

すばる望遠鏡はダークエネルギーにどこまでせまれるか

超広視野カメラと超広視野多天体分光器が、過去最大規模の宇宙地図を作成

協力：高田昌広 東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構特任教授

グシャッと1点につぶれてしまうのか、それとも散り散りに引き裂かれてしまうのか……。膨張する宇宙の運命は、ダークエネルギーの性質にかかっている。ところが、ダークエネルギーについては、その起源も性質も明らかにされていない。現在、世界中の研究者がダークエネルギーの解明に向けて日々、挑戦をつづけている。

宇宙の歴史がきざまれた広範囲の宇宙地図を作成する「SuMIRe計画」

宇宙は、斥力をおよぼすダークエネルギーと、重力をおよぼすダークマターがたがいに勢力争いをしながら成長してきた。この勢力争いの歴史を調べるために、現在、日本のすばる望遠鏡が着々と準備を進めている。宇宙の姿を撮影する「超広視野カメラ：HSC」と、銀河までの距離をはかる装置「超広視野多天体分光器：PFS = Prime Focus Spectrograph」を使い、はるか昔から現在に至るまでの、広範囲にわたるダークマターの地図を作成する予定だ。このダークマターの地図づくりを通じて、宇宙の歴史におけるダークエネルギーの変化を明らかにすることをめざすのが、「SuMIRe (Subaru Measurements of Images and Redshifts) 計画」だ。

減速膨張から加速膨張への転換期を見られる

昔の宇宙のようすを知りたいければ遠い宇宙を観測すればよい。しかし、遠い宇宙にある銀河ほど届く光は暗くなる。このため、一度の観測で集められる光の量は多い方がよい。すばる望遠鏡のような反射式望遠鏡の集光力を高める方法は、光を受ける鏡の面積を広くすることだ。

すばる望遠鏡の主鏡は口径約8メートルもの大きさをもつ。この大きさは、これまでで最も成功した銀河地図作成プロジェクト「SDSS (Sloan Digital Sky Survey)」で使われた望遠鏡の口径の約3倍だ。すばる望遠鏡の巨

大な主鏡を使えば130億年前の宇宙の銀河をも観測することが可能になる。宇宙が減速膨張から加速膨張に転じる時期は約70億年前と考えられている。すばる望遠鏡はこの転換期にある宇宙の姿をとらえることができる。

また、すばる望遠鏡はたいへんがんじょうなため、巨大カメラ（重さ約3トン）であるHSC、さらにPFSを主鏡の下ではなく主焦点に設置できる。この主焦点の装置により一度に観測できる視野を広くすることができた。HSCでは一度に満月約9個分の視野を観測できるという。

写真で気に入った銀河を選び、分光する

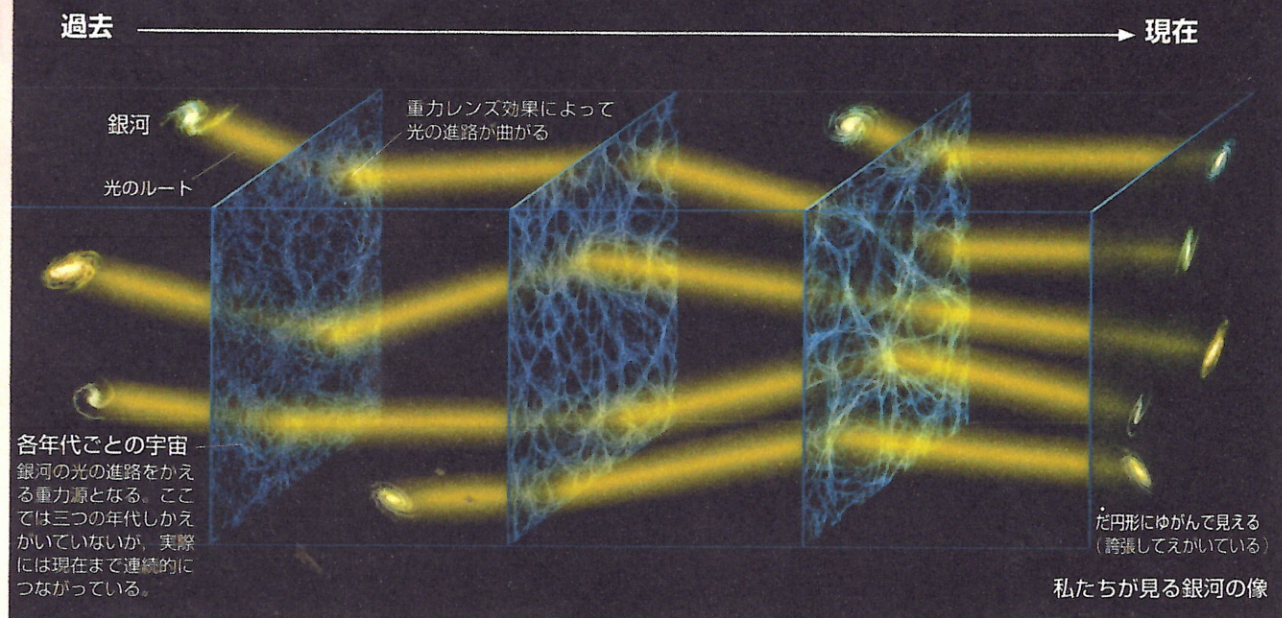
では実際にSuMIRe計画では、すばる望遠鏡のHSCとPFSを使ってどのように観測を行うのだろうか。まず最初に行うのはHSCを使った遠方宇宙の撮影だ。そして、そこに写っている銀河の中から、約70億年以前の宇宙膨張の転換期にあると考えられる銀河を選び出す。

選ばれたそれぞれの銀河の光は、棒状の集光器「ファイバーポジショナー（愛称Cobra）」で集められる。銀河の位置座標を入力すると、Cobraの二つのモーターがまわって、集光したい銀河の方を向く。このしかけのため、目あての銀河の光を正確にとらえることができる。光はCobraの先端に集まり、Cobraの反対側の端につながれているファイバーを伝わって、すばる望遠鏡のすぐ近くにある分光器に送られる。Cobraの数は2400個もあるため、一度に2400個もの銀河の分光が可能になる。

分光とは、光を波長ごとに“ばらす”作業である。波長領域によって光の色はことなり、長い波長の光ほど赤く、短いものほど青くなる。光源（銀河）が観測者（地球）に近づくとき波長はちぢまって青色に寄り（青方偏移）、遠ざかるとひきのばされて赤色に寄り（赤方偏移）。宇宙は膨張しているので、遠方の銀河の光は赤色に寄る。

