

地球を直径**3mm**にすると…

《地球と月軌道》

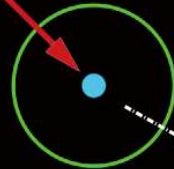
地球を直径3mmに縮小すると月の軌道(公転軌道)の直径約76万8800kmは177.4mm。このとき月の直径はわずか0.8mmになります。なお、この縮尺では太陽は地球から約35mの距離にあり、直径は約327.4mm。宇宙空間は地球の近くであっても、これほどすき間があいているのです。



月 図上では直径0.8mm
直径3474.3km



地球 図上では直径3mm
直径(赤道)1万2756.274km
NASA



人工衛星の静止軌道

半径4万2164km、
直径8万4328km
(赤道上空約3万5786km)
→図上では直径19.8mm

月の公転軌道

平均半径38万4400km、
直径76万8800km
→図上では直径180mm

太陽まで (約35m)

1億4959万7870.7km

比率を無視して近くに描いています

太陽

(直径327.4mm)を縮小
直径139万2038km

さまざまな恒星

夜空に見えている星々のほとんどは太陽のように自分で光る恒星です。恒星の明るさはさまざまですが、詳しく観察すると色にも差があります。恒星の違いを考えていきます。

恒星の明るさ

宇宙全体には、想像を絶する数の恒星があります。たとえば私たちの銀河系（天の川銀河）にある恒星は約1000億〜2000億個。宇宙には同じような銀河が数千億個以上あると考えられるので、単純計算でも宇宙全体には1千兆の数10億倍以上の恒星があると考えられます。

その中で望遠鏡などを使わず人間の目（肉眼）で見られる星の数は、条件がよければ全天で約6000個と言われます。その明るさは「等級（見かけの等級、または実視等級）」で表されます。全天で太陽以外で（注1）最も明るい恒星はシリウス（おいぬ座アルファ星）で約マイナス1.4等級です。肉眼で観察できる最も暗い恒星は約6等級ですが、空が暗いところでのみ観察できます。

ちょっと補足 Point!

星の等級は、こと座アルファ星（ベガ）を0等級とし、1等級で明るさが約2.5倍または約2.5分の1（5等級で100倍）に定められています。

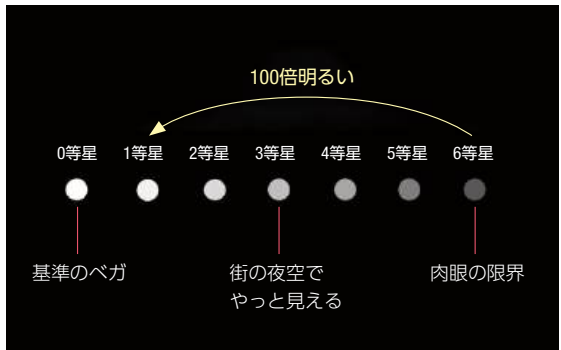
注1：太陽を等級で表すとマイナス26.7等になります。
注2：天文学や物理学では温度の単位として、絶対温度（単位：ケルビン（K））を使います。これは絶対零度を0Kとした基準で、摂氏0℃は273.15Kになります。

星の色の違い

また恒星には色の違いも見られます。アンタレス（さそり座アルファ星）などは赤っぽく見え、シリウス（おいぬ座アルファ星）などは青っぽく見えます。この違いはほぼその星の表面温度の違いで、赤い星は約2000K（絶対温度）、青い星は1万数千Kです。

また、恒星の大きさもさまざまで、太陽の2000倍を超えるたて座のステファンソン218星などの超巨大星をはじめ、ベテルギウス（オリオン座アルファ星）は太陽の700〜1000倍（変動する）、アンタレス（さそり座アルファ星）は太陽の680倍（900倍の推測もあり）の大きさがあります。逆に小さな恒星には、白色矮星や中性子星と呼ばれるものがあり、直径は太陽の数百分の1から20キロメートルほど。これらさまざまな恒星の中で、太陽はごく平均的であるとされています。

