

我が宇宙一家の謎— 混迷する宇宙論 —

郷 田 直 輝

〈大阪大学理学部 〒560 大阪府豊中市待兼山町1-1〉

杉 山 直

〈Dep. of Astronomy, Univ. of California, Berkeley, CA 94720, U.S.A.〉

我々が住んでいるこの宇宙という広大な家。この家の“形”や起源はどうなっているのだろうか。また、この家に住む家族にはどんな人がどれぐらい居て、その人達はどの様に成長してきたのだろうか。こういった“宇宙一家”の数々の謎を解いていこうとするのが宇宙論である。この宇宙論に関する最近の話題や現状について説明する。特に、銀河や銀河団・超銀河団などの宇宙の大規模構造の形成問題の混沌としてきた現状について解説する。

1. はじめに

最近、『磯野家の謎』や『サザエさんの秘密』という本がベストセラーを続けていたようである。これらの本は、ご存知漫画『サザエさん』（テレビアニメではなくて4コマ漫画の方）を元に、漫画にでてくる場面、せりふのみを分析してサザエさんを含むサザエさんが暮らす磯野家の人々の隠された性格や親戚関係、過去等知られざる一面を昭和の歴史を背景に探りだしてくれるものであり、人気を博しているようである（私事で恐縮だが、筆者の一人もサザエさんの大ファンで、4コマ漫画とは違うが、テレビアニメのサザエさんを見て、磯野家の家の構造を研究していた。テレビにでてくるある一瞬の場面をヒントに、例えば台所から見て風呂場の入り口がこの方向に見えたから風呂場はここにあるはずである等と部屋の配置を組み立てていくのである。滅多にでてこない部屋があるから一瞬の場面も見逃せず、なかなか容易ではない作業である）。さて、この手のことは一種のお

遊びといってしまうとそれまでだが、バカにしたものでもないと思う。限られた資料、データを元にそこに隠された謎を探っていく態度は、好奇心から発せられたものであり、何よりも科学する心に通ずるものである、と思われる（多少、本では偏見やいきすぎた推測もあるかもしれないが、科学の世界にもつきものである。そして、それが真実の事もある）。どの分野でもそうだと思うが、宇宙論でも限られたデータを元にそれらを解析して、我々が住む宇宙一家の謎、例えば家の起源や家族の構成員、その成長等の謎を1つ1つ解いていこうと試みている。

さて、我が宇宙一家を考えてみると、ちょっとこの一家の謎を解くのは難解である。というのも我々はこの家の中にしかなくて外にでることはおろか、家の形（宇宙全体）もその外側も見えない。他の家（宇宙）とか、その家に住んでいる人とは連絡もとれず（因果関係を持たない）、比較すらできない。見ることができるのはこの宇宙の中だけでありしかも範囲は限られている。しかし、見ることや探ることができる少数の情報を元に我々はこの宇宙一家の謎解きに乗り出しているの

Naoteru Gouda, and Naoshi Sugiyama : The Mystery of Our Family in the Universe—Confusion in Cosmology—

である。では、この謎解きの現状はどうなっているのであろうか？

2. 宇宙一家

我々の宇宙はとにかく広大である（図1＝表紙）。現在、原理的に見ることが出来る宇宙の広さ、すなわち宇宙の開闢以来、光が進んだ距離はおよそ150億光年である。これを宇宙の地平線と呼ぶ。さらにその外側がどうなっているかは我々には直接うかがい知ることができない。そして、この広大な宇宙の中に、惑星、恒星、星団、銀河など実に豊富な構造が存在している。このような家族を持つ広大な宇宙という“家”とはいったいどのようなものなのであろうか。古代から宇宙の形や進化などについてはいろいろ想像されてきた。しかし現在は観測事実および時間と空間とを同等のものとして扱い、さらに重力を含めて考える一般相対性理論に基づいて次のような宇宙モデルが考えられている。まず、非常に大きな領域を考えれば、宇宙は特別な場所を持たず（一様）、また特別な方向を持たない（等方）というもっともらしい仮定をたてる（一様性については、現在のところ宇宙の地平線のスケールをもった大きな非一様な構造が観測されていないので、この仮定は妥当なものと考えられている）。すると宇宙の時空はロバートソン・ウォーカー計量と呼ばれる形で書かれることが分かる。このなかには宇宙の“形”に相当する空間曲率がパラメーターとして入っている。宇宙はこれだけでは、開いているのか、平坦なのか、それとも閉じているかはわからない。次に、宇宙の進化の様子は、その中の構成員がどのようなものであるかによって決定される。時間・空間（時空）すなわち形と構成員を結ぶ関係性がアインシュタイン方程式である。これを解くことによって得られる宇宙モデルを相対論的宇宙モデルと呼ぶ¹⁾。その中でも特に、1929年にハッブルによって発見された宇宙膨張を記述するモデルとして、フリードマンモデルが現在最も標準的な宇宙モデル

