

グローバル COE プログラム
「普遍性と創発性から紡ぐ次世代物理学—フロンティア開拓のための自立の人材養成—」
双方向国際交流プログラム(BIEP, 派遣) 報告書

2011 年 9 月 28 日

派遣大学院生

氏名(ふりがな)	谷口晴香 (たにぐちはるか)
所属部局および専攻内の所属分野	物理学第一教室、固体量子物性研究室
指導教員	前野悦輝
学年	D1
メールアドレス	taniguchi@scphys.kyoto-u.ac.jp
電話番号、FAX	3744、3783

派遣先

受け入れ研究者氏名	Dr. Swee K. Goh
所属機関(国)	Univ. of Cambridge (UK)
身分	Research Fellow
メールアドレス	skg27@cam.ac.uk
研究室 URL	http://www-qm.phy.cam.ac.uk/
電話番号、FAX	+44(0)1223364159、+44(0)1223768140

共同研究

研究課題名	和文	マイクロコイル法によって解明するスピン三重項超伝導の物理
	英文	Revealing the nature of spin-triplet superconductivity with the micro-coil technique
派遣期間	2011 年 7 月 1 日～9 月 9 日	

(1) 派遣の目的：

被派遣者は修士1年時より層状ルテニウム酸化物への一軸性圧力効果を研究しており、修士1年時には磁化測定および交流磁化率測定から面間一軸性圧力下でスピン三重項超伝導体 Sr_2RuO_4 の超伝導転移温度が倍増することを明らかにした。また、修士2年時には疑似4端子電気抵抗測定から面内一軸性圧力によって反強磁性モット絶縁体 Ca_2RuO_4 が強磁性金属化することを見出しており、この Ca_2RuO_4 の強磁性を交流磁化率測定でも検出しようと試みてきた。しかし、これまでの交流磁化率測定法では、2次コイルを圧力セルの外側に設置していたため試料の充填率が低く、試料の磁化率が変化したときのコイルの電圧の変化が小さいという問題があった。

この問題を解決するにはコイルを圧力セルの中に設置することが有効であるが、その場合には圧力下でコイルの線を切らないための工夫など高度な技術が必要となる。そこで被派遣者は、静水圧下でのマイクロコイル法(圧力セル内コイルを用いた測定法)に熟達しているSwee K. Goh博士(ケンブリッジ大学)のもとへ留学し、マイクロコイル法を一軸圧測定に応用することを計画した。一軸性圧力下でマイクロコイル法による交流磁化率測定が実現すれば、一軸圧によって Ca_2RuO_4 に強磁性が誘起されることだけでなく、 Sr_2RuO_4 の超伝導秩序変数の軌道部分が多成分であることも証明しうる。(面内一軸圧下 Sr_2RuO_4 では軌道2成分の縮退が解けるため超伝導2段転移が期待されている。)そのため、スピン三重項超伝導の物理解明という点からも一軸圧下マイクロコイル法を確立する意義は大きい。



図 1：派遣先の研究室のメンバーと。

(2) 派遣による成果：

まず、派遣に先立ち、マイクロコイル法に対応できるように圧力セルおよび加圧機のデザインを改良した。さらに、派遣中の成果としては、一軸性圧力下マイクロコイル法を確立し（図2）、鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As},\text{P})_2$ や圧力誘起強磁性金属 Ca_2RuO_4 の面内一軸性圧力下交流磁化率を測定した。

また、派遣中にケンブリッジ大学で開催された国際会議“Strongly Correlated Electron Systems 2011”に出席し、修士課程での成果を発表するとともに、最新の研究トピックスについて情報収集を行った。

(3) 実際に行った研究活動：

派遣中には、日本から持っていった圧力セルと加圧機を用い、以下の順序でマイクロコイル法による交流磁化率測定を行った：

- ①銅酸化物高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($T_c = 83 \text{ K}$)、常圧下
- ②鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.625}\text{P}_{0.375})_2$ ($T_c = 29 \text{ K}$)、常圧および面内一軸性圧力 P_{1c} 下
- ③圧力誘起強磁性金属 Ca_2RuO_4 ($12 \text{ K} < T_{\text{Curie}}(P_{1c}) < 20 \text{ K}$)、面内一軸性圧力 P_{110} 下

まず、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ （液体窒素温度以上で超伝導を示すためテスト測定に最適）を用いてマイクロコイルの動作確認を行ったところ（単結晶試料はSweet博士所有のものを使用）、超伝導転移温度 $T_c = 83 \text{ K}$ において交流磁化率実部の落ちを観測できた（図3）。この結果は超伝導転移で試料が反磁性化したことを示している。さらに、同じく 83 K に虚部はピークを持っており、この振舞は超伝導転移によるエネルギー散逸を意味する（図3 挿入図）。これらの結果から自作のマイクロコイルが試料の磁化率の変化を十分に検出できることを確認できた。

