

## サイクリック宇宙論（総集編）

～ 宇宙の来し方・行く末 ～

わずか2年ほど前、私はニューヨーク大学のミチオ・カク教授の書いた「パラレル・ワールド」を読んで、とても感ずるところがあった。そのひとつは、インフレーション理論の根幹についての疑問が、少し解消されたことである。インフレーション理論とは、われわれの住んでいる宇宙は、今から137億年前にビック・バンを起こして、ある一点からほんの一瞬のうちに、 $10^{50}$ 乗というとてつもない勢いで急膨張したと説く。そのとてつもない急膨張の原因は何か、どうして始まったのかについては、50以上もの説が考えられている。このうちどれが正しいかはまだわからないが、現在有力なのは、われわれの宇宙（ユニバース）は、ただひとつではなく、並行宇宙あるいは多宇宙（マルチバース）であるという。つまり、宇宙の中のごくごく小さな一点が突如としてインフレーションを起こして芽吹き、そうした子宇宙（ベビー・ユニバース）があちこちにある。そしてあたかも泡だらけの海に浮かぶ泡のような多宇宙が、そのようなインフレーションを果てしなく起こしているというのである。

一昔前だと、そのような並行宇宙があちこちにあるなどと学会で主張しようものなら、「何を馬鹿な、そんなことがあるわけがない」といって、変人扱いをされたのは間違いない。しかし最近では、万物を説明できるとされる「超ひも理論」が基本的に10次元の世界を前提としていることもあって、世界の超一流の頭脳が、その解明に向けて大まじめに取り組んでいる。アメリカでは、この「超ひも理論」はプリンストン大学を中心として研究が行われてきた。これに対して実験し、検証する物理を重んずるハーバード大学などは、つい最近までこの「ひも」理論には非常に懐疑的で、現に一時期ひもの研究者がほとんどいないという状態であった。ところが、昨年8月に読んだ「ワープする宇宙」は、そのハーバード大学のリサ・ランドール教授の著書なのだが、そういうアンチ「ひも」理論学派の中からも、余剰次元があると主張する者が出てきたという意味で、画期的なこととされている。

ここで、現在の理論物理学者の少なくとも3分の1程度が研究に取り組んでいる超ひも理論とは、電子や光子その他の素粒子は、従来考えられていたような点状の粒子ではなく、超高速で振動するごくごく微細な「超ひも」であるとする。そして、その振動するタイプが変わるだけで、外から見ているとあたかも別の素粒子のように見えるという。これが成り立つのは10次元の世界であるが、われわれの世界はそのうち6次元がごくごく小さいスケールに折りたたまれているので、巨視的には4次元に見えるとする。この理論の最大の特徴は、アインシュタインの一般相対性理論も量子力学も自然に取り込み、そればかりか、これまではどうにも説明ができなかった電磁力、弱い力、強い力、そして重力というわれわれの世界の基本的な四つの力を統一することができそうなので、まさに「万物の理論」となるに相応しいものとされる。

そして、今年になって、超ひも理論を研究する京都大学の川合光教授らの日本人研究者グループが

、われわれの宇宙の起源と歴史について、「サイクリック宇宙論」（一般書：講談社現代新書の川合光教授著「はじめての超ひも理論」）なるものを、2003年以来、試論としてとнаえていることを知って、私はまた、感心した次第である。川合教授らの日本人研究者グループが作った、超ひも理論に基づくタイプII B型の行列模型モデルは、次のとおりである。標準理論では、20近いパラメーターを設定しなければならないが、この川合教授らのモデルは、最初のgの2分の1乗というプランクの長さ以外、一切のパラメーターを使わないで、世界を表していることが画期的である所以である。

（注）超ひも理論II B型のI K K T行列模型モデル

川合教授によると、私たちの宇宙とは別のパラレル・ワールドがあるかどうかは、そのうち観測されるはずの重力波を詳しく調べてみればわかるが、余分な6次元はプランクの長さ以下にコンパクト化されていると解し、やはりわれわれの宇宙が唯一のものとする方が自然であるとする。現に、川合教授らが研究している行列模型による超ひも理論の定式化の過程では、10個の行列で表された10次元のうち、確かに6次元はぴしっとつぶれていて、宇宙は4次元方向に広がっていることがみてとれたという。これは、まさに現実のわれわれの宇宙を表していると解せるので、これからは現実の世界に見られるゲージ粒子などがその4次元時空に現れるかどうかを解析していく方針とのこと。そういう超ひも理論の基礎の下に、川合教授らは、温度の上限であるハゲドン温度と、ハッブル定数の上限、それにTデュアリティという超ひも理論の性質から、次のようなサイクリック宇宙論の新仮説を提唱している。

すなわち、「現在の宇宙は、ビック・バン及びビック・クランチといういわば輪廻転生を繰り返した（30回ないし）50回目の宇宙である」という。ビック・バンとは大膨張で、プランクの長さ（10のマイナス33乗cm）以下の微小な世界だったものが、信じられないほど急激に拡大して現在の宇宙のような広大な構造の世界になる。これに対してビック・クランチとは大収縮で、そういう大規模に出来上がった世界が、急激に大きく収縮して、再びプランクの長さに戻っていく。こういうことをこれまで49回も反復し、その回数を重ねるごとに、なんと8倍ずつも、それぞれの宇宙の寿命を延ばしていったとする。

普通であれば、初期宇宙の大きさが極小のプランクの長さ以下の時には、宇宙全体はブラックホールと同じ状態となってしまうと、インフレーションを生じる可能性が極めて少なくなり、自己重力によって崩壊してしまうはずである。ところが、何回も繰り返したビック・バンによって生じた膨大なエントロピーは保存され、蓄積されていくため、ビック・クランチを起こした宇宙は再び、ビック・バンを起こすだけのエネルギーを優にもっている。この時に生じたエントロピーが、次の超ひもの大きさを規定するというのである。ちなみに、ビック・クランチを通じて宇宙の大きさが極小のプランクの長さ以下になるときは、当然に物質を構成するハドロンはいったん超ひもに戻るのので、物質はすべて消えてしまうが、その代わりエントロピーは、代々受け継がれる。これが更に大きな次の宇宙を作り出すというわけである。それが（30回ないし）50回も繰り返された結果、今われわれが住むこの宇宙が出来上がったとされる。

どうして、このような説が生まれてくるかという点と、まずその前提として、宇宙の将来についての3つの考え方を整理しなければならない。それは、①膨張を続ける宇宙が次第にその膨張の度合いを増す「膨張宇宙」、②膨張が弱まって宇宙の大きさが変わらなくなる「定常宇宙」、③膨張が止まって逆に収縮に転ずる「収縮宇宙」である。最後の宇宙③はやがてビック・クランチ（大収縮）を引き起こす。このいずれであるかは、重力による収縮をもたらす宇宙の物質密度と、膨張をもたらす真空のエネルギーである宇宙項との比較の問題である。観測衛星のWMAPを通じて現在の宇宙を観察した結果によると、膨張が収縮をやや上回っているという。つまり、このまま一方的に膨張が続いて行けば、将来われわれの宇宙は①で、引き続き膨張を続けて銀河の相互が引き離されていき、しまいには互いに見えなくなり、やがては何者も動かず、光すら発さない「死の世界」になるとのこと。

それでは、時間を遡り、われわれの宇宙の過去はどうだったかという点については、これまであまりまともに論じられて来なかった。その理由は、宇宙が一点から始まったビック・バン論では、相対性理論が破綻する特異点が出てきてしまい、困った問題であったからである。たとえば10年近く前にホーキング博士は、この問題を複素数を使って「虚の時間」を作り出して説明しようとしていたが、あまりにも技巧的で、それが現実に何を意味するかはわかっていなかった。

川合教授のサイクリック宇宙論の非凡なところは、超ひも理論を使って、ひとつの宇宙のビック・クランチが、次世代宇宙のビック・バンに繋がると考えた点である。普通は、ビック・クランチすなわちゼロに帰すると考えるところである。しかし、宇宙の成長の過程でインフレーションが終了して再加熱が起きるときにほぼゼロとなっていた真空のエネルギーは、宇宙が大収縮してその終末期を迎えて極端に小さくなると、大きく意味を持つようになってくる。そして、ゼロになる前に、プランクの長さ到達した時点において、宇宙を収縮から反転させて膨張させる方向に効いてくるという。つまり、前世代でプランクの長さまで大収縮した宇宙は、プランクの長さからそのまま大膨張する次の世代の宇宙へと繋がっているとみる。要するに、ひとつの宇宙のビック・バンで、無理矢理、虚時間などというものを考え出さなくとも、親と子の二つの宇宙が直結して、よく大きな宇宙になっていくと考えるべきだというのである。これであれば、ひとつの宇宙の終末が即、次の宇宙の開闢を意味する。

この点を宇宙のビック・クランチ面から追っていくと、ビック・クランチが進むにつれ、サイズが収縮していき、それにつれ超高温になる。更に進むと、晴れ上がっていた宇宙は曇りだし、やがて元素は分解していき、陽子と中性子は素粒子のクォークに戻る。さらにそのクォークは質量をなくし、温度の上限つまりハゲドン温度のまま、「超ひも」がうようよと飛び交っている状態になる。サイズの収縮が進行し、やがては1メートル程度の大きさから更に微小な大きさまでつぶれていって、最終的にはプランクの長さとなる。そうなったときに、不思議なことが起こる。超ひも理論で、Tデュアリティ（双対性）といわれ、プランクの時間（10のマイナス41乗秒）では時空に関する定義はできず、2分の1の時間は2倍の時間に等しくなるというのである。これは長さについても同様で、プランクの長さより小さい長さは、その逆数に比例した長さに等しくなる。これを宇宙の収縮と誕生のモデルに当てはめれば、プランクの長さにおいて宇宙は、収縮しつつあると見えたものが実時間のまま跳ね返って膨張に転ずる。つまり、宇宙の終末はそのまま次の宇宙の誕生に直結しているのである。

サイクリック宇宙論が正しいとすれば、そこからこれまでの宇宙の歴史はどのようなものであったかということが推定できる。まず最初の宇宙は、プランクの長さ以下の次元も時間もない混沌とした世界から、量子力学でいうトンネル効果によって、実時間の中へ「ぷっ」と出てきたものであるが、さほど成長できずにすぐに収縮してプランクの長さ以下に戻っていった。その最低温度は、 $10^{31}$ 乗K、つまりプランク温度である。この縮んでいく宇宙の最後の長さは、超ひも理論のTデュアリティによって次の2回目の宇宙の最初の長さと同対であることになり、1回目の宇宙のビック・クランチが実時間で2回目の宇宙のビック・バンに繋がっていく。2回目の宇宙は1回目の宇宙の約4倍の大きさ（最低温度はプランク温度の4分の1）に成長するが、これもまたビック・クランチを起こしてあえなく萎んでしまう。そのとき、1回目の宇宙で蓄えたエントロピーの約50倍のエントロピーを残す。それがまた次の宇宙のビック・バンに繋がる。3回目の宇宙は、1回目の宇宙の約16倍の大きさ（最低温度はプランク温度の16分の1）で、最後にビック・クランチを起こしたときには2500倍のエントロピーがある。それが4回目の宇宙のビック・バンへと繋がる・・・というように、輪廻転生が繰り返されていく。

その途中では、それまでの超ひもの世界から30回目の宇宙でクォークの閉じ込めが見られたと思ったら、その宇宙はその段階でビック・クランチを起こしてつぶれてしまう。そして、36回目の宇宙で元素が合成されるが、これもまたその段階でつぶれる。また同様な宇宙の生成と消滅を繰り返して、やっと44回目の宇宙になって星ができ、銀河ができるが、その段階でビック・クランチとなる。その後、48回目の宇宙は、直径6億光年で4～5億年の寿命となる。次の49回目の宇宙は、直径25億光年で30～40億年の寿命であるから、地球の年齢が46億年であることを考慮すれば、地球型生命体が生まれないうちに、ビック・クランチを迎えたのではないと思われる。そしてこの宇宙が、50回目の宇宙となる現在の宇宙に直接繋がっている。そのわれわれの宇宙は、ビック・バンから数えて137億年目の現在、WMAP衛星の観測によれば引き続き膨張しているようで、今のところビック・クランチの兆候は見られない。しかし、やがては収縮に転じて、あと100億～200億年でビック・クランチとなるかもしれない。そうなると、また新たなビック・バンにより51回目の宇宙が誕生し、それまでに経験をしたような経緯をたどって成長していくかもしれないというのである。それでなければ、われわれの宇宙が文字通り最後の宇宙ということになる。だが51回目ができる方が遥かに確率が高いのだから心配はない

これがわれわれの宇宙の来し方と行く末であるとする、あたかも宇宙そのものが、まるで生物の発生過程のように思えてくる。生物の発生過程は、進化の過程を表すものとされている。つまり、生物たとえばヒトの胎児も、ひとつの受精卵が2つに、そして4つにと分裂していき、だんだん複雑な構造になっていくが、その過程では、最初は魚類のようにエラが出てくるもののすぐにそれが消えるなど、人類の発生過程をなぞっているのではないかとされている。宇宙も、これとまったく同じではないか。このように考えていくと、直前の49回目の宇宙ですら、地球がなかったのだから、現在の宇宙の地球に生まれたわれわれ人類は、よほど運が良かったばかりでなく、何か特殊な因果律の必然の結果ではないのかとすら思えてくる。そして、人類の将来も、宇宙の行く末次第というわけだ

それを握っているのは、今は素粒子は「点」ではなく「振動するひも」とする超ひも理論の説明である。ところが、その「振動するひも」あるいは「超ひも」とは何か、その探求はまだ手つかずである。そして、50回目の宇宙というサイクリック宇宙論はこれで納得したとして、そのほか沸々と疑問が湧いてくる。たとえば、最初の宇宙において量子力学のトンネル効果は、なぜ起こったのか。そもそも、そういうごく微少な宇宙の誕生は、あちこちで起こっているのではないか、そうだとすると、サイクリック宇宙論はひとつの宇宙を説明することしかできなくて、似たような宇宙は、やはりたくさんあるのではないか・・・などである。こういう問題を早期に解明するためにも、早く「超ひも理論」の定式化が行われ、それで万物の事象が統一的かつ整合的に説明が行われることを望みたい。

超ひも理論の次なる展開の可能性を示すものとして、サイクリック宇宙論なるものがあることを知った。しかも、その提唱者が日本人のグループで、京都大学の川合光教授、福間将文准教授、そして京都大学基礎物理学研究所の二宮正夫教授というから、とても興味を引かれるところである。ただし、関係者の間では、大いに眉唾物と思われている節があるので、話半分に聞かれるとよい。このネタは、日経サイエンス2008年5月号に掲載された川合光教授へのインタビュー記事と講談社現代新書の川合光教授著「はじめての超ひも理論」、それにウィキペディアである。

欧州合同原子核研究機構（CERN）の世界最大の加速器LHCは、今年9月10日に運転を開始する見込みである。そして仮に、ゲージ理論に基づく標準モデルにおいて素粒子に質量を与えるボソンのヒッグズ粒子が発見され、それが170GeV程度の質量だったとすると、標準モデルが正しいと証明されたも同然になる。そうすると、時空の最小単位であるプランク長さ（注）まではすべて標準理論で説明される。ところが、標準理論はプランク長さより小さな世界は説明ができないので、プランク長さ以下は、すべてを「超ひも」として説明しなければならないことになる。・・・というわけで、これからの素粒子研究は、超ひも理論の独壇場になるというのである。

これは単に素粒子の世界だけでなく、宇宙全体の世界でも同様である。著名なインフレーション理論という説があり、現在我々の居住する宇宙は、137億年前にただの一点からビッグバン宇宙つまりインフレーション的膨張を経て出来上がったものだという。標準理論は、そのビッグバン時の直前まで遡って電磁気力と弱い力、そして強い力までを統合できたが、そのビッグバン以前のこれらの3つの力と重力との統合については、説明ができない。ところが、超ひも理論は、プランク長さより小さな世界を説明できそうな唯一の理論であるばかりでなく、そのインフレーションの起源にまで遡ることができそうな理論であるという。

そして、川合教授らは、温度の上限であるハゲドン温度と、ハッブル定数の上限、それにTデュアリティという超ひも理論の性質から、次のような仮説を提唱している。すなわち、「現在の宇宙は、ビッグバン及びビッククランチといういわば輪廻転生を繰り返した（30回目ないし）50回目の宇宙である。」という。ビックバンとは大膨張で、プランク長さ以下の微少な世界から現在の宇宙のよ

うな広大な構造の世界へと繋がる。これに対してビッククランチとは大収縮で、そういう大規模に出  
来上がった世界が収縮して、再びプランク長さに戻っていく。こういうことをこれまで49回も反  
復し、その回数を重ねるごとに、なんと8倍づつも、それぞれの宇宙の寿命を延ばしたとされる。普  
通であれば、初期宇宙の大きさが極小のプランク長さ以下の時には、宇宙全体はブラックホールと同  
じ状態となってしまう、インフレーションを生じる可能性が極めて少なくなり、自己重力によって  
崩壊しまう。

ところが、何回も繰り返したビックバンによって生じた膨大なエントロピーは保存され、蓄積され  
ていくため、ビッククランチを起こした宇宙は再び、ビックバンを起こすだけのエネルギーを優に生  
じる。この時に生じたエントロピーが、次の超ひもの大きさを規定するというのである。ちなみに、  
ビッククランチを通じて宇宙の大きさが極小のプランク長さ以下になるときは、当然に物質を構成  
するハドロンはいったん超ひもに戻るの、物質はすべて消えてしまうが、その代わりエントロピ  
ーは、代々受け継がれる。

サイクリック宇宙論が正しいとすれば、現在ビックバンから137億年が経過した我々のこの宇宙  
の最終的な寿命は、約240億年から約320億年となるそうである。ちなみに、我々の前の49回  
目の宇宙は、約30億年から約40億年でビッククランチとなったようなので、地球の寿命が46億  
年であることを考慮すれば、どうやら知的生命体が生まれる前に世界の終わりを迎えてしまったら  
しい。反対にこの計算を未来に向けてみると、我々の次の51回目の宇宙の最終的な寿命は、約19  
20億年から約2560億年になる。8倍つづ増えるため52回目は16000おく光年となるこの説で行く  
と過去と未来を合わせて行くと300回前後繰り返すと言われているのだから現在50回目すなわち残り  
250回だが毎度8倍寿命が伸びているのだから8の250乗ということになるがこの大きさは大きすぎて表  
せないという現状である25乗でさえ37778931862957161709568倍である 50乗となるとこのまた2乗に  
なる

そして300倍ともなる

と845271249817064394163743655866426570430155721657794435404737134442678244090759775159067609  
42025

1500631479031989211405886211756095204296859600862365540703323053418694398408134669970

4282822823056848387726531379014466368452684024987821414350380272583623832617294363807973376.

