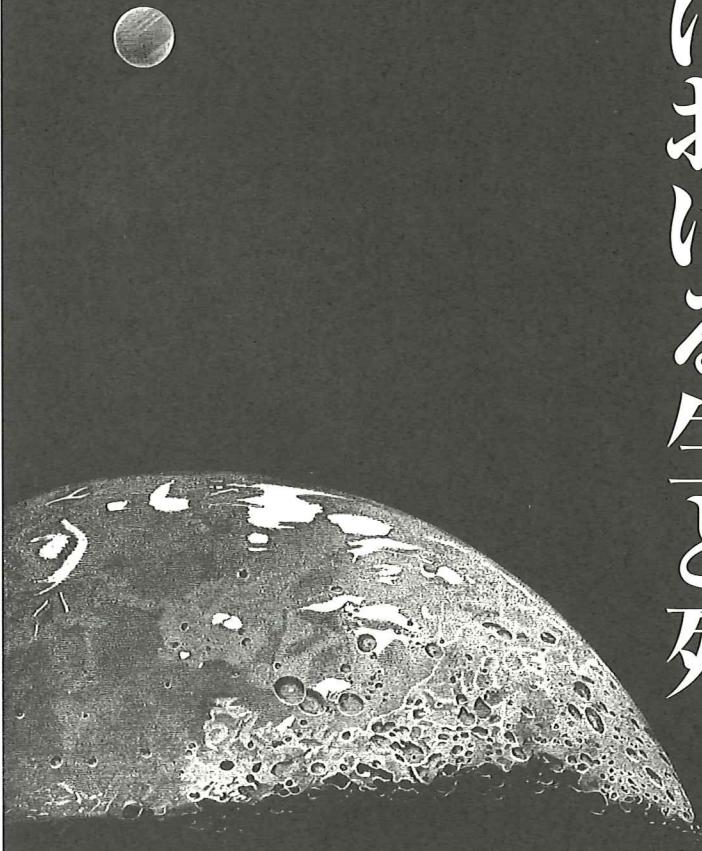
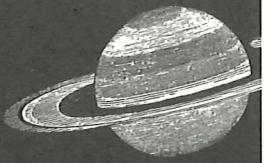


# 宇宙における生と死

戸塚洋一  
*totsuka yoji*



## 一 はじめに

小柴昌俊先生は、一〇〇二年度ノーベル物理学賞を受賞された。先生は、ニュートリノ天文学という新しい宇宙研究の道を開き、新しい宇宙の見方、いわば「素粒子的宇宙像」を開拓された。私は、幸運にも一九六五年大学院入学以来、小柴先生に師事し、また研究

をご一緒させていただいた。いろいろな研究を行つてきたが、一九八三年以来、岐阜県の神岡鉱山地下で行つたニュートリノに関する研究が、わが人生でもつとも貴重なものだつた。

一九八七年に星の死を実際に観測したことから、宇宙にも壮大な死があること、そして、

死と対をなす宇宙の誕生にも思いをいたすようになつた。無論、まだまだ未知の部分が多いわけであるが、私の参加した観測も交えて、宇宙における生と死、そして、人間が宇宙に占める位置を少し考えてみたい。

## 二 超新星との出会い

わが太陽は銀河の中にある典型的な星で、あと五〇億年もするとガスを噴き出しながら膨張を始める。そして、地球は膨張した太陽に飲み込まれて消滅する。放出するガスがなくなると、太陽は急速に収縮し、最終的に半径が現在の太陽の五〇分の一ほどに縮んだ白色矮星になる。これが、いわば静かな太陽の死である。

数百年に一度、天の川銀河で起きる壮大なイベントに超新星爆発がある。字を見ると、いかにも星の誕生の瞬間のようであるが、実際は、太陽より数倍以上重い星が死の瞬間に起こす大爆発のことである<sup>注1)</sup>。一九八七年二月二十三日、十六万光年彼方にある小さな銀河、大マゼラン星雲に超新星が出現した。チリの天文台にいた研究生が最初に肉眼で見つけたものである。神岡鉱山の地下にある観測装置「カミオカンデ」は、当時、太陽から飛来するニュートリノを観測中で、幸運にもこの超新星が発したニュートリノの反応を十一例観測することができた。この観測データを詳しく解析したところ、超新星爆発の全工ネ

ルギー、ニュートリノの発生領域の大きさなどを求められた。その値を紹介すると、まず、ニュートリノ放出を伴った爆発は十三秒間だつた。その間にニュートリノが持ち出した爆発の全エネルギーは、三×一〇の五十三乗エネルギー、もつとわかりやすい表現を使うと、太陽が四十六億年出し続けた全熱エネルギーを貯めて、それを五〇〇倍した量に相当する。超新星は、このエネルギーをたった十三秒間で放出したのである。ニュートリノの発生領域、すなわち、爆発を起こした領域は、半径約一〇kmと求められた。十六万光年先の二〇kmである。また、この発生領域の温度は、約四〇〇億度で、数秒間で急速に冷えていった。

