本田財団レポート　No. 151
第 127 回 本田財団懇談会（2013 年 8 月 29 日）

「宇宙のしわと種」

東京大学 国際高等研究所
カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）機構長

村　山　　斉

公益財団法人 本田財団

講師略歴



村　山　　斉　（むらやま　ひとし）

東京大学 国際高等研究所
カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）機構長

《略　　歴》

１９８６年	東京大学理学部物理学科卒業
１９９１年	東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了、理学博士
１９９１年	東北大学大学院理学研究科助手
１９９３年	米国ローレンス・バークレー国立研究所研究員
１９９５年	米国カリフォルニア大学バークレー校助教授
１９９８年	米国カリフォルニア大学バークレー校准教授
２０００年	米国カリフォルニア大学バークレー校教授
２００４年	米国カリフォルニア大学バークレー校 MacAdams 冠教授（現職）
２００７年	東京大学数物連携宇宙研究機構（現：カブリ数物連携宇宙研究機構）機構長

《主な受賞・栄誉》

２００２年	西宮湯川記念賞

米国物理学会フェロー

米国アカデミー会員

《主な著書・編著、他関連刊行物》

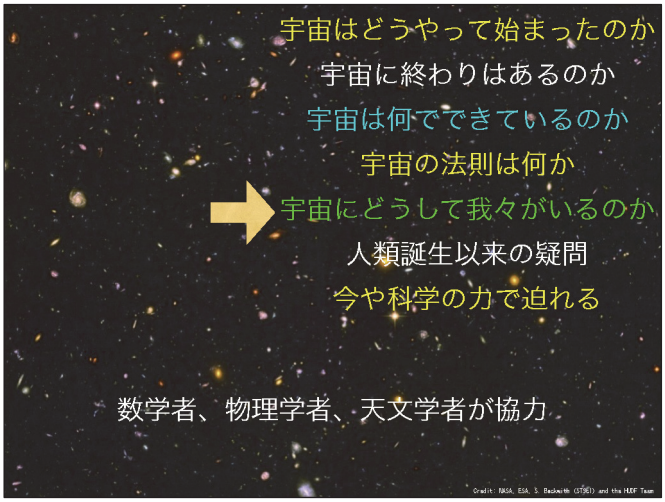
２０１０年	『宇宙に終わりはあるのか?―素粒子が解き明かす宇宙の歴史』ナノオプトニクス・エナジー出版局
２０１０年	『宇宙は何でできているのか』幻冬舎
２０１１年	『宇宙は本当にひとつなのか―最新宇宙論入門』講談社
２０１２年	『宇宙はなぜこんなにうまくできているのか』集英社インターナショナル
２０１３年	『宇宙になぜ我々が存在するのか 』講談社
２０１３年	『村山さん、宇宙はどこまでわかったんですか？』朝日新聞出版

ほか多数



ご紹介いただきました村山です。今日は「宇宙のしわと種」というタイトルでお話しようと思います。実は全く同じタイトルで、うちの機構の一般講演で話をしたことがあるのですが、事務方に非常に評判が悪かった。というのは、ほとんど女性なので、「しわとは何だ」と言われまして、すごく評判が悪かったのです（笑）。しかし確かに、宇宙の最初にはちょっとだけしわがあった。そのしわがないと我々のような人間は生まれなかったということがわかってきていますので、宇宙のしわというのは、実は本当に私たちの基になった大事なものなのです。

■宇宙の謎とカブリ数物連携宇宙研究機構



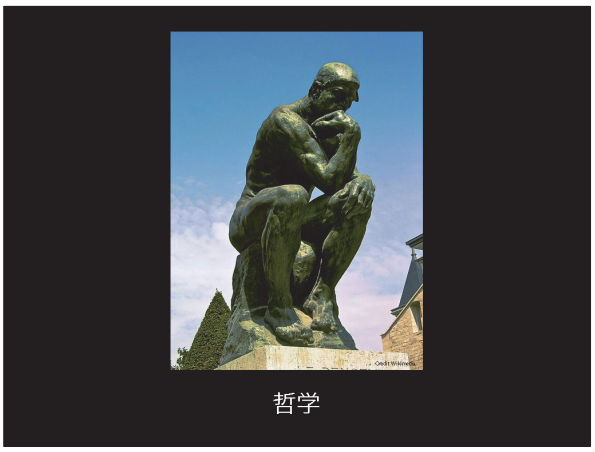
図－1

〈図－1〉　宇宙の話をしますと、私たちが本当に知りたいことは、こういうすごく素朴な質問です。子供のときに空を見上げて思った方は多いと思いますが、この大きな宇宙はどうやって始まったのだろうか。終わりはあるのだろうか。何でできているのだろうか。どういう仕組みで動いていて、この宇宙にどうして我々みたいなものが生まれたのだろうか。我々はどこから来たのか。それは人類がずっと長いこと考えてきた疑問だと思います。

こういう疑問に、今は科学の力でだんだん迫れるようになってきたというのは本当にすごいことで、それをさらに進めたいという想いから、数学者と物理学者と天文学者が協力してこれらの疑問について考えていきたいのだと、そういう研究所をつくったわけです。

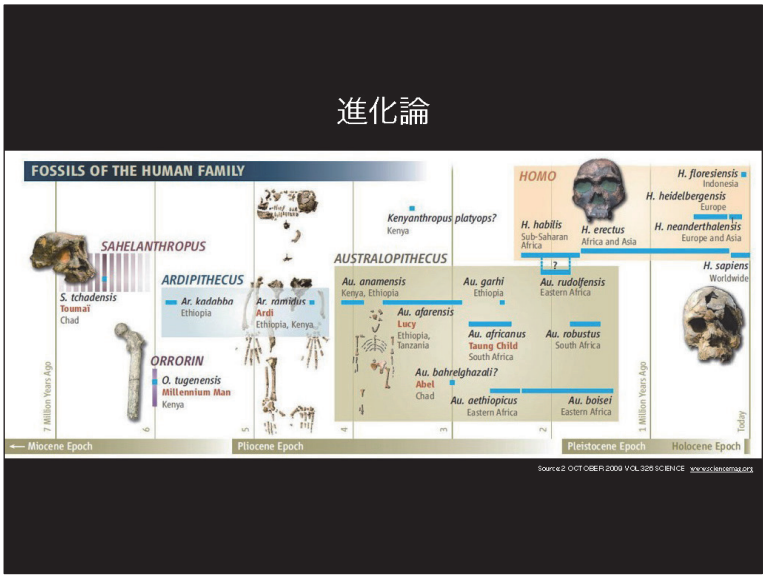


図－2



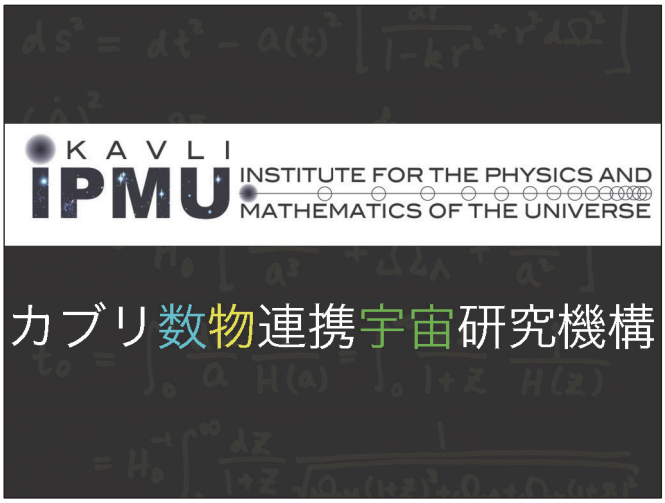
図－3

〈図－2、3〉　そして今日も、どうして我々は宇宙に存在するのか。我々はどこから来たのだろうか。こういうことを考えるというのが、大きなテーマになってきます。もちろんそういった問題は長いこと、たとえば宗教で考えられてきましたし、哲学でも考えられてきました。



図－4

〈図－4〉　最近では進化論というのが生まれて、人間はどこから来たのかと考えられるようになってきました。人間の進化はこのままいい方に行くのか、それとも悪い方に行くのかという問題もあるかもしれませんが、ともかくこうやって人間は生まれてきました。



図－5

〈図－5〉　どこから来たのだろうか。そもそも宇宙はどこから始まったのだろうかということが気になる。それを研究するのが、我々のカブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）。数学者、物理学者、天文学者が連携して、宇宙を研究する機構です。



図－6



図－7

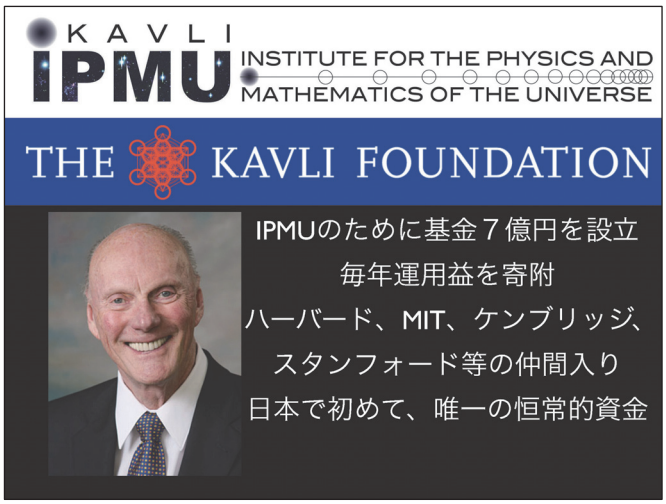
〈図－6、7〉　この機構が始まったのが 2007 年のことですが、始まったときには文字どおり誰もいませんで、ゼロから出発しました。それから人を集め始めたわけですが、こういう問題は人類共通の問題ですから、世界中の人が一緒になってやっていくんだということで 1 年後にまずここまで成長して（図－6）、ご覧のとおり、いろいろな国の人がいます。

そして 2 年後、3 年後、4 年後、2011 年になってやっとそれなりの大きさになってきて、これが去年撮った写真です（図－7）。半分以上のメンバーが外国から来た人たちで、Kavli IPMU は東京大学の一部ではあるのですが、こういった研究所は今までの日本にはおそらくなかったと思います。

このように国際色が高いことと、いろいろな分野の人が一緒に研究しているというところはかなり珍しいようで、時々メディアでも取り上げられます。その様子を少し流してみます。これはテレビ朝日の番組に取り上げてもらった映像です。

（テレビ映像上映）

このへんで恥ずかしくなるのでやめますが、こういう感じで Kavli IPMU は日本の中でも非常にユニークな研究所になったと思っていますし、世界でもこの分野をまとめた研究所は他にないので、いてもわくわくする楽しいところになりました。



図－8

〈図－8〉　名前に「カブリ」とついているのは、実はこの人の名前です。Fred Kavli さんというノルウェー人で、アメリカで事業に成功して、自分の成功したお金から基礎科学に貢献したいということで、３つの分野をサポートしてくれています。

１つはともかく一番大きいものということで宇宙の研究。次は一番小さいものというのでナノサイエンスの研究。それから一番複雑なものというので人間の脳の研究。その３つの分野をサポートしますということで、世界のいろいろなカブリ研究所を支援しています。

我々の機構にも７億円を寄附してくれて基金ができました。その他の研究所には、世界でも名立たる大学、ハーバード、MIT、ケンブリッジ、スタンフォード、中国の精華大学などにも寄附をされていて、日本での寄附は初めてです。我々にとっては、実はこれがいま唯一の恒久的資金なので非常にありがたいのです。７億円いただいてありがたいのですが、いま東大にすごく言われているのは、これを何とか 20 億円にしろと（笑）。

なぜそう言われているかと言いますと、文科省の支援で始まった研究所なのですが、実はこの支援はあと４年で終わりだと言われているので、「おまえ、何とかしろ。走り回ってお金を集めろ」と言われています。そのために寄附を集めたりしているのですが、今日は本田財団ですので、たとえば私に寄附講座をつくって HONDA プロフェッサーにしていただければ、少し役に立つかもしれません。ぜひ一度ご考慮ください（笑）。

■広大で扁平な宇宙の姿

　というわけで、本論の「宇宙のしわと種」に入ります。宇宙の話なのですが、宇宙というと普通、すごく遠いところだというイメージを持ってしまいます。では、いったいどのくらい大きな、どのくらい離れたところなのだろうかというところから始めてみたいと思います。

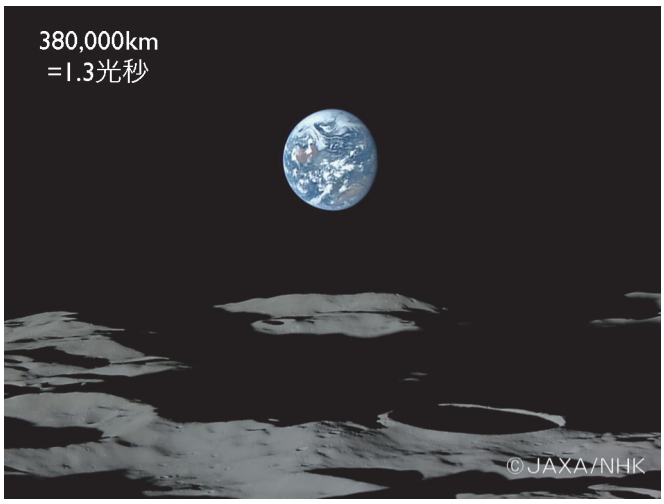


図－9

〈図－9〉　最近は、宇宙についての話をニュースでもよく見ます。たとえばこれは国際スペースステーションの船外で、宇宙服を着た宇宙飛行士が活動している様子です。こういうニュースをよく見るようになりました。その下には青い地球が広がっていて、すごく壮大な眺めで「いいなぁ。行ってみたいなぁ」とよく思うのですが、国際宇宙ステーションまで行くのはやはり大変です。最近は日本の「こうのとり」という輸送船が、ずいぶん活躍するようになりました。

　すごく遠いところのように思いますが、実はどこにあるかというと、上空 375km にあります。エベレストですら約 8km ですから、それよりは確かにずっと上にあるということになりますが、横にしてみると東京から名古屋まで行きません。ほんのちょっとの距離なのです。

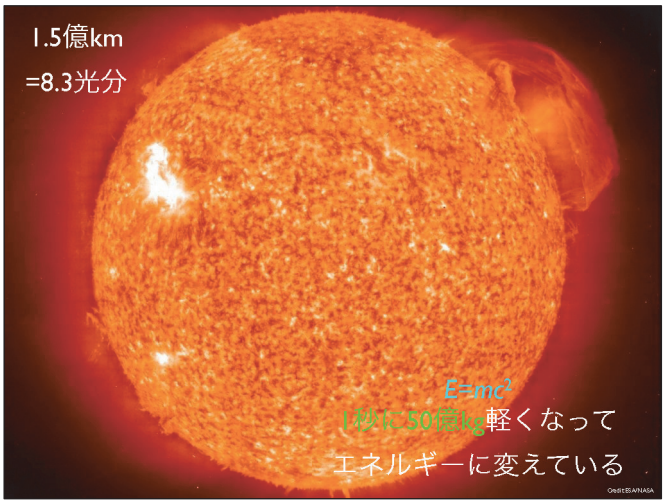
　たとえば地球全体を果物の桃にたとえてみると、地球全体の直径が 1 万 2000km ありますから、それに対して 375km というのは、桃の皮 1 枚にしかなりません。そこまで行くのがこんなに大変なのですが、それでも地球からほんのちょっとしか行っていないということになります。



