

## 昭和46年：はじまり

名誉教授（金属材料研究所）小林典男（e-mail : koban@imr.tohoku.ac.jp）

### 1. はじめに

昭和46年（1971年）は極低温科学センターの前身である東北大学低温センターが開設された年である。この年、筆者は理学研究科物理学専攻に進学して、金属材料研究所（金研）の低温物理学研究部門（武藤研究室）に配属された。実は、前年に卒業の筈だったが、この年、東北大学は騒然としていて、大風のなかで草木がざわめくことに心躍るように落ち着かず、大学院の入学試験に失敗してしまった。もちろん勉強不足が原因であるが、一言弁解させていただくと、今では大学院の入試に失敗するという事はほとんどなくなったが、当時はまだ合格率は半々くらいで、相応に受験勉強が必要だったように思う。しかし、おかげで発足したばかりの武藤研究室の一期生の一人として大きな顔が出来るようになってしまった。これは幸運だったのかもしれない。

それから5年間武藤研究室に在籍し、博士課程を修了することになるが、1年弱を日本学術振興会奨励研究員として過ごした後、ようやく金属材料研究所に職を得た。この原稿の依頼を期に、その頃の研究や生活の様子を、低温センターと絡めて紹介してみたいと思う。もともと、素人同然の学生が見聞きしたことを、40年前の記憶を頼りに書くことなので多くの間違いがあると思う。御容赦をお願いする次第である。

### 2. 第二種超伝導体の熱伝導

超伝導体には第一種と第二種の二つの種類がある。後者は高い磁場まで超伝導状態を保持することが出来て、実用材料として利用されている。このころ、理学部の物理学第二学科に若い教授として真木（和美）先生（当時35歳）が在籍され、

第二種超伝導体の理論的研究で活躍されていた。武藤研究室では、研究テーマの一つとして、真木先生の助言の下で第二種超伝導体の磁場中の熱伝導の振舞いについて予測の検証を行っていた。ただ、この頃には第二種超伝導理論はほぼ完成されていて、武藤先生の頭の中には、電子の平均自由行程が超伝導コヒーレンス長よりも極端に長い場合から、極端に短い極限へのつながりはどうなっているのか、研究室が所有する温度・磁場領域でその変化の全体を見渡すことができないかといった最後の疑問があったのだらうと思われる。筆者はその一端をお手伝いすることになり、組成の全領域で完全固溶体かつ超伝導体である、NbとTaの合金系の磁場中熱伝導度を測定することになった。

しかし、武藤研究室は発足したばかりで学生が占有できる実験スペースはなかった。そこで、低温棟（旧2号館）の1階に鎮座していた大型電磁石を使えるように整備することになり、約1年を

