

# ISAS宇宙物理学ミッションの 最新状況と将来検討

JAXA宇宙研

山口 弘悦

# 本日お話する内容

- 宇宙物理学ミッションの最新状況と将来計画
  - 国際的潮流とISASミッションの位置づけ
  - XRISMの初期成果を少しだけ紹介
- 宇宙科学を取り巻く状況と、GDIその他の活動
  - 今後の飛翔体ミッションの進め方

福家さんからの依頼「JAXA/ISASを中核とする宇宙物理コミュニティの将来計画を今後どのように立案・実行していくのか」「もし自分が飛翔体を使ったミッションを実施したいとしたら誰に対してどのように打ち込んでいく必要があるのか」がわかるように。

# 現代宇宙物理学、 といつか多分人類共通の疑問

我々はどこから来たのか 我々は何者か 我々はどこへ行くのか

- 宇宙はどのように始まったのか？
- 元素はいつどのように作られたのか？
- 太陽系はどのように形成されたのか？
- 生命はどうして生まれたのか？
- 今後宇宙はどうなるのか？



時空・物質・天体・生命の起源と進化

# 国際的な宇宙物理学の潮流

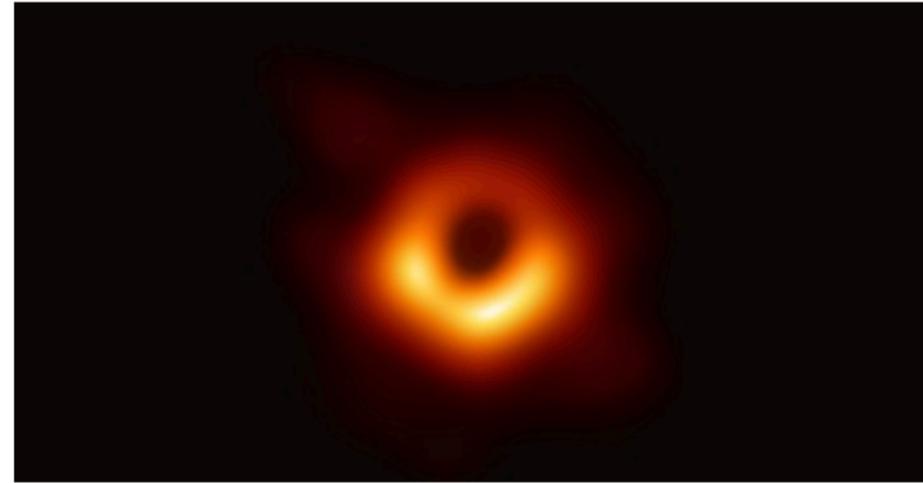
## US Decadal Survey (Astro2020)



### Worlds and Suns in Context

*Priority Area: Pathways to Habitable Worlds*

アストロバイオロジー  
惑星・生命の探査



### New Messengers and New Physics

*Priority Area: New Windows on the Dynamic Universe*

マルチメッセンジャー  
宇宙物理学  
極限状態の物理



### Cosmic Ecosystems

*Priority Area: Unveiling the Drivers of Galaxy Growth*

銀河形成  
物質の起源と進化

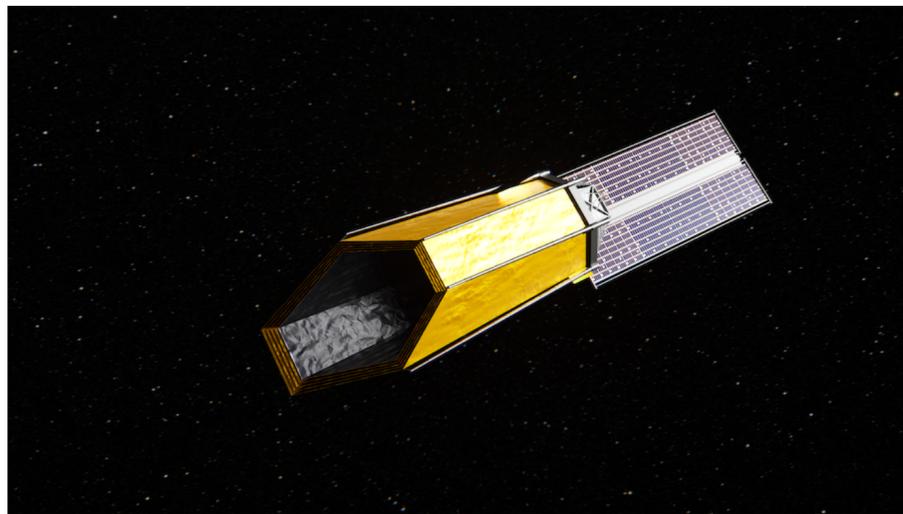
アストロバイオロジーが宇宙論より前に出てきた

# 欧米の大型ミッション

## Worlds and Suns in Context

Priority Area: Pathways to Habitable Worlds

### HWO (NASA)



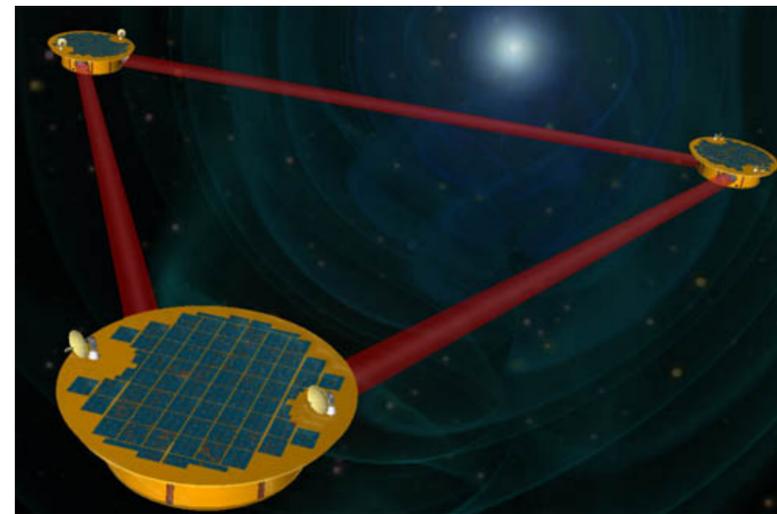
2040s ~

紫外線～赤外線  
ハビタブルな系外惑星25個  
以上の直接撮像と分光観測  
によるバイオマーカー検出  
総資金規模 \$11B

## New Messengers and New Physics

Priority Area: New Windows on the Dynamic Universe

### LISA (ESA)



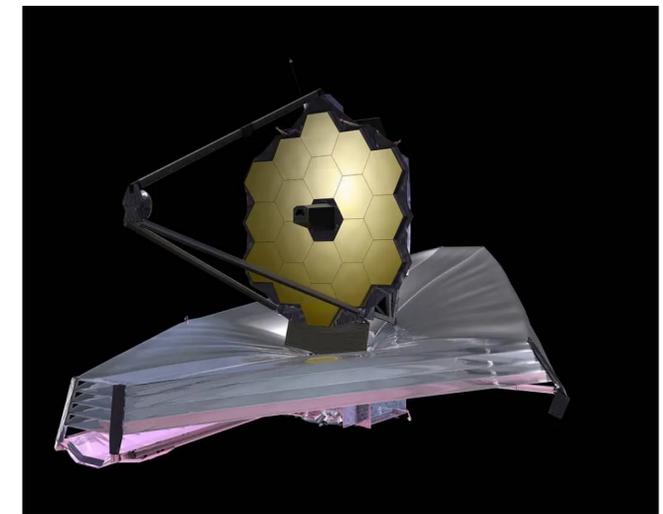
2030s前半？

スペース重力波干渉計  
銀河中心の巨大ブラックホール  
の合体により発生する低周波数  
重力波を検出

## Cosmic Ecosystems

Priority Area: Unveiling the Drivers of Galaxy Growth

### JWST (NASA)



稼働中

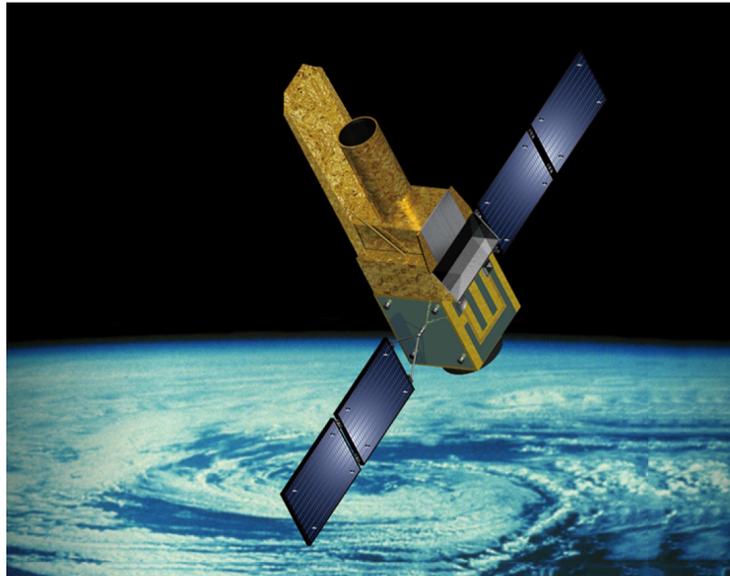
可視～近赤外  
圧倒的な感度と解像度で  
多数の初代銀河を発見

# 宇宙研のミッション

## Worlds and Suns in Context

Priority Area: Pathways to Habitable Worlds

### JASMINE

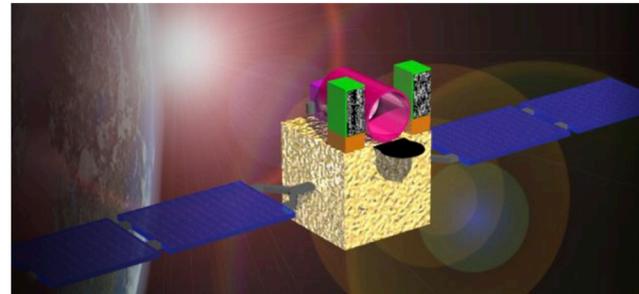


赤外線観測による  
銀河中心領域の位置天文学  
M型星まわりの  
地球型惑星探査

## New Messengers and New Physics

Priority Area: New Windows on the Dynamic Universe

### HiZ-GUNDAM



X線モニター＋赤外線測光で  
高赤方偏移のガンマ線バースト  
候補天体を検出・アラート発出

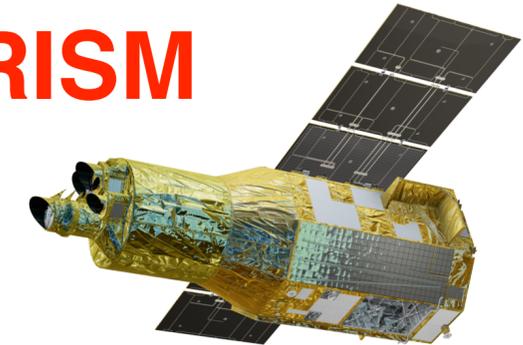
### SILVIA (JAXA)

スペース重力波  
干渉計に向けた  
編隊飛行技術実証

## Cosmic Ecosystems

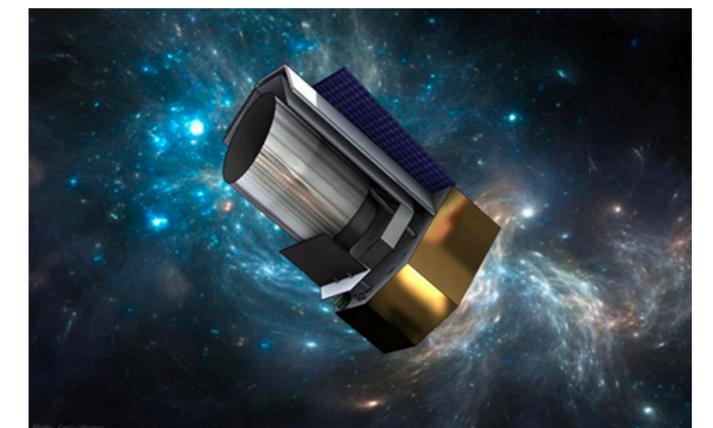
Priority Area: Unveiling the Drivers of Galaxy Growth

