

小惑星(349)Dembowska の ライトカーブ観測

岡山大学 理学部 地球科学科

05426506 笠原 光洋

2018/02/15

要旨

小惑星(349)Dembowska は 1892 年に発見された直径 140km の小惑星で、メインベルト(火星と木星の間にある小惑星帯)に位置している。これまで数多くの観測がおこなわれており、Alton(2015)の報告によると、自転周期は 4.701 ± 0.001 時間、自転による光度変化の振幅は 0.08-0.47 等級とされている。

本研究は、岡山大学天文台の 356mm 反射屈折式望遠鏡と CCD カメラを用いて、2017 年 10 月 24 日と 26 日に Dembowska の測光観測をおこなった。得られた画像データを解析し、相対測光によって求めた Dembowska のライトカーブは、先行研究のライトカーブと整合的であることが確認された。

目次

第 1 章	序章	4
1.1	小惑星(349)Dembowska	4
1.2	研究の概要	4
第 2 章	観測	5
2.1	観測日と観測機材	5
2.2	観測方法	6
第 3 章	解析	7
3.1	一次処理	7
3.2	測光	8
3.2.1	相対測光	9
3.3	距離の補正	12
3.4	自転周期	13
第 4 章	まとめ	14
付録		17
	AstroImageJ での測光方法	17

第1章 序章

1.1 小惑星 (349) Dembowska

(349)Dembowska は 1892 年に発見された、メインベルトに位置する直径 140km の比較的大きな小惑星である。これまで数多くの観測が行われており、そのスペクトル型は R とされている(Gaffey et al., 1993)。スペクトル型が R に分類される小惑星はわずかに数個しかなく、Dembowska はめずらしいタイプの小惑星である。また、ライトカーブ観測(Alton, 2015)から、自転周期は 4.701 ± 0.001 時間、自転に伴う光度変化は 0.08-0.47 等級とされている(図 1.1)。

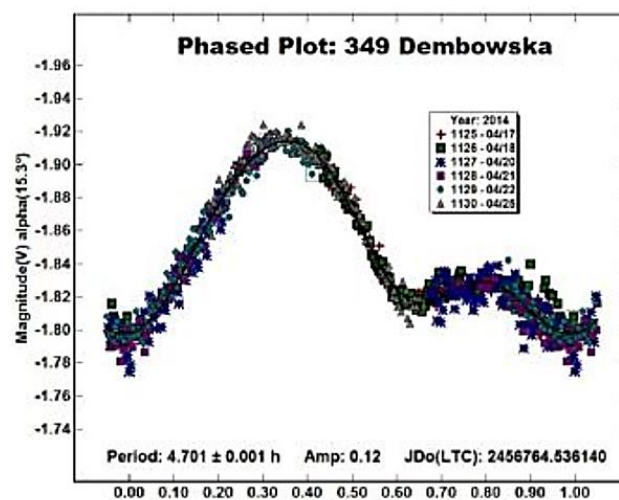


図 1.1: Dembowska のライトカーブ(Alton, 2015)

1.2 研究の概要

本研究では、小惑星のライトカーブを作成することを目標として、Dembowska の測光観測をおこなった。観測によって得たライトカーブを先行研究と比較し、自転周期や自転に伴う光度変化の振幅に大きな変化があるか否かを調べた。

第2章 観測

2.1 観測日と観測機材

観測は、岡山大学天文台(東経 $133^{\circ} 55' 21.4$, 北緯 $34^{\circ} 41' 19.1$)で 2017 年 10 月 24 日と 26 日の計 2 夜おこなった。

望遠鏡(図 2.1)は口径 356(mm), 焦点距離 2845(mm)の Meade LX600-35F8ACF を使用した。検出器は CCD カメラ SBIG STL-1001E を用いた。撮像素子の大きさは 24.6(mm)×24.6(mm), 画素数は 1024×1024, 視野は $0.495(\text{deg}) \times 0.495(\text{deg})$ である。観測ではジョンソンフィルターの V を使用した(図 2.2)。



