



自主・協励・連帯

令和5年9月14日

2023年度なゆたユーザーズミーティング

なゆた望遠鏡MALLSによるBe星の 伴星の近星点通過前後における 中分散分光観測

横浜市立戸塚高等学校
教諭(理科) 石田 光宏

Contents

1. Introduction

2. Observations and data analysis

3. Result & Discussion

4. Summary & Future work

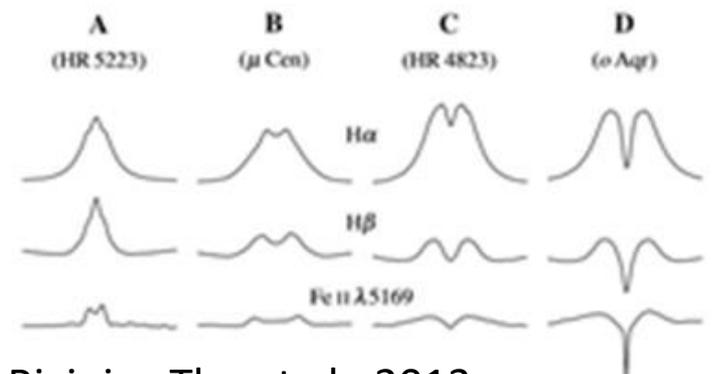
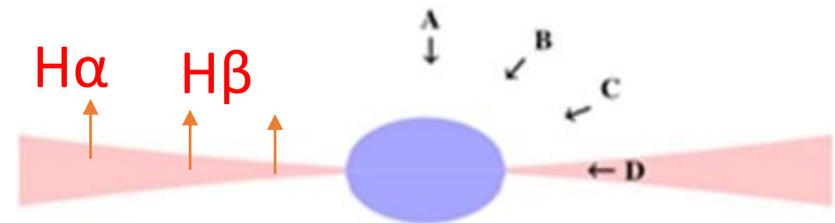
1. Introduction

○Be星(カシオペア座γ型変光星)

・定義は、光度階級がIII-VのB(O,A)型星のうち、過去に一度でも水素の輝線がみられたもの

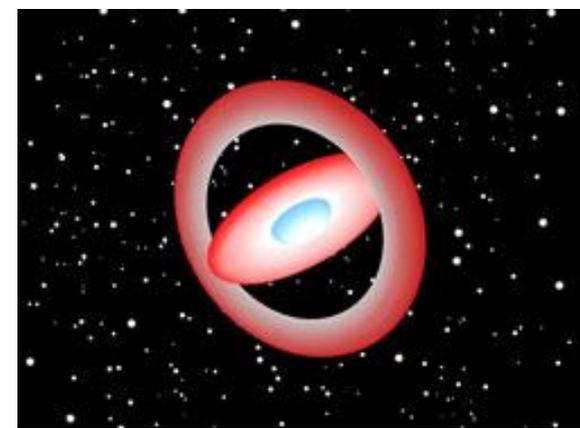
・高速(数百 km/s)で自転し、赤道周りにガス円盤を作り、水素輝線を放出

・輝線の形は、見る方向で異なる

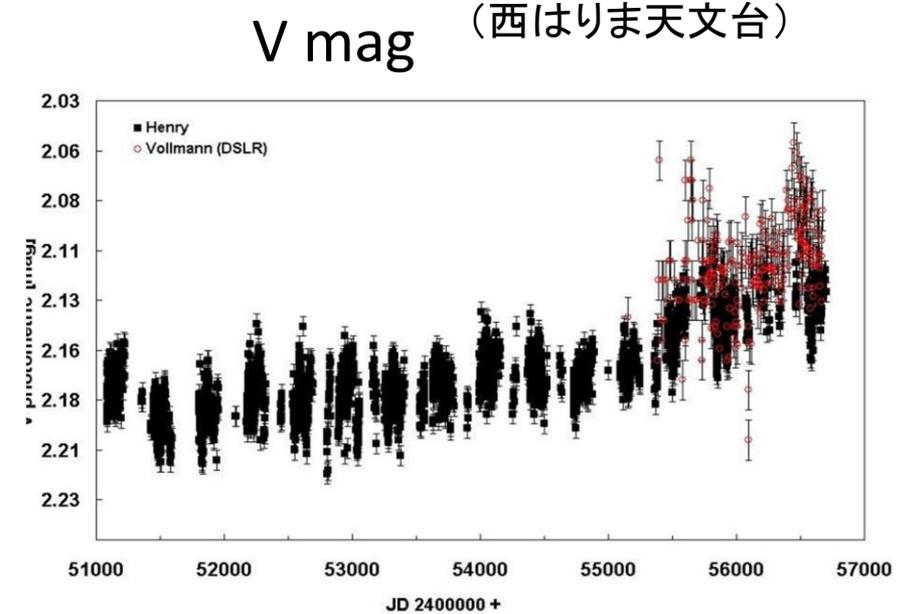
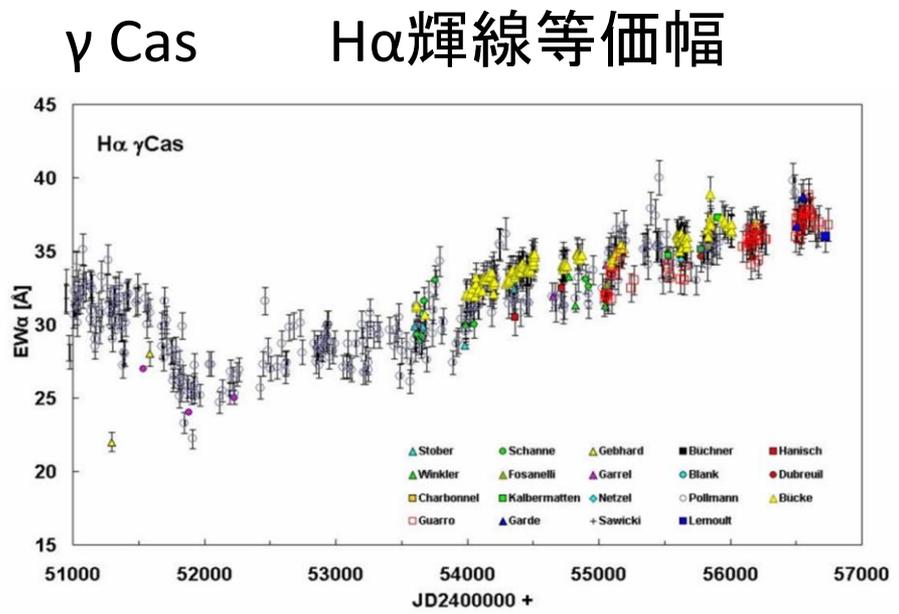


Rivinius Th., et al., 2013

- ・長期的に、円盤は生成・消滅を繰り返す。二重になることもある。
- ・円盤の成長と、水素輝線等価幅 & 明るさの変動には正の相関？



Be星プレオネの想像図
(西はりま天文台)



Pollmann et al.2014

- ・円盤への角運動量輸送機構(連星系の場合、伴星の寄与も)など分かっていないことも多い

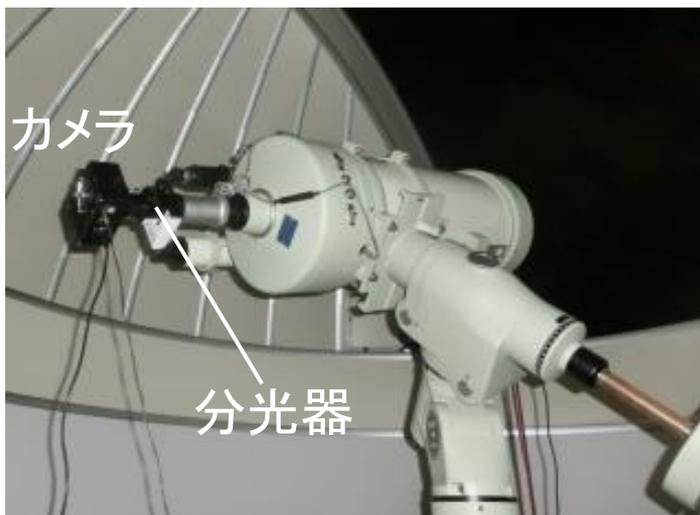
○本研究の目的

複数のBe星で

- ・水素輝線($H\alpha$ 、 $H\beta$)等価幅(EW)
- ・報告例が極めて少ない
バルマー逓減率($D34 \sim H\alpha / H\beta$)

をモニタリングし、円盤のメカニズムを探る

○観測装置



横浜サイエンスフロンティア高校
天体観測ドーム(2018.9~2020.3)



戸塚高校天文台
(2021.9~)



