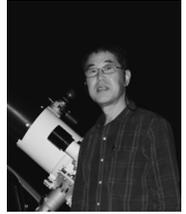


## 〈2019年度日本天文学会天文功労賞〉

小惑星（3200）Phaethonを追え  
アマチュア天文家の貢献

早水 勉

〈佐賀市星空学習館〉

e-mail: haya@po2.synapse.ne.jp

DESTINY<sup>+</sup>ミッションの探査対象である小惑星（3200）Phaethonの大きさなどをより制限するために、恒星食観測キャンペーンが2019年7月-10月にDESTINY<sup>+</sup>サイエンス検討チーム主導で展開された。この恒星食はかつてない厳しい観測条件だったが、7月29日（UT（世界時））および9月29日（UT）に米国で、また10月15日（UT）に日本でも貴重な観測成果を得ることができた。そして、8月21日（UT）には函館で歴史的な観測隊が組織された。残念ながら天候不良のため成果は得られなかったものの、組織化を通じて予報、観測に至る協力体制が構築され、大きなノウハウを得ることができた。このキャンペーンに対する支援により、筆者は2019年度の日本天文学会天文功労賞を授与された。この恒星食キャンペーンの顛末と、小惑星による恒星食観測のトレンドを紹介する。

1. DESTINY<sup>+</sup>ミッションとは

本稿は、2019年7月-10月の、プロの研究者とアマチュア天体観測家たちの共同で行われた小惑星（3200）Phaethonによる恒星食の観測事例について紹介するものであるが、まずその背景となっている「DESTINY<sup>+</sup>ミッション」について触れておく必要がある。

「DESTINY<sup>+</sup>」はJAXAと千葉工業大学が推進中の探査機による小惑星探査ミッションである。探査の対象天体は、ふたご座流星群の母天体であるアポロ型小惑星（3200）Phaethonで、はやぶさ2のような長期滞在探査ではなく、フライバイによる探査となる（図1）。（DESTINY<sup>+</sup>に関する情報の詳細は、JAXAや千葉工業大学PERCのウェブサイトをご覧ください。）[\[1,2\]](#)

このような国家的なミッションになぜアマチュ



図1 DESTINY<sup>+</sup>ミッションのロゴ。関係する機関名とミッション概要（地球飛来ダストの分析、ふたご座流星群母天体のフライバイ等）が模式的に表されている。

アが関与するののかという点、恒星食観測の特色に理由がある。フライバイという短期間一発勝負の探査であるがゆえ、探査機搭載の観測機器の仕様や観測計画は打ち上げ前に入念に準備しておかなければならない。したがって、目標小惑星の反射率を正確に得るため、本番の探査機を打ち上げる前に、基本情報である目標小惑星 (3200) Phaethon の大きさを正しく知る必要があった。そしてそのためのツールとして、(3200) Phaethon による恒星食が提案され、この恒星食観測にプロだけでなく、恒星食観測に実績のある多くのアマチュア観測者たちの参加が求められたのである。

### 1.1 千葉工業大学の提案による JAXA の探査計画

公式なミッション名は「Demonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage, Phaethon fLyby and dUst Science」で、「DESTINY<sup>+</sup>」はこの略称である。千葉工業大学惑星探査研究センター (Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology/略称「PERC」) は JAXA と共同で、工学実証と理学観測が連携した「DESTINY<sup>+</sup>計画」を 2015 年度に提案し、審査を経て、2017 年度に JAXA の小型科学ミッションに採用された。工学ミッションの推進を JAXA が担当し、科学観測機器の開発を含む理学ミッションの推進を千葉工業大学が担当する。

国民的に関心を集めている「はやぶさ2」ミッ

ションは、小惑星リュウグウに探査機が長期間滞在するミッションだったが、DESTINY<sup>+</sup> は、(3200) Phaethon をフライバイする探査となる。これは、対象となる小惑星の軌道による違いが大きい (表1)。リュウグウはほぼ円軌道で地球に近い軌道を持っている。これは偶然ではなく、長期滞在探査に適した小惑星の中からリュウグウを選んだ結果である。一方、DESTINY<sup>+</sup> では、地球生命の起源探求の一環として、起源の知られた有機物を含む地球飛来ダストを調査するという科学目標から、当初から小惑星 (3200) Phaethon が目標天体として定まっていた。(3200) Phaethon の軌道は傾斜角が 22.23° もあり、また極端に扁平な長楕円軌道 (離心率=0.890) で、地球とは大きく異なっているために軌道投入の難しい対象天体だ。そのため、フライバイ軌道に投入するだけでも地球スイングバイを繰り返しつつ 2 年半の時間を要する。この間 DESTINY<sup>+</sup> 探査機は地球近傍のダストの化学分析を実施し、その後小惑星 (3200) Phaethon の近傍約 500 km をフライバイして、カメラによる撮像と (3200) Phaethon 近傍のダストの分析を行う計画となっている。