であるとされている。これはアインシュタイン方程式のなかの宇宙項と呼ばれる特別な項を無視することで得られるものである。

このフリードマンモデルでは宇宙は昔小さくて高温・高密度になるが（火の玉宇宙、ビッグバン宇宙とも呼ばれる）、そのことにより帰着される宇宙背景輻射と呼ばれる宇宙をみたく電磁波の存在やヘリウム等の軽元素量の評価が観測結果から裏付けられているため、このモデルは現在、広く信じられている。宇宙背景輻射の存在は1965年にペンジアスとウィルソンによって発見され、彼らはノーベル賞を授賞した。最近では後述するCOBEにより、宇宙背景輻射はぴったりと理論が予想するプランク分布と一致することが示され、益々ビッグバン宇宙の観測的礎となっている。ちなみに現在の輻射の温度は最新の観測結果によると2.73 Kである。

このモデルに含まれるパラメーターは、現在の宇宙の物質の平均密度（または、この密度を宇宙がちょうど平坦になる場合に相当する臨界密度で割った密度パラメーター Ω_0 をよく用いる）、現在の宇宙の膨張率であるハッブル定数 H_0 である。宇宙の曲率は、密度パラメーターが1のときちょうど平坦、1未満であれば開いた宇宙、1より大きければ閉じた宇宙である。場合によっては、宇宙項を入れて考えることもある（ルメートルモデル）。

いろいろな成功をおさめているフリードマンモデルではあるが、問題点も残されている。まず、観測的には現在の宇宙の曲率は0に非常に近いのであるが、そうなるためには、宇宙初期に考えられないような微調整が必要となる。また、宇宙の地平線は時間と共にどんどん増加しているのであるが、このことはかつて因果的に結びつくことのできなかつた領域が現在になって見えてきている、ということである。そのような領域同士が観測によると、非常に一様かつ等方である。情報が伝わることができないのに、いったいどうやって

一様化されたのであろうか。フリードマンモデルではこのような問題点に答えることができない。そこで解決策として、インフレーション宇宙モデルというものが提唱された²⁾。このモデルでは、宇宙の極く初期にフリードマンモデルに比べて非常に速く膨張する時期がある、というものでその後は自然にフリードマンモデルにつながって行く。このような急膨張な時期がある程度続けば、宇宙の曲率は極めて0に近づき、また以前に因果的に結びついていた領域を現在の宇宙の地平線の外側に押しやることができる。かつて因果的で一様であれば、現在は宇宙の地平線の外側にあって因果的に結び付いていないように一見思っても実は一様化されていることに矛盾がなくなるのである。非常に、華麗なアイデアであり、しかも当初は大統一理論から自然に生じると考えられていたために、大きな注目を集めた。しかしその後、様々な問題点が指摘され、いろいろなモデルも提案されてきているが、未だインフレーションを引き起こす機構についてはよく分かっていないことも多い。

さらに大きな問題点となるのは、宇宙の始まりについてである。ビッグバン宇宙では宇宙の始まりにおいて密度、曲率とも発散してしまうのである。この発散は通常考えでは避けることができない。しかし、そのような状況ではマイクロな世界を支配する物理学、すなわち量子力学と一般相対性理論とを組み合わせる考えなければならない。これが、量子重力理論である。しかしながら、何といっても重力は時空そのものと等価であり、量子論での記述は困難で、この理論を完成させるまでには非常に険しい道のりがありそうである。しかし、これまでに、ホーキングによる宇宙の始まりの無境界仮説や、ビレンキンの無からの宇宙の創生、さらには時空の不確定性により我々の宇宙とはトポロジーの違ったベビーユニバースを生み出す可能性など非常に魅力あふれるアイデアが提唱されてきている。いずれも未だ真偽の程は分か