Alpy 600

サイエンス

戸塚

望遠鏡

タカハシ製 30cm

ASKO製 35cm

冷却CCDカメラ

SBIG製 ST-402ME

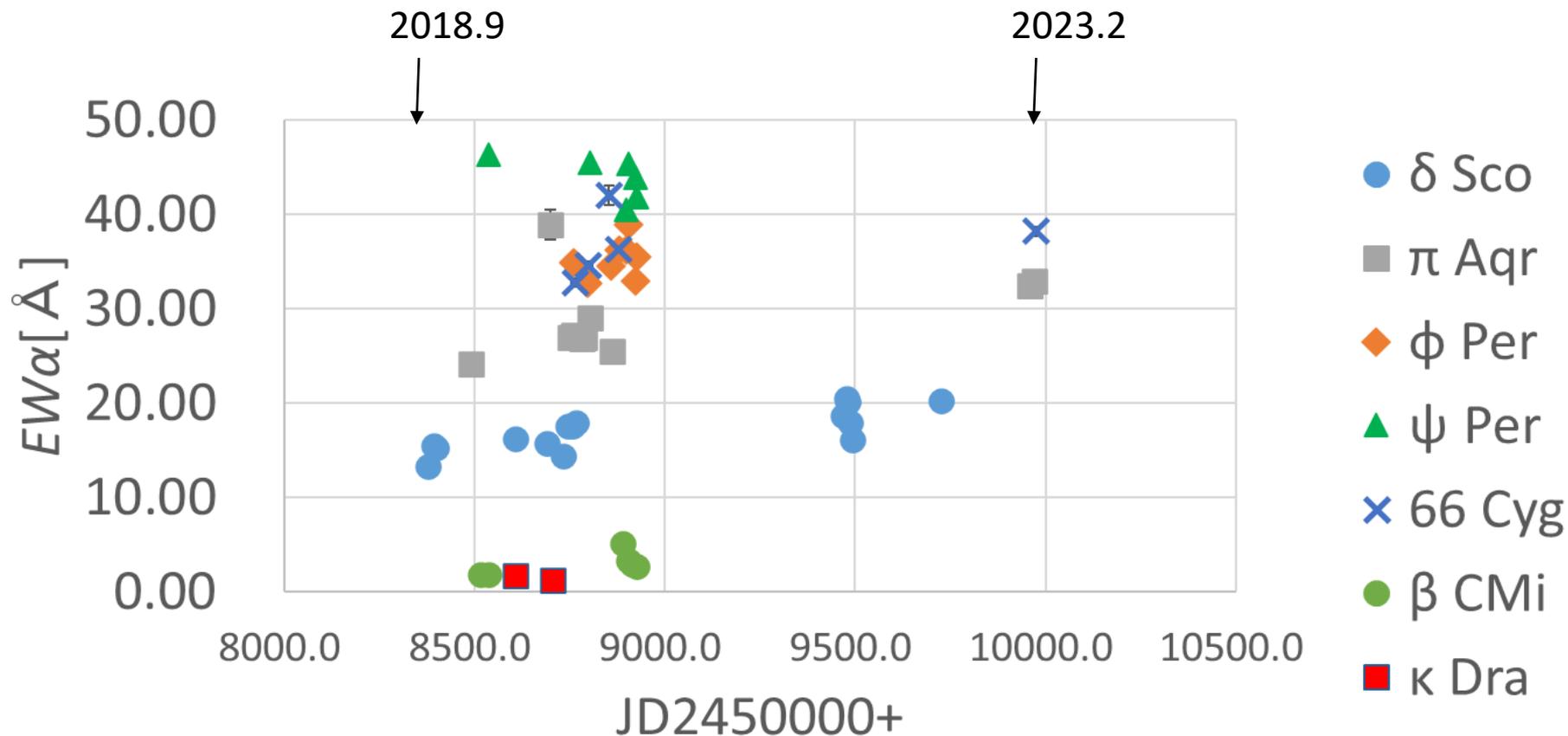
Atik製 Atik 414EX

分光器

Shelyak製Alpy 600
波長分解能~600@650nm
~400@450nm

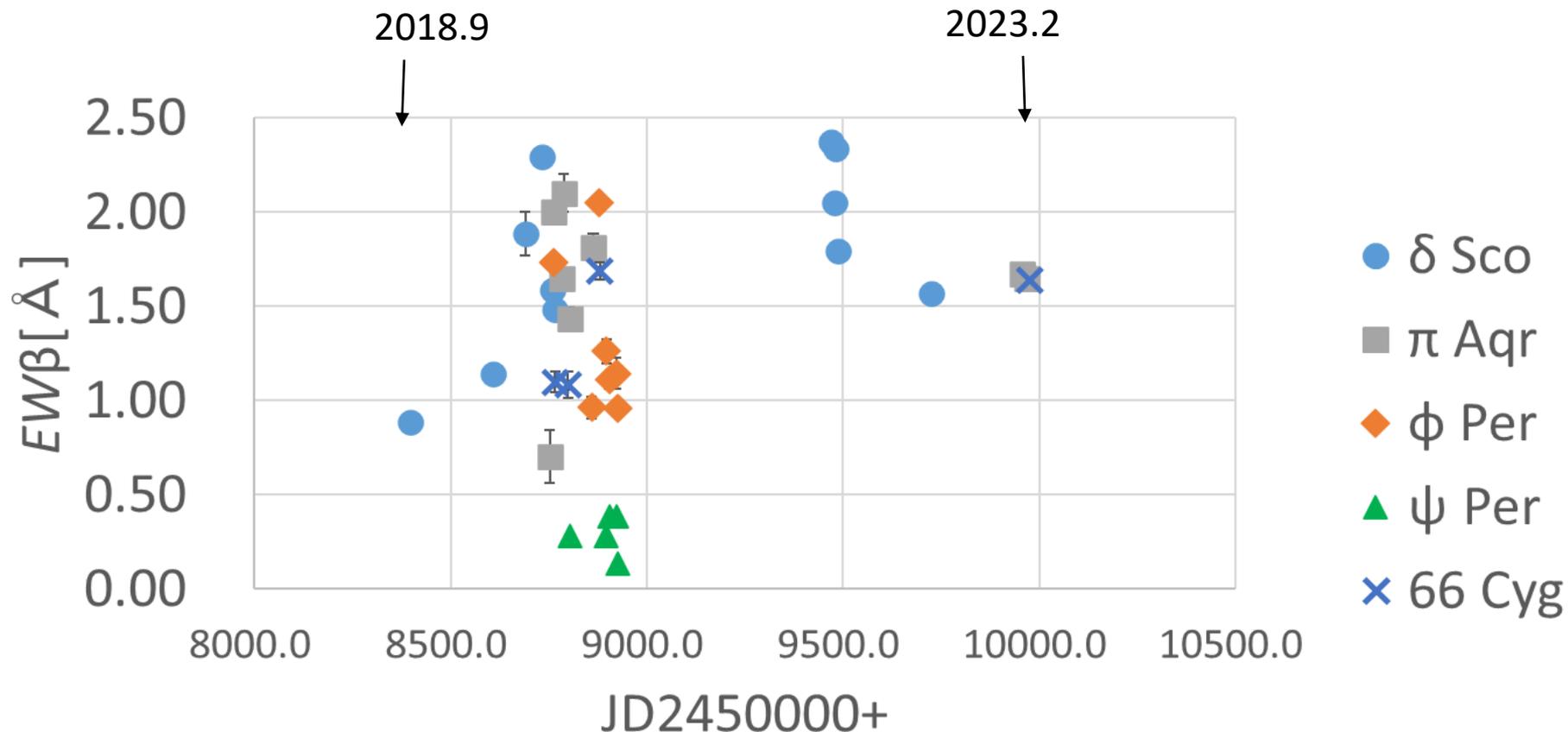
同

○低分散分光観測結果(1) $EW\alpha$



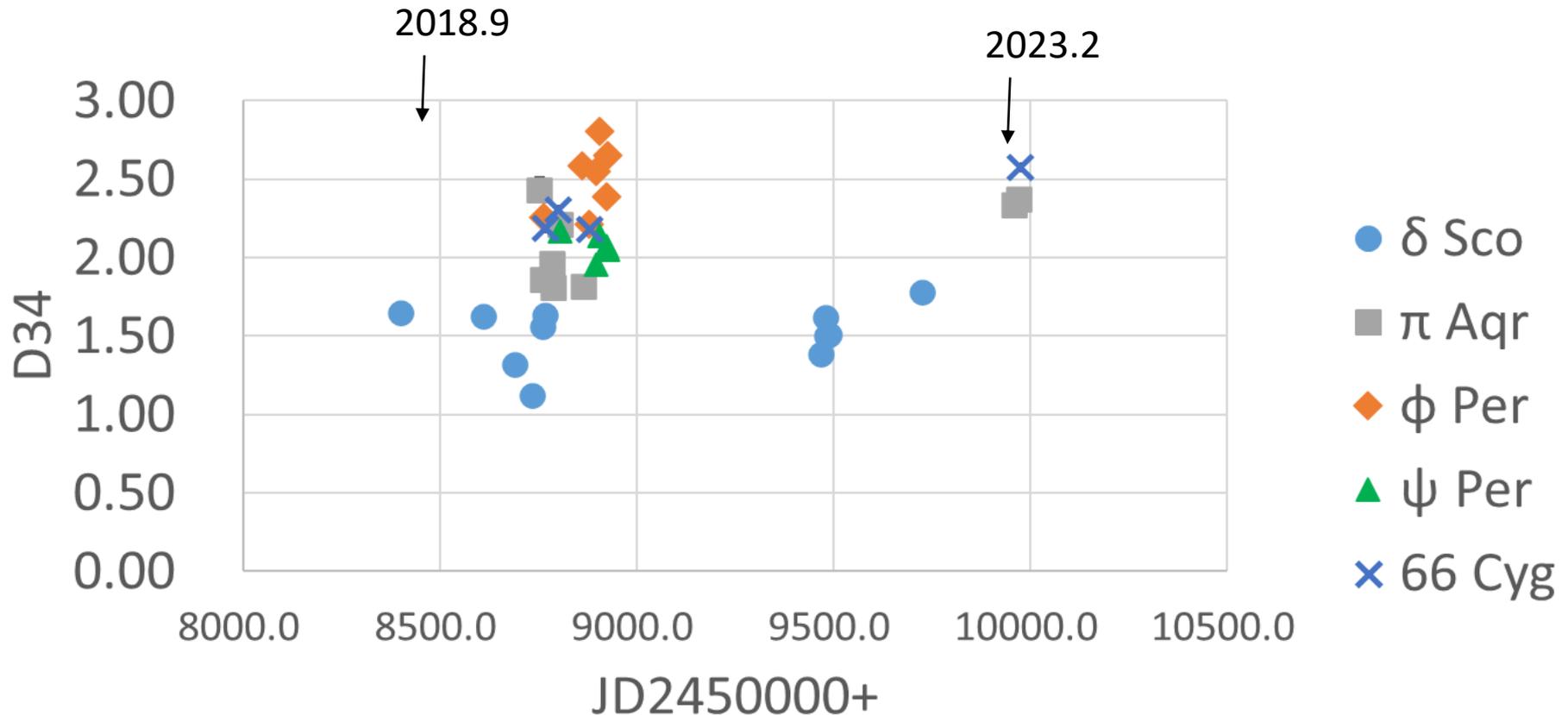
- ・どの天体も緩やかな変化
(除： π Aqr, 66 Cygのそれぞれ1点ずつ)

