

真空の寿命



庄司裕太郎

名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構
yshoji@kmi.nagoya-u.ac.jp

我々の宇宙は、熱い宇宙から始まり、宇宙膨張に従って徐々に冷えてきた。その間、幾つかの相転移があり、より低いエネルギー状態へと遷移してきたと考えられている。現在の宇宙の温度はおおよそ3 Kほどであり、素粒子標準模型（以下、標準模型）における「真空」周りに落ち着いている状態である。通常、量子論における真空という言葉は最低エネルギー状態を指すものであるが、より広い意味でエネルギーの極小点にも使われる。最低エネルギー状態を特に「真の真空」と呼び、そうでないものを「偽の真空」と呼ぶ。我々が今、真の真空にいるか偽の真空にいるかは、残念ながら究極の理論を知らない限り判別できない。

それでは、もし偽の真空であったとして、何が問題になるのであろうか。偽の真空もエネルギーの極小点ではあるため、一度そこに落ち着いてしまえば安定に思える。しかし、量子論においては最低エネルギー状態でなければそれは不安定である。つまり、トンネル効果によって、偽の真空中に真の真空の小さな泡が突然現れてしまうことが起こり得るのである。この泡は、過冷却水の中にできた小さな氷の核のようなもので、真の真空への相転移をトリガーしてしまう。

仮に、標準模型が究極の理論であったとしたら、我々が今いる真空（電弱真空）は真の真空であろうか。標準模型のパラメータは最近のヒッグス粒子の測定により全て決定されたため、電弱真空から外挿して他の真空が無いかを調べることができる。その結果、実は、電弱真空は偽の真空ということが分かった。素粒子の質量の源となっているヒッグス場の凝縮度が現在の値

よりも桁違いに大きい場合には、エネルギーが電弱真空よりも下がることが予想されるのである。

電弱真空が偽の真空であるからといって、標準模型は究極理論では無いと言ってしまっても良いだろうか。実はそれは言い過ぎである。崩壊を引き起こす泡の生成確率が、広い宇宙空間と長い宇宙年齢を考慮しても、一つも生じないほど低ければ良いのである。標準模型の電弱真空の寿命を計算してみると、宇宙年齢よりもさらに数百桁長い寿命を持つことが分かる。つまり、標準模型の電弱真空は偽の真空ではあるが、十分長寿命なのである。

ところで、我々の宇宙は過去にどのような相転移を経験してきたのであろうか。電弱相転移はそのうちの一つである。高温であった宇宙初期ではヒッグス場が凝縮しない真空が安定となるが、宇宙が十分冷えると電弱真空の方が安定となり、相転移が起こる。この時、過冷却状態が生じたとする宇宙の物質が反物質よりも多い理由が説明できるかもしれない。将来の重力波観測、ヒッグス粒子の精密測定による電弱相転移の様子の解明が期待されている。

さらにずっと過去では、宇宙は非常に多くの相転移を繰り返してきたという仮説がある。超弦理論において、真空の数は 10^{500} とも見積もられており、我々の宇宙はこれらの真空の間で相転移を繰り返してきたと言う説である。素粒子論における様々な微調整問題は、インフレーションと相転移によって生じる無数の物理定数が異なる泡宇宙によって解決されるかもしれない。

—Keywords—

素粒子標準模型：

現代の素粒子論の基軸とも言える模型。物質を構成するクォークやレプトン、力を媒介するゲージボソン、素粒子に質量を与えるヒッグスボソンを含む。現在では全ての粒子の存在が確かめられており、含まれている全てのパラメータが決定されている。

インフレーション：

初期の宇宙が経験したと考えられている指数関数的な急膨張。観測されている宇宙が極めて平坦であることや、一見因果律を超えた領域まで宇宙が一樣であることなど、様々な宇宙論的問題を解決できる。また、宇宙背景放射の揺らぎの観測からもインフレーションがあったことが支持されている。

微調整問題：

不自然に微調整された物理定数が理論に存在する問題。特に現在の宇宙の加速膨張を起こしている宇宙項の大きさは、自然だと思われる大きさに比べて 10^{-120} 倍小さい。

泡宇宙：

宇宙が唯一でなく、多くの宇宙が同時に存在しているという多元宇宙論がある。その中でも、膨張する宇宙から泡のように別の宇宙が生成されることで多くの宇宙の存在を理由付けするものがある。泡宇宙はそのようにしてできた個々の宇宙である。