

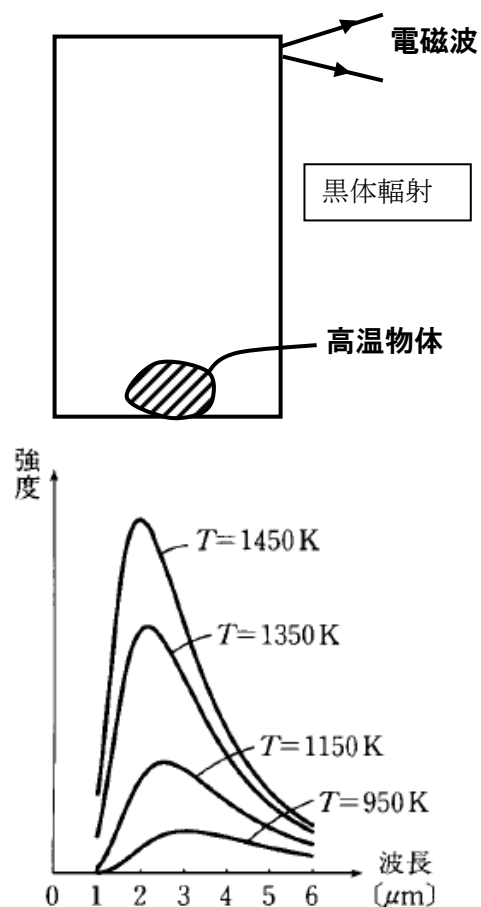
新しい世界への挑戦 —量子現象と超伝導—

岡山大学大学院自然科学研究科 原田 勲 (2012.08.15)

人間の血は赤い、備前焼の表面には赤い部分がある、岡山特産のベンガラは赤い、これらは、血に含まれるヘモグロビン中の鉄、備前焼やベンガラに含まれる酸化鉄などいずれも物質中の鉄イオンに起因する赤色である。これらの現象をミクロな立場から理解するためには、物質中の鉄イオンの電子状態など、ミクロな世界を記述する『量子力学』を学ばねばならない。ところが、この量子現象を記述する『量子力学』が難解であり、量子現象は私たちから見るととても非常識なのだ[1]。

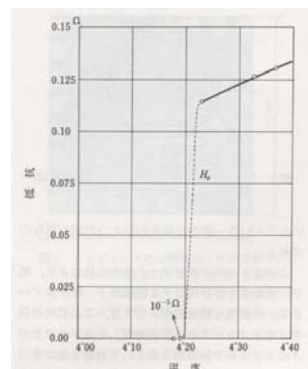
黒体からの輻射を解析して温度を決定することを提案し、その理論構成に大胆にも量子仮説を用いたのはプランク、金属表面に光を当てたとき飛び出す電子(光電子)について、光は粒子であるとして量子論的考察を行ったのはアインシュタイン、量子条件を駆使し水素原子の電子状態を求め、元素の輝線を説明したボーアなどである。これらの現象を理解するためにはともかく“量子仮説”を用いねばならなかった。量子仮説は、粒子が連続でなく飛び飛びのエネルギー値を取るというもので、一方では波と粒子の性質を併せ持つという古典物理学では考えられない奇妙な仮説に立たざるを得なかったのである。これらの現象は、1930年頃からボーア、シュレディンガー、ハイゼンベルグなどによって考察され、『量子力学』の構築へと向かい、これらの現象の基礎付けとその基礎理論の構築がなされたのである。通常は、ミクロな世界において量子力学的効果が顕著であるのだが、時にマクロなスケールでも量子現象が現れる。その典型が超伝導現象なのだ。

量子力学が認識される10年以上も前の1911年、ライデンのカーマリン・オーネス博士は、ヘリウムガスの液化(4.2K)に成功し、大学院生に水銀(Hg)の電気抵抗の温度変化を測定するよう命じた。院生は早速、次の図にあるような結果を提出したが、オーネス博士はしばらく“電気抵抗がゼロ”という結果を信じず、何度も測定の繰返しを命じたと言われている。それ位、彼の結果は衝撃的であったことを物語っている。



観測された電気抵抗 0 の状態は一体どのような状態なのか？その理論的解釈を得るまでに、実に 50 年近くの歳月を要する事となった。1933 年には完全反磁性を示すマイスナー効果が発見され、1962 年には電子対がトンネルするジョセフソン効果が発見され、“超伝導”はマクロな系で起きた量子現象と確認され、華々しくデビューした。

これらの超伝導現象を説明する BCS 理論が提出されたのは 1958 年で、バーディーンを指導者とする、クーパーと院生のシュリーファのグループである。この理論は、クーロン反発力を及ぼしあう電子（フェルミオン粒子）同士が格子振動を媒介してどの様に互いに引力を及ぼしあい、ペアー（ボソン粒子）を組むのか、そしてそれらペアーを組んだ巨視的な数のボソン粒子が 1 つの新しい巨視的量子状態を形成するのかを解き明かしたのである。その後、多くの研究者は臨界温度（ T_c ：超伝導状態になる温度）が高い様々な物質を探索し、超伝導の実社会への応用を夢見たが、1980 年頃まで特に際立った進歩は無かった。



1987 年、ベッドノルツとミュラーは銅酸化物の中から臨界温度が 30K に達する高温超伝導物質を発見、その後すぐチューは臨界温度が 90K の物質を発見し（それでも室温 300K には遠いが）、超伝導の研究は新たな局面を迎えた。ベッドノルツとミュラーの功績は、それまでの物質探索対象が金属群であったのに対し、酸化物絶縁体群の中にその可能性を求めたことに有る。酸化物絶縁体すなわちセラミックの中に超伝導体が発見したのである。超伝導体は金属導体としての性質の極限、即ち抵抗が 0 の導体である。その様な中で、絶縁体とその変形の中に超伝導体の可能性を求めたことには驚かされる。何時の時代も、通常概念にとらわれていると新たな発見には出会えない。しかし、一方、通常概念に反したことばかり行っていると、結局何も成果が上がらないことが十分あることを覚悟すべきである。残念ながら、現在も高温超伝導の機構が解明されていないし、室温で超伝導になる物質が発見されてもいない。最近では、これまで超伝導と相性が悪いと思われていた磁石、特に鉄を含む酸化物に新しいタイプの超伝導体が発見されている。若い人たちのこれまでの概念にとらわれない新たな提案が待たれているのである。

超伝導現象がこれほど話題になるのは、やはり応用上の有益さであろう。もし、室温で超伝導を示す物質が発見されれば、1. 送電線に応用。送電中のロス（熱となって消失する分）が回避出来、原発は不要。2. リニャーモーターカーが安価で実現され、リニャーモーターカーによる高速鉄道網が実現。3. メモリーや CPU に使用されれば、熱放出の問題が解決されると共に、演算のより早いチップが開発される等々、思いつくだけでもきりが無い。

このように、室温超伝導物質が発見されれば、現在の環境問題や地球温暖化問題解決に大いに貢献できることは間違いない。さあ、皆で超伝導にチャレンジしよう！