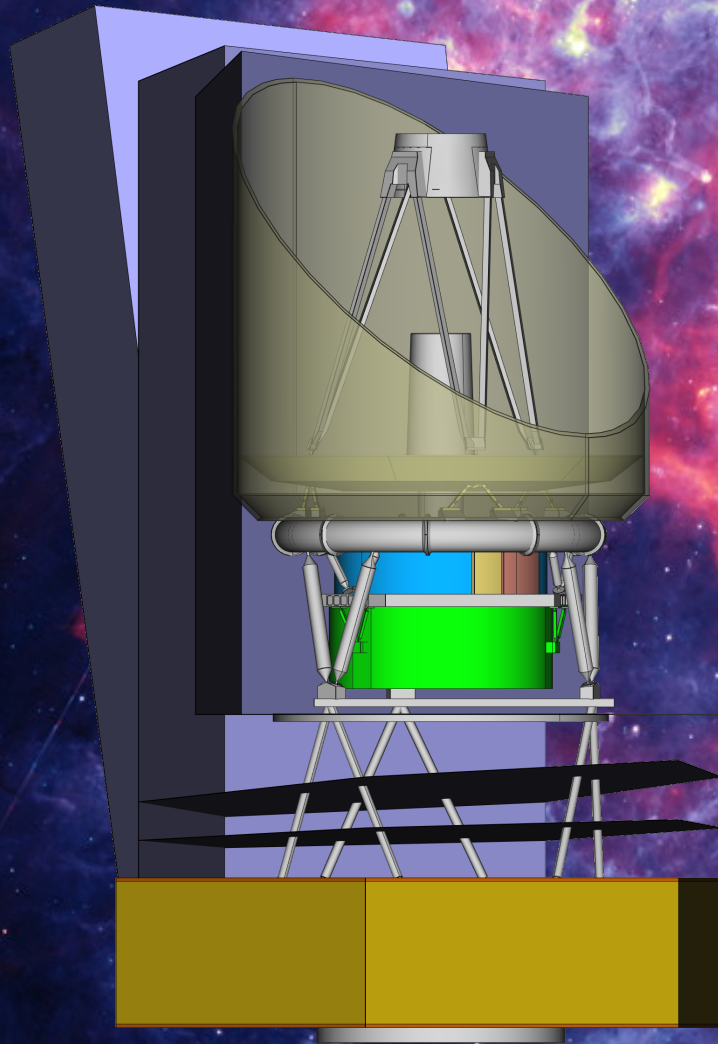


次世代赤外線天文衛星SPICA: 計画中止の経緯と今後の見通し



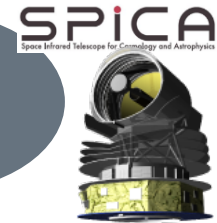
山村 一誠(ISAS/JAXA)

金田 英宏(名大)、小川 博之、
中川 貴雄、松原 英雄、山田 亨、
鈴木 仁研(ISAS/JAXA)、尾中 敬
(明星大)、河野 孝太郎 (東大)、
SPICA チーム

