

星と宇宙



静岡産業大学情報学部 小林健一郎

以下の皆様の画像を使わせていただいています。ありがとうございます。

国立天文台 NAOJ、JAXA、NASA、天文学辞典（日本天文学会）

いらすとや、パブリックドメイン Q （敬称略）

本文では、約〇〇kmなどをしばしば簡単に〇〇kmと書きます。

星・銀河・宇宙

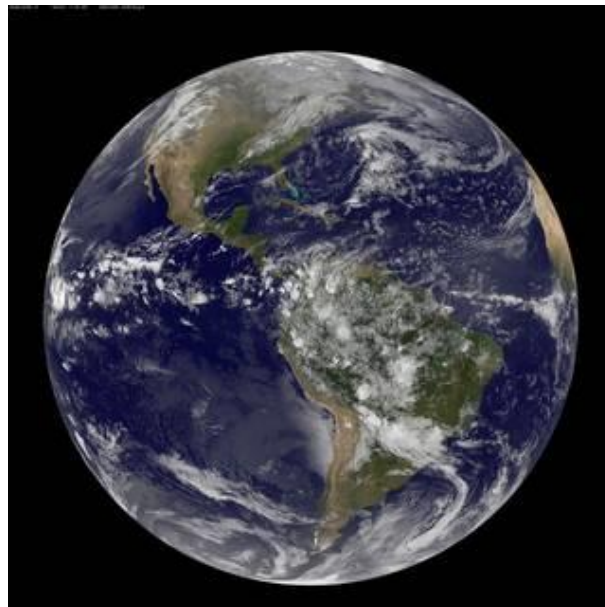
地球

半径 6400km 1周4万 km。

（東京大坂間 500km・地球1周はその約 80 倍。

時速 200km で進めば 200 時間=8 日ちょい）

質量 6×10^{24} kg (6000000000000000000000000kg)。



NASA

月

半径 1700km 地球の $\frac{1}{4}$ より少し大きい程度。

地球までの距離 38 万 km 地球の半径の約 60 倍。

(時速 200km で進めば 1900 時間=約 80 日)

質量 7×10^{22} kg 。



国立天文台 NAOJ

太陽

半径 70 万 km 地球の約 109 倍。

地球までの距離 1 億 5000 万 km。

(時速 200km で進めば 75 万時間=31250 日=約 85 年)

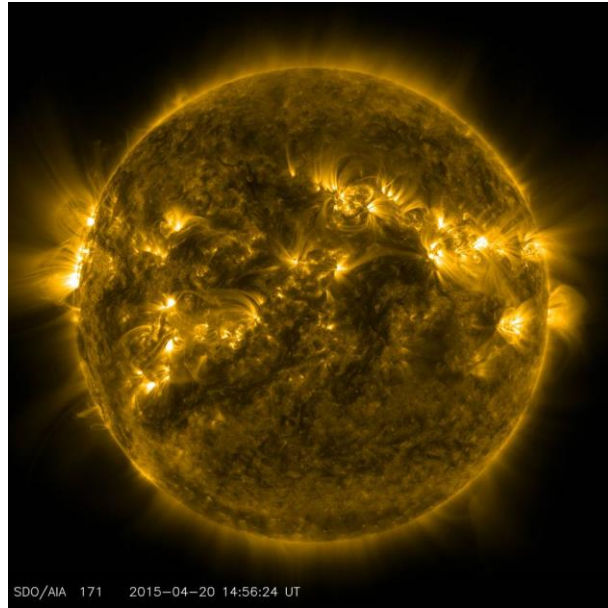
海王星までの距離 45 億 km これは地球太陽間の約 30 倍。

地球の半径を 10cm とすると、太陽の半径は 11m、太陽までの距離は 2.4km、

太陽海王星間は 70km (直線距離で藤枝浜松間 44km、藤枝沼津間 65km)。

つまり、普通には絵に描けない!

