地球の公転軌道は、押しピンの穴の百兆倍ぐらいの大きさです。

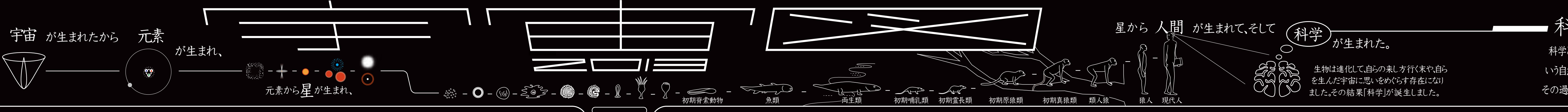
宇宙とはなんだろうか？

宇宙とは、すべての物質的存在を含んだ時間と空間の広がりです。私たちや、私たちが目にする景色、そこに生きる動物や植物は、すべて宇宙の一部です。夜空に輝く星々や、そのあいだに淡く広がる天の川、巨大な望遠鏡でしか見ることのできない遠くはるかな銀河も、すべて宇宙の一部です。私たちの知るすべてを含み、さらにそのかなたへと広がっているもの、それが宇宙なのです。

観測機プランク

この宇宙図は一様かつ等方な、曲率のないルメートル宇宙を前提とし、観測機プランク等の最新の観測成果に基づいて計算されたものです。

宇宙図 2013


宇宙 が生まれたから
元素 が生まれ、
元素から星が生まれ、
初期脊索動物
魚類
両生類
初期哺乳類
初期霊長類
初期原猿類
初期真猿類
類人猿
猿人
現代人
星から 人間 が生まれて、そして
科学
が生まれた。

生物は進化して、自らの来し方行く末や、自らを生んだ宇宙に思いをめぐらす存在になりました。その結果「科学」が誕生しました。

科学とはなんだろうか？

科学とは、宇宙に含まれるすべてのモノやコトを理解するための方法です。私たちが何か不思議なことに気がついたときの「なぜ?」という自然な問いかけは、科学への第一歩です。興味をもった対象を実験や観測で調べ、より深く理解することは、科学する行動です。その過程で新しい見方や考え方に気づくなら、それは科学的発見です。私たちが宇宙を知る方法のひとつ、それが科学なのです。

地球は、押しピンの穴の百億倍ぐらいの大きさです。

宇宙図の見方

4つのルールで、
宇宙を感じてみよう

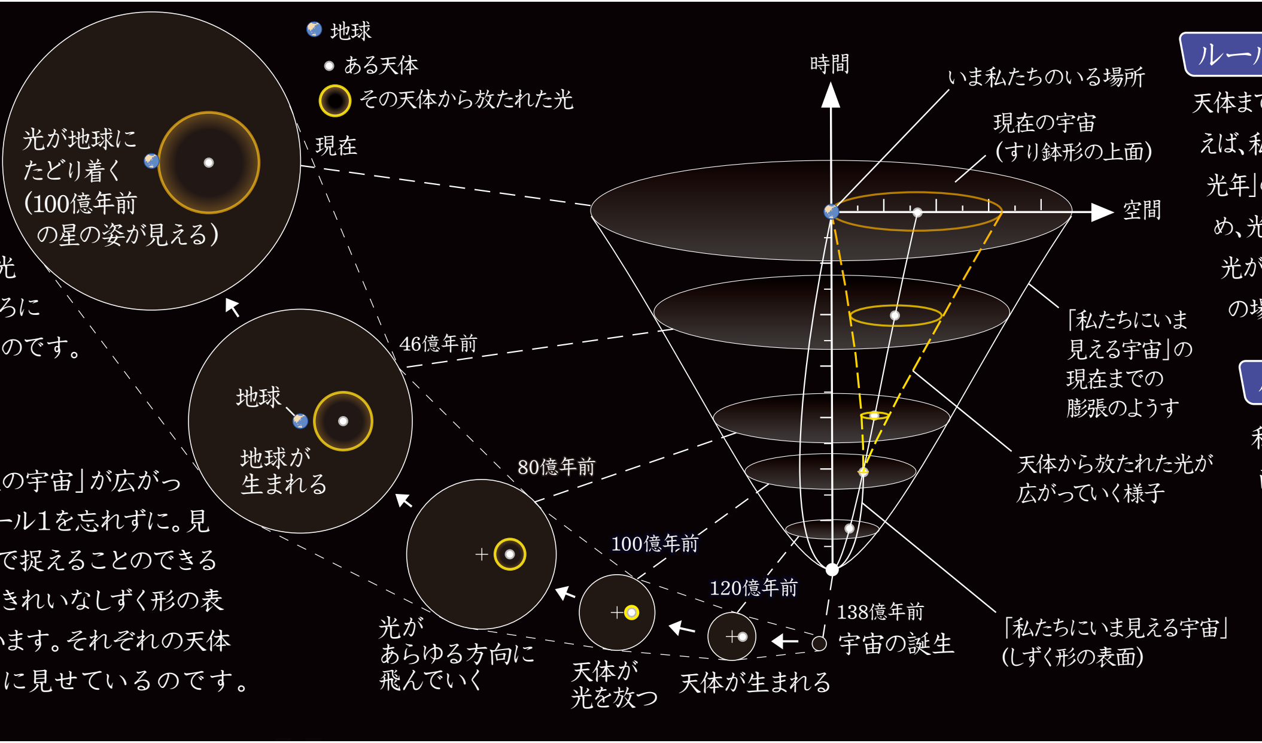
この「宇宙図」は、最新の研究や観測にもとづく宇宙の姿を、私たち人間を中心にして描いたものです。縦方向には、人間からさかのぼって宇宙の誕生までの「時間の流れ」が表され、横方向には、宇宙の「空間の広がり」が表されています。全体のすり鉢のようなかたちから、宇宙は生まれてからずっと、膨張を続けていることがわかります。この宇宙図は、あなたがはるかな時間と空間を旅するためのガイドマップ。4つのルールを味方につけて、あなたの眼で、宇宙の姿にせまってみてください。

ルール1 宇宙を見ることは、昔を見ること

不思議なことに、地球から宇宙をながめると、そこに見えるのは昔の宇宙の姿です。例えば私たちに見える太陽は、8分ほど昔の姿。すばる(散開星団M 45)は400年ほど昔の姿なのです。なぜ、そんなことが起こるのでしょう? 私たちにものが見えるのは、そこから発した光が、私たちに届くから。けれど宇宙の星々はとても遠いので、光でさえやってくるのに時間がかかります。そのため、こちらに届くころには、その光が伝える星の姿はもう「昔の姿」になってしまっているのです。