恒星の見かけの明るさ



見かけの天体の明るさを実視等級と言い、こと座アルファ星（ベガ）を基準にしています。

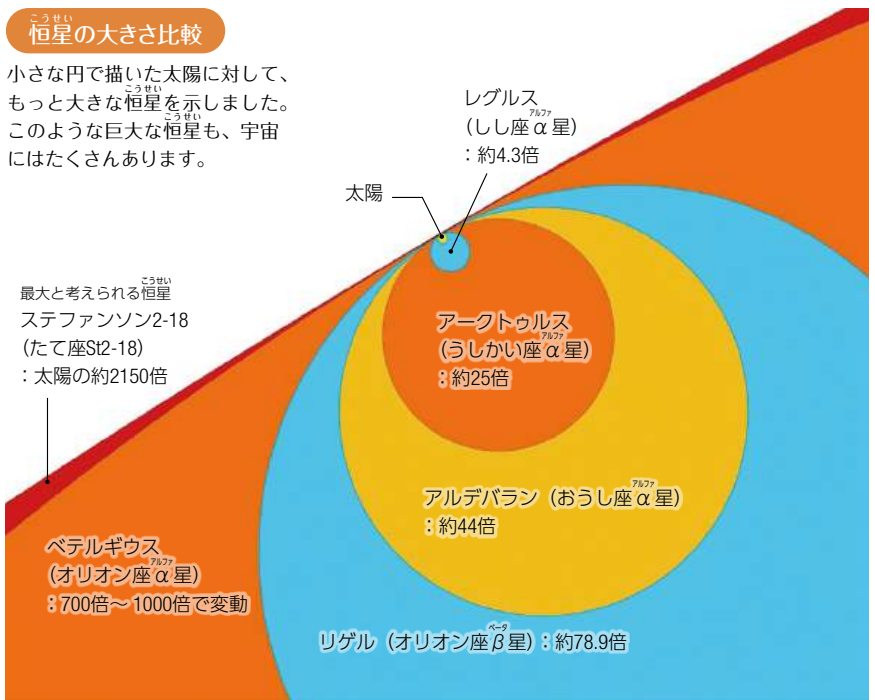
恒星の色のイメージ比較



※この図は色のイメージの比較で 実際の色と完全には一致しません

恒星の大きさ比較

小さな円で描いた太陽に対して、もっと大きな恒星を示しました。このような巨大な恒星も、宇宙にはたくさんあります。





銀河というと思い浮かぶのが、らせん構造をもった美しい渦巻銀河でしょう。実際に円盤状の銀河の約半数が、渦巻き構造を持っています。この構造はどのようにして作られたのでしょうか。

伺われるダークマターの存在

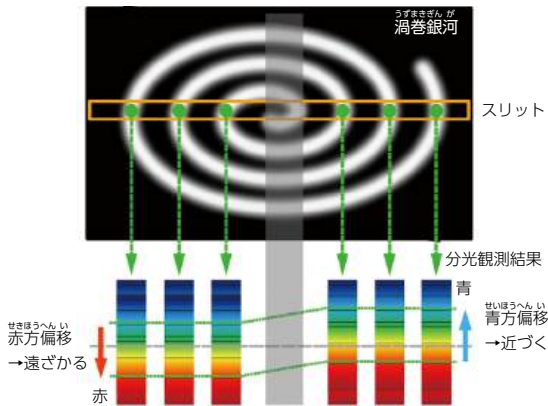
つむじ風や渦潮など自然の中で発生する渦巻きの多くは、回転速度が外側より内側のほうが速くなる（回転する度合いが大きくなる）ことができます。

しかし渦巻銀河にはこれが当てはまりません。1970〜80年代に発展した、光を調べて回転速度を計測する技術によって、銀河の外縁部分が内側に比べてそれほど遅くないことがわかってきたのです。

この他にいくつかの観測から、渦巻銀河の回転運動には星や星間物質だけでなく、光では観測できないもっと大きくて重い別の作用があることが推測されます。

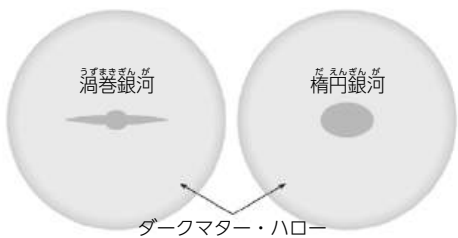
この「見えないけれど重い存在」の候補が「暗黒物質（ダークマター）」です（注1）。

渦巻銀河の運動を光で調べる方法



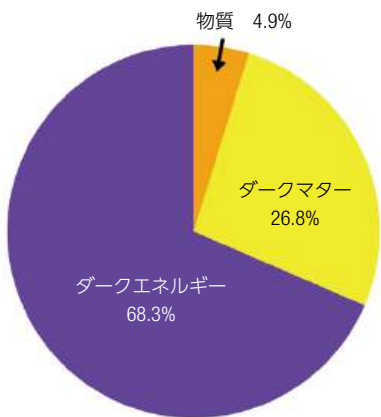
ダークマター・ハロー

銀河の周囲にはダークマターが取り巻いていると考えられます。その形は渦巻銀河であれ楕円銀河であれ、銀河の中心から遠ざかるにつれて少なくなる球のような対称型で、ダークマター・ハローと呼ばれます。



