

サイエンス作家から見た「昨今の宇宙論あれこれ」

竹内 薫

こんにちは。今日は「宇宙の起源」と題して、サイエンス作家の目から見た宇宙の話をさせていただきます。今、ご紹介がありましたら、東大の教養学科というところで、科学史、科学哲学を勉強していた時に、伊東先生の授業を取らせていただきました。今日は多少そういう意味で緊張気味なのですが（笑）。先生とお会いするのが先ほど二九年ぶりというふうに申し上げたんですが、もう一度数え直してみたら三一年ぶりですね。ということで、今日はこの後の質疑応答、それからその後、講演の後の懇親会も非常に楽しみにしております。

宇宙の起源ということなんですが、私は大学院を出て、すぐに作家活動に入ってしまったので、そういう意味では、宇宙の専門

家というわけではありません。大学院では素粒子論、主にヒッグス粒子の研究と、それから、超ひも理論（超弦理論）の宇宙論を勉強しておりました。現在、JAXAの広報関係の委員をやらせていただいている関係で、宇宙とは結構縁が深いのですが、あくまでも「サイエンスコミュニケーションをやっている人間から見た宇宙」ということでお話をさせていただきます。と思います。

実在論と実証論

さて、科学者のタイプ（類型）の話から始めたいと思います。宇宙に関して考えている物理学者とか天文学者の方を見ていると、大まかに二種類のタイプの方がいらっしやいます。まずは、

「実在論」という考え方を基にしている方々で、基本、宇宙は実在します。人間も実在します。そこからさらに多少話が飛ぶんですが、多分、神様も実在するかもしれないとか、そういった人生観、世界観で生きている方々。

もう一つは「実証論」という名前が付いています。これは実在云々についてはあまり気にしない。何かが実在するとか、現象の背後に本当は何があるのかという「本当は」というところは、もう問わないんです。基本的に数式がまずあります。その数式から、ある予測が出ます。実験とか観察をした結果、その数値が合いました。それでOKですと、そういう方々です。この実証論の方々は、宇宙は誰が作ったかとか、神様がいるのかとかそういうところにはあまり踏み込まない。

今日、これからご紹介する物理学者の中では、ロジャー・ペンローズという方がいますが、この人は実在論の方です。それからそのお弟子さんに当たるスティーヴン・ホーキングという方がいますが、この方はどちらかというと、実証論。実際に、ホーキング博士は、悪名高いの有名なの分かりませんが、無神論者なんです。ですから、そこで実在というものを考える学者の方と、実証できればいいんだという考え方の方に、非常に大きく分かります。

あと、今日出てくるお話では、アインシュタインを忘れてはいけません。アルベルト・アインシュタインは完全に実在論の人です。この方には、いろいろな名言がありますが、「神は老獪にして」など、神様に関する言葉もたくさんあります。

神もしくは超越的存在をどう考えるか

さて、*Nature*という科学専門誌がござります。これは一〇年ぐらい前ですが、この雑誌が欧米の科学者を対象にアンケートを取ったんです。「あなたは何らかの形の神を信じますか」と。どんな結果だったと思われませんか？

といっても、これは想像もつかないと思いますが。一応、欧米の科学者ということで、キリスト教圏と考えてください。なんと、半数ぐらいの科学者が「何らかの形で自分は神という概念を信じている」と答えたのです。もちろん、神様を信じているといっても、人間の顔をした神様である必要はないんです。何かしら宇宙の元になった、宇宙を作ったであろう、非常に知的な、人類を超えた生命体でもいいんです。あるいは宇宙そのもの、でもいいのかもしれません。何らかの形での、超越的な存在を信じるといふ問いに対して、科学者の方々が、やはり半数ぐらいは信じてと答えています。

ひるがえって、日本の科学者は「神」もしくは「超越的な存在」に対して、どう考えているのでしょうか。個人的に日本人の科学者の方々と接していて気付くのは、日本では宗教の話がタブーに属していることです。特に科学者のサークルでは、神や宗教について語ることは非常に嫌われます。

これはそれなりに理由があると思うんですが、戦後、日本人は、無宗教の方が多いといわれています。ただ僕はちよつとこれは違うかなと思っていて、現実には、「心の奥底で何かを信じている」ということはあると思うんです。ただそれが仏教なのか、あるいは神道なのか、いやもつと違うものではないかというのがあって、そこらへんも、もしかしたら最後の方に少し話が広がるかもしれません。

パワーポイントのほうが科学より重要？（雑談）

さて、今、画面に映っている「宇宙の話はパワーポイントの一〇分の一」。全く訳が分かりませんね（笑）。実は今日、僕はパワーポイントを作ってきておりません。この画面は普通にワープロで書いて、それをPDFという形式に落とすだけです。パワーポイントはビジネスだけでなく、学会等でも一般的に使われておりまして、格好良いプレゼン画面を作る競争があったりするん

ですね。

僕はサイエンス作家をやっております、宇宙の本を書きます。そうすると、だいたい一万部程度の部数が出ます。それに對して、同じ出版社から、パワーポイントの使い方という本が出るのと、一気に一〇万部売れちゃうんです。編集者の方から「竹内さん、宇宙の話とかそういうみんなが興味を持っていないことじゃなくて、みんなが興味を持っているパワーポイントとか、そういうった類の本、書きませんか」と言われるんです。商売なもので、世の中のニーズというのがございまして、宇宙の話を書きたい方とパワーポイントを使いたい方というのは一〇倍ぐらい違うんです。

さあ、次の雑談です（笑）。画面にJAXA、レーシック、科学雑誌と書いてあります。まず、JAXAの予算ですが、大体NASAの一〇分の一です。これはちよつと考えるとおかしいわけで、GDPで行くと日本はアメリカの半分ぐらいですね。人口も半分程度ですね。だからJAXAはNASAの半分の予算でもいいかなと思うんですが、そうじゃなくて一〇分の一しかない。日本の科学が置かれている実情を物語る数字だと思います。