関連ポスター

Pa.20 将来ミッションに向けた極低温冷却技術の開発 中川他

Pa.24 将来ミッションに向けた中間赤外線観測装置関連技術 和田他

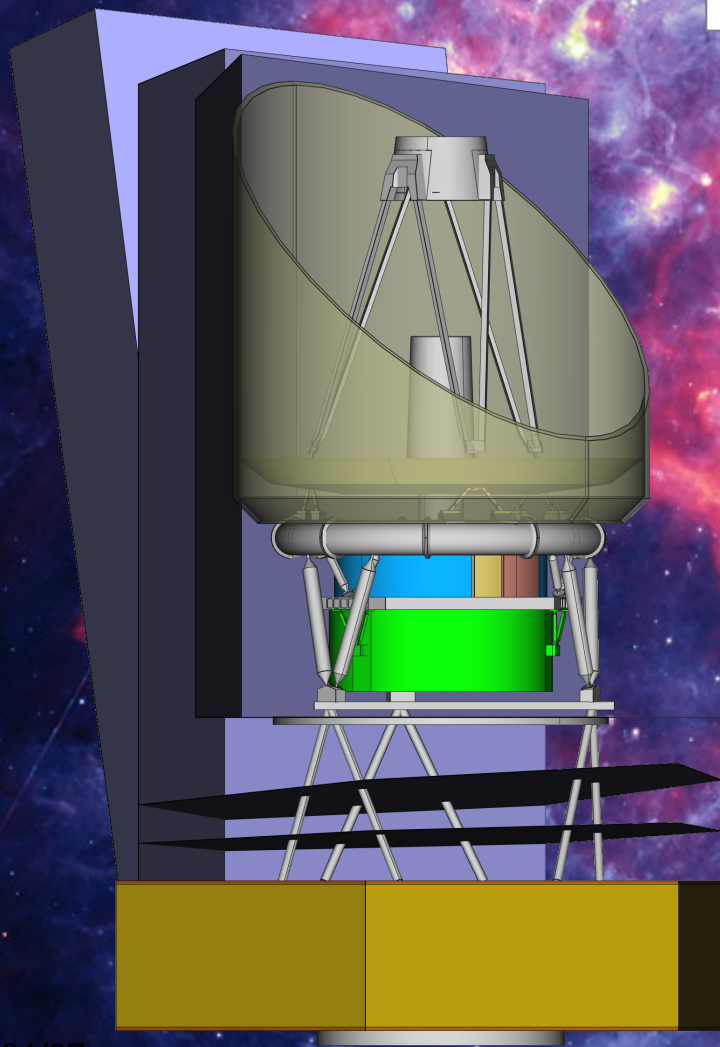


- SPICAの概要
- 2020年の活動
- SPICA計画中止の経緯
- 今後について

SPICA

計画概要

望遠鏡: 有効口径 2.5 m、8 K 以下に冷却
波長範囲: 10 - 350 μm
軌道: 太陽-地球系 L2 周り軌道
打上: JAXA H3 ロケット
打上年: 2020年代後期(EESAとの協議事項)
寿命: 5年(無冷媒冷却)



日欧協力を軸とする 国際共同スペース天文台ミッション

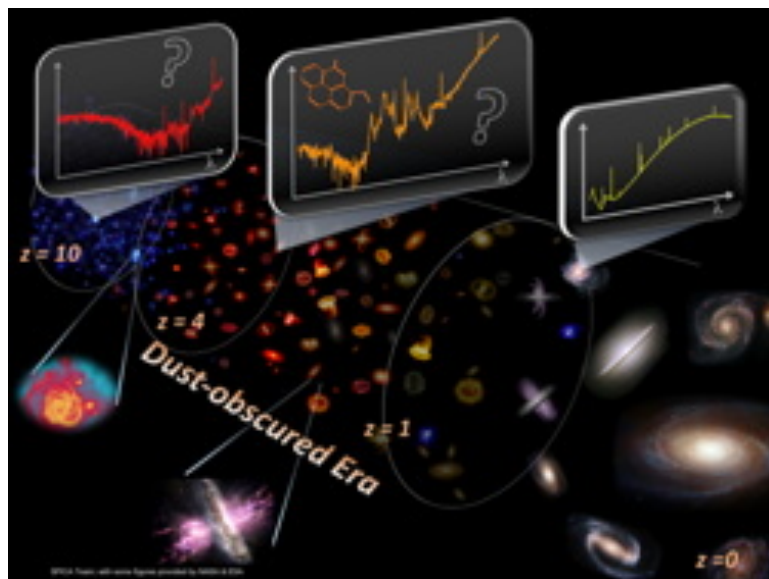
日本: JAXA戦略的中型ミッション(300億円規模)

欧州: ESA Cosmic Vision Mクラス(550M€以下)

として概念検討実施

SPICAは、重元素と星間塵の生成に伴い、宇宙がより多様で豊かな世界になり、生命居住可能な惑星世界が生まれた過程を解明することを目指す。そのために、**大型の宇宙冷却望遠鏡**を搭載し、**超高感度赤外線観測**を実施する。

