

平成 22年 6月29日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20740288
 研究課題名(和文) 月惑星大気光の超高分散分光観測に向けたファブリペロー干渉計用高精度平面鏡の開発

研究課題名(英文) Development of Fabry-Perot Interferometer for high dispersion spectroscopy of Lunar and Planetary Atmospheric airglow.

研究代表者

亀田真吾 (Shingo Kameda)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・プロジェクト研究員

研究者番号：30455464

研究成果の概要(和文)：月惑星大気光の超高分散分光観測を目標としたファブリペロー干渉計に用いる高精度平面鏡の開発を行った。圧電素子を用いた鏡面間隔制御を行い、鏡面間の平行度調整精度を上げることで計測精度を上げ、 $300/\lambda$ の平面鏡の開発に成功した

研究成果の概要(英文)：To develop Fabry-Perot Interferometer for high dispersion spectroscopy of Lunar and Planetary Atmospheric airglow, high flatness mirror was developed. Piezo actuator was used to improve parallelism of mirror and mirrors with flatness of $300/\lambda$ were manufactured in success.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	2,200,000	660,000	2,860,000
21年度	1,200,000	360,000	1,460,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物

科研費の分科・細目：超高層物理学

キーワード：ファブリペロー干渉計、惑星大気、観測

1. 研究開始当初の背景

惑星は何故各々に特有な大気を持つのだろうか？生物の住む地球の大気が特異なだけではなく、各惑星大気の性質は各惑星の重力、太陽輻射の差だけでは説明できないほど異なっている。しかし地球以外の惑星大気に

関する情報は依然として少なく、この理由は未知のままである。本研究では大気光の輝線幅から惑星大気の温度、風速場を捉えることで各惑星の大気生成過程の解明を行うことを目的とし、それを可能にする高い波長分解能を持つ惑星大気光観測器の開発を行う。

本研究で開発を行ったファブリペロー干渉計は地球だけでなく月・惑星大気光観測に使用されてきている。また、小型・軽量ながら高い波長分解能を達成できるため、水星探査機 BepiColombo にも搭載が予定されている。波長分解能は平面鏡の精度に依存するが、ここ 20 年程度の間平面精度はほとんど向上していない($\lambda/200$)。

2. 研究の目的

本研究では開発したファブリペロー干渉計を用いて水星大気と水星と似た性質を持つ月大気を観測し、大気温度分布を捉えることを課題とする。これにより水星・月に存在する希薄大気の生成過程の地域依存性を調べ、大気放出過程の解明を目指す。特に月大気については今年から観測を開始する月周回衛星かぐやで地表組成の情報が得られるため、この結果と併せて生成過程の解明を目指す。私は既にファブリペロー干渉計を用いて水星ナトリウム大気光の観測を行なっている。ナトリウム大気は全球様な分布はしておらず、ナトリウム D 線を等方的に共鳴散乱することによって生じる太陽光放射圧を受け、反太陽方向に伸びた形状を成している。これは $I_p(1986)$ によって予想されていたが明らかにはされていなかった。この観測ではファブリペロー干渉計を初めて水星大気光観測に用いることで、過去の数倍の観測視野を得て広域分布を捉えることに成功した。しかし、上記の観測では水星ナトリウム大気検出以来 20 年以上議論が続いている生成過程の謎を解くには至っていない。過去の観測によって、水星大気は南北非対称の分布を示しており、さらに高緯度に濃集するという結果が得られている。さらにその濃集域が 1 日の間に北極付近から南極付近に移動するという現象も捉えられている。この現象は主に太