質量 2×10^{30} kg 。



NASA

距離の単位

1 天文単位 = 149597870700 m (太陽地球間の距離を基準にしたもの)。

太陽地球間の距離は 1 天文単位。

太陽海王星間の距離は 30 天文単位。

光の速さ 秒速 30 万 km

1 秒で地球 7 周半 (地球 1 周 0.13 秒)。

月までは 1.3 秒、太陽まで 500 秒 (8 分 20 秒)。

光が 1 年で進む距離を 1 光年という。

1 光年 = 約 9 兆 4600 億 km = 約 63000 天文単位。

(天文学者は、1 パーセクは = 約 3.26 光年をよく使う。)

恒星

自分で光っている星。



プレアデス星団（すばる） 若い星々
国立天文台 NAOJ H.Fukushima

1 番近い恒星：太陽

太陽以外で 1 番近い恒星：プロキシマ・ケンタウリ（距離：4.24 光年）

プロキシマ・ケンタウリ

ケンタウルス座 α 星とよばれる 1 等星（肉眼で見える）が、実は 3 重連星で、その 1 つ。
ただし、プロキシマ・ケンタウリ自身は見えない。

ケンタウルス座は古代メソポタミアで 7 千年くらい前から知られていた古い星座。

人の頭に牛の体のケンタウルスに見られている。

南十字星の近くにあって、沖縄を除くと日本からはほとんど見えない。残念。

ちなみに、現在天文学で使われる星座の原型は紀元 2 世紀頃の古代ギリシア人プトレマイオスによると言われている。（それまでのエジプト、メソポタミア、ギリシアなどの知識を総合したものと思われる。）

南極老人星

南半球の星は北半球からはまったく見えないか、見えてもよく見えない。

りゅうこつ座カノーパスは、シリウスに次ぐ明るさの恒星であるにもかかわらず、南にあるため北半球の日本や中国の大部分からはぎりぎり見えるかどうかである。

国立天文台 NAOJ

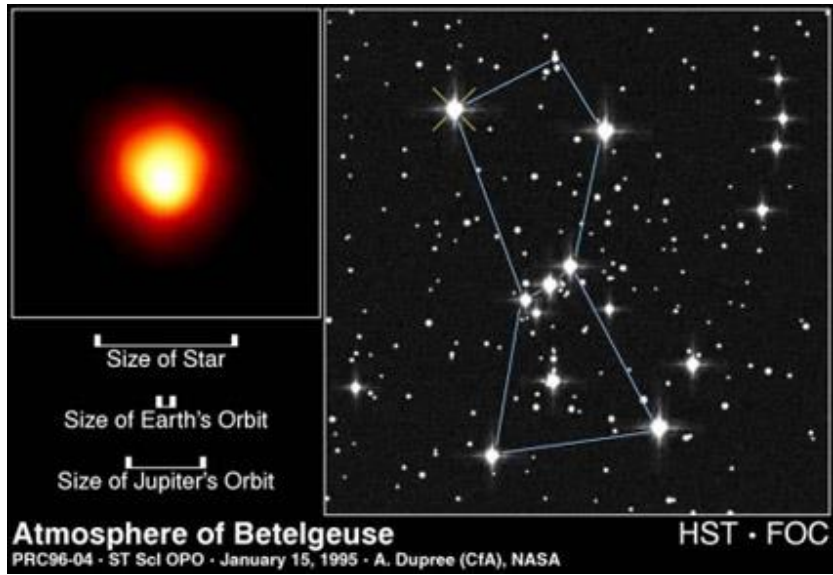
中国では南極老人星とよばれ、この星を見た人は長寿になると言われているという。南極老人は西遊記などでも活躍する神仙で七福神の福祿寿・寿老人ともいわれる。

赤色巨星・白色矮星

赤色巨星の大きさは太陽の十数倍～。

(内部で炭素、酸素など「重要」な元素が作られる。)

超巨星とよばれる太陽の数十倍～千倍以上の恒星もある。



NASA オリオン座ベテルギウス (太陽の約 1000 倍)

