

新RS CVn型フレア星 V881 Perについて

大島 修(岡山理科大学)

前野将太(美星天文台)

V881 Perについて

経緯

- 昨年度の連星系変光星低温度星研究会(美星)で、この連星系にこれまで観測がなかったフレアを検出したこと、それなりに活発な活動性を示すことを報告した
- この系の既報告の分光分類への疑問 K0IV not WTTs (Li&Hu 1998)
- フレア星としての分類が不明だった

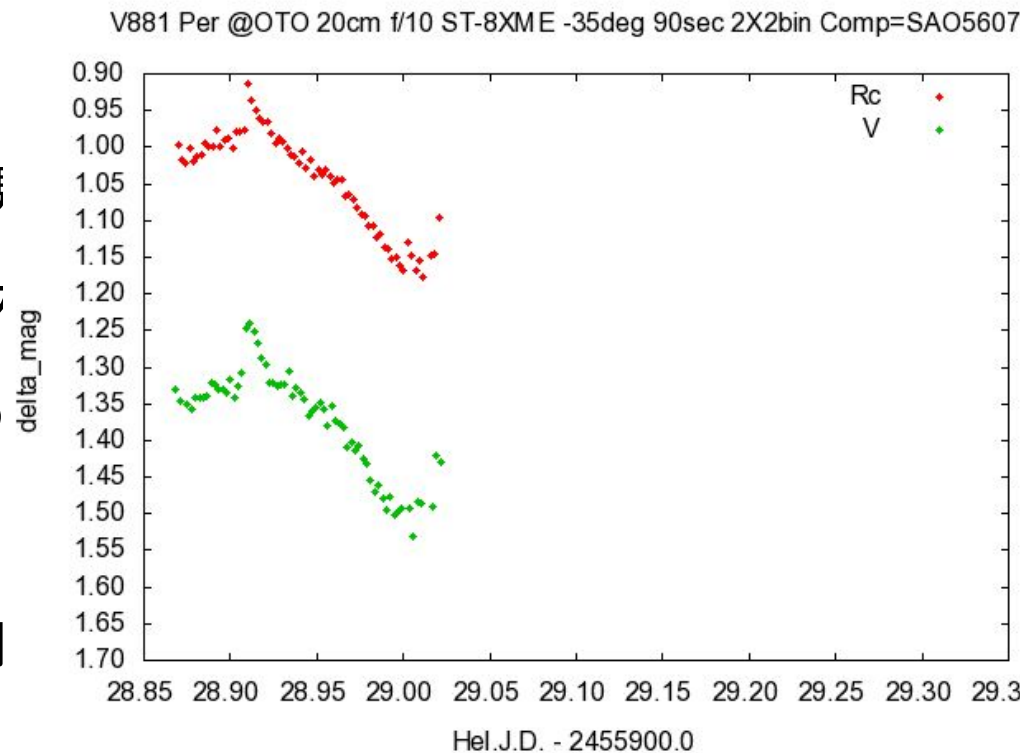
今回の発表

1. 分光分類の確定 美星天文台でのスペクトル観測により K0V k と判断
→RS CVn型フレア星と判定
2. 検出した3つのフレアの輻射補正したエネルギーの黒体近似による見積り
3. フレア発生前後の黒点の配置をPhoebeのspot modelで推定(予備的報告)

V881 Per との出会い

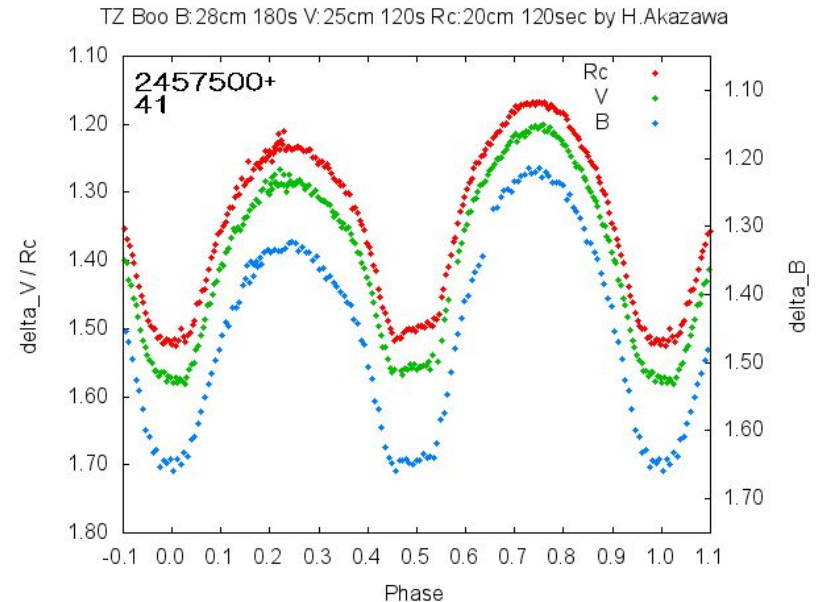
食連星観測中に初めてのフレア遭遇

- 2011年の12月から1月。
- 特にターゲットがない時期に、晴れた夜は適当に短周期の食連星を測光、できれば全位相をカバーした光度曲線を得たい
→WUMa型が多くなる
- V881PerもEW(WUMa)として観測開始
- 観測6日目(2012年1月2日)にフレアを検出
- その後3晩観測し、この季のこの星の観測を終了
- その後20cm望遠鏡が故障
- 観測再開は、30cmにアップグレードして再稼働した2018年9月から

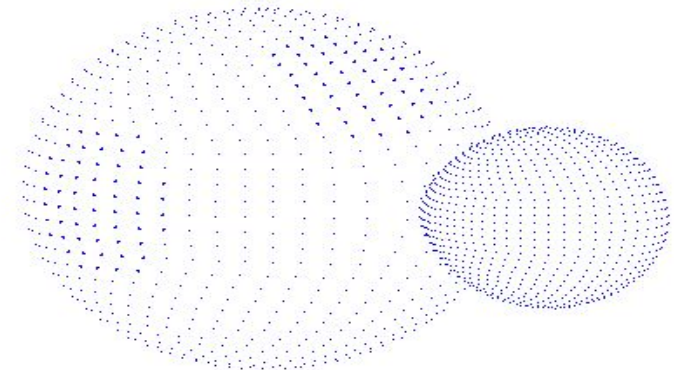


大きなO'Connell効果を示す 連星系TZ Boo

- TZ Boo (W UMa型、 $P=0.29d$)
- 2016年 赤澤さんの観測
光度曲線解析すると巨大
黒点と巨大白斑がある
- 黒点の位置・サイズが数日
の時間スケールで変化して
いる
- 赤澤さんが異常極小発見
→ 本年9月の天文学会で報
告
- にもかかわらず、フレアは
全く観測されていない(観測
頻度はV881Perより多い)



