

守
破
創
対談

我々が生きるこの世界は、どのように始まったのか——宇宙の起源に迫る「インフレーション理論」を提唱し、宇宙論研究を国際的にリードする佐藤勝彦博士。宇宙創成の謎を解く発想、衛星観測による発見、新たに生まれた謎などをテーマに、宇宙への情熱溢れる対談からは、科学研究の根源的な目的も導き出された。



日本銀行政策委員会 審議委員

木内登英

Takahide Kiuchi

1963年千葉県生まれ。87年早稲田大学政治経済学部卒業、(株)野村総合研究所入社。フランクフルト(90～94年)、ニューヨーク(96～02年)での勤務などを経て、02年経済研究部日本経済研究室長。04年野村證券(株)へ転籍。07年金融経済研究所経済調査部長兼チーフエコノミスト。12年7月より日本銀行政策委員会審議委員。

「自分は何者か」への探求心 宇宙創成の謎を解明する原動力は



理学博士・自然科学研究機構 機構長

佐藤勝彦

Katsuhiko Sato

1945年香川県生まれ。宇宙物理学者。理学博士。京都大学理学部物理学科卒業。同大学大学院理学研究科物理学専攻博士課程修了。専攻は宇宙論・宇宙物理学で、宇宙創成における「インフレーション理論」を提唱。東京大学大学院理学系研究科教授、ビッグバン宇宙国際研究センター長などを経て、現在は東京大学名誉教授、自然科学研究機構機構長。2002年紫綬褒章受章、10年学士院賞受賞。14年文化功労者顕彰。一般向け著書には『宇宙論入門——誕生から未来へ』(岩波新書)、『宇宙は無数にあるのか』(集英社新書)など多数。

ビッグバン以前を解明した「インフレーション理論」

木内 本日は、宇宙創成に関する理論などご高名であるとともに、自然科学研究機構の機構長として、自然科学全体の指導的役割も担われている佐藤勝彦先生に、宇宙の始まりや科学研究の課題などについて、お話を聞きたいと思っています。

佐藤先生は、一九八一年に、宇宙創成理論として一般的な「ビッグバン理論」(注1)では説明できない、ビッグバン発生以前の宇宙創成メカニズムを解き明かす「指数関数的膨張モデル」、後に「インフレーション理論」と呼ばれる理論を提唱されました。この理論が生み出された背景と、理論の内容について教えて頂きますでしょうか。

佐藤 私が宇宙論研究を始めた一九六〇年代、「ビッグバン理論」は宇宙論の標準となっていました。「宇宙の始まりは、超高密度で超高温の火の玉だった。それが爆発的に膨張する過程で温度が下がり、火の玉を構成する素粒子が結合し、様々な元素となった。さらに温度が下がると、ガスが固まっ

注1/一九四六年、ロシア生まれの米国の物理学者ジョージガモフ(一九〇四―一九六八)により提唱された。当初は、共著者たちの名前をとって「αβγ(アルファ・ベータ・ガンマ)理論」として発表されたが、

後日、この理論を認めない学者が揶揄して「宇宙がビッグバン(大きなバースト)という爆発から始まったというのか?」と言ったのを冗談好きのガモフが面白がって採用したもの。なお、ガモフは、「ソ連議の国のトムキンス」や「1,2,3:無限大」など、科学に関する分かりやすい政治家の名を多数残している。

注2/空間そのものが持つエネルギーとされる。

注3/素粒子などミクロ的な領域の現象を取り扱う物理学の分野。量子論の描き出すミクロの世界は、「真空の揺らぎ」、「トンネル効果」など我々が日常的に認識できる世界とはかなり異なる。

注4/「ハイゼンベルクの不確定性原理」の下では、真空という何もない空間においても、人間の認識できないほどの短時間において、粒子と反粒子がペアで生成消滅を繰り返している。例えば、負の電荷を持つ通常の電子と、正の電荷を持つ陽電子が誕生しては打ち消し合っている。これを「真空の揺らぎ」と言い、一九九七年、実験によって存在が確認された。なお、ハイゼンベルクの不確定性原理とは、「ドイツのヴェルナー・ハイゼンベルク(一九〇一―一九七六、一九三二年ノーベル物理学賞受賞)によって提唱された、素粒子は粒子と波の二つの性質を持ったため、その速度(運動量)と位置とを同時に正確に決定することはできないという原理。