SPiCAの科学目標

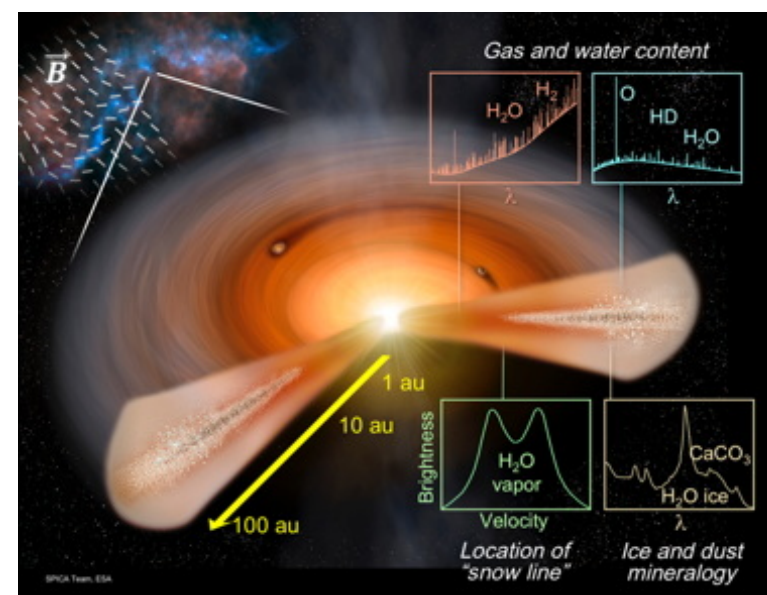


● 宇宙進化史の解明

- 宇宙がいかにして現在のような元素と物質に富む世界に至ったのか？
- 銀河と巨大ブラックホールの共進化の過程。

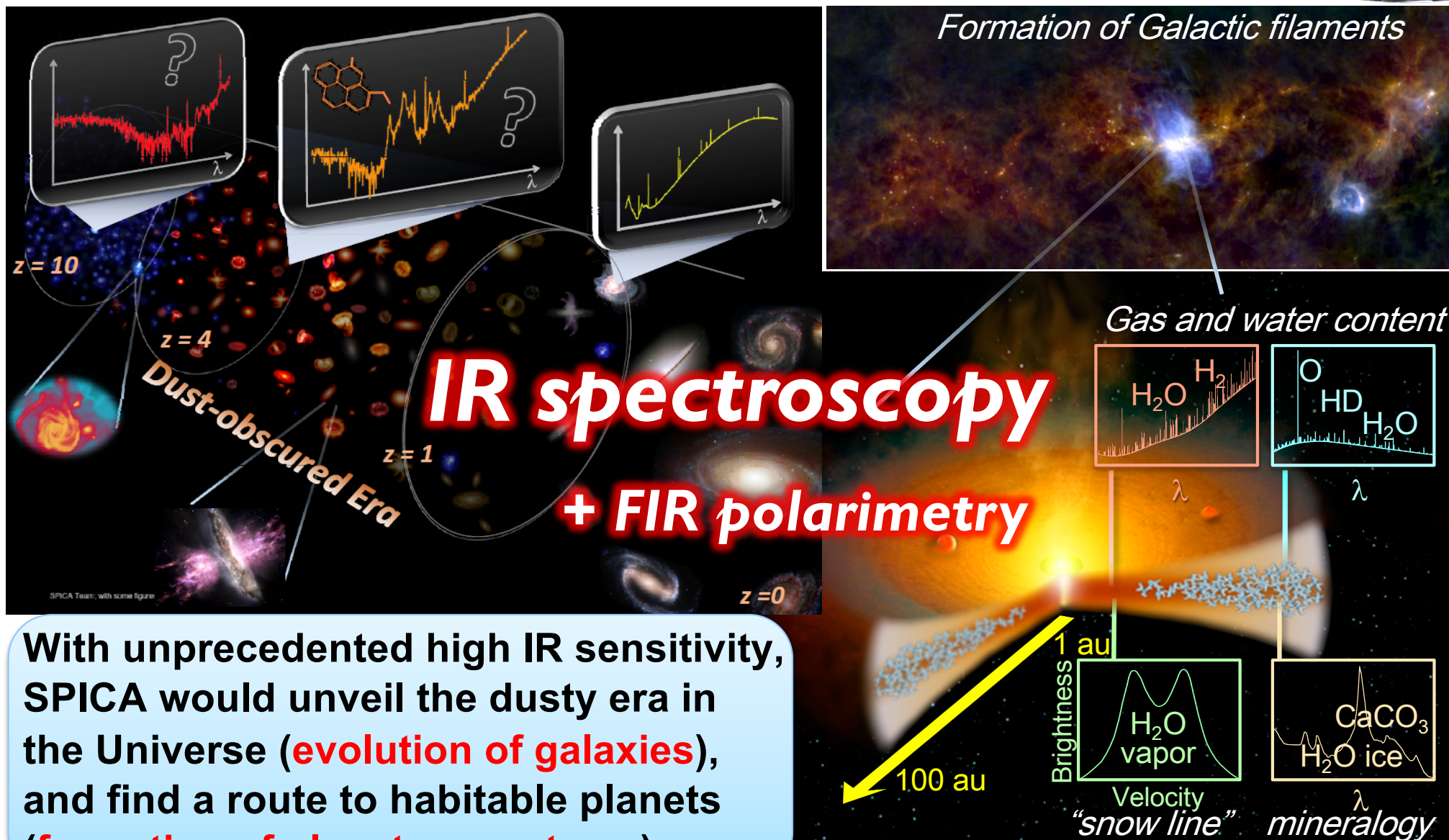
● 星・惑星系形成の解明

- 星形成の環境と過程の理解。
- 生命を育む地球のような惑星がどのように形成されたのか？





SPICAの科学目標



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**).