Hot spot(50°,350°,22.0°,1.08)

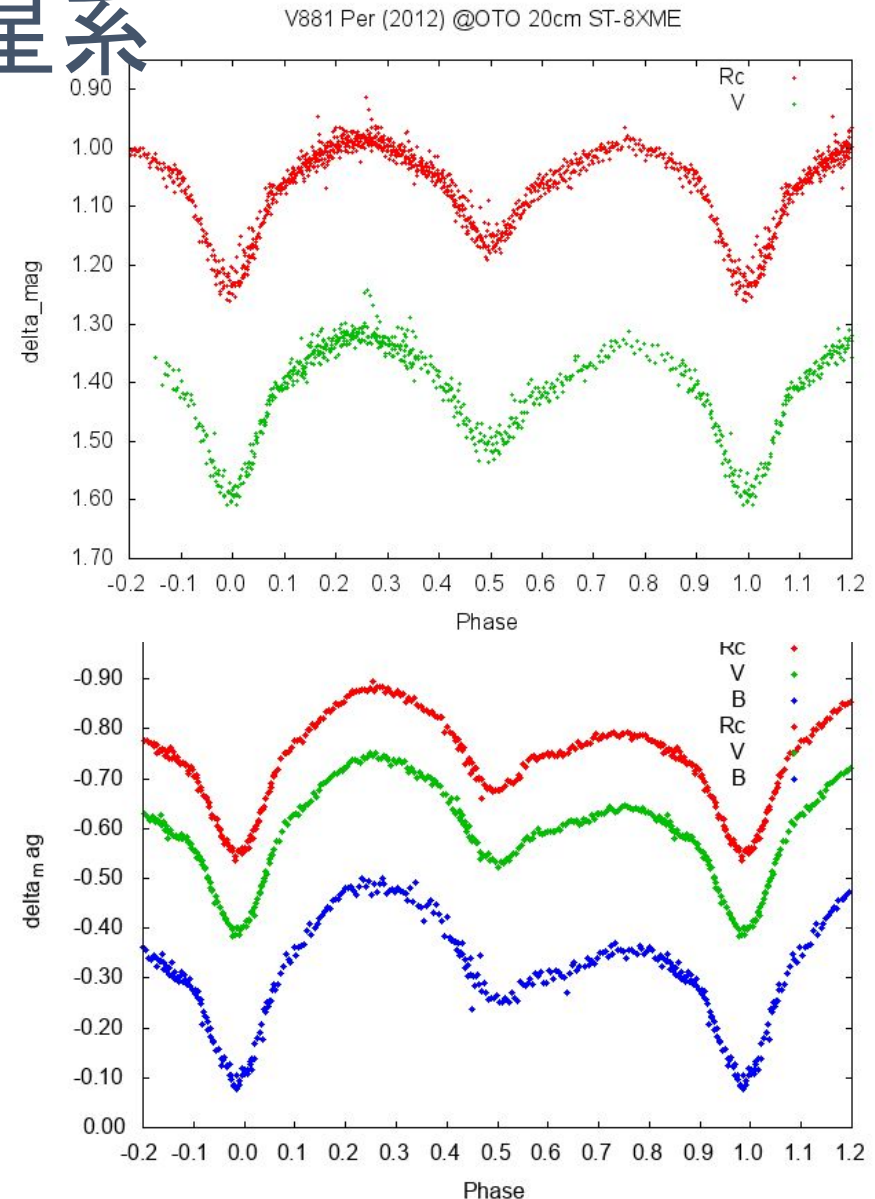


Cool spot(90°,273°,23.4°,0.85)

V881 Perも大きなO'Connell効果を示す連星系

- GCVSではEWだが、LCに肩があり分離系
この系もとても同じ連星系とは思えないほどの光度曲線の変化
- 同じように速い自転周期(公転周期0.37日)で、巨大黒点や巨大白斑が存在
- 同じように巨大黒点がありながら、フレアが起こりやすいもの(この系)と起こりにくいもの(TZ Boo)があるのか？、
- V881Perは観測6日目でフレアを検出。これはフレアが起こりやすい連星系なのか？

