



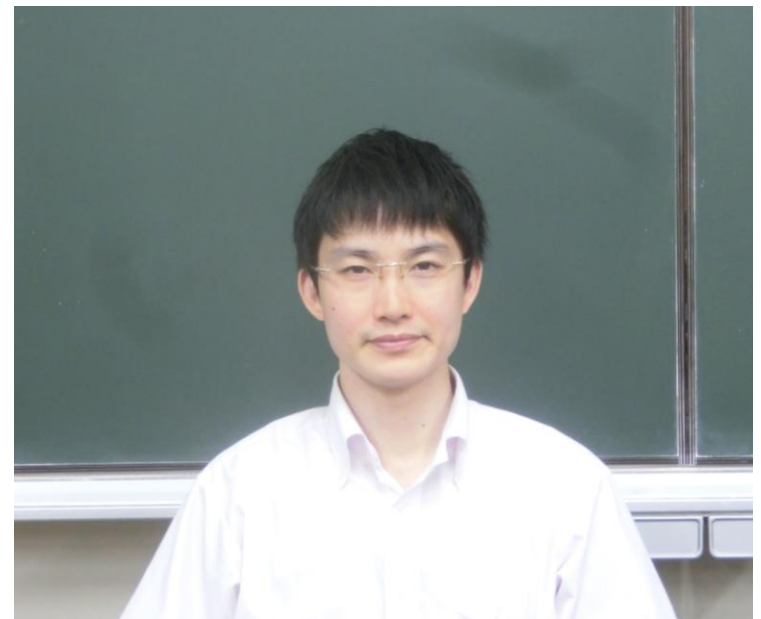
自主・協励・連帯

令和3年1月31日

連星系・変光星研究会2020

水素輝線等価幅とバルマー逓減率 のモニタリングから探る Be 星の 円盤構造

横浜市立戸塚高等学校
教諭(理科) 石田 光宏

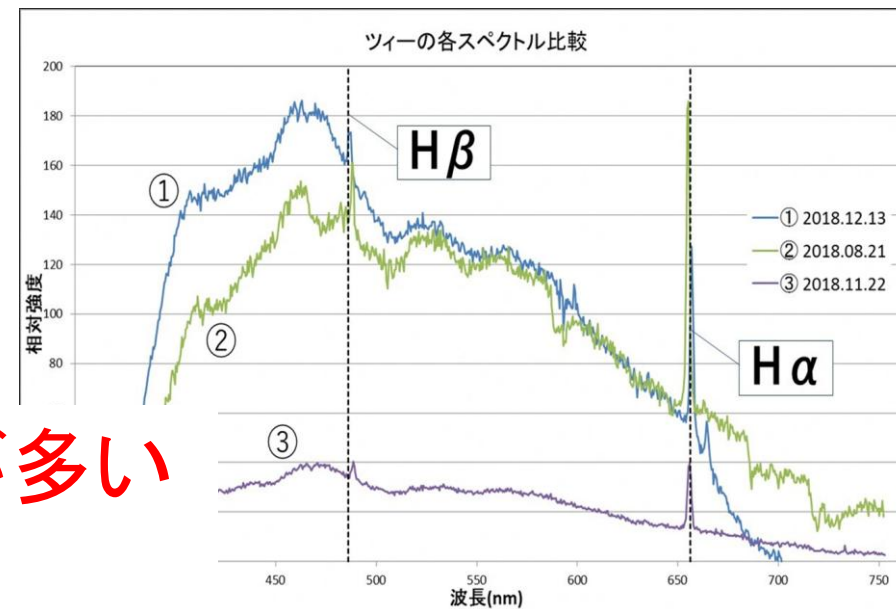


○研究し始めたきっかけ(前任校)

- ・2014年 分光器Alpy 600(Shelyak社製)を購入
→課題探究型授業や天文部の研究活動に使用
- ・2017年 天文部員がBe星 γ Casの測光・分光観測開始

輝線強度と等級の測定

- ・Be星は分かってないことが多い
- ・自分の専門分野の開拓
(修士ではX線天文学)



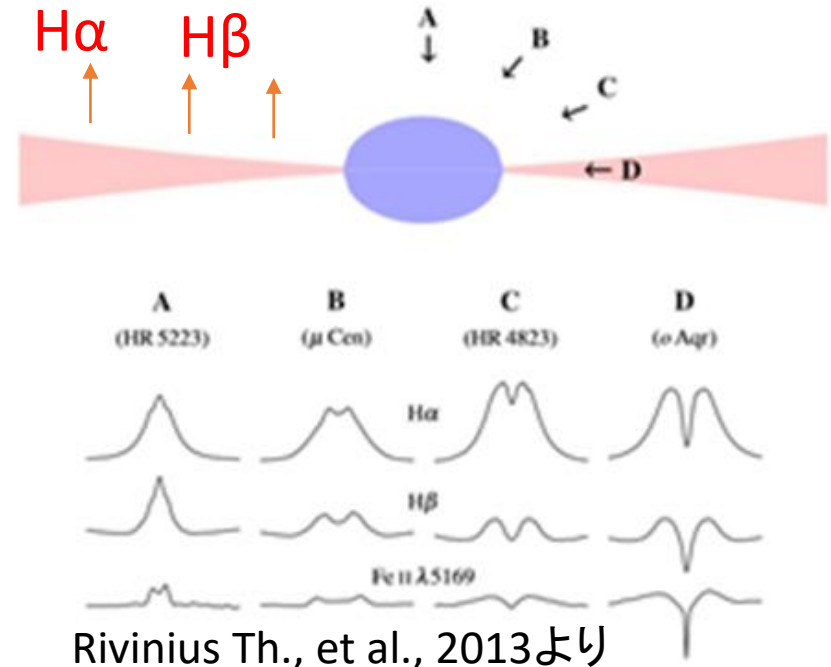
○Be星(カシオペア座γ型変光星)

・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

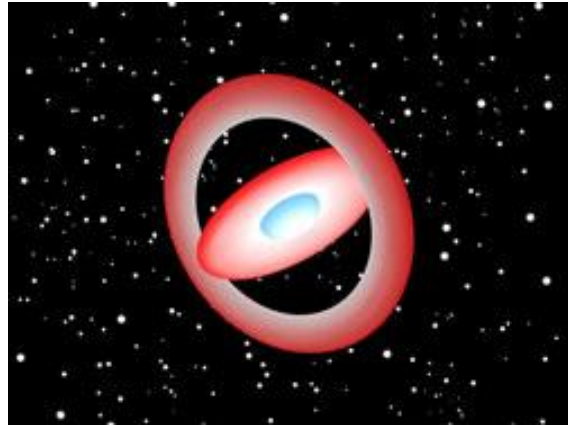
・変光周期が数か月～数十年(以上)と言われ、爆発型変光星(eruptive variables)に分類

