

成層圏望遠鏡(FUJIN-2)による金星紫外吸収物質の同定

田口 真・河野大輔(立教大学理学部)

田中響子(立教大学大学院理学研究科)

荘司泰弘・西出太郎・川筋直樹(金沢大学理工研究域)

中野壽彦(大分工業高等専門学校機械工学科)

高橋幸弘・佐藤光輝・高木聖子・濱本 昂・大野辰遼(北海道大学大学院理学研究院)

今井正堯(京都産業大学理学部)

FUJIN-2 実験の目的、科学的意義、観測方法については過年度の集録原稿[Taguchi et al., 2020; 2021]に詳しく述べてあるので、ここでは簡単に紹介する。

金星大気のスーパーローテーションの発生メカニズムは長年にわたる謎の1つであった。金星探査機「あかつき」の観測結果と全球モデルによるシミュレーションによる研究によって、高度 60~70 km の雲層中での太陽放射加熱によって発生する熱潮汐波がスーパーローテーションの維持に必要な角運動量輸送を担っていることが明らかになった[Horinouchi et al., 2020; Takagi et al., 2018; Yamamoto et al., 2019]。雲層中に存在する可視・紫外光吸収物質の分布が太陽放射加熱率分布を決めている。320 nm より短波長側の吸収は SO_2 によると判明しているが、320 nm より長波長側の吸収の原因物質は未同定である。候補物質として硫黄を含んだ物質など (S_3 , S_4 , S_8 , S_2O , FeCl_3 など) が提唱されてきた[e.g., Esposito et al., 1997]。Perez-Hoyos et al. [2018]は、水星探査機 Messenger 搭載分光器による観測から波長 300~500 nm における吸収帯を再現するには波長 365 nm 付近に強い吸収をもつ S_2O か OSSO が最も有力な候補であることを示した。しかし、過去の探査機や地上望遠鏡による観測の波長分解能 (4 nm 程度) では吸収帯の特徴を捉えられず、吸収物質を特定できていない。

我々は吸収物質の有力候補である S_2O と OSSO の吸収スペクトル形状の違いに着眼し、両者の分光観測を提案している。OSSO は波長 290~400 nm の領域で cis-型と trans-型で中心波長の異なる広がった吸収が重なった二山の吸収構造を示す。一方、 S_2O には 339, 346, 353, 360, 368 nm に最大で 8%の深さをもつ鋭い吸収線が存在する。このため、金星の波長 290~500 nm の領域を従来よりも一桁高い 0.4 nm 程度の波長分解能で観測できれば、 S_2O と OSSO が示す特徴的な吸収線を定量的に評価し、それらの存在量を推定することが可能である。それらの存在量を S, SO, SO_2 などの既知の物質の分布と合わせて化学平衡状態を計算し、硫黄化合物全体の存在量を計算できる。

地上望遠鏡では地球大気の成層圏中に存在するオゾンによる吸収のため 330 nm よりも短い波長帯の観測は困難で、両者の定量的な同定はできない。また、探査機による観測を実現するには、長い時間と大きなコストが要求される。そこで、金星大気の未知の吸収物質を同定する手段として気球によって成層圏にまで上昇させた光学望遠鏡 (風神、FUJIN-2) による観測を提案している。本研究では FUJIN-2 を用いた金星の分光及び撮像観測によって、吸収物質の同定と太陽放射加熱率分布の解明を目的とする。

2023 年 3~4 月の豪州実験を目指して FUJIN-2 ゴンドラを開発している (図 1)。望遠鏡を搭載したゴンドラは気球によって高度約 32 km に浮遊しながら姿勢センサー及び 4 台のコントロールモーメントジャイロにより絶対空間に対して姿勢を安定化する。望遠鏡の架台を動かして目標天体を

