

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：92636

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01261

研究課題名(和文) 高速移動天体の検出による微小天体サイズ分布の解明

研究課題名(英文) Study on size distribution of small solar system bodies by detecting fast moving objects

研究代表者

奥村 真一郎 (Okumura, Shin-ichiro)

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：40344270

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：小サイズの太陽系小天体における軌道進化やその起源の解明には微小サイズに至る小惑星のサイズ分布が重要な情報となる。サイズ分布を明らかにするための手段として東京大学木曾観測所トモエゴゼンカメラ、高速移動天体検出システム(重ね合わせ法)をそれぞれ開発し、これまでに各々49個、11個の微小な地球接近小惑星を発見した。また、さらに暗く小さい地球接近小惑星の検出を可能にするためトモエゴゼンカメラのデータに重ね合わせ法を適用させるためのシステムを構築した。また、候補天体を見失わないうちに軌道を確定させるために美星スペースガードセンターの望遠鏡で即時に追跡観測するシステムも構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小サイズに至るまでの天体のサイズ分布を明らかにすることは小天体の衝突・分裂の履歴や軌道進化などを解明するための手掛かりとなり、その母天体の物理や進化をさぐるための情報となる。また数十メートルサイズの地球接近小惑星は小サイズとは言え地球に衝突した際には少なからず被害が生じる。このような天体を多く発見することは、天体の地球衝突問題(Planetary Defense)に対しても大きく寄与することになる。

研究成果の概要(英文)：The size distribution of small asteroids is important information for understanding the orbital evolution or origin of small solar system bodies. To clarify the size distribution, we developed Tomo-e Gozen camera at the Kiso Observatory of the University of Tokyo and a fast-moving object detection system (stacking method), 49 and 11 small near-Earth asteroids were discovered, respectively. In addition, we constructed a system to apply the stacking method to the Tomo-e Gozen camera to enable the detection of fainter and smaller near-Earth asteroids. We also built a system for rapid follow-up observations with the telescope at the Bisei Spaceguard Center to determine the orbit of the candidate object before it is lost.

研究分野：天文学

キーワード：太陽系小天体 地球接近天体 高速移動天体 重ね合わせ法 CMOSカメラ

1. 研究開始当初の背景

直径数十 m という微小サイズの小惑星の構造や軌道進化の仕組みは直径の大きな小惑星の場合と著しく異なり、その素過程を議論するためには直径数十 m にまで及ぶサイズ分布の解明が強く期待されている。10 年ほどの間にシステムティックなサーベイ観測や大型望遠鏡での観測により 50–60m クラスの地球接近小惑星(NEO)の発見数が増加し、直径 100 m 以下の NEO が潜在的に多く存在する可能性が示唆されていた。しかし、大望遠鏡と CCD 素子を使って暗い小惑星を検出しようとする試みはあくまでも「動きの遅い」小惑星がターゲットであった。直径数十 m という微小サイズの小惑星は地球に近づいた時のみ検出できる明るさになるが、同時に移動速度が大きくなるためにこれまでの観測手法では効率良く検出できず、サイズ分布の議論ができる段階まで至っていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、地球に近づいて来た微小サイズの小惑星を検出することにより、NEO のサイズ分布を直径数十 m に至る範囲まで明らかにすることを目指す。多くの観測チームにより数百 m サイズの NEO やメインベルト小惑星の観測が進んでいる中、我々はそれらを凌駕する、さらに小さいサイズの NEO についてサイズ分布を求める。これによって、太陽系小天体の軌道進化やその起源を解明することが目的である。

3. 研究の方法

本研究の目的は、小サイズの地球接近小惑星を数多く検出しそのサイズ分布を求め、太陽系小天体の軌道進化やその起源を解明する事である。直径数十 m 程度の小サイズの天体は非常に暗く、地球接近時でなければ検出できる明るさにならないが、地球接近時には高速で移動するため露出中に検出器の素子間を移動してしまい検出感が悪くなる「トレイルロス」が生じるため CCD 素子を使って長い露出をかけるという通常の観測手法では検出が難しい。東京大学木曾観測所で開発した超広視野カメラ「Tomo-e Gozen」は CMOS 素子を使用しているため高速読み出しが可能であり、高速移動する天体に対しても「トレイルロス」の影響を受けにくい。また、JAXA で開発された「重ね合わせ法」は短時間露出の画像を多数枚取得し、様々な方向と速度を仮定してずらしながら足し合わせることで移動天体に対して高感度を達成するという画像処理法であり、同様に「トレイルロス」の影響を受けない。

