

避け合って動く電子の世界

— 汲めども尽きぬ夢の泉 —



三宅 和 正*

World of Electrons Avoiding with Each Other : Eternal Fountain of Dreams

Key Words : Strong Correlated Electrons

20世紀後半の世界の動きは、よくも悪くも、深い所で量子力学的世界の発展に大きな影響を受けて来たと言えるでしょう。現代の情報化社会を支えている半導体技術の源をたどれば固体内電子の量子力学的ふるまいを記述する「バンド理論」に行き着きます。半導体物理よりもっと量子力学が本質的役割を果たしている現象は「磁性」と「超伝導」です。両者ともに現象としては量子力学が確立する以前から知られていました。とりわけ磁性現象(物質が磁気を帯びる現象)の認識は紀元前に遡ることができるでしょう。

現在においても、いろいろな「磁性」のメカニズムが全て理解されたという訳ではなく、次々に従来の理解の枠を越える新しい現象が見つかっています。しかし、大筋では、電子間に働く電気的な反発力により電子が避け合うことに帰因するとして理解できると考えられています。その効果により電子のもつスピンと呼ばれる「量子化されたマイクロな磁石」に空間的なパターンが作り出されるのですが、その様子は量子力学的効果の効き方の違いを反映して実に多彩なも

のとなります。

一方、「超伝導」のメカニズムは1957年に発表されたBCS理論により基本的には解明されたと言えます。そこでは、イオンの格子振動を介して電子の間に働く引力が重要な役割を果たしています。その引力のせいで2つの電子が対を作って一つ量子状態に凝縮(クーパー対凝縮)すると超伝導の性質を示すわけですが、この引力の起源は、元をたどれば、負電荷をもつ電子と正電荷をもつイオンの間に働く電気的な引力に他なりません。

このように、「磁性」は電子間に働く反発力が、「超伝導」は引力が重要な役割を果たす現象であり、独立な(あるいは相反する)物理現象と長い間考えられて来ました。そして、筆者が大学院に入学した1970年代初頭には「超伝導の研究はもう終わった」と多くの研究者が考えていたようです。ところが1980年代に入ると超伝導の研究はルネサンスを迎えることとなります。そのきっかけは、「重い電子系」と呼ばれる CeCu_2Si_2 が超伝導を示すことが発見され、その性質が従来のBCS超伝導体とはずいぶん違っていたことです。

「重い電子系」とは電子の有効質量が百倍から千倍程度の増大を示す系のことで、そのようなことが生じるのは強い磁気的なゆらぎの効果であることが知られていました。つまり、電子間の反発力に帰因してそのような異常な事が起っているわけです。このこと自体、磁性に関連する物性物理の最重要テーマの一つとして注目を集めていましたが、その系が超伝導を示したこ

*Kazumasa MIYAKE
1949年1月2日生
1976年名古屋大学大学院理学研究
科物理学専攻博士課程修了
現在、大阪大学大学院基礎工学研
究科物理系、教授、理学博士、物
性物理理論
TEL 06-850-6440
FAX 06-845-4632
E-Mail miyake@mp.es.osaka-
u.ac.jp

