

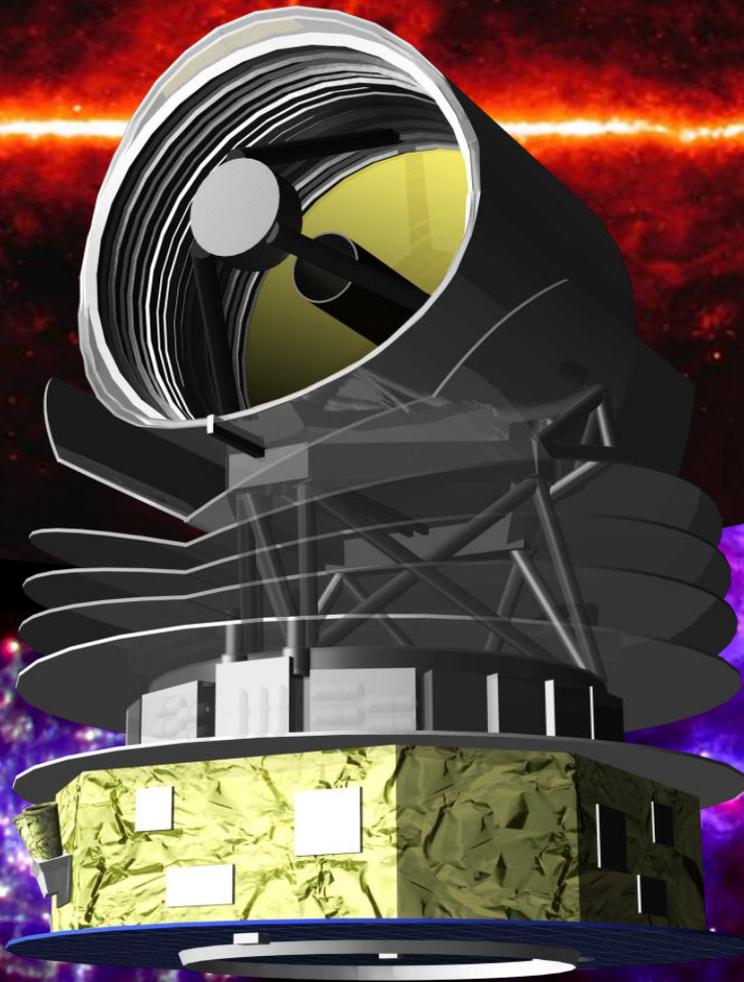
SPICAでの経験と今後への教訓

金田 英宏(名大)、on behalf of the SPICA consortium

光赤天連シンポ「国際大型計画との関わり方を考える」(2021年9月)

内容

1. 概要
2. プロジェクトの変遷
3. 教訓、課題
4. 成果の継承
5. 最後に



1. 概要

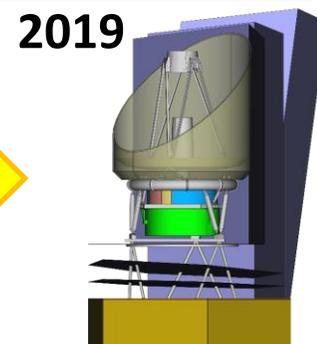
SPICA: 日欧協力を軸とする国際宇宙天文台

- **望遠鏡**: 有効口径2.5 m、冷凍機で**8 K以下**に冷却
- **波長範囲**: 10 – 350 μm
- **観測装置**: 中間赤外線**SMI** (日本PI)
遠赤外線分光**SAFARI** (オランダPI)
遠赤外線偏光**B-BOP** (フランスPI)
- **打上年**: 2030年 (ESAとの協議事項)
- **寿命**: 5年 (**冷媒を使わない設計**)

SPICAの基本仕様

日本: ISAS戦略的中型ミッション(300億円)として「**ミッション定義審査**」に合格、フェーズA検討(2015年11月～)

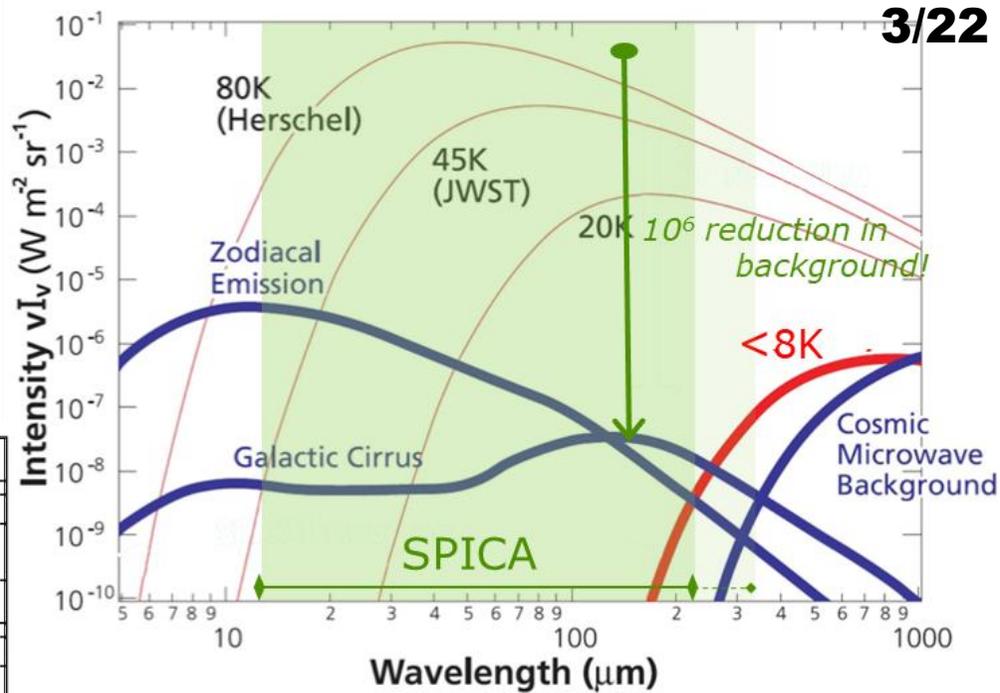
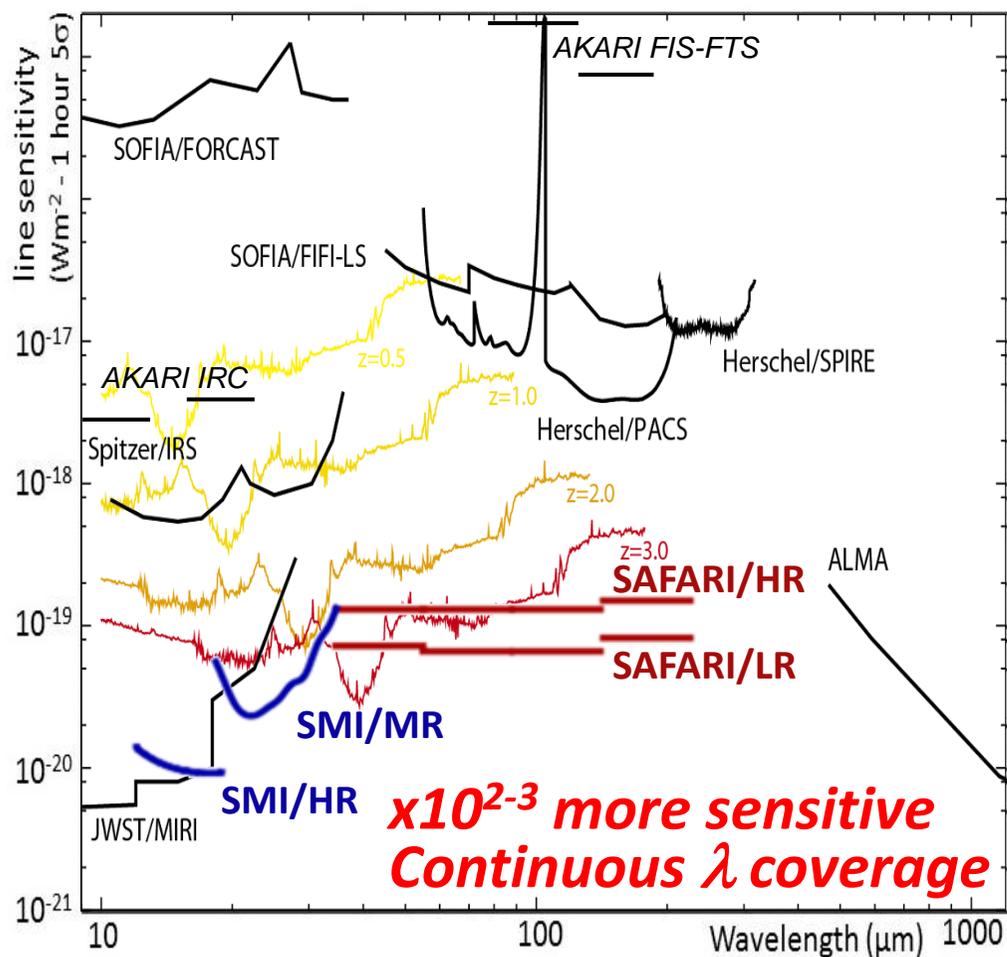
欧州: ESAのMクラスミッション(550 M Euro以下)として国際研究グループから提案、**一次選抜通過**(2018年5月)



