

2013 年 11 月 30 日、大野キリスト教会教育セミナー
ユニコムプラザさがみはら・セミナールーム

A. 自然

3. 宇宙の始まり

(ビッグバン理論をめぐる)

はじめに

本日は、大野教会の教育セミナーにお招きいただき、心より感謝する。大野教会は、現在新しい教会堂を建設中である。そのため、今回の講演会は教会から離れ、相模大野駅近くのボーノという建物で開くことになった。教会から外に出て、街の真ん中でこのような講演会を開くことができるのも、大きな恵みである。神学の講演会ではあるが、教会内に閉じこもらず、このような公共の施設の中で開かれることはすばらしい。パウロは、ユダヤ教の会堂を追われ、アレオパゴスの丘や(使徒 17:22)、ツラノの講堂で(使徒 19:9)、イエスの福音を語った。人を教会に招くことも大事だが、キリスト者が人のいる所に出ていくことはもっと大切である。

本日、講演会が教会ではなく、一般の建物だから来られたという方がおられるなら、特別歓迎したい。私たちの教会では、年に二度ほどこのような特別の教育セミナーを開いている。その講演は、キリスト者ではない方々にもぜひ聞いていただきたいと願っている。これを機会に、今後もよき交流を続けていけることを期待している。

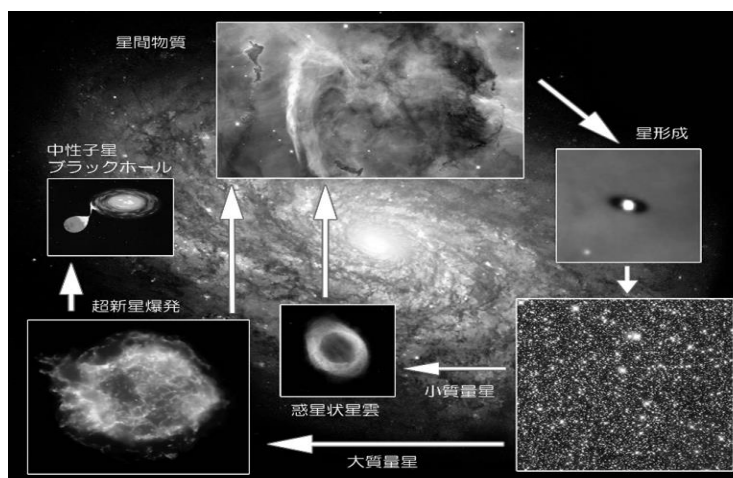
では、本題に入ることにしよう。

今日は、「宇宙の始まり」というテーマで、お話させていただく。この問題は、現代の物理学と天文学において、最もホットな話題である。皆さんの中には、この問題に詳しい方々もおられるかと思う。しかし、これまであまり考えたこともないと言う方々もいらっしゃるに違いない。全く関心がないと言う方は、ここには来られないだろうから、いらっしゃると思う。どのような方々であっても、興味をもって聞いていただけるよう、最大限努力したいと思う。

講演の最後では、創世記 1 章の読み方について解説する。楽しみにお聞きいただきたい。

天文学や宇宙学が扱う世界は、古代から今日まで、最も盛んに論じられてきた分野である。それは 21 世紀に入ってもなお、衰えを見せていない。ますます目覚ましい発展を遂げ、面白くなっている。ノーベル賞級のインフレーション理論を発表している佐藤勝彦氏は、2009 年に東京大学を退官された。その最終講義において、「今、宇宙論は初めて軌道に乗ったところであり、これからどんどんやるべきことがある」と述べ、次のような言葉で締めくくられた。

イギリスの天文学者ジョセフ・シルク(1942 年～)は、「COBE や WMAP (これについては後述します)、すばる望遠鏡の働きは確かにすばらしい。しかし、宇宙論は決して終わったのではな



宇宙のリサイクル

い。その『始まりの段階』が終わったのだ。これからますます内容が豊富になり、誕生直後の銀河が見え、どんどん肉づけがされていくのだ」と述べている。我々の知の領域が増えれば増えるほど、知らなければならぬことは増えていくのだ。

天文学や宇宙学、物理学者たちの多くは、これからの 2、30 年間で自分たちの研究にとって一番面白い時期だと予告している。それが当たっているのかどうか、私には分からない。ただ、最近書かれたどの本を読んでも、そういう躍動感が伝わってくる。宇宙の起源にまでさかのぼることができそうなこの時代に、我々が生きているのは、とても幸せなことなのかもしれない。これまで解明できず棚上げされてきた問題が、一気に解決される時代が来るのかもしれない。そんな期待に夢を膨らませながら、ビッグバンの世界に足を踏み入れることにしよう。

I. ビッグバン理論

ビッグバンという言葉を知らない人は、多分いないと思う。しかし、その中身を正確に知っているかと聞かれると、心もとない人が多いに違いない。ほとんどの人は、「宇宙は最初に大きな爆発が起こって始まったらしい。それをビッグバンと言うのでしょ」という程度の認識しかもっていない。むしろ、それ以上詳しく知らなかったとしても、日常生活に差支えがあるわけではない。しかしキリスト者は、神から被造物の管理を託されている。そうだとすると、その被造物の始まりであるビッグバン理論について、その基本的なことぐらいは理解しておいた方がよい。特に 20 年以上前に学校を卒業された方々は、今の学校では相当進んだことを学んでいるので、ブラッシュアップしておいた方がよい。この 20 年間の宇宙学の進歩は、専門家たちさえ驚きの声をあげているほどである。

今は、その気にさえなれば、基礎的な知識を手にすることは決して難しくない。テレビでも、インターネットでも、あるいはいろいろな場所で開かれているサイエンスカフェでも、最新の情報が簡単に手に入る。そこでは、最先端で研究している若き有能な学者たちが、分かりやすく楽しい講義をしてくれる。最終的には、本をじっくり読む以外にないけれど、そこにいくまでの第一歩として、一度アクセスしてみるとよい。

1. ビッグバン理論の名前の由来

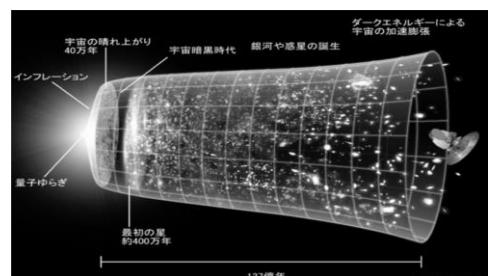
宇宙の始まりに「ビッグバン」という言葉が使われたのは、今から 70 年近く前のことである。1947 年ガモフは、宇宙の膨張は火の玉の爆発によって始まったという、当時としては全く新しい考えを公表した。ガモフとその仲間たちは、この考えを証明しようと先駆的な実験を重ね、かなりの成果を上げるところまでいった。しかし当時は、その理論に注目する物理学者や天文学者はほとんどいなかった。その翌年(1948 年)のあるラジオ番組で、イギリスの王室天文学者であり、SF 作家だったフレッド・ホイル(1915 年～2001 年)は、ガモフの「宇宙爆発膨張説」を揶揄して「ビッグバン」という言葉を使った。ところが皮肉なことに、その後この言葉は広く流布され、ガモフの考えは「ビッグバン理論」として定着するようになった。

20 世紀後半から 21 世紀にかけての物理学、天文学、宇宙学、天体物理学、宇宙物理学などは、この「ビッグバン理論」を詳細に検証し、「標準理論」にまで押し上げた。むしろ、この理論に問題がないわけではない。未解決の事柄も山ほどある。だが、この理論を支持する新たな発見は日々続いており、それを否定する反証材料は今のところ出ていない。少なくとも科学者の世界においては、一応のコンセンサスが得られている。

2. ビッグバン理論とはどのようなものなのか

この宇宙は、今から 137 億年ほど前に爆発的に誕生した。誕生したての宇宙は、膨大なエネルギーと物質を生み出し、極端に高温・高密度の状態にあった。この宇宙が最初の 100 分の 1 秒間に、温度はおおよそ 1 億度まで下がり、宇宙全体が爆発的に拡大していった。その結果、水素やヘリウムという元素が生み出され、大量のエネルギーが放出され、宇宙全体がとてつもない勢いで膨張した。以上が大まかなビッグバンのイメージである。

ところで、このビッグバン理論は、ある前提から出発している。ビッグバン以前の宇宙は、どのような状態だったのか。それは、無か



宇宙誕生

らの誕生だったのか。もし無からであるとすれば、なぜ、どのようにしてビッグバンが起こったのか。現代の科学者が提唱しているビッグバン理論は、こういう問題をすべて棚上げにしている。そういう問題にはふれず、とにかく、ビッグバンという出来事が起こった、そこから出発するのである。

ビッグバン理論は、ビッグバン以前のことは問わない。それは、科学の守備範囲ではない、一般にはそう言われている。といっても、それを問いたくなるのが人間である。科学者といえども、科学の限界の枠内でだけ生きているわけではない。ビッグバン以前の問題を追究したいという科学者がいても、不思議ではない。実際ある科学者たちは、この問題を説明しようといういろいろ提案している。例えばビレンキンは、1983 年のことであるが、「無」の状態が「トンネル効果」によって物質のある状態にジャンプする、という論文を発表した。

この「トンネル効果論」は、意外と人気があり、現代の多くの科学者たちを引きつけている。というより、神による無からの創造説をもち出さない限り、こういう理論にでも頼らざるを得ない、というのが本音である。物理学の世界において、トンネル効果という現象が起こるのかどうか、私にはよく分からない。まあ、たとえそのようなことがあるとしても、それを宇宙誕生の出来事に当てはめてよいのかどうか、それはまた別の問題である。ある科学者たちは、ビッグバン以前にそれが起こったと信じている。しかし、それはもはや科学の問題とはいえない。実証する手段がないからである。それは科学の問題というより、信仰の世界の話になる。科学者は「トンネル効果信仰」をもっている、ということに他ならない。

また、別の科学者たちは、物質のある状態が「相転移(例えば、液体が凍って固体になる時多くの熱を出すような現象)」を起こした結果、大量のエネルギーが宇宙に満ち、このエネルギーによってインフレーションと呼ばれる急激な宇宙の膨張が起こったと考えている。しかしこの「相転移」は、ある物質の存在を前提にしたとき初めて成り立つ。ビッグバン以降にこのインフレーションが起こったというのであれば、問題はない(ただしこの場合、ビッグバンを起こしたそもその物質の起源の問題は、依然として解決されていない)。だが、ビッグバン以前であれば、その元々の物質がどこから来たのかを説明しなければ、問題を先送りしただけの話になってしまう。

なお、このビッグバンは今の宇宙のどこで始まったのか、地球との位置関係はどうなるのか、このような疑問を抱くのはごく自然なことである。この問題については、ビッグバン論者は次のような説明をする。

今の宇宙のいたるところが始まりである。始まりでない場所はない。地球もその中に含まれる。しかも宇宙の各点は対等である。特別な中心は存在しない。宇宙が無限小から始まったことを考えれば、そうなるのが自然である。宇宙は、時空をつくりながら膨張している。もともと存在した空間の中に宇宙が膨れ上がっていくというイメージではない。風船を地上で膨らませるのとわけが違う。宇宙膨張を理解するには、「時空の創造」という概念が大切になる。宇宙が始まった時点では、空間は存在しなかった。これは、我々の常識を超えた現象である。

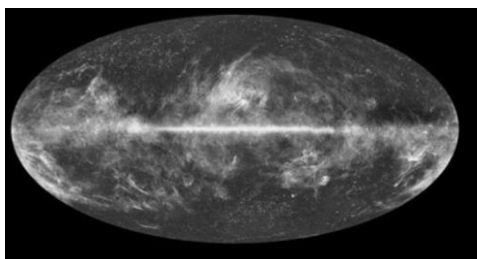
3. ビッグバン理論が標準理論になるまで

ガモフが 1947 年に提唱した「宇宙はビッグバンによって誕生した」という理論は、学者の間ですんなり受け入れられたわけではなかった。どんな科学的な理論も同じことであるが、一つの理論が提案されると、仲間の学者たちから多くの疑問が提示される。その結果、各方面から検証作業が続けられ、次第に『標準理論』として承認されていく。

ビッグバン理論の場合、それが最終的に科学者の中で受け入れられていく根拠として、3 つのことがあげられる。一つは、銀河が後退しているという観測的事実である。二つ目は、この宇宙には水素とヘリウムがほとんどで、その割合は 10:1 になっているという事実である。そして三つ目は、宇宙マイクロ波背景放射が発見されたという出来事である。それでは、一つ一つについてもう少し詳しく説明しておこう。



