Phase Moduli Space of Supertubes

大阪大学大学院理学研究科　百武慶文
E-mail: hyaku@het.phys.sci.osaka-u.ac.jp

超弦理論はDブレーンの発見以降、重力理論と場の理論を解析する上で非常に強力なツールとなっている。今回はDブレーンの配位の中でも特別な性質を持つスーパーチューブを考察することで、ブラックホールのエントロピーを微視的に導出する。

スーパーチューブとはIIA型超弦理論におけるチューブ状のD2ブレーンで、かつその上に電場と磁場が存在している系である。D2ブレーン上の場の理論を用いてこの系を考察すると、電磁場が適当な分布をすることでD2ブレーンはチューブ状で安定となり、特に1/4超対称性を保持することが分かる。また面白いことに、チューブの断面が形成するループは任意の形状を取り得ることが分かる。なおD2ブレーン上の電場と磁場はそれぞれF1とD0ブレーンに対応しており、スーパーチューブが持つチャージはこの２つである。(それぞれN_1, N_0とする。) さらに角運動量を入れることができる。(Jとする。)

一方、スーパーチューブは重力理論の古典解としても構成されており、大雑把に言えば上記の2つのチャージと角運動量を持つ“ブラックホール”とみなすことができる。そしてそのエントロピーは

$$S = 2\pi\sqrt{2(N_0 N_1 - J)}, \tag{1}$$

で与えられることが知られている。ではこの物理量は果たして微視的な状態数をカウントして得られるのだろうか？

ここで再び場の理論での解析に戻って考え直すと、スーパーチューブが任意の形状のループを取れることが鍵であると思われる。そして古典的な解析を行うとループの周長Lは

$$\sqrt{J} \le L \le \sqrt{N_0 N_1}, \qquad L \equiv \frac{1}{2\pi}\int d\phi \sqrt{(\tfrac{dx_1}{d\phi})^2 + (\tfrac{dx_2}{d\phi})^2}, \tag{2}$$

のように制限されていることが分かる。ここで$(x_1(\phi), x_2(\phi))$は1-2平面にのっているチューブの断面をあらわす。逆に言えば、スーパーチューブの2チャージと角運動量を指定しても、上記の分だけまだ自由度が残ることになる。

結局微視的な状態数は制限(2)を満たす状態を数え上げることで得られる。しかしこのままでは変形の自由度は連続的なので、離散化して有限の値を引き出すにはx_1, x_2を量子化する必要がある。またここまでは無視していたフェルミオン等の自由度も考慮しなければならない。このような注意点を踏まえた上で状態数dをカウントすると、$N_0 N_1 - J \gg 1$なる条件を満たす場合に

$$d \sim e^{2\pi\sqrt{2(N_0 N_1 - J)}}, \tag{3}$$

という量が得られる。この対数は上述のエントロピーを与える。

ここでは2チャージのスーパーチューブを解析してエントロピーを微視的な立場で導出することに成功した。しかしここでのエントロピーはいわゆるBeckenstein-Hawkingエントロピーではない。BHエントロピーのスーパーチューブによる微視的導出に関しては現在研究中である。

[1] D. Bak, Y. Hyakutake and N. Ohta *“Phase Moduli Space of Supertubes”*, hep-th/0404104.
[2] D. Bak, Y. Hyakutake, S. Kim and N. Ohta *“A Geometric Look on the Microstates of Supertubes”*, hep-th/0407253.