



Title	超伝導と学生実験
Author(s)	村上, 博成
Citation	大阪大学低温センターだより. 2000, 109, p. 16-18
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/4778
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

超伝導と学生実験

工学研究科 村上博成 (内線7723)

E-mail: murakami@pwr.eng.osaka-u.ac.jp

私が学部学生だった20年前、超伝導はリニアモーターカーに使われているといった程度の認識もあれば良いほうで、その名前すら知らない学生も数多くいたように思う。それは超伝導が温度4.2K付近の極低温の世界でのみ起こる特別な現象で、この極低温を得ようとすれば液体窒素や高価な液体ヘリウムを常時提供してくれる低温センターのような施設が必要となるため、超伝導の研究者もごく一部の人間に限定されていたためと思われる。また、大学においても学生実験などでこれをテーマとして取り上げることが時間的にも経費的にもかなり困難であったことも大きな理由の一つとして考えられる。

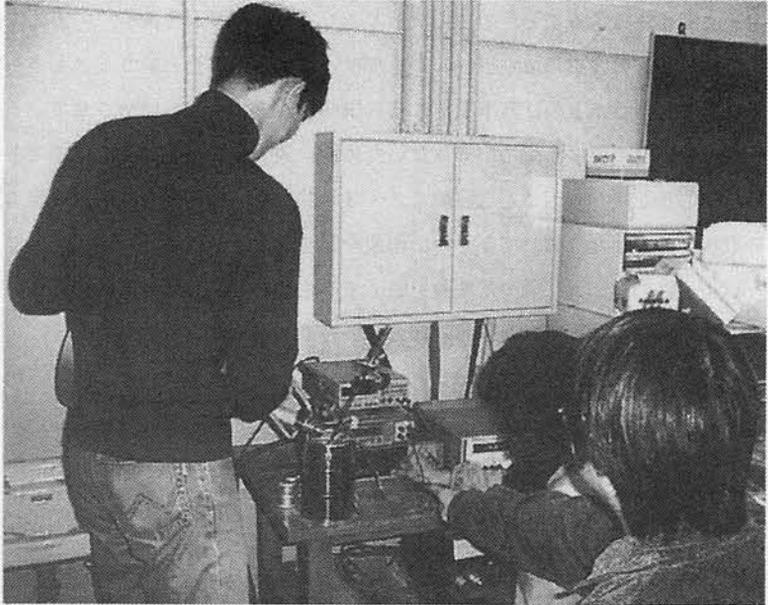
当時、この超伝導の最高の臨界温度 T_c は Nb_3Ge のもつ23Kであったが、多くの理論的、実験的探求の結果、1987年の銅酸化物超伝導体の発見により T_c の急激な上昇が達成された。この発見の契機となったのは、1986年春IBMチュウリッヒのベドノルツとミュラーらが $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ という酸化物試料においてその電気抵抗が30K近傍で超伝導的振る舞いを示すということを発見したのが始まりで、これを契機に世界中で新超伝導物質の探索とその物性を明らかにするため、考えるすべての固体物理学と測定手段を駆使した研究が精力的に繰り広げられた。この世界中の多くの研究者を巻き込んだ超伝導フィーバーはその T_c を一気に液体窒素温度の沸点以上に押し上げるとともに、超伝導の知名度を大きく向上させることに貢献した。

さて、この銅酸化物超伝導体であるが、その性質が明らかになるにつれて、現象論的には従来の金属および合金系の超伝導体とあまり変わらない性質をもつことも次第に明らかになってきた。超伝導の代表的な性質である、完全導電性(抵抗 $R=0$)や完全反磁性効果(マイスナー効果)はもちろんのこと、超伝導エネルギーギャップの存在、ジョセフソン効果やその電荷の担い手が電荷 $2e$ を単位とした電子対であることなどもこれまでの研究で確認されている。ただ、これら銅酸化物超伝導体では、その超伝導が銅と酸素からなる2次元面に局在して存在するため非常に強い異方性をもち、これを反映してコヒーレンス長が結晶 c 軸方向で極端に短いことや、超伝導ギャップにもかなり強い異方性があるなど、従来の超伝導体とは異なった性質も多く確かめられており、電子対形成のための引力相互作用の起源として電子-格子相互作用以外の相互作用が主に効いている可能性が強まりつつある。

