

天体観測の発展と補償光学

国立天文台教授 家 正則

1. はじめに

だれでも、宇宙や天文学に一度は興味を持ったことがあるのではないのでしょうか。理科離れが心配されていますが、子供達が抱く興味をしっかりと受け止め、育むことは大変重要なことと思います。本稿では、天体観測の歩みと、最先端の観測技術についてご紹介します。自然科学や技術開発の面白さ、驚き、スリルを若い世代に伝える一助にして頂ければ幸いです。

2. 天体観測の発展史

天文学はほかの自然科学と違って、研究する対象に働きかけてその反応を見ることができません。天文学者は、天体からやってくる微かな電磁波をひたすら測定するしかありません。このため、少しでも精度と感度の良い観測をしたいと、天文学では時代時代の最先端技術を駆使して天体観測を行ってきました。

図1は望遠鏡が大きくなってきた歴史を示しています。ガリレオ・ガリレイが、望遠鏡を天体に向けたのはおよそ400年前のことです。直径わずか3, 4 cmの望遠鏡でしたが、木星には衛星があること、天の川は無数の星々の集まりであることなどを発見しました。その後、望遠鏡はしだいに大きくなりましたが、もう一つの大きな進歩は写真乾板の実用化でした。19世紀後半にはそれまでの肉眼での観測

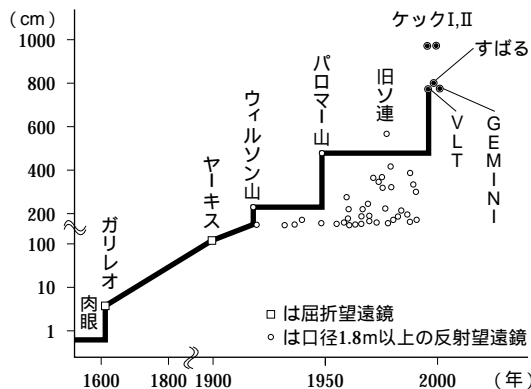


図1 望遠鏡口径増大の歴史

が写真観測に変わり、客観的なデータが残るようになりました。我々の天の川銀河の外にも、同じような銀河が無数に広がっていること、宇宙が膨張していることなどが分かったのは、1920年代のことです。今からほんの70年余り前のことでしかありません。

20世紀後半に入ると、電波天文学やX線天文学などが急速に進歩し、宇宙の理解は格段に進みました。光の天文学でも、1990年頃には写真乾板より約50倍は感度の良いCCDカメラ(図2)が用いられるようになりました。ホームビデオの撮影にもよく使われているCCDですが、天体観測では液体窒素で冷却して熱電子雑音をゼロにする、という特別な工夫をします。図3は1986年に私たちが開発したCCDカメラで24等級の銀河の観測に国内で初めて成功したときのものです。



図2 液体窒素冷却型CCDカメラ

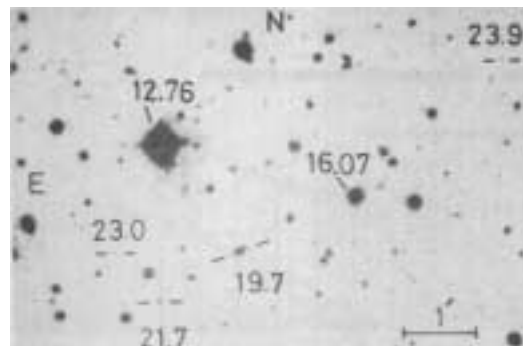


図3 CCDカメラでとらえた24等級の極微小天体

図4は人工衛星から夜の地球をとらえた写真です。どこを撮っているかは一目瞭然ですね。日本列島はどこもかしこも街明かりで光っているのがわかります。この写真からもわかるように、日本国内にはもう都市光から逃れられる場所はありません。現在、世界の最先端の天文台は北半球ではハワイ島

