

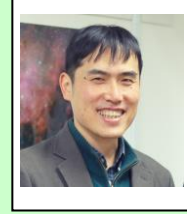
## すばる望遠鏡トモグラフィック補償光学で明かす銀河骨格の確立過程

Establishing processes of galaxy structure revealed by a Subaru tomographic adaptive optics

課題番号：17H06129

秋山 正幸 (AKIYAMA, MASAYUKI)

東北大学・大学院理学研究科・教授



### 研究の概要（4行以内）

銀河の形態を決める星成分の分布や力学構造が宇宙の歴史の中でどのように進化したのかを解明し、銀河骨格の確立過程を明らかにするためには、高空間解像度の観測が鍵となる。本研究はすばる望遠鏡において可視光から近赤外線の広い波長に渡る高解像度の観測を可能にするため、トモグラフィック補償光学を実現することを目的とする。

研究分野：天文学

キーワード：光学赤外線天文学、応用光学

### 1. 研究開始当初の背景

現在の銀河系に見られるバルジと薄い円盤からなる形態はどのように確立したのか？赤方偏移3（現在から110億年前）の遠方宇宙の銀河の観測は、誕生した時期の銀河は、速度分散が大きく乱流が支配的なガス円盤を持つ銀河が多く、また星の密度が現在の銀河に比べて3ケタも高く密集した中心部を持つ銀河も存在することを明らかにした。銀河の形態の確立過程を明らかにする上で、遠方宇宙の銀河から、我々の住む現在の銀河系へどのような力学的な構造の進化をたどってきたのか明らかにすることが重要である。

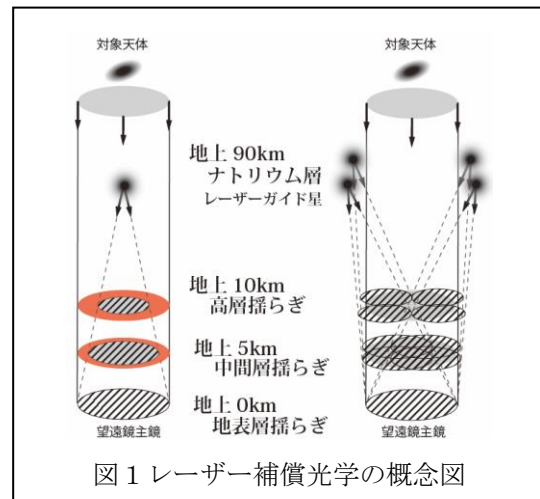
### 2. 研究の目的

本研究では、現在の銀河に見られる形態が確立してきた赤方偏移1から現在の宇宙にある銀河について、銀河の重力場構造を反映する星の空間分布や速度構造を高空間解像度で観測することで、銀河の形態が確立した物理過程を解明することを科学的課題としている。特に銀河内部の各場所の星の運動の様子、どれだけ揃った回転運動をしているのか？あるいはどれだけランダムな運動の成分があるのか？を明らかにすることが重要である。その観測を実現するために、本研究では可視光から近赤外線に渡る広い波長域での高解像度観測を可能とするすばる望遠鏡のレーザートモグラフィック補償光学を実現することを目的としている。この補償光学と近赤外線の撮像観測および可視光の面分光観測を組み合わせることで銀河内部の星の分布と運動の様子を解明する。

### 3. 研究の方法

近赤外線波長域の高空間分解能観測を実現するために、すばる望遠鏡の既存の補償光学であるA0188に、新しく開発されたファイバーレーザー光源を実装し、大気揺らぎの影響を測定するためのレーザー光源（レーザーガイド星）の明るさを10倍明るくする。レーザーガイド星が明るくなることで近赤外線でのすばる望遠鏡の回折限界である0.06秒角の空間分解能が達成できると予想している。

一方で、可視光波長域の高空間分解能観測を実現するためには、より精度の高い補償光学を実現することが必要である。従来の単レーザー光源での補償光学では、図1左に示すようにレーザー光源が有限の高さにあるため円錐状の領域を通してやってくるが、対象



天体からの光は円筒状の大気を通してやってくるという違いがあり(円錐効果)、波面測定にかからない成分が存在するため、補償光学の精度が制約されてきた。我々は図1右のように4個のレーザー光源を用意し、その光源を4台の波面センサーを搭載したトモグラフィー波面測定ユニットで測定することで、天体の光路である円筒状の領域を含む波面の測定を行い、円錐効果を低減する。この場合に4方向の測定結果から大気揺らぎの高さ方向に分解した構造をトモグラフィーの手法で推定し、対象天体からの光の光路で積分することで最適な補償を行う。このトモグラフィー補償光学により、波長が短く、これまでは補償が有効でなかった可視光でもレーザー補償光学が有効となる。

