

Original Model Note: Black Hole Core Structure

Title

ブラックホール中心における有限質量構造の力学モデル：量子揺らぎによる非特異解の原案

Author

谷昌宏 (Masahiro Tani)
Original conceptual idea

Abstract

本ノートでは、ブラックホール中心の特異点問題に対し、古典重力と量子揺らぎによる力学的釣り合いを考慮した有限質量構造モデルを提案する。従来の古典的モデルでは中心は無限密度となるが、本モデルでは古典重力の引力と量子揺らぎの反発力を組み合わせ、中心の動的平衡半径を解析的に導出した。数値例では中性子星中心密度と素粒子質量に基づき、中心構造のスケールはマイクロメートル程度となることが示された。本原案は非特異ブラックホール研究に対する新たな力学的アプローチを提示する。

1. Background

1.1 特異点問題

一般相対性理論において、十分に重い星は重力崩壊し、中心に無限密度の特異点が形成される。これは物理法則の破綻を意味する。

1.2 既存の非特異ブラックホール研究

- Bardeen (1968)、Hayward (2006) は計量を修正することで非特異解を構築
- ループ量子重力理論では量子幾何学による反発で特異点回避を試みる

しかし多くは「力学的に自然な反発力」ではなく、計量や幾何を調整する形式である。

1.3 本研究の位置付け

本ノートでは、中心構造を直接力学モデルとして表現。古典重力と量子揺らぎの釣り合いにより有限中心構造を導出する。

2. Model

2.1 古典重力

球対称質量分布 ρ における質量要素 m には、中心から距離 r で

$$F_{\text{grav}} = -\frac{4}{3}\pi G \rho m r$$

が作用する。中心付近では線形に近似され、単振動近似となる。

2.2 量子揺らぎによる反発力

量子効果による反発力を

$$F_{\text{quantum}} = \alpha \frac{\hbar^2}{m r^3}$$

と仮定する。 $r \rightarrow 0$ で反発力が急増し、特異点形成を抑制する。

2.3 動的平衡

質量要素の運動方程式：

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = F_{\text{grav}} + F_{\text{quantum}} = -\frac{4}{3} \pi G \rho m r + \alpha \frac{\hbar^2}{m r^3}$$

平衡条件（加速度ゼロ）：

$$-\frac{4}{3} \pi G \rho m r_0 + \alpha \frac{\hbar^2}{m r_0^3} = 0$$

2.4 平衡半径の解析解

$$r_0 = \left(\frac{3\alpha\hbar^2}{4\pi G \rho m^2} \right)^{1/4}$$

2.5 数値例

- 中性子星中心密度 $\rho = 10^{18} \text{ kg/m}^3$
- 質量要素 $m = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- $\alpha = 1$

$$\Rightarrow r_0 \approx 1.94 \times 10^{-6} \text{ m (約 } 2 \mu\text{m)}$$

3. Significance

- 力学的に自然な釣り合いによる非特異構造
- 数値的に具体的な中心半径を示せる
- Bardeen/Hayward やループ量子重力モデルと整合しつつ独自性あり
- 将来的に専門家による拡張・数値相対論シミュレーションの基礎となりうる

4. Originality Notice

この文書は 谷昌宏 (Masahiro Tani) により作成された**原案ノート**であり、モデルの初期着想・構想の証拠として記録される。