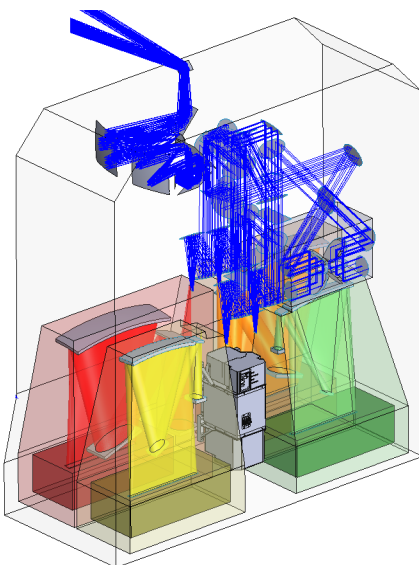
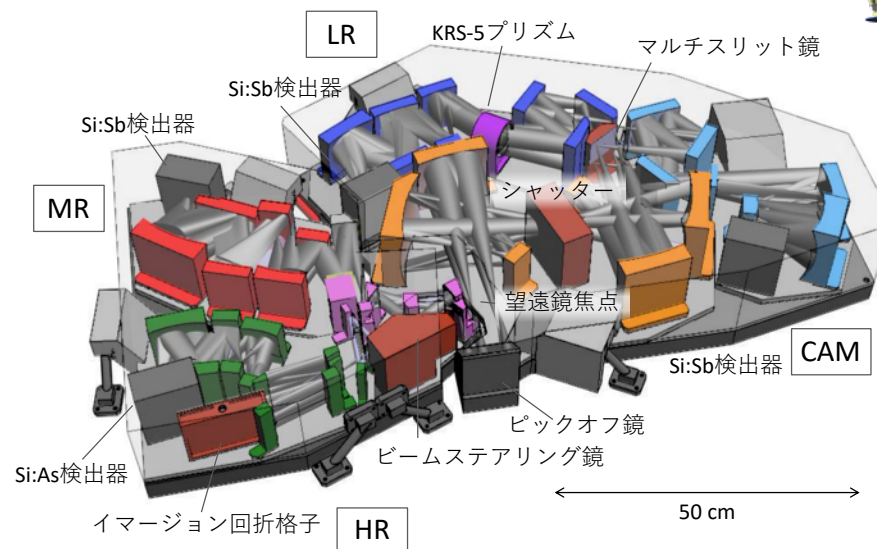
焦点面観測機器

SMI

日本

SPICA MIR Instrument

- LR **R=50-120**, **Si:Sb** 17-36 μ m
- Camera **10'x12'**, **Si:Sb** @ 34 μ m
- MR **R=1300-2300**, **Si:Sb** 18-36 μ m
- HR **R=28000** **Si:As** 10-18 μ m
(w/ Immersion Grating)

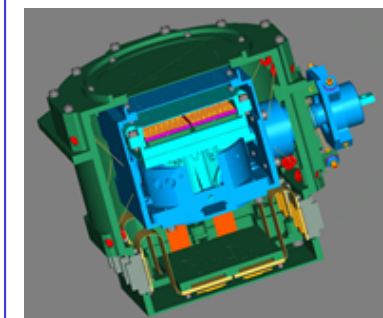


SAFARI/SPEC

SAFARI/SPEC SPICA FIR Instrument

TES Bolometer Arrays operated at 50mK
NEP $\leq 2 \times 10^{-19}$ W/ $\sqrt{\text{Hz}}$

