

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400480

研究課題名(和文)ファイバ方式を用いた完全同時分光イメージングによる金星大気雲層観測

研究課題名(英文)Development of Fiber IFU and Observation of Venus Cloud Tops

研究代表者

山田 学 (YAMADA, Manabu)

千葉工業大学・惑星探査研究センター・研究員

研究者番号：40451512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、完全同時の二次元分光を実現させる入射側二次元・出射側一次元配列光ファイバユニットのファイバ素線本数を増やすための基礎開発を行った。簡便かつ効率的なファイバユニット作成方法を考案し、新たな手法で作成したファイバユニットを用いた面分光装置を作成した。この面分光装置を望遠鏡に取り付けることで金星紫外域の観測を実施し、二次元画像の同時分光データを取得することに成功した。これにより、ファイバ素線本数1000本クラスのファイバユニットの実用化の見通しがついた。

研究成果の概要(英文)：We have developed a new type method of creating integral field unit (IFU) for two-dimensional spectral imager. Our new method can increase number of fiber in IFU to about thousand. We made a spectral imager for observation of Venus in ultraviolet range by using the new developed IFU. By attaching this device to a telescope, we succeeded obtain many data cube from near 330nm to 500nm of Venus.

研究分野：惑星科学

キーワード：ファイバ面分光 装置開発 紫外観測 金星

1. 研究開始当初の背景

日本の金星探査機「あかつき」は2010年12月7日の金星周回軌道投入失敗後、想定外の太陽距離(約0.6AU)まで近づく太陽周回軌道に入った。「あかつき」は太陽・金星距離(0.7AU)で熱設計されており、想定よりも太陽距離の短い軌道においては衛星筐体のうち熱的に弱い面を太陽に向けることができないという姿勢制約があった。しかし、代表者等はこの姿勢制約下で観測機器の視野が金星を向く機会を逃さず、金星より約1300万kmの距離から、あかつきに搭載された四台のカメラを用いて金星の測光観測を実施した(山田等, 遊星人, 2011)。金星上層雲による太陽光の散乱・吸収を計測する紫外イメージャ(UVI)を用いた観測から、(1) 波長365nmの光量変化はおよそ四日周期 (2) 波長283nmの光量変化も四日周期であるが、位相が365nmのそれと比較して約一日ずれていた、ことが明らかになった。この観測において、金星は視直径4ピクセル未満の大きさしかなく空間分解できないため、どのような模様の違いがあったのかわからないが、金星紫外観測において「横倒しのY字模様」として知られる紫外吸収をなす未同定物質の水平分布と、283nmの吸収を担う二酸化硫黄の水平分布が異なっていたことを示唆していた。

二酸化硫黄は金星の硫酸でできた雲のもとになる物質であり、光化学および雲物理と密接に関係している。その挙動を観測することは金星雲生成メカニズムの理解につながる。二酸化硫黄の吸収帯に注目した二次元観測を行うのはUVIが初めてであるが、2015年11月に予定されている「あかつき」の金星再接近および金星周回軌道再投入を待たねば空間分布の観測はできなかった。代表者等は「あかつき」の金星軌道投入成功のいかんによらず、未同定物質と二酸化硫黄の空間分布の違いを研究するために、地上観測を可能にする手法を確立したいと考えた。

金星昼面雲頂上の太陽散乱光のスペクトルには、波長200nmから500nmの間で広く吸収構造があり、雲の中に含まれる物質による吸収と考えられている。このうち、340nmより短い側の吸収は二酸化硫黄によるものと同定されている。一方で、1960年代より行われてきた地上からの金星紫外観測は、経験的に紫外域での模様が高コントラストで得られることが重視され、オゾンの窓領域付近に相当する300nmから400nm間の広帯域フィルタ等で実施されてきた。

近年、観測技術の進歩により、高感度、高速撮像、多波長同時観測が可能になってきた。代表者等は、「あかつき」UVIの観測結果をふまえ、340nm以上の吸収を担う物質が未同定である以上、未同定の吸収物質が複数であることも考慮し、地上からの観測が可能な300nmから500nmの間を波長・空間分解した観測を実施し、空間的な模様その吸収物質の水平分布が異なるか否かを研究することで、新たな知見を得られる可能性があると考えに至った。

2. 研究の目的

本研究は、(1) 完全同時二次元分光と高速撮像を組み合わせた高空間分解・多波長観測を実現し (2) 金星紫外雲模様の違いがでる波長域を明らかにすることを目的とする。

金星探査機「あかつき」の紫外イメージャ観測より、金星表面の雲層の模様が波長により異なる可能性が示された。地上観測を実現するには地球大気の影響を極力小さくし、複数波長の二次元画像を比較する必要がある。ファイバ方式を用いた完全同時二次元面分光の高空間分解化と高速撮像を実現することで、シーイングの良い同時刻の多波長データを取得し、模様の違いがどの波長から現れるのか測定可能にする。本研究はファイバ方式二次元分光の基礎研究を含むため、ファイバ方式面分光の小型化実現につながるものであり、今後の惑星探査機搭載への応用も期待できる。