### XRISM



X線分光撮像衛星

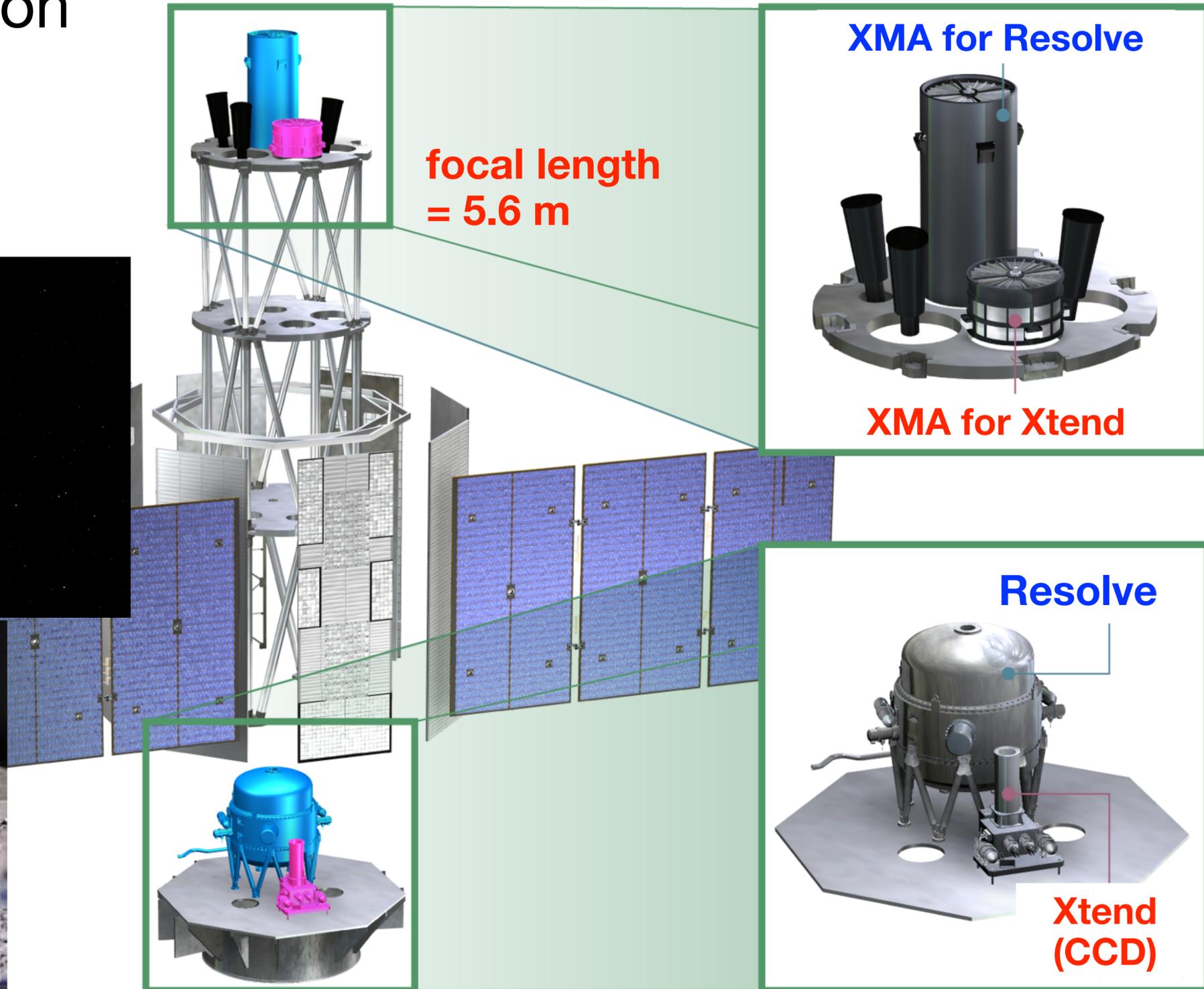
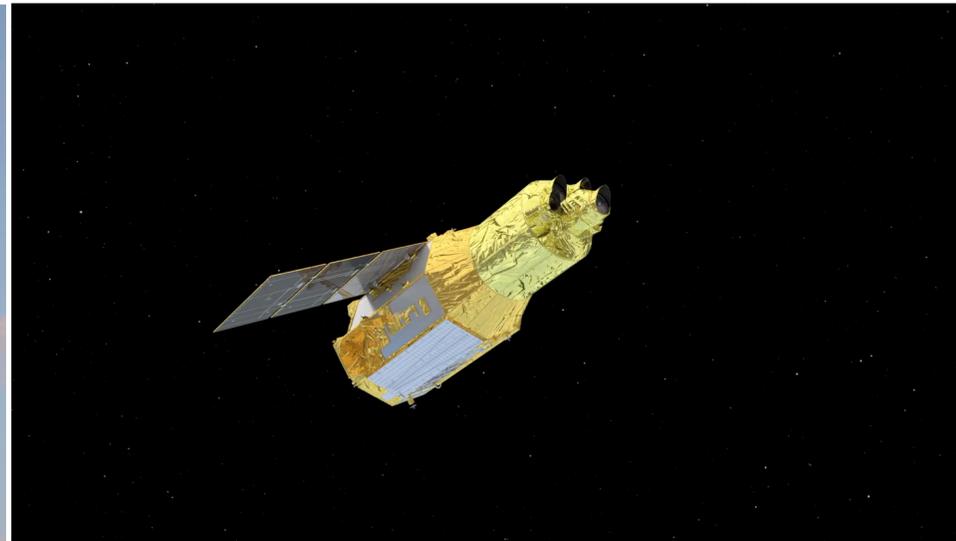
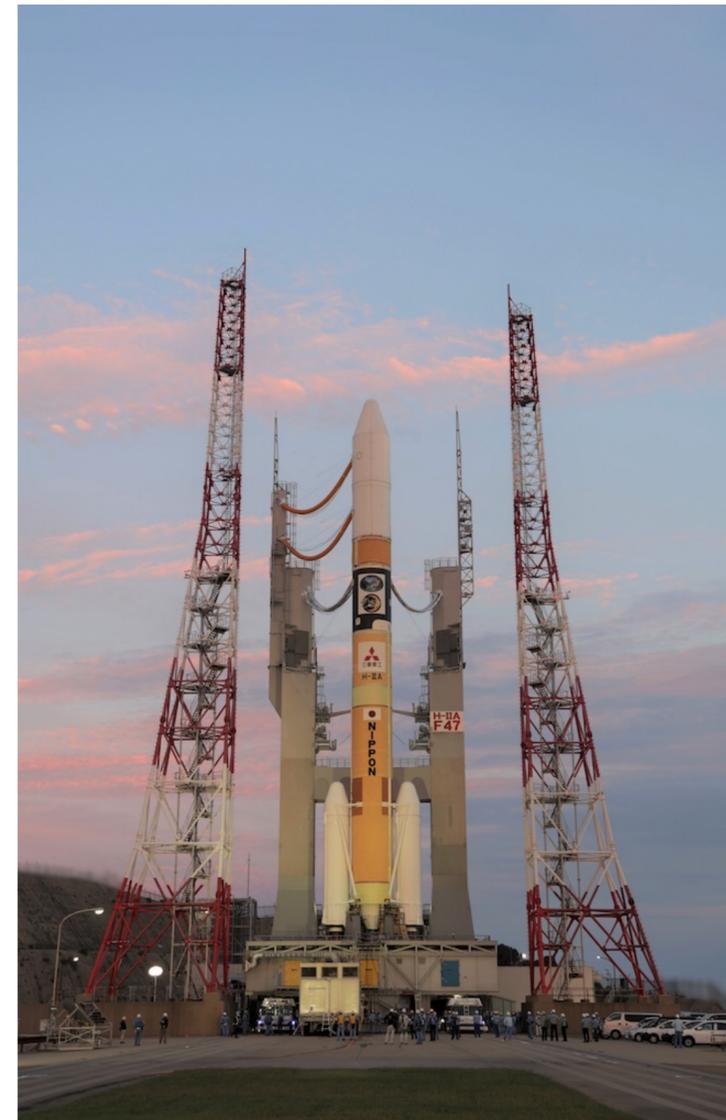
### GREX-PLUS



次期中型ミッション候補  
として検討（後述）

# X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM)

- International collaborative mission developed by JAXA and NASA
- Launched on Sep 7, 2023



focal length  
= 5.6 m

XMA for Resolve

XMA for Xtend

Resolve

Xtend  
(CCD)

