

科学的目的	
銀河の誕生と進化過程の解明	銀河の誕生の解明のために重要な天体である宇宙再電離期の「種族III天体」(第一世代の星)の検出に挑む。
	宇宙遠赤外線背景放射の大部分を個別天体に分解するとともに、遠赤外線背景放射の空間揺らぎの起源を明らかにする。
	星間塵の影響を正しく評価し補正したうえで、星間環境の診断とダスト放射の理解を基に、塵に覆われた遠方銀河の物理化学を解明する。
	銀河の進化における超巨大ブラックホールの役割を解明するため、他の手法では観測が困難な星間塵に囲まれた形成中の超巨大ブラックホールを、初期宇宙にいたるまで探査する。
	銀河の星形成史・質量集積史を、銀河団や大規模構造の形成過程と銀河進化への影響との関わりの中で、解明する。

科学的目標
「種族III天体」の候補である遠方(赤方偏移7以上)、(低金属量 $10^{-4}$ 以下)の星からの電離輝線を、放射エネルギーが赤方偏移した赤外線領域の分光観測で検出する。これにより種族III天体の存在を明らかにする。さらに「種族III天体」の形成時の分子雲冷却にかかわる水素分子輝線(赤方偏移3以上)を赤外線分光観測で探査し「種族III天体」形成の証拠を探る。
宇宙遠赤外線背景放射を、「あかり」の3倍以上の空間分解能により個別の遠赤外線天体に分解する。さらに個別天体を取り除いた遠赤外線背景放射ゆらぎを評価し、多波長相関解析等からその起源を解明する。
赤方偏移3までの銀河について、中間・遠赤外線中分散広帯域分光観測を行ない、PAH放射や原子の電離輝線・分子輝線を効率的に捕らえ、その銀河の星間環境と星間ダストの性質を明らかにする。これにより、他波長のように星間塵の吸収補正の不定性なく、初期の宇宙(90億年前まで)の銀河の物理化学状態を明らかにする。
星間塵の影響を受けない赤外線撮像・分光観測により、他の手法では観測が困難な星間塵に囲まれた形成中の超巨大ブラックホールを、現在の宇宙から初期宇宙に至るまで広く探査し、TBD個のサンプルを構築する。これと、銀河形成史の観測結果とをくみあわせて、銀河の進化における超巨大ブラックホールの役割を解明する。
星形成活動のピーク(70-100億年前、 $z=1\sim 2$ )があったとされる時代までの初期宇宙において、放射エネルギーが赤方偏移してきた赤外線領域で、大規模構造をトレースできるほどの広い天域(~300メガパーセク相当)をサーベイし、銀河団や大規模構造を観測する。これにより、宇宙星形成史・質量集積史および銀河進化に対する環境効果を解明する。

フルサクセス	エクストラサクセス
赤方偏移7以上のH $\alpha$ 輝線銀河を探査し、TBD数検出する。また「種族III天体」の候補である低金属存在量( $10^{-4}$ 以下)の星からの水素分子輝線を、遠方(赤方偏移3以上)の銀河の赤外線分光観測で検出する。 【中】	赤方偏移7以上の「種族III天体」の候補からの電離輝線・あるいは水素分子輝線を検出する。 【大】
宇宙遠赤外線背景放射の大部分(80%以上)を遠赤外線天体に分解するとともに、その空間的揺らぎを担う天体の正体についての情報を、多波長空間相関解析等により入手する。 【中】	宇宙再電離期の第一世代星起源と解釈できる赤外線背景放射の空間揺らぎの検出に成功する。 【大】
赤方偏移2~3までの様々な銀河について、広帯域中分散分光観測の統計的研究を行うことにより、初期の宇宙(90億年前まで)の銀河の物理化学状態を明らかにする。 【中】	初期の宇宙(120億年前まで)の銀河の物理化学状態を明らかにする。(観測装置感度の達成度合いに依存) 【大】
赤外線撮像・分光観測により、塵に囲まれた形成中の超巨大ブラックホールを、現在の宇宙から初期宇宙(90億年前まで)に至るまで探査し、TBD数の超巨大ブラックホールを発見する。 【中】	塵に囲まれた形成中の超巨大ブラックホールを、初期宇宙(120億年前)においてTBD数発見し、銀河進化との関連を明らかにする。 【大】
星形成活動のピーク(70-100億年前、 $z=1\sim 2$ )があったとされる初期宇宙において、放射エネルギーが赤方偏移してきた赤外線領域で、大規模構造をトレースできるほどの広い領域(~100MPC相当)にて、銀河団・大規模構造を観測する。 【中】	120億年前( $z\sim 4$ )までの宇宙の星形成史・質量集積史を明らかにすると共に、さらに広い探査領域(~300MPC相当)にて、複数の銀河団からなる大規模構造をとらえ、その宇宙的分散を評価する。 【大】

