

室温超電導の夢—超電導の過去、現在、未来

Struggle to find higher - T_c superconductors

秋光 純 (青山学院大学)

Jun Akimitsu (Aoyama Gakuin University)

E-mail: jun@phys.aoyama.ac.jp

§ 1. 序

超電導の発見は、1911年のオランダ、ライデン大学のカマリオンネス(Kamerlingh Onnes)による水銀(Hg, $T_c=4.2$ K)の発見から始まる。従って、2011年は超電導発見100周年にあたる。この講演に呼ばれたのもそれに関係した企画なのであろう。

超電導はボース・アインシュタイン凝縮という本質的に量子力学的効果であるため、多くの物理学者の興味を引くと同時に多くの応用分野が開けている。

このように理論的にも応用の面でも多くの可能性を秘めている超電導ではあるがその最大の弱点はその T_c の低さにある。実際、1986年銅酸化物超電導体が発見されるまでは、室温超電導の実現などはまさに science fiction (Matthias の言葉) だと思われていた。

しかし現在では、このような題で筆者が講演しても単なる「夢物語」だと思う人はほとんどいないであろう。しかし、あると信じて「本気になって」探そうとしている人もそんなにおられないであろう。それは逆に「絶対ある」という保障もないからである。

ここでは § 2 で物質探索の現状を簡単に述べ、§ 3 では室温超電導にむけての戦略を自分なりに概観する。

§ 2. 超電導探索の過去・現在

超電導の探索をしてみてもわかることであるが多くの金属系化合物はほとんど低温で超電導になることに気がつく。超電導はある意味で大変普遍的な現象なのである。

1985年以前の転移温度の推移を年代を追って見ていくと、まず水銀(Hg)から始まった単体元素の超電導体、カマリオンネスのグループによって次々と発見され、1930年ごろにはニオブ(Nb)の 9.2 K にまで達した。1930年を過ぎた頃からは、合金や金属間化合物の超電導体が登場し B1 型と名付けられた構造を持つ超電導物質群では、1940年ごろ発見された NbN が 17.3 K という高い T_c を記録している。そして、1950年代に入ると、今度は A15 型という構造をもつ超電導物質群が登場した。20 K に迫る超伝導体 Nb₃Sn が発見されたことから、超電導探索の主流はこの A15 型物質群へと移り変わり、1970年代半ばには Nb₃Ge という薄膜でのみ生成される物質で $T_c = 23.3$ K にまで達した。これらの多くは、マティアス(Matthias)及び彼の弟子達によって発見された物質である。しかし、その頃から、しばらく T_c は更新されなかった。理論的にもいわゆる「BSC の壁」といわれる限界説がささやかれ、悲観論で満ち溢れた。日本で T_c を上げようという試みの科研費が組織されようとした時、「そんな無駄な試みにお金を使うな」といって反対した著名な理論家が出たことは有名な話である。

ところが、1986年、J. G. Bednorz と K. A. Müller によって発見された La_{2-x}Ba_xCuO₄ は、当時の最高記録であった Nb₃Ge の T_c の 2 倍近くある $T_c \sim 40$ K 級の超電導を示すことがわかった。この発見に続き、 T_c の最高記録は次々に塗りかえられ、その

わずか一年後には窒素の液化温度 77 K を越える超電導体 YBa₂Cu₃O_{7-x} が発見され、その 2 年後には Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ や Tl₂Ba₂Ca₂Cu₃O₁₀ などの 100 K を越える超電導体が続々発見された。その後の精力的な研究によって、現在では Hg₂Ba₂Ca₂Cu₃O₁₀ の圧力下でしめす 164 K が最高 T_c の記録となっている。これら銅酸化物超電導体の発見以前の T_c の更新が 1K/3 年であったのに比べ、銅酸化物超電導体の登場により、一挙にその記録を破っていったことをみると、いかにその発見が衝撃的なものであったかがわかる。当時、大学、研究機関や企業までも巻き込んだ”銅酸化物超電導体フィーバー”の様子はある年配以上の方は良くご存知であろう。その一方でこの系列に属さない比較的高い T_c を持つユニークな超伝導体が発見されていることを言わないとフェアではないであろう。それらの物質の中で Nb₃Ge ($T_c=23.3$ K)以上の T_c を持つ超電導体を以下に列挙する。勿論、超電導としての面白さと T_c の高さとは一応別の話である。

- ① YPd₂BC ($T_c=23$ K)
- ② Li_xHfNCl ($T_c=25.5$ K)
- ③ Ba_{1-x}K_xBiO₃ ($T_c=30$ K),
- ④ フラーレン C₆₀K₃ ($T_c=19.7$ K), C₆₀Rb₃ ($T_c=30$ K), K(C₈S₃), C₆₀KC₈S₂ ($T_c=38$ K:圧力下)
- ⑤ MgB₂ ($T_c=39$ K)
- ⑥ Fe 系超電導体 (色々あるが最高の $T_c=55$ K)

これらの超電導体の中には、MgB₂ のように、主に応用に重点が置かれているものと、鉄系超電導体のように、現在その超電導のメカニズムについてホットに議論されているものがある。

§ 3. 超電導探索の未来—室温超電導をめざして—

超電導がより社会の役に立つためには、なるべく高い温度で超電導になる物質を探したい。さらに室温で超電導を示す物質があれば、物理学にとっても大きな進歩であることは間違いない。このように高い温度で(出来れば室温で)超電導になる物質を見つけるのが筆者の研究テーマであり、また夢でもある。

筆者はよく冗談で超電導をその T_c で3つのカテゴリーに分類している。

松・・・ $T_c > 160$ K、竹・・・ 160 K $> T_c > 77$ K、梅・・・ $T_c < 77$ K
勿論、この分類に根拠があるわけではないが一応の目安は、 $T_c=77$ K は液体窒素の沸点であり、 $T_c=160$ K は現在得られている T_c の上限である。

これらの T_c を実現するための具体的なアプローチについては講演中で述べたい。

結論としては、我々人間は現状の知識の上に格闘することによってのみ現状を超えられるものであり、その格闘の期間が長ければ長い程得られる結果も大きいと信じている。