

どのような未来を想像できるか

タイムトラベル、並行宇宙、ワームホールなども説明していこう

4：31 更に3：28 『「万物の理論」の驚くべき予言』

これらの装置をどこかの星の知的生命体が利用している可能性はあるのだろうか？

5：07 138億年前に起きたビックバンについて

宇宙の誕生、ビックバンのナゾ

ポリネシアでは太平洋に浮かぶヤシの実から宇宙ができた

5：22 それぞれの文明がそれぞれの物語をつくってきた

5：40 科学においてはある一つのナゾが宇宙の起源を考えるキッカケとなった

5：57 なぜ夜空はしろくないのか？

6：59 ヨハネス＝ケプラー

宇宙は黒いドームのようなもので覆われている

7：12 作家、エドガー・ア・ラン・ポーが解明するまで

ポーのノートに書かれている

宇宙が黒いのは空間的にも時間的にも無限にさかのぼれないからだ

(ポーの宇宙像：空間的にも時間的にも有限の存在である)

つまり宇宙にはじまりがある

9：17 たとえばガス雲。ガス雲は宇宙が無限であれば、やがて、無数の星々の光を吸収して、やがて、自ら光を出すようになる

9：53 ビックバンについて

①赤方偏移

雲や銀河が地球から遠ざかっていることを示す

10：00 赤方偏移、宇宙マイクロ波背景放射、宇宙の元素の割合

10：01 宇宙元素の割合、75% H水素、

25% Heヘリウム

②ビックバンの残り火

宇宙マイクロ波背景放射

10：28 ラジオを聞くと「ザー」というノイズを聞けるが、その電波の一部がこの教室でもラジオがあれば、その証拠をとらえることができる

③宇宙に漂う元素の割合

1916年当時は我々が暮らす、銀河だけが宇宙に浮かんでいると考えられていた

12：06 その他には何もないと信じられていた

エドウィン・ハッブルが登場（1889～1953）

最新の天文台を使って、2つの大発見をした

1つ目は、我々が暮らす銀河系以外にもたくさんの他の銀河が存在することを発見した

この事実は全世界を揺るがした

宇宙は10万光年程度の大きさではなく、何十億光年も先にあることが分かった

ハッブルは銀河が互いに遠ざかるように動いていることを証明した

12：30 彼が利用したのはドップラー効果だ

例えば自分に向かってくる物体の音の波長は圧縮され高い音に聞こえる

逆に遠ざかっていく物体の音の波長は伸びるので低くなる

皆さんもいつも聞いている音だ

「ピー！ピー！」

物が向かってくる時波長は縮まり、遠ざかる時は伸びるのだ

13：29 同じように光でももし黄色い光が向かってきたら、波長は圧縮され、青っぽく見える。黄色い物体が遠ざかっていると、波長は伸びるので赤

っぽく見える

13：50 ところで数年前、おもしろい新聞記事を読んだ

ニュージャージーで高校の物理の教師がスピード違反でキップを切られた時、裁判官にこう訴えた

私の車は黄色の信号に向かって走っていた

ドップラー効果によって黄色の物に向かって走れば、波長が縮まり青く見える

だから私は違反キップを切られるべきではない

裁判官はなんと返答したらいいかわからずニュージャージーの法律よりも物理学の方が高等だと考える

14：40 刑を免除しようとしたそうだ

しかし記事によると一人の生徒が

「彼は私の先生ですが、そんなことが起きるのは、光の速さに近い速さで走った場合にだけだ」といったそうだ

記事はそこまでだったので、この後その生徒は教授に意地悪されたかどうかは分からない

15：07 とにかく、宇宙の銀河には赤方偏位があり、常に遠ざかっているという

驚くべき事実が発見されたのだ

15：22 質問です。赤方偏位の割合はどの星でも同じなのでしょうか？科学者たちはその赤方偏移の割合をすでに調べているのでしょうか？

ミチオカク：そのことはハッブルの法則というものに表されている

それによると、銀河の遠ざかる速さはその銀河までの距離に比例する

15：54 なぜそうなるかは、宇宙を風船に例えると分かる

風船に二つの点を描き膨らませるとその二つの点は距離が離れれば離れるほど、速いスピードで遠ざかっていく。宇宙の銀河についても、2つの銀河の距離と遠ざかるスピードは比例している

