

# 現代宇宙論のはじまり

理学博士  
稲垣 隆雄

経歴 京都大学理学部物理学科卒業。理学博士。  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所  
教授。同所名誉教授。

## 1. 現代宇宙論の目覚ましい進展

現在、宇宙の構成比は、表のように、高い精度で分かっています。このような精度が得られるのは、実は、宇宙創成のシナリオが確立していて、原子物理学、原子核物理学、素粒子物理学などの地上の知識がうまく組み込まれているからです。

表 宇宙の構成比 (エネルギー換算)

ダークエネルギー	73±3 %
ダークマター	22±3 %
バリオン	4.5±0.3 %

宇宙が膨張しているというエドウィン・ハッブル (Edwin Hubble, 1889-1953) の発見に始まり、元素合成の説明の為に導入されたビッグバン宇宙論、一般相対性理論を元にしたインフレーション理論などを経過して、『宇宙に始まりがあり、しかもそれが極小の点から始まった』という宇宙創成のシナリオが確立してきました。だから、宇宙の構成や大局的構造などが宇宙の初期に決まっていますし、あらゆるものが凝縮した宇宙の初期はミクロな世界、即ち原子、原子核、素粒子の世界、であるということになります。これが、地上の知識が宇宙論に組み込まれてきた理由です。

宇宙の年齢も、今や、 $137.5 \pm 1.3$  億年という驚く程高い精度で決まっています。

## 2. エドウィン・ハッブルの膨張宇宙

こうして見てみると、膨張宇宙の発見が現代宇宙論の始まりになったといつてよいようです。

エドウィン・ハッブルは、星や銀河などの天体からの光がドップラーシフトによって長波長側にず

れている (赤方偏移と言います)、即ち、天体は我々地球から遠ざかっている、しかも、その後退する速度が地球と天体との距離に比例していることを発見しました。この比例関係があるので、時間を巻き戻すと「点」に戻るようになります。

ところで、ドップラーシフトとは、列車に乗って踏切付近を走ると、警報機の音が近づいている時は高くなり、遠ざかる時は低くなる、あれです。列車と警報機間の相対速度に比例して耳にする音の波長がずれます。ところで、星や銀河などの天体を構成する元素は、固有の波長をもった光を放出したり吸収したりしています。天体が動くと、ドップラーシフトでその光の波長がずれることになります。この波長のずれは、遠い天体でも正確に測ることが出来るので、後退速度は正確に測れます。後退速度と距離の比例関係を出すには、速度より距離の測定が難しかったのです。

後退速度と距離の関係を出す上で、もう一つ、考えておくべきことがあります。地球は太陽の周りを回り、太陽系は銀河中心に対して回転しています。これらは、基本的には周回運動ですから地球からは前進と後退が混ざった動きに見えます。膨張宇宙による後退速度は距離に比例するので、地球に近い天体の場合は、後退速度が小さく、周回運動で乱されます。ハッブルの関係式を得るには、膨張宇宙による後退速度が周回運動よりずっと大きい、即ち遠くの天体の観測が必要だったのです。実際、関係式には、距離が数百万光年以上で後退速度が秒速500 km以上の天体の観測が必要でした。

### 3. 遠くの天体の距離の測り方

距離は視差、対象を違った場所から見た時の角度のずれ、を使って直接測ることが出来ます。私達が両目を使って距離をはかるのと同じ原理です。地球が太陽を巡る公転で生ずる視差が、地上からの観測が可能な最大の視差を与えます。その視差が1秒（1度の3600分の1）である距離を1パーセクと言います。1パーセクは3.26光年に相当します。そして、一秒の視差というのは、およそ、20 km離れた点を左右の目で見た時の視差に相当します。ものすごく小さな視差であることが分かります。数百万光年以上の距離は、公転による視差が百万分の1秒となりますから、ますます小さくて、到底測れそうにありません。

遠い天体の場合は、絶対光度（一定距離でみた光量）が分かった天体から現にきている光量（相対光度）を測って、距離を計算するという手法がとられます。その絶対光度の算定も容易ではありませんが、いくつかの場合で段階的に決めることが出来ます。その中で、決定的役割を果たしたのがセファイド型変光星といわれるものです。老年期の赤色巨星からの光量が変動しており、その変動周期と光度に関係があることが、別の方法で距

離の定まったいくつかの星で分かったのです。この型の星の変光周期と絶対光度の関係が定まりました。距離を測る手順は、変光の周期を測って絶対光度を求め、その星からの光量、すなわち相対光度、を測って、その星やその星が含まれる星の集団と地球との距離を出すということになります。

### 4. ヘンリエッタ・リービットの観測

セファイド型変光星を見つけたのは、ハーバード・カレッジ天文台のヘンリエッタ・リービッド (Henrietta Leavitt, 1868-1921) です。彼女は1,500個の変光星を発見・登録し、その中から1日～1月の周期で変化する25個のセファイド型変光星を見つけました。ハッブルの膨張宇宙論にとっては彼女の測定が決定的でした。ところで、ハッブルの論文が出たのは1929年で、彼女が亡くなった後だったのです。ヘンリエッタ・リービッドは、自分のデータが現代宇宙論のはじまりになるとは知らなかったのです。

変光の測定には持続的な観測が必要ですし、見つけた変光星の数は膨大です。彼女の大変な努力がしのばれます。それを支えた情熱は、なんだったのでしょうか。私には、その情熱が、変光する星への純な好奇心以外にないように思えるのです。現代宇宙論のはじまりにはこんな静かで熱いドラマがあったのです。



図 アンドロメダ銀河(渦巻銀河(M31))

アンドロメダ銀河 (M31) は、250 万光年離れた、私達の銀河の近くにある銀河です。エドウィン・ハッブルが、「私達の銀河の外にある天体である、即ち宇宙は銀河を超えて存在している」と最初に主張したものとしても有名です。この写真は、すばる望遠鏡を使って撮影され、東京天文台のホームページに掲載されています。