

## 赤外線観測用冷却宇宙望遠鏡で革新する銀河と惑星の起源の研究

## ① ビジョンの概要

世界最先端の研究力の維持には光学赤外線天文学の大型計画もスペースへ進出することが必須。銀河と惑星の起源の解明を目指し、宇宙望遠鏡 GREX-PLUS を打ち上げる。他に類を見ない波長 2 ミクロン以上での超広視野撮像とスペースからの高分散分光機能を活用し、取得したデータは世界の天文学のレガシーとなる。

## ② ビジョンの内容

物理学をベースとした現代天文学の究極目標は、宇宙、銀河、恒星、惑星の起源と進化を明らかにすることである。20 世紀後半から続く天文観測技術の革新により、今や、138 億年の宇宙史の 98%を遡るビッグバン後 3 億年の時代まで探査の手は伸びている。しかし残り 2%の時代に、宇宙最初の天体「ファーストスター」の形成と、宇宙最初の恒星の集団である「初代銀河」の形成が起こった。この時代を観測的に明らかにし、宇宙構造形成論の標準シナリオを検証することが観測天文学のフロンティアの一つである。一方、私たちが棲む銀河系の中には、太陽系のような恒星の周囲を惑星が公転する「惑星系」が普遍的に存在することも明らかになった。地球のような岩石惑星のうち、液体水が存在し生命が誕生しうる惑星「ハビタブル惑星」も 20 数例見つかっている。これら惑星系がどのように形成し、進化するのか、そして、生命を宿す惑星がいかにして誕生するのか、この問いに答えることも現代天文学の使命である。

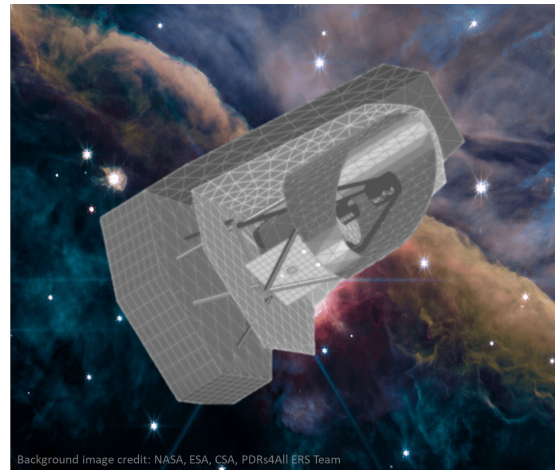


図 1 GREX-PLUS 完成予想図

日本の光学赤外線天文学の将来計画は、地球大気の影響を受けないスペースへ進出することが不可欠である。赤外線観測用冷却宇宙望遠鏡に関する日本の技術資産を活用し、宇宙望遠鏡 GREX-PLUS (Galaxy Reionization EXplorer and PLanetary Universe Spectrometer)を 2030 年代に打ち上げ、超広視野撮像と高分散分光機能による革新的な銀河と惑星の起源の探求を実現する。GREX-PLUS は、世界の将来計画と比べて、(1)観測波長 2 ミクロン以上で唯一の広視野撮像機能、(2)真にユニークなスペースからの赤外線高分散分光機能という特徴を持つ。これらは他に類の無い機能であり、その観測データは長きにわたり人類の知的資産となる。また、最先端研究開発を通じて人材育成と学界のダイバーシティ向上にも貢献する。

## ③ 学術研究構想の名称

赤外線観測用冷却宇宙望遠鏡で革新する銀河と惑星の起源の研究

## ④ 学術研究構想の概要

銀河と惑星の起源の解明は天文学・宇宙物理学や地球惑星科学の究極目標の一つである。ビッグバンから 3 億年未満の宇宙で「初代銀河」を探査するには波長 2~10 ミクロンの近中間赤外線観測が必要である。また、惑星形成現場の水蒸気と氷の境界線「スノーライン」の調査には波長 18 ミクロンの中間赤外線観測が必要である。明るい「初代銀河」は数密度が極端に低く、ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡の視野内で発見するのは難しい。「スノーライン」の公転運動速度を分光的に計測し、その位置を特定するには、ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡の速度分解能は一桁足りない。そこで、近中間赤外線帯の超広視野撮像機能と中間赤外線帯で波長分解能 30,000 (速度分解能 10 キロメートル毎秒)という高分散分光機能を持つ、口径 1 メートル級の宇宙望遠鏡 GREX-PLUS を日本主導で開発する。赤外線観測用検出器の冷却には、世界最高性能を誇る国産の宇宙用機械式冷凍機技術を活用する。宇宙望遠鏡開発、データセンター構築、科学研究を通じて、若手研究者・技術者の育成とジェンダーバランスやダイバーシティの改善にも取り組む。

