

小惑星(250)Bettina による 恒星掩蔽の観測

岡山大学 理学部 地球科学科

05429514 高橋 明歩

2021/02/12

要旨

小惑星が恒星と観測者の間に位置するとき、恒星は観測者から隠されて見えなくなる。これを小惑星による恒星掩蔽という。恒星掩蔽は小型望遠鏡でも観測可能な現象であるが、掩蔽の起こった時刻を用いると非常に高い精度で小惑星の位置を決定することができる。

本研究は、2020年6月から12月に計7夜、小惑星による恒星掩蔽の観測を実施して、8例のデータを取得、1例の掩蔽現象の観測に成功した。掩蔽現象の観測に成功した2020年12月20日の(250)Bettinaによる恒星掩蔽については、掩蔽開始・終了時刻と、(250)Bettinaが岡山上空を通過した部分の大きさを推定した。

目次

第1章 序章	4
1.1 小惑星による恒星掩蔽	4
1.2 研究概要	4
第2章 観測	5
2.1 観測	5
2.2 観測機器	6
2.3 2020年12月20日の観測	6
第3章 解析	7
3.1 一次処理	7
3.2 測光	7
3.3 ノイズ	8
3.4 掩蔽時刻の推定	9
3.5 (250)Bettina の大きさの推定	10
第4章 まとめ	11

小惑星 (250)Bettina による恒星掩蔽の観測	3
第5章 謝辞	12
第6章 参考文献	13

第1章 序章

1.1 小惑星による恒星掩蔽

小惑星による恒星掩蔽は、小惑星によって恒星が隠される現象である。地球から見て遠くにある恒星はほとんど動かないが、太陽系内にある小惑星は公転運動をすることによって、その位置が時々刻々と変化する。移動する小惑星がたまたま恒星の前を横切ると、恒星掩蔽が起こる。恒星は非常に遠くにある為、地球から見ると恒星は点にしか見えないが、小惑星は恒星よりもずっと近くにある為、地球から見ると小惑星は恒星よりもずっと大きく見える。そのため、小惑星が恒星の前を横切るとき、小惑星は恒星をすっかり隠すことになる。

小惑星による恒星掩蔽が起こるとき、小惑星と恒星は非常に接近するため、その前後において小惑星と恒星は世界最高の空間分解能を持つ望遠鏡によって観測しても分離することができなくなる。そのため掩蔽を観測すると、掩蔽の前後には小惑星と恒星の明るさを合わせた明るさの星が一つあるように見え、掩蔽中は恒星が隠されるため小惑星だけの明るさが観測される。

1.2 研究概要

本研究は、岡山大学天文台で小惑星による恒星掩蔽の観測を行った。7イベント観測を行い、うち6イベントでは掩蔽が起こらなかったことを確認した。掩蔽が観測された2020年12月20日の(250)Bettinaによる恒星掩蔽については、掩蔽時刻と岡山上空を通過した部分の大きさを推定した。

第2章 観測

2.1 観測

観測は、岡山大学天文台で行った。観測の計画は、IOTA(International Occultation Timing Association)の予報をもとに立案した。IOTAには、掩蔽時刻、掩蔽によって隠される恒星の明るさ、掩蔽の最大継続時間、掩蔽による光度変化の大きさの情報が掲載されている。

IOTAの予報を用いて、岡山大学天文台で恒星掩蔽が観測できそうな日を2020年6月から12月の間で選んだ(図2.1)。11個の掩蔽イベントの観測を計画し、天候に恵まれた7イベントについて観測を行った。うち6イベントでは岡山で掩蔽が起こらなかったことを確認し、12月20日の観測では小惑星(250)Bettinaによる恒星掩蔽の観測に成功した。

日付	天体	天候	掩蔽
2020/06/16	(20001)1991 CM	×	-
2020/06/25	(322)Phaео	×	-
2020/08/15	(15102) 2000 AA202	○	×
2020/08/24	(787) Moskva	○	×
2020/08/31	(666) Desdemona	○	×
2020/09/07	(10608) Mameta	○	×
2020/09/22	(1564)Srbija	×	-
2020/10/19	(331) Etheridgea	○	×
2020/12/20	(250) Bettina	○	○
2020/12/20	(1581) Abanderada	○	×
2020/12/23	(4) Vesta	×	-

図 2.1: 観測の計画と結果

2.2 観測機器

望遠鏡は 35cm 反射屈折式望遠鏡 MEADE LX600-35F8ACF を用いた (図 2.2). 検出器は冷却 CMOS カメラ QHY174M-GPS を用いた (図 2.3).



