

高次元ブラックホールの対称性と厳密解

大阪市立大学 安井幸則

E-mail: yasui@sci.osaka-cu.ac.jp

はじめに、本研究のキーワードとなる共形キリング・矢野テンソル(以後 CKY と略す)について説明しよう。CKY はキリングベクトルを高階の反対称テンソルに拡張したものであり、1968 年立花-柏田により純粋に数学的な対象として導入された。宇宙物理学への応用は Penrose-Floyd(1973 年)によって最初に研究された。彼らはこのテンソルを使って、4 次元 Kerr 時空上の測地線方程式が変数分離することの幾何学的な説明を与えた。その後、Klein-Gordon 方程式、Dirac 方程式、重力摂動方程式の変数分離性、そして曲率テンソルの代数的特性等々、4 次元 Kerr 時空上の「不思議な性質」の背後に CKY が存在することが明らかになった。時空の対称性は通常キリングベクトルで与えられるが、Kerr 時空上のこのような性質はそれだけでは説明がつかない。CKY の背後にある時空の対称性は”隠れた対称性”と呼ばれる。

CKY は高次元ブラックホールにも存在するのであるか？我々は、CKY の存在を仮定すると、すべての次元で真空の Einstein 方程式を満たすブラックホール時空が一意的に決まってしまうことを証明した。この時空は Chen-Lu-Pope(2006 年)によって発見されていたものと一致し、現在知られているホライズンが球形のトポロジーを持つ最も一般的な厳密解である。この解には宇宙項が存在し無限遠方で (Anti)de Sitter 解に漸近する。特に宇宙項が零の解は、4 次元 Kerr 時空の高次元への自然な拡張になっている。CKY の存在は、この時空の様々な摂動を記述する場の方程式を非常に取り扱いやすいものにするため、ブラックホールの安定性の問題、Hawking 輻射の解析等々重力の基礎的な問題に対し解析的なアプローチが可能になってきた。

上記のような一意性は、超弦理論や超重力理論のように重力場以外の物質場を含む場合にも成立するのであるか？答は No である。なぜなら、物質場が存在するためブラックホール時空は一般に複雑なものとなり真空の場合に存在した隠れた対称性の多くは崩壊すると考えられるからである。しかしながら、ある種のクラスの解に対しては CKY の一般化が定義できる可能性がある。一つの一般化を Kubiznak-Kunduri との共同研究で行った。5 次元の超重力理論に住む電荷を持つブラックホール解には CKY は存在しないが、理論に住む Maxwell 場を使って CKY を変形することにより、一般化された CKY が定義できることがわかった。この変形は幾何学的には時空の捩率(トーション)と解釈できるものである。このような一般化された CKY がブラックホール解に存在する。キリング・矢野テンソル(CKY の特別な場合)を捩率で変形するという考えは 1953 年の矢野-Bochner の著書「Curvature and Betti numbers」に見ることができる。しかしながら、”現実の模型”で一般化された CKY が現れたのは初めてである。

参考文献

Y. Yasui and T. Houri, “Hidden Symmetry and Exact Solutions in Einstein Gravity”, Progress of Theoretical Physics Supplement No. 189 (2011) 126-164, arXiv:1104.0852.