

令和 3 年 5 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05419

研究課題名（和文）準安定なヒッグス真空の崩壊と触媒効果

研究課題名（英文）Catalytic decay of metastable Higgs vacuum

研究代表者

大河内 豊（Okouchi, Yutaka）

九州大学・基幹教育院・准教授

研究者番号：40599990

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：触媒効果に基づく準安定状態の崩壊について研究した。特に、ブラックホールやストリングクラウドと呼ばれる物体がある場合に生じる触媒効果について調べ、それを二つのことに応用した。一つは、5次元時空における真空崩壊の際に生じる4次元のバブルについてである。我々の世界がその上の4次元時空実現されている場合、触媒効果によってどのようなバブルが生みされやすいかが異なってくる。これにより、宇宙項問題を解決する糸口を見つけた。もう一つは、4次元理論におけるヒッグス真空の崩壊についてである。これも触媒効果により崩壊が早まることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

統一理論においてドジッター時空を構成することは、現在の宇宙を説明するためには必要なことである。その構成が統一理論の候補である弦理論において大変困難であることがわかってきている。その中で、これまでとは別の方向性が模索され、高次元理論に生じるバブル上に我々の宇宙があるというシナリオが提案された。我々は高次元に物質が存在するとそれによる触媒効果が起こり、ある種類のバブルが生成されやすくなることを見つけた。それを現存の宇宙に存在する物質を再現するように5次元理論を構成すると、自動的に小さな宇宙定数をもつドジッター時空が生み出されることを示した。これを用いれば宇宙項問題が解決される可能性がある。

研究成果の概要（英文）：We studied the catalytic decay of metastable vacua. In particular, we discussed the inhomogeneous vacuum decay triggered by black holes and string clouds. Firstly, we applied this idea to creation of our four dimensional universe in five dimensions. This leads to remarkable fact that the bubble with very small cosmological constant is favored by the catalysis, provided that appropriate scales of the black hole and the cloud of strings are present. This can be used to solve the cosmological constant problem. Also, we applied it to decay of Higgs vacuum in four dimensions.

研究分野：素粒子論，弦理論

キーワード：ブラックホール ストリングクラウド 時空の崩壊

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、特に注目されていたのが、ヒッグス粒子の発見とトップクォーク質量の精密測定より明らかになった標準模型の準安定性である。準安定状態であるならば、真空は有限の時間で崩壊することになるが、その寿命に関する研究が注目されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、この準安定状態の寿命が触媒効果によってどのような影響を受けるかを調べることである。場の理論における触媒効果の研究は80年代に遡るが、そこで培われた知見が再注目され、さらに詳しい研究が進んでいる。4次元のヒッグス真空の寿命に関して触媒効果が引き起こされる状況がありうるのかを調べるのが一つの目的である。もうひとつの目的は、弦理論で実現されている準安定状態にも同様の効果が起こるのかを明らかにし、弦理論の真空構造に対する新たな知見を得ることである。こうした視点から一般的に、触媒効果がどのようなときに機能するのかを見極め、その性質を明らかにすることは重要な問題である。

3. 研究の方法

触媒の導入方法として弦理論においては、ブレーンと呼ばれる物体の上に我々の住んでいる状況を用い、それとは別のブレーンを内部空間に巻きつけることで触媒としての物質を導入した。その構成から得られるラグランジアンを用い、コールマンのバウンス作用を計算するテクニックを用いることで数値的にその振る舞いを調べる。

もう一つの方法は、重力の寄与が無視できない状況において、触媒効果を考える方法である。ここでは古典重力解を用いることで触媒となる物質を導入することができる。我々は具体的にブラックホールやストリングクラウドといった物体を導入し、それに対応する重力解を用いることで触媒効果を調べた。ここでも厳密に計算することは難しく数値計算によりその傾向を調べた。