→発生頻度を定量的に知りたい。

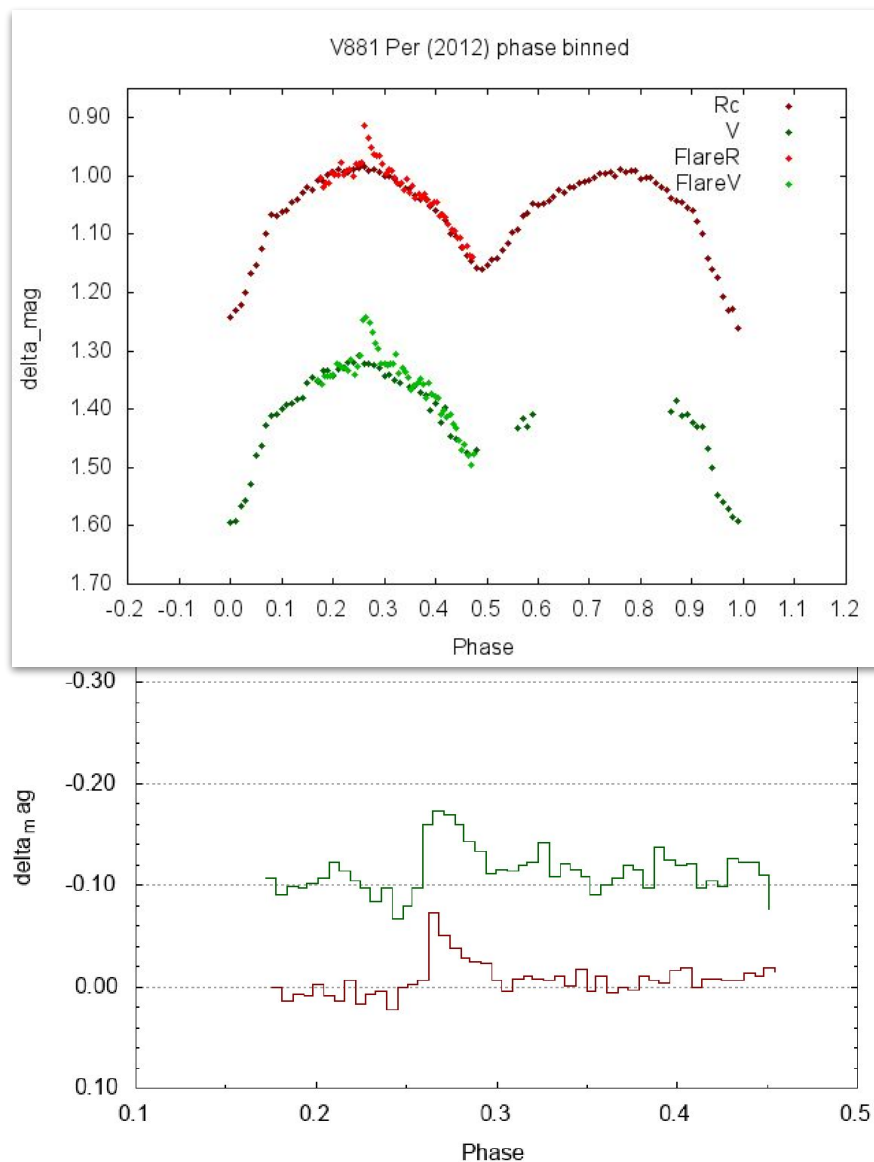


短周期分離型連星系 V881 Perにフレアを検出 2012年1月2日

Eq.Duration

- V 114秒
- Rc 62秒

このシーズンは光度曲線は
ほぼ対称的
でO'Connell効果は小さい
＝大きな黒点はない？

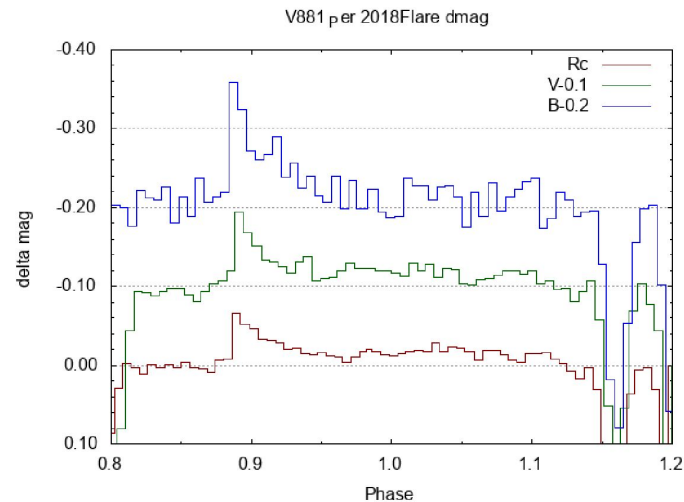
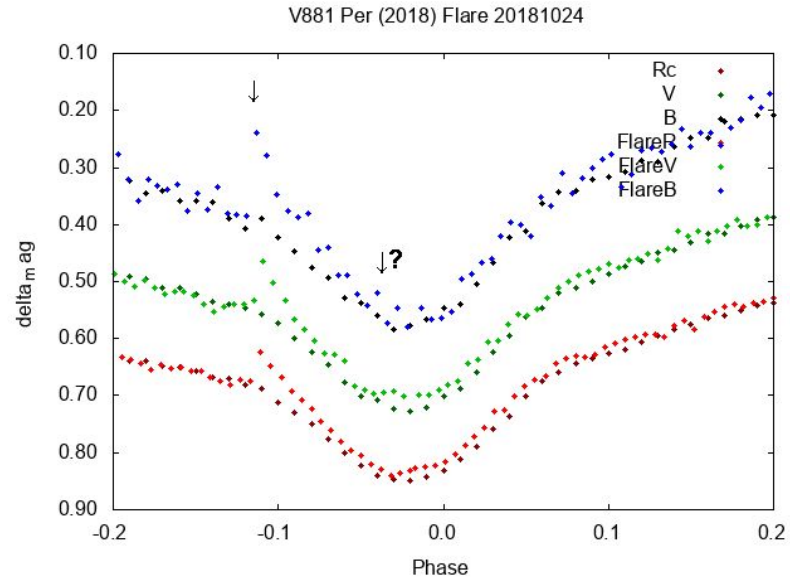


第2回めのフレア検出

2018年に観測を再開
しフレア探索
10月24日に検出

Eq. Dration

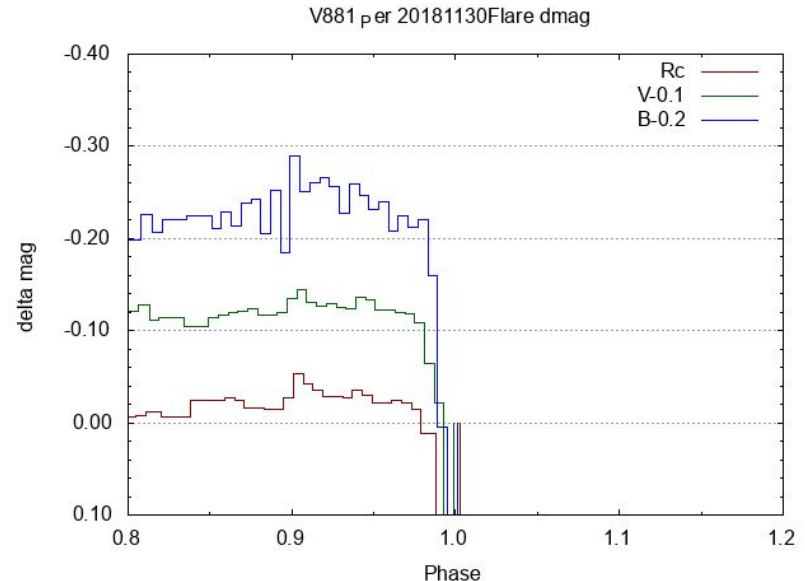
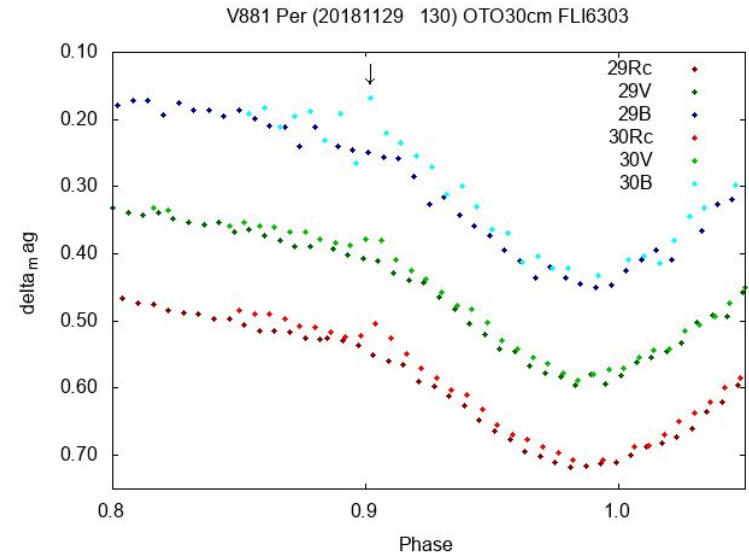
- B 170秒
- V 104秒
- R 82秒



