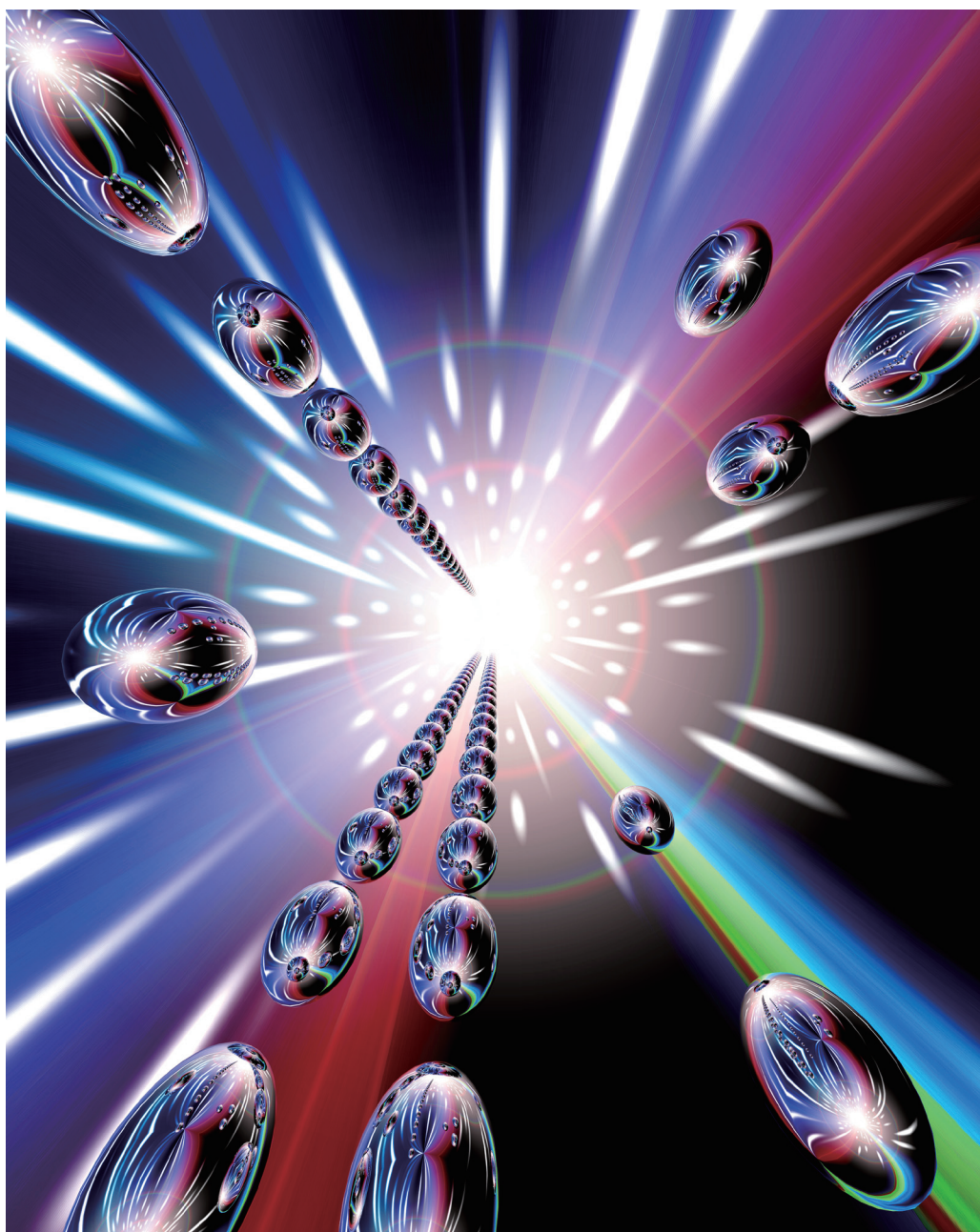


第 17 章 宇宙論

宇宙はどのようにして始まり、どのようにして終わるのでしょうか？こうした問いかけが科学的な問いとなったのはここ100年ほどのことです。こうした宇宙の発生と進化を見る学問が宇宙論です。今回はこの宇宙論について見ていきましょう。



銀河系と太陽の謎

コペルニクスにより、地球は太陽の周りを回っていることが提唱され、ケプラーによってそれは確かなものとなりました。これらは遠い過去のことですから驚くには値しません。しかし、今から 100 年ほど前までは、太陽は銀河系の中心であると思われていたことは驚きでしょう。非常に多数の星達の中で、宇宙の中で太陽の位置を知るのは困難なことでした。

アメリカの天文学者、ハーロー・シャプレー (1885 - 1972) が、1918 年に、銀河系の大きさと銀河内の太陽の位置を発表しました。彼によると、銀河系の大きさは、それまで思われていたものよりも遙かに大きく約 10 万光年であり、我々は、銀河系の中心部から約 2 万 5 千光年離れたところに位置しているというものでした。彼の結果は、ある意味コペルニクスと並ぶ発想の転換が必要だったのです。

皮肉なことに、シャプレーの驚くべき結果は、彼の中で銀河系はとても大きいので、これよりも大きなスケールは宇宙には存在しないと信じるようになってしまいました。



1920 年に、アメリカ国立科学院でハーバー・ダウスト・カーチスと『宇宙の大きさ』と題する公開討論会 (The Great Debate) を行いました。それは、渦巻き型の星雲 (現在は銀河と呼ばれる) について、シャプレーは銀河系ないの星雲であると主張し、カーチスは銀河そのものであると主張しました。しかし、その星雲までの距離がわからないので、その大きさもわかりませんでした。したがって、この討論会は、決定的な証拠がないまま、結論がでませんでした。

