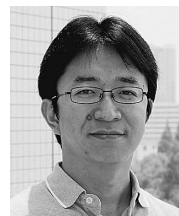


すばる HSC-SSP サーベイ： 概要と観測サーベイ設計



高田 昌広

〈東京大学国際高等研究所カブリ数物宇宙研究機構 〒277-8583 千葉県柏市柏の葉 5-1-5〉

e-mail: masahiro.takada@ipmu.jp

Hyper Suprime-Cam すばる戦略枠観測サーベイ (HSC-SSP) は、約5年間ですばる望遠鏡の約300夜を投資するすばる史上最大の国際プロジェクトである。ここでは、HSC-SSPの経緯、主要な科学目標、サーベイの概要 (天域の広さ、深さ、フィルター)、観測領域、サーベイ観測を行ううえでの戦略・手法、初期成果までの経緯、国際共同研究の運用体制について紹介する。

1. はじめに

世界最高のサーベイ装置であるすばる HSC^{1),2)} で今までにない新しい天文学を開拓する、これが HSC すばる戦略枠サーベイ (HSC-SSP) チーム全員の目標である。日本、台湾、プリンストン大学の研究者が属する HSC 国際共同研究は2008年に (正式に) 発足したが、2014年3月にサーベイが開始するまで、サイエンスチームは、HSC-SSPが目指すべき科学目標の定義、各サイエンスを行うために必要な天体の測定量の洗い出し、その測定法の決定、必要な精度の評価、サイエンスを効率的に達成するためのサーベイ設計・観測戦略の決定、国際共同研究を行ううえでの運用ポリシーの設定、などサーベイの準備を入念に行った。2014年3月に HSC-SSP サーベイが開始し、2018年1月には HSC-SSP プロジェクトの概要、また初期データを用いたサイエンスの成果について40編の論文をまとめた特集号を日本天文学会欧文研究報告誌 (Publications of Astronomical Society of Japan; PASJ) に出版するところまできた³⁾。紙面に限りはあるが、この記事では HSC-SSP の概要について紹介したい⁴⁾。

2. 科学目標

すばる HSC が可能にする天文学は太陽系から宇宙論まで多岐にわたる。HSC-SSP の主要な科学目標として^{5),6)}、現代天文学における最重要かつ未解決課題である以下のテーマを選んだ。

- ダークマター、ダークエネルギーの正体は何か？あるいは宇宙の加速膨張は、アインシュタインの重力理論が宇宙論スケールで破綻していることを示唆しているのか？
- 多様な銀河はどのように進化し、空間集積し、またその特性は宇宙史においてどのように変遷してきたのか？
- 宇宙の再電離はどのように起こったのか？その光源、物理過程は何か？

これらの問題について観測による解明を目指し、すばる望遠鏡の超広視野主焦点撮像カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を用い、約5年間ですばる300夜を費やす宇宙の広天域撮像 (イメージング) サーベイ (HSC-SSP) が、2014年春に始動し、現在も進行中である。同様の広天域撮像サーベイは世界中で進行中であり、熾烈な国際競争にある。さらに2020年代には、実質口径6.5 mの専用大型望遠鏡 Large Synoptic Survey Telescope

表1 HSC-SSPサーベイの概要.

レイヤー	面積 [deg ²]	フィルター・深さ	共動体積 [(Gpc/h) ³]	主要なサイエンス
Wide	1400	grizy ($r \sim 26$)	4.4 ($z < 2$)	重力レンズ, $z \lesssim 1$ 銀河, 銀河団
Deep	27	grizy+3NBs ($r \sim 27$)	~ 0.5 ($1 < z < 5$)	$z \lesssim 2$ 銀河, 再電離, 重力レンズ較正
UltraDeep (UD)	3.5	grizy+3NBs ($r \sim 28$)	~ 0.07 ($2 < z < 7$)	Ia型超新星, $z \gtrsim 2$ 銀河, 再電離

(LSST: 2021年開始予定), 欧州の衛星計画Euclid (2022年頃打ち上げ予定), 米国の衛星計画WFIRST (2026年頃) の1,000億円を超える究極的な広天域撮像サーベイも計画されており, 今後少なくとも10年間はサーベイ天文学が大きく発展することは間違いない.