第3回目のフレア

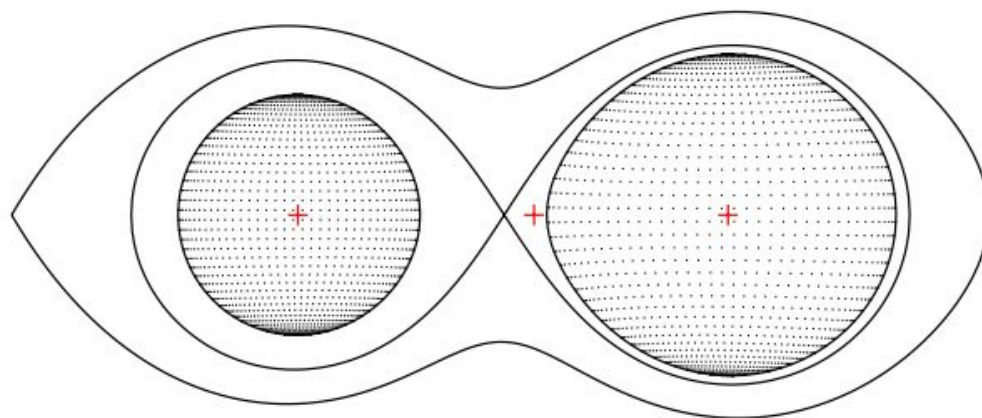
2018年11月30日

- Eq.Dur.
 - B:108秒
 - V:55秒
 - Rc:81秒
- 前日の同位相の光度曲線LCと重ねて、初めてフレアと判明した
- 単独のLCを目で見ても、フレアとは判別できなかった。発生時刻の位相がLCの肩の部分に重なっていたため。
- 10月24日のものとほぼ同位相(0.9)で発生(同一黒点が発生源か?)



V881 Perのロッシュモデル

- K0IV not WTTs
(Li&Hu1998)
- 両星ともにロッシュローブを満たしていない
 - W UMa型ではない
 - 光度曲線に肩がある
- K型矮星の連星系
これでなぜ、Sp型がK0IVなのか？
- 合成光度 $0.977L_{\text{sun}}$
→ $M_v=4.84$



Roche model of V881 Per by Zola, et al.(2014)

星	M	R	L	T(K)
1	0.912	0.975	0.614	5200
2	0.748	0.708	0.363	4330

フレア星としては何型か？

- UV Cet型 dMe dKe ×

- RS CVn型か？

サブクラス(D.Hall 1976による)

- 周期1～14日 高温成分星がF or G V or IV CalHKe
- **周期1日以下 高温成分星がF or G V or IV CalHKe**
- 周期14日以上の長周期 G to K II or IV CalHKe
- フレア星 高温成分星が dKe dMe 強いCalHKe
- V471 Tau型 高温成分星がWD 低温成分星がG to K CalHKe

- W U

- Maか × 光度曲線に肩がある→分離型

- WTTS ×太陽型星と言えるか？ それとも

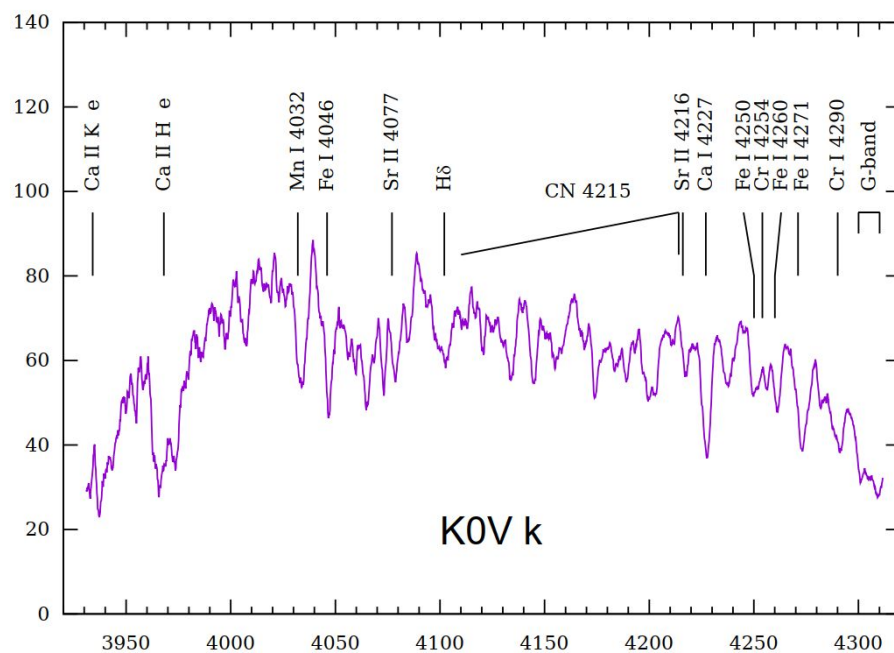
pp

(G型)K型矮星の短周期連星という新しいカテゴリか？

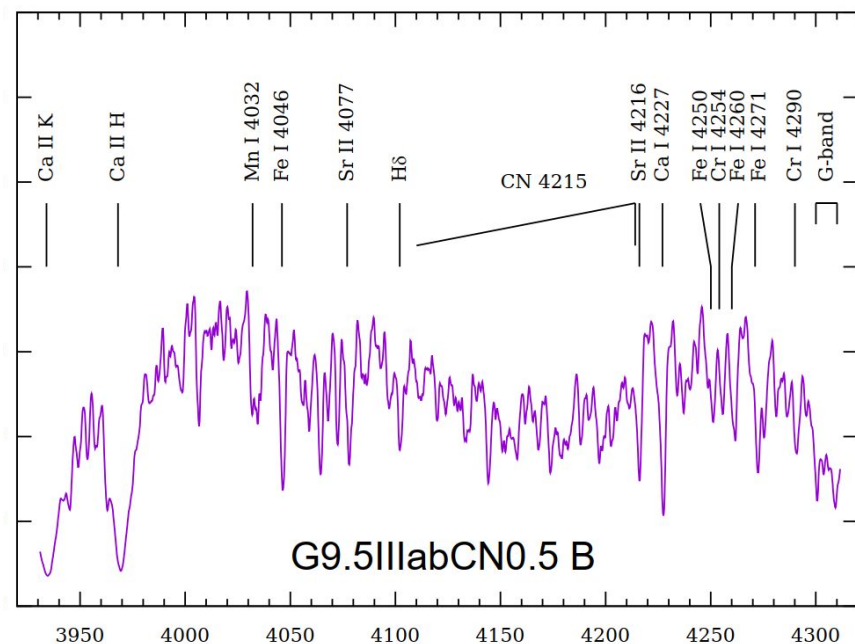
1. 分光分類

2019年2月13日美星天文台101cm望遠鏡
中分散モード R15000

V881 Per Spectrum at BAO



Gamma Tau Spectrum at BAO



K0V k型に分類した根拠

(1) 温度の判定基準

- CaI4226の強さ
- CaII H+K 少し底が上がっていて線中心に輝線が見え始めている→彩層活動を示す”k”
- 水素と金属線の強度比に注目
FeI4046/H δ , FeI4144/H δ ,
FeI4383/H γ ,
- 3線の強度比
FeI4250/CrI4254/FeI4260