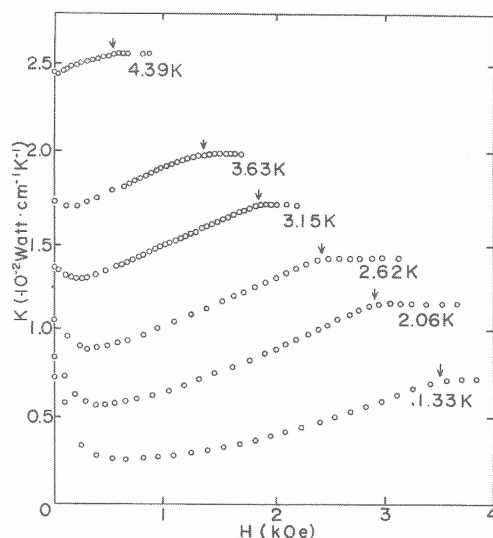


図1. Ta<sub>85</sub>Nb<sub>15</sub>合金の熱伝導度の一定温度における磁場中の変化。T<sub>c</sub>は4.83 K。

かけて、見様見真似でヘリウム排気配管や1インチの回収配管、ガラス魔法瓶のサポートアングル、クライオスタットなどの設計図を書いて工場で作ってもらった。実際の運転に際しては、液体ヘリウムの扱いや測定法については当時助手だった能登(宏七)先生、電磁石の調整・運転に関しては深瀬(哲郎)先生に教えていただいた。夏の暑い日に武藤先生が様子を見にこられて、「一人で大丈夫か、少し手伝おうか」と声をかけられたことがあったが、丁寧にお断りした記憶がある。図1は当時の測定結果の一例である。仕事そのものは、決して当時の先端の研究といったわけではなかったが、こういった力仕事は、それまで研究などといったことを進めたことのない人間にとっては「仕事をした」という充実感があって面白かった。しかし結局、合金系の第二種超伝導体の基礎物性に関する仕事は、武藤研究室ではこれが最後になった。

この時期に、筆者は低温センターにはあまり出入りしていない。昭和45年の11月に液化機が搬入されて、46年の1月頃から試験運転が始められ4月から実質的な運転が開始されていたようだ。13名の運転要員を要求していたようであるが、助手ポストが1名分認められただけだったという。助手ポストに加えて東北大学から流用定員2名が配置され(実際は金研から派遣)、金研からは講師1名、技官3名が応援に出されたことが記録に残っている。金研サブセンターでは3名の技官が空気液化機の運転や金研内の液化ヘリウムの供給を行っていた。筆者は、もっぱら金研サブセンターを利用していた。実験を始めた頃は、いまや金研1号館の正面玄関に展示されている歴史的コリンズ型ヘリウム液化機から直接ヘリウムを組み込んだ記憶があるが、いつの頃からか低温センターから供給されたベッセルから組み込むようになった。

低温センターの実験棟では、第1実験室に液化水素の利用装置が設置され、第3実験室では共用の実験装置が整備されつつあった。47年度には9Tの高均一超伝導マグネットが設置され、坂爪

(新一)先生や能登先生がテストを繰り返されていた。アルゴン溶接によって金研工場ですべて作られた大型金属デュワーが使われたが、真空漏れがあったり、超伝導マグネットが期待通りの性能を示さないなどの不具合があって苦労されているようだった。真空漏れで思い出したが、この頃低温センターにリークディテクターが設置された。アルコールとガイスラ管を使って真空漏れを探していた身にとっては、漏れの場所がたちどころにわかる優れもので、よく利用させていた。

47年3月には低温センターの設置を強力に推進された神田(英蔵)先生が定年退官された。

### 3. 層状化合物超伝導体 NbSe<sub>2</sub> の比熱測定

熱伝導の仕事は2年間でおよそまとめられ、博士課程に進学した。しかし、半年間テーマが決まらずに残った仕事を片付けていた。この頃、「超伝導研究は終わった」といわれ、低温物理学のテーマとしてはヘリウム3の物性と超伝導化合物の開発・物性研究といった二つの方向があった。国内の低温研究室の多くがヘリウム3への展開を選択する中で、武藤先生は大いに悩みながらも(というのは、学生であった筆者もどう思うか意見を聞かれた。もっともそのような大事なことを聞かれて困惑しただけであるが。)超伝導の研究を継続することに決心されたと思われる。

我々の次の年度の学生は層状化合物 NbSe<sub>2</sub> と A15 型超伝導化合物 V<sub>3</sub>Si の物性を研究テーマとしていた。こういった化合物は大きな単結晶を得ることが難しく、まともな基礎的物理量もわかっていなかった。そこで、能登先生の指導の下で数10 mg 程度の微小な結晶の比熱が測定できる装置を開発して、層状超伝導化合物の熱力学的性質を明らかにすることをテーマに選んだ。測定方法は熱緩和法と呼ばれる手法で、試料温度を変えたときの温度の応答速度から試料の比熱を求める方法である。この装置のキーポイントは、試料と同程度の熱容量の小さな温度計の開発と安定した温度制御である。温度計として、低温用温度計