16：14 これがハッブルの法則だ

さてビックバンの2つ目の証拠は、宇宙マイクロ波背景放射だ

ここでこのニューヨークシティカレッジが登場する。この卒業生であるアーノベンジアスがベル研究所で職を得て、電波望遠鏡の責任者となった

星座を観察する最先端のアンテナだった

しかしその高感度電波望遠鏡の設置中に、不具合が見つかった

ノイズが見つかったのだ

ベンジアスと同僚のウイルソンは、はじめこのノイズは鳥のフンのせいだと考えた

17：01 確かにニューヨークでは、どこへ行っても鳥のフンだらけだ

銅像の上、セントラルパーク、あらゆる場所に落ちている

だから鳥のフンのせいに違いない

彼らはアンテナについたフンをふき取った

そして再び観測を始めたら、

17：29 ノイズが以前よりもさらに大きくなっていた

彼らには何が起きているのかわからなかった

17：35 そして再び観測をしたところ、ノイズが以前よりも大きくなっていた。

彼らには何が起きているのかわからなかった

17：41 だがベンジアスがプリンストンで講演をしたとき、観測中にノイズをとらえた話をしたところ、ロバートデイックという科学者が、そのノイズは温度でいうと何度でしたと尋ねた

18：00 だいたい3度だったと答えると、デイックは、それは鳥の糞か、もしくはビックバンの証拠だといったそう

結局ビックバンの証拠であることが判明し、宇宙が誕生した時の残り火をとらえたことが分かったのだ

18：24 今日では人工衛星がこのノイズを調べていて

18：26 数多くのデータが集まっている

宇宙背景放射探査衛星のCOBE（コービー）とWMAP（Wマップ）で観測しているのだ

18：39 これらの衛星がビッグバンの残り火である宇宙マイクロ波背景放射を観測している

18：55 望遠鏡で夜空をのぞくと暗闇が見えるが、実際にはそこは暗闇ではなく、マイクロ波という電波の模様があるのだ

夜空はどのように見えるかこう見える

19：00 これが宇宙を誕生させた大爆発、ビッグバンの残り火だ

ビッグバンを信じない人もいるが、それはそれで結構だ

19：20 でも残り火がとらえられている宇宙マイクロ波背景放射だ

それがここにまだら模様として見える

19：30 ここに模様のように見えるむらがその御銀河団の種になったと私たちは考えている

20：00 これがビッグバンの二つ目の証拠だ

一つ目の証拠は赤方偏移ですべての銀河は我々から遠ざかっているということ

二つ目の証拠は宇宙マイクロ波背景放射だ

20：19 第三の証拠は宇宙の元素の割合だ。宇宙を構成する元素の割合と

もいえる。

宇宙の物質はだいたい75%が水素で25%がヘリウムだ。太陽やほかの恒星も同じだ

75%水素と25%のヘリウムでつくられている

これはビッグバンの理論による計算とピッタリ合うのだ。ビッグバンが水素の一部をヘリウムに変えた

こうして宇宙の元素の割合が決まったのだ

21：03 さて宇宙について語る時、物理学者が直面する大きな問題がある

21：07 それはアインシュタインの相対性理論が、ビッグバンが起きた理由を証明できないことだ。

だからよりしっかりとした枠組みが必要となる

21：24 その最も有力な候補が超弦理論だ。

そしてなんと超弦理論はビッグバンが一回ではなく、何度も何度もあったことを示唆するのだ

