

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01272

研究課題名(和文) 太陽系外縁小天体の高速広域探査

研究課題名(英文) High-speed and wide-field survey for trans-Neptunian objects

研究代表者

渡部 潤一 (Watanabe, Jun'ichi)

国立天文台・天文情報センター・教授

研究者番号：50201190

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：太陽系外縁天体(trans-Neptunian object: TNO)による恒星の掩蔽現象を観測することで、kmサイズのTNOのサイズ頻度分布を決定し、その形状から太陽系初期の外縁部の環境や巨大氷惑星の移動プロセスを解明することを目標とした研究を実施した。この目的を達成するために、東京大学木曾105cmシュミット望遠鏡用の広視野動画カメラTomo-e Gozenを開発し完成させた。Tomo-e Gozenを用いて2Hzの広域動画サーベイを長期間にわたり実施した。結果、研究期間内にTNOの掩蔽を検出することはできなかったが、TNOによる掩蔽の検出に必要な観測システムを完成させることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した木曾105cmシュミット望遠鏡用の広視野動画カメラTomo-e Gozenは、秒以下の現象を探索できる世界で唯一の広視野装置である。太陽系外縁天体の観測の重要性は近年高まってきているが、その掩蔽現象を検出する能力のある観測装置とソフトウェアシステムを構築し、長時間サーベイ観測により取得した実データを用いて掩蔽の検出技術を獲得した本研究の学術的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to derive a size-frequency distribution of kilo-meter size trans-Neptunian objects (TNOs) and reveal the outer environment in the early solar system and migration process of ice giant planets by observing stellar occultations due to the TNOs. To accomplish this purpose, we have completed a wide-field video camera for the Kiso 105-cm Schmidt telescope and conducted a wide-field video survey of the sky at 2 Hz for a long period. While we could not detect stellar occultations due to the TNOs in the period of this study, we have successfully developed an observation system for the occultations.

研究分野：太陽系天文学

キーワード：固体惑星 惑星形成 衛星 惑星進化 小惑星

## 1. 研究開始当初の背景

太陽系には 30 天文単位(以下、AU)の海王星軌道から数 100AU 以遠に広く分布する多数の太陽系外縁天体 (trans-Neptunian objects; TNO) が存在する。TNO は直径 2,000km を越えるものから 100m 以下のものまで多様なサイズを持ち、氷や有機物に富む始原的な天体である。これらは太陽系形成時に巨大氷惑星の外側移動により重力散乱され、かつ相互衝突により軌道が変化して、現在の姿に進化したと考えられている。TNO のサイズ頻度分布 (size-frequency distribution; 以下、SFD) は散乱や衝突の歴史を反映しており、TNO の起源や進化のみならず、太陽系初期の外縁部の環境や巨大氷惑星の移動プロセスを探る大きな手がかりとなるが、その全体像はまだ明らかになっていない。

TNO はこれまでに 1,200 個以上が発見されている。これまで得られた SFD は図 1 のように、直径 40km 以上の範囲は直接検出されている (Fuentes+2008) が、直径 20km 以下の TNO は可視光で 30 等級より暗いため、口径 10m クラスの望遠鏡でも直接検出は不可能である。一方、TNO は移動天体のため、背景の恒星を一時的に隠す掩蔽現象を起こす。隠される恒星の光度曲線を観測することで、TNO の存在だけでなく、その天体サイズの推定が可能になる。Zhang+2013 は長期のモニタ観測の結果、掩蔽の検出には至らなかったものの、直径 1~10km の範囲の SFD の上限値を与えた (図 1 点線)。より小さい数 100m の TNO については、ハッブル宇宙望遠鏡のガイドセンサーで検出した掩蔽から SFD が求められている (Schlichting+2012)。直径 30km 以上の TNO は原始太陽系円盤で形成された天体の生き残りなのに対し、直径数 km 以下は衝突により二次的に形成されたと推定され、それぞれ SFD の勾配が異なる。この勾配が折れ曲がる場所は、太陽系初期の天体の分布や、天体の衝突破壊強度に依存するため、TNO の起源や性質を探る上で重要とされている。

