

「神話から最新宇宙学まで」

福江 純 氏
2007年2月17日(土)

はじめに

いろいろな話をさせていただきます。

神話から最新宇宙学まで、ありとあらゆる話をしたいと思います。キーワードとして、去年の夏に話題になりました冥王星の話や、第2の地球 これは、系外惑星に関する話です。それから、星の子の話、多分今日は時間の関係で無理かと思いますが、ブラックホールの話も面白い話です。

先ほどちょっと紹介していただきましたが、僕自身は相対論とくにブラックホール天体現象というものを専門に研究しているのですが、時間も短いので、こら辺は話せないかと思います。

それから、ダークマターに触れられたら触れます。また、最新宇宙像というか、現在の僕たちの持っている宇宙の描像をお話いたします。今、僕たちは宇宙の年齢を137億歳だと知っています。でもそれがわかったのは、ここ数年のことです。やっとこの数年でわかってきたのです。これらをキーワードとしてお話いたします。

宇宙神話

(写真を見せて)これは実際の写真ではないのですが、夏の星座のさそり座です。昔の人は、こういう星の並びを見て、何かそれに意味合いを感じたのです。

この赤い星はさそり座のアンタレス(Antares)という星です。昔の人は、こういう星をつないでみて、何かつながりがあるように思ったのです。大抵は身の回りの生物などに例えました。もちろんさそり座の場合は、名前のようになったさそりに似ていることが由来になっています。さそりが天空にいるような意味合いを持っているのです。

星には1つ1つに名前が付いています。さそり座のアンタレスは英語の名前ですが、このアルナントカなどアル~という名前が付いている星は、元々アラビア語から来ている名前です。そういうアラビアの方や、もっと昔はメソポタミア時代から、人は星の並びを見ながらいろいろなことを考えてきました。僕たちの先祖は星を見上げながらいろいろと調べてきたのです。

今お話しましたが、星座というものは一挙にできたものではなく、2000年ぐらいかけて作られてきました。この星座と同時に、昔なら、いろいろな自分たちの身の回りの世界を見て、いろいろな宇宙像を作ってきました。

(絵を見せて)これは、メソポタミア時代の宇宙像です。自分たちが住んでいる土地の周りには山があって、その周りの天には蓋があるという蓋天説です。そこに太陽が出入りする道があって、僕たちの身の回りの宇宙が成り立っているという説です。これは、いろ

いろな神様がいて、天空の大気の神様を支えていて、神様の中で周りの宇宙が存在している説です。

これは、古代インドのものです。ここが大地で、その大地を4体の象が支えていて、さらにその下に大きい亀がいて、さらに蛇が周りをぐるっと囲んでいます。これらは、身の回りの動物が多いです。

それからこれは北欧神話ですが、世界樹のイグドラシル(Yggdrasill)と呼ばれる巨大なトネリコの木が大地を支えていて、その上には神の国とか人の国など3つの国があるのですが、地の底にはユルムンガルド(Jormngand)という怪物がいます。世界の終末はラグナロクといいますが、神々の大戦争が起こりました。

また、イザナギ(伊邪那岐)とイザナミ(伊邪那美)がどろどろしたところに矛を入れて引き上げて、ぼたぼたしたものが日本のオオヤシマ(大八島国)になったという神話もあります。

こういう神話にいろいろ共通しているところは、一番最初は混沌こんとんとしています。例えば、宇宙の最初、世界の始まりは何か混沌としていて、わけもわからない状態なのでカオス(Chaos)といえます。そういう混沌に目鼻を付けたら混沌は死んでしまったという話もあります。

いろいろな世界の神話を集めてみますと、似たり寄ったりです。最初は目も鼻もない意味不明のわけのわからない状態だった宇宙が次第に何か形になってきたり、中には先ほどの北欧神話のように、世界の終わりにはすべてが滅びてしまうという話もあり、共通した部分があります。

現在、宇宙の中の銀河とか星とか太陽が出来て、僕たち人類がここにいて(人類も結構混沌としているかもしれないですけど)など、段々事実がわかってきました。これらの事実が出て来て、現在の科学的な宇宙像というものが最後には見ていただければいいかなと思います。

次に、先ほどのキーワードで書きました現在のいろな天体現象の最先端の話をしします。

太陽系の惑星たち

まず、僕たちの一番身近な太陽系です。太陽系というものは、水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星です。9つの惑星と言いたいのですが、一応冥王星は惑星ではなくなっています。こういう大きな物体が僕たちの太陽の周りを回っています。

(写真を見せて)これは、太陽を可視光で撮った拡大写真ですが、いろいろな模様があります。この黒い点は黒点です。太陽というものは、非常に明るい天体で、僕たちの近くにあるので、非常に身近な存在です。

先ほどお見せしましたオリオン座のベテルギウス(Betelgeuse)やおおいぬ座のシリウス(Sirius)は自分で光っている星の一つです。太陽は、とくに宇宙全体から見ると、別に明るくもなく、暗くもないです。割とごく平凡な星です。たまたまそのまわりを惑星の地球が回っています。昔は惑星というものは特別だと思われていたのですが、それも最近では結構見つかってきているので、段々地球自体に似たような惑星が見つかるかもしれません。

太陽について話したので、ついでに言いますと、太陽の表面の温度は6000度で、非常に高温です。僕たちの身の回りからしますと、とても温度が高いのですが、太陽自体は燃えているわけではありません。太陽自身は中心で水素がヘリウムに変換するというアインシュタインの「エネルギー・質量保存の法則」の公式 $E = mc^2$ によって非常にエネルギーが燃えて発する現象が起きています。例えば僕たちが赤外線カメラで人間を撮ると、白く写ります。それは、人間の体温が赤外線を出しているからです。太陽も6000度の赤外線を出しています。