倍とどうかぞえて良いか学者でもわからなくなるた めあそろしくとてつもなく大きくなるしこれは  
だたんんに300倍したものの全部の宇宙の大きさは計算できるが推定に過ぎなくもしかしたら違うかも  
もしれないが

5833474517332949529605458476156536990266487398008654392272849559411869

2377772468170839082281753404396947080886948245052470573430592660153095

9650548032182574281546026678803769222444093415977188367554544364938270

2413167291097576578955563616357938462179630692550049767658555528586706

783207485987854935910592139217249699955557873875726294391467114632504

720372697762734424512464842402854623797753671843300825443298079527246

794000166204994956929886315633174223387229435386334384236347650326170

71901881078173294685913932824476188473800904253998467487517197563089  
3551408065170940434949545814215864805952845916543782808507798592677  
0651841025980494549620331481084221506372503082522572895976462672556  
6873114054723277132965409230368995646355479972146893698954266133512  
8127806348887873985923277965054964920232331785059467424151989908105  
6135514284599888391525935752492229910466125999304546189158931338625  
4882422805481353933581407609231276710792753313506427211794842274681  
0583936309471171285889181126682801542509369019721983137222637967734  
5818897811512900045336999706250074106701257683911239305902924780782  
272964651328612452652563684225363901107427240823791022172554548983  
59070467827800371168443774306799931964289059019293736881208724376  
48096316919166045083105420315495627680676638523851336894387315536  
741434995060907974770761472755784764506816563835301850553511539752  
936001266305063047111968566312382364110361122803501331310288637464  
26597592723233634643113911424470070125509331495697895623.16211442  
0740990425994911877466077871331824923856789961915203473163294508  
0552109144608461128607998600700568447454952965319629904530328617  
0380710091298824619701954414079716171974136493061915906257094532  
7145646622360180815074104551241755092390534976968005622823256841  
29918468026309148053781677852350982437412428660217694390800367  
94893261172546621267570494793225749969430624669619546762608792  
82418564023438600389776435221593407803175832388466130980966650  
16155143383994162162533729542764504118341136571846815587625045  
2233962904050505182316125480822488314874833349698048998844363  
7472934974918872945971007625602945414539076802176750734138343  
8796876713149076663418336309659903998485735908594624356620979  
18050594264779425556393235568062171882356115820460204294916679  
34801937647798230621310540938815312907458167373933152923793177  
2212143645809017819072084696274849392525219535914942969990487  
581389619986287150314651383032387354871788028003937915877797  
666719846180299515553839292591518683628656772124124132974  
7833751254098624211560428354203049760837108280231934327  
1070292102801809058855982072761592608873597179265356164  
203759493220659094132816621532280544045461955754850568  
92728433790341180715949377730047069606652932096528372  
13973723712596769881552365841491632326692023661382123  
633949110061067204812235062997976482878667964720973550  
72579761542775381052842894491072682526380775894706289  
10773226977753659954476906722299042465777357483268142



98603418551646980819292054806950613325106113809771740  
157917574484537636073468528707694399917262427314712989  
14254128827620492677208336852673874584194452264710947  
3994682292551924000300352180662567611912939171866584  
35449061396192117997010650392309778708000240069094575  
677195499255007727289316539867657639282816568299201674  
163714848283571662451063439494454498841967314984410590  
965501051786689442625117294369780084505499196755404123  
215710742472706612396634665824969846510577905551021529  
5022812048701267933322126464061945025721146476277419699  
8501472022357088784894688842513147636633161025138276951  
08430043942088085487717538456654185704355801091983245823  
37907221913420616917504749847959830494117295912189310389  
45615468899591367874087878288036732764930681255844074350  
27659935181782732701323925046404956132830504488705807338  
560334622190968472129735441150037225883250894788005626954  
794664583224223564052121195781043461555430027592082355168  
60796234996297817205097871005330438446592001720660475448  
5454940430831570491438622390372680987087826071211494056328  
65741238675682690737517357126933273782540520575910552308741  
86495271561223546888297444479344440911457699863185881561611  
057681294573301933704800412898279709511980359218632617279781  
386192957387212290131856106634398013339274916786374903787644  
65722326936249553836228550391259977346529897534363438598951  
1114458837574198704899627715435829324432333180918778133008  
4901610266230761181082921470963282450474566983827909604040  
2973452746502645397962699674963452729795744037147766913845  
07317853132266147327393811318814690003084327992363745769465  
0100500691521564125419268322571653291598239337736961749551  
11800750800605801375924314328476815063108736776349906673  
72466330100190164839195005030190789482676535316615418322  
5626404624843496853217391500442171272299277115556927748  
7768206015497603587670051202807104389142810335302446568  
1927249012633027206357572937987592481733817402431260620  
4555090428162614444315621561678732709539032636733449057  
302900414416219926407355655000262205465152304145490811  
378239382201620930327407229277847345201274380437384310  
514654779993628963534440386倍となる

ちなみに桁数は1825桁である

これほど時間があると、もの凄い文明が栄えるかもしれない。そしてその次は・・・と考えていくと、まったく想像もつかない永遠の彼方の世界である。

もっとも、近年、観測事実としてWMAPなどで観測されているところによれば、現在の宇宙は、その物質密度による収縮効果が宇宙項による加速効果を若干下回っている。したがってこのまま推移すると、この50回目の宇宙は、おそらく膨張したまま収縮することなく、その終焉を迎えるものと推定されているので、これでおしまいというわけだ。まあしかし、過去に50回目も生まれて死んで・・・を繰り返してきたことからすれば、この観測結果も、そのうち反転するかもしれない。いや、そうでないと話は少しも面白くないので、今後も宇宙の生まれ変わりが続いていくものと考えよう。

さて、未来とは逆方向に過去に向かって再び時間を遡っていこう。48回目の宇宙はというと、約4～5億年の寿命、47回目の宇宙は5～7千万年の寿命・・・ははあ、これは短い、いや短すぎるではないか・・・。川合教授によれば、41回目の宇宙以降、宇宙が晴れ上がり、銀河が形成される。その少し前の36回目の宇宙では元素合成が始まり・・・、30回目の宇宙でクォークの閉じこめが始まり・・・その大本の1回目の宇宙というのは、プランクの長さより少しだけ大きいものということになる。これらを表すと、こんな図となる。

これを眺めていると、まるで宇宙が、生物の発生過程のように思えてくる。発生過程は、進化の過程を表すものとされている。つまり、生物たとえばヒトの胎児も、ひとつの受精卵が2つに、そして4つにと分裂していき、だんだん複雑な構造になっていくが、その過程では、最初は魚類のようにエラが出てくるがすぐにそれが消えるなど、人類の発生過程をなぞっているのではないかとされている。宇宙も、これとまったく同じではないか。このように考えていくと、直前の49回目の宇宙ですら、地球がなかったのだから、現在の宇宙の地球に生まれたわれわれ人類は、よほど運が良かったばかりでなく、何か特殊な因果律の必然の結果ではないのかと思えてくる。そして、人類の将来も、宇宙の行く末次第というわけだ。

以上のようなことをわかりやすく描写するとすれば、こういうことか。「宇宙は、時間も空間もない混沌としたところから突然に始まり、50回もの輪廻転生を経てこの世界が出来上がり、これから更に永遠の未来に向かって果てしなくつき進んでいく。その過程では、物体は滅びるものの、精神（正しくはエントロピー）は、絶えることなく永遠に、積み上がりそして受け継がれていく。」・・・うーむ、我ながら、新興宗教の教祖になれそうだ。



## 目次

[非表示] 1 形状

2 観測

3 成因

4 関連項目

5 外部リンク

## 形状 [編集]

銀河は数百から数千集まって銀河群、銀河団を形成している。この銀河群や銀河団が更に集まって超銀河団を形成しているが、この超銀河団は平面状の壁のような分布を示している。この巨大な壁をグレートウォールあるいは銀河フィラメントと呼ぶ。

1980年代になって、1枚の銀河フィラメントと他の銀河フィラメントとの間には光を発する天体がほとんど無い領域があることが明らかになった。これを超空洞（ボイド）と呼び、その直径は1億光年を超える。

宇宙の大規模構造は銀河フィラメントと超空洞が複雑に入り組んだ構造であるが、これはあたかも石鹸を泡立てたときにできる、幾重にも積み重なった泡のような構造である。つまり、泡の膜面たる銀河フィラメントには銀河が存在し、泡の中の空洞たる超空洞には銀河がほとんど存在しない。

## 観測【編集】

グレートウォールの発見をもたらした CfA赤方偏移サーベイ以降、観測技術の発展に伴ってより遠方の銀河をより大量に観測する大規模な銀河サーベイ観測が行なわれるようになってきている。その代表例として、スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS)や2dF銀河赤方偏移サーベイなどがある。

なお、銀河までの距離をその赤方偏移のみに基づいて測ると、大規模構造が実際とはいくらか異なって観測されることがある。

例えば、銀河団の後ろにある銀河はその銀河団に向かって引き寄せられるため、多少（その銀河団が存在しない場合に比べて）青方偏移して見える。一方、銀河団の手前にある銀河は多少赤方偏移して見える。このような効果を補正せずに赤方偏移を使うと、銀河団の周囲に存在する銀河は実際よりも押しつぶされた分布をしているように見える。また、既に銀河団内部に落ち込んだ銀河に対してはこれと逆の現象がおきる。

銀河団内の銀河は銀河団中心に対してランダムな速度分散を持つため、各銀河の赤方偏移は銀河団自身の値を中心に広がりを持った分布になる。この赤方偏移を銀河までの距離として使うと、銀河団は視線方向に長く引き伸ばされて見える。

これはまるで銀河分布が観測者（地球）の方向を指差しているようにも見えることから Finger of God 効果として知られている。

## 成因【編集】

宇宙の大規模構造は宇宙初期のゆらぎが重力不安定性によって成長してできたものだと考えられている。この構造を作っている銀河の相関関数の観測と数値シミュレーションとの比較から、現在のよ様な構造を作るためには、宇宙の質量の大部分は冷たいダークマターからできている必要があると考えられている。

プラズマ宇宙論では、宇宙の大規模構造となる巨大なガスのかたまりが最初に生まれた、と考えられている。プラズマ宇宙論#宇宙構造体の成り立ちを参照されたい

宇宙論（うちゅうろん、英語：cosmology）あるいはコスモロジーとは、「宇宙」や「世界」などと呼ばれる人間をとりかこむ何らかの広がり全体[1]、広義には、それの中における人間の位置、に関する言及、論[2]、研究などのことである。

コスモロジーには神話、宗教、哲学、神学、科学（天文学、宇宙物理学）などが関係している。

「cosmologyコスモロジー」という言葉が初めて使われたのはクリスティアン・ヴォルフの『*Cosmologia Generalis*』（1730）においてであるとされている。

本項では幅広く、神話、宗教、哲学、神学などで扱われたコスモロジーも含めて扱う。

## 目次

- [非表示] 1 概論
- 2 宇宙論の歴史
  - 2.1 古代インド
  - 2.2 様々な神話
    - 2.2.1 関連項目
  - 2.3 古代ギリシャ
    - 2.3.1 関連項目
  - 2.4 新約聖書
  - 2.5 プトレマイオス
  - 2.6 イスラーム世界
    - 2.6.1 関連項目
  - 2.7 ヨーロッパ中世
    - 2.7.1 関連項目
  - 2.8 現代
    - 2.8.1 関連項目
- 3 脚注
- 4 参考文献
- 5 関連項目

## 概論 [編集]

古代においても、人間は自身をとりかこむ世界について語っていた。

古代インドではヴェーダにおいて、「無からの発生」や「原人による創造」といった宇宙創生論が見られ、後には「繰り返し生成・消滅している宇宙」という考え方が現れたという。

古代ギリシャにおいては、エウドクソス、カリポス、アリストテレスらが、地球中心説を構築した。

アリストテレスはcelestial spheresは永遠不変の世界で、エーテルを含んでいる、と考えた。

ヨーロッパ中世のスコラ哲学においても、アリストテレス的なコスモロジーが採用された。

ヨーロッパにおいては19世紀ごろまで、コスモロジーは形而上学の一分野とされ、自然哲学において扱われていた[3]。

現在の自然科学の宇宙論につながるそれは、天体は地上の物体に働いているのと同じ物理法則に従っていることを示唆するコペルニクスの原理と、それらの天体の運動の数学的理解を初めて可能にしたニュートン力学に端を発している。これらは現在では天体力学と呼ばれている。

現代の宇宙論は20世紀初めのアルベルト・アインシュタインによる一般相対性理論の発展と、非常に遠い距離にある天体の観測技術の進歩によって始まった。

天文学・宇宙物理学における宇宙論は、我々の宇宙自体の構造の研究を行なうもので、宇宙の生成と変化についての根本的な疑問に関連している。

20世紀には宇宙の起源について様々な仮説を立てることが可能になり、定常宇宙論、ビッグバン理論、あるいは振動宇宙論などの説が提唱された。

1970年代ころから、多くの宇宙論研究者がビッグバン理論を支持するようになり、自らの理論や観測の基礎として受け入れるようになった。

宇宙論の歴史 [編集]

「宇宙論の年表」も参照

古代インド [編集]

ヴェーダ（紀元前1000年頃から紀元前500年頃）の時代から、すでに無からの発生、原初の原人の犠牲による創造、苦行の熱からの創造、といった宇宙生成論がある、という。また、地上界・空界・天界という三界への分類もあったという[4]。

後の時代、繰り返し生成・消滅している宇宙という考え方が成立したという[4]。これには業（ごう、カルマン）の思想が関連しているという[4]。

この無限の反復の原因は、比較的初期の仏教においては、衆生の業の力の集積として理解されていた[4]という。それが、ヒンドゥー教においては、創造神ブラフマーの眠りと覚醒の周期として表

象（シンボライズ）されるようになったという（ブラフマーは後にヴィシュヌに置き換わった）[4]。

## 様々な神話 [編集]

世界各地には、神によって世界が作られたとする言及、物語、説が多数存在する。それらは創造神話や創世神話とも呼ばれている。

## 関連項目 [編集]

九つの世界（北欧神話のコスモロジー）

## 古代ギリシャ [編集]

紀元前700年ころに活動したヘシオドスの『神統記』の116行目には「まず最初にchaos カオスが生じた」とある。古代ギリシャ語の元々の意味では「chaos」は《大きく開いた口》を意味していた。まずそのchaosがあり、そこから万物が生成した、とされたのである。そしてそのカオスは暗闇を生んでいるともされた。

ピタゴラス学派の人々は宇宙をコスモスと呼んだ。この背景を説明すると、古代ギリシャでは「kosmosコスモス」という言葉は、調和がとれていたり秩序がある状態を表現する言葉であり、庭園・社会の法・人の心などが調和がとれている状態を「kata kosmon（コスモスに合致している）」と表現した。同学派の人々は、数を信仰しており、存在者のすべてがハルモニアやシンメトリアといった数的で美的な秩序を根源としていると考え、この世界はコスモスなのだ、と考えた。このように見なすことにより同学派の人々は、一見すると不規則な点も多い天文現象の背後にひそむ数的な秩序を説明することを追及することになった。その延長上にプロラオスやエウドクソスらによる宇宙論がある。

宇宙の銀河が泡構造で広がっているというのは、今の科学ではダークマターなる物を見える物質の5倍程度も入れなければならないという事がコンピューターでシミュレートされています。

それで見えない物質の研究という事になって、理論という段階の糸口を探すのに大変な事になっています。

それからダークマターを入れた現実の泡構造では、1億光年くらいのボイドの割と均一した物では現せるようですが、現実を観測されるもっと大きな、たとえば10億光年くらいのボイドでは出来ないようなのです。

私は宇宙の出来方自体に問題があると考えています。

宇宙は空間が広がったのではなくて、広がっているのは銀河自体が遠のいているのを勘違いして捕らえていると思っています。



この考えではボイドの広がりも色々な大きさで出来て行くし、別にダークマターを必要としなくても説明することが出来ます。

下は私が勝手に考える宇宙ですが、そこで言っています牛乳の小さな実験の様子が、泡構造を上手く説明する証拠です。

[http://detail.chiebukuro.yahoo.co.jp/qa/question\\_detail/q1154310876](http://detail.chiebukuro.yahoo.co.jp/qa/question_detail/q1154310876)

ペトルス・アピアヌス[5]によって描かれた“Cosmographia”。古代から中世にかけてのコスモロジー。（アントワープ、1539年）

古代ギリシャのエウドクソス（紀元前4世紀ころ）は、地が中心にあり、天体がそのまわりを回っているとした（→地球中心説、天動説）。27の層からなる天球が地を囲んでいると想定した。古代ギリシャのカリポス（紀元前370-300頃）は、エウドクソスの説を発展させ、天球を34に増やした。

アリストテレス（紀元前384-322年）は『形而上学』において、エウドクソスおよびカリポスの説を継承・発展させた。やはりこの地が中心にあり、天球が囲んでいる、とした。ただし、エウドクソスやカリポスは天球が互いに独立していると考えていたのに対し、連携があるシステムとし、その数は48ないし56とした。各層は、それぞれ固有の神、自らは動かす他を動かす神（en:unmoved mover）によって動かされている、とした。こちら側の世界は四元素で構成されているとし、他方、天球は四元素以外の第五番目の不変の元素、エーテルも含んでいると考えた。天球の世界は永遠に不変であると考えていた。

アルマゲスト（George of Trebizond によるラテン語版、1451年頃）

クラウディオス・プトレマイオス（2世紀ごろ）は『アルマゲスト』において、もっぱら天球における天体の数学的な分析、すなわち太陽、月、惑星などの天体の軌道の計算法を整理してみせた。そして後の『惑星仮説』において自然学的な描写を試み、同心天球的な世界像、すなわち地球が世界の中心にあるとし、その周りを太陽、月、惑星が回っていることを示そうとした。惑星の順は伝統に従い、地球（を中心として）、月、水星、金星、太陽、火星、木星、土星だとした。

イスラーム世界 [編集]

イブン＝シーナーはアリストテレスの論、プトレマイオスの論、ネオプラトニズムの混交した説を述べた。彼は、地球を中心とした9の天球が同心円的構造を成しているとし、一番外側に「諸天の天」、その内側に「獣帯天の天球」、土星天、木星天、火星天、太陽天、金星天、水星天、月天、そしてその内側に月下界（地球）がある、とした。「諸天の天」から月天までの9天は全て第五元素であるエーテルから構成されており不変であり、それに対して月下界は四元素の結合・分解によって生成消滅を繰り返しているとした。9天は地球を中心に円運動を行っている。そして、その動力因は各天球の魂である。魂の上に、各天球を司っている知性（ヌース）がある。一者（唯一神、アッラー

