

世界で初めて 高温超伝導磁束量子の 動的観察に成功

高温超伝導体が実現すれば、極低温にまで冷却しなくてはならない従来の超伝導体に比べ、はるかに応用の範囲が広がる。その実用化のためには、超伝導体内を細い糸のように貫く“磁束量子”の挙動の解明が必要だ。だがこれまでは、高温超伝導体の磁束量子の振る舞いについては諸説があふれ、謎に包まれてきた。動いている磁束量子を直接、観察する手だてがなかったからである。日立製作所では、干渉性の高い電子線を使って、超伝導のメカニズムを解明することに取り組んできたが、ついに世界で初めて、高温超伝導体の磁束量子の動きをリアルタイムで観察することに成功した。研究にあたってきた基礎研究所の外村 彰主管研究長と、原田 研研究員に話を聞いた。

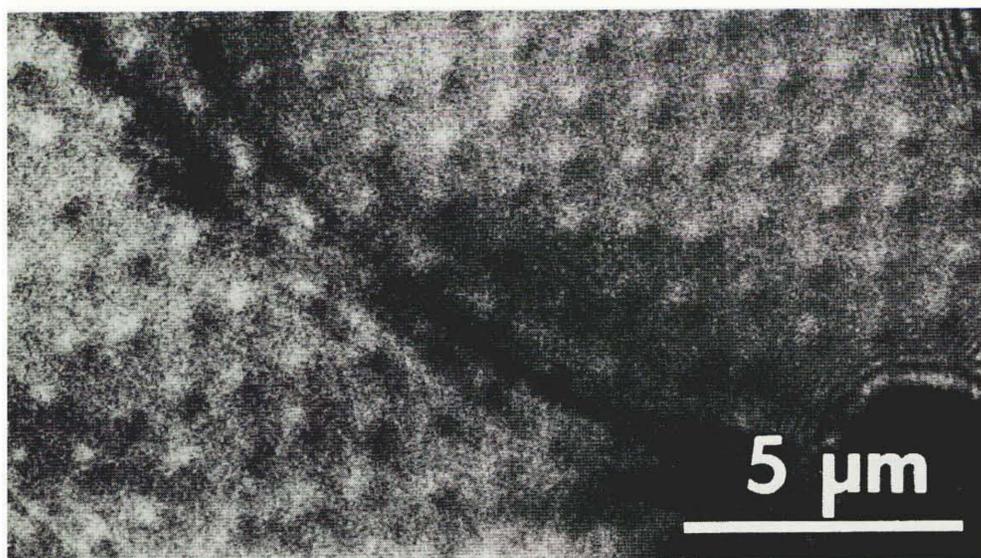
電子波で見る超伝導体のメカニズム

—なぜ電子線による観察なのか。

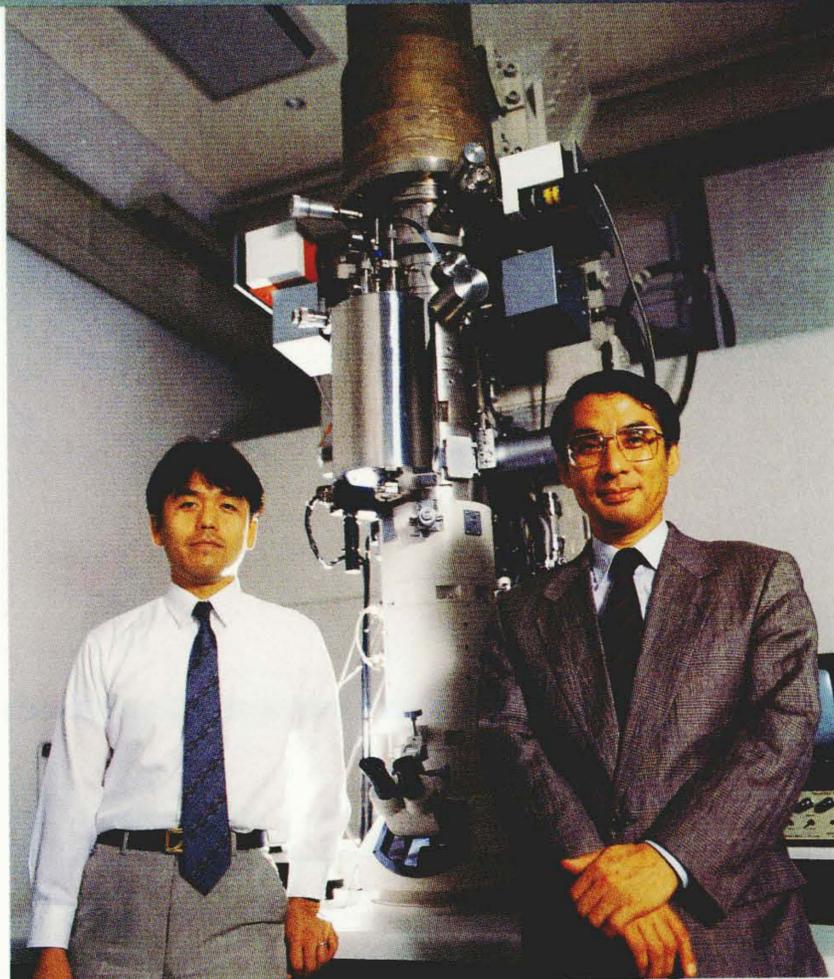
「電子線を光にたとえると、磁束量子は透明な細いガラス糸のような物体で、電子顕微鏡で見ようとしても、なかなか姿をとらえることはできません。波面のそろった電子波を当て、物体を透過する際に生じる波面の乱れを検出して初めて、磁束量子が姿を現します。波面のそろった干渉性の高い電子線源の開発を続けてきた結果、350 kVホログラフィー電子顕微鏡を開発するに至り、従来とは比較にならないほど明るく干渉性の良い電子線が得られるようになりました。このことによって電子の波面の変化を高精度で測定したり、磁束量子の動きを直接観察することができるようになってきたのです。」

—高温超伝導体の動的観察はいかにして実現したのか。

「波面の変化を、フォーカスをずらすことによって、白黒のコ



