

ガリレオ衛星食を用いた分光観測による木星上層大気の構造解析

山門 峻 (東北大学大学院 理学研究科 天文学専攻)

Abstract

木星の縞模様の形成メカニズムや上層大気の構造などは完全には解明されていない。近年の研究で、ガリレオ衛星が木星の影の中で太陽光に直接照らされていないにも関わらず、予想に反して明るいという結果が得られた (Tsumura et al. 2014)。その原因として木星上層大気で散乱された太陽光が食中のガリレオ衛星を照らしているということが最も有力である。本研究では、東広島天文台のかなた望遠鏡を用いて、近赤外領域 ($1.5\text{-}2.4\mu\text{m}$) を $R \sim 370$ で分光観測を行った。観測の結果、エウロパが影から出現してくる瞬間とその前後の分光スペクトルを得ることが出来た。このデータを解析することで各波長のライトカーブを求め、スペクトルの時間変化から希薄な木星の上層大気の構造の解明に取り組む。大気透過光を観測するという共通点から、トランジット観測による系外惑星大気の観測への応用も期待できる。

1 Introduction

系外惑星大気の探査や詳細な解析は、現在の天文学で最も注目が集まっている分野の一つである。この分野の発達に貢献してきた代表として、Kepler による系外惑星探査や、Hubble Space Telescope (HST)、Spitzer Space Telescope (Spitzer) による分光トランジット観測が挙げられる。そして現在、更なる大口径の次世代望遠鏡、James Webb Space Telescope (JWST) 計画が進んでいる。

系外惑星のトランジット観測は大気構成を探る方法として有用である。トランジットの間、恒星の光の一部は、惑星の明暗境界線での大気のリングを透過し、大気の特徴を含んだ光が観測者に届く。こういった特徴を知るために必要な分光の正確性は様々な条件に依存し、惑星と恒星の半径比や惑星大気のスケールハイト、トランジット中に主星から届く光子数などが挙げられる。現在、透過スペクトルを観測するにあたって大きく 2 つのアプローチがある。1 つ目は、中-高分散分光 $5000 \leq R \leq 100000$ での観測、2 つ目は低分散分光 $R \leq 200$ での観測である。中-高分散での観測は狭帯域スペクトルの特徴を高感度で観測するために用い、低分散はレイリー散乱などに引き起こされる惑星スペクトルの全体像を明らかにすることに用いられる。しかしながらトランジット惑星系の検出可能性は宇宙と地上双方の観測で限界に近づいており、また論文ごとにしばしば結果が異

なっている。そのため太陽系内で起こる惑星トランジットを観測することは、将来の系外惑星探査に重要となる情報を与える。

そこで今回木星の影にガリレオ衛星が隠れる衛星食に注目した。食中では、木星の周囲にある淡い上層大気を通過した光がガリレオ衛星を照らし、その光が反射して地球に届く (参照: 図 1)。この光を食中と食外で比べてやることによって、スペクトルに含まれる太陽光の特徴や地球大気の変化、ガリレオ衛星のアルベドの影響を取り除くことができる。また今回近くで一番輝いている木星の影響を減らすために、ガリレオ衛星ではなく木星を追尾して観測を行った。これにより木星の迷光パターンを固定し、迷光によるスペクトルの影響を極力下げよう試みた。

2 Observations

今回、東広島天文台のかなた望遠鏡に搭載されている HONIR を用いて観測を行った。HONIR は可視、近赤外同時分光可能な装置であり、当初は 2 色同時分光を行う予定であったが、読出し速度の観点から近赤外のみで観測を行った。観測波長は近赤外でのメタン吸収線を捉えられるように $1.5 \sim 2.4\mu\text{m}$ の波長域を選択した。

観測に選んだ食は、食の起こる時間や木星との離角、食が起こるときのガリレオ衛星の高度などを条

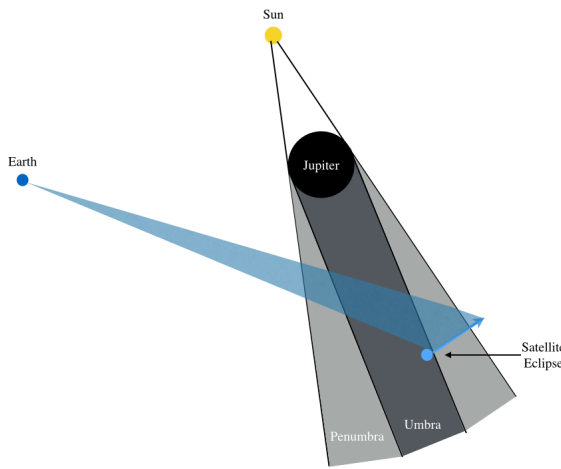


図 1: 観測中の木星系の配置図。本影 (Umbra) から半影 (Penumbra) を経由して出現する間を分光した。スケールは実際とは異なる。

表 1: 観測した食

Date	2015/04/21
Target	Europa
Egress Time(JST)	19:46:28
Elongation(°)	33.61
Impact parameter	0.011
Elevation(Jupiter)	72°

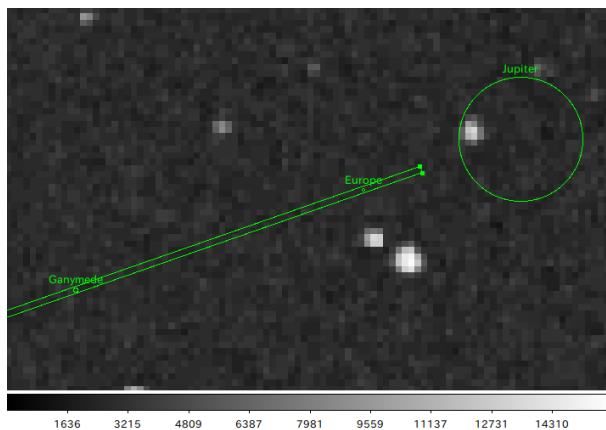


図 2: 観測時の木星、ガリレオ衛星及びスリットの想定配置図

件として絞り込んだ。左に概要を示す (例: 表 1)

