

広視野多天体補償光学系

高田 大樹 (東北大学大学院 理学研究科)

Abstract

地上設置型の望遠鏡で天体の像を見ようとするとき、大気の影響を無視することはできない。天体から来た光の波面は大気中を通過することでゆがみ、その光を観測するとぼやけた像になってしまう。そのため歪んだ波面を補正するための技術として補償光学が発展した。従来の補償光学では視野が狭く、目標天体のみを補正する方法がとられてきた。しかし、近年広視野を補償する広視野補償光学の研究が盛んに行われている。実際に広視野補償光学系が用いられた例として、アリゾナにある 6.5m MMT 望遠鏡での結果と、チリにあるジェミニ南望遠鏡での結果を紹介する。最後に、我々の研究室では、TMT に搭載するための新しい広視野補償光学系を考えており、その広視野補償光学系のシステムの説明と、私が今後行っていく研究についての紹介を行う。

1 序論

1.1 補償光学

補償光学 (Adaptive Optics, AO) とは波面の歪みを補正する技術のことである。はるか遠くにある天体は無限遠にあるとみなすことができ、そこから来る光は平面波として伝搬する。しかし、大気を通過すると光の波面は歪み、地上観測を行うと天体像はぼやけてしまう。この波面の歪みを補正するために考えられた技術が補償光学である。図 1 は単層共役補償光学系 (Self Conjugate Adaptive Optics, SCAO) という従来補償光学系の概念図である。補償光学を

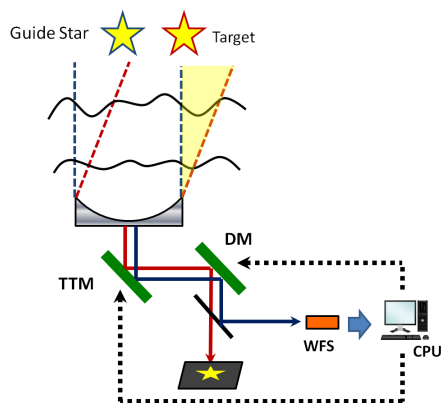


図 1: SCAO

構成する主な 3 つの要素は、波面の歪みを測定する波

面センサー (Wavefront sensor, WFS)、波面の歪みを補償する可変形鏡 (Deformable Mirror, DM) と TT ミラー (Tip-Tilt Mirror)、測定した歪みのデータを正しく制御するための制御装置 (CPU) である。目標天体の光に大気与える影響を測定するには、目標天体近くに大気揺らぎを測定するガイドスター (Guide Star, GS) が必要である。しかし、目標天体近くに GS が都合良くなければならないので、人工的な GS としてレーザーガイドスター (Laser GS, LGS) が開発された。LGS により補償光学を適用できる天体が増えたが、GS と目標天体は近い位置にいる必要があるため視野は狭くなる。そこで多数の GS を用いて広視野に対して補償を行う広視野補償光学 (Wide Field AO, WFAO) が生まれた。

1.2 広視野補償光学

WFAO には主に、地表層補償光学 (Ground Layer AO, GLAO)、多層共役補償光学 (Multi Conjugate AO, MCAO)、多天体補償光学 (Multi Object AO, MOAO) の 3 種類がある。図 2、図 3、図 4 はそれぞれの構成を表わしている。

GLAO は最も低い大気層である地表層による大気揺らぎを補償する AO である。地表層はどの天体にも共通の大気層であるから広視野に対して補償可能である。しかし、地表層のみしか補償しない

ので補償精度は完全ではないということが欠点になる。MCAO は大気層ごとに DM を用意する AO である。MCAO は広がった天体に対しても補償を行うことが可能であるが、視野は GLAO や MOAO に比べると狭い。MOAO は天体毎に DM を用意する AO である。MOAO は天体の周りのみを補償するので高精度な補償が可能である。しかし、各天体毎に DM が必要になるため効率が悪くなる。また、MOAO は GLAO, MCAO とは制御の方法が異なる。GLAO, MCAO は DM で補償した光見て、さらに補償するように制御を行い、rms を小さくするような制御方法を用いている。このような制御方法をクローズドループ制御と呼ぶ。クローズドループは rms を下げ、目標値に近づくように制御を行っているため、波面補正の性能が高い。それに対して、MOAO は DM を通さず、天体からの光を直接補正するようなオープンループ制御という制御方法を用いている。MOAO では、オープンループで制御を行わないといけないので、クローズドループのものと比較すると性能は悪くなる。