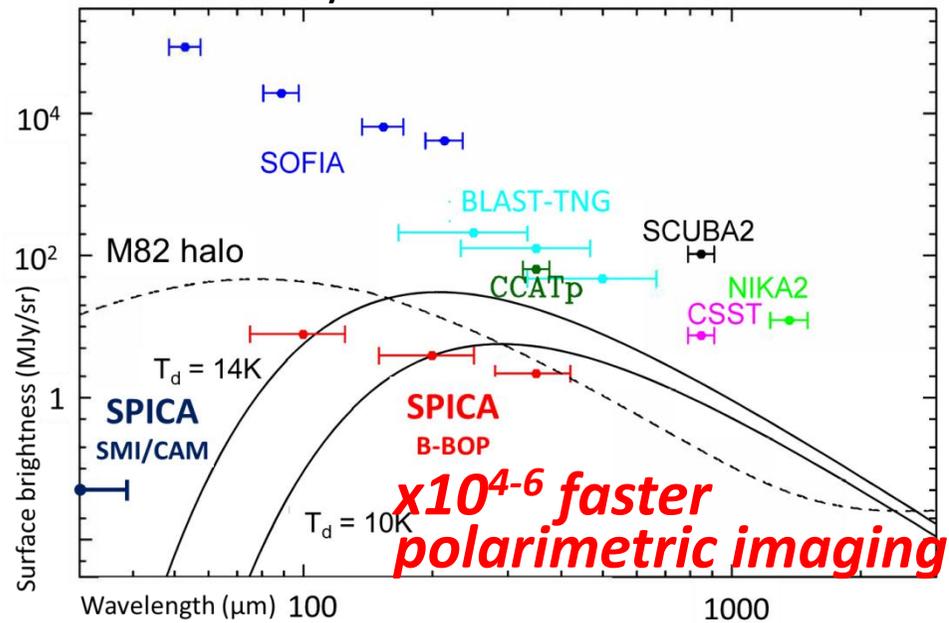
SPiCA

A big cooled mirror in space to unveil the cold obscured Universe

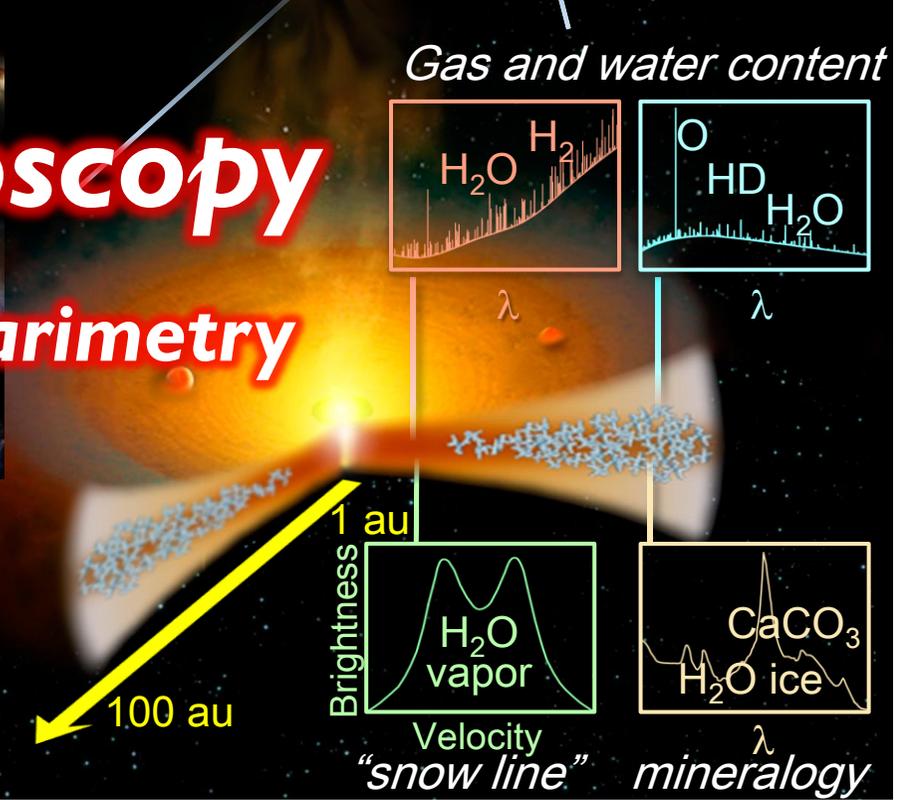
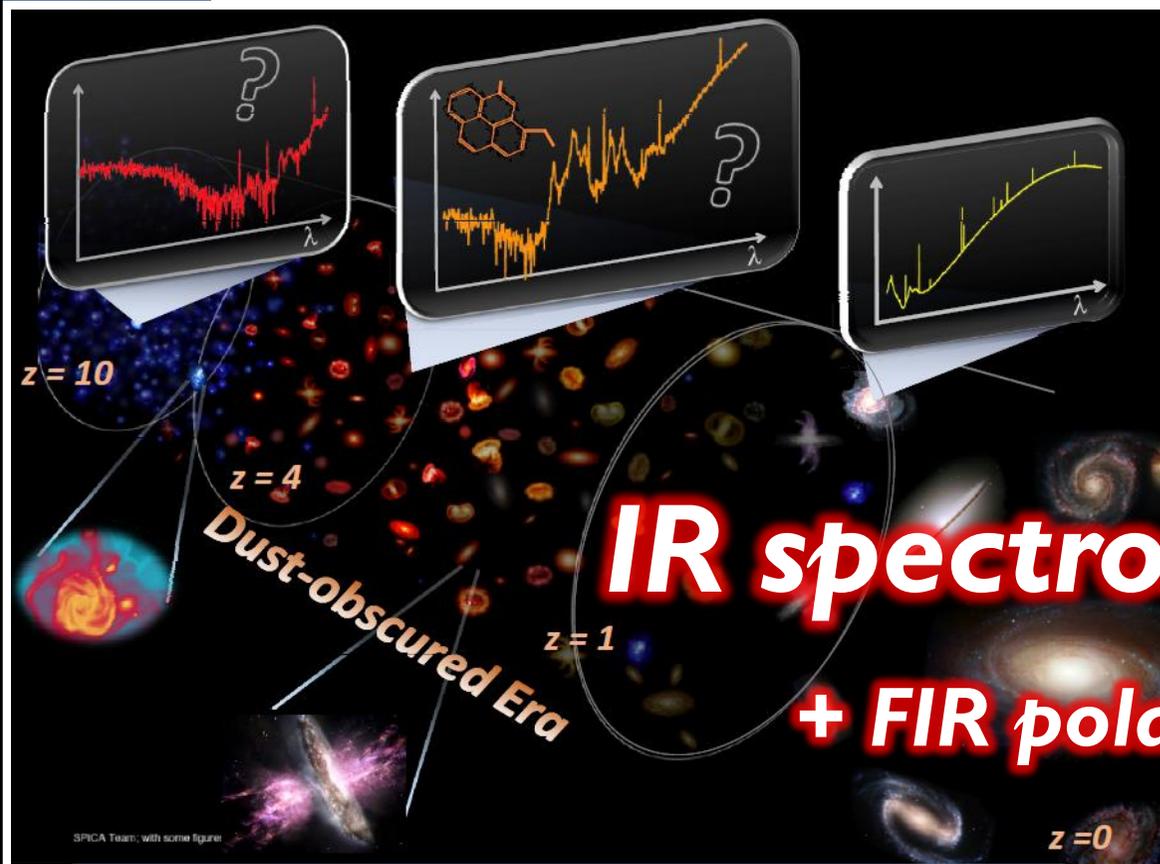
Spectroscopy