21：42 超弦理論の予言

①並行宇宙の存在

最新の理論はこんなことを予言する宇宙一つではなく、並行宇宙と呼ばれるいくつもの宇宙が超空間の中に泡（アワ）のように浮かんでいるというのだ

22 : 03 その超空間は11次元だ

いくつもの宇宙が浮いているので、他の並行宇宙とぶつかることがある

ぶつかると、そこからまた小さな宇宙が誕生する

22 : 14 こうした宇宙の誕生が繰り返されているというのだ

22 : 25 そうなると次の疑問は他の宇宙はどうなっているのかということだ

22 : 35 実は宇宙が誕生するたびに、それぞれの並行宇宙の物理法則は、異なるものになるというのだ

我々になじみのある物理法則は、他の並行宇宙では通用しない可能性がある

だが、宇宙それぞれに異なる物理法則があったとしても、超弦理論はその全ての宇宙で通用する

22 : 54 超弦理論は並行宇宙の存在を予言するのだ

そんな話、まるでSFじゃないかと思うかもしれないが、我々は、物理学者だ

23 : 14 理論の予言がどれほど奇妙なものであっても、それを実施したいと考える人種なのだ

実際に我々は並行宇宙の存在の証拠を探そうとしている

23 : 23 その一つが宇宙重力波検出器LISAだ

NASAが近い将来打ち上げようとしている

あれはウソだ。すまない。

人類はこれまでおもにガリレオなどによって導入された

光学望遠鏡を使ってきた

そして次に発明されたのが電波望遠鏡だ

それが我々を新しい発見へと導いた

そしてその三つが重力波を観測する望遠鏡、LISAだ

24：10 ブラックホールなどから発生する重力波をとらえることができる

24：13 それがL I S Aだ

500万km離れた三つの宇宙船をレーザー光でつなげたものだ

重力に何らかのゆるぎがあればこの三角形がわずかにひずむ

そのひずみをレーザー光で検出するのだ

24：33 宇宙が生まれた瞬間のビッグバンからの重力波をキャッチできると考えられている

それは生まれたての宇宙から発せられた情報だ

生まれたばかりの宇宙は親である並行宇宙と繋がる

言わば、「へその緒」のようなものをもっていると考えられる

「へその緒」のようなものだ

これは我々の想像力をかきたてる

我々の宇宙の誕生の瞬間の様子がわかるかもしれないからだ

25：28 超弦理論の予言

②暗黒物質の存在

並行宇宙が存在する証拠を見つける方法は他にないだろうか

25：42 宇宙は何からできているのかという最初の問いに戻ろう。

講義の始めに宇宙は原子で出来ているといったね。

あれはウソだ。すまない。

あらゆる高校の教科書が間違っている。

宇宙は原子で出来ているのではない。

では何でできているのだろうか？

26：14 これは最新の研究から導かれた宇宙の組成だ。宇宙のおよそ73%は暗黒エネルギーというもので出来ている。

真空がもつエネルギーだ。

宇宙の何もない真空の世界にもエネルギーは存在し、そのエネルギーが銀河同士を遠ざけている。

そのことで宇宙は今も膨張し続けているのだ

そして宇宙の23%が暗黒物質というもので出来ている。暗黒物質は手に持ったとしても見ることはできない。普通の物質とは相互作用しないため、手のひらから床へとすり抜け、