図－10

〈図－10〉　我々に一番近い天体は当然、月です。日本が「かぐや」という探査機を月の向こうに送りました。探査機は向こう側に行くと地球が見えなくなるわけですが、だんだん戻ってくるときに少しずつ地球が顔を出してきます。これは日の出ではなくて、地球の出が見えるというなかなか感動的な映像です。（動画上映）こう見ると地球はやはり青くて、美しくて、この環境を大事にしなければいけないなと思うわけです。

実は月の上には昔、アポロの宇宙飛行士が行ったときに鏡を置いてきています。このアポロの宇宙飛行士が置いた鏡に向かって今でも地球からレーザー光線を打って、その光が跳ね返ってくるのを見ることができます。光の速さをもってしても、月まで行くには 1 秒以上かかります。距離でいうと 38 万 km もあります。1.3 秒で月に行ったレーザー光線がまた跳ね返って 1.3 秒、つまりトータル 2.6 秒で返ってくるというのをちゃんと測ることで、月までの距離は非常に正確に測れています。



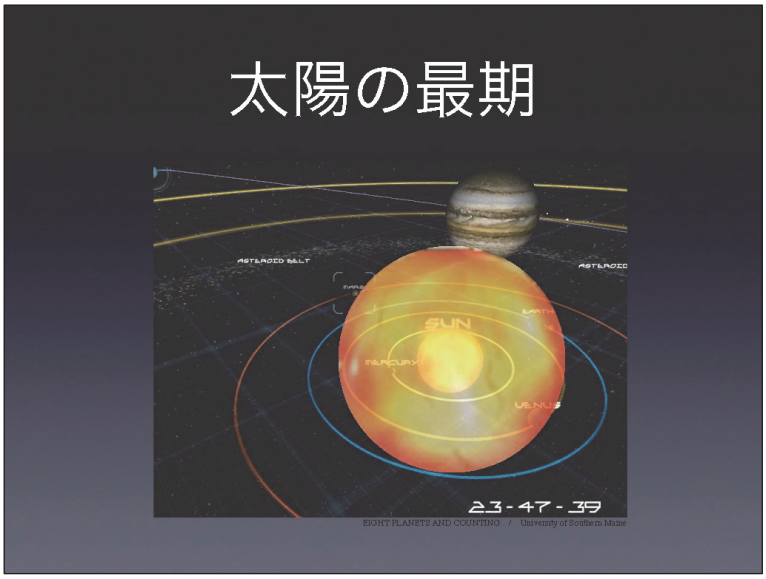
図－11

〈図－11〉　私たちにとって一番大事な天体というと当然、太陽です。太陽まで行くとかなり遠い。光の速さでも、何と 8 分以上かかります。仮に太陽が何かの理由でいまパッとなくなったと

しても、我々は 8 分間気がつかない。それぐらい遠いところにあるわけです。

この太陽が盛んにエネルギーを出して、光を出して、我々に恵みを与えてくれているのですが、それがどこから来るのかというのは、実は長いこと謎でした。最終的にわかったのはアインシュタインのおかげで、アインシュタインの有名な $E=mc^2$ という式があります。この式で E というのはエネルギーですから、これは太陽が出しているエネルギー。m は重さのことです。c は大きな数。ですから、重さとエネルギーは同じというわけです。

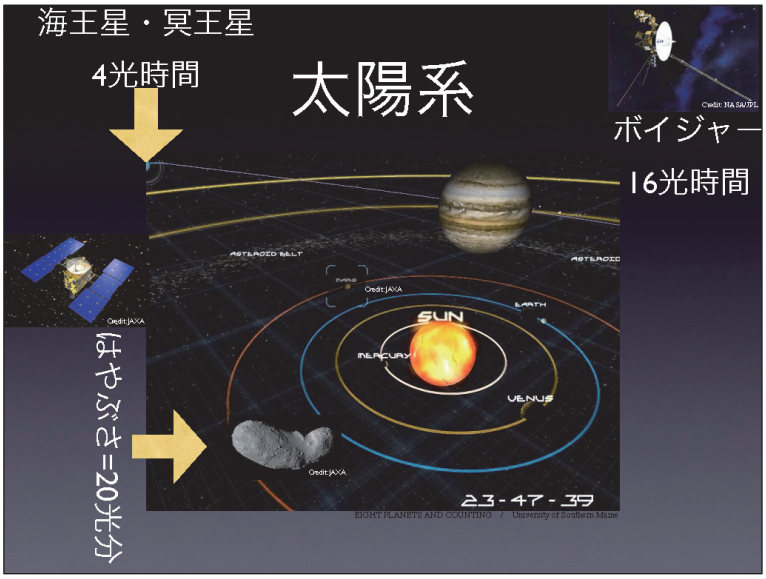
つまり何がわかったかというと、太陽は自分の骨身を削ってエネルギーを作っているということです。太陽は毎秒 50 億 kg 軽くなっているのです。それだけの重さをエネルギーに替えているので莫大なエネルギーが出て、光で 8 分もかかる遠いところの我々にも、これだけの光と温かみを与えてくれているということになります。



図－12

〈図－12〉　しかし当然、エネルギーを作り出している。骨身を削っているということは、どこかでもう骨身を削れなくなる瞬間が来る。太陽もエネルギー危機を迎えます。するとどうなるかというと、太陽は自分のエネルギーを使えなくなるので、自分の重さを支えることができなくなって、中心がグシャッとつぶれる。その反動で周りがバーンと跳ね返って大きくなります。すごく大きくなって、何と地球を飲み込むぐらい大きくなります。

これが今から約 45 億年後に起きると思われている太陽の最期です。ですから、これから 45 億年の間に我々はがんばって科学技術を進めて、脱出計画を考えなければいけないということになります。



図－13

〈図－13〉　では、太陽系自身はどのくらい大きいのか。太陽まで光で 8 分という話をしましたが、これも日本が非常にがんばった、例の「はやぶさ」ですね（左）。イトカワという小惑星があって、そこに「はやぶさ」が行って砂を採って帰ってきました。「はやぶさ」が着陸したときのイトカワは、地球から光の速さでも 20 分かかります。

ですから、「はやぶさ」が着陸しようというときにこの向きでいいのか、この場所で大丈夫か、速すぎないか、遅すぎないか。そういうことを判断しようと思っても、地球から指令を送っていったのでは指令が届くのに 20 分。返事が返ってきて 40 分。「では、こうしろ」と新しい指令を送ったらもう 1 時間かかってしまうので、とうにぶつかって壊れてしまいます。そのため「はやぶさ」は、自分でこの速さでいいのか、この場所でいいのか、ここで大丈夫かということを判断して着陸して、また飛び立って帰ってきたのです。それだけの知能を持ったロボットだということになります。

太陽系の一番遠くの惑星、海王星・冥王星というところまで行けば、光の速さでも 4 時間かかる。これが一番遠くの惑星だということになります（左上）。

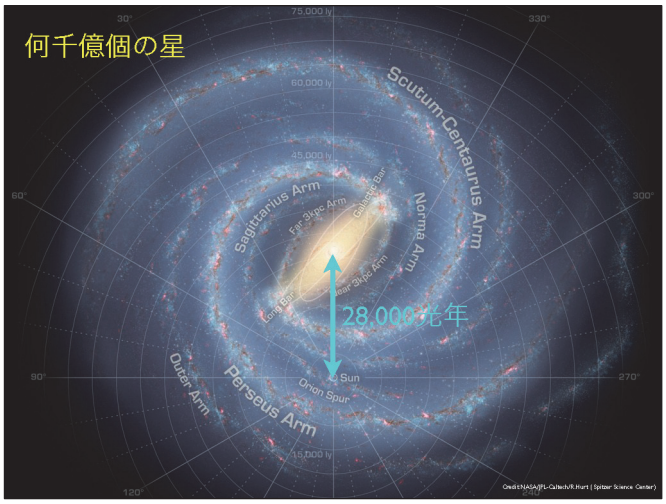
人間が作ったもので一番遠くまで行ったのは、NASA が上げた探査機、ボイジャーです。これが木星や土星の脇を通り過ぎて、すばらしい写真を撮ってくれました。今でもボイジャーは飛び続けていて、地球との通信もまだできています。NASA のウェブサイトに行くと、刻々とボイジャーまでの距離が増えていくのを今でも見ることができて、つい最近、太陽系の端まで行ったと考えられています。ここまで行くには、光の速さでも 16 時間かかります。

ちなみにボイジャーには、人間の描いた絵が金属板に刻まれていたり、文字が刻まれていたり、音楽が CD に入っていたりして、いつか宇宙人に拾ってほしい。そして、「拾ったよ」というメッセージが来ないかなと思って待っているということですが、では、宇宙人はどこにいるのだろうか。



図－14

〈図－14〉　もちろんわかりませんが、少なくとも星があるところにいるはずですから、一番近い星を探してみると、これです。プロキシマ・ケンタウリという星で、ここまで光の速さで４年間かかります。ボイジャーが今の勢いで飛んでいっても、まだ残念ながら何万年もかかるということなので、なかなか見つけたよというメッセージは来ないかもしれません。一番近い星が光の速さで４年間かかる。こういう１個１個の星が宇宙には無数にあるわけで、天の川はそういうたくさんの星が川のように流れて見えているのです。星が川のように見えている理由は、私たちの銀河系が扁平な格好をしているからです。

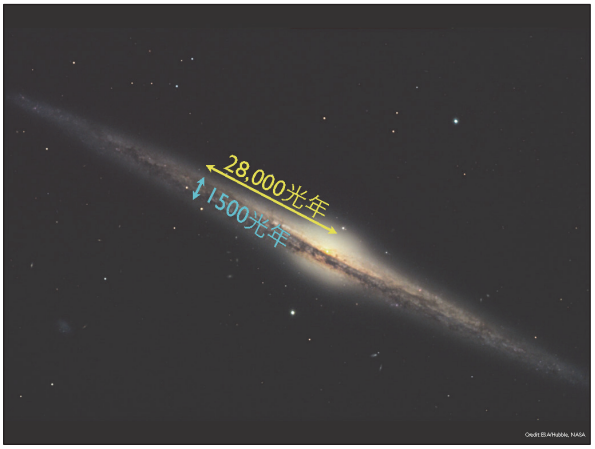


図－15

〈図－15〉　もし私たちの銀河系を出て外から見たらどんな格好をしているかというと、このように真ん中にバーという細長いラグビーボールのようなものがあって、その周りに渦のような腕がついている。

こういう格好をしているはずですが、天の川銀河の中に約 1000 億～2000 億個の星があると言われています。この中で我々太陽系は、実は郊外です。中心から 2 万 8000 光年離れています。

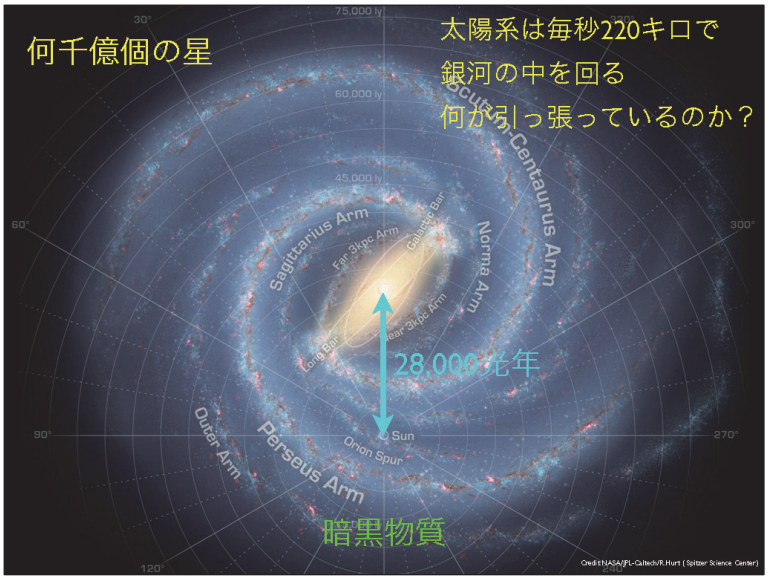
昔の人は地球が宇宙の中心なのか、太陽が宇宙の中心なのかということを命をかけて議論していたわけですが、実はどっちも嘘で、我々は宇宙の中心どころかすごく離れた郊外にいるということになります。



図－16

〈図－16〉　この郊外から銀河の中心を見ると、銀河はこのように薄っぺらいので川のように見えているわけですが、どのくらい薄いかというと、1500 光年しか厚みがありません。「しか」と言っても光の速さで 1500 年かかるのですが、距離に比べるとずいぶん薄っぺらいわけです。そしてここに住んでいるのが、我々だということになります。

■太陽系を引っ張る未知の物質



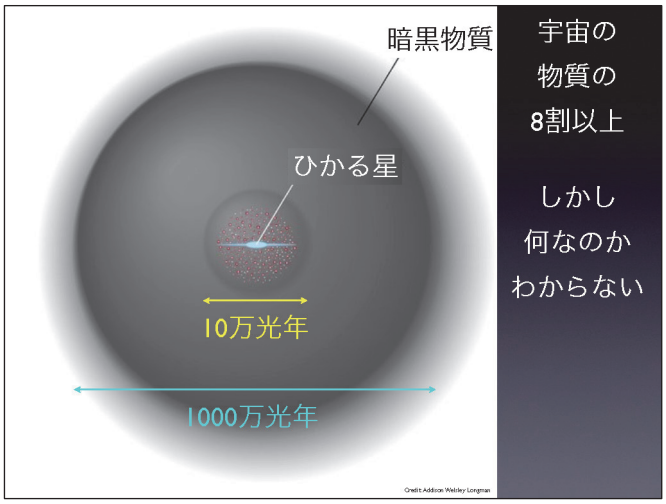
図－17

〈図－17〉　ここらへんからだんだん本論に入ってくるのですが、実はなぜ我々が、太陽系がこの銀河の中にちゃんと収まっていられるのか不思議なのです。私たち太陽系は、この銀河の中で端っこにあ

りますから公転しています。この公転はものすごい速さです。私たちの太陽系は毎秒 220km ですっ飛んでいるんです。こんなに速く運動していたらそのままスーッと出ていくのが普通ですが、なぜかちゃんと収まっています。つまり、ものすごい力で銀河系が引っ張ってくれていなければいけません。

