

宇宙は広がる、 どこまでも

池内了



1.はじめに —「すばる」のファーストライト

去る1月29日、国立天文台は、ハワイ島マウナケア山上に建設中である口径8.2メートルの「すばる」望遠鏡のファーストライトに成功したと発表し、素晴らしい天体画像を公表した。「すばる」望遠鏡は1991年に建設を開始して以来8年をかけ、いよいよ12月24日からファーストライトに入っていたのである。

ファーストライトとは、新しい望遠鏡に初めて天体からの光を導入して望遠鏡の性能評価を行うもので、2つの目的をもっている。1つは、機械としての望遠鏡の性能テストで、惑星・恒星・銀河とサイズ・距離・明るさ・天球上の動きが異なる天体に望遠鏡を向けて、鏡が正しい曲率に磨かれているか、鏡面のコントロールを精度良く行っているか、天体からの光が正しく受光装置に入っているか、望遠鏡が向く方向や天体の追尾精度は十分か、などを評価するのが目的である。これによって、どれくらいシャープな像になっており、どれくらい精度良く同じ天体に望遠鏡を向け続けられるかが明らかになる。いわば、ハード部分の性能評価である。「すばる」は、地上からの観測であるにもかかわらず、大気外を飛ぶハッブル宇宙望遠鏡と匹敵する

解像度を示しており、望遠鏡が設計通り製作され、正確に制御できていることがわかったのである。

もう1つの目的は、天体の光を受光装置に入れ、それによって天文学的に意味のある情報が得られるかどうかをテストすることである。望遠鏡がいくらきれいな像を結んでも、それが画面上に再現でき、具体的なデータとして取り出せねば研究の役には立たない。望遠鏡の周辺機器が正しく作動することを確認する、ソフト部分の性能評価である。「すばる」に取り付けられた研究用3種の受光装置とNHKの高感度ビデオ装置は、素晴らしい図像を送ってきた。特に、赤外線撮影ではハッブル宇宙望遠鏡には映っていない天体像がはっきり認められ、口径の大きさの威力(ハッブル宇宙望遠鏡の口径は2.5メートル)をはっきり示している。

こうして、「すばる」のファーストライトの第1ステップは成功した。今後、鏡面制御を高めるテストなどを行った後、得られた結果を詳しく解析して微調整を行い、5月からの試験観測を経て、2000年から本格観測に入る予定である。いよいよ、日本も光学観測の分野で世界の第一線に躍り出ることになったのだ。

2.大望遠鏡と専用望遠鏡

21世紀を臨んで、観測天文学は大きなブレイクスルーを迎えつつある。それも、相補的な2つの方法を組み合わせたものである。

1つは、「すばる」をはじめとする大望遠鏡を駆使する方法で、いわばハード部分をビッグにして、より遠い(より暗い)天体を、より鮮明に(より詳細に)映し出す方向である。ハワイのマウナケアにはアメリカの口径10メートルのケック望遠鏡が2台稼働しており、チリにはヨーロッパ南天天文台のVLT (Very Large Telescopes)が、口径8メートル望遠鏡を4台建設する壮大な計画で、うち1台は昨年6月にファーストライトを終え、数年で4台が一斉に稼働する予定である。また、イギリスはアメリカと共同で、ハワイのマウナケアとチリに口径8メートルの双子望遠鏡(Gemini)を建設している。また、2010年で終了するハッブル宇宙望遠鏡の後継に、口径が4メートルの望遠鏡を打ち上げる計画が練られている。

これらの大望遠鏡は、こぞって2つの大目標を掲げている。1つは、口径の大きさを活かして宇宙の果てまで人類の目を届かせ、宇宙創成の秘密を解き明かすことである。遠くを見れば宇宙の過去の姿が見えるから、この宇宙史を望遠鏡で辿ろうというわけだ。もう1つは、近傍の星の周辺に惑星は存在するか、地球のような惑星はどれくらいあるか、そこに生命が誕生する可能性はあるのかなど、宇宙における生命の探査である。それも、地球外文明を直接狙うのではなく、より地道に、惑星—地球—生命のつながりを1つひとつ順を追って詰めていこうというものだ。いずれの目標