この赤方偏移の程度から、現在の宇宙とくらべ、その

重力レンズ効果を使って宇宙の膨張の歴史を知る



銀河の光は、私たちへ届くまでに、それぞれの時代の宇宙空間で重力を受けて進路を曲げる。その結果、銀河の形がわずかにゆがむ。SuMIRe計画では、さまざまな位置に存在する銀河のゆがみぐあいを統計的に処理することで、ダークマターの分布状況を知り、そこから宇宙膨張の歴史、すなわちダークエネルギーの変化を探る。

当時の宇宙空間がどの程度膨張してきたかがわかる。たとえば、現在の宇宙の半分の大きさだったときの宇宙にある銀河からの光の波長は、2倍ひきのばされる(赤くなる)。このような分光観測により、その銀河がいつの時代の宇宙の銀河であるのかわかるのだ。

重力レンズ効果からダークマターの地図をつくる

このような最新の設備をそなえたすばる望遠鏡の観測データからどうやって、広範囲な時空にわたるダークマターの地図を作成するのだろうか。

一つは、重力レンズ効果を利用した方法だ。HSCの撮影した画像では銀河の形がわかる。銀河の形は、宇宙空間にくまなく存在しているダークマターの重力の影響を受けてわずかにゆがんでいることがわかっている。また、PFSによる分光観測により銀河の赤方偏移を正確にはかることができる。さまざまな位置にある多くの銀河のゆがみぐあいや、銀河の時代の情報から、ダークマターの分布の進化を探ることができるのだ(上のイラスト)。

もう一つは、時代ごとの銀河の密集ぐあいをもとにした方法だ。銀河を密集させる主力はダークマターだ。銀河の密集ぐあいの変化を時代を追ってみると、ダークマターの分布状況のうつりかわりを知ることができる。

このようにして作成されるダークマターの地図を、宇

宙モデルと比較することで、宇宙がどのような膨張の歴史をたどってきたのかを推測することができるのだ。さらに、重力レンズ効果の観測では、一般相対性理論が正しいのかどうかを検証することができる。一般相対性理論が正しくなかったら、宇宙を加速膨張させるダークエネルギーの存在はいらなくなるかもしれない。

さらに、「バリオン音響振動」を調べることで、宇宙の膨張の歴史を探る方法もある。宇宙には、ある決まった距離の間隔ごとに銀河の生まれやすい領域が存在するということ(バリオン音響振動)がわかっている。観測者にとっては、この銀河間の特徴的な間隔は、近い宇宙では大きな角度で、遠い宇宙ではより小さな角度で観測される。つまり、膨張する宇宙でバリオン音響振動の間隔を「ものさし」として用いることで、その銀河までの距離をはかることができるのである。

すばる望遠鏡のHSCは現在、試験観測を行っているところだ。PFSについては、現在、最終的な設計図をついているところで、2017年のファーストライトをめざす。HSCによる銀河サーベイは2014年に開始される予定で、PFSによる銀河分光サーベイは2018年からの5年間で行われる予定だ。SuMIRe計画は、この撮像サーベイと分光銀河サーベイを組み合わせ、いったいどのような宇宙の運命を予想することになるのだろうか。

新しいカメラ「Hyper Suprime-Cam」

2012年8月、すばる望遠鏡の新しい主焦点カメラ「Hyper Suprime-Cam (HSC)」にはじめて光が入った(ファーストライト)。作製に10年以上かけられたHSCは、国立天文台だけでなく、多くの日本企業が開発からかわった、日本の技術の結晶ともいえるカメラである。

そもそも“常識外れ”だったすばるのカメラ

すばる望遠鏡は、反射式望遠鏡だ。直径約8メートルの主鏡で光を反射させ、光を焦点(「主焦点」とよぶ。下図)に集め、観測を行う。その主焦点で画像の撮影を行うのが「主焦点カメラ」である。

そもそもすばるの主焦点カメラは従来から“常識外れ”だった、と国立天文台 HSC Projectの宮崎聡室長は説明する。「大きな望遠鏡に、広い視野をも

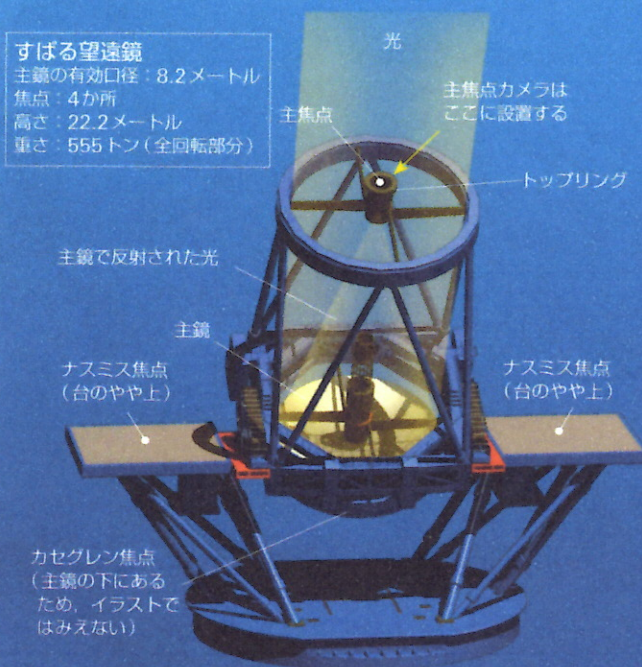
つカメラをのせ、探査的な研究を行うことは非常識なことでした」(宮崎室長)。すばる望遠鏡が登場する前、欧米では、鮮明な画像の撮影は大気圏外で行うというのが主流な考え方だった。地上よりも大気の影響を受けず、より鮮明な画像が取得できるからだ。実際にハッブル宇宙望遠鏡が美しい画像を次々と撮影し、探査的な研究でも成果を上げていた。

その常識を破り、技術を駆使して地上で可能な最高解像度を実現したのが、すばる望遠鏡である。地上望遠鏡で、広い視野を観察し、探査的な研究を行う主焦点カメラは世界中探してもほかにない。広い視野があれば宇宙の広い範囲を短時間で効率的に観測できる。このユニークなカメラを使って、これまで数多くの新しい成果が生みだされてきた。