これらの特徴からK0でk(彩層活動)

(2) 光度階級の判定基準

- 絶対等級線SrII4216とFeI4046, 4064, 4072の強度比
- 絶対等級線SrII4077とその近隣のFeIラインとの強度比
- CNバンドヘッド4215の吸収の度合い
- Gバンドの吸収の度合い
- →主系列V
- **結論 K0V k →RS CVn型フレア星**

参考文献

Gray & Corbally(2009) "Stellar Spectral Classification" Princeton U. P., 259-264

2. フレアエネルギーの輻射補正

- 昨年の発表では、測光バンドでのエネルギーを見積もったが、今回は全輻射のエネルギー量を見積もってみた。

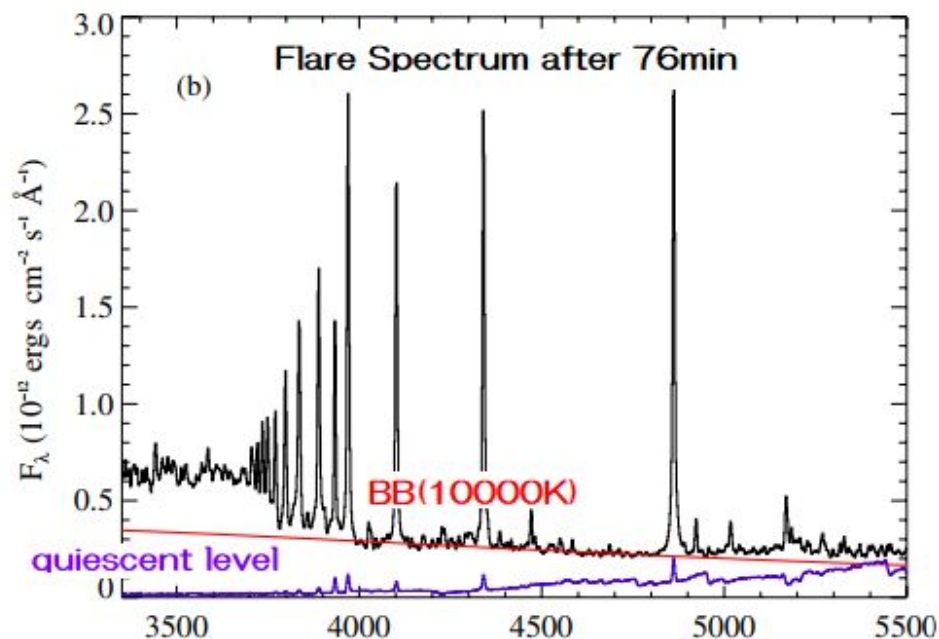
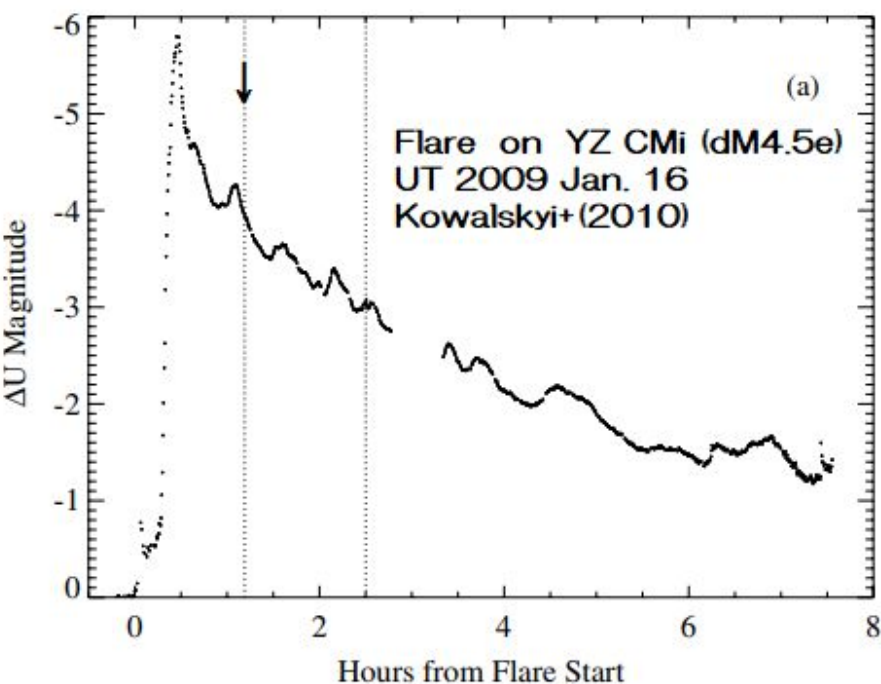
(1) フレアのスペクトル