SFD の折れ曲がりには km サイズの範囲にあると推測される。km サイズの TNO による掩蔽の頻度は恒星 1 つあたり  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  回/年と稀であり、かつ継続時間が 0.2~1 秒間と短いため、検出には数多くの恒星を高速かつ連続的に測光モニタする必要がある。しかし、これを実現する高感度 + 広視野 + 高速性能を合わせ持つ観測装置は過去に存在しない。小惑星や超新星サーベイ用に大フォーマット CCD を搭載した広視野カメラは開発されているが、いずれも 10 秒/フレームより高速に観測する能力を有していない。

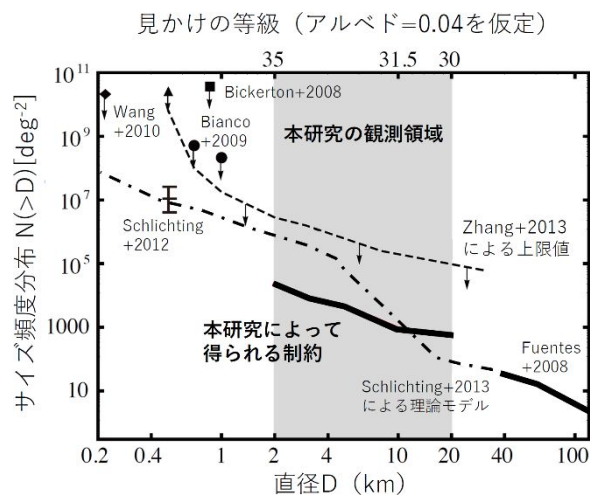


図 1 TNO のサイズ頻度分布。一点鎖線は観測を説明する理論モデルの一例

## 2. 研究の目的

本研究では、視野 20 平方度の超広視野高速カメラを開発し、この装置を用いて km サイズの TNO による掩蔽現象を多数イベントとらえることで、TNO の SFD の勾配が折れ曲がる領域を世界で初めて観測的に明らかにする。さらに、SFD の形状と太陽系形成モデルを比較することで、太陽系初期の外縁部の環境や巨大氷惑星の移動プロセスを明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

観測者から 40AU 離れた天体による可視光の回折の典型的なサイズは 1.4km であるため、直径数 km の TNO の掩蔽による恒星の減光の光度曲線には、特徴的な回折パターンが強く見られると考えられる(図 2, Nihei+ 2007)。掩蔽の継続時間は地球との相対速度(すなわち TNO までの距離)で決まり、0.2~1 秒間程度と見積もられる。この光度曲線を高時間分解能で精度よく観測することで、掩蔽を起こした TNO の大きさと、TNO までの距離を導出する。

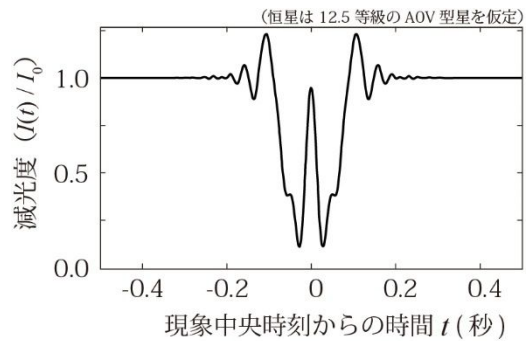


図 2 直径 3km、距離 40AU にある TNO による掩蔽で予想される恒星の光度曲線。

本研究では東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡用に最大 2Hz で視野 20 平方度を連続観測できる超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen を開発する。この観測装置を用いた場合、先行研究(Zhang+2013)よりも 2 桁高いイベント検出能力 = 感度 × 視野を達成する。Schlichting+2013 の理論モデル(図 1)によると、Tomo-e Gozen で 36,000 個(20 平方度)の恒星を計 300 時間モニタ観測すると、km サイズの掩蔽イベントを 1 - 100 回検出できると推定される(現状、モデル予測は 1-2 桁の誤差を含む)。本研究では、Tomo-e Gozen のセンサ全領域読み出しモード(20 平方度、2Hz)と部分読み出しモード(~4 平方度、~10Hz)を組み合わせながら広視野の高速撮像モニタを行うことで掩蔽のイベントレートを導出する。また、既知の TNO の掩蔽現象の高速観測を実施することで、TNO に残存する大気成分の検出もめざす。