そして、「さらに従来の10倍の視野に挑戦したのがHSCです」(宮崎室長)。しかし視野を広げ、かつ高解像度をもつカメラの作製は簡単ではなかった。

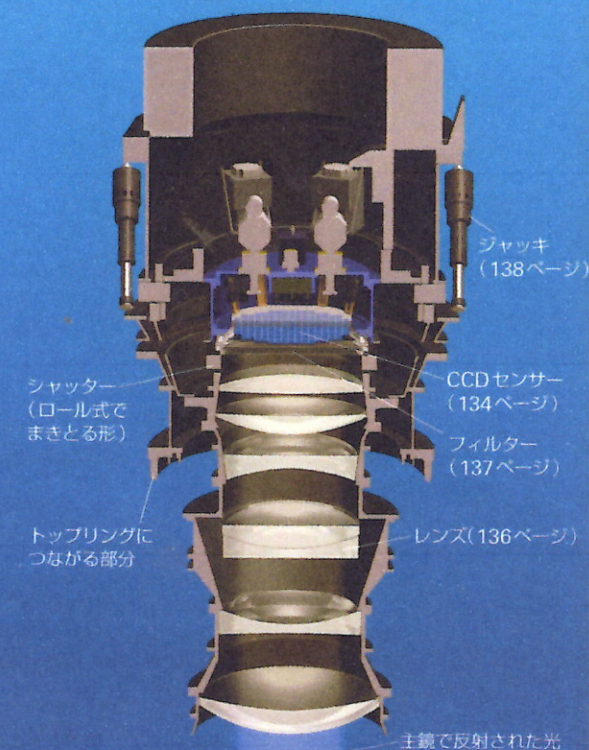
すばる望遠鏡の基本構造は？

すばる望遠鏡は、直径約8メートルの主鏡をもつ。主鏡の約15メートル上に主焦点がある。今回開発された新しいカメラ「Hyper Suprime-Cam (HSC)」は、主焦点にあるトップリングに設置される。すばる望遠鏡には主焦点カメラ以外の観測方法もある。トップリングに副鏡を設置してさらに光を反射させ、ほかの三つの焦点(カセグレン焦点と二つのナスマス焦点)で観測を行うのだ。そのため、HSCは取りはずし可能で、使用時にだけトップリングに設置される。

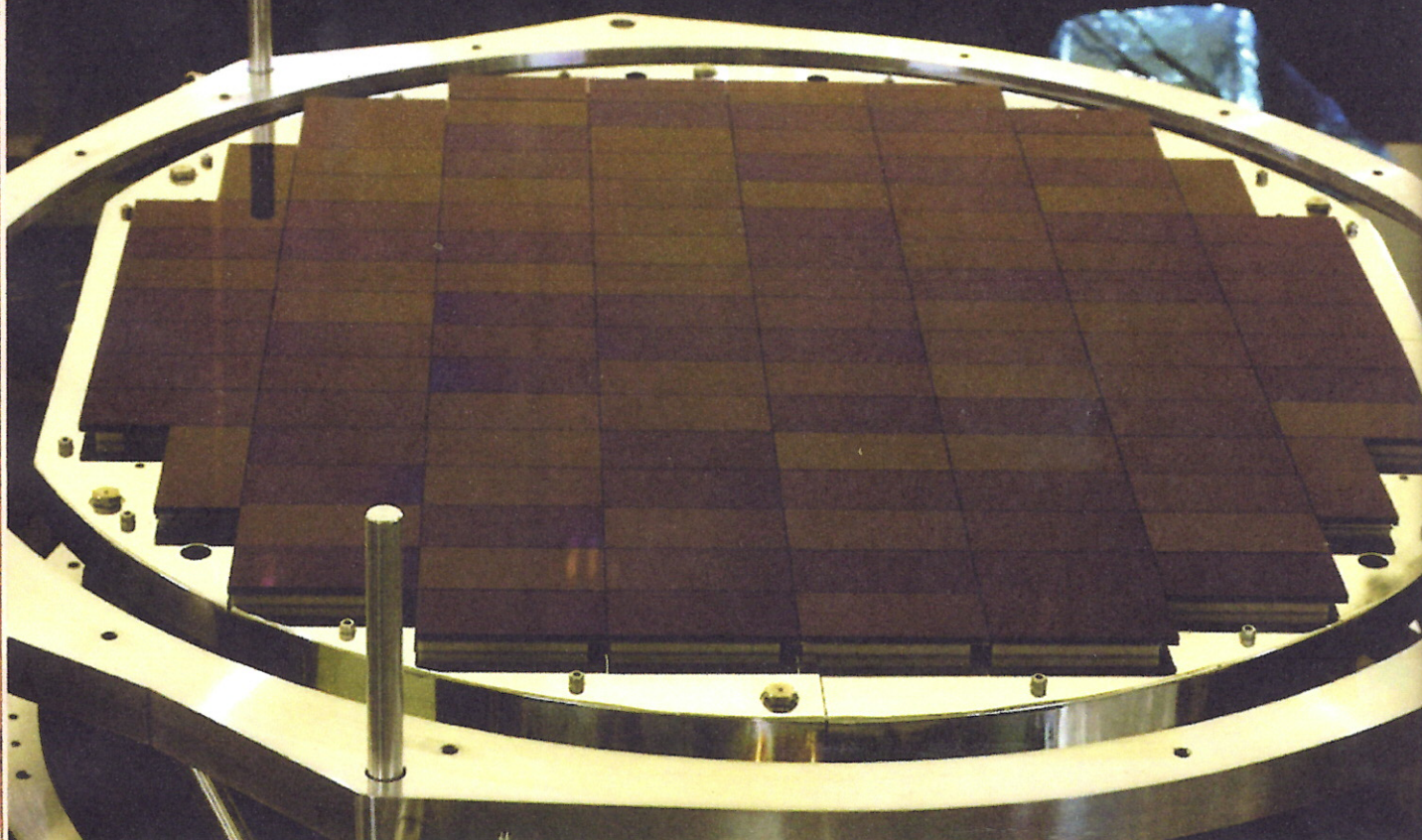


新しい主焦点カメラ(Hyper Suprime-Cam)

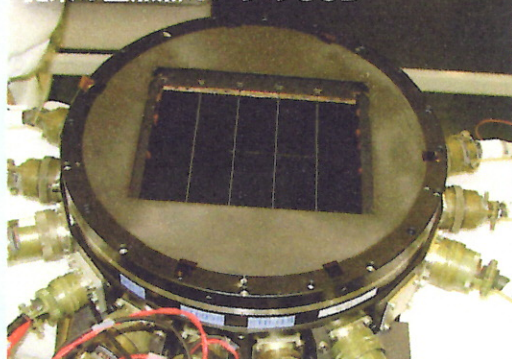
HSCは全長約3メートル、重さは3トンをこえる巨大なカメラだ。可視光線と赤外線を観測する。下はカメラの断面図だ。図中に示した括弧内のページでくわしく解説している。



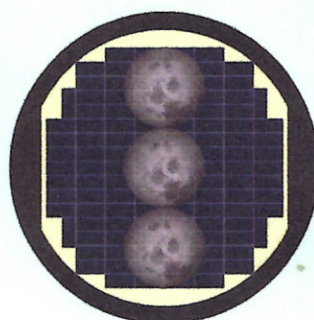
新しい主焦点カメラHSCのCCD



従来の主焦点カメラのCCD



CCDを100枚以上並べ、視野が約10倍に広がった



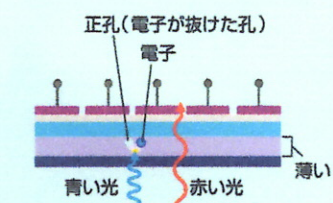
HSC

SC (従来のカメラ)

