

10-511 初期宇宙史の観測的研究とレーザーガイド星補償光学装置の開発
Observational study of the early history of the Universe and the development of
a laser guide-star adaptive optics system

自然科学研究機構国立天文台教授 家 正 則
Masanori Iye

略 歴 昭和24年8月13日生

- ◇ 47年 東京大学理学部天文学科卒業
- ◇ 49年 東京大学理学系大学院修士課程修了
- ◇ 52年 東京大学理学系大学院博士課程修了
(理学博士)
- ◇ 52年 日本学術振興会奨励研究員(10月まで)
- ◇ 52年 東京大学理学部天文学科助手
- ◇ 56年 東京大学東京天文台助手
- ◇ 61年 東京大学東京天文台助教授
- ◇ 63年 国立天文台助教授

平成 4年 国立天文台教授

受賞歴 平成 4年 物理論文賞

- ◇ 11年 第47回菊池寛賞
- ◇ 17年 日本天文学会2004年度欧文研究
報告論文賞
- ◇ 18年 日本天文学会2005年度欧文研究
報告論文賞
- ◇ 18年 日本光学会2006年度光設計特別賞
- ◇ 20年 仁科記念賞
- ◇ 22年 文部科学大臣表彰

業績の概要

家正則博士は、すばる望遠鏡を用いて人類が見た最も遠い銀河を129億光年彼方に発見した。約137億年前のビッグバンで始まり、膨張とともに一旦冷えて中性水素原子で満たされた宇宙は、やがて誕生した銀河からの光で暖められ、再び電離する。「宇宙の夜明け」とも呼ばれるこの現象の起きた時期は、これまで解明されていなかった。遠い銀河の上位20位までの大多数が、家博士のグループによるすばる望遠鏡での発見で占められている。遠い銀河ほど昔の宇宙の姿を反映する。家博士らはその解析から宇宙の夜明けがビッグバン後約8億年の時代に起きた可能性を初めて示した。

家博士はまた、すばる望遠鏡の構想段階からコンピュータ制御による高精度鏡面の維持法を提案し、実現にこぎつけた。すばる望遠鏡は高感度高画質の望遠鏡として定評があるが、家博士らはその解像度をさらに10倍にする「レーザーガイド星補償光学装置」を開発した。この「ハイテック眼鏡」は、天体からの光が空気のゆらぎで乱されるのを実時間で測定して直す高度な光制御技術だが、眼科医療、レーザー加工、マイクロ波送電、レーザー核融合などへも応用が広がり始めている。

このように、家博士は天文学における学術研究と技術開発の両面で、それぞれ国際的にも広く知られた大きな成果を挙げている。

家博士の業績は、(1)すばる望遠鏡を駆使した観測の研究で、初期宇宙の歴史を解明し、銀河形成による「宇宙の夜明け」がそれまで考えられていたより遅い時期に起こったことを明らかにしたこと、及び(2)世界でも最高性能を誇る8mすばる望遠鏡の建設にその計画当初から中心的役割を果たし完成させ、さらにその観測性能を10倍に向上させる「レーザーガイド星補償光学系」の開発に成功したことにある。

(1) 初期宇宙史の観測的研究

宇宙は約137億年前にビッグバンと呼ばれる高温高密度状態から始まり、急激な膨張により38万年後にはプラズマ状態から冷えて、陽子と電子が結合した中性水素原子が主となった。その後およそ3億年後から、原始銀河の中で最初の星々が生まれ始めたと考えられている。輝き始めた星からの紫外線で、宇宙空間の中性水素原子は再び暖められて、電離すると考えられてきた。実際、これまでの研究でビッグバンから約10億年後には、宇宙空間の物質は完全に電離していることが確かめられている。

家博士は、すばる望遠鏡の主焦点カメラに自ら設計開発した特殊フィルターを装備して最も遠い銀河の探査観測を行い、2006年に129億光年かなたの銀河IOK-1を発見した¹⁾。これは若い原始銀河が発する水素原子のライマン α 輝線に狙いを絞り、赤方偏移したライ

マン α 輝線を放つ銀河を探すという戦略で達成されたものである。この記録は2010年末まで破られなかっただけでなく、最遠方銀河の上位20位までの大多数が、家博士たちのグループがすばる望遠鏡で発見したもので占められている。129億光年かなたの銀河の姿は、129億年前（ビッグバンから8億年後）の姿であり、より遠い銀河を観測するほど、宇宙のより昔の姿を直接見ることができる。この意味で、家博士たちはすばる望遠鏡を用いて「宇宙考古学」を研究しているといえる。

世界記録を作っただけでなく、これらの遠い銀河の探査観測から、ビッグバン後8億年の時代と10億年の時代では、水素のライマン α 輝線を手がかりとして見える銀河の数に著しい差があることを発見した。家博士たちはこの発見が、若い銀河からの紫外線で宇宙空間の水素原子が再電離する「宇宙の夜明け」がこの時期に起こった可能性を指摘した¹³⁾。宇宙背景放射の分析からは再電離が起こったのはビッグバンから4-5億年後と推定されていたが、銀河の観測から実際には、より遅い8億年前後の時期であったことを解明した。この研究成果はすばる望遠鏡でしか為し得なかったものであり、内外でも大変注目されている^{4,5)}。