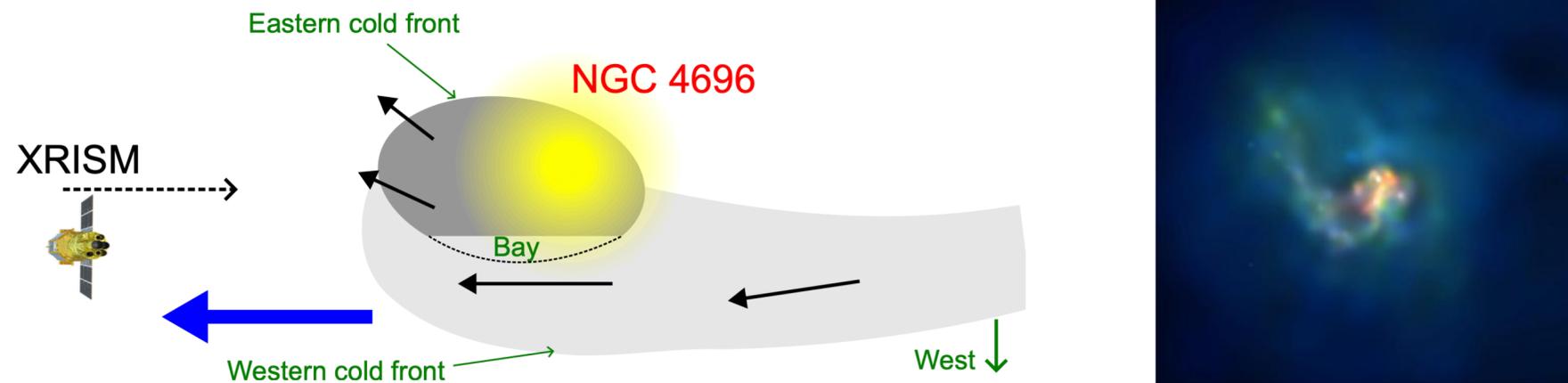
# XRISMの科学成果

## ケンタウルス座銀河団

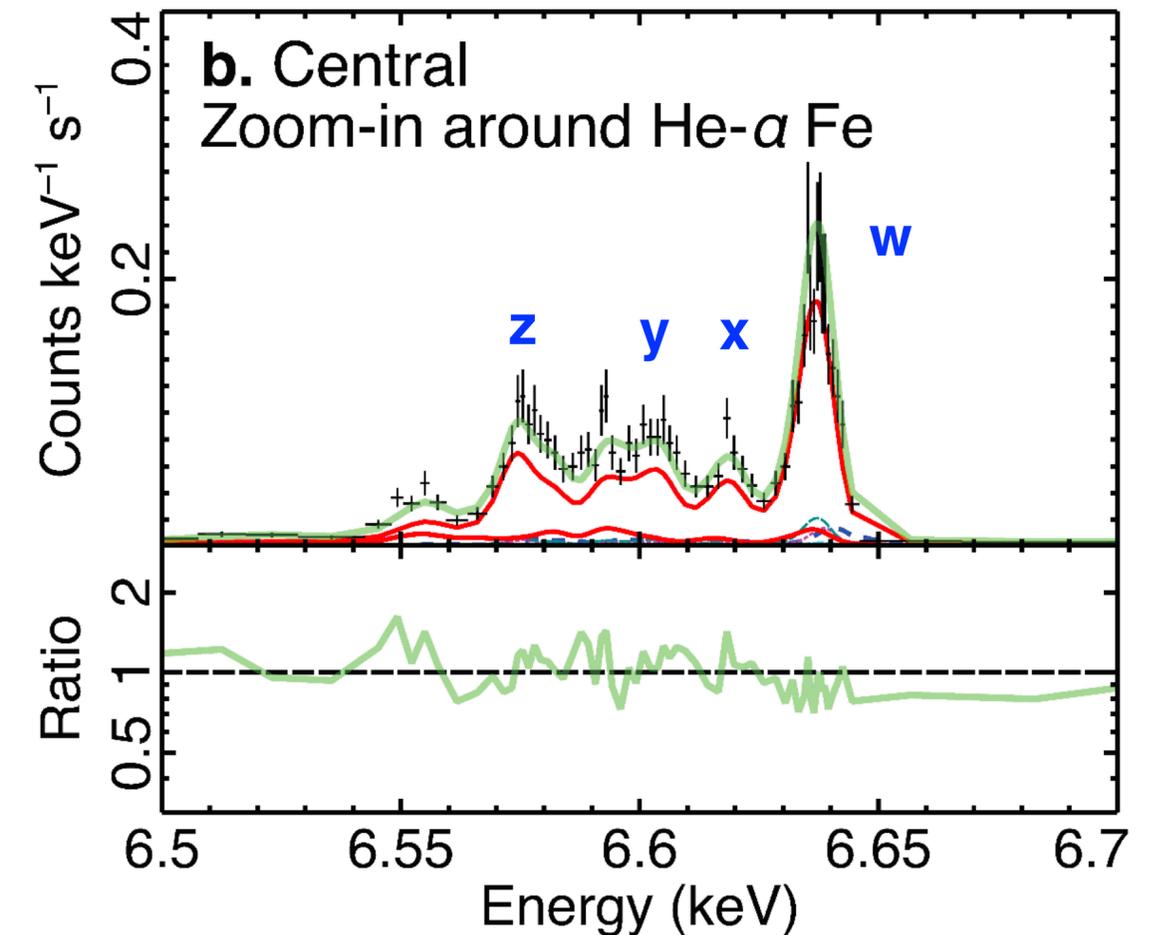
XRISM Collaboration 2025 (Nature)

Article

### The bulk motion of gas in the core of the Centaurus galaxy cluster



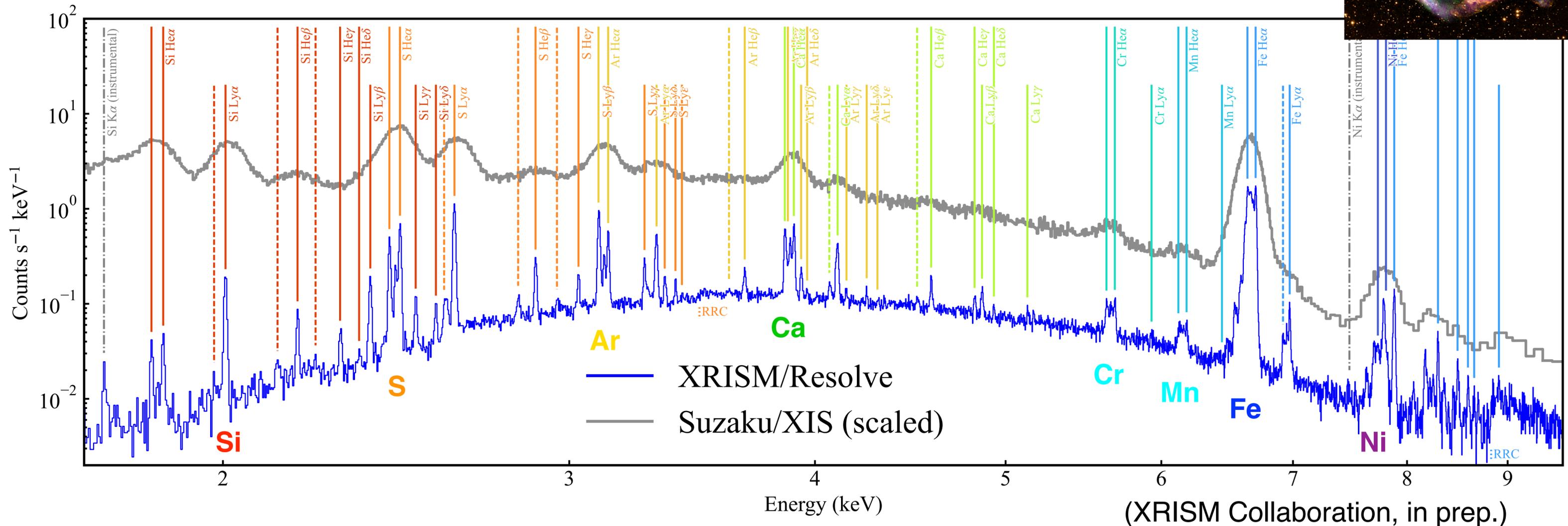
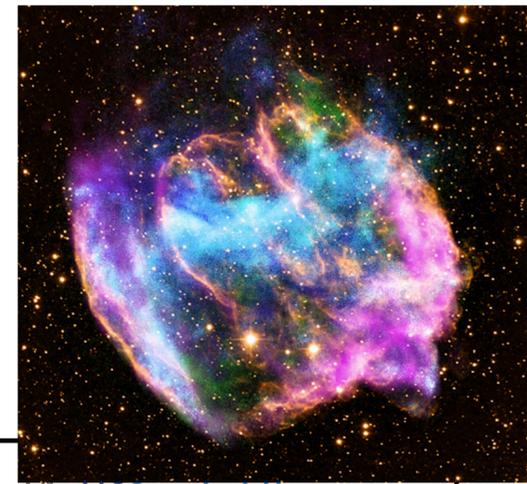
Fe<sup>24+</sup> スペクトル



- 高階電離鉄の w, x, y, z 輝線を分離
- 10-100 km/s の精度で速度測定が可能に
- 過去に起こった銀河団の衝突・合体に起因する高温プラズマの「揺れ」を捉えた

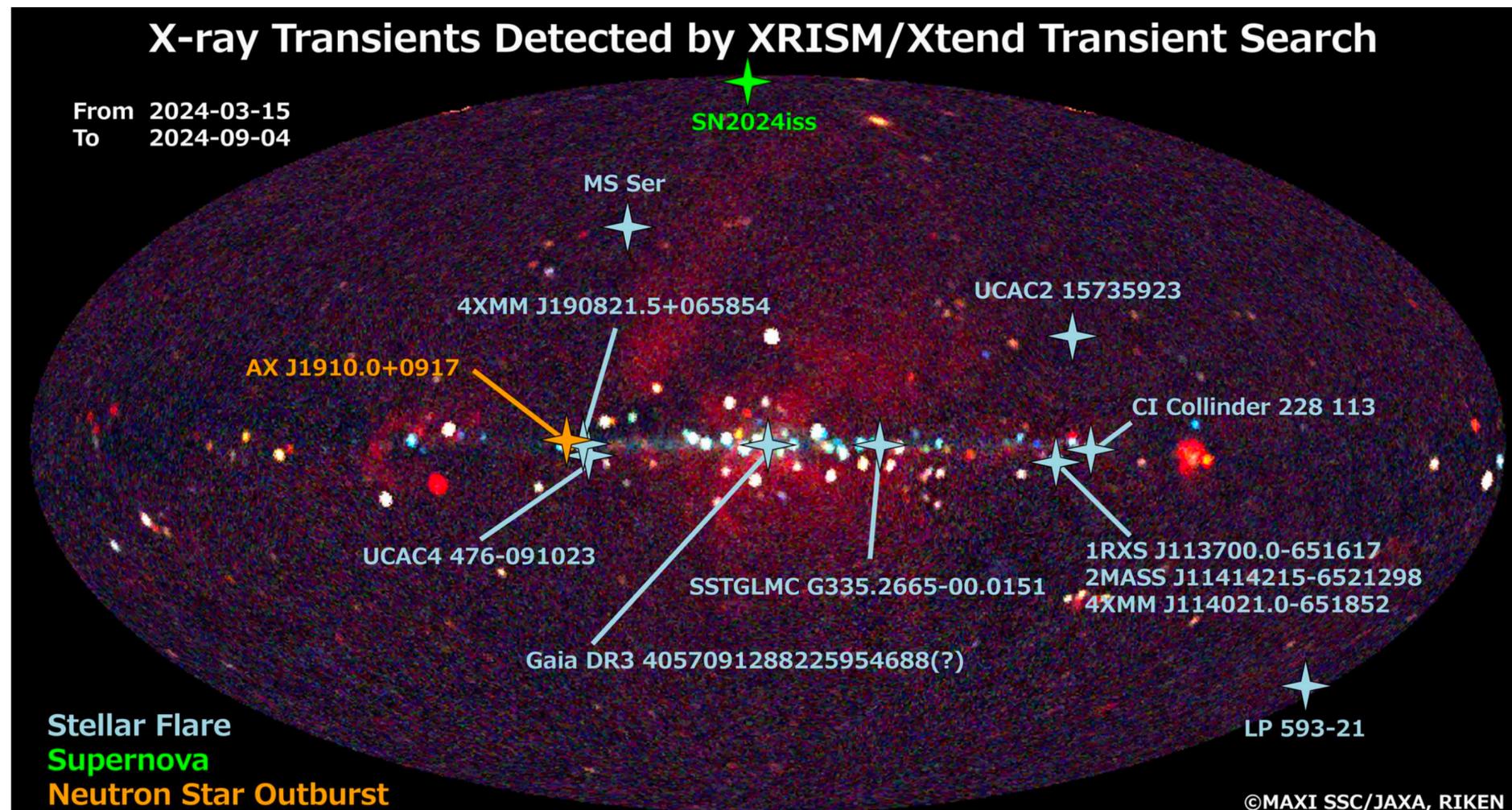
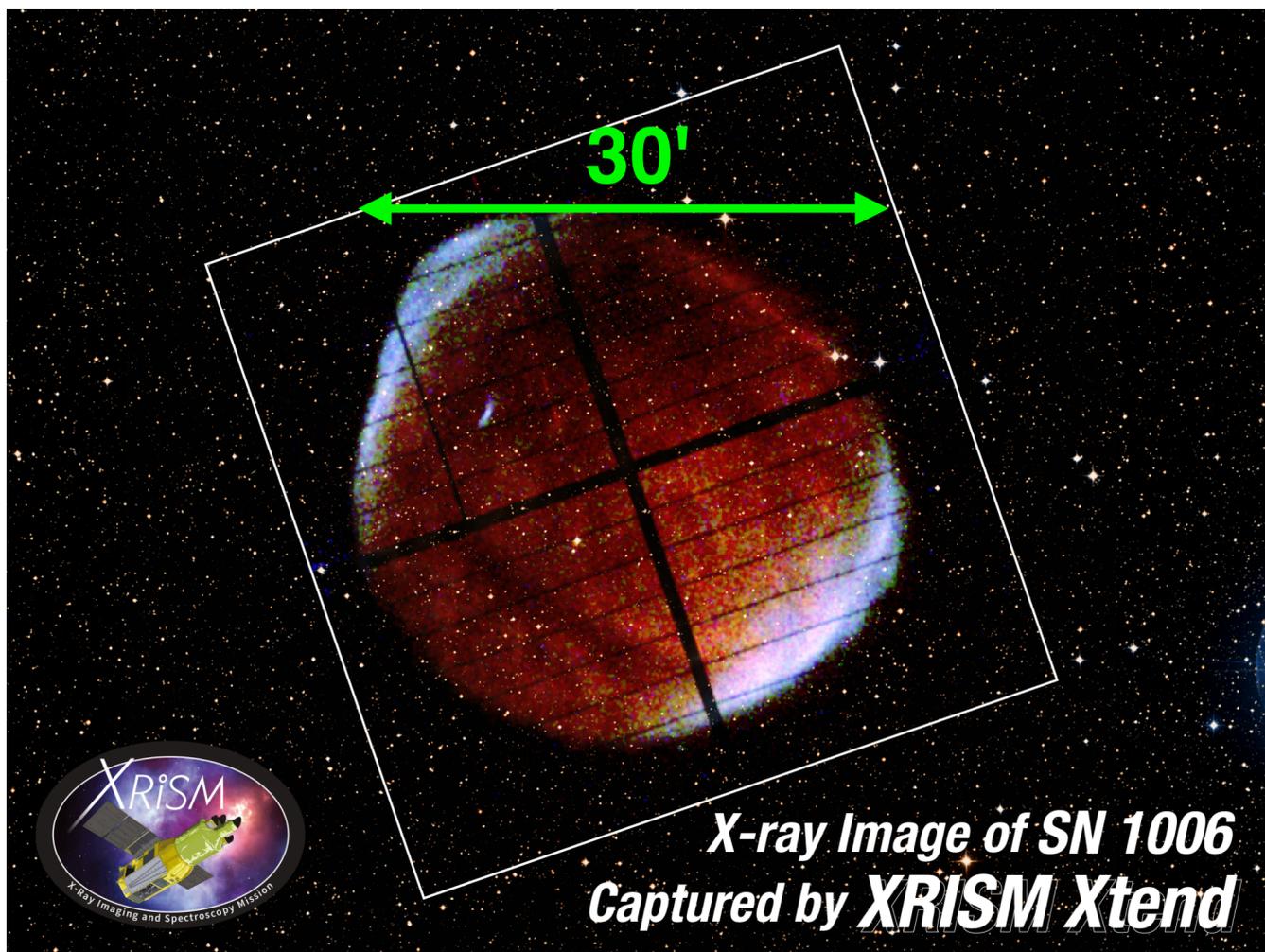
# XRISMの科学成果

