

円盤風を考慮した矮新星アウトバーストの可視スペクトル合成計算

反保雄介 (京都大学 / U. Southampton) tampo@kusastro.kyoto-u.ac.jp

C. Knigge, N. Castro-Segura (U. Southampton), K.S. Long (STScI), J.H. Matthews (U. Oxford)

概要

降着する白色矮星を主星にもつ激変星のうち、降着円盤が明るい天体では紫外光で円盤風由来のP-Cygniプロファイルが観測される。一方で円盤風が可視輝線に及ぼす影響についてはよくわかっていない。本研究では、円盤風が可視輝線の生成に強く影響しているとみられる、矮新星アウトバースト中の可視スペクトルの再現を目指し、円盤風を考慮したスペクトル合成計算を実施した。その結果、円盤風の質量損失率が $\dot{M}_{\text{wind}} \approx 10^{-8} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ と他天体よりも1桁程度高い値をとる円盤風モデルで観測を説明可能であることがわかった。また、アウトバーストの進行に伴う可視スペクトルの進化も、降着率を減少させた同様の円盤風モデルで再現できることがわかった。今後OISTERを通じて頻度の高い分光観測ができれば、アウトバースト全体にわたる円盤風の進化を検証できる可能性がある。

激変星におけるアウトフロー

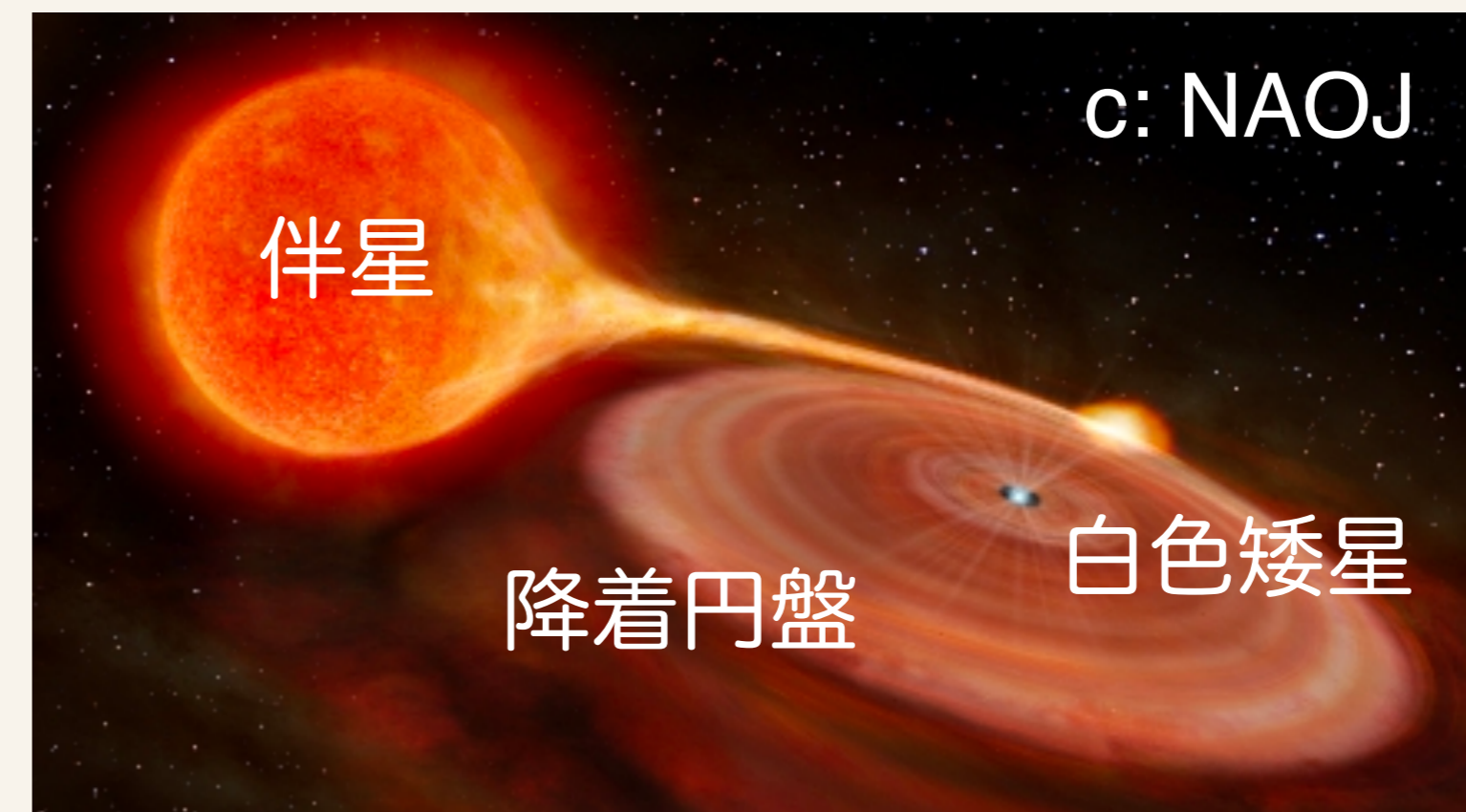
激変星：白色矮星 + 伴星 + 降着円盤

- 最も単純な降着系かつ天体数も豊富
- 紫外-可視の連続光は降着率 $\dot{M}_{\text{acc}} \approx 10^{-8} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の標準円盤で説明可

