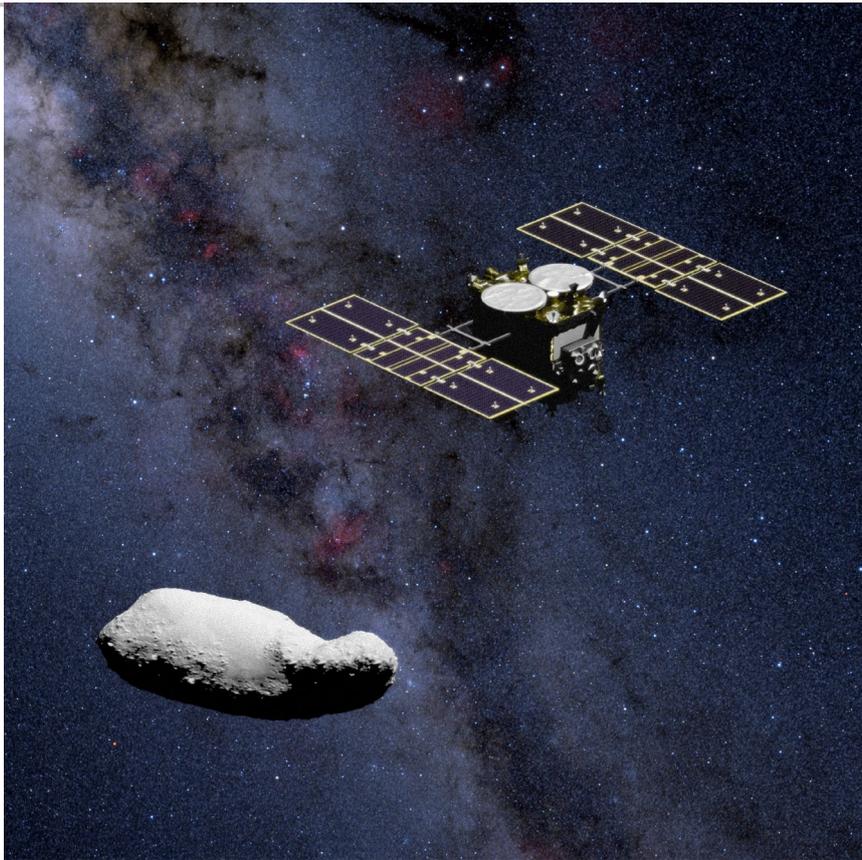


はやぶさ 2 探査予定小惑星の形状推定に成功

—アマチュアの恒星掩蔽観測がはやぶさ 2 拡張ミッションに貢献—

概要

有松 亘 京都大学白眉センター特定助教を中心とする研究グループは、2023 年 3 月 5 日に発生した、はやぶさ 2 拡張ミッションのターゲット小惑星(98943) 2001 CC21 による恒星掩蔽現象(恒星食)の観測・解析により、小惑星の形状を推定することに成功しました。本研究では、新たなデータ解析技術 DOUSHITE (Diffracted Occultation's United Simulator for Highly Informative Transient Explorations: ドウシテ) を用いて、掩蔽時の恒星の明るさの変化を正確にモデル化し、小惑星が細長い形状をもっていることを明らかにしました。掩蔽発生当日には日本全国の 20 箇所でアマチュア観測家を中心となって観測が実施され、このうち 1 地点でのみ減光が観測されましたが、DOUSHITE により形状の推定がはじめて可能となりました。本研究成果は、アマチュア観測とプロの天文学者による高度な解析技術のコラボレーションによるものであり、2026 年に予定されているはやぶさ 2 拡張ミッションでの小惑星(98943) 2001 CC21 へのフライバイミッションの成功に大きく貢献します。本論文は、2024 年 7 月 23 日に「日本天文学会欧文研究報告」にオンライン掲載されました。



