

Universal Property of Microstate of Quantum Gravity suggested by Uniqueness of Black Hole Entropy

大同大学 齊田浩見

E-mail: saida@daido-it.ac.jp

プランクスケールの重力が示す普遍的な性質を議論する。ここで「普遍的」とは、超弦理論など量子重力のモデルの詳細に寄らない、という意味である。論旨は次の3段構成である。

第1段 (ブラックホールのエントロピーの一意的定理)

ブラックホール (BH) 熱力学と実験室系の熱力学の間には、重要な相違点がある (状態量の示量性と示強性による分類が可能かどうかなど)。BH 熱力学において、エントロピーの一意性は自明でなく、改めて証明を必要とする。本講演では、その相違点があっても BH エントロピーは「エントロピー = 面積則 (Bekenstein-Hawking 則)」で一意的に与えられることを説明した。これは統計力学的な議論を一切用いず、熱力学の枠内だけで公理的に示される。

第2段 (エントロピーを一意的に与える Boltzmann 公式が成立する条件)

実験室系における量子統計力学が成立するための条件を整理する。特に、エントロピーが Boltzmann 公式で一意的に定まるための、系の構成要素 (粒子など) の間の相互作用が満たすべき条件を明らかにする。その条件は、物理的に適切な状況設定の下で、次の3点に集約される:

- (a) 相互作用ポテンシャルは十分遠方で負の値からゼロに収束。
- (b) ポテンシャルは下に有界で、その下限は負の値 (無限遠でのポテンシャルが基準)。
- (c) ポテンシャルの空間積分は正の値。

(a)+(b)+(c) より、ポテンシャルは遠方で引力、短距離で斥力、でなければ安定な熱平衡状態が存在できないことが分かる。(以上は、量子統計力学の数理的基礎付けの定理による。)

第3段 (第1, 2段から得られる量子重力への示唆)

ホーキング輻射のスペクトルが黒体輻射であることから、BH を重力の安定な熱平衡系だとみなす (BH 熱力学)。このとき、第1段で示したように BH エントロピーは一意的である。よって、エントロピーを一意的に与える Boltzmann 公式が量子重力にも適用できるとするならば、BH を構成する重力のミクロ状態の間の相互作用ポテンシャルも第2段の (a),(b),(c) を満たす必要がある。このポテンシャルの振る舞いは、プランクスケールでの重力相互作用は斥力になることを示唆し、次のような要請を与えると解釈できる:

要請: 量子重力理論を準古典近似して有効作用で表したとき、Einstein-Hilbert 作用への補正項は、プランクスケールで斥力的な重力を与えなくてはならない。この要請を満たすかどうかで、既存の量子重力のモデルをスクリーニングできる。

以上の議論や定理 (の証明) に、超弦理論などの量子重力のモデルは使っていない。この意味で、上記の要請は「普遍的」である。

補足: 本講演は、雑誌 Entropy の企画 Black Hole Thermodynamics の編集者 J.Bekenstein 氏から依頼された招待論文 (査読付き) の内容である。Entropy 13 (2011) 1611-1647, arXiv:1109.0842