表2. (1/3) SPICAミッションの成功基準

科学的目的	
<p>物質循環</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・星間塵の起源 (形成過程、破壊過程)</li> <li>・星周塵と星間塵</li> <li>・星間化学</li> <li>・銀河考古学</li> </ul>	大質量星終焉のダスト形成過程を解明し、初期宇宙のダスト起源を探る
	中・小質量星によるダスト形成過程を解明し、天の川銀河中のダスト、即ち現在の宇宙のダストの起源における中小質量星の役割を探る。
	低温高密度分子雲中におけるダスト形成・成長の過程を探る。
	銀河物質進化への超新星の影響、特にダスト生成・破壊及び周囲の星間物質へのエネルギー供給過程を明らかにする。
	銀河内外の物質の流れを捉え、銀河スケールで物質の進化を理解する。
天の川銀河系の恒星分布、ダスト供給源分布、ダスト分布を明らかにし、大局的な物質循環を探る。	

科学的目標
25Mpc以内の近傍銀河内で起こるダスト形成の兆候が見られる超新星(5個)について、爆発後から1~2年間に複数回のデータ取得を行う。これにより、超新星放出ガスからダストが新たに凝縮する過程、また、それらが既存の星周ダストの温度(数百度K)に冷える過程の中間赤外スペクトル変化を調べ、超新星ejecta中で形成されるダストの組成、サイズ分布、質量を詳細に制限する。
系内、及びマゼラン雲中のAGB星、惑星状星雲、新星など進化した中小質量星約30個の星周の希薄なダストシェルを空間分解し、撮像情報から過去の質量放出とダスト形成の歴史を調べる。また星周の分子・ダストシェルの中間赤外・遠赤外分光データから、分子・ダストシェルの組成を調べ、放出ガスから形成されたダストの性質を制限する。
系内の若い星を内包する系内の数10個の低温高密度分子雲の中間～遠赤外分光観測によってiron sulphideの赤外バンドを検出し、Inter planetary Dust Particles (IDPs) 中に見られるGlass with Embedded Metals and Sulfides (GEMS)とInterstellar dustの関連を解明する。これによって低温高密度分子雲中におけるダスト粒子の成長のシナリオを探る。
これまで赤外線で見出されている超新星残骸(系内外合わせて約30個)について、計300 時間(TBD)の中間赤外線・遠赤外線イメージ分光を行い、生成ダスト・組成・量、衝撃派の影響・ISMへの影響を調べる。Objective#5で見出されたSNRについても同様の詳細観測も行う(約100-200 時間)
「あかり」サンプル近傍銀河50個に対し、計600時間の中間・遠赤外線イメージ分光により、ガス診断とダスト(バンド)観測を行う。SNR、HII領域、巨大分子雲、銀河中心、ハローなど、物質の生成・破壊場所を空間分解し、大きな循環と銀河内gradientを捉える。系内物質循環の詳細研究(#1~#4)と相補的。
天の川銀河系の銀河面を近・中間赤外線域で撮像と分光の両面から網羅的に探査する。レッドクランプ星、長周期変光星により銀河系中心を超えて銀河系円盤部の反対側の端まで見通すことで、銀河系円盤部の恒星質量分布を得る。また、ダスト供給源である高い質量放出率を示す各種天体の分布、星間ダストの分布を得る。これらにより、銀河系内の物質循環の具体的な描像を得る。