3. HSC-SSPサーベイデザインおよび観測量・手法

宇宙の撮像 (イメージング) は, 最も基本的な天文学の観測手法である. 撮像データから天体 (星, 銀河) を同定し, またそのデジタル画像を解析し, 光量 (フラックス), 銀河であれば形状などの物理量を測定できる. 同じ天域を複数の透過フィルターで撮像すれば, 天体の色を識別でき, 例えば, 宇宙膨張のため遠方の銀河ほど赤く見えるという赤方偏移の効果から, 個々の銀河の赤方偏移 (距離) を推定できる (以後, 測光的赤方偏移と呼ぶ). さらに同じ天域を何度も異なる日時に撮像することで, 超新星など明るさが変動する天体, あるいは太陽系外縁天体など移動天体も発見することができる. 上記の「宇宙論と銀河進化」の科学目標を達成するために, 天域の広さ, 深さ, フィルターで異なる三つのレイヤーでサーベイ (以後HSC-Wide, -Deep, -UD) を行っている. 表1は, 各レイヤーの観測パラメータ (観測領域の広さ, 深さ, フィルター) とそのデータで可能になる主要なサイエンスをまとめている. また, 図1は, HSC撮像サーベイの三つのレイヤーと, 既存のサーベイ, 現在進行しているサーベイ, さらに将来計画されているサーベイを比較したものである. HSC-SSPサーベイは, 既

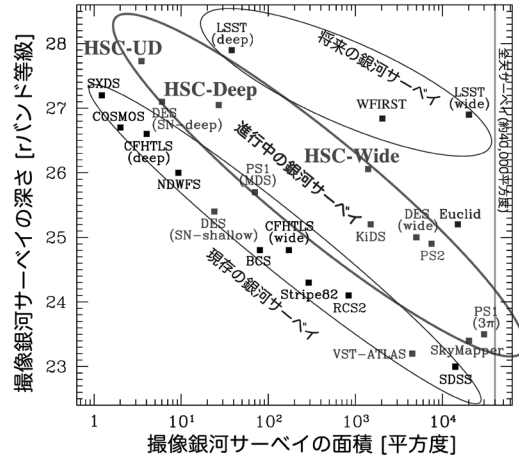


図1 HSC-Wide, -Deep, -UltraDeep (UD) のサーベイパラメータ (天域の広さ, rバンドでの深さ) と既存, 進行中または計画中のサーベイとの比較.

存のサーベイを圧倒的に凌駕し, また競合するDark Energy Survey (DES) などの4 m級の望遠鏡プロジェクトの追従を許さない非常にユニークなサーベイであることを示している.

HSC-SSPサーベイが目指す科学目標を達成するために, 以下の観測量, 手法を用いる.

- HSC-Wide領域の銀河の形状の測定から宇宙構造の重力レンズ効果を正確に測定し, ダークマターの空間分布を復元し, ダークエネルギーの状態方程式パラメータを高精度で測定する. また, 観測量と理論の比較から宇宙論スケールでアインシュタインの重力理論をテストする. さらに, HSC-UDの領域で得られる $z \sim 1.4$ までのIa型超新星の標準光源サンプルを用い, ダークエネルギーの測定を独立に検証する.
- 三つのサーベイレイヤーにおける広帯域, 狭帯

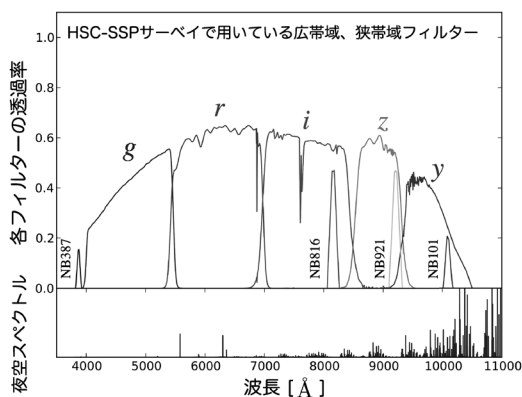


図2 (上パネル) HSC-SSPサーベイで用いる広帯域および狭帯域フィルターの透過率. ここでは, すばる望遠鏡の主鏡の反射率, HSC光学系とフィルターの透過率, CCDの量子効率などの寄与を考慮した全透過率(概算)を示す. (下パネル) 夜空のスペクトル.

