慶應義塾神奈川通信三田会報・第３６号春号
「日吉の杜」平成２１年５月２４日発行より抜粋

宇宙を考える

高橋　豊(8 経 12 法)

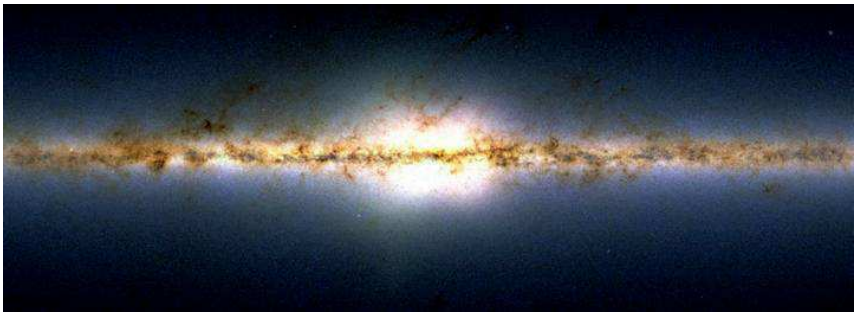
１．太陽系と銀河

私達は宇宙の中に存在する。宇宙を考える時、地球と太陽系の理解から始まる。地球の半径は約６４００ｋｍ、人類の生活圏は地表数ｋｍが限界、地球の半径の０．０５％以下、極めて薄い地表の一部に過ぎない。今年２人の日本人宇宙飛行士（若田光一氏と野口聡一氏）が宇宙に長期滞在する。そこは上空４００ｋｍに浮かぶ国際宇宙ステーションだ。太陽は核融合エネルギーにより自ら輝く恒星、その半径は地球の約１００倍で約７０万ｋｍである。太陽系には８個の惑星（水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星）と３個の準惑星（冥王星、ケレス、エリス）および多数の太陽系小天体と惑星間塵が太陽を中心に公転軌道を周回する。火星と木星の間には多数の小惑星の軌道が集中している。昨年、神奈川通信三田会の元会長「重久長生氏」の名が、小惑星帯の中にある１つ小惑星８７３６番「Shigehisa」として、国際的に付与された。惑星には地球の月のように衛星を持つものもある。今年の７月２２日は、月が太陽と地球の間に入り、太陽光を遮る皆既日食が、屋久島と奄美大島を挟む海域や硫黄島近海などで見られる。また、他の日本各地でも部分日食が観測できる。なお、冥王星は１９３０年に発見され９番目の惑星とされたが、その後、海王星軌道の外側で太陽を公転する外縁天体が次々と発見された。そこで、比較的大きな質量を持つ小惑星や外縁天体を準惑星と呼ぶことになった。

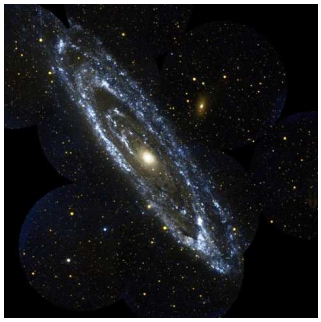
太陽系は銀河系に多数存在する惑星系の一つ、銀河系の中心から２．５～２．８万光年ほどの位置にある。１光年は、光の速さで１年を費やす距離、約９．４５×１０^{12}ｋｍである。太陽系は、銀河系内を約２２０ｋｍ／ｓの速度で周回し、約２億２千６百万年で銀河系内を１公転する。銀河系は数多くの恒星や星間ガスなどの天体の集まり、全質量は太陽の約６千億～３兆倍と見積もられる。銀河系の形状はほぼ円盤状、有効直径が約１０万光年、中核部の厚さ約１．５万光年である。天の川は銀河系の円盤を真横から見た姿、銀河系の中心が最も明るく射手座方向にあり、星の大集団が観測される。銀河系外には、私達の銀河系と同等の規模構造を持つ他の銀河系が幾つもあり、楕円、レンズ状、渦巻、不規則型などの系列が存在し、これらが銀河と呼ばれる巨大な天体を構成している。そしてより大きな銀河群、数千個の銀河を含む銀河団が存在する。銀河団の大きさは銀河の数百倍以上、２千万光年程度である。さらに、多数の銀河団からなる２億光年程度の大きさを持つ超銀河団へと続いている。超銀河団になると、物質分布は網状になり、何も存在しない空間がボイド状に孤立して存在する。つまり、銀河分布は一様でなく、銀河が存在する場所と存在しない場所があり、泡状の表面に銀河が集中し、特に泡と泡が接触する領域に大量の銀河が存在する。

