

Novel examples of the application of gauge / gravity duality

久保, 幸貴

<https://doi.org/10.15017/1441024>

出版情報 : 九州大学, 2013, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 : 全文ファイル公表済

氏 名 : 久保幸貴
論文題目 : Novel examples of the application of gauge/gravity duality
(ゲージ / 重力対応の適用の新しい例)
区分 : 甲

論文内容の要旨

場の量子論という概念は素粒子理論の研究において中心的な役割を果たしてきた。しかしながら、その解析手法は物理量を小さな結合定数の逐次展開で計算していく摂動論によるところが非常に大きい。そのために結合定数が大きな値をとるような非摂動的な場の理論には摂動論を適用することができず、そのような理論の解析には常に大きな困難が付きまどっている。例えば QCD は低エネルギー領域においては原子核などを構成するための力を記述しているはずであるが、この理論は低エネルギー領域で結合定数が大きくなるような漸近自由性を持つ理論であるために、摂動論を用いたアプローチでは原子核がどのように構成されているのかを QCD から直接に調べることは出来ない。そのような状況の一つの解決策としては格子場の理論による数値シミュレーションという方法が挙げられる。しかし、格子場の理論は離散化された場の理論であり結果の精度の向上には適切な連続極限が必要となり、数値計算のコストが非常に大きなものになってしまう。

ゲージ / 重力対応は超弦理論から生まれた「10次元超重力理論とそれよりも低い次元のゲージ場の理論とが対応している」といった概念であり、特に注目すべきなのは超重力理論が重力の結合定数が非常に小さい、つまり古典重力で扱ってよい、状況においてゲージ場の理論は逆に結合定数の大きい強結合の理論になっているという点である。このことは今まで摂動論では全く取扱いのできなかった強結合場の理論の物理量が比較的簡単に計算が行える古典重力理論の解析だけで計算できることを意味している。厳密にはそのような状況の時に解析できる場の理論はカラーの自由度の数が非常に大きいわゆるラージNゲージ理論でなくてはならないので、この対応によりすべての強結合ゲージ場の理論を調べることができるわけではない。それでも強結合の場の理論を古典重力理論の計算のみから簡単に、そのうえ定量的にも正しく計算できるという点は強結合の場の理論の解析ツールとしては非常に強力である。

本博士論文において私はこのゲージ / 重力対応を用いて二つの特殊な系についての解析を行った。一つは等加速運動する観測者に生じるアンルー効果と呼ばれる現象である。アンルー効果は「等加速度運動している観測者は加速度に応じた温度の熱浴を感じる」という主張であり、このこと自体は摂動的な場の理論から既に知られていることである。しかしながら非摂動的な場の理論においても同様にアンルー効果が起こるか否かについては自明ではない。本博士論文ではスケール依存性のある非摂動的なゲージ場の量子論に対応する重力理論中で等加速度運動する弦が定常的に見える座

標（リンドラー座標）にゲージ / 重力対応を適用することでアンルー効果と思われる温度効果を調べた。この温度効果はいわゆる通常の温度とは異なり異方性をもった温度効果であることがわかった。

もう一つのゲージ / 重力対応を適用できる興味深い系は中性子星である。中性子星の解析には

TOV

方程式という二本の微分方程式を用いるが、この方程式には未知関数としてエネルギー密度、圧力、質量の3つが含まれているために一つの未知関数は状態方程式により消去する必要がある。しかしこの際に用いる状態方程式は非摂動的な有限密度の場の理論により導かれるべきものであるので、第一原理的な計算からこれを得ることは非常に困難である。また有限密度の QCD は符号問題と呼ばれる数値計算の技術的な困難のために数値シミュレーションも困難な領域である。本博士論文では QCD に比較的近い模型として知られる酒井杉本模型から有限密度の場の理論を解析し、状態方程式を導き中性子星の計算へと応用した。