

ところざわ倶楽部の皆様へ

私事小嶋一郎は市民大学20期生、現在は「地球環境に学ぶ」サークルに所属しておりこの4月で78歳になります。

大学卒業以来日本の宇宙開発に従事し、今なお宇宙開発関連の活動に励んでおります。

その体験を通じて「宇宙創成」にも興味を抱き「謎解きに挑戦」して参りました。

その成果を報告書としてまとめましたので紹介したいと思います。

報告書のサイズの関係で2編にまとめ「ところざわ倶楽部のHP」に投稿させて頂きました。

この回はご存知の様に2019.4.10にブラックホール観測に成功した事が報道されました。

そこで既に報告しました(第1編)「宇宙には夢がある!!(第1編)」にブラックホール特集として観測成功関連を追記しました。

1. 宇宙には夢がある!!(第1編)
宇宙誕生秘話
宇宙誕生はなぜ138億年その疑問に迫る
2. 宇宙には夢がある!!(第2編)
宇宙開発の話、人工衛星の話他
3. 宇宙には夢がある!! (第1編改)
 - ・宇宙誕生秘話
 - ・ブラックホール観測成功

オリジナル:2018年9月

改訂:2019年4月

ブラックホール観測成功

2019.4.10ブラックホールの観測成功はアインシュタインが一般相対性理論でその存在を予言した究極的天体が約100年経ったいまようやく観測に成功しました、素晴らしい事、感激に堪えません。

これからは観測画像(実画像)により銀河や宇宙の成り立ち観測に深く関わるものと考えます。これは宇宙のいろいろの謎の解明に拍車がかかる事間違いないと考えます。

世界8カ所の望遠鏡を組合わせて**地球規模の電波望遠鏡**を合成しての観測でこの望遠鏡の直径約10,000km、観測波長1.3mmで「**視力300万**」を実現(ハッブル宇宙望遠鏡は約1500)しての快挙です。

これまた日本の技術が生かされた成果でもある。

この快挙が意味する事は後半のブラックホール項目で紹介したと思います。

宇宙には夢がある!! (第1編改)

- 宇宙誕生秘話
- ブラックホール観測成功

宇宙誕生はなぜ138億年その疑問に迫る
2019.4.10ブラックホール観測に成功した

2019年4月

NPO宇宙アドバイザー協会正会員

I H I O B

ところざわ倶楽部地球環境を知るGr所属

小嶋一郎

注：この資料は難解部分がありますが宇宙、宇宙開発に興味のある方向けに編集しました
多くの疑問点は自ら勉強する事をお勧めいたします。



目次

第1編改

宇宙 宇宙誕生秘話

1. 夜空には夢がある
 - 地球と言う惑星に住む私達
2. 宇宙
 - 宇宙科学の主たる役割
 - 宇宙誕生解明の歴史
 - 宇宙の始まりの観測
 - 太陽系と惑星
 - 天の川銀河
3. 宇宙の謎解明に光
ブラックホールの観測成功
(この項は第1編改です)

第2編 宇宙開発の話、人工衛星の話他

3.1 宇宙開発の歴史

- 日本のロケット開発の経緯
 - 固体ロケット
 - 液体ロケット

3.2. 日本の宇宙開発拠点

3.3. 人工衛星

- 人工衛星にはどんなものがあるのか
 - 宇宙ステーションとHTV(こうのとりの)
 - はやぶさ初号機、2号機



夜空には夢がある



夜空には星が瞬き、月が輝いている、きれいですね。
夜空は私たちの心に安らぎと安心感を与えてくれるロマンがある。
人々の気持ちは不思議なものでそれだけには終わらない。
宇宙とは何だろう、地球という惑星はどのような存在なのだろう？
宇宙に行ってみたい……。また宇宙の誕生に興味を持ち、
どうなっているのか等々いろいろの疑問が沸きます。
皆様も同じではありませんか、その疑問を少しでも解き明かせれば
と考えます。皆さんと共にこの疑問に挑戦しましょう。



地球と言う惑星に住む私達

地球とは太陽系の中でどんな星なのかこれからどうなるのか等の疑問を持ちます。

この宇宙はどうして生まれたのかしら等の疑問も・・・？

宇宙誕生の謎や地球誕生等の疑問の理解は高度な課題、世界の多くの物理学者、天文学者の研究課題となっており、徐々に解明されて来ていますね。

まだまだ未解明のものがあり今なお研究が進められています。

地球に住み日常生活を送っている私達には直接関係しませんが、しかし
いろいろの事に疑問を持ち、好奇心を持つ事は私たちの夢を叶える出発
点です。

私は物理学者、天文学者ではありませんが、宇宙開発に従事しその体験から宇宙に興味を持ち、いろいろの疑問点等の解明に関連専門書、ビデオ、インターネット等から独学しており現在に至っております。

宇宙

- ・宇宙科学の進歩で宇宙創成の謎が解明して来ました。一般人にはちょっと理解に苦しい話ですね。
 - ・身近な宇宙開発から宇宙の謎を解明して、宇宙、太陽系誕生秘話等の難題に挑みましょう!!
 - ・その宇宙科学の成果を身近に感じる手助けとなればと思います。
 - ・宇宙の夢を求めて挑戦あるのみ!?
- * Ever Onward !! *



宇宙科学の主たる役割

1. 宇宙創成(宇宙誕生、太陽系誕生は?)

- 宇宙の始まり宇宙誕生

- インフレーション、ビックバーン⇒宇宙の晴れ上がり、宇宙マイクロ波背景放射
⇒銀河系誕生⇒現在

2. 宇宙は謎だらけ、その解明に加速器が登場します

- 宇宙の質量(エネルギー)の分布、ダークマターとダークエネルギー

3. 太陽系誕生と惑星

- はやぶさの行く小惑星の位置(小惑星は約数百万個ある)

- 太陽と地球の関係から＝日本の春秋秋冬がある

4. 宇宙・素粒子物理学

- ・宇宙の謎を解明して、誕生秘話、他に生命の存在を探す(宇宙創成は?)

- 解明の道具として加速器の活用がある、加速器にはCERN等がある

- 日本で設置の予定があるILCに期待する

どうして宇宙誕生は138億年前なのか？

* 宇宙誕生解明の歴史

1. 宇宙はどのように始まったのだろうか？ どのような法則が宇宙を創り、進化させたのだろうか？ この問いは私達に課せられた最大の知的挑戦でした。
2. NASAが打ち上げた「WMAP観測衛星」により、非常に高精度な観測から137億年という宇宙年齢が長年定着していましたが、その後欧州宇宙機関「ESA」が打ち上げた「**プランク衛星**」により、精密に観測し見直され**宇宙誕生は138億年という年齢に変更された。**
3. 一方2013年3月21日には全天の**宇宙背景放射マップ**が公開され、NASAのWMAPが観測したデータよりも高精度な**宇宙背景放射マップ**の完成から、宇宙の年齢はこれまで137億年前と言われていたものが宇宙が誕生した時の**ビッグバンの光がマイクロ波**として地球に届いてるその波長を解析した結果から約138億年であることが確認された。

*** 現在では観測と計算結果の両側面から得られたデータにより138億年が定説となった ***

どうして宇宙誕生は138億年前なのか？

* 宇宙誕生解明の歴史

- 宇宙年齢の算出は非常に難解ですが、概略はまず多くの出来るだけ遠方の銀河を観測します。この時の明るさが分かっている「標準光源」を利用して(比較して)年齢を求めます。
 - ①見掛けの明るさが予想より明るければ、予想距離より近くにある。つまりその距離で膨張が遅くなっていると言えます
 - ②見掛けの明るさが予想より暗ければ、予想距離より遠くにある。つまりその距離で膨張が速くなっていると言えます
- 遠い距離ほど宇宙の過去を見ているので、このようにデータを集めれば宇宙膨張の歴史が分かるという事です。

どうして宇宙誕生は138億年前なのか？

* 宇宙誕生解明の歴史

- 宇宙は膨張をしていると言う、その環境での宇宙誕生解明の疑問は？
- 宇宙年齢も宇宙膨張の歴史が分かれば算出出来ると言う。また宇宙の晴れ上がりが誕生から約138億年後である事も分かります。
- 宇宙の年齢は前述のように「**宇宙背景放射**」から導き出された。
- **宇宙背景放射とは晴れ上がり後に発せられた光です。宇宙背景放射の波長は宇宙が膨張している為引き延ばされ全体が赤に片寄っています(赤方偏位)**
偏り具合は引き延ばされた時間に比例するので、偏り具合から逆算した結果晴れ上がりから現在までの時間が138億年になる。
晴れ上がりそのものは宇宙誕生時ではないのですが、宇宙誕生時から晴れ上がりまでの時間は無視出来る程度のほんの僅かな時間ですので宇宙年齢は138億年になります。
- **宇宙の晴れ上がり、宇宙背景放射とは後頁でより詳しく説明します。**