ビッグバンの強烈なエネルギー



ビッグバンの残光

まず、**銀河の後退が確認されたこと**である。1920 年代にハッブルは、当時の世界最大の光学望遠鏡によって、我々が住む銀河から、他の銀河が遠ざかっていくのを確認した。これは、驚くべき発見だった。なお、我々の銀河から他の銀河を観測すると、すべての銀河が我々を中心にして遠ざかっているように見える。といっても、これは我々が宇宙の中心に位置していることを意味しない。他の銀河の視点から見ると、やはりそこを中心にしてすべての銀河が遠ざかっているように見えるはずである。

ハッブルは他の銀河が遠ざかっていくのを確認しただけでなく、「銀河の後退速度は、銀河までの距離に比例する」という法則を発見した。これは、ハッブルの法則と言われる。この法則を用いて、時間を逆戻りさせるなら、宇宙膨張の出発時点を割り出すことができる。つまり、宇宙誕生の時が分かるわけである。

宇宙が膨張していることをもって、直ちにビッグバン理論を正しいとするわけにはいかない。1950 年代になっても、銀河後退の速度を逆算して得られた年代(当時は、20 億年とか、30 億年という年代にしかならなかった)は、当時既に他の方法で推定されていた天体の年代(100 億年とか、200 億年とか考えられていた)より新しいものになってしまった。この矛盾をいかに解決するのか。さらに、水素とヘリウムの存在比は説明できたとしても、重い元素の存在については手つかずの状態にあった。しかも、宇宙に始まりがあったというが、それがいったいどのような始まりなのかという問題については、棚上げにされたままだった。

そのようなことから、1950 年前後は、多くの学者がビッグバン理論に否定的だった。むしろ、フレッド・ホイル、トーマス・ゴールド、ハーマン・ボンディのイギリスの物理学者チームによる「定常宇宙モデル」の方が、多くの学者にとって魅力的だった。彼らも、宇宙が膨張していることは認めていた。宇宙は膨張しているのに、変化はしていない、彼らはそう考えたのである。その不可解な説明は、次のようなものだった。

膨張しても変化しないためには、まず宇宙空間は無限でなければならない。無限に大きなものは膨張して 2 倍になろうと、3 倍になろうとやはり無限だから問題ない。しかし空間は無限であったとしても、空間が膨張すれば銀河は互いに遠ざかり、宇宙を彩る光は次第にまばらになっていく。そんな変化が起こらないためには、遠ざかる銀河と銀河の間の空間に、新たな銀河の素材になる物質が生じればよい。

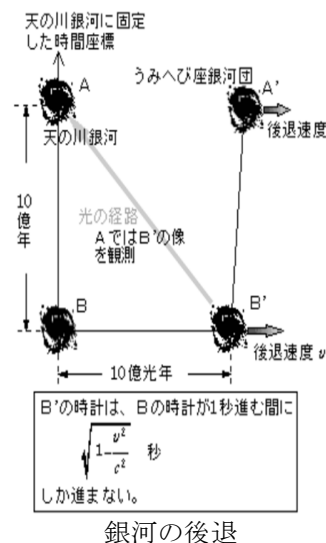
以上のような説明は、確かに、観測者である人間から見れば、宇宙は定常な状態に見える。しかし、空間にボツ、ボツと銀河が生じることは、エネルギー保存の法則からあり得ない。それに対し彼らは、次のように答えた。

定常宇宙モデルで宇宙空間に生じなければならない物質の量は、1 立方センチメートルあたり毎秒 10 のマイナス 46 グラムである。これは体積 1 リットルあたりにすると、 5×10^{11} 乗年に水素原子 1 個が生じればよい計算になり、非常にわずかな量である。

一方、エネルギー保存の法則は、実際にはそれほど高い精度で確かめられているわけではない。地球上で行われた不十分な精度の実験から導かれた経験則に過ぎない。従って、エネルギー保存則を宇宙スケールでも成り立つ絶対的な法則と見なすことには無理がある。さらに、ビッグバン理論は、「宇宙の始まり」の問題を棚上げにし、物資とエネルギーが既に高温・高圧の中で存在しているという前提からスタートしている。そういう途方もなく大きな問題をごまかしているモデルに比べれば、定常宇宙モデルのごまかしの方がまだ誠実である。

ビッグバン理論が標準理論に認められていく二番目の根拠は、**ヘリウムの起源**に関する問題だった。この宇宙の物質の 99.99%が水素(周期表の中で一番軽い元素)とヘリウム(二番目に軽い元素)である。しかも、水素とヘリウムはどこに行っても同じ 10:1 の割合で存在している。このような水素とヘリウムの存在比は、観測天文学にとって長い間大きな謎で、その理由を説明する必要があった。この疑問に答えたのが、ビッグバン理論だったのである。

ガモフと共同研究をしていたラルフ・アルファーマー及びロバート・ハーマンは、ビッグバン・モデルの初期宇宙において何が起こったのかを追究した。彼らは、宇宙には水素とヘリウムのみが偏って存在し、しかも両者の比率が 10 対 1 になることを数年かけ徹底的に解明したのである。彼らが到達した結論は次のようなものである。



太陽はその中心部においてヘリウムをつくっているが、そのヘリウムは太陽の外には出てこれられないよう、永遠に閉じ込められている。宇宙全体にヘリウムが一様に存在している現象を説明するには、宇宙全体が太陽の中心のように高温で、ヘリウムを構成していたときがあったと想定すればよい。つまり、もしビッグバンの初めの3分間に、熱い宇宙の中でヘリウムが合成されたと考えれば、この現象はよく説明できる。

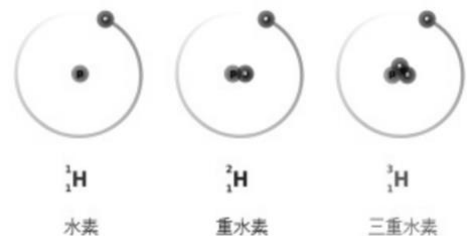
ごく初期の高温高圧の宇宙では、すさまじい高エネルギー環境の中、物質は最も基本的な粒子(陽子と中性子と電子)のまま、猛スピードで宇宙を飛び交っていた。その後宇宙が膨張するにつれ、温度が下がり、粒子たちの勢いも落ち、陽子と中性子が結びついて簡単な原子核ができた。具体的には、もともとあった水素原子核(陽子そのもの)の他に、陽子と中性子が結びついた重水素(陽子1と中性子2)、三重水素がベータ崩壊と呼ばれる崩壊を起こしてヘリウム3(陽子2、中性子1)となり、さらにそのヘリウム3が中性子を捕まえてヘリウム4(陽子2、中性子2)となり、その先少数ながらリチウム7(陽子3、中性子4)とベリウム7(陽子4、中性子3)ができた。

しかし、電子(マイナスの電荷をもつ)はまだ、猛烈な勢いで飛び回っているため、原子核(プラスの電荷をもつ)の電気的な引力では捕まえることができなかった。原子核と電子がばらばらに飛び回っている状態のことをプラズマ状態という。

プラズマ状態では、電磁力を媒介する粒子である光子は、電荷をもつ原子核と電子に絡め取られ、自由に進むことができない。もしも我々のように光を利用してものを見るタイプの観測者がその場にいたとしたら、一寸先も見えなかっただろう。

その後宇宙はさらに膨張を続け、それにつれて温度は下がり続けた。そして宇宙誕生から38万年ほど過ぎた頃、温度が下がったために勢いの落ちた電子が原子核に捕まった。その結果、電氣的に中性な原子の誕生となった。それまでプラズマ状態の中で、荷電粒子に絡め取られていた光子は、このとき初めて束縛を解かれ、自由に進むことができるようになった。宇宙は、すっきり晴れ上がった。もしも我々のような観測者がそこにいたなら、一寸先も見えなかった宇宙が、はるか遠くまで見通せるようになったということである。

この時自由になった光子が、今も宇宙空間の中を突き進んでいるはずである。何しろその光子は、宇宙以外のどこにも行きようがないのだから。つまり、我々は今、さまざまな電磁波の海の中で歩んでいるのだが、それでも、一つ一つの電波源を丁寧に洗い出し、観測データから取り除いていくなれば、原理的には「晴れ上がり」のときの光が検出されるはずである。もしそのような電波を検出できれば、ビッグバン理論が正しいことを証明することになる。



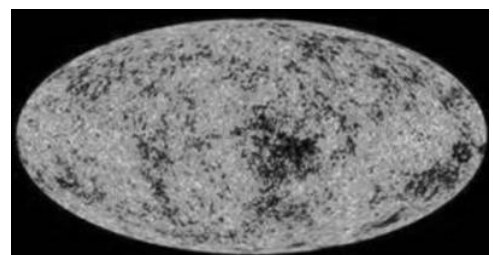
このような予測までしたのだが、彼らの研究は科学者の間では受け入れられなかった。その結果、ガモフは宇宙論に見切りをつけ、分子生物学に活路を見出そうとした。アルファードとハーマンも基礎研究を諦め、企業の研究所に就職した。その結果、彼らの研究は頓挫してしまうことになった。

今日では、宇宙の初期時代(星形成以前の宇宙)においてはヘリウム4が重水素よりも多く存在することや重水素がヘリウム3よりも多く存在すること、さらにそれが宇宙のどこでも一定の比率であることが確認されている。実際に測定されている存在量は、全て、バリオン-光子比という1つの値から予想される値と完全に一致している。

当時知られていた基本粒子は、陽子、中性子、電子の三つだけだった。これに電磁力を媒介する光子を加えた四種類の粒子が大きなエネルギーで飛び回っていた。その後宇宙が膨張するにつれて温度が下がると、宇宙の物質は水素とヘリウムばかりの状態になることも明らかになった。このように軽元素の相対的存在比を説明できる理論は、今のところビッグバン理論以外にない。

三つ目は、宇宙マイクロ波背景放射の確認である。1964年、NASAの研究者ロバート・ジャストローが「近代天文学の500年間で最も偉大な発見の一つ」と述べるほどの驚くべきことが起こった。何と、10年以上前にガモフたちが予測した電波が確認されたのである。この発見には、多くの興味深い逸話が語られている。紹介しておこう。

アメリカの若き研究者アルノ・ベンジアス(1933年～)とロバート・ウィルソン(1936年～)は、宇宙の電波源を調べるため、



宇宙マイクロ波背景放射による
ゆらぎの測定

ニュージャージー州ホルムデルにあるベル電話研究所の「通信衛星からの信号を受信するための角型アンテナ」を利用していた。彼らは、できる限り精度の高いデータを得る必要があり、装置そのものや環境に由来する電波ノイズを徹底的に洗い出す必要があった。ところが、どうしても出所不明のしぶとい雑音があった。それは、「全ての方向から飛んで来る同一の電波」で、偶然発見したものである。二人は、ありとあらゆる電波源を疑い、考えられる限りの可能性を一つ一つつぶしていった。しかし、どうしてもその電波の出所は分からなかった。

その雑音電波の波長分布はどの方向でも皆同じで、絶対零度から三度だけ高い黒体放射スペクトルと呼ばれる独特の形をしていた。それは、宇宙のどの方向を眺めても「3 度K」というそろいの鉢巻きを締めた光子軍団で、明らかに異様な光景だった。二人は、そんな光子軍団が存在する理由がどうしても分からなかった。

同じ頃、ホルムデルから目と鼻の先にあるプリンストンでは、宇宙物理学者ロバート・ディッケとジェームズ・ピーブルズの二人が、ビッグバン理論を詳しく検討し、初期宇宙の「晴れ上がりの時期」に自由になった光が、今日では波長約 1 ミリメートルの電波として検出されるはずであることに気づいていた。

二人はそれを論文にまとめ、プレプリント(雑誌に掲載される前の原稿)として仲間の宇宙論研究者たちに送った。そのプレプリントを読んだ物理学者の中に、ベンジマスとウィルソンから正体不明のマイクロ波について相談を受けていた学者がいた。その人物は、二人が検出した雑音は、初期宇宙で始めて自由になった光が、宇宙の膨張と共に波長が伸びてマイクロ波領域の電波になったものかもしれないと伝えた。ベンジマスはその説明に即座に納得し、さらに詳しい話を聞かせてもらおうと、ディッケに電話をかけた。

ディッケがベンジマスからの電話を受けた時は、ある望遠鏡の建設プロジェクトの会合が開かれていた。その望遠鏡とは、何とビッグバン理論が予測するマイクロ波を検出するためのものだった。ディッケは、ベンジマスの話を聞いて、グループのメンバーたちに「諸君、我々は先を越されたよ」と話した。かの望遠鏡はもはや不要になってしまったのである。

こうして、1965 年の天文学の専門雑誌の同じ号に、ベンジマスらのマイクロ波検出の論文と、その意味を明らかにしたディッケの論文が掲載された。ディッケは、その他にも「サイエンティフィック・アメリカン」誌に解説記事を掲載した。ただし、いずれの論文にも、1948 年にガモフたちがその電磁波の存在について予測していたことについてはふれられていなかった。ガモフたちの先駆的な業績は、そのころまでには、専門家たちの間でさえ忘れ去られていたのである。