図 2.2: 望遠鏡



図 2.3: CMOS カメラ

2.3 2020年12月20日の観測

12月20日の掩蔽は、日本時間の25時13分に起こると予報されていた。IOTAの予報によると、掩蔽で隠される恒星の明るさは11.02等、最大継続時間は9.1秒、光度変化は1.2等であった。

観測は日本時間の25時02分から25時27分の25分間、露出時間を50msに設定して連続撮像した。恒星掩蔽の観測後、補正に必要なダークとフラットを撮像した。

第3章 解析

3.1 一次処理

撮像した画像に、一次処理としてダーク引きとフラット割りをを行った。一次処理には Fiji を使用した。

ダーク (暗電流) とは、検出器に光が入らない状態で流れる電流である。ダークの大きさは、検出器の温度と露出時間に依存する。検出器の温度と露出時間を観測したときと同じに設定して、検出器に光が入らない状態で撮像を行い、ダークの大きさを推定した。

フラット補正は、光学系や検出器に起因する感度ムラを補正することである。空間的に一様と見なせる光源を撮像することで、感度ムラを推定し補正を行った。

3.2 測光

測光とは、星の明るさを測定することである。

測光には AstroImageJ を用いた。星の明るさを測る範囲と、空の明るさを測る範囲の内側と外側の境界は、星像の大きさを測定した際に表示された AstroImageJ の推奨値を用いた。

表 3.1: 画像の測光に用いた数値

Source_Rad(base)	Sky_Rad(min)	Sky_Rad(max)
11	20	30

図 (3.1) は、測光結果に基づいて作成したライトカーブである。ノイズが乗っていて明るさにはばらつきがあるものの、恒星掩蔽の減光は一目でわかる。

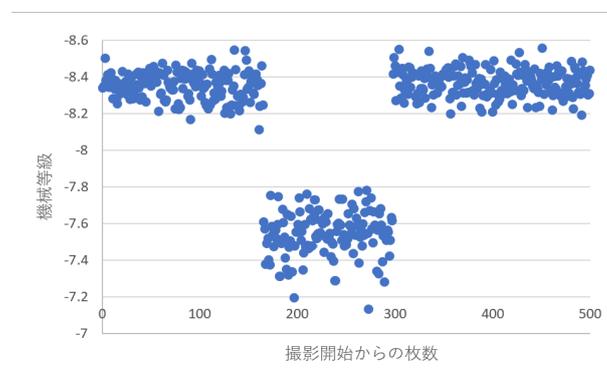


図 3.1: (250)Bettina のライトカーブ

3.3 ノイズ

明るさのばらつきの原因として以下の2つを考えた。

一つ目は Poisson ノイズである。これは統計的ゆらぎとも言い、明るさの平方根に比例する。Poisson ノイズ N は以下の式で求めることができる。

$$N = (C/G)^{0.5} \quad (3.1)$$

ここで、 C は星のカウント値、 G はゲインである。

二つ目はシンチレーションである。これは大気による星のまたたきのことである。シンチレーションによるゆらぎの大きさ S_s は Dravins et al.(1998) で与えられている式を簡略化した以下の式で計算した。

$$S_s = 0.09CX^{1.5}D^{-2/3}(2t)^{-0.5} \quad (3.2)$$

ここで、 X はエアマス、 D は望遠鏡の口径 (cm)、 t は露出時間 (sec) である。

これらの数値を減光前、減光中、減光後に分けて計算した (表 3.2)。明るさのばらつきと Poisson ノイズの大きさがほぼ同じであることから、星の明るさの変動のほとんどは Poisson ノイズによるものと推定される。