それから、レーシック。これは最近、消費者庁がレーシックが非常に危ないと発表しまして大騒ぎになったんです。ちなみに私

の目は手術をしております、左と右を一・〇と〇・五にしているんです、わざと。それによって近視と老眼を同時に克服するという、ちょっと特殊な目の手術をしております。レーシック手術は、アメリカが年間二〇〇万人ぐらい。日本は年間二〇万人。やはりアメリカの一〇分の一ぐらいの方しか、日本ではレーシックをしないんですね。いったいなぜでしょうか。

それから今度は科学雑誌の数字です。アメリカに *Scientific American* という非常に有名なポピュラーサイエンスの月刊誌があります、この部数が大体五〇万部程度。それと比べて、翻訳版である『日経サイエンス』の方は二万部程度と言われています。これは、一〇分の一以下ですね。

JAXAとレーシックと科学雑誌の話ですが、僕は連動していると思っています。ようするに、日本とアメリカとで、科学の受け入れ方が一〇倍違うんですね。言い換えると、アメリカ人は科学好き、日本人は科学嫌いの方が多いです。今日、ここに集まっている方々は、恐らく宇宙がそんなに嫌いな方はいらっしゃらないと思うので、通常の方々とは違うと思うんですが、日本人全体で考えた時にはやはり、一桁違う。これはアメリカのキリスト教の神と、日本の自然信仰（アニミズム）的な考え方が生んだ違いだと思うのです。

たとえば、宮崎駿さんがお作りになるアニメは、子どもだけでなく、大人の方もたくさん観に行きますが、「自然回帰」という一貫したテーマが流れています。自然信仰という目で日本社会を眺めると、レーシックにしろ、遺伝子操作にしろ、いろいろと気がつくことが多いのです。雑談はこれでおしまい！ 本論に入りたいと思います。

本日のメニュー

さあそれでは早速、本日のメニューから入りたいと思います。一番最初は、古典宇宙論です。これもどこから始めるかは非常に難しく、たいていギリシャ時代とか、それからもちろんイスラムの話とか、いろんなものをずっと歴史的に追っていくことも可能なんです、今日はお時間が九〇分ということもあります。いきなり二〇世紀の宇宙論の展開から入っていきなりたいと思います。

それから、今日、二番目にお話しするのが、現代宇宙論のお話。ここは、本当に何をお話しすればいいのか分らないほど、たくさん「仮説」があります。今日はそこから幾つか代表的な考え方をピックアップしてご紹介しようと思います。

それから三番目。ここはちょっと私の専門分野から離れてしま

うので、あまりお話しできないのですが、観測宇宙、つまり、実際に観測すると宇宙はどうなっているのかをお話ししようかと思えます。

古典宇宙論

現代物理学において古典宇宙論というと、基本的にはニュートンとかガリレオの話ではなく、アインシュタイン以降の話になります。アインシュタインが一般相対性理論というものを構築しまして、それで重力を扱えるようになったので、それ以降が古典宇宙論と呼ばれているものになります。

宇宙論でいつも問題になるのは、宇宙は変化しているのか、それとも不変なのかということです。いやそれは変化しているのでしょう、とおっしゃるかもしれませんが、二〇世紀の初頭においては、世界中の学者のほとんどは「宇宙は不変だ」と考えていました。アインシュタイン自身も、宇宙は不変な存在であると考えておりました、これを「定常宇宙論」といいます。それで、ここに写真がありますが、フレッド・ホイル卿ですね。この方は王立協会で活躍された天文学者ですけれども、非常に有名な方です。例えば、息子さんと一緒にSF小説を書いてみたり、物理学の数秘術的なことに凝ってみたり、さらには、パンスペルミア説とい

う、「生命が宇宙からやって来たぞ」という大胆な仮説を唱えたりして、いろんな意味で有名人だった。一般の方に科学を伝える仕事もたくさんされていて、BBCのラジオで、「宇宙が大爆発（ビッグバン）から始まったなんて言ってる人がいるんだよ、最近は」という話をされたんですね。やれやれ、という感じで珍説を紹介したはずが、そのまま、ビッグバン仮説、ビッグバン理論というふうになんか名前が定着しちゃったんですね。当のフレッド・ホイルさんは、実はビッグバンには反対で、定常宇宙論を提唱されていた方です。ホイルさんに限らず、当時はほとんどの学者が定常宇宙論を支持していました、ビッグバンなんていうのは、本当に新しい、ちよつとびっくりするような仮説だったんです。

ビッグバン宇宙とフリードマン、ルメートル、アインシュタイン、ハッブル

それで、その異端のビッグバンを主張していた方はいつと、まず、フリードマンという方がアインシュタインの方程式を解きまして、そこで、宇宙が膨張するという解が存在するということを発見しました。そのため、ビッグバン宇宙というのは、理論では「フリードマン宇宙」というふうには呼ばれます。それから、ジョルジュ・ルメートルさん。この方はベルギーのカトリック

クの司祭ですけれども、宇宙の始まりが一種の原子（原子と言ってもこれは分割できない何かということだと思えますが）から始まったという仮説を提唱していて、ある意味、物理学的なビッグバン仮説の提唱者なんです。

それで、アインシュタインの話になりますが、アインシュタイン自身は、先ほども申し上げましたが、定常宇宙論を信じていました。そこで、自分が作ったアインシュタイン方程式に「あるもの」を入れたんです。その名も「宇宙項」。なんでそんなことをしたんでしょうか。