一発勝負のやり直しのできないフライバイ探査であるために、事前の調査をより入念に行う必要があった。

表1 小惑星リュウグウと (3200) Phaethon の軌道の違い。

小惑星	リュウグウ / (162173) Ryugu	ファエトン / (3200) Phaethon
ミッション	はやぶさ2	DESTINY <sup>+</sup>
離心率	0.190	0.890
軌道長半径	1.189 au	1.271 au
近日点距離	0.963 au	0.140 au
軌道傾斜角	5.88°	22.23°
公転周期	1.30年	1.43年

同ニアポロ型小惑星でも軌道 (離心率, 近日点距離, 軌道傾斜角) が大きく違う。

## 1.2 (3200) Phaethonに恒星食観測が求められた理由

(3200) Phaethonが目標天体に選定された理由は次項に記すが、この小惑星は、恒星食観測までに正確な大きさが分かっていなかった。直径の見積りは、可視光ライトカーブからは5.1 km、アレシボ・レーダー観測（図2）からは6.2 km、赤外線天文衛星 NEOWISE の観測では4.6 kmと大きく異なっている。探査目標天体の大きさは最も重要な基本情報であるから、もっと正確に確かめておく必要がある。大きさの見積りが誤っていると反射率の見積りも誤ってしまう。これでは、フライバイですぐに通り過ぎてしまう探査においてカメラの露出が決められず致命的な問題となってくる。

小惑星の大きさを地上から観測できる手法として、小惑星による恒星食の観測は極めて有効な方法だ。NASAによる冥王星探査ニューホライズンズが冥王星系の後にフライバイしたTNO天体アロコス（通称ウルティマ・トゥーレ）の事前観測でも、予報掩蔽帯に多数の望遠鏡を配置した恒星食観測キャンペーンが実施されている。恒星が照らす小惑星の影を直接観測するシンプルな手法だから、誤差の入る余地が少ない。1カ所の観測者が小惑星の影に入ると、瞬間的に恒星が消えたように見える。これをいくつかの観測地点で行えば小惑星の影の形が浮かび上がってくる。それゆえ、DESTINY<sup>+</sup>サイエンス検討チームは総力を挙げて(3200) Phaethonの恒星食を観測するキャンペーンを行った。

### 1.3 謎の多い小惑星 (3200) Phaethon

(3200) Phaethonは活動型小惑星に分類される。荒井朋子氏（DESTINY<sup>+</sup>サイエンス検討チーム責任者）によると、彗星の探査はロゼッタ（欧州宇宙機関）等、これまで多数の成功例があるが、活動型小惑星の探査は世界でも実績が少ない。NASAは、おうし座流星群の母天体と考えられているエンケ彗星（2/P Encke）の探査（2002年）に失敗している。だからこそ魅力にあふれる

チャレンジングなミッションなのだという。

DESTINY<sup>+</sup>がターゲットとする小惑星（3200）Phaethonは、特別に魅力あふれる天体である。(3200) Phaethonの発見は約40年前にさかのぼる。1983年、NASA、オランダ、イギリスの赤外線天文衛星IRAS（アイラス／Infrared Astronomical Satellite）により発見されたアポロ型小惑星だ。太陽に0.14天文単位（＝約2000万km）まで近づき、わずか1.4年という極端に短い公転周期を持っており、当時知られていた小惑星の中では、もっとも太陽に接近する特異な天体だ。また、アポロ型小惑星としては最大の天体でもある。

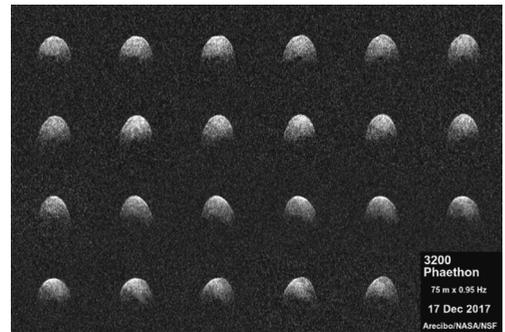


図2 アレシボ天文台のレーダー観測により撮影された小惑星 (3200) Phaethon.

(c) Arecibo Observatory/NASA/NSF

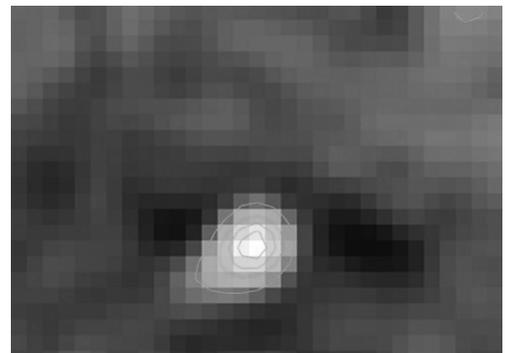


図3 近日点付近で彗星状の尾を形成した小惑星 (3200) Phaethon (NASA/ステレオ衛星).

