

Bepi Colombo 計画における 線分光による元素分析

The elementary analysis by the gamma ray spectroscopy in Bepi Colombo mission

長谷部 信行[1]

Nobuyuki Hasebe[1]

[1] 早大・理工総研

[1] Adv. Res. Sci. & Eng. Waseda Univ.

水星は、地球型惑星のなかで最も未知の惑星である。この惑星に関する知識は、限られた地上観測と約 30 年前に行われた Mariner10 の 3 回のフライバイ観測に基づく断片的なものに過ぎず、水星の表面物質の情報が得られていない。したがって「Bepi Colombo 計画」において 線分光を用い、表面物質の探査を行う。

科学目的

1) 太陽系第一惑星としての意義

水星は、高い平均密度 (5.4g/cm^2) から金属鉄のコアが大部分を占めていると予想される。水星の材料となった原始太陽系星雲中の固体物質は、太陽近傍では還元的な環境にあったため鉄が酸化鉄ではなく主に金属鉄として存在したと考えられている。このため、マントル-地殻物質には、地球や火星に比べ酸化鉄が著しく欠乏していると予想される。また地球や月は、火星や小惑星帯起源隕石に比べアルカリなど揮発性元素が欠乏していることが知られているが、水星に同様の欠乏があるかを、地球化学的挙動が似る揮発性元素 K と難揮発性元素 U、Th の比から調べる。

2) 小型固体惑星としての意義

月・水星のように小さな固体天体では、熱量などの問題でマグマオーシャンが存在したとしても固結が早く、地球のように十分に攪拌されたマントルが形成されないため、地殻・マントルにおいて水平鉛直方向ともに相当の不均質性が形成される可能性がある。U、Th などの濃度分布の不均質性はマグマオーシャンの有無、固結過程、地殻形成過程の解明に重要である。

計測原理

1) 線分光の原理

銀河宇宙線は、大気がない或いは殆どない惑星、衛星、小惑星、彗星などの天体の表面物質と常時衝突している。表面物質と宇宙線との相互作用の結果、中性子と 線が生成され、その一部は天体表面から逸散する。また、天体を構成している元素には天然放射性元素が存在し、 線を放出する。 線は透過力が高く、その一部は固有エネルギーを保持したまま逸散して宇宙空間へ漏れ出す。このような 線は表面物質特有のエネルギーを持つので、上空から測定すれば惑星表面の元素情報を得ることができる。

2) 線で観測できる元素

線強度の比は物質の組成比に比例し、元素同定と同時に存在量の情報を得ることができる。主要元素である O、Al、Mg、Si、Fe、Ti、Na、Ca などは惑星表面に十分存在すると考えられ、同定は比較的容易である。また、天然放射性元素である K、Th、U などは各々の半減期にしたがって崩壊し固有エネルギーを持った 線を放出するので、同様に観測が可能である。

惑星表面上に水が存在すれば、宇宙線によって生成される中性子の減速材として作用するので、水の存在量や深さ分布に応じてフラックスに大きな影響を与える。また、水素原子の中性子捕獲により直接発せられる 2.223 MeV の 線を検出できれば、水が存在する可能性は非常に高くなる。ただし、この近辺には Al (2.210 MeV) と Si (2.235 MeV) のラインが存在するため、水の存在の議論には 5 keV 以下の高分解能を有する 線分光計が必要となる。

3) 線検出用の Ge 検出器

線分光によって惑星表面元素を定量的に同定するには、検出器の選択、特にエネルギー分解能と検出効率が重要である。Ge 半導体検出器は NaI (TI) 検出器に比べ検出効率が小さいが、エネルギー分解能が 30~40 倍優れていて 662 keV で 0.20%、 1.33 keV で 0.15% である。これは Ge 半導体のエネルギーギャップが小さいためだが、動作時には冷凍機で液体窒素温度にまで冷却せねばならない。不特定多数の核種が混在しているような試料の同定には高分解能である Ge 検出器はその威力を発揮するので、今回の計画にはこの Ge 検出器を用い、上述の O、Al、Mg、Si、Fe、Ti、Na、Ca、K、Th、U などの元素の特定をする。

4) 中性子検出

中性子は個々の元素同定には利用出来ないが、敏感な中性子束は元素に大変敏感である。このため、水素・炭素等の減速材、Gd や Sm など中性子吸収断面積の大きな物質の検出に有利である。そして水星表面の標準的土壌と鉄に富んだマフィック土壌との区別などに有用である。

また、線分光計との組み合わせが有効である。例えば、鉄の線計測は中性子捕獲の 7.6MeV ライン線によるが、その強度は局所的な中性子強度、特に熱中性子や超熱中性子強度に強く依存し、また Fe、Ti、Gd、Sm 等の相対存在量にも大きく依存する。他元素についても、特に中性子捕獲線を適用する定量化法には中性子データによる補正が必要である。また、水星極域に水素が存在していれば、超熱中性子や熱中性子の計測で検出できる。