これまでの主焦点カメラ (SC: Suprime-Cam) のセンサーは、CCDセンサー (3センチメートル×6センチメートル) が10枚並んだものだった。新しいHSCでは同じサイズのCCDを116枚並べてつくられた。これまでのSCの視野が満月1個分だったのに対して、HSCでは満月9個分の視野を一度に観測できる。イラストは観測される視野の大きさがわかるよう、模式的に月を重ねてえがいている。

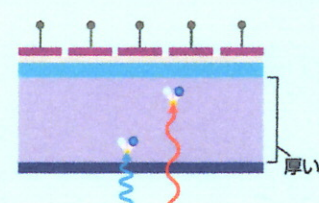
高い感度のCCDセンサーを開発

従来のCCDセンサーの断面



青い光が吸収されると電子と正孔が発生する。赤い光は通り抜ける。

新しいCCDセンサーの断面



青い光も赤い光も吸収され、電子と正孔が発生する。

光は、CCDセンサーの内部で吸収され、電子と正孔 (電子が抜けた孔) が発生する。それらを、電流として観測することで光を検出するのだ。センサーは厚ければ厚いほど感度がよくなる。「色付きの下敷きが、厚いほど向こう側が見えにくい (光が内部に吸収される) のと似ています」(宮崎室長)。厚くするためには高い技術が必要とされる。従来の主焦点カメラのCCDセンサーは、厚さ40マイクロメートル (0.04ミリ) だったが、新しいセンサーは厚さが200マイクロメートルと5倍も厚くなった。それによって、波長の長い光 (赤い光) も検出可能になったという。この感度の高いCCDセンサーは2008年、一足先に従来のSCカメラに搭載された。10個のCCDセンサーを入れかえたのだ。「HSCのように100枚以上のせるというのはたいへんなことです。従来のカメラで性能が確認されたからこそ、HSCに搭載できたといえるでしょう」(宮崎室長)。

高感度CCDで約8億7000万画素

従来の10倍の視野を手に入れるためには、まず光を検出する大きなCCDセンサーと大きなレンズが必要だった。ちなみに主鏡の大きさは視野に関係しない。「主鏡の大きさはカメラの“しぼり”に相当します。しぼりをかえても明るさがかわるだけで、見える範囲はかわらないのと一緒に、視野には関係しません」と宮崎室長は解説する。

HSC計画は、まず感度の高いCCDセンサーの作製からはじまった。宮崎室長は「天体観測用のCCDセンサーに関しては、感度が高いことが絶対使命です」と話す。普通の撮影用カメラは、光が足りなかったら、フラッシュなどの補助光を被写体に当てればよい。しかし、天体に光を当てることはできないため、センサーの感度を高めて観測するしかない。「遠くて暗い天体を観測するために、せっかく大きな主鏡で光を集めても、CCDセンサーで失ってしまったら元も子もありません」(宮崎室長)。

百数十個のCCDを検査するだけで2年以上

HSCには、世界最高の感度をもつCCDセンサーが116個並べられ、合計解像度は8億7000万画素にもなった。CCDセンサーの数は、従来の主焦点カメラが10個だったのに比べると、10倍以上にもなる。CCDセンサーを116個も並べるのはやはりたいへんな作業なのだろうか。「CCDセンサーは静電気に弱いので気をつかいました。搭載したCCDセンサーは回路がむき出しで、何の保護もないため緊張しましたね」(宮崎室長)。センサーはほこりをきらうため、作業はほこりをへらした「クリーンルーム」で作業服を着て行われた。

しかし、並べる作業よりも性能確認に時間がかかったという。「センサーは並べる前に実験室で一つ一つ性能を確認する必要があります。その確認作業に、2年半かかりました」(宮崎室長)。

CCDセンサー自体の保護枠が、はずす際にぶつかっただけでセンサーはこわれてしまう。確認作業中は、非常に繊細な作業がつづけられた。「性能確認の項目がとて多いので、製造元の出荷テストにもれるものがどうしても出てきます。センサーはこ

のカメラの鍵ですから、慎重に作業が行われました」(宮崎室長)。

CCDをマイナス100℃まで冷やす

観測時、CCDセンサーはマイナス100℃まで冷やされる。CCDセンサーの温度が高いと、材料内の電子の動きがノイズになってしまうためだ。

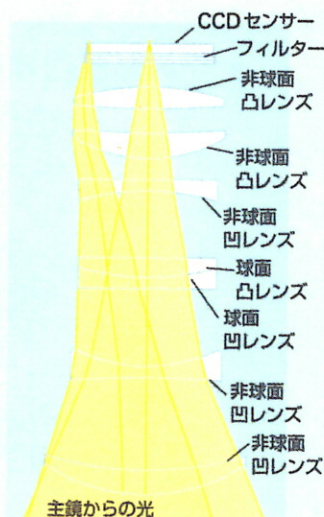
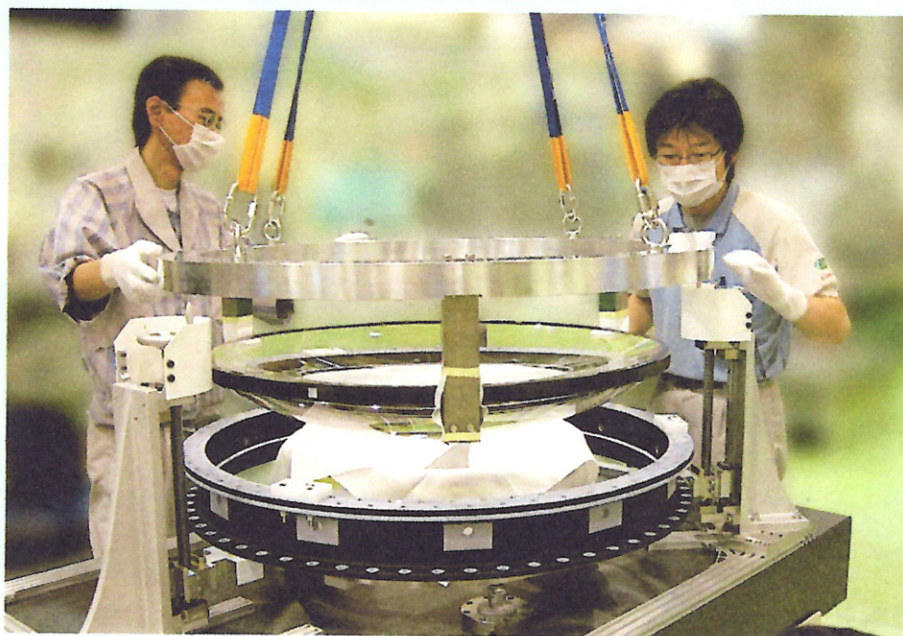
ただセンサーを冷やすだけでは、装置の透明な窓が結露でくもってしまう、せっかくのカメラが台無しになってしまう。そこで結露を防ぐため、装置内部は真空にされる。

