
矮新星 MASTER OT J004527.52+503213.8の 測光観測

松井瀬奈、田邊健茲（岡山理科大学）



Fig. 1. Outburst検出時の撮像データ
(Denisenko, D., et al. ATel#5399 より抜粋)

目次

1. 序論
2. 目的天体について
3. 観測
4. データ処理
5. 光度曲線
6. 解析結果
7. 結論
8. 今後の課題
9. 引用・参考文献

1. 序論

- 矮新星とは、激変星の一種である。
- 激変星とは、白色矮星と晩期型恒星(Red dwarf)との連星系で、急激な増光を示す。
- 激変星は増光の規模によって新星、回帰新星、矮新星、その他に分類されている。
- 恒星から白色矮星に流れ込んでいる物質によって降着円盤が形成される。
- 矮新星は降着円盤が不安定になって増光すると考えられている。

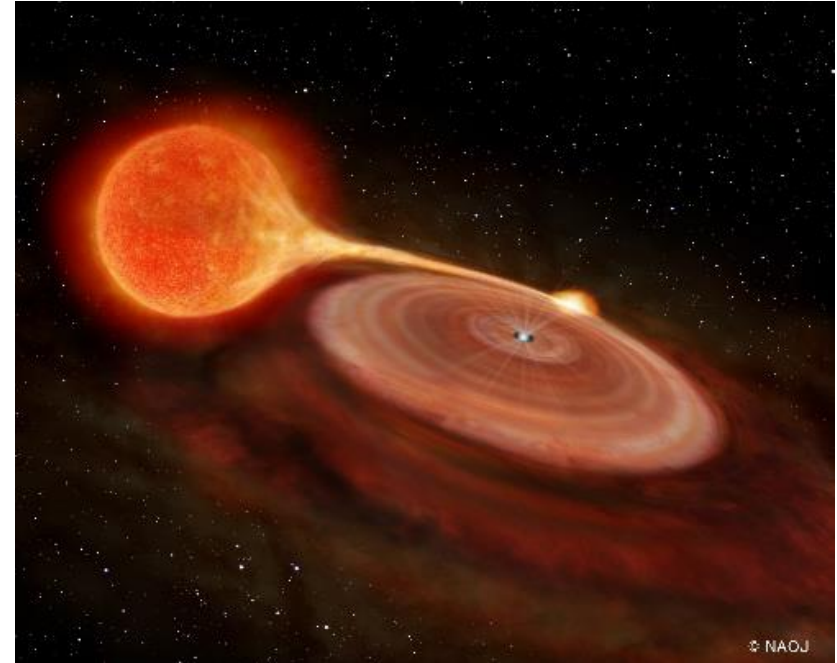


Fig. 2. 矮新星の想像図 (credit: 国立天文台)

2. 目的天体について

- 私自身の卒業研究に適した天体を探していた際、Denis Denisenko氏による[vsnet-alert 24843]を見つけ、岡山理科大学天文台で観測ができそうな明るさ(13等級)であったため、この天体を測光観測してみることにした。
- 光度曲線を求めることと、それに基づき、この矮新星のタイプを決めることが本研究の最終目的である。
- 2013年に初めてCassiopeia座に発見された。
- $(l, b) = (121.96(18)^\circ, -12.32(17)^\circ)$ であることから、この天体はかなり銀河面に近い。



Fig. 3. Cas,Cep付近の星図
白丸が目標天体の位置を示す
(credit: StellaNavigator9にて作成)

3. 観測

(1) 概要

- 口径23.5cmのシュミットカセグレン式望遠鏡にCCDカメラを取り付けて9日間測光観測を行ったので、その観測結果を報告する。
- 目標星、比較星は右図に記す。

黄色：目標星T1 (Target Star 1)

MASTER OT J004527.52+503213.8

桃色：比較星C2 (Comparison Star 2)

TYC3270-1038-1 V等級：11.51 [0.09]

緑色：比較星C3 (Comparison Star 3)

TYC3257-553-1 V等級：12.10 [0.17]

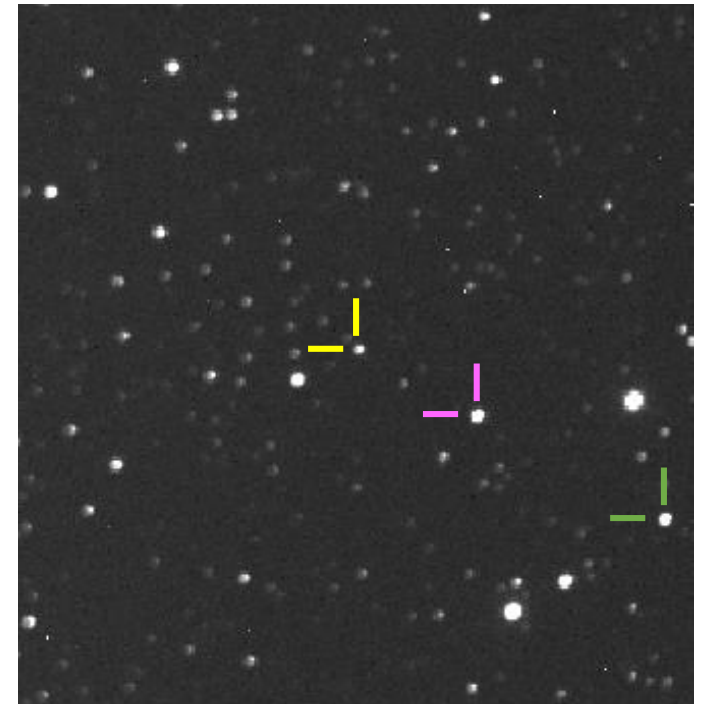


Fig. 4. 2020/10/25の撮像データ
(岡山理科大学天文台)

(2) 観測装置

鏡筒：Celestron社 C9

口径：235mm

焦点距離：1480mm (レデューサー使用；F6.3)

光学系：Schmidt-Cassegrain

CCDカメラ：SBIG社 ST-9XE

冷却方式：1段電子冷却 (ペルチェ素子)

チップサイズ：10.2×10.2mm (512×512pixels)

pixelサイズ：20×20 μ m

赤道儀：Vixen社 SXD2

望遠鏡コントローラー：Vixen社 STAR BOOK TEN



Fig. 5. 岡山理科大学天文台 北ドーム
23.5cm望遠鏡
(白い板はFFを撮るためのディフューザー)

(3) 観測施設

- 岡山理科大学天文台では、望遠鏡ドームが並ぶ屋上のすぐ下の7階に制御室がある。
- 観測は制御室より遠隔操作で行った。

CCDカメラ制御ソフト：CCDOps

赤道儀制御ソフト：AstroArts社
StellaNavigator 9

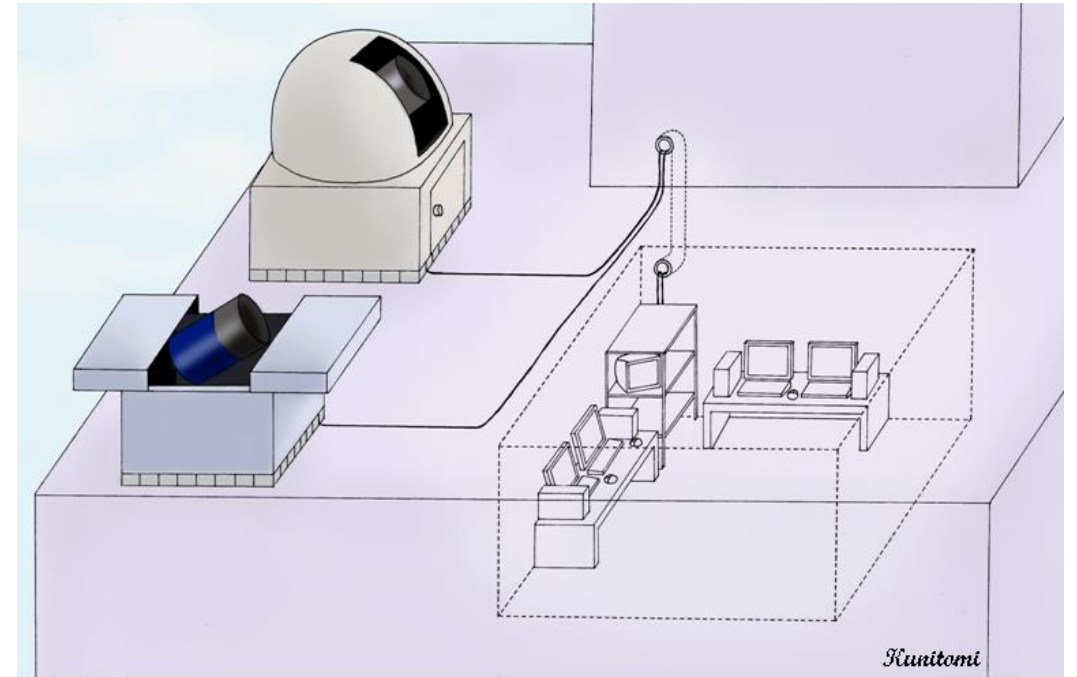


Fig. 6. 岡山理科大学天文台 概略図
(手前は分光観測専用観測室、奥が測光観測専用観測室)

(4) 観測ログ

Table 1. Observation log (全てJST)

観測日	開始	終了	撮影枚数
10月24日	翌4:51	翌5:05	14
10月25日	19:29	翌5:10	468
10月26日	20:01	翌4:43	286
10月27日	21:27	翌5:04	360
10月28日			
10月29日	19:53	翌4:56	342
10月30日	18:59	翌5:18	598
10月31日	19:33	翌4:49	532
11月1日			
11月2日			
11月3日	18:32	20:54	142
11月4日	18:07	翌5:21	636
11月5日			

