



宇宙論の新展開

池内 了*

New Developments of Cosmology

Key Words: Cosmology, Large-scale Structure, Bubbly Universe, Great Walls

1. 宇宙論と技術

本誌「生産と技術」に、およそ生産にも技術にも関係のなさそうな宇宙論が登場して驚かれる方々が多いかもしれない。昨今の、特にステープン・ホーキング効果による、宇宙の始まりや宇宙のかたちについての世間の関心の高さが反映しているのは事実であろう。地球上にロマンを失った現代人が、唯一夢を語れるフロンティアが宇宙にしかないのかもしれない。あるいは、戦後の復興から高度成長を経て、世界に冠たる経済力を身につけるために必死に働き続けてきた日本人が、漸く天空を眺める心の余裕を得たのかもしれない。とすると、それは文化の成熟として喜ばしいことである。西欧と比べて、天文学や宇宙論への関心や投資が余りに少ない日本であったからである。

いや、日本だけに限るのは正しくない。宇宙論への人気は、世界的な流行でもある。その一つの理由は、これまで自然科学の分野で知のフロンティアを担ってきた物理学において、標準理論が成功して「砂漠」に入り込んだ素粒子物理学、高温超伝導を除いて目ぼしい新概念や新物質の発見に欠ける物性物理学等、ロマンあふれる話題が宇宙物理学からしか提供されていないことにある。特に、この10年の間、宇宙の観測は飛躍的に発展し、思いがけぬ発見が相次

いで報告されてきた。そしてこの勢いは、さらに今後の10年にも継続されるだろう。

このように断言する根拠は、宇宙論は最先端の技術に支えられており、それによる新発見が思いもかけぬ宇宙像を描き出す端緒となっているという歴史的事実である。ガリレイが始めて望遠鏡を空に向けた時、人々の宇宙は7個の星（太陽、月、水星、金星、火星、木星、土星）と地球より成る太陽系から、一気に星の世界へ広がった。ハッブルは、口径2.5mの当時（1920年代）としては破格の大きさの望遠鏡を駆使して、この宇宙の物質は銀河を単位して存在していること（銀河宇宙）、さらに銀河が互いに距離に比例する速度で遠去かっていること（膨張宇宙）を発見した。この発見が、宇宙は有限の過去に高温・高密度の大爆発に似た状態から膨張を開始した、というビッグバン宇宙論へとつながった。ビッグバン以後の宇宙膨張の過程で、銀河が生まれ、地球が生まれ、そして私達人類が生まれてきた。このようなことを知ったからといって腹の足しにはならないが、知の充実は人々を興奮させてきた。「人はパンのみにては生きるにあらざ」である。

1980年代に入って、銀河宇宙の地図作りが始まった。この宇宙の構成単位である銀河が、宇宙空間にどのように分布しているか、を調べるのである。コロンブスが、インドを求めて海を渡ったのは、貿易や領土獲得の意図が底にあるとは言え、未知への挑戦（あるいは既知のなかで安住しない）を駆動するルネサンスという時代の息吹があった。そして、地球が丸いことが事実として示され、地図が完成していった。現代の私達は、銀河系を飛びこえ、さらに広い

*Satoru IKEUCHI

1944年12月14日生
昭和47年京都大学理学研究科物理学専攻博士課程修了
現在、国立天文台理論天文学研究系、教授、主幹、理学博士、宇宙物理学
TEL 0422-34-3740



大宇宙がどのような構造を持っているかを探る旅に出ようとしていると言えるだろう。色々な意味で「宇宙船地球号」という概念が身につけてきたためかもしれない。

ここに宇宙を探る強力な素材が手に入った。半導体を用いた光電素子である。それまでのフィルムや乾板のように、入ってくる光で銀粒子を感光させて像を得るというアナログの技術から、光で電子を作り出しその数を数えるというデジタル技術への転換である。電位をかけて作られた電子を流し出してゆくと、時間さえかければ、非常に暗い天体の像が得られ、光の強弱の差を100以上もの差で見分けられる。(フィルム上では、感光したかしないかの差しかない。)このCCD(荷電結合素子)が、天体観測の主流になったのが1980年代なのである。美しい天体写真の替りに、CCD 1000×1000個の各ピクセルにくる光は電子信号となり、それはコンピューターによって再合成されてブラウン管上に天体像が写し出される。冷えたドームのなかで孤独に天を見つめる天文学者は姿を消し、コンピューターによって望遠鏡を操作し、テレビ画面上の天体像を見つめるのが現代の天文学者なのである。