２．天体観測と膨張宇宙

宇宙空間を観測する手段は望遠鏡、代表的な望遠鏡に光学望遠鏡と電波望遠鏡がある。光学望遠鏡には屈折望遠鏡と反射望遠鏡があり、大きいもので口径３０～４０インチの屈折望遠鏡、２００～３００インチの反射望遠鏡が世界に存在する。宇宙の観測、それは過去の宇宙を見ることを意味する。なぜなら、光の速さが有限であることによる。ガリレオが４００年前に月のアバタ面や木星の衛星を望遠鏡で発見して以来、望遠鏡は宇宙の神秘を次々と明らかにした。特に、エドウィン・ハッブルは最大級の望遠鏡を酷使し、アンドロメダ星雲が星の集団であること、さらに外部銀河系の星の運動を調べて膨張宇宙の証拠などを発見した。



観測データに基づく天の川（銀河系）の全天パノラマ画像



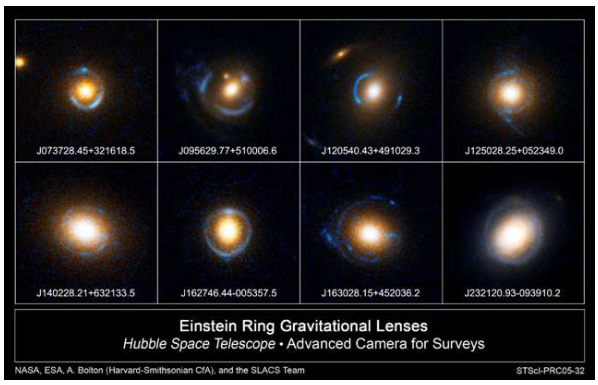
アンドロメダ星雲

つまり、すべての銀河が我々から遠ざかっており、その遠ざかる速度が距離に正比例することを明らかにした。その比例定数はハッブル定数と呼ばれ、最新のＮＡＳＡの観測結果によれば、1Ｍｐｃ（メガパーセル：距離で約３２６万光年）当り７１±４ｋｍ／ｓとされている。宇宙の膨張、それは遠くにある星が近くの星より早い速度でより遠くへ移動する。時間を過去に遡れば、すべての星が１点に集中していたことを意味する。すなわち、宇宙誕生の瞬間は、大量の物質が１点に集中し、超高温・超高密度になっていたと推測される。これらのことから、ビッグバン宇宙の概念が生まれた。ビッグバン宇宙とは、宇宙の最初期状態がとてつもなく高い密度と温度の状態あるいはその状態から膨張（一種の爆発）して宇宙が生成されたとする説である。そして、ビッグバンは約１３７億年前にあったとされ、現在の宇宙年齢は「約１３７億年とされた。

私達が観測している宇宙の果ては３次元空間の球体の地平線あるいは水平線に相当するものを４次元の時空で見ている。もしも宇宙の全方位で同様に膨張しているならば、宇宙空間は４次元的に閉じていると考えられる。そして、約１３７億年前の時空で１点に集中し、その近傍から発せられた光は時空の持つ質量で曲げられ、現在の私達の場所に光の情報を届けている。地球の大気は、動植物の呼吸に必要な酸素や窒素を供給し、有害な紫外線やX線などの防壁にもなり、生命に多大な恩恵を与えている。しかし、天体を観測するためには、大気が揺らぎ、星の光を散乱させ、紫外線やX線など短波長の電磁波を吸収してしまう。宇宙観測には大気圏外の宇宙に巨大な望遠鏡を設置するのが望ましい。そこで１９９０年に人工衛星軌道上に口径２．４mの反射望遠鏡を載せることに成功、ハッブル宇宙望遠鏡と命名された。当初は画像がぼやけるなどの失敗もあったが、１９９３年末に修理が成功し、驚嘆すべき多くの宇宙情報を届けている。宇宙の膨張速度が加速しているという証拠、多くの銀河の中心部にブラックホールがあるという観測、銀河系を取巻く暗黒物質の存在等、次々と宇宙の仕組みを解く鍵や証拠となるものを提供してくれている。

