

〈天体列伝(35)〉

3K 宇宙背景放射

天文学の対象には惑星、星、星間物質、銀河等の異なった階層の様々な天体が存在し、それぞれが多様な現象を示す。天文学とは同じ階層に属する天体を多数観測し、その中から共通する現象を抽象して自然の本質を捕えようとする試みであるとも言える。しかし、数ある天文学の観測対象の中に一つしか存在しない天体がただ一種類ある。それが今回のテーマの3K宇宙背景放射である。

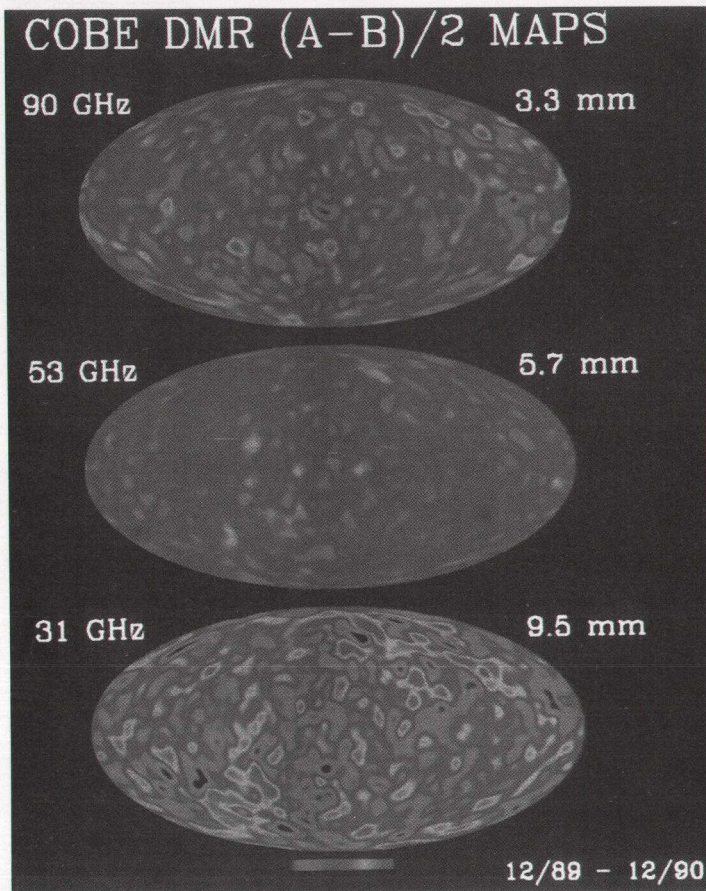
今どきの若い人にはピンと来ない話であろうが、かつて定常宇宙論が学界の大勢であった時代があった。宇宙膨脹と定常宇宙をおりあわせるために物質の創成を仮定した宇宙論で今から考えると奇妙な理論である。この定常宇宙論にとどめを刺し、現在の常識であるビッグ・バン宇宙論が大方に受け入れられる転機となったのが3K宇宙背景放射の発見である。ビッグ・バン宇宙論を初めて提唱したのはガモフであるが、彼は主として宇宙初期に元素合成を行うことを目的として理論を構築した。ビッグ・バン宇宙論では宇宙はあるとき超高温、超高密度状態で誕生したとされる。当然物質と放射が共存した状態であるが、宇宙初期には放射のエネルギーが卓越し、宇宙のエネルギーの大部分を担っている。物質は放射と熱平衡状態にあり、エネルギーに応じて最も安定な状態の形をとる。宇宙が始まった極く初期にはクォークもしくはもっと基本的な粒子と放射のごったまぜのスープであったものが、宇宙膨脹とともにエネルギーが低下し、ある時点で核子が発生する。中性子と陽子の存在量は単に質量差にしかよらないので大量の中性子が作られ、これを材料としてヘリウム等の軽元素が作られる。宇宙には質量比で20数%の大量のヘリウムが存在するが、これを説明する上でガモフ理論は大変有効であった。しかし、ビッグ・バン宇宙が受け入れられるようになるまでにはさらなる観測事実、宇宙背景放射の