ルール2 見える宇宙と見えない宇宙がある

宇宙図の中心に描かれた私たち人間の前後左右には、「現在の宇宙」が広がっています。しかし私たちに、その宇宙の姿は見えません。ルール1を忘れずに。見えているのは、昔の宇宙なのです。私たちが肉眼や望遠鏡で捉えることのできる天体をこの宇宙図に並べていくと、図の中心にあるような、きれいなしずく形の表面になります。宇宙のこの部分だけを、私たちの眼は見ています。それぞれの天体は、何千年前、何億年前と、違う時代の姿を私たちに見せているのです。


地球
ある天体
その天体から放たれた光
光が地球にたどり着く(100億年前の星の姿が見える)
現在
地球
地球が生まれる
46億年前
80億年前
100億年前
120億年前
138億年前
宇宙の誕生
光があらゆる方向に飛んでいく
天体が光を放つ
天体が生まれる
時間
空間
いま私たちのいる場所
現在の宇宙(すり鉢形の上面)
「私たちにいま見える宇宙」の現在までの膨張のようす
天体から放たれた光が広がっていく様子
「私たちにいま見える宇宙」(しずく形の表面)

ルール3 宇宙では、遠くの距離は要注意

天体までの距離を表す時によく使われるのが、「光が旅をしてきた道のり」です。例えば、私たちに見える宇宙の中で一番遠くからきた光は、138億年をかけて「138億光年」の距離を旅してきました。しかしその長い旅の間にも宇宙は広がり続けたため、光が進んでこなければいけない道のりは、スタート時点よりもどんどん伸び、光が放たれた場所自体も、はるかに遠ざかってしまいました。光が届いた現在、その場所は、もう私たちから450億光年のかなたに離れていると推測されています。

ルール4 宇宙は「科学の眼」で見えてくる

私たちに見える宇宙は、広大な宇宙の、ほんのひとしずくです(しずく形の表面)。しかし「科学の眼」は、それを手がかりに、さまざまなことを明らかにしてきました。私たちに見える宇宙が、どうやって誕生したのか(すり鉢形の底の部分)。それがどのように広がってきたか(すり鉢形の表面のかたち)。そしてすり鉢形の向こうにも、宇宙は遠く広がっているという可能性。この宇宙図には、そうした科学的発見の成果がたくさんに詰まっています。宇宙は、あなたに読み解かれるのを待っています。

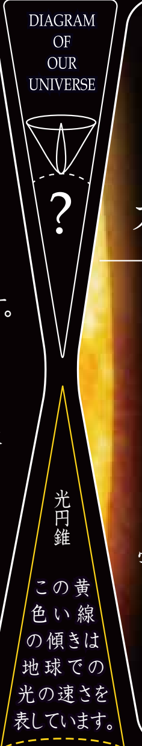


DIAGRAM OF OUR UNIVERSE
?
光円錐

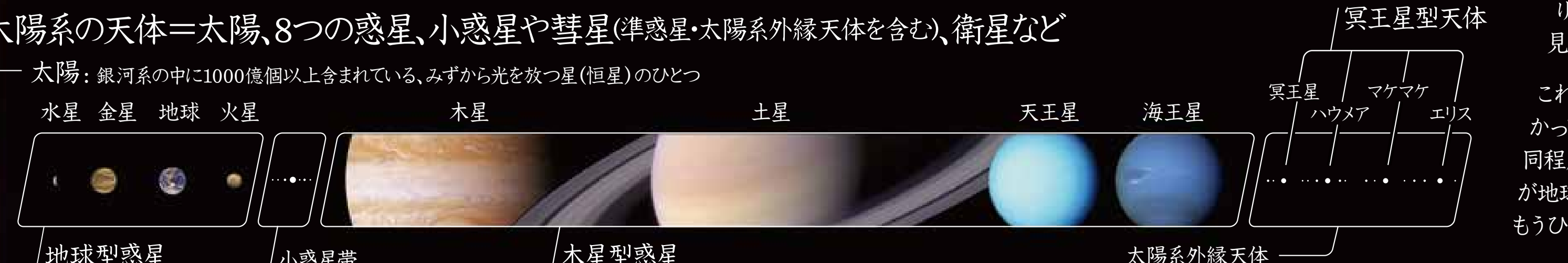
この黄色い線の傾きは地球での光の速さを表しています。

太陽系天体に生命を求めて

私たち人間の住む地球以外に、この宇宙に生命は存在するのでしょうか? まずは私たちに身近な太陽系の天体たちから、その可能性を探ってみましょう。太陽系は、大きさも環境もさまざまに異なる、数多くの天体からなっています。

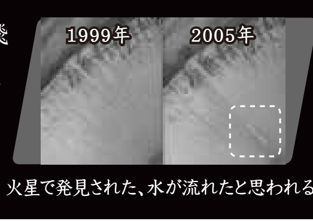
太陽系の天体＝太陽、8つの惑星、小惑星や彗星(準惑星・太陽系外縁天体を含む)、衛星など

太陽：銀河系の中に1000億個以上含まれている、みずから光を放つ星(恒星)のひとつ


水星
金星
地球
火星
木星
土星
天王星
海王星
冥王星型天体
冥王星
マケマケ
ハウメア
エリス

地球型惑星：主に岩石でできた惑星
小惑星帯
木星型惑星：主に水素やヘリウムなどでできた巨大惑星
太陽系外縁天体：海王星軌道の外側にある氷でできた天体

宇宙探査技術の発展により、地球外に生命を探す科学的な研究が始まっています。太陽系内の天体には、直接探査機を飛ばして生命の痕跡を探すことができます。探査すべき候補と考えられているのは、地下に液体の水があるかもしれない火星や、表面を覆う氷の下に海が広がっている可能性のあるエウロパ(木星の衛星)など。知的生命体や進化した生物の可能性はほとんどありませんが、いつか地球の微生物のような存在が、これらの天体で発見される日がくるかもしれません。


1999年
2005年

火星で発見された、水が流れたと思われる痕

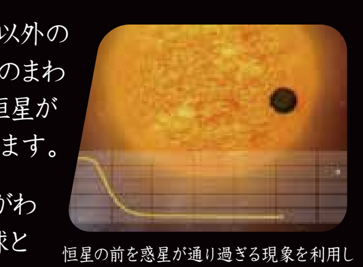
エウロパ

もうひとつの地球を探して

太陽系の外に広がるはるかな宇宙にも、生命は存在するのでしょうか?夜空に瞬く太陽以外の恒星に初めて惑星が発見されたのは、1995年のこと。以来、天文学者たちは、惑星が恒星のまわりを公転することで恒星がわずかにふらつく運動や、惑星が恒星の前を通り過ぎることで恒星が見かけ上少し暗くなる現象などを手がかりに、800個以上の太陽系外惑星を発見しています。

