

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 植田 浩明

本論文「超高圧低温環境の開発と量子臨界相の探索」は、世界でも有数の超高圧・極低温発生装置を開発し、これを駆使して強相関遷移金属酸化物・硫化物に「量子臨界相」と呼ばれる状態を創製し、新規な電子機能を探索するとともに、量子臨界相の基礎学理を論じたものである。論文は全七章から構成されている。

第一章では研究の背景と基礎知識がまとめられている。現代エレクトロニクスの隆盛を支えるのはバンド理論である。一電子近似であるバンド理論を正当化するのがフェルミ液体と呼ばれる概念である。二つの相、たとえば磁性相と非磁性相が競合する量子臨界点では、このフェルミ液体の概念が崩壊し、質的に異なった電子相（量子臨界相）が出現する。最近、重い電子系と呼ばれる希土類化合物において、量子臨界相で特異点的にエキゾチック超伝導が発現することが見出され、注目を集めている。その延長線上に銅酸化物の高温超伝導が存在するとも言われる。本研究は、磁気エネルギーのスケールの観点から、重い電子系と銅酸化物を橋渡しする存在である遷移金属化合物に着目し、乱れを導入しない制御因子である圧力を用いて、量子臨界相を創製することを狙った。そこにエキゾチックな物性を探索するとともに、物性開拓の場である量子臨界相の基礎学理の確立を具体的な目標とした。

第二章では、量子臨界相を創製する手段としての極低温・超高圧発生装置の開発について述べられている。これまでの CuBe 合金に代わって、CrNiAl 合金を用いた小型のクランプ型圧力セルを作製することにより、最高圧力 3.5GPa、最低到達温度 300mK を達成した。

第三章では、マグネリ相 V_nO_{2n-1} ($n=7,8$) について、量子臨界相を初めて実現した結果が述べられている。 $n=7,8$ ともに、3.4GPa 程度で磁気秩序が消失し、臨界点が生じた。電気抵抗の臨界挙動を精密に調べた結果、量子臨界相を記述する標準理論である SCR 理論から期待されるフェルミ液体崩壊の前兆現象が全く観測されないことが明らかとなった。これを説明するモデルとして、フェルミ面が磁気揺らぎの影響を受ける部分と相でない部分にはっきり色分けされるという二成分描像を提唱した。すなわちこれまでの理論はスピンの理論であって、フェルミ面という視点が欠けていたことになる。本研究にいたるまで、このような視点が欠けていたのは、今までの試料が比較的多くの不純物を含んでいたために、フェルミ面上の異方性がぼやけたことによると議論した。

第四章では、幾何学的フラストレーションの効果によって磁気秩序が抑制されている Laves 相 YMn_2 について、圧力下で量子臨界相を実現した結果が述べられている。非磁性相にもかかわらずフェルミ面の大きさが圧力変化することを見出した。この事実はフェルミ液体論の延長としての量子臨界相の記述が破綻していることを意味する。その起源として、金属から絶縁体への一次転移に伴う相分離の可能性が議論された。

第五章では、マグネリ相 $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$ ($n=4,5,6$) について電子-格子相互作用が絡んだ臨界点を探索した結果が述べられている。電子濃度が減少するに伴い、格子との相互作用が強くなり、バイポーロン固体としての性格が強くなる。この系では電子間相互作用と電子格子相互作用の共存・競合というユニークな量子臨界相が実現していることが明らかにされた。

第六章では、パイライト型 CuS_2 を量子臨界点近傍の金属と予測し、その物性を調べた結果が述べられている。その結果、この物質が磁気的量子臨界点からはるかに遠い領域に位置していることを明らかにした。すなわち、この物質は遷移金属の d 電子が主役を演ずる磁性体に近い金属ではなく、S の p バンドに存在する伝導電子が主役を担う硫黄の分子結晶と見なすべきユニークな金属である。

第七章では、本論文で得られた結果がまとめられ、量子臨界相の基礎学理の理解に対する本研究の貢献が強調された。

以上を要するに、本論文は、圧力・低温複合極限環境の創成技術を飛躍的に向上させ、それを用いて強相関電子物性・機能開拓の新しい舞台である量子臨界相の基礎学理を明らかにした。この点で物質・材料科学の進展に貢献するところが大きい。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文としてに合格であると認められる。