

## 宇宙背景放射の謎

郷 田 直 輝\*・杉 山 直\*

宇宙背景放射の非等方性は銀河や銀河団・超銀河団等の宇宙の大域的構造の形成問題と密接な関わりを持っている。これらの構造形成のモデルを考える上では、宇宙背景放射の非等方性の値を観測の上限値に合うように非常に小さくしながらなおかつ観測されている構造を現在までにつくらなくてはならないのである。ここでは、宇宙背景放射の非等方性の値が構造形成のモデルにおいてどのような物理過程によって決まるのかを解説すると共に、様々な銀河形成モデルで期待される背景放射の非等方性をスーパーコンピューターで解析し、それらを観測値と比較することによって得られた銀河形成モデルの是非を紹介しよう。

### 1. はじめに

宇宙背景放射がペンジアスとウィルソンによって偶然に発見されてから早くも四半世紀以上経った。宇宙背景放射は宇宙から等方的にやって来る電磁波であり、そのスペクトルは 2.7K の黒体放射とびたりと一致する。この宇宙を等方的に満たしている黒体放射の発見は、過去には宇宙全体が等方的に高温高密度で放射に対して黒体であったことを示唆しており、ガモフが 1940 年代に提唱していた、宇宙は過去にいけばいくほど高温高密度になるというビッグバン宇宙論の大きな観測的証拠となった。この宇宙背景放射の発見がそれ以降の宇宙論に新展開をもたらし、現在のビッグバン宇宙論の非常に重要な観測的礎をなしているのである。

このように宇宙背景放射の存在は宇宙の進化を大局的に記述するビッグバン宇宙論を根底から支えているといっても過言ではない。しかし、一方でこの宇宙背景放射は銀河や銀河団・超銀河団等の宇宙の大域的構造が如何に形成されたかという構造形成の問題に対しては大きな波紋を投げかけ、この構造形成の問題は今日の宇宙論の解決すべき最大の謎の一つとなっている。標準的な銀河形成シナリオでは、銀河や銀河団などは宇宙の極く初期に何らかの原因で生じた物質の密度ゆらぎが現在まで成長して、現在観測されているような構造にまでなったと考えられている。ところで、宇宙ではかつて物質と放射(光子)が強く相互作用を及ぼしあっていたので、もし物質にゆらぎがあるとすれば、放射の方にも同じぐらいの大きさのゆらぎが生じ、それが現在背景放射の非等方性として観測されるはずである。ところが、現在の宇宙背景放射の非等方性の観測値は非常に小さく、従って、それは物質の密度ゆらぎも過去には非常に小さかったことを示唆するが、そのような小さなゆらぎでは現在までに銀河や銀河団などの構造をつくるのが難しくなってしまう。このように宇宙背景放射が観測によるとあまり

にも等方的であるということは様々な銀河形成モデルに強い制限を与える。すなわち、銀河形成モデルを考えるに当たっては、現在の宇宙背景放射の空間的ゆらぎを小さくしながら、物質には現在までに銀河や銀河団などの構造をつくる程の大きなゆらぎを与えなければならないという一見相反する 2 つの要因を満たすようにしなければならないのである。

### 2. 銀河形成モデルと宇宙背景放射の非等方性

#### 2.1 銀河形成モデル

銀河や銀河団・超銀河団などの宇宙の大域的構造が如何にして出来たのか、という今完全な解決を見ない問題に対しては現在までに大きく分けて次のようなシナリオが考えられている。先ず、1 つ目は標準的に考えられているもので重力不安定説によるものである。重力は引力だけでなく長距離力であるがために、十分大きなスケールをもつ高密度な構造は、自己重力が圧力に打ち勝ち収縮する。すると更に高密度になって収縮が進む。これが重力不安定またはジーンズ不安定と呼ばれるものである。重力不安定説による銀河形成モデルとは、宇宙の極く初期になんらかの原因で出来た密度ゆらぎが(どの様なゆらぎがどの様にして出来たかは諸説があるが、これも未解決の問題である)重力不安定によって成長して、密度ゆらぎが大きくなり、現在観測されている構造になったとするものである。この重力不安定説については後で詳しく説明することとする。

