



若い太陽型星の可視光分光観測

山下 真依

兵庫県立大学 理学研究科 D2, 日本学術振興会特別研究員 DC2 (2023 年 4 月～)

2023 年 3 月 1 日

第 13 回光・赤外線天文学大学間連携ワークショップ



① 研究室の紹介

② Introduction

③ 観測・解析

④ Discussion 前主系列星と零歳主系列星の磁気活動

学生は9人 (B4×3, M1×2, M2×2, D1×1, D2×1)

大学 学部生 理学部 物質科学科 4年間	B1	
	B2	
	B3	
	B4	  
大学院 理学研究科 博士前期課程 2年間	M1	 
	M2	 
	D1	
	D2	
大学院 理学研究科 博士後期課程 3年間	D3	

兵庫県立大学

光学赤外線天文学研究室：

県立大唯一の天文系研究室。
設立は2013年で今年10周年！

D進したのは私が3人目です。

指導教官



伊藤先生 本田先生

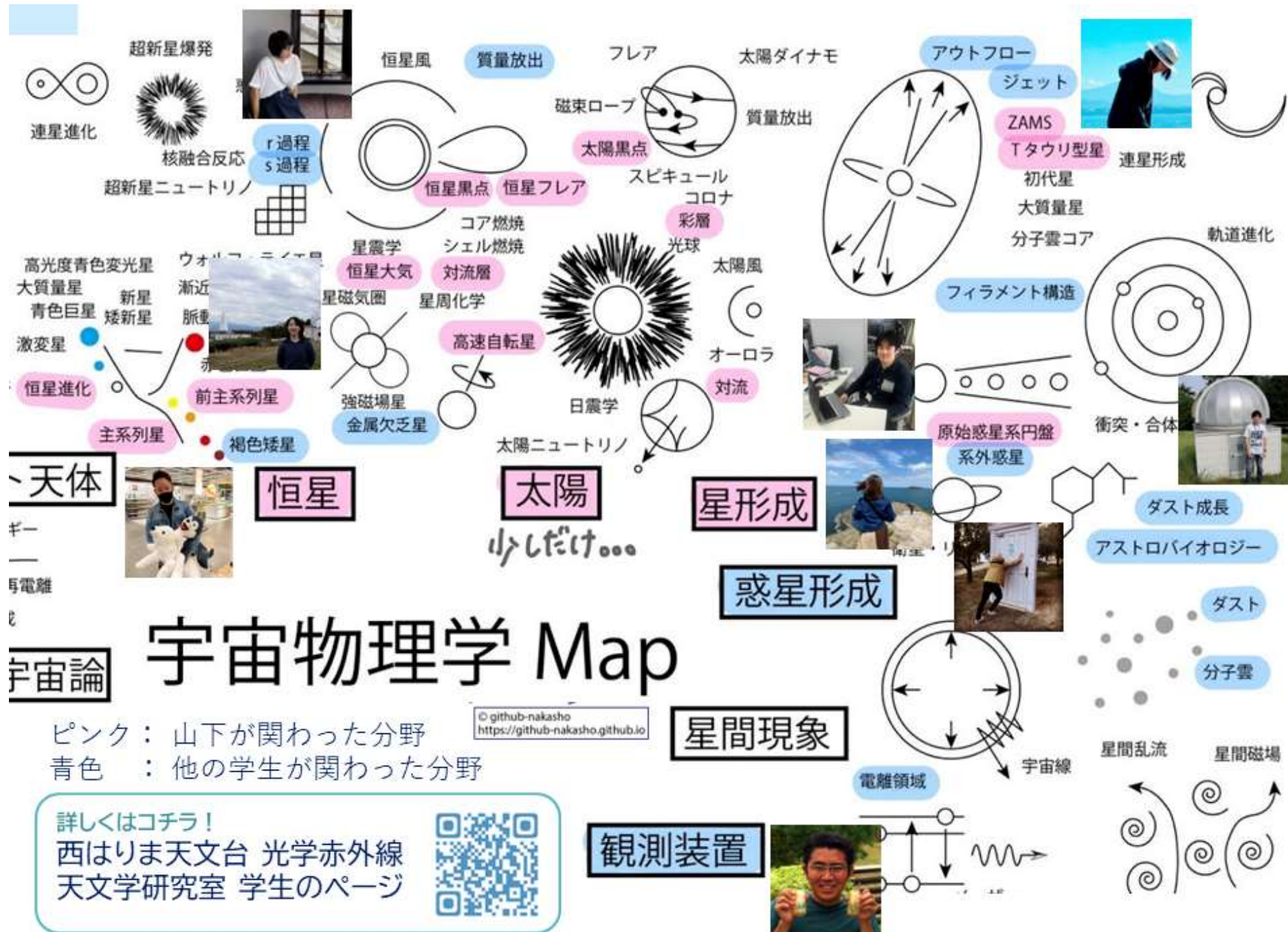
教授1名 准教授2名 研究員5名
学生9名

OISTERとの関わり：

研究テーマが近い(星惑星形成
や装置開発), 埼玉大の学生さん
を自主ゼミにお誘いして交流す
ることもあります。

私です

学生 9 人の専門分野



① 研究室の紹介

② Introduction

③ 観測・解析

④ Discussion 前主系列星と零歳主系列星の磁気活動

研究テーマの決め方

研究室配属前の会話



山下 (B2)

恒星の進化は
おもしろそう...