当然、銀河系の中に星がありますから、ちょうど太陽を地球が引っ張るように、星が重力で引っ張ってくれているのではないかと期待するわけですが、よくよく調べてみると全然足りないのです。もし銀河が星だけでできているとすると、私たち太陽系を引っ張りとめるだけの重力がありませんので、太陽系は何十億年も昔に銀河系から出ていったはずです。しかしちゃんと収まっているわけです。

ですから、普通の星ではない何物かが重力を出して、我々を引っ張ってくれている。そうでないと、銀河系の中に収まっていることができないことがわかります。何が引っ張ってくれているかわからないのですが、ともかく目に見えないものがあって、それが重力をつくってくれているんだということで、とりあえず「暗黒物質」と呼んでいます。目に見えないので暗黒。しかし重力をつくるので物質だというわけで、とりあえずつけた名前です。



図－18

〈図－18〉　これは私たちの銀河系の特殊な事情ではなくて、宇宙のどの銀河を見ても、星が運動する速さを計ってみるとものすごく速い。言ってみれば、砲丸投げの選手がブワーッと回しているようなものですが、ちょっと油断して手を緩めたらバーンと飛んでいくわけです。

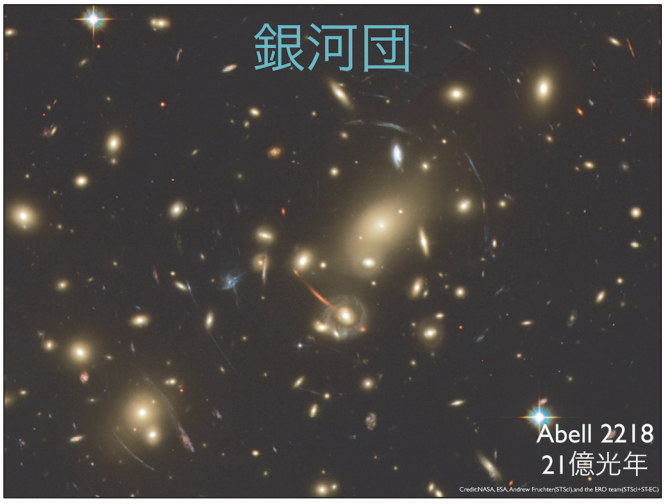
なのに、それをちゃんと引っ張っている何物かがある。暗黒物質がある。どの銀河を見ても暗黒物質が保っている。ですから私たちの銀河の本当の姿は、きれいな星でできた円盤はごくごく一部で、実は暗黒物質の海なのだと。その中に、言ってみればちょろちょろっと星があるのが、私たちの銀河の本当の姿ということになります。

銀河の星が数十万光年広がっているわけですが、暗黒物質はさらにその向こう、ずっと裾野があって何千万光年もずっと続いていくんだということが、観測からはっきりしてきました。

これにより、昔は学校で万物は原子でできていると教わったのですが、実はあれは大嘘で、宇宙のほとんどの物質は我々の全く知らない原子でも何でもない新しい未知の物質だ。その物質が宇宙の８割以上だということが、はっきりしてきました。まだそれが何だかわからないのですが、これ

がないと銀河はまとまっていられません。

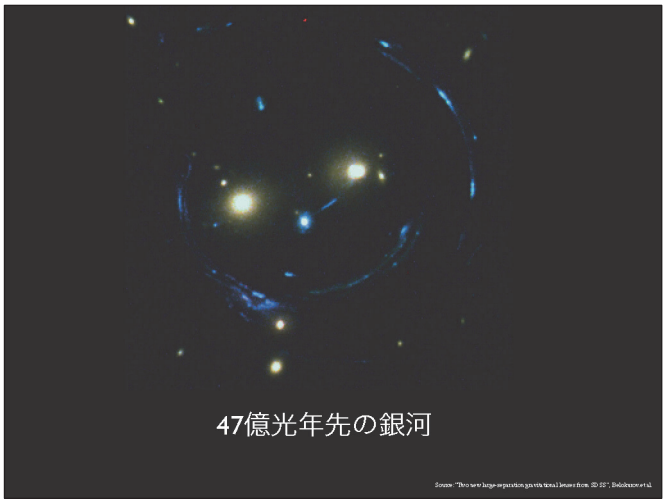
だからこれがわかったとき、研究者はみんな非常に困ってしまったわけです。これはいったい何だろうかと。



図－19

〈図－19〉　調べていくと、どこに行っても暗黒物質がいろいろなものをまとめる役割をしてくれている。たとえばこれは、21 億光年先にある銀河の村です。ここにある 1 個 1 個の美しい黄色いものが銀河で、みんなきれいな丸い格好をしているわけですが、それが 100 個ぐらい集まって村をつくっている。それを「銀河団」と呼んでいます。

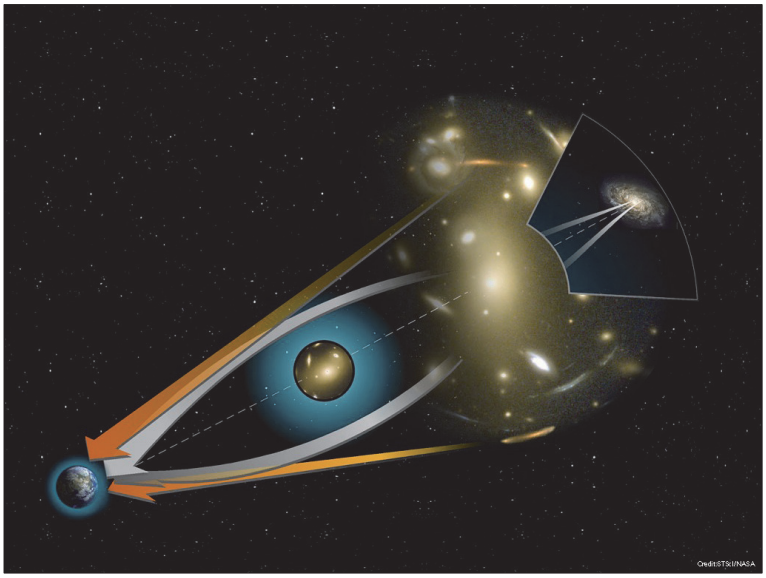
こういう銀河団がまだ宇宙にはたくさんあるわけですが、しばらくこの写真を見てみると、変なことに気がつかれると思います。中央周辺にビヨーンと長く伸びたものがあります。他にも、この画像のあちこちにあります。こんなビヨーンと長く伸びた変な天体があるわけはないので、これはいったい何だろうか。実はこういうものは、いろいろなところで見つかります。



図－20

〈図－20〉　たとえばこれも面白い写真です。顔のように見えませんか。目が二つあって、周りに

顔の輪郭があって、口があって鼻がある。これも目に当たる丸いものは普通の銀河で、ちゃんと丸い格好をしている。しかしここでも、ビヨーンと伸びた変なものが見えるわけです。これは本当に面白い格好をしているので、名前がついています。この写真はチェシャ猫と呼ばれていて、『不思議の国のアリス』に出てくるあの不思議な猫です。



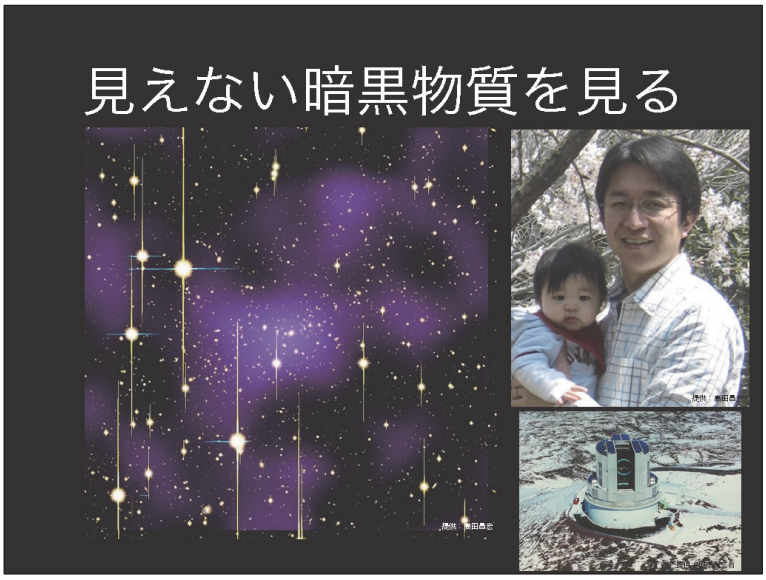
図－21

〈図－21〉　しばらく調べていくとわかったのですが、このビヨーンと伸びているもの、こんなものが本当にあるわけではなくて、そういうふうに見える理由があるのです。

先ほどの銀河が集まった銀河団を考えてみると、これもほとんど暗黒物質でできている塊（中央球体）の中に、銀河がぽんぽんぽんと置いてある。ここではすごく重力が強くなっているわけです。

我々は地球から観測していますが、たまたまちょうどその後ろ側に銀河があると、この銀河から来る光は、地球に来るまでに重力で引っ張られて落ちるのです。これも学校で「真空中では光は直進する」と習った覚えがあります。水では屈折するかもしれないけれども、真空では直進する。あれも嘘です。重力があると光も落ちるんです。

これもアインシュタインの $E=mc^2$ で、重さ（m）は重力で落ちるわけですから、エネルギー（E）も重力で落ちる。光はエネルギーの塊ですから、落ちるのです。つまり、後ろにある銀河から来る光は、言ってみれば、暗黒物質の塊が凸レンズのように光を曲げることで地球まで届く。しかし、自然がつくったレンズですからあまりきれいにできていなくて、後ろにあるものの像がぐにゃぐにゃに見えてしまっている。それが先ほどの絵（図－19、20）だということになります。



図－22

〈図－22〉　その効果を使っていくと、たとえば宇宙の写真を何気なく撮ります。ここで大きく見えている十字のようなものは、近くの星なのでいま忘れてください。もっと向こうに点々とあるのは、1 個 1 個全部銀河です。それぞれまた 1000 億個ぐらいの星が中に入っている。こういう銀河がたくさんあるわけですが、今の望遠鏡では何十億光年も向こうにある銀河の形がちゃんと見えるのです。よく見ると何かゆがんでいる。それぞれ何かがゆがんでいるのです。

つまりゆがみ具合をちゃんと調べていくと、遠くの銀河から私たちに来る光がどれだけ曲げられたかわかります。そうするとどれだけ重力があったかわかるので、そこにどれだけ物があるかわかる。ということで、暗黒物質は直接見えないのですが、どこにどれだけあるかわかるのです。そういった方法で暗黒物質の地図が作れるようになりました。

その研究をうちでしているのが高田昌広教授でして、一緒に写っているのが彼のアシスタントです（笑）。このときに活躍しているのが、日本の作った「すばる望遠鏡」というハワイのマウナケアの山中にある望遠鏡です（右下）。



図－23

〈図－23〉　こうやって遠くの銀河の形をよく見ると、暗黒物質がどこにどれだけあるかわかるようになりました。たぶんそれの一番ドラマチックな絵がこれです（左側写真）。これもなかなかきれいな写真で、こんなところに行ってみたいなと思うわけですが、まず行くのが大変で、地球から 40 億光年先にあります。しかし、行かなくていいんです。これは実は、非常に醜いことが起きた場所です。

まず左側写真の中の二つの塊（右側）が一つの銀河団になっていて、暗黒物質があるのが青い部分です。赤く塗っているのは、普通のガスが熱くなって X 線で光っているところです。それより大きいこの二つ（左側）がまた一つの銀河団で、暗黒物質とガスがあります。しかし不思議なことに、暗黒物質とガスのある場所がずれています。もう片方の銀河団も、暗黒物質とガスのある場所がずれています。これは変ですよね。

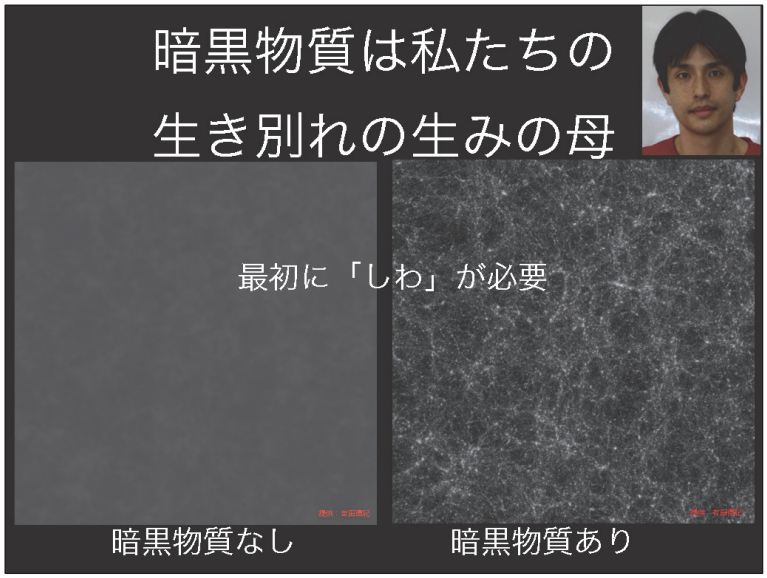
暗黒物質の重力のおかげでものがまとまっているという話をしたわけですから、一緒にいなければいけないのにずれている。何が起きたのだろうか。

これもまたしばらく調べていってやっと、これは実はこの二つの銀河団が、何と秒速 4500km というとんでもないスピードで衝突した結果だということがわかりました。なぜわかるかというと、コンピューターでシミュレーションしたら、ちゃんと再現できるからです（右側写真）。

まず１個１個の銀河団も、基本的に暗黒物質がある中に、ちょろちょろっとガスがあるものです。これが衝突すると、普通のガス同士は反応しますから、ガシャガシャやっているうちに熱くなって摩擦ができて遅れをとります。しかし暗黒物質は、何もなかったかのようにそのままスーッと行ってしまうという、おばけのようなものなのです。それでこの終わりの図を見てみると、左側の写真と非常によく合っています。

というわけで、暗黒物質でほとんど銀河団はできているのだということが、まずはっきりします。でも、この暗黒物質は自分自身とも反応しないし、普通のガスともほとんど反応しない。本当におばけのような気味悪いものだということがこれでわかってきたわけで、とにかくここではっきりしたのは、暗黒物質は気味が悪いというわけです。