らないが、わが家の起源について、いよいよ“神”の領域に近づこうとしていることは確かなようであり、我々の好奇心をかきたてて、興味は尽きない。

3. 宇宙一家の構成員とその成長

前述したように宇宙という家の起源も定かではないが、その宇宙の住人、すなわちどんな物質がどれくらいあるのかということもまだよく分かっていない。そして、宇宙論パラメーターと呼ばれる密度パラメーター、ハッブル定数そして宇宙項の値なども分かっていないのである。いくつかの観測と理論モデルを組み合わせて、推定はされてはいるがまだまだ不確定である。

この様に宇宙という器自体もよく分かっていないのが1つの大きな原因で、その構成員である銀河やそれらの集まりである銀河団・超銀河団といった宇宙の大規模構造³⁾と呼ばれる大構造の形成過程もよく分かっていない。分からないことづくめだが、しかし、確実に理解は一步一步前進してきている。それは、観測の大いなる進歩とコンピュータの発達による。観測では様々な波長域の観測から、十分遠方(すなわち過去)の銀河の分布や固有速度、銀河間ガスの状態、宇宙背景放射の非等方性(温度ゆらぎ)などの観測が進み、わが宇宙の家族の知られざる様相を見せてくれるようになった。例えば、銀河の大規模な集団や銀河がほとんどない大きな空洞(ボイド)構造の存在、5億光年にも広がっている宇宙の巨大壁(グレートウォール)、ある方向に70億光年にわたってほぼ4億光年の周期間隔で存在する銀河の集団(大周期構造)など、これまでに考えられなかったような巨大な構造の姿が現れだしてきた。

現在ではこのような観測結果をもとに、宇宙論パラメーターを決めたり、大規模構造の形成の謎を解明しようという研究が盛んになってきた。このような研究分野を最近では観測的宇宙論と呼ぶ。一方、前章で述べた量子重力理論により宇宙の起

源や時空そのものを扱う宇宙論は量子宇宙論と呼ばれ、宇宙論も二分されてきたようである。もちろん、本来は一本でつながっているものであるが。

さて、構造形成のシナリオはどの様に考えられているのであろうか。標準的なシナリオとしては、重力不安定説による構造形成モデルがあげられる³⁾。すなわち、宇宙の極く初期には一様であった物質の密度分布に何らかの原因で小さなゆらぎ、すなわち非一様性がわずかに生じたとする。すると、フリードマン宇宙ではこのようなゆらぎに対して、重力不安定であり、密度ゆらぎの大きいところは自らの重力によって益々ゆらぎが大きくなっていく。もちろんどんな密度ゆらぎも大きくなれるわけではない。ゆらぎが成長するためにはその大きさがジーンズ波長と呼ばれる長さより大きくなければならない。これ以下だと圧力によって成長がおさえられてしまうのである。ともかく、密度ゆらぎが増大していき、現在観測されるような銀河や銀河団にまで成長したというのが重力不安定説による構造形成シナリオである。いまのところ、この密度ゆらぎの起源、初期条件については完全には分かっていない。しかし、例えばインフレーションモデルを考えると、ある種のゆらぎが生成されることが予測はされている。それは比較的単純なゆらぎを生み出すようである。いずれにせよ、研究者は単純な初期条件を仮定して、その後の密度ゆらぎの成長を解析し、現在観測されている構造がつくれるかどうか調べている。その成長の様子は宇宙の密度パラメーターやハッブル定数、さらには宇宙項の大きさ、また宇宙の構成物質の性質によっても大きく異なったものとなる。従って、一口に重力不安定説によるといってもゆらぎの初期条件、宇宙論パラメーター、構成物質の種類を変えることにより様々な形成モデルが考えられるのである。

