

愛知の大地のなりたち 1 宇宙の形成

宇宙が形成され、太陽、地球が形成され、大陸がつくられ、日本列島がつくられました。愛知の大地は堆積物・堆積岩や花崗岩類・変成岩類からできています。前者は主に水面下で、後者は主に地下深くで造られます。その後の侵食や隆起によってできた大地に私たちは住んでいます。

日本が列島になったころ以降の話は多くの書籍や Web サイトでよく取り上げられています。しかしそれ以前のことは、あまり触れられていません（不明なことが多いからですが）。今回は、うんと歴史をさかのぼって、宇宙の誕生からの話です。

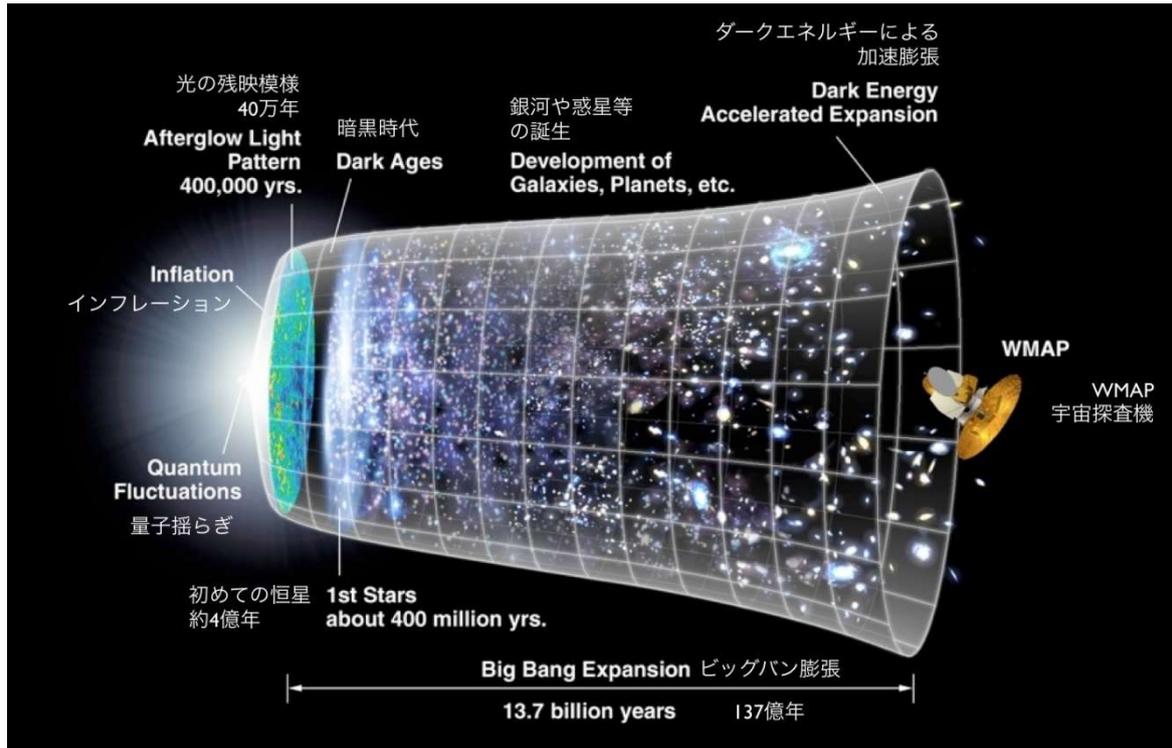


図1 インフレーションとビッグバン (URL1) 左端が宇宙の始まりで、右端が現在です

(1) 宇宙ができる前は？

私たちが住む宇宙はある時（特異点）から始まったといわれます。それを聞くと、宇宙の誕生より前はどのような状態だったのか？ いつ、どうして始まったのか？ などの疑問が湧いてきますね。これらのことは理論の世界で、具体的なイメージは多くの人にとってはむづかしい（私にはさっぱり）ですね。私が調べて得られた説明は、“無”からはじまったというものです。“無”とは何もない状態ですが、量子*の世界では「ゆらぎ」のある状態のことをいいます。物理的に可能な限りエネルギーを抜ききっても、振動（「ゆらぎ」）が残ります。この「ゆらぎ」は、素粒子の生成と消滅が繰り返されることにより起きていて、無と有の間をゆらいでいる状態です。その状態から「トンネル効果*」で、突然、宇宙が生れたと考えられています。

