

小惑星による恒星食の観測報告

佐藤幹哉*・國司 眞*・弘田澄人*・成瀬裕子*・岸 篤宏*・山口珠美**・大川拓也***

Report of Asteroid Occultation

Mikiya Sato*, Makoto Kunishi*, Sumito Hirota*, Yuko Naruse*, Tokuhiko Kishi*, Tamami Yamaguchi**,
and
Takuya Ohkawa***

2012年8月3日、2012年10月20日および2014年7月28日に予報された小惑星による恒星食の観測を試みた。機材は、かわさき宙と緑の科学館のアストロテラスに新しく設置された30cm反射望遠鏡を使用した。2012年10月20日は、曇天のため観測に成功しなかったが、2012年8月3日および2014年7月28日は、掩蔽(恒星の減光)が起こらなかったことを確認することができた。他の観測地点の観測と合わせた整約結果では、2012年8月3日の現象において当館の観測結果によって掩蔽の南限を決定したこととなった。わずか3回の観測により効果的に成果を出すことができた本現象は、アストロテラスの機材を使用して実施する観測の良い対象となると考えられる。

1. 背景

1-1. 小惑星について

小惑星は、太陽系小天体のうち彗星を除く天体である。火星軌道と木星軌道の間に位置する、いわゆるメインベルト小惑星が大多数を占めるが、このほかに海王星軌道以遠に位置する太陽系外縁天体や、木星軌道とほぼ同じ軌道を描くトロヤ群なども小惑星に分類される。実際には太陽系に広く分布し、地球に接近するものや、水星よりも太陽に近づく軌道を持つものなども存在する。これらの小惑星は、太陽系形成期に惑星となり得なかった天体であり、当時の太陽系の情報を保持する「始原天体」として、太陽系形成のしくみを理解する上での重要な天体として位置づけられている。

一方で小惑星は大変小さく、地上からその形を直接観測することは大変困難である。現状では、ハッブル宇宙望遠鏡によって、ケレス(1 Ceres、直径約950km)やベスタ(4 Vesta、直径約500km)、冥王星(13430 Pluto、直径約2,300km)といったある程度の大きさを持つ天体でおよその形状が捉えられているのみである。このため、多くの天体の形状調査には、直接の探査が必要となる。実際に探査機が到達あるいは接近した小惑星は、日本の探査機「はやぶさ」によるイトカワ(25143 Itokawa)のほか、木星探査機「ガリレオ」が途中で接近し撮影を行ったガスプラ(951 Gaspra)とイダ(243 Ida)、小惑星探査機「NEAR」が探査を行ったマティルド(253 Mathilde)とエロス(433 Eros)、彗星探査機「ロゼッタ」が途中で接近したシュテインス(2867 Steins)とルテティア(21 Lutetia)、小惑星探査機「ドーン」によるベスタ(4 Vesta)、月探査機「嫦娥2号」によるトータティス(4179 Toutatis)などごく少数に限られる。

1-2. 小惑星による恒星食

太陽系内を公転している小惑星は、地球から見ると、天球上を日々移動して観察される。このため、時々恒星の手前を横切る(掩蔽する)ことがある。これが小惑星による恒星食という現象である。このとき、地上からこの現象を観測すると、恒星の明るさが小惑星の明るさまで減光して観測される(実際には、掩蔽の直前では、恒星と小惑星の合成等級から小惑星の等級まで減光して観測される)。減光の継続時間は小惑星の大きさや見かけの移動速度によって異なる。多くの場合は、数秒から十数秒程度の短時間である。

恒星は十分に遠方にあるため、地球に平行光線が届いている。この現象が起こる時には、この恒星からの光線を小惑星が遮るため、地上に小惑星の形の「影」が射影されていることとなる。したがって、地上の複数地点では、異なる継続時間で掩蔽現象が観測される。観測地の位置と現象時刻を整約することで、小惑星の形状(射影形状)を浮かび上がらせることができるのである。

