

# 「数理科学」は語る

30年前から現代へのメッセージ

坂井 典佑

1984年7月号

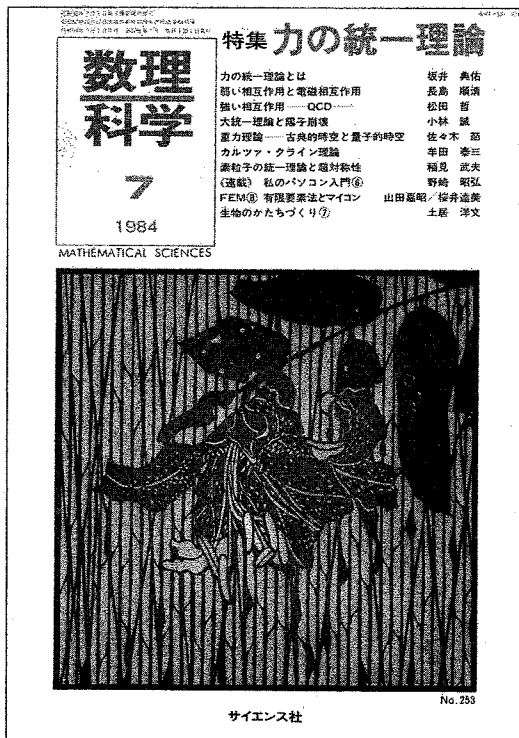
1984年に本誌は「力の統一理論」を特集しました。30年間の進歩を振り返り、今後の課題を考えます。

QCD (量子色力学) が強い力を記述し、電弱統一理論が電磁気力と弱い力を統一したのは1970年代でした。電弱統一理論とQCDを合わせて、素粒子の標準模型と呼びます。弱い力を媒介するW、Z粒子はCERNの電子・陽電子衝突型加速器LEPで1983年に発見され、小林・益川理論が予言した6種類のクォークのうち、5種類は30年前までに見つかりました。残るトップクォークは異常に重く、1995年ようやく発見されました。最後に、2013年にCERNのハドロン衝突型加速器LHCでヒッグス粒子が発見されました。

一方、カミオカンデなどの活躍により1990年代にニュートリノ振動が確立しました。その結果、ニュートリノが質量を持つので、最小標準模型に修正が必要になりました。これは標準模型を超える統一理論が背後にあることを示唆します。これ以外では、標準模型と明らかに矛盾する実験事実は見当たりません。

標準模型では力の「ゲージ原理」が共通なだけで、3つの力(強い力、弱い力、電磁気力)を3つの異なる結合定数で記述します。しかし、これらは大変高いエネルギーで一つに大統一される可能性があります。量子重力のエネルギースケールはさらに大きく、大きなエネルギースケールを持つ基本理論から、はるかに小さなW、Z粒子の質量を説明しなければなりません。これがゲージ階層性問題です。

対称性を用いてゲージ階層性問題を解決するには、超対称性が有力です。LEP実験で精密測定された3つの結合定数を高エネルギーに外挿すると、超対称性を仮定した場合にだけ、見事に一つの結合定数に大統一されることが分かりました。この事実は超対称性の最も強い間接的検証です。一方、期待された陽子崩壊は未発見で、最近のLHC実験では、ヒッグス粒子だけが発見され、期待されていた超対称性粒子は見つかっていません。したがって、超対称性が見えてくるのは、



もう少し高いエネルギーと考えざるを得ません。量子重力を含む統一理論は、超弦理論が最有力です。

ヒッグス粒子複合粒子説はゲージ階層性解決のもう一つの可能性ですが、非摂動効果の理解が必須であり、実験事実と矛盾しない予言力のある模型がまだできていません。余剰次元(ブレーン・ワールド)模型は、この30年間に発展した新たな可能性で、高次元時空中の部分空間(ブレーン)に、標準模型の粒子が局在するという仮説です。余剰次元時空中では、LHC実験で小さなブラックホールが生成されるかもしれないと話題になりましたが、実証されていません。

来年再開予定のLHC実験で、標準模型を超える統一理論の片鱗が見えることを期待しましょう。

(さかい・のりすけ、慶應義塾大学自然科学研究教育センター)