このような成果が生まれた背景に分光学の進歩がある。分光学では、光の持つ波長を調べ、そのスペクトルの持つ暗線と輝線で物質を特定する。この世の物質はすべて固有のスペクトルを持ち、元素の原子に存在する電子の遷移過程で飛び飛びのエネルギー準位に対応し、固有の波長の光を吸収あるいは放出する。つまり、光は物質の元素の持つ固有のスペクトル線との対応関係が存在する。このことから、物質の元素が同定できる。宇宙から来る光の分光技術の進歩により、初期宇宙の元素組成が次第に明らかになった。宇宙の元素構成の質量比は、水素７１％弱、ヘリウム２７％強、その他２％弱である。観測結果は水素やヘリウムなどの軽い元素が初期宇宙に生成されたと考えられる。また、より遠くの星から来る光の波長（固有のスペクトル）は少しずつ長波長へのズレが判明した。これはドップラー効果と呼ばれる現象で、赤方偏移とも呼ばれ、遠い銀河ほどその距離に比例した速度でより遠くへ速く離れていることを示している。

宇宙が膨張しているならば、より遠くの天体は離れる速度が次第に速くなり、その速度は、やがて光速度へ近付くことを意味する。アインシュタインの相対性理論によれば、運動する物体は、光速度に近付くにつれて、その質量が増加し、時間の進みが次第に遅くなる。そして、光速度で動く物体の時間は停止する。単純に考えれば、１３７億光年の遥か彼方の天体は我々の銀河と相対的に光速度で離れ、そこでの時間は停止している。すなわち、１３７億年前の宇宙がそこに存在し、全方位で１３７億年前の時空が一点に集中し、光をも閉じ込め、その巨大なブラックホールに宇宙のすべてが光速度で吸い込まれているとも考えられる。幾何学的には、直線が円になると線の長さは有限な２次元空間に収まり、平面が球になるとその表面は有限な３次元空間に収まる。同様に、３次元空間に時間軸を考慮することで閉じた空間が存在する。相対性理論の基本的な骨子は光速不変の原理と等価原理にある。光速不変の原理は、真空中の光（電磁波）の速度が座標系の採り方によらず一定であり、光源の運動状態に無関係であることを意味する。この結果、別々の慣性系が相対的な運動で光の速度に近付くにつれて、時間の進み方が遅くなる。一方、等価原理は加速度系と重力場が物理的に同一の概念であることを意味する。光速不変の原理は特殊相対性理論の基本原理であり、等価原理は一般相対性理論を考えるときに付与される基本概念になる。一般相対性理論によれば、強い重力場は直進する光をも曲げる。超銀河団の総質量は太陽の千兆倍もある。ある時空の一点から発せられた光は空間を旅し、宇宙を満たす物質の重力場に曲げられ、最短距離で私達の観測する場所に届けられる。この宇宙空間では２点間の最短距離が３次元的ユーグリッド幾何学上の直線ではない。宇宙に存在する光はこの宇宙に閉じ込められているとも考えられる。光が曲がる現象は重力レンズ効果とも呼ばれ、その典型がアインシュタイン・リングとして観測される。アインシュタイン・リングは、光源と地球の間に巨大な重力場となる星が存在し、光源から発した光の一部は重力場に遮られるが、その周囲を通過する光の軌跡は重力場によって曲げられ、重力場の周囲にリング状の光が地球上で観測される現象である。