域フィルターで選定した銀河サンプルの大統計解析を行い, 赤方偏移 $z\sim 7$ から現在までの銀河進化を調べる. さらに, $z\sim 5-7$ 時代における宇宙の再電離の物理を制限する.

図2は, HSC-SSPで用いる広帯域, 狭帯域のフィルター⁷⁾を表している. 広帯域フィルター (*grizy*) のデータはサーベイの基礎的な観測量であり, 銀河の形状, 各バンドでのフラックス, 形態, また測光的赤方偏移を推定するのに用いる. 狭帯域フィルター (NB) を用いたライマン輝線銀河の探査はすばるが世界をリードしてきた研究テーマであるが, 深い, 広天域の多数の $z\sim 5.7, 6.6, 7.7$ のライマン輝線銀河の大量のカatalogを用いることで, 宇宙の再電離の物理に迫ることを目標とした.

4. 観測領域

HSC-SSPのサーベイパラメータ(天域の広さ, 各フィルターの深さ)を決めたとしても, サイエンスを速やかに行うために観測領域の選定も重要

である. すばる望遠鏡は共同利用装置であるので, HSC-SSPの観測領域を明示し, 共同利用観測と競合しないように調整する必要もある. この理由で以下の条件で観測領域を選定した.

- HSC-SSPの観測領域は赤経(RA)方向に満遍なく分布し, 各セメスターのどの時点でも観測できる領域があること. また遠方宇宙, 系外銀河に適した, 天の川銀河面から離れた領域であること.
- 測光, 位置(astrometry)の一次的な較正ができるように, スローン・デジタル・スカイ・サーベイ(SDSS)の観測領域に含まれていること. また, SDSS領域の分光銀河サンプルは相補的であり, 宇宙論をはじめさまざまなサイエンスの相乗効果も期待できる.
- HSC-Deep領域はHSC-Wideに含まれ, さらにHSC-UD領域はHSC-Deep領域に含まれ, 相互に測光精度などの較正に使えるようにする.
- COSMOS, VIKINGやUKIDSSなど他サーベイによる多波長観測データがあり, HSC-SSPのデータと組み合わせることで相乗効果が期待できる領域.
- 銀河系ダストによる減光が小さい領域(銀河面から十分に離れた領域).

この条件の下で選定したのが, 図3に示される領域である. 前身のすばるSuprime-Camが大きな成果を出してきた, レガシー的な領域であるCOSMOS, XMM-LSS(SXDS)領域も含まれている. ほとんどの領域が赤道付近に存在し, HSCサーベイで発見した興味深い天体をALMAなどのチリの望遠鏡でフォローアップ観測することも補足しておく.

5. 観測戦略

すばるHSCにキュー観測が導入されつつある

*1 クラシカルな夜数の割り当てとは, 各セメスターで各観測提案の夜数が天候に関係なく事前に割り当てられること.

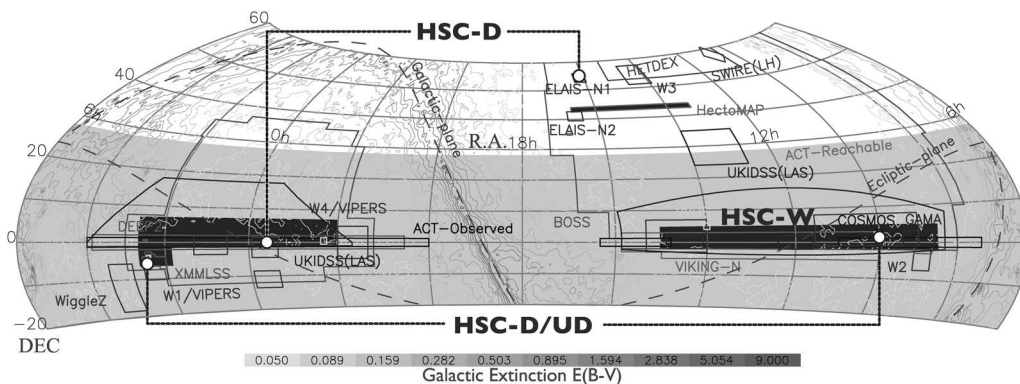


図3 天域におけるHSC-Wide, Deep, UDのサーベイ領域。各領域の他の分光, 他波長のデータも示す。背景の等高線は銀河系のダスト減光を表す。

が³, 現在までHSC-SSPは基本的にクラシカルな夜数の割り当て^{*1}で観測が運用されている。カブリIPMUの安田直樹氏を中心に、割り当てられた夜数のなかで、3章で述べた三つのレイヤーHSC-Wide, -Deep, -UDの観測を混合したスケジュールを組み、効率的に観測を運用している。主要なサイエンスからの要求により、以下の条件を課し、各晩の観測を行っている。

