

客員所員を経験して

名古屋大学 寺崎 一郎

2014 年前期に客員教員でお世話になりました。私にとっては、中性子非弾性散乱の本格的な実験も初めてのことでいろいろ勉強になりました。中性子の実験はどうしてもマシンタイムの問題もあり、客員教員の期間中にできた実験は1回だけでした。いろいろ結果は得られたのですが、まだ何が起きているかわかりません。さらなる実験と解析をこれからも続けたいと思います。この小文では、共同研究の研究背景と J-PARC 実験で感じた雑感を書き連ねてみたいと思います。最終的な成果については別の機会に譲ります。

まずは私達の研究室名である機能性物質物性研究室の由来から説明させてください。

我々が日常目にする物質は、周期表の中にある百個に満たない元素からできており、さらにその元素は、陽子、中性子、電子の三種類の基本粒子からできています。そのような単純さにも関わらず、私たちの世界がなぜ豊かで多様であるのかを理解する学問が物質の物理学です。特に、私たちが日々経験する物質の性質についての疑問、たとえば、水がさらさらと流れるのに氷が固いのはなぜか、鉄が磁石にくっつき銅がつかないのはなぜか、アルミがぴかぴか光るのに石英が透明であるのはなぜか、は基本粒子を調べても決してわかりません。これらの性質は基本粒子が膨大な数(1ccあたり1モル程度)集まることで現れます。これは創発性(emergence)と呼ばれます。

創発性のもつ多様さと、それらの底流をなす理論の普遍性との両立が、物質の物理学の魅力です。創発性の現れ方の豊かさは私たちの想像力をはるかに越えており、その意外性がこの学問の機動力となっています。外部からの刺激に対して特異的に大きな反応を示す創発性は、我々の生活に役に立てることができます。たとえば、小さな電場に対して生じる大きな分極、小さな磁場に対して生じる大きな磁化、小さな温度差に対して生じる大きな電圧などなど。これらは物質の「機能」と呼ばれます。特に固体の中の電子が示す機能は現代社会においては不可欠の要素であり、これらを我々の役に立つように「加工」したものが素子です。これらの素子を基本として生み出されるハイテク製品が、我が国を支えて来たことは言うまでもないでしょう。私達は、最新の物理学の成果を駆使し、未知の機能をもった新物質を設計・合成することによって、物質の物理学を進歩させることを目的とする研究室です。スローガンは「新しく、面白く、役に立つ物質の物理学の研究」です。

今回、共同研究に取り上げたのは「磁気モーメントの源を探ること」でした。磁気モーメントが磁気記録をはじめとした機能材料の源泉であることは異論がないと思います。理論的には、結晶中の原子上に局在した磁気モーメントがスピン演算子として振る舞うのは、電子が各格子点に正確に1個だけ存在する場合です。それは例えば、半分占有されたハバード模型でクーロン斥力が圧倒的に大きい場合です。しかし現実の物質はそのような理想的な状況にはありません。ぎりぎり磁性が現れるような物質群に注目し、どのようなときにどのような機構で磁性が現れるのかを調べることで磁性の本質に迫りたいと考えています。

そのような目的で注目しているのが、 LaCoO_3 です。この物質の中の3価のコバルトイオンは6つのd電子を持ち、フントの規則を満たすように全スピンを最大にする配置(高スピン状態)と結晶場によって分裂したd軌道を埋め尽くして非磁性になる配置(低スピン状態)がほとんど縮退しています。そのため温度、圧力、元素置換、光照射などの様々な刺激によって、磁性と非磁性が入れ替わります。まさに「局在モーメントの源」を探る研究として格好の舞台です。これまでの長年の研究によって、低温のスピン状態が非磁性の低スピン状態であることはコンセンサスが得られていますが、有限温度での磁性については半世紀以上にわたる研究にも関わらず、未だに結論は出ていません。

私たちは LaCoO_3 の有限温度のスピン状態を正面から扱うことを避け、Coサイトの元素置換をプローブとしてその磁性を探りました。実際この酸化物は様々な元素置換によって異常な磁性を示します。その中でも私たちはロジウム(Rh)の置換効果に注目しました。この元素は周期表でコバルトの真下にあり、コバルトと化学的特性が似ています。一番の相違点は、ロジウムは非磁性の低スピン状態が圧倒的に安定であることです。私たちはロジウムの置換によっ



て $\text{LaCo}_{1-x}\text{Rh}_x\text{O}_3$ が 20 K 以下で強磁性を示すことを発見しました。 LaCoO_3 も低温では非磁性ですから、これは非磁性の酸化物に非磁性イオンを部分置換して強磁性を生み出したことを意味しています。

今回の共同研究では、J-PARC の BL12 を用いて、この強磁性の非弾性散乱を詳細に調べました。益田先生とも議論したのですが、J-PARC のようなパルス中性子を用いた実験施設の登場は、中性子研究のあり方を根本的に変えつつあるように感じました。もちろんいくつものノウハウはあるのですが、基本的には試料をセットして中性子の照射を始めれば、幅広い波数・エネルギー空間に対して自動的にデータが蓄積されてゆきます。かつては、原子炉からの中性子線源を単色化して試料にあて、どの波数のどの軸の周りにどのエネルギーのデータを取るかを工夫して、限られた時間の中でピンポイントに計測を行っていたはずで、そこには研究者の経験やセンスが反映されたと思います。ところが J-PARC での計測は、中性子の素人でも可能なほど計測が洗練されているように見えました。極端な言い方をすれば、試料の素性も知らず、実験の詳細も知らなくても膨大なデータを処理する能力があれば論文が書けるかも知れないと思いました。

私が学生だったころ、超伝導体の比熱計測は少数の専門家の独壇場の感がありました。しかし Quantum Design 社の PPMS が普及するようになり、特殊な試料や超低温でのそれを除いて比熱は「みんなのもの」になりました。同じような現象が、バンド計算、X 線回折、顕微ラマン分光などにも見られます。それは研究者集団全体には良いことなのでしょうが、関連分野の専門家を育成することにはどうなのでしょう。広く普及する装置には必ずといっていいほど使いやすいソフトウェアが備わっており、コンピュータにさえ精通すれば物理計測の詳細あるいは物理の原理を知らなくても測定や解析ができてしまいます。ソフトウェアはブラックボックス(非オープンソース)の場合も多く、そこにバグがあっても通常気づきません。こうした研究環境は、若手研究者の知的体力を奪っているような気がしています。

もちろん、私は昔のアナログ時代に戻れということを目指するつもりはありません。便利になって体力が落ちた現代人がスポーツジムに通うことで体力の低下を補うように、関連分野の若手の育成のために何かが必要ではないかと感じました。

最後になりましたが、私を客員教員に採択くださいました物性研究所の皆様、共同研究のホストとして諸事お世話下さいました益田研究室の皆様にお礼申し上げます、この駄文を締めくくりたいと思います。