

# 有機導体で実現したディラック電子系

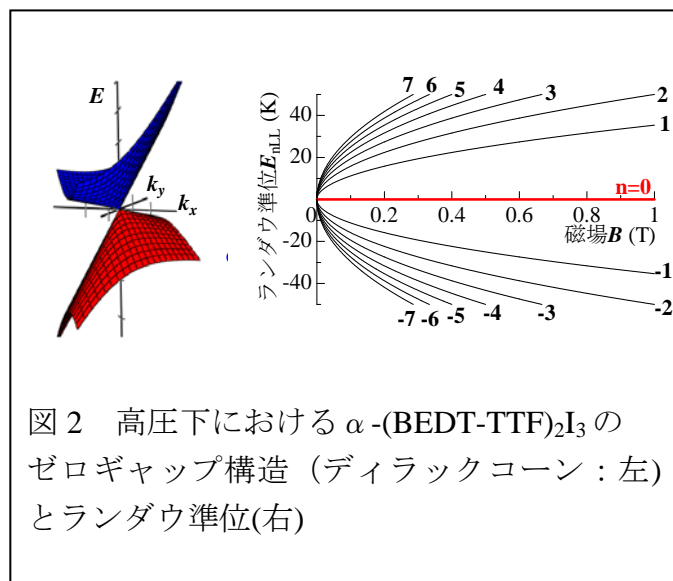
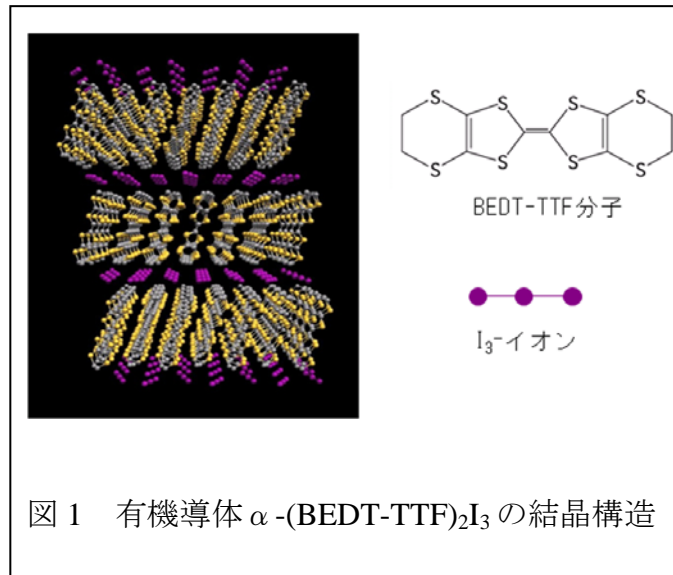
理研 田嶋尚也

伝導帯と価電子帯との間のエネルギーギャップがゼロ、つまり点（コンタクトポイントと呼ぶ）で接しているゼロギャップ電気伝導体が高圧下にある $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ （図 1）（及び類塩物質）で実現した[1-6]。コンタクトポイント近傍では、2 つの円錐型バンドが上下から角突き合わせたゼロギャップ構造（ディラックコーン）をしています（図 2）ために。質量ゼロのディラック電子が電気伝導性の主役となる。

以下が、この物質における特徴の主な例である。

(1) 1 つは電気抵抗の温度依存性に見られる。1.5GPa 以上の圧力下でこの物質の電気抵抗はほとんど温度に依存しない。室温から4Kまで約2分の1程度である。このような擬 2 次元物質ではシート抵抗を考慮することが大事である。そこで、どのような抵抗値を持つのかを知るために 1 層あたりの電気抵抗(シート抵抗  $R_S$ )を見積もると、驚いたことに広い温度範囲で量子抵抗  $h/e^2=25.8 \text{ k}\Omega$  近傍に量子化するのである[5]。最も重要なのはこれが不純物濃度にあまりよらないという事実である。これがゼロギャップ状態の電気伝導性の特徴である

(2) 担体濃度が、温度の 2 乗に比例するが、フェルミエネルギーがコンタクトポイントの位置にある二次元ゼロギャップ伝導体の特徴である[4,5]。一方、担体



の易動度は次のように決まる。担体が弾性散乱を受けている場合、Mott 等によれば、担体の平均自由行程はその波長より短くならない。散乱体濃度が十分高い場合は、平均自由行程 $\approx$ 波長となる。温度が低下して、担体のエネルギーが下がると波長が長くなるので、平均自由行程も長くなる。結果として、易動度が温度低下と共に増大することになる。二次元伝導体の場合、易動度が温度の二乗に逆比例すること、その結果、電気伝導度は物質にも温度にも依存しない、いわゆる量子化伝導度 ( $e^2/h$ ) となることが導き出される。

(3) この系の磁場効果は大変面白い。ゼロギャップまたはナローギャップ電子系では、磁場中ではベクトルポテンシャルにより仮想的な電子・正孔対生成が起こり、これらが軌道運動することにより外場を打ち消す作用（軌道反磁性）が起こる。これがバンド間磁場効果と呼ぶ。このバンド間磁場効果による軌道反磁性が引き起こす異常なホール伝導度を観測することに成功した。この結果は小林等による理論と定量的に一致する[7]。

(4) 層間磁気抵抗にも大変興味深い現象が見られる。ゼロギャップ状態では磁場下でディラックポイントの位置に  $n=0$  のランダウ準位(ゼロモード)が常に存在するが、ゼロモードランダウ準位の縮重度が磁場に比例して増大し、Fermi 準位での状態密度が増大することで層間方向の伝導度が高くなるのである[6]。これは長田の計算結果[8]と定量的によく一致する。一方、低温・高磁場ではスピン分裂により抵抗が  $B^{-1}\exp(g^*\mu_B B/2k_B T)$  に従う[6]。

ゼロギャップ電子系としてはグラフェンが大変有名である。しかし、グラフェンはグラファイトを一層だけにした特殊物質である。それに対して、バルクなゼロギャップ電気伝導体は $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ (及び類塩物質)が唯一である。従って、この物質を舞台にしてゼロギャップ電気伝導体の物理が発展することが期待される。

[1] A. Kobayashi et al., J. Phys. Soc. Jpn. 73 (2004) 3135.

[2] S. Katayama et al., J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2006) 054705.

[3] H. Kino and T. Miyazaki, J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2006) 034704.

[4] N. Tajima et al., J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2006) 051010.

[5] N. Tajima et al., EPL 80 (2007) 47002.

[6] N. Tajima et al., Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 176403.

[7] A. Kobayashi et al., J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) 064718.

[8] T. Osada, J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) 084711.