

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

Three-Dimensional Supersymmetric Gauge Theories and Seiberg Duality

論文題目

(3次元超対称ゲージ理論とザイバーク双対性)

氏 名

新居 慶太

論 文 内 容 の 要 旨

素粒子物理学は、標準模型と呼ばれるゲージ場の量子論という枠組みで記述され、現在地球上で行われている実験と無矛盾な結果を予言する。しかし、ゲージ理論の中には、強結合性または非摂動効果が重要となる場合があり、そういった領域では摂動的に計算する事が不可能で、解析的な予言が難しい。超対称性という対称性を課した理論ではそれが可能となる場合があり、研究がされている。

標準模型の一部である4次元量子色力学は、我々を構成する陽子・中性子などの質量を説明する理論であるが、強結合性のため現在まで格子ゲージ理論などの数値的な解析が中心である。この理論に超対称性と呼ばれる対称性を課した場合、様々な性質が解析的に予言できる。特に、異なるゲージ群をもつ二つの4次元超対称量子色力学が等価であるという予想「ザイバーク双対性」は、強結合である片方の理論を摂動計算が可能な別の理論で記述できるため盛んに研究されてきた。このザイバーク双対性は、4次元に限らず様々な次元の超対称ゲージ理論で知られているが、理論の強結合性のため現在まで証明はなく、様々な妥当性の検証がされてきた。また、各次元の場の理論におけるザイバーク双対性同士の関係は明らかではなく、これらのザイバーク双対性が、同じ機構で成り立っているのかは不明である。申請者は3次元のザイバーク双対性が、4次元ザイバーク双対性とどのように関係するか研究を行った。

先行研究において、基本表現の物質場が理論に含まれる場合に、どのようにして4次元ザイバーク双対性から3次元ザイバーク双対性が導かれるかが示された。その際、4次元の理論を円周上に置くこと(次元簡約と呼ぶ)、円周上に置いたことにより新たな位相的配位が理論に現れること、その位相的配位が非摂動的なポテンシャルを生成すること、そしてそのポテンシャルを4次元理論に加え、3次元理論に次元簡約することにより3次元ザイバーク双対性が得られることが示された。しかし、より一般の表現の物質場(例えば随伴表現や対称表現など)を含んだ場合、4次元ザイバーク双対性から3次元双対性を得る手続きは不明である。

申請者は、理論が随伴表現の物質場を含んだ場合に、4次元のザイバーグ双対性からどのように3次元ザイバーグ双対性が導かれるか理論的研究を行った。まず申請者は、随伴表現物質場を加えた4次元の系を円周上に置いた場合に現れる位相的配位を見出だした。

また、位相的配位周りのフェルミオンゼロモードを調べることにより、その位相的配位から、通常はポテンシャルが生成されないことを明らかにした。しかし、随伴表現の物質場にポテンシャルが存在する場合は、位相的配位から非摂動的ポテンシャルが生成されることを明らかにし、その具体形を求めた。これは基本表現の物質場だけを理論に加えた場合と異なるポテンシャルであり、このポテンシャルを正しく取り扱うことにより、3次元ザイバーグ双対性が4次元ザイバーグ双対性から導かれることを示した。

一般に、4次元ザイバーグ双対性から次元簡約により3次元の双対性を得た場合、3次元で既に知られている双対性とは異なる双対性が現れてもよい。しかし、今回の場合は、既に知られていた3次元ザイバーグ双対性を導くことが分かった。この3次元のザイバーグ双対性は、これまで導出法はなく、他の3次元双対性との類比によって予想されたものである。申請者は、この3次元ザイバーグ双対性に関して4次元からの導出法を与えた。

申請者は、以上のように、4次元の随伴表現物質場を含んだザイバーグ双対性を出発点として、理論を円周上に置くという手法によって、3次元のザイバーグ双対性を導いた。これによって、3次元と4次元で独立に知られていたザイバーグ双対性が互いに関係していることを明らかにした。またその際、円周上の理論に現れる位相的配位や非摂動的ポテンシャルの同定・導出を行った。