

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 ISAS/JAXA)

恒星の彩層からみられる輝線は磁気活動性の指標とされている。彩層輝線としてこれまではH α 線の他にCa II HK線がよく用いられているが、低温の星ではCa II HK線は観測しづらい。そこで本研究では、西はりま天文台のなゆた望遠鏡と可視分光装置MALLSを用いて高い活動性を示すK型星「PW And」について、複数の彩層輝線(H α 線、近赤外Ca II 三重輝線:Ca II IRT)を含む波長域で観測を行い、自転による黒点の見え隠れと同期した強度変化が各輝線で見られるかどうかを調べた。また、Ca II IRT輝線がH α 線と同様に活動性を反映するかを調べた。その結果、H α 線ではTESS衛星のデータから得られた自転周期に伴う等価幅の変動が見られ、黒点と同期することを確認した。しかしながら、Ca II IRTではH α 線の等価幅が大きく増加したときにわずかに増加が見られたものの、強い相関は見られなかった。このことは活動性を示す彩層輝線として近赤外Ca II IRTも有用であるが感度はH α 線と比べて高くないことを意味する。また、観測期間中にH α 線でフレアと思われる増光が見られた。この時にH α 線で青方偏移した超過成分が見られ、青方偏移速度は85 km/s程度であることが分かった。これはフレアに伴うプロミネンス噴出によるものと考えられる。

