

究極のすばる望遠鏡による初期宇宙探査

東北大学大学院理学研究科 教授 兒玉忠恭

1. すばる望遠鏡が世界に誇る 広視野観測能力

ハワイ島マウナケア山の頂にある日本が誇るすばる望遠鏡は、今年 25 周年を迎えました。これまですばる望遠鏡は世界の第一線で数々の新たな発見をしてきました。それを可能にしたのが、他の地上大型望遠鏡にはない最大の特長である広視野観測能力です。

すばる望遠鏡の完成後間もなく Suprime-Cam という、満月に相当する領域を一度に観測できる装置が始動し、稀な遠方銀河の発見や広がった遠方銀河団の観測などで特に威力を発揮しました。10 年前からはその後継装置である Hyper Suprime-Cam (HSC) が満月 9 個分の視野を 8 億 7 千万の画素で覆い尽くし、世界の広視野天文学を牽引しています。

ところで、宇宙は一様等方に膨張しており、我々から遠い銀河ほど速い速度で遠ざかっています。この宇宙膨張効果により、天体から届く光は本来の波長よりも長い波長で観測されます。これを赤方偏移といいます。また遠い銀河ほど我々に光が到達するまでに時間がかかることから昔の状態を見ていることとなります。

上記の装置は可視光線の観測に限られており、遠方の初代銀河については重要な情報をもつ光が近赤外線に赤方偏移してしまうため、残念ながら観測に適しません。したがって、より昔の銀河誕生の現場に遡るには、近赤外線での観測が必須となります。しかし近赤外線を観測する装置はノイズを軽減するために 70K まで冷却することが必要であり、大型化が難しく検出器も大変高額なため、これまで広視野観測装置の製作は困難でした。この難題を大きく克服しようという画期的な計画がここで紹介する ULTIMATE-Subaru (究極のすばる) プロジェクトです (Ultra-wide Laser Tomographic Imager and MOS with AO for Transcendent Exploration with Subaru の頭文字を繋いだもの)。

2. 広視野補償光学と広視野近赤外線 撮像装置の開発

地上望遠鏡からの観測では、大気ゆらぎによって天体からの光が散乱するため、ピンボケ画像になってしまいます。これを解決するのが補償光学と呼ばれるハイテク技術です。明るいガイド星をモニター観測し、大気ゆらぎによる像の乱れをリアルタイムで把握し、望遠鏡内部の鏡の表面の形状を乱れを打ち消すように変形させることで、画像の乱れを補正することができます。

この技術は明るい星のすぐ近くでのみ可能だったため、観測できる領域が非常に限られる問題がありました。しかし新しい技術 (GLAO: 地表層補償光学) では、4 本のレーザービームをおよそ 90km 上空のナトリウム層に照射して 4 つの人工星を作り、それらをガイド星として使うことで広い視野に渡って画像の乱れを補正することが可能になりました。これによって地上からの観測でありながら宇宙望遠鏡並みの解像度を近赤外線で達成できます (図 1 上)。すばる望遠鏡の GLAO システムは国立天文台が 2028 年完成を目指して推進中です。

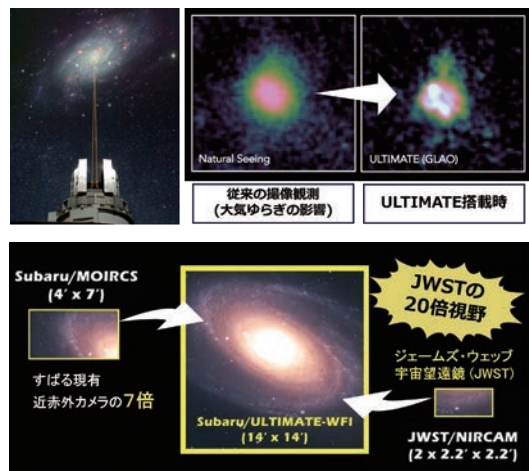


図 1 (上) すばる GLAO が実現する高い空間分解能。
(下) ULTIMATE-WFI の視野比較。2 μ m 帯で世界最大視野となる。(図協力: 小山佑世, 田中壱)

