

## 量子凝縮の物理学: 実験



前田 京剛 教授

前田京剛 教授 Atsutaka Maeda, *Prof.*

今井良宗 助教 Yoshinori Imai, *Assist. Prof.*

### 量子凝縮ワールドへのいざない

トランジスタの発明・超伝導の発見など、物性物理が我々の生活にもたらしている恩恵は測り知れないものがあります。物性の主役はいうまでもなく電子ですが、20年ほど前によく高温超伝導が発見されたように、物質中の電子の振舞の奥深さは我々の予測をはるかに超えています。なかでも、マクロな数の電子が量子力学の世界を具現する量子凝縮現象はその頂点ともいえるでしょう。前田研究室では「量子凝縮ワールドを解き明かす」をキーワードに、ここ数年では、以下のテーマに中心的に取り組んできました。

### 新高温超伝導体の研究

量子凝縮のなかでも最も有名な現象が超伝導現象です。特に、「今世紀最大の発見」「物性物理学への挑戦」と言われた銅酸化物高温超伝導体も発見されてから25年以上が経過しますが、未だにその発現機構を正確に理解するには至っていません。また数年前には全く新しい高温超伝導体（鉄系超伝導体）が発見されましたが、銅酸化物超伝導体との対照的な性質が、超伝導研究者に新たなフィーバーを巻き起こしました。さらに最近では、トポロジカル超伝導体と呼ばれる、これもまた全く新しいタイプの超伝導体の存在の可否が実験的に大論争になっています。我々は、これらの新超伝導体について、(1)新超伝導体の開発 (2)発現メカニズムの解明(3)新しい現象の探索 (4) 応用への礎造り のいずれの切り口からも研究を行っています。実験研究室として、手法面では、マイクロ波・ミリ波領域の電子物性測定を主要な武器として、独自の計測手法を開発しながら研究に取り組んできました。

以下でいくつかを挙げると、(A) マイクロ波を用いた超伝導の前兆現象（超伝導ゆらぎ）の研究から、高温超伝導メカニズムに関する重大情報を世界に先駆けて提供することに成功しました（注目論文に選ばれる）。最近では、更なる高周波数化に挑み、テラヘルツ波領域の伝導度測定システムを新たに建設し（次頁上図）、上述のマイクロ波測定からの推論が正しか

ったことを自ら確認することに成功しました（次頁上図）。(B) また、鉄系超伝導体では、この物質の最も特異な部分を代表する特徴的素励起（ディラック粒子）のダイナミクスの発見にも成功しました。(C) トポロジカル超伝導体周辺で新超伝導体を発見しました。

### 超伝導薄膜・ジョセフソン接合を用いた研究

前項で触れた最近話題の新高温超伝導物質ですが、上記のような我々の得意とする手法でアタックするためには、最高級の薄膜試料が必要です。ここ2-3年ほどの研究で世界最高品質の薄膜が作製できるようになり（最多引用論文10選に選ばれる）、超伝導発現機構解明に重要な情報を与える研究を世界に先駆けて行っています。今年は、いよいよ人工超格子の作製や、ジョセフソン接合（超伝導トンネル接合）を作製し、さらなる高温超伝導化を目指します。（次頁左図）

### 物性物理学における新しい高周波計測技術（マイクロ波～ミリ波～テラヘルツ波）と高周波顕微鏡の開発

上述の様に、物理学あるは自然科学の研究では、新しい計測手法の開発と新しい科学の発見は互いに車の両輪のような関係にあります。我々の研究室では、直流からテラヘルツ領域までの電気伝導度スペクトロスコーピーが可能で、このようなグループは世界的に見ても稀で、マイクロ波からテラヘルツ波までの高周波物性計測に関して、世界でも数少ない重要拠点を形成しています。最近では、マイクロ波顕微鏡の開発にも着手しました。これにより、最近話題の多くの物質の物性理解が飛躍的に進むと期待されます。このように、物性研究の有力なツールとして高周波電気伝導に注目するだけでなく、高周波伝導の新測定技術開発・汎用化も念頭にあり、その研究の一部は、企業との共同研究にも発展しています。

### 来たれ！

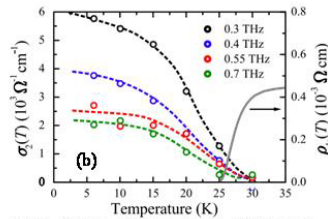
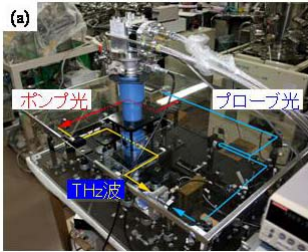
我々の研究分野では、物理の好きな人、メカいじりの好きな人はもちろん大歓迎ですが、そうでなくとも、さまざまな活躍の場が用意されています。たとえば、結晶作製に特異な才能を示す人も世界中のヒーローになれます。イッチョ、何かやってやろうという人、ぜひ覗いてみてください。物性研究の発展史を振り返ると、従来の枠組みにとらわれない広い視点の物質・物理感が必要不可欠なことは明白です。ニューエイジの意欲的な学生諸君の参加を待っています！！