から第一知性が流出（放射）し、第一知性から第二知性と第一天球とその魂が流出（放射）する。その流出（放射）は次々に下位の知性でも繰り返されて、最後に月下界が出現したとする[4]。

関連項目 [編集]

イスラム科学、イスラーム哲学

ヨーロッパ中世 [編集]

ヨーロッパ中世において行われていたスコラ哲学においては、アリストテレスの説を採用し、彼の『自然学』および四元素説も継承していた。そして、月下界（人間から見て、月よりもこちら側寄りの世界）は四元素の離散集合によって生成消滅が起きている世界だが、天上界は（月からあちら側の世界は）、地上の世界とは根本的に別の世界だと想定されており、円運動[6]だけが許される世界で、永遠で不生不滅の世界であるとされていた[7][8]。そして、天上界は固有の第五元素から構成される、とされていた[7]。

西欧では、（19世紀の学者もそうであったが）20世紀初頭の物理学者らも、宇宙は始まりも終わりもない完全に静的なものである、という見解を持っていた。

現代的な宇宙論研究は観測と理論の両輪によって発展した。

1915年、アルベルト・アインシュタインは一般相対性理論を構築した。アインシュタインは物質の存在する宇宙が静的になるように、自分が導いたアインシュタイン方程式に宇宙定数を加えた。しかしこのいわゆる「アインシュタイン宇宙モデル」は不安定なモデルである。この宇宙モデルは最終的には膨張もしくは収縮に至る。一般相対論の宇宙論的な解はアレクサンドル・フリードマンによって発見された。彼の方程式はフリードマン・ロバートソン・ウォーカー計量に基づく膨張（収縮）宇宙を記述している。

1910年代にヴェスト・スライファーとやや遅れてカール・ウィルヘルム・ヴィルツは渦巻星雲の赤方偏移はそれらの天体が地球から遠ざかっていることを示すドップラーシフトであると解釈した。しかし天体までの距離を決定するのは非常に困難だった。すなわち、天体の角直径を測ることができたとしても、その実際の大きさや光度を知ることはできなかった。そのため彼らは、それらの天体が実際には我々の天の川銀河の外にある銀河であることに気づかず、自分達の観測結果の宇宙論的な意味についても考えることはなかった。

1920年4月26日、アメリカ国立科学院においてハーロー・シャプレーとヒーバー・ダウスト・カーチスが、『宇宙の大きさ』と題する公開討論会を行った。一方のシャプレーは、「我々の銀河系の大きさは直径約30万光年程度で、渦巻星雲は球状星団と同じように銀河系内にある」との説を展開し、対するカーチスは、「銀河系の大きさは直径約2万光年程度で、渦巻星雲は、（この銀河系には含まれ

ない) 独立した別の銀河である」との説を展開した。この討論は天文学者らにとって影響が大きく、「The Great Debate」あるいは「シャプレー・カーチス論争」と呼ばれるようになった。

1927年にはベルギーのカトリック教会の司祭であるジョルジュ・ルメートルがフリードマン・ルメートル・ロバートソン・ウォーカーの式を独立に導き、渦巻星雲が遠ざかっているという観測に基づいて、宇宙は「原始的原子」の「爆発」から始まった、とする説を提唱した。これは後にビッグバンと呼ばれるようになった。1929年にエドウィン・ハッブルはルメートルの理論に対する観測的裏付けを与えた。ハッブルは渦巻星雲が銀河であることを証明し、星雲に含まれるケフェイド変光星を観測することでこれらの天体までの距離を測定した。彼は銀河の赤方偏移とその光度の間の関係を発見した。彼はこの結果を、銀河が全ての方向に向かってその距離に比例する速度（地球に対する相対速度）で後退していると解釈した。この事実はハッブルの法則として知られている。ただしこの距離と後退速度の関係は正確には比較的近距离の銀河についてのみ確かめられたものだった。観測した銀河の距離が最初の約10倍にまで達したところでハッブルはこの世を去った。

宇宙原理の仮定の下では、ハッブルの法則は宇宙が膨張していることを示すことになる。このアイデアからは二つの異なる可能性が考えられる。一つはルメートルが発案し、ジョージ・ガモフによって支持・発展されたビッグバン理論である。もう一つの可能性はフレッド・ホイルの定常宇宙モデルである。定常宇宙論では銀河が互いに遠ざかるにつれて新しい物質が生み出される。このモデルでは宇宙はどの時刻においてもほぼ同じ姿となる。長年にわたって、この両方のモデルに対する支持者の数はほぼ同数に分けられていた。

しかしその後、宇宙は高温高密度の状態から進化してきたという説を支持する観測的証拠が見つかり始めた。1965年の宇宙マイクロ波背景放射の発見以来、ビッグバン理論が宇宙の起源と進化を説明する最も良い理論と見なされるようになった。1960年代終わりよりも前には、多くの宇宙論研究者は、フリードマンの宇宙モデルの初期状態に現れる密度無限大の特異点は数学的な理想化の結果出てくるものであって、実際の宇宙は高温高密度状態の前には収縮しており、その後再び膨張するのだと考えていた。このようなモデルをリチャード・トールマンの振動宇宙論と呼ぶ。1960年代にスティーヴン・ホーキングとロジャー・ペンローズが、振動宇宙論は実際にはうまくいかず、特異点はアインシュタインの重力理論の本質的な性質であることを示した。これによって宇宙論研究者の大部分は、宇宙が有限時間の過去から始まったとするビッグバン理論を受け入れるようになった。[9]

ただし現在でも一部の研究者は、ビッグバン理論のほころびを指摘し、定常宇宙論やプラズマ宇宙論などの宇宙論を支持している。

宇宙ひも（うちゅうひも、cosmic string）は物理学、特に宇宙論で言及される時空の中の特殊な領域。コズミックストリングとも呼ばれる。

時空が相転移する際、全体がいつせいに相転移するのではなく、複数の領域がそれぞれ個別に相転移

することが考えられる。その場合、領域の境界には位相的欠陥ができ、その部分は通常の時空とは異なる状態になる。これは、通常の物質が結晶になる際に、結晶粒子の境界に格子欠陥の一種である結晶粒界ができる現象と類似したものと考えると理解しやすい。

宇宙では、宇宙誕生時には1つだった基本相互作用が4つに分かれ、その間に少なくとも3回の相転移があったと考えられている。そして、実際の宇宙では、因果関係が成り立つ範囲、つまり、光速で情報が伝達される範囲内でしか一様な相転移は起きない。つまり、距離の離れた領域は別々に相転移が起き、そのため、宇宙には上述の位相欠陥が残されている可能性がある。

位相的欠陥には、宇宙ひも以外に、ドメインウォール、モノポール、テクスチャーなどがある。

宇宙ひもは線状（ループ状も含む）の欠陥で、時空に角度欠損ができ、その周囲を一周する角度は360度未満となっている。また、宇宙ひもは非常に大きな質量を持っている。そのため、初期の宇宙で密度ゆらぎを起こし、宇宙の大規模構造の原因となった可能性が指摘されたり、ダークマターの候補と考えられたりした。

ループ状の宇宙ひもは、重力波のかたちでエネルギーを放出しながら崩壊していく。この重力波エネルギーが宇宙の進化に与える影響などから、宇宙ひもの存在量が見積もれないかなどが研究されてきた。しかし、WMAPによる宇宙背景放射の温度ゆらぎの解析結果から、宇宙ひもの寄与は（あったとしても）少ないことが分かった。宇宙ひもが存在したとしても宇宙論に与える影響は少ないようである。

<第1部>最新・宇宙論の概略は、これで終了します。宇宙論は、文明の総力を結集した広大で深遠な課題であり、門外漢の私の手には余る課題です。しかし、正真正銘の門外漢だからこそ、あえてその純粋学問の聖域に踏み込み、一般人の感覚での解釈を試みています。

以上の宇宙論は池内了が担当しました 最後までお読みいただきありがとうございました

2003.02.03池内了

Amazonプライム会員はお急ぎ便が無料。会員登録のお申し込みには”お急ぎ便無料でショッピングカートに入れる”ボタンをクリックして下さい。注文手続きの際に Amazonプライム無料体験へご登録いただけます。

## Amazonプライム会員特典:

「当日お急ぎ便」が無料

「お急ぎ便」が無料

「お届け日時指定便」が無料

必ずお読みください: 無料体験の開始時、および無料体験期間中に会員登録をキャンセルされた場合は、お客様のクレジットカードに年会費は請求されません。会員登録の継続をご希望の場合、お手続きは不要です。無料体験の終了時に、お客様の会員資格は年会費¥ 3,900の有料会員へ1か月後に自動的に正式登録されます。

こちらからも買えますよ

20の新品/中古品の出品を見る: ¥ 1より

この商品をお持ちですか? マーケットプレイスに出品する

シェアする

イメージを拡大

自分のイメージを掲載する

出版社, 著者の方へ: 「なか見! 検索」で書籍を紹介しませんか?

Kindle化リクエスト

このタイトルのKindle化をご希望の場合、こちらをクリックしてください。

Kindle をお持ちでない場合、こちらから購入いただけます。 Kindle 無料アプリのダウンロードはこちら。

泡宇宙論 (ハヤカワ文庫—ハヤカワ・ノンフィクション文庫) [文庫]

池内了

池内了 (著)

›池内了のAmazon著者ページを見る

著者の作品一覧、著者略歴や口コミなどをご覧いただけます

この著者の検索結果を表示

あなたは著者ですか? 著者セントラルはこちら



キャンペーンおよび追加情報

合わせ買いでお得対象商品：最大5000円OFF「PCソフト」

【科学・テクノロジー】心躍る科学読み物から現場で使える専門書まで。科学・テクノロジーのページへ。

著者ページ：著者の作品一覧や、著者写真・略歴など、著者に関する情報を満載した「著者ページ」。著者の方は、「著者セントラル」へ。

---

## 商品の説明

### 内容紹介

この宇宙は泡の構造をした入れ子である。その根拠。

--このテキストは、絶版本またはこのタイトルには設定されていない版型に関連付けられています。

### 内容（「BOOK」データベースより）

シャボン玉、ビールの泡など身近に溢れる泡と、太陽、星、銀河、宇宙の構造と進化には、実は密接な関係がある。泡は形を変え、スケールを変えて、宇宙のいたるところに現われる。太陽が吹きだすプロミネンス、超新星爆発で放出される巨大なエネルギー、銀河から飛び出す高温ガス、宇宙ジェット--これらはすべて「泡」なのだ。ハイテク天文学の最新成果をふまえ、「泡」の視点から天体の謎を解き明かす独創的な宇宙論。

---

## 登録情報

文庫：246ページ

出版社：早川書房（1995/08）

ISBN-10：4150501955

ISBN-13：978-4150501952

発売日：1995/08

商品の寸法：15 x 10.8 x 1.6 cm

おすすめ度：5つ星のうち 3.7 レビューをすべて見る（3件のカスタマーレビュー）

3レビュー

星5つ: (1)  
星4つ: (0)  
星3つ: (2)  
星2つ: (0)  
星1つ: (0)

[カスタマーレビューを見る\(3\)](#)

Amazon ベストセラー商品ランキング: 本 - 975,303位 (本のベストセラーを見る)

1518位—本 > 科学・テクノロジー > 宇宙学・天文学 > 一般

カタログ情報を更新する、画像についてフィードバックを提供する、またはさらに安い価格について知らせる

[目次を見る](#)

池内了

(いけうちさとる)

人物情報

誕生

1944年12月14日 (68歳)

日本兵庫県姫路市

学問研究分野

宇宙論



## 研究機関

京都大学、北海道大学、東京大学、国立天文台、大阪大学、名古屋大学、早稲田大学、総合研究大学院大学

## 母校

京都大学

## 博士課程

指導教員

林忠四郎

## 主な業績

泡宇宙論の提唱、新しい博物学の提唱

ウィキペディア読者のみなさまへ。私たちは世界で5番目のウェブサイトを運営する小さな非営利組織です。わずか150人のスタッフが4億5千万人のユーザーを支えており、他のトップサイトのようにサーバー、電力、家賃、プログラム、人件費がかかります。ウィキペディアは特別なものです。例えるなら、みんなの図書館のようなもの、また知の神殿のようなものでもあります。私たちが考え、学ぶことができる場所です。独立性を守るため、私たちは広告を掲載しません。政府からの援助も一切受けません。私たちはみなさまの寄付で運営されており、その平均額は3000円です。今、あなたの支援が必要です。もしこのメッセージをお読みのみなさまがコーヒー1杯分の価格ずつご寄付くださったとしたら、この資金募集は1時間以内に終わります。ウィキペディアがお役に立ちましたら、また1年広告なしで運営できるよう1分のお時間をください。私たちが資金募集のことを忘れてまたウィキペディアの仕事へ戻れるよう、どうかご協力ください。よろしく申し上げます。

私がウィキペディアを創設したとき、広告バナーを設置して営利企業にすることもできたでしょう。しかし、私は別の道を選びました。商売も良いでしょう。広告も悪いことではありません。ですが、ここ、ウィキペディアにはふさわしくありません。

ーウィキペディア創設者、ジミー・ウェールズ

# ちなみに地球は宇宙

# の20658730158730158730. 15873015873/1しかない

私たちは、どの国の人でも簡単にご寄付いただけるようにしようとしています。どうすればもっと簡単にできるかをお知らせください。ご提案はこちらまで：[problemsdonating@wikimedia.org](mailto:problemsdonating@wikimedia.org)

資金募集をきょう終わらせるため、可能な限りのご支援をお願いします。 一度だけ毎月\*

¥1000 ¥1500 ¥2000 ¥3000 ¥5000 ¥10000 ¥15000 その他 ¥

クレジットカードで寄付Donate with Direct DebitPayPal経由で寄付

寄付の際に何か問題がありましたか? | その他の方法 | よくある質問寄付をしていただいた際に得られた情報は、ウィキメディア財団（ウィキペディアおよびその他のウィキメディアのプロジェクトを運営する非営利団体）の寄付者個人情報保護規定により、アメリカ合衆国および世界中の財団およびその協力者に共有されます。ウィキメディア財団は非営利団体で、米国内国歳入法典第501条C項3号の規定に基づく税免除を受けています。登録番号は 20-0049703 です。詳細は、私たちの寄付者個人情報保護規定をご覧ください:

\*毎月のご寄付は、取りやめのご連絡をいただくまで、ウィキメディア財団によって引き落とされます。

お力をください

銀河鉄道999出典：フリー百科事典『ウィキペディア（Wikipedia）』

移動：案内、検索

この項目では、松本零士原作によるSF漫画について記述しています。その他の用法については「[銀河鉄道999（曖昧さ回避）](#)」をご覧ください

関連項目[表示]

ウィキポータル

漫画作品（日本）

漫画家（日本）

漫画原作者

漫画雑誌

カテゴリ

漫画作品

漫画

漫画家

プロジェクト

漫画作品

漫画家

漫画雑誌

『銀河鉄道999』（ぎんがてつどうスリーナイン、Galaxy Express 999）は、松本零士作のSF漫画、およびそれを原作としたテレビアニメ番組、アニメ映画である。略称は「999（スリーナイン）」。

本項ではこのうち漫画作品と関連作品全般について述べる。

目次 [非表示]

- 1 概要
- 2 作品解説
- 3 構成
  - 3.1 アンドロメダ編
  - 3.2 エターナル編
- 4 あらすじ
- 5 登場人物
  - 5.1 エターナル編からの登場人物
- 6 作品世界解説
- 7 単行本
- 8 アニメ
- 9 ラジオドラマ
- 10 ミュージカル
  - 10.1 銀河鉄道999 in SKD
  - 10.2 銀河鉄道999 透明宮への旅
  - 10.3 GALAXY EXPRESS 999 The Musical
- 11 スピンオフ作品
- 12 CM
- 13 ゲーム
- 14 パチンコ
- 15 電子配信
- 16 イベント列車 / ラッピング車両
- 17 著名人のファン
- 18 その他
- 19 脚注
- 20 外部リンク

概要 [編集]1977から1981年にかけて、少年画報社「少年キング」にて、同誌の看板作品として連載された。ヒットコミックス全18巻。第23回(1977年度)小学館漫画賞を受賞した松本零士の代表作

連載中にテレビアニメ化、劇場アニメ化されて大ヒットしてアニメブームの原点を確実なものとし、『宇宙戦艦ヤマト』シリーズとともに1980年代初めの松本零士ブームをも巻き起こした。

1981年に連載を終了して、当初はこれをもって完全に完結し続編はないとしていた[1]。

その後もイベント向けの番外編的な短編映像化は行われていたが、1996年になって小学館「ビッグゴールド」誌上で続編の連載が始まる。1999年の「ビッグゴールド」誌の休刊後は、「ビッグコミック」を経てWebで不定期連載し、松本は999話まで描きたいとしていた[2]。正式名称ではないものの、「少年キング」版を「アンドロメダ編」、1996年からの新作を「エターナル編」とファンの間で便宜上の仮称がつけられている。エターナル編は1998年に劇場アニメ化されて、ストーリーの完結までを描くその続編が1999年に劇場アニメとして公開される予定だったが頓挫している。

宮沢賢治の『銀河鉄道の夜』とモーリス・メーテルリンクの『青い鳥』をヒントに執筆が始められ[3][4]、全体的に寓話性や教訓性がやや強いものの、物語や登場人物の印象的な描写によって多くのファンを得た。物語の枠組みは『銀河鉄道の夜』に登場する銀河鉄道を元にしていて、列車や運行システムの細部は日本の旧国鉄をモデルとしている。松本自身が『銀河鉄道の夜』『青い鳥』とともに、SLに乗って東京へ行った青春時代の体験が基になっていることを述べている[5][6]。

タイトルの999には、大人の1000になる前で未完成の青春の終わりという意味が込められている[7]。

作品解説 [編集]本来『宇宙海賊キャプテンハーロック』とともにアニメの企画であった。アニメ化が実現に至らず、やむなくそれぞれ漫画連載していたところ、松本零士も関わった『宇宙戦艦ヤマト』のブームが到来。両作品ともテレビアニメ化された[8]。

NHKラジオドラマ（後述）の番組中で松本自身が解説したところによれば、元々『ハーロック』『エメラルダス』『999』は同一の物語として構想していたところ、アニメ化・漫画化の際に別々の物語として再構成した、とのことである。同旨の発言は、他の媒体などでのインタビューの際にも散見される。