今回、木星の迷光を減らすために木星追尾でガリレオ衛星を観測を行ったため、ガリレオ衛星が観測中にわずかではあるがスリット状を動いてしまう。そのためスリットをガリレオ衛星の進行方向に合わせて置く必要があった。木星やガリレオ衛星の正確な場所は暦からわかっているため、その座標を元に観測日の木星、ガリレオ衛星の配置を再現し、スリットの最適な場所を決めた (参照: 図 2)。図 2 ではスリットが衛星に合わせて置かれるように描かれているが、実際はスリットの位置は変わらず、検出器の方を回転させることによってスリット位置を動かしている。検出器を回転させるカセグレンローテーターの方位角の決定精度は 0.1 桁なので 0.1° の単位で回転角度を決定した。

本影中のガリレオ衛星は非常に暗く (> 19.1 AB mag at Jband, Tsumura et al.2014)、かなた望遠鏡では分光することができないので本影から出現し半影に入る瞬間から観測を行った。本影から出現して半影を抜けるまでの時間は非常に短く、10 ~ 15 分程度しかないので、検出器の非破壊読みモードで連続的に分光観測を行った。

3 Results and Data Analysis

観測の結果、本影からの出現から半影に至るまでのスペクトルを得ることができた。ガリレオ衛星がほとんど同一平面軌道で公転しているおかげで、太陽光で直接照らされているガニメデのスペクトルも同時に得ることができた。解析は Pyraf および Python を用いて行っている。これまでに解析を行った結果を示す (参照: 図 3)。ダーク引き、フラット割りを行い、波長校正を行った。標準星によるフラックス校正はまだ行っていない。< 1.4μm, 2.4μm 近辺はノイズが大きくデータとしては適さない。また、所々バッドピクセルやホットピクセルの処理がうまくいっておらず、値が極端に違う部分があり、今後解決しなければならない問題である。波長は OH 輝線を用いて校正した。ピクセルに対する波長の線形性を確かめるために、広島大学が OH 輝線を 4 次式で fit したものと比較した (参照: 図 4)。4th order が 4 次式で fit し

たもので、sky1,sky2 は波長校正のために OH 輝線だけを撮った画像から内挿した直線である。Njupiter はガリレオ衛星を分光した時に一緒に写っていた輝線から内挿した直線である。y=1400 というのは画像内の座標で、エウロパのスペクトルが y=1400 付近で得られたため波長の決定精度を上げるために近い場所の OH 輝線を選択した。4th order も y=1400 付近で取得した輝線で fit している。線形性はよく出ており、メタンの吸収といった大きな構造を見るには十分な精度であると考えられる。

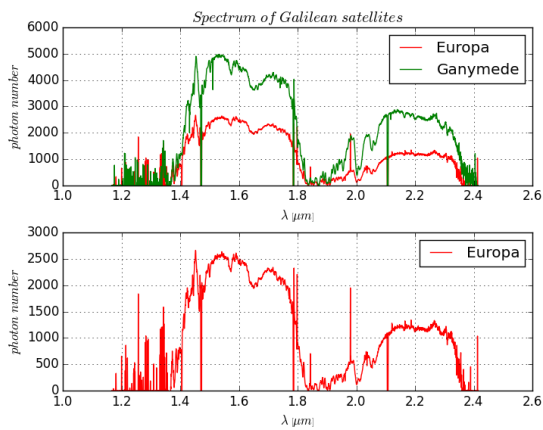


図 3: 半影中のエウロパと太陽光に照らされているガニメデのスペクトル。

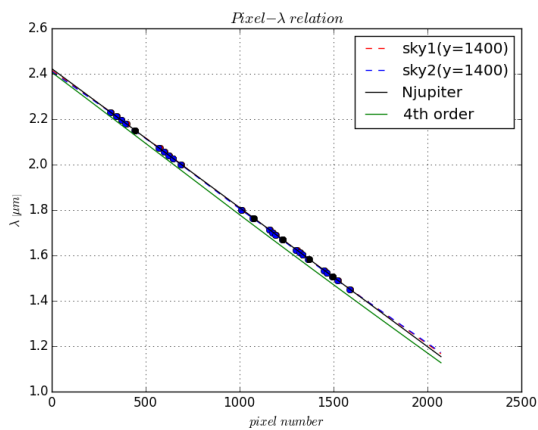


図 4: 各ピクセルでの波長の線形性

4 Future Work

現在は得られたスペクトルのフラックス校正に取り組んでいる。その後波長ごとの分光ライトカーブを作成し、太陽光に照らされている時と半影の時のスペクトルを比較し、メタンの吸収量の違いなどから木星大気の垂直構造解析に取り組みたい。そして今年の 11,12 月にまた日本でガリレオ衛星食が観測できる時期が来るので、もう一度観測を行いデータの正確性を高めたい。また、現在までに解析したデータはホットピクセル、バッドピクセルの処理が甘いので、天体からの信号とはっきりと区別し取り除くことが重要となってくる。

Reference

- K.Tsumura et al. 2014, ApJ 789 122
- M.Mallon et al. 2015, A&A
- Daniel Angerhausen et al. 2015, Astro-Ph