学位申請論文公開講演会

日時：2025年1月27日(月) 14:00～

申請者：三倉 祐輔 (C研)

場所：A421およびオンライン

題目：Analytical and Phenomenological Aspects of Metric-Affine Gravity

(Metric-Affine 重力理論の解析的・現象論的側面の探究)

主論文の要旨

一般相対性理論は時空の幾何学を基盤に、素粒子標準模型は物質の内部空間の幾何学を基盤とするという数学的共通点を持つ。しかし、一般相対性理論では接続と呼ばれる幾何学量が独立な自由度でない一方で、素粒子標準模型では理論の自由度として扱われる質的な違いがある。時空の接続を独立の自由度として扱うことで重力とその他の力にある種の統一性を持たせることができ、このように一般相対性理論を拡張した重力理論は metric-affine 重力理論と呼ばれている。

時空の接続を新たな自由度として扱う metric-affine 重力理論は、計量とランク3のテンソル場で構成される場の理論と理解される。ランク3のテンソル場には様々な粒子 (SO(3)表現) が含まれており、その中のいくつかは理論を適切に制限しない限りゴーストやタキオンと呼ばれる場の理論として望ましくない性質を持ち伝播する。ゴーストやタキオンを持たない metric-affine 重力理論の理論空間の分類が完了していない点が解析的研究の課題点であり、悪い性質を持たない理論空間を明らかにすることが重力理論の理解とその宇宙論への応用に必要である。

Metric-Affine 重力理論の宇宙論への応用は、現象論的なインフレーション模型構築に留まり、模型の理論的整合性の精査が行われていないことから発展途上であると言える。標準模型ヒッグス粒子をインフレーションの起源とするパラティーニ・ヒッグス模型は重力とヒッグス粒子の大きな結合が要求する。しかし、この強い結合は摂動的場の理論で扱えるエネルギー領域を下げることが知られており、より根源的な理論を見つけること (紫外完備化) が重要であるが、具体的な紫外完備化された模型は見つかっていない。

主論文第一部では、metric-affine 重力理論の解析的側面の解決に向けて、拡張に伴い現れる様々な粒子のうち一つだけが動的となる状況に限定し、その粒子がゴーストやタキオンを持たない理論空間の分類を行った。自由場の伝播に関わる全ての演算子を書き下した有効場の理論を粒子の性質であるスピンとパリティごとに分解し、理論のパラメーターが取るべき領域を明らかにした。

主論文第二部ではヒッグスインフレーションの紫外完備化に関する研究をまとめた。申請者は一般相対性理論に基づく計量・ヒッグス模型とパラティーニ・ヒッグス模型を繋げる模型を考案し、高エネルギー理論への完備化を議論した。パラティーニ・ヒッグス模型の曲がった標的空間を一次元高い平坦な空間に埋め込み、ポテンシャル項としてヒッグス場が拘束されていた超曲面を調べることで、この拡張の中では計量・ヒッグス模型の極限でしか一粒子でプランクスケールまで紫外完備化することができない示唆を与えた。また、パラティーニ・ヒッグス模型の近傍の模型を定義し、計量・ヒッグス模型の紫外完備化の手法として知られるラージ N 極限を用いて、量子補正を加えた理論がゴーストやタキオンを持たないことを要請することで紫外完備化のための条件を与えた。