白色矮星の大きさは太陽の 100 分の 1 ほど。

白色矮星は冷えて暗くなっていく。

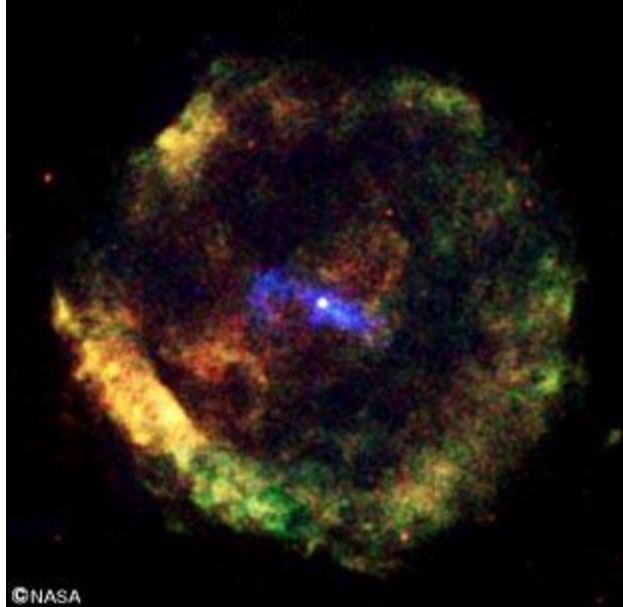
1cm³あたりの重さが 10t 以上にもなる。(太陽は 1cm³あたり 1.4g。)

太陽もいずれ赤色巨星となり、白色矮星になると考えられている。

星の一生

宇宙は完全な真空ではなく、星間物質とよばれるものがただよっている。

これらが集まって原始星が生まれる。大きさ（質量）によって、その後の様子が変わるが、「主な星」は中心部で核反応を起こして恒星となる。多くの恒星は、そのエネルギーを使い果たす頃に赤色巨星となり、さらに外側の物質を放出して白色矮星になったり、また、重い星は超新星爆発を起こして、中性子星やブラックホールになると考えられている。



NASA 超新星の爆発の中心に中性子星

ちなみに、超新星は夜空に突然現れたように見える（爆発だから）ため、超「新」星とよばれるが、実際には星の進化の最終段階の1つで、「銀河系内で100年から200年に1度しか起こらない」とされる。

[1987年に超新星からのニュートリノをとらえた小柴昌俊先生(2002年ノーベル物理学賞)は、「ものすごくラッキー」とも言われました。その観測ができる準備を行っていたことが重要であるわけですが。当時「100～200年に一度しか観測できないものを観測したのだからノーベル賞確実だよ」と私たち学生は言いあっていました。]

中性子星

半径 10km ほど。

質量 太陽の10分の1～2、3倍。

星1つが巨大な原子核のよう。

(水素の原子核：直径 10^{-15} m ($\frac{1}{1000000000000000}$ m)、質量 1.7×10^{-27} kg)

1cm³あたりの重さが10⁹tほどと考えられる。

30秒から0.01秒ほどで1回の自転をしていて通常強い電磁波を出している。(パルサー)

強重力、高密度、強磁場など、極限的な状況を実現している。

銀河

1 千万 ～ 100 兆 の恒星の集まり。



アンドロメダ銀河

国立天文台 NAOJ H.Fukushima D.Kinoshita

我々の銀河（銀河系、天の川銀河）

半径 5 万光年（直径 10 万光年）。

厚さ 1000 光年（地球から中心まで 2 万 6000 光年。地球はわりと端の方。）

恒星の数 2000 ～ 4000 億個。

質量 太陽の 1 兆 3000 億倍。

天の川

我々の銀河の星々が密集して見えるもの。

紀元前 400 年くらいのギリシアではすでに星の集まりという説が唱えられていた。

1609 年にガリレオが望遠鏡で確認。

全貌がわかったきたと言えるのは 1950 年代以降。

ギリシア神話では女神ヘラの乳といわれる。実際、galaxy のもとの意味は乳とか。

英語でも Milkyway。

古代中国では川。

有名な七夕伝説があり、万葉集で大伴家持の歌に「天漢（あまのがわ）」とある。

[ちなみに、牽牛と織姫の間を取り持ったのはかささぎです。

しかし、実際に天を見ると、牽牛（わし座のアルタイル）と織姫（こと座のベガ）の間には、西洋式の星座であるはくちょう座があります。

わし座アルタイル、こと座ベガ、はくちょう座デネブで夏の大三角ですね。]



