

1. 研究動機

本校地学部では継続的に木星の緯度毎のスペクトルの比較に取り組んでおり、ここ数年の経緯は次のとおりである。
2021年度は二次スペクトルの除去にR1フィルターの使用が有効と確認、2022年度はスリットビューワの導入により撮像精度を向上させ、2023～2024年度にかけての観測で木星の縞模様を反映したスペクトル画像を安定的に得る技術を確立した。今年度は、比較的是っきりしているメタンの吸収帯に着目し、スリットスキャン等によっていくつかの特定波長における木星像を取得し、その比較を試みた。

2. 観測について

- (1) 観測期間 2024年11月18日から2025年1月27日
(2) 観測場所 本校屋上
(3) 主な観測機材

- ①スペクトル画像およびスリットスキャン画像用(図1)
FC100DZ鏡筒(タカハシ)、R1フィルター(Kenko、透過域は640nm以上)、2倍バローレンズ(カサイトレーディング)、スリットビューワおよび分光器VEGA(昭和機械製作所)、冷却CCDカメラ(Atik Titan)、波長校正用Ne光源(ナリカ)
②889nmメタンバンド画像用(図2)
C8鏡筒(CELESTRON)、2倍バローレンズ(Vixen)、889nmメタンバンドパスフィルター[半値幅8nm](Baader Planetarium)、CCDカメラ(CELESTRON SKYRIS)



図1 ①の観測機材



図2 ②の観測機材

- (4) 使用ソフト
撮 像:Artemis Capture, iCap2.5
画像処理:Makali`i, Stella Image9, RegiStax6
解 析:Makali`i, Microsoft Excel

3. 撮像対象とした波長域

まず、スリットスキャンによって727nm付近および889nm付近のふたつのメタンの吸収帯の画像が得られるかについて確認した。
白熱電球のフィラメントの温度は一般に約2000Kであるため1000nmよりも長波長の光まで出ている。また、カメラのセンサーの感度(図3)も長波長側は1000nmを超えており、メタンの吸収帯(727nm、889nm)はその範囲にともに含まれている。そこで、白熱電球とNe光源を重ねたスペクトル画像を撮像し、後述する4の(1)の方法で波長付けしたところ、長波長側の画像の末端が852nmとなり、冷却CCDカメラの画角内には889nmのメタンの吸収帯は無いことが判明した。よって、冷却CCDカメラのスペクトル画像の波長範囲は、二次スペクトルの除去を目的としたR1フィルターの透過特性(図4)から、短波長側については約640nm以上、長波長側については852nm以下(図5)となり、889nmの吸収帯の画像(以下、889nmメタンバンド画像)については、889nmメタンバンドパスフィルターを装着したSKYRISを用いて得ることとした。