- LR **R=300**, 34-210 μ m, grating
- HR **R=1500-11000** 34-210 μ m
Grating+FTS



B-BOP

欧州

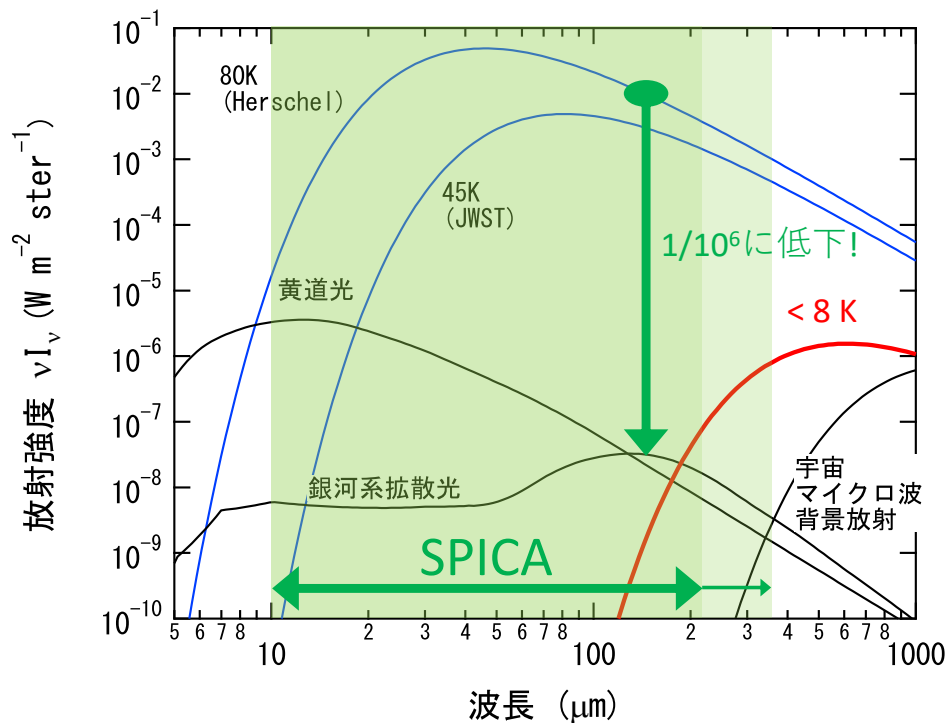
B-BOP

infrared **polarimetry** imager 70-350 μ m

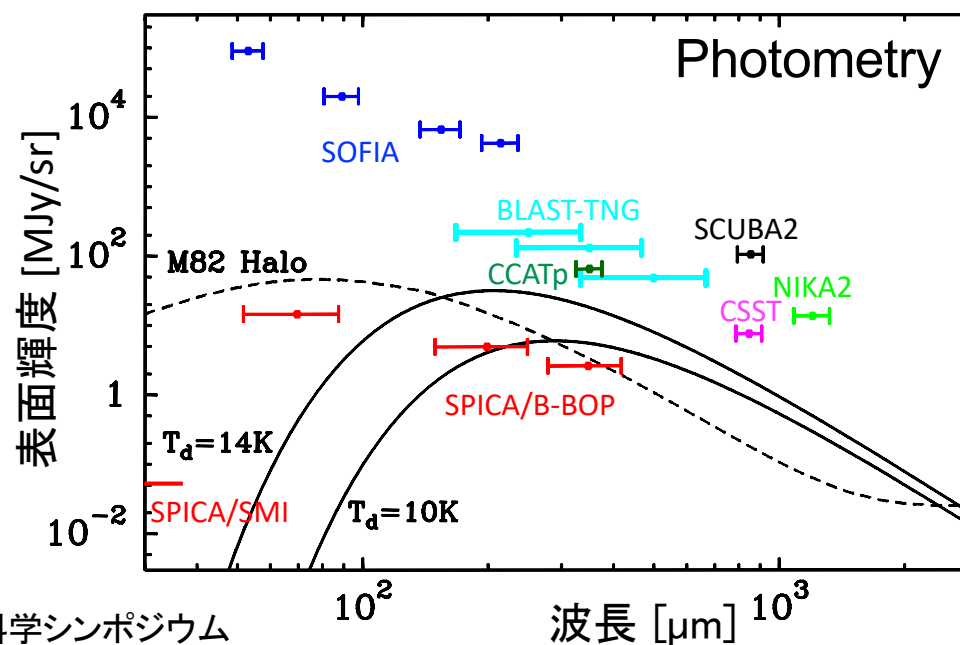
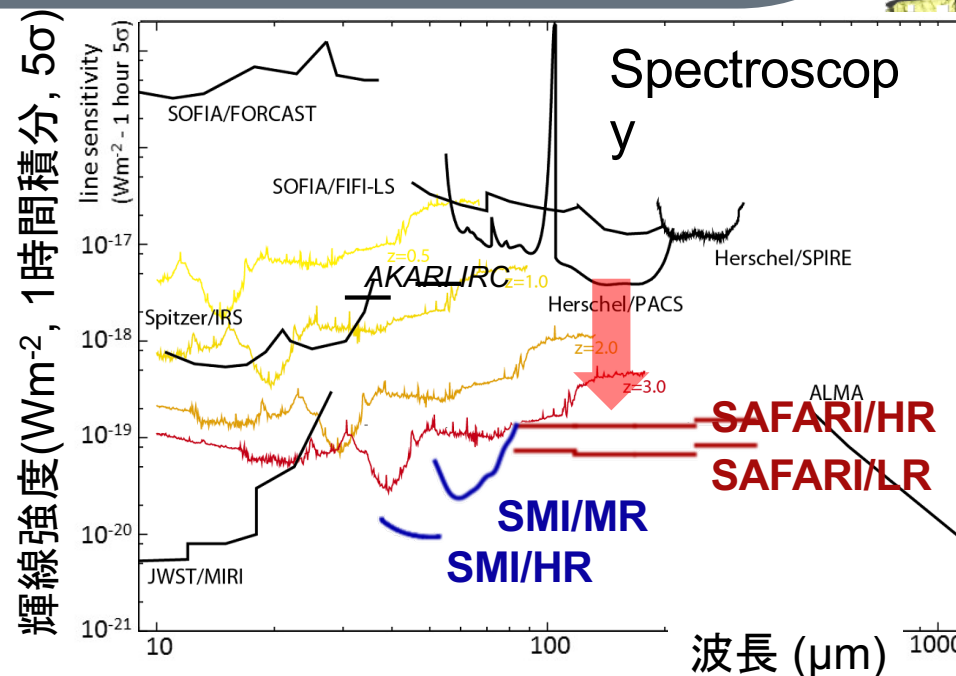