○低分散分光観測結果(2)EW β



- δ Sco, π Aqr, ϕ Per \rightarrow 2-3倍程度の変化がある
- 上記以外 \rightarrow 緩やかな変化

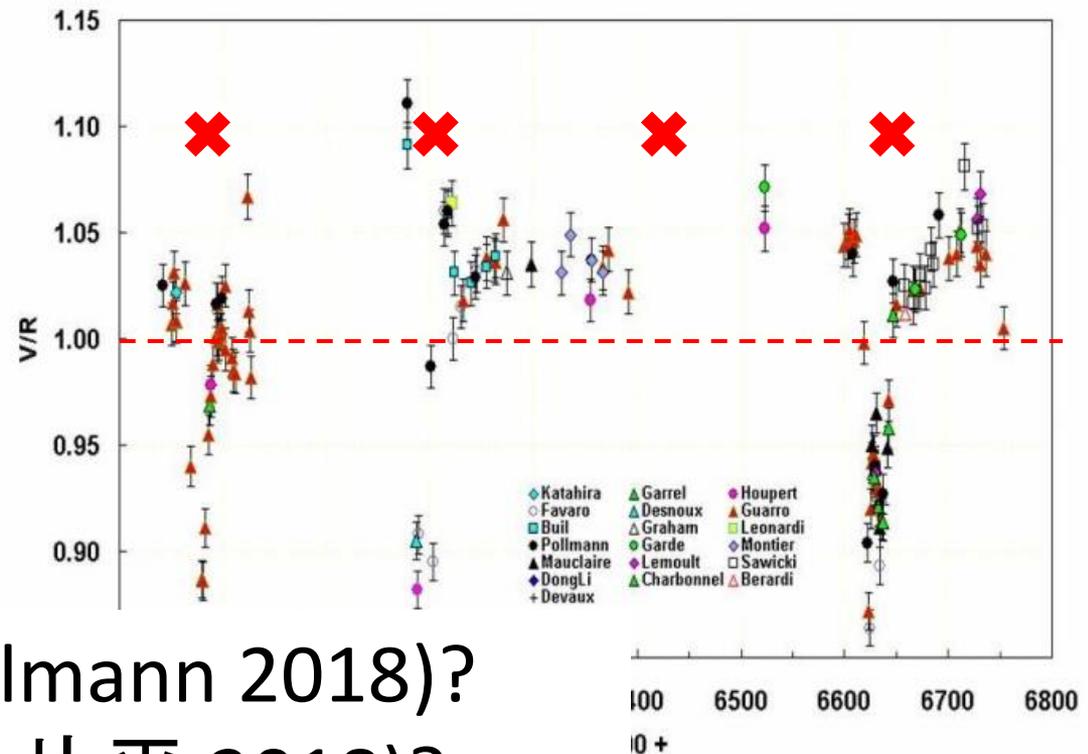
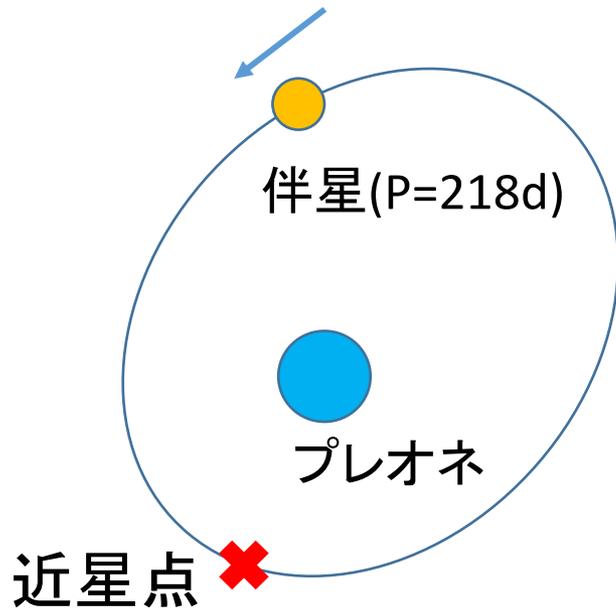
○低分散分光観測結果(3)D34～ H α / H β



- δ Sco, π Aqr, ϕ Perで1.5倍程度の変化がある
- 上記以外→緩やかな変化
- ψ Perのみ単独星, 他は連星

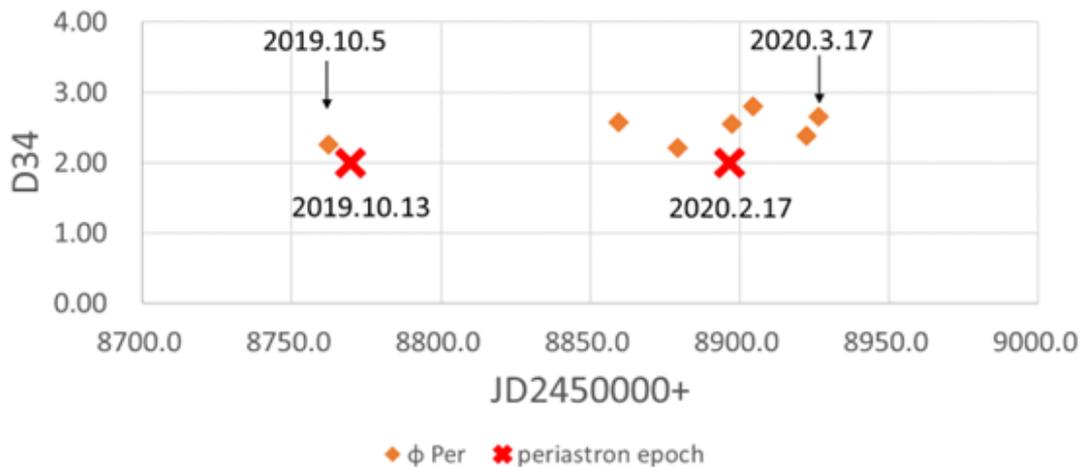
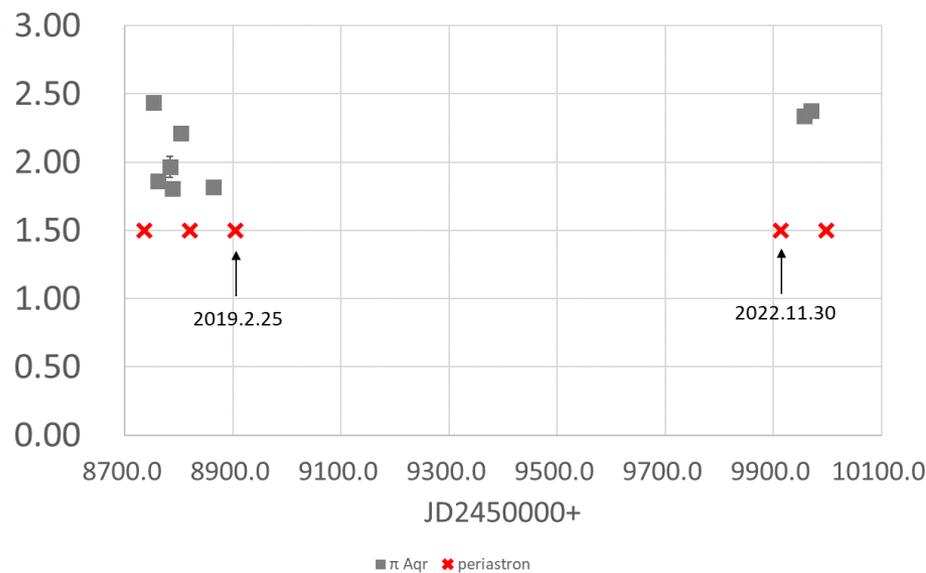
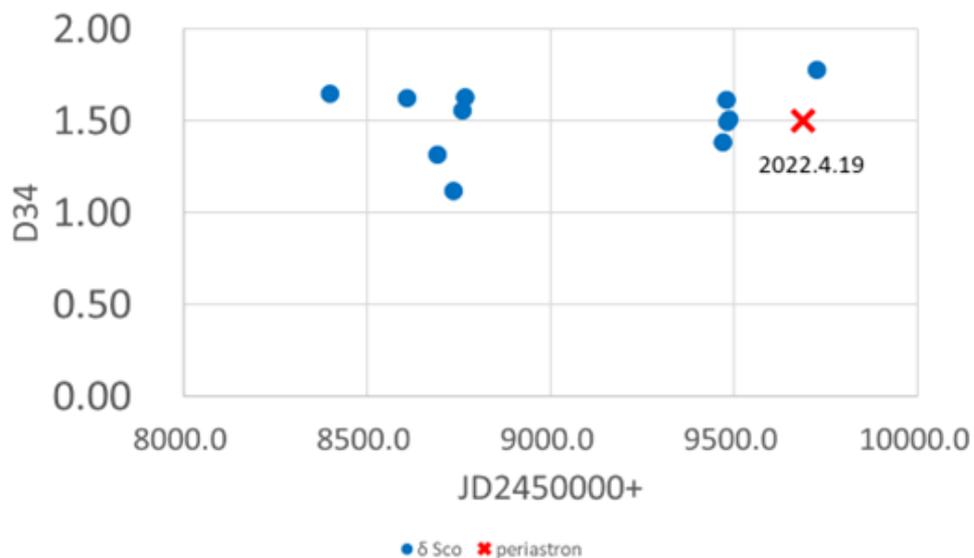
○periastron epoch(近星点)

- ・Be星 28 Tau(プレオネ)の高分散分光観測で、伴星の近星点通過前後でV/R(輝線ダブルピーク紫[V]、赤[R]強度比)が変動するとの報告あり (Pollmann & Vollmann,2014など)



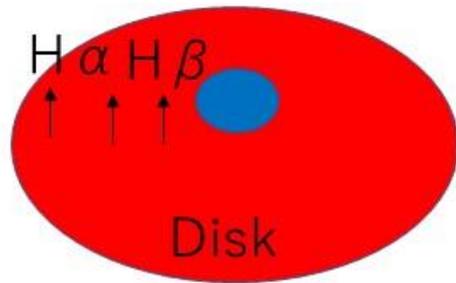
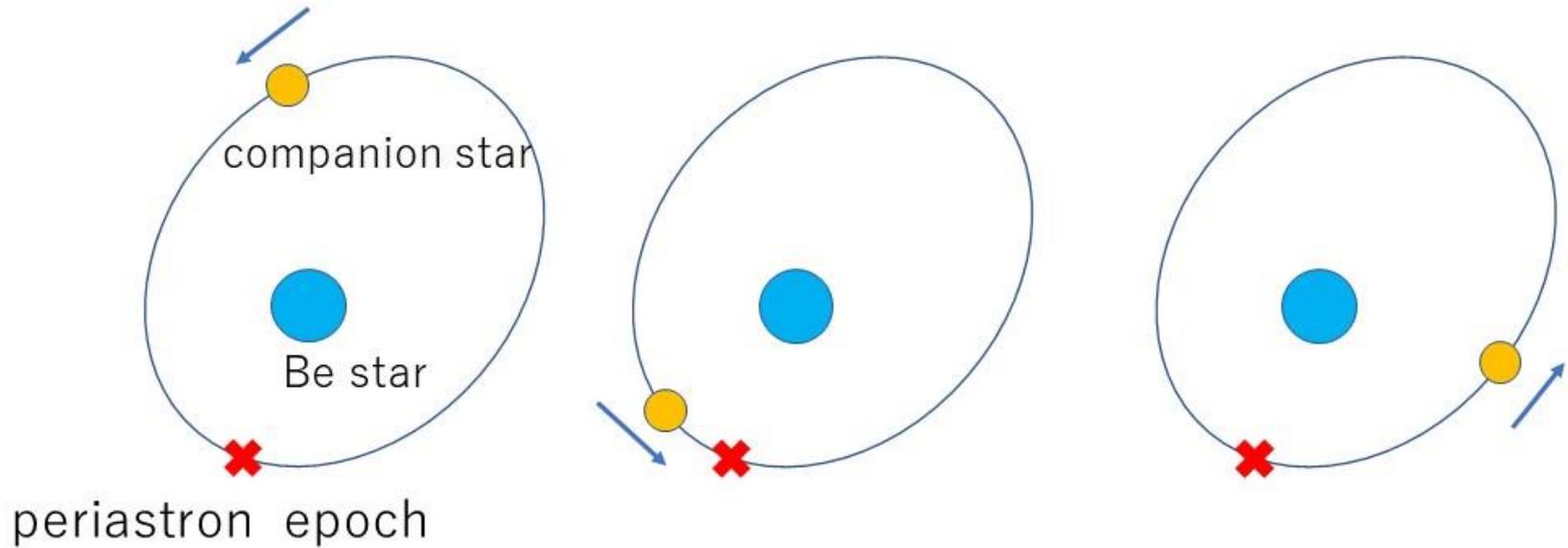
⇒円盤歳差運動(Pollmann 2018)?
伴星の潮汐力(本田, 片平 2018)?

