

## 第6回トピカルミーティング

### 「フラストレーションと量子輸送」報告

#### 理論

今回のトピカルミーティングのお題は「量子輸送」ということで、これは本特定領域研究における様々なトピックの中でも理論的な取り組みがとりわけ難しい問題である。局在系のフラストレーションでも十分ややこしいのに、そのうえ電子が動き回ってさらにややこしいことを引き起こす。通常の強相関電子系の輸送特性の計算だって十分難しいのに、そのうえフラストレーションの効果を考えなくてはならない。もう出来ることなら頭から布団をかぶって知らんぷりしていたいところである。しかし困難だということは、未解明な点が多く残されている挑戦的な課題だということでもある。そもそも「伝導系におけるフラストレーションの効果とは何なのか?」「どこにその特徴現れるのか?」という本質的な問いは、おそらく多くの方々が思い浮かべていることだろう。そのひとつの回答として輸送現象が挙げられるのではないか、特にフラストレーション系の特質である量子揺らぎが絡んだ量子輸送現象に新しい物理がみられるのではないかというのが、本特定領域研究において A02 計画エ班における精力的な研究の推進剤のひとつであり、またこのトピカルミーティングの企図であろうと思われる。ということで理論サイドとしては、今回のトピカルミーティングはこの難題に対し果たして理論は何が出来るのかが問われる場となった（はずである）。

理論の発表は口頭発表が7件とポスター発表が9件行われ、どちらも全体の4割弱を占めていた。まず口頭発表から簡単に振り返ってみたい。初日のセッション1では、実験に関する5つの講演のあとで、石原さんによる軌道自由度のフラストレーションに関する講演があった。いわゆる軌道コンパス模型と呼ばれるモデルを三角格子やチェッカーボード格子といったフラストレーションのある格子上で調べた研究が紹介され、転移点直上での揺らぎの様子が相互作用の強さに依って定性的に変化するなどといった興味深い振る舞いが報告された。スケジュールの都合もあって、実験講演との関連が希薄だった点は惜しまれる。続くセッション2では、求（筆者）による講演のあと、実験の講演を2つはさんで大橋さんと佐藤さんの講演が行われた。求（筆者）の講演は、フラストレーションのある近藤格子系における部分秩序に関するものであった。これも関連する実験の講演がなかったことは残念である（関連するポスター発表はあった）。あとの大橋さんと佐藤さんの講演は、ハバードモデルにおけるモット転移を含む有限温度相図や、モット転移近傍での輸送特性に関するもので、どちらも計算にはクラスタ動的平均場法を用いており、内容的にもお互いに深く関連したものであった。大橋さんからは、三角格子やカゴメ格子においてホッピングに異方性を導入することでフラストレーションの度合いを制御した系に対する計算結果から、スピン相関やフェルミ面の振る舞いに、相互作用の効果として自発的なフラストレーション解消の傾向が現れることが報告された。続けて佐藤さんからは、三角格子ハバード模型において光学伝導度を計算した結果が報告された。結果にはやや予備的な部分が見られたが、フラストレーション系における伝導現象を出来るかぎり真面目に計算しようという取り組みには、今後の進展に大きな期待がもてた。

明けて2日目、理論家がみな飲んでくれで朝に弱いからというわけではないだろうが（しかし実際、ナイトセッションは随分遅くまで行われたようであった）、理論の講演は全て午後に行われた。まず桂さんと藤本さんの講演は、フラストレーション磁性体におけるスピン流のホール効果に関するものであった。桂さんの講演では、局在スピン系において熱ホール効果がもたらされる機構がスマートに解説され、その磁場・温度依存性などが具体的に議論された。講演でも断られていた通り、この講演の本質的な部分は以前のトピカルミーティングにおいて発表されたものであるが、今回は連続講演として実験研究の進展が小野瀬さんによって報告されたため、あらためて理論と実験の美しい調和を味わえたのは大変貴重な機会であった。藤本さんの講演はスピン波のホール効果に関するもので、三角格子系における具体的な議論がなされた。この内容に関しても、最近の実験的な取り組みについて、続く田畑さんの講演で報告があった。この2件を通じて、理論的に必要とされる条件や実験的な検出におけるハードルなどが活発に議論された。今後の展開がとても楽しみである。堀田さんの講演は本研究会のトリで、主に分子性導体などを念頭においた1次元電荷・スピン結合系に関するものであった。1次元といえども電荷秩序の生じる状況では磁気的なフラストレーションが生じることが指摘され、電荷ギャップ等の計算結果が実験結果との比較も含めて論じられた。完全に余談だが、思い起こせば春に理研で行なわれた立ち上げ会議の際にも、ささやかなハプニングから堀田さんがトリの講演をされ、その時も座長は常次先生であった。軽い既視感をおぼえたのは筆者だけではあるまい。