他のシナリオとしては、宇宙初期に存在した重い星が爆発して、それに伴う衝撃波がガスを圧縮して新しい星を形成して、その連鎖により、銀河や銀河団が出来るという爆発説がある。この説にはその重い星が如何にして宇宙初期に出来たのか、という難しい問題が残る。そのほかに真空の相転移の時に生じる幾何学的欠陥である宇宙弦やドメイン・ウォールというものの重力によって物質が集まり銀河などが出来るという説が最近提案されている。この説においても銀河形成に好都合な幾何学的欠陥が本当に存在するのかどうか最大の問題である。

\* 京大理 Naoteru Gouda, Naoshi Sugiyama: The Mystery of Cosmic Background Radiation

以上、銀河形成について提案されているシナリオを大まかに分けて述べたが、重力不安定説でも宇宙の構成物質の種類を変えたり、初期条件やまたハッブル定数などまだ観測から値が確定していないパラメータを変化させたものなど様々なモデルが考えられている。そこでここでは、重力不安定説に基づく銀河形成について以下で詳しく述べることにする。

## 2.2 重力不安定と密度ゆらぎの進化

重力不安定説による銀河形成モデルは宇宙の初期に出来た密度ゆらぎが重力不安定により成長していくことに基づいている。従って、一様・等方な膨張宇宙の中で生じた密度ゆらぎの進化の物理過程をこのモデルでは明確にしなくてはならない。水素原子の再結合がおこって物質と放射との相互作用が切れる（宇宙が現在の大きさの1000分の1ほど小さかった頃に起こり、宇宙の晴れ上がりとも呼ばれる）までは、物質と放射はトムソン散乱等により相互作用して強く結ばれていた。従って、物質の密度にゆらぎがあればそれとほぼ同じ大きさの放射のゆらぎが生じ、それが現在宇宙背景放射の非等方性として観測されるはずである。しかし、観測によるとそれが非常に小さいことから、物質と放射の分離までは、物質と放射の密度ゆらぎは非常に小さく線形解析を行ってよいことになる。物質と放射の分離後は、物質のゆらぎは放射の圧力を受けずにすむので自由に成長でき、ゆらぎが大きくなり、いずれは非線形成長の段階にはいる。物質の密度のゆらぎの非線形成長についても数多くの問題が残されているがそれは他氏の解説に譲る。さて、放射のゆらぎは物質との分離以後は物質の重力ポテンシャルのゆらぎを感じながら線形のまま発展し、現在宇宙背景放射の非等方性として観測されるはずのものとなる。

後で説明するように密度ゆらぎの線形成長の定性的振舞いは物理的によく理解されている。しかしながら定量的な解析を行う場合は、線形近似といえどもこの場合は無摂動状態である一様・等方宇宙が膨張しており時間変化しているため、密度ゆらぎに対する摂動方程式は数値的に解かざるをえない。後述する様々な銀河形成モデルに対してハッブル定数などの値が未知のパラメータや初期条件を変化させて密度ゆらぎの発展方程式を解き、宇宙背景放射の非等方性を数値的に解析するには普通のコンピュータでは非常に時間がかかる。従って、様々なモデルや更にパラメータなどを多様に変化させて、数値解析を行うためにはスーパーコンピュータが大いに必要となるのである。

さて、ゆらぎの線形成長の一般的な定性的振舞いをここで説明することとする。前述したように重力不安定は自己重力が放射の圧力に勝つときに起こるが、それはゆらぎを様々な波長の成分に分解したときの各成分（フーリエ成分）の波長がある波長より大きい場合にそのフーリエ成分に関して起こる。すなわち、“ある波長”より大きな波長のフーリエ成分の振幅は大きく成長できるが、その波長より小さな波長のフーリエ成分は成長でき