ベンジマスとウィルソンによる宇宙マイクロ波背景放射の発見は、宇宙論をめぐる対立を決着させた。多くの科学者は、定常宇宙モデルの「変化しない宇宙像」からビッグバン理論の「変化する宇宙像」の支持者に変わった。さらに 1978 年、彼らにノーベル賞が授与されると、ビッグバン・モデルは天文学及び物理学における「標準理論」になった。

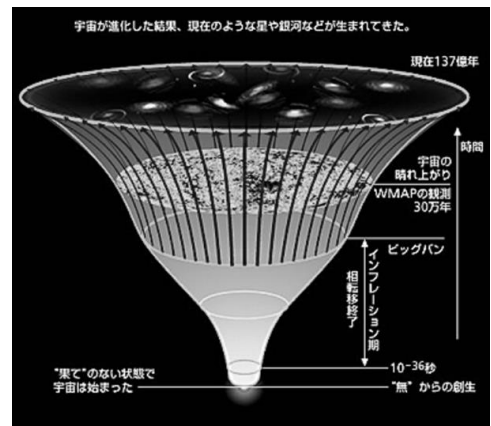
以上のような 3 つの証拠から、今日では、ほとんどの科学者はビッグバン理論を正当なものと受け入れている。この理論の反証は、現在のところ提出されていない。従って、ビッグバン理論は「標準理論」として確認されつつある。ただし、ビッグバン理論には未解決の問題がたくさん付きまとっている。素粒子の世界のたくさんの難問、暗黒物質、暗黒エネルギー、ブラックホールなどの問題である。これらはいずれも、ビッグバン理論が正しいと仮定すると、その延長線上に出てくる問題である。しかしやがて、一つ一つが解明されてゆくであろう。ビッグバン理論そのものが揺らぐことはもはや考えにくい。

4. インフレーション理論

今日、「ビッグバン理論」は天文学者や物理学者たちの間で「標準理論」として認められている。といっても、そこからさらに一歩進んで、最初のビッグバンの時点で、何が起きたのかという点になると、いろいろな意見が乱立している。例えば、ハートル＝ホーキングの境界条件、弦風景、ブレーンインフレーション、弦ガス宇宙論、エキピロティック宇宙論などなどである。むろん、これらの仮説には、その根本部分において補完し合う理論もあれば、対立関係の理論もある。「最初期の宇宙に関する議論」については、未だ十分な規模の加速器はないので、観測・実験を行えるような状況にはない。

このような中で、現在科学者の間で広く認められつつあるのは「インフレーション理論」である。「インフレーション」などというと、経済学の話だと勘違いされるかもしれない。むしろこれは、宇宙誕生に関わる説明理論で、日本の佐藤勝彦氏やアメリカの物理学者アラン・グースらが 1980 年代初めに提唱した学説である。

ビッグバン理論だけでは、宇宙誕生に関しては十分説明しきれない、インフレーション理論は、そういう問題意識から出発している。例えば、ビッグバン理論では、宇宙がなぜ「火の玉」から始まったのかについては、答えることができない。また、ビッグバン理論を推し進めていくと、宇宙の究極の始まりの時点に、「密度も温度も無限大である」という「特異点(物理学の世界ではありえないこと)」を設けなければならなくなる。それでは、物理学の破綻を認めることになる。



インフレーション

さらに、ビッグバン理論では、現在の宇宙構造の起源を説明できない。今日多くの科学者は、初期の宇宙にあった「密度ゆらぎ」と言われる濃淡のムラがあり、その後この濃度の濃いところを中心にガスが固まり、星や銀河、銀河団という構造ができあがった、と考えている。ところが、ビッグバン理論によれば、非常に小さな「ゆらぎ」しかできず、銀河や銀河団の種になるほどの濃淡をつくることは難しい。

また、この宇宙はどこまで行っても一様である。例えば、我々の銀河から 100 億光年離れた銀河と、その銀河から別の方向に 100 億光年離れた銀河とは、基本的に同じような構造をしている(これを「一様性の問題」という)。ビッグバンとは“爆発”なのだから、現在の一様性の状態はとても考えにくい。これは、ビッグバン以外に何かがあったと想定する方が理解しやすい。

また、この宇宙はほとんど曲がってはいない。平坦である。この宇宙には常に「量子的なゆらぎ」があり、微小な振動をしている。従って、宇宙の曲率がゼロになるように(宇宙が平坦であるように)微調整することは、至難の業である。これを「平坦性の問題」という。アメリカのプリンストン大学のロバート・ディッケ(1916-1997 年)は、この宇宙を平坦なまま大きく膨張させることは、数学的に極めて困難であると述べている。今のビッグバン理論は、この問題に答えを出していない。

以上のような事柄は、「火の玉が爆発した」というビッグバン理論だけでは説明しにくい問題ばかりである。そこで、このような問題を解決できるような理論として「インフレーション理論」が提唱された。このインフレーションは、ビッグバンより後に起こったと考える学者もいる。しかし、上記のようなさまざまな問題を解決するには、インフレーションはビッグバンより前に起こったと想定した方が、より有効である。多くの学者が後者の考えに傾いている。インフレーションがあったおかげで宇宙が熱くなり、それを初期条件としてビッグバンが起きたと考えるわけである。

II. 宇宙の誕生

宇宙を理解するには、宇宙をできるだけ広く観測しなければならない。と同時に、これまで宇宙に起きていたことを辿る必要がある。普通、空間と時間は区別される。だが、宇宙ではそうではない。天文学では、遠くの宇宙を見ることと過去の宇宙を探ることとは、原理的に変わらない。空間的に 10 億光年離れた星を観測することは、時間的に 10 億光年昔の星を見ていることになる。従って、宇宙の誕生について考える場合には、できるだけ遠い星を観測することが重要になる。

1. 宇宙誕生以前は？

宇宙誕生の時に何が起こったのか、このことは誰でも興味がある。「被造物管理権」を託されているキリスト者にとっても例外ではない。通常、物事全体を把握するためには、物事の始まりを知る必要がある。とすれば、宇宙全体のことを理解するには、宇宙の起源を知らねばならない。するとキリスト者は、すぐ聖書の創世記 1 章に向かおうとする。しかし聖書は、科学や歴史の教科書ではない。神は、宇宙創造の出来事を通して神の民に知らせたい

事柄を、創世記 1 章において明らかにされた。この点については、本講演の終わりに話させていただく。

宇宙の起源に関する科学的、歴史的な答えは、聖書ではなく、科学そのものによらなければならない。現代の科学によれば、宇宙は、今から 137 億年前ビッグバンによって誕生した。このことを否定する根拠は何一つない。では、その宇宙が始まる前、ビッグバン以前はどうなっていたのか。科学者の間には二つの違った考え方がある。一つは、何もなかったという考えである。何もないとは、時間も空間もないということである。とすると「始まる前」という言い方そのものがおかしいことになる。ビッグバンによって、時間、空間、その他すべてを含めたものが始まったのである。

もう一つは、ビッグバン以前にも何かがあったという考えである。これにも二種類ある。一つは、ビッグバンは繰り返して起こるもので、我々の宇宙のビッグバンはその一つにすぎないという仮説である。もう一つは、我々の宇宙の「親宇宙」のようなものがあって、そこからビッグバンが起こって今の宇宙が「子宇宙」として生まれた、という仮説である。両方とも結局、「では、もう一つのビッグバン以前は(あるいは親宇宙が生まれる以前は)、どのようなものだったのか」という問いに答えねばならない。これでは、問題を先送りしただけで、問題の答えを提供したことにはならない。

ビッグバン以前の世界をどのように考えるかは、結局、ビッグバンはなぜ起こったのかという問いに帰着する。その問いとは、なぜある日突然、ビッグバンを起こした高温の火の玉が生じたのか、ということである。それは、科学で探求できる範囲を超えた問いである。科学的な問いは、実験あるいは観測によって確認・実証されねばならない。ところが、その実験や観測には限界がある。その限界を超えた問いは、宗教的な問いになる。

宇宙誕生の瞬間については、現在の観測技術では手が届かない。現在の宇宙学は、電磁波を使って「ビッグバンによる宇宙誕生後のおよそ 38 万年経過した宇宙」にまでは到達できた。しかし、それ以前の宇宙になると、電磁波によって直接探ることはできない。もしニュートリノや重力波を使うことができるようになれば、その観測は可能になるかもしれない。だが、今のところ実用化の目途はたっていない。

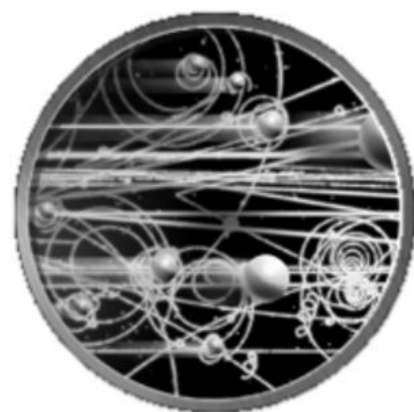
現在、世界中の原子核物理学者や素粒子物理学者は、宇宙誕生 38 万年よりさらにさかのぼって、この宇宙に実際に何が起こったのかを究明しようとさまざまな努力を重ねている。ある程度の理論構築は、既になされている。しかしそれは、標準理論と言えるまでには至っていない。現在のところ、宇宙物理学者たちの間に、次のようなコンセンサスが得られている。

宇宙にある多様な種類の元素のほとんどは、宇宙の最初期には存在していなかった。それらの合成過程は、**原子物理学**によって「原子核反応の理論的な計算」により予測できる。その結果、現在の宇宙空間に観測される元素比率をととてもよく説明できるようになった。

一方、宇宙の初期時代には、非常に小さな空間領域に大量の物質が詰め込まれた状態だった。そこでは、主に高エネルギー領域を記述する**素粒子物理学**の知識が有効になる。宇宙初期の高エネルギー状態を、地上の実験で検証することはむろん不可能である。そこで、宇宙論的な観測から素粒子物理学の世界を論じ直すことが進められている。地上の高エネルギー実験で確かめられた物理学理論を、宇宙初期に当てはめ、整合性を取りながら解明できるはずである。

このように宇宙初期の時代の解明は、原子物理学と素粒子物理学とが補完し合い、天文学的な研究の基で進められている。一方では大きなスケールの極限を観測する天文学の世界、他方では小さなスケールの極限を論じ、実験する原子・素粒子物理学の世界、この両者が共働しあって、宇宙初期の状態を解明しようと努力しているのである。宇宙は、考えてみれば、限りなく微小な粒子が限りなく巨大な広がりへと変貌する歴史、と言えよう。

宇宙初期の時代を解明する理論を実証するには、とてつもなく巨大で高度な観測機器を必要とする。それを実現するには、国際的なネットワークを結成することや研究者を総動員して、あらゆる角度からの物理的実験や観測を繰り返さねばならない。現状の研究環境は、



素粒子

そのような必要に迫っていない。

2. 宇宙誕生の瞬間

「宇宙誕生の瞬間」はどのようなものだったのだろうか。これには、誰でも興味をもっている。しかしそのようなことは分かるはずがない、一般にはそう思われることだろう。理論物理学者たちの間では、数式の世界で論じられている段階ではあるのだが、かなりのコンセンサスに達している。その見解を簡単に紹介しておこう。

宇宙は無から生まれた。そのとき、時間と空間が誕生した。この宇宙が生まれた瞬間を「**宇宙年齢ゼロ**」に設定する。それ以前の段階のことについては、現在の物理学の守備範囲を超えたところにある。

科学の言葉で「宇宙は無から生まれた」と最初に表明したのは、ウクライナのアレクサンダー・ビレンケン(1976年に米国に移住)である。ここで「宇宙は無から生まれた」というときの「無」という概念は、我々が通常考える「何もない」という理解ではない。ミクロの世界で起こることを記述する量子論では、「無」の状態といっても、ごくわずかな「ゆらぎ」があり、この「ゆらぎ」が宇宙誕生の種になったと考える。

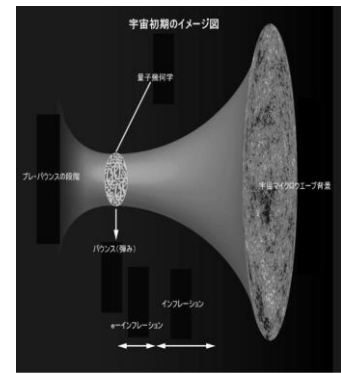
量子論でいう「無」とは、「時間と空間があって物質がない状態」ではない。「時間も空間も物質もない状態」である。量子論的な無では、エネルギーの揺らぎがあり、そこから物質と反物質がぽっと生まれ、そしてすぐ消える。ポテンシャル(位置)エネルギーから運動エネルギーに変わるとき、宇宙が誕生する。しかし、宇宙は大きさ0から成長するのではなく、トンネル効果である大きさ 10^{-34} cm ほどでぽっ！と誕生した。宇宙は常に生成消滅を繰り返している。この宇宙誕生の前であっても、いくつもの極微の宇宙が誕生しては消えていった(アレックス・ビレンケン著『多世界宇宙の探検』300-327 頁参照)。

