

宇宙、この想像を絶する世界

平成 28 年 4 月 21 日

海洋フォーラム懇談会

荻野 繁之

地球をピンポン球に縮小すると、月はパチンコ玉となり地球から 1 m離れた位置にある。



地球 と 月

太陽の大きさを 22cm (人の頭大、バレーボール大) に縮小すると

| 惑星 | 大きさ | 太陽からの距離 |
|-----------|------------|------------|
| 水星 | 0.8mm | 9m |
| 金星 | 1.9mm | 17m |
| 地球 | 2mm | 24m |
| 火星 | 1.1mm | 36m |
| 木星 | 2.26cm | 123m |
| 土星 | 1.92cm | 226m |
| 天王星 | 8mm | 454m |
| 海王星 | 7.9mm | 641m |
| (冥王星 | 0.4mm | 935m) |
| ちなみに月は | 0.5mm | |

同じ縮率で太陽に一番近い恒星は

αケンタウルス 22cm 6489km

4 光年 今の宇宙船の速度 10km/秒 で 12 万年かかる

産経 16.4.13 超高速探査機計画

英国の著名な宇宙物理学者スティーブン・ホーキング博士は 12 日、ニューヨークで記者会見し、光速の 5 分の 1 という極めて速い速度で飛ぶ小型探査機「ナノクラフト」を開発し、太陽系外の惑星や生命体を探す計画を発表した。

惑星探査ロケットのような人工物では 2006 年に打ち上げられた冥王星探査機ニューホライズンズが出した 秒速 30 km が最高速度です。それでも光速の 1 万分の 1 程度。

ここで、少し余談

1995 年に最初の系外惑星が発見された。

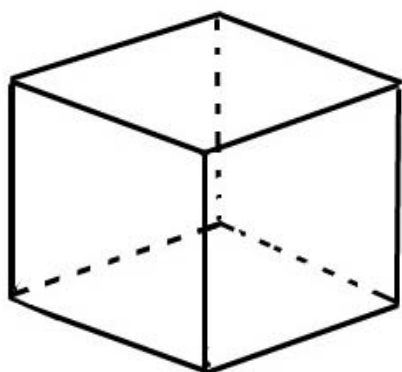
地球から 50 光年離れたペガサス座 51 番星の周りをまわる惑星
系外惑星 1000 個以上 10 年くらいのスパンで急激に発見されて
いる。



天の川銀河の直径
10 万光年

太陽系は中心から
28,000 光年離れたところ
にある。

我々のこの天の川銀河には、恒星が 2000 億あるといわれている。



1m の立方体に、砂粒が一杯入っていると
する。その砂粒が 1mm とすると、砂粒は 10 億個

天の川銀河の恒星の数は、200 箱分をばら撒いた
砂粒の数。



宇宙には銀河が 1000 億
あるといわれている。

この広大な宇宙は、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。

ビッグバン仮説は、

- 1927 年 ルメートル（ベルギー）が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。ハッブルはその原因は**ビッグバンにある**といった。

このようにビッグバン以来私たちの宇宙が膨張し続けていることは、1929 年からわかっていたが、その膨張の勢いが宇宙に存在する物質の重力によって衰えると思われていたのが、

- 1998 年に、Ia 型超新星の観測によって、宇宙の膨張が加速していることを発見して、2011 年のノーベル物理学賞を米国の 3 名がもらっている。<**宇宙は加速膨張している**>

ビッグバンの始まり、宇宙の年齢は、NASA が 2001 年に打ち上げた宇宙背景放射のマイクロ波観測衛星 WMAP 衛星のデータから推定は、 137 ± 2 億歳であったことから、宇宙の年齢は 137 億年と言われていた。

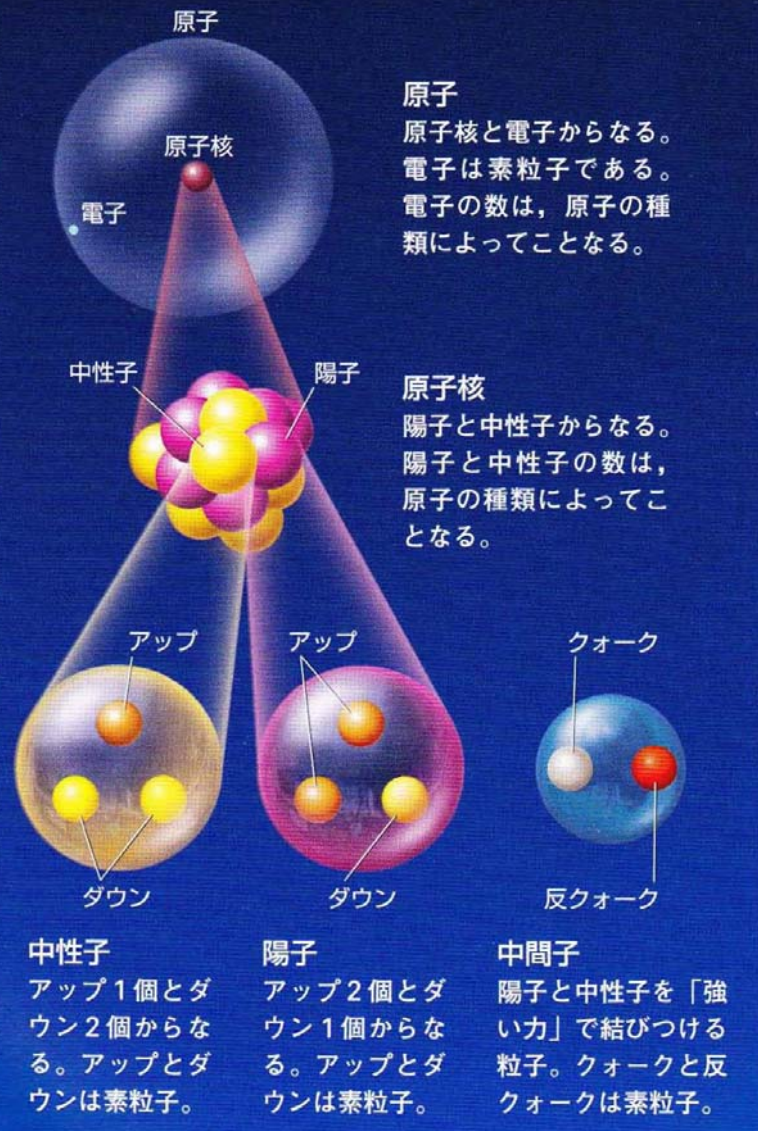
しかし、ESA が 2009 年に打ち上げたより高精度のプランク衛星のデータから、2013 年に 138.13 ± 0.58 億歳であるとの研究発表があったため、現在は 138 億年と言われている。