## ⑤ 学術的な意義

初期宇宙の大質量銀河は、宇宙年齢という制限時間内にそれが形成する必要がある、構造形成過程を非常に強く制限する。ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡の初期観測結果は、 $\Lambda$ CDM シナリオに比べ、より大質量の銀河がより多く存在することを示唆した。GREX-PLUS は、ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡の 130 倍の広視野カ

メラで、より数密度の低い、より初期の宇宙の、より大質量の銀河を探索できる。構造形成論を極めて強力に制限し、 $\Lambda$ CDM シナリオに決定的な審判を下す。

原始惑星系円盤における水と有機分子の分布は、惑星系形成過程や地球上の水(つまり海)の起源、そして、生命起源分子の生成過程解明に必須の情報である。水の分布については水蒸気と氷の境界線である「スノーライン」の位置がキーとなる。地球型惑星の水や有機物は、スノーライン外側の氷ダストや氷微惑星、彗星などが惑星に衝突してもたらされた可能性がある。GREX-PLUS は中心星質量や進化段階の異なる原始惑星系円盤約 100 天体を観測する。この統計的サンプルからスノーラインの時間空間進化を解明し、惑星系形成過程や地球型惑星上の水の起源を議論する。

ブレイクスルーと研究成果:最遠方銀河の発見や、銀河形成の物理過程と  $\Lambda$ CDM 構造形成シナリオの検証。仮に  $\Lambda$ CDM が破綻することがあれば新シナリオ構築を要求することになる。スノーラインの時間空間進化の観測的解明。地球型惑星形成領域より内側にスノーラインが移動する場合、地球のような岩石惑星ではなく、氷惑星となる可能性があり、惑星系形成理論の再構築を要求する。

GREX-PLUS 広視野カメラと高分散分光器は他に類のないユニークな観測機能を持つため、他にも多様な銀河進化研究と惑星科学研究が可能。例えば、銀河系の 100 分の 1 の質量を持つビルディングブロックの探索、初期宇宙の超新星探索、重力波望遠鏡で観測されるブラックホールの起源の解明など。また、太陽系内の氷小天体の探索、太陽系の惑星大気気温構造の解明、太陽系外惑星大気組成の観測、星間での有機分子生成過程と星間化学反応の研究など。

波及効果:  $\Lambda$ CDM 構造形成論の検証は、ダークマターやダークエネルギーの性質に迫り、素粒子物理学をはじめ物理学全般への波及効果がある。スノーラインの時間空間進化の理解により、海惑星・陸惑星の分岐過程の解明や、太陽系内外の惑星大気の観測、太陽系小天体の観測などで地球惑星科学へのインパクトも大きい。

## ⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

GREX-PLUS は、欧米の旗艦宇宙望遠鏡計画には無い独自の機能を追求し、比較的小さい予算規模でもそれらを凌駕する科学成果を創出する。具体的には、ジェームズウェーブ宇宙望遠鏡より 130 倍広い視野のカメラと 10 倍高い波長分解能を持つ分光器を搭載する。同様の広視野カメラを持つユークリッド衛星やローマン衛星とは観測波長帯が異なるため互いに相補的である。大型地上望遠鏡 TMT と比較した場合、スペースからの高感度かつ連続的な観測波長が確保できる点、広視野撮像機能の点から、まったく異なる役割を持つ。GREX-PLUS で見つけた天体を TMT の超高空間分解能で詳しく観測するというシナジーがある。

## ⑦ 社会的価値

銀河と惑星の起源に関する研究は国民の関心が極めて高く、学术界屈指のキラークンテンツである。GREX-PLUS は、銀河サイエンスと惑星サイエンスの両方で世界一の研究成果を創出し、広く国民の理解を得やすく、知的価値も高い。その開発は主に日本国内で行なうため、経済的・産業的価値も高い。

## ⑧ 実施計画等について

### 【実施計画】

R4:「銀河進化・惑星系形成観測ミッション 時限 WG」設置

R6:戦略的中型計画ミッション提案、宇宙科学研究所としてミッション採択

R7-R15:開発期間

R16-R21:運用期間 (R26 頃まで延長期間)

### 【所要経費】

総額 395 億円

### 【実施機関と実施体制】

宇宙望遠鏡 GREX-PLUS は、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所が戦略的に進める中型計画の候補である。参加研究者は、現在、赤外線宇宙望遠鏡「あかり」衛星や、すばる望遠鏡などの開発に携わった研究者を含め、中核メンバーとして 14 名。また、科学検討を中心的に進めるメンバー 19 名、一般メンバー 64 名、総勢 97 名である。幅広い大学研究機関から参加者が集まっている。

## ⑨ 連絡先

山田 亨 (JAXA)、井上 昭雄 (早稲田大学)