



Title	低濃度鉄(0.25%)含有ガラスの磁気異方性測定
Author(s)	沖本, 直哉
Citation	平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2017
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/60354">https://hdl.handle.net/11094/60354</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 平成28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	おきもとなおや 沖本直哉	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	うえだちあき 植田千秋	所属	理学研究科 宇宙地球科学専攻		
研究課題名	低濃度鉄(0.25%)含有ガラスの磁気異方性測定				
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。				

### A.研究の動機・目的

今日、銀河の巻き込み困難に対して密度波理論など様々な説明が与えられているが、明確な理論は未だ存在していない。私は銀河の腕に沿って磁場が観測されていること、宇宙空間に漂うダストの磁気的性質について新しいことが解明されていることを知った。既存の理論の多くが重力のみに着目したものであるが、私は巻き込み困難を考えるうえで磁場の寄与についても考察する必要が生じるのではないかと考えるようになった。そこでまず、ダストの磁気的性質について理解を深めようと考えた。ダストが磁場によってどのような力を受けるのか解明できれば、巻き込み困難についての磁場の寄与について考察できる。

そこで本研究では、宇宙空間のダストに近い低濃度鉄(0.25%)含有ガラスロッドにおいて磁気異方性が発現しないかを、実験によって調べる。

### B.先行研究の要約

先行研究に Magnetic anisotropy observed at surface of amorphous silicate and its implications for the mechanism of dust alignment がある(G 参考文献 1)。ここでは、低濃度鉄含有ガラスの磁化率測定を行っているが、ガラスの形状は考慮されていない。

### C.研究の方法と過程

はじめに星間ダストに見立てた試料を作成した。次に試料の磁化率を測定した。磁化率の測定では電磁石中一様磁場での磁気回転振動実験と微小重力状態での磁気回転振動実験の二通り行った。

#### 1、試料作成

Fe 濃度 0.25%ガラスを 2000°Cで溶融させ、これを秒速 1m ほどの速さで伸長させる事で、直径 0.2 mm のロッドを作製した。この試料は径が連続変化しているため、試料はロッドを 5mm ごとに切り分けた。また、径が同じぐらいのロッドを束ねた試料も作成した。束ねた試料は平面上に並べ接着剤で固められている。平

面に垂直に接着剤の塊を作り、そこへファイバーを接着し吊るした。

### 星間ダストのモデルについて

星間ダストの形成には恒星風が関与しているものがある。宇宙空間に漂う分子ガスは恒星風によって恒星から遠ざかる方向へ運動している。これらは核となる物質と衝突すると、尾を引くように成長していく。今回の実験ではこの尾を引くように形成されるダストを、張力によって引き伸ばされるガラスによって再現した。

## 2、電磁石中一様磁場での磁気回転振動実験

磁気異方性  $\Delta \chi$  を測定する場合、試料を水平磁場中にファイバーでつるし、磁気異方性トルクとファイバーの復元力のバランスを用いる方法が一般的である。しかし、この方法では、小さいサイズの粒子を測定する場合、十分な感度での結果が得られない。これは、磁気異方性トルクがファイバーのトルクよりも極端に小さくなってしまった場合十分な測定精度が得られないためである。今回の測定では、ガラスロッドを複数束ねて固めることにより重ね合わせにより磁気異方性トルクを大きくし回転振動実験を行った。電磁石中には一様磁場ができ、これにより試料は下式の回転運動を行う。

$$I \left( \frac{d^2\theta}{dt^2} \right) = -m \Delta \chi B^2 \sin 2\theta$$

ここで、I は試料の慣性モーメント、 $\Delta \chi$  は磁気異方性、 $\theta$  は磁気的安定軸と B のなす角度である。この回転運動の周期を解くと、

$$\tau = 2\pi \left( \frac{I}{m \Delta \chi} \right)^{\frac{1}{2}} B^{-1}$$

となる。ここで試料の慣性モーメントは平板状であるから、平板の長辺を a とすると

$$\Delta \chi = \frac{a^2}{12} \left( \frac{B\tau}{2\pi} \right)^2$$

質量に依存しない回転振動の周期と磁気異方性の関係式が得られる。

ガラスロッドを束ねた試料を電磁石中で吊るした。試料の磁気的安定軸と電磁石の磁場の向きをそろえないように吊るし、その後電磁石の電源を入れた。これにより試料は回転運動を行い、やがて減衰より磁気的安定軸と電磁石の磁場の向きが揃うと静止した。この間の様子を動画にとり、磁場の値を変えながら回転振動の際の周期を求めた。

