

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：92636

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16K05310

研究課題名（和文）すばる望遠鏡HSCによる直径100m以下小惑星のサイズ分布の解明

研究課題名（英文）Clarification of size distribution for 100 m-sized asteroid by using Subaru HSC

研究代表者

浦川 聖太郎（Urakawa, Seitaro）

特定非営利活動法人日本スペースガード協会（スペースガード研究センター）・スペースガード部門・主任研究員

研究者番号：80647842

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：Hyper Suprime-Cam(ハイパー・シュプリーム・カム、HSC)は口径8.2mのすばる望遠鏡に導入された視野直径1.5度の超広視野カメラである。本研究では、HSCを用いてこれまで観測されていなかった直径100mサイズクラスの小惑星の発見を行ない、そのサイズ分布の導出を目指す。この目的を達成するために、小惑星の検出、位置測定、測光を効率的に行うアプリケーションを開発した。このアプリケーションにより4141個の小惑星を発見し、その位置情報と測光結果を小惑星情報を国際的に一元的に管理しているMinor Planet Centerへ報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小惑星の検出・位置測定・測光を行うアプリケーションの開発を行った。1801年に初めて小惑星が発見されて以来、これまでおよそ100万の小惑星が発見されている。すばる望遠鏡HSCと本研究のアプリケーションを用いることで1晩の観測で4141個の小惑星が発見できた。この研究は、小惑星研究の元となる小惑星の軌道情報を解明するものである。また、小惑星の中には地球に近づき衝突するものもある。このような小惑星の軌道を解明し、防災に役立てる活動をスペースガードという。本研究は、スペースガードの点でも社会的意義を有するものである。

研究成果の概要（英文）：Hyper Suprime-Cam (HSC) is a super wide field camera mounted with the prime focus of 8.2 m Subaru telescope. The field of view covers the area of 1.5 deg in diameter by 104 CCD chips. This study purposes to discover 100 m-sized asteroids in diameter, and to clarify the size distribution. In order to discover asteroid efficiency, we developed "Asthunter", which is an application system for detecting, measuring coordinates, photometry, and reporting to the MPC about asteroids imaged in the HSC. By using the Asthunter, we discovered 4141 asteroids and reported the astrometry and photometry information to the Minor Planet Center.

研究分野：惑星科学・天文学

キーワード：小惑星 スペースガード 測光 位置測定 アーカイブ

1. 研究開始当初の背景

小惑星は太陽系形成初期に存在した、微惑星と呼ばれる小天体の生き残りである。小惑星に対する理解を深めることが太陽系形成過程解明への第一歩となる。小惑星の基本情報の一つが、そのサイズ分布である。小惑星のサイズ分布は、近年の広視野サーベイ観測で明らかになってきた。米国では WISE(赤外線宇宙望遠鏡)を用いた観測を行い、直径 300m 以上の NEO(Near Earth Object、地球接近天体)のサイズ分布を明らかにした[1]。国内では、すばる望遠鏡の広視野カメラ(シュプリーム・カム)を用いて、直径 500m 以上の MBA(Main Belt Asteroid、軌道長半径 2.1au-3.5au の小惑星)のサイズ分布を明らかにした[2]。しかし、直径 100m 以下に及ぶ小惑星のサイズ分布は明らかになっていない。Hyper Suprime-Cam(ハイパー・シュプリーム・カム、HSC)は口径 8.2m のすばる望遠鏡に導入された視野直径 1.5 度の超広視野カメラである。これほどの広視野カメラを備えた大口径望遠鏡は世界に類がなく、天文学・惑星科学に新たな知見をもたらすものと強く期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、HSC を用いてこれまで観測されていなかった小惑星の発見を行う。その結果から、直径 100m 以下にまで及ぶ小惑星のサイズ分布の導出を目指す。観測対象は NEO、ハンガリア群小惑星、MBA である。異なる軌道グループのサイズ分布を比較する事により、小惑星の力学進化・衝突メカニズムに対し新たな観測的証拠を得る。

3. 研究の方法

本研究は、スペースガード(NEO の発見・監視を行う活動)に密接に関連している。所属機関である日本スペースガード協会では、NEO を初めとする小惑星の検出、位置測定、測光を行うアプリケーションを用いて日々の観測を行なっている。本研究では、このアプリケーションを HSC 用に改良し、効率的な小惑星の検出を行う。

4. 研究成果

すばる HSC データに適応させた小惑星検出アプリケーション(仮称: AstHunter)の初期開発が完了した(図 1)。AstHunter では、小惑星の自動検出、位置測定、測光を行うことができる。HSC の様なビックデータを扱うには、機械学習を用いた手法を採用することが考えられる。しかし、AstHunter では GUI(Graphical User Interface)を用いる事により視覚的に小惑星の検出結果の確認作業を行なっている。この手法は、一見、非効率的に感じるが、小惑星のうち NEO は、移動方向や移動速度が定まっていない。また、観測データは様々な条件(露出時間・フィルター・天候)で取得されるため、データの質は一定でない。つまり、機械学習の元となる教師データを定めにくい。このため、人の目による視覚的な確認方法(GUI)を採用することとした。GUI を用いる利点として、研究者以外の広く様々なユーザーにとっても扱いやすくなる点があげられる。例えば、AstHunter を、一般の市民や学生が用いることで、教育や天文普及の分野にも応用できるものとする。

