

火星における酸素コロナの空間分布とピックアップイオンの位相空間分布関数

The phase space density of pickup ions on Mars

陣 英克 [1], 向井 利典 [1]

Hidekatsu Jin [1], Toshifumi Mukai [1]

[1] 宇宙研

[1] ISAS

テストパーティクルシミュレーションを通じてピックアップイオン O^+ の火星近傍における位相空間分布関数を求めた。

その結果、ピックアップイオンのgyro半径が火星半径に比べて大きい性質を利用して、ピックアップイオンの位相空間分布関数より酸素コロナの空間分布が調べられる。bow shock下流でピックアップイオンが多量に発生するため、bow shock近傍で位相空間分布関数が大きくなる。しかもnon-gyrotropicな分布をしているため、太陽風はマス・ローディングによって速度の大きさだけでなく、方向も変わる。これはbow shockの形状などに影響を及ぼし得る。

ということが分かった。

火星上層大気から火星半径の数倍離れたプラズマ領域にまで火星大気起源の酸素コロナが広がっている。火星には固有磁場がなく（あっても弱く）、地球のような磁気圏が存在しないため、酸素コロナが直接太陽風にさらされている。よってこの酸素コロナの一部が後述するプロセスによって電離し O^+ イオンになると、太陽風中の電場と磁場を感じてgyro運動を開始し、 $E \times B$ ドリフトをしながら太陽風に持ち運ばれる（太陽風にピックアップされる）。

このようなピックアップイオンのgyro半径は火星半径に比べて大きく、火星近傍ではせいぜいgyro運動の4分の1周程度しかしていない。

今回はこの性質を用いてピックアップイオンの位相空間分布関数から酸素コロナの空間構造を調べる方法を明らかにする。すなわち火星近傍でピックアップイオンの速度の大きさ、方向が分かると、まだピックアップイオンはgyro運動の1周もしていないので、軌道を逆にたどればgyro運動の出発地点が分かる。つまりピックアップイオンの発生場所、発生量が分かる。したがって酸素コロナの空間構造を調べられる。

そこで逆に酸素コロナの分布を仮定し、テストパーティクル・シミュレーションを通じて幾つかの地点におけるピックアップイオンの位相空間分布関数を調べた。

まず酸素コロナの分布から、太陽紫外光によるphotoionization、太陽風プロトンとのcharge exchange、太陽風電子によるelectron impactといったそれぞれのイオン化プロセスにおけるピックアップイオンの発生量を計算した。するとbow shockの外側では一定のイオン化率であるため、ピックアップイオンの発生量は酸素コロナの密度に比例し、bow shockの内側では電子が加熱され、密度も増加することによってelectron impactの効果が大きくなり、ピックアップイオンの発生量も急増することが分かった。

そしてテストパーティクル・シミュレーションを行い、火星の近傍全域にわたりピックアップイオンを発生させて、それぞれの軌道を求め、先に求めたピックアップイオンの発生量にしたがって重みをかけた。このようにして、幾つかの地点におけるピックアップイオンの位相空間分布関数を求めた。

その結果、

酸素コロナの空間分布について

bow shockから離れた地点におけるピックアップイオンの位相空間分布関数を見ると、その地点で捕らえているピックアップイオンは太陽風中を一樣に加速してきたものである。さらに各ピックアップイオンの発生地点におけるイオン化率も一定なので、位相空間分布関数の値が酸素コロナの密度に比例する。よってピックアップイオンの位相空間分布関数から酸素コロナの空間分布が調べられる。

マス・ローディングについて

bow shockに近い地点の位相空間分布関数には、magnetosheath内で発生したピックアップイオンも見られるようになる。magnetosheath内のnose領域は先述したとおりelectron impactによってピックアップイオンが多量

に発生しているので、これが寄与する位相空間分布関数の値も大きくなる。すると太陽風のピックアップイオンによるマス・ローディングの影響が大きくなり、しかもピックアップイオンはnon-gyrotropic な分布をしているので、太陽風は速度の大きさだけでなく、方向も変わる。これは bow shock の形状などに影響を及ぼし得るものである。

ということが分かった。