4. 研究成果

研究成果は大きく分けて3つある。

(研究成果1) 本研究の大きな目標であったヒッグス粒子の真空における触媒効果と真空崩壊について定量的な結果を得ることができた。ブラックホールやストリングクラウドが存在すると、真空崩壊が早まることを、ある種の近似が正しい範囲で確認した。また、ストリングクラウドは宇宙紐として実際に観測可能であり、その制限からくる条件と、ヒッグス粒子のポテンシャルの形状が密接に関係することを突き止めた。これは宇宙論的な観測と素粒子論を結びつけることになり大変興味深い結果である。この結果は、古賀氏(九大)と黒柳氏(名古屋大、バルセロナ大)と共に共同研究としてまとめPLBに投稿した。

(研究成果2)弦理論におけるドジッター時空の構成において重要な役割をしているのが, KKLT シナリオと呼ばれるものである. 我々はこのモデルでの触媒効果も調べた. その中で D3 プレーンの特異点が解消されたサイクルに巻きつけることで, ダイオニクな粒子として振る舞う物体が導入でき, それ触媒となることを突き止めた. このプレーンと真空崩壊を引き起こすバブルが束縛状態を構成したものが, 真空崩壊を早める可能性を指摘し, 具体的に数値的に崩壊率を計算した. その結果, 粒子の電荷や磁化の大きさによって真空の崩壊が早まることがわかった. この結果は棚橋氏(九大)と中井氏(ラトガース大)と共に共同研究としてまとめ PRD に投稿した.

(研究成果3)これは全く予想していなかった方向性での応用である. 近年の弦理論の新しい真空構造の理解から新たなシナリオが提案された. 5次元時空中に実現する4次元バブルの上に我々は住んでいるという見方である. このバブル自体の生成に触媒効果が使えることに我々は気がついた. このシナリオでは, 宇宙定数も触媒効果の影響を受ける可能性があることに気がつき, このシナリオにおける触媒効果を丹念に調べた. その結果, 宇宙定数が触媒の量により決定され, そこではいわゆる宇宙項問題は起こらない可能性があることを突き止めた. この研究で, 4次元の放射や物質を実現するために重要な役割を果たすのが, ヒッグス真空の崩壊で議論したブラックホールとストリングクラウドである. これらの量を現実の世界の放射と物質のエネルギー密度を調整するだけで, 自動的に宇宙定数の値が真空崩壊の起こりやすさにより決定されることが興味深い. これらの結果は論文としてまとめ JHEP に投稿した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Issei Koga, Sachiko Kuroyanagi, Yutaka Ookouchi	4. 巻 800
2. 論文標題 Instability of Higgs Vacuum via String Cloud	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letter B	6. 最初と最後の頁 135093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.135093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Issei Koga, Yutaka Ookouchi	4. 巻 10
2. 論文標題 Catalytic Creation of Baby Bubble Universe with Small Positive Cosmological Constant	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2019)281	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 大河内豊
2. 発表標題 Catalytic Creation of Baby Bubble Universe with Small Positive Cosmological Constant
3. 学会等名 KEK Theory 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大河内豊
2. 発表標題 Catalytic Creation of Baby Bubble Universe with Small Positive Cosmological Constant
3. 学会等名 大阪市立大学 理学部 セミナー講演 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大河内豊
2. 発表標題 Catalytic Creation of Baby Bubble Universe with Small Positive Cosmological Constant
3. 学会等名 Particle Physics and Cosmology 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yutaka Ookouchi
2. 発表標題 Decay of false vacua via impurities in string theories
3. 学会等名 Corfu 2018 "The Workshop on the Standard Model and Beyond" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaka Ookouchi
2. 発表標題 Decay of false vacua via impurities in string theories
3. 学会等名 Miami 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 棚橋典大, 大河内豊, 中井雄一郎
2. 発表標題 KKLTシナリオの相転移現象における触媒効果
3. 学会等名 2018年日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大河内豊
2. 発表標題 Decay of False Vacua via Impurities in String Landscape
3. 学会等名 ニュートリノフロンティアの融合と進化 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------