

すばる主焦点超広視野分光器 (PFS) 計画とその現状

下農 淳司 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構; atsushi.shimono@ipmu.jp)

主焦点超広視野分光器(Prime Focus Spectrograph; PFS)は、ハワイ島マウナケア山頂にある口径8.2mのすばる望遠鏡の主焦点に取り付けることを計画している可視光・赤外線多天体ファイバ分光器です。同じく主焦点に取り付けられる超広視野撮像装置(HSC)計画で作成された広視野補正光学系(WFC)で得られる広い視野内に、1.3度直径に渡り2400本のファイバを天体に配置します。そして、0.38から1.3 μ mの広い波長範囲を3色腕で同時にカバーする分光器4台により波長分解能R 3000程度での同時多天体分光を実現します。8-10mクラスの大望遠鏡における将来装置計画の中でもユニークなこの計画は、2017年に予定しているファーストライトに向け、Kavli-IPMUを筆頭とした、ブラジルのUSP/LNA、米Caltech/JPL・Princeton大学・Johns Hopkins大学、仏LAM、台湾のASIAA、国立天文台/すばるを含む国際チームにより進められており、現在は基本設計の段階にあります。

本計画で予定されているサーベイ観測によるサイエンスには大きく3つの目的があり、赤方偏移0.8から2.4にわたる数百万個の銀河の3次元位置を測定し、バリオン音響振動を高精度に求めることによる暗黒エネルギーの解明、さまざまな進化段階にある銀河を観測することによる銀河の進化史の解明、そして、われわれの銀河やアンドロメダ銀河の数百万個の星の動きや位置、化学組成を測定し銀河系の歴史を調べることによる冷たい暗黒物質モデルの検証です。

予定されているサーベイ観測・サイエンス

(Ellis et al., 2012, astro-ph 1206.0737 が参考文献です;印刷版はポスター下方)

予定されているサーベイ観測プログラム

PFS自体はすばるの共同利用観測装置として運用される予定のため、一般共同利用としてPIタイプの観測プログラムも遂行されるが、SSPとしてHSCによるイメージングサーベイを分光でフォローアップすることによる、次のサイエンスについてのサーベイ観測が検討されている。

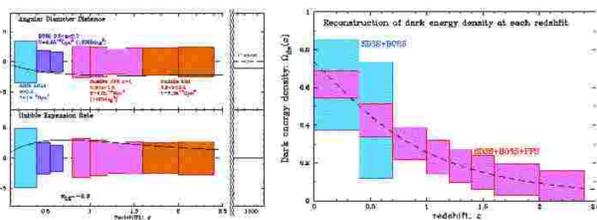
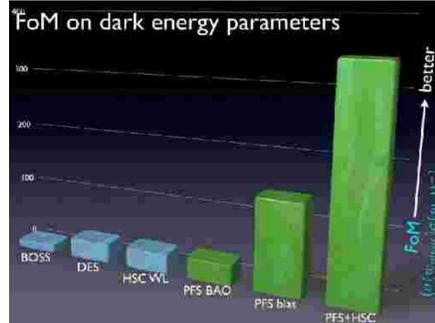
- 1) バリオン音響振動(BAO)を標準定規に利用し宇宙膨張と暗黒エネルギーの状態方程式を正確に測定する
- 2) $z=1-2$ の活発な銀河の進化の連続的なサーベイによる銀河進化史の理解や、より遠い天体までの連続的な観測による銀河・AGNの生成・成長について調べる
- 3) 銀河系・M31といった近傍銀河の個々の恒星の運動の測定により銀河形成過程を調べる銀河考古学の発展

1) 宇宙論、暗黒エネルギーの謎の解明

PFSは1.3 μ mの赤外までの観測波長域を持つため、[OIII] λ 3727,3729輝線を $z<2.4$ まで観測でき、高赤方偏移での大規模構造が線形になる領域まで観測できる(下左図)ことから、宇宙論パラメータや構造形成についてのより詳細な新たな情報が得られる。右図のようにPFSによる分光3次元データだけでなく、HSCによる弱レンズ効果の測定と組み合わせることでこれまでにない非常に高精度なダークエネルギーパラメータの決定が可能になる。

