

シーズのテーマ: 超弦理論の数値シミュレーション

【研究者】

氏名: 東 武大(あずま たけひろ)
 学部: 理工学部
 学科: 基礎理工学機構
 職階: 准教授
 連絡先: ※下段、お問い合わせ先をご参照ください。



【研究の概要】

超弦理論は弱い相互作用、強い相互作用、電磁相互作用に加えて、重力相互作用を統一的に記述する理論の有力な候補です。超弦理論の摂動論によらない定式化として、IKKT 行列模型が提唱されています。

私はこれまで、主に行列模型の数値計算を通して私たちの住んでいる宇宙が生成される機構について研究してきました。超弦理論は数学的な整合性から時間 1 次元+空間 9 次元の 10 次元時空で定義されます。このことから宇宙初期では空間が 9 次元に広がっており、宇宙膨張の過程で空間の 3 次元方向のみが膨張したと考えられます。

これまでの研究では、時間 t を虚時間 $-it$ に読み替えたユークリッド時空上の行列模型における時空の対称性の破れについて調べてきました。ユークリッド時空上の行列模型ではフェルミオンの積分から来る pfaffian は複素数になるため、いわゆる『符号問題』に直面します。一方、この行列模型では pfaffian の複素成分が、10 次元時空が低い次元に潰れる上で本質的な役割を果たすため、時空の生成の問題においては『符号問題』は避けられない問題です。そこで『符号問題』を解決するために、『因子化法』と呼ばれる方法を適用して数値計算を行いました。解析的な計算により、この行列模型は時空の次元に依らず一定の体積を持ち、潰れた方向が一定の大きさの広がりを持つことが知られていますが、私たちの数値計算の研究により、この力学的な性質を再現することに成功しました。

【研究の特長・従来技術との比較】

私たちの研究の特徴は、時空の生成や宇宙の膨張の機構を数値解析によって第一原理から計算しようと試みた点にあります。また因子化法は、符号問題を持つ一般の系について応用可能であり、幅広い分野に役立つと期待できます。

【研究の状況】



【課題、今後の方向性】

時間 t を実時間のまま扱った行列模型では、ある時刻を境に 9 次元時空のうち 3 次元が急速に膨張することが知られています。この行列模型の研究を通して、宇宙膨張および私たちの宇宙の物質がどのようにして生成されたかを研究することは興味深い課題だと考えております。

【用途・効果】

私たちの研究で用いた計算手法は幅広い分野に役立つと考えられます。

- (1) グラスマン数で記述されるフェルミオンを含んだ行列模型の数値計算では、 $x^{-1/4}$ (或いは $x^{-1/2}$) を有理式(1 次分数関数)の有限和で近似する Rational Hybrid Monte Carlo(RHMC) simulation という手法を用います。この数値計算で現れる 1 次連立方程式 $(A+bE)w=v$ は、 A は成分の大多数が 0 で巨大な正方行列(典型的には 4000 行 4000 列程度)なので共役勾配法を用いて解きます。
- (2) 『符号問題』は自然科学の様々な文脈で現れうる問題であり、『因子化法』は符号問題を持つ一般の系に適用可能な手法です。
- (3) 特にスーパーコンピュータ上で数値計算を効率的に行う上では MPI 並列化を行う必要がありますが、並列計算の技術は自然科学の様々な分野で重要になります。

【関連資料・特許・文献・参考事項】

- [1] K.N. Anagnostopoulos, T. Azuma and J. Nishimura, "Monte Carlo studies of dynamical compactification of extra dimensions in a model of nonperturbative string theory," LATTICE2015 会議報告 [arXiv: 1509.05079 [hep-th]].
- [2] K.N. Anagnostopoulos, T. Azuma and J. Nishimura, "Monte Carlo studies of the spontaneous rotational symmetry breaking in dimensionally reduced super Yang-Mills models," JHEP1311, 009 (2013) [arXiv: 1306.6135 [hep-th]].
- [3] K.N. Anagnostopoulos, T. Azuma and J. Nishimura, "A General approach to the sign problem: The Factorization method with multiple observables," Phys. Rev. D **83**, 054504 (2011) [arXiv: 1009.4504 [cond-mat. stat-mech]].