■我々を生みだした宇宙のしわと暗黒物質



図－24

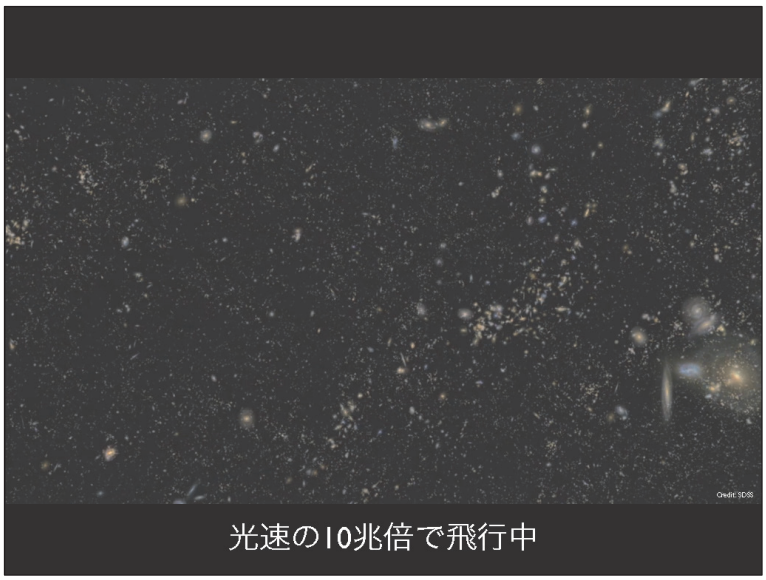
〈図－24〉　しかし先ほどから言っているように、暗黒物質は非常に大事な物質です。暗黒物質は、私たちの生き別れの生みの親です。何を言っているかといいますと、宇宙の初めはほとんどのっぺらぼうでした。少ししわがあったのですが、しわがあるということは、濃いところと薄いところがあります。濃いところに暗黒物質が多いので、その強い重力で周りの暗黒物質をさらに集めて、どんどん集まって濃くなります。こうやってコントラストがはっきりしてくるわけです（右図）。すごく濃くなったところに、いずれやっと普通の原子を引きずり込んで、それがガシャガシャやっているうちに星ができて銀河ができる。

ところが、写真の吉田直紀教授がコンピューターでいろいろな計算をしているのですが、コンピューターの中では、暗黒物質がないという嘘の宇宙も調べることができます。調べてみると、のっぺらぼうのままです（左図）。138 億年たってものっぺらぼうのままなので、星もできず、銀河もできず、我々も生まれない。

ですから、暗黒物質がなかったら、我々はここにいないので生みの親だと。でもまだ正体がわからないので、生き別れというわけです。まだ会ったことがない。ぜひ会って、「ありがとう」と言いたいのですが、まだ会ったことがない。それで生き別れの生みの親という言い方をしています。

しかも暗黒物質だけではだめなのです。暗黒物質があるだけではなくて、そこにちょっとしわがあるおかげで、こうやって濃いところがどんどん濃くなって、銀河ができて、星ができる。ですので、暗黒物質が宇宙の種です。しかしその種が星をつくってくれるためには、宇宙にしわがないといけない。これが今日のお話です。

宇宙のしわと種。宇宙の種は暗黒物質。これが正体はまだわからないし、そもそもなぜ宇宙にしわがあったのか、これもわからない。これを知りたいというのが、今日のお話のテーマです。

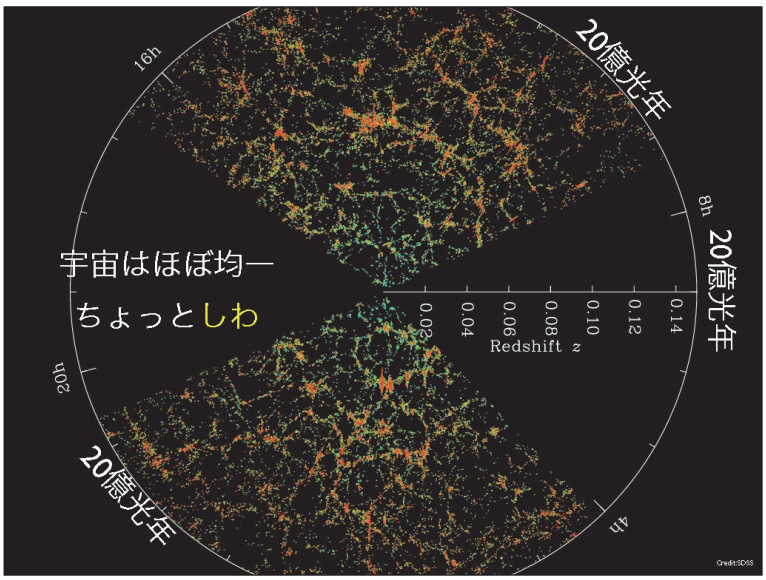


図－25

〈図－25〉　ところで、こうやって宇宙には銀河がたくさんあるわけですが、仮に銀河がたくさんある宇宙の中をもし旅をすることができたら、どんなふうになるか。それを作ったのが、この映像です（シミュレーション映像上映）。ここにある銀河は 1 個 1 個ちゃんと観測をして、どこにどういう銀河で、どういう形でどういうものがあるかというのを調べた上で、それをコンピューターに入れています。その中をもし飛んでいくことができれば、こんなふうに見えるはずだという映像です。

ちなみにいま、光の速さの約 10 兆倍で飛んでいますから、現実にはなかなかこんなことはできません。しかしこうやって見ていくと、宇宙のどこを見てもほとんど代わり映えしないんですね。どこへ行ってもほとんど同じです。ちょっと濃いところもあるし、ちょっと薄いところもあって、そういうむらはあるわけですが、基本的にずーっとこれが続いていきます。

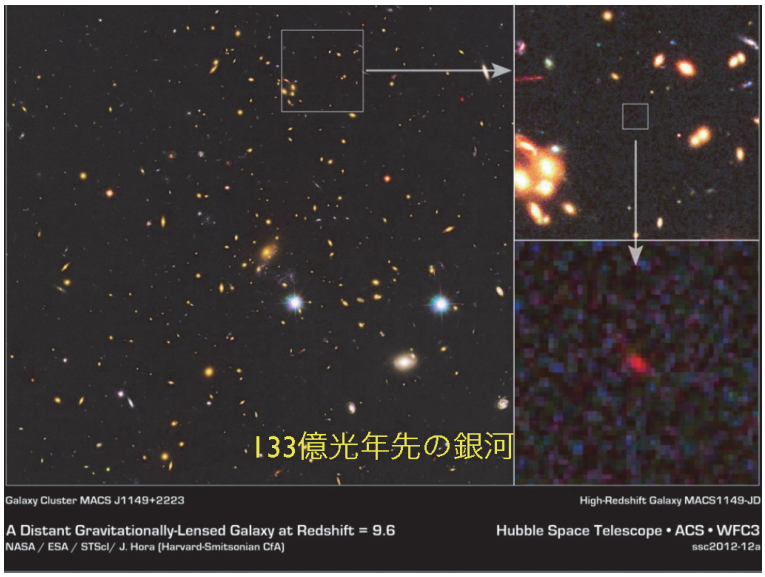
こういう銀河が、宇宙全体の中でこれまた約 1000 億個あるといわれていて、それぞれの銀河の中にまた 1000 億個ぐらいの星がある。その 1 個が、我々の太陽だということになってくるわけです。



図－26

〈図－26〉　これを二次元の地図にしてみますと、宇宙の地図はこんな感じです。左右に黒い部分がありますが、宇宙は大きいですから、まだ観測が進んでいないところがたくさんあるので、まだちゃんと見ていない部分ということです。だから本当に銀河がないわけではないのです。単に見ていないだけです。

見たところをよく見ると、ほとんどずっと同じように宇宙は続いていく。この中の１個１個の点々が、それぞれ銀河です。それがずーっと続いていく。でも、よく見ると少ししわがあるかなと。これが宇宙の姿です。ほとんどのっぺらぼうなのだけれども、そこにしわがあって、そのしわの濃いところに銀河と星がある。これが宇宙の姿だというわけです。



図－27

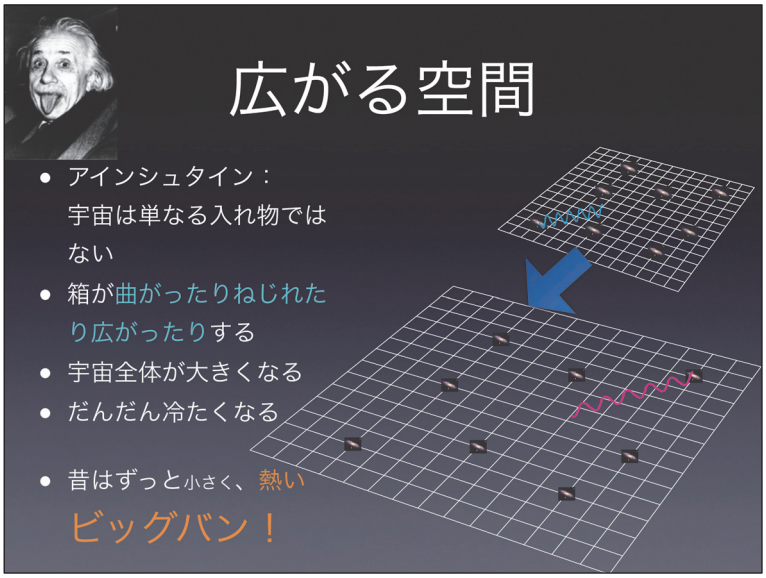
〈図－27〉　図－26 は直径 20 億光年ぐらいですが、じゃあ、どこまで行くのだろうかというのが気になります。いま世界記録の最遠方銀河がここに写っているのですが、ここに写っている銀河は 133 億光年向こうにあります。ということは、実は 133 億年かかって光が届いているので、133 億年昔の姿を見ていることになります。

ここにあるといわれてもよくわかりませんが、これをまず拡大してみると右上のようになっていて、この真ん中に赤いポチッというのがあるのが見えますでしょうか（右下）。この赤いシミ、これが最遠方銀河の世界記録で、133 億年昔の銀河をいま見ているということになります。

遠い銀河ですから、当然暗くしか見えませんし、小さくしか見えない。しかし、なぜ赤く見えるのかというのがここで気になってきます。遠くの銀河はどれを見ても赤く見えるのです。なぜ赤いのだろうか。

それを調べていってわかったのが、実は宇宙全体が大きくなっているんだ。宇宙は膨張しているんだという証拠が、ここから見つかりました。

■小さくて熱い宇宙の始まり―ビッグバン―



図－28

〈図－28〉　変な話に聞こえますが、宇宙空間はアインシュタインによると単なる箱ではない。生きている箱なのだと。生きている箱なので、曲がったり、ねじれたり、つぶれたりできるんだと彼は言いました。つまり、宇宙全体が大きくなってもいいのです。

宇宙が大きくなるというのをどう考えていいのか、なかなか難しいですが、仮に碁盤の目をいま宇宙だと思うことにします。碁盤の目なのですが、ゴムでできていると思ってください。1 個 1 個の銀河はゴムの碁盤の上に乗っていて、それぞれはちゃんと止まっているつもりです。ちゃんと目の上に乗っています。

ところが、このゴム枠でできた宇宙を引っ張ってやると、全体が大きくなる。そのときにたとえば私たちがここ（上碁盤の右下）にいるとして、隣の銀河を見ているとしたら、この時点ではこの距離に見えるわけですが、下の碁盤まで拡大してから見ると、もっと遠くなってしまっています。ですから、私たちから見ると、この銀河は遠ざかっているように見えます。

しかし私たちが宇宙の中心にいてみんなが遠ざかっているわけではなくて、別の銀河からその隣の銀河を見ても遠ざかったように見える。誰から誰を見ても、みんながだんだん遠ざかっているように見えるわけです。それは宇宙全体が大きくなっているからです。

その大きくなっている宇宙で銀河が光を出しますと、最初は青い光が出たとします（上碁盤の波線）。青い光は、波長が短いのですぐ繰り返す。ところがこの光も碁盤の上に乗っているので、全体の碁盤の目が大きくなると、光も引き伸ばされてビヨーンと伸びます。伸びた光は赤い光になります（下碁盤の波線）。

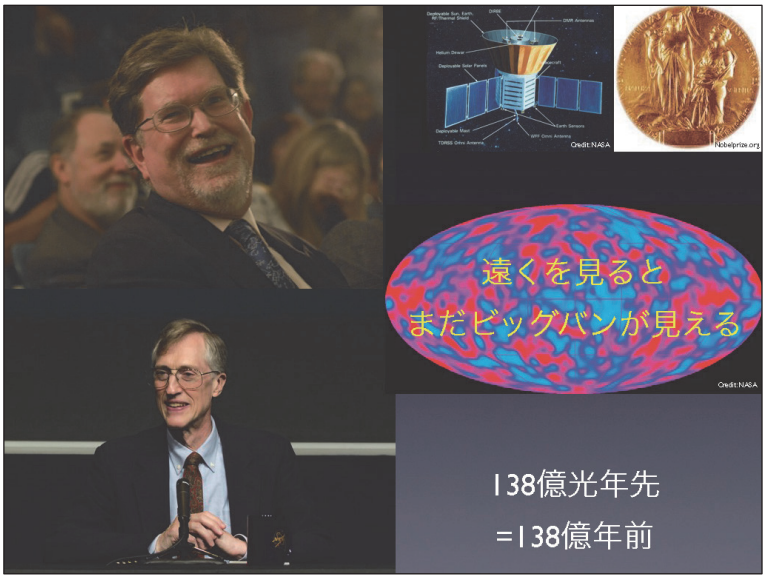
こうやって遠くの銀河から来る光は、途中で宇宙全体が大きくなってしまったために、引き伸ばされて赤く見える。それで遠くの銀河は赤く見えるのだということが、はっきりしてきました。

ですから、宇宙全体はどんどん大きくなっていて、しかもだんだん冷たくなっています。今の宇宙の温度は、零下約 270 度という非常に冷たい空間になっています。そしてどんどん冷めていっ

ているわけです。

宇宙はだんだん大きくなって冷たくなっているということは、逆に昔に戻ってみると、昔の宇宙は小さくて、図－28 にも小さく書いてありますが（笑）、熱かったはずだということになります。これを「ビッグバン」と言っています。だから宇宙は小さくて熱くて始まったはずだというわけです。

しかし、「はずだ」と言われても、「本当にそうなの？」と当然気になるわけで、「見てきたようなことを言わないでくれ」と言う人もいます。でも、見てきた人はいるんです。ビッグバンも 138 億年昔に起こったといわれていますが、138 億光年向こうを見ることができれば 138 億年昔の宇宙が見えるので、まだ熱い宇宙が今でも見えます。



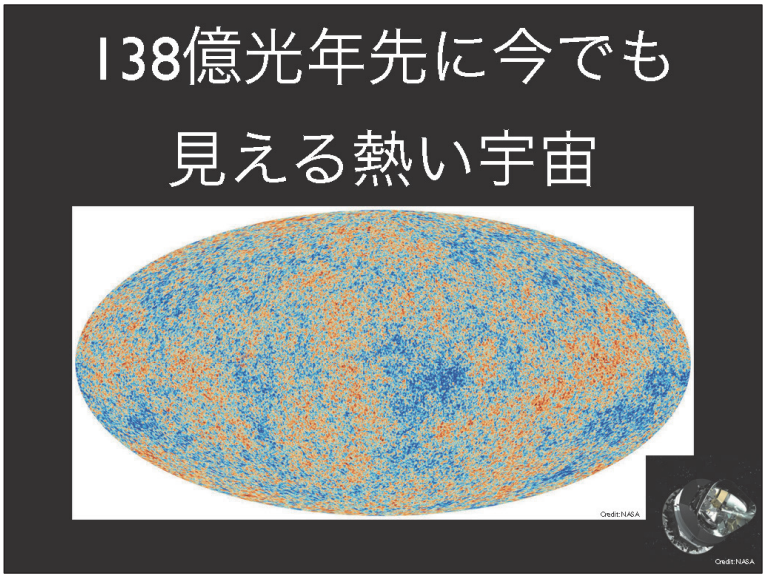
図－29

〈図－29〉　それを見た、ビッグバンを見たというのがこのお二人です。George Smoot 教授（左上）は私のカリフォルニア大学バークレー校の同僚でバークレー出身なのですが、いま NASA で働いている John Mather 上級特任研究者（左下）と共に、その発見によりノーベル賞を取りました。