ひと昔前の古き良き時代では、それでも全体としてはこのような大まかなシナリオで満足していた。しかし、前述したように大規模構造の様子が

定量的によく分かってくるにつれ、様々な問題点が生じてきた。さらに深刻なのが、宇宙背景放射の温度の空間的ゆらぎ、すなわち非等方性がなかなか見つからず、その上限値が考えられないほど小さなものになってきたことである。ここで先ず、宇宙背景放射の非等方性について述べておかななくてはならない。宇宙の初期では高温・高密度であったため水素はイオン化しており、放射（光子）は自由に飛び回れず、水素によって吸収・散乱されたりしていた。その後、宇宙が膨張して、密度・温度が下がり、やがて水素の中性化が起こり、光は自由に飛び回れるようになる（これを宇宙の“晴れ上がり”と呼ぶ。晴れ上がり以前は物質（水素）と放射は熱平衡状態にあり正に宇宙背景放射はプランク分布をするのである。宇宙の晴れ上がり以後は当然平衡状態ではないが、膨張によってプランク分布が全体的に温度の低い場所に移って現在はあたかも 2.7 K のプランク分布をもっているのである）。さて、宇宙初期に物質の密度ゆらぎが生じると、宇宙の晴れ上がり以前は放射と物質は相互作用しているため、放射のエネルギー密度にも空間的ゆらぎが生じる。さらに、宇宙の晴れ上がり以後でも物質の密度ゆらぎの成長により重力ポテンシャルがゆらぎ、それによっても放射のゆらぎが生成されてしまう。そして、その放射のゆらぎは現在、宇宙背景放射の空間的ゆらぎ、すなわち非等方性として観測されるべきものである。従って、もし初期に生じた物質の密度ゆらぎが大きければ、それに応じて宇宙背景放射の非等方性も大きくなるはずである。しかし、水素や炭素等我々の身の回りにある普通の物質であるバリオンだけで構造形成を考えた場合、現在までに観測されているような構造をつくらうとすると、必然的に宇宙背景放射の非等方性も大きくなり、観測されている非等方性の上限値を上回ってしまうことが分かった。すなわち、バリオンだけでは構造形成が困難なのである。ところが、居るかどうかわからないが、バリオンではない、ある家族を入れ

て構造形成を考えるとうまく行く可能性があることが分かってきたのである。

4. 一家の主演、ダークマター

実は、天文学には昔からミッシングマス問題と呼ばれるものがあった⁴⁾。それは、銀河内では銀河円盤中での水素ガスの運動、銀河団では銀河の速度分散などから力学的にそれぞれの系に含まれている実際の重力を担っている物質の質量の総和が推測されているが、その質量が見えている物質の質量よりもずいぶん大きく、その見えていない暗黒物質（ダークマター）の正体は何であろうか、という問題である。ただ、見えていないダークマターの正体としては、ブラックホールや木星などの惑星といった普通のバリオンから出来ているものである可能性は残されている。しかし、実はバリオンの総質量には別なところから制限がつけられている。それはフリードマンモデルの成功点のところでも述べた宇宙初期における軽元素量の評価と関係している。現在観測されている重水素やヘリウム量を説明するためには、どうしてもバリオンの総質量が平均密度でいって、宇宙を平坦にする臨界密度の数パーセント程度でしかありえないのである⁴⁾。一方で、最近の観測結果によると、この問題は銀河だけにとどまらず、大きなスケールでみればみるほど見えていない物質の割合は増えていくようであり、宇宙全体としては少なくとも臨界密度の10%は存在しているようである。すなわちバリオンだけではどうしても足りないと思われる。そこで何らかのバリオンではない得体の知れないX粒子が存在していて、我が宇宙一家の主演をなしている可能性が声高に語られるようになってきた。

このX粒子、実は構造形成にも大いに役だってくれるのである。というのはX粒子は光っていないのだから輻射とは電磁相互作用をしないと考えられる。従って、初期にX粒子の密度ゆらぎが大きくてもバリオンの場合とは異なって輻射のゆら