このような論争は科学的な論争ではありません。なぜならそれぞれの主張が主観や哲学に基づいていて、決定的な証拠がないからです。決定的な証拠は、それらの銀河ないしは星雲までの距離を測定することで得られるはずです。しかし、当時そうした距離の測定は困難だったのです。

エドウィン ハッブルと宇宙の大きさ

シカゴ大学で学ぶ、**エドウィン・ハッブル** (1889-1953) はボクシングのスター選手でした。世界チャンピオンと戦う企画まであったようです。重量級のプロボクサーになることも考えたのですが、結局は大学院に行くことを決めます。そして、イギリスのオックスフォード大学で、法学を学びます。またそこで彼はトラック陸上競技のスター選手となります。また、ボクシングのエキシビションマッチで、フランスの国内チャンピオンと対戦したようです。その後、彼はアメリカに帰って高校の教員などをしていましたが、結局天文学者になることを決意し、シカゴ大学に戻り博士号を取ります。

第一次世界大戦が始まると 1917 年に従軍します。そして見る間に頭角をあらわし、1919 年の戦争終了には少佐にまで上り詰めます。戦争が終了すると、ワシントンのカーネギー研究所に勤めウイソン山天文台で最新鋭の望遠鏡を用いて研究しました。

彼の最初の発見は、私たちの銀河系の他に
ある銀河の発見です。天空に見える星や銀河
がどのくらいの大きさであるのか知るには、そこまでの距離を知
る必要があります。16 章で学んだように、セファ
イド変光星では、光度と変光の周期の間には関係が
あることが知られていました。彼は、1924 年まで
にアンドロメダのセファイド変光星の明るさと変光
の周期を観測し、驚くべき結果を得ました。非常に
小さく見える星の集まりは実は私たちの銀河系と同
規模の大きさであり、宇宙はそれまで考えられてい
た以上に大きいことを示したのです。

ハッブル宇宙望遠鏡では、目で見て真っ暗な領域
を取ることができます。すると、何もなかったかと思え
たところに、非常に多くの銀河があることがわかり
ます。これを**ハッブル・ディープフィールド**と言いま
す。

銀河には約 1 0 0 0 億から 3 0 0 0 億個の恒星があ
り、銀河の数も見える範囲だけで 1 0 0 0 億個あるのです。1 0 0 0 億、1 0 0 0 億と覚
えておくと覚えやすいでしょう。



アンドロメダ銀河



ハッブルディープフィールド

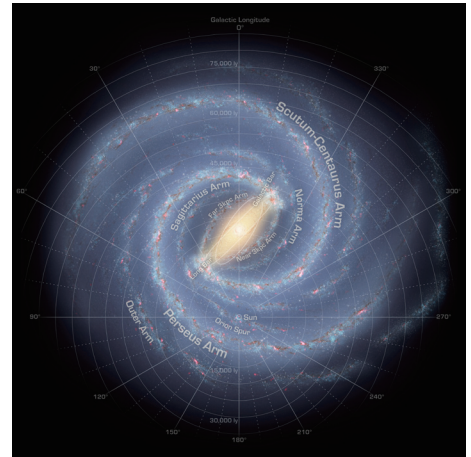
銀河系と銀河

私たちは銀河系（天の川銀河）の中にいます。迷路の中にいる人には、迷路の全体がわかりにくいのに同様に、私たちには銀河の全体を把握することは思いの外困難なのです。しかし、様々な解析により銀河は図のような渦がある**渦巻き銀河**であることがわかっています。多くの星間ガスは、他の物質に引きつけられ回転しながら落下します。太陽系の形成と同様に、そのため回転する円盤が作られます。その後、お互いに引き合いながら中心部が早く回転するため渦巻きが形成されて密集した領域で星が形成されていったものと考えられています。その他、楕円状をした**楕円銀河**があります。この楕円銀河は、銀河形成の初期に、大きな爆発により星間ガスが吹き飛ばされてしまい、星の形成が進まなくなってしまったものと考えられています。

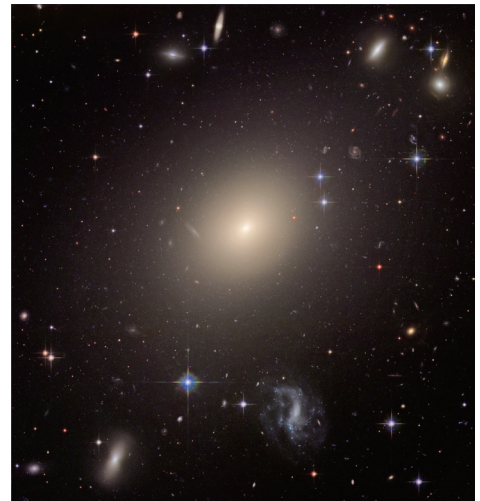
銀河の大きさは10万光年と巨大です。太陽は、天の川銀河の中心の周りを秒速220 kmで回っており、それでも1周するのには2億2千5百万年かかるのです。

また、それぞれの銀河は、お互いに50個から1000個程度の銀河が重力的に引き合っています。こうした固まりを**銀河団**と言います。銀河系は、アンドロメダ銀河と同じ銀河団に属しており、お互いに引き合い近づきつつあります。