図 2.1: 望遠鏡

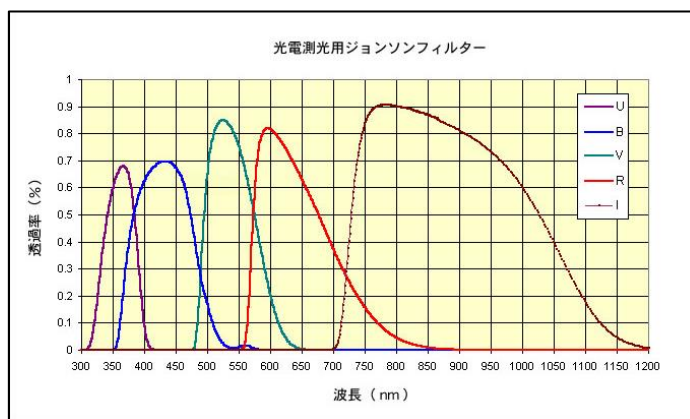


図 2.2: フィルターの透過率

(http://www.sbigjapan.com/UBVRI/ubvri_m.html#Anchor:CSubvriG)

2.2 観測方法

観測は V バンドで連続撮像をおこなった． 24 日は 60 秒の積分時間で 70 枚，26 日は 40 秒の積分時間で 50 枚と 60 秒の積分時間で 100 枚，合計 220 枚の画像を取得した．図 2.3 は 24 日，図 2.4 は 26 日に取得した画像データの例である．赤丸で囲った天体は Dembowska である． Dembowska の位置が背景にある恒星に対して 24 日と 26 日で異なっているのは， Dembowska と地球の公転によるものである．

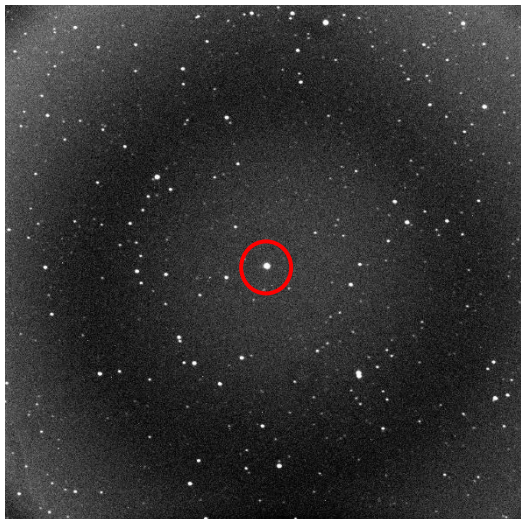


図 2.3: 2017 年 10 月 24 日の画像データ

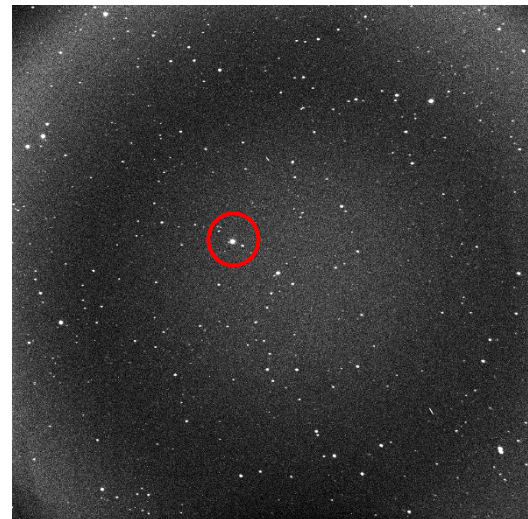


図 2.4: 2017 年 10 月 26 日の画像データ

第3章 解析

本研究は, AstroImageJ (Collins et al., 2017)を用いて画像の解析をおこなった.