(写真を見せて)太陽系の中で惑星を1つ1つ追っていくときがないので、最近の日本の成果で、新聞をご覧になった方も多いかと思いますが、小惑星イトカワを挙げたいと思います。「はやぶさ」という探査衛

星がこの間行って撮った写真です。太陽系の中はよくわかっているようなのですが、こういう小惑星の近接画像は案外ありません。これは、地球よりもはるかに小さく、直径が10キロとか20キロの惑星で、ごつごつしている部分もあれば、滑らかな部分あります。

まだ、確立した話ではないのですが、このイトカワという小惑星が出来た頃に、左側の大きいものと右側の少し小さいものがぶつかって、それからくっつき合った。そして、くっついて溶けたところがこの滑らかなところではないかという話が出ています。そういうふうには太陽系の中でもまだまだ僕たちの知らないことがたくさんあります。

(写真を見せて)これは、最初にちょっと触れました冥王星です。2つありますが、こちらが冥王星の本体(プルート Pluto)です。こちらが衛星でカロン(Charon)といいます。プルートはその名のとおりに冥界の王です。カロンとは、死者を冥界に送る時の渡し守の名前です。冥王星が見つかったのは、1930年の最初ですが、カロンが見つかったのは、そんなに前ではなく数十年前です。

冥王星などは太陽系の非常に最果てにあり、太陽と地球の間の距離を40倍も向こうに行ったあたりで、非常に暗いです。というのも太陽系の果てには太陽からの光が届かないので、例えば太陽とかベテルギウスなどは自分で光っています。核融合のエネルギーで光っているのです。一方、木星や土星などは、自分が光っているのではなく、太陽から出てきた光に照らされて光っています。ですから、例えば土星には輪がありますが、その輪の影がこの写真に出ています。自分で光っていたら影は生じません。木星や土星などの惑星は、太陽に照らされたその反射光で見えています。太陽から遠い冥王星などは、形はよくわかりませんが、最近では赤外線観測装置で天体を見ると、遠方の天体が見つかるようになりました。

(写真を見せて)これは画があまりよくないのですが、これは日本の「すばる」という望遠鏡で撮影した、冥王星よりも遠くの惑星です。わかりにくいですが、こんな暗いものがここにあって、ちょっと動いています。他のものはもっと向こうにある星です。これは、冥王星よりもっと奥にある小さい惑星、小天体がちょっと移動したのです。このように最近この10年くらいでいろいろな小さな天体が見つかりました。

(絵を見せて)これは、実際の写真だとか、想像図をいっぱい並べたものです。大きさ比べなのですが、この青い惑星が地球です。これが月です。大きさは地球の4分の1です。この惑星が冥王星です。これがカロンです。ところが最近、2003年に2003EL61という冥王星よりも遠くにある小天体が見つかりました。また、ここ10年間に、セドナ(90377 Sedna)やクワオアア(50000 Quaoar)など、冥王星サイズの小天体もたくさん見つかりました。

2003UB313という小天体は、ゼナと書いてありますが、これは仮の名前で、去年の9月にエリス(136199 Eris)と正式に名前が付きました。この惑星は、冥王星よりも大きい星です。このようなものを全部惑星にするのもきりがないので、(実際はそれ以前に冥王星はちょっと違うと僕たち研究者は思っていました)惑星は8つということにしました。

でも、冥王星はなくなってしまったというわけではありません。冥王星は、元々は英語の名前が付いているのですが、冥王星という漢字の名前は日本人の野尻泡影が名付けて漢字圏の中国でも正式に使われているようです。そういういきさつもあって、最近では冥王星の騒ぎがありました。それだけ、太陽系の中でさえもわかっていないことが非常に多いです。

第2の地球

次に第2の地球の話をしていきます。最近こういう惑星、太陽系のちょっと先で非常に面白くなってきたことは、太陽系ではない惑星系が見つかり始めたことです。

ここに展示してある本を読んでみても、実際にそういうものは見つかりませんでした。惑星を探するという研究はずっとあったのですが、最近になり、初めて太陽系以外の星の周りの惑星が見つかりました。

(絵を見せて)これは想像図ですが、こういう星の周りの惑星が見つかってきました。実際の写真はありません。これはペガサス座 51 番星の惑星の軌道とと思ってください。ペガサス座 51 番星があります。この破線で書いてある線は、太陽がここにあったときの地球の軌道です。太陽と地球の距離は 1 億 5 千万キロメートル離れています。太陽系の場合ですと、ここに太陽があって、この周りを地球が動いています。地球よりも内側に水星、金星があります。火星はもっと遠くです。ペガサス座 51 番星の惑星というのは、51 番星がここにあったら、こんな傍を回っています。しかもこの惑星は、太陽系の場合でしたらこの太陽の傍の水星や金星、地球(地球には水があります)という惑星は、基本的には石の塊です。木星は水素ガスが非常に豊富で、ガス惑星ともいわれています。

これは、非常にそれ以前の説を覆します。なぜ今でもそのようなものが生まれたかは、まだわかりません。先ほど言いましたが、太陽の惑星というものは、太陽の光を反射して光っています。だからペガサス座 51 番星の光はこの土星のすぐ傍にあるので、土星はぎらぎらに照らされているのだらうと思います。大抵の場合でしたら、木星は太陽からすごく離れていますから、表面の温度はそう高くはないのですが、ペガサス座 51 番星の場合は太陽のすぐ傍ですので、ガスの温度は数千度になります。今はこういう変わった惑星 系外惑星に、ホットジュピター(熱い木星)という名前が付いています。

系外惑星を見つけるときには、こういう非常に重い惑星が母星の傍にあります。その母星の影響で惑星を見つけるという方法で、このようなホットジュピターというものが見つかりました。こうやって、惑星が 1 個見

