

Review:  
高次元時空中の BH による Hawking 輻射とその反作用

榊原 由貴

2011/8/3

## 1 イントロ

電弱統一のエネルギースケールが 1TeV であるのに対し、重力が統一されるエネルギースケール (Planck scale) が  $10^{16}$ TeV というはるかに大きい値をとるのは不自然と考えられている (階層性問題)。この問題は、例えば時空が 4 次元 (=時間 1 次元 + 空間 3 次元) ではなく余剰次元が存在し時空が D 次元 (=時間 1 次元 + 空間 (D-1) 次元)( $D \geq 4$ ) であると仮定すれば解決される。今、余剰次元が存在するとプランクスケールが小さくなることで LHC(Large Hadron Collider) で質量の小さい Brack Hole を生成できる可能性が出てくる。一方、余剰次元の存在する時のモデルとして、時空 4 次元を高次元時空中の張力のある brane(膜) と考えるものがある (brane model)。では brane model を仮定した場合、LHC で Brack Hole を (brane 上に) 生成できたとしてその BH はどのような振る舞いをするであろうか。4 次元時空の理論において BH は何らかの粒子を飛ばして徐々にその質量を減らし、最終的には蒸発する現象が理論的に予言されている (Hawking 輻射)。(因みにそのエネルギースペクトルは Planck 分布となる。) 高次元理論でも同様の議論が可能で、Hawking 輻射で粒子を飛ばして 4 次元同様徐々に蒸発することが考えられる。一方、粒子を飛ばしたことによりその反作用を受けて、brane 上にあった BH が brane を離れるという可能性もある (recoil 現象)。recoil 現象と BH 蒸発のタイムスケールを比較し、実際に recoil が起こり得るかについて考える。

## 2 recoil の評価

簡単のため、余剰次元の数は 1(つまり、5 次元時空)、BH が Hawking 輻射で飛ばす粒子は massless 粒子、BH と massless 粒子はスカラー場 (mass はそれぞれ BH mass  $M$  と 0) として扱い、BH のスカラー場と brane の相互作用は delta 関数的 (パラメータは  $\mu$  とする) なものとする。スカラー場の方程式を余剰次元について解くと  $\mu$  の値によって 2 つの解 (束縛解、散乱解) を得るが、それぞれを BH が brane 上に局在する状態 (on 状態)、BH が brane を離れて 4 次元時空からは観測されない状態 (off 状態) と対応付ける。BH のスカラー場を正準量子化し、最初に on 状態にあった BH が massless 粒子を 1 つ飛ばして off 状態に遷移する遷移振幅を求める [図 1]。遷移振幅の 2 乗を終状態で積分してやれば、最終的に単位時間あたりに on 状態 BH が massless 粒子を 1 つ飛ばして off 状態に遷移する遷移確率が求まる。遷移振幅を求める際に相互作用項の結合定数の情報が必要になるが、これは 5 次元 Schwarzschild BH の Hawking 輻射のエネルギースペクトルを単位時間あたりに BH が特定のエネルギーの massless 粒子を飛ばす確率と結びつけて与えることにする。

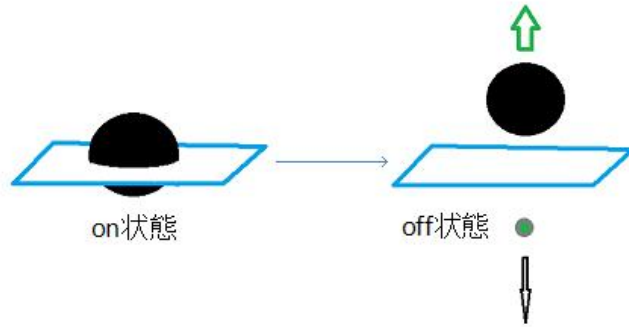


図1 BH が massless 粒子を飛ばして brane から recoil するイメージ図

### 3 タイムスケールの比較

前 section の手順により、単位時間あたりに on 状態 BH が massless 粒子を 1 つ飛ばして off 状態に遷移する遷移確率を評価できるが、その逆数は recoil するまでのタイムスケールを与える。それと、Hawking 輻射による蒸発までのタイムスケールを比較すると図 2 のようになる。この図から、 $M \geq 10^2 M_{\text{pl}}$  において recoil

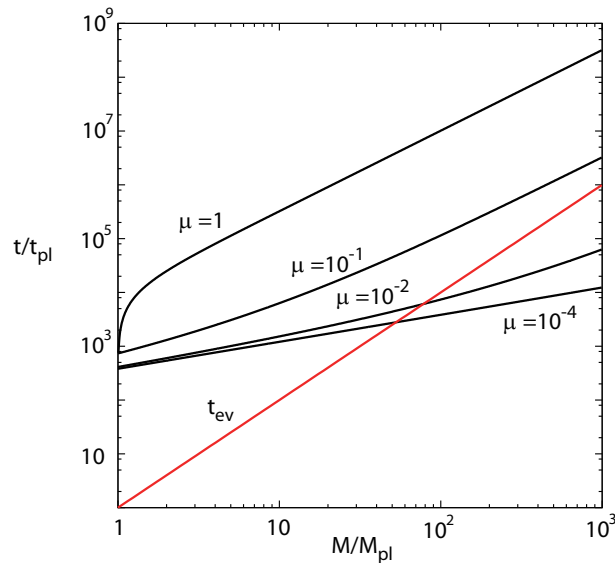


図2 BH が蒸発するタイムスケールとBH が brane から recoil するタイムスケールの比較:横軸がBHの初めの質量 [プランク質量単位]、縦軸はタイムスケール [プランク時間単位]

のタイムスケールが蒸発のタイムスケールに比べ短くなり、recoil 現象が観測できる可能性があることがわかる。ただし、5次元時空では  $M_{\text{pl}} \sim 10^7 \text{ TeV}$  であるので LHC において recoil 現象を観測するのは困難である。一方で、もし余剰次元の数が 1 より大きければ観測できる可能性は残されている。今回の model では余剰次元が多い場合への一般化は容易ではないが、recoil 可能性を議論するには、余剰次元の数が多くてより現実に則した (brane model をより正確に取り入れるなど) 解析が必要である。

## 参考文献

- [1] V.Frolov and D.Stojkovic,Phys.Rev.D6:084002(2002)