

太陽風と無磁場天体との相互作用：ウェイクへのイオンの侵入過程

中川 朋子 [1]
[1] 東北工大・工・情報通信

Solar wind interaction with a non-magnetized body: Ion entry into the wake

Tomoko Nakagawa[1]
[1] Tohoku Inst. Tech.

<http://www.ice.tohtech.ac.jp/~nakagawa/>

Ion entry into the wake behind a non-magnetized body in the solar wind stream was studied by using a two-dimensional electromagnetic full particle simulation. The electron thermal speed faster than the solar wind bulk speed, together with the ion thermal speed slower than the solar wind speed, causes negative charging of the downstream side surface of the non-magnetized body. The negative charging and the potential drop in the wake accelerate the ions faster than that predicted by the self-similar solution.

近年、かぐや、Chandrayaan-1, Chang' E-1, ARTEMIS など、さまざまな周回衛星によって月周辺のプラズマ観測が行われるようになり、月にごく近いウェイク中でもエネルギーの高いイオンが検出されるなど、ウェイクへのイオンの侵入過程に注目が集まってきている。

ウェイク中のイオンが観測された際にしばしば「自己相似解」(Allen and Andrews, 1970; Denavit, 1979; Samir et al., 1983) が参照される。この理由はおそらく、イオンの速度と密度が簡単な式で表わされ使いやすいためと推察される。しかし導出した Allen and Andrews が想定したのは負の電極そばのイオンシースであり、イオン温度なし、電子温度一定、電子の質量無視、1次の変動量についても電子とイオンの密度が等しい、など、太陽風プラズマに適用するにはやや無理と思われる仮定が多い。真空領域への侵入の深さとともにイオンが加速されていく様子や rarefaction wave の存在を導き出した一方、最初から真空領域のはるか深いところまでイオンが存在するなど、物理的とは言い難い性質も示されている。Denavit (1979) は電気的中性の仮定を外した1次元ハイブリッドシミュレーションを行い、真空領域に入っていくイオンが ion front を形成し、その先にはまだイオンが入らない領域があるなど、自己相似解とは異なる特性を示した。しかし ion front よりも浅い側ではイオン密度、速度とも自己相似解と似た動きを見せたことから、観測の吟味の際に自己相似解を比較に用いることが今も行われている。

Denavit の数値実験は1次元であったため、帯電の効果を入れることができないという弱点があった。本研究では2次元全粒子法によって、丸い天体の表面への荷電粒子の吸着を考慮に入れ、イオンの温度や太陽風磁場も設定したシミュレーションを行い、天体の下流側にできるウェイクへのイオンの侵入を調べた。電子の熱速度を太陽風速より速く、イオンの熱速度は太陽風速より遅くすることにより、天体の下流側表面には電子だけが選択的に吸着し、表面が負に帯電する。この表面電荷による負のポテンシャルのため、イオンのウェイクへの侵入は、帯電がない場合よりも一層加速されることがわかっている (Kimura and Nakagawa, 2008)。本研究は2次元のシミュレーションのため、太陽風に対してどれほどの下流でどれくらい奥までイオンが侵入するか見ることが出来る。それによると自己相似解よりも速いイオンが早くウェイクに侵入することがわかる。イオンの密度は自己相似解よりも小さい。

全粒子法では、大きな天体に対して小さなグリッド間隔にすると計算量が膨大になってしまうため、デバ依長をあまり小さくできないという弱点があり、ここがいつも批判の対象となってきた。しかし、制約内ながら、デバ依長を天体に対して小さく(すなわち電子温度を遅く)していった場合、電子とイオンの熱速度及び太陽風バルク速度の比が同じであっても、デバ依長が長い時よりも短い時の方が、より早く(天体の下流のより近い位置で)イオンがウェイク深部まで侵入することが示された。