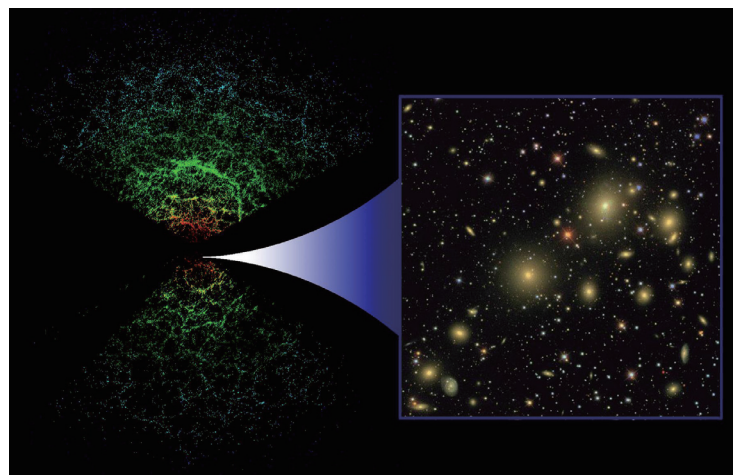
宇宙にある銀河の地図を作るプロジェクト Sloan Digital Sky Survey では、図のような地図が作られました。点の一つずつが銀河に相当し、銀河系からの距離を表しています。銀河が見渡す限りの宇宙全体に、ほぼ均等にあることが示されました。このことから、**宇宙には絶対的な中心がないことがわかります。宇宙は真に民主的にできているのです。**このように、宇宙空間に物質がほぼ一様に分布していることを**宇宙原理**と言います。



銀河系想像図



楕円銀河

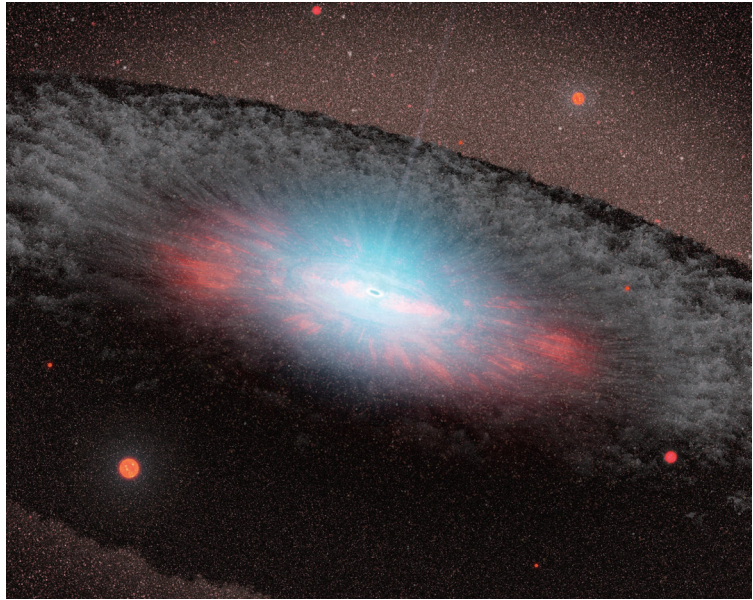


Sloan Digital Sky Survey による宇宙の地図

い

銀河と巨大ブラックホール

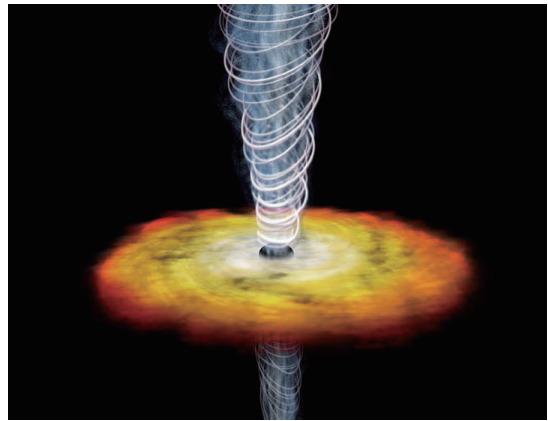
近くの銀河では、銀河中心を非常に高速で回る恒星が観測されています。ニュートンの法則を利用してその距離と回転速度により、銀河中心にある物体の質量を計算することができます。その結果、銀河中心にはわずかに太陽系と同じ大きさの空間に、太陽の数百万倍もの質量を持った物質が、集中していることが観測されました。このように圧縮された物質はブラックホール以外には考えられません。このように銀河の中心にあるブラックホールを**超巨大ブラックホール**と言います。銀河系においても太陽質量の約400万個に相当する質量のブラックホールがある証拠が得られています。それでも、銀河には1000億個からの恒星がありますので、銀河全体としては巨大ブラックホールの質量はごくわずかなものでしかありません。



現在、ほとんどの銀河において超巨大ブラックホールがあると推測されています。銀河中心の巨大ブラックホール

銀河は小さな銀河が集まって大きな銀河へと進化していったと考えられていますが、巨大ブラックホールもまたブラックホールが合体して進化してきたと考えられています。ただし、そのメカニズムについてはまだ明らかになっていません。

また、非常に大きな赤方変異をしているにもかかわらず極めて明るい物体が観測されています。これを**クエーサー**と言います。次節で述べるように赤方変異により非常に遠方であることから、地球にこの光が届くのに非常に時間がかかります。したがって、クエーサーは非常に過去、宇宙初期の頃にあったものと考えられます。



クエーサー

このクエーサーの放出するエネルギーは銀河系の放出するエネルギーの約1000倍と莫大です。また、もし遠方から四方にエネルギーが放出されるとすると、元のエネルギーはあまりにも大きくなります。このため、あることから、巨大ブラックホールに円盤状の物質が落ち込むときにジェット状に放出される光が観測されるものと思われています。このジェットが地球の方向を向いているクエーサーだけが私たちに観測されているのです。