ずに、振幅は振動する。この“ある波長”のことをジーンズ波長と呼び、それは今考えている場合には時間的に変化し、おおよその時間までに音波が伝わる長さで与えられる。従って、ゆらぎのフーリエ成分はその波長がある時刻でその時のジーンズ波長より小さくなれば成長が止まり、振幅は振動し、逆に大きければ振幅はある成長率で成長を続ける。このようにゆらぎのフーリエ成分はその波長によって異なった成長の仕方でも進化する。そしてまた、後述するように宇宙の構成物質の種類やパラメータの違いによってこのジーンズ波長が異なり、従って、ゆらぎのフーリエ成分の進化も異なり、物質と放射の分離時にゆらぎのフーリエ成分毎の大きさがどのようになるか（ゆらぎのスペクトル）ということもモデルに依存して異なったものとなる。また、初期のゆらぎが断熱的であったとき、放射の熱伝導と拡散の効果により、ある波長より短い波長のフーリエ成分は減衰するという現象が起こる。この現象をシルク・ダンピング (Silk damping) と呼ぶが、減衰する波長はやはりモデルに依存し、スペクトルがモデルによって異なってくる。

以上のように、物質と放射が分離する以前のゆらぎの線形成長の段階では、ゆらぎのフーリエ成分の各波長によって異なった進化をする。そして、それによって分離の時のゆらぎのスペクトルが決まり、それ以降の線形成長の段階ではスペクトルの形を保存しながらゆらぎは発展するので、物質と放射の相互作用が切れたときのゆらぎのスペクトルが現在の宇宙背景放射の非等方性の角度スケールの依存性や銀河の非常に大きなスケールでの分布の様子を決めることとなる。

さて、宇宙の構成物質の種類やその量、および密度パラメータ  $\Omega_0$  (現在の宇宙の物質の平均密度と宇宙が平坦であるときの平均密度との比)、宇宙の膨張速度と関係するハッブル定数  $H_0$ 、宇宙項  $\Lambda$  などのパラメータやまたゆらぎの初期条件などを変化させることによって、様々な銀河形成モデルが考えられる。構成物質、パラメータや初期条件を変化させることによって、ジーンズ波長などが変化し、ゆらぎのスペクトルがモデル毎に変わるのである。そして、後述するようにモデル毎に得られたゆらぎのスペクトルを使って、そのモデルで期待される宇宙背景放射の非等方性をスーパーコンピュータで計算し、観測値と比較することにより、そのモデルの是非を決めるのである。

## 2.3 ダークマター問題と銀河形成

重力不安定による銀河形成では宇宙を構成している物質が何であるかによって、構造の形成などに大きな違いが生じる。最も素直には、宇宙には放射の他には、星や我々を構成している通常の物質であるバリオン (baryon) だけが存在していると考えればよい。しかしながら、初期宇宙での軽元素合成の理論を用いると、重水素やリチウムと水素の存在量の比の観測からバリオンは力学的に測られる宇宙の密度の10%程度しか存在していないことが知られている。初期宇宙での物質の分布の非一様性

を考えに入れることでこの困難を回避しようとする試みもあるが、完全には成功していない。さらに通常信じられているように、非常に早い時間、ビッグバン後  $10^{-35}$  秒経ったときに、宇宙急膨張（いわゆるインフレーション）が生じたとする現在の宇宙は平坦であり前述のバリオンの密度だけではとうてい説明できない。そこで現在ではダークマター（暗黒物質）の存在が一般に考えられている。ダークマターの存在自体は銀河や銀河団などでの光っている物質と力学的に決まる重力質量との比の観測からも示唆されている。その候補となる粒子は通常、熱速度が大きくて小さなスケールのゆらぎを消してしまう“熱い (Hot)”ダークマター＝HDM と、熱速度がほとんどない“冷たい (Cold)”ダークマター＝CDM とに大別される。HDM は質量を持ったニュートリノ (neutrino) であると考えられていて、CDM は超対称性理論などから理論的に存在が予想されている粒子などがその候補としてあげられている。しかし HDM, CDM いずれにしても、未だ実験的にはその存在が検証されていない。