2. バブル宇宙

CCDの活用によって、効率的に遠方の銀河の観測が可能になった。現在、約5億光年内の銀河2万個程度の距離測定がなされている。私達は漸く、周辺5億光年内の宇宙地図が描けるようになったのである。(宇宙の地平線が150億光年程度だから、やっとその30分の1の距離内の地図である。地球の一周を4万kmとすると1300kmにしかあたらないから、せいぜい日本列島の地図しかまだ描けていないことになる。私達は、宇宙のほんの一角しか詳しく調べていないのである。)

第1図は、銀河の奥行き分布の一例を示している。私達は扇の要の位置におり、天球上の $6^\circ \times 135^\circ$ という細長い帯のなかに見える銀河の方向と距離がプロットされている。(6°分の広がりはこの面上に射影している。)一見してわかることは、銀河が宇宙空間内に高速道路網の

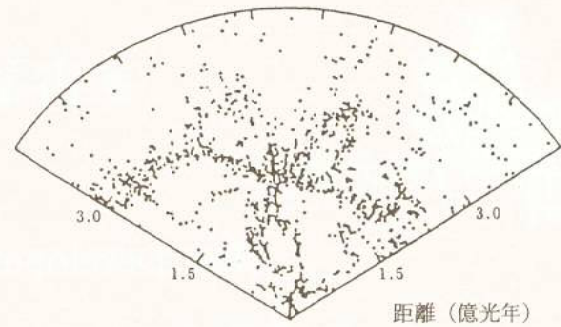


図1 銀河の奥行き分布. 私達は扇の要(カナメ)の位置にいる

ように連らなっており、他方、銀河の見えない空間(これを空洞という)が大きく丸く広がっているということである。この直観的な姿は、「泡(バブル)」である。銀河は、宇宙空間にランダムに分布しているのではなく、互いにぶつかり合う泡の膜を成すような構造を形成している。これを「宇宙の泡構造」と呼んでいる。一つの泡の大きさは6000万光年程度で、宇宙の膨張と共にふくらんでいるのである。この宇宙の泡が報告されたのは1986年で、折しも日本のバブル経済を予言するかの如くであった。

3. グレート・ウォールとその整列

それでは、この宇宙は銀河製の泡が延々と続いているだけなのだろうか?海の彼方にインドがあるというコロンブスの信念にも似て、泡のかなたにさらに大きな構造はないかと、天文学者の眼は天球上を広く深くへと及んでゆく。

1989年、長さが7億光年にわたり、高さ2億光年、厚み2千万光年の銀河の集合体が見つけた。いわば、銀河でできた壁であり、グレート・ウォール(オブ・チャイナが万里の長城)と名付けられた。泡を抱絡するような形で巨大な銀河の壁が発見されたのである。この壁に銀河が5000個以上集合していると見積られている。(日本列島から、漸く中国大陸の万里の長城にまで目が届いたことに対応する。)この万里の長城らしきものは、南の天球にも発見されており、泡を何十個も含みこむように柵が宇宙空間を区切っているというイメージである。

実際、グレート・ウォールが10枚以上整列しているのではないかという報告が1990年に

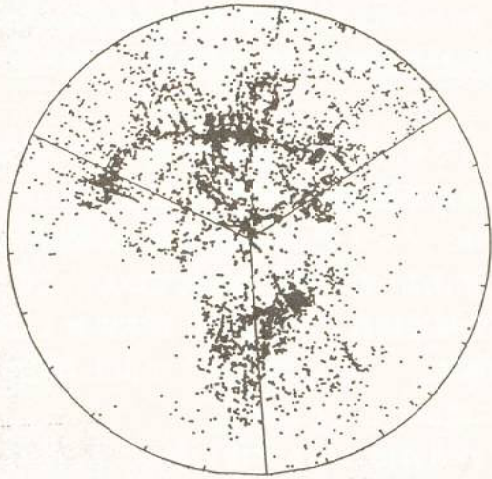


図2 南北天球での銀河の奥行き分布. 私達は中心におり, 北(上半分)に長く伸びるグレート・ウォールがみえる

出された. 上記の泡やグレート・ウォールの観測は, 天球上の広い領域(赤経 135° 分, 赤緯 12° 分)で深さが5億光年分くらいの, 比較的明るい銀河についてなされている. これに対し, 満月くらいの大きさの領域内で, 距離が測れる限界に近い銀河約200個の奥行き分布を調べる観測も試みられた. この場合の情報は, 奥行きだけの1次元分布で横方向の広がりや形がわからないので, 銀河分布の構造を直接この観測によって明らかににはできない. しかし, 私達の近くにおいて構造がある程度わかっているものが,