ビッグバンの始まる 138 億年前に遡って行くと、上述の全てを含有した宇宙は一点に集中していった 3 ミリの大きさであったと云われている。

その前にはインフレーションと称される急膨張があつて 3 ミリになったのですが、それが宇宙の始まりで、その初めの大きさは原子の大きさより遥かに小さかったことが分かって来ました。要はこの大宇宙は極々小さい目にも見えない一点から発生したことになる。

物質

物質の粒子



| | |
|------|-----------|
| 小麦粉 | 1/20 ミリ |
| 抹茶 | 1/250 ミリ |
| 細菌 | 1/1000 ミリ |
| ウイルス | 1/一万 ミリ |

原子の構造の研究が、20世紀に入り飛躍的に進展した。

| | |
|--------|-----------|
| 原子 | 1/一千万 ミリ |
| 原子核 | 1/三万 原子 |
| 陽子、中性子 | 1/10 原子核 |
| クォーク | 1/1000 陽子 |

クォークの大きさ

| | | | |
|------------|---|---------|----|
| 1/10000000 | x | 1/30000 | x |
| 1/10 | x | 1/1000 | ミリ |

物の正体を突き詰めれば、何もない空間と大きさのない素粒子だけと。

ビッグバンの最初に、水素、ヘリウム、リチウムの3つの軽い元素が作られ、これらが集まって恒星となり、その恒星の中心部の高圧でさらに重い酸素や鉄などの元素が作られ、恒星の一生を終えるときに超新星爆発を起こし、その莫大なエネルギーで一番重いウランに至る元素が生成され、宇宙にばら撒かれた。これらの塵が集まって星が形成されてと繰り返して今に至っている。

私達の体は何十の元素で構成されていてどれ1つが欠けても生きていくことができないのだが、これらの元素は何十億年もの昔に星の中心部で作られ、星の爆発で宇宙にばら撒かれたものです。