PFS宇宙論サーベイの目標は、BAOを利用し、 $z=0.8\sim 2.4$ の範囲の6領域で以下の精度を達成する

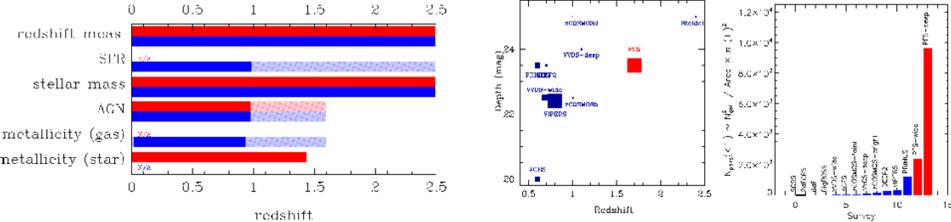
- 1) ハッブル膨張係数を3%精度で
- 2) 距離測定から暗黒エネルギーパラメータを7%精度で決定
- 3) 分布から曲率パラメータを0.3%精度で決定
- 4) 赤方偏移空間歪みの測定により大規模構造の成長率を6%精度で測定



2) 遠方までの連続的サーベイによる銀河形成史

PFSの幅広い観測可能波長を生かし、銀河進化を宇宙の夜明けから現在までの幅広い時期にわたって追跡し、いつ・どのように銀河が形成されたかについて明らかにする。特にPFSが1.0~1.3 μ mの近赤外をカバーしていることから、星形成の密度やブラックホールの成長がピークと考えられている $z=1.4\sim 2.2$ の領域をカバーする。(下左図は $z=23.5$ までのサーベイ観測により観測可能な距離領域をターゲットごとに示したものである。濃い色はM*を超える銀河について最も重要な分光指標が得られる距離範囲を、青は星形成銀河、赤は受動的銀河をしめす。)また、Ly α 輝線により、宇宙の再電離の時期まで迫る $z=2\sim 7$ にわたる銀河・AGNの成長がトレース可能となる。これらのため、1) $z<1$ のJ_AB<21mag, $1<z<2$ のJ_AB<23.4magの50万天体、2) $2<z<7$ のLy α ドロップ天体3万天体、3) $3<z<7$ の色選択QSOサーベイを行う。

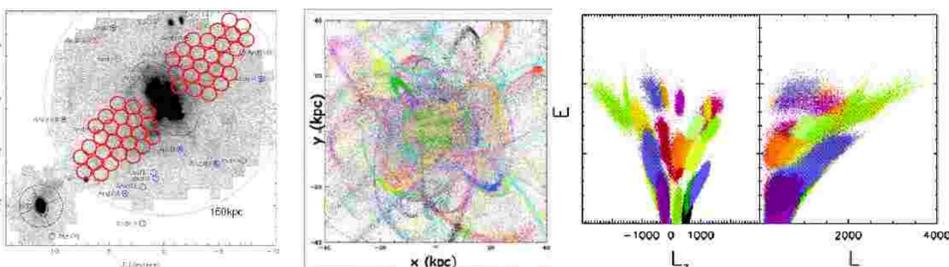
下右図は、左が各種サーベイの平均対象zと深さの分布でPFSはユニークな位置にあることを示し、右がある天体から1分以内の分光観測天体の個数のグラフでPFSが小さいスケールの調査にも有効であることを示す。



3) 恒星の運動の測定による銀河形成過程の調査 - 銀河考古学

ダークマターとその銀河形成における役割は、個別銀河のスケールで観測することが重要であり、PFSによりこの銀河系とM31を速度・金属量の両面でサーベイすることでCDMモデルの検証などを行う。ターゲットは銀河系内のハローやディスクにある古い恒星となる。

下の左図はM31で検討されている観測対象フィールドの配置(赤丸)を示す。中央図は恒星潮汐流のモデル分布図(銀河系を上から見たような図)で異なる色は異なるグループを示し、右図では速度を加味することでそれぞれのグループをきちんと分離して調査可能なことを示している。これにより、銀河系の合体・融合史を調べ、銀河形成におけるダークマターの果たす役割を調査する。