国内では、1983年1月19日のディオネ(106 Dione)による掩蔽が、この現象について初めての観測である。以来、盛んに観測が実施され、2014年には19現象において国内での減光が捉えられている(渡部, 2014)。

1-3. 当館での取り組み

「天文分野に関する調査研究」として「天文現象について広く市民に伝えるための調査研究の実施」が、運営基本計画によって定められている(川崎市青少年科学館, 2012)。一方で、夜間における職務には時間的な制約が多いため、より効率的な観測が望まれる状況にある。その点において、既に国内で多くの観測がなされ、観測方法が確立されている当現象は、効率的に実施できる観測

*川崎市青少年科学館(かわさき宙と緑の科学館)

* Kawasaki Municipal Science Museum

**箱根ジオミュージアム

** Hakone Geo Museum

***宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

*** Japan Aeroscape Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science

と考えられる。

また当館は、2012年4月のリニューアルオープンに伴い、アストロテラス（新観測室）が整備された（國司, 2012）。自動的に天体を導入する望遠鏡が設置され、暗い天体でも導入が容易なシステムが整備された。本現象は、掩蔽される恒星が暗い場合が多いが、当館のシステムではこれを容易に観測できる可能性が高いと考えられた。また小惑星の外形を浮かび上がらせる面からみても、当館が観測に加わり観測地点数が増えることは大変望ましいことである。

以上により、本現象は、当館での調査研究の一環として観測を行うことに適した天文現象であると判断できる。公表された予報から観測条件を検討し、2012年～2014年で3回の観測に臨んだ。今回、この観測結果について報告する。

2. 観測報告

2-1. 対象とした現象とその予報

小惑星による恒星食の予報は、まず概略的な予報が1～2年前に発表されている。しかしながら、この時点では、現象の対象となる恒星及び小惑星ともにその位置の精度が欠くため、正確な予報とはならない。これらを改良した予報は、1～2カ月前になって発表される。この中から、当館付近がその掩蔽の範囲となる可能性の高い現象であり、隠される恒星の明るさが当館で撮影できると考えられる現象を抽出し、観測に臨むことにした。1例目は、2012年6月23日に予報が発表された同年8月3日の現象（以下、現象1と記述）である。2例目は、2012年8月31日に予報が発表された同年10月20日の現象である（同、現象2）。3例目は、2014年6月7日に発表された同年7月21日の現象である（同、現象3）。各現象の概要を表1にまとめた。

2-2. 観測機材および観測地

対象となる恒星の等級が比較的暗いため、より口径の大きい望遠鏡を使用することで現象を確実に捉えることを目指した。そこで、アストロテラスに設置されている望遠鏡のうち、最大口径となる30cm反射望遠鏡（タカハシ製ミューロン300、口径：300mm、合成焦点距離：2960mm、コレクテッドドール・カーカム式）を使用した。

撮像装置は、高感度モノクロ CCD 撮像デバイスであるWatec製のWAT-100N（現象1および現象2、国立天文台から借用）とWAT-902H2 ULTIMATE（現象3、佐藤個人所有）を使用した。これらは、前記の望遠鏡の接眼部の合成焦点位置に接続した。映像は、キヤノン製のデジタルビデオカメラ、iVIS HV20に入力を行い、これをMini DVテープに録画することで記録した。Mini DVテープによる録画形式は、データの圧縮率が低く、時間変化を記録する形式として優れているためである。

現象時刻の測定（保時）には、0.1秒以下の精度が求められる。現象1では、タイムサーバーと同期したパソコンによる時刻を録画することとした。このケースでは、0.3～0.5秒程度の精度で測定が可能であるが、若干精度面で劣ることとなった（掩蔽時の継続時間を測定する精度には影響しない）。現象2においては、GPSと同期して正確な時刻を記録できるGHS時計（大川個人所有）を使用した。この場合は、0.1秒以下の精度で記録および測定することが可能である。現象3では、短波ラジオによる時報放送を同時に録音する方法を計画した。この場合の測定精度は、0.1秒程度となる。ただし実際には受信状況が悪く、やむなく携帯電話の時報（117）を利用することになった。この場合は、1秒以内の誤差が含まれることになる（掩蔽時の継続時間を測定する精度には影響しない）。

観測したアストロテラスの経緯度は、国土地理院の電子国土ポータルにより測定し、東経139度33分41秒、北緯35度36分30秒、標高50mを求めた。

表1. 観測対象となった現象の予報.