Photometry



SPICA primary science goals



With unprecedented high IR sensitivity, SPICA would unveil the dusty era in the Universe (**evolution of galaxies**), and find a route to habitable planets (**formation of planetary systems**).

Reference mission scenario (breakdown of 11000 hours)

5/22

1年3ヶ月

- 100,000 galaxy spectra with SMI surveys: 600 hrs
- 1300 galaxies at $z = 0.5 - 10$ with SAFARI: 4300 hrs
- 100 deg² photometry survey with SMI/CAM (& B-BOP): 200 hrs
- 500 nearby galaxies with SMI & SAFARI: 1700hrs
- 500 deg² polarimetry imaging of Galactic ISM with B-BOP: 500 hrs
- 2,700 proto-planetary disks with SMI, SAFARI: 2800 hrs
- 2,000 debris disks with SMI, SAFARI: 1100 hrs

Leading science activity

- **ESA Science Study Team (Europe 8, Japan 6)**
- **Science WGs (led by Europe, + Japan, U.S.,,,)**
 - Under ESA Science Study Team, responsible for writing ESA Yellow Book.
 - **(1) Galaxy evolution, (2) Nearby galaxies, (3) ISM/Star formation, (4) Proto-planetary disks/Debris disks, (5) Solar system/exoplanets**
 - **国内: SPICA推進委員会、SPICAサイエンス検討会**

2. プロジェクトの変遷

- 2000: 国際会議 (HIIL2 → SPICA)、SPICA WG 望遠鏡: 3.5 m, 4.5 K
- 2004: 1st “SPICA core” meeting 3.5 m, 6 K
- 2007: ISAS Mission Definition Review (passed) ESA CV M1/M2 MoO
- 2010: ISAS System Requirement Review (passed) 3 m, 6 K
- 2011: ISAS Risk Mitigation Phase
- 2013: Plan B (The project stopped. New SPICA started.)**
望遠鏡: 波長5 μm → 20 μm、日本観測装置2 → 1、新体制、M4
- 2014: ISAS Mission Definition Review (aborted)
- 2014: Plan D → ESA-JAXA CDF study (New SPICA redefined.)**
望遠鏡: 3 m, 6 K → 2.5 m, 8 K、日本リード → 欧州リード、M5
- 2015: ISAS Mission Definition Review (passed)
- 2016: ESA Cosmic Vision M5 proposal submitted.
- 2018: Selected as one of the 3 candidates among 25 proposals**

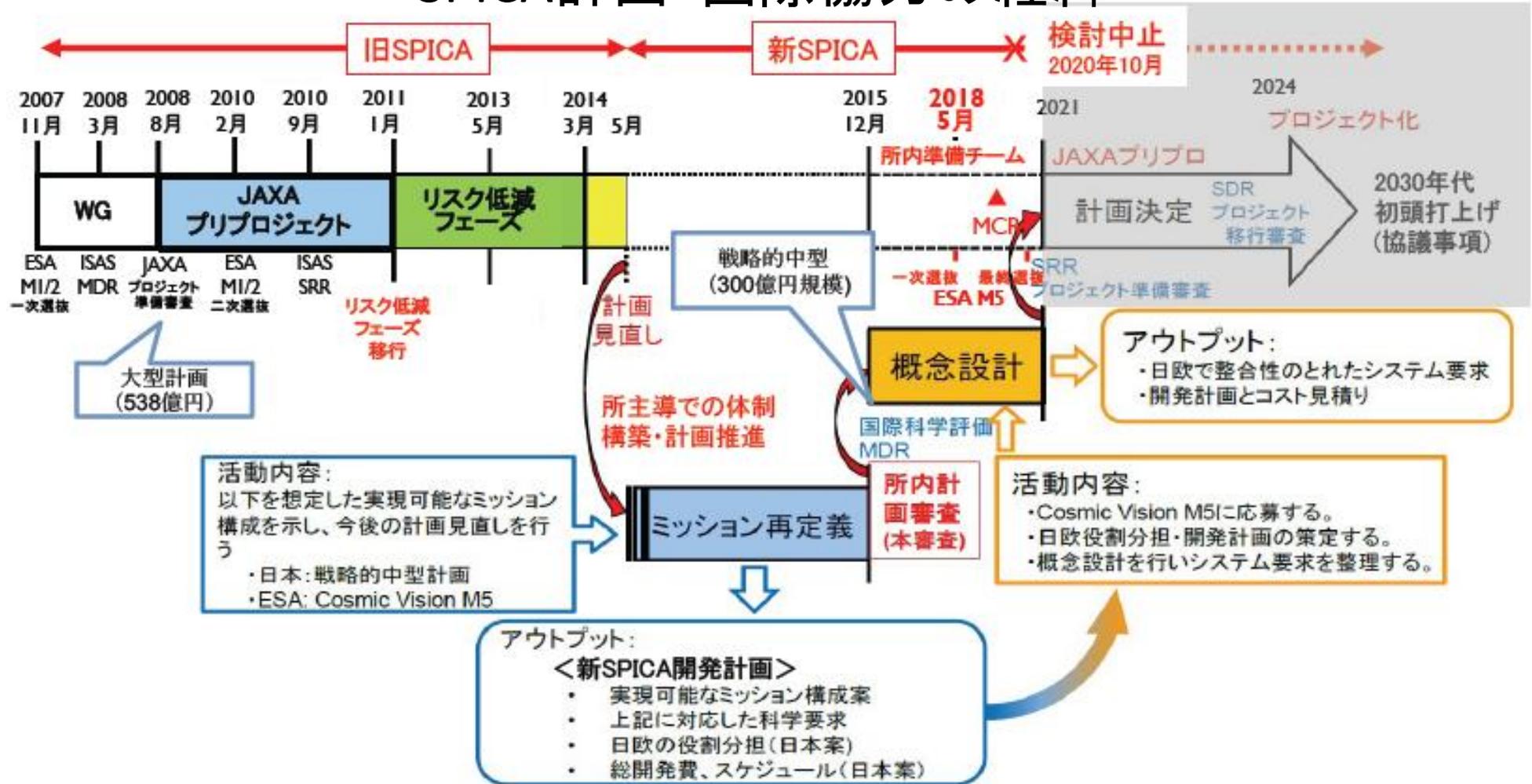
長年月でコスト
ターゲットが変化

大型計画
(500億円)

戦略的中型
(300億円)
+10%程度..