- ・シーイングが $0''.8$ 以下、空の透過率が高い、良好の天候のときには優先的に*i*バンドの撮像を行う。高解像度の画像データを要求する弱重力レンズ効果の測定に*i*バンドのデータを使うためである。
 - ・観測可能な領域が複数ある場合は、できるだけ高度 (elevation) の高い、大気の吸収の少ない領域を観測する。
 - ・観測のオーバーヘッドをできるだけ減らすために、各晩のフィルターの交換は最小回数に抑える。
 - ・各フィールドを各フィルターで30秒の短い露出時間のデータを取得し、SDSSの星と比較することで、HSC画像の位置合わせ (astrometry)、測光校正の一次的な処理を行う。
 - ・各セメスターを通して、HSC-Wide, -Deep, -UDの観測時間をバランスよく配分する。
- これらの条件を課すには、各観測夜のあいだに

観測条件をモニターし、必要があればその都度判断し、柔軟な観測の運用が必要になる。これが可能になったのは、国立天文台の古澤久徳氏らを中心に開発した、各露出データ取得の数分後にその画像の品質、観測条件をモニターできるオンサイトQA (Quality Assessment) システム^{8,9)}を活用できたことによるところが大きい。

さらに、サーベイ初期の観測データからインパクトあるサイエンスを速やかに行うために、HSC-Wideについては各領域で全5フィルターのデータをそろえ、また必要な各フィルターの全露出分のデータを取得することを優先し、その深さ、5色がそろった領域の面積を増やしていくという戦略を取っている。HSC-Deep, -UDについては、予定しているフィルターについて各年ある割合でデータを追加し、徐々に深くしていくことにした。特に、UDについては、広帯域フィルターの全露出時間を分割し、毎月のランで繰り返し観測することで、Ia型超新星を発見し、各々の超新星を光度曲線を測定するという戦略をとった。このようにHSC-SSPという大きなサーベイのなかに、Wide-, Deep-, UD-という異なるサーベイモードを共存させることにより、スケジュールリングは複雑であったが、天域の広さ、深さに加えて、時間軸方向の撮像データも取ることができたことは強調しておきたい。共同利用の夜数割り当て、あ

るいはキュー観測であっても、このような多様な観測モードを混在させた観測の運用は、HSC-SSP以外では困難だった（少なくとも極めて複雑だった）と思う。

6. 他のグループとの共同研究

自国の望遠鏡のプロジェクトでもないのに、台湾、プリンストン大学が参画していることから明らかなように、HSC-SSPは国際的にも非常に魅力あるプロジェクトである。このため、外部の研究グループから、自分たちが所有する望遠鏡時間あるいは他のデータを持ち込むことを約束し、HSC-SSPと共同研究したいという申し出がこれまで多数あった（今でもある）。このように他の研究グループと円滑に共同研究を行うために、覚書（MoU: Memorandum of Understanding）を交わし、ルールを設け共同研究を進めている。例えば、チリのAtacama Cosmology TelescopeのグループはHSC-Wideの領域に宇宙背景放射の高感度、高角度分解能のサーベイデータを取得する、Canada France Hawaii Telescope (CFHT) にアクセスがあるグループがHSC-Deepの領域にCFHTの*u*バンドのデータを取得する、あるいはアリゾナ大学のグループによるUnited Kingdom Infra-Red Telescope (UKIRT) の近赤外線データを取得する、などの約束の下、共同研究を進めている。これら外部データを組み合わせることにより、HSCの宇宙論、銀河進化の研究をより発展させることができる。このようにHSC-SSPでは国際共同研究が当たり前になっており、多くの研究者、特に大学院生を含む若手研究者が経験を積んでいることも強調しておきたい。