### 4. 研究成果

#### (1)超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen の開発

東京大学木曾観測所(長野県木曾町)105cm シュミット望遠鏡用の超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen の開発を行った。Tomo-e Gozen は 84 台の CMOS センサで 20 平方度の空を覆うカメラだが、本研究が始まる前年度には全視野の 1/4 にあたる 21 台の CMOS センサが搭載されたカメラユニットのみが完成していた。本研究では残りの 63 台の CMOS センサを搭載したカメラユニットの製作から開発研究を開始した。CMOS センサを駆動するための読み出しエレクトロニクスと高速デジタル通信エレクトロニクスを製作し、東京大学天文学教育研究センター(東京都三鷹市)にて駆動試験を実施した。カメラをユニットごとに段階的に立ち上げ、2018 年 11 月に計 42 センサを、2019 年 3 月に計 63 センサを、2019 年 4 月に計 84 センサを搭載したカメラが完成した(図 3)。並行して、Tomo-e Gozen が生成する広域動画ビッグデータを効率良く管理するためのデータベースとデータハンドリングソフトウェアを開発した。試験観測により Tomo-e Gozen システムが設計性能に達していることを確認できたため、2019 年 9 月 30 日に長野県木曾合同庁舎にて Tomo-e Gozen の完成記者発表を行った。その後、解析データを高速かつ効率的に研究者間で共有するために東京大学本郷キャンパス内(東京都文京区)にデータベースシステムを構築し、木曾観測所と高速ネットワーク回線で接続した。

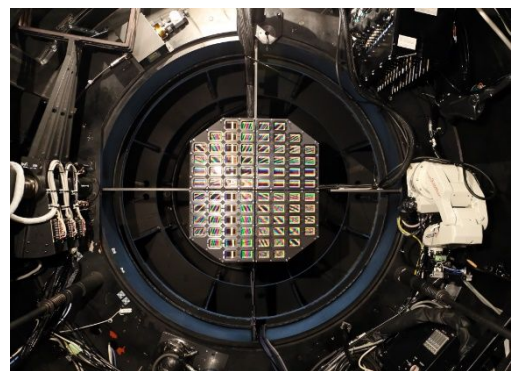


図 3: 木曾シュミット望遠鏡に搭載した広視野高速カメラ Tomo-e Gozen

Tomo-e Gozen の開発の成果は酒向らにより天文学装置の国際研究会である SPIE で招待講演として発表された。

## (2)Tomo-e Gozen による広視野高速サーベイと既知の掩蔽の高速観測

開発途中の Tomo-e Gozen を用いて TNO の掩蔽観測を模擬した背景星の広視野高速観測の試験を実施した。取得した試験データを元に光度曲線を得るパイプラインと、光度変動を検出するソフトウェアの開発を行った。また、観測領域やカメラの観測モード、解析手法といった観測戦略を具体化するとともに、既知の小惑星による掩蔽現象の試験観測も実施した。Tomo-e Gozen が完成した 2019 年 10 月以降は、2 フレーム/秒の広域動画サーベイ観測を星密度の高い黄道面(黄道面と銀河面が交差する天域)に対して継続的に実施し、大規模な観測データを獲得するとともに、自動で光度曲線を得るパイプラインと変動を検出するソフトウェアの開発を進めた。また、TNO の誤検出の原因となる大気ゆらぎや人工衛星、宇宙デブリの影響を、実際の観測データを用いて調査した。大量の星の光度曲線を解析することで TNO の掩蔽に起因する短時間変動の探査を実施したが本研究の終了日である 2021 年 3 月までに検出には至らなかった。今後も本研究で取得した観測データの詳細な解析を進める予定である。

2019 年 8 月には既知の TNO クワオアーによる恒星掩蔽現象の高速連続観測を実施した。得られた掩蔽の光度曲線データからクワオアーが 16 ナノバル以上の表面気圧の大気を持たないことを示した(図 4)。本研究の成果は有松らにより The Astronomical Journal に出版されるとともに、京都大学および東京大学からウェブリリースがなされた。2020 年度にも同様に既知の TNO の大気の有無や表面形状の導出を目指して、Tomo-e Gozen を用いた掩蔽の高速連続観測を複数回、実施した(3317 Paris, 54598 Bienor, 20000 Varuna, 60558 Echelus, 2013LU28)。現在、光度曲線の詳細な解析を進めている。