ダークマターが占める割合

全宇宙ではふつうの物質が占める割合は5%以下で、約27%をダークマターが、また約68%をダークエネルギーが占めていると考えられています。



クマター」です（注1）。

ダークマターが一緒に回る

ダークマターは電波を含めて光も出さず他の物質とも反応しません（このため「ダーク」見えない「暗黒の、マター」物質「なので」）。

ですので、運動する物質の影響を受けず、純粋に重力だけに反応して、銀河の周囲を球状に取り巻いていると考えられます。この球状ダークマターの中心付近で物質がたくさん集まると、回転速度が上がって円盤状に広がります。つまり、ダークマターがあつて銀河が生まれるのです。

身近に見られる渦では中心に比べ外側部分の速度が遅くなり、身近に見られる渦では中心に比べ外側部分の速度が遅くなり

しかし銀河では周囲のダークマターは内も外も同じように回転しているため、重力で引っばられて回転する物質（星）も引きずられて回転します。

周辺部であまり回転速度が落ちないのはこのためと考えられます。

ダークマターは現在の技術では直接観測できず、重力の影響を調べて存在を予測することしかできませんが、銀河の回転や銀河同士の運動などの宇宙での大きな運動では非常に大きな作用をおよぼしています（注2）。

誕生した銀河が渦巻銀河になるまで

宇宙が誕生して間もない頃には宇宙空間はどこも同じような密度で、偏りは「ほぼ」ありませんでしたが、それでもわずかなダークマター密度のゆらぎが周囲の物質を集めます。物質が集まるほどに重力も大きくなり、その密度が十分に高くなったところで小さな「原始銀河」ができます。原始銀河の中で第一世代の恒星が育まれます。この頃宇宙はほぼ水素、ヘリウムと暗黒物質で占められていましたが、同時期に原始銀河の中で水素とヘリウムが集まって最初の（第一世代の）恒星が誕生します。

宇宙に誕生した複数の原始銀河は衝突合体を繰り返してより大きな銀河へ進化し、円盤や楕円状の形になっていくと考えられています。

他の銀河の影響で渦巻きになる

銀河同士が衝突・合体するときには複雑なくみがいにくつも考えられています。特に物質同士が接近して衝突する場合は多くは、ま正面ではなくすれ違い状態から重力で引き合っただんだん近づいていくことです。

このときに互いに回転し合うと遠心力が作用するので、全体が円盤状に変化します。

衝突が進行しつつある銀河（マウス銀河）

NASA, H. Ford (JHU), G. Illingworth (UCSC/LO), M. Clampin (STScI), G. Hartig (STScI)



85ページで紹介した衝突銀河を詳しく見ると、2つの銀河から互いの重力によって引きずり出されたと考えられる物質（多数の恒星など）が、暗い影や細い筋として観察できます。

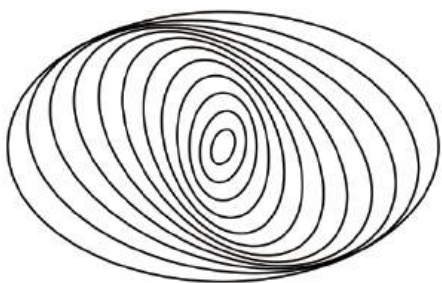
衝突銀河が残した帯状の構造が観察される銀河（NGC5907）

渦巻銀河NGC5907の周囲には細長い光の帯が見えますが、これは数十億年前に衝突してNGC5907に取り込まれた別の銀河の名残りと考えられています。銀河系（天の川銀河）にも似たような構造が見つかっています。

©2006- 2011 R Jay GaBany



渦巻き構造を作る密度波の模式図



User:Dbenbenn / User:Mysid

銀河の衝突などでできた密度の波が回転していく模式図。線が接近して濃く見えるところに恒星が集まり明るく見えます。またこの部分に星間物質も集まるので新しい恒星が誕生します。

銀河の想像図



NASA/JPL-Caltech/ESO/R. Hurt

銀河系（天の川銀河）は棒渦巻銀河と考えられています。この渦巻き構造は水などの渦とは異なり、物質（恒星）ではなく粗密の周期的な分布（密度波）が移動すると考えられています。

ちょっと補足 Point!

注1...ダークマターは存在が観測されていない理論上の存在なので必ずしも真実とは限りません。このため研究者の中にはダークマターの存在を仮定せず、力学の法則を修正することで銀河の回転速度を説明しようとする試みもなされています。

注2...ふつうの物質もエネルギーであると考えるとき、ダークマターは宇宙の平均エネルギー密度のほぼ4分の1（27%）を占めると考えられています。ふつうの物質は約5%以下で、残りの約4分の3（68%）はダークエネルギー（未知のエネルギーで理論上の存在）です。

渦巻銀河の渦状腕は多くの星が集まって動いているのではなく、銀河の中を重力の大きな帯が動いていく結果です。この部分に近づいた星々の間隔がせばまるので明るく見えますが、星々はつきつぎに入れ替わっています。つまり渦状腕は銀河のディスクの上を波打って伝わる密度の波で、この領域が通り過ぎるときに星間ガスなどの圧縮が起こって新しい星が誕生します。