高温超伝導体BSCCO(2212)の磁束量子(4.5 K, 8 G)のローレンツ顕微鏡像。磁束量子は白黒ペアのスポットとして観察できる。



基礎研究所の外村 彰主管研究長(右)と、原田 研研究員。バックは350 kVホログラフィー電子顕微鏡。

ントラストの変化として観察する“ローレンツ顕微鏡法”という方法を用いて行いました。この方法は像の再生が不要であり、リアルタイムで像が観察できるため、動的観察に適していると考えました。高温超伝導体の磁束量子は、径が大きくなり磁場が極端に弱くなるため、観察は困難をきわめました。ローレンツ顕微鏡法のピントはずしの条件が最適となるよう工夫したり、試料作成条件に細心の注意を払うことによって、この観察に成功しました。」

高温超伝導体実用化に向けてさらなる挑戦

—観察の成果とは。

「これまで極低温で動きまわっていると考えられてきた磁束量子が、実際に液体窒素温度まで格子を組んで安定に存在することが確認できました。この磁束格子をうまくピン止め(固定)することができれば、高い電流を流しても磁束量子は動かなくなり、高温超伝導体の臨界電流を大きくすることも可能となります。今後もこの方法によって、磁束量子の挙動を動的に観察することで、試料の欠陥とピン止めの関係を解明するなど、実用化に向けての効果的な手がかりが得られるものと考えます。」

—今後の課題としては。

「今回の観察では、磁束格子の存在を79 Kまで確認することができました。しかし、実際にはもっと高温になるまで磁束格子が存在している可能性があります。さらに高温状態の磁束量子の振る舞いを観察するには、新しい装置の開発が必要です。干渉性の高い電子線の開発は、わが国が常に先陣を切って実現してきたことであり、1,000 kVのホログラフィー電子顕微鏡の開発をぜひとも実現したいものです。」