

第 43 回 変光星観測者会議, Variable Star Observers Conference 2025 集録

日時：2025 年 6 月 14 日 13:00-17:00

会場：代々木オリンピックセンター センター棟 109



参加者一覧（申込順）

on-site

堀江恒男（日本変光星研究会）	松岡義一（東亜天文学会）
永井和男（日本変光星研究会）	鈴木 仁（日本変光星研究会）
市川良介（なし）	前田浩之（みずがき天文愛好会）
南口雅也（星見屋）	古屋好祥（無し）
中谷 仁（日本変光星研究会、東亜天文学会）	森翔太（学生）
西城恵一（VSOLJ）	内田智也（無し、学生）
藤由嘉昭（東星会 2）	馬場幸哉（慶應義塾高等学校、学生）
松本直記（慶應高校）	高島弥（無し）
齊藤啓子（平塚市博物館天体観察会）	木村直人（日本変光星研究会）
前原裕之（国立天文台）	柳田晃嗣（日本変光星研究会）

remote joining

久保寺克明（VSOLJ）	松本桂（大阪教育大学）
坪井正紀（広島天文協会）	高橋進（多賀町立博物館）
小野寺紀明（日本変光星研究会）	伊藤芳春（無し）
磯貝桂介（京都大学）	大西拓一郎（日本変光星研究会）
Puskas Ferenc (Hungary)	古川雅之（さんだ天文クラブ）
原健太郎（無し）	山本稔（星見企画）
関口孝志（日本流星研究会）	松下明広（なし）
原田 敦（東北大学天文同好会 OB 会）	泉井祐太郎（大阪教育大学、学生）
齊藤昌也（日本変光星研究会）	大島修（岡山理科大学）
跡部好敏（東亜天文学会、日本変光星研究会）	安部陽子（無し）
廣谷知也（九州大学、学生）	齊藤啓子（平塚市博物館天体観察会）
真面太貴（九州大学、学生）	名簿不記載希望者（3 名）
畑山和也（東亜天文学会）	
良雪雅（無し）	

プログラム

13:00 開会あいさつ

自己紹介

研究発表会 第一部

- ・ SeestarS50 を使用した変光星観測（齊藤昌也）
- ・ 最近のカメラや望遠鏡(仮)（南口雅也）
- ・ MESA による連星進化について(仮)（市川良介）
- ・ VSOLJ チェアについて（西城恵一）

変光星この一年（前原裕之）

座談会

- ・ 取り上げて欲しい話題を中心に行います
- ・ 来年の話

研究発表会 第二部

- ・ 食変光星の分光観測（伊藤芳春）
- ・ 食連星りゅう座 V400 星の極小は主と副が入れ替わった？（永井和男）
永井の発表は有りませんでしたが集録に載せて欲しいとのご要望が有り
この 1 件を載せる事にしました

17:00 記念写真
18:00 懇親会（やきとり 虜 西新宿店）会費 3000 円

※発表タイトルと概要

発表タイトル：SeestarS50 を使用した変光星観測（斉藤昌也）
発表の概要：スマート望遠鏡 SeestarS50 で変光星観測を行うにあたり、変光星の導入や撮影について私の行っている方法を紹介します。

発表タイトル：最近のカメラや望遠鏡(仮)（南口雅也）
発表の概要：星見屋さんで扱っている製品の紹介など

発表タイトル：MESA による連星進化について(仮)（市川良介）
発表の概要：MESA の連星進化のデータの取り扱いなど

発表タイトル：VSOLJ チェアについて（西城恵一）
発表の概要：VSOLJ チェアについて

発表タイトル：食変光星の分光観測（伊藤芳春）
発表の概要：アマチュアでもできるようになった分光観測について、視線速度観測の現状を報告します

発表タイトル：食連星りゅう座 V400 星の極小は主と副が入れ替わった？（永井和男）
発表の概要：笠井さんの観測された V400 Dra の光度曲線が 2023 年と 2024 年で大きく異なっている理由を考察

※取り上げて欲しい話題や日頃の疑問・質問、会議への要望など

- 1. スマート望遠鏡での共同測光観測のための等級測定の前自動化の可能性について
- 2. Seestar の活用、自動測光ソフトウェアなど
- 3. 最近流行のデジタル望遠鏡を用いた変光星観測の利点欠点について
- 4. 重点的な連続観測が望まれる変光星の紹介
- 5. 天体写真の画像処理について、無料ソフトでどこまで有料ソフトに対抗できるのか
- 6. 皆さんが使っている画像処理ソフトについて、無料・有料問わず教えてほしい
- 7. 日本各地の天体観測に適しているスポットを教えてください。(九州内だと嬉しい)

測光ソフト調査例

software	price	obs.
MIRA	有料	San
UGEM	無料	Tbo, Fnm, Knk, Ymo, Myy
Muniwin	無料	Kai, Ioh, Kub
AIP4WIN	無料	Nga
AstroImageJ	無料	Kia, Oor
マカリ	無料	Smy, Yde, Ica
ステライメージ	有料	Ioh, Hsk
?		Yik

懇親会は 18 時から新宿の「やきとり 虜 西新宿店」で会費は 3000 円でした。

懇親会参加者

堀江恒男（日本変光星研究会）	松本直記（慶應高校）
永井和男（日本変光星研究会）	前原裕之（国立天文台）
市川良介（なし）	松岡義一（東亜天文学会）
南口雅也（星見屋）	鈴木 仁（日本変光星研究会）
中谷 仁（日変研、東亜天文学会）	前田浩之（みずがき天文愛好会）
西城恵一（VSOLJ）	木村直人（日本変光星研究会）
藤由嘉昭（東星会 2）	柳田晃嗣（なし）



SeestarS50を使用した変光星観測

齊藤昌也

1.スマート望遠鏡SeestarS50の概要

■ SeestarS50の主な仕様

口径D :	50mm
焦点距離f :	250mm
焦点比F :	5.0
画像サイズ :	1920x1080pixel
画角 :	1.27°x0.72°
重量 :	2.5kg
架台 :	経緯台(三脚附属) (※最近赤道儀モードが追加された)

■ SeestarS50のネットワーク構成



FITS形式画像が保存される



Seestar内のFITSファイルを転送
(直接USBで接続してファイルをコピーすることもできる)

スマートフォンで操作
jpeg画像が保存される

■ 操作(天体の導入と撮影)

操作はスマートフォンのSeestarアプリから行う

- ・天体の導入

 - 星図から

 - 天体リストから

 - 天体検索機能から

 - 電源を入れて最初の天体導入時に数分の初期設定が行われる
(水平補正、明るさ補正、フォーカス合わせ等)

- ・撮影

 - スタートボタンを押す

 - 10秒の撮影が繰り返し行われスタックされる

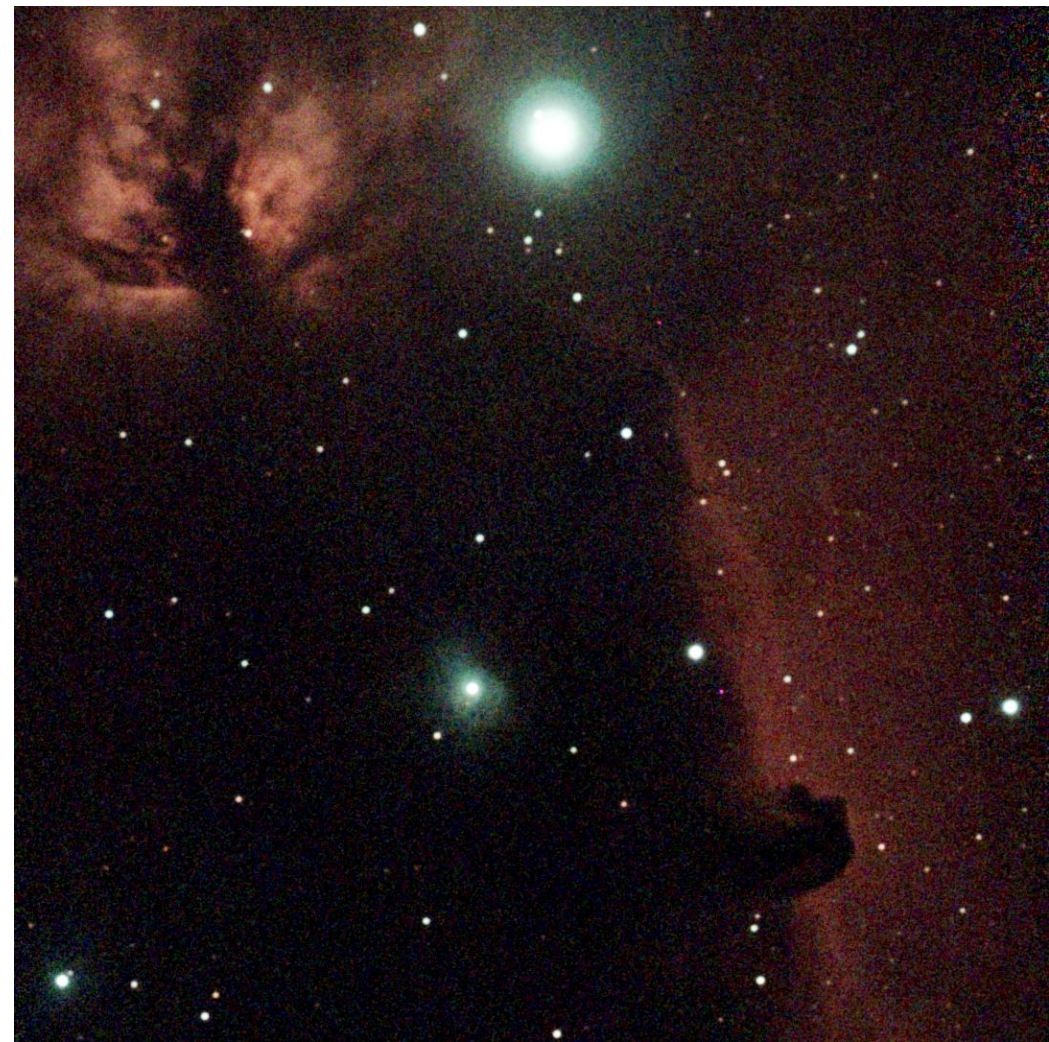
 - (※撮影時間は設定により10,20,30秒に切り替えられる)

 - ストップボタンで終了

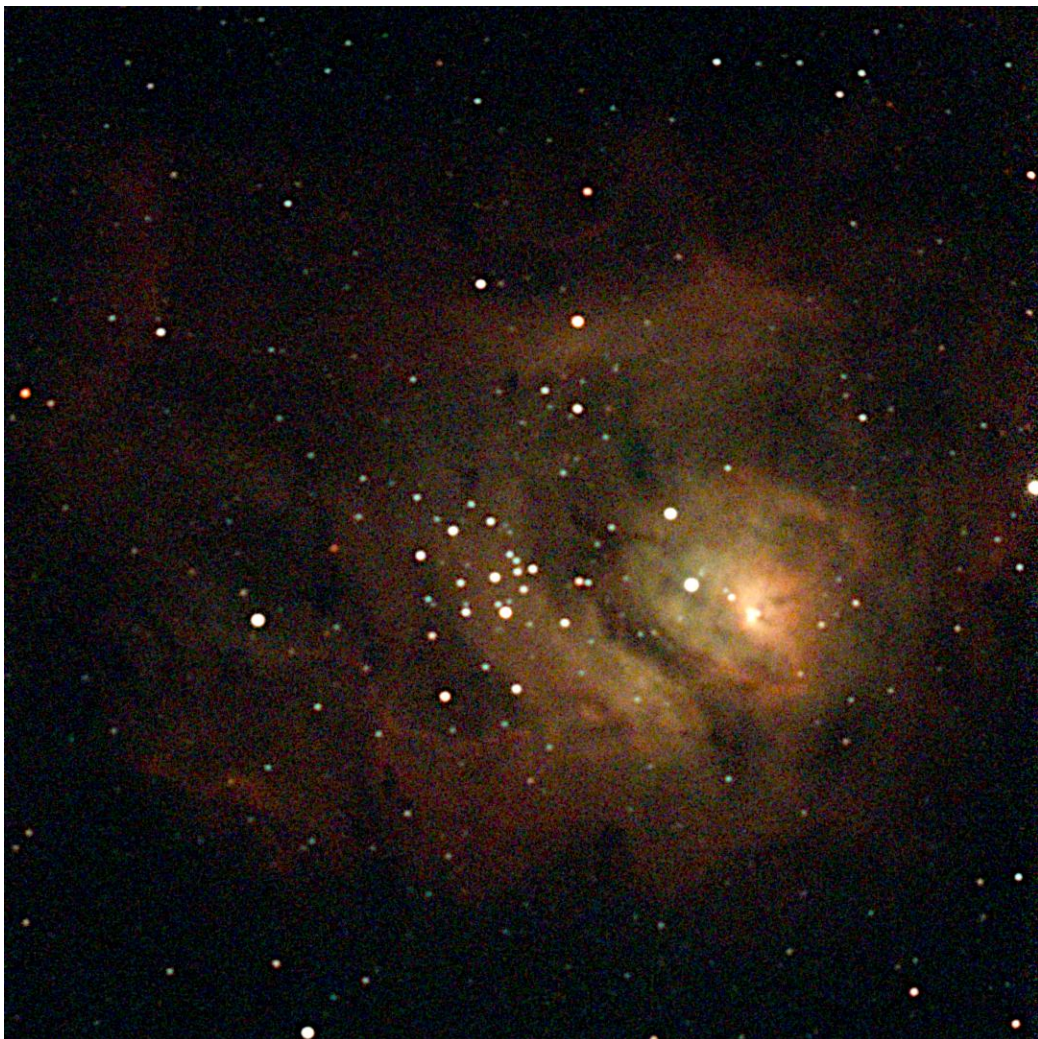
■ 一般的な天体撮影の紹介



M42オリオン星雲 2023/12/09 総露出8分



馬頭星雲 2023/12/13 総露出12分



M8干潟星雲 2024/07/25 総露出2分



M20三裂星雲 2024/07/25 総露出2分



12P ポン・ブルックス彗星 2024/03/23 総露出3分



C/2023 A3 紫金山・アトラス彗星 2024/11/03 総露出30分

2. 変光星の導入

- ・天体の導入

天体リストから
天体検索機能から } ……変光星は対応していない

星図から -----→変光星は星図から導入する

- ・Seestarアプリの星図は明るい変光星のみ
- ・経緯台なので星図は地平座標→導入が難しい

--私の方法

- ・星図アプリStellaNavigatorを使用
設定によりSeestarと同じ画角の枠線を作っておく
地平座標にして、Seestarの星図と見比べて導入

- ・後に便利な機能が追加された

現在Seestarが向いているところを(あるいは赤経赤緯を入力して)お気に入りとして登録できるようになった。

→この機能によりお気に入りとして登録した各変光星をダイレクトに導入できるようになった。

3. 撮影

--私の方法

- ・1つの変光星に対して10秒露出×3枚

6等級～11等級くらいは問題なく測光できる



4.測光

--私の方法

- ・マカリを使用
- ・比較星の測光値の対数と等級をグラフ化
- ・回帰直線から変光星の明るさを求める
- ・3枚のデータから得られた明るさを平均

マカリで表示した SU Gem



5.結果

いくつかの変光星の観測結果の光度曲線を紹介します。

Seestarでの変光星観測は2023年12月から開始
主にRV型などの脈動変光星を観測(17星を定期的に観測)