・数百 km/sで自転しているため赤道周りにガス円盤を作り、水素輝線を放出

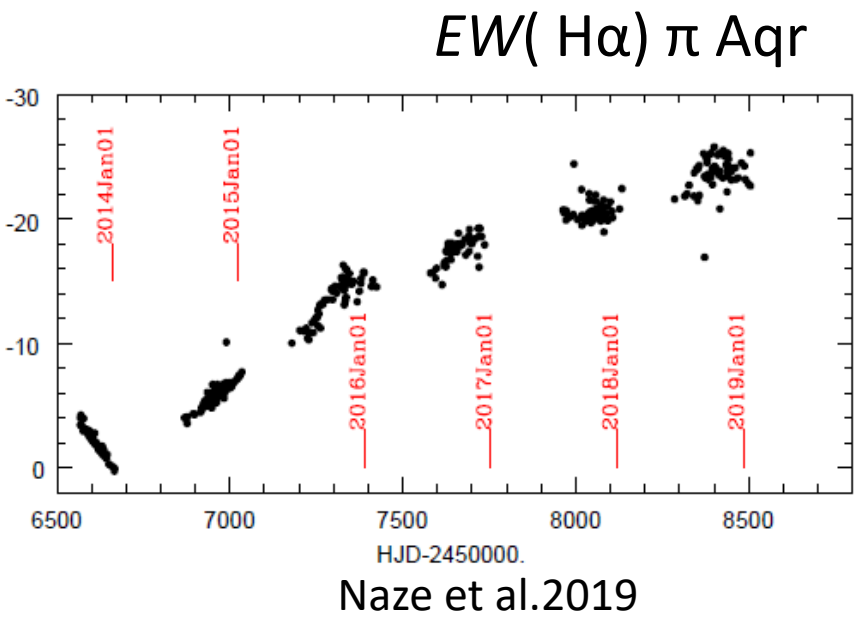
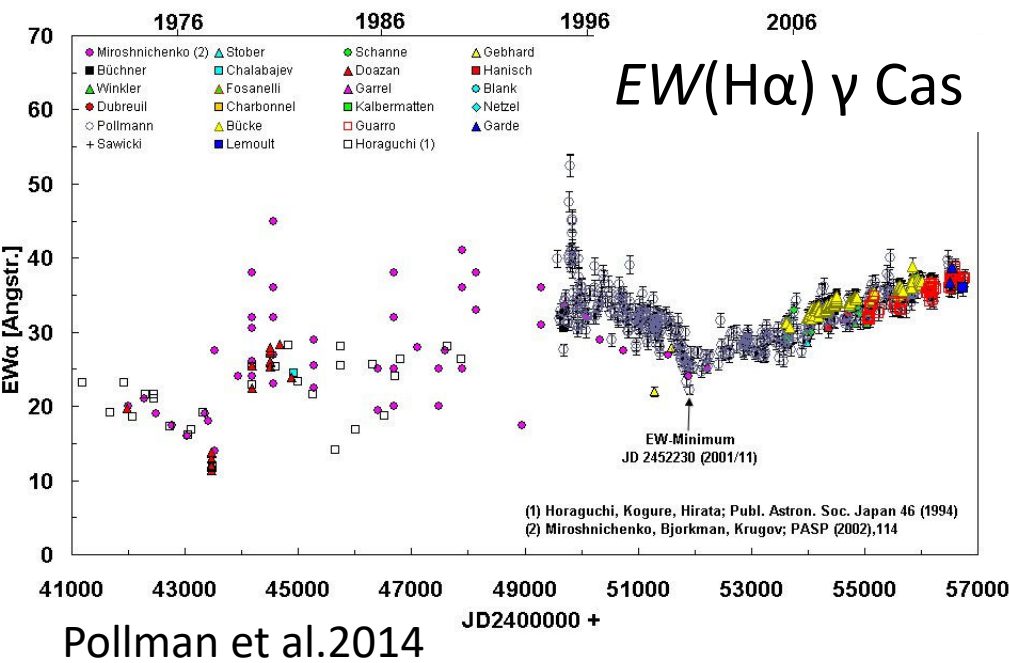
・輝線の形は、見る方向で異なる



- ・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($H\alpha$ 、 $H\beta$)等価幅(EW)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)



・円盤の起源や生成・消滅などのメカニズムはよく分かっていない

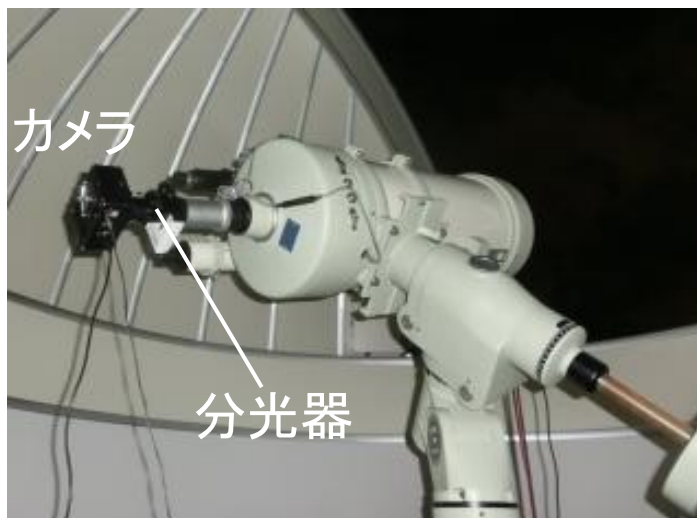
○本研究の目的

複数のBe星で

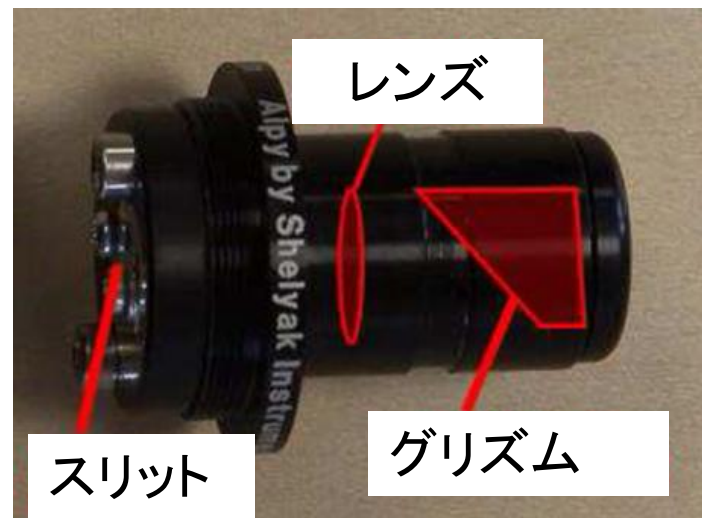
- ・水素輝線($H\alpha$ 、 $H\beta$)等価幅(EW)
- ・報告例が極めて少ないバルマー一過減率(D34)

の変動をモニタリングし、円盤の起源やメカニズムを探る

○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



低分散分光器 Alpy 600

望遠鏡：C-300 (タカハシ) 口径30 cm

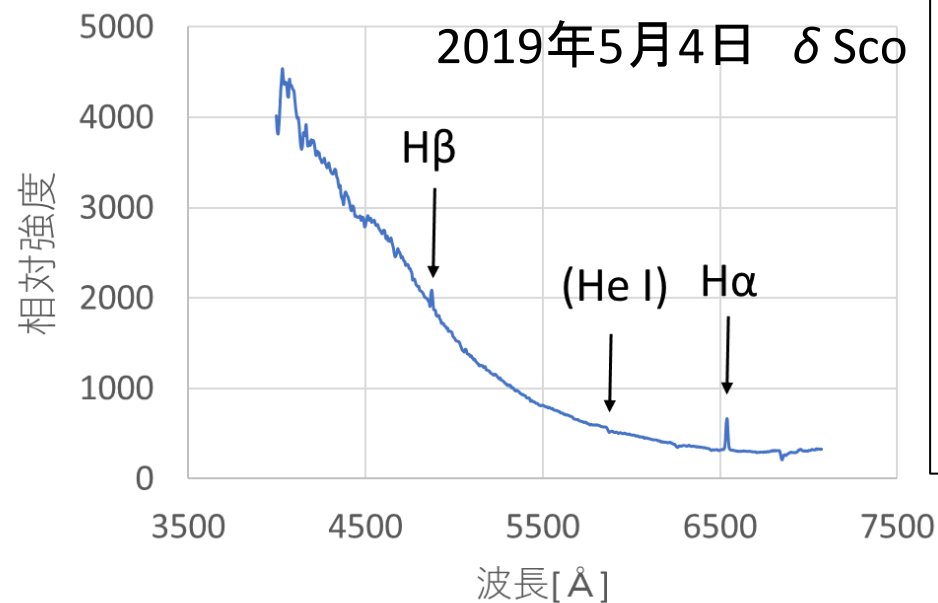
冷却CCDカメラ：ST-402ME(SBIG)