「無」から誕生した宇宙は、誕生当初において物質は全く存在しなかった。ただ、「真空のエネルギー」が高い状態で誕生していた。この時期は「超対称性」が存在し、4つの基本的な力(重力、強い力、電磁気力、弱い力)は分離していないで統一されており、相互作用が起こっていた。これを「統一場理論」と呼ぶ。

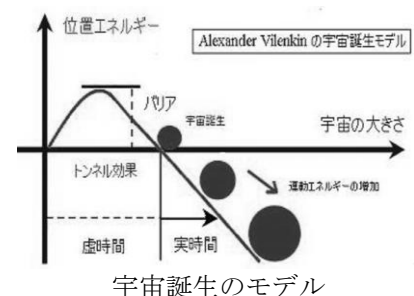
この宇宙の始まりの時期及び状況については、いろいろな理論が提示されている。特に最近の多くの科学者は、「超ひも理論」に注目している。しかし、この理論は、(現時点では)実験や観察による検証作業は不可能に近い(この点については、講演7で取り上げる)。しかも、この時期の問題を扱う段になると、どうしても、通常の物理学では扱えない「物理学の特異点」という問題を持ち出さざるを得なくなる。

無から始まったその宇宙は、 10^{-44} 宇宙秒後に大きな変化をする。この時代から次のインフレーション時代までを、物理学者たちは、量子論の創始者の一人マックス・プランク(1858年～1947年)の名前を借り、「**プランク時代**」と呼んでいる。彼は「量子論の父」と呼ばれ、1918年にノーベル物理学賞を受賞したドイツの物理学者である。この時代については、多くのアイデアがいろいろな学者によって提唱されている。ただ多くの物理学者は、この時代に最初の相転移が起こり、四つの力(重力、強い力、電磁気力、弱い力)の内の「重力」が、他の三つの力から枝分かれしたと考えている。

次に、 10^{-36} 宇宙秒後から 10^{-34} 宇宙秒後までを「**インフレーション時代**」と呼ぶ。誕生当初の宇宙は、物質は全く存在しなかったものの、真空エネルギーが満ちていた。その真空エネルギーがインフレーションを引き起こした。そのとき、 10^{-34} cm ほどだった宇宙は、指数関数的に膨張し、 10^{43} 乗倍ほどの大きさに



宇宙初期のイメージ



宇宙誕生のモデル



マックス・プランク

達した。このような膨張が起きたと考えれば、かの極微の宇宙であっても、現在の宇宙(100 億光年レベル)よりずっと大きくなる基礎ができた。

では、素粒子のような小さな宇宙がどうして巨大な「火の玉」の宇宙に変わることができるのか。この疑問に対し物理学者は、真空のエネルギーの特殊性(真空のエネルギーは不思議なことに、宇宙がどれほど大きく膨張しても密度が小さくなることはない)ということから説明する。つまり、宇宙の体積が増えれば増えるだけ、真空エネルギーも増える。そして、この増えた真空エネルギーが相転移によって「潜熱」となり、熱エネルギーに変わる。

インフレーションが 10 のマイナス 32 宇宙秒後ぐらいまでに収まるとすれば、それ以降は、宇宙に存在するエネルギーの総量は確定する。そして、物理学の「エネルギー保存の法則」に支配される。しかし、宇宙の誕生からこのインフレーション時代までは、次から次へとエネルギーが発生して宇宙を急膨張させた。この仮説は「エネルギー保存の法則」に反している。それゆえ物理学者たちは、「真空エネルギー」、「インフラトン」、「暗黒エネルギー」、その他いろいろな説明を試みている。しかし、現時点では科学的検証は不可能である。従って、宇宙の大きな謎の一つと認め、深入りを避ける学者も少なくない(吉田直樹著『宇宙で最初の星はどうやって生まれてきたのか』、21 頁)。

このインフレーションの後、10 のマイナス 34 宇宙秒後から 10 のマイナス 32 宇宙秒ぐらいのときを「ビッグバン時代」と呼ぶ。この時代になると、インフレーションが収まり、それが急に止まってしまった結果「潜熱」が生じる。そしてやがて、その潜熱が原因で大爆発が起こった。これが「ビッグバン」という出来事である。ビッグバンによって真空エネルギーが熱エネルギーに転換され、我々の宇宙は超高温で超高密度の火の玉のような状態になった。ビッグバンを境に、宇宙はインフレーションのような急激な膨張はなくなった。それでも宇宙は光や物質を誕生させ、一定の速度で膨張し続けた。

宇宙誕生からマイナス 32 宇宙秒から 6 宇宙秒ぐらいまでを「クォーク時代」と呼ぶ。ビッグバンによって、宇宙を満たしていた真空エネルギーが変化し、膨大な熱エネルギーが一気に解放された。宇宙は、その熱エネルギーを得て、物質が造られる。ビッグバン直後の最初につくられた物質は、クォーク、レプトン(原子より小さい粒子の内、電子などが属する一群)、グルーオン(クォークをのり付けする粒子)などのさまざまな素粒子だった。そうした粒子のうち半分は通常物質で、温度が下がれば、私たちの体や身の回りの世界をつくる材料になる。しかし残りの半分は「反物質」である。同じような粒子であるが、電荷が逆になっている。

物質粒子とそれと双子をなす反物質粒子が接触すると、共に消滅してエネルギーの閃光となってしまふ。従って、反物質は地球上では特殊な条件下でしか存在できない。つまり、宇宙のごく初期の極端な状況下においては、物質と反物質とは熱すぎて相互作用ができなかった。それゆえ、そのような状況下では、反物質もほとんど同じ比率で存在していた。

この時期に、「強い力」が残りの二つの力「弱い力」と「電磁気力」から枝分かれしていった。この電弱時代の終わりに電弱対称性が破れると、ヒッグス粒子が誕生する。ヒッグス粒子とは、宇宙に遍満し、宇宙に存在するすべての物質(陽子、中性子から成る原子核)に質量を与えている素粒子である。我々の周囲にあるすべての物質は、宇宙の誕生直後は質量を持っていなかった。質量を持つようになったのは、その後宇宙に現れたヒッグス粒子のおかげである。(このヒッグス粒子は、2012 年 7 月にその存在が確認された。この問題については、講演7でふれる)

そしてその後、「電磁気力」が「弱い力」から分かれ、基本的な四つの力が現在のように分離した。しかし、この時点では宇宙の温度が高いため、未だクォーク同士が固まり、陽子や中性子をつくることはできなかった。

宇宙誕生のマイナス 6 宇宙秒から 1 秒後までは「ハドロン時代(原子核をつくっている「陽子」や「中性子」のことを「ハドロン」という)」と言われる。この頃、宇宙が膨張したことで空間が広がり、宇宙の温度は 1 兆Kほどに下がる。この温度の低下により、それまで激しかった素粒子の動きが鈍くなり、その結果、クォークが結合して「陽子」と「中性子」が生まれる。この二つは原子核の材料となる。人間の体から惑星まで、あらゆる物質の根本である「原子」を構成する材料は、「原子核」と「電子」である。

		世代 Generation		
		電荷 Charge	スピン Spin	
クォーク Quarks		+2/3	1/2	I u up
		-1/3	1/2	II c charm
		-1/3	1/2	III s strange
レプトン Leptons		-1	1/2	t top
		-1	1/2	d down
		-1	1/2	b bottom
		0	1/2	e electron
		0	1/2	μ muon
		0	1/2	τ tau
		0	1/2	ν_e electron neutrino
		0	1/2	ν_μ muon neutrino
		0	1/2	ν_τ tau neutrino

クォーク、レプトン時代

宇宙誕生後マイナス 5 宇宙秒後には、「陽子」、「中性子」、「電子」の原子を構成する材料がすべてそろい、ようやく我々が知っている物質の素が固まった。

なお、宇宙誕生からおおよそ 0.1 秒後に、「ニュートリノ」は分離して時空を自由に移動するようになる。この宇宙ニュートリノの背景については、たぶん後に放射される「宇宙マイクロ波背景」に似ているのではないかと推測されている。しかし、現在の物理学では、未解決の問題である。

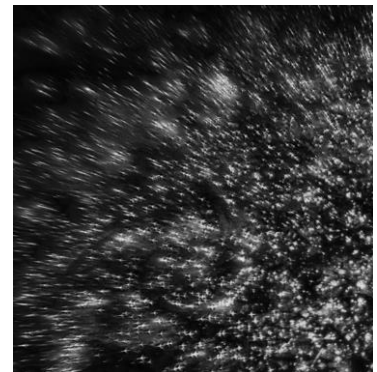
宇宙誕生 1 秒後から 3 分後までの時期を「**レプトン時代**」と呼ぶ。ハドロンと反ハドロンは、ハドロン時代の終わりに対消滅し、宇宙の質量はレプトンと反レプトンが占めるようになる。ハドロンは原子核をつくるような素粒子であるが、「レプトン」は電子やニュートリノのような素粒子である。

宇宙誕生からおおよそ 3 秒後は、宇宙の温度は下がり続けているので、レプトンと反レプトンの新たな対をつくるができなくなる。レプトンと反レプトンのほとんどは対消滅し、レプトンがわずかに残るという状態になったと思われる。

誕生した時の宇宙には、物質(粒子)と反物質(反粒子)というものがあり、そのバランスは物質 10 億 1 個に対し反物質が 10 億個だった。それが宇宙誕生からマイナス 10 宇宙秒後までの間に両者が打ち消し合う作用が始まる。そして、宇宙誕生から 4 秒後にはすべての反物質が消えた。ところが、物質の方が 1 個だけ多かったので、それだけが残ってしまった。この時に残った 1 つの物質によって、銀河や人間などこの宇宙が誕生することになる。もし、初期宇宙に存在した物質と反物質の量が 10 億対 10 億で同等であった場合には、お互いが打ち消し合っ

てすべてが消滅し、銀河も人間もできなかった。では、打ち消し合っ

て消えた 10 億はどこに行ったのか。それらはすべて光になった。従ってこの時期、宇宙は光に満ち、明るい状態にあった。



光子時代

た。宇宙誕生から 3 分後から 38 万年後までを「**光子時代**」と呼ぶ。宇宙のエネルギーのほとんどは「光子」が担うようになったからである。

宇宙誕生から 3 分後、温度が 10 億Kぐらいにまで下がってくる。そのころからしばらくは、原子核や電子が飛び交う世界が続いた。我々の今の世界では原子核が飛び交うことはあまりない。物質はほとんどが電氣的に中性で、固体、液体、気体のどこかの状態にある。ところが、温度が高い時は、原子核は電子とくっつかなくても存在できる。原子核や電子が飛び交っている状態を「**プラズマ状態**」という。原子核ができたときは、まさしく宇宙全体がプラズマ状態そのものであり、原子核や電子が飛び回っていたのである。

原子核はプラスの電気をもち、電子はマイナスの電気をもっていたので、お互にくっついてもおかしくはない。実際、原子核と電子は何度もぶつかり合い、くっつきあっていたことだろう。しかし、10 億度Kという超高温状態では、光も大きなエネルギーをもっており、くっついた原子核と電子にぶつかって、両者を引き離してしまい、プラズマ状態が維持された。

もし宇宙が膨張しなければ、このプラズマ状態の宇宙がずっと続いていたことだろう。ところが、宇宙はビッグバン以降も膨張を続けていた。膨張して宇宙の体積が増えれば、エネルギーや物質の密度は低くなる。すると、宇宙全体の温度が下がってくる。

そして宇宙誕生から 38 万年後になると、宇宙の温度は約 3,000 度Kまで下がった。すると、電子が原子核の中に収まって、原子ができる。すると、光が散乱せずに真っ直ぐ進むことができるようになり、四方、八方に飛び散っていった。これを「**宇宙の晴れ上がり**」という。

これまで、現代の原子物理学と素粒子物理学が究明しようとしている世界に耳を傾け、宇宙誕生の状況に思いを馳せてきた。しかし、さまざまな重荷を背負い、日々あくせく働かざるを得ないお互いにとっては、無縁な世界の話に聞こえるかもしれない。チンプンカンプンの話、という人もいよう。理論としては分かるが、その証拠はどこにあるのか、そう問う人もいよう。そう問うのは正常である。これまで説明してきたことは、宇宙誕生の時期に起こったと理論的に推論できる歴史で、今の世界ではあり得ない。

といっても、ここで提唱されている理論は、決して荒唐無稽な話だというわけではない。時に自分の論理を勝手に発展させ、空想の世界にのめり込んだ話をする物理学者もいないわけではない。だから、常に慎重でなければ