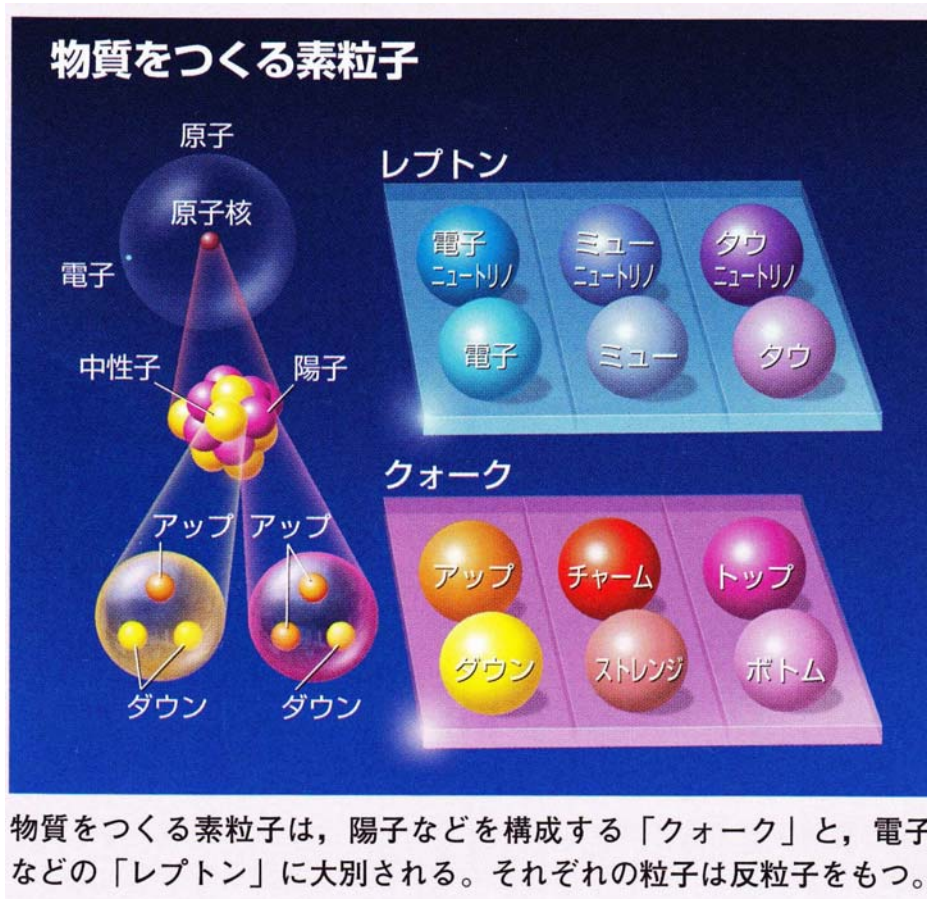
トピックス *世紀の発見続く*

➤ 2002年のノーベル物理学賞に輝いた東大教授の小柴昌俊氏

＜超新星爆発で発生したニュートリノを

世界で初めて検出、確認した＞

ニュートリノとは



- 宇宙に一番多く、莫大な数
- 電子より格段に軽く、
- 宇宙の至るところを光速に近い速さで飛び回っている。
- 中性で、電気を帯びていない。

- 毎秒数兆個という数のニュートリノが私達の身体を貫いているのですが、電氣的に中性なので、身体を形成している原子の中のクォークや電子にはじかれたり、引きつけられたりしないので、人体へは何の影響も与えません。
- 凄い数のニュートリノは地球をも簡単に貫通しています。

原子核をパチンコ玉に拡大すると、隣の原子核のパチンコ玉は 300m 先で、その間には目にも見えないような塵の電子が飛び回っていて、その電子よりも格段に小さいニュートリノにとっては、物質はスカスカでしかない。

小柴博士の業績

- 画期的素粒子観測装置「カミオカンデ」を考案

岐阜県神岡町の鉱山地下1,000mに2,140トンの純水を蓄える巨大水槽の内側に光電子増倍管を千個取り付けて、ニュートリノが水分子と反応して発生する光を検出する装置

- なんでも通り抜けるニュートリノが水分子と反応する？

2,140トンの水には約10の32乗個の水分子が含まれています。

(1兆個の1兆倍のさらに1億倍した数の水分子)

この膨大な水分子の中を、それこそ膨大な量のニュートリノは殆どが通り抜けが、ほんの幾つかは水分子に衝突して発光するのが観測される。

- 1987年1月にカミオカンデによる観測を開始

2ヶ月後に、私達の天の川銀河の隣の約16万光年かなたの大マゼラン星雲で超新星、即ち、太陽の十倍以上の質量を持つ恒星の生涯の最後におこす大爆発が出現。超新星からは大量のニュートリノが放出され、この作り上げたばかりの装置で超新星ニュートリノを11例観測。

- 小柴博士の東京大学退官直前のことでまさに奇跡的な幸運

『超新星爆発は16万年前に起こったが、地球とは16万光年離れているので、地球の空に超新星が出現するのは、16万年後の1987年2月であったということです。』

現在の人類(ホモサピエンス)の祖先は20万年前から10万年前にアフリカで誕生し世界中に拡がって行ったとされているので、16万年前と云えば、丁度我々の祖先が誕生したころです。

即ち、この時超新星の爆発があつて、地球には16万年後にニュートリノが届くことは既定の事実であつたが、16万年後になるまでは地球人には分かる筈もなかった事実でもあつたのです。』

➤ 昨年（平成二七年）のノーベル物理学賞に輝いた東大教授の梶田隆章氏

＜素粒子ニュートリノが質量を持つことを発見＞

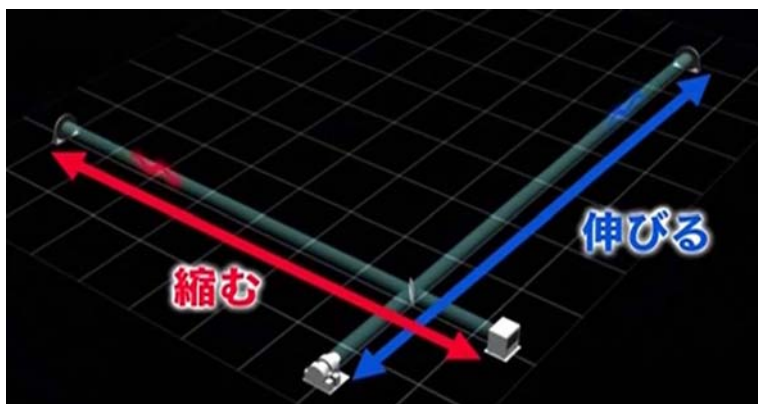
1998年にカミオカンデの後継の、規模を大型化した5万トンの純水を蓄えるスーパーカミオカンデの実験で「ニュートリノ」が振動していることを発見。「ニュートリノ」が高速で移動していない事を証明したのだ。これにより、「ニュートリノ」の質量は0だと考えられていた「素粒子標準理論」は根本から崩壊。この発表は世界を駆け巡り、「ニューヨークタイムズ」の1面を飾った。

これが評価され、昨年の受賞となった。宇宙の誕生や進化の謎を解明する新たな手掛かりが得られ、今後の展開が楽しみである。

➤ 世紀の大発見 **重力波**を観測

2016年(今年)の2月11日、米マサチューセッツ工科大学(MIT)などの研究グループが、アインシュタインが予言していた重力波を2015年9月14日9時51分に初めて観測したと発表した。

長さ約4キロメートルのチューブを直角に交差させた大型の重力波望遠鏡「LIGO(ライゴ)」を使い、重力波の影響で生じた陽子の1000分の1程度のわずかな動きを検出した。(地球と太陽との距離(約1億5000万キロ)がわずか水素原子1個分変化する程度)



LIGO(ライゴ) L字型に4kmずつ伸びた長いパイプに、レーザー光をそれぞれの方向に放ち、反射で戻ってきたところを合わせて明暗を見る。重力波で空間がひずめば、この光に変化が現れる。