我々はこの新しい技術を最大限に活かすべく、すばる望遠鏡の現在の近赤外線カメラ(MOIRCS)に比べ7倍広い200平方分角の視野をもち、かつ解像度が0.2秒角の広視野近赤外線撮像装置WFI(Wide Field Imager)の開発を行っています。この視野はジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)の20倍の視野に対応します(図1下)。ここで、0.2秒角とは東京から約100km離れた富士山頂にあるソフトボールを見分けるくらいの分解能です。本課題は科学研究費補助金の最大クラスの特別推進研究(代表: 児玉)として採択され、2024年度から開始し、2028年度に装置完成を目指しています。

このように究極のすばるプロジェクトは、GLAOとWFIとが相まって、これまでにない優れた次世代の近赤外線地上観測装置を開発するものです。

3. 究極のすばる望遠鏡が見る未知の初期宇宙

このような装置が完成すると、すばる望遠鏡の広視野探査能力は近赤外線へと拡張され、地上望遠鏡の中で群を抜いた探査能力を手にすることができます。特に初期宇宙において極めて稀な、質量が既に大きく成長した銀河や新種の超新星の発見、空間的に大きく広がった原始銀河団やその周辺の宇宙大規模構造を描き出すことなどに大きな力を発揮することが期待されます。さらに次世代の広視野宇宙望遠鏡と差別化を図るため、さまざまな透過波長幅をもつ特殊撮像フィルター群を大量に搭載して、独創的な遠方宇宙観測を展開します。フィルター交換が容易な地上望遠鏡だから可能です。以下、2つの主要な観測課題を簡単に示します。

3.1 初期宇宙の大規模構造と時間発展

初期宇宙では、生まれたての天体からの強い紫外光によって周辺の中性水素が電離し、それが泡状に広がっていき(電離バブル)、最終的に銀河間ガスが全て電離する(宇宙の再電離)という、宇宙の電離構造の時間発展が理論シミュレーションによって予言されています。WFIに搭載される狭帯域フィルターによって、水素が電離した領域でしか観測できない特殊な銀河(Ly α 輝線銀河)を特定し、それらの空間分布(=電離バブルの分布)を描き出すことで、宇宙の再電離の様子を調べることができます(図2)。

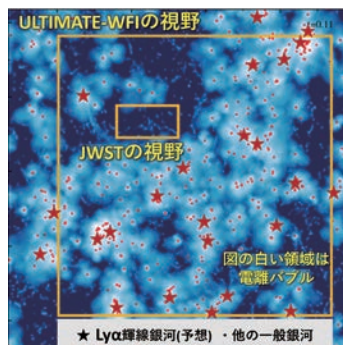


図2 宇宙再電離期の電離バブルの理論予測¹⁾と観測方法。狭帯域フィルターが捉えるLy α 輝線銀河は電離領域でのみ観測できるので、再電離の進行を描き出せる。

3.2 初期宇宙の巨大銀河の加速的形成

現在の標準的な宇宙論および銀河形成論では、初期宇宙でまず小さな銀河が生まれ、それらが重力で集まり、合体を繰り返しながらより大きな銀河や構造ができてきたと考えられています。この理論に従うと、初期宇宙には大きく成長した銀河はほとんど存在しないことが予測されます。逆に、もし初期宇宙で大質量の成熟した銀河が見つければ、現在の銀河形成論、ひいては宇宙論に強い制限を与えます²⁾。WFIの独創的な中間帯域フィルターはこのような銀河がもつスペクトルの段差を正確に捉えることができ、探査に威力を発揮します(図3)。

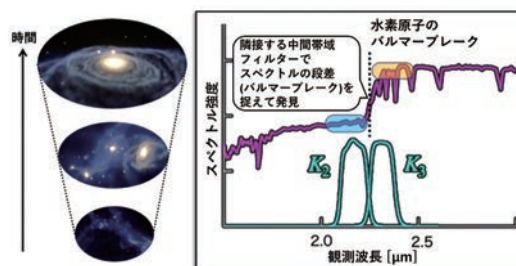


図3 126億年前の成熟した銀河のスペクトル。赤方偏移したスペクトルが観測される。中間帯域フィルターK₂、K₃バンドで銀河のスペクトルの段差(バルマーブレーク)を捉えることで、初期宇宙の巨大銀河を系統的に探査できる。この手法によって銀河形成論や宇宙論を検証する。

以上のように究極のすばるはその名の通りすばる望遠鏡の能力を最大限に引き出し、近赤外波長領域で究極の初期宇宙探査を実現します。乞うご期待！

参考文献

- 1) 矢島 他 (2022), MNRAS, 509, 4037
- 2) Carnall 他 (2023), MNRAS, 520, 3974