

数値計算シミュレーションに基づく月ナトリウム希薄大気の生成機構と循環に関する研究

Investigation of the production mechanism and the circulation of lunar sodium atmosphere based on numerical simulation

藤井 慎二 [1]; # 岡野 章一 [2]

Shinji Fujii[1]; # Shoichi Okano[2]

[1] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [2] 東北大・理

[1] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [2] PPARC, Tohoku Univ.

1960年代から1970年代にかけておこなわれた Apollo 計画により、月は希薄な大気を持つことが明らかになった。この希薄大気の源は表土からの原子放出であるが、その放出機構の詳細ははまだ明らかにされていない。また、他の太陽系の小天体、例えば水星でも月と類似した希薄大気が存在が知られている。このような希薄大気を考察する上で、地球に近く磁場を持たない月は最も適した研究対象であるといえる。

月の希薄大気の生成機構として、(1) 太陽光による光脱離 (PSD)、(2) 太陽風粒子によるイオンスパッタリング (SWS)、(3) 月面の太陽放射加熱による熱脱離 (TD)、(4) 微小隕石衝突による気化 (MMV) が提唱されている。これまでの研究で、(1)~(3) の生成機構により生成された粒子が太陽天頂角に依存した大気を形成していることや、単位時間あたりに生成される粒子の量と速度分布がそれぞれの生成機構によって大きく異なっていることが明らかにされている。しかし、各生成機構による大気構成の割合や、放出し続ける粒子の供給源などいまだに未解明な部分は多い。

本研究は月希薄大気を構成する元素の中で最も発光量が大きく、現在までに多くの光学観測が行われているナトリウムに着目し、観測値を基本パラメータとした数値計算をおこなった。

まず、Potter and Morgan[1998] の観測による月ナトリウム大気の月面緯度依存性を、月表面のナトリウム数密度の太陽天頂角 () 依存を考慮して再現した。その結果、 $1 + 0.75\cos^3$ に比例する月表面のナトリウム数密度が最もよく再現した。ここで、 $0.75\cos^3$ の太陽天頂角依存性を生み出すプロセスは、太陽風ガーデニング効果が最も有力な説ではあるが、現在のところ明確にはなっていない。

次に上記で設定したパラメータを用い、観測値を再現する月ナトリウム大気の特徴を数値計算によって調べた。各生成機構の生成率は、PSD が Yakshinskiy and Madey[1999] の実験値、MMV が Morgan et al.[1989] の理論値、SWS が McGrath et al.[1986] の理論値を採用した。また、それぞれの生成機構によって生成されるナトリウム原子の速度分布について、最新の実験結果を取り入れたことも本研究の特徴である。その結果、月全球の単位時間あたりの放出量は PSD : MMV : SWS = 637.0 : 7.0 : 1.0 であると求められた。また、PSD により生成されたナトリウム原子の速度は他の生成機構に比べて小さく、そのほとんどは月面近傍に留まっていることが分かった。

さらに、数値計算上で放出されたテスト粒子の最終的な位置と量をカウントすることで、定量的な大気の構成割合、再供給率を求めた。その結果、大気の構成割合は PSD : MMV : SWS = 27.5 : 4.8 : 1.0 であり、各生成機構による大気生成率と大気の構成割合は一致しないことが示された。また、放出されたテスト粒子の 98.5% が月面に戻るといった結果を得た。

そして、過去 30 億年間にわたる月環境の変化を反映させたモデルを構築し、ナトリウムの再供給率の時間変化を調べたところ、すべての生成機構で大きな変化はなかったことが分かった。ただし、このモデルには Gough[1981] の太陽光度の時間変化を使っているが、太陽光度の変動についてはさまざまな議論がなされており、いまだに決着はついていない。異なる理論を使うことによって計算結果が大きく変わる可能性も考えられる。

見積もられた月ナトリウムの過去 30 億年間の損失量は 9.9×10^{13} kg になる。これは月のレゴリス内に含まれるナトリウム量から考えると非常に多い損失量である。この損失量から推定すると月表面から深さ 2.5m までのレゴリスが攪拌されていなければならないことになるが、これは既存のガーデニングモデルでは説明がつかない。これは月のレゴリス内で起こる濃度拡散、あるいは地質活動によって月内部のナトリウムが循環している可能性を示唆する。