(2) レーザーガイド補償光学装置の開発

家博士は1984年から、すばる望遠鏡の建設構想を練るなかで8m主鏡の能動支持法を提案し、1991年から9年がかかりでハワイ島マウナケア山頂にすばる望遠鏡を完成させた^{6,7)}。すばる望遠鏡は平均解像力0.6秒角を実現し、世界最先端の望遠鏡として2000年から世界中の天文学者に利用されている。寄せられた観測提案は、国際審査委員が吟味採点し、優れた提案のみが採択される。前記(1)の研究はこれらの審査を経て採択された研究テーマの成果として得られたものである。

家博士は、別のグループを率いて望遠鏡の解像力をその理論限界にまで高める「補償光学装置」の開発を行い、第一世代の36素子補償光学装置を2002年までに完成した⁸⁾。この実績を踏まえて、2002年から文部科学省科学研究費補助金特別推進研究の補助を得て、すばる望遠鏡の空間解像力（視力）を10倍に高める「レーザーガイド星補償光学系」を開発し、すばる望遠鏡に実装して、実際に0.06秒角の分解能を実証することに成功した^{9,10)}。補償光学装置は、大気のゆらぎによる光の乱れを実時間計測する波面測定装置と、光の乱れを直す小型の高速可変形状鏡からなるが、開発チームを率いてこれらを製作した。補償光学系では観測天体の近くにある明るいガイド星からの光の乱れ具合を測る必要があるが、都合の良いガイド星があるのはごく限られた場合でしかない。そこですばる望遠鏡から高出力レーザーを放って、上空90kmの大気中で光る「レーザー人工星」を観測天体のすぐ近くに作る

ことで、この問題を解決した。

本技術は天体観測の性能を格段に向上させるために開発したものであるが、画像の事後処理ではなく、光ビーム波面を直接制御する技術として、検出解像度の改善や、レーザービームの高輝度化への応用が考えられる。具体例として、眼科医療、レーザー手術、リモートセンシング、光通信、レーザー加工、レーザー核融合、レーザー避雷、レーザーウラン濃縮など広い分野での応用に関心が高まりつつあり、実際に眼底診断やレーザー核融合などでは、応用例が生じ始めている。

補償光学系の開発は、世界でも米国のケック望遠鏡、ジェミニ望遠鏡、および欧州南天文台など数グループが取り組んでいるが、レーザーガイド星生成装置用に安定な全固体和周波ナトリウムレーザーの開発や、フォトニック結晶光ファイバーを用いた伝送する方式を実証し、安定で補償精度の高いシステムを構築した。

業績に関する主要文献

- 1) **Iye, M.**, Ota, K., Kashikawa, N., et al. "A galaxy at a redshift $z = 6.96$ ", ネーチャー誌, Nature, Vol.443, 186-188 (2006).
- 2) Kashikawa, N., Shimasaku, K., Malkan, M., Doi, M., Matsuda, Y., Ouchi, M., Taniguchi, Y., Ly, C., Nagao, T., **Iye, M.**, et al. Astrophysical Journal, Vol.648, 7-22 (2006).
- 3) Ota, K., **Iye, M.**, Kashikawa, N., et al. Astrophysical Journal, Vol.677, 120-123, (2008).
- 4) **Iye, M.**: "High redshift galaxy surveys", 国際光工学会 (SPIE) 全体会特別講演, Proc. Vol.7016, 1-11, (2008).
- 5) 家正則: "宇宙の夜明けに迫る—最果ての銀河探査—", パリティ, 第23巻, 11月号, 4-14, (2008).
- 6) **Iye, M.**, Karoji, H., Ando, H., et al. "Current Performance and On-Going Improvements of the 8.2m Subaru Telescope", Publication of Astronomical Society of Japan, 56, 381-397, (2004).
- 7) 家正則: "すばる望遠鏡", 岩波ジュニア新書 (2003).
- 8) Takami, H., Takato, N., Hayano, Y., **Iye, M.**, et al. "Performance of Subaru Cassegrain Adaptive Optics System", Publication of Astronomical Society of Japan, Vol.56, pp.225-234, (2004).
- 9) Hayano, Y., Takami, H., Guyon, O., Oya, S., Hattori, M., Saito, Y., Watanabe, M., Murakami, N., Minowa, Y., Ito, M., and **Iye, M.**: "Current status of the laser guide star adaptive optics system for Subaru Telescope", 国際光工学会 (SPIE) Proceedings, vol.7015, p.25-34, (2008).
- 10) 家正則: "ほけもゆらぎもキャンセルしてしまう補償光学", 科学者が語る科学最前線 見えてきた! 宇宙の謎, 生命の謎, 脳の謎, 自然科学研究機構シンポジウム収録集1, 立花隆/クバプロ, 185-201, (2008).