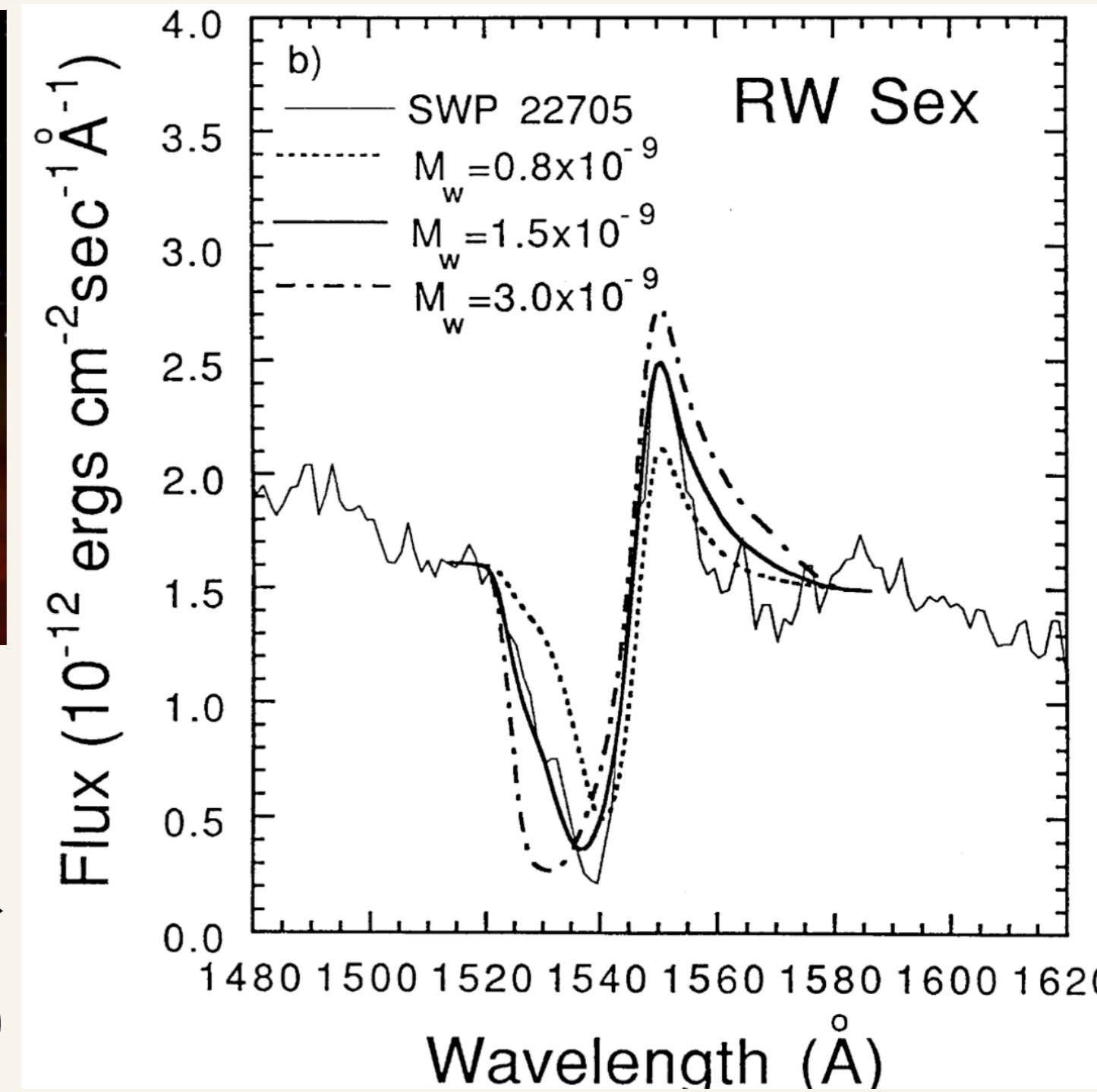
激変星のアウトフロー：円盤表面からのline-driven wind (e.g., Frost 2004)

- 紫外光でのP Cygniプロファイル (最大速度 ~ 白色矮星の脱出速度)
- 円盤風の質量損失率-降着率比 — $\dot{M}_{\text{wind}}/\dot{M}_{\text{acc}} \approx 1 - 10\%$