陽風と水星磁場の相互作用により磁場の開いたカスプ領域に太陽風イオンが降り込み、スパッタリング効果によって大気が放出されるためと考えられている。一方で、大気放出の模擬実験の結果から太陽風スパッタリングによって放出される大気量は、太陽光によって物質が運動エネルギーを得て地表から放出される量より 1 桁少ないということが示唆されている。そのため現在でも生成過程の議論は続けられているものの首尾一貫した説明はできていない。これに対し本研究では大気温度分布を観測することで生成過程の解明を目指す。地表からの放出はほぼ等方的であると考えられるため、ドップラーシフトによる輝線幅の広がりを観測すれば大気温度を特定することができる。しかし、これまで行なわれた観測の波長分解能では太陽光衝突による放出(秒速 1-2km)と太陽風、隕石衝突による放出(秒速 2-4km)による輝線幅の広がり差を捉えることはできていない。本研究では輝線幅の観測を目的として、新しく考案した平面度検査法を用い、 $\lambda/500$ 程度の高精度平面鏡を製作し、従来より高い波長分解能を持つファブリペロー干渉計の開発を行う。

3. 研究の方法

$\pm 1\text{nm}$ の平面精度を持つ鏡面製作の手順を以下に示す。

(1)2つのガラス基板を研磨し銀薄膜を蒸着
(2)[旧] 鏡面を重ね合わせて単色光によって生じる干渉縞をフィルムで撮影する

[新] 鏡面間隔を固定するためのスペーサ($t \sim 1\text{mm}$)を挟み干渉計を完成させ単色光によって生じる干渉縞を CCD で撮影する

(3)[旧] 干渉縞の本数、歪みから凹凸を検出する

[新] 鏡面上の各点で干渉縞を撮影し、干渉

縞の径から凹凸を検出するファブリペロー干渉計の干渉条件は λ を波長、 θ を入射角、 d を鏡面間隔として

$$m\lambda = 2d\cos\theta \quad [m:\text{干渉次数(整数)}]$$

と表される。鏡面間隔が大きければ干渉縞の径が大きくなるため、干渉縞の径を測定することで鏡面の凹凸を検出する

(4)目標精度が達成されていない場合、銀薄膜を洗浄し再び研磨を行なう

旧手法の工程の方が単純であることから作業効率を上げるため、平面精度 $\pm 3\text{nm}$ が達成された後に新手法を用いた工程に移行し $\pm 1\text{nm}$ の平面精度を達成する。製造・研磨業者との協議の結果、研磨所の蒸着装置を使用すること、検査機器(CCDカメラ・単色光源[HeNeレーザ]・その他光学部品)を研磨所に持ち込んで検査をすることが認められている。

銀薄膜は酸化し易く、透過率が低いため目標精度である $\pm 1\text{nm}$ を達成した後に洗浄し、光吸収の少ない誘電体多層膜を蒸着する。その後、鏡面間隔を固定するための低熱膨張率ガラススペーサを挟み干渉計を完成させる。

4. 研究成果

新検査法の実現のために圧電素子を用いて鏡面間隔制御機構を持つファブリペロー干渉計の治具を製作し、検査手法を確立した(図1)。治具設計においては各部位の熱膨張係数を考慮し、鏡面間隔の温度変動を極力抑えるようにした。

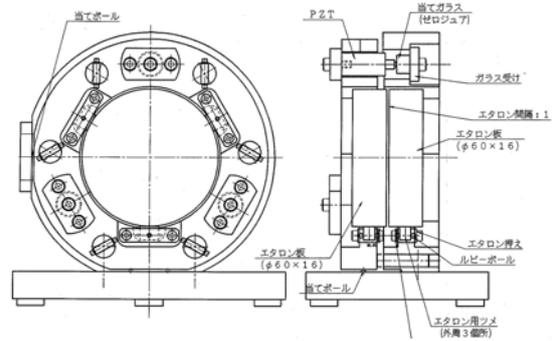


図1: ファブリペロー干渉計治具

これを用いて鏡面の検査を行った。検査に際しては波長安定型 HeNe レーザと積分箱による一様平面光源を用いた。また、XZ 軸の直動ステージにモノクロ CCD カメラを設置し、ファブリペロー干渉計の鏡面上を 2.5mm 間隔で動かし、干渉縞の撮像を行った。使用した試験用器具を図2に示す。