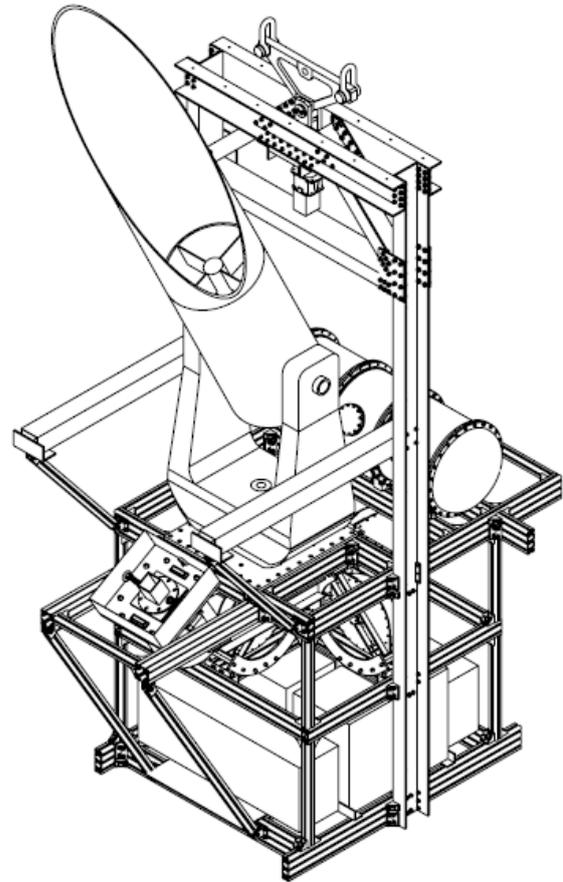
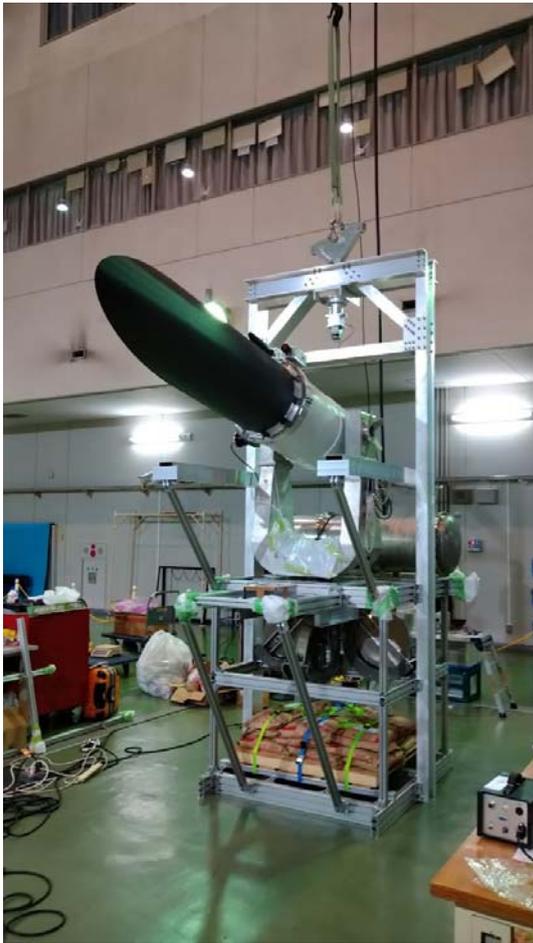


図1. (左)仮組立中の FUJIN-2 ギンドラ。(右)FUJIN-2 ギンドラの CAD 図面。CAD 図面には望遠鏡の脇にピギーバックの miniSGD が描かれている。写真ではその位置にダミーウェイトが置かれている。ギンドラの吊り点までの高さは 3874 mm、総重量はバラスト 575 kg 及び miniSGD 込みで 1400 kg である。

望遠鏡視野に導入する。目標天体追尾のエラーは鏡筒内に設置した第 3 鏡の傾きをリアルタイムに制御して補正する。

機械環境要求を満たすようにギンドラの設計及び構造解析を行った。パラシュート開傘時にかかる力は吊り点からギンドラ重心に向かうベクトルなので、15 G という大きな加速度となるが、これに耐える設計はできた。しかし、放球時に気球が水平風によって流されることによる水平方向の力に関しては、ギンドラを回転させるトルクが発生するので、解析がやっかいである。数通りの方法で解析を行ったが、十分なマージンは確保できなかった。結果の一例を図 2 に示す。図 2 に示した解析ではギンドラ吊り点（三角プレート）の 2 点を拘束点とし、X 方向に 3 G の加速度をかけた。結果として三角プレートは折れ曲がるように変形し、大部分で MS (Margin of Safety) が負の値をとった。放球時の水平力に耐えられないことを示している。その他にもいくつかの部品で MS が負の値をとっている。現在、水平方向の力の条件を見直して、改めて解析を行う予定である。その結果、ギンドラの設計変更や改修が必要になる可能性がある。

