

宇宙の果てへ ——その構造と起源——

加藤木和夫

第一部 宇宙の構造

1. はじめに

二十歳ごろに興味を持ったことには生涯興味を持つ、といわれている。小生もその説に当てはまるらしい。小生が若いときに興味を持ったのは、ひとつは「自分の存在する宇宙の誕生とその果てはどうなっているのだろうか」ということと、「これから生きていく経済の仕組み」、そして「自分の育った郷土の歴史と取り巻く日本の歴史」などである。

第二の人生ももうすぐ定年となるのを控えていよいよ本格的に老後を迎える。そこで若いときに興味を持ったことを勉強し直そうと、昨年放送大学に入学した。申し込んだのは「宇宙物理」関係と「日本史」関係である。経済はいまさらなので割愛した。

本稿では二十歳の頃専攻した宇宙物理（卒業研究は「世界モデルを正しく区別するための 200 インチ望遠鏡の可能性」の英論文[1]の解説であった。）に関わる「宇宙の構造」についてまとめた。

勉強し直して分かったことは、50 年前、混迷を深めていて出口の見えなかった宇宙の謎は解けていた。また、当時は膨張宇宙論と定常宇宙論がしのぎを削っていたが、膨張宇宙論で 1990 年代半ばに決着が着いていた。しかし、驚くべきはそれよりも多くの謎（ダークエネルギーなど）が出現していたことである。

本稿では太陽系から銀河、銀河団、超銀

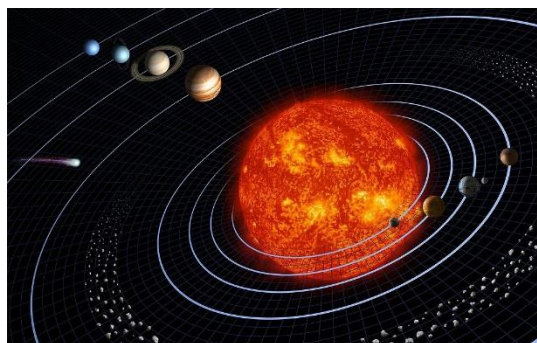
河団そして宇宙の大構造の泡構造についてまとめてみた。なお、本稿の画像はウィキペディアから引用した。

2. 太陽系

2-1 惑星の発見と定義

(1) 惑星

太陽系内の 5 個の惑星（水・金・火・木・土星）は惑いさまよう星としてシュメール文明のころにはすでに他の星々（恒星）と比べ動きが異なることが分かっていた。惑星は太陽の周りを地球と一緒に公転するわけであるから、地球から見える惑星の位置が恒星とは異なった。ギリシャ時代からさまざまな考察がなされたが、解明はコペルニクスの地動説を待つことになる。



5 個の惑星以外の発見は

- ・1781 年 ハーシェルによる天王星の発見
- ・1846 年 海王星の発見

海王星は天王星の動きからその外側にもうひとつ惑星があることがニュートン力学から予測され、発見された。このためニュ

ートン力学の勝利といわれた。

・1930 年 続いて海王星の動きからもうひとつ外側にある冥王星が予測され、発見される。ただし、この発見は予測と異なるところもあり疑問が残った。

・1978 年 冥王星に衛星が見つかるが、冥王星は予測に比較してかなり小さいことがわかった。その後、1992 年になり、冥王星より大きい惑星（小さいものも含めて）が続々と発見される。現在はその数が数千個となる。これらを総称して太陽系外縁天体と呼ぶ。

(2) 惑星の定義

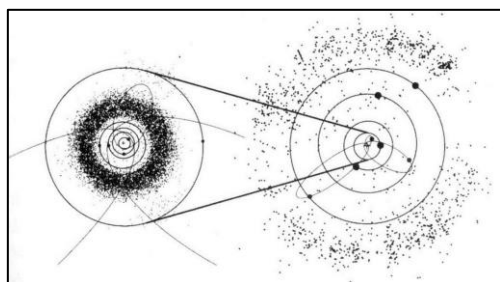
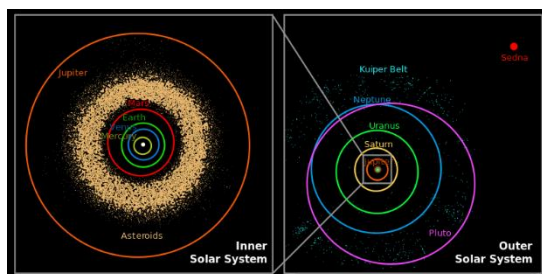
2006 年 8 月に国際天文学連合は惑星の定義を行った。

ひとつは、惑星は太陽の周りを直接回り、球形であること。もうひとつは公転軌道で力学的に他の天体を排除し、主要な存在であることである。冥王星は 2 番目の定義で惑星から外れて準惑星となった。

2-2 太陽系の構造

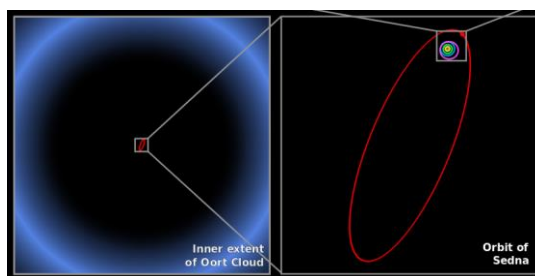
(1) 太陽系の構造

太陽系の大きさを見てみよう。



上図左は水星から木星の軌道。上図右は木星から冥王星までの軌道を描いたものである（下図は上記の図と同じことを見やすくした図）。下図左の小さい黒点群は小惑星。探査機「はやぶさ」の行って帰ってきた「イトカワ等がある。下図右の外側に広がる黒点が太陽系外縁天体である。

次の図の右は冥王星の軌道を小さい四角で囲み、それに外縁天体のひとつであるセドナの軌道を加えたもの。図左はセドナの軌道を小さい四角で囲み、その外側に広がるオールトの雲を描いたものである。