画像: 小惑星(98943) 2001 CC21 にフライバイするはやぶさ 2 探査機の想像図

Credit: 有松亘(京都大学)/JAXA

1. 背景

恒星掩蔽(恒星食)は、小惑星などの太陽系天体が背景の恒星を覆い隠す際に発生する天文現象です。この恒星掩蔽を複数の観測地点から同時に観測し、恒星が明滅するタイミングを計測することで、直接観測では測定することが困難な小天体のサイズ、形状などを高い精度で推定することができます。恒星掩蔽の観測は、以前から主にアマチュア天文家によって試みられてきましたが、近年の掩蔽現象の予報精度の向上、アマチュア天文家の観測技術の進歩により、掩蔽の観測成功例が飛躍的に増加してきています。近年では、これまで影のサイズが小さすぎてとらえることは不可能と考えられていた、直径数キロメートル以下の小さな小惑星による恒星掩蔽の観測にも成功しつつあります。こうした掩蔽観測による小惑星のサイズ・形状の決定は、天文学・惑星科学の分野において意義があるだけでなく、小惑星探査ミッションの成功にもつながる極めて重要な研究手法になります。

小惑星(98943) 2001 CC21 は、日本の惑星探査機『はやぶさ 2』の拡張ミッションのターゲットとなっている、直径およそ 500 m と推定される小惑星です。2026 年 7 月に、はやぶさ 2 は 2001 CC21 に秒速およそ 5km (時速およそ 18,000km) という超高速で接近し、すれ違いざまのわずかな時間に小惑星の表面の様子などを探査する予定です。探査できるタイミングは非常に短いため、このミッションを成功させるためには、事前にこの小惑星がどのようなサイズをもっていて、どのような形状をしているのか調べる必要があります。しかし、これまでの観測では 2001 CC21 のサイズや形状に関する詳細は明らかになっていませんでした。

2. 研究手法・成果

こうした状況のなか、国内外の研究者・および日本のアマチュア天文家で構成された観測チームは、2023 年 3 月 5 日に予報されていた小惑星(98943) 2001 CC21 による、きりん座に位置する 10 等星の恒星掩蔽現象の観測を日本各地の 20 地点で実施しました。このうち 1 地点(観測者: 滋賀県在住のアマチュア天文家 井田三良さん)では掩蔽によるわずか 0.1 秒程度の恒星の減光の観測に成功しました。1 km 未満のサイズをもつ小惑星の掩蔽観測の成功例はほとんどなく、本件は掩蔽観測の歴史に残る極めて貴重な観測成果です。いっぽうで、今回得られた 1 地点での掩蔽観測データからのみでは、恒星の明滅のタイミングを複数地点で計測し、影の形状を推定するという、これまでの掩蔽観測で用いられてきた解析手法を用いて小惑星の形状を推定することは不可能でした。

1 地点のみの観測データから 2001 CC21 の形状を推定するため、我々の研究グループは新たな掩蔽データ解析手法「DOUSHITE (Diffracted Occultation's United Simulator for Highly Informative Transient Explorations) :ドウシテ」を開発しました。DOUSHITE は、掩蔽によって恒星が明滅するさいの微細な光度変化にみられる、光の回りこみ現象『回折』の効果を正確にモデル化し、観測データと比較することで、天体のサイズ・形状を高精度で推定する新しい解析手法です。回折の効果は天体のサイズや形状に依存しているため、観測された恒星の光度変化をさまざまなサイズ・形状を仮定したモデル光度変化と比較することで、掩蔽した天体の影のサイズ・形状を推定することができるのです。そして回折の影響は 1 地点の観測データからでも得られるため、今回 DOUSHITE により、はじめて限られた観測データからでも形状の推定が可能となりました。

DOUSHITE を用いた解析結果によって、小惑星(98943) 2001 CC21 の影が細長い形状を持っていることが明らかになりました。具体的には、観測された光度変動は長径およそ 840 m、短径およそ 310 m の楕円形の影を仮定したモデルで最もよく再現でき、2001 CC21 の影の短軸と長軸の比がおよそ 0.37 であることが判明しました。

3. 波及効果、今後の予定

本研究成果は、はやぶさ2の拡張ミッション計画において、限られた観測機会を最大限に活用するための基礎データを提供するものです。2026年の小惑星(98943) 2001 CC21へのフライバイミッションの成功には、天体の正確な形状の把握が不可欠です。本研究で得られた形状データは、フライバイ時の観測戦略の最適化に役立ち、科学的な成果を最大化することに寄与します。