SPICAの観測性能(感度)

冷却望遠鏡により、従来ミッションに対し大きな感度向上



Continuous λ coverage

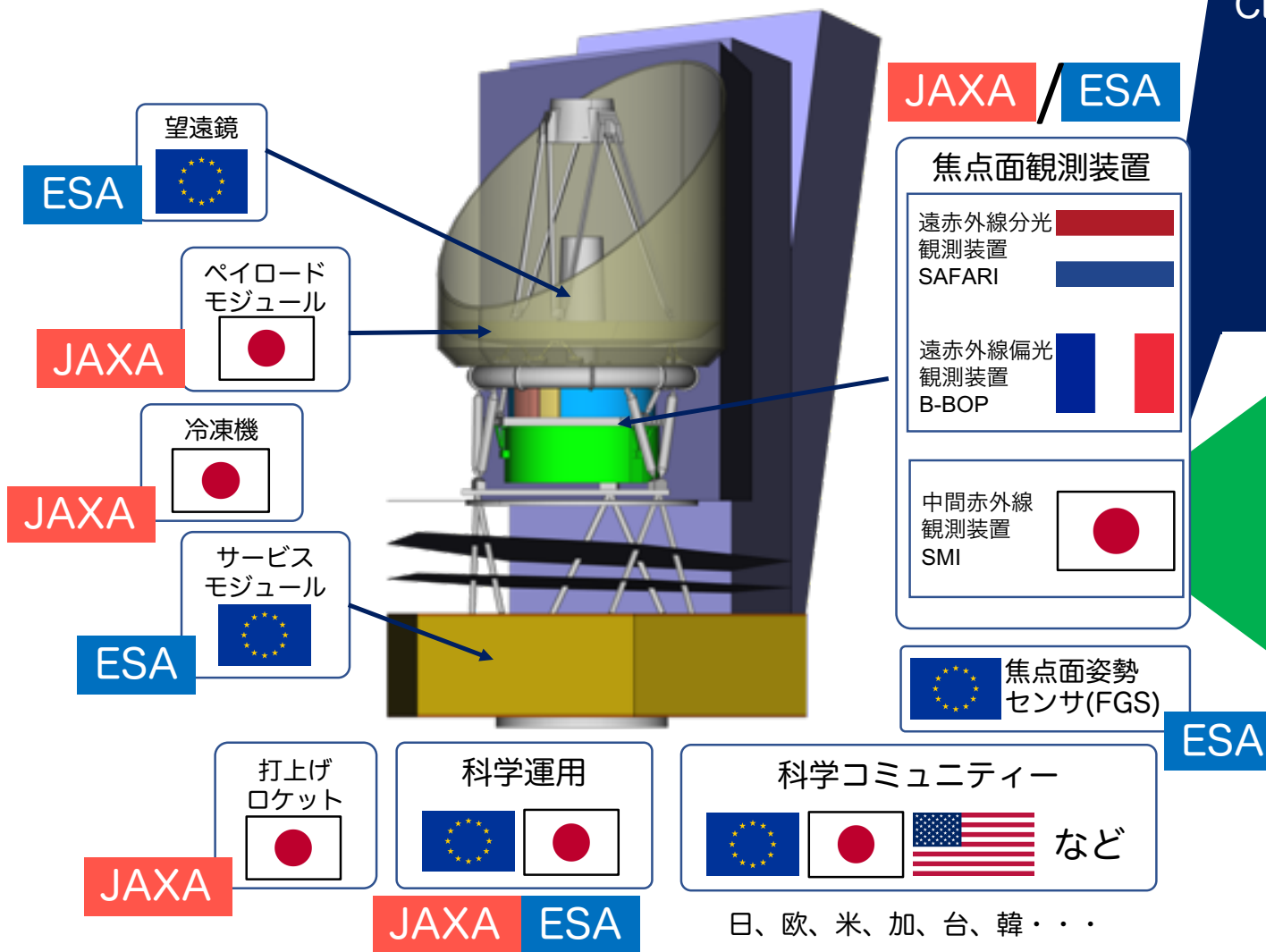




国際協力 役割分担

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



SPICA これまでの概念検討

2018/05 ESA Cosmic Vision M-class 5号機候補として、提案25件から3件の一つに選定。

2018/06-07 **ESA Concurrent Design Facility**
その後の検討に向けた**技術的所**

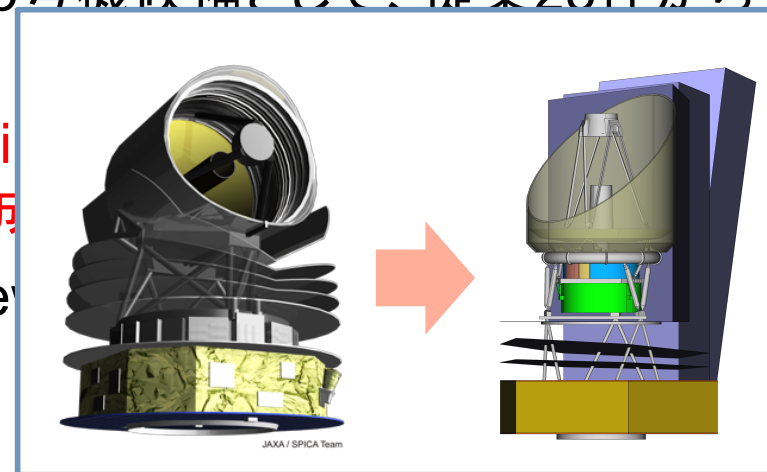
2018/11 ESA Mission Definition Review
開始。

2019/07 ESA 企業検討開始。

2020/01 ESA Key Decision Point (KDP) において、重量超過問題に対応するため望遠鏡を衛星本体に対して**横置きから縦置き**にする変更を決定。

2020/03-06 ESA M5 Mission Consolidation Review (MCR) 実施。

2020/07/02 MCR 終了。Mission Selection Review (MSR) に向けた**Phase-A2 の活動にGoサインが出た**。衛星システムとしての成立解を確認したが、いくつかの技術的課題がReview Board より示された。





ESA Mission Consolidation Review (MCR)

- 目的: 最終選抜に向けた中間審査として、ミッションコンセプトが確立していることを確認する。
- 2020年3~6月に実施
 - SPICA-J担当分は、中間赤外線観測装置 SMI(4月)、ペイロードモジュール PLM(5月)それぞれについて、約1ヶ月かけて実施。その後6月末までフォローアップ。
- 結果
 - 縦置き望遠鏡配置に基づくミッションベースラインと、その予想される性能は、**ミッションの要求を満足**するものとなっている。
 - 衛星全体の質量は、H3ロケットの打上げ能力の中に収まっている。
 - PLM/CRYOシステムとして、**熱・構造的に成立する設計解**を得た。CRYO-SIA 及び SVM-PLM間の**インターフェースが定義**された。
 - マスタースケジュール、試験検証計画の一次案を作成した。