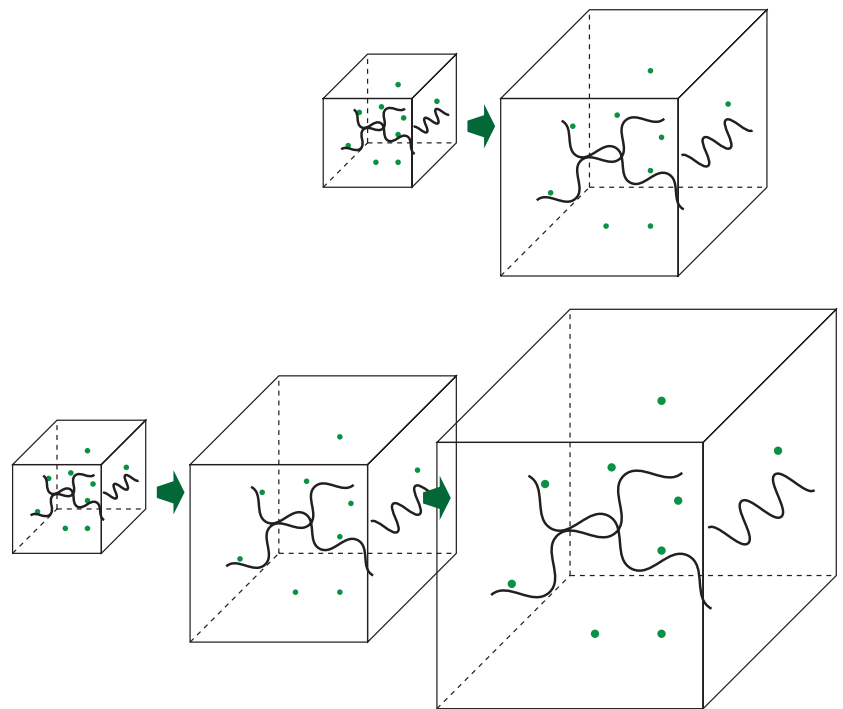
膨張宇宙の証拠 ハッブルの法則

ハッブルの最大の発見は、宇宙が膨張していることを発見したことでしょう。光は波の一つなので遠ざかる救急車の音が低音に聞こえるのと同様に、発せられた光は振動数の小さい方にシフトします。可視光では赤い方に見えることからこれを**赤方変移**とすることは前章でみました。この赤方変移の測定により、**地球からの距離が遠いほど星たちの平均的に遠ざかるスピードが大きいことを示しました。これをハッブルの法則**と言います。

一見すると、これは太陽が宇宙の中心であるかのように思ってしまうそうです。しかし、アインシュタインの一般相対性理論によると、空間そのものが膨張することが可能であることが示されます。たとえば、図のようにある時間に空間が2倍に膨張すると、どの2点の間の距離も2倍になりますので、どこが中心となるわけではありません。しかも、元から2倍の距離のところは、4倍に引き延ばされますので、距離と互いに後退していく速度は比例するのです。また、光などの波長も2倍に引き延ばされるのがわかりますね。膨張によって光の波長が長くなっていくのです。このように、**宇宙空間における赤方変異の原因は正確にはドップラー効果ではなく、空間そのものが膨張して波長が長くなっていくことなのです。**

この膨張のときに気をつけなければいけないのが、重力や電磁氣的な力によって引き合っているものの間の距離は引きつけられていて変わらないということです。すなわち、**宇宙が膨張しても私たちの体や銀河系の大きさなどは膨張しません。**もし仮に宇宙と同じ割合で膨張していたら、定規も膨張するのでその膨張は観測できなくなりますね。

ハッブルの発見は間違いなくノーベル賞級です。しかし、天文学はその当時はまだノーベル賞の対象にはなっていませんでした。ノーベル賞委員会はハッブルのために天文学を物理学の範疇とし、1953年にノーベル賞の対象とすることに決めます。しかし、残念なことにハッブルは同じ年に亡くなってしまい、ノーベル賞は受賞できませんでした。ノーベル賞は生存している者だけに贈られる賞であるのです。

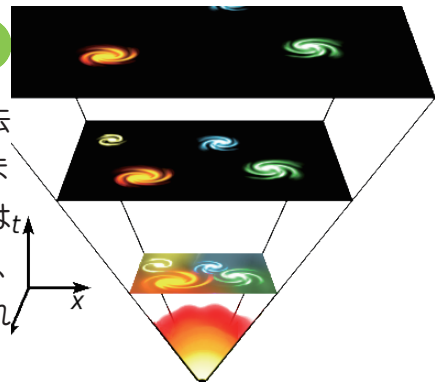


宇宙膨張と赤方変異

発生した光は時間と共に膨張し、波長が長くなっていく

ビッグバン

空間の膨張を過去にさかのぼって考えると、宇宙は過去には非常に小さいところから膨張したものと考えられます。また、宇宙の物質の間は引き合っているため、現在は過去よりも膨張の速度は減少しているはずです。そこで、宇宙は**ビッグバン**と呼ばれる爆発から起こったと考えられるようになりました。