導入・目的

■太陽でのH α 線とCa II K線の中心強度の関係

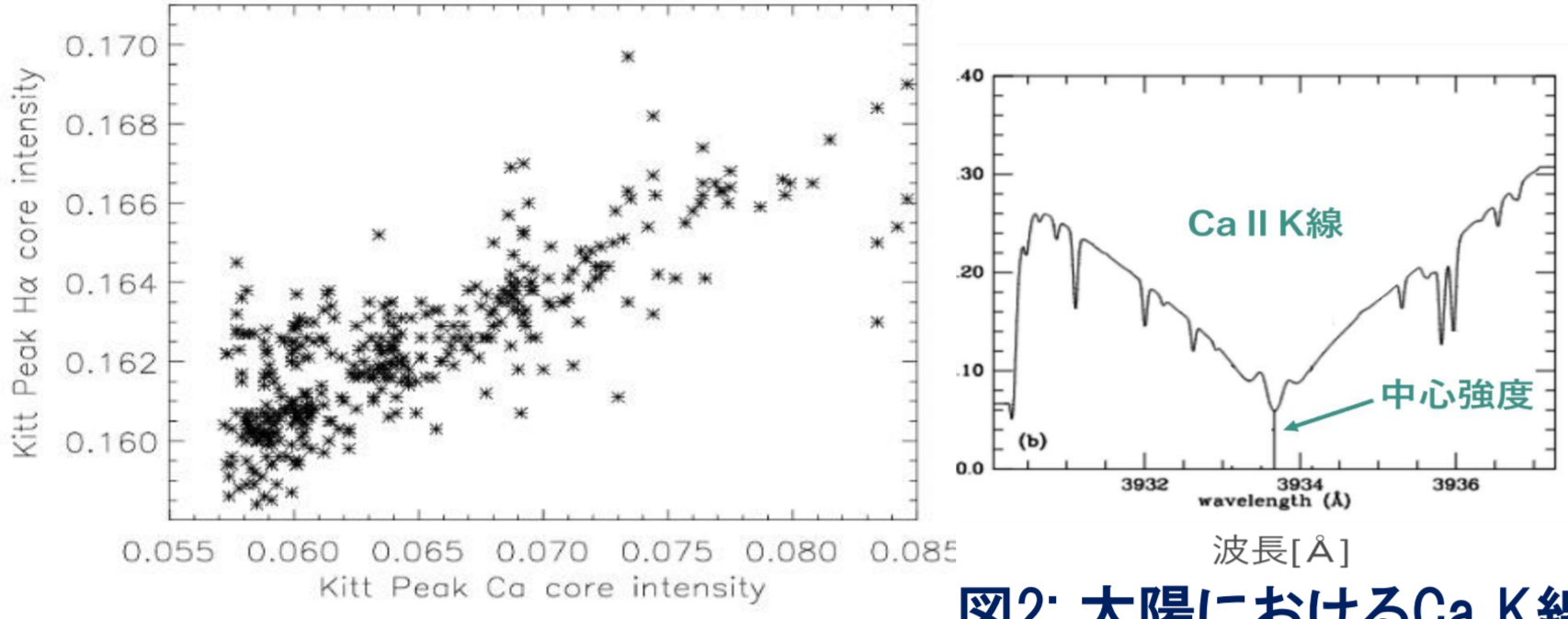


図1: 太陽におけるH α 線とCa II K線の強度(Livingston et al., 2007) 図2: 太陽におけるCa II K線のスペクトルと中心強度(Livingston et al., 2007)

Livingston et al., 2007 では1974年-2006年の計1215日分の太陽の観測からH α 線とCa II K線の中心強度で相関が確認されており、このようなH α 線とCa II HK線の相関は他の恒星でも確認されている。

■恒星でのH α 線とCa II HK線の関係

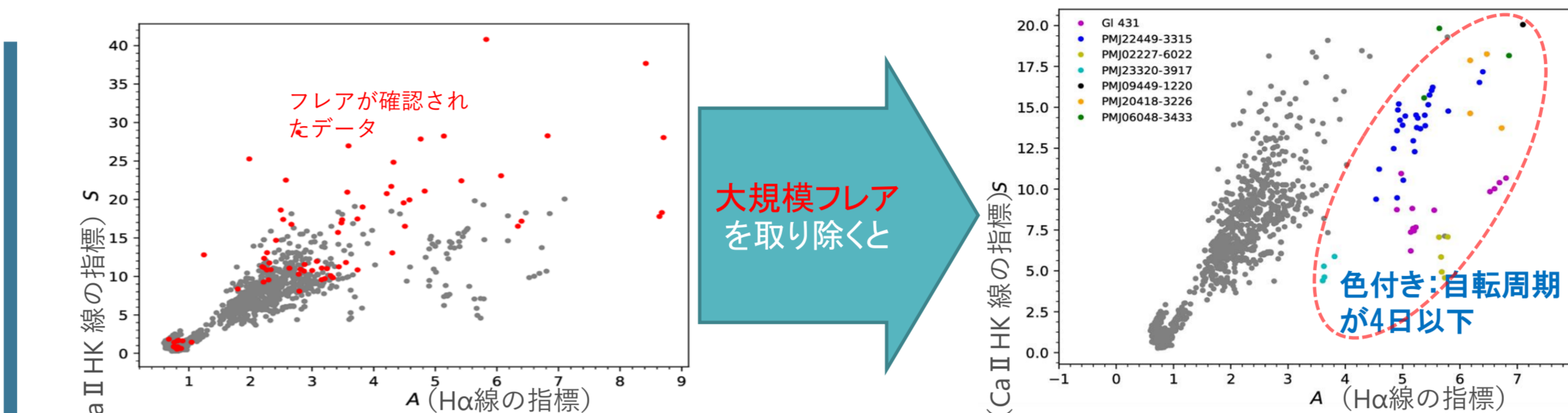


図3: M型星で大型フレアを区別化したS指標とA指標 (Bustos et al., 2023) 図4: M型星で相関から逸脱したものを区別化したS指標対A指標 (Bustos et al., 2023)

Bustos et al., 2023ではM型星でのCa II HK線とH α 線の間を、S指標とA指標を用いて関係を調べた。M型星全体について、Ca II HK線とH α 線の間に関係が得られた。しかし、フレアイベント中は相関に従わないことや、自転が早いM型星では相関から逸脱することが分かった。また、弱い活動性を持つM型星ではH α 線とCa II HK線の等価幅の相関が曖昧になることや、特定の星を時間分解した測定では必ずしも正の相関がみられるわけではないことが分かっている(Walkowicz & Hawley., 2009)。

このように太陽での観測のしやすさからCa II HK線は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。

観測

■観測対象星 PW Andromedae(PW And) 若い太陽型星

- 年齢は3-8千万歳 (López-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).
- 光度が自転と同期した周期的な変化をしていることから星表面に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)。

■観測

なゆた望遠鏡を用いて2022年10月5日、2024年11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20夜)。また、自転周期や白色光で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(2022/10/5-27)のPW And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