さらに別の銀河がこの円盤の近くを通ると、たとえ衝突しなくても重力の影響で互いに大きな変形が起きます。円盤に渦巻き状の構造が生まれるのもこのためだと考えられています。私たちが住む銀河系（天の川銀河）の渦巻き構造も複数の銀河との衝突でできたと考えられます。

いくつかの銀河では他の銀河との衝突のときに、互いの星々が引き出されてできた帯状の構造がはつきり観察されます。銀河系（天の川銀河）のとなりのアンドロメダ銀河にも観察できます。

人類、 宇宙を考える

夜空の星々が地球の外にあることに気づいて以来、人類は宇宙の姿を解明する挑戦を続けてきました。では、私たち人類は、宇宙の姿をどのようにして調べたのでしょうか？

星々は遠くにある

宇宙の（主に太陽系の）しくみは紀元前からいくつかの考えがありました。世界的に定着したのは2世紀ごろにクラウディオス・プトレマイオスによって完成された天動説でした。天動説とは文字通り、地球は動かず、天に宇宙が動いているという考え方です。地球の運動は現在でこそ当然に理解されていますが、実感はありません。このことから人類は長い期間、地球は動いていないと考えていました。また天動説は宗教的な支援もあって、人類の（特に西洋での）常識となりました。そのような中でも人類は、「夜空に見える星々の大部分は太陽系の外側にある」ことに気づいていたようです。夜空を移動していく月や惑星に対して恒星は一定の位置関係を崩さず、またときどき月が恒星を覆い隠す現象が起きることなどがその理

由でした。

17世紀にはいって地動説が覆されたあとも、太陽以外の恒星は非常に遠くにあるとだけ理解され、天界の想像図には太陽系の外側に星座の星々が描かれました。

初の宇宙モデル

18世紀の後半から宇宙の全体像解明が大きく進みました。その初期にはウィリアム・ハーシェル（1738—1822年）が提唱した宇宙モデル（実際は銀河系モデル）があります。ハーシェルは見かけの明るさをもとに星々の距離を算出し、直径約6000光年の広がりを持つ宇宙モデルを考えました。いくつかの問題はありますが、科学的な方法で描いた最初の銀河系（天の川銀河）の姿と言えます。

ただし恒星の本当の明るさがわからないと、この方法では正確な計算はできません。また恒星は非常に遠く、地上で使える距離測定の方法も使えないため、宇宙像を描くのは長い間、科学者にとって難題でした。

ちょっと補足 Point!

ハーシェルは土星や天王星の衛星を複数発見し、二重星（ごく接近して見える恒星）のうち多数が互いを回り合っていることを見いだすなど、さまざまな業績を上げています。

古代の宇宙観

地動説が主流となる以前に考えられた宇宙のしくみ図です。中心に山野がある地球があり、周囲を月や太陽、惑星がとりまき、その外側に記号で示された星座があります。

Edward Grant, "Celestial Orbs in the Latin Middle Ages"



プトレマイオスの天球図

プトレマイオスの天動説に基づいた天球図です。1660年ごろに書かれた『大宇宙の調和』（アンドレアス・セラリウス著）に描かれた宇宙のしくみを表す立体図で、地球を中心とした太陽系と、帯状に黄道十二宮星座が描かれています。

Jan van Loon/ National Library of Australia

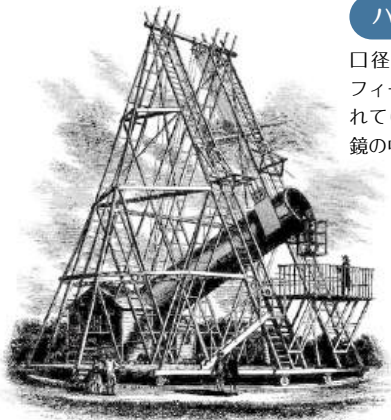
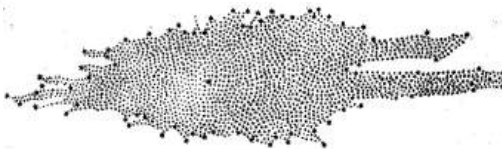


ハーシェルの40フィート望遠鏡

口径126cmの望遠鏡で、焦点距離が12mつまり40フィートだったことから「40フィート望遠鏡」と呼ばれています。ハーシェルが製作した400台以上の望遠鏡の中で特に有名なものです。Scanned from Leisure Hour, Nov 2, 1867

ハーシェルが描いた天の川銀河の構造図

ハーシェルは銀河系（天の川銀河）の星々が円盤状に分布することを明らかにし、星々の明るさから距離の比率を計算してその広がりを描きました。いくつか問題がありますが、これは観測と推論に基づく科学的な宇宙像であり、偉大な業績です。Caroline Herschel