原子などの物質は、過去にさかのぼると密度が大きくなります。一方、光などの輻射は、空間が縮むためその波長も短くなっていきます。光子のエネルギー波長に反比例するため光子のエネルギーは過去にさかのぼるほど大きくなっていきます。したがって、過去には光などのエネルギーがその他の物質のエネルギーに勝っていた時期があると考えられます。また、物質同士が圧縮され、温度が高くなると太陽の内部のようにプラズマ状態となり、光は自由に移動できなくなります。温度が3000ケルビンに達すると、原子核は電子と結合し、中性の原子となり、光が自由に移動できるようになります。他の物質と衝突しないかぎり、この光は直線的に光速で移動し続け現在も観測可能なはずです。ジョージ・ガモフ(1904-1968)とラルフ・アルファ(1921-2007年)らは、このような計算から、そのような光は、宇宙の長さが約1000倍に拡大したため、現在では数ケルビン程度の輻射に見られることを予言しました。これを**宇宙背景輻射**と言います。

一方、アーノ・ペンジアス(1933年-)とロバート・ウッドロウ・ウィルソン(1936-)は、ベル研究所で電波望遠鏡のためのアンテナの研究をしていました。アンテナの性能を見るためには、その雑音(ノイズ)が大敵です。そこで、宇宙の何も見えない領域にアンテナを向けて、ノイズがないことを確かめようとしていました。しかし、アンテナは信号を拾ってしまったのです。彼らは、ありとあらゆるノイズの原因を考え、アンテナにたまった埃の糞も掃除しましたがノイズは消えません。彼らは、アルファとベータの宇宙背景輻射の予言を知りませんでした。ちょうどその地域には、プリンストン大学のチームが宇宙背景輻射の観測をしており、ペンジアスとウィルソンの結果を知りました。そこで、ペンジアスとウィルソンに宇宙背景輻射についての理論を教え、彼ら2人はその正体不明のノイズに関する論文を書きました。彼らは1978年に宇宙背景輻射の発見により、ノーベル物理学賞を受賞しました。本来、ガモフとアルファももらうべきところですが、彼らは受賞しませんでした。宇宙背景輻射では、現在2.7ケルビンの輻射であることが観測されています。この宇宙背景輻射はビッグバン仮説の決定的な証拠となりました。

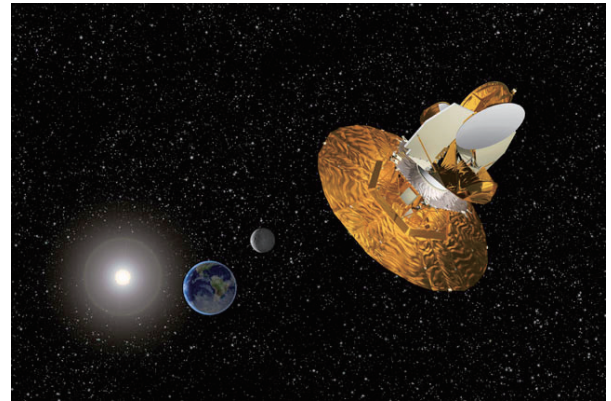
またガモフとアルファは、宇宙の初期の核反応により、宇宙初期での水素とヘリウムの存在比率がおおよそ3対1であることを予言しました。星が形成されなかった領域のスペクトルの解析によりこのことは確かめられました。このこともビッグバンの有力な証拠となっています。ところで、ジョージガモフは、アルファ崩壊の理論でノーベル賞を取った研究者で冗談が好きでした。彼は、アルファに内緒で、共同の論文に、核融合反応でノーベル賞を受賞したハンス・ベータを加えて、著者名がアルファ・ベータ・ガンマに似るようにしたのです。そこでこの理論はアルファ・ベータ・ガンマ理論と呼ばれています。

宇宙背景輻射の観測

ビッグバン仮説では、宇宙背景輻射は宇宙発生約30万年後の宇宙の姿を映し出しています。その後、密度が高い領域に重力によってガスが集まっていき、銀河や星が形成されていったと考えられます。しかし、30万年後に全く均一だったとしたら、現在のように星が形成されなかったでしょう。そのため、宇宙背景輻射には場所によるムラがあることが重要です。

宇宙背景輻射は、現在ではWMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe: ウィルキンソン・マイクロ波異方性探査機) という宇宙望遠鏡が観測を行っています。このような宇宙背景輻射の観測によって、背景輻射には温度にして約10万分の1の揺らぎがあることが確認されました。

また、この揺らぎの大きさや分布を解析することによりこの観測により宇宙年齢などが正確にわかるようになりました。宇宙年齢はおよそ137億年であることがわかっているのです。



WMAP 衛星
宇宙背景放射を観測する

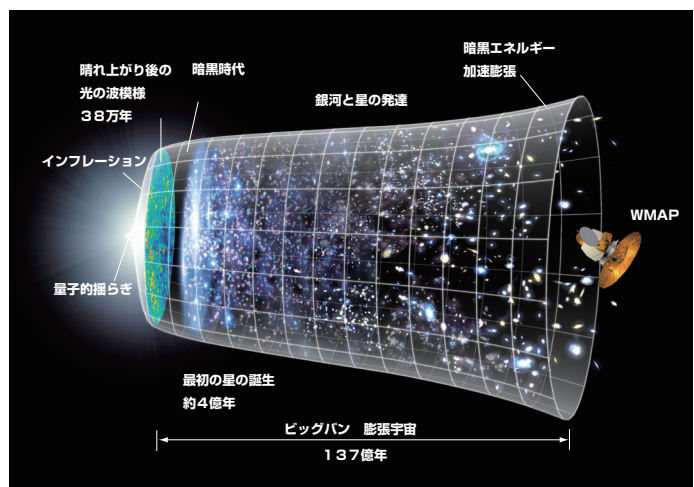
遠くをみることと過去をみること

私たちが星をみているのは光によってです。そして光は光速でやってきます。そのため、遠くの星や銀河からやってきた光は、それが発せられたときは非常に過去であるわけです。したがって、より遠くを見えるということは、より過去を見ているわけです。