「1円たりとも..」

SPICA計画・国際協力の経緯



2013 – 2015: 国際協力の激動(危機的)期間、ISAS執行部(TF)主導の推進体制

2014年1月 ISAS-SRON合意、観測装置の大幅な設計変更

2014年5月 JAXA主導からESA主導へ、JAXAプリプロジェクトからISASプリプロジェクト候補

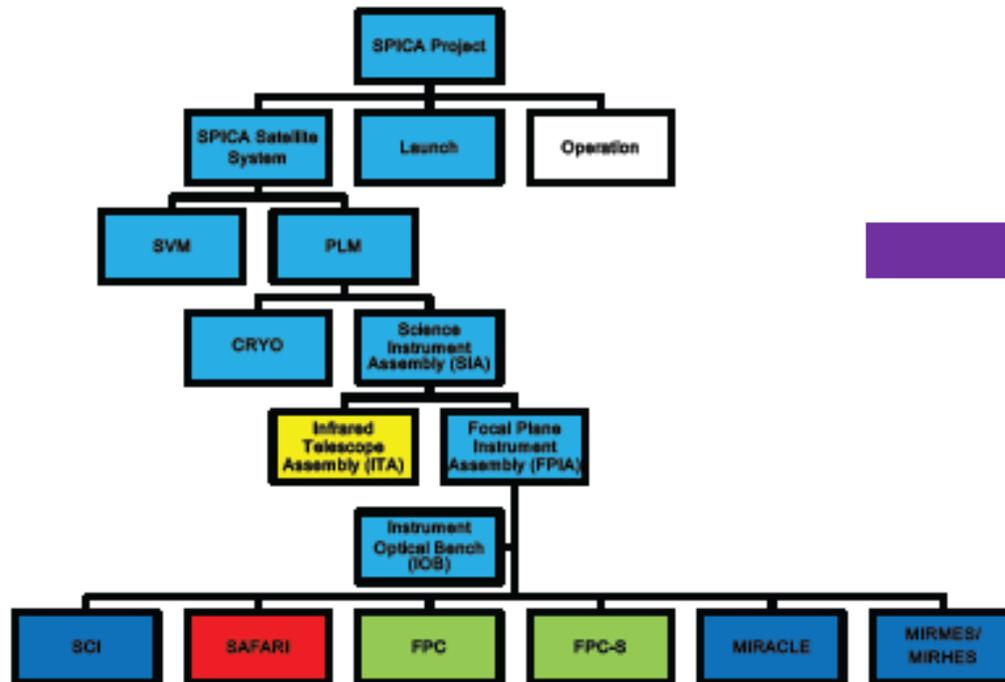
2014年12月 望遠鏡口径問題 2 m vs 3 m

新旧SPICAの国際所掌分担

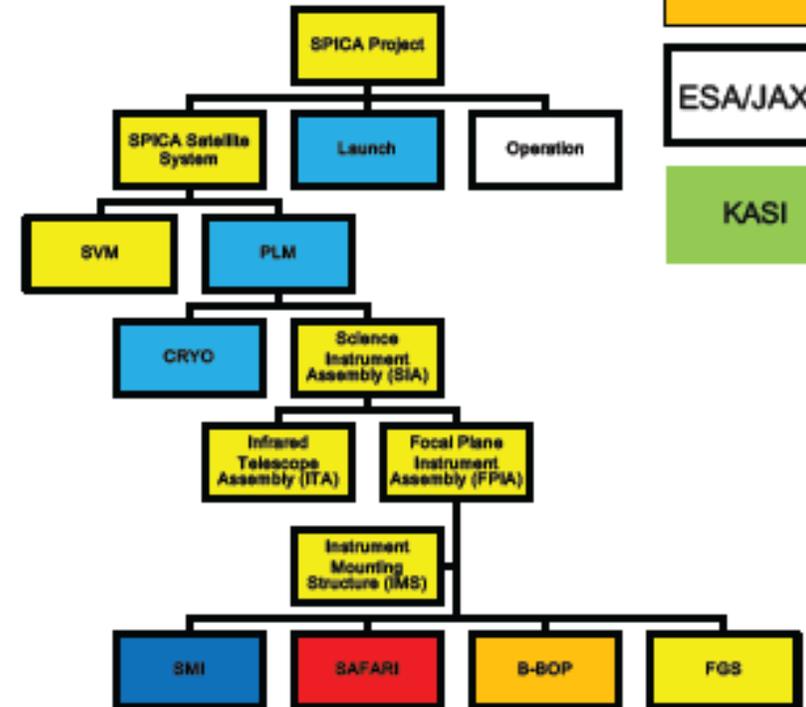
旧SPICA: 日本は衛星システム、打ち上げ、Payload Module (PLM: 望遠鏡以外の全て)、および中間赤外線観測装置(複数あり)を分担。
欧州は望遠鏡、SAFARIを担当。韓国が焦点面姿勢センサーを担当。

新SPICA: 日本は打ち上げ、PLM/CRYO、中間赤外線観測装置SMIを分担。
欧州は衛星システム、バス部、望遠鏡、焦点面姿勢センサー、SAFARI、B-BOPを担当。

旧SPICA (2008年MDR時点)



新SPICA (ESA Phase-A study)



ESA

JAXA

MIR Inst
Cons.