て、銀河や星、太陽系も地球もできた」というシナリオです。

しかし、このシナリオには未解決な問題も残されています。そもそも、火の玉がどのようにして生まれたのか? なぜ膨張が始まったのか? こうした謎の答えは「神のみぞ知る」などとされてきました。

木内 その解決につながったのがインフレーション理論ですね。

佐藤 私たち物理学者としては、宇宙の創成を神話ではなく、物理学の中で説明したいと思っています。

幸い、一九七〇年代以降、素粒子の理論である、「力の統一理論」が進歩しました。「力の統一理論」とは、自然界を支配する四つの力(重力、電磁気力、陽子などの素粒子の世界で働く強い力、弱い力)は、初期の宇宙では一つの力であり、その力がやがて枝分かれしたという仮説です。また、「真空の相転移」によって一つだった力が四つの力に分かれることも示されてきました。相転移とは、身近な例で言えば、水が氷になったり、水蒸気になったりすることで、温度の変化により物の性質(相)が急変する物理現象です。

私は、この「力の統一理論」を

基本としつつ、「真空の相転移」を応用して、火の玉宇宙の誕生について解明を試みました。すると、初期の宇宙では「真空のエネルギー」(注2)が膨大にあったことに気づいたのです。

木内 何もない「真空」にエネルギーがあるのですか。

佐藤 素粒子などミクロの世界に注目する「量子論」(注3)の考え方では、真空は何もない空っぽの空間ではありません。素粒子が生成と消滅を繰り返す(注4)、そんな「揺らぎ」のある空間が量子論で言う「真空」です。私が初期宇宙の真空を調べると、真空のエネルギーが非常に高い状態にあったことが分かりました。その真空のエネルギーを、アインシュタイン(注5)の一般相対性理論(注6)の方程式に代入して計算してみると、それが空間を倍々ゲームで、指数関数的に膨張させるという解を得ることができました。

こうして、インフレーション理論が導き出されたのです。つまり、「宇宙は誕生直後、真空のエネルギーによって急激な加速膨張を始めた。そして加速膨張がしばらく続いた後、真空の相転移が起こり

加速膨張は終了。そして、真空のエネルギーは熱エネルギーに変化して、宇宙は火の玉状態となった」というシナリオです。

衛星観測が理論を証明し 新たな謎も生み出す

木内 インフレーション理論は、真空のエネルギーと相転移により、宇宙が膨張を始めたことや火の玉状態になることを示したと言うことですね。そうすると、宇宙の「始まり」にはインフレーションを起こす真空、あるいは時空がもともと存在していたということになりますか。

佐藤 それは、とても本質的で重要な質問です。インフレーション理論を提唱したとき、私は、宇宙の「種」として、素粒子のように小さな最初の時空の存在を仮定しました。それが加速膨張を起こしたのだと考えたのです。しかし、そんな説明では不完全であると承知していました。宇宙の「種」がどう誕生したのかという、まさに宇宙誕生の瞬間を説明できないと、インフレーション理論は一貫性のある理論にならないからです。

その後、インフレーション理論

が残した謎に挑戦する物理学者が何人か現れました。そのなかで、私の三〇年来の友人でもあるA・ビレンケンという学者が一九八三年に凄いタイトルの論文を書いたのです。「Creation of Universes from Nothing」つまり「無」からの宇宙創成を彼は唱えました。

ビレンケンが言う「無」は真空とは違います。物質やエネルギーだけでなく、時間や空間すら存在していません。その「無」の状態から、エネルギーを持ち、有限の時間や空間につながる宇宙が生まれる可能性があると考えたのです。

物理学というより哲学みたいですが、量子論に従えば「無」の状態といえども「揺らぎ」は絶対になくならず、ものすごく小さな時空が生まれては消えている(注7)ということになります。そこから、「トンネル効果」(注8)という量子論の効果で宇宙の「種」となる真空のエネルギーを持った時空がポツと誕生し、その瞬間からインフレーション理論が説明するような加速膨張を起こして火の玉宇宙が創成されていったというシナリオです。