宇宙は137億年まえに作られました。したがって、137億光年の距離にある光は宇宙誕生のときにやってきたわけですから。

特に宇宙背景輻射の観測では、誕生から38億年に放出された光が現在私たちに届いているのです。

一方、137億光年以上先が見えないということは、は宇宙の大きさ自体が137億光年であることを意味しているわけではありません。もし、137億光年離れたところに銀河があっても、そこからの光は私たちに届かないというだけなのです。このように、宇宙に年齢があるということは、私たちが見える範囲を限定してしまいます。



現在のサイエンスから導かれる宇宙の進化

現在知られている、素粒子物理学によって、宇宙の初期を予測する試みがなされています。非常に初期ほどエネルギーが高く、現在までの素粒子実験では再現が不可能です。そのため、実際に宇宙誕生当時にそうであったかどうかについては確かでないことが多くあります。そのため、現在のサイエンスに基づき、宇宙初期を再現したらどうなるのかについて見ていきましょう。ただし、サイエンスは進歩しているので、これからも宇宙初期のシナリオが大幅に変わることもあることには注意しておきましょう。一般相対性理論と素粒子理論を仮定すると次のようにして宇宙が進化したものと考えられています。

10^{-43} 秒後 すべての力が統合された世界

宇宙の大きさが、 10^{-35} メートルで、この頃から以前は、重力も量子論的な揺らぎが強く、時間、空間の概念自体がはっきりしなくなります。超弦理論などによると、すべての力は統合されています。時間と空間の概念がはっきりしてくるのもこの時期以降です。またこの頃の空間は、非常に小さな球面の上のようになっていたと考えられます。それは、時間と空間がほぼ対称なことから、空間的な急激な膨張の大きさと、空間的な曲がりとの大きさがほぼ等しいことが自然だからです。

10^{-35} 秒後 重力とそれ以外の力への分岐

重力が急速に小さな力に移行し、それ以外の、電磁氣的相互作用、強い相互作用、弱い相互作用は依然として一つの力となっています。またこの頃、インフレーションという時期を経験します。これは、空間が極めて短時間に 10^{50} 倍もふくれあがって、私たちが観測できる空間がほぼ平坦であるようになったと考えられます。このインフレーションを起こす仕組みについてもまだわかっていません。

10^{-5} 秒後 中性子の形成

クオークの状態から、中性子が作り始められます。これは、中性子星からもわかるように非常に高压では、中性子が陽子よりも安定なためです。この頃から後に膨張で圧力が高くなると、中性子から陽子にベータ崩壊し、陽子と中性子から重水素が、そしてヘリウムへと核融合が進みます。

3 分後 核子の凍結

3 分後になると、宇宙が大きくなり、温度が 10 万ケルビンを下回り、核融合反応が起こらなくなります。そのため、宇宙食には、水素、ヘリウムと、極めて微量のリチウムが生成されます。

約 38 万年後

これ以前ではプラズマ状態でしたが、宇宙の温度が 3000 ケルビンを下回るようになり、中性の原子が生成され、光子が自由に飛び回ることができるようになります。宇宙背景輻射で見ているのはこのころ放出された光です。

約 4 億年後

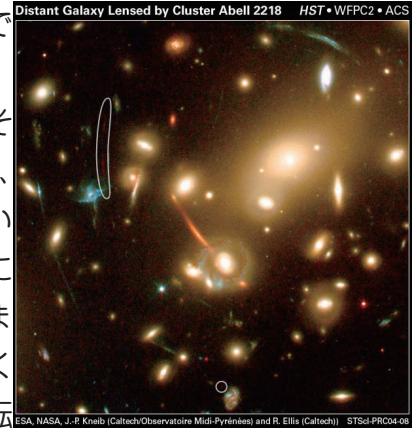
宇宙にほぼ均一に分布した水素やヘリウムのガスは、わずかな密度の揺らぎを元に、重力的に結合していき、最初の星を形成します。それまでは何も無い暗黒時代となっています。

宇宙の暗黒面と暗黒面の力

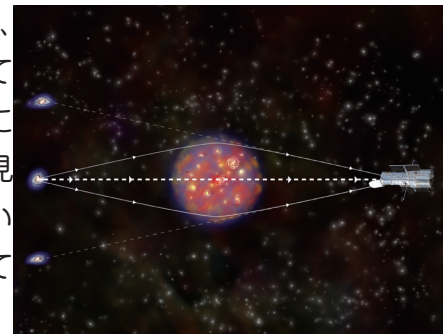
恒星の数やエネルギーや、恒星の前を横切る物体によるちらつきなどから銀河全体の持っている質量を算定することができます。この質量を元に銀河の運動もニュートンの法則で説明できるはずですが、

理論と観測の不一致に最初に気づいたのが、スイスの天文学者フリッツ・ツビッキーです。彼は、1933年に銀河団に属する銀河同志の運動が、お互いの万有引力だけでは説明がつかないほどの強い重力による運動をしていることに気づいたのです。しかし、当時はただ光っていない物体が多数有り、それらによるものであると思われていました。

1960年代後半になって、次の異変の証拠が現れます。それは、ヴェラ・ルービンが、銀河に属する星の回転速度が、周辺部では予想を遙かに超えて回転速度が速いのに気づいたのです。カーブを曲がるのに、車の速度が速いほど車には加速がかかり、あまり速いと遠心力でスリップしてしまいますね。スピードが速く回するには、中心に向かって引く力が必要があります。これと同様に、周辺部で回転速度が速いということは、内部の物質からの重力が予想以上に強いことを意味しています。また、その物質はほぼ銀河全体にわたって分布しており、その質量は群がにおける恒星全体の質量の数倍だったのです。この物質を**暗黒物質**と言います。