7. パイプライン：実験的天文学へ

HSC-SSPのサーベイ期間に得られるデータは膨大であり、その画像処理、また天体の検出、各

天体の物理量（フラックス、サイズ、形状など）を測定するのは非常にチャレンジングな課題である。HSC-SSPのデータを自動に高速かつ高精度でデータ処理し、天体の物理量を測定することができるパイプライン（プログラム群）が必要である。

HSC国際共同研究の発足当初から、パイプライン開発の重要性は認識されていたものの、資金、人員などリソースの配置が後回しになりやすいこともあり、いろいろと紆余曲折はあった。これについても、SDSSで十分に経験を積んでいたRobert Lupton氏がリードするプリンストン大学のグループが参画してくれた結果、プリンストン大学、国立天文台、カブリIPMUの研究者が中心となり世界最先端のパイプラインhscPipe¹⁰⁾の開発ができた。Jim Gunn先生^{*2}、Lupton氏らは天文学のデータを光子（電気信号）レベルで考え、物理・数式でデータ解析をアルゴリズム化し、それを実装するという姿勢を貫いている¹¹⁾。また、天体からの信号よりもバックグラウンドや測定誤差の正確な評価に細心の注意を払うという姿勢も個人的には非常に新鮮であった。

このhscPipeの開発も間に合い、まだ改良の余地はあるものの、初期サイエンスを行うには十分な画像データ、天体カタログが得られた。これら処理済み画像、天体カタログを一括してダウンロードできるデータベースを国立天文台の高田唯史氏、古澤氏らが中心に整備し、海外も含むHSC研究者はスムーズに研究を行うことができている。さらに、国立天文台の小池美知太郎氏が中心となりGoogle Skyのような天球上でのHSCの画像、また興味ある天体の位置、測光量などを視覚的に表示し、またHSCデータベースと直接やり取りできる、非常に便利なユーザーインターフェイスhscMapを製作した¹²⁾。これもサイエンスを迅速に行ううえで大きな助けになったと言える。

*2 Gunn先生は、実験、理論、データ解析、宇宙論、銀河、星まで何でも知っている広辞苑のような方なので先生と呼ぶにはいられません。

8. 初期成果

HSC-SSP の生データはいずれ公開され、また HSC-SSP サーベイに参加する国際共同研究チーム (HSC-SSP チーム) はその画像、天体カタログも全世界に公開する義務がある。データの所有権の優先期間内に速やかにサイエンスを実行するために、平均的に年2回の HSC-SSP チーム内のデータ公開がある¹³⁾。信頼性の高いサイエンスを行うには、より正確なデータ解析パイプラインで解析した良質の画像、天体カタログを用いる必要がある。一方、データ解析パイプラインを開発するには、処理済み画像および天体カタログのチェック・検証、パイプラインのコードのバグだし、改良の繰り返しが必要であり、まるでイタチごっこのように出口がない。このため、データが世界に公開される前に、その時点で最良のパイプラインのバージョンを決定し、改良を凍結する必要がある。そのパイプラインでその時点の全 HSC-SSP データを解析し、その処理済み画像および天体カタログをチーム内にデータベースを通して公開する。HSC-SSP データは膨大であり、データ解析に計算時間がかかり、スケジュールが迫るなか、パイプラインチーム、データベースチーム、サイエンスチーム間の妥協点を見いだすにはギリギリの判断が要求され、難しいものがあった。

2014年4月から2016年4月までのすばる約90夜のデータ、Wideのデータで言えば、全5色の広帯域フィルターで予定露出時間撮られた約170平方度のデータを用い、HSC チームはサイエンスを実行し、まずは論文を出版することを決定した。処理済みデータ、天体カタログがチーム内に公開されたのが2016年8月であった。このデータの大部分が世界に公開される Public Data Release 1 (PDR1)¹⁴⁾ が2017年2月と事前に決定していたので、HSC-SSP チームでは自分たちを追い込むために、HSC のサイエンス初期成果を日本天文学会天文研究報告誌 (PASJ: Publications of Astronomical

Society of Japan) の特集号に出版することに決め、その原稿の投稿締め切りを2017年3月、つまり PDR1 の直後とした。チーム内の各グループの努力により、40編の論文が投稿され、厳正な審査のあと、それら全論文が2018年1月に PASJ に掲載された²⁾。

