

甲南大学 総合研究所報

甲南大学総合研究所

〒658-8501 神戸市東灘区岡本8-9-1

電話 (078) 435-2331 (ダイヤルイン)

第49回 甲南大学総合研究所公開講演会 「暗黒が支配する宇宙」

平成21年10月17日 (土)

講師 杉山 直氏

(名古屋大学大学院理学研究科教授)



安西所長：

私は総合研究所の所長をしております安西と申します。本日は他に堂島ロールとか、いろいろ講演会が開かれておりますところ、多数の方々にご来場くださり大変感謝しております。今回は『暗黒が支配する宇宙-宇宙を支配する暗黒の物質と

エネルギー-』という題目で、その道の権威であります杉山直先生にお話をさせていただきます。

ここに書いてありますように、宇宙全体に存在する物質・エネルギーの70%以上が正体不明のダークエネルギーであり、20%以上が同じく正体不明のダークマター、通常の元素はわずか5%程度し

かないということですが、そういう意味で宇宙には黒幕があるというので、大変好奇心をそられる内容であります。

杉山直先生は1984年に早稲田大学理工学部を卒業され、その後、広島大学大学院を終えられ、東京大学理学部助手をされ、そして京都大学大学院理学研究科助教授に就任、さらに国立天文台理論天文学研究科教授をされて、甲南大学では集中講義で物理学を担当されたということでもあります。現在は名古屋大学大学院理学研究科教授をされていらっしゃる。また東京大学数物連携宇宙研究機構主任研究員を、またカリフォルニア大学バークレー校においても研究に従事されておられました。

御著書は『宇宙 その始まりから終わりへ』が、朝日新聞社から2003年に刊行され、『膨張宇宙とビッグバンの物理』が岩波書店から2001年に上梓されています。題名から推測できますように興味深い書物を著わされていますし、また一般向けの講演会など精力的にこなされています。その意味で総合研究所の講演者として極めてふさわしい先生であられます。わかりやすく、楽しく拝聴していただけるのではないかと思いますので、何卒よろしく御静聴下さいませようお願い申し上げます。

杉山先生：

1. 宇宙論とは

私がやっているのは宇宙論という学問です。では、宇宙論とは何かというと、すごく難しい事をやっているわけではなくて、誰もが持っている疑問に答えるためにやっている研究です。宇宙論では、星空の彼方に広がっている宇宙そのものが研究対象です。例えば、宇宙はどのような姿をしているのだろう、宇宙のはじまりはどんなだったのだろう、宇宙には終わりがあるのだろうか、宇宙には果てがあるのだろうか、こういう質問に答えるために、研究をしています。これは、人類が誕生した頃からあった学問かもしれません。宇宙創生の伝説です。シュメール人、メソポタミアに紀元前3000年くらい前にいた人たちが作った神話ですが、そこでは、大洋の女神が最初に生まれ、天と大地の神を生み、さらに大気の神が生まれると、天と大地がわかれました。大気の神が月の神を産み、月の神の子が太陽と金星です。中国でも最初盤古という巨人が天と地を作ってその死んだ体が

太陽や月、星ばしになるという伝説があります。このように、宇宙がどういふふうに始まったのか、宇宙がどんな格好をして、どんなふうになっているのか、われわれ人類が始まってからずっと長い歴史の中で思い続けてきた。みなさんも不思議に思ったことありますよね。今日お話しする事は宇宙の解明、宇宙の神話を解き明かすそのチャレンジ、そして現在明らかになりつつある暗黒が支配する宇宙の姿についてお話していきたいと思ひます。

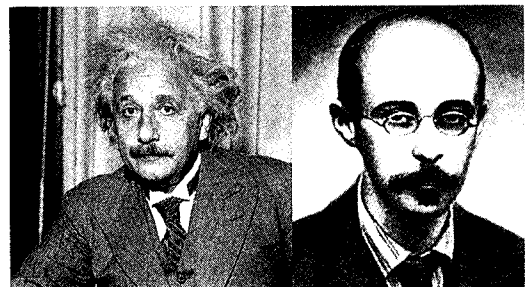
2. 宇宙の理解：3つの革命

20世紀は、宇宙論の研究にとって、すごく幸せな時代でした。宇宙の理解が進み、3つの革命とも呼べる事柄がわかりました。まず1番目、宇宙が膨張していることが明らかになりました。空間は時々刻々広がっているのです。2番目、宇宙はビッグバンで始まったということがわかりました。とてつもなく熱い宇宙の始まりがビッグバンです。そして、3番目、宇宙には多様な構造があつてそれには階層性があることがわかりました。

2-1. 膨張する宇宙

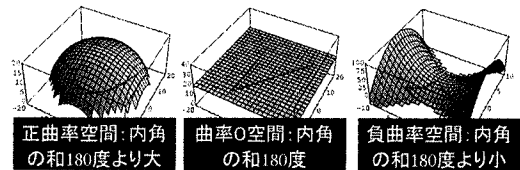
最初の、宇宙が膨張する、ということはどうやって明らかになったのでしょうか。それには、理論研究がまずありました。みなさんこちらの左の人は良く知っていると思いますけど、アインシュタインです。アインシュタインは相対性理論というとても難しい理論を作り上げた。こちらの人は、フリードマンという人で、アインシュタインの式を使って、宇宙を解いた人です。こちらの人は普通の人はあんまり知らないと思いますけど、20世紀初めに活躍したロシア人です。

宇宙を解くためには、アインシュタインの一般相対性理論が必要でした。一般相対性理論っていうのは、宇宙全体にある物質が作り出す重力が、宇宙の時間・空間構造を決定する。そういう仕組みになっている。宇宙の時間・空間は変化しないものではなく、そこにある物質によって変わってしまう、ということを明らかにしたのです。

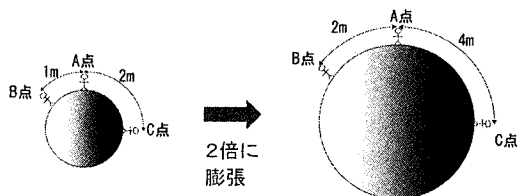


一般相対性理論を用いて、宇宙をモデル化したのがフリードマン。モデル化、というのは、できるだけ単純に宇宙を式に表す、ということです。フリードマンさんの考えた宇宙というのは、宇宙のどの場所も、方向も全く同じ、違いがないというものでした。この場合には、宇宙には中心がありません。端もありません。じゃあ、端がないということはどういう状況でしょうか。二つの可能性があります。一つ目は無限にどこまでも広い空間。二つ目は、有限なんだけれども、そのまま歩いていくと元の場所に戻っちゃう場合です。例えばボールの表面をアリさんが歩いていったとしましょう。いつのまにかまっすぐ歩いているつもりなのに、元の場所に戻りますよね？宇宙の空間もそんなふうかもしれません。そういうループしているような空間、そういう可能性もある。それとも、無限に広いかどうかわからないんですけども、いずれにせよフリードマンさんが考えた宇宙は特別な場所が無くて、特別な方向が無くて、中心も無ければ端も無い。そういう宇宙、そういう非常に民主的な宇宙、それを宇宙原理といいますが、大変平等な宇宙です。さて、このような宇宙では、空間が曲がる場合がある、という事がわかりました。空間は正に曲がっているか、平坦か、負に曲がっているかのいずれかなのです。我々は3次元空間に住んでいますが、ここでアリさんを考えましょう。平面にへばりついているアリは、2次元空間に住んでいるといえます。正に曲がっている場合とは、ボールの表面のような空間です。この場合には、空間自体が凸レンズのような働きをします。平坦な場合であれば、平らな床の場合です。最後に、負に曲がっている場合ですが、ポテトチップのようなえぐれている空間になります。ここで、みなさんの常識を打ち砕くような事を言いましょう。三角形の内角の和は、180度ですよね？違うんです。正に曲がった空間に三角形を書いてみましょう。180度より大きくなります。絶対に。例えば、地球儀の上に三角形を書きます。まず、北極を一つの頂点にして、赤道まで下ろしてきます。そこをもう一つの頂点とします。さらに赤道を横に延ばして、適当な場所を三つ目の頂点として、北極まで戻します。この三角形では、赤道上の二つの頂点がなす角度は、どちらも90度です。これでもう180度になってしまいます。北極がなす角度だけ余分です。太った三角形になっている。一方、

平らな空間の場合には、三角形の内角の和は180度になります。最後に、負の曲がりを持った空間では、えぐれていて、180度より小さくなる。逆に、この性質を利用して、宇宙の中に三角形を大きく書いてみて、180度になっているかどうかを調べれば、空間の曲がりが見られることになります。フリードマンさんが考えた宇宙ではこの3つのどれだかは、理論的には、わかりません。観測で明らかにしなければいけないのです。