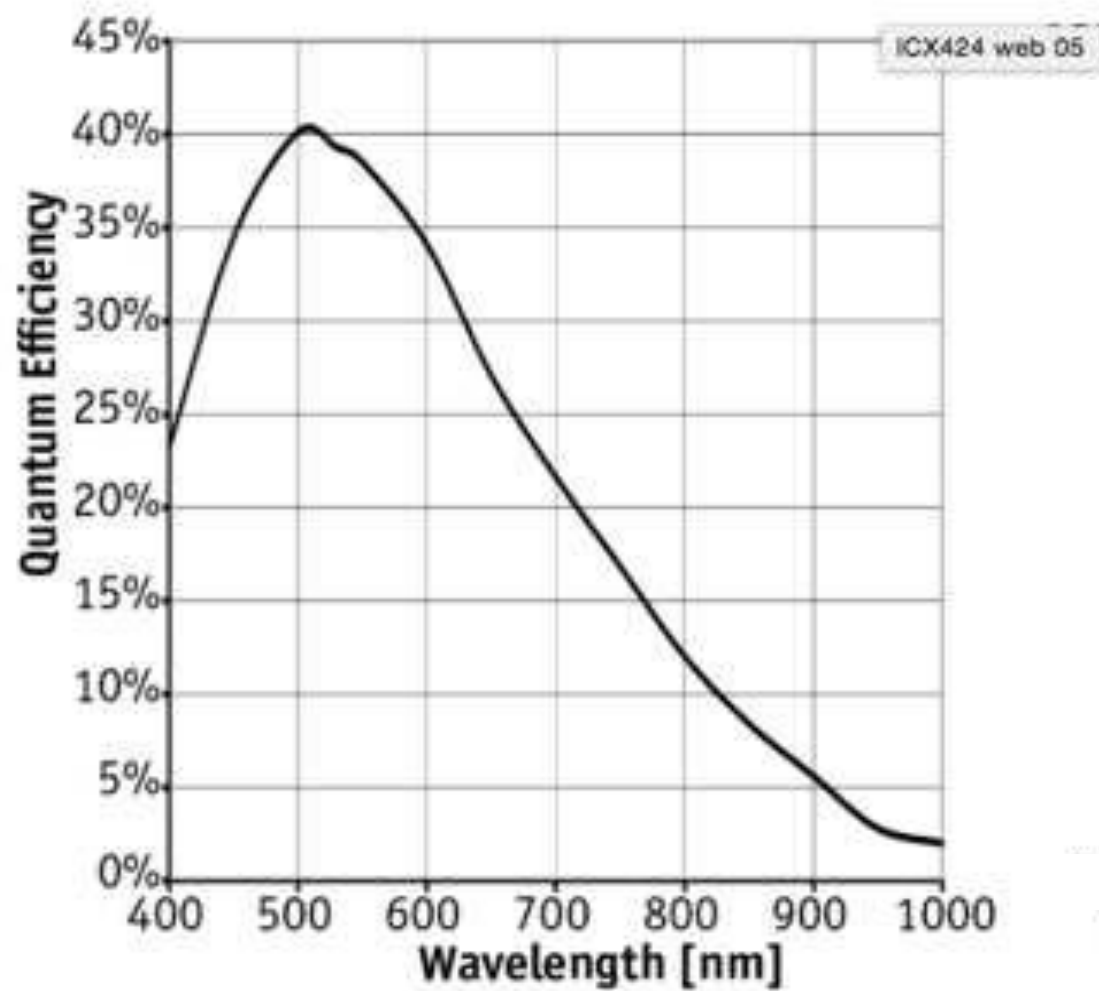


図3 Titan (CCDカメラ)のセンサー感度¹⁾

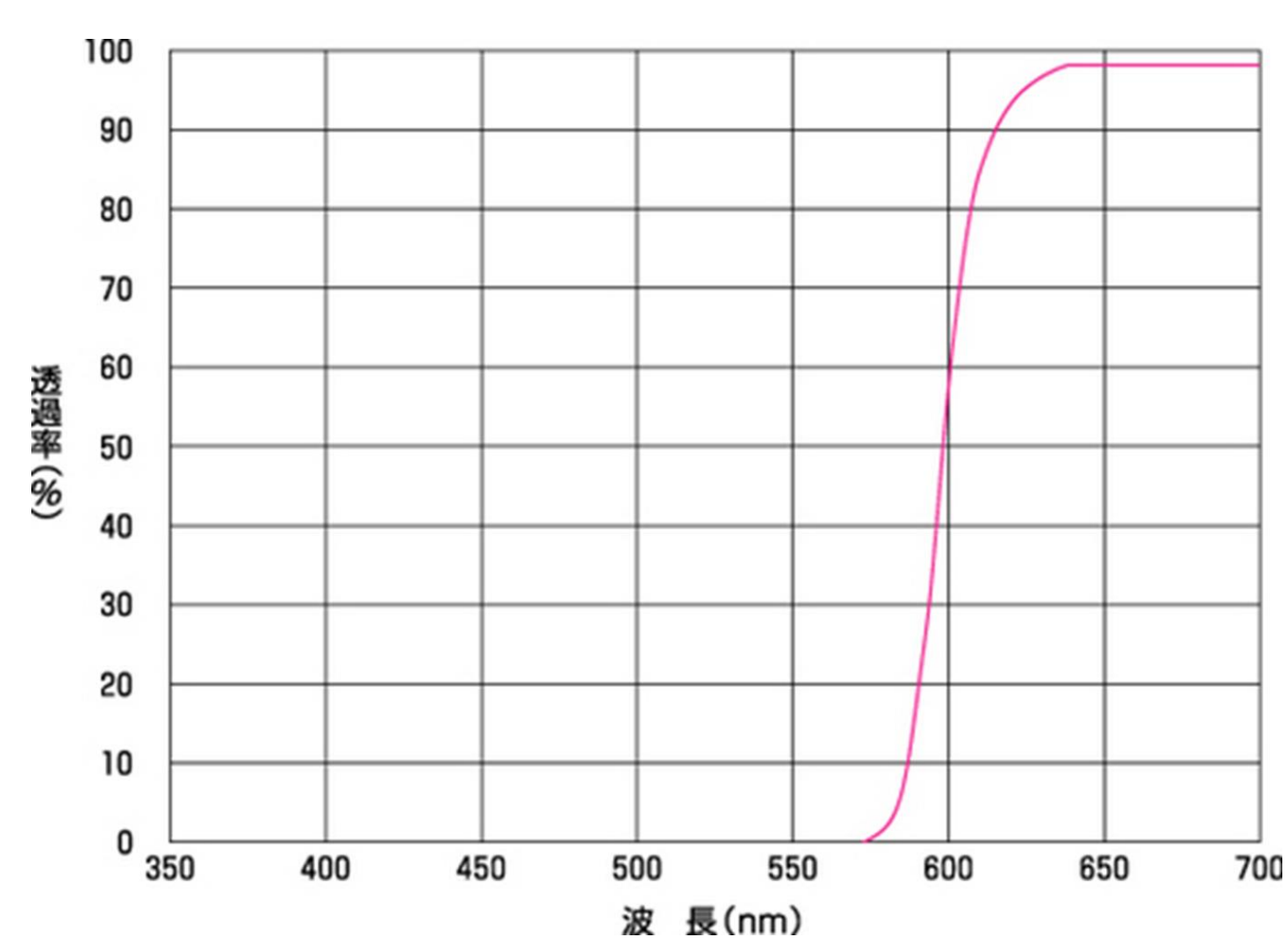


図4 R1フィルターの透過特性²⁾

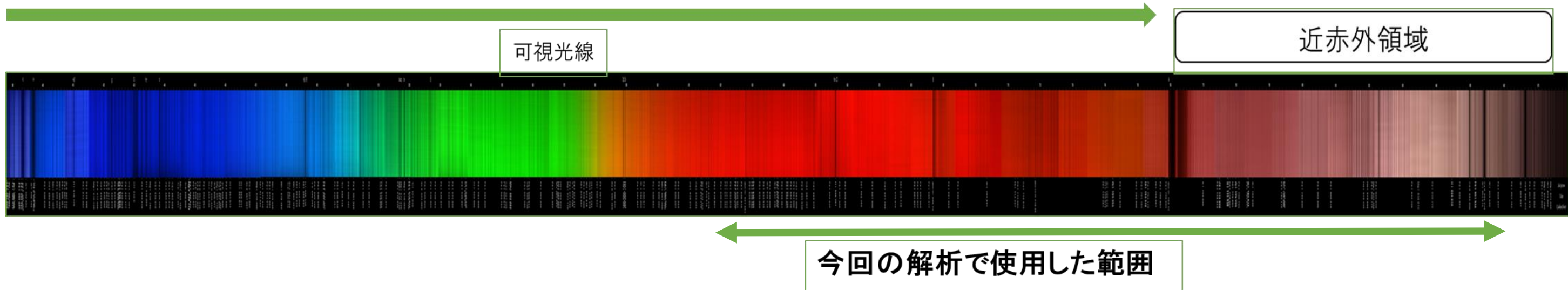


図5 太陽スペクトル

4. 波長付け及び画像処理

- (1) 波長付け
波長付け用に木星とNe光源を重ねたスペクトル画像をArtemis Captureを用いて30枚撮像し、撮像した画像をMakali`iでダーク処理と加算平均を行った。また、Neの輝線を30枚撮像したのちカウント値(輝度値)を取り出し、理科年表³⁾を参考にして波長を割り振り、一次関数で求めた。