

激変星 WZ Sge の Superoutburst 期における三色測光観測

田邊健茲・圓岡浩一*・小泉充男

岡山理科大学総合情報学部生物地球システム学科

*岡山理科大学総合情報研究科生物地球システム専攻

(2001年11月1日 受理)

今年(2001年)7月23日に矢座 WZ 星の23年ぶりの Superoutburst (大增光)が検出されたため、我々は冷却 CCD に Johnson-Cousins (Bessel) の BVR フィルターを装着して測光観測を約1ヶ月半にわたり行った。我々が得た光度曲線から、この天体は光度が極大の約1ヶ月後にふたたび増光が見られた。また、1日の間に光度変化が見られることから、連星系の食による変光も併せて検出されたものと考えられる。

1. 序論

激変星 WZ Sagittae (略して WZ Sge、矢座 WZ 星)は、近接連星系であり、しかもその軌道周期はわずか82分というきわめて短いことで知られている。これより短周期の近接連星は GP Comae Berenice (GP Com, かみのけ座 GP 星)、AM Canum Venaticorum (AM CVn, 獵犬座 AM 星) など数個しか存在せず、しかも連星系かどうか疑われているものも含まれる。この WZ Sge は確実に連星系と考えられ、その周期の短さゆえにアインシュタインの一般相対論から予言されている重力波放射による軌道周期の変化が期待される天体のひとつである。実際、重力波放射による軌道周期の変化が最初に検出された有名な連星パルサー PS1913+16 の465分よりもはるかに短いことから、より効果的に重力波が放出されていると考えられる。この天体は主星である白色矮星のまわりに降着円盤が形成され、その上にある光点 (bright spot) が伴星によって引き起こされる食の結果、軌道周期が光度曲線から決定されると考えられるものであるが、連星パルサーのように電波を発しているのではないため、比較的短期間に正確に周期変動を検出することは容易ではない。

この天体は発見以来、1913年、1943年、1978年と3回大きな増光 (Superoutburst) が記録されている。そして、極大光度は7.0等 (V等級) で約8等の増光であることから、普通ならば新星 (Nova) それも反復新星 (Recurrent Nova) に分類されるべきものであるが、増光時における新星特有のスペクトル線が見られないことから、矮新星のうちの SU UMa 型 (大熊座 SU 型) として扱われている¹⁾。また、磁気激変星 (Magnetic Cataclysmic Variables) のうちの中間ポーラー (Intermediate Poles; 回転軸方向に伴星からの物質が流入する。ただし普通のポーラーのように X 線を放出してはいない) であるともされている。このように、この天体はその本性がわかりにくいいため、さまざまな測光、分光、偏光観測ならびに理論の両面から研究がなされ、おびただしい数の論文が発表されている。詳細は B. Warner の大著 *Cataclysmic Variable Stars* を参照されたい²⁾。ちなみに測光観測としては Patterson による口径 2.1 メートル望遠鏡による短周期の変動を示す光度曲線の論文がある⁴⁾。今回の増光は、日本 (岐阜県在住) のアマチュア観測家大島誠人氏により 2001年7月23日に検出され、京都大学宇宙物理学教室の変光星ネットワーク VSNET により公表された³⁾。これまではアウトバーストの間隔はおおよそ33年と考えられることから、今回の爆発は予想よりはかなり早まったとみられる。今回、我々は7月26日 (JST) からこの天体の光度変化を B,V,R 3色のフィルターによる CCD 測光を行った。本論文の目的は WZ Sge のアウトバーストの時期における我々の観測データならびに得られた光度曲線の公表、ならびに光度曲線に対する解釈も併せて試みることである。2. ではこの天体 WZ Sge のカタログ値、すなわち位置、タイプ、光度範囲、軌道周期等について記述する。3. では我々が今回用いた観測施設、装置ならびに方法を述べる。4. では観測ログ、観測生データならびに処理されたデータについて説明する。5. は得られた光度曲線、ならびにその解釈についての試みを述べる。最後の6. では今回の問題点、そして今後への課題などについて議論する。

2. WZ Sagittae の諸量

激変星 WZ Sagittae の天文学的データは次のとおりである^{1), 5)} :

位置 : $(\alpha, \delta) 2000 = (20^{\text{h}} 07.^{\text{m}} 2, 17^{\circ} 42')$

分類 : 矮新星、SU UMa 型, CP (Coherent Pulsator) 型, XS (X線源) 型

光度範囲 : 7.0 - 15.5 (V 等級)

