

天文シリーズ

銀河の種

ビッグバンの残光に刻まれたメッセージ

The Origin of the Universe will Be Elucidated through the First Light after Big-Bang

姫路科学館 学芸・普及担当 住江伸吾

20 世紀の初めまで、宇宙は永遠の過去から続いていると信じられていましたが、1927 年にルメートルにより、宇宙は過去の大爆発で誕生し、今も膨張しているという「ビッグバン宇宙論」が提唱されました。当時、賛同する研究者はほぼ皆無でしたが、後に「宇宙膨張（1929 年：ハッブル）」や、「宇宙マイクロ波背景放射（CMB：Cosmic Microwave Background/1965 年：ペンジアス等）」などの観測結果が発表されたことで、研究者たちは一気に「ビッグバン宇宙論」に傾いていきました^{1,2}。しかし、それを認めるには、ビッグバンの後に、いかにして銀河が生まれたかを説明する必要があったのです。

■「CMB ゆらぎ」が無ければ銀河はできない

ビッグバン以降、高温で不透明だった宇宙は、38 万年後には温度が下がって陽子と電子が結合したことで透明になり、光が遠くまで伝わるようになりました。その時に放たれた光は、今では宇宙膨張によりマイクロ波になって、ビッグバンの残光である CMB として宇宙誕生時の姿を伝えています。

「ビッグバン宇宙論」では、誕生直後の宇宙の密度分布に「ゆらぎ（偏り）」があって、周囲の物質を重力で引き付けて成長し、銀河に発展すると考えます（図 1）。密度の「ゆらぎ」は CMB の電波強度の「ゆらぎ」（以下「CMB ゆらぎ」）となって現れます。つまり、「ビッグバン宇宙論」には「CMB ゆらぎ」の発見がどうしても必要でした。

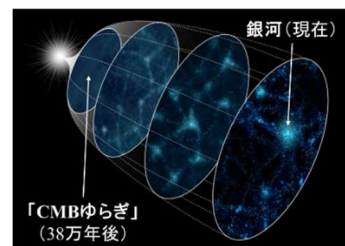


図 1 「CMB ゆらぎ」と銀河
Credit: 統計数理研究所

■地上・気球・飛行機からの観測

1970 年代になると、多くの天文学者が地上のアンテナの感度を上げて「CMB ゆらぎ」をとらえようとしたが、大気に含まれる水蒸気が出すマイクロ波がノイズになるため、上手くいきませんでした。

スムートは、気球を使って上空 30km～40km に無人の観測装置を上げ、水蒸気の影響を避けようとしたが、遠隔操作ではこの高度で突然吹く強風に対応できず、安定した観測ができませんでした。そこで、20km 以上の高度で飛行できる高高度偵察機に観測装置を積んでトライしましたが、エンジンから出る熱が測定邪魔をして、目的の「CMB ゆらぎ」をとらえることはできませんでした。

■COBE 衛星による観測

もはや、「CMB ゆらぎ」をとらえるには、検出器を人工衛星に積み込んで宇宙から観測するしかない、と考えたスムートは、1974 年に NASA の小型・中型探査機による天文学ミッションに応募しました。NASA

は、他の CMB 観測を提案したグループの計画と統合し、^{コービー}COBE (COsmic Background Explorer) と名付けた宇宙マイクロ波探査衛星を打ち上げることにしました。COBE には、「CMB ゆらぎ」を検出するために、2 つの方角から来る CMB の差を求める差分マイクロ波ラジオメーター (DMR : Differential Microwave Radiometer) など、3 種類の検出器が搭載されることになりました。

1982 年に COBE 計画にゴーサインが出て、1988 年に打上げ予定のスペースシャトルへの積載を目指して製作が始まりました。ところが、1986 年にチャレンジャーの爆発事故が起きたため、COBE チームはシャトルの代わりに旧式のデルタロケットを探したり、積載量の制限のため衛星の重量を当初の 5 トンから半分に設計変更 (図 2) するなど、様々な苦労を味わわねばなりませんでした。