TT Per

TX Per

RV Tau

SS Gem

SU Gem

SZ Mon

UU Her

TT Oph

TX Oph

UZ Oph

AC Her

EP Lyr

DY Aql

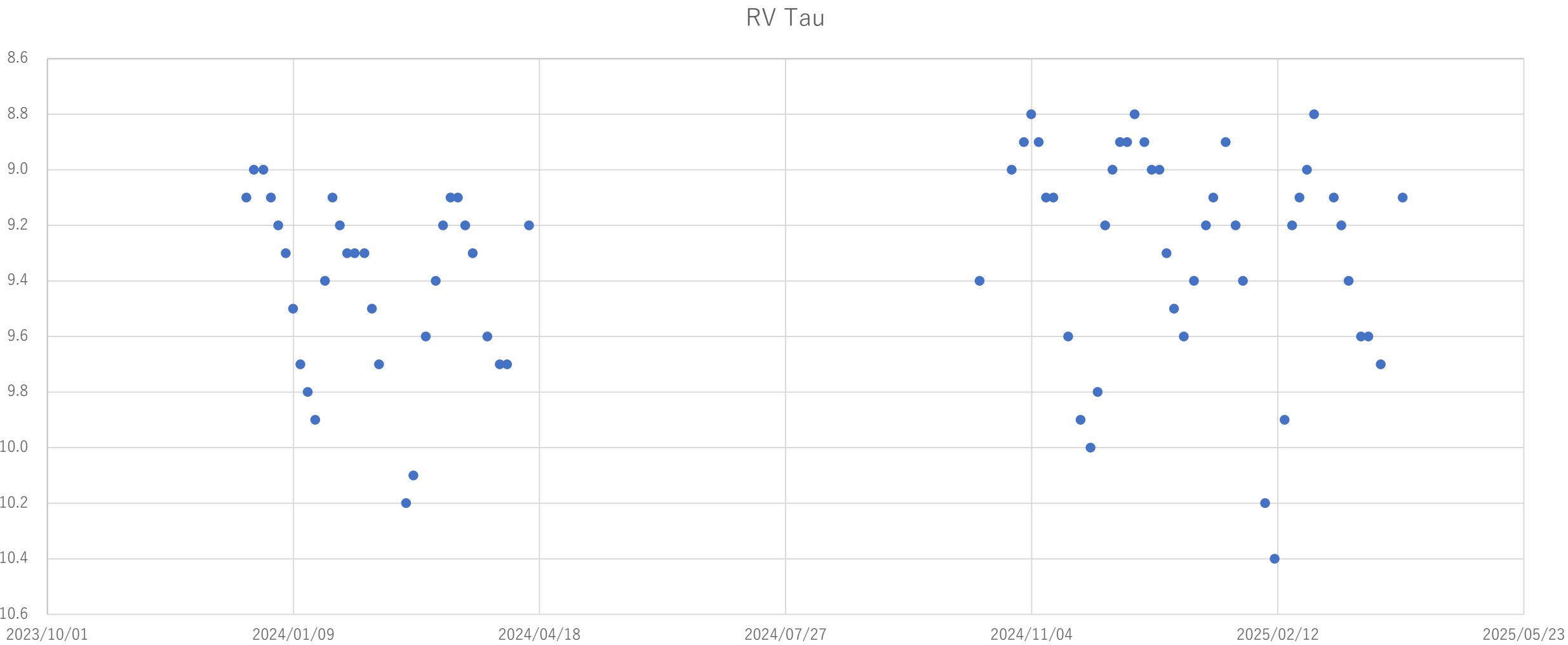
S Vul

R Sge

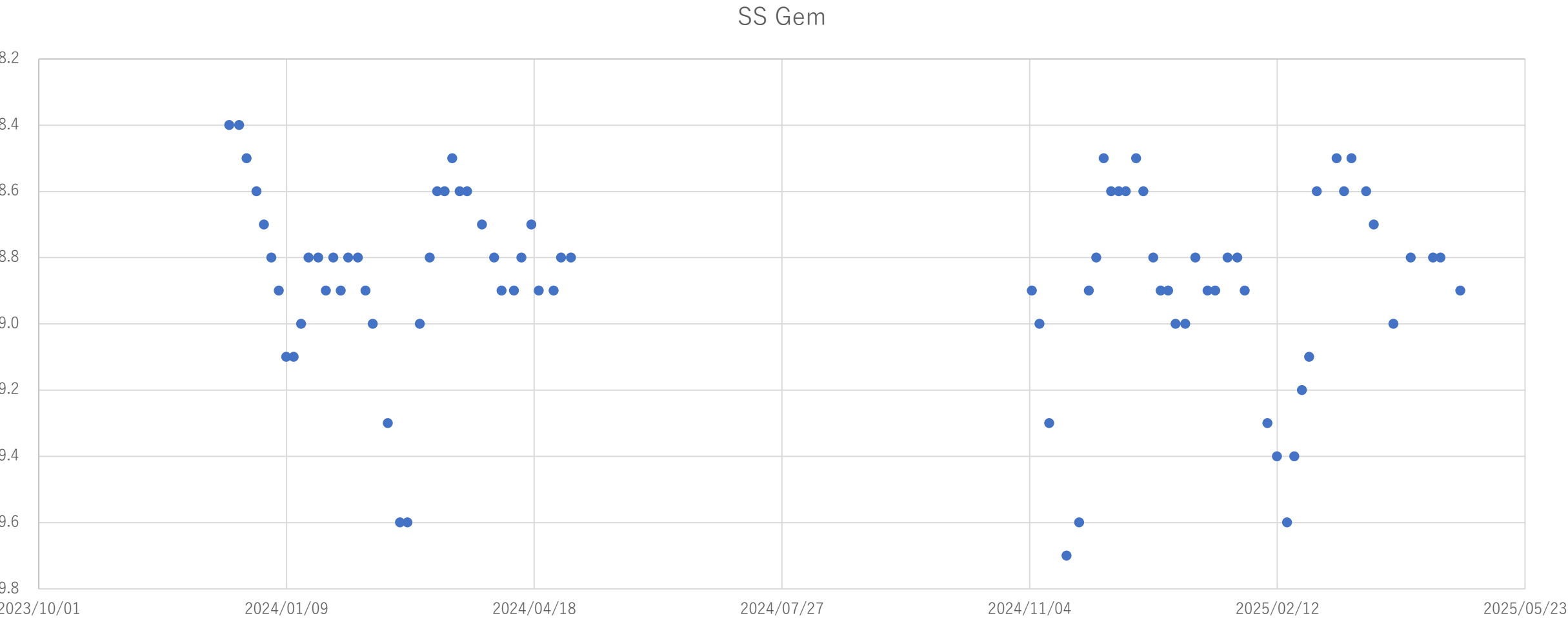
V Vul

WY And

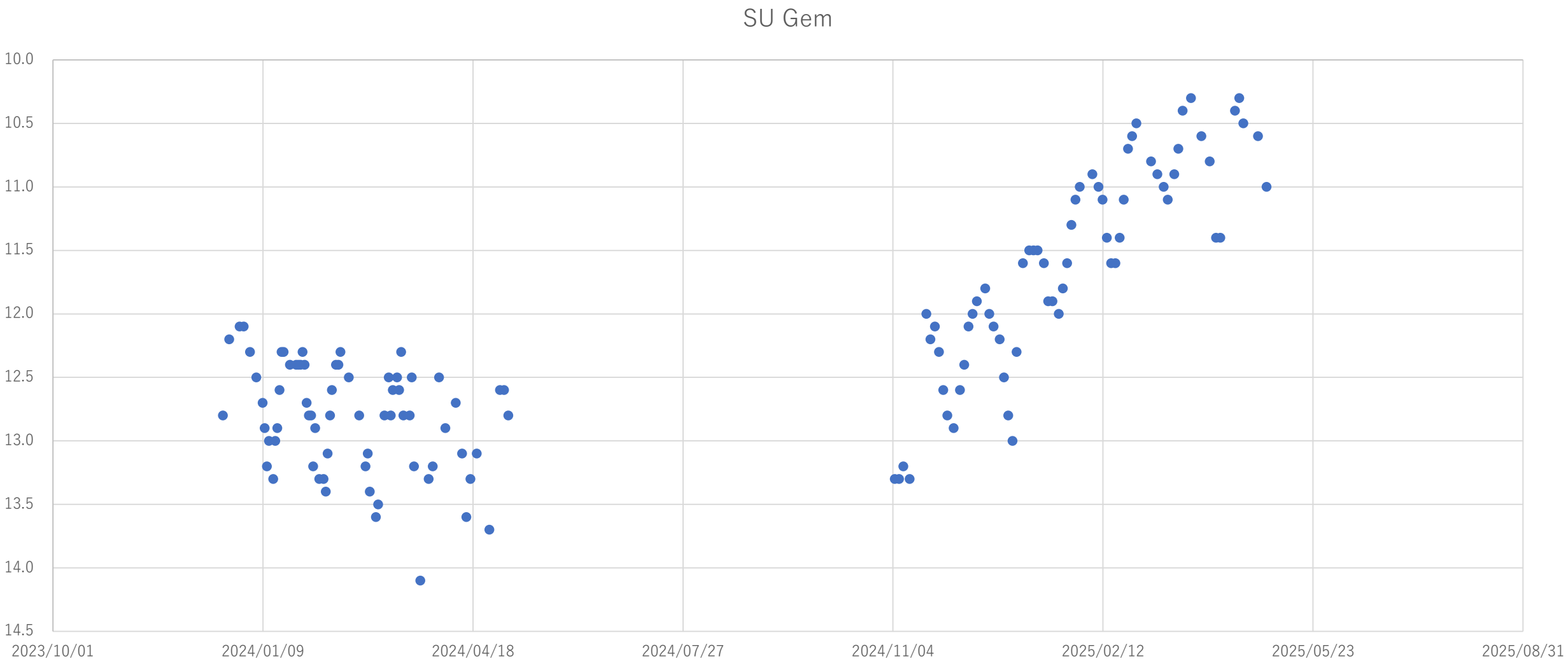
RV Tau RVb型 周期78日



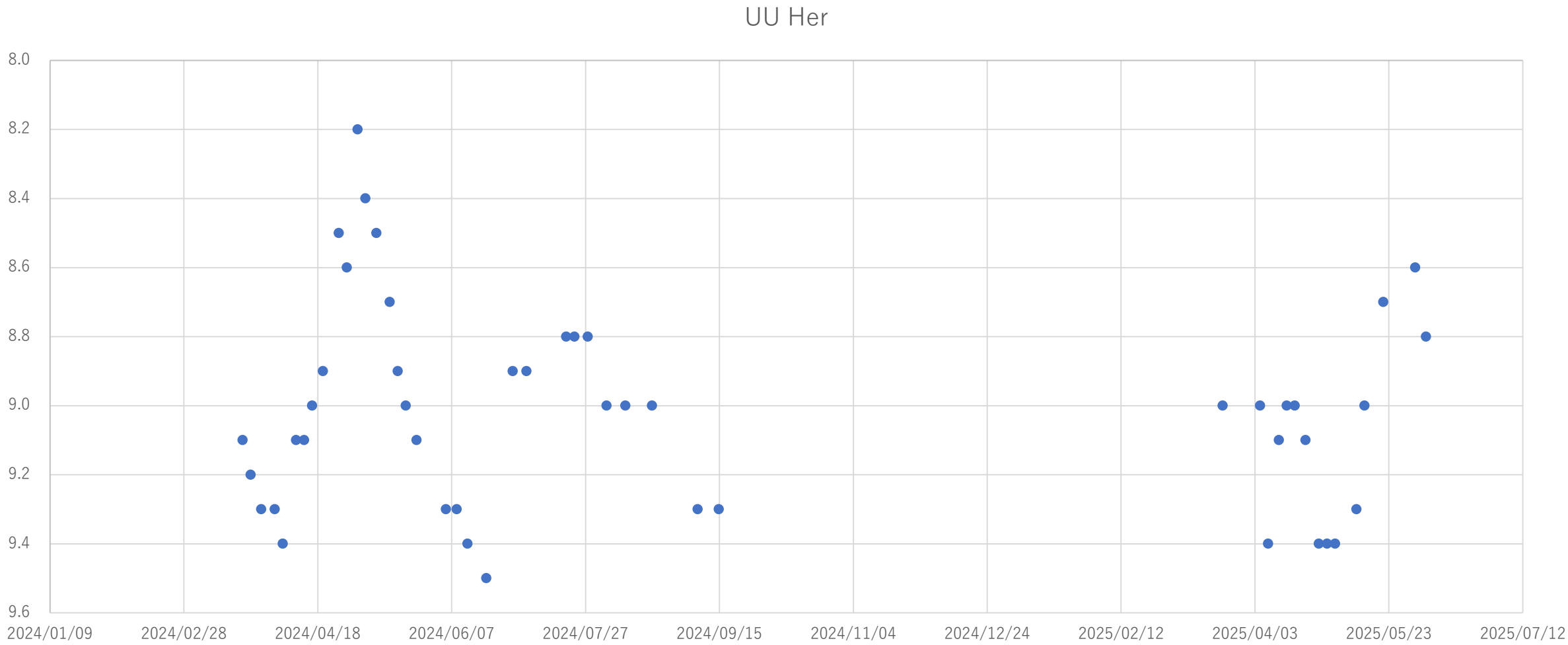
SS Gem RVa型 周期89日



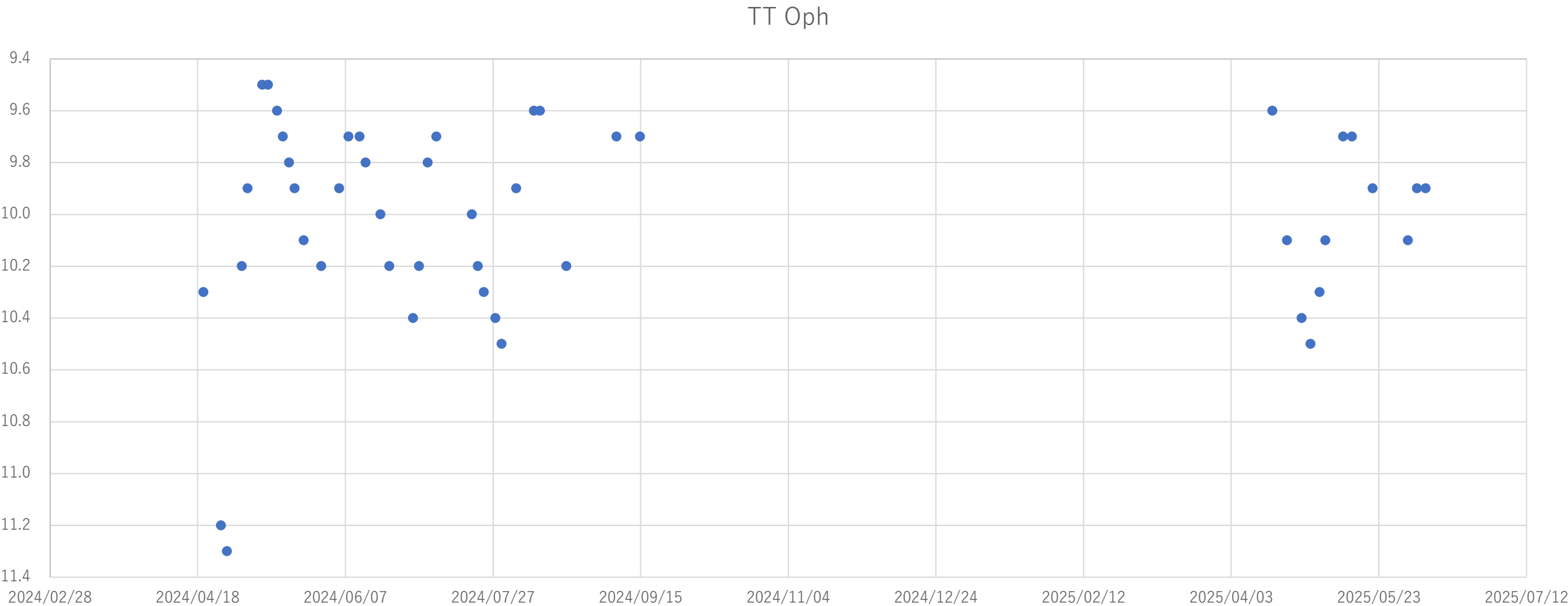
SU Gem RVb型 周期50日



UU Her SRd型 周期45日



TT Oph RVa型 周期60日



2025年現在の変光星観測のための CMOSカメラ状況

変光星観測者会議 2025
M2M Inc. 星見屋事業部 店長南口雅也

目次

- ▶ 1. 概要
- ▶ 2. 自己紹介
- ▶ 3. CCD 終焉と CMOS 時代の幕開け(を振り返る)
- ▶ 5. KAF-8300 -> 4/3" CMOS 対応表
- ▶ 6. G2-1600 -> 9 μ m CMOS 対応表
- ▶ 7. 撮影パラメータ比較 & 改善点
- ▶ 8. 周辺機材アップデート
- ▶ 9. 支援ソフトウェア比較
- ▶ 10. Moravian ラインナップ & 価格早見
- ▶ 11. Moravian Instruments の歴史と実績
- ▶ 12. これから始める人への指針
- ▶ 13. まとめ & Q&A

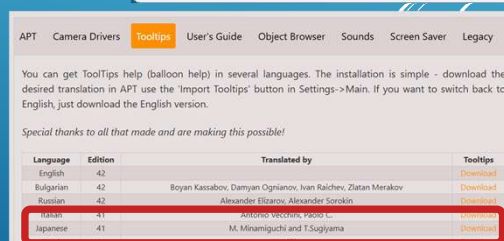
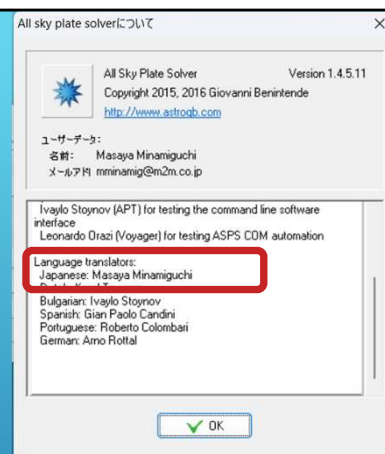
概要

- CCD 製造が終了（2019 年） → 2025年現在新規選択肢は "冷却 CMOS" のみ
- 当プレゼンテーションで整理する 4 つのポイント：
 1. CCD->CMOS 移行で何が変わるか
 2. 既存 CCD 機 (KAF-8300 / G2-1600 等) を置き換えるCMOSカメラの選択肢
 3. 撮影パラメータ & ソフト運用も変わる
 4. これから始める人向けの検討フローチャート
- ゴール:
 - 安心して冷却CMOSカメラでの変光星観測が継続・開始
できることを伝えたい

CCDの製造が終了したのは意外にも最近で2019年(コロナ禍直前)
とはいえ、かなり前からCMOSの勢いが強く、CCDカメラを新規購入を検討するユーザーも先行きを考えるとほとんどいなかったと思われます
その数年前からCMOSカメラへの製品ラインの切り替えが進み、2025年現在では冷却カメラはCMOS一択となっています
今回はここで示す4つのポイントをについてお話します
そして、冷却CMOSカメラでも安心して変光星観測が継続・始められることをお伝えするのを目的としています

はじめまして！自己紹介

- ▶ 2011年ネット専業天文ショップ「星見屋」開業
- ▶ 正規代理店
チェコ: **Moravian Instrument社**、米: Hotech社、ADM Accessories社
華: **ZWO社**、独: Teleskop Service社、ギリシャ: PegasusAstro社、
伊: GEOPTIK社、OfficinaStellare社、カナダ: Zaxyl社、クウェート: IKARUS社
- ▶ プレートソルブソフトAllSkyPlateSolverの日本語訳作成
- ▶ 統合天体撮影ソフトAstroPhotographyToolの日本語版担当
- ▶ オープンソースの画像処理ソフトSirilの日本語化参加
- ▶ AtomCamの動画からGoogleColab上で流星のリアルタイム検出
- ▶ スターパーティ双望会同窓会およびDSP実行委員(2018~2023)



星見屋はこの発表の中で頻出するMoravian Instrument社(以下Moravian社) やZWO社製の冷却CMOSカメラを取り扱っています
また、運用の自動導入の際の導入補正、画像処理中の天体位置測定に有効なプレートソルブソフトについて2014年に日本語翻訳の作成に協力しました
本発表でも触れる統合天体撮影ソフトのオーナー製作者と日本語版マニュアル作成の協力者との間を取り持つ担当を行っています
また、測光処理にも適用可能な画像処理ソフトSirilの日本語化コミュニティのメンバーでもあります

CCD 終焉と CMOS 時代の幕開け(を振り返る)

1. 冷却 CCD (≈2019) ▶ 冷却CMOS (2016～)

世代交代が与える主な影響

項目	CCD 時代 (≈2019)	CMOS 時代 (2016～)	ポイント
暗電流・冷却	熱ノイズ低減のため -35 ～ -45 °C が必須	-10 ～ -35 °C 元々低ノイズ 温度“固定”が主目的	TEC負荷↓・消費電力↓
読出しノイズ	5-10 e- ^①	0.7-2 e- ^②	露光≒1/2・枚数×2-3 が可能
画素サイズ / QE	5-9 μm / QE≤60 % ^③	2-4 μm / QE≥90 %	高密度 or bin で柔軟
インターフェース	USB2 / 専用I/F(シリアル?)	USB3 標準, 10 GbE (研究機)	ライブスタック&高速転送
時刻同期	PC/NTP 或いはPC外付GPS	カメラオプション GPS ±1 μs (Moravian-T)	目的に応じた時間分解能

① CCD RN 5-10 e-: KAF-8300 データシート: RN = 8-9 e-, SBIG STF-8300M マニュアル diffractionlimited.com

② CMOS RN 0.7-2 e-: ASI2600MM Pro "Ultra-low 1.0 e-" zwoastro.com / IMX571 Sony spec (0.7 e- median)

③ CCD QE≤60 %: KAF-8300 QE グラフ=ピーク 55-60 % onsemi.com / Sony ICX285(Peak 65 %) bnl.gov

画像センサーは露光中は発熱体となります。

その際CCDセンサーは盛大な熱ノイズが発生するので、これを低減させるために可能な限り冷却する必要があります

一方、CMOSセンサーは熱ノイズはもともと低く、強烈な冷却は必要ありません。ただし、温度によってダークのパターンが変わるため、これを一定にするために冷却を行います。したがって機能として持っている冷却能力の60～70%で冷却を行うことが望ましいです。

これにより消費電力の減少という効果を得ることもできます

2019年時点ではUSB2が最先端でした。シリアルIFを基本とした専用IFを持っていたものもあったようです。データのダウンロードには数分かかっていました現在のCMOSカメラはUSB3が基本でダウンロードは数秒で完了します。研究用に用意された機種にはギガビットイーサネットの転送仕様を持っているものもあります

このような高速転送により撮影中の雲の通過などの状況をモニタリングすることも可能です

読み出しノイズはデータシート上の仕様で一桁小さくなっていることが読み取れます

画素サイズもデータシート上の仕様ではCCDの半分以下のものが多く、QEもCCDより高くなっているものがあります

これらの仕様からCCDと比較して露光時間1/2撮影枚数を2～3倍とすることで測光に必要なデータを取得することができるようになります

ピクセルサイズの違いによりアーチャが変わることを避けるためにはハードウェアビニングを行うなどの対応も可能です

2. 例 1 KAF-8300 → 4/3" CMOS への置き換え比較表

	Moravian G2-8300	Moravian CMOS C2-46000	ZWO CMOS ASI294MM Pro
センサー	KAF-8300	Sony IMX492	Sony IMX492
実寸 (mm)	18.0 × 13.5(対角 22.5)	19.3 × 13.08(対角 23.3)	Bin1 : 19.1 × 13.0(対角 23.1)
画素 & ピッチ	3326 × 2504 5.4 μm	8336 × 5648 2.315 μm	Bin2 : 4144 × 2822 / 4.63 μm Bin1 : 8288 × 5644 / 2.315 μm
Full-Well (FW)	25 ke-	Gain 0 (1×) : 18.5 ke- 1	Bin2 : 66 ke- (Gain 0) Bin1 : 14 ke- (Gain 0)
Read Noise (RN)	8-9 e-	Gain 0 : 7.1 e- 1 Gain 500 : 5.29 e-	Bin2 : 7.4 e- (HCG ON) Bin1 : 2.7 e-
冷却 ΔT	-45 °C	-35 °C	-35 °C
ADC ビット数	16 bit	14 bit	14 bit
Gain パラメータ	固定 (0.5 e-/ADU)	Gain Number 0-500...	HCGモード切替 (Gain 120 = Unity)
移行時注意	—	- bin2 (4.63 μm) で旧ピクセルスケールを再現 - Gainを 0-500 でテストし、FW 50 % & RN最小を探す	- デフォルトは Bin2 (4.63 μm / 14-bit) - Unlocked Bin1 は高解像だが FW↓ RN↑ → 必要に応じ使い分け

C2-46000/C1+46000 スペック表 : Gain 0 → FW 20 ke-, RN 1.3 e- 【C2/C1+ カメラページ】 gxccd.com
ASI294MM Pro マニュアル : Bin2 (=HCG ON・Gain120) FW 66 ke- / RN 1.2 e-, Unlocked Bin1 FW 14 ke- / RN 2.2 e- 【ASI294 Manual】 zwoastro.com/agenastro.com

Moravian社の冷却CCDで当時もっともポピュラーだったものの一つ
マイクロフォーサーズサイズのKAF-8300 を採用した冷却CCDカメラG2-8300
に対して現行のCMOSセンサーを検討すると、IMX492を採用するカメラになります

カメラメーカーが用意するファームウェアによって同じCMOSセンサーを使った
カメラでも最適なGain設定値は変わってきます

したがって、観測に使う前にリードノイズの出方、Full-wellの状況を確認して
最適設定を特定、固定する必要があります

IMX492 のユニティ ゲイン

Moravian: Gain Number ≈ 2000 (5.8 dB, ×1.95) 付近が 1 e-/ADU。

ZWO: 固定値 120 で HCG (High-conversion-gain) 自動 ON。

ADC ビットとダイナミックレンジ

ASI294 Bin2=14 bit で 13 stop、Bin1=12 bit で 12.5 stop 相当。

2. 例 1 KAF-8300 → 4/3" CMOS への置き換え比較表



3. 例 2 G2-1600 (9 μm CCD) → “9 μm クラス” CMOS 置き換え比較

	G2-1600 (KAF-1603ME)	C1+-7000A/C2-7000A-T IMX428 2×2 bin	ASI533MM Pro IMX533 2×2 bin	ASI432MM
実効ピクセル	9 μm	9.0 μm	7.5 μm	9.0 μm
解像度	1.6 Mpx	1.7 Mpx	2.0 Mpx	1.8 Mpx
Full-Well	100 ke-	~100 ke ⁻¹	73 ke-	97 ke-
Read Noise	10 e-	~10.7 e- RMS	0.8 e-	3.3 e- (HCG)
ADC bit	16	14	14	12
シャッター	メカ	Global	Rolling	Global
冷却 ΔT	-50 °C TEC	-42 °C TEC	-35 °C TEC	非冷却
GPS 刻印	—	○ (-T)	—	—
主な長所	—	同左 + GPS μs	QE 90 % ・ 正方1"	FW大／グローバル
主な注意	—	—	FW変わらず RN減	暗電流↑ 温度安定性無 PlayerOneに冷却機あり

IMX428 : FW 20 ke⁻／RN1.3 e⁻ (native) → 2×2 ハードビンで **FW×4, RN× $\sqrt{4} \approx 60 \text{ ke}^-$, 0.7 e⁻** (Sony spec + Moravian資料)
ASI432MM データシート : Full-Well 97 ke⁻、HCG (=Gain≥80) で RN≈3.3 e⁻、LNG (=低Gain) で RN≈6–7 e⁻、ADC 12 bit

ASI432MM の特性

グローバルシャッターで 1 ms 露光が均一。
 非冷却のため暗電流が CCD より 1–2 桁高い ⇒ F/値が遅い望遠鏡や 60 s 以上露光では TEC 改造 or 外付クーラーを要検討。
 HCG (High Conversion Gain) ON で RN 半減、ただし FW 約 ½。測光では **Gain 80–120** が実用域。

IMX533 bin3 採用理由

正方フォーマットで周辺減光が最小。
 FW は 17 ke⁻ と低い RN 0.6 e⁻ 以下、露光を短く刻む高速ケイデンス向き。
露光設定例 (S/N≈同等)

3. 例 2 G2-1600 (9 μm CCD) → “9 μm クラス” CMOS 置き換え



4. 撮影パラメータ比較（詳細解説 & 改善ポイント）

パラメータ	CCD : KAF-8300 ($\Delta T_{\max} \approx 45^\circ\text{C}$)	CMOS : IMX492 ($\Delta T_{\max} \approx 35^\circ\text{C}$)	調整理由 / 改善点
冷却温度	環境温度 $-27\sim-31^\circ\text{C}$ ($= \Delta T$ 60-70 %) $\Rightarrow$ 典型 $-8^\circ\text{C}\sim-12^\circ\text{C}$	環境温度 $-21\sim-24^\circ\text{C}$ 例 : 外気 20°C $\rightarrow -1^\circ\text{C}\sim-4^\circ\text{C}$	ΔT を余力 30 % 程度残し 対外気温変動耐性↑ ファン騒音↓
暗電流	$0.02\text{ e}^- \text{ px}^{-1} \text{ s}^{-1}$ @ -10°C 0.009 e^- @ -15°C	$0.002\text{ e}^- \text{ px}^{-1} \text{ s}^{-1}$ @ -10°C 0.001 e^- @ -15°C	CMOS が約 10× 低い $\rightarrow$ 長露光でもノイズ減
露光 / 枚	60 s × 20 枚	20-40 s × 40-60 枚	リードノイズ低下 $\rightarrow$ 短時間/多枚数で シンチレーション平均化
ピーク ADU	30 k (50 % FW)	FW の ~80 % 例 : FW 60 k $\rightarrow$ 48 kADU	直線性 $\pm 1\%$ 保証 80 % 程度まで活用可
ゲイン	固定 $0.5\text{ e}^-/\text{ADU}$	Unity ± 1 ($1\text{ e}^-/\text{ADU}$)	ダイナミックレンジ/リードノイズが 最適になる設定で観測可
シャッター	メカ ($< 3\text{ s}$ ムラ)	電子 (Global / Rolling 1 s 可)	機械的故障リスクゼロ Defocus又は短露光で明星飽和回避
ダーク / フラット	温度依存のみ	温度 + ゲイン 依存	ゲインごとに Bias / Dark 管理
GPS 時刻刻印	PC外付 GPS $\rightarrow$ SIPS で PC 時刻補正 ($\pm 10\text{ ms}$)	Moravian オプション GPS $\pm 1\text{ }\mu\text{s}$	掩蔽・高速変光で 1-3 桁精度向上

S/N 200 を 60 s 以内に獲得することを目指したパラメータ設定を比較しました

ざっくりと言って感度が高くノイズが少ないCMOSセンサーでのオンフォーカス設定は、CCDより短時間/多枚数撮影で対応

感度が高いからデフォーカスしてもこれまでより明るい、短時間露光で撮影可

周辺機材とソフトウェア

5. 追加で更新が必要になる周辺機材

機材	CCD 環境	CMOS 置き換え時の留意点
PC & OS	~Win10/USB2 環境	■USB3 ポートが普通 ■64-bit Win10/11 (SIPS 2.x / ZWO Native 3.x)
ドライバ & ASCOM	ASCOM 6.4 以前 (最新OSに対応?)	ASCOM 6.6以降 / .NET 3.5
フィルタホイール	外付け 1.25"/31 mm	C2/C1+ は body内蔵可。 ZWO EFW が必要
フラットナー/レデューサ	4/3"枠	APS-C (IMX571)以上への拡大時は周辺像再評価
ガイド鏡/OAG	ピクセル 5-9 μm 想定	2.3-3.8 μm → ガイドカメラ更新または ガイドスコープ焦点距離 $\times 1.5$ 推奨 ガイドパラメータの修正

CCDに対応していたPCがCMOSに対応するとは限らないため、互換性については確認が必要

2019年までのWindowsではUSB2が主流

最新ASCOM環境が旧タイプのPCに構築できないこともある

Moravian社製のカメラはシリーズによりEFWの内臓/外付け/取付不可が決まる
安価なCMOSカメラに更新することでセンサーサイズが大きくなる場合は光学系の仕様との適合性（周辺星像や周辺減光の様子など）を確認すべき

CMOSセンサーのピクセルサイズが小さいことによるガイドの許容誤差は小さくなることもある

ガイドカメラの更新もしくはガイドスコープの更新、あるいはガイドパラメータの修正などが必要

6. 支援ソフトウェア対応比較

機能 / ソフト	Moravian SIPS v3.3+	ZWO ASISStudio v1.9+	N.I.N.A 3.2+	Astro-Photography-Tool v4.60
接続 API	Native / ASCOM / INDI	Native	ASCOM / INDI	ASCOM / INDI
プレートソルブ & 導入補正	内蔵 Astrometry、Sync →再GOTO	— (ASIAIRとの組合せ)	外部ソフト連携 (ASTAP/AST/AP)	外部ソフト連携 PlateSolve2 / ASTAP
Sequencer / 自動化	強力な統合 (冷却→フォーカス→撮像→Solve→GPS刻印)	撮像・冷却・AF・EFW連動	強力な Sequencer	「Plan」機能で Goto&AF&EFW&撮像
Photometry 支援	SILICUPS Bridge → FITS Header 読み取り、自動 Light Curve 出力	—	サードパーティ Plugin (画像←→VPhot)	—
GPS タイムスタンプ	○ (-T 機種で μ s 精度)	ログに PC 時刻	ログに PC 時刻	ログに PC 時刻
ライブスタック	×	ASISStack	○ (実装中)	○ (ヒストグラム + Mean/Median)
OS 対応	Win10/11 64-bit	Win / macOS / Linux (一部β)	Win / Linux / macOS	Win10/11
価格	無償	無償	無償	約 €25 / 約3,000円

Moravian社から無料で提供されているSIPS(Scientific Image Processing System)

ASCOM/INDIを通じて観測のための周辺機材(ドーム、赤道儀、カメラ、EFW、EAFその他)のほとんどを制御可能

撮影から画像処理、観測データ整理まで一貫して対応可

ZWO社から無料で提供されているASISStudio

ZWO社製品について単純作業の自動化

オープンソフトウェアのN.I.N.A.(Nighttime Imaging 'N' Astronomy)

メーカーに依存しない機材に対して高度なレベルで撮影の自動運用可能

ブルガリアのIvaylo氏が作成しているAPT(Astro Photography Tool)

メーカーに依存しない機材に対して高度なレベルで撮影の自動運用可能

SIPS × SILICUPS — 変光星観測における優位性

“撮像 → 測光 → 光度曲線” を 1 エコシステムで完結

撮影完了ごとに SIPS が FITS Header 内 GPS タイム・ゲイン・温度情報 を SILICUPS にパイプ。

SILICUPS は比較星カタログを読み込み、差分光度を自動算出 → CSV/AAVSO フォーマット即出力。

μ s 精度刻印をそのまま伝搬

—T モデルでは PPS 信号を EXPSTART/EXPOSURE タグへ記録。

SILICUPS はタグを認識し MJD (UTC) 変換誤差 $\ll 0.001$ s。

双方向リンク

SILICUPS で [Anomaly flag] を付けたフレーム一覧を SIPS 側に戻し、問題コマの自動除外が可能。

これにより“撮像・校正 → 測光 → 解析”が1台のPCでシームレス。AAVSO投稿まで最短10分という実測例があります。

7. MORAVIAN ラインナップ & 価格早見

モデル	センサー / フォーマット	対応フィルタ径	GPS(+EUR445) 購入時ポートの有無指定) ポート無には追加不可	価格 (EUR)
C1+-7000A	IMX428 1.1" G.S.	EFW無	—	EUR 1,337~
C1X-26000T	IMX571 APS-C	36 mm /D50 / 50 mm角 (外付EFW)	○	EUR 3,382~
C1X-61000T	IMX455 Full	D50 / 50 mm角(外付EFW)	○	EUR 5,587~
C2-9000	IMX533 1" R.S.	1.25" / 31 mm (内蔵EFW)	○	EUR 1,573~
C2-46000	IMX492 4/3" R.S.	1.25" / 31 mm (内蔵EFW)	○	EUR 1,996~
C2-7000A	IMX428 1.1"	1.25" / 31 mm (内蔵EFW)	○	EUR 1,496~
C3-PRO-26000	IMX571 APS-C (Industrial Grade)	2" / 50 mm 角	○	EUR 4,077~
C3-PRO-61000	IMX455 Full (Industrial Grade)	2" / 50 mm 角	○	EUR 6,151~

Moravian社のカメララインアップはこれ以外にもガイドカメラ、カラーカメラなど多種あり。

8. MORAVIAN INSTRUMENTS - 科学観測カメラの歩みと実績

年	マイルストーン	観測コミュニティへの貢献例
1992	チェコ共和国ブルノで創業 (光電子計測機器メーカーとしてスタート)	-
2006	初代 G1/G2 冷却 CCD を発売 (ICX & KAF 系)	アマチュア変光星観測者に一気に普及
2009	G3/G4: 大型 KAI/KAF センサー対応モデル	40 cm 級望遠鏡で系外惑星トランジット論文に採用
2015	G4-16000 が AAVSO "Choice of the Year" 受賞	SBIG 後継機ニーズをカバー
2019	CMOS ライン C0 / C1 / C2 を投入 (IMX533/492)	"CCD の次" を最速リリースした天文専門メーカー
2021	C1x / C3 PRO: GPS 1 us 刻印 & dT -45 C	掩蔽観測チームが 100+ イベント報告
2023	C2-7000A-T (IMX428 GS + GPS)	小口径望遠鏡で 0.5 mmag 精度の高速測光を実証
2024	世界 40 か国、4000 台超を出荷 / 論文 250 本+	変光星・超新星・小惑星掩蔽で最多引用 (自社調べ)

ChatGPTで調査、出力されたMoravian Instruments社の歴史
星見屋は2010年の事業開始時から取引あり

9. これから変光星観測を始める人のカメラ選定フロー

天体観測を始めようという人への助言で最も難しいのは「何を観測したいのか？」という目的意識を確かめることです

「変光星を観測したい」というのは明確な目的です。この目的を実現するためのカメラ選定フローを整理しました。この目的のために初めて冷却カメラを入手しようとする人にはぜひ参考にしていただきたいと思います。

9.1 変光星観測を始める主な動機 (例)

- 特定の変光星を継続して追いかけてたい
- 系外惑星トランジットプロジェクトに参加したい
- 見映えの良い天体写真を撮りつつ測光も試したい
- 新星・超新星の早期光度曲線を取りたい
- 小惑星・衛星掩蔽を測光したい
- 変光星コンテスト・学生研究でテーマを探している
- 彗星のアウトバーストの光度を監視したい
- マルチバンド測光(BVRIとか…)で色変化を解析したい

