

北大ピリカ望遠鏡を用いた水星 Na 大気時間変動の
観測手法の確立

北海道大学 理学部 地球惑星科学科
惑星宇宙グループ
高橋・佐藤研究室

学籍番号：02172064

有川 佳奈
Kana Arikawa

(指導教官：高橋幸弘)

令和3年3月07日

概要

太陽系最内惑星である水星には、希薄な大気存在とその時間変動が知られている。水星大気存在は、1974年に探査機マリナー10号によって初めて確認され、2008年には探査機メッセンジャーによってより詳細な大気成分の測定値が得られた。そして現在、日欧協力のBepiColombo国際水星探査計画が進行中であり、水星の内部・表層・大気・磁気圏の謎解明につながる観測成果が期待されている。水星大気は、地上観測からその分布・量が大きく時間変動すること、反太陽側へ水星半径の数倍にまで分布が広がっていることがわかってきた。そして、水星大気の成因は、太陽光による光脱離や太陽風の照射による放出、微小隕石の衝突による岩石の気化など様々な学説が存在しているが、地球よりも内側を公転しているために観測が困難である水星は、観測時間・データの少なさの理由から、どの要因が主要な大気の成因であるかは未だに解明されていない。水星がもつ特異な特徴の1つである水星大気の成因解明は、水星を取り巻く環境や水星の形成史の理解に繋がる。

水星Na大気の時間変動に着目したKameda et al.[2009]は、水星Na大気の季節変動の要因は、太陽系内部の惑星間塵の分布面と水星軌道面との傾きによる、水星と太陽系内部の惑星間塵分布面との周期的な衝突によるものだと報告した。水星Ca大気の時間変動に着目したKillen & Hahn [2015]は、太陽系内の惑星間塵分布面との衝突だけでは説明ができない、季節変動より短期の時間変動の存在に対して、太陽系内の惑星間塵分布面との衝突モデルにエンケ彗星由来の塵との衝突モデルを加えることで、短期時間変動が説明できるというシミュレーション結果を報告した。このように、Ca大気においては短期の時間変動に関する研究報告がされているが、Na大気においてはこの彗星由来の短期時間変動に着目した観測研究の報告はされていない。そこで、これらの先行研究をもとに、水星Na大気においてもエンケ彗星由来の短期時間変動を見ることができないかと仮定し、北海道大学が所有するピリカ望遠鏡を活用した水星Na大気の短期時間変動の観測計画を考えた。地球より内側を公転する水星の観測可能時間は薄明時と昼間であり、昼間でもピリカ望遠鏡の使用を可能にする観測計画を立てる必要がある。

本研究は、水星Na大気の短期時間変動とエンケ彗星との関係性を調べることで、水星大気の成因を理解することを最終目標としており、本論文ではその最初の段階として、ピリカ望遠鏡を用いた観測手法の検討、および2020年10月10日に行った観測データの解析から水星Na大気の観測可能性を検討した。

目次

概要

第1章 序論

- 1.1 水星の概要
- 1.2 水星の大気
 - 1.2.1 水星 Na 大気の季節変動
 - 1.2.2 水星 Ca 大気の短期時間変動
- 1.3 本研究の目的

第2章 観測

- 2.1 北大ピリカ望遠鏡
- 2.2 MSI (Multi-Spectrum Imager)
- 2.3 観測方法
- 2.4 暗幕の透過性の検証
- 2.5 観測ログ
- 2.6 観測制約
 - 2.6.1 離角
 - 2.6.2 S/N 比

第3章 解析

- 3.1 一次処理
- 3.2 各光源の分布図作成
 - 3.2.1 地球大気の明るさ
 - 3.2.2 水星昼面の明るさ
 - 3.2.3 水星 Na 大気の明るさ
- 3.3 S/N 比の計算

第4章 結果

第5章 考察

謝辞

参考文献

第1章 序論

1.1 水星の概要

水星は太陽系の最も内側を公転する惑星であり、最も小さい惑星でありながら密度が太陽系の惑星の中で2番目に大きい、大気を持つ、磁場を持つなどの特異な特徴を持っている。水星の天文学的パラメータを以下の表 1.1 に示す。

水星は、原始太陽系星雲の最も高温部分で最後に形成された惑星だと考えられており、大きさに対して高い密度と磁場の存在は、地球型惑星の中で異質な特徴である。また、水星表面の詳細な化学・鉱物学組成分布も未だ不明であり、水星の起源・進化の評価が困難な状況である。水星には希薄な大気が存在し、微小隕石の衝突による気化がその成因の1つとして考えられている。大気の観測を通して、外部からの水星表面への物質の寄与を考えることができるかもしれない。(図 1.1)

	水星	地球
赤道半径 [km]	2439.7	6378.1
自転周期 [日]	58.65	0.9973
公転周期 [日]	87.969	365.256
平均密度 [g/cm ³]	5.43	5.52
軌道離心率	0.2056	0.0167
アルベド	0.06	0.3

表 1.1 水星と地球（その他地球型惑星）とのパラメータ比較

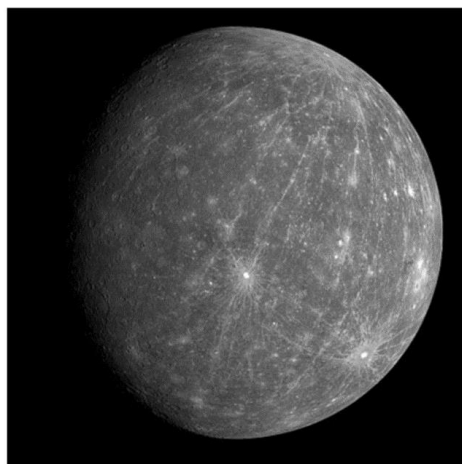


図 1.1 水星

<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/mercury.html>

水星は地球よりも内側の太陽に最も近い場所を公転しており、地上観測および探査機を用いた観測が困難である。そのため観測データの少なさから、現在もなお水星に関する謎は多く残っている。これらの謎に対し、現在日欧協力の BepiColombo 国際水星探査計画が現在進行中であり、水星の内部・表層・大気・磁気圏の謎解明につながる観測成果が期待されている。(図 1.2)



図 1.2 BepiColombo 国際水星探査計画の探査機の 1 つである MMO

<https://www.jaxa.jp/projects/pr/brochure/pdf/04/sat27.pdf>

1.2 水星の大気

水星には 10^6 cm^3 程度の希薄な大気が存在する。水星はその小ささから長らく大気が存在しないと考えられていたが、1974 年にアメリカの探査機マリナー10 号によって初めて希薄な大気の存在が確認された。1980 年代に入り、地上観測による水星大気の観測がされるようになり [Potter and Morgan 1985, 1986; Bida et al., 2000]、2008 年には探査機メッセンジャーによってより詳細な大気成分の測定値が得られた。現在確認されている大気成分は、表面近傍における存在比の多い順に、O、Na、He、K、H、Ca の 6 種類である。惑星表面での大気の生成主要因は、火山活動などの「内部要因」と太陽光による光脱離や微小隕石の衝突による気化などの「外部要因」が考えられているが、結論は未だ出ていない。