これまで天文学者たちが行ってきた観測から、太陽系外には多様な惑星系が存在していることがわかってきました。そして最近では、木星型の大きくて重い惑星だけでなく、より小さくて軽い、地球と同程度の大きさや質量を持つ惑星まで発見されるようになってきました。さらに、恒星からの距離が地球のように適切なため、その表面に液体の水を持ちうる惑星もいくつか発見されてきています。もうひとつの地球と呼べるかもしれない惑星が、いよいよ発見される日も近いかもしれません。

太陽系外の天体はあまりに遠いので、もうひとつの地球と呼べるような惑星が見つかったとしても、探査機を直接飛ばすことはできません。そこで、惑星の表層環境や大気を地上の超大型望遠鏡や宇宙望遠鏡で観測して、液体の水の存在を調べたり、酸素やオゾン、メタンなど生物が作り出す可能性のある物質(バイオマーカー)の痕跡を探して、そこが生命を育む環境かどうかを調べる方法が考えられています。今後のさらなる研究によって、地球のような惑星や地球型の生命が、宇宙の中で普遍的な存在かどうかが明らかになっていくでしょう。


恒星の前を惑星が通り過ぎる現象を利用した、太陽系外惑星探査の方法(トランジット法)

日本も参加し、国際協力によってハワイ島マウナケアに建設される予定の超大型望遠鏡TMT

宇宙はどのように生まれたのか？

私たちをとりまく広大な宇宙。この見渡す限りの大宇宙は、かつては目にも見えないほどの小ささでした。現代の科学は、私たち人間を生み出した宇宙の謎にせまり、宇宙創世の驚くべきシナリオを明らかにしつつあります。138億年のはるかな宇宙の歴史を、その誕生の瞬間までさかのぼってみましょう。

すばる望遠鏡

電磁波

短 ―― 波長 ―― 長

ガンマ線	X線	紫外線	可視光線	赤外線	電波

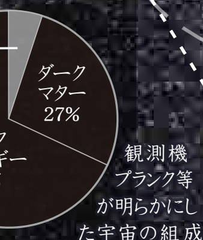
私たちの見ることができる光(可視光線)だけでなく、電波やX線、ガンマ線も「光の仲間」です。これらを「電磁波」とよびます。宇宙の観測は、主に天体から放たれる電磁波を、望遠鏡などで捉えることによって行われます。さまざまな観測によって、私たちは宇宙を知る手掛かりを得ることができるのです。

推測される「現在の宇宙」の姿

暗黒の中に輝く星々

銀河団 Abell 426　渦巻銀河 M 101

最新の観測が明らかにした宇宙の姿。それは、宇宙を構成する成分の約7割が宇宙膨張を加速させる謎のエネルギー「ダークエネルギー」、3割近くが正体不明の物質「ダークマター」であり、普通の「元素※」は5%程度である、というものでした。この宇宙には、星が数百億、数千億集まっている銀河や、銀河が数百個、数千個も集まっている銀河団、さらに何億光年にもまたがった銀河の網の目状の構造「大規模構造」など、多様な階層構造が存在していることもわかってきています。

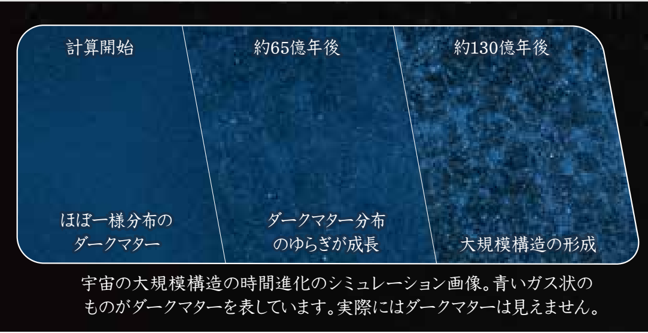


観測機プランク等が明らかにした宇宙の組成

※ 私たちのまわりのすべてのものを作っている基本的な成分のことを元素といいます。私たちをはじめ、動植物から夜空に輝く星々までのすべては、元素の組み合わせだけからできています。

宇宙に現れる網の目

ダークマターと大規模構造

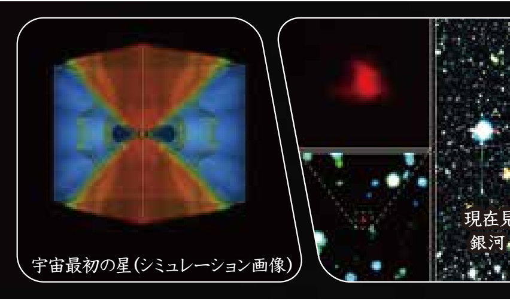

計算開始
約65億年後
約130億年後
ほぼ一様分布のダークマター
ダークマター分布のゆらぎが成長
大規模構造の形成

宇宙の大規模構造の時間進化のシミュレーション画像。青いガス状のものがダークマターを表しています。実際にはダークマターは見えません。

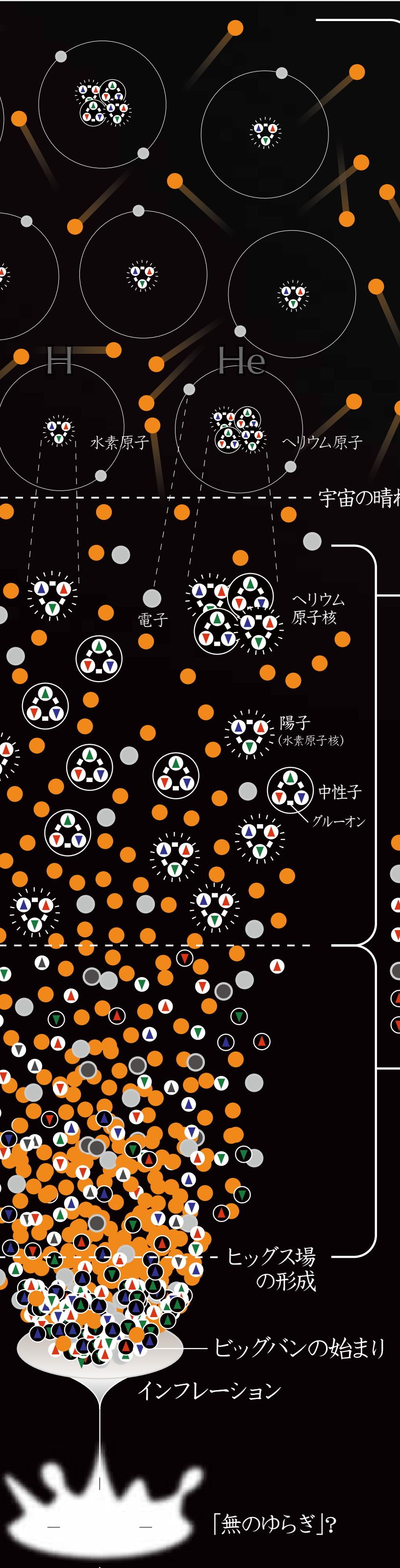
銀河はなぜ、網の目状に分布しているのでしょうか?その原因となったのが、ダークマター。重力は働くものの、直接観測することのできない、いまだ正体不明の物質です。かつてこの宇宙では、ダークマターがまわりよりわずかに多い部分に、重力によっていっそう多くのダークマターが集まり、立体的な網の目のような「大規模構造」が作られていったと考えられています。ダークマターの多い部分には普通の物質もより多く集まるので、この大規模構造をなぞるようにして、やがて銀河が誕生したのです。