全波長にわたって積分したフレアのエネルギーを9000Kの黒体放射で近似する。観測した測光バンドに含まれるエネルギーとの比を求める。

(2) 測光バンドごとのフレアの等価継続時間から、そのバンドにおけるフレアエネルギーの絶対量を求める。

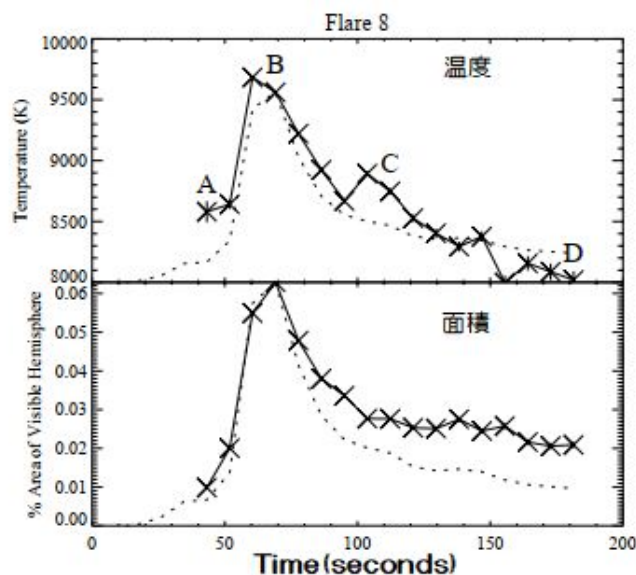
(3) フレアの全輻射エネルギーを見積もる

フレアのスペクトルの例

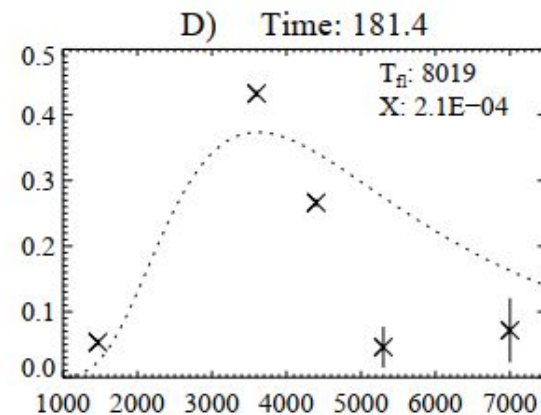
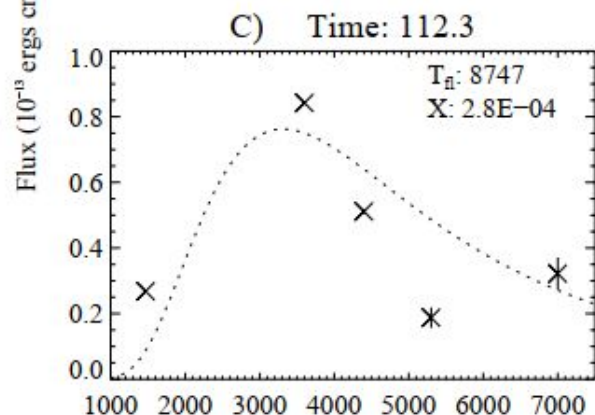
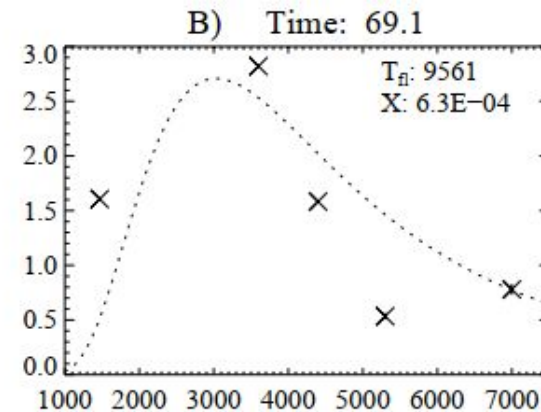
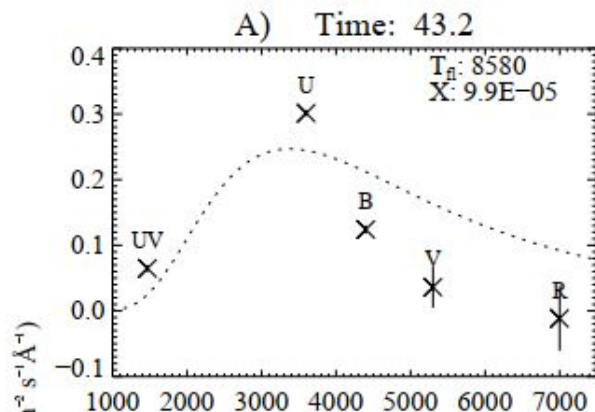


フレアのスペクトル＝静穏時の恒星のSp＋黒体放射＋バルマー輝線(B-B遷移)＋B-F遷移で、およその説明はできる。

フレアの黒体近似と時間変化



Flare on AD Leo
2000 March 13
Hawley+ (2003)



Wavelength ($\text{\AA}$)

この程度の粗さを許せば、黒体に近似できる

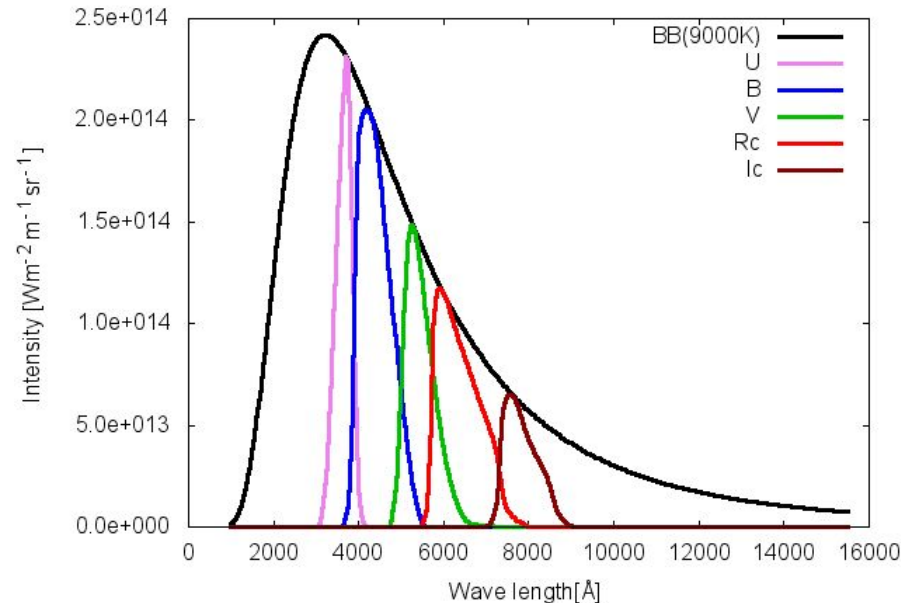
フレアを(無理やり)黒体で近似

- フレアの放射は黒体だけではない
- 温度も面積も時間的に変化する
- →誤差は少ないが、オーダーは合うだろう(控えめな見積り)