軌道周期 : 0.0571 日 (82.2 分) ; この値は他にいくつか報告されている。

短周期の振動 : 振幅 0.01 等級、周期 28.98 秒, 27.87 秒、および 28.95963 秒

過去のアウトバースト : 1913 年、1946 年、1978 年

3. 観測装置と方法

(1) 観測施設と装置

今回の観測で我々が使用した観測施設・装置は次の 2 つである。

① 岡山理科大学 21 号館屋上の天文台

望遠鏡 : 21 cm カセグレイン (ドール・カーカム)、口径比 F12 (Takahashi 製)

架台 : ドイツ式 EM200 (Takahashi 製)

CCD : ST-6 (アメリカ SBIG 社製)

② 岡山市芳賀の著者 (田辺) の個人天文台

望遠鏡 : 30 cm カセグレイン (ドール・カーカム)、口径比 F12 (Takahashi 製)

架台 : ドイツ式 EM500 (Takahashi 製)

CCD : ST-6 旧型 (アメリカ SBIG 社製)

このうち、①は以前紹介したので⁶⁾ ②のみの外見ならびに内部の写真を紹介する。

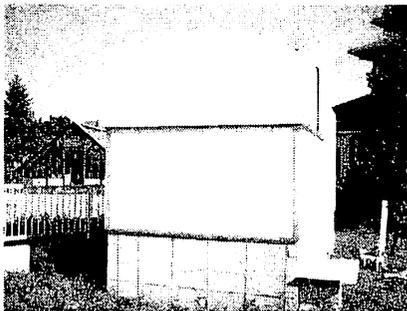


図 1. 観測室外観

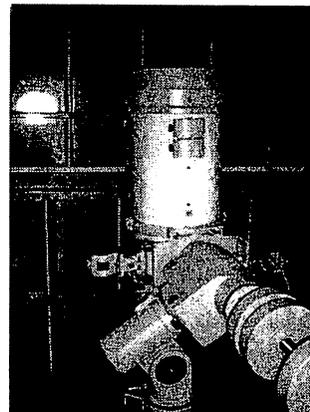


図 2. 30 cm 望遠鏡

(2) 観測方法

表題にもあるように、今回の観測は主として Johnson-Cousins (Bessell) の B、V、R という 3 種類の広帯域フィルターを装着して、1 晩に各フィルターごとに数枚 (実際には B,V,R の組を数セット) 撮像した。視野が約 10 分角取れるので、比較星は数個同じフレームに写る。従って、測光方法としては aperture (開口) photometry の方法を用いて、差測光により光度変化を求めることが可能である。

4. 観測データ

(1) 観測ログ

今回の観測で得た全 CCD フレーム (画像) の観測日ごとの枚数を表にまとめた。

観測日	撮像数	
	21cm	30cm
2001/7/27	6 (B,V,R) 2 (None) ※	
2001/7/28	12 (B,V,R) 1 (None) ※	
2001/7/30		1 (None) ※
2001/8/1		4 (B,V,R)
2001/8/2		4 (B,V,R)
2001/8/4	2 (V) 8 (V) ※	
2001/8/5	6 (B,V,R) 42 (B,V,R) ※	
2001/8/6	32 (B,V,R) ※	
2001/8/8	6 (B,V,R) 11 (B,V,R) ※	
2001/8/9	8 (R) ※	
2001/8/11	6 (B,V,R) 80 (B,V,R) ※	3 (B,V,R)
2001/8/12	6 (B,V,R) 101 (B,V,R) ※	
2001/8/14	6 (B,V,R) 115 (B,V,R) ※	3 (B,V,R) 1 (R) ※
2001/8/15	17 (B,V,R) 83 (B,R) ※	9 (B,V,R) 1 (I) ※
2001/8/16	15 (B,V,R) 60 (B) ※	
2001/8/22	3 (B,V,R) 1 (None) ※	
2001/8/28		4 (B,V,R) 1 (V) ※
2001/8/29	2 (None) ※	
2001/9/4		5 (B,V,R)
2001/9/16		9 (B,V,R) ※