この銅酸化物超伝導体における超伝導現象は、それ程容易に理解できる現象ではないし、未知の部分も多く困難な研究分野であるが、液体窒素温度以上の T_c を持ったことにより、以前の金属や合金系の超伝導体で行っていたように、前の晩から液体窒素を使った予冷などを行う必要もなく、液体窒素さえあれば何時でも簡単に観察できる物理現象の一つとなった。これにより、以前では考えられなかった学部学生対象の学生実験のテーマとして超伝導を取り上げることも可能となり、私もここ11年程電気系の3

年あるいは4年の学生を対象にした超伝導の実験を担当している。幸い大阪大学においては、寒剤の供給業務を担当してくれる施設として低温センターがあることが、このことを可能にしていることは言うまでもない。

この学生実験では銅酸化物超伝導体の一つである $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ のバルク試料($T_c=80\text{K}$)を用いて、超伝導の2つの基本的性質である完全導電性およびマイスナー効果の観察を行っている。



このマイスナー効果の実験では、超伝導物質を詰め込んだコイルの自己インダクタンス L の値をLCRメータを用いて測定し、常伝導状態からマイスナー状態への転移に伴う L の値の変化を測定させると同時に、より直接的なデモンストレーションとして、液体窒素を用いて冷却したペレット状の超伝導体試料を永久磁石の上に実際に浮かせて見せるという実験を行っている。学生の反応としては、前者の数値的な測定よりも後者のより視覚に訴える観察の方がより深い感銘を受けているようである。

一方、完全導電性の測定には自作の簡単な密閉型低温クライオスタットを使用しており、これに熱交換用ヘリウムガスを数Torr程度導入した後、直接液体窒素中に浸け、クライオスタットセル内である程度断熱的に保持された銅製試料ホルダー上のサンプルを間接的に冷却している。この際、室温付近からより準静的な過程で抵抗の温度変化を観察しようと思えば、この熱交換用のヘリウムガスの量をより少なく調整してやれば良い訳だが、時間の関係もありここでは超伝導転移点付近の100K程度まではなるべく早く温度降下し、このあたりからじっくりと観察できるよう配慮して経験的にこの程度の量の熱交換ガスを導入している。

この冷却方法に関しては、スイッチ一つで試料を極低温まで簡単に冷却してくれるクライオポンプのような便利な装置もあるが、実際に液体窒素やクライオスタットを用いて冷却する実験を通して、熱の伝わり方として固体伝導、放射および対流といった形態があることや、クライオスタットを構成する上での一般的な構造材についての知識などの低温測定に必要な基本技術についてある程度学ばせるように配慮した。

また、ここでの電気抵抗の測定は、実験設備費の関係もありパソコンを用いた自動測定システムとはなっておらず、電流反転操作を手動によって行い、その電圧降下や熱起電力をデジタルマルチメータを

使って読み取らせている。この方法は、このパソコンの普及した時代にあまりに原始的で、実際に研究レベルの話になったときに到底使える方法でもないが、抵抗測定の際の熱起電力の影響などを実際に測定を通じて認識することができるなどのメリットもあり、今後もこの方法で指導していくつもりである。

最後に、液体窒素の取り扱いについては、電気系の学生ということもあって始めて見たという者が殆どなので、取り扱い上の注意事項を最初に説明した上で実験を始めさせているが、それまでせいぜいドライアイス程度の温度までしか知らないため、大袈裟にいうとまるで爆弾でも扱っているような印象を受ける。しかしながら何ごとも経験で2～3時間程経って実験も次第に終盤に近づいてくるに従って、その取扱いにもかなり慣れてきている印象を強く受ける。

以上、この超伝導に関する実験を通して学生諸君が、超伝導を始め極低温で起こる様々な物理現象に少しでも興味を抱いていただければと思います。授業を進めている次第である。

最後になりましたが、低温センター吹田分室の牧山博美氏および大寺洋氏には、寒剤の供給にあたって常日頃より大変御世話になっており、この場を借りて感謝の意を表したいと思います。