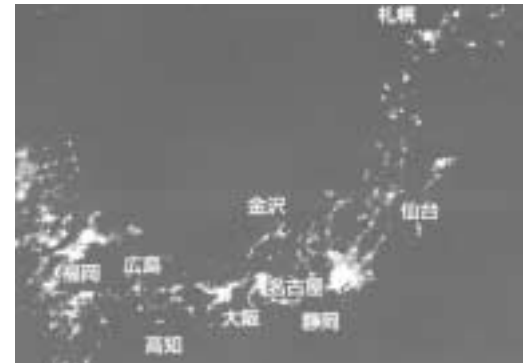


図4 衛星から撮影された夜の日本近海 (リモートセンシング協会1997)

(海拔4200 m)とスペインのカナリー諸島のラ・パルマ島(海拔2400 m)という島の山頂にあります。北半球の天文台からは北の宇宙しか見えません。そこで、ヨーロッパは南の宇宙の観測を分担する一大決心をして、8カ国が国際共同で南米のチリのアンデス高原に天文台を作りました。ヨーロッパから見ると地球の裏側にあたる場所にわざわざ天文台をつくらねえ。

3. 「8 m すばる望遠鏡」の能動光学

テレビや新聞でも頻りに報道していただいたので、ご存じの方も多いと思いますが、すばる望遠鏡は1991年度から9年がかり、総予算約400億円で、国立天文台がハワイ島の海拔4200 m マウナケア山頂に建設した最先端の望遠鏡です。すばる望遠鏡の目的は、できるだけ遠い宇宙を詳しく見ることです。遠くの天体からやってくる光はそれだけ時間がかかってやってくるわけですから、現在見ている遠くの天体はそれだけ昔の姿を見ているわけです。天文学者はより遠くを見ることで、宇宙の考古学を研究しているのです。もう1つの目的は、地球のような生命を宿せる環境にある惑星がどれくらいあるのかを調べ、できれば第2の地球を見つけることです。

すばる望遠鏡の直径8.2 mの鏡は世界最大で、しかも一番つるつるに磨かれた鏡です。コンピューター制御で鏡の形を調節するという能動光学のアイデア、これがこの望遠鏡計画の一番の要でした。波長0.3 μmの紫外線から20 μmの赤外線までを観測するため、7つの観測装置をつくりました。国立天文台ハワイ観測所は日本の国立研究施設として初めて外国の地に設置された研究所となりました。

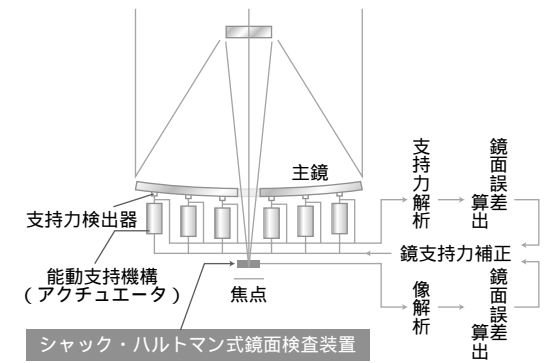


図5 能動光学の基本原理解

主鏡用のガラスづくりに3年、磨くのに3年、そしてそれを設置し調整するのに3年で、9年がかりの建設となりました。主鏡のガラスは熱膨張率が1度あたり1億分の1以下という特殊なガラスです。軽くするために、直径が8.2 mに対し、厚さが20 cmしかありません。これだけ薄いと、望遠鏡を傾けると、光の波長の何十分の1というレベルでは鏡がぺこぺこに変形してしまいます。天体撮影をするとその違いが出てしまうのです。でも、どう変形しているかをきちんと測る方法と、それをコンピューター制御で直す手だてを組み込んでやれば、いつも理想的な鏡の形を保つことができます。この方式を能動光学と名づけましたが、図5は、すばる望遠鏡の主鏡の形状を、支える力を制御して整える支持機構の概念図です。この方法でうまく鏡の形を制御できることを、小型の模型をつくって実験しました。1989年の秋に、この実験が成功した夜のことは、今でもよく覚えています。鏡の変形の様子を精密に測定する装置を作り、フックの法則に従って補正力を加えると鏡の変形が直せるわけです。原理は簡単ですが、すばる望遠鏡の能動支持機構は大変複雑精緻です。うまく動くか心配でしたが、これまでに無いシャープな天体画像を撮影することができるようになり、日本中の天文学者は今皆興奮しています。

