

## COBE の観測結果と宇宙論

新聞紙上などですでに報道されているように、宇宙背景放射探査衛星 COBE によってビッグバンの名残である宇宙背景放射に温度ゆらぎがついに見えられた。それはわずか 10 万分の 1 のゆらぎではあるが、宇宙の成立ちを知る上で非常に重要な情報をもたらしてくれる。

今年の春のアメリカ物理学会において、COBE グループは爆弾を落とした。ついに宇宙背景放射にゆらぎが見つかったというのである<sup>1)</sup>。Penzias と Wilson によって 1964 年に発見された宇宙背景放射は完全な黒体放射であり、その温度は 2.73 K である。これは宇宙がかつて非常に高温な熱平衡状態にあつて、それが膨張と共に冷えていったというビッグバン宇宙の決定的な証拠である。またこの温度はこれまでの観測ではどの方向でも同じ値であり、このことは宇宙が一様等方であることの示唆を与えていた。しかし一方では、あまりに温度にゆらぎがないというのはおかしなことである。私達は銀河などの構造が宇宙全体に存在していることを知っている。また最新の観測は宇宙が驚くほど多様な構造をしていることを示している。このような構造は、もともとは宇宙初期に生まれた小さな密度ゆらぎが時と共に成長して形成されたと考えられている。宇宙はその温度が 4000 K から 2000 K の頃にかけて自由電子が陽子に捕まえられて水素原子になりその結果として透明になり晴れ上がるという過程を経験した。この時代までは光と物質は電磁相互作用を通じて結び付いていたので、お互いのゆらぎもほとんど等しいものであったであろう。その物質のゆらぎが成長して現在の大規模構造をつくりあげたのである。つ

Naoshi Sugiyama: Observational results by COBE and Cosmology

まり、大規模構造があるにもかかわらず、晴れ上がりから直接伝播してくる光子すなわち温度にゆらぎが観測されないという事態は矛盾を抱えている。温度ゆらぎの観測の上限値は近年急激に下がってきて、ほとんど 10 万分の 1 に届こうとしていた。これは、どの様な理論的な逃げ道を考えようとも生き残る宇宙モデルが存在しない、というぎりぎりに近い値である。まさにこのような状況の下で、COBE グループがその最初の 1 年分のデータの解析によって宇宙背景放射のゆらぎを発見した、と発表したのである。

今回ゆらぎを見つけたのは、COBE の 3 種類の観測装置の内、DMR (Differential Microwave Radiometer) である。この装置は互いの角度が 60° 開いた 2 つのアンテナ 3 組によって構成されており、各々、31.5, 53, 90 GHz の周波数を受け持つように設計されている。その 1 組ごとによって 60° 離れた 2 点の温度差を測ることができる。温度差は装置の雑音を除去するために 2 つの独立な装置によって測定される。これによって全天の温度マップを描きあげたのである。個々のアンテナのビーム幅は 7° であり、COBE は原理的にこれより小さいスケールのゆらぎは観測できない。また 3 つのバンドで観測する理由は、波長に依存する我々の銀河内で発生する電波と波長に依存しない宇宙背景放射のゆらぎを区別するためである。今回発見され、解析されたゆらぎは以下の 4 つに分けられる。

## 1. ゆらぎの双極子成分

以前から観測されていた成分で、我々地球が宇宙背景放射に対して固有運動を行なっている結果、ドップラー効果によって生じる温度差。その値は  $\Delta T = 3.36 \pm 0.1$  mK であり、銀経  $l = 264.7 \pm 0.8$ 、銀緯  $b = 48.2 \pm 0.5$  の方向である。

## 2. 10° スケールでのゆらぎ

上の双極子成分を除いた全天の温度差の観測結果を 10° の半値幅のガウス分布で滑らかにして、温度分布の平均からのずれの分散を調べた。その

結果、 $\sigma_{sky} = 30 \pm 5 \mu\text{K}$  という値を銀緯  $|b| > 20^\circ$  で得た。銀河面の近くでは、銀河からの電波により他の場所より高温になっている。