CCDを慎重に並べて、装置内部を真空に

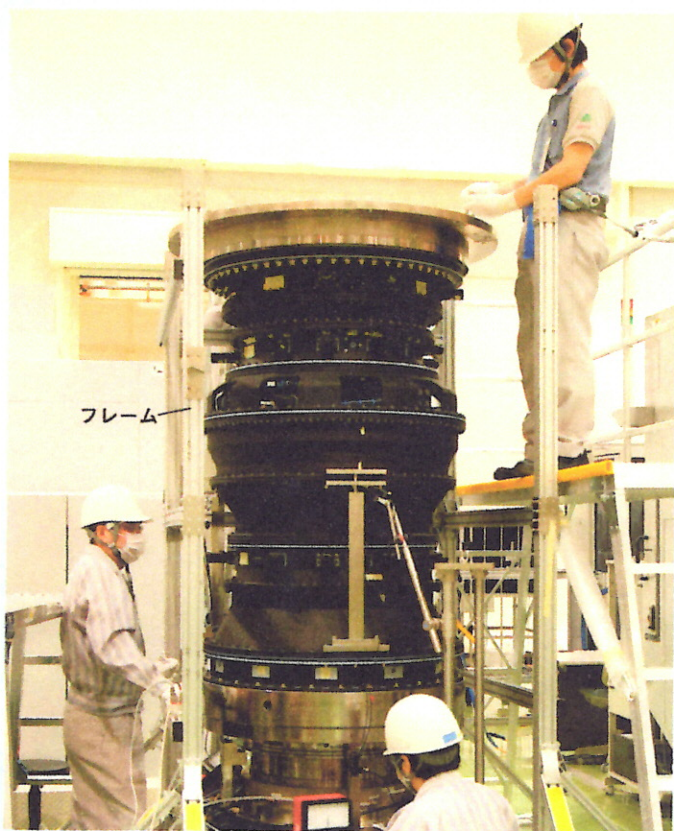


クリーンルーム内でCCDセンサーを並べているところ(上の写真)。ノイズを減らすため、CCDセンサーはマイナス100℃まで冷やされる。また、CCDセンサーがおさめられた装置内は結露防止のため真空にされる。真空にしたときにかかる大気圧に耐えるように、装置の透明な窓は52ミリメートルの厚い石英製だ。重さは二十数キログラムもある。組み立てのために運ぶのも一苦労だ(下の写真)。

7枚のレンズを最適な位置に組み上げる



左の写真はカメラの最も下にあるレンズを枠にはめているところ。レンズはそれぞれ枠にはめられ、枠ごと組み立てられた。主鏡からの光は、上のようにレンズを通り、CCDセンサーに集められる。



レンズを組み立てているところ。なお、2011年3月11日の東日本大震災の際は、栃木県宇都宮市の工場ではレンズの組み立て・確認作業中だった。写真のフレームにレンズがのっている状態で地震がおきた。フレームがはげしく動き、天井が落ちてきたが、奇跡的にレンズは無事だった。

主鏡からの光を補正するレンズ

センサーとともに重要なのが、光を補正するレンズである。実はすばる望遠鏡の主鏡は本来、主焦点で撮影する目的で設計されていない（ほかの焦点での観測に合わせて設計されている）。そのため、そのままでは光が主焦点にきれいに集まらず、ぼやけた画像しか撮影できない。つまり、補正レンズを使って光をきれいに集める必要があるのだ。

さらにHSCでは視野を拡大するため、巨大なレンズをつくる必要がある。従来のカメラのレンズが直径50センチメートルだったのにくらべ、HSCでは直径85センチのものが必要だった。「まず透過率の高い、大きなガラスを手に入れることに苦労しました」と宮崎室長は話す。レンズは光を透過させて使うため、微小な泡が入っていたりにごっていたりしては困る。均一に高い透過率をもつ、質のよいガラスを手に入れるのは簡単ではなかった。しかも、ガラスと一言でいっても何百もの種類がある。「材料の配合のちがいで、屈折率などのレンズの性能がかわります。実現可能な種類のガラスを探し、全体の設計を考える必要がありました」（宮崎室長）。

HSCは上のイラストのように7枚のレンズが上下

に並んでいる。ガラスの性能を考慮^{こうりょ}して、それぞれのレンズの形や配置が設計されたのだ。

非球面の凸レンズをつくった高い技術

7枚の中には、作製が技術的に非常にむずかしい「非球面凸^{とつ}レンズ」が含まれている。「非球面凸レンズを使うと、より像の質を高めることができることが計算されていました。しかし、はじめは実現はむずかしいのではないかと考えていました」(宮崎室長)。まず非球面レンズとは、球面ではない曲面レンズをさす。球面レンズはおわんのような形のものにみがき粉をつけてけずれば比較的簡単にできあがる。しかし非球面はそのようにはつくれない。「小さい範囲^{けんま}を研磨する筆のようなものを使って、コンピュータ制御で細かくけずる必要があります」(宮崎室長)。しかも研磨したあと検査して確認、といったぐあいに研磨と検査をくりかえしてつくるため、時間とコストがかかる。

しかも非球面凸レンズはさらにむずかしい。「凹^{おう}レンズは検査が簡単にできますが凸レンズはそう簡単ではありません」(宮崎室長)。作成された凸レンズは、プローブ(極小の針)でレンズの面を“なでて”検査をするという特殊な検査方法が採用された。「これは世界に類がない技術です。この技術がなければ実現できなかったでしょう」(宮崎室長)。

フィルターやシャッターもはじめてづくし

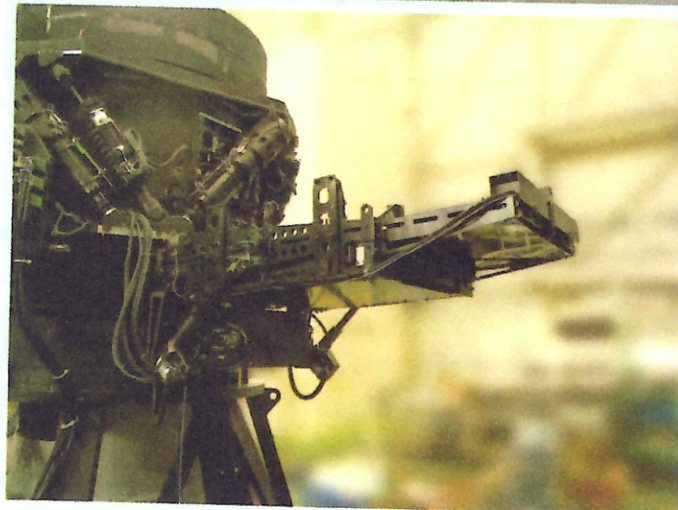
レンズに加えて、カメラ内でセンサーに向かう光を調整するものに、フィルターやシャッターがある。フィルターはセンサーに向かう光の波長を調整する。たとえば赤い光だけを通すといったぐあいだ。シャッターはセンサーに光が入る時間を調整する。一般に天体観測では、暗い光をとらえるため、分単位の長い時間シャッターをあける。