(c) Jewitt, Li, Agarwal/NASA/STEREO.

Phaethon（日本語では、ファエトン、フェー  
トン、パエトン等と表記される）の名は、まさに  
ギリシア神話における太陽神アポロン（またはヘ  
リオス）の息子の名が与えられたものである。

(3200) Phaethonが発見されるとまもなく、ホ  
イップル（米）は、当時まだ母天体が分かってい  
なかったふたご座流星群の軌道と(3200) Phae-  
thonの軌道が一致することを発見した。しかし、  
流星群の母天体が小惑星ということは理解されて  
おらず疑問が残された。小惑星は岩石質で、流星  
群の元となるダストを出さないと当時は理解され  
ていたためである。さらに、2009年にはNASA  
の太陽観測衛星ステレオにより、近日点付近で  
(3200) Phaethonが2等級増光することが観測さ  
れ、2013年にはついに非常に短い彗星状の尾も  
撮影された（図3）。これらのことから、(3200)  
Phaethonは、かつては彗星だったが揮発成分が  
枯渇し、近日点から離れたところでは小惑星の特  
徴を示しているという見方が強い。

ところがまだ疑問は残る。別の研究では、  
(3200) Phaethonは四大小惑星の一つ(2) Pallas  
から分裂したという主張もある。(3200) Phae-  
thonと(2) Pallasは、ともに大きな軌道傾斜角  
を持つという特徴があり、ある一定の条件下でシ  
ミュレーションすると、(3200) Phaethonが(2)  
Pallasから分裂したとする説明が可能であるとい  
う。また、彗星起源ならばD型（分光型）であ  
ることが自然であるが、(3200) Phaethonは(2)  
Pallasと同じ炭素質のB型小惑星である。小惑星  
がダストを放出するなら、地球上の有機物の起源  
は、彗星だけではなく小惑星にも可能性が出てく  
るのだ。

## 2. アマチュアが主体／小惑星による 恒星食観測の現状

### 2.1 小惑星による恒星食観測の歴史

小惑星による恒星食は、歴史的には1958年に  
スウェーデンで(3) JunoによるSAO112328(8.2

等)の食が観測されたことが最初である。予報者  
は、英国グリニジ天文台のテイラー氏だった。そ  
の後も4大小惑星を中心に予報と観測がなされた  
が、1977年までの観測の成功は、わずかに、5例  
だった。1978年以降は、テイラー氏、相馬充氏  
(国立天文台)、ダナム氏(米IOTA)らの努力に  
より地球規模の予報が発表され、1978年5件、  
1979年5件、1980年3件、1981年6件と着実に  
観測の成果を得られるようになった。日本におい  
ても1970年代終盤から盛んにこの現象の観測を  
試みられるようになるが、確実な現象の確認まで  
にはなかなか至らず、1983年井田三良氏の(106)  
DioneによるSAO80228(9.1等)食の観測成功  
まで待たねばならなかった。

黎明期はハイレベルのアマチュアに好まれる観  
測分野で、予報の精度もそれほど確かなものでは  
なかった。しかし、星表の高精度化、小惑星の軌  
道決定の改良に伴って、予報精度も徐々に向上  
し、観測報告数、観測成功数は年々増加してい  
る。2019年には国内で過去最多の53現象が観測  
成功に導かれた。2020年も2019年を凌駕する勢  
いで観測されている（図4）。現在では、様々な  
恒星食観測の中でも、小惑星による恒星食はもっ  
とも人気のある分野に成長している。

恒星食観測は、過去から現在に至るまで、観測  
者の主体はアマチュア天文家である。これは、恒  
星食観測の特徴がアマチュアに適しているため  
だ。その理由を挙げよう。

(1) 観測者が多いほど成果が高まる。観測が成  
功すれば、参加した観測者全員がヒーローになれ  
る。これは、新天体発見とは異なる恒星食観測の  
大きな特徴だ。

(2) 小惑星を直接観測するのではなく明るい恒  
星の減光を観測するので、小さな望遠鏡でも、大  
望遠鏡に劣らない成果が得られる（トランジット  
による系外惑星の観測で多くのアマチュアが活躍  
したことと似ている）。

(3) 眼視観測の成果も有効なデータとなる。な

ぜなら、取得するべきもっとも重要な物理量は「時刻」であるためだ。必要とされる精度にもよるが、今日ではどんなところでもおおむね正確な時計を使うことができる環境がある。

(4) 小惑星の大きさや形状、対象星の特徴（重星）、惑星や小天体の大気やリングの有無の確認など科学的な価値が高い。そもそも天文学は他の学問に比してアマチュアの参入可能な代表的な学問だが、その中でも恒星食は筆頭に挙げられるだろう。