オールトの雲は彗星の巣がこの辺りにあるであろうと 1950 年に提唱された仮説で、まだ証明（観測）はされていないが、ほぼ間違いないといわれている。

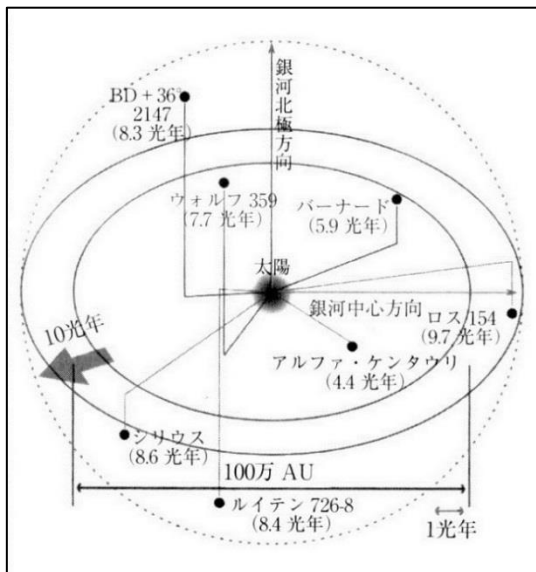
2-3 太陽系の近くの恒星

比較的近距离の単位としては AU が用いられる。AU は厳密な定義があるが、およそ 1 AU (1 天文単位) は太陽と地球の距離であると考えてよい。

太陽と外縁天体は 30~100AU、セドナの周期の一番遠いところは 1000AU、オールトの雲までは 1 万から 10 万 AU である。

太陽系に近い恒星までの距離はケンタウリ星で約 27 万 AU である。ここで、距離が大きくなってきたので光年という単位にする。ケンタウリは 27 万 AU で 4.4 光年、シリウスは 8.6 光年の距離にある。ちなみ

に太陽地球間は光速で約 8 分。月と地球は 1 秒強である。



では、少し太陽系を離れて銀河系を巡ってみよう。

3 銀河

3-1 銀河

銀河の定義であるが、銀河とは恒星、星間物質、宇宙塵、暗黒物質（ダークマター：重力が発生しているが未知の存在）などが重力によって拘束された巨大な天体を指す。最近の研究ではだいたいの銀河に超大質量ブラックホールが中心に存在する。銀河の大きさは小さいものから大きなものまでである。小さい矮小銀河で 1000 万個程度の恒星、巨大銀河になると 100 兆個の恒星を含む。

3-2 銀河系

天の川銀河、すなわちわれわれのいる銀河のことを銀河系という。

- ・ 2,000 億～4,000 億個の恒星
 - ・ 直径 約 10 万光年
 - ・ 厚さ 約 1000 光年
- である。

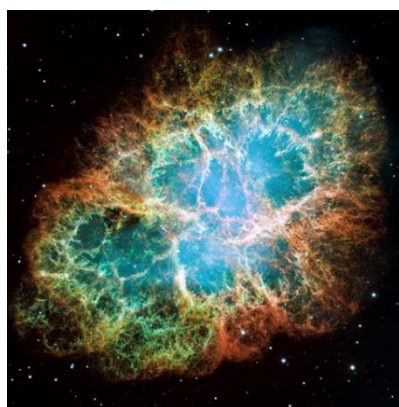
3-3 銀河系の中にある天体

(1) 星雲

星雲は宇宙塵や星間ガスなどから成るガスのこと。星雲には暗黒星雲、散光星雲、惑星状星雲、超新星残骸といったものがある。有名なものとして下記。

(a)かに星雲

M1 (メシエ 1)。超新星の残骸で藤原定家の「明月記」にもその爆発の様子が記載されている。地球から距離 7000 光年で、直径は 5.5 光年である。



(b)ばら星雲

散光星雲（付近の恒星の光を反射している）のひとつにばら星雲（距離 5000 光年、直径 130 光年）がある。



(補足) 星雲と銀河の言葉の違い

かつて銀河もアンドロメダ銀河をアンドロメダ星雲と呼んでいたように星雲と呼ば

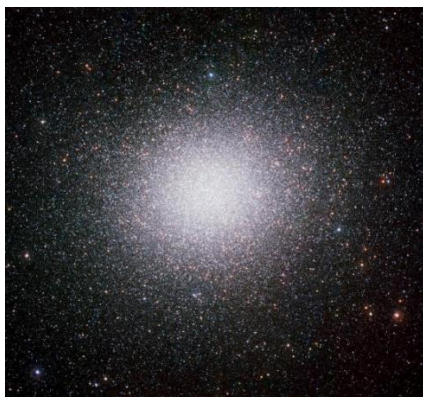
れていた時期があるが、今は明確に区別している。(距離、大きさともに桁が違う)。

(2) 星団

星団はお互いの重力によってつくられた恒星の集団で球状星団と散開星団の 2 種類がある。

(a)球状星団

数十万という恒星が密集している星団。年齢 100 億年以上の古い星々からなり、銀河系の初期に形成された。画像はケンタウルス座の ω 星団で、距離 17,000 光年、1000 万個の恒星からなる。



(b)散開星団：

恒星の数は数百個と小さい。形が不定形であるためこの名がある。年齢数十億年以下の比較的若い星が多い。銀河系の円盤部に存在する。



画像はおうし座のプレアデス星団で、

M45 (和名「すばる」で知られている)、距離は 443 光年で肉眼で数個の星に見える。

(3) 天の川銀河の構造

画像は銀河系の想像図である。銀河の種類としては棒渦巻銀河という説が有力。

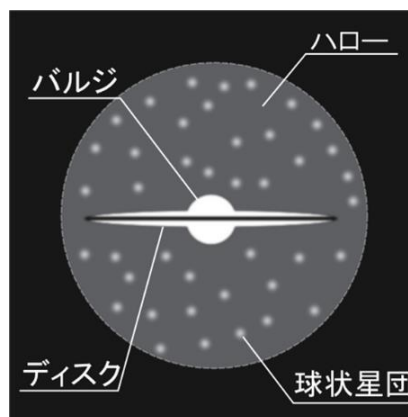


下記の画像に見るようにその構成は

(a) バルジ：中心付近で比較的古い恒星からなる密度の高い領域。

(b) ディスク：バルジを取り巻く凸レンズ状の形状の領域。直径は約 10 万光年。厚さは約 1 万 5 千光年、周縁部は約 1,000 光年。ディスクの中には明るい星や散開星団、散光星雲などが存在する。