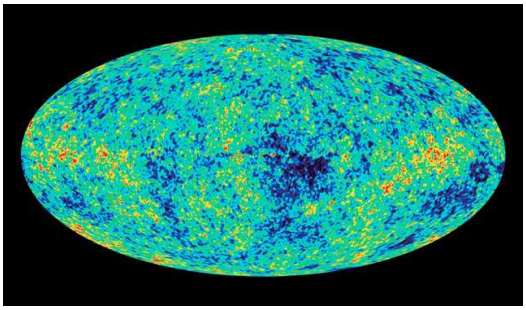


ハッブル宇宙望遠鏡が捉えたアインシュタイン・リング

３．宇宙の起源

宇宙空間の全域からほぼ均等に観測される様々な周波数の電磁波がある。宇宙背景放射と呼ばれる。特に、宇宙マイクロ波背景放射は宇宙全体から観測され、その周波数分布は２．７２５度Ｋ（Ｋ：ケルビン、絶対温度）の黒体放射にほぼ完全に一致する。この放射はビッグバン宇宙の証拠でもある。宇宙マイクロ波背景放射は観測可能な最も遠くの宇宙から来る最も古い宇宙の光である。最近の宇宙論によると、宇宙マイクロ波背景放射は、ビッグバンの約３８万年後に、宇宙の温度が下がって電子と陽子が結合して水素原子を生成し、宇宙が放射に対して透明になった頃の痕跡とされる。この頃、宇宙の温度は約３０００度Ｋであったが、その後の宇宙の膨張により放射温度が約１／１１００にまで下がった。ビッグバン直後は超高温度・超高密度のため、物質の陽子や電子が分離して激しく飛び回っている。これらの粒子は激しく運動して光を放出するが、周囲に激しく飛び回る電子が存在し、光は電子と衝突して散乱するので直進できない。このような物質はプラズマ状態にあると呼ばれ、温度が均一で熱平衡状態にある。しかし、宇宙が膨張して温度が約３０００度Ｋに下がると、陽子は電気的な力で電子を捉えて原子（最初は水素原子）を構成する。その結果、飛び回る自由電子が少なくなり、次第に光が邪魔されずに宇宙空間を直進する。この間、宇宙は膨張を続け、より低温状態になり、光の波長は引き伸ばされて、約１３７億年後の地球に届き、宇宙マイクロ波背景放射が観測される。この他に、宇宙背景放射として、宇宙赤外線背景放射や宇宙Ｘ線背景放射なども観測される。これらは最初に生成された初期の恒星からの光ではないかとされている。特に、宇宙Ｘ線背景放射の大半は点源からの光であることが確認されている。

米国のケープ・ケネディ宇宙基地から宇宙背景放射探査衛星が１９８９年に打ち上げられた。この衛星はコービー（COBE）と名付けられ、マイクロ波微分放射計が積み込まれていた。その観測データを慎重に分析した結果、宇宙空間に温度の揺らぎが存在することを捕えた。このことを明確にしたのは１９９２年であった。その後、２００１年に新たな人工衛星ダブルマップ（WMAP）が打ち上げられ、より高精度な宇宙背景放射の観測データを送ってきた。この揺らぎは、宇宙誕生時の残照温度であり、黒体放射スペクトルに一致する宇宙背景放射の１００万分の１以下という微々たるものである。多分、光のモヤから晴れ上がった宇宙誕生３８万年後の姿を捕えており、僅かに宇宙誕生の揺らぎが残ったものと推測される。同時に、インフレーション理論による宇宙の広がりの痕跡とも考えられている。宇宙初期の揺らぎ、この存在が多様な物質を生み、宇宙に散らばる星や太陽系や地球を形成し、地球上に生命を出現させた源ではないかとも推測される。

