

«Квант» для младших школьников

ソ連科学誌・クヴァントから

素粒子

—ヒッグス魚の捕獲とトップ・クォークの狩猟—

S. グラショウ*) 小島 英夫 (静岡大学) 訳

Japanese translation rights arranged with VAAP through Japan Soviet Copyright Center, Tokyo.

Квант, 1992, No. 3, pp.2~5. Ш. Глашоу

質量, スピンおよび反粒子 量子力学と相対性理論によれば, すべての素粒子は負でない質量と, 負でない整数または半整数のスピんで指定され, 質量とスピンの同じで電荷が反対符号の反粒子がどの粒子にもある筈である. また, 質量が0でない粒子は光速度より遅く運動し, 静止するこ

とができるが, 質量が0の粒子(フォトンやグラヴィトンなど)はすべての観測者に対して同じ光速度で運動する. スピンは粒子の固有角運動量を表す量である. もし質量を持つ粒子のスピンの射影がSであると, その粒子は, スピンの射影が異なる(2S+1)個の量子状態のうちの一つに存在する.

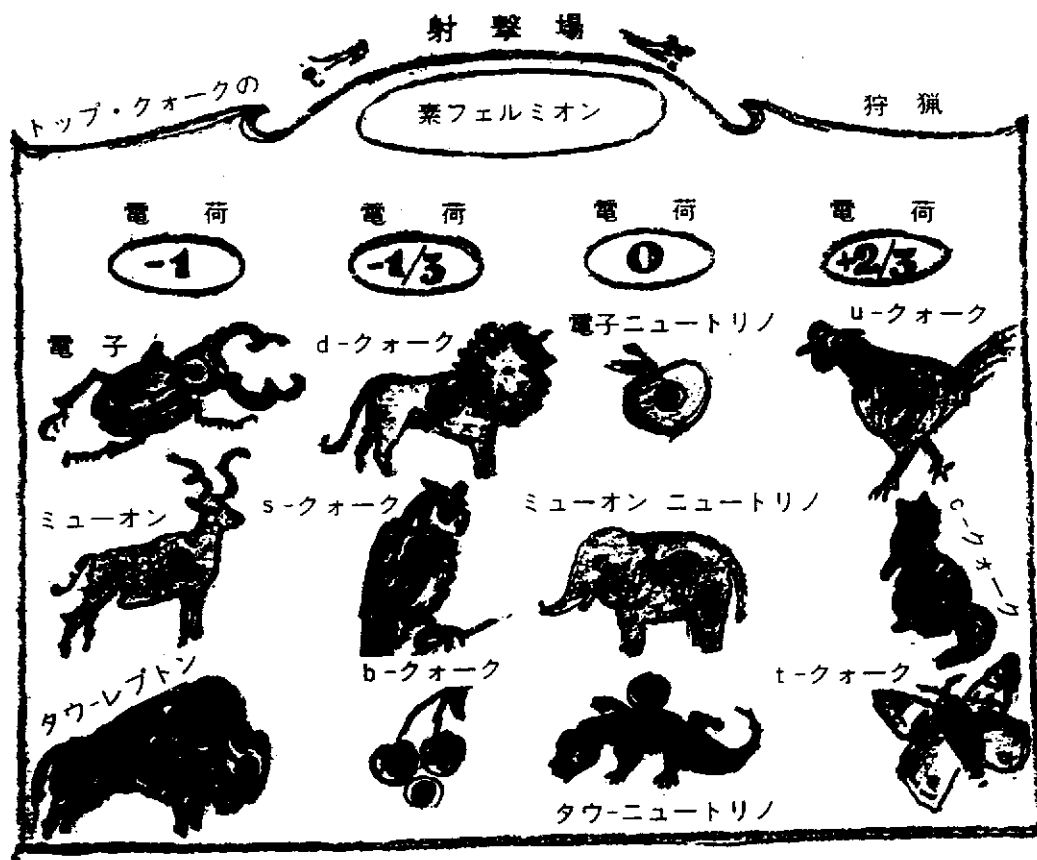


図1

*) グラショウ (Sheldon Lee Glashow) は, 著名な USA の理論物理学者であり, 弱い相互作用と電磁相互作用を統一する理論を (S. ワインバーグおよび A. サラムと同時に) 創り上げたことにたいして, 1979年にノーベル賞を受賞した. グラショウは, 雑誌「クヴァント」に基づいて編集され, 1990年から USA で刊行されている雑誌「Quantum」の出版に尽力した一人である. 彼はまた, ソヴィエト-USA 夏期講座の組織者の一人であり, 講師でもある. この講座には「クヴァント」のコンクールの優勝者や読者も参加している. この記事「素粒子」は「Quantum」の読者であるアメリカの学生のためにグラショウによって書かれた.