(5) 予報はインターネットで世界的に公開されており、誰もが予報を得ることができる。

(6) 観測結果が直ちに分かりやすい成果となってフィードバックされるシステムが構築されている。

(7) 見て楽しい。宇宙の息吹を感じられる天文現象である。

これらのアマチュア天文家に適する特性は、そのまま科学教育の入り口にも好適であると筆者は考えている。見て楽しいからこそ、好奇心＝科学する心が刺激される。科学の基本は、第一に自然を観察することだろう。ガリレオの格言「見えないと始まらない。見ようとしないと始まらない」は、まさにこのことを指しているのではないだろうか。そして、何かを測ることで「観察」は「観測」へとステージを上げる。恒星食観測における測定すべき物理量は万人に身近な「時刻」であり、科学教育、理科教育に適する要素を備えているのだ。

筆者が恒星食観測に本格的に取り組みだしたのは、1998年10月のアルデバラン食からだ。当時、鹿児島県川内市（現 薩摩川内市）の公開天文台せんだい宇宙館が設立（1998年）され、私は設立と同時に職員として採用された。公開天文台の職員として、天文普及に役立つツールに選んだのが恒星食観測だった。恒星食観測は前述のようアマチュアに適した特質があり、天文学の発展にも寄与することができる。市民に開かれた公

開天文台だからこそ、市民とプロの天文学者を橋渡しする役割を担いたいと考えた結果だった。

この時期、小惑星による恒星食の観測はまだハイアマチュアの観測する分野だったが、私はむしろ初心者の参入を促すよう努力してきた。

## 2.2 世界の観測協力体制

現在、恒星食観測が積極的に行われている地域は、米国、ヨーロッパ、オセアニア、そして日本だ。他の観測分野でもそうであるように、北半球において日本は地理的に米国、ヨーロッパとともに24時間をカバーする重要なポジションにある。全世界の観測成果は、IOTA（The International Occultation Timing Association / 国際掩蔽観測者協会）により収集され、全世界の恒星食研究に役立てられている。日本を中心とする東アジア地域における、小惑星による恒星食観測についてのIOTAとの窓口は、2004年から現在まで筆者が引き受けている。他の地域にもコーディネーターが存在しており、世界的な協力体制が構築されている。

地域コーディネーターの役割は、主に、予報の配布と観測結果のとりまとめだ。観測の多くがアマチュア観測家によるものが多いことから、報告された内容に誤りがないか、事前にチェックすることも地域コーディネーターの重要な役割となっている（図5）。

## 3. 小惑星（3200）Phaethonの恒星食観測

### 3.1 恒星食観測キャンペーン

さて、2019年の小惑星（3200）Phaethonによる恒星食の話題に戻ろう。（3200）Phaethonの姿をもっと詳しく調査したいDESTINY+サイエンス検討チームの下に、数本の恒星食の予報がもたらされた。主要な予報は以下の3本だった。

a. 2019年7月29日HIP 24973（7.3等）の食：米国（第一予報者／佐藤勲）

b. 2019年8月21日TYC 3348-00474-1（11.7等）

小惑星による恒星食 / (日本)