ならないが、警戒心だけで物事を見るのはよくない。未だ実験による検証済みとまでは言えないし、標準理論からもほど遠い。今後、想定外の発見があれば、積み重ねられてきた多くの部分の修正を迫られることもあり得る。そういうことを踏まえた上でのことではあるが、上記の宇宙誕生のストーリーは、大筋間違っていない。

なぜ、そんなことが言えるのか。それは、1964 年に宇宙マイクロ波背景放射が発見されたからである。あるいは、ヒッグス粒子の存在が、昨年確認されたからである。我々の言語と思考は、日常の経験という枠内で形成されたものである。そういう言語しかもち合わせない人間にとって、宇宙誕生の出来事を理論的に説明しようとすること自体、無謀なことである。にもかかわらず現代物理学は、果敢にその難題に挑んでいる。

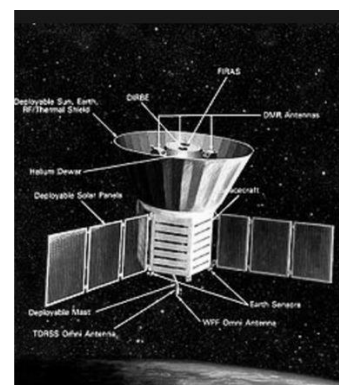
3. 宇宙誕生は 137 億年前

ここでちょっと、今までの話の流れから離れ、大事な問題を扱っておこう。それは、「宇宙誕生の時期はいつ頃だったのか」という問題である。日常的・一般的には、あるいは宗教の世界では、この問いは大昔からあった。ところが、科学の世界では比較的最近の問いである。というのは、20 世紀初めまでは、ほとんどの科学者は「定常宇宙論者」だった。彼らは、宇宙に始まりがあったとは考えていなかった。

その後、宇宙の膨張が確認された。そして、その膨張速度を逆算して、宇宙誕生の時は 137 億年前だったことを明らかにした。この年代に関しては、現代の科学者の間ではほとんど異論はない。ところが、今からわずか 20 年ほど前までは、そう断定することはできなかった。実際それまでは、90 億年前、120 億年前、150 億年前、180 億年前、100 億年から 200 億年前など、さまざまな意見が飛び交っていた。

一般には、宇宙膨張は 1929 年にハッブルによって発見された、と言われている。しかし、スライファースはその 17 年前の 1912 年に、波長が赤色側にずれている系外渦巻銀河のスペクトル線を発見していた。彼は、この「赤方偏移」から銀河が時速数 100 万 km で遠ざかっていると計算した。「赤方偏移」とは、銀河が遠くに離れていくと、その光の波長が本来もっている波長の長さより赤く見えるという原理を応用した観測方法である。これは「ドップラー効果」に基づく。「ドップラー効果」とは、救急車が近づいてくるときと、遠ざかっていくときとは、サイレンの音が違うことを考えいただくと分かりやすい。

この「ドップラー効果」を応用した「赤方偏移」という観測方法によって、遠くにある銀河ほどより速い速度で遠ざかっていることが分かった。しかもその速度は、距離に比例していた。非常に遠くにある銀河は、ほぼ光に近い速さで遠ざかっている。ある銀河の速度を「赤方偏移」によって測定できれば、何年前にその距離がゼロになるかを計算できる。現在は、大変観測技術が進み、それを計算すると、どの銀河で測っても、ほぼ 137 億年という結果が出てくる。ということは、現在全体として膨張している宇宙は、今から 137 億年ぐらい前、ある一点から出発したことになる。



観測衛星 COBE

この年代決定に大きな役割を果たしたのが、1980 年代終わりから 21 世紀初めにかけて大発展を遂げた望遠鏡技術と衛星技術である。まずアメリカ航空宇宙局 (NASA) は、1989 年宇宙背景輻射観測衛星 (COBE) を打ち上げた。1990 年に発表されたこの衛星による初期の成果は、「宇宙マイクロ波背景放射」に関するビッグバン理論による予測に一致し、2.726 ケルビン という初期宇宙の名残の温度を検出した。さらに、ジョン・C・マザー (1946 年～) は、衛星から送られてきたマイクロ波を波長ごとに細かく分け、その強さを正確に分析した。この観測で得られた宇宙全体における電波のスペクトルの分布は、理論的に計算された予言と完全に一致した。

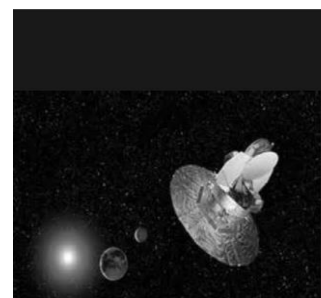
1990 年に、ハッブルの名を冠した「ハッブル宇宙望遠鏡」が打ち上げられた。その望遠鏡は、宇宙の膨張速度を正確に観察してそのデータを送ってきた。その結果ハッブル定数が分かり、宇宙の年齢はおよそ 140 億歳であると計算された。なお、ハッブル天体望遠鏡は、最近形成されたごく初期段階の銀河をも捉えた。これは、宇宙の銀河はまだまだ形成途上にあることを示



ハッブル宇宙望遠鏡

唆している。

宇宙誕生が137億年前と、かなり厳密な数字で確認できたのは、2001年にアメリカが打ち上げた探査機WMAPのお蔭である。WMAPは、宇宙誕生38万年後に放射された「宇宙マイクロ波背景放射」と呼ばれる光を観測する衛星だった。このWMAPによる観測は、①宇宙は普通の物質が4%、ダークマターが23%、残りの73%はダークエネルギーで構成されていること、②宇宙に存在する物質から宇宙空間は平坦で、これまでずっと膨張し続けていること、③宇宙の膨張速度を表わす「ハッブル定数」は72であること、の重要な三つの点を明らかにした。その結果、宇宙の年齢は137億年プラスマイナス2億年(正確には、 13.772 ± 0.059 Gyr)と導き出された。

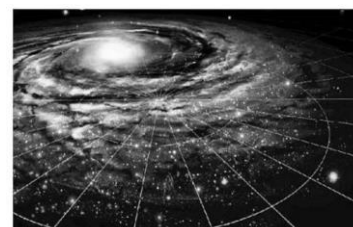


探査機WMAP

ごく最近まで、遠くの銀河の観測の限界は120億光年ほどと考えられていた。しかし観測技術の発達により、この数年間にかかなり初期の銀河が発見されるようになった。100メートル競争のランナーが世界記録を0.1秒でも短縮しようと懸命になっているのと同じように、多くの天文学者が1光年でも遠い星を見つけようと、涙ぐましい努力している。最近発見された最遠の銀河について紹介しておこう。

2004年3月9日、ハッブル・ディープ・フィールドは、**130億光年**の位置でたくさんの小さな銀河から大きな一つの銀河が誕生する様子を観測した。これは宇宙誕生7億年後にあたり、5.6%地点の出来事となる。

2007年7月11日、パサディナのカリフォルニア技術研究所のリチャード・エリスとそのグループは、マウナ・ケア山のW・M・ケック天文台を利用して**132億光年**の位置に銀河を形成する6つの恒星を発見した。それは宇宙誕生から5億年後の時点で、4.1%地点である。



銀河系の中心まで約8万光年。銀河系の直径は約10万光年。最も遠い銀河まで約130億光年。(出典：国立天文台)

2007年9月6日、ヨハン・シェーデラーのグループは**127億光年**の位置にクェーサーCFHQS 1641+3755を発見した。このクェーサーは、重力崩壊により形成された。クェーサーの放つ強い放射は、周囲の宇宙を電離させている。この時点から、宇宙の大部分はプラズマにより構成されることになった。これは、137億年の宇宙の歴史の7.8%地点にあたる。

2011年1月26日、ハッブル宇宙望遠鏡が2009年～2010年に撮影した「ハッブル・ウルトラ・ディープフィールド」に、最も遠い天体である「UDFj-39546284」を発見した。**132億3,800万光年**先にあるこの天体は、銀河であると考えられている。これは宇宙の歴史の3.8%地点である。

2011年11月、日本の「すばる望遠鏡」は**128億光年**かなたの銀河を発見した。

今後、より古い銀河を発見できるかもしれない。あるいは、銀河はほとんど存在しない時点にまで既に来ており、もう限界点に達しつつあるのかもしれない。銀河誕生がいつ頃の話か、その歴史をどこまで追いかけることができるのか、その結論を出すのは、もう少し天文学者たちからの情報を待たねばならない。

創世記の開巻劈頭の言葉は、「初めに神は天と地とを創造された」である。創世記1章の記録の意図がどのようなものであったにしても、この句が宇宙誕生の出発点を啓示していることは間違いない。するとそこで語られている「初め」とは、現代科学が明らかにしたところによると、137.7億年前ということになる。今後も誤差の範囲が煮詰められることはあろう。しかし、この年代から大きくずれることは考えられない。

むろんキリスト者にとっては、宇宙誕生の年代自体は、それほど重要な問題ではない。もし科学がその年代を大きく修正するようなことがあれば、その時は、キリスト者はそれにただ追従していけばよいだけの話である。科学は、神が人間に備えてくださったすばらしい賜物である。キリスト者は、それを用いて、「被造物の管理権」を遂行するのである。



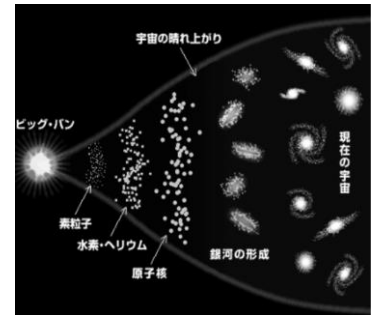
創造

Ⅲ. 宇宙誕生その後

我々は少々、回り道をしてしまった。では、宇宙誕生後に起こった話に戻ることしよう。これまで、宇宙誕生から、38 万年後あたりまでたどってきた。では、その 38 万年前後に起こったことについて考えてみることにしよう。

1. 宇宙の晴れ上がり

宇宙誕生から 38 万年より以前、宇宙はどのような状態だったのか。当時は、宇宙の中にある物質の密度や温度は高く、物質は原子から電子が引きはがされた、いわゆる「プラズマ状態」になっていた。このプラズマ状態では、光は物質に行く手を阻まれ、まっすぐには進めない。当時の宇宙は高温でドロドロに溶けており、不透明な宇宙だった。電磁波は宇宙空間を進もうとしても、原子から切り離された電子が漂っており、遮られてしまった。



宇宙の晴れ上がり

宇宙誕生から 38 万年後になると、宇宙の温度は 3,000K ぐらいにまで下がった。そうすると、ようやく原子核と電子が結合し、原子がつくられた。このときつくられたのは、水素原子とヘリウム原子である。後にこれが最初の星の材料になる。それまで光の前進を妨げていた電子が原子に取り込まれると、裸の状態の電子は存在しなくなった。その結果、光は直進できるようになった。それはあたかも、霧が晴れるような状態に似ていたので、「宇宙の晴れ上がり」と呼ばれるようになった。

物理学によれば、一定の温度をもつ物体からは、その温度に対応する電磁波が放射される。例えば、冷えた鉄からは目に見えないが赤外線が放射される。その鉄を熱すると、目に見える可視光線を放射する。赤外線や可視光線はどちらも電磁波の一種である。波長の短い方から、ガンマ線、X 線、紫外線、可視光線、赤外線、マイクロ波、電波などに分類される。これらは、もともと別物であると考えられたので、さまざまな名前がつけられた。しかし、実際には波長の違う電磁波で、同一のものである。

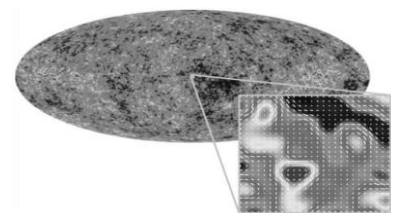
宇宙の晴れ上がり状態における宇宙マイクロ波背景放射は、3,000K の温度をもつ「白熱電球のような色をした光」だった。その時の小さな宇宙は、宇宙の晴れ上がりの直後から約 137 億年の間に、1,100 倍ほど膨張した。空間を伝わる波の波長も、その膨張した割合と同じだけ引き伸ばされることになる。ということは最初の波長も 1,100 倍になったということである。光の波長が 1,100 倍になると、それは「電波」と呼ばれる種類の電磁波に変化する。このため、宇宙マイクロ波背景放射は、電波として観測されるわけである。

さらに、波長と温度は反比例する。波長が伸びれば伸びるほど、対応する温度は下がる。宇宙マイクロ波背景放射の最初の状態の温度は 3,000K だった。するとその温度は、1100 分の 1 になり、現在になると 2.73K (マイナス 270 度 C) まで下がっているはずである。しかも、こうして 2.73K まで下がった電磁波は、基本的にはどの方向からともほとんど同じ温度でやってくるはずだった。