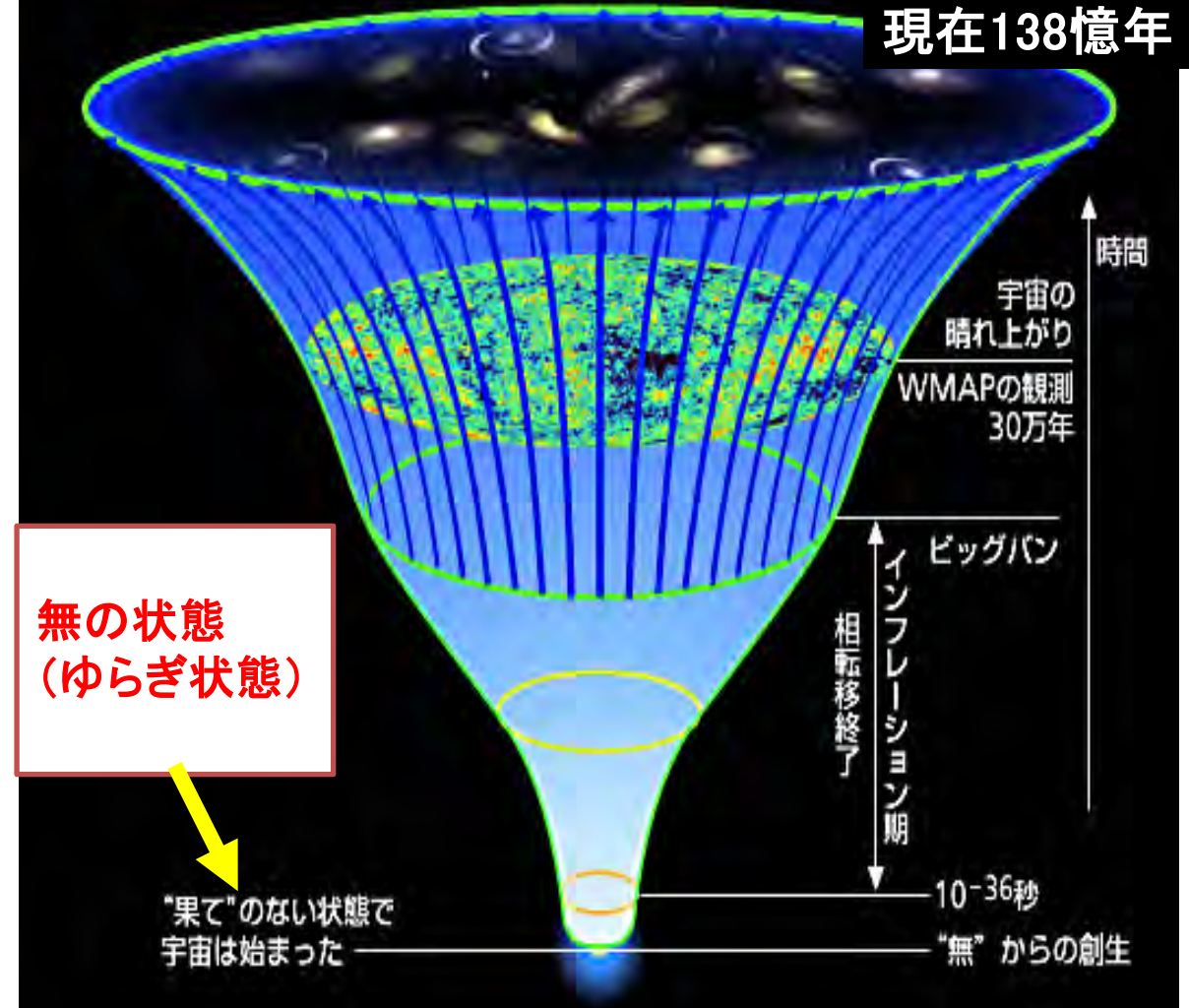
宇宙創成

宇宙誕生、太陽系誕生？

- ・何もない無の状態「**ゆらぎ状態**」から突然宇宙が生まれたと考えられています。
- ・**ビッグバン**によりエネルギーは、素粒子を生み出し、素粒子が結合して原子となる。
- ・宇宙初期には水素やヘリウム、これらの軽元素からなる雲は重力により原始星を通じて恒星となる。
- ・より重い鉄や珪素、我々の体を構成する炭素や窒素などの元素は恒星内部での核融合反応で生成し、**超新星爆発**により恒星間空間にばらまかれた。また、鉄より重い元素は超新星爆発時に生成したと考えられている。
- ・恒星やその塵が小銀河を作り、大銀河が生まれ、太陽系惑星(地球等)が48億年前に生まれる。
- ・宇宙は膨張を続け現在に至っている。
- ・ビッグバン理論は1948年ジョージ・ガモフが提唱

宇宙が進化した結果、現在のような星や銀河などが生まれてきた。

現在138億年



・ビッグバンのシナリオ(宇宙138億年の歴史)

ビッグバン ⇒ インフレーション(膨張) ⇒ 膨張終わる ⇒ プロトン(陽子)の形成 ⇒ 重水素・ヘリウムの形成 ⇒ 星の誕生 ⇒ 銀河の誕生 ⇒ 星の誕生のピーク ⇒ 現在

宇宙の始まりの観測（今から138億年前）

宇宙のはじまりと素粒子発見の関係

サイエンスキッズ通信

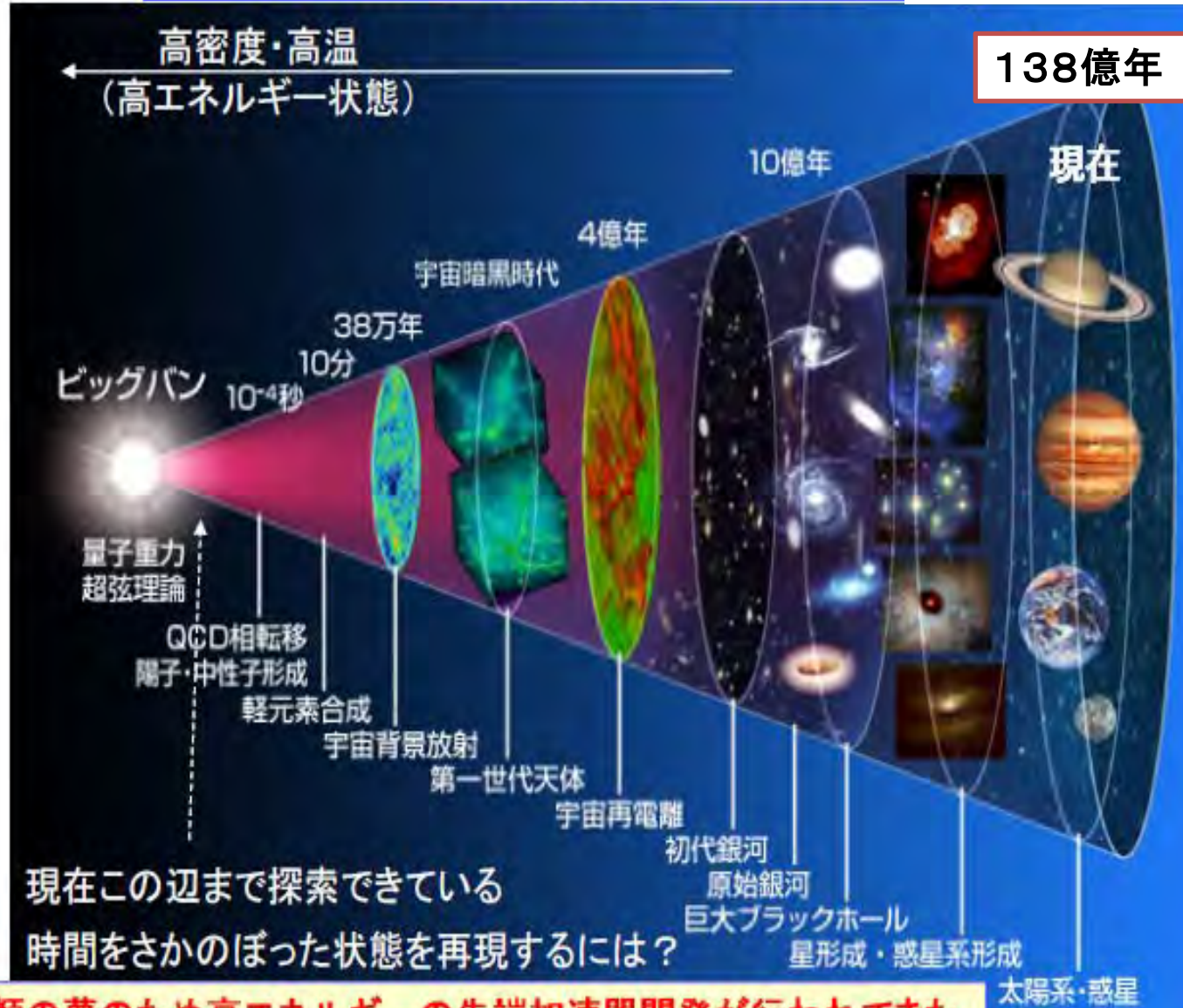
・観測秘話

光学望遠鏡では宇宙の誕生からおよそ10億年後（今から128億年前）まで、また**電波をとらえる望遠鏡**では宇宙の誕生から38万年経った頃（『宇宙の晴上がり』と言っている）まで観測する事が出来るようになっていきます。しかし、更にその前の宇宙は望遠鏡では観測出来ませんでした。