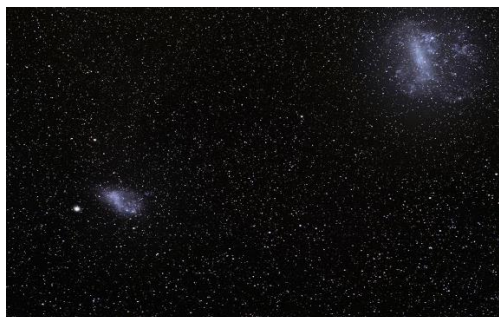
(c)ハロー：外側に球形に存在。約 130 個の球状星団、星間物質からなる。直径約 25 万から 40 万光年である。語源は聖者の後光から来ている。



3-5 様々な銀河

(1) 矮小銀河

矮小銀河の例として銀河系近傍にある大マゼラン雲と小マゼラン雲が上げられる。



画像の右上が大マゼラン雲で、距離は 16 万光年、数百億個の恒星からなり、超新星 1987A がある。(1987 年)

左下が小マゼラン雲で、距離は 20 万光年、数百億個。

かつては、この 2 個の銀河は銀河系の伴銀河と考えられてきたが、最近の説では何処からかやってきて、どこかへ行く銀河（秒速 480km で移動中）と考えられている。

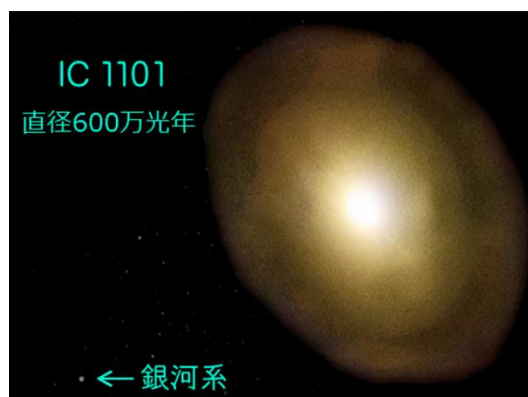
(2) 近くの銀河：アンドロメダ銀河

アンドロメダ銀河は距離 254 万光年で、1 兆個の恒星から構成される。渦巻銀河で直径が 22~26 万光年。我々が銀河系の 2 から 3 倍程度の大きさ。青方偏移という特徴があり、最近では秒速 122km で銀河系に近づいており、40 億年後に衝突し、20 億年後に合体して巨大な楕円銀河になる予測。



(3) 巨大銀河：IC1101

銀河には巨大な銀河が存在する。IC1101 は地球から 10 億 2100 万光年の距離にあり、内部に 100 兆個の恒星を含み、直径は 600 万光年と銀河系の 60 倍もある銀河である。



3-6 超巨大質量ブラックホール

銀河の中心には（銀河系も含めて）超巨大質量ブラックホールが存在することが分かっている。何故存在するかはまだ仮説の段階である（補足説明参照）。

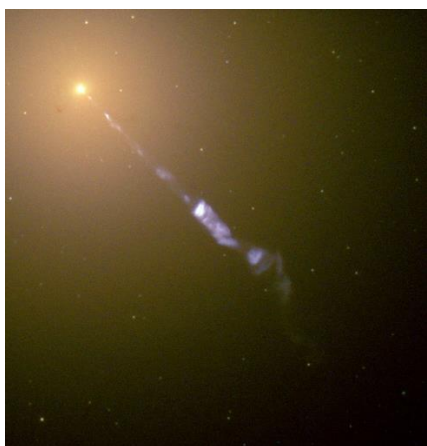
(1) 草食系銀河

超巨大質量ブラックホールが目に見えない銀河を草食系銀河と呼び大部分の銀河がこれに相当する。1 例としてソンプレロ銀河を上げる。距離は 2800 万光年で直径は 5 万光年。赤方偏移が大きく、膨張宇宙発見のきっかけになった銀河である。帽子の形に似ているのでこの名がつく。



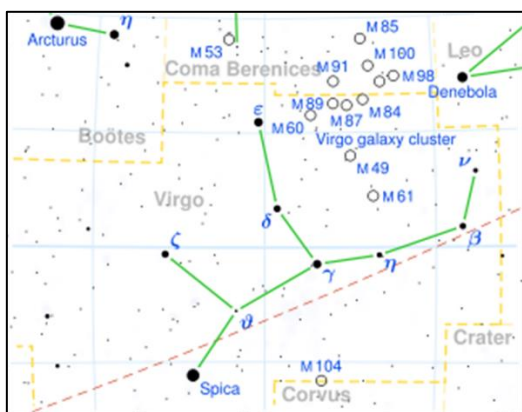
(2) 肉食系銀河

一方で自己の存在をアピールする肉食系銀河と呼ばれるものが数は少ないが存在する。地球から 6000 万光年離れたおとめ座にある電波銀河 M87(おとめ座 A)はその代表で、直径は 12 万光年、超大質量のブラックホールは太陽の 30 億倍の質量を持ち、8000 光年に及ぶ宇宙ジェットを噴射している。これが観測できる。M87 は「おとめ座銀河団」の中心となる銀河である (後述)。



(注) おとめ座という言い方

おとめ座は主要恒星 9 個からなる星座で近い星で 11 光年ぐらい。スピカ (1 等星)、中国の古い星座では角と呼ぶ恒星を含む。おとめ座付近には銀河が多く、M87 (おとめ座 A) もそのひとつである。銀河系の恒星と銀河は別物である。混同しないように。



4 銀河を包含する階層構造

4-1 銀河を含む集団の種類

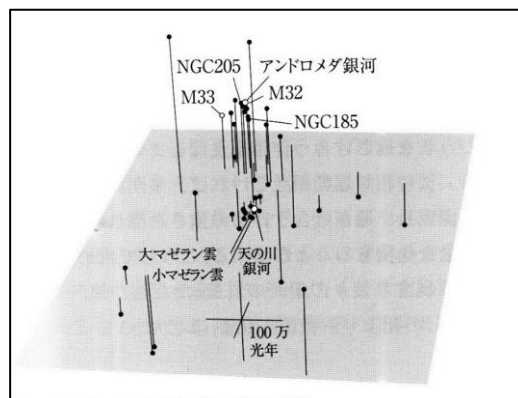
銀河を含む集団としては

- (1) 銀河群：数 10 個程度の銀河
- (2) 銀河団：数百個の銀河
- (3) 超銀河団：数百個の銀河群と銀河団
- (4) 超銀河団 Complex：複数の超銀河団がある。