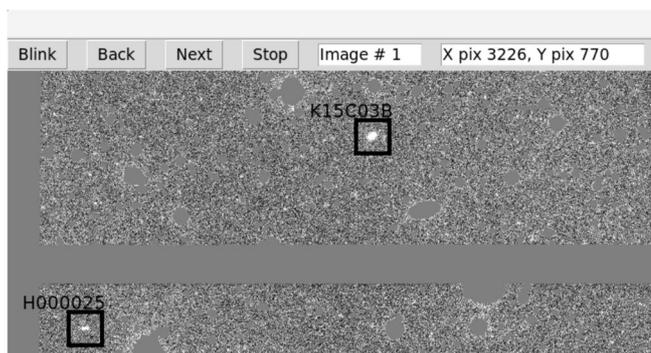


図 1. 開発アプリケーションの一部。H00025 は新たに発見した小惑星である。また、K15C03B は既知の小惑星である。いずれの小惑星も自動検出されている。

例えば、AstHunter を、一般の市民や学生が用いることで、教育や天文普及の分野にも応用できるものとする。

AstHunter を用いて、HSC の観測データから小惑星の検出、位置測定、測光を行う試験を行った。試験観測データは 2015 年 1 月 26 日に共同研究者として HSC で観測を行ったデータである(PI: 吉田二美氏)。この観測では、黄道面付近の 16 平方度の領域を、g バンドと r バンドのフィルターで、それぞれ 5 回観測を行なっている(露出時間 240 秒)。

AstHunter を用いた解析により、

4141 天体の未発見の小惑星候補を検出した。また、既知の 874 天体の小惑星を検出した。この結果を、小惑星の観測結果を一元的に管理している Minor Planet Center(マイナープラネットセンター、MPC)に報告した。発見候補天体に関しては、一夜だけの観測では発見と認定されないが、将来、小惑星が発見され、その軌道を遡ったときに今回報告した天体と軌道が同定されれば、軌道精度の大幅な向上に寄与できる。また、報告した既知天体のデータはすでに軌道精度の向上に寄与できている。MPCに報告した天体は、一夜だけの観測であるので、その正確な軌道はわからない。しかし、簡易的な軌道グループの推定は可能である。軌道導出アプリケーション(FindOrb)を用いて推定した結果、報告した天体の約 90%が MBA、7-8%がハンガリア群小惑星、2-3%が NEO であった。図 2 に、MPC に報告した小惑星の等級分布を示す。24.2 等級までの小惑星が観測バイアスの低い状況で検出されている。これは 24.2 等級までの小惑星は、サイズ分布の推定に用いることができることを示している。小惑星のアルベドを 0.1、軌道長半径を 2.5au と仮定すると、その直径はおよそ 200m である。試験観測データでは当初の目標であった直径 100m のサイズ分布の導出は難しいものの、これまでの直径 500m のサイズ分布を十分に上回る結果となった。当初の予定より、アプリケーション開発に時間を要したために、詳細なサイズ分布の決定までには至らなかったが、今後も増え続ける HSC の観測データに対して AstHunter や後述する COIAS で解析することにより、さらに詳細な小惑星のサイズ分布の導出が行える。

AstHunter の開発は、引き続き採択された科研費研究(20K04021)の中で継続され、よりユーザビリティの高い COIAS というアプリケーションへと進化している。また、本研究の研究期間中に、2012 TC4 という小惑星が地球へ約 5 万 km まで接近した。地球接近天体の物理状態の解明は、本研究の課題とも重複する部分である。2012 TC4 に対して、木曽観測所をはじめとする国内の様々な天文台で観測を行った。その結果、この小惑星が自転周期 8.47 分、歳差周期 12.25 のタンプリング運動をしていることが分かった。また、その反射スペクトルが X-type であることを導出した[3]。

参考文献:[1]Mainzer et al., 2011, ApJ, 743, 156. [2]Yoshida, et al., 2003, PASJ, 55, 701. [3]Urakawa et al., 2019, AJ, 157, 155. [

