

月周辺の電場構造の2次元電磁粒子シミュレーション

木村 進矢 [1]; 中川 朋子 [1]
[1] 東北工大・情報通信

A 2-Dimensional electromagnetic full particle simulation of electric structures around the moon

Sinya Kimura[1]; Tomoko Nakagawa[1]
[1] Tohoku Inst. Tech.

An electric field structure around the moon is simulated by using a 2-dimensional electromagnetic full particle code in order to examine whether an electric field as expected from GEOTAIL observations of wake-related whistler waves is present (Nakagawa and Iizima, 2006). By considering absorption of the plasma particles at the surface of the moon, we have found that an intense electric field is produced at the terminator region. It is 12 times as strong as that appeared at the lunar wake. The thickness of the layer of the electric field was of the order of Debye length. It is likely that whistler mode waves are excited in the electric field layer.

月は誘電体で構成されており、太陽風が当たると太陽風粒子は月表面で吸着され、月の下流にはプラズマが入り込めないウェイクと呼ばれる領域ができる。太陽風が密度の低いウェイクへ入り込むとき、イオンよりも熱速度の高い電子の方が先にウェイクへ入り込むので、ウェイク境界には内向きの電場ができると考えられる。Wind 衛星の観測によると、月から $6.5R_L$ 下流のウェイク境界の電場は 0.2mV/m と推定された (Ogilvie et al., 1996)。

しかしこの電場強度では説明できない報告がある。月の上流で GEOTAIL は、月周辺で励起されて磁力線を伝わってきたホイッスラー波を観測した。このホイッスラー波が月のウェイクを抜けた電子と共鳴したものとすると、波を励起するには月周辺に強度 28mV/m 厚さ 20km の電場が必要である (Nakagawa and Iizima, 2006)。今までこのような強い電場の報告はない。薄く強い電場は月の表面付近に存在すると考えられるので、これまでの衛星の観測にかからなかった可能性がある。そこで本研究では月の表面付近に注目してシミュレーションによって電場構造を再現する。月の表面では太陽風粒子が月表面に吸着するという効果が重要である。また月の脇からウェイク領域に流れ込む粒子の動きを正確に再現するためには月の丸さを考えに入れる必要がある。従来の月周辺のシミュレーションはウェイクに注目したものが多く、月の形を考えて帯電を完全に考慮に入れたものはなかった。本実験では領域を $20R_L * 20R_L$ の2次元にとり月の形を円にして、全粒子法により粒子の吸着を考慮に入れた計算をする。帯電は、太陽風粒子が月にぶつかったら表面で粒子を固定して再現した。

イオンのウェイクを忠実に再現するために、イオンの熱速度 V_i と太陽風速度 V_0 の比を現実に近い $V_i=1/8V_0$ にする。電子の熱速度 V_e を、 $V_e=4V_0$ とすると (現実では $6V_0$) イオンと電子の質量比は 1024 となる。GEOTAIL の観測によると V_e はおよそ $0.01c$ であったが、これでは太陽風速度が遅くウェイク形成に時間がかかってしまうので、 $V_e=0.1c$ として計算した。このとき V_e とデバイ長は現実より 11.3 倍大きくなる。GEOTAIL の観測ではデバイ長は 30m であり、月半径 $R_L=1738\text{km}$ より小さいので、デバイ長は R_L より小さくとらなければならない。今回はデバイ長を $1/2R_L$ として計算した。簡単のために光電子と太陽風の背景磁場は考慮に入れていない。

計算の結果、月より $6R_L$ 後方のウェイク境界には 250mV/m の電場が現れた。これは Wind 衛星の観測より推測した 0.2mV/m よりだいぶ大きいのが、今回の実験でデバイ長を大きくとったためだと考えられる。デバイ長を半分にして計算したところウェイク境界の電場は約 0.7 倍弱くなり、厚さが月半径程度になった。月のターミネーター域には、ウェイク境界より 12 倍強い 30V/m の電場が、およそデバイ長の厚さで現れた。電場強度は V_e に比例すると考えられるので、いま V_e は現実より 10 倍大きくとっていることから実際には月のターミネーター域に 3V/m の電場が現れていることになる。これはホイッスラー波を起こすには十分な強さである。ターミネーター域の電場は、今回粒子の吸着を考慮に入れて初めて現れたものであり、月周辺の電場を見る上では帯電の効果が無視できないということがわかる。