

# Study of Kerr-AdS5 spacetime from the quasi-normal modes and the catalytic effect of the vacuum decay

古賀, 一成

<https://hdl.handle.net/2324/6787400>

---

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (理学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 古賀一成

論 文 名 : Study of Kerr-AdS<sub>5</sub> spacetime from the quasi-normal modes and the catalytic effect of the vacuum decay  
(準固有振動と真空崩壊における触媒効果による Kerr-AdS<sub>5</sub> 時空の研究)

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

現代宇宙論は宇宙開闢直後から現在までの時空の発展を観測と整合するように非常によく説明することができる。一方、素粒子の標準理論は自然界の基本的な相互作用のうち強い力、弱い力、電磁相互作用を記述し、加速器実験などでの高エネルギー現象をうまく説明できる理論である。現代の物理学ではこのように素粒子レベルのマイクロなスケールの素粒子から現在の宇宙のサイズほどのマクロなスケールまでを取り扱うことが可能になっており、実験・観測と理論において成功を収めているが、未解決の問題や興味深い理論的な予言などが存在している。

その未解決問題の1つが量子重力理論である。これは現代物理学の枠組みの中で未だ確立しておらず、「超弦理論」や「ループ量子重力」が有力な候補として議論されている。この理論は、我々の宇宙が量子的な揺らぎにより有限の非常に小さな時空が創発され、その直後に指数関数的に急激に膨張したとするインフレーション理論を考える際に重要である。なぜならば、このインフレーションを起こす時空の種が創発した瞬間では、時空自体が量子的であると思われるためである。

量子重力理論の最有力候補として超弦理論は盛んに研究がなされてきたが、理論の真空の構造が複雑であり、また、観測によって支持されている加速膨張する4次元ドジッター時空を構成することが難しいことが知られている。そのため超弦理論と我々の宇宙をつなぐ「何か」が必要であると考えられる。その1つとして、最初から4次元のドジッター時空を作るのではなく、5次元の準安定なアンチドジッター(AdS)時空から始めて、この5次元時空を真空崩壊(相転移)させることによって4次元ドジッター時空を構成するという提案がなされた。真空の崩壊は準安定な時空中に内側が真の真空で満たされたバブルが出現することで始まり、そのバブルが広がっていくことで崩壊が進んでゆく。5次元時空でのバブルの表面は4次元時空であり、このバブルがどのような広がり方をするのかは崩壊前後の時空をうまく繋げる条件から決まっている。このバブルの従う運動方程式が、ドジッター時空のフリードマン方程式と同じ形をしており、4次元の加速膨張するような有効的なドジッター時空をこのようにバブルの表面に作ることができるという「バブル時空」が提案された。

このバブル時空を構成するには準安定な5次元 AdS 時空(AdS<sub>5</sub>)が必要となる。本研究では、この可能性について準固有振動を用いた古典的な解析と真空崩壊における触媒効果という量子論的な解析の2つの観点から理論的な研究を行なった。

5次元 AdS 時空上に回転するブラックホール(Kerr-AdS<sub>5</sub>)を導入し、この時空に対するスカラー場の摂動を、準固有振動を用いて調べた。準固有振動とは摂動を振動のモードで展開した時に、境界条件を満たす離散無限個現れる固有振動数のことであり、摂動に対して背景時空が安定かどうかは複素振動数の虚部の符号を読み取ることで知ることができる。ブラックホールの質量が小さい場合

には、この Kerr-AdS<sub>5</sub> の準固有振動数には摂動に対して不安定になるようなモード(時間発展で発散してしまうモード)が存在することが知られていたが、我々は Heun 方程式を用いる手法によってより広い領域における解析を行った。一般に 5 次元時空では回転するブラックホールには 2 つの独立な回転軸があるが、2 つの軸での回転の角運動量が同じ値である場合よりも、その値に差がある方が時空の対称性が低くなる。準固有振動を用いた解析によって、対称性が低い方が、高い場合より摂動に対する不安定性が増すことを明らかにした。また、離散的に分布する準固有振動の漸近的な振る舞いを調べることで、これまで知られていなかった 2 つのタイプの準固有振動が存在することも明らかにした。1 つはブラックホールのホライズンと AdS の境界との間の共鳴を表すタイプで、系の不安定性に対応しており、もう 1 つは虚部がブラックホールの温度に比例する間隔で並んでおり、ブラックホールの熱力学的な性質を反映している。

もう 1 つの観点である真空崩壊における触媒効果とは、ブラックホールなどの物体が準安定な真空中に存在すると、その時空における真空崩壊が促進されるというものである。この現象はこれまで 4 次元時空中の回転していないシュバルツシルトブラックホールに対して議論されていた。本研究では Kerr-AdS<sub>5</sub> の触媒効果について調べ、回転によって崩壊が促進されることを明らかにした。この結果と上述の準固有振動数による不安定性の研究結果と比較することにより、古典的な不安定性である摂動が発散する時間スケールと量子的な現象である真空崩壊における時空の寿命という 2 つの時間スケールに関して比較することが可能となり、本研究では量子的な不安定性の方が常に大きくなるようなパラメータ領域が存在することを示した。