

RagNews

JARL 金沢クラブ機関紙

素粒子とはなんだ？

JA9GP 小出義夫

編集長の田中さんから、「素人に分かり易いように、素粒子論をご説明いただけませんか？（極簡単をお願いします）」という注文が舞い込んだ。「極簡単に」といわれても、大変難しい注文である。あまり教科書的な解説はするなという趣旨だと理解して、徹底的に個人的主観に基づいた解説を書くことにした。（もっとオーソドックスな解説は、Webなどを検索してみてください。）でも、編集長のご要望に反して、やっぱり長くなってしまいました。すみません。

「素粒子」とは、物質を構成する究極の「素」である粒子のことを言います。

物質は「分子」の組み合わせからできており、分子は「原子」の組み合わせからできています。そして、その原子は、中心にある「原子核」とその周りを回っている「電子」とから構成されています。その原子核は、「陽子（プロトン）」と「中性子（ニュートロン）」からできています。—このあたりのことは、たいていの方々にはおなじみのことだと思います、原子のだいたいのサイズは 10^{-10} m で、原子核のサイズは 10^{-15} m くらいと思ってもらえばよい。

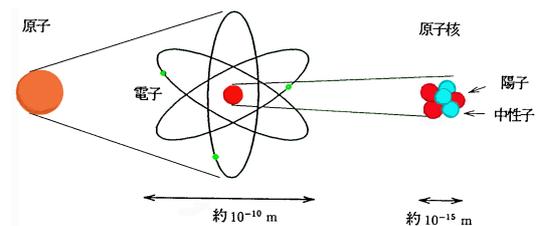


Fig.1 原子の概念図

私が大学生を終わるころは、「素粒子」と言えば、これら陽子 p や中性子 n 、それに電子 e^- のことを指していました。（さらには、湯川博士が 1935 年に予言して、1947 年に実験で確認されたパイメソンも素粒子の一つでした。）その後、加速器実験の進展とともに、「素粒子」の仲間がどんどん増えて行きました。そして、よく似た性質のものごとにグループ分けも進みました。こんな沢山のしかもよく似た性質が繰り返し現れる「素粒子」を本当に究極の物質の構成要素とみなしてよいのでしょうか？

1964 年に、ゲルマン (Gell-Mann) と ツヴァイク (Zweig) が、物質の究極構成要素としてクォークと呼ばれる 3 つの粒子 (u, d, s) の存在を仮定して、陽子は (uud) によって、中性子は (udd) に

よって、そしてパイメソン π^+ や π^- は $(u\bar{d})$, $(d\bar{u})$ によって、それぞれ構成されるという、いわゆる「クォーク模型」を提案しました。(ここでクォーク q にバーをつけた \bar{q} は q の反粒子を意味します。) 究極の「素粒子」がさらにある基本粒子からできているなどと考えることは、当時としてはまさに狂気のさたであり、大学院生であった ツヴァイクはそのため、物理の業界で職を得ることができず、他業種に転業せざるを得ませんでした。(ゲルマンはすでにカリフォルニア工科大学に職をもっていましたので、かつ、それまでに大きな研究業績をあげていましたので、彼はその後ノーベル賞を受賞 (1969 年) することができました。むしろ、クォークモデルの提案が受賞理由ではありません。類似のアイディアは、日本の坂田博士によっても提案 (1956 年) されていたので、この件では受賞理由とはできないので、ゲルマンの場合は「素粒子物理への多大な貢献」が受賞理由となっています。) しかし、この3種の基本粒子の組み合わせによって、その当時知られていたハドロンと呼ばれていた「素粒子」はすべてうまく説明がつき、かつ、その後、これらクォークの組み合わせで予想されながら未発見であった粒子も続々と発見されて行きました。

こうして、私が大学院生のころには、「素粒子」とは「クォークおよびレプトン」のことを言うとなりました。(クォークが強い力で互いに結びつく性質を持っているのに対して、「レプトン」とは電子やニュートリノなど、そのような強い相互作用を持たない素粒子のことを言う。)

1974 年には、さらに第4のクォーク c が実験で発見され、現在はクォークは6種類まで知られています。レプトンの方も、やはり6種類発見されています。それらの主な性質を Table 1 に掲げます。