フルサクセス	エクストラサクセス
25Mpc付近で起こった複数の超新星において爆発後数年にわたる中間赤外分光観測から、形成されるダストと既存のダストを区別し、組成と共にダストの形成量を精度良く見積もる。 【中】	25Mpc付近に起こった統計的に十分な数のさまざまなtypeの超新星について、爆発後数年にわたる中間赤外分光観測のデータから、ダスト形成に必要な条件に対する制限をもとめ、放出された原子ガス、ダストの先駆体となる分子ガス、ダスト放射の関係を明らかにし、大質量星によるダスト形成メカニズムを解明し初期宇宙のダストの起源を得る。 【大】
系内およびマゼラン雲内の数10個の中・小質量星の終焉において形成される分子・ダストシェルの空間構造を詳細に捉え、分子・ダスト形成メカニズムを探る。また、C-rich AGB星周囲で、可視光を熱源とする低輝度なPAH放射の有無を調べ、PAHの形成場所と形成過程に制限を与える。 【中】	晩期型星から放出された原子ガスと、ダストC-richな星の場合、(特にPAH)の先駆体となる分子ガス(acetyleneなど)、及びダスト放射の関係を、統計的に十分な数のサンプルに対して明らかにし、中・小質量星によるダスト形成メカニズムを解明し、現在の宇宙のダストの由来を理解する。また分子シェルの組成を調べMOLsphereの成因を解明する。 【大】
sulpherのダスト層への効率的なdepletionが示唆される系内の低温高密度分子雲数10個について、JWSTではカバーされない/SPICAが感度で勝る20-45μmの分光観測からjorn suldiedの23.5, 34, 38, 44μm featuresを検出し、IDP中のGEMSの分光測定データとの類似性を結論し、分子雲中でのinterstellar dust形成と成長の可能性を探る。 【中】	低温分子雲中でのダストの粒子成長とともに、ALMAプロジェクトとの協調のもとでダスト表面における有機物分子の合成を探り、星間ダストの合成場所として分子雲の役割を理解する。 【大】
系内及びマゼラン雲において既知の超新星残骸約30個について、高感度・高空間分解中間赤外線・遠赤外線イメージ分光の情報から、ジオメトリを考慮して既存のダストと超新星放出物質起源のダストを区別した上で、生成ダストの組成・量を同定し、星間ダストへの還元のプロセスを、形成量と破壊量の収支と踏まえて理解する。【中】	Object #5で見出されたSNRについて、高感度・高空間分解中間赤外線・遠赤外線イメージ分光の情報から、同様にSNRに付随する生成ダストの組成・量を同定し、より多様な銀河環境の下で、より多くのサンプル数を得ることによって、SN放出物質中でのダスト形成とreverse shockによる破壊を経て、空間星間ダストへの還元されるまでのプロセスをより普遍的な視点で理解する。【大】
大きさ5-10分角の異なるハッブル型をもつ近傍銀河50個に対し、銀河全面をカバーする、波長5-210μmの低分散スペクトルマッピングデータを取得する。また、銀河中心領域に対して、波長10-210μmの中分散スペクトルマッピングデータを取得する。これらの銀河共通データセットを用いて、様々な物理環境におけるISM放射を系統的に理解する。また、遠方銀河の物理環境を診断するための道具を構築する。 【中】	未開の波長帯35-60μm帯の高感度スペクトルから、新しいダストバンドやVSGs放射の空間変化に対する詳細情報を得て、銀河ハロー・銀河間空間へ流れ出る、あるいは楕円銀河やSNRの高温プラズマ中で壊れていくダストの特性変化を捉える。物質のlife cycleの終焉を正確に理解することで、将来の銀河・宇宙の運命・宿命を予知する。 【大】
天の川銀河系の、銀経-90° から+90°、銀緯-2° から+2° の範囲を近・中間赤外線域の撮像観測により網羅的に繰り返し探査し、10億個の天体をカタログする。レッドクランプ星、長周期変光星により銀河系中心を超えて銀河系円盤部の反対側の端まで見通し、銀河系円盤部の恒星質量分布を得る。また、ダスト供給源である高質量放出率の各種天体の分布、星間ダストの分布を得る。これらにより、銀河系内の物質循環の具体的な描像を得る。【中】	天の川銀河系の、銀経-60° から+60°、銀緯-1° から+1° の範囲を近・中間赤外線域の分光観測により網羅的に探査する。これにより約1千万天体の分光分類カタログを作成する。天体のSEDから円盤部の恒星質量分布、高質量放出率天体の分布、星間ダストの分布、従って、銀河系内の物質循環をより詳細、精密に理解する。【大】

表2. (2/3) SPICAミッションの成功基準

## 科学的目的

惑星系形成過程の総理解 ・形成中の円盤 (ガス、塵、構造) ・出来上がった惑星系 (残骸円盤の塵の量、 ガス惑星、氷天体)	惑星系多様性解明のため、これまで誰も実現できていない太陽系外惑星の直接撮像による惑星大気組成の観測を、最も観測的有利な波長である赤外線領域において挑戦する。
	原始惑星系円盤のガスの散逸過程および散逸時間スケールを観測し、木星型惑星の形成メカニズム、および地球型惑星の生成条件を明らかにする。
	われわれの太陽系と同様の空間スケールで、惑星系形成により原始惑星系円盤がどのように進化していくのかを解明する。
	多数の主系列星周りの塵円盤の観測により、惑星系の普遍性および多様性を理解する。
	惑星系形成過程における氷の役割と、生命の起源につながる固体物質の供給過程の解明のために、原始惑星系円盤や主系列星の塵円盤中の固体物質、特に氷の分布、物理状態を明らかにする。
	我々の太陽系の姿を明確にし、探査機による太陽系天体の観測結果と天文学的手法による惑星系観測結果を結ぶため、太陽系内の始原天体である氷天体を、太陽系外縁部まで調査する。

