

## 小型の永久磁石を用いた低温固体粒子の磁気分離と物質同定 Magnetic separation and identification of low-temperature solid particles using their translation caused by a pair of small permanent magnets

\*植田 千秋<sup>1</sup>、山口 若菜<sup>1</sup>、久好 圭治<sup>1</sup>、寺田 健太郎<sup>1</sup>

\*Chiaki Uyeda<sup>1</sup>, Wakana Yamaguchi<sup>1</sup>, Keiji Hisayoshi<sup>1</sup>, Kentaro Terada<sup>1</sup>

1. 大阪大学大学院理学研究科 宇宙地球科学専攻

1. Institute of earth and Space Science Graduate School of Science Osaka University

近年、ネオジム磁石による磁気力によって、異なる粒子の集合体を微小重力空間内で並進させ、物質の種類ごとの集団に分離する原理が実証された。さらに粒子の速度から求めた磁化率から、その物質の種類を非破壊で識別できることが、様々な物質で示された[1]。自然界に存在する物質の多くは、反磁性体あるいは弱い常磁性体であり、それらは物質ごとに各々固有の磁化率を有している。この磁化率の差異によって、上記の分離や同定が可能になる。これまで磁気並進の実験は、主として室温条件で検証されてきた[1]。しかし自然界に存在する粒子の大多数は、小惑星以遠の太陽系や、地上の寒冷地で見られるように、揮発性の低温固体である。これまで私たちは  $T = 200\text{K}$  の低温条件で、氷やドライアイスの磁気並進を観測した[2]。さらに  $T = 100\text{K}$  以下の条件で、CO、エタン、メタン、窒素などの低温固体の磁気分離を目指しており、今回はこれに向けた成果を報告する。

微小重力空間での磁気分離は、以下のメカニズムによって進行する。一方向に減少する磁場を空間内に設定し、その中の一点で、質量  $m$  の単一の反磁性粒子を静かに開放する。すると粒子内には磁場と逆方向に反磁性磁化が発生し、これが磁場勾配による磁気力を生む結果、粒子は磁場ゼロの方向に並進する[1]。そして粒子が磁場ゼロの空間に達した時の終端速度は、エネルギー保存則により、初期位置の磁場強度と物質固有の磁化率のみに依存し、 $m$  に依存しない。従って、物質の種類が異なる複数の粒子を、磁場勾配内の同一位置で開放すると、それらの粒子は、 $m$  の大小に関係なく、(磁化率の差異のみによって) 物質の種類ごとの集団に分かれて並進し、分離が実現する[1]。

今回開発する測定システムでは、まず断熱二重ガラス容器の中に液体窒素を充填して、内部を冷却し、その中に小型のネオジム磁石を設置して磁場勾配を発生させる。この磁場空間の中に、固体エタン粒子（融点90 K）を試料としてセットする。以上のセットアップを落下用の木箱内に設置し、180cmの高さから自由落下させて、0.5秒間の微小重力環境を作る。そして自由落下中の粒子運動を高速度カメラで観測し、得られた終端速度から粒子の磁化率を求める。この値を文献値と比較し、粒子の分離と同定が上記の原理通り実現するか検証する。

今後は現装置の改良を行い、メタン（融点91K）、一酸化炭素（融点68K）窒素（融点63K）などの固体粒子の磁気並進運動を観測する。これが実現すれば、氷天体および太陽系外縁部に存在する主要な固体物質について、磁気分離による分析を実施できる展望が得られる。周知のように、太陽系内において固体物質の詳細な物質分布を知るには、広い空間領域で無人探査を実施し、各観測点での物質の存在頻度のデータを、効率よく分析し集積する必要がある。このような分析を実現できる装置の要点として、①原理が単純で実証済である、②サイズがコンパクトで堅牢、③電力消費が少ない、④試料の非破壊測定が可能、などが挙げられる。今回開発した装置は、上記の条件を、①以外はほぼ満たしている。従って今後、測定精度を向上させることで、将来的には、既存の質量分析計や赤外分光計装置などの既存の手法を補完する装置に発展する可能性がある。なお外惑星のリングや衛星表面は、揮発性固体とシリケートを端成分にもつ混合体で構成されていると考えられており、探査の現場では、広大な探査領域で、その質量比を効率よく知る必要がある。今回提案した磁

気分離装置は、その機能を果たす潜在力も有している[3]。

[1] Hisayoshi, Uyeda & Terada (2016) Sci., Repts., 6, 38431.

[2] Yamaguchi, Hisayoshi, Uyeda & Terada (2017) J. Phys., Conf. Ser.903, 012026.

[3] Hitomi, Yamaguchi, Hisayoshi, Uyeda (2018) Planet Space Sci., available online.

キーワード：磁気分離、反磁性体、低温固体

Keywords: magnetic separation, diamagnetic material, low temperature solid