- 10/25から11/5(JST)にかけて計9夜観測を行った。
- 2020/10/25 3:20(JST)受信の [vsnet-alert 24843] を受け、3:30に観測準備を開始、4:51に観測を開始した。
- 必ずしも良い天気ばかりではなく、データが取れない日も多くあった。

フィルター：Clear

露出時間：60秒

4. データ処理

- ソフトはAstroImageJ(version : 3.2.0)を使用した。
- このソフトは、当研究室で日常的に活用している人はいない。
- AIP for Windows(version : 2)がWindows7でしか動かないことから、今後岡山理科大学天文台で観測を続けていく人がWindows10を用いた解析の際に困らないためにも、まずは私が使用方法を確立し、マニュアル化を進めてみたい。

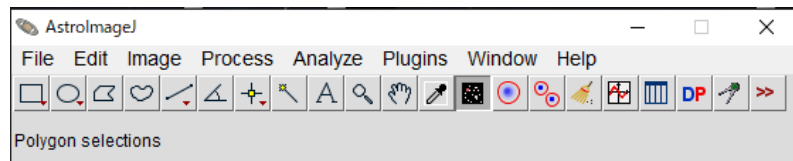


Fig. 7. AstroImageJ 起動時の画面

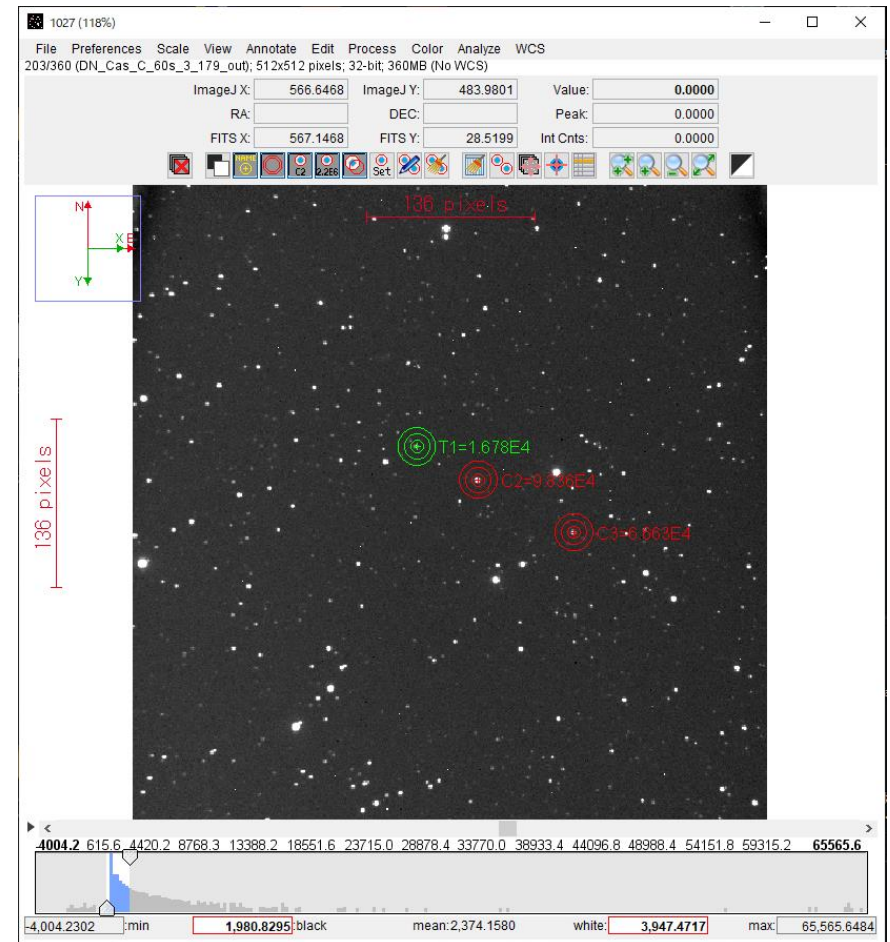


Fig. 8. AstroImageJ 測光中の一画面

5. 光度曲線

(1) 全体の光度曲線

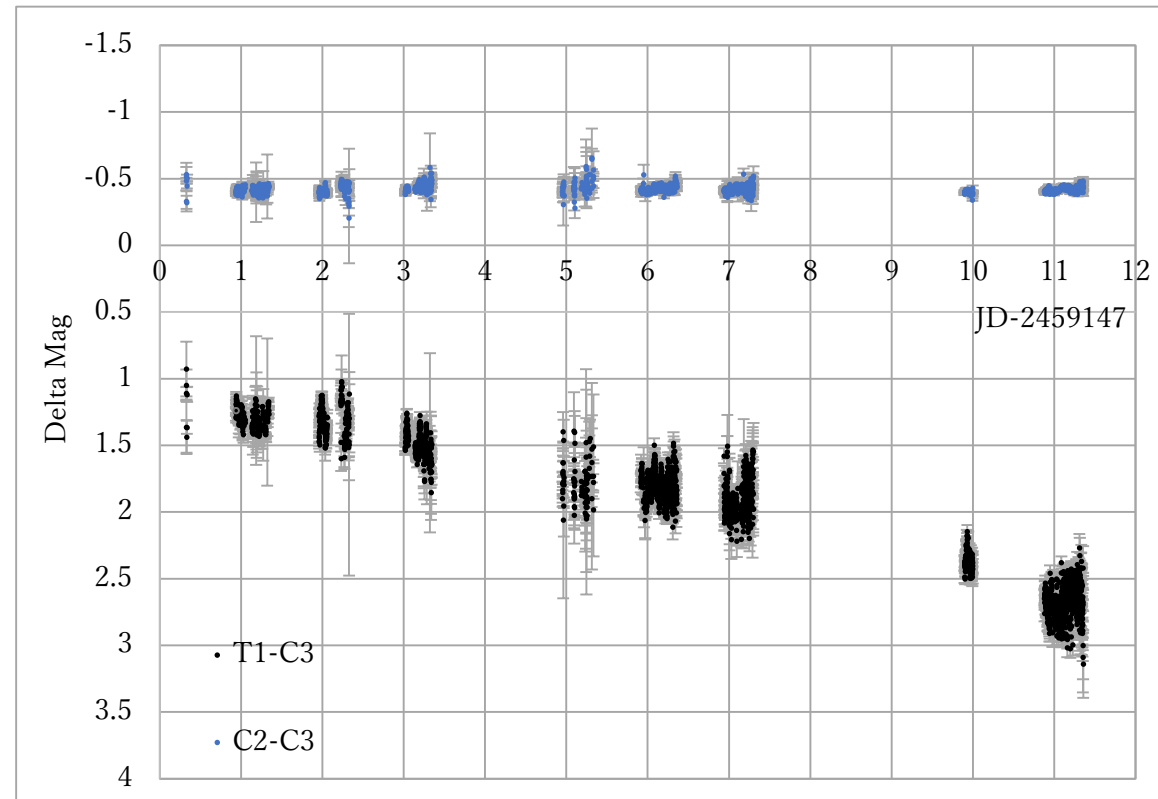


Fig. 9. 全体の光度曲線 C2=TYC3270-1038-1_C3=TYC3257-553-1

(2) 2013年のoutburstとの比較

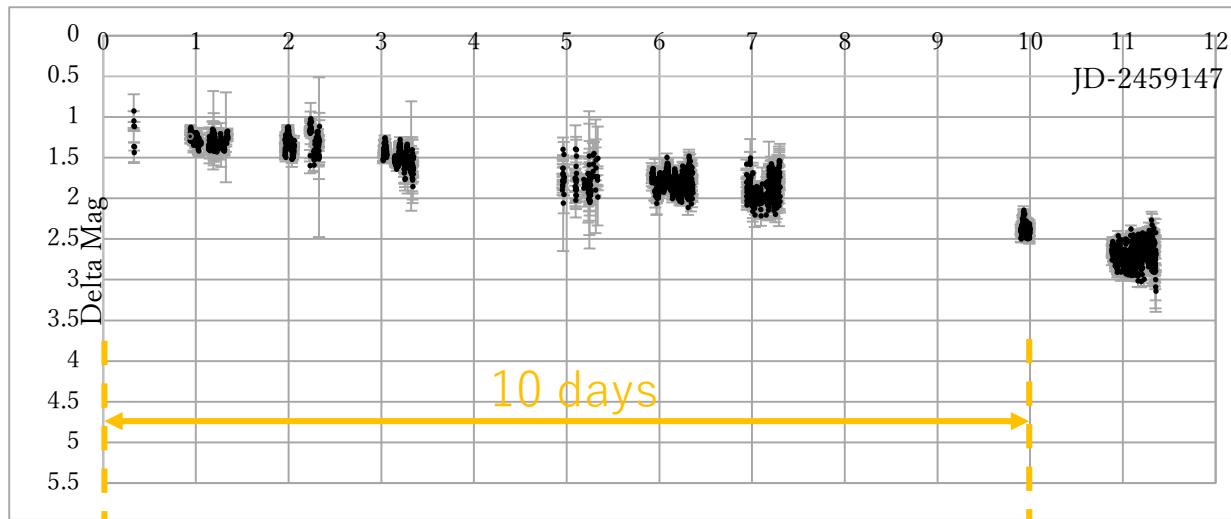


Fig. 10. 岡山理科大学天文台における2020/10/24-11/4の光度曲線

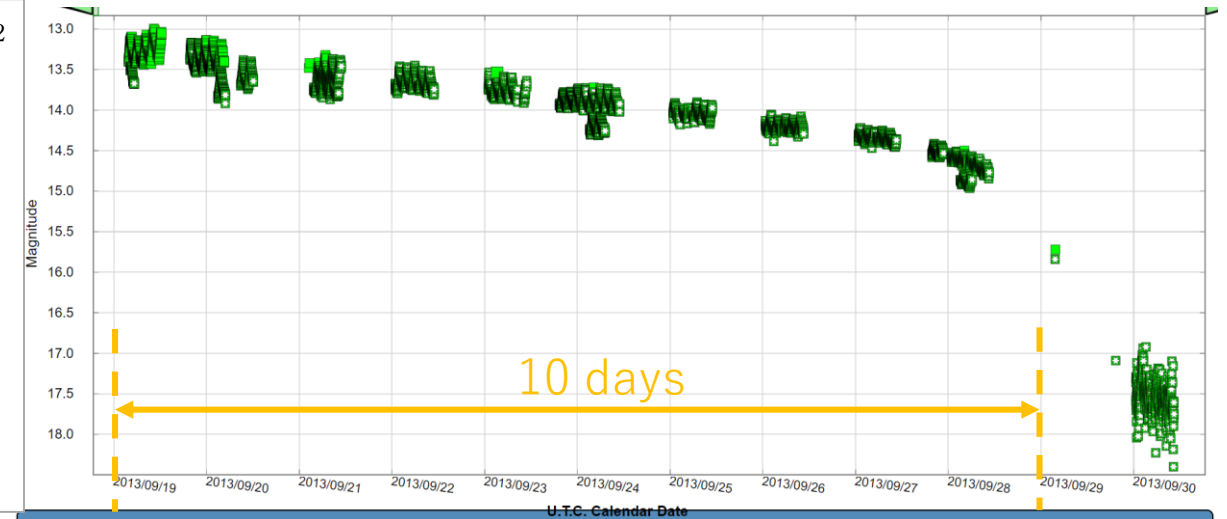


Fig. 11. 2013/9/19-9/30の光度曲線 (credit:AAVSO)