分光器：Alpy 600(Shelyak)

波長分解能 $\sim 600@650\text{nm}$

$\sim 400@450\text{nm}$

○スペクトル

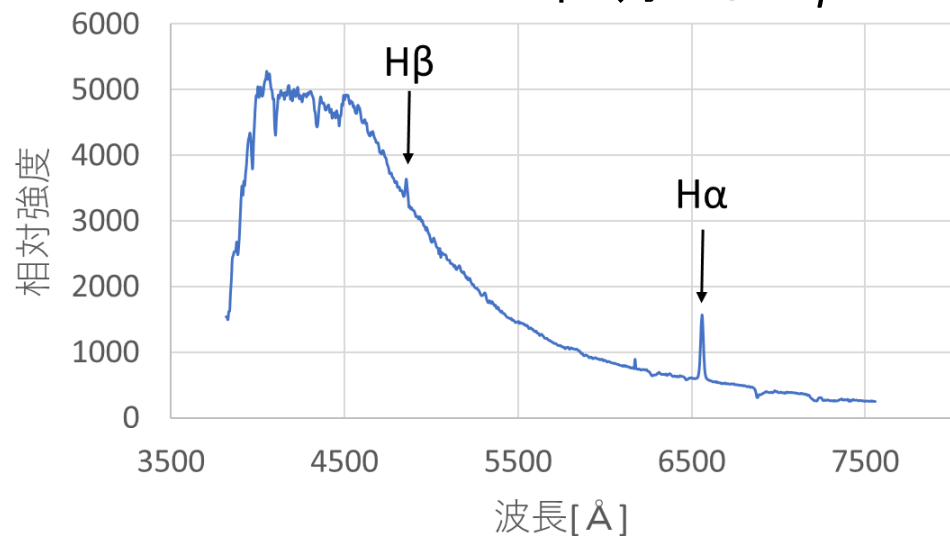


・対象天体

δ Sco、 π Aqr、 φ Per、 ψ Per
66 Cyg、 β CMi、 κ Dra

・2018年9月から2020年3月まで、合計43夜のデータを解析

2020年3月17日 φ Per



○バルマー逓減率

- ・バルマー輝線の放射流束 $F(Hn)$ ($n=3, 4, 5, \dots$)の相対値として定義
- ・通常は $F(H\beta)$ に対する比
- ・円盤の物理状態を知る手がかりとなる

$$\text{バルマー逓減率 } D_{34} = \frac{F(H\alpha)}{F(H\beta)} = G_\alpha \frac{W_E(H\alpha)}{W_E(H\beta)}$$