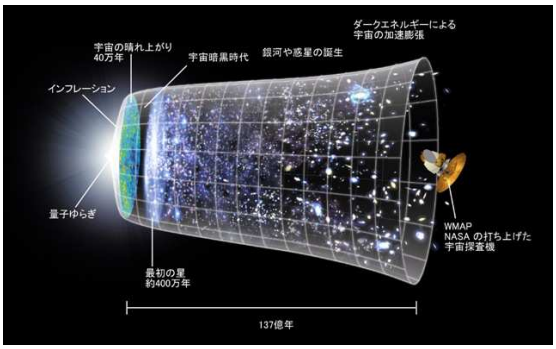


宇宙マイクロ波背景放射の画像（WMAP）

４．宇宙物理と宇宙の歴史

強いエネルギーを空間の一部に加えると、そこの空間がひずみ、物質としての粒子対が生成される。例えば、光が消滅するとそこから電子と陽電子の対が生成され、電子と陽電子は合体して光になって消滅する。これらは対生成と対消滅とも呼ばれ、素粒子物理の世界で観測される。陽電子とは電荷が電子と反対のプラス電荷を持つ粒子で電子の反粒子と呼ばれる。電子が陽電子と合体して光を放出する時、陽電子の存在を未来から過去に時間を遡る電子と考えることもできる。そして、過去に遡った電子は光を吸収して再び未来に進む電子になる。何も無い真空とは無と有の間を揺らいでいる状態、真空中から突然に電子と陽電子が出現し、すぐに結合して無になることが実験で確かめられている。量子論的には、無は完全な無ではなく、有と無の間を揺らいでいる。宇宙は無の揺らぎの中から生まれた。物理学的な無とは時間も空間も定義できない混沌とした状態のことである。しかしながらエネルギーはゼロでない。ホーキングの宇宙論は、時間と空間は有限で境界を持たないという着想に基づき、虚時間なる概念を用いて、ビッグバン宇宙説の特異点を解消した。約１３７億年前の宇宙は虚時間の中で生まれ、プランク時間（約５．４×１０$^{-44}$ｓ：量子力学における不確定性原理との関係上で測定可能な最小時間）を

経て実時間の世界になり、想像を絶する超高温度で超高密度の空間になった。光のエネルギーは極めて高く、クォークが出現し、各種の素粒子が生成された。同時に、インフレーションと呼ばれる急激な膨張が起った。それは10^{-34}ｓの間に大きさが10^{43}倍になったという凄まじい膨張であったようだ。やがて、陽子と反陽子の対消滅、電子と陽電子の対消滅が起った。温度が約千億度Ｋになると、陽子と中性子が近づきヘリウム原子核（ヘリウム原子の核）などが生成される。ビッグバンから約１秒後のことであった。



インフレーションによる宇宙膨張とその生成過程

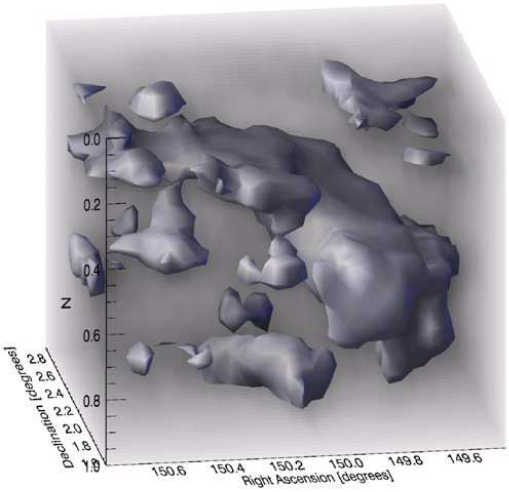
インフレーション理論では､宇宙は誕生直後の10^{-36}秒後から10^{-34}秒後までの間に、エネルギーの高い偽真空からエネルギーの低い実真空に相転移したとされる。この過程で負の圧力を持つ偽真空のエネルギー密度によって､引き起こされた指数関数的な膨張（インフレーション）があった。この膨張は空間自体の膨張であり、空間の中の物質が光以上の速度で動く現象ではない。この急膨張が宇宙を一瞬にして均一化したようだ。しかし、量子力学的なゆらぎが無くなったわけではなく、その後の宇宙を構成した。このような宇宙は、空間的に果てがなく、時間的に始まりも終わりもない。無から宇宙が生まれる時、量子力学的なトンネル効果で宇宙が誕生した。量子力学は、１９００年にマックス・プランクが、輻射熱を説明するために、エネルギーが飛び飛びの値しかとれないという現象に気付いたことから始まった。原子や素粒子の超ミクロの世界では､いろいろな物理量が飛び飛びの値をとる。このことから、１９２０年代に量子力学が体系化された。この飛び飛びの値は、これ以上に分割できない固有の最小単位（固有量）で、量子と呼ばれる。量子の世界では、物質が波の性質を持ち、ニュートン物理学に見られない不思議な現象が次々と起きる。例えば、速度の遅い物体が速い物体を追い越すことがあり、小さく軽い物が大きく重い物を通り抜けることもある。ノーベル賞を受賞した江崎玲於奈博士のトンネル効果はその典型である。ハイゼンベルクの不確定性原理によれば、ある物体の位置と運動量は同時に決定できない。運動量とは速度と質量の積である。量子力学では、位置や運動量は確率でその存在が決定される。つまり、完全な静止状態は存在せずに、常に揺らぎの世界にある。宇宙の初期もこの揺らぎの世界から、量子力学的なトンネル効果によって、無から有に変じたと考えられている。無の空間に何かがある。量子の世界では確率がゼロの状態は存在しない。したがって、絶対的な無も存在しない。この偽（ニセ）の無の世界を偽真空と呼び、僅かな確率で偽真空の障壁を潜り抜け、実真空に相転移し、現在の宇宙へ膨張を始めたようだ。

