

史上最大の天体データベース、  
スローンデジタルスカイサーベイ

# アルミ板の穴が描いた 立体宇宙地図



SLOAN DIGITAL SKY SURVEY

須藤 靖 (東京大学大学院理学系研究科物理学専攻教授)

巨大望遠鏡や観測衛星が次つぎと新発見や美しい画像をわれわれに届ける中、3.4億個もの天体を撮影し、100万近い銀河とクエーサーまでの距離を測ったプロジェクト「スローンデジタルスカイサーベイ (Sloan Digital Sky Survey: SDSS)」。専用の望遠鏡と撮像装置・分光装置、そして2,000枚を超えるアルミ板が、人類の視野を大きく広げた。

## 発見の影にサーベイあり

天文学の醍醐味の1つは、未知の、または珍しい天体を狙って観測することにある。最遠の銀河やクエーサーを探す。超新星やガンマ線バーストのような突発天体を発見する。重力で光の進路が曲げられ、1つの天体の像が歪んだり複数に分離して見える重力レンズ現象を探す。さらには最近話題の系外惑星探査。広い宇宙にはこんな天体があるのかという純粋な驚きをもたらしてくれる。

一方、天文学の研究においては、数多くの天体を観測することで統計的な性質を明らかにするサーベイと呼ばれるタイプの観測もまた大切である。この場合、1つ1つの天体が目新しいというわけではない。単調で長期間にわたる観測の繰り返しとなり、当然強い忍耐力が必要である。しかしながら、宇宙の正確な姿を理解するために本質的となる基礎データは、このような地道で多大な労力を経て初めて蓄積されることを忘れてはなるまい。そのみならず、サーベイの途中で予期しない珍しい天体を発見することもあれば、あまりにも数が少ないからこそ大規模なサーベイなしには発見できない現象も存在する。

