



初貝 安弘

東京大学大学院工学系研究科

プロフィール：[生年月日] 昭和37年（1962年）8月15日福島県生まれ [現職] 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻助教授 Email: pothos.tu-tokyo.ac.jp [学歴、経歴] 昭和56年（1981）3月福島県立福島高等学校卒業、昭和60（1985）年3月東京大学工学部物理工学科卒業、1987年3月東京大学工学部物理工学科大学院修士課程修了（藤原研究室）、1989年2月東京大学工学部物理工学科大学院博士課程退学、1989年3月東京大学物性研究所助手（甲元研究室）、1990年10月工学博士（東京大学）“Numerical Study of Correlated Electron Systems”、1992年10月—1993年9月米国マサチューセッツ工科大博士研究員、1995年4月東京大学工学部講師、1996年10月より現職 [専門] 物性理論（量子ホール効果等幾何学的位相、物性論における代数的構造、強相関電子系、ランダム系における量子相転移、計算物理の方法論） [所属学会] 日本物理学会、アメリカ物理学会 [趣味] 子育て

基底状態の質的变化としての量子相転移

要旨

物質の特定の状態を「相」Phaseと呼び、それが劇的に変化する現象を相転移といいます。たとえば、液体である水には「水」「水蒸気」といった異なる相があり水が凍ったり、蒸発したりする現象が「相転移」というわけです。これらはニュートン以来の古典力学に従うもので熱揺らぎにより引き起こされる古典的な転移といえます。

一方で現実の物理現象、たとえば物質の形態、変化などは量子力学に従うと考えられ、現代の物質科学はその基礎を量子力学におくわけです。この量子力学によると熱揺らぎの存在しない絶対零度においてすら量子力学に起因する量子揺らぎが存在し物質、および物理系の基底状態はその量子揺らぎを十分に取り込んだもとの構成されるわけです。この量子力学による物質の基底状態に注目し、系の何らかのパラメタ例えば粒子密度、磁場の強さなどがその例ですが、それらを連続に変化させることを考えてみるとその変化は必ずしも連続変化ではなく急激かつドラスティックなものである場合もあります。これが「量子相転移」といわれる現象で今回の私の研究テーマ「基底状態の質的变化としての量子相転移」において研究対象としたものです。

特に現実の物質には必ず存在する「ランダムネス（乱れ）」の効果と同種の電荷間に働くクーロン斥力に起因する「電子相関、相互作用」の2つをキーワードとして取り上げそれらの対比、もしくはそれらが共存の効果に着目した研究を進めました。

具体的には

- ・量子相転移の典型例である量子ホールプラトー間転移
- ・強相関電子系におけるモット転移近傍における乱れの効果
- ・アンダーソン局在における電子相関の効果
- ・量子ホールプラトー間転移の応用としての超伝導体における量子相転移などに関して研究を行いました。

またこれらの研究においては数値的手法が必須のテクニクな訳ですが、この数値的手法にも特に独立して興味を持ち方法論的ブレークスルーを目指した研究を進めています。相互作用のないランダム系と相互作用の強い乱れはない系とは歴史的には独立した分野として研究が進められてきたわけですが、これらの2つの異なる分野で開発されてきたいくつもの手法を他の分野へ応用ならびに転用する可能性を探りつつ新しい手法の開発も行っています。

ここでこのテーマに関してすこし説明を加えたいと思います。

- ・量子相転移の典型例である量子ホールプラトー間転移

これは量子ホール効果における研究で、この量子ホール効果とは磁場中の2次元電子系が示す特異な量子現象で、ある量を単位にホール伝導度が極めて高い精度で整数値もしくはある分数の値に量子化される現象です。この系において電子数、磁場の強さなどを変化させたとき、この量子化された値をつなぐような変化がおきることがあり、それを量子ホールプラトー間転移とよびます。この現象においては乱れの効果、とくにある種の非局在状態の存在が重要でありかつ本質的なのですが、現在までの研究によって、転移の近傍における非局在状態の振る舞いを明らかにすることができました。またこの現象は図に示すフラクタルな電子構造と関連していることを指摘しておきます。

