

冷却宇宙望遠鏡 PRIMA による赤外線天文学の革新

① ビジョンの概要

宇宙には、まだ私たちの知らない謎がたくさん隠されている。それは、塵に覆われて進行する星や惑星の誕生や、銀河や巨大ブラックホールの成長などである。次世代赤外線宇宙望遠鏡「PRIMA」は従来の感度を一桁以上も上回る観測性能で、宇宙の広い範囲を観測し、従来は見えなかった宇宙を明らかにするための「次世代の眼」として、私たちに宇宙のルーツを理解する力を与え、人類の宇宙観を刷新することを目指す。

② ビジョンの内容

人間の目による観察から始まった天文学は、約 400 年前に望遠鏡が開発されたことで大きく発展した。20 世紀になると、多波長で宇宙が観測されるようになった。このことが宇宙に対する理解を劇的に深化させた。星や惑星が誕生する現場が塵やガスの奥深くであることや、大量の塵に覆われて銀河や巨大なブラックホールが成長していることなどが分かってきたのである。今世紀に入り、ミリ波サブミリ波および近赤外線、X 線で最先端の観測を実現する装置が稼働し始め、また可視光・センチ波でも超高感度観測装置の検討が具体化しつつある。しかし、全電磁波の中で唯一、遠赤外線帯においてだけは、超高感度観測を実現する観測装置が実現されていない。今後、人類が地球型惑星の形成過程を理解したり、どのようにして現在の宇宙の姿になったのかを理解するためには、遠赤外線帯における超高感度観測を実現する装置の具体化が欠かせない。

これまでの研究から、塵に隠された現象を明らかにし、多様な相にある物質からの放射を捉えることができる遠赤外線観測の重要性が認識されている。例えば、宇宙の基本構成要素である銀河、およびその進化に甚大な影響を与える巨大ブラックホールについて、それらの質量成長の大半が、大量の塵に隠され可視光では詳細調査が困難な銀河で起こっていることが知られている。また、惑星形成を理解するための円盤ガス質量と散逸過程の調査には不可欠な重水素分子の放射や、ガス惑星と地球型惑星の形成領域の境界である水スノーライン付近の水分子からの放射は遠赤外線領域に存在しており、惑星形成過程の理解には遠赤外線観測が必須となる。こうして遠赤外線による観測研究の重要性が認識されている中、次世代の遠赤外線宇宙望遠鏡計画は世界で PRIMA だけである。我が国では今世紀初頭から赤外線宇宙望遠鏡 SPICA の実現が精力的に検討された経緯がある。SPICA は 2020 年に計画が中止されたものの、この検討のヘリテージを活用して、遠赤外線天文学の発展を通じた天文学の中長期的発展に我が国が貢献する意義は大きい。

③ 学術研究構想の名称

冷却宇宙望遠鏡 PRIMA による赤外線天文学の革新

④ 学術研究構想の概要

冷却宇宙望遠鏡 PRIMA を国際協力により実現させ、赤外線天文学を刷新する。ハーシェル宇宙望遠鏡の運用終了から約 20 年ぶりとなる遠赤外線宇宙望遠鏡により従来を圧倒する感度での赤外線観測を可能にすることで、(1)惑星形成の初期状態、(2)銀河と巨大ブラックホールの進化、(3)重元素とダストの生成・進化、という課題を主とする課題解明に取り組む(図 1)。日本はスペース赤外線天文学の分野において、1995 年打上の赤外線宇宙望遠鏡 IRTS、2006 年打上の「あかり」赤外線天文衛星、赤外線宇宙望遠鏡 SPICA に向けた検討などの経験を蓄積してきている。この経験や実績を活用し、PRIMA に対して、サイエンス活動・美笹局によるデータ受信支援・冷却システムへの 18K シールド提供・冷却光学系の試験と評価への参加、の 4 項目の貢献による正式参加を目指す。この正式参加により、PRIMA の科学観測時間の 25%を占める PI 観測の検討・準備・科学成果創出に日本が加わることができる。一方、残る科学観測時間で実施する GO 観測によっても日本から多くの科学成果を創出するため、波長や分野の枠を超えた幅広い研究者コミュニティの組織化を進める。

⑤ 学術的な意義



図 1 PRIMA 完成予想図(図内右下)および PRIMA の主要観測対象 (PRIMA GO Science Book vol.2; Moullet et al. 2025 より)

惑星形成の初期条件解明について、原始惑星系円盤から惑星誕生に至る道筋には多くの謎が残されている。特に水 (H_2O) の状態は円盤内の物質の相構造を示唆し、HD 輝線はガス質量の導出に重要な指標となる。PRIMA では高分散分光観測により、 H_2O の原始惑星系円盤での存在や分布を解明し、HD からガス散逸の時期を明確化する。大半の H_2O 輝線は PRIMA がカバーする波長領域に存在するため、低温から高温までの様々な温度領域の H_2O ガスの分布を探ることができる。

