

.磁気体積力を利用した単一粒子の同定

Material Identification of single particle using magnetic volume force

植田 千秋^{1*}, 久好 圭治¹Chiaki Uyeda^{1*}, Keiji Hisayoshi¹¹ 植田 千秋¹ Chiaki Uyeda

静磁場が固体粒子に及ぼす力学的作用は、磁鉄鉱やFe・Ni合金のような自発磁化を有する物質でのみ認識されてきた。造岩鉱物を構成する通常の鉱物粒子、あるいは生物起源の有機物質などが、磁場の作用を受け得るかどうかの可能性は、地球惑星科学のみならず自然科学のどの分野でも、ほとんど検討されて来なかった。近年、重力が無視できる希薄な空間に開放した弱磁性（反磁性&常磁性）の粒子が、その内部に誘導される磁化およびその異方性のために、永久磁石レベルの磁場で並進および回転運動を引き起こすことが報告された [1]。物質は各々固有の磁化率および異方性を有する。従って上記の運動からそれらの値を決定して報告されている文献値と比較する事で、粒子の物質同定が実行できる [2]。

地球惑星科学の諸分野で扱う試料は、起源の異なる粒子の集合体であることが多いため、最先端のマイクロ・プローブ技術による局所分析を基盤とした研究が進められている。しかし上記のプローブ分析だけで、特異性のある粒子を明確に把握できるか否かについては疑問が残る。例えば予見されていないタイプの presolar 粒子が、隕石中で発見されずに埋もれている事も、可能性として残る。そこで局所精密分析の前段階として、集合体の個々の粒子の同定を非破壊で実行し、目的とする粒子を特定する技術が望まれる。それを簡単に実現する原理の一つとして、磁気運動を利用した上記の磁化測定が挙げられる。

上に述べた並進運動の原因である磁場勾配力は、物体の質量および磁化率（単位質量当り）比例する。このため磁場勾配が既知の時、運動の加速度は粒子質量に依存せず磁化率のみに依存する、という新規の特性を有する（例えば、磁場が一方向に減少する空間内の一点で、質量の異なる2個の黒鉛粒子を、初速度ゼロで同時に開放した場合、両者は同速度のまま集団を保って、磁場の外に放出される）。一方、均一磁場空間に浮遊する結晶の磁氣的安定軸は磁場に対して回転振動する。その周期は、磁場強度、物質固有の（単位質量当りの）異方性磁化率、および試料の回転半径に依存し、やはり結晶質量に依存しない。すなわち既存の測定法では必須条件であった試料質量をすることなく、運動を観測するだけで無制限に小さな試料の磁化測定が実現する。その値に基づく物質の同定も可能である。

今回、代表的な星周鉱物であるパイロキシンについて、上記の磁気並進運動の特性を sub-mm サイズで検証した。さらにこのサイズの方解石および水晶の単結晶粒子に関して、回転振動の特性を新たに検証したので、報告する。微小重力条件の発生には、以前から磁気運動の観測に用いていた室内用の小型落下 box（直径 30cm）を利用した。観測装置の満たすべき条件として、1) 装置全体が box 内に収納されること、2) 0.5 秒の短い微小重力時間内に、目的とする力学運動が完了する、の2点が挙げられる。そこで小型のネオジム磁石プレート2枚からなる磁気回路を磁場発生部として導入することで、磁気並進運動の空間を 2cm 以下に縮小した。この縮小により、粒子が終端速度に到達する所要時間も 0.5 秒以下に短縮された。回転振動の観測では、試料サイズが 1mm 以下になったことで試料の回転半径が減少し、振動周期を 0.5 秒以下に抑えることができた。これにより最低でも1周期分の運動が観察でき、振動が磁気異方性に起因していることが確認できた。今回 sub-mm 粒子で確立した技術は、今後ミクロンサイズあるいはそれ以下のサイズの粒子の計測を実現する上で、重要な足がかりとなる。ミクロンサイズの粒子運動を観測するため、上記の観測システムに可視の光学顕微鏡を導入する準備を現在進めている。ナノサイズの粒子運動は、蛍光紫外線顕微鏡を導入することで、原理的には十分である。

今回の分析原理は、初めに述べた presolar 粒子の探査以外にも、探査機用の粒子分析器への応用などが考えられる。これ以外にも、堆積岩や深部物質に含まれる微小かつ希少な種々の包有物の探索にも有効である。惑星物質が進化する諸領域では、磁場とダストの両方が遍在しているが、これらの領域でのダストの力学的挙動については、まだ完全には理解されていない。従って惑星進化に関与する力学運動の一つとして、想定され得る磁気運動の特性を検証しておく必要があると考えられる。

[1]C.Uyeda et al(2010)J. Phys. Soc. Jpn,79, 064709.

[2]K Hisayoshi et al(2011)J. Phys.: Conf. Ser. 327 012058

キーワード: 物質同定, レゴリス, 磁気異方性, 磁化率, 磁気放出, 磁気回転振動

Keywords: magnetic ejection, magnetic oscillation, material identification, diamagnetic anisotropy, magnetic alignment, dust alignment