

超弦理論の数値シミュレーション

氏名: 東 武大 (あずま たけひろ)

学部: 理工学部

学科: 都市環境工学科

職階: 准教授

連絡先: <http://www.setsunan.ac.jp/~sb-junbi/index.html>



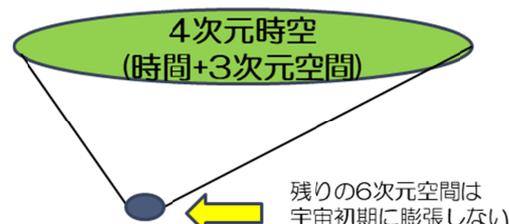
研究の概要

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 $-it$ (i は虚数単位) 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長い間調べられてきました。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。符号問題を持つ系を数値的に扱う上で有用な方法として、『因子化法』や『複素ランジュバン法』があります。特に『複素ランジュバン法』に関しては、近年の研究で経路積分と等価な正しい結論を導くための条件について理解が進んでおります。これ等の研究を通して、ユークリッド時空上の IKKT 行列模型での時空の解釈、及び符号問題を持つ系の数値計算に関する理解を深めたいと思います。

また、時間 t を虚時間 $-it$ に読み替えず、実時間として扱うローレンツ時空上での IKKT 行列模型の数値計算では、宇宙初期における 3 次元方向の膨張を示唆する結果が先行研究で得られました。数値計算を通して宇宙膨張の時間発展について調べることで、輻射優勢、物質優勢等の宇宙膨張の仕組みについて調べたいと思います。



特長・効果 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。また因子化法や複素ランジュバン法は、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。

利用・用途 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現れる 1 次連立方程式 $Aw=v$ では、 A は成分の大多数が 0 で巨大な正方行列です(典型的には 5000 行 5000 列程度)。これを解く上で用いる共役勾配法は、自然科学で様々な応用があります。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。
 (2) 『符号問題』は自然科学の様々な文脈で現れ得る問題であり、『因子化法』や『複素ランジュバン法』は符号問題を持つ一般の系に適用可能な手法です。

【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 PoS LATTICE2015 (2016) 307 [arXiv: 1509.05079 [hep-lat]].

[2] T. Azuma, Y. Ito, J. Nishimura and A. Tsuchiya, "A new method for probing the late-time dynamics in the Lorentzian type IIB matrix model", PTEP 2017 (2017) no.8, 083B03 [arXiv: 1705.07812 [hep-th]].

[3] T. Azuma, P. Basu and P. Samantray, "Phase Transitions of a (Super) Quantum Mechanical Matrix Model with a Chemical Potential", JHEP 1709 (2017) 071, [arXiv: 1707.02898 [hep-th]].

[4] K.N. Anagnostopoulos, T. Azuma, Y. Ito, J. Nishimura and S.K. Papadoudis, "Complex Langevin analysis of the spontaneous symmetry breaking in dimensionally reduced super Yang-Mills models" [arXiv: 1712.07562 [hep-lat]].