## 3、微小重力実験

上記の磁気回転振動実験においては試料を複数重ねて用いたが、厳密にはそれぞれロッドの径や性質は異なる。そのためロッド 1 本の磁気異方性測定を行いたい。磁気回転振動の実験環境を木箱の内部に作成した。この木箱を落下させることによって、ファイバーによるトルクの無い状態での感度のよい磁気異方性測定が行えると考えられる。また落下実験においてはファイバーが無いため、回転軸が試料に対して任意にとれる。このことから試料の磁気的安定軸が正確に求められる。

木箱を電磁石により固定し、電磁石のスイッチを切り木箱を水平に外力 0 で落下させた。微小重力実験では、木箱を落下させ微小重力中で試料に磁場による磁気異方性トルクのみを働かせる。そのため試料は浮き上がった状態でなければならない。しかし、試料が小さいため静電気や湿度、試料の汚れなどにより試料は浮き上がりにくい。そこで試料を浮かせる対策をした。初めに試料を超音波洗浄した。除湿器により試料と実験環境中の水分を減らし、除電により静電気による吸着を防いだ。また飛び上がりステージを作成し、試料が浮きやすくなるようにした。飛び上がりステージとは、グラファイトの反磁性を用いたもので、グラファイトの板をアルミケースで囲ったものである。このグラファイトに穴をあけ、そこへ試料をセットした。またアルミ部分をグリースで磁石へ接着した。落下実験の際グラファイトは反磁性により浮き上がりアルミのストッパーで止められる。この運動により、試料は上方へ打ち出され磁場中に浮き上がることができる。この作用により、試料は回転振動の他に並進運動もするようになった。

試料は磁場によって磁気異方性トルクを受け運動をするが、振動をせず磁気的安定軸と磁場が平行となる位置で静止してしまった。これは、磁気異方性トルクよりも空気抵抗が大きく臨海振動を越えられないからだと考えられる。この対策のため、磁石の周りをガラス容器で覆い、実験環境を 100Pa 程度まで減圧した。