ポスター発表は2日目の昼食前に1時間半程度時間を割いて行われた。筆者は全てを見て回ることは出来なかったが、お題目である量子輸送現象に関する報告はもちろんのこと、周辺のフラストレーション現象に関する報告も含めてブロードな範囲をカバーした理論研究の報告が行われていた。会場のコンパクトさもあいまって、多くのポスターで実験・理論両サイドの聴衆が掛け合いながらの熱気溢れる議論が展開され、本特定領域の特徴ともいえる実験と理論の良いコミュニケーションが各所で見受けられた。

フラストレーションと量子輸送という難題に理論は何が出来るのか、という問いに戻って考えると、2日目に示された局在系のスピン流に関する研究はひとつの解答を与えつつあるといえるだろう。実験研究との相互作用が有効に働いている様子が見受けられ、多くの計画研究班に実験家と理論家が入り乱れて研究を推進している本特定領域の特色を活かした成果がうまれているようである。一方で、伝導電子をあらわに含んだ系における量子輸送の問題に関しては、まだ決定的な解答は得られていないものの、いくつかの萌芽的な研究が見られた。現状と問題点の確認が行われるとともに、近い将来にブレークスルーがもたらされる予感が感じられた。

(求 幸年)

## 第6回トピカルミーティング

### 「フラストレーションと量子輸送」報告

#### -実験研究の発表について

今回のトピカルミーティングの発表で目立ったのは、金属絶縁体転移や重い電子系といった、いわゆる強相関電子系の問題をテーマとした発表であった。本会議のテーマが「量子輸送」という事で、電気伝導のある金属を対象とした話を中心になるが、遍歴性の強い弱相関系ではフラストレーションの効果は期待しにくいので、強相関系がターゲットとなるのだろう。物理学会の領域の分類で言えば領域8に属するものである。個人的な事だが、筆者はこの2,3年は物理学会で主に領域3のセッションを中心に聴いているので、領域8での発表はフラストレーションがらみでも見逃す事が多い。今回の会議で強相関関連の発表をじっくり聴けたのは非常に有意義であった。全体を通しての感想は、やはり遍歴電子系のフラストレーションの物理は難しい、ということだった。色々面白い話があって、ディスカッションも盛り上がったものの、肝心のフラストレーションの話になると、格子点にスピンを置いた局在スピン描像の話になってしまう。これぞ遍歴電子系のフラストレーション、という明快な描像が欲しいというのは無い物ねだりなのだろうか？領域代表の川村先生の「その話でフラストレーションはどう絡んでくるんですか？」という、いつもの質問をあまり聞かなかったのは、答えにくい事が分かっているからなのかどうか。まだこのテーマの研究が芽の段階にある(即ち、これから花開く、はず)からこそと言えるだろう。

個別の話に入って行こう。会議最初の瀧川氏による講演と、続く松平氏の講演によると、 $\text{Hg}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$ の金属絶縁体転移は1次転移だが、 $\text{Cd}_2\text{O}_5\text{S}_2\text{O}_7$ やパイロクロア Ir 酸化物では2次転移らしい。金属絶縁体転移を示すパイロクロア酸化物として昔から有名な  $\text{Tl}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$ の転移が1次転移であったことを考えると、d電子が4dか5dかで転移の次数が変わってる様に思えるが、おそらくそう単純でもないのだろう。どの系でも金属絶縁体転移とともに磁気転移が起こっている。パイロクロア格子上の局在スピン間の磁気相関と金属絶縁体転移は密接に関わっているようで、フラストレーションが何らかの役割を果たしているであろう事が予想される。今後の研究の進展が気になるテーマである。