ぎを大きくしないのである。そして、自らのゆらぎは成長して、大きくなっていく。そして、バリオンのゆらぎは、宇宙の晴れ上がり以後、輻射からの圧力を受けずに自由に成長できるようになり、既にあるX粒子の大きくなった密度ゆらぎがつくる重力ポテンシャルに引かれて、すばやく成長できる。すなわち、輻射のゆらぎを小さくしたままで、最終的にバリオンのゆらぎを大きくする事ができ、現在までに観測されるような構造まで成長できるというものである³⁾。では、どんなX粒子があればどのような構造ができあがるのだろうか。実はこれはあまりX粒子の詳細な性質には依らず、粒子が宇宙のある時期にどれだけの運動エネルギーをもっていたかで決まる。初期にゆらぎがあっても、ある時間で考えたときその時まで粒子が移動できるスケールのゆらぎはゆらぎがならされて消えてしまう。従って、速度が速い粒子の場合（熱い粒子(HDM)とよばれる)、超銀河団の大きさぐらいのスケールより小さいスケールのゆらぎは消され、大きなスケールのゆらぎだけが残る。一方、粒子の速度が遅い場合（冷たい粒子(CDM)）は小さいゆらぎのスケールも残る。HDMによるシナリオだと大きなスケールの塊が先ず残って成長して（パンケーキみたいになる）、それが分裂して銀河になるとされている。このシナリオは大きな階層を先につくり、そこから小さなものをつくるというもので、パンケーキシナリオと呼ばれている。一方、CDMによるシナリオでは先ず銀河が出来て、それが集団化して銀河団などができるというものであり、ヒエラルキカルシナリオと呼ばれる。

では、このX粒子の正体は何であろうか⁴⁾。先ずはHDMの候補として考えられているのは、ニュートリノである。未だ実験からはニュートリノに質量があることは確認されていないが、理論的には質量をもつ可能性は指摘されている。CDMの候補としては、素粒子論で考えられている超対称性理論で存在を予想されているフォティーノ等の

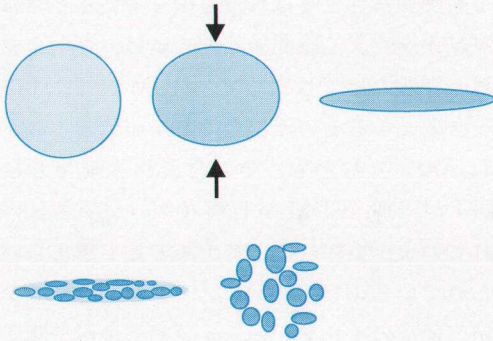


図2 パンケーキシナリオ。
 先ず、大きな構造（銀河団，超銀河団）ができて、それが分裂してより小さな構造（銀河）ができていく様子を示している。

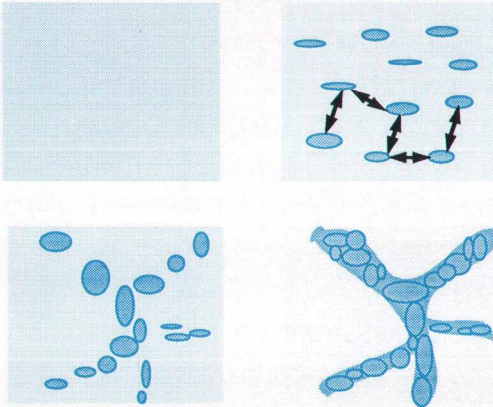


図3 ヒエラルキカルシナリオ
 先ず、小さな構造（銀河）ができて、それらが集団化してより大きな構造（銀河団，超銀河団）になっていく様子を示している。

粒子があげられている。または、強い相互作用の理論にある種の対称性を要求したために必要となるアキシオンという粒子が候補となっている。しかし、いずれにせよ、X粒子の存在やその質量については実験的にはまだ分かっていない。この我が宇宙一家の主役をなしているかもしれないダークマターの正体をつかむことが宇宙物理学にとっても素粒子物理学にとっても今後の大きな課題であることは確かである。

