



Title	磁化率測定のためにドライアイスを磁気並進運動させる
Author(s)	山口, 若菜
Citation	平成27年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2016
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/54668
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

平成 27 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏名	やまぐち わかな 山口 若奈	学部 学科	理学部 物理学科	学年	2年
ふりがな 共同 研究者名		学部 学科		学年	年
					年
アドバイザー教員 氏名	植田千秋	所属	宇宙地球科学専攻		
研究課題名	磁化率測定のためにドライアイスを磁気並進運動させる				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。 必要に応じて用紙を追加してもよい。				

1. 研究目的

我々の身の回りにある多くの物質は、各々固有の反磁性磁化率を有している (Table 1¹⁾ 参考)。したがって、反磁性磁化率の測定により物質の同定が可能であることが示されている。この原理を用いると、小型の永久磁石を用いて磁気並進運動を観測するため、測定装置を小型化できる。この測定方法は、現在、室温近傍でしか実施されていない。

外惑星表面は揮発性固体に覆われており、これを同定するためには新たな装置を開発する必要がある。そこで本研究では、外惑星表面の主要物質であるドライアイス粒子（融点 195K）の反磁性磁化率を測定するために、磁気並進運動を利用した反磁性磁化率測定装置の開発を試みた。本研究は、磁気並進運動による測定が、探査機に搭載する装置の原理として有効かどうかを検証する手がかりになると考えられる。

2. 理論

反磁性体は、印加した磁場と逆方向に磁気モーメントを発生する。したがって、初期磁場 B_0 の位置

物 質 名		反磁性磁化率 ($\times 10^{-7}$ emu/g)	
有機物	ナフタレン	! ! ! !	-7.08
	アントラゼン	! ! ! ! !	-7.35
プレソーラー粒子	炭化ケイ素	SiC	-3.19
	コランダム	! ! ! ! \$	-3.63
	グラファイト	C	-52
	ダイヤモンド	C\$	-5.88
シリケイト	水晶	! ! ! \$	-3.7 - 4.7
	方解石	! " ! "	-3.55
	カンラン石	! " ! "#	-3.3
	マグネシア	MgO	-2.56
金属	金	Au	-1.42
	銀	Ag\$	-1.92
	白金	Pt\$	-9.8
	鉛	Pb\$	-1.11
	ビスマス	Bi\$	-13.4

(HISAYOSHI et al. 2012)

Table 1 反磁性磁化率の文献値

で反磁性体を解放すると、磁場 $B = 0$ の方向へ運動する (Fig.1²⁾ 参考)。

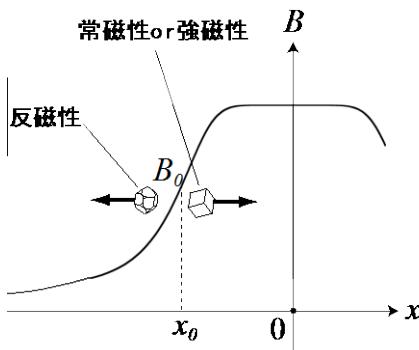


Fig.1 磁場分布

初期位置における磁気的ポテンシャルエネルギーと終端速度における運動エネルギーは等しい。したがって、質量を m 、反磁性磁化率を χ 、初期磁場を B_0 、終端速度を v_t とすると、エネルギー保存の式

$$-\frac{1}{2}m\chi B_0^2 = \frac{1}{2}mv_t^2 \quad (1)$$

より、

$$\chi = -\frac{v_t^2}{B_0^2} \quad (2)$$

となり、反磁性磁化率を求めることができる。式 (2) より磁化率 χ は質量 m に依存しない。したがって、質量を測定することなく、初期磁場と終端速度のみで磁化率を算出できるため、質量測定の困難な微粒子や揮発性固体の反磁性磁化率も測定することができる。

3. 研究経過

測定には、二組の永久磁石を平行に向かい合わせた磁気回路を用いた。この磁気回路の磁場をガウスマーターとマイクロステージを用いて 1mm 間隔で測定した。この磁気回路を、試料台、試料台駆動システムであるソレノイドとともに低温測定用二重断熱ガラス容器内に配置した (Fig.2 参考)。試料台は、磁場勾配の最も大きい位置にセットした。Fig.3 に示すように木製落下ボックス内に先ほどの低温用断熱ガラス容器、真鍮キャップ、カメラ、赤外線リモコン受光器、スイッチ、照明用ライト、電池を配置し、配線した。Fig.2 のように寒剤としてドライアイスを二重ガラス容器内全体に配置し、試料であるドライアイス粒子を試料台の上に配置した。この落下ボックスを Fig.4 のように 180cm の高さから自由落下させてボックス内に 0.5 秒間の微小重力空間を作った。試料は直径数 mm のドライアイスを用いた。

