小型望遠鏡による金星紫外・可視分光観測

江口 倫太郎 (立教大学 大学院理学研究科)

田口真(立教大学大学院理学研究科)

今井 正尭 (東京大学 大学院理学系研究科)

高橋 英則 (東京大学 大学院理学系研究科)

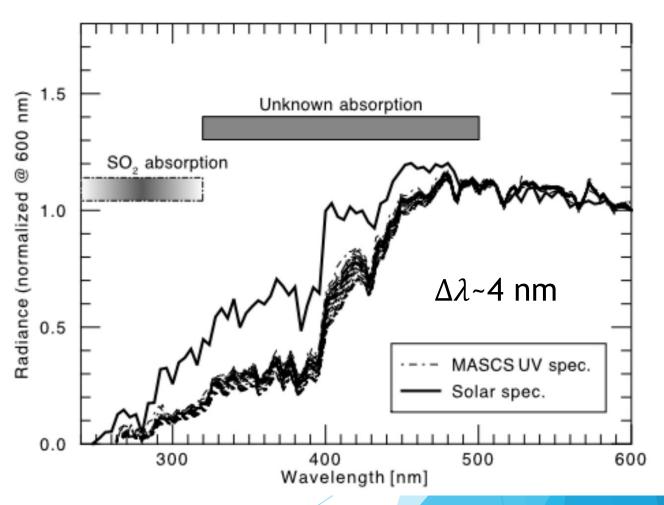
鍵谷 将人 (東北大学 大学院理学研究科)

背景

- 金星反射光の近紫外波長域に吸収 が存在
- ▶ 金星雲頂 (高度 65–75 km) 付近の 大気による太陽光吸収が320 nm ~ 480 nmに存在
- ▶ 283 nm付近のSO2では説明できな い広帯域吸収は物質が未同定

- ▶ 気球望遠鏡 (FUJIN 2)を用いて金 星を観測する計画
- ▶ 地上分光観測はFUJIN 2の予備実 験という位置づけでもある

MESSENGER金星フライバイ時に取得されたスペクトル.



Imai et al.2023: Spectroscopic and Imaging Observation of the Venus Atmosphere by a Balloon-Borne Stratospheric Telescope FUJIN-2

目的

- 金星雲頂に存在する紫外線吸収物質は金星大気の加熱に 大きく関わる
- ▶ 物質が何であるか分からなければ、金星大気を完全に説明することは出来ない
- ▶ 金星近紫外スペクトルデータを拡充し、金星雲頂付近に存在する未知の吸収物質を同定する

そのために

吸収物質の存在量の空間分布や時間変化に対応したスペクトル変化をとらえるため、地上望遠鏡を用いた金星分光観測を実施

金星観測

- 金星と太陽のスペクトルを同時に取得し、反射率スペクトルを求める
- 地球大気による散乱・吸収による効果をキャンセルするために同じ大気コンディション (同じエアマス)で金星と太陽のスペクトルを取得する

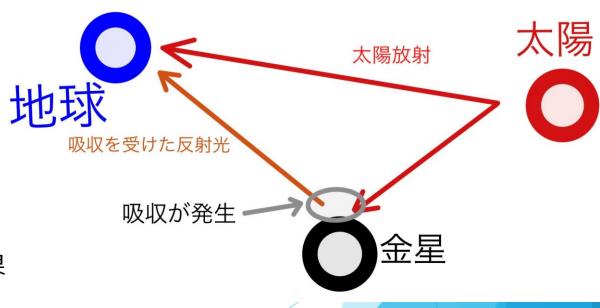
金星: $v_{obs}(\lambda) = v(\lambda)e^{-\tau_v(\lambda)}E(\lambda) + BG_{venus}$

太陽: $s_{obs}(\lambda) \rightarrow s(\lambda)e^{-\tau_s(\lambda)}E(\lambda) + BG_{sun}$