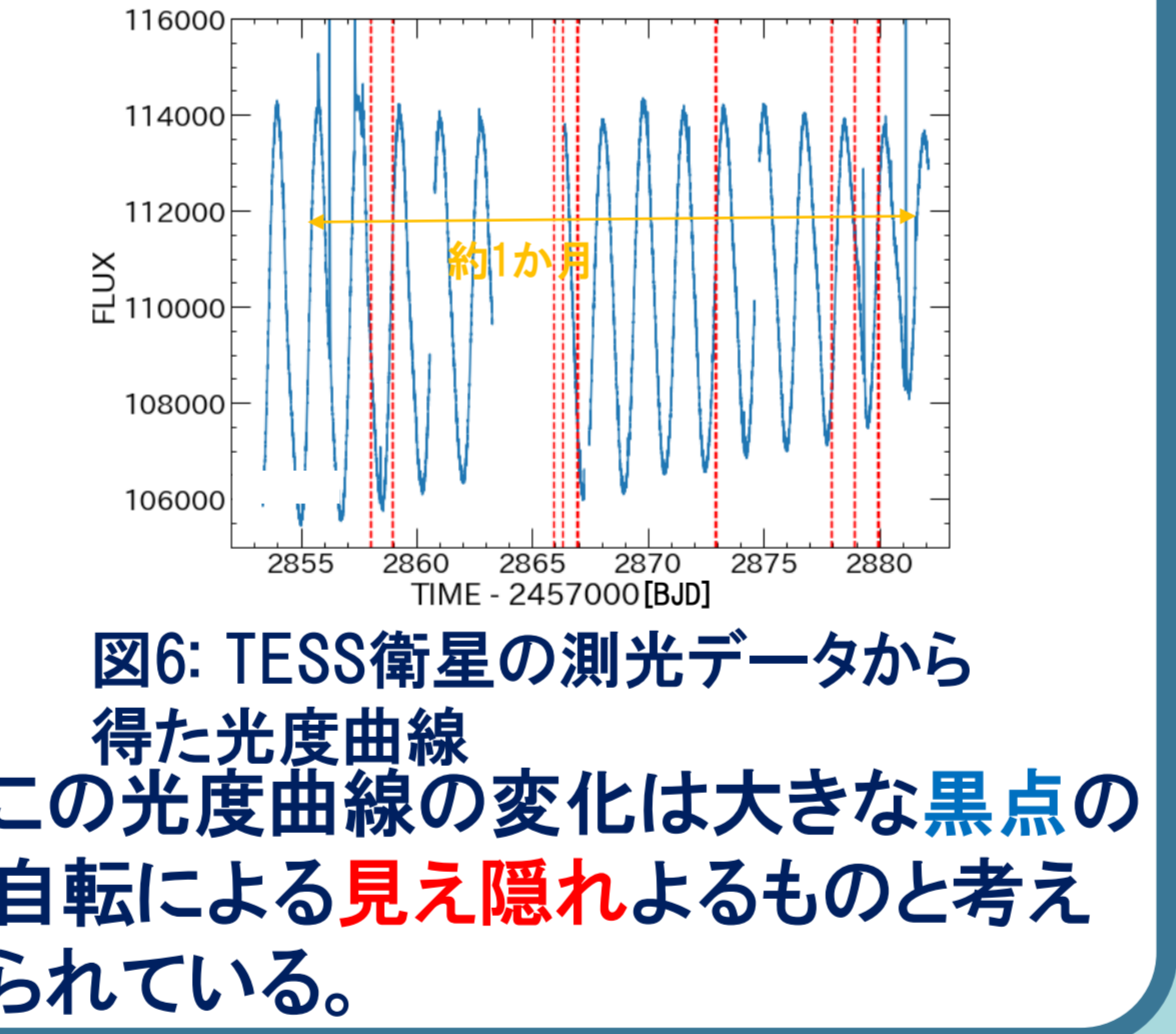
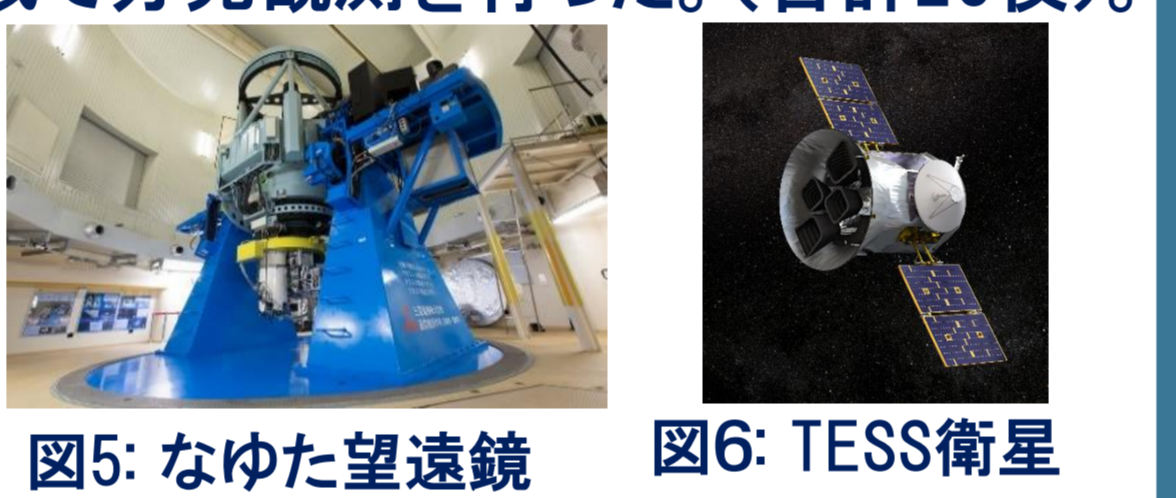