密度ゆらぎの発展のしかたは宇宙の構成物質の違いにより大きく異なった特徴を見せる。その結果、大域的構造をつくる物質の密度ゆらぎのスペクトルの形は各々際だった特徴を持つ。以下ではその違いの概略を見てゆこう。密度ゆらぎの初期条件は物質と放射が同じようにゆらいでいる断熱 (adiabatic) ゆらぎと、物質のゆらぎと放射のゆらぎからの寄与が互いに打ち消し合って曲率のゆらぎがなくなる等曲率 (isocurvature) ゆらぎが考えられる。初期宇宙では放射の方が物質より密度が非常に高いので、等曲率ゆらぎは、物質の方が非常に大きくゆらぐが放射はほとんどゆらがないという初期条件を与えたことになる。密度ゆらぎのフーリエ・スペクトル  $\Delta(k)$  の形は波数  $k$  の  $n$  乗に比例する形を一般に仮定する。通常インフレーションの時にできると考えられているのは  $n=1$  の場合で、これをハリソン・ゼルドヴィッチ・スペクトルと呼ぶ。図 1 は物質としてバリオンだけと考えた場合、または HDM ないし CDM を考えた場合の再結合直後の物質の密度ゆらぎのスペクトルの形をそれぞれ模式的に示している。なおスペクトルの大きさは適当に取り直してある。

バリオンと放射だけを考えた断熱ゆらぎの初期条件では、両者の密度ゆらぎは一緒に宇宙の膨張と共に成長し、そのスケールがジーンズ波長より小さくなったとき音波として振動を始めいったん成長が止まる。ジーンズ波長は放射が宇宙で優勢なときはほぼ光速で増加して行くが、物質の密度が放射よりも大きくなると、それ以上増加しなくなる。そのためスペクトルには物質と放射の等しくなる時 (equal time) のジーンズ波長、すなわちおおよそその時の地平線 (horizon) の大きさに折れ曲がりが生じている。水素原子の再結合が起きると、ジーンズ波長はおよそ太陽質量  $M_{\odot}$  の  $10^6$  倍、ちょうど球状星団ほどの質量まで急激に減少する。そこで今まで振動し

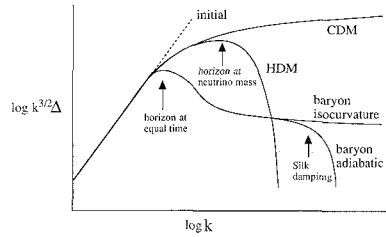


図 1 再結合後の密度ゆらぎのスペクトル。様々なモデルを模式的に示してある。

ていたバリオンのゆらぎは成長を再開するのであるが、しかしながらその過程で生じるシルク・ダンピングのスケールが  $10^{14} M_{\odot}$  もの大きさであるため、銀河以下の構造に対応するゆらぎは完全に消えてしまっている。このため銀河などの構造はいったん大きな構造ができてからそれが収縮、分裂を起こしてつくられると考える (パンケーキシナリオ)。一方、等曲率ゆらぎの初期条件ではスペクトルの折れ曲がりはいずれのスケールでも見られるが、バリオンと放射が一緒にはゆらがないため小さなスケールでもシルク・ダンピングは起こらず、バリオンのスペクトルは初期条件を反映して伸びている。そこで構造形成は小さいスケールの構造が重力的に集まり大きい構造をつくるということも可能になる。

次に、HDM が優勢な宇宙では、HDM の密度ゆらぎは前述したように構成粒子の熱運動が大きいため、太陽質量  $M_{\odot}$  の  $10^{15}$  倍の質量をもつ超銀河団より小さいスケールでは消えてしまう。HDM が相対論的粒子から非相対論的粒子へ変わるとき、すなわち宇宙の温度が HDM の質量とほぼ等しくなる時の地平線の大きさがスペクトルのピークを与える。これは断熱的なゆらぎでも等曲率のゆらぎでも状況は同じである。構造形成は当然パンケーキシナリオに従う。特に等曲率ゆらぎの場合は、初期のバリオンのゆらぎが小さなスケールまで残っている。このゆらぎがパンケーキ収縮の種になる可能性があるという点が興味深い。