フリードマンさんの宇宙で、さらに重要なのは、空間が伸びたり縮んだりすることです。とんでもない事だと思いませんか？空間の伸び縮みっていう考えは、わかりにくいと思います。実は、今月号のニュートンという雑誌に“宇宙論でよくある誤解”という6ページくらいの特集があり、宇宙の膨張についても解説してあります。ちなみに私が監修しているのですが、暇があったら見てください。そこでも説明しているのですが、空間が膨張するということは、力を及ぼしあっていないはずの2点の間が広がっていくということです。どの方向もまったく同じ割合で伸びたり縮んだりする。これどういうことかという、勝手にほっといてもみんな遠くに行っちゃうんです。たとえば風船の表面にアリさんがいるとしましょう。アリさん同士を離したり近づけたりする力は何も働いていません。でも、この風船が膨らんでいったらどうでしょう。距離が遠くなっていきますよね。これが空間の膨張です。アリじゃなくて我々の宇宙の場合は、銀河と銀河の間の距離が、どんどん広がっていくのです。

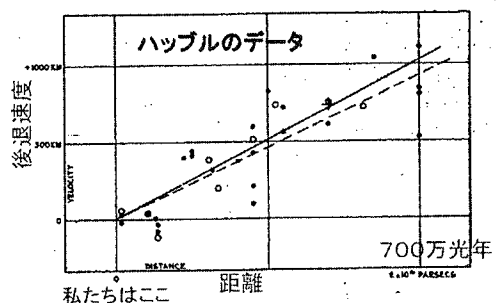


空間の膨張について、ある法則が成り立っていることが、すぐにわかります。とても有名な法則で、ひょっとすると宇宙論に出てくる法則の中で一番

有名な法則かもしれませんが。小学生でもわかると思うのでよく聞いておいてください。時々刻々、広がっていている空間を考えます。この空間のABCの3点に三人の観測者がいたとします。Aから見て、Bは1光年（図では1mになっていますが）の距離に、Cは2光年の距離にいます。さて、この宇宙が2倍に膨張したとします。膨張にかかった時間を1時間としましょう。ここで大きさが2倍になるわけですから、A点とB点の距離は2光年に、A点とC点の距離は4光年になるでしょう。つまり、A点からみると、B点はこの間に1光年遠ざかり、C点は2光年遠ざかったこととなります。1時間の間に各々、これだけの距離遠ざかったのですから、遠ざかる速度は、B点は時速1光年、C点は時速2光年です。つまり、A点から見て、距離が2倍遠いC点は、B点よりも2倍速く遠ざかっていくのです。距離に比例して、遠ざかる速度が大きくなる、というのが、ハッブルの法則です。遠くに行けば行くほど速くなる。このことを逆に使えます。遠ざかる速度と距離が比例しているという関係が観測で見つけられれば、空間が膨張していることを証明できるんです。

ハッブルの法則が成り立っていることを観測的に示したのが、ハッブルという人です。ものすごく有名な天文学者で、もし天文学にノーベル賞があったら100%間違いなく彼にノーベル賞がいただいでしょう。最近、天文学の業績に対して、ノーベル物理学賞が与えられるようになってきていますが、この人の頃はそういう事がなかったので残念ながらノーベル賞はもらってないですが、天文学史上、最高の天文学者の一人ではないかと思えます。ハッブルは、遠方の銀河ほど早く遠ざかっていると言うことを示したのです。ここで、グラフを見て下さい。横軸は距離、縦軸は速度です。ハッブルさんのデータは最初こんなに精度の悪いものだったんですが、私たちからみて遠くへ行けば、遠ざかっていく速度が全体に上がっていくというのはちゃんと見て取れます。

我々が今手にしている宇宙像、宇宙というのは止まっているものではなく、時々刻々変化していくダイナミックな存在なのです。皆さん、未来永劫、宇宙はあると安心していませんか？違うんです、今日帰ったら心配してください。例えば太陽はあと50億年たったら死んでしまうんですよ。それは間違いのない。人類の寿命がどれだけあるかわ



かりませんが、宇宙もこうやってダイナミックに日々変わっていている、昨日より今日、今日より明日、どんどん大きくなっている。ただし我々が感知できるような違いではなかなかないんですけど、宇宙は膨張している。

話が難しくなる前に1つ言っておきましょう。これは頻出質問で、皆さんが宇宙が膨張しているという話を聞いて、次に聞きたくなるのは“地球と太陽の距離は離れていかないのですか？”“自分の身体は大きくなっていかないのですか？”という質問ではないでしょうか。答えは、「いいえ」です。宇宙を膨張させる力というのはすごくじわっとしたもので、遠くへ行けば大きいけれど近くではものすごく小さい。例えば太陽系で地球を太陽が引っ張る力と地球と太陽の間を広げようと、膨張によって広げようとする力は20桁くらい違う。広げようとする力より20桁くらい引力の方が大きい。だから指で押されたほども地球は感じない。全然何も感じない。大きくなっていかないんです、地球と太陽の距離は。みなさんの身体をみると明日起きたら宇宙の膨張で背が少し高くなっていて、だとうれしいんですが、それもおきません。我々の体を閉じ込めて電磁的な力は、体を伸ばす力に比べて、ものすごく桁違いに、まあ100桁とか違うと思います、大きい。私たちの身体は宇宙の膨張で引き裂かれることはないのです。もし膨張の力が強かったら身体がばらばらになってしまいます。膨張する宇宙は一つ大きな特徴があります。

さて、空間は膨張していることがわかりましたが、空間に働く力は、膨張、収縮のどちら向きに働いているのでしょうか。重力は引力なので、実は膨張を止めようとして働きます。宇宙全体にあるものの引力で、膨張は「待て」ととめられる方向に力を受けるのです。フリードマンの前に、アインシュタインも宇宙論を考えたのですが、この重力の働きを気にしすぎたおかげで、アインシュ

からきたニュートリノが、地球を突き抜けてやってきたんですよ。そのくらいニュートリノは貫通力が高く、地球でさえスカスカなんです。今の宇宙も、ニュートリノにとってはスカスカです。でも、最初のビッグバンのときは込み合っています。宇宙が誕生して1秒の時代までは、ニュートリノにとってさえ宇宙は不透明でした。ニュートリノにとって宇宙が晴れ上がるのが、1秒の時代なのです。

さらに宇宙の初期にさかのぼってみましょう。宇宙が誕生して、わずか 10^{36} 秒の時代に起きた莫大な膨張がインフレーションです。始まってほんの一瞬の時代です。このときに、宇宙の空間は30桁も大きくなったのです。原子1個が占める空間領域が、銀河全体ぐらいまで広げられた、というところ、そのものすごさがわかるかもしれません。インフレーションを引き起こした莫大なエネルギー、それは、熱に変わって、ビッグバンが始まりました。ビッグバンはインフレーションの終了と共に始まったのです。

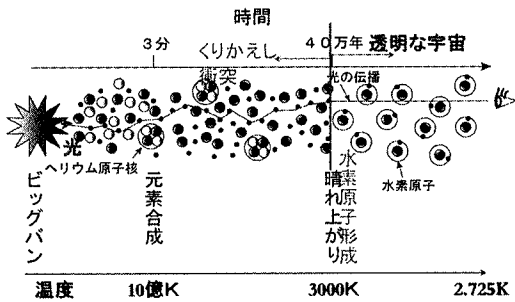
それ以前の、本当の宇宙の始まりはまだよくわかっていません。二つ理由があります。一つは実験・観測で全く追及できないからです。もう一つは理論研究、特に素粒子理論の研究でさえ、まだそこまで進んでいないからです。宇宙の始まりを研究する学問というのは素粒子物理学と非常に密接に関係しています。例えば小林・益川理論がそれです。そういうものを使って、今後、いろいろなことが解明されていくのではないかと思います。一つのヒントが超紐理論です。10次元の空間に浮かぶ紐が宇宙の始まりの姿、というのですが、どうでしょうか。

2-3. 宇宙の階層構造

20世紀になって、観測の進展とともに、明らかになった宇宙の姿、その3つめが、階層的な構造の存在です。ここで、地球を出て宇宙を旅する、時間と空間の旅へ、皆さんをお連れしましょう。どういうことかという、宇宙で遠くの天体を見ると、過去の姿を見ている、ということです。光は1秒間に30万km進みます。ものすごい距離ですよ。例えば、1秒で太陽系の中でどの位すすめると思います？ 1番：1秒間の間に月まで行ける。2番：太陽まで行ける。3番：木星まで行ける。4番：太陽系の外まで行ける。答えは月までです。しかも月までは届かない。月までは38万km