HSCでははじめて、フィルターの交換装置が本体の外に飛びだす形でとりつけられた。そもそもHSCは視野を最大限に広げるため、主焦点にある筒(トップリング)ぎりぎりのサイズにつくられている。そのため、フィルター交換装置をカメラ本体に入れるスペースがなかった。必要にせまられ外にとりつけることになったが、外にとりつけるがゆえにいろ

いろな苦勞があったという。

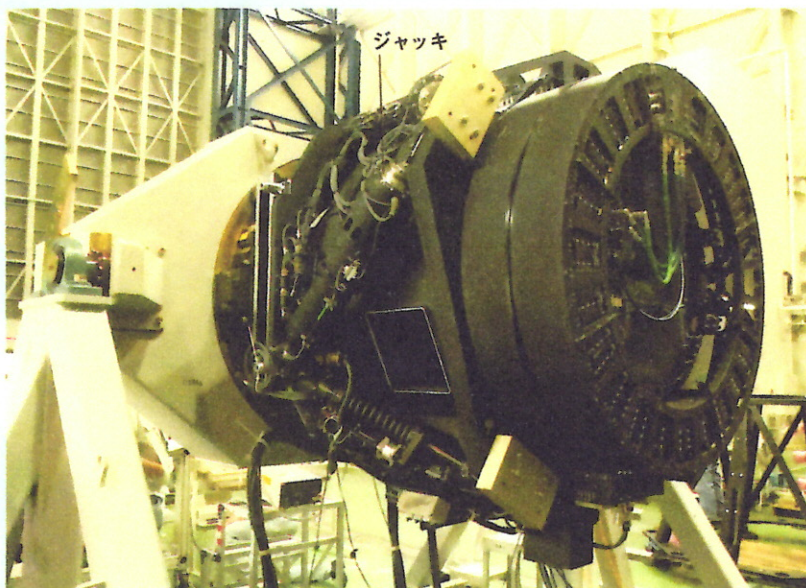
「カメラの下には主鏡がありますから、万が一、装置がこわれて部品が落ちることがあっては大変です。そのため、非常に信頼性の高い装置をつくる必要がありました」(宮崎室長)。マウナケア山頂ではときに風速30メートルという強い風がふく。もちろん風がドームの中に入らないよう、ドームの向きは調整されているが、ふきつけないとも限らない。たとえそんな状況^{じょうきよう}になっても大丈夫のように、万全を期した。そして信頼性を証明するため、フィルター交換装置は、マウナケア山の山頂で、試験観測開始ぎりぎりまで耐久試験^{たいきうしけん}が行われたという。

巨大なフィルターと外付けされる交換装置



視野が広いHSCではフィルターも巨大にする必要がある。フィルターは全部で6枚。大きなサイズで均一な性能を出すのに、さまざまな苦勞があったという。上はフィルターの写真。下は、フィルター交換装置の写真。従来のカメラではフィルター交換装置は、カメラの上部にあった。しかし、HSCではカメラ全体が巨大化したため、上部に入れることができず、外付けする形になった。

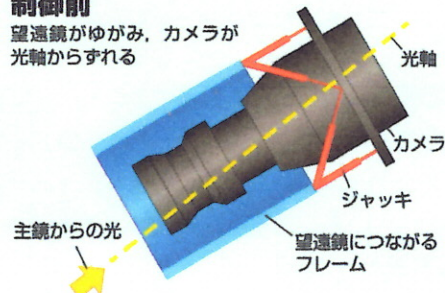
制御能力を確認している試験のようす



HSCが設置される主焦点は主鏡から約15メートルの高さにある。そのため、観測時に望遠鏡を傾けると、主焦点にある筒を支える棒にわずかなゆがみが生じる。それを補正するのが、このジャッキだ。写真は、実際にカメラを傾けて、ジャッキの動きなどを確認しているようす。

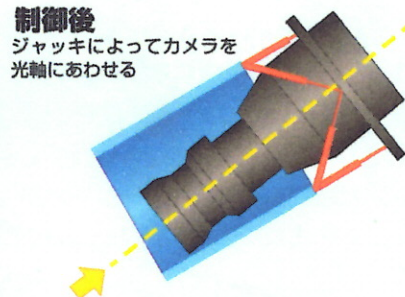
制御前

望遠鏡がゆがみ、カメラが光軸からずれる



制御後

ジャッキによってカメラを光軸にあわせる



ミクロン単位で姿勢を制御

レンズで光を補正するとはいえ、カメラが主鏡から集まる光の中心軸（光軸）に合っていないと、きれいな像は得られない。しかし、カメラが設置される筒（トップリング）は、いわば約15メートルの“棒”で支えられた状態だ。ゆがみが少なくなるように設計されているとはいえ、観測のためにカメラを傾けるとどうしてもその棒にわずかなゆがみ生まれ、カメラと光軸がずれてしまう。

また宮崎室長は「温度が1℃かわると支える棒がのびちみして、長さが数百マイクロメートルかわります」と話す。ドームをあけて観測する望遠鏡は、外の環境にさらされるため、大きな温度変化の影響を受ける。これらさまざまな原因によって発生するずれを補正するのが、カメラと望遠鏡をつなぐ部分にあるジャッキである。

HSCは、望遠鏡本体と6本のジャッキでつながった構造をしている。これによっていわば、カメラは、筒の中に“浮いた”状態（上のイラスト参照）になっているのだ。6本のジャッキを動かすことで、“浮いた”カメラ部分を自由に傾けることができる。こ

の動きで光軸に合わせるのだ。

一見簡単ようだが、「筒の中のカメラはそれだけで約1.5トン近くの重さがあります。鮮明な画像を得るには、1.5トンのものを1マイクロメートル単位で位置決めする必要があります」と宮崎室長は解説する。この技術は従来の主焦点カメラでも採用されている。しかしHSC用に、より軽量でひずみが少なくなるように新規に設計し直したという。