実はフリードマンの解というのがありますので、アインシュタイン方程式には膨張する宇宙というのが自然に出てきます。ところが、宇宙全体に重さがあるのであれば、重力が働きます。そうすると自分の重力で宇宙は縮んじゃうわけです。

つまり膨張するという話と、縮むという話が、ここにある。現実の宇宙はどうなんだろう。当時は観測の知見が特にありませんから、宇宙は定常状態なんだろうとアインシュタインは考えた。ということとは、宇宙が膨張するという傾向と縮むという傾向を相殺してやって、±0だったら止まるよねと。車で喻えると、前進させつつバックさせるみたいなイメージでしょうか。そうすると土ゼロになって、宇宙は止まる。定常宇宙ができる。そんな話で

す。

それで、フリードマンさんが考えた宇宙論には、この宇宙項というのはありません。宇宙項が入っていない宇宙は、ビッグバンの勢いですつと膨張を続けるか、無限の未来に膨張が止まるか、途中で宇宙の重力が打ち勝って縮んで潰れるか、という三つの可能性があります。

アインシュタイン方程式の形を今、お見せしようかと思えますが、こんな格好をしています。 $R^{\mu\nu}$ とか普通のRとか $g^{\mu\nu}$ とか、たくさん出てきますが、このRというのは基本的に「宇宙がどれくらい曲がっているか」ということを表しているとお考えください。そしてこの Λ が宇宙項といわれるものです。そして、右辺に行きまして、Gというのがあります。これはニュートンの重力定数です。それからCこれは光速（毎秒三〇万キロメートル）を表しています。マッハに換算すると約九〇万です。それからTというのがありますが、これが宇宙に詰まっているエネルギーとお考えください。

そうするとどうも左辺は、宇宙がどう曲がっているかということと表している。それに対して右辺は、宇宙の中にはどんな質量やエネルギーがあるかを表している。だから曲がっているということがイコール、宇宙に物質があつてエネルギーや重さがあると

いうことだと、そういう方程式なんですね。

これはよくポピュラーサイエンスでは、ゴムの平面を用意して、そこにボールを乗つけます。そうするとそれが「たわみますね」ということで、ゴムの曲がり方が宇宙の曲がり方で、ゴムのたわみの元になった重みが太陽や銀河とかそういう物質であると。そういう説明がなされます。それでこの Λ ですが、アインシュタインの最初の方程式には入っていませんでした。しかしアインシュタインがこれを導入した理由は、これを入れると宇宙はものすごい勢いで加速的に膨張するんですね。それと重力による縮む傾向を Λ の反発が抑えて、うまく微調整されて、宇宙が定常状態になるゾというのを、アインシュタインは論文に書いたわけです。

しかしその後、宇宙の観測が進んできまして、宇宙は定常ではなく、膨張しているということに気付く方々が出てきます。その一番有名な方が、エドウィン・ハッブルさんで、この方は天文学者で、遠くの銀河を観測していて、赤方偏移という現象に気付いたんです。この赤方偏移って何でしょうか。星は色んな光（いろんな振動数の光）を出しているわけです。色んな振動数の光のパターンが、全体として赤い方向にずれる現象です。星から来る光の振動数が低い方にずれるんですね。ちょっと分かりにくいの

で、サイエンス作家なりの説明をしてみますと、救急車が近づいてくると、ピーポーピーポーピーポーという音が、ピポピポピポというふう非常に高くなりますよね。ところが、救急車が遠くに離れて行く時は、ピーポーピーポーピーポーと、だんだんだんだん音が低くなっていく。ドップラー効果という名前が付いていますが、近づいてくる時と、遠ざかっていく時で、波の現象は、振動の様子が変わるわけです。赤方偏移というのは、その光のバージョンです。光の波も、近づいているか、遠ざかっているかで、話が違うぞという話です。それで、この赤方偏移は何を意味するかというと、「銀河が遠ざかっている」と解釈できるんですね。

どっちの方向を見ても全ての銀河が遠ざかっています。しかも、遠くの銀河になるほど、この赤方偏移が大きい。つまり遠くの銀河ほど速い速度で遠ざかっている。これは、宇宙全体が膨張しているという解釈できるのです。

ついわれわれは、地球中心に考えてしまうので、地球人として周りを観測してどうなるかということになるわけですが、この地球というのは別に宇宙の中心にあるわけじゃない。それにもかかわらず、周りが全部遠ざかっていくというのは……ちよつど風船の表面を考えていただくといいますが、風船の表面に星のマー

クとして一円玉か何かをたくさん貼り付けましょうか。膨らませます。すると、一円玉同士の距離が広がるわけですね。だから地球はどの一円玉であったとしても、周囲は全部遠ざかっていくんですよ。言い換えると、周囲はみんな自分から遠ざかっているからといって、必ずしも、自分は宇宙のへそということにはならないんです。地球は特別な場所ではないということなんです。いずれにしろ、ハッブルさんは宇宙が膨張しているという証拠を見つけたんです。

ところで、ハッブルさんはノーベル賞をもらっていません。これだけ大きな業績を上げた方が、なぜノーベル賞をもらっていないのか。実は天文学は、ハッブルさんのころはノーベル物理学賞の授賞対象には入っていなかったんです。現在では天文学の業績でも物理学賞が出ます。しかし、ハッブルさんのころは、物理学と天文学は別のものだったんです。ハッブルさんは天文学者なので、その業績に対してはノーベル物理学賞は出ない。ただどうも、ハッブルさんがお亡くなりになるちょうどそのタイミングで、ノーベル賞を天文学に授与してもいいのではないかと、検討されていて、ほぼ出かかっていたという話があります。ですから、あと、一、二年長生きをされたら、もしかしたらノーベル賞が出たのかもしれないんですけれども。そういう逸話があります。