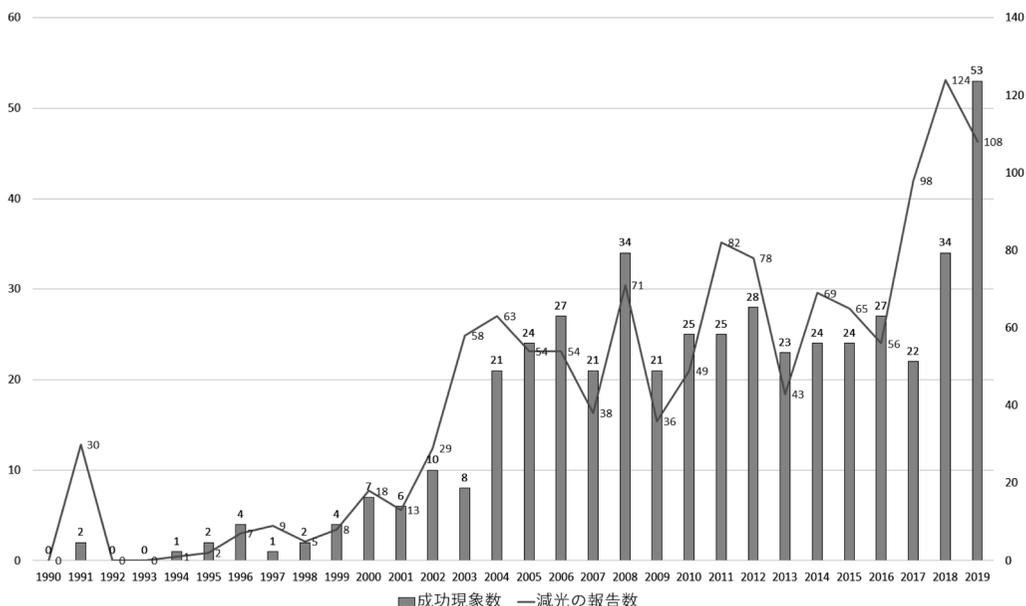


図4 日本における小惑星による恒星食の成功した現象数と減光の報告数の推移。一つの現象に複数の観測が得られることが多いために、現象数よりも減光の報告数は多くなる。



図5 恒星食観測分野における、天文学者とアマチュア観測者の協力体制のイメージ。

の食：日本（第一予報者／野田寛大（国立天文台））

c. 2019年10月15日TYC 3292-00570-1（11.5等）の食：日本（第一予報者／野田寛大（国立天文台））

日付はいずれもUT。

これらのうち、最終的に成功を収めた観測はa

とcだったが、bでは函館においてかつてない大規模の観測隊が編成され、歴史的なエポックとなった。まず、観測目標に定めた現象は、米国で起こる現象aと、日本（初期予報では青森とされたが、その後の改良により函館で起こることが分かった）で起こる現象bだった。そして、DESTINY+サイエンス検討チームは、米国と日本で恒星食観測網を組織することを計画した。

### 3.2 かつて経験のない難しい観測

DESTINY+サイエンス検討チームで中心的に動いたのは、チーム責任者の荒井朋子氏とPERC研究員の吉田二美氏（当時／現 産業医科大）だ。二氏は、渡部潤一氏（国立天文台）、相馬充氏（国立天文台）にも協力を求め、光栄にも相馬氏経由で筆者にも白羽の矢が立った。しかし、予報を知るなり、私の常識ではこの観測の成功率は10%に満たないと直感した。それまでの恒星食観測の常識では、あまりにも難しい観測条件だったからである。

### ・あまりにも小さい

一般的な小惑星による恒星食では、おおむね直径25 kmより小さな天体で観測を計画されることはまずない。掩蔽帯の誤差は良質の予報でも数十kmの誤差を含んでおり、小さな小惑星では食を捉える確率が低いからだ。まして、(3200) Phaethonの推定直径は、わずか5-6 kmしかない。これでは誤差の方が数倍も大きくなってしまう。

### ・あまりにも暗く、あまりにも短い

必要となる観測機材の要求は、隠される側の恒星の明るさに最も依存する。暗い恒星の場合は、露出時間を長くして引き換えに時間分解能を犠牲にする。ところが、(3200) Phaethonの恒星食は、減光時間はわずか0.5秒程度しかないと想定されており、露出時間を長くすることはできない。恒星はあまりにも暗く、減光時間はあまりにも短いのだ。

またこのような観測の場合、天文台設置型の大型望遠鏡での観測は期待できない。(3200) Phaethonの掩蔽帯の幅はわずか5-6 kmしかなく、掩蔽帯がたまたま天文台を通っていることはほぼ望めないからだ。掩蔽帯をカバーして多数の望遠鏡を配置するのだから、必然的に移動可能な望遠鏡による観測となる。

米国の現象はその点で願ってもないほど理想的であり、対象星が7.3等と極めて明るく千載一遇のチャンスだった。これなら、口径10 cm程度の小型望遠鏡でも十分事足りる。一方で、日本で予報されるTYC 3348-00474-1 (11.7等)の食は、観測の求める精度を確保するためには、移動観測でも口径30 cm程度の望遠鏡が望ましかった。これは現実的に、移動観測が可能なぎりぎりの口径だった。

### 3.3 IOTA (国際掩蔽観測者協会) とNASAの支援

この困難な恒星食観測のために、相馬充氏は予報の改良とともにIOTAへの協力を求めた。また、DESTINY<sup>+</sup>サイエンス検討チームからは、



図6 (3200) Phaethonの恒星食に対して、極めて高精度の予報を計算したマーク・ブーイ氏(米サウスウエスト研究所)。(c) NASA/JHUAPL/SwRI/Adriana Ocampo (ブーイ氏本人の承諾済)。

NASAおよびマーク・ブーイ氏(米国・サウスウエスト研究所)へ支援を要請。そしてさらなる予報改良を託されたのは、冥王星探査ニュー・ホライズンズ計画でTNO天体アロコスによる恒星食観測を指揮した実績のあるマーク・ブーイ氏(図6)だった。ブーイ氏とプレストン(米IOTA)氏の共同による予報計算はかつてない高精度で、修正された掩蔽帯は誤差( $3\sigma=99.7\%$ 確率)を含めてわずか20-22 kmの幅に絞られた。これは、現在もっとも信頼されている恒星食予報(Preston/IOTA)のほぼ10倍もの高精度だった。