主系列星

から



星雲

は？



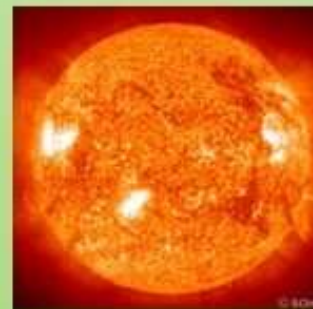
伊藤先生

いやいやいやいや！



若い星

から



主系列星

のほうが
おもしろいよ！

伊藤先生に「どんな研究がしたい？」と聞かれ、パニックになって「変な星がやりたいです！黒点が大きい星とか…」と答える始末

彩層とは何か

彩層は恒星の外層大気であり, Ca II (Ca^+) などの彩層輝線が生まれる.

■ 光球

- 我々が直接見ることのできる表面 ($5000 \text{ \AA}$ で光学的厚み $\tau = 1$)
- 吸収線が形成される

■ 彩層

- 太陽の半径 70 万 km に対し, 厚みは 1500 km である
- 希薄な領域である → 輝線の形成 (密度 $10^{-13} - 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

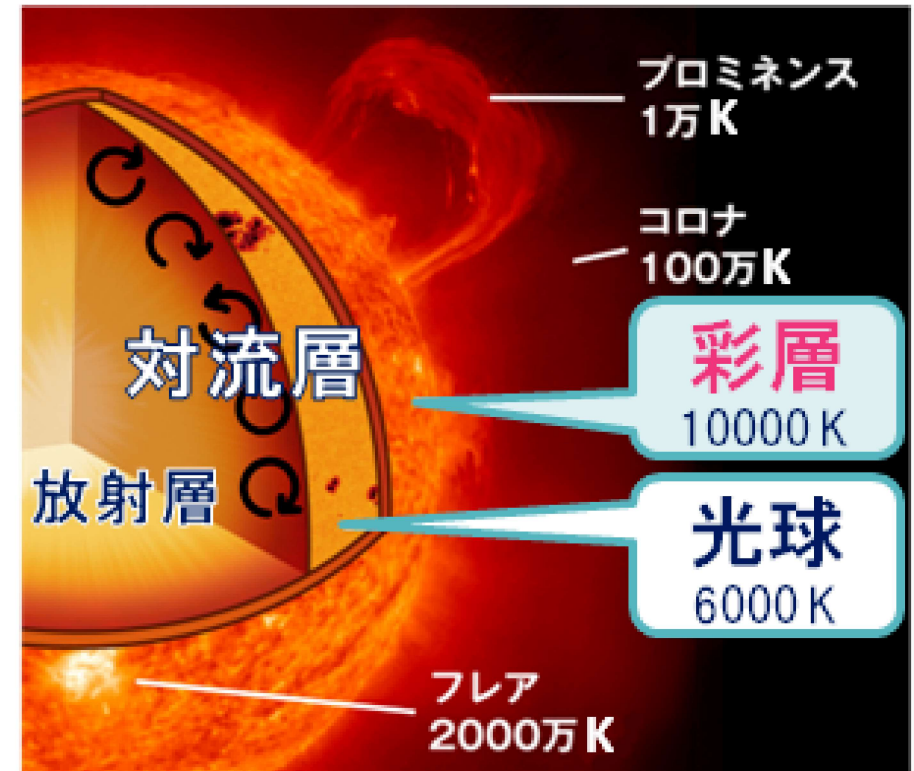


図 1: 太陽型星の大気構造

■ ダイナモ活動とは

- ① 磁束管が差動回転を受け, 引き延ばしにより磁場が増幅する
- ② 対流により磁束管が上昇する
- ③ 磁束管が光球に達し, 黒点や彩層の輝線領域を形成する

前主系列星とその彩層活動

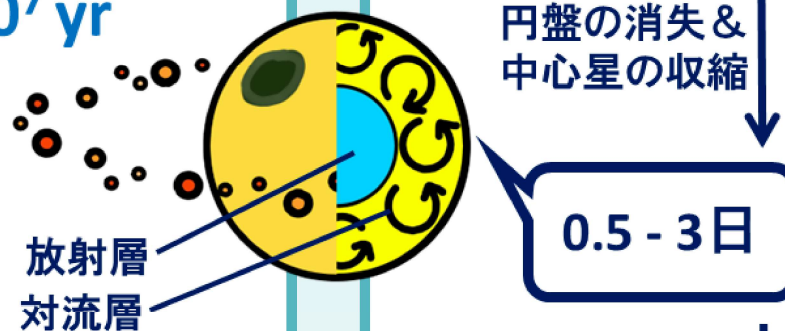
古典的Tタウリ型星 **CTTS**

10^6 yr



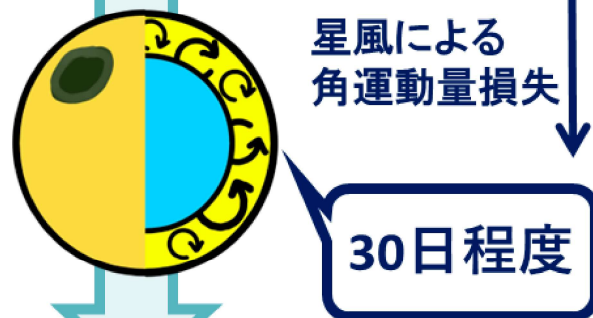
弱輝線Tタウリ型星 **WTTS**

10^7 yr



零歳主系列星 **ZAMS**

10^8 yr



生まれてから主系列星へ進化する段階の天体.

