

関西学院大学 研究成果報告

2019年 3月 11日

関西学院大学 学長殿

所属：理工学研究科
職名：博士研究員
氏名：榊原 由貴

以下のとおり、報告いたします。

研究制度	<input type="checkbox"/> 特別研究期間 <input type="checkbox"/> 自由研究期間 <input type="checkbox"/> 大学共同研究 <input type="checkbox"/> 個人特別研究費 <input checked="" type="checkbox"/> 博士研究員 ※国際共同研究交通費補助については別様式にて作成してください。
研究課題	インフラトンと標準模型粒子の拡張された相互作用理論の構築
研究実施場所	関西学院大学 理工学研究科
研究期間	2018年 4月 1日 ～ 2019年 3月 31日 (12 ヶ月)

◆ 研究成果概要 (2,500字程度)

上記研究課題に即して実施したことを具体的に記述してください。

初期宇宙の加速膨張期であるインフレーションのメカニズムは、近年精密化が進んでいる宇宙背景放射の観測や統計的な銀河分布の解析により明らかとなりつつある。また、インフレーション以後の熱化された宇宙であるビッグバンとそれ以降について既知の理論による予言は多くの観測と整合的である。しかし、これらの間の遷移期である“宇宙の再加熱”と呼ばれる時期については不定性が大きく、詳細は未解明である。この時期には、インフレーションを引き起こす場であるインフラトンが標準模型粒子(以下、物質場と呼ぶ)へと崩壊し、その過程で宇宙の熱化が実現したと考えられている。不定性が生ずる原因の一つが、崩壊していて現在観測にかからないインフラトンと物質場がどのような相互作用をしていたのかが全くわかっていないことである。相互作用の詳細によって、再加熱時に宇宙の温度がどのくらい高温であったのかや、粒子生成がどれくらいの間継続していたのかといった振る舞いが異なるため、相互作用の詳細を明らかにすることは再加熱期を理解するために必要不可欠である。これまで再加熱時の粒子生成を議論する際、インフラトンと物質場に対し微分を含まない簡単な相互作用モデルが考えられてきたが、一般に微分も含む相互作用が再加熱時に重要な役割を果たしていた可能性がある。

理論に新たな相互作用を導入する際には、実は明らかに禁止されるべき相互作用がある。問題となるのは、微分の階数が高い項(高階微分項)を含む相互作用があると一般には、

理論を量子化した際に安定な真空が存在しないことである。この問題は、高階微分が理論に含まれていることにより生ずる余剰自由度が原因であり、発見者に因み“オストログラドスキーのゴースト不安定性”と呼ばれる。特に、インフラトンや重力、ゲージ場などのボソン自由度に対しては、高階微分項を含んでいながら、この不安定性を回避できる相互作用が近年発見されてきている。しかし、インフラトンとの相互作用を通して宇宙の再加熱期に生成された物質場にはボソン自由度だけでなく、フェルミオン自由度も存在する。そのため、インフラトン-物質場の一般の相互作用モデルとしてはこれまで構成されてきた理論では不十分である。

理論的に可能であるがこれまで考慮されていなかった新たなインフラトン-物質場または相互作用が再加熱過程に及ぼす影響を明らかにするため、インフラトン-フェルミオン相互作用の構成手法を確立し、具体的な相互作用の提案に取り組んだ。ワイルフェルミオンの自由度が1次拘束条件により半減していることから推測されるように、フェルミオンに関しては2階微分ではなく1階微分を作用に含む場合でも、一般には余剰自由度が現れる。本年度までに、まず時間微分に注目し、空間微分を無視したボソン-フェルミオン共存系での解析力学において、オストログラドスキーのゴースト不安定性を取り除く縮退条件を明らかにしていた。本年度は、解析力学で得た構成法を共変的な理論へ拡張することにより、インフラトンとフェルミオンの新たな相互作用モデルを提案した。更に、スカラー場-フェルミオン系相互作用を構築する手法を応用し、重力とフェルミオンのノンミニマルな相互作用の構築にも取り組んだ。

共変な理論において、背景時空を平坦時空とする複数スカラー場と単独のワイルフェルミオンが相互作用するラグランジアンを拡張を行った。作用に含まれる1階微分の2次までの相互作用で余剰自由度を生じない最も一般的な作用を構成した。系の時間発展が定まるために必要な作用に課される条件も明らかにした。不安定性を伴わずに構成するのが困難と考えられてきたフェルミオンの1階微分の2次を含む項を安定に構成できることを示した。しかし、そのような項は他に相互作用する場が存在しない場合、場の再定義により自明となることを明らかにした。そのような項が実は、複数のワイルフェルミオンを含む相互作用に拡張することで、非自明になることも示唆された。一方、スカラー場の微分とフェルミオンの微分のクロス項については、場の再定義によって取り除かれないことを示し、複数のフェルミオンが相互作用しない場合にも真に新しい相互作用であることを確認した。

具体的には、共変理論における縮退条件及び許される具体的なラグランジアンを書き下し、運動方程式が非線型微分方程式となる場合も含めた時間発展の唯一性条件の導出、提案する相互作用の場の再定義による非自明性の証明、複数のワイルフェルミオンが存在する場合にも適用可能な“あらゆる相互作用を重複なく書き下す体系的手法”の提案を行った。

発表論文：

R. Kimura, YS, M.Yamaguchi, *Ghost-free scalar-fermion interactions*, Phys.Rev.D 98(2018)044043.

セミナー発表：

Ghost Freeness of Boson-Fermion Systems, Cosmology Group Meeting, McGill University, Canada, February 2019.

研究会発表：

R. Kimura, YS, M.Yamaguchi, *Derivative couplings including fermions*, The 2nd Korea-Japan bilateral workshop on String Axion Cosmology, Unzen, Nagasaki, January 2019.

R. Kimura, YS, M.Yamaguchi, *Degenerate scalar-fermion theories*, Essential next steps for gravity and cosmology, Tohoku University, June 2018.

以上

提出期限：研究期間終了後2ヶ月以内

※個人特別研究費：研究費支給年度終了後2ヶ月以内 博士研究員：期間終了まで

提出先：研究推進社会連携機構（NUC）

※特別研究期間、自由研究期間の報告は所属長、博士研究員は研究科委員長を経て提出してください。

◆研究成果概要は、大学ホームページにて公開します。研究遂行上大学ホームページでの公開に支障がある場合は研究推進社会連携機構までご連絡ください。