

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17796

研究課題名(和文) 小型高速観測システムが太陽系外縁部のベールをはがす

研究課題名(英文) Outer solar system revealed by small high-cadence observation systems

研究代表者

有松 亘 (Arimatsu, Ko)

国立天文台・天文情報センター・特別客員研究員

研究者番号：70770808

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究では太陽系の外縁部に存在する半径1-10 km程度のサイズ(キロメートルサイズ)を持つ太陽系外縁天体(TNO)を検出する手法を開発した。こうしたキロメートルサイズのTNOは超大型の望遠鏡でも直接観測することが不可能であるが、本研究ではキロメートルサイズのTNOを検出するためにこうしたTNOが恒星の手前を通過する『掩蔽』と呼ばれる現象を小型の観測システムを用いて観測した。本研究では小型観測システムを用いた計2年間にわたる観測により、こうしたキロメートルサイズTNOの個数密度を推定することに成功した。

研究成果の概要(英文)：In the present study, a unique method to observe trans-Neptunian objects (TNOs) with radii of 1-10 km (kilometre-sized) has been developed. Since these kilometre-sized TNOs are too faint to detect even with giant telescopes, monitoring of stars has been performed with two small observation systems to detect a small TNO by observing a moment when it hides a brighter background star (stellar occultation). From the two-year observations of the stellar occultations with newly-developed observation systems, a surface number density of kilometre-sized TNOs is obtained.

研究分野：太陽系天文学

キーワード：太陽系外縁部 高時間分解能天文学

1. 研究開始当初の背景

惑星形成の材料となる原始微惑星の一部は、誕生直後の外惑星の軌道移動によって重力的に散乱され、30 天文単位(以下、AU)以遠に太陽系外縁天体(trans-Neptunian objects; 以下 TNO)として生き残っている。特に半径 1-10 km (以下 km サイズ)の TNO の個数密度分布は原始微惑星のサイズ特性を保存していると考えられている(Schlichting et al. 2013)。よって km サイズの TNO のサイズ個数密度分布を観測的に解明することは、惑星形成シナリオを理解する上で極めて有益である。しかし、km サイズの TNO からの輻射は極めて微弱であり、既存の超大型望遠鏡でも直接検出は不可能であるため、これまで観測的制約が得られていなかった。

2. 研究の目的

惑星形成シナリオを観測的に明らかにすることを目的として、km サイズの TNO による恒星の掩蔽現象をモニタ観測することが本研究の目的である。TNO は移動天体であるため、天球上で背景の恒星の手前を通過する際に一時的に恒星を隠す掩蔽現象を発生させる。こうした掩蔽現象を検出できれば、直接検出できない km サイズの TNO の存在を明らかにすることができる。よって本研究では TNO による恒星掩蔽現象の検出を実現する観測装置の開発と、掩蔽現象のモニタ観測による掩蔽現象を司る km サイズの TNO の天球上での個数密度の推定を達成することを目的に設定した。

3. 研究の方法

複数の可視観測装置を用いて掩蔽現象を同時検出することで、km サイズの TNO のサイズ頻度分布を解明する。km サイズの TNO による掩蔽の頻度は恒星 1 つあたり 10^{-2} 回/年未満と稀であり、かつ継続時間が 0.2 秒から 1 秒程度と短いため、掩蔽現象の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。さらに、掩蔽による恒星の光度変化を地球大気による光度変動(シンチレーションノイズ)と区別して検出するためには、複数台の観測装置による同時観測を実施することが求められる。本研究では広視野小型シュミット光学系と高感度 CMOS センサを搭載することで広視野な高感度高速撮像ができ、かつ小型な観測システムを複数台開発し、多数の恒星をターゲットに設定した同時測光モニタ観測を実施することにした。

4. 研究成果

平成 28 年度には、恒星掩蔽モニタ観測に使用可能な小型広視野高速観測システム計 2 台の開発に成功した。この観測システムは有効口径 28 cm Rowe-Ackermann Schmidt Astrograph 光学系の主焦点に民生品可視ラ

