

ランダム磁場効果による相転移の破壊

お茶の水大理 池田 宏信

磁性体の秩序変数に共役な磁場としてランダムな磁場をかけたときの相転移および秩序状態の問題を考える。イジング磁性体にこのような磁場をかけたとき、相転移を示すかを示さないかの境界次元 (d_c) が、無磁場中のそれ ($d_c=1$) よりも1だけ上がるという Imry と Ma の主張にこの問題は端を発している。その後多くの理論研究がなされ、現在次元のシフトが1であるかあるいは2かということと論争が続いている。もし次元のシフトが2であれば、ランダム磁場中での d_c は3となり、現実には存在する3次元または2次元磁性体にランダム磁場をかけると、系の相転移は破壊され低温における磁気的長距離秩序相は消失してしまうことになる。この状態では、ミクロなコヒーレンシーのみをもつスピンのクラスタ、つまりマイクロドメインがあらわれる。

この問題を定量的に調べるきっかけを与えたのが、1979年の Fishman と Aharony の論文である。彼らは、希釈反強磁性体のスピン軸方向に一樣な静磁場をかけることにより、ランダム磁場が生成されることを主張した。つまり、静磁場によって誘引されるスピンの並びが、その周囲の交換相互作用のランダム配置を反映して、各サイトにあるスピニランダム磁場をおよぼすことを示した。実験はこの論文の直後から進められ、2次元イジング反強磁性体 $Rb_2CoMgCl_4F_4$ 、3次元イジング反強磁性体 Co_2ZnFe_2 , Fe_2ZnFe_2 , Mn_2ZnFe_2 , $Fe_2Mg_2Cl_2$ 等の希釈-軸性磁性体を中心に米国を主とした多数の実験家によって進められてきた。手段は、中性子散乱、磁化、比熱、磁気複屈折、NMR、超音波吸収等と多岐に亘っているが、研究初期の新現象の発見の段階を経て実験が進展するにつれ、いろいろと問題点も出てきている。多くの文献がすでに出版されているので、これらをくわしく紹介することはやめ、その概略を述べるにとどめる。

ランダム磁場によって長距離秩序が破壊されることは中性子散乱によって直視できる。事実、上記の2次元、3次元磁性体について、磁気ブラッグ散乱は静磁場の増大とともに強度が減少し、かつ、遷移空間での増大がみられている。この中の増大は、実空間でのスピンのコヒーレンシーが有限になったことを示し、系はマイクロドメイン状態に移行したことを意味する。ただ問題としては、中の増大は試料を高温から磁場中冷却したときのみ観測され、他方、零磁場冷却後に磁場をかけても長距離秩序は壊れないことがある。しかし後に、磁化測定によって、磁場中冷却した状態が平衡状態であることが確認されたので、これらの中性子散乱は d_c は3なりしはそれ以上であることを示唆している。ただ、上の試料のうち $Fe_{0.7}Mg_{0.3}Cl_2$ は中性子散乱強度のヒステリシス現象、時間変化等に他とは異った奇妙な振舞がみられている。

磁化測定にも興味ある現象が確認されているがその特徴は、(1) 極小磁場で測定した平行磁率率はネール温度が発散する。(2) この発散は測定磁場の増大(ランダム磁場の増大)とともに押えらる。(3) 磁場中冷却した試料は低温で remnant 磁化(強磁性磁化)

をもつ。この強磁性磁化は、ランダム磁場によつて反強磁性長距離秩序が破壊され有限サイズのドメインに移行したことによつて出現する。(4) 零磁場冷却した後磁場をかけると強磁性磁化はマクロなタイムスケールで増大し、磁場中冷却時の値に向つて緩和する。つまり、ランダム磁場をかけると系の秩序を壊すにはマクロな時間を要する。これらの現象は上記の中性子散乱実験と矛盾なく理解される。

比熱の実験は Mn_2ZnF_2 , Fe_2ZnF_2 , Fe_2MgCl_2 についてなされている。 Mn_2ZnF_2 , Fe_2MgCl_2 の比熱の発散は零磁場でのみ観測され、静磁場の増大と共に発散は消えてピークはつぶり、相転移が消失したことを示唆している。一方、磁気複屈折の温度微分 (Mn_2ZnF_2 , Fe_2ZnF_2) は磁場の増大とともにますますシャープに発散することが観測され興味を呼んでいるが、この現象の説明は将来明らかにされねばならない。

以上が希釈反強磁性体を用いた実験の概要であるが、リエントラントスピングラス、異方性の競合する磁性混晶の相転移についてもランダム磁場効果の概念が有用であることが指摘されている。しかしながら、希釈反強磁性体を用いた研究が進むにつれ、実験と理論との定量的一致は必ずしも満足できないことも明らかになりつつある。たとえば一例として、ドメインサイズの磁場依存性とか、ダブルローレンツ型散乱関数を用いた解析法の唯一性等、今後細部にわたって吟味すべき課題も残されている。