The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	低温の学生実験
Author(s)	竹内, 徹也
Citation	大阪大学低温センターだより. 1999, 108, p. 13-16
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/9073
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

低温の学生実験

低温センター　竹　内　徹　也　（内線6691）
E-mail：takeuchi@rcem.osaka-u.ac.jp

大阪大学理学部の物理，宇宙・地球科学科の学生は３年次に物理学実験を受講しなければならない．カリキュラム上は週６コマ，３コマづつ２日間に分けて行われる通年の授業である．実験テーマは16あり，約100人の学生を振り分けている．近年の学生数の急激な増加に伴いテーマ数も増加し，実験スペースを補充することが重要な課題となっている．

17あるテーマのうち液体ヘリウムを使用して物性実験を行うのが“低温”と呼ばれる実験であり，唯一液体ヘリウムを用いるテーマである．学生実験で液体ヘリウムを使うのは贅沢なことでそれができるのはやはり大きな大学の特権であるが，学部３年生の学生がそんなことを知る由もなく，それだけに教官としても液体ヘリウムの製造法から使用上の注意点まで短い時間の中でできるだけ多くのことを知ってもらおうと真剣にならざるを得ない．実験装置にヘリウムを汲むときにはガラスデュワーにセットされた実験装置とともに学生を全員低温センターヘリウム液化室まで連れていき，汲み入れの間にガス回収の重要性，液化装置の説明，低温実験を支えるセンターのシステム等を説明する．ガラスデュワーにたまり始めた液体ヘリウムの液面がスリットを通して確かめられると，さすがに最近のドライな学生たちも初めて目にする4.2Kの液体に感動の声を上げる．最近ではメタルデュワーが普及してきたため液体ヘリウムの液面を目で確かめたことのない学生も研究室に多いが，そういう意味では貴重な経験かもしれない．図１は実際に学生実験を行っている様子を写した写真である．背面の壁にはヘリウムガス回収配管が設置されており回収率もガスメータで記録されている．１スパンの部屋で６人から８人の学生達がひしめき合って実験を行っている．ごく最近学生実験室にもクーラーが設置され，真夏の暑いさなかでも快適に実験が行える環境になっている．著者などは汗をダラダラ流しながら実験していたものだが．

恥ずかしながらこの“低温”の実験をどなたが考案されたのか私は存じ上げないのだが，学生実験としては非常に教育的なよくできた実験内容であると思うし，事実私が学生の時に行った学生実験の中でも印象の強いテーマのひとつである．考案者の意図が正確に表現できるかどうか不安で私が紹介してもよいものか疑問だが，現在この実験の担当教官であり編集委員会から依頼されたので以下に具体的な内容を紹介させていただく．

準備するもの：

粒状のSn（スズ），ピックアップコイルと試料上下装置のついたクライオスタット，ガラスデュワー，

交流ブリッジ（横河・ヒューレットパッカード㈱社製　Universal Bridge 4265B），デジボル，直流電源，真空ポンプ，水銀マノメータ，電気炉など

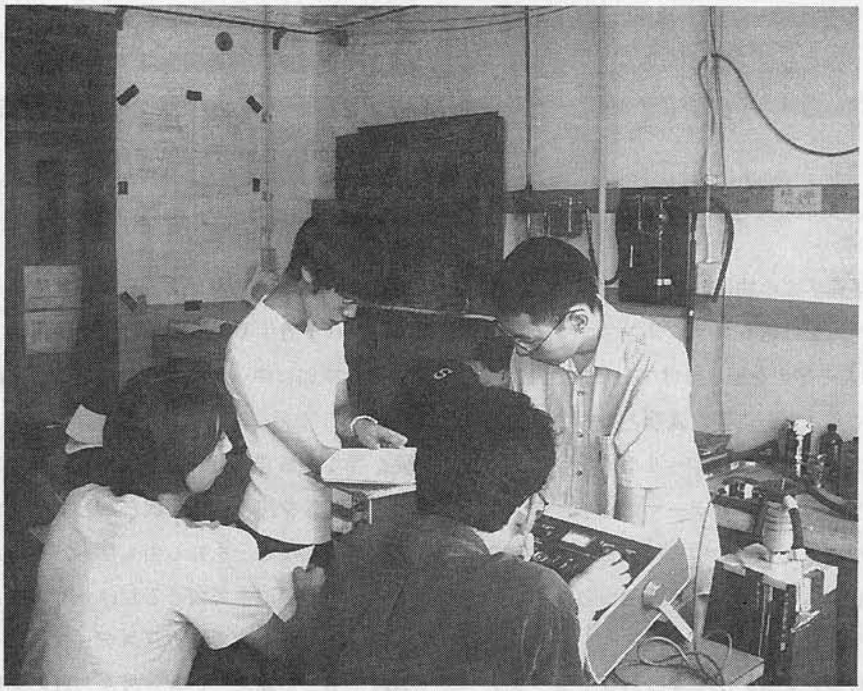

図1　学生実験の風景

実験初日：

粒状のSn（スズ）をガラス管に真空封入し電気炉で溶かし円柱状試料を作成すると共に実験装置（ブリッジ）の使い方に慣れる．ポイントはスズを溶かすときに真空封入する必要性を考えさせることと交流ブリッジでインダクタンスを測定する（ダイヤルを調整しLとQ値を最適化することによりブリッジバランスをとる）ことに慣れることである．最近では交流ブリッジも教育的には好ましくない自動バランス式が主流になってしまい，現在使用中のものが壊れたときにはどうしようかと心配している．