1996年より執筆が開始されたエターナル編は2004年までに41話が掲載され、2005年の松本の漫画家50周年を記念した「ビッグコミックスペリオール」の増刊に描き下ろしの4話が掲載されたのを最後に新エピソードが描かれず、伏線の多くは回収されないままとなっている。エターナル編は劇場アニメ版第2作の設定が取り込まれているために、原作アンドロメダ編からの純粋な続編ではない。ただし単行本ではアンドロメダ編の続きの巻として番号が割り振られて刊行されている。

このエターナル編からは、松本によって積極的に世界観の拡大や設定の変更が行われ、他作品『宇

『宙海賊キャプテンハーロック』『クイーン・エメラルダス』『新竹取物語 1000年女王』『ニーベルングの指環』といった作品と物語がリンクし、メーテルとエメラルダスの関係に至っては漫画のアンドロメダ編とそれを基にしたテレビアニメでは「ライバル」だったが、エターナル編では「双子の姉妹」に変更されている。

2008年発行のゲーム情報誌『ファミ通』999号でも、999という数字に合わせて銀河鉄道999を題材とした表紙を描き下ろした際のインタビューにおいてエターナル編についても触れ、最終話の構想について「エンドマークはまだつけていない」「連載は終了ではなくあくまで中断」「自分の物語は時空を越えて全て繋がった一つの世界で時の輪をめぐる物語として描いている」と語っている。

構成 [編集]999号が停車する1つの惑星につき1つのエピソード、という短編の連作で基本的に構成されている。

アンドロメダ編 [編集]メーテルとともに999号に乗り、アンドロメダ星雲にあるという機械の体をタダでくれるという星に到着するまでの鉄郎の旅を描く。

アンドロメダ編に関しては、原作・テレビアニメ版と長編の劇場版2作品とではやや世界観が異なっている。原作およびテレビアニメ版では、人間の愚かさや孤独、弱さや、経済格差や実力社会を背景としたこの世の不条理を題材にしたエピソードが多く見られる。またその世界観の中には、人間の歴史から得られる教訓を下地にしたと考えられるものも多い。劇場版では、前記のような世界観を一部踏襲しながらも、冒険活劇、青春ものの作品としてのまとまりがより強くなっている。

エターナル編 [編集]アンドロメダ編から1年後が舞台。鉄郎が再びメーテルとともに999号に乗り、アルテメータ星系にあるという終着駅・エターナルに到着するまでを描く。

アンドロメダ編が原作、テレビアニメ版、劇場アニメ版とそれぞれが別の展開をし、異なる結末を迎えており、本作は漫画という表現形態でありながら、原作アンドロメダ編の直接の続編ではなく劇場版の続編と取れる表現があり、はっきりとはしていないためエターナル編については色々な解釈がされている。実際に構成に当たっては漫画、テレビアニメ、アニメ映画のどれからでも矛盾が極力小さくなるように、いずれのメディアによるアンドロメダ編で展開された多くのシチュエーションとも、ほとんど連鎖していない描写となっている。

#### 映画版から引き継いでいる要素

エメラルダスは大きく体調を崩している描写はない（原作のアンドロメダ編およびテレビ版では病に冒され、余命いくばくもないと語られる）。

鉄郎が戦士の銃を再び手にした際に、トチローの遺志を受け継ぐ旨を語っている（原作およびテレビ版では、鉄郎はトチローと面識はない）。

#### 原作アンドロメダ編（テレビアニメ版）から引き継いでいる要素

この旅を「二度目の旅」と語っている。

クレアが死んだのは小惑星帯（亡霊）トンネルである。

鉄郎はアンタレスがまだ生きていると思っている。

なお、原作アンドロメダ編における終着駅・惑星大アンドロメダの末路について、メーテルの台詞でアンドロメダ星雲の真の中心である「光さえも抜け出せない超重力の墓場に引き込まれて」と言及されていたが、エターナル編では冥王星でのメーテルの台詞で「惑星大アンドロメダはブラックホールに吸いこまれ滅亡した」とより踏み込んだ表現となっており、テレビアニメ版の終着駅・惑星プロメシュームと同様の末路をたどったことが語られている。

ヘルマザリアについては、彼女が息を引き取る直前に頼まれた願いをふいにした形で、悩む鉄郎を見るに見かねたのかメーテルはその直後鉄郎にそれを伝えているが、鉄郎はのちにヘルマザリアの子供たちと出会った際、そのことを忘れて生きているはずだと思っているなど、矛盾点もある。

あらすじ [編集]

---

注意：以降の記述には物語・作品・登場人物に関するネタバレが含まれます。免責事項もお読みください。

---

舞台は、銀河系の各惑星が銀河鉄道と呼ばれる宇宙空間を走る列車で結ばれた未来世界（テレビアニメ版では第1話冒頭のナレーションで西暦2221年と設定）。宇宙の多くの裕福な人々は機械の身体に魂を移し替えて機械化人となり永遠の生を謳歌していたが、貧しい人々は機械の身体を手に入れることができず、機械化人の迫害の対象にされていた。そんな中、機械化人に母親を殺された主人公の星野鉄郎が無料で機械の身体をくれるという星を目指し、謎の美女メーテルとともに銀河超特急999号に乗り込む。

登場人物 [編集]※キャストは特筆なき場合、テレビ版のものである。

星野鉄郎

声 - 野沢雅子

本作の主人公。機械の体をタダでくれるという触れ込みの星へ行ける銀河超特急999号のパスをメーテルから貰い、彼女とともに999号で旅をすることとなる。

原作・テレビ版と劇場版で容姿が大きく異なる。これは既に放送していたテレビ版とは別の『999』を作ろうということによる。

メーテル

声 - 池田昌子

鉄郎を999の旅へと誘う謎の美女。鉄郎の母によく似た風貌をしている。

車掌

声 - 肝付兼太

999号で勤務している車掌。性格はまじめだが、客へのサービスは忘れない。

機関車

声 - 山田俊司→戸谷公次 / 柴田秀勝（劇場版第2作） / 山寺宏一（劇場版第3作）

人格を持っている999号のコンピューター。プライドが高い。しかし、アニメ版でメーテルに逆らえなかったシーンがある。

謎の声

声 - 田中崇（現・銀河万丈） / 納谷悟朗（劇場版第1作） / 松本零士（WEBアニメ不滅の空間軌道）

メーテルに指示を下す謎の声。物語の終盤で正体が明らかとなる。

鉄郎の母 / 星野加奈江

声 - 坪井章子 / 滝沢久美子（不滅の空間軌道）

雪の晩、鉄郎とメガロポリスに向かう途中のところを機械伯爵に襲われ、物語冒頭で射殺されてしまう。

テレビアニメ版では鉄郎の回想などを通じてたびたび登場している。

機械伯爵

声 - 柴田秀勝 / 中村秀和（不滅の空間軌道）

鉄郎親子を襲った機械化人。鉄郎の母をライフルで射殺したあと、彼女を剥製にして自宅の応接間に飾り、仲間と祝杯を挙げていた。そこを復讐に来た鉄郎によって仲間共々皆殺しにされ、彼の屋敷は火をかけられたことにより灰燼に帰した。

劇場版第1作では機械化人の英雄とされ、宇宙を渡り歩くことのできる城・時間城のボスとして鉄郎の前に現れる。また、惑星ヘビーメルダーの歌姫リユーズ（声 - 小原乃梨子）を愛人としている。

『メーテルレジェンド』にも登場している。

アンタレス

声 - 今西正男 / 久松保夫（劇場版第1作） / 糸博（1997年のラジオドラマ） / 郷里大輔（プレイステーション用ゲーム松本零士999 ～Story of Galaxy Express 999～）

999を襲った列車強盗。正真正銘の生身の人間であり、その体には数多くのエネルギー弾が不発弾となってめり込んでいる。999をトレインジャックして自分の住処とする小惑星へと進路を変更させた。鉄郎がタイタンで手に入れた戦士の銃のメンテナンスを行い、彼に「命乞いされようとも、心を鬼にして、撃たれる前に撃て」という宇宙で生き抜くための非情の掟を説いた。体内の不発弾はいつ爆発してもおかしくない状況だが特に気にしている様子はなく、「いつかこいつら（不発弾）が爆発しておれはなにも残さず、消し飛ぶのだ」と言って笑い飛ばすという豪快さも見せる。

たくさんの子供を持つ父親であり、2ヶ月以上家に帰っていなかった。テレビ版では、機械化人から物資を奪おうとした際に妻を殺されたことが語られ、メーテルと再婚しようとしたが断られた。

劇場版第1作ではタイタンにアジトを持つぶどう谷の山賊のボスとして登場し、機械伯爵に親を殺された孤児たちを養っていた。原作やテレビ版に比べ体型もスリムになり、風貌も精悍になっている。孤児たちの仇を討つべく、母の仇討ちのため機械伯爵の時間城に乗り込んだ鉄郎の救援に駆けつけた。メーテルが只者ではないことに気づいており、気をつけるよう鉄郎に遺言する。

## クレア

声 - 川島千代子 / 麻上洋子（劇場版第1作） / 皆口裕子（劇場版第3作）

クリスタルガラス製の機械化人。生身の体を買戻すため、999のアルバイトのウェイトレスとして働いている。体内エネルギーの振動を強くして、その体をホタルのように発光させることもできる。小惑星帯トンネルで鉄郎を助けるために体を砕け散らせて死亡した。原作では、このときに鉄郎が持っていたクレアの体の破片が、終着駅で鉄郎の危機を救うキーアイテムとなる。エターナル編では何者かにより再生され、999の食堂車に勤務している。（メニューの表紙には”CLAIR RESTAURANT 999”と表記されている） 停車する星の情報説明やアドバイスを車掌に代わって鉄郎にすることがある。元の身体は冥王星に保管されていたが、何者かに盗まれてしまう。

劇場版第1作では小惑星帯トンネルを無事に通過したので終盤まで登場する。鉄郎に恋心を抱くも、鉄郎がメーテルに好意を持っていることに気付いて思い悩む姿が随所で見られた。

## シャドウ

声 - 信沢三恵子 / 藤田淑子（劇場版第1作）

冥王星の墓守を務める機械化人で、「迷いの星のシャドウ」と呼ばれている。機械の体にはなったものの、生身の体ときの顔ほどの美しさには及ばなかったため、顔はのっぺらぼうである。

機械の体になったことを後悔しており、生身の体に戻りたがっていた。テレビ版では、生身の体に戻るために必要な鉄郎の魂を奪おうとして彼に母親の幻を見せ、メーテルから引き離そうとしていた。劇場版第1作では一人身の寂しさに耐えられずに鉄郎を狙うが、メーテルに自分の中の迷いを指摘されて断念した。

エターナル編では冥王星でホテルシャドウを経営をしており、シャドウ夫人と呼ばれている。

## リューズ

声 - 北浜晴子

重力の底にある家で暮らす機械化人で、時間を操る能力を持つ。これにより333号を脱線させ、車内の時間を進めて333号の乗客を白骨に変えた。列車脱線の常習者で、999号で20台目になると語っている。1人暮らしの寂しさから鉄郎を自分の家に連れて行き、同居を条件に機械の体を与えると鉄郎に言うがそれを拒否される。リューズは機械の体になったいきさつを話してなおも鉄郎に同居を迫ったが、鉄郎の固い意志を見てそれをあきらめ、鉄郎がいつかメーテルをとるか自由をとるか悩む時が来ることを話し、彼を解放した。

リューズが語ったところによれば、彼女は500年前に交際していた男性の言うがままに自分の肉体を機械の体にした結果、このような体になった挙句にその男性から捨てられたとのことであり、テレビ版ではその様子が詳しく描かれた。これにより彼女がかつてフラメンコの踊り手であったこと、交際していた男性の名がクロック男爵（声 - 徳丸完）であることなどが明かされた。

ニセハーロック / 影男



声 - 安原義人 / 大塚明夫 (1997年のラジオドラマ) / 井上真樹夫 (松本零士999)

惑星ヘビーメルダーの支配者として君臨する機械化人。影男はアニメでのクレジット表記である。ハーロックの名を騙って悪行の限りを尽くしていた。ニセハーロックと後述するレリューズが登場するエピソード「時間城の海賊」に先行して劇場版第1作が公開されており、時間城はニセハーロックの居城として登場することとなった。また「過去から未来まで渡り歩くことのできる城」というニセハーロックと部下のセリフから、タイムマシンとしても機能することが明らかとなっている。

メーテルの対決の際にも、城内に仕掛けてある落とし穴で鉄郎を母が殺される前の晩にタイムスリップさせるといった卑怯な行為に及んでいるが、最期は愛人のレリューズにも裏切られ自分の体の時間を進められた結果、電子頭脳を残して肉体を消滅させられてしまう。

メーテルのかつての恋人とも取れるような描写がなされており、電子頭脳だけとなったその姿を見てメーテルは涙を流し、鉄郎に対してニセハーロックもかつては鉄郎のような心を持った若者だったと語っている。

テレビ版では暗所を好み極度に光を嫌う描写が追加されたほか、レリューズに暴力を加えるシーンなども描かれた。メーテルにとっては許すべからざる敵として描かれており、最期を迎えた際にも彼を哀れむような描写はない。かつてはメーテルとともに宇宙に正義を取り戻そうとした同士だったことがメーテルの弁で語られ、彼女を裏切って多くの仲間を死に追いやった卑怯者とされている。またメーテルの先手を常に取り続け、彼女に反撃のチャンスを与えなかったとも語られている。

レリューズ

声 - かおりくみこ / 小林優子 (1997年のラジオドラマ)

ヘビーメルダーの酒場の歌姫で、ニセハーロックの愛人。重力の底を住処とするリューズの姉であり、彼女もまた機械化人である。タイムスリップの能力を持ち、時間の流れの中を移動できる。外見的には若い女性のように見えるが、妹のリューズが500歳以上であることから彼女も相当に高齢であることは確かである。

劇場版第1作に登場した機械伯爵の愛人・リューズに相当するキャラクターで、歌詞から劇場版のリューズが歌う「やさしくしないで」を酒場で歌っていることがわかる。メーテルの後を追う鉄郎を時間城へと連行するが、時間の流れの中へと落下させられた鉄郎を連れ戻す。最期はニセハーロックを裏切り、自分達と時間城の時間を進めて城と運命をともにした。

テレビ版では「思い出なみだ色」を歌っている。また、妹のリューズがいなくなってからニセハーロックと出会うまでのいきさつも描かれた。原作では彼女が最期を迎える描写はなく、時間城崩壊後の描写もニセハーロックについてメーテルが言及しているのに対し、テレビ版ではレリューズのほうに描写が割かれている。崩壊する時間城の中でギターを弾き「思い出なみだ色」を歌いながら肉体が朽ち果てていく様子が描かれ、劇場版の時間城崩壊シーンを踏襲するものとなっている。後に残された時間城の残骸から鉄郎がレリューズのギターを見つけ出し、酒場に戻ってきて彼女のギターを酒場のマスターに渡すシーンも描かれた。

S・F・メタルメナ

原作にのみ登場するクレアの後任のウェイトレス。口が大きい姉御な風貌の機械化人。言動はかなり乱暴であるが、結果的に鉄郎を助けるものとなっている。感謝すると皮肉や憎まれ口で返す性格で謎は多い。数話連続で登場し物語の中からも外からも意味深な存在であったが、その後はなかった

ことのように姿が見えない。

劇場版第2作にもメタルメナ（声 - 麻上洋子）という機械化人が登場するが、クレアの後任と機械化人という設定以外に特に共通点はない。

プロメシューム

声 - 来宮良子

メーテルの母にして機械帝国の女王。終着駅で鉄郎を待つ。機械の体による人間の機械化のみならず、全宇宙の機械化を進めている。

メノウ

声 - 坪井章子（1997年のラジオドラマ） / 江森浩子（松本零士999）

原作におけるプロメシュームの側近を務める機械化人で、アニメには登場しない。クレアの母で、彼女の体をクリスタルガラスにした。クレアの弁によれば見栄っ張りとのことである。これから機械の体になる生身の人間への配慮から、先入観を持たせないために顔はのっぺらぼうで黒い体をしている。

終着駅近くの通過駅「予約カタログ」にて、機械の体のカタログ配達人として鉄郎の前に現れる。終着駅の一つ手前の臨時停車駅「最後の晚餐」では、若い女性を装い鉄郎の行動を観察していた。

エターナル編からの登場人物 [編集]※劇場版第3作『エターナルファンタジー』に登場したキャラクターは、声優も併せて記載している。

電子妖精カノン

声 - 戸田恵子

人型をした999のパーツ。パーツであるために機関車の外には出られないとされていたが、運命発車前に客車から顔を出すカノンの姿が確認できる。

ミーくん

地球で監禁されていた鉄郎と同居していたトラ猫で、ともに999号に乗り込んだ。

ダークィーン

エターナル編での敵役。メタノイドを支配して、有機生命体の絶滅を進めている。ただし、非業の死を遂げた惑星アフロダイテの兵士に対し涙を見せたり、自分の体内に招いた鉄郎に対し、危害を加えたり心を読んだりすることはなかったことから、冷酷非道な悪役ではないことがうかがわれ、メーテルも彼女のことを「悪人ではない」と評している。そのメーテルについては、「ぶつかれば自分の宇宙を道連れにする可能性がある」として直接対決を避けているふしがある。

ボルカザンダIII世

声 - 梁田清之

ダークィーンの命令により地球を奪い、地球を消滅させた張本人。原作ではヘルマザリアの上官で誇り高い武人とされているが、劇場版ではエターナル編冒頭に登場した地球総統と同一人物となっており、999号を逃がした責任を取らされてヘルマザリアに処刑された。

イーゼル

声 - 日高のり子

惑星ブライトオブリングオアフライ（輝く蛍の輪）にある、ただ一軒の温泉宿の女将。父親（声 - たてかべ和也）と二人暮らし。

惑星がダーキーンの手により破壊、消滅させられたために運命をともにすることとなった。

ヘルマザリア

声 - 榎原良子

ダーキーンに忠誠を尽くしているメタノイドの女戦士で、「地獄の聖母騎士」とよばれる。鉄郎と対決して倒された。ロウエルとティア（メウエル）という2人の子供がいたため、鉄郎は彼らと会ったことで自分の母を殺した機械伯爵と同じことをしてしまったと思い、悩むこととなった。後にロウエルはダーキーンとの戦いで戦死し、ティアはヘルマザリアに似た容姿に成長して、惑星「ポイズン」で鉄郎と再会する。

『ニーベルングの指環』にも登場している。

レギュラーキャラクターは非常に少なく、鉄郎、メーテル、車掌の3人だけである（エターナル編からはカノンとクレア、ミーくんもレギュラー化）。これはゲストキャラクターによる比重が大変高いストーリー構成となっているためである。

