

すばるビッグデータで挑む宇宙構造形成問題の決着と銀河進化の統一の描像の構築

	研究代表者	国立天文台・ハワイ観測所・教授 宮崎 聡 (みやざき さとし)	研究者番号: 20290885
	研究課題情報	課題番号: 23H05438 キーワード: すばる望遠鏡、超広視野、ビッグデータ、高精度データ解析	研究期間: 2023年度~2025年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

● 研究の全体像

<宇宙は広く、深い> 頭上一面に広がり星々がまたたく晴天の夜空は圧倒的でさえあり、宇宙の広大さを存分に物語ってくれる。ただ忘れてはいけないことがある。それは、星や銀河といった天体の中には、当然ながら我々から近くにあるものもあれば遠くにあるものもあるが、そうした奥行きを持った空間が「夜空」という仮想的な面に投影されて私たちには見えているということである。広いだけでなく、深いのが、宇宙である。

<宇宙の中身を調べて宇宙という入れ物を理解する> 宇宙という入れ物を物理的に理解する努力は様々な手法で行われてきているが、その中でも私たちは、宇宙に散らばっている無数の銀河の場所を調べ、銀河の3次元地図(3Dマップ)を作るというアプローチをとっている。大雑把には、中身の広がりをつぶさに調べることで、入れ物がどんなものかを浮かび上がらせるということになるだろう。

<すばる望遠鏡の大集光力を生かした超広視野撮像装置HSCと超広視野多天体分光装置PFS> この、3Dマップを作る作業においてまず大事なのは、夜空の広範囲に渡って写真を撮り銀河を検出することである。できるだけ暗い天体まで検出できれば、遠くにある銀河まで調べられ、宇宙を奥深くまで見通せる。ここで大活躍しているのがすばる望遠鏡に取り付けられた超広視野撮像装置 Hyper Prime Cam (HSC)である。8.2mという大口径の主鏡を持つすばる望遠鏡の集光力を生かし非常に暗い銀河までクリアに検出できるだけではなく、HSCは満月のおよそ9倍もの面積を一度に画像に収めることができるので、非常に効率良く夜空の広い範囲の画像を撮ることができる。そしてもう1つ、3Dマップを作るのにとっても重要なのは、検出されたそれぞれの銀河までの我々からの距離を測ることである。銀河までの距離を知るには赤方偏移という量を測れば良いが、そのためには分光観測(天体からの光の強度を波長ごとに測定する)という手法が必要になる。ここで登場するのが、すばる望遠鏡に取り付けて運用するために開発と立ち上げが急ピッチで進んでいる超広視野多天体分光器Prime Focus Spectrograph (PFS)である。PFSはHSC並みの視野の中に、約2400本のファイバーを配置して天体からの光を装置に導き同時に分光を行う。一般に、分光観測は撮像観測に比べてはるかに時間のかかる観測だが、広い視野にわたる同時多天体観測が可能でPFSを使えば飛躍的に効率を上げられる。

図1 すばる望遠鏡とHSC, PFS



● 試験観測が進んでいる PFS

PFSは2021年秋以降、実際に夜空に浮かぶ星や銀河を観測し、装置の駆動実証試験や性能調査を行っている(試験観測)。PFSの観測効率を最大化する上で大事な点はいくつもあるが、その1つであるファイバー配置(天体からの光を装置に最大限導入するため)はかなり精度良くできるようになってきた。また、PFSの大きな特徴の1つは、可視光380ナノメートルから近赤外1260ナノメートルまでをいっぺんに分光できることである。これを実現するため分光器に搭載する3つのカメラ(可視青・可視赤・近赤外)のうち最も難易度の高かった近赤外カメラも1台実装が完了し試験観測で運用を始めデータを取り始めた。今後も、残り2台を残すのみとなった分光器の開発と並行して試験観測を進め2024年後半からの科学運用開始を目指す。

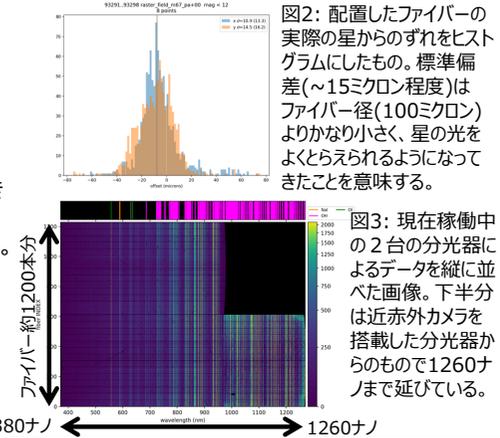


図2: 配置したファイバーの実際の星からのずれをヒストグラムにしたもの。標準偏差(〜15ミクロン程度)はファイバー径(100ミクロン)よりかなり小さく、星の光をよくとらえられるようになってきたことを意味する。