SDSSは、宇宙地図の作成を主な目的としたサーベイプロジェクトであると同時に、数多くの天文学的発見を行った、歴史に残る国際共同研究だ。

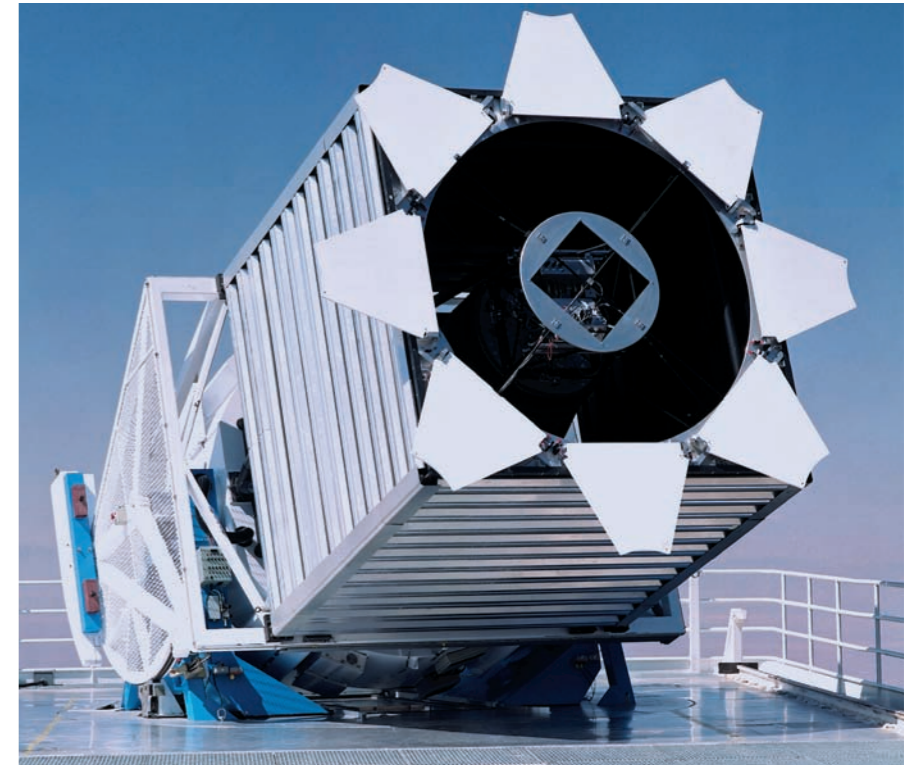
## デジタル立体宇宙地図

従来の天文学では、1950年ごろに米国パロマ天文台の望遠鏡が北天の宇宙を撮影した写真乾板が、基礎的な地図とされてきた。パロマチャートと呼ばれるこれらの乾板のコピーは世界中の研究機関に配布され、天文学に本質的な貢献を果たしてきた。パロマチャートは天文学における究極のアナログ遺産とも呼ぶべきものである。これに対して、1980年代末に宇宙のデジタル地図作りを目指すSDSSが米国プリンストン大学のジム・ガン教授らによって提案された。当時、音楽市場ではCDがレコードをほぼ完全に駆逐し、アナログからデジタルへという革命が完了していた。一方、カメラはまだフィルムの時代であったが、今や一般家庭ではCCD撮影以外は考えられない。SDSSは、1970年代末に天文学で使われ始めたばかりのCCDを最大限に活用する先駆的なプロジェクトであった。

SDSSで主役を演じるのは、米国ニューメキシコ州アパッチポイント天文台に建設された口径2.5m・視野3度の専用望遠鏡。その焦点面に2048×2048素子のCCD 30個を5行6列に並べて測光観測を行う。測光とはある色のフィルターを通して天体の明るさを測定することで、SDSSの場合には近紫外線から近赤外線までの5色を同時に測光する。これに対して天体からの光を波長ごとに分解したスペクトルを調べることを分光観測と呼ぶ。虹の7色は太陽の粗い分光スペクトルと言えるが、SDSSではさらに細かい約2000色のスペクトルが得られる。パロマチャートは天球上の天体の位置を記録した写真集という意味において、アナログ平面宇宙地図というに相応しい。SDSSはその精度を向上させたデジタル平面宇宙地図だけでなく、分光観測データを用いて銀河までの距離も推定することで、デジタル立体宇宙地図をも作成できるのだ。

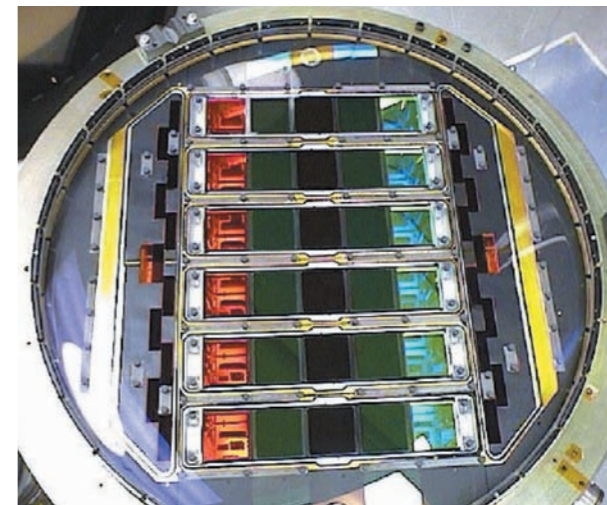
## 国際プロジェクトへ発展

米国で提案されたSDSSだが、1991年には、以前よりプリンストン大学と共同研究をしていた日本の研究者に対して参加の打診があり、日本参加グループ (JPG: Japan Participation Group) が結成された。1992年2月にアルフレッド・スローン財団からの援助が決定し、

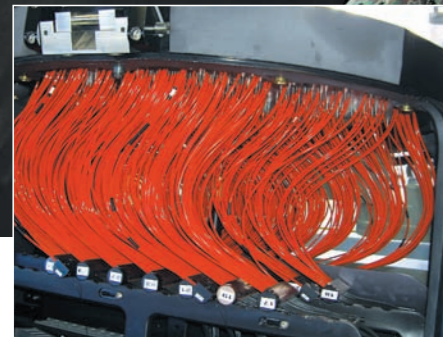


アパッチポイント天文台の2.5m望遠鏡。乱流を避けて鮮明な像を得るため、ドームではなくスライド式の格納庫に収められる。代わりに、本体は風よけの金属チューブで覆われている。