図2 鏡面検査風景

試験は宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部内に設置された暗室内で行った。温度変化による空気屈折率の変化や鏡面間隔の変動は複数回計測を行うことによって十分小さいことが分かった。

検査結果を図3に示す。初回の研磨の時点では図3の赤点で示すように平面度は $\pm 3\text{nm}$ 程度となっており、中央に向かって凸側に歪んでいることが分かった。これを踏まえて再び研磨を行った結果が図3の黒点で示されている。この結果として $\phi 10\text{mm}$ の範囲では目標の $500/\lambda$ という平面度を達成することが

出来た。

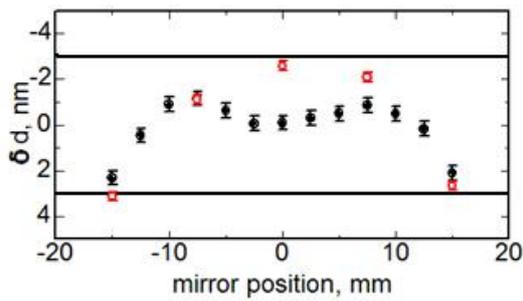


図3 鏡面精度検査結果

従来の検査法の精度は3nm程度である(黒線)。これに対し新検査法では0.2nmの精度が達成されている。白点は従来の検査法を用いて製作された鏡面の検査結果を示し、黒点は再研磨を行なった結果を示す。中央付近での平面度が向上し、特にφ20mmにおいては1nmの平面度が達成できた

また本研究の目的の一つである水星大気光の観測を行った。今後ファブリペロー干渉計を使った観測を行うための下準備として、岡山天体物理観測所にて水星大気光の観測を行った。水星大気の時空間変動を捉えるために日中に長時間の観測を行なった。日中に水星を追尾することは困難であるが、光学系に赤外線透過フィルタを設置し地球大気光を低減することで日中の追尾が可能となった。6時間継続した観測を行なった結果、大気密度の変動は5%以下であり太陽風変動が大気密度変動に与える影響は過去の研究による予想を大きく下回ることを示した。

水星の軌道傾斜角が太陽系惑星の中で最も大きいことに着目して研究を行った。惑星間空間ダストは黄道面付近に集中した分布を持つため、ダストの衝突量は1水星年の間に増減することが予想される。私はこの事に着目して地上観測結果を解析し、水星大気密度と黄道面からの距離に負の相関があるという結果を得た。また、ダスト分

布対称面と黄道面が異なることを考慮したダスト分布モデルを用いると、水星大気密度とダスト衝突量は正の相関を持ち、その相関係数は0.6以上であるということが分かった。この結果は、水星大気密度の変動が惑星間空間ダスト衝突量の変動に依ることを示唆している。水星は太陽に近く近傍の黄道光観測が困難であるためダスト分布は地球近傍の分布から推定されているが、水星大気光を観測することで水星近傍のダスト分布を捉えられる可能性がある。

2009年度後半には製作したファブリペロー干渉計を相模原キャンパスに設置した望遠鏡に設置して観測を試みたが、天候が悪く水星を捉えることができなかった。今後はより晴天率の高い場所に設置し、観測を行うことを検討している

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Kameda, S., I. Yoshikawa, M. Kagitani, and S. Okano (2009), Interplanetary dust distribution and temporal variability of Mercury's atmospheric Na, Geophys. Res. Lett., 36, L15201, doi:10.1029/2009GL039036. 査読有

〔学会発表〕(計1件)

亀田真吾、惑星大気分光観測用ファブリペロー干渉計の開発、地球電磁気・地球惑星圏学会秋学会、2009年、金沢大学

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称：対向面内所定位置における対向面間距離測定装置及び方法、及びそれらを用いた高平面度加工方法

発明者：亀田真吾

権利者：独立行政法人宇宙航空研究開発機構
種類：特許

番号：特願2009-043796

出願年月日：平成21年2月26日

国内外の別：国内

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀田真吾 (SHINGO KAMEDA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究本部・プロジェクト研究員
研究者番号：30455464

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：