2日目：

円柱状試料の両端を反磁場効果をさけるために丸く整形する．試料を糸で吊し，糸の他端を巻き上げコックに巻き付け，試料を1㎝ずつ移動させながらブリッジバランスをとり試料中心（試料がピックアップコイルの中心に位置する高さ）を決定する．

3日目：

液体窒素をデュワーに満たし減圧排気することにより77～65Kの温度範囲で試料がピックアップコイルから完全にでているときのインダクタンスL_0とQ_0，およびピックアップコイルの中心にあるときのLとQの温度変化を測定する．

4日目：

ここまでの実験をまとめ実験の内容の理解を深めるために口頭試問を行う．

5日目：

実験日午前中にデュワーの予冷を始める．液体ヘリウムを低温センターで汲み入れた後，3日目と同様の操作で4.2〜1.5Kの温度範囲で測定を行う．この温度範囲でSnは超伝導に遷移するから，外部磁場印加用コイルを使い$Hc(T)$の測定を行う．超伝導状態で試料をコイルから出し入れし，$L=L_0+4\pi\chi\eta L_0$，からfilling factor ηを求める．

この実験では棒状の金属試料のχを測定することになるが，Snの静的なχが非常に微小なためEddy currentsによるχの寄与が重要になることが最大のポイントである．一様な交流磁界中の円柱状金属試料における表皮効果を，円柱表面における境界条件とMaxwellの方程式を解くことにより考察するとEddy currentsによる帯磁率χが求まる．χはベッセル関数を用いて表せるが，ベッセル関数の変数にはSkin depth δが含まれ，このδの式には試料の電気伝導率が含まれる．

一方実験的には，交流ブリッジを使い金属試料の挿入されたコイルのインピーダンスZを測定するわけであるが$Z=i\omega L+R_0$と表される．ここでR_0はコイル自身の抵抗であり，インダクタンスLはコイル中の試料のFilling factorをηとして$L=L_0+4\pi\chi\eta L_0$（$\chi=\chi'-i\chi''$）と表される．結局$Z=(R_0+4\pi\omega\chi''\eta L_0)+i\omega(L_0+4\pi\chi'\eta L_0)$となる．従って金属試料挿入によるコイルの有効インダクタンスおよび抵抗の変化分は$\Delta L=4\pi\chi'\eta L_0$，$\Delta R=4\pi\omega\chi''\eta L_0$となりこれらは試料をコイルに出し入れすることによってその差から求まり，L_0は独立に測定され，またηは超伝導状態におけるインダクタンスの測定から求まる．このようにしてχ'とχ''を求めることにより，金属試料の電気伝導度（の温度変化）を評価することができる．学生にはMaxwell方程式を最初から解かせχとδの式を導出し，ベッセル関数の近似式なりコンピューターによる数値計算によりδの評価を求める．

テキストに求められている課題は

(1) $Hc(T)=Hc(0)[1-(T/Tc)^2]$の曲線を実験によって求め，$Hc(0)$，Tcをもとめる．

(2) 完全導電性のみからMissner効果を説明できないことを示せ．

(3) 常伝導状態におけるχ'，χ''の温度依存性を室温，液体窒素，液体ヘリウム温度で測定し，これからSnの固有抵抗ρの温度依存性を評価すること．

の3つであるが，レポートでは次のような点についても考察を求めることにしている．

(A) Q_0(窒素温度)はQ_0(室温)と比較して8倍程度大きくなるがこの理由を述べよ．

(B) L_0(窒素温度)はL_0(室温)より少しだけ小さくなる($\Delta L_0/L_0\sim-1\times10^{-2}$)ことを説明せよ．（キーワード　熱膨張，透磁率）

(C) 試料がピックアップコイルに入ったときのLは試料がでている時のL_0より常に小さい．つまり$\Delta L=L-L_0=4\pi\chi'\eta L_0$が常に負であることを説明せよ．

(D) 温度が下がるとΔLの絶対値が大きくなる理由を述べよ．

学部3年次の学生にとってテキストだけを読んで内容を理解し，上記の設問に答えるのはかなりハードであると思われるため，実験日4日目は口頭試問として学生ひとりひとりに質疑応答を行い理解を深めてもらうとともに，レポートをどのようにまとめるかについての指針を与えている．これが結構大変

で長引くと3～4時間くらいに及ぶこともある．口頭試問などを通して最近感じることは学生の平均的な学力が低下していることである．現象を出発点から懇切丁寧に出来るだけイメージが描けるように説明しなければ，なかなか“なるほど”と理解してくれない（ようである）．もっともレスポンスが少ないだけでこちらがそう思っているだけかもしれないが．

豊中キャンパスには液体窒素や液体ヘリウムを利用する研究室が多く存在し，近年液体ヘリウムの使用量が急激に増加している．“低温”の学生実験も低温センターに働くスタッフの方々とヘリウム液化装置によって支えられているが，現在稼働中のヘリウム液化装置も7年目を迎え最近では各所に痛みが生じている．非常事態には休みを返上して修理にあたっている．“ヘリウム一滴血の一滴”の理解を学生実験で求めるのは難しいかもしれないが，せめてそのニュアンスだけでも感じてほしいと努力している．