

SPICAが目指すサイエンス

尾中 敬¹・河野 孝太郎¹・山田 亨²・金田 英宏³・今西 昌俊⁴・江上 英一⁵・左近 樹¹・長尾 透⁶・
深川 美里³・松浦 美香子⁷・山本 智¹・和田 武彦²・松原 英雄²・中川 貴雄²・芝井 広⁸・SPICA team

¹東京大学; ²宇宙研; ³名古屋大学; ⁴国立天文台; ⁵アリゾナ大学; ⁶愛媛大学; ⁷カーディフ大学; ⁸大阪大学

SPICAは重元素・ダストの進化を軸に、銀河進化と惑星系形成過程の解明に挑戦するミッションである。以下に、M5の提案に向けて欧州側のグループと共同してまとめたサイエンスの内容の概要を報告する。

SPICAが解き明かすサイエンスの主課題

何が宇宙の星生成とBlack holeの成長を制御しているのか? (Figs. 1, 2, 3, 4)

宇宙の重元素はどのようにダストに蓄積され、宇宙初期から現在に至ったか? (Figs. 5, 6)

何が星生成をトリガーし、磁場はどのように星生成に関与しているか? (Figs. 7, 8)

いつ、どのようにガスが進化、散逸し、原始惑星系円盤の中で惑星系が形造られるのか? (Figs. 9, 10)

水、鉱物は惑星系の形成過程でどのように進化し、その形成に影響を与えたか? (Figs. 11, 12)

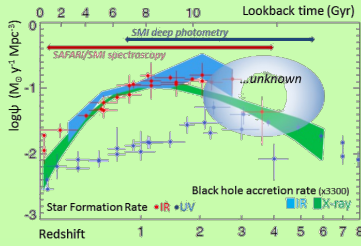


Fig. 1. 宇宙の星生成率: 紫外線(青)及び遠赤外線(赤)観測に基づく見積りとBlack hole 降着率: X線(緑)及び赤外線(薄い青)の観測に基づく見積りを示す(Madau & Dickinson 2014). SPICAの波長範囲は上に示される。SPICAは星生成率, 降着率のピークを挟む赤方偏移>4の領域まで観測し、銀河進化の過程を明らかにする。

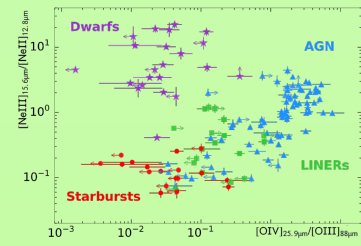


Fig. 2. 赤外線輝線によるAGN, 矮小銀河, Starburst銀河の分類。SPICAは赤外線スペクトルから、AGNの降着率, 星生成率を精度よく求め、赤方偏移~3の平均的な銀河におけるAGN, 星生成活動の役割を定量的に見積もり、銀河進化への影響を解明する (Fig. 3参照)。

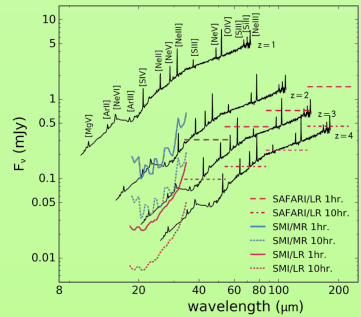


Fig. 3. $L_{IR}=10^{12}L_{\odot}$ にスケールした近傍活動銀河MCG-3-34-64の赤方偏移1-4の赤外線スペクトルとSPICAの感度の比較。SPICAは2000時間のサーベイで赤方偏移4までの1000個以上の銀河のガスの物理状態を明らかにし、赤方偏移3までの平均的な明るさの銀河の星生成、ブラックホール成長の過程を解き明かす。

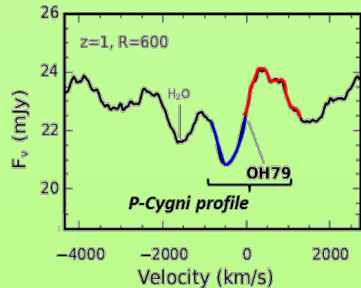


Fig. 4. Herschel/PACSによるMrk 231の観測スペクトル(Spoon et al. 2013; Gonzalez-Alfonso et al. 2014)を $z=1$, $L_{IR}=2 \times 10^{12}L_{\odot}$ にスケールし、SPICA/SAFARI/HRの分解能 $R=600$ で示したスペクトル。SPICAはULIRG中のAGNからのinflow/outflowを赤方偏移~2まで検出・分解し、AGNの星生成活動への影響を定量的に解明する。

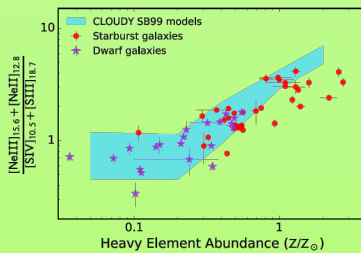


Fig. 5. $[NeII]_{128\mu m}$, $[NeIII]_{15.6\mu m}$, $[SiII]_{18.7\mu m}$, $[SiIV]_{10.5\mu m}$ を使った近傍星生成銀河及び矮小銀河の金属量の見積もり (Fernandez-Ontiveros et al. 2016)。青の領域はCloudyによる見積り。この指標を用いてSPICAは赤方偏移~4までの宇宙における金属量進化を明らかにする。