1.2.1 水星の Na 大気

地上望遠鏡による観測が可能な水星の Na 大気に関して、水星 Na 大気の季節変動について言及された Kameda et al.[2009]の先行研究を紹介する。Kameda et al. [2009]は、ハレアカラ天文台にある 40 cm 望遠鏡と干渉計を用いて 588.84 nm～589.03 nm の波長範囲で観測を行った。(図 1.3) その観測データと先行研究の観測データ [Potter et al. 2007]とを合わせたデータからグラフ(図 1.4)を作成し、Na 大気の季節変動が惑星間塵の分布面との衝突によるものだと結論付けた。ただし、図 1.4 中の惑星間塵分布面との衝突による蒸発量より

も大きい値である外れ値（図中の B,C,D 字より上部の部分）の要因に関しては未解明である。この惑星間塵の分布面と水星の軌道面との角度は 7° だとしている。

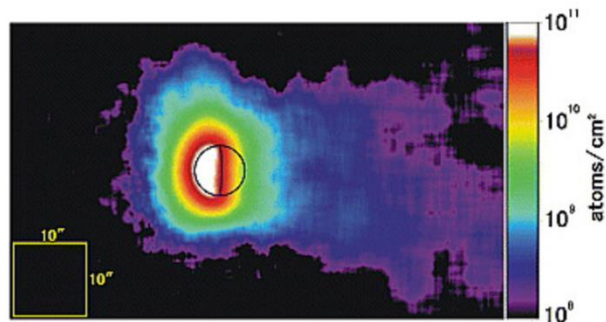


図 1.3 水星の Na 放出と密度分布を示した画像。中心の円が水星。

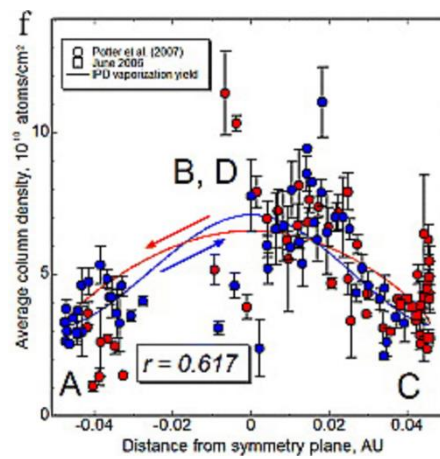


図 1.4 横軸：惑星間塵分布面と水星軌道との距離、縦軸：Na 密度
赤と青の矢印は、水星の運動の方向を示す。（図 1.5 参照）惑星間塵分布面と水星が衝突する際に Na 密度が増えることを示す。

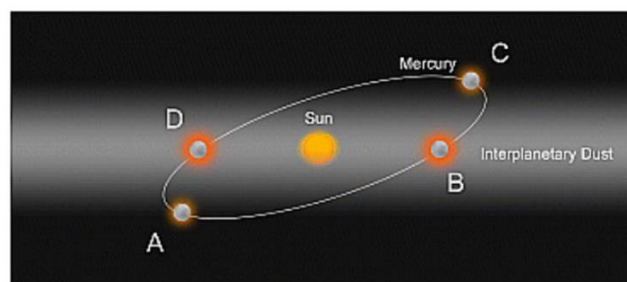


図 1.5 水星の運動方向と、惑星間塵分布面との位置関係を表したイメージ図。
白い帯がダスト円盤。

1.2.2 水星の Ca 大気

水星の Ca 大気に関して、短期時間変動について言及された Killen & Hahn [2015] の先行研究を紹介する。Killen & Hahn [2015] は、探査機メッセンジャーによって 422.7 nm の波長で観測された Ca 大気蒸発量の観測データを使用し、惑星間塵分布面との衝突とエンケ彗星由来の塵との衝突を組み合わせたモデル (図 1.7) を考えることで、Ca 大気の短期時間変動を説明した研究である。真近点角 $25 \pm 5^\circ$ における、Ca 大気の蒸発量観測値の過剰は、惑星間塵分布面 1 つのモデルでは説明できないが、惑星間塵分布面が 2 つあるモデルであれば説明ができる。(図 1.6) しかし、惑星間塵分布面が 2 つあることは不自然であることから、2 つ目のダスト円盤をエンケ彗星由来の塵に置き換えたモデルで再検討しところ、観測値を説明することができた。(図 1.7)

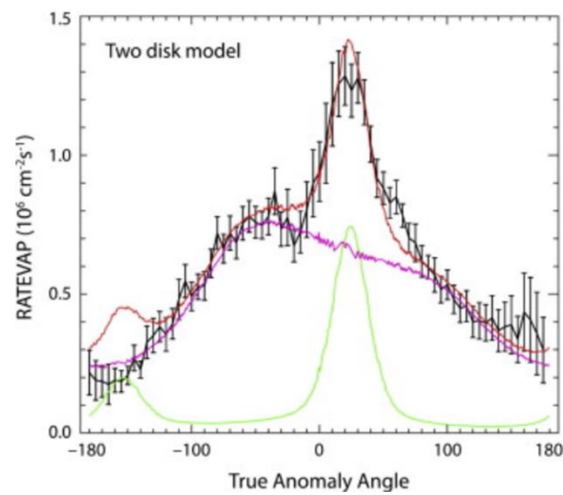


図 1.6 横軸：真近点角、縦軸：Ca 大気の蒸発率/cm²

黒：探査機メッセンジャーの観測値

紫：惑星間塵分布面 1 との衝突時の Ca 大気蒸発率

緑：惑星間塵分布面 2 との衝突時の Ca 大気蒸発率

赤：紫 + 緑

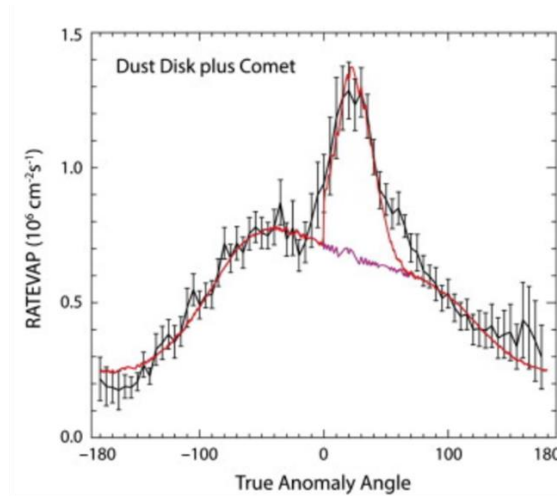


図 1.7 横軸：真近点角、縦軸：Ca 大気の蒸発率/cm²
 黒：探査機メッセンジャーの観測値
 赤：紫+エンケ彗星由来の塵

1.3 本研究の目的

水星は太陽系の最も内側を公転する惑星で、最小の大きさでありながら 2 番目に大きい密度、希薄な大気、磁場を持つなどといった特異な特徴をもっている。しかし、存在を知られていながらもその観測困難性から観測・探査が進んでおらず、得られている情報の少なさから未だに上記のような特異な特徴の要因が未解明である。水星 Na 大気は、その季節変動の存在と要因に関する研究はされているが、水星 Ca 大気において報告されているような季節変動より短期の時間変動に関する報告はされていない。