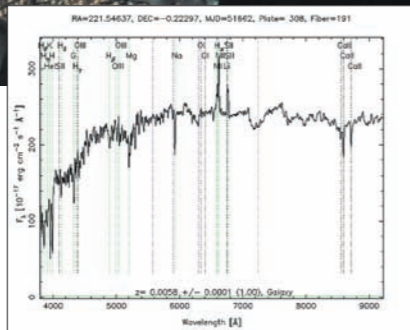
観測所全景。中央の建物が、スライド式格納庫。右上のドームには、大気の状態を確認し測光をより正確にするための50cm望遠鏡が収納されている。

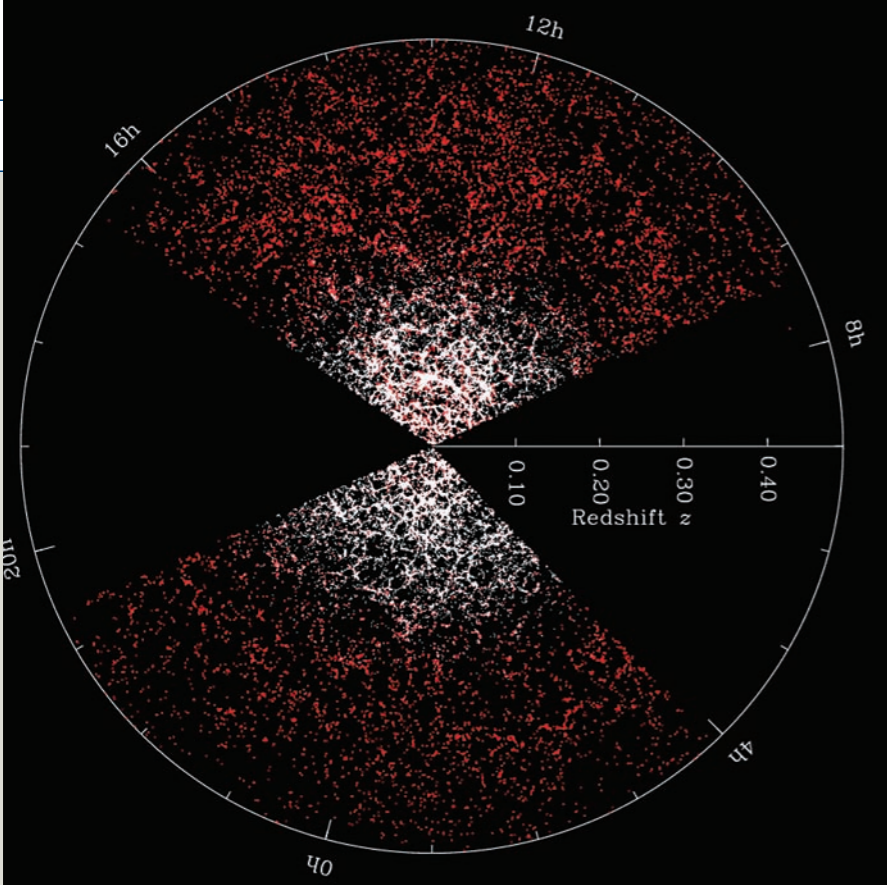


測光用のCCDは日本が提供した。5色のフィルターに覆われたCCDが、6列に並び。



全天の4分の1をカバーするSDSSの観測は、基本的に2段階に分かれる。まず、5色のフィルターを通して空を撮影して、1晩あたり約70万個の銀河とほぼ同数の星を検出。この段階で天体の画像から位置と形状がわかるが、距離などの重要な情報を得るには、その天体の光だけを絞って分光器に通しスペクトルを調べる必要がある。明るい銀河とクエーサーの候補が主なターゲットだが、そのために必要な観測時間は半端ではない。そこで効率をあげるために、望遠鏡の視野をすっぽりと覆い隠すアルミ板 (直径80cm、厚さ3mm、重さ4.5kg) を準備し、あらかじめ選ばれた1視野あたり640個のターゲット天体の位置に穴を開けておく。それに対して手作業で光ファイバーを分光器につなぐ。この多天体分光装置を用いることで、単純に言えば観測効率が640倍アップしたことになる。





