

松尾研究室

松尾 泰 准教授 今村洋介 助教

1 M理論とは

素粒子論の目標は、素粒子という物質の究極像の解明にある。現在知られている4つの力の統一理論として、また唯一可能な一般相対論の量子論として活発に研究されている超紐理論が、本研究室の中心的研究課題である。現在矛盾のない超紐理論は5種類知られており、それぞれ10次元で定義されているが、90年代後半にこれらの5種類の理論は結合定数に関する強弱双対性と呼ばれる対称性で結びついており、根本的には一つの理論の様々なパラメータ領域を表現していることが理解されてきた。この根源的理論はM理論と呼ばれており、11次元で定義される量子化された膜の理論であると考えられている。

2 M理論の難しかった点

M理論は基本的役割を果たしており、様々な超紐理論を統一的に理解し、超紐理論のソリトンであるブレーン（高次元に広がった対象）についてより基本的な変数による記述を与えている。

しかしM理論には基本的な問題点がある。それは例えば対称性がどのようなものか、あるいはラグランジアンがどのように書けるかなどといった基本的な理解がなされていなかった点である。特に複数枚のM理論のブレーンが重なった場合の自由度の解釈が理解できなかった点が研究の進展を妨げてきた。

通常の粒子を複数個集めるとその自由度は粒子の数に比例する。一方超紐理論のブレーン（Dブレーンと呼ばれる）を N 枚集めたときの自由度は N^2 のオーダーであることが知られていた。この自由度は行列のサイズを N としたときの行列要素の個数であり、Dブレーンの自由度が行列を用いた非可換ゲージ理論で書かれていることが理解されていた。

一方、M理論のブレーンは2次元と5次元の2種類のブレーンがあることがわかっており、それぞれM2ブレーン、M5ブレーンと呼ばれている。

これらのブレーンを N 枚集めたときに自由度がどのようになるのかについて、様々な計算がなされてきたが、M2ブレーンについては $O(N^{3/2})$ 、M5ブレーンについては $O(N^3)$ という変わったスケールリングになることが知られていた。このような内部自由度は通常の行列では書けないので、定式化が難しかったのである。

3 南部括弧式を用いたM理論の定式化

この行列に変わる自由度については、南部陽一郎氏（シカゴ大）が1973年に提唱した南部括弧式を用いることがよいことが2007年にBaggerとLambertにより発見された。通常の行列に対しては交換関係

$$[T^a, T^b] = f^{ab}_c T^c$$

を用いて対称性が定義されるが、南部氏はそれを一般化された3-代数と呼ばれるもの

$$[T^a, T^b, T^c] = f^{abc}_d T^d$$

に拡張した。これまでこの3-代数については詳しいことが数学的に知られていなかったが、BaggerとLambertはM2ブレーンが2枚ある場合の3-代数の構造を明らかにしたのである。

当研究室ではこのBagger-Lambertの発見を受け3-代数の数学的研究を活発に行い、一般に N 枚M2ブレーンが存在する場合のモデルの提案や、 N が無限大の極限でM2ブレーンの理論を用いてM5ブレーンの定式化が行えることなどを具体的に示した。また上記のM2ブレーンの自由度のスケールリング則の説明可能なモデルの提案や、超対称性の数がより少ない非自明な重力背景中にあるM2ブレーン理論のモデルの構築など様々な方向に活発な研究を行っている。