生まれたばかりの宇宙は、あまりに小さくて熱く、濃い素粒子のスープのような状態だったからです。

「宇宙の晴上がり」より前の生まれたばかりの宇宙を観測するには、**加速器**が活躍します。**加速器はたくさんの素粒子が水蒸気のようにバラバラになって激しく飛んでいたころの状態を再現する装置です。**

今日では加速器のおかげで宇宙が生まれてから3分しか経っていない時の姿が、かなり良く分かって来ました。スイスのCERN（欧州合同原子核研究機構）にあるLHCという加速器（ヒッグス粒子を発見した加速器）では、なんと宇宙誕生の **10^{-12} 秒**（1兆分の1秒）後までさかのぼる事が出来るようです。



人類の夢のため高エネルギーの先端加速器開発が行われてきた

CERNとは欧州素粒子物理学研究所。1954年にヨーロッパの12カ国が出資して設立された研究所。CERNという略称は、「European Organization for Nuclear Research」という名前。

インフレーション、ビックバーン⇒宇宙の晴れ上がり、 宇宙マイクロ波背景放射⇒銀河系誕生⇒現在

・『インフレーション』と『ビックバーン』

宇宙は急速に膨張し、物質のもととなるいろいろな種類の素粒子が大量に生まれ、超高速で飛び交う超高温・超高密度の火の玉のようになった。これを『ビックバン』と呼んでいます。宇宙誕生から 10^{-27} 秒の時です。この時の宇宙の平均温度は約 10^{25} 度(1兆度の10兆倍)以上でした。その後、温度は徐々に下がり、 10^{-9} 秒(10億分の1秒)後には素粒子ばかりであった宇宙は、 10^{-5} 秒(10万分の1秒)後には素粒子の中のクォークが集まって陽子と中性子が出来た。そして3分後には陽子や中性子が集まって、元素の中で最も軽い水素やヘリウムの原子核が出来た。この頃には未だ、高温の陽子や電子がばらばらに飛びかう状態(「高温プラズマ」といいます)の中で、光(光子)は電子に邪魔されて直進する事が出来ませんでした。

・『宇宙の晴れ上がり』と『宇宙マイクロ波背景放射』⇒銀河系誕生

・宇宙の温度が3000度(K)ぐらいに下がると、電子が原子核と結合して原子となり、光は邪魔されずに直進するようになりました。この宇宙の見通しの良くなった時を『宇宙の晴れ上がり』と呼んでいます。宇宙の誕生から38万年後のことです。この時の光が、宇宙のあらゆる方向から飛んでくる電波『宇宙マイクロ波背景放射』として、1965年に初めて観測された。

・2001年にNASAが打上げたWMAPという宇宙探査機によって撮影された宇宙の姿(全天球の宇宙マイクロ波背景放射)です。宇宙全体が晴れあがってきれいに見通す事が出来ます。

インフレーション、ビックバーン⇒宇宙の晴れ上がり、 宇宙マイクロ波背景放射⇒銀河系誕生⇒現在（前頁続き）

・宇宙マイクロ波背景放射⇒銀河系誕生
⇒現在

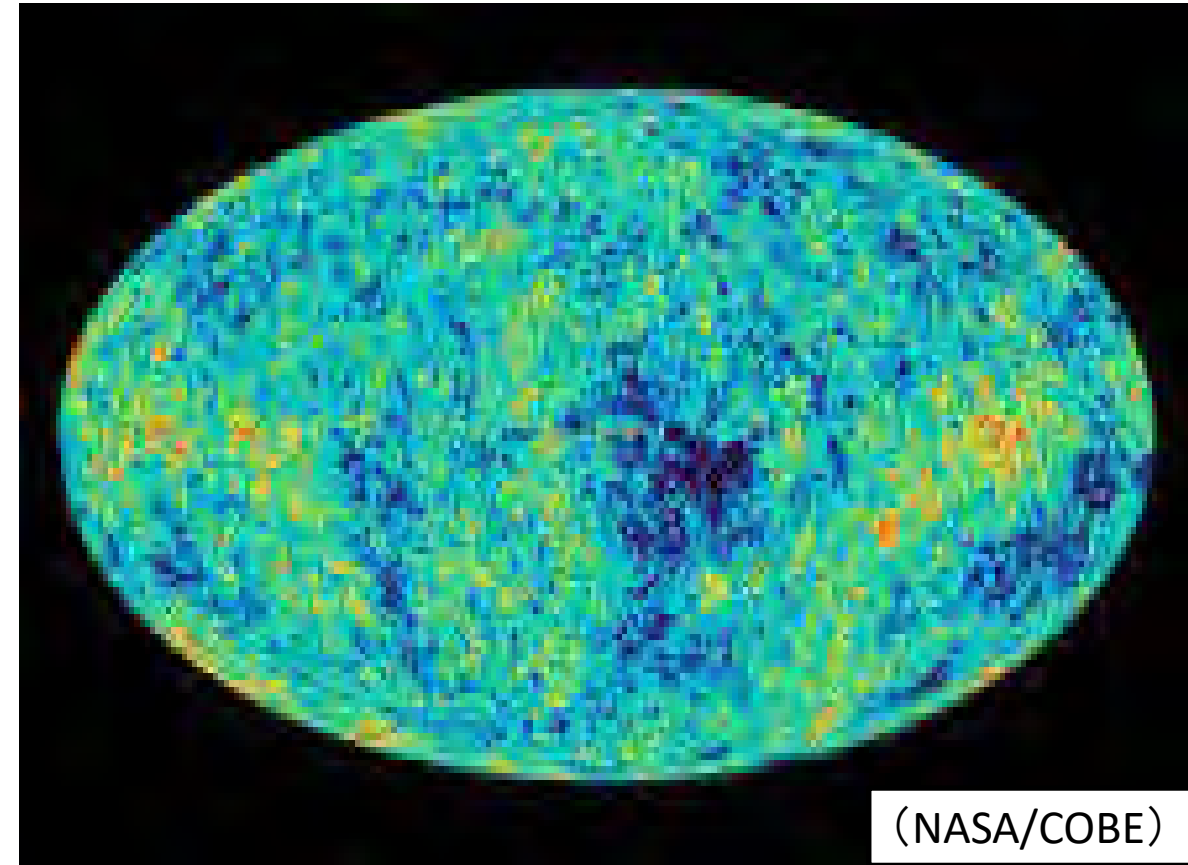
宇宙マイクロ波背景放射では宇宙全体が晴れあがってきれいに見通す事が出来ます。

ここに写っている様々な色の分布は『**宇宙の温度ゆらぎ**』を表わしています。

それぞれの場所のほんのわずかな温度の違いを示したもので、これは生れて38万年後の宇宙に、すでに場所によって密度の大きいところと、小さいところのムラがあった、ということを示す貴重な証拠です。

このムラが、やがてたくさんの星を産み育て、銀河系をつくって行くのです。

10億年後頃から銀河系宇宙の誕生、太陽系の誕生、そして132億年後（今から46億年前）には地球の誕生と続き、現在に至っています。



WMAPによる宇宙マイクロ波背景放射の温度ゆらぎ

宇宙は謎だらけ、その解明に加速器が登場

1. 宇宙の謎解き加速器の登場

宇宙はまだ謎だらけです。惑星や恒星などを含めて、これまでに分かっている宇宙の物質は約5%だけです。その残りの約95%の正体は何だろう？ 今のところ約25%は目に見えない物質である暗黒物質(ダークマター)、約70%は謎のエネルギーである暗黒エネルギーだと考えられています。

宇宙の謎を調べるなら望遠鏡を使えば良いと思いますね、なぜ、わざわざ加速器を作って、『宇宙を見る』必要があるのでしょうか？

世界最高級の性能をほこる国立天文台ハワイ観測所のすばる望遠鏡(米国ハワイ島)や米国航空宇宙局(NASA)の地上から約600キロメートルの軌道上を周回する人工衛星のハッブル宇宙望遠鏡をはじめ、たくさんの大型望遠鏡があり、暗黒物質の解明などを目指しています。

しかし、どんなに望遠鏡の性能を上げても、宇宙には見えない部分があります。その見えない部分に、宇宙が何で出来ているかのヒントがあると考えられているのです。

「見えないなら、小さい宇宙を自分たちで再現してみよう！」

科学者たちは、加速器というマシンで小さい宇宙をつくらせて、その見えない部分は何で出来ているのかを調べる実験をする。その代表加速器はスイスにあるCERNの超大型加速器(LHC)です。