以下、その代表を上げる。

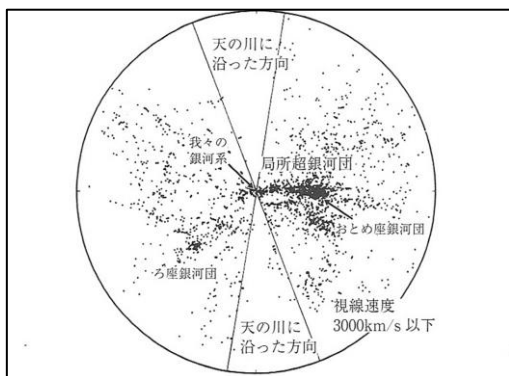
4-2 局部銀河群の立体構造

局部銀河群とは銀河群のひとつで銀河系、大マゼラン雲、小マゼラン雲、アンドロメダ銀河などを含む我々のいる銀河群である。立体構造は次の図のようになっている。



4-3 局部 (局所) 超銀河団

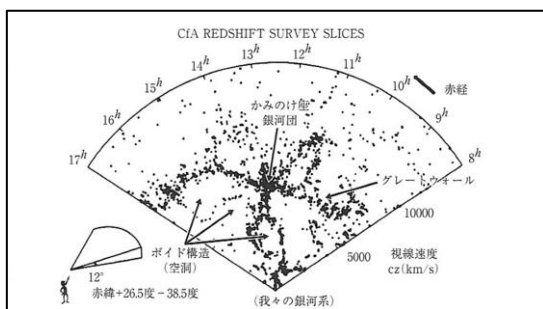
我々の銀河群 (局部銀河群) の近くにはおとめ座銀河団が存在する。おとめ座銀河団は 1300~2000 個の銀河からなる大きな銀河団である。我等が局部銀河群とおとめ座銀河団を合わせて一階層上のおとめ座超銀河団と呼んでいる。また、我々を含む超銀河団なので局所 (局部) 超銀河団とも呼ぶ。



(注) 天の川の円盤部の方向は吸収されて見えない部分がある。

4-4 かみのけ座超銀河団

もうひとつ超銀河団の例としてかみのけ座超銀河団をあげる。この超銀河団はかみのけ座銀河団としし座銀河団からなる。かみのけ座銀河団は 3.21 億光年先にあり、1000 個以上の銀河を含む大きな銀河団である。



4-5 見える範囲で最も遠い銀河

次の写真は宇宙のかなり奥深い銀河が写っているもので、ハッブル・ディープ・フィールド (ハッブル深宇宙) と呼ばれる。写っているものはほぼ全て銀河で約 3000 個。おおくま座方向に見える。1995 年 12 月撮影されたもの。中には 120 億光年の銀河も含まれるっており、関係する考察論文は 400 件におよぶ。

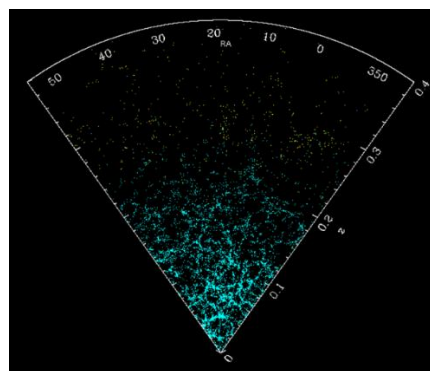


4-6 宇宙地図を作る試み

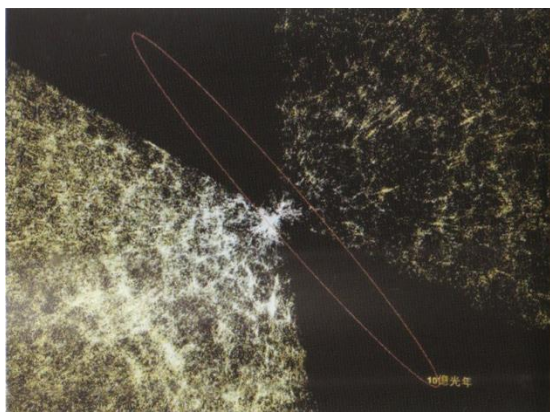
スローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) は天体の地図を作る野心的なサーベイプロジェクトである。全天の 4 分の 1 にわたって 1 億個以上の天体の位置と明るさを測定して詳しい地図を作成するのが目標で、100 万個の銀河とクエーサーに対しては距離も測定する計画である。コンピュータ技術、画像解析技術の進歩がこのプロジェクトを支える。

観測するための望遠鏡はアパッチポイント天文台でアメリカの天体物理学 研究機構 (ARC) によって運営される。

次の写真は 10,853 個の銀河と、より遠方の大規模構造を調べるために選ばれた「明るく赤い銀河」サンプルの 486 個の銀河の分布で、これはまだまだ SDSS の最終目標のわずか 1% にしか過ぎない。



4-7 宇宙の大規模構造（泡構造）

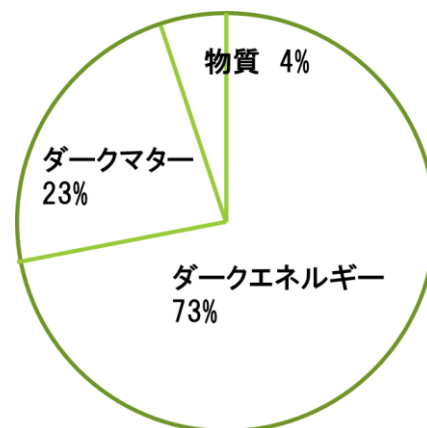


宇宙の大規模構造は超銀河団 Complex（銀河フィラメント、グレートウォールとも言われる）と超空洞（void）が複雑に入り組む構造となっている（上記画像）。ちょうどシャボン玉の縁に沿って超銀河団が存在するので宇宙の泡構造とも呼ばれている。

