

修士論文要旨

水星ナトリウムテール中の Na 原子速度空間分布とその変動に関する研究

惑星プラズマ・大気研究センター

深澤 宏仁

(指導教員： 岡野 章一教授)

水星大気は惑星表面が「外圏底」となる非常に希薄な状態にあり、形成している原子は水星表面から放出後、弾道軌道を描いて運動する。水星大気を形成する6つの元素のうち地上観測が容易なナトリウムについて、現在までに多くの研究がなされ、空間分布の朝夕および南北非対称性、短時間・長時間変動などの特徴が示され、生成過程と共に議論されてきた。*Potter et al. [2002]* は太陽放射圧によって吹き流される水星のナトリウム大気を観測し、ナトリウムテールとして注目された。

本研究では、先行研究からは未だ確かめられていない水星ナトリウム大気の短い時間スケール（分単位）での時間変動を見出すことを目的としている。分単位の時間変動を作りうる要因として、太陽風イオンスパッタリング（SWS）と微小隕石衝突による気化（MMV）が挙げられる。ただし、水星表面付近を観測すると、ナトリウム原子放出量の多い他の生成過程（熱脱離（TD）、光脱離（PSD））による成分に埋もれて空間分布の把握の妨げとなる。しかし、SWSで放出されるナトリウム原子は高速な成分を多く含むために、ナトリウムテールを作りうる主要な成分となり、テール領域を観測することでTD、PSD起因のナトリウム原子に妨げられずにその効果を抽出することができる。このため、本研究では分単位の時間変動の検出にテール領域での分光観測を採用した。検出された分布に対し、水星表面のどのような物理的状況が観測された事実を説明し得るか、3次元数値シミュレーションを用いて検証を行った。

水星ナトリウムテールの観測は、2007年6月にハワイ・ハレアカラ観測所で40cmのシュミットカセグレン式望遠鏡と高分散エシエル分光器を用いたスリット分光法により行われた。観測時間は日没後から水星が沈むまでの1時間程で、テールの二次元的広がりを把握するために東西方向1枚、南北方向3枚のデータを取得した。計4日分のデータを取得し、解析を行った結果、テール中のナトリウム原子が $100R_M$ （ R_M は水星半径=2437[km]）までに約30[km/s]まで加速されていることが示された。また、4日間のナトリウム原子反太陽方向速度データの中で、6月8日のデータのみ反太陽方向速度にむら（非一様）があることがわかった。また、同日の非一様が見られたテール領域での円柱密度分布においても若干の増大が見られた。水星表面から放出されたナトリウム原子は太陽放射圧と重力によって運動するものとして、反太陽方向への1次元シミュレーションを行った結果、観測データ中に現れた3つの非一様部分は20[*min*]というタイムスケールで生じたものであると推定された。変動は短いタイムスケールであり、同じテール位置で密度増大

も観測されていることから、この非一様は SWS によって生み出されていたものであると仮定した。

観測された非一様性がどのような状況下で再現されるのかを定量的に示すために、3次元数値シミュレーションを行った。その結果、テール領域において SWS と MMV で放出されたナトリウム原子の速度に違いがあることが判明した。この速度の差を用いて、水星ナトリウムテールの定常状態は MMV によるものと仮定して、SWS を時間的に変動させることによって観測された速度非一様性を再現するような状況が生まれることを確かめた。そのときの放出率は MMV: 6.1×10^5 [atoms/cm²/sec]、SWS: 1.0×10^7 [atoms/cm²/sec] であり、特定のテール位置で MMV より SWS のピーク速度が卓越することにより非一様を生み出すことができた。しかし、本シミュレーションにおいて再現できた非一様性は、空間的な変動の幅と速度差において観測結果と比べて不十分なものであった。観測結果により近づけるためには、速度差においては①SWS の放出領域を低緯度側へシフトさせること、②微小隕石衝突による気化で生じるナトリウム原子の温度を高くすることが必要である。また、空間的な変動の幅においては、SWS の放出方向に角度依存性などの条件を課すことで改善されるものと考えられる。

1次元と3次元のシミュレーション結果から、観測された速度の非一様性を再現するには 20 [min] ほどで SWS の放出率が増大することが必要であることがわかった。SWS のメカニズムは水星磁気圏の変動と強く関係しているために、磁気圏現象を中心に考察したところ、Flux Transfer Event (FTE) やサブストームがそのような状況を再現する可能性が考えられる。前者は、FTE はカusp位置が高緯度側へシフトすると予想されるので、ナトリウム原子の豊富な地面が高緯度に存在していた場合には上記の機構となり得る。後者は、サブストームによる高エネルギーイオンが、ナトリウム原子が比較的豊富な夜面に衝突することで放出率を大きくすることができる。また、大気中のナトリウム原子が電離した後、磁力線に捉えられて水星表面へ戻ってくるリサイクル効果を考えた場合、サブストームによる効果が更に効率的に行われることが考えられ、観測された非一様性の再現へより近づくであろうと予想される。

以上の結果と考察から、観測から得られた非一様性に対して現シミュレーションでは定量的に完全には再現できなかったが、より現実的なシミュレーションを行うためには、水星磁気圏、水星ナトリウム大気、太陽風の同時観測データが必要不可欠であろう。地上観測によって水星磁気圏・ナトリウム大気を観測することは可能だが、より理解を深めるためには *in-situ* 観測が望まれる。このために、現在飛行中の米国の水星探査機 Messenger および将来計画されている Bepi Colombo 計画による観測が待たれる。