です。まだ8万km足りません。速いと思っていたのですが、宇宙では、光の速さはしれてるんですね。じゃあ、太陽まではどのくらいかかるのか。8分20秒くらいです。今見ている太陽の光は8分20秒前に放たれた過去の太陽なのです。遠くの宇宙を見ると過去を見ることができるということを皆さん覚えて帰ってください。すごい大切な事です。我々は宇宙を見ることでタイムマシーンを手にする。たとえば、この瞬間に太陽が輝いているから、次も大丈夫だろうと思って安心してちゃいけませんよ。もう爆発してなくなっているかもしれない。8分20秒経たないと我々にはわかりません。小柴先生のノーベル賞、さっきお話ししましたね。これよく考えるとすごいんですよ。何がすごいのか？ 大マゼラン星雲で超新星が爆発してニュートリノがやってきました。このニュートリノを小柴先生は1987年2月にとらえました。小柴先生は定年は1987年3月だったんですよ。とても運の強い方です。でも、それどころではありません。大マゼラン星雲というのは16万光年かあなたにある。検出は定年退職の2ヶ月前ですが、実は16万光年前に爆発しているんですよ。ずっと宇宙をやってきている。1987年2月までは、普通に輝く星だとも思っていたものが、16万年前に爆発してもう死んでいたんです。小柴先生はどのくらいすごいのか？ 16万年前からノーベル賞が決まっていたんです。運の強い人だなーと思います。ところで、超新星って100年に1回ぐらい起きることが知られています。でも、私たちの銀河系のなかでは過去400年間、ガリレオが望遠鏡を発明してから1回も超新星は起きていない。ひょっとして起きていても見えなかった。銀河系の向こう側ってガスがいっぱいあって見えないんです。見えれば研究して色々なことがわかる、ニュートリノを捕まえられたりできる、と思って期待してるんですが、なかなかいくら待っても爆発しない。ということで小柴先生のような運の強い方が、今、必要なんです。

さて、遠くの宇宙を見てわかるのは過去の宇宙です。そこで、遠方の天体を見ていくことで、皆さんをタイムマシーンへ招待しましょう。まずは太陽系、太陽系の内側、水・金・地・火までは地球型の惑星で岩石でできている。これはだいたい火星までの距離は数十分、地球から太陽までが8分20秒でした。その外側には、巨大なガス惑星である木星とか土星がありますが、これらの光は、



宇宙が晴れ上がった時代の前は、光が届きません。だから我々は見ることができない。その前の宇宙、ビッグバンの時代がどうなっていたかということが知りたいので、理論研究、紙と鉛筆、さらにはコンピュータによって迫るわけです。まず一つ、これは確実にわかっているのですが、ヘリウムができるのは、宇宙誕生後3分の時代。このときどれだけヘリウムが出来たかを計算で求めることができます。その量と、現在宇宙にある量がとてもうまく合うのです。元素のうち、一番多い元素はなんだと思います？水素です。二番目に多いのがヘリウムです。この二つはヘリウムは地上には殆どないですけど、水素は水というかたちで地球にはありますけど、水素とヘリウム、一番軽い二つの元素は実は宇宙全体の元素の重さでいって99%くらいを占めている。水素が75%くらいでヘリウムが24%くらいです。それが宇宙誕生のサンプルです。ヘリウムは、陽子が2個、中性子が2個で出来ています。一方、水素は陽子が1個です。宇宙に等量あった陽子と中性子ですが、3分までに中性子の多くは壊れて陽子と電子、そしてニュートリノになってしまいました。残った中性子が陽子とくっついて、ヘリウムを作ったのです。

これ以前の宇宙はまったく想像の世界です。一体この宇宙で何があったのかわかりません。ただ、宇宙のはじまりには、反粒子とよばれるものがたくさんあったはずと考えられています。粒子と反粒子の違いは重さとか性質は全く同じなのですが、電荷が逆さです。陽子に対して反陽子というのがあるのですが、陽子が+の電荷をもっていたら、反陽子は-の電荷をもっている。電子に対して反粒子というのは陽電子ですが、これは-の電荷をもっている電子に対して+の電荷をもっている。電荷を逆さまにもっている。反粒子が、普通の粒子とぶつかるとうすごい反応を起して、光などを出して消えてしまいます。宇宙誕生の4秒までには、

そのすごい反応が起こって宇宙中の反粒子が全部消えています。同時に同じ数の粒子も消えています。宇宙のほとんど全部が、光に変わっちゃった。でも、今の宇宙には、粒子があります。反粒子はありません。後で作られたものがごくわずか存在するだけです。このことは、宇宙の始まりには、反粒子のほうが粒子よりもほんの少しだけ少なかった、ということの意味しています。どのくらいかという、10億個に対して1個だけ、反粒子のほうが少なくなる。粒子が10億1個、反粒子が10億個あって、互いに結びついていたら粒子が1個だけあまっちゃう。自然はなぜか粒子と反粒子を不公平に扱っているのです。でも、このことが、私たちにとって、幸運でした。さもなくば宇宙には元素が残っていません。我々が存在できるのは、物質が残っているのは、自然が不公平だからです。神様ありがとうございます、不公平で。ときどき聞かれます。反粒子が残っていて、反粒子銀河みたいなものがあるのもいいのではないかって。これはあったらえらいことですよ。普通の銀河と衝突した瞬間にもうすごい大爆発が起きる。どのくらいひどいことになるか。私が反粒子人間だとしましょう。うかつにも私と握手をした普通の人間は、ドッカン、水爆1個分の爆発です。人間同士だけで、そのくらいになる。最近の映画で「天使と悪魔」というのがあります。あの映画の中に反物質を数ミリグラム作ってパチカン全体、ローマ半分くらいをふっ飛ばすという話が出てくるんですけど、そのくらいの威力です。銀河同士はしょっちゅう衝突してるのですが、そんなすごい爆発は見つかっていません。ということで、自然はなぜか不公平なのです。この不公平な理由は小林・益川理論で一部解明できてるんですけど、全部はまだ解明できていない。

次の話題は、ニュートリノです。こちら日本発ノーベル賞と関係しています。小柴先生が宇宙からやってきているのをつかまえたわけですが、ニュートリノというのはお化けみたいな粒子でいろんなところを突き抜けます。小柴先生の発見ってどこでやったか知っていますか？岐阜県の神岡鉱山という山の中です。山の中で宇宙を見ているんです。しかも、彼はマゼラン星雲からきたニュートリノをつかまえた。それでノーベル賞もらっているんですね。マゼラン星雲ってみたことある人？マゼラン星雲は南半球でしか見えません。南半球

タインはとて、変な事を言いました。アインシュタインは偉い人だから間違えないと思ったら大間違い。アインシュタインはしょっちゅう間違えます。この間違いについては、多分、悪い天文学者がアインシュタインにささやいたんだと思います。「宇宙っていうのは動いたりしませんよ。未来永劫変わらないんですよ」と。そこでアインシュタインは、止まっている宇宙を実現しようとがんばりました。でも、自分の式を使って、宇宙を組み立ててみたら、重力のあるせいで宇宙全体が潰れていっちゃう。止めることはどうしてもできない。そこで、アインシュタインは思ったんですね。ひょっとしたら自分の理論の中に、見過ごしてる点があるんじゃないか？重力が引力つまりりんごが木から落ちるからいかなのである。反重力があれば問題が解決する。あたかもりんごが宙に浮くようにすれば宇宙が止めておける。重力で落ちるんじゃないくて、引力で逆らって浮いてられる。そういうふうになればいいんじゃないか、と思ったわけですね。反重力として働く、これを宇宙項と呼んでいますけど、アインシュタインは自分で方程式に、勝手に導入したんです。反重力ですから、これはもうほとんどマッドサイエンティストに近いです。でも、ハッブルの観測結果から、宇宙が膨張していることがわかりました。膨張している宇宙に、重力が働くと、まずは膨張が遅くなります。いきなりつぶれたりにはしません。つまり、膨張が時々刻々遅くさえなっていれば、宇宙項という反重力は必要ありません。そのことに気づいたアインシュタインは、宇宙項の導入を「生涯最大の過ち」といったと伝えられています。でも、最新の観測結果からは、なんと、膨張が速くなっていることがわかってきました。やっぱり反重力が必要なのかもしれません。

2-2. 熱い宇宙の始まり：ビッグバン

20世紀の3つの革命の2つ目。それがビッグバンです。膨張するダイナミックな宇宙を逆行してみましよう。膨張を逆行しに考えてみると、ひゅーと縮まってどこかに集まってくる。これが宇宙の始まりでそれをビッグバンといいます。宇宙全部が小さな塊だった時代、それがビッグバンの時代。小さいだけでなく、ものすごくそこでは物質が混み合って存在していて、また、温度もとても高く熱かったと考えられています。この理論研究は、ジョージ・ガモフが発表しました。