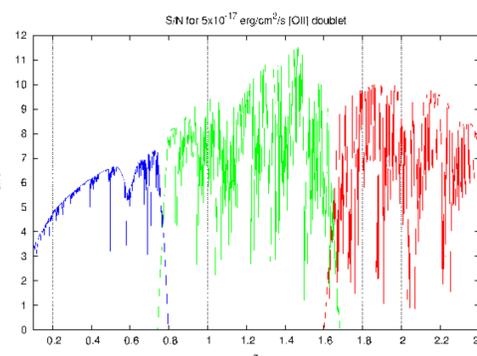


期待・推定される装置観測効率・感度

右図) 5×10^{-17} erg/cm²/sの積分強度を持つ[OIII] λ 3727,3729輝線に対するS/N比を対象天体の距離zごとに描いたグラフ。色はそれぞれ検出する検出器を示し、青・緑・赤がそれぞれblue, red, IRを示す。

(銀河間吸収E(B-V)=0.05, 観測天頂距離26度, 暗夜における7.5分2回の計15分積分を想定)

右図のように[OIII]輝線は $z=2.4$ まで連続的に観測することができると推定され、同時にこのような幅広い波長範囲をカバーできることがPFSの強みの一つでもある。



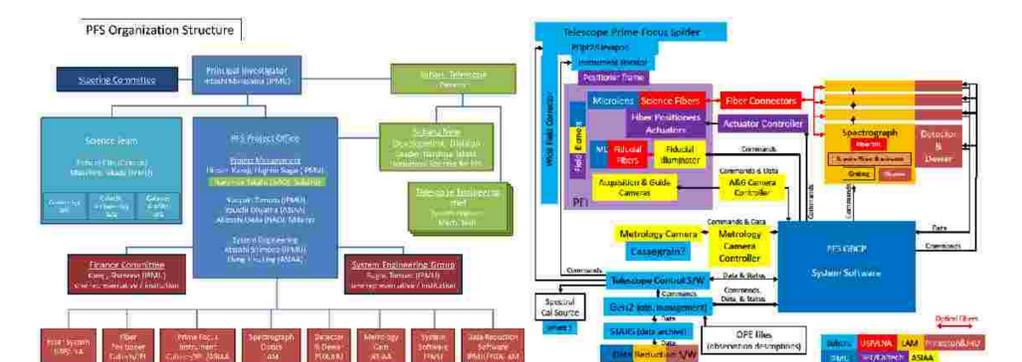
観測装置の概要と国際共同プロジェクトの現状

装置開発・サーベイのタイムライン

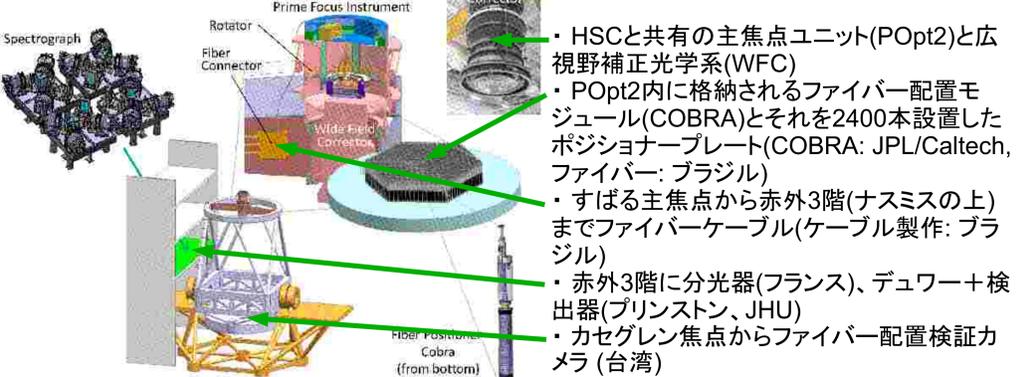
- 概念設計評価会議 (CoDR) - 2012年3月 @ ハワイ・ヒロ
- 詳細設計評価会議 (PDR) - 2013年1月予定
- 実施設計評価会議 (CDR) - 2013年12月頃予定
- システム統合・試験の事前評価レビュー (SIR/TRR) - 2016年2月頃予定
- エンジニアリングファーストライト - 2017年1月頃予定
- すばる戦略枠観測への提案・サーベイ期間 - 2018年から5年300夜のサーベイ