「Tomo-e Gozen」は高速読み出しにより短時間露出の画像を次々と出力するという運用をするため、「重ね合わせ法」との相性が良い。これら二つの技術要素を組み合わせること、すなわち「Tomo-e Gozen」の観測データに「重ね合わせ法」を適用する相乗効果により移動天体の検出感度をさらに上げることができる。大望遠鏡でも見逃してしまうような高速移動する小さな地球接近小惑星を口径 1m の望遠鏡でも大量に検出することが可能となる。発見された NEO 候補天体については速やかに追加の位置測定データを取得しなければ見失ってしまうので、見失わないためには発見後、即時の追跡観測が必要となる。追跡観測には 365 日稼働している美星スペースガードセンターの望遠鏡を用い、観測地点の違いによる視差も考慮しながら木曾観測所 Tomo-e Gozen で発見時のデータを用いて位置を外挿し、観測を実施する。

4. 研究成果

(1) Tomo-e Gozen カメラの開発

東京大学木曾観測所 Tomo-e Gozen カメラは 2015 年よりプロトタイプによる試験観測を開始、変動天体や移動天体など時間変動の観測に力を発揮することが実機の完成を待たずしてすでに実証された。実機は 2019 年 4 月に完成[1]、その直前 3 月の試験観測中に初の NEO(2019FA)を発見、その後も発見は続きこれまでに 49 個の NEO を発見した(図 1)。また、高速撮像の利点を生かした観測で微小 NEO のライトカーブ観測を実施、NEO のサイズと高速自転との関係について成果をあげている[2, 3]。

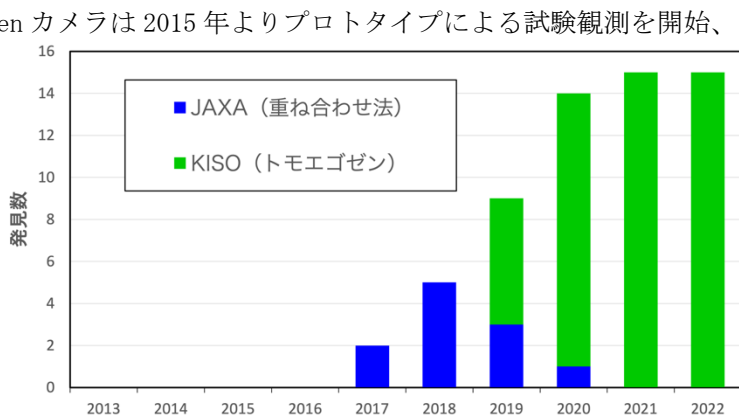


図 1 最近の 10 年間の国内での NEO 発見数

(2) 重ね合わせ法の開発

JAXA で開発された高速移動天体検出システム(重ね合わせ法) [4]はさまざまな移動方向、さまざまな移動速度を仮定してずらしながら足し合わせるため多大なマシンパワーが必要であったが、アルゴリズムの最適化により処理の高速化を実現した[5]。また、2017年から2020年にかけて、20cmクラスの小望遠鏡を用いた観測に重ね合わせ法を適用することにより11個のNEOを発見している(図1)。

(3) 重ね合わせ法の Tomo-e Gozen カメラへの適用

2019年度に木曽観測所に専用計算機を導入し、JAXA で開発した重ね合わせ法を導入した。Tomo-e Gozen カメラのデータ処理に向けたプログラムの改修・最適化を実施、CMOS 84 チップのうち半分の42チップ分に限定すればリアルタイムに近い速度で処理が可能となった。さらに Tomo-e Gozen カメラから本解析システムに観測データを取り込むインターフェイスを開発した。

(4) Tomo-e Gozen カメラ + 重ね合わせ法 の試験運用と追跡観測

2021年9月より試験運用を実施、多くの移動天体がこのシステムで検出できていることを確認した。大量に検出される人工天体については、カタログを参照し既知のものはすぐに同定できるシステムを組み込んだ。また本研究課題の最も重要な部分となる、検出した候補天体の軌道を定めるための即時追跡観測については美星スペースガードセンターを用いて2022年5月に追跡観測に成功した。