※未処理のデータ

表 1. 観測ログ。観測日ごとのフレーム (画像) の枚数。括弧内はフィルターの種類。ただし None はフィルターなし。

(2) 代表的画像データ

得られた CCD 画像のうち、最も光度が大きかった（極大）時期のもの、および最も新しい（ほぼ静穏期に等しい光度に戻った時の）ものをそれぞれ 1 枚ずつ紹介する。

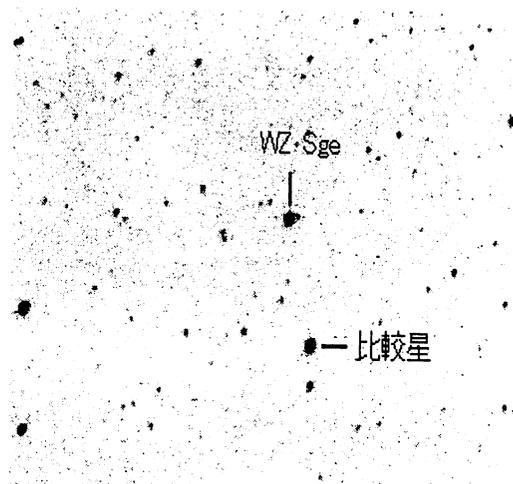


図 3. 2001 年 7 月 27 日 (R filter, 60 秒露出)

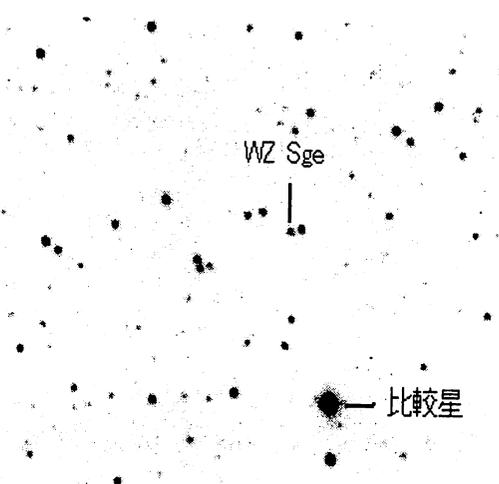


図 4. 2001 年 9 月 16 日 (R filter, 60 秒露出)

(3) 測光データ (補遺参照)

上で示したような画像データは、天文画像処理ソフト IRAF (Image Reduction and Analysis Facilities; アメリカ NASA で開発) ならびに画像表示ソフト SAOimage (DS9; アメリカ Smithsonian 天文台開発) を用いた。なお、使用したコンピュータは当研究室にある Sotec PC-Station S253LP に Linux ならびに上記の 2 つのソフトをインストールしたものを主に使用した。この処理されたデータは大量であるため 補遺に掲載する。

