

朝永・ラッティンジャー液体における 電荷・スピン密度波束の観測実験

橋坂昌幸* 〈東京工業大学理学院 hashisaka.masayuki@lab.ntt.co.jp〉

藤澤利正 〈東京工業大学理学院 fujisawa@phys.titech.ac.jp〉

物性物理において、多体効果は数々の興味深い物理現象の源である。1次元電子系は、多体効果による顕著な物性が現れる典型例である。1次元電子系ではフェルミ液体論の準粒子描像が破綻し、励起は電荷またはスピンの集団運動（密度波）として記述される。この1次元電子系の興味深い性質は、朝永・ラッティンジャー（TL）液体と呼ばれる標準モデルによって説明される。このモデルは1950年に朝永振一郎博士によって最初に提案され、1963年にホアキン・マズダク・ラッティンジャー博士によって再構築された。当初は1次元電子系が実際に存在するとは想定されておらず、理論的なモデルとして提案されたようである。しかし現在では、半導体メソスコピック系における量子細線、カーボンナノチューブ、量子ホール系試料端のカイラルエッジチャンネルなど、実験技術の進歩によって実際に1次元電子系とみなすことができる物質・材料の作製が可能になっている。

現実の1次元電子系のTL液体的性質を確かめるスタンダードな実験手法は、霧乗則を観測することである。例えば1次元電子系へのトンネル電流の温度やバイアス電圧に対する冪的な依存性 ($I \propto T^\alpha$, $I \propto V^\alpha$) から、素励起が準粒子ではなく電荷やスピン密度波であることを確認できる。このような実験から、多くの1次元電子系について、TL液体的性質がすでに良く確かめられている。では1次元電子系上の電荷、お

よびスピン密度波のダイナミクスを選択的に観測し、それぞれの伝搬特性を詳細に評価するような実験は可能だろうか。

我々は、1次元電子系に電子波束を注入しその時間発展を検出するポンプ・プローブ法によって、TL液体における素励起の観察に成功した。実験では、試料として整数量子ホールエッジチャンネルを用いた。エッジチャンネルはその1次元1方向性の伝搬特性ゆえに、カイラルTL液体として振る舞う。チャンネルの本数や形状は電場や磁場によって制御可能であり、TL液体における素励起を観測するための最適な試料となる。我々は、エッジチャンネルにおけるスピン電荷分離現象、および電荷波束の分断化現象を観測した。これらの現象はどちらもTL液体を象徴する重要な現象である。得られた時間波形データから、電荷およびスピン密度波の速度などの伝搬特性を読み取ることができ、エッジチャンネルのTL液体としての性質を表す全パラメータを決定できる。

電荷、およびスピン密度波はTL液体の固有伝搬モードであるため、長距離を減衰することなく伝搬する。今回の実験では、これらの密度波束を励起し、伝送し、最終的に信号として独立に検出できることを示した。この結果は、代表的な量子多体系である1次元電子系において素励起のダイナミクスを直接観察したものであり、多体効果にもとづく物性の研究にとって大きな一歩だと考えている。

—Keywords—

朝永・ラッティンジャー（TL）液体：

1次元電子系の分散関係を線形近似したモデルをTL液体モデルと呼び、このモデルで説明される1次元電子系をフェルミ液体との対比からTL液体と呼ぶ。本研究で実験対象とした量子ホール系試料端の1次元電子系（エッジチャンネル）は、磁場の向きに応じた1方向性の伝導を示すことから、カイラルTL液体と呼ばれる。TL液体では相関強度の減衰が距離や時間に対して冪的であり、従って相互作用は長距離または長時間に及び、その影響は、低エネルギー（長波長、低周波数）における霧乗則（例えばトンネル電流の温度や電圧に対する冪的な依存性）として観測される。

スピン電荷分離現象：

1次元電子系において、電荷またはスピンの励起がそれぞれ独立に運動する現象。両者の速度差によって、電荷とスピンは空間的に分離される。フェルミ液体論の準粒子描像が破綻することを端的に示す、TL液体を象徴する現象である。

電荷分断化現象：

電子、または電子集団がTL液体に注入される際、相互作用強度で与えられる一定の比率で電荷が分断化される現象。素励起が電荷を帯びた準粒子ではなく密度波であることから、素電荷 e よりも小さな電荷波束へ分断化することもできる。

* 現所属 NTT 物性科学基礎研究所