○D34変化とperiastron

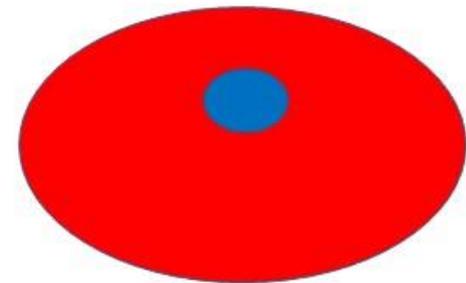
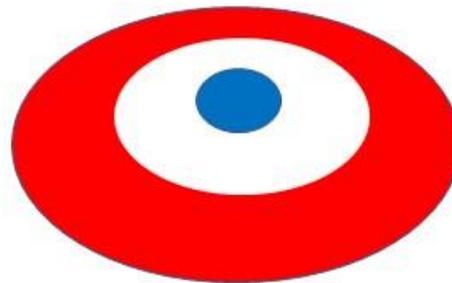


D34は、近星点の前
で減少傾向、後で
増加傾向
(通過前後でグラフの
傾きが正となる?)

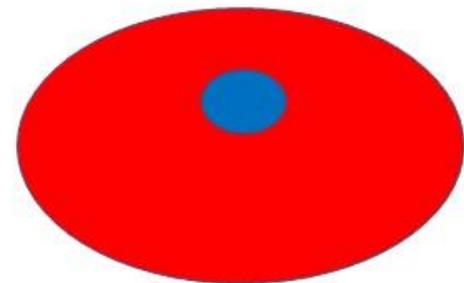
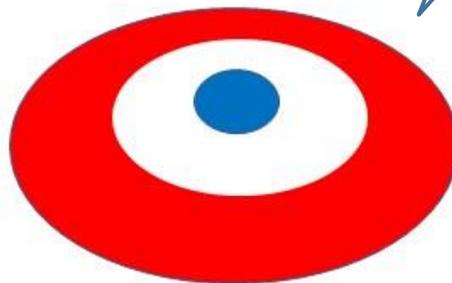
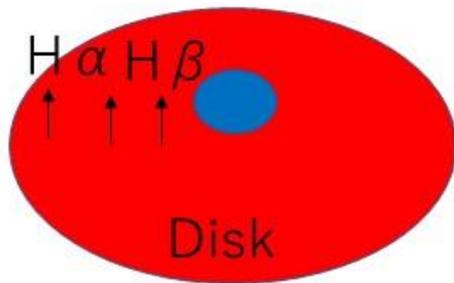
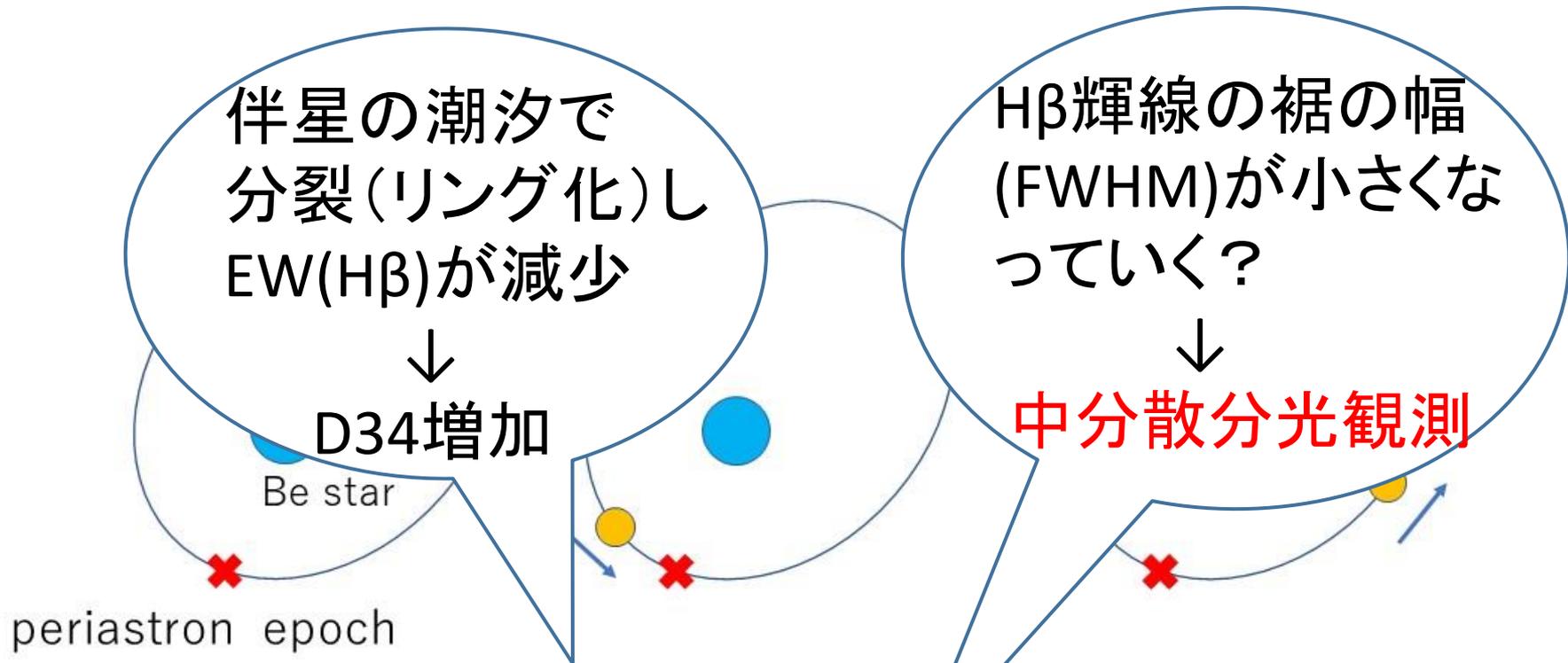
○円盤構造モデル(石田2022,SAG)



Ringed by the tidal force of Be's companion star



○円盤構造モデル(石田2022,SAG)



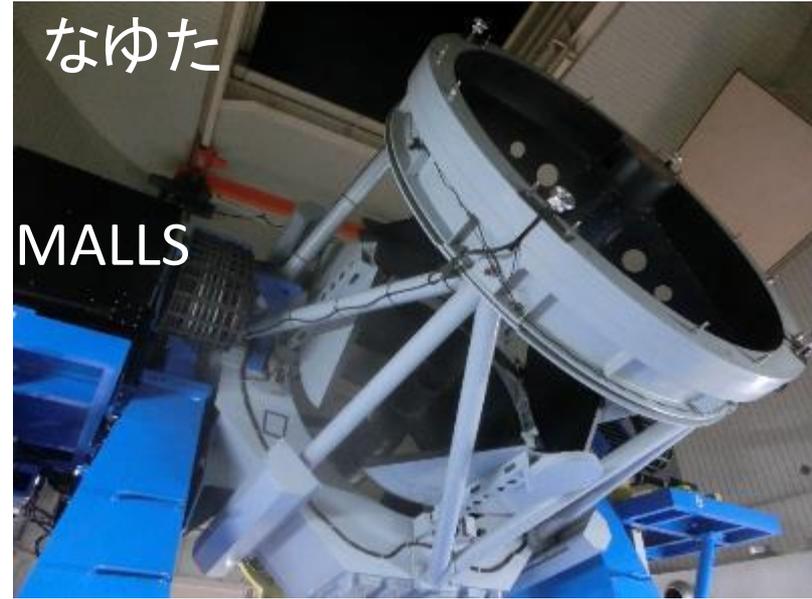
Ringed by the tidal force of
Be's companion star

2. Observations and data analysis

○西はりま天文台なゆた望遠鏡による中分散分光観測

- ・観測装置：可視光中低分散分光器MALLS
0.8"スリット, 1800l/mm
波長分解能 $\sim 7500(550\text{nm}, 1.2")$
- ・観測波長域：H α , H β 中心, 400 Å の範囲
- ・観測(予定)日&ターゲット：

δ Sco	π Aqr
2022/4/16 (periastron)	2023/8/8,9 (periastron)
2023/4/21,22	2023/9/11,12