フライト時にサイエンスデータ（カメラ取得画像及び分光器取得スペクトル）を地上に降ろして目標天体の画像とスペクトルデータが想定通り取得できているか確認する必要がある。ところが、JAXA が用意する通信では画像を高速に降ろすことができないため、イリジウム通信サービスを利

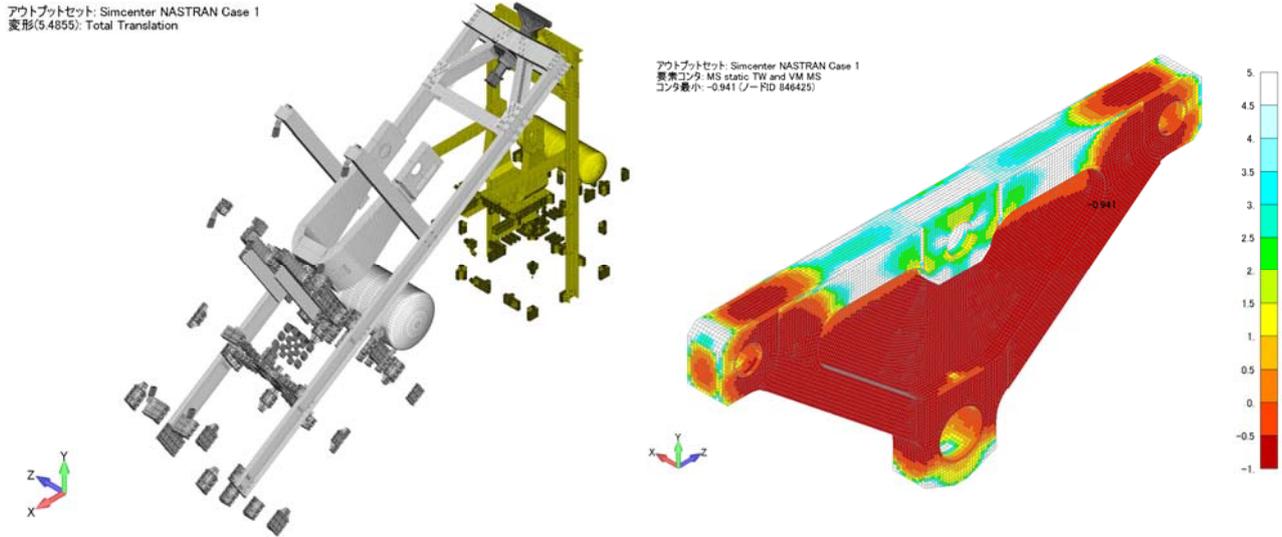


図2. (左)モデル変形図(変形倍率:1倍)。変形前のモデルを黄色で示している。(右)三角プレートのMS分布。赤はMSが負を示す。

用することとした。イリジウム通信とGPS受信機及び気球テレメトリとの電波干渉の有無を確認するため、JAXA宇宙科学研究所先端宇宙科学実験棟I(通称:D棟)屋上にて実機を用いた試験を行った(図3)。結果として、それぞれの間で干渉はないことが確かめられた。また、イリジウム通信の実効通信速度としては約300kbpsが出ていることが確認された。

現在、ゴンドラの組み立て、配線、各機器の動作確認、オンボードソフトウェア、地上系ソフトウェアの開発を行っている。2022年11月中に噛合試験及び熱真空試験を実施する。その後に姿勢制御、目標天体捕捉・追尾、追尾エラー補正、画像データ及びスペクトルデータ取得の各機能の性能最適化を行う。次に、屋外で明るい天体を用いて、地上にゴンドラを静置した状態での試験観測、次にクレーンでゴンドラを吊った状態での試験観測を予定している。



図3. イリジウム通信機とGPS受信機、気球テレメトリの干渉試験。