 - MSRに向け、**Phase-A2へ進むことが認められた**。
 - いくつかの技術的課題 (Board Recommendation) の指摘があった。
 - 焦点面姿勢センサ(FGS)機能をSMIに実装(所掌変更)



SPICA 検討中止に至る経緯(1)

- 2020/07/21 MCR完了を受けて、ESA-JAXAの間で保留されていた所掌の議論を再開するため、マネージメントレベルでの会議がもたれた。その席で、**ESA側のコストがM5の上限(550M€)を有意に超過**していることが報告され、M5検討中止の方針を議論。
- 2020/07/27 上記会合の結果を、ISAS執行部よりSPICAチームへ通達。
- 2020/08/03 ISAS執行部に対し、口径縮小、姿勢精度要求緩和などのコスト削減案を提示。
- 2020/08/06 ESAからSPICA PIに対し、望遠鏡1.8m縮小案で検討を継続するか、将来のL-classミッションとして検討するかのオプションが提案された。
- 2020/08/14 ESA Science Study Team (SST) および SAFARI Head of Nations (HoN) での議論をもとに、**1.8m案で検討を継続**することをESAに連絡。



SPICA 検討中止に至る経緯(2)

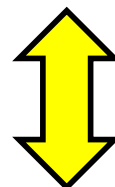
- 2020/08/24 ISAS執行部に対し、SPICA-Jとして口径1.8mへの対応案と技術的成立性の検討結果を説明。執行部から、ミッションスコープが変わる事になるため、ミッション要求変更の妥当性を確認するよう指示。
- 2020/09/29 **ミッション要求変更確認会を実施**。外部有識者2名を含む評価者により、口径縮小に伴い、ミッションの科学的価値は減少するものの十分に高いことが確認された。一方、確認会実施要領に明記されていない、所掌変更に伴う技術的・コスト的成立性に対し懸念が示され、ESAとの所掌に関する議論を所が主導して行うこととなった。
- 2020/10/02 ESA科学局長-ISAS所長会合が開催され、**ISASが提案した所掌案をESAは拒絶**。M5での検討を中止する方針を確認。
- 2020/10/07 ESA科学局長-ISAS所長-SRON所長の三者が署名した、M5検討取り下げのStatementをSPICA consortiumに提示。
- 2020/10/15 ISAS, ESAよりM5取り下げの決定をウェブリリース。