ともかくやることはある意味で簡単で、138 億光年向こうを見る望遠鏡が作れれば、これがその人工衛星ですが（右上）、ビッグバンはまだ見えるんだと。そしてビッグバンの写真を撮りました。これがまだ今でも見えるビッグバンの姿です（右中央）。まだ熱い宇宙が、宇宙全体が熱いのでゴーッと光っているというのが、今でも見えるわけです。ビッグバンから来た光です。

これでこの二人はノーベル賞を取ったのですが、バークレーのキャンパスはちょうど日本の大学と同じように結構な街中にあるので、駐車場はほとんどありません。ところが、バークレーのキャンパスには特別な駐車場がごく一部だけあって、ノーベル賞を取った人だけが停めていいんです（笑）。

George Smoot 教授は、ストックホルムから受賞の電話がかかってきた次の日に、何とキャンパスから 5 分しか離れていないところに住んでいるのですが、わざわざここまで車でやってきて停めたら、切符を切られてしまいました。ちゃんと罰金を払ったらしいのですが、確かに考えてみると、まだ電話をもらっただけで賞はもらっていなかったので、資格はなかったのだそうです（笑）。



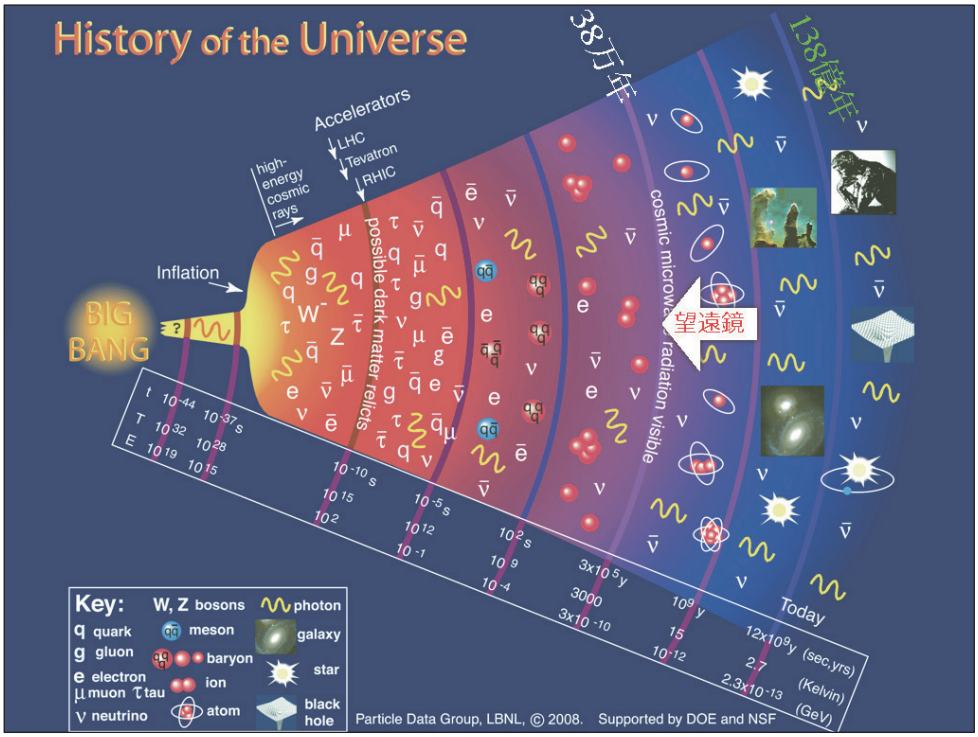
図－30

〈図－30〉　とにかくこうやって、ビッグバンを今でも見ることができます。先ほどのビッグバンの写真は 1992 年に撮ったものですが、実はつい今年になって、ずっと精度のいい写真がやっと撮れるようになりました。これはヨーロッパの上げたプランク衛星という、人工衛星が撮った写真です。先ほどの写真よりも、ずっと細かい点々が見えているのがわかると思います。

こうやってビッグバンは今でも見える。見えるだけではなくて、少ししわがあります。赤っぽいのはちょっと温かいところです。青っぽいのはちょっと冷たいところです。これはほんのちょっとなんです。実は 100m の海の中に、1mm のさざ波があるぐらいのしわしかないのですが、少しだけしわがある。

宇宙の始まりにもちゃんとしわがあったのを見つけたというのが、先ほどのお二人のノーベル賞の理由でした。宇宙の始まりには、確かにしわがあったわけです。このしわのおかげで種である暗黒物質が集まって、星ができて、銀河ができて、我々が生まれました。

■インフレーションによる宇宙の爆発的膨張



図－31

〈図－31〉　ここで問題は、じゃあ、このしわはどこから来たのだろうかということになってきます。ともかくここまででわかったのは、宇宙は小さくて熱いビッグバンで始まって、ずっと大きくなってきたわけですが、138 億年たって、我々が宇宙はどうやって始まったのかなと考えている。

先ほどの写真はビッグバンを見たと言いましたが、本当に最初から見えたわけでなくて、実はここが見えています（「望遠鏡」の矢印）。まだ 38 万歳という、若い宇宙の姿が見えている。若いといっても 38 万歳ですが、宇宙全体 138 億年を 1 年とたとえると、38 万歳の宇宙はまだ最初の 15 分ですから、まだオギャーと言ったばかりの赤ちゃんです。その姿を見たことになるわけです。

でも人間は欲張りなので、もっと前を知りたい、これよりもっと前を望遠鏡で見ようと。しかしそう思っても、宇宙全体が小さくて熱くてすごく濃くなっていますので、光も真っすぐ行けないのです。霧がかかったようになって、真っすぐ見通すことはできません。言ってみれば、太陽を外から見たときに、私たちに見えるのは太陽の表面だけです。中は見えないわけです。

それと同じように、ビッグバンの中は見えないようになっている。これを何とかして見たいと思っていろいろと考えているのですが、そこで一番問題なのが、「インフレーション」と呼ばれている宇宙の最初のものすごく爆発的な膨張です。これが宇宙のしわをつくったのだと思われています。



図－32

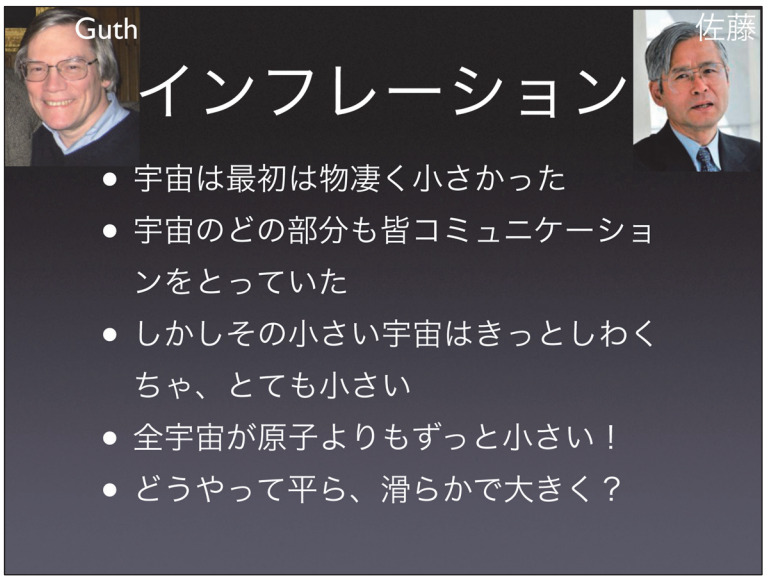
〈図－32〉　そもそも宇宙の最初がバーッと引き伸ばされたというのは、なぜそんなことを考えたのかというわけですが、それは実は謎があったからです。先ほどの Smoo 教授が、宇宙の最初にもちょっとしわがあることを見つけたと言いましたが、ほんのちょっとですから、大ざっぱにいうとどっちを向いても同じ温度なのです。ほとんど変わりません。

しかし、これがすごく問題だったのです。なぜかというと、宇宙の向こうの端から来る光が、138 億年かかっていまやっと私たちに届いた。やっとここまで来たわけですから、向こうから来た光が宇宙の反対側の端まで行くには、もっと時間がかかります。つまり、一方の端の宇宙ともう一方の端の宇宙は、まだ通信できていないはずです。

なのに、なぜ同じ温度なのだろうか。宇宙の両端同志は話をしていないはずなのに、全く同じ温度というのはおかしいではないですか。何だか知り合いみたいですよね。話したことはないはずなのに、なぜ同じ温度なのだろう。

これは誰かのたとえで私のたとえではないのですが、言ってみれば、地球を旅している航海者が、どこかの海に離れ小島を二つ見つけました。しかしその離れ小島に行ってみると、そこに住んでいる人たちが、全然違うところにある島なのになぜか同じ言葉をしゃべっている。私は文系ではないのですが、文化人類学者でなくても、それを聞いたら「ああ、それは同じところから来た人たちだな」とすぐわかりますよね。しかも同じ言葉だとか同じ方言です。10 万分の 1 しか差がない。絶対同じところから来たに違いないと、当然思うでしょう。

ですから、この宇宙の写真を見ても、向こうの端とこっちの端が同じ温度だったら、同じところから来たに違いない。昔は話をしていたのに違いないと、当然考えたくなります。しかし、昔に話をしていた仲間が、いまこっちの端と向こうの端に分かれているということは、ものすごい勢いで引き離さないといけない。それを「インフレーション」と呼んだわけです。何かの理由で、一緒にいたみんなをブワーッと引き離した。そういうことが起きなかったら、みんな同じ温度のはずがない。



図－33

〈図－33〉　そのことを言い出したのは、アメリカの Alan Guth 教授と日本の佐藤勝彦教授で、インフレーションという考え方を出したわけです。つまり、宇宙の最初はものすごく小さかった。みんな一緒にいて、みんなコミュニケーションを取っていた。当然、みんな同じ温度になった。しかし、その宇宙をブワーッと引き伸ばしたと考えなさいというわけです。

最初はすごく小さかった宇宙ですから、たぶんしわくちゃだったのだろうと思われます。小さい紙をぐしゃぐしゃと丸めたようなものです。それをブワーッと広げることによって、やっと平らで滑らかな宇宙をつくったに違いない。

計算してみると、最初の小さい宇宙は本当に小さいんです。いま見える 138 億光年の宇宙全体が、実は全体として原子 1 個よりもずっと小さかったはずだと。そんなに小さいものを、この宇宙の大きさまで引き伸ばしたはずだという計算になる。

そんな小さいものをこんなに大きくしたためにインフレーションという名前がついたわけで、もちろん経済学ではインフレーションは大事な概念です。第 1 次大戦後のドイツでものすごいインフレーションがあって、物価がワーッと上がって、パン 1 個買うのに山積みのお札が要るという時代もあったわけです。しかしこのインフレーションですらかわいいぐらいの、とんでもないインフレーションが宇宙の最初に起こったはずだということです。



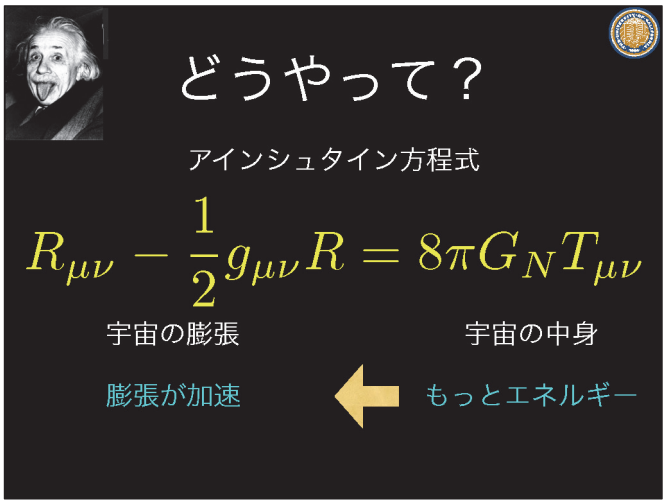
図－34



図－35

〈図－34、35〉　宇宙の最初は小さい宇宙ですから、くしゃくしゃだった。ちょうど私が洗濯した後、洗濯機から取り出した洗濯物みたいなものでくしゃくしゃです（図－34）。これをインフレーションはビーッと引き伸ばすので、アイロンをかけて引き伸ばしていくように、だんだん滑らかになって平らになる（図－35）。そういう考え方です。

それが宇宙の本当に始まりのところで起きたのだと考えなさいというわけです。でも、どうやったらそんなことができるのだろうか。なぜ、宇宙はそんなにビーッと引き伸ばされたのだろうか。それが次にわからないことです。しかし残念ながら、まだ本当のことはわかっていません。

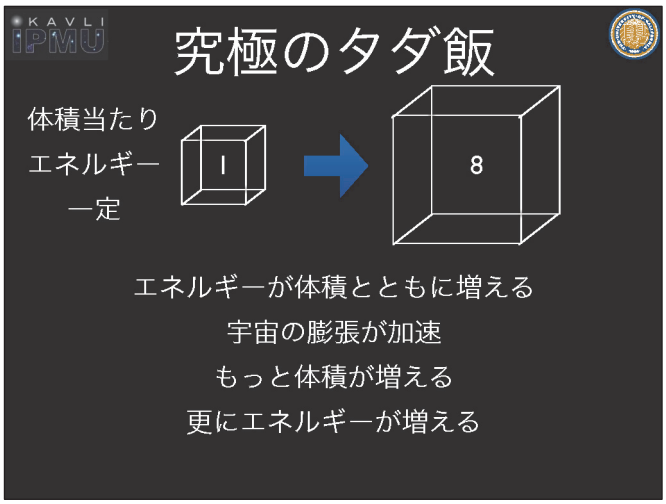


図－36

〈図－36〉　ですがこういうことがあれば、インフレーションがあってもいいよね、というところまではわかってきました。そのためには、このアインシュタインの有名な方程式を使わないといけません。これは方程式ですが、言っていることは単純です。左にあるのは、宇宙がどうやって大きくなるかという宇宙の膨張を表わしていて、それがイコールで結ばれています。宇宙の膨張は何で決まるかというと、中に入っているもので決まります。中に入っているエネルギーを教えてあげれば、宇宙はどうやって膨張するか決まりますというのが、この式です。

