

## 村上 斉『宇宙は何でできているのか』

山 田 寛

東亜大学 医療学部 医療工学科

e-mail : h-yamada@yahoo.co.jp

ここで紹介する『宇宙は何でできているのか』（副題：素粒子物理学で解く宇宙の謎）は、素粒子物理学を専門とする筆者が、一般向けに20世紀初頭からの素粒子から宇宙までの研究を一通り概説した新書である。内容は難解な素粒子物理学の部分が多いにも関わらず、本の帯には「20万部突破！」とあった。読み進めるうちに売れている理由の一つに思い当たった。それは、数式がほとんど出て来ないということである。数えてみると3つしかない。そのうち2つは同じ式を別な表現で書いたものだから、実質は2つである。その2つの数式が何であるかは以下で紹介するが、まずはここで予想しておいてほしい。

さて、本書の大きなテーマは、

- 1 「物質は何でできているのか」
- 2 その物質を支配する「基本法則はいかなるものか」

である（本書27頁）。最初のテーマ1は『第1章 宇宙は何でできているのか』と『第2章 究極の素粒子を探せ！』で解説され、次のテーマ2は『第3章「4つの力」の謎を解く——重力、電磁気力』と『第4章 湯川理論から、小林・益川、南部理論へ——強い力、弱い力』で解説されている。そして、最後の『第5章 暗黒物質、消えた反物質、暗黒エネルギーの謎』で、これまで解説してきた「標準模型」では説明できない新たな3つの謎について紹介されている。

第1章では、以降の章で述べられることが以下のように簡単に紹介されている。宇宙と地上とで物理法則は同じであることを最初に明らかにした

のはニュートンの「万有引力の法則」（28頁）であり、宇宙と地上とが同じ物質（原子）でできていることは届いた「光」のスペクトルからわかる（33頁以下）。宇宙から届くのは光だけでなく、無数の粒子が地球上に降り注いでおり、その一つの「ニュートリノ」は観測することが極めて困難なものであるが、日本の「カミオカンデ」という観測装置が1987年2月に11個の宇宙からのニュートリノを観測し、この功績によって小柴昌俊博士が2002年にノーベル賞を受賞した（35頁以下）。次の「スーパーカミオカンデ」がニュートリノにほんの少しだけ質量があることを明らかにし、宇宙に存在するニュートリノと宇宙にあるすべての星とがほぼ同じ質量になることを突き止めた。さらに、2003年のWMAP衛星による観測結果より、すべての星を集めても宇宙全体の重さ（エネルギー）の0.5%、ニュートリノを加えても1%、結局、星やガスなど宇宙にあるすべての原子をかき集めても4.4%程度で、そのほかは「暗黒物質（ダークマター）」が23%、「暗黒エネルギー（ダークエネルギー）」が73%であることがわかった（44頁以下）。ここで、最初の数式「 $E=mc^2$ 」が登場し、質量がエネルギーに換算できることが示される。続いて、宇宙の誕生からの歴史が「ビッグバン」についての証拠を示しながら紹介される。すなわち、COBE衛星による「マイクロ波宇宙背景放射の異方性」の発見によりビッグバンから137億年かけて現在の大きさまで膨張したことが裏付けられたこと（51頁以下）、そして、より最近の観測で宇宙の膨張が加速していることがわかり、それを説明するためには宇宙が膨張しても密度が変わらない「暗黒エネルギー」が73%必要で

あることが紹介される (55頁以下)。

第2章では、物質を構成する究極の素粒子を見つけるための20世紀初頭からの研究が以下のように簡単に紹介されている。まず、見えないはずの宇宙の「暗黒物質」の「地図」がなぜ描けるかを光が重力によって曲げられるという「重力レンズ効果」を紹介して説明される (61頁以下)。しかし、この方法で見ることができるのは宇宙誕生後38万年あたりまでで、それ以前は原子が原子の状態を保てず電磁波 (光) が飛び出せないために原理的に観測が不可能である。そこで望遠鏡で見ることができない宇宙初期の姿を探るためによりやく素粒子物理学が登場することになる (70頁以下)。素粒子物理学の「物質の起源」を求める研究がビッグバン宇宙論の登場により「宇宙の起源」と結びついてきたのである。このあたりから、量子力学の始まりが、プランクの「量子仮説」、アインシュタインの「光量子仮説」による「光電効果」の説明、「電子はなぜ原子核の周囲を回っていられるか?」についてのボーアのアイデア、ド・ブロイの「物質波」による説明、という流れで紹介される (75頁以下)。加速器は高エネルギーで波長を短くした粒子と粒子をぶつけて、そこで起きる事を観察する装置であり、創成期の宇宙の状態を再現する機械とも言える (80頁以下)。20世紀初頭のラザフォードによる実験で原子核が発見されてから、加速器を使った実験で100種類以上もある原子がすべて陽子・中性子・電子の3種類でできていることがわかった。さらに粒子に与えるエネルギーを高めて解像度を上げると陽子・中性子はもっとバラバラにできることがわかり、それらに「クォーク」という名前が付けられた。現在までに発見された素粒子をまとめて説明するのが「標準模型」(93頁)であり、これが完成するまでの歴史が簡潔に記述されている。この「標準模型」の中の物質を構成するフェルミオンという12種類の素粒子が「物質は何でできているのか」という第1のテーマに対する現時点での答えである。