1 例としてグレートウォールを見てみると、それは薄い壁のような構成となっており、長さ 7.5 億光年、幅 2.5 億光年、厚さ 2000 万光年（長さ、幅に比較すれば薄い）である。泡構造を構成する一方の超空洞（Void）は 1 億光年に渡り銀河がほとんど存在しない。このような構造が出来上がった原因として、宇宙誕生時のわずかな温度の揺らぎ（1/10 万）が作用していると、WMAP の解析から推定されている。

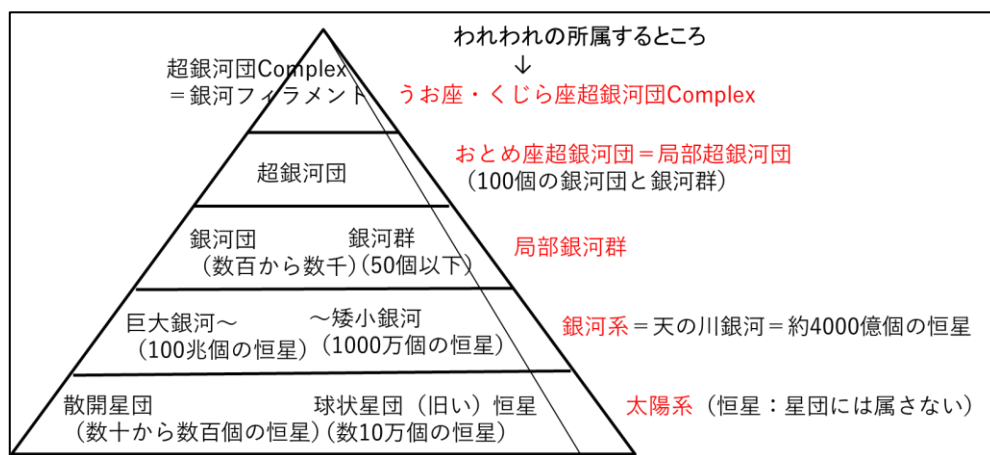
5. 宇宙の組成

宇宙の組成は、①物質（元素を形作っているもの、陽子、中性子など）が 4%、②ダークマター（暗黒物質、銀河・銀河団は星の総和から予想される値の 10 倍以上の質量をもつことから類推されている。未知の素粒子）が 23%、③ダークエネルギー（暗黒エネルギー、宇宙は今でも加速膨張しており、その元になるエネルギー、宇宙空間を一様に満たしている）が 73%と観測結果の解析から推定されている。つまり、宇宙の主成分は実はよく分からない。



6 まとめ

全階層図(加藤木作成)を参照されたい。



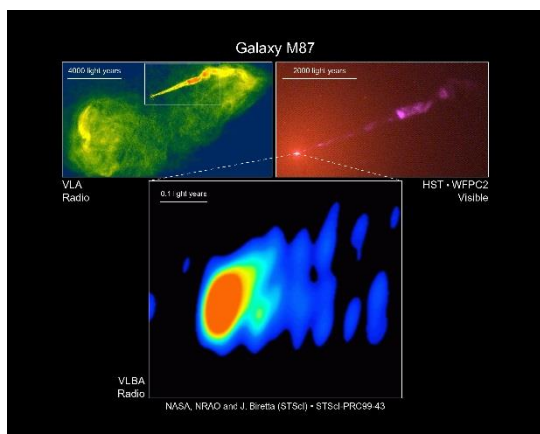
補足説明

大質量ブラックホールと宇宙ジェット

ほとんどの銀河の中心には「大質量ブラックホール」が存在する。一般に言われるブラックホールとの関係については不明であるが、最近の仮説では一般のブラックホールが合体などを繰り返して（銀河合体も含める）出来上がったのではないかとされている。なお、仮説はそのほかにも存在する。

宇宙ジェットがまず観測されて、理論的にそこには巨大なブラックホールがあるのでと推定されるに至った。宇宙ジェットで有名な電波銀河 M87（おとめ座方向にある）には太陽の約 30 億倍の質量を持つ巨大ブラックホールが存在する。宇宙ジェットのメカニズムについては参考文献を参照されたい。降着円盤がポイント。

下記の画像は M87 の宇宙ジェット。



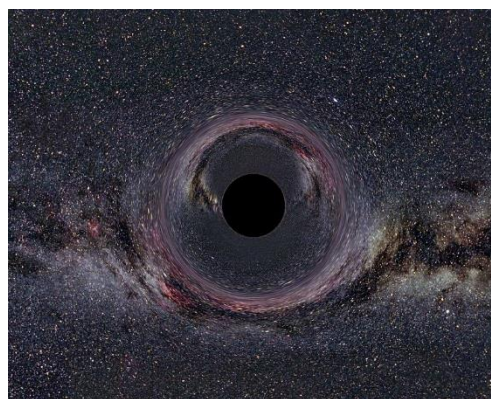
ブラックホール

ブラックホールは元の星が圧縮された小さくなった大質量の星である。

大質量で小さい星の場合、そこでは重力による空間曲率の歪みが大きくなり、ある半径（シュワルツシルト半径）より内側では光が脱出するための速度が光速を超えてしまうため、光は外へ出て行かない。

よくブラックホールは「光が抜け出せないほど強い重力を持つ」という表現でいわれるが、これは光に質量があり、抜け出せないというニュートン力学のイメージである。しかし、光に重さはなく、理論的には一般相対性理論で解明されている。

下記の図はブラックホールのシミュレーション画像。



第二部 宇宙の起源

1. 膨張宇宙の発見

1. 1 宇宙の構造への疑問

重力の発見以来、宇宙は自分の重力でひとつの塊になってしまうのではないかという疑問があった。アインシュタインは重力理論のなかで重力に拮抗する力（斥力）宇宙定数 Λ （ラムダ）を導入することで静止宇宙を導き出した。