7月29日の米国の現象は、IOTAのデビッド・ダナム氏らが中心となって布陣計画を進めた。一方、8月21日の日本における観測隊は、荒井氏と吉田氏を通じて主にプロの研究者から、筆者らはアマチュアの天文家らを中心に観測者を募った。

こうして、歴史的にも例のない国際協力とプロアマ連携による大規模な観測計画が組織されていった。最終的には、米隊30地点、日本隊16地点31名で布陣し恒星食を迎えた。

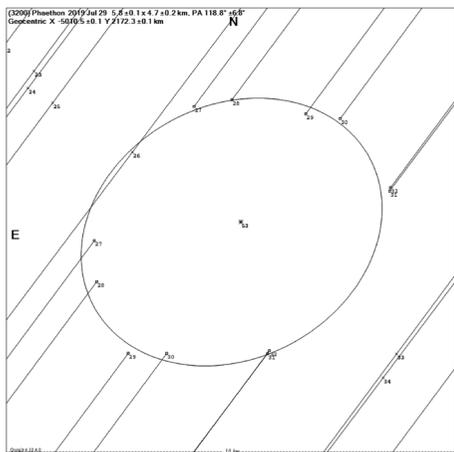


図7 2019年7月29日(UT)(3200) PhaethonによるHIP 24973(7.3等)の食から得られた小惑星の断面(John Moore, Dave Herald, David Dunham(IOTA)).

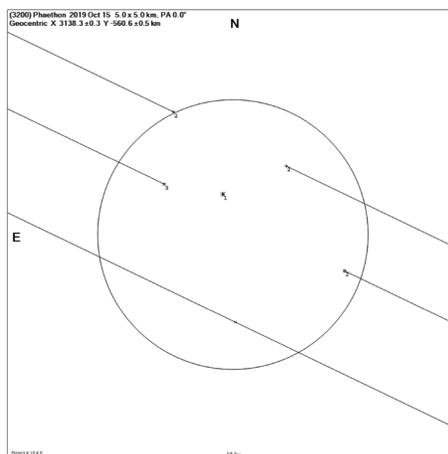


図8 2019年10月15日(3200) PhaethonによるTYC 3292-00570-1(11.5等)の食の整約結果(Dave Herald(IOTA)).

### 3.4 米国での歴史的観測成果, 欧州, 日本も続く

#### ・7月29日(UT) HIP 24973(7.3等)の食

先陣を切って、HIP 24973(7.3等)の食が米国西部で観測された。これほど明るい恒星食は、全ての小惑星による恒星食の年間予報を見渡しても数件程度しかなく、願ってもない現象だ。ブーイ氏・プレストン氏らの算出した掩蔽帯を横断する幅20 kmの範囲に約30地点で布陣がなされた。そして見事にほぼ予報の中心線上の6地点で、恒星食による減光が観測された。結果として予報の誤差は、わずか数百mという驚くべき正確さだった。

この結果ダナム氏(IOTA)らによる整約から、 $5.67 \times 4.72$  kmの楕円形の断面が浮かび上がってきた。予想を大きく凌駕する大成功となった(図7)。

#### ・8月21日(UT) TYC 3348-00474-1(11.7等)の食

この米隊の大成功は、3週間後に本番を迎える日本隊にとって、大きな朗報となった。日本で起こるTYC 3348-00474-1(11.7等)でも、ブーイ

氏・プレストン氏の予報に全幅の信頼をおき観測者を有効に配置計画することが可能となった。しかし、多数のハードルを乗り越え万全の準備を敷いて臨んだ日本の観測隊は、無情にも天候不良のために観測成果を得られなかった。この観測隊については、次項にて詳しく記そう。

#### ・2019年10月15日(UT) TYC 3292-00570-1(11.5等)の食

残念ながら8月21日の観測は不成功に終わったが、DESTINY<sup>+</sup>サイエンス検討チームは次のチャンスに狙いを定めていた。10月15日(UT)、宮城県登米市、大崎市から山形県鶴岡市を結ぶ線上を予報掩蔽帯とするTYC 3292-00570-1(11.5等)の恒星食だ。IOTAにより2019年日本で予報されている(3200) Phaethonによる恒星食はこれがラストチャンスだったが、満月2日後の強烈な月光があるうえに、減光は最長でも約0.2秒という、8月の現象よりもさらに厳しい観測条件だった。この観測には太平洋側から日本海側にかけて多数の観測候補地が選定され、最終的には10地点に布陣した。(筆者はこの観測には加わらず、布陣計画などの後方支援に回った。)

現象当日は、またしても雲や霧の発生などで天

候に悩まされた。このため今回も、直前の判断で観測地を移動した班もあったが、その努力が実り井田三良氏（大崎市に布陣）と富岡啓行氏（品川征志氏、川上勇氏、藤井旭氏らとともに登米市に布陣）の両ベテラン観測者により、減光が記録された。執念ともいえる観測成功が見事に得られたのだ（図8）。