も、「われわれは何処より来て何処に去るか」という、人類発祥以来の疑問への挑戦と言えるだろう。

もう1つの方法は、望遠鏡そのものは小さいが、ある特殊目的に絞って、もっぱら専用して観測を行おうというものである。例えば、私が参加している日米共同のSDSS (Sloan Digital Sky Survey) プロジェクトは、口径が2.5メートルの広視野望遠鏡にCCDカメラを取り付け、北天域全体の、奥行き25億光年までの銀河をすべて調べ尽くし、宇宙の大規模構造の地図を作ることを目的としている。昨年6月にファーストライトに成功し、現在は南の空の試験観測を続行中である。これ以外にも、オーストラリアを中心とした国際共同研究グループは、口径1メートルの小型の専用望遠鏡でマゼラン星雲中の約100万個の星の明るさを毎日モニター観測して変光を調べている。これは、それらの星を見る視線上に別の小さな星が通りかかったとき、重力レンズ効果によって明るさが急速に増加するマイクロレンズ効果を検出しようというもので、この5年間に10個を越える重力レンズ現象を発見している。

また、アメリカおよびオーストラリアの2つのグループは、それぞれ独立に小さな望遠鏡を用いて遠方の銀河の明るさを毎日モニターしており、銀河で超新星爆発が起これば即座に大望遠鏡を向けてその明るさの時間変化を観測している。これによって、アメリカのグループは1年に40個もの超新星を記録し、オーストラリアのグループも16個検出しており、宇宙斥力によって宇宙膨張が加速されているという重大な結論を下している。

このような、小型専用望遠鏡による系統的な宇宙観測は、質の揃った多数のデータによる統計的

研究を可能にし、時間変化のような継続的なデータが提供できるという強みがある。さらに、大望遠鏡を用いた宇宙観測にとっても非常に重要である。というのは、例えば、上のSDSSによって多数の銀河やクェーサーと呼ばれる銀河のカタログが作られるが、それが大望遠鏡の水先案内役を果たすからである。いくら大望遠鏡を持っていても、どこに望遠鏡を向けるべきかの地図がなければならず、それが小望遠鏡の果たす重要な役割なのである。最近、太陽に似た星の周辺に惑星が回っているらしい証拠が10個近くも集まっているが、それは、小型専用望遠鏡によって、星が惑星の引力のために揺れる効果を検出したものである。実際に、そこに惑星が存在するかどうかを確認するためには大望遠鏡が不可欠であり、2つの組み合わせによって、近いうちに太陽系外の惑星が発見されるだろう。

この、大望遠鏡と専用望遠鏡を併用するという方向は、汎用計算機がスーパーコンピュータにまで進化したとともに、ワークステーションやパソコンや専用計算機を用いて特殊計算を行っているのと状況が良く似ている。2つの効果的な組み合わせこそが大事なのである。このことは、広く実験科学に敷衍していえるだろう。一方で、世界の一線級の能力を誇るビッグサイエンスの装置が必要であるとともに、他方では、小型で費用は安い特殊目的に専用化して特色あるデータを出していく、この両面の組み合わせを工夫することが大切なのである。

日本では、ビッグサイエンスは共同利用機関で、小型特殊装置は大学で、という棲み分け方式が採られたが、この方式は高く評価すべきである。天

文学においては、国立天文台が電波望遠鏡や「すばる」を建設し、宇宙科学研究所が科学衛星の打ち上げを担当しており、ともに全国の研究者が共同利用している。また、各大学では、小型だが特色ある装置作りに励んでいる。その結果、国民1000人当たりの天文学者の数は世界で23位（アルゼンチンの次）という低レベルでありながら、世界に伍する成果をあげることができた、といえるだろう。

3.天文学の最近の話題

新聞の科学のニュースでは宇宙観測の新しい話題が多く載っており、事実、天文学研究は活況を呈している。その理由の1つは、ガンマ線やX線から紫外線・可視光・赤外線・電波と全波長域で宇宙観測が可能になり、観測する宇宙が広がってきたからである。さらに、時間・空間・速度の分解能が上がるにつれ詳細にまで目が及ぶようになり、細部にわたって具体的な描像が描けるようになったこともあるだろう。以下では、私にとって興味あるトピックスを3つだけまとめておこう。

(a) ハッブル・ディープ・フィールド

ハッブル宇宙望遠鏡による特別な試みは、望遠鏡を同じ方向に30時間くらい向け続け、現在撮影ができる最も暗い天体まで映し尽くすハッブル・ディープ・フィールドである。これにより29等級までの天体が夜空を埋め尽くすくらいに映っている。このデータはすぐに公開されており、世界各地の天文台はそれぞれ興味ある天体を拾い出してフォローアップ観測を直ちに行う、という体制が採られている。

その研究から、宇宙のサイズが現在の10分の1しかなかった時代の、宇宙年齢にして5億年頃の天体候補が見つかってきた。といっても、29等という非常に暗い天体なので、直接その距離を測るスペクトル観測は大望遠鏡といえども現在の段階では不可能で、理論モデルとの照合によってその距離や年齢が推定されているのみである。しかし、これまで目の届かなかった、いわば宇宙の暗黒時代の姿が漸く炙り出されようとしている感がある。宇宙が創成されて膨張を続ける中で、5~10億年頃に銀河が誕生したと考えられているが、宇宙の初代の天体の姿が見えつつあるのだ。