SAFARI

B-BOP

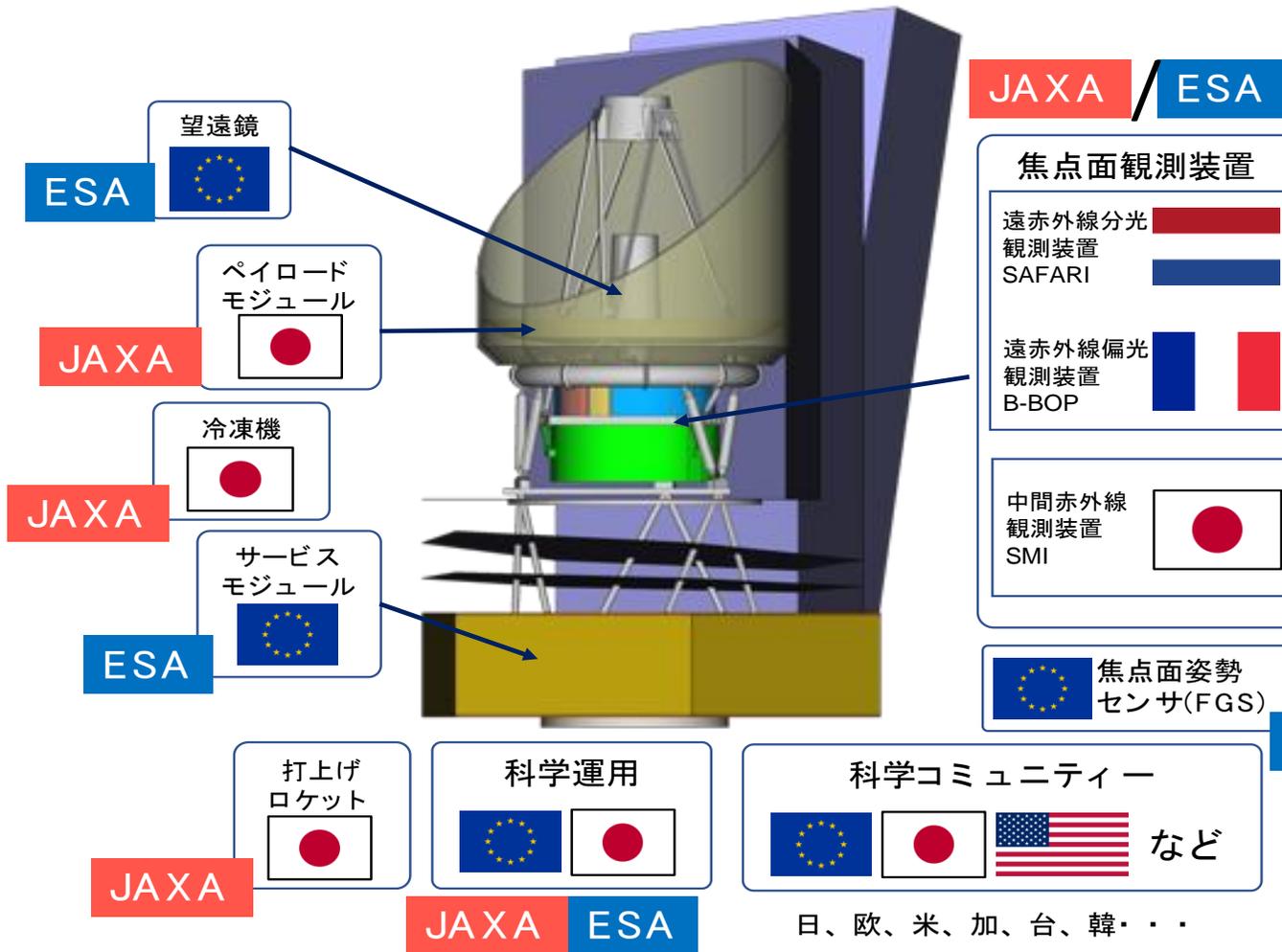
ESA/JAXA

KASI

国際協力、役割分担

プロジェクト全体のとりまとめ
欧州宇宙機関(ESA)

極低温冷却・ 打上げ
JAXA



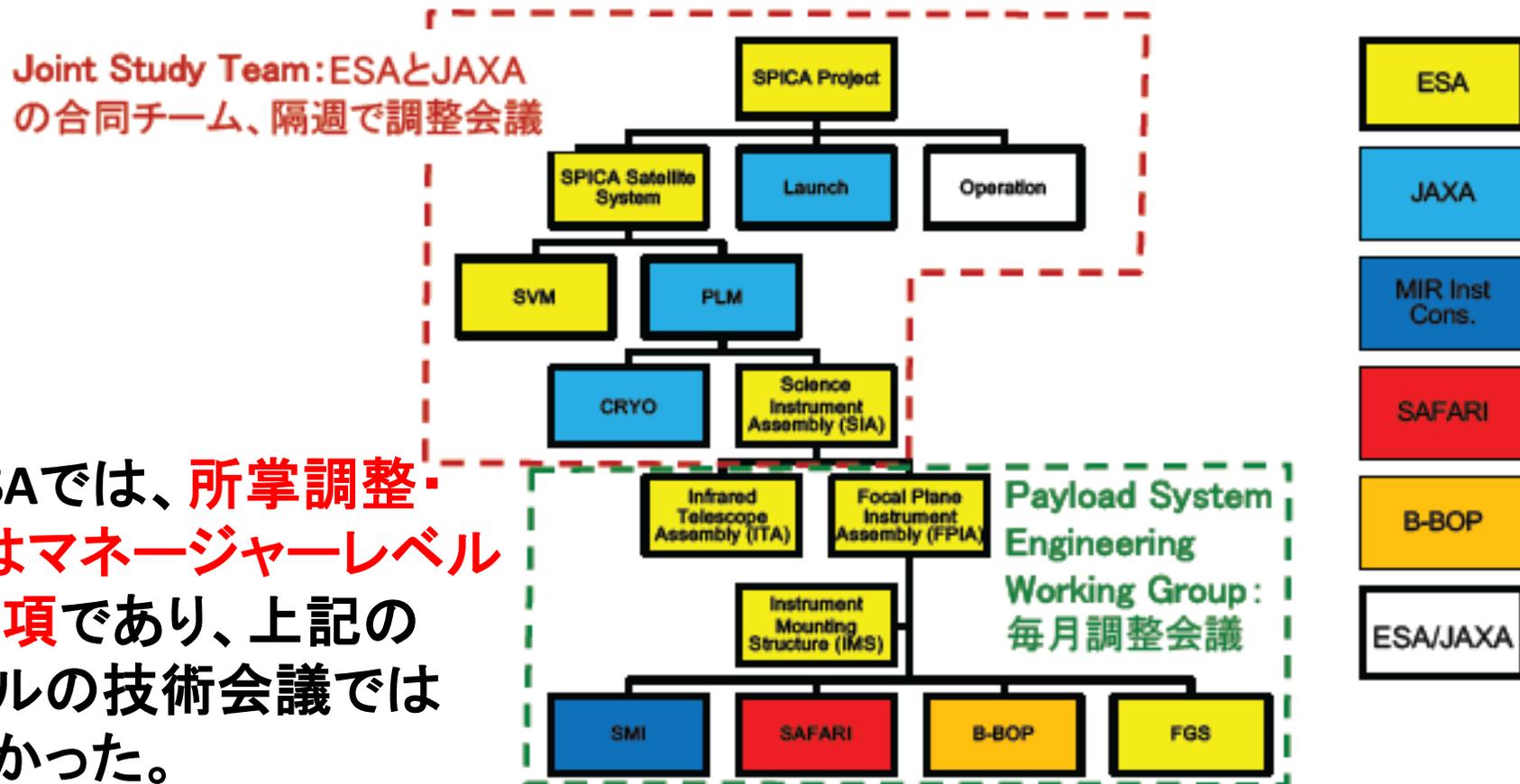
SRON (オランダ)
CEA-Saclay (フランス)
スペイン
ドイツ
イギリス
等欧州10カ国
カナダ、台湾、日本

名古屋大学
JAXA
大阪大学
東京大学
東北大学
埼玉大学
広島大学
愛媛大学
徳島大学
京都大学
ASIAA (台湾)
他

➤ 観測装置全体(SIA)管理: ESA-JAXA所掌境界 (Phase AはESA担当)

ESAとの技術インターフェース調整

- ・衛星システム・打ち上げ・地上系などの総合的な調整は**ESA-JAXA Joint Study Team**で行われた。隔週の会議。
- ・観測装置とシステムの調整は**System Engineering Working Group** (各装置の主要開発メンバーとESA-JAXA Joint Study Team)で行われた。月1の会議。



- ・問題点: ESAでは、**所掌調整**・**コスト管理はマネージャーレベルでの調整事項**であり、上記のチームレベルの技術会議では議論できなかった。



国内外のSPICA計画推進の支援、評価委員会

- 光赤天連SPICAタスクフォース : 2008～2013
- FPI国際審査会 : 2010～2012
- SPICA国際科学評価 : 2015
ISAS所長の諮問委員会、ISAS MDRに先立ち、科学レビューを実施。
- SPICA国際科学ボード : 2016
ISAS所長の諮問機関、ボード報告書に「2.5 m, 8 K望遠鏡を強く推奨」する旨が記載された。
- SPICA観測系アドバイザリボード : 2016～2018
ISAS所長の諮問機関、外部有識者による主に技術面の支援
- SPICA研究推進委員会 (JAXA) : 2018～2020
幅広い分野から12名、天文学会 企画セッション「SPICAが切り開くサイエンス」(講演33件)
- SPICAサイエンス検討会 (JAXA) : 2019～2020
日本独自の研究計画。国際Science WGと連携し、科学価値を強化。約70名が参加。



国内外におけるSPICAの位置づけ

- **日本学術会議**提言「学術の大型研究計画に関するマスタープラン」において、2010年から2020年まで一貫して「大型研究計画」として選定された。とくに、**2014年、2017年には「重点大型研究計画」として選定**された。
- **文部科学省**「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップの策定」において、ロードマップ2010、2012では「**推進すべき大型プロジェクト**」に評価abで採択されさらに**ロードマップ2014、2017では最高評価aa(5計画の一つ)**で採択された。
- **内閣府**「宇宙基本計画」および「工程表」において、**2015年以降、「2020年代の打ち上げを検討するミッション」として「国際共同ミッションである次世代赤外線天文衛星(SPICA)」**が記載された。
- **光赤外線天文連絡会** 2013年に声明「次世代赤外線天文衛星SPICAの推進」が出された。「2020年代の光赤外天文学 – 将来計画検討報告書」(2016年)において「スペースでは最優先で推進すべきプロジェクト」と記載された。
- **国際コミュニティ**: ESA CV M5提案書(2016年)には、欧州の遠赤外線天文学者を中心に、22か国634名のメンバーが参加。厚い研究者層に支えられていた。