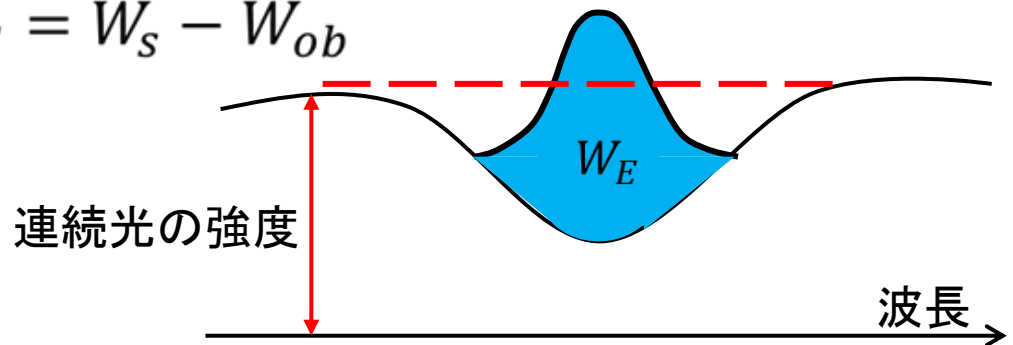
※小暮智一 著「輝線星概論」より

W_E : 輝線のみ等の価幅 $W_E = W_S - W_{ob}$

W_S : 光球吸収線の等価幅

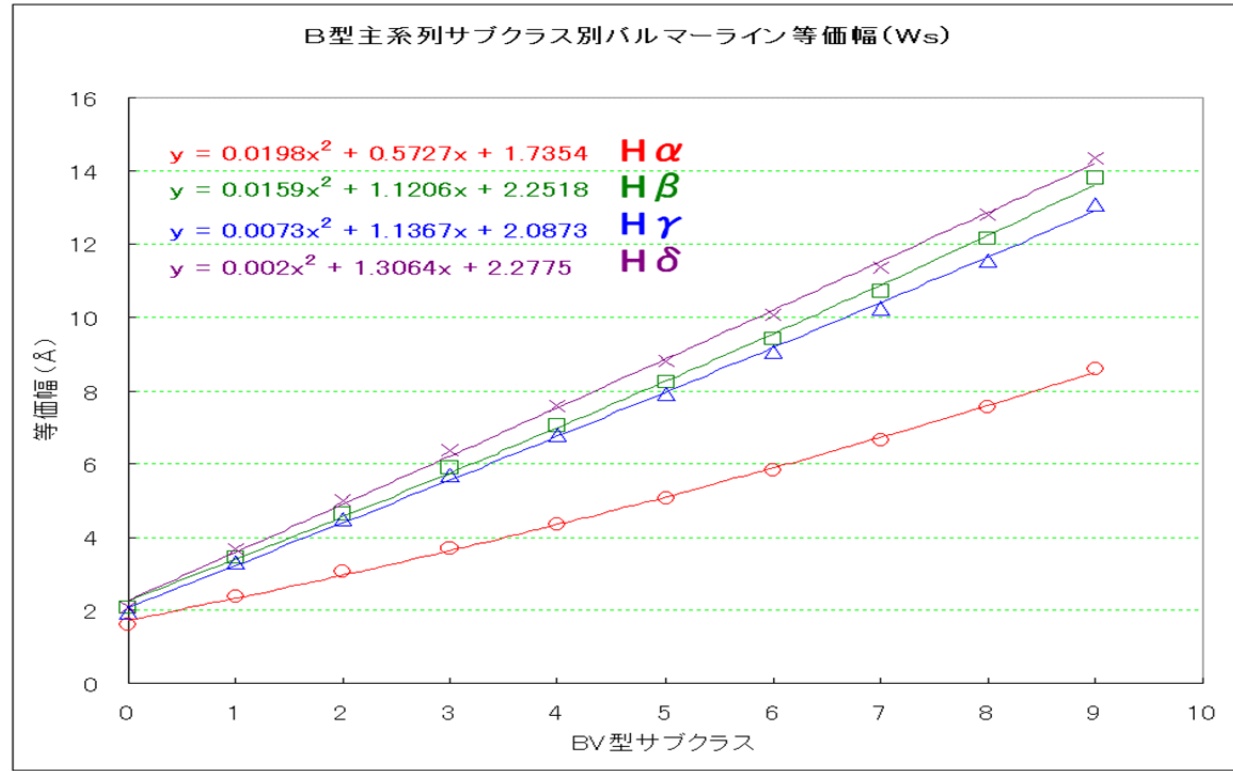
W_{ob} : 観測される等価幅

G_α : 変換係数



W_S と G_α の見積もりが必要

- W_s は岡山の藤井貢氏によるモデル大気の計算結果を使用



$$W_s(H\alpha) = 0.0198X^2 + 0.5727X + 1.7354$$

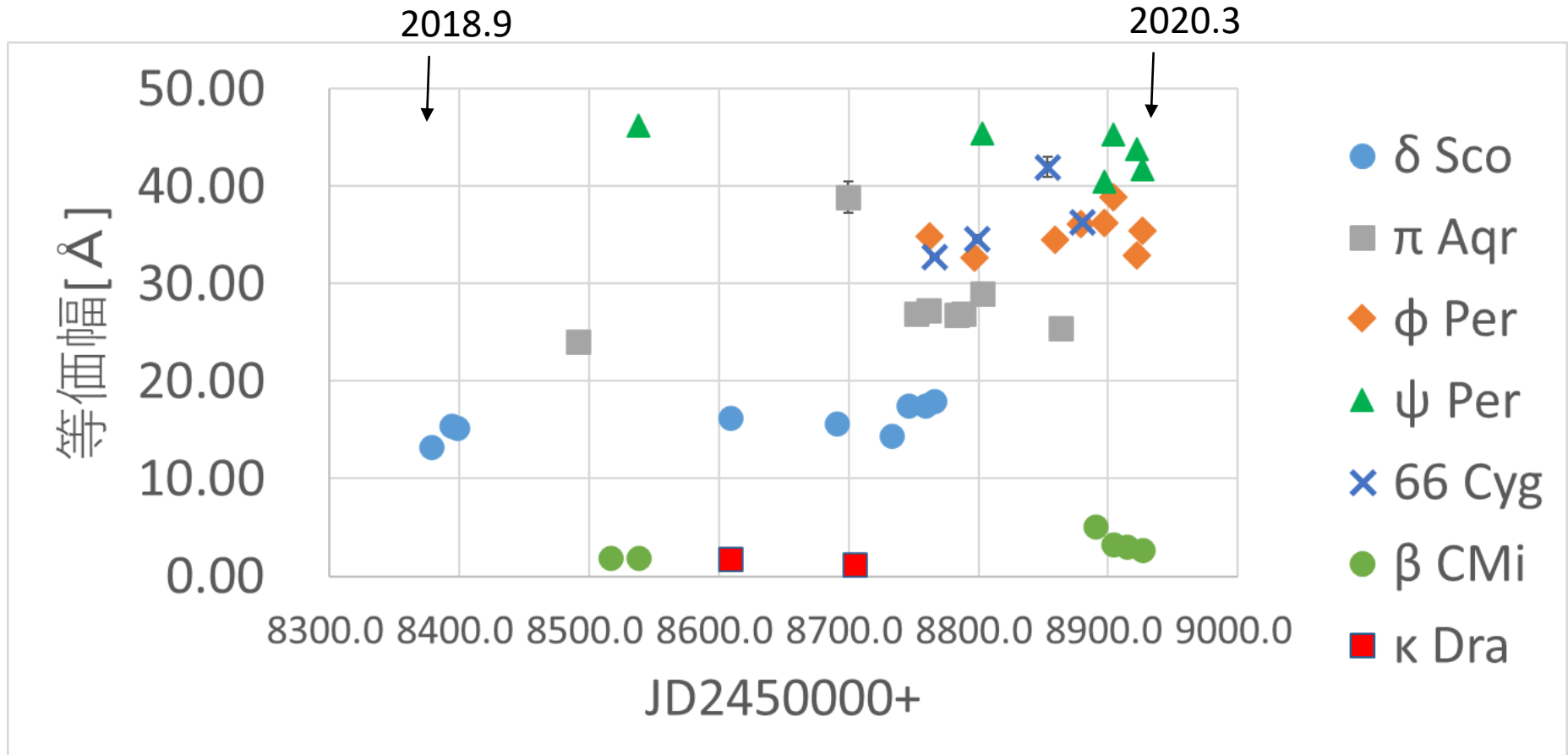
$$W_s(H\beta) = 0.0159X^2 + 1.1206X + 2.2518$$

(X : B型の分光サブクラス ($0 \leq X \leq 9$))

- G_α は小暮(2000)の計算結果を使用

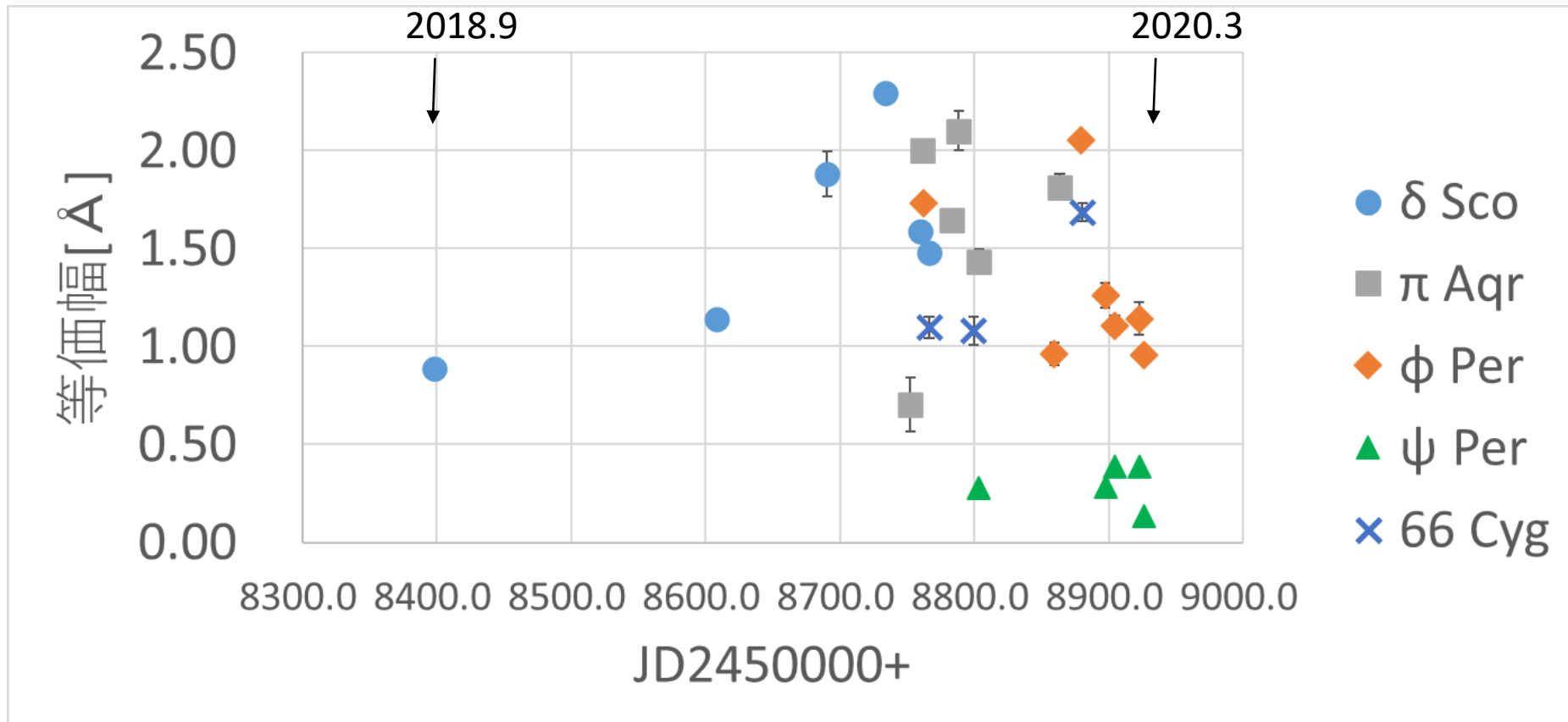
$$G_\alpha = 0.333 + 6.67 \times 10^{-3}X$$