## 超新星残骸 W49B



プラズマの温度, 温度微分(直接的には電離度), 速度, 元素量などを  
かつてない精度で測定 → 超新星爆発・元素合成機構の解明に直結

# 広視野 CCDカメラ Xtend



カロリメータ主体の観測は1観測の露光時間が長い傾向  
→ 視野の広さと相まって突発天体が受かりやすい

多波長・MM連携への寄与が期待

# Announcements

## General Observer program Cycle 2

Due on May 15, 2025

**PASJ special issue** on XRISM PV results will be published in September

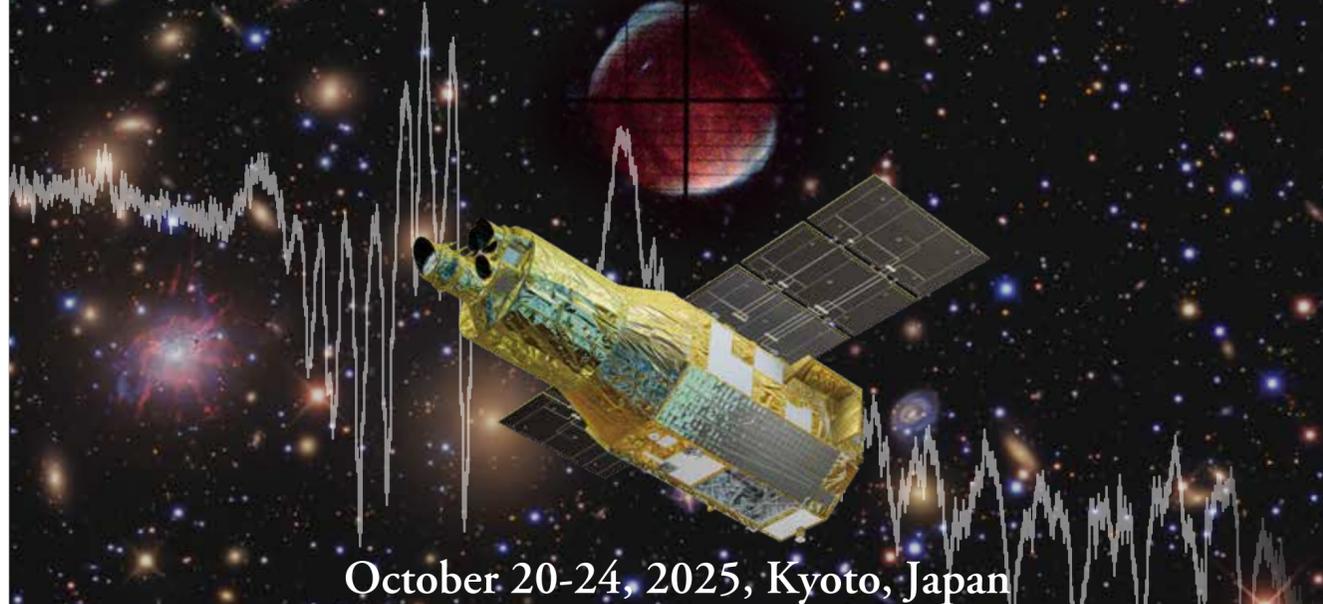
## First international conference

Oct 20-24, 2025, in Kyoto

Presentations on theoretical studies and MWL/MM observations are also welcome!

**Save the date!**

Opening a New Era of the Dynamic Universe



October 20-24, 2025, Kyoto, Japan

# XRISM

## International Conference 2025

– sponsored by the JSPS core-to-core program –

### Scientific Organizing Committee

Laura Brenneman (CIA, USA) Elisa Costantini (SRON, Netherlands) Teruaki Enoto (Kyoto Univ. & RIKEN, Japan) Matteo Guainazzi (ESA, Netherlands) Edmund Hodges-Kluck (NASA/GSFC, USA)  
Richard L. Kelley (NASA/GSFC, USA) Kyoko Matsushita (TUS, Japan) Stéphane Paltani (Univ. of Geneva, Switzerland) Rob Petre (NASA/GSFC, USA) Aurora Simionescu (SRON, Netherlands)  
Makoto Tashiro (Saitama Univ., Japan) Yukikatsu Terada (Saitama Univ. & JAXA/ISAS, Japan) Masahiro Tsujimoto (JAXA/ISAS, Japan) Brian J. Williams (NASA/GSFC, USA) Hiroya Yamaguchi [chair] (JAXA/ISAS, Japan)

### Local Organizing Committee

Teruaki Enoto [chair], Takeshi G. Tsuru [co-chair], Hiroyuki Uchida, Yoshihiro Ueda, Atsushi Takada (Kyoto University), Hironori Matsumoto, Hirokazu Odaka, Taiki Kawamuro (The University of Osaka),  
Takaaki Tanaka (Konan University), Masayoshi Nobukawa (Nara University of Education), Kumiko Nobukawa (Kindai University), Kazuhiro Nakazawa (Nagoya University), Hirofumi Noda (Tohoku University),  
Megumi Shidatsu (Ehime University), Satoshi Yamada (RIKEN), Aya Bamba (The University of Tokyo), Manabu Ishida, and Shin Watanabe (JAXA/ISAS)



Presented by Kiyomizu-dera Temple

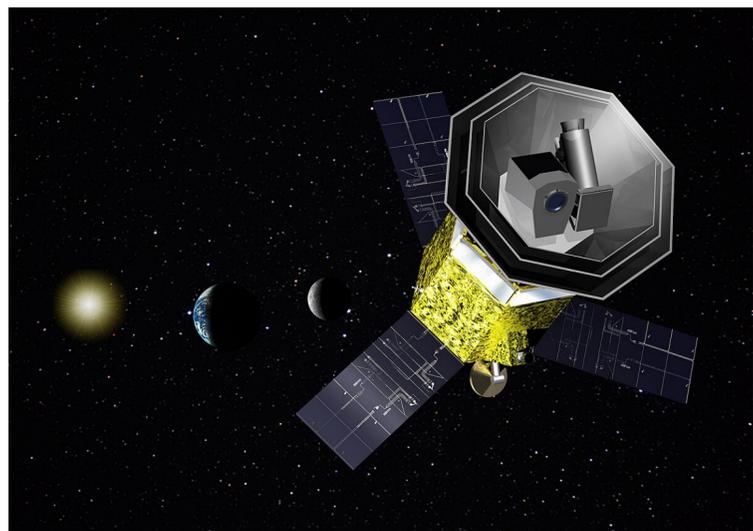


<https://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/conference/xrism2025/index.html>