す。

そしてアインシュタインは、このハッブルさんが発見した、宇宙が膨張しているという話を聞いてびっくり仰天したわけですよ。自分はせっかく Λ 項というものを方程式に入れて、それによって宇宙を止めようとしたのに、ハッブルさんが、いや宇宙は膨張しているんじゃないですかという観測結果を持ってきた。そこでアインシュタインは、自分が最後に付け足した宇宙項 Λ を削除して、「あれを入れたことは、自分の生涯最大の誤りであった」と語ったと伝えられています。たぶんご本人としては非常にうまい宇宙論を考えましたが、観測によってひっくり返されたということで、相当悔しかったんじゃないかと思いますが、潔く Λ 項を諦めたということなんです。

ちなみにこのお話には、まだ続きがありまして、生涯最大の誤りだったのかどうかというのは、最近ちょっとまた怪しくなってきました。もしかしたらアインシュタインが正しかったのかもしれないというような状況になってきているので、それはまた後ほどお話をします。

ビッグバン宇宙と宇宙マイクロ波背景放射

さて、宇宙が膨張しているというところは、ハッブルさんの

お話でいいんですが、膨張している膨張しているというけれども、じゃあ昔は宇宙小さかったんだね。でもどれぐらい小さかったの？宇宙の始まりはどうだったんですか？ということに対して、特に答えを出したわけではないんです。そこで登場するのが、宇宙マイクロ波背景放射といわれるものです。これはペンジラスさんとウイロンソンさんという方が発見しました。彼らは、ベル電話研究所（現在のベル研究所）で、レーダーの研究をやっていたんです。それで、その調整をしている時にどうも雑音が入って困ると。これは電波の状態がおかしい雑音だと。鳥の糞なんじゃないかとかいろいろな仮説を立てて、その雑音をとにかく取り除こうとしていたんですが、どうにも取り除けない。しかもこれが、どうも宇宙のあらゆる方向からやって来る雑音であると。何だろうこれ。やがて、二人は「ビッグバンの名残り」であるということに気付いたわけです。

ビッグバンというのは、宇宙が本当に小さな点みたいな状態だった時に爆発して、それからずっと宇宙が膨張を続けているという事です。そこで、だんだんだんだん宇宙を現在の状態から昔の状態に戻してみましよう。だんだんだんだん宇宙を小さく圧縮していきます。するとどんどんどんどん熱くなってくるんです。ビッグバンの時はものすごい大爆発で、火の玉宇宙という名前が

付くぐらい本当に熱いわけです。熱くて小さい状態がどんどん大きくなるにつれて冷えてきて、そして今のような宇宙の温度になった。マイクロ波は電磁波の一種です。その電磁波の観測は、つまり溶鉱炉の中はどうなっているかというのと同じです。溶鉱炉の中にどのような種類の光が封じ込められているのかは、色を見ると分かるんです。その鉄がどういう色をしているのか。赤いのかそれとも白いのか、それによって温度が分かるわけです。昔の溶鉱炉には小さな穴が開いていて、そこから中の色を見ることによって温度を測っていたというような話もありますが、基本的に温度と光の波長は連動しているわけです。それで、マイクロ波背景放射というのは温度に換算すると、絶対温度で大体二・七度になります。絶対零度が大体マイナス二七三度くらいですから、摂氏では大体マイナス二七〇度ぐらい。ちょっと変な話ですが、マイナス二七〇度の溶鉱炉から出る光なんです。

ビッグバンのころ、宇宙は本当に溶鉱炉だったんですね。それがどんどん冷えて冷えて冷えて冷えて、宇宙が大きくなるに従って、波長が伸びて伸びて伸びて、それによって温度がどんどん低い状態の波長が観測できるようになった。だから宇宙全体から、マイナス二七〇度に相当する電磁波の雑音がやってくる。今は冷たいんだけど、昔はすごく熱い状態だった。つまり、ビッグバ

ンの灼熱宇宙の名残りが、今、宇宙全体からわれわれに届いているということ。この宇宙は昔は溶鉱炉であって小っちゃかったんです。それがどんどん冷えていって、今でっかくなっただけど、でっかくなっても溶鉱炉の中にいた光はいまだに飛び続けているわけです。それが今もやって来る。それがマイクロ波という波長にちょうどなっていると。この宇宙マイクロ波背景放射の発見は、偶然なんです。これは非常に面白いですね。電波の調整をしていて、まずい、雑音が入るゾ。何とかこの雑音をなくそうなくそうと頑張っていたけれど、一向になくならないことから、「これは実は宇宙の起源から来ているんだ」と発想を転換したわけです。どうも科学上の発見というのは、このような偶然が寄与することが多いです。

この宇宙マイクロ波背景放射は、実は皆さんも観測ができません。今ちょっとデジタルになっちゃったので駄目なんです。昔のアナログテレビには砂嵐というのがありました。あの砂嵐の一部は、宇宙からやって来ているマイクロ波背景放射なんです。だから、昔のテレビで砂嵐をご覧になったことがある方は、実は宇宙マイクロ波背景放射を見ていたんですね。宇宙が誕生してから大体三〇万年後ぐらいの時、現在からいうと約一三八億年前の光です。これが電波になっているのを、テレビを通じてご覧になっ

たことがあるはずなんです。一三八億年前のビッグバンの名残りを今、テレビで見ているんだということですね。現在は地デジになりましたので、あまり見られませんが。それから、携帯電話に雑音が入りますね。あの一部分が、やはり宇宙マイクロ波背景放射なんです。ということ、実は皆さん恐らく必ずどこかで、この宇宙マイクロ波背景放射、一三八億年前のビッグバンの名残りに触れた経験があたりだと思えます。そうやって考えると宇宙というのは意外と身近なものかなとも思えます。