- 主系列星よりも自転が速い
- 対流の周期は長い (図 3)

→ 活発な彩層活動が期待できる

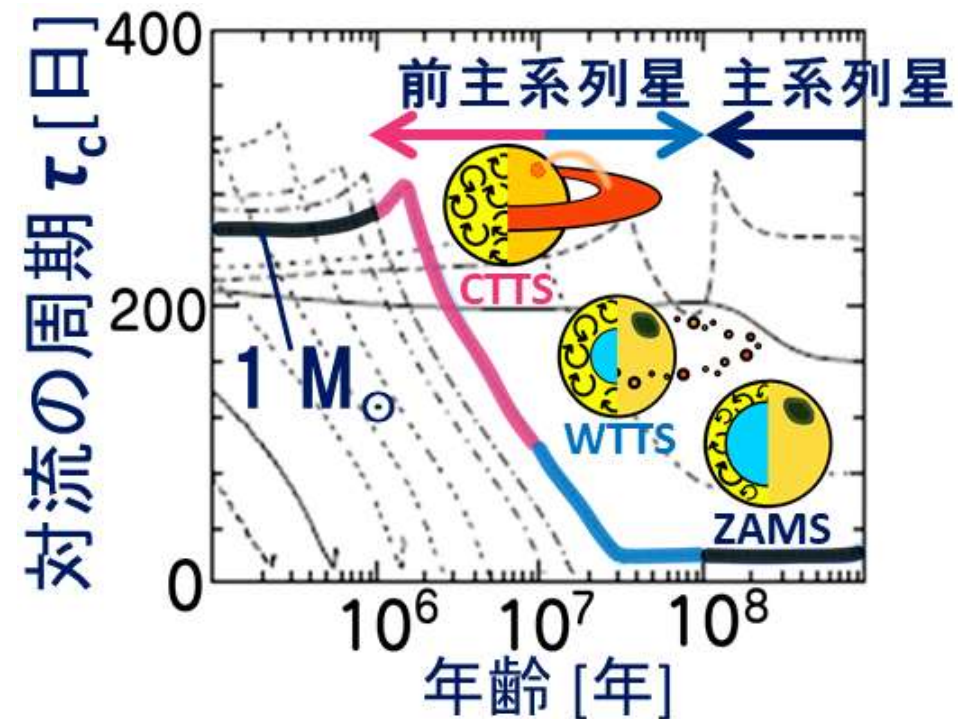


図 3: 前主系列星の対流の周期 τ_c のモデルの一例 (Jung & Kim, 2007)

黒点と彩層輝線

磁気活動の指標 … 彩層輝線の明るさ，黒点による変光の大きさ

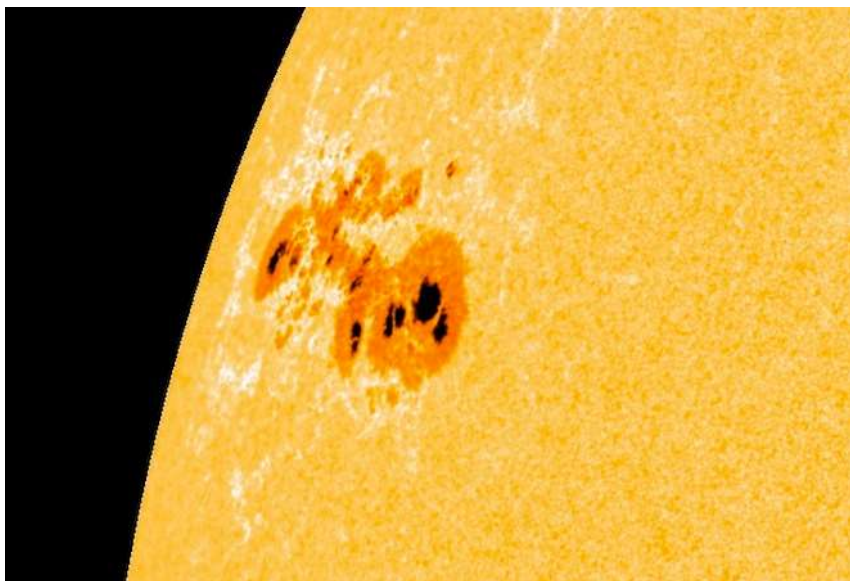


図 4: 太陽の輝線領域 (白斑) は黒点の周辺に集中的に存在する (NASA/SDO)