(3) 日ごとの光度曲線の例

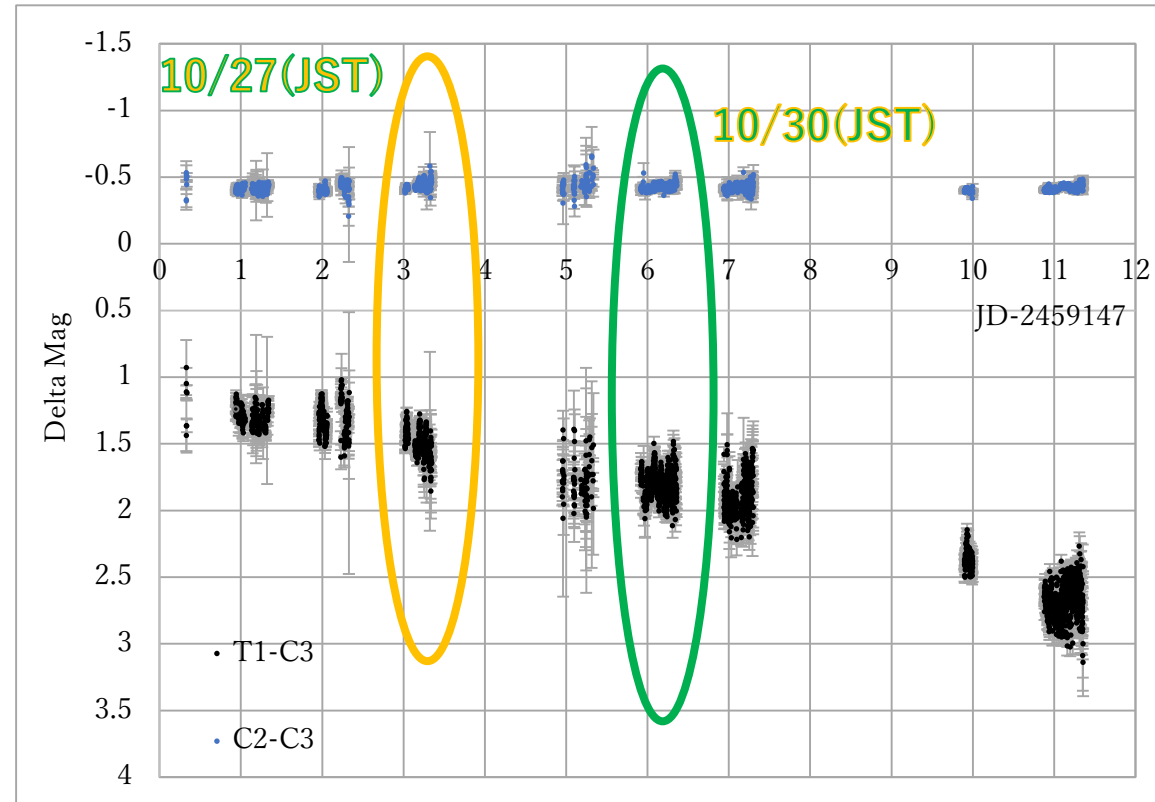


Fig. 9. 全体の光度曲線 C2=TYC3270-1038-1_C3=TYC3257-553-1

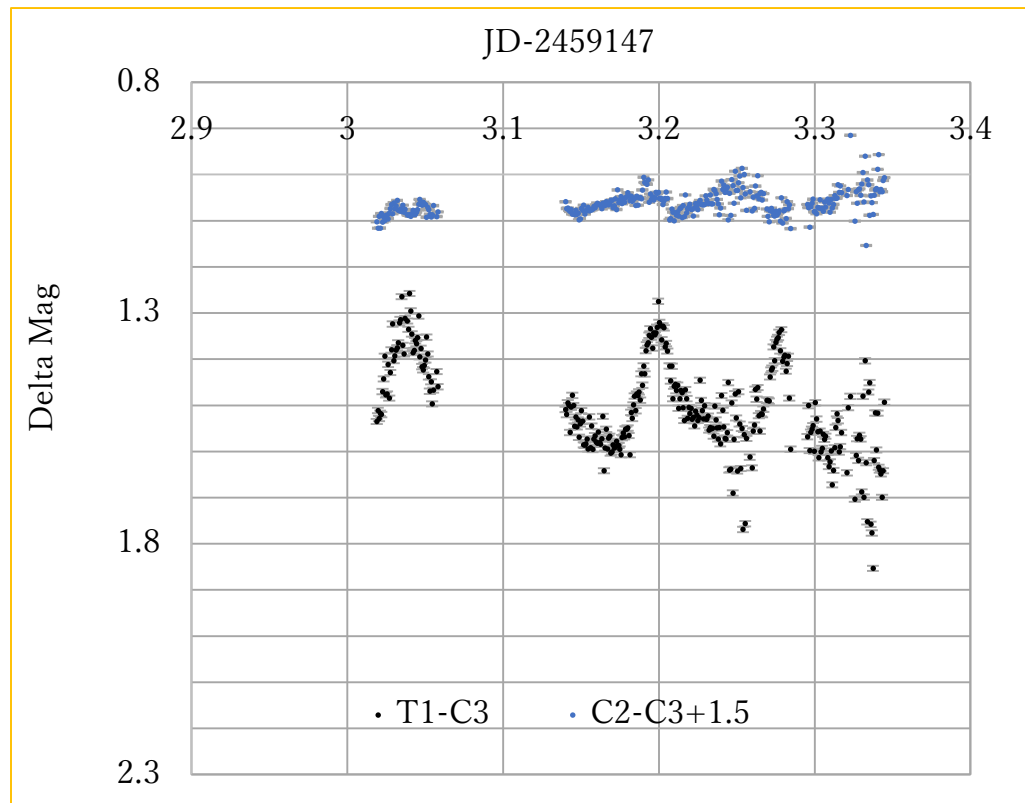


Fig. 12. 2020/10/27(JST)の光度曲線

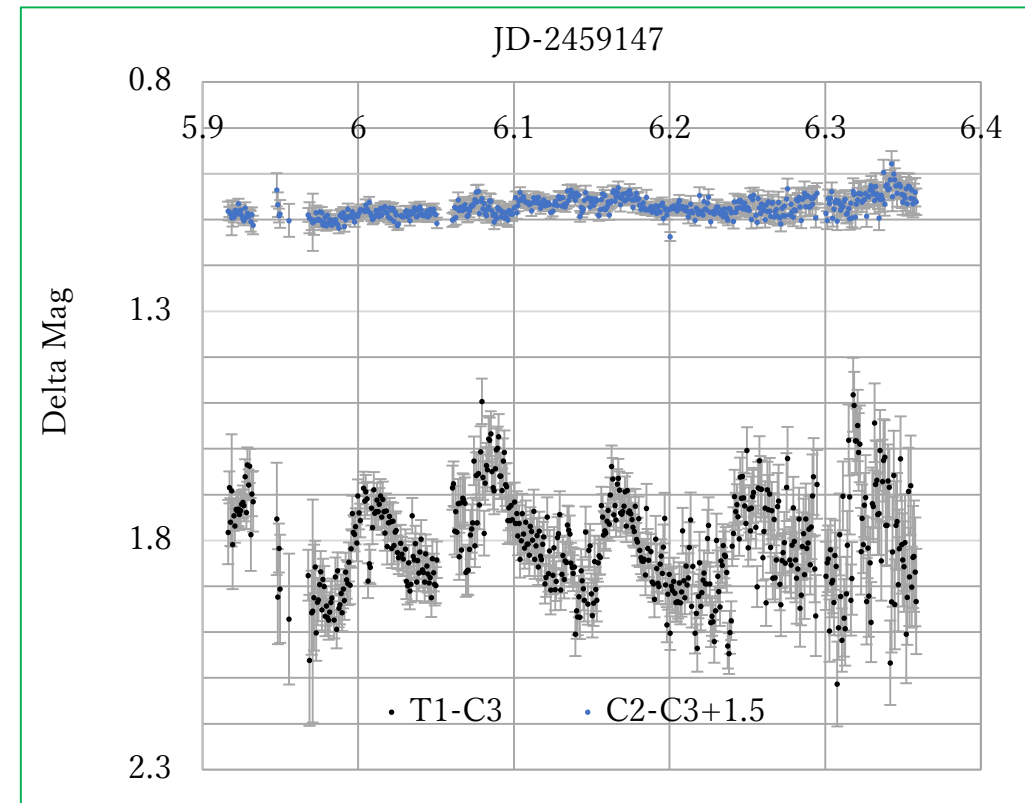


Fig. 13. 2020/10/30(JST)の光度曲線

6. 解析結果

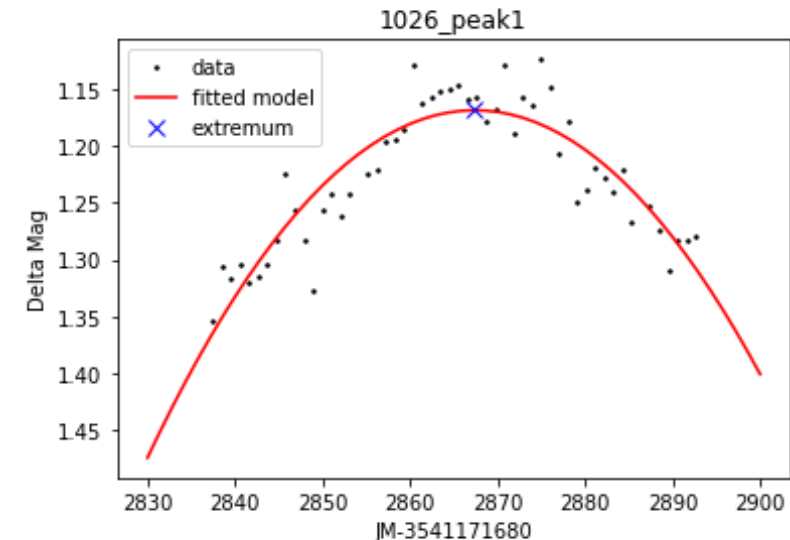
- 得られたピーク1つ1つに対して最小二乗法によるフィッティングを行い、近似式から得られる極大値をピークとみなし、2つの極大値を減算することによりハンプの周期を算出することを試みた。
- フィッティングは2次式と3次式で試した。

$$f(x) = b*(x-a)^2 + c$$

a = 2867.4031206562613 ± 0.5781821250551635
b = 0.00021880963536999534 ± 1.6305576709692047e-05
c = 1.1685044953413162 ± 0.005714435698893062

$$f(x) = 1799.05296562765*(0.000348747615149115*x - 1)**2 + 1.16850449534132$$
$$f'(x) = 0.000437619270739991*x - 1.25483086257917$$

x = 2867.40312065627 のとき, f(x) = 1.16850449534132



極大値を取るときのxは 2867.40312065627 ± 0.5781821250551635

In [2]:

```
#10/26_peak1

import scipy as sc
import numpy as np
import sympy as sy
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import least_squares

DN1026peak1 = pd.read_csv( "1026peak1.csv" )
JD = DN1026peak1[ "JD-2459147" ]
DM = DN1026peak1[ "T1-C3" ]

def func( x, a, b, c, d ) :
    return a*x**3+b*x**2+c*x+d

coef, cov = sc.optimize.curve_fit( func, JD, DM )
x = sy.Symbol( "x" )
y = coef[0]*x**3+coef[1]*x**2+coef[2]*x+coef[3]
print( ' f(x) = {} ' .format(y) )
print( ' f'(x) = {} ' .format(sy.diff(y)) )

extrema = sy.solve(sy.diff(y))
b = []
for extremum in extrema :
    print( ' x = {} のとき, f(x) = {} ' .format(extremum, y.subs(x, extremum)))
    b.append(y.subs(x, extremum))

a = np.linspace(1.97, 2.01)
y = coef[0]*a**3+coef[1]*a**2+coef[2]*a+coef[3]
plt.plot(JD, DM, ".", markersize = 3, color = "black", label = "data")
plt.plot(a, y, color = "red", label = "fitted model")
plt.plot(extrema, b, "x", markersize = 8, color = "blue", label = "extremum")
plt.title("1026_peak1")
plt.xlabel("JD-2459147")
plt.ylabel("Delta Mag")
plt.gca() .invert_yaxis()
plt.xlim([1.96, 2.02])
plt.legend(loc = "lower left")
plt.show()
```

