

# すばる望遠鏡の現状と最新成果

山下卓也

## Current Status and Astronomical Results of Subaru Telescope

Takuya YAMASHITA

Since the first light of the Subaru Telescope was made, plenty of efforts for fixing bugs and improving its performance were made. I here report them in some details together with the recent astronomical results.

**Key words:** telescope, infrared, astronomy

すばる望遠鏡は1999年12月にファーストライトを迎えて以来<sup>1)</sup>、望遠鏡性能の向上に努めると同時に、その本来の能力からするとまだまだわずかではあるが、科学的な目的をもった観測を行い初期成果を出してきた。本稿ではこれらの性能向上と初期成果について、一部ではあるが報告したい。

### 1. 鏡 面

望遠鏡の性能の重要な指標は集光力と星像のシャープさであるが、集光力は単純に主鏡有効面積によるため、設計時に決まってしまう。これに対して星像のシャープさは、望遠鏡設置後の努力によって大きく改善される可能性が高い。星像のシャープさと言っても、多くの要因が関係している。まず、主鏡や副鏡の研磨残差が大きくてはよい星像は望めないが、これはすでに十分な精度が達成されている。次に主鏡のサポートである。最近の大望遠鏡は主鏡のサポートに旧来のようなレバー式ではなく、アクチュエーターの力を計算機制御することによって、薄い主鏡でも精度よく形状を保つ手法を用いている。すばるのファーストライト時にはすでにこれまでの望遠鏡以上の星像を達成していたことから、この手法が正しかったことは証明されているとよい。しかし、その性能を最大限に引き出し、常に必要とされる鏡面形状を維持し続けるには、経験と改良、ノウハウの積み重ねが必要とされる。

鏡面を必要な形状に保持するには、まず形状の測定が第

一步である。すばる望遠鏡では、これにシャック・ハルトマン法を用いている。そして、測定された理想鏡面とのずれを、主鏡を裏から支えているアクチュエーターの支持力と副鏡（主焦点観測装置の場合は主焦点補正光学系）の位置にフィードバックし、ずれが収束するまで繰り返す。これは、ある望遠鏡の傾き（高度角）についての操作で、どの望遠鏡方向でもよい鏡面精度を達成するために、高度角を変えて5回ほど測定する。そして、その間の高度角については、三角関数の組み合わせでフィッティングを行ってアクチュエーター力などを制御している。すばるではこの作業をミラーアナリシスとよんでいる。現在のところ、副鏡交換の際の取り付け再現性や鏡面の安定性の確認が取れていないことから、副鏡交換の際に約1~2週間間隔でミラーアナリシスを行って望遠鏡を運用している。測定ごとに測定・制御パラメーターは蓄積されていくので、今後は再現性や安定性の確認された範囲で効率的な運用（ミラーアナリシスの頻度の低減）に移行する予定である。

現在までの努力で、鏡面形状はなんとか共同利用の運用が行えるレベルを日常的に保てるようになってきたが、この過程で明らかとなったのは、鏡面精度への風の影響の大きさである。ミラーアナリシスの過程で、収束がよい場合やそうでない場合があったり、同じ鏡面制御パラメーターを用いる一連の観測でも星像に収差がみられる場合があったが、これらの現象は主鏡にかかる風圧によって主鏡が変形しているのが原因であった。当初はいろいろな可能性が考えら

れたが、アクチュエーターに搭載されているセンサーの圧力変動が、風圧によると考えた場合の変動量の大きさや分布とほぼ一致することから確認された。風圧の問題は設計当初より認識されており、風圧によって主鏡の3つの固定点に掛かる力から風圧分布を予想してアクチュエーターの支持力にフィードバックする方策が考えられているが、まだ実現していない。しかし、すばるのドームの前面に装備されているウインドスクリーンを使用する（光束を遮らない範囲で最も上げておく）ことにより、実質的にはほとんどの場合で風の影響が回避できている。