「ピント合わせ」もこのジャッキで

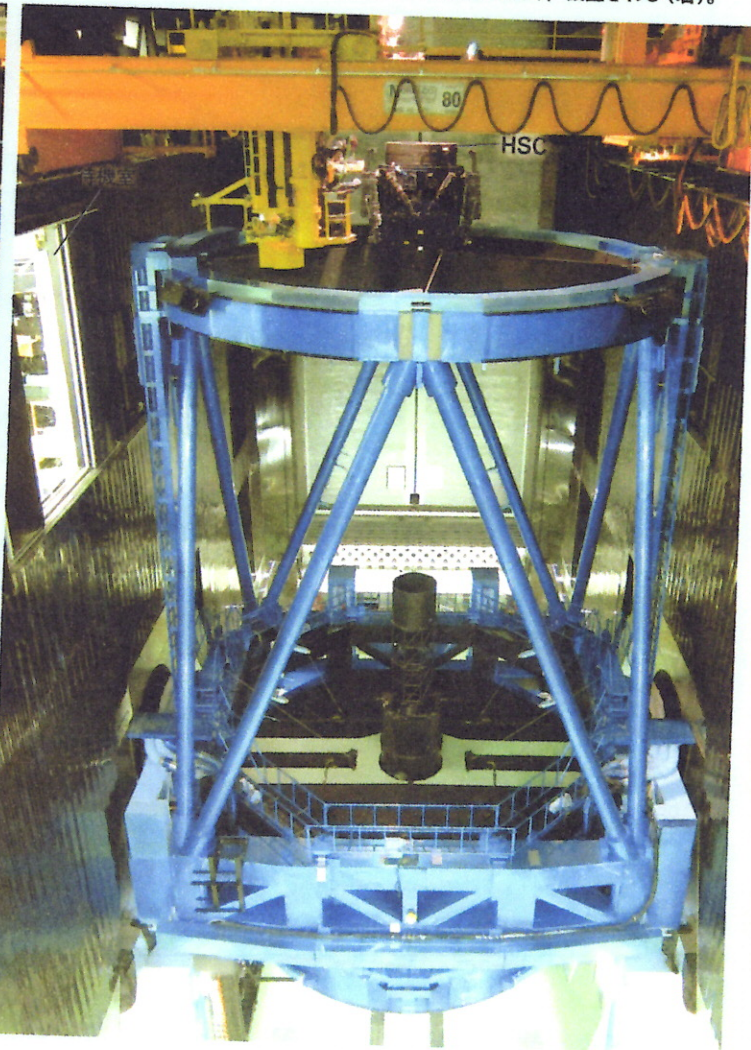
カメラは主焦点に設置されるが、それだけでは完全にピントが合うことはない。姿勢制御に使われるジャッキは、カメラのピント合わせにも使われる。これらのジャッキは、カメラの高さと傾きを自由に微調整することができるためである。

「ピントは計算値としてここだというのはありますが、それではどうしてもずれてしまうので、実際に星を見ながらジャッキを動かして合わせるのです」（宮崎室長）。

6本のジャッキも鮮明な像を得るために、重要な役割をはたすのだ。

望遠鏡へのHSC取り付け試験

HSCは黄色の装置にのせられて待機室から運びだされ(左上、左下)、設置される(右)。



富士山をこえる高地で取り付け

上の写真は、2011年10月に行われた、すばる望遠鏡へのHSCの取り付け試験のようすだ。主焦点の筒(トップリング)とHSCのすき間は約2センチメートルしかないため、HSCが筒にぶつかっていないか、などが細かく確認された。

すばる望遠鏡は、標高約4200メートルの山頂にあり、その高さは富士山より高い。当然、空気も薄く、組み立て作業や、確認作業は平地で行うより、たいへんだ。普通に動くことさえ、なれないとむずかしい。しかもHSCをとりつける筒は、ドームの床から20メートルの高さにある。そして主鏡の上での

作業になる。下に何かを落とすことは許されない。「取り付け試験はたいへんな作業ですが、機器の担当者が責任をもって確認してきました」(宮崎室長)。

主焦点の筒(トップリング)にはカメラ以外に、さらに光を反射させる副鏡がのることもある。そのため、実際に運用がはじまれば、HSCはつけたり、はずしたりすることになる。

トップリングへの装置の出し入れは、プログラミングされ、自動制御で行われる予定だ。使わないときは、HSCは、望遠鏡のとなりにある「待機室」にしまわれる。待機室にはさまざまな装置が置いてあり、必要に応じて、写真の黄色の装置によって、主焦点へと運ばれる。

ダークエネルギーの解明をめざす

すばる望遠鏡の新しい主焦点カメラHSCを使うことで宇宙の何が明らかになるのだろうか。宮崎室長は「私たちがいちばんの研究目標にかかっていることは、『ダークエネルギー』を調べることです」と話す。

これまでの天文観測結果から、宇宙には目に見えないが周囲に重力をおよぼす未知の物質「ダークマター（暗黒物質）」と、宇宙の膨張を加速させる正体不明のエネルギー「ダークエネルギー」が存在するとされている。ダークマターが宇宙の構成成分の約23%、ダークエネルギーが約73%を占め、二つ合わせて宇宙の成分の約96%にもなる。宇宙の大部分は正体不明のものでできているのだ。

重力レンズ効果で、ダークマターの分布を調べる

ダークエネルギーの量は宇宙膨張の歴史を調べることで推測できる。宇宙膨張の歴史を調べる方法はいくつかある。「私たちは、ダークマターの分布を宇宙膨張の歴史にやきなおすというルートでダークエネルギーを調べる予定です」（宮崎室長）。

HSCの強みはどこにあるのだろうか。宮崎室長は

「HSCは、非常に鮮明なイメージを広い視野で観測できます。しかもすばるは大きな主鏡をもつので、暗い天体も観測できます。この三拍子がそろった望遠鏡はほかにはありません」。

HSCの特性をいかすと、遠くて暗い非常にたくさん銀河の、精密な形状を観察することができる。「その観測結果を使って、重力レンズ効果から、ダークマターの空間分布を直接調べることができるのです」（宮崎室長）。

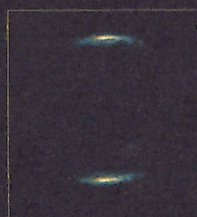
「重力レンズ効果」とは、強い重力をもつものが、まるでレンズのようにはたらき、光を曲げる現象だ。銀河と地球の間に、ダークマターが大量に存在すると、重力レンズ効果によって銀河からの光がゆがみ、地球では銀河の像が二重に見えたり、ゆがんで見えたりするのだ。「ゆがんだ銀河の変形量を調べると、銀河の手前にあるダークマターの分布を推測することができます」（宮崎室長）。