WFAO は近年、さまざまな望遠鏡で実際に用いられるようになっており、次章では、実際に WFAO を用いた望遠鏡での性能を記す。

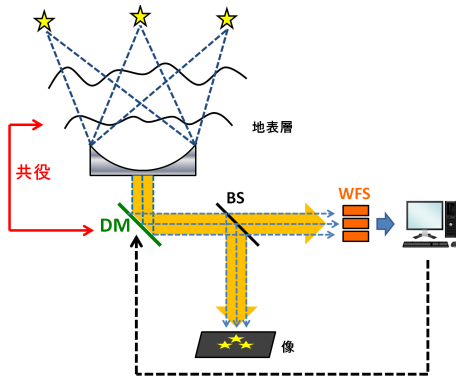


図 2: GLAO

2 広視野補償光学系の性能

2.1 6.5m MMT 望遠鏡

アリゾナにある 6.5m MMT 望遠鏡では GLAO を用いた研究が行われた。図 5 は GLAO 補正前後での

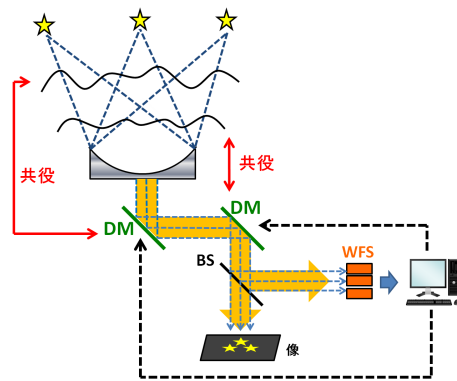


図 3: MCAO

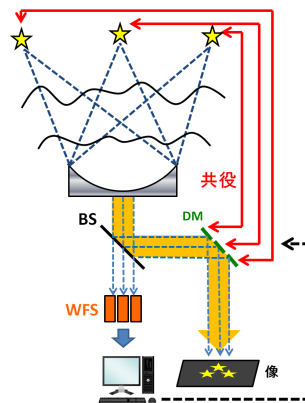


図 4: MOAO

球状星団 M3 である。a は $110'' \times 110''$ の画像で、その中心部分と端を拡大したものが b と d である。拡大画像は $27'' \times 27''$ である。c と e は GLAO を用いたあとの b と d の領域の画像である。補正前後で $S/N=27$ の等級が 14.5 から 16 に変化した。図 6 は散開星団 M34 の規格化した強度の半径方向のプロファイルを表わしている。FWHM は J, H, K バンドでそれぞれ $0.29'', 0.29'', 0.22''$ である。また、参考として K バンドで補償前と回折限界のプロファイルも図中に記されている。

2.2 ジェミニ南望遠鏡

チリにあるジェミニ南望遠鏡では GeMS (Gemini multiconjugate adaptive optics system) というシステムが用いられている。GeMS は初めて多数のナトリウム LGS を用いた MCAO システムであり、近赤

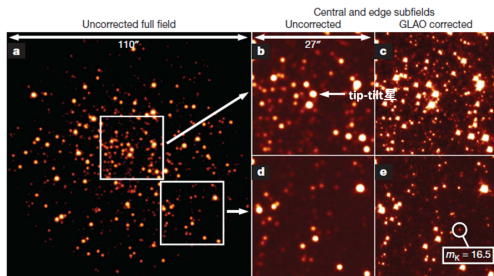


図 5: 球状星団 M3 の補償前後の画像

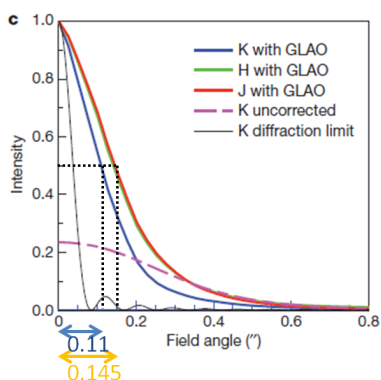


図 6: 各バンドでの FWHM

外で回折限界に近い像を得ることができる。図 7 は NGC288 の H バンドでの FWHM と SR の分布を表わしている。四角と中心に書かれている白い星は LGS の配置を黒い三角形の角は NGS の配置を表わしている。FWHM と SR の平均値はそれぞれ $0.08''$, 17% である。FWHM は GLAO を用いている 6.5m MMT 望遠鏡の値と比べると良いことが分かる。

3 前置補償光学系

現在、私の研究室では 30m 望遠鏡 (Thirty Meter Telescope) に搭載する AO として、広視野多天体補償光学系を計画している。これは GLAO と MOAO を組み合わせたシステムである。まず GLAO で視野全体に共通な地表層の大気揺らぎを補償し、その後 MOAO で高層の大気揺らぎを補償するような配置となっている。GLAO+MOAO のシステムの GLAO の部分を前置補償光学系と呼んでいる。概念図は図 8 である。MOAO の前に GLAO を用いることで補償の