しかし残念ながら『暗黒物質(ダークマター)』と『暗黒エネルギー』の正体は今だ解明に至っていません。

加速器とは、粒子に大きなエネルギーを与え加速する装置です。

2. 素粒子と宇宙:⇔素粒子物理学

私たちの体や身近にあるものを細かく分けていくと、すべてが素粒子に行き付く、地球やこの宇宙が成り立っているのもすべて素粒子のお蔭です。

素粒子を研究する学問を“素粒子物理学”と言います。宇宙がどのようにして生まれ育ってきたかを探る基礎研究する学問です。

・加速器とは

加速器は、電磁波などを使って粒子にエネルギーを加え、粒子を加速する装置。宇宙誕生時の環境を人工的に作る装置です。

加速した粒子同士をぶつけることによってエネルギーのかたまりを作り出し、そこから噴出する様々な粒子を観測する事が目的で、加速器で加速された粒子が速ければ速いほど、より大きなエネルギーを作り出す事が出来る装置。

・CERNのLHC:陽子-陽子衝突させる加速設置。全周は約27kmある巨大なも、陽子ビームの衝突点にて高エネルギー物理現象から生じる粒子を観測する。

・日本に設置が計画される国際リニアコライダー(ILC):

全長約31kmの直線状の地下トンネルの中で、超高速に加速した電子(e-)とその反物質の陽電子(e+)を正面衝突させ、宇宙の誕生した瞬間の姿を再現させ、超高エネルギーの世界に到達させる。

注:電子と陽電子は、陽子よりはるかに小さくて軽い(電子と陽電子の質量は、陽子の質量の約1836分の1)のですが、これらを直線状の短い距離で光の速さにまで加速する技術と、正確に正面衝突させる技術は、LHCの場合よりもずっと難しいのです。

宇宙の質量(エネルギー)の分布

宇宙の星や生物は、私たちの知っている物質から出来ています。しかし、これらは宇宙の全質量(または全エネルギー)の**4%**にしかありません。

残りは、**暗黒物質 (darkmatter) が23%**で、**暗黒エネルギーが73%**を占めています。

残念ながら、私たちは暗黒物質や暗黒エネルギーの正体が何であるか未だわかりません。

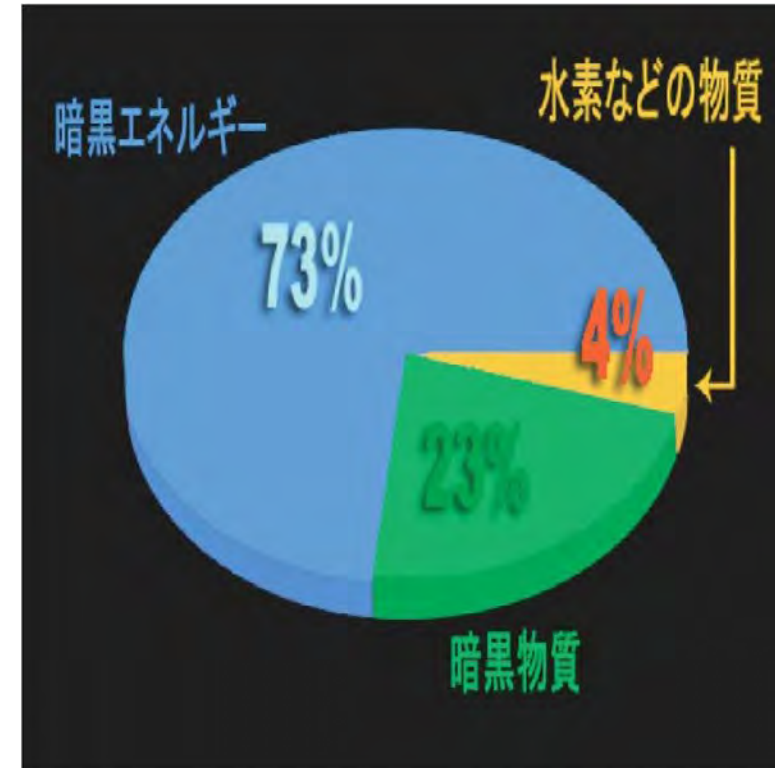
暗黒物質は宇宙の初期にきた未発見の相互作用の小さい素粒子である可能性があります。

この暗黒エネルギーは、アインシュタインによって一般相対性理論に導入された宇宙定数と見なす事が出来ます。

$$E = mc^2$$

(エネルギー (E) = 質量 (m) × 光速 (c) の2乗)

この式は**エネルギーと質量は本質的に同じ**である事を示しています。



宇宙の質量 (エネルギー) の分布。 73%は暗黒エネルギー、23%は暗黒物質で残りの4%が水素などの物質から出来ています。96%について正体不明となっています。

(KEKのWebpage「キッズサイエンティスト」から)

ダークマターとダークエネルギー

ダークマターの正体

太陽系の惑星は太陽の回りを**重力の影響**により公転していて、その公転速度は重力の影響を受けて太陽中心に近い惑星は早く、遠い惑星は遅い。

しかし銀河系の恒星の公転速度は観測結果によるとこの通りでなく、**公転速度はほぼ同じであるか早い**。回転する物質には遠心力が発生する、この遠心力と内側に引っ張る星の引力が拮抗することで星は銀河の中に留まる。しかしその回転速度は理論上より早く回転している事が分かる。他の銀河系も同様な傾向にある。

何故か、それは目に見えない重力をもった何かが働いていると考えられ、この正体は今だ説明されていなく、それを暗黒物質ダークマターと名付けている。

ダークマターの特徴

- ①目に見えない(光を出したり、吸収しない)
- ②非常に重い
- ③宇宙の広範囲に分布している

注:このダークマター、ダークエネルギーの解明に日本はリーダーシップを取り東北に2030年ころ完成予定で「国際リニアコライザー(ILC: Internatinal Linear collider)を計画しています。

ダークエネルギーの正体

ダークエネルギーは**宇宙全体に浸透し、宇宙の拡張を加速していると考えられる仮説上のエネルギーを暗黒エネルギーと呼んでいる。**

ダークエネルギー(暗黒エネルギー、dark energy)とは、現代宇宙論および天文学において、宇宙全体に浸透し、**宇宙の拡張を加速していると考えられる仮説上のエネルギーである。**

ダークエネルギーとは、宇宙全体に広がって負の圧力を持ち、実質的に「反発する重力」としての効果を及ぼしている仮想的なエネルギーである。

この語は、宇宙論研究者のマイケル・ターナーが1998年に初めて作った言葉であるとされる。

現在観測されている宇宙の加速膨張や、宇宙の大半の質量が正体不明である。

太陽系誕生と惑星

* 太陽系誕生(約46億年前):

・宇宙の誕生は約138億年前に誕生、その後約46億年後に太陽系が誕生した。

微惑星→原始惑星→原始惑星大衝突→1億年で地球規模の惑星誕生



太陽系

一番左端は太陽 (8つの太陽系惑星)

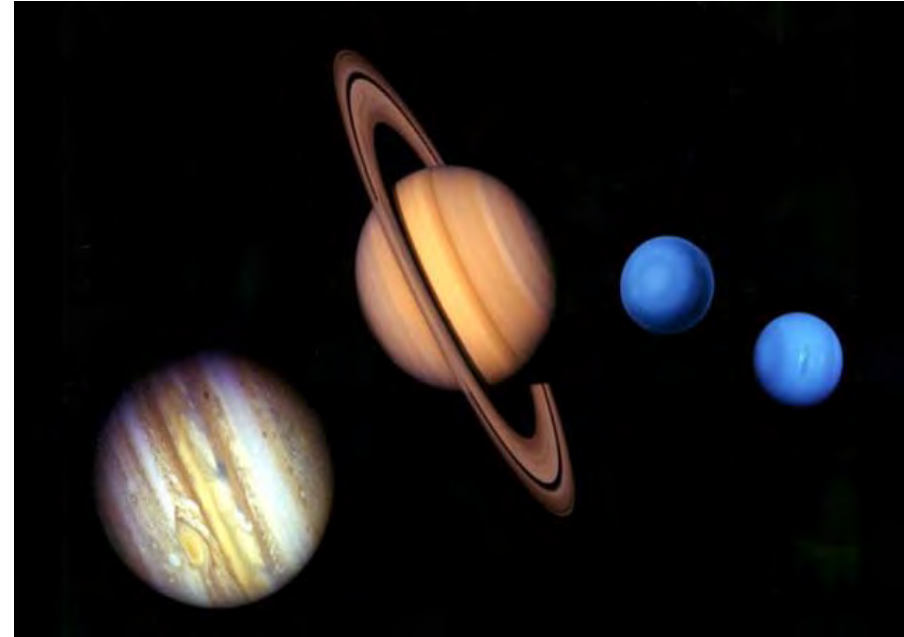
水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星

