

すばる望遠鏡次世代広視野撮像装置Hyper Suprime-Camによる 太陽系小天体サーベイ

寺居 剛¹⁾・吉田二美¹⁾・HSCサーベイ太陽系グループ

¹⁾ 国立天文台

Hyper Suprime-Cam Survey for Small Solar System Bodies

Tsuyoshi TERAII¹⁾, Fumi YOSHIDA¹⁾, and HSC Solar System Science Group

Abstract

Hyper Suprime-Cam (HSC) is the next-generation optical imaging camera of the Subaru Telescope, which covers 1.5-degree field of view in diameter. The collaboration team involving astronomers from Japan, Taiwan, and Princeton University has been proposed to carry out an extensive wide-field imaging survey with HSC to explore dark matter and galaxy evolution. The HSC survey data could detect a large number of small solar system bodies and provide new insights into the origin and formation of the Solar System.

Key Words: asteroids, trans-neptunian objects, comets, surveys

1 背景

太陽系小天体の起源と進化は、惑星形成過程を探る上で極めて重要な研究課題である。小天体の各グループが持つ軌道分布、サイズ分布、物質分布から、それらの形成領域や力学進化、衝突進化、化学進化に関する情報を得ることができる。

小天体の分布を系統的に調査し、その特徴を理解するためには、大規模なサーベイ観測を行うことによって無バイアスのサンプルを多数取得することが有効である。これまでに行われた代表的な大型サーベイには、3,700平方度から小惑星59,000個を検出したSpacewatch¹⁾、500平方度から小惑星13,000個を検出したSloan Digital Sky Survey (SDSS)²⁾、375,000平方度から近地球天体1,300個を検出したLincoln Near-Earth Asteroid Research (LINEAR)³⁾、321平方度から太陽系外縁天体169個を検出したCanada-France Ecliptic Plane Survey (CFEPS)⁴⁾などがある。

すばる望遠鏡の可視広視野撮像装置Subaru Prime Focus Camera (Suprime-Cam)⁵⁾も、そのようなサーベイ観測に威力を発揮する装置である。8.2mの大口径で達成される限界等級で30分角の視野（満月の視直径に相当）を一度に撮像することができ、広域深遠サーベイに大変適している。これまでメインベルト小惑星⁶⁻⁹⁾、木星トロヤ群¹⁰⁻¹¹⁾、外縁天体¹²⁻¹⁴⁾など、微小／遠方の小天体探査に活躍し、多くの成果を挙げている。一例に、微小メインベルト小惑星と月の高地クレーターのサイズ分布の一致から、38億年前にメインベルトから

大量の小惑星が内側領域に落下したことが明らかにされた¹⁵⁾。

2 Hyper Suprime-Camサーベイ

Suprime-Camの性能をさらに向上させた次世代装置がHyper Suprime-Cam (HSC)¹⁶⁾である。HSCには116枚ものCCD素子が搭載されており、Suprime-Camの7倍に相当する1.77平方度という、口径8-10mの大型望遠鏡としては圧倒的に広い視野を持つ（図1）。すでに装置の組み上げは完了しており、2012年8月にエンジニアリング・ファーストライトを終えた。

HSCの高いサーベイ能力を生かし、すばる望遠鏡戦略枠による超広域深遠サーベイ計画（以下、HSCサーベイ）が日本、プリンストン大学、台湾の国際共同で進められている。本サーベイは、Wide（1,400平方度、限界等級 $r \sim 26$ 等）、Deep（27平方度、限界等級 $r \sim 27$

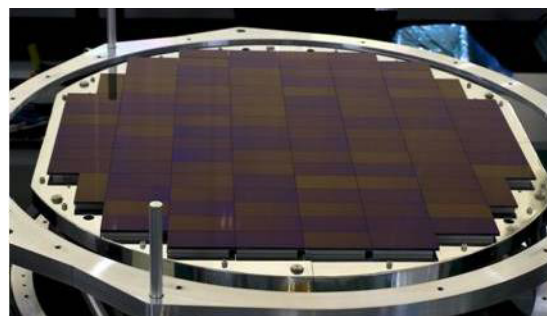


図1. Hyper Suprime-Camの焦点面に配置された116枚のCCD素子。

等)、Ultra-deep (3.5平方度、限界等級 $r \sim 28$ 等)の3つのレイヤーから成り、5種類の広帯域フィルター(g 、 r 、 i 、 z 、 y バンド)および4種類の狭帯域フィルター(Deep, Ultra-deepサーベイのみ)を用いて観測される。5年間で300夜を要求し、2013年後期からの開始を予定している。重力レンズ効果の測定によるダークマターおよび銀河進化の研究が主要な目的だが、その他にも多数の天文分野の研究グループが参加している。我々太陽系小天体研究グループも計画当初からサーベイ検討会に参加し、サーベイデザインについて議論を行ってきた。