本研究では km サイズの TNO の検出に至らなかったが、観測装置と解析システムが完成したため、本研究の終了後も km サイズの TNO の掩蔽の検出に向けて観測と研究を進めていく計画である。

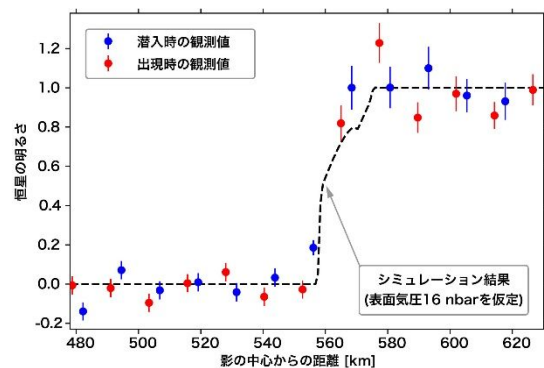


図 4: Tomo-e Gozen で観測された掩蔽時の恒星 (15.7 等星) の、クワオアーの影の中心からの距離に対する明るさの変化。ウェブリリース資料より。

### < 引用文献 >

- Fuentes et al. AJ, 136, 1, 83, 2008
- Zhang et al. AJ, 146, 1, 14, 10, 2013
- Schlichting et al. AJ, 761, 2, 150, 10, 2012
- Nihei et al. AJ, 134, 4, 1596, 2007