5. 宇宙一家の新しい事実

ここで、また構造形成の問題に戻る。ダークマ

ターを考慮すると構造形成の問題は一見解決したかのようにみえた。しかし、一方では宇宙背景放射の非等方向性が一向に発見されず、その上限値が年々下がってきていた。すると、さすがにダークマターの助けを借りたとしても、どんな場合でもうまくいくわけではなくなり、密度ゆらぎの初期条件や宇宙論パラメーターに厳しく制限がつけられてきた。実は今まで自己重力不安定説に基づく構造形成シナリオだけを説明してきたが、他にも構造形成シナリオは提案されている。1つは、原始天体の爆発連鎖によって大規模構造をつくろうとするもの、もう1つはコスミックストリングやドメインウォールと呼ばれる宇宙の位相的欠陥のエネルギーがつくる重力によって構造形成を助けてもらおうとするものである。しかし、前者では必然的に爆発によって宇宙背景放射に大きな非等方向性を生み出すし、後者においても物質が集まって構造をつくろうとするとその場所の重力ポテンシャルが変化し、やはり宇宙背景放射に非等方向性を生じてしまうのである。すなわち、いかなるシナリオにおいても大なり小なりの宇宙背景放射の非等方向性は生じるのである。しかしながら、この期待される非等方向性の上限値は下がる一方であった。こうして、1992年の春までは、大規模構造の形成問題は混迷を深めてきた。しまいには、ビッグバン宇宙モデルまでが疑われ出す始末であった。そういった状態の時、ついに1992年4月、アメリカのNASAが打ち上げていた宇宙背景放射探査衛星(COBE)が、非等方向性を見つけたことを報告した⁵⁾。このことは直ちに世界中に伝わり、研究者のみならずジャーナリズムも大きく取り扱った。かくいう筆者等も新聞社からCOBEチームの論文のプレプリントをFAXで送ってもらい、直ちに様々な構造形成モデルの是非を調べた。COBEは、10°の角度スケール離れたところの温度差の値と温度ゆらぎの天球分布の四重極子成分の値を検出し、更に温度の角度相関関数も示した^{5,6)}。では、このCOBEの結果から何が言えたの

だろうか。

まず、確実に言えることは“やはり、あった。これで一安心”ということである。あるべくしてあるものが見つかったわけである。更に言えることはCOBEは 10° 以上という非常に大きな角度スケール（ちなみに宇宙の晴れ上がり時の宇宙の地平線の角度スケールは 1° ぐらい）に、ゆらぎがあることを示している。これがもし宇宙初期のゆらぎだとすると（その可能性が非常に高いが）、これはフリードマンモデルではその当時まだ因果的に結びついていなかった領域にまたがってゆらぎが存在していることを意味しており、このようなゆらぎを作り出せる機構はインフレーション以外には考えられない（インフレーションを考えれば前述したように宇宙の非常に初期ではこの2つの領域は因果的に結びつくことができる）。従って、インフレーションモデルを支える証拠である可能性が強い。

では更につつこんで構造形成モデルはCOBEの結果から決まったのであろうか。これは、残念ながらCOBEの結果からだけでは一意的にはモデルは決まらない。それというのも当然ではあるが、COBEは 10° 以上の大きなスケールの情報しかもたっていないためである。そこで、他のスケールでの様々な観測結果、例えば銀河や銀河団などの構造と直接関係する小さい角度スケールでの宇宙背景輻射の非等方性の上限値（非等方性はまだ見つかっていない）、銀河の二体相関関数、銀河集団の大規模流の速さ等をモデルで説明できるかをCOBEの結果と共に考慮すると、モデルは非常に限られてくる。その結果、インフレーションモデルが予測するような密度ゆらぎの初期条件でしかも宇宙が平坦である場合が望ましいことが分かってきた⁷⁾。しかし、ここで最新のこれまでより大きなスケールでの大規模構造の観測結果を同時に説明しようとする、問題はそう簡単ではないこともまた明らかになってきた。例えば最も標準的である、初期にエントロピーが空間的に一定で

ある断熱ゆらぎと呼ばれるものを考えるときは、観測結果をうまく説明するためには、ダークマターは一種類だけではだめで、HDMとCDMの両方を必要とするという混合モデルが望ましいと言われ始めた。しかも、その含まれる割合としてHDMが三割、CDMが七割ぐらいが望ましいとされている。更に、別のモデルとして望ましいと言われているのは、CDMだけを考えるのではあるが、通常のインフレーションモデルが予測する初期ゆらぎの形よりも大きなスケールでのゆらぎが強調されるような“傾いた”CDMモデルと呼ばれるものである。これらはいずれも大きなスケールでゆらぎをより大きくするための試みであり、現在の構造形成モデルのブームは今のところこの二つである。しかし、現在、更に厳しい観測的制限がでてきた。それは南極点で観測されている 1° スケールでの宇宙背景輻射の上限値である。これが、非常に小さい値が出され⁸⁾、これを満足するには標準的なダークマター入りのモデルでも困難ではないかということが指摘されだしている。従って、COBEの結果が出て少しの間落ちついたかにみえた構造形成問題は現在再び混迷を深めて、混沌とした状態になってきたと言ってよいだろう。最近では 1° スケールでの非等方性の値を何とか小さくできないかと、宇宙の晴れ上がり以後、再イオン化した水素との散乱による輻射の等方化、銀河団による重力レンズ効果による等方化、重力波モードからの非等方性への寄与などの効果が詳細に検討され始めている。ただここで注意しておかなくてはいけないのは、今までのモデルの制限において、銀河分布の観測結果と理論値を比較するときには理論計算で銀河を同定するのがまだ完全にはできておらず、モデルの制限にはまだ不確定要素が残っていることである。

