

1. 強い電子相関をもつ系

(高濃度近藤系, 高温超伝導体)の高圧下における核磁気共鳴

青木 宏

高濃度近藤系、高温超伝導体共に、局在スピンの状態(例えば、局在電子の局在の強さ、局在スピンの秩序性等)が測定される物理量の温度依存性等に大きな影響を与える。例として、典型的な高濃度近藤系(CeCu_6)の電気抵抗の温度依存性を図1に示す。伝導電子スピンの局在スピンによる磁気的な散乱の効果で、室温から温度低下に伴い電気抵抗は増加する。ところが、さらに低温では高濃度近藤系の局在電子は周期的に配列しているため遍歴化し電気抵抗は温度に従い減少する。一方、2つの系における局在電子のバンドは、伝導電子のフェルミレベル付近にある。圧力によるフェルミレベルの変化により、局在スピンの状態は大きく変わる。また、局在スピンの揺らぎは核の位置に磁場の揺らぎをつくり、核スピン緩和をおこさせる。そこで高濃度近藤系、高温超伝導体のような、強い電子相関を持つ系での局在スピン状態の圧力や温度による変化を微視的に調べる目的で、高圧下における核磁気共鳴の実験を行った。

図2に、4.2Kにおける CeCu_6 のCu核のスピン-格子緩和時間(T_1)の圧力依存性を示す。圧力により T_1 は長くなった。 CeCu_6 のCu核の T_1 はCeの4f電子と伝導電子との交換相互作用に起因した揺らぎで決まる。圧力による T_1 の増加は、伝導電子と4f電子の交換相互作用定数(J)とフェルミ面の状態密度($N(0)$)の積の増加を示す。高濃度近藤系の基底状態では、4f電子の局在性の消失により T_1 と温度の積は定数(コリン関係)になる。図3に1bar、高圧下での $1/(T_1 T)$ の温度依存性を示す。1barでは1K付近において $1/T_1 T$ は温度低下と共に増加しているが、高圧下では1K以下の低温では $1/T_1 T = \text{const.}$ が成り立っている。圧力によって、より高い温度まで基底状態が安定に存在するようになったと考えられる。

La_2CuO_4 の ^{139}La スピン-スピン緩和時間(T_2)は温度によらず一定であった。Baを混入すると $1/T_2$ に温度低下に従い極大、発散がみられた(図5参照)。その極大、発散点の温度を T_c^* として、帯磁率から求められていた相図に書き加えたのが、図4である。この緩和異常は、磁気的な秩序を持つ相と超伝導相をつなぐ新しい相の存在を示唆しているように思われる。高圧下における、 $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ ($x=0.02$ の場合)の緩和時間 T_2 の測定結果を図5に示す。圧力効果は、5K付近より低温側で顕著にみられた。1barにおいて T_c^* より低温側では低温になるに従い減少した $1/T_2$ は、5K付近より低温になるに従い増加した。このインフレスされた緩和時間の温度依存性をみるため、図6に高圧下における $1/T_2$ の値から1barの $1/T_2$ の値を差し引いた $1/T_2$ の温度依存性を示す。これから、緩和時間は温度に比例するという結果が得られた。圧力によりCuスピン間の超交換相互作用の有効定数(J_{eff})は増加する。高圧下でのインフレスされた緩和時間は J_{eff} の増加に起因すると考えられる。

圧力は、局在電子間、或は、伝導電子との交換相互作用を増大させる。圧力により、 $CeCu_6$ では基底状態がより高温まで安定に存在するようになり、 $La-Ba-Cu-O$ 系では低温での緩和機構がエンハンスされた。緩和という動的な側面から局在 d 電子を調べられる核磁気共鳴を、高圧下において行う事は、強い電子相関をもつ系の基底状態を調べる上で、有力な方法であると思われる。

1) Y. Onuki, K. Shibusaki, et al.: J. Phys. Soc. Jpn. 54 (1985) 2804

2) K. Kumagai, I. Watanabe, et al.: Physica B148 (1987)