つかると、皆が一生懸命探すので、この 10 年で、僕たちは惑星を何百個も見つけました。何百個も見つかると、段々見つける感触もよくなるので、地球の重さの 20 倍ぐらいの割と小さな惑星まで見つかってきています。まだ想像図だけで、実際の写真は撮れていないのですが、いずれ地球と同じぐらいの大きさの惑星も、この 10 年以内には確実に見つかります。それが先ほど言いました第 2 の地球です。

第 2 の地球にはもう 2 つ条件があります。1 つは、第 2 の地球には生命がいるかどうか、そのためには 2 つほど調べる必要性があります。1 つは水があるかどうか、もう 1 つは酸素があるかどうかです。もちろんその惑星の近くまで行って写真を撮ることが出来ないのので、系外惑星の中のわずかな光を調べます。遠くから見えなくても、大気から出てくる光で、大気の中に水分があるかどうかを調べることが出来ます。大気の中に水分があるということは、海もあるだらうと思います。

実は酸素というものは、生命が作るものなのです。しかし、生命のいない金星などには酸素がほとんどありません。二酸化炭素等は酸素があって生命が発生した後に生物が生産したものです。ですから、酸素があるということは、やはり生物が存在するという確証になります。それをこれから系外惑星の地球ぐらいの惑星が見つかっていけば調べていくことになるだらうと思います。今はまだ見つからないのですが、これから 10 年は見つかる可能性があります。

星の子

では、次に星の話をしていきます。星は言うほど変わったことはないのですが、どんな星があるかちょっと紹介したいと思います。

宇宙にはいろいろなものがあります。太陽系だと惑星などがあります。星というのも最初からぼこっとあったわけではありません。必ずどのようなものでも起因と死というものがあります。

星の場合はガスで出来ています。(写真を見せて)話の最初にオリオン座の写真をお見せしましたが、オリオン座のこの星はベテルギウスで、この星はリゲル(Rigel)です。

ここに赤いぼつとしたものが見えます。実はこれは星ではなく、ガスが光っています。この写真は、そのガスの部分を拡大したのですが、これはオリオン座の大星雲と呼ばれています。これは宇宙空間の中にあるガスです。なぜ光っているのかと言いますと、はっきりはわからないのですが、この中にいっぱい星が生まれているのです。本来はガスがあっても見えません。例えば夜空に雲があったら、星は見えません。昼だったら、太陽の光を反射したりして見る事が出来ません。それから、都市のビルなどの明かりの光源があると、普通は見えないものも見えるので、宇宙の中のガスというものは、近くに星がたくさんあって、その星の光を受けて照らされて光って見えるのです。

オリオン座の赤い色が付いているものは水素です。宇宙の中はほとんど水素です。身の回りは炭素や酸素がいっぱいありますが、宇宙の中で一番多いものは水素です。水素が、僕たちが知っている宇宙の物質の中の約 9 割を占めています。水素は光を受けると、自分が光り出します。この赤い光は水素が光っているのです。真ん中に白い部分がかぶってしまっているのですが、これは M42 オリオン大星雲で、大星雲のような水素の雲です。ここは雲が濃すぎて黒く見えています。この雲は地球の雲と違って何もないわけではなく、非常に濃いところにガスが集まって星が生まれています。ただし、これにはもやがありますからすごくガスがありそうなのですが、この雲ぐらいで水素の原子が 10 個ぐらいあります。宇宙空間は平均的に角砂糖 1 個の中に水素の原子が 1 個ぐらいのものがほんのわずかにあります。濃い場合でも 100 個とか 1000 個とかそのぐらいありますが、僕たちの地上からしてみるとほとんど真空です。ただし、真空に近いのですが、この広がり光で 1 年ぐらいかかる距離です。こん

なに雲が広がっていればガスの分量を合わせると、星で 10 個分ぐらいのガスがありますから、そういうものが集まれば星を 10 個作るのはそんなに難しくないです。このような星が非常に自分で光りだすと、普通の大人の星になります。

星のその後はいろいろです。ちゃんと自分で光ることが出来ないものは星になれずに終わってしまいます。

太陽の半分から 4 倍ぐらいの星というのは、太陽と同じように大体 100 億年ぐらいの一生をたどります。(写真を見せて)この写真は白黒なのですが、右側にオリオン座があります。先ほどの赤い星(ベテルギウス)ですが、今はこれぐらいのサイズで実像が見えるようになっています。これもハッブル宇宙望遠鏡が撮影したものです。これは地球の軌道の大きさです。これが木星の軌道の大きさぐらいなのですが、これぐらい非常に巨大な星です。

地球の軌道の大きさは、太陽の 100 倍ぐらいなので、このベテルギウスは太陽の 200 倍の大きさを持っているけれども、赤いです。星の世界で赤いということは温度が低いということなので、温度でいうと 3000 度ぐらいです。

先ほどいいましたが、太陽の温度は 6000 度ありますから、ベテルギウスの温度の 2 倍しか変わらないのですが、ベテルギウスは星としては温度が低く色が赤いので、こういう星を赤色超巨星という言い方をします。やがて太陽も温度が下がって、ベテルギウスのような赤色超巨星になるだろうと言われています。

太陽の寿命は大体 100 億年です。太陽は生まれてから 46 億歳という細かいところまでわかっています。これは地球や月の岩石などを調べたりして、太陽系の年齢と太陽の年齢がほとんど 46 億歳ということが知られています。あと 50 億年ぐらいは大丈夫ですので、安心して下さい。