比較的簡単に輻射補正するために無理に9000Kの黒体で近似することにする

- 9000Kの黒体を各バンドで測光した場合と全波長に積分した場合の比を求めた

BlackBody(9000K) and Photometric Bands



- Eq.Dur.から求めた各バンドのエネルギーを全波長での値へ変換

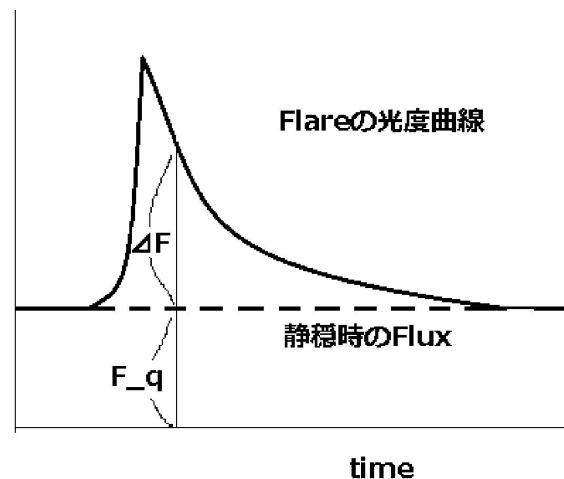
フレアのエネルギーの見積もり

- フレアの光度曲線の面積

$$P = \int \frac{\Delta F}{F_q} dt$$

等価継続時間 Eq.Duration

提案 Gersberg(1969)



- フレアのエネルギー $E = P \times (\text{静穏時のフラックス})$
- 静穏時の光度(星間減光補正なし)
 - B: 2.07×10^{32} erg/sec
 - V: 2.38×10^{32} erg/sec
 - R: 3.16×10^{32} erg/sec

距離と黒体近似で補正すると

	Calc	Obs		
BB (9000K)	1.14E+18	2.65E+33	2.27E+33	1.21E+33
Rc	1.36E+17	3.16E+32		
V	1.20E+17		2.38E+32	
B	1.95E+17			2.07E+32

- 距離 123pc (Gaia DR2)
- $\text{Dist.Mod.} = -5\log(10/123)$
=+5.45 mag

フレア発生頻度

2012年 9日間52.8時間で1個

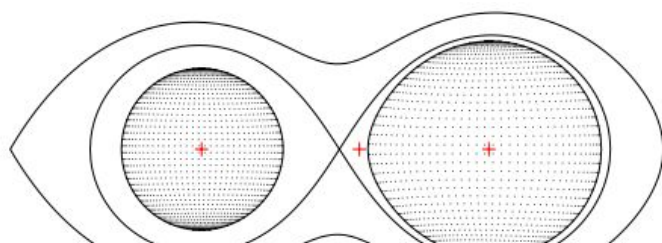
2018年40日間265.9時間で2個

この星では、106時間で 10^{33} erg級のフレアを1個検出することが期待できる

$2.8 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$

3. フレア発生時の黒点位置と見え方 (予備的報告)

- 直前/直後の光度曲線から光度曲線解析(Phoebe)のspot modelにより黒点位置とサイズを推定し、見え方を検討
- 基本的な連星パラメータは Zola et al(2014)のモデルを採用



Absolute parameters of the studied systems (in solar units).

A	$\mathcal{M}_1$	$\mathcal{M}_2$	R_1	R_2
2.647 ± 0.055	0.912 ± 0.039	0.748 ± 0.035	0.975 ± 0.020	0.708 ± 0.018

$\mathcal{L}_1$	$\mathcal{L}_2$
0.614 ± 0.054	0.363 ± 0.020

Orbital parameters.

Parameter	V881 Per
K_1 (km s ⁻¹)	142.5 ± 2.9
K_2 (km s ⁻¹)	173.7 ± 3.1
V_γ (km s ⁻¹)	-4.0 ± 1.8
$a_1 \sin i$ (au)	0.0051 ± 0.0001
$a_2 \sin i$ (au)	0.0062 ± 0.0001
$m_1 \sin i$ ($M_\odot$)	0.697 ± 0.029
$m_2 \sin i$ ($M_\odot$)	0.572 ± 0.025
Mass ratio (q)	0.821 ± 0.022

Results derived from the light-curve modelling.

Parameter	V881 Per (ATH)	V881 Per (SUH)
Phase shift	0.0016 ± 0.0003	0.0028 ± 0.0004
i [deg]	65.9 ± 0.3	66.5 ± 0.3
T_1 [K]	* 5200	* 5200
T_2 [K]	4330 ± 25	4370 ± 21
Ω_1	3.599 ± 0.006	3.608 ± 0.009
Ω_2	4.081 ± 0.043	4.167 ± 0.044
$q_{\text{spec}}(m_2/m_1)$	* 0.821	* 0.821
$L_1(B)$	10.887 ± 0.125	$L_1(v) 10.705 \pm 0.090$
$L_1(V)$	10.754 ± 0.123	$L_1(b) 10.689 \pm 0.090$
$L_1(R)$	10.583 ± 0.120	$L_1(y) 10.625 \pm 0.091$
$L_1(I)$	10.141 ± 0.116	
$L_2(B)$	** 1.835	$L_2(v)$ ** 1.835
$L_2(V)$	** 2.068	$L_2(b)$ ** 2.068
$L_2(R)$	** 2.279	$L_2(y)$ ** 2.279
$L_2(I)$	** 2.637	

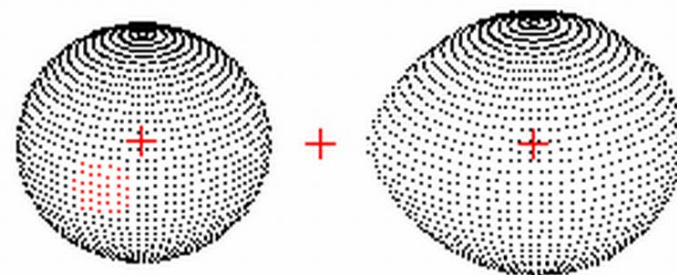
Zola et al.(2014)

なぜ、「予備的」、 困難、

- 使ったのはPhoebe1 Ver.0.31a
- ソフトが今回は非常に不安定(消えてなくなる)
- すぐに落ちるので、フィッティングの際にパラメータを連続的に最適化して追い込めない

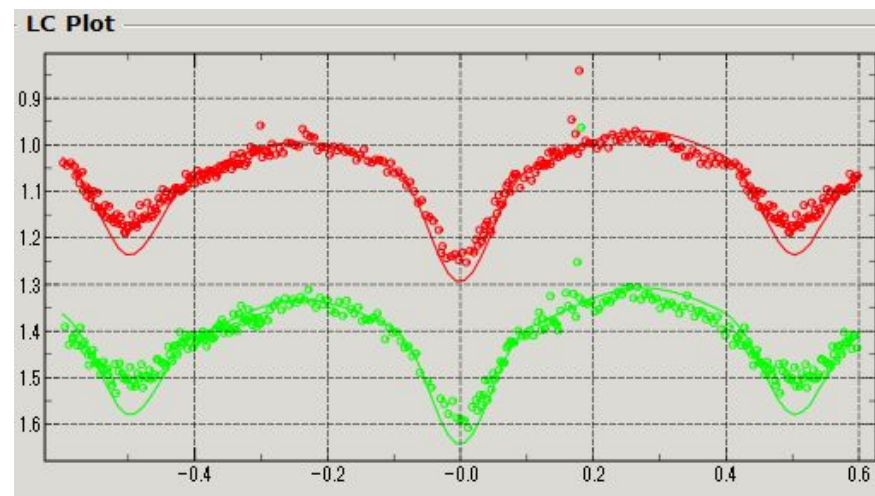
→パラメータに飛び飛びの値を手入力し、光度曲線をおよそフィットできる値を見積もった。