- **特定の変光星を継続して追いかけてたい**
かんむり座T星の観測を続けたい
- **系外惑星トランジットプロジェクトに参加したい**
- **見映えの良い天体写真を撮りつつ測光も試したい**
- **新星・超新星の早期光度曲線を取りたい**
板垣氏の発見した新星・超新星の光度変化を観測したい
- **小惑星・衛星掩蔽を測光したい**
京都大学のPONCOTSの真似をしてみたい
- **変光星コンテスト・学生研究でテーマを探している**
- **彗星のアウトバーストの光度を監視したい**
- **マルチバンド測光(BVRIとか…)で色変化を解析したい**

9.2 機材選定ステップ

1. 動機 → 対象等級を決める
2. 必要精度: S/N 200 を 60 s 以内で達成できるか
3. 集光力かセンサー感度で不足分を補う
4. 露光シミュレーションで確認 (FW 80 % 以内)
5. 周辺機器・予算を加味しシステム案を確定

やりたいこと、求められること、できることは一致しないのが世の中
周辺機器・予算は与件の制約事項
ある物、もらえる物を探しまくる
ほしいものではなく、必要なものが明確になれば、若い天文観測者志望者に対しての支援は探せば何とかなる

9.3 チェックポイント

● チェック14項目(例)

- センサーサイズ（周辺減光・フィルタ径）
- ピクセルピッチ & ビニング（望遠鏡焦点距離に合わせる）
- Full-Well & RN（飽和と短露光のバランス）
- QE 曲線（必要な波長の感度）
- 線形性保証(±1 % 以内)or 自前測定
- 冷却性能 ΔT & 恒温精度
- シャッター方式（global / rolling / 機械式）
- GPS 刻印（ μs 精度必要か）
- インターフェース（USB3 / 10 GbE）
- ADC bit 数（12 vs 14 vs 16）
- 内蔵 or 外付フィルタEFW(BVRI/Sloanが必要?)
- ソフト互換（Native or ASCOM/INDY）
- 消耗品・保守性（パーツ保持期間10年?)
- 総コスト（カメラ+GPS + 光学系+ソフト）

必要な機材のチェックポイントは、目的や所与の条件によって調整可能

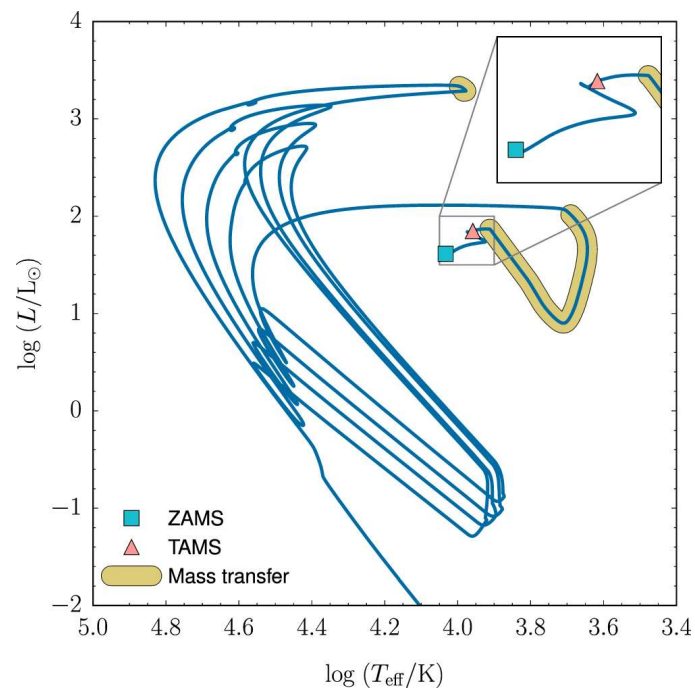
9.4 判断のまとめ — 迷ったときの指針

- S/N 200・露光 60 s をクリアできるかを基準にする
- 足りなければ口径↑ / F 値↓ / QE↑ / RN↓ を順に検討
- 飽和する場合はゲイン↓、デフォーカス、または ビニング解除
- GPS 内蔵モデルなら掩蔽・高速変光にも即対応
- 最後は総コストと保守性を確認
— “10 年後も使えるか?(一年あたりのコスト)”

Q&A

▶ご質問があれば何なりと

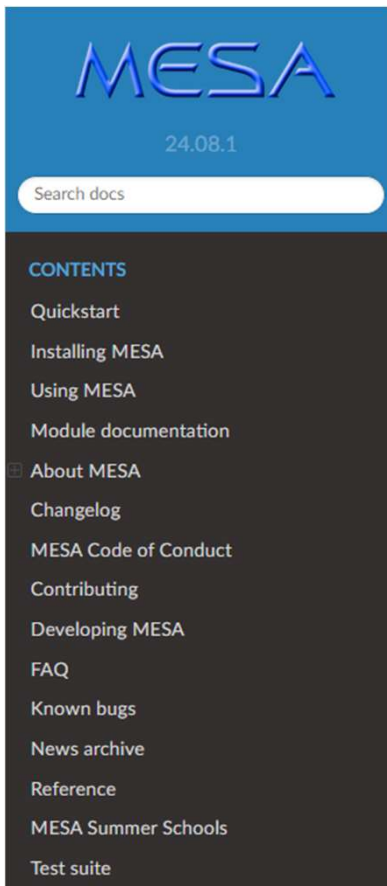
MESAによる連星進化計算



<https://arxiv.org/abs/1506.03146>

2025.06.14 市川 良介

□ MESA とは

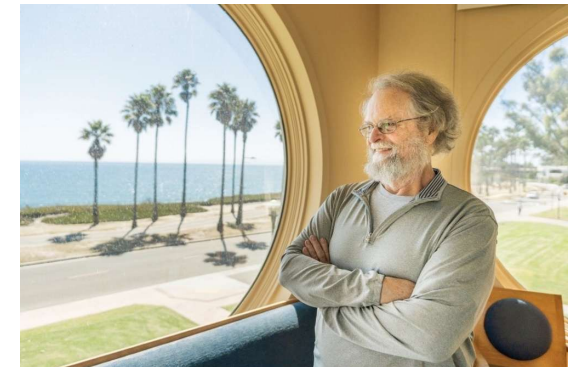


<https://docs.mesastar.org/>

コンピュータ科学者であり、Adobe の創立メンバーでもある **Bill Paxton** が中心となって開発した一次元恒星進化モジュールである。

オープンソースであり、機能単位でモジュール化されているので、自作のプログラムと結合させて利用することが出来る。

恒星進化計算は天体物理学の幅広い研究を可能にする基本的なツールである。恒星の実際は対流、回転、磁性などの要素を考慮するため3次元の計算が必要であるが、これは非常に大きいリソースを要求する。一次元で進化の大部分を計算するケースが一般的である。



<https://news.ucsb.edu/2021/020203/accidental-astrophysicist>

□ 運用環境検討

システム	MESA	Jupyter Notebook	Phoebe
Windows	△*	○	○
Mac	○	○	○
Ubuntu	○	○	○

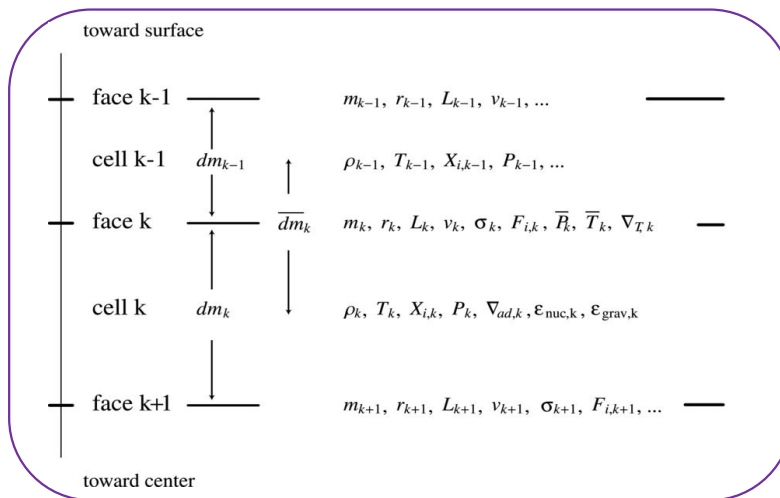
*：MESA推奨ではDockerを使えとなっているが、私はVMWareを使用している

□ MESAの鉛直1次元モデル

MESA の1Dモデルで使用している式は下に示す「平衡恒星モデル」で、使用する4つの方程式を差分として解く。

$$\begin{aligned} \rho_k &= \frac{dm_k}{(4/3)\pi(r_k^3 - r_{k+1}^3)} & \ln r_k &= \frac{1}{3} \ln \left[r_{k+1}^3 + \frac{3}{4\pi} \frac{dm_k}{\rho_k} \right] \\ P_{k-1} - P_k &= \bar{dm}_k \left[\left(\frac{dP}{dm} \right)_{\text{hydrostatic}} + \left(\frac{dP}{dm} \right)_{\text{hydrodynamic}} \right] = \bar{dm}_k \left[-\frac{Gm_k}{4\pi r_k^4} - \frac{a_k}{4\pi r_k^2} \right] \\ L_k - L_{k+1} &= dm_k (\epsilon_{\text{nuc}} - \epsilon_{\text{v,thermal}} + \epsilon_{\text{grav}}) \\ T_{k-1} - T_k &= \bar{dm}_k \left[\nabla_{T,k} \left(\frac{dP}{dm} \right)_{\text{hydrostatic}} \frac{\bar{T}_k}{\bar{P}_k} \right] \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dr}{dm} &= \frac{1}{4\pi r^2 \rho} \\ \frac{dP}{dm} &= -\frac{Gm}{4\pi r^4} \\ \frac{dL}{dm} &= \epsilon_{\text{nuc}} \\ \frac{dT}{dm} &= -\frac{Gm}{4\pi r^4} \frac{T}{P} \nabla \end{aligned} \right.$$



今回の1Dモデルは、中心から表面までを800程度のブロックに分割し、中心から表面に向かって、解いていく形となっている。時間的変化の計算では、密度と温度の変化率及びその時の物理量を考慮に入れる2段階の方式から時間区切りを決めている。

□ MESAの導入と実行

1. プラットフォーム : Mac か Linux
2. 環境整備 : ユーティリティ 他
3. MESASDK のインストール <http://user.astro.wisc.edu/~townsend/static.php?ref=mesasdk>
4. MESA の導入 (大半がソースプログラム) <https://doi.org/10.5281/zenodo.2602941>
5. SETUP : コンパイルしてライブラリ整備
6. 自分のフォルダに test_suit からサンプルフォルダをコピーする
7. 質量や金属量などのパラメータファイルを編集する
8. コンパイル & リンク
9. 実行する

□ 計算結果の利用

- 右のようなヘッダと項目名とデータが一体となったテキストファイルが出力される
- エディタで整形して、表計算で読み込むという形でデータを利用していたが、近年 Python によるデータ読み出しツールが整備されたので、これを利用する
- 演算中も表示出来る PGSTAR というツールがバンドルされているが、Mac ではうまくいかないなどあり、Python か表計算のグラフを使う

1	2	3
6	7	8
11	12	13
16	17	18
21	22	23
26	27	28
31 ↓		
model_number	age	period_days
v_orb_2	rl_1	rl_2
star_1_mass	star_2_mass	lg_mtransfer_rate
lg_system_mdott_1	lg_system_mdott_2	lg_wind_mdott_1
eff_xfer_fraction	J_orb	Jdot
jdot_m1	jdot_ls	jdot_missing_wind
point_mass_index ↓		
5	7.441600000000000E+005	4.9998763143955111E-001
1.8128331305168197E+002	1.2846914762054187E+000	1.1601902356566174E+000
1.000000000000000E+000	8.000000000000000E-001	-9.899999999999986E+001
-9.899999999999986E+001	-9.899999999999986E+001	-9.899999999999986E+001

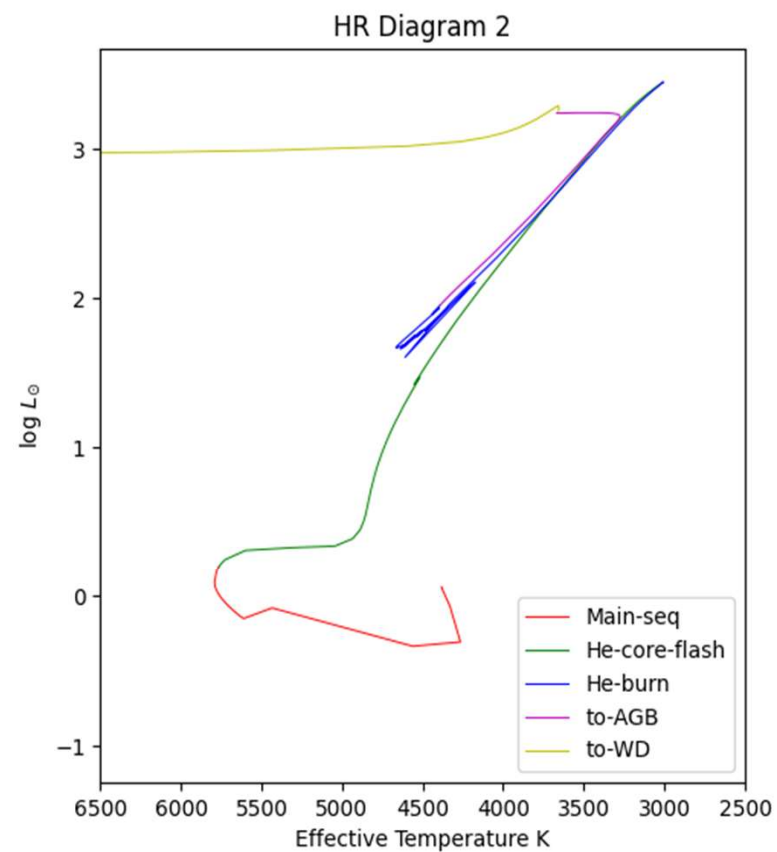
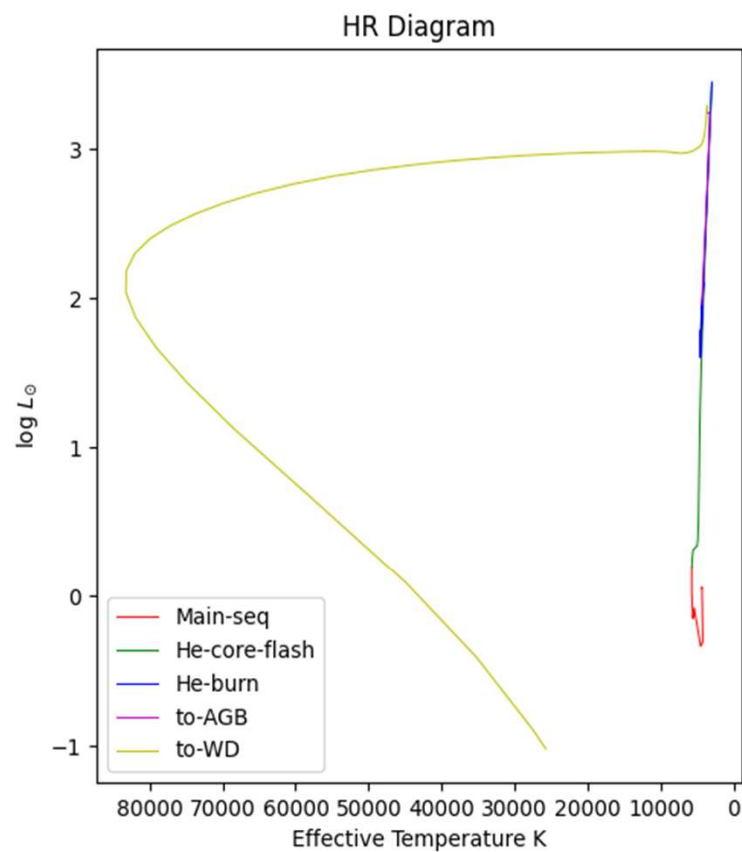
```
# import mesa_reader to make its classes accessible
import mesa_reader as mr

# make a MesaData object from a history file
h = mr.MesaData('LOGS/history.data')

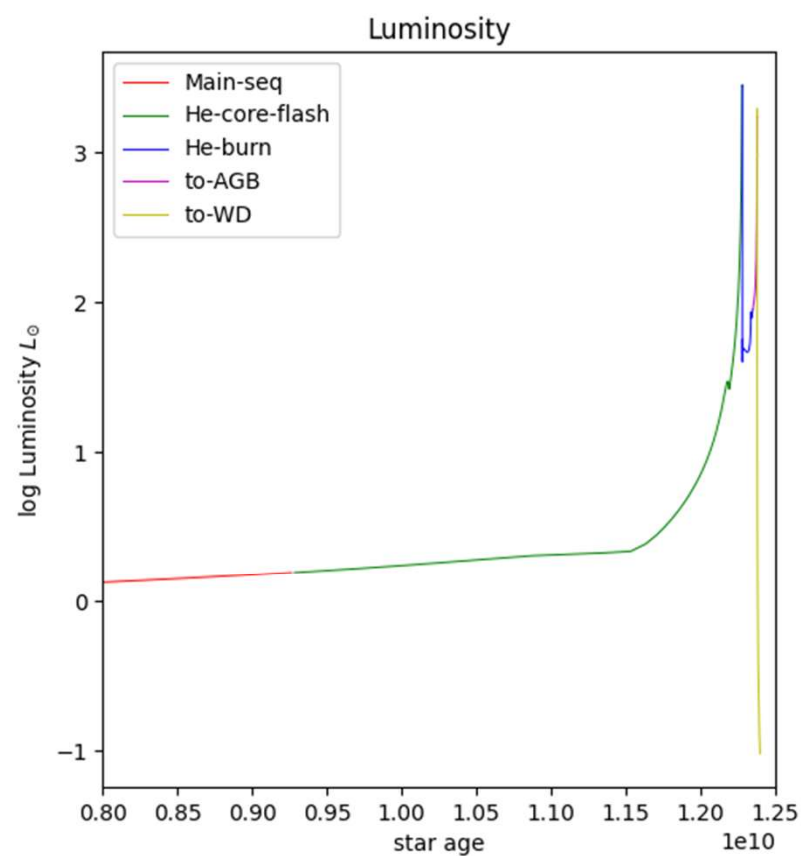
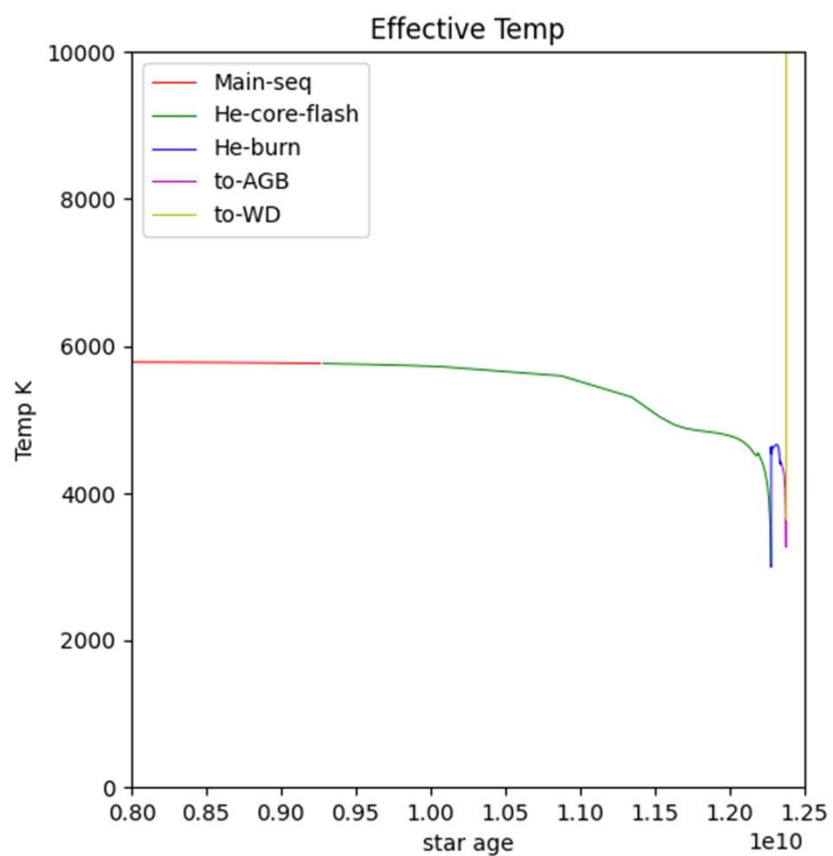
# extract the star_age column of data
ages = h.data('star_age')

# or do it more succinctly
ages = h.star_age
```

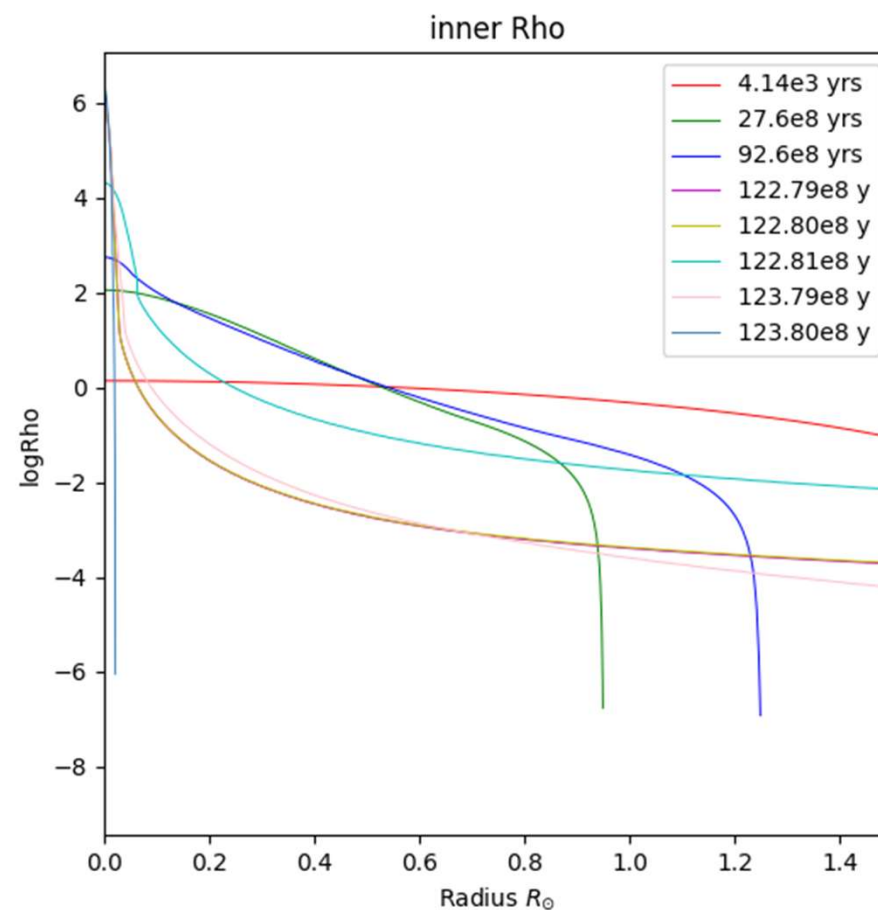
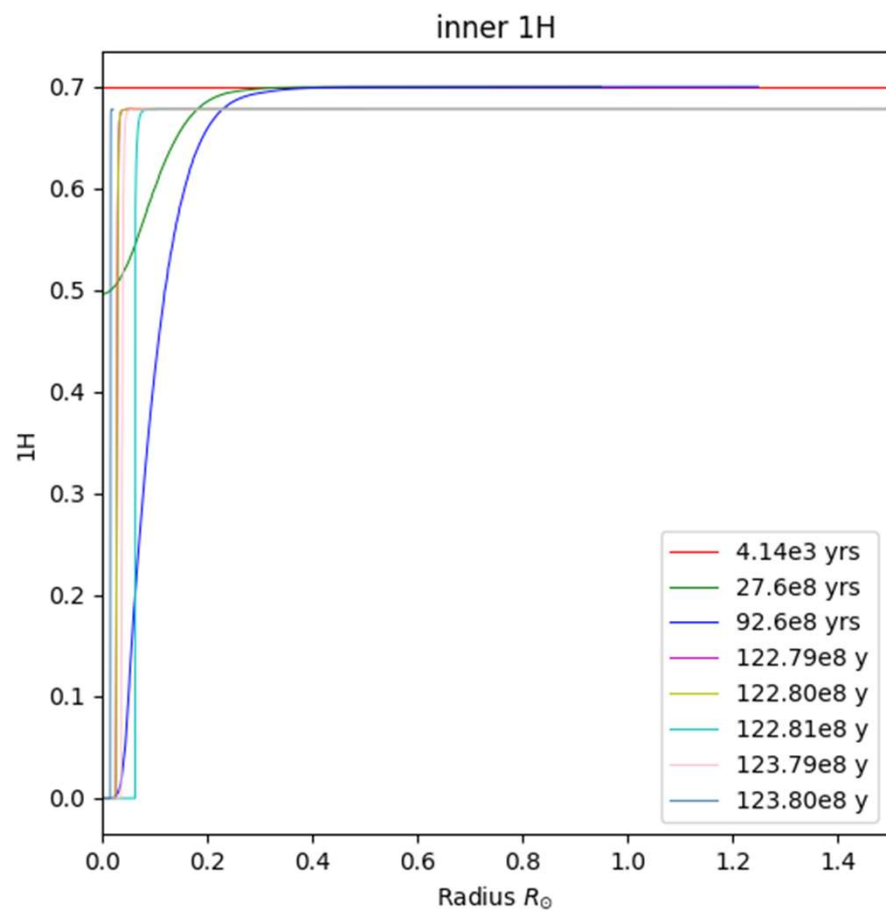
$1M_{\odot}$ を ZAMS から計算 ①



$1M_{\odot}$ を ZAMS から計算 ②



$1M_{\odot}$ を ZAMS から計算 ③



□ Binary の Test Suite

- `double_bh`

非常に近い軌道にある 2 つの星から連星ブラックホールを作成します。星はオーバーコンタクト段階を経て進化するため、オーバーコンタクトの処方箋をテストする

- `evolve_both_stars`

質量移動を含め、2 つの星を同時に進化させる MESA をテストする

- `jdot_ml_check`

事前に指定された効率オプションを使用して、進化が Tauris & van den Heuvel (2006) の解析結果に従っていることを確認します。他のすべてのソースをシャットオフする

- `jdot_gr_check`

他のすべての `jdot` ソースをオフにすると、重力波放射による軌道の進化が Peters (1964) の解析結果に従うことを確認する

- `jdot_ls_check`

潮汐進化モデルが角運動量を保存することを確認します

- `star_plus_point_mass`

点質量への質量移動を含め、1 つの恒星と点質量を進化させる MESA をテストする

- `star_plus_point_mass_explicit_mdot`

上記と同じだが、質量移動速度の明示的な計算を使用して実行する

- `wind_fed_hmxb`

ロッシュローブオーバーフローと風による質量移動の両方を含む、high mass X-ray binary のモデル。エディントン限界が機能していること、および降着光度が正しく計算されていることを確認する