## 2. 追尾精度・ガイディング精度

最終的に得られる星像のシャープさには、望遠鏡の追尾精度・ガイディング精度も重要な要素である。天文観測の場合には天体の検出感度が非常に重要な性能になるので、長時間の積分を行う場合がほとんどである。したがって、積分時間中に望遠鏡が天体を追尾できていないと、得られた星像は歪んだものになってしまう。前者はガイドシステムを使用しない場合の天体追尾精度で、エンコーダーの短い周期での誤差やベアリングやモーターのスムーズさなどが誤差要因として考えられる。このなかで、すばる特有のものとして望遠鏡ベアリングとして使用している静圧軸受けに起因するものがある。すばるでは高度・方位軸に静圧軸受けが使われているが、このうち方位角の静圧軸受けのベースが8分割されていてわずかに段違いがあるために、静圧軸受けが段差を通過する位置で望遠鏡の指向方向がわずかに変化する。この変化のパターンはテーブルに収められて補正されるようになってはいるが、まだ十分に補正できていなかった。しかし、最近になってその振る舞いが詳しく解析され、改善のめどがたち始めている。

実際の観測ではほとんどの場合にガイドを行うので、追尾性能自身よりはオートガイダーを用いた場合の総合的な追尾精度であるガイディング精度のほうが重要である（もちろん、追尾性能が悪ければガイダーで補正するにも限界がある）。すばるではカセグレン焦点・2か所のナスミス焦点・主焦点の各焦点それぞれに別個の冷却 CCD (charge coupled device) を用いたオートガイドシステムを装備している。試験観測の初期のころはガイドに使える星（ガイド星）の限界等級（明るさ）が思ったほど暗くなかったり、ガイドを始めてから追尾が安定するまでの時間が思いの外かかったりして、十分な性能を發揮していたとはいえなかった。しかし、取得されたガイダーの画像から望遠鏡の追尾誤差を導くパラメーターの最適化を行ったり、望遠鏡の駆動のソフトウェアを改良したりして、現在では8 m クラ

スの望遠鏡として恥ずかしくない性能を發揮できるようになっている。

## 3. シーイング

これらの問題を解決できると、ドームを含めた望遠鏡のシーイング（大気ゆらぎによる像の広がり大きさ）が解決すべき問題として残される。現段階では上記問題がようやく解決のめどがたったところで、まだシーイングに対する本格的な取り組みは始まっていない。しかし、1999年6月にプレスリリースしたように、波長 $2.2\ \mu\text{m}$ の赤外線、5秒間という短い積分時間であったが、0.2秒角という驚くべきシーイングを達成したことから、ドームや望遠鏡の基本設計が正しかったことは証明されている。あとの目標は、定常的によいシーイングを達成するための条件を探ることである。と書くのは簡単なことであるが、実は大変時間のかかるプロジェクトとなる。すばるでコントロールできるのは、昼間の冷房による主鏡とドームの温度、リア・サイドベンチレーターの開閉状況、ウインドスクリーン・トップスクリーンの位置などであるが、これらの動作とシーイングの相関は簡単にはわからない。ベンチレーター等の開閉状況や位置は短時間で変更できるので比較的わかりやすいが、それでも、ある日に起こったことがいつも再現するとは限らない。また、ドームや主鏡の温度は昼間の冷房によっているので、すぐに変えるわけにはいかない。シーイングは日々刻々変化するので、その効果を確認するのに統計的に十分な数のデータを取得しなければならないのである。

この中で、ある程度効果が明確になってきたのが、主鏡の温度のコントロールである。昼間は主鏡カバーが閉じられており、カバーと主鏡の間の空間に空調された空気が循環している。2000年の5月以降、この温度を夜間の予想気温に対して $2^\circ\text{C}$ 低く制御することを行っている（それまでは、予報がなかった）。図1は制御を始める前と後のシーイングの統計を比較したものである。制御前に対して、温度制御を始めてからは0.1秒角程度の改善がみられている。ただし、統計期間の季節が同じではないので、季節的な変動の成分が残っている可能性は否定できない。また、 $-2^\circ\text{C}$ という温度差が最適値かどうかはまだわからないが、平均的に0.1秒角の改善は大きな効果である。

これらの作業とともに早急に始める必要があるのが、望遠鏡やドームの影響のない真のマウナケア山頂でのシーイングデータの継続的取得である。すばるのシーイングをよくしようとしてもサイトのシーイング以上によくすることは不可能である。したがって、ドームや望遠鏡の影響のな