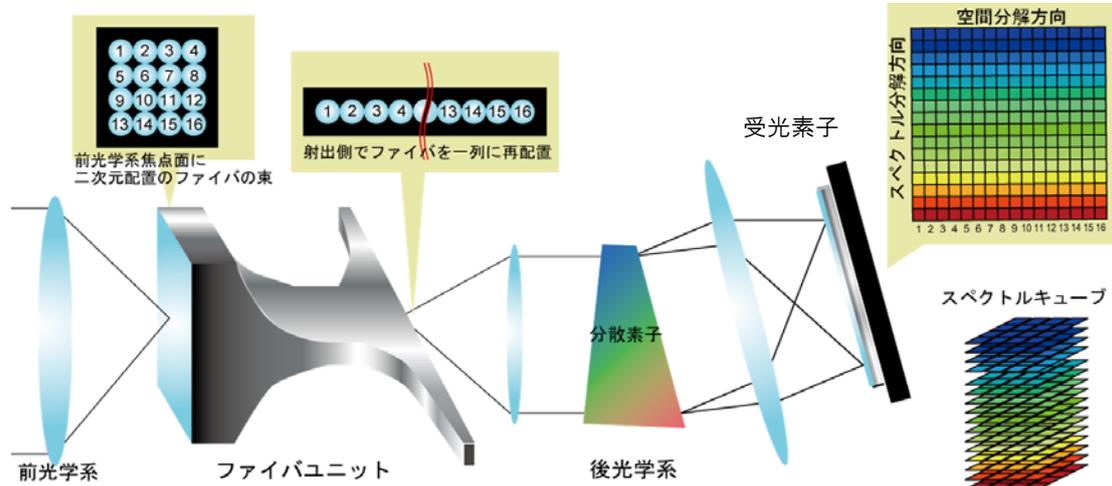


図1. 入射側二次元・出射側一次元配列光ファイバユニットを用いた分光器の概念図。

本研究では大きく分けて、(1) 完全同時二次元分光を実現するための入射側二次元・出射側一次元配列光ファイバユニット(図1)の開発、(2) 開発したファイバユニットを用いた観測装置の設計・作成、(3) 作成した観測装置を用いた観測実証、を行った。それぞれの実施内容を以下に示す。

① 二次元面分光用ファイバユニット開発：  
従来の入射側二次元出射側一次元配列の光ファイバユニット作成方法は、一本一本のファイバ素線の入射と出射位置を把握しながら二次元および一次元に孔をあけた治具に通す手法がとられる。この方法では、孔にファイバを通す都合、治具の孔の径をファイバの径よりも若干大きく作成する必要がある、これに起因してファイバの向きにばらつきが生じてしまう。またファイバ素線の入射・出射位置対応を確認しながらの作成となるため、ファイバ本数を増やすことは作業量の増加に直結する。

本研究では、従来の方法では困難と思えるファイバ本数 1000 本程度のユニットの作成を一つの目標とし、孔をあけた治具を使わずに入射側二次元・出射側一次元配列のファイバユニット作成方法の開発に取り組んだ。まず安価なファイバを購入し、いろいろな方法で100 本程度のファイバユニットの作成を試み、効率よく作成できる手順を考え、これを拡張するようにして使用するファイバ素線本数の増加を試みた(図2)。

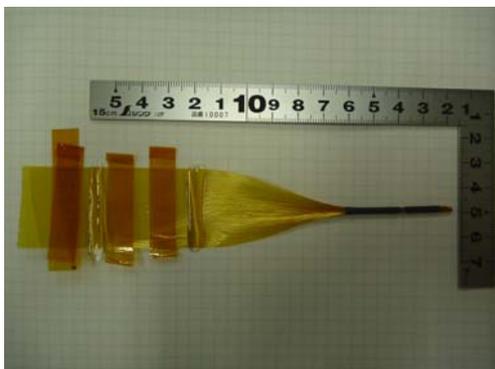


図2. 試作段階のファイバユニット

最終的に、入射側二次元 1000 本弱に対し、出射側は 300 本強を並べた一次元ユニットを3 段構成とするファイバユニットを作成する手順を確立した。(図3)。

② 新開発ファイバユニットを組み込んだ観測機器作成：  
今回の金星観測において、ファイバユニットの一次元出射側と光学素子を結ぶ後光学系において入手可能な紫外用レンズの結像性能の制約があり、1000 本クラスのファイバユニットをそのまま使うことができなかつた。望遠鏡の焦点部分に配置する二次元配列側のファイバ素線数は120 本程度あれば視野を確保できるので、新たに出射一次元側は中央

の1段のみとし、さらにファイバを一本毎に間引きファイバ間隔をあけたファイバユニットを再製作することで対応した。作成した分光光学系の仕様を表1に、観測器の外観を図4に示す。