次に、鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ ($x=0.375$) の交流磁化率測定を行い（単結晶試料は京大低温センター・笠原成博士より提供）、一軸性圧力下でもマイクロコイルの線を切ることなく測定する方法を確立した（図4）。一軸圧下マイクロコイル法確立のための試行錯誤段階において、目的の Ca_2RuO_4 ではなく $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ を試料として用いたのは、後者の方が磁化率の変化が大きく検出しやすいためである。（ Ca_2RuO_4 の強磁性転移では磁化率の変化が 0.01 と小さいのに対し、超伝導転移全般では磁化率の変化の絶対値が 1 と大きい。）

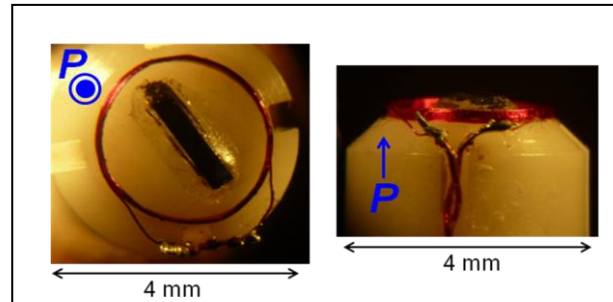


図2：一軸性圧力印加用ピストン上のマイクロコイルと Ca_2RuO_4 試料。コイルは2層（6巻き+5巻き）から成っており、直径は 2.5 mm 、用いた被覆付き銅線の太さは $30 \mu\text{m}$ である。一方、試料の高さは 0.4 mm 、底面は $2.0 \text{ mm} \times 0.35 \text{ mm}$ である。

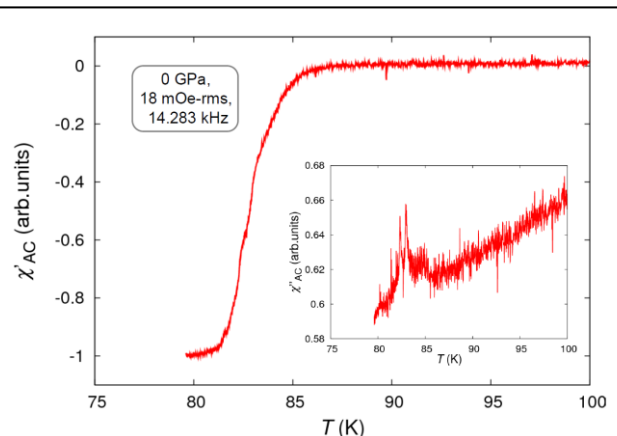


図3：銅酸化物高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ の交流磁化率実部の温度依存性。挿入図は虚部。

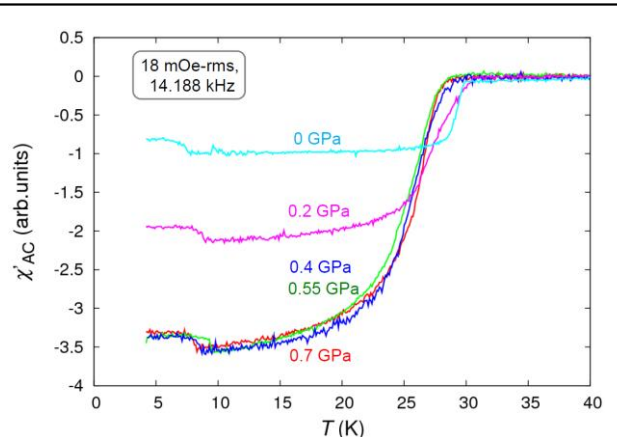


図4：鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.625}\text{P}_{0.375})_2$ の交流磁化率実部の温度依存性。～ 8 K の異常はコイル回路中のハンダの超伝導によるもの。

最後に、圧力誘起強磁性金属 Ca_2RuO_4 （常圧から構造相転移前までは反強磁性絶縁体）の交流磁化率を測定した（単結晶試料は広島大学・中村文彦助教より提供）。構造相転移を起こす前に試料が割れて強磁性は観測できなかったが、試料が強磁性化した場合に検出可能なだけのS/N比を出すことはできた。また、圧力解放後の試料およびコイルの様子から、構造相転移を起こすまで試料を割らずに維持する方法について、方針を立てることもできた。本派遣で確立した一軸圧下マイクロコイル法は、日本から持参した圧力セルと加圧機を用いたものであり、京大に戻ってもすぐに実践できる。そのため、帰国後も引き続き Ca_2RuO_4 の面内一軸圧下交流磁化率を測定し、強磁性の検出を目指す計画である。

(4) GCOEへの今後の要望：

新しい技術を確立できただけでなく、視野を広げることもできたので、本派遣は非常に有意義でした。BIEPは京大物理GCOEの誇るべきプログラムだと思うので、これからも是非続けてほしいと思います。