したがって本研究では、ピリカ望遠鏡を用いて水星 Na 大気の時間変動を観測し、水星 Na 大気の短期時間変動とエンケ彗星との関係性を調べることで、水星大気の成因を理解することを最終目標としている。本論文では、その最初の段階であるピリカ望遠鏡を用いた水星 Na 大気の観測を可能にするための観測手法の検討、および 2020 年 10 月 10 日に行った観測データの解析からピリカ望遠鏡を用いた現状の水星 Na 大気の観測可能性を検討した。

第2章 観測

観測に用いる装置と観測手法、2020年10月10日に行った観測ログ、水星を観測するにあたって生じる制約について述べる。

2.1 北大ピリカ望遠鏡

ピリカ望遠鏡は口径 1.6 m の光学望遠鏡で北海道名寄市の北大附属天文台に設置されており、東経 142° 北緯 44° 標高 151 m に位置している。2020 年 10 月 10 日に観測した恒星ベガのデータからシーイングは 1.6 秒角と求められた。



図 2.1 ピリカ望遠鏡

2.2 MSI (Multi-Spectrum Imager)

ピリカ望遠鏡のカセグレン焦点部分に取り付けられており、ピクセルスケールは 512×512 pixel、視野は 3.3 分角 $\times$ 3.3 分角 (0.39 秒角/pixel) で、フィルターは液晶可変フィルターが 2 枚、狭帯域フィルターが 6 枚、広帯域フィルターが 5 枚搭載されている。



図 2.2 MSI

2.3 観測方法

水星は地球よりも内側を公転しているために、薄明時と昼間の時間帯でしか観測をすることができない。薄明時は、水星が地平線近くに見えるために大気の影響を受けやすく、地球大気の明るさが刻々と変化するために、データの取得が難しい。そこで、昼間に観測を行う方法を考えることとした。昼間は、薄明時と違い太陽が出ているため、太陽光が直接ピリカ望遠鏡の主鏡に入り込まないように細心の注意を払って観測を行う必要がある。そのため、昼間の観測時には図 2.3、2.4 のように塩化ビニル製の暗幕を取り付ける。

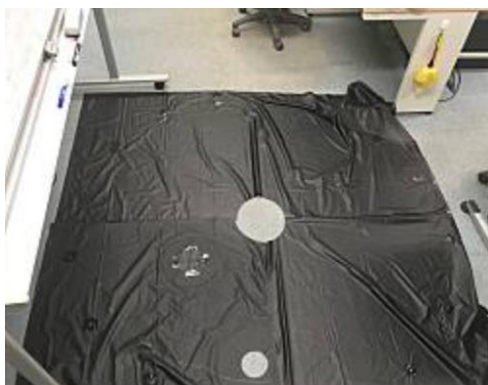


図 2.3 取り付ける暗幕

中心の穴：ピリカ望遠鏡の副鏡部分にあたる
写真下の穴：光を取り入れる用に空けたもの

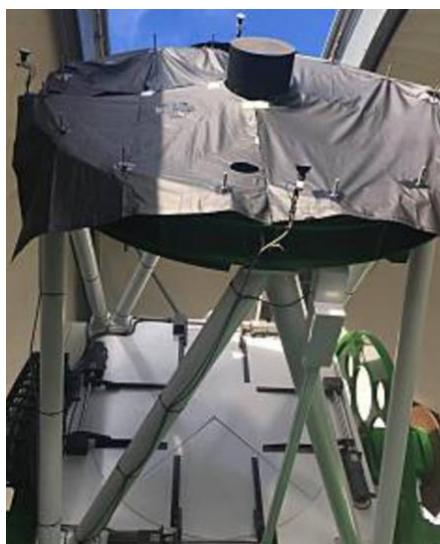


図 2.4 実際に暗幕をピリカ望遠鏡に取り付けた様子

観測可能時期は、ピリカ望遠鏡が向けられる高度の最低限界である 15° 以上でかつ、水星と太陽との離角が $10\sim 15^{\circ}$ 以上とある時期とする。(離角の設定に関しては下記 2.5.1 を参照)

実際に水星 Na 大気の観測を行う際は、ピリカ望遠鏡 MSI の液晶可変フィルター VIS-10 (400 nm–720 nm) を Na 波長である 589 nm に設定して行い、昼間の空は明るいため、露光時間はピリカ望遠鏡 MSI 搭載の CCD カメラで取得可能なカウント値を超えないよう 2 秒で観測を行うこととする。

また、観測時において太陽と水星の位置は変化していくため、観測中に暗幕に空けた穴の位置を変えて観測を行う必要がある。暗幕に空けた穴の位置を変えるタイミングは、太陽と水星の広角・高度の時間変化の値から約 20 分に 1 回だと考えたが、このタイミングに関しては、実際に観測する前に試行することとする。

2.4 暗幕の透過性の検証

観測時に使用する暗幕が遮光の役割を果たしているかを確かめるために、スマホ分光器を用いて暗幕の遮光性を調査した。

図のように、スマホ分光器のスリット部分に隙間なくかぶせた状態の暗幕を養生テープで固定して撮影し、太陽光が遮光されているかを調査した。撮影時の露光時間は、スマホ分光器で撮影可能な最長時間である 512 msec で行った。比較のために、暗幕の場合と同様にアルミホイルで遮光した場合の透過性も調査した。



図 2.4 スマホ分光器のスリット部分に暗幕を取り付けた様子を示した写真



図 2.5 スマホ分光器のスリット部分にアルミホイルを取り付けた様子を示した写真

調査した結果、スマホ分光器で観測可能な全波長域において、暗幕で遮光した場合のカウント値とアルミホイルで遮光した場合のカウント値がほぼ同値であること、調査結果のカウント値が観測していない状態で検出されるカウント値 16 に近い数値であったことから、観測に使用する暗幕は遮光の役割を果たしていると判断した。16 より大きいカウント値に関しては、露光時間が長いことによって生じたスマホ分光器のノイズだと考えた。(図 2.6、2.7)



図 2.6 暗幕の透過性検証の結果を示したグラフ

横軸：波長[nm] 縦軸：カウント値



図 2.7 アルミホイルの透過性検証の結果を示したグラフ
横軸：波長[nm] 縦軸：カウント値

2.5 観測ログ

2020 年 10 月 10 日の昼間に実際に水星 Na 大気の観測を行った。水星 Na 大気を観測するために MSI の液晶可変フィルターを用いて 588.5 nm~603.5 nm の波長域で観測を行った。観測時は、水星画像の取得とフラット画像の取得を交互に行い、バイアス画像の取得は 1 時間半から 2 時間の間隔で観測開始時と観測最中、観測終了時の計 3 回行った。各画像の撮影枚数は、水星画像が各波長で 10 枚ずつの計 90 枚、フラット画像が各波長で 5 枚ずつの計 45 枚、バイアス画像が各 10 枚ずつの計 30 枚である。観測時の観測概要を表 2.1 に示す。

