

水素原子の月面における挙動  
(プラズマ環境も含めて考える)

第 19 回惑星圏研究会  
2018 年 2 月 27 日-3 月 1 日 東北大学

西野真木 (名大・工・電気)、齋藤義文 (JAXA/ISAS)、  
横田勝一郎 (阪大・理)、三宅洋平 (神戸大・計算)、二穴喜文 (IRF)

近年、衛星観測に基づいて月表面の OH 基や水分子の存在や分布、時間変動が議論されている。これらの起源として、彗星・隕石による水の供給、太陽風・磁気圏プラズマの陽子と地殻の酸素原子の反応、月内部からの脱ガス、といったプロセスが提案されている。今回は、月表面での OH 基や水分子の生成・消失に対する太陽風陽子の重要性を検討したい。

月は固有磁場や濃厚な大気をもたないため、月表面が周囲の宇宙プラズマと直接相互作用をする。太陽風陽子が月の表面に入射するとき、約 1%程度が陽子として、約 2 割が高速中性粒子として反射する。残りの約 8 割の水素は月の表面付近に取り残されると考えられるが、これらが地殻に含まれる酸素原子と反応して OH 基や水分子が生成される可能性が指摘されている。

また、月は固有磁場を持たないものの、表面付近が部分的に磁化していることが知られている (磁気異常と呼ばれる)。特に、強い磁気異常がある地域では太陽風陽子が月面に到達しにくいことが観測的に明らかになっている。さらに、広い領域が強く磁化している南極エイトケン盆地では表面において OH 基の存在量が少ないという観測結果と合わせて、太陽風陽子が月表面の OH 基や水分子の重要な起源であることが推察される。ただし、太陽風陽子によって月面に存在する水分子がスパッタリングによって放出される消失メカニズムもあり、それぞれのプロセスの寄与は今後の解明が待たれる。

また、月の表面は「宇宙風化」と呼ばれる変性を受ける。光学的には時代とともに色が黒く変化することが特徴であり、微小隕石の衝突、宇宙線の侵入、太陽風陽子によるスパッタリング等による効果であると考えられている。磁気異常の領域では月面にスワール (swirl) と呼ばれる白い渦状の様相が存在することがあり、周囲の比較的黒い部分に比べて宇宙風化が進んでいない領域であるとされる。特に Reiner-Gamma とよばれる地域で磁気異常とスワールとの対応が良いとされるが、その領域での物理プロセスの解明に向けてプラズマ観測も含めた探査が必要である。

極域のクレーターの内部には永久影の部分が存在する。この永久影は  $-200^{\circ}\text{C}$  を下回る極低温状態にあり、もし水分子が存在する場合には水氷の状態である可能性が指摘されている。太陽風陽子は熱運動および分極電場の効果によって極域のクレーター内部に流入するため、永久影の部分で太陽風陽子によって水分子が生成・保持されている可能性がある。また、水分子が低緯度から極域へと移動し濃集する傾向も指摘されている。

以上のように、太陽風陽子の月面付近での挙動を調べることは、水分子の生成・輸送・消失のプロセスの解明に向けた鍵であり、さらには着陸ミッションに向けた環境予測の一環としても重要である。