26：57 更に地球などないかのように、全てをすり抜け、中国までいってしまう。

そして中国で向きを変えて地球の存在などないかのように運動する。

暗黒物質は目に見えないが、重さがある。重さがあるから地球の重力によって、地球の裏側までいきまた戻ってくる。

27：29 このように暗黒物質はとても不思議な存在だ。

さて宇宙の残りの4%が水素とヘリウムだ。

では我々はこの図のどこにいるのだろうか？

驚くことに我々のように重たい物質で出来ているものは宇宙全体の0.01%しか占めていない。

私たちはマイナーな存在なのだ。

宇宙のほとんどのものは目に見えない。

物で我々をつくっている普通の物質の占める割合はわずか0.01%なのだ。

28：11 さて暗黒物質とは何か。

暗黒物質の正体が分かれば、ノーベル賞を受賞できるだろう。

暗黒物質と暗黒エネルギーの正体はいまだに解明されていないのだ。

でも我々はなぜ暗黒物質が存在すると分かっているのだろうか。

実は暗黒物質がなければ我々の銀河系は一つにまとまることができないのだ。

暗黒物質が銀河系を包み込んでいる。

もしそれがなければ、銀河系はバラバラになってしまう。

暗黒物質の重力が銀河系を一つにまとめているのだ。

29：03 暗黒物質はSFではない。

暗黒物質はその重力で光を屈折させるため、

29：10 暗黒物質がどこにあるのか観測できる。

ちょうど光が屈折するから、そこにガラスがあると分かるのと同じだ。

目に見えないガラスの存在を私たちはなぜ気づくのか。

ガラスを通り抜ける光が曲がるからだ。

同じように星の光の屈折を調べれば暗黒物質がどのくらいあるのかを計算でき、どこにあるのか分かるのだ。

だが暗黒物質の正体はまだ解明されていない。

29：42 さてその暗黒物質の存在を提唱した人物は、ヴェラ＝ルービンという女性だ。

いずれ彼女はノーベル賞を受賞するかもしれないが、1960年代は「笑い者」にされていた。

女性の大学院生の発言のほとんどは無視されていたからだ。

30：08 当時の女性科学者についての逸話を紹介しよう。

1960年代、天文学を学ぶある女性の大学院生がいた。彼女は望遠鏡で、ある星が点滅しているという証拠をつかんだ。普通の星は点滅しない。なのに、点滅している星を発見した。

寒い夜に彼女はそのパルサーと名付けられた。

30：38 星の性質を調べ、すでに記録したのだ。

ところがその時、ある意味人生最大のまちがいを犯す。

教授に相談したのだ。

論文を書く時、最初に記されるのは誰だろう。

教授の名前だ。ではその論文について講演するのは？

やはり教授だ。ではパルサーの発見でノーベル賞を受賞は？

その教授だった。

このことの教訓は何か？大きな発見をしたらまず私に教えに来てほしい。

31：19 私は寛大なので電気代くらいあげることにしよう。ともあれ暗黒物質は通常の物質の何倍も存在する。

その正体はまだ分かっていないが、今我々は大型ハドロン衝突型加速器でそれを発見しようとしている。

数年前ビッグス粒子を発見した装置で暗黒物質を発見しようとしているのだ。

31：50 暗黒物質のもっとも有力な候補は実は超弦理論によって予言されている重い重力だ。

超弦理論によると我々をつくっている普通の素粒子は一番低い周波数で振動する弦だと考えられているが、暗黒物質はたかい周波数で振動する弦だとされている。

32：15 もし加速器で暗黒物質が発見されたら、超弦理論は一気に発展するだろう。

32：24 さて、暗黒物質は目に見えない重力がある。それが並行宇宙の存在を実証するカギになるかもしれない。

私たちの隣の並行宇宙にも生物がいるとしよう。

しかし光は並行宇宙の間を飛び移れないから私たちはその物質を見ることができない。

だが重力は11次元の空間を行き来できる。

つまり、私たちのとなりの並行宇宙の物質が私たちの宇宙にも重力を及ぼすことになる。そこで並行宇宙の中の物質が発する重力が、見えない暗黒物質の正体だとする説も考えられているのだ。