これらの観測と並行して、全世界で（3200）Phaethonによる恒星食は集中的に観測された。その結果、現在までに6本の成功観測が得られている。（2020年5月現在）

### 3.5. 函館に集結した日本隊

日本で最初に観測隊の編成された8月21日（UT）の観測は、天候不良により観測成果を得ることはできなかった。しかし、前例のない計画ゆえに大きな困難を乗り越えて布陣までこぎつけた実績はここに記しておきたい。

予報の改良は、現象の10日間前まで数度にわたり実施され、そのたびに信頼性は高くなっていくのだが、日本における掩蔽帯は、当初青森付近だったものが函館付近に修正された。これには31名にも上る観測隊の遠征計画に根本的な修正を要求される。地形を考慮した布陣計画の練り直しはもちろん、エアチケットの手配、宿泊の手配、機材の輸送、レンタカーの手配など、ちょうどお盆の時期とも重なって遠征の再計画にはまったく余裕はなかった。渡部潤一氏の仲介を経て、公立はこだて未来大学での観測隊受け入れが決定したのは8月15日、現象の1週間前のことだった（図9）。

困難はさらに続く。天気予報は芳しくなく、現象日2日前の20日時点で、少しでも降水確率の低い渡島半島西海岸に主要な布陣を移すことに決定。翌21日（日本時間／現象前日）に、半日をかけて現地調査を執行し、日が変わる頃、22日未明の現象に備えて再布陣した。その甲斐もあって、そこでは時折晴れ間がのぞくこともあった。しかし無情にも、厚い雲は最後まで取れることは



図9 2019年8月21日（UT）の観測隊，はこだて未来大学にて。

前列左から、布施綾太、森川恵海、吉田二美（観測隊まとめ役）、荒井朋子（DESTINY<sup>+</sup>サイエンス検討チーム責任者）、北崎勝彦、山村秀人、永田利博  
中列左から、野田寛大、阿部新助、伊藤瑞生、岡本尚也、山田竜平、筆者、谷優希、山本真行、森田晃平、増田陽介

後列左から、洞口俊博、佐藤勲、古川隆徳、洪鵬  
この他に、甲田昌樹、渡辺裕之、有松亘、小田桐茂良

写真提供：荒井憲子（敬称略）

なく、その恒星食の瞬間は雲の向こうで通り過ぎていってしまった。

## 4. 小惑星（3200）Phaethon 恒星食観測で得たもの

8月21日（UT）の観測は、無念にも観測成果を得ることはできなかったものの、このために構築してきたノウハウが、2カ月後に訪れた10月15日 TYC 3292-00570-1（11.5等）の食の観測成功につながっている。予報計算の実績と適切な手法も検証され、ここまでに至る協力体制の構築は日本の恒星食観測史上に残る。貴重なノウハウは今後も将来の観測に活かされることだろう。

DESTINY<sup>+</sup>サイエンス検討チームでこれらの観測を主導した吉田二美氏によると、今後も探査機の打ち上げまでに（3200）Phaethonによる恒星食の観測を重ね、さらに小惑星の形状に関する情報を充実させたいと意気込む。筆者は、吉田氏の相談を受け、プレストン氏（米IOTA）、ヘラル

表2 将来起こる小惑星 (3200) Phaethon による恒星食.

現象日時 (UT)	恒星	等級	継続時間	地域
2021年8月12日03時24分	UCAC4 625-017978	12.3	0.4 s	ヨーロッパ
2021年10月03日16時59分	UCAC4 646-021974	12.0	0.8 s	西日本
2022年10月03日10時49分	TYC 3312-02354-1	11.4	0.4 s	米国南部
2022年10月05日11時59分	UCAC4 682-020094	12.8	0.3 s	東北, 関東, 中部
2022年10月08日10時44分	UCAC4 682-019112	12.2	0.3 s	米国
2022年10月09日01時59分	TYC 3310-01992-1	10.7	0.3 s	カナダ, 米国
2022年10月21日14時32分	UCAC4 675-013356	10.8	0.3 s	北海道