小さくて熱かった宇宙の始まりです。ガモフは、熱い宇宙の始まりが、元素を生み出したと考えたのです。元素というのは宇宙にある水素とかヘリウムです。さて、熱い宇宙というのは、青い光りで輝いていたはずで、さっき最初にやった実験です。皆さんの身体は赤外線を出している。体温よりはるかに高温な太陽は、可視光を出している。宇宙はどのくらいの光りで輝いているのか。ビッグバンはめちゃめちゃ熱だったので、昔は可視光線を飛び越えて、紫外線やらX線やらで輝いていた時代はあったでしょう。今はどうでしょう？今はですね、膨張と共にどんどん温度が下がっているんですね。人間の出す赤外線さえも飛び越えて、電波で輝いている、ということをガモフは予想したのです。

ガモフという人はビッグバンの存在とその証拠となる原初の光の存在を予想した、ということで歴史上よく知られている人ですが、ものすごい偉い学者さんでした。わたし位の年齢より上の人はガモフ全集というのが図書館に置いてあることを知っていると思います。ガモフ全集を読んだことのある人いらっしゃいますか？何人かいらっしゃいますね。図書館に行けば今もあると思いますが、一般向けの科学書の入門書として、絶妙によくできている。例えば1巻に特殊相対性理論を説明するところが出てきます。特殊相対性理論とは光の速度に近づくと物の長さが短くなったり、時間が延びたりするすごい不思議なことがおこるのですが、その主人公は夢の中ですごい光の速度が遅い世界にいる。光の速度が音の速度くらいのところにおいて、特殊相対性理論の効果が、簡単に目に見える。ちょっと走った瞬間にものが縮んだり、時間が延びたりする。そういう世界を手にするように書いたのが、『不思議の国のトムキンス』という本です。ぜひお手にとって見てみてください。すごいジョークも好きで、例えば、彼は、ビッグバンの論文、もともと我々研究者なので雑誌にださないといけない。その研究は、自分の学生のアルファさんと一緒にやったものだったのですね。アルファとガモフですから、ギリシャ文字の α と γ です。あと「ベータが欲しいなあ」と思ったガモフは、友達のパテさんの名前をそのまま論文に勝手に入れちゃった。パテさんは心の広い人だったので、全然怒らなかつたのですが、だから今 $\alpha\beta\gamma$ 論文という名前がついているのです

が、ベータという人は全然何もしていない。じゃあ、この人偉くないのかというと実はこのベータ、ノーベル賞とっています。すごい偉い人です。さて、ジョークはさておき、ガモフは、ビッグバン以外に、何をしましたか？例えば、この後、いきなり生物学に鞍替えして、ちょうど当時DNAが発見されたのですが、DNAの暗号で遺伝ができあがっている、と考へ、今で言うゲノムを思いついたりした。とてつもないマルチタレントで、優秀な人でしたが、残念ながらビッグバンが証明される前に亡くなっていたので、ノーベル賞はもらえなかった。じゃあノーベル賞はどこにいったのか？



左図は、ジョージ・ガモフ、右図は、ベンジヤス（右）とウィルソン（左）。宇宙マイクロ波背景放射を発見したアンテナと共に移っている。

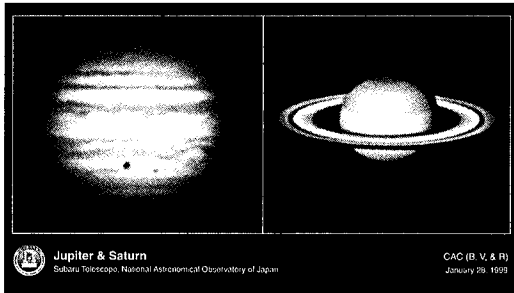
この二人、ベンジヤスとウィルソンがノーベル賞をもらいました。1965年にビッグバンから来る光＝電波、宇宙全体の輝きを二人は偶然発見したのです。銀河系にある水素の出す電波を捕まえようとしていた二人は、邪魔でしようがない変な電波がやってきていることに気づいたのです。検出装置のせいかもしれない、アンテナに鳩が住み着いてしまって、その糞のせいかもしれない、大気圏核実験の放射性同位元素が出す電波かもしれない、などと考えました。しかし、糞を掃除してもだめ、核実験のせいならば、しばらく待っているとだんだん電波が弱くなるはずなのに全然弱くならない、どうしても正体不明の雑音が入ってしまう。そのときにちょうど、プリンストン大学というアメリカ屈指の大学の研究グループが、ビッグバンの化石の電波を見つけてやろうと実験を開始するところでした。ベンジヤスとウィルソンが奇妙な雑音に悩まされていることを知ったプリンストンのグループの人たちは、自分たちが見つけようとしていたものが、すでに見つかったことに気づいたのです。二人は、この功績により、

1978年にノーベル賞をとりました。プリンストン大学の人たちは残念ながらノーベル賞をもらえませんでした。その中の一人に、「悔しかったんじゃないの？」と意地悪な質問をしたことがあるのですが、さすが偉い先生でして、「いや、自分が思っていた宇宙の始まりはそのとおりで、信号がちゃんと来ているという事がわかったからそれで満足なんだ」と話しておりました。

ベンジヤスとウィルソンが見つけた電波を宇宙マイクロ波背景放射と呼びます。宇宙マイクロ波背景放射は、今この瞬間もどンドン宇宙から降り注いでいる。電波ですから、もちろん我々の目には見えませんが、宇宙中からやってきている。これがビッグバンの信号です。これはわずか温度が絶対温度 2.725K (ケルビン) $= -270^\circ\text{C}$ です。宇宙の温度は今 -270°C なのです。宇宙は膨張と共にどんどん冷たくなっていったおかげで、今すぐ温度が下がっているんですけど、かつて宇宙の温度が高かった時代の姿を残すものに違いない。宇宙マイクロ波背景放射で見ているのは、我々の宇宙誕生から38万年の姿です。

では、今から137億年前、宇宙誕生から38万年の時代に何が起こったのか。ビッグバンの宇宙では、あまりに熱いために、元素はバラバラになって、陽子と中性子、そして電子として存在していました。宇宙誕生後3分の時代に、陽子と中性子がくっついてヘリウムの原子核ができます。陽子の方が多かったので、陽子、つまり水素原子の原子核もそこには数多く存在しています。この原子核が電子を身にまとうと原子になります。38万年の時代に、陽子が電子を身にまもって、水素原子が誕生したのです。ここで、重要な事は、光は電子ととも衝突しやすいという性質を持っていることです。38万年までは、電子がうようよ宇宙空間にいたので、宇宙にうち満ちていた光は、絶えず電子と衝突を繰り返していました。まるで霧や雲の中のように、光りがまっすぐ進めなかつたのです。つまり、見通せない、不透明な宇宙です。38万年経って、電子が陽子に捕まってしまうと、光は衝突する相手がいなくなり、まっすぐ進むことになります。透明な宇宙の誕生です。これを晴れ上がりといいます。38万年の時代から、はるばる137億年かけて私たちにやってきているのが宇宙マイクロ波背景放射なのです。

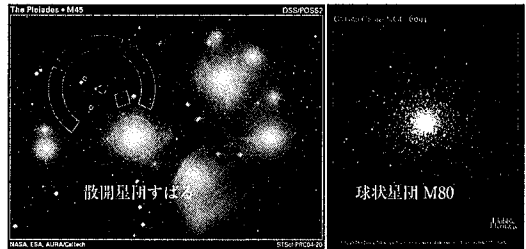
1時間ほど前のものになります。今木星はとても綺麗にみえています。土星はリングがちょうど真横になっていくしざしの姿がみえるそうです。さらに外側には、氷で出来た天王星や海王星があります。冥王星はもはや惑星の仲間ではなくて冥王星型天体という新しい種族の代表、ということになっています。太陽系の外側には、冥王星や、それよりも小さなカイパーベルト天体と呼ばれるものがたくさんいます。さらにその外側には、彗星の巣があることがわかっています。何万年という周期でやってくる彗星の軌道を逆算することで、巣の存在がわかっているのですが、誰もみたことはありません。暗くてみえないんですが、オールトという人が軌道計算で在るんだということを見つけた。ということで、オールトの雲と呼ばれています。太陽系の外側は光で1年1光年の距離まで広がっています。



すばる望遠鏡の捕らえた木星と土星。

太陽系の外側は、星の世界になっている。この星の集団、散開星団と呼ばれているのですが、これはすばる、清少納言が枕草子で詠んだ、日本人には代表的な星です。みたことありますか？若い人ちゃんとみてくださいね。冬の空にチカチカしています。440光年の距離にあるんですね。440年前の光を見えています。遠方なので、星としては遠く暗いはずなんですが、結構明るく、きれいに見ることができます。それは、すばるはまだあまり生まれてから時間が経っていないことが関係しています。8000万年くらい前につくられた星々と考えられているのですが、例えば、太陽は46億年くらいたっているんですが、それに比べたら全然若い。若いので、寿命の短い、重く、明るく輝く青い星が、まだ残っている。ただしこれも何億年かすると消えてしまいます。一方、別の星団、銀河系の中には、こんなのがあります。球状星団M（メシエ）80です。2万8000光年の彼方です。この1