33：12 質問かな？

生徒：太陽系の中では暗黒物質による重力が働いているようには見えません。

もし宇宙に普通の物質が4%しかないなら、なぜ太陽系全体が暗黒物質であふれていたり、暗黒物質のかたまりがあつたりしないのでしょうか？

ミチオカク：おもしろい質問だ。

まず第1にほとんどの場合、暗黒物質は銀河系の外で見つかっている。地球上でも見つけようとしているが実は地球の周辺では

34：05 暗黒物質は普通の物質に比べ、ほんの少ししかないのだ。

ほとんどの暗黒物質は銀河系の外の宇宙空間にある。

さて君の質問は暗黒物質が太陽系の中にあれば、その証拠がつかめるのではないかというものであった。

34：22 だが太陽系の中ではニュートンの重力の法則がほぼ寸分の狂いもなく、うまくいっている。それを使って探査機を正確に送り、土星の輪を通り抜けさすことだってできる。

もし太陽系にかなりの量の暗黒物質があるのなら、ニュートンの法則からのズレが見つかるはずだがそれは発見されていない。

したがって、暗黒物質のほとんどが銀河系の外にあり、地球周辺にはほとんどないと考えられているのだ。

つまり太陽系は暗黒物質でみたされているわけではない。

34：58 もし満たされているなら、探査機はコントロールを失ってしまうだろう。

探査機の打ち上げは暗黒物質がほとんどないからうまくいっているのだ。

35：05 超弦理論の予言

③ワームホール タイムトラベル

35：10 さて超弦理論は暗黒物質を証明する唯一の理論だが、それだけではない。

超弦理論は異次元の空間の存在を予言する。その空間は11次元だ。

更にワームホールやタイムトラベルの可能性を予言しているのだ。

一つずつ見ていこう。

ここでブラックホールについて考えてみよう。

アインシュタインの理論など、重力の理論はブラックホールの存在を予言する。

ブラックホールは光すらも逃げ出すことができないほどの巨大な重力をもつ質量のかたまりだ。

私たちの銀河系の中心には、

36：11 太陽の数百万倍もの大きさのブラックホールがあると考えられる。

あまりにも重力が強いため、光も逃げられない。

全てのもの、見られるものが吸い込まれ、出てくることはない。

さて今夜、そのブラックホールを見たければいて座の方角を見ればよい。

それが我々の銀河の中心にあるブラックホールの方角だ。

ブラックホールの存在を確かめるにはどうしたらよいか？一般的にブラックホールの特徴の一つは、ジェットと呼ばれるものだ。

36：53 ブラックホールの中心部からはX線がらせん状に回転しながら放射されていると考えられている。

35：31 物質がブラックホールに吸い込まれるとき、急激に回転して、うずをまき、強力な電磁波を放射するのだ。これはS Fではない。実際にX線のジェットが銀河系の中心から吹出しているのを観測することができる。

だから我々の銀河系の中心にもブラックホールがあると考えられている。

私たちは銀河系の外からながめることはできないが、ここにNASAが描いた銀河系の姿がある。

私たちは銀河系を真上から見た様子が非常に正確に描かれているのだが、棒うずまき銀河と呼ばれる形をしている。

37：43 この中心に太陽の数百万の重さのブラックホールがあるのだ。

ではブラックホールの内部には何があるのだろうか。

38：01 ブラックホールの中心には特異点があるほとんどの教科書にかかっている。しかし、この表現はいけていない。

「特異点」というのは単に「わからない」といっているようなものだからだ。

わからなくておてあげだからそんな変な名前をつけたのだ。

だが相対性理論と量子論を統一できたら、いろんなことが分かるはずだ。

38：20 そうした理論によると、たとえば高速で回転しているブラックホールの場合、それは、一点につぶれるのではなくリング状の形につぶれる。

38：37 そのリングに手を入れたとするとあなたは吸い込まれ、並行宇宙へと移動することができるのだ。

38：46 まだ実証されているわけではないが、回転しているブラックホールは他の並行宇宙へのゲートウェイになる可能性がある。このワームホールの中を通れば、光よりも速い速度で移動することができる。それは時空の中いわば「近道」をとおっているようなものだ。