図6: TESS衛星の測光データから得た光度曲線。この光度曲線の変化は大きな黒点の自転による見え隠れによるものと考えられている。

解析

■標準星HD4628との差分スペクトル

観測されるスペクトルは全体からの光球由来の吸収成分と、彩層から観測される輝線成分を合成したものとなる。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、弱い輝線成分の等価幅の議論を行いやすくする(村瀬修論, 2022)。

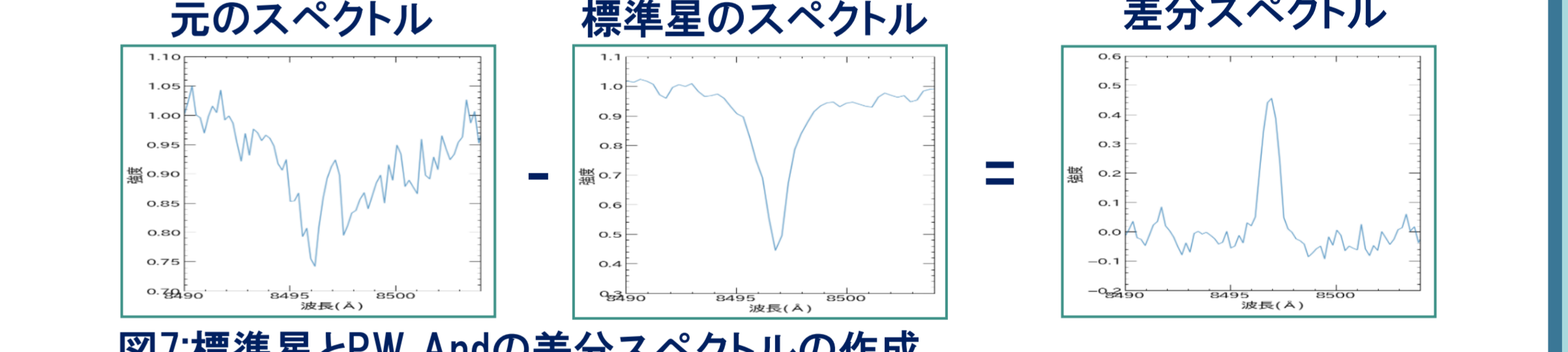


図7: 標準星とPW Andの差分スペクトルの作成

■得られた差分スペクトル

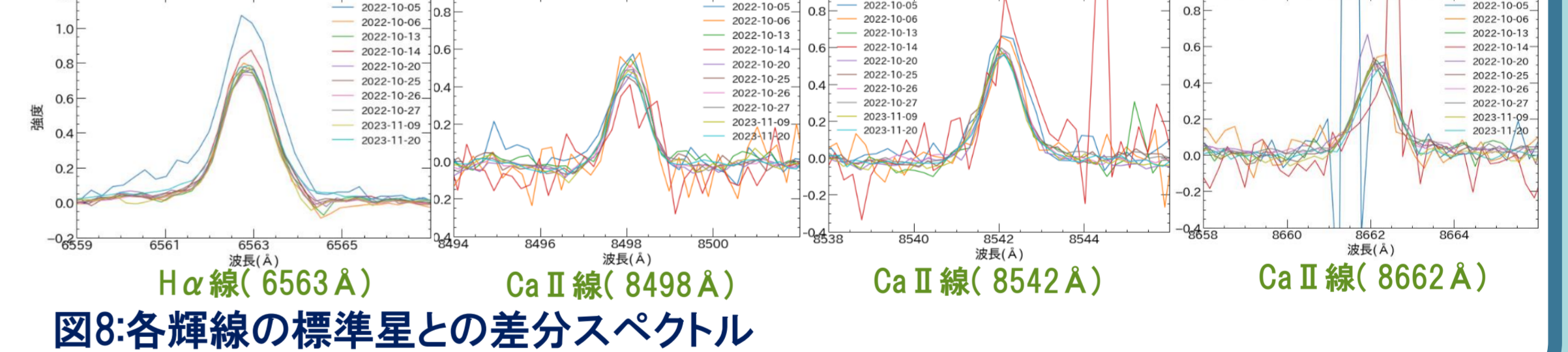


図8: 各輝線の標準星との差分スペクトル

結果・考察