水星視直径[秒角]	7.99
離角[°]	23.7
観測時間	12:11~15:03
観測波長[nm]	588.5~603.5
シーイング	4.143
露光時間[秒]	2

表 2.1 観測概要

2.6 観測制約

ピリカ望遠鏡を用いた水星 Na 大気の観測時に生じる 2 つの制約について述べる。

2.6.1 離角

ピリカ望遠鏡を用いた水星 Na 大気の観測で生じる制約の 1 つとして、水星と太陽との離角の問題がある。水星は地球よりも内側を公転しているため、昼間と薄明・日没時にしか観測をすることができない。(図 2.8)

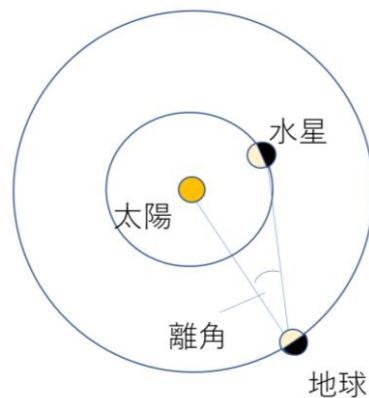


図 2.8 水星と太陽との離角の関係を示した模式図

昼間に観測時に、本研究で使用する予定の穴を開けた暗幕を取り付けた際に、水星と太陽との離角が何度以上離れていれば観測が可能になるかを検討した。図 2.9 は、ピリカ望遠鏡の図面である。図 2.9 より、ピリカ望遠鏡の副鏡部分から主鏡部分までの距離が 300 cm であると仮定した。図 2.10 の青い直角三角形部分で 300 cm と穴の大きさをを用いた三角関数の計算から必要な離角を考慮した結果、暗幕に空ける穴の大きさを 30 cm とした場合は 10° 以上、暗幕に空ける穴の大きさを 50 cm とした場合は 15° 以上必要だと考えた。2020 年 10 月 10 日の観測時は離角が約 23.7° であり、この条件を満たしている。

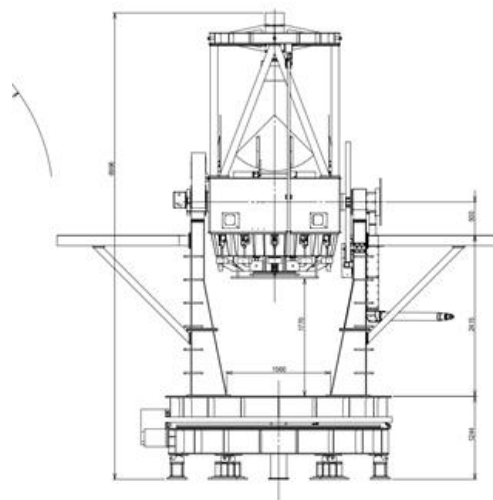


図 2.9 ピリカ望遠鏡の図面

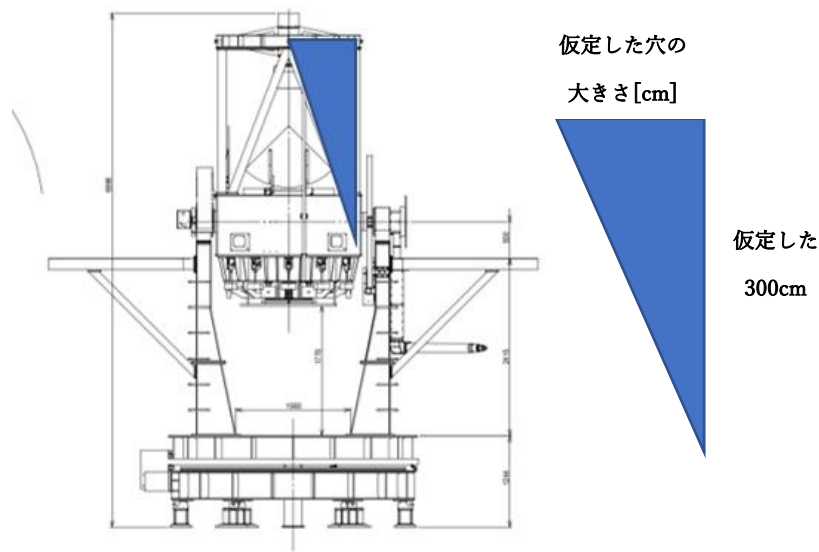


図 2.10 必要な離角を算出する際に考慮した三角形の部分を示した図

2.6.2 S/N 比

ピリカ望遠鏡を用いた水星 Na 大気の観測で生じる制約の 1 つとして、水星 Na 大気の明るさ、水星本体の明るさ、地球大気の明るさの S/N 比の問題がある。S/N 比とは、観測しようとしている信号（シグナル）が、雑音（ノイズ）に対してどの程度の振幅を持っているかを示す指標であり、S/N 比が高いものほど確度が高い情報であるといえる。S/N ≥ 1 で観測しようとしている信号が観測可能となる。今回は約 2 割の変化量が最低でも見られるよう仮定し、S/N ≥ 5 を最低限確保する必要があると設定した。今回の場合、観測しようとしている水星 Na 大気の明るさが S/N 比の S（シグナル）の部分に、水星本体の明るさと地球大気の明るさ、ピリカ望遠鏡 MSI 搭載の CCD カメラの読み出しノイズが S/N 比の N（ノイズ）の部分にあたり、S/N 比は以下の式で計算される。

$$S/N \text{ 比} = \frac{\text{水星Na大気の明るさ}}{\sqrt{\text{水星Na大気の明るさ} + \text{水星本体の明るさ} + \text{地球大気の明るさ} + (\text{読み出しノイズ})^2}}$$

水星 Na 大気の明るさは、水星本体の明るさおよび地球大気の明るさに比べて暗いため、S/N 比の確保が大きな課題となる。

第3章 解析

第2章で述べた観測制約の1つである S/N 比の観点から、ピリカ望遠鏡を用いた水星 Na 大気の観測可能性を検討するために、数値解析ソフト MATLAB を用いて 2020 年 10 月 10 日に得られた観測データから地球大気の明るさと水星昼面の明るさの分布図を、先行研究 [Potter et al. 2002] のデータから水星 Na 大気の分布図を作成した。

3.1 一次処理

観測時にピリカ望遠鏡を用いて取得した画像は、ベガ画像と水星画像、バイアス画像、フラット画像である。バイアス画像とフラット画像は、天体画像から天体の情報以外に含まれている情報を取り除くために使われる。光が入らない状態にした CCD カメラの露出時間 0 秒の時のカウント値のことをバイアスといい、バイアス画像はフィルターホイールを閉じ、CCD カメラの露出時間を最短にして撮影した 10 枚の画像を平均化して取得した。フラット画像は、天体画像内の感度ムラを反映したもので、今回は観測時の昼間の空を撮影したものからバイアスを差し引いて取得した。