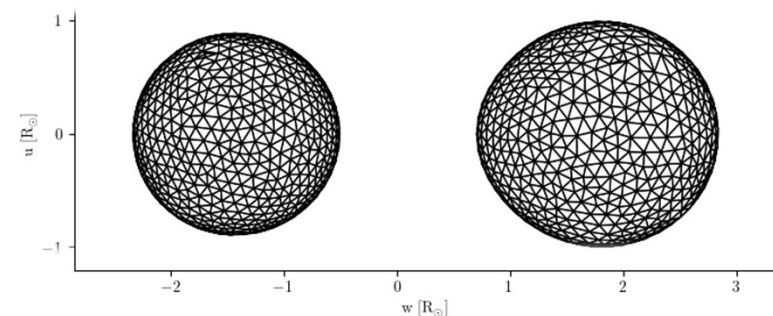
□ 今回のモデル

- 条件：2つの星をZAMS(zero age main sequence)から接触型まで成長させる
- 初期成分： $Z=0.02$ つまり $X=0.70$ $Y=0.28$ の太陽組成
- 質量： $M_1 = 1.0 M_{\odot}$ $M_2 = 0.8 M_{\odot}$
- 周期： $0.5 d$
- 計算終了条件： ロッシュローブオーバーフロー limit $(fr) > 0.001$

$$fr = \frac{r - rl}{rl} \quad rl : \text{ロッシュポテンシャル半径}$$

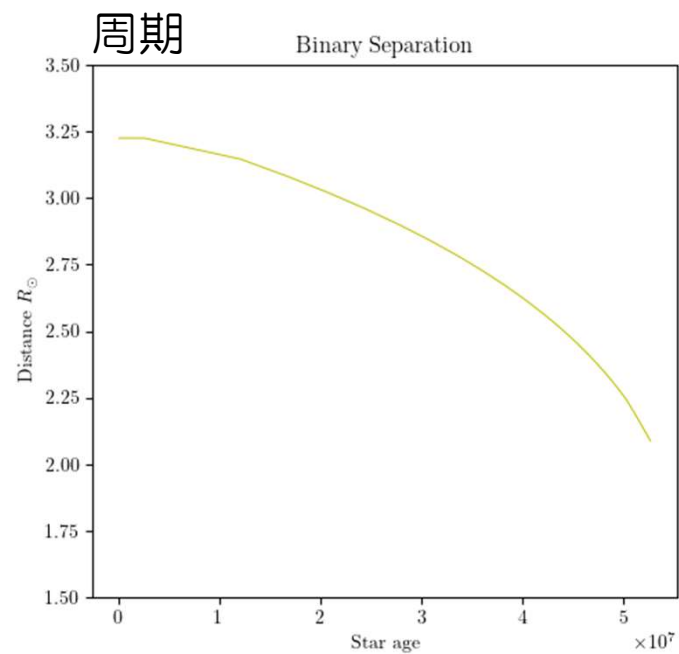
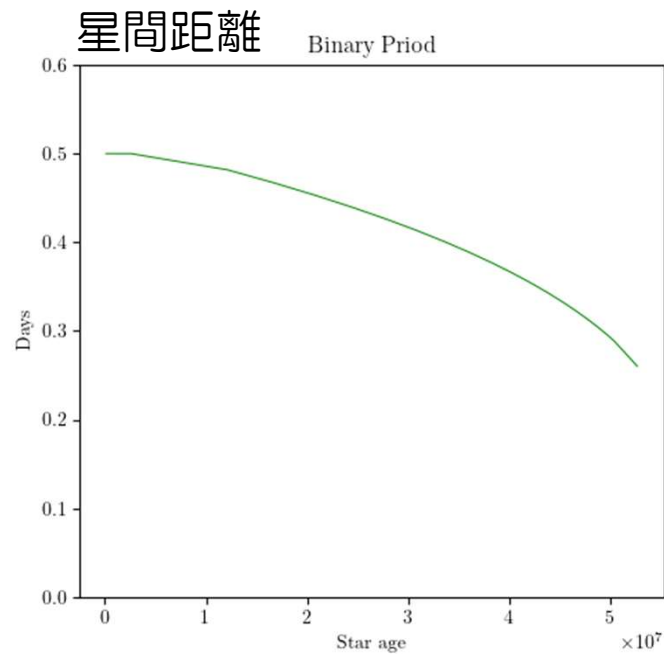
※ 計算開始から十万年後の状況

Phoebe 2.4 の Mesh 図

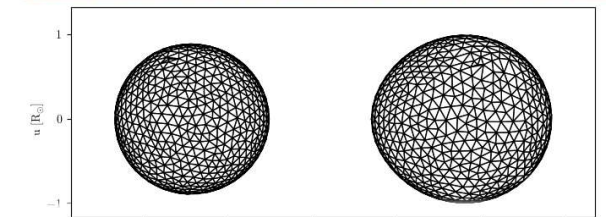


□ 今回の計算結果ー1

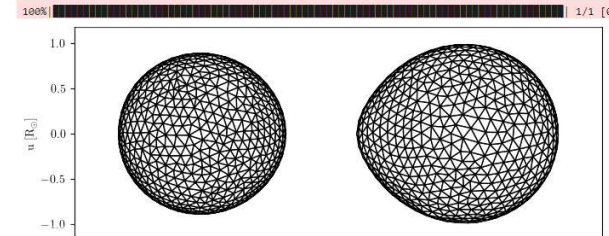
今回の MESA の計算と jupyter notebook での表示
は Mac 上で行いました



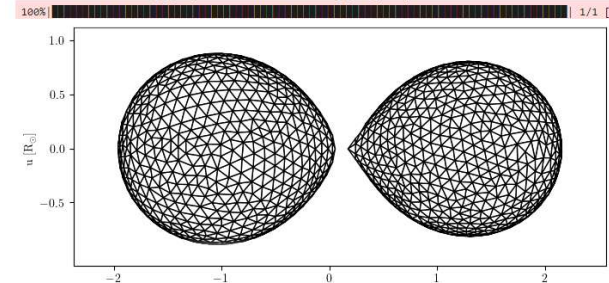
No. 1
* 年齢: 0.1 [Myear] * 周期: 0.500 [Day] * 距離: 3.22 [R_{sun}]
---- 主星: 0.889 [R_{sun}] 伴星: 0.717 [R_{sun}] q: 0.800



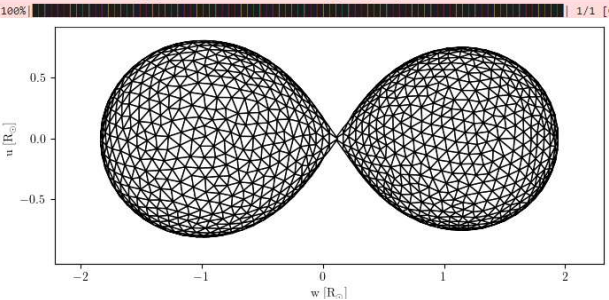
No. 7
* 年齢: 27.9 [Myear] * 周期: 0.426 [Day] * 距離: 2.90 [R_{sun}]
---- 主星: 0.892 [R_{sun}] 伴星: 0.719 [R_{sun}] q: 0.800



No. 31
* 年齢: 49.4 [Myear] * 周期: 0.299 [Day] * 距離: 2.29 [R_{sun}]
---- 主星: 0.893 [R_{sun}] 伴星: 0.719 [R_{sun}] q: 0.800

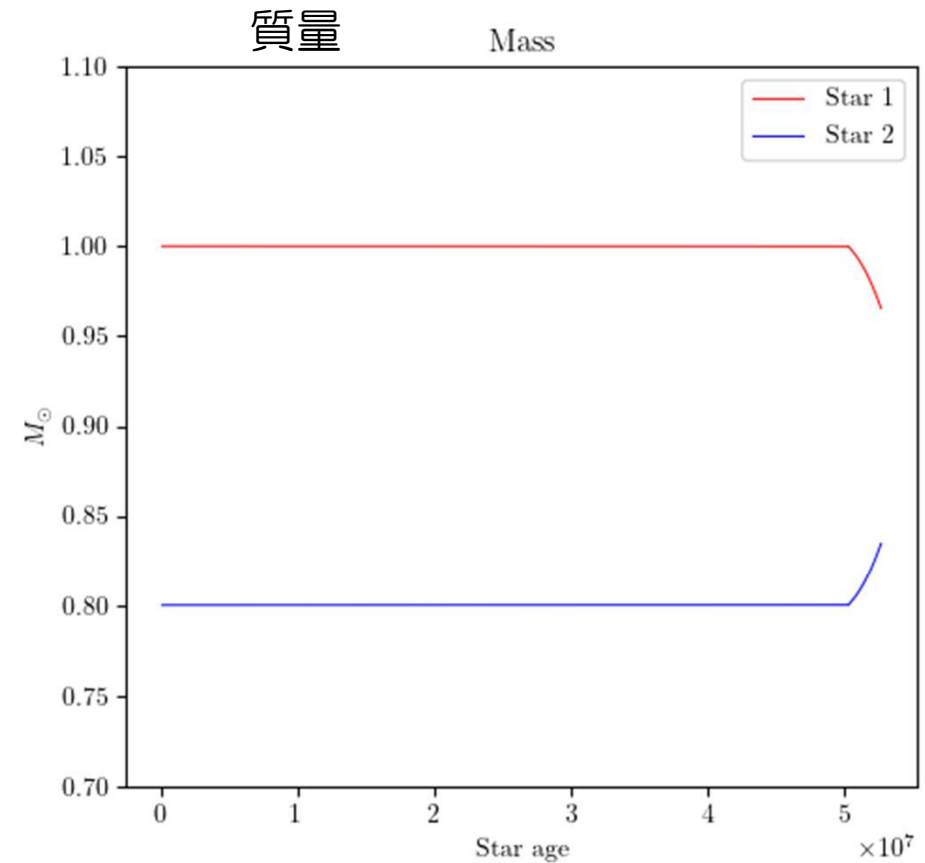
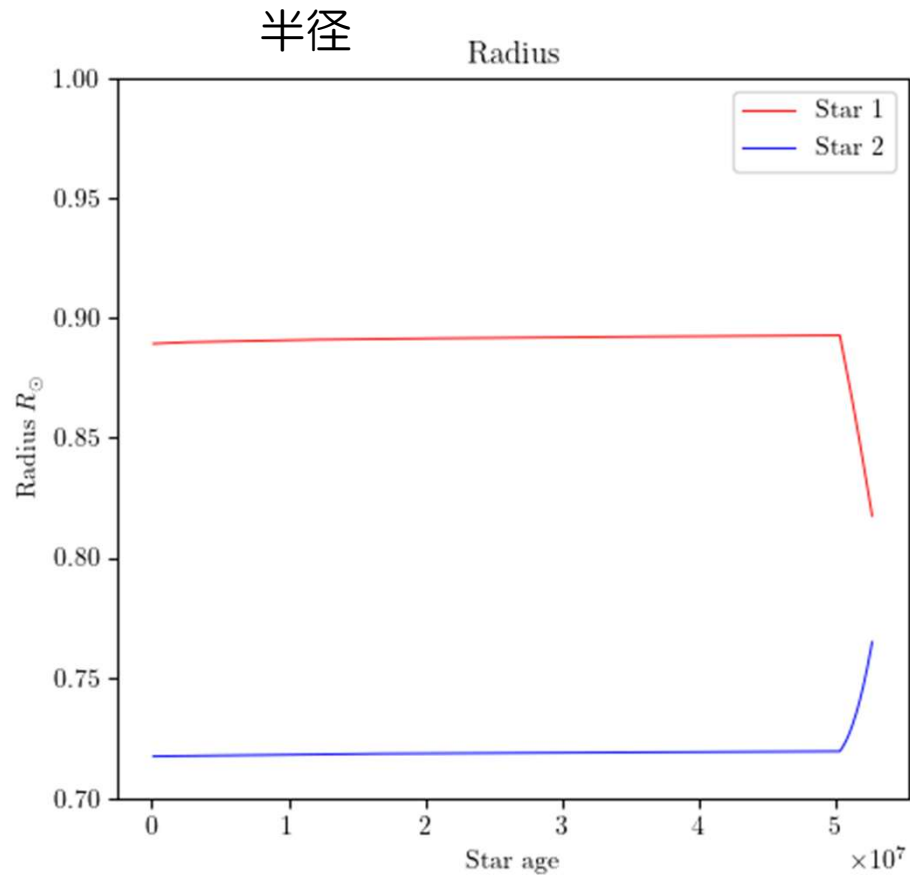


No. 131
* 年齢: 52.7 [Myear] * 周期: 0.260 [Day] * 距離: 2.09 [R_{sun}]
---- 主星: 0.818 [R_{sun}] 伴星: 0.765 [R_{sun}] q: 0.864

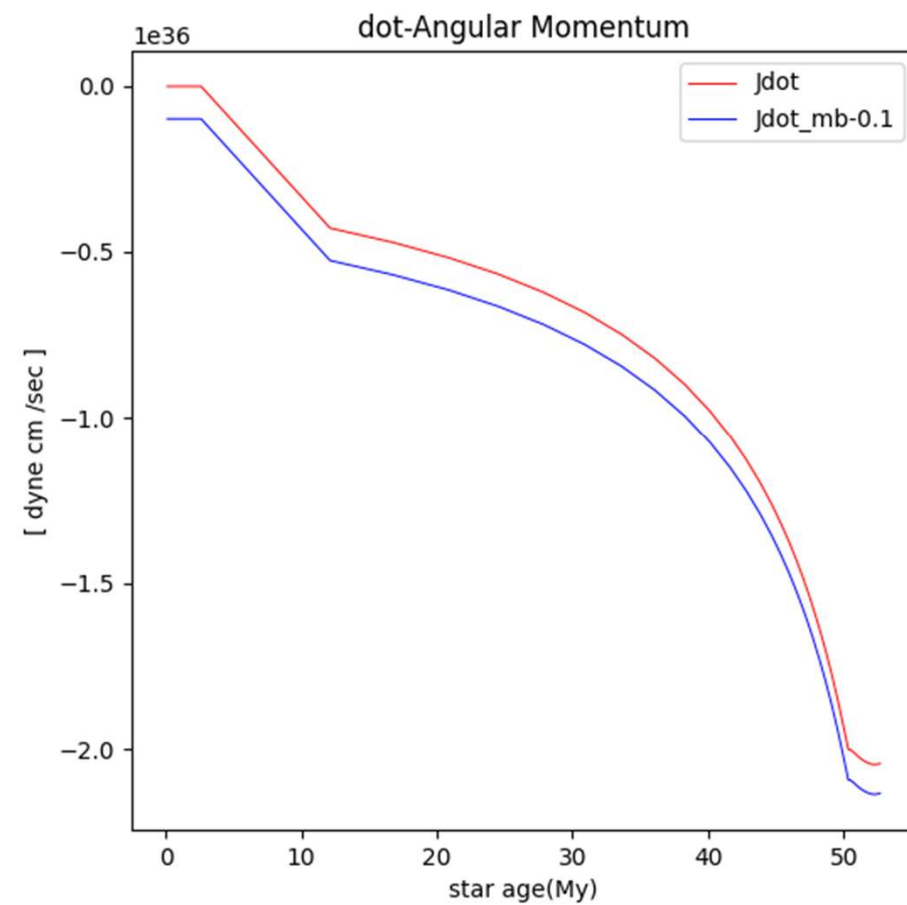
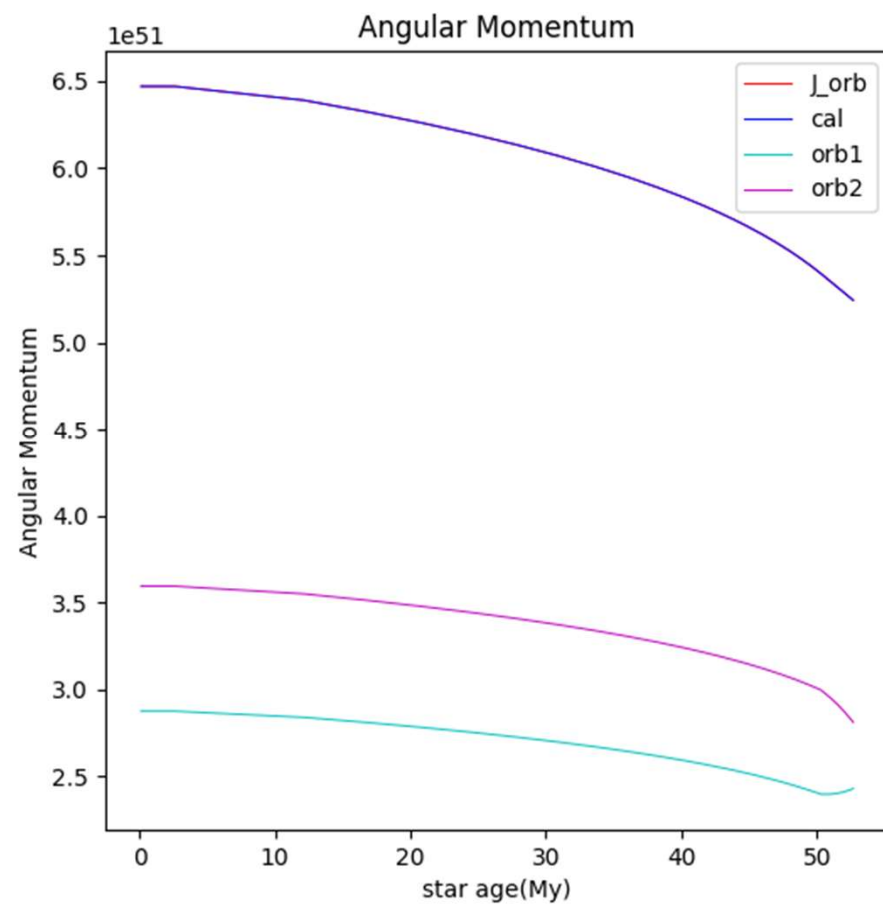


□ 今回の計算結果－2

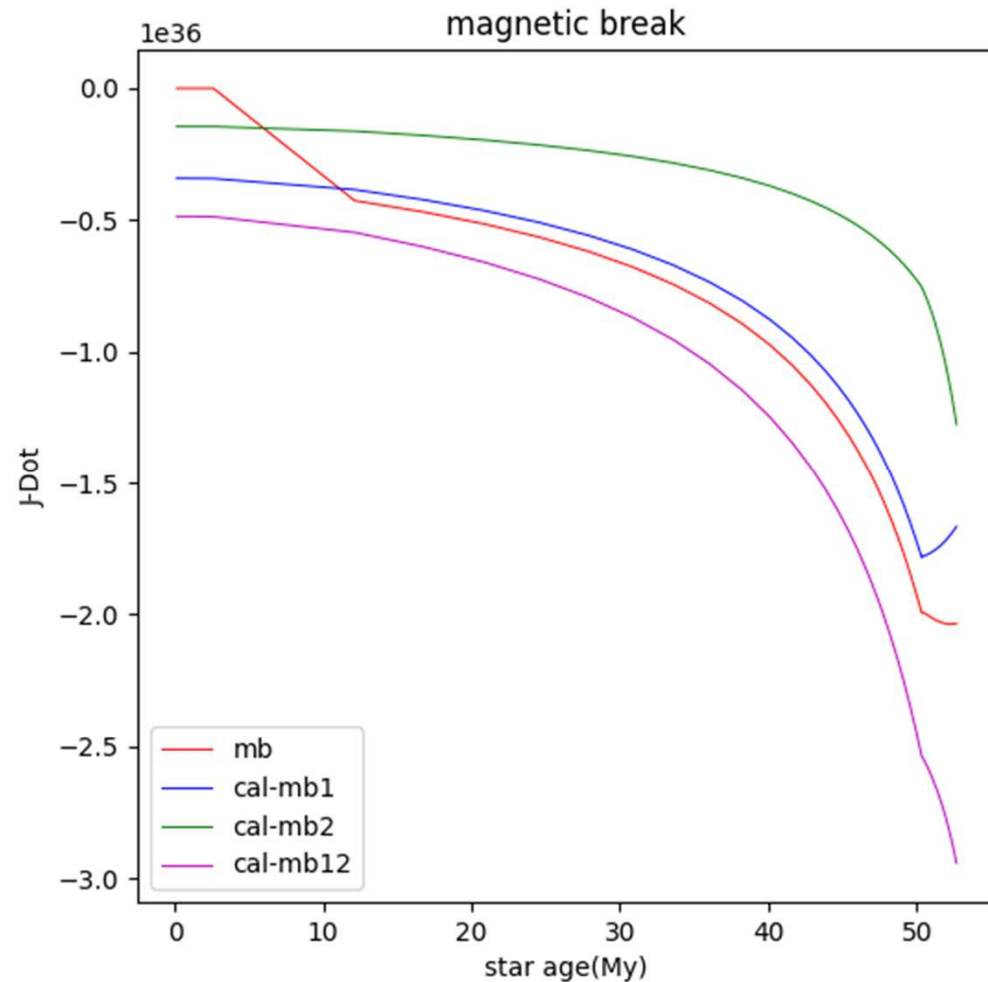
```
plt.figure(figsize=(12,5))
plt.subplot(1,2,1)
plt.title('Radius')
plt.xlabel('Star age')
plt.ylabel('Radius 'r'$R_{\odot}$')
plt.ylim(0.7,1)
plt.plot(h1.star_age,r1,c='r',lw=0.7,label='Star 1')
plt.plot(h2.star_age,r2,c='b',lw=0.7,label='Star 2')
plt.legend()
```



□ 今回の計算結果－3



□ 今回の計算結果－４



MESAでは軌道角運動量の進化で、重力波・質量損失・磁気ブレーキ・スピン軌道相互作用を考慮しています。

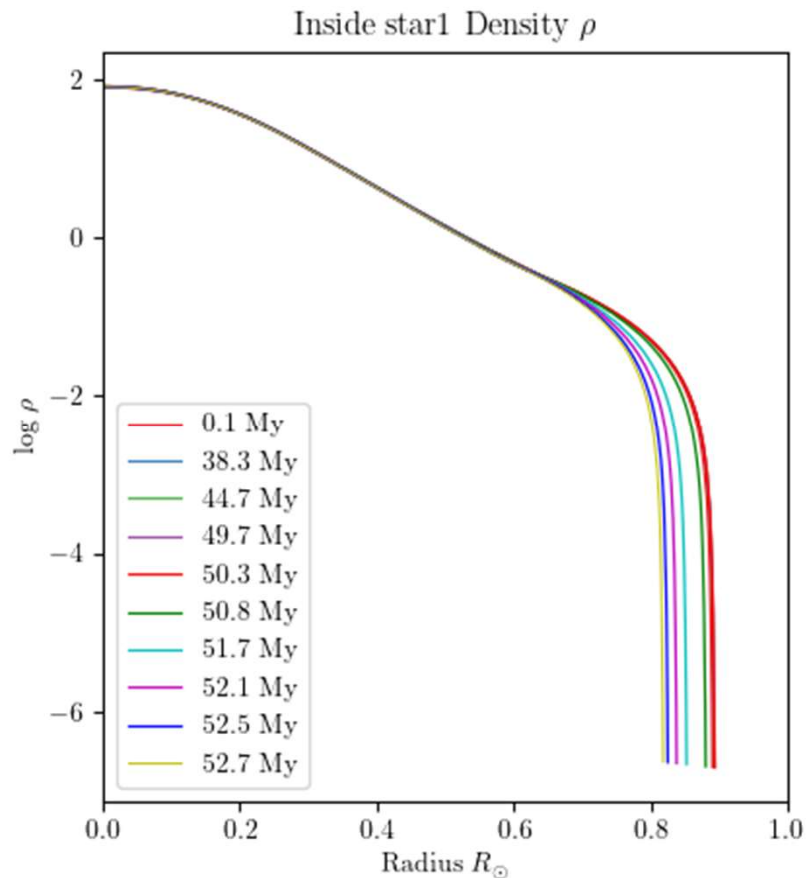
今回の計算では、連星の軌道角運動量の減少は磁気ブレーキという計算結果でした。

MESA part3 に記載されていた式で計算してみました。

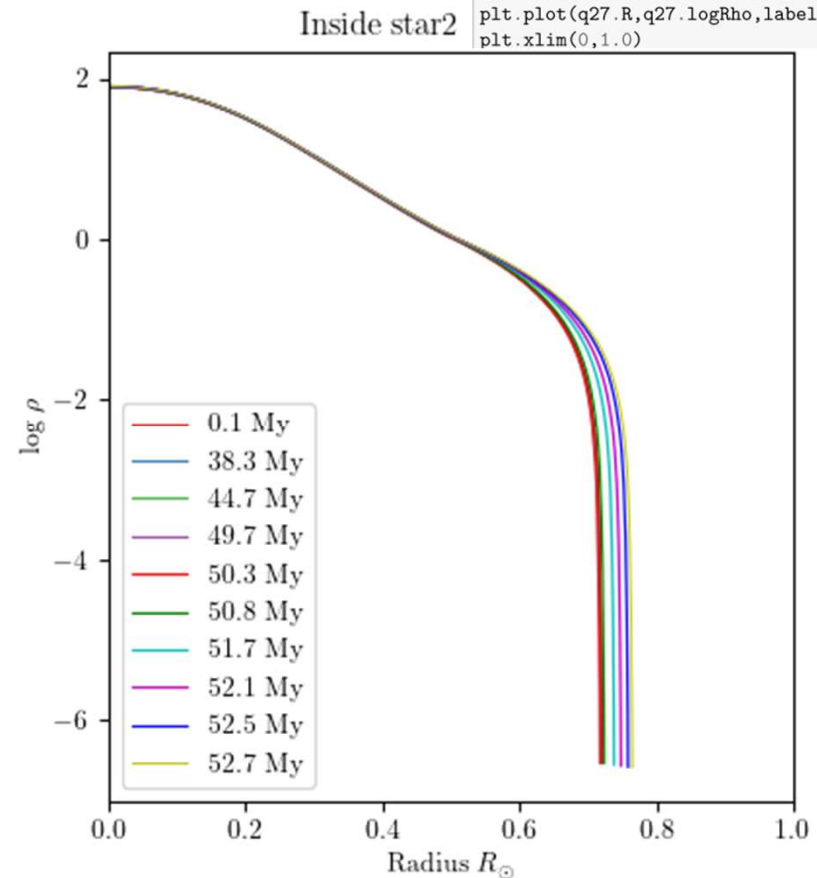
$$\dot{J}_{\text{mb}} = -6.82 \times 10^{34} \left(\frac{M_1}{M_{\odot}} \right) \left(\frac{R_1}{R_{\odot}} \right)^{\gamma_{\text{mb}}} \left(\frac{1 \text{ d}}{P_{\text{orb}}} \right)^3$$

