

スピンのゆらぎの理論の諸問題

物性研 守谷 亨

磁性金属の有限温度の諸性質は一般にスピンのゆらぎの性質によつて支配される。図(A)はスピンのゆらぎの性質による磁性体の分類を示す。

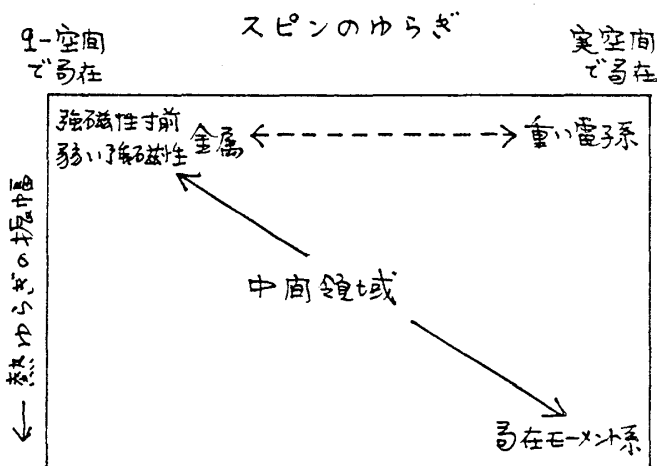
d金属では図の対角線に沿つて考えればよく、その両端にある二つの極限において理論は一応確立している。中間領域に対しては断熱近似の理論が定性的に成功しているとは云うものの、スピンのゆらぎの動的理論を確立することが残された重要課題である。この問題の特徴として図(B)にゆらぎのエネルギー的ひろがり(減衰係数) Γ と T_c 及び有効質量比 m^*/m との関係を示す。4f金属もその多くは局在モーメント系に属する。

図(C)には図(A)の破線に沿つて磁気秩序が発生しない(或いは弱い磁気秩序が発生する)場合の Γ と m^*/m の関係を示す。右端に属する重い電子系は或る種のf金属、特にCe, U化合物に見られ、局所的なスピンのゆらぎによつて m^*/m が非常に大きくなる。その機構の一つは近藤効果と考えられるが、その他の可能性もある。

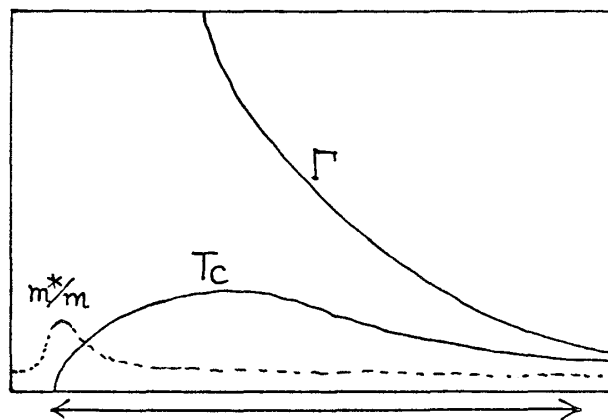
これらの図で示された領域の中、図(B)の中間部分と図(C)の右側部分が主要な未解決領域である。

ここでは次の諸問題について述べる。

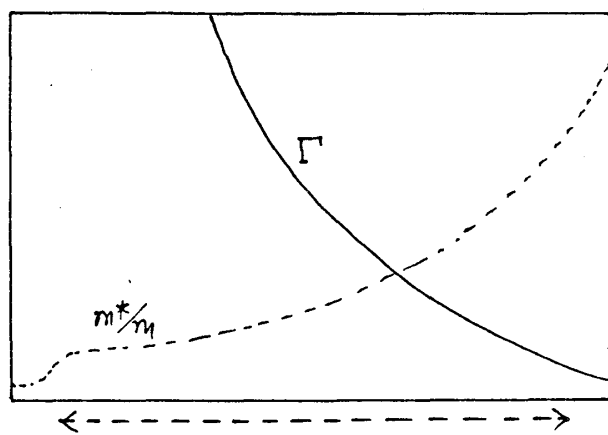
- (1)有効質量増大の一般的考察
- (2)強磁性す前の金属に見られる $\chi(T)$ の極大と $M(H)$ の異常
- (3)温度上昇による強磁性の発生
- (4)零点ゆらぎの問題
- (5)中間領域(図B)の理論について



(A)



(B)



(C)

(1) 有効質量の増大

d 金属の基底状態はバンド理論でよく記述されると言われている。実際計算されたフェルミ面は実験結果をよく再現するし、磁気秩序が大きく発達したFeやNiなどでは有効質量も実験とよく一致する。併し乍ら弱い強磁性金属や強磁性す前の金属では有効質量の実測値は計算値の数倍大きく、これはスピンのゆらぎ(主に長波長成分)の効果として説明される。一方重いf電子系UPt₃のバンド計算は、最近測定されたフェルミ面をよく再現するが、有効質量の実測値は計算値の20余倍である。これも局所的なスピンのゆらぎによる効果であり、いずれの場合にも十分低温($T \ll T_c$)でフェルミ液体理論が成り立つと考えられるから、図(c)の $T \ll T_c$ が成り立つ領域全般でこの問題を統一的に記述できる可能性がある。このような観点から比熱について一般的に考察する。

(2) $\chi(T)$ の極大と $M(H)$ の異常

多くの強磁性す前の金属、たとえばTiBe₂、や重いf電子系、たとえばUPt₃、などで $\chi(T)$ の極大が観測されている。これに対する解釈として平均場近似によるものは論外として、単純なフェルミ液体に対する多体効果と、スピンのゆらぎに対するバンド構造の効果とが考えられて来た。

一般のフェルミ液体における多体効果として、 χ に対する $T^2 \ln T$ 項の存在が提案されたが、現在では少なくとも長波長のスピンのゆらぎからこの様な項は出て来まいとされている。一方自由エネルギーに対する零点ゆらぎの寄与として $M^4 \ln M$ 項の存在が指摘されたが、これは例えばTiBe₂における実験結果を説明する大きさには程遠いようである。

現在両者を共に説明できる可能性のあるものとしてはスピンのゆらぎに対するバンド構造の効果があるが、それに対する理論は静的近似に頼っており、この問題に対する動的ゆらぎの理論を展開して確認する必要がある。また重いf電子系の $\chi(T)$ の極大は状態密度の効果と予想されるが、更に検討を必要とする。

(3) 温度上昇による強磁性の発生

Y₂Ni₇ について報告されているこの現象は、従来のSCR理論で展開の4次の係数を負とし、正の係数をもった6次の項をとり入れることでは説明されない。更に高次の効果までとり入れれば理論が必要なのか、或いは新しい多体効果があるのか、今後の課題である。

(4) 零点ゆらぎの問題

従来のSCR理論では零点ゆらぎの温度変化を小さいと看做して無視して来た。この効果を正しく評価することは困難ではあるが、望まれる課題である。最近提案された仮説を含めてこの問題について議論する。

(5) 中間領域の理論について

現存する理論は殆んどすべて静的近似を用いているが、その範囲で従来説明のつかない多くの現象に対して定性的乃至半定量的な説明を与えて来た。これらの理論の特徴はスピンのゆらぎの局所的平均自乗振幅 S_L^2 を温度に依存する重要な変数として自己無接着に計算する点であり、金属磁性に特有の多くの重要な性質が S_L^2 の温度変化から説明されて来た。動的理論の展開が今後の重要課題である。