In [21]:

```
#10/26_peak1_min

import scipy as sc
import numpy as np
import sympy as sy
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import least_squares

DN1026peak1 = pd.read_csv( "1026peak1_min.csv" )
JM = DN1026peak1[ "JM-3541171680" ]
DM = DN1026peak1[ "T1-C3" ]

def func( x, a, b, c ) :
    return b*(x-a)**2+c
coef, cov = sc.optimize.curve_fit( func, JM, DM )
dp = [cov[0][0], cov[1][1], cov[2][2]]
print("f(x) = b*(x-a)^2 + c")
print(" a = {} ± {} " .format(coef[0], np.sqrt(cov[0][0])))
print(" b = {} ± {} " .format(coef[1], np.sqrt(cov[1][1])))
print(" c = {} ± {} " .format(coef[2], np.sqrt(cov[2][2])))

x = sy.Symbol( "x" )
y = coef[1]*(x-coef[0])**2+coef[2]
print( ' f(x) = {} ' .format(y) )
print( ' f'(x) = {} ' .format(sy.diff(y)) )

extrema = sy.solve(sy.diff(y))
b = []
for extremum in extrema :
    print( ' x = {} のとき, f(x) = {} ' .format(extremum, y.subs(x, extremum)))
    b.append(y.subs(x, extremum))

z = np.linspace(2830, 2900)
s = coef[1]*(z-coef[0])**2+coef[2]
plt.plot(JM, DM, ".", markersize = 3, color = "black", label = "data")
plt.plot(z, s, color = "red", label = "fitted model")
plt.plot(extrema, b, "x", markersize = 8, color = "blue", label = "extremum")
plt.title("1026_peak1")
plt.xlabel("JM-3541171680")
plt.ylabel("Delta Mag")
plt.gca() .invert_yaxis()
plt.legend(loc = "upper left")
plt.show()

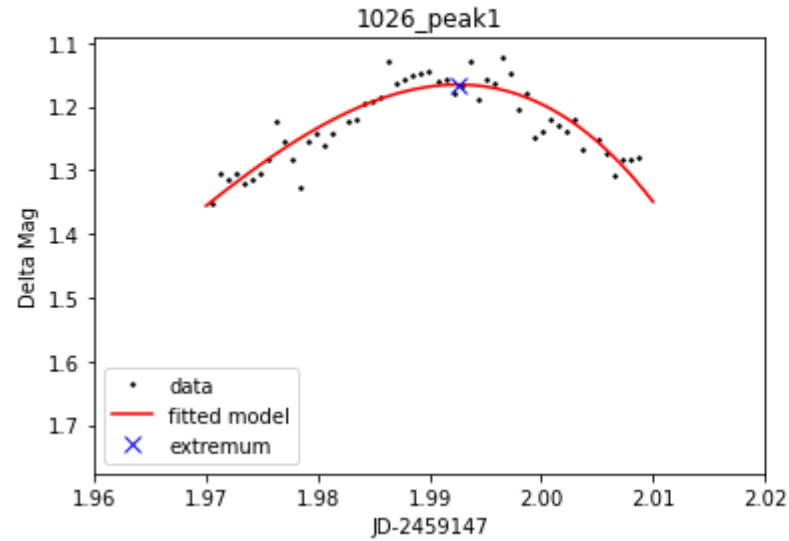
e = np.sqrt(cov[0][0])
print("極大値を取るときのxは {} ± {} " .format(extrema[0], e))
```


10/26 peak(1/1)

$$f(x) = 5702.25761123536x^{**3} - 33583.0941045978x^{**2} + 65913.7380364148x - 43111.9644063077$$

$$f'(x) = 17106.7728337061x^{**2} - 67166.1882091956x + 65913.7380364148$$

$x = 1.93375081126865$ のとき, $f(x) = 1.74514501591329$
 $x = 1.99254135746173$ のとき, $f(x) = 1.16579726812779$



≈ 1.9925 [JD-2459147]

$$f(x) = b*(x-a)^2 + c$$

$$a = 2867.4031208562613 \pm 0.5781821250551635$$

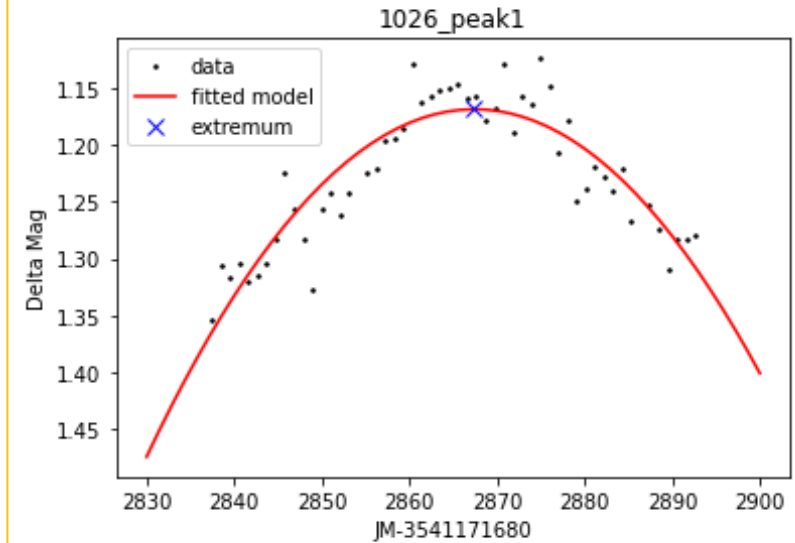
$$b = 0.00021880963536999534 \pm 1.6305576709692047e-05$$