太陽系惑星（密度で分類する）



内惑星

岩石や金属などの難揮発性物質から構成される岩石惑星。
水星、金星、地球、火星



外惑星

地球よりも直径で4倍以上、質量で10倍以上の大きさがあり、密度は低い組成から木星と土星は巨大ガス惑星 (Gas Giant)、天王星と海王星は巨大氷の惑星 (Ice Giant) と分類される

はやぶさの行く小惑星の位置 (小惑星は約数百万個ある)

太陽系の起源・進化

太陽からの距離に依存します

- ・S型(ケイ素質)
- ・C型(含水鉱物、有機質)
- ↓
- ・D型、P型(より始原的なタイプ)

探査の目的

太陽系起源と進化の解明、生命の原材料物質調査

- ・イトカワ: S型
- ・1999JU3(りゅうぐう)小惑星: C型
- ・次期探査: D型



太陽と地球の関係＝日本の春夏秋冬

* 疑問 *

- ・なぜ夏は暑くて、冬は寒いのだろうか？
- ・夏と冬では日照時間がなぜ違うの？
- ・春夏秋冬は？

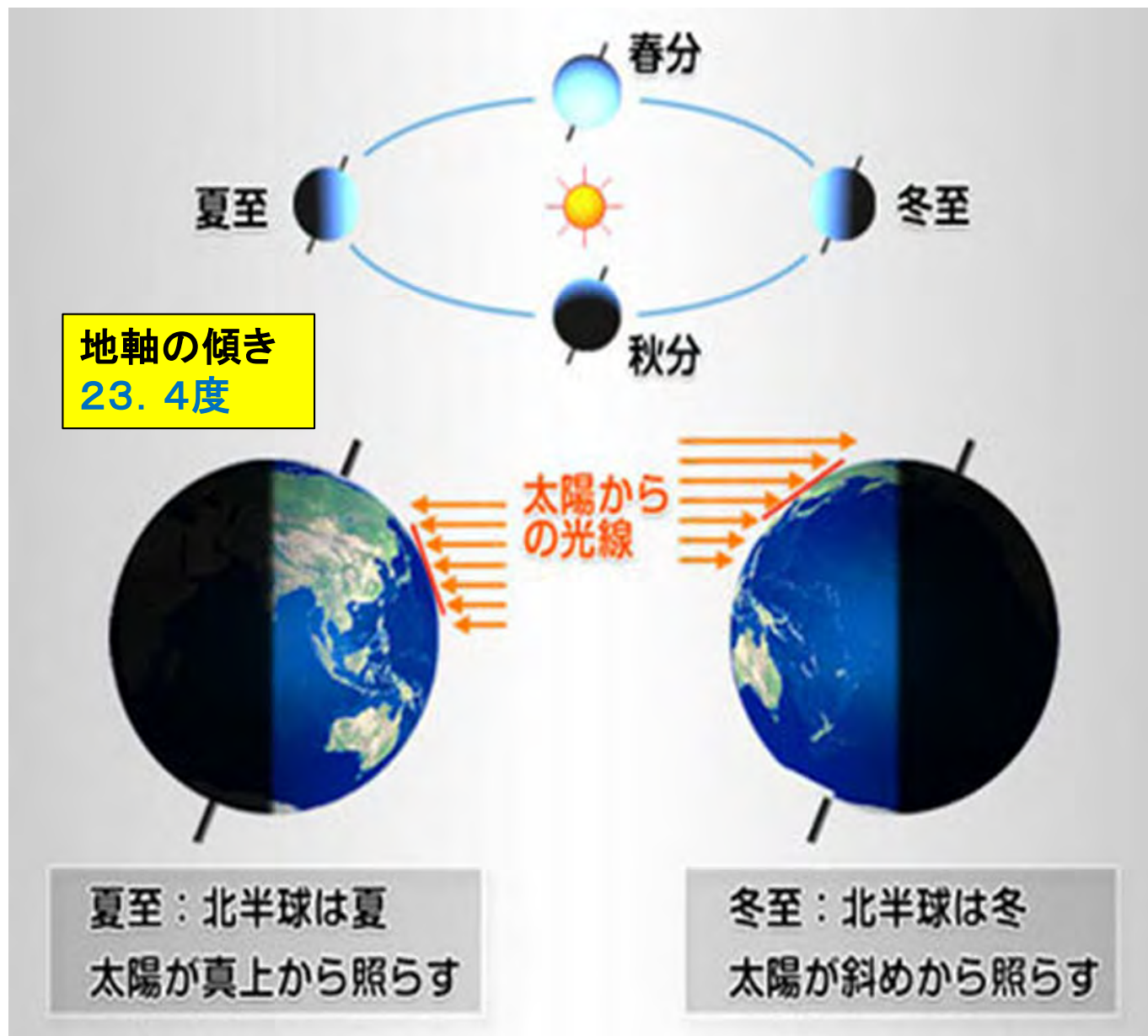
夏と冬で気温が変わるのは、太陽との距離が変わるせいでもなければ、太陽の活動が変化するからでもありません。

それは、「**地軸**」が傾いているからです。

地球は北極点と南極点を結ぶ直線を軸にして自転していますが、この地軸は公転面（地球が太陽を周回する面）に対して垂直ではありません。

そこには、**約23.4度の傾き**があります。

そのため、太陽の動きは一年を通じて変化します。このことは、日本だと夏は太陽が空の高いところを通るから昼が長くなり、冬は空の低いところを通るので夜が長くなることからわかる。





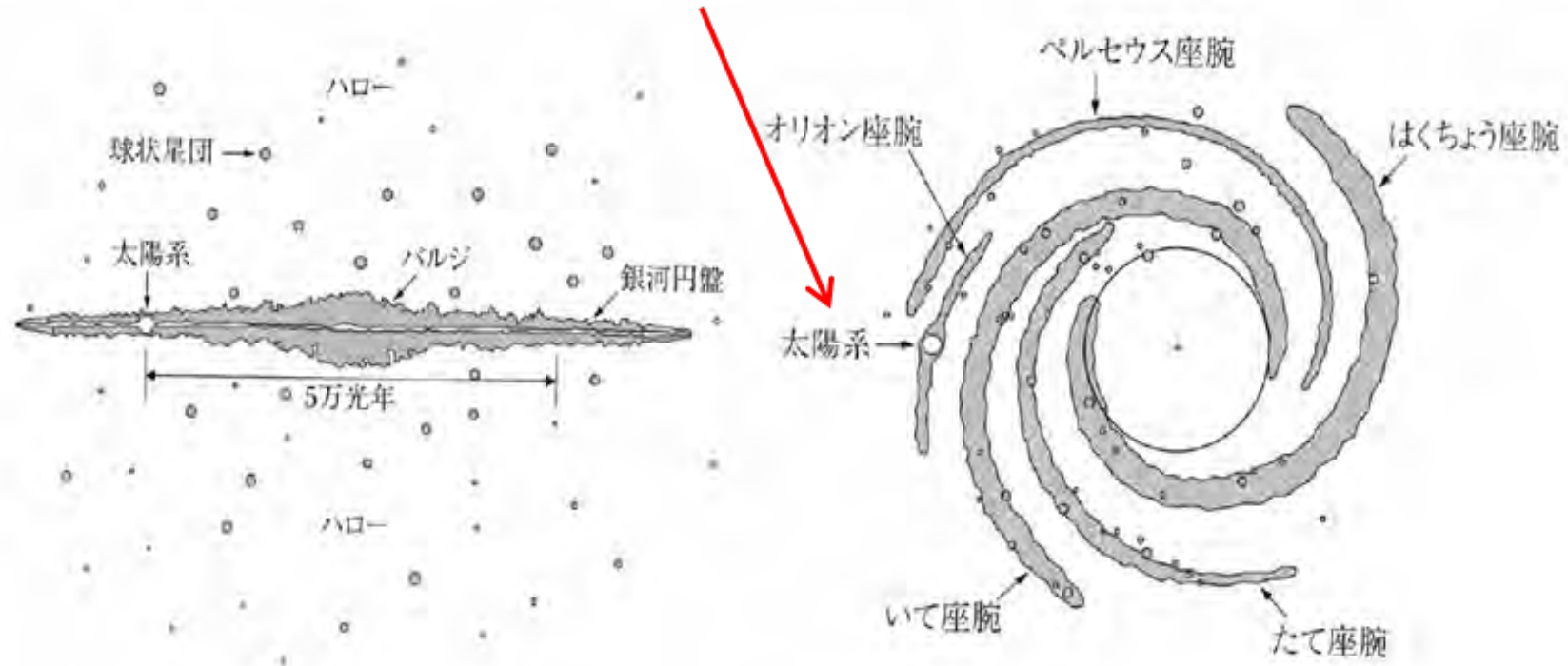
天の川銀河 (Milky Way Galaxy)

太陽系 (地球等の惑星) のある銀河

- 大宇宙の中、約8兆個と言われる銀河のうち、私たちの地球はどの銀河に属し、どのような位置にあるのでしょうか
- 私達が住む、地球は天の川銀河 (Milky Way Galaxy) の太陽系に属している。この天の川銀河には一千億以上の星やガスやチリが集まった**天体が集う星の街**にある。
- それではこの天の川銀河の本当の姿はどんなものであるかを調べる。
- 20世紀に入り、天体観測用望遠鏡の技術の進化、ハッブル望遠鏡、観測衛星により宇宙の謎解きが始まった。
- しかしまだまだ謎解きは続いている、その観察結果を以下に綴る。