原作ではあまり表に出てこなかったハーロックやエメラルダスなど他の松本作品に登場するキャラクターも、劇場版では前面に出て活躍する。なお、エターナル編では劇場版同様、両者は主要キャラクターとして登場し、アンドロメダ編に比べ鉄郎達との関わりも増えている。

原作者の松本は登場人物について、劇場版第2作を特集したロマンアルバムでの、ファンに向けたメッセージで「ハーロックやエメラルダス、メーテルなど、作中に登場するキャラクターは敵であるプロメシュームも含めてみんな鉄郎にとって“人生の師”なんです」と語っている。

作品世界解説 [編集]銀河鉄道株式会社

宇宙空間を走行する、全ての鉄道を統括する民営の鉄道会社。その空間鉄道網は宇宙全域に渡って広がっており、宇宙旅行における交通手段として重要な位置を占める。加えて独自の軍事権・警察権を有し、運行路線や車両への危険を排除するためなら惑星を破壊することも辞さないほどである。

詳細は「銀河鉄道株式会社」を参照

銀河超特急999号

本作の主演メカで、銀河鉄道の運行列車の中では最速の特急列車として登場する。外見は旧式のC62蒸気機関車を模しているが、外宇宙の遺跡から発見された技術などを導入して作られた超近代化宇宙列車である。

詳細は「999号」を参照

戦士の銃/コスモドラグーン

作品世界に関わる重要アイテムの一つ。星野鉄郎は999号での旅の途中、土星の衛星タイタンでこの銃を手に入れている。

誤解されがちだが、原作およびテレビアニメ版では機械伯爵を倒したのは別の銃である。これは鉄

郎がメーテルから借りたレーザーライフルであり、タイタンに住んでいたトチローの母からは「戦士の銃に比べればおもちゃ同然」とまで言われてしまうような代物である。

詳細は「戦士の銃」を参照

## 機械帝国

メーテルの母・女王プロメシュームの手により建国された強大な帝国。プロメシュームが自らの理想を実現するべく、機械の体になることで永遠の命を実現し、死の恐怖を克服した者達が悠久の時を過ごす理想郷を形にしたものである。その首都である大母星は機械化人の故郷であり、アンドロメダ星雲の中心に位置している。

詳細は「機械帝国」を参照

単行本 [編集]少年画報社 ヒットコミックス『銀河鉄道999』

全18巻：アンドロメダ編、オリジナル。絶版。

少年画報社 漫画文庫『銀河鉄道999』

全18巻：第1 - 12巻がアンドロメダ編、第13 - 18巻がエターナル編。

小学館 ビッグコミックスゴールド『銀河鉄道999』

既刊21巻。小学館『ビッグゴールド』への移籍による。第1 - 14巻がアンドロメダ編、第15 - 21巻がエターナル編。第21巻は外伝『銀河鉄道物語』の収録が主で、鉄郎たちの本編は少ない。

小学館叢書『銀河鉄道999』 小学館叢書

全10巻の愛蔵版。

『銀河鉄道999』 My First BIG(コンビニコミック版)

既刊28巻。1巻から20巻がアンドロメダ編 21~28巻がエターナル編。コンビニコミック版には各巻にインタビューが追加された。そのかわり「17億6千5百万人のルンペン星」「絶対機械圏」「ブルームロンの決闘」「自分以外全部バカ学博士」のエピソードが削除されている。エターナル編第38話まで収録。表紙に巻数表示はなく、かわりにサブタイトルが振られている。

アニメ [編集]「少年キング」連載中にテレビアニメおよび劇場用長編アニメが2本、その後エターナル編を下敷きとした中編の劇場アニメなどが製作された。

## テレビシリーズ

銀河鉄道999 (1978 - 1981年)

## 映画

銀河鉄道999 (1979年)

銀河鉄道999 ガラスのクレア (1980年、東映まんがまつり内の1本として)

さよなら銀河鉄道999 -アンドロメダ終着駅- (1981年)

銀河鉄道999 エターナル・ファンタジー (1998年)

詳細は「銀河鉄道999 (アニメ)」を参照

## ラジオドラマ [編集]キリン・ラジオ劇場

テレビアニメ放映以前にニッポン放送で放送されたラジオドラマ。メーテル役は吉田理保子[9]。

## NHKラジオドラマ

テレビアニメ放映以前の1978年4月30日の22:20からNHK-FMで放送されたラジオドラマ。番組の進行役は松本零士、鉄郎役と他の男性の声は市村正親、メーテル役は女優の倉野章子、本編冒頭のプラットホームからの出発アナウンスの声は中江真司。音楽は富田勲、脚色は菅沼定憲。なお、NHK-BS2で2010年8月10日に放送された「全駅停車!銀河鉄道999全部みせます」（第2夜）で松本零士監修のもと原作漫画を加工した形で映像化された。

※ NHK自身はNHK-BS2での放送に際して、1978年の放送はNHKラジオ第一であったと記述しているが、ニコニコ動画のファイルを聞く限りでは、AM放送とは思えない高質の録音である。どうしてそのような（AMとFM）の混乱が見られるのかがよくわからない。どちらか(例えばFM放送)が片方（AM放送）の再放送であった可能性もある。全10回の放送であったらしいが、判明している放送のタイトルは

第1回「フィメールの思い出・前編」

第2回「フィメールの思い出・後編」

第3回「化石の戦士」

第x回「雪の都の鬼子母神」

第x回「タイタンの眠れる戦士」

第x回「霧の吊い星」

第x回「サケザン大陸」（1978年11月28日）

第x回「海賊船クイーン・エメラルダス（前編）」（1978年11月30日??）

第x回「海賊船クイーン・エメラルダス（後編）」（1978年12月1日??）

第1-3回目は確定らしいが、後は順番どおりのようだが、放送が全10話であるならば途中または末尾に1話分が欠落している可能性がある。（このあたりの事情を解明する必要がある）

## オールナイトニッポン

『さよなら銀河鉄道999』の劇場版公開直前に宣伝を意図したオールナイトニッポンのスペシャル番組の番組内で生ラジオドラマとしてニッポン放送で放送。ストーリーは劇場版の途中までで終わる。アニメブームの最中には『宇宙戦艦ヤマト』シリーズなどで同様のスペシャル番組が放送されていた。

## ラジオドラマ銀河鉄道999

アニメ映画『銀河鉄道999 エターナル・ファンタジー』公開に合わせて、1997年10月10日から1998年にかけてニッポン放送の『岩男潤子と荘口彰久のスーパーアニメガヒットTOP10』内とABCラジオで放送された。原作から抜粋した全18話。後に3枚のCDにまとめられて発売された。内容はアンドロメダ編を簡略化したものと、エターナル編の冒頭のエピソードを併せたもの。

ミュージカル [編集] 銀河鉄道999 in SKD [編集]松竹歌劇団 (SKD) によるミュージカル作品。内

容はアンドロメダ編を再構成したもの。国際劇場にて、1980年2月23日 - 3月30日までの期間と、同年9月28日 - 11月30日までの期間で上演。その後、ららぽーと劇場で1982年4月29日 - 5月23日の期間で再演が行われた。

#### キャスト

メーテル - 高城美輝

星野鉄郎 - 滝真奈美

#### スタッフ

演出・脚本：宮島晴彦

音楽：渋谷森久、三木たかし

振付：松見登、篠井世津子、謝珠栄

銀河鉄道999 透明宮への旅 [編集]松竹歌劇団によるミュージカル作品。1986年9月21日 - 10月3日。青山劇場。内容は、アンドロメダ編にもエターナル編にも属さない、完全オリジナル・ストーリー。人類最後の男性となってしまった少年「大地巡」が人類再生を目指し、人類最後の女性を求め、メーテルとともに旅をする。

この作品では「メタノイド」のことを「メタリオン」と呼称している。また地下深くに存在する透明宮に閉じ込められた少女ユマは、原作エターナル編の冒頭に登場する、地下深いところで氷漬けになった少女を彷彿させる。

#### キャスト

大地巡 - 丘乃遊莉

メーテル - 紅エミ

車掌 - 夕鶴みき

ネガの女王 - 立原千穂

フロイセス - 千羽ちどり

ハートレス - 初音ひかり

ゼロ - 星里くらら

ユマ - 若草久美

スタッフ

原作・アートディレクター：松本零士

演出・脚本：斉藤耕一

音響監督：渋谷森久

振付：松見登、謝珠栄、田村連

GALAXY EXPRESS 999 The Musical [編集]アートスフィアによるミュージカル作品。上演期間は1997年11月5日 - 12月10日。内容はアンドロメダ編を再構成したもの。

キャスト

星野鉄郎 - 本田修司

メーテル - 大浦みずき

クレア - スージー・カン

リュウズ - 杏子

キャプテン・ハーロック - 宮川浩

機械伯爵 - 留守晃

スタッフ

原作・構成衣装監修：松本零士

作曲：シュン・トクラ

作詞：ダグラス・A・ブレイフィールド

脚本：メラニー・ミンツ

演出・振付：ジェームス・ロッコ

翻訳・訳詞：松田直行

美術：森安淳

照明：原田保

音響：松木哲志

衣装：前田文子

舞台監督：高橋司

スピンオフ作品 [編集]メーテルレジェンド

OVA作品（2000 - 2001年、全2話）。『新竹取物語 1000年女王』と本作を繋ぐストーリー。機械化人や機械の女王プロメシュームの誕生時エピソード、メーテルとエメラルダスの少女時代などが描かれている。

詳細は「メーテルレジェンド」を参照

### 宇宙交響詩メーテル銀河鉄道999外伝

テレビアニメ作品（2004 - 2005年、全13話）。『メーテルレジェンド』の続編。『銀河鉄道999』（アンドロメダ編）の序章とも言える作品だが、各作品との整合性に難がある表現もみられる。人間と機械化人との抗争開始期のエピソードが描かれている。

詳細は「宇宙交響詩メーテル銀河鉄道999外伝」を参照

### 銀河鉄道物語

テレビシリーズ第1作『銀河鉄道物語』（2003 - 2004年、全26話）、第2作『銀河鉄道物語～永遠への分岐点～』（2006 - 2007年、未放送2話を含む全26話）、OVA『銀河鉄道物語～忘れられた時の惑星～』（2007年、全4話）が制作された。また、これとは別に松本による漫画版も存在するが、アニメ版と主人公は異なる。『銀河鉄道999』の世界観で、銀河鉄道管理局とその職員を描いた作品。999号はテレビシリーズ第1作の初回に主人公：有紀学（ゆうきまなぶ）の兄：有紀護（ゆうきまもる）が故郷を旅立つときに登場。また、OVA『忘れられた時の惑星』は999号を救出する話で、車掌はもちろんメーテルや鉄郎も登場する。漫画版は、『銀河鉄道999』の単行本に収録されている。

詳細は「銀河鉄道物語」を参照

ということである

詳しくはインターネットでしらべてほしい

さいご`に面白いものをお見せしよう



宇宙は137億光年であり最終的に250億光年

250億光年×○○であるちなみに1光年は950000000000kMである

解説

# サイクリック宇宙論

出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』

移動: [案内](#)、[検索](#)

サイクリック宇宙論 (cyclic universe theory) は、[宇宙](#)は無限の自律的な循環に従うとする[宇宙論](#)である。例えば、1930年に[アルバート・アインシュタイン](#)が簡潔に考えを示した[振動宇宙論](#) (oscillatory universe theory) は、[ビッグバン](#)によって始まり[ビッグクランチ](#)によって終わる振動が[永遠](#)に連続する宇宙を理論化した。ビッグバンとビッグクランチの間、宇宙は[膨張](#)してゆき、その後、[物質の重力](#)による引力によって再び収縮し崩壊して、[ビッグバウンス](#) (大きな反発) が起こる。

## 目次

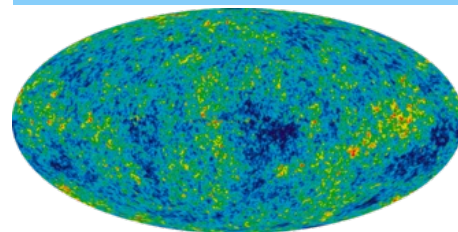
[非表示]

- [概要](#)
- [Steinhardt–Turokモデル](#)
- [Baum–Framptonモデル](#)
- [脚注](#)
- [関連項目](#)
- [参考文献](#)
- [外部リンク](#)

## 概要[編集]

1930年代、理論物理学者、とりわけ[アルバート・アインシュタイン](#)は、[膨張宇宙モデル](#)に代わる（永続的な）サイクリック宇宙モデル（循環宇宙モデル）の可能性を考察していた。しかし、1934年に[リチャード・トルマン](#)は、サイクリック宇宙モデルの初期の試みは[熱力学第二法則](#)に従ってエントロピーは常に増大するというエントロピー問題のため失敗していることを示した<sup>[1]</sup>。トルマンの成果は、宇宙の連続するサイクルは次第に長く大きくなっていくことを示唆した。外挿によって時間を遡っていくと、現在の宇宙より前の宇宙は、そのサイクルはより短く、大きさはより小さくなっていく。このことは理論的に困難な状況として何十年も解決されずにいたが、21世紀初期に[暗黒エネ](#)

現代宇宙論



[宇宙・ビッグバン](#) [宇宙の年齢](#) [宇宙の年表](#) [宇宙の終焉](#)

[表示]初期の宇宙

[表示]膨張する宇宙

[表示]構造形成

[表示]成分

[表示]年表

[表示]観測

[表示]科学者

[表](#)・[話](#)・[編](#)・[歴](#)

[ルギー](#)成分の発見を契機に、論理的整合性を持つサイクリック宇宙論が提唱された<sup>[2]</sup>。

新しいサイクリック宇宙モデルの一つは、初期の[エキピロティック宇宙論](#)モデルから派生した[宇宙の創成のブレーン宇宙論](#)モデルである。これは2001年に[プリンストン大学](#)の[Paul Steinhardt](#)および[ケンブリッジ大学](#)の[Neil Turok](#)によって提唱された。その理論は、一度のみならず何度も繰り返し存在する宇宙を記述している<sup>[3][4]</sup>。その理論は、“[宇宙定数](#)”として知られる宇宙の膨張を加速しているエネルギーの不思議な反発的性質はなぜ標準的な[ビッグバン](#)モデルによって予測されているよりも小さいオーダーの大きさであるのかを潜在的に説明する。

これとは異なる[ファントムエネルギー](#)の概念に基づくサイクリック宇宙モデルが2007年に[ノースカロライナ大学チャペルヒル校](#)のLauris Baumおよび[Paul Frampton](#)によって提唱された<sup>[5]</sup>。

## Steinhardt–Turokモデル[編集]

このサイクリック宇宙モデルでは、二つの平行な[オービフォールド](#)平面または[M-ブレーン](#)はより高次元の空間の中で周期的に衝突する<sup>[6]</sup>。われわれに可視的な四次元宇宙はこれらのブレーンの内の一つに横たわっている。その衝突は、収縮から膨張への反転または直後に[ビッグバン](#)が続いて起こる[ビッグクランチ](#)に対応する。今日われわれが見る物質および放射は、ブレーンの前に作られた[量子ゆらぎ](#)によって決定付けられたパターン中での直近の衝突の間に発生したことになる。最終的に宇宙は今日われわれが観測している状態に到達し、何億年も先の未来に再び収縮を開始する。[暗黒エネルギー](#)はブレーン間の力に対応し、[磁気単極子問題](#)、[地平線問題](#)および[平坦性問題](#)を解決する決定的な役割を担う。そして、このサイクルは過去と未来が無限に連なる。その解は[アトラクター](#)であり、宇宙の完全な歴史の情報を含んでいる。

[リチャード・トルマン](#)が示したように、初期のサイクリック宇宙モデルは宇宙が不可避の[熱力学的な熱的死](#)を経験するということから破綻していた<sup>[1]</sup>。しかし、新しいサイクリック宇宙モデルは膨張していくサイクルを持ち[エントロピー](#)が増大するのを妨げることによってこの問題を回避している。しかしながら、このモデルには主要な問題が存在する。とりわけ、衝突するブレーンは[弦理論](#)学者によって理解されていない。また、[スケール不変](#)スペクトルがビッグクランチによって破壊されるかどうかは誰も知らない。さらに、[宇宙のインフレーション](#)のように[真空のゆらぎ](#)を生成するために必要な力の一般的な特性（[エキピロティック宇宙論](#)のシナリオではブレーン間の力）が知られている一方で、その力に関する[素粒子物理学](#)からの候補はない<sup>[7]</sup>。

## Baum–Framptonモデル[編集]

2007年のこの新しいサイクリック宇宙モデルは、パラメータ $w$ を通して、[圧力](#)と[密度](#)に関わる暗黒エネルギーの状態の方程式に関して新規の技術的な仮定を設定する<sup>[5][8]</sup>。それは、現在を含む宇宙のサイクルの中で、常に $w < -1$ （[ファントムエネルギー](#)と呼ばれる条件）であることを仮定する。（対照的に、Steinhardt–Turokは $w \geq -1$ を仮定している。）Baum–Framptonモデルでは、[ビッグリップ](#)の $10^{-24}$ 秒以前に宇宙の反転が起こり、結果的に一つの区画だけがわれわれの宇宙として保持されたとする。この宇宙の区画は[クォーク](#)、[レプトン](#)または[ゲージ粒子](#)を含まず、[暗黒エネルギー](#)だけを含む。それゆえ、そのエントロピーは0になる。この非常に小さい宇宙の収縮の[断熱過程](#)では、エントロピーは常にゼロで、宇宙の反転の前に崩壊する[ブラックホール](#)などの物質は存在しない。宇宙が“

無に還る”というアイデアはこのサイクリック宇宙モデルの中心の新しいもので、[QCD相転移](#)や[電弱対称性](#)の回復などの[相転移](#)の問題と同様に、過剰な[宇宙の構造形成](#)やブラックホールの拡散や膨張のような収縮期における問題に直面する多くの困難を避けることができる。これらの問題は、[熱力学第二法則](#)の破れを単純に避けるために、望んでいない反発力を生成する傾向が強く見られる。この画期的な $w < -1$ の条件は、真に無限循環のサイクリック宇宙論にとって、エントロピー問題のために論理的に必須であろう。それでもなお、さらに多くの技術的に支援する計算がそのアプローチの一貫性を保証するために必要である。このモデルは[弦理論](#)からアイデアを借りているが、弦や[多次元](#)を導入する必要はない。ただし、そのような思索は理論の内部整合性を調査する最も迅速な方法を与えるであろう。Baum-Framptonモデルの $w$ の値は任意に $-1$ に近付けることができるが、それよりは小さくないといけない。