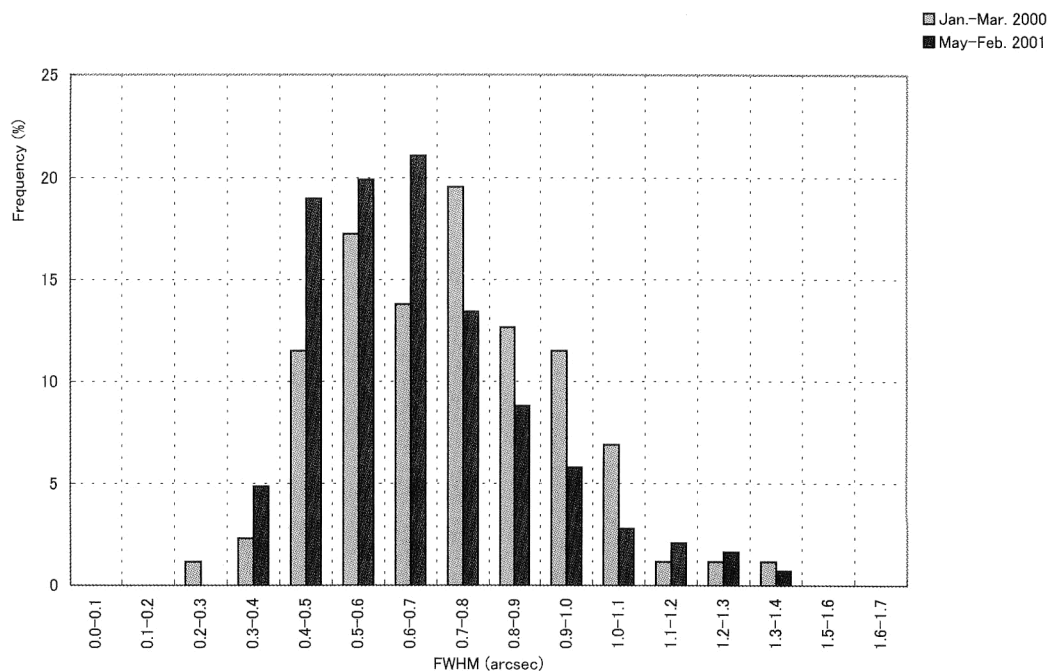


図1 すばる望遠鏡のシーイングの頻度分布。すばる望遠鏡のオートガイダーで測定したシーイングの2000年1月から2001年2月までの頻度分布を主鏡温度の制御を行う前と後に分けて表示したもの。横軸は星像の半値全幅で、縦軸は頻度割合（国立天文台・宮下暁彦氏提供）。

いシーイングとすばる望遠鏡のシーイングを比較することで初めて到達点が変わり、現在おかれた状況を理解できる。このプロジェクトは、本号の「すばる望遠鏡の補償光学」の記事を執筆している高遠氏を中心とするグループが活動を行っており、シーイングモニター装置は日本国内での試験を終え、マウナケアへの設置の準備を行っているところである。

#### 4. 赤外放射率

また、最近の大望遠鏡はどれもそうであるといってよいが、すばる望遠鏡も赤外線での観測が重要視されている。そのためには赤外放射率の低減が重要な課題である。2  $\mu\text{m}$  より波長の長い赤外線は常温の物体からも放射されており、望遠鏡も例外ではない。この熱放射はバックグラウンド放射の増加＝ノイズの増加となって観測の感度を低下させるので、可能な限り低くしなければならない。熱放射量は面積×黒体放射量×放射率で表されるので、これを小さくするには、望遠鏡の光束中にある物体の投影面積を小さくするか、温度を下げるか、または放射率を小さくすればよい。望遠鏡の主鏡の温度は上で述べたように予想外気温から2°C低くなるようにコントロールしているが、この程度ではあまり効果がないのと、これ以上温度を下げてシーイングに悪影響を与えてはいけなないので、この目的で積極

的にはコントロールできない。そうすると、望遠鏡の光束中にある物体の面積とその放射率の積が望遠鏡の性能としての指標となる。これを望遠鏡の赤外放射率とよび、観測装置に入射する望遠鏡の主鏡・副鏡自身やスパイダーなどの光束中にある物体から放射される赤外線を望遠鏡の有効面積×(望遠鏡の温度の)黒体放射量で割ったもので、近似的には温度・波長に依存しない量である。主鏡、副鏡の鏡面の放射率(=1-反射率)は蒸着材質に依存する。すばるは、現在のところ主鏡にアルミニウム、赤外副鏡には金と標準的な材質を採用している。