CDM が優勢な宇宙では構成粒子の熱運動がほとんどないため密度ゆらぎは現在に至るまで、全てのスケールで成長を続ける。しかし、宇宙が放射優勢の時期に地平線に入ったゆらぎは放射の圧力に邪魔をされて成長が遅れるため、放射優勢の時期から物質優勢に移った時の地平線の大きさが密度ゆらぎのスペクトルの折れ曲がりの点として認められる。この場合は銀河などの構造がはじめてできてそれに続いてより大きな構造ができるというシナリオが考えられる。CDM, バリオン個々のゆらぎのスペクトルは断熱と等曲率で異なるが、合計の全物質のゆらぎのスペクトルはどちらもほとんど同じである。

### 3. 数値シミュレーション

#### 3.1 密度ゆらぎの線形成長

前の章では重力不安定による構造形成の定性的な振舞

いについて述べたが、ここではそのゆらぎの発展の実際の数値シミュレーションの結果について触れてみたい。具体的には、物質と放射が共存している系に対する線形成長の式をフーリエ変換して、各波数ごとにスーパーコンピュータを用いて数値的に解析した。物質としてはバリオン単独、ないしは、バリオンとダークマターを考へ、後者の場合はバリオンの密度  $\Omega_b$  は 0.03 とした。初期条件は断熱ゆらぎと等曲率ゆらぎを考へ、初期スペクトルの形は以下ではハリソン-ゼルドヴィッチ・スペクトルを仮定し、またパラメーターとして  $\Omega_0$  とハッブル定数を 100 km/s/Mpc で規格化した  $h$  を考へる。 $h$  の観測の範囲は 0.5 から 1.0 である。

実際の密度ゆらぎの線形成長のシミュレーション結果を CDM 優勢な宇宙モデルの場合を例に挙げて見て行こう。まず図 2 は断熱ゆらぎの時間発展を示している。スケールは  $k=0.1 h \text{ Mpc}^{-1}$  で  $\Delta_{cz}$ ,  $\Delta_{cb}$ ,  $\Delta_{cr}$  はそれぞれ CDM, バリオン, 放射の密度ゆらぎである。温度が  $10^5 \text{ K}$  まではすべてと一緒に温度の逆数の 2 乗に比例して成長して行く。これは解析的に求まる断熱成長の解とよく一致している。その後ジーンズスケールに入るとバリオンと放射が振動を始める。さらに 4000K ほどまで温度が下がると再結合によってバリオンと放射の結合が切れ、放射は自由振動を、バリオンは CDM のゆらぎに引っ張られ急激に膨張をするのが見られる。1000K でのスペクトルが図 3 であるが、小さいスケールでは、ダンピングが見られる放射に比べて物質ははるかに大きく成長していることがわかる。図 4 は等曲率ゆらぎの時間発展でスケールは断熱ゆらぎと同じで参考のため全密度ゆらぎ  $\Delta$  も表示している。バリオンは初期条件のまま成長せず、そのゆらぎと初期にはつり合っていた(すなわち逆符号) CDM と放射のゆらぎは少しずつ成長をして、地平線に入ると CDM は符号を変えて成長を続け、放射は振動するのが見られる。全密度ゆらぎはその時温度の逆数の 3 乗から 2 乗へと成長率を変える。図 5 は 1000K でのスペクトルであるがここでは特に放射が小さいスケールではダンピングを、大きいスケールでは逆に地平線に向かって伸びていることに注意されたい。このことから等曲率ゆらぎはとくに大きなスケールでの背景放射のゆらぎ、たとえば四重極モーメントなどが断熱ゆらぎに比べて大きくなるのが予想される。バリオンと CDM のゆらぎの形はこの温度では大きく異なっているが、この後線形成長の段階では全密度ゆらぎ  $\Delta$  の形を保ったまま成長を続ける。

3.2 背景放射の非等方性

背景放射の温度ゆらぎ  $\delta T/T$  は天球上の角度  $\theta$  離れた 2 点ないし 3 点の温度差を観測することで得られる。我々の固有運動の結果生じる双極モーメントを除けば観測による温度ゆらぎの上限値は下がる一方で、現在では小さなスケールの非等方性に関しては  $7'$  の角度で  $2.1 \times 10^{-5}$  以下、大きなスケールでは  $8^\circ$  で  $3.7 \times 10^{-5}$  以下という制限が最もきつものとなっている。今まで見てきたように、物質のゆらぎすなわち大域的構造が存在す