宇宙の中に入っている中身として、どんどんエネルギーが増えてくるということが起きれば、そのエネルギーが宇宙の膨張をどんどん速くしていくことができるので、宇宙をバーッと広げることができる。そうやってインフレーションが起きたに違いないんだというのが、現時点での考え方です。

しかしそれが本当かどうかは、まだわかっていません。証明できていないのですが、とりあえずこう考えればつじつまが合う。それがインフレーションという考え方になります。



図－37

〈図－37〉　では、どんなエネルギーなのだろうか。ともかくどんどん増えないと、宇宙をこんなに大きくすることはできません。つまり、宇宙のエネルギーがインフレーションのときには体積当たりに決まっていた。角砂糖を 1 個取ってくると、この中にエネルギーはこれだけありますと決まったのだというのです。

これを大きくすると、たとえば宇宙の大きさが倍になれば、体積は 2×2×2 で 8 倍になります。一定のエネルギーが体積の中にあると言っていますから、宇宙全体が 8 倍の大きさになると、エネルギーも 8 倍になるというわけです。宇宙が大きくなればなるほど、どんどんエネルギーが増えることになります。

エネルギーが増えると、増えたエネルギーが先ほどの方程式で宇宙の膨張をさらに加速しますから、もっと大きくなります。そうすると大きくなった分またエネルギーが増えるというので、どんどん宇宙が大きくできる。

いくらやっていっても、とにかく宇宙が大きくなるごとにエネルギーは増えて、それが宇宙をさらに大きくしてと繰り返していくわけですから、どんどん増えることができる。これは業界の専門用語で、「究極のタダ飯」と言われています。

■量子力学が解き明かす宇宙のしわのもと



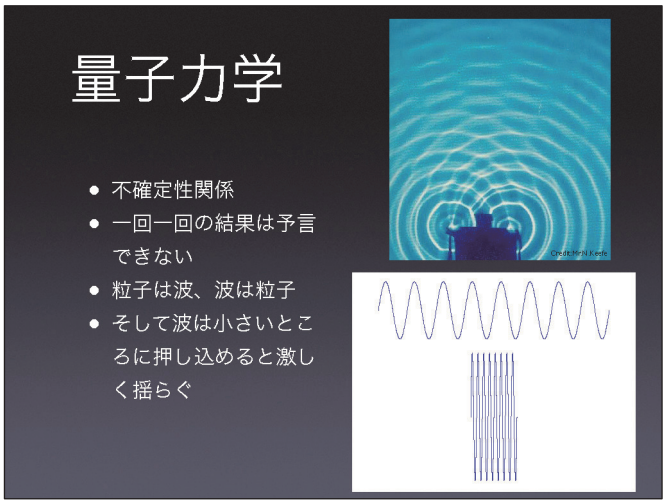
図－38

〈図－38〉　インフレーションが起きれば、宇宙を大きくして、全然違うところにある宇宙が全く同じ温度を持っているのがわかるではないか。ここまではいいのですが、ここではたと気がつきます。ちょっと待てよと。

宇宙をビーッと引き伸ばして、平らにするのはいいかもしれないけれども、本当に平らになってしまったら、しわがなくなってしまう。しわがないと種が集まって、星ができて銀河ができないのですから、しわはどうしてくれるんだ。このしわがないと困るわけです。

しかし実は、このインフレーションの考え方がえらかったのは、しわもつくってくれるということが後になってわかった点です。佐藤勝彦教授の最初の論文ではそこまでわかっていなかったのですが、その後いろいろな人が調べていくと、インフレーションの間に、つまり宇宙をビーッと引き伸ばす間に、実は少しちょうどいいしわをつくってくれるということがわかったのです。

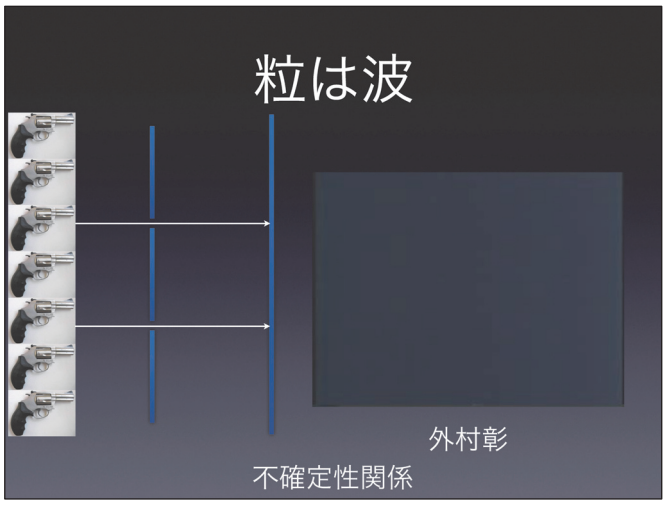
そうやってビーッと引き伸ばすと真っ平らになりそうですが、なぜそこにむら、しわができたのでしょう。そのためには、小さい宇宙の単位、原子１個よりも小さい宇宙を考えていますから、その中で働くミクロの世界の法則、量子力学という法則を使わないとわからないのです。



図－39

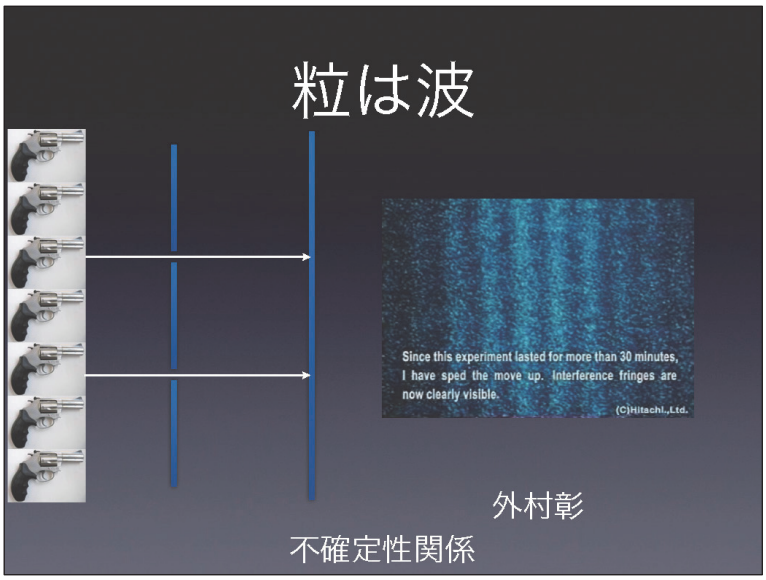
〈図－39〉　これは難しく聞こえますが、言っていることはこういうことです。量子力学の世界では、「実は粒だと思っているものは波である。波だと思っているのは粒である」そういう禅問答みたいなことを言うわけです。とりあえずこれを認めることにしますと、私たちが普通粒だと思っている、たとえば電子など、そういう粒々が波だといっているわけですから、波というのは小さいところに押し込めると激しくなります。

ちょうど東北の大震災で津波の被害が大きかったのはどうしてかというと、三陸の狭い入り江に波が入ってくると、ギューッと縮められるので波がガーッと高くなって、それで被害が大きかったわけです。ですから、波は小さいところに入れるとすごく大きくなります。実はこれが、宇宙のしわのもとだというのです。



図－40

〈図－40〉　このことをきちんと示した実験があるのですが、昔、日立研究所にいた外村彰（とのむら）教授という方で、最近亡くなって非常に残念だったのですけれども、こういう実験をしました。粒を打つのです。この場合は電子という粒です。この粒をバンバンバンとめくらめっぽうに打つ。



図－41

〈図－41〉　ここに壁が２枚あって（左側青線）、右側の壁についた１個１個の粒々を測ります。その前にもう１枚壁があって通らないようになっているのですが、２か所に穴を開けてあります。

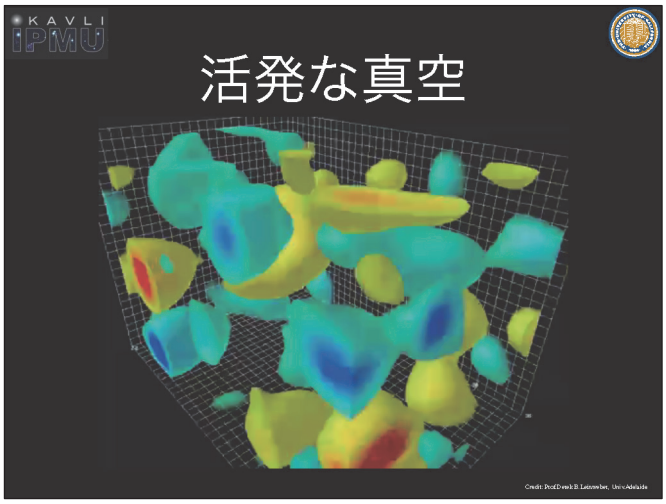
ここでめくらめっぽうに打つと、当然すぐ思うのは、ではこの穴の裏側にたくさん集まるだろうな。もう一方の穴の裏側にもたくさん集まるだろうな。だから、この途中には全然来ないはずだと当然思いますよね。それが普通の粒の考えです。

この実験をやってみました。これは外村教授ご自身の声です（動画上映）。バンバンバンと、１個１個打っていくわけですが、動いた時に打つと、てんでばらばらなところに出たように見えます。塊が２個あるのではなくて、全くばらばら、ランダムに見えます。

これはいったい何が起きているのか。１個１個やっているときには全然規則性がないように見えますが、ずっと続けていくと、だんだん規則があることがわかってきます。１回１回、電子がぽつんぽつんと付くときに、このようにてんでばらばらのところに行って穴の真裏に行かないということは、穴を通ったはずのものがなぜか回り込んで、他の場所に行っている。下にも行く。ずっと上にも行くというわけで、それだけでもすごく変な話ですが、これをずっと続けていくと、実はこれが波の性質だということがわかってきます。

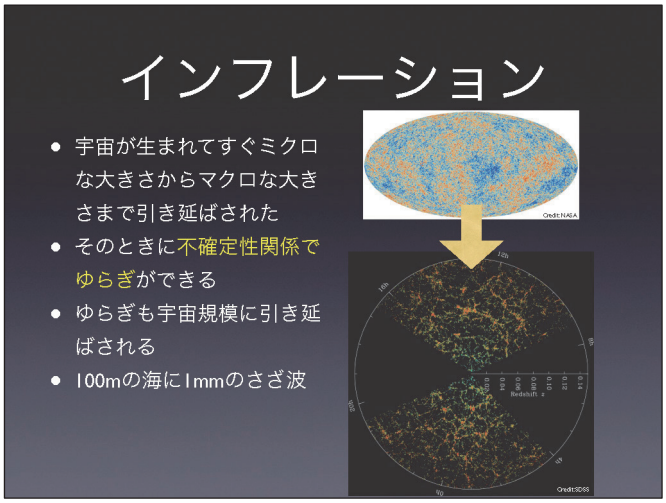
１個１個、ぽんぽん打っているはずの電子を何度もやっていくと、そこに波が、しわが見えます（右側）。濃いところのしわが出てきたのがわかるでしょうか。これをどんどん、ずっと続けていくのを速回ししていくと、このしわがだんだんくっきりしてきて、このように見えます。１回１回ぽんぽん粒を打っているのに、答えは波になっている。このように、小さい粒はこういう変な性質があるということが、ちゃんとわかるわけです。

同様に、宇宙の最初もこの波、本当は１個１個の粒だと思っているものを小さいところに閉じ込めると波のふるまいをしてしまうので、自然にこういうしわができる。それを宇宙全体がビーッと引き伸ばしてしまうので、いま残ったしわがあって、それが宇宙の種を集めて銀河と星をつくって、私たちが生まれたのだという、そういう仕組みになっているわけです。



図－42

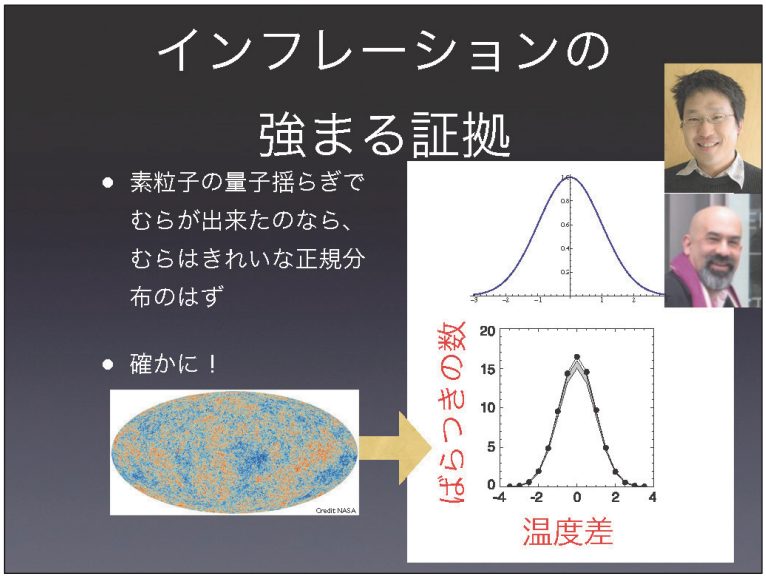
〈図－42〉　しかし、１回１回どこに行くのかは全然予測できませんから、これを普通、「不確定性関係」という名前で呼んでいます。つまり宇宙が小さかったときはミクロの世界の法則が支配していたので、粒々が波のふるまいをしていて、いつもぼこぼこやっていた。これはコンピューターシミュレーションですが、こういうことが本当に宇宙で起きていたということになる。こういうことが起きている宇宙でしたら、確かにそこにむらが少しできて、そのまま生き残るのも不思議ではないかもしれない。それが、今のインフレーションという考え方です。



図－43

〈図－43〉　すなわち、宇宙が生まれてすぐは、いま見える宇宙全体が原子よりも小さい、ものすごい小さいミクロな宇宙だった。そこではふつふつと粒が波のふるまいをして、そこでしわがいっぱいできてくる。そのしわも、宇宙がビーッと引き伸ばしたときにだんだん平らにはなるわけですが、すごく激しいしわがあったので、引き伸ばしていってもある程度残る。

つまりそのおかげで、100m の海にやっと、1mm ぐらいのさざ波ができる。このさざ波がビッグバンのときにしわとして表れていて（右上図）、このしわのところにある種で暗黒物質をさらに集めていって、最終的に宇宙の銀河という塊がこういうふうにできてきた（右下図）。そういうことが考えられるようになってきたわけです。