として利用されていた炭素抵抗を小さくスライスしたもの、溶剤で練った墨汁、壊れたカーボンガラス温度計の本体など様々な素子を試した。しかし、結局、能登先生が自作したリンを添加したシリコン薄板が、一番使いやすいということになった。温度計の抵抗値を抵抗ブリッジを使って測定し、試料温度の平衡温度からのズレ分をオフバランス信号として記録する。そのズレ分を 20 mK 程度にすると、必要な温度の安定度は 0.1 mK ほどということになり、極めて精度の高い温度制御が必要とされた。これらの準備に博士課程の 2 年目の 1 2 月頃まで 1 年ほどを費やした。かなりあせったが、実はこういった試行錯誤が最も楽しかった。

この頃からやっと測定結果が出始めた。実験はうまく行き始めた時に集中して行わなければならない。いったん中断したりすると幸運が逃げてしまうのかも知れない。この実験では、1 点の測定を行うために温度計の較正などの準備のために 2 日ほど必要である。さらに、1 点の測定を行うためにおおよそ 20 分かかる。一つの磁場で温度を変えながら 40 点ほどの測定をすると 12-13 時間かかり、磁場ゼロから 6 T まで 1 T 毎に測定すると 1 週間から 10 日間かかることになる。そうして得られた結果の一例を図 2 に示す。この一枚の図にそれだけの労力が隠れていると思うと改めて感心する。

いまでは、このような繰り返しの測定は自動化されている。研究者は試料をセットしてスイッチを押せばまとまった時間を別のことに使うことができる。しかし、5 分毎に設定温度を変えて、抵抗ブリッジのバランスをとって、温度の変化を記録させるといった手順を踏むと他の仕事をする余裕はなかった。出来ることといえば、タバコを吸うこと、軽い小説や漫画を読むこと、ラジオに合わせて演歌を怒鳴ることで、今でもカラオケで歌えるのはその頃の演歌だけである。

この比熱のデータを温度の関数として積分するとエントロピーや自由エネルギーが求められ、超伝導状態の基礎物理量やエネルギーギャップ

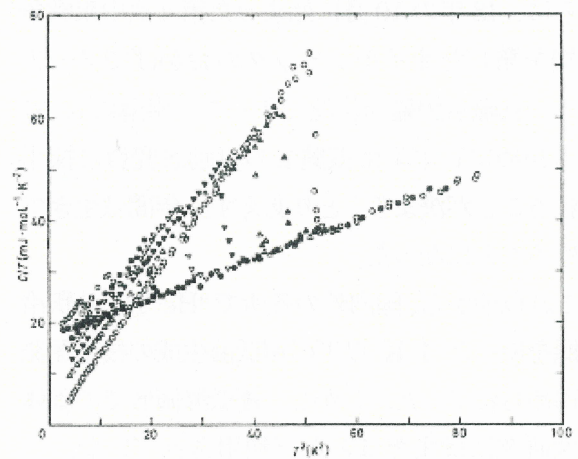


図 2. 層状化合物 NbSe<sub>2</sub>(47.5 mg)の一定磁場における比熱。T<sub>c</sub>は 7.18 K。磁場は層に垂直。H=0, 0.25, 0.51, 0.9, 1.4, 1.9, 2.5, 3.0, 5.2 T,

についての情報を得ることが出来る。得られた結論を一言でまとめると、「層状超伝導化合物 NbSe<sub>2</sub> の電子状態はその構造を反映して異方的で、層内の超伝導特性は強結合的である」というものであった。なんとも簡単である。今でも残念なことは、磁場中の測定結果を十分に生かしきれなかったことである。後に酸化物高温超伝導体が発見されて、磁束内の超伝導電子の励起状態が詳しく議論されるようになると、この NbSe<sub>2</sub> の磁場中の結果と密接に関連していることがわかった。

博士課程の 3 年間はそっくりそのまま低温センターに厄介になった。朝 10 時頃にヘリウムを汲み込み、夕方 5 時の終了直前に 2 度目のヘリウムを汲み足して夜中の 12 時頃まで実験を行うといった生活をしてきた。そのうち実験技術も向上し、自分でもヘリウムを汲むことが許されるようになった。武藤研究室の学生も増えて、センター第 2 実験室のヘリウム排気ポートをほぼ占有して実験を行っていた。第 3 実験室の 9 T マグネットも理学部や工学部からの利用者が増えて休みなしに利用されるようになった。