国立天文台 NAOJ

大マゼラン銀河・小マゼラン銀河

我々の銀河から 16 万光年と 20 万光年。

1987 年の超新星爆発は大マゼラン銀河内で起こったもの。

半径 1 万 2～5 千光年、5 千～1 万 3 千光年ほど。

アンドロメダ銀河

我々の銀河から 250 万光年（これでも「すぐ隣」と言われる）。

半径 10 万光年以上と言われる。

我々の銀河は、アンドロメダ銀河、大小マゼラン銀河などをふくむ数十個の銀河とともに局部銀河群という集団をなしている。範囲は数百万～1 千万光年以上と言われる。

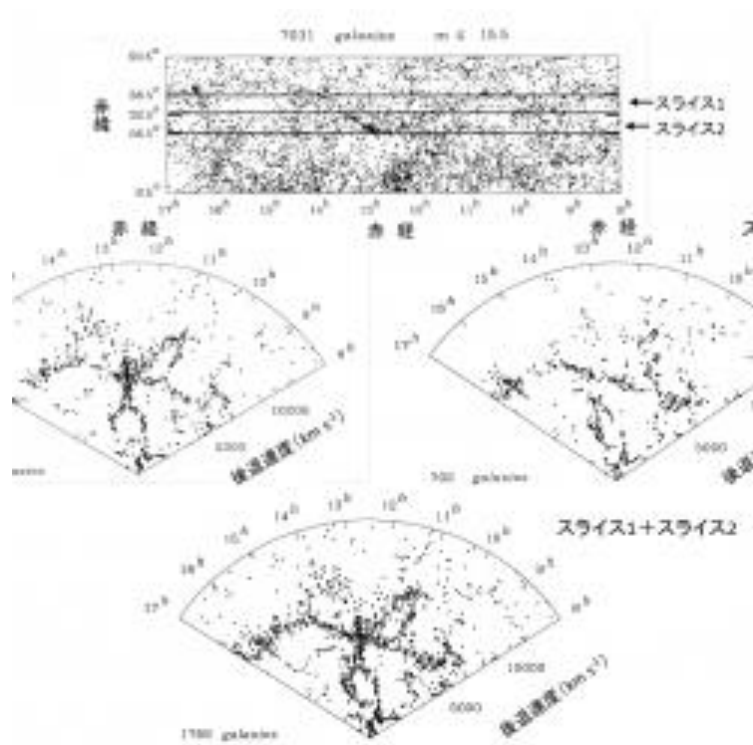
銀河同士の衝突

早稲田大、東京大、名古屋大などの国際共同研究チームは、131 億光年先での銀河同士の衝突・合体をチリのアルマ電波望遠鏡で捉えた。2019 年 6 月発表。



国立天文台 NAOJ

同様な銀河の集まりを銀河群・銀河団といいそれらが数千個集まって、超銀河団を作っている。超銀河団は、シートや糸のような形になっていて、形状によってグレートウォールや銀河フィラメントなどとよばれる。これらは数億光年レベルの構造。



天文学辞典（日本天文学会）

宇宙

大きさ 140 億光年ほど？

年齢 140 億年ほど？

(欧州宇宙機関は 2013 年に 138 億年と発表。)