ージフォーマットモノクロ CMOS カメラを組み合わせたものである。本研究ではより広い視野を同時にモニタ観測できるようにするため、CMOS カメラ前面には民生品の短縮光学系を装着し、合成焦点距離を短縮している。本研究ではこの観測システムを Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey (OASES)と命名した。この OASES 観測システムは、小型でありながら極めて広い視野(約 4 平方度)を高い時間分解能(最大 20 Hz)で観測でき、しかも先行研究と比較しても低予算で作成できることから、将来的に量産が容易であることが特徴である。作成した OASES 観測システム 2 台は研究協力施設である『沖縄県立宮古青少年の家』(沖縄県宮古島市)の施設屋上に配置し、平成 28 年 6 月から 9 月にかけて、掩蔽現象の同時検出を目的としたモニタ観測を断続的に実施した。モニタ観測では掩蔽を起こす TNO の天球密度が比較的高いと推定される黄道付近で、さらに恒星の個数密度の大きい領域を本研究の観測フィールドに選定し、15.4 Hz のフレームレートで集中的に同時観測した。

OASES 観測システムを用いたモニタ観測で得られた膨大な同時観測データから、掩蔽現象が発生した際に予想されるサブ秒スケールでの恒星光度変化を検出するため、短いタイムスケールの恒星光度変化現象の検出に特化した解析プログラムを開発した。開発したプログラムを用いて、観測した視野内に位置する可視 V バンド等級で 13.5 等級以下の光度を持つ約 4000 個の恒星に対して開口測光を実施し、光度曲線を得ることに成功した。得られた高度曲線のシグナル値に対するノイズの大きさを測定し、測光した約 4000 個の恒星の高度曲線から、カイパーベルト領域に存在するキロメートルサイズ以上 TNO による恒星掩蔽が検出可能であることを推定した。モニタ観測では OASES 観測システムの GPS による時間同期が適切に機能しておらず、観測データに添付された撮影時刻情報に定数のオフセットが付加していることがわかった。このオフセット値は観測データに写りこ

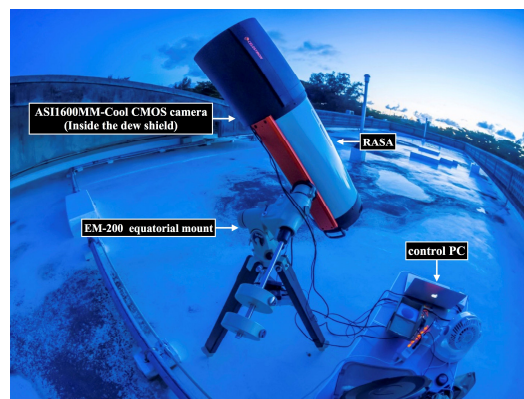


図 1. 本研究で開発した OASES 観測システム(OASES-02)

んでいる流星を検出し、2台の観測システム間で得られた出現時刻データを比較することで補正できることが判明したため、流星を用いた観測システム間の時刻同期プログラムを作成した。この時刻補正プログラムにより、OASES 観測システム間で1/10 フレーム程度の精度での時刻同期が実現した。以上の研究成果をまとめた論文を作成した。当該論文は Publications of the Astronomical Society of Japan 誌に掲載された(Arimatsu et al. 2017)。