#### D.研究の結果・考察

電磁石中一様磁場による磁化率測定の結果は fig1 のとおりである。

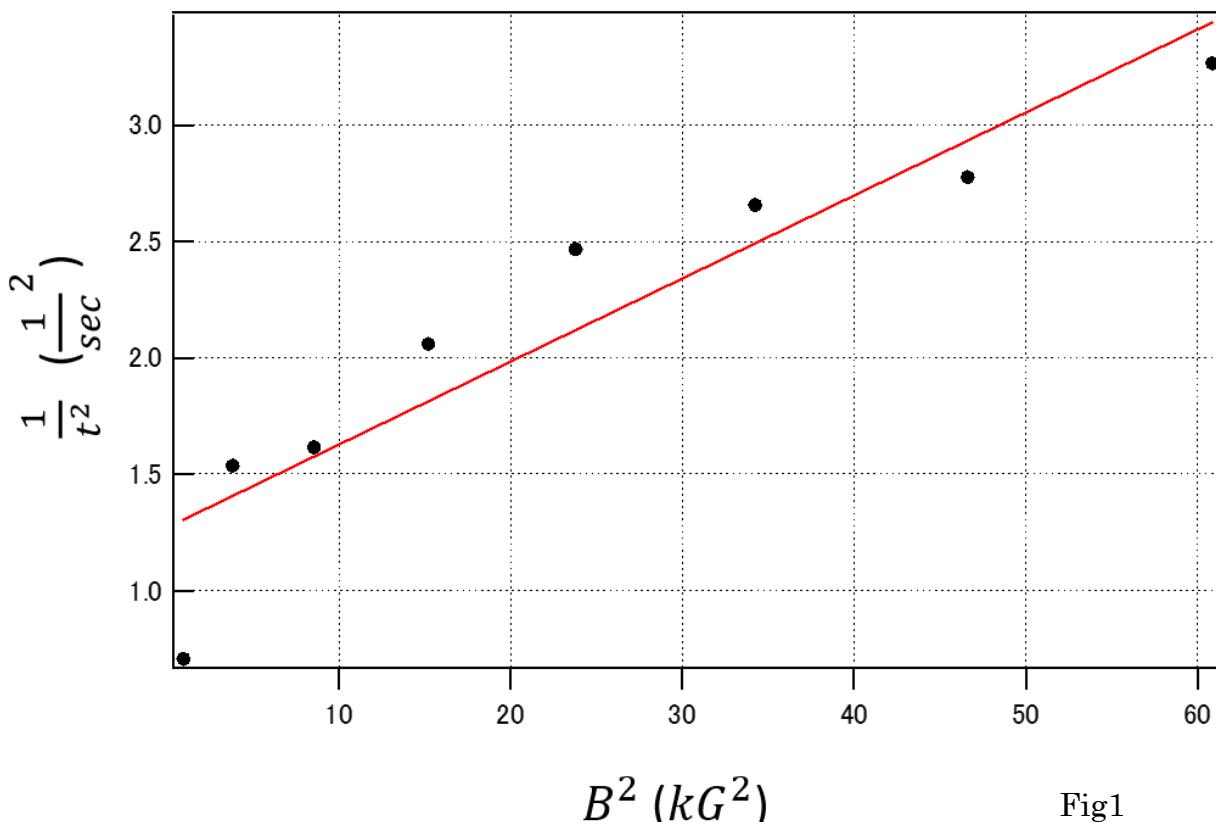


Fig1

今回の測定の結果磁化率は以下のようになった。

$$\Delta \chi = 3.93 \pm 0.63 \quad [\times 10]^{-7} \text{ (emu/g)}$$

グラフで原点を通っていないのは、ファイバーによるねじりのトルクが定数項として働いているからであ

る。

写真1は微小重力中での磁化率測定の結果である。撮影した動画中の写真を1/15秒ごとに重ね合わせた写真である。落下中の木箱内に作られた一様磁場中で、磁気異方性トルクを受けて運動する試料がとらえられている。空気抵抗を減らすため減圧をして実験を行ったが臨海振動を越えられなかった。100Pa程度では減圧が十分に足りていない可能性がある。また、ファイバーが無いため平面への束縛はない。これにより正確な磁気的安定軸が分かった。ロッドの長軸方向つまり形成時に張力が働いた方向が磁気的安定軸であった。これはガラスロッドを作成する際の外力により、磁気異方性が生じることを示唆していると考えられる。