太陽が赤色超巨星になったあとには、太陽がガスを周りに噴出して行って、中心が小さい青白い高温

の星(白色矮星)になって、周りに噴出したガスが広がっていく星雲(惑星状星雲)になります。(写真を見せて)これは星が死んでガスを噴出した姿ですが、これをキャッツアイ星雲(Cat's Eye Nebula NGC 6543)といい、宝石の猫目石のようなきれいな色あいになるようなものもあります。

太陽などは割と静かなのですが、星はもっと爆発を起こすことがわかっています。銀河の話はまだしていませんが、僕たちのよく知っている天の川のすぐ傍にある星の集団(マゼラン銀河)の中で起こった星の爆発で、この赤っぽい星雲(タランチュラ星雲)の中にあつた星が、1987年(正確には50万年くらい前)に爆発しました。

遠くを見るということは、昔を見るということです。光がやってくるということは、有限の速さなので、例えば光が進むと1年かかる距離ですから、逆に1年前の星の光というのは、1年かかって今届いているのです。1光年先の星というのは、1年前の姿です。同じように10光年先の星は、10年前の姿です。このマゼラン銀河は、数十万年前の姿を見ているので、数十万年前にこの星が爆発した姿を見たのが、1987年です。この大爆発を超新星爆発と呼んでいます。星が非常に重い星の場合ですと、最後にこういう爆発を起こす場合があります。この爆発をマゼラン銀河の超新星爆発と呼んでいます。小柴昌俊さんがこの星の爆発でノーベル物理学賞を受賞しました。実はこのマゼラン銀河の超新星爆発の場合は非常に僕たちに近かつたので、とくに目立ちました。

(写真を見せて)このような遠くの渦巻き状のものがありますが、これは先ほども言いました僕たちの傍にあるガスの雲ではなく、星の集まりです。星がたくさん集まっていますが、あまりにも遠くにあるので、ぼやっとしてよくわからない状態になっています。このぼやっとしたものは、何百万光年も彼方の星の集まりです。この右と左の間違い探しのような星群、右側のここにある星 これは、ぱっと見たら僕たちの近くにある星と

同じような明るさに見えるのですが、実はすごく遠い銀河の中のどれか1つが爆発したものです。あまりにも遠くにあるので、星の1つ1つが細かく見えないようなところがこんなに明るく見えるということは、とてつもない明るさで爆発したということがわかると思います。

(写真を見せて)この星もやはり超新星です。超新星を英語でスーパーノバ(Supernova)といいます。あまりにもこの超新星は明るいので、ハイパーノバ(Hypernova)といいます。日本語ではちょっと訳しにくいのですが、よく「極」を付けて、極超新星ともいいます。

(写真を見せて)これは、大阪教育大学にある50センチの天体望遠鏡で撮った写真で、ちょっと写りが悪いのですが、この上にあるこの星は、ブラックホールの傍にある星であることがわかっています。こちらは、夏の星座の白鳥座です。これが白鳥の口ばしで、こちらが尻尾で、今の星はこら辺にある星です。このところにある星の傍にブラックホールがあります。

(図を見せて)この図は専門的になりますが、横軸は時間です。縦軸がX線の強さです。横軸が30秒くらいの非常に短い時間にびくびく変化しています。それを表した図です。この白鳥座X-1というところから、X線が非常に出てきています。太陽や普通の星からX線が出ると僕たちは焼け焦げてしまいます。こんな遠くの星なのにそんなX線が出るはずはないのですが、それを僕たちはこんなふうなイメージを持っています。白鳥座X-1の光で見えている普通の星がこんなに明るく(地球から見ると暗いのですが)、太陽よりは少し大きな星ですが、その傍にはブラックホールがあります。そのブラックホールはもちろん見えません。見えませんがそのブラックホールにガスが落ちていついて、ブラックホールの傍でめちゃくちゃな事になっていて、ガスの温度が非常に高温になっています。

先ほども言いましたが、星の温度は6000度とか、もうちょっと高くても10000度くらいです。太陽の中心の温度は1000万度と言いました。このブラックホールの

傍でガスの温度は 1000 万度くらいになっています。1000 万度くらいになると、ブラックホールは X 線をキラキラ出すのです。それで見えているのが白鳥座 X-1 です。そういう天体の巨大な超新星爆発で、ブラックホールが生まれてきたことが最近になってわかってきました。

星の世界の中で、僕たちはいろいろなものを見つけてきました。最初に話しましたが、なぜそういう星の話の中で星の子を取り上げたかと言いますと、星というものは、段々変化していきます。太陽などもあと 50 億年経つとおそらく赤色超巨星になって、星界に段々広がっていくと思います。

先ほど、星の中心で水素がヘリウムになる核融合というエネルギーが発生すると話しました。太陽だったら、ヘリウムなどになってしまえばそれでおしまいになってしまうのですが、先ほどから紹介しているような超新星などだと、中心で核融合というものがとてつもないスケールで起こります。

高校の化学でも習いましたが、周期律表というものがあります。元素の種類で身の回りには、水素、ヘリウム、リチウム、ホウ素、炭素、酸素、窒素、ネオンなどいっぱいあるのですが、少しずつ成立が違う元素が 100 種類くらいあって身の回りの物質を作っています。その元素は一体どこで出来たのでしょうか。

先ほど宇宙はほとんど水素だと言いました。宇宙の最初は水素ばかりだった時代があります。水素と少しのヘリウムです。窒素とか炭素などは元々宇宙にはなかったものです。ですが、こういう星の最期(超新星)の大爆発の時に、急激にいろいろな元素がぐちゃっと融合して、この融合のエネルギーでもって、窒素や炭素、それからもっと重い鉄だとかが超新星爆発の時に出来ていきます。

そうやって、星が超新星爆発を起こすと、爆発を起こしたガスがまた宇宙空間にばらまかれます。先ほど話しましたが、星は星間の雲から生まれていきます。中にはぼやっと散らばっていくものもありますが、今