ところがその観測結果には、意外な事実が見られた。わずかではあるが温度のゆらぎが見られたのである。そのわずかな温度差は、初期宇宙の「密度のゆらぎ」を反映している。もしその「密度のゆらぎ」がなければ、その後の宇宙は何の特徴もないものとなり、星や銀河などが生まれてくることはなかった。

といっても、この「温度ゆらぎ」の観測は、容易なことではなかった。なぜなら、その「ゆらぎ」は約 10 万分の 1 という途方もない小さな割合だからである。2.72727K の温度に対し、わずか 0.00003K ほど温度が、高い方向と低い方向にゆらいでいるという、まことに微妙なものである。これは、深さ 100 メートルの海の表面に 1 ミリメートルほどのさざ波がたっているかどうかを見極めるほど、難しいことだった。

宇宙初期に起源をもつ「温度ゆらぎ」は、宇宙マイクロ波背景放射の発見(1965 年)から 27 年後の 1992 年、観測衛星 COBE によって初めて明らかになった。この観測チームを率いたジョージ・スムートとジョン・マザーの 2 人は、2006 年のノーベル物理学賞に輝いた。COBE による発見以降現在に至るまで、世界中の天文学者が至る所で宇宙マイクロ波背景放射に関するさらなる詳細な観測競争を繰り広げている。



宇宙背景放射の温度のゆらぎ

特に、2001 年 6 月、NASA は「ウィルキンソン・マイクロ波異方性探査機(WMAPと略す)」を打ち上げ、全天球に及ぶマイクロ波を徹底的に調査した。そして 2003 年の初めに、その観測結果に基づき、わずかな温度の違いもはっきり分かるような「全天地図」を公表した。

「温度ゆらぎ」の主な原因が晴れ上がり時の「密度ゆらぎ」にある。とはいえ、その時の「密度ゆらぎ」と宇宙マイクロ波背景放射の「温度ゆらぎ」は、単純に比例しているわけではない。晴れ上がり時に出発した放射は、地球にやってくるまでに、その道筋にある宇宙の構造によってもその温度は変化する。実際に観測されている「温度ゆらぎ」には、さまざまな物理効果(これは理論的に解明されている)の影響が含まれている。従って観測者たちは、観測データを注意深く分析し、個別の物理効果をそのデータから分離しながら、もともとの状態を見極めなければならない。

このような努力の結果、もし正確な「温度ゆらぎ」の地図を解析するなら、晴れ上がり時の宇宙の状態のみならず、その前の状態や、その後にできた宇宙構造についても、かなり詳しく知ることができるようになる。世界中の学者たちが、さらに精度のよい宇宙マイクロ波背景放射の観測計画を進めている理由はそこにある。今のところ、宇宙誕生後 38 万光年の時の「密度ゆらぎ」が、それ以前とそれ以降の宇宙を知る最大の手掛かりなのである。

2. 原始星の誕生

「宇宙の晴れ上がり」というと、雨の後の晴れた天気を思い出し、明るい宇宙を想像するかもしれない。しかし、この時宇宙はかなり広がっており、その中にある光はエネルギーが低く、多くは赤外線になってしまっていた。従って、人間が観測できたとしても、宇宙全体は真っ暗闇としか見えなかったことだろう。

この頃宇宙に存在したのは、基本的には「水素原子」と「ヘリウム原子」と「暗黒物質」だけだった。「暗黒物質」については、ここではただ「重力によって周りの物質を引きよせる性質をもつ物質」とだけ定義し、話を進めることにする。その存在は確認されている。しかし、その正体は不明の物質としか言いようがない。これ以上のことについては、講演 6 において取り上げる。



原始星

宇宙の最初の星は、暗黒物質が水素とヘリウムを重力によって引きよせなければ誕生しない。その暗黒物質は、星ができるほどの水素とヘリウムを集めるには、太陽の質量の 100 万倍ほどになっている必要がある。もしそれぐらいの暗黒物質になれば、重力は大変強くなり、原始星になるのに十分な量の水素とヘリウムを引き寄せることができる。その暗黒物質が何で構成され、どのようにしてでき上ったのかはまだよく分かっていない。暗黒物質が、重力によって大きくなる以前の小さな塊の時であっても、当然重力はあった。従ってその時にも、水素とヘリウムを集めていたはずである。しかし、重力不足で、集める端から逃げられてしまうということが起こっていたのである。

暗黒物質がある一定の質量の塊になると、水素とヘリウムを集め始める。その水素とヘリウムは暗黒物質の中に押し込められ、重力によって圧縮されて高温になる。高温になると、水素元素が化学反応を起こし、水素分子となる。そのようにしてできた水素分子は、周りの水素やヘリウムと衝突し、その際に得たエネルギーを光(電磁波)として放出する。すると、周囲は冷えてくる。冷えると、より一層の水素とヘリウムを集めることができる。この繰り返しの中で原始星が誕生していく。水素分子によるこのようなメカニズムが自動的に働くため、星が誕生する。このメカニズムの見事さについて、吉田直紀氏は次のように述べている。

しかし、なんでこんなよくできたシステムがあるのかというのは、正直、よくわかりません。物理法則というのは、そういうものだというしかないでしょう。本当に私たちの宇宙というのは良くできています。(『宇宙で最初の星はどうやって生まれたのか』、78 頁)

このようなプロセスを経て原始星が誕生するのに、おそらく 1 億年から 5 億年ぐらいの時が必要だったと思われる。1 億年から 5 億年と大きな幅があるのは、暗黒物質や水素及びヘリウムの宇宙における元々の分布にむらがあったからである。濃いところでは 1 億年ぐらいで原始星が誕生できたが、薄いところでは 5 億年ぐらかかったと推定される。原始星は、この宇宙にまず一つだけポツと生まれ、そこから 2 世代目の星が生み出され、次々に孫が生まれてくるというプロセスではなかった。原始星は宇宙のあちらこちらにおいて、ポツ、ポツと同時多発的に生

まれたはずである。

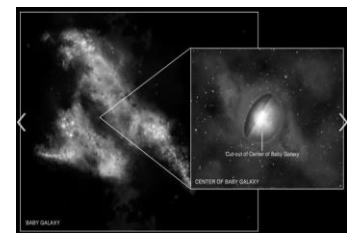
では、このような原始星はいくつぐらいできたのか。むろん、正確なことは分からない。現代の宇宙物理学者は、およそ、1 万光年立方の空間に 1 個ぐらいの割合ではないかと考えている。また、この原始星の大きさについてもはっきり言うことは難しい。原始星は水素とヘリウムのガスの塊であるが、それらは周囲にダラーと広がっており、境界線を定めにくいからである。原始星が生まれたばかりであれば、ガスの中心の密度は極めて高くなり、太陽の 100 分の 1 程度の質量であっても、当時の宇宙であれば明るさは現在の太陽と同じぐらいだった。そのような生まれたばかりの星の質量は、1,000 年から 1 万年ぐらいの時をかけ、太陽の 30 倍から 100 倍ぐらいの質量に成長したことであろう。

しかも、そのようにして完成した原始星の寿命は、200 万年から 300 万年程だったと考えられる。現在の太陽の寿命は 100 億年ぐらいなので、原始星の寿命はとても短いものだった。寿命を迎えた原始星は、超新星爆発を起こし、星の内部において、核融合でそれまでつくられていた「酸素」、「炭素」、「窒素」などを宇宙に拡散させた。そのような元素は、水素元素やヘリウム元素より重いので「重元素」と呼ばれる。それらは、次の世代の星の材料になり、やがては人間の体をも形作っていく素材になる。

3. 初期の銀河の形成

これまで、原始星がどのように誕生するのか、そのプロセスを考えてきた。原始星は、生まれては消え、生まれては消えていく。その消えていくときには超新星爆発が起こり、水素とヘリウム、さらに酸素、炭素、窒素などの重元素などを宇宙にばらまく。それらを基に、そこから 2 世代目の星の生成が始まる。その 2 世代目の星も超新星爆発を起こし、消えていく。基本的には、そういうプロセスが繰り返され、この宇宙に、銀河、銀河群、銀河団のようなまとまりのようなものを形作っていく。そのようにして、最終的には宇宙の大規模構造ができあがってくる。

銀河形成のプロセスは、原始星のように初期条件が単純ではない。従って、銀河が誕生する過程を、一つのストーリーにまとめて描くのは難しい。原始星の誕生に関しては、現在既に、コンピュータによるシミュレーションによる検証作業がなされている。その結果、これまで解説してきたような「標準理論的なもの」が受け入れられつつある。しかし銀河の誕生というレベルになると、研究者たちは、シミュレーションの作業に入る前の段階で躓いている。特に、暗黒物質の正体がいまだはっきりしないため、確かな理論形成ができない。ここでは、原始星の誕生プロセスを参考にしながら、かなりの推測を交えて一つのストーリーとして描いてみる。当たらずとも遠からず、という程度の話としてお読みいただきたい。



初期宇宙の銀河とその中心

原始星の誕生期間の 1 億年～5 億年ぐらいの時間が経過すると、宇宙空間は、銀河形成に向かって進んでいった。今日、132 億年ぐらい昔の銀河が見つかっている。これは、宇宙誕生 5 億年後である。それは、おそらく一番銀河にかなり近いものではないかと想像される。

宇宙の星と星の間の大きな空間には、ガス(主に水素)が集まってくる「星間雲」と呼ばれる領域が点在している。その「星間雲」は、それぞれの形成過程に違いがあるが、共通部分も少なくない。そこは皆、原始星の何世代か後の星たちの集まっている領域である。おそらく、水素の燃焼から誕生したヘリウム、ヘリウムの燃焼から生じた炭素、窒素、酸素などの分子、さらにこれらの元素の燃焼から生じた鉄などの重元素が含まれていたことだろう。

このような分子雲の中に散らされたガスやチリは小さくて軽い。それらは離れ離れになっているので、そのままでは何億年たっても次の星にはならない。しかし何らかの衝撃があつて分子雲が圧縮されると、ガスとチリの間で引き合う力が働き始め、雲がゆっくり縮みだす。縮んでいくうちに、物質の多いところは他よりも濃くなる。濃くなると引きあう力が強くなるので、一層濃くなる。すると、雲の中に濃い部分と薄い部分がつくられる。濃い部分の中にもさらに濃い部分とそうではない部分ができる。こういうことが繰り返されていく。

そのうち、分子雲の中の特に濃い部分を中心に、星となる可能性を秘めた、数多くの非常に濃いガスの塊がつくられる。このようにして、宇宙に散らばっているガスやチリが押し合いながら熱を出す。特に物質がたくさん集ま

っている中心部は熱くなる。この熱によって中心のガスの活動は活発になり、外に広がろうとする内部の圧力が生じる。重力で縮めば縮むほど中心温度は上がり、内部の圧力も強くなる。両者のせめぎ合いが続き、縮もうにも縮めない状態になる。中心でつくられた熱は表面に運ばれ、強くなって放出される。すると、両者のバランスが取れるようになる。

大量の熱が放出されるものの、星の収縮はまだ続く。表面から熱が放出されるため、内部の圧力が弱まり、縮もうとする重力は対抗できなくなる。普通の物体なら、熱を放出すると冷える。ところが、星は重力が働いているため、熱を放出すればするほど縮んでさらに熱くなるという不思議な性質をもっている。

やがて中心部の温度が 1,000 万度を超えるようになり、水素が核融合を始める。4 つの水素原子核が融合すると 1 つのヘリウム原子核が生まれ、大量のエネルギーが放出される。たった 1 グラムの水素がヘリウムに代わるだけで、石油 80 トンを燃やしたのと同じエネルギーが得られる。このエネルギーのおかげで、星の縮む速度は遅くなる。さらに縮んで、表面から放出されるのと同じだけのエネルギーを水素の核融合反応でつくることのできるほど、中心部の温度が高くなる。すると、星は縮みも膨らみもしない安定した状態になる。こうして 2 世代目の恒星ができる。

むろん、すべてのガスの塊が星になれるわけではない。中心部の温度が、核融合反応が起こるほど高くなるためには、重力が相当強くならなければならない。強い重力を生み出すには、多くの物質(質量)を必要とする。また、たとえ十分な質量をもっている、周りの環境次第では星になり損ねてしまうこともある。分子雲の中では収縮の過程で多くの濃いガスの固まりがえられる。従って星は 1 個だけで生まれてくるというより、いくつもの星が同じ時期につくられ、集団(星団)を形成することが多い。また分子雲は巨大なため、全体が一度に縮むというより、端の方がまず縮んで星ができ、その余波で隣接する部分が縮んで別の星ができる。こうして、年代の違う星団が並ぶこともある。このようにして、恒星の周りに太陽系のような天体や銀河などが造られていく。

