

論文の内容の要旨

論文題目 **Electronic and Magnetic Properties of Graphene Nanodisks**
 グラフェン・ナノディスクの電氣的磁氣的性質

氏 名 江 澤 雅 彦

グラフェン及びグラフェン派生物質に付随する物理現象は、現在の物性物理で最も注目を集めているものの一つである。特に、グラフェンを一次元状に切り出したグラフェン・ナノリボンに関しては多くの研究がなされている。同様に重要な物質として、グラフェン・ナノディスクがある。これは閉じた境界を持つグラフェン派生物である [図 1]。

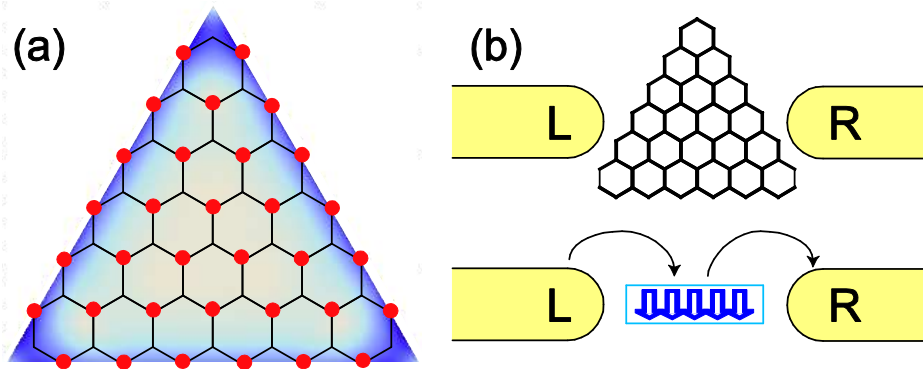
グラフェン・ナノディスクは、その名称を含め、私が 2006 年に提唱した物理系であり、この物理系の物性はそれまで全く知られていなかった。ナノディスクは量子ドットに、ナノリボンは量子線に対応するという概念を提唱した。このナノディスクという新しい物理系の豊かな電磁的性質を明らかにし、バンド構造などの基礎的物性から、スピントロニクスなどの応用まで論じた私の一連の仕事を本博士論文で報告する。

先ず、ナノディスクという物質群の定式を行い、バンド計算により電氣的性質を決定した。特に、サイズ N のジグザグ三角ナノディスクは N 重縮退した零エネルギー状態を持つ事を示した。零エネルギー状態を対称群 C_{3v} の既約表現で分類した。更に、グラフェンの連続理論である Dirac 方程式を用いて定式化し、全ての波動関数と量子数を決定した。その確率密度の流れを計算することで渦糸構造を発見した [図 2]。特に、ナノディスクの重心での渦度は 0, 1, 2 の値をとることを示した。これらの渦糸状態は観測可能である。私の知る限り、物性系のみならず全物理系を見渡しても、渦度 2 の渦糸状態は観測可能量として実現したことはない。ナノディスクにおいて実現したのは三角対称性の強い制約からである。

