

概要

永田 晴飛(nagata@nhao.jp)¹, 本田 敏志¹, 山下 真依² (兵庫県立大学,² 島根大学)

我々は、西はりま天文台の2mなゆた望遠鏡とMALLSを用い、活動的なK型星PW AndをH α 線および近赤外Ca II三重輝線(Ca II IRT)を含む波長域で分光観測した。2022年の観測ではH α 線とCa II IRT(特に8542 Å線)に相関した変化が見られ、TESS衛星の光度曲線から黒点の見え隠れと同期した変動であることが示唆された。2024年には自転周期全体をカバーする同時観測を行い、両線の相関と中期的な活動変化を調べた。その結果、TESS光度曲線から黒点被覆率が2022年より大きく、H α 輝線も強くなっていたが、H α 線とCa II IRTの周期的変動は確認されなかった。一方、2022年と2024年のデータを通じて両線の中心強度には一貫して有意な正の相関があり、フレア頻度とエネルギーは2022年の方が高かった。これらは、黒点被覆や輝線強度とフレア発生頻度が必ずしも一致しないことを示している。

導入・目的

■ 恒星の磁場の形成と彩層輝線

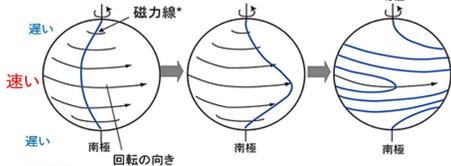


図1: 差動回転の模式図

1. 対流層では磁力線が電離したガスと同様に動き、緯度ごとの自転速度の差(差動回転)と対流によって、磁束管が歪む。
2. 電離ガスの運動により磁場エネルギーが生成、増幅することで恒星の活動性が生まれる。
3. 磁束管は磁気圧の高まりにより、周りよりガスの密度が低くなるため上昇し、光球に達すると黒点や輝線領域が形成される。

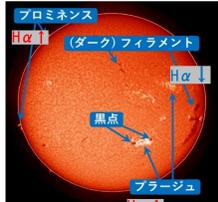


図2: H α 線を見た太陽

太陽での観測のしやすさからCa II HK線がよく用いられてきたが低温の星ほどCa II HK線は観測しづらい

Q. 同じカルシウム線であるが、低温の星でより観測しやすい近赤外Ca II 三重輝線は活動指標になりえるのか?

■ 目的

活動領域を反映する輝線に注目することで、自転による黒点の見え隠れと同期した強度変化が見られるかを調べる。

Ca II HK線よりも観測しやすい近赤外Ca II 三重輝線(8498, 8542, 8662 Å)がH α 線と同様に活動性を反映するかを調べる。

恒星の磁気活動が活発になると、

- ・黒点と共に輝線領域が増加
- ・フレアなどによる輝線の増強

彩層輝線は恒星の活動性の手がかり

観測・解析

なゆた望遠鏡を用いて2022年10月-2024年10月にH α 線(6563 Å)とCa II IRT(8498, 8542, 8662 Å)の波長域で分光観測を行った(合計23夜)。また、自転周期や白色光の変化を確認するためにTESS衛星の測光データから同時期('22/10/5-27, '24/10/1-26)の光度曲線を作成した。

観測所	西はりま天文台
望遠鏡	なゆた望遠鏡(口径2.0 m)
装置	可視光中低分散分光器(MALLS)
観測波長	6300-6800, 8300-8800 Å
分解能	R($\lambda/\Delta\lambda$) ~ 9000
露出時間	180 s ~ 300 s



図3: なゆた望遠鏡

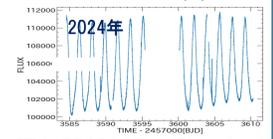
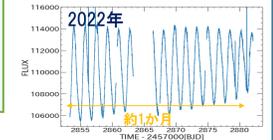


図4: TESS衛星の測光データから得た光度曲線

標準星HD4628との差分スペクトル

温度・組成が類似したHD4628のスペクトルを引くことで吸収成分をなくし、差分スペクトルを作成することで弱い輝線成分の等価幅の議論を行いやすとした(村瀬諭論, 2022)。