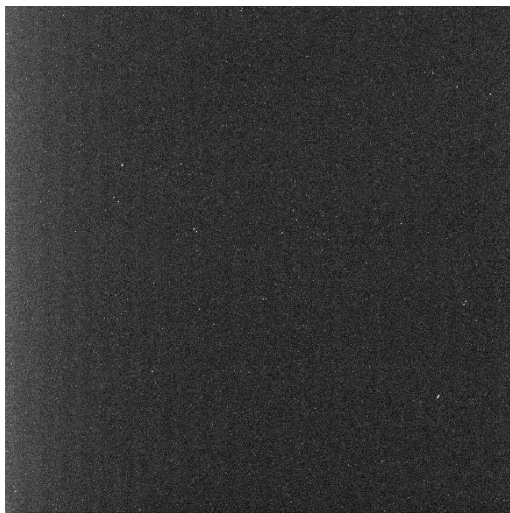
3.1 一次処理

取得した各画像について, ダーク引きとフラット割りをおこなった.

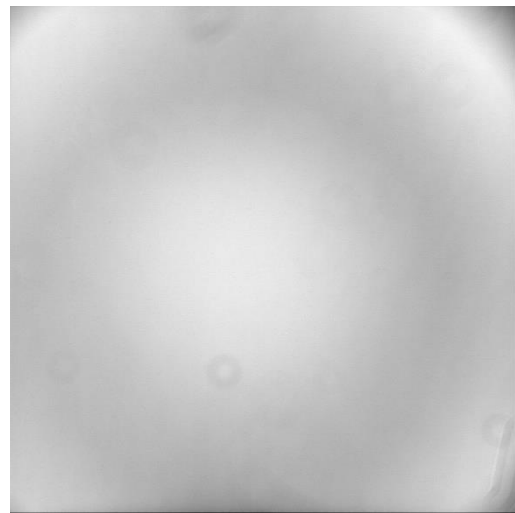
ダークは CCD に光が入らない状態で撮像した画像である. 観測で得られた画像からダークを引くことによって, 天体からの光に依らない電子の影響を除去する. 画像 3.1 は 2017 年 10 月 26 日に取得したダークの画像である.

フラットは望遠鏡に一樣な光を入れて撮像した画像である. フラットを取得することによって, 装置に由来するムラを知ることができる. 観測で得られた画像をフラットで割り算することによって, 装置に由来するムラを補正する. 画像 3.2 は 2017 年 10 月 26 日に取得したフラットの画像である.

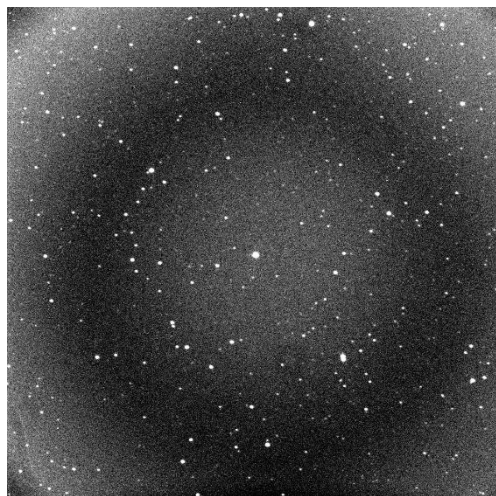
画像 3.3 と画像 3.4 は一次処理の前と後の画像である.



画像 3.1: ダーク



画像 3.2: フラット



画像 3.3: 一次処理前



画像 3.4: 一次処理後

3.2 測光

星の明るさを測定することを測光と呼ぶ. 星の明るさを測定するときに気を付けなければならないことは, 星の他に空も光を出しているということである. そのため星の明るさを測るためには上乗せされている空の明るさを引く必要がある. これをスカイ引きと言う.

星の明るさを測る範囲(aperture)と空の明るさを測る範囲(sky 内径, sky 外径) は, AstroImageJ の推奨値を使った (表 3.1). 図 3.5 と図 3.6 は 24 日と 26 日それぞれの Dembowska の星像の広がりを表したものである. 星像の FWHM は, 24 日は 1.97(pix), 26 日は 1.37(pix)であった.

測光は AstroImageJ の Multi-Aperture Measurements を用いた(詳しい手順は付録). 設定したパラメタを表 3.2 に示す.