個1個の粒々が星なんです。しかしこの星はすばるに比べて、軽くて小さくて暗い星ばかり、そしてとても古い星の集団で生まれてから何十億年、もしかしたら百億年くらいたっているかもしれません。このような球状星団は、数十万の星が集まって出来ています。同じ星団でも、すばるの散開星団とは種類が全然違う、年齢も違うし、生き方も違う。



これはわれわれの銀河系を上から見た想像図です。真ん中にバルジと呼ばれる星の固まりがあります。外側には渦を巻いた円盤部分があります。星の数は全部で2千億くらいある。この図にあるように、太陽系は銀河系でも外側の辺境地、中心から2万5千光年離れた場所に住んでいる。われわれ、決して銀河系の中心にもいなければ、太陽は派手な大きな星でもないし、中くらいの平々凡々とした星なんです。太陽が大きい星だったらあつという間に爆発してしまうんです。46億年生き続けていてくれる、あと50億年大丈夫なのは平々凡々としてくれているお陰なんです。ここが我々の住所です。覚えておいてくださいね。銀河系は、横からみると円盤の形をしている。もし、銀河系の中心に文明があったとしましょう。今この瞬間に彼らがこの地球を見たらどのような地球がみえるのか？2万5千光年ですから2万5千年前の地球が見えるということになります。そうですね、氷河時代の地球の姿が見えるでしょうか。



銀河系を飛び出て、一番近くにある大きな銀河が、アンドロメダ銀河です。アンドロメダ銀河は我々の銀河にそっくり、250万光年彼方に在る銀河

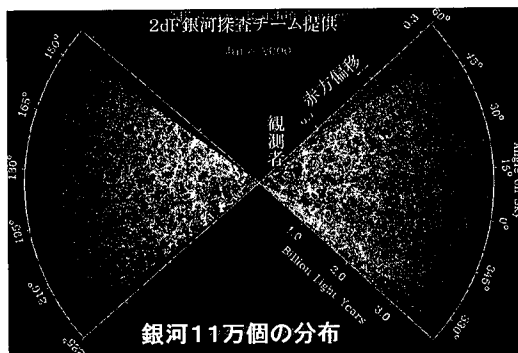
です。アンドロメダ銀河の超文明が、今、太陽系を見ることができたら、原人しか見えないことでしょう。250万年前なのですから。

我々の銀河を中心に地図を描くと30個くらいの銀河が集まっている。局所銀河群と呼びます。このような銀河の集団は宇宙でよく見られます。極端に多くの銀河が集まっている場所を、銀河団と呼びます。例えば、この図がかみのけ座銀河団です。ここには、1000個以上の銀河が集まっていると言われています。1つの銀河には100億、1千億くらいの星、ひよっとしたら1兆個ある。この中にどれだけ文明があるのか。ひとつではなく、無無にあるのかもしれない。文明だけでなく生命として考えたら、ドキドキしてきませんか？銀河系の中にはたくさんの惑星があることがわかっています。その惑星に生命があるかどうかはわかりません。地球がどれほど特別なところなのか、知りたいと思います。地球みたいな環境にある惑星は、この写真の中にひよっとしたら山のようにあるかもしれない。ところで、かみのけ座銀河団は、3億光年の距離にあります。この写真は3億年前の姿なのです。地球なら石炭紀の頃でしょうか。



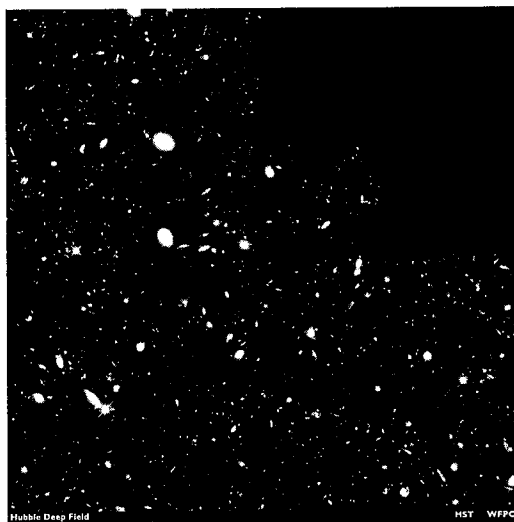
これは最近精力的に作成が進められている、宇宙の地図です。ここに見られるように、銀河にはネットワーク的な構造があることがわかってきました。何億光年という巨大な構造がつらなり、銀河の集まりである銀河団が存在しているのです。

次はハッブル宇宙望遠鏡がみた平均的な宇宙の場所の姿です。遠方の銀河が山のように写っています。これが宇宙の普通の姿なのです。この中には、何千万光年、何億光年、さらには何十億光年の彼方にある遠方銀河が写っています。暗い銀河のう



宇宙の大規模構造 (一つの点が銀河!)

ちのいくつかは何十億年も前の光、ということになります。これまでに人類が見つけた、最も遠方の銀河は、すばる望遠鏡が見つけた128億年前、宇宙が誕生してからわずか7億8千万年のものになります。ただ、この記録は2009年4月に塗り替えられました。宇宙誕生後6億3千万年、131億年前からやってきた光が捕らえられたのです。この頃は、地球や太陽系はおろか、銀河系さえまだ生まれていなかったでしょう。



さて、みなさん、宇宙とは寂しいところかと思つたら実はそうでもない。宇宙には、惑星系、星団、銀河、銀河団・銀河群、そして銀河のネットワークである大規模構造といった、階層的な構造がある事がわかりました。遠方の宇宙を見ることができるようになったので、見つかったのです。

3. 暗黒が支配する宇宙

最後になりましたが、暗黒が支配する宇宙について少し話をさせてください。21世紀に近づくにつれて、宇宙についてますます理解が深まってい

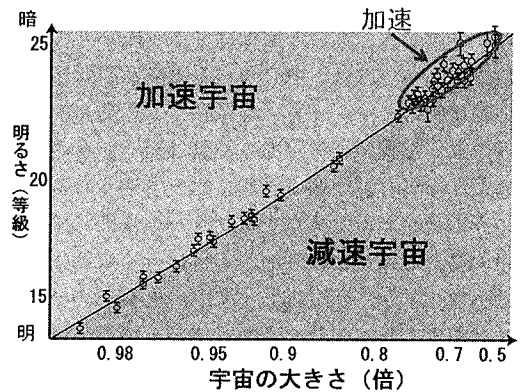
ました。例えば、すばる望遠鏡を始めとして、多くの望遠鏡が、ハワイのマウナケア山頂に作られました。死火山なので大丈夫なのですが、現地の人にとったら聖地なんです。地元の人の中には反対意見もあったようですが、今、ここに口径30メートルの望遠鏡を作る計画が進められています。これまでに見えていなかった遠方の天体が見えることが期待されます。

最新の観測、そこで見えてきたのが暗黒に支配される宇宙です。この暗黒は二つあります。一つは暗黒の物質ダークマター。そして暗黒のエネルギー、ダークエネルギー。これまで見てきた、光の宇宙は、実は暗黒で支配されていることがわかったんですね。

ダークエネルギーというのはものすごく変なんです。この世のものとは思えないので私としては、イヤでしょうがないのですが。どうしてダークエネルギーがあることがわかったかという、宇宙は膨張していると先ほど言いました。膨張は重力によってだんだん遅くなっていくはずだともいいましたが、観測すると、膨張が速くなっていました。1998年に発表された研究成果で、確実に膨張がはやくなっていることがわかりました。という事は、膨張を加速させる変なエネルギーがなくてはいけません。ほっとくと遅くなるものを加速するのですから、外からエネルギーを注入してやる必要があるのです。これをダークエネルギーと呼びます。

どんな観測をしてダークエネルギーが見つかったのか、ざっくりいうと、遠方の超新星を観測します。超新星は本当の明るさがわかっている、すごく明るい天体です。この超新星の明るさを観測すると、そこまでの距離がわかります。本当の明るさがわかっている、暗く見えたら遠くに、明るく見えたら近くにあることがわかるわけです。多くの超新星を使って、そこまでの距離がわかると、宇宙のサイズを測る事ができます。遠方の超新星が、予想したよりも暗く見えれば、膨張速度が速くなっていることがわかるのです。風船みたいな宇宙を考えましょう。この宇宙が加速する膨張をしている、だんだんゆっくりしていたのが、どんどん速くなってきて、今の速さに到達します。今の速さは観測されています。ハッブルの法則にでてくる定数から求められるのです。そこで、今の膨張の速さを基準にして、過去へ膨張を巻き戻

