

修士論文

数値計算による
水星外圏大気中のナトリウム／カリウム存在比の研究

Numerical simulation
on the sodium/potassium ratio in Mercury's exosphere

東北大学大学院理学研究科
地球物理学専攻

金子 奏瑛
(指導教員 岡野 章一 教授)
平成 22 年

要旨

水星外圏大気中のナトリウム／カリウム存在比 (Na/K 比) は、他の太陽系天体のそれと比較すると、数倍から数十倍の非常に高い値であることが、これまでの地上観測から明らかになっている。水星外圏大気は、水星の表面に起源があるため、大気中の Na/K 比と表面の Na/K 比は同程度の値になると考えられる。しかし、地球型惑星の成分分化過程をもとに算出された水星表面の Na/K 比は、大気中のような高い値にはならない。また、水星外圏大気と似た機構で生成している月希薄大気中の Na/K 比も、水星外圏大気中の Na/K 比のような高い値ではなく、月面の Na/K 比と同程度の値が観測されている。水星外圏大気中の Na/K 比のみで非常に高い値が観測されている原因について、これまでも議論がなされてきたが、その原因は明らかになっていない。

本研究の目的は、水星外圏大気中の Na/K 比が非常に高い理由を明らかにすることである。方法としては、その理由を説明し得る仮説を提案し、それを検証する。本研究では、「表面から放出された原子のうち、再び表面に衝突・吸着する原子とイオンの割合」を「帰還率」と定義し、「ナトリウムの帰還率がカリウムの帰還率より高い状態で、水星表面に原子が供給される。このプロセスが長期にわたって繰り返されることにより、水星表面の Na/K 比が高くなる。それに伴い水星外圏大気中の Na/K 比が高くなる。」という仮説を提案する。この仮説を検証するために、数値計算により、水星表面から放出された粒子のうち、表面へ供給されたものの数を調べた。このとき、観測されている水星外圏大気中の Na/K 比の空間分布との関連性を見るために、粒子が表面へ供給されたときの位置についても調べた。ま

た、月は水星外圏大気と似た機構で生成する希薄大気をもつが、水星ほど高い Na/K 比が観測されていない。そこで、これらの計算結果を月の場合と比較するために、同様の計算を月についても実行した。

外圏大気の生成過程ごとに数値計算を実行した結果、太陽風イオンスパッタリングで粒子を放出させた場合のみ、ナトリウム原子の帰還率がカリウム原子のそれを上回ることが示され、太陽風イオンスパッタリングが Na/K 比を高くするための重要な要素である可能性が示唆された。太陽風イオンスパッタリングのみでこのような帰還率が得られる原因を調べるために、微小隕石衝突による気化で原子を放出させた場合について、放出速度分布と放出領域のそれぞれを太陽風イオンスパッタリングで与えた条件に変更し、計算を実行した。その結果、帰還率全体には放出速度分布が影響し、このうち原子の帰還率には放出速度分布が、イオンの帰還率には放出領域が影響していることが示された。

水星と月の帰還率を比較すると、帰還率が太陽風イオンスパッタリングのみでナトリウムがカリウムを上回るという特徴は共通していた。ここで、実際の大気は想定した複数の生成過程が複合して生成されていることを考慮するために、先行研究をもとにした各生成過程の寄与する割合を仮定し、生成過程が複合している場合の総合的な帰還率を算出した。その結果、各生成過程の寄与比率によっては、水星における帰還率が $Na > K$ 、月における帰還率が $Na < K$ となることが示された。これにより、水星表面へはナトリウムがカリウムより多く供給されやすい可能性が高く、月面へはそのような可能性は低いことが定性的に示された。さらに、生成過程の寄与比率は常に一定でない可能性が高いことを加味し、「水星表面および水星大気中の Na/K 比は、増減を繰り返しながら徐々に増加するが、月面および月大気中の Na/K 比は、増減を繰り返しながらも大きく増加することはない」というプロセスが存在すると推測した。

また、粒子が表面へ供給されるとき位置を調べると、これらの分布は、水星、月ともに、ナトリウムとカリウムでの大きな差は見られなかったが、生成過程によってはナトリウムのほうがカリウムより若干広域にわたって帰還している様子が見られた。しかし、ここで見られた分布の差はわずかであるため、本研究の範疇では、水星の高緯度域で比較的高い Na/K 比が観測されていることとの因果関係があるとは断定できない。

以上のように、本研究では、水星表面へのナトリウムの帰還率がカリウムの帰還率を上回ることが示されたが、仮説のような Na/K 比の増加過程が実際に起こっていることを実証するには、さらなる研究、特に直接探査が必要であると考えられる。