言ったように、普通は星は超新星爆発によってまた星間にガスが戻ります。

先ほども言いましたが、宇宙の最初は水素とヘリウムしかなかったの、これでは生命は造れません。生命というものは、アミノ酸とか窒素を含んでいます。もちろん僕たち人間は炭素質がベースです。生命には炭素とか酸素が必要です。しかし、宇宙の最初にはそういうものはありませんでした。その中で、星の中ではこれらの元素をせっせと作る一種の錬金術をしています。そして、このガスを宇宙空間に戻して、またそこから星が出来ます。そして、このサイクルをぐるぐる回している間に、太陽系では(太陽系は宇宙が生まれてから 100 億年くらい経って出来たものです)その頃にこういう炭素や窒素などがあちこちにばらまかれていました。そういうものを含んだガスから太陽が出来たから、僕たちの地球という固体も存在するようになり、さらに生命の存在も可能になりました。

そういう意味から僕たちは、超新星爆発を起こして出来た星のかけらから生まれているのです。それに「星の子」という意味を付けています。それは僕たちの存在のベースになっているものです。

さまざまな銀河

宇宙の全体の宇宙論を話すために必要ですので、ここで銀河の話をししたいと思います。細かい話はしませんが、画だけ見てもらいましょう。

(写真を見せて)これは、ハワイにある日本のすばる望遠鏡で撮った M87 という名前が付いている銀河です。これは非常に遠方にあるので、あまりはっきり見えませんが、星がたくさんある集団です。

(次の写真を見せて)これは M31 というアンドロメダ座にある銀河で、肉眼で見られる数少ない銀河です。斜めから見ているのでいびつになっていますが、実は星が円盤状に集まっています。

こちらは M51 です。銀河にいろいろ名前が付いていますが、それは型番みたいなものです。この銀河

は、やはり星が円盤状に集まっているのですが、それをほとんど真上から見ているので、こんなふうに見えています。非常にきれいな2本の腕を上げているような銀河です。こういう銀河を渦状銀河と呼んでいます。

このように星の集まり方はいろいろあります。いろいろな形の銀河があるのですが、どれも星の集団です。例えば、僕たちが見ている天の川も実は今の円盤のように集まっていて、上から見ると渦を巻いているように見えます。斜めから見ると先ほどのアンドロメダ銀河のように楕円に見えます。ところが、銀河の中にいますと形がどうなっているのかわかりません。森を外から見ますと森の形がわかりますが、森の中にいますと周りの景色がわかりません。

天の川というものも、銀河の一つです。(写真を見せて)これは天の川です。木曾天文台で撮ったものです。夏に目立ちますけれども、これは遠くの星です。近くの星はぷつぷつ見えますけれども、遠くの星はのっぺりしてよく見えません。実は、これは僕たちがよく知っている太陽自身が円盤状に集まった星の中にいるためによくわからないのですが、この円盤を横から見た姿なのです。ですから、天の川とは、円盤状に星が集まったものです。

(写真を見せて)赤外線で見えた銀河がこれです。赤外線で見ると、割と遠くまで見えるので、銀河系の姿がほとんどよく見えてきます。こんなふうに真横から見ると、星が円盤状に集まっています。ここは銀河系の中心方向です。いて座の方向にある中心方向なのですが、確かに星がたくさん集まっています。

(図を見せて)これは、天の川全体の想像図です。中心方向は少し星が多いので非常に明るいのですが、太陽の中心からずれたところにあります。太陽と僕たちが見る天の川の銀河系の中心は大体2万7千光年ぐらい、光で2万7千年ぐらいかかる距離です。そういう天の川というものも、やはり星の集団です。そういう星の大集団をまとめて銀河と呼んでいます。

その銀河がこの宇宙全体にたくさんあります。僕たちの知る天の川だけではなく、先ほども見てもらったように、例えばM87という銀河は円盤状になって円く集まっていますが、すごく大きな銀河です。星の数で言いますと、天の川は、星が大体2000億個ぐらい集まっています。1つ1つの星が太陽のような明るさの星です。バードウォッチングのようなやり方で、星をざっと見て、この範囲にこのぐらいの数の星があるから全体でこのぐらいという見方をします。このM87につきましては、星が1兆個ぐらい集まっています。そんな大集団が宇宙にはたくさんあります。

宇宙全体にこういう銀河が1000億個ぐらいあるだろうといわれています。だから、段々遠くなっていくと訳がわからなくなるのですが、身近な星があって、太陽系があって、身近な星があって、その星が1000億個ぐらい集まった天の川があります。その天の川銀河に1番近い銀河がアンドロメダ銀河です。天の川銀河から230万光年離れています。そういうものが何百万光年も離れて、あちこちに散らばって、宇宙全体に1000億個ぐらいあるだろうといわれています。

(写真を見せて)これは彼方の宇宙のいろいろな銀河ですが、このぼやっとしているものは、今度は星ではありません。だからといって、先ほど出てきた近くのものもやした星間のガスでもありません。全部銀河です。遠くの星の大集団で、大きいものや小さいものもあります。こういう銀河が集まったものを銀河団と言います。宇宙にはそのようなものも見えてきます。

こういう宇宙の銀河を見ていますと、これはじっとしているわけではありません。銀河は動いているのです。そういうことがわかったのが1929年です。(画像を見せて)今、どんどん遠くの宇宙を見ています。今1番遠くで100億光年ぐらい先まで見えています。ハッブル宇宙望遠鏡や、すばる宇宙望遠鏡などで見ることが出来ます。このようにずっと遠くのぐちゃぐちゃな部分はほとんど銀河です。このようなものが山ほど出来るのです。しかも色がちょっと赤っぽかったり、青っぽ