ダークマターの分布は、宇宙膨張を知る手がかりに

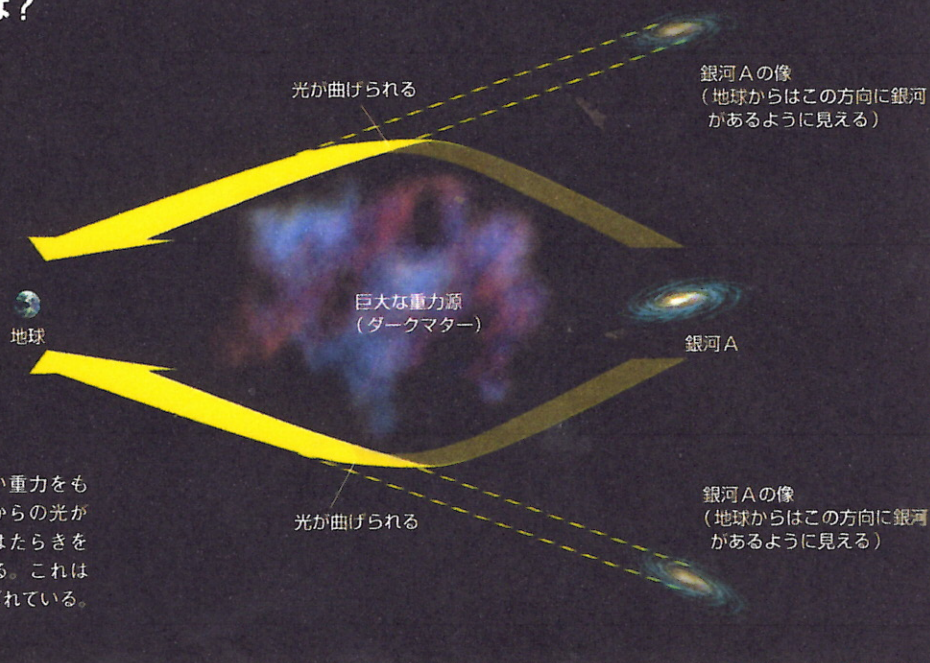
ダークマターとダークエネルギーはどのようにつながるのだろうか。

ダークマターの分布は宇宙の進化とともに、一様な状態から、重力の作用で“むら”（濃淡）がある状

重力レンズ効果とは？



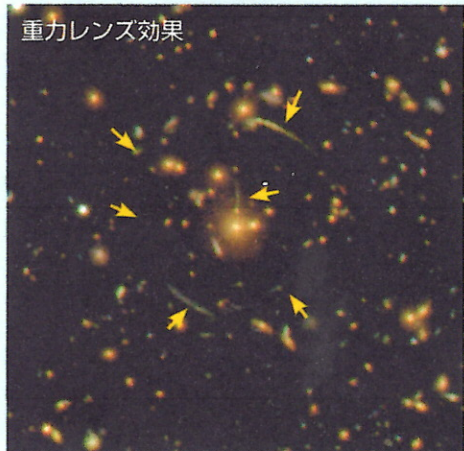
地球から見た、ゆがんだ銀河Aの二つの像



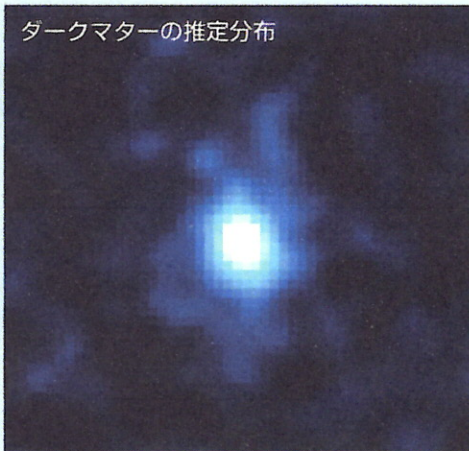
天体と地球の間に、強い重力をもつものがあると、天体からの光が曲げられて、レンズのはたらきをすることが知られている。これは「重力レンズ効果」とよばれている。

従来のすばる主焦点カメラで撮影された重力レンズ効果

重力レンズ効果



ダークマターの推定分布



左は、すばる望遠鏡の従来の主焦点カメラで撮影された銀河団の画像。黄色矢印が、重力レンズ効果によって、ゆがんだ銀河の像だ。右は重力レンズ効果から計算された銀河団内のダークマターの分布。これは、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構 (IPMU) の大栗真宗特任助教らのグループによって解析された結果だ。HSCで広い領域を一度に観測することで、今後、さらにダークマターの分布が明らかになるはずだ。

態へと変化してきたと考えられている。「ダークマターの“むら”の成長ぐあいを調べると、まず宇宙の膨張の歴史を知ることができます」(宮崎室長)。宇宙は膨張している。宇宙の膨張が速いと、“むら”が成長する前にひきのばされてしまうため、“むら”ができにくくなる。そのため、ダークマターの“むら”の成長ぐあいを調べると宇宙膨張の歴史がわかるのだ。

そして「宇宙膨張の歴史がわかれば、ダークエネルギーの分量を推定することができます。ダークエネルギーは、宇宙膨張の勢いをます作用があるとされるものだからです」(宮崎室長)。

ライバルを頭一つリード

現在、世界中の天文学者がダークエネルギーの解明をめざしている。アメリカでは、すばるよりも視野の広い望遠鏡をつくってダークエネルギーについて調べようとする計画が進められている。「LSST」とよばれる望遠鏡計画で、南米チリが建設地に決まっている。計画はまだ先で、今のところ、現存する望遠鏡で、HSCのような性能をもつカメラを物理的に搭載できるものは存在しないという。そのため、しばらくは「視野が広い」、「感度がよい」、「遠くまで見られる」という“三拍子”そろったカメラは、すばる望遠鏡にしか搭載されない。

「新しく建設するにしても時間がかかります。観測のレースで、すばる望遠鏡は頭一つリードしていることになるでしょう」(宮崎室長)。HSCの観測が



取材に答える国立天文台Hyper-Suprime-Cam Projectの宮崎室長。プロジェクト全体をマネジメントしている。すばる望遠鏡のあるハワイと日本を往復する忙しい日々のなか、ニュートンのために時間を割いていただいた。

はじまれば、世界初の画期的な成果がうまれるだろうと、世界中の注目が集まっている。

「ほかに期待することは？」という問いに、宮崎室長は「すばる望遠鏡の従来の主焦点カメラは、最初の目的をこえて、宇宙最遠方の銀河の発見といった、結果としてまったく新しいフロンティアを切り開いてきました。このHSCも10年使ううちに、予想しなかった新しい分野が切り開けたらいいと思います。それが一番楽しいことです」と語る。

非常識といわれた従来の主焦点カメラが搭載されて約10年、すばる望遠鏡は当初の想像をこえる数々の成果を生みだしてきた。HSCは、2013年秋ごろまでは試験観測を行い、2014年1月から本格的な観測をはじめるとを予定している。HSCが宇宙観測の新しい時代をつくろうとしている。



Welcome to

SUBARU Telescope

Feb. 13th 1999 photo by FAI

