

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 不連続空間上のスピネットワークの期待値の研究

熊本大学大学院自然科学研究科 理学 専攻 物理科学 講座
(主任指導 矢嶋 哲 准教授)

論文提出者 山下 慎司
(by Shinji Yamashita)

主論文要旨

巨視スケールにおいて重力を力学的対象として扱う場合は一般相対論が用いられる．一方で素粒子物理学の標準理論では時空が平坦なものとして扱われており，重力はこの理論において力学的対象として扱われない．重力を考慮した理論では，時空が曲がっていても理論が変わらないことが要求される．

重力を量子論的に扱う試みのひとつに正準量子化を用いたループ重力理論がある．この理論では配位変数として接続を採用することで，重力の理論をある程度 Maxwell 理論や Yang-Mills 理論の類似として記述できることが知られている．このとき波動関数は 3 つの拘束の方程式，すなわち Gauss 拘束，微分同相拘束，ハミルトニアン拘束を満たすことが要求される．ウィルソンループはこれらの方程式を満たす波動関数を記述するための便利な道具と考えられている．

一方，拘束を満たすものとして他に Chern-Simons 状態が知られている．これは宇宙項がゼロでないときに，3 つの拘束を満たす．Chern-Simons 状態のループ表現はちょうど Chern-Simons 理論上のウィルソンループの期待値になる．この期待値は結び目不変量とも関係が深い．

近年はループ重力理論などの発展に伴い，ウィルソンループのかわりに，それをさらに拡張したスピネットワークを用いて同様の議論がなされている．スピネットワークとはウィルソンループを拡張したもので，ループのかわりにホロノミーからなる辺と不変テンソルからなる点で構成されるグラフを持つ．

本研究の目的は Chern-Simons 理論とウィルソンループとの関係の類似として，スピニフォームモデルとウィルソンループ（およびスピネットワーク）の関係を調べることである．スピニフォームモデルとは大雑把に言えば，不連続化された時空上で経路積分を扱ったものである．これは主にループ重力理論で時間発展を扱うための道具として導入され，現在もさまざまなモデルが考えられている．これらのモデルは BF 作用で構成されているが Chern-Simons 状態の類似として BF 状態を考えると，これが宇宙項がゼロのときの拘束の

方程式を満たすことが示唆されている。この理論におけるスピネットワークの期待値は BF 状態のループ表現ともいえる。本研究では期待値を計算するために Freidel-Krasnov-Mikovic モデルの生成汎関数を求めて、図によって表す。それを用いて期待値を摂動論的に取り扱う。

本論文の内容は次の通りである。まず第 1 章では接続を用いた重力の理論とその作用について述べる。第 2 章ではウィルソンループとスピネットワークの基本的な性質について述べる。そしてスピネットワークの具体例をいくつか紹介する。第 3 章では Chern-Simons 理論のウィルソンループおよびスピネットワークの期待値を摂動的に計算する。第 4 章では第 3 章の類似として不連続な空間上でのスピネットワークの期待値を扱う。まずはスピフォームモデルを導入し不連続な空間を扱う。期待値の計算のために Freidel-Krasnov-Mikovic モデルの生成汎関数を求め、スピネットワークの期待値について考える。5 章では前章までのまとめと今後の展望について述べる。