ハーシェルはある領域にある天の川の中の星の分布を懸命に調べて、星雲の図を描きました。現在の天文学者たちは1個1個銀河に望遠鏡を向けて1個1個距離を測っています。距離を測るといっても実際はドップラー効果を使って、どれくらいの速さで遠ざかっているかを調べています。全体で7000個ほど銀河があって、ハーシェルが描いた図には1700個ぐらいあり、銀河1個1個に望遠鏡を向けてドップラー効果を測っていくわけです。10年ほど前ですが、この仕事をするのに5年間かかったと言われていました。現在はほぼ1年でできます。それくらい効率が良くなっていますが、それでも1700個です。そしてこの銀河分布を上から見たような図から泡宇宙という言葉が作られました。銀河が存在している領域に丸く線を入れても、その領域の中にはほとんど銀河は見えないので、これを空洞と呼んでいます。銀河が見えるのはこの丸い膜の上に見えます。ちょうどシャボン液に息を吹きかけ泡立てて、その泡立った断面に見えるわけです。そしてその泡の膜の部分にあたる場所に銀河が集中しているという、宇宙の泡構造が発見されました。これが15年ほど前です。一番大きい泡のサイズが大体1億光年くらいです。私たちからせいぜい5億光年くらいの距離内にお

いて泡がお互いにぶつかり合っているように見えます。無論この姿は宇宙のあらゆる方向にも共通しているでしょうから、宇宙は泡がぶつかり合っている姿で永遠に散らばっているというイメージが良いのではないかと考えています。そして1億光年ぐらいのスケールで泡構造を作っているということがわかってきました。実はまだこの泡構造の原因ははっきりとはわかっていません。自然のうちにできるという人もいますが、本当に自然のうちにできるのか、何かある作用があったのかもしれません。その1つのヒントとして、「泡」という字はさんずいへんに「包」と書きます。「包」も「己」が少し突き出ています。そしてこの「泡」の意味を考えると、さんずいへんは水です。そして「包」は赤ちゃんなのです。お腹に赤ちゃんを抱えた妊婦の姿の象形文字がこの「包」です。したがって、内部に激しいものを持っている姿を水で包んでいるものが泡だということです。実際、橋げたで水がぶつかったり、滝壺で水が落ちたり、海岸縁で波が落ちるところなどで泡が発生しています。つまりエネルギーが水の中に入った結果として泡が出るわけです。そして激しい作用があるところでこそ、泡が発生するのです。したがって、今発見されている宇宙の泡構造も何か激しい作用があったのではないかと考えてられるわけです。また、銀河がたくさん集まっている領域をグレートウォールと呼んでいます。グレートウォールオブチャイナが万里の長城ですから、これは宇宙における万里の長城、要するに星が万里の長城のように非常に薄い壁状に集まって連なっているということです。大体この万里の長城は6億光年くらい続いています。長い距離に渡って銀河が非常に薄い壁状に連なっている領域が存在して、そのような領域が何箇所も存在するらしい

ということもわかってきました。現在、1990年頃の5倍くらい遠い領域までの銀河分布を調べようという研究が始まっています。まだ十分進んでいないので、どのような構造があるのか見えません。しかし始めの1990年代、1980年代から比べるとほぼ20倍遠くまで、つまり100億光年の領域まで広げて銀河分布を調べるということが進みつつあります。距離が100倍になると、観測すべき銀河の数は距離の3乗に比例するので、100万倍になります。それは体積が距離の3乗に比例するからです。今は非常に望遠鏡の性能も上がり、機械化されたので、1個の銀河の距離を測るのに15分もあれば測れるようになりました。ハッブルが1924年に測った頃は、1つの銀河までの距離を測るのに30時間かかりました。一晩に5時間くらいしか時間が無いので、夜になるとシャッターを開けてずっと5時間追いかけて、シャッターを閉じて、また次の日同じ方向に向けてシャッター開けて、ということをして6日間繰り返しました。そして今は5分で撮れるようになりましたが、100万個はとても無理です。しかしいろいろな望遠鏡をうまく使って、効率的に銀河の姿、分布を調べようということが行われているので、2015年ぐらいには100億光年ぐらいまでの宇宙の構造が概ねわかってくるのではないかと思います。その中で本当に新しい構造が見つかるのかと言われると、わかりませんとしか答えようがありません。ということは宇宙の構造がどのようにしてできたかの本質的な理論がまだきちんとできていないわけです。その意味では、私は理論屋なのですが、理論の観点からもまだ不十分なままなわけです。したがって、今後銀河宇宙の姿がより鮮明になってくるとはと思いますが、理論の方も頑張っ、本当にこういう構造



がこのような時間経過でできるということを証明できなければなら  
ないと考えています。私の話はこれで終わりたいと思います。どう  
もありがとうございました。

# 宇宙の大規模構造

出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia) 』

移動: [案内](#)、[検索](#)

宇宙の大規模構造（うちゅうのだいきぼこうぞう、large - scale structure of the cosmos）は、[宇宙](#)の中で[銀河](#)の分布が示す巨大な泡の  
ような構造である。宇宙の泡構造と呼ばれることもある。

## 目次

[\[非表示\]](#)

- [1 形状](#)
- [2 観測](#)
- [3 成因](#)
- [4 関連項目](#)
- [5 外部リンク](#)

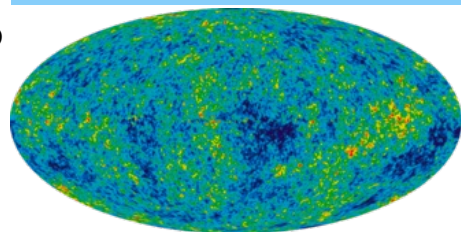
## 形状[\[編集\]](#)

銀河は数百から数千集まって[銀河群](#)、[銀河団](#)を形成している。この銀  
河群や銀河団が更に集まって[超銀河団](#)を形成しているが、この超銀河  
団は平面状の壁のような分布を示している。この巨大な壁を[グレー  
トウォール](#)あるいは[銀河フィラメント](#)と呼ぶ。

[1980年代](#)になって、1枚の銀河フィラメントと他の銀河フィラメントとの間には光を発する[天体](#)がほ  
とんど無い領域があることが明らかになった。これを[超空洞](#)（ボイド）と呼び、その直径は1億[光  
年](#)を超える。

宇宙の大規模構造は銀河フィラメントと超空洞が複雑に入り組んだ構造であるが、これはあたかも石  
鹼を泡立てたときにできる、幾重にも積み重なった[泡](#)のような構造である。つまり、泡の膜面たる銀  
河フィラメントには銀河が存在し、泡の中の空洞たる超空洞には銀河がほとんど存在しない。

### 現代宇宙論



[宇宙](#)・[ビッグバン](#) [宇宙の年齢](#) [宇宙  
の年表](#) [宇宙の終焉](#)

[\[表示\]](#)初期の宇宙

[\[表示\]](#)膨張する宇宙

[\[表示\]](#)構造形成

[\[表示\]](#)成分

[\[表示\]](#)年表

[\[表示\]](#)観測

[\[表示\]](#)科学者

[表](#)・[話](#)・[編](#)・[歴](#)

左から[地球](#)、[太陽系](#)、太陽の隣人たち、[銀河系](#)、[局部銀河群](#)、[おとめ座超銀河団](#)、近隣の超銀河団、[観測可能な宇宙](#)

## 観測[編集]

グレートウォールの発見をもたらした[CfA赤方偏移サーベイ](#)以降、観測技術の発展に伴ってより遠方の銀河をより大量に観測する大規模な銀河サーベイ観測が行なわれるようになってきている。その代表例として、[スローン・デジタル・スカイサーベイ](#)(SDSS)や[2dF銀河赤方偏移サーベイ](#)などがある。

なお、銀河までの距離をその赤方偏移のみに基づいて測ると、大規模構造が実際とはいくらか異なって観測されることがある。

例えば、銀河団の後ろにある銀河はその銀河団に向かって引き寄せられるため、多少（その銀河団が存在しない場合に比べて）青方偏移して見える。一方、銀河団の手前にある銀河は多少赤方偏移して見える。このような効果を補正せずに赤方偏移を使うと、銀河団の周囲に存在する銀河は実際よりも押しつぶされた分布をしているように見える。また、既に銀河団内部に落ち込んだ銀河に対してはこれと逆の現象がおきる。

銀河団内の銀河は銀河団中心に対してランダムな速度分散を持つため、各銀河の赤方偏移は銀河団自身の値を中心に広がりを持った分布になる。この赤方偏移を銀河までの距離として使うと、銀河団は視線方向に長く引き伸ばされて見える。

これはまるで銀河分布が観測者（地球）の方向を指差しているようにも見えることから Finger of God 効果として知られている。

## 成因[編集]

宇宙の大規模構造は宇宙初期のゆらぎが[重力不安定性](#)によって成長してできたものだと考えられている。この構造を作っている銀河の相関関数の観測と数値シミュレーションとの比較から、現在ののような構造を作るためには、宇宙の質量の大部分は冷たい[ダークマター](#)からできている必要があると考えられている。

[プラズマ宇宙論](#)では、宇宙の大規模構造となる巨大なガスのかたまりが最初に生まれた、と考えられている。[プラズマ宇宙論#宇宙構造体の成り立ち](#)を参照されたい。

ビッグバン (Big Bang) とは、

ビッグバン理論（ビッグバン仮説）、つまり「この宇宙には始まりがあって、爆発のように膨張して現在のようになった。」とする説

同説において想定されている、宇宙の最初期の超高温度・超高密度の状態のことである。

## 目次

[\[非表示\]](#)

[1 概要](#)

[2 歴史](#)

[3 概観](#)

[4 理論的基盤](#)

[5 観測的証拠](#)

[5.1 ハッブル則に従う膨張](#)

[5.2 宇宙マイクロ波背景放射](#)

[5.3 軽元素の存在比](#)

[5.4 銀河の進化と分布](#)

[6 特徴と問題](#)

[6.1 地平線問題](#)

[6.2 平坦性問題](#)

[6.3 磁気単極子](#)

[6.4 バリオンの非対称性](#)

[6.5 球状星団の年齢](#)

[6.6 ダークマター](#)

[6.7 ダークエネルギー](#)

[6.8 ヒミコの発見](#)

[7 ビッグバン理論に基づく宇宙の未来](#)

[8 ビッグバンを超える純理論的物理学](#)

[9 参考文献](#)

[10 出典・脚注](#)

[11 関連項目](#)

[12 関連文献・外部リンク](#)

[12.1 ビッグバンの概論](#)

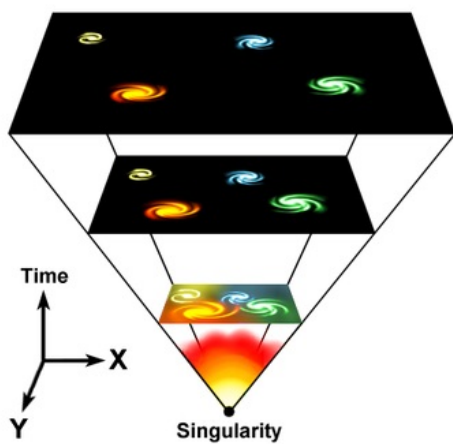
[12.2 一次資料](#)

[12.3 宗教・哲学](#)

[12.4 研究論文](#)

概要[\[編集\]](#)





ビッグバン理論では、宇宙は極端な高温高密度の状態で作られた、とし（下）、その後空間自体が時間の経過とともに膨張し、銀河はそれに乗って互いに離れていった、としている（中、上）。

「ビッグバン」という語は、狭義では宇宙の（[ハッブルの法則](#)に従う）膨張が始まった時点を示す。その時刻は今から137億年（ $1.37 \times 10^{10}$ 年）前と計算されている。より一般的な意味では、宇宙の起源や宇宙の膨張を説明し、また[ジョージ・ガモフ](#)の「 $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ 理論」から予測される宇宙初期の[元素合成](#)によって現在の宇宙の物質組成が生まれたとする、現代的な宇宙論的パラダイムも指しうる。この理論に「ビッグバン (Big Bang)」という名をつけることになったのは、皮肉にも、「宇宙に始まりがあった」という考えを非常に嫌悪していた[フレッド・ホイル](#)であり、あるラジオ番組において、ジョルジュ・ルメートルのモデルを「this 'big bang' idea（この大ボラ）」と愚弄するように呼んだのが始まりである<sup>[1][2]</sup>とされている。科学記者ジョン・ホーガンの取材によるとホイルは卑下する意味は微塵もなく、何か咄嗟に生き生きとした表現は無いものかと思いついたのが「ビッグ・バン」だったと気まずく述べており「命名者としてパテントを取得しておくべきだったよ」と悔やんでいる旨を明かしている。その名の通り爆発的に用語が一般認知、定着するが、それ以前の天文学者らの間ではフリードマン宇宙論として語られていた<sup>[3]</sup>。

ビッグバン理論（ビッグバン仮説）に基づいたビッグバン・モデルでは、宇宙は時間と空間の区別がつかない一種の「無」の状態から忽然と誕生し<sup>[要出典]</sup>、爆発的に膨張してきた、とされる。近年の観測値を根拠にした推定により、ビッグバンは約137億年前に起きたと推定されるようになった。遠方の銀河が[ハッブルの法則](#)に従って遠ざかっているという観測事実を、[一般相対性理論](#)を適用して解釈すれば、宇宙が膨張しているという結論が得られる。宇宙膨張を過去へと外挿すれば、宇宙の初期には全ての物質とエネルギーが一か所に集まる高温・高密度状態にあったことになる。この初期状態、またはこの状態からの爆発的膨張をビッグバンという。

この高温・高密度の状態よりさらに以前については、一般相対性理論によれば重力的特異点になるが、物理学者たちの中でこの時点の宇宙に何が起きたかについては広く合意されているモデルはない。20世紀前半でも、天文学者も含めて人々は宇宙は不変で定常的だと考えていた。ハッブルの観測によ

って得られたデータが登場しても科学者たちも真剣にそれを扱おうともせず、ごくわずかな人数のアウトサイダー的な天文学者・科学者がビッグバン仮説を発展させたものの、無視されたり軽視されたりしてなかなか受け入れられなかった。ビッグバン理論から導かれる帰結の1つとして、今日の宇宙の状態は過去あるいは未来の宇宙とは異なる、というものがある。このモデルに基づいて、1948年にジョージ・ガモフは宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) が存在することを主張、その温度を5Kと推定した。CMBは1960年代になって発見され、この事実が、当時最も重要な対立仮説 (対立理論) であった定常宇宙論ではなくビッグバン理論を支持する証拠と受け止められ、支持する人が増え多数派になり、「標準理論」を構成するようになった。この説が生まれてから数十年の時を経て、ようやくそうなったのである。(→#歴史)

## 歴史[編集]

20世紀初頭では天文学者も含めてほとんどの人々は宇宙は定常的なものだと考えていた。「宇宙には始まりがなければならない」などという考えを口にするような天文学者は皆無だった<sup>[1]</sup>。ハッブルも、柔軟な考えを持っていると評価されているアインシュタインですらも、「宇宙に始まりがあった」などという考えはまるっきり馬鹿げていると思っていた<sup>[1]</sup>。科学者たちは膨張宇宙論は科学では理解しがたく、宗教上の立場だと見なしていた<sup>[1][4]</sup>。

ビッグバン理論は、紆余曲折を経て、観測と理論の両面が揃ってようやく、徐々に認められるようになってきた歴史がある。

観測的には、多くの渦巻星雲が地球から遠ざかっていることが知られていたが、当初これらの観測を行った研究者たちはその宇宙論的な意味に気づかず、これらの星雲が実際に我々の天の川銀河の外にある銀河であるということが分からない状況にいた。



### ジョルジュ・ルメートル。

「宇宙は原始的原子(primeval atom)の“爆発”から始まった」というモデルを提唱した。

1927年にベルギーの司祭で天文学者のジョルジュ・ルメートルが一般相対論のフリードマン・ロバ

[トソン・ウォーカー計量](#)に従う方程式を独自に導き出し、渦巻銀河が後退しているという観測結果に基づいて、「宇宙は原始的原子(primeval atom)の“爆発”から始まった」というモデルを提唱した。1929年、[エドウィン・ハッブル](#)の観測で、彼は銀河が地球に対してあらゆる方向に遠ざかっており、その速度は地球から各銀河までの距離に比例していることを発見した（この事実は現在「[ハッブルの法則](#)」と呼ばれている。これが、ルメートルの「原始的原子(primeval atom)の“爆発”から始まった」とする理論に対して基礎付けを与えることになった。）

この時点でこの問題（ハッブルの観測結果を説明すること）に本気で立ち向かい科学的にとらえようという気になっている科学者は皆無だった<sup>[1][5]</sup>。



[ジョージ・ガ](#)

[モフ](#)

その数少ない例外が[ロシア](#)出身の天文・核物理学者[ジョージ・ガモフ](#)であり<sup>[1][6]</sup>、ジョルジュ・ルメートルが提唱したビッグバン理論を支持し発展させた。ガモフは、初期の宇宙は全てが圧縮され高密度だったうえに、超高温だったとし、宇宙の膨張の始まりを、[熱核爆弾](#)の火の玉と捉え、創造の材料（[陽子](#)、[中性子](#)、[電子](#)、[ガンマ放射線](#)の高密度ガス。これらの材料をガモフは「イーレム」と呼んだ）が爆発の場で連鎖的に起きる[核反応](#)によって、現在の宇宙に見られる様々な[元素](#)に転移したのだ、と説明した<sup>[1][7]</sup>。1940年代、ガモフとその共同研究者たちは、熱核反応によって創世が起きたとする説明の細部を詳細に描く論文をいくつも執筆した。だが、この説明図式がうまくゆかなかった。[原子核](#)のなかには非常に不安定なものがあり、再融合する前にバラバラになり、彼が求めていた、元素へと組成する連鎖が途中で途切れてしまうのだった<sup>[1][8]</sup>。ガモフたちの研究や論文は無視され軽視されたままになり、研究チームは1940年代末に解散してしまい、チームメンバーでは科学を捨てる者もいた。ガモフも引退することになった。ただ、ガモフは大衆向けに[科学](#)や[宇宙論](#)の本を書いたりし、次世代に影響を与えた<sup>[1][9]</sup>。

ハッブルの観測結果を説明するもうひとつの方法は、従来通りに「宇宙に始まりなどなく、定常である」とする説を採用することである。[フレッド・ホイル](#)は「宇宙に始まりがあった」という考えをとことん嫌い抜いていた<sup>[1][10]</sup>。ホイルが1948年に出したモデルは「[定常モデル](#)」と呼ばれる。このモデルでは銀河が互いに遠ざかるに従って、あとに残った空間に新しい物質が現れ出て、それが固まることで新たな銀河を形成してゆくとし<sup>[1][11]</sup>、これにより宇宙の物質密度が一定に保たれるとした。このモデルでは大まかに言えば、宇宙はいつでも同じように見えることになる<sup>[1][12]</sup>。これは「宇宙は永遠で無限だから偉大なのだ」と考える[科学者](#)たちの心をつかんだ。おまけにホイルの説はビッグバン説よりエレガントだった。[物理学者](#)らはエレガント好きなのでそれを好んだ<sup>[1][13]</sup>。[ハッブル](#)まで定常説が自然だと見なした<sup>[1][14]</sup>。ルメートルの理論にビッグバン (Big Bang) という名前を付