図3: 現在稼働中の2台の分光器によるデータを縦に並べた画像。下半分は近赤外カメラを搭載した分光器からのもので1260ナノまで延びている。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

● すばるHSCによる広天域撮像データからわかってきた「ズレ」と限界

私たちはHSCを使い2014年から2021年までの330夜をかけて得られた広天域撮像データを精密解析し、宇宙で構造形成がどれだけ進んだかを特徴づける S_8 というパラメータを正確に、5%の精度で求めることに成功した。そしてその値は、プランク衛星のデータを元に宇宙の標準モデルに沿って外挿した値からずれていることがわかった。これは宇宙の標準モデルのほころび、つまり新たな物理の必要性を示す重要な発見かもしれない。しかし、このことを確度を持って宣言するにはまだ精度が足りない。その1つの大きな要因は、HSCのデータからだけでは銀河の赤方偏移が正確にはわからないことにある。

● PFSによる赤方偏移測定と、高精度較正システムを開発し克服する難関

そこで我々は、PFSを使って大規模な広域分光サーベイ観測を行い、HSCで見つかった大量の銀河の赤方偏移を測定する計画を提案に向けて立案中である。しかし、ここで留意しなければならないのは、測定対象となる銀河と比較で、一緒に観測されてしまう空からの光が明るいという状況である。つまり、観測された分光データ(=スペクトル)からまず空の成分(=スカイ)を非常に正確に差し引かなければ、赤方偏移の測定ができる程度に銀河のスペクトルが浮かび上がってこないのである。さらにPFSの観測では、一部のファイバーを空だけを観測するように配置し、そのデータをもとに他のどのファイバーで観測されているスカイでも正確に計算して差し引けるようにする必要もある。本研究では、分光器検出器上での各ファイバーからの光の照射パターンの物理モデルを開発することで、この困難を克服する。この物理モデル、望遠鏡と補正レンズによる主焦点での瞳像(つまりファイバーへの光の入射の仕方)、分光器の入り口(スリット面)に並ぶファイバーから出射する光の広がり方、その光が分光器の光学系(並びに開口内にありビームを遮る機械系)をどのように伝搬していくか、この3つの成分を考慮し、検出器上の各位置で、各ファイバー、各波長に対応する像を計算している。PFSは視野が広いので、望遠鏡主焦点の視野中心付近のファイバーと視野端のファイバーでは異なる瞳像を見ることになるし、異なるスリット位置にあるファイバーから出た光の広がり方や分光器内部の通り方も違う。これらを逐一 Zernike 多項式で表現している。こうした試みは私たちの業界では初めてだが、これまでに試験観測データを用い、特定のカメラについての物理モデル初期開発には成功している。しかし、今後12台全てのカメラについて、モデルを構築して精度や安定性を向上させていく必要がある。これが本研究で行う高精度較正システムの開発であり、その核となるデータ解析ソフトウェアの開発研究である。

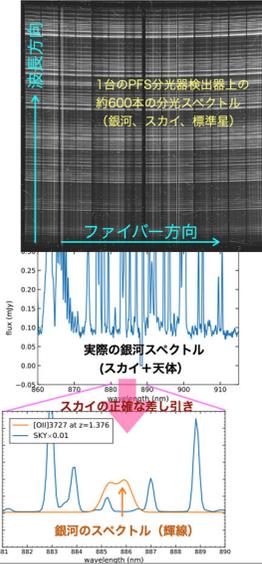


図4: PFSのデータから赤方偏移を正しく測定するには、対象天体よりはるかに明るい空をまず引くことが必須である。

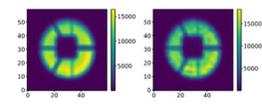


図5: PFS物理モデルの中間結果一例。左側がモデル、右側が実際のデータ。

ホームページ等

https://hsc.mtk.nao.ac.jp/ssp/home/home_jp/
<https://pfs.ipmu.jp/ja/index.html>
<https://pfs.ipmu.jp/blog/ja/>