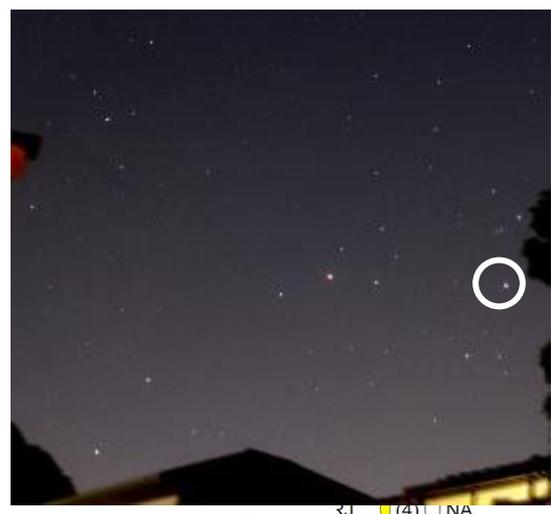


・解析ソフト:IRAF

3. Result & Discussion

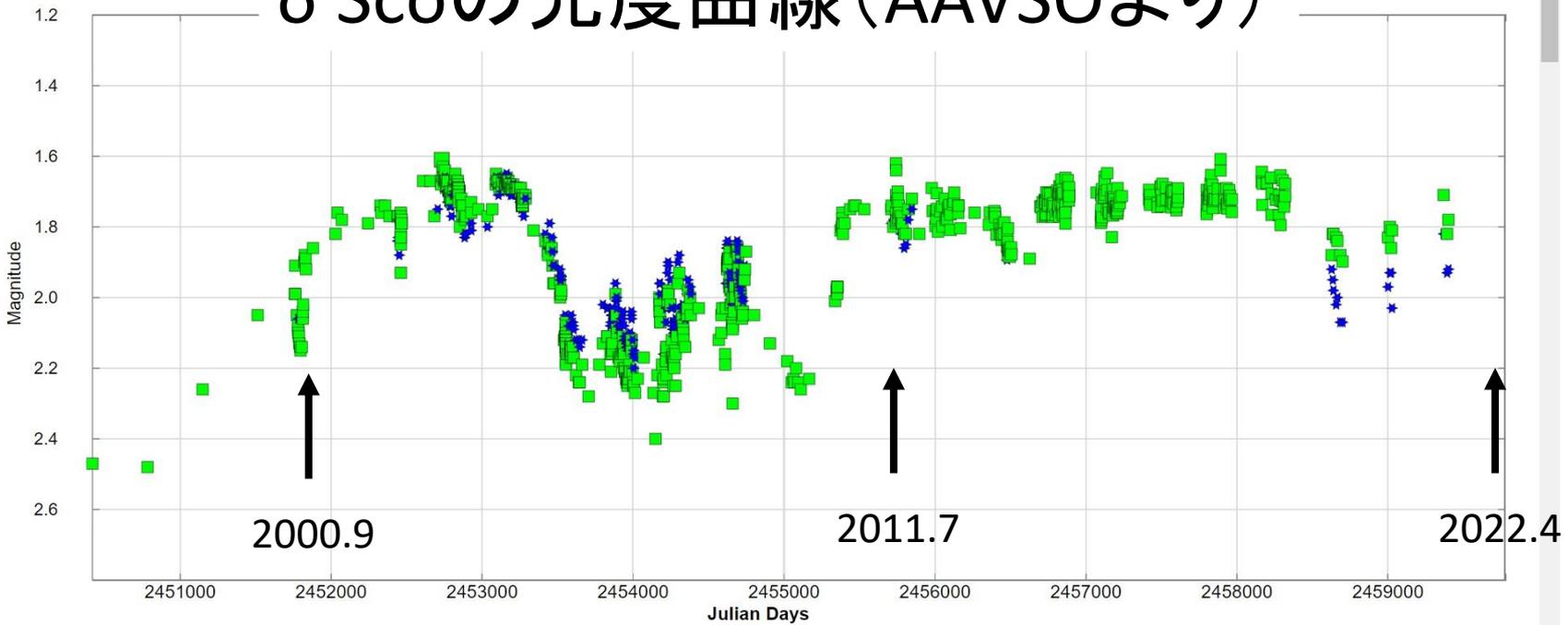
○なゆた望遠鏡による中分散分光観測

- ・対象天体①: δ Sco
- ・2000年に γ Cas型の増光、その後およそ10年周期で増光
→伴星が近星点を通るため
- ・伴星の軌道離心率 ~ 0.9

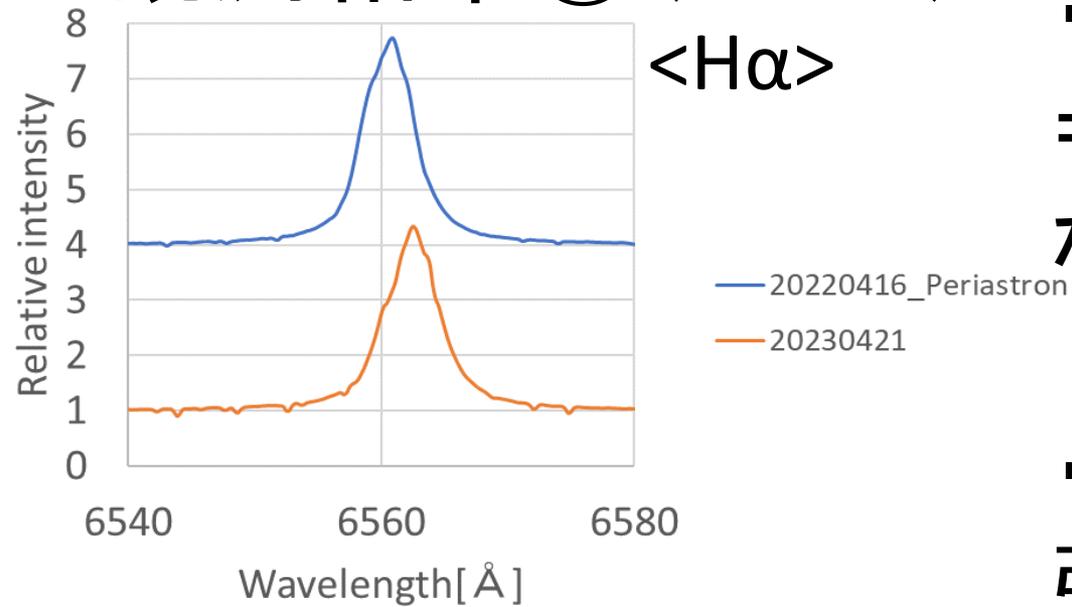


□: All (8836) ○(7728)

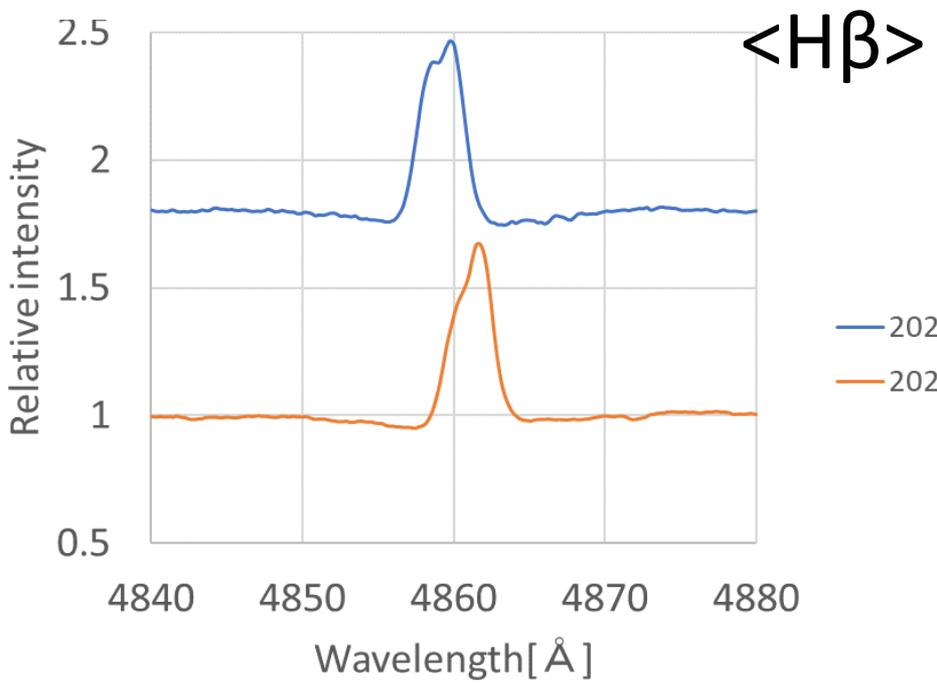
δ Scoの光度曲線 (AAVSOより)



○観測結果① (δ Sco)



▪ FWHM
⇒ H α , H β ともに大きな変化なし

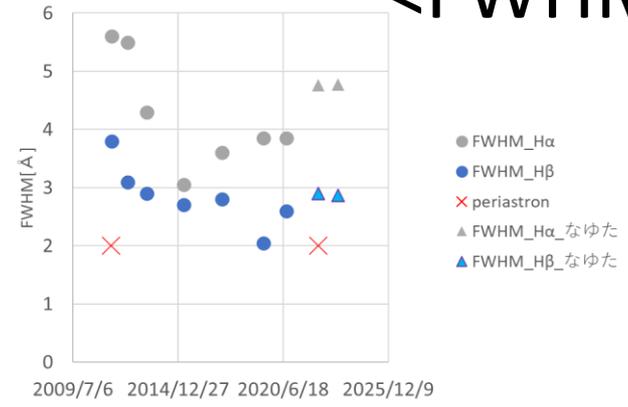
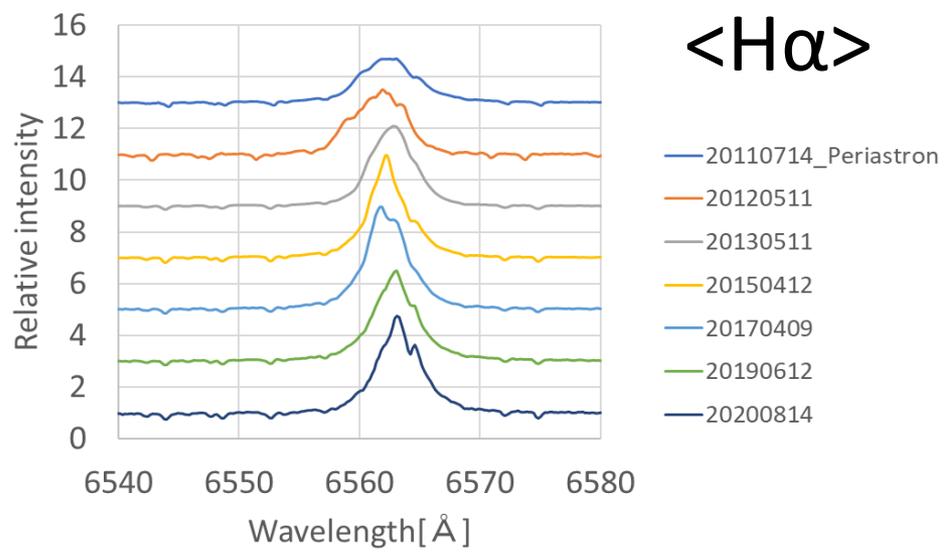