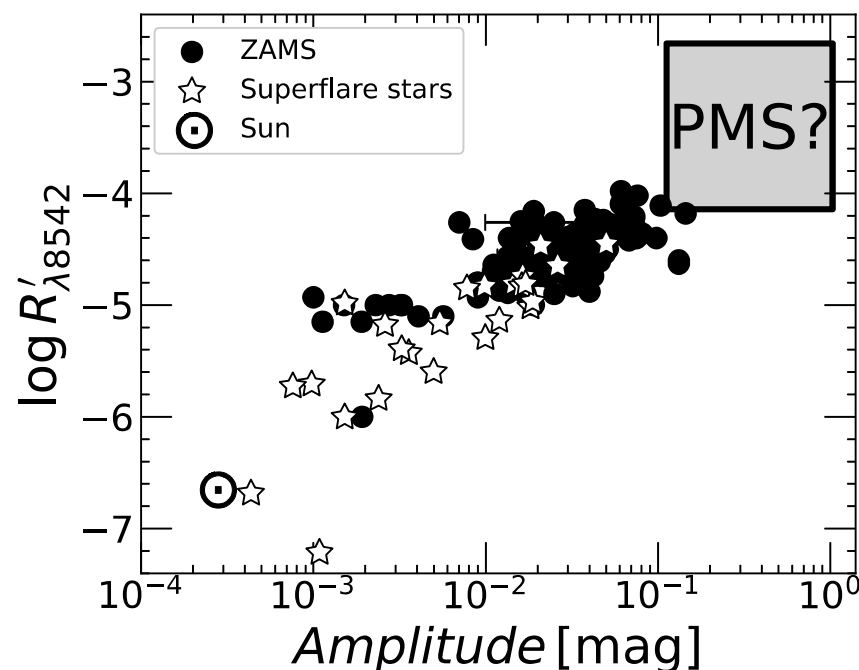


図 5: 零歳主系列星の光度変動と近赤外 Ca II 輝線の強度 (Yamashita et al., 2022b)

- 太陽型星では，光度変動が大きいほど Ca II 輝線の強度 R' も大きい
 - ZAMS は太陽型スーパーフレア星 (Notsu et al., 2015) の延長線上にある
- 巨大黒点を作るような大規模な磁気活動が示唆される

Q. では，より若い前主系列星 (PMSs) の輝線領域や黒点の大きさは？

① 研究室の紹介

② Introduction

③ 観測・解析

④ Discussion 前主系列星と零歳主系列星の磁気活動

対象天体

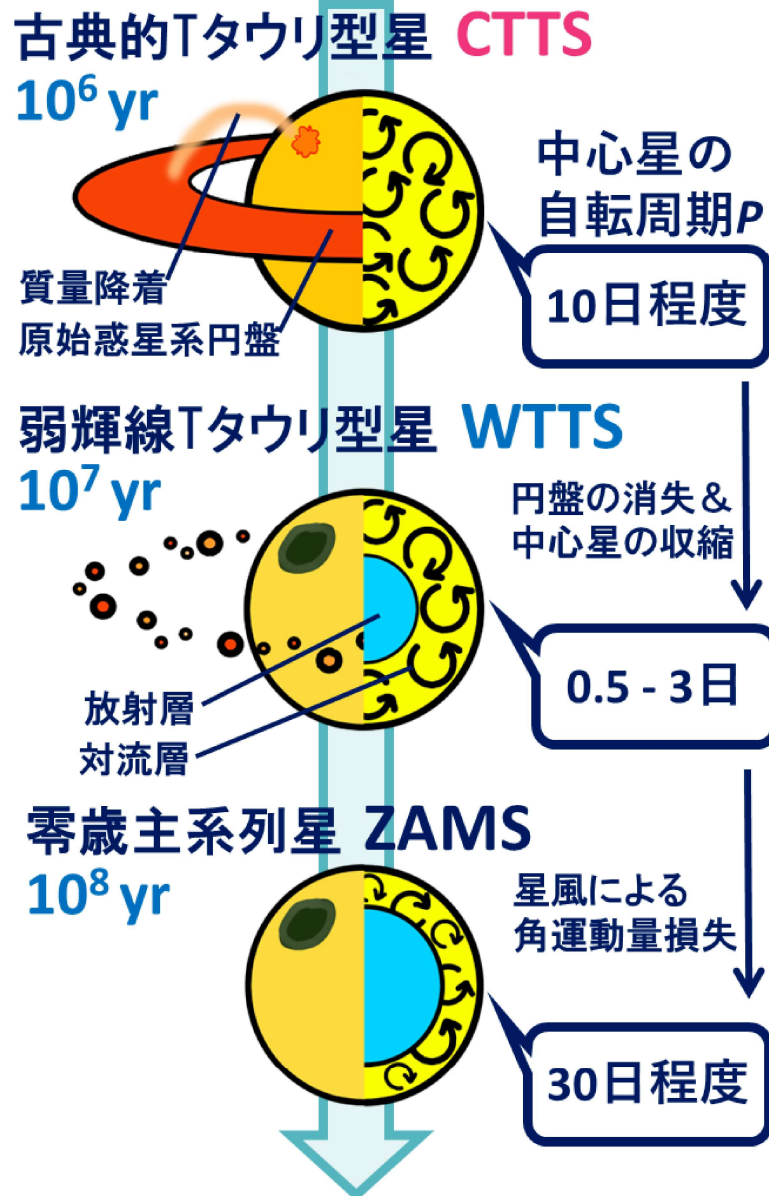


図 6: 前主系列星から零歳主系列星までの進化

1 前主系列星 (PMSs) 27 天体

- 分子雲 (Tau, Ori)
- 運動星団 (TWA, η Cha, near Cha, β Pic, AB Dor)

2 零歳主系列星 121 天体

3 太陽型スーパーフレア星 (N15)

