

# これまでの研究のまとめ

末藤健介

## 研究背景

私は特異点を持たないブラックホール – 正則ブラックホール – の理論的性質について研究している。正則ブラックホールを考える理由は主に三つある。第一に、一般相対論は多くの観測的結果を説明できている現在最も有力な重力理論であるが、特異点定理が示すように重力崩壊により特異点形成を避けられず、理論の自己完結性に限界がある。正則ブラックホールは「重力崩壊後の中心が必ず特異になる」という結論を回避し得る最小限の有効記述を与え、量子重力効果や高曲率補正がもたらすと期待されている特異点解消を幾何学の言葉で扱う具体例となる。第二に、Hawking 放射によりブラックホールは蒸発すると考えられているが蒸発の終末過程は未解決であり、特異点を含む標準的なブラックホールにおいては、過去から未来の出来事が予言不可能になる情報喪失問題が現れ物理学の根底を覆す結果となってしまっている。正則ブラックホールは、蒸発が進行しても中心に特異点が残らない可能性を内在し、情報喪失問題を時空構造、つまり幾何学の立場から解決する足場を提供する。第三に、正則ブラックホールの構成手法は発展途上にある。そのため、個別模型の詳細に立ち入る前に、正則ブラックホールの幾何学的性質を抽出して理解することは、現実のブラックホール、ひいては宇宙の理解を深めるための理論的基盤の整備につながる。

## 私のこれまでの研究

私はこれまで主として、蒸発する正則ブラックホール時空の大域的構造について研究してきた。それは、ブラックホールを特徴づける概念の多くが、大域的構造を基礎として定義・議論されるからである。ブラックホールがそもそも時空の大域的構造を基に定義されていることに始まり、情報喪失問題や時空の安定性を議論する際にも時空の大域的構造が中心な役割を果たす。従って、時空の大域的構造を調べることは、ブラックホールを研究するための基盤を提供するのである。私は正則ブラックホールの蒸発に対して次の異なる2つのシナリオについて研究してきた。

### (A) 有限時間での完全蒸発シナリオ (モデル解析, 論文 [1])

有限時間でブラックホールの質量がゼロに至り、その後 Minkowski 時空へ移行する状況を想定し、その時間依存モデルを解析した。この時空では事象の地平面は形成されないこと、つまり予言可能性の観点において情報損失問題が回避される時空になることを実証した。

### (B) 無限時間蒸発 (極限状態への漸近) シナリオ (モデル非依存分類, 論文 [2])

準静的蒸発描像では、正則ブラックホールが極限 (extremal) 状態へ漸近し、蒸発に無限の時間がかかる。本研究では、特定の計量の形に過度に依存せず、球対称性・正則性・漸近平坦性・内外トラッピングホライズンの存在と極限状態への漸近といった幾何学的仮定のもとで、外向き放射状ヌル測地線の漸近挙動を用いて、取り得る大域的構造を体系的に研究した。特に、取りうる大域的構造の完全な分類を行ったことと、どの時空構造になるかの十分条件を導いたことがこの研究の主成果である。