いまどきの宇宙論

古典宇宙論のお話はこれくらいにして、ここからは現在の宇宙論についてお話ししようかと思えます。最近、宇宙に関して、百花繚乱というべきか、あるいは百家争鳴というべきか、ものすごい仮説がたくさん出ているんです。それにしても、ビッグバンで決着がついたはずなのにどうしてそんなにたくさん仮説が出るのか不思議に思われるかもしれません。実は、ビッグバンは全然否定されていません。ビッグバンがあったということについては、専門家の間で、完全にコンセンサスが得られています。問題は、そのビッグバンの「前」なんです。ビッグバンから始まったといっても、それは完全な説明にはなっていない。宇宙は大

爆発から始まったというのは、いみじくもフレッド・ホイルがラジオで語ったように、そんな説明だけじゃ困る。それは非常にいい説明かもしれないけれど、その爆発の原因は何ですかという話が出てくるわけです。それには、いろんなシナリオがあるんですが、まず比較的コンセンサスが得られているシナリオからご紹介します。

それは、インフレーション宇宙です。これはアラン・グースさんとか佐藤勝彦さんとか、いろんな方が提唱されている宇宙論です。縦軸が宇宙の大きさと考えてください。そして横軸が秒と書いてありますが、これは時間です。つまり、宇宙が始まった時、⁶⁰10と書いてありますが、ここから膨張を始めました。そして、インフレーションが起きたんです。ドーンと宇宙が急激に膨張した。それが急に止まるんです。何でインフレーションが始まったのか分かっていません。これは数式的には、先ほどのΛ項みたいなものがあります。アインシュタイン方程式にそういういったものを入れます。そうすると膨張させることはできるんです。そしてじゃあそれが止まるのはどうしてかと言うと、何らかの理由でその挿入した項の効き目がなくなつたと。実は、よくわかっています。とにかくインフレーションがあり、それが止まった時にビッグバンが起きたというのです。

ちょっと話が難しくなるのですが、潜熱という考え方があります。例えば、水をずつと温度を上げていって、一〇〇度になつたらいきなりパツと気化するんですかというとなんかそうじゃないわけで、一〇〇度になつてからもしばらくエネルギーを吸っちゃう。それが潜熱ですね。逆に言うと、水蒸気の状態から水になる時、今度はエネルギーを出すわけです。インフレーションが止まった時に潜熱が原因で大爆発したと。それがこのインフレーション宇宙によるビッグバンの説明なんです。

しかし、もうお分かりのように、ビッグバンは何で起きたんですかという説明を、インフレですと言っている言い換えなんです。そのインフレはどうして起きたんですかという説明が、今度は必要なんです。しかし、誰にも本当のところは分かっていません。つまりインフレーション宇宙は、学者の間でコンセンサスが得られてはいるんですが、その原因については、観測でも全く分かっていない状態なので仮説なんです。インフレーション宇宙は宇宙論の専門家の間ではコンセンサスが得られているんだけど、ノーベル賞につながることはない。それは観測的な検証ができていないからです（注二二〇一四年三月にとうとう観測された模様です）。

ここからお話しするお話はほとんどそういう意味では、仮説の域を出ません。ものすごい数の仮説が登場します。たとえば、ス

ティーン・ホーキングさんも宇宙論の仮説を提唱しています。

「車いすのニュートン」と呼ばれていて、ものすごく有名な方です。この方は、本当に次々とびっくりするような宇宙論の論文を書かれるんですが、まさに「シナリオ」だなという気がします。実際、宇宙論をやっている方々は皆さん、「宇宙のシナリオ」というような言い方をされます。つまり自分たちは、宇宙のシナリオを書いているんだと。とにかくみんな映画のシナリオと同じように宇宙のシナリオを書き続けている。もちろん、数学的に正しくないものは駄目です。ただ、数学的に成り立つものであれば、どんな仮説を立ててもいいわけなんです。宇宙論の世界は、作家の世界とほとんど同じで、想像力に任せて数学という名の文法を守りつつ方程式を書く。それがものすごい数の論文になるわけです。

そのホーキングさんですが、無神論の方です。あまりにもホーキングさんの神に対する冒瀆がひどいので、敬虔なキリスト教徒であった最初の奥さまは愛想を尽かして離縁されたというお話もごさいます。それから、これはご本人が本に書いているので多分本当なんでしょうが、ヨハネ・パウロ二世が、世界中から宇宙論の研究者を集めて会議を開いた際、ホーキングさんを選んで、「どんなものを研究してもいいですよ。ただし、神様をなくすの

はおやめなさい」と注意されたらしい。

ホーキングさんは「虚時間の宇宙論」を発表しています。宇宙が始まった時に、時間が実数ではなく虚数だったという仮説です。ようするに「シナリオ」なので基本的に何を書いてもいいんです。数学的な整合性さえあれば。とにかく、宇宙が始まった時に時間は実数ではなく虚数だったというんです。

普通の実数の時間だった場合、宇宙は点から始まります。これを特異点といいます。特異点というのは、得意不得意ではなくて、singularity。学校の数学の時間にゼロで割ってはいけませんというふうに、先生がもう口を酸っぱくして言いましたが、あれですね。ゼロで割ったような状態が特異点です。物理学的には、大きさがゼロだけれど、エネルギーとか質量はゼロじゃありません。ということは、無限大のエネルギー密度になってしまうんです。無限大のエネルギー密度というのは、困るんですよ。どうして困るかというと、物理学の方程式は、ある時刻からその次の時刻まで、それも本当に無限小の時刻ですけれども、どう変化していくかということ扱います。アインシュタイン方程式も例外ではありません。そこに、無限のエネルギー密度というのが入ってしまうと、もうその次の段階は計算できないんです。それを「発散」と言います。これはコンピューターでも計算できませんし、