▪ スペクトルの形状や強度に微妙な変化
H α : 強度減少
H β : シングルピークに近い

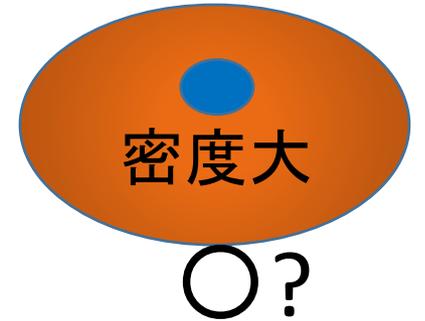
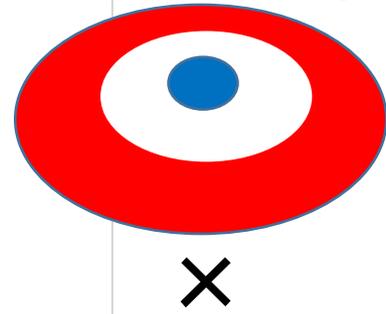
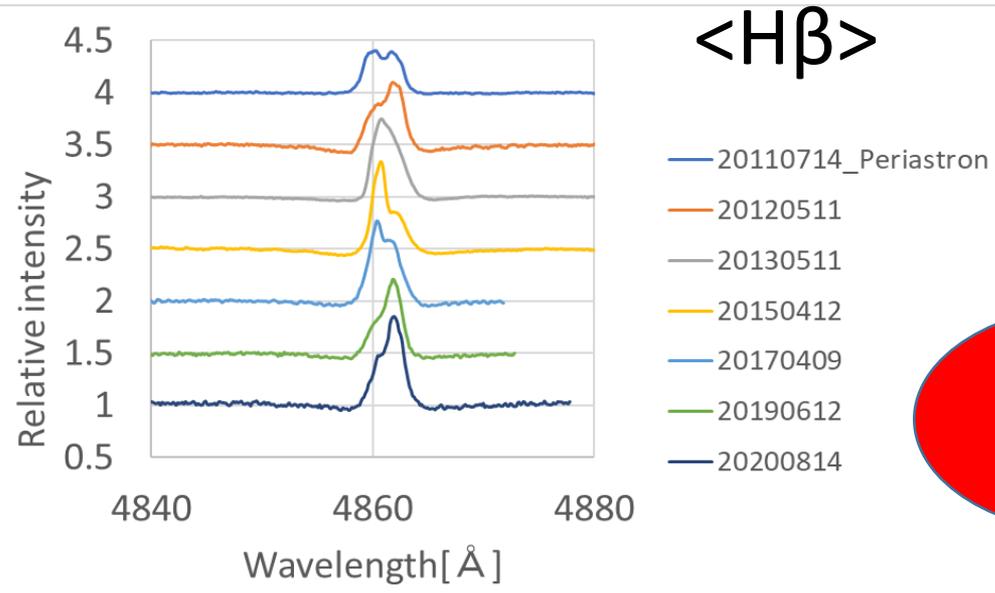
○アーカイブデータ(BeSS)の解析(δ Sco)

<条件>波長分解能R(~ 11000)が同じ

<FWHM>

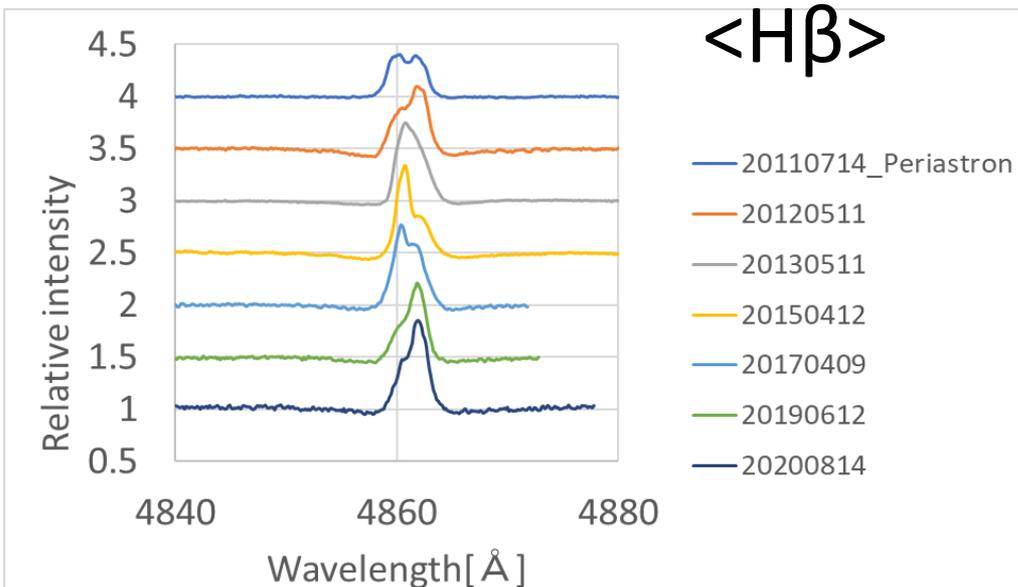
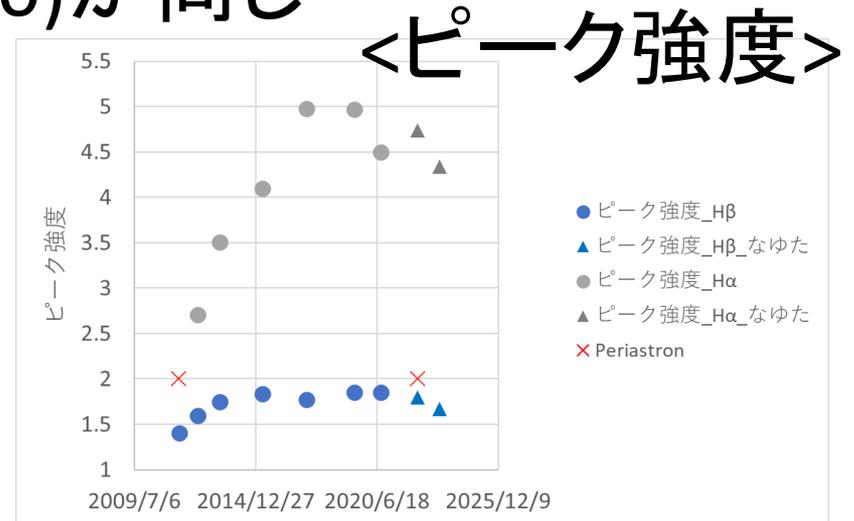
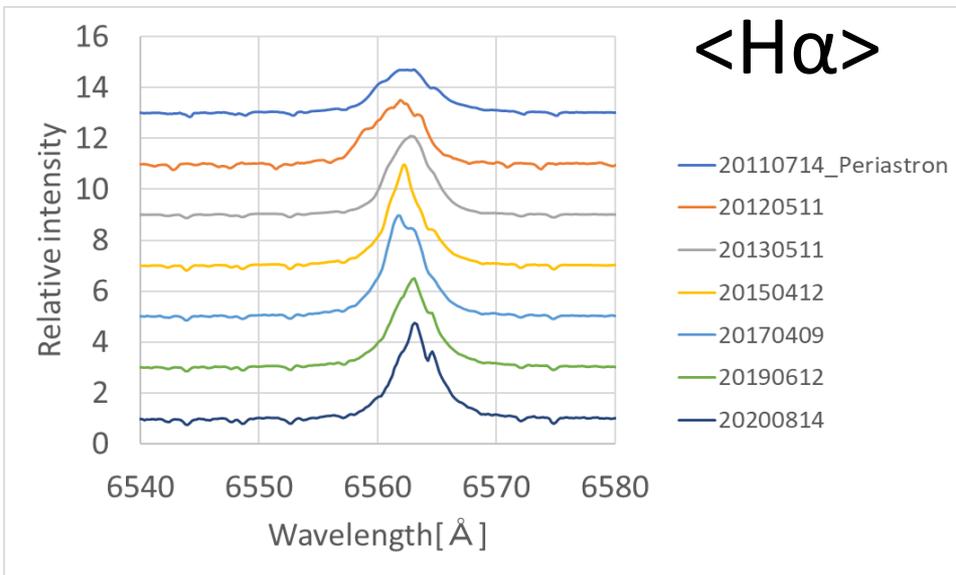


・FWHMはH α , H β ともに
近星点に近づくと大きくなる
 \Rightarrow 予想と逆の傾向
近星点付近では円盤の
密度増大?



○アーカイブデータ(BeSS)の解析(δ Sco)

<条件>波長分解能R(~ 11000)が同じ

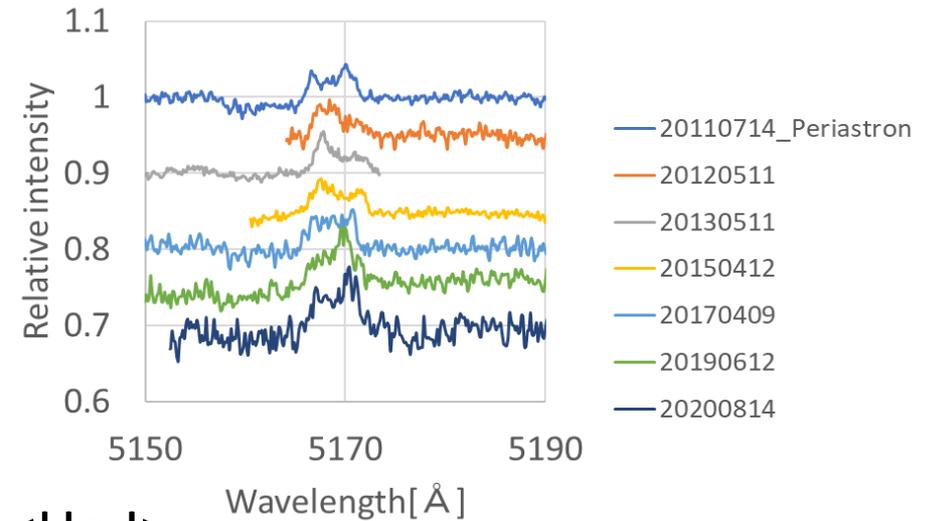
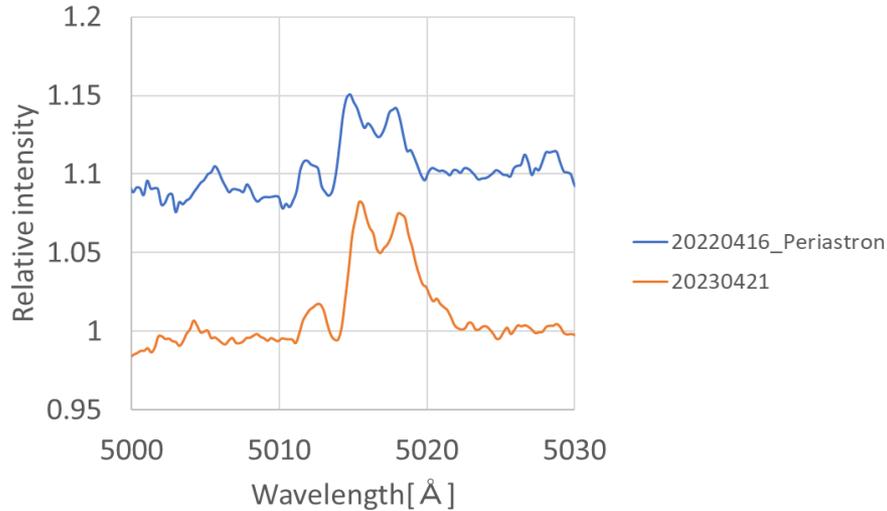