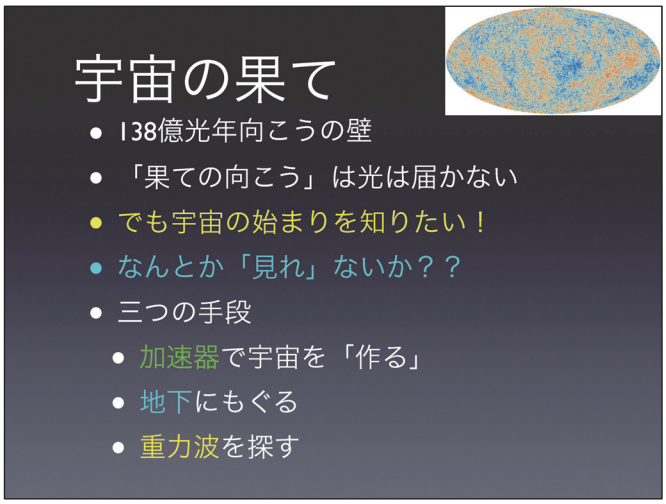


図－44

〈図－44〉　これは本当なのだろうか。だんだん証拠も出てきました。粒はてんでばらばらに動いている不確定なものですから、集めていくとこういうきれいな分布（右上グラフ）をしているはずだというのが、インフレーションの予言です。実際データを調べてみると、確かにきれいな分布をしています（右下グラフ）。ばらつきがちょうど、いわゆる「正規分布」というもので受験生は大嫌いな分布ですが、偏差値を計算するのに使う分布です。こういうきれいな分布をしている。

　こういったことがわかるわけですから、確かにどうも、もっともらしいのです。小さなミクロの世界のバラバラな不確定性関係で出てきたゆらぎが、どうも今の宇宙をつくっているらしい。確かにそうだ。この研究をしているのが、私たちのメンバーの二人です（右上）。

■宇宙の始まりを見る数々の挑戦

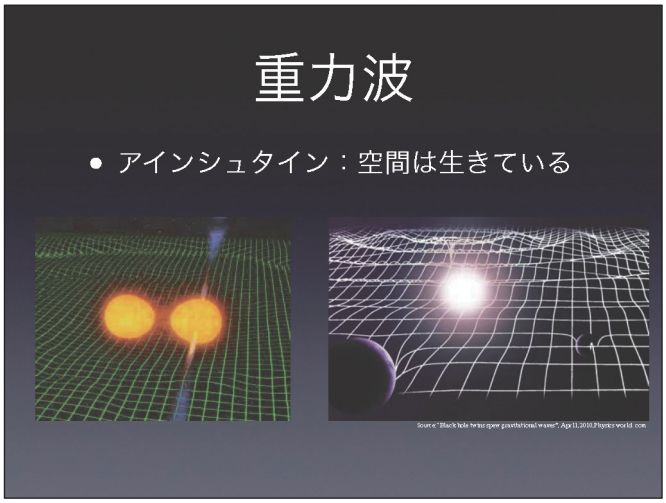


図－45

〈図－45〉　こうやって宇宙の果てというのを考えていきますと、ずっと向こうの 138 億光年向こうに壁があって、その向こうは先ほど言いましたように、見えなくなっています。ですから、本当にインフレーションが起きたのかどうか知りたいと思ったら、何とかこの壁を突破して、もっと向こうを見る方法を考えないといけない。でも、どうやってがんばっても、光はそこでぶち当たってしまって先に行けません。そこで光ではない別の方法で、宇宙の始まりを調べる方法を考えないといけないわけです。つまり、何とか宇宙の始まりを見たいと思ったときに、光では見られないので違うものを使って見たい。

いま３つ手段があります。一つは、宇宙の始まりはものすごく熱くて小さかったわけですから、エネルギーもたくさんありました。その宇宙をもういっぺん再現してみようよという、乱暴な話があります。そのためには加速器という大きな装置を使って、小さな粒をものすごいエネルギーに加速して、ガーンとぶつける。その実験をやれば、言ってみれば実験室で宇宙をつくることになります。もちろん宇宙はできませんが、宇宙で起きた反応を調べることができるので、こういう実験がたくさん行われています。

それから変な話ですが、目に見えないものを使わないと宇宙の始まりが見えないので、地下に潜って探すという実験もたくさん行われています。実は先ほど出てきたよくわからない暗黒物質という宇宙の種、その正体を探るのは地下に行くのが一番いいと思われていて、実際に地下に行って、いろいろな実験がいま行われています。



図－46

〈図－46〉　しかし今日大事なポイントはもう１個、この宇宙の向こうの壁をさらに乗り越えて、ビッグバンまで届くような光ではない別の波、「重力波」というものを使ってやりたいという話がいま進んでいます。重力波とは何だろうかというわけですが、先ほど言いましたように、アインシュタインは「空間、宇宙は生きている」と言ったわけで、生きている宇宙でしたら、生きている宇宙の空間自身もグワングワンと揺れることができます（左図動画上映）。

たとえばここでは、ブラックホールみたいな２つの重い星が一緒になる、合体するというときに、周りの空間をものすごく揺さぶって、これがグワングワンと揺れ出します。しばらく見ていてください。これで合体したら、周りの空間がすごく揺れ始めました。

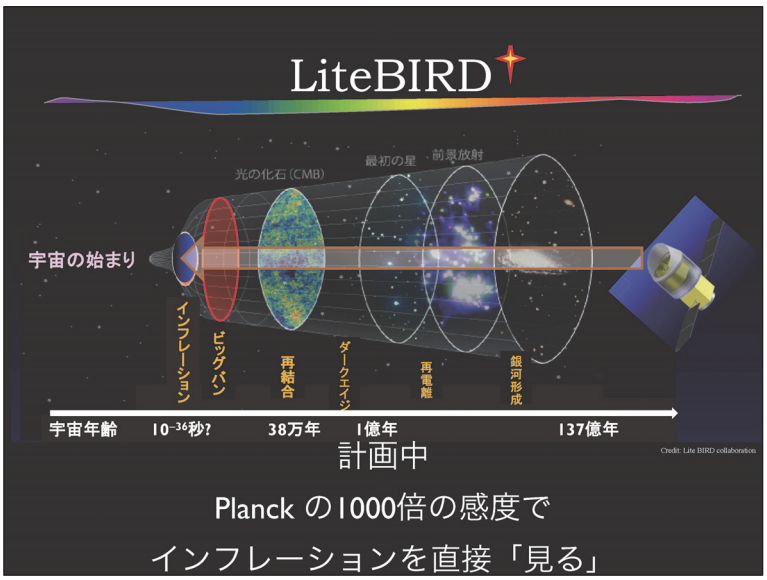
これはコンピューターのシミュレーションですが、実際こういうことが宇宙で起きているはずなので、宇宙の空間に伝わる波、空間自身がグワングワンと揺れるという、そういう波が実際にあるはずなのです。

宇宙の始まりも、小さい宇宙で波がたくさんできているというわけですから、その宇宙の最初の波が今も空間を伝わっているはずだ（右図）。これは光ではないので、熱い宇宙でもちゃんとそれを通過して、私たちのところに届くだろう。こうやってインフレーションを直接見られるのではないかということを、いま考えているわけです。



図－47

〈図－47〉　まだ成功していませんが、宇宙の最初に起きたインフレーションのときの空間の波、これが今も宇宙を通っているとすると、それをつかまえることができるだろうと。私たちのところの連携研究員に羽澄昌史教授がいますが、この人は望遠鏡を作ります（右下）。作るのは望遠鏡ですが、普通の光ではなくて、その中に起きている向きみたいなものを調べていくことで、空間を伝わってくる波の証拠を見つけたいということを、いまいろいろ考えています。



図－48

〈図－48〉　いずれは人工衛星を打ち上げないといけません。「LiteBIRD」という名前がついていますが、この人工衛星を上げて、先ほど撮ったビッグバンの写真をさらに通過して、ずっと始まりの宇宙のインフレーションのときの姿を見たい。そういう実験を、いまこれからやろうとしているわけです。

■宇宙の国勢調査をしよう

というわけで、ここまでのことをまとめてみます。先ほどの George Smoot 教授ですが、非常におちゃめな人で、ノーベル賞を取った後、実はフットボールの応援団のマーチングバンドを使って、ビッグバンを再現するという実験をやりました。そのときの様子です（マーチングバンド映像上映）。

宇宙の最初は小さかったわけですから、マーチングバンドのメンバーがここにギューッと集まっています。そこにちょっとしわがあったわけです。しわがワーッと引き伸ばされていく間に種が集まって銀河ができる様子を、ここでマーチングバンドがやっています。

ノーベル賞をもらった後、研究室の学生を使って何かやってほしいと大学本部に言われたそうですが、いや、それは面白くない。せっかくだから、マーチングバンドを使ってやりたいんだと。「これから、ビッグバンを日が暮れる前にやらなければいけないので、138 億年分の情報をこれから渡すから、ちゃんとよく話を聞いて、言うことを聞いてやってくれ。宇宙の最初は小さかった。これがだんだん大きくなっていく。宇宙は無限に大きかったのだけれども、ここに無限の人はいないので、しょうがないからこの人数でやる。小さい宇宙がこうやって大きくなっていく。全体を大きくしようと思うと、端っこの人は一生懸命走らなければいけないから、がんばって走ってくれ。」と Smoot 教授が言っています。

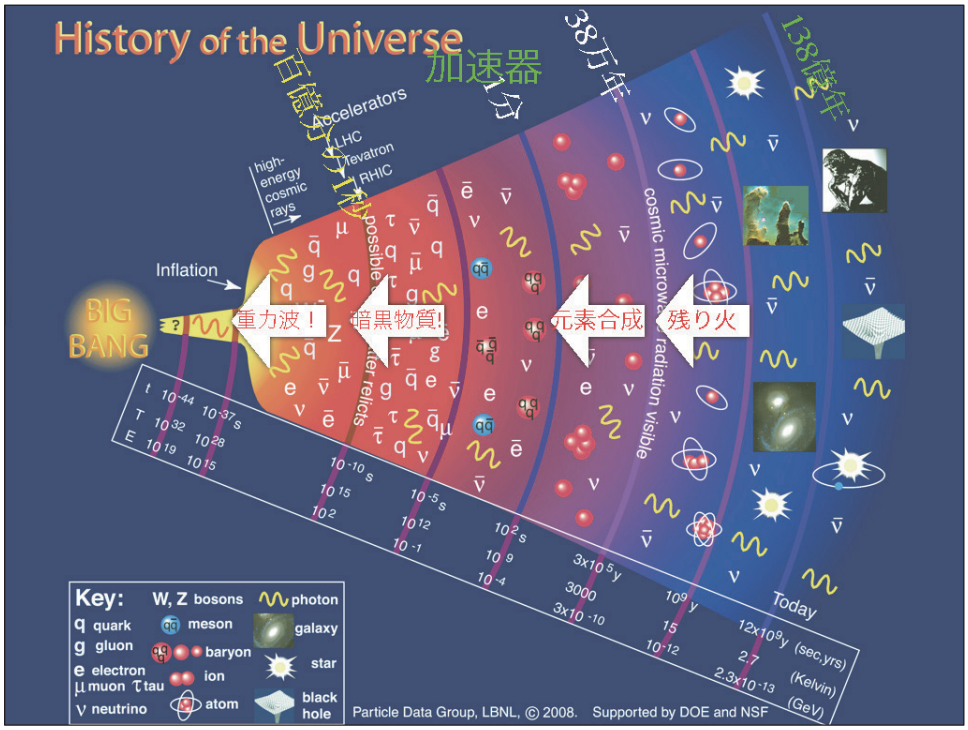
最初はみんなギューッと集まって、速いテンポの元気な音楽に合わせて走っています。だいぶ宇宙は大きくなったというわけです。するとしわがあります。このしわがだんだん引き伸ばされていくわけですが、そこでみんな適当にしわに沿って、勝手に走っていく。「間違えていいから、ランダムに動いてくれ」と言っています。でもそうやっているうちに重力で引っ張り合って、塊ができてきます。これが宇宙の種です。

6 人ずつのパートナーを見つけて、一部のグループは楕円銀河。先ほどの写真（図－19）にあったような、きれいな丸い黄色い銀河です。別のグループは、私たちの銀河みたいな渦巻き銀河。大きな腕のついた銀河をつくってくれと。こうやって渦巻き銀河ができています。

一番真ん中には、チューバの人たち。チューバは重くて走るのはかわいそうですから、真ん中にいていいよと。代わりに思いっきり立派な腕を持った渦巻き銀河をつくってくれというわけで、渦巻き銀河ができました。

こうやって渦巻き銀河の、私たちの銀河やアンドロメダみたいな大きな銀河の真ん中に、Smoot 教授が立っている。こうやってちょっとしたしわであった小さな宇宙が、バーンと大きく吹き飛ばされて始まっていって、そのしわに沿って種が少しずつ集まっていって銀河ができて、星ができて我々が生まれたということが、非常によくわかる実演です。

ちなみに、Smoot 教授自身は私たちの銀河の中心にいますから、彼自身が実は太陽の 400 万倍の重さを持つ、超巨大ブラックホールです。私たちから見ることはできません。ここにいる人たちの 8 割も、暗黒物質ですから見ることができない。それが本当の宇宙の姿で、ちょろちょろっと見えるものが星だと私たちは思っていて、その周りにくるくる回る惑星に我々が生まれた。ですから、宇宙の始まりのしわをインフレーションがつくり、そのしわに乗った種がさらに集まって星ができて、私たちが生まれたというところまでわかってきたわけです。



図－49

〈図－49〉　でも、それが本当にそうなのか。そもそも宇宙の種といっている暗黒物質は何なんだ。まだわかっていませんから、これを調べようと思って地下に潜って探してみたり、それから加速器を使って暗黒物質をつくろうとしたり、そういう実験をやっています。そして重力波を使って、そのまま真っすぐな光では見えないビッグバンまで何とか見られないかということを考えている。こうやって宇宙の始まりを調べるということを、いま一生懸命やっているわけです。

　当然、こういうことをやっていきますと、もちろん暗黒物質と重力波の正体を知りたいわけですが、それと同時に宇宙の観測も、先ほど言いましたようにまだ見ていないところがたくさんある。これも進めていかなければいけない。



図－50

〈図－50〉　そのために私たちのところで観測の計画も進めています。先ほど出てきたすばる望遠鏡をまた使わせてもらうのですが、ともかく宇宙がどうやって成長してきたかを知りたい、これからどうなるかを知りたいというときには、1 個 1 個の銀河を見ていてもそれぞれ個性があるのでよくわからない。

たとえば、日本はこれからどうなるのか、どんな高齢化をしているのかを知りたいと思ったら、当然、国勢調査をしないといけないわけです。たくさんの人からデータをもらって、今の人口がどうなっていて、これからどうなるかを調べていく。ですから宇宙も国勢調査をしないといけません。1 個 1 個の銀河を見るのではなくて、たくさんの銀河を見て、今までの傾向を割り出して、これから将来を調べていくということをやりたい。だから、たくさんの銀河を見なければいけない。

たくさんのものを見ようと思うと望遠鏡というのは普通小さいものですから、そういうもので一生懸命見ていっても、いくつか銀河が見えて、次にこれを見て、またこの次にこれを見てと、らちが明きません。ハッブル望遠鏡を使うと、国勢調査をするのに何千年もかかってしまうので、大学院生にはかわいそうです。

