

ホログラフィック QCD におけるクォーク質量

理化学研究所 橋本幸士

E-mail: koji@riken.jp

概要：ホログラフィック QCD の代表的模型である酒井杉本模型のクォークに、質量を持たせることに成功した。[1]

酒井杉本模型は、ゲージ・重力対応を用いた強結合 QCD の解析的模型として、幅広い成功をおさめてきた。しかしその重要な問題点の一つに、クォークが無質量であるということがある。我々は、酒井杉本模型が用いた D ブレーンの配位に新たに付加的な D ブレーンを置くことにより、クォークに質量を持たせることができることを指摘した。その結果、ゲージ重力対応・弦理論の解析により、(1) Gell-Mann Oakes Renner 関係式： $m_\pi^2 \propto m_q$, (2) 低エネルギー有効作用として Chiral Lagrangian $\text{tr}[m_q U]$ ($U \equiv \exp[i\pi(x)/f_\pi]$), が解析的に導出されることを示した。

酒井杉本模型を含むほとんど全てのホログラフィック QCD 模型の問題点として、QCD では現れるはずの無いモードを含んでいるという点がある。そのようなモードが現れない低エネルギーが、模型による記述が良い領域である。粒子のセクターはその意味でホログラフィック QCD による記述が最も信頼できるセクターである。しかし、クォークが無質量であれば、カイラル対称性は陽には破れず、従って粒子も無質量となり、パイ粒子の現実の様々なカイネマティクスと齟齬が生じる。我々は酒井杉本模型を若干修正することにより、クォークに質量を持たせることに成功し、その結果粒子が期待通り質量を獲得していることを示した。

この、クォークに質量を持たせるという問題は、この数年、模型の発展に従って大きな問題と認識されてきた。酒井と杉本はそのオリジナルな論文において、D8 ブレーンと反 D8 ブレーンをつなぐ弦の凝縮（タキオン凝縮）でクォークに質量を持たせられるという指摘をしており、その後その方法に従ったいくつかの論文が発表されたが、残念なことにタキオン凝縮の数理は作用の有効性が保障されず解析の正当性が疑われる。我々はこの問題を別な手法で解決した。

我々は、論文 [1] において、D8 と反 D8 の間をつなぐ D6 ブレーンを手で導入し、この特殊なブレーン配位のために、worldsheet instanton が存在し、これを worldsheet instanton がクォーク質量を導入することを指摘した。worldsheet instanton は弦の現象論でよく使われる手法であり、これを応用した形となっている。また、ゲージ・重力対応の重力側に移ると、この worldsheet instanton は $\text{tr}[m_q U]$ という形の相互作用を導くことを示した。この結果は、chiral 摂動論の結果と矛盾しない。ゲージ・重力対応の計算によりカイラル凝縮の値 $\langle \bar{q}q \rangle$ の値も評価した。

我々は、クォーク質量の導入の成功により、酒井杉本模型の低エネルギー領域を現実的にすることに成功した、と言える。同様の趣旨の論文 [2] が同時期に発表されたことを注記しておく。

[1] “Quark Mass Deformation of Holographic Massless QCD,” Koji Hashimoto, Takayuki Hirayama, Feng-Li Lin and Ho-Ung Yee, *JHEP* 0807:089(2008), ArXiv:0803.4192

[2] “Holographic Duals of Long Open Strings,” Ofer Aharony, David Kutasov, ArXiv:0803.3547