3. 課題、教訓

▶ プロジェクト立案段階の課題

- SPICA立ち上げ時期(2000~2004)の望遠鏡口径の設定が過大ではなかったか？
Herschellに引きずられた。コミュニティーも欧米規模の日本主導ミッションを期待した。
チーム内には、「2 m SPICA」や「1.5 m あかり2」を推す声もあったが、「あかり」の多忙期にもあたり、議論が不十分のまま、「3.5 m, 6 K」が既定路線になってしまった。
- この初期設定に最後まで苦しめられることになった。その後、3 m → 2.5 m (→ 1.8 m) と縮小に向かい、国際協力の維持に大変な苦勞を生んだ(M5提案前の2 m vs 3 mバトル、SARAFIの分光方式の変更に伴う星形成研究者離れ、B-BOPの加入によるI/F複雑化)。

▶ プロジェクト実現段階の課題

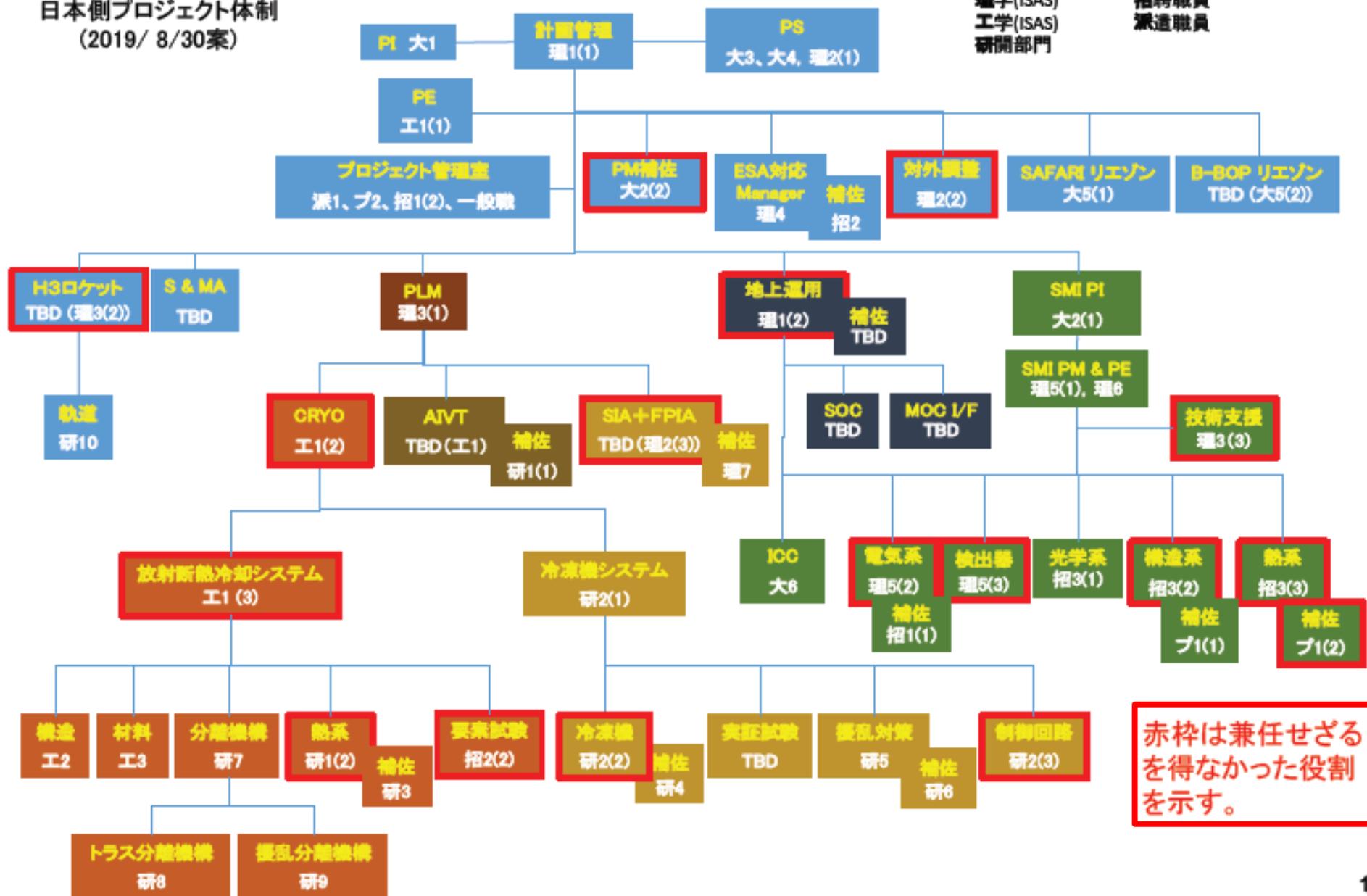
- 2015年末にTFが解散した後は、チーム主導での体制の強化を継続的に図ってきたが、国際大型プロジェクトを推進する体制として不十分であった。
- プロジェクトチームからISAS執行部へ、繰り返し体制強化を要求した。人事処置がされた場合にも、実現に時間がかかり、クリティカルなタイミングに間に合わなかった。
- とくにM5一次選抜通過後は多忙を極めた。

SPICAチーム体制表(2019年8月)

SPICA プリフェーズA2
日本側プロジェクト体制
(2019/ 8/30案)

大学関係者
理学(ISAS)
工学(ISAS)
研開部門

プロジェクト研究員
招聘職員
派遣職員



赤枠は兼任せざるを得なかった役割を示す。

SPICA中止に至った原因の分析と教訓

▶ ESA側コスト超過の主要因

プロジェクト中止後のESAとの公式・非公式のやりとりから、**望遠鏡のみならず、衛星システムが大きなコスト増加の原因**となっていることが分かった。結果的に、望遠鏡サイズ設定が問題の本質ではなかった(とはいえ、余裕のない設定にはなっていた)。

