

## MERIT 長期海外派遣報告書

理学系研究科物理学専攻博士課程 1 年 大熊信之

2015 年 9 月末より 3 ヶ月間、テキサス大学オースティン校の Allan H. MacDonald 教授の下に滞在し、研究員の Massoud Ramezani さん、MacDonald 教授と共同研究を行った。研究内容は、「スピン軌道トルクの微視的理論」である。本研究では、私の専門分野である量子輸送方程式のフォーマリズムを用い、多バンド系におけるスピン電荷結合 Boltzmann 方程式を微視的に導出し、これを具体的な系に適用してスピン軌道トルクの大きさを理論的に見積もるということを行った。

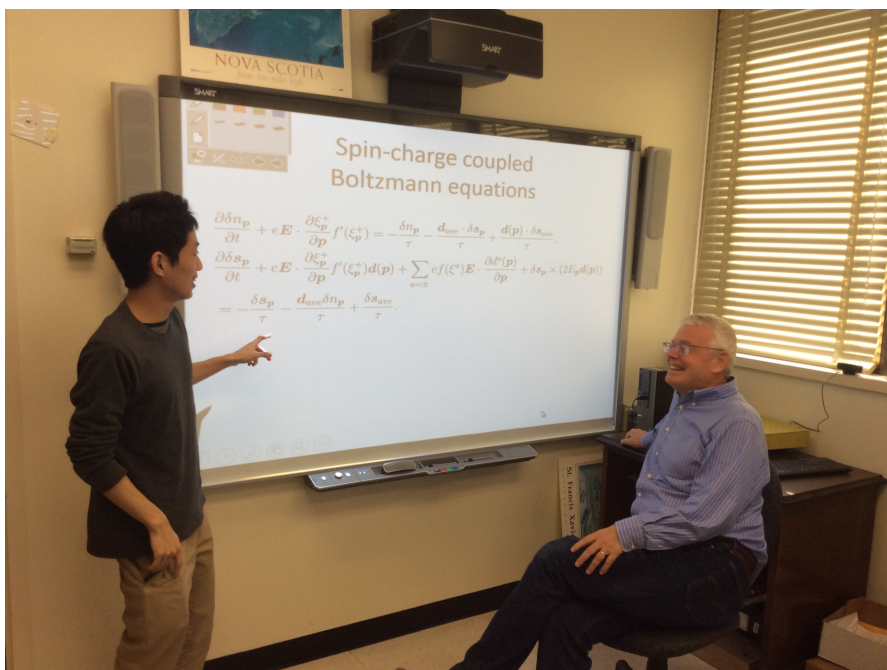
理論物理学における基本的な方法論の一つとして、最初に最も簡単なモデルを設定してそのモデルに対して理論を構築し、徐々に考察対象のモデルを高級なものに変えていくというものがある。この思想の下、我々は 2 次元 Dirac Hamiltonian を出発点に選び、研究を始めた。2 次元 Dirac Hamiltonian は近年注目を集めるトポロジカル絶縁体の表面状態を記述する Hamiltonian である。従来の輸送理論は 2 次分散を持つ電子ガスモデルを出発点に選ぶ事が多かったが、スピン軌道相互作用下の理論を考える上で我々は一見して極めて特殊な系である Dirac 系を選んだ。なぜなら、このモデルは”スピン空間の  $SU(2)$  対称性を破る = スピン軌道相互作用が存在する”モデルの中で最も簡単なモデルの一つであるからだ。このモデルの良い性質として、①バンド自由度の数がスピン自由度の数と同じ 2 である、②フェルミ面の数が 1 つしかない、が挙げられる。このモデルに対してスピン電荷結合 Boltzmann 方程式を導出し、電場下のスピントルクの解析解を特別な場合について得た。この過程を一般の 2 バンド電子系に拡張することは容易であり、この拡張までを最初の 2-3 週間で行った。最終段階として一般 N バンドにまで拡張する事を模索したが、Hamiltonian の大きさが  $N \times N$  であることに起因する拡張の困難さが生じた。この解決には  $su(N)$  リー代数の生成子や構造定数に対して成り立つ性質の知識を要求され、最終的にスピン(3次元空間内のベクトル)を一般化したもの( $N^2-1$ 次元空間内のベクトル)について Boltzmann 方程式を求めた。これらの導出と特殊な場合における解析解を得ることを滞在 2 ヶ月までに行った。更に、共同研究者と協力して Dirac Hamiltonian のパラメータを変化させた時の解の挙動を数値計算により明らか

にし、滞在期間が修了した。これらの成果は現在論文に纏めている最中である。

私はこの滞在を通して、週2回程度の議論を MacDonald 教授と行った。また、居室において共同研究者と頻繁に議論を行い、研究を進めた。英語による議論は修士2年と博士半年の間に頻繁に行ってきたが、共同研究者が日本人でないという経験は初めてであった。この過程で、通常の議論と共同研究者との議論の難易度の差を痛感する事になった。研究においては些細なミスも許されないため、担当部分における自分の成果を100%正確に相手に伝達できなければならない。このためには高い英語力を要求されるということを認識し、更なる英語力向上を目指すべきであると感じた。

この滞在において、上記の共同研究者との英語による物理の議論以外にも様々な貴重な体験をした。海外における長期滞在は初めての体験であり、海外での日常生活に慣れるのに1ヶ月程度要した。滞在先では海外の人々とルームシェアをし、寝る直前まで英語漬けの毎日であった。異分野で活躍を目指す同年代の日本人、新興国からアメリカの大学院を目指し英語を勉強している人々等、研究室の外にも多くの友人を持つ事が出来た。

謝辞: MERIT、MacDonald 研究室の方々、寮の友人達に深く感謝致します。



(写真は MacDonald 教授との議論風景)