○結果(1) 天体ごとのEW(H α)の変動



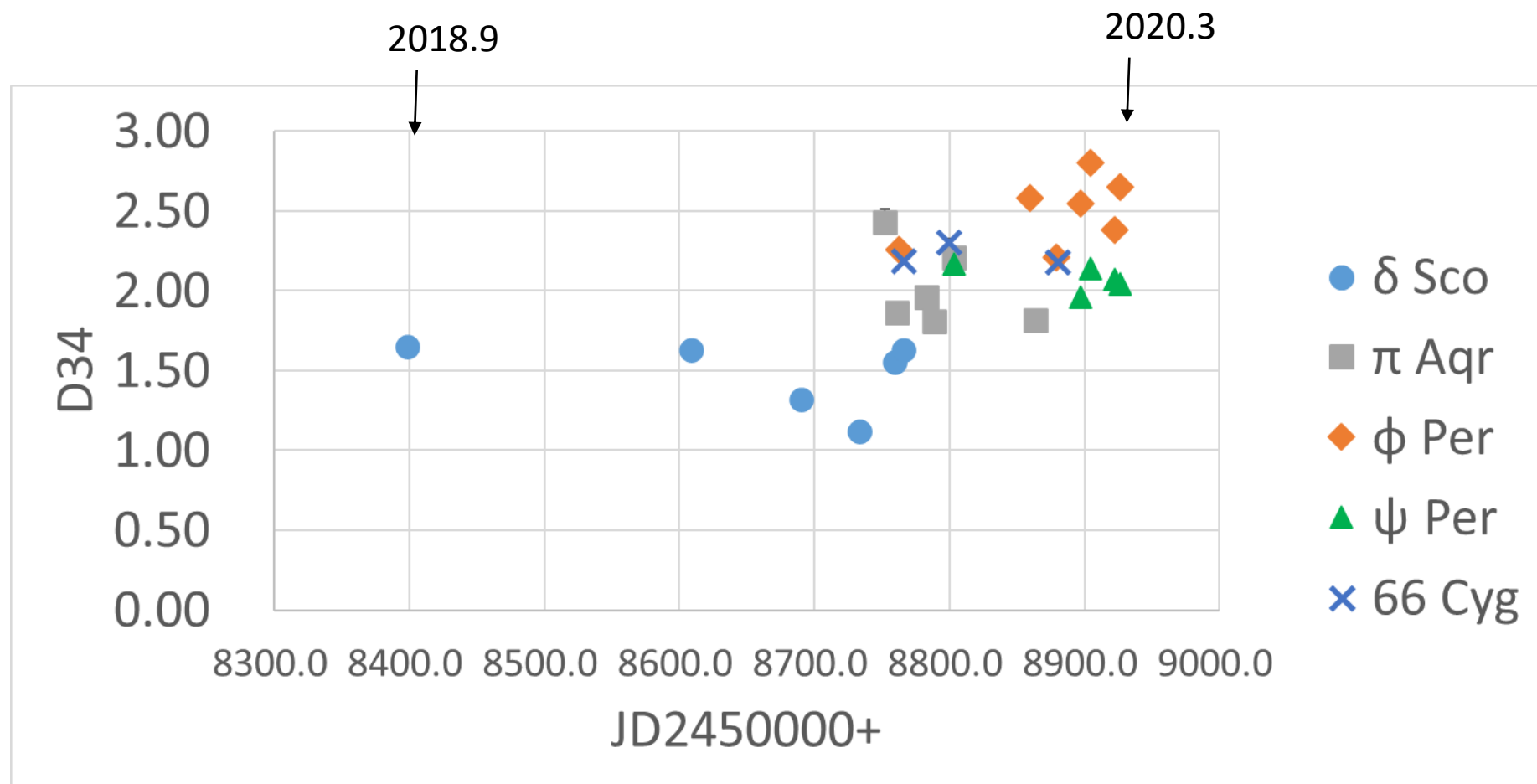
・どの天体も大きな変化なし

○結果(2)天体ごとのEW(H β)の変動



- δ Sco, π Aqr, ϕ Per \rightarrow 2-3倍程度の変化がある
- 上記以外 \rightarrow 大きな変化なし

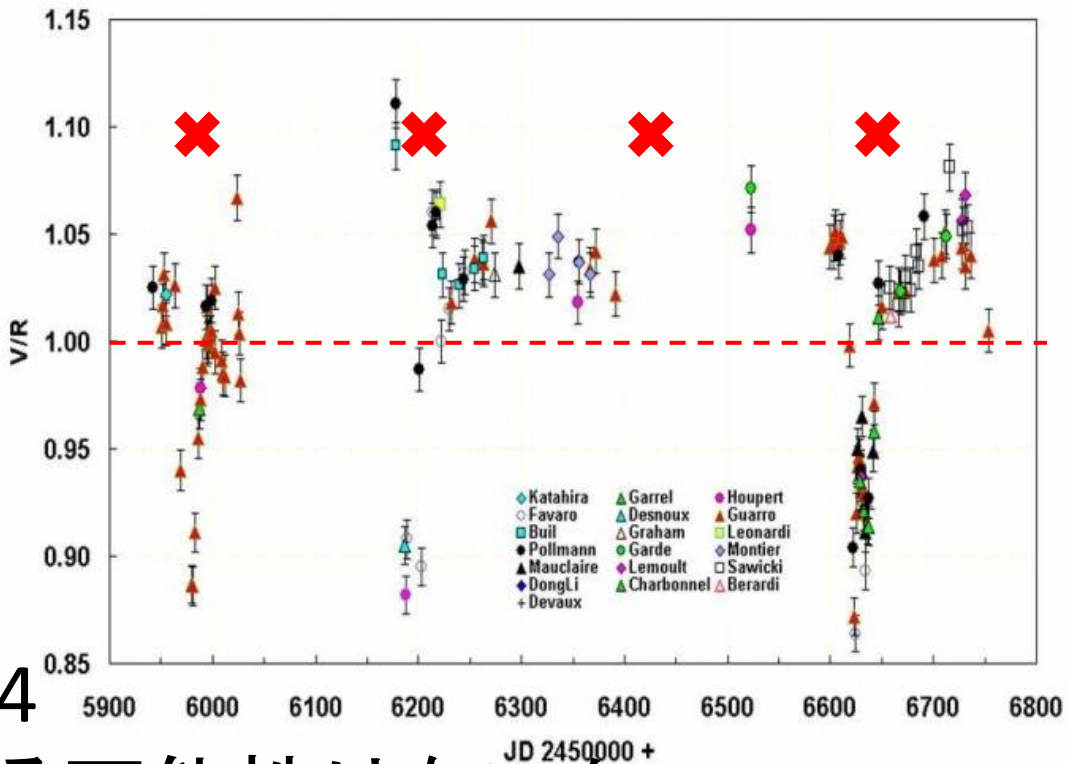
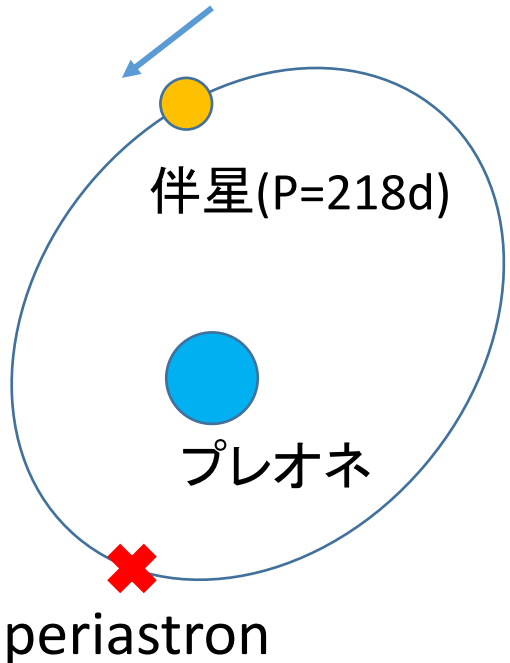
○結果(3) 天体ごとのバルマー遷減率の変動 ($H\alpha / H\beta = D34$)