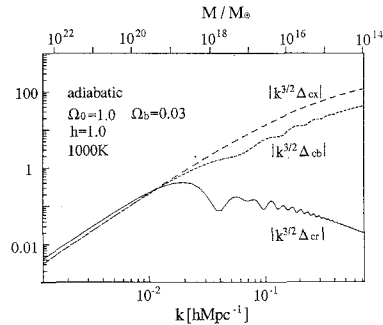


図 3 図 2 と同じモデルの 1000K での密度ゆらぎのスペクトル。

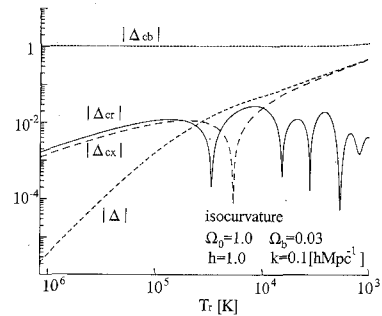


図 4 初期条件が等曲率ゆらぎの CDM 優勢宇宙での密度ゆらぎの発展。

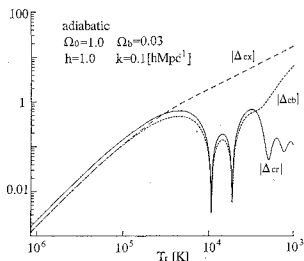


図 2 CDM 優勢宇宙での 1000K までの密度ゆらぎの発展。初期条件は断熱ゆらぎ。

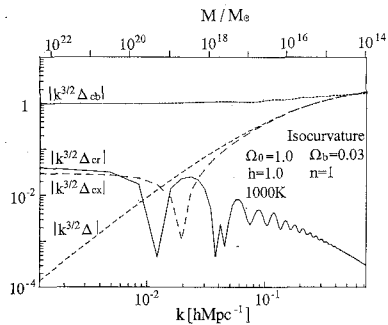


図 5 図 4 と同じモデルの 1000K での密度ゆらぎのスペクトル。

る限り必ず放射のゆらぎは存在するはずである。そこでこれらの観測の上限値を用いて、構造形成のモデルに対して制限を与えることができる。具体的には各モデルごとに期待される銀河の相関関数の値が観測値と合うように物質の密度ゆらぎを決める（規格化する）ことによりゆらぎの絶対値を決定する。そして放射のゆらぎから温度ゆらぎの角度相関を求めるのである。計算の結果得られた各モデルに対する制限は次のようになる。

まずバリオンだけを考えたときは断熱ゆらぎ、等曲率ゆらぎどちらも  $\Omega_b$  や  $h$  の値を通常考えられている範囲でどう動かしても観測の上限を下まわることではできなかった。この事実はバリオンと放射だけの宇宙の可能性はハリソン-ゼルドヴィッチ・スペクトルを考える限りほとんど否定されるものであると言ってよい。一方、ダークマターを考える銀河形成モデルでは、前述したようにバリオンと放射の結合が切れた後にバリオンがダークマターのつくる重力ポテンシャルに引きずられて急激に成長できるため、バリオンだけを考えるモデルの場合と比べてゆらぎの大きさを小さめに規格化できる。すなわち、現在の温度ゆらぎも小さくすることができる。そのため、ダークマターのモデルではモデルに対する制限が一般にバリオンだけのモデルに比べて緩くなるが、HDM 優勢なモデルでは、断熱ゆらぎでは  $\Omega_b h > 0.45$ 、等曲率ゆらぎでは  $\Omega_b h > 0.65$  という制限がパラメータに与えられる。CDM 優勢なモデルは、物質のスペクトルにカットオフが無いために制限が一番ゆるく、断熱ゆらぎで  $\Omega_b h > 0.35$ 、等曲率ゆらぎでは  $\Omega_b h > 0.7$  となる。しかしこれらの結果はいずれも力学的に測られる密度の  $\Omega = 0.1 \sim 0.3$  だけでは説明することができない。宇宙には何等かの理由で重力的に集まっていない成分が存在しているのであろうか。銀河に成長できるのは密度ゆらぎの非常に大きな所だけであるという主張がバイアス銀河形成説であるが、バイアスの生じる物理的な過程はいまだ明らかに成っていないし、この説は大域的速度場の存在という最近の観測結果とは合いないという問題がある。それでは何か背景放射のゆらぎを消すような過程が考えられないかと、宇宙再加熱や重力レンズ効果などが考えられてきた。しかしこれらは小さなスケールのゆらぎは確かに小さくする効果があるが、大きなスケールのゆらぎを消すことはやはり困難であり、大きなスケールのゆらぎはモデルに対して強い制限を与える。最近の我々の解析結果では、バリオンのみ及び CDM 優勢なモデルで期待される現在の温度ゆらぎの四重極モーメント成分の大きさは比較的大きなものとなり、四重極モーメントの上限値の観測からこれらのモデルは小さなスケールと同様な制限を受けることが分かった。特に、大きなスケールでの放射のゆらぎが大きくなる等曲率ゆらぎの場合はいずれのモデルでも厳しく制限を受ける。背景放射のゆらぎを小さくするのに現在一番もっとうらしいのは宇宙項の存在かも知れない。宇宙項が存在すれば宇宙年齢を含めて現在の所すべての観測的制限をクリ

