

修士論文要旨

数値計算に基づく水星ナトリウム外圏大気の生成過程に関する研究

東北大学大学院理学研究科

地球物理学専攻

園部 彩

(指導教員：三澤浩昭 助教授)

平成 18 年

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、惑星表面・磁気圏との相互作用により形成されると考えられている。水星大気の主成分とされるナトリウムによる外圏大気については、これまでの多くの観測により空間分布や時間変動に関して数々の特徴が示され、それに伴ってモデル計算等の研究も進んできている。しかし、ナトリウム外圏大気に想定される各生成過程の生成率や寄与割合等の生成過程の詳細については未だ十分な解明はなされておらず、定量的な考察が必要となっていた。

本研究では、水星ナトリウム外圏大気の生成過程の解明を目的とした数値計算を行った。具体的には、これまでに観測されている特徴的な大気分布である「水星近傍、昼側低緯度領域での Local Time(LT)依存性」と「水星本体から反太陽方向へ広域に広がるナトリウムテール」に注目し、数値計算との比較を行うことで、これらの空間分布がどのような生成過程に起因しているのかを定量的に考察した。また、LT 依存性からは大気原子の主に「低速成分生成過程」を、ナトリウムテールからは主に「高速成分生成過程」についての考察を行ない、最終的にはこの両者を総合的に取り扱うことで、これらの観測的特徴を生み出す水星ナトリウム外圏大気の起源を考察した。

まず *Sprague et al.* [1997]による LT 依存性の観測結果と本研究による数値計算結果を比較することで、水星近傍の昼側低緯度域のナトリウム大気がどのような生成過程に起因して形成されているかを考察した。数値計算では、水星近傍の昼側低緯度域での寄与が大きい熱脱離(TD)と光脱離(PSD)の2種のみを生成過程を考慮し、4例の観測結果(朝方側領域:3例、夕方側領域:1例)との比較を行なった。その結果、従来考えられていた総生成率(熱脱離、光脱離による生成率の和)では、観測値を再現することができず、この総生成率を朝方(夕方)から昼のLTにかけて減少、特に昼側LTでは1オーダー以上減少させるような新たな総生成率を用いた場合に観測結果と合致した。この総生成率の変化は表面ナトリウム原子数密度の変化に読み替えることができるが、以上の結果は、朝方側領域の観測では朝方から昼にかけて表面数密度が減少、夕方側領域の観測では昼から夕方にかけて逆に数密度が増加することに相当する。このことは、水星表面のナトリウム原子数密度にLT方向の非一様が生じていたことを示しており、これが観測された大気量のLT依存性を生み出す原因になったと考えられる。朝方側領域で確認された表面数密度のLT方向の非一様性は、その数密度値を考慮した場合、朝方では表面にナトリウム原子が“蓄積”した状態、昼では“枯渇”

した状態を表すと解釈される。また、互いに水星真近点離角(TAA)の異なる朝方側領域の 3 例の観測結果から、蓄積と枯渇の程度には水星－太陽間距離依存性(即ち TAA 依存性)があることも示唆された。この朝方側領域での TAA 依存性の原因は、数値計算により、朝方側領域の大気原子蓄積量、即ち夕方側ターミネーター付近での原子吸着量に TAA 依存性が表れることによる可能性が示されたが、厳密な議論を行うためには、水星の太陽に対する自転角速度等の付加的な効果を加えて定量的に見積もる必要がある。一方、夕方側領域では、従来の予想に反し、昼から夕方にかけて表面ナトリウム原子数密度が増加することが示唆された。このことから、昼での表面数密度の減少は大気原子の枯渇過程が、夕方にかけての数密度の増加は、表面温度の低下に伴って表面吸着原子が増加し始め、表面からの原子放出に対する表面への原子供給の割合を高める過程が働いていることが予想される。

次に *Potter et al.* [2002] で観測された大気のテール構造に着目し、観測結果と計算結果を比較してテールを構成する大気原子の起源について定量的な究明を行った。数値計算では、熱脱離(TD)、光脱離(PSD)、微小隕石衝突による気化(MMV)、太陽風イオンスパッタリング(SWS)の 4 種の生成過程を考慮した。従来考えられてきた生成率・放出領域に、本研究の低速成分生成過程の考察結果も加味して求めた各生成過程の原子放出量を「基準放出量」とし、これに対する倍率として観測結果に合致する原子放出量を求めることでテールを構成する大気生成過程の条件を検討した。その結果、基準放出量に対し TD と PSD は 1/3 倍、MMV は 1 倍、SWS は 12 倍の放出量を仮定したときに観測結果に最も適合した。また、テールの形状は SWS による大気分布に良く適合した。これらは太陽風イオンスパッタリングが水星大気の高速放出成分の主な起源であることを示唆する。基準放出量に対し SWS の寄与が 12 倍と見積もられたことは、太陽風密度・動圧の上昇等に伴う大規模な放出域の拡大、かつ/または、生成率の大きな増加があった可能性を示唆する。しかし、名古屋大学より提供された MHD トモグラフィ法で推定した水星位置の太陽風データは、テール観測時の太陽風は一般的な状態にあったことを示していた。テール観測は太陽活動期に行われたため(2000年6月5日)、MHD トモグラフィ法では検出できない過渡的な太陽風変動が水星に作用していた可能性は否定できないが、これらの結果は、水星磁気圏の太陽風応答、かつ/または、太陽風スパッタリングによる大気生成効率従来を越えた大きいものである可能性を示唆する。これらは近未来に予定される水星探査ミッションでの検証が期待される。

最後に、低速成分生成過程、及び、高速成分生成過程の考察結果を総合的に検討した。LT 依存性に基づく水星昼側低緯度域の大気量の考察においては、当初、予備的な見積りにより、MMV 及び SWS の寄与は小さいとして考慮しなかった。しかし、テールの起源の考察により、SWS の寄与が従来の予想に対し 12 倍にもなる可能性が示唆されたため、昼側低緯度域の大気量への SWS の影響の再検討を行った。しかし、その結果として SWS の寄与は観測量の 2.5% 以下と無視出来る程度であり、TD と PSD が卓越して昼側低緯度域大気の成因に関わっていることが確認された。一方、*Sprague et al.* [1997] によって示された、水星昼側低緯度域の大気量の朝夕非対称性がテール領域に及ぼす影響についても見積りを行った。その結果、この影響は殆どないことが確認され、やはり SWS が卓越してテール領域の大気生成に関わっている可能性が支持された。