$$c = 1.1685044953413162 \pm 0.005714435698893062$$

$$f(x) = 1799.05296562765*(0.000348747615149115*x - 1)**2 + 1.16850449534132$$

$$f'(x) = 0.000437619270739991*x - 1.25483086257917$$

$x = 2867.40312085627$ のとき, $f(x) = 1.16850449534132$



極大値を取るときの x は $2867.40312085627 \pm 0.5781821250551635$

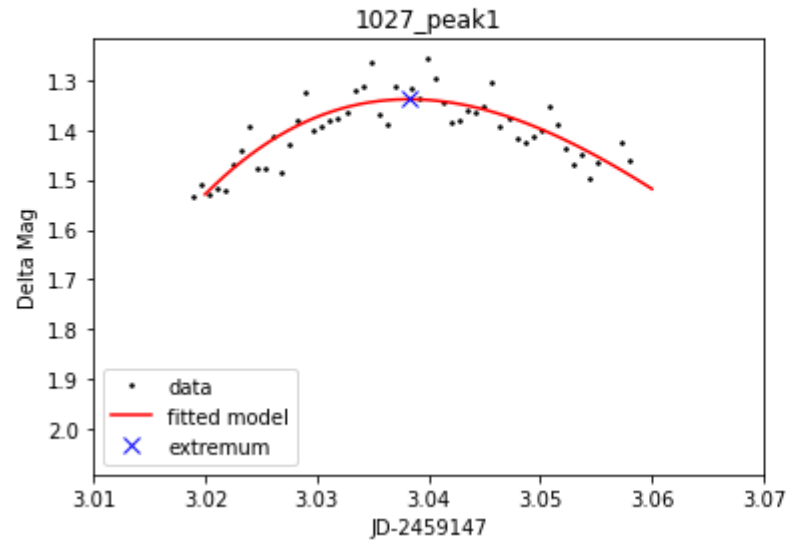
$\approx 1.9912(4)$ [JD-2459147]

10/27 peak(1/3)

$$f(x) = -4871.04380957266x^3 + 44883.0395810936x^2 - 137838.491109388x + 141088.619493944$$

$$f'(x) = -14613.131428718x^2 + 89766.0791621872x - 137838.491109388$$

$x = 3.03822683963436$ のとき, $f(x) = 1.33868574690910$
 $x = 3.10460980014137$ のとき, $f(x) = 2.05112805025419$



≈ 3.0382 [JD-2459147]

$$f(x) = b(x-a)^2 + c$$

$$a = 4376.707070987965 \pm 0.7079118769996292$$

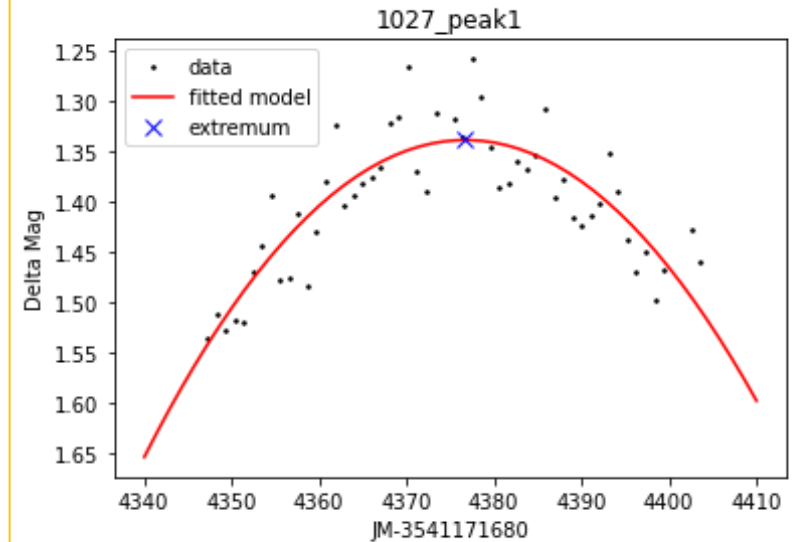
$$b = 0.00023416896918439668 \pm 2.1913935288144897e-05$$

$$c = 1.3380765359854543 \pm 0.0077435730778493955$$

$$f(x) = 4485.63885990366*(0.000228482277607459*x - 1)**2 + 1.33807653598545$$

$$f'(x) = 0.000468337938368793*x - 2.04977796647062$$

$x = 4376.70707098796$ のとき, $f(x) = 1.33807653598545$

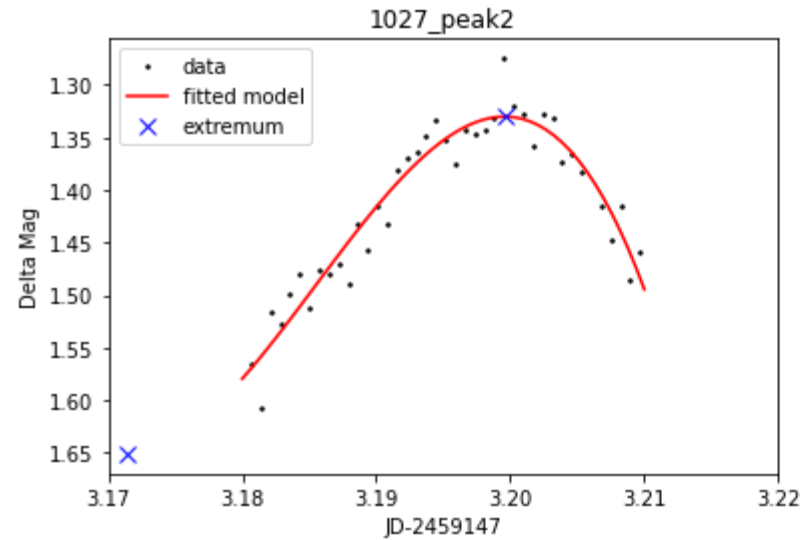


極大値を取るときのxは 4376.70707098796 ± 0.7079118769996292

≈ 3.0394(5) [JD-2459147]

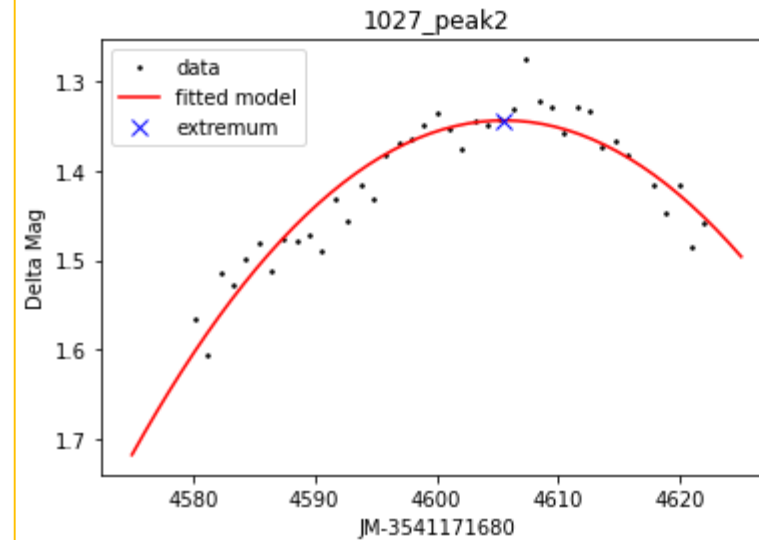
10/27 peak(2/3)

$f(x) = 28707.446612694x^{**3} - 274341.522457868x^{**2} + 873894.03398194x - 927887.999038836$
 $f'(x) = 86122.3398380819x^{**2} - 548683.044915736x + 873894.03398194$
 $x = 3.17139869075152$ のとき, $f(x) = 1.65115328459069$
 $x = 3.19957364868227$ のとき, $f(x) = 1.33011679351330$



≈ 3.1996 [JD-2459147]

$f(x) = b*(x-a)^2 + c$
 $a = 4605.518399928743 \pm 0.5672206334161919$
 $b = 0.0004030209074966805 \pm 3.156210891798392e-05$
 $c = 1.3431290824749456 \pm 0.006200200708534511$
 $f(x) = 8548.39575675412*(0.000217130822887489*x - 1)**2 + 1.34312908247495$
 $f'(x) = 0.000806041814993361*x - 3.71224041006388$
 $x = 4605.51839992874$ のとき, $f(x) = 1.34312908247495$

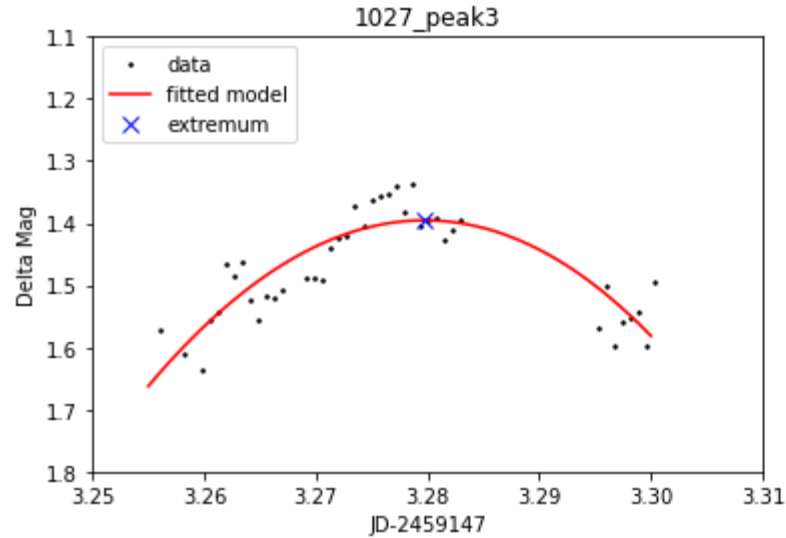


極大値を取るときのxは $4605.51839992874 \pm 0.5672206334161919$

$\approx 3.1983(4)$ [JD-2459147]