天体画像データには、上記のような CCD カメラによる影響分のカウント値も含まれているため、以下の数式を用いて一次処理を行うことで、バイアスとフラットを補正した天体画像を取得した。

$$\frac{(\text{水星画像} - \text{バイアス画像})}{(\text{フラット画像} - \text{バイアス画像})} = \text{水星一次処理画像}$$

3.2 各光源の分布図作成

図 3.1 は、ベガ処理画像データを縦軸カウント値、横軸恒星中心からの距離でプロットしたグラフである。このグラフの値を縦軸方向に平均化してプロットしたグラフが図 3.2 である。図 3.3、3.4 は、水星処理画像データをベガ処理画像データと同様に縦軸カウント値、横軸水星中心からの距離でプロットしたグラフ、およびそれを縦軸方向で平均化したものをプロットしたグラフである。

これらを用いて、各光源の分布図を作成した。

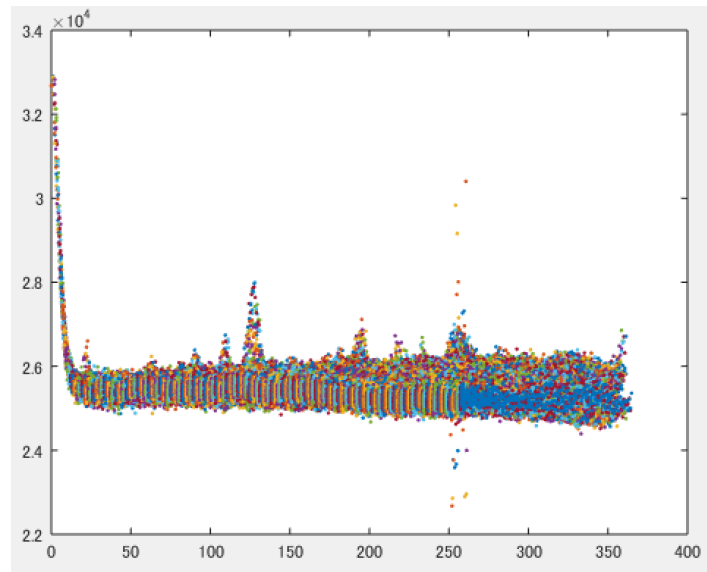


図 3.1：ベガ処理画像データをプロットしたグラフ
横軸：距離 縦軸：カウント値

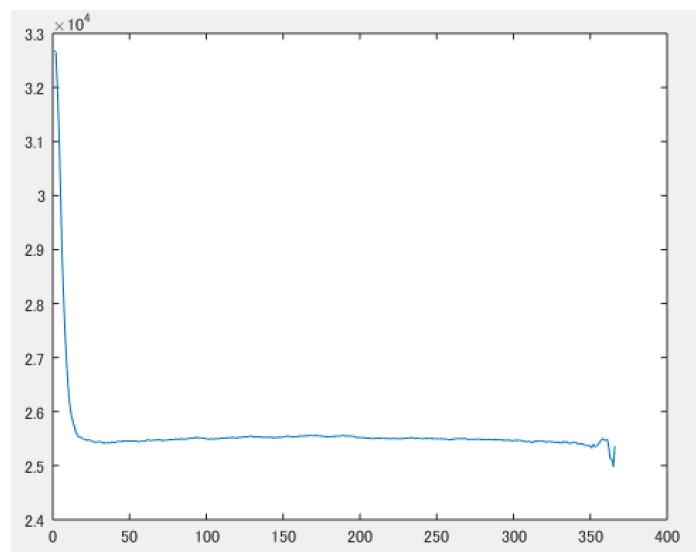


図 3.2：図 3.1 のグラフの平均値をプロットしたグラフ
横軸：距離 縦軸：カウント値

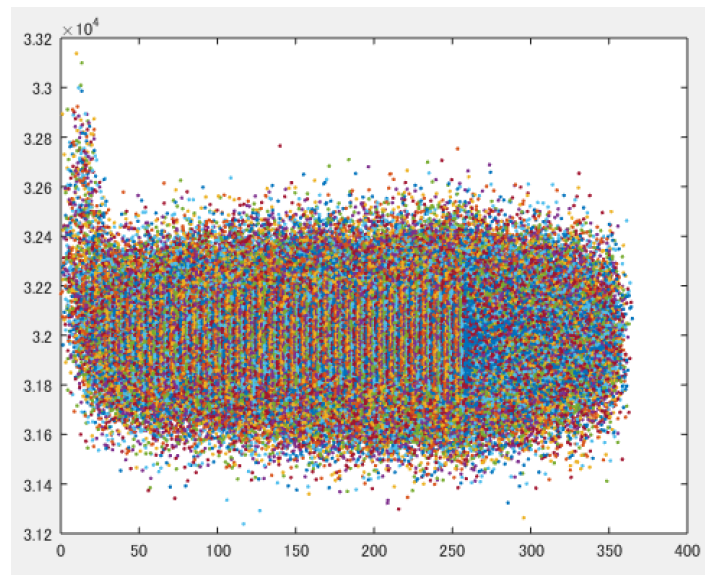


図 3.3：水星処理画像データをプロットしたグラフ
横軸：距離 縦軸：カウント値

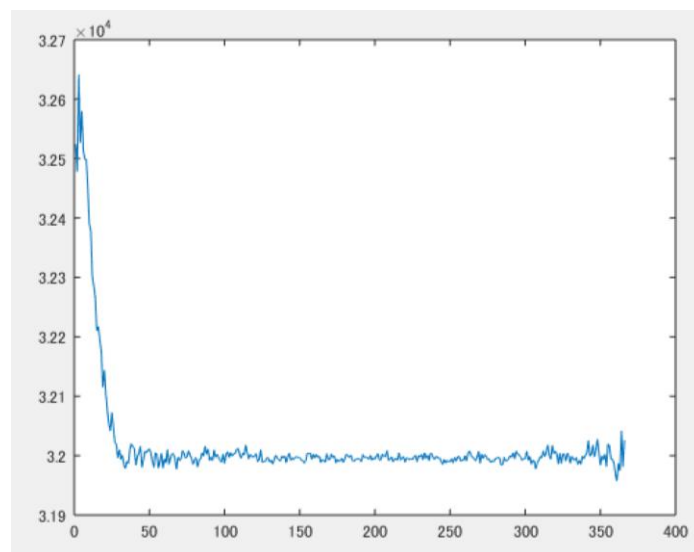


図 3.4：図 3.3 のグラフの平均値をプロットしたグラフ
横軸：距離 縦軸：カウント値

3.2.1 地球大気のもろさ

ベガ処理画像の端縦 1 列分 1×512 の配列のカウント値の平均値を取得したものを地球大気のもろさとした。ベガ処理画像から求めた値は 25,852 カウントであり、この値をビリカ望遠鏡搭載 CCD カメラ視野の 512×512 ピクセルに反映させて作成した分布図が図 3.5 である。