*量子：粒子と波の性質をあわせ持った、とても小さな物質やエネルギーの単位のこと、原子や、原子を形作っている電子・中性子・陽子・光子など

*トンネル効果：量子が決まった位置を持たないという性質のため、乗り越えられない壁があってもトンネルを通

てきたように一定の確率で通り抜けられる現象

(2) 宇宙の始まりは？ インフレーションとビッグバン

宇宙は約 138 億年前に始まったと考えられています (図 1: この図では 137 億年になっています)。誕生直後の宇宙は液体に近く、クォーク*のスープのようなものが存在していたとされます。そしてこの中で粒子と反粒子がペアで生まれては合体して消滅するという現象を繰り返していたと考えられます。この時、何らかの理由で反粒子より粒子の方がほんのわずかに数が多かった



図 2 出来立ての宇宙 (松原,2016)

たために粒子が生き残り、その残った僅かな粒子が基となって現在の宇宙に存在する全ての物質の基となったといわれます。宇宙の始まりではビッグバンという言葉が有名ですね。ある時に一点から“火の玉宇宙”が膨張して今の広い宇宙が造られたというものです。ガモフは、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、“火の玉宇宙”の考えを提唱しました。これに対して、宇宙はずっと状態は変わらないという考え (定常宇宙論) のホイルが、ルメートルらの考えを BBC のラジオ番組で「ビッグバン: Big Bang (大爆発)」と揶揄したといわれます。ところが、“火の玉宇宙”の考えの人たちもその名が気に入ってそのままビッグバンに定着しました。この考えは、当然? いくつかうまく説明のつかない点がいくつもありました。そんな中で、1981年に佐藤勝彦とほぼ同時にアメリカのグースがインフレーションという考えを提唱しました。それはビッグバンの直前に急激な加速膨張現象が起こったという考えです。つまり、宇宙の始まりはビッグバンではなくインフレーションだという考えです。インフレーション理論は、一言で言えば、「宇宙の極めて初期 (10^{-36} 秒後頃?) に、宇宙は加速的急膨張をおこし、その急膨張が終わるとき一挙に加熱され、宇宙は火の玉になった。」という理論です。宇宙は $\sim 10^{-28}$ m から ~ 1 pc (3.08×10^{13} km) の大きさになったといわれます。この考えは、現在の宇宙が極めて一様であることや、宇宙の曲率が非常にゼロに近いことなどをうまく説明できます。つまり一気に急膨張が起きれば最初に凸凹の有った宇宙 (図 2) であってもならされてしまうというのです。インフレーションの起きた原因は真空の相転移と考えられていましたが、矛盾点もあり、多くのモデルが提案されており、現在でも確実な原因は特定されていません。インフレーションによって急激に拡大すると温度は大きく下がります。インフレーションが終わるころ、膨張のエネルギーが解放され、宇宙は火の玉状態 (=ビッグバン) になります。

*クォーク: 素粒子の一つ

(3) ビッグバンのあと

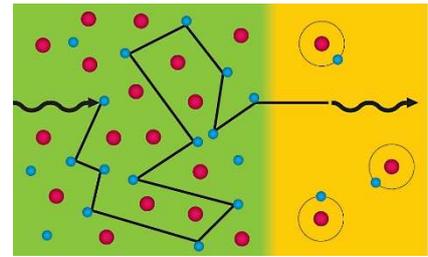
超高温状態であった火の玉宇宙では原子は存在できず、膨張を続けながら冷却していくなかで宇宙には物質のもととなるごく小さな素粒子であるクォークが集まり、中性子や陽子が誕生したのです。ビッグバン以降ではほんのわずかの時間に様々な現象が起こりました (時間の数値は研究者によるばらつきがあるようです)。以下に主な出来事をご紹介します。

