

氏 名	関 谷 真 せき や まこと
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 594 号
学位授与の日付	昭 和 54 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科・専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	The Generalized Dual Loop Expansion of $U(N_c)$ Gauge Theory ($U(N_c)$ ゲージ理論の一般化された双対ループ展開)

論文調査委員 (主 査) 教 授 田 中 正 教 授 町 田 茂 教 授 位 田 正 邦

論 文 内 容 の 要 旨

現在ハドロン系の基礎理論として量子クロモ力学が注目されている。これは古くから知られる量子電磁力学に相当する、素粒子の強い相互作用に関する理論である。その考察の対象となるのはハドロンの基本構成子とされる quark および Yang-Mills 型の非可換ゲージ場の性格をもつ gluon 場である。quark と gluon の間には相互作用定数 g の湯川型相互作用が働く。また gluon 自身 Yang-Mills 場に特有の非線型自己相互作用をもつ。

現在の素粒子論における大きな課題は、上述の相互作用の下に、ハドロンを代表する中間子やバリオンを quark の安定な束縛系として実現することである。特にこれまで quark 自身が単独の形で見出されていないことから、この課題はまた quark のハドロン内への「完全閉じこめ」の問題とも呼ばれている。この際の大きな特徴の一つは量子電磁力学の場合と異って、強相互作用定数 g についての摂動論が許されないことである。そのため種々の非摂動論的な取扱いが考察されてきた。申請論文の関係する $1/N_c$ 展開の方法もその一つである。この場合も Feynman 図の方法は適用可能であるが、量子電磁力学の場合と異って、quark が N_c 種のカラー自由度をもち、これがまた Yang-Mills 場の次元数にも反映して、各 Feynman 振巾に対して新たに N_c の冪乗依存を考える。その冪数は Feynman 図の topological な形に依存し、それが振巾の大小に大きな影響を与える。実際にこれまで 'tHooft ら多くの人々の研究によって、中間子の系においては、quark 間に複雑に交換される gluon 場が Feynman 図上で立体交差せずに 2 次元の膜状の topology をもつ場合、その Feynman 振巾は優位の寄与をもつことが知られている。この結論は、別の道すじから発展してきたハドロンの弦 (string) 模型に対して、場の理論的裏付けを与えるものとして注目されている。

しかしバリオン系に対しては、上述の Feynman 図の topological な構造と Feynman 振巾の大きさの優劣の間に簡単な関係は見出されず、従ってまた期待される弦模型の成立を裏付けることができていない。

申請論文はこの問題の解決を意図したものである。そこでは他の多くの研究にならってまず gluon を互いに逆向きの quark と反-quark の 2 本の線に分解し、Feynman 図を N_c 種のカラーをもつ quark 線だけで書き下す。その上で従来の Feynman 図に対する見方を変えて、新たに提起される三つの規則に従って Feynman 図上のすべての quark 線を、幾つかの円環を構成する形に連結する方法を考案した。この規則はすべてのハドロン反応に対して適用可能であり、こうして作られた図の topological な構造から Feynman 振巾の大きさの優劣を正しく評価することが可能となった。この方法による分析から、従来期待されていたバリオン系に対するある種の弦模型は成立しないことが結論されている。

論文審査の結果の要旨

現在場の理論の立場からは、バリオンや中間子に代表されるハドロン系は $\text{spin} 1/2$ の数種の quark とゲージ場の性格をもつ $\text{spin} 1$ の gluon から構成されていると信じられており、これについてはかつての量子電磁力学に匹敵する勢いで、量子クロモ力学の名の下に広範な研究が行われている。この系は量子電磁力学の場合と異なり強結合の系であるために、一般に摂動論が使えず種々の非摂動論的近似法が考案され、そこから種々のハドロン描像がえがかれている現状である。

例えば quark と gluon の相互作用の記述に際して、この場合も Feynman 図の方法が用いられるが、quark 間に複雑に交換される gluon の線が Feynman 図上で相互に立体交差することなく書ける、いわゆる planar 図に対応する Feynman 振巾は、他の non-planar 図に対応するそれに比して優位の寄与をもつことが知られている。この様に優位な Feynman 図では、quark 間には gluon で構成される 2 次元の膜が張られるという描像が成立ち、これは別の道すじから発展してきたハドロンに対する弦模型を基礎づけるものとして注目されている。

しかし、上述の描像が成立するのは中間子の系だけで、バリオンを含む系には適用できない。従ってバリオン系に対する弦模型は想像の域を出ていないのが現状である。申請論文はこの問題に正面からとりこんだもので、結果としてハドロン系一般の考察に大きな前進をもたらした。

すなわち申請論文はまず他の多くの著者が行っているように、gluon を互いに逆向きの 2 本の quark line によっておきかえ、結果として各 Feynman 図を N_c 種のカラーで特徴づけられる quark line だけで書き下す。その上で申請者は従来の、過去から未来への時間の流れにそって Feynman 図を見る立場を変えて、Feynman 図上のすべての quark line を、新たに設定される 3 つの規則に従って、幾つかの円環の形に連結する方法を提唱した。この方法はハドロン系一般に適用でき、新しい円環図の topological な構造から、対応する Feynman 振巾の N_c に関する冪依存を求め、その大きさの優劣を評価することを可能にした。

この理論による分析の結果、これまでバリオンに対して想定されていたある種の弦模型は成立しないことが明らかにされており、今後種々の場合への適用が期待される。

以上申請論文の内容は斬新かつ独創的であり、この分野の発展に重要な寄与を与えている。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。