D5-brane in Anti-de Sitter Space and Penrose Limit

神戸大学理学部物理学科素粒子論研究室[1]　関 穣慶
E-mail: sekis@phys.sci.kobe-u.ac.jp

最近, 超対称 Yang-Mills 理論と pp-wave 背景上での超弦理論との対応が盛んに研究されている [1]. この背景は AdS 空間の Penrose 極限として得られることが知られている. また, AdS/CFT 対応では, $AdS_5 \times S^5$ の内の S^5 に巻き付いた D5-brane によって, AdS_5 の境界にある D3-brane 上の理論にバリオンが生成された [2]. そこで, 当講演では [3] に基づいて, このような D5-brane が Penrose 極限を通して pp-wave 背景内にどのように現れるかに注目する.

AdS 空間を表す座標系はいくつか知られている. AdS/CFT 対応の解析でしばしば使われたのは Poincaré 座標 $[ds^2 = R^2(l^2(-dt^2 + dx_i^2) + dl^2/l^2)]$ である. これは, D-brane の描像がわかりやすく, l は holography の方向になっている. 一方, Penrose 極限をとって pp-wave 背景を得るには, global 座標 $[ds^2 = R^2(d\rho^2 - \cosh^2\rho d\tau^2 + \sinh^2\rho d\Omega_3^2)]$ のほうが扱いやすい. 実際に, global 座標を用いて $AdS_5 \times S^5$ の Penroes 極限 $(R \to \infty)$ をとると, pp-wave 計量 $ds^2 = -4dx^+dx^- - (r^2+y^2)(dx^+)^2 + dr^2 + r^2 d\Omega_3^2 + dy^2 + y^2 d\tilde{\Omega}_3^2$ を得る. この計量をみると, r と Ω_3 から成る $\mathbb{R}^4$ と, y と $\tilde{\Omega}_3$ から成る $\mathbb{R}^4$ ($\tilde{\mathbb{R}}^4$ と書くことにする) があることに注意しておく. $\mathbb{R}^4$ と $\tilde{\mathbb{R}}^4$ はそれぞれ AdS_5 と S^5 に由来している. そこで, AdS 空間に対するこれら 2 つの座標系の間の関係を計算し, l, t, x_i に対して Penrose 極限をとると, $l \to \cos x^+$ となる. (ここでは, 後の解析で主に必要となる l のみ書いておく.)

先述したバリオンを生成する D5-brane の作用 (Born-Infeld 作用と Chern-Simons 項) の static 解 $l = \frac{c}{\sin\theta}\left[\frac{\theta - \pi\nu - \sin\theta\cos\theta}{\pi(1-\nu)}\right]^{1/3}$ $(*)$ が知られている [4]. c は scale parameter で, ν は $0 \le \nu \le 1$ の積分定数である. そこで, この解の両辺の Penrose 極限を考え, D5-brane が pp-wave 背景内でどのように見えるかを調べよう. $c \sim R^m$ と置くと, ν, m の値によってこの極限の収束性が変わる. $\nu = 0, m \le 0$ と $\nu \ne 0, m < -1$ の場合, $\cos x^+ =$ 定数 となる. $\nu = 0, m > 0$ と $\nu \ne 0, m > -1$ の場合, $(*)$ の右辺が発散して, この D5-brane は pp-wave 背景では見えなくなる.

特に, $\nu \ne 0, m = -1$ のときは興味深い解を得る. $c = a/R$ と置くと $(*)$ は $y = \left(\frac{\nu}{1-\nu}\right)^{1/3}\left|\frac{a}{\cos x^+}\right|$ となる. この D5-brane は元々 S^5 に巻いていたので, pp-wave 計量では $\tilde{\Omega}_3$ がつくる S^3 に巻き付いているはずである. 従って, この解を図示すると fig. 1 のように, $\tilde{\mathbb{R}}^4$ に広がった brane とそれらをつなぐ throat になる. throat は ν が小さくなるほど細くなり, $\nu \to 0$ の極限で線になる.

さて, もしこのような解が, pp-wave 背景において brane の作用から直接得られる解と一致するとしよう. $\mathbb{R}^4$ と $\tilde{\mathbb{R}}^4$ は区別できないので, $\mathbb{R}^4$ に広がった brane とそれらをつなぐ throat から成る解も見つかるはずである. このように, 今後 pp-wave 背景内での brane の作用を直接調べることが重要である. また, pp-wave 背景では D-brane の描像がはっきりしないため, AdS/CFT 対応の時のような holography やバリオン配位が不明である. これらのテーマに対して, このたび求めた解が何らかの役に立つと期待する.

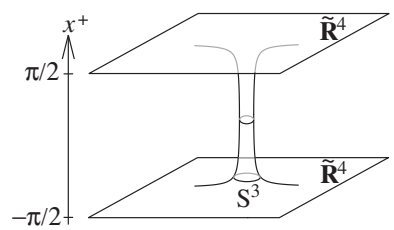

fig. 1

References

[1] R. R. Metsaev, Nucl. Phys. B625 (2002) 70;
D. Berenstein *et al.*, JHEP 0204 (2002) 013.
[2] E. Witten, JHEP 9807 (1998) 006.
[3] S. Seki, Phys. Lett. B542 (2002) 165.
[4] C. G. Callan *et al.*, Nucl. Phys. B547 (1999) 127;
Y. Imamura, Nucl. Phys. B537 (1999) 184.

[1] 2002 年 7 月に京都大学総合人間学部基礎科学科素粒子論研究室より異動