この関数をNe光源を重ねた木星の画像に割り振り、メタンバンド、地球大気における酸素の吸収帯と思われるピクセル値をそれぞれ727nm、759nmと仮定し割り振られた727nmと759nmのピクセル位置が画像上のピクセル値と一致することを確認し、ピクセル値を波長に変換した。このとき、長波長側の末端は852nmになった。
(2) スリットスキャン画像
撮像にあたって、鏡筒をスリットの向きが赤経線と平行になるように調整する。赤道儀の駆動を対恒星時99%とし、スリットを木星が横切る約6分間について、木星のスペクトルをArtemis Captureを用いて、露光時間1秒で計366枚撮像した。撮像した画像から撮像範囲内での可視光のピークにあたる632nmの木星全面画像(632nm画像:図6a)、メタンの吸収帯のひとつである727nmの木星全面画像(727nmメタンバンド画像:図7a)を作成する。

- (3) 可視光画像
SKYRISでiCap2.5により木星全面像を動画(60秒)として撮像したものについてRegiStax6のスタック機能により1枚の静止画像を作成し、Stella Image9でダーク処理を行った(可視光画像:図8a)。
(4) 889nmメタンバンド画像
889nmメタンバンドパスフィルターを装着したSKYRISでiCap2.5により木星全面像を動画(50秒)として撮像したものについて、(3)と同様の処理を行った(889nmメタンバンド画像:図9a)。
(5) グラフ化
各画像から画像の中心をとる南北方向について輝度値を取り出し、それぞれの最大値で除したものを相対輝度値としてグラフ化した(図6b～9b)。

