXMT (2016)	QUESS (2016), Einstein Probe
インド				ASTROSAT (2015)
ロシア		Spektr-RG (2019) Spektr-UV(WSO-UV)		
日本 JAXA			XRISM LiteBIRD	JASMINE M5(HiZ-GUNDAM/SILVIA)

世界の潮流におけるJAXAミッション (5/6)



波長	mm/sub-mm波	遠赤外	中間赤外	近赤外	可視光	紫外線	軟X線	硬X線	ガンマ線
軌道上			JWST Hubble Gaia				Chandra XMM Spektra-RG IXPE	NuStar	Swift Fermi Sp-RG
開発中			Euclid Roman PLATO ARIEL SPHEREx			WSO-UV	Athena		
将来 20-40年代		FIR Probe		"6m-UV/Opt/NIR"			Time Domain X-ray Probe		
JAXA 開発中	LiteBIRD			JASMINE HiZ-Gundam			XRISM HiZ-Gundam		
JAXA WG (含申請中)			GREX-PLUS			LAPYUTA		FORCE PhoENiX ⁴²	

国際協力の機会



直近の海外ミッションへの参加の機会

- NASA Probe Class
- ESA Cosmic Vision M-Class (M7) / F-Class 公募

機会	JAXAの枠組み	候補ミッション (光赤外)	タイムライン
NASA Probe	戦略的海外共同		2030年早期に打上 公募:2023年1月予定
ESA CV-M7	戦略的海外共同		2030年代半ば? 公募:Phase I 2022年2月 Phase II

3. 計画規模の比較

NASA 区分	Decadal 区分	コスト規模	JAXAでの相当の規模/区分	JAXAコスト規模
大型ミッションコンセプト・技術成熟	実現性の向上、リスク低減	～6年 \$800M	フロントローディング	～10億円/年
Strategic 最優先UV/O/IR	最先端をきりひらく	\$11B		
Strategic X線・FIR		\$3-5B		
Probe	継続的発展	\$1.5B/10年に1機		
Explorer MIDEX		\$250-300M+launch/ 2-3年毎に実施	戦略的中型	400億円 ～\$1B/10年
Explorer SMEX		\$150M+launch/ 2-3年毎に実施	公募型小型	180億円 ～\$0.8B/10年

目指す科学目的の共通性、相補性

項目だけの、ちょっと粗い比較です。

主要科学目的	NASA ミッション	NASA ミッションの目標	関連する JAXA 計画・検討	JAXA ミッションの目標
Worlds and Suns in Context	<ul style="list-style-type: none"> 大型UV/O/IR 大型X 地上超大型 	ハビタブル地球類似惑星の直接観測	EXO-JASMINE	低温星のハビタブル地球型型惑星検出
NEW MESSENGERS AND NEW PHYSICS	<ul style="list-style-type: none"> Time Domain 大型UV/O/IR 地上マルチメッセンジャー 地上CMB-S4 	トランジエント天体 偏光Bモード	HiZ-GUNDAM LiteBIRD	初期GRBと再電離、キロノヴァ CMB偏光Bモード
Cosmic Ecosystem	<ul style="list-style-type: none"> 大型UV/O/IR 大型FIR 大型X Probe遠赤外 ProbeX線 	銀河・BHの成長と銀河周辺ガス・銀河間ガス 惑星形成	XRISM SPICA (中止) JASMINE FORCE (WG) LAPYUTA(WG) GREX-PLUS (WG 申請中)	銀河団構造 銀河・惑星形成 BH形成 物質進化 隠されたBH 紫外線観測 初代銀河、惑星形成、 近赤外広視野

目指す科学目的の共通性、相補性

項目だけの、ちょっと粗い比較です。

JAXA目標	US Decadal で示された関連する科学目的
宇宙の時空の起源 <ul style="list-style-type: none">・ LiteBIRD・ 原始重力波直接観測	NEW MESSENGERS AND NEW PHYSICS
宇宙の構造形成 <ul style="list-style-type: none">・ XRISM・ JASMINE・ HiZ-GUNDAM・ FORCE (WG)・ LOPYUTA (WG)・ GREX-PLUS (WG申請中)・ Super-DIOS (計画検討中)	COSMIC ECOSYSTEM
地球型ハビタブル太陽系外惑星の性質と生命の可能性 <ul style="list-style-type: none">・ EXO-JASMINE・ 国際超大型ミッションへの参加・ JAXAリード系外惑星ミッション	Worlds and Suns in Context

宇宙物理学研究系と現在のコミュニティに「期待する」ファンクション(例)

ISAS 理学研究系

- ・科学ミッションの立案
- ・ミッション実施チーム母体
- ・ミッション科学機器システム開発
- ・要素機器開発、コア技術基礎開発
- ・立案～ミッション定義までのマネジメント
- ・成果創出、人材育成