爆発を起こした星は爆発以前に観測されていて、半径が三〇〇〇万kmにも達する大きな青白い星だった。その中心二〇kmで起きた爆発は、巨大な衝撃波を起こして周辺の物質を破壊していく。ニュートリノ爆発の数時間後、破壊はついに星全体におよび、星を粉々にするとともに、銀河全体に匹敵するほどの光を発した。チリの研究生はこの光を観測したのである。星内部では破壊に伴う核反応が急速に進み、亜鉛やウランなどの重金属が作られた。また、星内部にあつた炭素や、酸素、珪素などが宇宙空間に放出された。

壮大な星の死であるが、悲しむ必要はない。宇宙空間に放出された炭素や酸素は、長い時

間の後、凝縮し、新しい星となつて生まれ変わっていく。われわれの体の中にある炭素や、神岡鉱山にある亜鉛も、何十億年前に起きた超新星爆発で作られたものなのである。このように、数十億年のスケールで見ると、星は死んで新しい星の肥やしとなることを繰り返している。もちろん、物質は核反応により微妙に進化し続けるとともに、白色矮星や中性子星、ブラックホールなどの残骸も残していくが――。

## 三 宇宙の生と死

宇宙は膨張している。これは観測事実である。遠方にある銀河ほど速いスピードでわれわれから遠ざかっている。ただし、われわれが宇宙の中心にいるわけではない。どの銀河に住んでいる住人も、そこから見て遠方の銀河はどんどん遠ざかっている。ということは、過去にさかのぼると、宇宙は現在よりずっと縮んでいたはずである。物は縮めば圧縮され熱くなる。約一三〇億年前に宇宙の温度が一〇〇〇万度以上あつたことは<sup>注2)</sup>、宇宙にあるヘリウムの観測量から確かめられている。時間をもつとさかのぼって、さらに高温でさらに圧縮された宇宙が存在したのだろうか。これにに関しては、二、三の大変間接的な観測事実しかないが、宇宙は、想像を絶するような高温、高圧の状態で生まれ、アインシュタインの一般相対性理論と素粒子・原子核物理

学の法則にしたがって、現在の宇宙にまで進化してきたことは、ほぼ確かだと考えられる。

この宇宙の誕生の瞬間を「ビッグバン」と呼んでいる。これは「大きなバーンという音」という意味である。

研究者は、ビッグバン直後に起きた現象の痕跡を宇宙に探そうと研究を続けている。宇宙には大量の暗黒物質が存在する。物質と名前がついているが、ほとんどの暗黒物質は、われわれの体を作っている原子とはまったく違った未知の素粒子だと考えられている。研究はまだ初期の段階で、その素粒子がどのようなものかまったくわかつていかない。もし、この未知の素粒子が発見されれば、それらは宇宙超初期の超高温・超高压下で作られたはずで、その質量にもよるが、ビッグバンから計つて一兆分の一秒以前の世界があつたことの直接的な証拠になる。

要するに、宇宙は約一三〇億年前に生まれたのである。問題は、その前に同じような宇宙があつて、それが収縮して超高温になり、圧縮が限界に達して膨張に転じたのか、あるいは、宇宙の誕生は一過性のもので、数学的な特異点から誕生したのか、である。前者であれば、宇宙は無限の輪廻転生を繰り返していくことになり、後者であれば、過去の情報が一切ない、凝縮したエネルギー状態から生まれ出たことになる。後者の考え方がある。

るが、それに関してもう少し説明しよう。

宇宙は現在、膨張していることはすでに述べた。この膨張は止まつて収縮に転じるのか、どちらだろうか。最近の天文学で最も衝撃的な

発見は、宇宙の膨張は時間とともに減速するどころか加速している、という観測事実が見つかることである。ただし、この観測結果はさらなる検証が必要で、確立した事実とはまだ言えないが、もしこの観測が正しければ、宇宙はすつと膨張を続ける、という結論になら。宇宙にある物質は、地球上の物質と同じように万有引力によって相互に引き付けあつていて。そうなら、宇宙にある銀河の後退速度は時間とともに遅くならなければならない。

地上で石を上に投げたとき、その速度が高さとともに遅くなるのと同じ理屈である。ところが、宇宙の後退速度は加速している！これに関しては後述するが、いずれにせよ、宇宙が収縮に転じることはない。

遠い将来、周りにあつた銀河がすべて離れ去り、天の川銀河は、ひとつぼつんと取り残されるであろう。そして、星々も最終的には銀河中心にある巨大ブラックホールに飲み込まれていく。宇宙は、巨大ブラックホールがうろつく世界となり、そのブラックホールもやがて「蒸発」し、電波とニュートリノが薄く漂う死の世界となる。ちょっとさびしい字

宙の終わりではある。

#### 四 物質の生と死

ノーベル賞受賞者の小柴先生が神岡鉱山で始められた実験は、はじめからニュートリノに狙いを定めていたわけではなく、「陽子崩壊」という素粒子物理学の根本問題を検証することだった。陽子は、水素原子の中心にある正の電気を持つた粒子である。陽子は電子の二〇〇〇倍ほどの質量があり、物質のほとんどの重さは、陽子とその仲間の中性子の重さが足し合わされたものである。宇宙に銀河や人間が存在すること自体から、陽子は安定なつまり、ほかの軽い粒子に壊れない粒子と考えられてきた。