2012年1月2日のフレア発生時の黒点位置



0.250

	余緯度	経度	半径 (度)	温度(K)	星
黒点1	90	130	25	4330	星1
黒点2	90	250	15	4330	星1

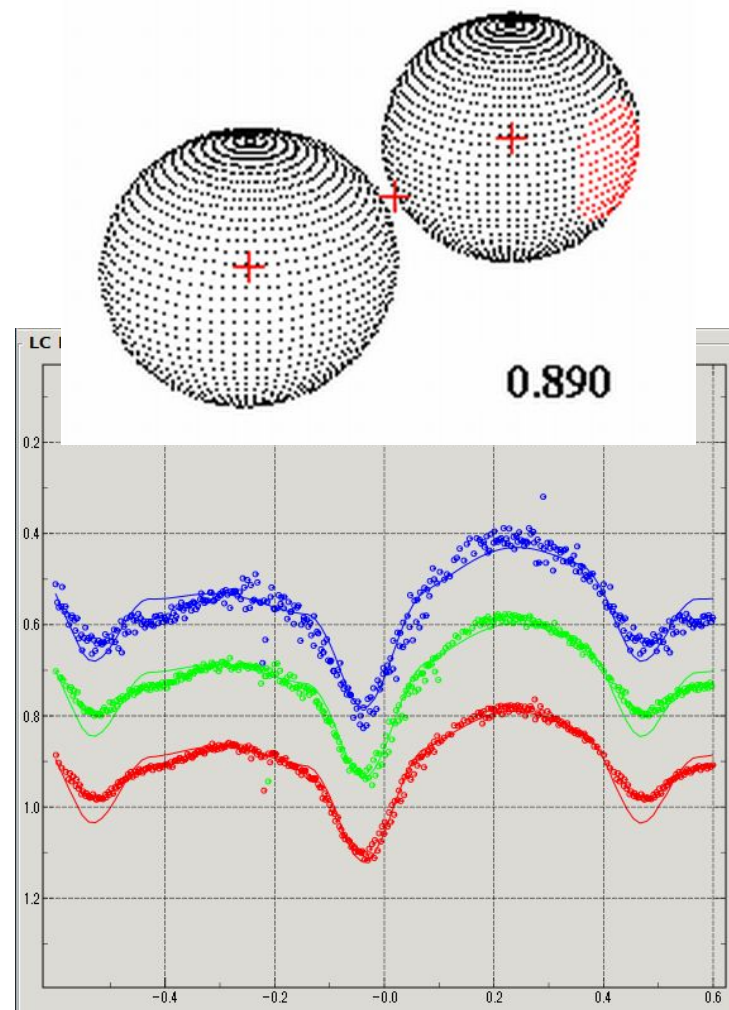


2018年10月24日のフレアと黒点位置

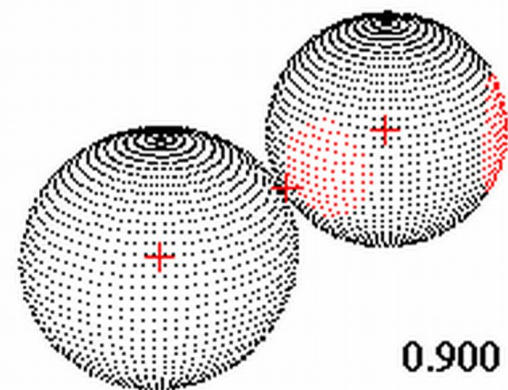
($\phi=0.89$)のフレア直前

星1の有効温度は5100K

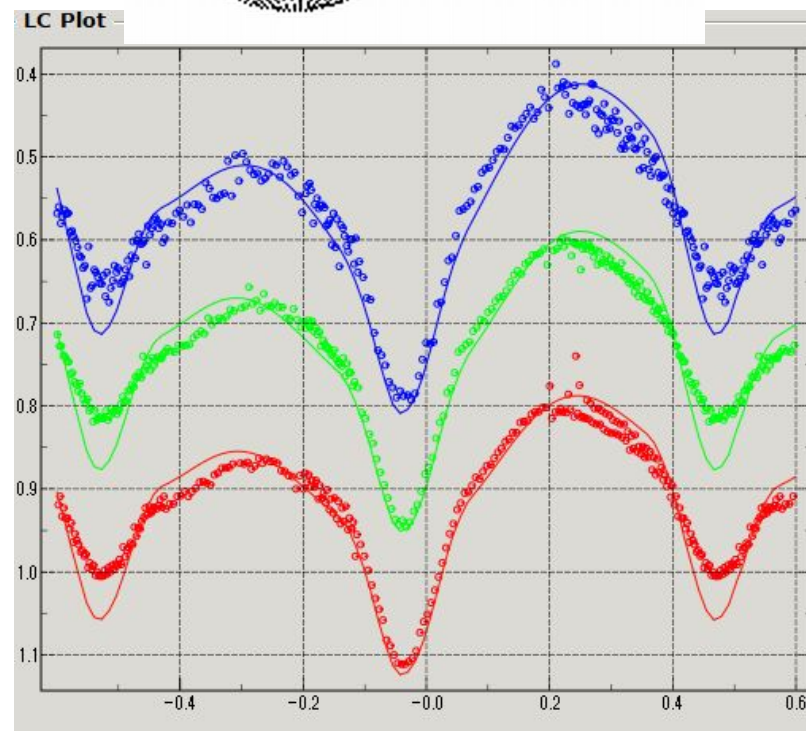
	余緯度	経度	半径 (度)	温度(K)	星
黒点1	90	100	30	4330	星1
白斑1	90	250	5	5700	星1



2018年11月24日のフレア発生前後



	余緯度	経度	半径 (度)	温度 (K)	星
黒点1	90	120	30	4330	星1
黒点2	90	5	25	4330	星1
黒点3	90	250	5	4330	星1



黒点/白斑の半径の時間変化

	JD			
long (deg)	405	413	442	486
5			-25	
100		-30		
120	-30		-30	
150				-15
250	+15	+5	-5	

数字は半径を度で表す。マイナスはCool spot、正数はHot spotを表す

- 大きく2グループに分かれる

(1) 経度100-120度

(2) 経度250度……白斑から黒点へ変化している

もう少し追求する必要がある