5. 光度曲線

測光データを処理し、等級値の時間変化をプロットした光度曲線 3 種類 (フィルターごと) を以下に示す。

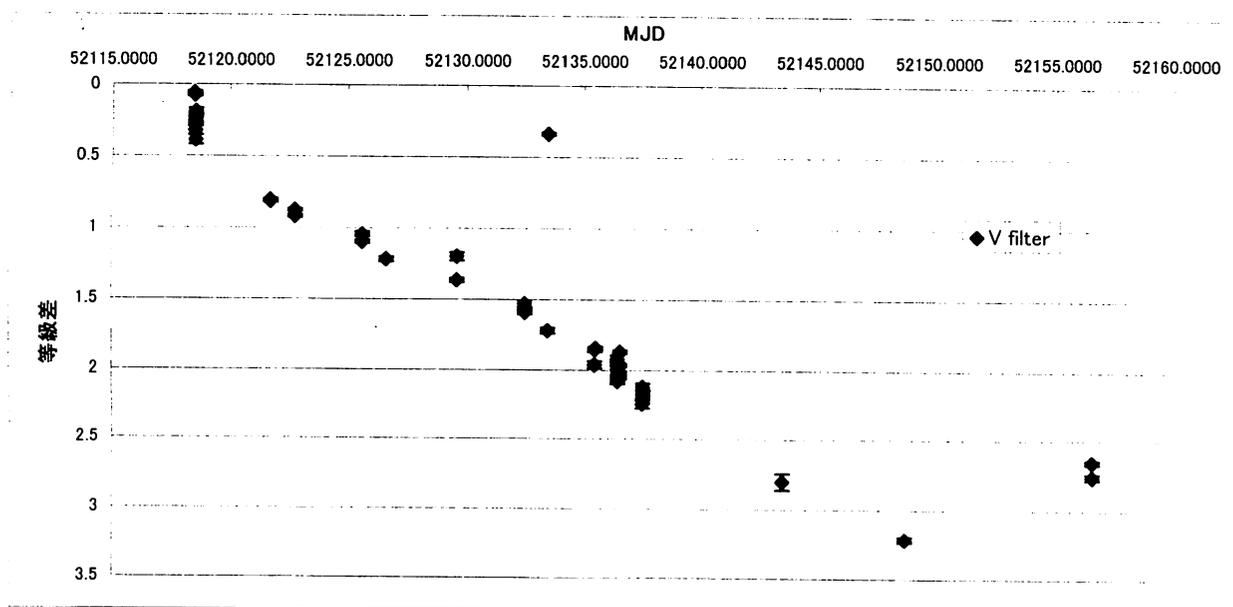


図 5. WZ Sge の V filter による光度曲線。横軸は MJD (修正ユリウス日)。

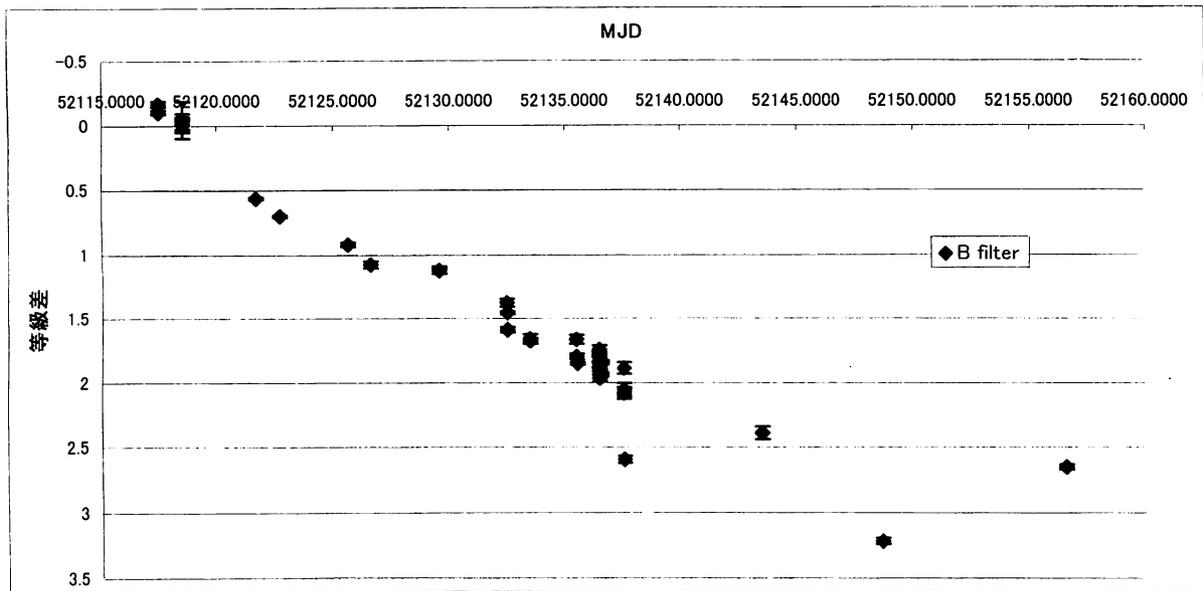


図 6. WZ Sge の B filter による光度曲線

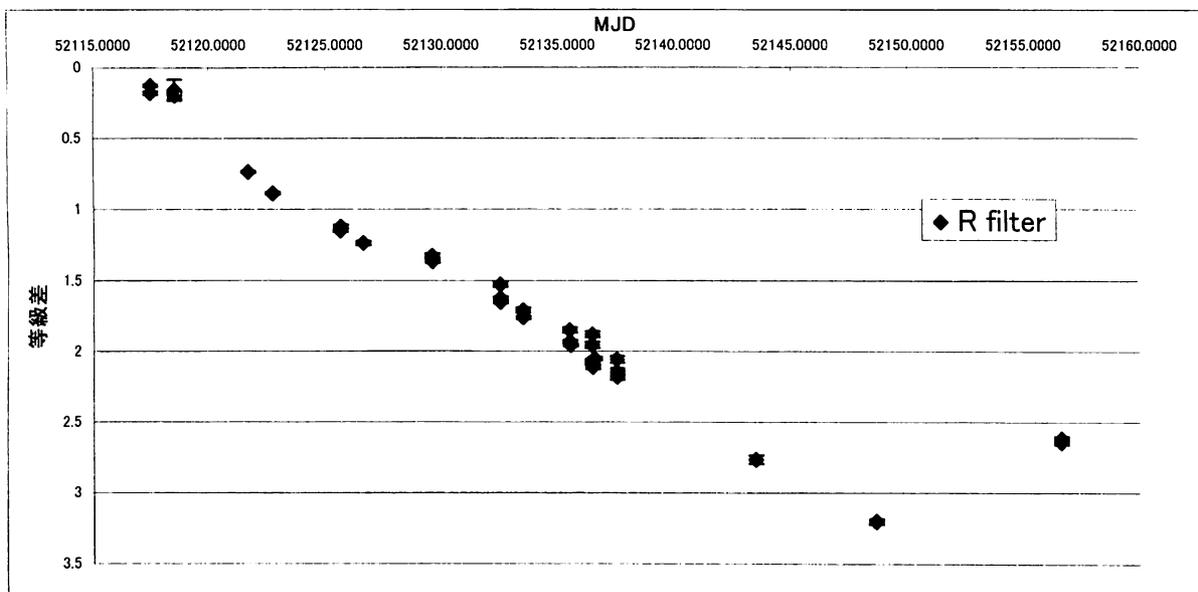


図 7. WZ Sge の R filter による光度曲線

これらの光度曲線から次のことが読み取れる：

- (1) 我々が観測し始めた7月27日(JST)がほぼ極大と考えられる。この時の光度は、比較星 BD+17°4228 が 8.76 等 (V) であることから、約 9 等級と考えられる。この値は過去の Superoutburst における極大値 7.0 等より 2 等級も暗い。
- (2) 9月4日前後に再び増光が見られた。
- (3) 1日のうちに約 0.5 等のばらつきが見られる。

6. まとめと今後の問題

今回の観測結果から、次のことが推論される：

- (1) 今回の Superoutburst (大增光) は従来のものよりも 2 等級程度暗い。このことは Superoutburst が予想より 10 年早かったことと関係している可能性がある。
- (2) 再増光はいわゆる Superhump (SU UMa 型矮新星特有の軌道周期の変調現象) と関連しているかもしれない。
- (3) 8 月 12 日の V 等級の値だけが大きいのは、データ自体または処理の疑問があるが、原因は不明である。

この論文では、3 色測光のデータのみ処理して、光度曲線を得たが、それ以外の未処理のデータもある。それも含めて今後の問題として、

- (1) 測光のための比較星として BD + 17° 4225 のみを採用したが、明るすぎるため別の星を使用して再処理することが望ましい。
- (2) 測光の方式として IRAF の APPHOT というパッケージを用いたが、矢座のように星の混んでいるところでは、ピーク値を用いた DAOPHOT というパッケージを用いることを試み、比較する。
- (3) 8 月 6 日ならびに 11 日の連続測光データを処理し、軌道周期を求める。

以上の事柄を遂行すれば、今回のデータはより意義のあるものになると考えられる。

謝辞