電子の反粒子はポジトロン（陽電子）と呼ばれ、1932年に初めて宇宙線の中で発見された。反陽子は1955年にバークリーのベバトロンで最初に見つかり、登録された。フォトン（光子）は自分自身の反粒子と同じである。

粒子が自分の反粒子と接触すると、それらは消滅してしまう。地上のすべての物質は（宇宙の殆どすべての物質も）粒子で出来ており、反粒子ではない。これが逆であれば、我々は存在せず、この話も無いことになる。

フェルミオンとボソン 半整数スピンを持つ粒子（例えば、スピン1/2の電子）はフェルミ-ディラックの統計に従い、フェルミオンと呼ばれる。2個の同種のフェルミオンは同じ量子状態に同時に存在することはできない（パウリの禁制原理）。整数スピンを持つ粒子（例えば、フォトン）はボース-アインシュタイン統計に従い、ボソンと呼ばれる。多数のボソンは同じ量子状態に同時に存在することができる（ある意味で、そこに集まることを好む）。この性質が、レーザーが発光する基本原理である。

素フェルミオン——クォークとレプトン われわれの持っている素フェルミオンのリストには、スピン1/2の粒子が12個存在する：6個のクォークと6個のレプトンである。クォークはM.ゲルマンとG.ツウィクによって1963年に導入された。u-, c-, t-クォークは電荷2/3を持ち、d-, s-, b-クォークは電荷-1/3を持つ（その記号は、それぞれ英語の単語 up-上, charmed-魅せられた, top-頂, down-下, strange-奇妙な, bottom-底, から取られている）。個々のクォークはハドロン（後出）から離れては存在

せず、その構成要素となっている。したがって、クォークを独立な粒子と考えることはできない。レプトンという言葉は〈小さい〉または〈軽い〉を意味するギリシャ語の〈leptos〉に起源を持ち、L.ローゼンフェルトによって、電子やニュートリノのような、質量の小さなフェルミオンを呼ぶ言葉として導入された。現在、レプトンとして、全部で6個の粒子が知られており、核力の強い相互作用はそのいずれにも影響を与えない。レプトンのうち3個は電荷を持っている：電子、ミューオン（質量は電子の約200倍）、およびタウレプトン（タウ粒子とも言う。さらに17倍の質量）。これらはいずれも対応するニュートリノを持ち、合せてレプトンの数は6個となる。ニュートリノは非常に軽い：その質量は0の可能性もある。最近の実験によれば、3種類以上のニュートリノは存在しないことが予想される。これは、我々の持っている素フェルミオンのリストが、完全なものであることを意味するのかもしれない。本当にそうなのかどうか、知りたいものだ。

素ボソン これらの粒子は素フェルミオンの間の結合力を受け持っている。電磁相互作用は、

ヒッグス魚の捕獲

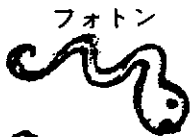
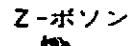

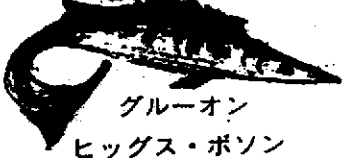

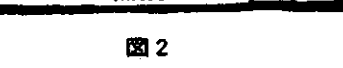
素ボソン			
相互作用の型	粒子	スピンと質量	
電磁相互作用	フォトン 	1	0
弱い相互作用	Z-ボソン 	1	0
	W±ボソン 	1	0
強い核相互作用	グルーオン 	1	0
質量を生み出す相互作用	ヒッグス・ボソン 	0	非常に重い
重力	 捕獲不可能	2	0

