OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Fe 濃度のごく小さい非晶質ケイ酸塩の磁気異方性
Author(s)	谷川, 裕亮
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/11094/54656
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

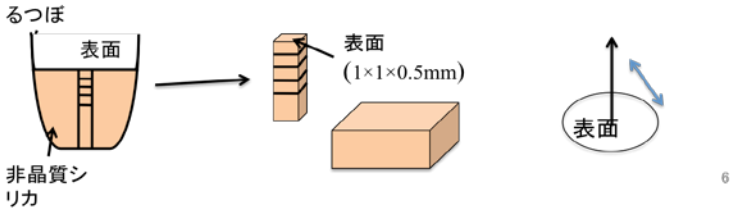
https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

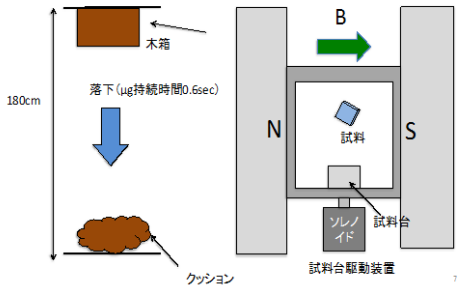
The University of Osaka

申請先学部　理学部
採択番号　　No.1

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	たにがわ　ゆうすけ 谷川 裕亮	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	理学研究科宇宙地球科学専攻		
研究課題名	Fe 濃度の非常に小さい非晶質ケイ酸塩の磁気異方性				

研究成果の概要	一般に、非晶質物質は等方的で、磁気異方性を持たないと考えられてきた。しかし、先行研究において、天然の非晶質ケイ酸塩は Fe 由来の常磁性の磁気異方性を持つという成果が報告された。この先行研究では、急冷した非晶質ケイ酸塩の表面から内部にかけて、磁気異方性が減少しているという成果が報告されている。この磁気異方性の原因は Fe 原子のまわりの原子構造のひずみによるものと考えられているが、そのひずみの原因はまだ明らかにされていない。 そのひずみを引き起こす原因を解明することが、本研究の目的である。この先行研究の実験は、単一の天然試料のみで行われているため、局部的な内部構造の解明に必要な情報が十分には得られていない。そこで、Fe 濃度・冷却速度・温度勾配のパラメータを変化させた人工試料を用いて磁気異方性の測定を行った。これにより磁気異方性を引き起こす局部的な内部構造の解明が期待できる。 本研究では、Fe 濃度の非常に小さい試料を用いた実験を試みた。この試料の磁気異方性を微小重力下での磁気回転振動実験により測定する。この測定では重力の寄与が小さくなるため、高い精度での測定結果が得られる。Fe を含まない試料は、反磁性を示すことが予想される。その条件下で反磁性磁気異方性を持つことを示すことができれば、磁気異方性は、原子構造のひずみによるものであると示せる。 まず、ケイ酸塩ガラス標準試料を熱で溶かし、それを急冷することで、Fe 濃度の非常に小さい非晶質ケイ酸塩を合成する。これを sub-min サイズに切り分けた微粒子を試料として用いる。  この試料を磁石やカメラ、真空装置などを設置した木製の箱に入れて落下させる。これにより箱の中に微小重力空間が実現する。また、磁石及び試料をガラス瓶で覆い、真空装置でガラス瓶の中の気圧を下げることで空気抵抗を減らす。 そうすることで、試料は微小重力空間中に浮遊し、回転振動を行う。磁石の間にある試料の、磁場のみによる振る舞いをカメラで観測する。 試料が磁気異方性を持っている場合、回転振動する。その振動の周期を解析し、磁気異方性を算出する。



