

ファブリペロー干渉光学系による水星ナトリウム大気イメージャーの開発

Development of Mercury's Sodium Atmosphere Spectral Imager using Fabry-Perot Interferometer

亀田 真吾[1], 吉川 一朗[2], 田口 真[3], 中村 正人[2]

Shingo Kameda[1], Ichiro Yoshikawa[2], Makoto Taguchi[3], Masato Nakamura[2]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 宇宙研, [3] 極地研

[1] Earth and Planetary Sci., U-tokyo, [2] ISAS, [3] NIPR

水星は1970年代のマリナー10号の探査により地表の様子が初めて撮影され、太陽風起源の大気が存在する事が明らかにされた。その後水星起源の大気が1985年の Potter and Morgan の地上観測において発見され、水星大気の主成分はナトリウムであるという事が分かった。このナトリウム大気の生成プロセスとして、太陽光による光脱離、微小隕石衝突による気化、太陽風イオンによるスパッタリング、が候補に挙げられており、散逸プロセスについては、太陽紫外線による光電離、電子衝突による電離、電荷交換による電離、が挙げられている。しかし、どのプロセスが一番有力であるかについては明らかにはなっていない。その理由の一つには地上観測における空間分解能の制約がある。水星大気のスケールハイトが大きく見積もっても50 kmであるのに対して、空間分解能は500 km程度までしか得られないので、大気分布が十分な解像度で得られていない事がある。また、もう一つには観測時間の制約がある。水星は太陽に近い為に連続的な観測時間は一日毎に数十分までしか得られない。水星大気の明るさの分布は地上観測によって一日で大きく変わる事が報告されているが、大気分布の数時間の変動を追う事は地上観測では不可能である。

我々はこの点を解決する為に、水星近傍からナトリウム大気を常時観測する事を計画している。その為には、地表光と大気光とを分離する事が不可欠である。水星大気が強い散乱光を発するナトリウムの二重線（D線）の波長589 nmの帯域には水星表面から反射される太陽光による強い連続光が存在する。また、水星大気光のD線の線幅は50 mÅ程度しかないので高分散素子が必要である。しかし、通常使用される狭帯域フィルタはこれよりずっと広く、せいぜい1 Å程度であるので、D線と地表反射光を分離する事が不可能である。また、回折格子を用いて50 mÅの波長分解能を達成しようとすると、その分光システムの大きさは探査機に搭載できる大きさを遥かに超えてしまい、搭載可能なサイズの回折格子を用いた分光システムではナトリウム大気光だけを観測する事は非常に困難である。

そこで本研究では、高い波長分解能を持つファブリペロー干渉光学系によるナトリウムD線のイメージャーについて光学系の設計を行い、理論上の性能の見積もりを行った。ファブリペロー干渉計（FPI）は平行に置いた2鏡面間の反射によって起こる干渉を利用した干渉計で、非常に高い波長分解能を得る事ができ、水星大気のナトリウムD線の観測において必要となる波長分解能25 mÅを十分達成可能である。Bepi-Colombo MMO に搭載を計画している観測機に必要な性能は以下の通りである。

- ・視野 — 22°（スピン軸方向）
（22°＝探査機の遠水点付近からみた水星の視直径）
- ・波長分解能 — 25 mÅ（Na D線の線幅の半分）
- ・波長範囲 — 5889.95（D2線）±0.25 Å
（地表の反射光を見る為に線幅より広く取る）
- ・空間分解能 — 50 km（スピン軸方向）（大気のスケールハイト）

周回探査機のスピンによるスキャンをする為、スピン周期が4秒である事と空間分解能50 kmが要求される事から、

- ・シャッター間隔 — 2 ms

となる。FPIは、入射角が異なると透過する波長が異なる、つまり見る方向によって見える波長が異なるので、スピンによるスキャンにより位置情報、波長情報を取得して分光撮像をする事が可能である。これらの条件から光学系の設計を行った結果、全長約30 cm、開口部φ3 mmのカメラを設計する事が出来た。

FPIによる分光には2鏡面間の距離を一定に保つ事が必要であるが、水星大気のナトリウムD線の観測において必要となる25 mÅの波長分解能を持った分光に際しては、約0.7 mmの鏡面間隔を数nmのレベルまで温度変化に対して一定となるようにしなければならない。鏡面間のスペーサーとして極低熱膨張ガラスセラミックス Zerodur を使用する場合の温度変化の許容範囲を計算した。Zerodurの熱膨張係数は10の-7乗であるので、FPIの干渉条件の式、 $m\lambda = 2nd\cos\theta$ から、波長25 mÅのずれが42 Kの温度変化に対応する。よって±21 Kの温度変化が許容範囲であると言える。ナノメートルの精度で設計値のスペーサーを作るのは技術的に不可能であるが、設計値からある程度ずれたものであっても干渉計と光軸との傾きや検出器の位置を変える事によって上記の性能を満たす事が可能である。

本研究ではスペーサーに Zerodur を使用した鏡面間隔 3.5 mm、有効径 30 mm の FPI の分光性能試験、熱試験を行った。これらの試験によって惑星探査衛星搭載用の光学素子として十分な性能、熱耐性を有する事を確認した。