かったりしています。その宇宙全体の様子を見ていくと、銀河というものがじっとしていなくて、僕たちから遠ざかっていっているのです。

ハッブルの法則 - 膨張する宇宙

これは、1929年にハッブルという人が調べたものをそのままプロットしたものです。

今はもっときれいなものを使っているのですが、横軸が銀河までの距離です。縦軸は銀河が遠ざかっていく速さを表しています。近くの銀河、これは700万光年で、1000キロメートル毎秒です。近くの銀河は遠ざかっていく速度は小さいのですが、遠くの銀河は大きな速度で遠ざかっていきます。1929年の観測なのでばらつきがありますが、これを1本の線で結んだものを今日、ハッブルの法則といっています。ハッブル望遠鏡の名前の由来となった人は、アメリカのエドウィン・ハッブルという天文学者です。これは何を表しているかということ、宇宙全体が膨張しているために、銀河というものが遠ざかっていく。遠いものは早い速さで、近くのは遅い速さで遠ざかっている。それがハッブルの法則です。

1905年にアインシュタインの相対論が出来ました。相対論には、特殊相対性理論と一般相対性理論の2つがあります。1905年の相対論は特殊相対性理論といわれるものです。エネルギーと物質が変わるという話はあったのですが、宇宙全体の話でなかったものを、1915年に、宇宙の物質とか、物質によって空間がゆがんでいるとか、宇宙全体のものを扱える一般相対性理論が出来ました。それによって、宇宙の構造がどうなっているのかを初めて科学として扱えるようになったのです。昔から神話的な想像を膨らましていたのですが、それを初めて実験として、観測として確かめるのがアインシュタインの一般相対性理論です。

宇宙が膨張しているのを見つけた人もいます。アレクサンドル・フリードマンとか、ジョルジュ・ルメートルと

いった人です。アインシュタインの法則を使うと宇宙が膨張している可能性がある、と指摘していたのですが、1929年になってエドウィン・ハッブルが実際に銀河が飛び去っていることを、観測的に宇宙が膨張していると確かめたわけです。それが、今の宇宙が膨張しているという最初の考えです。宇宙というのは空間そのものが膨張しているので非常に表しにくいのですが、昔はどうだったのだろうと、映画のフィルムを逆まわしにするように想像してほしいのです。だんだん宇宙は広がって100億光年とか200億光年とかかわれていますが、昔にさかのぼっていくと、銀河は1点に集まっていくはずですが、137億年前、すべての銀河は1点にあったはずだ、あらゆる物質が1点に集まってしまうので、超高温で超高密度で超圧力といった状態になっているだろう、それを指して、そういう状態から宇宙が始まった、ということをビッグバンと名付けています。ビッグバン膨張宇宙というような、そういう流れで出てきました。

ほかにもいくつか証拠はあります。ビッグバン膨張宇宙で、137億年前の高温・高密度の火の玉状態が、膨張していくと温度が下がります。逆に圧縮すると温度が上がります。光の温度が下がっていくと波長が長くなるということを表していて、それは3度K宇宙放射というものです。宇宙全体に絶対温度で3度程度の非常にエネルギーの低い光が満ちている。それに3度K宇宙背景放射という名前がついているのですが、それが宇宙最初の火の玉の名残だろうとされています。

地球から見るとあらゆる方向がビッグバンに見えるわけですが、137億年の彼方から届いた光が、宇宙が膨張して冷えていって3度にまで下がってしまった。その光を見ていると考えています。これが、昨年度のノーベル物理学賞で、ジョン・C. マザーとジョン・F. スムートという人がもらいましたが、その元になった画像です。宇宙全体を楕円形に投影したのですが、3度K宇宙背景放射を表している図です。細かいいづつ

ぶつしたのが示した図なのですが、これを詳しく調べていき、先ほど言った宇宙の年齢です。宇宙は 137 億年前に生まれて、膨張していく。この 10 年ぐらいで確かめられてきたものです。

ずっと見てきて宇宙の広がりまでやってきたわけですが。いろんな展開があり、宇宙は成り立っていて、遠くを見るほど過去を見ることになりません。

宇宙の成り立ち - ビッグバン宇宙

地球から、太陽系、惑星、星、銀河と見ていったのですが、今まで空間的なつながりを紹介してきました。今度は宇宙が生まれてからの時系列、時間に従って宇宙の成り立ちを紹介したいと思います。

宇宙は 137 億年前に生まれて、どうやって生まれたかは、完全にわかっていません。そんなに小さいところまで、宇宙を押し進めていくと、量子力学が必要になってきます。まだ、そこらへんのところまでわかっておらず、想像ですが、何も無い無の状態からぽこっと宇宙は生まれた 「無からの宇宙の発生」という言い方をします。生まれてすぐ消えたものもあるし、うまいことに宇宙に残ったものもあります。まだ、調べることもどうすることも出来ない。その直後、ビッグバン宇宙の最初のところでは、インフレーションという特別な状態があった。これは、横軸が宇宙の時間軸だと思ってください。左が過去で右が現在です。これが現在、われわれが住んでいる宇宙です。それを、どんどん過去にさかのぼっていくと 1 点から始まったわけですが、急激に膨張した、いわばインフレーション的な膨張時期があった。この膨張は、現在の宇宙の 1 万分の 1 ぐらいまで広がって、その後ゆっくりした膨張で現在に至っている。インフレーション的な膨張宇宙は 1980 年代になって言われるようになった話です。インフレーションが起きたということは、最近の観測で確かだ