天の川銀河系の構造

オリオン腕 太陽系 地球



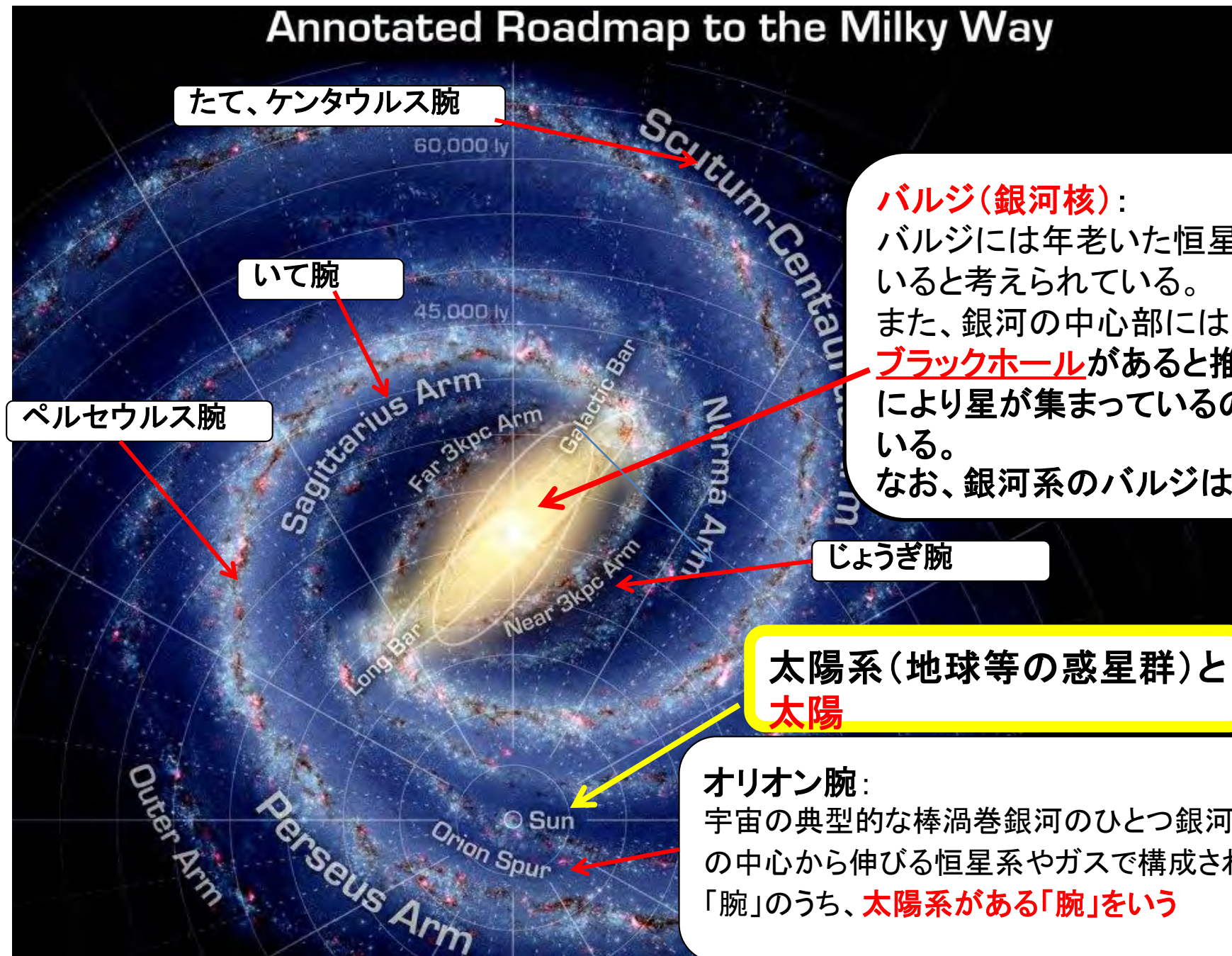
宇宙の数ある銀河における地球の住所

天の川銀河⇒オリオン腕⇒太陽系の第3惑星

銀河系では田舎にあると言える



Annotated Roadmap to the Milky Way



たて、ケンタウルス腕

いて腕

ペルセウス腕

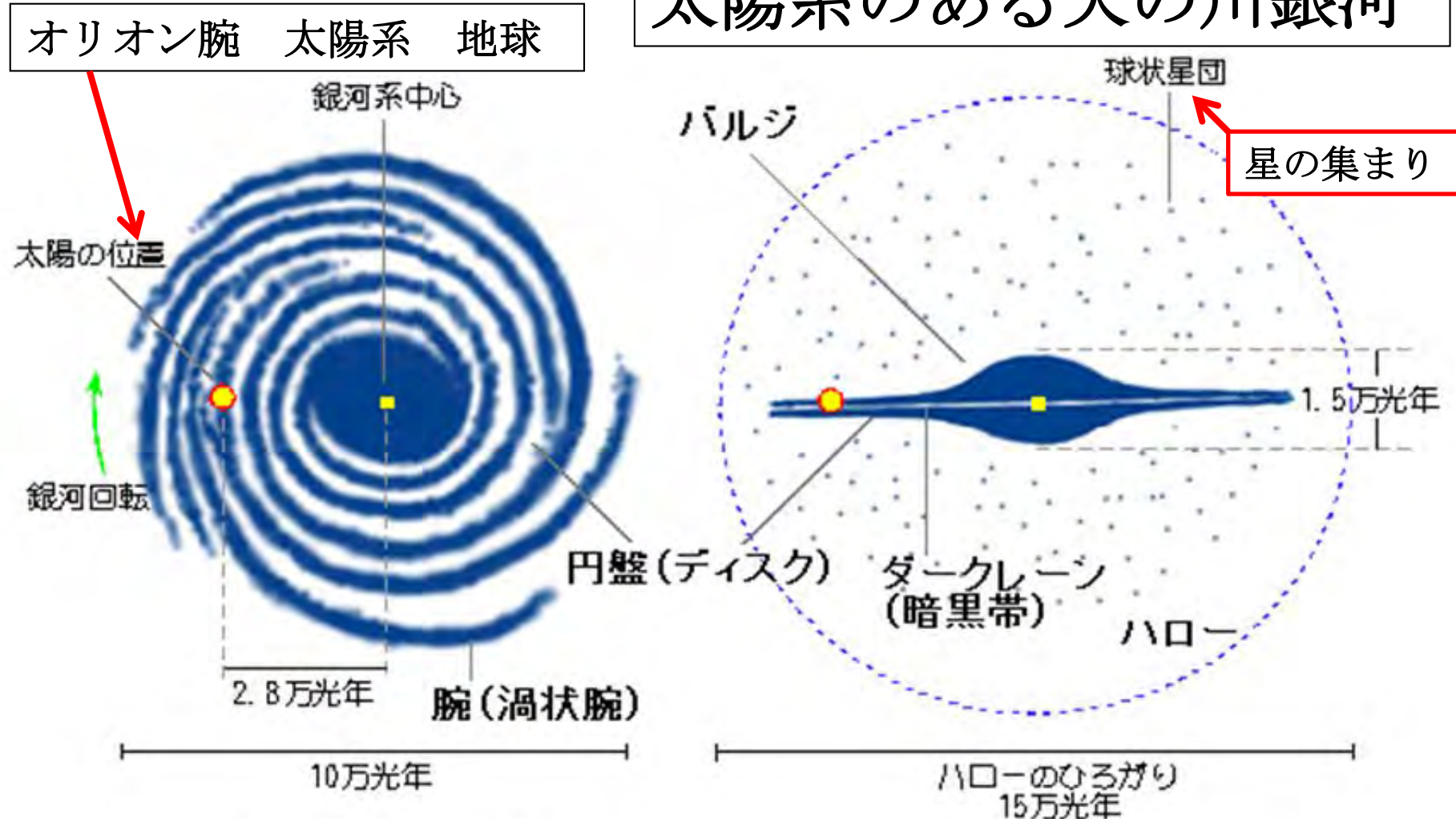
じょうぎ腕

太陽系(地球等の惑星群)と
太陽

オリオン腕:
宇宙の典型的な棒渦巻銀河のひとつ銀河系
の中心から伸びる恒星系やガスで構成される
「腕」のうち、**太陽系がある「腕」**をいう

バルジ(銀河核):
バルジには年老いた恒星が数多く集って
いると考えられている。
また、銀河の中心部には超大質量
ブラックホールがあると推定され、その重力
により星が集まっているのだと考えられて
いる。
なお、銀河系のバルジは、直径1万5000光年