<http://maeda3.c.u-tokyo.ac.jp/>

### 連絡先

教授 前田京剛 16号館 602A号室 5454-6747  
cmaeda@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

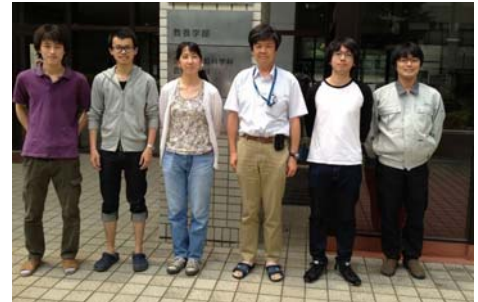
助教 今井良宗 16号館 611号室 5454-6763  
imai@maeda1.c.u-tokyo.ac.jp



テラヘルツスペクトロスコピーを利用した高温超伝導体のダイナミックゆらぎの研究

マイクロ波と可視光の間にあるテラヘルツ領域の電磁波(0.1-10THz)は、最近基礎・応用両面から非常に注目されており、新しい物質の姿が次々と明らかにされつつある。(a)のような独自に構築した測定系を用いて高温超伝導体の複素電気伝導度の虚部の温度依存性を調べた結果が、(b)である。この結果は、超伝導の前兆現象(ダイナミックゆらぎ)おこり始める温度が、超伝導転移温度の高々2倍程度であることと明確に示すものである。独自の測定システムでの精密な測定により、初めてこのような物理が解き明かされていくのである。

(上) THz スペクトロメーターと超伝導ゆらぎ  
(左) PLD 法を用いた成膜システム  
(右) 研究室メンバー



## 修士論文・博士論文の題目例

マイクロ波伝導度スペクトロスコピーを用いた高温超伝導体における超伝導ゆらぎの研究  
超伝導体の磁束量子のダイナミクスを用いた摩擦の物理の研究

## 主な著書

- 1) 前田・加藤：“物性物理学演習” (吉岡書店, 2006)
- 2) 内野倉・前田・寺崎：“高温超伝導体の物性” (アドバンストエレクトロニクスシリーズ, 培風館, 1995)
- 3) 内野倉・前田：“擬一次元物質の物性” (物理学最前線 28, 共立, 1991)
- 4) 前田京剛：“高周波測定” (実験物理学講座 11 輸送現象測定 第 2 章, 丸善, 1999)

## 最近の主な原著論文より

- 1) Nanoscale friction: kinetic friction on magnetic flux quanta and charge-density wave"; A. Maeda *et al.*; Phys. Rev. Lett. **94** (2005) 077001/1-4, also D. Nakamura *et al.*; J. Phys. Condens. Matter. **22** (2010) 445702/1-7 (IOP select に選ばれる).
- 2) Critical microwave-conductivity fluctuations across the phase diagram of superconducting  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  films; H. Kitano *et al.*; Phys. Rev. **B73** (2006) 092594/1-4, also K. Ohashi *et al.*; Phys. Rev. **B79** (2009) 184507/1-20 (Editors suggestion に選ばれる).
- 3) Systematic comparison of eight substrates in the growth of  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  superconducting thin films; Y. Imai, T. Akiike, I. Tsukada, A. Ichinose, A. Maeda *et al.*; Appl. Phys. Express **3** (2010) 043102/1-3. (2011 年 APEX most cited 10 papers に選ばれる)
- 4) Microwave surface-impedance measurements of the electronic state and dissipation of magnetic vortices in superconducting  $\text{LiFeAs}$  single crystals; T. Okada, Y. Imai, and A. Maeda *et al.*; Phys. Rev. **B86** (2012) 064516.
- 5) Investigation of the superconducting gap structure in  $\text{SrFe}_2(\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3})_2$  by magnetic penetration depth and flux flow resistivity analysis; H. Takahashi, T. Okada, Y. Imai, and A. Maeda *et al.*; Phys. Rev. **B86** (2012) 144525.
- 6) Superconductivity at 5.4 K in  $\beta\text{-Bi}_2\text{Pd}$ ; Y. Imai, F. Nabeshima, T. Yoshinaka, K. Miyatani, R. Kondo, S. Komiya, I. Tsukada, and A. Maeda.; J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 113708.

## 学生へ一言

諸君の人生に一度しかない非常に大切な若いとき！今、情熱を注いで打ち込めるものがあれば、きっと充実した人生になるでしょう。超伝導の研究はそういう魔力をもっています。

## 研究室のメンバーより一言

前田研は、最初に個人の興味に配慮された研究のきっかけとなるテーマを先生からもらった後は、ほとんど自由に研究ができる環境が整っています。自分で得た成果を国内外の学会で自ら発表し、さらに論文も執筆します。初めて学会で発表したときの感動、初めて自分の成果が学術論文として出版されたときの感動は今でも忘れられません。セミナーや輪読など、研究遂行上で必要な基礎学力をつける環境も整っています。研究室のメンバーは皆仲がよく普段は一緒に、食事したり、飲みに行ったりしますが、研究に関しては、時に厳しく、言い合う環境もあります。超伝導、物性物理に興味のある人、実験の好きな人、ぜひ前田研と一緒に研究しましょう！前田先生のブログもご参考に。