対象星

■ 観測対象星

PW Andromedae (PW And)

若い太陽型星

- 年齢は3-8千万歳 (Lopez-Santiago et al., 2003)。
- 表面温度は約5000 KでK型に分類される、単独星である。

高い活動性

- Ca II線やH α 線が輝線として見られる(Bidelman et al., 1985)。
- 大きな黒点をもつと考えられている(Strassmeier et al., 2006)。
- 自転周期が1.76日と太陽の自転周期(約30日)と比べても短い(Strassmeier et al., 2006)。

結果・考察

■ ① H α 線とCa II IRTの中心強度の相関 各輝線について中心波長での強度をそれぞれ調べた。

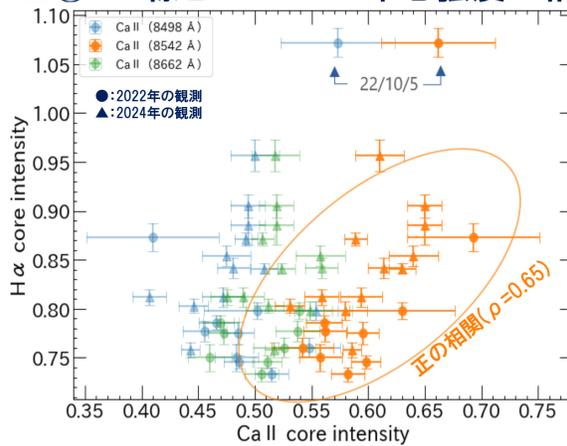


図5: H α 線とCa II IRTの中心強度

中心強度を比較してみると図10の上部に示された22/10/5のデータを除いて、Ca II(8542 Å)線とH α 線の中心強度にわずかながら正の相関(相関係数 $\rho = 0.65$)が確認された。

一方、他のCa II線では目立った相関が確認できなかった。(8498 Å: $\rho = 0.35$, 8662 Å: $\rho = 0.29$)これは活動性を示す彩層輝線として、中心強度の感度はH α 線と比べて高くないがCa II IRTも有用であることを示している。

■ ② 等価幅の周期的変化

光度曲線から自転周期(Lomb-Scargle ピリオドグラム法より)を求め、位相による等価幅の変化を調べた。

自転周期(日) 2022年: 1.747 2024年: 1.769
(cf. Bahar et al., 2023 1.7566日)

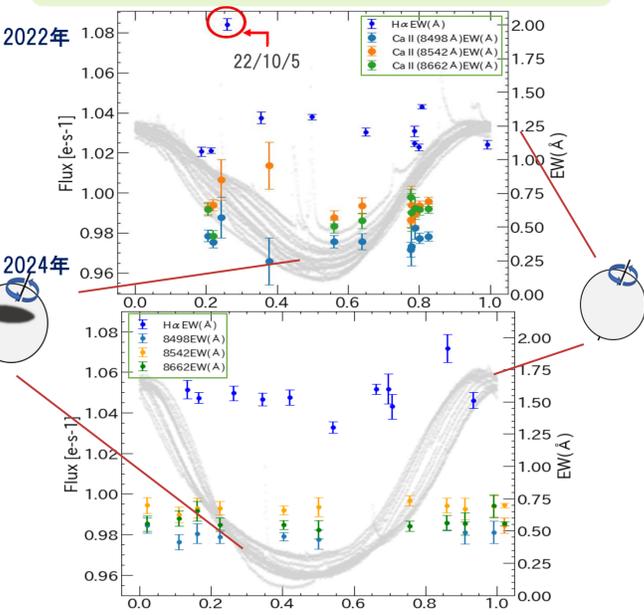


図6: 求めた周期で折り返したPW Andの光度曲線(TESS衛星)と輝線の等価幅(EW)変化(なゆた望遠鏡)

