

氏名	小嶋 泉 おしま いずみ
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第 612 号
学位授与の日付	昭和 55 年 3 月 24 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	理学研究科数理解析専攻
学位論文題目	Observables and quark confinement in the covariant canonical formalism or Yang-Mills theory (ヤン・ミルズ場の共変的正準量子論における観測可能量とクォーク閉じ込め)
論文調査委員	(主査) 教授 荒木不二洋 教授 佐藤幹夫 教授 一松 信 教授 田中 正

### 論文内容の要旨

電磁場の局所的ゲージ変換の考えを、非可換な変換群に拡張したものは、Yang と Mills により考えられ、ヤン・ミルズ場あるいは非可換ゲージ場とよばれる。ヤン・ミルズ場の量子論は少なくとも 2 点で普通の場の理論のように取扱えない。第 1 点は任意函数を含むゲージ変換に対する不変性に対応して、作用積分の変分が、場のある自由度に対してはゼロになるために、そのままでは通常正準量子化が遂行できない点である。第 2 点は、共変的なヤン・ミルズ場の記述には、不定計量ヒルベルト空間が使われるため、物理的な状態に対応するベクトル、および物理量を表わす作用素の特徴づけが、重要な課題になる点である。

第 1 の点についての満足な解決は、九後汰一郎と申請者共著の参考論文 3, 4, 5 に与えられており、九後・小嶋理論の名で知られている。

申請論文は第 2 の点についてある解決を与えたものである。九後・小嶋理論において、BRS 荷電演算子を作用するとゼロになるベクトル全体は正半定符号であり、それをノルムがゼロのベクトル全体で割った商空間が物理的な状態を表わすものと解釈できることが示されている。申請論文の論点の第 1 は、ある作用素  $A$  が物理量であるための条件に関するもので、 $A$  が上記商空間で意味を持つというもっとも弱い条件が、上記の正半定符号部分空間を  $A$  とその共役作用素が不変に保つという見かけ上もっとも強い条件と同等であり、特に  $A$  が局所的な作用素ならば、 $A$  と BRS 荷電をクライン変換したものが可換であるという簡単な条件に同等であることを示している。この判定条件に基づいて物理量に対応する作用素の具体的例を多数議論しているが、とくにエネルギー運動量テンソルについては、いわゆる正準エネルギー運動量テンソルは判定条件をみたさないが、これを対称化した対称エネルギー運動量テンソルは判定条件をみたすこと、およびその表式に現れる非物理的場が物理的な状態における期待値には寄与しないが、保存則を作用素として満たすために必要であることを示している。また、物理的部分空間の定義に、Faddeev-Popov ゴースト荷電もゼロであるという条件を附加しても、ノルムがゼロのベクトルの分しか影響を受けないことと、

このときにも上記と同様の結果が成立することも示している。

申請論文の論点の第2は、いわゆる閉じ込めの問題と、関連するクラスター性（長距離相関の有無）についてである。この問題の完全な解析には到達していないが、物理的なベクトルが、局所的な物理的ベクトルで近似できる場合には、すべての物理的状態の色荷電がゼロである（すなわち閉じ込めが成立する）ことを示している。さらに、物理的でない作用素の積が物理量になる場合にはクラスター性が破れなければならないことを示している。これは、閉じ込めが Haag の「月のかなた」の議論に抵触しないことを示唆するものである。

参考論文1, 3, 4, 5, 6, 12, は九後・小嶋理論に関するもの、参考論文7はその重力場への拡張に関するもの、参考論文2は不定計量のヒルベルト空間の場合も含めた漸近場の性質に関するもの、参考論文8は荷電をもった状態の局在性に関するもの、参考論文9は重力子質量がゼロであることに関するもの、参考論文10は閉じ込めに関するもの、参考論文11は2次元模型について、フェルミ粒子数保存の対称性の自発的破れを扱ったもので、それぞれ主論文に関係した諸分野に貢献するものである。

### 論文審査の結果の要旨

素粒子論において現在中心的地位をしめる量子色力学と Weinberg-Salam の理論は、ヤン・ミルズ場に基づくのであるが、場の量子論としてのヤン・ミルズ場の理論は九後・小嶋理論によってようやく軌道にのったと言え、解析されるべき問題が多数ある。申請論文は、このヤン・ミルズ場の物理量の特徴づけについて満足すべき解析を与えると同時に、閉じ込めの問題について新しい知見を与えたものとして高く評価できる。

ヤン・ミルズ場の取扱いは不定計量のヒルベルト空間が現れ、そのうち正半定符号なある部分空間のベクトルだけが（さらにノルムがゼロであるベクトルを法として）物理的状態に対応して、不定計量のヒルベルト空間上の線形作用素のうち一部分のみが、物理量に対応するという事情がある。

申請論文はこの点に関し、量子電磁力学との類推から考えつくいくつかの特徴づけが、ヤン・ミルズ場の九後・小嶋理論では同値であることを証明し、具体例においてこの特徴づけが正当なものであることを示して、ヤン・ミルズ場の物理量の特徴づけについて満足すべき解決を与えている。特に判定条件のひとつは簡単な代数的関係なので、具体的な判定が簡単にできるという利点もある。

素粒子論における量子色力学の成功は、物理的に実現される状態は全体としていつでも無色であるという「閉じ込め」の考えを、ひとつの基盤にしている。申請論文はこの点に関し、対称性の破れが起きていない大局的ゲージ変換の大局的荷電は局所的物理量と可換であり、したがって後者は無色であることを示し、また一定の状況のもとでは閉じ込めが成立していることを示して、新しい知見を与えている。

以上の主論文は、ヤン・ミルズ場の量子論における物理量の特徴づけを明らかにし、閉じ込めの問題に新しい知見を与えたもので、この分野の発展に寄与するところが大きい。参考論文はいずれも、申請者が場の理論とその数学的構造ならびにそれらの関連分野にわたって豊富な知識と優れた研究能力をもっていることを示すものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。