材質以上に影響の大きいのが、鏡面の汚れである。鏡面の汚れは反射率を低下させるとともに、赤外放射率を増加させる。これについては、設計時に十分考慮されており、ドライアイスの細かい粒を吹きかけるクリーニング機構のついたアームが主鏡のすぐ上に組み込んである。このアームがドライアイスの「雪」を吹き出しながら主鏡面の上を移動して掃いていくのである。鏡面に付く汚れは、付いた直後は落ちやすいが、時間の経過、特に高湿度な環境を経ることにより固着するものが多いと考えられる。そこで、汚れが固着する前にドライアイススノーで落としてしまおうというのである。クリーニングを始めた当初は2週間の間隔であったが、現在は3週間に1回のペースで十分な効果があると判断されている。1999年8月に主鏡の再蒸着が

行われた後の10月から定期的にクリーニングが行われているが、約1年半経過した2001年3月段階で可視域(670nm)での反射率の低下は約4%に抑えられている。この量はそのまま赤外放射率の増加量となり、ベストの状態での赤外放射率(設計値~5%)より少し小さい程度である。したがって、もっと小さく抑えられればよいが、これまでの望遠鏡の標準から考えると、赤外放射率の増大を長期間抑えることに成功しているといつてよい。これから、実施に1か月近くもかかる主鏡の再蒸着の頻度を減らすことができる可能性が高い。実際、当初は年に1回と考えられていた再蒸着が、少なくとも次回は2年のインターバルで予定されている。

赤外放射率を大きくしないためには、これに加えて、スパイダーなどの鏡面以外のものはできるだけ投影サイズを小さくしなければならない。しかし、設計時にひとつの難関が立ち上がった。すばるは、頭頂部分にはトップユニット交換機構(3つの副鏡と主焦点ユニットを交換して取り付ける)が、高度軸の高さには第三鏡の駆動機構がそれぞれスパイダーで支持されていて、この支え方が通常の十字ではない。トップユニットなどが回転方向に振動しないように、スパイダーの外側は4か所、内側は2か所で留められている。つまり、天頂から見るとVの字が2つ向かい合わせで並んでいるような形をしている。この形がくせ者で、通常の十字のスパイダーであれば、焦点位置からみて2つのスパイダーの後ろ側は前側の陰になるので、光束を遮る面積はスパイダーの前面投影面積だけで済むが、スパイダーが斜めに張られているとそうはいかない。焦点面から逆に考えると、光束は副鏡と主鏡の間で第三鏡スパイダーを横切り、主鏡で反射後、再度第三鏡スパイダーそして、頭頂スパイダーを横切ることになる。この間の、副鏡-主鏡間の光路では、スパイダー側面も光路を“けり”、かつ主鏡より後の光路でのスパイダーと投影位置が違ってきってしまう。つまり、スパイダーによるけりが同じ幅のものに比べて2倍以上になってしまう。この増加量は主鏡の面積に比べれば大きくない量(0.5~1%)なので光量損失という面では無視できるかもしれないが、ベストのときには5%程度であるはずの赤外放射率にとっては無視できない。

そこで、すばるではスパイダーの前後に赤外線を反射するが、可視光では黒い干渉フィルター(ミラー)を取り付けることにした。ミラーの向きは焦点からみて望遠鏡の構造物を避け、空に抜けるように設置されている。図2は中間赤外線観測装置・COMICSの瞳像で、中央の楕円部分が冷却ストップの穴を透過してきた外界の像である。円形でないのはCOMICSの瞳像の収差のためである。中央の2



図2 中間赤外線観測装置COMICSの瞳像。波長11.6 $\mu\text{m}$ で取得された瞳像を疑似カラーで表示したもの。黒-青-赤-黄-白の順に放射が強くなる。瞳や副鏡が丸くないのはCOMICSの瞳光学系の収差である。瞳は4枚の非球面反射鏡で構成された軸外しの光学系の対称位置にある。星像の収差を最小にするために瞳像の収差は大きくなっている。COMICSでは、この瞳像をモニターしながら装置と望遠鏡の光軸合わせを行う(国立天文台・COMICSチーム提供)。