(5) 今後の展開

専用計算機を強化し、84枚のCMOS全てのデータをリアルタイムで解析が可能となるように改修を予定している。また、即時追跡観測を実施する際の手順についてはさらに検討・改良しながら実観測を進めてゆく。

<引用文献>

- [1] S. Sako, R. Ohsawa, S. Okumura, M. Yoshikawa, et al., SPIE, 10702, 10702J (2018)
- [2] S. Urakawa, R. Ohsawa, S. Sako, S. Okumura, M. Yoshikawa, et al., AJ, 157, 155 (2019)
- [3] J. Beniyama, S. Sako, R. Ohsawa, S. Okumura, M. Yoshikawa, et al., PASJ, 74, 877 (2022)
- [4] T. Yanagisawa, et al., PASJ, 57, 399 (2005)
- [5] T. Yanagisawa, T. Ikenaga, Y. Sugimoto, K. Kawatsu, M. Yoshikawa, S. Okumura, and T. Ito, IEEE Aerospace Conference, (2018) (DOI: 10.1109/AERO.2018.8396725)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Arimatsu Ko, Ohsawa Ryou (2th), Urakawa Seitaro (4th), Okumura Shin-ichiro (27th), Sako Shigeyuki (28th), Takahashi Hidenori (33th), Yoshikawa Makoto (38th)、他31名	4. 巻 158
2. 論文標題 New Constraint on the Atmosphere of (50000) Quaoar from a Stellar Occultation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 236 ~ 236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab5058	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 -
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 -
1. 著者名 Richmond Michael W., Sako, Shigeyuki (4th), Ohsawa, Ryou (5th), Okumura, Shin-ichiro (27th), Takahashi, Hidenori (33th), Urakawa, Seitaro (36th), Yoshikawa, Makoto (40th), 他33名	4. 巻 72
2. 論文標題 An optical search for transients lasting a few seconds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id.3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz120	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 Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Okumura Shin-ichiro, Urakawa Seitaro, Yoshikawa Makoto, et al.	4. 巻 10702
2. 論文標題 The Tomo-e Gozen wide field CMOS camera for the Kiso Schmidt telescope	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 107020J
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2310049	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 -

1. 著者名 Kojima Yuto, Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Urakawa Seitaro, Okumura Shin-Ichiro, Yoshikawa Makoto, et al.	4. 巻 10709
2. 論文標題 Evaluation of large pixel CMOS image sensors for the Tomo-e Gozen wide field camera	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 107091T
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2311301	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 -

1. 著者名 R. Ohsawa, S. Sako, S. Urakawa, S. Okumura, M. Yoshikawa et al.	4. 巻 165
2. 論文標題 Luminosity function of faint sporadic meteors measured with a wide-field CMOS mosaic camera Tomo-e PM	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Planetary and Space Science	6. 最初と最後の頁 281 ~ 292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pss.2018.09.006	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 -

1. 著者名 Ohsawa Ryou, Sako Shigeyuki, Okumura Shin-ichiro, Takahashi Hidenori, Urakawa Seitaro, Yoshikawa Makoto, et al.	4. 巻 194
2. 論文標題 Relationship between radar cross section and optical magnitude based on radar and optical simultaneous observations of faint meteors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Planetary and Space Science	6. 最初と最後の頁 105011 ~ 105011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pss.2020.105011	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 -

1. 著者名 Jiang Ji-an, Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Takahashi Hidenori, Okumura Shin-ichiro, Urakawa Seitaro, Beniyama Jin, et al.	4. 巻 923
2. 論文標題 Discovery of the Fastest Early Optical Emission from Overluminous SN Ia 2020hvf: A Thermonuclear Explosion within a Dense Circumstellar Environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L8 ~ L8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac375f	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 Niino Yuu, Doi Mamoru, Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Arima Noriaki, Jiang Ji-an, Tominaga Nozomu, Tanaka Masaomi, Li Di, Niu Chen-Hui, Tsai Chao-Wei, Kobayashi Naoto, Takahashi Hidenori, Kondo Sohei, Mori Yuki, Aoki Tsutomu, Arimatsu Ko, Kasuga Toshihiro, Okumura Shin-ichiro	4. 巻 931
2. 論文標題 Deep Simultaneous Limits on Optical Emission from FRB 20190520B by 24.4 fps Observations with Tomo-e Gozen	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 109 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac6be8	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 -