- ・ピーク強度はH α , H β ともに近星点付近で最小そこから離れると増大
- ➡近星点での伴星の潮汐力の影響が、数年間円盤の成長に寄与?
- ➡しかし直近の近星点通過後では見られない

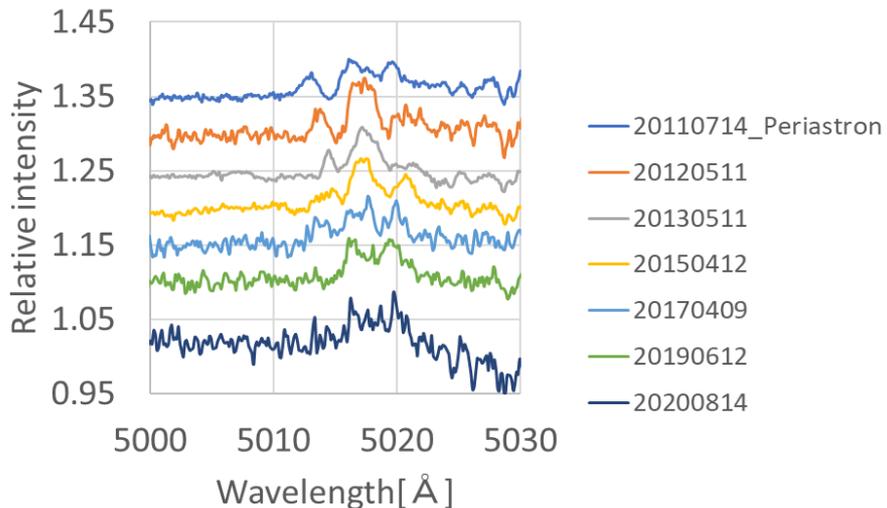
○ BeSSの解析—他元素 (δ Sco)

He I (5016 Å) _ なゆた

Mg I (5167 Å) or Fe I (5166 Å)



He I (5016 Å) _ BeSS



<He I>

・強度は近星点を超えると上昇

<Mg I>

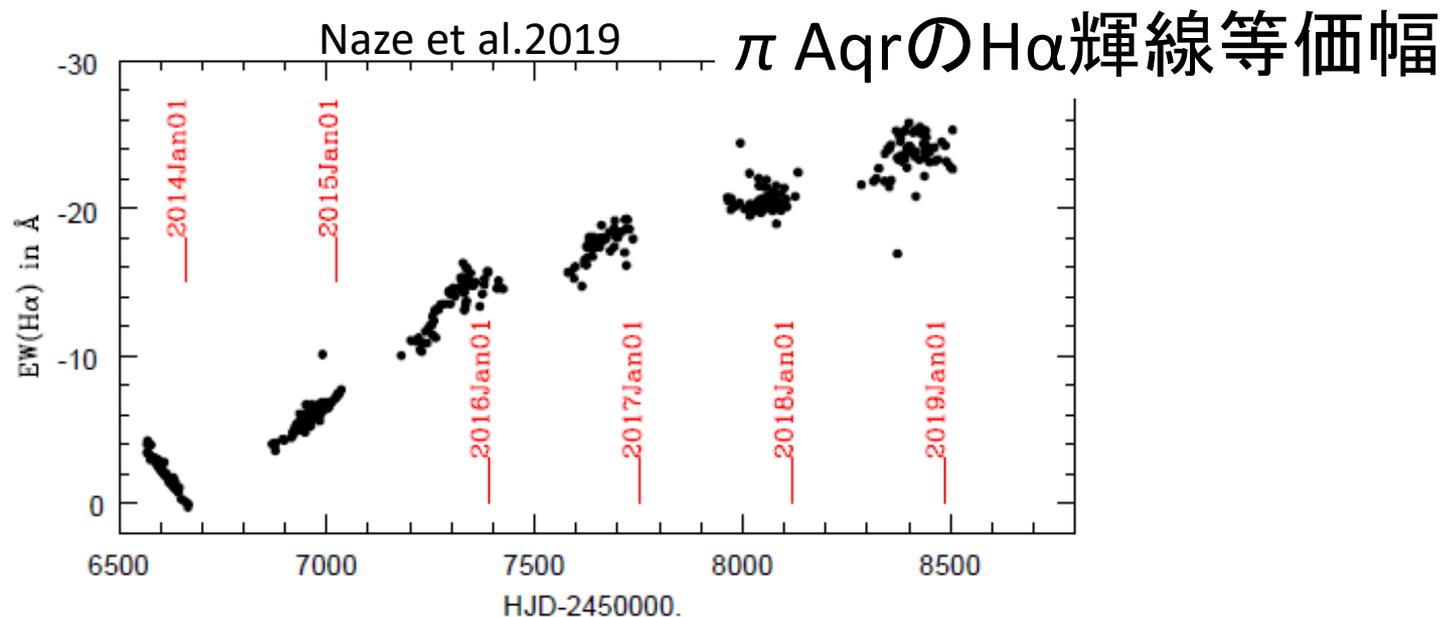
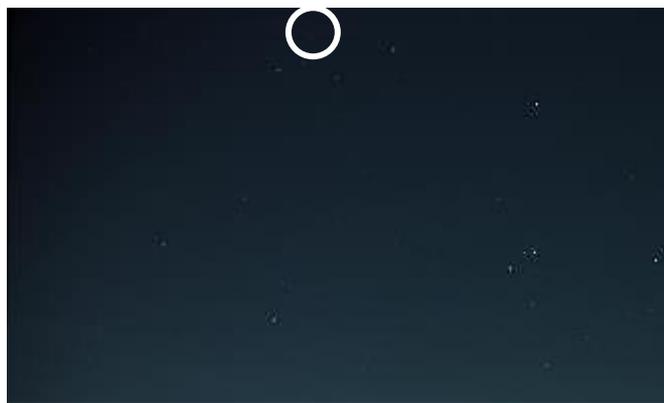
・形状の変化: シングルピークに戻るタイミングが水素と違う

・強度は近星点を超えると上昇

※輝線強度変動は円盤の温度分布を反映?

○なゆた望遠鏡による中分散分光観測②

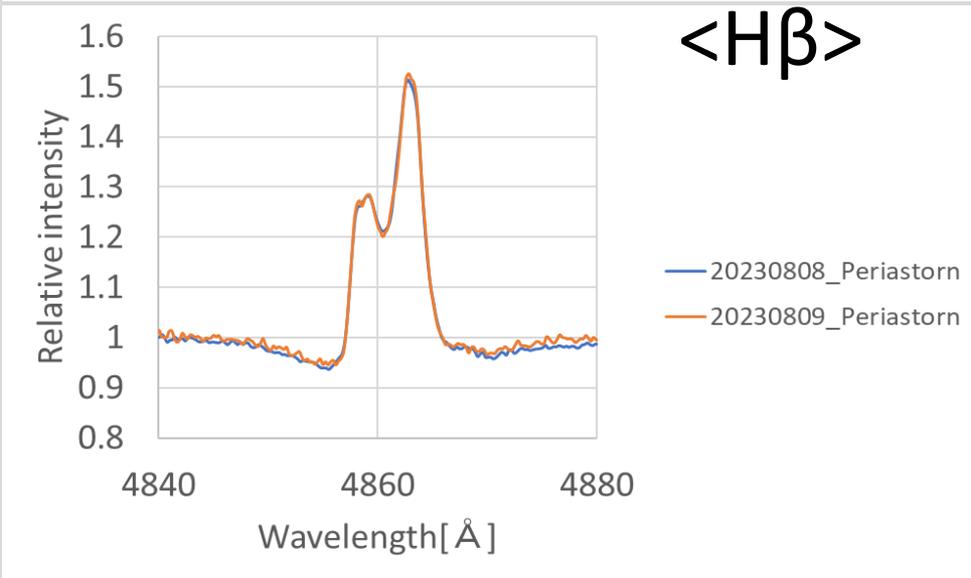
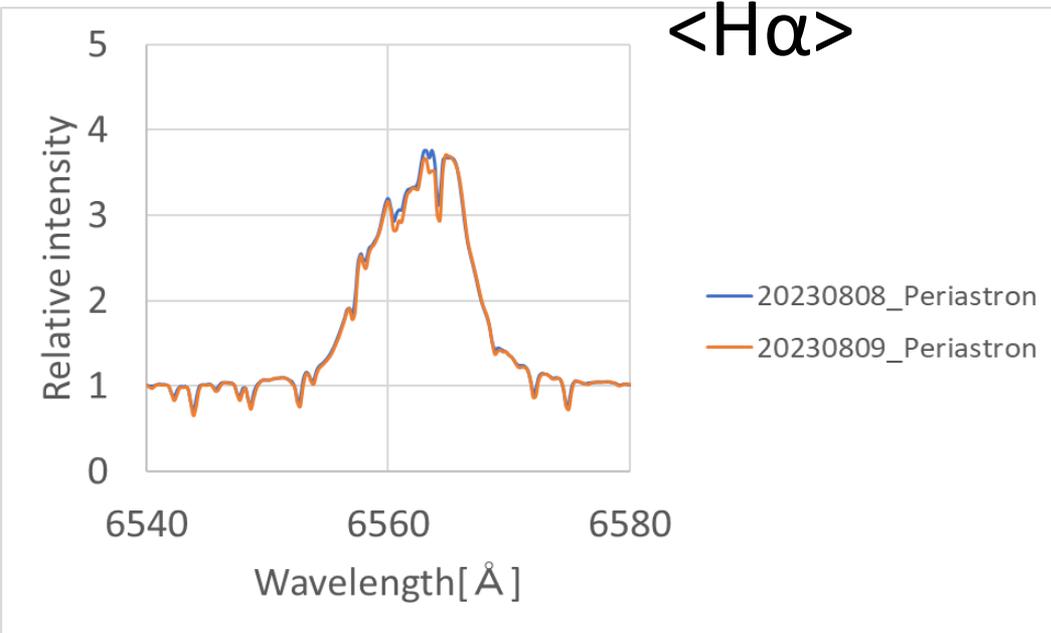
- ・対象天体： π Aqr
- ・2014年1月に円盤消失、その後順調に発達
- ・X線で明るく、伴星は白色矮星が有力(Tsujimoto et al. 2022), 軌道周期 ~ 84.1 day
- ・伴星の軌道離心率 ~ 0 ?