「無」からの宇宙創成論は細か

注5 / アルバート・アインシュタイン(一八七九～一九五五)は、ブラウン運動の説明、光子仮説(フーベル物理学賞の対象)、質量とエネルギーの等価性(「E=mc²」、特殊および一般相対性理論などを提唱した。

注6 / 特殊相対性理論では、光速度一定の下、空間を異なる速度で移動する観測者間では、時間の進行が異なることされる。例えば、双子の兄が光に近い速度で兄の時間より一年間宇宙旅行をすると、弟の時間では彼の寿命が来ていたということが起こる。一般相対性理論では、特殊相対性理論に重力を加味し、重力によって空間が歪むこと、重力が強ければ、時間の進行がそれだけ遅くなることされている。また、大きい質量の物が運動すると、それに伴う空間の歪みが波のように伝わること、すなわち「重力波」の存在も予見されている。

注7 / インフレーション理論では、我々が存在している宇宙以外にも無数の宇宙が広がっていると予想されている。

注8 / 例えば、我々がボールを壁に向かって投げても壁で跳ね返される。量子論の扱うミクロの世界では、ボール(粒子)は、確率的に壁の向こうに通り返けることができる。こうした現象を「トンネル効果」という。

注9 / 「宇宙全体から届くマイクロ波(宇宙背景放射)とは、宇宙そのものの爆発と言え、ビッグバンで生じたエネルギーの痕跡。ガマフレによってその理論の証拠として予言され、一九六四年発見された。その後、観測精度の上昇に伴い、インフレーション理論が予想したマイクロ波の揺らぎ(微小なムラ)が見いだされた。

な部分でまだ分からないこともあります。私には、大筋において本質を捉えたものだと考えています。現在では、宇宙誕生の瞬間を説明する標準の「パラダイム」として認められています。

木内 物理学の世界では、理論と実証との間に役割分担があるように思っています。アインシュタインの相対性理論は、後に他の研究者により実証、証明されていきました。インフレーション理論もその正しさが他の研究者に証明され、宇宙誕生以降を描く標準理論になりました。

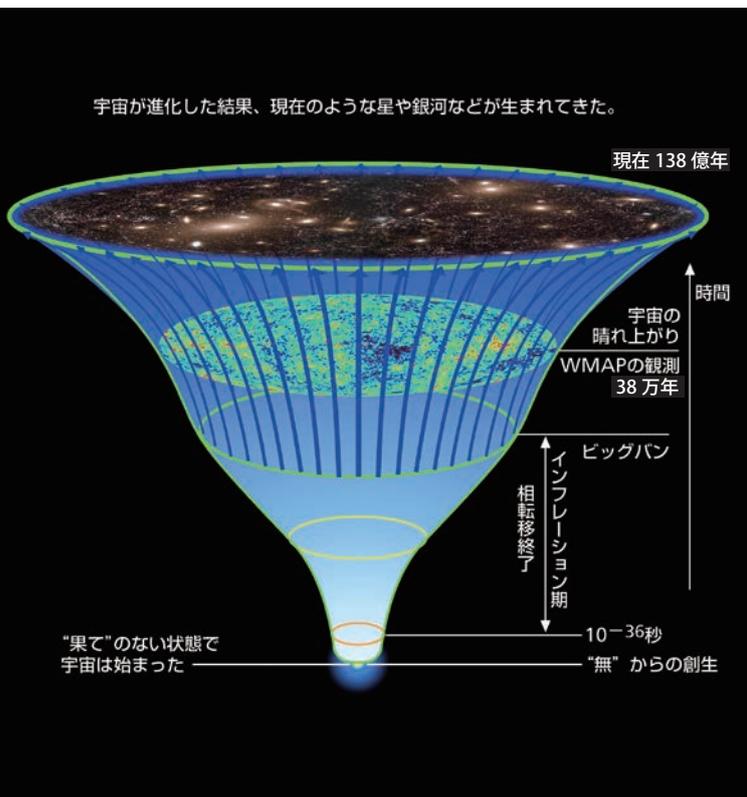
佐藤 私がインフレーション理論に関する論文を書いたのは一九七九年でした。その後、一九九〇年代以降になって、実際の観測によって理論が検証されてきました。論文発表の時点では観測手段が整っていませんでしたが、その後の技術進歩のおかげで、宇宙の初期の姿が徐々に見えるようになってきたのです。