4 太陽

*連星は除去した

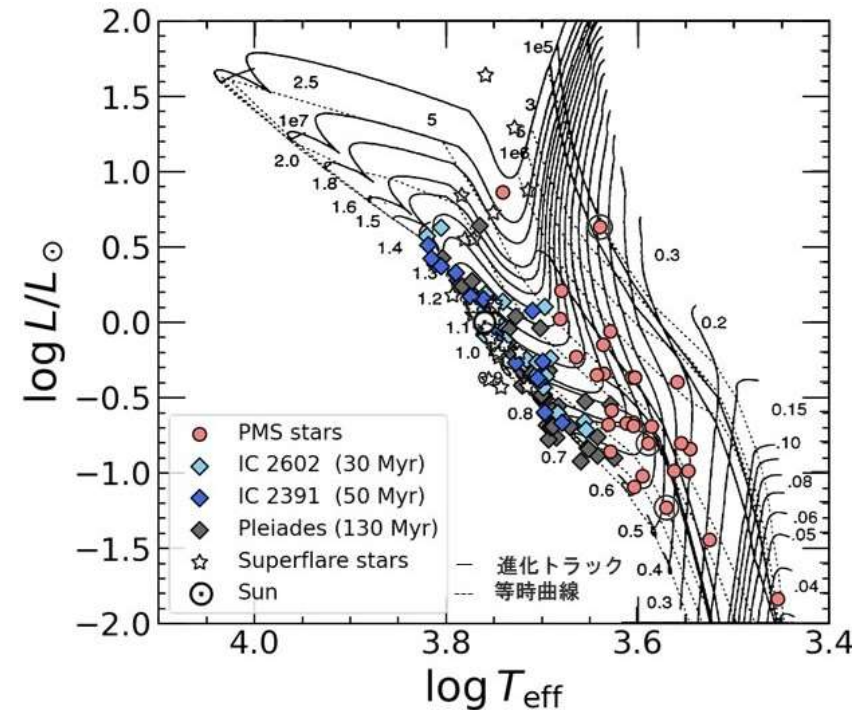


図 7: 対象とした天体の HR 図

分光観測とアーカイブデータ取得, 解析



✓ なゆた望遠鏡/MALLS



✓ すばる望遠鏡/HDS

アーカイブ利用

- ✓ Keck望遠鏡/HIRES
- ✓ VLT/UVES
- ✓ VLT/X-Shooter
- ✓ AAT/UCLES

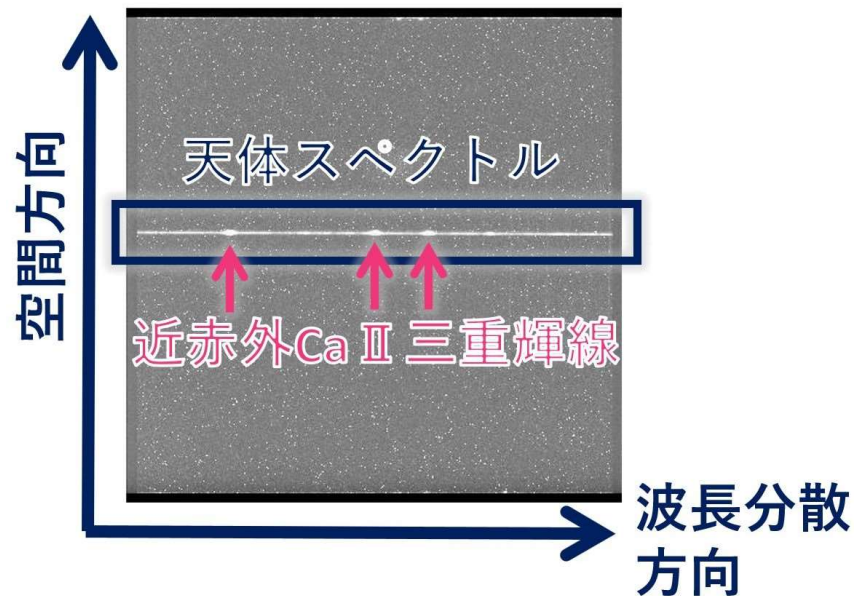


図 8: なゆた望遠鏡/MALLS で取得した天体スペクトルの生画像の例

- 1 Overscan 領域の処理
- 2 ダークの除去
- 3 フラット処理
- 4 背景光の除去
- 5 一次元化
- 6 波長較正
- 7 連続光成分の規格化
- 8 吸収成分の除去
- 9 等価幅・半値幅の測定

結果 1: 近赤外 Ca II 三重輝線

Yamashita et al. (2020), Yamashita et al. (2022a)