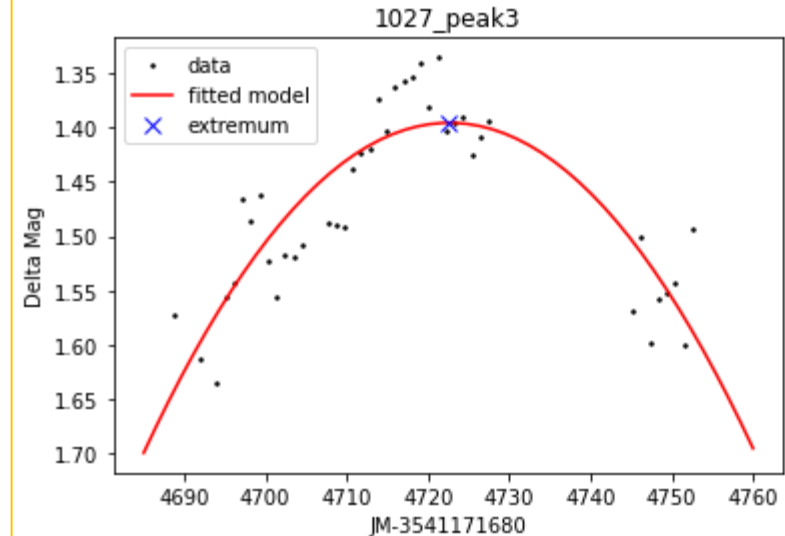
10/27 peak(3/3)

$f(x) = 409.777975770404x^{**3} - 3586.2939177146x^{**2} + 10300.6390873093x - 9661.977826911$
 $f'(x) = 1229.33392731121x^{**2} - 7172.5878354292x + 10300.6390873093$
 $x = 2.55477527651063$ のとき, $f(x) = 79.4681350366882$
 $x = 3.27975647770283$ のとき, $f(x) = 1.39549714284658$



≈ 3.2798 [JD-2459147]

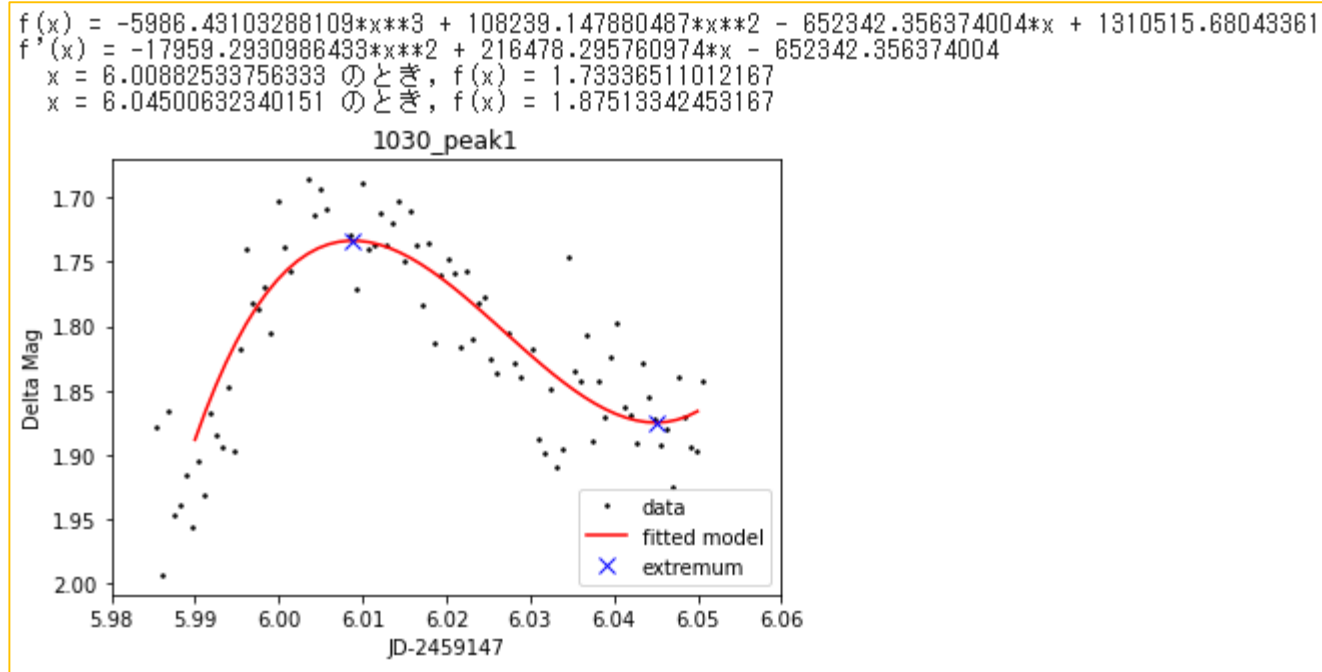
$f(x) = b*(x-a)^2 + c$
 $a = 4722.6289880054155 \pm 0.8542980167920778$
 $b = 0.00021403630523982256 \pm 2.0245319362089796e-05$
 $c = 1.3960111771243056 \pm 0.010178879432261237$
 $f(x) = 4773.6997794031*(0.000211746466330472*x - 1)^{**2} + 1.39601117712431$
 $f'(x) = 0.000428072610479645*x - 2.02162811922232$
 $x = 4722.62898800541$ のとき, $f(x) = 1.39601117712431$



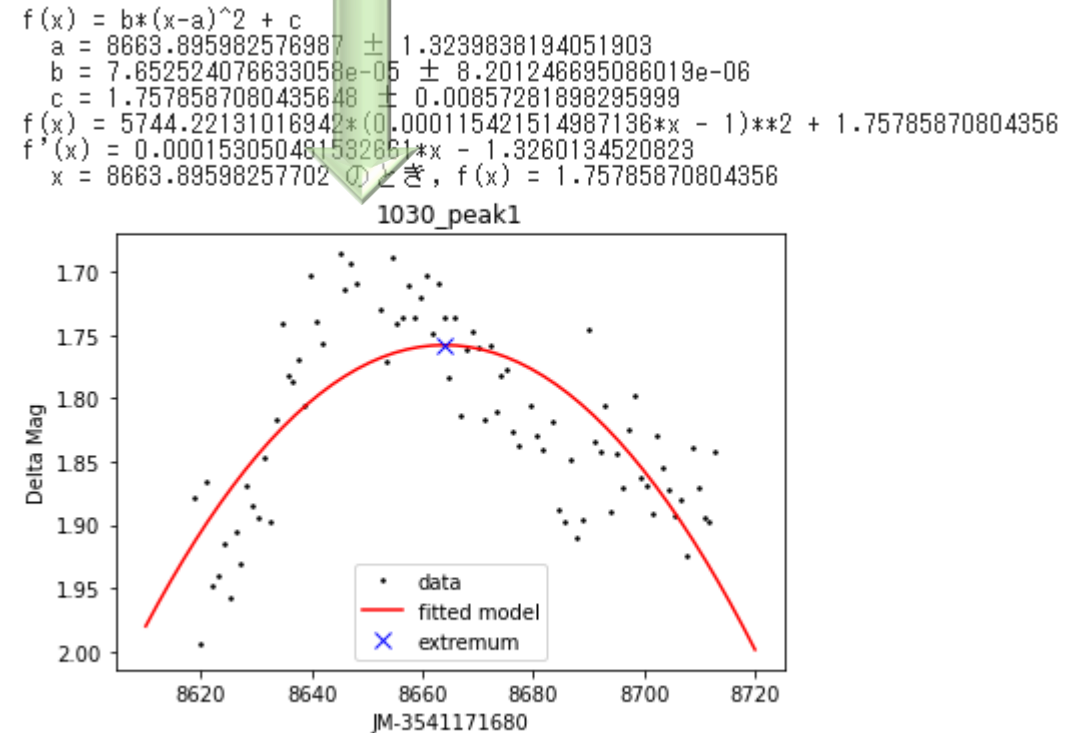
極大値を取るときのxは $4722.62898800541 \pm 0.8542980167920778$

$\approx 3.2796(6)$ [JD-2459147]

10/30 peak(1/4)



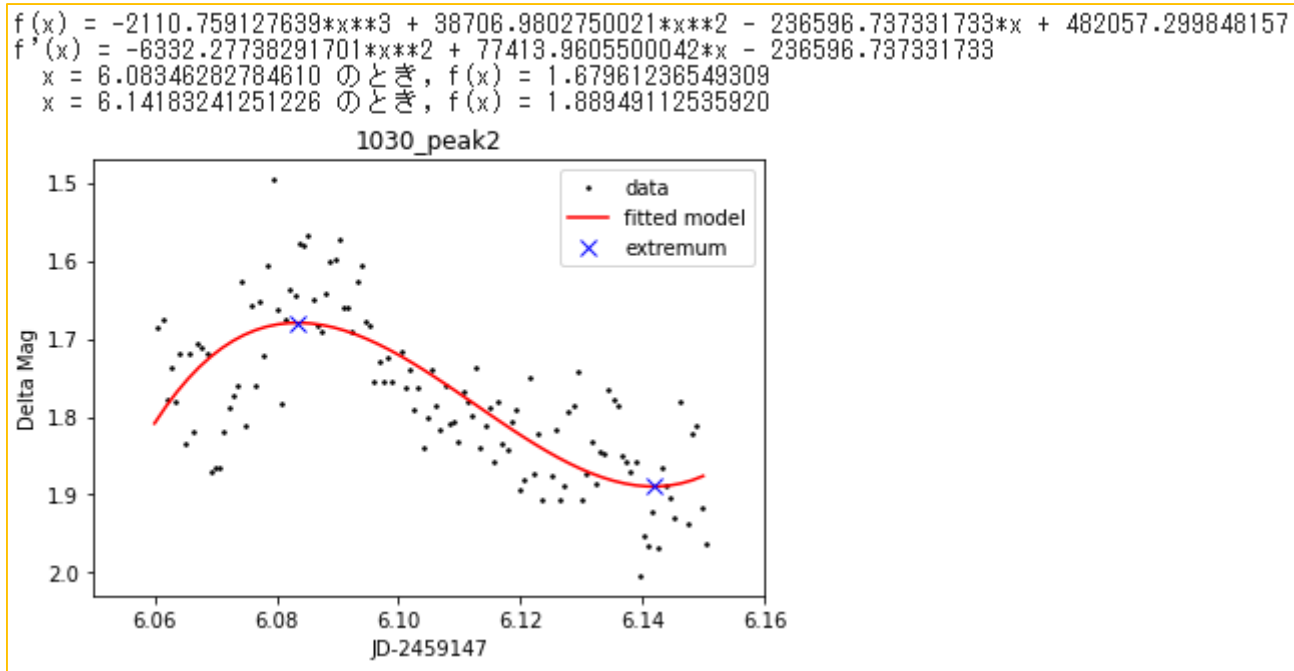
≈ 6.0088 [JD-2459147]



