

## 研究成果のまとめ

ブラックホール(BH)は、一般相対性理論が予言する最も興味深い対象の一つであり、予言されて 100 年以上たった現在においても理論物理学の最先端で議論の中心になっている。また、近年重力波をはじめとする数多くの観測により BH が実際に我々の宇宙に存在することも今まで以上に強く支持されている。このように BH は理論的・観測的に注目されている興味深い対象であるが依然として謎が残されている。理論面での代表的な謎として、曲率特異点の存在、BH の蒸発に伴う情報パラドックスが挙げられる。これらは重力の量子論が未完成であることに起因している。重力の量子論を直接扱うことはできないが、代わりに強重力場中の物理を探ることで、重力の量子論を探る手立てを得られる場合があるため、私は「事象の地平面がない時空での熱輻射」、「量子宇宙の創生と宇宙の波動関数の厳密な計算」、「重力波と灰体因子」、「動的なブラックホールシャドウ」という 4 つのテーマを中心に取り組んでいる。

### 1. 事象の地平面がない時空での熱輻射

重力の量子論は未だ謎が多いが、その中でも強重力場の物理である BH の熱力学は重力の量子論への鍵だと考えられている。このような状況で、我々は近年 BH でない天体であっても量子的な熱輻射が生じることを示した。これは BH が熱源であるというパラダイムに一石を投じる結果であり、重力場中での量子的な熱輻射の熱源がどこに存在するかという問題を再提起する必要性を示唆している。

### 2. 量子宇宙の創生と宇宙の波動関数の厳密な計算

現代宇宙論では、初期宇宙が量子効果によって無から創生されたという考えが活発に研究されているが、その詳細に関する二つの有力な仮説「無境界仮説」と「トンネル仮説」のどちらが正しいか、長年論争が続いている。その中で我々はリサージェンスという手法によって、人為的に仮説を選ぶことなく、宇宙の波動関数を第一原理から計算することに成功した。最終的に、宇宙の波動関数は無境界仮説ではなくトンネル仮説に予言されるものになることを、一定の仮定の下で厳密に示した。これらの結果は、無境界仮説とトンネル仮説の長年の論争の解決に向けた大きな一歩となることが期待されている。

### 3. 重力波と灰体因子

現在観測されている重力波の解析において、準固有振動数を持つ波から BH の質量や角運動量を推定されてきたが、この方法は波の重ね合わせによるオーバーフィッティングが生じやすい。そこで我々は、BH 連星が衝突する際に生じる重力波の波形を、同程度の質量比を持つ場合であっても灰体因子によって特徴づけられることを統計的に示した。これにより、オーバーフィッティング問題を回避し、BH の質量と角運動量を推定することを可能にした。

### 4. 動的なブラックホールシャドウ

BH の撮像、とりわけイベント・ホライズン・テレスコープ以降、ブラックホールシャドウの理論的関心が高まる一方で、その多くは静的・定常な時空を仮定しており、BH 連星のような動的状況で観測される像の解釈は十分に整理されていなかった。その結果、実際の撮像においてシャドウの時間発展や形状変化に関して誤解が生じる余地があった。我々は、BH 連星が衝突する場合であっても、シャドウが一つに合体することは原理的に起こり得ないことを示した。この結果は、将来の観測やシミュレーションから得られる動的なブラックホール像を正しく解釈するうえで基礎となる指針を与える。