けたのはホイルで、[1949年のBBC](#) のラジオ番組 *The Nature of Things* の中で彼がルメートルのモデルを "this 'big bang' idea" とからかうように呼んだのが始まりであるとされている[\[1\]\[15\]](#)。ところでホイルは、定常モデルであってもライバルのビッグバン・モデルと同様に[炭素・酸素・金・鉄・窒素・ウラン・鉛](#)などの化学元素の起源を説明しなければならない、という問題に気づいた[\[1\]\[16\]](#)。ホイルは、時間の始まりに一発のビッグバンがあってそれが核反応炉の役割を果たしたとしなくても元素が創生されたと説明がつくことを示したくて、「星ではありとあらゆる核種変換が起こっている」と提唱した[\[1\]\[17\]](#)。そのため[1953年にはカリフォルニア工科大学ケロッグ放射線研究所](#)に赴いて、その所長の[ウィリー・ファウラー](#)の協力で、[泡箱](#)を用いて原子核の衝突実験(3個の[ヘリウム](#)でできる[炭素](#)の原子核の性質を調べる実験)を成功させた[\[1\]\[18\]](#)。これにより炭素は星のなかで無尽蔵に作られる性質があることが判った。その後も彼ら2人を含めて数名が元素の歴史に迫り、論文に結実させた[\[1\]\[19\]](#)。だが、こうした論文は定常モデルに有利に働いたというよりむしろ、ハッブルの観測によって導かれた星の進化に関するアイデア群がより完成度を高めた、と一般には見なされた[\[1\]\[20\]](#)。

《ビッグバン VS 定常宇宙》論争では、[ローマカトリック](#)は早い段階で、どちらの陣営を支持するか態度を明らかにしていた。1951年に[教皇ピウス12世](#)はバチカン宮殿で会議を開き、「ビッグバンはカトリックの公式の教義に矛盾しない」との声明を発表した（とは言っても、これは純粋に科学的なことには、あまり関係のないことであった）これらの宇宙論に関する大きな論争が起きるたびに、新聞の読者たちは熱くなった[\[1\]\[21\]](#)。

1953年にハッブルが亡くなり、彼が計画した仕事（宇宙のサイズと運命を推算する仕事。当時、[ウィルソン山天文台](#)でなければできない仕事）を引き継がなければならなくなった[アラン・サンディジ](#) ([en:Allan Sandage](#)) という弟子がいた[\[22\]](#)。当時20代半ばで、ようやく学位論文を仕上げたばかりだった。彼はルメートルの説を馬鹿げたものとは見なさず、これを「Creation Event（[天地創造](#)事件）」と呼んで探究した[\[1\]\[23\]](#)。サンディジは、膨張宇宙説を支えているのは1920～30年代に集められたいかにも頼りない証拠にすぎない、ということ意識しており、結局、どの説が正しいかを決定づけるのは彼が[ウィルソン山の天文台](#)で少しずつ、だが系統的に日々集めている[観測](#)データであることを知っていた[\[1\]\[24\]](#)。

ところで、[ロシア](#)に[核兵器](#)関連の仕事をしつつ[物理学者](#)として成長し[素粒子物理](#)に関する論文を書いていた[ヤコブ・ゼルドビッチ](#)がいたが、彼は西側の科学者以上にビッグバン説について真剣に考えていて、宇宙を巨大な素粒子物理実験と見なすようになっていた[\[1\]\[25\]](#)。彼は宇宙の元素存在比の表を読み違えて計算したことにより、《熱いビッグバン》は間違いだと考え、《冷たいビッグバン》を長らく信じた[\[1\]\[26\]](#)。


しかしやがて、宇宙が高温高密度の状態から進化したというアイデアを支持する観測的な証拠が挙がってきた。[1965年の宇宙マイクロ波背景放射](#)の発見以降は、ビッグバン理論が宇宙の起源と進化を説明する最も良い理論であると考えた人が多数派になった。

現在の科学者による[宇宙論](#)の研究はそのほとんど全てが基本的なビッグバン理論の拡張や改良を含むものである。現在行なわれているほとんどの宇宙論の研究には、ビッグバンの文脈で銀河がどのように作られたかを理解することや、ビッグバンの時点で何が起きたかを明らかにすること、観測結果を基本的な理論と整合させることなどが含まれている。



ビッグバン宇宙論の分野では[1990年代](#)の終わりから21世紀初めにかけて、[望遠鏡技術](#)の大発展と[COBE](#)、[ハubble宇宙望遠鏡](#)、[WMAP](#)といった衛星から得られた膨大な量の観測データとが相まって、非常に大きな進展が見られた。これらのデータによって、宇宙論研究者はビッグバン理論のパラメータを今までにない高い精度で計算することが可能になり、これによって宇宙が加速膨張しているらしいという予想外の発見がもたらされた。（[ダークエネルギー](#)を参照のこと。）

## 概観[編集]

 この節は[検証可能な参考文献や出典](#)が全く示されていないか、不十分です。[出典を追加](#)して記事の信頼性向上にご協力ください。（2011年3月）

la型[超新星](#)を用いた宇宙膨張の測定や宇宙マイクロ波背景放射の揺らぎの観測、また銀河の[相関関数](#)の測定から、我々の宇宙の年齢は $137 \pm 2$ 億年と見積もられている[\[要出典\]](#)。「これら三つの独立した観測結果が一致しているという事実は、宇宙に含まれる物質やエネルギーの詳細な性質を記述する、いわゆる [\$\Lambda\$ -CDMモデル](#)を支持する強い証拠である[\[要出典\]](#)」と考えられている。

初期宇宙は考えられないほど高いエネルギー密度と、それに伴う非常に高い温度と圧力で一様・等方的に満たされていた。その後宇宙は膨張して冷却し、それに伴って[相転移](#)を引き起こした。この相転移は水蒸気が凝結したり水が凍ったりする物理過程と類似しているが、宇宙の相転移は[素粒子](#)に関連した過程である。

[プランク時代](#)の約 $10^{-35}$ 秒後、[相転移](#)によって[インフレーション](#)と呼ばれる宇宙の指数関数的膨張が引き起こされた[\[要出典\]](#)。インフレーションが終了した後、宇宙の物質要素は[クォーク・グルーオンプラズマ](#)と呼ばれる状態で存在していた（これには[クォーク](#)、[グルーオン](#)以外のあらゆる粒子も含まれている。なお、2005年には、この宇宙初期に近い物質状態がクォーク・グルーオン液体として実験的に作られた可能性も報告された[\[1\]](#)）。この[プラズマ](#)中では物質を構成する粒子は全て相対論的速度で運動している。宇宙の大きさが大きくなるにつれて、温度は下がり続けた。ある温度に達したところで[バリオン数生成](#) (baryogenesis) と呼ばれる未知の相転移が起こり、クォークとグルーオンが結合して[陽子](#)や[中性子](#)といった[バリオン](#)が作られた[\[要出典\]](#)。「この時に、現在観測されている物質と[反物質](#)との間の非対称性が何らかの形で生まれた[\[要出典\]](#)」と考えられている。

さらに温度が下がると、さらなる[対称性の破れ](#)をもたらし相転移が起こり、これによって、この宇宙に存在する基本的な[力](#)と[素粒子](#)とが現在のような形になった。この後、[ビッグバン元素合成](#)と呼ばれる過程によって、[陽子](#)と[中性子](#)とが結合してこの宇宙に存在する[重水素](#)と[ヘリウム](#)の[原子核](#)が作られた。宇宙が冷えるにつれて、物質の[相対性理論](#)的速度での[運動](#)は次第に収まり、物質の[静止質量エネルギー密度](#)の方が[放射](#) ([電磁波](#)) のエネルギー密度よりも重力的に優勢になった。およそ30万年後には[電子](#)と原子核とが結合して[原子](#)（そのほとんどは[水素](#)原子）が作られた。これによって放射は物質と[相互作用](#)する確率が低くなり、ほぼ物質に妨げられることなく空間内を進むことができるようになった。この時期の放射の名残が宇宙マイクロ波背景放射である。

[時間](#)が経つにつれて、ほとんど一様に分布している物質の中でわずかに密度の高い部分が重力によってそばの物質を引き寄せてより高い密度に成長し、ガス雲や[恒星](#)、銀河、その他の今日見られる天文学的な構造を形作った。この過程の細かい部分は宇宙の物質の量と種類によって変わってくる。ここ


では物質の種類としては、冷たい[ダークマター](#)、熱いダークマター、バリオンの3種類が可能性として考えられる。現在最も精度の良い測定 (WMAP による) によると、宇宙の物質の大部分を占めているのは冷たいダークマターであると見られている。それ以外の2種類の物質が占める割合は宇宙全体の物質の20%以下である。

今日の宇宙では[ダークエネルギー](#)と呼ばれる謎のエネルギーが優勢であるらしいことがわかっている。現在の宇宙の全エネルギー密度のうちおよそ70%がダークエネルギーである。宇宙にこのような構成要素が存在することは、大きな距離スケールで時空が予想よりも速く膨張しており、このために宇宙膨張が速度と距離の比例関係からずれていることが明らかになったのがきっかけとなって知られるようになった。

ダークエネルギーは最も単純な形では一般相対性理論の[アインシュタイン方程式](#)の中に[宇宙定数](#)項として現れるが、その組成は不明である。より一般的に言うと、ダークエネルギーの[状態方程式](#)の詳細や[素粒子物理学](#)の[標準模型](#)との関係について、観測と理論の両面から現在も研究が続けられている。これら全ての観測結果は、 [\$\Lambda\$ -CDMモデル](#)と呼ばれる宇宙論モデルに凝縮されている。6個の自由パラメータを持つビッグバン理論の数学モデルである。

宇宙の始まりの時代、今までの素粒子実験で調べられたことがないほど粒子のエネルギーが高かった時期を詳しく見ていくと、謎が浮かび上がってくる。[大統一理論](#)によって予想されている最初の相転移よりも前、宇宙最初の $10^{-33}$ 秒間については、説得力のある物理モデルは存在しない。アインシュタインの相対性理論では、宇宙は、「最初の瞬間」には密度が無限大になる重力的特異点になる。これより以前の宇宙の状態を記述するには、[量子重力理論](#)が必要になると考えられる。この時代 ([プランク時代](#)) の宇宙の状態を解明することは現代の物理学の大きな未解決問題の1つである。

## 理論的基盤[編集]

 この節は[検証可能な参考文献や出典](#)が全く示されていないか、不十分です。[出典を追加](#)して記事の信頼性向上にご協力ください。(2011年3月)

現在のところ、ビッグバンは次の3つの仮定に依存している[\[要出典\]](#)とされる。

物理法則の普遍性

[宇宙原理](#)

[コペルニクスの原理](#)

最初にビッグバンが考え出された時にはこれらのアイデアは単なる仮定と考えられていたが、今日ではこのそれぞれを検証する試みが行なわれている。物理法則の普遍性の検証からは、宇宙年齢の間にわたって[微細構造定数](#)に生じ得たずれの大きさは最大でも $10^{-5}$ のオーダーであることが分かっている。宇宙原理を定義している宇宙の等方性については $10^{-5}$ 以内のレベルで成り立っていることが検証されており、一様性については最大10%のレベルで成り立っていることが分かっている。また、コペルニクスの原理については[スニヤエフ・ゼルドビッチ効果](#)による[銀河団](#)とCMBとの相互作用を観測するという手法で検証する試みが行われており、1%の精度で検証されている。

ビッグバン理論では、任意の場所での時刻を「プランク時代からの時間」として曖昧さなく定義するために[ワイルの仮定](#)を用いる。この系では大きさは共形 (conformal) 座標と呼ばれる座標系に従って決められる。この座標系ではいわゆる[共動距離](#)と共形時間を用いることで宇宙膨張の効果を消し去る

。宇宙膨張は宇宙論的[スケール因子](#)によって、[時空](#)のサイズを考慮してパラメータ化される。共動距離と共形時間はそれぞれ、宇宙論的な運動に乗って動く物体間の共動距離が常に一定となるように、また[粒子的地平線](#)、すなわちある場所から見た宇宙の観測限界が共形時間と[光速](#)によって決まるように定義される。

宇宙がこのような座標系で記述されることから、ビッグバンは物質が空っぽの宇宙を満たすように外に向かって爆発するのではないことが分かる。ビッグバンでは時空自体が膨張するのである。我々の宇宙でどのような2つの定点をとっても二点間の物理的距離が大きくなる原因はこれによって説明される。（例えば重力などによって）一体に束縛されている物体の系は時空の膨張とともに膨張はしない。これは、これらの物体を支配する物理法則が普遍的に成り立ち、計量の膨張とは無関係であることが仮定されているためである。加えて、局所的なスケールでの現在の宇宙膨張は非常に小さいため、仮に物理法則が宇宙膨張に依存していたとしても現在の技術では測定不可能である。

## 観測的証拠[\[編集\]](#)

一般に、宇宙論においてビッグバン理論を支持する観測的な支柱が三つあると言われている。それは、銀河の[赤方偏移](#)に見られるハッブル則的な膨張と、宇宙マイクロ波背景放射の詳細な観測、それに[軽元素](#)の存在量である（[元素合成](#)を参照のこと）。これらに加えて、[宇宙の大規模構造](#)の相関関数の観測も標準的なビッグバン理論とよく一致している。

## ハッブル則に従う膨張[\[編集\]](#)

「[ハッブルの法則](#)」を参照

遠方の銀河と[クエーサー](#)の観測から、これらの天体が赤方偏移していることが分かっている。これは、これらの天体から出た光がより長い[波長](#)へとずれていることを意味する。この赤方偏移は、これらの天体の[スペクトル](#)をとって、それらの天体に含まれる原子が光と相互作用して生じる輝線や吸収線の分光パターンを実験室で測定したスペクトルと比較することで分かる。この分析から、光のドップラーシフトに対応した値の赤方偏移が測定され、これは後退速度として説明される。後退速度を天体までの距離に対してプロットすると、ハッブルの法則として知られている比例関係が現れる。

$$v = H_0 D$$

ここで

$v$  は銀河や遠方の天体の後退速度

$D$  は天体までの距離

$H_0$  は[ハッブル定数](#)。WMAP による2005年現在の観測値は  $71 \pm 4$  [km/s/Mpc](#)

遠方の天体の赤方偏移は[ドップラー効果](#)だと説明されることが多いが、（現にハッブル本人はドップラー効果だと信じていたが）これは間違いである。一般相対性理論から、「天体と観測者の間の空間の膨張」による赤方偏移であることが確認できる。観測される赤方偏移は、「観測者との相対速度（ドップラー効果）」、「宇宙の膨張による赤方偏移」、「重力による赤方偏移」等が重なったものである。近くにある天体の場合は、宇宙の膨張の赤方偏移の値が低いので、他の効果の影響が強い。一番近い銀河、[アンドロメダ銀河](#) は銀河系に接近しているので、ドップラー効果による青方偏移が観測される。

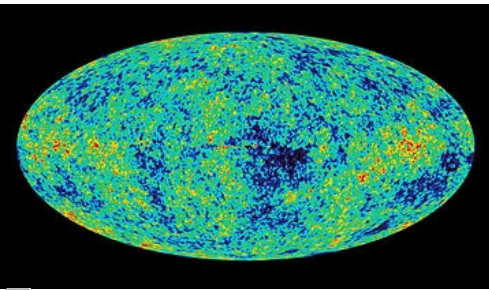
観測されているハッブルの法則については2つの説明が可能である。1つは、我々は銀河が四方に飛び



去る運動の中心にいるというものである。これはコペルニクスの原理の仮定の下では受け入れがたい。もう1つの説明は、宇宙は時空の唯一の性質として、全ての場所で一様に膨張しているとするものである。この種の一様な膨張というアイデアは、ハッブルによる観測と解析が行われるより以前に一般相対論の枠組みの中で数学的に考え出されたもので、フリードマン、ルメートル、ロバートソン、ウォーカーらによって独立に提案されて（フリードマン・ロバートソン・ウォーカー計量）以来、現在もなおビッグバン理論の土台となっている。

## 宇宙マイクロ波背景放射[編集]

「宇宙背景放射」を参照



WMAPによって得られた宇宙マイクロ波背景放射の画像

ビッグバン理論からは、バリオン数生成の時代に放出された光子による宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の存在が予測されていた。初期宇宙は熱平衡の状態にあったため、プラズマが再結合するまでは放射とプラズマの温度は等しかった。原子が作られる以前には、放射はコンプトン散乱と呼ばれる過程によって一定の割合で吸収・再放射されていた。つまり、初期の宇宙は光に対して不透明だった。しかし宇宙が膨張によって冷却すると、やがては温度が3000K以下にまで下がり、電子と原子核とが結合して原子を作り、原始プラズマは電氣的に中性のガスに変わった。この過程は光子の脱結合 (decoupling) として知られている。中性原子のみとなった宇宙では放射はほぼ妨げられることなく進むことができる。

初期の宇宙は熱平衡状態にあったため、この時代の放射は黒体放射スペクトルを持ち、今日まで自由に宇宙空間を飛んでいる。ただし宇宙のハッブル膨張によってその波長は赤方偏移を受けている。これによって元々の高温の黒体スペクトルはその温度が下がっている。この放射は宇宙のあらゆる場所で、あらゆる方向からやってくるのが観測できる。

1964年、アーノ・ペンジアスとロバート・W・ウィルソンは、ベル研究所にある新型のマイクロ波受信アンテナを使って一連の試験観測を行っていた時に宇宙背景放射を発見した。この発見は一般的な CMB の予想を確実に裏付けるものだった。発見された放射は等方的で、約3Kの黒体スペクトルに一致することが明らかとなったのである。この発見によって宇宙論をめぐる意見はビッグバン仮説を支持する方へと傾いた。ペンジアスとウィルソンはこの発見によって1978年にノーベル物理学賞を受賞した。

1989年に NASA は宇宙背景放射探査衛星 (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、CMB に関するビッグバン理論による予想と一致した。COBE は 2.726K という初期宇宙の名残の温度を検出し、CMB が約 $10^5$ 分の1の精度で等方的であると結論した。1990年代には CMB の非等方向性が数多くの地上観測によって詳しく調査され、非等方成分の典型的な角度サイズ (