また、アインシュタインの一般相対性理論によると、重力によって光も曲げられます。このため、光がやってくる途中に、強い重力源があると光は曲がり、私たちに届く像がゆがめられたり、同じものが2つの方向から見えたりすることもあります。これを**重力レンズ**と言います。この解析によっても、やはり通常の物質に比べてその数倍もの暗黒物質があることが示されました。



さらには、宇宙背景輻射の観測では、光の輻射の揺らぎが測定されています。これによると、その揺らぎの大きさは、10万分の1程度と非常に小さいながら、その分布を説明するためには、暗黒物質が不可欠となります。

以上の様々な観測はすべて暗黒物質の存在を示していることから、宇宙には暗黒物質が存在するものと考えられています。

暗黒物質は、光っていないだけの物質と誤解しやすいので気をつけてください。私たち地球や宇宙のちりなども自分自身で光っていないのですが、その数は微々たるものです。これは、恒星と私たちの前をちりやガスがあると、ちらついたり暗くなったりすることでそのおおよその質量を算定できます。結果的には、それらの光っていない通常の物質の数は多くはありません。たとえば、太陽系の質量の99.9%は太陽が持っています。暗黒物質とは、素粒子の標準模型にない、未知の物質なのです。暗黒物質は、その重力が強いことから銀河の形成などにも非常に大きな力を発揮してきたものと考えられています。宇宙の暗黒面の力は宇宙を支配しているのかもしれませんが。

暗黒物質はなぜ見つけられないか？

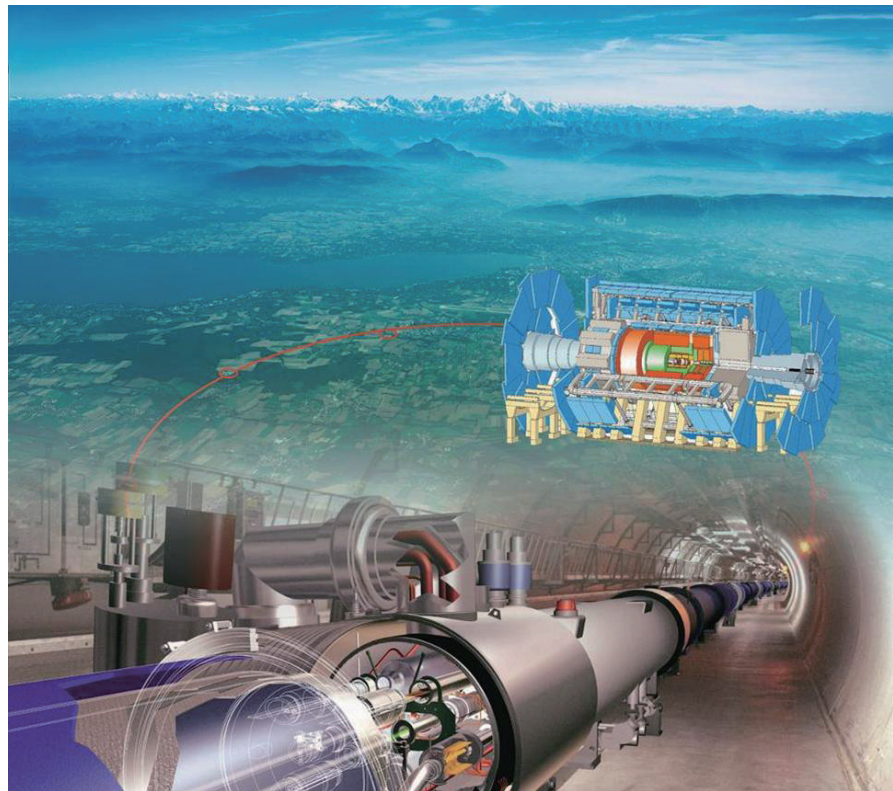
暗黒物質は私たちの知っている物質の数倍の量があるということ地球でもすぐ見つけられそうな気がしてしまいます。それは、私たちがアボガドロ数程度というとても小さい量の物質に囲まれて暮らしているからです。宇宙は非常に広いことを思い出してください。太陽や地球などの質量を非常に宇宙で平均すると、一立方メートルあたり、水素数個程度となってしまいます。一方、暗黒物質もまた一立方メートルあたり水素原子数個程度の質量しかありません。私たちのまわりにもこうした暗黒物質が存在します。しかし、しかもこれが、重力でしか私たちと相互作用をしないのです。私たちが鉛筆などと引き合う重力が観測されない以上に、原子同士の重力は非常に弱く測定は困難なのです。しかし、銀河程度の非常に大きなサイズではこのわずかな密度の暗黒物質も非常に多くの質量となり、観測可能となるのです。まさにちりも積もれば山となるというわけです。

また暗黒物質は、銀河の形成に主要な役割を果たしたと考えられています。通常の物質よりも多い暗黒物質はお互いの重力により球状に集まっていきます。その集まった暗黒物質に引きつけられるようにして通常の物質が集まり、銀河が形成されたと見られています。もし暗黒物質がなかったら、現在までも銀河が形成されていなかったかもしれないのです。

暗黒物質の正体と観測は？

この暗黒物質は、粒子と反粒子とから構成されている可能性もあります。こうした場合、暗黒物質の粒子と反粒子が対消滅して光を放出する可能性が指摘され、このための観測がなされています。ただし、現在まで確かな証拠は得られていません。

