

多天体補償光学試験装置 RAVEN のすばる望遠鏡での観測における大気揺らぎ成分の測定

山崎 公大 (東北大学大学院 理学研究科天文学専攻)

Abstract

多天体補償光学とは回折限界に迫るような星像を望遠鏡の広い視野にわたって得ることを可能にする技術であり、将来的に建設が予定されている TMT にもその概念を取り入れた装置の導入が提案されている。しかし実際にこの概念を適応するには、開ループ波面補償制御やキャリブレーションなどの技術的な課題が多く残されている。このような多天体補償光学の実証実験を実際の望遠鏡での観測を通して行うことを目的としてビクトリア大学のチームを主として開発された装置が RAVEN である。また RAVEN は日本の国立天文台の協力の下、すばる望遠鏡の近赤外ナスマス架台に装着することを想定し多天体補償光学系の実証実験及び科学的対象のデータを取得することを目的として開発が進められ、2014 年 5 月に行われた最初の on-sky 試験観測の際には開ループ制御やトモグラフィー推定など多天体補償光学技術に関する貴重なデータを採取することに成功した。

今回は私は 5 月の on-sky 観測で得られた波面揺らぎの Tip-tilt 成分の時間変動についての解析を行い、望遠鏡由来の周期振動の成分が波面の Tip-Tilt 変動に対して影響を与えていることを発見した。講演では、RAVEN の簡単な紹介と、試験観測で得られたデータの解析結果を過去に行われた望遠鏡振動についての調査と比較することで Tip-Tilt 成分の振動について議論をすることを目標とする。

1 序論

多天体補償光学技術は、主に高赤方偏移領域の銀河の性質を探索することを目標に、広い視野に渡って分布する複数の天体の分光観測を行うことを目指して開発が進められている。波面補償は視野内の広い領域に対して行うのではなく、あくまでもサイエンスタージェットに特化して行うというのがこの技術の特徴である。

このような波面補償は、複数の波面センサーを用い異なる方向の波面測定を行い、トモグラフィーのしゅほうにより 3 次元の大気揺らぎ構造を再構築することで達成される。また、各サイエンスタージェット方向の波面補償はそれぞれに共役な可変形鏡を用いて開ループ制御を行う必要がある。

2 RAVEN の概要

RAVEN とはカナダのビクトリア大学のグループが研究開発を進めている多天体補償光学技術の実証

装置であり、日本の国立天文台の協力の下、すばる望遠鏡の近赤外ナスマス架台に装着し近赤外撮像分光装置 IRCS に接続することを想定した設計となっている。その主な目的は、多天体補償光学系の実証実験及び科学的対象のデータを on-sky で取得することである。

RAVEN 全体のコンセプトは図 1 に示したようなブロックダイアグラムで示される。

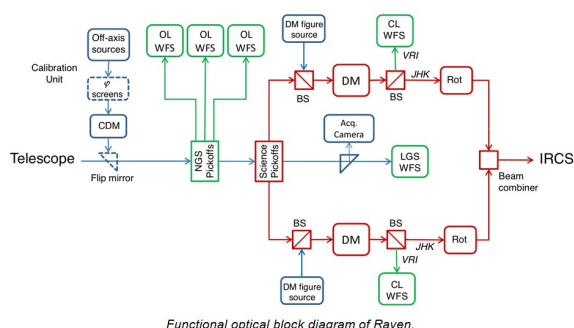


図 1: ブロックダイアグラム

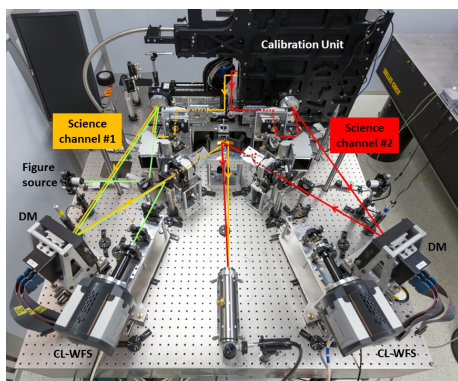


図 2: RAVEN 装置俯瞰

RAVEN には 3 つの自然ガイド星用開ループ波面センサー (OL-WFS)、on-axis レーザーガイド星用波面センサー (LGS-WFS) が備わっており、それぞれが開口面上の異なる領域の波面揺らぎを測定することでトモグラフィ推定の手法による波面補償を可能にしている。また、補償対象の天体を導入するためのサイエンス pick-off アームが 2 本あり、それぞれのサイエンスパス内に可変形鏡 (DM) と閉ループ波面センサー (CL-WFS) が備わっている。この CL-WFS はクラシカルな補償光学装置として働くことができる。最終的に補正された光線は IRCS のスリットに導かれ、分光される。

3 目的と手法

多天体補償光学系において大気揺らぎの測定は非常に重要なプロセスであり、大気揺らぎの性質を知ることは補償光学系の性能を考える上で有益である、大気揺らぎには様々なモードが含まれており、中でも低次のモードである Tip-tilt (傾き) は波面揺らぎの支配的な成分で、全体の波面補償精度は Tip-Tilt 成分の補正に大きく依存することが知られている。また、将来的に建設が予定されている TMT といった超大型望遠鏡では開口面上の Tip-Tilt の非一様性 (Tip-Tilt Anisoplanatism) の効果も考慮することが必要と言われている。今回の私は、すばる望遠鏡での Tip-Tilt の非一様性について議論することを念頭に、Tip-tilt 成分に焦点をあてて解析を行った。今回の解析で使用したのは、2014 年 5 月にすばる望遠