1922 年、フリードマンはアインシュタインの方程式を解き、開いた宇宙、閉じた宇宙の解を得た。

一方で 1912～1922 年にかけて望遠鏡の発達によって天体から来る光のスペクトルが赤方偏移（波長が伸びている）していることが発見される。

しかしこの頃は、まだ星までの距離が分からなかった。アンドロメダ星雲などは何かボヤッと雲の様なものとしか捉えられなかった。

1. 2 膨張宇宙の発見

膨張宇宙論（ビッグバン理論）は 1927 年にルメートルによってフリードマンの解を基に「宇宙は原始的原子の“爆発”から始まった」というモデル提唱から始まった。次いで 1929 年にハッブルは銀河までの距離を、セファイド型変光星を用いて測り、また赤方偏移から銀河は遠いほど後退速度が速いことを発見し、ハッブル定数というものを定義した。

$$H = \text{銀河の後退速度} \div \text{銀河までの距離}$$

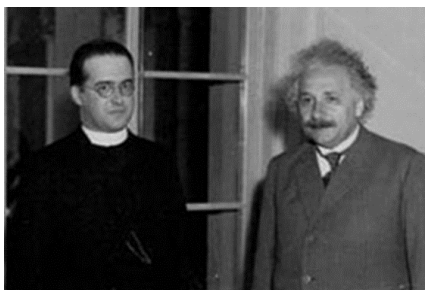
しかし、ハッブル定数の発表は実はあまり顧みられなかった。

なお、ハッブルの計算ではハッブル定数は 500 で宇宙の年齢が 20 億光年となってしまう、これでは地球の年齢の方が長い。これは変光星の種類によって正確な測定が出来ないことが原因であった。最近では正確に測定が進みハッブル定数は 75、宇宙の年齢は 138 億光年と計算されている。

（エピソード）

ハッブルの論文は 1929 年に発表された。しかし、実は 1927 年のベルギーの司祭で天文学者のジョルジュ・ルメートルが同じ定数の考え方を無名の仏語誌「ブリュッセル科学会年報」にビッグバン理論の中で発表していた。しかし、フランス語であるためほとんど注目されなかった。1931 年、英国の王立天文学会月報でルメートル論文の英訳が発表されたが、不思議なことに肝心のハッブル定数（と呼ばれるようになった）の箇所が削除されていた。その後、フランス語の論文が発見され、誰が英訳時に定数提案部分を削ったかが大いなる議論になったが、分からなかった。真相は後年明らかになり、削除したのはルメートル本人であった。発見の名誉をハッブルに譲るという性格の人であった。本来ならハッブル望遠鏡ではなく、ルメートル宇宙望遠鏡とよばれていたかも知れない。この話しは有名である。次の写真はアインシュタインとルメートル。アインシュタインは膨張宇宙を認めてなかったが、最後はルメートルの説を

認め、ルメートルの講演で大絶賛をした。膨張宇宙のアイデアを出した最大の功労者であるのにあまりその名は知られていないのは残念なことである。



1. 3 膨張宇宙論と定常宇宙論

1948 年、ガモフらは α - β - γ 理論でビッグバン理論を元に宇宙初期の元素合成に関する論文を発表。しかし、この理論は発展せず失敗し、チームは解散。ガモフは引退し啓蒙本の執筆へ向かう。ただ、ガモフは宇宙誕生時の名残として 5 K の宇宙背景放射があることを予言した。

ハッブルが 1953 年に亡くなった後、弟子のアラン・サンディジが後を継ぎ、膨張宇宙論を支えるために地道にウィルソン天文台で観測を続けた[1]。

しかし、「宇宙に始まりがある」ことは天文学者には受け入れがたいことであった。「宇宙は永遠で無限だから偉大なのだ」という定常宇宙論が著名な天文学者ホイルによって提唱され多くの天文学者に受け入れられた（ビッグバンの名はホイルがラジオ番組で揶揄してつけたもの）。

ビッグバン理論が注目されたのはガモフが予言した宇宙誕生時の名残である宇宙背景放射 3 K が、1964 年にペンジアスとウィルソンによって（偶然ではあるが）発見さ

れてからである。

1. 4 膨張宇宙論の発展

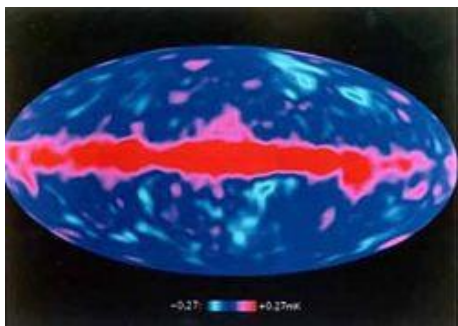
(1) 3 K 宇宙背景放射

1964 年、ペンジアスとウィルソンは何もない空間から電磁波が飛んでくることを発見した。しかも(天体に何もないとしても)あらゆる方向から均一に受信する。波長は 2mm と長い。この不思議な電波は皆さんも目にしている。アナログ TV 時代に番組終了後に見る画像(砂嵐のような画面)の 1% はこの電波である。

電磁波の波長は 3 K の温度の物質から出ているのと同じ特性を示していた。物体は熱に応じて電磁波を出す。例えば人体も 309K の電磁波を出している。3 K はビッグバン(火の玉宇宙)時の推定温度 3000K が空間の膨張にともない冷却して 138 億年後に地球に届いたものと考えたとぴったり合う。1978 年に 2 人はこの業績でノーベル物理学賞を受賞した。

(2) COBE による観測

NASA のマザーとカリフォルニア大のスムートにより宇宙背景放射探査のプロジェクトが推進され、1990 年、COBE(コービー:宇宙背景放射探査衛星)が全天にわたってこの背景放射の温度ゆらぎを精密に観測することに成功した。この時、10 万分の 1 という微少な揺らぎも発見された。下図の画像は全天観測を 2 次元に展開した図で、色の違いは温度の差を表す。