表 3.2: 明るさとノイズ

	減光前	減光中	減光後
明るさ (機械等級)	-8.347	-7.539	-8.366
明るさのばらつき (不偏分散)	0.075	0.122	0.073
Poisson noise	0.086	0.123	0.073
シンチレーション	0.039	0.039	0.039

3.4 掩蔽時刻の推定

掩蔽開始時刻 t_s と掩蔽終了時刻 t_e は、それぞれ以下の式を用いて求めた。

$$t_s = t_0 + \frac{C - C_2}{C_1 - C_2} \tau \quad (3.3)$$

$$t_e = t_0 + \frac{C_1 - C}{C_1 - C_2} \tau \quad (3.4)$$

ここで、 C_1 は掩蔽していないときの明るさ、 C_2 は掩蔽しているときの明るさ、 C は露光中に掩蔽が開始/終了したフレームにおける明るさ、 τ は露出時間、 t_0 はフレームの撮影開始時刻である。

掩蔽していないときの明るさのばらつきの大きさを σ_1 、掩蔽しているときの明るさのばらつきの大きさを σ_2 とすると、露光中に掩蔽が開始/終了した画像の星の明るさ C に含まれる明るさのばらつきの大きさ σ は

$$\sigma = x\sigma_1 + (1-x)\sigma_2 \quad (3.5)$$

と推定される。ここで、 $x = \frac{C-C_2}{C_1-C_2}$ で、 x は露光時間のうち掩蔽していなかった時間の占める割合を表す。以上より、掩蔽開始/終了時刻の誤差 Δt を以下で与えることとした。

$$\Delta t = \frac{\sigma}{C_1 - C_2} \tau \quad (3.6)$$

以上の式を用いて求めた掩蔽開始/終了時刻は、日本時間でそれぞれ 25 : 13 : 06.371 \pm 0.005 と 25 : 13 : 13.993 \pm 0.005 になった。これから計算される掩蔽の継続時間は 7.622 \pm 0.007 秒である。

3.5 (250)Bettina の大きさの推定

掩蔽で岡山の上空を横切った (250)Bettina の長さ l は以下の式で求めることができる。

$$l = 2R \tan \frac{\omega\tau}{2} \quad (3.7)$$

ここで R は観測点と (250)Bettina の間の距離, ω は小惑星の天球上における移動速度, τ は掩蔽の継続時間である。掩蔽時の (250)Bettina の R と ω は NASA Horizons で与えられる値を用いた。

岡山の上空を横切った部分の大きさは $73.85 \pm 0.07 \text{ km}$ となった。Torppa et al. (2003) によると, (250)Bettina の直径は 121 km で, 本研究の結果はこれと矛盾しない。今回得られたデータのみでは, (250)Bettina のどの部分の長さを測ったのかはわからないが, 他の観測結果と合わせることで (250)Bettina の形をより精密に決めるデータの一つになる。

第4章 まとめ

2020年6月から12月の間に、岡山大学天文台で7つの掩蔽イベントの観測を起こなった。1イベントで掩蔽が観測され、6イベントでは掩蔽がなかったことが確認された。

掩蔽が観測されたのは、2020年12月20日の(250)Bettinaによる恒星掩蔽で、掩蔽は日本時間の25:13:06.371 ± 0.005 ~ 25:13:13.993 ± 0.005に起こった。(250)Bettinaの岡山の上空を横切った部分の大きさは、73.85 ± 0.07kmと計算された。

第5章 謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導いただきました指導教員であるはしもとじょーじ教授に心より感謝いたします。

同研究室の山下さんには解析の仕方を丁寧に教えていただきました。桑山さんには卒論を執筆する上で様々なアドバイスをいただきました。ありがとうございました。

第6章 参考文献

Dravins, D., L. Lindegren, and E. Mezey (1998) Atmospheric intensity scintillation of stars. III. Effects for different telescope apertures. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 110, 610.

Torppa, J., M. Kaasalainen, T. Michalowski, T. Kwiatkowski, a. Kryszczyńska, P. Denchev, R. Kowalski (2003) Shapes and rotational properties of thirty asteroids from photometric data. *Icarus*, 164, 346-383.