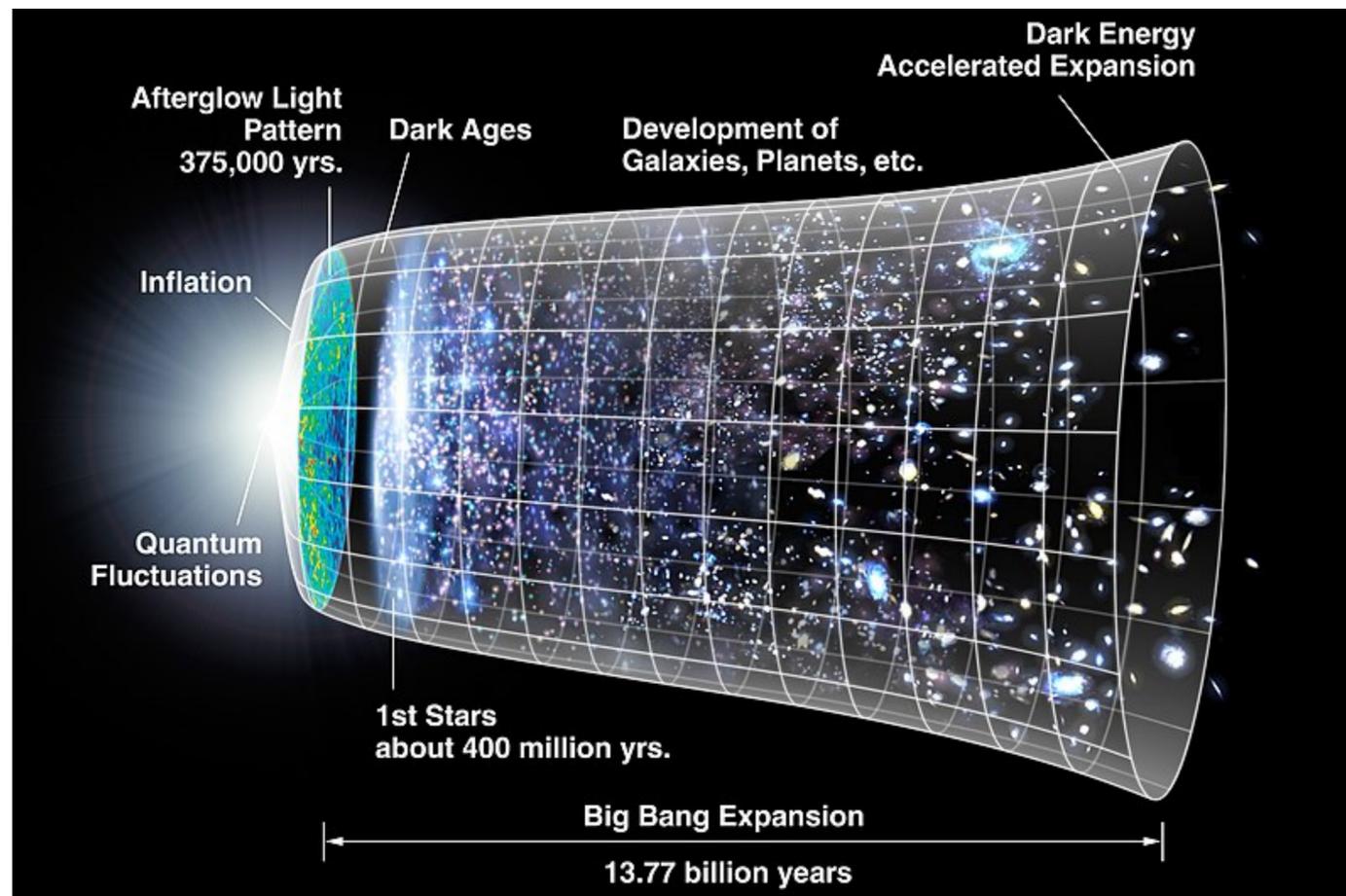


# 宇宙論関連の将来ミッション

## LiteBIRD (JAXA)



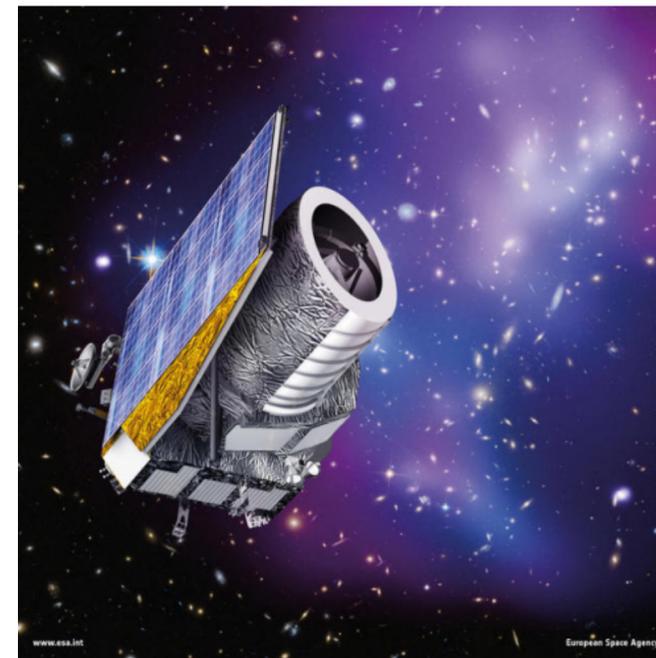
宇宙マイクロ波背景放射の偏光パターンからインフレーションの証拠を探る



## Roman (NASA)

ハッブルの後継機  
宇宙加速膨張の詳細  
ダークエネルギーの  
正体を明らかに

## Euclid (ESA)



$z \sim 2$  の銀河の形状を系統的に調べ  
重力レンズ効果から  
ダークマターの分布を調べる

# 宇宙研の将来計画（おさらい）

- LiteBIRD ... MMXの次の戦略的中型. 2032年？
- JASMINE ... 公募型小型 3号機 2028年？
- HiZ-GUNDAM ... 公募型小型 5号機候補
- SILVIA ... 公募型小型 5号機候補
- (Roman) ... NASA大型. 国際協力に参加. 2027年
- GREX-PLUS ... 次々期中型候補として初期検討

**だが停滞している...**

# ミッション停滞の背景要因

- ① 円安・物価上昇
  - 選定当初と比べて2倍程度ものコスト増
- ② システムメーカーのリソース逼迫
  - 防衛・インフラ分野からの需要
  - 宇宙戦略基金の存在が宇宙科学を困難に...
- ③ ロケット事故
  - H3-TF1打上失敗 → MMX FY2026に延期決定
  - イプシロン打上失敗・地燃試験事故 → 小型計画の将来が不透明

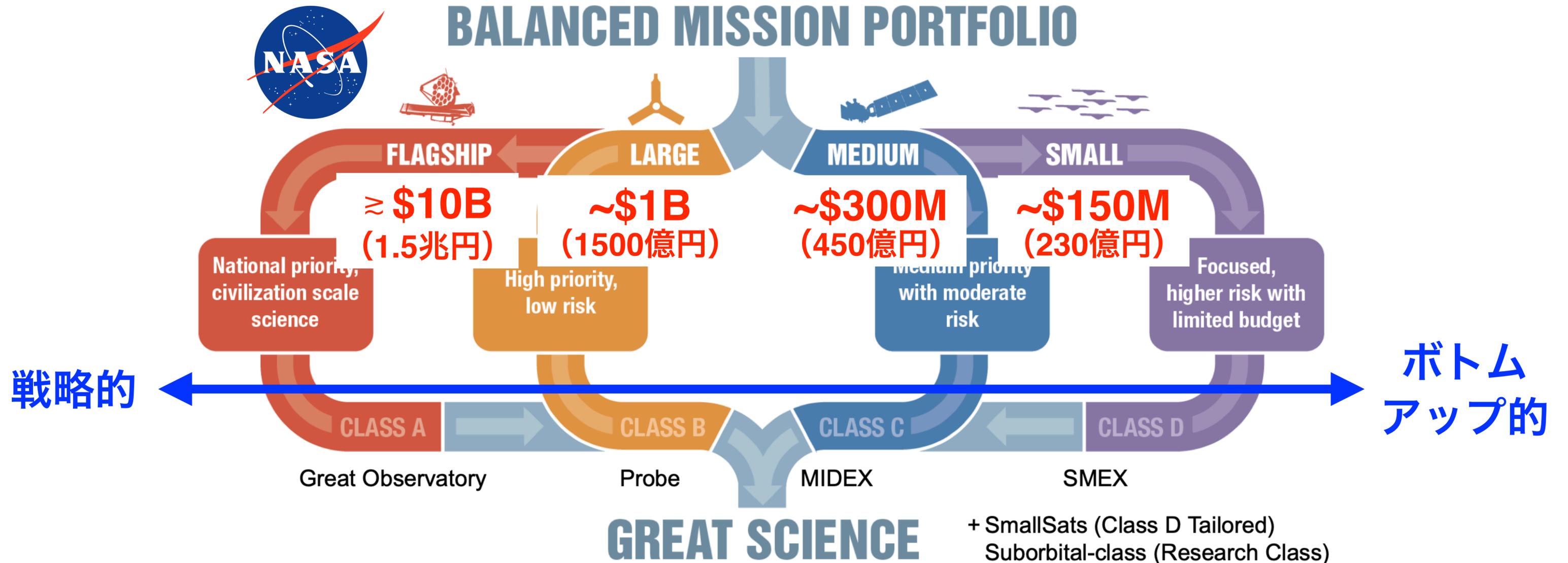
**しかしこれら "外的要因" だけでもない**

# 現在のフレームワーク

戦略的中型	公募型小型	小規模	戦略的国際協力
≤ 400億円/mission	≤ 180億円/mission	2億円/年	10億円/年
H-II/H-IIIロケット	イプシロン	ロケット・気球等	海外ミッション
10年に3機	10年に5機		

