

# 世界を構成する「4つの力」と「ゲージ理論」

## 1 4つの力

### 1.1 力は何種類？

いきなりですが、この世に力は何種類あるかと聞かれたら何と答えるでしょうか。力なんて無数にあるだろうと思われるかもしれませんが、実は、現在のスタンダードな物理学において、力は以下の4種類しか存在しません。

**電磁気力**   **弱い力**

**強い力**   **重力**

ここで、「弱い力」「強い力」というのは、力の強さの話ではなく、そういう固有の名前を持っている力です。

### 1.2 力の働き

**電磁気力**（静電気や磁力など）と**重力**は聞きなじみがあると思いますが、実は、私たちが普段感じる力のほとんどは電磁気力と重力で、特に、地球などの重力を除けば、ほぼ全ての力は電磁気力で説明できます。例えば、物体がぶつかる時に働く力なども、物体を構成する原子が持っている電子が反発することで作用しています。

一方、**弱い力**と**強い力**は原子の中にある原子核などの世界で働いている力で、普段実感することはほとんどありませんが、原子力発電などはこれらの力によって成り立っています。

### 1.3 4つの力の関係

これらの力の仕組みなどは、素粒子理論という分野で研究されていますが、現在、電磁気力と弱い力は**電弱統**

**一理論**と呼ばれる理論で統一的に記述されることがわかっています。また、強い力についても多くのことがわかっており、現在も多くの研究者が電弱統一理論に強い力を加えた**大統一理論**という理論の完成を目指しています。

一方、重力は取り扱いが厄介で、分かっていないことも多いという現状ですが、いつかは重力まで含めた**万物の理論**が完成すると信じて、日々、多くの研究がなされています。

## 2 ゲージ理論

### 2.1 力の統一

では、なぜ4つの力が統一的な理論で記述できる（と信じられている）のかというと、4つの力の背景には同一の数学理論が隠れているからであり、その理論は**ゲージ理論**と呼ばれています。詳しい説明は他のポスターや記事などに任せるとして、ここからはゲージ理論の雰囲気を感じてもらいたいと思います。

### 2.2 ゲージ対称性

まず、物理学では**対称性**という概念が大きな役割を担っています。対称性とは、地球で成り立つ物理法則が遠い宇宙でも同様に成り立つ（並進対称性）といったことや、世界をある角度分だけ回転させたとしても同じ方程式が成り立つ（回転対称性）といったようなことを指します。ゲージ理論では「**ゲージ対称性**」という対称性が重要であり、これは、「時空の各点に存在する自由度（関数）に対して、時空の点を動かさずにその自由度（関数）のみに影響する変換（ゲージ変換）を行って

も物理法則が変わらない」という対称性で、この世界には（何故か）ゲージ対称性があることが分かっています。この説明だけでは納得するのが難しいと思いますが、「各点での変換」というイメージだけ抑えてもらえれば大丈夫です。

### 2.3 ゲージ場

実は、この「各点での変換」というポイントにより、方程式に**微分**が含まれていると、このゲージ対称性が満たされないことが分かります。しかし、世界はゲージ対称性を持っているので、方程式に含まれる微分に無理やり関数を足して修正してあげる必要があり、その関数のことを**ゲージ場**と呼ぶのですが、驚くべきことに、このゲージ場こそが力の正体なんです！

現在では、電磁気力、弱い力、強い力はそれぞれ3種類のゲージ対称性に対応する力であることが知られています。また、重力についても、歪んだ時空での対称性を考えたときに、微分での歪みを修正するものとして同様に考えることができます。

## 3 まとめ

全く違う4つの力が同じ理論で記述できるなんて、ロマンに溢れると思いませんか？複雑な現象がシンプルな数学で記述できるというのは、物理学の面白さの最たるものなので、少しでもその感動を味わっていただければ幸いです。

もちろん、より詳しく理論を理解することで、さらに感動することができるので、興味を湧いた方はぜひゲージ理論を勉強してみてください！