

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 ₅ 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 ₅ 時空の研究)
論文調査委員	主 査 九州大学 教授 原田恒司 (基幹教育院) 副 査 九州大学 教授 鈴木博 副 査 九州大学 准教授 小島健太郎 (基幹教育院)

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

現在、世界を構成する素粒子の間にはたらく相互作用は、重力、電磁気力、弱い相互作用、強い相互作用の4つが知られており、それらのうち重力を除く3つの相互作用は、繰り込み可能な場の量子論である標準理論によって極めて精度良く記述されることが実験的に確かめられている。重力は古典的にはアインシュタインの一般相対性理論によってよく記述されているが、重力を量子化することに関しては、多くの努力が払われているにも関わらず、未だに完成されていない。現在、量子重力の最有力候補と考えられている超弦理論は、10次元の時空から、何らかの仕組みによって、我々の4次元時空を説明するものと期待されているが、一般に許される解が極めて多く、それらからどのように我々の世界が選ばれたのかは誰もわからない。

超弦理論に基づく宇宙創生を考える上での障害として、加速膨張する解であるド・ジッター (dS) 時空を構成することが難しいことはよく知られている。我々の時空が加速膨張していることは観測的に確認されているにもかかわらず、これを超弦理論の枠内で直接実現することは不可能だとすら考えられている。この問題に対する一つの可能な解として、(超弦理論から構成が容易な) 5次元の反ド・ジッター(AdS) 時空が1次相転移を起こし、その際に生じる(4次元面を構成する)泡が我々の4次元宇宙と同定されるという「泡宇宙」シナリオがある。この泡の面上に4次元のド・ジッター時空を実効的に実現することができる。

このシナリオが成功するためには、5次元 AdS 時空がある程度安定に存在しながら、相転移を起こすことが必要である。そのため、この時空の安定性について理解を深める必要がある。先行研究では、5次元 AdS 時空中にシュヴァルツシルト・ブラックホールがある場合についての研究がなされている。本研究者はこの結果を回転しているブラックホールであるカー・ブラックホールの場合へと一般化し、より一般的な状況での5次元 AdS 時空の安定性についての研究を行った。

安定性を議論するに際して、本研究者は古典的なレベルでの安定性と、量子論的なレベルでの安定性を調べている。古典論的には、時空の計量にスカラー的な摂動を加えた際の安定性を、準固有振動モードを調べる事によって研究した。準固有振動モードは一般的に複素数の振動数を持ち、その虚部の正負で摂動のもとでの時空の安定性を議論できる。すべての振動数の虚部が負であれば摂動は成長せず時空は安定であるが、正の虚部をもつ振動数が存在すれば、対応するモードは成長し、時空の不安定性を表す。一方、AdS 時空中に生じる泡の生成は量子論的なトンネル効果による。この生成確率は時空にブラックホールが存在すると増大し、ブラックホールが触媒の役割を果たすことがシュヴァルツシルト・ブラックホールの場合には知られている。

本研究者はカー・ブラックホールを含む5次元 AdS 時空の安定性をこれら2つの観点から調べた。準固有振動の方法においては、準固有振動モードが満足するホイーン方程式を数値的に解析することによって、先行研究では得られなかった広いパラメタ領域での解を調べることができた。準固有振動数には2つの系列があり、一方の系列では、ブラックホールの質量が小さい場合には、系を不安定化する解が存在するが、ブラックホールの質量が大きくなると、そのような解がなくなることがわかった。もう一つの系列は全て安定な摂動を表しており、その周期性からブラックホールの熱的な情報を表していると考えられる。また、回転しているブラックホールの角運動量が大きくなるに従って、不安定性が増大することを示し、準固有振動の解析を通してループ量子重力理論との繋がりを示唆する結果も得た。

量子論的なトンネル効果による泡の生成確率を計算するために、泡の内部と外部とを繋ぐ条件を導き、それによって、泡の運動を表す方程式を導いた。その方程式に現れるポテンシャル項から、トンネル効果の大きさを評価することができる。(量子力学における WKB 近似による透過確率の計算に対応する。) その結果、ブラックホールの存在によって泡の生成確率は増大するという、触媒効果をカー・ブラックホールの場合にも示すことに成功した。

典型的なパラメタの値に対して、5次元 AdS 時空のスカラー的な摂動のもとでの不安定性の時間スケールと、量子論的なトンネル効果の時間スケールを比較し、摂動のもとでの不安定性の時間スケールはトンネル効果の時間スケールに対して十分大きいことを示した。このことは、「泡宇宙」シナリオが成立するために必要な条件であった。実際、もし5次元 AdS 時空が摂動のもとですぐに不安定になっていたとすると、泡を生成する相転移が起こる前にそのようなセットアップは破綻してしまっただけである。

以上の結果、本研究者は超弦理論と我々の時空を繋ぐ「泡宇宙」シナリオの成立条件について、回転するブラックホールが存在する場合の5次元 AdS 時空という一般化された状況での不安定性を調べることによって、「泡宇宙」シナリオが古典的な不安定性の問題にもかかわらず、成立しうることを示すことに成功した。この研究は「泡宇宙」シナリオに基づく宇宙創生の研究を着実に推進したと評価できる。

よって、本研究者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。