1. 著者名 Beniyama Jin, Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Okumura Shin-ichiro, Urakawa Seitaro, Yoshikawa Makoto, Yoshida Fumi, Takahashi Hidenori, et al	4. 巻 74
2. 論文標題 Video observations of tiny near-Earth objects with Tomo-e Gozen	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 877 ~ 903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac043	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 -

1. 著者名 Aizawa Masataka, Ohsawa Ryou, Okumura Shin-ichiro, Sako Shigeyuki, et al.	4. 巻 74
2. 論文標題 Fast optical flares from M?dwarfs detected by a one-second-cadence survey with Tomo-e Gozen	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1069 ~ 1094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac056	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 -

〔学会発表〕 計41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、岡崎良、関口朋彦、石黒正晃、道上達広、吉川真、Tomo-e Gozenメンバー
2. 発表標題 小惑星が経験した衝突イベント時期をライトカーブから推定する方法
3. 学会等名 木曾シュミットシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥村真一郎、浦川聖太郎、柳沢俊史、吉川 真、酒向重行、大澤 亮、紅山 仁、高橋英則、小島悠人、Tomo-e Gozen 開発チーム
2. 発表標題 Tomo-e Gozenと重ね合わせ法による高速移動NEO観測計画の進捗
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒向重行
2. 発表標題 高速移動する地球接近天体の広視野探査～ 小島悠人氏2018年度東京大学修士論文より～
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 紅山仁
2. 発表標題 Tomo-e Gozen による minimoon 探査
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒向重行 他
2. 発表標題 木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019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、道上達広、吉川真、Tomo-e Gozenメンバー
2. 発表標題 地球接近天体2012 TC4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2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大澤亮
2. 発表標題 東京大学・木曽観測所の活動報告
3. 学会等名 第 10 回光赤外天文学大学間連携ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 紅山仁
2. 発表標題 Tomo-e Gozenによる 微小地球接近小惑星の広域サーベイ
3. 学会等名 第 10 回光赤外天文学大学間連携ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 紅山 仁, 酒向 重行, 大澤 亮, 小林 尚人, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, 吉川 真, 柳沢俊史, 佐藤英貴, Tomo-e Gozen Project メンバー
2. 発表標題 木曽広視野高速カメラTomo-e Gozenによる微小地球接近小惑星の探索
3. 学会等名 日本天文学会2020春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seitaro Urakawa, Ryou Ohsawa, Shigeyuki Sako, Shin-ichiro Okumura, Yuri Sakurai, Jun Takahashi, Kazuyoshi Imamura, Hiroyuki Naito, Ryou Okazaki, Tomohiko Sekiguchi, Masateru Ishiguro, Makoto Yoshikawa
2. 発表標題 Observations of near-Earth Object 2012 TC4 -- The high-time resolution lightcurve with the Tomo-e Gozen --
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryou Ohsawa, Shigeyuki Sako, Makoto Yoshikawa, Seitaro Urakawa, Shin-ichiro Okumura, et al.
2. 発表標題 Video Observations of Faint Meteors with Tomo-e PM
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村真一郎、浦川聖太郎、柳沢俊史、吉川 真、酒向重行、大澤 亮、小島悠人、Tomo-e Gozen開発チーム
2. 発表標題 Tomo-e Gozenと重ね合わせ法による高速移動微小NEOのサーベイ観測観測
3. 学会等名 木曾シュミットシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦川 聖太郎, 奥村 真一郎, 大澤 亮, 酒向 重行, 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, Tomo-e Gozenメンバー
2. 発表標題 地球接近天体2012TC4の観測-木曾広視野カメラTomo-e Gozenを用いた高時間分解ライトカーブ
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島悠人, 酒向重行, 大澤亮, 吉川真, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, Tomo-e Gozen プロジェクトメンバー