Table 1 素粒子の名前 (記号) と質量

区分	荷電	名称	第1世代/質量	第2世代/質量	第3世代/質量
レプトン	$\begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix}$	ニュートリノ	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$
		荷電レプトン	$\begin{pmatrix} < 10^{-6} \\ 0.5109989 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} < 10^{-6} \\ 105.658 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} < 10^{-6} \\ 1,776.82 \end{pmatrix}$
クォーク	$\begin{pmatrix} +\frac{2}{3} \\ -\frac{1}{3} \end{pmatrix}$	アップ・クォーク	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$
		ダウン・クォーク	$\begin{pmatrix} 2.35 \\ 4.69 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 677 \\ 93.4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 181,000 \\ 3,000 \end{pmatrix}$

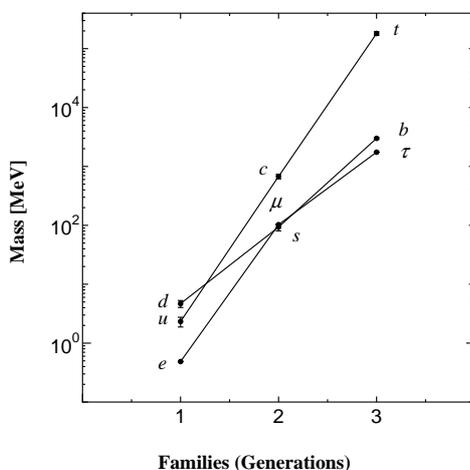


Fig.2 クォークとレプトンの質量値

ついでに、これら素粒子のイメージがわくように、その質量をグラフにしたものを Fig. 2 に示します。「世代」(私は「ファミリー」と呼んでいる) とともに質量は加速度的に増大していることがわかれると思います。(なお、表中の質量の単位は MeV/c^2 という単位で書かれています。 $1 \text{ MeV}/c^2 = 1.78 \times 10^{-30} \text{ kg}$ という関係があります。この単位では、陽子の質量は約 1,000 MeV です。)

素粒子を分類すると、質量は全く異なるのに、性質は同じという3つの繰り返しのグループに分けることができます。(これを「世代」または「家族」といいます。Fig. 2 参照。) 今後の実験で、この世代の数が増えるのか、それともこれでお終いなのか、誰もわかりません。これら素粒子をどう統一的に理解すればよいのか、これが現代の素粒子物理学が取り組んでいる最大の謎なのです。

この Table 1 の中で、私にとっては、一番魅力的な粒子はニュートリノです。私にとって、ニュートリノは長年の研究対象であり、特に、今年のノーベル賞はニュートリノ振動実験で梶田さんがもらったので、何か書きたいところですが、長くなるので割愛することにします。関心のある方は、私の Web (<http://koide-phys.com/us-hep/>) の「最近の話題 1995 年 (ニュートリノ振動)」や「最近の話題 1998 年 (ニュートリノ質量の発見)」をご覧ください。

現在の理論では、「素粒子」と呼ばれるものは、Table 1 に掲げた「フェルミオン」と呼ばれる物質の根源となっているもの以外に、素粒子間に力を媒介する役目を持つ「ゲージボゾン」(例えば、電磁相互作用を担う「光子 (フォトン)」など) と呼ばれる素粒子、および「素粒子に質量を与える」役割を担う「ヒグス」粒子が存在します。これらについては、この解説では詳しい紹介は割愛します。(解説は、私の前記ホームページ [最近の話題 2013 年] にありますので、そちらをごらんください。)

ヒグス粒子については、実験的発見が 2012 年、その理論的提唱者へのノーベル賞授与が 2013 年だったので、皆様の関心も高いと思われます。最後に、ヒグス粒子にだけ、コメントを付け加えたいと思います。

ヒグス粒子は「あらゆる物質に質量を与えることができ、物質の質量起源の根源となっている」との理解が一般になされているようですが、それはある面ではそうかもしれませんが、やや誇張された理解です。ヒグス機構が質量を与えることができるのは「素」粒子に限ります。原子や分子に直接的な意味で、質量を与えることはできません、素粒子に質量を与えるのですから、それからつくられたあらゆる物質が、「ヒグスによって質量を得る」という表現もそんなに間違ったことではありません。ただし、原子・分子は結合エネルギーというものによっても質量を得ます。従来の質量の起源は、むしろ後者の考え方でした。ところが、ヒグスによる質量生成のメカニズムは、従来の考え方とは全く異なるものでした。これは、まさに「素」であるものにしか働かないメカニズムなのです。