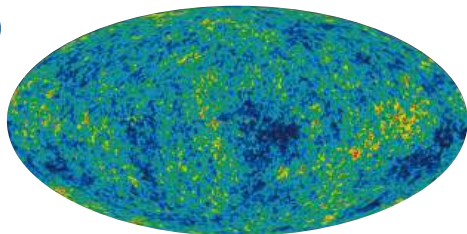
宇宙背景放射の発見

ビッグバンで宇宙が始まったのなら、その時に「火の玉」となった宇宙の熱はどうなったのでしょうか？
実は彼方の宇宙の果てから、138億年前の「火の玉」のなごりが届いています。

宇宙から届くマイクロ波

ビッグバン理論に基づいた宇宙論によれば、宇宙が誕生してインフレーションが起こり、その後宇宙はいわゆるビッグバンという「火の玉」状態になります。

宇宙誕生から約38万年後に電磁波（光や電波）が宇宙空間を自由に通れるようになりましたが（↓第6章）、この頃の宇宙の温度は約3000Kだったと考えられています。これ以前は光が動かせませんでしたが生後38万年の時点で発せられたビッグバンの熱エネルギーは、その後も宇宙空間に広がりに続きしてきました。そして約138億年経った現在でも、地球に届いています。これが「宇宙背景放射^{注1}」で、具体的には電波（マイクロ波）です。

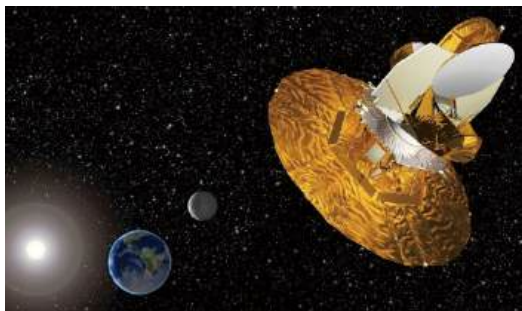


WMAPにより観測された宇宙背景放射

WMAPの観測によって作られた、宇宙背景放射の全天マップです。ざらついているのはごくわずかな温度差を強調しているためで、温度の高低差は大きくても10万分の3Kほどとされています。NASA/WMAP Science Team

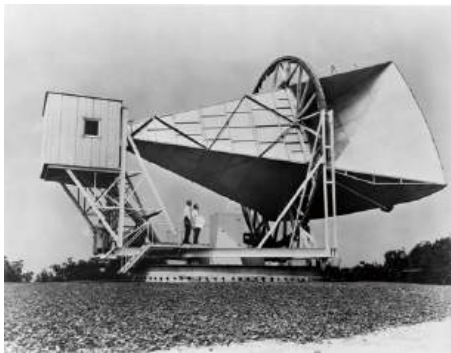
WMAP衛星（ウィルキンソン・マイクロ波異方性探査機）

NASAが打ち上げた宇宙背景放射観測のための探査機です。2001年6月に打ち上げられ、地球と太陽のラグランジュ点（地球の影の中で太陽からの直射が届かない位置）に留まって2010年8月まで観測を続けました。NASA / WMAP Science Team



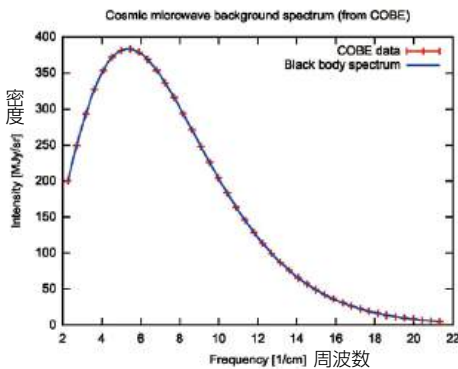
宇宙背景放射をとらえたベル研究所のアンテナ

1964年にアメリカのベル電話研究所（現在はベル研究所）でこの大型アンテナの雑音を減らす研究を行っていたときに偶然に宇宙背景放射を検出しました。研究者2人はノーベル賞を受賞しました。NASA



宇宙背景放射のスペクトル

宇宙背景放射がビッグバンの熱の名残である証拠のひとつは、この電波のスペクトル（赤）が黒体放射のスペクトル（黒）と非常によく一致する点です。このグラフは宇宙背景放射探査機（COBE）の観測結果と黒体放射とを比較したものです。Quantum Doughtnut



ビッグバンのなごり

このマイクロ波は宇宙の全方向から届いていることや、その強さなどのばらつき（ゆらぎ）がきわめて小さい^{注2}という特徴を持っています。

さらにこのマイクロ波のスペクトルは絶対温度2.725度（2.725K）約3K・マイナス270℃の黒体放射^{注3}のスペクトルと非常によく一致します。つまり宇宙でいちばん遠くにある場所、つまり宇宙の背景はほんのわずかですが熱を帯びていることが示されます。

ビッグバン直後に放たれた光が宇宙膨張で遠ざかることで赤方偏移し（引き伸ばされて）波長が長くなってこの波長になったと考えられます。つまり宇宙背景放射は、ビッグバンがあったことの直接の証拠なのです。

ちょっと補足 Point!

