Type IIB 2-form Fields and 4D N=2 Gauge Coupling Constant

高エネ研・旧核研グループ　北尾　拓洋
E-mail: kitao@post.kek.jp

4D $\mathcal{N}=2$ 及び $\mathcal{N}=1$ のゲージ理論を弦理論の中で解析する試みは、多数あるが、近年のこの分野の発展により、これらのお互いの関係が少しずつわかってきた。場の理論の詳細な解析に最も成功したものは、M-theory QCD (MQCD) であり、たいていの場の理論ならこの MQCD の配位において実現でき解析できる。一方、AdS/CFT において解析される場の理論は多くは quiver 型のゲージ理論 (adjoint/bi-fundamental 表現など 2 種類の電荷を持つ場によるゲージ理論) であることが知られている。この quiver 型の場合において、MQCD の配位と (Klebenov 型)AdS/CFT の配位は T-duality の関係にあることが予想され、実際、部分的には確かめられている。これを踏まえ、この研究では非 quiver 型の典型である Super QCD (基本表現のクォークのある Super Yang-Mills (SYM) 理論) を MQCD をヒントにしながら、AdS/CFT 的に解析する研究を行った。最大の目標は 4D $\mathcal{N}=1$ の Seiberg-duality に AdS/CFT 的な解釈を与えることであるが、対称性からのしばり強く、$\mathcal{N}=1$ への足がかりとなると思われる $\mathcal{N}=2$ の場合の解析を行った。

重力を議論するにはまず星の状態方程式を解かねばならない。今の場合、SQCD に相当する MQCD の配位を T-dual したものを求めればよいわけだが、このままでは、(NS5-brane があるため) 取り扱いが困難である。そこで、ゲージ理論の真空とソリトン系の解との等価性、T-及び S-duality を利用し、MQCD の配位を N_f D6 重力解の背景場の下で、2 枚の D2-brane の間に N_c 本の string が伸びている状況に置き換える。この問題は D2-brane 上の world-volume 上の場の配位として解くことができる。さらに T-duality の際にスカラー場は Wilson line になることを利用し、その読み替えの下での作用の形から、(T-dual 後の) D3-brane の感じる背景場とその下での D3-brane の world-volume 上の場の配位を決めることができる。そして Wilson line やゲージ場の時間成分を 2-form の場に書き換える。これを T-及び S-duality を利用し再び元の状況に戻すことにより、MQCD の配位を T-dual した、問題の配位を決定することができる。これが問題の配位の星の状態方程式を解いたことに相当する。この時の解は、RR 2-form と一般化された NSNS 2-form とによる (一般化された) 複素 2-form の差、すなわち twisted sector として書かれるが、実際、$\mathcal{N}=2$ SQCD のゲージ結合常数の 1-loop の繰り込み群の流れの係数、$2N_c-N_f$ を再現する。

次に AdS/CFT 的にこの target brane を重力の源として考える。これには以下の 2 点がポイントとなる。元々、背景場があって曲がった空間であったわけだから、新たに target brane を重力の源として考えることによって、背景場から " ずれた分 " が　今の $\mathcal{N}=2$ SQCD の真空に対応するはずである。" ずれた分 " を定量的に評価するためには、元の背景場が locally flat になる座標系で記述する必要がある。また、4 次元の場の理論にはゲージ結合常数に相当する (一般化された) 複素 2-form の差だけが物理的な意味を持ち、(一般化された) 複素 2-form の方向そのものは 4 次元の場の理論には意味を持たないものであることから、そちらの方向に、(差を固定したまま) 配位を平均化することにより問題を簡単化することができる。これら 2 つの点から以下の事が予想される。複素 2-form が座標となる空間を新たな空間として考え (これは F-theory で考えられている dilaton-axion が複素構造を与える 2 次元と同じもの)、その中で背景場が locally flat になる 12 次元に系を持ち上げた後、4 次元の場の理論には意味を持たない方向に配位を平均化して得られた残りの 10 次元、すなわち元の 10 次元からは 2D flip した 10 次元の TypeIIB 理論が考えている SQCD に対応する gravty dual を与える。

実際、背景場の持ち上げ則について適当な仮定をおいて、今の SQCD の配位に適応してみると、その配位は 2D flip の後、SYM の配位において $N_c \to N_c-1/2N_f$ とした配位と同じになる。これは SQCD の Coulomb branch は 1-loop レベルでは SYM の真空と同じである事に対応している。また $N_c=1/2N_f$ の時、その解は予想される AdS_5 の構造を持つことがわかる。