- ・強相関電子系におけるモット転移近傍における乱れの効果

強相関電子系の問題は非常に古くからあるものですが、特にモット絶縁体と呼ばれる電子間相互作用に起因する絶縁体は高温超伝導体の発見以来非常に多くの興味を集めています。この系における乱れの効果は困難な問題として残されていますが、この問題に関して数値的な手法を用いて研究を行い、いわゆる電荷ギャップの崩壊に関して重要な結果を得ることができました。

- ・アンダーソン局在における電子相関の効果

一方電子相関のない系における乱れの効果に関しては、量子力学的な波動である電子の量子干渉効果としての局在がおこ

ることが知られています。これは古典的には存在しない量子力学的効果でありアンダーソン局在として現代の物性物理における重要な概念となっています。その重要な結論として「2次元系においては金属相は存在しない」との主張があります。ただしここでは電子相関の効果はあくまで副次的は意味しかないと考えられていました。ところが最近2次元電子系における金属相の可能性を示唆する新しい幾つかの実験的事実があり関連して電子相関の効果を数値的に再検討することを試みています。

・量子ホールプラトー間転移の応用としての超伝導体における量子相転移

これら上記の研究の展開過程で生じた研究テーマとして量子ホール効果で議論された種々の概念を超伝導体に応用する可能性が開けてきました。本研究では特に位相不変量であるスピンホール伝導度と呼ばれる量子化した整数値が超伝導相をラベルすることに着目し量子相転移の観点から研究を進めています。この量子ホール効果と超伝導体の対応を考えると例えば上記のフラクタルな構造が超伝導準粒子にも反映されることが期待できます。

さきがけ研究はここで修了することとなりましたが、これらのこののテーマに関しては、このさきがけ研究の期間において今後の展開の種となるいくつものきっかけを得ることができました。それらについては今後の数年もしくはそれ以上の期間をかけてでも是非大きな話題となるよう考えております。