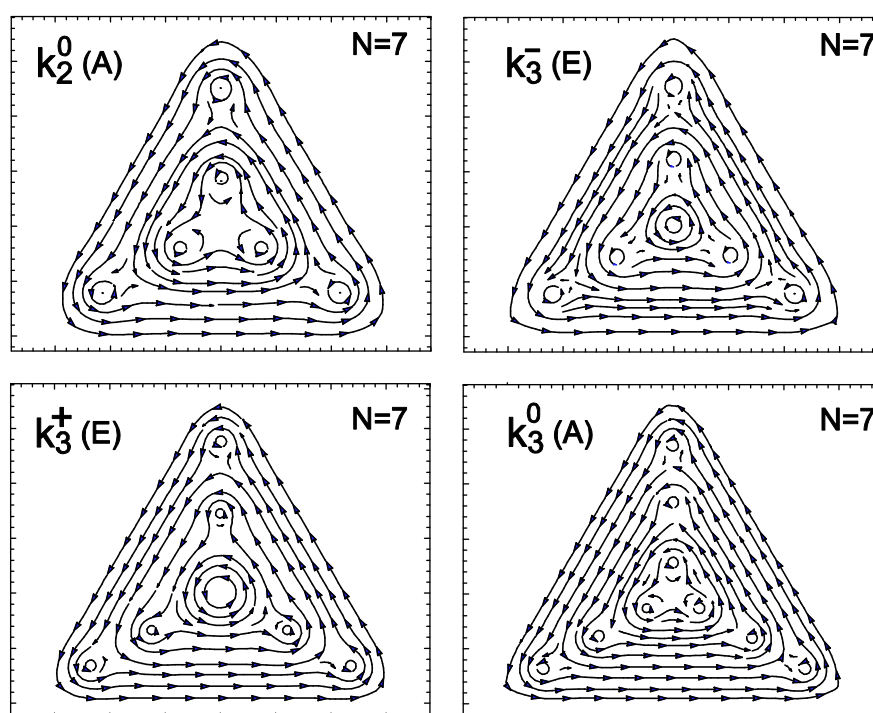
この系にクーロン相互作用を導入し磁性を論じた。ナノディスクはスピンの $N/2$ の磁性を示す。交換相互作用は強いので、有限系であるにも係わらず、スピンは強磁性類似の性質（擬強磁性）をもつ。この擬強磁性は 1 スピンと強磁性の中間の性質を持っている。この擬強磁性の熱力学的性質を調べた。温度の関数として、比熱に鋭いピークが現れ、擬強磁性相と擬常磁性相の間の擬相転移が存在する事を発見した [図 3]。

次に、ナノディスク・リード系を内部自由度を持つ量子ドットと見なしてクーロン・ブロッケードと近藤効果の解析を行った。中間結合領域では新奇なクーロン・ブロッケードの存在を明らかにした。化学ポテンシャルの関数として、特異なクーロン・ブロッケード・ピークのシリーズが出現する。これはエネルギー・スペクトルが $SU(N)$ 対称性を持たない事に起因する。強結合領域では、リードの効果は多スピン近藤ハミルトニアンによって記述される事を示した。

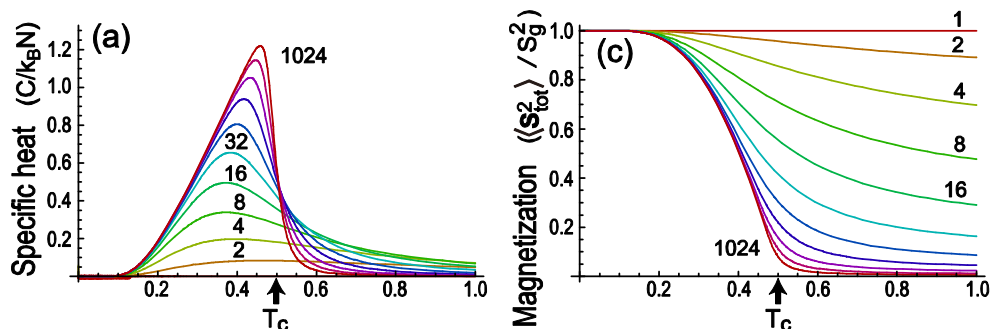
更にナノディスクの将来的な応用も提案した。グラフェン・ナノディスクの擬強磁性を用いることで様々なスピントロニクス・デバイス提案した。グラフェン・ナノディスクは将来のナノエレクトロニクスとスピントロニクスのデバイスの基本的な構成要素になると期待される。



[図1] 3角ナノディスクとリードの概念図. 3角形の一边にあるベンゼン環の数から1を引いたのが, ナノディスクのサイズ N である. この例では, $N=5$. サイズ N のナノディスクには N 重に縮退した零エネルギー状態が存在する.



[図2] 零エネルギー状態の波動関数は edge momentum k_n^α で特徴づけられる. 確率密度の流れには渦糸構造が存在する. 状態 $|k_n^+\rangle$ の重心の渦糸の渦度は2である.



[図3] 温度の関数として, 比熱に鋭いピークが現れ, 擬強磁性相と擬常磁性相の間の擬相転移が存在する. サイズ N のナノディスクは, 低温側では, スピン $N/2$ をもつ擬強磁性体である.