HSCサーベイの観測領域はほとんどが黄緯 ± 30 度以内であり、一部は黄道面上に位置しているため、多数の太陽系小天体を検出することが期待される(図2)。 g 、 r バンドデータは積分時間10分を3回に分けて取得し、 i 、 z 、 y バンドデータは積分時間20分を6回に分けて取得されるが、同じ領域をどのような時間間隔で観測するかによって、天体検出や軌道推定の可能な小天体グループが異なる。次章にHSCサーベイのデータを用いた太陽系小天体サイエンスを挙げるが、実現の可否は今後決定されるサーベイパラメータに大きく依存する。

3 太陽系小天体サイエンス

HSCサーベイ太陽系グループには日本、台湾、プリンストン大学の研究者が多数参加しており、以下のように近地球天体から外縁天体まで幅広いサイエンスが提案されている。

- ・近地球天体の起源
- ・初期太陽系での大惑星の移動の証拠
- ・小天体の衝突進化
- ・外縁天体の力学的構造の起源
- ・カイパーベルトでの衛星形成率
- ・高速自転小惑星の形成メカニズム
- ・天体密度の推定
- ・隕石の起源
- ・木星族彗星の起源
- ・惑星X探査
- ・メインベルト彗星の探査

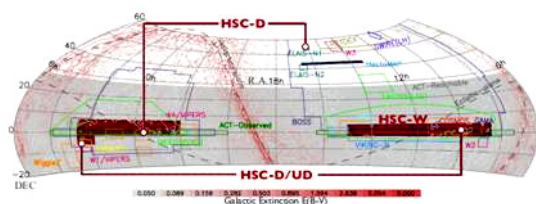


図2. HSC 戦略的サーベイの観測領域。

測定される物理量データとしては、Wide/Deepサーベイではサイズ分布やカラー分布、Ultra-deepサーベイでは光度曲線などがある。これに加え、バイナリー天体や彗星活動などの検出、さらには未知の希少天体や突発現象の発見も期待される。1回の撮像で得られる画像の限界等級は、メインベルト小惑星(移動速度 $\sim 30-45$ 秒角/時)では $r \sim 24$ 等、外縁天体(移動速度 ~ 3 秒角/時)では $r \sim 25$ 等である。黄道面における1視野あたりの検出数は、メインベルト小惑星で450個程度、木星トロヤ群で30個程度、外縁天体で20個程度と見積もられる。

太陽系小天体のキーサイエンスは、ニース・モデルなどによって提唱されている巨大惑星の大移動¹⁷⁾と、それにとまう小天体の大規模軌道進化の解明¹⁸⁻²⁰⁾である。木星トロヤ群と外縁天体間のサイズ分布の類似性や、外縁天体のサイズ分布およびカラー分布の軌道傾斜角依存性を高い精度で測定し、巨大惑星領域における小天体の軌道進化を探る。

HSCサーベイは先行研究を遙かに凌駕する強力な超広域撮像観測である。その膨大なデータをうまく活用することにより、様々な太陽系小天体研究を大きく進展させる可能性を持っている。今後、さらなる議論と準備を積み重ね、可能な限り多くのサイエンスを実現させたい。

参考文献

- 1) Jedicke, R. and Metcalfe, T. S., *Icarus*, 131, pp.245-260, 1998.
- 2) Ivezić, Ž. et al., *AJ*, 122, pp.2749-2784, 2001.
- 3) Stuart, J. S. et al., *Science*, 294, pp.1691-1693, 2001.
- 4) Petit, J.-M. et al., *AJ*, 142, 131, 2011.
- 5) Miyazaki, et al., *PASJ*, 54, pp.833-853, 2002.
- 6) Yoshida, F. et al., *PASJ*, 55, pp.701-715, 2003.
- 7) Yoshida, F. and Nakamura, T., *Planetary and Space Science*, 55, pp.1113-1125, 2007.
- 8) Dermawan, B. et al., *PASJ*, 63, pp.555-576, 2011.
- 9) Terai, T. and Itoh, Y., *PASJ*, 63, pp.335-346, 2011.
- 10) Yoshida, F. and Nakamura, T., *AJ*, 130, pp.2900-2911, 2005.
- 11) Yoshida, F. and Nakamura, T., *PASJ*, 60, pp.297-301, 2008.
- 12) Yamamoto, N. et al., *PASJ*, 60, pp.285-291, 2008.
- 13) Fuentes, C. I. et al., *ApJ*, 696, pp.91-95, 2009.
- 14) Fraser, W. C. et al., *Icarus*, 210, pp.944-955, 2010.
- 15) Strom, R. G. et al., *Science*, 309, pp.1847-1850, 2005.
- 16) Miyazaki, S. et al., *Proceedings of the SPIE*, 8446, 84460Z-84460Z-9, 2012.
- 17) Tsiganis, K. et al., *Nature*, 435, pp.459-461, 2005.
- 18) Morbidelli, A. et al., *Nature*, 435, pp.462-465, 2005.
- 19) Gomes, R. S., *Icarus*, 161, pp.404-418, 2003.
- 20) Levison, H. F. et al., *Icarus*, 196, pp.258-273, 2008.

(2012年11月26日受付, 2013年1月15日受理)