この二重ガラス容器は、低温になったガラスに付着する霜を防ぐために準備したが、霜による曇りが原因で内部を観察することができなかつた。そのため、二重ガラス容器の外側にさらにガラスを配置し、一部を三重構造にして覗き窓を作った。また、ガラス容器と覗き窓の隙間に熱して乾燥させたシリカゲルを入れた。これにより、曇りを除去することができた。

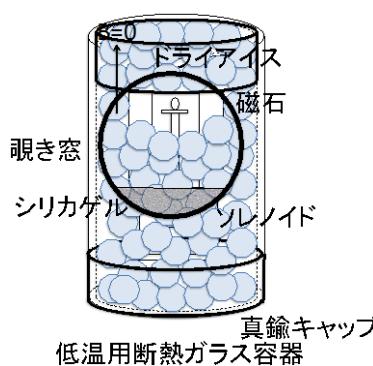


Fig.2 二重ガラス容器

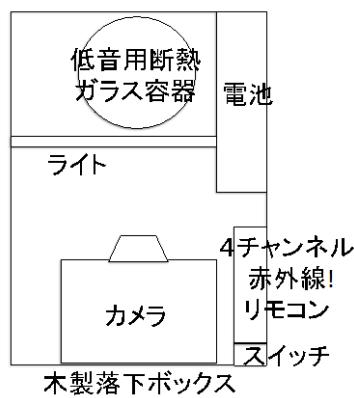


Fig.3 落下実験ボックス

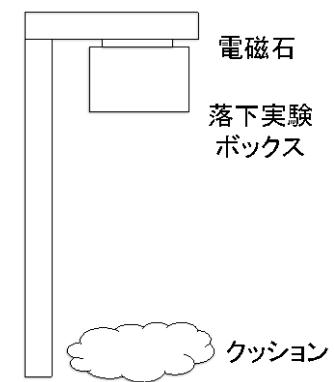


Fig.4 実験装置

自由落下開始から約 0.05 秒後に赤外線リモコンからの信号で試料台を上昇させ、試料を微小重力空間に開放した。このとき磁場勾配により試料は鉛直方向に磁気並進運動を行った。この並進運動をハイスピードカメラ (CASIO EX-F1) で 300fps の動画を録画した (Fig.5)。

