

第 13 回 ISSP 学術奨励賞と第 10 回日本物理学会 若手奨励賞を受賞して

極限環境物性研究部門 松林 和幸 (*現所属 電気通信大学情報理工学研究所)

このたび、第 13 回 ISSP 学術奨励賞と第 10 回日本物理学会若手奨励賞(領域 8)を受賞する機会に恵まれ、大変光栄に感じております。両賞の対象となった研究は「強相関電子系物質における圧力誘起量子相転移」に関するものですが、研究を遂行する上では上床先生をはじめとする物性研究所の皆様、共同研究者の方々に多くのご助言やご支援を頂きました。この場をお借りして心から深く感謝申し上げます。私が 2007 年の 4 月に物性研へ着任して以来、一貫して取り組んできた研究課題の一つは良質な高圧力環境(静水圧性)を維持したまま実験可能な圧力・温度領域を拡張し、高圧力下で実現する新奇な物性を探索することでした。数年以上にわたって試行錯誤を重ねた結果、従来型の高圧装置では実現できなかった極限環境領域に到達可能となり、圧力誘起超伝導や興味ある量子臨界現象を見出すことに成功しました。また、鉄系超伝導体などの圧力効果の研究においては、静水圧環境からのずれがその物性に強い影響を与えることを指摘しました[1,2]。以下では、受賞対象となった主要な研究成果について簡単にご紹介させていただきます[3,4]。

まず 1 つ目は四極子秩序の量子相転移近傍における圧力誘起重い電子超伝導の発見についてです。重い電子系物質も含む強相関電子系物質では、圧力や磁場によるチューニングによって実現される量子臨界点近傍において、非従来型超伝導や量子ゆらぎに起因する興味深い現象が観測されます。従来の多くの研究は磁気的な自由度に関するものでしたが、近年、多極子自由度を持つ Pr 系化合物において四極子秩序の量子相転移の可能性や超伝導との相関が注目を集めていました。ただし、四極子秩序は試料内の乱れや圧力の不均一性に敏感であるため、クリーンなチューニングが必要とされていました。そこで開発に成功した静水圧性のよい圧力装置を用いて常圧で強的な四極子秩序を示す $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$ の圧力効果を調べたところ、強四極子秩序が圧力によって抑制されるにしたがって超伝導が出現することを見出しました[3]。高圧下での超伝導を発見した当時は、この系が常圧で超伝導を示すことさえも報告されていなかったので、測定を行っていた学生さんと一緒にとても驚いたことを今でもはっきりと覚えています。また、上部臨界磁場の傾きから評価される有効質量は $100m_0$ を超えており、重い電子超伝導が実現していることが明らかとなりました。さらに最近に行ったより高圧域における実験結果によれば、強四極子秩序の消失や四極子近藤効果を示唆する振る舞いも観測されており、すなわち、強四極子秩序の消失にともなう軌道ゆらぎを媒介とした超伝導発現の可能性や局所的な多極子自由度がどのように伝導に寄与するのかという新たな問題を提起しており、今後のさらなる研究の発展が期待できると考えています。

次にご紹介するのは Yb 系重い電子系化合物における圧力誘起磁気秩序に関する研究です。Yb イオンの価数が 2 価(非磁性)と 3 価(磁性)の間価数状態をとる非磁性化合物に高圧力を加えると 3 価状態が安定化し、磁気秩序が誘起されることが知られており、磁気的な量子臨界現象が研究できる格好の舞台となっています。さらに興味深いことに、いくつかの物質において磁気揺らぎによる量子臨界現象の枠組みから逸脱した新しいタイプの量子臨界現象が報告されたこともあり、その起源をめぐっていくつかの仮説が提唱されていました。その中でも価数の不安定性に関するモデルについて活発な議論がなされていましたが、その実験的検証に成功した例はほとんどありませんでした。このような背景のもとで、常圧では中間価数状態で非磁性基底状態をとる YbNi_3Ga_9 に着目し、その高圧実験を行ったところ、圧力誘起反強磁性秩序が出現する圧力付近で価数クロスオーバーとメタ磁性を観測することに成功しました[4]。特に臨界圧力よりもわずかに低圧の常磁性相において見出されたメタ磁性に関しては、磁場依存性においてヒステリシスが観測されたこと、また磁場中における磁化率の温度依存では強い発散傾向が有限温度で観測されたことからメタ磁性は 1 次相転移であり、その相線は臨界点をもって終端することが明らかとなりました。これらの実験事実に加えて磁場-温度相図の詳細な解析結果を考え合わせることで、メタ磁性の起源として価数揺らぎの量子臨界現象が関与していることを提案しました。本研究結果は非従来型の量子臨界現象において価数の不安定性が果たす重要性を強く示唆するものであり、新しい量子臨界現象の起源を解明する上で重要な指針が得られたと考えています。



物性研での約 8 年間の研究生生活を振り返ってみると、地道な装置開発によって地ならしができたところにタイミングよく新たな研究の種を蒔くことができたことで実りある成果を得ることができました。これもひとえに多くの関係の方々のお力添えあつてのことと重ねて感謝申し上げます。また、物性研の共同利用で来所された研究者や学生さんと多く触れ合う機会を頂いたことは、今後の研究や教育活動の糧になると実感しています。早いもので電通大へ異動して 1 年近くが経ちましたが、物性研で培った高压技術を足がかりとして新しい測定法の開発に取り組みながら、また新たな一歩を踏み出していきたいと考えています。

受賞対象論文：

- [1] " Intrinsic Properties of AFe_2As_2 ($A = Ba, Sr$) Single Crystal under Highly Hydrostatic Pressure Conditions "
K. Matsubayashi, N. Katayama, K. Ohgushi, A. Yamada, K. Munakata, T. Matsumoto, Y. Uwatoko J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 073706 (2009).
- [2] " Superconductivity in the topological insulator Bi_2Te_3 under hydrostatic pressure ”
K. Matsubayashi, T. Terai, J. S. Zhou, Y. Uwatoko, Phys. Rev. B **90**, 125126 (2014)
- [3] " Pressure-Induced Heavy Fermion Superconductivity in the Nonmagnetic Quadrupolar System $PrTi_2Al_{20}$ "
K. Matsubayashi, T. Tanaka, A. Sakai, S. Nakatsuji, Y. Kubo, Y. Uwatoko, Phys. Rev. Lett. **109**, 187004 (2012).
- [4] " Pressure-Induced Valence Crossover and Novel Metamagnetic Behavior near the Antiferromagnetic Quantum Phase Transition of $YbNi_3Ga_9$ "
K. Matsubayashi, T. Hirayama, T. Yamashita, S. Ohara, N. Kawamura, M. Mizumaki, N. Ishimatsu, S. Watanabe, K. Kitagawa, Y. Uwatoko , Phys. Rev. Lett. **114**, 086401 (2015).