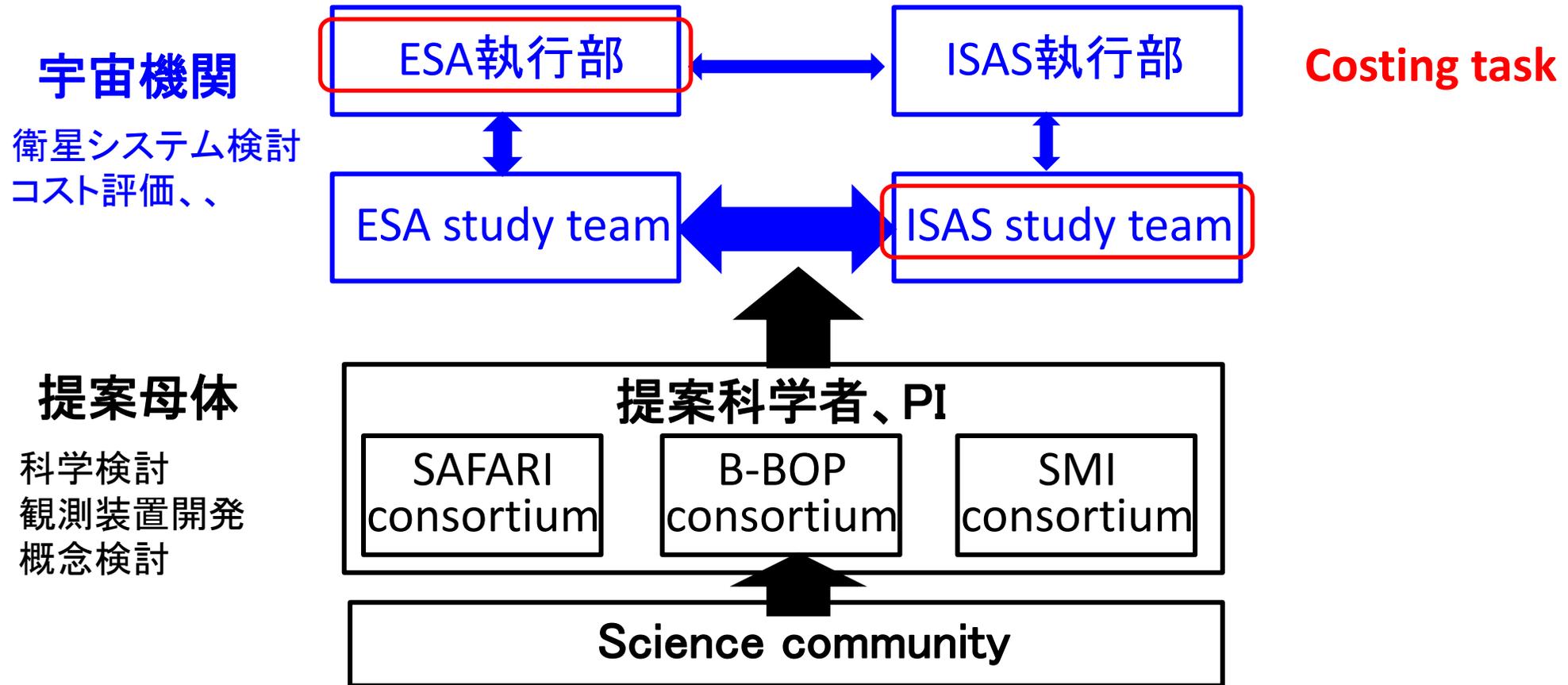
▶ ESA側コスト超過を解消する解はなかったのか

もともとESA所掌であったFGS(焦点面姿勢センサー)の機能の大部分をSMIで実現するという可能性があり(ESAからの要求)、検討を進めたが、ISAS執行部は結論を出すには時期尚早と判断した。プロジェクト中止後に行われたESAのPreliminary Requirement Reviewにおいて、SMIを用いてFGSの機能を実現することが技術的に十分可能であることが示された。**結果的にはコスト的にも十分実現可能であったことになる。**

▶ ESA側コスト超過問題の発覚が遅れた原因

ESAでは、**所掌調整・コスト管理はマネージャーレベルでの調整事項**であり、現場の技術調整会議では議論できなかった。

組織の問題、提案母体と宇宙機関との関係



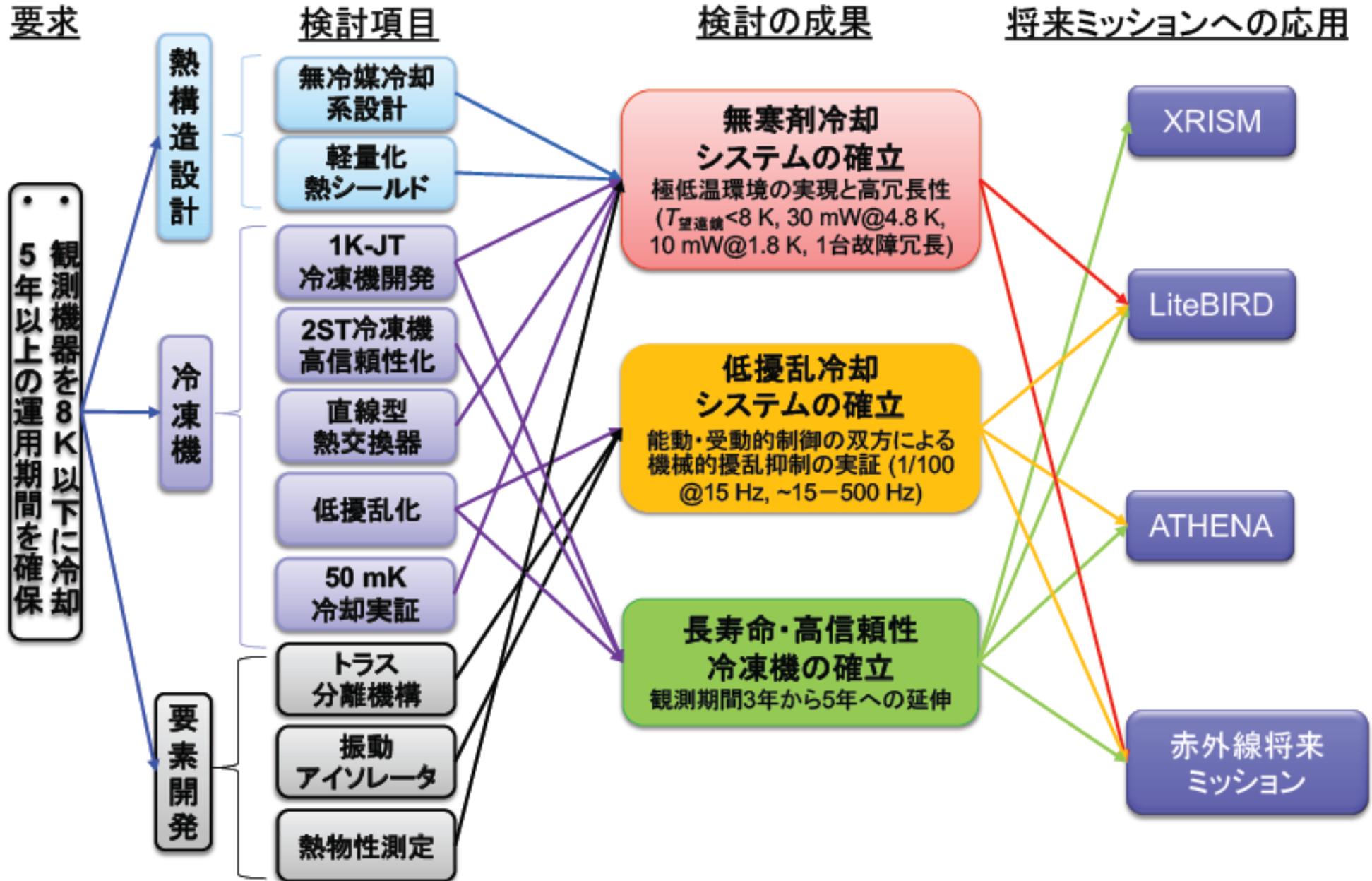
- (1) ESAとISASの間のねじれた構造 (Costing, 所掌議論)
- (2) 対ESA的にISAS執行部の不十分な体制 (対等な関係での国際協力が困難)
- (3) 執行部と現場・研究者の間のコミュニケーション不足 (ESA, JAXA共に)

「第三者委員会」の提言に基づく、チームとしての教訓・方針

概念設計検討委員会 報告書、10月に公開予定

- 大型国際共同ミッションを推進するには、プロジェクトチームとISAS執行部との緊密な意思疎通を行うことが重要。
- ISAS執行部レベルにおいて、高いレベルの技術的知識と国際的な交渉力のある担当者を置くことが必要。
- 現場レベルの責任範囲を超えたクリティカルな問題把握・解決のための枠組み(タスクフォースの設置)が必要。
- プロジェクトに取り組む実験系の研究者層を厚くする必要がある。実験系人材の評価を見直し、大学との人事交流を含むキャリア形成が重要。
- 今後の赤外線天文ミッションの再構築に向けて、SPICAの技術的成果を有効に活用できるように取りまとめる。