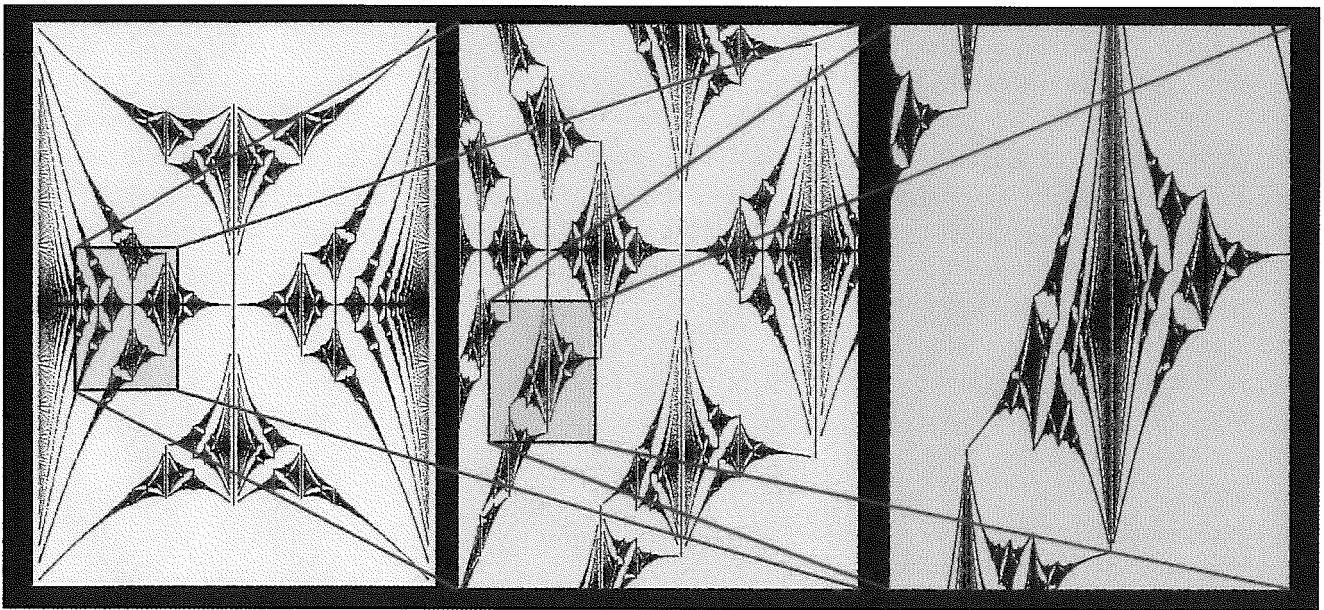


図 格子上の電子系のエネルギー準位、拡大すると相似なエネルギー準位が次々に現れる

研究成果

さきがけ研究中に発表した論文等

1. Y. Hatsugai, Y. Morita, X.-G. Wen, and M. Kohmoto, "Disordered Critical Wave Functions of Two-Dimensional Dirac Fermions on a Lattice", Physica B249-251 796-800 (1998).
2. Y. Morita and Y. Hatsugai, "Scaling near random criticality in two-dimensional Dirac fermions", Phys. Rev. B58, 6680-6683 (1998).
3. Y. Otsuka, Y. Morita, Y. Hatsugai, "Collapse of Charge Gap in Random Mott Insulators", Phys. Rev. B58 15314-15316 (1998).
4. Y. Hatsugai, K. Ishibashi, and Y. Morita, "Sum Rule of the Hall Conductance in Random Quantum Phase Transition", Phys. Rev. Lett. 83, 2246-2249 (1999).
5. Y. Hatsugai and Y. Morita, "Delocalized States of the Quantum Hall Effect in the Weak Magnetic Field", Physica B: Condensed Matter, Vol. 284, Part 2, July 2000, Pages 1724-1725 (2000)
6. Y. Morita, K. Ishibashi and Y. Hatsugai, "Transition from Quantum Hall State to Anderson Insulator: Fate of Delocalized States", Phys. Rev. B61, 15952 (2000).
7. Y. Morita and Y. Hatsugai, "Plateaux Transitions in the Pairing Model: Topology and Selection Rule", Phys. Rev. B62, 99 (2000)
8. K. Hoshi and Y. Hatsugai, "Exact Landau Levels from Quantum", Phys. Rev. B61, 4409-4412 (2000).
9. Y. Otsuka and Y. Hatsugai, "Numerical Study of the effects of disorder on the threedimensional Hubbard model", J. Phys. C Condensed Matter 12, 9317-9322 (2000).

10. Y. Hatsugai and A. Sugi, "Effects of interaction for the quantum diffusion in coupled chains", *Int. J. Mod. Phys. B* 15, 2045-2052 (2001).
11. Y. Morita and Y. Hatsugai, "Duality in the Azbel-Hofstadter problem and the two-dimensional d-wave superconductivity with a magnetic field", *Phys. Rev. Lett* 86, 51-154 (2001).
12. Y. Morita and Y. Hatsugai, "Breakdown of the IQHE and the Selection Rule", *Physica B* 298, 24-27 (2001).
13. S. Ryu and Y. Hatsugai, "Numerical Replica Limit for the Density Correlation of the Random Dirac Fermion", *Phys. Rev. B* 63, 233307, (2001).
14. "T. Matsumoto and Y. Hatsugai", "Numerical Study of Delocalized States in an Extended Network Model", submitted to *Phys. Rev B*.
15. Y. Otsuka and Y. Hatsugai, "Mott Transition in the Two-Dimensional Flux Phase", submitted to *Phys. Rev B*.
16. Y. Otsuka, Y. Morita, and Y. Hatsugai, "Anisotropy on the Fermi surface of the two-dimensional Hubbard model", submitted to *Phys. Rev. Lett*.
17. S. Ryu and Y. Hatsugai, "Singular Density of States of Disordered Dirac Fermions in the Chiral Models", submitted to *Phys. Rev B*.
18. 初貝安弘, "量子ホール効果---その幾何学的構造と代数的構造", 物性若手夏の学校2001講義録、物性研究 2002出版予定.