5. 結果

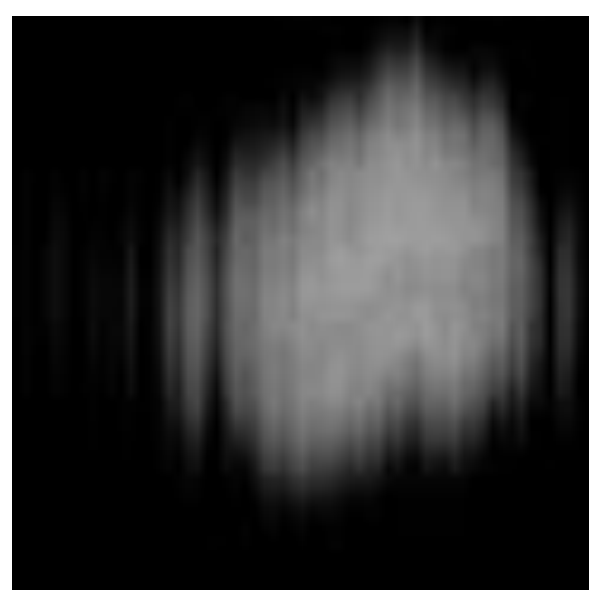


図6a 632nm画像

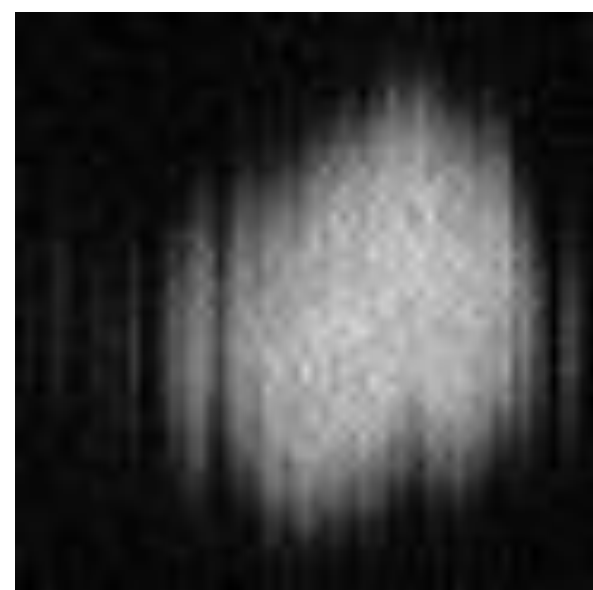


図7a 727nmメタンバンド画像

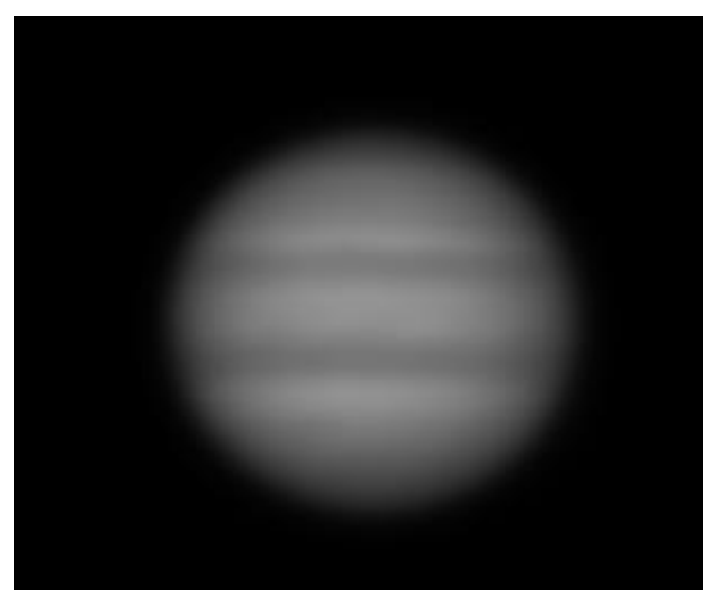


図8a 可視光画像



図9a 889nmメタンバンド画像

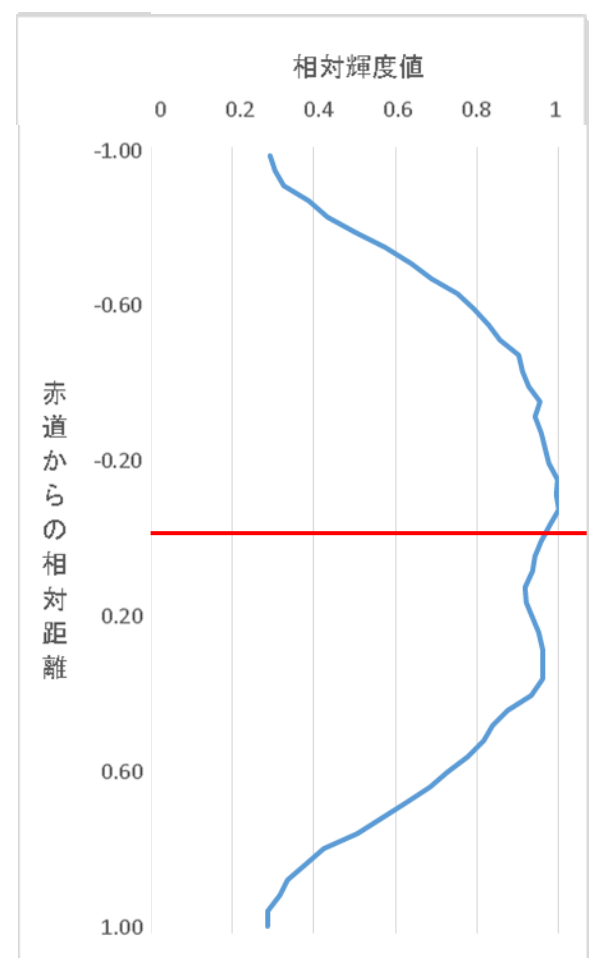


図6b 632nm
相対輝度値

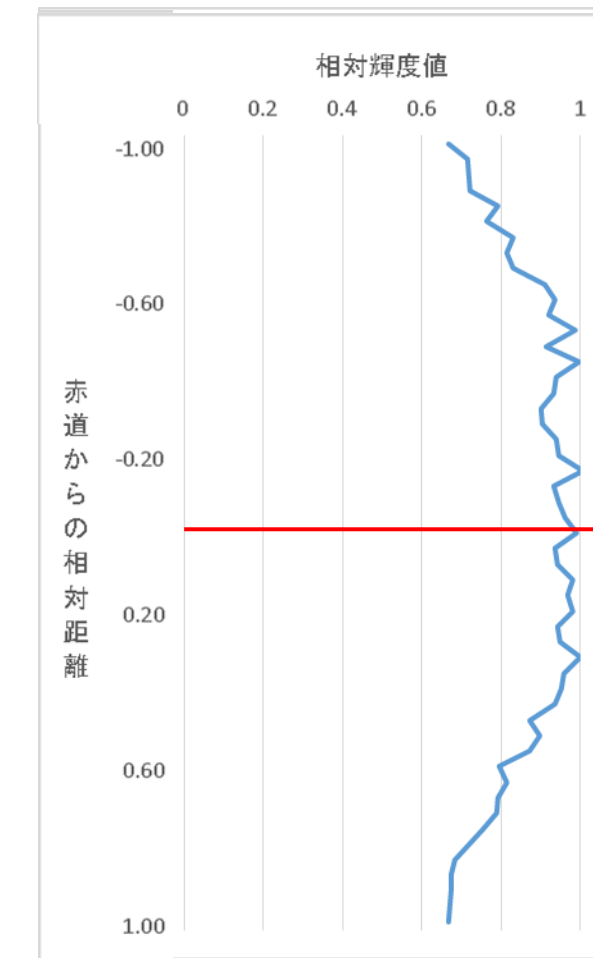


図7b 727nm
相対輝度値

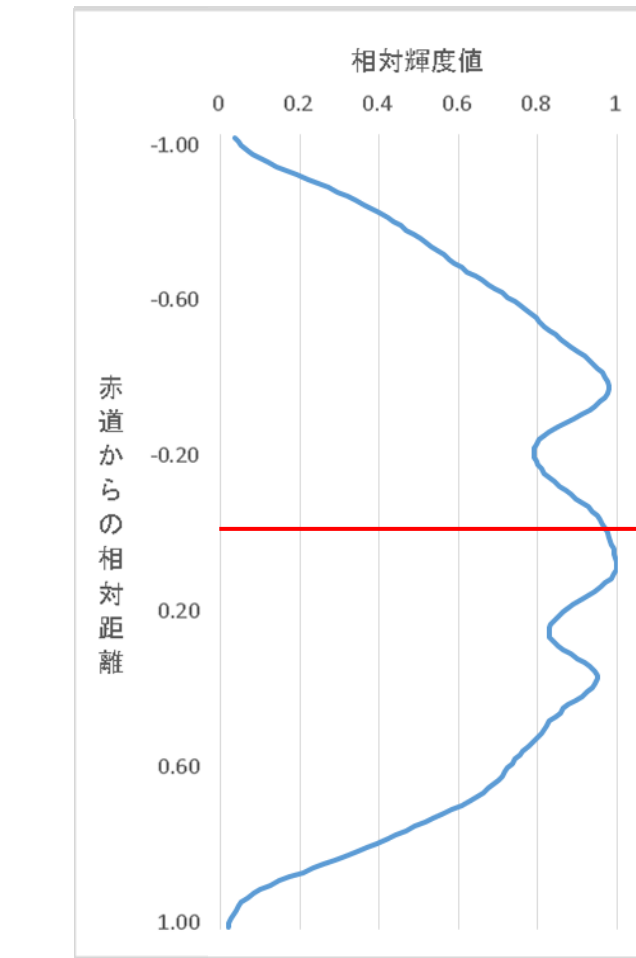


図8b 可視光
相対輝度値

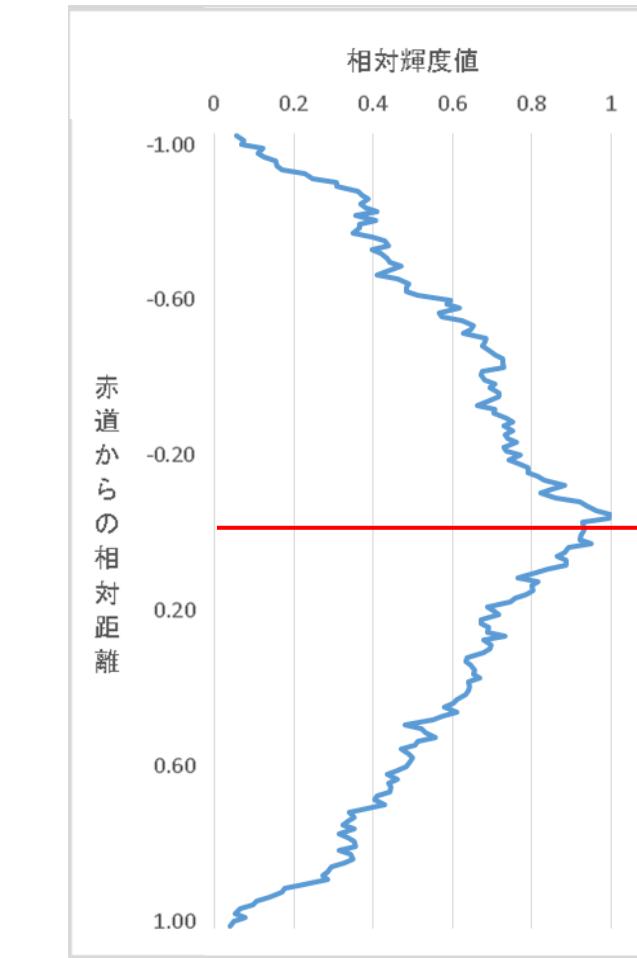


図9b 889nm
相対輝度値

※画像・グラフとも上が南、グラフ上の赤線は赤道を示す。

6. 考察

可視光画像(図8a)と632nm画像(図6a)は、ともに二本の縞模様(暗部)が比較的明瞭であり、同様の傾向を示す。また、727nmメタンバンド画像(図7a)では不明瞭なものやはり二本の縞模様(暗部)が認められ、可視光画像や632nm画像に近い傾向を示す。これは632nmおよび727nmがともに可視光域のものであるためである。