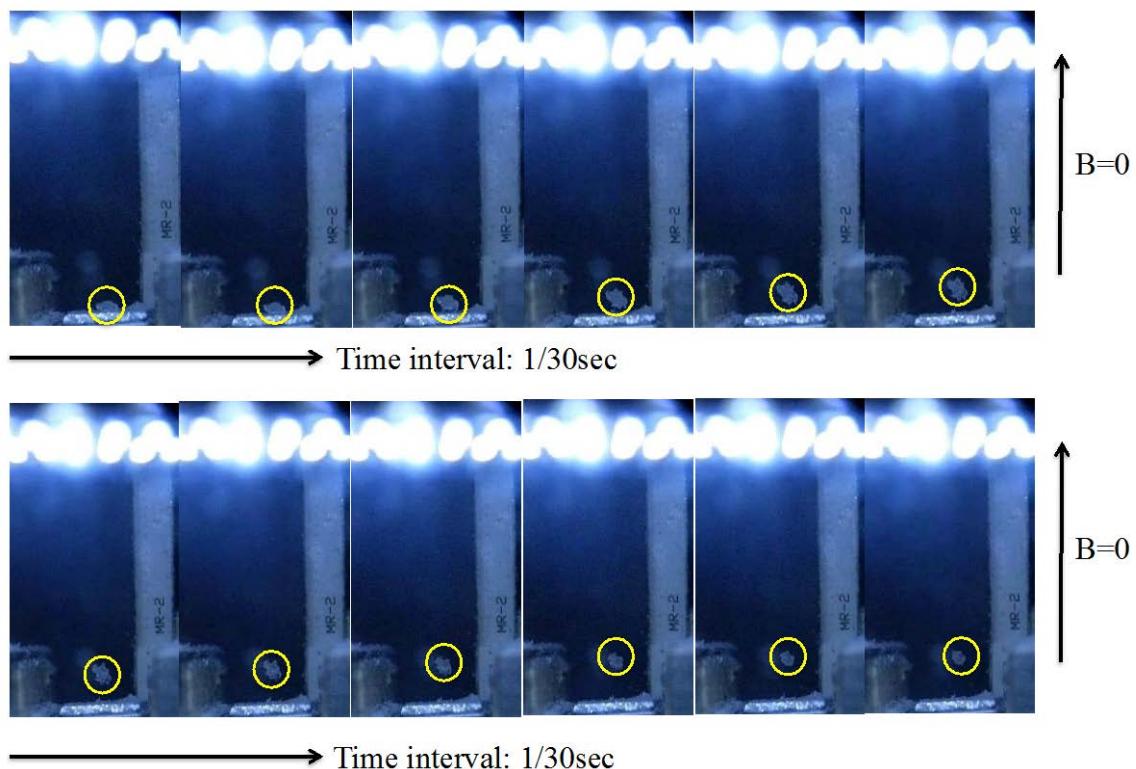


Fig.5 ドライアイスの磁気並進運動 (300fps の 10 枚毎の連続写真)

この動画を 1 秒あたり 300 枚の連続した静止画に変換した。各静止画上の試料の位置 (x 座標) を記録した。この値を基に試料の移動距離を求め、連続した静止画間の時間間隔から試料の 1/300 秒毎の速度を求めた。初期磁場は、磁場分布と位置から求めた。このようにして得られた終端速度、初期磁場の値を式 (2) に代入し、試料の磁化率を求めた。

試料は、磁気並進運動により、自由落下終了前に終端速度に達すると仮定した。しかし、実際は、

自由落下直後に試料は加速するが、残留重力の影響により、落下ボックスが落下し終わる前に減速して速度が0になり、終端速度に達しなかった。そのため、最も大きい速度を前項のエネルギー保存の式の終端速度として磁化率を算出した。

ドライアイスが終端速度に達しなかったため、この装置が反磁性磁化率を正確に測定できるどうか検証を行った。常温で値が既知である試料の反磁性磁化率を測定し、終端速度に達するかどうか、また、測定値が文献値と一致するかどうかを調べた。検証を行うための物質として、反磁性磁化率が大きいことが既に知られているグラファイトとビスマスを用いた。

4. 結果と考察

式(2)より導出した各試料の反磁性磁化率の測定値を、Table 2^{1),3)}に示す。ドライアイスが試料台に凍結して浮遊せず、並進運動が観測できない可能性も考えられたが、ドライアイス試料は試料台に固着することではなく、並進運動を記録することができた。

物質	実験値 [emu/g]	文献値 [emu/g]
グラファイト	-36×10^{-7}	-52×10^{-7}
ビスマス	-7.1×10^{-7}	-13.4×10^{-7}
ドライアイス	-3.3×10^{-7}	-4.77×10^{-7}

Table 2 実験値と文献値の磁化率

自由落下開始後、試料は並進運動を開始するが、その後減速して終端速度に達しなかった。微小重力継続時間内に終端速度に到達しなかった原因として、磁場勾配力が小さいため試料の加速度が小さかったことと、残留重力などの影響力が大きかったと考えられる。

今回、試料を鉛直方向に運動させたのは、寒材料やドライアイス粒子のセットアップを簡単にするためであった。しかし、より正確な測定を行うためには、残留重力の影響を避けるために試料を水平方向に運動させるか、二重落下カプセル方式を用いる方法が良いと考えられる。前者では、水平方向の運動において重力と磁気力が直角になり、重力による影響をなくすことができる。後者では、空気抵抗による残留重力の影響を小さくすることができる。

5. 研究成果

今回の実験により、磁気並進運動によりドライアイスの反磁性磁化率を測定できることが明らかになった。これは、この装置により揮発性の物質を同定できることを示している。

【参考文献】

- 1) 久好圭治、植田千秋 「宇宙環境で静磁場によって反磁性粒子に誘導される力学運動 日本マイクログラビティ応用学会誌 Vol.29 No.4」 (2012) P176-183
- 2) Japan Geoscience Union Meeting 2013 poster 「Nondestructive identification of a single primitive-grain using the translational motion induced by field gradient」 K.Hisayoshi et.al.
- 3) R. Guputa, "Landolt Börnstein" II New Series 445, 1983 P290