1964年、アメリカのベル電話研究所でアンテナの雑音を減らす研究をしていたところ、空に向けたときにわずかな雑音が入る現象があり、その後これが宇宙背景放射だとわかりました。

注1...宇宙背景放射は、この他に「宇宙マイクロ波背景放射」や「3K背景放射」とも呼ばれます。注2...宇宙背景放射のゆらぎは見かけの10度離れた2点で較べると、強さのおよそ10万分の1という小ささです。注3...黒体放射とは、あらゆる波長の電磁波を完全に吸収あるいは放射できるような物体（黒体）が放つ電磁波や熱のことです。温度ごとにスペクトルが変化するので、スペクトルで温度を調べることができます。

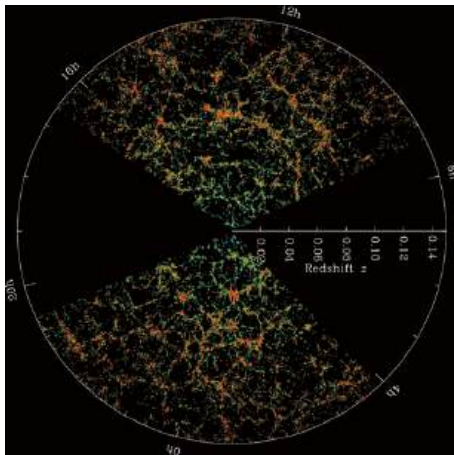
《宇宙誕生後138億年》 宇宙の大規模構造と未来

恒星や銀河が誕生と終焉を繰り返して進化を続けた宇宙は、銀河や銀河団がフィラメントやウォールとして分布し、ポイドを包み込む泡のような大規模構造を持つようになりました。宇宙誕生後138億年の現在の姿です。

宇宙の泡構造

宇宙の大規模構造はおおまかに見ると、立体的には泡のような構造をしています。銀河や銀河団が糸のようにつながる「銀河フィラメント」や壁のような面の群れになる「銀河ウォール」と、直径数千光年という広大な空間にわたって銀河がわずかしか分布しない「ポイド（超空洞）」の大きく3つの要素でできています。

泡のたとえば泡の膜が銀河ウォール（注）、その合わせ目が銀河フィラメントで、内部の空気のかたまりがポイドです。泡の大部分が空気＝空間であることからわかるように、宇宙も大部分がポイドです。

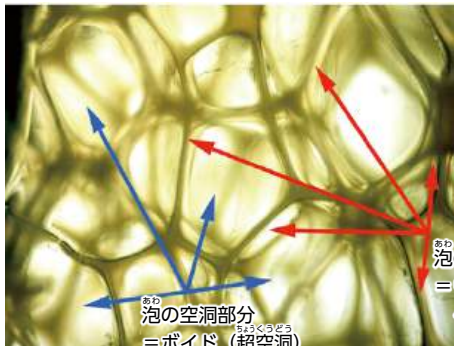


SDSSで描かれた大規模構造

1998年から2005年まで行なわれた初の宇宙地図構築プロジェクトのスローン・デジタル・スカイサーベイ（SDSS）によって描かれました。M. Blanton and SDSS

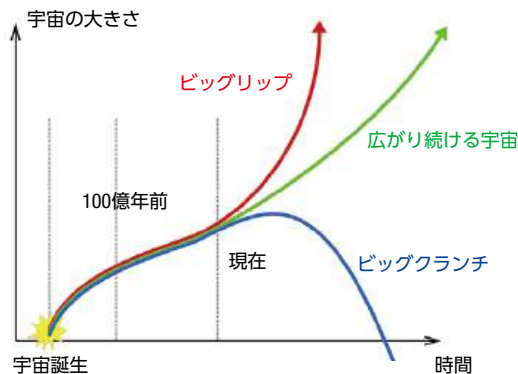
スポンジの泡と宇宙の構造

石けん水などの泡は、水の膜が空気をくんだ粒でできていて、これはスポンジのしくみも同じです。泡の膜が宇宙大構造でのウォール、空気のかたまりがポイドに相当する構造です。このため宇宙の大構造はしばしば泡構造と表現されます。



宇宙膨張の3つの展開

宇宙膨張は加速していることがわかっていますが、将来については大きく3つのシナリオがあります（→第5章）。その中で、膨張が緩やかに加速し続ける「広がり続ける宇宙」が有力です。



ちょっと補足 Point!