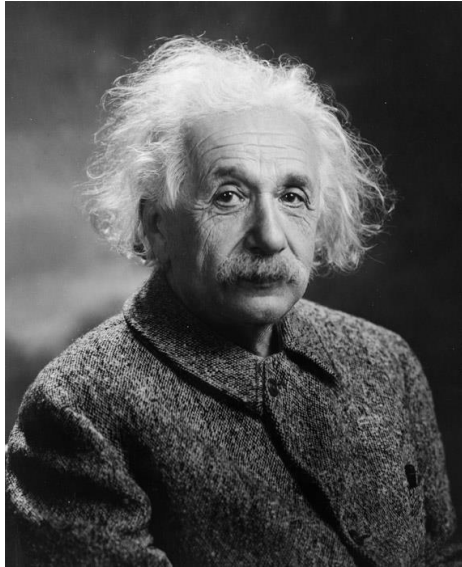
ちなみに、地球の年齢は 46 億年、太陽もそのくらいと言われている。

銀河系は 2~3 億年ほどで 1 周すると考えられている。

宇宙の理論

相対性理論

時空の理論



アインシュタイン
パブリックドメイン Q

1905 特殊相対性理論 ← 光速不変原理

1916 一般相対性理論 ← 等価原理

時間と空間は混じり合う → 時空

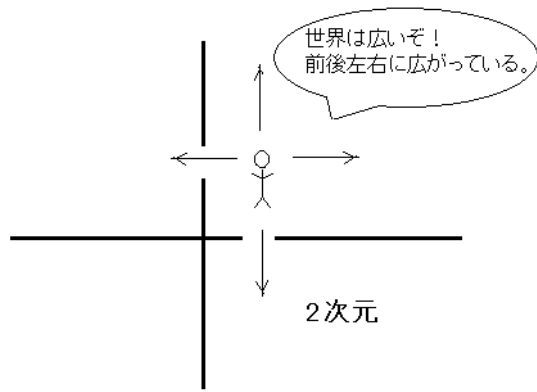
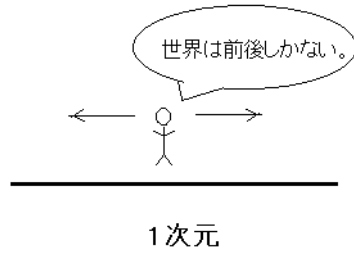
アインシュタイン方程式 (時空の方程式)

