

超伝導体に触れてみよう

水銀は電気を良く流す液体ですが、冷却すると $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ で固体となり、 $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4.15 K^*) 以下の温度では電気抵抗がゼロ (!) になります。この劇的な結果は超伝導体を示す性質の一つですが、以前は極低温の世界に限られた現象で、目の前で直接観察することは不可能でした。ところが、1986年、比較的容易に入手できる液体窒素の沸点 (77 K) 以上の温度で超伝導現象を示す物質が発見され、一気に身近なものとなりました。今日は、実際に超伝導物質を作ったり、液体窒素を利用して超伝導現象の不思議な世界に触れたりしましょう。

*Kはケルビンと読みます。温度の単位で、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}=273.15\text{ K}$ です。

超伝導転移温度 (K)

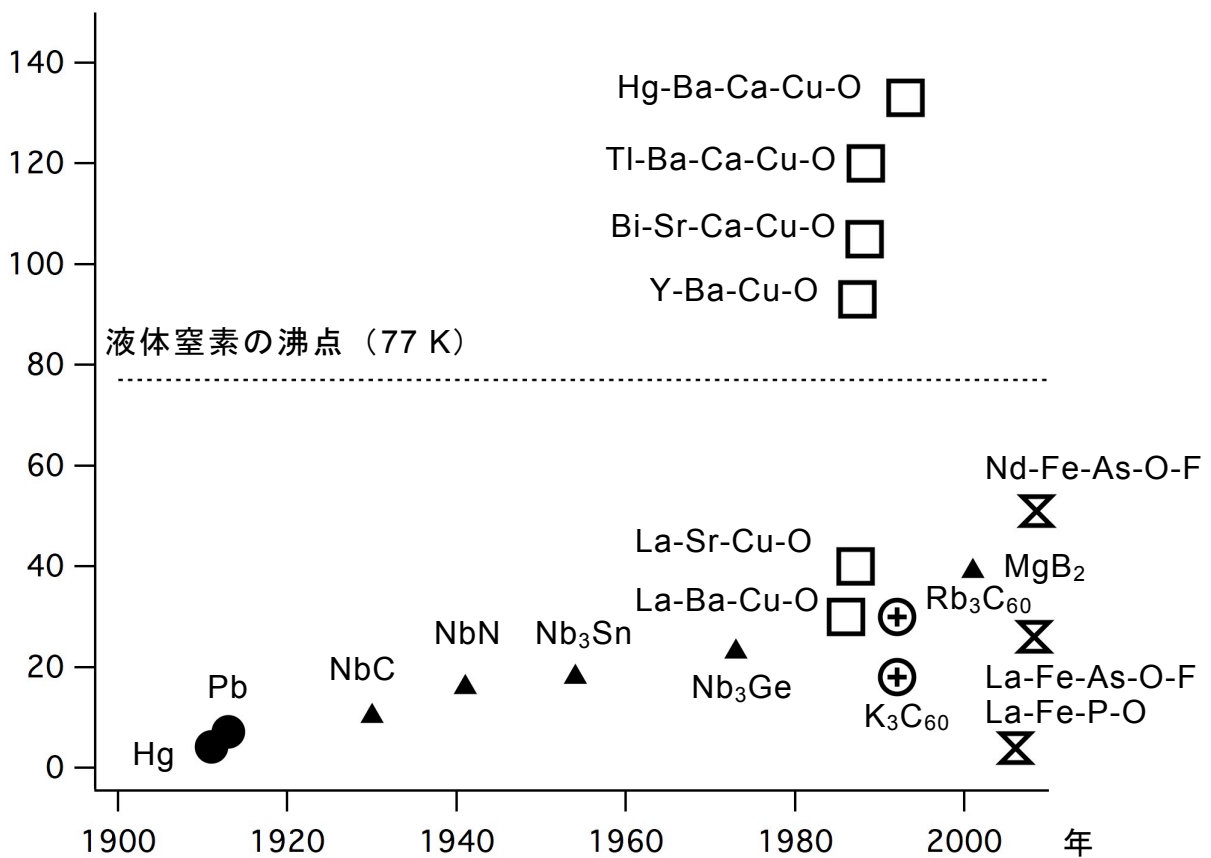


図1 超伝導転移温度の推移

前ページ図1は、様々な超伝導体が超伝導現象を示すようになる温度（超伝導転移温度）を発見された年に対してプロットしたものです。昔は超伝導現象を示す温度がとても低かったことが分かると思います。図をもう少しよく眺めてみると、以前は金属や合金といった電気を流しやすい物質の中から超伝導体が発見されていたことが分かります。ところが1985年以降は、酸化物や有機物といった電気を流しにくいと考えられる物質の中から、超伝導体が発見されるようになってきました。2008年には鉄イオンを含んだ新しい系統の超伝導体が日本のグループによって発見されました。大きくはみ出してしまうので図1には示していませんが、2014年には、硫化水素が超高压力下（150万気圧）で、約200K（約マイナス70℃）という非常に高い転移温度を示すことが見つかり、室温超伝導へと大きく近付きました。思いもよらなかった物質群から、現在も新しい超伝導体が発見されています。

さて、通常、酸化物や有機物は電気を流しにくいものとして知られていますが、超伝導性を示す酸化物超伝導体や有機物超伝導体は電気をよく流します。どうして酸化物超伝導体や有機物超伝導体には電気が良く流れるのでしょうか？