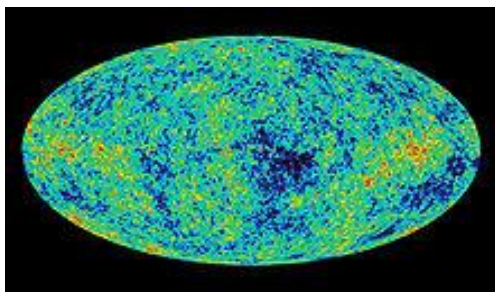


COBE の観測結果で宇宙誕生からわずか 38 万年後の密度ゆらぎが明らかになり、温度のわずかな「むら」が星を生成した証拠にもなった。

このようにして 1990 年代半ばには膨張宇宙論は定着し、現在では 95% の宇宙物理学者が受け入れている。

(3) 3K 宇宙背景放射の全天強度分布

COBE の後、2003 年に WMAP 衛星が打ち上げられた。晴れ上がり（膨張開始から 38 万年後）のときの宇宙のゆらぎの精密な観測データがえられ、また、「平坦な宇宙」（空間は曲がっていない）を支持するデータが得られた。下図は WMAP の観測データ。



(4) 宇宙背景放射とは

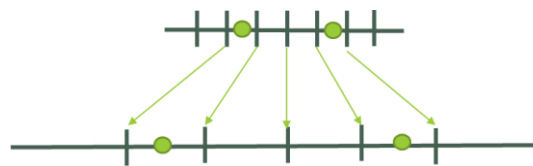
宇宙誕生からいつの電波が届いているかであるが、宇宙誕生から 38 万年後と考えられている。

この時期、電子と陽子が結びつき水素となり、その結果宇宙は電磁波に対し透明と

なる。このことで光が直進できるようになった。「宇宙の晴れ上がり」という。このときの直進する光が現在の地球に届いている。現在から逆算すると、温度 3000K→3K（正確には 2.75）は空間が 1100 倍に伸びて冷却した。空間の伸びを考慮すると 今観測している電磁波は時間経過から見るとは 138 億年、空間的には宇宙晴れ上がり時の宇宙の半径 4100 万光年は現在 470 億光年となっている。なお、宇宙の大きさは $1000 \times 1000 \times 1000$ 宇宙は約 10 億倍になっている。

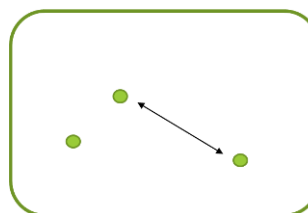
1. 5 膨張宇宙のイメージ

宇宙が膨張しているとは空間座標が広がっていることである。1 次元では下記。



（空間座標が広がっている。端はない）

宇宙に当てはめると、銀河、銀河団自体は重力でまとまっており、膨張はしていない。広がっているのは超空洞（Void）である。



2 宇宙誌の図解

図 1 に宇宙の晴れ上がりから現在まで、
 図 2 に誕生⇒インフレーション (1980 年代
 に佐藤(東大)によって提唱された) からビ
 ッグバン⇒宇宙の晴れ上がりまで、を示す。
 図 3 はわれわれの見えている宇宙の範囲を
 示す。図 1,2 は Newton 2017 年 4 月号、
 図 3 は宇宙図を元アレンジした。

現時点での基本データ

1. 観測可能な宇宙の半径：450 億光年
2. 膨張速度：光速の 3.5 倍
3. 宇宙の年齢：138 億年
4. 晴れ上がり：半径：4100 万光年、3000K
5. 晴れ上がりと現在：1100 倍に膨張
6. 体積は 10 億倍