極大値を取るときのxは 8663.89598257702 ± 1.3239838194051903

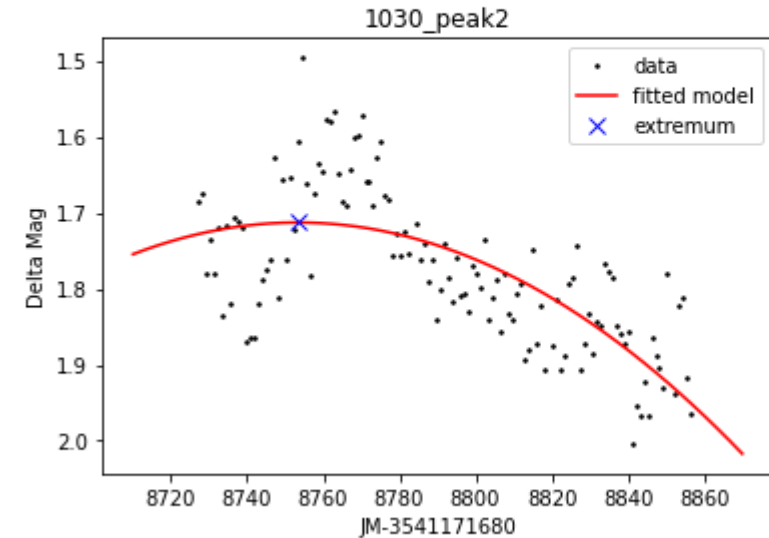
≈ 6.0166(9) [JD-2459147]

10/30 peak(2/4)



≈ 6.0835 [JD-2459147]

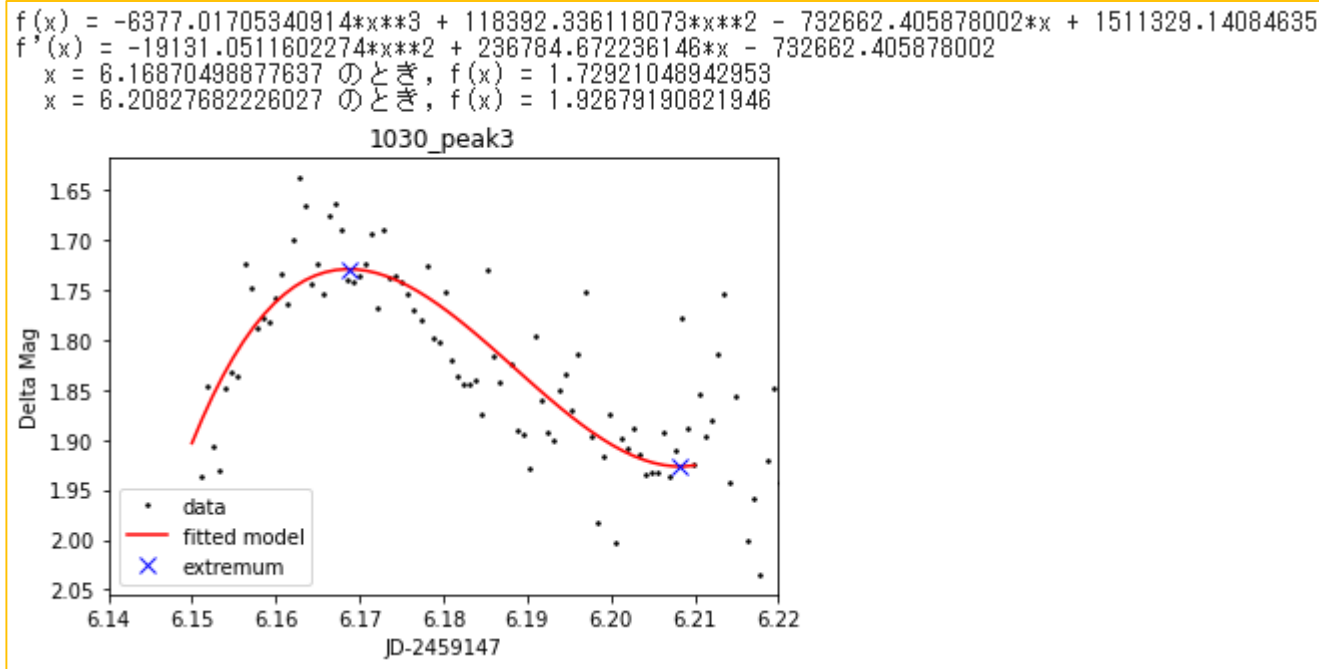
$f(x) = b*(x-a)^2 + c$
 $a = 8753.263051451104 \pm 9.68106941148619$
 $b = 2.2305504803658002e-05 \pm 5.1638424267021225e-06$
 $c = 1.7129350267861598 \pm 0.009264242962253234$
 $f(x) = 1709.03916919984*(0.000114243110725916*x - 1)**2 + 1.71293502678616$
 $f'(x) = 4.4611009607316e-5*x - 0.390491902083649$
 $x = 8753.26305145110$ のとき, $f(x) = 1.71293502678616$



極大値を取るときのxは $8753.26305145110 \pm 9.68106941148619$

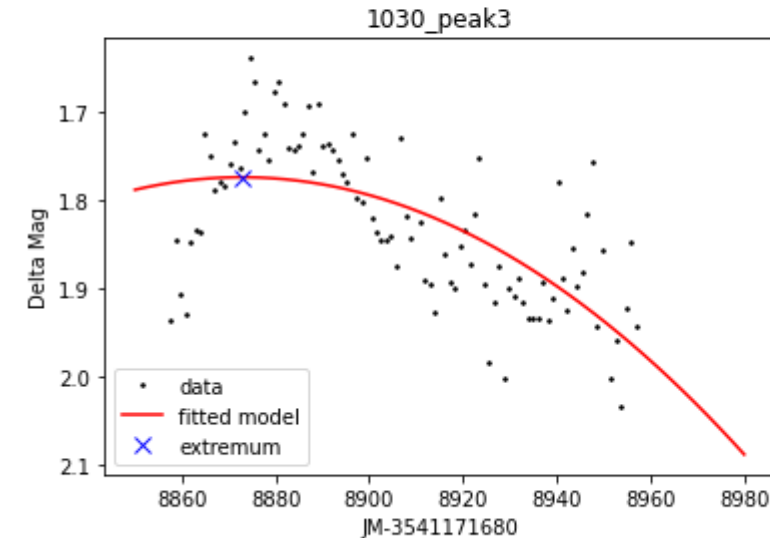
$\approx 6.079(7)$ [JD-2459147]

10/30 peak(3/4)



≈ 6.1687 [JD-2459147]

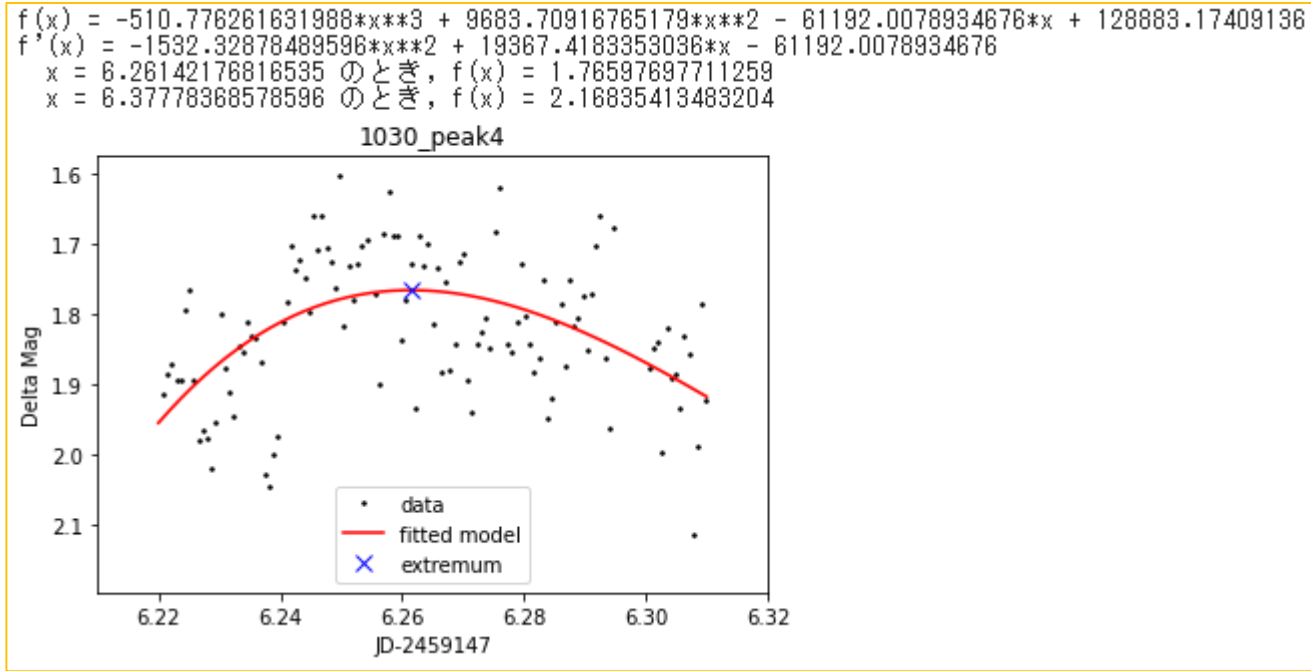
$f(x) = b(x-a)^2 + c$
 $a = 8872.81390071989 \pm 12.38157911374399$
 $b = 2.7455151467500896e-05 \pm 9.306085047693311e-06$
 $c = 1.7735330291161837 \pm 0.011127320050963571$
 $f(x) = 2161.45694657463(0.000112703817660243x - 1)**2 + 1.77353302911618$
 $f'(x) = 5.49103029350018e-5x - 0.487208899174424$
 $x = 8872.81390071989$ のとき, $f(x) = 1.77353302911618$