□ 今回の計算結果－5

主星の年齢と密度



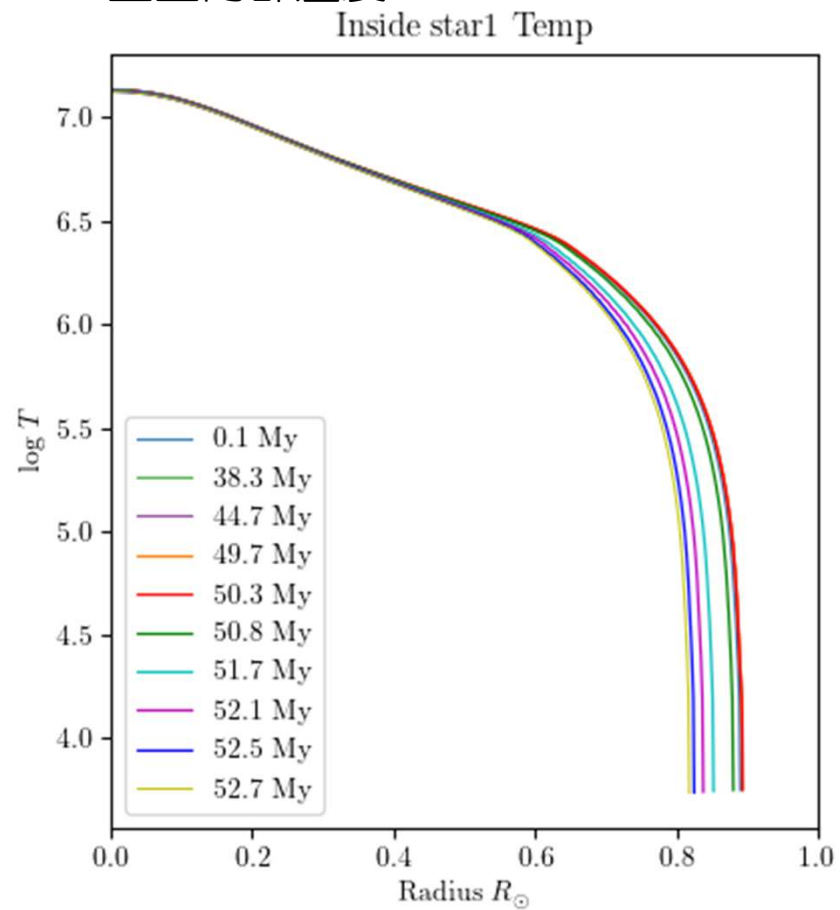
伴星の年齢と密度



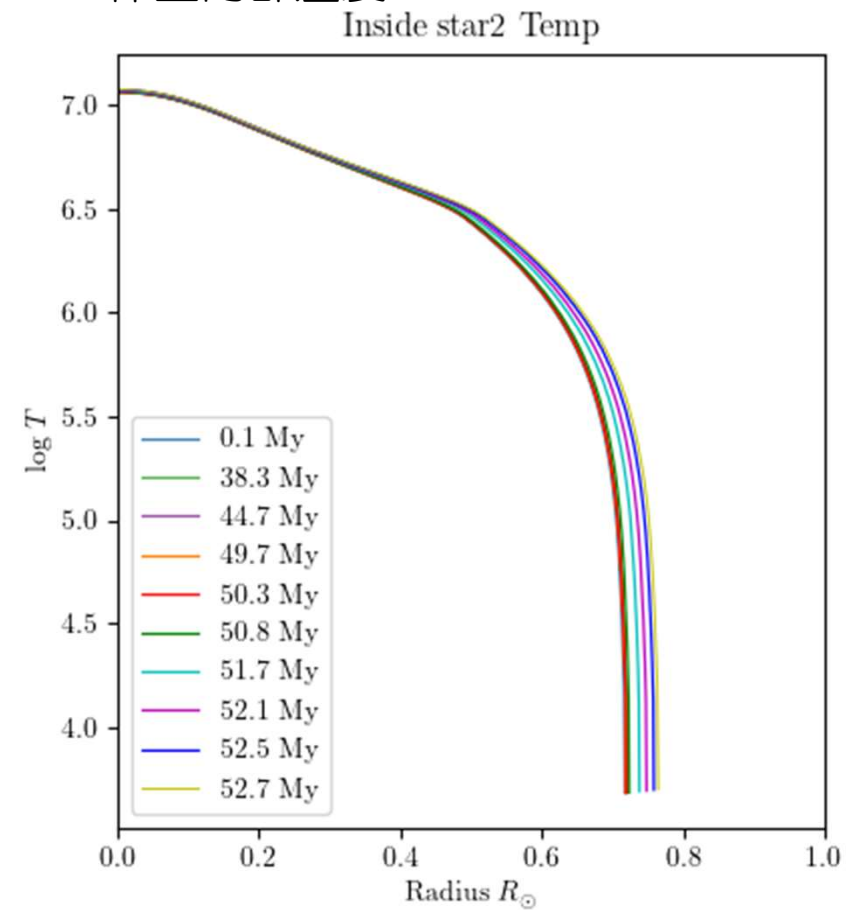
```
plt.figure(figsize=(10,5))
plt.subplot(1,2,1)
plt.title('Inside star1 Density 'r'$\rho$')
plt.xlabel('Radius 'r'$R_{\odot}$')
plt.ylabel(r'$\log \rho$')
plt.plot(q1.R,q1.logRho,label='0.1 My',c=colst[0],lw=0.9)
plt.plot(r1_3,q3.logRho,label='38.3 My',c=colst[1],lw=0.9)
plt.plot(q4.R,q4.logRho,label='44.7 My',c=colst[2],lw=0.9)
plt.plot(q8.R,q8.logRho,label='49.7 My',c=colst[3],lw=0.9)
plt.plot(q12.R,q12.logRho,label='50.3 My',c='r',lw=0.9)
plt.plot(q16.R,q16.logRho,label='50.8 My',c='g',lw=0.9)
plt.plot(q17.R,q17.logRho,label='51.7 My',c='c',lw=0.9)
plt.plot(q18.R,q18.logRho,label='52.1 My',c='m',lw=0.9)
plt.plot(q20.R,q20.logRho,label='52.5 My',c='b',lw=0.9)
plt.plot(q27.R,q27.logRho,label='52.7 My',c='y',lw=0.7)
plt.xlim(0,1.0)
```

□ 今回の計算結果－6

主星内部温度

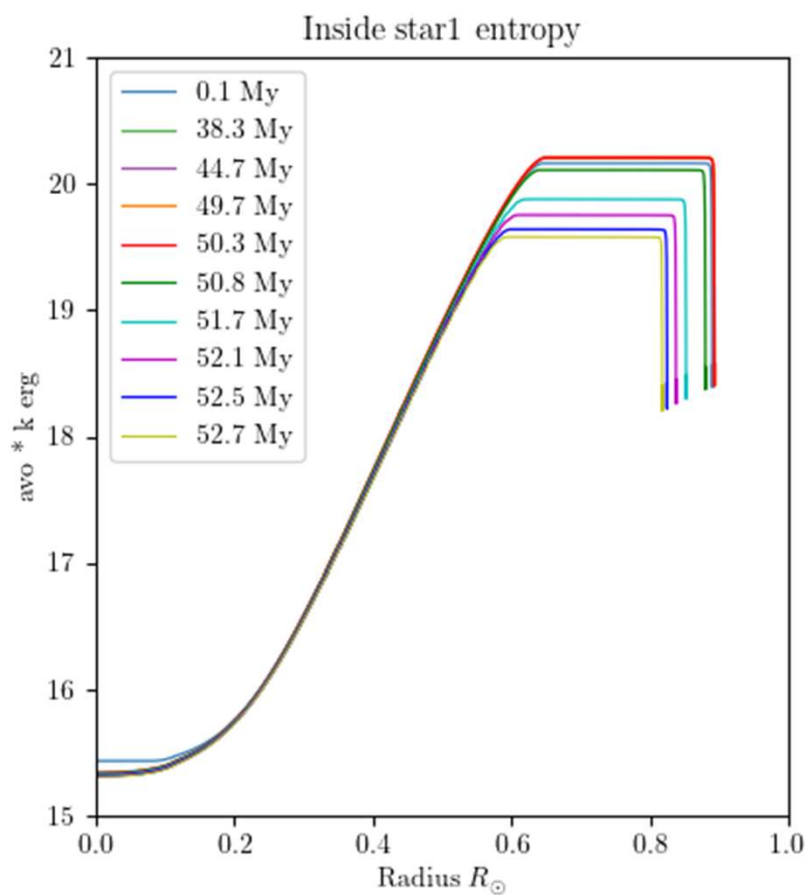


伴星内部温度

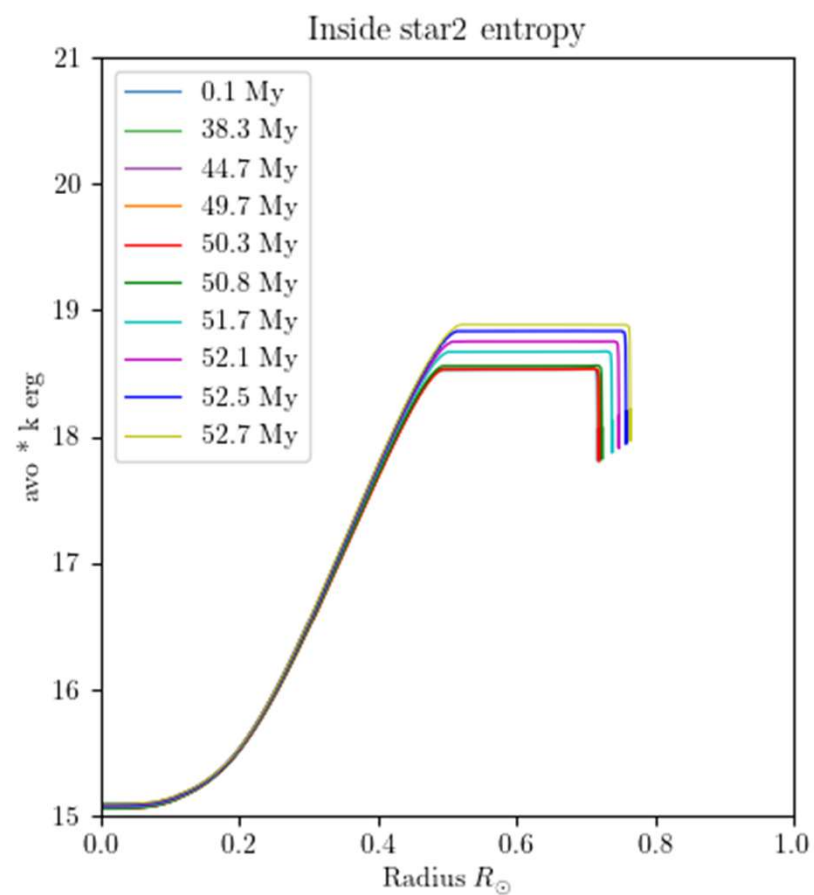


□ 今回の計算結果ー7

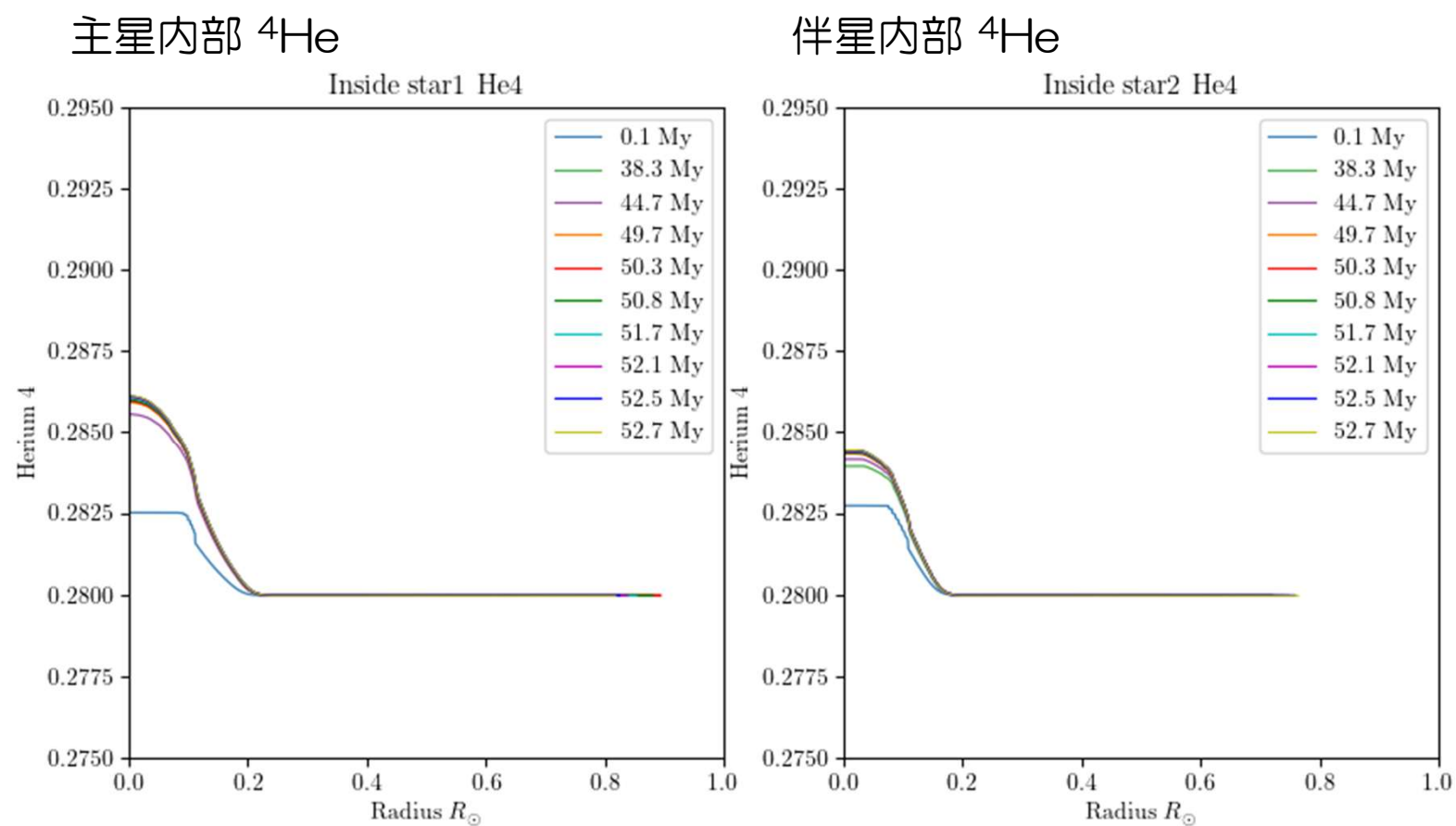
主星エントロピ



伴星エントロピ



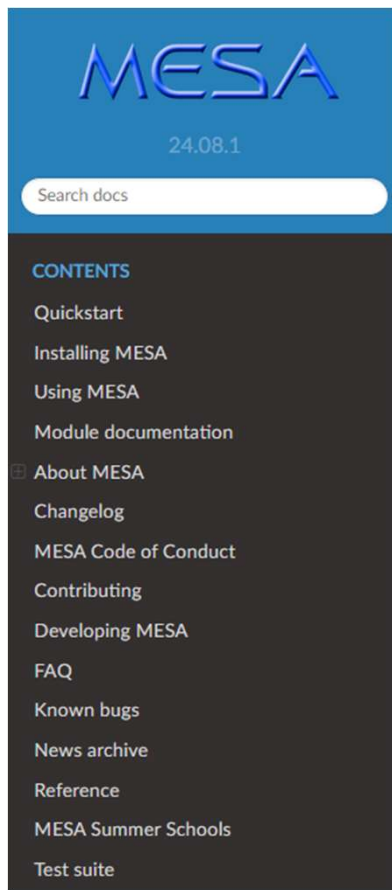
□ 今回の計算結果－8



□ 関係資料

- MESA ホーム
<https://docs.mesastar.org/>
- MESASDK Web page
<http://user.astro.wisc.edu/~townsend/static.php?ref=mesasdk>
- MESA raeder (Git Hub)
https://github.com/wmwolf/py_mesa_reader
- MESA の解説書 (by Paxton)
 1. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA) part1
<https://arxiv.org/abs/1009.1622>
 2. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA) part2 : Planets, Oscillations, Rotation, and Massive Stars <https://arxiv:1301.0319>
 3. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA) part 3 : Binaries, Pulsations, and Explosions <https://arxiv:1506.03146>
 4. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA) part 4 : Convective Boundaries, Element Diffusion, and Massive Star Explosions <https://arxiv:1710.08424>

【付録】 MESA の設定 (Ubuntu版-1)



- Web page

<https://docs.mesastar.org/en/latest/#>

- Install

<https://docs.mesastar.org/en/latest/installation.html#installing-mesa>

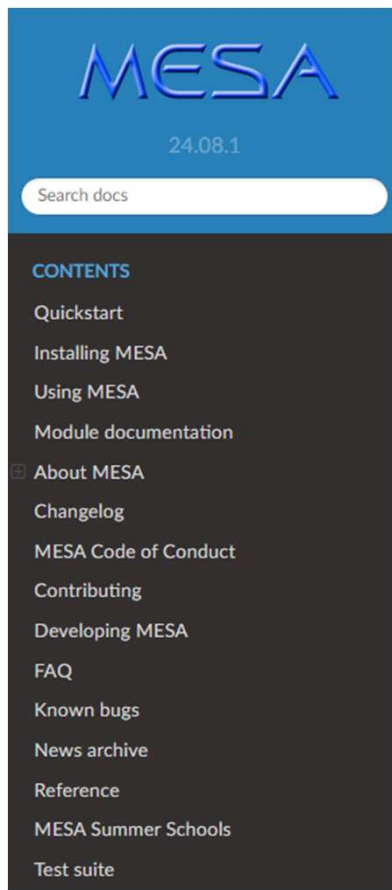
1. MESA_SDK の設定

<http://user.astro.wisc.edu/~townsend/static.php?ref=mesasdk>

2. 準備

以下のツールをインストールする > sudo apt install ***
binutils, make, perl, libx11-6, libx11-dev, zlib1g,
zlib1g-dev, tcsh

【付録】 MESA の設定 (Ubuntu版-2)



4. MESA-SDKのダウンロード

http://user.astro.wisc.edu/~townsend/resource/download/mesasdk/mesasdk-x86_64-linux-24.7.1.tar.gz

5. MESA-SDKの解凍

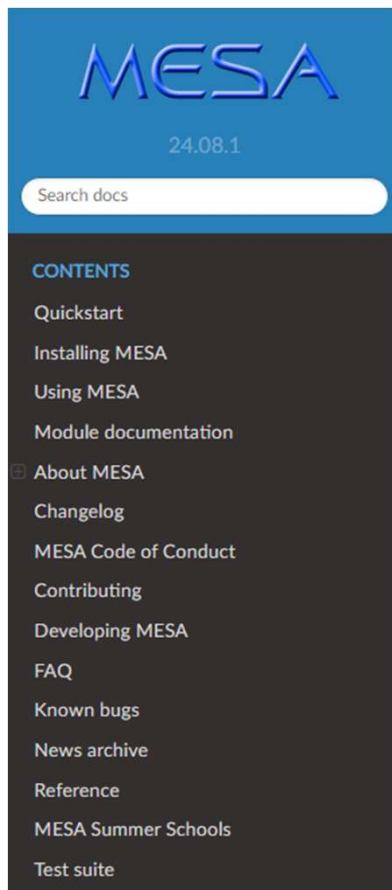
```
tar xvfz mesasdk-x86_64-linux-24.7.1.tar.gz -C
```

6. 設定

以下の行を .bashrc に追加

```
export MESA_DIR=~/.Astro/mesa-24.08.1      ##### MESA を入れた場所
export MESASDK_ROOT=~/.Astro/mesasdk
source $MESASDK_ROOT/bin/mesasdk_init.sh   ### 初期化コマンド
export OMP_NUM_THREADS=2
export PATH=$PATH:$MESA_DIR/scripts/shmesa
```

【付録】 MESA の設定 (Ubuntu版-3)



7. ログインし直せばMESA-SDKの初期化は完了

8. MESA本体のダウンロード

<https://zenodo.org/records/13353788/files/mesa-24.08.1.zip?download=1>

全体で 2.2GB あります

9. ZIPの解凍

10. 場所の設定

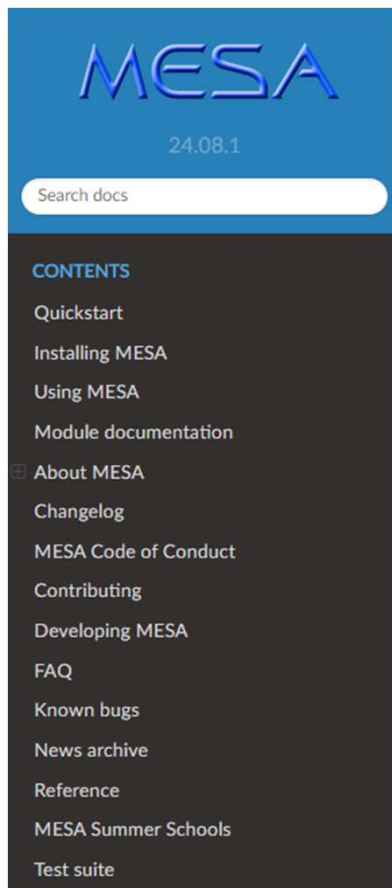
```
export MESA_DIR=~ / Astro / mesa-24.08.1      ##### MESA を入れた場所
```

11. コンパイル

```
cd $MESA_DIR
```

```
./install
```

【付録】 MESA の設定 (Ubuntu版-4)



1 2. MESAの実行

https://docs.mesastar.org/en/latest/using_mesa/running.html#running

上記のページを参照のこと

1 3. Test_Suite の活用

私は自分のフォルダに star や binary の test_suite から、
いろいろコピーして（ファイラーでフォルダをまとめてコピー）、
inlist を適当にいじって、実行しています。

./mk

./rn

【付録ー2】 Ubuntu Jupyter-notebook

Ubuntu で、jupyter-notebook を 設定します

Anaconda3 インストール

← → ↺ <https://www.anaconda.com/download> www.anaconda.com/download

ANACONDA.

Distribution

Free Download*

Register to get everything you need to get started on your workstation including Cloud Notebooks, Navigator, AI Assistant, Learning and more.

- ✓ Easily search and install thousands of data science, machine learning, and AI packages
- ✓ Manage packages and environments from a desktop application or work from the command line
- ✓ Deploy across hardware and software platforms
- ✓ Distribution installation on Windows, MacOS, or Linux

Provide email to download Distribution

Email Address:

☐ Agree to receive communication from Anaconda regarding relevant content, products, and services. I understand that I can revoke this consent [here](#) at any time.

By continuing, I agree to Anaconda's [Privacy Policy](#) and [Terms of Service](#).

Submit >

[Skip registration](#)

skip registration

Download

 Download



Windows

Python 3.12

- 📄 64-Bit Graphical Installer (912.3M)



Mac

Python 3.12

- 📄 64-Bit (Apple silicon) Graphical Installer (704.7M)
- 📄 64-Bit (Apple silicon) Command Line Installer (707.3M)
- 📄 64-Bit (Intel chip) Graphical Installer (734.7M)
- 📄 64-Bit (Intel chip) Command Line Installer (731.2M)



Linux

Python 3.12

- 📄 64-Bit (x86) Installer (1007.9M)
- 📄 64-Bit (AWS Graviton2 / ARM64) Installer (800.6M)
- 📄 64-bit (Linux on IBM Z & LinuxONE) Installer (425.8M)