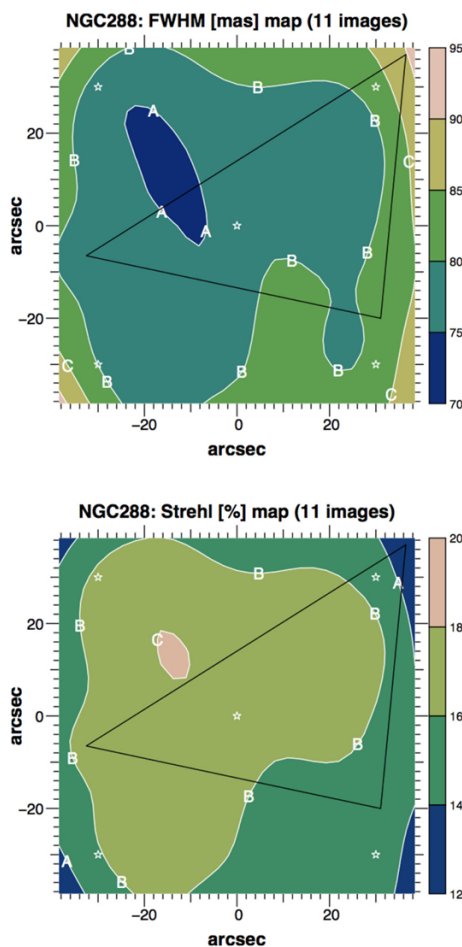


図 7: NGC288 の FWHM と SR の分布

段階を 2 段階に分けることで制御にクローズドループが加わり、GLAO で補正された NGS で Tip-Tilt の補正を行うので制御性能が向上することが見込まれる。また、MOAO を取り外して GLAO 単体としても利用可能なことが利点である。それに対して欠点は光学素子の数が増えることで背景放射が増えてしまうことである。私の研究は前置補償光学系の性能を評価し、最適な光学系を設計することである。

図 9 は現在の前置補償光学系の設計である。現在の設計での問題は DM 上で視野中心光束に対する最大瞳座標ずれが約 10% であることである。図 10 は DM 上でのフットプリントである。DM 上で視野毎の光束が当たる場所が異なることは、本来地表層はどの視野に対しても共通に補正できるはずが、実際にはできなくなることを表わしている。そのため、瞳座標ず

それを約 5% 以内におさめることを目標に M1 と DM の配置を再設計し、それに伴い DM 以降のミラーの配置も再設計することである。

4 参考文献

- Francois Rigaut et al. 2014. MNRAS
- Benoit Neichel et al. 2014. MNRAS
- M. Hart et al. 2010. nature

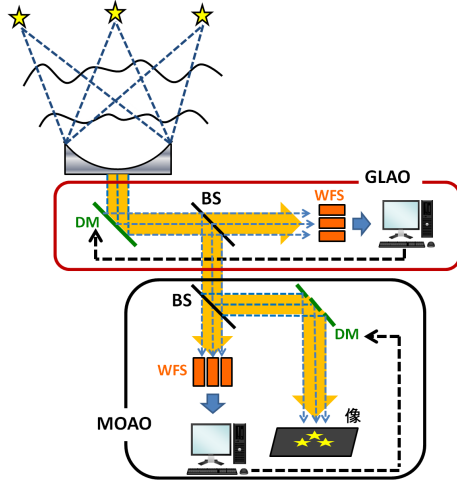


図 8: GLAO+MOAO

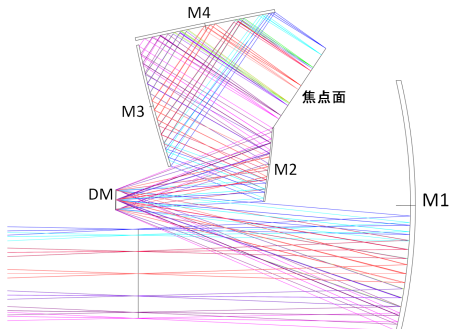


図 9: 前置補償光学系

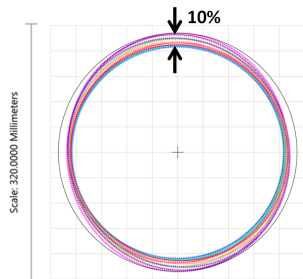


図 10: DM 上でのフットプリント