ESA側コスト超過問題

7月20日にコスト評価終了。M5コスト上限(550 M€)に対して有意な超過。

- バスシステム＋望遠鏡＋プロジェクト・運用経費＋他 → **約20%の超過**
- 観測装置全体(SIA)管理＋焦点面姿勢センサ(FGS)
 - M5一次選抜以降、SIAの所掌を巡るESA-JAXAのマネージメントレベル会合が数回もたれたが、そのたびに結論は先送りされた。Phase-A中はESAがSIAを所掌した。
 - 7月2日のMCR終了時に、ESA所掌のFGSが、技術的・コスト的に実現困難であるとされ、ESAから日本所掌のSMIの中で実現するように求められた。
 - SMIチームの検討では、センサ部の実現は技術的に可能であった。しかし、システム機器としてFGSを所掌することにISASが強い懸念を示した。

ESAは**SIA・FGS抜きでもコスト超過の状態**であり、**加えて望遠鏡口径1.8 mでも成立する状態ではなく**、検討の継続は困難であった(ESA側説明)。



2018年7月 ESA CDF検討の結論

"The estimates lead to a total cost at completion that is somewhat over the 550 M€ limit set, however with relative high margins due to the early state of definition of the mission."



検証されるべき課題 / 改善が求められる課題

検証のための委員会を設置

- SPICA検討における課題
 - 要求設定の妥当性 / 計画検討の妥当性 / 検討体制の課題
 - 国際協力における機関マネジメントの妥当性
- コスト超過見込み発覚以降の対応の妥当性 (ESA, ISAS, SPICAチーム)
 - より建設的な解決策の検討が出来たのでは無いか？
- 国際協力における対応 (機関間対応、計画チーム対応)
 - コミュニケーションは充分に行われていたか？
- M5提案取り下げ決定過程の妥当性
 - 十分な根拠と議論のうえで判断が行われたのか？
- 公募競争評価における信頼性・透明性
 - 本来 Mission Selection Review で評価・選抜されるべきものが、そこに至る前に機関の判断で取り下げられた。

SPICA検討中止決定後の活動

- SPICA-Jでは、これまで行ってきた開発・検討の成果を将来ミッションに活用できるよう、**技術ヘリテージ**をとりまとめている。
 - 極低温冷却システムの熱・構造的設計技術の確立
 - 冷凍機システムの構築技術
 - 極低温で動作する低雑音中間赤外線検出器の技術
 - 極低温における光学素子の特性の把握
- また、約70名の研究者が参加した**サイエンス検討班の検討成果**は、「最終報告書」としてSPICA HPから公開している。
- SMI開発のために構築した**大学コンソーシアム(天文、惑星、工学)**の人的ネットワークを維持する。
- ESA SPICA Study Team は、SPICA衛星システムの検討を継続し、2021年前期にレビューを受ける。
- 日欧双方で、それぞれコスト超過やミッション検討中止にいたる経緯について検証し、今後のミッション検討に **Lessons Learned** として活かすための活動を行う。

今後のスペース赤外線天文学について

- SPICAサイエンスのリカバリーをどのように進めるべきか
- そのための人材育成をどのように進めるか
- 日本主導計画/海外計画への参加
- 例えば、、、
 - 日本主導の戦略的中型ミッション: 中間赤外線高分散分光(SMI/HR)
 - 戦略的海外共同計画:SOFIAへの参加の可能性(遠赤外線)
 - 小規模計画: 気球望遠鏡(遠赤外線 [CII]、干渉計など。大学と連携した人材育成)
- 2040年代以降の将来への方向性
 - 欧米の大型冷却望遠鏡(Origins Space Telescope, Voyage2050)への参加
 - 宇宙赤外線干渉計の実現:SILVIAを足掛かりに、重力波干渉計との協調
- **スペース天文学全体の問題**として、どうすべきか



- SPICAは、宇宙進化史、星・惑星形成の解明を目指し、中間・遠赤外線領域において、超高感度の分光・偏光観測を実現する赤外線天体物理学ミッションである。
- ESA Cosmic Vision M5 最終選抜に向けて検討を続けてきたが、7月にESA側コスト超過が発覚したことを契機として、10月に検討中止の判断が下された。
- 中止に至る経緯については、日欧で検証が進められ、Lessons Learned として今後に生かされるようにする。
- SPICAの検討成果を、技術レガシーとして今後のミッション検討に生かされるようにまとめている。(ポスター参照)
- SPICAは構想以来20余年、現在の形になってから約6年、天文コミュニティをはじめとする多くの方々に支えられて検討を進めてきた。これまでのご支援に感謝いたします。



- コミュニティに対して今回の経緯を説明する会合
2021年1月13日(水) 12:15～ on zoom
- 欧州コミュニティを中心に、今回のESAの対応に対する問題の指摘が、Natureに掲載
<https://www.nature.com/articles/d41586-020-03288-z>