 $E(\lambda)$ →光学系による減光

地球大気の透過率はエアマスにのみ依存すると仮定 観測時の金星と太陽の高度角が近ければ地球大気の効果 をキャンセルできる

金星反射光観測の概念図



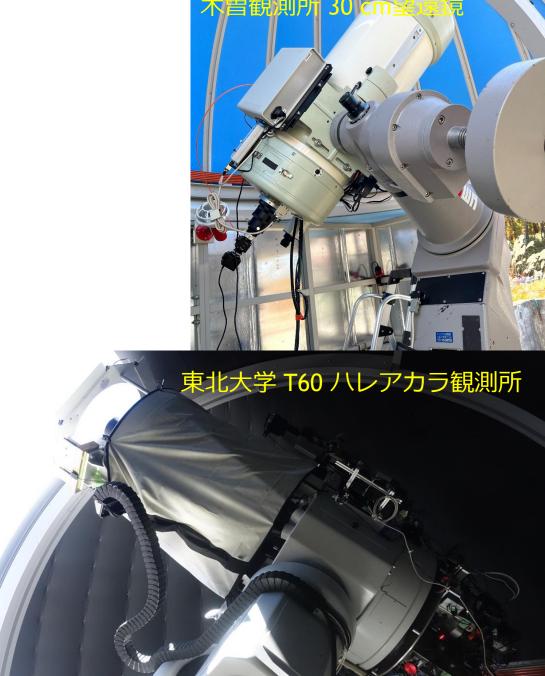
使用した望遠鏡

- ▶ 2023/11に木曽観測所で観測
- ▶ 2024/10/23~11/3の期間に東北大学T60望遠鏡を用いて観測
- 木曽観測所、ハレアカラ観測所はそれぞれ標高 約1000 mと3000 m

▶ T60による観測結果を紹介

T60 カセグレン望遠鏡 スペック

口径	60 cm
焦点距離	7200 mm



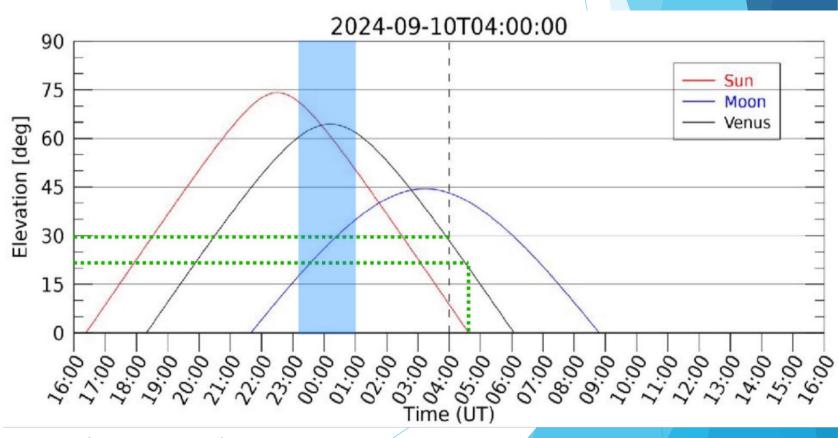
観測時間

- ▶ 金星の高度が最も高くなる付近を狙う
- ▶ 実際の観測はおおよそ1時間以内に収まっている
- ▶ 2024/10/31の9:30~10:30(JST)で観測実施

観測にあたっての望遠鏡操作、 ドーム操作、蓋の開閉、分光 データ・撮像データ取得は全て オンラインで実施可能

分光データの取得は、露光時間 にもよるが1セットにつき5分以 内で実行可能

例:露光時間40 msで20回データ 取得を1セットとした場合、 1 セットにかかる時間は約2分半



Masataka Imai (Utokyo)