- δ Sco, π Aqr, ϕ Perで1.5倍程度の変化がある
- 上記以外→大きな変化なし

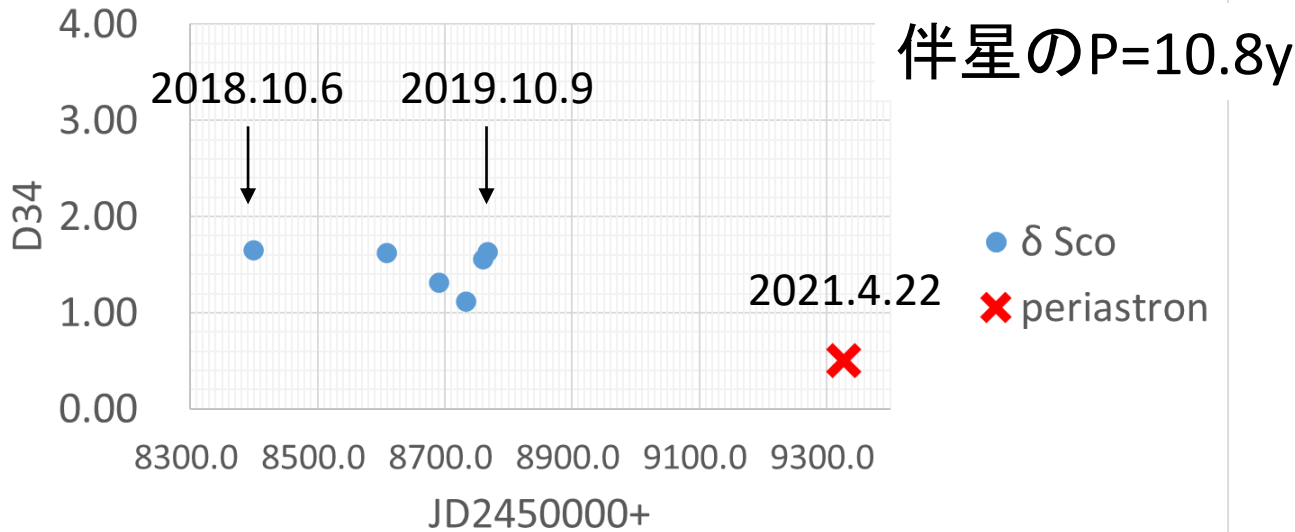
○考察(1) periastron epoch(近星点)

- ・Be星 28 Tau(プレオネ)の高分散分光観測で、伴星のperiastron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)

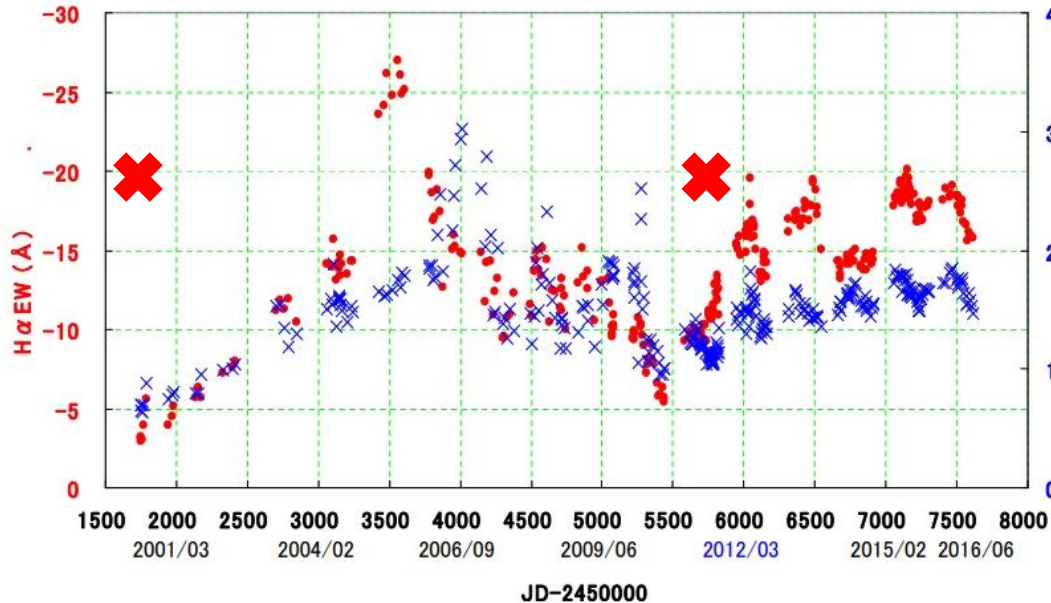


- ・伴星の潮汐力がD34の変動に関与している可能性はないか？

○ δ ScoのD34変化とperiastron



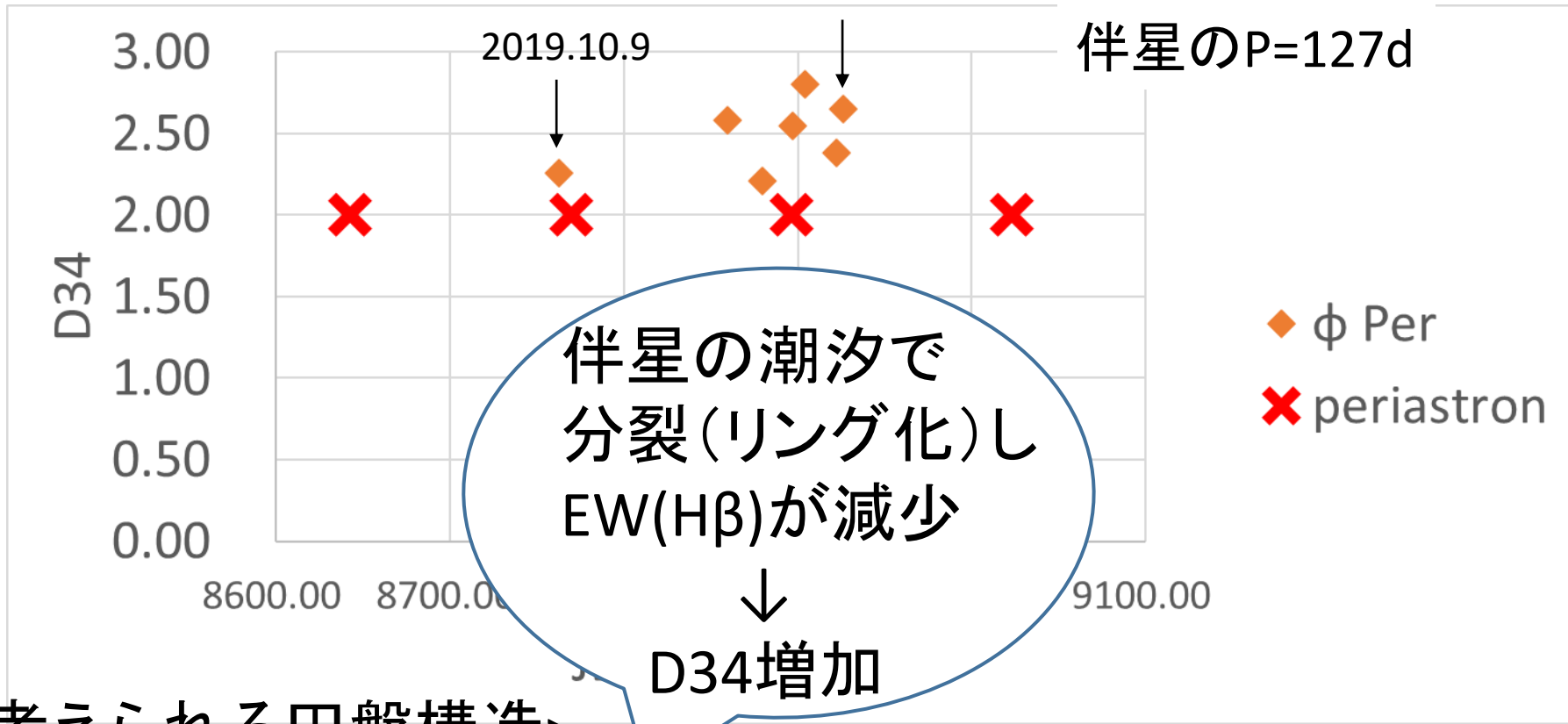
δ Sco $H\alpha$ (EW), D_{34} ($H\alpha/H\beta$) 藤井氏の結果(2001~2016年)