最初の星が宇宙に灯る

星や銀河の出現


宇宙最初の星(シミュレーション画像)
現在見つかっている最も昔の銀河 SXDF-NB1006-2 (130.9億年前)

約131億年前には、銀河はすでに宇宙に存在したことが、観測からわかっています。しかし最初の星がいつ頃生まれたのかについては、正確なことはわかっていません。宇宙で最初の星たちはおそらく、太陽の40倍程度の重さを持っていました。その巨大な星々は、内部でさまざまな元素を作り出した後、超新星爆発を起こして宇宙に消えていきました。こうしてまき散らされた元素が、次の世代の星の種となったのです。


H
He
水素原子
ヘリウム原子
宇宙の晴れ上がり
電子
ヘリウム原子核
陽子(水素原子核)
中性子
グルーオン
ヒッグス場の形成
ビッグバンの始まり
インフレーション
「無のゆらぎ」?

- ● 光子
- ● 電子
- ▲▲▲ アップクォーク
- ▼▼▼ ダウンクォーク

粒子

- ● 陽電子
- ▲▲▲ 反アップクォーク
- ▼▼▼ 反ダウンクォーク

反粒子

原子が登場し、宇宙が晴れ上がる

原子核と電子の結合

宇宙誕生から約37万年後、「宇宙の晴れ上がり」が起こります。それまでの宇宙は、高温のため大量の「電子※1」が飛び交っていました。光(光子)は、この電子と衝突してしまって直進できず、そのため宇宙は雲の中のように不透明だったのです。しかし宇宙の温度が約3,000度まで下がると、電子は原子核と結合して「原子」となり、光をじゃましなくなりました。こうして、宇宙は見通しが良くなったのです※2。原子のなかでも同じ性質を持つもの同士が元素ですが、この元素が、最初の星たちの材料となっていきます。

※1　この世界の物質をバラバラにしていったときに、これ以上分けられない最小の要素を「素粒子」といいますが、電子や光子はこの素粒子の一種です。

※2　この時に解き放たれた光を、私たちは現在「宇宙マイクロ波背景放射」として観測することができます。

すべてを生み出した3分間

物質生成の出発点

宇宙誕生直後の約3分間。それは、私たちのまわりにある、すべての物質のもとが生み出された時間でもありました。超高温の宇宙は、この間に急激な膨張を起こしながら冷えていきました。その中で、物質のもとである素粒子のうち「クォーク」と呼ばれるものが集まり、陽子や中性子となりました。さらにはその陽子や中性子が集まって、元素の中でももっとも軽い、水素やヘリウムの「原子核」がつぎつぎと生み出されたのです。このとき生まれた原子核は、総数の92%が水素、残り8%がヘリウムでした。それでは、宇宙誕生の瞬間にもっと近づいてみましょう。

超高温の火の玉宇宙

灼熱のビッグバン

宇宙は誕生直後、莫大なエネルギーで加熱され、超高温・超高密度の火の玉となりました※1。ビッグバンの始まりです。その中で、光子を含む大量の素粒子が生まれました。それらは光の速さで飛び交っていましたが、ビッグバンの始まりの約1兆分の1秒後に「ヒッグス場」が形成されて、それとの相互作用によって特定の素粒子は動きにくくなり、光よりも遅くなりました。「動きにくさ＝慣性質量※2」を持ったのです。素粒子には「粒子」と「反粒子」があり、お互いが出会うと消滅し、光のような軽い粒子になる性質を持っています。しかし粒子の方が反粒子より10億個に1個ほど多かったため、粒子の方が残ることになりました※3。これが、現在の宇宙の物質のもとになったと考えられているのです。

※1　この時の温度は10億度の10億倍のさらに10億倍にもなります。

※2　質量には、「動きにくさ」である慣性質量と、万有引力を引き起こす重力質量の2つがあります。これらは全く同じ大きさになりますが、なぜ同じになるのかはわかっていません。

※3　反粒子は今も生まれては消えています。

時間と空間の始まり

宇宙の急膨張「インフレーション」

ビッグバンのすさまじい高温は、その直前まで宇宙に満ちていたエネルギーが熱に変化したものでした。宇宙は誕生直後からビッグバン直前までの間、1秒に遠く及ばない極めて短い時間に、「インフレーション」と呼ばれる、数十桁も大きくなるような猛烈な加速膨張※を起こしたのです。現在の宇宙膨張を加速させているダークエネルギーと同じ、しかしその100桁以上もの驚異的な大きさをもった「真空のエネルギー」が、生まれたばかりの宇宙空間を倍々に膨張させていったのではないかと考えられています。そしてこのインフレーションとともに、この宇宙には、時間が流れ、空間が広がり始めたのです。

※ この膨張のスケールを例えるなら、ウイルスが一瞬にして銀河団以上の大きさになるほどの、想像を絶するものでした。

素粒子の種類

物質粒子	クォーク	アップクォーク、ダウンクォークなど
	レプトン	電子やニュートリノなど
力を伝える粒子	光子	「電磁力」を媒介
	ウィークボソン	素粒子の間に働く「弱い力」を媒介
	グルーオン	クォーク同士をつなぐ「強い力」を媒介
	ヒッグス粒子	ヒッグス場の働きに伴う粒子

宇宙の誕生にせまる

始まりは「無のゆらぎ」？

生まれたての宇宙では、次元の数も、いまとは違っていた可能性があります。ある説によれば、宇宙は最初11次元で、やがて余分な次元が小さくなり、空間の3次元と時間の1次元だけが残ったのだといいます。また宇宙の始まりについて、ある説では宇宙は「無のゆらぎ」から生まれたとしています。「無のゆらぎ」とは、物質も空間も、時間さえもない中で、ごく小さな宇宙が生まれては消えている状態のこと。それらの宇宙のひとつが何らかの原因で消えずに成長したのが、私たちの宇宙だというのです。では「無のゆらぎ」は何から生まれたのか。さらに「無のゆらぎ」の生みの親は、何から生まれたのか…。私たちはいつか、始まりの始まりへとたどりつけるのでしょうか?