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

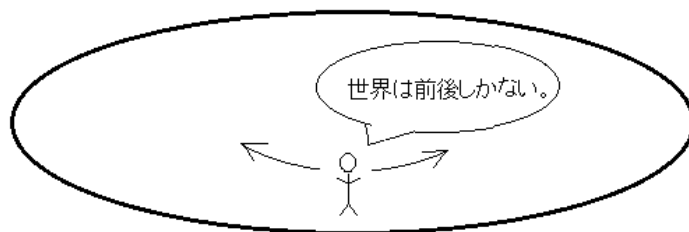
この方程式を解くと、時空の形がわかる。

時空の形

これを想像するには、次元を下げて考えると良い。

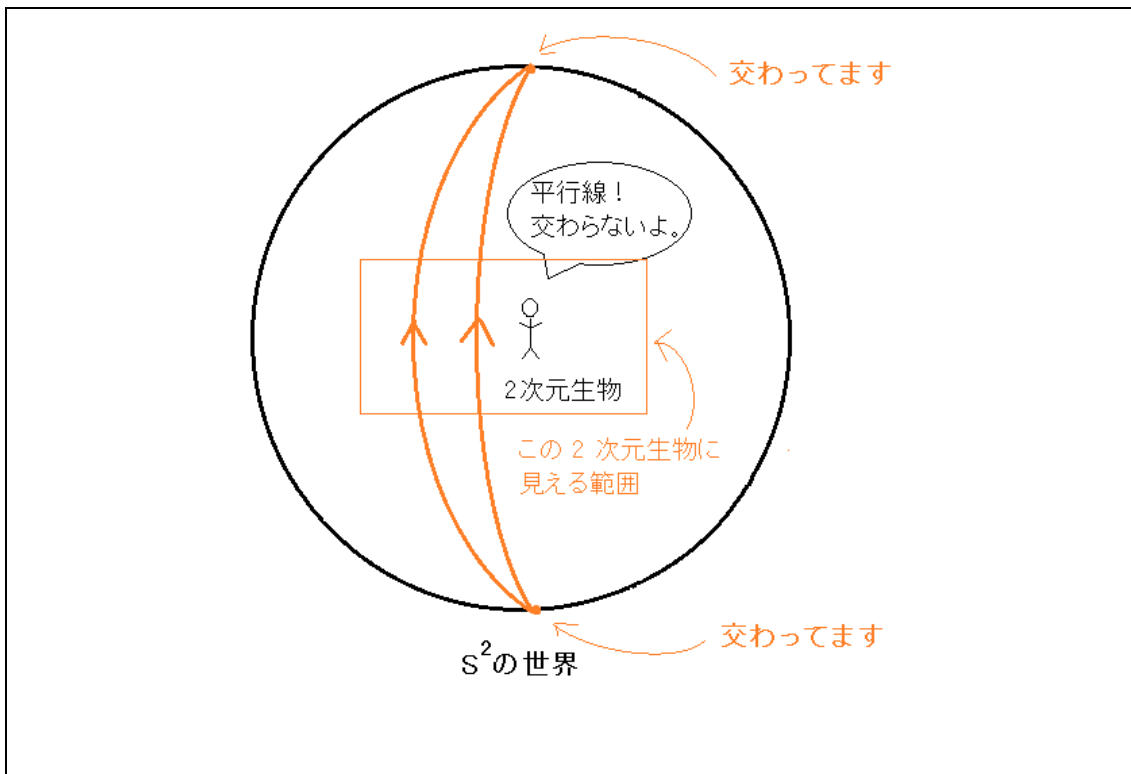


平らな世界

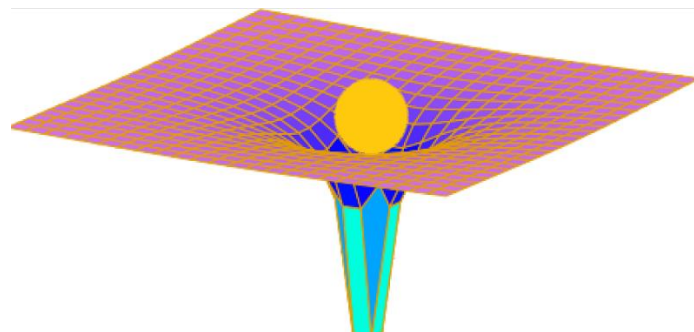


S^1 の世界

3次元世界のちょっと斜め上から見た感じ



これは、「物質があると時空が歪む」ということを表す式。



水星の軌道や光の進み方でアインシュタイン方程式が「正しい」ことが示された。

しかし、アインシュタイン方程式を宇宙に適用すると、宇宙は膨張しているか収縮している可能性が高いと思われる。宇宙が不変でなくてよいのか？

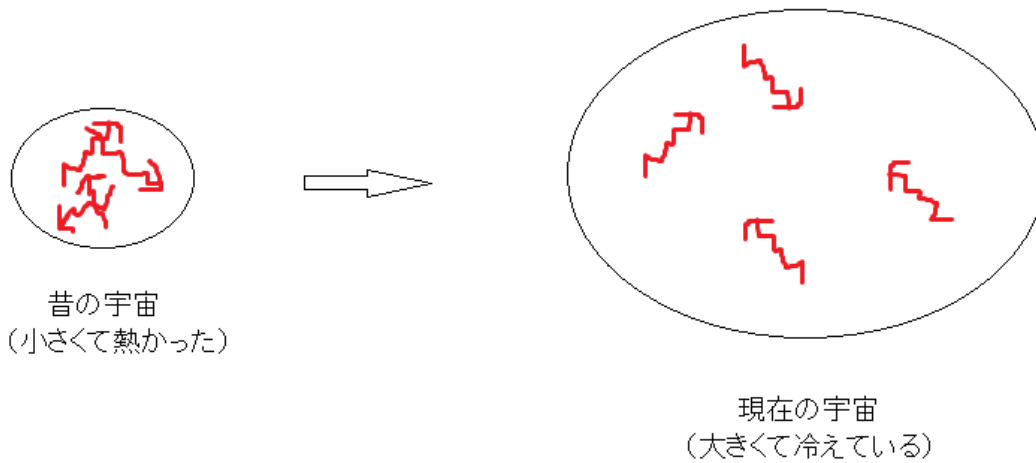
1922 フリードマン 膨張宇宙を提唱 → ビッグバン理論

他にも、ロバートソン、ウォーカー、ルメートルら。

1929 ハッブル ハッブルの法則を発見

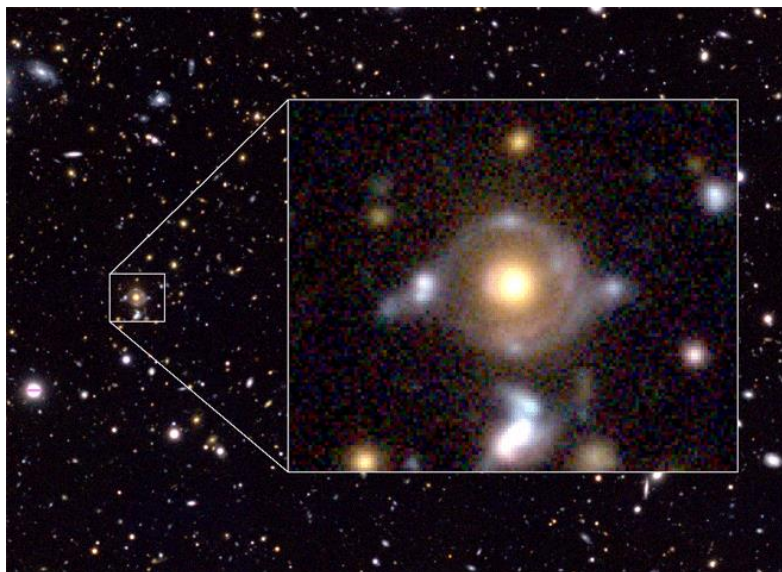
遠くの銀河は地球から遠ざかっている。 → 宇宙は膨張しているのではないか？

1948 ガモフ 宇宙背景放射の存在を予言。



1964 ペンジアス、ウィルソン 宇宙背景放射を発見。

1979 重力レンズ発見。



国立天文台 NAOJ 2016年7月公開 「ホルスの目」

2016 重力波発見。

物質があると時空が歪む。

したがって、物質（あるいはエネルギー）が激しく動けば、時空の歪みが波となって伝わるはず。これを重力波という。

アインシュタインの理論はかなり正しいと思われる。

ブラックホール

アインシュタイン方程式を解くと「すべてを飲み込んでいくもの」の存在が示される。

1916 シュバルツシルト シュバルツシルト解を発表。

方程式では「数学上の答としては存在するけれど実現はされない」ということがある。