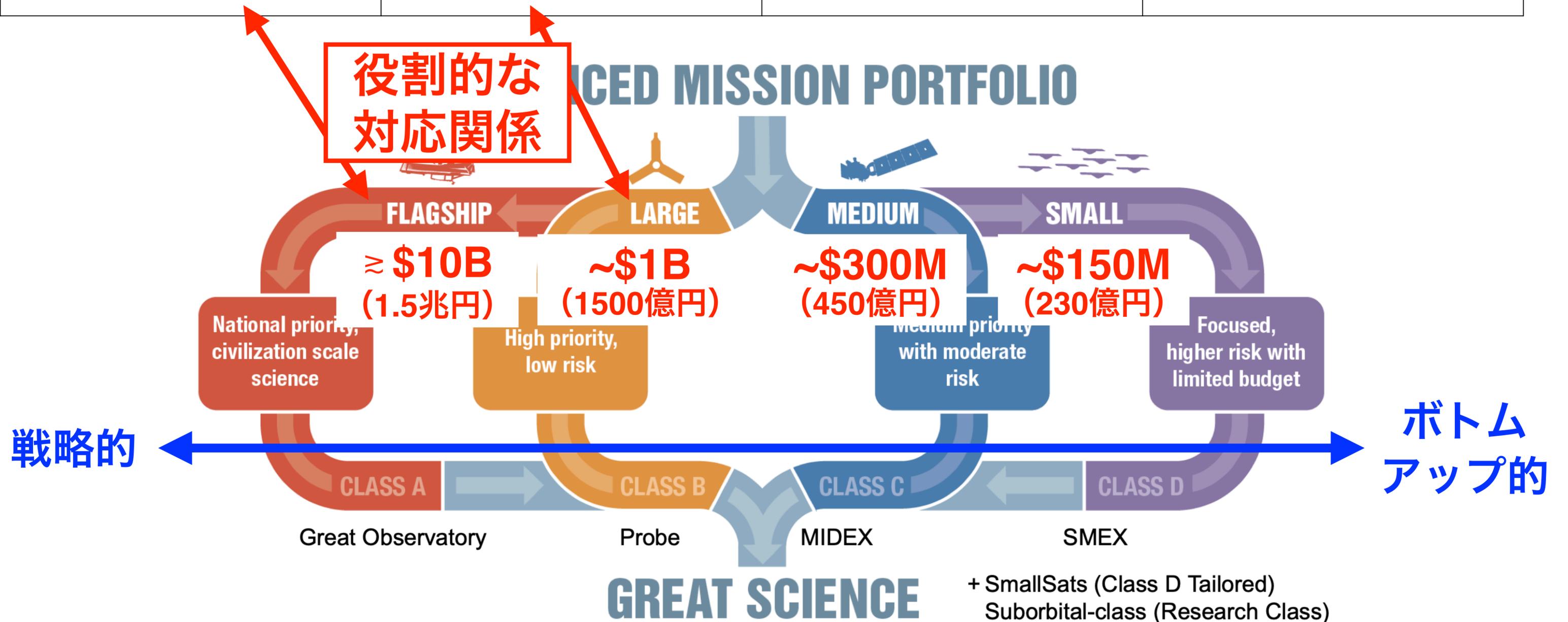
# NASAとの比較

戦略的中型	公募型小型	小規模	戦略的国際協力
≤ 400億円/mission	≤ 180億円/mission	2億円/年	10億円/年



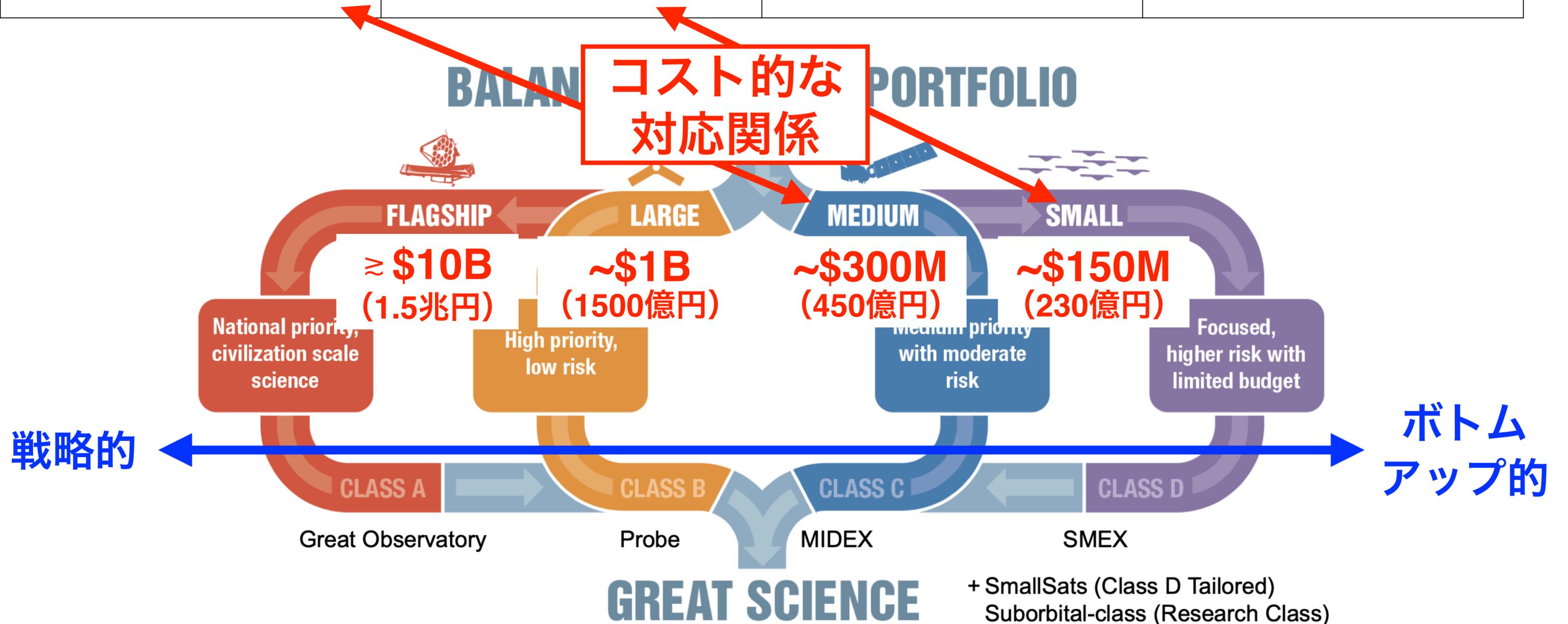
# NASAとの比較

戦略的中型	公募型小型	小規模	戦略的国際協力
≤ 400億円/mission	≤ 180億円/mission	2億円/年	10億円/年



# NASAとの比較

戦略的中型	公募型小型	小規模	戦略的国際協力
≤ 400億円/mission	≤ 180億円/mission	2億円/年	10億円/年



# 宇宙物理・天文系コミュニティ

① 理論懇

② 太陽研連

ひので, Solar-C

③ 宇電懇

LiteBIRD

④ 光赤天連

JASMINE, HiZ-GUNDAM, GREX-PLUS,  
Roman, PRIMA, HWO

⑤ 高宇連

XRISM

⑥ CRC

SILVIA

# 宇宙物理・天文系コミュニティ

① 理論懇

② 太陽研連

ひので, Solar-C

③ 宇電懇

LiteBIRD

④ 光赤天連

JASMINE, HiZ-GUNDAM, GREX-PLUS,  
Roman, PRIMA, HWO

⑤ 高宇連

XRISM

⑥ CRC

SILVIA

(今のところは) 地上観測が主体のコミュニティ

# ミッション停滞の「内的」要因

## ① プレイヤー不在

- 宇電懇：ALMA → SKA
- 光赤天連：すばる → TMT
- 応援はするけど自分が作るわけじゃない、という分野の特徴？

## ② そもそも問題として、コミュニティの波長縦割り状態

- 高宇連：「コミュニティ維持のためにミッション実施」というマインドが根強く、science-drivenの検討にならない

**「完全ボトムアップ型のミッション検討の限界」**

→ GDI発足

# 宇宙理工委 GDI : その趣旨と目的

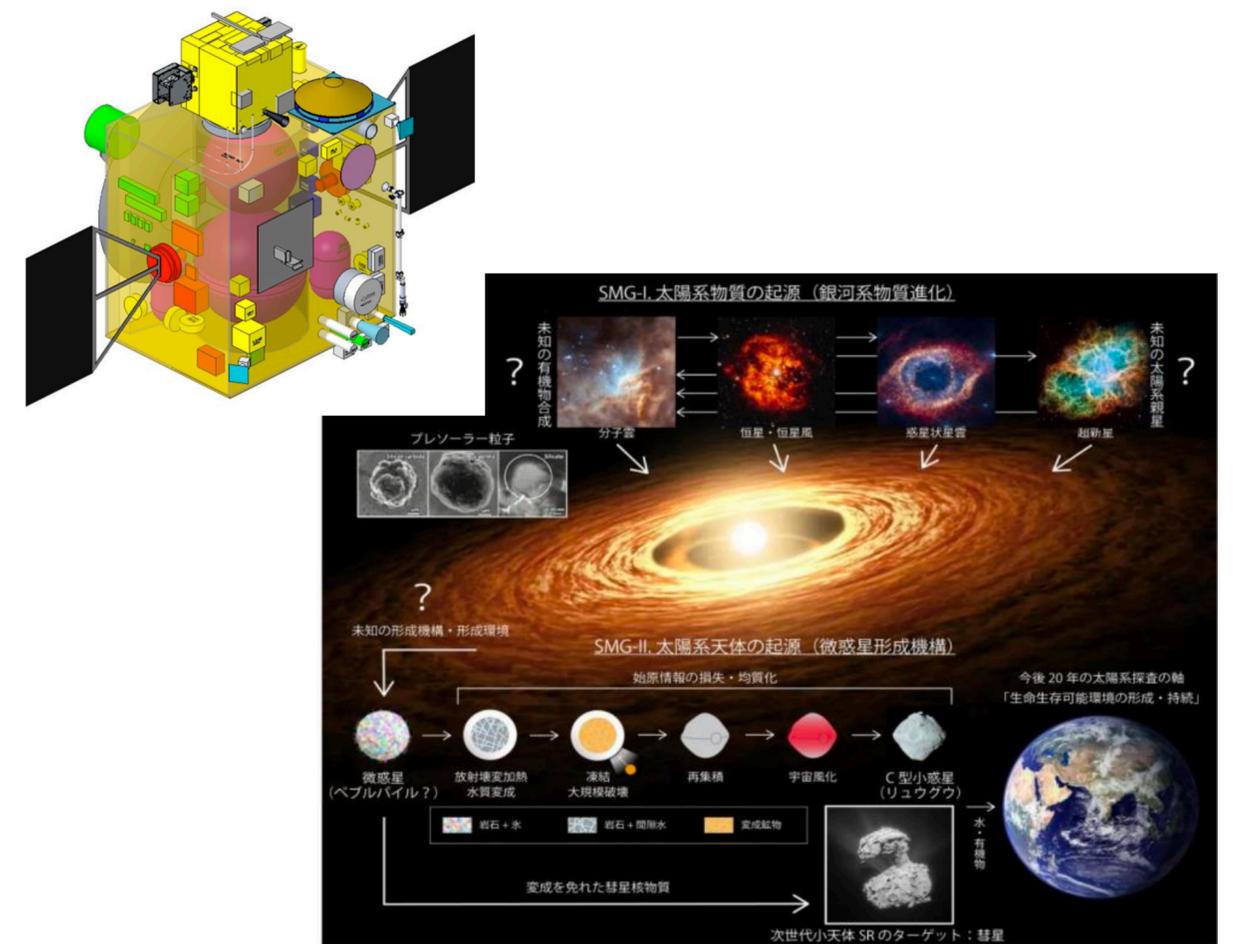
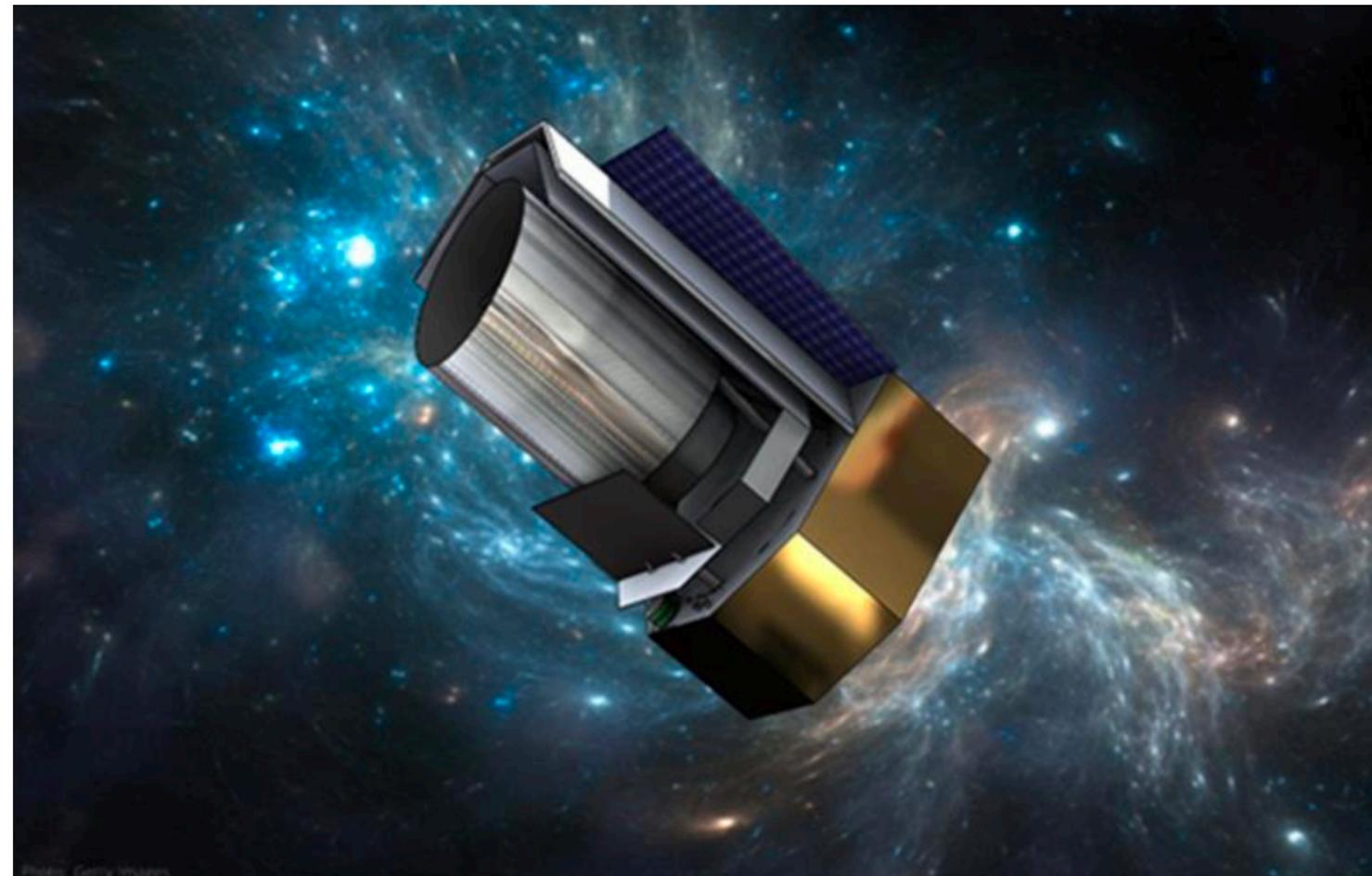
正式名称は "Groupe de Discussion Intensive" (なんで仏語やねん...)