一九九二年にアメリカの人工衛星「COBE」は宇宙全体から届くマイクロ波(注9)を観測し、宇宙が加速膨張するとき、つまりインフレーション時に生成された揺らぎを描き出しました。この観測結果により、インフレーション理論は大きな支持を受けることになりました。

また、二〇〇一年に米国NASAがWMAP衛星を、さらに二〇〇九年には、ヨーロッパ・スペース・エージェンシーという欧州の宇宙機関が打ち上げた人工衛星によって、さらに細かな観測が行われ、インフレーション理論は裏づけられました。宇宙の構造の「種」が鮮明に見えるようになったことで、宇宙の年齢も現在では一三八億年と求められています。

最近では二〇一四年三月、アメリカの研究チームがインフレーション時に放射された「重力波」(注10)の痕跡の観測に成功したと発表しました。これはアインシュタインも一般相対性理論から予言した波で、観測成功が本当なら、重力波を通じて、火の玉宇宙ができるまでの加速膨張を直接見ることもできます(注11)。残念ながら今回は違う電波を観測していることが明らかになりましたが、現在、世界中の研究者らが初めて重力波の痕跡を観測しようと激しい競争を行っている最中です(注12)。

「果て」のない状態で宇宙は始まった



最新宇宙論が描く宇宙の創成と現在に至る進化。「無」から発生した微小な時空は直ちに加速膨張をおこし、加速膨張が終わるとき大量の熱が生まれ、巨大な火の玉宇宙、ビッグバン宇宙となった。加速膨張の時代に生まれた密度の揺らぎは成長し、星、銀河や銀河団が作られた。(図提供:自然科学研究機構 佐藤彦彦機構長)

木内 人工衛星による精密な観測データを解析することで、宇宙を構成する物質やエネルギーの種類や割合も求められています。それによると、星や空気や人体をつくる通常の物質はわずか四パーセント程度しかなく、残り九六パーセントは、宇宙全体に広がり未だ正体不明の暗黒物質(ダークマター)やダークエネルギーであるとも言われています。これらの正体は何なのでしょう。

一方で謎が深いのはダークエネルギーの方です。一九九八年に見つかったときは「真空のエネルギーの発見」として発表されました。なぜその存在が分かったかと

注10/注6の一般相対性理論を参照。

注11/宇宙誕生から三八万年後までは、宇宙は非常に高温・高密度であったため、電子と原子核がバラバラな状況にあった。このため、光は電子などにぶつかって直進できず、通常の方法では、それより前の時代を観測できない。これに対して、重力波はあらゆるものを通過し得るので、インフレーション期の重力波によりその頃の宇宙の状況を明らかにし得ると期待されている。

注12/ノーベル賞をもたらしたニュートリノの検出(小柴昌俊、二〇〇二年物理学賞)とその質量の確認(梶田隆章、二〇一五年物理学賞)に成功したカミオカンデのある神岡鉱山跡に「かぐら」という重力波検出装置を二〇一五年度より設置し、重力波の検出に挑む。

注13/ポール・ゴギャン(二八四八〜一九〇三)フランスの画家、彼の絵に見られる原初的な色彩や大胆な形象は、二〇世紀絵画に多大な影響を与えた。

言うと、宇宙の膨張は一度減速したのですが、約六〇億年前から再び加速膨張していると分かったからです。すなわち、宇宙は誕生から加速膨張が起って火の玉状態になり、宇宙の膨張は減速を続けていきましたが、その後、第二のインフレーションが始まっているのです。そして、ダークエネルギーがそれを引き起こしているのです。

しかし、何がダークエネルギーをつくっているか全く分かりません。初期のインフレーションを引き起こした真空のエネルギーと同類ですが、その量は桁違いに小さいと思われまふ。したがって、宇宙を倍々に膨張させるものの、一〇〇億年ごとに倍々にする程度の緩やかな加速と考えられています。