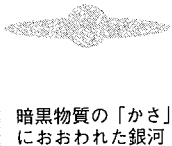
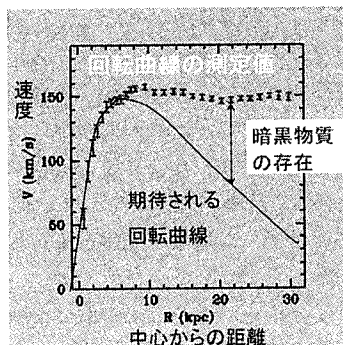
してみましょう。加速する場合には、過去の膨張の速度の方がゆっくり、ということになります。風船がなかなか小さくならないということ。一方、減速膨張する宇宙はどうでしょう。この場合には、過去の方が膨張のスピードが速いということになります。そこで、巻き戻すと、風船があつというまに縮んでいくということになります。ここで、加速する場合と減速する場合に、時間を逆戻しにしたとき、例えば今の半分の大きさになるのに必要な時間を考えてみましょう。加速する場合はなかなか縮んでいかず、減速する場合には一気に縮みますので、加速する場合の方がずっと時間がかかる、つまりずっと昔、ということになります。昔、ということは遠くです、暗くなります。つまり、同じ大きさの宇宙で比べれば、加速する宇宙の方が、減速する場合に比べ、遠方の天体が暗く見えるのです。



ここで、観測データを見てみましょう。横軸は宇宙の大きさです。右側が小さい、過去の宇宙を表し、0.5が今の宇宙の半分の大きさです。縦軸は明るさです。上が暗くなります、つまり上にデータがあれば暗いんです。観測データを見ると、全体的に上に集まっています。この図のピンク色の部分にデータがくると減速する宇宙、青い色だと加速する宇宙になります。わずかな違いですが、データは加速を支持しています。この発見したのはカリフォルニア大学バークレー校の人ですが、彼にノーベル賞がくるかもしれません。宇宙の膨張は加速していることがわかりました。そして加速させている犯人のことをダークエネルギーといいます。さっきアインシュタインが宇宙項、宇宙を引き止めておくために反重力をつくったと話しました。引き止められるんだったら、加速す

ることもできるんです。生涯最大の失敗だったのに、アインシュタイン、さすがにエライです。アインシュタイン自身は、天国で、「ホントにあったの？」って思ってるんじゃないでしょうか。さて、宇宙の膨張を加速させるには莫大なエネルギーが必要です。宇宙全体のエネルギーや物質の7割はダークエネルギーがしめていないと今の宇宙を加速できません。宇宙を支配しているのはダークエネルギーだったのです。

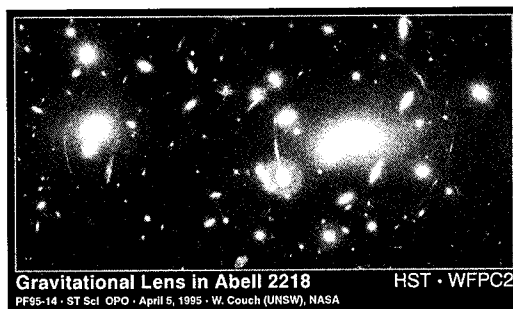
暗黒成分その2が、ダークマターです。ダークエネルギーには負けますが、こちらは宇宙の物質の大部分を占めています。どうのことを調べるとわかるかという、銀河の回転曲線というものでわかります。回転の様子を二つの場合について見ていきましょう。上は車輪タイプ、このときは、ぐるりと回った時、内側と外側とどちらが速く走らないとだめですか？外側ですよ。走って見たらすぐわかりますが、外側の方がたくさん走るので外側が速くないと回転はうまく成り立ちません。この場合には、中心からの距離と回転速度は必ず比例します。一方、惑星タイプ。真ん中に太陽のような重い天体があり外側は軽くてものがないような場合、内側が外側に比べて速くなる、ということがわかります。ケプラーの法則です。車輪の場合とは逆に、外側へ行けば行くほど、速度は小さくなる。それでは、この二つの回転のパターンは現実の銀河ではどうなっているのか。銀河では、真ん中にバルジという星の巨大な塊があります。この塊は全体にぐるりと回っているんですね。さっきの車輪と一緒。中心よりも外側の方が速い回転です。一方、外側の円盤部分。こちらでは、中心のバルジが質量の大部分を持っているので、惑星タイプ、ということになります。外側に行くとき遅くなるはず。つまり、銀河では、中心の近くでは車輪タイプなので、中心から外に向かっていくと回転速度が上がります。しかし、逆に、中心から離れた場所では惑星タイプなので、中心から遠くなれば、回転速度が落ちる、ということになるはず。しかし、実際に観測してみると、外側でも、速度は落ちていかなかった。このことを説明するためには、中心のバルジにだけ質量が集中しているのではなく、外側にも相当の質量がなければいけません。全体をぐるりと回すためです。つまり、銀河は、見えない物質で覆われているということがわかりました。ハロー(暈:かさ)



暗黒物質の「かさ」におおわれた銀河

と呼びます。これが暗黒物質です。

さらに重力レンズ効果というのがあります。銀河団には多量の物質が集まっています。そこでは、とても重力が強いために、空間自体がレンズとして働いています。銀河団を通して、遠方の銀河を見ると、その光は曲げられるのです。その結果、ものすごく歪んだ、引き伸ばされた形になってしまいます。この現象を、最初に予想した人はアインシュタイン。これを見えない物質の量の推定に使えるだろうと考えついたのがツビッキーという天文学者でした。1930年代のことです。ようやく、1990年代になってハッブル宇宙望遠鏡の時代になったらこれがわかるようになった。この写真を最初に見たとき衝撃的でした。これは銀河団でものすごく重力が強いたので後ろにあるなんの罪も無い、普通の円盤形をした銀河がギューンと引き伸ばされている。引き伸ばされた形を見ると、そこに、どれだけ重力があるかということがわかります。ポイントは見えているものではなく、質量がどれだけあるかが測定できることです。重さがどれだけあるかによって引き伸ばされ方が変わっていくということです。これでダークマターの存在量がわかります。すると、見えている物質の10倍程度も存在していることがわかってきたのです。



ところが、一方で、ビックバンでヘリウムがど

れだけできるかという理論予想と、実際の観測を比較すると、宇宙にどれだけの質量の元素があるかわかります。元素が多いと、ヘリウムもたくさんできるのです。こうやって求めた元素の量と、ダークマターの量を比較すると、なんと、宇宙の物質の7~8割は元素でない、ということがわかりました。ダークマターは元素ではなく、謎の粒子かなにかだったのです。

結局、宇宙全体の7割がダークエネルギー、残る3割の内の7~8割がダークマター、残りが通常の元素ということがわかりました。このことについて、どうやって割合が精密に決められるのかお話したいのですが、どんな良い講演でも講演時間を過ぎると聴衆は講演者に殺意を抱くという話がありますので…。(笑)

4. 宇宙の運命

最後に、宇宙の運命についてお話ししましょう。宇宙はこのダークマター、ダークエネルギーに支配されている。ダークエネルギーというのはずっと存在し続けるかは我々知らないんですけど、仮に残っているとしましょう。ダークエネルギーが宇宙全体に満ち溢れていて残り続けていくと、宇宙はつぶれたりしません。みなさんよかったですね。膨張を速めながら永遠に膨張を続ける宇宙が残ります。これで安心して夜も眠れます。ところが50億年後に銀河系とアンドロメダ銀河が衝突します。さっきのアンドロメダ銀河は、地球に近づいてくる、銀河系に近づいてくるということがわかっています。ひょっとしたら逸れるかもしれませんが、運が悪ければ正面衝突します。こんな感じです。こういうことが起きると想像されています。そうすると何が起きるか？ 良いニュースと悪いニュースがあって、どちらから先に聞きたいですか？ 悪いニュースからがいいですか。では悪いニュースから。50億年後ですから太陽は寿命が尽きます。ということは人類は太陽系から逃げ出さないと太陽が広がって地球を飲み込むかもしれない。ただその時に地球を外側に押し出すといわれているので、地球そのものは飲み込まれないのかもしれませんが、とても人類が生きられる環境ではありません。50億年後までにはどこかに逃げ出さなくてはなりません。これが悪いニュースです。銀河系の中で他に住める場所をうまくみつけたらいいんですが、良いニュースは、アンドロメダ銀河と銀河系が衝突しても、決して星同士が衝