4. 成果の継承：冷却系システム

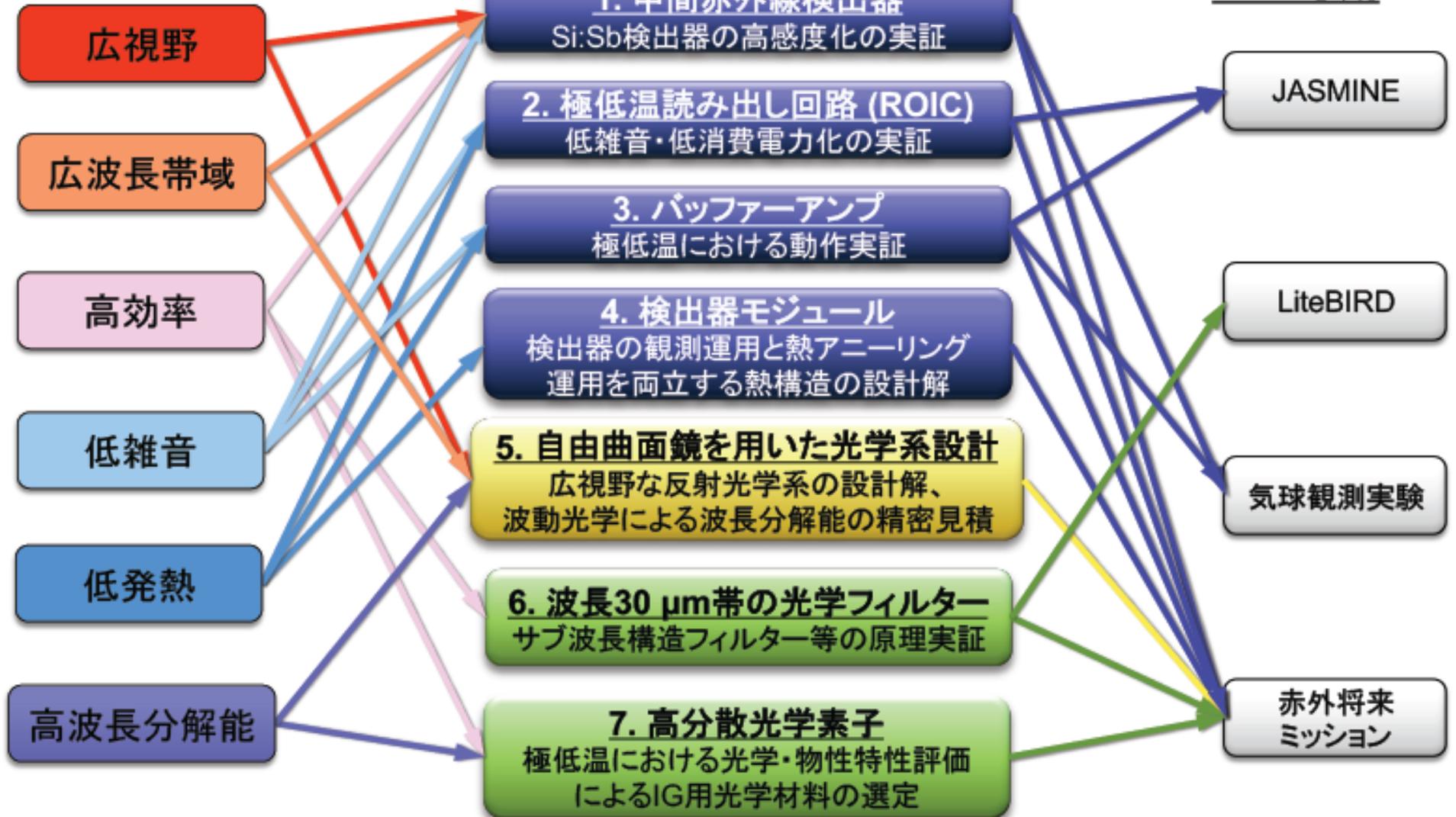


4. 成果の継承：中間赤外線観測装置SMI

システム要求

SMIの重要開発項目と成果

将来ミッションへの応用



SPICAの技術成果が活かせる将来赤外ミッションの可能性

GREX-PLUS

(Galaxy Reionization EXplorer and Planetary Universe Spectrometer;
PI: Akio Inoue)

G-REX計画にSPICA技術を組み合わせ、近赤外線広視野カメラと中間赤外線高分散分光器で同時にデータ取得できる宇宙望遠鏡

ベースライン: 口径1.2 m望遠鏡を温度50 Kに冷却し、波長10 μm を中心に長波長側(18 μm まで)を高分散分光、短波長側(2 μm から)を広視野撮像。

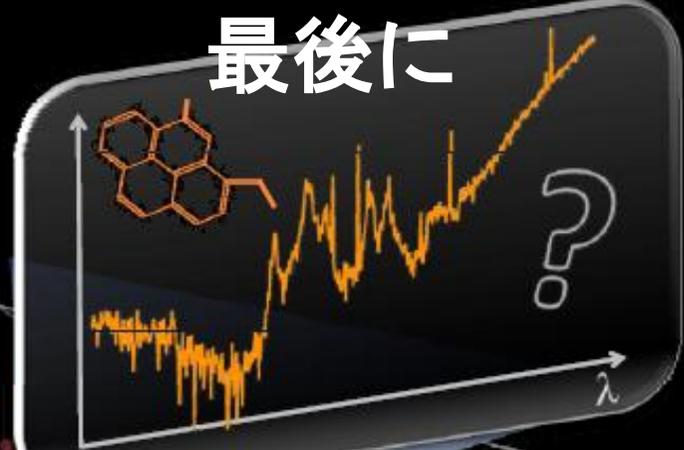
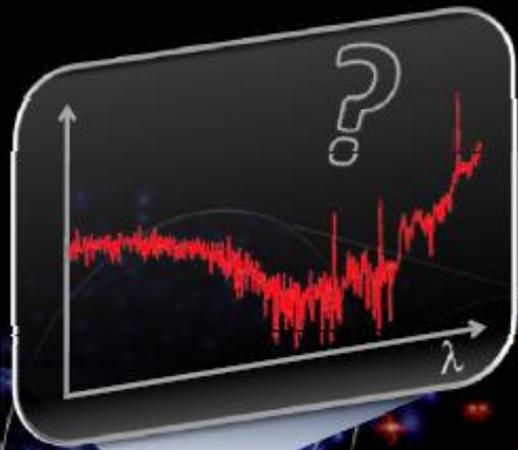
SPICA技術成果の活用: 冷凍機・冷却系(検出器・望遠鏡の冷却)
中間赤外線観測装置SMI(高分散分光器)
冷凍機の長寿命化(ミッション寿命5年以上)

2030年代中盤の戦略的中型ミッションに向けて、SubaruとAKARIが融合、強固な提案に。

最後に(個人的意見)

- 科学価値(学会会議、文科省ロードマップ、)を深く考慮せず、提案母体・科学者との事前対話をせず、宇宙機関の「経営判断」という理由で一方的に取り下げられた。このようなことが繰り返されてはならない。
- 身の丈に合ったプロジェクトの規模感(コスト、人員)を身に付けることが重要。立案段階で無理をすると、後で取り返しのつかないことになる。
- ISASに任せているだけではプロジェクトは実現しない。
科学・技術の両面でプロジェクトを推進できる人材を育成し、ISASに送り込む。加えて、牽引者がISASに異動して、現場で旗を振ることが必須。
- プロジェクトの成否は、時の運の要素があることも否めず。
「ひとみ」が成功していれば、、、
現ISAS執行部に天文の方がおられれば、、、
「両機関に、本当にやろうという気があれば、少々のコスト超過は何とかするもの。」

最後に



$z = 10$

遠赤外線分光学で宇宙進化史(物質進化史)を探る

遠赤外線: 実験天文学 → 観測天文学

- ・宇宙用冷凍機: 世界に先駆けて「あかり」で開発
- ・冷凍機ミッション: 日本独自のコンセプト

Dust-obscured Era

$z = 4$

$z = 1$

長年の支援をありがとうございました。

$z = 0$