アするモデルをつくることは可能であるが、その存在は未だ確かではない。

#### 4. 宇宙の構造形成の謎への挑戦

以上見てきたように物質の密度ゆらぎと宇宙背景放射のゆらぎを観測と比較すると、標準的な銀河形成モデルについて非常に厳しい制限が課せられる。背景放射のゆらぎはいったいどこまで等方なのだろうか。もし今後さらに観測の上限が下がると、もはやほとんどのモデルが否定されるといっても過言ではない。近いうちに宇宙背景放射探査衛星 COBE のデータが発表される予定であるが、その結果のなかで、特に背景放射の四重極モーメントの観測は、測定されたとしてもされなかったとしても、宇宙論の研究者に大きな衝撃を与えることは間違いない。

一方では宇宙の大域的構造は観測技術の向上にとまない観測範囲が広まるにつれて、驚くべき様々な構造が姿を現し始めてきている。  $60h^{-1} \text{ Mpc} \times 170h^{-1} \text{ Mpc} \times 5h^{-1} \text{ Mpc}$  以上もの大きさを持った宇宙にそびえ立つ巨大な壁グレートウォール、太陽質量の  $10^{16}$  倍もの質量が集中しているグレートアトラクター、2000 Mpc にわたって  $128h^{-1} \text{ Mpc}$  で周期的に繰り返される密度の極大、未だ十分な観測がなされたとは言えないかもしれないが、これらの構造が本当ならば宇宙背景放射の非等方性を十分小さくして、しかもこれらの宇宙の構造形成を説明することはきわめて困難である。

果して、宇宙の大域的構造はいかにして創られたのだろうか。最新の技術を使った深宇宙の観測は今まさに始まった所である。今まで知られていなかった宇宙の姿が明らかになるにつれ、謎は深まる一方だ。今後も多くの人達が新しいアイデアと計算機の強力な助けを借りて、この謎にチャレンジしてゆくと思われる。いつの日か宇宙の創世が解きあかされる時がやって来ることであろう。

#### 学会だより

##### 会員名簿の発行について

日本天文学会では、現在、会員名簿を発行するための作業を行っています。

1990年(平成2年)12月20日現在で作製するつもりですので、住所・勤務先電話番号など前回(昭和63年12月1日現在)の名簿掲載事項に変更のある方は、至急ご連絡下さい。《既に天文学会への変更登録を済ませた方は必要ありません。》

また関係機関の掲載を新たに希望される場合は、前回の名簿を参考にして必要事項をご連絡下さい。

◎FAX: 個人会員の頁にはFAX欄を設けませんのでご承知おき下さい。

◎連絡は必ず「はがき」で日本天文学会宛に郵送して下さい。