◎宇宙が誕生してから 10^{-36} 秒後にインフレーションが始まり、その直後にビッグバンが起こります。

これによってさまざまな小さな粒子 (素粒子) が生まれます。きわめて高温・高密度で光と電子をはじめとするさまざまな粒子の混ざり合った状態でした。

◎ 10^{-4} 秒後に約 1兆 K まで温度が低下し陽子や中性子が誕生します。そして、3分後には 10^9 K 程度になり、水素原子核やヘリウム原子核ができます。

◎38 万年後には宇宙の膨張に伴って 3000 K~4000K まで温度が低下します。すると陽子と電子が結合して水素原子をつくるようになります。やがて原子の合成がほぼ終了して、宇宙から裸の電荷（裸の陽子や電子）がなくなります。電磁波（光）は、裸の電荷とは強く相互作用して散乱するためまっすぐ進めません（図 3 の左側の状態）が、ほとんどの陽子と電子が中性水素原子になってしまうと、それまで荷電粒子と強く反応、図 3 宇宙の晴れ上がり（URL2）していた光は以後、物質と反応をほとんどしなくなってしまう。すると、光はまっすぐに進めるようになります（図 3 の右側部分）、この宇宙は透明になります。この現象を「宇宙の晴れ上がり」といいます。後述しますが、この時出た光が、現在の地球で「宇宙マイクロ波背景放射」として観測され、ビッグバン宇宙モデルの重要な証拠となっています。図 3 の赤丸は陽子、青丸は電子、黒線は光の通過経路を表しています。



- ◎1 億~4 億年後には 50~60K になったと考えられます。最初は一様であった宇宙も冷えるに伴い、その中に密度の濃いところと薄いところ（ゆらぎ）ができます。のちに、密度の濃いところが自分自身の重力で一層密度が高くなり、そこが銀河や恒星となります。
- ◎2 億年~10 億年後にはガスが集まって最初の銀河や銀河団が誕生します。私たちの住む銀河系の誕生は 7 億年後くらいと考えられています。
- ◎90~91 億年後（46 億年前）には太陽系・惑星系が誕生します。

（4）探求の歴史

20 世紀初めまでに、恒星からの光を波長ごとに分ける分光観測（スペクトル観測）の技術が発展しました。1912 年にはスライファーがアンドロメダ星雲が高速で地球に近づいていることを発見します。その後、ハッブルが渦巻星雲のセファイド*を使って、星雲までの距離を測り、ほとんどの銀河は地球から遠ざかっておりその速度は距離に比例するというハッブル・ルメートルの法則*を見つけました（1929 年）。これにより宇宙が一様に膨張していることが分かりました。

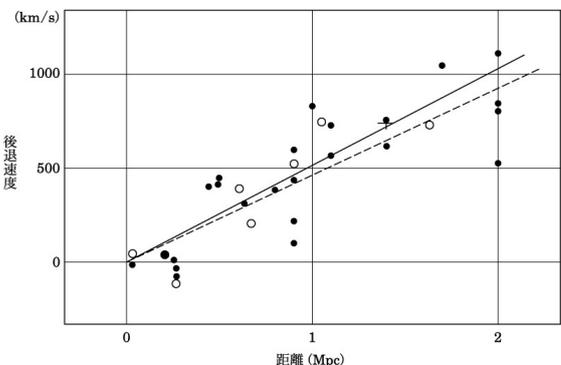


図 4 ハッブル・ルメートルの法則

*ハッブル・ルメートルの法則：遠ざかる速度 v = 比例定数 H × 銀河までの距離 r

変形すると r (距離) / v (速度) = かかった時間 (年齢) = $1/H$ となり銀河の年齢も推測できます。(ただし、定数 H の値を定めるのがとても困難でした) ハッブルの法則は現在はハッブル・ルメートルの法則と呼びます。ルメートルが 1927 年の論文で前述したビッグバンの考えやハッブル定数まで求めているからです。フランス語で書かれ、発表したのがベルギーの学術雑誌という不幸? が重なって広く知られることがなかったようです。

ガモフが「ビッグバン宇宙」を 1946 年に提案します。1965 年、ペンジアスとウィルソンによって、宇宙のあらゆる方向から届く微弱な電磁波が受信されました。それが前述した「宇宙の晴れ上がり」で宇宙を通り抜けられるようになった電磁波の現在の姿と結びついたので。はじめは数千度の光でしたが、この観測では波長 7.35cm（温度 3K から出る光の波長）となっていました。ビッ

