



Title	水の反磁性
Author(s)	松山, 幸恵; 金道, 浩一
Citation	大阪大学低温センターだより. 1995, 91, p. 16-18
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/12612
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

水の反磁性

極限物質研究センター 松山幸恵・金道浩一（内線6687）

はじめに

我々の研究は主にパルス強磁場を使って瞬間的に磁場を発生して行われているが、パルス幅が短いもので400 μ 秒、長いものでも1秒しかない。そのため測定自体は瞬きする間に終わってしまい、あとは遊ぼうとなるのが普通である。この実験態度はともかく、パルス磁場を用いた測定方法が繊細であるとお世辞にも言えない。しかし長年にわたってパルス磁場を使ってきた者としては、強磁場磁化測定装置の感度は高周波ノイズなどが問題になるものの、それ程悪くないと感じる。今回は強磁場中で更に工夫すると、非常に感度良く帯磁率を測定できるというお話をしようと思う。

高感度帯磁率測定装置

そもそも帯磁率とは、磁場に対する磁気モーメントの応答を意味するが、昔ながらの帯磁率測定としてはファラディ法と呼ばれる原理に基づく測定法が有名である。磁場によって出現した磁気モーメントを磁場勾配中に置くと、磁気モーメントと磁場と磁場勾配の大きさの積に比例した力が働く。この力を測定することによりモーメントの大きさを求めることができる。この方法を用いれば普通の磁性体、つまり常磁性体の帯磁率などは容易に求められる。しかし、それよりも小さな、例えば金属の伝導電子などが示す磁性を詳細に求めることは（もちろん測れ無くはないが）少し困難である。最近ではジョセフソン効果を用いたスクイド磁力計の登場で、測定が簡単になると共に微小帯磁率も測定可能となり、あらゆる磁性体の測定に不便は感じなくなった。しかし、ここで磁性体と呼ばれる物質は全物質群の一部であり、多くの物質が非磁性体であることを考慮に入れると帯磁率測定が物性全体に有効に機能しているとは言い難い。実は非磁性体も含めたどんな物質も反磁性を示しているのだが、反磁性は一般には温度に依存しない非常に小さな値を示すため、高感度を必要とする事もあり、（もちろん測れ無くはないが）測定の対象外となりがちである。そこで我々は帯磁率測定による微小帯磁率測定を目的として強磁場を利用した、高感度に帯磁率を測定する装置を作り始めたのである。

現在、パルス磁場を用いた高感度帯磁率測定装置¹⁾は最高感度 10^{-12} emuにもなり、反磁性物質も測定対象として扱える感度である。原理はファラディ法に基づいている。磁場勾配中に置かれた磁性体には磁場強度の二乗に比例した力が働くため、帯磁率の小さなものも強磁場を用いることにより測定可能である。（もちろん強磁場中で非線形に帯磁率が変化する物質に対しては注意が必要である。）この帯磁率測定装置では、最高磁場10テスラ、パルス幅約1秒のパルス強磁場を用いる。装置のブロック図を図1に示すが、力を効率良く測定するために、機械的な振動計を使う。ここでは天秤を使い、その周期はパルス磁場により与えられる力の周期とマッチングを取っている。また、この天秤の動きを精密に測定するため、レーザーを利用した微小距離計を使用している。これにより、磁場により生じたパル的な

力を天秤に伝え、図2のような振動振幅を測ることで帯磁率を求められる。このシステムでは、パルス強磁場が消えた後でもその振動が続き、磁場発生に伴う電磁ノイズのない状態で測定を行うことができるため、繊細な測定も可能である。さらに磁場勾配が最大となる点が対象な位置に二カ所あるので、一方に試料を、一方に比較対象となる物質を置くことによって、ふたつの物体の差分を測定することもでき、微小差、微小変化を測ることに優れており、上述の感度を達成できたのである。