HSC の威力、HSC-SSP のサイエンスの多様性を如実に反映し、PASJ の HSC 特集号には、HSC カメラおよび装置、パイプライン、PDR1 の内容、測光的赤方偏移、重力レンズ測定に必要な銀河の形状カタログ、太陽系外縁天体、天の川銀河の矮小銀河、近傍宇宙の低表面輝度銀河、 $z < 1.5$ までの銀河、可視光で発見した銀河団、強い重力レンズ天体、弱重力レンズ効果の測定によるダークマターの宇宙の大規模構造、高赤方偏移クェーサーおよび活動銀河核 (AGN)、高赤方偏移の原始銀河団、高赤方偏移の星形成銀河、 $z \sim 7$ にも及ぶ高赤方偏移のライマン輝線銀河、と非常に多岐にわたる。今後発行される天文月報でもそれらの成果について紹介されるので、詳しくはそちらを参照されたい。

HSC-SSP のデータを用いた論文リストは HSC ホームページ¹³⁾ に随時更新されており、2018年11月初旬時点で査読論文に投稿、掲載あるいは受理された論文が90編近くあり、また総引用数も1,300本を超えている。非常に良いペースであり、ほぼ全ての論文が90夜のデータに基づいていることを考えると、1夜の HSC データで論文1本のペースを保っていると言える。ごく最近には、HSC-SSP のデータを用いた弱重力レンズの測定による、ダークマターおよびダークエネルギーを制限した精密宇宙論の論文も投稿されたところである¹⁵⁾。さらに、公開した PDR1 のデータ・カタログも世界中の天文学者に使われており、注目を集めている。このように HSC-SSP は極めて順調に進んでいると言えるだろう。

9. 国際共同研究の運用

繰り返しになるが、HSC-SSP 国際共同研究は日本、台湾、プリンストン大学から総勢200名を超える研究者グループで運営している。言葉の壁はもちろんであるが、文化の違い、地理的、時差でも不便などところもあるので、共同研究内でルールを決め、各自それに同意し、それに従い研究を進めている。基本的にメールや定期的な電話会議で日常の議論は進め、年1回程度の共同研究会議でHSC-SSP計画全体の進捗状況、課題、また各サイエンスの進捗等を報告、議論する場を持っている。2年に1度は日本で開催し、それ以外はプリンストンか台湾で会議を開催している。これ以外にも各研究グループが独自にワークショップなどを開催している。関心のある方のために、共同研究を進めるうえで使っている主な媒体は以下のとおりである。

- ウィキ (wiki). (<http://hscsurvey.pbwiki.com>). 共同研究のポリシー、共同研究に関する情報、資料、電話会議、会議での発表資料の置き場。
- メーリングリスト。国際共同研究全体、観測装置、パイプライン、各サイエンスワーキンググループのメーリングリスト。
- HSC オフィシャルホームページ¹³⁾。ここからデータベースへのリンクもある。

わかりづらい場合は筆者まで問い合わせさせていただきたい。基本的にすべての情報は共有する、また誰でも新しいサイエンスを全体に提案し、共同研究プロジェクトを立ち上げることができ、実際に成果を出した方が筆頭著者になり、論文を出版することを推奨するという方針を採用している。また、研究を進めるうえでも、進捗状況はHSC-SSP チーム内に随時報告し、論文のドラフトを準備した場合にはまず共同研究内で回覧し、3週間の内部審査を行うなどのルールを設けている。これまでのところ、大きな問題はなく、円滑に共同研究を進められていると言える。本記事で特に強

調したいのは、日本のパスポートを所有する研究者、あるいは日本の研究機関に属する研究者であれば、HSC-SSPの内部データにアクセス権があり、またサイエンスプロジェクトに誰でも参加できる権利を有していることである（共同研究ポリシーに賛同していただけるという条件付きですが）。興味のある方はこの機会に是非登録してみてください。まずは上記のwikiページにアクセスし、共同研究ポリシーを注意深く読んでいただき、賛同していただいた場合にはwikiのトップページにある“Information for new members”のページをチェックされることをお勧めします。