ろうと考えられています。

その後、いろいろなことが起こって、重力が誕生したのもこの頃です。宇宙の最初はエネルギーしかなかった。それから物質が生まれていって水素がくっついてヘリウムになっていく、そういう元素の合成も少し起こります。一番最初にあったのは陽子と電子と中性子ぐらいですが、水素が生まれたり、ヘリウムがちょっと出来たり、そんなことが起こります。これは、宇宙が生まれて 100 秒ぐらいのことです。宇宙が生まれて 38 万年ぐらい経ったころ、それまでばらばらだった物質が、温度が下がって 4000 度ぐらいになり、陽子と電子が一緒になって水素原子になります。水素原子は目に見えません。プラズマというものは白く光っていて不透明です。38 万年ぐらいたつと、それまで不透明だったものが透明な水素ガスになるので、宇宙が急激に遠くまで見えるようになる。これを「宇宙の晴れ上がり」といっています。

そのあと、激しく光っている銀河の一種であるクエーサー (quasar) というものが出来た。ガスの集団が集まって銀河が出来た。出来始めたのは宇宙が生まれて 30 億年ぐらいのことです。90 億年ぐらいして、オリオン大星雲のような星間のガスの中から太陽系が生まれてきた。オリオン大星雲のガスの中にぽつと丸いものがあります。この中心に生まれたばかりの星があって、そのまわりにガスが円盤状の集まっているのが見えてきています。僕たちの太陽系の 46 億年前の姿です。その現象が今、オリオンの星の中で起こっているわけです。地球がどうやって生まれたかはわかりませんが、36 億年前、最近では 38 億年前ぐらいまでさかのぼっているようです。そのころ地球が生まれて、そして人類が生まれたのですが、100 万年前になります。ほんの最近です。そして現在の地球がこんな状態です。これは太陽系ですが、これで見ても冥王星はいびつな軌道だということがわかります。

ダークマターとダークエネルギー

初めに、宇宙の膨張インフレーションが起こったということをお話しましたが、どうして起こったかということとはわかっていません。しかし、現在に至るまで膨張し続けていくには普通の物質だけでは足りない。われわれが知っている普通物質のほかに暗黒物質、ダークマターというものがあると思われています。これは普通の物質の 10 倍ぐらいあると思われています。なぜあると信じられるかという、銀河の運動とか、銀河の集団、銀河間のふるまいなどを見ていると、重力的に振り回されているものがあるのです。そういうところからダークマターがある。これが言われるようになったのは 10 年、20 年前です。ごく最近、ダークエネルギーというものが取りざたされています。ダークエネルギーというものは物質でもなんでもない。だが、ないと困る。しかも、量としてはダークマターの 3 倍から 4 倍ぐらい必要です。宇宙に存在する全内容物のうち、73 パーセントがダークエネルギーです。残り 27 パーセントのうち、22 から 23 パーセントがダークマターです。物質ではあるが目には見えないものが 23 パーセントぐらいあります。

われわれが知っている普通の物質は、たったの 4 パーセントです。実はわれわれは 4 パーセントしか知らない、ということが明らかになってきました。その 4 パーセントの中で、生命も生まれていったわけです。

宇宙の終わり

宇宙の歴史を見てきたわけですが、もうちょっといけばどうなるかをさらっと見ていくと、今から 50 億年ぐらいたつと、太陽がベテルギウスのような赤色巨星になっていき、このようにぼーっと広がっていくでしょう。50 億年もしたら惑星は少しは残るでしょうが、太陽系は消滅するでしょう。これは宇宙が生まれてから 190 億年ぐらいの話です。

さらにもっといけば、星が全部死んでしまいます。星が爆発するとガスが残されてまた星が出来る、と言ったのですが、だんだんガスが使いつくされていって、

1 兆年ぐらい経つと銀河が暗い星ばかりになって老齢化するだろう。星は長生きするのですが、100 兆年ぐらい経つとあらゆる星が燃え尽きてしまいます。完全に星が燃え尽きてしまってブラックホールが残ります。真っ黒になって残ります。星の燃料になるガスがなくなって完全に燃え尽きてしまう。

10 の 10 乗ぐらいの年になると、宇宙は無限に膨張していると思われているので、そうなると元々の物質の陽子というものが崩壊してなくなってしまいます。さらに、10 の 100 乗ぐらいのはるか彼方には、ブラックホールさえ最後には蒸発してしまって、ブラックホールからエネルギーが出ていってなくなってしまふことがありうるだろう、といわれています。そうなると宇宙は、もやっとした最初の混沌から始まることになります。今、宇宙は秩序立っているからわれわれ生命は存在していますが、はるか先には目口鼻のない混沌の状態に戻るのではないか、というのが今の全体の宇宙像かなと思います。

質疑応答

Q 壮大なお話をありがとうございました。ギリシャ神話を先生が読まれたのはいつごろだったか、お伺いしたい。

A 小学館の世界文学全集の中にギリシャ神話があったと思いますが、それを読んだのが初めてで小学校 2、3 年だったと思います。

Q 80 億光年から 90 億光年まで観測出来るというお話でしたが、光の速さで 80 億年かかる距離を調べる手段を教えてください。

A 金星、月は地球から電磁波で探査します。月だったらレーザー光線で探査し、金星は電波とかを使います。ただし、星までいくと無理なので、遠いところは、星自身が出している光によって探査します。光とか電波とかエックス線とか、天体自身が出している電磁波を地球で受けて、光に

含まれる情報を詳しく分析して距離を見積もります。

オリオン星雲は赤い光を出しています。水素が赤い波長の光を出しているのです。遠くの光は宇宙が膨張すると光の波長が変化します。遠くの銀河からやってくる光は水素の赤い光がもっと赤くなるのです。星の光のズレを測定して、アインシュタイン相対論の宇宙の膨張のデータとあわせて、そのズレがどのくらいの距離にあるのか計算して見積もっています。

