

## レーザーガイド星補償光学系による銀河形成史の解明

Laser guide star adaptive optics studies of  
the formation history of galaxies

家 正則 (IYE MASANORI)

自然科学研究機構国立天文台・光赤外研究部・教授



### 研究の概要

本研究代表者のグループが特別推進研究(H14-18年度)で開発した188素子補償光学系とレーザーガイド星生成装置を、すばる望遠鏡に実装して共同利用装置として完成させ、129億光年かなたの銀河やクェーサーなどの高解像観測を行い、宇宙の暗黒時代の終焉期における銀河形成史を観測的に解明する。

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 天文学

キーワード： 補償光学、回折限界、レーザー人工星、原始銀河、宇宙再電離

#### 1. 研究開始当初の背景

大気のゆらぎを測り、光波面擾乱を実時間補償して、本来の空間分解能を達成する技術を「補償光学」と呼ぶ。本研究グループは平成14-18年度の特別推進研究「レーザーガイド補償光学系による遠宇宙の近赤外線高解像観測(研究代表者:家正則)」により、(1)188素子補償光学系、および(2)レーザーガイド星生成システムを開発し、平成18年10月に行った試験観測で、世界トップレベルの補正性能と当初目標を上回るレーザー出力を達成した。

#### 2. 研究の目的

本基盤研究(S)では、先の特別推進研究で開発したレーザーガイド補償光学系を、すばる望遠鏡システムに組み込み、効率的な観測を行うのに必要な補助光学系を加えて、共同利用装置として完成させ、本研究の主目的である(1)最遠銀河の高解像観測、(2)赤方偏移1-3の銀河の形態、(3)クェーサーやガンマ線バースターの近赤外分光、(4)クェーサー母銀河の分光、(5)近傍銀河の形成史などの観測的研究を行うことを目指す。

#### 3. 研究の方法

すばる望遠鏡で、実際の観測を円滑に行うために必要となる補助光学系などの開発を行い、レーザーガイド星補償光学系を共同利用装置として完成させ公開する。装置開発者に与えられる観測時間を活用して、これまで

不可能であった遠方宇宙の銀河やクェーサーの補償光学観測を実施し、銀河形成史の解明をめざす。

#### 4. これまでの成果

平成14-18年度に本研究代表者の特別推進研究「レーザーガイド補償光学系による遠宇宙の近赤外高解像観測」により、開発製作し試験観測に成功した188素子補償光学系とレーザーガイド星生成システムに、以下に挙げる補助光学系を追加開発した。

自然ガイド星を用いた観測については、すばる望遠鏡の共同利用観測装置A0188として完成し、平成20年9月より世界中の天文学者の利用に共同利用装置として、提供し公開した。

追加開発した補助システムとしては、(1)低次波面センサー、(2)ビームスプリッター、(3)ビームスプリッター交換機構、(4)大気色分散補正光学系、(5)低次波面センサー用ガイド星捕捉光学系、(6)高次波面センサー制御光学系、(7)校正用光源がある。いずれも既製品は無く、本グループが新規設計して制作した(Hayano et al 2008)。

レーザーガイド星を用いる観測については、レーザー送信望遠鏡等の光学調整を進めた結果、高度90kmの上空で11等星相当の明るさで発光するレーザーガイド星を、所望の観測位置に発生させるシステムを完成

した。全体系が大変複雑なため、すばる望遠鏡のシステムとして完成し、安定運用に至るまでに何段階もの技術試験が必要であったが、最終総合試験と本研究目的の観測は2010年秋から開始できる予定である。

装置開発に平行して観測的研究も勢力的に進めた。すばる深探査領域で本研究グループが系統的に探査した結果、赤方偏移5.7、6.6、7.0の遠方銀河のさらなる系統的探査観測により、宇宙の再電離時期を特定する研究を進めた(Iye 2008; Ota et al. 2008)。分光観測でその赤方偏移の測定がなされた遠方銀河の上位十三位までは本研究グループの発見で独占している。新たな特殊フィルターを制作し、さらに遠方の赤方偏移7.3の銀河候補天体を数例発見し、2010年春に分光観測を行い解析を進めている。これにより、最遠方銀河の世界記録を自己更新できる可能性がある。