10. おわりに

HSC-SSP サーベイはまだ始まったばかりである。HSC-Wideについてはこれから約10倍程度のデータ、HSC-Deep、UDについてもより深いデータ、長波長側の狭帯域フィルターのデータ、また超新星サーベイのデータも出てくる。すばるの次世代超広視野多天体分光器 Prime Focus Spectrograph (PFS) も開発を順調に進めている。PFSは、HSCの補正光学系を共有し、HSCカメラの代わりに多天体ファイバー分光器を搭載し、直径1.3度の広視野のなかで約2,400個の天体を同時に分光することを可能にする非常にユニークな装置である。HSCとPFSを組み合わせることで、例えば、宇宙論であればダークマターの分布と銀河の3次元分布が赤方偏移で2.4程度まで得られ、系外銀河であればHSCの高解像度画像に加えて、各銀河の分光データから年齢、ガスの物理状態などの定量的な情報が得られ、銀河考古学であれば矮小銀河のメンバー星の視線速度からダークマターの空間分布をより正確に求めることができる。このようにHSCとPFSで挑むことができるサイエンスのテーマは天文学から物理学と非常に幅広く、この成果ですばるのサーベイ天文学で世界をリードできる絶好のチャンスであ

る。さらに、今までにない広天域かつ深い宇宙の撮像・分光サーベイを行うので、非常に希な銀河などの天体を見つることができ、それらの天体は日本も参画する次期大型計画30 m望遠鏡 (TMT) で追観測する絶好のターゲットである。是非、すばる HSC, PFS に参加し、すばるで天文学を盛り上げましょう！

謝 辞

HSC-SSP は、科学研究費特定領域研究「広視野深宇宙探査によるダークエネルギーの研究」(代表: 唐牛宏)、最先端研究開発支援プログラム (FIRST: 代表村山齊) など多くのサポートを受けてきた。また、HSC-SSP の実現には、すばるコミュニティーに属する多くの天文学者から支援なしには不可能であり、暖かいご支援をいただいている。さらに、ハワイ観測所の皆様、三鷹の HSC の関係者の皆様にも、HSC-SSP の観測を行ううえでスケジューリング、また毎晩の観測についてサポートしていただいている。この場を借りて、多くの皆様に感謝を申し上げたい。最後に、本稿執筆の機会を与えてくださった編集委員の小宮山裕さんに厚く御礼を申し上げるとともに、締め切りを何度も守れなかったことについてお詫びも申し上げたい (本当にすみません)。

参考文献

- 1) Miyazaki, S., et al., 2018, PASJ, 70, S1
- 2) 宮崎聡, 2019, 天文月報, 112, 80
- 3) PASJ の HSC 特集号は <https://academic.oup.com/pasj/issue/70/SP1> (2018.11.22)
- 4) Aihara, H., et al., 2018, PASJ, 70, S4
- 5) HSC-SSP のプロポーザルは http://member.ipmu.jp/masahiro.takada/proposal_rv.pdf (2018.11.22)
- 6) より詳しい HSC サイエンスの検討白書については http://member.ipmu.jp/masahiro.takada/hsc_main.pdf (2018.11.22)
- 7) Kawanomoto, S., et al., 2018, PASJ, 70, 66
- 8) Furusawa, H., et al., 2018, PASJ, 70, S3
- 9) 古澤久徳, 2019, 天文月報, 112, 97
- 10) Bosch, J., et al., 2018, PASJ, 70, S5
- 11) 例えば, SDSS の測光アルゴリズムのノートとして, Lupton R. H., et al., <https://www.astro.princeton.edu/~rhl/photo-lite.pdf> (2018.11.22) は有名である
- 12) 小池美知太郎, 2019, 天文月報, 112, 113
- 13) <https://hsc.mtk.nao.ac.jp/ssp/> (2018.11.22)
- 14) Aihara, H., et al., 2018, PASJ, 70, S8
- 15) Hikage, C., et al., 2018, arXiv:1809.09148

Overview of the Subaru Hyper Suprime-Cam SSP Survey

Masahiro TAKADA

Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, UTIAS, the University of Tokyo

Abstract: The Subaru Strategic Survey program using the Hyper Suprime-Cam (HSC-SSP) is an international collaboration project that is the ever largest program conducted with the Subaru telescope spending its 300 nights for 5 years duration. In this article, we briefly describe the overview of HSC-SSP: the main scientific objectives, the overview of survey design (the area coverage, depth and filters), the survey fields, the survey strategy, the early-year science results and the structure and management of the international collaboration.