## 科学的目標

主星: 惑星のコントラスト比 $10^{-6}$ 以上の観測を実現することにより、系外ガス惑星を直接検出すると同時に、分光観測によりその大気の組成を明らかにする。これを我々の太陽系の惑星系と比較することにより、惑星系の多様性を解明する。 トランジット法を利用した分光観測により、巨大地球型惑星の大気検出を試みる。木星型惑星については、多数の赤外分子バンドの観測により大気組成を詳細に調べる。
原始惑星系円盤中のガス、特に主成分である水素分子ガスを赤外線高感度観測により検出し、残存ガスの量を求め、主星の質量や年齢との相関を調べる。
原始惑星系円盤の高分散赤外線分光観測することにより、ガスのさまざまな成分の輝線強度比を求め、それに基づき円盤の空間構造、物理状態、化学組成の分布を明らかにする。
「あかり」よりも3倍以上良い空間分解能と10倍以上すぐれた感度により、主系列星周りの塵円盤を太陽系と同程度の塵しかない円盤まで検出し、惑星系と塵円盤と相互関係を解明する。
コロナグラフを用いて原始惑星系円盤および主系列星の塵円盤の高感度観測を行い、その進化的関係を明らかにする。主系列星の塵円盤を、「あかり」よりも3倍以上良い空間分解で赤外線分光観測することにより、固体物質、特に氷および微小惑星帯の分布や物理状態を明らかにする。
「あかり」よりも10倍以上すぐれた感度により、太陽系内の氷天体からの熱放射を、太陽系外縁部まではじめて調査する。

## フルサクセス

主星: 惑星のコントラスト比 $10^{-5}$ 以上で近傍のTBD個の天体に対する系外ガス惑星の直接観測を行う。 【中】
惑星系形成領域から放射されると理論的に予測される、多数の輝線(分子、原子・イオン輝線)を多数の前主系列星について探査し、その起源を明らかにする。 【中】
スピッツァー望遠鏡による観測などで、明るい輝線の存在が既に知られる原始惑星系円盤の高分散分光を行い、惑星系形成領域の構造や物理・化学状態の分布を明らかにする。 【中】
「あかり」よりも3倍以上良い空間分解能と10倍以上すぐれた感度により、主系列星周りの塵円盤を、近傍(<20pc)の系については太陽系の10倍程度の塵円盤まで検出し、塵の豊富な系については1kpcの距離に至るまで検出する。
TBD個の原始惑星系円盤や主系列星の塵円盤を、「あかり」よりも3倍以上良い空間分解をもつ赤外線分光観測する。 【中】
「あかり」よりも10倍以上すぐれた感度により、太陽系内の氷天体からの熱放射を、TBDKM@TBDAU太陽系外縁部まではじめて調査する。 【中】

## エクストラサクセス

系外ガス惑星を直接検出し、大気組成を明らかにする。 【大】
多原始惑星系円盤中の分子ガスが、惑星系形成とともに減少していく様子を調べ、木星型惑星生成の状況や地球型惑星生成の初期条件を明らかにする。 【大】
異なる進化段階の原始惑星系円盤を多数観測し、惑星系形成領域の構造や物理・化学状態がどのように進化していくかを明らかにする。あわせて、円盤の進化と主星の質量、連星系の有無などの関係を明らかにする。 【大】
主系列星周りの塵円盤を、近傍(<20pc)の系については太陽系と同程度の塵しかない円盤まで検出し、塵の豊富な系については金属量との関係を明らかにする。 【大】
原始惑星系円盤や主系列星の塵円盤を、太陽系からTBCPC以上の星形成領域まで、赤外線分光観測する。 【大】
太陽系内の氷天体からの熱放射を、TBDKM@TBDAUでTBD個以上太陽系外縁部まではじめて調査する。 【大】

## ミニマムサクセス

上記の基準のうち、【大】を1つ以上達成あるいは【中】を2つ以上達成すること。

表2. (3/3) SPICAミッションの成功基準