今回の観測に関して情報の提供、ならびに議論、アドバイスをいただいた前国立天文台岡山天体物理観測所所長、前原英夫博士に深く感謝致します。

参考文献

- 1) Ritter, H. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* 70(1987),335
- 2) Warner, B. *Cataclysmic Variable Stars*. Cambridge UP (1995)
See also Hellier, C. *Cataclysmic Variable Stars* Springer (2001)
- 3) VSNET alert No.6093 京都大学宇宙物理学教室
- 4) Patterson, J. *Astrophys.J* 241(1980),235
- 5) Cherepshchuk et.al *Highly Evolved Close Binary Stars* Gordon and Breach (1996)
- 6) 田邊健茲、加藤伸彦、山本勲 岡山理科大学紀要 A 35 (1999) 83

3-color Photometry of WZ Sagittae at its Outburst

Kenji TANABE, Koichi MARUOKA*, Mitsuo KOIZUMI

Department of Biosphere-Geosphere System, Faculty of Informatics,

**Graduate School of Informatics,*

Okayama University of Science

Rodai-cho 1-1, Okayama 700-0005, JAPAN

(Received November 1, 2001)

We performed three-color (BVR) CCD photometry of the cataclysmic variable WZ Sagittae immediately after its Superoutburst detected on July 23rd 2001. We have observed a hump in its light curve about one month after the maximum. It is also seen that magnitude variations on the same nights which is considered to be due to the eclipse as a result of its binary nature.