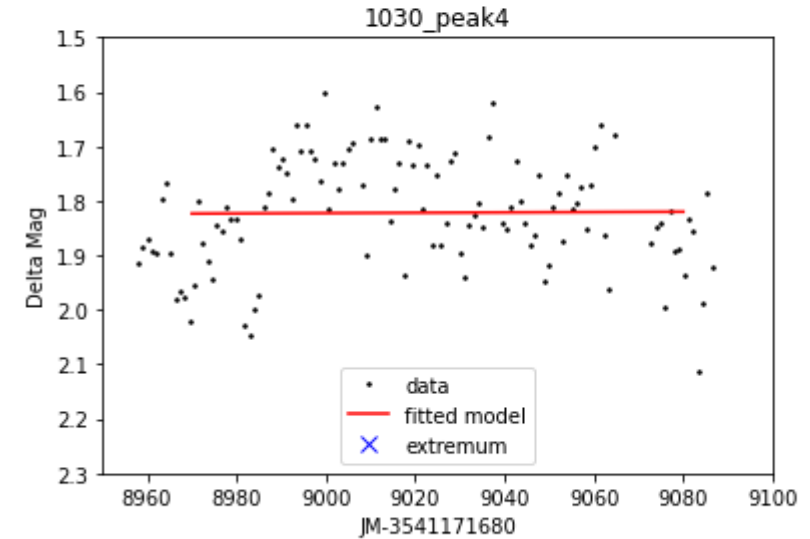
極大値を取るときのxは $8872.81390071989 \pm 12.38157911374399$

$\approx 6.162(9)$ [JD-2459147]

10/30 peak(4/4)



$f(x) = b*(x-a)^2 + c$
 $a = -56317.661987275496 \pm 2062592299.071536$
 $b = -2.3709602123089654e-10 \pm 7.527913298309183e-06$
 $c = 2.834118877569623 \pm 31953.653064061324$
 $f(x) = 2.83411887756962 - 0.751992483782539*(1.77564189405793e-5*x + 1)**2$
 $f'(x) = -4.74192042461793e-10*x - 2.67053871644191e-5$
 $x = -56317.6619872754$ のとき, $f(x) = 2.83411887756962$

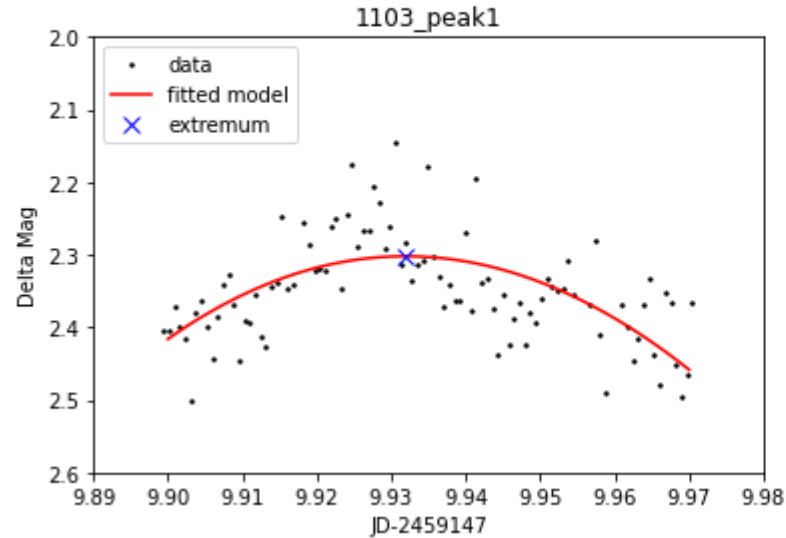


極大値を取るときのxは $-56317.6619872754 \pm 2062592299.071536$

$\approx 6.2614[\text{JD-2459147}]$

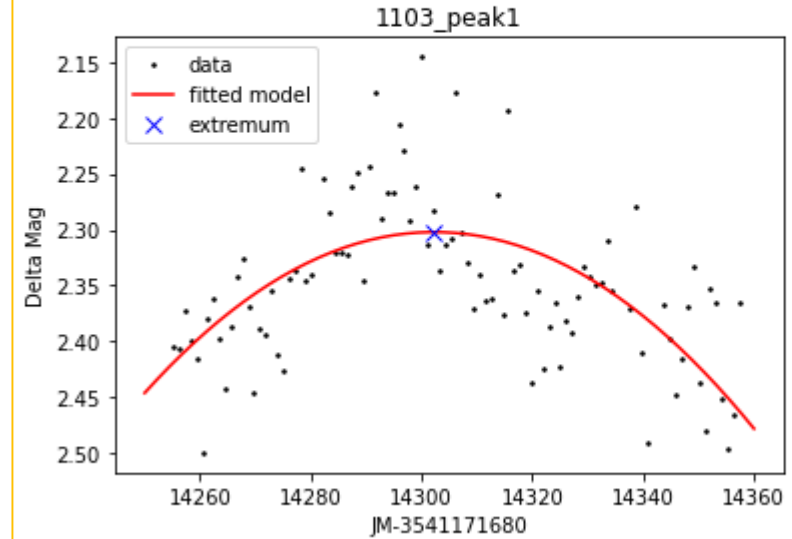
11/03 peak(1/1)

$f(x) = -60.8101523250972 * x^{**3} + 1921.90332342739 * x^{**2} - 20180.8824919118 * x + 70431.4380019403$
 $f'(x) = -182.430456975291 * x^{**2} + 3843.80864685478 * x - 20180.8824919118$
 $x = 9.93190323778524$ のとき, $f(x) = 2.30211375019280$
 $x = 11.1380798702185$ のとき, $f(x) = 55.6575686749129$



≈ 9.9319 [JD-2459147]

$f(x) = b * (x-a)^2 + c$
 $a = 14302.244981352393 \pm 1.9429387556653723$
 $b = 5.280275988522048e-05 \pm 7.223740490276709e-06$
 $c = 2.302233014559444 \pm 0.008603399433466717$
 $f(x) = 10801.0269136946 * (6.99190932125568e-5 * x - 1)^{**2} + 2.30223301455944$
 $f'(x) = 0.000105605519770441 * x - 1.5103960151399$
 $x = 14302.2449813524$ のとき, $f(x) = 2.30223301455944$



極大値を取るときのxは $14302.2449813524 \pm 1.9429387556653723$

$\approx 9.9321(13)$ [JD-2459147]

7. 結論

- 得られた日ごとの極大時刻は以下の通りであった。

Table 2. 極大時刻(日付：JST、極大時刻：JD-2459147)

10月26日	1.9912(4)			
10月27日	3.0394(5)	3.1983(4)	3.2796(6)	
10月30日	6.0088	6.0835	6.1687	6.2614 (誤差未計算)
11月3日	9.9321(13)			

- ハンプの周期は10月27日の連続したデータから 0.08132 ± 0.00010 日 (117.1 \pm 1.4分) という暫定的な結果が得られた。

8. 今後の課題

- フィッティングは2次式と3次式の両方で試したが、どちらが有用なのかよく分からない観測結果も多くあったため、データがどちらを支持するか検証をする必要がある。
 - 赤池情報量基準(AIC)を用いたフィッティングの次数選択
 - 10/30のデータは範囲を谷まで広げすぎている可能性あり
→データの範囲の再検討
 - 3次式でのフィッティングも誤差を算出
- さらに、O-C diagramを作成することによって、ハンプの周期の値を検討することを考えている。

9. 引用・参考文献

- AstrolmageJ 2.4.1 User Guide plus Getting Started with Differential Photometry
- Coel Hellier “Cataclysmic Variable Stars” (Springer, 2001)
- Collins, K. A., Kielkopf, J. F., et al. 2017, AJ, 153, 77
- Denisenko, D. 2020, vsnet-alart 24843
- Denisenko, D., Lipunov, V., et al. 2013, ATel, 5399, 1
- Kato, T., Dubovsky, P. A., et al. 2014, PASJ, 66, 90
- Kato, T. 2015, PASJ, 67, 108
- Percy J. “Understanding Variable Stars”(Cambridge, 2007),pp228-255
- Ritter, H., Kolb, U. 2003, A&A, 404, 301
- SIMBAD Basic data:USNO-B1.0 1405-00020846
- Tanabe, K., Akazawa, H., et al. 2017, IBVS, 63, 6251
- Tanabe, K., Ohtani, N. 2015, PoS, 46
- Wakamatsu, Y., Isogai, K., et al. 2017, PASJ, 69, 89
- 大谷徳紀, 卒業研究, 矮新星 AY LyrおよびASASSN-14jvのCCD測光観測と解析 (岡山理科大学・田邊研究室,2015)
- 鈴木 仁, 「画像処理・測光フリーソフト”AstrolmageJ” (AIJ) の使い方について」～我流入門 (変光星観測者会議・明治大
学生田キャンパス,2017)
- 能勢樹葉, 卒業研究, 青い超巨星P Cyg(はくちょう座P星)の分光ならびに測光観測 (岡山理科大学・田邊研究室,2010)