図3. ファイバ素線1000本弱を使ったファイバユニット

表1. 分光光学系仕様

ファイバアレイ仕様	
空間解像度	1.86 " /fiber (クーデ)
ファイバピッチ	0.13mm
ファイバ本数	273 本
分光光学系仕様	
縮小率	36/90=0.4
CCD 画面サイズ	14.2x8.0mm
分散	0.46nm/pixel
FWHM	~ 7pixel = 3.2nm
スペクトル解像度	$\lambda / \Delta \lambda = 125$



図4. ファイバ二次元分光器外観

### ③ 紫外域での金星観測実証

作成したファイバユニットを用いた分光器を、東北大がハワイハレアカラ山頂に設置している口径 60cm のクーデ焦点反射望遠鏡に取り付け、2017 年 6 月の金星最大離隔期間観測をおこなった。露出時間 500 ミリ秒で約 30 分間の金星撮像とバックグラウンドの空の撮像、キャリブレーション用の光源撮像を1 セットとして、6 月 21 日から 26 日までの観測で 49 セットの 330nm から 500nm までの二次元分光データを取得し、観測実証に成功した。

#### 4. 研究成果

二次元面分光用ファイバユニットの新たな作成方法については、効率よくファイバを並べる方法を確立し、当初目標とした 1000 本クラスのファイバユニットの作成の目途がついた。なによりも入射・出射のファイバ位置の対応関係を検査する方法を考案できたことにより、さらなるファイバ本数の増加も原理的に可能である。

図 5 は本研究で開発した観測装置で取得した、紫外域での金星撮像データの一例である。2017 年 6 月 22 日 15:13~15:50(協定世界時)に取得した 3775 枚のデータを積算したデータである。左上の 315nm から右下の 405nm へ、波長 10nm 毎に二次元分光に成功した。365nm の画像については、同時に観測をおこなっていた金星探査機「あかつき」搭載の紫外カメラが取得した 365nm の金星画像と比較して整合的であり、本研究で考案した手法で作成したファイバユニットを用いた観測実証ができた。これにより、二次元分光スペクトルを完全同時に取得できる技術が整い、金星雲頂の空間構造を多波長で比較することが可能となった。

紫外域においては後段の光学系の設計の難しさが課題であることが判明したものの、ファイバ本数を増加させる目途がついたことは大きな成果である。一方で、二次元のファイバ並びをいかに整列させるかに課題が残った。また、ファイバ本数 1000 本クラスの二次元分光器を実現するには、後ろ光学系の設計や受光素子の使い方などに工夫が必要であることが分かった。光学系を大きくするか、より細かいファイバ素線を使用するという方法が考えうる。

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3 件)

①山田学、鍵谷将人、山崎敦、新規開発ファイバ分光装置による金星紫外観測、地球電磁気・地球惑星圏学会第 142 回総会及び講演会、2017

②山田学、鍵谷将人、山崎敦、新規開発ファイバ面分光ユニットを用いた金星雲観測計画、日本地球惑星科学連合 2017 年大会、2017

③山田学、鍵谷将人、山崎敦、金星雲観測のためのファイバ面分光ユニット開発、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山田 学 (YAMADA, Manabu)

千葉工業大学・惑星探査研究センター・研究員

研究者番号：40451512

##### (2) 研究分担者

鍵谷 将人 (KAGITANI, Masato)

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：30436076

山崎 敦 (YAMAZAKI, Atsushi)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：00374893

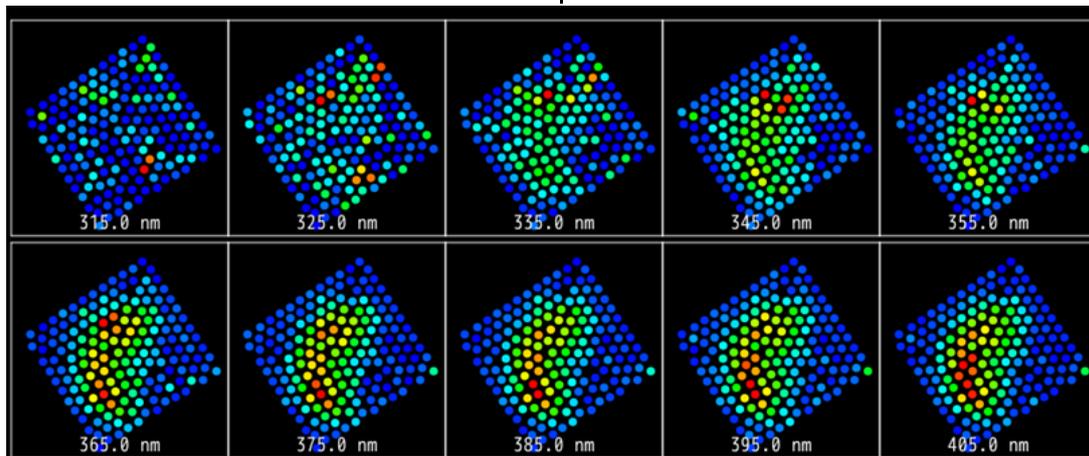


図 5. 2017/06/22 15:13~15:50 に取得した金星二次元分光データ。