太陽系のある天の川銀河



【銀河系正面図】

宇宙の数ある銀河における地球の位置
天の川銀河⇒オリオン腕⇒太陽系の
第3惑星銀河系では田舎にあると言える

バルジ (銀河核) : バルジには年
いた恒星が数多く集まっている。
銀河の中心部には超大質量**ブラック
ホール**があり、その重力により星が
集まっている。なお、銀河系のバ
ルジは、直径15万光年。

死と再生の渦ブラックホール

渦は宇宙をつくりだすエネルギーである。
巨大な星は年老いると超新星爆発を
起こし、ブラックホールが生まれる。
この超新星爆発は、星の終わりでも
あり、始まりでもある。
ブラックホールは、大質量の恒星が
超新星爆発した後、自己重力によっ
て極限まで収縮 することによって生
成したり、巨大なガス雲が収縮する
ことで生成すると考えられている。
ブラックホールから出た らせん状
のガスは、宇宙に新たな星を生み出
している。



ブラックホールの奥深くには、特異点と呼ばれる無限に時空をねじ曲げる場所が存在します。ブラックホールの特異点は密度・重力が無限大に発散しており、物理の法則やあらゆるものが当てはまらない、まさに未知の場所となっており、ここで何が起きるのかは誰にも今だ分かりません。

宇宙の墓場のブラックホールに星が誕生している



ブラックホール周辺から出る渦のジェット

死の渦ブラックホールから出た、らせん状のガスは、宇宙に新たな星を生み出している。DNAのように2重の渦を巻いて舞い上がる。
ガスの一部は磁力線でふきあがり分子雲を作り、この中に赤ちゃん星を生んでいる。
渦はエネルギーを生み出すあらゆる生命の根源である。
渦は生命の進化や星の誕生など、森羅万象を司る根本的法則になっている。
この統一性が宇宙に存在するからこそ我々は渦の形に興味を抱き続けられる。
無限に連なる渦、その探求は私達人類に大きな飛躍をもたらしている。

宇宙の歴史:時代と出来事



ビッグバンのシナリオ: **宇宙138億年の歴史**

ビッグバン⇒インフレーション(膨張)⇒膨張終わる⇒プロトン(陽子)の形成⇒
重水素・ヘリウムの形成⇒星の誕生⇒銀河の誕生⇒星の誕生のピーク⇒現在

ブラックホール

2019.4.10ブラックホールの観測成功は
アインシュタインが一般相対性理論でその存在を予言した
究極的天体が約100年経たいまようやく観測に成功した。
今後は加速度的に宇宙の諸謎の解明に拍車がかかる事間
違いないと考えます。

これからは実画像により銀河や宇宙の成り立ちにも深く
関わるものと考えます。

この快挙が意味する事は・・・!!

ブラックホールとは

- ・ブラックホールは、重力が強く、光さえも抜け出せない暗黒の天体。
- ・質量が太陽の30倍以上の星が核融合で水素を使い果たすと、超新星爆発後もその核が収縮を続け、やがてブラックホールになると考えられています。
- ・アインシュタインの一般相対性理論から存在が予言されていた。ほぼすべての銀河の中心には巨大なブラックホールがあると考えられていたが人類はまだ実際の画像として見た事がなかった。これまではシュミレーションによるCG画像のみを見ていた。

「ブラックホール」という存在



- 恒星は内部での核融合反応で放出するエネルギーによって、自らの重みを支えている。この反応が止まってしまうと、星の中心部分は重力崩壊を始め、密度が上がって行きます。高密度の状態では、まず電子同士の反発力が効いてきて、この力で自分の重さを支えている星が白色矮星。
- この力でも支えきれない場合は、原子核がつぶれて中性子ばかりの星（中性子星）になる。中性子星は中性子同士の反発力で星の重さを支えている。
- この力は重力の次に強い力なので、これでも支えきれないほど重い星は、ひたすら内側に向かって落ちこんでいくしかありません。するとさらに重力が増大し、やがては光という最も高速な情報ですら、外には出られなくなるという考えが自然に出てくることになり、このようにして「ブラックホール」という考え方が生まれた。
- ところで、「ブラックホール」は単独では確かに「暗黒」ですが、外からものが落ちこむ場合には、その物質がとても高い温度まで温められるので、「ブラックホール」の周りにはX線などでギラギラ光っています。

謎の天体 ブラックホール



EHTJAPAN

ブラックホールは極めて強い重力で、光や電波を吸い込むため、観測することが困難で、成り立ちや進化の過程など、最も謎の多い天体です。

大きさに対して非常に重い天体で、質量が太陽と同じブラックホールがあった場合、直径はおよそ6キロメートルになるとされています。

ブラックホールがつくられる仕組みは大きな恒星が死を迎えた時に、みずからの重力に押しつぶされてブラックホールになると考えられていますが、宇宙には質量が太陽の100万倍から100億倍という超巨大ブラックホールがあることも知られていて、それらがどのようにできたのかは解明されていません。

また、ブラックホールは多くの銀河の中心にあるとされ、星の材料となるガスやちりを強い重力で引き付けながら膨大なエネルギーを生み出していることから、銀河や宇宙の成り立ちにも深く関わっていると考えられています。

今回、ブラックホールを直接観測する道が開かれたことでこうした謎の解明につながることを期待されています。

宇宙の謎解明に光

2019.4.10ブラックホール観測に成功した



- ・世界8カ所の望遠鏡を組合わせて地球規模の電波望遠鏡を合成しての観測となった。
- ・望遠鏡の直径約10,000km、観測波長1.3mmで「視力300万」を実現（ハッブル宇宙望遠鏡は約1500）



ブラックホール撮影、初の観測成功 国立天文台など国際チーム

産経新聞2019年04月10日



※ブラックホールは想像図(NASA提供)

国立天文台などの国際チームが初めてブラックホールの撮影に成功した。

ブラックホールとは

重力が極めて強く、宇宙で最も速く空間を進む光を含むあらゆる物質を引き付け、のみ込んで脱出させない天体。真っ黒(ブラック)な穴(ホール)のように見えると考えられ、この名がついた。

ブラックホールを捉えた 1 / 2

宇宙の謎解明に光 2019.4.10

産経新聞2019年04月10日



国際チームが撮影したのは、
5500万光年離れた**おとめ座のM87銀河**の中心にあ
る巨大ブラックホール

宇宙で最も重く、謎に包まれた天体であるブラックホールの撮影に世界で初めて成功したと国立天文台などの国際チームが10日発表した。

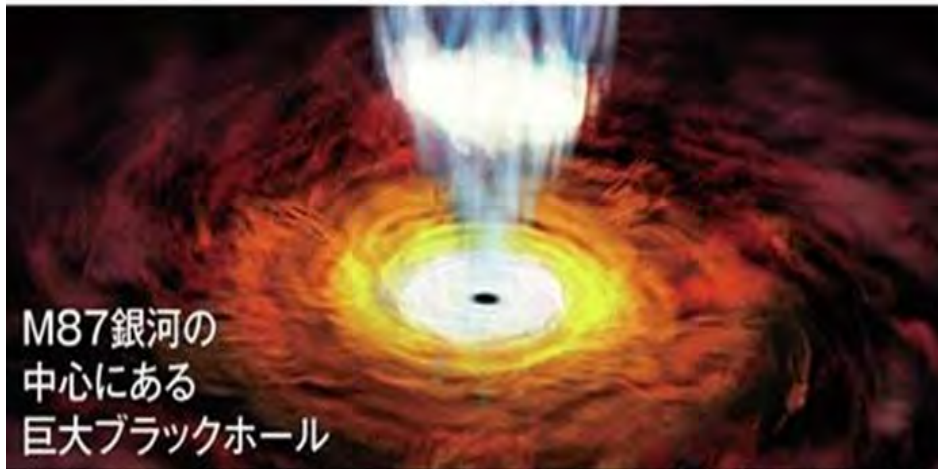
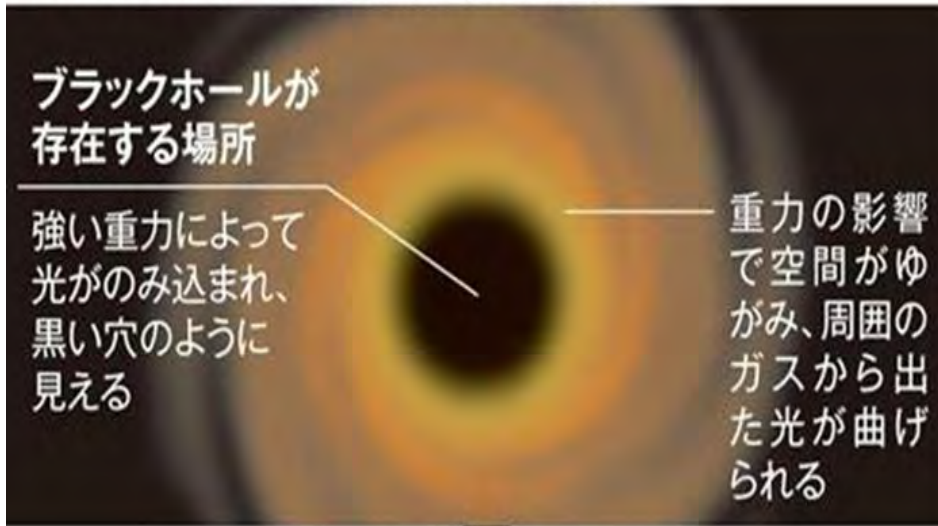
強い重力で光さえのみ込んでしまうため撮影は困難とされてきたが、高精度の電波望遠鏡を使って「黒い穴」のように見える姿を捉えた。ブラックホールの存在を証明する画期的な成果で、天文学の大きな前進となる。

