

乱れのある低次元電子系の 量子臨界現象

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻
守田佳史

0. まえおき

臨界現象の研究の歴史は長い。それを通して得られた認識は、分野による区分けを越えて、現在では多くの研究者に広く共有されているように見える。反面、臨界指数を議論するようなことは今やルーチンでつまらないという意見を、いわゆる新しい物理の研究者が発言するのを目にするようになった。僕がいままで感銘を受けた、ほんとうに新しいものは、自然なかたちで背景に無限の古典のつらなりを感じさせるものが多かったように思う。‘展望’というほどのものではないけど、そのようなものを目指しながら、あたらしいところへ歩いていければいいなと思っています。

1. 乱れた2次元電子系における Critical Line

乱れた電子系における量子相転移の問題は、1958年にAndersonによって問題提起されて以来、1979年のスケーリング理論による躍進を経て現在に至るまで研究され続けている。しかしながら、臨界点、およびその近傍での知見は現在でも限られている。また、従来のスケーリング理論では低次元（具体的には1、2次元）にはないとされている局在-非局在転移が、量子Hall系のplateau転移をはじめとして低次元でも起こりうることも改めて認識されつつある。そこで、乱れのある低次元電子系の量子臨界現象を系統的に研究することが大切だと思われる。その際、足場となるような具体的な模型達が重要な指針を与えてくれるだろう。しかし、最近までそのような例は乏しかった。そのような状況下、乱れのある低次元電子系のなかで、臨界点が連続的につながったかたち(Critical Lineと呼ばれる)で見つかった(Ref.1,2)。それは、ボンドに乱れがある2次元Diracフェルミオンを数値的に調べる過程で発見された(2次元Diracフェルミオンは、具体的には、Affleck&Marstonの π -flux状態を用いて格子上に実現される)。そのCritical Lineの存在に対応して、図1、2に見受けられるような現象がみられる。また、臨界点直上の波動関数にMulti-Fractalが見い出されているのもおもしろい。以上のことから、その内在的なしくみに対する理解は不完全であり、これから明らかにしていきたいと考えている。

[References]

1. Y. Morita and Y. Hatsugai, Phys.Rev.Lett. 79, 3728 (1997).
2. Y. Morita and Y. Hatsugai, to appear in Phys. Rev. B.

2. 乱れと電子相関

乱れと電子相関のからみが、強結合領域において、どのような効果をもたらすかは明らかにされていないことが多い。しかし、1次元に関しては研究が進んでいるので、われわれの結果を含めた形で整理したいと思う。

まず、Tomonaga-Luttinger 流体に対する乱れの効果が、位相 Hamiltonian の枠組みで、Ref.1 において調べられた。そこでは、位相が‘ピン止め’された状態として Anderson 局在が表現された。また、そのピン止めがはずれることによる量子相転移の可能性も議論された。最近、Ref.2 において、Umklapp 項の効果を取り入れたかたちで議論が拡張され、Mott 転移と Anderson 局在の競合が考察された。この問題は、量子 Monte-Carlo 法を用いて、強結合領域にまでわたって調べられている(図3, Ref.3)。超伝導不安定性に対する乱れの影響も、最近の研究がある(Ref.4)。このように、1次元においては、乱れと電子相関のからみがもたらす多彩な現象が見出されつつある。ただし、Universality Class の分類およびその理解をはじめとして、重要な課題が残されている。また、2次元以上での乱れと電子相関の問題は、銅酸化物高温超伝導体や量子 Hall 効果などの問題と密接に関わっていると考えられ重要だが、ほとんど手付かずで、これからの問題である。

[References]

1. Y. Suzumura and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn. 52, 2870 (1983).
2. S. Fujimoto and N. Kawakami, Phys. Rev. B. 54, 11018 (1996).
3. Y. Otsuka, Y. Morita and Y. Hatsugai, to appear in Phys. Rev. B.
4. Y. Morita, preprint.

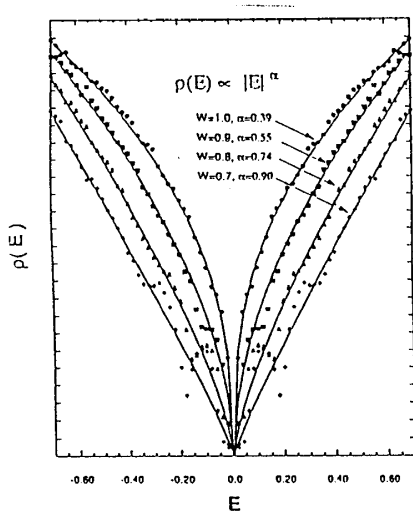


図 1:
乱れた Dirac Fermion 系の状態密度が乱れによって変わっていく様子

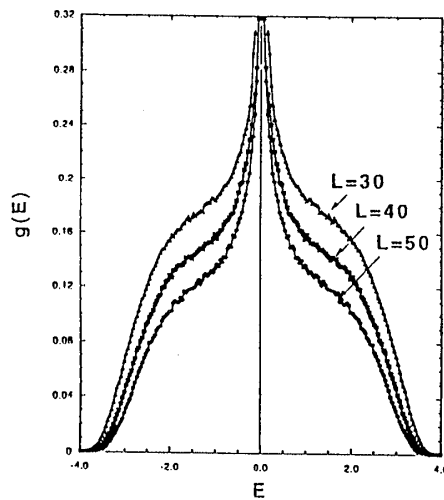


図 2:
乱れた Dirac Fermion 系の Thouless Number のサイズ依存性

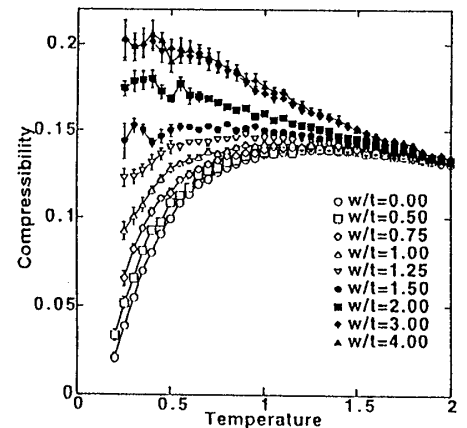


図 3:
Random Hubbard Model の電荷圧縮率が乱れにより変わっていく様子