紙の上でも計算ができません。つまりその方程式は使えなくなっちゃうんです。だからエネルギー密度というのは必ず有限じゃないといけないんですね。ところが宇宙の大きさがゼロになると、密度は無限大になっちゃうんです。これはまずい、非常に困るといふことで、どうして思いついたのか分かりませんが、ホーキングさんは時間を虚数にしてみました。そうしたら、あらびつくりといふことで、宇宙の最初の状態が丸いんです。これといふことかと言ふと、特異点がなくなつたといふことなんですね。特異点が丸くなって消えてしまつた。

でもそんなこと言つたつてやっぱり宇宙の始まりはあるじゃないかとおっしゃるかもしれませんが、これはこういふことです。いま、南極に行つたとします。南極点というのがあります。そこは何か特殊な場所ですかといふことなんです。南極大陸に行つて南極点といふ所に行つてみてください。それが一メートル離れた地点と比べて何か違いますかといふことなんです。違わないですよ。どうしてかといふと、地球の表面が、近似的にですが、球だからです。この球の表面上はどこでも同じなんです。だつたら宇宙の始まりが球みたいになつていふといふことは、「始まりなんかそもそももない」んです。よろしいですか。時間を虚数にした時点で予測はつくと思ふんですが、時間が実数であるからぜ

口から始まるわけで、時間が虚数になつちやつてるんで、もうどこが始まりなのといふところがなくなつちやつた。ちよつと変でしよう。これ困るんです、実は。

ヨハネ・パウロ二世が苦言を呈したのはなぜか。宇宙の始まりがなくなつちやうと、神様が宇宙を作つたといふ宗教的なシナリオが崩れてしまふんです。最初から、始まりのない、時間も実数でない、丸い宇宙があつたんです。特異点もありません。始まりもありません。僕自身、実はカトリック教徒なんですけれども、法王様の心配といふのも、それは職業柄もつともかなと思ふんです。その苦言を呈されたことを、ホーキングさんは本に書いてしまつた。いやはや。

物理学のSF化

最近の宇宙論はみんなこんなふうになっています。完全に数学の世界なんです。数学上はとにかくつじつまが合つていふ。でもそれを説明されても概念として理解するのは非常に難しい。これを私は、「物理学のSF化」といふふうに呼んでいふんです。宇宙論学者たちはSFを書いていふ。だから、「なぜ虚時間なの」などと問うても意味がないんです。それはそのSFの設定ですから（笑）。本当に宇宙に虚時間の時期があつたのかどうかとい

うことに関しては検証されていません。ホーキングさんの宇宙論は、別に実証されたわけでもなんでもないんです。ですが、そのホーキングさんがお書きになった本が全世界で、たしか、一億冊とか売れたんです。ちょっと信じられない数が売れちゃっているわけですね。ただほとんどの方は、虚時間とか「宇宙の始まりが尖っておらず丸かった」などと説明をされても多分ちんぷんかんぷん。ちんぷんかんぷんであっても、本は売れるという非常に面白い現象なんです。

そのホーキングさんですが、別の宇宙も提案しています。それは「赤ちゃん宇宙」というものです。これは何でしょうか。この図はブラックホールです。ブラックホールということは、それこそ太陽の一〇倍以上の重さで、最終的に超新星爆発を起こすんですが、その最後の残骸の重さが、太陽の三倍以上あると、時空の底が抜けます。で、ブラックホールの真ん中には特異点があると言われております。ただ、特異点が本当にあるのか、単なる数学的な虚構なのかは、分からないんです。もしかすると、特異点ではなく、トンネルで別の宇宙につながっているかもしれない。ちようど、しづくみたいになってちぎれています。これが赤ちゃん宇宙なんです。

この赤ちゃん宇宙は、アインシュタイン方程式に量子力学の考

えを加味すると、シナリオとして可能だということです。この仮説では、ブラックホールの中というのは別の宇宙につながっている。つまりブラックホールというのは単なるブラックホールでなくて、そこからちぎれ飛んだ時空が新たな宇宙になる。さらに、言い換えると、ブラックホールの中を通過していくと、そこには「別の宇宙のビッグバンがある」ということです。

これも非常に発想がぶっ飛んでいます。ただ、人類や生き物の進化を見ていくと、確かに子どもができて、孫ができてずっと続いていくわけじゃないですか。だから、この宇宙も生き物と同様、子どもを産んで進化していく、ということなんです。われわれの宇宙にたくさんブラックホールがありますが、それは子だくさんということですよ（笑）。宇宙にあるブラックホールは全部、産道かもしれない。でも、あくまでもホーキングさんの頭の中のSF的な設定ですから、もちろん検証はされておられません。

ブラックホールについて、一言、付け加えておきます。これは去年あたり僕は知って非常にショックを受けたんですが、ブラックホールというのは皆さん、実在すると思っていられちゃいますよね。最古のブラックホールを発見とか、色んな科学ニュースが飛び交っています。ところが、ブラックホールの「本場の専門家」と話をする機会があったんです。それは「サイエンスZEBER

いるんですけれども。nothingと書いてありますね。“creation of the Universe from nothing” 無からの宇宙創成。さきほど、宇宙の起源を考えていった時に、どこから始まるの？という問いに対する答えは、まず、ビッグバンでした。それからインフレーションでした。でも、常に何かを説明すると、さらにその先を説明しなくちゃいけない。その前はその前はと。ビレンキンの仮説は、そこにある意味終止符を打つんです。前はありませぬ、宇宙は無から始まったんですと。この仮説は量子トンネル効果というのを使うんですが、確かに何も無いように見える状態から宇宙が突然ポツコリ出てくる。これはかなり比喩的な説明になりますが、「何も無いところから何かが出るというのはおかしいよね」と思われた場合は、例えば、プラスとマイナスを考えてください。ゼロというのは確かに何も無いわけですが、 $+1$ と -1 があつてそれを足せばゼロですよね。ということは、ゼロを $+1$ と -1 に分けることは可能です。もしわれわれがその $+1$ の方だけを見ているとしたらどうでしょう。 -1 の世界はどこか別にあるとします。そうしたら別にゼロから $+1$ が突然生まれたように見えたとしても、数学的に整合性は失っていないんです。物質が消滅するような時も $+1$ が消し合つて消滅するみたいなことが起きています。われわれが抱いている時空のイメージは、何となく真