▲帯状の領域を観測して銀河までの距離を調べれば、扇形の地図(スライス)が作られる。このスライスを何枚も重ねると、立体宇宙地図となるのだ。図は銀北極方向(上)と銀南極方向(下)を重ね合わせたもので、北極方向の方がスライスが多いため銀河が多く見える。色は、赤いほど銀河が密集しているのを表している。



SLOAN DIGITAL SKY SURVEY

### ■銀河の諸性質の系統的理解

銀河の光度、質量、空間分布、星形成率、金属量、色、形態に関する大量のデータが得られたことで、現在の銀河種族の全体像が明らかとなった。

### ■褐色矮星の発見

主系列星よりも表面温度が低いL型星を多数検出し、さらに低いT型星を単独星としては初めて発見した。これらの星は、通常の恒星に対して褐色矮星と呼ばれる。



◀白い線で挟まれているのが、T型褐色矮星。

## SDSSの科学的成果

SDSS-IIを終えて、総計3.4億個の天体の測光データ、および86万個の銀河と11万個のクエーサーの分光データが得られた。まもなくすべてがweb上で公開される予定である。

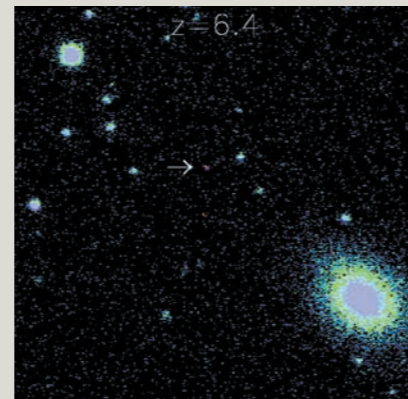
宇宙地図の作成を主目的としていたSDSSだが、観測の過程および結果の分析の中から数多くの興味深い天文学的発見が相次いだ。代表的なものをごく簡単に紹介しよう。

### ■宇宙の組成

SDSSで明らかになった銀河の3次元分布地図を理論モデルと比較することで、宇宙の約20%が光を出さないダークマター、約75パーセントが重力とは逆に斥力を働かせるダークエネルギーによって占められていることが示された。

### ■遠方のクエーサーの発見

宇宙が誕生してから10億年以内、つまり現在から127億年以上前に光を放ったクエーサーのほとんどは、SDSSが発見している。さらにスペクトルを詳細に解析することで、この時期に水素原子が星の光によってプラズマ状態(陽子と電子に分離)になったことがわかった。これを「宇宙の再電離」と呼ぶ。



▲矢印の先にある赤い点が、2002年に見つかった約127億光年の距離にあるクエーサー。

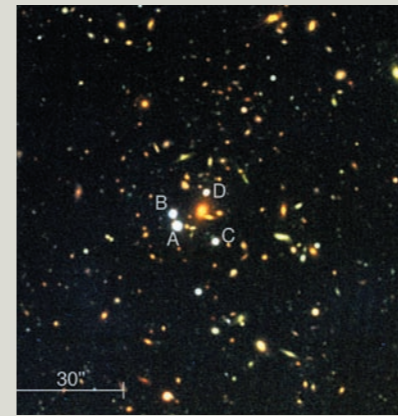
### ■天の川銀河の構造

我々の天の川銀河の外縁部に14個の矮小銀河を発見。天の川銀河が、より小さな銀河の衝突・合体を繰り返すことで現在の姿に成長した歴史が解明された。

▲天の川銀河の周りには、小さな銀河が取り込まれる際に残した星の筋が多数存在すると見られる。

### ■重力レンズ天体の発見などで日本人が活躍

日本人がSDSSの科学研究で果たしている役割は大きく、銀河の形状ごとの性質の究明、超新星観測に基づく宇宙の加速膨張の研究、宇宙大規模構造の解析、天の川銀河内のダスト分布の検証などに貢献した。とりわけ、手前の銀河の重力で遠方のクエーサーからの光がゆがめられる重力レンズ現象の探査は、JPGメンバーの下で学位を取得した研究員が大学院生時代からSDSSグループ全体を主導して進めているものであり、興味深い重力レンズ像を数多く発見し続けている。