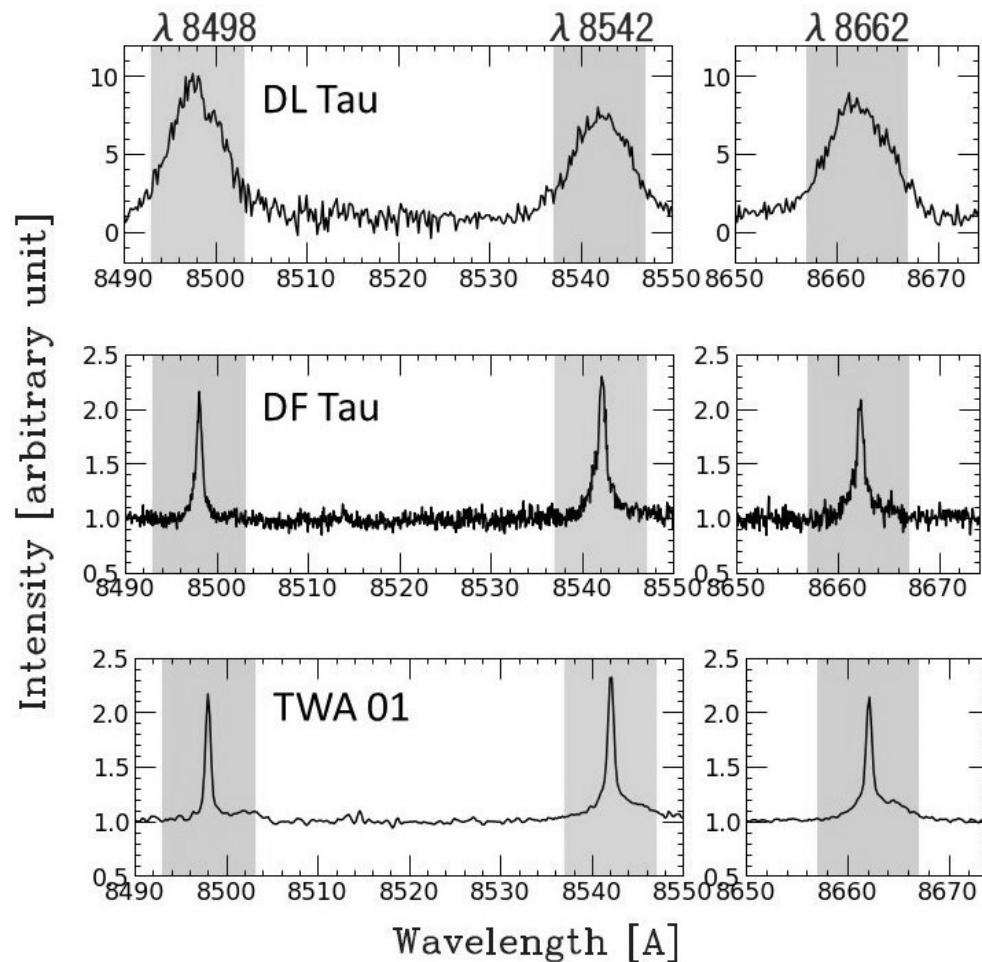


図 9: 前主系列星の近赤外 Ca II 三重輝線の例

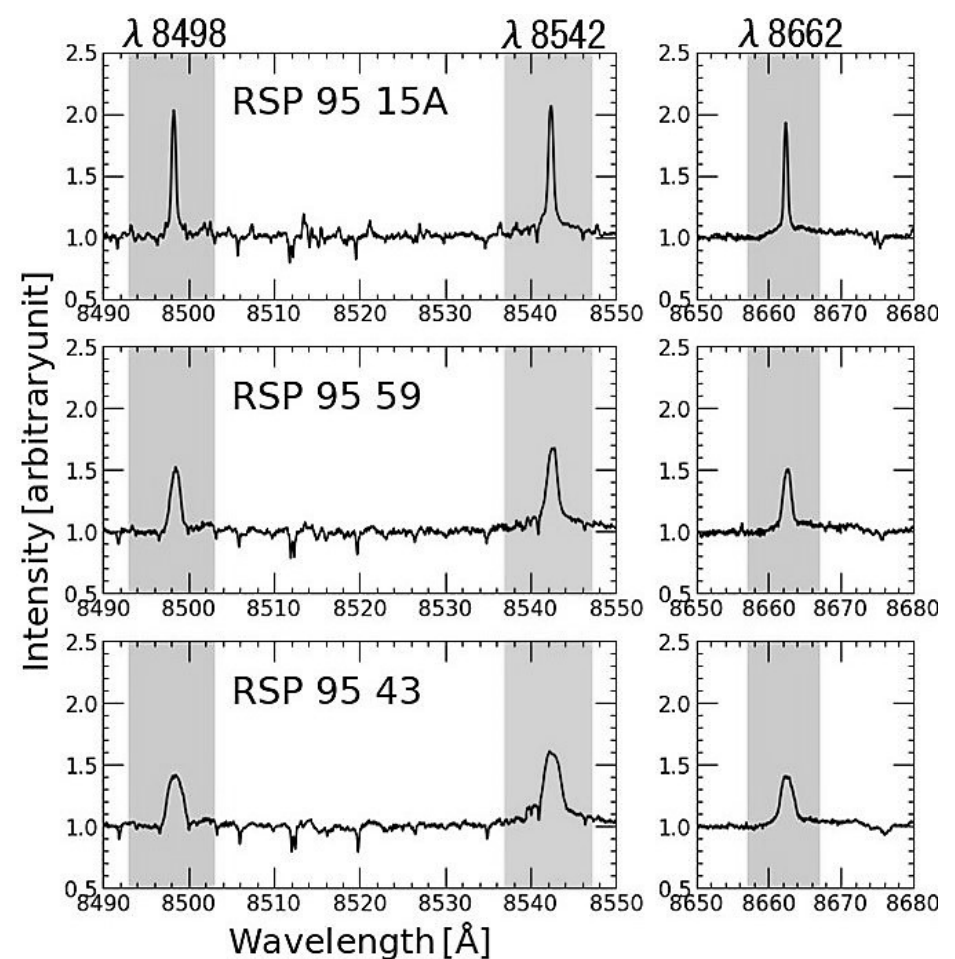


図 10: 零歳主系列星の近赤外 Ca II 三重輝線の例

光球の吸収線を除去すると, 全ての天体から輝線が検出された.