空というのは何も無いみたいな、そんなイメージがあります。ところが、現代物理学者の描像ではそうじゃなくて、時空というのはウジャウジャウジャウジャ粒子がいるんだと。素粒子がたくさんな生成と消滅をくりかえしている。

駆け足ですが、次に、行きましょう。ロジャー・ペンローズさん。二〇一四年一月に、このロジャー・ペンローズさんの本を僕は翻訳しました。題名は『宇宙の始まりと終わり』はなぜ同じなのか』。このロジャー・ペンローズさんという方はケンブリッジ大学を卒業後、オックスフォード大学の教授をされていて、先ほど出てきた、ホーキングさんの博士論文の審査をされた方です。

この方にも有名な逸話があります。このパターンをご存じですか。どこかでご覧になったことがありますか。これはペンローズタイルというんです。よくご覧いただくと二種類のひし形からなつています。それが平面を隙間がなくびつたりと全部覆い尽くすんです。平面充填と言います。でも、驚くべきことに、ここには周期的なパターンがないんです。正何角形というもので平面を充填するとそこには必ず周期が現れるんです。同じパターンが出てくるんです。ところが、このペンローズタイルには周期がありません。物理学とか化学ではこれの三次元版が準結晶という名で呼ばれています。結晶構造みたいな本当に規則的な周期的なパターンはな

いんだけれども、そこに秩序があるというのが非常に面白い。そして、何とこれが裁判になりました。

あるトイレットペーパーの会社がこのペンローズスタイルをトイレットペーパーの図柄に使ったんです。そこで裁判になりました。ペンローズさんはイギリスからナイトの位を授けられているんです。大英帝国騎士ということ。「大英帝国騎士が発見した貴い図柄で毎日大勢の方がお尻を拭くのはいかがなものか」ということで弁護士の方が熱弁をふるった結果、訴訟においてこの図柄はトイレットペーパーに使ってははいけません、ということになったそうです（笑）。

そのペンローズさんが今、宇宙論を提唱されていて、名前が非常に難しいんです。「共形循環宇宙論」という名前が付いています。英語では *conformal cyclic cosmology* といいます。本当にこの本を出して新潮社は平気なのかというぐらい、多分すごく売れない本だと思っんです。僕も翻訳者になっちゃって本当に困っているんですが、途中までは、熱力学のエントロピー増大の法則（いわゆる覆水盆に返らず）とか、ビッグバンの話とか、ものすごくペンローズさんが分かりやすく説明をしてくれます。本の後半がいきなり、バーンと数式だらけになってしまふ。これはもう完全にペンローズさんキレたんですね。編集者から「先生、数式

使うたびに読者が減りますよ」と言われて、カチンと来てもうえいやって、使いたい数式をバンバン使った（のかもしれない）。全部説明はついていますが、僕の親友の茂木健一郎がこのゲラを読んだ時に、「これは物理学科の大学院を出た人間にも読めない」と言った。そんなものすごい本です。これが一般書として一月に出版されてしまった。これはもう専門論文です。ペンローズさんが書いた論文を一冊の本に膨らませたものですが、英語圏でも一般書として売られています。

ペンローズさんはアインシュタイン方程式の新しい解を発見したんです。多少人工的な解ではありますがそれはどういふことかと言うと、ビッグバンの時というのは基本的にモノは存在しないんです。モノが存在するというのは冷えて固まってきて、宇宙が冷えて固まって、初めて構造物ができてきて、そこで原子みたいなものができるわけですから、ビッグバンの時というのはもちろん原子なんかありません。全部バラバラで溶けているんです。モノがないから質量もない。質量がないってどういうことかと言うと、重さがないとあらゆるものは光速で移動します。例えば、光がそうです。これは常に光速で動いている。これは重さがないんです。ビッグバンの時はそういう状態なんです。

それから、宇宙が膨張します。膨張していくとどうなるか。宇

宙はどんどんどんどん薄まっていきます。薄まっていくとやはり「何もなくなる」んです。要するに重さもなくなるんです。これはペンローズさんの数式が示すところですが、宇宙の始まりにしても終わりにしても、重さがない。そういう共通点があるんです。さらには長さというような概念も意味がないというんです。

なんと、意味を持つのは角度だけ。一種、スケールはもう関係なくなっちゃうんです。何かモノがあると、その大きさを測ることもができるんですけど、モノがないので、もう長さというのは意味がない。ただそれでも不思議なことに、角度というものは意味を失わないんですね。だから大きい物と小さい物とかいう概念はもはや通用しません。その角度だけが意味を持つという状態が、ビッグバンの時と、宇宙が薄まった宇宙の未来で、共通しているというんです。

要するにわれわれの宇宙の始まりは、前の宇宙の終わりだったと。そしてその終わりと始まりは区別がつかない。数学的に区別がつかない。数学的に区別がつかないからそれは同じである。つまり宇宙の始まりと終わりは同じであるという、そういう論理なんです。これも本当にSFと言っているのか、もう禅問答みたいになっているんですけども。これもちゃんとした宇宙論の論文として提出されている。