現象番号	現象日時 (JST)	掩蔽される恒星のデータ			掩蔽する小惑星のデータ					
		星名	等級	赤経	赤緯	小惑星名	等級	推定直径 km	最大継続時間 秒	減光等級
現象1	2012年8月3日 20時59分	TYC 7407-00823-1	11.0	18h38m46.343s	-30°45'31.96"	404 Arsinoe	12.6	117	19.9	1.8
現象2	2012年10月19日 26時34分	TYC 0018-00319-1	9.6	00h58m13.400s	+07°18'11.96"	85 Io	10.4	154.8	15.6	1.2
現象3	2014年7月28日 21時31分	TYC 6840-01293-1	10.4	17h48m17.268s	-29°46'45.60"	433 Eros	12.7	15	2.4	2.4

※せんだい宇宙館（2012, No.1）、せんだい宇宙館（2014）による

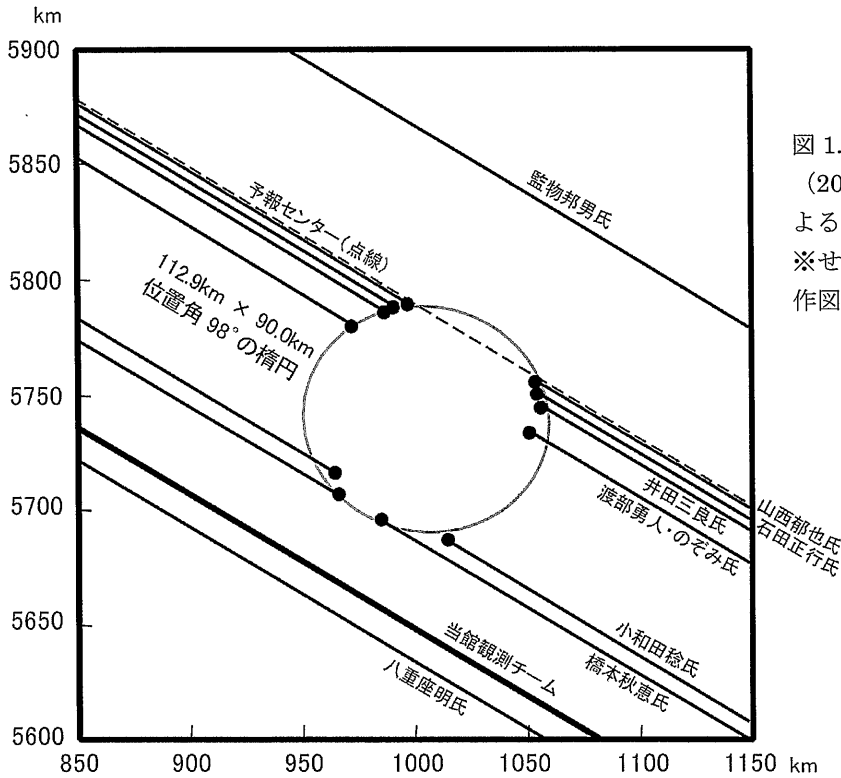


図 1. 現象 1 の結果.

(2012年8月3日小惑星アルシエノによる恒星の食).

※せんだい宇宙館 (2012, No.2) から作図.

