

Ⅲ 実験・実習

H-1 「超伝導—リニアモーターカーで地球を一周」

森 初果 東京大学物性研究所 日本物理学会

田島 節子 大阪大学理学研究科物理学専攻 日本物理学会

8月17日（金）【実験・実習】 10:00～17:00 ○○研修室

【はじめに】

今から21年前の1986年、私（森）がまだ学生だった頃、高温超電導体が発見され、「超伝導フィーバー」が起きました。実験家ばかりでなく理論家も、瀬戸物を焼く炉を利用して、新しい高温超伝導体を見つけたり、分野を問わず、研究者がこぞって高温超伝導の研究を行っていました。月1、2回の学術論文の出版ではニュースは間に合わず、毎日、新聞で新しい実験結果が紹介されていました。さらに、物理の分野だけでなく、経済界の方も学会発表を聞きに来るような社会現象にもなっていました。この実験の講師である田島教授も、高温超伝導の中心グループに属し、台風の目となって日夜実験を行った1人で、今も「なぜ高温で超伝導が起こるのか？」という疑問を解くため、研究を続けています。

この実験では、高温超電導体である銅酸化物を液体窒素で冷却して超伝導状態にし、ミニリアモーターカーのデモ（完全反磁性）、地球の自転デモ（ピン止め効果）を行い、目で見える超伝導現象を体験します。時間が許せば、液体窒素で、（風船中の）気体を液体にしたり、周辺の物質（植物）を固化させて、物質の状態の変化を調べたり、金属パイプ中磁石を落下させて、電気と磁氣的性質が深く結びついていることを知る実験を行う予定です。

【超伝導とは】

初めての超伝導現象は、1911年、オランダのカメリンオネス教授により、水銀で観測されました。彼は、「物質を低温まで冷やすと、抵抗はどのように変化するのか？」ということ調べていたとき、水銀の抵抗が4Kで突然消失し電流が流れ続ける現象を発見し、「超伝導」と名づけました。さらに、マイスナーらによって、超伝導体に磁場を印加すると磁力線を排除するマイスナー効果が観測されました。

超伝導体には、第1種と第2種と2種類あり、前者は、「玉砕型」と呼ばれ、ある臨界磁場を越えると、マイスナー効果が消失して、磁力線が超伝導体内に入り込み、超伝導状態は壊れて常伝導状態となります。一方後者は、「妥協型」と呼ばれ、磁力線が入った部分のみの超伝導が壊れ、それ以外の部分では、超伝導状態を保つため、常伝導と超伝導状態が共存します。このように第2種超伝導体では、超伝導の永久電流に誘起されて強い磁場が発生するため、超伝導体が強い磁石として利用されています。たとえば、東京と大阪を1時間で走る予定のリニアモーターカーや医療用のMRIなどは、NbTi合金の超伝導線を強い磁石として利用しています。しかし超伝導になる温度が10K（-263℃）と低いため、液体ヘリウムという値段の高い寒剤（2,000円/L）が必要で、高い超伝導転移温度を持つ物質の発見が皆の夢でした。

はじめに述べたように、1986年にスイスの物理学者ベドノルツ博士とミュラー博士により、高温超

伝導の可能性が示唆された論文が発表され、当時、東京大学の田中昭二教授グループが確認したところ、マイスナー効果が見出されて、高温超伝導であることが確かめられ、超伝導フィーバーが始まりました。超伝導転移温度は、30K(-243℃)、90K(-183℃)、常圧で135K(-138℃)、加圧下で150K(-123℃)と数年で上昇しました。今回用いるのは超伝導転移温度が90K(-183℃)の銅酸化物超伝導体で、150円/Lと安価で、扱いの手軽な液体窒素（沸点77K, -196℃）で冷却して、超伝導となります。図1は、円盤状の銅酸化物高温超伝導体を液体窒素で冷却して超伝導状態にし、磁力線のピン止め効果で、ネオジウム製の強力磁石を浮上させている写真です。

【超伝導—リニアモーターカーで地球を一周】

当日は、以下の実験を行い、高温超伝導体が、液体窒素の寒剤で、金属から超伝導に変化し、磁石として働く様子を調べたり、磁石の電磁誘導現象を実験します。

*寒剤である液体窒素（沸点77K=-196℃）を利用して、空気、花を瞬間冷凍します。

*高温超伝導の反磁性効果を利用して、ミニリニアモーターカーを走らせます。

*高温超伝導体のピン止め効果を利用して、地球儀を吊り下げまま、くるくる回転させます。

*図1のように、高温超伝導体のピン止め効果を利用して磁石が浮上する様子（磁気浮上）、および、マグネットを持ち上げると超伝導体が追従するフィッシング効果も観測します。