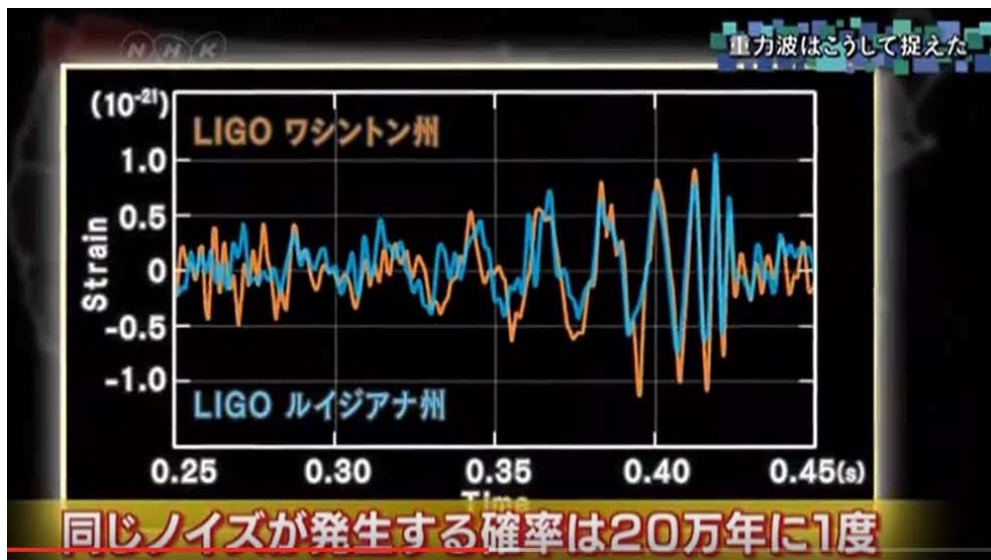
2002年から観測を始め、2010年までのLIGOの運用では重力波を検出することはできなかった。このため施設を数年間停止して、検出感度をはるかに高めた検出器の再調整を終えて昨年9月に観測を再開したばかりの昨年9月14日午前9時51分に、ブラックホール衝突のシグナルを感知した。凄い幸運であった。



ルイジアナ州の LIGO

2015年9月14日午前9時50分45秒に0.2秒間 重力波を観測

3,000km離れたワシントン州の LIGO で0.007秒後に観測



今から約 13 億年前に 2 つのブラックホールが合体したときに発生した重力波が、地球に届いたのを観測したという内容だ。

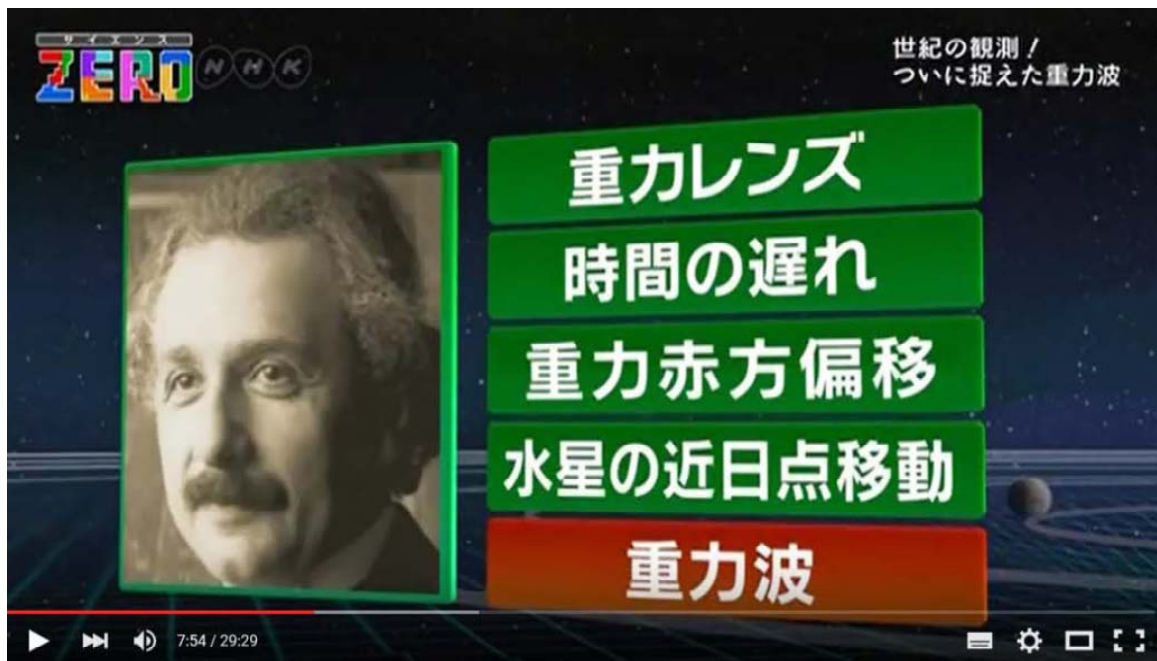


合体する直前のブラックホール連星のイメージ。画像提供はSXS,the Simulating eXtreme Spacetimes (SXS) project(<http://www.black-holes.org>)。