使用デバイス

- ▶ 分光器.....Brolight社製 BMI-6002A-02
- カメラ.....株式会社アルゴ DMK41AU02

カメラ DMK41AU02

センサーサイズ	6.0 mm×4.5 mm
視野角	2.9分角×2.1分角
画素数	1280×960

分光器 BMI-6002A-02

波長分解能	0.4 nm
表示範囲	200 nm~550 nm



株式会社アルゴ USBカメラ 公式ページ

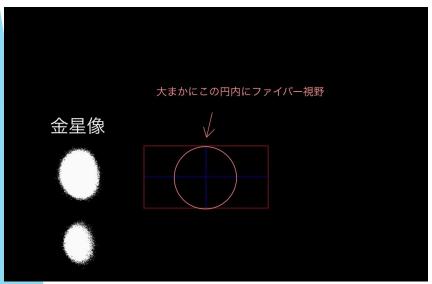


用いる光学系

- ▶ カセグレン望遠鏡と分光器
- カメラと分光器を1つのユニットにして望遠鏡に設置

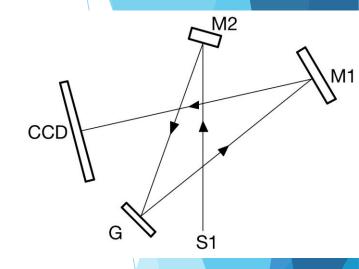
CCDカメラで見た金星 金星視直径:22.1秒角 観測時太陽離角:37.6°

ファイバー視野角:17.2秒角



分光器までの光学系 CCDカメラ ビームスプリッター 光ファイバー 分光器

分光器内部の光学系

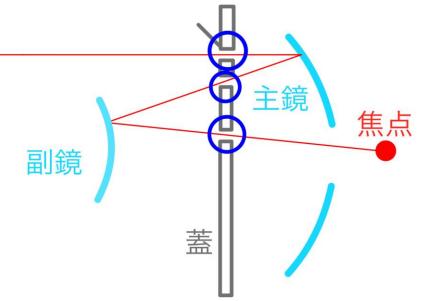




太陽観測

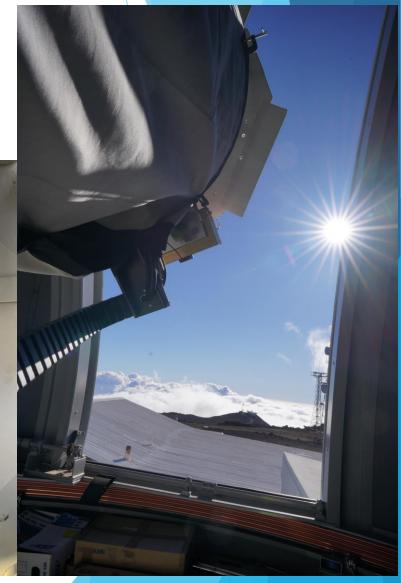
▶ 金星観測時と同じ望遠鏡 (観測システム)を用いて太陽を観測する時は口径を落とす必要があるので主鏡の蓋に穴を開ける加工をした