D_{34} は、periastron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?)

○ ϕ PerのD34変化とperiastron

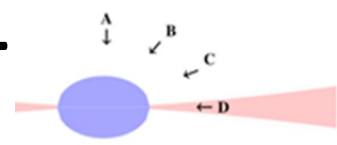
2020.3.17



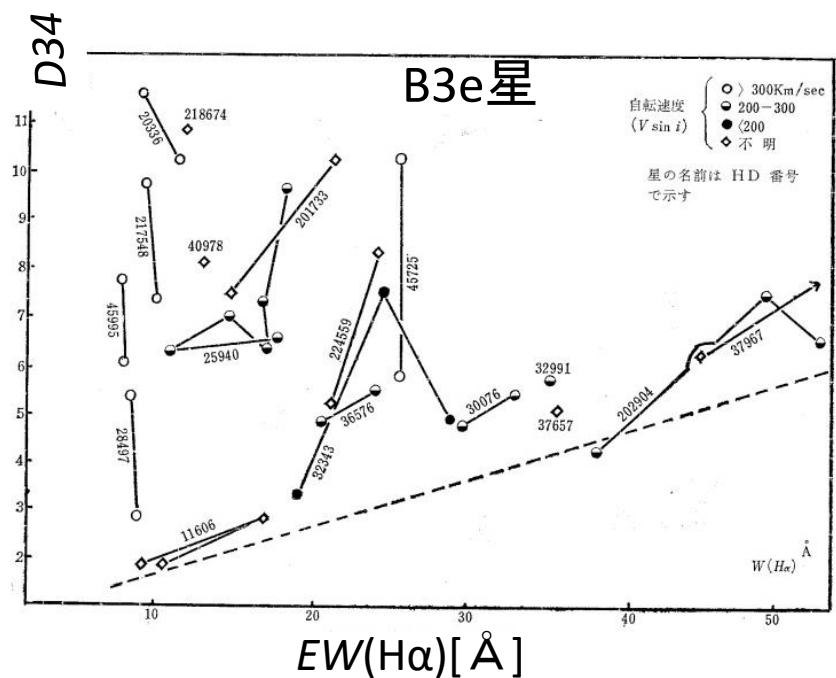
<考えられる円盤構造>



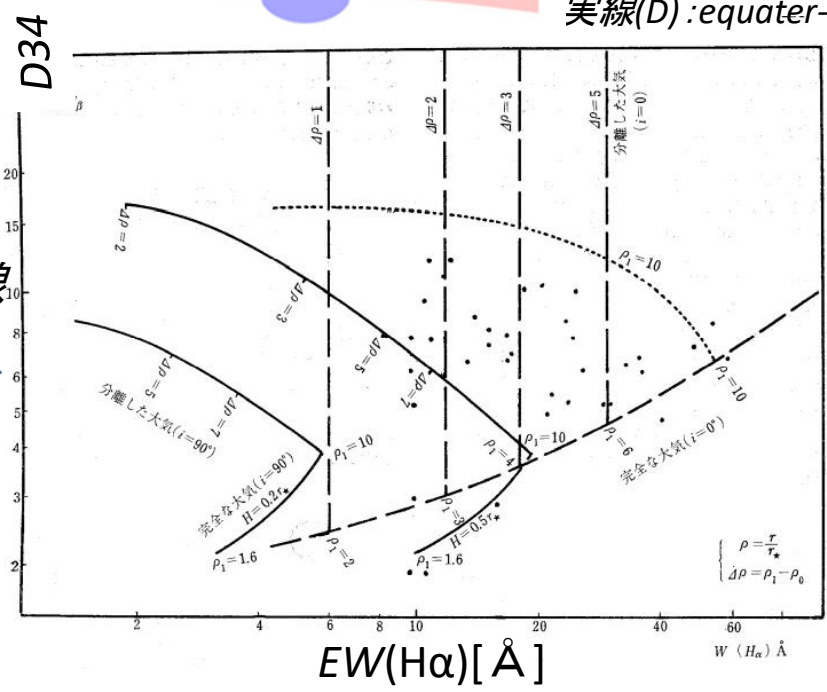
○考察(2) $EW(H\alpha)$ VS D34



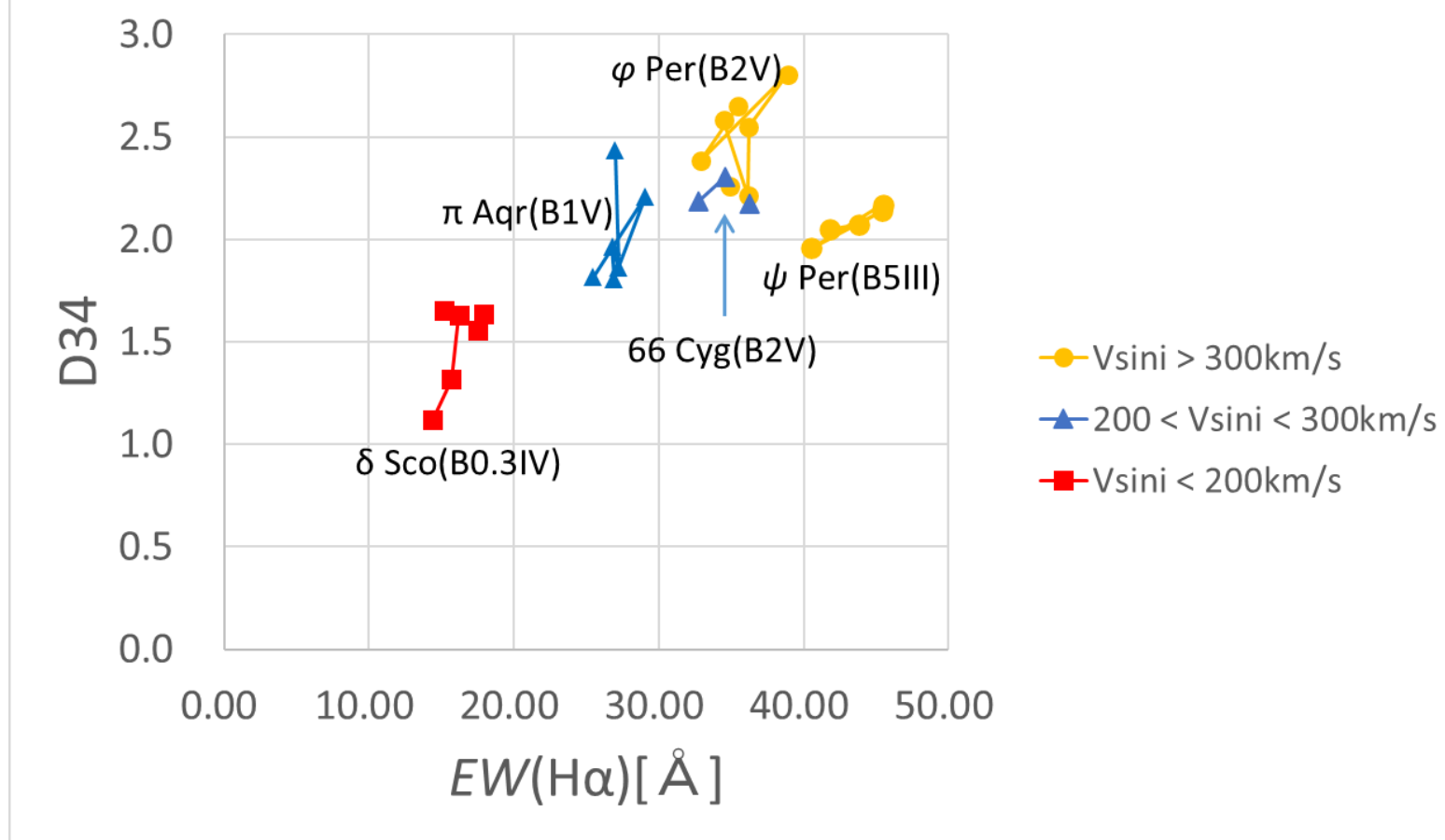
点線(A): pole-on
 実線(D): equator-on



理論曲線



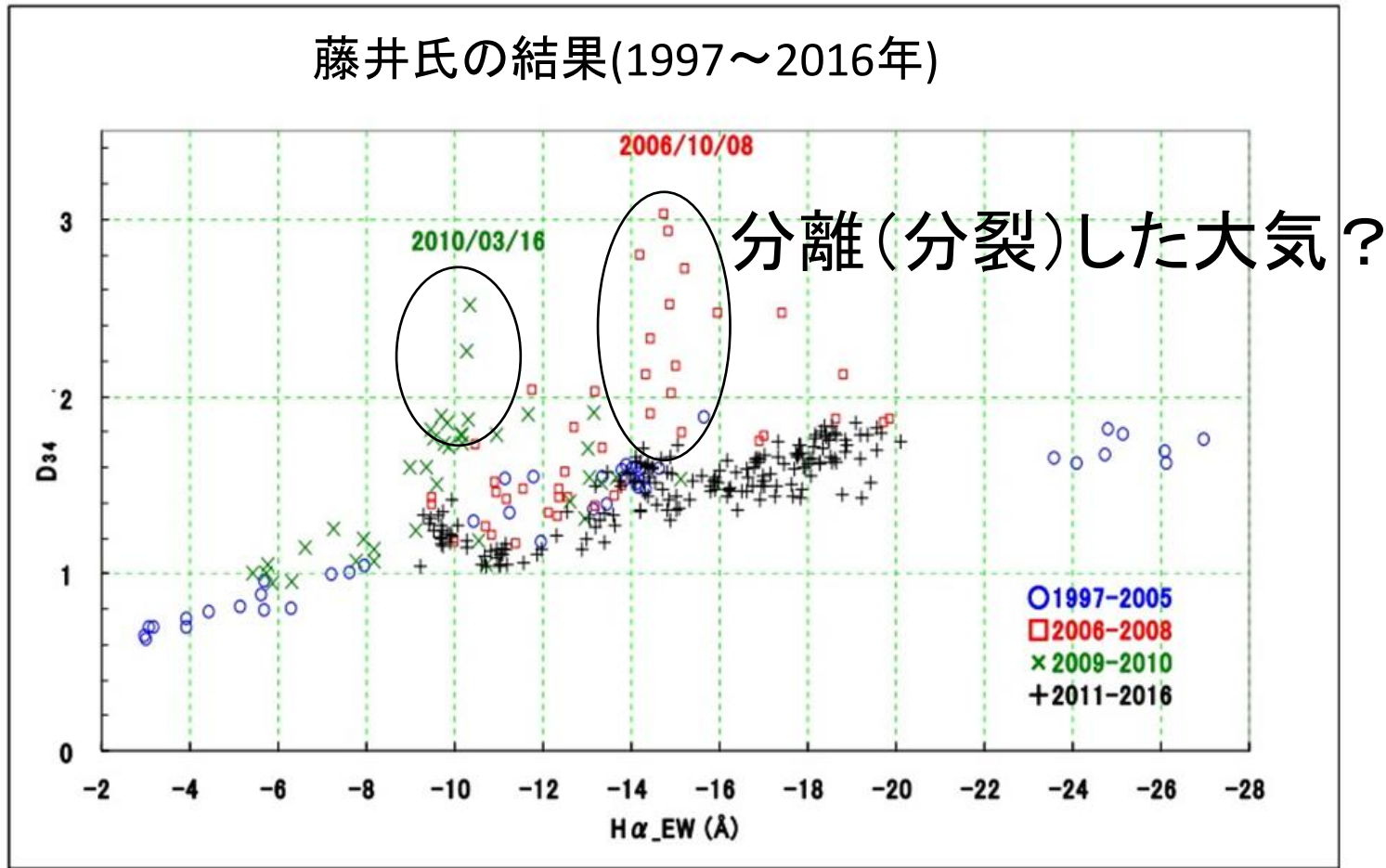
- ・小暮氏によるBe星分類(分光サブクラス(X)ごと)
- 1. 観測点の分布に下限があり、下限の傾きはXがすすむと大きい
- 2. $V \sin i$ が大きいと左、遅いと右or下に分布
- ・この図に円盤大気の外径の理論曲線をつける



- ・ 正の相関あり
- ・ 傾きはXに逆相関、Vsiniが大きいほど右上