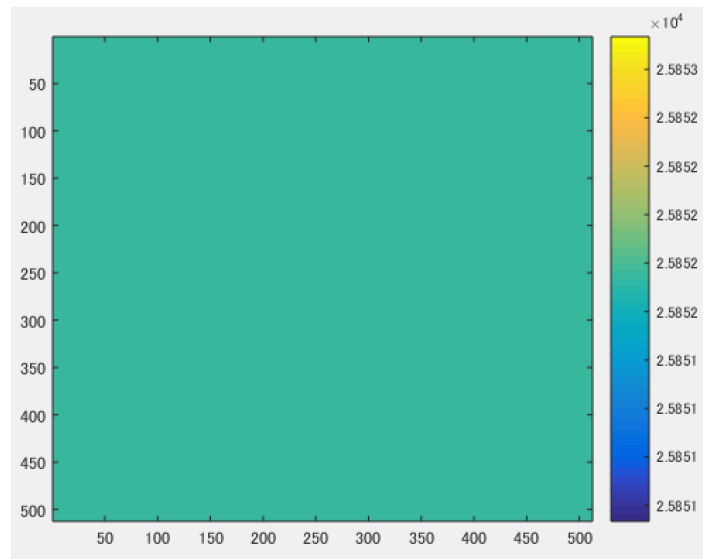


図 3.5： CCD カメラ視野上に求めた地球大気の明るさを分布させた画像
横軸、縦軸： CCD カメラ視野（512×512）

3.2.2 水星昼面の明るさ

3.2.1 までのグラフ・画像をもとに水星昼面の散乱光が、ピリカ望遠鏡搭載 CCD カメラ視野内でどれだけ広がっているかを表した分布図が図 3.6 である。これは、水星処理画像データの値から地球大気の高さの値を引いて作成した。

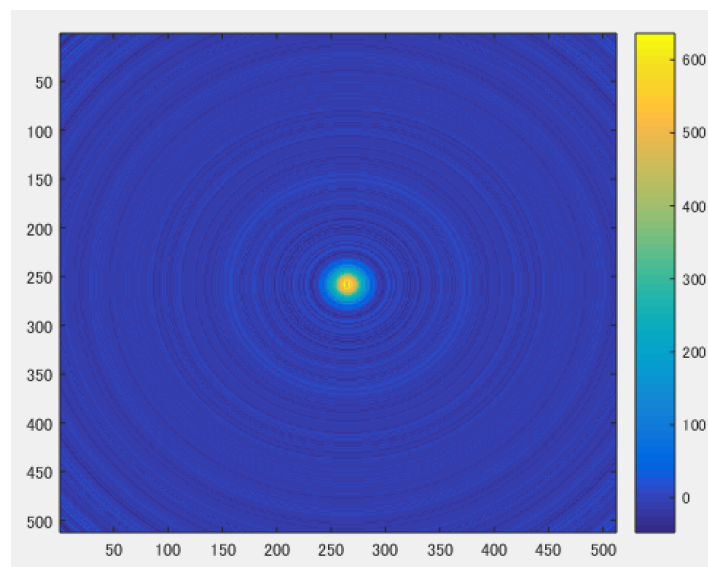


図 3.6： 水星昼面の散乱光の分布図
横軸、縦軸： CCD カメラ視野（512×512）

3.2.3 水星 Na 大気の明るさ

水星 Na 大気の明るさの分布図を、先行研究のデータをもとに作成した。図 3.8、3.9 が先行研究[Potter et al. 2002]の水星 Na 大気の観測データである。図 3.10 の①～⑪の領域での水星 Na 大気の明るさを考えた。[Potter et al. 2002]のデータより、①～⑪の面積における水星 Na 大気の平均の明るさは以下となった。

- ①：約 18.8 k R、 ②・③：①と同じと考えて、約 18.8 k R、
 ④：約 7.0 k R、 ⑤：約 8.0 k R、 ⑥：約 5.4 k R、
 ⑦：約 4.2 k R、 ⑧：約 3.4 k R、 ⑨：約 2.1 k R、
 ⑩：約 1.6 k R、 ⑪：約 1.4 k R

上記①～⑪の領域における水星 Na 大気の明るさが、暗幕の 30cm の穴を通過してピリカ望遠鏡 MSI 搭載の CCD カメラ 1 ピクセルにおけるカウント値に変換した。①の領域におけるカウント値は、

$$1.88 \times 10^{10} \times 15 \times 15 \times \pi \times \frac{0.389 \times 0.389}{4.2 \times 10^{10}} \times 1.65 \approx 7.8 \times 10$$

と求められた。同様に他の領域についても求めると、

- ①：約 7.8×10 、 ②・③：①と同じと考えて、約 7.8×10
 ④：約 3.0×10 、 ⑤：約 3.3×10 、 ⑥：約 2.3×10 、
 ⑦：約 1.8×10 、 ⑧：約 1.4×10 、 ⑨：約 8.7×10 、
 ⑩：約 6.8×10 、 ⑪：約 6.0×10