T60光学系



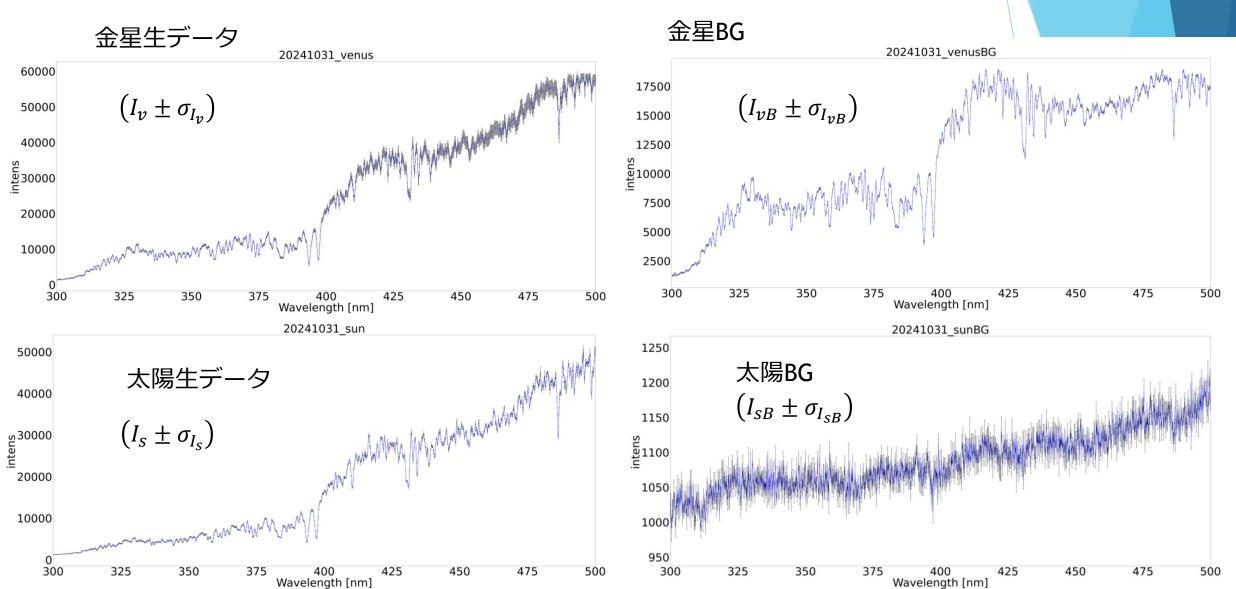
主鏡の蓋





観測データ

- ▶ 金星、太陽の生データとバックグラウンドを取得
- 4種類のデータを各8枚ずつ取得して平均値と標準偏差を取得し標準偏差を誤差として用いる



解析データ

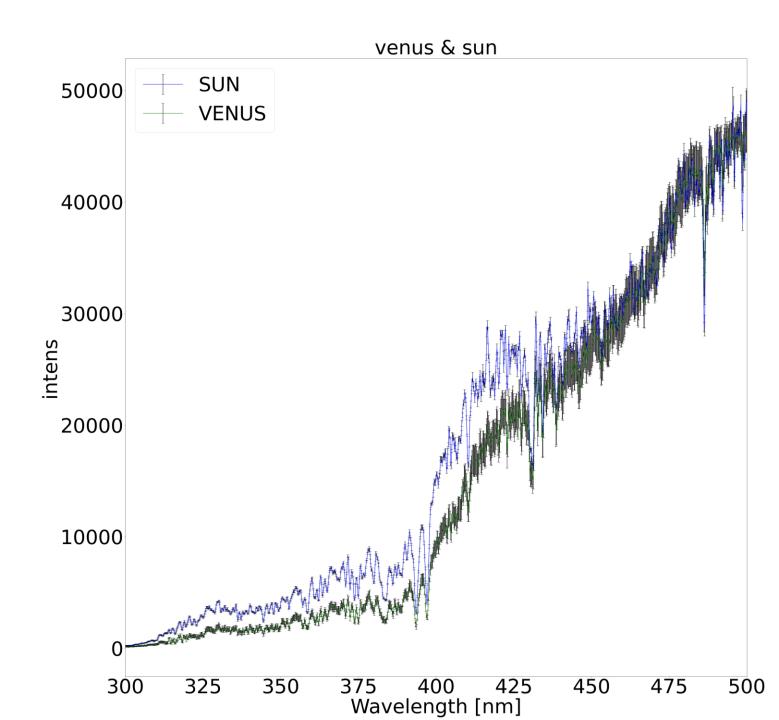
- 太陽、金星のスペクトルからそれぞれバックグラウンドを引く
- 加法の誤差伝搬を用いて バックグラウンドを差し引 きした時の誤差を求める

$$\left(I_v \pm \sigma_{I_v}\right) - \left(I_{vB} \pm \sigma_{I_{vB}}\right) \rightarrow \left(v \pm \sigma_v\right)$$

$$v = I_v - I_{vB}, \sigma_v = \sqrt{{\sigma_{I_v}}^2 + {\sigma_{I_{vB}}}^2}$$

$$(I_S \pm \sigma_{I_S}) - (I_{SB} \pm \sigma_{I_{SB}}) \rightarrow (s \pm \sigma_S)$$

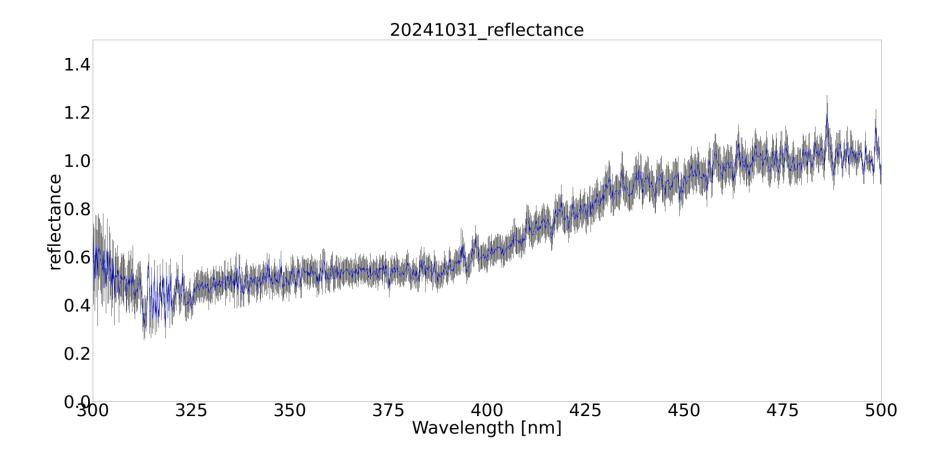
$$S = I_S - I_{SB}, \sigma_S = \sqrt{\sigma_{I_S}^2 + \sigma_{I_{SB}}^2}$$