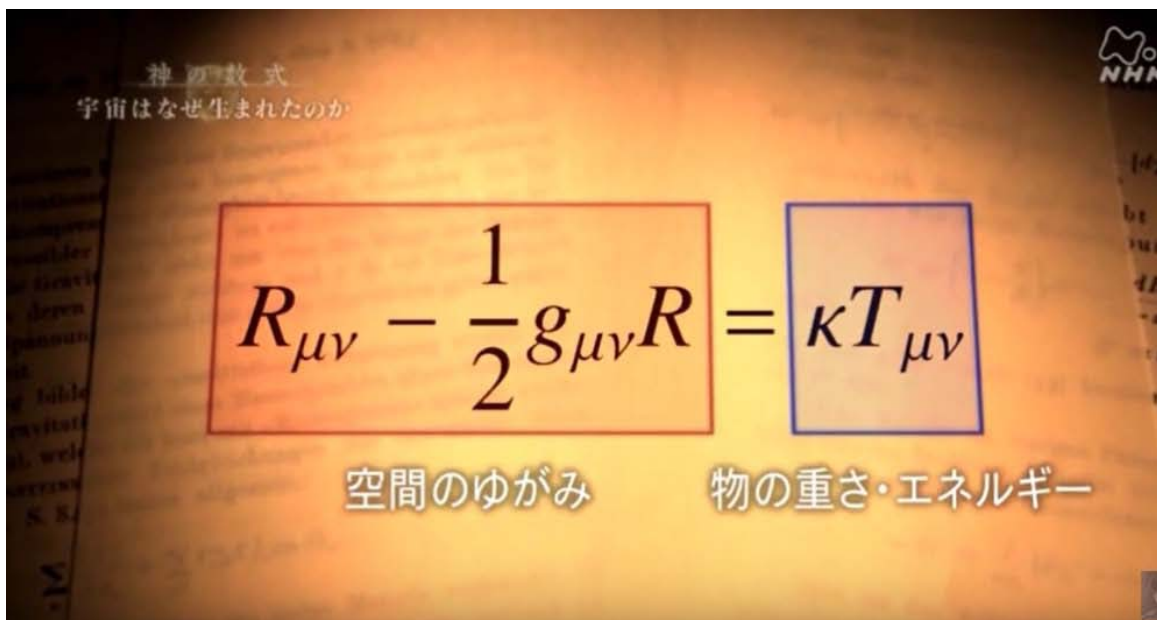
1 つは太陽の 36 倍、もう 1 つは 29 倍の質量のブラックホールが衝突合体して 62 倍のブラックホールができたことまでわかる。

重力波の観測そのものがノーベル賞級とされる成果だが、今回は 2 つのブラックホールが合体する瞬間をとらえたもので、ブラックホールを直接観測したのも世界初。

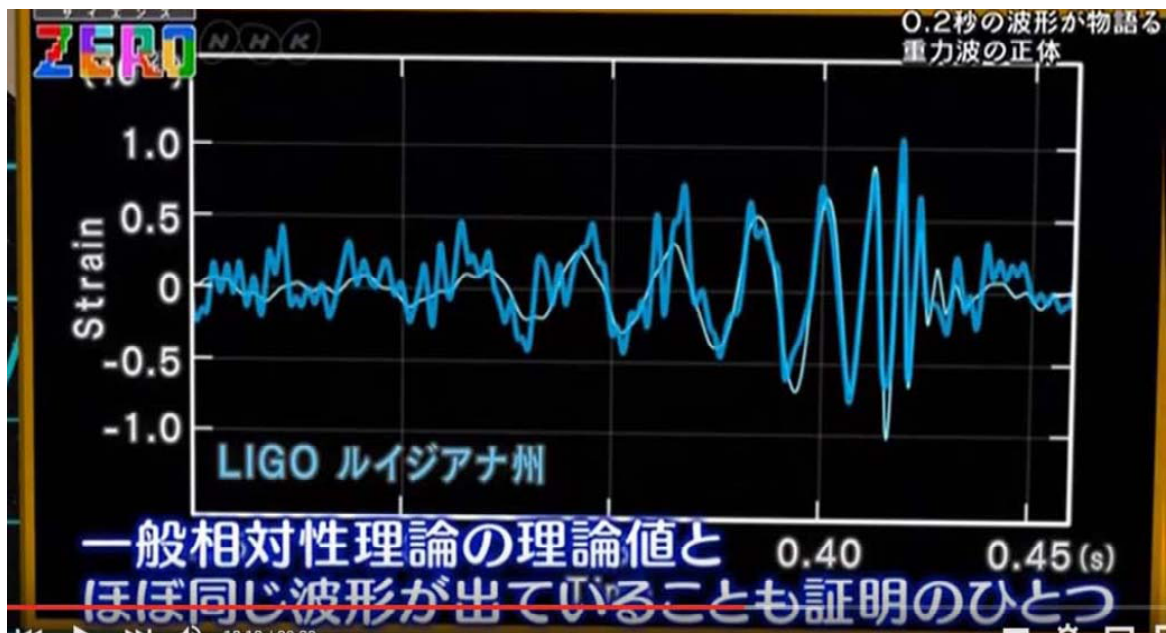
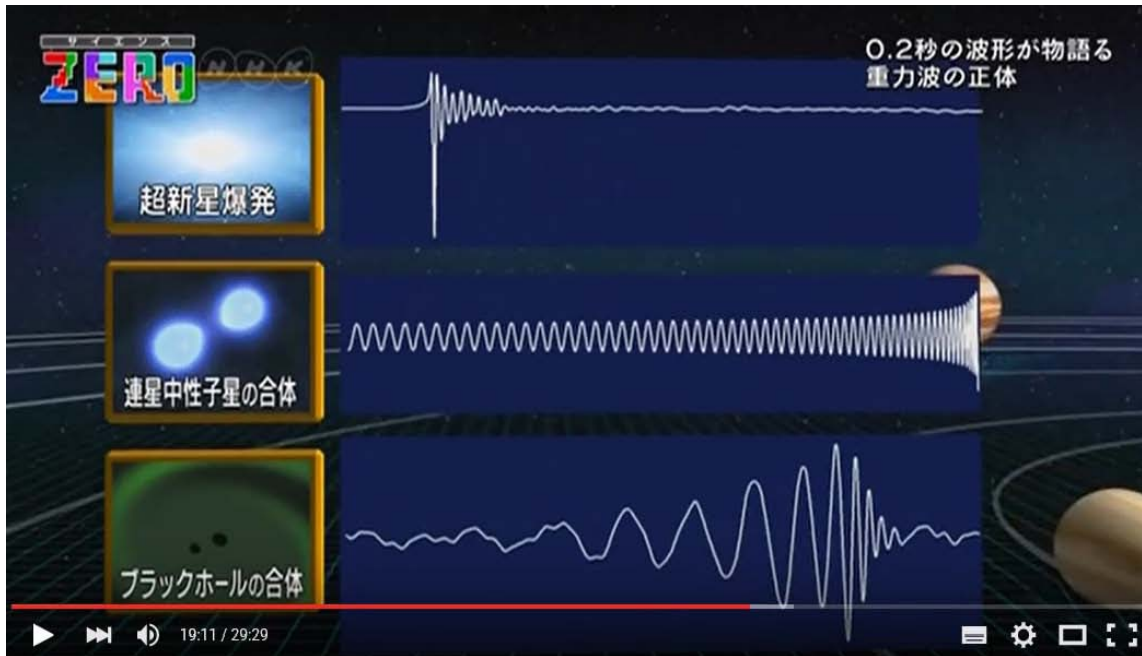
重力波の観測は、誕生したばかりの宇宙の解明や、光や電波などではとらえられない新しい宇宙の姿を直接観測できる可能性が出てくる。日本でも、今年から岐阜県の鉱山跡の地下トンネルで重力波の検出を目指す装置「KAGRA (かぐら)」が本格始動する。重力波の出元を突き止めるには複数の場所で観測する必要があるため、今後の貢献が期待される。



