

μSR法は 偏極したミュオンのスピンを 微視的な 磁気プローブとして用いる方法であり、ミュオンの位置に於る局所的場の影響を通じて揺動を受けたスピンの方向の変化や緩和を 崩壊過程で出くる陽電子の分布から求めることができた。

大きく分けて、μSRには 横磁場回転法 (Muon Spin Rotation) 縦磁場緩和法 (Muon Spin Relaxation) 共鳴法 (Muon Spin Resonance) 再偏極 (Muon Spin Repolarization) 等がある。

μSRによるスピングラスの研究は、1976年に Fiory らによって ミュオンスピン横磁場回転法を用いて始められた。彼らは 横磁場中に於る ミュオンの横緩和が 希薄合金 (金-鉄, 銅-マンガン) の 転移点近傍で 大きく変化することを見出し、転移点以下では 磁性不純物分子のモーメントにより ミュオンの位置での局所場の揺りが生ずる として説明した。

横磁場回転法に対し、全く新しい方法論が、山崎、植村らを中心とする東大グループによって TRUMF の中間子工場に於て 始められた。縦磁場のもとに於る ミュオンスピンの縦緩和 函数を 求めることにより ミュオンスピンの感じる局所的磁場分布を 直接的に 得ようとする試みである。

この試みは 希薄合金スピングラスにも用いられた。金鉄合金の場合、パラ状態に於ては 鉄のモーメントが非常に速く揺らぎている為 ミュオンスピンは ほとんど、緩和を受けないが 転移点に近づくにつれ ミュオンスピンの縦緩和は 増加してくる。特に 転移点直下では 急激な 緩和の増加が見られるが、偏極零へ向って、緩和しており 局所的な場が 静的なものではなく、動的なものであることを示している。さらに低温、ほぼ $\frac{1}{2}T_g$ (転移点) では 静的局所場の 特徴である 偏極の成分が現れてくる。局所場の大きさに相当した非常に早い緩和で 各偏極にまず変化し、さらにゆっくりと、この成分が緩和していきが見られる。

銅-マンガン合金の場合も 同様な 温度変化が 観測されるが、さらに銅原子の核磁気モーメントの作る局所場の効果が 重量として その縦緩和函数に 顕著に現われている。

しかしながら 縦磁場縦緩和法のみでは、スピン緩和が 静的なものか 動的なものか 断定することが不可能であるので 縦磁場による 偏極回復 (Decoupling) を用い、これを チェックする試みが 銅-マンガン合金に於て なされた。

$T > 1/2 T_g$ では 緩和の磁場依存性は 見られず、重力的であることが、 $0.1 T_g$ 以下では 緩和の縦磁場による回復が見られ、ほぼ 静的な局所場であることが 証明された。

ミュオンの感じる 局所場が 単一の相関時間を持ち、又局所場が ランダムな分布

を しているとしたモデルにより 相関時間の温度変化を 求めることができる。

T_g 近傍で 10^{-8} 秒 $1.2 T_g$ で 10^{-10} 秒 $0.5 T_g$ で 10^{-6} 秒 程度の値が得られた。ただ $0.9 T_g$ に於ける Decoupling は この単一相関時間モデルでは 解釈できなかった。Edwards Andersonモデルを用い、ミュオンの感じる局所場が 静的部分と 揺動している部分の和であると仮定し 緩和函数を フィットし 一応の一致を得ている。

このモデルによるアプローチは 金鉄合金でも 追試され、静的な部分が T_g 以下 低温に 近づくにつれて増加し 動的部分が減少していることが示された。ただし、動的成分の緩和時間は T_g 以下 大きな変化を示さない。又 中性子散乱等の実験とも比較され、一致が得られている。

現在までの μ SR法による 希薄合金スピニングラスへの応用は データ解析その解釈に於て、モデルに依存している面もあり、動的成分と 静的部分と云った単純な二分法で説明しつくされるのか、それとも 局所場の大きさに分布があるように 相関時間にも分布があるか、又 その相互の分布に相関はないのか 等々の問題は 解明されている。

特に この点について KEKに作られた プースター利用の UT-MSL (東大中間子実験施設) のミュオン工場の パルス状ミュオンビームは その長い観測時間 (20 μ 秒) から 精密な より長い時間にわたる 緩和函数の測定に最適であり、スピニングラスの実験が 計画されている。又 ミュオンビームに先行して、パルス磁場をかけ 残留磁気に見られるような不純物磁気モーメントの緩和を ミリ秒の領域で 観測する方法等も考えられている。

さて希薄合金以外のスピニングラスについては 競合する相互作用のもとでの結晶スピニングラス $(\text{FeTiO}_3)_{0.8}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.2}$, 非晶質非電導スピニングラス $(\text{Co})_{40}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{10}(\text{SiO}_2)_{50}$ 等に於ても μ SR法は 試みられており、その動的振舞いの差が明らかに なりつつある。希薄合金の場合の転移点近傍の急激な緩和の変化に対し、 $(\text{FeTiO}_3)_{0.8}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.2}$ では $3T_g$ から T_g の間で、又 $(\text{Co})_{40}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{10}(\text{SiO}_2)_{50}$ では $10T_g$ も $2T_g$ の間で、ゆるやかな変化が観測されている。これは 一様にスピニングラスと云われているも、実はスピニングラスの種類によって 動的振舞いが異なっていることを示している。

以上 現在までのスピニングラスの μ SR法研究について概観したが、詳しくは、「ミュオン 零磁場 緩和法によるスピニングラスのダイナミクスの研究、山崎敏光 論」が 報告書としてまとまっているので 参照して欲しい。