ISAS 工学研究系、グループ

- ・宇宙機システム技術、要素システム技術

JAXA研開部門

- ・要素技術開発、要素システム開発

JAXAプロジェクト・一般職

- ・マネジメント
- ・システムズエンジニアリング

大学

- 北大、東北大、東大、首都大、東京理科大、早稲田大、立教大、名古屋大、金沢大、大阪大、大阪府大、京都大、宮崎大、、、
- ・基礎技術開発
 - ・要素機器開発、ミッション機器機能
 - ・科学ミッションの立案
 - ・ミッション成果創出

国立天文台

- ・宇宙望遠鏡システム
- ・要素機器開発
- ・データマネジメント

KEK

- ・大型実験システム技術
- ・要素機器開発

東大カブリIPMU

- ・サイエンスデータ解析システム
- ・要素機器開発

理研

- ・要素機器開発
- ・相補的な宇宙科学計画立案

産総研、通総研、核融合研、アストロバイオロジーセンター

- ・基礎技術開発
- ・技術応用

大学連携拠点

- ・要素技術開発、応用、データマネジメントなど

宇宙基礎物理学分野
の開拓

LiteBIRD (中型)
インフレーションの証拠
原始重力波の間接検出

SILVIA計画 (小型)
フォーメーションフライト

LISA宇宙重力波実験

2030's の宇宙基礎物理学
スペース重力波実験
原始重力波の直接観測、
など。

宇宙物理学分野
の発展

XRISM (中型)
高温プラズマのX線精密観測
SPICA計画 (検討中止)
大型冷却赤外望遠鏡衛星
銀河形成・惑星形成・星間物質循環

JASMINE (小型)
赤外線位置天文学・銀河系構造・系外惑星
HiZ-GUNDM (小型)
宇宙初期のガンマ線バースト

Roman宇宙望遠鏡 (宇宙論、系外惑星、近赤外広視野) [戦略海外]
Athena 望遠鏡 (大型X線天文台)

2030's に向けての
宇宙物理学の発展
日本の挑む中心課題は？

- ・ポスト XRISM/SPICA 戦略的中型
- ・多様な小型尖鋭的ミッション

スペース系外惑星
観測への挑戦

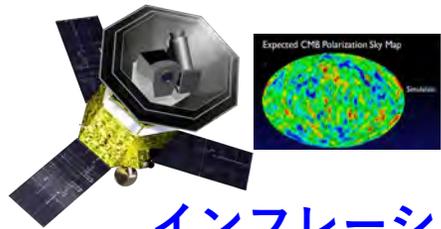
JASMINE (小型) 低温星トランジット・ハビタブル地球型探査
Roman宇宙望遠鏡 マイクロレンズ、高コントラスト
WSO-UV衛星 紫外線トランジット、地球型惑星上層大気
ARIEL衛星 系外惑星トランジット分光

2030's のスペース系外惑星
国際超大型ミッション?
JAXAリードミッション?

宇宙物理分野の展望（たたき台）



宇宙の始まり



インフレーション
痕跡

原始重力波
直接検出

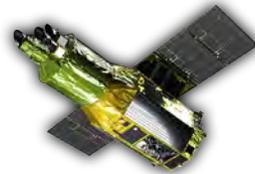
・フォーメーション
フライト技術

- ・冷凍機熱制御技術
- ・軽量高機能観測技術
- ・深宇宙輸送ネットワーク
(SE-L2軌道の活用)

★ 長期展望
★ 2030's前半の中型の可能性

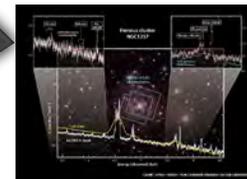
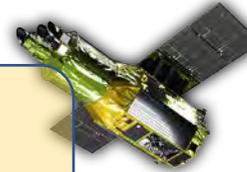
構造形成 銀河・巨大BHの誕生と進化

銀河団



星・惑星形成
元素生成・物質循環
固体生成

次期中型？
(2030's 前半)



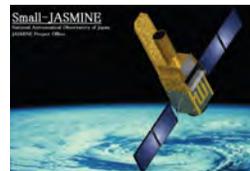
重元素スペクトル

太陽系科学
太陽系の理解

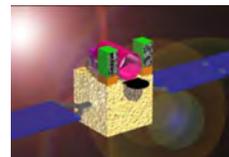
宇宙の惑星系
(系外惑星系・太陽系)
生命の可能性



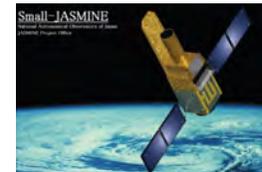
初代星GRB



天の川銀河



中性子星合体GRB



★ JAXA
系外惑星
ミッション



★ 超大型
地球類似惑星
直接観測