889nmメタンバンド画像では赤道部分が非常に明るく、グラフでもその部分の相対輝度値は突出している。また、それを挟むように南北に暗部があるが、この部分が632nm画像および可視光画像の縞の暗部に相当しており、赤道で最も雲が高い位置にあり、縞模様の暗部では低く、縞模様のさらに高緯度側で再び高い位置にある⁴⁾と解釈できる。ただし、緯度によって太陽光線のあたる角度が異なるため、それについて補正を行うべきであろうが、ここではその点については検討に至らず、今後の課題としたい。なお、両極部分もわずかに明るい、そこでは太陽光線が非常に低角度で当たっているため、赤道から中緯度と同様の解釈はできないと考えられる。
可視光域の727nmメタンバンド画像と赤外域の889nmメタンバンド画像には大きな差があり、前述のように727nmメタンバンド画像は可視光画像と同様の傾向となる。したがって、メタンバンド画像として有用であるのは889nmメタンバンド画像であるが、現有機材によるスペクトル画像では、残念ながら889nmは画角外になってしまった。

7. 今後の課題

- (1) スリットスキャン画像の撮像とメタンバンドフィルター画像の撮像とで機材を変えざるを得なかった等、所有する機材による制約がいくつかあった。機材に関する検討課題は次のとおりである。
・基本的には同一光学系で撮像できること
・スペクトル撮像の際に、より長波長までが画角内に収まること
・惑星全面像の拡大率を上げること
(2) スリットスキャン画像には、上に凸となる同傾向の歪みが生じてしまった。元の画像について、上下方向の位置の補正については手作業で行う部分があったが、中央部分で補正が過剰であったのかもしれない。赤道儀の調整を入念に行い、手作業での補正を極力排除できるよう努力したい。
(3) 889nmメタンバンド画像について、スリットスキャンによる画像とメタンバンドパスフィルターによる画像の比較を試みたい。

8. 参考文献等

- 1)Spectral for Sony ICX424 - Vital Vision Technology Pte Ltd
<https://vitalvisiontechnology.com/machine-vision-components/firewire-cameras/guppy-pro-f-032b/spectral-for-sony-icx424/>
2)R1 プロフェッショナル ケンコー・トキナー
<https://www.kenko-tokina.co.jp/imaging/filter/blackandwhite/4961607152379.html>
3)理科年表 国立天文台編 丸善出版(2023)
4)天体観測の教科書 惑星観測編 安達 誠 編 誠文堂新光社(2009)

9. 謝辞

川口市立高等学校の坂江隆志先生にはスリットスキャン画像の作成ならびに貴重なご助言をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。