アインシュタインは一般相対性理論を発表した翌年の1916年に重力波の存在を予言した。この予言から100年もの長きにわたって直接観測されなかった重力波は、「アインシュタインからの最後の宿題」とも呼ばれ、観測一番乗りを目指して世界の物理学者が挑戦を続けてきた。今回のLIGOチームの観測は略確実とみられ、物理学の歴史に新たな一ページを書き加えるノーベル賞級の成果と言われている。



宇宙の膨張やブラックホールの存在など、想像を超えた現象を数多く予言してきた一般相対性理論では、質量を持つ物体の周りに生じる「時空(時間と空間)のゆがみ」こそが万有引力(重力)の源だと考える。ブラックホールのような重い天体が動くと、周りの時間や空間が伸び縮みし波となって広がるとされる。この時空のさざなみが重力波と言われている。



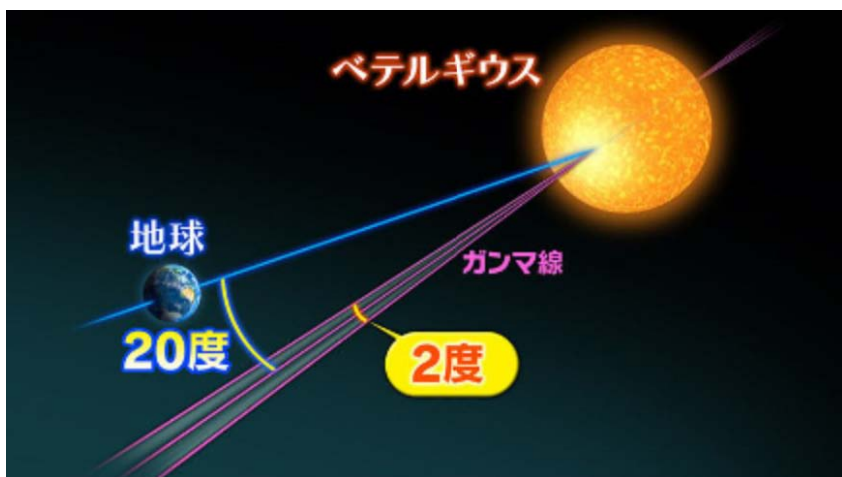


NASA の NuSTAR 望遠鏡が撮影した衝突する 2 つの銀河。どちらの銀河も中心部に巨大なブラックホールがあるので、近い将来、ブラックホールどうしが激しい衝突を起こして、重力波を送り出すはずだ。(PHOTOGRAPH BY NASA/JPL-CALTECH/GSFC)