表 3.1: 測光で使用したパラメタの値

観測日	aperture(pix)	sky 内径(pix)	sky 外径(pix)
2017 年 10 月 24 日	7	13	20
2017 年 10 月 26 日	5	9	14

(いずれも半径)

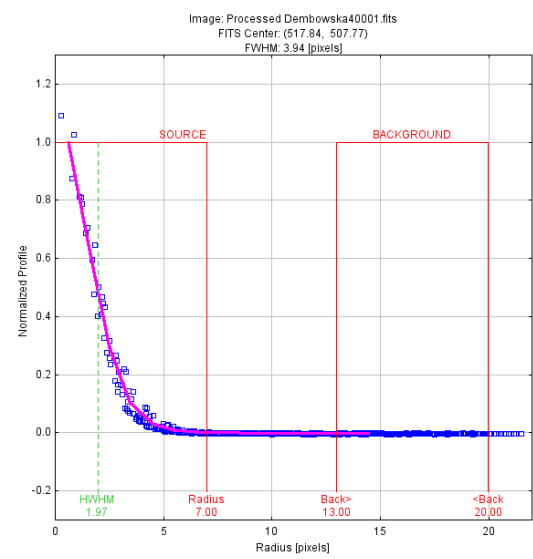


図 3.5: Dembowska の星像(24 日)

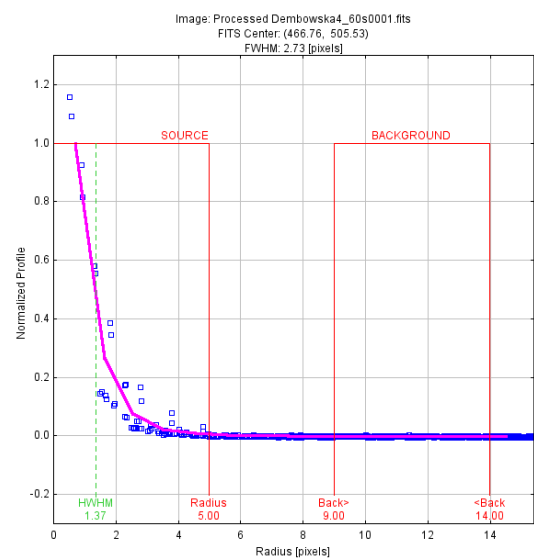


図 3.6: Dembowska の星像(26 日)

表 3.2: パラメタ設定値

Instrument Parameters	
CCD gain	2.20
CCD readout noise	14.80
CCD dark current per sec	0.00

3.2.1 相対測光

本研究は相対測光によって天体の明るさを推定した。相対測光は、観測対象の星の明るさを近くにある星の明るさと比較して決める方法である。比較に使用する星のことを比較星と呼ぶ。対象天体と比較星が同じ大きさの大気減光をしているとき、明るさの比は大気減光の影響を受けない。すなわち、相対測光をすることで大気減光によらない星そのものの明るさの変動を見ることができる。本研究では 7 つの恒星のアンサンブルを比較星とした。アンサンブルとは複数の星の明るさを足し合わせたものである。アンサンブルする 7 つの恒星は 24 日と 26 日で同一のものを使った(図 3.7, 図 3.8)。

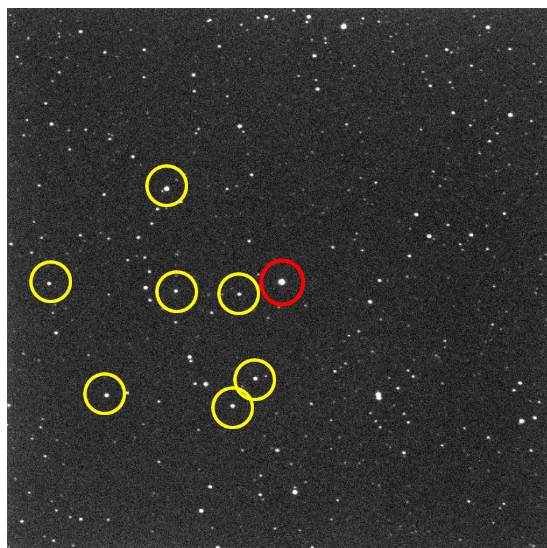


図 3.7: Dembowska(赤丸)と
7つの比較星(黄丸)(24 日)