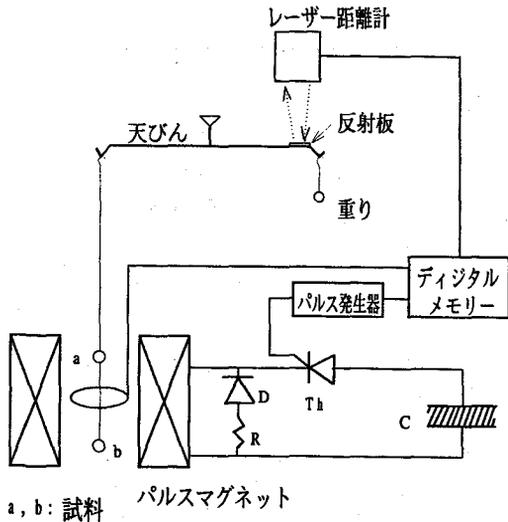


図1 高感度帯磁率測定装置のブロック図。Cはコンデンサー、Thはサイリスタ、Dはダイオードの略。

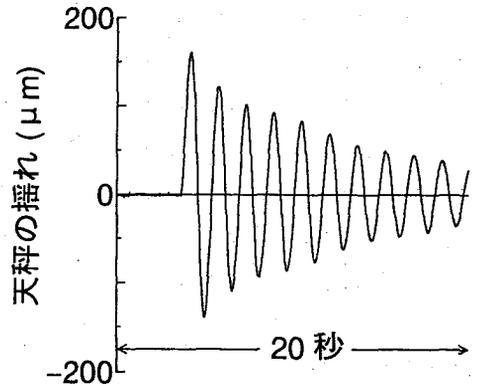


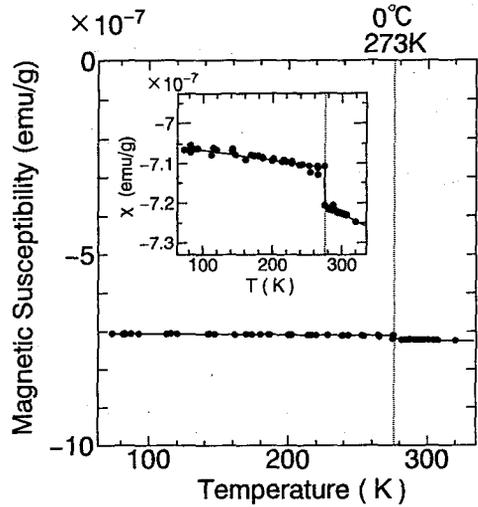
図2 天秤の振動の一例。振幅から帯磁率が求められる。

水の反磁性

この測定装置を用いて、何を測るべきか？というのが次なる問題であるが、相転移と反磁性の関係を明らかにするという視点から、相転移点における水の反磁性の変化を調べた。水は摂氏0℃（氷点）で液体一個体の一次相転移を起こす物質である。過去に行われた帯磁率測定の内、CabreraとFahlebrachの測定²⁾からは氷点付近の反磁性の変化が推測され得るが、測定点の粗さから明確に確認できなかった。また、氷点以上に限れば、CiniとTorrini³⁾によって精密な測定が行われており、液体の領域で連続的に水の反磁性は温度にほぼ比例して強くなる事が分かった。これを彼らは、分子間の水素結合と反磁性を関連づけて議論している。彼らは水分子中の水素結合の数に着目して、結合数に比例して反磁性が弱まることを見出したのである。我々がパルス強磁場を用いた高感度測定装置で測った結果を図3に示す磁性そのものが弱く、その変化も非常に小さいため何も変化がないように見えるが、差分測定を用い感度を上げると挿入図のような振る舞いが観測された。氷点以上における結果は過去の結果とも一致しており、さらに、氷点で反磁性帯率の明らかなたびが観測されている。

最も単純に考えれば、反磁性は分子における電子雲が球対称に分布するときが最大となり、何らかの

相互作用で球対称からずれることにより反磁性は小さくなる。また、密度が小さくなると分子間距離が広がり、電子雲半径も増加するため反磁性は強まると考えられるが、実際に0℃で変化を除いて温度変化はその傾向を示している。それでは氷点での変化はどのように考えればよいのであろうか。液体から個体への変化に伴う体積増加は反磁性を弱めるとは思われなため、別のメカニズムがあるはずである。このヒントはCiniとTorriniの議論の中にある。つまり水素結合という相互作用の数が増えれば電子雲は球対称からずれ、反磁性が弱まり、氷点における体積膨脹に伴う反磁性の増加分を凌ぐ変化となって表れると定性的に理解できる。きっと水が氷になる瞬間、水素結合は階段関数的に増加し、反磁性が弱まるのであろう。



水の帯磁率温度変化

図3 水の帯磁率の温度依存性。挿入図は縦軸を拡大している。

おわりに

相転移と反磁性という観点からすれば、伝導電子の磁性の変化に着目した強相関電子系の研究などもこれからの課題であろう。しかし、当面の問題として考慮しなければならないのは、おいしい水の研究であろう。例えば「六甲のおいしい水」や「南アルプス天然水」と水道水などの比較により、水割りを作るにはどの水が最適かという人類の大問題がまず解決されなければならない。

参考文献

- 1) T. Takeuchi, A. Yamagishi, K. Nishikawa, P. Ahmet, S. Matsuyama and M. Date; Physica B 201 (1994) 589
- 2) B. Cabrera and H. Fahlbrach; Z. Physik 82 (1993) 759
- 3) R. Cini and M. Torrini; J. Chem. Phys. 49 (1968) 2827