■①観測日ごとの等価幅の周期的変化

光度曲線からLomb-Scargle ピリオドグラム法を用いて自転周期を求めた。

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

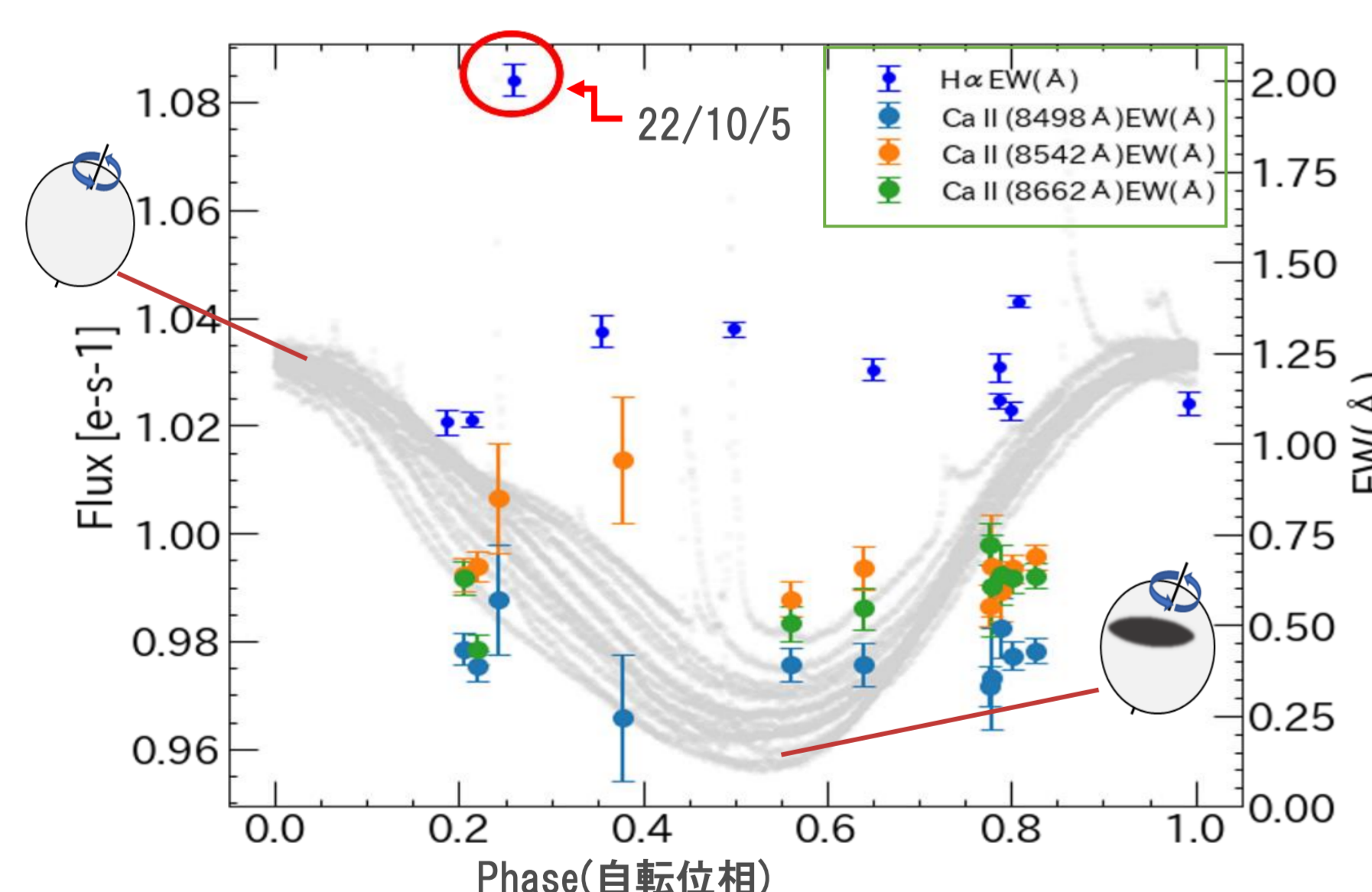


図9: 求めた周期で折り返したPW Andの光度曲線(TESS衛星)と輝線の等価幅(EW)変化(なゆた望遠鏡)

22/10/5を除いてH α 線の等価幅の変動が白色光の光度曲線と逆相関になっており、黒点の見え隠れと同期することを確認。これは大きな黒点の周りに輝線領域があることによるものと考えられる。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ず、活動性を示す彩層輝線としてはH α 線より感度が低いとみられる。

