

Title	Nonperturbative solutions for canonical quantum gravity
Author(s)	江澤, 潔
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3109878">https://doi.org/10.11501/3109878</a>
DOI	10.11501/3109878
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	江澤 潔 <small>えざわ きよし</small>
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 12309 号
学位授与年月日	平成8月3月25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	Nonperturbative solutions for canonical quantum gravity (正準量子重力における非摂動論的解)
論文審査委員	(主査) 教授 吉川 圭二  (副査) 教授 東島 清 助教授 佐藤 行 助教授 窪田 高弘 助教授 糸山 浩

### 論文内容の要旨

一般相対論の正準量子化は非摂動論的量子重力へのアプローチの一つとして40年近く研究されてきた。従来の空間計量を基本変数として用いる方法(ADM形式)では、量子重力の力学的方程式と見做される Wheeler-Dewitt 方程式が複雑すぎて解けないと言う困難があった。しかし1986年に Ashtekar は正準変数として  $SL(2, C)$  接続を用いるとWD方程式が簡単な形になることを発見した(Ashtekar形式)。

この Ashtekar 形式で記述されたWD方程式の解は、先ず、1988年 Jacobson と Smolin によって  $SL(2, C)$  接続のスピンール表現における Wilson ループを用いて構成された(Wilson ループ解)。更に、1990年には Kodama と Brenowce によって、ある位相的場の理論( $SL(2, C)$  BF理論)の物理状態はWD方程式の解になっている事が指摘された(位相的解)。

私はこれらWD方程式の解空間の拡張とその時空幾何学的解釈について研究してきた。この博士論文では最近の研究成果についてまとめた。

2節と3節では論文を読むのに十分な知識を提供する。Ashtekar形式の古典論と量子論の復習は2節で行った。3節は spin network states の解説に充ててある。spin network states を Ashtekar 形式を用いた量子重力に応用する試みは最近目覚ましい進歩を遂げつつあるが、残念な事に多くの結果は数学的な定理や命題の形で与えられており物理学者にはいささか解りにくい。そこで、私はこれらの結果をできるだけ(数理)物理の言葉に翻訳するように努めた。とりわけ、spin network states 上で定義された内積(induced Haar measure と induced heat-kernel measure)の具体的な公式を与えた。

4～6節は筆者の研究に基づいている。4節では spin network states の簡単な応用例として Wilson ループ解を  $SL(2, C)$  の任意の有限次元表現にかなり容易に拡張出来る事を示す。ここでは、局所的演算子の spin network states への作用がそれらが定義されたグラフの局所的な操作で表せると言うメリットが効いてくることを示す。しかし、これらの解は縮退した空間計量に対応し、物理的にはあまり面白くない。そこで、5節ではもっと非自明な解を探す一つの試みとして格子離散化した Ashtekar 形式を調べ、最も単純な非自明な解(multi-plaquette solutions)を構成する。この解はまだ縮退した計量に対応する解であるが、その非自明な構造及び性質は今後 spin network states を使った Ashtekar 形式が進むべき方向を示唆する。4, 5節で見ると spin network states からWD方程式の解を構成する研究はまだ始まったばかりであり、どちらかと言うとこれからの発展が楽しみな分野である。そ

ういう意味では位相的解が今のところ唯一物理的意味がはっきりした解の集合であると言える。6節ではこの位相的解が半古典的には Einstein 方程式の真空解の集合に対応し、従って量子重力の真空状態と解釈出来る事を示す。特に、宇宙定数がゼロの時の位相的解は半古典的には平坦時空の幾何学的構造（もっと正確には Lorentzian structures）の集合を表す事を示す。又、具体例として空間の位相が  $T^3$  の時を調べた。これまでは純粋な重力理論に議論を限ったが、実は、 $N=1, 2$  超重力にも Ashtekar 形式が適用出来、位相的解が存在する事が解っている。6節ではまた、この事実を  $N=1, 2$  超 Ashtekar 形式と graded BF 理論との関係を明らかにする事により統一的に説明している。

7節は Wilson ループ解にも位相的解にも属さないと思われる解についての説明と Ashtekar 形式に基づく正準量子重力が完成するために克服すべき課題についての議論に充てられている。

### 論文審査の結果の要旨

重力問題をとりあつかう一般相対性理論の量子化は現代物理学における最重要課題の一つである。江澤君は、その一つの方法である Ashtekar 形式に着目し、今迄求められて来た Wilson ループ解は縮退した空間計量であることの原因を解明し、それを回避する手掛りを得た。それにもとづいて、位相解と呼ばれる一群の解は、量子重力の真空解として解釈できることを示し、幾つかの具体例を求めた。

江澤君の研究は、極めてむずかしい問題の中から精力的な研究によって、物理的に意味の明確な結論を引き出した点で高く評価され、博士（理学）論文として価値あるものと認められる。