

によって創生された。2) 創生された宇宙はプランクサイズ  $10^{-34}$  cm 程度の閉じた宇宙であるが、それはインフレーションによってただちに何十桁、何百桁と引き延ばされ、マクロな宇宙となった。3) またその中での相転移の進み方が空間的に異なれば、子供、孫の宇宙がその中からも生まれる。それらもまたマクロな 1 人前の宇宙へと進化することができる。そしてそれらの中では銀河が生まれ、星が生まれ、また人類が誕生するというドラマが進行する。

ここで紹介した宇宙創生論には、基本的本質的なことならについても実はまだ多くの問題が残されています。インフレーションのモデルとして理論観測と完全に無矛盾なモデルはまだ見つかっていません<sup>6)</sup>。また創生論の基礎になっている量子重力理論はいまだ未完の理論であり、今後の発展をまたねばなりません<sup>7)</sup>。従ってこのシナリオが 10 年先、20 年先大きく塗りかえられまた大きな修正を受ける可能性は否定できません。

最近の観測的宇宙論の研究は、次の岡村先生の講演で紹介されるように爆発的進歩を遂げています。観測データは急激に増大し、ハッブル定数、宇宙の密度パラメータ、曲率に関するデータも豊富となり、インフレーションが予言するように宇宙は平坦であるというデータと共

に、それに矛盾するような結果も多く発表されています。洪水のように出される観測データは理論の証明となるものもあるでしょうが、多くはさらに謎を深めるものになるでしょう。しかし矛盾が生じることはむしろ歓迎すべきことかもしれません。なぜならその矛盾を解決することによって新たな深い理解に到達するというのが科学の進歩の姿なので、矛盾は新たな「宇宙の起源」理解への鍵とも言えるからです。この世紀末の混沌の中から新たな 21 世紀の発展の種が芽生えてくるにちがいない。

### 参 考 文 献

- 1) K. Sato, *Month. Not. Rpoj. Astron. Soc.* 195 (1981), 467, *Phys. Lett.* 99b (1981), 66.
- 2) A. Guth, *Phys. Lett.* D23 (1981), 347.
- 3) K. Sato, M. Sasaki, H. Kodama and K. Maeda, *Prog. Theor. Phys.* 65 (1981), 1443 and *Phys. Lett.* 108B (1982) 103.
- 4) A. Vilonkin, *Phys. Lett.* 117B (1982), 25, and *Phys. Rev.* D27 (1983), 2848.
- 5) J. B. Hartle and S. W. Hawking, *Phys. Rev.* D28 (1983), 296.
- 6) 前田恵一, 数理科学, 1991年7月号23頁.
- 7) 細谷暁夫, 数理科学, 1991年7月号13頁.

## 宇宙の構造を探る

—宇宙膨張は永遠に続くか—

岡 村 定 矩\*

本日は最も広い意味での宇宙そのものの構造についてお話し致します。ある対象の構造を知ることとは、そのものの大きさ、重さ、年齢、姿かたち、成分などを知ることです。宇宙は過去のある瞬間にビッグバンによって誕生し、膨張を続けて今日に到っています。つまり我々は静的な宇宙ではなく、進化する宇宙に住んでいます。宇宙の構造を決める大枠、すなわち大きさと重さと年齢は、実は宇宙の膨張率とその変化に密接に関連しています。そしてそれがまた「宇宙膨張は永遠に続くか」という宇宙の命運とも結びついているのです。

宇宙は広大で暗い空間です。もし天体が何もなければ宇宙の膨張率など測ることはできません。しかし幸いなことに宇宙には多数の銀河があります。我々の太陽も、銀河系と呼ばれる一つの銀河の片隅にあります。太陽系の一つの惑星である地球から大望遠鏡の目を凝らして見ると、銀河系の星々の間隙から、深宇宙に点々と浮ぶ銀河が見えてきます。これらの銀河が宇宙の構造を探

るほぼ唯一の貴重な探針です。

宇宙の構造を記述する今日の標準的なモデルはビッグバン宇宙論です。この理論には、万物の入れ物としての膨張宇宙の記述と、その入れ物内での物質の創造と進化の記述という二つの側面があります。本日は前者についてお話しします。入れ物としての膨張宇宙は、一般相対論に基づくフリードマンモデルで記述されます。このモデルの大前提は、「宇宙は大きなスケールで見ると一様等方的である」という「宇宙原理」です。このモデルに関する重要なパラメータは、宇宙の膨張率を表わすハッブル定数 ( $H_0$ )、その変化率である減速パラメータ ( $q_0$ )、宇宙にある物質総量に対応する密度パラメータ ( $\Omega_0$ )、空間の曲率 ( $k$ )、および宇宙の年齢 ( $T_0$ ) の五つです。しかしこれらは相互に関連しているため独立なものは二つしかありません。通常  $H_0$  と  $q_0$  をとります。この二つの量を決めれば宇宙の構造と命運が決まります。 $H_0$  は主に宇宙の大きさと年齢を決め、 $q_0$  は主に宇宙の重さと命運を決めます。 $q_0 < 0.5$  だと宇宙膨張は永遠に続

\* 東大理学部 Sadakuni Okamura

き、 $q_0 > 0.5$  だといずれ膨張が収縮に転じます。  $q_0 = 0.5$  は膨張とそれを引き戻そうとする重力がちょうど釣り合う状態です。これらの量を決める確実な理論はまだありません。観測から決めるしかないのです。

