

# 研究計画 (A4判1枚程度)

February 15, 2012

木下 俊一郎

AdS/CFT対応に代表されるようなゲージ・重力対応は、一見異なる理論同士であるゲージ理論と重力理論の間にある種の対応関係が存在することを示唆しています。この対応関係から導かれる帰結の一つとして特筆すべきことは、理論的取り扱いが困難である強結合領域のゲージ理論で記述される量子系が、古典的な高次元重力理論として時空により表され得るということです。これまでこのような観点から、RHICやLHCといった大型加速器での粒子衝突実験などで生成されるクォーク・グルーオンプラズマ(QGP)を、対応する時空描像を用い重力側から解析しようとする試み、あるいはQCDそれ自身の高次元時空による構築、凝縮系物性物理である超伝導現象の記述などが提案されてきました。これらの系はいずれも強結合領域の量子論や有限温度による記述が必要であるなど、ゲージ理論側から解析を行うことには困難を伴うため、未だその完全な理解には到っていない物理現象です。一方で対応する重力理論側では高次元のブラックホール時空の物理として記述されるということになり、高次元ブラックホールの様々な性質を解明することが、多様な物理現象の理解につながるものと期待されます。つまり古典重力理論である一般相対性理論が、これまでの主な活躍の舞台だった宇宙物理のみならず、ゲージ場の量子論や物性物理へも応用できる可能性を示しています。私は、下記に述べるような点に注目して、高次元相対論の立場から、ゲージ・重力対応にまつわる諸問題に取り組もうと考えています。

## 時空の動力学を用いた非平衡・非定常系の解析

一般に、ゲージ理論側で非平衡・非定常となる物理現象に注目するということは、ブラックホール時空のダイナミクスを詳細に調べることを意味します。これまで私は、空間的に非等方なブラックホール時空を用いた非等方膨張プラズマの粘性および各種緩和係数の性質の解析、あるいは荷電ブラックホールの不安定性の時間発展を数値計算することによるホログラフィック超伝導の相転移過程の研究など、動的ブラックホール時空を用いた研究を行ってきました。これらの研究で培った経験を元に、数値的・解析的に時空の動力学を扱うことで、さらに他の幅広い物理現象に対してその性質を解明することを目指します。

現在、この分野では非平衡現象に興味はもたれていますが、時空の時間発展を記述するEinstein方程式の複雑さもあり、運動方程式を解いて動的なブラックホール物理を直截的に取り扱うという研究は、あまり多くありません。私は、これまで宇宙物理・宇宙論の分野で培われてきた時空の摂動論や数値相対論などの時空を扱う手法を積極的に取り入れることで、動的なブラックホール時空そのものを扱った研究を推し進めていきたいと考えています。一方、ゲージ・重力対応の舞台となるAdS時空は、負の宇宙項の存在により、これまでの宇宙物理・宇宙論でのブラックホール時空とは境界条件が著しく異なります。また、Dブレーンのような膜状のオブジェクトや、それと相互作用する各種の反対称場など、これまでの宇宙物理では登場しない超弦理論特有の対象のダイナミクスを扱う必要もあります。そこで、上記のことも含めて、系の時間発展を解き非平衡現象を扱うための定式化、整備を行っていくつもりです。

## 動的ブラックホールにおける時空の熱力学的性質の解明

質量・各運動量・電荷といったブラックホール時空を特徴付ける巨視的パラメータ間に、熱力学と類似の関係式が成立することは、重力理論における重要な帰結です。さらに、準古典的な議論から、ブラックホールは表面重力に比例するHawking温度の熱輻射をしており、ホライズン面積がエントロピーとして同定できるということは、よく知られています。しかし、量子重力理論が未解明であることもあり、ブラックホール・エントロピーの起源などの時空の熱力学的性質の微視的理解には至っていません。ゲージ・重力対応は、この、重力側では未だ完全には正体の知れない時空の熱力学が、ゲージ理論側で既存の

概念である統計力学・場の理論で記述される通常の熱力学へと読み替えられることを示唆しています。これらのことが、非平衡・非定常な物理現象へどのような形で拡張されるのかは重要な課題であるといえます。一方で、動的ブラックホールに対しては、重力側でもその熱力学的性質の基礎付け不十分であることが否めません。これまでになされてきた、時空が非定常な場合の熱力学的関係式の導出の多くは、時空の幾何学的性質にのみ着目するもので、それが物理的な熱力学量そのものであるかどうかには議論の余地があります。私は、ゲージ・重力対応を非平衡・非定常な系に適応するに当たり、ゲージ理論側で物理的な熱力学量として測定しうる量により、動的ブラックホール時空の熱力学を再定義することを考えています。その第一歩として、動的ブラックホールについても準古典的な議論からHawking輻射の導出を行い、これをもって動的ブラックホールの温度を定義することを提案しました。さらに、このような考えをエントロピー等の他の熱力学量へも発展させて行くつもりです。これにより、今までにも様々提案されている動的時空に対する熱力学諸量の精査およびその基礎付け、あるいはエンタングルメント・エントロピーやトンネリングによるHawking輻射の導出などとブラックホール熱力学との関係を解明することを目指します。

宇宙物理・宇宙論に関係するブラックホールは、宇宙膨張・重力崩壊によるブラックホール形成・ブラックホールへの降着・Hawking輻射による蒸発など、一般には非定常となります。動的ブラックホールにおける時空の熱力学的性質の基礎付けは、以上のような現象を通じて宇宙物理的なブラックホールに対しても新たな見方を与えることが期待され、宇宙物理へのフィードバックがあるものと考えます。

以上