install

> cd Downloads

> bash Anaconda3-2024.10-1-Linux-x86_64.sh

インストールは デフォルトで行う
conda 環境生成は no でいく

Jupyter notebook の設定

Jupyter-notebook の install 場所

~/anaconda3/bin ここに PATH を通す

.bashrc ファイルに追加する

vi .bashrc → a コマンドで

export PATH=\$PATH:~/anaconda3/bin を追加する

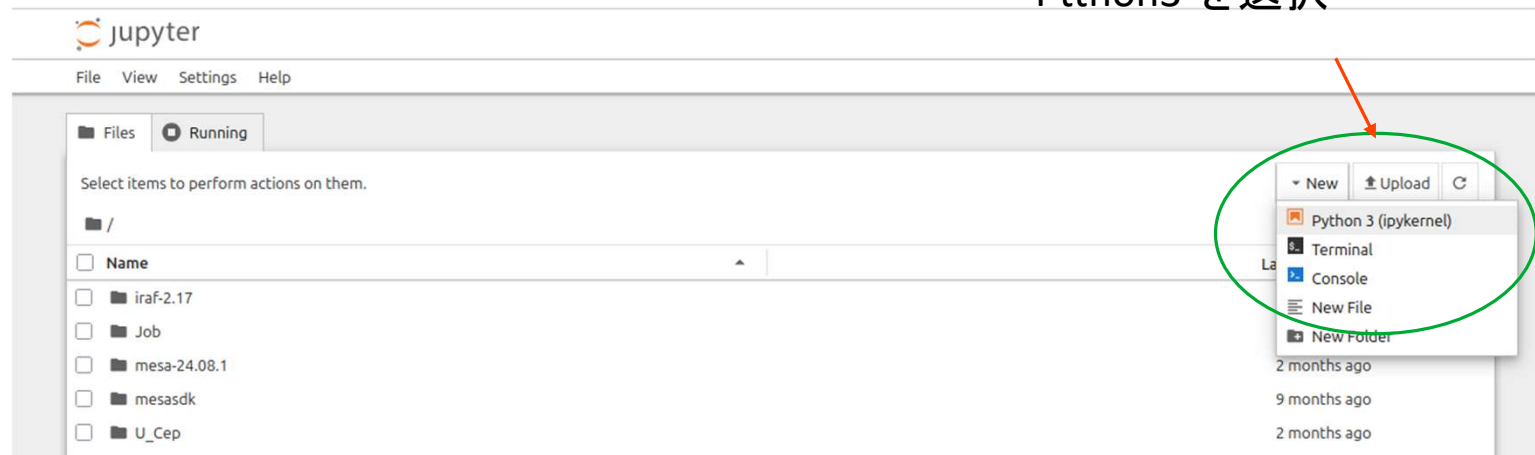
jupyter notebook の実行

ファイラーで実行する場所まで移動してから

端末をひらく

> jupyter-notebook

New のプルダウンメニューから
Python3 を選択



Jupyter 20250427 Last Checkpoint: 2 minutes ago

File Edit View Run Kernel Settings Help

JupyterLab Python 3 (ipykernel)

```
[1]: import phoebe
import numpy as np
```

PHOEBE: passband "Bolometric:900-40000" has a newer version available. Run `phoebe.list_passband_online_history("Bolometric:900-40000")` to get a list of available changes and `phoebe.update_passband("Bolometric:900-40000")` or `phoebe.update_all_passbands()` to update.
PHOEBE: passband "Johnson:V" has a newer version available. Run `phoebe.list_passband_online_history("Johnson:V")` to get a list of available changes and `phoebe.update_passband("Johnson:V")` or `phoebe.update_all_passbands()` to update.

```
[2]: b = phoebe.default_binary(contact_binary=True) # 接触型でdefault_binaryを読み込む

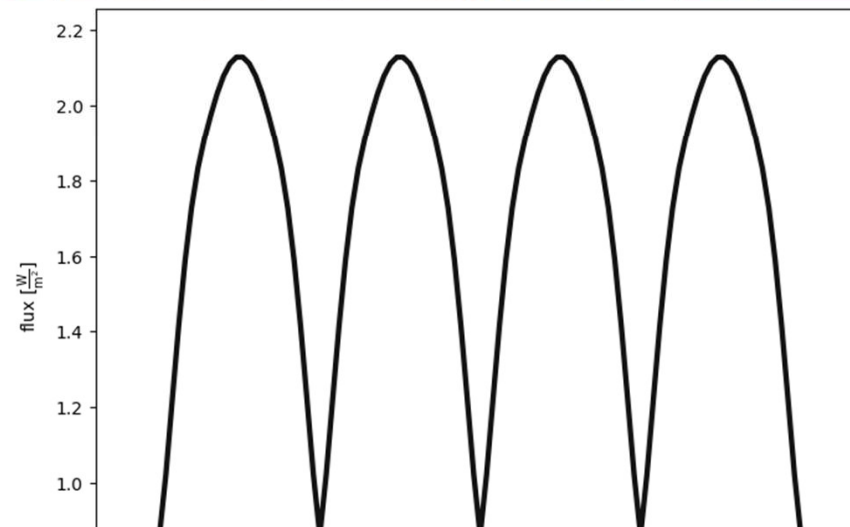
b.flip_constraint('pot', solve_for='requiv@primary') # 変数を半径からポテンシャルに

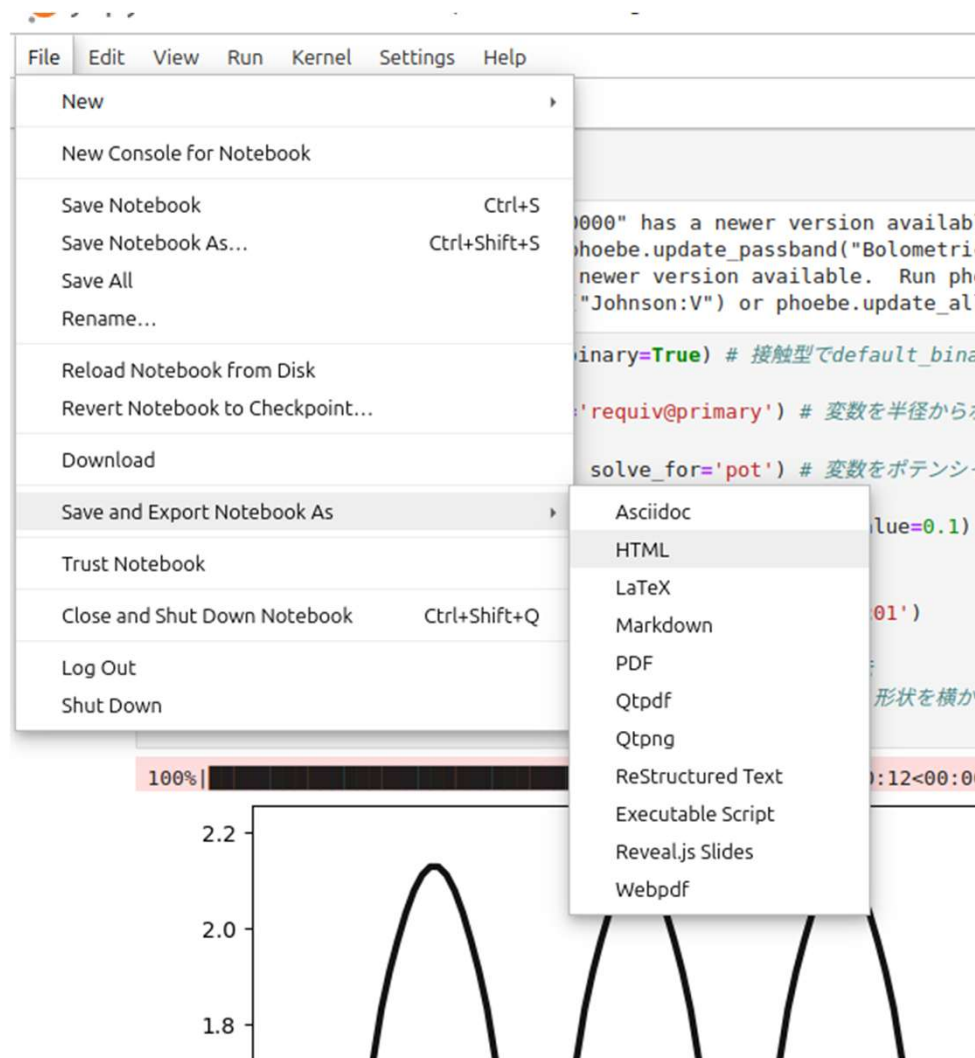
b.flip_constraint('fillout_factor', solve_for='pot') # 変数をポテンシャルから充填率に

b.set_value('fillout_factor@contact_envelope@component', value=0.1) # 0.64から0.1にする

b.add_dataset('mesh', compute_times=[0], dataset='mesh01')
b.add_dataset('lc', times=np.linspace(0,1,101), dataset='lc01')
b.run_compute()
afig, mplfig = b['lc01@model'].plot(show=True) # 光度曲線表示
afig, mplfig = b['mesh01@model'].plot(x='ws', show=True) # 形状を横から
```

100% | 101/101 [00:12<00:00, 8.11it/s]





実行した内容は
HTML で保存する。
PDF 保存も可能だが、
ここでは、一旦
HTML にしてから、
必要ならPDF にした
方が無難

A new era for VSOLJ

西城恵一

- 6月14日の変光星観測者会議において、VSOLJ chairperson の交代が行われ、これまでの西城恵一から、**前原裕之**(国立天文台)さんが、新たに、VSOLJチェアに就任されました。

* 西城はVSOLJ発足からチェアを務めてまいりました。この間の皆様のご支援・ご協力に深く感謝いたします。
近年は皆様の活動におんぶにだっこ状態で、ほぼ何もしていないチェアでした。
前原さんの新チェア就任でVSOLJも新時代を迎えます。
これまで同様、前原さんにも皆様のご支援・ご協力を賜りますよう、お願い申し上げます。

VSOLJ チェアについて

2025年6月14日 変光星観測者会議
代々木オリンピックセンター セ-109
西城恵一、前原裕之、永井和男
2025年5月31日に上記三者で会話



VSOLJの今後

No.000

Apr. 2024

ISSN 0917-2211

Variable Star Bulletin

name of eclipsing binaries during 2022

- チアマン（当初から西城先生）
 - 現在は象徴的な形なので一般人ではなく国立天文台の前原先生に交代
- メーリングリスト と VSOLJニュース
 - 現状のまま
- ブレテン
 - 清田さんの病気により中断
 - 前原さんの方で自動投稿システム（Overleaf project）を検討
 - 作成は投稿者が Overleaf 上で行う
 - ブレテン用ひな形 <https://www.overleaf.com/project/683e6dc370bc29bb41489630>
 - Abstract, Figure, Tableのcaptionは必須、referenceは\bibitemでリストする
 - 投稿は未定
 - Overleaf上で共有してlinkを送ってもらう（無料ユーザーでもlinkを送れるか？）
 - Overleaf上から必要なファイルをひとまとめにしてダウンロードしたものを投稿してもらう
- 問合せ・窓口（国内、海外）
 - 清田さんでしたが、かなり前から不明確、VSOLJ各位が個別に対応している
- 決定は総会？
 - 総会はない → この観測者会議で説明 → VSOLJ MLに報告し実施に移行する

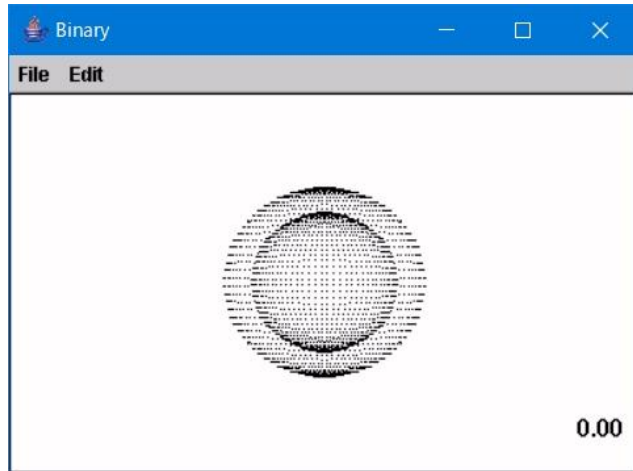
食連星りゅう座V400星の極小は 主と副が入れ替わった？

2025年2月26日

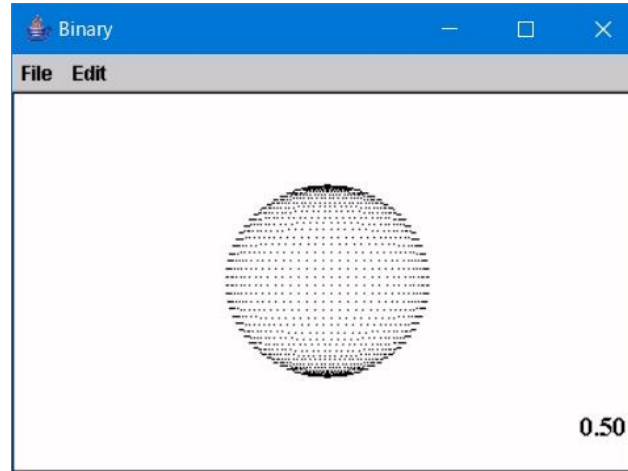
連星勉強会 skype meetnow

日本変光星研究会 永井和男

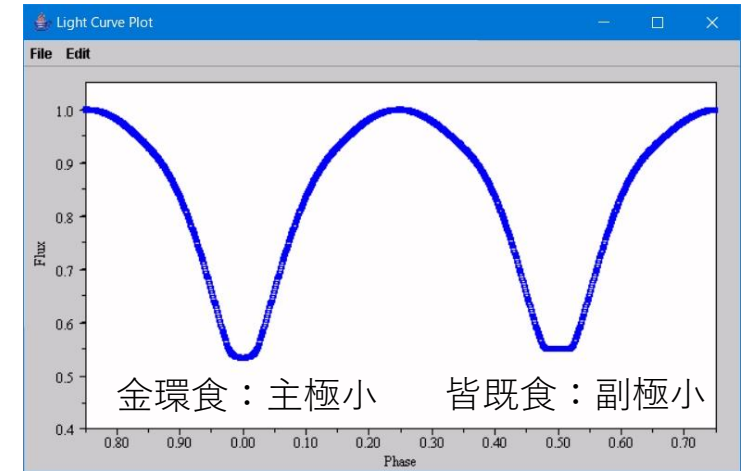
接触連星の主極小は金環食



主極小



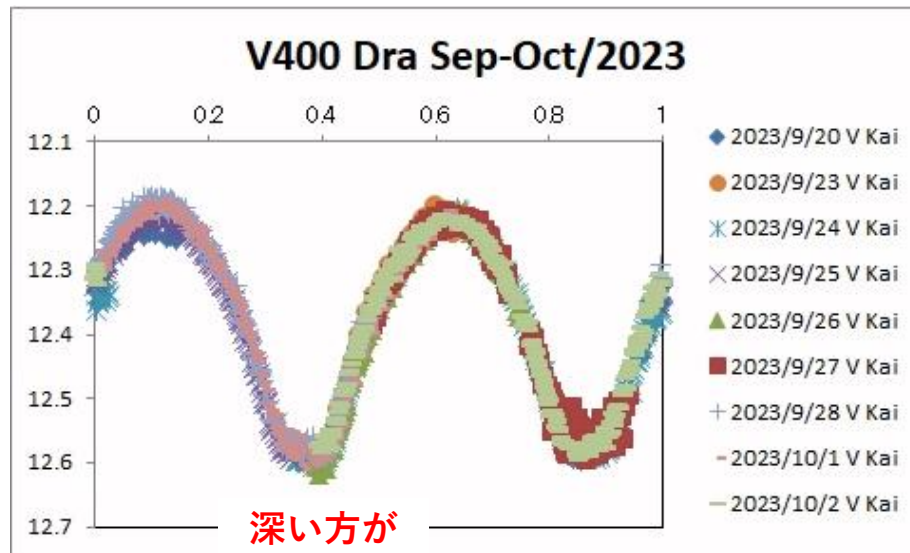
副極小



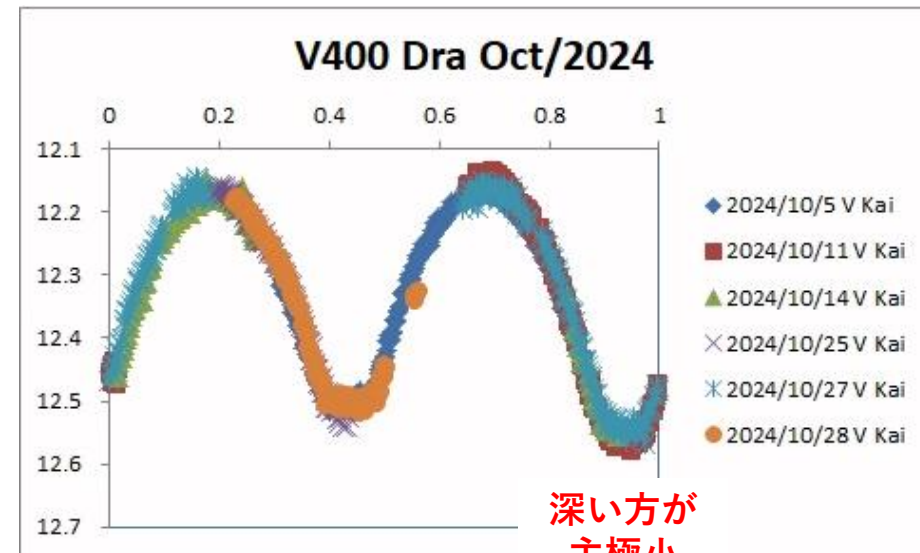
- 接触連星は主星と伴星の温度は（ほぼ）同じ
- よって、主星の方が大きいので明るい
- 主極小とは明るい方が隠されるので→食が深く、金環食になる
- 副極小期間はずっと伴星が隠され続けるので→皆既食になる

主極小・副極小の入れ替わり

観測はスイスの笠井さんのV band測光です



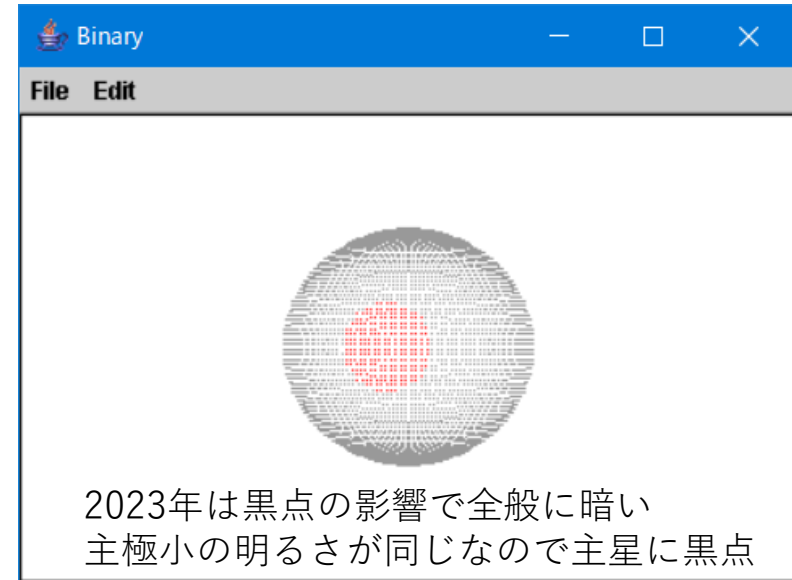
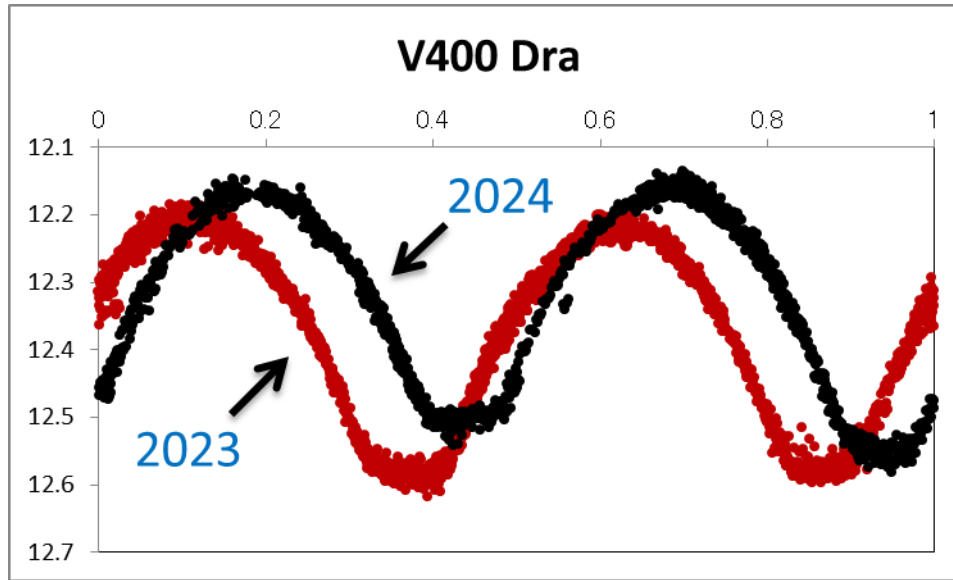
深い方が
主極小



深い方が
主極小

- 主極小の方が暗いので2023年は主/副が逆と思われた
- ところが、2024年の観測を見ると逆転していない
- 2023年の主極小は深い食で皆既食、しかもフラットではなく斜めになっている
- 2024年の副極小はフラットな皆既食

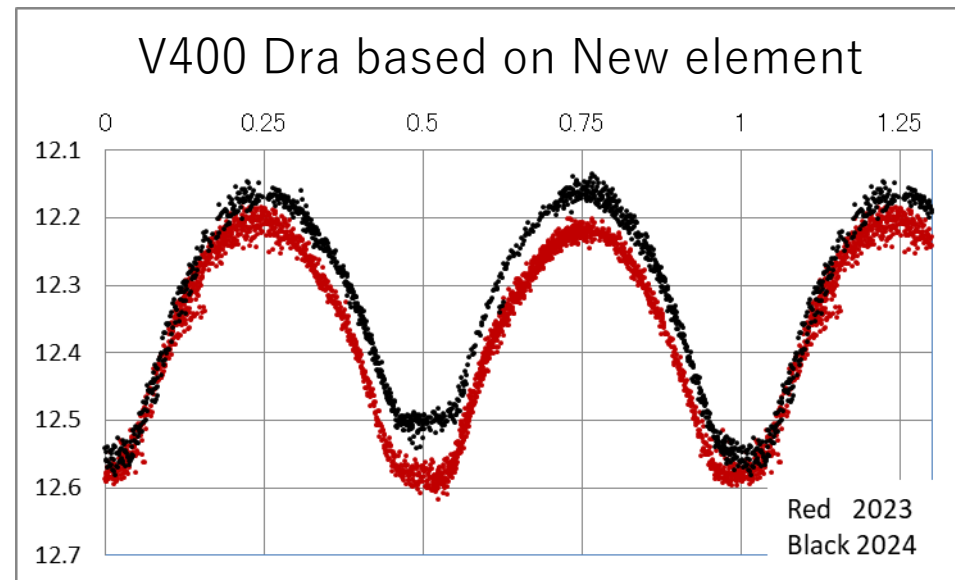
主/副は逆転していない



- 副極小は皆既なので2023年の位相0.4付近の食は副極小と思われる
- 2023年は2024年より全般に暗い、特に副極小はより暗い
- 主極小の深さは2023年と2024年は変わらないので主星側に黒点群が点在していて、伴星と反対側に周囲の黒点群よりも低温な黒点があると思われる

公転周期

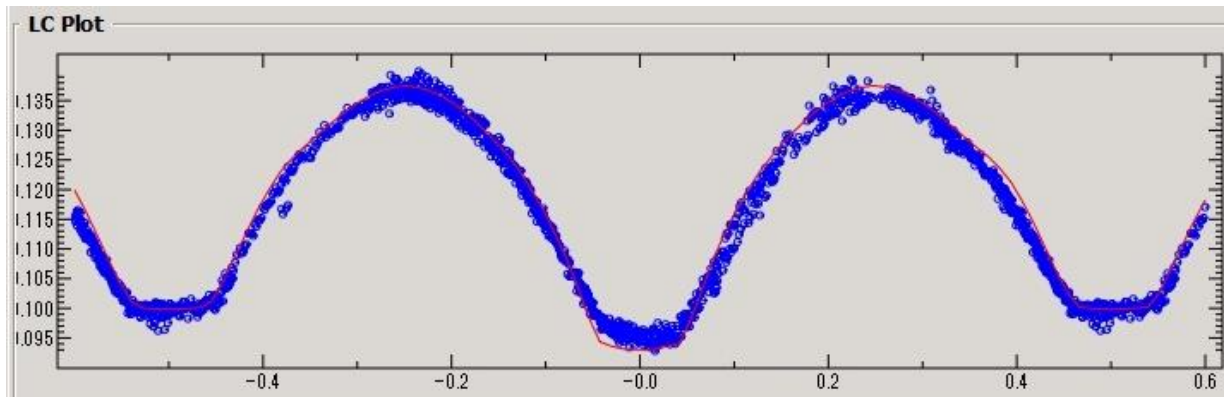
- 周期解析を行って周期・元期の修正を行った
- $\text{min} = 2451628.0107 + 0.419409 \times E$ (K.Nagai 2025)
- この光度曲線で光度曲線合成を行う



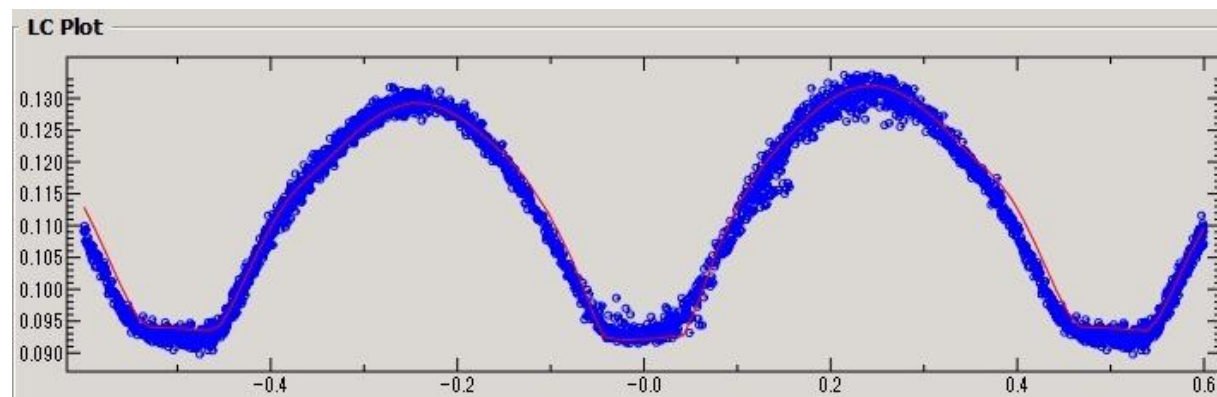
光度曲線合成

- Phoebe svn (<http://phoebe.fiz.uni-lj.si/>) で解析
 - Phoebe, ver0.32 svn (Prša, A., & Zwitter, T. 2005, ApJ, 628, 426)
- 2024年の光度曲線から黒点を配置しないモデルを作成
- それに黒点を配置して2023年のモデルを作成

2024年



2023年



連星の諸量

mass ratio = 0.24571

Omega = 2.30517 (fillout 0.24)

inclination = 90.0deg.

temperature 1 = 6000K (GAIA DR3)

temperature 2 = 5550K

gravity coefficient = 0.32

limb darkening = 0.5

reflection = 0.6

Period = 0.419409 day

Spot

Star	Co-Lat.	Long.	Radius	Temp.
------	---------	-------	--------	-------

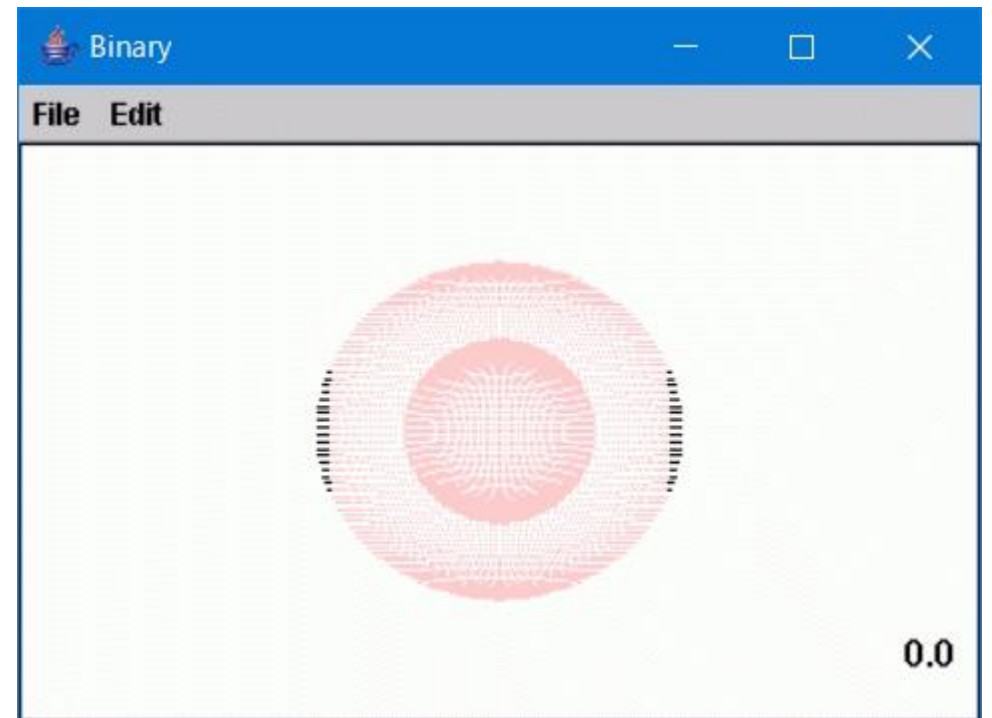
pri.	89.573113	90.648859	20.8948	0.86
------	-----------	-----------	---------	------

pri.	90.021796	180.023993	20.0258	0.90
------	-----------	------------	---------	------

pri.	90.000000	270.000000	20.0000	0.90
------	-----------	------------	---------	------