たとえば、「今日から毎日 1000 円貯金すれば 10 日後には 10000 円貯まる」は実現可能だが、「10 日前から毎日 1000 円貯金すれば今 10000 円貯まる」ということは、それまで貯金していなければ実現されない。アインシュタインは当初シュバルツシルト解を「存在するけれど実現されない解」と考えたようである。

1930 チャンドラセカール (19 歳!) 「重い星はつぶれてブラックホールになる」

(当時の物理学の重鎮たちには相手にされなかったらしい。)

1970 代から、ブラックホールらしい天体が発見される。

銀河系の中心にある巨大ブラックホール

直径は 400 億 km と言われ、イベントホライズン望遠鏡という「望遠鏡」(世界の大電波望遠鏡を連携させたもの)でその影の撮影に成功。2019 年 4 月に発表された。

<https://www.nao.ac.jp/news/science/2019/20190410-eh.html>

ホワイトホール・ワームホール

アインシュタイン方程式を解くと、ブラックホールの逆「あらゆるものが中から出てくるもの」がありうる。これが単独で存在するとすると、出てくるものがどこから来たのかわからない。しかし、「ブラックホールとホワイトホールがつながっていて、ブラックホールが吸い込んだものがホワイトホールから出てくる」ということも考えられる。これをワームホール (宇宙の虫食い穴) という。

今のところ多くの人には「数学上の答」以上には考えられていないと思う。

しかし、「別の宇宙につながっている」など、いろいろな可能性も考えられている。

問題

ダークマター・ダークエネルギー

1970年代 銀河の回転の様子から「見えない物質」が予想される。

→ ダークマター

1990年代 宇宙の遠くが意外に早く遠ざかっている。

→ ダークエネルギー

NASA などによると、宇宙の構成は、いわゆる物質が5%ほど、ダークマターが20%強、ダークエネルギーが70%強と考えられている。

宇宙はどう始まったのか。

重力の量子論はどうなっているのか。

国立天文台、JAXA、NASA、天文学辞典（日本天文学会）の記述を参照させていただき、画像も利用させていただきました。また、いらすとや、パブリックドメイン Q の画像も使わせていただきました。感謝いたします。

訂正等は <http://f-ssu.com/ken/hoshi.html> にて公開します。