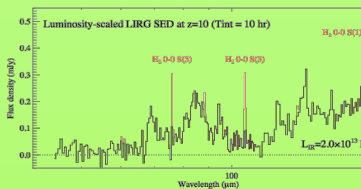


Fig. 6. 赤方偏移10の $L=10^{13}L_{\odot}$ にスケールしたULIRGのスペクトル(Rieke et al. 2009)。数時間の観測でSPICAは衝撃波で励起された水素輝線S(1), S(3), S(5)(赤), PAHの輝線バンドを検出し、宇宙初期のガス, PAHの状態を解明する。

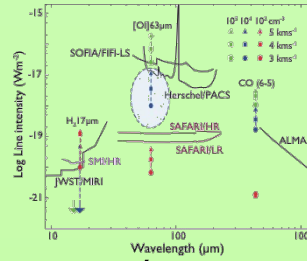


Fig. 7. 低速度衝撃波からの水素分子S(1) 17 μm , [OI]63 μm , CO(J=6-5)輝線強度の予想とJWST, ALMA, SPICAの検出感度の比較 (Draine et al. 1983; Lesaffre et al. 2013)。青の楕円で示した領域はSPICAのみが検出できる衝撃波である。SPICAは星間ガスの乱流のエネルギー散逸から星生成のトリガーとなる現象を解き明かす。

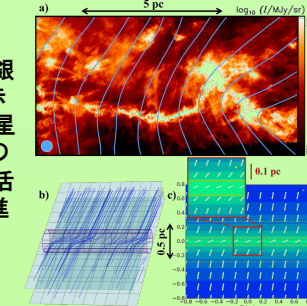


Fig. 8. (a) 牡牛座分子雲のHerschel-SPIRE 250 μm 画像に10'の空間分解能のPlanckの観測による磁場方向(青線)を重ねた図。SAFARI/POLは30倍の空間分解能で磁場の向きを明らかにする。(b) シート状の雲(薄い緑)中のfilament(赤)と磁力線(青)のモデル計算。(c) SAFARI/POLによる(b)のfilamentの200 μm での観測予想図。SPICAは背景の雲からfilament中までの広い空間スケールで磁場の構造を明らかにし、星生成過程における磁場の役割を解明する。

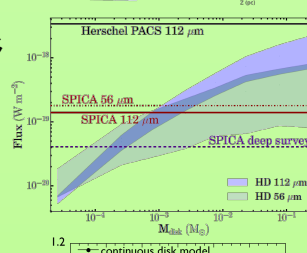


Fig. 9. 距離140pcのT Tauri円盤のHD輝線(J=1-0: 112 μm , J=2-1: 56 μm)強度の予想とHerschel/PACS及びSPICAの検出感度の比較。HD輝線は円盤の内側10-50AUの温度~100Kのガスをトレースする(Trapman et al. in prep.)。SPICAはHD輝線から原始惑星系円盤のガス質量を正確に見積もり、ガス量の進化から惑星系形成過程を明らかにする。

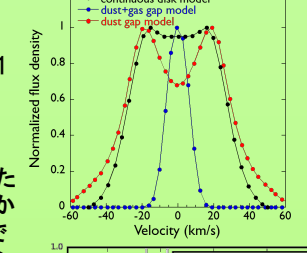


Fig. 10. 原始惑星系円盤のSMI/HRによるH₂O分子輝線17 μm の高波長分解能スペクトルの予想図。軌道運動に伴うドップラー効果による輝線の形から円盤のH₂O分子とダストの空間分布を推定し、雪線的位置を見積もることができる (Notsu et al. 2016)。SPICAは円盤中の物質分布から、惑星系形成の過程を解明する。

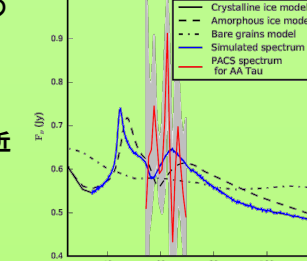


Fig. 11. 距離140pcにある典型的なT Tauri円盤のH₂O氷を入れたSEDモデル。赤はHerschel PACSによるAA Tauのスペクトルを示す。SPICAは積分時間~10分で青のスペクトルが取得できる。H₂O氷の存在の有無(点-破線)、結晶氷の有無(実線と破線)を明らかにし、氷の物理状態から円盤の進化と惑星系形成過程を解明する。

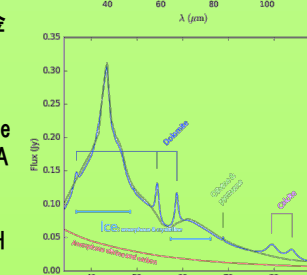


Fig. 12. 50pcにある微惑星残骸円盤のダストモデルスペクトル。赤: 非晶質カンラン石と炭素のみ; 緑: 結晶質及び非晶質H₂O氷を加えた場合; 青: 結晶質鉱物を加えた場合。SPICAは残骸円盤における鉱物の組成・結晶化度を定量的に見積もり、我々の太陽系との比較から惑星系生成に伴う物質進化とその多様性の原因を明らかにする。