- 2030年代以降の戦略的中型ミッションを, ボトムアップ & セレクションではなく, コミュニティと宇宙研が一体になって戦略的に創出するための活動組織
  - ▶ 背景として, 多数の将来計画の滞留問題
    - ▶ 成立性やリソース見積もりの甘さ, 国際協力の取り付け方の変化
  - ▶ 単発の検討ではなく, 分野の発展シナリオの説明が求められる
- 宇宙物理、太陽系科学、工学の各GDIが1件以内の推薦
  - ▶ 2024, 2027, 2030年に1件ずつ選定の予定だった
  - ▶ が, 結局中型選定は見送りに
  - ▶ 「飛翔体宇宙物理コミュニティ」の ISAS側 PoC的役割が期待されている

# GDIが検討する戦略的中型ミッション候補

## GREX-PLUS

## 小惑星SR

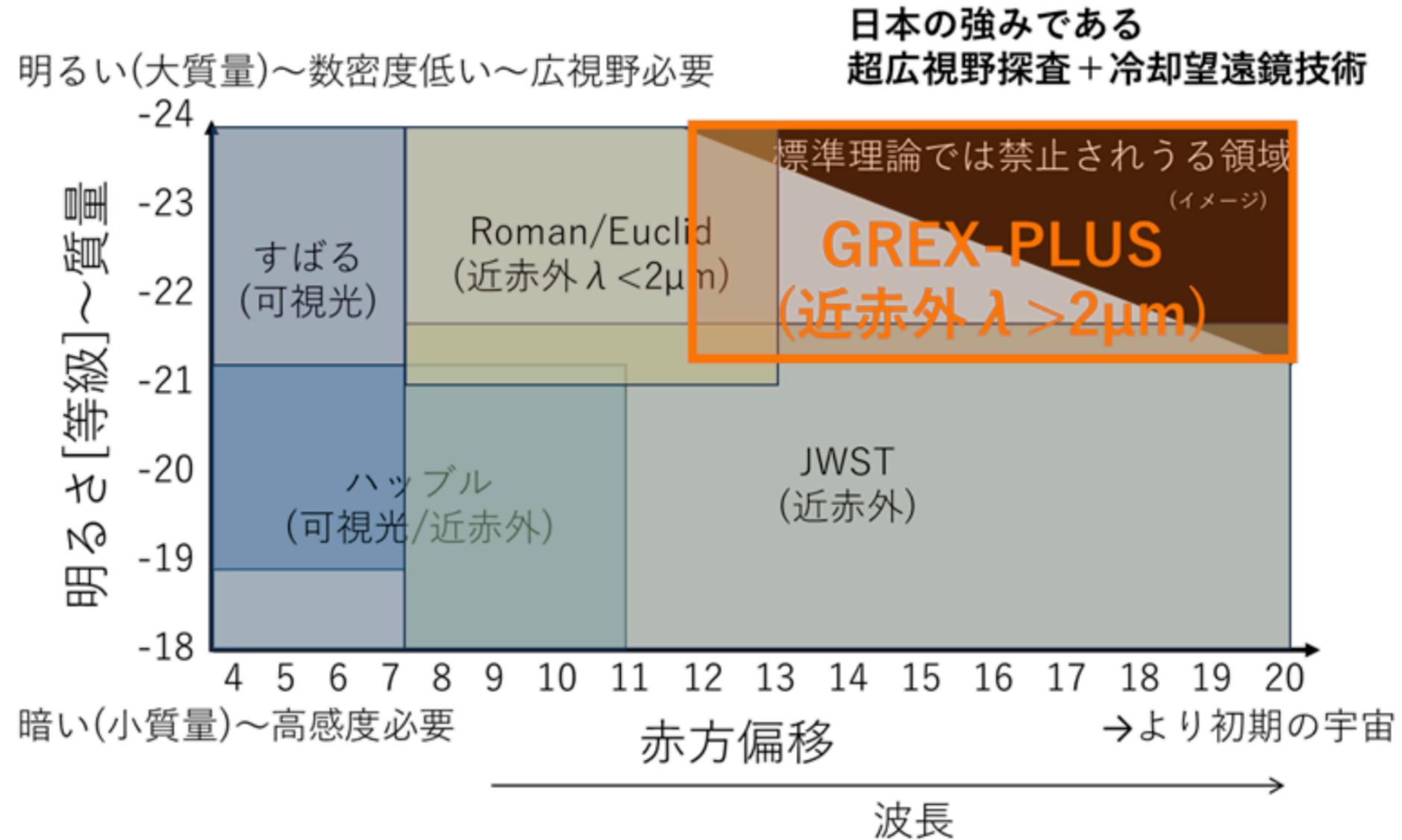
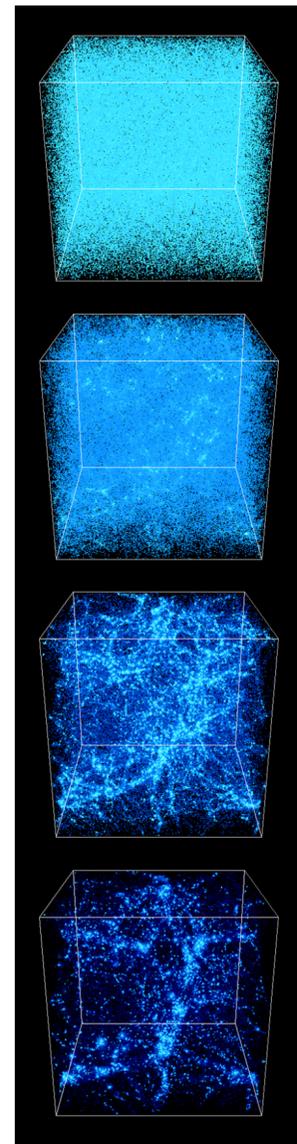


宇宙物理GDI  
(光赤天連)

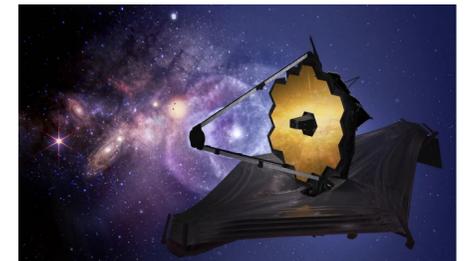
太陽系GDI・工学GDI

# 宇宙初期の銀河はどこまでデカくなれるか？

## (標準宇宙論の検証)



宇宙誕生 3 億年後  
の銀河



波長 2  $\mu\text{m}$  超でのみ検出可能な  $z > 15$  の「明るい」銀河を探査

# 原始惑星系に水はあるか？

## (惑星系形成論の検証)

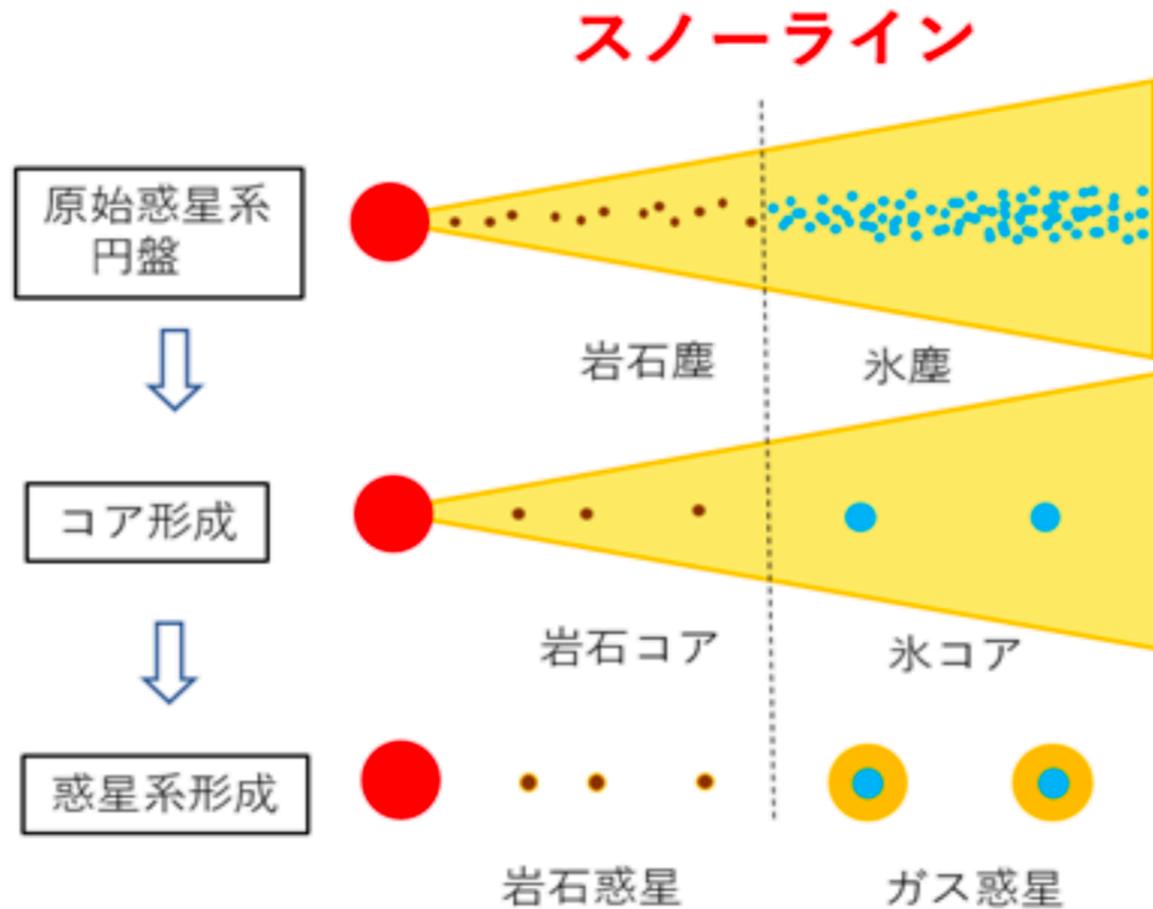
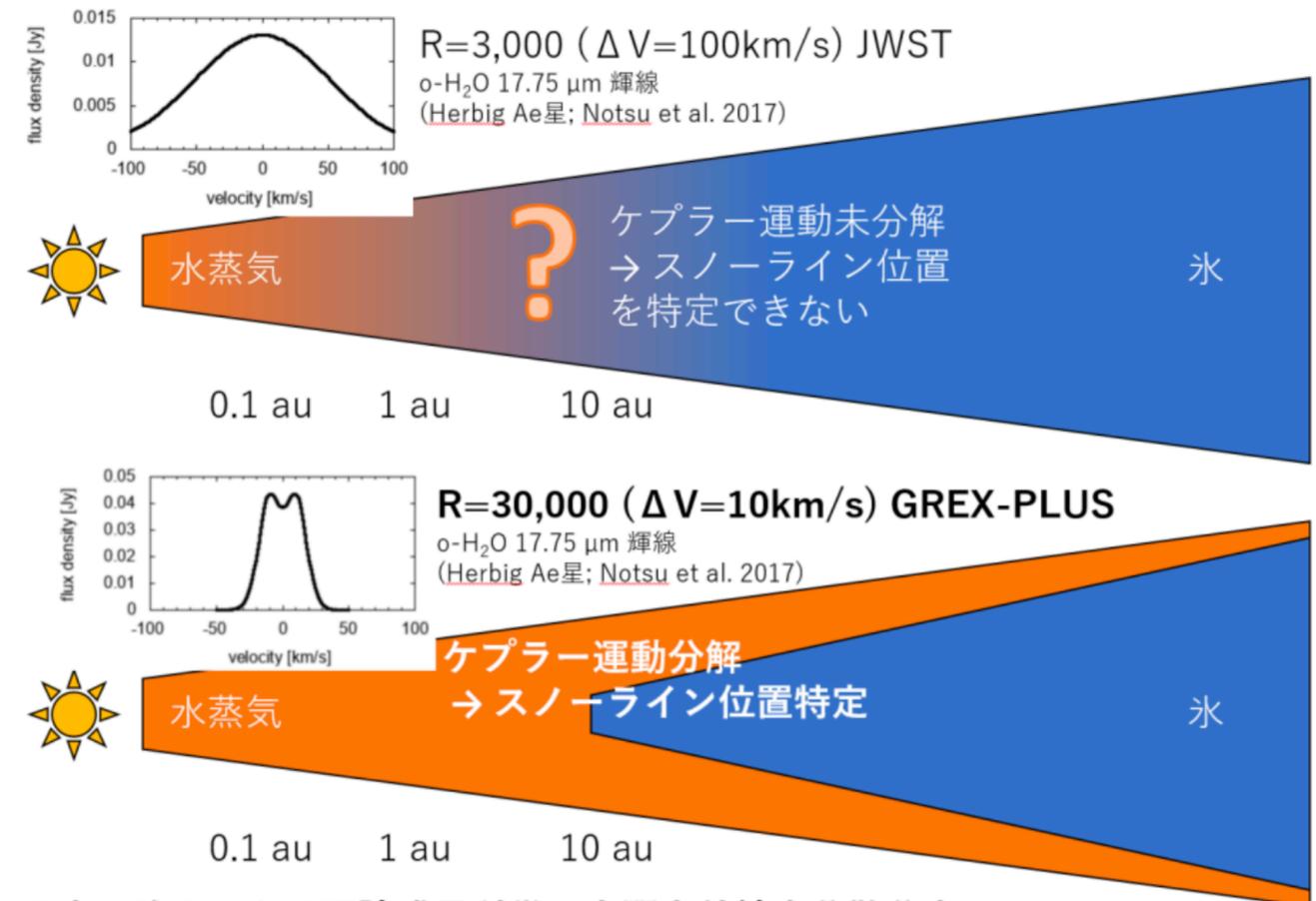