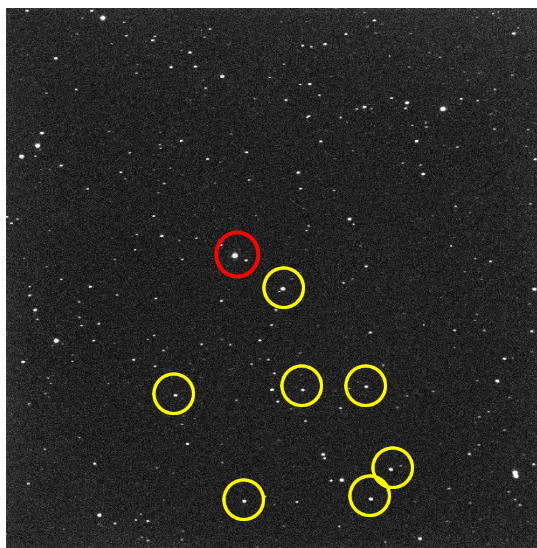


図 3.8: Dembowska(赤丸)と
7つの比較星(黄丸)(26 日)

図 3.9 - 図 3.12 は Dembowska の機械等級と、比較星に対する相対的な等級である。24 日は天候が悪く空が安定していなかったため、いくつかのデータは大きくばらついている。このうちのいくつかは、相対測光によってもっともらしく補正することができた。相対測光で補正できなかったデータは、以後の解析から除外した。26 日に相対測光で得たライトカーブ(図 3.12)は、1 自転周期よりやや短い時間範囲をカバーしている。最大光度と最小光度の差は 0.45 等級で、これは Alton (2015)で報告された 0.08-0.47 等級の範囲内にある。

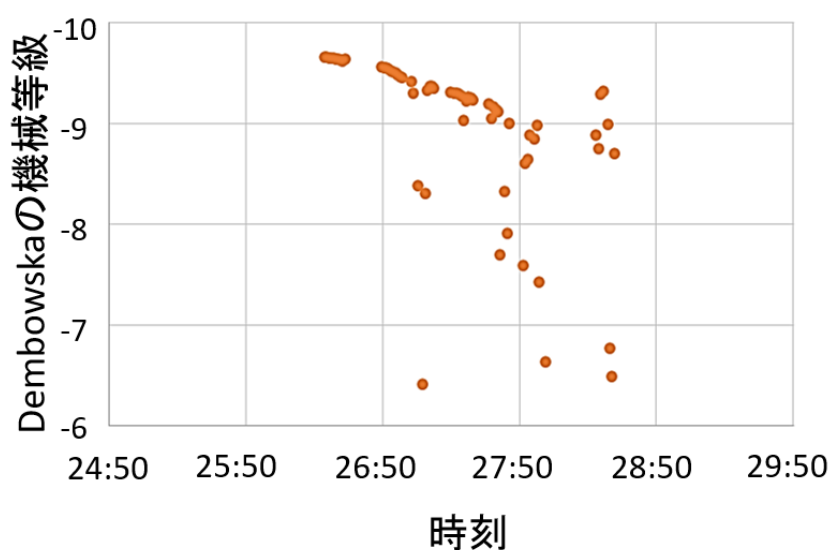


図 3.9: Dembowska の機械等級(24 日)