補遺

測光 V filter 43 枚			WZ Sge		比較星 1 (C)		等級差	
.imh 名	ユリウス日	MJD	mag	err	mag	err	WZ Sge - 比較星	err
003.imh	2452118.9722	52118.4722	13.816	0.007	13.756	0.007	0.06	0.014
007.imh	2452118.9833	52118.4833	13.028	0.005	12.957	0.005	0.071	0.01
010.imh	2452119.0076	52118.5076	14.991	0.014	14.739	0.013	0.252	0.027
011.imh	2452119.0097	52118.5097	15.018	0.018	14.697	0.012	0.321	0.03
012.imh	2452119.0111	52118.5111	15.251	0.017	15.017	0.015	0.234	0.032
013.imh	2452119.0132	52118.5132	15.245	0.018	14.858	0.015	0.387	0.033
020.imh	2452119.0257	52118.5257	14.388	0.011	14.199	0.011	0.189	0.022
023.imh	2452122.2063	52121.7062	13.196	0.005	12.393	0.003	0.803	0.008
026.imh	2452122.2118	52121.7118	13.249	0.005	12.436	0.003	0.813	0.008
027.imh	2452123.2389	52122.7389	13.458	0.005	12.583	0.004	0.875	0.009
030.imh	2452123.2444	52122.7444	13.465	0.006	12.548	0.004	0.917	0.01
032.imh	2452126.0889	52125.5889	14.403	0.011	13.361	0.006	1.042	0.017
034.imh	2452126.0931	52125.5931	13.701	0.007	12.605	0.004	1.096	0.011
086.imh	2452127.1146	52126.6146	14.566	0.012	13.349	0.006	1.217	0.018
127.imh	2452130.0792	52129.5792	14.695	0.021	13.499	0.007	1.196	0.028
130.imh	2452130.0840	52129.5840	14.195	0.01	12.833	0.005	1.362	0.015
152.imh	2452132.9861	52132.4861	14.912	0.015	13.383	0.006	1.529	0.021
158.imh	2452132.9979	52132.4979	14.111	0.011	12.52	0.004	1.591	0.015
161.imh	2452133.0049	52132.5049	13.847	0.007	12.276	0.003	1.571	0.01
322.imh	2452133.9764	52133.4764	15.165	0.015	13.443	0.006	1.722	0.021
325.imh	2452133.9806	52133.4806	12.918	0.005	12.581	0.004	0.337	0.009
345.imh	2452135.9778	52135.4778	15.258	0.02	13.298	0.005	1.96	0.025
354.imh	2452135.9910	52135.4910	14.368	0.012	12.515	0.004	1.853	0.016
379.imh	2452136.0215	52135.5215	14.089	0.008	12.244	0.003	1.845	0.011
467.imh	2452136.9576	52136.4576	15.282	0.019	13.363	0.006	1.919	0.025
470.imh	2452136.9611	52136.4611	15.344	0.02	13.378	0.006	1.966	0.026
473.imh	2452136.9646	52136.4646	15.356	0.024	13.295	0.005	2.061	0.029
476.imh	2452136.9688	52136.4688	14.672	0.015	12.614	0.004	2.058	0.019
479.imh	2452136.9736	52136.4736	14.623	0.013	12.546	0.004	2.077	0.017
482.imh	2452136.9792	52136.4792	14.575	0.013	12.548	0.004	2.027	0.017
533.imh	2452137.0514	52136.5514	14.321	0.009	12.272	0.003	2.049	0.012
535.imh	2452137.0535	52136.5535	14.187	0.008	12.222	0.003	1.965	0.011
537.imh	2452137.0556	52136.5556	14.358	0.009	12.339	0.003	2.019	0.012
549.imh	2452137.0653	52136.5653	14.287	0.008	12.417	0.003	1.87	0.011
637.imh	2452138.0438	52137.5438	15.676	0.027	13.429	0.006	2.247	0.033
640.imh	2452138.0486	52137.5486	15.599	0.02	13.483	0.006	2.116	0.026
643.imh	2452138.0521	52137.5521	15.818	0.03	13.646	0.007	2.172	0.037
646.imh	2452138.0576	52137.5576	14.766	0.016	12.543	0.004	2.223	0.02
649.imh	2452138.0632	52137.5632	14.737	0.014	12.571	0.004	2.166	0.018
656.imh	2452143.9924	52143.4924	16.099	0.052	13.298	0.006	2.801	0.058
659.imh	2452149.1451	52148.6451	15.47	0.016	12.258	0.003	3.212	0.019
666.imh	2452157.0868	52156.5868	14.904	0.012	12.25	0.003	2.654	0.015
669.imh	2452157.0924	52156.5924	15.42	0.016	12.662	0.004	2.758	0.02

