

「宇宙最初の光」を探る

ケンブリッジの Scott らのチームによってマイクロ波宇宙背景放射非等方性の観測がなされた¹⁾。宇宙背景放射の温度を 2.726 K (ケルビン)とした場合、周波数 16 ギガヘルツ(波長 1.9 cm)付近における、30 分角の角度スケールでの非等方性の大きさは 55 μ K (おおよそ 20000 分の 1 K)と有意に測定された。1980 年代後半に打ち上げられたアメリカの COBE 衛星(Cosmic Background Explorer=宇宙背景放射探査機)による観測以降、宇宙背景放射の非等方性の観測は、その存在を確認する段階から、量的におさえる段階に移行しつつある。

はじめに

マイクロ波宇宙背景放射の発見は今世紀で最も重要な天文学上の発見の一つであることには異論がなかろう。Penzias, Wilson²⁾に発見されて以来、多くの天文学者がこの「宇宙最初の光」の観測を試みてきた。観測対象となる物理量は、放射強度の周波数分布(エネルギースペクトル)と、空間分布(非等方性、ゆらぎ)である。

エネルギースペクトルについては、1980 年代後半、COBE 衛星の観測から、2.726 K の黒体放射であることが確定的になった³⁾。一方、非等方性については、エネルギースペクトルに比べると観測が困難である。なぜなら、数千分の 1 K から数万分の 1 K の「温度差」を測定するだけの検出技術と観測条件が必要とされるからである。たとえ「非等方性らしきもの」が測定出来たとしても、それは、受信効率が変動したために作り出された「人工的非等方性」かもしれない。また、我々の銀河系内外にも様々な電波源が存在する。それらによる影響をすべて量的に評価して取り除いて、はじめて宇宙背景放射そのものの非等方性が測定出来

たと言えるのである。

大角度非等方性と小角度非等方性

なぜ、宇宙背景放射には非等方性があるのか。その理由は角度スケールによって異なる。

大角度スケールで最も顕著に観測されるのは双極子非等方性である。宇宙背景放射の非等方性を全天に渡って観測した、COBE 搭載の観測機器の一つ DMR (Differential Microwave Radiometer=差分マイクロ波ラジオメータ)のデータ(図 1 上)を見ると、右上が 2.726 K に比べて 3.3 mK ほど温度が高く、左下が同程度低くなっていることがわかる。

双極子非等方性は、我々の銀河系の固有運動によるドップラー効果に起因すると考えるのが、量的に最も適当である。計算によれば銀河系は秒速 360 km のスピードで、赤経 11.2 時、赤緯 -7 度の方向へ運動していることになる⁴⁾。

双極子非等方性成分ならびに銀河系内成分を取り除くと、数度スケールの非等方性が存在するこ

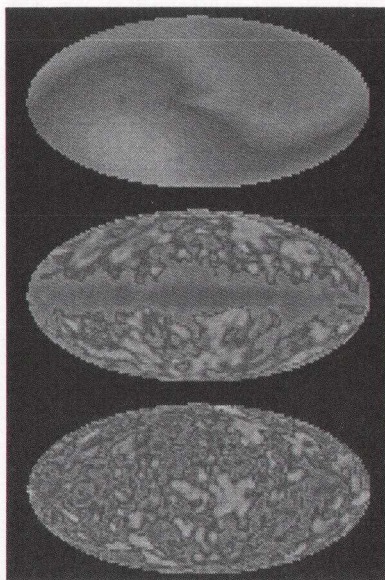


図 1 COBE/DMR による宇宙背景放射非等方性の観測結果 (NASA 提供)

とがわかる。(図1下)その成因としては、宇宙初期の物質密度のばらつきによるものとする説が最も有力である。

銀河や銀河団などの構造はいつ出来たのであろうか。もし、その源がビッグバンによる宇宙形成後ごく初期の段階に出来たとするならば、3 K 宇宙背景放射の非等方性としてあらわれると予想されている。ホットビッグバンの考え方によれば、ビッグバン直後の宇宙は非常に熱かった。そのため宇宙を構成する物質は、初期の段階ではばらばらであった。その後宇宙は膨張するにつれて次第に冷えていき、ビッグバン後 10 兆秒でおよそ 3000 K になった。その時、水素原子核と自由電子が再結合し、現在の宇宙の物質の大半を占める中性水素を形成した。

ここで、光子と物質との関係に注目してみよう。再結合前、自由電子の密度は非常に高く、光子は自由電子により頻りに散乱されていた。ところが、自由電子と水素原子核が再結合すると、自由電子は姿を消し、光子はほとんど散乱されることなく透過するようになる。この時「自由になった」光子が現在 3 K 宇宙背景放射として見えているとされる。そして光子が最後に散乱された時の物質の密度分布が非等方性として観測されると考えられている。

小角度非等方性の観測

宇宙形成の初期に超銀河団規模の構造が出来ていたかどうかを確かめるためには、COBE では観測できなかった 30 分角程度の非等方性を測定する必要がある。このような小角度非等方性は、これまでも地上、気球などで測定されてきたが、その結果の多くは、「非等方性はあってもこれくらいの大きさ以下である」というように上限値を決めるにとどまっていた。

Scott らの観測¹⁾は、1994 年の 3 月から 1 年間に渡って行われた。周波数 15.5 および 16.5 ギガヘルツで、2 度四方の天域が観測された。約 30 分角

という空間分解能を達成するため、干渉計の手法が用いられた。アンテナの空間分解能は、ある観測周波数について、口径を大きくすればするほど高くなる。しかし、複数のアンテナをある距離だけ離して同時観測し、入射した電波を干渉させ適切な解析をすることで、個々のアンテナの口径で決まる以上の空間分解能を実質的に得ることが出来る。これが干渉計である。今回使用されたのはホーンアンテナであり、個々の空間分解能はおおよそ 2 度である。それを 3 つ組み合わせて実質的な空間分解能を 30 分角としている。4 割のデータが雑音が多いなどの理由で使えず、残りの 400 時間分のデータを解析に使用している。また、観測領域内に存在する他の電波源による影響を量的に見積もるための観測も別に行われている。こうした長時間に渡る努力の結果、非等方性の大きさとして $55 \mu\text{K}$ という値が得られたのである。この結果は、様々な宇宙形成モデルの内、冷たい暗黒物質モデルから予想される値と矛盾しないと彼らは解釈している。

おわりに

マイクロ波宇宙背景放射の非等方性の観測は、ようやく理論を検証するだけのデータを得られる段階になってきた。しかし、観測例はまだまだ少ない。散々苦労した割には得られる結果は数字一つ。それでも、一旦この世界に足を踏みいれると、とりこになってしまうらしい。筆者の知人も、宇宙背景放射命と言わんばかりに観測を続けている。そうした天文学者達の地道な努力は今日も続く。

平尾孝憲 (通信総合研究所)

参 考 文 献

- 1) Scott P.F., et al., 1996, ApJ 461, L1
- 2) Penzias A. A., Wilson R. W., 1965, ApJ 142, 419
- 3) Mather J. C., et al., 1994, ApJ 420, 439
- 4) Partridge R. B., 1995, 3K: The Cosmic Microwave Background Radiation (Cambridge University Press, Cambridge, UK)