2-3 現象1(2012年8月3日)の観測結果

現象 1 (2012年8月3日) は、小惑星アルシノエ (404 Arsinoe) が 11.0 等の恒星を隠すものであった。現象予報時刻は 21 時 00 分 (JST、以下同じ) 頃であり、予想される最大継続時間は 19.9 秒と予報されていた。そこで、20 時 56 分 0 秒から 21 時 8 分 0 秒まで観測を実施した。恒星は 11.0 等級と若干暗かったが、ビデオカメラの小さなモニターではっきりと確認することができた。

観測結果からは、観測時間中に恒星が減光しないことが確認された。これは、当館からの見かけ上、小惑星が恒星のそばをかすめて通過したことを意味する。なお現象は、記録用のビデオカメラのモニター画面における目視でも十分に確認できたが、念のため掩蔽測定ソフトである「Limovie」を使用して、ビデオに記録 (録画) された恒星の光度変化を確認した。この結果においても、観測時間中の恒星の光度の変化は認められなかった。

当館によるこの観測結果は、掩蔽観測のメーリングリストを通じて早水 勉氏 (せんだい宇宙館) に報告した。他の地点とともに観測結果は同館のウェブページに掲載されている (せんだい宇宙館, 2012 No.2)。早水氏による整約結果を図 1 に示す。この現象は、当館を含む 9 地点で観測され、このうちの 6 地点で減光が確認された。当館の観測地点は、これらの掩蔽が観測された各地点より南側に位置したことが推測された。また、当地点では減光は観測されなかったが、結果として掩蔽の南限界を決定する観測となり、小惑星の大きさの上限を決める重要な観測となった。なおこの現象の観測結果は、星ナビ

誌 (早水 2013) にも掲載された。

2-4. 現象 2 (2012年10月20日)の観測

現象 2 (2012年10月20日) は、小惑星イオ (85 Io) が 9.6 等の恒星を隠す現象であった。現象予報時刻は 2 時 34 分頃と深夜帯の現象であったが、予想される掩蔽帯が広く、また隠される恒星も 9 等級台と比較的明るかったため、観測に臨むこととした。予想される最大継続時間は 20.9 秒であった。

しかしながら当日の当地は、雲が広がる悪天候となつてしまい観測は成立しなかった。

この現象は、(当館のように天候が悪くて観測が成立しなかった地点を除いて) 国内 14 カ所で実際に観測されたが、減光が観測された地点はわずかに 1 カ所であった (せんだい宇宙館, 2012 No.3)。これは、予報よりも現象を観測できる地点が南側にずれこんだことが推測されている。本現象の観測においては、より多くの地点で観測に臨むことが必要であることが確かめられた現象の一つとなった。

なお、この現象では当館での観測は成立しなかったが、GHS 時計とビデオカメラとの接続を確かめることができた。

2-5. 現象 3 (2014年7月28日)の観測

現象 3 (2014年7月28日) は、小惑星エロス (433 Eros) が 10.4 等の恒星を隠すものであった。現象予報時刻は 21 時 31 分頃であり、予想される最大継続時間は

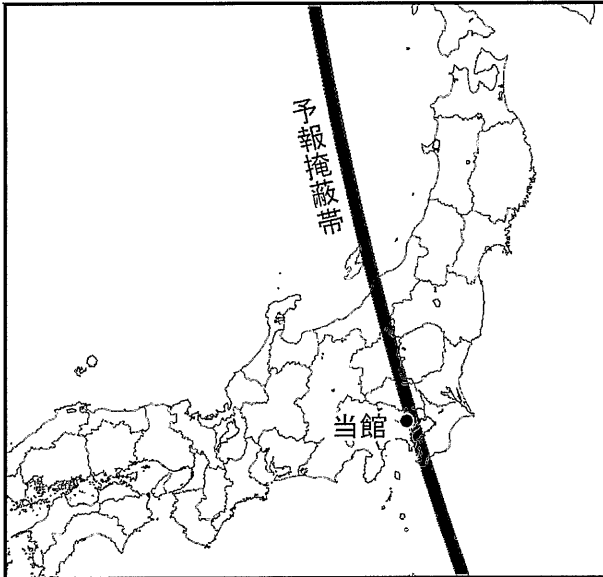


図 2. 小惑星エロスによる掩蔽帯。
※掩蔽帯は Steve Preston (2015) のデータより作図。

2.4 秒との予報だった。「エロス」は、直接探査によって形状が観測されている天体であり、10km 余りの細長い形状をしていることが確認されている。ただし、当日小惑星のどの方向が地球側を向いているかによって、掩蔽が観測できる範囲が変わるため、観測意義の深い現象であった。事前の予想掩蔽帯を図 2 に示す。幅の狭い掩蔽帯が予想されていたが、当館はその掩蔽帯の中にあり、減光を確認することが期待される状況であった。

