

# Covariant Quantization of Superbranes

Institute of Physics, University of Tokyo Yoichi Kazama  
E-mail: kazama@hep1.c.u-tokyo.ac.jp

超弦をはじめとする様々な superbranes を超対称性およびポアンカレ対称性を保ったままいかに量子化するかという問題は積年の基本問題であり、審美的な理由だけでなく、実用上も D-brane によって生み出されるいわゆる RR 場 (bispinor 場) を取り扱う上で不可欠になってきている。よく知られているように、既存の Ramond-Neveu-Schwarz(RNS) および Green-Schwarz(GS) 形式ではこの要求は満たされない。GS 形式では古典的作用は超ポアンカレ不変だが、fermionic な拘束条件  $d_\alpha = 0$  を第一種および第二種に分離する段階で共変性が破れてしまう。

この問題に対して、Berkovits は、GS 形式における fermionic な拘束  $d_\alpha$  をそのまま共变的に扱うトリックとして、pure spinor 条件  $\lambda\gamma^\mu\lambda = 0$  を満たす bosonic spinor  $\lambda^\alpha$  を ghost のように用いて nilpotent な “BRST charge”  $Q = \lambda^\alpha d_\alpha$  を構成するいわゆる「pure spinor(PS) 形式」を提唱し、 $Q$  のコホモロジーが超弦理論のスペクトルと一致することを示すとともに、散乱振幅の共变的な計算規則を与えた。これは画期的な進展であるが、理論の基本的な作用およびその局所対称性が不明であるため、 $Q$  は天下りのしか与えられないなど、根元的な理解が得られていなかった。

この問題に対して、最近我々は reparametrization 不変かつ超ポアンカレ不変な基本的 worldsheet 作用を構成すると共にその量子化を遂行し、それから PS 形式が自然に得られることを示した (Y. Aisaka and Y. Kazama, “Origin of Pure Spinor Superstring”, JHEP 0505:046, 2005, hep-th/0502208)。その基本的なアイデアは次の通りである。基本作用としては通常の GS 形式から出発し、そこでの spinor 場  $\Theta$  を二つの spinor 場  $\tilde{\theta}, \theta$  の差  $\tilde{\theta} - \theta$  に置き換え、同時に kinetic term を少し修正することにより、 $\kappa$  対称性に加えて余分な局所的 fermionic 対称性が入るようにする。この対称性を用いて  $\theta = 0$  とゲージ固定すれば、もとの GS 作用に戻るが、そうはせずに spinor の自由度を倍にしたままで拘束条件の解析を行う。すると GS 形式と同様第一種と第二種の拘束条件が混在して現れるが、 $\kappa$  対称性を用いて  $\tilde{\theta}$  に対する semi-light-cone gauge ( $\tilde{\theta}_a = 0$ ) をとって分離する。この段階で  $\tilde{\theta}$  に関する共変性は破れるが、 $\theta$  および bosonic な共役ペア  $(x^\mu, p_\mu)$  に対する共変性はそのまま残るところが重要である。結果として、 $\theta, \tilde{\theta}_a, x^\mu, p_\mu$  からなる第一種拘束系が得られる。ここで、ゲージ固定の効果のために、元々の基本場に対する Dirac bracket は複雑になるが、場の再定義により、正準的な bracket を満たす場  $(\theta, S_a, x^\mu, p_\mu)$  を構成することができる。これによって量子化が遂行できるようになり、量子化された拘束系が得られる。これから、bosonic spinor ghost  $\tilde{\lambda}^\alpha$  および fermionic な  $(b, c)$  ghost を導入して BRST charge が容易に構成される。ここでは  $\tilde{\lambda}$  にはまだ何の条件も課されていないが、まず Virasoro 拘束と  $(b, c)$  ghosts および  $\tilde{\lambda}$  の一部が cohomological に相殺しあうことを示すプロセスで  $\tilde{\lambda}$  に条件が付く。さらに共変性を破っている spinor 場  $S_a$  と  $\tilde{\lambda}$  の残りの一部が cohomological にキャンセルすることを示すことができるが、その際新たな条件が  $\tilde{\lambda}$  に課される。そしてすべての条件を併せたものは、まさしく pure spinor 条件  $\lambda\gamma^\mu\lambda = 0$  となり、BRST charge は Berkovits の提唱した形  $Q = \lambda^\alpha d_\alpha$  に一致するのである。この基本的なアイデアは supermembrane に対しても適用可能であり、現在その研究を続行中である。