Q 太陽系は惑星を含めていろいろありますが、何億年前に出来たのでしょうか、まとめてほしい一億年ぐらいの時間で出来たと考えてよろしいでしょうか。

A 太陽と一緒に46億年前ぐらい、ただし一瞬ではないです。1000万年ぐらいかけて太陽系のガスの中から、中心の一番濃いところから太陽が出来ます。ガスの中には水素、ヘリウム以外に固体、炭素とかケイ素の固体が結構含まれています。炭素の粒になったものがいっぱいあります。すすが含まれています。シリケート(ケイ酸塩)は1ミクロンという非常に小さい粒で、水素に比べるとほんのわずかです。水素の1パーセントぐらいしかないのですが、ガスの量が元々多い中で1パーセントもあれば惑星はいくらでもつくれるわけです。そういうものが徐々に集まって行って100万年ぐらいかけて惑星が出来ています。内側のものは地球型惑星といって、ほとんど固体で出来ています。木星、土星、天王星、海王星の4つは木星型惑星です。中心は固体ですが、周りは水素ガスで出来ています。冥王星はこの4つとはずい分違います。まだはっきりとわかっていないのですが、最近のコンピュータシミュレーションなど使ってみると、最初はガスがあったのですが、固体の部分が集まってきて、火星ぐらい

のサイズの原始惑星が、いくつも出来たらしいです。その中で太陽に近いところは、かなり太陽が光っていたので、ガスが吹き払われてしまったようです。地球に近いあたりの固体の部分がむき出しに残って地球型惑星になった。その時代まだ、ガスが残っていたので、それが集められて木星より巨大なガス惑星が出来ていったら、というのが最近確立してきた考え方です。

Q ただいまのお話の中で銀河系の中心から太陽まで2万7千光年あるということでしたが、銀河系の中心はどんな状態にあるのか。太陽に代わるもの、それを引き寄せているようなものがあるかどうか、あるいは星が固まっているだけなのか、教えていただきたい。

A 銀河系には星が多いので非常に密集して距離も近いです。星の集まりによって銀河系のまわりをぐるぐる回るような運動を維持しています。ただし、銀河系の運動には直接関係ないのですが、せっかく質問が出たので銀河系中心の話させてください。銀河系の中心のことがわかったのは最近の話なのですが、星の運動から質量がわかります。たとえば太陽系の場合だと太陽の周りを回っている周期と半径から太陽の質量がわかりますが、こんなにたくさん星があると、中心にあるものの質量がわかるわけです。太陽の370万倍のものがああります。光っていればわかるのですが、光っていないので、ここに370万倍の質量を持ったブラックホールがあると信じられています。とてつもないモンスターがいる。これはほぼ確立した話です。

Q 宇宙誕生の最初のお話で「宇宙の発生は無から発生した。そして大きくなったものもあれば消えてしまったものもある」ということですが、これはどういうことなのか、わかりやすく説明して下さい

い。

A コペルニクス的転回というか、人間原理というか、ちゃんと生まれ育った宇宙もあれば、そうでない宇宙もある。われわれ人間がいるから宇宙を認識出来るわけです。宇宙を理解出来るまでに到達した、それがわれわれの宇宙だというのが1つの考え方です。

Q ということはこの宇宙以外にほかの宇宙があるという可能性があるとということですか。

A それはあり得ることです。ただし、宇宙は独立しているのです、確かめるすべがないです。

Q 月は地球の周りを回っているのは確かなのですが、それが少しずつ地球に向かって落ちてきているんだという記事を見たことがあります、本当なのでしょう。また、落ちてきて、地球にぶつかるのはいつごろなのでしょう。

A その記事は知らないのですが、実は事実は逆です。地球と月が生まれたころは、月はもっと地球に近かったと思われています。距離は確かに変化しています。本来は地球と月、ほかの惑星もそうですが、軌道、距離は変化しないものなのです。

地球の場合、海があります。したがって潮汐が起こります。そういうものがあると、海と地球の固体の間で引きずられる現象が起こります。それで、昔は1日がもっと短かったのが、だんだん遅くなったと思われています。その反作用みたくなことで、月は地球から少しずつ離れていっているはず。月はあまり近づいてくると潮汐のために壊れてしまいます。太陽系が生まれたころに原始惑星、火星ぐらいのサイズがたくさん出てきたころに、地球にその原始惑星がぶつかって、地球とその惑星が合体して、そしてその一部が分離して月になったと考えられた。その時に爆砕したカケラというのは、粉々になるロッシュの限

界の前に、カケラが出来ていってそのロッシュの限界のちょっとそのあたりでなにかまとまる、月としてまとまるぐらいで出来たのが最初の月の形成だといわれています。それから少し離れていっているはず。そのあたりはいろんなシュミレーションなど駆使して、いろんな結果が出ている時代です。

Q 宇宙の写真は赤外線ですらえて画像を見せていただいていると聞いたのですが、写真の色は法則があつてつくっているのか、それとも雰囲気の色づけしてあるのかをお聞きしたい。

A 説明するのを忘れていました。電磁波、電波、赤外線、可視光、紫外線、エックス線、ガンマ線とあります。目に見えるのは可視光です。可視光は虹の七色に分かれます。赤外線、紫外線は目に見えませんが、本来は色はありません。エックス線、電波も色はありません。人為的に色をつけています。赤外線の画像は赤外線の強さにあわせて色をつけています。強いところは白っぽく、暗いところは青っぽく、暖色系、寒色系でつけることが多いです。この可視光の画像については、緑色につけてありますが、本来は赤色の波長の光です。赤にすると中がわからなくなるので、ちょっと波長が違うので緑にしているらしいです。天体写真を見るときには、可視光の写真だと言われても色を変えていることがあります。赤外線、エックス線の写真などは完全に色は違うもので、波長の強さを色づけしたものです。きれいな天体画像はそうのように見てください。