反射率計算

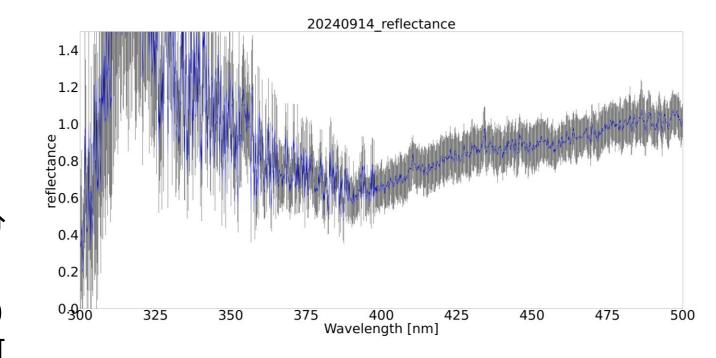
 \blacktriangleright 先程計算した $(v\pm\sigma_v)$ と $(s\pm\sigma_s)$ を用いて反射率を計算する

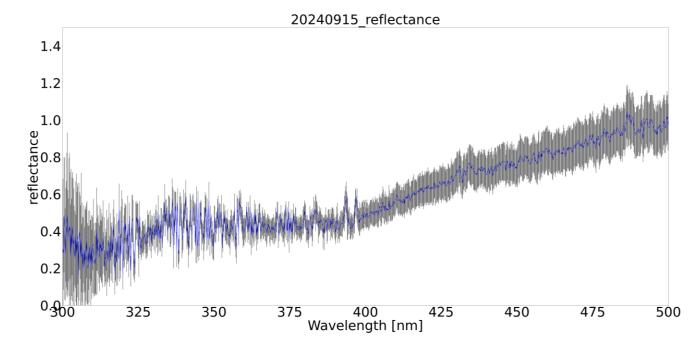
$$\frac{(v \pm \sigma_v)}{(s \pm \sigma_s)} \rightarrow \frac{v}{s} \pm \frac{v}{s} \sqrt{\left(\frac{\sigma_s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_v}{v}\right)^2}$$



日ごとの反射率

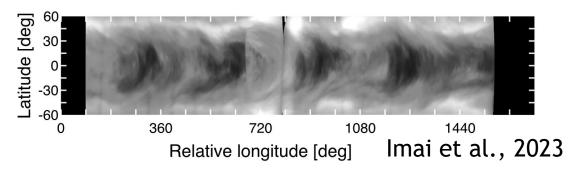
- ▶ 2024/9/14、15に観測したデータ
- ▶ 反射率の強度に変化があるのが分 かる
- より長い期間で観測できればより 多くの反射率変化が期待できる可 能性





まとめと課題

- ▶ MESSEBGER観測と同様の可視・紫外での吸収を地上観測によって確認
- →観測対象と太陽で同じ光学系を用いた反射率測定の有効性
- 反射率の時間変化の確認
- →より長期間での観測への期待
- ▶ 本来吸収が起こっていないはずの場所で吸収が確認
- →500 nm~550 nm程に吸収が見えるが原因は不明
- ▶ より多くの期間をとって観測
- →天候など様々な制約で長期にわたる観測が出来ていないので今後の観測では長期間連続観測を行いたい



出典 Imai.et.al., 2023: Spectroscopic and Imaging Observation of the Venus Atmosphere by a Balloon-Borne Stratospheric Telescope FUJIN-2