宇宙船から見たブラックホール

～相対論の視覚的理解に向けて～

愛知教育大学　教育学部　宇宙・物質科学専攻　高橋研究室　北河菜歩

特殊相対論/一般相対論（相対論）とは，時空と空間を記述する物理学の理論である．特殊相対論は外力がはたらいていない系（慣性系）における理論で，特殊相対性原理と光速度不変の原理の二つを基本原理として成り立っている．また，一般相対論は特殊相対論を加速度運動する系に拡張した理論で，一般相対性原理と等価原理を基本原理として物理法則を支配している．これらは非日常的な現象の理論であり，我々が日常生活で体感することは少ない．本研究では，相対論を直感的に理解しようと考え，相対論により引き起こされる現象を視覚化することにした．

私たちがロケットで宇宙旅行する場合について考えてみる．この場合，特殊相対論的効果である光行差とドップラー効果を観測することになる．これにより，星の見かけの位置や色が変化し，STAR BOW という同心円状の虹色のリングが見えるとされる．この STAR BOW を表すため，Bright Star Catalogue 第 5 版に記載されている星のデータをもとに，光行差，ドップラー効果の式を用いて見かけ上の星空の変化を計算した（図 1 ）．一般相対論の視覚化については，時空の歪みが顕著に表れている重力レンズ効果による星像の見かけ上の変化を扱った．重力レンズ効果とは，光源からの光線が強い重力場を持つレンズ天体によって湾曲し，本来あるはずの光源の位置とは違う位置に光源が見えてしまうという現象である．視覚化に際しては，光源，そして観測者がレンズ天体から十分離れているとし，弱い重力場の近似公式を用いて光の湾曲を計算した（図 2 ）．

本研究によって，相対論の不思議とも思える世界を視覚化でき，その背景にある時間と空間の物理学への理解も深まった．将来，観測技術の飛躍的向上や，宇宙旅行技術が開発されるようになると，これらの世界は実際に体感されるのだろう．

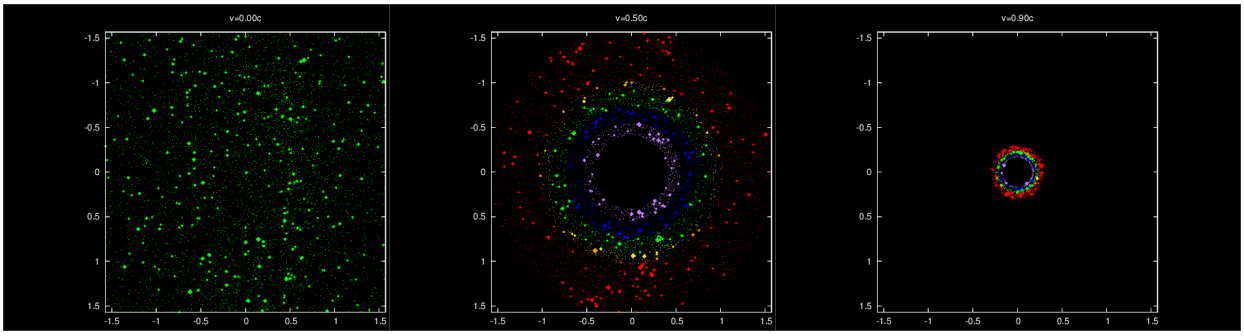


図 1　光行差とドップラー効果による星の位置と色の変化を計算した．左から，0.0c，0.5c，0.9c で航行しているときの星空を示す（c は光速）．進行方向を中心とした同心円状の色のリング（STAR BOW）が見てとれる．

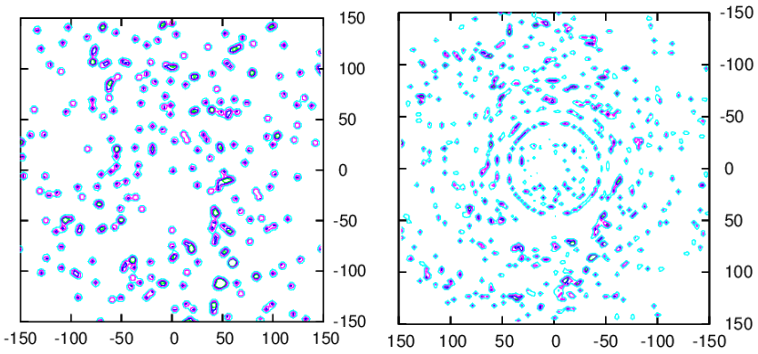


図 2　左図は北極星を中心とした全天の等級 4 以上の星図，右図は左図の北極星の位置にシュバルツシルト・ブラックホールを置いた場合の星空を示す．右図では星の形がアーク状に引き伸ばされており，アインシュタインリングが見える．