

Title	Anderson transition in disordered electron systems with spin-orbit coupling
Author(s)	浅田, 洋一
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45596
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	あさ だ よう いち 浅 田 洋 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 19198 号
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Anderson transition in disordered electron systems with spin-orbit coupling (スピン軌道相互作用のある乱れた電子系でのアンダーソン転移)
論文審査委員	(主査) 教授 赤井 久純 (副査) 教授 小川 哲生 上智大学教授 大槻 東巳 助教授 Keith Slevin 慶應大学助教授 伊藤 公平

論 文 内 容 の 要 旨

系の乱れによって電子の波動関数が空間的に局在することをアンダーソンが指摘して以来、アンダーソン転移は長年の興味の対象となっている。不純物半導体で起こる金属絶縁体転移との関連からも興味を持たれてきた。アンダーソン転移は系の乱れによって起こる波動関数の局在非局在転移であり、金属絶縁体転移である。特に“4人組のスケールリング理論”が提唱されてからは、スケールリング理論を軸にして理解が進んできた。磁気相転移など様々な相転移の臨界現象と同様に、アンダーソン転移においても普遍的な現象が現れることが明らかになってきている。

本論文では、スピン軌道相互作用がある系でのアンダーソン転移、及びそれに関連する現象について数値的な研究を行った。スピン軌道相互作用のある系は、symplectic ユニバーサルリティクラスに分類される。2次元でも金属相が存在しアンダーソン転移が起こるのが最も興味深い特徴である。

まずは、2次元と3次元でのアンダーソン転移の臨界現象について研究した。特に、臨界現象を特徴づける重要な指数である局在長の臨界指数の見積りに重点を置いた。2次元アンダーソン転移の解析では、ランダムなスピン軌道相互作用を持つSU(2)モデルを用いた。2次元SU(2)モデルは、スケールリングの補正が無視できるぐらい小さいという利点を持っていることが判明し、臨界指数の正確な決定($\nu=2.746\pm 0.009$)に成功した。また、3次元系アンダーソン転移の研究では、SU(2)モデルに加えて安藤モデルのアンダーソン転移も解析した。両モデルとも同じ対称性を持っており、普遍的な臨界現象が見られた。臨界指数の値は $\nu=1.37\pm 0.02$ と決定された。

2次元金属相での電気伝導現象も興味深い。電気伝導度が無限大になるのか、それとも有限の値を取るのか、長年の問題となっている。本論文では、擬一次元局在長のスケールリング解析を行い、ベータ関数の数値的な見積もりを行った。また、2次元金属相でのコンダクタンスの解析も行った。これらの結果は、2次元金属相では電気伝導度が無限大になることを予想した理論と無矛盾であった。

カイラル対称性の影響についても調べた。2次元SU(2)モデルにはカイラルsymplectic対称性を持った臨界点が存在することを示唆する結果が得られた。この臨界点は、通常のsymplecticクラスでのアンダーソン転移の臨界点とは異なった性質を持っている。

スピン軌道相互作用系でのアンダーソン転移の下部臨界次元も長年の問題となっている。本論文では、シェルピンスキー・カーペットと呼ばれるフラクタル上の電子系の振る舞いを調べた。数値計算の結果、このフラクタル上でアンダーソン転移が起こることが示唆された。これは、2次元未満でもアンダーソン転移が起こることを示唆している。最後に、電子間相互作用効果を取り込んで電気伝導現象をシミュレーションする方法を開発した。この方法を用いれば、Hartree-Fock 近似の下でのコンダクタンスを計算することが出来る。

論文審査の結果の要旨

系の乱れによって電子の波動関数が空間的に局在することをアンダーソンが指摘して以来、アンダーソン転移は長年の興味の対象となっている。本学位論文では、スピン軌道相互作用がある系でのアンダーソン転移、及びそれに関連する現象について数値的な研究を行った。スピン軌道相互作用のある系は、symplectic ユニバーサリティクラスに分類される。2次元でも金属相が存在しアンダーソン転移が起こるのが最も興味深い特徴である。

本学位論文ではまず、2次元と3次元でのアンダーソン転移の臨界現象について研究した。特に、臨界現象を特徴づける重要な指数である局在長の臨界指数の見積りに重点を置いた。2次元アンダーソン転移の解析では、ランダムなスピン軌道相互作用を持つ SU(2)モデルを用いた。2次元 SU(2)モデルは、スケージングの補正が無視できるくらい小さいという利点を持っていることが判明し、臨界指数の正確な決定 ($\nu = 2.746 \pm 0.009$) に成功した。また、3次元系アンダーソン転移の研究では、SU(2)モデルに加えて安藤モデルのアンダーソン転移も解析した。両モデルとも同じ対称性を持っており、普遍的な臨界現象が見られた。臨界指数の値は $\nu = 1.37 \pm 0.02$ と決定された。

2次元金属相での電気伝導現象も興味深い。電気伝導度が無限大になるのか、それとも有限の値を取るのか、長年の問題となっている。本論文では、擬1次元局在長のスケージング解析を行い、ベータ関数の数値的な見積もりを行った。また、2次元金属相でのコンダクタンスの解析も行った。これらの結果は、2次元金属相では電気伝導度が無限大になることを予想した理論と無矛盾であった。

本学位論文ではまた、カイラル対称性の影響についても調べた。2次元 SU(2)モデルにはカイラル symplectic 対称性を持った臨界点が存在することを示唆する結果が得られた。この臨界点は、通常の symplectic クラスでのアンダーソン転移の臨界点とは異なった性質を持っている。

スピン軌道相互作用系でのアンダーソン転移の下部臨界次元も長年の問題となっている。本論文ではさらに、シェルピンスキー・カーペットと呼ばれるフラクタル上の電子系の振る舞いを調べた。数値計算の結果、このフラクタル上でアンダーソン転移が起こることが示唆された。これは、2次元未満でもアンダーソン転移が起こることを示唆している。

最後に、電子間相互作用効果を取り込んで電気伝導現象をシミュレーションする方法を開発した。この方法を用いれば、Hartree-Fock 近似の下でのコンダクタンスを計算することが出来る。

本研究は、詳細かつ高精度の解析をアンダーソン転移における臨界現象に対して行ったという意味で高く評価される。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。