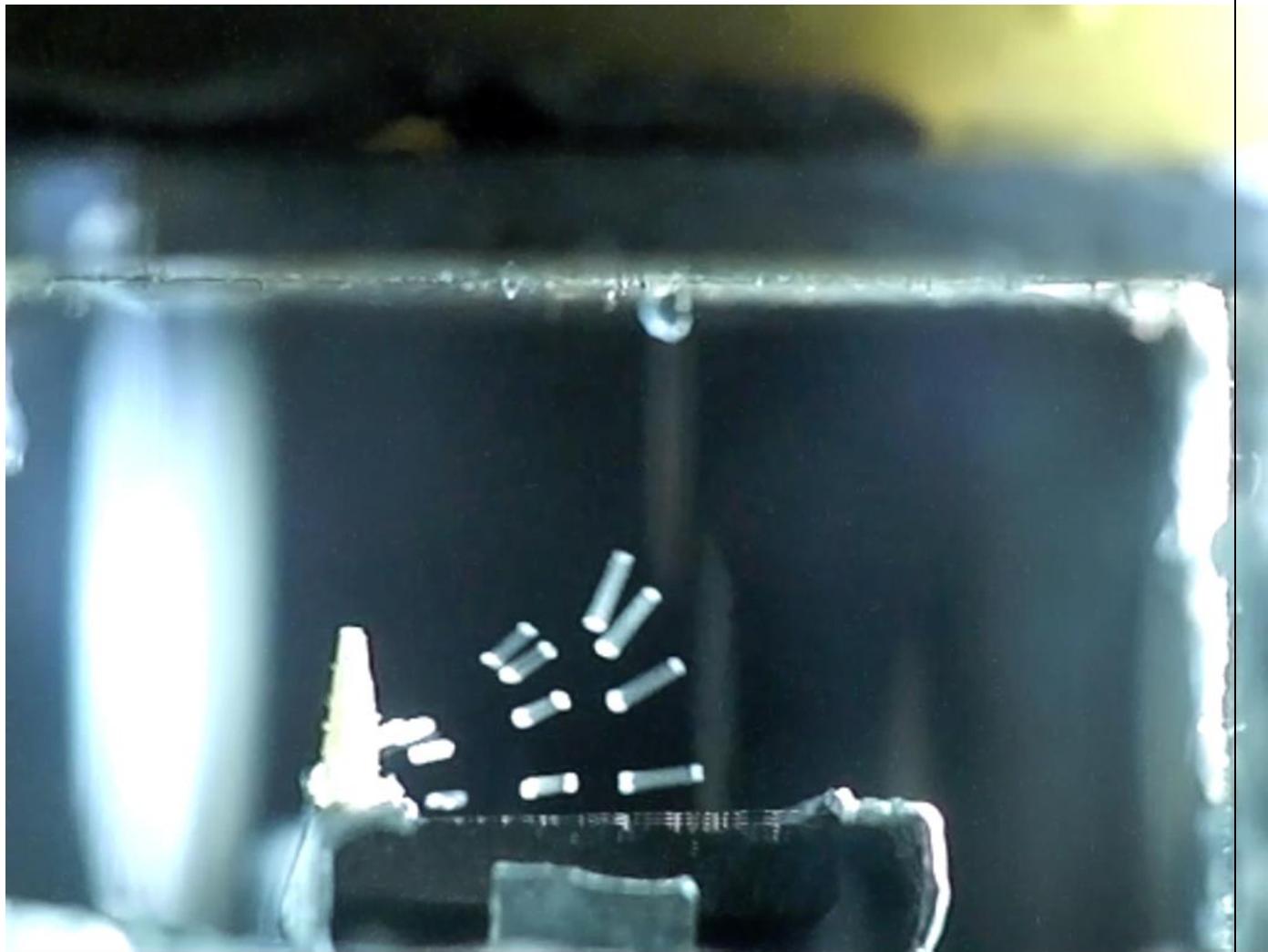


写真1

以上の結果から宇宙空間のダストは磁場による整列を行う可能性があると分かった。今回の実験では0.25%程度の鉄を含んだ試料を用いた。それに対して、宇宙空間のダストが鉄を含有している保証はない。そのためより一般的なダストを考察するため鉄の少ない高純度ガラスの試料における磁化率測定が必要になると考えられる。また、今回の測定値を仮定した場合に微弱な宇宙磁場や銀河磁場で効率よくダストが整列するのか評価する必要がある。

#### E.今後の発展と展開の可能性

先行研究と同様、張力をかけた低濃度の鉄を含むガラスでも磁気異方性が見られることがわかった。また、

形状を変化させた際の磁気的安定軸は外力によって変わりうる。テンションをかけて作られたガラスは、産業の分野でも通信技術の光ファイバーなど様々な用途があり、広く用いられているが、あまり調べられていないかった。このような普遍的な物質の磁気的性質を調べることはさらなる技術発展に必要なことだと考えられる。

今回ガラスの磁化率を測定したが、これが常磁性なのか反磁性なのかはつきりはしていない。これは磁性体の性質として大切な項目であるので測定が必要である。これは温度依存性を見ることでこの判別ができる。試料をドライアイス等で冷却しながら磁化率を測定する。これにより常温での磁化率と値が変化した場合、キュリーの法則から試料は常磁性であることが判明する。また、ガラスロッドを800°C程度まで加熱しこの状態で回転振動実験を行う。この温度は鉄のキュリー温度(770°C)よりも高い。こうすることで、鉄由来の自発磁化は加熱により消える。試料の磁場中の運動を調べ磁気的安定軸が変化するか、または磁化が失われ磁气回転をしなくなるかを観測する。これにより、今回の磁気異方性が鉄由来かガラス由来なのかがわかる。以上が今後の研究予定である。

#### G.参考文献

- 1.Yokoi, M.; Katsura, M.; Hisayoshi, K.; Uyeda, C. Planetary and Space Science, Volume 100, p. 46-50.
- 2.植田千秋 日本物理学会誌 vol.62 No.4,2007 p.245-249