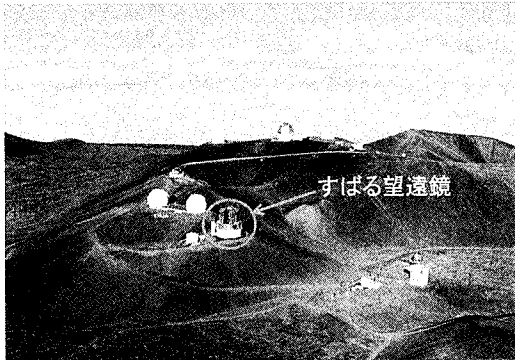
突してドカーンということは起きずに、すれ違うだけで星はぶつかりません。では何がぶつかるか、互いの中にあるガスがぶつかるんです。ガスがぶつかる時ってそこに星ができます。さっきのすばるにあるような青く明るい星がワァーと空にいっぱいできるので、きっとそのころの空をみあげたら青い星がたくさんで美しい星空がみえるんじゃないかなと想像しています。50億年後ですから楽しみに。さて、1千億年後には宇宙の大きさは現在の500倍になります。そうすると何が起きるか？ 例えば3億光年彼方にあるかみのけ座銀河団は1千5百億光年向こうに行っちゃいます。1千5百億光年向こうに行かれた日には暗くてほとんどみえない。しかもすごい勢いで遠ざかりますから、赤を飛び越えて、電波も飛び越えて、波長が長くなって、可視光では見えなくなる。ということはとんでもなく観測しづらくなるということです。これは大変なことです。これは天文学の危機です。いま我々は急いで観測しなければならぬので、仕分けなど言わずに、予算をください。さて、100兆年くらい過つと銀河系の星はみんな死に絶えます。だいたい燃え尽きます。リサイクルもしなくなる。残されたブラックホールもいつかは蒸発します。今日ブラックホールの話が出来なくてすみません。元素も壊れて最後は電子・陽電子になってしまいます。たぶん、たぶんですよ、元素もなく、冷たくなった、ほとんど空っぽな宇宙がいつまでも存在する、というのが未来予測です。ただし、ダークエネルギーが変化して、加速膨張が終わるときが来るかもしれません。また、最悪のシナリオはダークエネルギーがどんどん支配的になっていって加速が加速されるという可能性です。これは、えらいことになる。ハイパーインフレーションです。ダークエネルギーの支配が進むと、先ほどダークエネルギーでは体は大きくなるといいましたが、場合によっては体が引き裂かれちゃう。人間の体がバラバラになってしまう。人間の体だけではなく原子までバラバラになってしまう。空間もバラバラに引き裂かれる。そういうことが起きる、かもしれません。可能性としては低いと思うので心配はしなくていいですよ。未来の話をお話してみました。

今日はパソコンのトラブルで申し訳なかったんですが、お話したかったことは話せました。宇宙は膨張している。ビックバンで始まった。それか

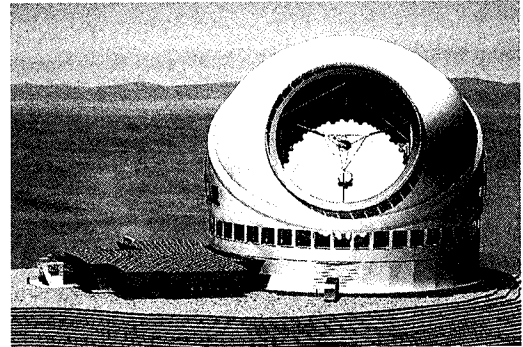
らはどうなる？現在加速している。ダークエネルギー、ダークマターという暗黒の成分によって支配されている。ということが観測によって明らかになりました。観測によって、宇宙の始まりとか宇宙の未来、暗黒の宇宙というのがどうなっているのか、明らかになる時代がやってきました。神話や哲学から始まった宇宙論が21世紀に科学として確立され、ただし、確立されたからと言って安心かというところでもなくて、暗黒に支配される奇怪な宇宙というのが見えてきたわけなんです。サイエンスフィクションからサイエンスへ、というのがキャッチフレーズなんです、21世紀は宇宙論の世紀かもしれませんが、少なくとも95パーセ

ントくらいの宇宙は全然わかっていない。元素は4～5パーセント。それが現状です。いろいろな新しい観測機械があるんですが、例えば、ハワイのマウナケアに30メートルの望遠鏡を作る計画がいよいよ進もうとしています。日本の国立天文台もこれにどうもかもうとしている。どれくらいお金がかかるかというと1千億といわれています。今後の進展を期待していただきたいとおもいます。本日はありがとうございました。

〈以上は2009年10月17日（土）甲南大学132講義室において開催された講話に基づく〉



ハワイ・マウナケア山頂：4200m



30m 望遠鏡計画

平成 21 年度中間報告（第 1 回目）

「東アジアにおける戦争と絵画」

No.110 研究幹事：金泰虎（国際言語文化センター）

前近代の東アジアでは、個々の地域における戦はもとより、東アジア（日本・韓国・中国）を巻き込んだ戦争もあった。そこで、4人の研究者は上記のタイトルのもと、なぜこれらの戦争を絵画として描き残したのか、その絵画の意味合いやこの戦争が一般の絵画に与えた影響などについて、それぞれのテーマを設定して研究を進め、以下のような中間報告としてまとめた。

金泰虎のテーマは「前近代における日・韓・中を巻き込んだ戦争とその絵画」である。前近代において日・韓・中が共に関わった戦争とは、「文永・弘安の役」・「文禄・慶長の役」が取りあげられるが、これを題材にした絵画が残されている。まずは、これらの絵画の収集を行い、そして描かれている戦争の現場に足を運んで調査を行った。この絵画における戦争現場の描写を踏まえて、従来、歴史学や美術史学の視点で検証されてきた絵画資料を再吟味する。つまり、この戦争画は、描いたその目的によって戦争の意味合いや戦争画の解釈も異なり、違う方向性を示すと考えられる。この方向性に基づいて、戦争画をめぐる歴史学における戦争の意味合いや、美術史学における分類を見直して行く。

佐藤泰弘の研究は「蒙古襲来絵詞」である。この絵巻物については歴史学・美術史からの研究が蓄積されている。主要な先行研究の成果を確認するとともに、関連する研究文献や基本史料および複製本の収集に努めた。そのなかで歴史的事実としての蒙古襲来そのものだけでなく、蒙古襲来という事件が後の時代にどのように解釈され、受容されたかが研究課題となることに気付いた。蒙古襲来絵詞を、そのような歴史的事件の解釈史・受容史の中に位置付けることにより、従来とは異なる研究の可能性を探ってみたい。

趙ギュヒは「文禄・慶長の役以降における朝鮮士大夫の文化認識と絵画」である。朝鮮王朝が建国されて約 300 年間は、戦争が皆無の時代であった。その中で、突発的に起こった「文禄・慶長の役」は、朝鮮士大夫（貴族層）の認識に大きな影響を与え、また絵画にも反映された。特に、文人画を中心にその絵画を網羅して、戦争の記憶や認識がいかに表現され、また後の時代に繋がっているのかの分析を試みる。「文禄・慶長の役」が絵画に与えた影響を美術史の 1 つのジャンルとして位置づけたい。

李須恵は「文禄・慶長の役以降に朝鮮から来日した図画署画員の絵画」である。「文禄・慶長の役」以降の、朝鮮からの使節をもって、とりわけ「朝鮮通信使」という。この使節に同行した絵描き師（画員）に着目して分析を進めるが、この絵描き師の絵画についての先行研究はないに等しい。そこで、まず「朝鮮通信使」に同行した絵描き師の残した絵画の収集を行った。その中でも、なかんづく交流の中で金明国という絵描き師が残した絵画に注目して分析を行うことにする。

「日本語教育用学習支援システムを利用した読解教材の開発」

No.111 研究幹事：北村達也（知能情報学部）

本研究は、本学知能情報学部の北村、同国際言語文化センターの森川結花、上智大学国際教養学部永須実香により実施されている。北村が開発を続けてきた日本語教育に関する e-Learning システムを活用して、インターネット上の読解教材を開発することを目的としている。

本年度は、まず中上級レベルの学習者が興味を持ちそうな文学作品のテキストデータを収集した。現代の作家の作品は文庫本等からスキャンし、著作権の切れた古い作品は青空文庫（インターネット上の文学作品データベース）から入手した。前者には、吉本ばなな著「キッチン」、江國香織著「デューク」等が含まれ、後者には、新美南吉「ごん狐」、芥川龍之介「南京の基督」等が含まれる。

次に、これらの作品を教材化するためのシステム「e-chuta」を開発した。従来北村らが開発してきたシステム「チュウ太の辞書ツール」は、テキストデータを即座に教材として出力することができるものの、出力結果の編集は困難であった。それに対して、e-chutaでは、処理の中間段階を Microsoft Excel の表形式にて出力する。この表を編集し、その結果を再度このシステムで処理することによって教材が完成する。このシステムを使えば、何度でも編集作業を繰り返すことができるので、教材の作り込みが可能になる。また、読解教材の蓄積も可能になる。このシステムについては、2010年3月に開催された日本語教育方法研究会（於：東京農工大学）にて発表を行った。