■②H 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。

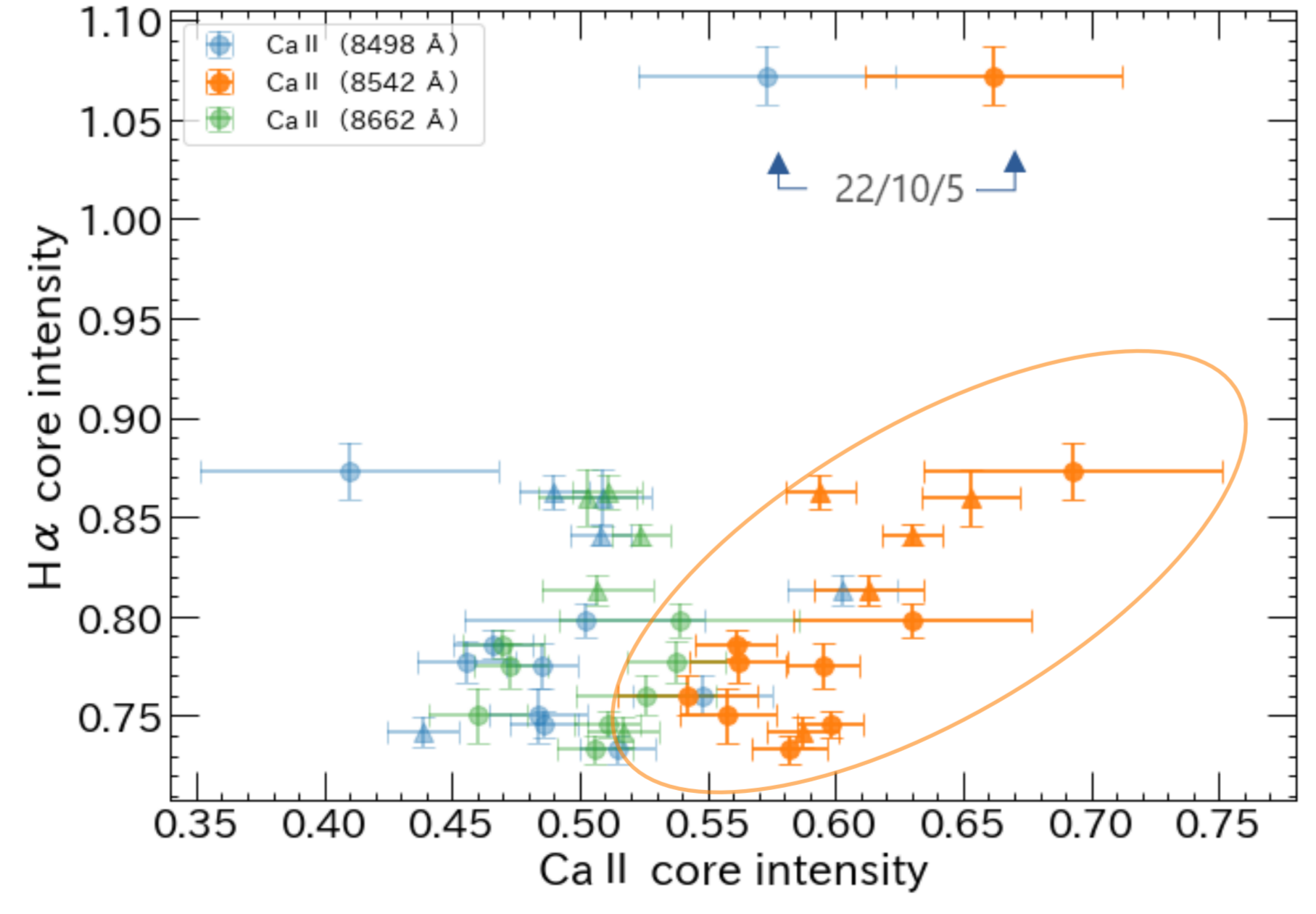


図10: H α 線とCa II IRTの中心強度

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 $\rho=0.7$)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、中心強度感度はH α 線と比べて高くないCa II IRTも有用であることを示している。