レーザーガイド星システムを用いると、本研究代表者らが発見した赤方偏移7.0の最遠銀河I0K-1などを約10倍の空間解像度で観測することが可能になり、形成期の銀河の構造の観測から形成過程に迫ることができるはずである。具体的な観測法やターゲットを検討し、またキューサーやガンマ線天体の高解像撮像と高分散分光観測の計画策定を進めた。

一連の探査のなかで距離としては四番目となるが、極めて大きく広がったライマン $\alpha$ 輝線銀河を発見した(Ouchi et al. 2009)。129億年前に、すでに大きな原始ガス銀河があったことが示された。

共同利用観測の成果の中では、本研究分担者の早野が参画した研究成果として、太陽類似のG型星GJ758を補償光学装置で像を絞り、人工日食を起こしてその周辺の暗い天体を撮影する手法を用いて、始めて太陽系外惑星GJ758BとCが撮影された。この発見はTime誌が選んだ2009年の科学上の十大発見の一つに選ばれた成果であり、本研究無くしては成し得なかったものである。

## 5. 今後の計画

これまでに製作したコンポーネントの最終調整、組合せ試験などを進め、188素子レーザーガイド星補償光学系の総合試験、および総合試験観測を進め、2010年度末から共同利用観測を開始する。

2010年秋からのレーザーガイド星補償光学装置を駆使した観測開始に向けて、装置開発者グループに与えられる保証時間

20夜相当分の、執行計画を定めるため、本研究分担者、連携研究者などを軸にサイエンス検討会をこれまで二度開催してきたが、2010年5月に第三回検討会を開催し、観測計画について検討を深める予定である。

## 6. これまでの発表論文等

以下三件の学術受賞があった。

**仁科記念賞受賞**(2008年12月5日): 家正則

「すばる望遠鏡による初期宇宙の探査」

**井上学術賞受賞**(2010年2月4日): 柏川伸成

「すばる深宇宙探査計画による銀河形成史の研究」

**文部科学大臣表彰**(2010年4月13日): 家正則、

高見英樹、早野裕、「望遠鏡の視力を高めるレーザーガイド星補償光学系の研究」

主な学術成果論文としては

Iye, M., "High redshift galaxy surveys", SPIE(総会招待講演), 7016, 1-10 (2008)

Ouchi, M., Kashikawa, N., Iye, M. 他., "Discovery of a Giant Ly $\alpha$  Emitter Near the Reionization Epoch", ApJ, 696, 1165-1175 (2009)

Ota, K., Iye, M., Kashikawa, N. 他., "Reionization & galaxy evolution probed by  $z=7$  Ly $\alpha$  emitters", ApJ, 677, 12-26 (2008)

Hayano, Y., Takami, H., Iye, M.; "Current status of the laser guide star adaptive optics system for Subaru Telescope", SPIE.7015, 1-8 (2008)

Ito, M., Hayano, Y., Takami, H., Iye, M.; "High-power laser beam transfer through optical relay fibers for a laser guide adaptive optics system", PASJ, 61, 763-768, (2009)

McGrath, E., Iye, M.; "Morphologies and Color Gradients of Luminous Evolved Galaxies at  $z \sim 1.5$ ", ApJ, 682, 303-318, (2008)

## 解説記事

家正則, 宇宙の夜明けに迫る—最果ての銀河探査—, パリティ 23, 11, 4-14, (2008)

## 新聞報道

宇宙は近くなった 最古銀河とらえた  
技術、読売新聞、2009年10月23日  
すばる望遠鏡10年 遠方宇宙研究世界を  
リード、読売新聞、2009年9月6日

ホームページ等

<http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~iye/>