押しピンの穴は、生まれたての宇宙の1億倍の、1億倍の、1億倍の、1億倍ぐらいの大きさです。

膨張の軌跡

このすり鉢形は「私たちにいま見える宇宙」の、宇宙誕生より現在までの膨張の軌跡を表しています。一番外側が一番速く私たちから遠ざかりますが、その現在の速度は光速の3倍以上です。

加速する宇宙の膨張

最初期のインフレーションの後、膨張の速度はだんだん遅くなってきました(減速膨張)。しかし60億年ほど前から現在に至るまで、膨張の速度は速くなっていること(加速膨張)が観測されています。

すり鉢形の外はどうなっているのか？

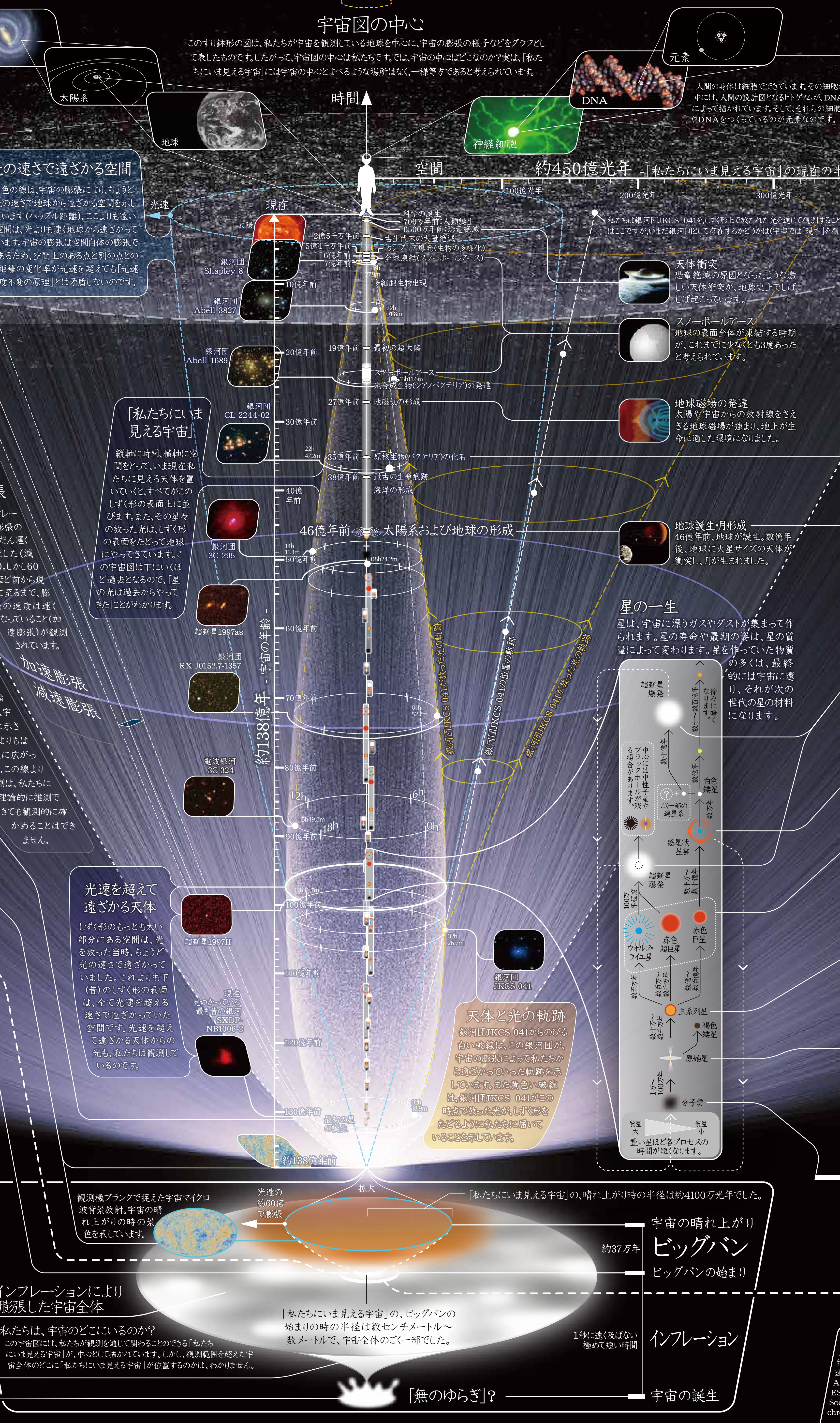
インフレーション宇宙論などの理論によれば、宇宙はこの宇宙図に示されている範囲よりもはるかに広大に広がっています。この線よりも外側は、私たちには理論的に推測できても観測的に確かめることはできません。

ビッグバンの起こった「場所」は？

「私たちにいま見える宇宙」はすべてビッグバンを経てきました。つまり、この宇宙の中のすべての場所でビッグバンが起こったといえます。過去をさかのぼれば、「私たちにいま見える宇宙」はすべてビッグバンの起こった場所となるのです。

宇宙図の中心

このすり鉢形の図は、私たちが宇宙を観測している地球を中心に、宇宙の膨張の様子などをグラフとして表したものです。したがって、宇宙図の中心は私たちです。では、宇宙の中心はどこなのか?実は、「私たちにいま見える宇宙」には宇宙の中心とよべるような場所はなく、一様等方であると考えられています。