さらに、さまざまな距離にある銀河を順に並べていくと、銀河の姿の時間系列を追っかけることになり、銀河がどのような進化を経てきたかが目の当たりにできるようになった。宇宙の姿が刻々と変化してきたことが具体的に辿れるのである。ビッグバン宇宙が確立したのは1965年で、宇宙がかつて熱かった証拠である宇宙背景放射が発見されたためだが、現在ではビッグバン宇宙の予言通り進化する宇宙をこの目で確かめられるようになった、というわけである。

他にも、ハッブル宇宙望遠鏡がもたらした成果は多くあるが、私にとっては、宇宙の果てに迫るハッブル・ディープ・フィールドこそ、ハッブル宇宙望遠鏡でしか成しえない大きな成果であると思っている。

(b) 銀河中心の巨大ブラックホール

宇宙には、私たちが住む銀河系のような比較的小さな銀河以外に、その中心部が激しい活動性を示す活動的銀河も存在している。それらは、

「銀河中心核」と呼ばれる狭い領域から、電波や可視光そしてX線などで、銀河系全体の100倍以上の巨大なエネルギーを放出していることが知られている。その極端な天体がクェーサーで、太陽系くらいの大きさの領域から銀河系の1万倍以上のエネルギーを放出しており、奇妙なことに、過去には多数存在していたが現在では(つまり、近傍には)ほとんど存在していない謎の天体である。ハッブル宇宙望遠鏡によって、クェーサーも銀河の一種で、特にその中心核が特に明るく輝いていることが明らかにされている。

このような狭い空間から莫大なエネルギーを取り出すためには、よほど効率的なエネルギー放出機構が存在しなければならない。そこで考え出されたのが、太陽の1000万倍もの質量を持つ巨大ブラックホール説で、そこにガスが吸い込まれる寸前までに得た重力エネルギーが磁場や衝撃波の作用で外部に取り出された、というモデルであった。サイズが小さいこと、静止エネルギーの3割近くまでのエネルギーを取り出せること、が注目されたのである。しかし、実際にそこにブラックホールがあることを、どのようにして証明すればいいのだろうか。ブラックホールは自ら光を放たないのだから。

天体のスケールではブラックホールはほぼ点の重力源と見なせることが着眼点である。つまり、活動的銀河の中心部を詳細に観測して、そこに点源の重力場が存在することが証明できれば良く、周辺のガスの回転運動を調べればわかる。太陽系と同じようなケプラーの法則を満たしていれば、その速度からブラックホールの質量まで計算できることになる。といっても、活動的銀河までの距離は

遠いから、中心核の部分をクローズアップすることはとても困難である。

そこで工夫されたのが、世界中の電波望遠鏡を動員して同じ銀河を同時に観測して磁気テープに記録し、それを持ち寄って電波を干渉させれば地球サイズの口径を持つ望遠鏡と同じ分解能となるというVLBI (Very Long Baseline Interferometer : 超長基線電波干渉計) テクニックである。幸いなことに、水分子が銀河核に存在しており、そのメーザー発信した電波が強いので干渉計として十分に受かるのである。これによって、ケプラーの法則で回転するメーザー源が観測され、ブラックホールが確かに存在するという強い証拠が得られた。

この研究には、日本のVLBIグループが大きな役割を果たしたことを付け加えておくべきだろう。世界の研究者を同じアイデアで結びつけ、世界で共通の解析装置を備えるよう働きかけ、観測の中心になって取り組んだのだから。そのような実績もあって、日本が打ち上げた「はるか」と名付けられた口径10メートルの電波望遠鏡と地上の電波望遠鏡とを結んで干渉計とするプロジェクトの中心となって、口径3万キロメートルもの望遠鏡と同じ分解能の観測に成功している。

(c) ガンマ線バースト

1963年にアメリカと旧ソ連の間に核実験部分停止条約が結ばれたが、これは大気中での核実験を停止する条約であり、地下での核実験は依然行われてきた。それを査察するためにアメリカはVela衛星を打ち上げ、上空から地球を監視しようとした。この衛星には、核実験の際に放射されるガンマ線検知