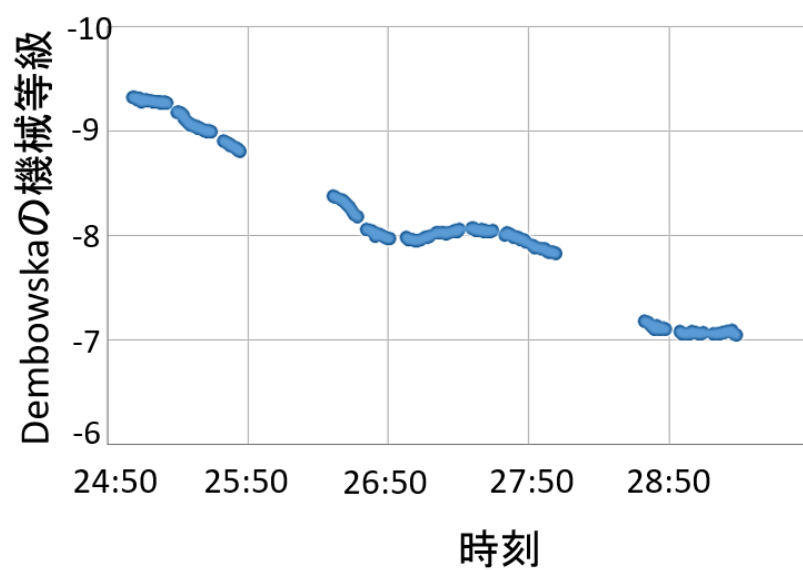


図 3.10: Dembowska の機械等級(26 日)

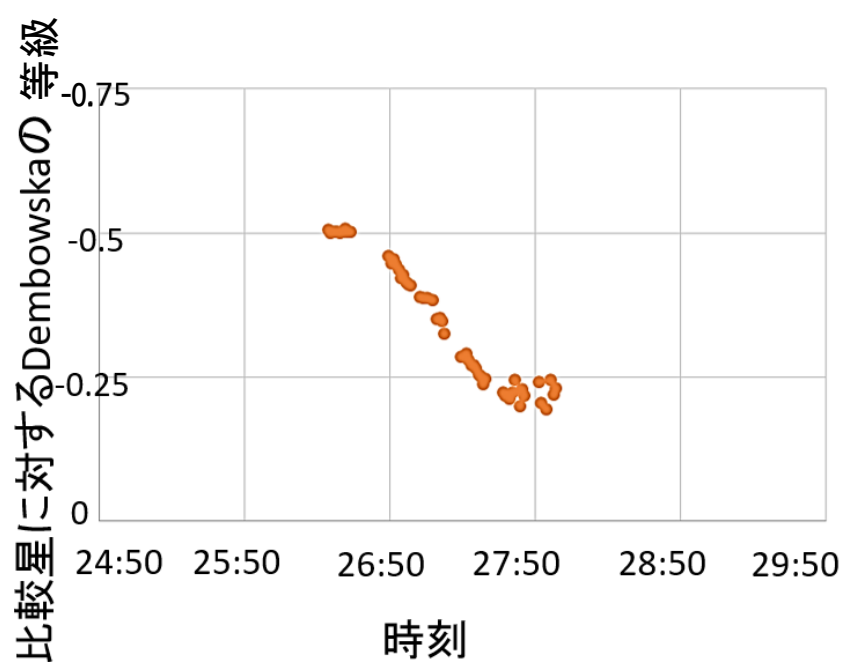


図 3.11: 比較星に対する Dembowska の等級(24 日)