銀河系
太陽系
地球
神経細胞
DNA
元素
時間
空間
約450億光年 -「私たちにいま見える宇宙」の現在の半径-
100億光年
200億光年
300億光年
400億光年
約450億光年
光速
現在
太陽
科学の誕生
700万年前:人類誕生
6500万年前:恐竜絶滅
2億5千万年前 古生代末の大量絶滅
5億4千万年前 カンブリア爆発(生物の多様化)
6億年前
7億年前 全球凍結(スノーボールアース)
多細胞生物出現
銀河団 Shapley 8
10億年前
銀河団 Abell 3827
銀河団 Abell 1689
20億年前
19億年前 最初の超大陸
スノーボールアース
光合成生物(シアノバクテリア)の発達
27億年前 地磁気の形成
銀河団 CL 2244-02
30億年前
35億年前 原核生物(バクテリア)の化石
38億年前 最古の生命痕跡
海洋の形成
40億年前
46億年前 太陽系および地球の形成
銀河団 3C 295
50億年前
超新星1997as
60億年前
銀河団 RX J0152.7-1357
70億年前
電波銀河 3C 324
80億年前
90億年前
約138億年 -宇宙の年齢-
超新星1997ff
100億年前
110億年前
現在見つかっている最も昔の銀河 SXDF-NB1006-2
120億年前
130億年前
最初の星の誕生
約138億年前
銀河団 JKCS 041
銀河団JKCS 041が放った光の軌跡
銀河団JKCS 041の位置の軌跡
加速膨張
減速膨張
0h
6h
12h
18h
拡大
光速の約60倍で膨張
宇宙の晴れ上がり
約37万年
ビッグバン
ビッグバンの始まり
1秒に遠く及ばない極めて短い時間
インフレーション
「無のゆらぎ」?
宇宙の誕生
インフレーションにより膨張した宇宙全体
超新星爆発
白色矮星
惑星状星雲
ごく一部の連星系
ウォルフ・ライエ星
赤色超巨星
赤色巨星
主系列星
褐色矮星
原始星
分子雲
質量大
質量小
数十億年
数億年
数万年
数十～数百億年
100万年程度
数十万～数十億年
数百万年
数百万～数千万年
数億～数百億年
数十万～数千万年
1万～100万年

光の速さで遠ざかる空間

水色の線は、宇宙の膨張により、ちょうど光の速さで地球から遠ざかる空間を示しています(ハッブル距離)。ここよりも遠い空間は、光よりも速く地球から遠ざかっています。宇宙の膨張は空間自体の膨張であるため、空間上のある点と別の点との距離の変化率が光速を超えても「光速度不変の原理」とは矛盾しないのです。

「私たちにいま見える宇宙」

縦軸に時間、横軸に空間をとって、いま現在私たちに見える天体を置いていくと、すべてがこのしずく形の表面上に並びます。また、その星々の放った光は、しずく形の表面をたどって地球にやってきています。この宇宙図は下にいくほど過去となるので、「星の光は過去からやってきた」ことがわかります。

光速を超えて遠ざかる天体

しずく形のもっとも太い部分にある空間は、光を放った当時、ちょうど光の速さで遠ざかっていました。これよりも下(昔)のしずく形の表面は、全て光速を超える速さで遠ざかっていた空間です。光速を超えて遠ざかる天体からの光も、私たちは観測しているのです。

天体と光の軌跡

銀河団JKCS 041からのびる白い破線は、この銀河団が、宇宙の膨張によって私たちから遠ざかっていった軌跡を示しています。また黄色い破線は、銀河団JKCS 041がこの時点で放った光が、しずく形をたどるように私たちに届いていることを示しています。

私たちは銀河団JKCS 041を、しずく形上で放たれた光を通じて観測することができます。そこから推測される現在の位置はここですが、いまだ銀河団として存在するかどうかは(宇宙では「現在」を観測することができないため)わかりません。

天体衝突

恐竜絶滅の原因となったような激しい天体衝突が、地球史上でしばしば起こっています。

スノーボールアース

地球の表面全体が凍結する時期が、これまでに少なくとも3度あったと考えられています。

地球磁場の発達

太陽や宇宙からの放射線をさえぎる地球磁場が強まり、地上が生命に適した環境になりました。

地球誕生・月形成

46億年前、地球が誕生。数億年後、地球に火星サイズの天体が衝突し、月が生まれました。

星の一生

星は、宇宙に漂うガスやダストが集まって作られます。星の寿命や最期の姿は、星の質量によって変わります。星を作っていた物質の多くは、最終的には宇宙に還り、それが次の世代の星の材料になります。

中心には中性子星やブラックホールが残る場合があります。

徐々に暗くなります。

重い星ほど各プロセスの時間が短くなります。

観測機プランクで捉えた宇宙マイクロ波背景放射。宇宙の晴れ上がりの時の景色を表しています。

「私たちにいま見える宇宙」の、晴れ上がり時の半径は約4100万光年でした。

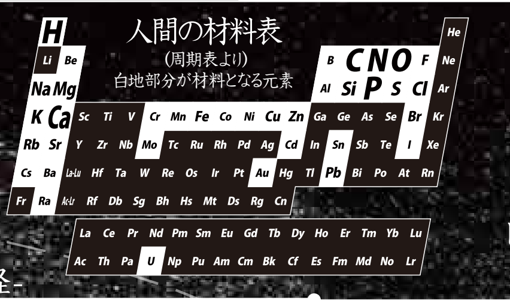
「私たちにいま見える宇宙」の、ビッグバンの始まりの時の半径は数センチメートル～数メートルで、宇宙全体のごく一部でした。

私たちは、宇宙のどこにいるのか？

この宇宙図には、私たちが観測を通じて関わることのできる「私たちにいま見える宇宙」が、中心として描かれています。しかし、観測範囲を超えた宇宙全体のどこに「私たちにいま見える宇宙」が位置するのかは、わかりません。

人間の材料はどこから来たのか？

人間の身体は細胞でできています。その細胞の中には、人間の設計図となるヒトゲノムが、DNAによって描かれています。そして、それらの細胞やDNAをつくっているのが元素なのです。


人間の材料表
(周期表より)
白地部分が材料となる元素

私たち人間をかたちづくる身体。それは「小さな宇宙」ともたとえられ、元素という材料から成り立っています。現代の科学は、この元素が、宇宙に輝く星々の中で生まれ、まき散らされたものであることを明らかにしました。宇宙と人間の不思議なつながりを、時間をさかのぼりながらひもといてみましょう。

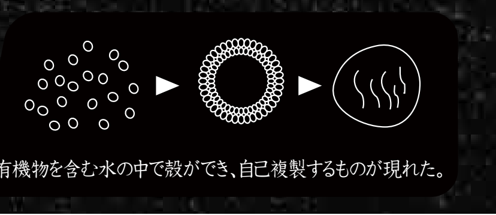
さまざまな元素から、生命が生まれた

地球上生命の誕生と進化

現在の地球では、私たち人間をはじめとして、陸上にも多くの生命が繁栄しています。しかし、かつては海だけが生命の世界でした。地球最初の生命も、太古の海中で誕生したのです※。海に含まれるさまざまな元素が組み合わさり、しだいに複雑な有機物となるという化学反応が、やがて最初の生命の誕生につながったと考えられています。こうして生命を生み出した地球は、では、どのようにしてこの宇宙に生み出されたのでしょうか？