#### 4. これまでの成果

トモグラフィー補償光学を実現する上での一つの鍵は4台の波面センサーを搭載したトモグラフィー波面測定ユニットである。これまでに単体のシャックハルトマン型波面センサーの光学実験から波面測定の性能評価を行っており、その結果に基づいて波面測定ユニットの設計と製作を進めてきた。波面測定ユニットをすばる望遠鏡補償光学 A0188 の後ろに設置することでトモグラフィー波面測定を可能にする。

もう一つの鍵は高輝度ファイバーレーザー光源を用いた4個のレーザーガイド星の実現である。本研究で導入する高輝度ファイバーレーザーについては、すばる望遠鏡へ実装するための設計を完了し、レーザー光の伝送系を含めたシステムの製作を進めている段階である。その詳細は SPIE 論文として報告している(Mieda et al. 2019)。

並行し、観測的研究としてすばる望遠鏡の補償光学やハッブル宇宙望遠鏡の高空間解像度のデータを用いた銀河内部構造の研究を進めている。これまでの研究により、赤方偏移1から現在の宇宙に至る円盤銀河の星質量の分布構造の進化は銀河内部の星形成の積算で説明が出来ることを明らかにした(Abdurro'uf & Akiyama 2017, 2018)ほか、補償光学と狭帯域フィルターを組み合わせた観測による赤方偏移2.5の銀河内部の星形成の分布の解明(Suzuki et al. 2019)や分光観測による銀河スケールに広がった高速のガス噴出流の発見(Chen et al. 2019)などの成果を得ている。

次世代超大型望遠鏡ではレーザートモグラフィー補償光学は必須の技術であり、すばる望遠鏡で確立した技術は Thrity Meter Telescope 計画をはじめとする次世代超大型望遠鏡の高解像度観測装置の開発にもつながる。

#### 5. 今後の計画

2020年度は高輝度レーザー光源のすばる望遠鏡への実装を行い、単体波面センサーを用いてレーザー光源の性能評価の試験観測を11月に行うことを予定している。試験観測の完了の後、A0188補償光学系を用いて赤方偏移1-2の宇宙にある銀河に対して近赤外線での高空間分解能撮像観測を実施し、内部の星質量分布の推定をする。

トモグラフィー補償光学については2020年秋までに必要な物品の製作を完了し、東北大で組み上げ、測定のための制御系を完成させる。これによりリアルタイムの測定が可能であることが確認する。2021年度にはすばる望遠鏡に輸送し、A0188補償光学系と組み合わせた試験観測を行い、性能評価をする。性能を確認したのち、可視面分光観測装置 3DII と組み合わせて、赤方偏移1の宇宙にある銀河に対して可視光での高空間分解能面分光観測を実施し、銀河内部の星の動力学構造の推定を行う。

これまでの準備研究により、赤方偏移1の宇宙にある円盤銀河に対してはハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam で得られたデータを用いてサンプルの構築や銀河内部の星質量、星形成率分布の推定を進めており、これらのターゲットに対して観測を行う。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

“Evolution of spatially resolved star formation main sequence and surface density profiles in massive disc galaxies at  $0 < z < 1$ : inside-out stellar mass build-up and quenching”, Abdurro'uf and Akiyama Masayuki, 2018, MNRAS, 479, 5083

“Current status of the laser guide star upgrade at Subaru telescope”, Mieda Etsuko, Akiyama Masayuki (11人中9番目) et al. 2018, Proc. SPIE, 107033

“Extended star-forming region within galaxies in a dense proto-cluster core at  $z=2.53$ ”, Suzuki Tomoko, Minowa Yosuke, et al., 2019, PASJ, 71, 69

“Discovery of a strong ionized-gas outflow in an AKARI-selected ultra luminous infrared galaxy at  $z=0.5$ ” Chen Xiaoyan, Akiyama Masayuki, et al., 2019, PASJ, 71, 29

“On-going and future AO activities on Subaru Telescope”, Ono, Yoshito H., Minowa, Yosuke, Akiyama, Masayuki (10人中7番目), 2018, Proc. SPIE, 10703E

#### 7. ホームページ等

<http://www.astr.tohoku.ac.jp/~akiyama/>