宇宙誕生の直後は、粒子と反粒子、物質と反物質が混沌として入り混じった状態にあった。粒子と反粒子は荷電反転で入れ替わる。それは私達の世界を鏡で見た空間反転と同様の物理現象である。ここで、物質の粒子と反粒子が等しければ、再びこの世は膨大なエネルギーとともに無の世界に戻ることになる。しかし、自発的対称性の破れにより、粒子が反粒子より僅かに多くなり、現宇宙が生まれた。自発的対称性の破れとは、外部からの力を受けずに、自然に荷電反転や空間反転による自然界の対称性が崩れるという考え方である。南部陽一郎博士は、この自発的対称性の破れの理論創設が評価され、ノーベル物理学賞を受賞した。また、益川俊英博士と小林誠博士は、その理論を裏付けるため、クォークが３種類（アップ、ダウン、ストレンジ）だけでなく、さらに３種類（チャーム、ボトム、トップ）あることを理論的に提唱した。陽子と中性子を構成するアップとダウンは第一世代のクォーク、弱い相互作用により、陽子と中性子が入れ替わる。それ以外に、第二世代のストレンジとチャーム、第三世代のボトムとトップがある。特に、三世代のクォークの存在と僅かに紛れ込んだ世代間クォークとの相互作用が対称性の破れに関与している。そして、この６種類のクォークの存在がすべて実験で確かめられ、ノーベル物理学賞の栄誉になった。対称性の破れ、それは反粒子が粒子より僅かに寿命が短く、この物理現象が粒子や物質が反粒子や反物質より僅かに多くなり、この世に粒子や物質を生み出した。宇宙を考えることは、あらゆる物質の存在を考えることでもある。クォークは陽子や中性子などの重粒子を構成する基本粒子、これ以外に６種類のレプトン（電子、ニュートリノなどの軽粒子）の存在が知られている。電子、ミューオン、タウとそれと対をなす電子ニュートリノ、ミューオン・ニュートリノとタウ・ニュートリノの６種類である。素粒子の世界は、６種類のクォークと６種類のレプトンからなり、これらがゲージ粒子と呼ばれる強い力のグルーオン、弱い力のボゾン、電磁力の光子を交換し、物質の世界を構成する。この他に、素粒子の質量獲得に関与するヒッグス粒子が存在すると考えられているが、ヒッグス粒子はまだ確認されていない。

５．自然を支配する力

宇宙は極大の世界、その初期状態や観測結果を総合して推測すると、その揺らぎは、クォークなどの素粒子の極小の世界と関係している。そして、自然界を支配する力は、電磁力と弱い力と強い力及び重力、４つの力が存在する。電磁力は電場あるいは磁場から電荷が力を受ける相互作用による。電荷にはプラスとマイナスがあり、同じもの同士ならば斥力、異なるもの同士ならば引力が働く。この相互作用を媒介する粒子が光子、その強度は距離の逆二乗に比例し、クーロンの法則として知られている。弱い力は素粒子間に働く。この相互作用による典型的な現象は、中性子が電子（ベータ粒子）と反電子ニュートリノを放出して陽子になるベータ崩壊がある。陽子が陽電子（ベータ粒子）と電子ニュートリノを放出して中性子になる現象、陽子が軌道上の電子を捕獲して中性子に変換する現象もベータ崩壊である。電磁力と比較して力が非常に弱く、素粒子レベルの非常に近い範囲でしか作用しない。この相互作用の媒介粒子はウィークボゾンと呼ばれ、電荷を持つWボゾンと電荷を持たないＺボソンがある。なお、ニュートリノは、この弱い力にしか感応しないので、他の物質に与える影響が少なく、その検出が困難であった。日本の小柴昌俊博士は宇宙ニュートリノの検出に貢献したことでノーベル物理学賞を受賞した。なお、宇宙の初期状態で電磁力と弱い力は区別できない。また、弱い力は自然界の対称性の破れに関与する唯一の力である。強い力は原子核内で核子同士を結合している力、湯川秀樹博士はパイ中間子によって核子に働く力を説明した。その力は電磁力と比較して非常に強く、その影響範囲は極めて小さい。強い力を伝達する媒介粒子はグルーオンと呼ばれる。重力は万有引力のこと、質量を持つ物質あるいは加速減速時のエネルギーなどの間に働く作用である。電磁力には斥力と引力があるが、重力には引力しか存在しない。アインシュタインの一般相対性理論によれば、重力は質量を持つ物体が引き起こす時空の歪みとされる。その作用は光速度で伝えられ、光の軌道は重力によって曲がる。

