

反物質 地球上の物質は結局のところ様々な原子で、そしてその原子は原子核とその周囲を回る電子から構成されている。原子核は更に中性子と陽子で成り立つ。陽子の電荷は正であり、逆に電子は電荷が負の粒子である。1932年に質量が電子と等しく正の電荷を持つ粒子(陽電子)が発見された。これが人類と反物質の最初の出会いである。陽電子が電子と遭遇するとそれは光エネルギーに変わる。PETと呼ばれる画像診断装置は電子・陽電子の消滅を利用する。かくして反物質は我々の生活の一部となった。陽電子の発見後、陽子にも中性子にも反粒子が発見され、その性質も詳しく研究されてきた。全ての粒子(物質)にはその影武者とも言うべき反粒子(反物質)が存在する。反粒子の質量は粒子のそれと完全に一致し、逆符号の電荷をもつ。粒子と反粒子が遭遇すると消滅し、光エネルギーに変化する。以上が確認された反粒子の性質である。

宇宙の反物質 地球・月・太陽は反物質ではなく、勿論物質で出来上がっている。また太陽が属する銀河も、宇宙線観測結果から、また物質と反物質が衝突する際に発せられる特有の光エネルギーが全く発見されない等の理由から、やはり物質で出来上がっている。それでは更に対象を広げて宇宙全体ではどうであろうか?宇宙全体では、観測手段が手薄なので直接的証拠を得るのは難しいが、様々な事実からやはり物質から成り立つと考えられている。物質と反物質がある中で何故「物質優勢の宇宙」が出来たのであろうか?また素粒子物理と如何に関連しているのであろうか?

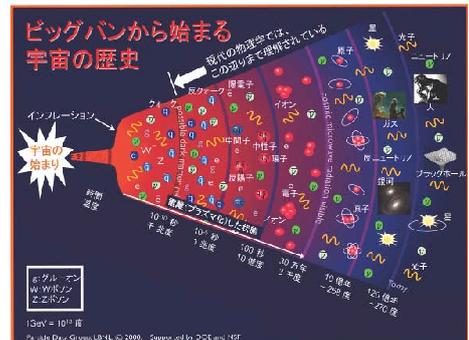


図 1: 宇宙の進化と物質の成立

宇宙の進化と反物質 物質優勢宇宙と素粒子物理の関わりを考える前に、もう一つだけ宇宙に関する重要な観測事実を提示しておこう。現在の宇宙像(ビッグバン宇宙論)に従うと、宇宙も時と共に姿形を変え、進化する存在と考えられている。宇宙は大爆発(Big Bang)により始まり、まず超高温の火の玉が作られた。その後火の玉が膨張し、温度が下がるに従い種々の粒子が生まれ、やがては星や生命までも作り上げられたのである。ビッグバン宇宙論は、(1) ハッブルの膨張則、(2) 3度 K 背景放射の存在、(3) 宇宙における軽元素合成量、等の観測事実を合理的に説明する。これを信ずるならば、高温状態では物質も反物質も対等であるので物質優勢宇宙は進化の過程で生まれてきたと考えるのが自然である。

物質優勢宇宙ーサハロフの3条件ー 1967年サハロフは宇宙進化の過程で物質と反物質の間に差が生まれるための条件を定式化した。それによると(1)バリオン(核子)数の非保存、(2) C 及び CP 非対称性、(3) 非平衡の3条件である。バリオンとは核子(陽子・中性子)を含む一群の重粒子を指すが、ここでは核子と同一視して差し支えない。核子はバリオン数+1であり、反核子は-1である。もし宇宙が物質と反物質について対称であればバリオン数は

ゼロである。現在の物質優勢宇宙は巨大な正のバリオン数を持つのであるから、バリオン数を生み出すような機構が必要とされる。この要請が第1条件である。第2の条件はより本質的な条件で、「時間の矢」とも関連する。最後の条件は、熱平衡ならばそれを打ち消すようなプロセスも同時に存在するのでこれを阻止するための条件である。

C非対称性及びCP非対称性—必要性と現実性— 物理学の世界では3つの非常に重要な対称性が存在する。左右の対称性(P)、荷電の対称性(C)、時間の対称性(T)の3つである。左右の対称性は鏡の中の像と現実の像の対称性と呼びかえることも出来る。また時間の対称性とは時間の流れる方向(時間の矢)を反転させる操作を表す。映像をフィルムに録画し反転するような操作をしたとき、それが自然なのか(法則に則るか)否かを問う対称性である。最後の荷電の対称性(C)とは粒子を反粒子に入れ替えるような操作を表す。日常生活においてこれらの対称性が成立していないのはほぼ自明である。例えばある映像が現実のものか鏡像かはすぐ理解できる。また日常生活を写したフィルムでは反転しているか否かは一瞬に分かるであろう。ところが1957年までは物理学者はこれらの対称性は全て成立すると考えていた。世間の常識は、物理の世界では非常識であった訳である。しかし1957年にはP対称性及びC対称性が、1964年にはCP対称性が成立しないことが確立した。CP対称性の破れは、非常に基本的な定理(CPT定理)により、T対称性の破れを意味する。以上により物質優勢宇宙を説明するに本質的な第2の条件も満たされることが判明した。

大統一理論による物質優勢宇宙の説明—挫折と復活— 物質優勢宇宙を説明するのに必要な第2および第3の条件は満たされることが判明した。第1の条件については、例えば大統一理論と呼ばれる模型(仮説)において満足する。

CP非対称性—未来への挑戦— 一方、CP対称性の破れの実験的研究は、K中間子からB中間子にまで舞台が広がった。日本においては、J-Parc加速器が建設中であるがこの中では、K中間子のみならずニュートリノを使ったCP対称性の破れの実験的研究を進めようと計画されている。これらの実験は新しい知見を与えてくれと期待される。

まとめ 以上、物質優勢宇宙を説明するシナリオは、現段階で「あらすじ」に過ぎない。より確実な誰もが認める説明は今後理論・実験・観測の多様な方向からの進展が必要である。特に素粒子実験の分野では将来予定されている様々なCP非対称性に関する実験が有用な情報を提供するだろう。素粒子の世界は極微の世界である。一方宇宙は全てのものを包み込む巨大なる世界である。いまや2つの世界は巡りめぐって融合し、不可分の学問分野になりつつある。物質優勢宇宙に関わる話題はこの典型例と言えよう。



図 2: 極微の世界と巨大宇宙の統一