

# 宇宙誕生 はじめの1秒間の謎 ～対称性とその破れ～



理学系研究科 物理学専攻 准教授 濱口 幸一



2008年ノーベル物理学賞受賞 南部陽一郎氏 小林誠氏 益川敏英氏  
 提供：高エネルギー加速器研究機構

現在、宇宙は膨張を続けていることが分かっており、これを一般相対論を用いて過去にさかのぼると、宇宙は非常に高温・高密度の状態から膨張を続けて来たことが分かります。今では、様々な証拠から、初期宇宙がそのような高温・高密度の世界であったことが確認されています。宇宙が誕生してから約1秒後、温度がおよそ100億度だった頃の証拠も観測されています。

このような高温・高密度の世界では物質同士が高エネルギーで衝突をくりかえして、その様子を正しく理解するには、素粒子（物質を構成する最小単位）とその反応を記述する、素粒子物理学が必要となります。

現在確立している最先端の素粒子理論は「標準模型」あるいは「標準理論」と呼ばれる理論です。標準理論は、場の量子論という数学的な言葉で書かれていて、たったの数行の数式で現在実験的に確かめられている素粒子現象のほとんど全てを説明することができます。そしてこの標準理論の根幹を成すのが南部先生が発見された「自発的対称性の破れ」の考え方です。南部先生はこの他にも、素粒子論の発展に不可欠な数々の業績を残されています。

素粒子物理における自発的対称性の破れの意義を説明するのは難しいですが、例えば図のようにワインの瓶の底のような形を思い浮かべて下さい。瓶の底には、円周に沿って平らな場所

があります。その一カ所にとても小さなアリが居たとしましょう。アリはワインの瓶全体を見渡すことはできず、何やら平らな方向があることだけが分かっています。ところが離れた所から全体を見ると、平らな方向は瓶の底の円周方向であり、瓶が持つ回転対称性と関係していることが分かります。

このワインの瓶全体が素粒子の理論で、アリの居る場所（エネルギーの一番低い所）が「真空」に相当します。瓶（理論）は瓶をクルクル回転させても同じように見えますが（回転対称性を持っている）、アリの居る場所（真空）は瓶を回転させると右に見えたり、奥に見えたりします。これが対称性が自発的に破れた状態です。瓶が回転対称性を持っていることは、アリの居る場所の近くを見ているだけでは分かりません。「自発的に破れた対称性」を見つけることは、小さなアリの視点から瓶全体を見渡す大きな視点へ見方を変えることに当たります。

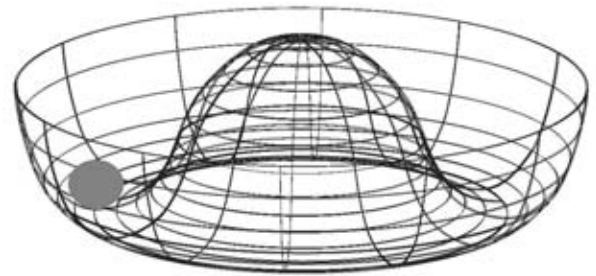
このように、基本的な理論が「自発的に破れた対称性」を隠し持っている、という考え方は、標準理論にとどまらず、標準理論を超える素粒子理論を探る上でも基本的な考え方となっています。

標準理論は大成功を収めていますが、しかし究極の理論とは考えられていません。例えば現在の宇宙には暗黒物質と呼ばれる物質が通常の物質の5倍近くも存在することが分かっていますが、標準理論は暗黒物質の正体を説明することができません。

また宇宙に「物質」は存在するのに「反物質」

がほとんどない理由も分かっていません。これを説明するには物質と反物質の違いを示す「CP対称性の破れ」が必要です。CP対称性が破れていることは標準理論が確立する前に実験的に分かっていたのですが、その起源については分かっていませんでした。標準理論において「CP対称性の破れ」の起源を発見し、クォークが3世代・6種類あることを予言したのが、小林先生・益川先生です。

暗黒物質や物質・反物質の非対称性を説明するには標準理論を超える物理が必要です。他にも標準理論を超える理論が必要だと考える様々な理由があります。標準理論を超える理論として、世界中の素粒子論研究者が、色んな可能性を考えています。そこでも、対称性とその破れが様々な形で重要な役割を担っています。本講演では、そのうちの幾つかをご紹介しますと思います。



図：対称性の破れた状態