宇宙の大規模構造はコスミック・ウェブ（宇宙の網）とも呼ばれますが、これは泡を平面で切ると網の目の形になるためです。

このような泡構造の形成は、ダークマター同士が重力で引き合つ力に支配されています。ダークマターのかたまりが重力で引き合つて接近して巨大なかたまりとなり、その中にふつつの物質が引き寄せられて恒星の形成が進み、さらに銀河から銀河団になると考えられています。つまり私たちの目でとらえられるのは、ダークマターの骨組みにそつて構成された銀河や銀河団と、そこに含まれる無数の恒星です。

一方、現在の宇宙はダークエネルギーの作用で加速膨張を続けています。遠い将来には第5章でも紹介したように「熱的死」などの終焉に到ると考えられます。

ただし、この話の主役である、宇宙を作るダークマター、終わらせるダークエネルギーの両方とも、いまだ発見されておらず、見つける方法も確定していない存在です。

注：巨大なウォールが「プレートウォール」です。特に巨大な「スローン・プレートウォール」、最初の1989年に発見された「CfAプレートウォール」などいくつかあります。

ダークマターの骨組みをダークエネルギーが引き裂く



天文学、 宇宙に乗り出す

第二次世界大戦中に発達したロケットの技術をもとに、20世紀後半に宇宙開発が始まりました。現在、宇宙飛行の技術は宇宙望遠鏡や月や惑星・小惑星の接近観測など、天文学に欠かせない重要な役割を果たしています。

科学衛星の発達

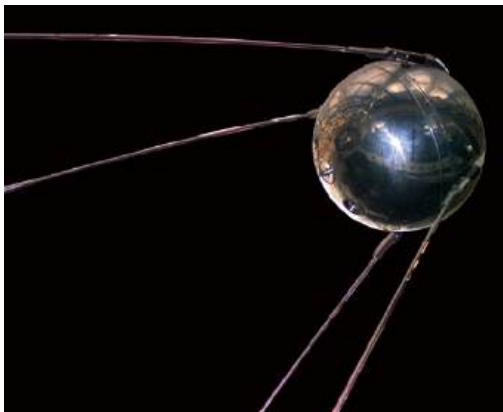
1957年に人類初の人工衛星「スプートニク1号」が旧ソ連（現在のロシア）によって打ち上げられ、宇宙開発時代が幕を開けます。もともと東西冷戦を背景とした軍事利用目的でしたが、そのような中でも多くの科学的な成果があげられました。

初期の成果としては1958年に打ち上げられたアメリカの「エクスプローラー1号」による地球周囲の放射線帯「ヴァン・アレン帯」の発見があります。

その後には通信や放送などの実用衛星の他、たくさんの科学観測衛星や測地・地球観測衛星、宇宙望遠鏡などが打ち上げられて、最新の天文学を支えています。

スプートニク1号

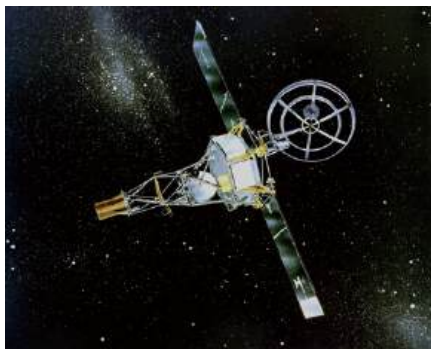
1957年に当時のソビエト連邦が打ち上げた世界初の人工衛星で、電波を発信しながら地球周回軌道を約1年間、回りました。直径58cm、重さ83.6kgでした。NASA



マリナー2号

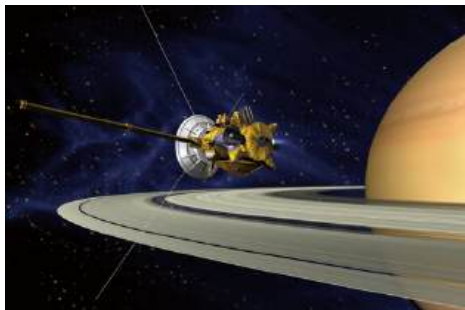
1962年に打ち上げられたアメリカの金星探査機で、金星に約3万5000kmまで接近して金星表面が高温であることなどの多くの発見をしました。

NASA/Jet Propulsion Laboratory



土星探査機「カッシーニ=ホイヘンス」

2004年に初めて土星を回る軌道にのった探査機で、ホイヘンスは分離して衛星のタイタンに着陸しました。カッシーニは人類の探査機としてはじめて土星の環の内側をくぐり、土星大気圏に突入して活動を終わりました。NASA/JPL



土星の影の中から見た土星本体と環



カッシーニ探査機が土星の影から逆光で環を見た画像で、はるか遠くに広がるきわめて薄い環の他、ダイナミックな構造が見えています。NASA/JPL-Caltech/SSI