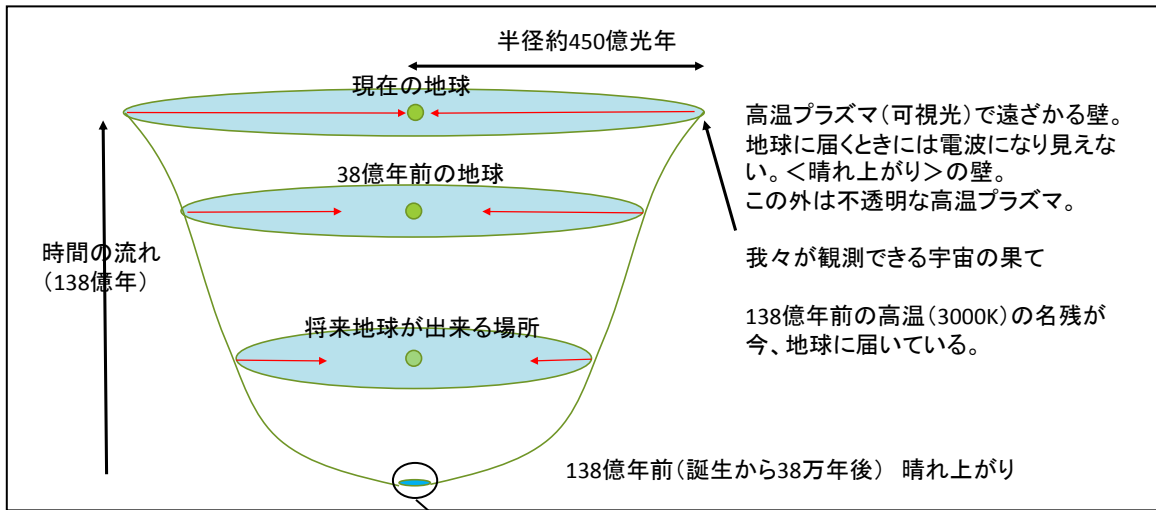


図 1 宇宙の晴れ上がりから現在まで

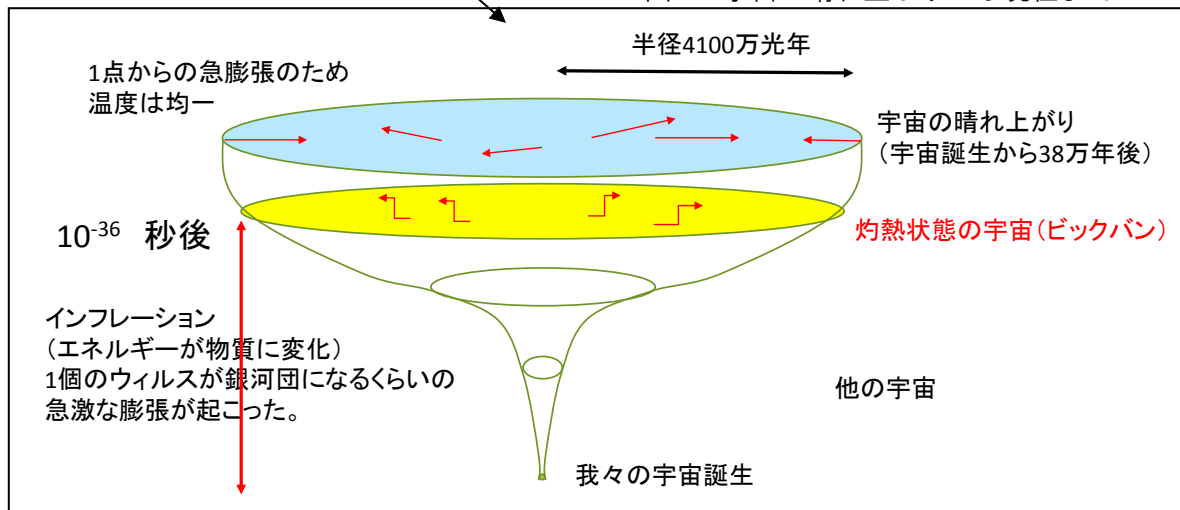


図 2 誕生⇒インフレーションから
 ビッグバン⇒宇宙の晴れ上がりまで

(注) ビッグバンを文字通り爆発と捉えてはいけな
 い。

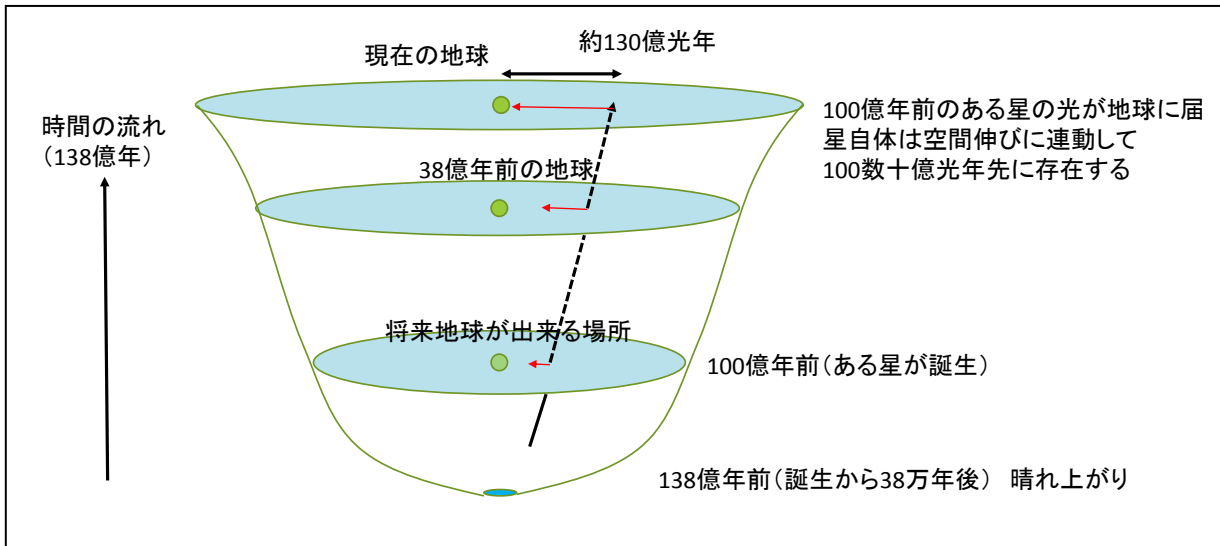


図3 われわれの見えている宇宙

参考[文献 4]

図1 膨張宇宙で起きたと思われること (1)

- ◎135 億年前 最初の銀河・星が生まれた (恒星による元素の生成が始まる)
- ◎100 億年前 天の川銀河の原型の形成?
- ◎46 億年前 太陽系と地球の形成
- ◎38 億年前 生物の痕跡を含むと考えられる地層
- ◎10 億年前 多細胞生物の登場◎4 億年前 生物が陸上に上がる
- ◎現在 人類文明

図2 膨張宇宙で起きたと思われること (2)

- ◎137 億年前
 - 10-43 秒 プランク時間 (時空の成立?)
 - 10-36 秒 インフレーション (4つの力の分離)
 - 1/10000 秒 強い力でクォークが結びつく (陽子、中性子などが生成)
 - 4 秒 反物質が消滅する (→物質が残る)
 - 100 秒 ヘリウム原子核の生成
 - 38 万年 電気力でプラズマが中性のガスになる (=宇宙の晴れ上がり)
この後重力が優位になり、重力による天体形成が始まる。

3. まとめ

須藤博士（東大）によれば宇宙論は頭で考えるものから観測重視のビッグサイエンスになった。一方、理論はインフレーション理論から 30 年間停滞している。今こそ理論を重要すべきとのこと。いずれにしても人類最高の頭脳がしのぎを削る世界。素人の参加する余地は無い。

今回、学生のとときに読んだ論文は膨張宇宙論が評価される前に細々と観測を続けていたアラン・サンディージのものであったことが分かり、ちょっと嬉しかった。個人的にはネットで提供される最新画像データと解説が楽しみであるが、参加可能な日本天文学史の一部と地方史を絡めて（渋川春海と徳川光圀、斉昭と天文台など）の研究とやはり若いときから収集している宮沢賢治関連かなという思いがある。

写真：ウィキペディアから引用した。豊富な写真を公開している関係機関に感謝する。

参考文献

- [1] ALLAN SANDAGE
“THE ABILITY OF THE 200-INCH TELESCOPE TO DISCRIMINATE BETWEEN SELECTED WORLD MODELS”,1961-5,
THE ASTROPHYSICAL JOURNAL
- [2]吉岡、海部、「宇宙を読み解く」、2013、
放送大学テキスト
- [3] 吉岡、海部、「太陽系の科学」、2014、
放送大学テキスト
- [4]吉岡、「宇宙とその進化」、2015、
放送大学テキスト
- [5]ウィキペディア
- [6]Newton 2017 年 4 月号
- [7]宇宙図 「一家に 1 枚 宇宙図 2007
監修：文部科学省、（社）日本天文学会 天文教材委員会、著作・販売：（財）科学技術
広報財団