#### 4. 低温センター希釈冷凍機の整備

昭和 51 年 3 月に無事博士の学位を得ることが出来たが、当時、博士課程を修了してもポストに就けない大量のオーバードクターが残っていてアカデミックポストはほとんど空きがなかった。



さらに、48年の10月に始まった第4次中東戦争に端を発したオイルショックのおかげでメーカーへの就職も困難な状況であった。幸運にも51年の初めに日本学術振興会の奨励研究員に採用されることが決まり、とりあえず2年間は生きて行けることになった。

これ以前から、国内外の各所で $^3\text{He}\text{-}^4\text{He}$ 希釈冷凍機を使った1 K以下の超低温生成の技術開発が進められていた。しかし、極低温領域での固体物性研究にはまだほとんど利用されていなかった。武藤先生はこの温度領域での物性研究に着目して、大型希釈冷凍機の設置を低温センターの概算要求として申請され、それが52年度予算として認められた。この希釈冷凍機の整備とお守りを条件に、筆者は武藤研究室の助手に採用されることになった。奨励研究員として1年が過ぎた52年3月のことである。

当時、大型希釈冷凍機を供給できたメーカーは英国オックスフォード社と米国SHE社だけであった。前者の希釈冷凍機は国内でも販売実績があり、その技術は信頼されていた。一方、SHE社は低温実験用機器の製造・販売を目的として設立されたばかりのベンチャーで、日本国内では販売代理店もなかった。丁度、国内でやはり低温実験用の機材の輸入販売を始めたN工芸社にお願いしてSHE社と交渉してもらうことになった。後にここが輸入代理店となってSHE社の低温用機材を一手に扱うことになる。4月に低温センターに移った坂爪先生と相談をして、到達温度が10 mKを切ること、10 Tまでの磁場中で実験が出来ること、100 mKで100  $\mu\text{W}$ 以上の冷凍能力があることを条件に両社を比較した結果、オックスフォード社は実績があり魅力的だったが、10 Tの磁場にキャンセルコイルが付いて使いやすさをうたったSHE社を選んだ。

装置の納入期限は53年3月であったが、それまでに、坂爪先生を中心として技官の大友氏やN工芸社のM氏、NS社のI氏らの献身的な努力で、防振用の大きなコンクリートブロックを置いた深さ2m余りのピット工事やヘリウムの配管工事



写真1. 低温センター大型希釈冷凍機の前で。左から、坂爪先生、SHE技術者、筆者、大友技官。

がおこなわれた。写真は53年に、契約どおり最低温度7 mK、最高磁場10 Tが得られて、検収が無事済んだときのものである。残念ながら、試験運転にSHE社から派遣された若い技術者の名前が思い出せない。

希釈冷凍機を使った最初の実験は、武藤先生が物性研から聞き込んできたNbSe<sub>2</sub>の仲間であるTaS<sub>2</sub>における大きな負の磁気抵抗の測定だった。0.3 K、10 T程度で10%にもなる抵抗の減少が観測されたというものだった。早速、0.05 Kまで温度を下げて磁場をかけると9 Tで90%にも達することがわかった。この現象は物性研の吉田先生や福山先生に取り上げられ、強く局在した少数電子系のゼーマン効果の結果として説明された。

## 5. おわりに

昭和46年は低温センター発足の年であり、筆者の研究生生活の始まりであった。この年に動き始めた液化機は1昨年2度目の更新がなされた。筆者の思い入れの深かった希釈冷凍機も昭和61年の高温超伝導の発見以来利用されなくなった。それが数年前に新しく復活した。筆者も昨年退職し研究生生活を閉じた。その間、低温センターには大変お世話になった。これから新しい才能と力が新しい世界を開くだろうことを期待している。

この稿は低温センター発足の頃をもう少し客観的に書くつもりだったが、個人的な思い出になってしまったことをお詫びしたい。