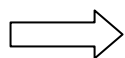
オリオン座に赤く輝く 1 等星、

地球から 640 光年離れたベテルギウスが近いうちに

超新星爆発、周囲に大量の放射線を放出



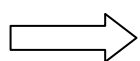
ベテルギウス



強力なガンマ線

ガンマ線バースト<星の自転軸に沿って超強力なガンマ線>

NASA のハッブル望遠鏡の観測結果



ベテルギウスの自転軸は地球から 20 度ずれている。



安心して

爆発したら史上最大級の天文ショーを楽しむことができそう。<満月を超える明るさ、昼でも見える> 数ヶ月は 2 つの月が輝くのを目撃することになる。

宇宙とはなんだろう？
宇宙とは、目に見えない膨大な空間に、無数の星や銀河が点在している場所。また、地球や生命の存在も、この宇宙の一部である。

宇宙図の見方
宇宙図は、宇宙の構造や進化を視覚的に表現した図。中心には地球や太陽系があり、周囲には銀河や星雲が広がっている。

宇宙の中心
宇宙には中心がない。どの場所から見ても、宇宙は同じように広がっている。

太陽系天体に生命を求めて
地球以外の天体にも生命が存在する可能性がある。火星や木星の衛星、土星の衛星などに生命の痕跡を捜している。

もうひとつの地球を探して
宇宙には、地球と似たような惑星がたくさんある。その中で、生命が存在する可能性のある惑星を探している。

科学とはなんだろう？
科学は、自然の法則を探るための活動。観察、実験、理論構築を通じて、世界の仕組みを理解しようとする。

宇宙はどのように生まれたのか？
宇宙は、約137億年前のビッグバンで誕生した。最初は無数の粒子が飛び交っていたが、徐々に凝縮して星や銀河が形成された。

人間の材料はどこから来たのか？
人間の体は、宇宙の塵からできている。星が死んで放出した物質が、新しい星や惑星の材料になった。

推測される「現在の宇宙」の姿
現在の宇宙は、膨張し続けている。銀河同士は遠ざかっているが、銀河内では星が生まれている。

宇宙に現れる網の目
宇宙には、銀河の分布が網の目状になっている。これは、宇宙の膨張と重力の相互作用による。

最初の星が宇宙に輝く
ビッグバンから約38万年後、最初の星が誕生した。これらは、宇宙の最初の光を放ち、宇宙を照らした。

原子が登場し、宇宙が晴れ上がる
最初の星が死んで、原子が形成された。宇宙は、再び透明になった。

すべてを生み出した3分間
ビッグバンから最初の星が誕生するまでの3分間は、宇宙の歴史の中で最も重要な時期だった。

超高温の火の玉宇宙
ビッグバン直後の宇宙は、超高温の火の玉だった。徐々に冷却されて、物質が形成された。

時間と空間の始まり
ビッグバンは、時間と空間の始まりだった。宇宙は、この瞬間から膨張し始めた。

宇宙の誕生にせまる
宇宙の誕生の瞬間は、人類が知る限りでは、最も神秘的な瞬間の一つである。

ビッグバン
宇宙の始まりの瞬間。約137億年前、無数の粒子が飛び交っていた。

インフレーション
ビッグバン直後の瞬間、宇宙は急速に膨張した。これは、インフレーションと呼ばれる。

星の誕生
宇宙が冷却された後、最初の星が誕生した。これらは、宇宙の最初の光を放ち、宇宙を照らした。

銀河の形成
星が集まって、銀河が形成された。これは、重力の相互作用による。

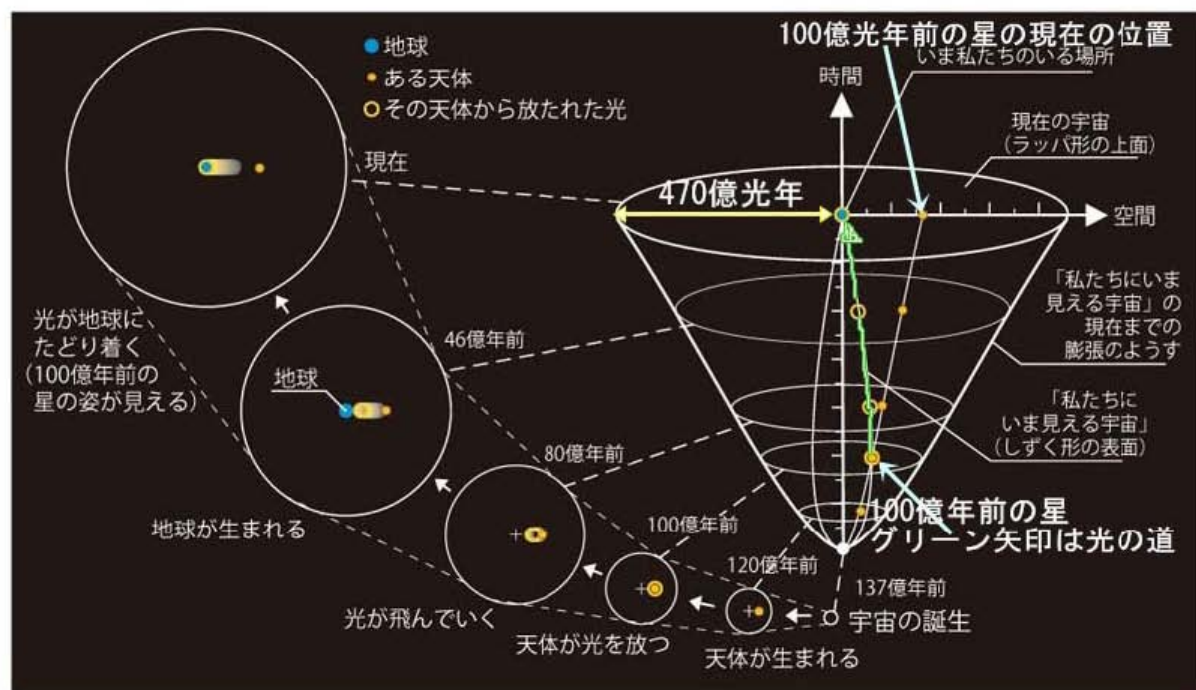
地球の誕生
約45億年前、地球が誕生した。これは、火星と木星の衛星の衝突による。