結果 2: *TESS* 衛星の光度曲線

TESS 衛星 (; Transiting Exoplanet Survey Satellite) により 27 日間, 時間分解能 1800 s で取得された画像を測光した.

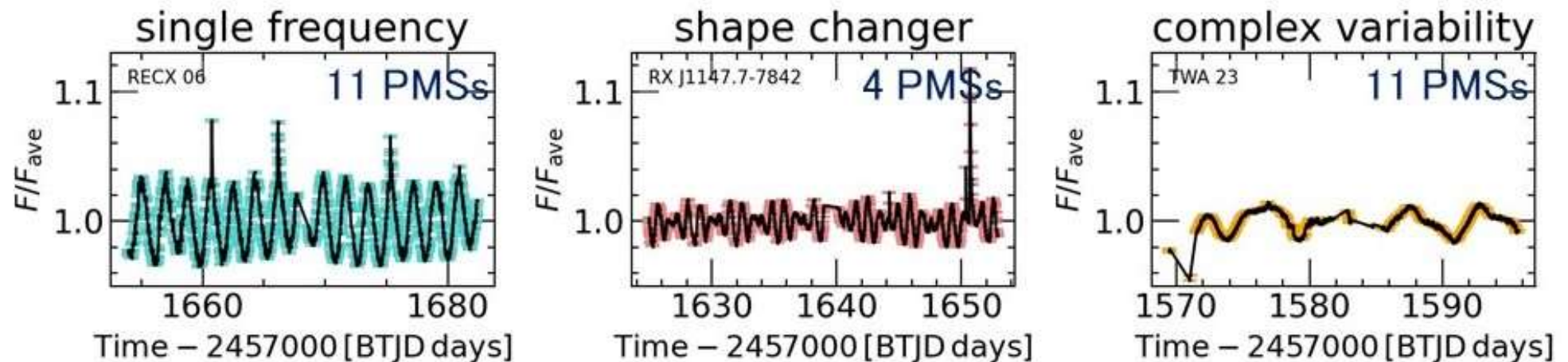


図 11: *TESS* データを測光して得られた前主系列星 3 天体の光度曲線

- Lomb-Scargle ピリオドグラムにより **周期** を測定した.
→ $P = 0.54 - 14.18$ days
- 光度曲線の **振幅** として上下 10% を除く flux を得た
→ Amplitude = 0.011 – 0.552 mag

① 研究室の紹介

② Introduction

③ 観測・解析

④ Discussion 前主系列星と零歳主系列星の磁気活動

光度変動 vs Ca II 輝線の強度

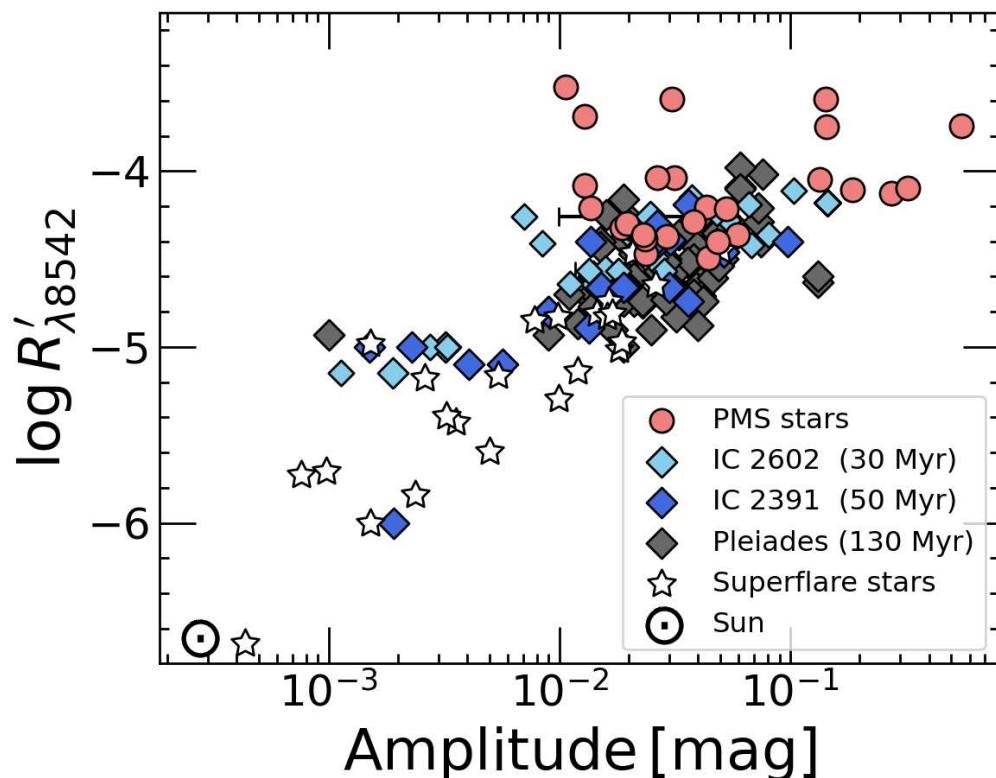
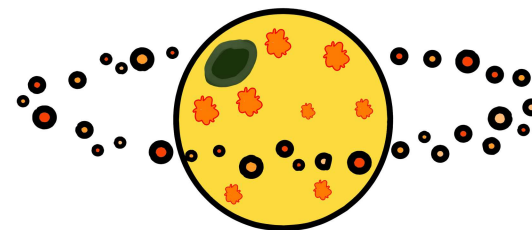


