



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | Electromagnetic instability in AdS/CFT                                      |
| Author(s)    | 園田, 昭彦  |
| Citation     | 大阪大学, 2016, 博士論文  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://doi.org/10.18910/59523">https://doi.org/10.18910/59523</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏名 ( 園田 昭彦 )

論文題名

Electromagnetic instability in AdS/CFT  
(AdS/CFTにおける電磁場中の不安定性)

## 論文内容の要旨

研究の背景 -クォーク・グルーオン・プラズマと強電磁場

現代の素粒子物理学のみならず原子核物理学でも様々な相転移現象が存在する。その代表的な例はクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) が挙げられる。陽子や中性子などを構成するクォークやクォーク間を媒介するグルーオンは閉じ込め力が働き、単独で取り出すことができない。しかし近年約2兆度の温度でクォークやグルーオンがばらばらになる相転移現象 (QGP) が起こっていると考えられている。また、重イオン衝突実験や中性子星の物理では強電磁場の存在が示唆されている。私は博士課程を通じて強電磁場中の真空の不安定性と相転移について興味を持ち、研究を行ってきた。

業界共通の問題点 -非摂動論的效果における真空の不安定性-

クォークやグルーオンは量子色力学(QCD)によって記述されている。QCDは漸近的自由な理論であり、低エネルギーでグルーオンの相互作用が強いことから摂動論が破綻する。したがって、**強電磁場中の真空の不安定性を調べるためには非摂動論的效果の解析が必要不可欠である**。私は近年盛んに研究されているAdS/CFT対応を用いて電磁場中での真空の不安定性を調べた。

研究結果1 -masslessクォーク・反クォークの生成率と温度の関係-

この研究の中で、我々が得た非自明な結果は以下の通りである。

- **定電磁場中の重力作用の虚部を評価すると、masslessクォーク・反クォークの生成率がゼロ温度で発散する。**
- **温度を導入することで、masslessクォーク・反クォークの生成率は有限化される。**
- **超対称QCDでのmassiveクォーク・反クォークの生成率がmassless極限で超対称QEDの電子・陽電子の生成率と一致する。**

超対称QCDは非閉じ込め理論であるためにクォーク・反クォークの生成率は超対称QEDでの電子・陽電子の生成率とふるまいが似ていると考えられる。以下の研究結果では閉じ込めスケールを持ったゲージ理論でのクォーク・反クォークの生成率を求めた。

研究結果2 -閉じ込めスケールを持ったゲージ理論でのクォーク・反クォークの生成率-

この研究の中で、我々が得た非自明な結果は以下の通りである。

- **閉じ込めを起こすゲージ理論における定電磁場中の重力作用の虚部を評価すると、masslessクォーク・反クォークの生成率がゼロ温度で有限になる。**
- **電場に平行な磁場が増加するとクォーク・反クォークの生成率は増加し、一方で電場に垂直な磁場が増加すると生成率は減少する。**
- **クォーク・反クォークの対生成を起こす臨界電場とQCDストリングテンションの一致する。**

この結果は研究結果1と比較して定電磁場中でのクォーク・反クォークの生成率はゼロ温度で有限になることを発見した。これはグルーオンが閉じ込め力を持つためにクォーク・反クォークの対生成が超対称QCDの場合と比べて起こりにくくなったことを示している。また、生成率が磁場の向きに依存し、特に電場に平行な磁場が生成率に依存することは大変面白い結果である。私は電場に平行な磁場によってクォークはランダウ準位量子化を受けて運動量が一方のみ連続になり、運動量空間が(3+1)次元から(1+1)次元に制限されるためにクォーク・反クォークの生成率が電場に平行な磁場に依存すると結論づけた。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 ( 園田 昭彦 )   |     |         |
|---|-----|---------|
|   | (職) | 氏 名     |
| 論文審査担当者   | 主 査 | 教授 橋本幸士 |
|   | 副 査 | 教授 浅川正之 |
|   | 副 査 | 教授 窪田高弘 |
|   | 副 査 | 准教授 山口哲 |
|   | 副 査 | 助教 飯塚則裕 |
| <b>論文審査の結果の要旨</b>   |     |         |
| <p>クォーク閉じ込めの機構は解明されていないが、重イオン衝突実験によってクォークが解放された系が実験的に実現されており、閉じ込め非閉じ込めの転移やその機構の解明が期待されている。非閉じ込めを起こす手法の一つとして強い電場をクォーク系にかけることによるシュインガー機構があるが、古くから知られた量子電磁力学でのシュインガー機構が、強く結合するクォークに適用された際にどのような結果をもたらすのか、はクォークの強結合生のために不明である。園田昭彦氏の博士論文は、超弦理論の AdS/CFT 対応を用いて、様々な強結合ゲージ理論に電場を印加した場合のクォーク対生成による真空不安定性を定量的に評価したものである。</p> <p>第一に本論文では、<math>N=2</math> の超対称性を持つ、クォークのような基本表現の超対称多重項を持つ理論（「超対称 QCD」）の、ラージ <math>N</math> かつ強結合極限を調べている。超弦理論の AdS/CFT 対応を用い、また、その系のオイラーハイゼンベルグ有効作用が AdS 時空中の D7 ブレーンの有効作用と一致するという従来の予想を用いて、定電磁場背景中での不安定性について、次のような事実を明らかにした。まず、定電磁場中の不安定性を評価するとは massless クォーク・反クォークの生成率がゼロ温度で発散することが判明した。次に温度を導入することで、massless クォーク・反クォークの生成率は有限化された。さらに、超対称 QCD での massive クォーク・反クォークの生成率が massless 極限で超対称 QED の電子・陽電子の生成率と一致することが示された。このことは、超対称 QCD が非閉じ込めな理論であるためにクォーク・反クォークの生成率が超対称 QED での電子・陽電子の生成率とふるまいが似ているため、と議論されている。</p> <p>第二に、閉じ込めスケールを持ったラージ <math>N</math> 強結合のゲージ理論でのクォーク・反クォークの生成率が計算されている。もともと massless であるクォークが導入されているが、閉じ込めスケールを持つために、クォーク・反クォークの生成率が有限となったことが示された。さらに、電場に平行な磁場が増加するとクォーク・反クォークの生成率は増加し、一方で電場に垂直な磁場が増加すると生成率が減少することが認められた。最後に、クォーク・反クォークの対生成を起こす臨界電場と QCD ストリングテンションが一致することが確認された。定電時場における不安定性の有限性は、グルーオンが閉じ込め力を作り出すためにクォーク・反クォークの対生成が超対称 QCD の場合と比べて起こりにくくなったことを示している。</p> <p>QCD のような強結合ゲージ理論で、強結合極限で定電磁場中の不安定性を定量的に評価することは、これまでに解析が難しかった面をゲージ重力対応という手法を用いて切り込んだ結果であるといえる。また、臨界電場と閉じ込め力の関係や、地場依存性など新しい面も開拓している。論文では非閉じ込め転移点近傍でのスケールリングなども次元依存性などを調べており、様々な角度から検討している。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。</p> |     |         |