

超音波を用いたスクッテルダイト化合物の弾性特性の研究 ～PrFe₄P₁₂を中心に～

岩手大 工 中西良樹*、熊谷智之、吉澤正人**

岩手大学では充填型スクッテルダイト化合物の特異な物性を超音波を用いた弾性特性の側面から研究を行っている。取り分け希土類イオンの J 多重項の結晶場基底状態に関する知見は希土類化合物の低温における振る舞いを理解する上で極めて重要である。そしてこの基底状態を決定する上で弾性定数の測定は極めて有力な手法である。これまでに岩手大学で扱ってきた物質とその物性および結晶場基底状態について下記にまとめる。

LaFe₄P₁₂ (参照物質；超伝導) [1]、**PrFe₄P₁₂** (Γ_3 non-Kramers 二重項；AFQ 秩序?) [2-4]、**NdFe₄P₁₂** ($\Gamma_8^{(2)}$ 四重項；強磁性) [1, 5]、**LaRu₄Sb₁₂** (参照物質；超伝導) [6]、**CeRu₄Sb₁₂** (不明；non-Fermi 液体) [7]、**PrRu₄Sb₁₂** (Γ_1 一重項；超伝導) [6]

<<最近取り組んでいる系>> Pr-LaFe₄P₁₂ (秩序の崩壊、強磁性誘起)、**SmRu₄Sb₁₂** (M-I 転移、AFQ 秩序)

この物質群の中で取り分け興味を引くのは PrFe₄P₁₂ であり、今回の研究会においても PrFe₄P₁₂ のこれまでの研究のまとめと今後の方針について紹介する。PrFe₄P₁₂ で問題となっている点は Pr 化合物において有効質量比が 80 もの準粒子がフェルミ面を形成している点であり、またゼロ磁場下での 6.4 K における転移である。[8-9]我々の弾性定数の結果は C_{11} と $(C_{11}-C_{12})/2$ の温度変化において 30 K 近傍から僅かなソフト化が観測され 6.4 K で転移に伴うハード化が見られる。一方、 C_{44} にはソフト化は観測されない。一方、磁場中において $(C_{11}-C_{12})/2$ に磁場印加に伴う大きなソフト化が出現する。そして低温相が磁場で消失した 8 T 付近でソフト化は最大となり、その後は、磁場増加に伴いソフト化は抑制されていく。この結果を Pr イオンの結晶場基底状態を反映した振る舞いであると考察すると基底状態は Γ_3 non-Kramers 二重項であると考えられる。そして磁場中での振る舞いを考察すると仮に励起状態に磁気的な準位 (Γ_4 , Γ_5 等の三重項) が存在した場合、磁場下ではゼーマン項を通じて Γ_3 non-Kramers 二重項の縮退を解くようにはたらく磁場下でのソフト化の増大は期待出来ない。これまでの我々の実験結果の解釈は次のようなものである。まず dHvA 効果、比熱等の結果を考慮し四重極近藤効果が生じていると考えられる。[8-9]従って低温、ゼロ磁場において non-Kramers 二重項が有する四重極モーメントが伝導電子により遮蔽の影響を受けている。これが C_{11} と $(C_{11}-C_{12})/2$ のソフト化を小さくしていると考えている。そして磁場増加に伴い 8 T までは、結果を解析する限り、四重極モーメントの期待値が磁場により増加（つまり四重極モーメントの遮蔽が軽減される）する振る舞いを見せる。そして 8 T 以上でゼーマン項による non-Kramers 二重項の縮退が解けソフト化が抑制される振る舞いに移ると考えられる。

しかし、基底状態についてはほぼ non-Kramers 二重項と考えられるが、励起状態については不明である。エントロピー、中性子非弾性散乱等の結果を考慮しても現時点では未だ励起状態については明らかになっていない。[9-10]

尚、本研究は菅原仁（都立大理）、松田達磨（都立大理）、佐藤英行（都立大理）、山口隆（新潟大院自然）、間広文（新潟大院自然）、根本祐一（新潟大院自然）、後藤輝孝（新潟大院自然）、関根ちひろ（室蘭工大工）、城谷一民（室蘭工大工）との共同研究である。

*e-mail; yoshiki@iwate-u.ac.jp ** e-mail; yoshizawa@iwate-u.ac.jp

Bibliography

- [1] Y. Nakanishi *et al.*, (in preparation).
- [2] Y. Nakanishi *et al.*, Phys. Rev. **B 63** (2001) 184429.
- [3] Y. Nakanishi *et al.*, (submitted to Phys. Rev Lett).
- [4] Y. Nakanishi *et al.*, (to be published in Acta Physica Polonica B).
- [5] Y. Nakanishi *et al.*, Physica **B 312-313** (2002) 827.
- [6] T. Kumagai *et al.*, (submitted to Physica B).
- [7] Y. Nakanishi *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **71** (2001) Suppl. 249.
- [8] H. Sugawara *et al.*, J. Magn. Magn. Matt. **226-230** (2001) 48.
- [9] Y. Aoki *et al.*, Phys. Rev. **B 65** (2002) 064446.
- [10] K. Iwasa *et al.*, Physica **B 312-313** (2002) 837.