ブラックホールは非常に強い重力によって周囲の物質を引き寄せ、のみ込んでしまう性質がある。光も引き込まれ、外に出てこないため真っ暗で、撮影できなかった。**成功はノーベル賞級の成果だ。**

ブラックホールを捉えた 2/2

宇宙の謎解明に光 2019.4.10 産経新聞2019年04月10日

ブラックホールの撮影(想像図)



※国立天文台の資料を基に作成

国際チームが撮影したのは、5500万光年離れた**おとめ座のM87銀河**の中心にある巨大ブラックホール。太陽の数十億倍の質量を持つ。周囲にあるガスは、ブラックホールに引き込まれるときに明るく輝く。これを撮影することで、ブラックホールの存在を円形の影として浮かび上がらせることに成功した。ブラックホールの周囲では、強い重力によって空間がゆがんでいる。この影響で周囲のガスから出た光が曲げられ、輪のように見える様子も捉えた。

本研究が与えるインパクトと今後の展望1／3



1. 科学的意義

ブラックホールはアインシュタインの一般相対性理論が预言する究極的な天体である。

そのブラックホールが作るシャドウを捉えたことは極限まで歪んだ時空構造の視覚的証拠であり、強い重力場における一般相対性理論の電磁波による直接検証が初めて可能になったことを意味する。

また天文学的には、宇宙で最も明るく輝く高エネルギー天体であり、銀河や星の形成・進化に大きな影響を及ぼしたとされる「活動銀河中心核」の正体が巨大ブラックホールであるということを決定的にした。一般相対性理論活動銀河中心核*はいずれも20世紀初頭に提唱発見されて以来100年以上の長きに渡る問いであり、今回の成果は物理学・天文学史に残るマイルストーンとなります。

2. 新たな宿題

今回の観測では新たな課題も見つかった。これまで長い波長を用いたVLBI*で撮影されてきたM87画像では中心部から右上に伸びる強力なジェットが見られます。しかし今回のEHT画像では中心のブラックホールとリング状の放射のみが際立って検出されており、ジェットとのつながりがはっきりとは解決しませんでした。ブラックホールの強い重力を振り切りどのようにしてジェットが生成されるのか、この謎はブラックホール研究における残された最重要課題となった。



活動銀河中心核とは:

銀河の中には、光で観測すると、中心部の小さな領域が異常に明るく光るものがあります。この異常に明るい銀河中心部の天体を、活動銀河核と呼びます。

VLBIとは:

Very Long Baseline Interferometry (超長基線電波干渉法)の略で、天体からの電波を利用してアンテナの位置を測る技術です。

本研究が与えるインパクトと今後の展望2／3



3. 今後の展望

今回の成果は「直接撮像によるブラックホール天文学」の幕開けを意味する。

EHT (Event Horizon Telescope)は更に高画質・高解像度なブラックホール画像取得を目指し、望遠鏡ネットワークの拡張やより波長の短い電波を用いた観測の準備を進めて、モニター観測によるブラックホールの動画撮影や、偏光を用いた観測を行い、ブラックホール周辺のガスの運動や磁力線構造をより詳しく探査する。

一方噴出するジェットとの関連を明らかにするためには、EHTに加えて波長の長いVLBI (電波干渉計)による相補的な観測が必要不可欠です。そこで日本・東アジア独自の取り組みとして、私たちは主に7mm・13mm帯で稼働する東アジアVLBIネットワーク(EAVN)を用いてM87ジェットを集中的にモニターし、EHTによるブラックホール画像と組み合わせた分析を進める。これらの観測データを日本が長年培ってきたジェットの理論研究、スーパーコンピュータを用いた最先端のシミュレーション研究と比較することで、ブラックホールジェット生成機構の究極的解明を目指します。私たちのブラックホール研究は始まったところです。

謎の天体 ブラックホール

3. 今後の展望(続く)

ブラックホールは極めて強い重力で、光や電波を吸い込むため、観測することが困難で、成り立ちや進化の過程など、最も謎の多い天体です。

大きさに対して非常に重い天体で、質量が太陽と同じブラックホールがあった場合、直径はおよそ6キロメートルになるとされています。

ブラックホールがつくられる仕組みは大きな恒星が死を迎えた時に、みずからの重力に押しつぶされてブラックホールになると考えられていますが、宇宙には質量が太陽の100万倍から100億倍という超巨大ブラックホールがあることも知られていて、それらがどのようにできたのかは解明されていません。

また、ブラックホールは多くの銀河の中心にあるとされ、星の材料となるガスやちりを強い重力で引き付けながら膨大なエネルギーを生み出していることから、銀河や宇宙の成り立ちにも深く関わっていると考えられています。

ダークマター、ダークエネルギー等の解明への足掛かりとして期待される。

今回、ブラックホールを直接観測する道が開かれたことでこうした謎の解明につながることを期待されています。

ブラックホール観測成果の意義



EHTJAPAN

・成果の意義

1つ目はブラックホールの存在と、『時空の歪み』を目で見て視覚的に捉えたことで、アインシュタインが一般相対性理論を唱えて強い重力があると時空がゆがむことを提言して100年がたったいま、その現場を視覚的に捉えることが出来た。

2つ目は天文学的な側面の成果で、『活動銀河中心核』と呼ばれる、宇宙で最も明るく輝く天体の正体を解明したことで、これまで正体については周辺の間接的な現象から巨大ブラックホールだと信じるしかありませんでしたが、今回の観測によってブラックホールがその正体であることが決定的になった。

ブラックホール観測成果の歴史的意義



ブラックホールの存在は、100年余り前、アインシュタインが発表した「一般相対性理論」をもとに予言された。

星などの膨大な質量がごく狭い範囲に圧縮されると、極めて強い重力によって光すら逃れられなくなることが理論的に導かれた。

しかし、実際の観測では長い間見つからず、ブラックホールとされる天体が初めて見つかったのは50年以上たった1971年で、

アメリカのX線観測衛星による観測で、温度が非常に高く、質量が太陽の10倍という天体が見つかり、周囲のガスなどを高速で吸い込んでいるブラックホールだと考えられた。

その後、非常に遠くにありながら明るく輝いて見える天体には、エネルギー源としてブラックホールがあるとされるなど、候補と考えられる天体が次々に観測されるようになったが、どうしても見るができなかったのが、黒い穴のように見える「ブラックホールの影」の部分、地球から遠くにあるブラックホールはこれまでの望遠鏡で観測するには限界があったためでした。

参考 アインシュタイン一般相対性理論概要

1905年の特殊相対性理論に続いて1915年から1916年にかけて発表した物理学の理論
一般相対性理論では、次のことが予測された。

- ・重力レンズ: 重力場中では光が曲がって進むこと
- ・重力波 (相対論): 時空 (重力場) の曲率 (ゆがみ) の時間変動が波動として光速で伝播する現象
- ・宇宙膨張: 時空は膨張または収縮し、定常にとどまることがないこと
- ・ブラックホール: 限られた空間に大きな質量が集中すると、光さえ脱出できないブラックホールが形成される
- ・重力による赤方偏移: 強い重力場から放出される光の波長は元の波長より引き延ばされる現象
- ・時間の遅れ: 強い重力場中で測る時間の進み (固有時間) が、弱い重力場中で測る時間の進みより遅いこと

相対論によれば空間は時空連続体であり、一般相対性理論では、その時空連続体が均質でなく歪んだものになる。つまり、質量が時空間を歪ませることによって、重力が生じると考える。そうだとすれば、大質量の周囲の時空間は歪んでいるために、光は直進せず、また時間の流れも影響を受ける。これが重力レンズや時間の遅れといった現象となって観測されることになる。また質量が移動する場合、その移動にそって時空間の歪みが移動・伝播していくために重力波が生じることも予測される。

参考文献

下記資料を参考に、筆者の考えを加えて編集しました。
特に宇宙は謎が多い、未解決の点が多々あります。
この機会に興味のある方はいろいろの勉強される事を期待します。

1. 特集 らせん、神秘の形 自然界のらせん 文、写真 上村文隆
著
2. NHKBS放送「スパイラル・ミステリー 5つの渦がひもとく宇宙の
謎」
3. トンボの羽 小幡章 日本文理大教授
4. Wikipedia
 - ・宇宙起源、自然界の渦
 - ・各種、方面からブラックホールの観測成功記事参照した