重になった赤い部分は副鏡に取り付けられたセンターコーンによるものである。すばるの主鏡にはカセグレン穴が開いているが、ここからは鏡でない構造物が見えるため、通常の形状をしていると、構造物からの熱放射が副鏡に反射して観測装置に入射してしまう。そこで、副鏡の内側(カセグレン穴からの放射を観測装置に反射する部分)の形状を変えて、主鏡を反射してきた空からの放射がこの部分に反射されて観測装置に入るようにしてある。このアイデアは、昔から赤外線専用望遠鏡ではよく用いられてきたものであるが、スパイダーに赤外反射ミラーを張るのは恐らく初めてであると思われる。スパイダーは4本の直線として写っているが、その放射率は2~3%で、赤外反射ミラーが付いていない場合の100%に比べて明らかに改善されている(望遠鏡の赤外放射率としては、面積割合×放射率で加算される)。また、特に明るい部分がないことから、赤外反射ミラーでカバーされていない部分もないことがわかる。右上・左下にみえる明るい部分は副鏡の後ろにあるスパイダーの付け根の構造物が副鏡の縁の外側に出てきているもので、この明るさが、放射率100%に対応する。これは設計時に見落とされていたもので、現在ではこれも赤外線反射ミラーでカバーされており、赤外放射率にはほとんど影響していない。可視副鏡はセンターコーンもなく、副鏡周りにバッフルが取り付けられているので、もし可視副鏡が取り付けられているときに同じ瞳像を撮ると、中央と副鏡の周りに全周にわたって放射率100%の明るい部分がみられるはずである。

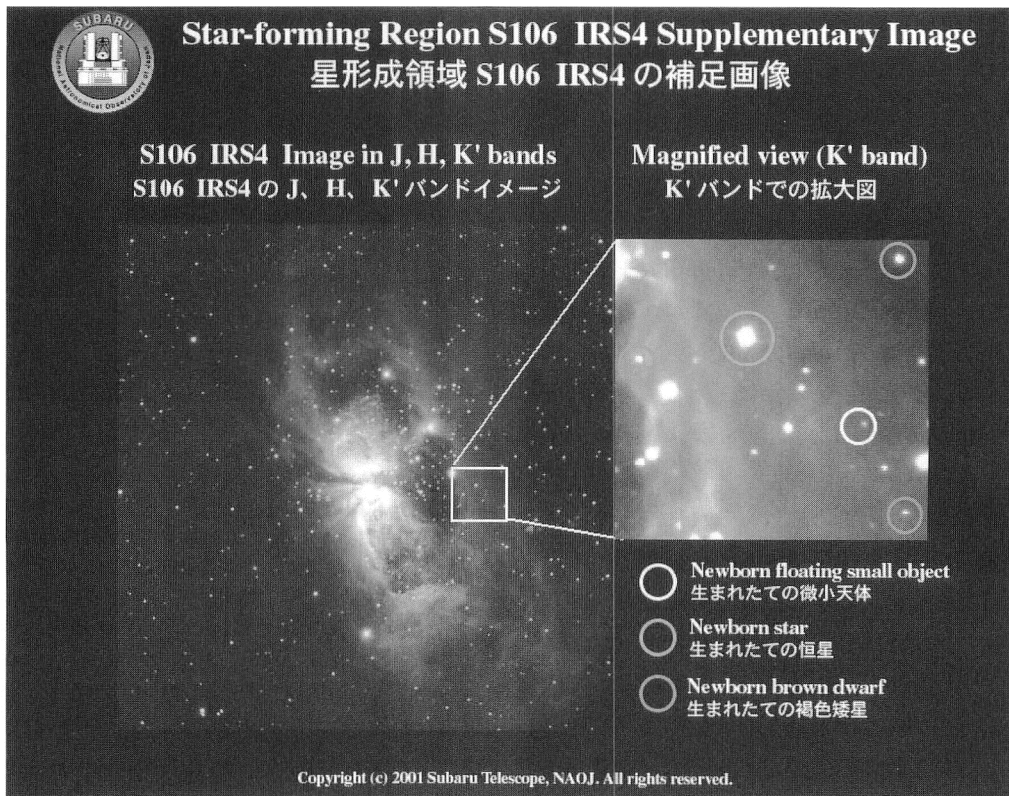


図3 星形成領域 S106 の近赤外線 3 色合成画像。左：すばるの観測装置 CISCO を用いて近赤外線の 3 バンド (J: 1.25  $\mu\text{m}$ , H: 1.65  $\mu\text{m}$ , K': 2.13  $\mu\text{m}$ ) で取得された画像をそれぞれ青, 緑, 赤で表して合成したカラー画像。CISCO の写野は約 2 分角であるが, 3 $\times$ 3 の 9 領域のデータを合成して全体で 5 分角の領域の画像となっている。右：その一部分の K' バンドの疑似カラーの拡大画像 (国立天文台提供)。