2. 発表標題 広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による高速移動 NEO の広域サーベイ
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
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、道上 達広、吉川 真
2. 発表標題 地球接近天体2012 TC4の可視近赤外観測:木曽広視野カメラ「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2018年秋季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村真一郎、柳沢俊史、酒向重行、吉川 真、浦川聖太郎、大澤亮、小島悠人 他、Tomo-e Gozen メンバー
2. 発表標題 木曽広視野カメラ Tomo-e Gozen と重ね合わせ法による高速移動 NEO サーベイ観測計画
3. 学会等名 日本惑星科学会2018年秋季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島 悠人, 酒向 重行, 大澤 亮, 吉川 真, 奥村 真一郎, 浦川 聖太郎
2. 発表標題 木曽広視野カメラTomo-e Gozenによる高速移動NEOの検出手法の開発
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳沢 俊史, 黒崎 裕久, 池永 敏憲, 杉本 洋平, 神谷 浩紀, 吉川 真, 黒田 信介, 伊藤 孝士, 吉田 二美, 奥村 真一郎
2. 発表標題 小型望遠鏡を利用したNEOサーベイシステムの構築(現状と将来構想)
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村 真一郎, 柳沢 俊史, 酒向 重行, 吉川 真, 浦川 聖太郎, 大澤 亮, 小島 悠人, Tomo-e Gozenメンバー
2. 発表標題 木曽広視野カメラTomo-e Gozenと重ね合わせ法による高速移動NEOのサーベイ観測計画
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会
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, Tomo-e Gozenメンバー
2. 発表標題 NEO 2012 TC4の観測:木曽広視野カメラTomo-e Gozenを用いた高時間分解ライトカーブ
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村真一郎、柳沢俊史、酒向重行、吉川 真、浦川聖太郎、大澤 亮、小島悠人、Tomo-e Gozen開発チーム
2. 発表標題 木曽広視野カメラTomo-e gozenと重ね合わせ法による高速移動NEOのサーベイ観測計画
3. 学会等名 第11回スペースガード研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村真一郎、柳沢俊史、酒向重行、吉川 真、浦川聖太郎、大澤 亮、小島悠人、他、Tomo-e Gozenメンバー
2. 発表標題 木曽広視野カメラTomo-e Gozenと「重ね合わせ法」の組み合わせによる地球接近微小惑星サーベイ観測計画
3. 学会等名 第38回天文学に関する技術シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥村真一郎、柳沢俊史、酒向重行、吉川 真、浦川聖太郎、大澤 亮、小島悠人、Tomo-e Gozen開発チーム
2. 発表標題 広視野高速カメラTomo-e Gozenと重ね合わせ法による高速移動微小NEOサーベイ観測計画
3. 学会等名 小望遠鏡による地球接近天体観測についての研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥村真一郎、浦川聖太郎、柳沢俊史、吉川 真、酒向重行、大澤 亮、小島悠人、Tomo-e Gozenプロジェクトメンバー
2. 発表標題 広視野高速カメラTomo-e Gozenと「重ね合わせ法」の組み合わせによる高速移動微小NEOサーベイ観測計画
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Urakawa, R. Ohsawa, S. Sako, S. Okumura, Y. Sakurai, J. Takahashi, K. Imamura, H. Naito, R. Okazaki, T. Sekiguchi, M. Ishiguro, T. Michikami, and M. 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 30th IAU symp. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryou Ohsawa, Jin Beniyama, Shigeyuki Sako, Seitaro Urakawa, Shin-ichiro Okumura, Jun-ichi Watanabe, Makoto Yoshikawa, Tomoki Morokuma, and Tomo-e Gozen Science Working Group
2. 発表標題 Near-Earth Asteroid Survey with Tomo-e Gozen
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 新納悠, 土居守, 茂山俊和, 小林尚人, 小西真広, 高橋英則, 近藤莊平, 森由貴, 青木勉, 紅山仁, 渡部潤一, 瀧田怜, 富永望, 田中雅臣, 奥村真一郎, 池田思朗, Tomo-e Gozen コラボレーション
2. 発表標題 木曽広視野CMOSカメラTomo-e Gozenによる広域動画サーベイ
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 瀧田怜, 小林尚人, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, 吉川真, 柳沢俊史, 黒崎裕久, 吉田二美, 佐藤英貴
2. 発表標題 木曽広視野CMOSカメラTomo-e Gozenを用いた微小地球接近小惑星の探索
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 新納悠, 瀧田怜, 土居守, 茂山俊和, 小林尚人, 小西真広, 高橋英則, 近藤莊平, 森由貴, 青木勉, 紅山仁, 渡部潤一, 富永望, 田中雅臣, 奥村真一郎, 池田思朗, Tomo-e Gozenコラボレーション
2. 発表標題 木曽Tomo-e Gozenの広域動画サーベイのデータ公開に向けた開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜, 小林尚人, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, 臼井文彦, 吉田二美, 吉川真