まとめ

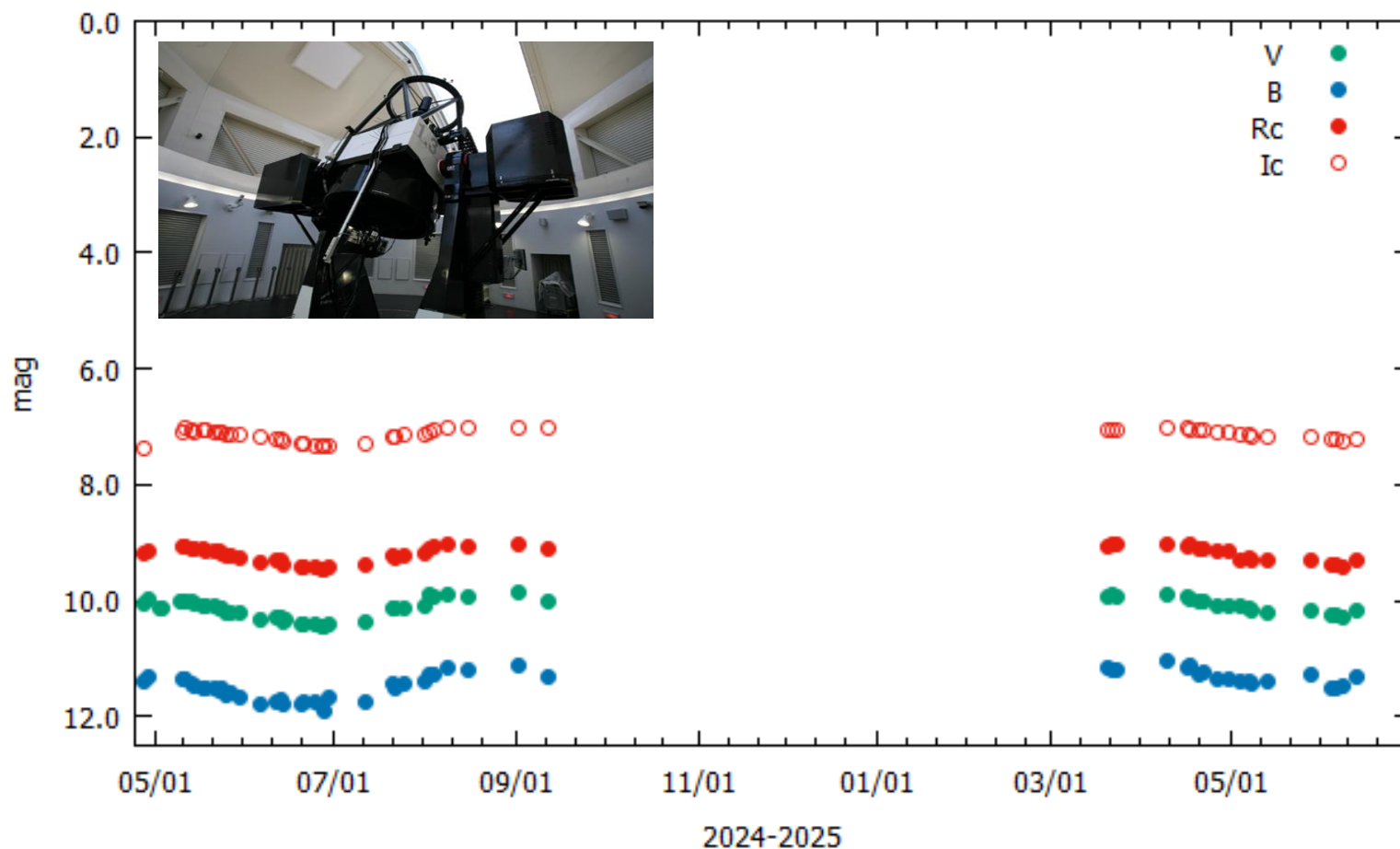
- 主極小と副極小は入れ替わっていない
原因は黒点による光度曲線の歪と思われる
- 2024年の光度曲線をspot無しとしたが
Fitしていないのでspotがありそう
- $\text{min}=2451628.0107+0.419409 \times E$ を得た
- 解析論文は無し



解析結果の動画です、クリックしてリンク先を再生して下さい
[v400 dra gif anime.gif \(482×357\)](#)

食変光星の分光観測

伊藤芳春



おもな内容

私は分光観測の初心者

- 仙台市天文台1.3mで観測
- BeSpec, Excel, Pythonでスペクトル解析
- 分光観測で分かること
- 連星と新星の分光観測の紹介
- まだ分光されていない星 9等級以下
- ひとみ望遠鏡の中分散分光限界 8等級

分光との出会い

分光データから食変光星発見

1988年グリフィン先生，視線速度観測から予想

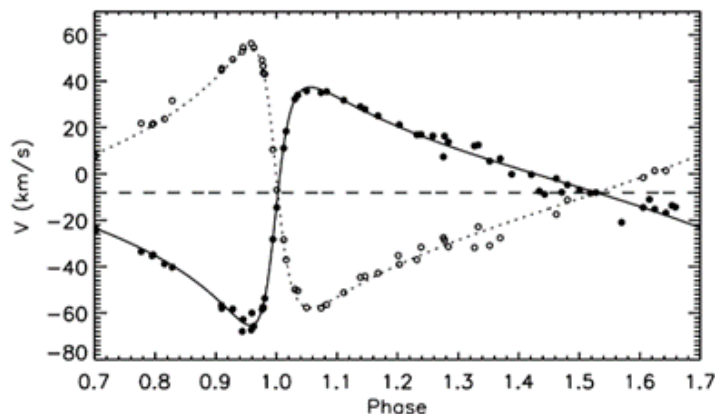


Fig. 3. The result of analysis of radial velocities from Griffin (1988).

IO Comのデータ

赤経：13:21:04

赤緯：+22:28:26(2000.0)

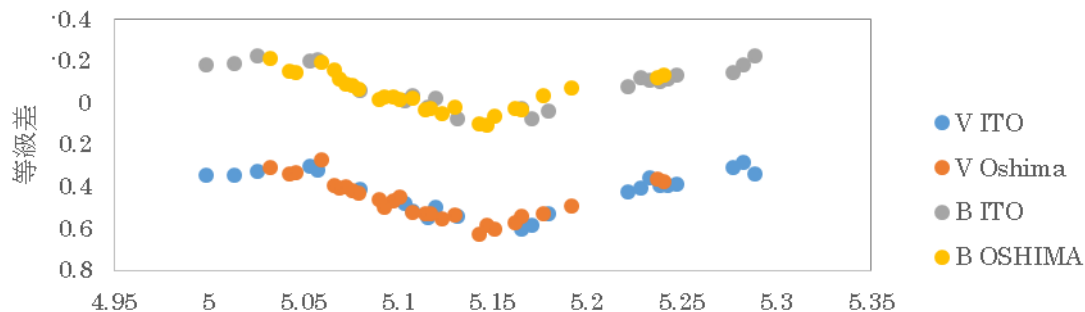
等級：9.15-9.48V

周期：53.2日

型：EA

スペクトル型：F3V+F8V

IO Com



1989年3月19日 ユリウス日

主な天文台

	所属	天文台	望遠鏡
1	京都大学	岡山天文台	3.8m せいめい望遠鏡
2	兵庫県立大学	西はりま天文台	2.0m なゆた望遠鏡
3	国立天文台	ハワイ観測所分室	1.88m望遠鏡
4	北海道大学	附属天文台	1.6m ピリカ望遠鏡
5	群馬県	県立ぐんま天文台	1.5m 望遠鏡
6	広島大学	東広島天文台	1.5m かなた望遠鏡
7	仙台市	仙台市天文台	1.3mひとみ望遠鏡
8	京都産業大学	神山天文台	1.3m 荒木望遠鏡
9	東京大学	木曽観測所	1.05m 木曽シュミット望遠鏡
10	国立天文台	石垣島天文台	1.05m むりかぶし望遠鏡
11	井原市	美星天文台	1.01m望遠鏡
12	鹿児島大学	入来観測所	1.0m 望遠鏡

仙台市天文台でプロポーザル観測

ひとみ望遠鏡

口径 1300mm (主焦点F2.3)

ナスミス焦点 F9.69

中分散5000分光器

1.35"スリットを使用

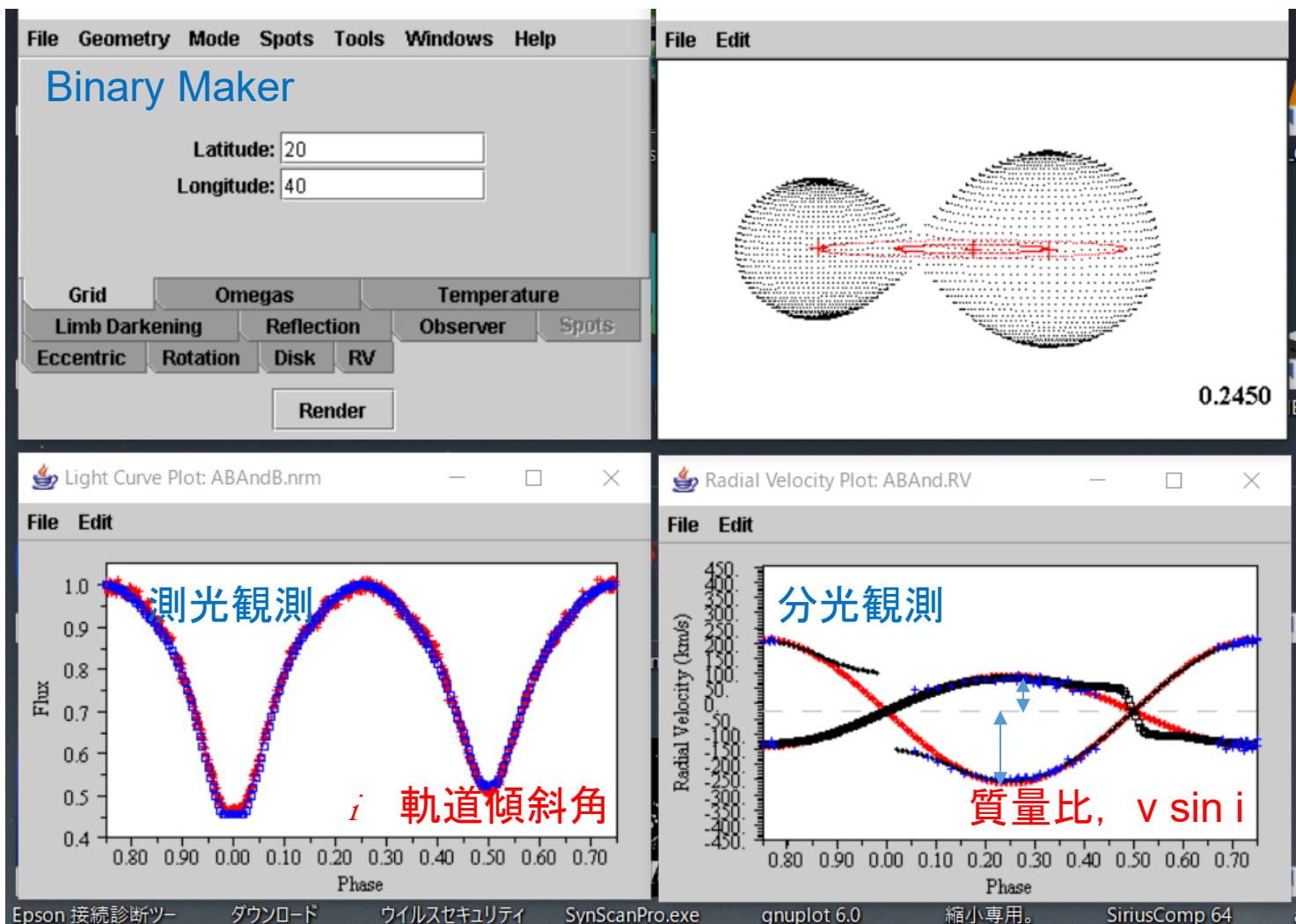
波長分解能 $R \sim 7100$

観測波長域 (3600-6000 Å)



季節ごとに，申請書を提出し審査

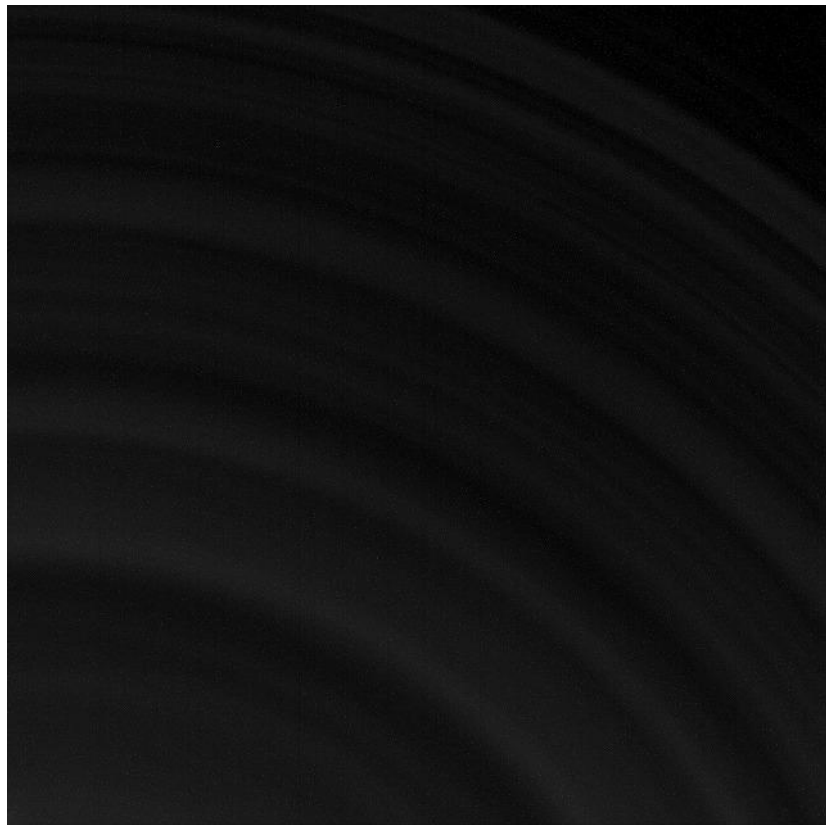
食変光星の観測



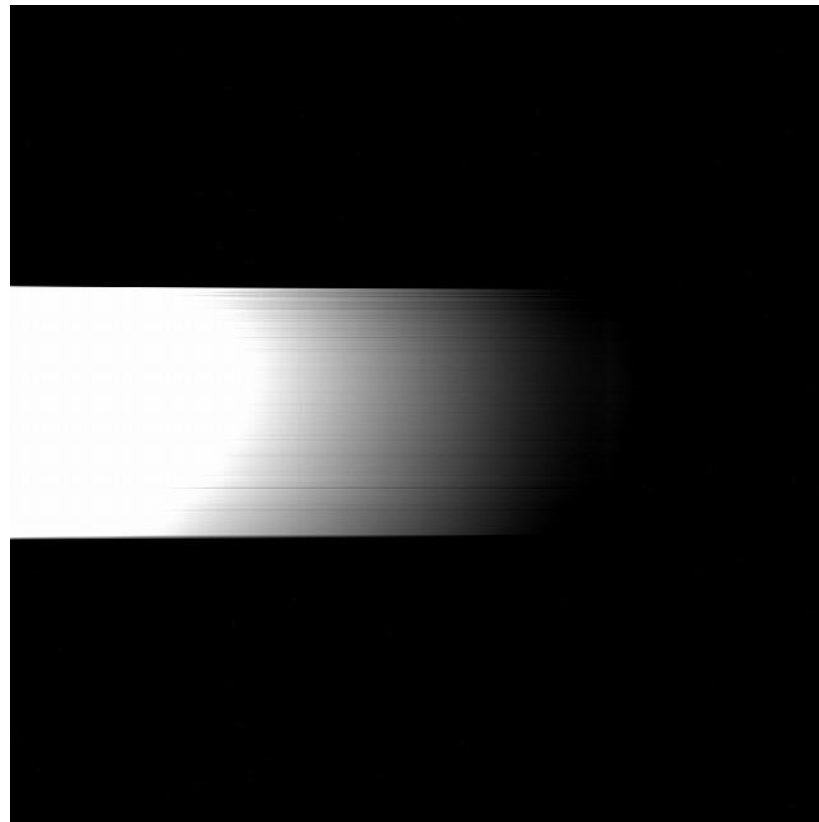
スペクトル観測でわかること

- 吸収線のズレ 視線速度
- 吸収線の半値幅 速度分散（熱運動 自転速度）
- 吸収線の等価幅 吸収物質の量
- P Cyg プロファイル 隣り合う輝線と吸収線の差から新星爆発したガスの速度がわかる
- Rossiter-McLaughlin効果 食の時波長がずれる
- ゼーマン効果, シュタルク効果

ダーク，フラット，コンパリソンを撮影

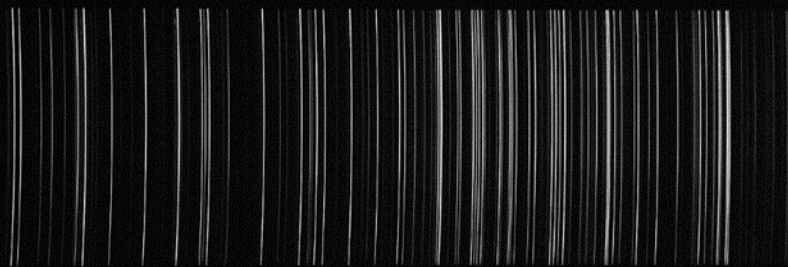


ダークで引き算

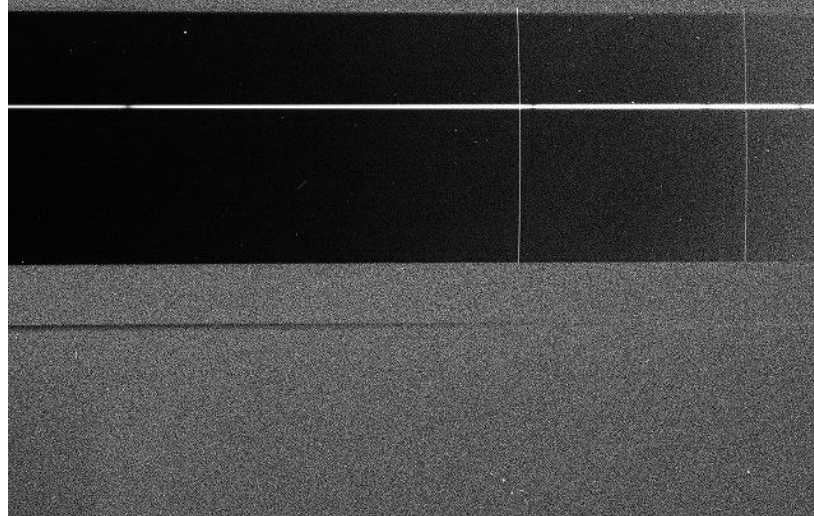


フラットで割り算

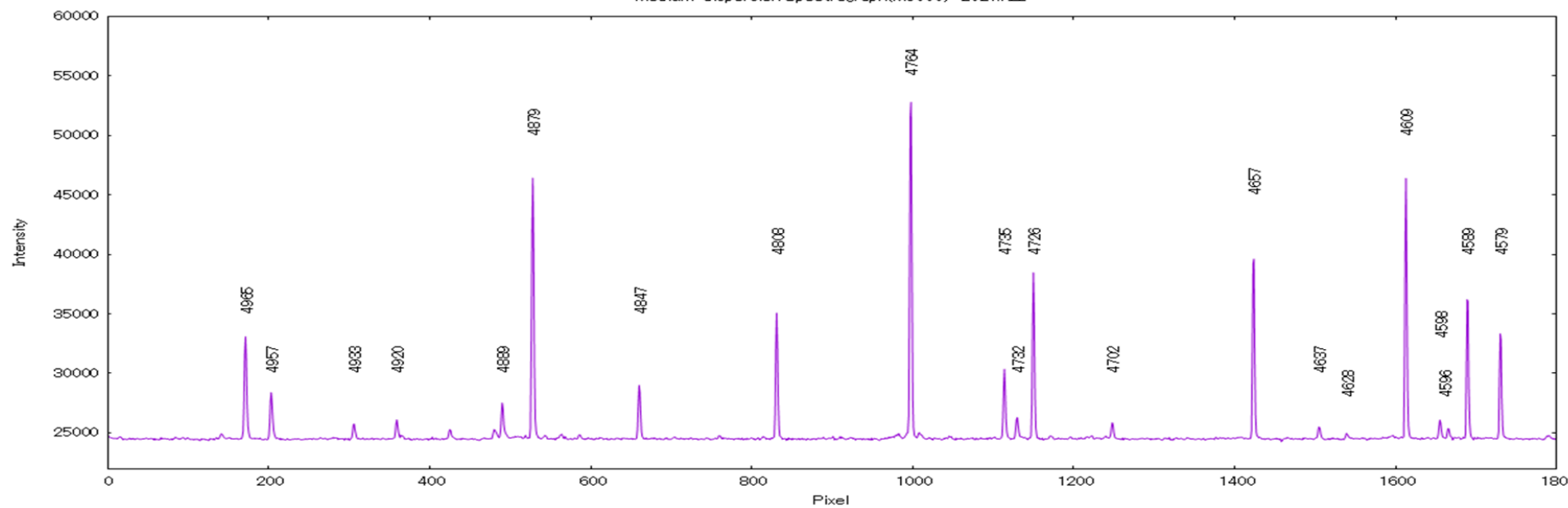
コンパリソン (波長同定のための比較光源)



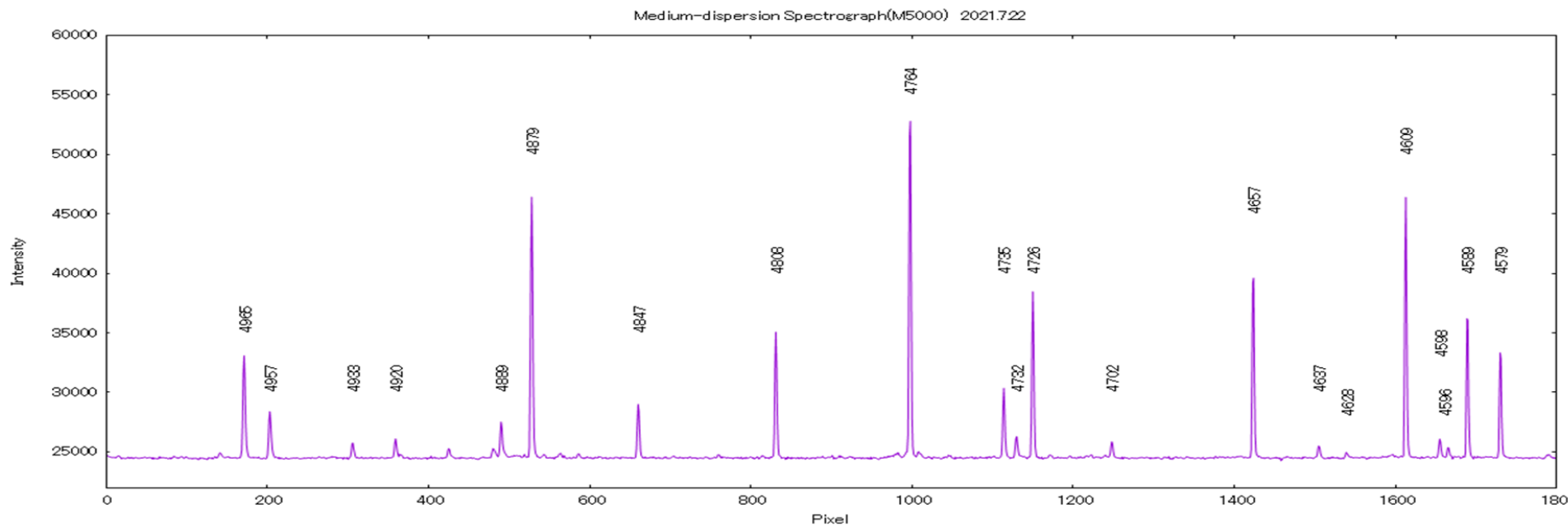
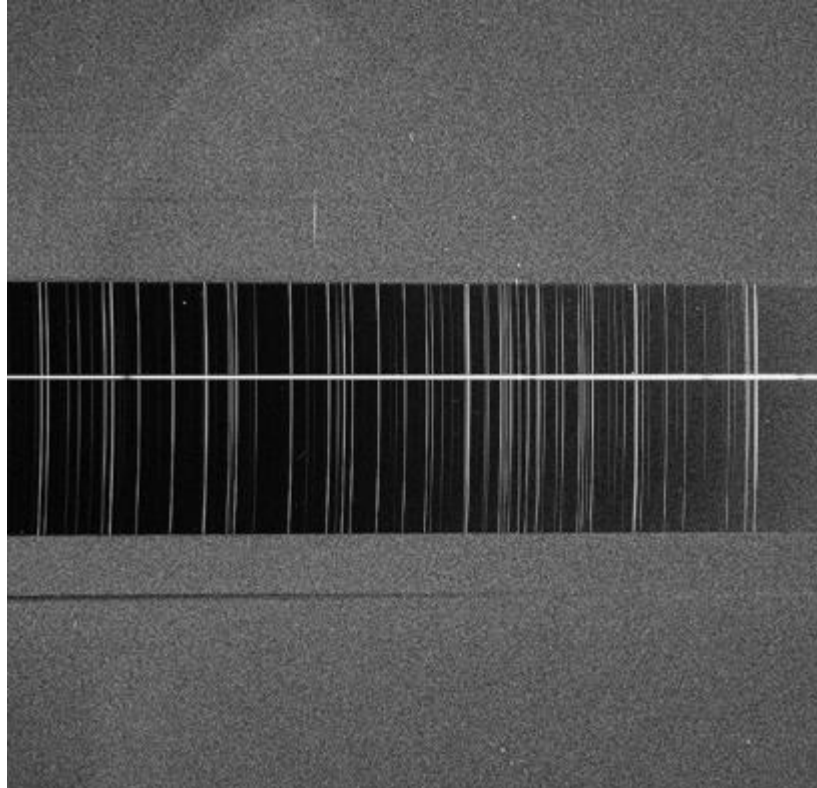
PW Gemの撮影画像



