

# 素粒子の全容

## 物質を形づくる素粒子(フェルミ粒子・フェルミオン)

1つの量子状態に入る限界は1個まで。

クォーク	約5倍	$\frac{2}{3}$	約2500倍	$\frac{2}{3}$	約34万倍	$\frac{2}{3}$
	アップクォーク (原子の構成要素)		チャームクォーク		トップクォーク	
	約10倍	$\frac{1}{3}$	約210倍	$\frac{1}{3}$	約8300倍	$\frac{1}{3}$
	ダウンクォーク (原子の構成要素)		ストレンジクォーク		ボトムクォーク	
レプトン	※1	中性	中性	中性	中性	中性
	電子ニュートリノ		ミューニュートリノ		タウニュートリノ	
	1倍	-1	約210倍	-1	約3500倍	-1
	電子 (原子の構成要素)		ミュー粒子 (ミューオン)		タウ粒子	

※電子の質量： $9.1 \times 10^{-28}$ グラム

※1 ニュートリノは、質量をもち、電子よりも圧倒的に軽いことは分かっていますが、その値は未だ分かっています (2.2電子ボルト以下)。

## ボーズ粒子 (ボソン)

1つの量子状態に何個でも可。

### 力を伝える素粒子 (ゲージ粒子)

#### 電磁気力

0倍  $\gamma$  中性  
光子(光の素粒子)

#### 弱い力

※2  $W$  ※2  
ウィークボゾン  
( $W^+$   $W^-$   $Z$ )

#### 強い力

0倍  $g$  中性  
グルーオン

#### 重力

0倍  $G$  中性  
重力子 (未発見)

※標準理論には組込まれない

※2 弱い力を伝えるウィークボゾンには、「 $W^+$ 粒子」「 $W^-$ 粒子」「 $Z$ 粒子」の3種類があります。

### 質量をあたえる素粒子 (スカラー粒子)

25万倍  $H$  中性?  
電気を帯びたものも存在?  
ヒッグス粒子  
(2012年発見)

## 超対称性粒子 (未発見)

フェルミ粒子 12種、  
ボーズ粒子 5種に対応し、  
スピンを半整数から整数に  
スピンを整数から半整数に  
入れ替えた素粒子で、  
物理法則が変わらない。

フェルミ粒子 (半整数 $\Rightarrow$ 整数)  
ボーズ粒子 (整数 $\Rightarrow$ 半整数)

## 反物質素粒子 (反粒子)

フェルミ粒子 12種に対応した電荷が反対の粒子  
(陽電子 [反電子] が著名)

※ニュートリノは、中性のため、素粒子と反粒子の区別がつかないマヨラナ粒子の可能性があります。

※ボーズ粒子は、  
光子、 $Z$ 粒子、グルーオン、重力子、ヒッグス粒子は、素粒子と反粒子の区別がありません。  
但し、おもしろいですが、 $W^+$ 粒子の反粒子は、 $W^-$ 粒子。 $W^-$ 粒子の反粒子は、 $W^+$ 粒子となっています。

ハドロン：陽子・中性子・中間子  
バリオン：3つのクォークから構成される (陽子・中性子など)  
メソン：2つのクォークから構成される (中間子など)

対称性  
C：チャージ  
P：パリティ  
T：タイム

# 素粒子の全容



《仮想粒子》

タキオン: 光より速い粒子 (光速より遅くならない)

アクシオン:

ディラトン:

マヨロン:

ステライルニュートリノ:

プレオン:

量子色力学（りょうしいろりきがく、英語: quantum chromodynamics、略称: QCD）とは、素粒子物理学において、SU(3)ゲージ対称性に基づき、強い相互作用を記述する場の量子論である。

カラーチャージはグルーオンと呼ぶゲージ粒子を交換することでやり取りされ、これが強い相互作用の源になっている。この相互作用はカラーチャージ間の距離が小さくなる（交換される運動量が高くなる）と弱くなるという、漸近的自由性を示す。逆に距離が大きくなると相互作用が強まり一定の力に近づく。この結果クォークを単体で取り出すことはできない。これは、現実には観測されるハドロンの状態は「白色」に限られるという、クォークの閉じ込め現象を説明する。

物質をつくる素粒子の仲間

	第1世代	第2世代	第3世代
クォーク	 <p>アップクォーク</p>	 <p>チャームクォーク</p>	 <p>トップクォーク</p>
	 <p>ダウンクォーク</p>	 <p>ストレンジクォーク</p>	 <p>ボトムクォーク</p>
ニュートリノ	 <p>電子ニュートリノ</p>	 <p>ミューニュートリノ</p>	 <p>タウニュートリノ</p>
	 <p>電子</p>	 <p>ミュー粒子(ミューオン)</p>	 <p>タウ粒子</p>

**column**

**クォークは“色”をもつ**

上のイラストでは、それぞれのクォークの表面にえがいた“刻印”の色を3種類の「色荷」(赤、緑、青)で分けて示しました。色荷は、電気的な力における「電荷」(おびている電気の量)に対応する概念で、クォークどうしを結びつけ、陽子や中性子を形づくる「強い力」(52ページで解説)を生み出すもととなるものです。たとえば、同じアップクォークでも赤、緑、青の色荷をもつ3種類があります(色荷まで考慮すると、クォークは18種類、物質をつくる素粒子の仲間は24種類になります)。

ただし、クォークにほんとうの色がついているわけではありません。赤色、緑色、青色の光をまぜると白色になりますが、それと似た性質があるため、色荷とよばれているのです。

陽子など、複数のクォークが集まってできた粒子(ハドロン)は、必ず色荷が全体で白になるという性質があります。たとえば、陽子は必ず赤、緑、青の三つのクォークでできています。一方で、電子の仲間(レプトン)は色荷をもっておらず、強い力ははたらきません。強い力を説明する理論は、「量子色力学」とよばれています。