## 5. 最新の成果

世界の主要な、特に国家が建設・運営している望遠鏡は、ほとんど共同利用という形をとって、自国の研究者に、場合によっては世界中の研究者にも公開されている。すばるも国のプロジェクトであり、共同利用を前提に建設されてきた。しかし、その共同利用は 2000 年 12 月から始まったばかりで、まだその成果が現れる段階ではない。以下では、1999 年 12 月のファーストライト以降に望遠鏡の立ち上げ作業と並行して行われてきた試験観測の結果を紹介する。

### 5.1 褐色矮星サーベイ

すばる望遠鏡の赤外線の初期成果のひとつとして、生まれたばかりの褐色矮星を多数検出したことがあげられる。星の明るさ・表面温度・寿命などの基本的性質のほとんどは、その質量で決まっているといっよい。質量が大きくなるほど、明るく、高温で、寿命が短い。逆に、質量が小さくなるほど、暗く、低温で、寿命が長くなるが、太陽の質量の 8% よりも小さくなると、星中心部の温度が水素の核融合に必要な温度に達しなくなって、定常的に輝き続ける一人前の星 (主系列星) にはなれなくなる。こういった

天体が褐色矮星とよばれ、生まれた直後はまだ明るいですが、その後は暗くなる一方で徐々に見えなくなってゆく。この生まれた直後はまだ明るいという性質を利用して、星形成の盛んに起こっている領域の赤外線観測から、褐色矮星の質量範囲 (どれだけ軽いものまで存在するか) や質量ごとの形成される星の頻度分布、また、その頻度分布の場所ごとの違いなどが研究されている。すばるは、広い集光面積とともに、低い赤外線放射率とシャープな星像により高い赤外検出能力をもっているため、これまでよりも深い (より暗い天体までという意味) 赤外線撮像観測を行うことができる。これにより、より軽い褐色矮星までその存在と分布を明らかにすることができるわけである。

まず、すばるのファーストライト時にはオリオン大星雲の撮像観測を行った。この結果はファーストライトの成果として画像をプレスリリースし、その後ファーストライト論文のひとつとして学術論文としても公表したものである<sup>2)</sup>(画像はすばるのウェブサイト<sup>†</sup>で取得可能)。単一領域で星が誕生する場合は、完全にいっせいではなくても (天文学的には) 短い期間内に集中して誕生すると信じられて

<sup>†</sup>[http://SubaruTelescope.org/j\\_index.htm](http://SubaruTelescope.org/j_index.htm)

いる。したがって、現在観測されている天体は、ある幅をもってはいるが近い年齢であると考えてよい。そうすると、天体の明るさはその質量と直接関係のある観測量となる。つまり、明るい天体ほど重く、暗い天体ほど軽いのである。星の年齢と手前にある星間物質による減光を仮定し、現在最も信頼されている星形成の進化モデルを使うと、オリオンのファーストライト画像において、100天体以上の褐色矮星が検出されていると推定することができる。

最新の成果はS106とよばれる、一番重い星の質量がオリオン星雲のそれよりは少し軽い星形成領域についての、赤外線撮像観測である。図3はプレスリリース時に公表された画像で、すばるのウェブサイトでも取得可能なものである。オリオンの観測の場合と同様に、明るいものほど質量が大きく、暗いものほど質量が小さいと考えられるが、この画像からは3バンドの正確な測光が可能で、減光量の補正が正確にできる。右側の図で青丸で囲まれた天体は生まれたての(通常の)恒星で、緑と白で囲まれた天体は褐色矮星の候補である。白で囲まれた天体は、褐色矮星の中でも、質量が非常に小さいと予想されるもので、木星の質量の数倍程度の可能性もある。ただし、質量は小さくてもわれわれの太陽系の惑星とは形成の過程や組成が異なる別種の天体である。