宇宙空間から観測するハッブル宇宙望遠鏡は空気のゆらぎに妨げられないため、大変シャープな天体画像を得ることができます。地上の望遠鏡は、写真撮影ではこれまでハッブル宇宙望遠鏡には敵わなかったのですが、すばる望遠鏡はハッブル宇宙望遠鏡に負けない画質の写真を撮影することに成功しました(図6)。写真撮影ではハッブル宇宙望遠鏡と引き

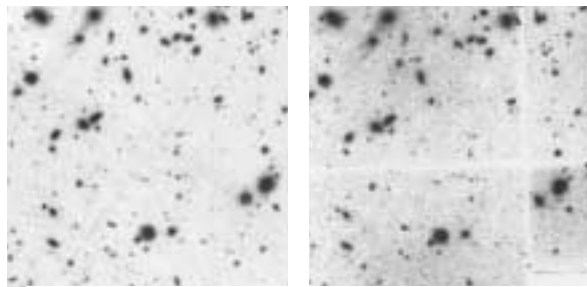


図6 およそ40億光年かなたの銀河団A851
すばる望遠鏡(左)とハッブル宇宙望遠鏡(右)による1時間露出の画像には、どちらも28等級(肉眼で見える最も暗い星の5億分の1の明るさしかない)天体まで写っていた

分けですが、鏡の面積で12倍も大きいすばる望遠鏡は光を集める力では格段に上です。そこで、微かな天体からの光を虹のスペクトルに分解してその正体を調べる分光観測などでは、地上の大型望遠鏡が活躍します。

4. 補償光学とその応用

直径8.2 mの主鏡を1秒間に1回ぐらいつつ力を調整して、いつもチューニングする能動光学機構のおかげで、鏡が傾いても、温度が変化しても常に調整できる理想的な望遠鏡ができました。残念ながら、大気の揺らぎは非常に変化が速くて、1秒間に1000回ぐらいつつ揺れの状況が変わるので、図体の大きい直径8 mの主鏡で直すことはできません。でも、小さな薄い鏡でなら素早く直すことができます。揺らいだ大気の底からでも、揺らぎを測る手段と直す手段を組み込めれば、真空中で見ているのと同じくらいシャープに観測できるはず。国立天文台では、

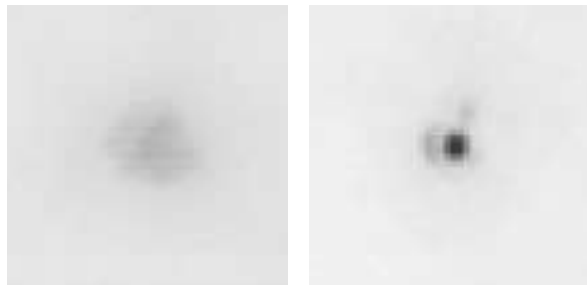


図7 2000年12月の補償光学試験観測結果
観測天体はアンドロメダ座 星。撮影は波長2ミクロンの赤外線で行ったもので露出時間は9秒。補償光学装置を使わなかった場合(左)、星像直径は0.33秒角となる。補償光学装置を作動させた場合(右)、星像直径は0.07秒角となり、理論的な限界性能を達成したことが証明された

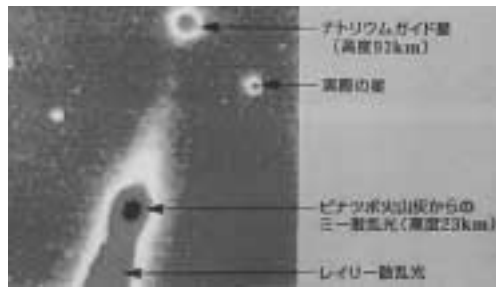


図8 レーザーガイド星(Starfire Optical Range)
大気中のちりなどによる散乱でレーザービームが光っているが、上空へ行くほどビームは見えなくなる。だが、ナトリウムレーザービームは高度90kmのナトリウム層を刺激して、光る人工星を発生する