6. 今後の宇宙一家の謎解き

以上、みてきたように宇宙の大規模構造の形成問題は混沌としてきた。CDMとHDMの両方を

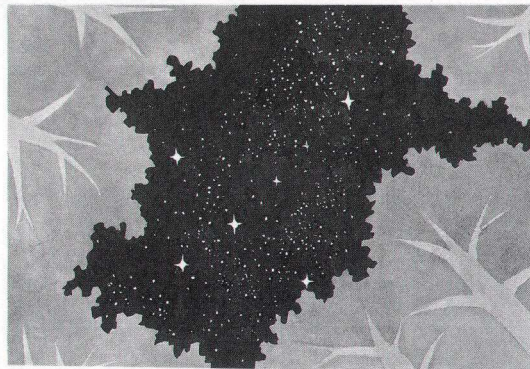
適当に入れた混合モデルや傾いた CDM モデル等がいいと言われているが、つけ焼き刃的な感じがしてすっきりしない。何かパラメーターを適当に動かしてうまく合わせようとしているようであるし、それにそんな粒子が本当にあるのかどうかも分かっていない（もちろん、それが真実の可能性はあるが）。リースやプリマークの言葉を借りれば、現在の大規模構造の形成問題はあたかもニュートン力学以前の物理学、プレートテクニクス理論以前の地質学といったところであろうか。なにかすっきりしたアイデアが待たれている。昨年の末パークレーで行われた宇宙背景放射に関するワークショップで、どのモデルが本当だと思うかというアンケートを参加者にとったところ大多数の人が手をあげたのは、CDM モデルでも混合モデルでもなく、何とバリオンだけのモデルであった。やはり、みんな今のモデルにすっきりしたものを感じておらず、“単純”なものを欲しているようである。

こういった混迷深まる状況ではあるが、観測の方は今後も益々発展していくようである。デジタルスカイサーベイ計画によるより遠方の広い領域の銀河分布の観測、すばる望遠鏡による原始銀河やクェーサーのサーベイ、X線天文観測衛星「あすか」による銀河間ガスの情報、また宇宙背景輻

射に関しても COBE の新しいデータの解析結果、地上観測における様々な角度スケールでの非等方性の探索など新たな多大な情報を得ることができよう。一方、理論の方もコンピューターの発達により大規模なシミュレーションが可能となってきた。そして、自己重力多体系の非線形現象や宇宙論的規模でのガスの熱的進化等の物理的基礎過程の解明も進んでいくと思われる。この数年から 10 年以内に我が宇宙一家の謎は徐々に解かれていくことであろう。

参 考 文 献

- 1) 成相秀一, 富田憲二 1988, 一般相対論的宇宙論 (裳華房).
- 小玉英雄 1991, 相対論的宇宙論 (丸善出版).
- 2) Guth, A. 1981, *Phys. Rev. D*, **23**, 347.
- Sato, K. 1981, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, **195**, 467.
- 3) 郷田直輝, 杉山 直 1990, 天文月報, **83**, 361.
- 4) 小玉英雄 1992, 宇宙のダークマター (サイエンス社).
- 須藤 靖 1993, ダークマターと銀河宇宙 (丸善).
- 5) Smoot, G. F. et al. 1992, *Astrophys. J. Letters*, **396**, L1.
- 6) 杉山 直 1992, 天文月報, **85**, 350.
- 7) Gouda, N., and Sugiyama, N. 1992, *Astrophys. J. Letters*, **395**, L59.
- Sugiyama, N., and Gouda, N. 1992, *Prog. Theor. Phys.*, **88**, 803.
- 8) Gaier, T., et al. 1992, *Astrophys. J. Letters*, **398**, L1.



木もれ星

小北純子 (和歌山県)