▲SDSSで見つかった重力レンズ天体。約100億光年の距離にあるクエーサーが、手前にある銀河の重力で4つに分かれて見える(すばる望遠鏡で撮影)

## SkyServerでデータをゲット

SkyServerは、一般公開されたSDSSのデータにアクセスできるウェブサイトだ。いくつかのツールを使って、画像やスペクトルなどを入手できる。さらに、SDSSについての解説はもちろん、SDSSのデータを用いた課題も用意されていて、天文学を学ぶにも役立つ。

<http://skyserver.sdss.org/edr/jp/>



### 宇宙地図の背景に日本の貢献

国際共同プロジェクトでは科学的な貢献はもちろん、それに応じた資金的な貢献も求められる。JPGは、文部科学省、日本学術振興会、東京大学ビッグバン宇宙国際研究センターなどから研究費の援助を得て、撮影装置の購入などで役割を果たしている。

資金面でのJPGの最大の貢献はカメラに用いたCCD素子の購入費、約2.4億円である。さらに、SDSSで用いられた5色の測光フィルターの製作、天体の明るさを求める基準となる星の選定、測光望遠鏡と観測装置の評価を担当した。このようにSDSS測光システムを構築したのはJPGであると言ってよい。これらに加えて、測光ソフトウェアのテスト、分光観測する銀河の選定基準の設定、測光カタログの評価など、システム全体の確認と信頼性向上にも大きく貢献した。

さらに、資金の一部は分光観測に用いるアルミ板の購入にもあてられた。天体の位置に正確に穴を開けることが要求されるため、その作業代込みで1枚あたり712ドルである。SDSSでは総計2565枚のアルミ板を用いたが、その半数以上がJPGの資金で購入された。この意味では、SDSSで得られた宇宙地図の半分以上は、文字通り日本の資金を「背景にして」完成としたものと言える。とはいっても、実際に観測された天体の位置には穴が空いているだけだ。つまり、JPGの資金によるアルミ板はSDSSが夜空の向こうを覗く上で貢献したというよりも、ターゲット天体以外の光が入ってこないようなふたの役割をしたという方が正確なのかもしれない!

### アルミ板の穴が導く宇宙への関心

それはさておき、これらのアルミ板はそれぞれ異なる天球上の領域に対応したユニークなものである。しかもそれらが実際の観測に用いられたという意味では歴史的な価値も高い。一方、単なるアルミの塊とみなすならば1kgあたりわずか100円程度の価値しかない。同じアルミ板を観測に再利用することはありえないし、そのままにしておいては保管料がかさむだけである。そこで思いついたのが、このアルミ板を日本の天文学の普及・教育活動に利用できないか、ということであった。

国内にある公共天文台、プラネタリウム、博物館、中学・高校・大学・教育研究機関などの展示を通じて、多くの方々がアルミ板にあけられた600個あまりの穴を覗き夜空の向こうに思いをはせて頂けるならば、このアルミ板も本望であろう。幸い、東京大学ビッグバン宇宙国際研究センターのサポートによって、100枚のアルミ板を確保できた。それぞれのアルミ板に対応する天域星図も添付した上で、希望する国内の機関には無料で配布する。実際にSDSSが観測した天球上の銀河や星を、アルミ板の穴と見くらべれば、1枚1枚のアルミ板が宇宙地図の作成に果たした役割が実感できることであろう。

プラネタリウムや、科学館での展示にSDSSアルミプレート<sup>®</sup>を無償配布します

お問い合わせは  
(株)アストロアーツ  
SDSSプレート係まで  
TEL:03-5790-0873