※ 地球最初の生命がいつ生まれたのかはまだわかりませんが、発見されている最古の化石は約35億年前のものです。

約35億年前の生命の化石
10 μm

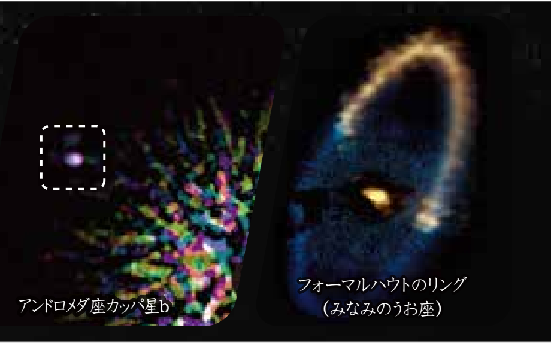

有機物を含む水の中で殻ができ、自己複製するものが現れた。

生命を生み出すステージが整う

太陽系および地球の形成

地球を含む太陽系の仲間たちが誕生したのは、およそ46億年前。宇宙を漂うガスやダストの集まりからしだいに太陽がかたちづくられ、同じ頃、その周囲をまわるガスやダストが、地球やその他の惑星となっていったのです※。では、このガスやダストはどこからやってきたのでしょうか? それは、いまはもう消えてしまった星々が宇宙に残した"かけら"だったのです。

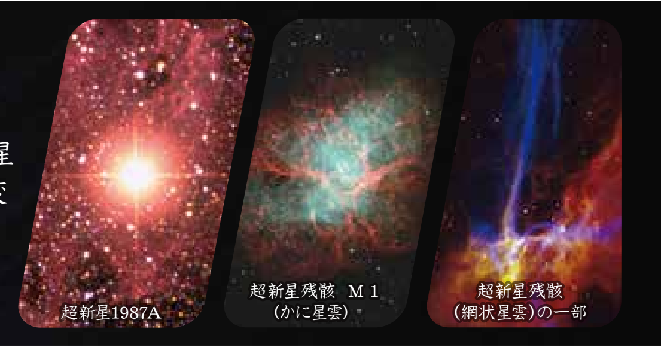
※ 宇宙には、空気のような気体(ガス)と、砂粒よりも細かな固体(ダスト)が大量に漂っている場所があります。


アンドロメダ座カッパ星b　フォーマルハウトのリング(みなみのうお座)

元素をばらまく、星の大爆発

宇宙の錬金術、超新星爆発

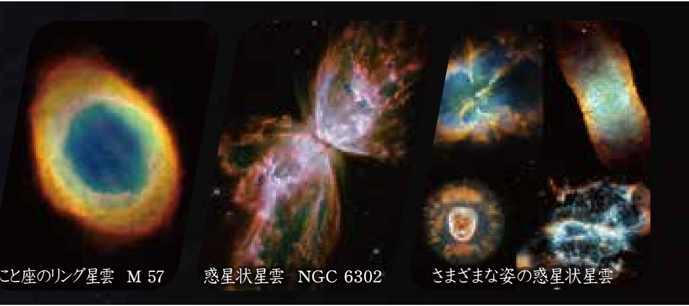
太陽系の材料となった"かけら"たち。それを作り出し、宇宙にばらまいた原因のひとつは「超新星爆発」でした。太陽の10億倍以上も明るく輝く爆発は、恒星の中の元素を一気に別の元素へと変えてしまいます。2種類ある超新星爆発のうち、太陽よりずっと重い恒星が起こす爆発では、内部で作られた酸素などの元素が飛び散ると同時に、金や銀のような元素が生み出されます。一方、私たちの身体に欠かせない鉄は主に、白色矮星を含む連星系の、ごく一部が起こす超新星爆発によって生み出されます。


超新星1987A　超新星残骸 M 1(かに星雲)　超新星残骸(網状星雲)の一部

一生を終え、宇宙に溶ける星

さまざまな姿をとる惑星状星雲

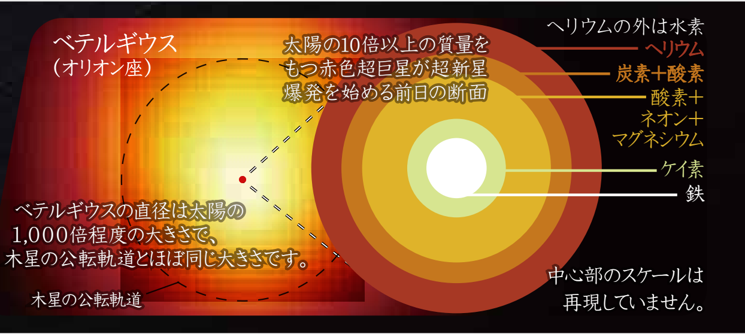
すべての恒星が、一生の最後に超新星爆発を起こすわけではありません。太陽のような比較的軽い恒星は、寿命がくると、ゆっくりと自分自身を作っていた物質を宇宙に放出し始めます。星はしだいにかたちを失い、後に白色矮星となる芯だけを中心に残して、宇宙空間へと広がっていくのです。これを「惑星状星雲」といい、丸いものや細長いものなど、さまざまな姿のものがあります。


こと座のリング星雲 M 57　惑星状星雲 NGC 6302　さまざまな姿の惑星状星雲

年老いた星は、元素の工場

一生を終える寸前の恒星の姿

多くの恒星は年老いると、まわりの惑星を飲み込むほどに膨らんで赤色巨星になります。中心ではこの時、それまで恒星を輝かせてきた「核融合反応」の燃料である水素がなくなり、ヘリウムから炭素や酸素を作る、別の核融合反応が進みます。太陽よりずっと重い恒星は、より大きい赤色超巨星や外層を失ったウォルフ・ライエ星になり、中心ではさらに核融合反応が進行してケイ素や鉄などの元素が作られます。私たち人間にとって重要な元素の多くは、こうして年老いた恒星の内部で作られたのです。


ベテルギウス(オリオン座)
太陽の10倍以上の質量をもつ赤色超巨星が超新星爆発を始める前日の断面
ヘリウムの外は水素
ヘリウム
炭素+酸素
酸素+ネオン+マグネシウム
ケイ素
鉄
ベテルギウスの直径は太陽の1,000倍程度の大きさで、木星の公転軌道とほぼ同じ大きさです。
木星の公転軌道