COBE は 1989 年に高度 900km の軌道に無事打上げられ、その直後から DMR による観測と解析を始めました。5 か月後には、データを加算して雑音を抑え、電波強度の 3 千分の 1 の「CMB ゆらぎ」を抽出できるようになりましたが、CMB のマップには、何の兆候も現れませんでした。その後、1 万分の 1 のレベルでも「ゆらぎ」は見つかりませんでした。研究者や科学ジャーナリストの間では「ゆらぎは存在しない」などの噂が流れ、「ビッグバン宇宙論」への批判が高まってきた頃、2 年間に 7 千万回の測定を終えて作成した全天のマップに、ついに 10 万分の 1 のゆらぎが姿を現しました (図 3 (a))。CMB の電波強度は、場所によって 0.001 パーセントだけ変化していたのです²。これにより、銀河や宇宙の大規模構造の形成を、「ビッグバン宇宙論」により説明できるようになりました。

1992 年、スムートが記者会見で述べた言葉「これは、あたかも神の顔を見るようなもの」は、大騒ぎを象徴するメッセージになりました。スムートは、COBE チームを率いたマザーとともに、2006 年のノーベル物理学賞を受賞しました。



図 2 宇宙マイクロ波探査衛星 COBE Credit: NASA

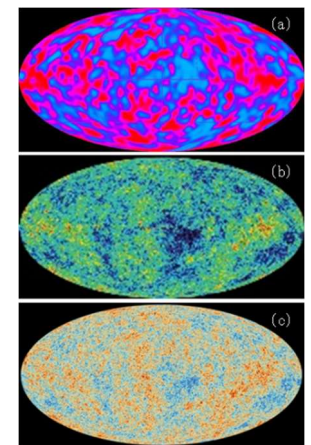


図 3 「CMB ゆらぎ」の全天マップ Credit: NASA

(a) COBE : 1989 年打上
(b) WMAP : 2001 年打上
(c) PLANCK : 2009 年打上

■WMAP 衛星・PLANCK 衛星での詳細観測と「CMB ゆらぎ」の起源

COBE の観測分解能は 7° と粗かったのですが、その後、^{ダブリューマップ}WMAP (図 3 (b)) は 0.2° 、^{プランク}PLANCK (図 3 (c)) は 0.08° という高い分解能で詳細な「CMB ゆらぎ」の全天マップを作りました。どのマップにも同様な凹凸が現れていることから、「CMB ゆらぎ」の正しい姿が得られたと考えられています。既に、研究者の関心は「CMB ゆらぎ」の起源の解明に移っています。『ミクロの世界で繰り返される粒子の生成と消滅である「量子ゆらぎ」が、ビッグバン直前の急膨張「インフレーション」で拡大することで消えずに残ったのが「CMB ゆらぎ」』とする理論が提唱されていて、宇宙が「インフレーション」を経験したとすれば、「ビッグバン宇宙論」の抱える様々な問題も説明できるため、多くの研究者が「インフレーション」の痕跡を探そうとしています²。

一つの課題が解決するとその先に新たな疑問が立ち上がり、その謎解きを通じて理論も観測も強くしなやかに成長していく、という科学の発展の姿をお手本のように踏襲したのが、「ビッグバン宇宙論」の検証プロセスでした。特に「CMB ゆらぎ」が存在するかどうかかわからず、存在しても検出できるとは限らないのに、15 年間の長きにわたる周到な準備と 2 年間の地道なデータ収集・解析を遂行し、ついにはビッグバンの残光に刻まれた銀河の種のメッセージを発見した COBE チームの不屈の精神力には、心からの尊敬の念を抱かざるを得ません。

¹ 吉岡克己, 姫路科学館「科学の眼」, Nov. 15, 2011, No. 459

² サイモン・シン, 宇宙創成 (上) (下), 2009, 新潮文庫