当館では、この現象に臨み、21 時 25 分 0 秒から 21 時 35 分 0 秒まで観測を実施した。観測結果は、恒星に減光は認められず、掩蔽が起こらなかったことを確認することとなった。なお現象は、モニタ画面での目視でも確認できたが、念のため掩蔽測定ソフトである「Limovie」を使用して、記録された恒星の等級に変化が無いことを確認した。

この当館による観測結果は、掩蔽観測のメーリングリストを通じて早水 勉氏に報告した。現象 3 は、当館のほかにも埼玉県坂戸市、埼玉県秩父市、東京都武蔵野市、滋賀県守山市、静岡県浜松市、三重県いなべ市の 6 カ所でも観測されたが、どの観測地点からも恒星の減光は観測されなかった。このため、予報と結果にどの程度のずれがあったかを確認することはできなかった。「エロス」は比較的小さな小惑星であり、現象を確実にとらえるには、さらに観測地点を増やすことが必要であった。

5. まとめ

今回、アストロテラスにおける調査研究の対象となる天文現象のひとつとして、小惑星による恒星食の観測を実施した。改良予報が発表されるのがおよそ 1~2 カ月

前であり、観測を計画するためにはスケジュールの調整に若干の困難があるが、3 回計画した観測のうちの 1 回目で、掩蔽の南限を決定するという成果を出すことができた。現状の当館の体制を考慮すると、大変効率的に観測を行うことができたと判断できる。

今後も、改良予報を参考に、

1. 当館付近を予報掩蔽帯が通過している
 2. 観測時間帯が良い
 3. 隠される対象の恒星がおおよそ 11 等級より明るい
- このような好条件の現象を中心に観測に臨む体制で、効果的に研究成果を挙げていきたい。

6. 参考文献

- 川崎市青少年科学館 (編), 2012. 川崎市青少年科学運営基本計画. p.18, 川崎市.
- 國司 眞, 2012. アストロテラスの設置と 40cm 反射望遠鏡の改修. 川崎市青少年科学館紀要, (23): 47-48.
- 早水 勉, 2013. 視天 小惑星による恒星食「2012 年の結果と 2013 年の見どころ」. 月刊星ナビ (アストローツ社), (2013 年 1 月号): 60-62.

Online Available from Internet

- Steve Preston, 2015. (433) Eros / TYC 6840-01293-1 event on 2014 Jul 28, 12:21 UT.
http://www.asteroidoccultation.com/2014_07/0728_433_33577.htm (accessed on 2014-12-01)
- せんだい宇宙館, 2012 No.1. Asteroidal occultation Predictions -2012-.
<http://sendaiuchukan.jp/asteroid/prepre12.html> (accessed on 2012-12-01)
- せんだい宇宙館, 2012 No.2. 2012.8.3 小惑星アルシノエによる掩蔽の観測成果.
<http://sendaiuchukan.jp/data/occult/1208arsinoe.html> (accessed on 2012-12-01)
- せんだい宇宙館, 2012 No.3. 2012.10.20 小惑星イオによる掩蔽の観測成果.
<http://sendaiuchukan.jp/data/occult/1210io.html> (accessed on 2012-12-01)
- せんだい宇宙館, 2014. Asteroidal occultation Predictions -2014-.
<http://sendaiuchukan.jp/asteroid/prepre14.html> (accessed on 2014-12-01)
- 渡部 勇人 2014. 日本国内の観測成果 (The Index of Asteroidal Occultation Results Japan Jp.xls).
<http://sendaiuchukan.jp/data/occult/occult.html> (accessed on 2014-12-01)