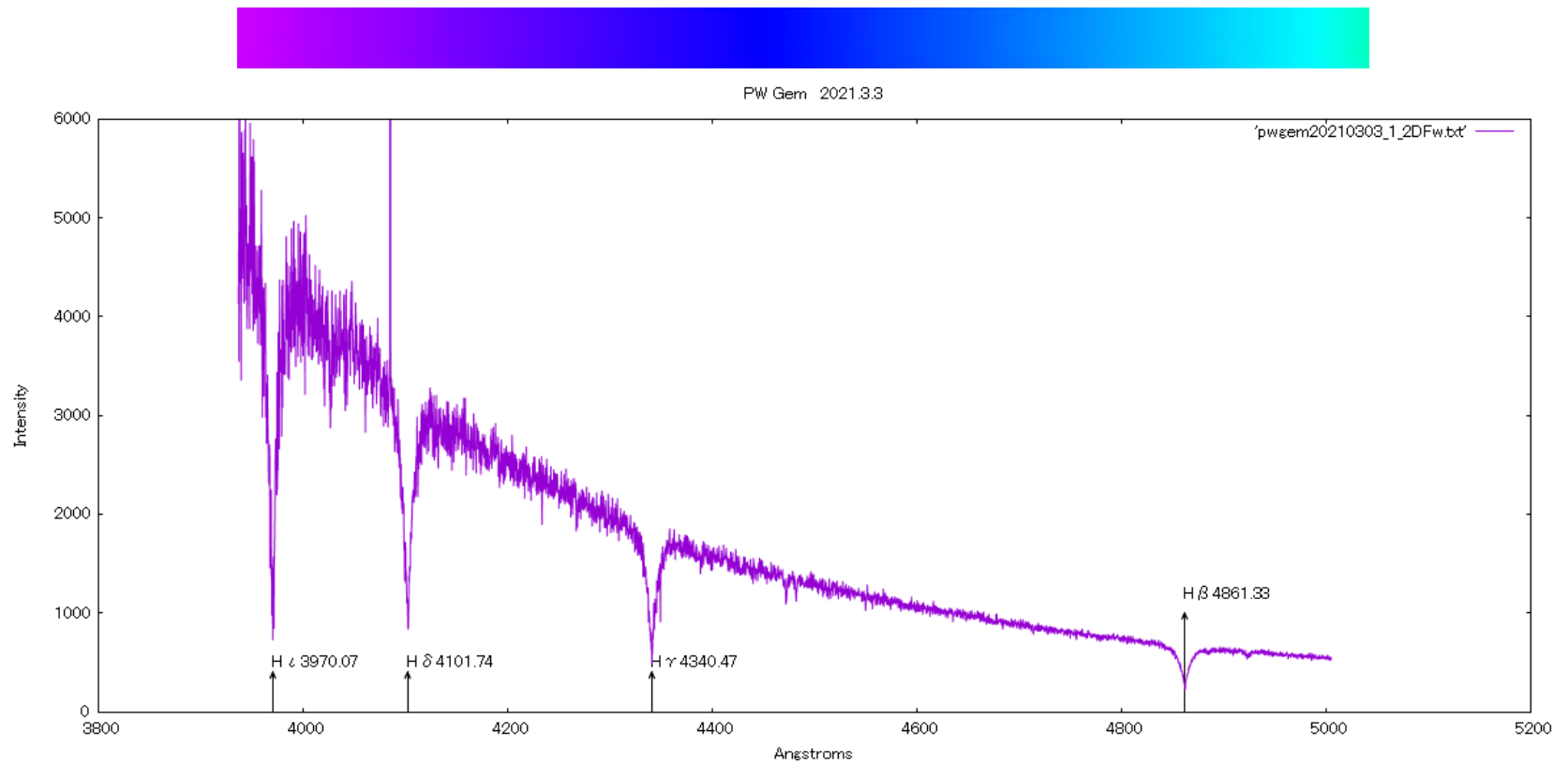
Medium-dispersion Spectrograph(M5000) 2021.7.22



波長同定のための比較光源



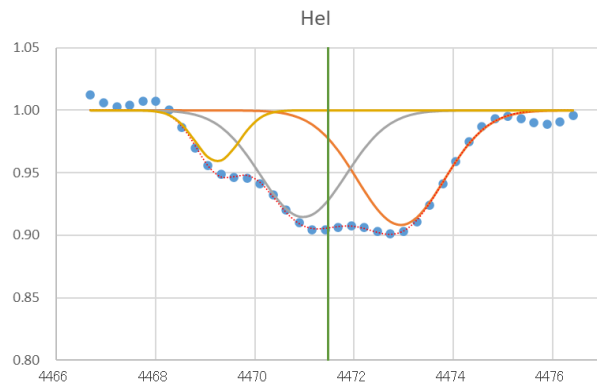
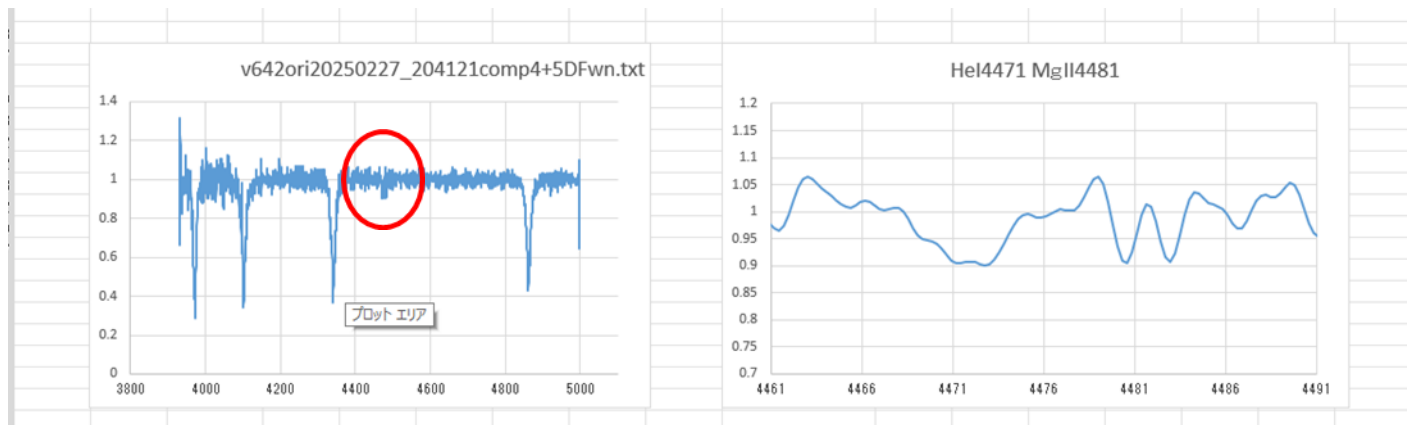
3月3日PW Gem



吸収線による視線速度の測定

V642 Ori 2025/2/27の場合

元仙台市天文台職員が卒業研究で楕円軌道を持つ連星を発見



Excelのソルバーでガウスフィット

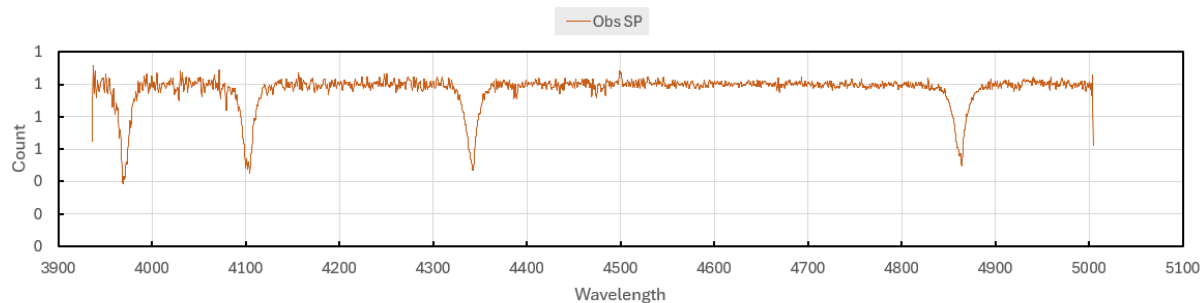
HelとMgIIの吸収線の間隔が違うように見えるが？

Helの合成前二本の吸収線は離れている

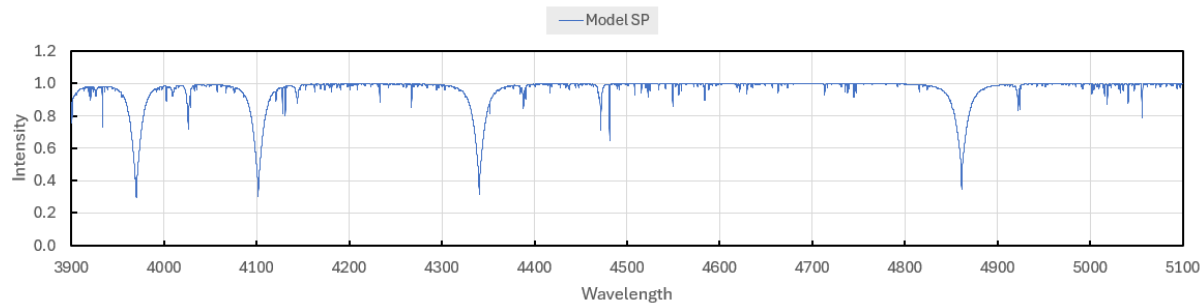
V642 Ori 9等 周期2.7→9.2日

Cross-Correlation Function によるPW Gemの視線速度測定

PW Gem_20210318-F2c23 Obs SP (Raw data) Hel JD = 2459291.9688 Phase = 0.00399



Model SP (Normalized) t14000_g400_res02_rot30

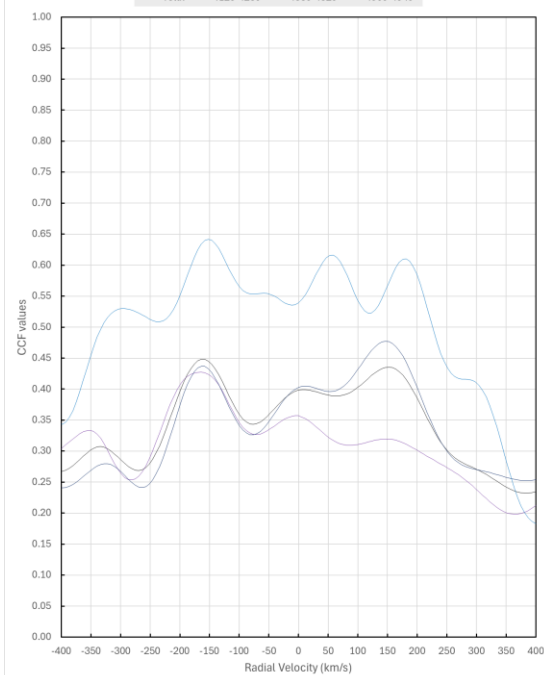


PW Gem_20210318-F2c23

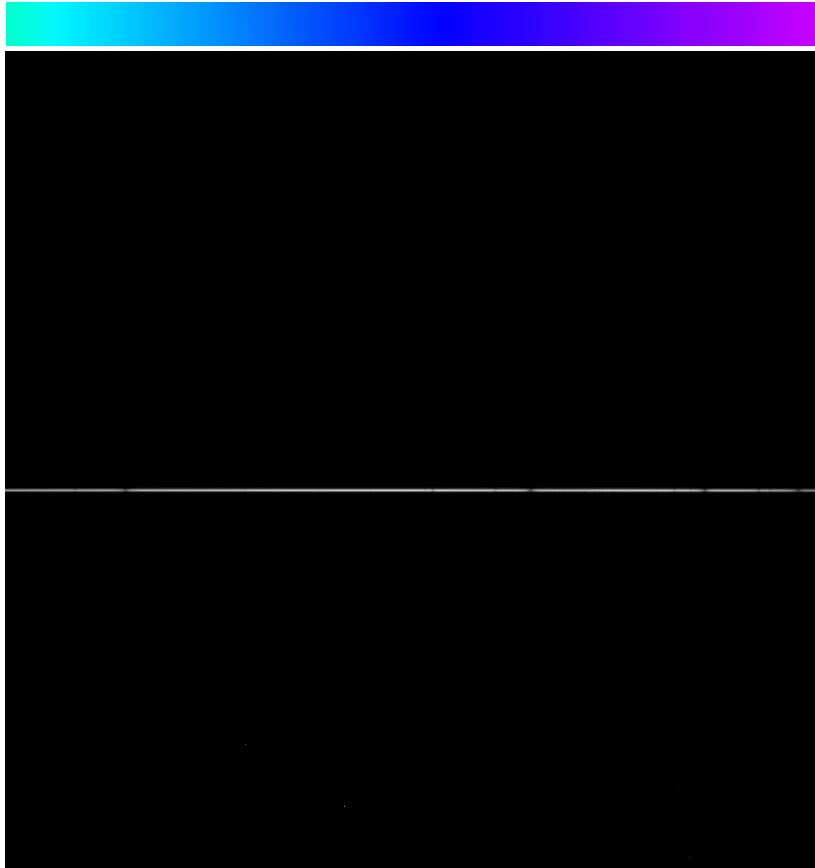
Hel JD = 2459291.9688 Phase = 0.00399

Model : t14000_g400_res02_rot30

Cross-Correlation Function vs Radial Velocities



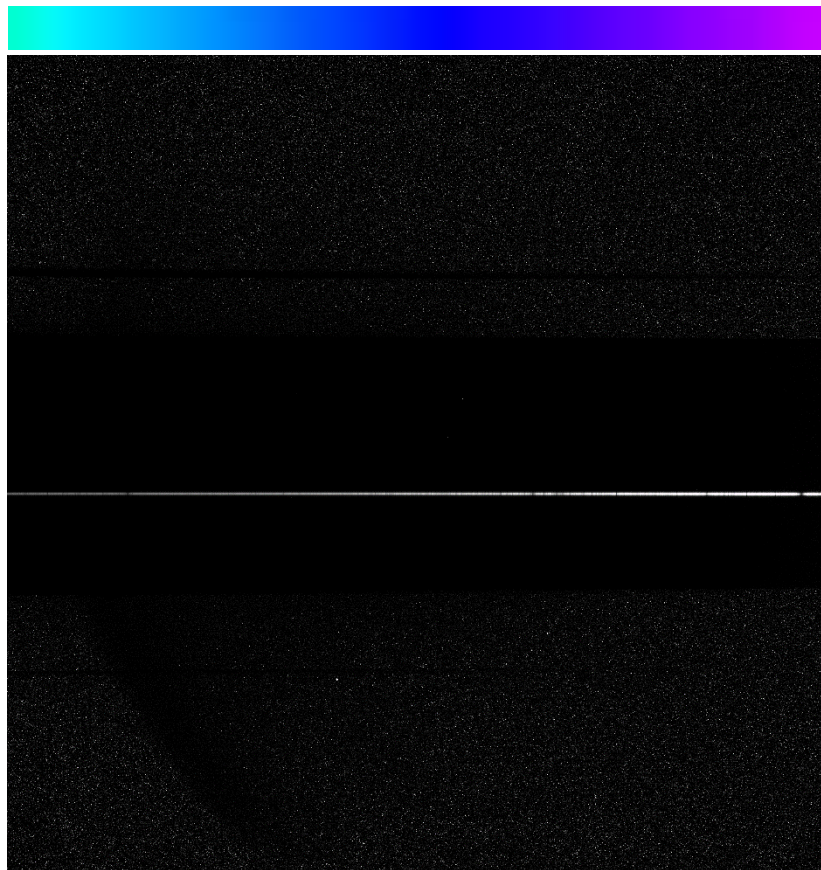
スペクトルの特徴 HR3454



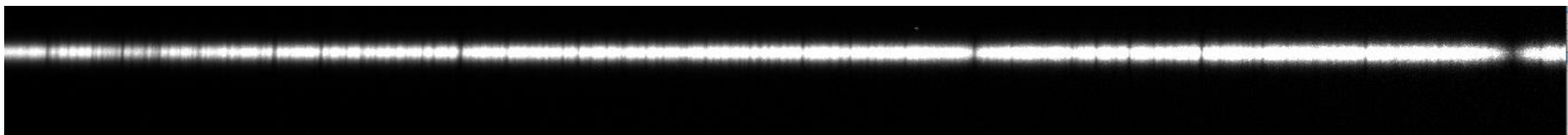
- 分光標準星
- 16.1km/s
- B3V 18630K
- 8h43m13s
- +3d23m55s
- 4.3mag
- 自転速度101km/s



スペクトルの特徴 おおぐま座36

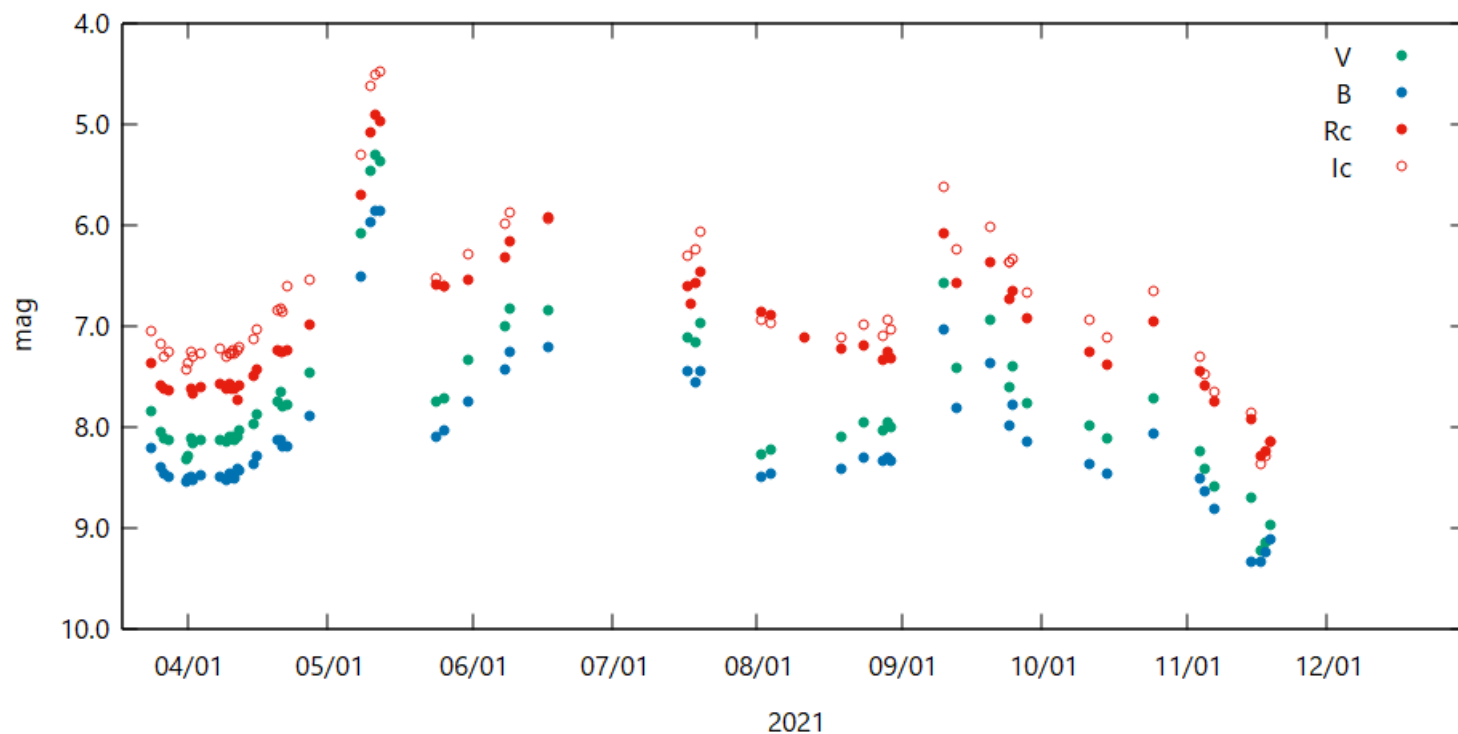


- 視線速度標準星
- 8.51km/s
- F8V 6163K
- 10h30m38s
- +55d58m50s
- 4.82mag
- 自転速度5.3km/s
- 自転周期8.2日

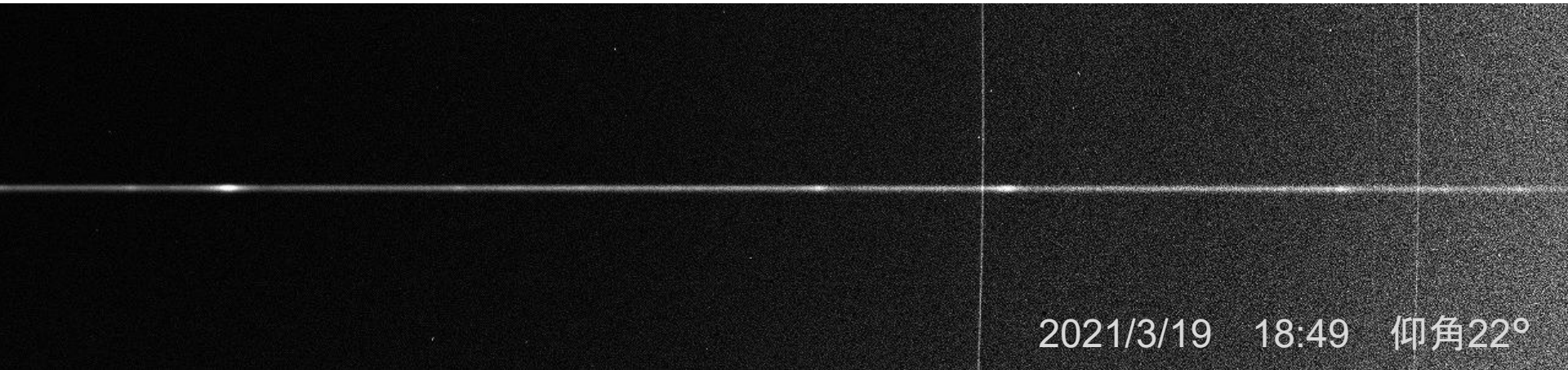
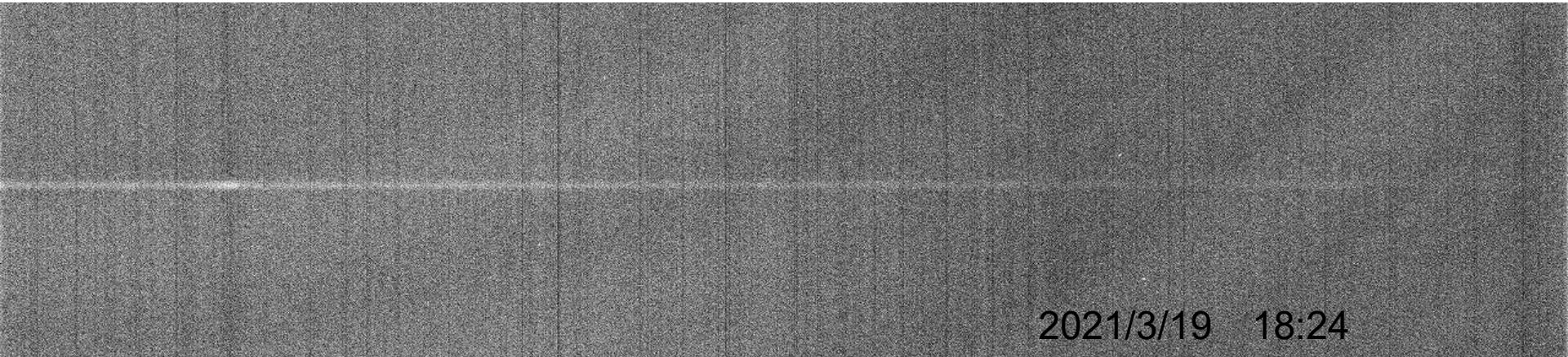


カシオペア座新星V1405Cas

- 2021年3月18日19時 発見者 中村祐二氏
- 23h24m48s +61d11m15s 9.6mag



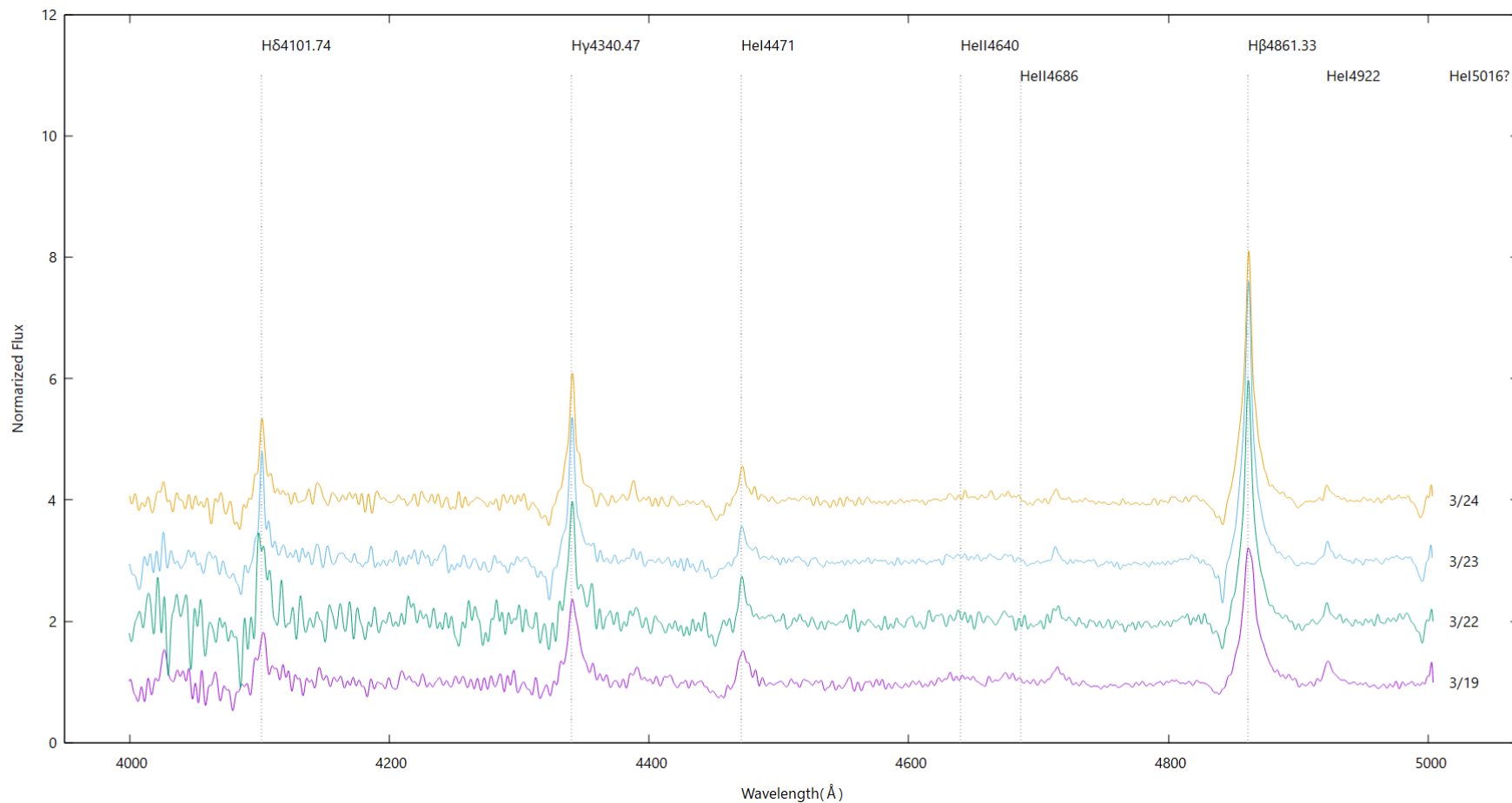
スペクトルの違いに感動！



P Cyg プロファイル

- 普通の星には見られない輝線が見られる
- 輝線の隣に吸収線が見られる

V1405 Casの日変化 (2021年)



ネオン管(輝線)をレプリカグレーチングシートで見る



来年(2026年)の変光星観測者会議

- 午後だけでは時間が足りない
- 土曜午後＋日曜午前のスタイルではスタッフが大変なので一日にしたい
 - 土曜の懇親会の翌朝に二日目を実施する「若さ」が無い
- 土曜の午前午後で実施したい
 - 予約はオリセンの 8:30-12:00 と 13:00-17:00 の2つ、費用は日変研に依頼する
 - 遠方参加を考慮して開催は10:00から
 - Zoomは前原先生に依頼する
 - 開場は8:30とし10時まで懇談・情報交換（永井のTeams使用、60分で要再接続）
 - 昼食はレストラン「ふじ」などが施設内にあり
- 来年の候補地、観測者会議後に頂いた候補含む
 - 代々木オリンピックセンター(センター内でポケットWiFiレンタル)
 - 徳島駅周辺(通信環境不明)
 - 慶應義塾高等学校(wifiはeduroam)