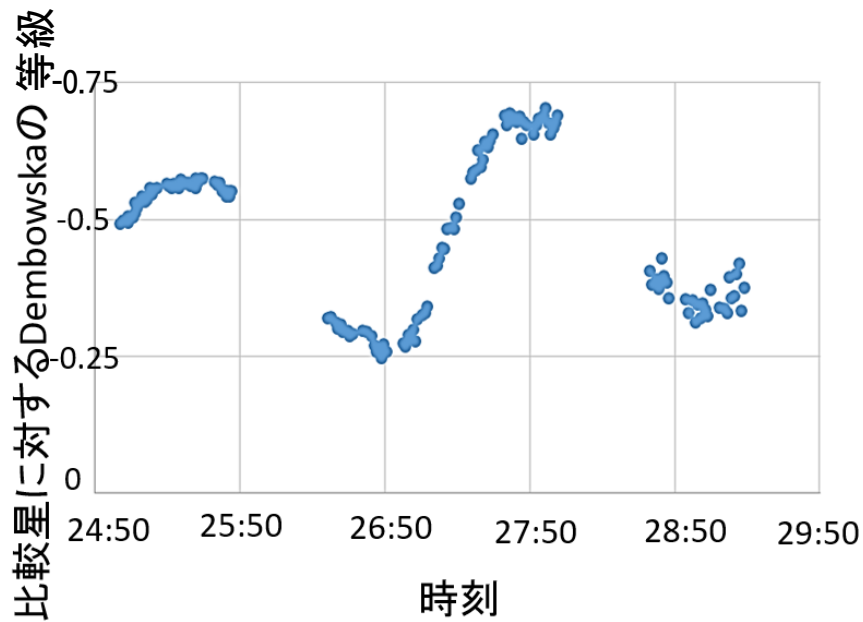


図 3.12: 比較星に対する Dembowska の等級 (26 日)

3.3 距離の補正

24 日と 26 日のライトカーブを比較するため、距離の補正をおこなった。

明るさは距離の 2 乗に反比例して暗くなる。太陽の光を反射して輝く Dembowska の場合、Dembowska と太陽間の距離 a と Dembowska と地球間の距離 r を考える必要がある。以下の式(3.1) を用いて 24 日のデータを 26 日のデータに合わせた。

$$C_{24}' = C_{24} \times \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \quad (3.1)$$

ここで、 C_{24}' は補正後の Dembowska の明るさ、 C_{24} は補正前の Dembowska の明るさ、 a_1 は 24 日の Dembowska と太陽の距離、 a_2 は 26 日の Dembowska と太陽の距離、 r_1 は 24 日の Dembowska と地球の距離、 r_2 は 26 日の Dembowska と地球の距離である。観測時の Dembowska と太陽および地球との距離は、HORIZON(<https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>)にある値を使用した。観測中に a_1 , a_2 , r_1 , r_2 は時々刻々変化するが、本研究は観測日ごとに平均を求め、補正には平均を使用した。用いた値はそれぞれ $a_1=2.718(\text{AU})$, $a_2=2.718(\text{AU})$, $r_1=1.918(\text{AU})$, $r_2=1.901(\text{AU})$ である。

3.4 自転周期

2015 年に観測された Dembowska の自転周期は 4.701 時間であった(Alton, 2015). 2017 年の観測時に自転周期が同じであったなら, Dembowska は 4.701 時間ごとに同じ明るさにならなければならない. そこで, 24 日のライトカーブを自転周期(4.701 時間)の整数倍だけずらして, 26 日のライトカーブと比較した.

図 3.13 は 24 日のライトカーブを 47.01 時間(自転周期 4.701 時間の 10 倍)ずらして描いたものである. 24 日と 26 日で同じような明るさの変化をしていることが分かる. 24 日と 26 日のライトカーブがおおよそ一致していることは, 2017 年の観測時において Dembowska の自転周期はおおよそ 4.701 時間であったことを示唆する. 24 日と 26 日では 26 日の方が 0.05 等級ほど明るくなっているが, このように明るさが違ってしまった原因は不明である.