*アクリル、銅、アルミのパイプにネオジウム磁石を落とし、同じ速度で落下するか調べます。



図1 銅酸化物超伝導体が液体窒素で冷却され、超伝導状態となって、ピン止め効果で磁石を浮上させている（磁気浮上）。

森 初果（もり はつみ）

御茶ノ水女子大学理学研究科化学専攻修士課程修了、理学博士、
東京大学物性研究所准教授



田島 節子（たじま せつこ）

東京大学工学部物理工学科卒業、工学博士、
大阪大学理学研究科物理学専攻教授



Ⅲ 実験・実習

H-2 「虹色の液晶ストラップを作ろう」

森 初果 東京大学物性研究所 日本物理学会

有光 直子 横浜国立大学大学院環境情報研究院 日本物理学会

8月17日(金)【実験・実習】10:00～17:00 110研修室

【はじめに】

コレステリック液晶は、一方向に向かって分子が螺旋(らせん)を描きなら並ぶ分子配列を持ち、その螺旋の一周期は光の波長と同程度であるため、赤から青の美しい虹色を示します。ヒドロキシプロピルセルロースで粘性のある液体である液晶をつくり、ハート、シャツ型のかわいいプラスチック容器に注射器で詰めてストラップを作製し、固体と液体の間である液晶を理解する予定です。

【液晶とは】

液晶は、1888年にオーストリアの植物学者ライニツァーによって発見されました。彼は、コレステリアル安息香酸を加熱し、その様子を観察していたところ、145℃で固体から白濁した流動体(液晶)に、179℃で透明な液体にと、二度溶けるような不思議な挙動を示すことに気づきました。彼は、その結果をドイツの工業高校助手のレーマンに手紙で知らせました。レーマンは温めながら観察できる顕微鏡を持っており、詳しく観察した結果、固体に特有の性質である複屈折効果があることを確認し、液晶(Liquid Crystal)と命名しました。

そして、1963年RCA社のウィリアムズは、液晶に電氣的な刺激を与えると、光の通し方が変わることを見出し、5年後(1968年)に同社のハイルマイヤーらのグループが、この性質を応用した表示装置をつくりました。これが液晶ディスプレイの始まりです。さらに、1973年、シャープが電卓の表示として世界で初めて液晶を商品化しました。また1976年、グレイ教授(英国ハル大学)らによって安定な液晶材料(ビフェニール系)が発見され、これが現在、ディスプレイ材料の基礎となっています。このように、電卓やデジタルウォッチの表示部から始まった「液晶」は、テレビ、パソコン、電子辞書、携帯電話と身の回りの電化製品に広く使われています。液晶の利点は薄型化が可能なことで、厚さ9cm(120x66x9cm)の薄型テレビも発売されています。

【液晶および液晶相の分類】

液晶は大きくサーモトロピック液晶とリオトロピック液晶に分類されます。サーモトロピック液晶は、熱や圧力によってのみ相変化をする温度・圧力遷移型ですが、リオトロピック液晶は、濃度によって相変化をする濃度転移型です。

また、代表的な液晶相としてネマティック液晶、スメクティック液晶、コレステリック液晶があります。図1に示すようにネマティック液晶は一軸方向にのみ配向し、分子の詰まり方は疎であり、電場印加で応答しやすく、現在液晶ディスプレイで利用されています。このネマティック液晶の材料にキラリティーを導入すると、螺旋構造のコレステリック液晶になります。コレステリック液晶は、イカやタ

コからも抽出されるためこの名がつけられました。この螺旋の一周期が光の波長と一致するため、美しい色を呈色し、アクセサリーに用いられています。さらに、スメクティック液晶は、図に示すように層状構造を有し、より結晶に近い構造をもっています。

液晶相の分類		
ネマティック液晶	スメクティック液晶	コレステリック液晶
		

図1 液晶相の分類 ネマティック液晶では分子は一軸方向に揃い分子の並びは疎であるのに対し、スメクティック液晶は、層状構造をもち、より結晶に近い分子の並びが密な構造となっています。また、コレステリック液晶は、ネマティック結晶の1つに分類され、螺旋構造をもっています。

【液晶ストラップを作ってみよう】

当日は、

- * 固体と液体の中間状態である液晶について学習し、
- * 偏光子で、光の偏光実験を行い、
- * ヒドロキシプロピルセルロース（図2）を用いてコレステリック液晶を作り、
- * 温度によって色が変わる性質（サーモトロピー）を調べ、
- * 室温で示すオパールのような色を利用して、ハート型、丸型、Tシャツ型の液晶ストラップを作り、お持ち帰りいただきます。

* *ヒドロキシプロピルセルロースは、薬品にも用いられ、人体に害は有りません。

有光 直子(ありみつ なおこ)



東京大学理学系研究科相関理化学専攻修士課程修了、博士課程中途退学、理学博士
横浜国立大学大学院環境情報研究院准教授