第3章と第4章では、物質を支配する「基本法則はいかなるものか」という第2のテーマを「力」

を伝達する4種類のボソンという素粒子を紹介しながら説明されている。ここでいう「力」とは、重力、電磁気力、強い力、弱い力である (106頁)。われわれが慣れ親しんでいる逆二乗則で表される古典的な重力場や電磁場による力の説明ではなく、標準模型では電磁気力、強い力、弱い力の3つの力はすべてボソンという種類の粒子のキャッチボールで伝達されると考える。電磁気力は光子、強い力はグルーオン、弱い力はWボソンとZボソンが伝達する。重力についてはまだ見つからないが「グラビトン」という粒子が伝えていると予想されている (111頁)。第3章では、まず、光子が電磁気力を伝える仕組みを明らかにした「量子電気力学」を説明するために、相対性理論と量子力学について、標準模型の全体像を理解する上で必要な「キモ」の部分だけが簡単に説明されている。すなわち、相対性理論では、質量はエネルギーに変えられるという大発見 ( $E=mc^2$ ) と「光速不変の原理」が紹介される (113頁以下)。次に、量子力学では、ミクロの世界では粒子の正確な位置と速度は同時に測れないというハイゼンベルクの「不確定性関係」、 $\Delta x$  (位置の曖昧さの幅)  $\times \Delta p$  (運動量の曖昧さの幅)  $> h$  (プランク定数)、が2番目の数式として紹介される (122頁以下)。これの別な表現である、 $\Delta E$  (エネルギーの曖昧さの幅)  $\times \Delta t$  (時間の曖昧さの幅)  $> h$  (プランク定数)、が3番目の数式として登場し、これにより加速器で素粒子をつくり出すときに、寿命の短い ( $\Delta t$ が小さい) 素粒子ほど、それをつくるのに必要なエネルギーの大きさは不正確で ( $\Delta E$ が大きくて) よく「つくりやすい」こと、逆に、寿命の長い素粒子はエネルギーの幅が狭いので、ぴったりのエネルギーを与えないと素粒子が検出できないことが説明される (126頁以下)。もう一つの量子力学での粒子に関する性質「パウリの排他原理」が説明され (130頁以下)、荷電粒子間で光子を交換するとき、距離が近いほど時間が短いので高エネルギーの光子のやりとりができること、すなわち、電磁気力が強いことが説明される (136頁以下)。

第4章では、日常生活では感知することのない力である「強い力」と「弱い力」が説明される。

「強い力」は、原子核内の陽子同士が反発してバラバラにならないで核内におさまっていることを説明するための力で、「強い力」を未知の粒子「中間子」を交換することで説明したのが湯川理論である（146頁以下）。1950年代から60年代にかけて、大型加速器により新しい粒子が続々と検出され、これらをまとめて説明する理論としてゲルマンがクォーク理論を提唱した。ゲルマンは3つの基本となるクォークを考え、それぞれ3種類（赤緑青）の「色荷」をもち、これをやりとりすることでクォーク間に強い力が生じるとし、その力を媒介するものを「グルーオン」と名づけた（156頁以下）。グルーオン自体にも色荷があるため、グルーオンがグルーオンを吸ったり吐いたりでき、クォーク間の距離が離れるほど強い力が働くのでクォークは取り出せず、見えているのはクォークと反クォークがつくる中間子なのである（165頁以下）。次に、「弱い力」は中性子のベータ崩壊や太陽の核融合などを引き起こす力であり、WボソンとZボソンが伝達する（170頁以下）。量子力学では、空間反転のことをパリティ変換と呼び、粒子を反粒子に反転することも含めたCP対称性が弱い力では破れていることが問題となったが、これを説明したのが「小林・益川理論」である（180頁以下）。また、南部陽一郎博士の「自発的対称性の破れ」という理論によれば、すべての素粒子はもともと質量がゼロだったが、その対称性が何かの拍子にたまたま破れて、特定の質量を持つようになった。その考えを踏まえて、素粒子が質量を獲得するメカニズムをヒッグスが理論的に予測したが未だにヒッグス粒子は見つかっていない（190頁以下）。

最後の第5章では、「標準模型」では説明できない新たな3つの謎、暗黒物質、消えた反物質、暗黒エネルギー、について現在の状況、有望と思われる理論や実験計画などが紹介されている。

以上、20世紀初頭からの素粒子物理学と宇宙論の発展を1冊の新書に詰め込んでいるのだから、とうてい全部を理解できるものではない。著者は、東京大学数物連携宇宙研究機構（IPMU）という数学者、物理学者、天文学者が集まって宇宙の大

きな謎に迫ろうという研究機関の初代機構長であり、一般向けの講演会・講義がこの本のもとになったと「あとがき」に書かれている。入門の入門として本書を読んでいただき、おもしろいと思ったらより詳しい入門書を読んでくださいというスタンスのようである。IPMUの研究者が行っている研究については第5章にいくつか触れられており、今後の成果が期待される。

本書の序章の最初にはガリレイの言葉として「宇宙という書物は数学の言葉で書かれている」が掲げられているのだが、最初に紹介したように数学は見事に省略されている。これでは物足りないという向きには比較的新しい以下の文献を紹介しておく。

#### 【宇宙論について】

谷口義明『宇宙進化の謎 暗黒物質の正体に迫る』  
ブルーバックス B-1723（講談社、2011年5月）

村田次郎『「余剰次元」と逆二乗則の破れ  
我々の世界は本当に三次元か？』  
ブルーバックス B-1716（講談社、2011年2月）

#### 【素粒子物理学について】

橋本省二『質量はどのように生まれるのか  
素粒子物理最大のミステリーに迫る』  
ブルーバックス B-1680（講談社、2010年4月）

フランク・ウィルチェック『物質のすべては光  
現代物理学が明かす、力と質量の起源』  
（早川書房、2009年12月）

#### 【本書】

幻冬舎新書187（幻冬舎、2010年9月）、226頁、  
800円（税別）