となった。

これらをピリカ望遠鏡 MSI 搭載 CCD カメラ視野である 512×512 ピクセルに反映させて作成した水星 Na 大気の分布図が、図 3.11 である。

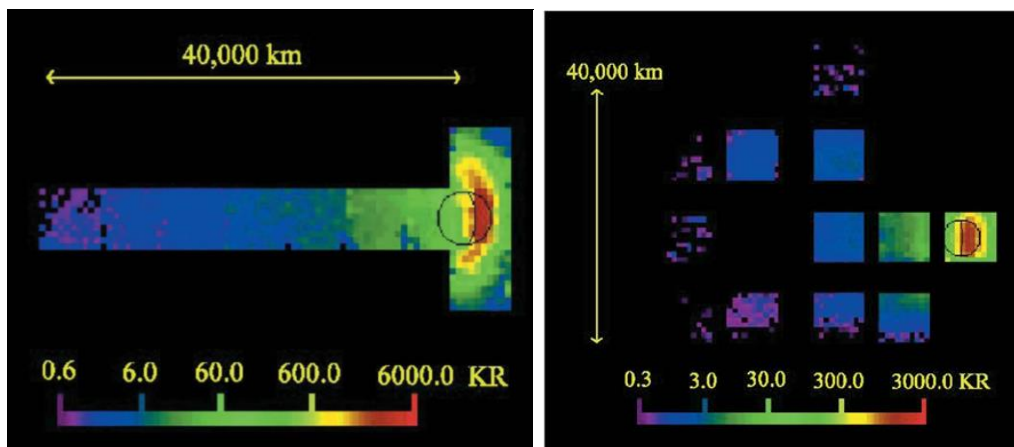


図 3.8 [Potter et al.2002]による水星 Na 大気の明るさ観測値を示した図
 1つの正方形の一辺の大きさは、10 秒角

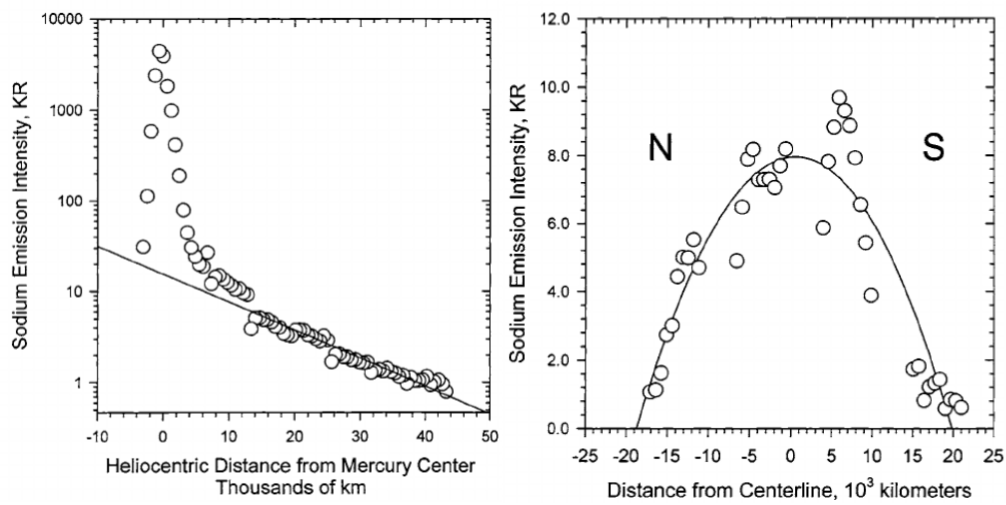


図 3.9 図 3.1 の明るさのカウント値を表したグラフ
横軸：距離[km] 縦軸：明るさ[k R]

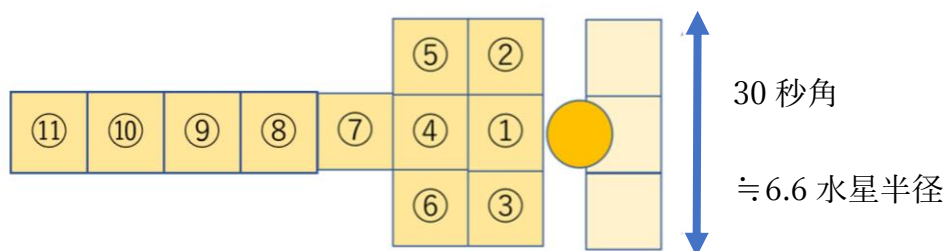


図 3.10 図 3.1 を参考に作成した模式図
1つの正方形の一辺の大きさは2.2 水星半径である。

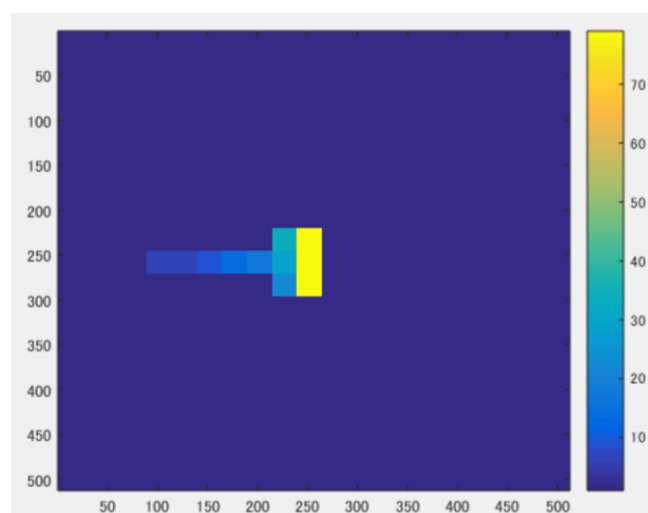


図 3.11：CCD カメラ視野上に求めた Na 大気の明るさを分布させた画像
横軸、縦軸：CCD カメラ視野 (512×512)

3.3 S/N 比の計算

以下の数式に 3.2 で求めた各光源の分布図とその値を代入し、ピリカ望遠鏡搭載 CCD カメラ視野 1 ピクセルごとの S/N 比を計算した。その結果を表した分布図が図 3.12 である。今回計算で使用したピリカ望遠鏡搭載 CCD カメラの読み出しノイズは 13 である。

$$\text{S/N 比} = \frac{Na_{\text{大気}} \text{の明るさ}}{\sqrt{\text{水星昼面の明るさ} + \text{地球大気} \text{の明るさ} + \text{水星} Na_{\text{大気}} \text{の明るさ} + (\text{読み出しノイズ})^2}}$$

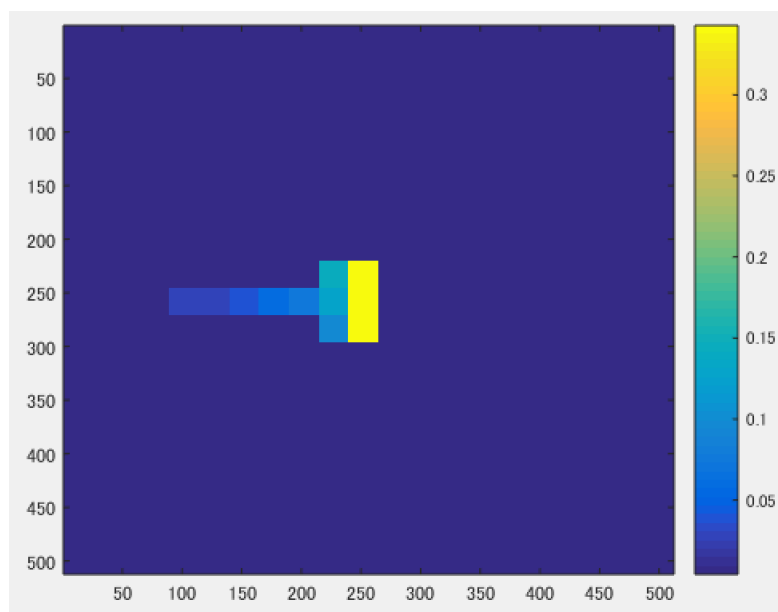


図 3.12：CCD カメラ視野上に求めた S/N 比の計算結果を分布させた画像
横軸、縦軸：CCD カメラ視野（512×512）

第4章 結果

第3章にて S/N 比の計算を行い、その結果をピリカ望遠鏡搭載 CCD カメラ視野に分布させた図 3.12 を今一度ここに示す。計算結果から、S/N 比の最大値は 0.3455 であり、既存のピリカ望遠鏡 MSI の装置では S/N 比 ≥ 1 を確保することできないということがわかった。このことから、既存のピリカ望遠鏡 MSI の装置では水星 Na 大気の時間変動を観測することが不可能であるとわかった。