初期の宇宙では、温度が想像を絶するほど高く、力は４つではなくただ１つであった。宇宙の温度が低下するに従って、ただ１つの力から重力が枝分かれした。宇宙誕生の直後で10^{-44}秒の頃のこと、宇宙の温度は10^{19}ＧｅＶ（約10^{32}度K）であった。その後の宇宙誕生から10^{-36}秒で強い力が枝分かれした。宇宙の温度は10^{15}ＧｅＶ（約10^{28}度K）になっていた。さらに、電磁力と弱い力が枝分かれしたのは、宇宙誕生から10^{-11}秒経過し、宇宙の温度は10^{2}ＧｅＶ（約10^{15}度K）に低下していた。中性子や陽子が形成されたのは、強い力による相互作用の結果、宇宙誕生後10^{-4}秒経過し、温度は10^{-1}ＧｅＶ（約10^{12}度K）になっていた。この宇宙初期のシナリオは力の統一理論によって描かれている。宇宙初期になぜ力が枝分かれしたのか、それは自発的対称性の破れを伴うケージ理論にある。そこでは宇宙空間が相転移を起し、相転移が起るたびに力が枝分かれした。相転移は物理学的にエネルギーの高い状態から低い状態へ落ちていく現象、この時に宇宙はものすごい膨張（インフレーション）を起しており、水が相転移で沸騰するように、泡がぶくぶくと発生して、デコボコだらけの宇宙構造になる。つまり、宇宙の始まりは素粒子と同様に無から生成消滅し、無から有への障壁を確率的に潜り抜け、時間と空間とエネルギーを持つ宇宙が出現し、幾つかの相転移を伴って、不均一な宇宙構造を形成した。しかも、このような宇宙は１つだけでなく、幾つも生まれた可能性がある。



ハッブル宇宙望遠鏡のＣＯＳＭＯＳプロジェクトが公表した暗黒物質の空間分布

６．目に見えない物質を求めて

宇宙には光学的に観測できない暗黒物質（ダークマター）が存在する。星間運動による遠心力と重力の釣り合いから質量を求められるが、光学的に観測できる１０倍以上の物質およびエネルギーの存在が確認されている。一般に、物質を構成する分子･原子は、陽子と中性子からなる原子核とそれを取り巻く電子からなる。陽子や中性子はクォークと呼ばれる素粒子によって構成される。陽子、中性子、電子は安定な粒子であるが、人工的に造られる短寿命の素粒子は百種類以上も見つかっている。陽子と中性子は元素の主な成分でありバリオンと呼ばれる。しかし、宇宙を構成する物質はバリオンの占める割合が約４％程度に過ぎない。WMAＰからの観測結果などを総合すると、バリオン以外に約２３％の暗黒物質および約７３％の暗黒エネルギーと呼ばれる正体不明のものが大量に存在する。そして、

銀河の外側に大量に存在する暗黒物質の探査、素粒子の不思議な振る舞いからバリオンとほとんど相互作用しない暗黒物質の存在などが考えられている。特に、荷電反転や空間反転あるいは時間反転の概念に基づき、自然界に存在する素粒子の対称性を根拠に、暗黒物質あるいは暗黒エネルギーの存在が観測できないかという検討もなされている。宇宙誕生直後は暗黒の空間、現代技術では観測不可能である。しかし、その１億年後から９億年後の間に観測可能と思われる未観測の領域が存在する。ここに暗黒の世界を解く鍵が存在するかもしれない。今後の技術開発に期待したい。

