

BepiColombo/MMO 搭載用高速中性粒子計測器の開発

Development of Energetic Neutral Atom Analyzer for BepiColombo/MMO

浅村 和史[1], 斎藤 義文[1], 平原 聖文[2]

Kazushi Asamura[1], Yoshifumi Saito[1], Masafumi Hirahara[2]

[1] 宇宙研, [2] 立教大・理・物理

[1] ISAS, [2] Dept. Phys., Rikkyo Univ.

水星は自身の持つ固有磁場強度が小さく、磁気圏の中で惑星の占める割合が地球に比べ格段に大きい。また、水星を取り巻く大気は極めて希薄であると考えられている。このため、磁気圏プラズマ粒子は比較的容易に磁気ミラー力による障壁を越え、大気粒子との衝突もほとんど経験せずに、惑星表面に到達できると考えられる。このようにして降り込んでくる粒子が惑星表面に衝突すると、表面から二次的な粒子がたたき出される（スパッタリング）。スパッタリング過程では運動量交換が起こるため、降り込み粒子が大きな運動量を持つ場合、スパッターされた粒子の一部は高いエネルギーを持ち得る。このことはスパッタリング過程に特徴的な現象であり、光子や電子の衝突による表面からの脱ガスといった他の二次粒子放出現象では放出粒子のエネルギーは低い（数 eV 以下）。このため、表面から放出されるエネルギーの高い粒子を観測すると、選択的にスパッタリング現象の結果を観測していることになる。

水星の環境下で、高エネルギー粒子がスパッターされるような大きな運動量を持つ粒子の降り込みを引き起こす原因としては、磁気圏内に高エネルギープラズマ粒子（イオン）が存在し、磁力線に沿って地表に降り込んでくる場合や、太陽風プラズマ粒子が直接表面にまで到達する場合が考えられる。なお、スパッタリング過程によって表面から放出される二次粒子のエネルギー分布は Sigmund-Tompson の式によって表すことができると考えられている。この関係式に従えば、1keV のプロトンが表面に入射し、放出された粒子がナトリウム原子だったとすると、ナトリウム原子の持ち得る最高エネルギーは完全弾性衝突が起こった場合に対応する約 160eV である。

水星は希薄な大気しか持たないために、オーロラ発光現象は起こらないと考えられている。ところが、上述のようなスパッタリング現象の特徴を考慮すると、水星周回衛星において表面からスパッターされた粒子を観測することは、その粒子が生成された場所と同一磁力線上にある磁気圏内の領域のプラズマ現象のモニターとしての意味を持つと考えられる。このことは地球環境下においてオーロラ観測の持つ重要な情報の一部を、水星においてもスパッター粒子を観測することで得ることができることを意味している。

スパッタリング過程によって放出される粒子の大部分は中性粒子である。そして、地球磁気圏で起こるような磁気圏高エネルギーイオンと外圏中性粒子の荷電交換による高エネルギー中性粒子の生成は、水星ではそれほど効果的ではないと思われる。さらに、スパッタリング現象は惑星表面でのみ起こり得るため、高エネルギー中性粒子を観測した場合、検出された中性粒子がスパッタリング現象によって生成されたものかどうかの判断は比較的容易であろう。また、中性粒子は重力のみの影響を受けて弾道飛行をすることと、粒子の生成領域が惑星表面に限定されることは、生成領域の同定を容易にする。（例えば、地球磁気圏の場合、高エネルギー中性粒子は磁気圏内で生成されるため、その生成領域は観測器の視線方向に広がったものとなり、どこで生成されたのかを同定するには本質的な困難さを伴う。）ただし、スパッター粒子の観測を磁気圏プラズマ現象と結びつけて定量的に解釈するためには、水星表面の組成や磁力線の形状などの仮定が必要となる。しかし、生成領域を直接決定できることは極めて大きなメリットである。

以上のような水星における高エネルギー中性粒子観測の利点を踏まえ、我々は BepiColombo/MMO への搭載を念頭に観測器の開発に取りかかろうとしている。スパッター粒子の持つ典型的なエネルギーはすでに地球磁気圏周回衛星などで実現されている高エネルギー中性粒子観測器の観測エネルギー帯に比べ、低い領域に属する。このため、従来からよく使われてきた薄膜を通過させることによる入射粒子の電離法は適用できず、金属表面との相互作用を用いた電離法を用いる。電離後は静電場、磁場を用いて粒子軌道を偏向し、エネルギー/質量分別、及び光子除去を行う。特に、水星は太陽に近いので、光子の除去は重要となる。本発表では観測器の原理・性能などについて述べる。