

## (1) これまでの研究成果のまとめ

吉野裕高

私は強い重力場における物理, 特にブラックホールを研究してきた. 研究目的はブラックホール現象をとおして一般相対論の検証/反証の可能性のある現象を見つけること, さらに新しい物理理論の証拠をどのように観測的につかめるかを明らかにすることである. 技術的には重い数値計算を得意としているが, 同時に純粋数学的な研究もおこなっている. 研究テーマを順に述べる.

### 高次元ブラックホール (2011 年以前)

この時期は, 高次元時空の重力現象を調べた. その動機は, 超弦理論のような多くの理論が見えない余剰次元の存在を示唆することである. 特に「ブレーンワールドモデル」ではゲージ粒子と相互作用が3次元の「膜」に束縛されるため, 余剰次元は1mm まで大きくてよく, 4つの相互作用が統一されると思われるプランクエネルギーが TeV 程度にまで低くなりうる. すると, 加速器で高次元のミニブラックホールが形成される可能性がある. 特に重要な成果を出した論文は,

- 論文 [I-34, I-39]: 高エネルギー粒子衝突におけるブラックホール形成の断面積の計算,
- 論文 [I-19]: 高次元数値相対論の定式化とコード開発

である. [I-19] で開発された方法を用いて, 高次元の高速回転ブラックホールが非軸対称モードの摂動に対して不安定であることを示した [I-18].

### ブラックホールまわりのアクシオンの場が引き起こす現象 (2011 年以降-現在)

2011 年より, 4次元ブラックホール時空での有質量スカラー場の振る舞いを研究している. この研究は, 超弦理論によって引き起こされる低エネルギー現象を見つけようとする試みである. 超弦理論では余剰次元の形を変化させるモードが存在し, それらは4次元時空の場として振る舞うが, その一部は小さい質量を持つスカラー場 (アクシオンの場) となる. そのようなアクシオンの場は, 宇宙論や天体物理の分野で観測可能な現象を引き起こすかもしれない. これまでにあげた重要な成果は,

- 論文 [I-9, I-14]: 回転ブラックホールまわりのアクシオンの場のシミュレーション

である. 回転ブラックホールのまわりではスカラー場が回転エネルギーを引き抜いて増幅し (超放射不安定), アクシオンの雲を形成する. 私はスカラー場の振る舞いを計算する高精度の数値コードを開発し, 振幅が増大すると非線形自己相互作用により激しい現象がおこることを示唆した. また, 回転していないブラックホールまわりのスカラー場によって放射される重力波を計算するコードも開発し, 非線形効果が効く状況では振幅の大きい連続重力波が放射されることを示唆した.

### ブラックホール周辺の光の振る舞いの研究 (最近の研究)

最近ブラックホール周辺の光の振る舞い, および強重力場を特徴づける概念の創出に興味を持っている [I-1-I-8]. 観測の方面でブラックホール近傍の映像 (ブラックホールシャドウ) が撮影され, 将来はより詳細な観測により一般相対論の検証が可能となると期待される. その際にブラックホールまわりの光の振る舞いを調べておくことは重要である. ブラックホールシャドウの輪郭は光子球面 (photon sphere) と呼ばれる光がその上にとどまりつづけるような面によって決定される. 光子球面は球対称静的なブラックホールで定義されるが, 私はこの概念の動的時空への拡張をおこない, それを dynamically transversely trapping surface (DTTS) と名付けた. これは見かけの地平面との類似性が成り立つように定義されている. 時間対称初期空間上の DTTS の面積が  $4\pi(3M)^2$  よりも小さいことを証明し [I-3, I-4], 電磁真空時空での性質を議論した [I-2]. さらに, 若干違った観点から, 重力場の強さの特徴付ける概念の開発を最近おこなっている [I-1].

より観測と直接的にかかわる研究として中尾憲一教授, 高橋一麻氏とともに, 重力崩壊する星の光学的な像を研究している [I-5]. 重力崩壊が進むと, この像は光子面近くを周回してくる光子によって決められる. 赤方偏移は有限にとどまるが, 単位時間あたりに届く光子数が少なくなることにより暗くなっていくことが分かった.