

「ランダウのご神託」への挑戦：フェルミ液体論の深化

1950年代後半に発表されたランダウのフェルミ液体論は、物質中の電子集団を典型とする「相互作用するフェルミ粒子系」のふるまいを記述する有効理論である。超流動ヘリウム3から半導体、超伝導、金属磁性におよぶ広範なフェルミ粒子系の低温挙動を記述する標準理論としての地位は、今日もゆらいでいない。相互作用を無視した自由電子は波として空間を伝わり、その状態は波数とスピんで確実にラベルできる。このラベルが、粒子間に相互作用をゆっくり印加しても確実に受け継がれるというのが、ランダウ理論の根本的な仮定（断熱接続の原理）である。要は、独立粒子としての個性（波としてのコヒーレンス）が、相互作用があっても受け継がれるということだ。この相互作用の衣をまとった独立粒子は準粒子とよばれる。準粒子の集団は自由電子ガスと同様に、明瞭なフェルミ面をもつ。準粒子描像の成立とフェルミ液体論の有効性は同義である。

では、このご神託のごとき断熱接続のプロセスを微視的に追いかけるには、どうすればよいのか？ それにはまず、フェルミ面から遠く離れた高エネルギースケールから出発し、徐々に下降しながら相互作用効果をくり込んで、行き着く先にフェルミ面が存在するか否かを検証する必要がある。

現実の系の多様性を考慮しつつこのくり込みの思想を具体化する作業は、凝縮系物理学における難問の1つだ。希土類金属化合物のなかには、相互作用効果によって電子の有効質量が自由電子の1,000倍にも達する、重い電子系とよばれる系がある。このような系でも、物理量のふるまいが元来のランダウ理論からずれることはあっても、準粒子描像そのものが脅かされることない。これは不思議なことだ。

準粒子描像そのものが脅かされるのは、電子が棲息する空間の次元が低く相互作用が強い場合、つまり電子の身動きが強く制限される場合である。たとえば純粋に1次元のフェルミ粒子系では、準粒子が完全に消失し、系の励起は集団運動で覆い尽くされる（朝永・ラッティンジャー液体）。

ランダウ理論に対するさらなるチャレンジが、銅酸化物高温超伝導体における電子の挙動である。そこでは銅と酸素からなる2次元面に閉じ込められた上に強くクーロン相互作用する電子が超伝導を起こす。このような系でも、準粒子はその独立性を守り切れるのか。準粒子描像のほころびを通してフェルミ液体論の本質に迫る試みが、理論・実験両面から続けられている。

会誌編集委員会