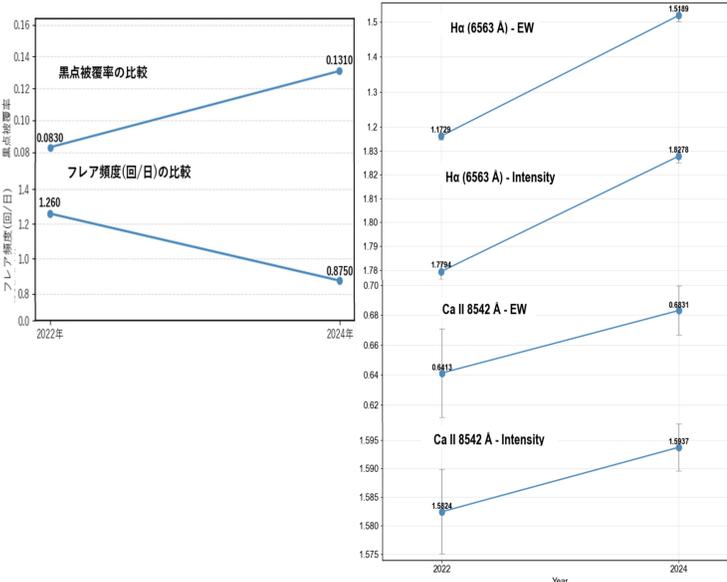
・22年ではH α 線の等価幅の変動が白色光の光度曲線と逆相関が確認→黒点の見え隠れと同期(大きな黒点の周りに輝線領域があることによるもの)

・Ca II IRTの等価幅は自転位相に伴った明確な変化が見られない。→活動性を示す彩層輝線としてはH α 線より感度が低い。

・24年では共に等価幅の周期的変化が確認できなかった。

■ ③ 観測結果からみた活動性の長期的変化

光度曲線から得られた黒点被覆率、フレア頻度と今回観測した等価幅、中心強度から、2022年と2024年のPW Andの活動性を評価する。



PW Andは8年周期の活動性が確認されているが(Lehtinen et al., 2016)、今回得られたパラメータでも22年と24年で各指標で変化が見られた。輝線の強度はH α で24年が強く、その他では目立った違いは見られなかった。また、黒点被覆率でも24年のほうが大きかった。しかし、フレア頻度やフレアエネルギー平均は2022年のほうが大きかった。

→黒点被覆率や輝線強度などの活動領域の広がりやフレア発生頻度と必ずしも一致しない。

フレア頻度や平均光度から22年のほうが活動的だとみられる。これは黒点が極付近に常駐しており、自転に関わらず常に観測されることで光度変化の振幅が小さくなったことが原因かと考えられる。

→活動性を正しく評価するためには、単一の指標だけに依存するのではなく、複数の指標を併用することが不可欠

■ ④ フレアと思われるH α 線の増光

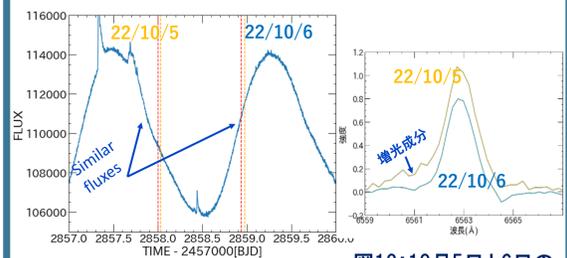


図11: TESS衛星による光度曲線 図12: 10月5日と6日のH α 線のスペクトル

'22/10/5に他の観測日ではみられないH α 線でのスペクトルの広がりと増光を確認した。白色光では増光が起きていないが、フレアである可能性がある。スペクトルを見ると短波長側(青側)に増加成分が見られた。

平常時のスペクトルの差分を取り偏成分を抽出し、H α 線の中心波長からのずれ(速度)を求めた。(参考: Namekata et al., 2022)

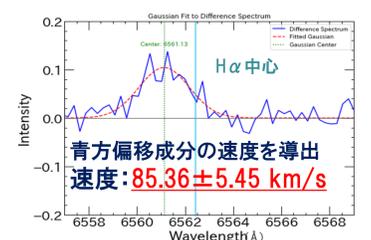


図13: 青方偏成分の抽出の手順

自転速度をはるかに上回る速度85 km/sの青方偏成分を確認($V_{\text{sin}i} = 21.4$ km/s (Bahar et al., 2023))。フレアに伴うプロミネンス噴出ではないか?