

學位審查報告書

(ふりがな)	あぜやなぎ たつお
氏 名	畔柳 竜生
学位（専攻分野）	博 士 （ 理 学 ）
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 年 月 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学 専攻
(学位論文題目)	
Aspects of the Large-N Reduction and Matrix Models (ラーゲ N 縮約と行列模型に関する研究)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 川合 光 教授 国広悌二 教授 畑 浩之 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理 学)	氏名	畔柳 竜生
論文題目	Aspects of the Large-N Reduction and Matrix Models		
(論文内容の要旨) Large-N reduction はある種の large-N Yang-Mills 理論とそこから時空依存性を落すことで定義される large-N reduced model と呼ばれる行列模型の等価性を主張するものであるが、超弦理論の非摂動的定式化においてその重要性が指摘されるなど、現代素粒子論において最も重要な概念のひとつである。本論文はユニタリー型 large-N reduced model とそれに関係した行列模型についての申請者の研究成果に基づいている。 ユニタリー型 large-N reduced model に関しては、オリジナルの large-N reduced model では large-N reduction を実現するために必要な中心対称性が弱結合領域で破れており、これを回避することを目的として、クエンチした large-N reduced model およびツイストした large-N reduced model が 1980 年代に提唱されている。そして、これらの模型は large-N reduction を実現していると二十年以上信じられてきた。本論文では、ツイストした large-N reduced model を再考し、詳細な数値計算を行うことにより中心対称性が中間結合定数領域において破れることに言及したのち、中心対称性が破れた相が行列サイズを大きくするとともにどのように拡大するか解析している。そして、planar pure Yang-Mills 理論としての連続極限においても中心対称性は破れていることを指摘し、large-N reduction がこの模型でも成立していないという結論を得ている。 また、ツイストした large-N reduced model は非可換時空上の pure Yang-Mills 理論の定式化をするうえでも有用であると考えられており、具体的な double scaling limit の取り方などが調べられている。しかし、上述の数値計算により明らかとなった中心対称性が破れた相の急激な拡大は、このような理論の定式化も不可能であることを意味している。その結果を受けて、本論文ではさらにエルミート型行列模型とそのファジー解を用いた非可換時空上のボゾンの Yang-Mills 理論の定式化についても、いくつかの例に関して検討している。そして、物理的な自由度を有さない自明な場合を除き、エルミート型行列模型を用いた場合においても同様に定式化が不可能であることを指摘している。 ツイストした模型に加えてクエンチした模型の問題点が指摘される一方で、随伴表現の Dirac フェルミオンを入れた場合の large-N reduction が近年注目されている。そして、この模型に関する先行の数値解析結果は、予想以上に広いパラメータ領域での中心対称性の回復を示唆していた。それゆえ、この模型を用いることで Dirac フェルミオンの入った planar Yang-Mills 理論としての連続極限のみならず、フェルミオンがデカップルした planar pure Yang-Mills 理論としての連続極限を取ることができる可能性も指摘されている。その先行研究を受け、本論文では上記の数値計算の結果を解析的に説明する手法を与えるとともに、その議論を有限温度に拡張し、その場合でもあまり高温にならない限りはゼロ温度と同様に広いパラメータ領域において中心対称性が回復する可能性を指摘している。さらにはその解析的議論に基づく期待を確認するため、有限温度の場合の large-N reduced model に対応する一次元ユニタリー型行列模型の数値計算を実際に行い、期待された通りに中心対称性が保たれていることを確認している。また、このような模型は数値計算上のコストが高いため、ツイストを導入することについても提案しており、その有用性を数値計算により確認している。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では第一に、ツイストした large-N reduced model における中心対称性の破れが行列サイズを大きくするとともにどのように拡大するかを数値的に詳細に調べている。そして、この模型を用いた場合でも planar pure Yang-Mills 理論としての連続極限を取ることができないこと明らかにしているが、この研究成果は長年 large-N reduction を実現すると信じられてきた有望な模型の破綻を決定づける重要なものがある。これは Bringoltz と Sharpe により数値的に明らかにされたクエンチした large-N reduced model の破綻と共に、large-N reduction に関する二十年来の常識を覆し、large-N reduction の新たな実現可能性を探求する上で起点となった研究成果といえることができる。

また、本論文ではツイストした large-N reduced model における中心対称性の破れを踏まえたうえで、ユニタリー型、エルミート型の行列模型を用いた非可換時空上のボゾンの Yang-Mills 理論の定式化が不可能であることを指摘している。この結果は、Raamsdonk らによって予想されていた非可換時空上のボゾンの Yang-Mills 理論の不安定性について、行列模型の立場から簡潔な説明を与えるものであり、また、数値計算を用いて直接的に不安定性が確かめられている例とも無矛盾である。

さらに本論文では、随伴表現の Dirac フェルミオンを加えた場合の Large-N reduction に関連しても言及しているが、行列模型特有のダイナミクスに着目した解析的な議論を用いることにより、先行研究において数値的に示された極めて広いパラメータ領域における中心対称性の回復という結果に対する自然な説明を与えている。また、この解析的な議論は、中心対称性を保つ相から始めた場合に部分的に中心対称性が保たれる相への相転移が起こらないという数値計算結果に関しても説明することができるなど、現時点において得られている数値解析の結果を理解するうえで有用である。さらに、本論文では同様の解析的な議論に基づいて、有限温度への拡張を検討し、その場合においてもあまりに高温でない範囲ではゼロ温度の場合と同様に中心対称性が回復することを指摘したうえで、数値的手法を用いることで回復が起こることを直接的に確認している。この一連の研究結果は随伴表現のフェルミオンを加えた large-N reduction に関するさらなる可能性を提示するとともに、この解析的議論の有用性を支持するものであり、今後の large-N reduction に関する研究において重要な役割を果たすと期待できる。

以上のように、申請者は二十年以上信じられてきたツイストした large-N reduced model の破綻を決定づける研究結果を与えるとともに、非可換時空上の Yang-Mills 理論の定式化という観点においてもこの研究結果が重大であることを指摘した。さらには、非可換時空上のボゾンの Yang-Mills 理論の行列模型を用いた定式化について、より広い枠組みを用いて解析し、その際の困難について行列模型の立場から言及した。一方で、随伴表現のフェルミオンを加えた場合の数値計算の結果について明瞭な解析的な説明を与えた上で、その有限温度への拡張を解析的数値的両面から調べることにより、この模型の有用性を指摘した。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 18 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。