測光 R filter 36 枚

.imh 名	ユリウス日	MJD	WZ Sge		比較星 1(C)		等級差	
			mag	err	mag	err	WZ Sge - 比較星	err
005.imh	2452117.9764	52117.4764	13.443	0.006	13.261	0.005	0.182	0.011
008.imh	2452117.9854	52117.4854	12.667	0.004	12.539	0.004	0.128	0.008
018.imh	2452119.0222	52118.5222	13.906	0.008	13.723	0.008	0.183	0.016
019.imh	2452119.0236	52118.5236	16.284	0.039	16.124	0.035	0.16	0.074
021.imh	2452119.0285	52118.5285	14.573	0.013	14.372	0.01	0.201	0.023
025.imh	2452122.2104	52121.7104	12.868	0.004	12.13	0.003	0.738	0.007
029.imh	2452123.2431	52122.7431	13.088	0.005	12.201	0.003	0.887	0.008
047.imh	2452126.1382	52125.6382	13.41	0.007	12.261	0.003	1.149	0.01
055.imh	2452126.1528	52125.6528	14.173	0.009	13.053	0.005	1.12	0.014
088.imh	2452127.1174	52126.6174	14.226	0.01	12.989	0.005	1.237	0.015
129.imh	2452130.0813	52129.5812	14.481	0.011	13.154	0.005	1.327	0.016
132.imh	2452130.0875	52129.5875	13.745	0.008	12.379	0.004	1.366	0.012
153.imh	2452132.9875	52132.4875	14.516	0.012	12.989	0.005	1.527	0.017
159.imh	2452132.9993	52132.4993	13.849	0.008	12.225	0.003	1.624	0.011
165.imh	2452133.0090	52132.5090	13.554	0.006	11.903	0.003	1.651	0.009
323.imh	2452133.9771	52133.4771	14.69	0.014	12.982	0.005	1.708	0.019
326.imh	2452133.9826	52133.4826	14.009	0.009	12.249	0.003	1.76	0.012
346.imh	2452135.9785	52135.4785	14.786	0.014	12.937	0.005	1.849	0.019
355.imh	2452135.9924	52135.4924	14.101	0.009	12.169	0.003	1.932	0.012
381.imh	2452136.0229	52135.5229	13.81	0.006	11.855	0.003	1.955	0.009
468.imh	2452136.9583	52136.4583	14.947	0.017	12.992	0.005	1.955	0.022
471.imh	2452136.9618	52136.4618	15.086	0.016	13.01	0.005	2.076	0.021
474.imh	2452136.9660	52136.4660	14.864	0.016	12.985	0.005	1.879	0.021
477.imh	2452136.9708	52136.4708	14.254	0.01	12.176	0.003	2.078	0.013
480.imh	2452136.9757	52136.4757	14.299	0.011	12.189	0.003	2.11	0.014
540.imh	2452137.0576	52136.5576	13.881	0.007	11.83	0.003	2.051	0.01
638.imh	2452138.0458	52137.5458	15.334	0.018	13.156	0.005	2.178	0.023
641.imh	2452138.0493	52137.5493	15.253	0.018	13.197	0.005	2.056	0.023
644.imh	2452138.0535	52137.5535	15.221	0.02	13.075	0.005	2.146	0.025
647.imh	2452138.0597	52137.5597	14.411	0.01	12.259	0.003	2.152	0.013
650.imh	2452138.0646	52137.5646	14.37	0.011	12.188	0.003	2.182	0.014
657.imh	2452143.9944	52143.4944	15.812	0.025	13.045	0.005	2.767	0.03
660.imh	2452149.1472	52148.6472	15.17	0.013	11.97	0.003	3.2	0.016
661.imh	2452149.1493	52148.6493	15.165	0.014	11.96	0.003	3.205	0.017
667.imh	2452157.0889	52156.5889	14.57	0.011	11.956	0.003	2.614	0.014
670.imh	2452157.0938	52156.5938	15.035	0.013	12.392	0.003	2.643	0.016