国際共同プロジェクトとしてのPFS

PFSプロジェクトはKavli-IPMUを中心(最先端研究支援プログラム/FIRSTによる予算)とした、米プリンストン大学、ジョンズホプキンス大学、カリフォルニア工科大学+NASA/JPL、仏マルセイユ天体物理研究所、台湾中央研究院天文・天体物理研究所、ブラジル・サンパウロ大学+国立宇宙物理研究所による共同研究開発プロジェクトである。それぞれの機関が予算・人員などを持ち寄り、以下のプロジェクト構成、開発コンポーネントの分担体制で装置開発が進められている。



装置の構成



- ・ HSCと共有の主焦点ユニット(POpt2)と広視野補正光学系(WFC)
- ・ POpt2内に格納されるファイバ配置モジュール(COBRA)とそれを2400本設置したポジショナープレート(COBRA: JPL/Caltech, ファイバ: ブラジル)
- ・ すばる主焦点から赤外3階(ナスミスの上)までファイバケーブル(ケーブル製作: ブラジル)
- ・ 赤外3階に分光器(フランス)、デューワー+検出器(プリンストン, JHU)
- ・ カセグレン焦点からファイバ配置検証カメラ(台湾)

PFS装置パラメータとコンポーネント

“ファイバ”同時多天体分光器

1".13直径の開口を持つファイバ2400本を数分でターゲットに配置
WFCのあとにF2.2からF2.8に変換するマイクロレンズをつけ128 μ mコアファイバに入射ファイバポジショナー(下左図)は2ステージ回転モーター、8mm間隔の六角形に配置

観測可能天域

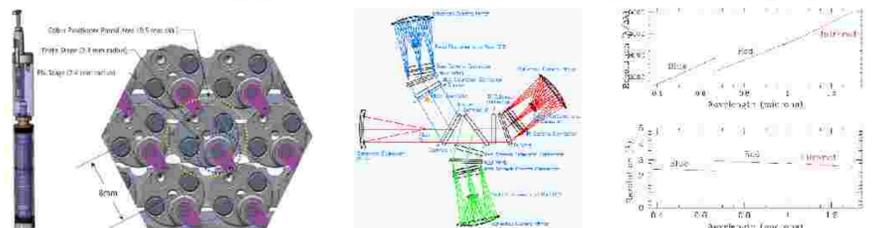
六角形領域で、内接円で1.25度直径、最大幅が差し渡し1.37度の領域を一度に観測
HSCとWFCを共有しており天域は少し小さい程度(天体選択にHSCデータを利用)

分光器仕様(下の中・右図)

4台で600天体ずつ380nm~1300nmを3波長域(Blue,Red,IR)にわけて同時観測
波長分解能は全波長域に渡って $\sim 2.7\lambda$

ファイバ配置検証・測定カメラ

カセグレン焦点からWFCを通してファイバポジショナーを見上げるカメラ
分光器側からLEDで照射して光らせたものを1.2億ピクセルCMOSセンサーで測定
ポジショナーの450mm直径の全域について、一度に5 μ m精度で2400本測定する



観測準備とデータ解析パイプライン

同時観測天体数が2400天体と非常に多いため、複数種類のサーベーターゲットリストから自動的に観測シーケンスを生成したり、山頂でのサーベイ観測中にデータ解析パイプラインと接続しながらの観測シーケンスの更新を行うことも計画されている。左側にあるようにサーベーターゲットの要求(積分時間や要求S/N)にはケースによりばらつきがあるため、それらを全て考慮に入れた観測シーケンスの自動生成・更新はサーベイ効率にとって非常に重要である。データ解析パイプラインは、IPMUおよび、米プリンストン大学(2D処理)と仏マルセイユ天体物理研究所(1Dのスペクトル解析・データアーカイブ)との共同で作成が進められている。

これらの観測準備・解析ソフトウェアの分野について、日本の大学院生・PDなど若手の積極的な参加が期待されています。興味がある方は、議論用メーリングリストがありますのでご連絡ください。

参考資料・ウェブサイト

- SuMIRe / PFS ウェブサイト: <http://sumire.ipmu.jp/2656>
- PFSの技術的な詳細のウェブサイト: <http://pfs.ipmu.jp/factsheet/>
- 装置論文: SPIE 2012 vol.8446, presentation #32