回転の運動方程式

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

より、

$$\tau = 2\pi\sqrt{\frac{I}{m\Delta\chi}}B^{-1}$$

よって

$$\Delta\chi = \frac{\pi^2(l^2+a^2)}{6\tau^2B^2}$$

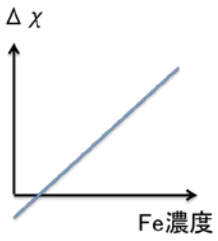
・実験結果

測定で得られたデータ、

磁場 B＝2.5kG、周期 τ＝0.13s、試料の一辺の長さ l＝0.10cm、厚み a=0.050cm

を$\Delta\chi = \frac{\pi^2(l^2+a^2)}{6\tau^2B^2}$に代入して、Δχ＝（1.9±0.4）×$10^{-7}$emu/g という結果が得られた。

この値は、鉄濃度が数%の試料を用いた先行研究での値 Δχ＝6.4×10^{-7}emu/g と比較すると、Fe 濃度が小さいほど Δχ も小さくなっている事がわかる。



また、鉄濃度 0.05%の試料で測定をしたが、回転振動を見ることができなかった。このことから、Fe 濃度を減らすと、Fe による常磁性磁化率が抑制される一方で、濃度を変えても反磁性磁化率は変わらないので、どこかの濃度で反磁性と常磁性のクロスオーバーが起きることが推測される。

・本研究の成果

先行研究では天然試料を用いていたため、磁気異方性の原因が正確にはわかっていなかった。そこで鉄濃度を人工的に制御した試料を用いて実験を行った。その結果、Fe 濃度の減少にしたがって常磁性磁化率が減少することがわかった。この結果は、ガラスの異方性の原因が、根本的には、不純物として含まれる鉄イオンによる常磁性磁気異方性ではなく、結合方向の電子分布による反磁性磁気異方性であるということを明らかにした。

・今後の発展

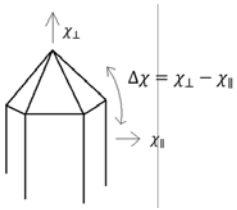
より Fe 濃度の小さい試料の磁化率を測定する必要があるが、反磁性の Δχ は非常に小さい。そこで、$\Delta\chi$ $\frac{\pi^2(l^2+a^2)}{6\tau^2B^2}$ に注目すると、以下の改善が有効であると

考えられる。つまり、磁場を強くし、小さい試料で測定することによって、より小さいΔχが測定できると考えられる。また、落下時間を長くすることによって、より長い周期τでも測定することができるようになるため、同小さいΔχが測定できる。

注釈

・磁気異方性とは

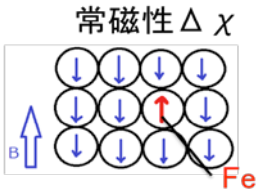
$U = -M \cdot B = MB\cos\theta$で定義される磁気エネルギーの大きさ（$M = m\chi B$　M：弱磁性の磁化、m：質量、χ：単位質量あたりの磁化率）は、物質にかける磁場の向きによって異なり、磁気的安定軸と不安定軸の磁気エネルギーの差によって物質の回転が起こる。このエネルギーの差を生み出しているのがΔχであり、これを磁気異方性という。

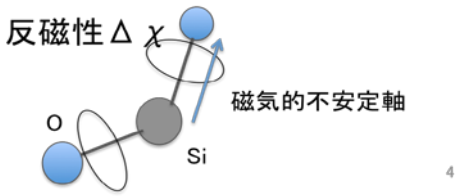


・弱磁性異方性について

一般に、弱磁性には常磁性と反磁性があり、常磁性の異方性は反磁性物質に不純物として含まれる鉄などの磁性イオンに起因して起こる。反磁性の異方性は、結合軌道の電子分布によって生まれる。

物質の大部分を占める反磁性体には、外磁場Bに比例した弱い磁化が、磁場と逆方向に発生する。





先行研究では、等方的でない酸素の配置の中に鉄イオンが入っているために磁気的安定軸が生まれたと考えられた。

もしそうならば、酸素を結んだ結合の方向にも異方性が現れることが予想される。

つまり、結合の方向の反磁性異方性は、鉄イオンによる常磁性異方性より本質的であると考えられる。