## 5.2 すばるディープフィールド

すばる望遠鏡は今後、多くの時間が共同利用として利用されていくと思われるが、共同利用観測では観測課題ごとには比較的短い時間しか割り当てられない。しかし、そういった観測ばかりでは解明されない問題も数多く存在する。この解明のためには、まとまった観測時間をひとつのプロジェクトに投資する必要がある。この有名な例が、ハッブル宇宙望遠鏡のハッブル・ディープフィールドである。これは、ハッブル望遠鏡の貴重な時間を深宇宙を研究するのに適した1つの領域に重点的に投資して、その時点で実現可能な最も深い撮像データを取得するものである。そしてそのデータは世界に公開され、天文学の研究者が自由に研究を行えるようになった。ある特定の目的のため取得されたデータでも、他の目的に有用な場合があるので、観測者の一定の専有期間を過ぎたデータはアーカイブデータとして公開されるようになってきている。しかし、ハッブル・ディープフィールドは最初から公開を前提としたプロジェクトなのである。われわれの銀河系内の天体や銀河など、個別の天体の観測をベースにする研究では、観測データの共有のメリットは高くない。しかし、宇宙の構造や宇宙形成の初期の研究では個別の天体の個性は重要ではないので、特にどの天体、どの方向といった必然性は少なく、多

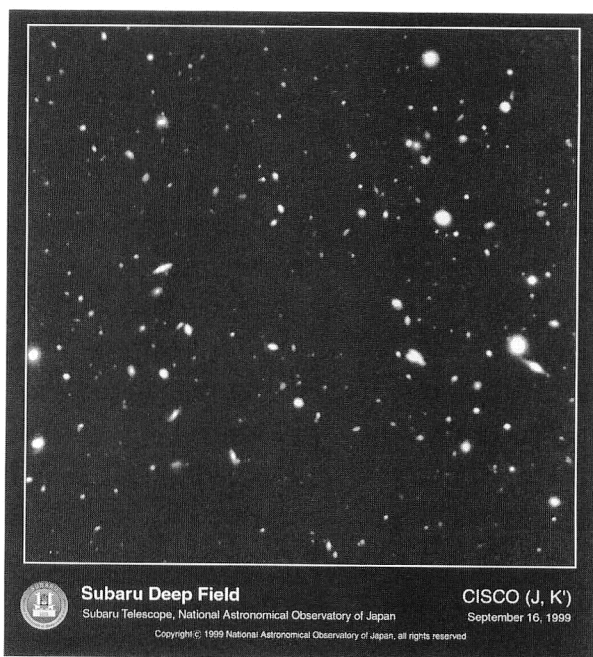


図4 すばるディープフィールドの近赤外線2色合成画像。近赤外線のJバンドとK'バンドで取得された画像を、青:Jバンド、緑:J+K'バンド、赤:K'バンドで表示して合成したカラー画像、それぞれのバンドで10時間程度の積分を行っている。写野は2分角(国立天文台提供)。

くの研究目的でデータの共有が有用となるのである。しかも、第1次近似として宇宙の風景はどの方向でも同じであると仮定しても悪くないと信じられている。したがって、ハッブル・ディープフィールドは約1分角と狭い領域しかカバーしていないが、世界中の天文学者がそこから重要な情報を引き出そうとしている。

しかし、一方でこの仮定、つまり宇宙の風景はどの方向でも同じであるという仮定が正しいという保証はなく、宇宙の始まりを解明しようとするのに、たった一例でよいわけではない。実際、ハッブル・ディープフィールドも最初の北天の観測領域とは別に、南天にも第2の観測領域を設定して、すでに試験的な観測が始められている。そこで、すばるでも、ハッブルの向こうを張って深宇宙探査のプロジェクトとして「すばるディープフィールド」を決めて、多くの観測時間を使おうと計画したのである。ハッブル・ディープフィールドでは、ハッブル宇宙望遠鏡による可視光の4バンドでの深い撮像が基本計画で、その後、世界中でいろいろな望遠鏡を用いてさまざまな波長の観測が行われた。しかし、すばるでは、観測装置の立ち上がりの状況から、赤外線観測が先行している。CISCO (Cooled Infrared Spectrograph and Camera for OH Suppressor) という赤外線観測装置を用いた深い撮像観測が行われ、1999年9月にその結果がプレスリリースされ(図4)、論文として公表