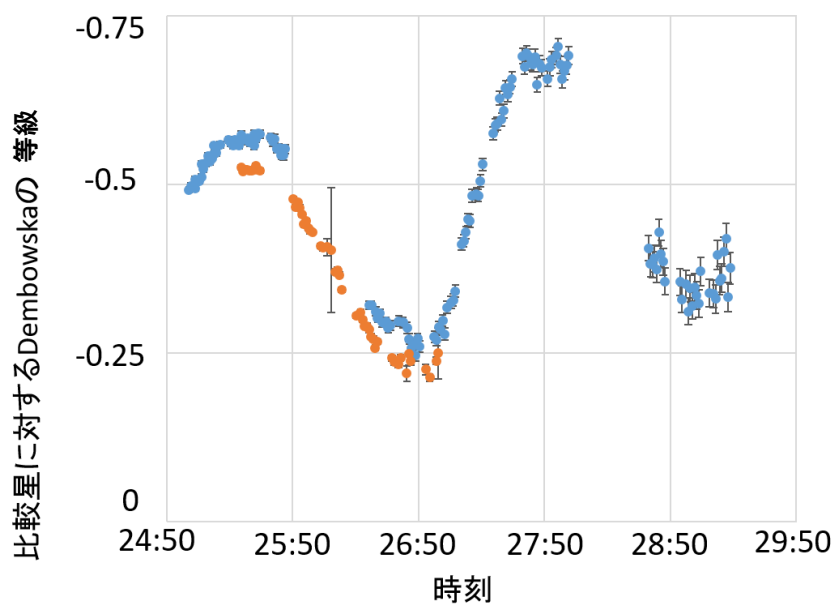


図 3.13: 26 日のライトカーブ(青)と, 47.01 時間ずらした 24 日のライトカーブ(オレンジ)

第4章 まとめ

岡山大学天文台で 2017 年 10 月 24 日と 10 月 26 日の計 2 夜, Dembowska の測光観測をおこなって, 計 220 枚の画像データを取得した. 26 日はおよそ 4 時間 20 分の間に約 0.42 等級の明るさの変動があった. この変動の大きさは, 過去に観測された自転による光度変化の振幅と整合的である. また, 24 日と 26 日のライトカーブの比較から, Dembowska の自転周期は先行研究で示された 4.701 時間から大きくは変わっていないことが確かめられた.

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 ーじ准教授に心より感謝いたします。

同研究室の先輩方や同期の皆さまには、研究を進める上で様々なアドバイスをいただき、観測を行う上で様々なお手伝いをしていただきました。ありがとうございました。

参考文献

Alton, K. B. (2015): CCD Photometry Lightcurves of Three Main Belt Asteroids. Minor Planet Bulletin, 42, 146-148.

Gaffey, M. J., T. H. Burbine, and R. P. Binzel (1993): Asteroid spectroscopy - Progress and perspectives. Meteoritics, 28, 161-187.

NASA HORIZONS (<https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>)

付録

AstroImageJ での測光方法

== 画像を開く

* 測光したい画像をまとめて開く [File] -> [Import] -> [Image Sequence...]を選択し、測光する画像が置いてあるディレクトリを選択する。

== コントラストの自動調整

* 画像を表示している窓に並んでいるアイコンの右にある「白黒」のアイコンをクリックする。

== 星の重心を自動探索する/しない

* **Centroid** アイコン(丸ふたつ(ひとつは中心が青で周辺がピンク, もうひとつは赤いふちどり線))をクリックして設定する。

* **ON**(アイコンの背景が濃い色): 星をクリックしたときに重心を自動的に探して位置を補正する。

* **OFF**(アイコンの背景が薄い色): 星をクリックしたときに位置を補正しない。

== 星像の大きさ(FWHM)の測定

* 測光する星を選んでクリックする。

* [Analyze] -> [Plot seeing profile]を選択すると、新しいウインドウが現れる。

* **FWHM** は枠外の上に示されており、測光パラメタの推奨値は枠内の **Radius, Back>, <Back** の値である。推奨値を使って測光するときは、枠の下にある [Save Aperture] をクリックすると、推奨値が設定される。

== 測光

* [Analyze] -> [Multi aperture]を選択する。

* 設定

* **Aperture** に関する設定をする。[Radius of object aperture], [Inner radius of background annulus], [Outer radius of background annulus]を設定すればよいが、[Save Aperture]をクリックしていればその数値が自動で設定されているはずである。

* 検出器に関する設定をする。右下にある[Aperture Settings]をクリックする。

- * [CCD gain], [CCD readout noise]に使用した検出器についての値を設定する.
[CCD dark current per sec]はダーク引きをしているのなら[0.00] を設定する.
- * [OK]をクリックする.
- * すべての設定が終わったら[Place apertures]をクリックする.
- * ターゲットの選択をする.
- * **Clear Apertures** のアイコン(丸ふたつの上に箒が重なったもの)をクリックして画面から不要なものを消しておく.
- * 測光したい星をすべてクリックして星を選択する. 選択し終わったら[Enter]を押すと自動測光が開始される.