鏡で行われた RAVEN の試験観測時に得られた複数の時間帯での波面センサーのデータである。Tip-Tilt の解析に使える波面センサーは全部で 5 つ ($OL-WFS \times 3 \cdot CL-WFS \times 2$) あり、それぞれ開口面上の異なる領域の波面揺らぎを測定している。

まずそれぞれの波面センサーについて得られたデータから各時間の Tip-Tilt 成分を平均値を計算し、それをフーリエ変換してパワースペクトルを求めた。Tip-Tilt 成分の非一様性の検出であるが、観測中サイエンス pick-off アームが天体をトラッキングするために開口面上を移動していたことが分かり、異なる波面センサーで測定された Tip-Tilt 成分の差をとっても測定方向の空間的な位置情報が分からないため断念した。

4 解析結果

図 3、図 4 は各時間帯の Tip-Tilt 成分のパワースペクトルの典型的な例である。ここで、縦軸は強度、横軸は周波数であり、図 3 は仰角 (EL)40 度、図 4 は仰角 (EL)80 度の場合の OL-WFS の解析結果をそれぞれ表している。

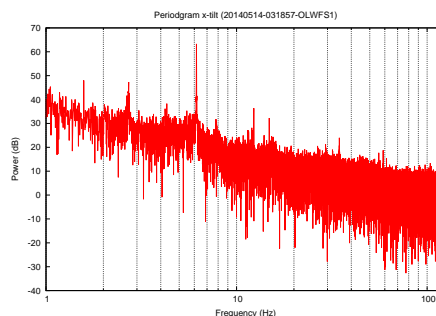


図 3: 典型的な Tip-Tilt 成分の時間的変動のパワースペクトル

全ての時間帯について同様の解析を行った結果、Tip-Tilt 成分にはいくつかのモードの周期振動が含まれていることが分かった。また、高度によって現れる振動のピークが変わることも判明した。これらのモードは過去に行われたすばる望遠鏡のトップリングの振動についての調査報告 (神澤, 2005) にある典型的な周期振動の周波数とおおよそ一致する

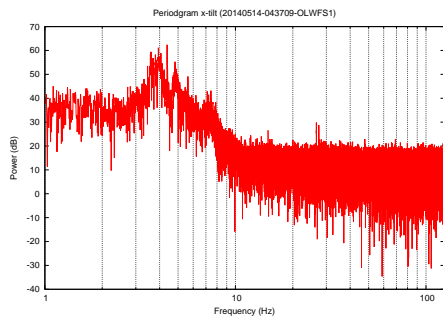


図 4: 望遠鏡高 EL 時のパワースペクトル

結果であったことから、今回判明した Tip-Tilt の振動成分は望遠鏡由来のものである可能性が高いという結論に至った。

過去の調査から判明している望遠鏡固有の振動の特徴と今回検出された振動の特徴を表 1 と表 2 にまとめる。

表 1: 過去の調査から判明している望遠鏡の周期振動

振動方向	呼称
方位軸 (AZ) 方向	AZ4Hz, AZ8Hz, AZ9Hz
高度軸 (EL) 方向	EL 南中 5Hz, EL6Hz, EL12Hz

表 2: 今回検出された振動の特徴

周波数	強度	頻度	特徴
3-4Hz	中	小	AZ4Hz の発生条件が EL80 度以上とあるが、低 EL 時にも検出されたため関連性は不明。
4-5Hz	強	小	この振動は EL75 度の時にのみ発生し、特徴的なスペクトルを生じる。特徴からして EL 南中 5Hz 振動が検出されたと考えられる。
5-6Hz	強	大	EL 南中 5Hz の強いピークがある時以外はほぼ全ての時間帯で検出。EL6Hz 振動が原因である可能性がある。強度も比較的強く支配的な振動であると言える。
8, 9Hz	弱	小	頻度は稀であるが AZ8Hz と AZ9Hz 振動と思われる。
12Hz	弱	小	EL12Hz 振動である可能性があるが強度は弱い。

5 まとめと今後の展望

今回の解析では、本来の目的である Tip-Tilt 成分の開口面上での非一様性 (Tip-Tilt Anisoplanatism) の検出は技術的な問題によりできなかったが、測定された波面揺らぎの Tip-Tilt 成分にはいくつかの望遠鏡由来の周期振動のモードが含まれており、特に EL6Hz 振動や EL 南中 5Hz 振動など支配的に現れるモードがあることも判明した。このような望遠鏡の振動がある状況では、低いゲインで補償光学を動作させても補償後の星像が伸びることが知られており、今回の試験観測でも何らかの補償性能の制約を加えていた可能性があると考えられ、試験観測で得られた補償後の星像の分析と比較して議論することが今後必要である。また、大気揺らぎの特徴を考察するには更に高次の成分 (defocus, astigmatism など) についても同様の解析を行うことが必要であるので、高次成分の解析についても今後進めていこうと考えている。

6 参考文献

Raven, a Multi-Object Adaptive Optics technology and science demonstrator (Andersen, D., et al (2012))

Acknowledgement

この度私はすばる望遠鏡での RAVEN ファーストライトのデータの使用させていただきました。試験観測の機会を与えて下さった秋山正幸先生 (東北大学) をはじめ、現地でサポートして下さった国立天文台ハワイ観測所の皆さん、ならびに RAVEN のグループの方々に深く感謝を申し上げます。

Reference

Andersen, D., et al . 2012. AO4ELT2 Proceeding(2012)