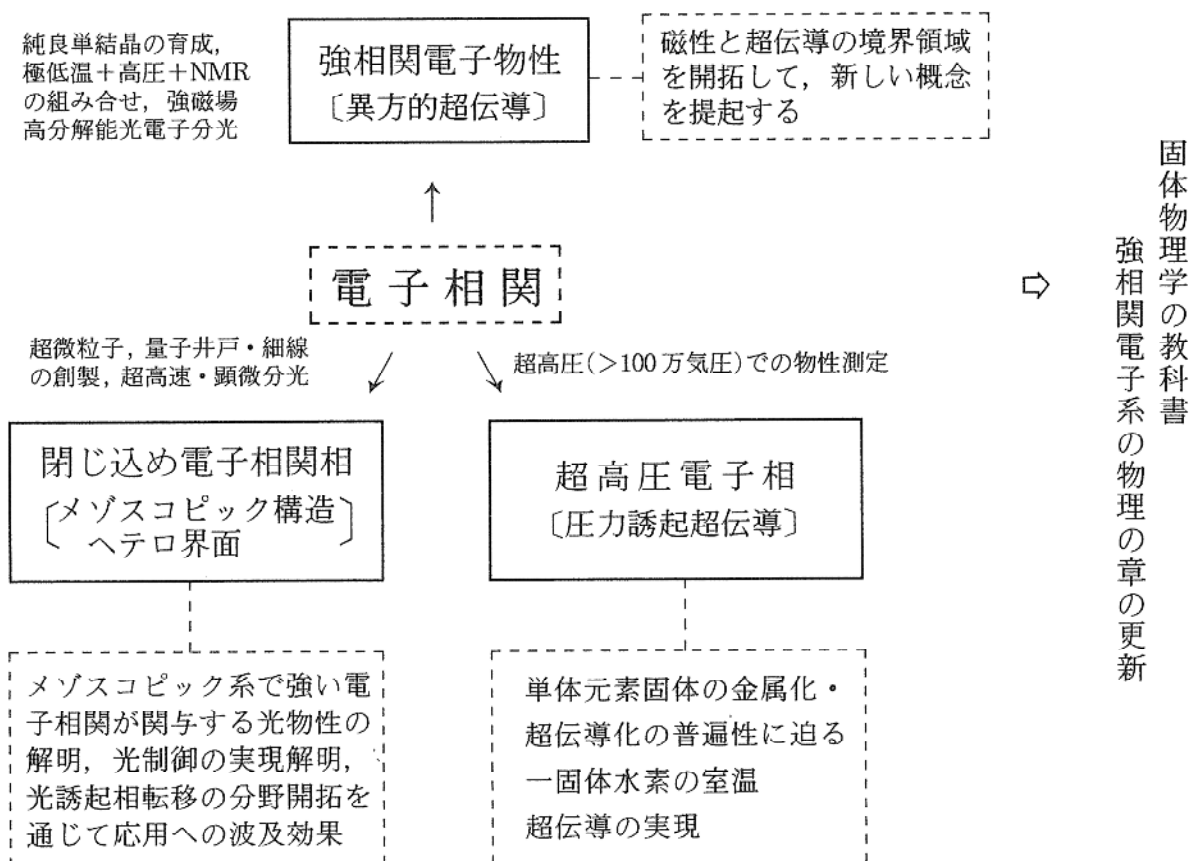


とで「磁性と超伝導は深いところで結びついているのではないかと考えられるようになりました。それは「磁性」と「超伝導」の間に未知のフロンティアが拡っていることを意味しており、世界中の多くの研究者の関心と呼ぶところとなりました。

この分野の研究において現在まで日本の研究者は大きな貢献をして来ました。とりわけ、 $CeCu_2Si_2$ を始めとする重い電子系超伝導体、 UPd_2Al_3 、 UPt_3 の異方的超伝導状態の対称性が阪大・基礎工の朝山・北岡グループにより決定されたこと、重い電子系の典型物質である $CeCu_6$ 、 $CeRu_2Si_2$ などの純良単結晶の育成とドハース・ファンアルフェン効果を用いたフェルミ面の決定が阪大・理の大貫グループにより成されたことは特筆に値します。またごく最近、 UPt_3 はスピン3重項奇パリティの超伝導体であることが初めて確認されましたが、それには大貫グループの優れた純良単結晶育成技術と朝山・北岡グループの極低温でのNMRという高度な技術の協力が不可欠でした。

このことが示すように、重い電子系の研究にはいくつもの高度の技術を組み合わせる必要があるため研究の進展は速いとは言えませんが、確実に新しい物理概念を提起して来ています。筆者らが提案した「反強磁性ゆらぎに帰因する超伝導機構」も実験の進展なしには考えられませんでした。現在明らかになりつつある一つの新しい概念は「時間的に振動する反強磁性秩序」(私たちはFloppy Antiferromagnetismと呼ぶことを提唱しています)です。このようなことは UPt_3 の示す奇妙な磁性(超伝導と共存)と $CeCu_2Si_2$ のCeの濃度を1%程度減らしたときに現れる反強磁性相との境界で現れることが判って来ました。

電子間に働く反発力により電子が避け合って運動する効果を「電子相関」の効果と言いますが、重い電子系の超伝導・磁性の特徴は「電子相関」というキーワードで捉えられることができます。この効果は10年程前に発見された銅酸化物高温超伝導体でも重要であることが広く理解されるようになりました。更に最近明らか



固体物理学の教科書
強相関電子系の物理の章の更新

になってきたことは、従来「バンド理論」にもとづいてそのふるまいがよく理解されて来た半導体も、メゾスコピック構造にしてナノメートル(10の -9 乗メートル)サイズの狭い領域に閉じ込めると、「バンド理論」では理解できない「電子相関」の効果が現れるということです。またごく最近、阪大・基礎工の天谷グループは酸素の分子性固体に120万気圧の超高压を加えると酸素は磁性金属を経て絶対温度0.4K以下で超伝導を示すことを発見しました。驚くべきことです。ここでも「電子相関」の問題が重要となります。

これらの研究分野は大別して、1)強相関電子物性、2)閉じ込め電子相関相、3)超高压電子相、の3つに分かれますが、それらは「電子相関」

というキーワードでまとめられる一つの共通点をもちます。阪大の基礎工学研究科と理学研究科はこれらの研究分野で実績を挙げて来ましたが、2)の分野に関連して「超高速・顕微分光法」の開発とそれをを用いたメゾスコピック系の研究で成果を挙げている伊藤正教授をこの4月から阪大・基礎工に迎えて3分野の研究体制が一段と強化されたのを機に、文部省の「卓越した研究拠点(COE)形成プログラム」に応募したところ、計らずも採択されることとなりました。研究題目は「多元環境下の強相関電子相」です。研究計画の概略と期待される成果は図にまとめましたが、一つ一つ夢を実現し新しい夢につなげたいものです。