■③フレアと思われるH α 線の増光

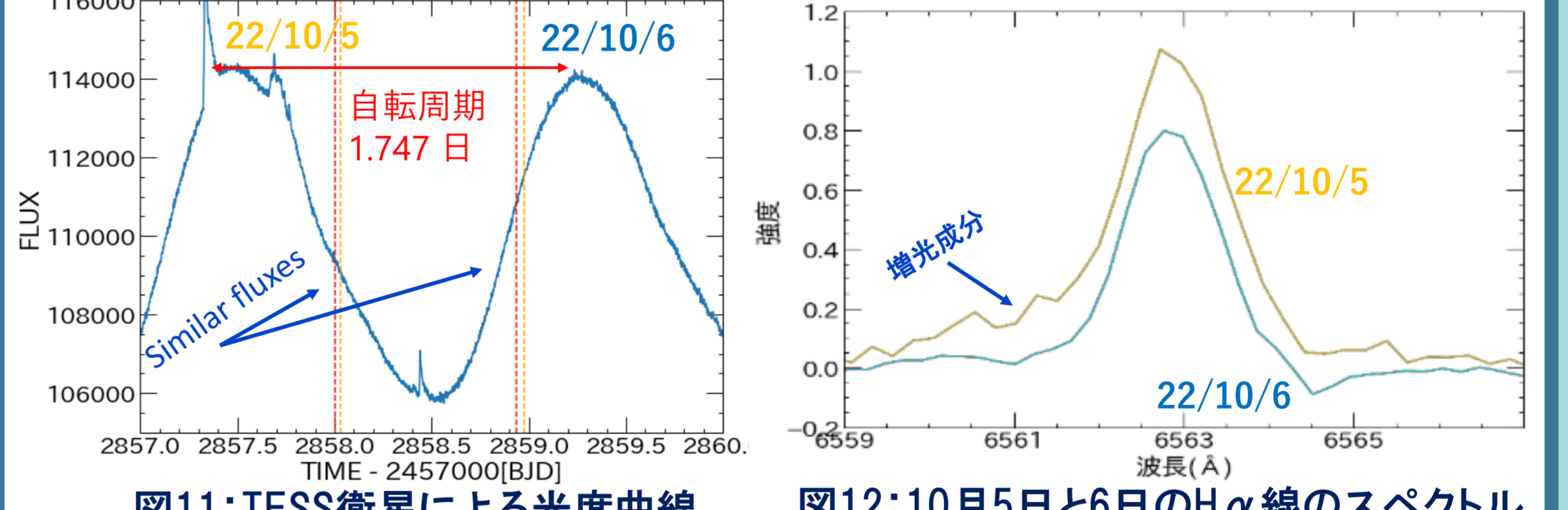


図11: TESS衛星による光度曲線。図12: 10/5に他の観測日ではみられないH α 線でのスペクトルの広がりと増光を確認した。左図のTESSによる測光データでは10/5と10/6は同程度のフラックスであるが、観測した10/5のH α 線では等価幅の増加が見られた(右図)。白色光では増光が起きていないが、フレアである可能性がある。スペクトルを見ると短波長側(青側)に増加成分が見られた。平常時のスペクトルの差分を取り偏移成分を抽出し、下記の①-③の手順のH α 線の中心波長からのずれ(速度)を求めた。(参考: Namekata et al., 2022)

- ①平常時のスペクトルとの差分をVoigt関数でフィッティング
- ②fitしたスペクトルを差分スペクトルから引く
- ③ガウス関数でフィッティング

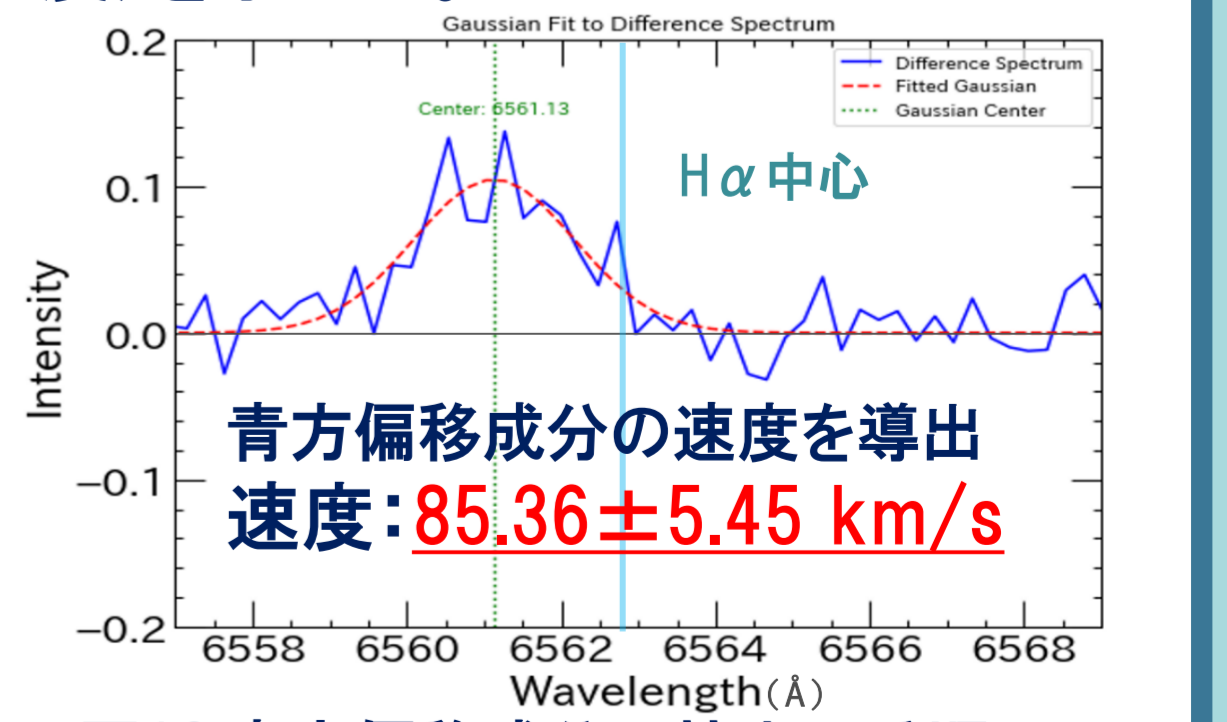


図13: 青方偏移成分の抽出の手順

自転速度をはるかに上回る速度85 km/sの青方偏移成分を確認($V\sin i = 21.4$ 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?