では何をやればいいかというと、いっぺんにたくさんのものが見えるような視野の広い望遠鏡を使えば、数年間で済むかもしれません。すばる望遠鏡だけがそれができるのです。ハッブル望遠鏡は有名な望遠鏡ですが、これに比べて視野の大きさが 1000 倍ぐらいあります。そのため、ハッブル望遠鏡で 1000 年かかる観測を数年でできる。しかも日本の望遠鏡です。そして 8m という世界最大級の鏡なので、遠くの、つまり昔の宇宙まで見える。これを使ってやろうというのが、アイデアです。

まず写真をたくさん撮ろうということで、デジカメをつくりました。デジカメといっても画素数が 9 億あって、重さが 3t あるので、ちょっと持ち歩けません。このデジカメを使ってこれから数億個の銀河の写真を撮っていって、観測を進めます。

その次に、遠くの銀河は赤くなるというのが大事でしたから、色をよく調べたい。その色を調べるためには分光器という装置を使うのですが、これも 1 個 1 個調べたのではらちが明かないので、

いっぺんに 2400 個の銀河を観測できる分光器をいま設計しています。

そうやってうちの研究所に本当にいろいろな国から人が集まって、１つのチームになりました。



図－51



図－52

〈図－51、52〉　まずカメラですが、これが望遠レンズです（図－51、右側）。この大きなレンズをつけたカメラ本体はこんな大きさです（同左側）。これがやっと完成して、つい先々週、このカメラを使った初めての写真を公開しました。アンドロメダの写真です（図－52）。すごく視野が大きいので、アンドロメダは実は結構大きいのですが、全体が１枚の写真に収まります。画素数もすごく多いので、ずっとズームインしていっても星が１個１個ちゃんと見えるんです。230 万光年向こうの、アンドロメダの１個１個の星がちゃんと見える。これには本当に感激しました。

やっとできたこのカメラで、これから２月に本格的な観測が始まって、5 年間観測する予定です。これでいろいろなことがだんだんわかってくると、期待しているわけです。



図－53

〈図－53〉　こうやって写真を撮って、どこにどういう星や銀河があるかというのがわかってくると、次はそれを分光して色をちゃんと調べる。この分光器をつくるチームも国際チームで、これだけの人が世界中から集まってきて、同じ装置をいま開発しています。

これも残念ながらお金が足りないため、お金を集めるためのプロモーションビデオを作りましたので流してみます。

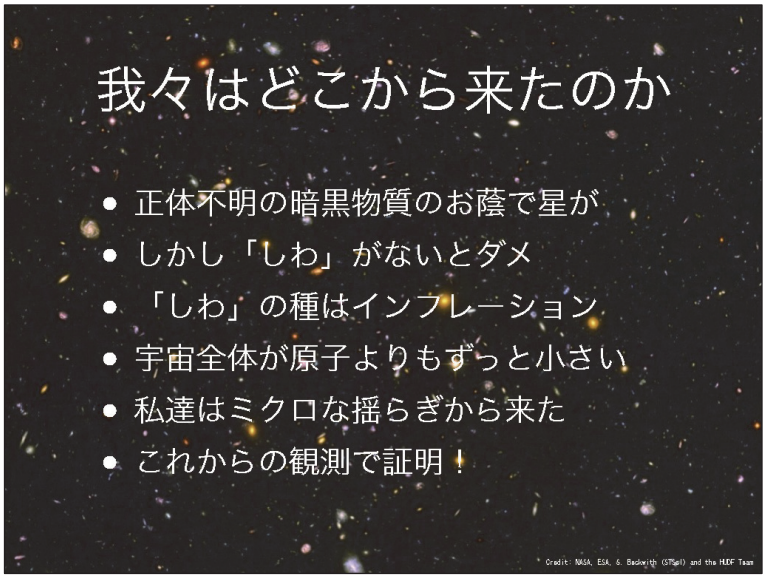
（プロモーションビデオ上映）

ともかく遠くに銀河が延々続いているわけですが、宇宙の始まりを調べるには、宇宙の種である暗黒物質を知りたい。それから、宇宙に終わりがあるかどうか調べるというのもやりたいので、宇宙の海を調べていきたい。

さらに私たちの銀河も、小さな銀河が合体してできたということがわかっているので、どうやって生まれたのかも知りたい。これを調べるには、90 億光年向こうにある銀河から来る光の粒、光子といいますが、この光の粒が我々のほうに向かってくるのをとらえます。銀河系を抜けて、太陽系を抜けて、惑星を通り過ぎて地球までやってくると、ハワイ本島を見つけて、この望遠鏡のドームが開いて、その鏡に入ってくる。

大きな鏡ですから、結構たくさんつかまえられます。鏡に反射したものが 1 個 1 個光ファイバーのケーブルにちゃんと入るように、ロボットでコントロールしています。10μ（ミクロン）ぐらいの精度でコントロールされている。それが分光器という機械に入ると、赤外線から赤、青、黄と三つの部分に分かれます、いろいろな線が入っているのを見ると、どのぐらい遠くにあって、どういうふうに運動していて、どういう仕組みのエネルギーで、どんなものが中に入っているかという情報が得られる。こういうものを調べていくことで宇宙の国勢調査をして、たくさんの銀河の傾向で全体の傾向を割り出す。宇宙の今まで起こってきたいろいろな歴史、それからこれはどうなっていくのかという予測をしたい、こういう観測をしていこうというのが、今の計画です。

■おわりに～我々はどこから来たのか～



図－54

〈図－54〉　というわけで、「我々はどこから来たのか」という、半ば哲学的な質問から始まったわけですが、ずいぶんいろいろなことがわかってきました。この正体不明の暗黒物質が宇宙の種で、この種が集まったおかげで星ができて、私たちが生まれた。しかし種を集めるためには、もともとしわがないといけない。このしわの種になったのが、どうもこのインフレーションという、宇宙をビーッと引き裂く、宇宙の最初のものすごく爆発的な膨張だったと考えられてきました。

これが本当だとすると、いま見える 138 億光年の宇宙全体が、原子 1 個よりも小さかったというものすごく小さかった宇宙のはずで、その小さな宇宙ではミクロな揺らぎがあって、波と粒が同じですから、波がワサワサと揺れている間にしわができたのだろう。その小さな揺らぎから、実は私たちは生まれてきたことになっているわけです。

これを観測で何とか証明したいというのがいま行われているいろいろな計画でして、人工衛星を上げたり、望遠鏡を使って大規模な観測をしたりして、この考え方が本当かどうか、本当に私たちは小さな宇宙の揺らぎから来たのだろうか、それを知りたい。これをやっているのが今の研究の内容です。

私たちの研究で、いずれは宇宙の始まりの謎に迫れるのではないかということを期待して続けているということで、これが私のお話の終わりです。ありがとうございました。

【質疑応答】

参加者： 今日はマルチバースの話はなかったのですが、物理定数はいつどこで決まるのですか。またインフレーション宇宙でどんどん子宇宙、孫宇宙ができて、マルチバースになるという説もありますよね。

村山： あります。

参加者： そうなると、どの時点で物理定数が変わってくるのか。それについては何かモデルがあるのですか。

村山： モデルはあります。もちろん今のところ、本当のところは全然わからないわけですが、いまおっしゃったとおり「マルチバース」という考え方がありまして、普通、宇宙はユニバースですが、ユニというのは 1 個という意味です。それがマルチになったので、宇宙がたくさんあるという説です。

インフレーションで宇宙をビーッと引き伸ばしていくうちに、途中で枝分かれが起きて、何か小さな孫宇宙が生まれる。それがまたビーッと引き伸ばされて大きくなるうちに、また子供が生まれる。そうやってどんどん枝分かれしたという、一つの考え方があるわけです。

枝分かれをするときに、生んだ宇宙と生まれた宇宙が同じ物理法則に従っている理由は本当はないかもしれないので、たとえば元の親宇宙で見ると、私たちの体重は 60kg ぐらいある。孫宇宙に行くと、人間の体重は 1t だという宇宙かもしれない。それぞれの宇宙で、いろいろなことが違っているかもしれないという、そういう説があります。

なぜそんなことを考えたかというと、今の宇宙のいろいろな性質を調べていくと、いろいろな数字が絶妙に調節されていて、うまくできている。しかしちょっといろいろなものを変え始めるとすぐ、いま私たちの知っているような宇宙にならなくなってしまうのです。

たとえば、私たちの体の中には原子核というのがあって、それは中性子と陽子でできているわけですが、この中性子と陽子は重さがほとんど同じです。0.数％しか違わない。これをちょっと重さを変えてやると、たとえば陽子が全部中性子に壊れてしまいます。

そうすると原子をつくろうと思っても、電気を持ったものは全部壊れてしまったので、全部中性になってしまって原子ができなくて当然、私たちは生まれない。ちょっと何かいじるだけで、全くがらっと違った宇宙になって、人間が生まれなくなってしまう。我々の宇宙は、何かすごくうまく調節されているのです。

ですから、孫宇宙、子供宇宙とどんどん枝分かれしていくうちに、ほとんどの宇宙はうまくいかなくて、大失敗で人間は生まれない。でも、何度も何度もやっているうちに、たまたまちょうどうまく調節された宇宙ができると、そこだけはうまく調節されているので、人間が生まれる。そしてそういう宇宙しか人間は観測できませんから、そういう宇宙に住んでいる姿が見えるという説です。

ですから、枝分かれするごとに物理法則の違う宇宙が生まれて、ほとんど試行錯誤をやっているうちに 1 個たまたまうまくいったのが、私たちの宇宙だという説になっているわけです。

でも、具体的にどういうふうに枝分かれするのか、どういうふうに物理法則が違ってくるのかというのは、いまのところよくわかっていません。もしかしたら、宇宙誕生自身がたくさんの宇宙を並列につくっていて、その 1 個が私たちのものだったかもしれないし、いろいろな説があって、現在すごく混沌としています。

しかもどうやってテストしていいかわからないので、いくら遠くを見ても同じ宇宙の中ですから、違う宇宙は見えないので、どうやってテストするのか。すごく哲学的な論争になっていて、まだ本当にわからないことだらけです。

参加者： その宇宙のお話からすると、今の定数は全部同じだということになって、インフレーションのときのスピードは光より速くないと 138 億光年先は見えることにならないのではないかと思うのですが、それはどうなのでしょうか。

村山： 全くそのとおりです。インフレーションのときに少し向こうを見てみると、それがビーッと引き伸ばされますから、すぐ光の速さよりも速いことになってしまって見えなくなります。光の速さよりも速いものは、もう通信ができないので見えなくなってしまって、それで生き別れになったわけです。

生き別れになった宇宙のこっちの端と向こうの端が、やっといま光を放って交信できるようになってきたのがいま観測できているビッグバンだという説なので、光の速さを超えた瞬間に、見えなくなってしまいます。

そこで少し気になるのは、ちょっと待てよと。アインシュタインは、光の速さを超えてはいけないと言ったはずではないか、ということになるわけですが、これはルール違反ではないのです。宇宙の膨張は、碁盤の目に 1 個 1 個ものを乗せていって、誰も動いていないのです。みんな、止まっているつもりです。

しかし碁盤の目自身が大きくなっているので、すぐ遠くなって速く動いたように見えるというだけですから、誰も光の速さを超えていない。みんな、ちゃんと止まっているんです。何かインチキのように聞こえますが、でも遠くの宇宙が光の速さより速く見えるというのは空間自身が大きくなっているからで、光の速さより速く運動しているわけではない。ですからそれはルールに反していませんというのが、アインシュタインの理論です。

参加者： 全く門外漢なのですが、宇宙の始まり、ビッグバンをたとえば望遠鏡で見ると言ったときに、空のどっちの方向を見るのかというような、夜空を見上げるような気持ちで話を伺っていたのですが、どのように考えたらいいでしょうか。

村山： それはすごくいい質問です。ビッグバンは世界同時多発です。あっちでもこっちでも、全部ビッグバンが一緒に起きて、全て、最初は一緒だったわけです。ビーッと引き伸ばされると、向こうの端にもビッグバンがあった、あっちの端にもビッグバンがあったとか言っていて、どっちを向いても同じビッグバンが見えている。

確かに全部同じ温度に見えたのですから、そういうふうになっているわけです。ですから、空を見上げるとあっちもビッグバンだ、こっちもビッグバンだと、そういうふうに思ってください。

田中： 元 HONDA にいました田中といいます。1 つ初歩的な質問をさせていただきます。

村山： それが一番怖いですけれども（笑）。

田中： 先ほど、どなたかの質問に答えた中に、えらく偶然に極めてバランスがいい状態が見つかって、その結果として我々がいるのだという話でした。時々、嘘のような本当のような話で、宇宙空間にはとんでもない数の星があって、どこかに我々と全く同じような環境の星があるはずであるという。それが数億と言われたりしていますが、これは先ほどのお話が、人間が生存できるような同じ空間がそれだけあるということの根拠になっているわけですか。

村山： そうですね。言ってみればそれを極端に突き詰めたような話になっていて、これは説ですけれども、宇宙の重力と、さっきのミクロの世界を統一することができると思われている「超弦理論」という理論がありまして、それで方程式を解いていくと答えがたくさん出てくるのです。1 個 1 個の答えが全然違う宇宙になっている。

答えの数がどれだけあるかというと、1 の後に 0 を 500 個並べただけ、答えがでてきたのです。宇宙もそれだけあるだろうと。そのうちの 1 個ぐらい、ちょうどいい環境のものがあってもおかしくないだろう。そういう考えです。

ちなみに惑星のほうは、少しずつわかってきました。昔は、太陽系の中にしか惑星は見つかっていなかったのですが、今は割と近くの星であれば惑星があるかどうか判断できるようになっていて、すでに数千個の惑星候補が見つかっています。そのうち数百個は、だいたい地球サイズの惑星だというところまでわかってきている。近くの星だけでもそれだけあるのでしたら、銀河全体でいったらすごい数があるわけです。

その地球型の惑星が、たまたま星からちょうどいい距離のところにいると、寒すぎて水が凍ってしまうわけでもなく、暑すぎて水が蒸発してしまうわけでもなく、液体の水があるところがあるだろう。人間の体には液体の水が必要なので、そういうところだったら、命が生まれてもおかしくないだろうと。

ですから、この銀河系の中にそういう命が生まれた惑星が結構あるというのは、ずいぶん可能性がある感じがしてきました。もちろんまだ証拠はありませんが。

■ このレポートは平成 25 年 8 月 29 日東京會舘において行われた、第 127 回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。本田財団のホームページにも掲載されております。
講演録を私的以外に使用される場合は、事前に当財団の許可を得て下さい。

発 行 所　公益財団法人 本田財団
104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20ホンダ八重洲ビル
Tel.03-3274-5125 Fax.03-3274-5103
http://www.hondafoundation.jp
発 行 者　松 澤　　聡