しかし、素粒子理論は、この陽子も絶対に安定でなく、大変な長い時間をかけて徐々に消滅していくと予言した。最終産物は光とニュートリノである。これでは物質を作り出すことができない。小柴先生とその共同研究者は、カミオカンデを使つた研究で、陽子崩壊が理論の予言する寿命では起きないことを証明した。しかし、神岡で発見されたニュートリノの微小な質量を取り入れた最新の素粒子理論は、再び陽子崩壊を予言している。現在でも、カミオカンデの後継機種である世界最大の観測装置「スーパーカミオカンデ」を使って、陽子崩壊の探索が続けられている。

もし陽子崩壊が発見されると、宇宙につい

てどのようなことが言えるだろうか。われわれは現在、宇宙に確かに存在している。この事実だけから、宇宙には始まりがあつたことがわかる。宇宙が無限の過去から存在していだなら、陽子はすべて崩壊しつくしているはずで、われわれの存在はありえないからである。陽子崩壊があれば、宇宙の終わりも必ずあることになる。陽子の寿命の何倍も時間がたつた後、すべての陽子は崩壊して光とニュートリノになり、宇宙の膨張に伴う赤方偏移<sup>1</sup>で光は波長の長い電波にかわって、宇宙は電波とニュートリノが薄く漂う死の世界となる。ただし、宇宙は永遠に膨張し続けると仮定しての話である<sup>注3</sup>。

可能性は低いが、もし宇宙が将来、収縮に転じれば別のシナリオが待っている。電波とニュートリノの世界も、収縮で再び圧縮され高温になり、ついには相互に反応を始め、陽子を作り始める。さらに収縮が進んで、陽子も溶け出し、無限大の密度を持つエネルギーの一点となつた後、多分、再び膨張に転じるのだろう。私としては、少なくとも、このシナリオのほうが少し心休まるような気がする。いずれにせよ、物質自体にも生と死があるようである。

## 五 宇宙の主要な構成物

天文学の観測によれば、宇宙の膨張はそのスピードを上げつつある。このひとつ的事実

だけで、宇宙の主要な構成物は「物質<sup>注4</sup>」でないことがわかる。もし宇宙が物質で構成されていれば、物体を地上から投げ上げる類推でわかるように、その膨張スピードは時間とともに必ず遅くなつていかなければならない。膨張が加速しているということは、宇宙の主な構成物には、引力でなく、反発力あるいは斥力が働いていなければならない。これは、万有引力の法則に真っ向から反する事実である。

驚いたことに、AINSHUTAINはすでにこのような斥力の可能性を、彼の一般相対性理論に組み込んでいた。いわゆる宇宙定数といわれる項である。しかし、理論的に予想される宇宙定数の値と、膨張の加速スピードから予想される宇宙定数の値の間には、実に一〇〇桁近い「宇宙最大の」不一致がある。現在、多くの理論家がこの困難な問題に取り組んでいる。

宇宙定数は単なる数学的表現である。われわれは宇宙定数を生み出す実体を宇宙の中に探しなければならない。これは物質ではありえないの、「暗黒エネルギー」と呼ばれている。あえて比喩をあげるとすれば、暗黒エネルギーは宇宙に満ち満ちている潜熱に相当するだろう。水は潜熱を持っており、温度を下げていくと、その潜熱を吐き出して水に姿を変える。宇宙がさらに膨張して温度が下が

つたとき、水が氷に姿を変えるように、宇宙も突然その相を変えるのだろうか。

昔、人間は、宇宙の中心に地球があると思っていた。コペルニクスの地動説は、太陽が宇宙の中心であると説明した。一九世紀、太陽は無数にある星のひとつであり、天の川銀河が宇宙の中心だと考えられた。二〇世紀になり、天の川銀河は無数にある銀河のひとつに過ぎないことがわかつた。さらに、宇宙の主要な物質は暗黒物質で、われわれの体を作っている原子などは宇宙にほんの少ししかないことがわかつた。そして、二〇世紀の終わりに、その暗黒物質さえも宇宙の主要構成物でないことが発見された。このように、学問の進歩は、人間を宇宙の隅へ隅へと追いやる道のりだった。何かさびしい気がするのは一人だろうか。

しかし、この取るに足りない人間が、どうしてこのようなことを知りえる能力を持つているのだろうか。

注1 ここではII型超新星を考える。I型と呼ばれる別の超新星もあるが、ずっと出現頻度が少なく、また二

注2 ビッグバンから計つて三分後に相当する。

注3 ただし、暗黒物質粒子は永遠に安定かもしれない。いずれにせよ、原子でできた世界は生まれ死んでいくことになる。

注4 物質とは、重力が常に引力である存在と定義する。

(どつか ようじ、高エネルギー加速器研究機構長・元東京大学  
宇宙線研究所長)

著書に『地底から宇宙をさぐる』岩波書店