中辻氏の $\beta\text{-YbAlB}_4$ の発表は、近藤格子系におけるフラストレーション効果の話(とタイトルにはあったが、Ybの価数がかなり3価からずれているという話なので近藤格子と言えるのかどうか。基となる物理は同じと考えて良いのかな?)で、フラストレーションによって磁気秩序が抑制される結果、フェルミ液体でも磁気秩序相でもない新奇なスピン液体的な非フェルミ液体相が実現しているのでは、という事であった。 $\text{NiGa}_2\text{S}_4$ や $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ などに続いて面白い物質を次々と発表されるのには脱帽する。

岡本氏と清水氏(ポスター)による $\text{YMn}_{2+\delta}\text{Zn}_{20-x-\delta}\text{In}_x$ の発表も面白かった。 $\text{YMn}_{2+\delta}\text{Zn}_{20-x-\delta}\text{In}_x$ は過剰Mnのせいで真の物性が隠されてしまうが、過剰Mn濃度 $\delta$ とIn濃度 $x$ の相関関係を見だし、過剰Mnを極力減らし、 $\text{YMn}_2\text{Zn}_{20-x}\text{In}_x$ の「本当の」性質に迫っていく話には、物性研究で最も重

要なのが物質合成にある事を再認識させられた。過剰 Mn が 0 になったときに  $\text{YMn}_2\text{Zn}_{20-x}\text{In}_x$  は重い電子状態を示すのか、非常に興味深い問題である。私見ではあるが、最後の方に示された電気抵抗での  $\log T$  的な振舞が示唆的であった。この系の最近接 Mn 距離が  $5\text{\AA}$  程度と離れていることから、 $(\text{LaPd}_3)_3\text{Mn}$  などと同様に、3d 系の近藤格子になっているのかもしれない。つまり、「近藤フラストレート格子」になっているのではないだろうか。

富安氏による  $\text{Mn}_3\text{Pt}$  における部分無秩序状態の話は、遍歴電子と局在電子の実空間上での棲み分けによるフラストレーションの解消と考える事が出来、遍歴電子磁性体におけるフラストレーション効果の発現の典型例ではないかと思われる。

最後のセッションはそれまでの話からうって変わって、局在スピン系の話となった。「量子輸送」というテーマと合致したセッション内容で、局在スピン系における輸送現象、熱輸送とスピン輸送の話である。ベリー位相によってスピン伝導率の横成分が現れる話で、一世を風靡した(ている)フラストレート磁性体の異常ホール効果から派生したテーマと言っていいだろう。小野瀬氏の  $\text{Lu}_2\text{V}_2\text{O}_7$  のマグノンの熱ホール効果の話は、非常に綺麗な実験結果で、桂氏の理論の講演とセットになった流れになっており、非常に分かり易かった。一方、今回は異常ホール効果の発表は意外に少なかった(異常ホール効果がメインとなっていたのは、木田氏の  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$  の発表と高津氏の  $\text{PdCoO}_2$  のポスター発表の 2 件のみだった)。

上で触れた発表以外にも興味を引かれる発表は多数あり全ては紹介しきれない。最後に少しまとめると、全体として、完成された研究の発表というよりも、萌芽的で、従ってまだまだやるべき実験が残っている、そう強く感じさせる発表が多かった。理論の方でも色々遍歴電子系のフラストレーション効果に関し示唆的な話があり、これからの実験の指針になるように思えた。会議が終わってそろそろ 1 ヶ月が経っており、発表時よりも研究の進んだ話も多いと思われる(勿論、筆者自身もバリバリ実験をやっています)。次の機会(至近だと仙台での国際会議かな)に是非また色々話を聞かせて頂きたい。

(田畑吉計)