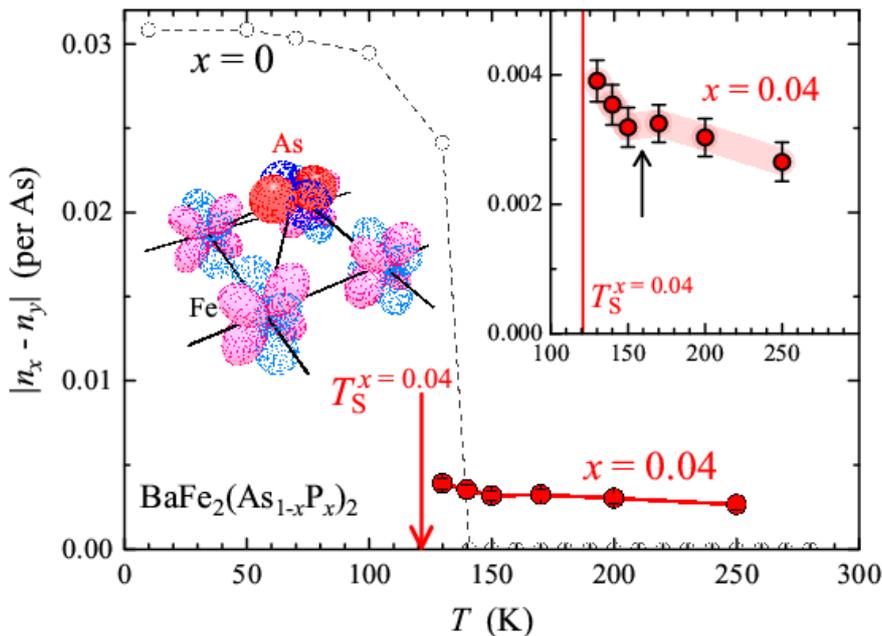


鉄系超伝導体における電子軌道対称性の破れ

2008年に神原、細野らによって発見された鉄系超伝導体は、結晶構造、超伝導を引き起こす化学置換、磁性・超伝導相図の多様性のため、統一的な理解を目指した研究が続けられている。そして研究が進むにつれ、格子の自由度と Fe サイトの軌道とスピンの自由度が複雑に絡み合っている系であることが認識されるようになってきた。つまり、鉄系超伝導体は結晶場、電子軌道、電子スピンという固体物理の全ての「役者」が登場する研究舞台を提供していることがわかる。したがって、この物質系における 30K を超える高い転移温度を持つ超伝導を解明するためには、それぞれがどのように関係し合っているかを理解する必要がある。

京都大学、並びにフランス(Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, LNCMI-CNRS) のメンバーからなる研究グループは、 BaFe_2As_2 の As サイトを同価数の P で置換した系 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ に着目し、単結晶 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.96}\text{P}_{0.04})_2$ において(FeAs)面内の異方性を ^{75}As 核の核磁気共鳴(NMR)実験よりミクロな観点から調べた。その結果、構造転移以上の正方晶の温度域において ^{75}As -NMR の共鳴線が低温で見られる斜方晶軸に沿って二回対称性を示すことを見出した。室温で見られる僅かな二回対称性は、低温になると大きくなり 160 K あたりから顕著になる。この 160 K は磁気トルク[1]や光電子分光[2]の測定から二回対称性や擬ギャップ、Fe の軌道秩序が報告されている温度とほぼ一致しており、巨視的測定ばかりではなく微視的測定からも正方晶温度域で二回対称が現われていることが明らかになった。

^{75}As -NMR の共鳴線幅は、 ^{75}As 核を取り巻く電場勾配の大きさによって決まっており、今回の場合は As サイトの $4p_x$ 、 $4p_y$ 軌道の電子の占有率に依存する。実験結果をこのモデルに基づいて解析したところ、 $4p_x$ と $4p_y$ 軌道の電子の占有数の差は構造転移が起こる温度では全体の 15%程度であることがわかった。また As サイトの $4p_x$ 、 $4p_y$ 軌道は Fe サイトの $3d_{zx}$ 、 $3d_{yz}$ 軌道と結合していること



図：As サイトの電場勾配の異方性から求めた $4p_x$ 、 $4p_y$ 軌道の電子占有数の差 $|n_x - n_y|$ の温度依存性。点線は BaFe_2As_2 ($x=0$)。右上挿入図は $x=0.04$ のデータの拡大図。左下図は Fe と As サイトの電子軌道の概念図

より、Fe サイトの軌道の分裂は As サイトの電場勾配の測定を通して観測できることが示された。また、今回の微視的な測定から室温付近の温度でも既に二回対称性が現われていることが明らかになったが、これに関して同研究グループは、P を置換することにより物質の持っている二回対称性の動的性質が静的になり観測しやすくなった可能性を指摘し、電荷密度波を示す 1D-NbSe₃ の実験結果[3]との類似性を指摘している。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2015 年 4 月号に掲載された。

構造や磁気状態を調べる測定に比べ、軌道状態を調べる測定手法は少ない。本研究は、核サイトの電場勾配の測定が電子の軌道状態を知るよいプローブになることを示した。今回の実験からも明らかになった軌道状態と構造や磁気の転移の関係、160 K の異常は相転移なのかそれとも高温からのクロスオーバーなのか等の問題は、今後更なる実験によって明らかにしていく必要がある。

- [1] S. Kasahara, H. J. Shi, K. Hashimoto, S. Tonegawa, Y. Mizukami, T. Shibauchi, K. Sugimoto, T. Fukuda, T. Terashima, A. H. Nevidomskyy, and Y. Matsuda: *Nature* **486**, 382 (2012).
- [2] T. Shimojima, T. Sonobe, W. Malaeb, K. Shinada, A. Chainani, S. Shin, T. Yoshida, S. Ideta, A. Fujimori, H. Kumigashira, K. Ono, Y. Nakashima, H. Anzai, A. Ino, H. Namatame, M. Taniguchi, M. Nakajima, S. Uchida, Y. Tomioka, T. Ito, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, K. Ohgushi, S. Kasahara, T. Terashima, H. Ikeda, T. Shibauchi, Y. Matsuda, and K. Ishizaka: *Phys. Rev. B* **89**, 045101 (2014).
- [3] C. Berthier, D. Jerome, and P. Molinie: *J. Phys. C* **11**, 797 (1978).

原論文

[Emergence of orbital nematicity in the tetragonal phase of BaFe₂\(As_{1-x}P_x\)₂](#)

[Tetsuya Iye, Marc-Henri Julien, Hadrien Mayaffre, Mladen Horvatic, Claude Berthier, Kenji Ishida, Hiroaki Ikeda, Shigeru Kasahara, Takasada Shibauchi, and Yuji Matsuda: *J. Phys. Soc. Jpn.* **84**, 043705 \(2015\).](#)

問合せ先：石田 憲二（京都大学大学院理学研究科）
松田祐司（京都大学大学院理学研究科）
池田浩章（立命館大学理工学部）