図 1-3-2 | 惑星形成とスノーライン

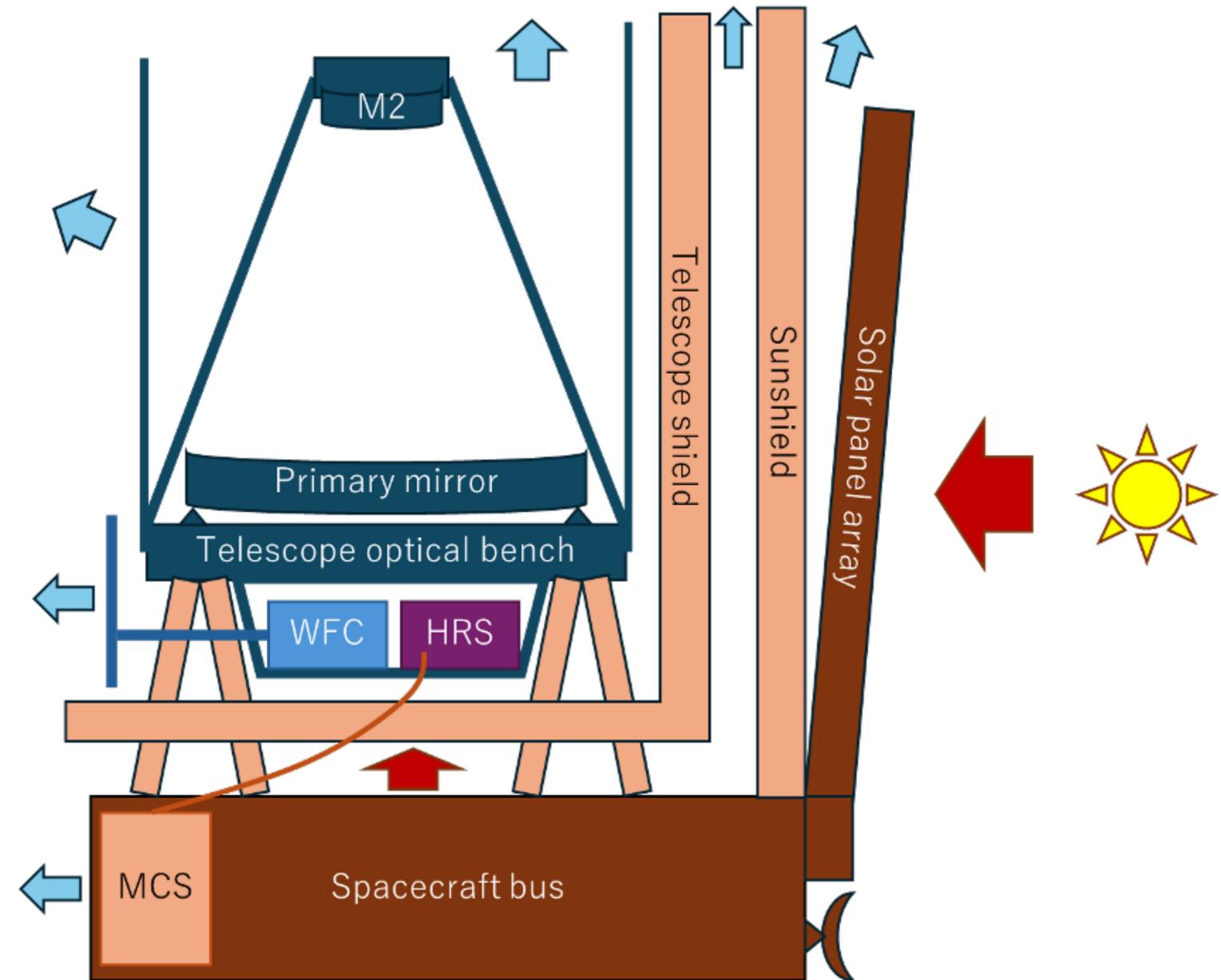


日本の強みである理論惑星科学+中間赤外線高分散分光

進化段階が異なる約100個の原始惑星系円盤について  
水分子輝線のケプラー運動を分解し、スノーライン位置を特定

# GREX-PLUSシステム概要

- 望遠鏡
  - 口径：1.0m (~1.2m)
  - 結像性能：波長 $4\mu\text{m}$ 回折限界
  - 光学系：Korsch系3枚鏡
  - 温度： $<50\text{K}$
- **広視野カメラ(WFC)** → **初代銀河探査**
  - 視野：5バンド合計 1,260平方分角
  - 近赤外線チャンネル
    - F232, F303, F397
    - 検出器温度： $<55\text{K}$
  - 中間赤外線チャンネル
    - F520, F680
    - 検出器温度： $<42\text{K}$
- **高分散分光器(HRS)** → **スノーライン探査**
  - 波長： $10\sim 18\mu\text{m}$
  - 波長分解能： $>25,000$
- 冷却系
  - 放射冷却：望遠鏡、WFC
  - 機械式冷凍機：HRS
- 軌道：太陽-地球L2ハロー軌道
- 運用期間：5年



# 宇宙物理GDI：今後の方針

- 2024年度末の中型計画提案は見送りに
- GREX-PLUSの検討活動は今後も継続
  - 但し, コスト・体制への懸念あり。年度ごとに継続の可否判断
  - サイエンスケース・搭載装置を絞ることも視野に
- 長期戦略の議論に重点を置く
  - 波長横断的な視野に立ちコミュニティとの連携強化
  - 国際情勢の見極め
  - 太陽系・工学GDIとの連携も強化

**将来フレームワーク関連**

# 現在のフレームワーク

戦略的中型	公募型小型	小規模	戦略的国際協力
≤ 400億円/mission	≤ 180億円/mission	2億円/年	10億円/年
H-II/H-IIIロケット	イプシロン	ロケット・気球等	海外ミッション
戦略的 (GDI)	ボトムアップ		

- 中型を10年に3機, 小型を10年に5機が当初の想定だったが、全然うまく進んでいない
- 大幅な予算増は見込めないという縛りの中で、打開策を求められている

# 遅延の弊害

- 科学的価値の陳腐化（理学的にはこれが最も深刻）
- インフレ等の急激な状況変化を受け取るリスク
- ロケット等の成長戦略との不整合（需要の役割を果たせない）
- 技術・経験の伝承の停滞
- 宇宙科学の魅力低下 → 若者の宇宙科学離れ

# フレームワークの見直し①

戦略的中型	公募型小型	小規模	戦略的国際協力
≤ 400億円/mission	≤ 180億円/mission	2億円/年	10億円/年

- 現状：数名規模で参加している海外ミッションが多数
  - コミュニティとして参加しているという感じではない
  - じわじわとリソース分散する要因に
- 公募型小型規模の予算を投じての参画が可能に
  - HWO参加が想定されているが, NASA MIDEXとの組み合わせなどのプレゼンスのある活用方法が期待できる
  - コミュニティのコンセンサスが必要

# フレームワークの見直し②

戦略的中型	公募型小型	小規模	戦略的国際協力
≤ 400億円/mission	≤ 180億円/mission	2億円/年	10億円/年

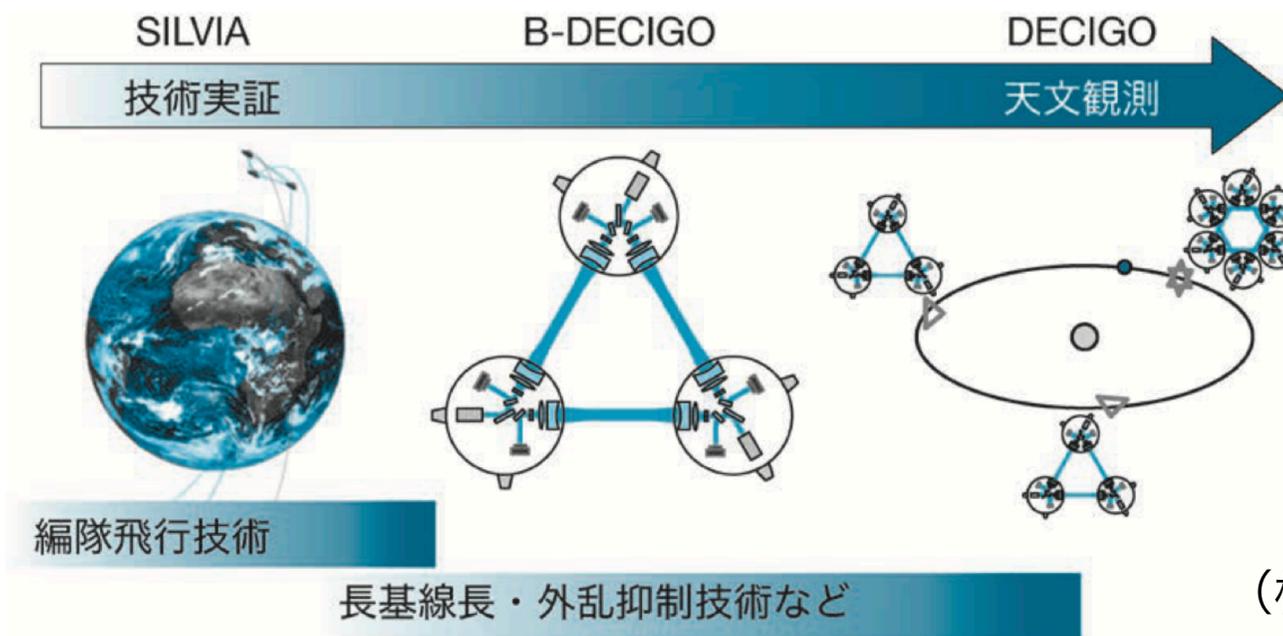
このギャップが大きい！

- テンポよく、高頻度で多彩なミッションを実現させたい
- 小型衛星バスの一部共通化
- 超小型～100kg級衛星・探査機のイプシロンロケット「相乗り」
  - 大型ミッションへの発展を見据えた技術実証
  - 目的特化型のユニークなミッション: e.g.,
    - 長周期の木製型惑星探査
    - 恒星のモニタリング

# 今後の飛行体ミッションの進め方

- まずは宇宙理学委員やGDIにご相談を
- 単発ミッションではなく長期戦略を持つことが重要
  - 一緒に考えましょう
- 他の理学分野・工学分野との連携も不可欠

## モデルケース スペース重力波干涉計の 発展ビジョン



2030s 小型

2040s?  
国際協力

2050s?  
超大型国際協力

(松尾・和泉 天文月報)

# まとめ

- 宇宙・物質・生命の起源と進化の解明を目指して様々な宇宙科学ミッションを実施・計画
  - だが停滞
- 今後のミッション提案は、宇宙GDIとコミュニティの議論により進む
  - コミュニティの当事者意識と長期ビジョンが大切
  - まずはご相談ください