

ブラックホールの数理

その大域構造と微分幾何

石橋明浩著, B5 判, 200 頁, 本体 2315 円, サイエンス社



本書は、著者が各地の大学で行った集中講義の内容を基にした、ブラックホールの数理的な側面に関する優れた解説書である。Einstein 方程式に基づく古典的なブラックホールがかなり幅広く議論されている。特に、ここ 20 年ほどの間に目覚ましい発展を遂げた高次元ブラックホール研究を取り入れたところに最大の特色がある。この研究では著者を始めとする日本人研究者の貢献が非常に顕著である。本書でもその成果が盛り込まれている。このような内容の本はまだ少なく、日本語で書かれた本書は貴重である。本書では、Hawking & Ellis (1973), Wald (1984), 佐藤・小玉 (1992) という一般相対論のやや高度な教科書がほぼ前提とされており、やはり標準的な想定読者としてはこれらのうちの一つはある程度読んだことのある大学院生以上ということになるだろう。

本書は全 5 章からなり、第 1 章では本書の構成が提示されている。第 2 章ではブラックホールの厳密解が簡潔にまとめられている。4 次元時空では一定の条件の下で Kerr 解がブラックホール解として一意であることが知られている。高次元時空では Kerr 解の高次元版である Myers-Perry 解の他に Emparan-Reall 解のようなブラックリング解が存在し、さらに非連結多重ブラックホール解も多数見つかった。このような多様性が高次元ブラックホールの特徴である。

しかし、本書の重心は高次元ブラックホールの数多ある厳密解ごとの個別の性質ではなく、時空を具体的に特定せずに行われる一般性を持った議論にある。具体的には、時空特異点とブラックホールの性質、そしてブラックホール解の一意性である。

まず第 3 章では時空特異点が扱われる。強い重力場において時空特異点が一般に存在するという主張が特異点定理である。そして物理的にもっともらしい状況では時空特異点は地平面に隠されるという主張が Penrose によって提案された宇宙検閲官仮説である。この章では Penrose と Hawking による一連の特異点定理とその証明と、そこでなされていた仮定が修正・変更された定理が紹介されている。

第 4 章では、ブラックホールの基本的性質である大

域的構造・トポロジー・対称性が述べられる。山辺不変量を用いた地平面のトポロジーに関する定理などが特に興味深い。また、著者たちが証明した、定常的ブラックホールは剛体回転するというブラックホールの剛性定理も面白い。ここでは von Neumann によるエルゴード定理が登場する。さらに大域的保存量とブラックホール力学の第一法則が解説されている。

第 5 章では、ブラックホールの分類問題が取り上げられる。ブラックホールには一意性定理があるが、これは高次元時空の場合には極めて非自明である。ここでは静的ブラックホールと定常的ブラックホールに分けてその解説が与えられている。静的ブラックホールの一意性定理の証明には Schoen & Yau および Witten による正エネルギー定理が用いられる。他方、定常的ブラックホールの一意性は地平面と対称軸の構造を指定した上で成り立つ。この一意性定理の証明では非線形 Σ 模型が中心的な役割を果たす。

付録には Gaussian Null 座標が解説されている。この座標はブラックホールの地平面を調べる上で非常に有用であるが他の教科書ではほとんど取り上げられていないので、この付録は貴重である。

一般相対論は 100 年以上も前に提案された Einstein の理論であり、既に過去の理論と化していて現代の研究対象ではなくなっていると考える読者もいるかもしれない。しかし実際には、Einstein が切り開いたこの分野は、その後の歳月にわたって多くの研究者を惹きつけその広がりや深さをどんどん増してきた。よく知られているように、一般相対論の宇宙論や宇宙物理学への応用は、初期宇宙やコンパクト天体や重力波など、未解明の物理現象を解き明かし新しい物理現象を予言する鍵になってきた。一方で、本書で取り扱われているような数理的側面においても、重要な進展が日々なされている。数理的側面と応用的側面とが表裏となって互いに影響し合いながら共に発展しているのがこの分野の魅力である。本書が大学院生や研究者にとってこの分野への誘いになることを期待する。

原田 知広 (立教大学理学部)