器が搭載されていた。ところが、この検知器が、地球ではなく、上空を見上げている際に、ガンマ線がバースト的に(爆発のように)降ってくることに気が付いた。宇宙には、ガンマ線を強く放射する天体がある、というわけである。とはいえ、ガンマ線のような高エネルギーの光を放つ天体は想像しがたく、以来30年以上、このガンマ線天体が何者か、まったく謎のままであった。というのは、ガンマ線測定器の視野が広いと、どの天体からのものか同定できなかつたためである。

1990年代に打ち上げられたコンプトン・ガンマ線衛星は、視野を狭くして、ガンマ線源を徹底して調べるための測定器を搭載している。視野が狭いことは、ほんの数秒から数十秒で消えてしまうガンマ線バーストを取り逃がす危険性があるが、運良く見つければ位置を精度良く決められるから、その天体が同定しやすくなると思ったのである。驚いたことに、視野を狭くしても、ガンマ線バーストは毎日ほぼ1個の頻度で発見されている。むしろ、検出器が良くなって暗いものも検出できるようになったためだが、ガンマ線バーストが頻繁に起こっていることを意味している。ところが、視野が狭くなくてもまだ方向精度は悪く、急いで望遠鏡を向けて近傍の天体を1個ずつ調べてもそれらしい変わった天体が見つからずにいた。

そこで、ガンマ線観測チームは、ガンマ線バーストが見つかったと直ちに世界中の観測所に位置を連絡し、ちょうどその方向を向いている望遠鏡があればすぐに同定観測ができるよう手配をすることにした。その効果はてきめんで、まずX線望遠鏡によってガンマ線バーストが起こった直後にX線でもし

ばらく(2日ほど)輝くことが報告され、次にハッブル宇宙望遠鏡が可視光でもゆっくり暗くなっていく天体をとらえた。そうすると、天文学者たちはガンマ線天体の正体を明かそうと、連絡が入り次第即座に望遠鏡を向けるようになった。その結果、ガンマ線バーストが起こって4分後に可視光で観測され、まだ十分明るかったのでスペクトルを撮ることができるようになった。(もっとも、4分後に撮影できたのは、望遠鏡が向いている方向のすぐ近くにバースト源があったからで、よほど幸運であったことになる。)

この観測によれば、ガンマ線天体は、100億光年彼方という宇宙論的な距離にある天体であった。そんなに遠くにあるならば、莫大なエネルギーをガンマ線領域で放射していなければならない。では、何が起きているのだろうか。2個の中性子星が連星になっていて、それが最終段階で合体したのではないかというような、まさに極限状態にある天体の激しい相互作用を考えねばならない。まだモデルが提案されている段階で定説はないが、宇宙には実に奇妙な現象が溢れていることがわかりだと思ふ。

4.おわりに — 21世紀を展望して

世界中で10台近くもの大望遠鏡が稼働し始め、大口径の宇宙望遠鏡が空を飛び、世界中の電波望遠鏡が人工衛星で結ばれ、さらにX線やサブミリ波の人工衛星も打ち上げられ、21世紀には、全波長域で最高の分解能の天文情報が溢れるようになるだろう。(人工衛星も、巨大な汎用衛星と小型で時間分解能や位置決定精度だけを得意とする専用衛星の2種類を組み合わせる時代となると予想され

る。)少なくとも、この20年くらいは、観測が先行する時代が続くと考えている。それによって、思いがけない新天体の発見や宇宙進化の道筋のかなりが見えてきそうな気配である。私たちが認識する宇宙はどこまでも広がるのである。

私の心配は、溢れるデータに研究者が引き回されてしまい、かえって想像力を失ってしまうのではないかという点である。むろん、それはデータの少なかった時代に研究をしてきた私のような旧式人間の杞憂で、コンピューターを自由自在に使いこなす若者にとっては、溢れるデータを使いこなすことは容易なのかもしれない。しかし、確実に「発見の時代」から「詳細の時代」に入っていくことは確かで、どのような姿勢で研究を続けるかをしっかり押さえておかねばならないと思う。

ともあれ、天文学のような文化にのみ寄与する学問分野に、人々の興味が惹きつけられ、それなりの研究投資が成されていることに、文化の成熟を感じている。もっとも、このような状態がほんとうに日本に根付いたかどうかは21世紀になってみないとわからない、とも思える。低成長時代に入ってもなお、儲からない天文学に人々は投資を許容するかどうか心配であるためだ。むろん、文化が真に根付くために、私たちはいっそう研究に励み、人々にそれを伝え、そして宇宙の絶妙さに感嘆する心を人々と共に分かち合うことに努めなければならないと思っている。

池内 了 (いけうち さとる 1944年生)

日本学術会議第4部会員、天文学研究連絡委員会委員長、名古屋大学大学院理学研究科教授
専門：宇宙物理学、宇宙論