平成 29 年度には平成 28 年度に引き続き OASES 高速可視観測システム計 2 台を用いた掩蔽同時モニタ観測を沖縄県宮古島市にて実施した。平成 28 年度と同様に、小型広視野高速観測システム 2 台を研究協力施設である『沖縄県立宮古青少年の家』の施設屋上に配置し、平成 29 年 6 月から 8 月にかけて恒星掩蔽現象の同時検出を目的としたモニタ観測を断続的に実施した。さらに本研究では平成 28 年度までに開発した解析プログラムを用いて、観測データ内の恒星に対して開口測光を実施し、カイパーベルト領域に存在するキロメートルサイズ以上の TNO による恒星掩蔽現象を探索した。計 2 年間にわたって断続的に実施したモニタ観測によって、約 50 テラバイトのデータ量に相当する生データの取得に成功した。現在までに 2 台同時観測によって得られた観測データのうち、開発したデータ解析プログラムを用いて約 40 時間分のデータの解析が終了している。さらに回折理論を用いてカイパーベルト天体による恒星掩蔽で予想されるモデル光度曲線のシミュレーションプログラムを開発し、得られた光度曲線データに埋め込んだ上で検出プログラムを実行することで、観測によって得られたデータ内から掩蔽現象を検出できる確率に相当する検出効率の算出を実施した。以上の観測およびデータ解析の結果、半径 1 km 以上のサイズを持ったカイパーベルト天体による恒星掩蔽現象の発生頻度を推定することに成功し、天球上でのキロメートルサイズ TNO の個数密度について前例のない観測的制約を得ることに成功した。現在、個数密度についての観測的制約について報告したレター論文 (Arimatsu et al. submitted) を投稿中であるほか、データ解析に関する詳細な内容を記述した論文を作成中である (Arimatsu et al. in prep.)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

① Arimatsu Ko, Tsumura Kohji, Ichikawa Kohei, Usui Fumihiko, Ootsubo Takafumi, Kotani Takayuki, Sarugaku Yuki, Wada Takehiko, Nagase Koichi, Watanabe Jun-ichi,

Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey (OASES): Design and performance, 査読有, Publications of the Astronomical Society of Japan, 2017, Volume 69, id 4, 13pp. DOI: 10.1093/pasj/psx048

② Takafumi Ootsubo, Yasuo Doi, Satoshi Takita, Takao Nakagawa, Mitsunobu Kawada, Yoshimi Kitamura, Shuji Matsuura, Fumihiko Usui, Ko Arimatsu, AKARI far-infrared maps of the zodiacal dust bands, 査読有, Publications of the Astronomical Society of Japan, 2016, Volume 68, id. 35, 15 pp. DOI: 10.1093/pasj/psw024

〔学会発表〕(計 4 件)

① 有松 亘, 渡部 潤一, 市川 幸平, 小谷 隆行, 津村 耕司, 白井 文彦, 猿楽 祐樹, 大坪 貴文, 和田 武彦, 長勢 晃一, OASES 広視野動画同時観測が切り拓く太陽系の新たな地平, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 2017 年

② Ko Arimatsu, Kohji Tsumura, Kohei Ichikawa, Fumihiko Usui, Takafumi Ootsubo, Takayuki Kotani, Yuki Sarugaku, Takehiko Wada, Koichi Nagase, Jun-ichi Watanabe, Kilometer-sized trans-Neptunian objects revealed by OASES, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017 年

③ 有松 亘, 渡部 潤一, 市川 幸平, 小谷 隆行, 津村 耕司, 白井 文彦, 大坪 貴文, 猿楽 祐樹, 和田 武彦, 長勢 晃一, 太陽系外縁小天体の個数密度に迫る OASES 恒星掩蔽モニタ観測 @ 宮古島, 日本天文学会 2017 年春季年会, 2017 年

④ 有松 亘, 渡部 潤一, 市川 幸平, 小谷 隆行, 白井 文彦, 大坪 貴文, 猿楽 祐樹, 和田 武彦, 長勢 晃一, OASES 観測システムによる TNO 恒星掩蔽モニタ観測, 日本天文学会 2016 年秋季年会, 2016 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

https://twitter.com/OASES_miyako

6. 研究組織

(1)研究代表者

有松 亘 (Arimatsu Ko)

国立天文台・天文情報センター・日本学術
振興会特別研究員

研究者番号：70770808

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし

(4)研究協力者

津村 耕司 (Tsumura Kohji)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・
助教

研究者番号：60579960