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Arimatsu K, Ohsawa R, Hashimoto G L., Urakawa S, Takahashi J, Tozuka M, Itoh Y, Yamashita M, Usui F, Aoki T, Arima N, Doi M, Ichiki M, Ikeda S, Ita Y, Kasuga T, Kobayashi N, Kokubo M, Konishi M, Maehara H, Matsunaga N, Miyata T, Morii M, Morokuma T, Motohara K, Nakada Y, Sako S, Watanabe J, and 10 authors	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 Richmond M W, Tanaka M, Morokuma T, Sako S, Ohsawa R, Arima N, Tominaga N, Doi M, Aoki T, Arimatsu K, Ichiki M, Ikeda S, Ita Y, Kasuga T, Kawabata K S, Kawakita H, Kobayashi N, Kokubo M, Konishi M, Maehara H, Mito H, Miyata T, Mori Y, Morii M, Motohara K, Nakada Y, Okumura S, Watanabe J, and 12 authors	4. 巻 72
2. 論文標題 An optical search for transients lasting a few seconds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 3 ~ 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 Sekiguchi Tomohiko, Miyasaka Seidai, Dermawan Budi, Mueller Thomas, Takato Naruhisa, Watanabe Junichi, Boehnhardt Hermann	4. 巻 304
2. 論文標題 Thermal infrared and optical photometry of Asteroidal Comet C/2002?CE10	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 95 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2017.12.037	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Shinnaka Yoshiharu, Kasuga Toshihiro, Furusho Reiko, Boice Daniel C., Terai Tsuyoshi, Noda Hiroto, Namiki Noriyuki, Watanabe Jun-ichi	4. 巻 864
2. 論文標題 Inversion Angle of Phase-polarization Curve of Near-Earth Asteroid (3200) Phaethon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L33 ~ L33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aadb3d	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Shinnaka Yoshiharu, Ootsubo Takafumi, Kawakita Hideyo, Yamaguchi Mitsuru, Honda Mitsuhiko, Watanabe Jun-ichi	4. 巻 156
2. 論文標題 Mid-infrared Spectroscopic Observations of Comet 17P/Holmes Immediately After Its Great Outburst in 2007 October	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 242 ~ 242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aadfea	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Arimatsu K., Tsumura K., Usui F., Shinnaka Y., Ichikawa K., Ootsubo T., Kotani T., Wada T., Nagase K., Watanabe J.	4. 巻 3
2. 論文標題 A kilometre-sized Kuiper belt object discovered by stellar occultation using amateur telescopes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 301 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-018-0685-8	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Ohsawa Ryou, Sako Shigeyuki, Sarugaku Yuki, Usui Fumihiko, Ootsubo Takafumi, Fujiwara Yasunori, Sato Mikiya, Kasuga Toshihiro, Arimatsu Ko, Watanabe Jun-ichi, Doi Mamoru, Kobayashi Naoto, 25 coauthors	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Takahashi Hidenori, Kojima Yuto, Doi Mamoru, Kobayashi Naoto, Motohara Kentaro, Miyata Takashi, Morokuma Tomoki, Konishi Masahiro, Aoki Tsutomu, Soyano Takao, Tarusawa Ken'ichi, Mori Yuki, Nakada Yoshikazu, Mitsuda Kazuma, Ichiki Makoto, Arima Noriaki, Totani Tomonori, 20 coauthors	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 SPIE, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy VII	6. 最初と最後の頁 17 ~ 27
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kojima Yuto, Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Takahashi Hidenori, Doi Mamoru, Kobayashi Naoto, Motohara Kentaro, Miyata Takashi, Morokuma Tomoki, Konishi Masahiro, Aoki Tsutomu, Soyano Takao, Tarusawa Ken'ichi, Mori Yuki, Nakada Yoshikazu, Ichiki Makoto, Arima Noriaki, Totani Tomonori, 20 coauthors	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 SPIE, High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy VIII	6. 最初と最後の頁 10 ~ 20
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohsawa Ryou, Sako Shigeyuki, Sarugaku Yuki, Usui Fumihiko, Ootsubo Takafumi, Fujiwara Yasunori, Sato Mikiya, Kasuga Toshihiro, Arimatsu Ko, Watanabe Jun-ichi, Doi Mamoru, Kobayashi Naoto, Takahashi Hidenori, Motohara Kentaro, Morokuma Tomoki, Konishi Masahiro, Aoki Tsutomu, 20 coauthors	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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 Tatsuhiko, 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Junichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Possible Cultural Impact of Extraterrestrial Life, if It Were to Be Found	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 461 ~ 465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-3639-3_31	査読の有無 有
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11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 酒向重行
2. 発表標題 Tomo-e Gozen計画
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 酒向重行
2. 発表標題 木曾超広視野高速CMOSカメラTomo-e Gozen
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒向重行
2. 発表標題 The Tomo-e Gozen wide field CMOS camera for the Kiso Schmidt telescope
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 酒向重行
2. 発表標題 Tomo-e Gozen計画
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 酒向重行
2. 発表標題 木曽広視野CMOSカメラによるふたご座領域の高速撮像サーベイ
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム 2018
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒向重行
2. 発表標題 高速観測への備え 木曽トモエゴゼンの例
3. 学会等名 第9回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大澤亮
2. 発表標題 All sky survey and meteor observation of Tomo-e Gozen
3. 学会等名 9th Workshop on Catastrophic Disruption in the Solar System (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大澤亮
2. 発表標題 Tomo-e Gozenバックエンドの現状報告
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大澤亮
2. 発表標題 Tomo-e Gozen科学試験観測クイックサマリ
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大澤亮
2. 発表標題 Optical observations of faint meteors with a wide-field CMOS camera Tomo-e Gozen
3. 学会等名 The 45th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大澤亮
2. 発表標題 東京大学木曽観測所広視野 CMOS モザイクカメラTomo-e Gozenによる人工天体の観測
3. 学会等名 第8回 スペースデブリワークショップ
4. 発表年 2018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
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)	

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	有松 亘  (Arimatsu Ko)  (70770808)	京都大学・理学(系)研究科(研究院)・研究員    (14301)	
連携研究者	臼井 文彦  (Usui Fumihiko)  (30720669)	神戸大学・理学(系)研究科(研究院)・特命助教    (14501)	
連携研究者	大澤 亮  (Ohsawa Ryou)  (40748696)	東京大学・理学(系)研究科(研究院)・特任助教    (12601)	
連携研究者	征矢野 隆夫  (Soyano Takao)  (20251415)	東京大学・理学(系)研究科(研究院)・助手    (12601)	

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