39：12 空間に近道があるのなら、時間にも同じく近道があるはずだ。

今超弦理論がタイムトラベルは可能であると预言しているためタイムパラドックスとよばれるものが真剣に議論されている。

39：41 もしタイムマシンにのって、あなたが生まれる以前の時代に行き、あなたの親を殺してしまったら、はたしてあなたは生まれかわることができるのか？あるいはあなたが生まれる前に

39：55 あなたの母親に出会って、あなたと恋に落ちてしまったら、はたしてあなたは生まれかわれることができるのだろうか？

タイムトラベルについて語るとき、こうしたことが常にパラドックスとなる。

このパラドックスを物理学はどうやって解放するのか？

40：17 相対性理論と量子論を融合させればいいのだ。

それによる時間を遡るとあなたのタイムラインは二つに分裂する。

40：26

二つの時間軸ができるのだ。例えば過去に戻ってリンカーンの暗殺を防いだとすると、そのリンカーンはあなたの知っているリンカーンではなくなるのだ。あなたのリンカーンは暗殺されたはずだ。

40：45 つまり時間を遡って、自分の両親とかかわったり、歴史を乱したりしたら、時間軸は二つに分裂すると考えられているのだ。

40：55 次はタイムマシンを作る方法についてだ。映画のようにデロリアン（バックトゥーダフューチャーの映画）を手に入れて、走らせればいいわけではない。二つの物が必要だ。どちらもすぐには手に入らない。

41：13 一つはエネルギー。ブラックホールに匹敵するほどの膨大なエネルギーだ。そしてタイムマシンを安定させるためマイナスのエネルギーが必要だ。この二つでタイムマシンが作れるはずだと考えられている。

41：33 「超弦理論の帰結を利用できる文明とは」

41：42 ではだれがこのような高度な科学を発展させられるのだろうか？現在の我々には無理だ。時空のゲートウェイを開くのに必要なブラックホール並みのエネルギーも我々は持っていない。

41：57 しかし宇宙には、高度に発達した文明がすでに存在しているかもしれない。我々物理学者は宇宙の文明を利用するエネルギー源によって三つに分類した。宇宙の文明はタイプ①、タイプ②、タイプ③に分けられる。タイプ①の文明は惑星を支配する力を持つ文明だ。気候も火山や自身も制御できる。彼らは少なくとも我々の100年先を進んでいる

42：31 あるいは1000年先を進んでいるかもしれない。彼らは近くの惑星を植民地にしている。それがタイプ①の文明だ。

42：47 タイプ②の文明は恒星の全エネルギーを支配できる文明だ。スタートレックに登場するような文明がこのタイプ②だ。この文明は我々の知っている科学では滅ぼすことができない。氷河期の到来をコントロールし、隕石の軌道も反らすことができる。まさにカーク船長やミスターストックが登場するスタートレックのような文明がタイプ②だ。

43：25 タイプ③は銀河系全体を支配する文明だ。宇宙空間を旅することができる。

43：30 強力な力を持っている。ではタイプ①、タイプ②、タイプ③のような惑星はこの宇宙に存在するのだろうか。これはケプラーという探査機で、多くの恒星を観測し

43：53 1000以上の太陽系以外の惑星を発見した。地球のような惑星がたくさん見つかったのだ。地球から似た惑星は恒星から程よい距離の軌道を回っている。恒星に近過ぎれば、水は沸騰し、遠過ぎれば凍ってしまう。

44：12 地球に似た惑星は、いったいどのくらい存在するのか。観測結果

によると銀河系の恒星の半分が惑星を持ち、20個に1個が地球のような惑星を持つ。

44：27 つまり我々の銀河系には10億個の地球に似た惑星がありうるのだ。

44：26 ところで我々の文明はどのタイプなのだろう。

気候を変えられるタイプ①

恒星を支配できるタイプ②

宇宙を旅できるタイプ③

我々はタイプ③だ。化石燃料をただ浪費している。しかし、タイプ①に進化する兆候が見られる。おそらく100年以内にたどり着けるだろう。例えば我々の使う言語を見るとタイプ①の兆候が見られる。