

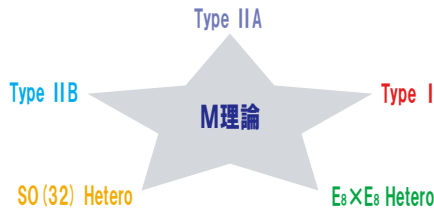
超弦理論の進展

超弦理論とM理論

1980年代の研究によって、超弦理論には矛盾のないものが5種類考えられることが明らかになっていました。このままでは、現実を表しているものがどれかわかりませんし、そもそも超弦理論を統一理論の候補と考えていたのに5つも出てきてしまったのでは統一理論としての利点を失ってしまっているかのように思われます。このことは1990年代初頭まで、超弦理論における解決すべき問題として残っていました。

このような問題に対して、実はこれら5つの矛盾のない超弦理論は、ある1つの11次元の理論を5つの異なる視点から見ていたに過ぎない、ということが1995年のウィッテンの研究によって示唆されました。この背後に見え隠れする「母なる」統一理論(Mother)は「M理論」と呼ばれています。

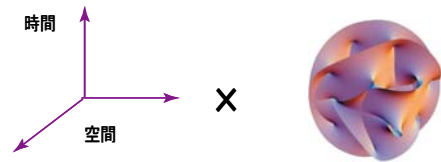
超弦理論は弦(1次元の物体)が基本的な物体であったのに対して、M理論では2次元の膜(Membrane)が基本的な物体になると考えられています。まだよくわかっていない部分が多いと考えられています(Mysterious)。たとえば、M理論を「行列模型」(Matrix model)と呼ばれる理論で定式化しようとする試みもあります。現在M理論に関する研究が世界中で活発に行われています。



M = Mother, Membrane, Mysterious, Matrix

コンパクト化

私たちが住んでいる世界は、時間と空間合せて4次元です。10次元の超弦理論と私たちの世界はどのように関係しているのでしょうか。この関係は、「コンパクト化」というアイデアによって説明できると考えられています。コンパクト化の条件として、4次元部分は標準理論(あるいは、大統一理論)になるようにする必要がありますが、これは現在の超弦理論の重要課題の一つです。



4次元時空

6次元内部空間

コンパクト化について簡単な例で説明します。下図のような2次元の空間があったとします。この空間の1方向を丸めると、2次元空間が円筒になります。今度は半径をどんどん小さくしていくと、円筒だとわからなくなり太さのない線のように見えます。つまり、2次元の面状の空間が次元の一つ減った1次元の線状の空間になります。同じようなことを10次元の時空に行い、6次元分をコンパクト化すれば、4次元の時空が得られることになります。



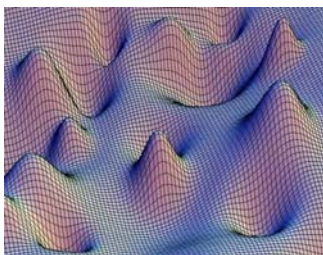
ランドスケープ問題

超弦理論が究極理論であるとなると、私たちの宇宙を記述する解が存在しているはずですが、それでは、他の解は存在するのでしょうか？存在するとしたらどのくらいでしょうか？こういった疑問は超弦理論のランドスケープ問題とされています。実は、概算によると空間が3次元でインフレーションを起こす可能性のある解の候補は 10^{200} 個以上 (!) もありえるのだということが最近示されました。

10^{200} 個以上の解の性質を調べるのは大変です。そこで、解を統計的に扱って大まかな分布の性質を調べようという考え方が生まれました。この考え方を超弦理論のランドスケープと言います。

ただ、残念ながら 10^{200} 個の解の全てが私たちの宇宙を再現するわけではありません。ほとんどの解はあっという間に宇宙が終わってしまうか、あっという間に宇宙が空っぽになってしまいます。なぜ私たちの宇宙が超弦理論の特別な解なのか、を理解することは超弦理論最大の難問の一つです。この問題は宇宙定数がなぜ小さいのか(宇宙定数問題)とも関わっています。

解の分布の研究は、私たちの宇宙が超弦理論の解として含まれている可能性を示唆しますが、積極的に支持するわけではありません。研究者の中には、私たちの宇宙が(一見、解が選ばれる可能性が少なくとも)実現されているのは、そうでないと知的生命体が存在できず、宇宙論を論じる意味が無いからだ(人間原理)と考える人もいます。



古典宇宙論とその問題

宇宙の進化を決定する基本方程式はアインシュタイン方程式と呼ばれ、1915年に提唱されました。その後、ハッブルにより宇宙が膨張していることが観測され、その方程式の正しさが確認されました。アインシュタイン方程式に基づく宇宙論を「古典宇宙論」と呼びますが、非常に小さなスケールあるいは宇宙の始まりの小さな時間では、アインシュタイン方程式は量子化されなくてはならず、「量子論的宇宙論」が必要になると考えられています。

古典宇宙論はいわゆるビッグバン宇宙で記述され、宇宙論における標準模型と言われます。この模型は私たちの体を構成する元素の組成や星・銀河の成長を見事に説明しますが、いくつかの問題があります。

- 平坦性問題
- 地平線問題
- 宇宙定数の問題
- 宇宙の始まりの特異性の問題

私たちは、素粒子理論・超弦理論の立場からこれらの問題を解こうと努力しています。下の問題に行くにつれて量子論的な側面が強まり、量子論と相対論の統合した究極理論(超弦理論・M理論)の理解が必要です。