銀河進化については、現在の宇宙から宇宙最盛期と言われる赤方偏移 2 までの間の宇宙では、塵に隠された銀河が大半の星形成を担うことが分かっている。また、これらの銀河には巨大ブラックホールが共存しているが、銀河と巨大ブラックホールとが共進化する物理は未解明である。PRIMA は広視野の遠赤外線撮像観測により、塵に覆われて可視光では認識が困難な銀河も含めたサンプルの構築が可能である。更に、遠赤外線に存在する多くの輝線の分光観測から、銀河と巨大ブラックホールの活動性やガスの物理状態を計測できる。これらの情報の統合により、銀河と巨大ブラックホールの共進化の謎を解明することが期待される。

重元素と塵の生成史については、幅広い赤方偏移に存在する銀河に対して高感度かつ広帯域の赤外線分光観測を実施することで電離・中性・分子ガスの輝線情報を得ることにより、宇宙がいかにして様々な物質に富む世界に至ったかを調査する。これまで可視光線領域のスペクトル線を用いた星間物質の重元素量診断が行われてきたが、塵による吸収・散乱による影響により、過小評価されている可能性が指摘されている。赤外線観測によりこの問題は緩和され、星間物質の真の物理化学情報を取得できる。PRIMA では約 100 億年前の宇宙から現在にかけて、ダストや重元素がどれだけのどのような状態で存在し、それが現在の状態に至ったのかを探索する。PRIMA により宇宙の化学進化史の全貌解明というブレイクスルーが得られると期待される。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

直近の遠赤外線宇宙望遠鏡として、欧州宇宙機関(ESA)が 2009 年に打ち上げたハーシェル宇宙望遠鏡があり、2013 年まで運用されたが、70K までしか冷却されなかった事もあり遠方銀河や暗い原始惑星系円盤のスペクトル観測を十分には行えなかった。日本は高感度遠赤外線観測の実現のために欧州と共同して SPICA 計画を進めたが、欧州側の予算超過により 2020 年に検討を中止した。このような状況の中、ハーシェル宇宙望遠鏡よりも 1 桁以上の感度・効率で撮像・分光・偏光観測を行う新たなスペースミッションとして PRIMA 望遠鏡が位置付けられ、これを実現させる必然性が非常に高まっている状況にある。

⑦ 社会的価値

PRIMA が取り組む重要科学課題について、塵に覆われた銀河・巨大ブラックホールや原始惑星系円盤の実態に既存装置を用いて迫ろうとする日本の研究者による成果は数多くプレスリリースが行われ、国民の宇宙観の刷新や知的好奇心の充足に寄与してきている。このため、こうした研究の PRIMA による一層の革新は国民に更なる宇宙像の理解をもたらすと期待できる。

⑧ 実施計画等について

PRIMA は現在、概念検討による計画提案書の作成が国際協力の下で進められている。この提案書を 2025 年 12 月に NASA に提出する。その後、2026 年に最終選考が行われる。2026 年から衛星の設計、コンポーネントと衛星の製造、試験が開始され、2032 年に打ち上げ予定である。打ち上げ後 5 年の運用期間の間に、科学観測時間の 25%を使って PI 観測を実施し、残る 75%の時間を使って公募型観測である GO 観測を実施する。日本では、国内研究者の意見を PI 観測の計画に反映し、また GO 観測の成果創出につながるよう、数年前から研究会やワークショップなどを開催しており、今後も開催予定である。

PRIMA の選定後には、日本担当コンポーネントの EM および FM 製作、さらにアメリカへの納入や、データ受信システム部分の設計、改修、試験を PRIMA の打ち上げ前に行う。打ち上げ後は、JAXA の地上局でデータ受信の一部を担う予定である。日本のチーム (PRIMA-J) は宇宙科学研究所の戦略的海外共同計画として PRIMA に参加することを想定し、検討を進めている。PRIMA-J は光学赤外線天文連絡会 (GOPIRA) を推進母体とするが、PRIMA-J チームは光学赤外線分野に閉じず幅広い波長帯の研究者、理論研究者、惑星科学分野や基礎物理分野の研究者など多様な研究者の参加を得て活動を進めている。PRIMA の製作および運用に必要な総費用として約 10 億ドルを見込んでいる。日本は PRIMA に対して約 10 億円の経費により参加することを検討している。

⑨ 連絡先

稲見 華恵 (広島大学)、長尾 透 (愛媛大学)