この e-chuta を活用して日本語上級者向け日本語読解学習支援サイト「日本文学 珠玉の小品集（愛称 tutor.bunko）」を作成し、<http://basil.is.konan-u.ac.jp/tutor/bunko/> で無料公開した。このサイトは、上記の文学作品テキストデータのうち、著作権の切れた6作品を対象にして作成した。それぞれの作品に関して、(1) 導入のための解説、(2) 説明の必要な語に英訳や解説を付与した本文、(3) 挿絵、(4) 語彙リスト、(5) 文型リスト、(6) 俳優等による朗読音声、(7) 多肢選択問題、(8) 記述式問題等の豊富なコンテンツを用意した。また、本サイトに関するブログも作成し、利用者とのやりとりも行っている。さらに、朗読音声は Apple 社が運営する iTunesStore に Podcast として無料公開し、多くの登録者を得ている。本サイトについては、本学情報教育研究センター紀要9号に論文を発表した。また、2010年5月の日本語教育学会春季大会（於：早稲田大学）でのデモンストレーションも決まっている。

本研究の成果を一般の日本語教師に普及させるため、2009年10月3日に「甲南大学リーディング・チュウ太ワークショップ」（於：本学）、10月24日に「同シンポジウム」（於：本学ネットワークキャンパス東京）を開催した。これらのイベントでは、この分野を代表する研究者による招待講演の他、本研究のメンバー3名による講演が行われた。前者では18名、後者では26名の参加者があり、活発な情報交換が行われた。この模様は月刊日本語2010年1月号（アルク社）にレポートが掲載されるなど、日本語教育分野において大いに注目を集めた。

近年、日本のマイノリティとしての在日韓国・朝鮮人、在日中国人の中から、目覚ましい成長を成し遂げた企業家が登場し注目を集めるようになってきている。遊技業のマルハン、MKタクシー、ソフトバンク、日清食品、アイリス・オーヤマなどがそれらの企業であり、マイノリティの企業活動は日本経済の欠かすことのできない一部分を構成している。これらの企業の成長過程を分析すると、創業者の強烈な起業家精神が企業成長の原動力であったが、いくつかの企業では創業者が死亡・高齢化し次世代に継承されている場合も多く、創業者が存命中に肉声を記録に残す意味が重要になっている。本研究は、マイノリティの企業の創業者へのインタビューを行い、そのアーカイブスを作成し、マイノリティの企業家の比較研究を行うことを目的としている。

まず、日本のマイノリティ企業家として、代表的なものをあげ、その資料を収集してきた。最近、この分野では、永野慎一郎編『韓国の経済発展と在日韓国企業人の役割』岩波書店、2010年、や、韓載香「『在日企業』の産業経済史—その社会的基盤とダイナミズム」名古屋大学出版会、2010年などが出版されている。研究チームでこれらの文献と資料を読み込んで、マイノリティ企業の成長過程とその特徴を分析してきた。

これらマイノリティ企業の創業者は個性的なアントレプレナー精神をもち、マイノリティとしての様々な逆境を乗り越え、企業を発展させてきたという共通点をもっている。彼らにインタビューを行うことで、これら企業の発展過程、創業者の経営理念とリーダーシップについて分析することを試みた。2009年度中には、日本のプラスチック用品最大手に成長したアイリス・オーヤマの大山専務取締役と、堂島ロールの創業者であり現在の社長金美花氏にインタビューした。これらのインタビューをDVDに収録・編集しアーカイブスとすることで、今後の研究に広く活用できる基礎資料を作成したい。2010年度は、MKタクシーの創業者である青木会長はじめ、何人かの経営者へのインタビューを準備しており、基礎資料を収集し分析している。

これらの研究は、日本経営史においてあまり分析されなかったマイノリティ企業に関するアーカイブスという一次資料を提供することで、今後の日本経営史に貢献できるという効果をもっていると思われる。

2009年度は、次のように、研究会および合同研究会を開催しました。テーマのキーワードから研究会の内容を紹介致します。まず、「アジア地域」に関しては、Think globally, act locallyといわれるように国際的に持続可能な未来を構築するために、中国、ネパール、タイ、台湾、マレーシアから研究者を招待するか、当方から各国の大学に出向きました。研究会やディスカッションの結果、明らかになったことは各国によって環境の事情が相違しますので、持続可能なガイドラインを方向づける環境教育学が不可欠なことを確認しました。

そして「持続可能」な未来の実現のためには、環境倫理学にもとづいた環境教育の実践も大切であり、アジア地域の環境教育の実態を調査しました。またアジア地域の持続可能な未来、環境教育学の確立、環境教育の実践を貫く大切な結び目は、ライフスタイルの変更であり、さらに、常識的なことと思われる衣食住のエコロジーの原点を探ることでした。つまり、「衣」（服育）、「食」（食育）、「住」（住育）という各国の生活基盤を知り、環境教育にそれらに特有な伝承・継承・文化をシステムティックに導入することです。

今年度以降は、国際的（グローバルな）視点から地域的（ローカルな）実践のモデル・プログラム作成がテーマになります。

2009年4月1日 チナタ・ナガシンハ氏（タイ・プラナコン大学）来日。
研究会と今後の計画を検討。

2009年7月24日 日本環境教育学会20回大会（東京農工大学）学会
プロジェクト研究にて中間報告

谷口文章「アジア・エリアにおける『持続可能な未来』のための環境教育とネットワークの構築」、シュレスタ M.L. 氏「ネパールにおける環境の現状と衣食住をめぐる環境教育」、清水芳久氏（京都大学）「アジア地域における、人間の排泄物を有機肥料にするための『トイレの開発と普及』」、前田良治氏（株）チクマ「持続可能な社会のための『服育』」

2009年10月16日 服育研究会（産学共同プロジェクト）
と合同研究会

有吉直美氏（株）チクマ「環境教育における『服育』の可能性」

2009年10月27日 林其昂氏、NCCU 国立政治大学

「J. S. Mill's Stationary State and Concepts of Sustainable Development」；岡田元治氏「Shozo Tanaka: Great Pioneer of Japan's Anti-pollution and Environmental Movement」

2009年11月13日 ミーティング「『服育』と環境教育プログラム」の
具体化

2009年11月26～27日 アジザン・バハルディン氏（マレーシア・
マラヤ大学）Centre for Civilisational Dialogue, University of
Malaya “Science, Religions & Bioethics: A Traditional Response
to Modern Science (Biotechnology)”

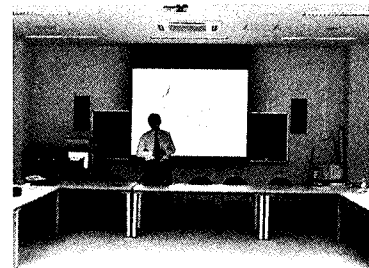
2009年12月20日 第18回関西支部大会・中間報告（泉大津）谷口文
章・有吉直美氏「アジア・エリアにおける環境教育の展－服育を
中心に－」

2010年1月27日 総研－服育合同研究会（甲南大学）

「服育をどのように環境教育に展開するか」



日本環境教育学会大会20回大会
「学会プロジェクト研究」
於：東京農工大学



Keynote lecture Prof. Brian Chi-ang Lin
林其昂教授
於：甲南大学



Science, Religions & Bioethics
アジザン・バハルディン教授
於：甲南大学

【平成 22 年度新規研究チーム】

平成 22 年 2 月 12 日に行なわれた総合研究所委員会において、平成 22 年度の新規発足研究チームとして、以下の 4 チームが採択された。

No.114 「新発見された強相関物質における超伝導発現および金属絶縁体転移の機構解明」

研究幹事：山崎 篤志（理工学部）

No.115 「異文化接触のダイバーシティ」

研究幹事：ジョーンズ プレント A.（マネジメント創造学部）

No.116 「日本と中国における企業間ネットワークの形成とその効果について

－企業間ストラテジックアライアンスと ICT システムの両面からのアプローチ－

研究幹事：杉田 俊明（経営学部）

No.117 「平生夙三郎におけるイギリスの伝統」

研究幹事：中島 俊郎（文学部）

【平成 22 年度総合研究所人事異動のお知らせ】

平成 22 年度より、総合研究所所長には、小谷博泰・文学部教授が新規に就任することになった。また総合研究所委員会の各学部選出委員として、稲田清一教授（文学部）、須佐元准教授（理工学部）、奥田敬教授（経済学部）、住田英穂准教授（法学部）、西村順二教授（経営学部）、マック・トーマス准教授（国際言語文化センター）、水澤克子准教授（スポーツ・健康科学教育研究センター）、冷水登紀代准教授（法科大学院）、家田崇教授（会計大学院）、北村達也准教授（知能情報学部）、苧野兵衛教授（フロンティアサイエンス学部）、中村聡一准教授（マネジメント創造学部）が選出された。