→ 小暮氏の結果と逆の傾向

今後、サンプル数を増やしていく

・藤井氏の δ Scoの結果に当てはめる



δ Scoのperiastronは2000.9, 2011.7, 2021.4, 2006.10はperiastronとは無関係?

○まとめ

- ・Be星の円盤構造を探るため、2018年9月から2020年3月まで複数のBe星の分光観測を行った
- ・ $EW(H\alpha)$ には大きな変化はなかったが、 $EW(H\beta)$ とD34に変化のある星を複数確認→伴星の影響か？
- ・ $EW(H\alpha)$ とD34に正の相関あり。しかし各点の分布の仕方は先行研究と逆になった

○今後の展望

- ・低分散分光観測で EW 、D34のサンプル数を増やす
→学校天文台
- ・高分散分光観測でperiastron通過時の V/R の変化の測定→公共天文台or BeSS(データベース)

○謝辞

本研究を進めるにあたり、以下の方々から多くの助言をいただきました。

この場を借りて深謝いたします。

- ・藤井黒崎観測所 藤井貢氏
- ・東京学芸大学 西浦慎悟氏
- ・西はりま天文台 小倉和幸氏
- ・東北大学 寺尾航暉氏
- ・中央大学 河合広樹氏
- ・中之島科学研究所 片平順一氏