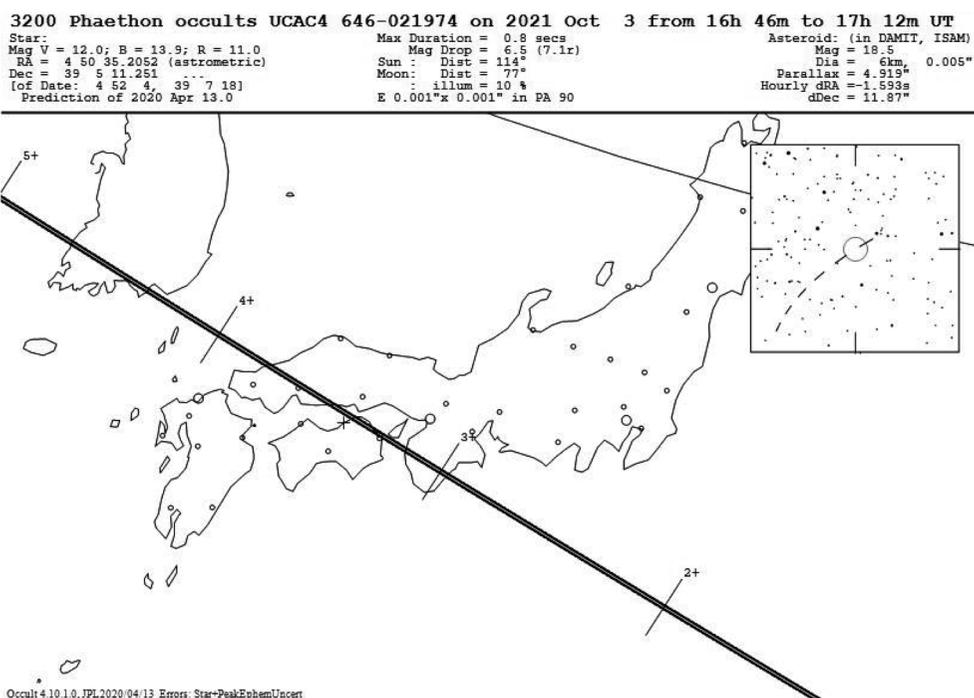


図10 2021年10月3日16時59分 (UT) に起こる (3200) Phaethon による恒星食予報.

ド氏 (豪IOTA) の指導を仰いで近未来に起こる観測に耐えうる現象を抽出した (表2). いずれも恒星が暗く食の継続時間が短い困難な観測条件ではあるが, 2021年10月03日 (UT) に訪れる現象は西日本で観測される可能性が高く, 次期観測の有力な候補に挙げられるだろう (図10).

より詳細な予報は, 筆者のHP[3]に公開しているので参照されたい. これらの予報は, 現象日ま

でに改良される予定である.

筆者自身は観測隊に参加はしたものの, 食現象をとらえていない. もし, 今後観測隊が編成されることがあれば, 再び編成計画とともに観測者としても参加したいと望んでいる.

## 5. ま と め

本文中にも記したが, 筆者は小惑星 (3200)

Phaethonによる恒星食は予報も観測も非常に難しく、成功の可能性は低いだろうと考えていた。しかし、多くの研究者とアマチュア天文家の努力によって現実のものとなり、今ではもちろん筆者自身も確度の高い観測は十分に実現できると確信している。このような大きな飛躍を目の当たりにして、科学と人間の努力の素晴らしさを実感している。

この成功は、恒星食観測の有効性とアマチュア天文家の実力を大きく示すことにもつながった。今後の探査機による小惑星探査の際に、恒星食観測は事前に地上から行う有効な観測手段となっていくことだろう。

## 謝 辞

この歴史的な観測隊に加わるようになったことは、アマチュア天文家の私にとって貴重な経験となりました。このために、観測隊を主導し常に温かくご指導いただいた荒井朋子さん、吉田二美さん、相馬充さんはじめ、多くの観測隊参加者の皆さまにはこの場を借りて御礼を申し上げます。中でも吉田さんには、その後も星食観測の情報を交換できる信頼関係を築いていただき感謝にたえません。

多くの方々が携わった観測隊であったにもかか

わらず、この観測隊への貢献を評価いただき第19回（2019）日本天文学会天文功労賞をいただいたことは望外のことでした。観測隊への参加を私にお声掛けいただいただけで光栄でした。多くの方々が努力されたのを代表する形で、私が賞をいただくことに恐縮しております。

また、奇しくも同じく2019年度の日本天文学会天文教育普及賞[4]を受賞された藤井旭さんも、2019年8月21日と10月15日の観測に参加されていました。2020年3月に予定されていた授賞式（筑波大学）でお会いできることを期待しておりましたが、新型コロナウイルス感染症によるパンデミックのためになかなかたことは残念でもありました。

この観測を通じてお世話になった皆さまには、これからも、どうぞよろしくご指導いただきたくお願い申し上げます。

## 参考文献

- [1] <https://destiny.isas.jaxa.jp/mission/> (2020.7.29)
- [2] <http://www.perc.it-chiba.ac.jp/project/destiny-plus/> (2020.5.8)
- [3] [http://hal-astro-lab.com/asteroid/Phaethon/Occultation\\_Phaethon\\_2020-2025.htm](http://hal-astro-lab.com/asteroid/Phaethon/Occultation_Phaethon_2020-2025.htm) (2020.7.29)
- [4] [http://www.asj.or.jp/asj/prize/T\\_Kourou.html](http://www.asj.or.jp/asj/prize/T_Kourou.html) (2020.7.29)