酸化物や有機物には、通常、金属とは異なり、電気を運ぶ電子（自由電子）が存在しません。例えば、酸化物（ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ ）や C_{60} には自由電子が存在しないのです。しかし、組成を変えたり（化学ドーピング）、電圧を加えたり（物理ドーピング）することで、自由電子を生み出し、電気を流すことができるようになります。

超伝導現象には、電気抵抗がゼロになる性質だけでなく、その他にも様々な性質があります。その一つにマイスナー効果と呼ばれるものがあります。これは、超伝導体の内部に磁場は侵入することができないという効果です。言葉を変えると、永久磁石を超伝導体に近付けたときに、永久磁石の磁場をちょうどピッタリ打ち消すような磁石に超伝導体になるということを意味します。この性質を利用すれば、超伝導体を永久磁石の上に浮かせることも可能です。

さあ、それでは実験を試してみましよう。

実験 1 : マイスナー効果

酸化物超伝導体を冷却して、マイスナー効果について調べてみましょう。

a) まず、超伝導体を液体窒素で十分に冷却して超伝導状態にしましょう。超伝導状態になった超伝導体の上に小さな永久磁石をそっと置いてみましょう。どうなるでしょうか？次に、超伝導体を大きな永久磁石の上にそっと置いてみましょう。どうになりましたか？超伝導体をそっと置くのではなく、強めの力で押し付けるようにしたらどうなるでしょうか？何か違いがありましたか？

b) 超伝導状態になっていない（例えば、室温の状態の）超伝導体と永久磁石をなるべく近付けたまま、超伝導体を冷やしていってみましょう。十分に超伝導体が冷えて超伝導状態になった時、超伝導体と永久磁石は、どうになりましたか？反発しましたか？それとも？

実験 2 : 酸化物超伝導体の作成

Y_2O_3 、 BaO_2 、 CuO 粉末を Y : Ba : Cu の原子数比が 1 : 2 : 3 の割合になるように計算をした上で、総量 2 g をとり、乳鉢でよく混ぜ合わせて下さい。その中から 1 g を取り、加圧成型器で圧力をかけ、円板状に加工します。これを電気炉に入れて約 1 日間 $940^{\circ}C$ で加熱します。（Y、Ba、Cu の原子量は、それぞれ 88.91、137.3、63.55 です。）

実験当日中には、酸化物超伝導体はできあがりませんので、希望される方には、後日、できあがった超伝導体を御送りします。