実は、私は「私は隠れ複合模型論者である」と自称しています。「複合模型」派というのは、「現在の素粒子 (クォークとレプトン) もまた、より基本的な構成粒子の組み合わせとして理解される」という立場のことを言います。このような考えは、現在のところ圧倒的少数派です。かつて、原子 (アトム) とはこれ以上分割できない物質最小の単位として登場しました。それが「陽子や中性子という〈素粒子〉」となり、今や「クォークとレプトンという〈素粒子〉」となりました。すでに紹介したように、クォーク模型誕生のときにも複合模型を主張して物理の世界から追放された人がいました。私は口では複合模型派と言いながら、実際の論文では、複合模型を主張したことはほとんどありません。だから「隠れ複合模型論者」なのです。内心は、いつの時代かは、「クォークとレプトンが素粒子と思っていたバカな時代があった」と笑える日が来ると信じていました。ところが、ヒグス粒子が現実に発見されるとこの信念はぐらつかざるをえません。ヒグス発見のニュースが出た当時はどうせすぐに消える話と高をくっていたのですが、ノーベル賞まで貰うとなると、もう否定は難しそうです。そうすると、「クォークとレプトン」は、やっぱりこれで最後の真の「素粒子」なんじゃないかな。残念です。



平成 27 年 10 月に運用の JARL の記念局情報



- JARL 登録クラブ「芙蓉懇談会アマチュア無線クラブ」創立 35 周年記念局
(8J1FUYO、H27/01/01～12/31)
- 深谷市制 10 周年記念事業 (8J1F、H27/04/01～11/30)
- 行方市合併 10 周年 (8J1NAMEX、H27/04/01～12/31)
- 第 39 回全国育樹祭 (8N2IKUJU、H27/04/25～11/30)
- 2015 全日本 ARDF 競技大会 (8N3ARDF、H27/05/01～11/15)
- 愛知万博 10 周年・第 32 回全国都市緑化あいちフェア (花と緑の夢あいち)
(8N2AI、H27/05/05～11/08)
- JARL 創立 90 周年特別記念局 (8J190Y、H27/06/12～12/07)
- JARL 創立 90 周年特別記念局
(8J490Y・8J690Y・8J790Y・8J90Y・8J090Y、 H27/06/12～H28/06/30)
- JARL 創立 90 周年特別記念局 (8J590Y、H27/09/01～H28/05/31)
- JARL 創立 90 周年特別記念局 (8J890Y、H27/10/10～H28/06/30)
- 第 70 回国民体育大会・第 15 回障害者スポーツ大会
(8J3WK、H27/07/01～10/26)
- 受信環境クリーン月間 (8N5CLEAN、H27/07/01～10/31)
- いすみ市制 10 周年記念 (8J1ISMC、H27/07/01～H28/03/31)
- 第 35 回全国豊かな海づくり大会～富山大会～ (8N9SEA、H27/07/20～10/24)
- 第 65 回富士吉田市制祭 (8N1F、H27/07/25～H28/03/31)
- 国連創設 70 周年 (8J1UN、H27/08/01～10/31)
- 日米相互運用協定締結 30 周年記念 8J1JAUS、H27/08/08～H28/02/29)
- 「ふじ」30 周年記念事業 (8J2JSTY、H27/08/24～10/25)
- 角大師 田んぼアート祭 (8J3ART、H27/08/01～H28/03/31)
- 受信環境クリーン月間 (8N0CL、H27/09/01～10/31)
- 第 3 回銚子半島ハーフマラソン (さんまマラソン) (8J1CHM、H27/09/01～11/30)
- 全国 CW 同好会創設 40 周年記念行事
(8N1KCJ、8N2KCJ、8N3KCJ、8N5KCJ、8N8KCJ、H27/09/20～H28/09/19)
- 東金アマチュア無線クラブ創立 40 周年記念 (8J1YSY、H27/10/01～H28/03/31)
- 受信環境クリーン月間 (8J8CLN、H27/10/01～10/31)
- 平成 27 年度受信環境クリーン月間 (8N9C、H27/10/01～10/31)
- 広島学院 60 周年記念 (8J4HSG6O、H27/10/01～11/03)
- 2015 佐賀インターナショナルバルーンフェスタ (H27/10/04～11/04)

JARL 金沢クラブ機関紙 Rag News 第 330 号

2015 年 (平成 27 年) 11 月 4 日発行

発行 JARL 金沢クラブ長 JA9DMD 平田進 ・ 編集 JA9ARG 田中正記

郵便受付 920-8691 金沢中央郵便局 私書箱第 73 号

JARL 登録クラブ番号 30-1-8 ・ JARL 登録クラブ名称 JARL 金沢クラブ