

磁気放出運動に基づく簡易型微小重力装置を用いた始原的隕石構成粒子の非破壊同定 Nondestructive characterization of a single micron-sized primitive-grain realized by magnetic ejection in microgravity

久好 圭治^{1*}, 植田 千秋¹
Keiji Hisayoshi^{1*}, Chiaki Uyeda¹

¹ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻
¹ Graduate School of Science, Osaka Unives

近年、単一の微小粒子を対象とした様々な目的の精密分析が重要となりつつある。分析の前段階として物質の種類を非破壊で同定することが望まれるが、そのための有効な手法は確立していない。近年、われわれは、磁場勾配力による並進運動を利用した新しい磁化測定法を確立し、これに基づく物質同定法を新たに提案した。微小重力環境下で磁場勾配中に試料を解放し、磁場勾配力によって並進運動する試料の運動を解析することにより、反磁性物質の磁化率を検出した。物質はそれぞれ固有の反磁性磁化率を持つので、反磁性磁化率を精度よく検出することは物質を識別する原理の1つとして新たな手段となりうる。

磁場勾配をもつ空間において、微小重量環境で質量 m の反磁性物質は $ma = -m \quad B (dB/dx)$ で表される並進運動を行う。試料の加速度の値は、試料の磁化率と $B (dB/dx)$ に比例する。ただし、 B は磁場、 (dB/dx) は磁場勾配をあらわす。試料の加速度より得られた磁化率は文献値とほぼ一致した。加速度 a は反磁性磁化率 のみに依存し、質量 m に依存しない。

従来の磁化測定法では、試料サイズの減少とともに、試料ホルダーからのバックグランド信号の寄与が顕著となる。また、試料の質量測定が不可欠であるが、これも 100 マイクログラム以下では実施が難しい。このため、試料サイズの減少と共に、測定が困難となる。われわれの提案するこの測定方法は、原理上、試料の運動が観測可能な限り無制限に小さい試料の磁化率を測定することができる。

既存の微小重力実験施設は国内に数カ所しかなく、高額のコストがかかることもあり、ルーチンの分析手法としては利用しにくい状況にある。そこで今回、上記の原理に基づいて、導入が容易でしかも簡便に実施できる簡易型微小重力実験装置を製作した。これを用いて反磁性物質の同定を進めた。

実験装置は実験室内に設置できる規模で、落下距離は 1.5m、微小重力継続時間は約 0.6 秒である。試料は永久磁石で構成された磁気回路の約 0.7T の磁場中に放出される。落下装置は、大きさが 30cm × 30cm × 20cm の直方体のケースに、電動アクチュエーターを装備した真空チャンバー、試料ホルダー解放信号受信装置、試料ホルダー開閉コントローラー、磁石、電池、撮影用 HV ビデオカメラを搭載し、その重量は約 7kg である。落下装置は、1.5m の高さに設置された電磁錠に固定され、実験開始とともに、電磁錠から落下する。装置落下 0.2 秒後に、試料ホルダー解放信号が送られ、試料は磁場中に解放されて並進運動を行う。この運動を HV ビデオカメラを用いて記録する。試料を装填し落下装置を設置してから落下させ映像を取り出すまでに、これまでの大規模落下施設では複数の人員で 2 時間以上かかっていたが、この簡易装置では 1 人でおおよそ 30 分の行程で行える。

この装置を用いて、50-90 μm のグラファイト粒子と 40-60 μm のダイヤモンド粒子の磁化率の測定に成功した。また、グラファイトとダイヤモンドの混合した 40-90 μm の粒子を磁場勾配中で解放すると、反磁性磁化率の違いによって、分離して並進運動を行うことが観察された。映像より解析された運動の加速度によって物質が同定される。今後観察はマクロレンズの使用や高速度撮影を行うことにより、空間分解能、時間分解能を向上させることによって、識別可能な試料の大きさは約 20 μm 程度までが期待できる。

始原的隕石を構成する粒子のサイズは、この簡易装置で測定が期待できる 20 μm とほぼ同程度である。したがって、このサイズの微小粒子を非破壊で同定することができれば、始原的隕石を構成する粒子を分析する可能性が大きく広がることが期待される。観測された磁化率の値は -5×10^{-6} から $-2 \times 10^{-7} \text{ emu/g}$ の範囲内にあるが、隕石中の有機物質の反磁性磁化率はこの範囲内にあると予想される。よって、隕石を構成する微小の炭素物質についても、粒子単体で同定が可能となる。

キーワード: 反磁性磁化率測定, 非破壊, 同定, 磁気放出, 微小重力

Keywords: diamagnetic susceptibility measurement, nondestructive characterization, microgravity, magnetic ejection, field gradient force