以上のような星や銀河形成の中で、「暗黒物質」がどのように関わっているのかは、分からない。ただ、原始星の誕生の時のように、大きな役割を果たしたであろうことは間違いない。

この宇宙空間は、現在、光速の約 3.4 倍の速度で地球から遠ざかっている。ということは、最初の空間からは、137 億光年×3.4 で、約 465 億光年離れていることになる。現在の宇宙空間の大きさは、宇宙の晴れ上がりの時点からは 1,100 倍に膨張している。とすると、宇宙の晴れ上がりときの大きさは、4,200 万光年の広がりをもっていたことになる。

以上のことをまとめると、現在我々が観測することができる最も古い時代に放たれた光は、約 137 億年前に、おおよそ 4,200 万光年の大きさの空間から放たれた光ということになる。そしてその(光源がある)空間は、現在 465 億光年かなたにある。その距離を、光は 137 億年かけて旅してきた、ということである。

おわりに(聖書からの考察)

本講演では、ビッグバン理論とはどういうものか、それがどのように現代の科学者たちによって受け入れられるようになったのか、という問題を追いかけてきた。そして我々は、この課題こそ、現代物理学や天文学が取り組んでいる中心的テーマであることを確認した。今、科学者たちは、宇宙の始まりに何が起こっていたのかを解明しようと、必死になっている。彼らの真理追究へのひたむきな思いには、時々圧倒される。深い感銘を受け、敬意に満たされる。

お会いした研究者の中には、たくさんのクリスチャンがいる。世界的には言うに及ばず、日本のキリスト教界にも、有能な人材があふれている。彼らは、常日頃から「クリスチャン」という看板を掲げて研究したり、書物を著しているわけではない。学会や講演会、サイエンスカフェなどで、私が牧師だと分かると声をかけてくださる。そんな出会いの喜びが、被造物管理の神学を構築する過程で与えられようとは、夢にも思わなかった。どこに行っても、神の家族に出会えることほど楽しいことはない。

このような研究者たちから、聖書の創造の記録の読み方について、時々質問を受けた。むろんそのほとんどが、あいさつ程度の立ち話であり、詳しい話をしたわけではない。しかし、いつかきちんと文書にまとめ、彼らに牧師としての責任を果たさねばならない、常々そんなことを考えさせられてきた。今後展開する予定のこのシリーズの講

演で、その幾分かでも満たすことができれば、と思っている。

創世記1章は、宇宙創造の記録である。しかし、聖書は科学や歴史の教科書ではない。従って、そこから現代の宇宙学が問題にしていることを読み込んではいならない。神は、人にどうしても伝えたいメッセージをもっておられた。そのメッセージは、いつの時代の人々にも知ってもらいたいものである。信仰にとって不可欠な、時代を超えた絶対的な真理である。他のどこに行っても得られない、特別な情報である。その情報を人類に伝えるにあたり、神は、聖書を与えられた。しかしそれは、神によって書かれた板が天から降ってきた、というわけではない。神が著者を選び、聖書を書かせたのである。

そのメッセージは、ある特定の時代の、特定の場所の、特定の人を通して与えられた。その著者は、同時代の人々が理解できるように記した。従って、言語、表現形式、文学的なジャンル、受け取り手の必要と受容能力などの制限下で書かれた。しかも、著者の豊かな知識、信仰、体験、賜物が生かされて書かれた。我々は、聖書を読むとき、この点を十分踏まえて読まねばならない。

創世記1章の宇宙創造の記録が、何時、誰を通して啓示されたのか、このことは分かっていない。今日のような文書にまとめられたのは、早いと考える人で紀元前15世紀、遅い人で紀元前6世紀ぐらいと推測している。ごく最近までは、著者は何らかの伝承に依拠して記したと考える学者が多かった。そこで、バビロニアやアッシリヤ、あるいはエジプトの文献との比較研究が徹底的に行われた。しかし、その類似性は、どの文書と比較しても、意外に少ないことが判明した。直接の依存関係は見られない、というのが最近の研究成果である。創世記1章の記録は、独自性に満ちている。その崇高性は他に類例を見ない。その本文は、まさに神からの啓示としか言いようがない、そう考えられるようになってきた。

通常は、聖書であっても、著作者や著作年代、あるいはその時代的背景が分からないと、伝えたいメッセージがはっきりしないことが多い。ところが、この創世記1章に関していえば、事情が異なる。扱われている事柄の時代的背景は、宇宙誕生の時である。すると、目撃証言者などいない。むしろ我々は、現代の物理学や天文学が明らかにした宇宙誕生の話を創世記の解釈に持ち込むべきではない。この講演で紹介した「宇宙の誕生」に関する理論は、科学的な直感で捉えた事象を数式化し、それを計算して、導き出したものである。未だ実験観測によって実証されたものではない。もし現在の宇宙誕生理論を聖書の言明に合わせて解釈するなら、10年後には違った解釈をしなければならなくなる。

創世記1章は、聖書のどの書物も同じだが、いつの時代の人を読んでも神のメッセージを聞くことができるはずである。神は、科学が明らかにするような事柄を啓示されたわけではない。もしそうであるなら、ある時代の人に分かっても、他の時代ではそうではなくなる。創世記1章は、時代を超えた、他に類例のない宇宙創造の記録である。従って、そのメッセージを正しく受け取るには、その本文自体に真正面から向き合う以外にない。自分の時代の問題意識を持ち込まず、聖霊の助けを仰ぎながら。

さらに、あえてもう一つだけ、付け加えておくべきことがある。それは、前回の二回目の講演の最後で申し上げたことである。このような聖書箇所を字義どおりに解釈してはいけない、ということである。もし我々が、近代科学以前の時代に生きていたとすれば、創世記1章の記録を文字どおりに受け止めても問題はなかった。創造は6日間であり、光、地球、陸地と海、太陽・月・星、植物、動物、人間の順番で創造された、と。ところが、近代から現代の科学は、この宇宙の実際の形成過程を明らかにした。それによって我々は、創世記1章を文字どおりに解釈すべきではないと学ぶべきである。創世記1章は、巧みな図式的な表現方法を用いて、神の創造の事実をいつの時代の人でも理解できるように書かれたものである。科学や歴史が問題にしていることへの回答を求めるような読み方は、宗教と科学の闘争を生み出す。二回目の講演で明らかにした間違いを再び繰り返すようなことは避けなければならない。

それでは早速、創世記1章のメッセージを聞くことにしよう。

私自身は、このテキストから七つのメッセージを受け取った。講演を聞いておられる皆さんは、このような読み方を参考にしつつ、直接神が自分に語りかけてくださることを期待しながらお読みいただきたい。一人で神の前に静まり、聖書を通して神のみ声を聴くことが、正しい聖書の読み方である。聖書の著者である聖霊の助けをいただくことが重要である。聖書の読み方の極意をつかみ取ることが「被造物管理の神学」の出発点である。

では、創世記 1 章の七つのメッセージを紹介しよう。

その第一は、神が、唯一の宇宙の創造者である、ということである(1 節)。この世界には唯一人の神がおられる。その方はこの宇宙を創られた。「神」は一切のものの前に来る。すべては神から始まる。神が、我々の存在、思考、言動のすべてに先立って活動される。多神教でも、無神論でもない。不可知論も入る余地はない。聖書の神、唯一の神が最初である。そして、最後である(黙示録 21:6)。

この創造の記録では、4 日目に太陽と月の創造が登場する。しかも、「大きいほうの光る物」とか「小さいほうの光る物」と呼び、「昼をつかさどらせる」とか「夜をつかさどらせる」と、その役目を規定する。このような描写方法は、啓示された当時の宗教事情を反映している。太陽神や月の神という偶像崇拜をやめ、それらの創造者である唯一の神に栄光と賛美をお返しするようと、読者に語りかけている。

科学は、科学的な方法論によって進められる学問である。従って、万物の起源を問うことはできるし、問わなければならない。しかし、神に到達することはないし、してはならない。誠実な科学者であればあるほど、そのことをよくわきまえている。逆のことは、信仰者にも言える。信仰は、万物の存在理由と目的を明らかにできるし、しなければならない。しかし、科学の問いに答えることはできない。それをしてはならない。その分をわきまえることこそ大切である。「信仰がなくては、神に喜ばれることはできません。神に近づく者は、神がおられることと、神を求める者には報いてくださる方であることを、信じなければならないのです」(ヘブル 11:6)。

第二は、神は言葉をもってこの宇宙を創られた、ということである。「神は仰せられた」という表現が、この箇所にも 10 回出てくる(3、6、9、11、15、20、24、26、28、29 節。22 節のヘブル語原文には出てこない)。この 10 回という数は、モーセの十戒を反映している。神の言葉とは、神の思い、計画、意志などのすべてを含む。この宇宙は、そのような神の御心のすべてがそのまま反映されている。被造物それぞれの外形も、その背後に貫かれている自然法則も、神の意思に基づいている。

箴言 8 章は、神が宇宙を創られたとき、知恵が共に存在していたことを明らかにしている。この知恵は、人格化されて表現されているので、キリストと解釈されたときもある。むしろそれは、行き過ぎである。むしろ、神が語られた言葉の内には、豊かな知恵が含まれていた。そのことを読み取らねばならない。現代の科学者たちが、被造世界を見て一様に驚嘆の声をあげる。なぜか。すべては神の知恵が創造されたものだからである。

神が語られた言葉には、神の権威と力が含まれる。従って、神が語られると、「そうなった」という事実が続く。一つ一つの創造のプロセスにおいて、神が語られ、そしてその語られたとおりに「そうなった」のである。人間の社会では、実の伴わない言葉が横行している。しかし、神の世界はそうではない。語られたことがそのまま実現する。言葉＝実現の世界である。神は、「わたしの口から出るわたしのことばも、むなしく、わたしのところに帰っては来ない。必ず、わたしの望む事を成し遂げ、わたしの言い送った事を成功させる」(イザヤ 55:11)と言われる。詩篇の著者もまた、「主のことばによって、天は造られた。天の万象もすべて、御口のいぶきによって」(詩篇 33:6)と、神の言葉による創造を解説している。

しかり、神の言葉は、必ず実現する。そしてキリスト者は、「信仰によって、私たちは、この世界が神の言葉で造られたことを悟る」(ヘブル 11:3)。何かの推論の帰結や宗教的体験に基づいて神の創造を信じるのではない。ただ、聖書の語るところを単純に信じるのである。「信じる」という能力は、考えるとか、感じるという能力と同じように、神が人間に備えてくださった「特別な賜物」である。もしそれがなければ、人間は生きていくことはできない。人間にとっての根源的な能力である。それを軽視しているところに、ニヒリズムの悲劇がある。

三番目は、神は法則を定め、その法則に従ってすべてが運行されるよう、全被造物を創られた、ということである。この創造の記録には、「区別され」という言葉が 5 回出てくる(4、6、7、14、18 節)。「名づける」は 4 回繰り返されている(5、8、10 節)。「区別する」とか「名づける」とは、全被造物が神の支配下に置かれ、一定の秩序の下に制御され、管理・育成されていることを示唆する。さらに、地は植物を生じさせ(11、12 節)、また動物を生じさせる(21 節)と述べられている。この「生じさせる(ハヤーという動詞のヒーフイル形)」という言葉は、生物が自律的法則性に基づいて、地から生じさせるというイメージである。創造は、一方では、上から神の言葉の命令によって進められた。他方では、下からつまり地や水から産物が生じさせられた、という形で進められたのである。

動植物の創造に関しては、「種類に従って」という表現が 8 回出てくる(11、12、21、24、25 節)。この「種類に従って」という言葉が、具体的にどのようなプロセスについて述べているのか、それはあまりはっきりしない。その解釈について、現代生物学の研究成果を参照するのはよいかもしれない。それがどのような内容であれ、神はあるグ

ループ毎に創造のわざを進められた。進化か創造か、この現代的な意識をこの句に持ち込み、解釈論争をするのは愚かである。まずすべては創造に始まる。ただその創造は、グループ毎に進められていった、ということである。被造物の生成発展に秘められている原理あるいは法則性に現代生物学は真摯に取り組もうとしている。それは素晴らしいことである。ただし、それがどのようなものであれ、神の御心、ご計画の一部である。

主よ。われらの神よ。あなたは、栄光と誉れと力とを受けるにふさわしい方です。あなたは万物を創造し、あなたのみこころゆえに、万物は存在し、また創造されたのですから。(黙示録 4:11)

四番目は、神は一つ一つのものを造り終えるたびに、「よしとされた」ことである。この「よしとされた」という言葉は、神の満足感を表わす。ただし、二日目の創造後にだけ、「よしとされた」という句が出てこない。二日目の創造が三日目に引き継がれ、二日目の時点では完成していなかったからだろう。「よしとされた」とは、完全なものであると言われたわけではない。複雑なものが作成されるとき、それぞれの部品がつくられるたびに、チェックされたというニュアンスである。神は創造のゴールを定め、その一つ一つの段階で確認作業をされたのである。そして、一連の作業を終えると、全被造物をご覧になり、「見よ。それは非常によかった」(31 節)と締めくくられた。

