

## 〈天体列伝 (3)〉

## 宇宙の大規模構造

(THE LARGE SCALE STRUCTURE  
OF THE UNIVERSE)

銀河の3次元分布を調べた結果、「宇宙の大規模構造」と呼ばれる予想以上にむらの強い分布が鮮明に見えてきた。ビッグバン宇宙モデルに難問を投げかけたこの大規模構造は、最近ではさらに、我々をとり囲んで見える「グレートウォール」に発展し、また非常に遠方まで広がっていることを示唆する「周期構造」も見つかってきている。21世紀に向けこれら宇宙の大規模構造を探る壮大なサーベイが次々と行われようとしている。

## 1. 人類の素朴な疑問

我々人類は円盤のような形をして数兆個の星が光っている「天の川銀河（銀河系）」の中心から2万数千光年離れたところにある「太陽系」の第3惑星「地球」に住んでいる。それでは「銀河系」はどのような場所に浮かんでいるのであろうか。

「宇宙の大規模構造」は人類のこの素朴な疑問に対する一つの答えである。だがそれは答えであると同時に新たな疑問と探査の始まりでもあった。

## 2. 銀河カタログと視線速度サーベイ

我々の銀河系の外を調べた銀河のカタログは数多く作られてきている。例えばツビッキー達は1960年代にパロマーのシュミット望遠鏡を用いて約15.7等までの銀河27800個のカタログを作った。現在でも北天で最も深くかつ均質なカタログであり後述のCfAサーベイのもとになった。あるいはシェインとビルタネンによるリック天文台

のカタログ(1967)では、19等より明るい銀河を天域別、明るさ別に詳しく数え、これも後述する銀河の2体相関関数に貴重なデータを提供した。

これらのカタログは天球面上に射影された2次元分布の情報しか持たなかった。銀河の分布をより明確にするには、3次元分布つまり各銀河までの距離を知る必要があった。距離を測る最も簡単な方法の1つは、銀河の遠ざかる速度(視線速度)をドップラー効果を利用して測ってやることである。銀河の視線速度と距離の間にはほぼ比例関係(ハッブルの法則; 1929年)があるため、視線速度を測ることにより、精度こそ良くないものの、簡単に銀河までの距離を求めることができる。

これを行った最も大規模で有名な研究がハーバード・スミソニアン天体物理学センターのハクラ達のCfAサーベイである。彼らは150cmの専用望遠鏡を用いて北天のツビッキー銀河を次々に観測し、1982年までに14.5等までの2401銀河の視線速度を求めた。現在ではさらに15.5等までの約3万個の銀河に拡張しつつある。図1はこのようにして調べた銀河の奥行き分布を示す投影図である。中心に我々が位置しており、外側ほど視線速度が大きい、つまり遠くにあることになる。図の直径は15000 km/s (約6億光年)にあたる。

## 3. 宇宙の大規模構造と宇宙モデル

CfAサーベイの結果、銀河の分布は決して一様等方ではなく、直径1億光年に及ぶ泡のような隙間(ポイド)を持つむらのある分布をしていること―「宇宙の大規模構造」―がはっきりした。そして銀河分布の3次元構造がかなり定量的に明らかになり、様々な解析が行われた。

例えばこの銀河分布のむらの度合を2体相関関数と呼ばれる形で表現すると、14.5等までの結果では密度が平均の倍になる距離が数千万光年、長さ方向のべきの大きさが-1.8となった。この結果はリック・カタログの2次元データを解析した東辻・木原(1969)やグロース・ピーブルス(1977)

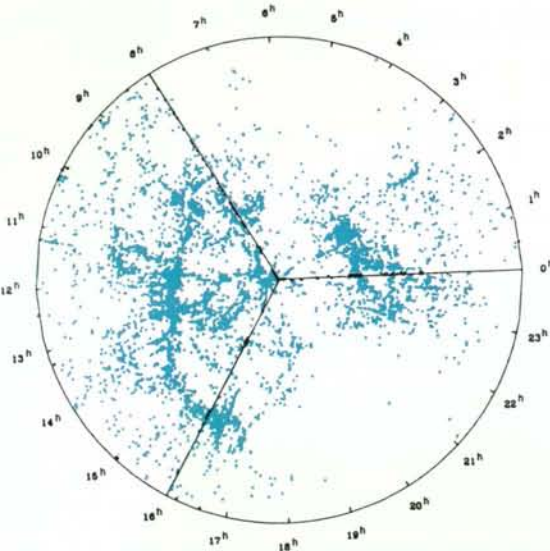


図1 CfA サーベイによる約6000個の銀河の奥行き分布 (ゲラー&ハクラ, 1989, SCIENCE, 246, 897)

の結果ともほぼ一致した。より信頼性の高まったこの値はその後の宇宙のモデルに厳しい制限を与えた(近年 15.5 等までのデータが増えて単純にべき関数では表現できない形になってはいるが)。

実はこのようにはっきり見えてきた大規模構造を説明するのは、ハッブルの法則や 3 K 宇宙背景放射などにより確立したと考えられているビッグバン宇宙モデルにおいてかなり困難なのである。銀河より先に大規模構造ができるトップダウン説では例えば 3 K 背景放射が非常に一様等方であることと矛盾するし、より小さな密度ゆらぎが重力的に成長していった大構造ができるボトムアップ説では例えば十分ゆらぎを成長させる時間が足りない。爆発説や暗黒物質、宇宙項などを用いた様々な説が提唱されているが、全ての観測を満足に説明できる説は未だできていないのが現状である。

#### 4. より大規模な構造

1989年にゲラー達がCfAサーベイよりつくった図1で初めてぐるり360度(一部天の川に隠さ

れているが)の銀河分布のパノラマが描かれた。その結果それまで言われていた大規模構造(図1のほぼ左3分の1にあたる)がずっと広がって、あたかも我々をとりまいてみえる「グレートウォール」と呼ばれるより大規模な構造へと発展した。

またブロードハースト達は1990年に、非常に狭い領域(数十分角)についてではあるが、銀河系の北極と南極方向でCfAよりずっと深く宇宙の地平線の半分近くまでの銀河の奥行き分布を調べた。その結果驚くべきことに銀河の奥行き分布のむらに周期性(約5億光年ごと)が存在しているらしいこと「周期構造」がわかった。

このような観測結果はさらに詳しい追試が必要ではあるが、理論家が一層難しい解釈を迫られることになったと思うてよいだろう。

#### 5. 大規模構造を探る観測プロジェクト

この大規模構造をさらに調べようとする観測プロジェクトが次々に行われつつある。CfAサーベイや周期構造の探査が継続中である他、英国の2グループは南天の数百万個の銀河の明るさをツビッキーやリックのカatalogより精度良くかつ暗くまで自動測定中で、既に一部結果がでつつある。またプリンストン大学のガン達を中心に日本も協力して、北天の1億個の銀河の画像と百万個(CfAの約100倍にあたる)の銀河やクエーサーの視線速度を得ようという壮大な計画も動きだそうとしている。さらに日本がハワイに建設中の8m級大型光学赤外線望遠鏡「すばる」では、大きな集光力と広い視野を生かし、ブロードハースト達よりずっと広くかつ最も遠くまで「周期構造」が探査されることだろう。これらのプロジェクトのもたらす21世紀初頭の宇宙像はいったいどのようなものになるのだろうか。

土居 守(東大理)