

早野 裕、高見 英樹*

Y. Hayano, H. Takami

郵政省通信総合研究所、*国立天文台

Communications Research Laboratory, *National Astronomical Observatory

Abstract

A sodium laser guide star system makes an artificial star in the sodium layer located at the altitude of 90 km. We use a laser guide star as a reference star of adaptive optics system to increase the observable astronomical objects. In this paper, we introduce the prototype of a sodium laser guide star system using with the adaptive optics system for Cassegrain focus of Subaru 8.2-m telescope.

1. はじめに

天文観測用の補償光学システムは、大気ゆらぎを実時間で補償し、望遠鏡の結像性能を最大限にするために用いられる⁽¹⁾。補償光学システムは、大気を通過した参照光源の波面を波面センサーで測定し、測定された波面が大気を通過する前の波面（通常平面波を仮定）になるように可変形鏡で補正する。観測天体が、波面を測定するのに十分明るくてコンパクトな天体ならば、参照光源として用いることができる。しかし、観測天体が広がっていたり、暗かったりすると、波面の測定精度が悪くなり、補償光学システムが十分機能しなくなる。このような場合、観測天体近傍の明るくてコンパクトな天体を参照光源として用いる。ただし、参照光源と観測天体が isoplanatic angle よりも離れてくると、それぞれの光が通過する大気ゆらぎが異なるため、補償光学システムが効かなくなる⁽²⁾。isoplanatic angle は観測波長が短くなるほど小さくなる。天球上の任意の観測天体に対して、波面測定用の明るくてコンパクトな自然の天体が isoplanatic angle の範囲内に見つかるとは限らない。例えば、現在製作中のすばる望遠鏡カセグレン焦点補償光学システムでは、 $2.2 \mu\text{m}$ の観測波長帯で約 10%~20% の天球をカバーする⁽³⁾。

観測天体の近傍に人工星をつくれれば、天球のカバー率は向上させることができる。人工星の候補として最も有力なのが、高度 90km 付近にあるナトリウム層によるレーザガイド星である⁽⁴⁾。これは、地上からナトリウム D 線のレーザ光を打ち上げて、ナトリウム層を励起させ、後方散乱光を人工星として参照光源にする方法である。ただしこの方法は、レーザガイド星の天球上の位置が、レーザ送信望遠鏡の振動などの影響で、天体の日周運動に同期させることができないという問題点がある。そのため、自然ガイド星でレーザガイド星の相対位置を測定して、日周運動に同期させるといった対策が必要である⁽⁵⁾。また、レーザガイド星は有限の距離にあるため、通過する大気ゆらぎの範囲がレーザガイド星の光と自然星の光とで異なるという問題もある⁽⁶⁾。

我々は、すばる望遠鏡のカセグレン焦点補償光学システムの天球カバー率を向上させるために、ナトリウムレーザガイド星の開発計画を検討している。レーザーガイド星を日周運動に同期させるために、近赤外線波長域で自然ガイド星の位置を測定する予定である。我々は、このレーザーガイド星システムにより、 $2.2 \mu\text{m}$ の観測波長帯で、ほぼ全天をカバーすると見積もっている。本研究会では、ナトリウムレーザガイド星のプロトタイプシステムの準備を開始したので報告する。

2. 必要なレーザーの性能

近赤外線波長域に最適化したすばる望遠鏡カセグレン補償光学システムに必要な基準星の明るさは、可視光領域で12~13等級である。ただし、レーザーガイド星は光が大気ゆらぎ層を往復するので、自然星の $\sqrt{2}$ 倍の大きさに広がる。従って、自然星より二倍(0.8等級)明るいレーザーガイド星が必要となる(11~12等級)。すばる望遠鏡が建設されるハワイ島マウナケアでのナトリウム層の気柱密度の平均値およびその季節変動、ナトリウム層の飽和する条件などを考慮して、平均出力4Wの連続波レーザーを用いると、十分な明るさのレーザーガイド星が得られると見積もった。

3. ナトリウムレーザーガイド星のプロトタイプシステム

現在、準備しているプロトタイプのレーザーシステムは、通信総合研究所の光通信地上センターのクーデ室の光学定盤に設置されている。アルゴンイオンレーザーを励起光源にして、リングレーザーに色素 Rhodamin 6G を循環させ、波長589nmで平均出力2Wの連続波を発振させる構成である。Rhodamin 6Gはチラーによって冷却され温度コントロールされている。今年の三月に、514.5nmのシングルライン、出力6W、TEM₀₀モードのアルゴンイオンレーザーで励起し、589nm付近で線幅が数GHz程度で、1.2Wの出力が得られた。現在、出力2.0Wへとアップグレード中である。現状の構成に改良を加えれば平均出力4Wを実現することは可能である。

4. 今後の予定

今年度、光学定盤上で出力安定性、波長安定性、ビームクオリティ等を評価し、光通信地上センターの1.5m望遠鏡からビーム送信実験を行う予定である。また、すばる望遠鏡からレーザーを送信するため、レーザーの設置場所や送信光学系について検討する。レーザーをすばる望遠鏡の鏡筒にマウントする場合は、望遠鏡の姿勢変化に対して、出力及び波長安定性、ビームクオリティを保持できる振動及び傾斜条件を測定し、確実にビーム送信できるような構造を考案する予定である。また、レーザーを固定床に設置する場合は、ファイバーなどを使ったビーム伝送方法に工夫を施す必要がある。

来年度以降は、レーザーガイド星のティルト及び焦点変動を測定するための、自然星用赤外波面センサーの開発、すばる望遠鏡とのインターフェースや航空機モニタなどの安全装置の検討を開始し、すばる望遠鏡でレーザーガイド星のテストを行っていく予定である。また、平均出力4Wへの高出力化も行っていく予定である。

参考文献

- (1) R. K. Tyson, "Principles of adaptive optics," Academic Press Inc. 1991
- (2) D. L. Fried, "Anisoplanatism in adaptive optics," J. Opt. Soc. Am. vol. 72, p5, 1982
- (3) H. Takami et al., "Adaptive optics system for Cassegrain focus of Subaru 8.2-m telescope," SPIE Proceeding vol. 3353, 1998
- (4) R. Foy and A. Labeyrie, "Feasibility of adaptive telescope with laser probe," Astron. Astrophys. vol. 152, pL29, 1985
- (5) F. Riguat and E. Gendron, "Laser guide star in adaptive optics - The tilt determination problem," Astron. Astrophys. vol. 261, p677, 1992
- (6) B. M. Welsh and C. S. Gardner, "Effects of turbulence-induced anisoplanatism on the imaging performance of adaptive-astronomical telescopes using laser guide stars," J. Opt. Soc. Am. vol. A8, p69, 1991