大気の揺らぎを素早く測定して直す光学系を開発しました。補償光学と呼ぶこの装置は、能動支持システムを直径10 cm程度の非常に薄い鏡で実現した高速ミニチュア版です。実際に、補償光学装置を使うと、天体像がさらにシャープになることが、証明できました(図7)。

このシステムを実際に作動させるには、観測する方向にある明るい星を使って、大気の揺らぎを測る必要があります。でも、いつも都合良く明るい星があるとは限りません。そこで、好きな方向に明るい星があると便利だと、とんでもないことを考えた天文学者がいます。彼が考えた方法は、地上からレーザービームを撃って、はるか上空に光る点を作るというアイデアでした。高速道路でよく使われるオレンジ色のナトリウム灯のD線という光で発振するレーザーを使うと、面白いことができます。

レーザーの光は大気中のちりや窒素、酸素の分子で散乱されるので、レーザービームが見えます。上空へ行くとだんだん分子もちりもなくなるので、ビームは先のほうでは見えなくなります。ところが、地球の大気の高さ90 kmのところにはナトリウムの原子密度の濃い層があり、このレーザーで励起されたナトリウムの雲がその高さで光り、まるで星のように見えます(図8)。これをレーザーガイド星と呼びます。国立天文台ではこのようなレーザーガイド星の発生実験を始めています。数年後にはこの技術を使って、すばる望遠鏡をどこに向けても大気の揺らぎを直し、さらにすばらしい画質の観測ができるようにしたいと考えています(図9)。

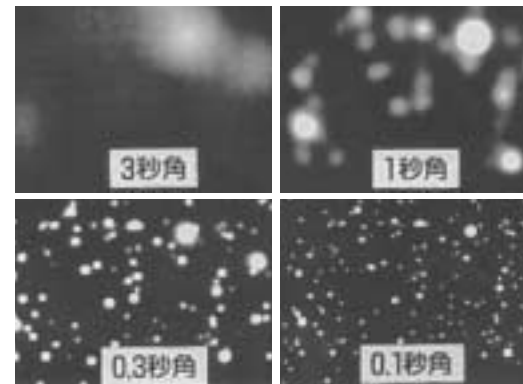


図9 補償光学シミュレーション
天体の解像力が良くなると、より暗い天体まで見えるようになる

光の波面の乱れを測って直すという技術、これを補償光学と私たちは呼んでいます。こういう技術は、他にも応用の可能性がいろいろとあります。こ

の技術の産業界や医療への応用もいろいろと研究が始められています。科学と技術の進歩は深く関連しています。生徒にこのあたりのことを、是非伝えて頂ければ幸いです。

参考文献

- (1) すばる望遠鏡ホームページ:
http://www.subarutelescope.org/j_index.html
- (2) 筆者ホームページ:
<http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~iye/index.html>
- (3) ビデオ教材: 宇宙の果てに挑む
(天文学振興財団ビデオ1999: Tel 0422 - 34 - 8801)
- (4) 放送大学TV授業: 宇宙の観測 - 第5回 光赤外線観測の実際、講師 家 正則
- (5) 書籍: 最新技術で挑む「すばる」望遠鏡 - 薄型主鏡・補償光学・高感度撮像素子 科学(家 正則, 岩波書店, 67巻, 9号, 644 - 647, 1997/9)

**数研出版の一般書
チャートBOOKS**

2001年春の新作
英語は日本でうまくなる!
花咲くためのインタビュー&ガイド
1,150円+税

フリーターでいい?フリーターがいの?
フリーターがわかる本!
1,150円+税

あなたの学部選びは間違っている!?
迷うからこそ、『理系』!
1,150円+税

研究室のひみつ
大学は研究室で選べ2
860円+税(p.10~11もご覧ください)

サイエンスピックスも...
2時間即決 環境問題
650円+税

ニュースがわかる生物学
ヒトゲノムから動物保護まで
1,000円+税

数研出版