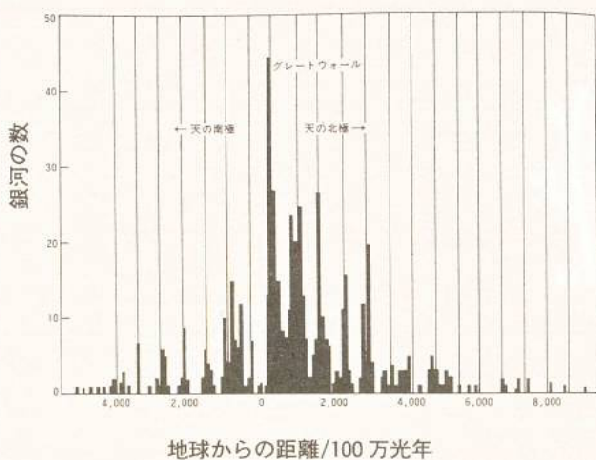


図3 天の北極と南極方向の, 親線に見える銀河の距離分布. 分布のピークがグレート・ウォールに対応しており, これが千億年毎に整列していることがわかる

遠くにおいて1つの視線のみで見た時, どのように見えるかは見当がつく.

天球上の深さ50億光年にまでの探索により, 銀河分布が大きくデコボコとなっていることがまず確められた. さらにこのデコの部分は, 平均4億光年の間隔で13個以上も宇宙空間に整列しているようである. そのうち近くの2個のデコは, グレート・ウォールと一致しており, どうやらグレート・ウォールが何重にも築かれて宇宙空間を区切っているらしい. 50億光年をこえる領域の構造の発見と言える. それも4億光年という規則的な間隔で並んでいるのである. (この点は, まだ完全に確められたわけではないが.)

4. さらに大きな構造は?

宇宙の地平線まで150億光年のうち, 30分の1くらいは広く探査され(面), 泡構造やグレート・ウォールを目のあたりにした. また, ペンシル・ビーム程度の細さで3分の1くらいまでの奥行きに探りを入れた(線). 本来は, 天球上全体を50億光年の深さまで銀河分布を調べないと, グレート・ウォールの整列のしかたや, さらにこれをこえる構造が存在するかどうかわからない. 面と線が組み合わせられないと3次元像は構成できないのである.

これには, 観測技術の飛躍的な発展がないと不可能である. 遠くになれば銀河は暗くなるから, 長時間望遠鏡を向けねばならない. また, 調べるべき体積は距離の3乗に比例して大きくなる. さらに, 暗い銀河は近傍にも多数存在するから, その一つ一つの距離測定をして遠くのより大きい構造との見分けをつけねばならない. 調べるべき銀河の数は, 100万個の桁になる. 現在, 5年程度の時間をかけて1000個調べており, そのままとすると5000年もかかってしまう.

一方, CCDの開発も限界に近づきつつある. 現在, 2048×2048 のピクセルをもつCCDが開発されつつあるが, 大きさをそれ以上にすることは, 光電子発生線の線型性の破れや電位による電子輸送に困難が生じ, 素子自身に歪みが生ずるようである. 一方, 1000×1000 の高品位化

も量子限界に近づき、これによるノイズで観測できる銀河の限界等級が決まりつつある。(と言っても、これは「月の上のタバコの火が写せる」くらい秀れたもので、天文観測以外には使えないくらいの高級品である。)

ならば、望遠鏡を大きくして光の量をふやすこと、視野を広くして多数の銀河の像を結ばせ同時に50個もの銀河観測を行うより方法がない。望遠鏡の大きさを2倍にすると面積は4倍となり、結局現在より $50 \times 4 = 200$ 倍大きい効率で銀河探索が可能となる。5000年が一気に25年に縮まるのである。さらに、世界中で10台もの巨大望遠鏡が稼働すれば、2.5年ですむ。

という世界中の合意があったわけではないが、現在建設中・計画中のものを合わせて10台以上の口径8~10mクラスの巨大望遠鏡が予定されている。むろんこれには、巨大鏡にしても壊れない強化ガラスの開発、コンピューター

による鏡面精度や望遠鏡制御の技術の発展、光ファイバーによる同時多天体観測の実現など、先端技術の進展という背景があつてのことである。

日本でも、1998年完成をめざし、口径8mクラスの大望遠鏡建設が昨年度より始まった。これには、プレアデス星団の和名(万葉時代からの)「すばる」の名がつけられている。このような巨大望遠鏡は、天候の悪い日本におくことは無意味で、ハワイ・マウナケア山上(海拔4200m)に置かれることになる。

この望遠鏡が見る宇宙の姿は、21世紀の新しい宇宙像に連なるだろう。その時、現在知っている宇宙の姿はまだごく小さく、宇宙のごく一部でしかないことが露わになることだろう。宇宙論は、知のバロメーターであると共に、先端技術のバロメーターなのである。宇宙論の時代は、まだまだ続くと確信している。