グバン宇宙の考えの大きな証拠となりました。彼らは1978年にノーベル物理学賞を受賞しています。1986年にゲラーなどがグレートウォール*（宇宙の大規模構造）を発見しました。1998年には超新星を使って宇宙膨張が加速していることが指摘されます。その原因としてダークマター*の存在も提示されます。COBE

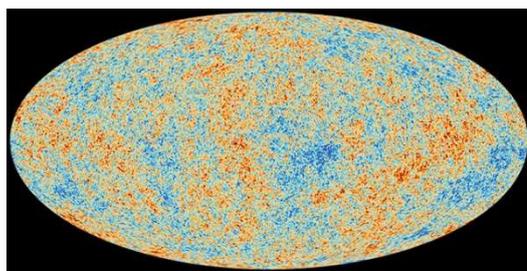


図5 宇宙マイクロ波背景放射 (URL4)

(1989年に打ち上げ), WMAP (2001年打ち上げ), Planck (2009年打ち上げ: 図5) などの人工衛星によって宇宙マイクロ波背景放射(図1の光の残映模様)の中に温度の揺らぎが見出されました。この発見はビッグバン理論と一致したものでした。現在の宇宙はダークエネルギー*によって加速膨張していると考えられています。現在の私たちが理論的に観察可能なのは半径約460億光年で、その距離を宇宙の地平線と呼びます。宇宙には未知の部分が多

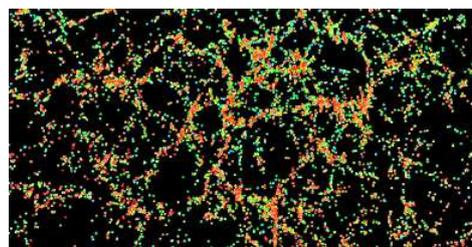


図6 宇宙の大規模構造 (URL5を改)

く、宇宙には果てはない、宇宙は一つだけでなく私たちの宇宙もその中の一つ、ブラックホール内には別の宇宙がある、宇宙は次第に収縮していく、など様々な考えが出されています。

*セファイド：脈動変光星で、その変光周期と明るさには比例関係があることがわかっています。

*グレートウォール：宇宙の大規模構造ともいわれ、銀河は泡の膜にあたるところに密集し、泡の中にあたる部分には銀河がほとんど存在しない(図6)。宇宙の誕生時に存在した微小な量子ゆらぎが、インフレーションによって空間的に何十桁も拡大し、その後の時間経過と共に大規模構造に成長していったと考えられています。

*ダークマター：宇宙をつくるもののうち私たちがわかっているのは全体の4.9%だけで、未知の物質としてダークマター(26.8%)、ダークエネルギー(68.3%)があると考えられています。

*宇宙マイクロ波背景放射：「宇宙の晴れ上がり」の時に光を現在の地球から見たもので、均質でなく揺らぎがあることが特徴です。

宇宙は膨張しているとよく言われますが、銀河内の星と星の間が拡大しているわけではありません。星などの物質間に働く重力によって内部の空間はもはや膨張しておらず固定された大きさを保っています。広がっているのは銀河と銀河の間です。

引用・参考文献

在田一則ほか、2015、第2版 地球惑星科学入門.北海道大学出版会、447p.

岡村定矩ほか、2007 人類の住む宇宙 シリーズ現代の天文学. 日本評論社 342p.

松原孝彦、2016、宇宙の誕生と終焉. SBクリエイティブ、206p.

数研出版編集部(編)、2014、もういちど読む数研の高校地学. 数研出版. 400p.原図は NASA/CXC/M.Weiss

URL1: <https://ja.wikipedia.org/wiki/宇宙のインフレーション>: 原図は NASA WMAP science team

URL2: <https://official.rikanenpyo.jp/posts/6648>

URL3: <https://astro-dic.jp/hubble-lemaitre-law/> 原図は Hubble 1929, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Volume 15, Issue 3, pp. 168-173)

URL4: https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/10061_planck (原図は ESA and the Planck Collaboration)

URL5: <https://www.jicfus.jp/jp/2016-1/> 原図は Sloan Digital Sky Survey 一部をカット