測光 B filter 38 枚

.imh 名	ユリウス日	MJD	WZ Sge		比較星 1(C)		等級差	
			mag	err	mag	err	WZ Sge - 比較星	err
004.imh	2452117.9743	52117.4743	14.49	0.01	14.658	0.012	-0.168	0.022
006.imh	2452117.9813	52117.4813	13.717	0.008	13.821	0.008	-0.104	0.016
014.imh	2452119.0146	52118.5146	15.931	0.03	15.94	0.029	-0.009	0.059
015.imh	2452119.0174	52118.5174	15.531	0.031	15.565	0.028	-0.034	0.059
016.imh	2452119.0188	52118.5187	16.842	0.071	16.887	0.071	-0.045	0.142
017.imh	2452119.0201	52118.5201	15.27	0.022	15.28	0.02	-0.01	0.042
024.imh	2452122.2090	52121.7090	13.398	0.005	12.834	0.004	0.564	0.009
028.imh	2452123.2417	52122.7417	13.712	0.006	13.011	0.004	0.701	0.01
048.imh	2452126.1403	52125.6403	14.358	0.011	13.437	0.006	0.921	0.017
087.imh	2452127.1160	52126.6160	15.114	0.018	14.036	0.009	1.078	0.027
128.imh	2452130.0799	52129.5799	15.465	0.021	14.345	0.009	1.12	0.03
131.imh	2452130.0854	52129.5854	14.775	0.014	13.649	0.007	1.126	0.021
154.imh	2452132.9889	52132.4889	15.455	0.023	14.078	0.009	1.377	0.032
160.imh	2452133.0007	52132.5007	14.88	0.015	13.294	0.006	1.586	0.021
162.imh	2452133.0069	52132.5069	14.01	0.007	12.554	0.004	1.456	0.011
324.imh	2452133.9785	52133.4785	15.746	0.026	14.09	0.008	1.656	0.034
330.imh	2452133.9882	52133.4882	15.049	0.016	13.376	0.006	1.673	0.022
347.imh	2452135.9799	52135.4799	15.573	0.027	13.911	0.008	1.662	0.035
356.imh	2452135.9944	52135.4944	15.056	0.017	13.261	0.006	1.795	0.023
377.imh	2452136.0194	52135.5194	14.356	0.008	12.506	0.003	1.85	0.011
469.imh	2452136.9597	52136.4597	15.895	0.036	14.095	0.008	1.8	0.044
472.imh	2452136.9632	52136.4632	15.941	0.037	14.105	0.008	1.836	0.045
475.imh	2452136.9667	52136.4667	15.885	0.025	14.144	0.008	1.741	0.033
478.imh	2452136.9722	52136.4722	15.257	0.021	13.318	0.006	1.939	0.027
481.imh	2452136.9778	52136.4778	15.278	0.02	13.312	0.006	1.966	0.026
484.imh	2452136.9819	52136.4819	15.156	0.024	13.289	0.006	1.867	0.03
525.imh	2452137.0417	52136.5417	14.463	0.009	12.522	0.003	1.941	0.012
530.imh	2452137.0493	52136.5493	14.464	0.009	12.529	0.004	1.935	0.013
544.imh	2452137.0611	52136.5611	12.399	0.003	10.547	0.001	1.852	0.004
546.imh	2452137.0632	52136.5632	12.4	0.003	10.572	0.001	1.828	0.004
639.imh	2452138.0465	52137.5465	16.327	0.036	14.245	0.009	2.082	0.045
642.imh	2452138.0507	52137.5507	16.337	0.043	14.281	0.01	2.056	0.053
645.imh	2452138.0549	52137.5549	15.95	0.037	14.063	0.009	1.887	0.046
648.imh	2452138.0611	52137.5611	15.388	0.024	13.316	0.006	2.072	0.03
651.imh	2452138.0660	52137.5660	15.363	0.024	12.769	0.004	2.594	0.028
658.imh	2452143.9972	52143.4972	16.494	0.042	14.104	0.008	2.39	0.05
662.imh	2452149.1507	52148.6507	15.847	0.019	12.633	0.004	3.214	0.023
668.imh	2452157.0903	52156.5903	15.19	0.015	12.539	0.004	2.651	0.019