そうなってくると宇宙の起源はどこですかと言った時に、ここでは繰り返しになっちゃっているんです。始まりなんてありません。その始まりは前の宇宙の終わりなんですから。もちろん、これも仮説にすぎません。実際にこの宇宙で起きているかどうかというのは、また別の話です。

最後に「超ひも理論の宇宙」をご紹介します。超ひも理論（超弦理論）は、点状の素粒子を「線」状に拡張した理論です。点だと、物理学のさまざまな計算において無限大が出てきてしまいうんです。宇宙の始まりや、ブラックホールの中にあると考えられている特異点と同じような問題が、素粒子にも存在するんです。

単に点を線に拡張しただけかと思われるかもしれませんが、数学的には、いろいろと驚くようなことが起きます。

まず、宇宙は一二次元でないといけないんです。空間三次元に時間一次元をあわせて、アインシュタインは「宇宙は四次元だ」と看破しましたが、さらに七つも余分な空間的広がりが必要になってしまいます。点を線に拡張しただけなのに、関係ないようと思われる宇宙の次元に「制約」が出てくるのです。なんて不思議なことでしょう。

実は、さらに大変な事が起きていて、宇宙の解がたくさん出て

きちゃうんです。何万個という宇宙の可能性が出てきて、そこでは重力が強かったり、原子核をつなぎ止めている力が非常に強かったり、あるいは逆に弱かったり、この宇宙とは違う宇宙の解がたくさん出てきちゃったんです。当初、物理学者の多くは、「この超ひも理論は予言力がない。何故なら実際にこの宇宙を予言してくれないから」と、超ひも理論にダメ出しをしました。

ところがそのうち、若手の物理学者が出てきて、発想を転換してみようと提言したのです。超ひも理論から出てくる解は、実は「全てどこかあるんじゃないか」と。われわれの宇宙はそのうちの一つに過ぎない。でもその他の数方の可能性の宇宙は実在するんじゃないの。これはSFに出てくる平行宇宙（パラレル宇宙）そのものです。ですから最近では、universeという言い方ではなくmultiverseと言っています。unというのは唯一という意味です。そうじゃなくてmulti、たくさんある。これは、人類の叡知が到達した、究極理論なのでしょう。それとも、壮大な数学的な妄想体系にすぎないのか。

ただ一つだけ言わせていただくと、物理学の発展を見ていると、絶対的なものから相対的なものへと発想が変わってきているんです。これはどういうことでしょうか。たとえば、いま私のはめている腕時計の時間の刻みは絶対的に正しいのかと問うた

時に、アインシュタインが出てきて「違います」と言い放った。「宇宙にはたくさんさんの時間があるんです。竹内薫に対して光速の半分のスPEEDで遠ざかっているロケットの中の時計は、もう進み方が違うんです。それはどっちが正しいという問題ではなくて相対的なものなんです。宇宙には、たくさんさんの相対的な時間があるんですよ」ということを言いました。

その発想をずっと進めていくと、この宇宙だけが絶対に正しい宇宙なのかというふうに考えたときに、そうではない、という結論に至るんです。他にもたくさん宇宙があつて、全部相対的かもしれない。われわれはそのうちの一つの宇宙にすぎない。この宇宙だけが絶対的な意味を持つている基準にはならない。

「相対性」の発想は、天動説まで実はさかのぼります。地球は絶対的に正しいから地球が止まっただけで動いているんですという発想から、そうじゃない、地球も動いちゃっています。太陽の周りを回っています。その太陽も銀河の中で動いています。銀河もまた他の銀河がたくさんあつて、その関係性があります。……みたいになつてきた。つまりわれわれの立場というものは全然特別じゃない。もつといるんな立場があつて、すべて相対的なんですよ、という方向に物理学が進展するんです。だから、相対性という観点からすると、universeではなくmultiverseの考え

方のほうが自然なんです。ようやくわれわれは、この宇宙は唯一の正しい宇宙なんだという偏見から脱して、たくさん宇宙のうちの一つに過ぎないね、というところに行きつつある。それが最新の宇宙論の到達点のお話です。これは、はたして壮大なSFにすぎないのか、それとも、人類の認知の新段階なのか。

ふたたびアインシュタインの「生涯で最大の過ち」について

時間超過しますが、あと五分だけいただいて、最後のまとめに入りたいと思います。二〇一一年のノーベル物理学賞は、パールマッター、シュミット、リースの三名に与えられました。一九九八年〜一九九九年にかけて出た論文なんですが、この方たちは遠くの超新星爆発を観察していて、何かおかしいゾと気付いたんです。理論計算と比べて、ちょっと超新星が遠くに行っちゃっているよ、暗いと言っています。もつと明るく見えるはずなのに、何でこんな暗く見えるんだろう。実は、超新星は、ものすごい勢いで遠ざかっていたんです。だから遠くに行っちゃっているんです。宇宙はこれまでどおりのビッグバンによる膨張速度では足りない。ものすごい勢いで加速膨張していたということが分かったんです。

その後の観測で、いろんなことが分かってきて、何と宇宙の全

エネルギーのうち、七二〜七三%は暗黒エネルギーということになった。暗黒というのは「見えない」ということです。ダークとも言います。これは、「宇宙を加速膨張させるエネルギー」なんです。この宇宙を加速させているエネルギーが、どうも、アインシュタインが放棄した宇宙項 Λ に酷似している。アインシュタインが宇宙を膨らませようと思って導入して、一時は生涯最大の失敗といっただけで取り下げた宇宙項が、実はあるんじゃないか、ということが観測的にわかってきました。アインシュタインの、一度捨て去られたアイデアが、復活せざるを得ないような、大変な状況になっているんです。天才のアイデアというのは、単なる失敗に終わらないんですね。いやはや。

ということで、時間になりましたので、今日はこのへんで終わりにさせていただきます。ご静聴、どうもありがとうございます！