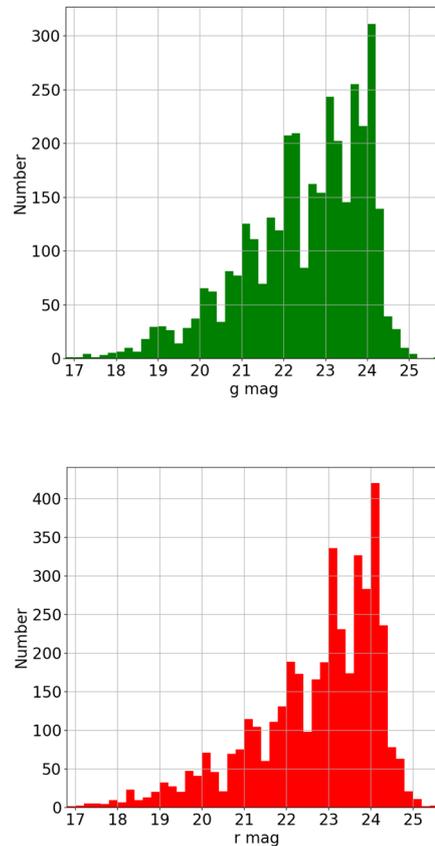


図 2. g バンドと r バンドにおける等級分布。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Urakawa Seitaro, Ohsawa Ryou, Sako Shigeyuki, Okumura Shin-ichiro, Sakurai Yuri, Takahashi Jun, Imamura Kazuyoshi, Naito Hiroyuki, Watanabe Fumitake, Nagayoshi Ryoma, Murakami Yasuhiko, Okazaki Ryo, Sekiguchi Tomohiko, Ishiguro Masateru, Michikami Tatsuhiro, Yoshikawa Makoto	4. 巻 157
2. 論文標題 Shape and Rotational Motion Models for Tumbling and Monolithic Asteroid 2012 TC4: High Time Resolution Light Curve with the Tomo-e Gozen Camera	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 155 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab09f0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 浦川 聖太郎	4. 巻 110
2. 論文標題 地球接近天体の観測的研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astronomical Herald	6. 最初と最後の頁 97,104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 浦川聖太郎・大澤亮・酒向重行・奥村真一郎・櫻井友里・高橋隼・今村和義・内藤博之・渡辺文健・永吉竜馬・村上恭彦・岡崎良・関口朋彦・石黒正晃・道上達広・吉川真
2. 発表標題 地球接近天体2012TC4母天体における衝突イベント時期の推定
3. 学会等名 日本惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seitaro Urakawa・Ryou Ohsawa・Sako Shigeyuki・Shin-ichiro Okumura・Yuri Sakurai・Jun Takahashi・Kazuyoshi Imamura・Hiroyuki Naito・Ryo Okazaki・Tomohiko Sekiguchi・Masateru Ishiguro・Makoto Yoshikawa
2. 発表標題 Observation of near-Earth object 2012 TC4; The high-time resolution lightcurve with the Tomo-e Gozen camera
3. 学会等名 IAU General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦川聖太郎・大澤亮・酒向重行・奥村真一郎・櫻井友里・高橋隼・今村和義・内藤博之・岡崎良・関口朋彦・石黒正晃・吉川真
2. 発表標題 地球接近天体2012 TC4の観測 -Tomo-e Gozen カメラを用いた高時間分解ライトカーブ
3. 学会等名 JpGU 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦川聖太郎・大澤亮・酒向重行・奥村真一郎・櫻井友里・高橋隼・今村和義・内藤博之・岡崎良・関口朋彦・石黒正晃・吉川真
2. 発表標題 地球接近天体2012 TC4の可視近赤外観測: 木首広視野カメラ「Tomo-e Gozen」を用いた高時間分解ライトカーブ
3. 学会等名 日本惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Urakawa, K.Ohtsuka, S.Abe, D.Kinoshita, H.Hanayama, T.Miyaji, S.Okumura, K.Ayani, S.Maeno, D.Kuroda, A.Fukui, N.Narita, G.L.Hashimoto, Y.Sakurai, S.Nakamura, J.Takahashi, T.Tanigawa, O.Burhonov, K.Ergashev, T.Ito, F.Yoshida, M.Watanabe, M.Imai, K.Kuramoto, T.Sekiguchi, M.Ishiguro
2. 発表標題 Observation of near-earth object (1566) and the split candidate 2007 MK6
3. 学会等名 Asteroid Meteor Comet (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦川聖太郎, 関口朋彦
2. 発表標題 ALMAによる太陽系天体の観測提案
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦川聖太郎、高橋隼、内藤博之、櫻井友里、酒向重行、大澤亮、柳沢俊史、奥村真一郎、吉川真
2. 発表標題 2012 TC4の可視近赤外観測でわかること
3. 学会等名 第10回スペースガード研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦川 聖太郎、奥村 真一郎、吉川 真
2. 発表標題 地球衝突天体を発見した時、我々はどのように対応すべきか
3. 学会等名 日本惑星科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦川 聖太郎、奥村 真一郎、吉川 真
2. 発表標題 地球衝突天体を発見した時、我々はどのように対応すべきか
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦川 聖太郎
2. 発表標題 球接近小天体(1566) Icarusとその分裂候補天体2007 MK6の観測
3. 学会等名 日本惑星科学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 浦川 聖太郎
2. 発表標題 地球接近小天体(1566)Icarus・2007 MK6の観測キャンペーン
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 浦川 聖太郎
2. 発表標題 天体衝突から人類を守るためのスペースガード
3. 学会等名 第10回宇宙ユニットシンポジウム「宇宙研究のひろば」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦川 聖太郎
2. 発表標題 小惑星の形状解析
3. 学会等名 ALMAによる太陽系天文学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦川 聖太郎
2. 発表標題 地球接近小天体(1566)Icarusとその分裂候補天体2007 MK6の観測
3. 学会等名 第9回スペースガード研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------