神はすべての被造物を精魂込めて造られた。従って、神の民は神の創造の御業をほめたたえる。詩篇の作者は、「天は神の栄光を語り告げ、大空は御手のわざを告げ知らせる」(詩篇 19:1)と、被造物を通して神を賛美している。このような賛美は、詩篇の中に多数ある。詩篇 33 篇は、その代表的なものである。

正しい者たち。主にあって、喜び歌え。賛美は心の直ぐな人たちにふさわしい。

立琴をもって主に感謝せよ。十弦の琴をもって、ほめ歌を歌え。

新しい歌を主に向かって歌え。喜びの叫びとともに、巧みに弦をかき鳴らせ。

まことに、主のことは正しく、そのわざはことごとく真実である。

主は正義と公正を愛される。地は主の恵みに満ちている。

主のことはによって、天は造られた。天の万象もすべて、御口のいぶきによって。

主は海の水をせきのように集め、深い水を倉に収められる。

全地よ。主を恐れよ。世界に住む者よ。みな、主の前におののけ。

まことに、主が仰せられると、そのようになり、主が命じられると、それは堅く立つ。

主は国々のはかりごとを無効にし、国々の民の計画をむなしくされる。

主のはかりごとはとこしえに立ち、御心の計画は代々に至る。(詩篇 33:1-11)

五番目は、神は人間を特別な存在として造られた、ということである。神は人を創るにあたり、「われわれに似るように、われわれのかたち、人を造ろう」と語られた。ここで神は、「われわれ」と複数形で語っている。これでは、神は唯一のお方であるという一神教に矛盾する。それゆえ、この句は昔から不可解な表現とされてきた。天使たちを含めた天の会議が開かれたとか、権威を表わす複数とか、三位一体の神を暗示しているなど、いろいろな解釈が提案されてきた。いろいろな解釈があるということは、どの可能性もあると考えてよい。こんな場合私は、矛盾しない限り、すべてを含めて考えるようにしている。このケースでは、私自身は、三位一体を表わすという解釈に最も親近感を覚える。創世記 1 章 1 節には「神の霊」が出てくる。さらに、ヨハネの福音書 1 章 1-3 節は、イエスが万物の創造者であると伝えている(コロサイ 1:15-17 参照)。特に、ヨハネ 17 章のイエスの祈りは、イエスと御父とが創造の御業について相談されていたことが暗示されている。この箇所の「造ろう」という動詞が単数形であることを加味すると、「われわれ」という複数形は三位一体の神を想定するのが一番よいと思う。

この話し合いがどのようなものであったとしても、その協議の結果、人間は「神のかたち」に造られることになった。「神のかたち」という言葉に、「われわれに似せて」という言葉が続く。従って、人は神と同じではない。似てはいるがはっきり区別されている。では、この「神のかたち」とは、何を指すのか。4 つの可能性がある。まず神の本性である。神は知性、感情、自由意志、自意識などをもっておられる。そのような本性が人間に反映されている、と解釈するのである(実際には、反対で、人間にあるものを神に投影して論じているのだが、これは仕方がない)。二つ目は、人間が神との交流を可能にする「霊性」を指す、という解釈である。神も人間も、同質の「霊性」をもつので、直接的な交わりができる、というわけである。三番目は、神が三位一体の中でもっておられる「愛の関係」を指す、という解釈である。人間は、男と女に造られた。この男女の互いに愛し合う関係が、三位一体の間にある愛の関係を反映している、というのである。第四番目は、王としての支配権を指す、という解釈である。

私自身としては、これらの四つすべてを含めて考えてよいと思っている。四番目には、特別引かれるものがある。神が王として全被造物に支配権をもっておられるように、人間もまた、地に対する支配権をもっているという解釈はである。エジプトやアッシリヤの当時の文献では、「神のかたち」という表現は「王として支配権をもつ者」というタ

イトルだった。この創世記 1 章においても、この直後に「地を支配せよ」という命令が続いている。詩篇 8 篇もその意味で論述を展開している。そして、ヘブル人への手紙 2 章である。そこには、キリストの贖いが人間の被造物管理権を回復したと論じられている。まさに、被造物管理の神学の基盤である。四つの内、どの解釈を取るにしても、人間は神に似せて造られたという、最高級の実在者だった。これほど高い人間観は、世界のどこにもない。哲学にも、文学にも、思想史にも。ところが、多くのキリスト者の人間観はとても低い。どこかが間違っている。

六番目に、神の創造行為のすべてが完全で、神聖なものであることを教えている、ということである。この創造の記録では、7 という数字が頻繁に繰り返されている。7 という数字が、神に属する特別な数であることは、聖書では明らかである。この創世記 1 章でも、7 という数字を繰り返すことによって、世界創造の御業の神聖さを読者に意識させる。例えば、神が被造物を生じさせるために語りかけた言葉は 7 回だった(4、7、12、16、21、25、27 節)。その結果、神が命じられたものが造られた。その造られたことは、「そのようになった」という表現で記されている。その言葉も 7 回繰り返される(3、7、9、11、15、24、30 節)。神は、創造の段階を一つ一つ終わるたびに、「よしとされた」と満足感を表明している。その承認の言葉も 7 回登場する(4、10、12、18、21、25、31 節)。

この 7 という数字は、ヘブル語聖書に出てくる文字数にまで反映されている。1 章 1 節は、ヘブル語本文では 7 語で構成されている。1 章 2 節は 14 語、2 章 1-3 節は 469 語(7×67)である。「地」という言葉は 21 回、「天」を表わす表現(大空を含む)も 21 回。「神」は 35 回出てくる。「名づける」は 5 回しか出てこないが(5 節と 10 節に 2 回、8 節に 1 回)、「祝福する」が 2 回加わって(22、28 節)、合計 7 回になる。これらの 7 の繰り返しは、神の活動のすべて、あるいは被造物のすべてが、神に属する神聖なもの、という印象を与えるための技巧である。

神の創造行為も、その行為によって生まれた全被造物も、すべては神に属し、神聖なものである。決して粗末に扱ってはならない。被造物を偶像化することは、むしろ間違いである。絶対に避けなければならない。しかし、被造物を軽視するのもまた、間違いである。神を敬うとは、神が造られた全被造物を神に属するものとして、大切に扱うということに他ならない。被造物管理の神学において、神のこの意図は初めて実現する。キリスト者は、決して、やがて来る「天の御国」の話にすり替えてはならない。

最後の七番目は、神が働いたように働き、休まれたように休むように神は人に命じている、ということである。この創造の記録は、安息日神学に基づいて記されている。安息日はユダヤ人にとって大切な戒めであった。しかし、それだけではない。いつの時代の人間にとっても有用なもので、大切な戒めである。「天と地とそのすべての万象」とは、一切の被造物を指す。神は、六日間で創造のわざを完成された。七日目は、「すべてのわざを休まれた」のである。休まれたと言っても、神は働き過ぎて疲れた、というわけではない。創造の業から完全に離れた、ということである。神は、働くときには働き、休むときには休まれた。この両者を共に大切にすることが、神の国の民に求められている。このことは、十戒の四戒で明らかにされている。

安息日を覚えて、これを聖なる日とせよ。六日間、働いて、あなたのすべての仕事をしなければならない。しかし七日目は、あなたの神、主の安息である。あなたはどんな仕事もしてはならない。——あなたも、あなたの息子、娘、それにあなたの男奴隷や女奴隷、家畜、また、あなたの町囲みの中にいる在留異国人も——それは主が六日のうちに、天と地と海、またそれらの中にいるすべてのものを造り、七日目に休まれたからである。それゆえ、主は安息日を祝福し、これを聖なるものと宣言された。(出エジプト 20:8-11)

神は「七日目を祝福し、この日を聖であるとされた」。七日目は体を休める日、というだけではない。神の祝福を味わう日である。「聖である」とは、神に属するものとして、特別に「選り別つ」ことである。この世界の仕事は六日間で終え、七日目は神を礼拝し、神のために時を聖別することである。イザヤ 58:13-14 によれば、安息日とは「主の聖日」であり、「神を喜ぶ日」である。労働と休息、これは大切なテーマである。人の労働は、神の労働を反映したものである。神が被造物を支配するように、人もまた自分に託されている「地」を管理する。働くことの本当の意味は、ここに立つときに生じてくる。働きがあつてはじめて安息がある。日曜の礼拝のみを神聖視し、6 日間の働きをおろそかにするような生き方は、神が求めているものではない。被造物管理の神学に立つとき、この奥義がよく分かるようになる。

イエスは、「わたしの父は今に至るまで働いておられます。ですからわたしも働いているのです」と言われた(ヨハネ 5:17)。イエスは、父に見習って働かれた。しかも、その働き方についても興味深いことを述べている。「子は、父がしておられることを見て行なう以外には、自分からは何事も行なうことができません。父がなさることは何でも、子も同様に行なうのです」(ヨハネ 5:19-20)。イエスは、神の働きを見ながら働かれた。これは、今日のキリスト者の

働き方のモデルである。神が、私たちの周りでどのように働いておられるのかを見極めながら、私たち自身も自分に託された働きを全うしていくのである。被造物管理の神学は、この点を強調する。

以上で、創世記1章が伝えているメッセージの解説を終わることにする。

我々はこの講演で、科学の世界が明らかにした宇宙の始まりについて学んだ。そしてその創造の御業を明らかにしている創世記1章から、神が伝えようとしたメッセージを聞いてきた。科学の学びと聖書の学びが与えるものは異なる。キリスト者にとっては、この両者とも大切である。

この両者に真摯に向かうよう励ますのが、「被造物管理の神学」の使命である。

参考文献

<ビッグバン、インフレーションに関する参考文献>

デニス・オーヴァバイ著、鳥居祥二訳『宇宙はこうして始まり、こう終わりを告げる』(白揚社、2000年)208-29頁
福井康雄著『私たちは暗黒宇宙から生まれた』(日本評論社、2004年)2-27頁
福井康雄著『大宇宙の誕生』(光文社、2006年)
スティーヴン・ホーキング著『宇宙の始まりと終わり』(青志社、2008年)55-76頁
ワインバーク著、小尾信弥訳『宇宙創成はじめての3分間』(筑摩書房、2008年)
佐藤勝彦著『宇宙論入門—誕生から未来へ』(岩波書店、2008年)
ポール・J・スタインハート著、水谷淳訳『サイクリック宇宙論』(早川書房、2010年)
松原降彦著『宇宙に外側はあるか』(光文社新書、2012年)21-106頁
佐藤勝彦著『宇宙「96%の謎」』(角川書店、2008年)
佐藤勝彦著『インフレーション宇宙論』(講談社、2010年)
福井康雄著『宇宙100の謎』(角川学芸出版、2011年)166-89頁
青野由利著『宇宙はこう考えられている』(筑摩書房、2013年)75-116頁

<137億年に関する参考文献>

荒船良孝著『宇宙の新常識100』(2008年、ソフトバンク)9-40頁
吉田直樹著『宇宙137億年解説』(2009年、東京大学出版会)
佐藤勝彦著『宇宙137億年の歴史』(角川書店、2010年)
吉田直樹著『宇宙で最初の星はどうやって生まれたのか』(宝島社、2011年)13-40頁
藤田貢崇著『137億光年の宇宙論』(朝日新聞社、2012年)

<現代の宇宙論理解のための参考文献>

上院亮著『カオス』(新潮文庫、1986年)
前田恵一著『宇宙のトポロジー』(岩波書店、1991年)
酒井治考著『地球学入門—惑星地球と大気・海洋のシステム』(東海大学出版会、2003年)
東京大学地球惑星システム科学講座『進化する地球惑星システム』(東京大学出版会、2006年)
野上道男編集『環境理学、太陽から人まで』(古今書院、2006年)
アレックス・ビレンケン著、林田陽子訳『多世界宇宙の探検』(日経BP社、2007年)
大宮信光著『科学理論ハンドブック 50 宇宙・地球・生物』(2008年、ソフトバンク)
松井孝典著『新版地球進化論』(岩波書店、2008年)
スティーヴン・ホーキング著『宇宙の始まりと終わり』(青志社、2008年)43-54頁
村山斉著『宇宙は何でできているか』(幻冬舎新書、2010年)11-58頁
スティーヴン・ホーキング著『宇宙と人間を語る』(エクスナレッジ、2011年)7-86頁
福井康雄著『宇宙100の謎』(角川学芸出版、2011年)18-77頁
竹内薫著『ざっくりわかる宇宙論』(筑摩書房、2012年)
大河内直彦著『地球のからくりを挑む』(新潮社、2012年)
一色清他著『知の挑戦 本と新聞の大学』(集英社、2013年)