また、現在の最先端の加速器 LHC では高エネルギーの陽子の衝突により、暗黒物質となる粒子が生成される可能性が期待されています。近い将来、暗黒物質の正体が解明されるかもしれません。



Large Hadron Collider(LHC)、2009 年から稼働し、暗黒物質の発見も期待されている。

ペラ ルービン (1923-)

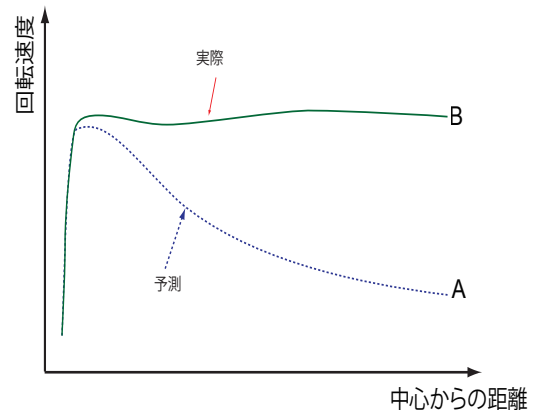
彼女は、プリンストン研究所で博士号を取ろうとしたが女性であったために入れず、コーネル大学に入ります。その後研究で活躍し、彼女は今や、ハーバード大学やイエール大学などの名誉博士でもあり、ワシントンのカーネギー機関に所属する天文学者です。

彼女は結婚し2人の子供を抱えながら夜間クラスに通い、1955年にジョージタウン大学で学位を取りました。彼女は、多数の銀河が何か得たいのしれない巨大な物体の周りを回っているという説を出します。彼女の結果は、通常の宇宙論の常識に反する結果であったため、信用されませんでした。その結果が、学会で確かなものと思われるのは15年後のことです。その後、また新たに二人の子供を出産した後、カーネギー機関に勤めます。そこで彼女はまた次のような新たな大発見をしました。

M33と呼ばれる渦巻き銀河があり、星たちが大規模に群集し中心の周りを回っています。1959年に彼女は、ドップラー効果により星の回転速度を求めました。ケプラーの法則によると、中心からの距離と回転するスピードの関係は、太陽系の惑星と同様であると期待されます。しかし、実際

にはほとんどの星でそのスピードは変わらず、これはケプラーの法則からの結果と大いに食い違ったのです。これは、通常の物質を遙かに上回る質量の物体が銀河全体にわたって存在することを示唆します。それは何でしょうか？たとえば、非常に小さな天体であってもそれは赤外線や、明るい星を横切るときの陰から観測できますし、ブラックホールなども近くの星を飲みこもときに放出されるX線や重力レンズなどの効果で観測できるはずです。また、ちりであれば光が吸収されその効果もわかります。しかし、これらの効果はいずれも発見されていません。そこで、このことを説明するためには、銀河全体にわたって見えない物質が分布しているとする説明がもっとも有力です。これを暗黒物質、ダークマターと言います。素粒子物理学で知られている通常の物質ではなく、現在も素粒子物理学での重要なテーマとなっています。私たちを構成している物質よりも暗黒物質の方が遙かに多いというのは驚きですね。

通常の常識のとらわれない彼女の研究は大きな成果を生みました。そして、彼女の育てた4人の子供たちも、全員今は科学や数学の研究者となり活躍しています。



宇宙の終わり

宇宙には多数の銀河があり、それらがお互いに引き合っています。ニュートンの法則により、この力で速度が変化します。したがって、1980年代には、天文学者達は銀河などが引き合う力でもって、膨張してお互いに離れる速度が減少していくものと思われていました。たとえば、地球から真上にボールを投げると次第に速度が遅くなり、地上に戻ってきます。これと同様に、もし物質が多量に存在すれば、宇宙の膨張は止まり、その後宇宙が収縮していくということもあり得るのです。また、実際にアインシュタイン方程式が成り立つためには、通常の物質と暗黒物質だけでは説明がつかないことも認識し始めていました。

ハッブルの発見によれば、銀河の後退速度は、地球までの距離に比例しています。これは、比較的近い銀河については、銀河同志の引き合う力による運動をのぞいては良く成り立っています。一方、遠方の銀河からの光は地球までにと到達するのに時間がかかりますので、遠方からの後退速度を知るのは、その光が発せられた当時の、過去の後退速度を知ることになります。このため、宇宙の遠方まで含めた後退速度を知ることで、過去から現在までの宇宙膨張の様子を知ることができるのです。非常に遠方からでは、星そのものを見るのが困難ですので、距離を知るのにはある種の超新星爆発を使います。ある種の超新星爆発では、爆発するときの光度がほぼ予測できることが知られているからです。

1988年と1989年に二つのチームで行われていた結果が報告されました。それによると、宇宙は減速しているのではなく、加速膨張しているというものでした。これは、**暗黒エネルギー**と言われる、通常の物質と全く異なりお互いに反発するようなエネルギーが宇宙全体に満ちていることで説明されます。アインシュタインの理論では宇宙項と呼ばれるものがそれに相当する役割をすることがわかります。

このまま続いていくと、重力的に引き合っている近くの銀河団以外の銀河はどんどん遠ざかって行き、何百億年か先には見えなくなります。

ただし、これは現在のサイエンスの知識で得られた結果であることにも注意が必要です。それまでの常識が一遍に覆されてしまうことがサイエンスにはあるのです。宇宙の137億年の歴史や今後がこれだけで決定できるとするには人類はまだ若いのでしょう。これからも宇宙には意外な発見が私たちを待ち受けていることでしょう。