図2

質量0のフォトン——光の粒子——を荷電粒子がやりとりすることにより生ずる。核力の強い相互作用は、質量0のグルーオンをクォークがやりとりすることにより生ずる。弱い相互作用——これは素フェルミオンの間での、重いW-またはZ-ボソンのやりとりの結果生ずる。重力は質量0のグラヴィトンのやりとりの結果である、と考えることが出来る。グルーオンは、クォークと同様に、〈閉じ込められている〉ことが分った：それらは自由状態で見つかることは決してない。荷電W-および中性Z-ボソンは1983年にCERN（欧州核物理学研究センター）で発見された。われわれの〈動物園〉の最後のメンバーである素ボソン——ヒッグス・ボソン——はまだ見つかっていない。これは素粒子の質量の存在を説明するために考えられた仮想的な粒子である。われわれは、テキサスに建設されている対向ビーム超加速器を使った実験で、それが発見されることを期待している。

ハドロン 1962年にソビエトの物理学者L. オグレンは、(電子と違って)核力の強い相互作用をする、陽子などの、見かけの素粒子をまとめて呼ぶのに、〈厚い〉あるいは〈重い〉を意味するギリシャ語の〈adros〉をつかった。現在、ハドロンといえば、クォークからできたすべての粒子のことである：3個のクォークが合体してバリオンができる。クォークと反クォークが結合してメソンができ、3個の反クォークが反バリオンをつくる。ここに挙げたのは、クォークが結合してハドロンをつくる、現在知られている組合わせのすべてである。バリオンと反バリオンは奇数個のフェルミオンからできるので、それ自身フェルミオンである。それに対して、メソンはボソンである。

核子 この言葉は、1941年以来、中性子と陽子を指すのに使われている。原子番号Zの原子核はA個の核子を含み、そのうちのZ個は陽子である。同じZと異なるAを持つ核は同位核と呼ばれる。核子はフェルミオンである。これはもっとも軽いバリオンで、u-とd-クォークだけから作られる：2個のu-と1個のd-クォークが陽子をつくり、2個のd-と1個のu-クォークが中性子をつくる。普通の物質のほぼ99.98%が核子からできている。残りは電子である。

パイオンとミューオン 1930年代のはじめに、

H. ユカワ(湯川秀樹)は次の様な仮定をした：核力は核子が仮想的な素粒子をやりとりすることによって生ずる。彼はその粒子を〈メソトロン〉(やがて〈メソン〉と簡略化された)と名付けた。なぜならば、その質量が電子と核子の中間だったからである。そのような質量を持った粒子が30年代の末に発見されたが、それはミューオンであった。ユカワの予測した粒子は1947年に見つかった。ミューオンと同様に、それははじめ宇宙線の中に見いだされた。多くの他の型のメソンがこれまでに発見されている。ユカワのメソンはパイメソン、あるいはパイオンと呼ばれるようになった。それらは素粒子ではない：すべてのメソンと同様に、それはクォークと反クォークからできている。

トップ・クォーク われわれの理論によれば、陽子質量の200倍以下の〈重さ〉の素粒子が存在する筈である。実験家たちは未だそのような素粒子を発見していない。それは陽子の100倍より重いと考えられている。もしそれより軽ければ、その粒子は既に見つかった筈なのである。この粒子の質量の予想される値の幅は、徐々に狭められている：わたくしは、その〈トップ〉(最後のクォーク!)が、2年以内に、フェルミ研究所(シカゴ)の対向ビーム陽子-反陽子加速器で発見されるだろうと予想している。

ニュートリノ 核反応炉で得られるニュートリノが、1953年に初めて発見された。その時以来、物理学者達は、加速器でつくられたニュートリノ、宇宙線中のニュートリノ、太陽の核融合炉のなかのニュートリノ、そして最近の1987年における〈もっとも近くでの〉超新星爆発(それは〈たった〉16万年しか離れていないところで爆発した)によるニュートリノを研究してきた。学者の中には、ニュートリノが質量を持っており、謎の宇宙暗黒物質はビッグバン以来の残留ニュートリノの塊である、と考えている人もいる。

(訳 こじま ひでお)