



Title	Static and Adiabatic Ground States of Some Quantum Many-Body Systems and Fields
Author(s)	文田, 憲行
Citation	大阪大学, 1995, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/39076
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	ふみ た のり ゆき 文 田 憲 行
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 1 7 2 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 7 年 3 月 23 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	Static and Adiabatic Ground States of Some Quantum Many-Body Systems and Fields (いくつかの量子多体系と量子場の定常的及び断熱的基底状態)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 吉 川 圭 二 (副査) 教 授 東 島 清 教 授 阿 久 津 泰 弘 教 授 高 杉 英 一 助 教 授 糸 山 浩

論 文 内 容 の 要 旨

量子多体系及び量子場の基底状態の性質の研究は、素粒子物理、物性物理及び場の量子論の重要な共通課題である。量子系の基底状態は、今世紀の早くから議論されてきた。P. Dirac は、相対論的量子力学を作り上げる際に、相対論的電子系の基底状態は全ての負エネルギー状態が電子に占領された“海”であることを発見した。これによれば、我々の世界の真空は Dirac の海とみなされる。最近、Nielsen と Ninomiya により、電磁場中の Dirac の海の負エネルギー電子の加速に伴う Fermi 面の変化から、零質量 Dirac 場のカイラルアノーマリーが、直感的に理解された。この論文の前半部では、背景場中の自由粒子系のなす量子場の真空（基底状態）の性質を調べ、カイラルアノーマリー、 $(2+1)$ 次元の Dirac 場の真空のホール効果、コンフォーマルアノーマリー及びゴースト数アノーマリーの直感的な理解を試みた。

最初に、偶数次元時空の電磁場中の Dirac の海を考察し、Nielsen と Ninomiya によって与えられた零質量 Dirac 場のカイラルアノーマリーの描像を、質量のある Dirac 場の場合に拡張した。拡張された描像では、カイラルアノーマリーは、Dirac の海の底から生じる。この描像から、質量のある Dirac 場の断熱過程では、カイラルカレント保存則が回復することが明らかになった。また、 $(2+1)$ 次元の質量のある Dirac の海も考察した。 $(2+1)$ 次元 QED では、真空中にホール効果が生じることが知られている。このホール効果は、 $(2+1)$ 次元の Dirac の海が偏極しているために生じることを明らかにした。

次に、 $(1+1)$ 次元の曲がった時空上の量子論の真空を考察し、真空の零点エネルギーからコンフォーマルアノーマリーの直観的描像を与えた。また、Liouville 作用およびセントラルチャージを真空のエネルギーから正確に評価する方法を与えた。さらに、ゴースト場の真空のエネルギーを考察し、真空のエネルギーの非エルミート正則化因子がゴースト数アノーマリーをもたらすことを明らかにした。

後半部では、背景場中の自由粒子系から、より物理的に興味深い系である背景場中で相互作用する粒子系の考察に移る。スピン $1/2$ チェーンの 1 つである XXZ モデルは相互作用する Fermi 粒子系と等価であることが知られている。最近、 XXZ モデルの境界条件をゆっくりとねじっていく断熱過程における基底状態の研究において、いくつかの興味ある進展があった。この断熱過程は、電場中で相互作用する Fermi 粒子系と見なすことができる。結合定数の範囲が $-1 < \Delta < 0$ の斥力領域における断熱過程は Sutherland と Shastry によって調べられ、境界条件を 2π (4π) ねじると基底状態はもとの状態に戻ってくることが示された。このときの基底状態の波動関数の Berry 位相

は, Korepin と Wu によって, π であることが確かめられた。一方, 結合定数の範囲が $0 < \Delta < 1$ の引力領域における断熱過程は Yu と Fowler によって調べられ, 境界条件を 2 周 (4π) ねじると基底状態はもとの状態に戻ってくると, 及び, 断熱過程で string と呼ばれる Fermi 粒子の結合状態が形成されることが明らかにされた。

この論文の後半部では, 最初に, 結合定数が $\Delta \leq -1$ の強斥力領域における断熱過程を調べた。境界条件を 2 周 (4π) ねじったときに基底状態がもとの状態へ戻ること, 及び, その過程における基底状態の波動関数の Berry 位相は π であることが明らかになった。この結果は $-1 < \Delta < 0$ の斥力領域における結果と同じであるが, 断熱変化の描像は領域 $-1 < \Delta < 0$ とは異なっている。領域 $-1 < \Delta < 0$ では, 断熱過程で負エネルギーの真空 (基底状態) から粒子が対生成する描像が成り立つが, 領域 $\Delta \leq -1$ ではスペクトルに質量ギャップが存在するため, 粒子生成の描像は成り立たないことが確かめられた。

最後に, 結合定数の範囲が $0 < \Delta < 1$ の引力領域における断熱過程を調べた。我々は, 結合状態における rapidity の非自明な振動を発見した。特に, Fermi 粒子 3 個の結合状態 three-string の振動が全 Fermion 数に依存した winding number を与えることがわかった。この結合状態の振動は, Berry 位相等の断熱変化の大域的性質の理解のカギになる。これに基づき, 断熱過程における基底状態の Berry 位相は, Fermi 粒子 2 個の結合状態 two-string が形成される領域 $0 < \Delta < 1/2$ では 0, Fermi 粒子 3 個の結合状態 three-string が形成される領域 $1/2 < \Delta < 1/\sqrt{2}$ では π と求まった。

論文審査の結果の要旨

文田君は, 量子多体系の基底状態の性質を, いくつかの模型について入念な解析を行い, カイラル異常項, コンフォーマル異常項, 真空のホール効果などの物理的な理解を深めた。特に XXZ 模型においては, 今迄研究されていなかった結合定数 $\Delta \leq -1$ の領域において注目すべき結果を得, 非摂動的な解法への可能性を示唆する重要な結論を得ている。この成果は博士 (理学) の学位論文として質の高い価値をもつものである。