2. 発表標題 Tomo-e Gozen カメラを用いた微小地球接近小惑星の高時間分解撮像観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜, 小林尚人, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, 吉川真, 臼井文彦, 吉田二美, Tomo-e Gozen コラボレーション
2. 発表標題 木首 Tomo-e Gozen を用いた微小地球接近小惑星の高時間分解撮像観測
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜, 小林尚人, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, 吉川真, 臼井文彦, 吉田二美
2. 発表標題 木首シュミット望遠鏡 Tomo-e Gozen を用いた微小地球接近小惑星の高時間分解撮像観測
3. 学会等名 日本惑星科学会2021年秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, 吉川真, 臼井文彦, 吉田二美, 前原裕之
2. 発表標題 微小地球接近小惑星2022JLの即時モニタリング観測
3. 学会等名 日本惑星科学会2022年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥村真一郎、柳沢俊史、大澤 亮、吉川 真、吉田二美、酒向重行、紅山 仁、高橋英則、浦川聖太郎
2. 発表標題 木曽観測所Tomo-e Gozenカメラと「重ね合わせ法」による高速微小NEO観測計画の進捗
3. 学会等名 日本惑星科学会2022年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥村 真一郎、西山 広太、浦川 聖太郎、二村 徳宏、藤原 智子、安藤 和子
2. 発表標題 JAXA美星スペースガードセンターでのNEO観測
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳沢 俊史、黒崎 裕久、CegarraPolo Manuel、吉川 真、平子 敬一、大澤 亮、酒向 重行、吉田 二美、奥村 真一郎
2. 発表標題 FPGA及びGPUを利用した高速移動天体発見観測
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 紅山 仁、酒向 重行、大澤 亮、瀧田 怜、小林 尚人、奥村 真一郎、浦川 聖太郎、吉川 真、白井 文彦、吉田 二美
2. 発表標題 プラネタリーディフェンスのための地球接近小惑星探索と即時追跡観測
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Beniyama, S. Sako, R. Ohsawa, S. Takita, N. Kobayashi, S. Okumura, S. Urakawa, M. Yoshikawa, F. Usui, and F. Yoshida
2. 発表標題 Subsecond Time-Resolved Photometry of Tiny Near-Earth Objects with Tomo-e Gozen
3. 学会等名 53rd Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥村真一郎、柳沢俊史、大澤 亮、吉川 真、吉田二美、酒向重行、紅山 仁、高橋英則、浦川聖太郎
2. 発表標題 Tomo-e Gozenと重ね合わせ法によるNEO観測の進捗
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村真一郎、柳沢俊史、大澤 亮、吉川 真、吉田二美、酒向重行、紅山 仁、高橋英則、浦川聖太郎
2. 発表標題 Tomo-e Gozenと重ね合わせによる微小NEO観測：進捗報告
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中島林彦 (協力: 奥村真一郎、酒向重行、吉川真)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日経サイエンス	5. 総ページ数 10
3. 書名 日経サイエンス2022年1月号 特集:地球防衛「100年に1回の衝突を見逃さない」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学木曾観測所トモエゴゼンの観測運用の開始について
<http://www.mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/NEWS/pr20190930/pr20190930.html>
 東京大学木曾観測所トモエゴゼンによる地球接近小惑星2019 SU10の発見について
<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/NEWS/2019SU10/2019SU10.html>
 東京大学木曾観測所による地球接近小惑星2019 FAの発見について
<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/NEWS/2019FA/2019FA.html>
 地球接近小惑星の発見
<http://www.kenkai.jaxa.jp/research/debris/neo.html>

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
研究分担者	柳沢 俊史 (Yanagisawa Toshifumi) (20371106)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・研究開発部門・主任研究開発員 (82645)	
研究分担者	酒向 重行 (Sako Shigeyuki) (90533563)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (12601)	
研究分担者	吉川 真 (Yoshikawa Makoto) (70311173)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授 (82645)	

	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
研究協力者	大澤 亮 (Ohsawa Ryou)		
研究協力者	紅山 仁 (Beniyama Jin)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	高橋 英則 (Takahashi Hidenori)		
研究協力者	浦川 聖太郎 (Urakawa Seitaro)		

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