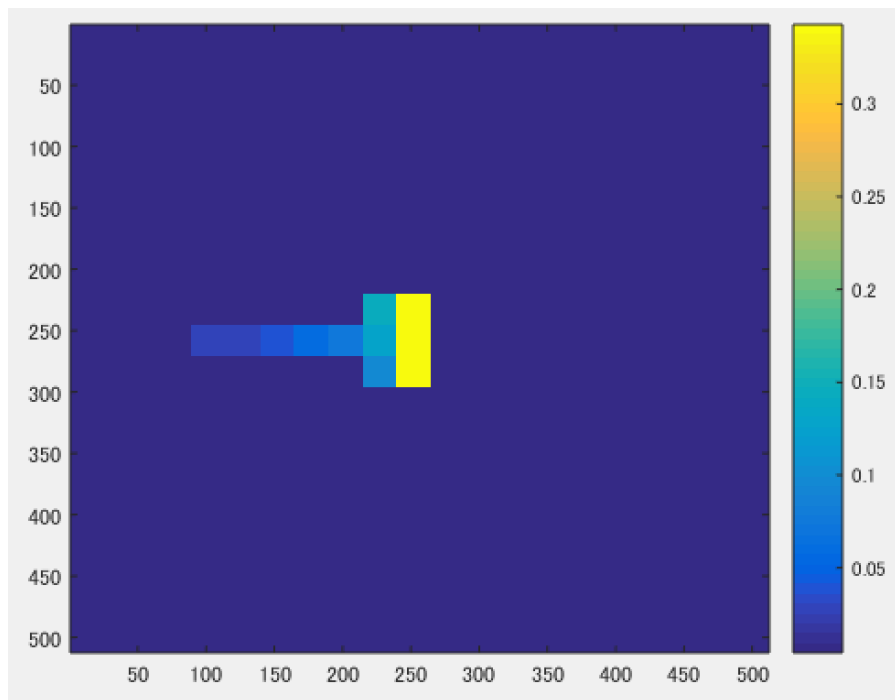


図 3.12：CCD カメラ視野上に求めた S/N 比の計算結果を分布させた画像
横軸、縦軸：CCD カメラ視野（512×512）

第5章 考察

今回、ピリカ望遠鏡 MSI を用いて 2020 年 10 月 10 日に行った観測で取得した天体画像データおよび水星 Na 大気観測の先行研究のデータをもとに S/N 比の計算を行った結果、S/N 比 ≥ 5 を確保できないことが分かった。そこで、S/N 比の値を大きくするために、ノイズの値を小さくする方法を考えた。図 5.1 は、[Kameda et al., in press]の先行研究で得られた各光量を示したグラフである。図 5.1 の 589.1nm と 589.7nm 付近に見られるピークが水星 Na 大気の明るさである。ピリカ望遠鏡 MSI 液晶可変フィルターのバンド幅は 10nm であるため、S/N 比の計算にこのわずかな水星 Na 大気のピーク値に対して、ノイズとなる他の明るさを多く含めてしまっていることがわかる。そこで、ノイズを減らすために、先行研究で使われていたバンド幅 0.3nm のバンドパスフィルターを使用した観測を検討したい。

今後の展望として、水星 Na 大気の時間変動の観測を実現するために、ピリカ望遠鏡 MSI フィルター部分に取り付けが可能な半値幅 0.3nm の Na 波長域のバンドパスフィルターを購入し、それを取り付けた上で観測が可能かを実際に試す必要がある。また、合わせてコロナグラフの原理で水星本体を遮光マスクで隠すなどといった装置開発を行うことで、よりコントラストの良い水星 Na 大気の観測を可能にできるかもしれない。

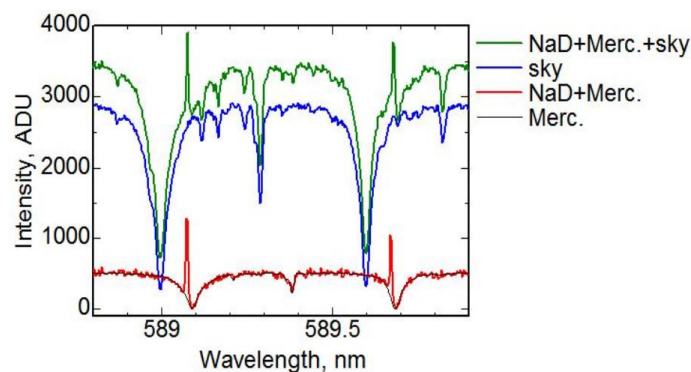


図 5.1 観測された水星本体のスペクトル、地球大気光、地表反射光の順に除去して求めた Na 大気光の強度を表したグラフ

横軸：波長、縦軸：強度

緑：水星 Na 大気+水星本体+地球の大気の明るさの強度

青：地球大気の明るさの強度

赤：水星 Na 大気+水星本体の明るさの強度

黒：水星本体の明るさの強度

謝辞

本論文を作成するにあたり、多くの方々にご支援いただきましたこと、この場を借りて感謝の意を述べさせていただきます。

私の指導教員である高橋幸弘教授をはじめ、高木聖子特任助教、惑星宇宙グループの先輩方には、日頃からの的確に指導していただきました。至らない点が数多くあり、たくさんご迷惑もおかけしました。研究に対する姿勢、取り組み方などから資料の説明の仕方のような初歩的なことまで、多くのことを指導していただいたこと、心より感謝いたします。

ご協力いただいた皆様のおかげで、本論文を作成することができました。本当にありがとうございました。

参考文献

Shingo Kameda Ichiro Yoshikawa Masato Kagitani Shoichi Okano (2009),
Interplanetary dust distribution and temporal variability of Mercury's atmospheric Na,
Geophysical Research Letters, Volume 36, Issue 15, doi: 10.1029/2009GL039036

Rosemary M.Killen Joseph M.Hahn (2015),
Impact vaporization as a possible source of Mercury's calcium exosphere, *Icarus*, Volume 250,
Pages 230-237, doi: 10.1016/j.icarus.2014.11.035

Megan Bruck Syal, Peter H. Schultz & Miriam A. Riner (2015),
Darkening of Mercury's surface by cometary carbon, *Nature Geoscience*, volume 8,
pages352–356, doi: 10.1038/ngeo2397

S.Kameda I.Yoshikawa J.Ono H.Nozaawaac (2007),
Time variation in exospheric sodium density on Mercury, *Planetary and Space Science*,
Volume 55, Issue 11, doi: 10.1016/j.pss.2006.10.010

S.Kameda M.Kagitani S.Okano I.Yoshikawa J.Ono (2008), Observation of Mercury's sodium
tail using Fabry–Perot Interferometer, *Advances in Space Research*, Volume 41, Issue 9, doi:
10.1016/j.asr.2007.09.039

Jeffrey Baumgardner Jody Wilson Michael Mendillo (2008), Imaging the sources and full
extent of the sodium tail of the planet Mercury, *Geophysical Research Letters*, Volume 35,
Issue 3, doi: 10.1029/2007GL032337

Potter, A. E., R. M. Killen, and T. H. Morgan (2002), The sodium tail of Mercury, *Meteoritics
& Planetary Science* 37, 1165–1172. doi: 10.1111/j.1945-5100.2002.tb00886.x

Makoto Watanabe, Yukihiro Takahashi, Mitsuteru Sato, Shigeto Watanabe,
Tetsuya Fukuhara, Ko Hamamoto, and Akihito Ozaki (2012), MSI: a visible multi-spectral
imager for 1.6-m telescope of Hokkaido University, *Ground-based and Airborne
Instrumentation for Astronomy IV*. Proceedings of the SPIE, Volume 8446, doi:
10.1117/12.925292

櫛田孝司 (2016)『光物理学』 共立出版株式会社