探査機で接近して調べる

一方、月や他の惑星、小惑星などに接近して観測を行なう宇宙探査機も天文学に寄与しています。たとえば、アポロ月探査船が持ち帰った岩石サンプルの分析結果が、176ページで紹介したコンピュータ・シミュレーションと結びついて、新たな学説を後押ししました。また2000年代の「はやぶさ」や「はやぶさ2」が得たサンプルは太陽系の成り立ちについての貴重な情報になっていきます。

惑星については1960年代後半からアメリカの「マリナー探査機」が金星・水星・火星につきつきと送られ、接近しての写真撮影を行ない、20世紀末には火星への軟着陸にも成功します。2021年からは「マーズ2020計画」の小型探査車（ローバー）が火星で生命存在可能性などを探っています。

ちょっと補足 Point!

注：第二次世界大戦後、世界はアメリカを中心とした西側と、ソビエト連邦（現在のロシア）を中心とした東側の2つに別れて対立し、武力衝突のない冷戦の状態になりました。

1977年に打ち上げられた「ボイジャー1号・2号」は木星・土星・天王星・海王星を観測後、現在も飛行中で、太陽系を出て銀河系の宇宙空間に飛び出しています。

時間旅行は可能か

空間を超光速で飛び越えるのがスペーススワープなら、時間を飛び越えるのがタイムワープで、よくタイムスリップとか時間旅行などと呼ばれます。これもSFでは定番ですが、実際は可能なのでしょうか？

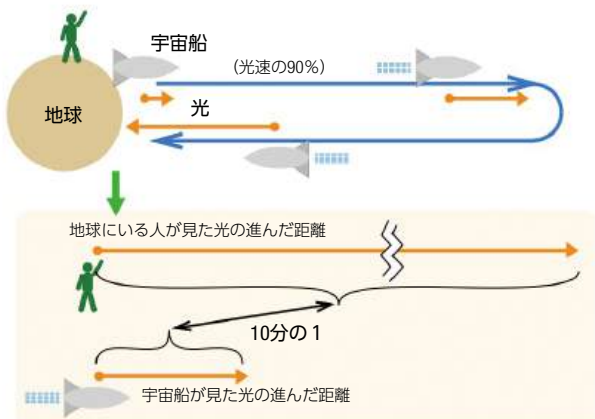
時間とは何か

時間とは、何らかのできごとや変化を理解したり計測するための「尺度（スケール）」のひとつで、物理学では長さや質量、電荷などと同じ基本的な量です。約138億年前に宇宙誕生のときに始まり流れ続けているとか、私たちが時間の軸にそって進んでいるなどと考えます。一方、なぜ時間が流れるのかについては現段階では「この宇宙がそのような性質を持っているから」としか言えません。

でも、アインシュタインが示した相対性理論によれば、時間と空間と物質（質量）は互いに結びついています。ですので、空間あるいは物質のコントロールで時間をゆがめられる可能性が完全に「ない」とは言えません。

ウラシマ効果

光速に近い速度で動く宇宙船を仮定すると、地球にいる人が見る光が進む距離より、乗っている人が見る光が進む距離がはるかに小さくなります。光速は不変なので宇宙船内より地球上では時間がはやく進んだことになります。



(はてなクマのひらめき研究所 <https://hatenakuma.com/question> を参考に作成)

軌道上の衛星での時間

国際宇宙ステーションは地球周回軌道を秒速約7.7kmで飛行しているため、時間の進み方が地上に較べて1年間あたり0.009秒遅くなっています。NASA



タイムワープの可能性

タイムワープにはいくつか具体的な方法が考えられています。が、現実的なひとつは超光速で移動して時間の進み方を遅らせることにより、未来に「ワープする」方法です。人工衛星など、高速移動すると起きることは確認されています（いわゆる「ウラシマ効果」）。また質量による重力で時間の進み方が変わることは、非常に高精度な時計による計測で確かめられています。大きな質量を利用すれば時間を遅らせることは理論的に可能です。

さらに、非常に大きな重力を発生するブラックホールの近くでは強大な重力で時空がゆがみ時間の進み方が遅くなるため、そのような場所を宇宙船で通過すれば実質的に未来に行くことができる計算になります。

ちょっと補足 Point!

超高精度（誤差が100億年に1秒以下）の「光格子時計」でスカイツリーの地上450メートル地点と根元とで時間の進み方を調べたところ、重力が強く作用する地上が上空よりも1日あたり4・26ナノ秒（ナノは10億分の1）の比率で時間が遅く進むことが2020年に確かめられています。

注：ここでは人工冬眠で未来に行くとか、意識をコントロールして時間感覚を調整するなどは別のテーマなので考えません。