発見が必要であった。

宇宙が始まって数分後には元素合成が完了するが、宇宙はさらに膨脹し、冷却し続ける。宇宙が始まって数十万年後、温度が3000Kに達するとこれまで平衡状態にあった放射と物質間の密接な相互作用が働かなくなり、その結果、宇宙が突然晴れ上がる。このとき発生した光は宇宙の進化、膨脹につれてそのまま直進し続け、現在の我々のところに届く。かなり遠方で発生した光のため、赤方偏移によって波長が伸び、現在の宇宙では数度Kの温度の黒体放射が宇宙を満たしているはずである。これが宇宙背景放射もしくは宇宙黒体放射と呼ばれるものでガモフ等によって1940年代に既に予言されていた。

よく知られているように、ビッグ・バンの鍵となる背景放射の発見はペンジアスとウィルソンによって1965年になされた。当時、空にえたいの知れぬ雑音が存在することは電波屋の常識であったとも言いが、彼らはその正体究明に真面目に取り組む、雑音電波が空一様に分布していることを示すとともにその温度を有為なもの(3.5±1K)として求めた。たった二ページの論文で天文学に関する記述は全く無いが、その引き起こした結果は天文学史上かつてないとも言えるほどでノーベル賞を受けたのも当然といえる。

最初の発見以後、理論、観測両面からビッグ・バンに基づく宇宙論研究が急速に進んだ。観測的には目標は極めて単純であった。一つは、背景放射のスペクトルを求めることである。理論からは黒体放射に極めて近いことが予言されていたが、黒体放射からのずれがあればそれは宇宙進化の上での何事かを示しているはずだからである。二つ目は空間分布である。物質は光との相互作用が切れると急速に冷却し、銀河、銀河団の様な天体の形成に向かう。宇宙が晴れ上がった時点でその“種”が存在し、背景放射の揺らぎとして観測できれば銀河、銀河団形成に極めて重要な情報をもたらす。あるいは手前の現象が揺らぎを引き起こす



COBE 衛星の測定した宇宙背景放射の分布。銀河座標で表わしてあるので上方におとめ座、かみの毛座銀河団、中央が我々銀河の中心方向、中央右下にマジェラン星雲がある。データは7°のガウシアンビームでならしてある。

COBE によって初めて宇宙背景放射光に10万分の1のオーダーの揺らぎが存在し、その空間周波数分布が宇宙膨脹にともなう揺らぎの成長の理論と矛盾しないことが明らかになった。図はCOBEによる揺らぎの全天図を示したもので、観測された3波長帯では

可能性も存在する。いろいろな角度スケールで揺らぎを観測すれば宇宙進化について貴重な情報が得られると期待された。現在最も信用されている観測はNASAが1989年に打ち上げた宇宙背景放射観測衛星COBE (COsmic Background Explorer) によるものである。スペクトルについてはサブミリ波からミリ波にかけて黒体放射に限りなく近いことが明らかになった。現在得られている値は 2.726 ± 0.010 Kである。このことは背景放射光子がその後の宇宙の進化の過程でほとんど物質と相互作用をしていないことを示している。

空の揺らぎは我々の銀河系自身が秒速600 kmで運動していることによる双極子的な分布を別にするとこれまで上限値しか得られていなかった。

ほぼ似たような分布を示す。有為な揺らぎの存在は画期的ではあるが、ビームは7度と大きい。晴れ上がった時の宇宙の大きさが現在数度のスケールで観測されるので、この結果だけからは銀河、銀河団の形成までを議論することは難しい。

3 K 宇宙背景放射は宇宙論、とりわけ初期宇宙を研究するうえで最も重要な観測対象である。COBEの成功に刺激され、意欲的な計画が多数進められつつある。3 K 宇宙背景放射はただ一つしかない天体と冒頭に書いたが、そのうちに一つ一つの揺らぎが天体と同様に議論される時代が来るのかもしれない。

松本敏雄 (名大理)