天球上でのサイズ)の測定から、宇宙は幾何学的に平坦であることが明らかになった ([宇宙の形](#)を参照のこと)。

2003年の初めには [WMAP](#) 探査機の観測結果が発表され、[宇宙論パラメータ](#)のいくつかについてこの時点で最も精度の良い値が得られた ([宇宙背景放射の観測実験](#)を参照のこと)。この探査機のデータからいくつかのインフレーションモデルは妥当性を否定されたものの、観測結果は大筋ではインフレーション理論と整合するものだった。

## 軽元素の存在比[編集]

[「元素合成」](#)を参照

ビッグバンモデルを用いると、この宇宙に存在する[ヘリウム4](#)(<sup>4</sup>He)、[ヘリウム3](#)(<sup>3</sup>He)、[重水素](#)(<sup>2</sup>H)、[リチウム7](#)(<sup>7</sup>Li)の[中性水素](#)(<sup>1</sup>H)に対する相対的濃度を計算することができる。全ての組成は[バリオン-光子比](#)という1個のパラメータに依存している。ビッグバン理論で予想される存在比 (個数比ではなく質量比)の値は、<sup>4</sup>He/<sup>1</sup>Hが約0.25、<sup>2</sup>H/<sup>1</sup>Hが約10<sup>-3</sup>、<sup>3</sup>He/<sup>1</sup>Hが約10<sup>-4</sup>、<sup>7</sup>Li/<sup>1</sup>Hが約10<sup>-9</sup>である。

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一致している。軽元素の相対的存在比を説明できる理論はこれ以外には知られていないため、この事実はビッグバンの強い証拠と考えられている。

若い時代の宇宙 (恒星内での原子核合成で生成された核種を含まない、[星形成](#)以前の宇宙)において、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を明確に説明できる理論は、ビッグバン理論以外にはない。

## 銀河の進化と分布[編集]

[「宇宙の大規模構造」](#)を参照

銀河やクエーサーの[形態](#)と[分布](#)の詳細な観測からビッグバンの強い証拠が得られている。観測データと理論によって、最初のクエーサーや銀河はビッグバンからおよそ10億年後に生まれ、その後で[銀河団](#)や[超銀河団](#)などのより大きな構造が今に至るまで作られていることが示唆されている。恒星の集団は時間とともに状態を変化させるので、(初期の宇宙にあるものと見なされる)遠方の銀河は(新しいと見なされる)我々の近傍にある銀河とは大きく異なっているように見える。加えて、相対的に最近に生まれた銀河も、同じ距離にあってビッグバンの直後に生まれた古い銀河とは明らかに異なっている。これらの観測結果は定常宇宙モデルに対する強い反論となっている。星形成、銀河・クエーサーの分布、大規模構造の各観測結果はビッグバンモデルによる宇宙の構造形成シミュレーションの結果とよく一致しており、理論の詳細部分を補完するのに役立っている。

## 特徴と問題[編集]

ビッグバンが提唱されて以来、この理論にはいくつもの問題が持ち上がってきた。これらの問題のうちいくつかは今日では主に歴史的興味の対象であり、理論を修正したりより質の良い観測データが得られたことで解決されてきた。それ以外の問題、例えば[尖ったハローの問題](#) (cuspy halo problem) や[矮小銀河問題](#)、冷たい[ダークマター](#)といった問題については、理論を改良することで対処できる

ため、致命的な問題ではない[要出典]、と考えられている。

ビッグバンがあったことに疑念を抱く人や、全く信じない人、ビッグバン理論支持者が「非標準的宇宙論 (non-standard cosmologies)」と呼ぶ説の支持者も、少数派ではあるが存在する。彼らはビッグバン理論の標準的な問題に対する解決策は理論のその場しのぎ的な修正や補足に過ぎない[要出典]と主張している。彼らにしばしば攻撃されるのは、標準的宇宙論のダークマターやダークエネルギー、インフレーションといった部分である。「しかし、これらの特徴についての理論的説明は今なお物理学の探求の最前線にある話題であり、しかもビッグバン元素合成や宇宙背景放射、大規模構造、Ia型超新星といった独立した観測から示唆されているものである[要出典]」という。これらの特徴が持つ重力的效果は観測的にも理論的にも理解されているが、素粒子物理学の標準模型にはまだうまく組み込まれていない。ビッグバン理論のいくつかの面は基礎物理学によって十分には説明されていないが、ほとんどの天文学者や物理学者はビッグバン理論と観測結果がよく合致していることによって、この理論の基本部分は全てしっかりと確立していることを受け入れている、という[要出典]。

ビッグバン理論にまつわる「問題」と謎を以下に挙げる。

## 地平線問題[編集]

「[事象の地平面](#)」を参照

地平線問題は情報が光速より速くは伝わらないという前提から導かれる問題である。すなわち、光速に宇宙年齢を乗じて得られる距離（地平線）よりも遠く隔たっている宇宙空間の2つの領域は因果律的に関わりを持たない。観測されている宇宙背景放射 (CMB) の等方性はこの点で問題となる。なぜなら CMB の光子が放射された時代の地平線の大きさは、現在の天球上で約2度の大きさにしかないからである。もし宇宙がプランク時代以来同じ膨張の歴史をたどってきたとすると、これらの領域が同じ温度になったメカニズムが存在しないことになる。

この見かけの矛盾はインフレーション理論で解決される。この理論では、プランク時代の $10^{-35}$ 秒後の宇宙では一様等方的なスカラーエネルギー場が優勢であったとする。インフレーションの間、宇宙は指数関数的な膨張を起こし、因果律的につながりのある各領域が、それぞれの地平線を超えて膨張する。[ハイゼンベルクの不確定性原理](#)から、このインフレーション期には量子論的な揺らぎが存在したことが予想されている。この揺らぎが後に宇宙スケールにまで引き伸ばされることになる。これらの揺らぎが現在の宇宙に見られる全ての構造の種となる。インフレーションの後、宇宙はハッブルの法則に従って膨張し、因果律的につながりのある範囲を超えて拡大した領域が再び地平線内に入ってくる。こうして CMB に観測されている等方性が説明される。インフレーション理論は原始揺らぎがほぼスケール不変でガウス分布に従うことを予想しており、これは実際に CMB の測定によって確認されている。

## 平坦性問題[編集]

平坦性問題は、ロバートソン・ウォーカー計量に伴う幾何学を考えることで導かれる観測上の問題である。一般的に、宇宙は3種類の異なる幾何学に従う可能性がある。すなわち、[双曲線幾何学](#)、[ユークリッド幾何学](#)、[楕円幾何学](#)である。宇宙の幾何学（曲率）は宇宙に含まれる全エネルギー密度（これはアインシュタイン方程式の上では[応力エネルギーテンソル](#)で表される）によって決まる。エネルギー密度が[臨界密度](#)より小さければ宇宙の幾何学は双曲線的（負の曲率）に、臨界密度より大きければユークリッド的（ゼロの曲率）に、臨界密度より大きければ楕円的（正の曲率）になる。

れば楕円的（正の曲率）に、そしてちょうど臨界密度に等しければユークリッド的（曲率 0）になる。現在の宇宙のエネルギー密度の測定結果から考えると、宇宙が生まれた直後にはエネルギー密度が $10^{15}$ 分の1の精度で臨界密度に等しくなっていた必要がある。これより少しでもはずれた値だった場合には宇宙は急激に膨張してしまうかあつという間に[ビッグクランチ](#)を迎えてしまい、現在存在するような宇宙にはならないことになる。

この問題の解決策もやはりインフレーション理論によって提案されている。インフレーションの時代には時空は急激な膨張によって、それ以前に存在したどんな曲率も均されてしまい、高い精度で平坦になる。このようにしてインフレーションによって宇宙は平坦になったという説明である。

## 磁気単極子[編集]

[磁気単極子](#)問題は[1970年代](#)の終わりに提起された。[大統一理論](#)によれば宇宙空間には[点欠陥](#)が生まれ、これが磁気単極子として現れる。このような磁気単極子は観測からは全く見つかっていないが、大統一理論からはこの観測結果とは全く一致しないほど大量の磁気単極子が生成されることが予想されている。この問題もインフレーションによって解決できる。インフレーションが起こると、曲率が均されて平坦になるのと同様に、これらの点欠陥も全て密度が急激に薄められて観測可能な範囲の宇宙から見当たらないほどになる。

## バリオンの非対称性[編集]

この宇宙になぜ物質が反物質よりも多く存在するのかについてはまだ分かっていない。一般には、宇宙が若く非常に高温だった時代には宇宙は統計的に平衡状態にあり、バリオンと反バリオンが同じ数だけ存在したと考えられる。しかし現在の観測からは、宇宙は非常に遠方の領域も含めてほぼ完全に物質から構成されているらしいことが分かっている。そこで、[バリオン数生成](#)と呼ばれる未知の物理過程によってこの非対称性が作られたと考えられている。バリオン数生成が起こるためには、[アンドレイ・サハロフ](#)によって提唱された[サハロフの条件](#)が満たされている必要がある。この条件とは、[バリオン数](#)が保存しないこと、[C対称性](#)と[CP対称性](#)が破れていること、宇宙が熱力学的平衡状態にないことである。ビッグバンではこれら全ての条件が満たされるが、その効果は現在のバリオンの非対称性を説明できるほど強くはない。バリオンの非対称性を説明するためには高エネルギー素粒子物理学の新たな進展が必要である。

## 球状星団の年齢[編集]

[1990年代](#)の中頃、[球状星団](#)の観測結果がビッグバン理論と矛盾する可能性が指摘された。球状星団の[恒星の種族](#)の観測と一致するような[恒星進化](#)のコンピュータシミュレーションの研究から、球状星団の年齢は約150億年であるという結果が出た。これは宇宙年齢が137億年であるという見積もりと矛盾する。この問題は1990年代終わりになって、[恒星風](#)による質量放出の効果を考慮した新しいコンピュータシミュレーションによって、球状星団の年齢はもっと若いという結果が得られたことによって一般的には解決した。観測による球状星団の年齢の測定結果がどの程度正しいかについては依然として問題も残されているが、球状星団が宇宙で最も古い天体の一種であることは明らかである。

## ダークマター[編集]

[1970年代](#)から[1980年代](#)にかけて、様々な観測（特に[銀河の回転曲線](#)の観測）から、宇宙には銀河内や銀河間に働く[重力](#)の強さを十分説明できるだけの「目に見える」（[電磁波](#)を放出・吸収・散乱する




質量が存在しないことが明らかになった。このことから、宇宙に存在する物質の90%は通常の、つまりバリオンからなる物質ではなく、[ダークマター](#)であるという考え方が出てきた。これに加えて、宇宙の質量のほとんどが通常の物質であると仮定すると、観測と強く矛盾するような帰結が得られることも分かってきた。具体的には、もしダークマターが存在しないとすると、宇宙には銀河や銀河団などの高密度の構造がこれほど大きく成長しなかったはずであり、また重水素の量が今よりはるかに多く作られたはずである。ダークマター仮説は当初は議論を呼んだが、現在ではCMBの非等方性や銀河団の[速度分散](#)、大規模構造の分布などの観測や、[重力レンズ](#)の研究、銀河団からの[X線](#)の測定などを通じて、標準的宇宙論の一部として広く受け入れられている。ダークマターは重力的な痕跡を通じてしか検出されておらず、ダークマターに当てはまるような粒子は実験室ではまだ見つからない。しかし素粒子物理学からはダークマターの候補が数多く挙がっており、これらを検出するプロジェクトがいくつか進んでいる。

## ダークエネルギー[\[編集\]](#)

1990年代に宇宙の質量密度の詳細な測定が行なわれると、宇宙の[エネルギー密度](#)全体に占める質量の割合は臨界密度の約30%であることが明らかになった。宇宙背景放射の観測が示すように我々の宇宙は平坦なので、残り70%のエネルギー密度が説明されないまま残されていることになる。現在、この謎はもう1つ別の謎と結び付いているように見える。それは、Ia型超新星の複数の独立した観測から、宇宙膨張が厳密なハッブルの法則に従っているのではなく、非線形な加速をしていることが示されているという点である。この加速を説明するためには、宇宙の大部分が大きな[負の圧力](#)を持つ成分からなっていることが一般相対論から要請される。この[ダークエネルギー](#)がエネルギー密度の残り70%を担っていると現在考えられている。ダークエネルギーの正体はビッグバン理論の大きな謎の1つとして残されている。考えられる候補としてはスカラーの[宇宙定数](#)や[クインテセンス](#)などがある。この正体を理解するための観測が現在続けられている。

## ヒミコの発見[\[編集\]](#)

 この節の[加筆](#)が望まれています。

**2009年**、[大内正己](#)特別研究員が率いる日米英の国際研究チームが発見した[ヒミコ](#)は、ビッグバンから約8億年後（現在の宇宙年齢の6%、現在から遡ると約129億年前）という宇宙が生まれて間もない時代に存在した巨大天体であり、この天体の存在はビッグバン理論に対して大きな問題を投げかけることになった。

[ヒミコ](#)は、5万5千光年にも広がり、宇宙初期の時代の天体としては記録的な大きさである。ビッグバン理論では、「小さな天体が最初に作られ、それらが合体集合を繰り返して大きな天体ができる」と考えられているが、ヒミコはビッグバンから約8億年後には既に現在の平均的な銀河と同じくらいの大きさになっていたこととなり、これは理論の根幹を揺るがす事実である<sup>[27]</sup>。

## ビッグバン理論に基づく宇宙の未来[\[編集\]](#)

「[宇宙の終焉](#)」も参照

ダークエネルギーが観測される以前は、宇宙論研究者は宇宙の未来について二通りのシナリオを考えていた。宇宙の質量密度が臨界密度より大きい場合には、宇宙は最大の大きさに達し、その後収縮し

始める。それに伴って宇宙は再び高密度・高温になってゆき、宇宙が始まったときと同じ状態 ([ビッグクランチ](#)) で終わる。またあるいは、宇宙の密度が臨界密度に等しいかそれより小さい場合には、膨張は減速するものの止まることはない。宇宙の密度が下がっていくにつれて星形成は起こらなくなる。宇宙の平均温度は[絶対零度](#)に次第に近づいていき、それとともに、より質量の大きな[ブラックホール](#)も蒸発するようになる。これは熱死あるいは低温死 (cold death) として知られるシナリオである。さらに、[陽子崩壊](#)が起こるならば、現在の宇宙のバリオン物質の大多数を占める水素が崩壊する。こうして最終的には放射だけが残る。

現在の加速膨張の観測結果からは、今見えている宇宙は時間とともに我々の[事象の地平線](#)を超えてどんどん離れていき、我々とは関わりを持たなくなることが示唆される。最終的な結果がどうなるかは分かっていない。Λ-CDM宇宙モデルは、宇宙定数という形でダークエネルギーを含んでいる。この理論では銀河などの重力的に束縛された系だけはそのまま残され、宇宙が膨張して冷えるに従ってやはり低温死へと向かうことが示唆される。[幽霊エネルギー \(en:phantom energy\)](#) 説と呼ばれる別のダークエネルギーの説明では、ダークエネルギーの密度が時間とともに増加し、これによる[ビッグリップ](#)と呼ばれる永遠に加速する膨張によって銀河団や銀河自体もばらばらに壊されてしまうとしている。

## ビッグバンを超える純理論的物理学[編集]

「ビッグバンモデルは宇宙論の中で堅固に確立しているが、将来的には改良されるものと思われる。インフレーションが起きたと仮定される最も初期の宇宙についてはほとんど分かっていない。また、我々が原理的に観測できる範囲をはるかに超えたところにも宇宙の一部が存在するかもしれない。インフレーションを仮定した場合にはそうなるはずである。すなわち、宇宙の指数関数的膨張によって空間の大部分は我々が観測可能な地平線を超えて広がっていることになる。我々が超高エネルギースケールでの物理を現在より深く理解した時に何が起こるかはある程度推測することができる。その時には[量子重力理論](#)が構築されているはずである」という[要出典](#)。

今まで提案された理論には以下のようなものがある。

### [カオス的インフレーション](#)

[ブレイン宇宙論](#)モデル。ビッグバンはブレイン同士の衝突の結果起こるとする[エキピロティックモデル](#)を含む。

[振動宇宙論](#)。初期宇宙の高温高密度状態は現在と同じような宇宙が過去にビッグクランチを起こした結果であるとする。この説では宇宙は無限回のビッグバンとビッグクランチを繰り返してきたことになる。エキピロティックモデルを拡張した循環モデルはこのシナリオの現代版である。

時空の全体は有限であるとする[ハートル=ホーキングの境界条件](#)を含むモデル。

これらのシナリオの中には定性的に互いに同等なものもある。これらはそれぞれまだ検証されていない仮定を含んでいる。

そして宇宙全体は地球の1830桁倍ぐらいある

ということがサイクリック宇宙論である

では最後の最後に数え方を見ていこう

## 宇宙の数え方(第〇〇宇宙の〇〇のの部分の読み方)講座

1、 数字を2桁つづグループに分ける 最後の一桁だけ余ったら最後は1桁

例 2525365236255222256の場合 25 25 36 52 36 52 25 52 22 25 6 となる 逆に 21 36 54 33 だと 21365433となる

2、 1グループごとに読む

読み方 1グループ2字 最初の一文字は 5 1未満 51以上かどちらなのかがわかる 51未満の場合 最初の一文字目は あいうえお かきくけこ さしすせそ たちつてつ なにぬねの になる 5 1 以上は残りの文字である すなわち はひふへほ まみむめも やいゆえよ らりるれろ わるゑをん とする

※文字が重複する い え (ゐ ゑ) 当たるが数字が45 46 47 48 49 50 95 96 97 98 99 そのまま数字を読んで〇〇じゅうのじゅう部分と語尾を伸ばしてピンポンー伸ばし最後に手を叩く ビータミュージック 実験感らを参照

注意 これらの数字を伸ばして発音しピンポンというとき 数字の例外と認識さるのでこの組み合わせはこの例外以外いつかうな

グループ2文字目は 1からまたは51から その該当する数字までの差し引きを出し あいうえおから順に数え その数字(番目)を読む

例 かと の場合 一文字目は か なので1から50 かはあから数えて6番目なので 06となる 濁点 は気にしなくて良い 小さな文字は 一文字とする かつ の場合 かつ で1グループ しかし読むときはそのまま

詳しい発音方法はビータ参照

注意 書く場合※の例外と はそのまま書き

その他 じゅうに関してはボーダーラインを引く

伸ばし ピンポンーと言ったら 例外`になる になるので発音に注意

注意 最後に着く宇宙はグループに入れずそのまま 宇宙と読む

以上

平成25年

終わり