

Mid-infrared high stable spectrograph for spectroscopy of terrestrial planets

Taro Matsuo (Graduate School of Science, Osaka University), Tom Greene, Tom Roellig, Mark McMurray (NASA Ames Research Center), Shohei Goda, Masayuki Ido, Satoshi Itoh (Graduate School of Science, Osaka University), Tomoyasu Yamamuro (OptoCraft), Hiroshi Shibai, Takahiro Sumi (Graduate School of Science, Osaka University)

Abstract

食分光による晩期型星周りでの地球型惑星の大気分光の実現には、10 万分の 1 の分光測光精度が要求される。しかし、汎用の分光装置では、望遠鏡の姿勢擾乱および検出器の安定性により、百万分の一程度に留まる。私たちは、瞳分光と呼ばれる超高安定分光装置を考案し、光学系および検出器の安定性を大幅に改善することで、百万分の一の分光測光精度を実現する見通しを得た。本講演では、本方式の瞳分光装置とその性能について述べ、2020 年代の US Decadal Survey に向けた NASA Ames Research Center で試験する装置を紹介する。

地球型系外惑星の大気分光のための中間赤外線高安定分光装置の研究

○ 松尾太郎（大阪大）、Tom Greene、Tom Roellig、Mark McMurray（NASA/Ames）、合田翔平、井戸雅之、伊藤哲司（大阪大）、山室智康（オプトクラフト）、芝井広、住貴宏（大阪大）

要旨

食分光による晩期型星周りで地球型惑星の大気分光の実現には、10万分の1の分光測光精度が要求される。しかし、汎用の分光装置では、望遠鏡の姿勢擾乱および検出器の安定性により、百万分の一程度に留まる。私たちは、瞳分光と呼ばれる超高安定分光装置を考案し、光学系および検出器の安定性を大幅に改善することで、百万分の一の分光測光精度を実現する見通しを得た。本発表では、本方式の瞳分光装置とその性能について述べ、2020年代のUS Decadal Surveyに向けたNASA Ames Research Centerで試験する装置を紹介する。

科学目標

- 地球型系外惑星の大気分光には、主星と惑星の光を空間的に分離する直接撮像の方法と、主星の食を分光する方法がある。
- 中間赤外線には、ハビタビリティの指標となる水蒸気や二酸化炭素、バイオマーカーの指標であるオゾンとメタンの吸収線が存在する（下図を参照）。
- 中間赤外線での惑星の直接撮像には、複数台の望遠鏡を打ち上げて干渉させる必要があり（Matsuo et al. ApJ 2011）、現状の技術では困難である。
- 近傍に食を起こす、ハビタブルゾーン内の惑星が発見され、食分光は一つの重要な手法として着目されている。Trappist-1系の惑星大気を高度10kmで分解するには、17ppmの分光測光精度が要求される。

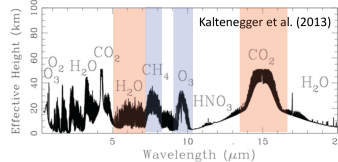
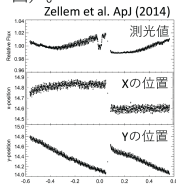


図: 可視光から中間赤外線での地球を模擬したモデル大気の有効高さ。

2つの技術的課題

- 10ppmの分光測光精度を達成するには、大別して2つの主要な技術的課題を克服する必要がある。
- 望遠鏡の指向擾乱や主鏡の歪みによる検出面上での像の移動や変形で生じる測光誤差（左図）。
- 検出器および集積回路での長期的な変動で生じる測光誤差（右図）。



左図: Spitzer/IRAC2 (4.5μm)でのHD 209458の測光値と検出面上での像の位置。
右図: Spitzer/IRAC2 (4.5μm)でのHD 209458の長期的な測光データ。

瞳分光

- 2つの技術的課題を克服し、分光測光精度10ppmを超える高安定な瞳分光を提案する。
- 瞳分光は、主鏡を複数に分割し、分割された各開口に入射する光を分光し、多数のスペクトルを検出面で測定する方式である。
- 望遠鏡の姿勢擾乱や主鏡の歪みなどの外乱に対して分光スペクトル像は、検出面上で移動や変形を起こさない。
- 検出面が瞳面になるので、天体からの光を遮断し、暗領域を作ることができる。暗領域のデータを利用して、集積回路で生じる長期的な変動を補正することができる。

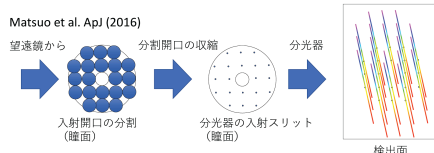


図: 瞳分光の概念図。

光学系

- コリメート光をPupil Slicerで5分割し、それぞれを縮小するSlicer Unitと、コリメータとグレイティングからなる分光器部分から構成される。
- 6-25μmをカバーするために、ダイクロックミラーで3系統に光を分割する。

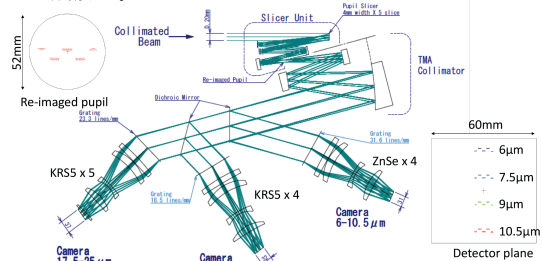
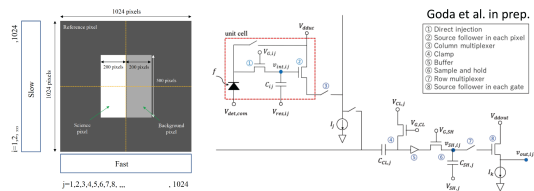


図: NASAのOrigins Space Telescope (OST)計画のためのトランジット分光器。

検出器

- 瞳分光では、検出器および集積回路による長期的変動を取り除くため、天体の光の分光像に加えて、背景光の分光像および暗電流だけのピクセルを用意する。



左図: 瞳分光における検出器のピクセルマップ。
右図: 中間赤外線検出器のモデル。

実験

- NASA/Amesにおいて瞳分光試験機の分光測光精度を評価する。
- 瞳分光器と1k x 1kのSi:As検出器を極低温チャンパーに挿入し、外部の熱放射、検出器のノイズを抑える。
- 可変形鏡の一部で外乱を発生させ、外乱のある光とない光を同時に導入し、外乱下でのスペクトル像の安定性を評価する。

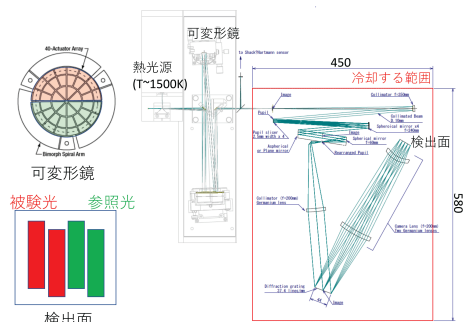


図: 瞳分光試験機の光学系。