生命の誕生
地球が誕生してから約40億年前、生命が誕生した。これは、化学進化による。

現代の宇宙
現代の宇宙は、膨張し続けている。銀河同士は遠ざかっているが、銀河内では星が生まれている。

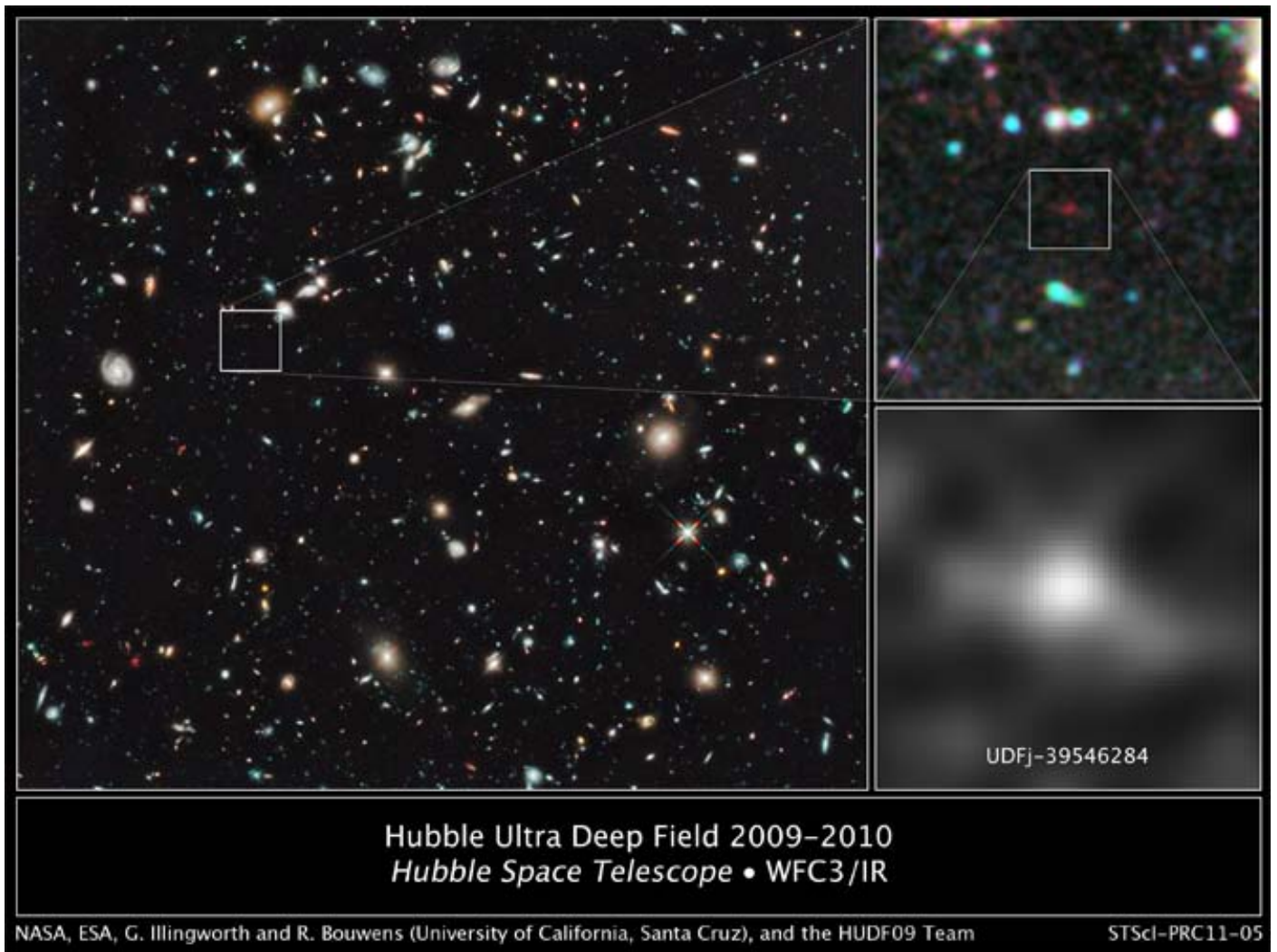
- *1 文部科学省では、国民の皆様が科学技術に触れる機会を増やし、科学技術に関する知識を適切に捉えて柔軟に活用いただくことを目的として、「一家に1枚」ポスターを発行しています。この中に、宇宙図があります。これは宇宙論や天文学の第一線で活躍している科学者たちが叡智を結集して、我々の宇宙の成り立ちを図にしたものです。

<http://marifami.exblog.jp/15322393/>



宇宙図を理解するうえでの最大の難関が真ん中の「しずく」でしょう。一体これは何なのでしょう。ある時星が生まれます。その星から光が放出されます。その時まだ地球は存在していません。別の星が別の時に生まれます。その星からも光が放出されます。そういったことが数限りなく繰り返されたとき、漸く地球が生まれます。そして今、地球上で見ているたくさんの星々の光は、全てこのしずくの表面を通過してきているのです。ですから、しずくは今我々に見えている宇宙ということになります。

最遠の天体



ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した UDFj-39546284

| | |
|--------|--|
| 発見日 | 2011年1月26日(公表日) (2009年8月～2010年9月に撮影) |
| 発見者 | ハッブル宇宙望遠鏡 |
| 発見方法 | ハッブル宇宙望遠鏡の広域カメラ 「WFC3」による長時間露出 撮影写真の分析 |
| 見かけの距離 | 133億6900万光年 |
| 実際の距離 | 326億6000万光年 |

参考文献

- 1) 宇宙空間が膨張するとは、どういう意味か ニュートン
2016年3月号
- 2) 素粒子とは何か ニュートンムック別冊 2009年
- 3) 最新宇宙論 学研ムック 2009年
- 4) 佐藤勝彦：相対性理論がみるみるわかる本 PHP 研究所
2003年
- 5) 量子論がみるみるわかる本 PHP 研究所 2004年
- 6) 村山斉：宇宙になぜ我々が存在するのか 講談社 2013
年
- 7) 村山斉：宇宙は本当にひとつなのか 講談社 2011年
- 8) 竹内薫：ざっくりわかる宇宙論 ちくま新書 2012年

上記の文献の他、インターネットで、YouTube などからも数多くの資料を引用、参考にさせて頂きました。