中心部のスケールは再現していません。

成熟し、宇宙に輝く星

核融合反応と恒星の寿命

恒星は生涯のほとんどを「主系列星」として過ごします。これはいわば、一人前となった恒星の呼び名。その中心では、4つの水素原子から1つのヘリウム原子を作る核融合反応が進んでおり、この反応が大量の光を生み出しています。恒星が主系列星として輝く期間は、その質量で決まります。太陽より軽い恒星の場合は100億年以上ですが、太陽の10倍重い恒星では数千万年にとどまります※。

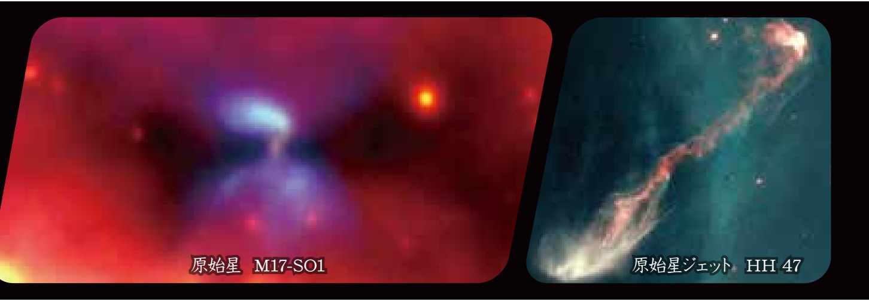
※ 私たちの太陽の寿命は100億年あまり。50億年以上先の遠い将来には赤色巨星となり、最終段階では白色矮星になります。

散開星団 M 45(すばる)　二重星 アルビレオ(はくちょう座)　球状星団 M 15

星の誕生と成長

ジェットを吹き出す原始星

恒星を生み出す材料となるのは、宇宙に漂うガスやダスト。これらが大量に集まることで、恒星の赤ちゃんともいうべき「原始星」がかたちづくられます。集まってきた物質の中には、細いガスの流れである「ジェット」となって、原始星から再び飛び出していくものもあります。物質が集まり続け、中心部分の温度と圧力が上がってくると、いよいよ核融合反応が始まり、原始星は主系列星となって輝き始めます。

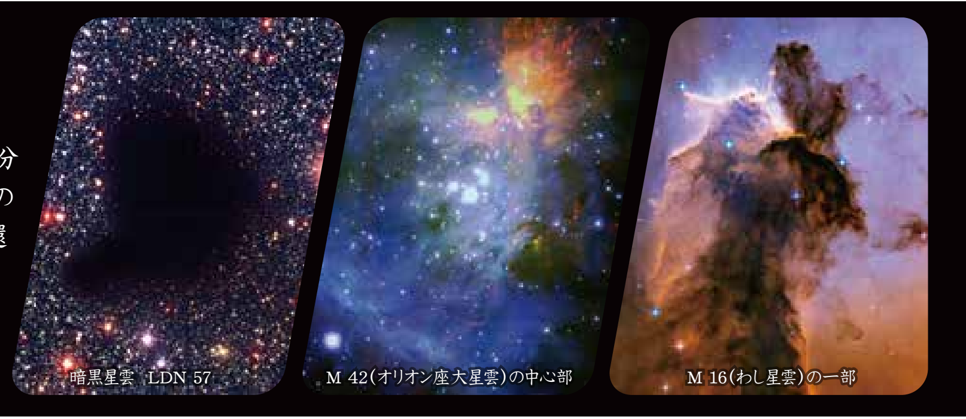

原始星 M17-SO1　原始星ジェット HH 47

元素は宇宙を流転する

恒星の生まれる場所、分子雲

銀河の中で、ガスやダストが特に濃く集まった場所を「分子雲」と呼びます※。その主成分は水素分子ですが、水や一酸化炭素、アルコールなどの分子もごくわずかに含まれます。これらは、前の世代の星々が一生を終える時にばらまいた多様な元素でできています。つまり恒星は、元素から生まれ、元素に還るのです。私たちの身体も、地球や太陽、夜空の星々も、みんなこの元素の大循環の一部。そして宇宙を流転する物質のすべては、さかのぼれば、宇宙最初の3分間に生み出された物質へと行きつくのです。

※ 分子雲は暗い雲のように見えるものや、まわりの恒星に照らされて輝いて見えるものがあります。


暗黒星雲 LDN 57　M 42(オリオン座大星雲)の中心部　M 16(わし星雲)の一部

一家に1枚 宇宙図 2013　http://stw.mext.go.jp　初版発行：2007年3月27日　改訂新版発行：2013年3月25日　改訂新版第2版発行：2013年7月7日　監修：文部科学省、日本天文学会、天文教材委員会　著作および販売元：(公財)科学技術広報財団　企画：自然科学研究機構 国立天文台、天文学普及プロジェクト「天プラ」　制作：「一家に1枚宇宙図」制作委員会(縣秀彦、小阪淳、高梨直紘、平松正顕、亀谷和久、塚田健、川越至桜、成田憲保、内藤誠一郎、日下部展彦、高田裕行、石川直美、杉山直、市来淨與、山岡均ほか)　アートディレクション：小阪淳　コピーディレクション：片桐暁　協力：観山正見、佐藤勝彦、駒宮幸男、青木和光、三浦均、額谷宙彦、杵島正洋、石崎昌春、東京大学国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構(Kavli IPMU)、村山斉、Kevin Bundyほか　参考文献："Planck-2013-results.-XVI.-Cosmological-parameters", arxiv:1303.5076　画像提供：国立天文台・ハワイ観測所すばる望遠鏡、三鷹キャンパス50cm望遠鏡、石垣島天文台105cm望遠鏡 / TMT観測所公社 / 国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト(4D2U) / 小久保英一郎、長島雅裕、矢作日出樹 / 小泉周 / 吉田直紀 / ALMA(ESO/NAOJ/NRAO) / Andrew Fruchter/ Anglo-Australian Observatory / AURA / David Malin Images / Adam Riess (STScI, Baltimore, MD) / Caltech / Canada-France-Hawaii Telescope / Coelum / CNES / CXC / the ERO team / ESA / ESO / HEIC / INAF / JPL / J.William Schopf,University of California,Los Angeles / Malin Space Science Systems / NASA / NOAA / Palomar Observatory Sky atlas - National Geographic Society / S.Andreon et al Optical: DSS; ESO / SAO / SOHO / Space Science Institute / STScI / The Hubble Heritage Team / PDB ID:1DNN Trifonov,E.N.,Sussman,J.L.,Smooth bending of DNA in chromatin.In:"Molecular Mechanisms of Biological Recognition"(Ed. M. Balaban),Elsevier / North Holland Biomed.Press,1979,pp.227-232 / VLT / The Planck Collaboration

押しピンの穴は、水素原子の1千万倍ぐらいの大きさです。