### 3. ゆらぎの四重極子成分

ゆらぎの四重極子成分の5つの独立な成分を2乗平均した値は  $Q = 13 \pm 4 \mu\text{K}$  であった。

### 4. 温度相関

温度相関とは、天球上で角度  $\alpha$  はなれた2点の温度ゆらぎ、 $\delta T_1$  と  $\delta T_2$  の積の平均で、 $C(\alpha) = \langle \delta T_1 \delta T_2 \rangle$  と表わすことが出来る。観測によって得られた天球上の温度差のマップから  $|b| > 20^\circ$  の部分に関して、 $C(\alpha)$  を求めた。

以上の COBE による初めての宇宙背景放射のゆらぎの発見は、宇宙論、特に宇宙の大規模構造の形成の理論にとって非常に重要な意味を持つ。まず発見されたゆらぎが、アンテナの解像度から7以上であるということが注目に値する。さきに述べたように宇宙背景放射を観測することは宇宙の晴れ上がりの時期を直接見ることにほかならない。しかし、晴れ上がりの時期の宇宙の地平線(光、すなわち情報が到達できる最長の距離)は約  $2^\circ$  であり、COBE の観測は普通に考えると宇宙が始まって以来、全く無関係に発展してきた領域同士の間の温度の差を見ていることになる。つまり宇宙の“初期条件”を直接見ていることに相当する。実際に調べてみると、この観測結果とうまく一致するには地平線に入ってくる質量ゆらぎの大きさが常に一定である Harrison-Zeldovich スペクトルがぴったりであることがわかった<sup>1)</sup>。因果的に結び付いていないはずの領域のゆらぎがこのような単純なスペクトルをしているということは過去においていったん因果的であったということを示唆している。これはインフレーションと呼ばれる宇宙初期における急膨張が存在してはじめて可能になることで<sup>2)</sup>、またスペクトルの形もまさにその予想するものと一致している。

つぎに、この観測によって温度ゆらぎの大きさが実際に決まったことがあげられる。宇宙の大規

模構造の形成を調べるためには、密度ゆらぎが十分小さいとする線形理論によってゆらぎの発展を計算するのが普通である。しかしこの線形理論ではゆらぎの大きさを直接知ることはできないのである。今回発見されたゆらぎとこれまでの小さいスケールでの温度ゆらぎの観測の上限値、密度ゆらぎの大きさなどが矛盾なく説明できるかどうかで様々な構造形成のモデルに対してその可否を問うことができるようになった。その結果、何らかのバリオンではない暗黒物質が必要で、密度はちょうど宇宙を平坦にする値が望ましく、また初期条件として与える密度ゆらぎのスペクトルは Harrison-Zeldovich スペクトルが望ましいことがわかった<sup>3),4)</sup>。

今後、COBE は2年目、3年目のデータの解析を進め、さらに観測値の精度を高めていく予定である。一方でこれまで見つかっていなかったより小さいスケールでのゆらぎも今回の結果によって、まもなく発見されるであろうことが期待される。構造形成のシナリオの違いに大きく影響される小さいスケールのゆらぎが発見されれば、宇宙の大部分を占めていると思われている暗黒物質について決定的なことがわかるであろう。今回の発見によって宇宙論が定量的に取り扱える学問になったという意味で、空想から科学へ、という新たな段階を向かえたといえるのではないだろうか。

杉山 直 (東大理)

### 参 考 文 献

- 1) G.F. Smoot et al. 1992, submitted to *Astrophys. J. Letters*.
- 2) 初めてこのことを指摘したのは K. Sato 1981 *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, **195** 1303.
- 3) E.L. Wright et al. 1992 submitted to *Astrophys. J. Letters*.
- 4) N. Gouda and N. Sugiyama 1992 to *Astrophys. J. Letters* in press.