またDOUSHITEを用いた解析は、今後の恒星掩蔽観測においても活用できる強力なツールであり、小型の天体や遠方の天体の詳細な特性を明らかにするための新しいアプローチを提供します。これにより、太陽系内外の様々な天体の研究が掩蔽観測を通して進展し、天文学の発展に大きく貢献することでしょう。

本研究は、アマチュア観測者とプロの天文学者が協力して成果を上げたことから、シチズンサイエンス(市民科学)の成功事例としても注目されます。観測データの収集から解析に至るまで、異なるバックグラウンドを持つ研究者たちが協力することで、新しい観測アプローチ生まれ、より高精度な研究が可能となります。このような協力体制は、今後の天文学研究においても重要な役割を果たすと期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究プロジェクトは有松 亘(ありまつ こう) 京都大学白眉センター/理学研究科 附属天文台・特定助教を筆頭著者とし、アマチュア観測者および国内外に拠点を置くプロの研究者を含む計35名の研究者によって実施されました。また、日本学術振興会科学研究費助成事業(18K13606, 21H0115)の補助を受けて行われました。

<研究者のコメント>

掩蔽観測楽しいよ！みんなやってみて！

<論文タイトルと著者>

タイトル：Diffraction Modelling of a 2023 March 5 Stellar Occultation by Subkilometer-sized Asteroid (98943) 2001 CC21

(サブキロメートルサイズの小惑星(98943)2001 CC21による2023年3月5日の恒星掩蔽の回折モデリング)

著者：K. Arimatsu, F. Yoshida, T. Hayamizu, 他

掲載誌：Publications of the Astronomical Society of Japan DOI：<https://doi.org/10.1093/pasj/psae060>

<参考図表>



図1. 小惑星(98943) 2001 CC21 にフライバイするはやぶさ2探査機の想像図。本研究の結果、2001 CC21 の形状は細長いと推定されるため、本図にもその知見が反映されている。
Credit: 有松亘(京都大学)/JAXA

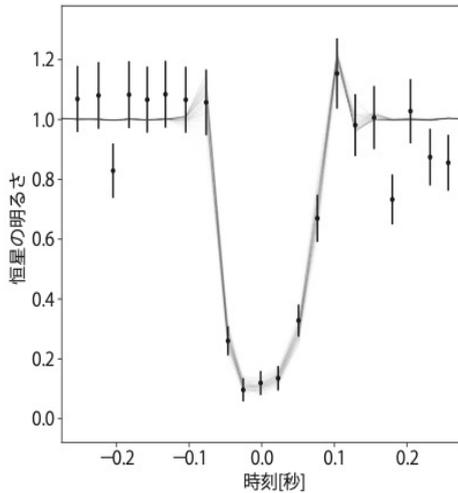


図2. 小惑星(98943) 2001 CC21 による恒星掩蔽発生時に観測された、恒星の光度変動。井田三良氏の観測データから得られた恒星の光度変化の実測値(誤差棒付きの点)に対して、DOUSHITEにより生成された、観測に適合する光度変化モデル分布(それぞれの灰色線が個々のモデルに対応)を示している。明滅時に恒星の光度がゆるやかに変動し、かつ非対称な構造をもっているのは、光の回りこみ現象『回折』の効果によるものである。
Credit: 有松亘(京都大学)

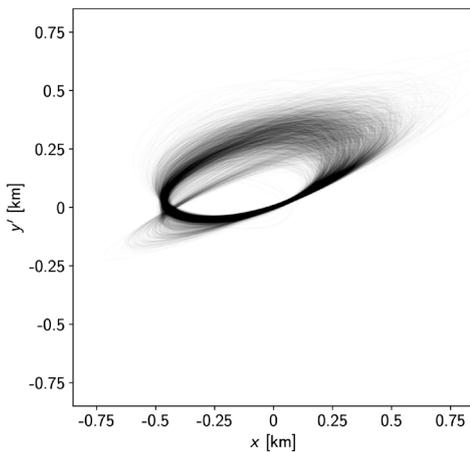


図3. DOUSHITEにより生成された、観測データ(図2)を良く再現する小惑星(98943) 2001 CC21 の形状モデルの分布。多くのモデルが長径およそ 840 m、短径およそ 310 m 程度の楕円形の形状の影に対応している。
Credit: 有松亘(京都大学)