

題目： 金属強磁性体におけるマグノン輸送現象の微視的理論  
氏名： 山口 皓史

## 論文の要約

物質の輸送特性は、これまで主に電流や熱流に注目されていたが、近年新たに、スピンの流れであるスピン流の観点に加わった。スピン流はスピン角運動量を運ぶため、これを利用した磁化反転などの物理現象が、基礎・応用の両観点から興味をもたれており、スピントロニクスという分野として活発に研究が行われている。

金属強磁性体においては、通常の電流にもスピン流が付随して流れるため、電流による磁化反転などの現象が知られている。同時に、伝導電子だけでなく、磁化のゆらぎであるマグノン(スピン波)もスピンや熱の運び手として重要になる。マグノンは、磁性絶縁体でも伝搬できるというメリットやボーズ粒子であることに起因する特異なスピン輸送を示すことから、近年特に注目されている。たとえば、YIG(イットリウム鉄ガーネット)という物質中ではマグノンが長距離伝搬することが実験的に観測され、理論的にはマグノンの非平衡化学ポテンシャルという概念で記述されることが提案されている。その他に、マグノンスピン流が磁化構造に及ぼすトルクが理論的に調べられている。しかし、これまでの理論は現象論的な仮定の上に構築されているため、その理論的正当性を含めてマグノン輸送過程を微視的に解明することが重要な課題となっている。

筆者は、金属強磁性体に温度勾配をかけた状況を念頭におき、電子とマグノンが結合した系において、マグノンの運ぶ熱流、スピン流が、伝導電子の運ぶ電流、熱流、スピン流と互いに影響を与え引きずり合う効果(ドラッグ効果)を微視的に解析した。モデルは、伝導電子系とマグノンを含む局在スピン系、その間の交換相互作用を考え、電子系におけるスピン緩和の効果も微視的に扱った。温度勾配は仮想的な重力場を導入する方法により線形応答理論で扱った。

筆者はまず、マグノン・ドラッグによる電流を微視的に解析し、現象論とは異なる結果を得た。また、その結果は、電子の非平衡スピン化学ポテンシャルで理解できることを示した。次に、伝導電子とマグノンの運ぶスピン流に着目し、相互のドラッグ効果を調べた。特に、そのドラッグ効果が、相手にどのような統計量(温度、化学ポテンシャル)を通じて影響を与えるか議論した。筆者は、電子系とマグノン系両者に同じ大きさの静的な温度勾配を印加すると、電子スピン流はマグノンによって誘起されるスピン化学ポテンシャルの勾配に、マグノンスピン流は電子によって誘起される有効温度の勾配で駆動されることを示し、この場合にはマグノンの化学ポテンシャルは生じないことを見出した。その他に、電子系のみ温度勾配を印加した場合にスピン流の長距離(非局所)伝搬が可能であること、外部からスピン注入される場合には、マグノンの非平衡化学ポテンシャル勾配によるスピン流伝搬が生じること、などを示した。さらに、マグノンスピン流が磁化構造に及ぼすトルクを調べ、現象論では得られない新たな寄与を見出した。これは磁気スカーミオンの運動を定性的に変えるもので実験的に検証できる効果であることを議論した。