図 12: 若い太陽型星の光度変動と近赤外 Ca II 三重輝線 ($\lambda 8542 \text{ \AA}$) の強度

- 光度変動が大きいほど、輝線強度 R' も大きい
- 前主系列星は ZAMS&太陽型星 (Notsu et al., 2015) の延長線上に位置する
- 太陽よりも
 - 光度変動が 2 桁大きい
 - 輝線強度 R' が 2 桁大きい



Q. 前主系列星の黒点の大きさは? 彩層輝線との関係は?

- 前主系列星には巨大黒点がありそう
- 太陽に類似した磁気活動のうち、規模が大きいものが前主系列段階から続いていることが示唆される

考察: 若い太陽型星には巨大黒点がある

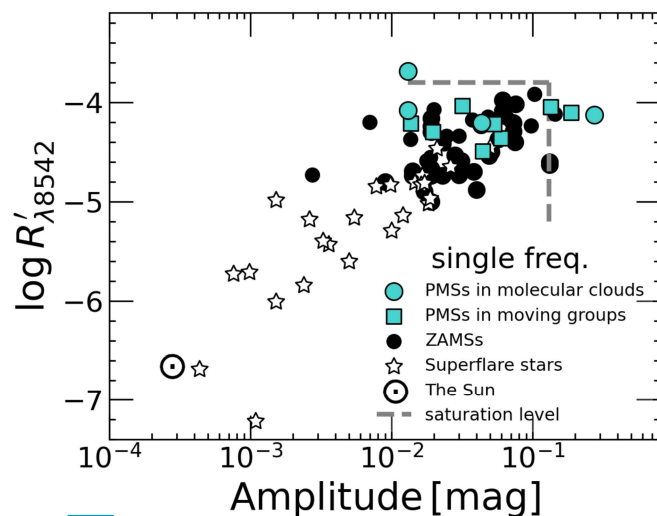


図 13: Single frequency

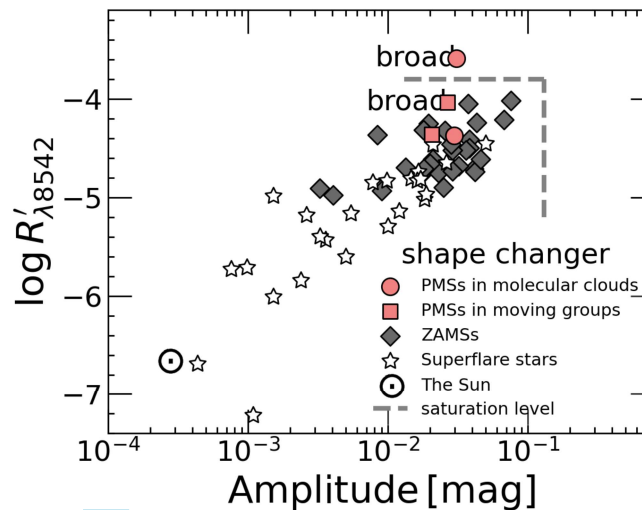


図 14: Shape changer

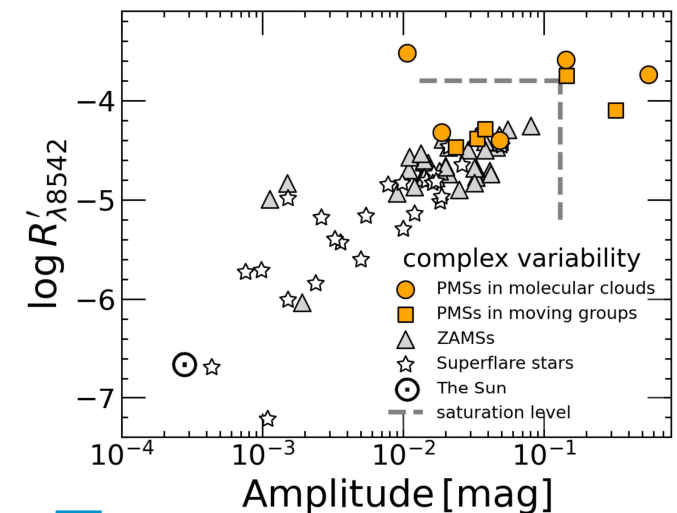


図 15: Complex variability

光度曲線の形状により 3 グループに分けると...

- 図 13: 前主系列星も, 単一周期の ZAMS と同等程度の光度変動と輝線強度を持つ
 - 振幅, 輝線強度の両方が saturation level (点線; O21, Y20) に近い
 - 安定して存在する巨大黒点で説明できる
- 図 15: 2 種類の不規則変光
 - ① 黒点の生成・消滅 → ZAMS に類似した前主系列星 (光度変動が小さめ)
 - ② 円盤による掩蔽や質量降着 → グラフ右上や上にある前主系列星 (光度変動が大きい・輝線が強い)