された<sup>3)</sup>。この画像に写っているのはほとんどが銀河で、(宇宙の広がりからすると)比較的近傍のものから100億光年以上と非常に遠いものまで含まれている。宇宙の構造を論じるようなスケールになると、距離が遠い天体は過去の状態をみていることになる(光速が有限なため)ので、これらの中には宇宙誕生からあまり時間の経っていない時期、つまり形成直後もしくは形成中の銀河が含まれているかも知れない。この結果は近赤外線では現在のところ最も深い観測で、しかもシーイングが0.4秒角程度以下の条件に限って観測を行っているので、地上望遠鏡のデータとしては感度・解像度ともにトップレベルのものとなっている。もちろん、解像度の点ではシーイングの影響のないハッブル宇宙望遠鏡の可視光データにはかなわないが、近赤外線ではハッブル望遠鏡の回折限界が0.2秒角程度(波長2.2 $\mu\text{m}$ )とすばるの条件のよいときと大幅には違わなくなっている。すばるディープフィールドの可視光での観測はまだ一部しか行われていないが、この春には24分角 $\times$ 30分角という広い視野をもった主焦点の撮像観測装置であるSuprime-Cam(シュープリーム・カム)による深い撮像観測と、そのうちの比較的明るくて分光の可能な天体については、FOCAS(Faint Object Camera And Spectrograph)とよばれる装置で分光観測が行われる予定である。

## 文 献

- 1) 大坪政司, 家 正則: “ファーストライトを迎えた8メートルすばる望遠鏡”, 光学, 28 (1999) 192-201.
- 2) N. Kaifu, T. Usuda, S. S. Hayashi, Y. Itoh, M. Akiyama, T. Yamashita, Y. Nakajima, M. Tamura, S. Inutsuka, M. Hayashi, T. Maihara, F. Iwamuro, K. Motohara, J. Iwai, H. Tanabe, T. Taguchi, R. Hata, H. Terada, M. Goto, H. Ando, T. Aoki, Y. Chikada, M. Doi, N. Ebizuka, T. Fukuda, M. Hamabe, T. Hasegawa, T. Horaguchi, S. Ichikawa, T. Ichikawa, M. Imanishi, K. Imi, M. Inata, S. Isobe, M. Iye, Y. Kamata, T. Kanzawa, H. Karoji, N. Kashikawa, H. Katata, T. Kato, N. Kobayashi, Y. Kobayashi, K. Kodaira, G. Kosugi, T. Kurakami, Y. Mikami, S. M. Miyama, A. Miyashita, T. Miyata, S. Miyazaki, Y. Mizumoto, M. Nakagiri, K. Nakajima, K. Nakamura, K. Nariai, E. Nishihara, J. Nishikawa, S. Nishimura, T. Nishimura, T. Nishino, K. Noguchi, T. Noguchi, J. Noumaru, R. Ogasawara, N. Okada, K. Okita, K. Omata, N. Oshima, M. Otsubo, G. Sasaki, T. Sasaki, M. Sekiguchi, K. Sekiguchi, I. Shelton, C. Simpson, H. Suto, H. Takami, T. Takata, N. Takato, K. Tanaka, W. Tanaka, D. Tomono, Y. Torii, K. Waseda, J. Watanabe, M. Watanabe, M. Yagi, Y. Yamashita, N. Yasuda, M. Yoshida, S. Yoshida and M. Yutani: “The first light of the Subaru telescope: A new infrared image of the orion nebula,” Publ. Astron. Soc. Jpn., 52 (2000) 1-8.
- 3) T. Maihara, F. Iwamuro, H. Tanabe, T. Taguchi, R. Hata, S. Oya, N. Kashikawa, M. Iye, S. Miyazaki, H. Karoji, M. Yoshida, T. Totani, Y. Yoshii, S. Okamura, K. Shimasaku, Y. Saito, H. Ando, M. Goto, M. Hayashi, N. Kaifu, N. Kobayashi, G. Kosugi, K. Motohara, T. Nishimura, J. Noumaru, R. Ogasawara, T. Sasaki, K. Sekiguchi, T. Takata, H. Terada, T. Yamashita, T. Usuda and A. T. Tokunaga: “Subaru deep survey I. Near-infrared observations,” Publ. Astron. Soc. Jpn., 52 (2000) 81-86.

(2001年4月5日受理)

1) 大坪政司, 家 正則: “ファーストライトを迎えた8メートル