宇宙膨張によって、遠方の銀河はその距離に比例した速度で我々から遠ざかっています。ハッブル定数  $H_0$  は、この銀河の後退速度と距離の間の比例定数です。この値は約5億光年より近くの銀河で決めますが、距離の決定が極めて難しい問題です。天文学では、「遠いものほど小さくまた暗く見える」という単純な原理で距離を決めます。しかし銀河には100倍以上も規模の違うものがあるため、多数の銀河を用いた統計処理が必要となります。実際には、距離に依存する観測量と依存しない観測量の間の経験的な相関関係（距離指標関係式）を用い、銀河の性質は宇宙のどこでも同じと仮定して、距離のわかっている近傍銀河と遠方銀河を比較して距離を決めます。統計処理につきものの誤差の評価が長い間論争的であり、 $H_0$  の値は km/s/Mpc の単位で 50~100 という2倍の不定性を残したままでした。しかし最近の観測では100に近い方に収束しています。私達の得た最新結果は  $H_0 = 92$  です。

減速パラメータ  $q_0$  を決めるために色々なテストが提案されています。これらの多くは、減速を引き起す物質による空間の曲がりやを測定する幾何学テストです。今日最も豊富なデータに基づく有力なものは銀河計数法です。空の一角を写真に撮りできるだけ暗い銀河まですべて数え上げます。CCD という高感度カメラの登場により、従来の写真には全く写らなかった遠方の銀河まで観測可能になりこの方法の精度が大きく向上しました。こうして数え上げた銀河の数は、我々から深宇宙を見通した空間の体積に比例する、つまり銀河の数密度は一定と考えます。銀河の進化と多様性を考慮した少々複雑な計算が必要ですが、結局の所銀河の数を数えることで空間の体積を測り、空間の曲りを決定できるのです。二次元の例えで言えば、円の面積が半径の何乗に比例するかを調べて面の曲り具合を知ることに対応します。銀河計数法の最新結果は  $q_0 \sim 0.05$  となっています。

最近の値 ( $H_0 \sim 100$ ,  $q_0 \sim 0.05$ ) を採用すると、宇宙の大きさは約100億光年、重さは約  $10^{55}$  g (銀河  $10^{11}$  個分)、年齢は約100億年と計算されます。そして  $q_0 < 0.5$  ですから宇宙膨張は永遠に続くということになります。しかしこれで決着がついたとする訳にはゆかない深刻な問題があります。

銀河系のまわりに球状星団と呼ばれる古い星の集団があります。星の進化理論と観測から導かれるその年齢は110~180億年となり、上記宇宙年齢を越えてしまいます。このことは我々の理解に何か本質的な間違いがある

ことを示唆します。銀河の性質はどこでも同じという距離決定の前提、一般相対論と宇宙原理に基づくフリードマンモデル、星の進化理論等々、いずれが正しくなかったとしても根本的な大問題です。さらに最近では宇宙の非一様・非等方性を示す観測が次々と出されています。銀河系のまわりを囲むように見える半径4億光年の銀河の巨大な壁。その壁が周期的に30億光年彼方まで存在するという報告もあります。また1億光年以上にもわたって多数の銀河を引き寄せる巨大引力源の存在も取り沙汰されています。これらの観測は、宇宙の非一様性が宇宙原理を脅かすスケールに迫っていることを示しています。もう少し観測が進めば、これらが一様性からの「ズレ」の程度でおさまるのか、そもそも宇宙は一様等方的ではなく宇宙論の根本的な再検討が必要なのか明らかになるでしょう。

4m級の望遠鏡と最新の観測装置を使って、人類はようやく宇宙の構造と命運を決める数のヒントを握りかける所まで到達しました。しかしその観測技術の進歩が一方でより多くの疑問に満ちた新しい事実を明らかにしています。 $H_0$  と  $q_0$  の確かな決定と非一様性の規模を明らかにすることが決定的に重要です。このためには、より遠く、より広く、よりキメ細かく銀河を観測しなければなりません。そこには既存望遠鏡の集光力と観測時間の壁が立ちはだかっています。「宇宙膨張は永遠に続くか」という本講演の副題には今の所、「大望遠鏡ともう少し時間を下さい」という歯切れの悪い答しかできません。私達は1998年完成を目指して、世界最大級の口径8mの望遠鏡(愛称「すばる」)を、ハワイ島マウナケア山頂に建設する計画を進めています。「すばる」によってまもなく明確な答えを皆様にお届けできるよう頑張りたいと思っています。宜しく御支援下さい。

## お知らせ

### 「一般相対論と重力」研究会

- 日 時: 1991年12月4日(水)~6日(金)  
 場 所: 東京都立大学(八王子市南大沢)  
 内 容: 一般相対論の基礎に関する問題を総合的に考察。相対論的天体物理学、宇宙論、広い意味の重力理論を含む。  
 世話人: 石原秀樹(京大教養)、江理口良治(東大教養)、小島康史(都立大理)、二間瀬敏史(弘前大理)、前田恵一(早大理工)  
 連絡先: 〒169-50 新宿区大久保 8-4-1  
 早稲田大学理工学部、物理学科、前田恵一  
 電話: (03) 3203-4141 内線 73-3657  
 Fax: (03) 3200-2567  
 E-mail: maeda@jpnwas00.bitnet