宇宙を知ることは究極の物質を探ることでもある。素粒子は物質の微小な要素であり、極めて小さな点粒子だと考えられてきた。一方、自然界の究極の構成要素は振動する極めて小さな弦（紐）だとする考え方がある。弦（紐）が振動すれば、振動数の異なる波が生ずる。そのひとつずつの波が多種多様な素粒子に相当する。緩やかな振動は質量の小さな素粒子、激しい振動で質量の大きな素粒子になる。自然界の多種多様な粒子や力（力は粒子の交換によると考えることも可能）は、弦（紐）の異なったモードの振動でしかなく、その音色やハーモニーにより、振動する弦（紐）の概念で説明できるという。この世のすべては振動する弦（紐）の異なった共鳴によるとする理論、それは超弦理論（超ひも理論）と呼ばれる。その弦（紐）の大きさは10^{-35}m程度、陽子の大きさの１００億分の１のそのまた１００億分の１ほどで私達には見えないものだと考えられている。なお、水素原子の大きさは約10^{-10}mで陽子の大きさはその１０万分の１程度である。超弦理論（超ひも理論）とは、物質の一番小さな究極の要素は素粒子ではなく、極めて小さな輪ゴムのような弾力性を持つ弦（紐）だと言うのだ。閉じた弦（紐）や開いた弦（紐）があり、弦（紐）同士は相互作用し、その振動の仕方は無数にある。それが電子に見えたり、違った種類のクォークに見えたりする。しかも、弦（紐）の振動で重力も作ることができ、それは閉じた弦（紐）であるという。重力は重力子と呼ばれる粒子の物体間のやりとりで伝わる。そして、超弦（超ひも）は真空中にも詰まっている。この理論によると、生まれた瞬間の宇宙は１０次元であり、すべての素粒子と力は一種類の超弦（超ひも）として存在していたが、宇宙誕生の10^{-44}秒後、１０次元のうち３次元が空間になり、１次元が時間になったようだ。重力が枝分かれしたのもこの時であり、残りの６次元は超ミクロに縮小し、素粒子の内部に閉じ込められた。陽子や中性子の中のクォークが外に飛び出せないのは紐のようなもので固く結ばれているからだという。重力子以外のすべての素粒子は開いた弦（紐）で作られ、その両端は膜宇宙にくっついているともいう。それは１１次元の膜が生み出す様々な顔が、超弦（超ひも）を含む宇宙を構成しているという。現在、超弦理論（超ひも理論）や膜宇宙を裏付ける観測結果やその確証となる痕跡はない。いずれにしても、超弦理論（超ひも理論）や膜宇宙の概念は、問題点も多く、仮説段階であるが、重力や質量の謎、自然界のすべての物質と力を統一的に取り扱える理論として興味がある。

７．むすび

今年は世界天文年、広大な宇宙に想いを巡らす時、現実の日常生活との違いに圧倒される。しかし、地球の環境問題を始め、私達の小宇宙での行動と無関係ではない。このような宇宙を知り、自然を理解することは、人類の偉大なる英知の賜物である。科学の成果は、一部の科学者だけの特別な情報ではない。より多くの人がこの知的情報を共有することで価値が生まれ高まる。あらためて、人間の素晴らしさに感動している。同時に、自然の真理、その奥深さに驚嘆するばかりである。最後に、浅学菲才の私の宇宙に関する知識、独断と偏見による解釈など、思わぬ誤りもあるかもしれない。できるだけ平易な記述を心掛けたが、むしろ宇宙への興味を与えてくれた先人達の残した多くの書物や研究成果、特に次の参考資料によるところが多く、あらためて感謝したい。さらに、ここに採用した画像の多くは、ＮＡＳＡ提供の公開画像およびフリー百科事典『ウィキペディア（Wikipedia)』などによる。引用させて頂いたことをお許し下さい。

（参考資料）

１．ホーキングの最新宇宙論，スティーヴン・ホーキング著，日本放送出版協会，1990.
２．手にとって見る宇宙－図説・天文学入門，趙慶哲著，光文社，1996.
３．大宇宙・七つの不思議，佐藤勝彦著，ＰＨＰ文庫，2005.
４．[図解]相対性理論と量子論，佐藤勝彦監修，ＰＨＰ研究所，2006.
５．よくわかる宇宙のしくみ，吉川　真監修，ナツメ社，2006.
６．宇宙物理学入門，桜井邦朋著，講談社・ブルーパックス，2007.