○観測結果②(π Aqr)

20230912 データ取得

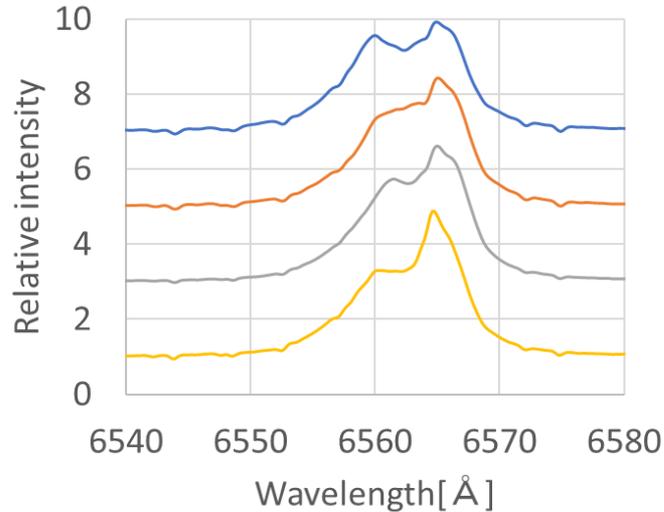
解析中...



○アーカイブデータ(BeSS)の解析 (π Aqr)

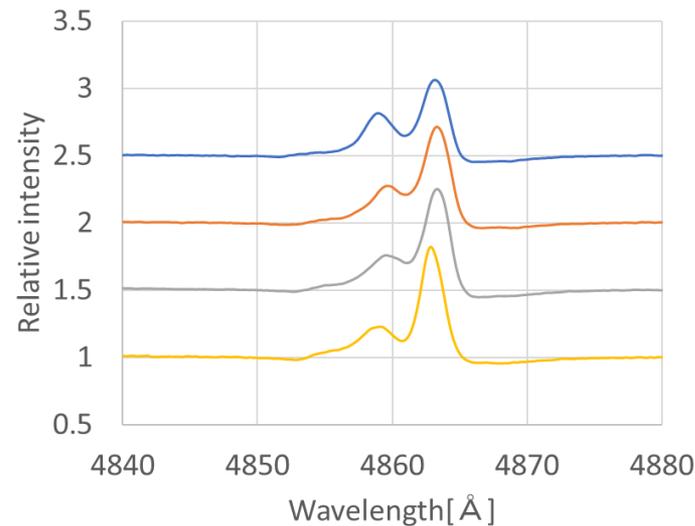
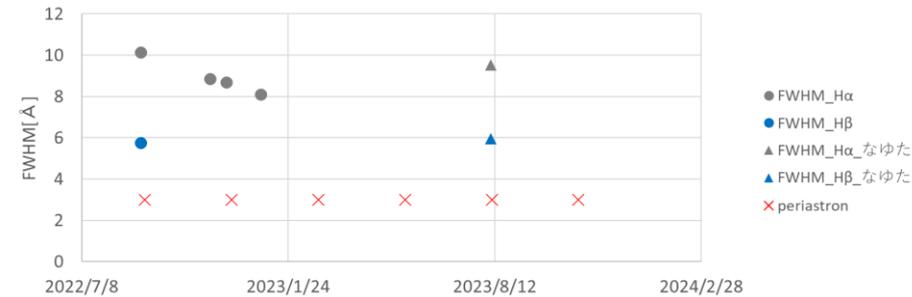
<条件>波長分解能R(~ 8500)が同じ

<FWHM>



<H α >

— 20220903_Periastron
— 20221109
— 20221125_Periastron
— 20221228



<H β >

— 20220903_Periastron
— 20221109
— 20221125_Periastron
— 20221228

▪ FWHM

H α : 近星点に関係なく変動?

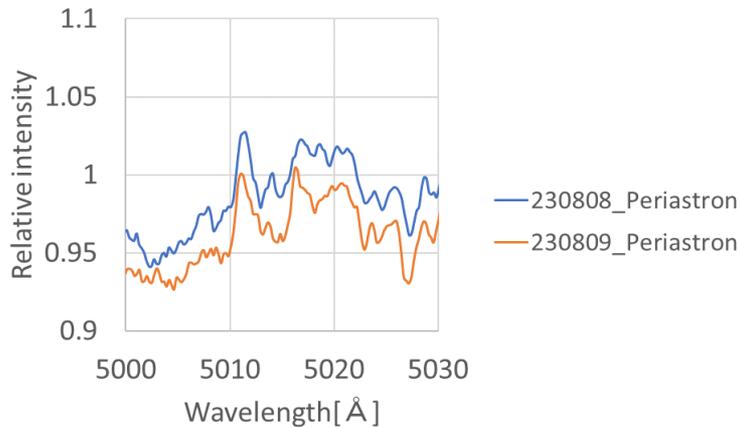
H β : ほとんど測定不可

▪ スペクトルの形状の変化

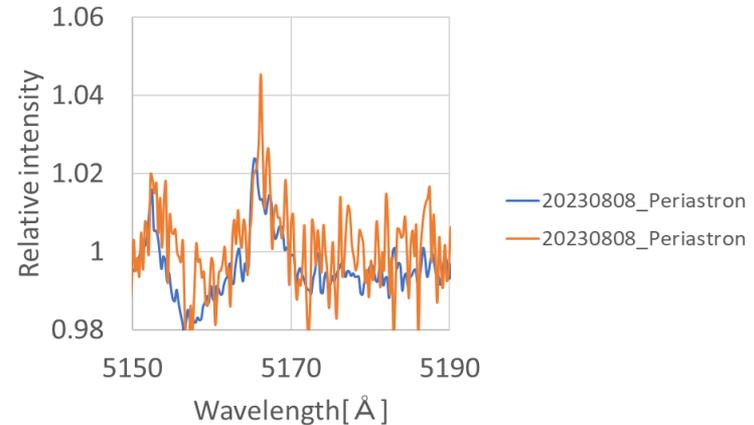
ピーク強度(R側)は近星点に関係なく変動?

○ BeSSの解析—他元素 (π Aqr)

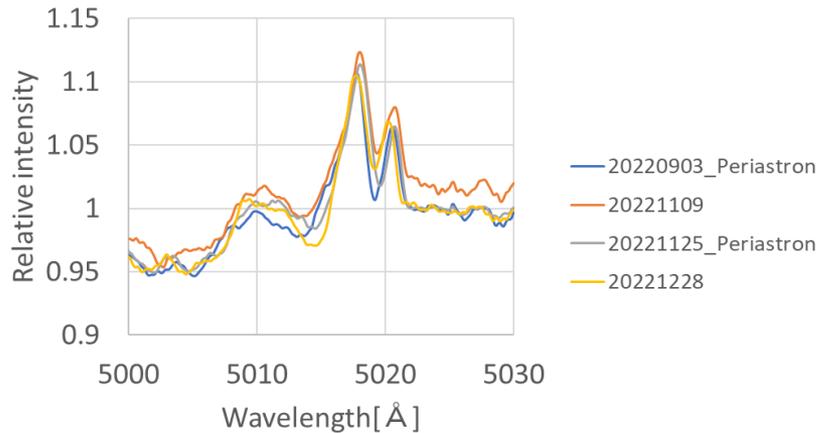
He I (5016 Å) _なゆた



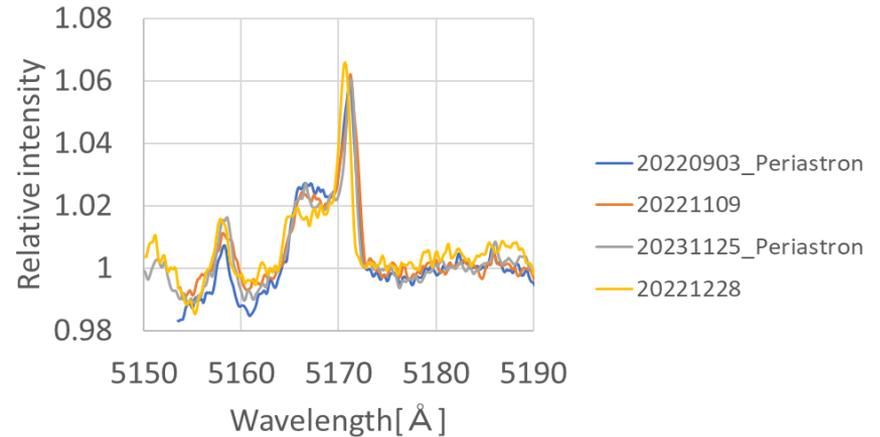
Mg I (5167 Å) or Fe I (5166 Å) _なゆた



He I (5016 Å) _BeSS



Mg I (5167 Å) or Fe I (5166 Å) _BeSS



- ・FWHMに大きな変動なし
- ・中心部が浅くなる

- ・FWHMは測定不可(変化なし?)
- ・スペクトルの形状の変化小

4. Summary & Future work

○まとめ

- ・Be星の円盤構造を探るため、西はりま天文台のなゆた望遠鏡を用いて中分散分光観測を行った
- ・ δ Scoの観測&BeSSデータより、近星点付近で円盤密度の増大を示唆、ピーク強度の変動から、円盤成長の伴星寄与説が有力だが、直近では見られない
- ・ π Aqrの観測&BeSSのデータからは、上記の機構は立証困難or伴星寄与なしの可能性

○今後の展望

- ・長軌道周期、高離心率の伴星を持つBe星での検証
- ・伴星が未発見のBe星の中分散分光観測 (例) ψ Per
- ・学校天文台での低分散分光観測(EW、D34)も並行

○謝辞

共同利用観測を受け入れていただいた、西はりま天文台のスタッフのみなさまに深謝いたします。

また、以下の方々に技術的なサポートをいただきました。

- ・戸塚都さま、高山正輝さま、大島誠人さま
(西はりま天文台)
- ・藤井貢さま(藤井黒崎観測所)

この研究は、フランスのムードン天文台LESIAで運用されているBeSS databaseを利用しています。