科学研究の大きな目的は「自分」の位置を探ること

木内 佐藤先生は、一般に向けて啓蒙書も多く書かれています。私も読者の一人ですが、研究成果を紹介することでのどのような社会的な影響を考えていらっしゃいますか。

佐藤 近年、科学者に対し「役に立つ研究をしなければならぬ」という声が強くなっています。一方、宇宙論研究は人々の明日の生活に役立つかは分かりません。私の本などを通じて「宇宙の謎を知るの面白い」「宇宙論を研究してくれて嬉しい」と思ってもらえないと、役に立つかどうか分からない研究が国民の理解を得るのは難しいのが実情です。また、宇宙論研究の成果に触れることで人々が基礎的な科学リテラシーや正しい自然観を持つようになれば、これは社会全体にとって意義深いこととも思います。

さらに言えば、宇宙の始まりを知りたい、広い宇宙の中で「自分」とはどういう存在なのか知りたい、という欲求を人間は持っているのではないのでしょうか。ゴー

ギャンの「我々はどこから来たのか、我々は何者か、我々はどこへ行くのか」(注13)という有名な絵画があります。科学の大きな目的は、まさにこの根源的な問いへの解答を求めること、つまり我々が生きている世界がどのようなものを解き明かし、その世界の中で「自分」がどのような位置に存在するかを知ることにあります。それを観を持つことにもつながります。

科学全般に関するリテラシーを高める。世界の中で「自分」がどのような存在なのかを認識する。これはすごく大事なことだと思います。多くの人たちがそうならば、日本は、国力が上がリ、文化も発展するはずですよ。

木内 二〇一五年は、生理学・医学と物理学の二分野で日本人研究者がノーベル賞を受賞しました。ここ数年、自然科学系でのノーベル賞の受賞が増えています。どのような背景があると考えられるでしょうか。

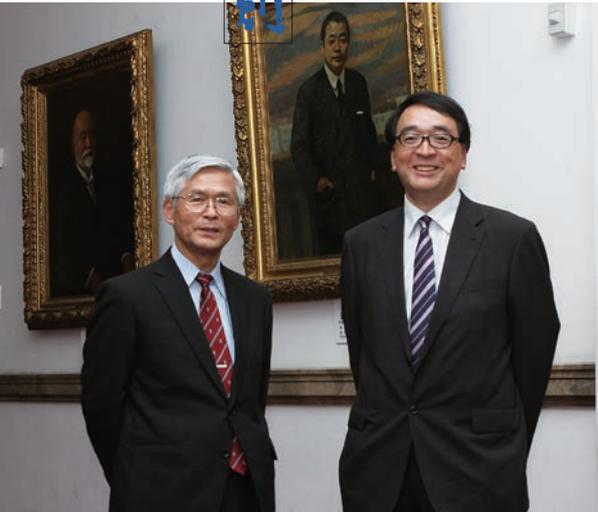
佐藤 日本人のノーベル賞の受賞が相次いでいるという意味では、日本は誇りある文化の国になってきたと言えるでしょう。しかし、

これは過去の成長時代の財産が見える形で現れてきただけではないかと危惧しています。高度成長時代、我々世代は世界のトップを目指し、最先端の研究に取り組みました。加速度的な勢いのある時代の産物・成果がノーベル賞につながったのです。しかし、ノーベル賞も今後十数年ぐらひは期待できるとは思いますが、それ以降は難しくなるのではないかと恐れています。

木内 日本の科学研究のさらなる発展に向けて何が必要でしょうか。

佐藤 一つには、大学への研究費が相対的に少なくなっていることは、大きな問題だと思っています。また、我々の時代と比べて、若い研究者の競争が、目先の成果を求めすぎ、その結果激しくなりすぎているようにも思います。日本の科学研究が競争力を維持していくためには、若手研究者を勇気づけたり、落ち着いて研究に打ち込める環境を与えたりする必要があります。私は思っています。

木内 これからも日本の科学研究を主導されるご活躍を期待しております。本日は誠にありがとうございました。



対談
守破創