円盤風はどのように可視スペクトルの輝線生成に寄与するのか？



↑ 激変星のイメージ図



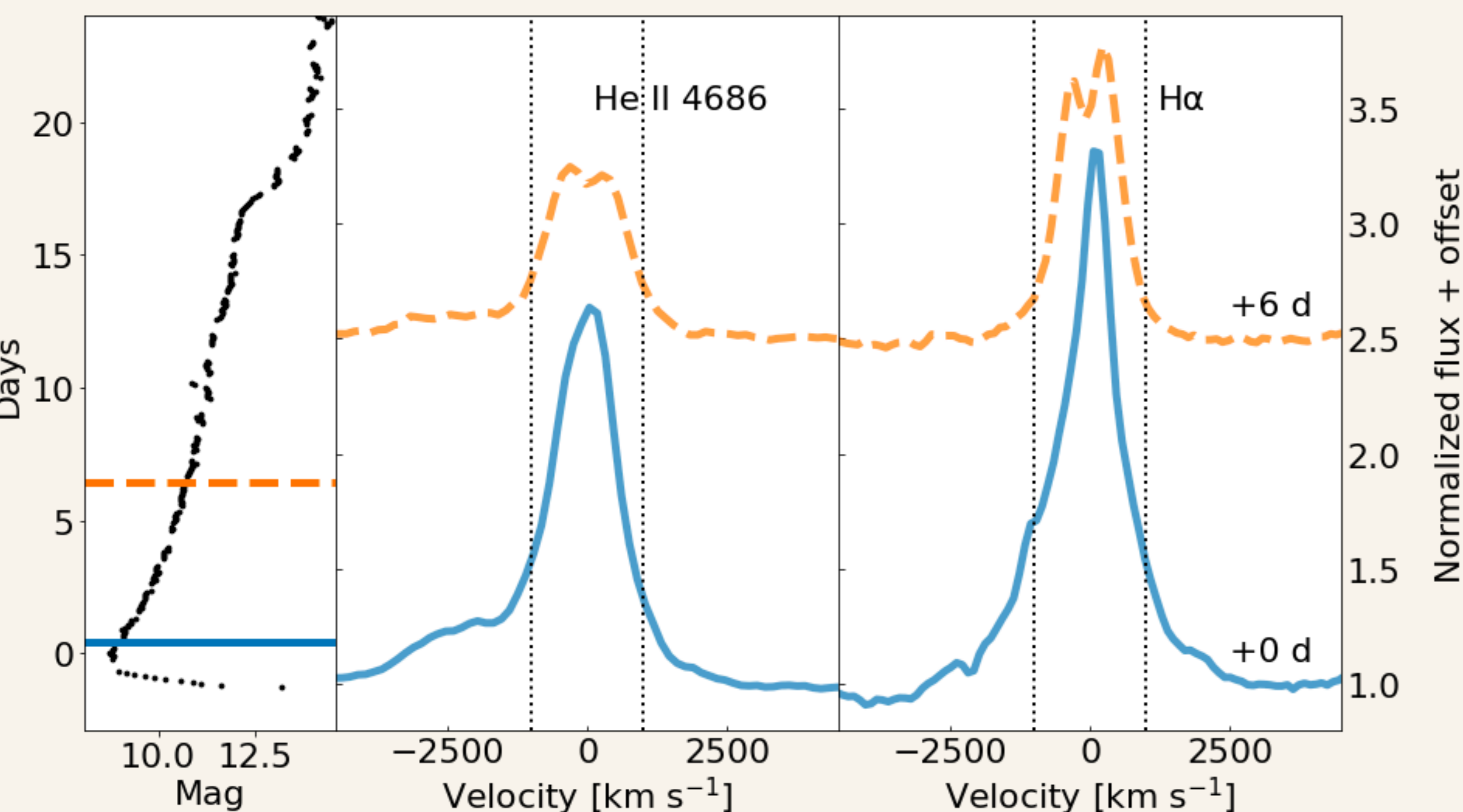
P-Cygni profile in C IV 1550 of RW Sex → (Vitello & Shlosman 1993)

降着円盤では説明不可な可視スペクトル

矮新星V455 And ($P_{\text{orb}} \approx 0.0563 \text{ d}$, $i \approx 75^\circ$) (Araujo-Betancor+2005)

：降着円盤由来 ($\geq 2000 \text{ km s}^{-1}$) よりも細いBalmer & He II 輝線

→ 円盤風由来の輝線で再現可能か？



↑ V455 Andのアウトバースト中の可視スペクトルの進化 (Tampo+ 22)

円盤風における輝線生成

角運動量保存から広がった円盤風成分ではより遅い回転速度 => より細い輝線を生成することが可能 (Chiang & Murray 1996)

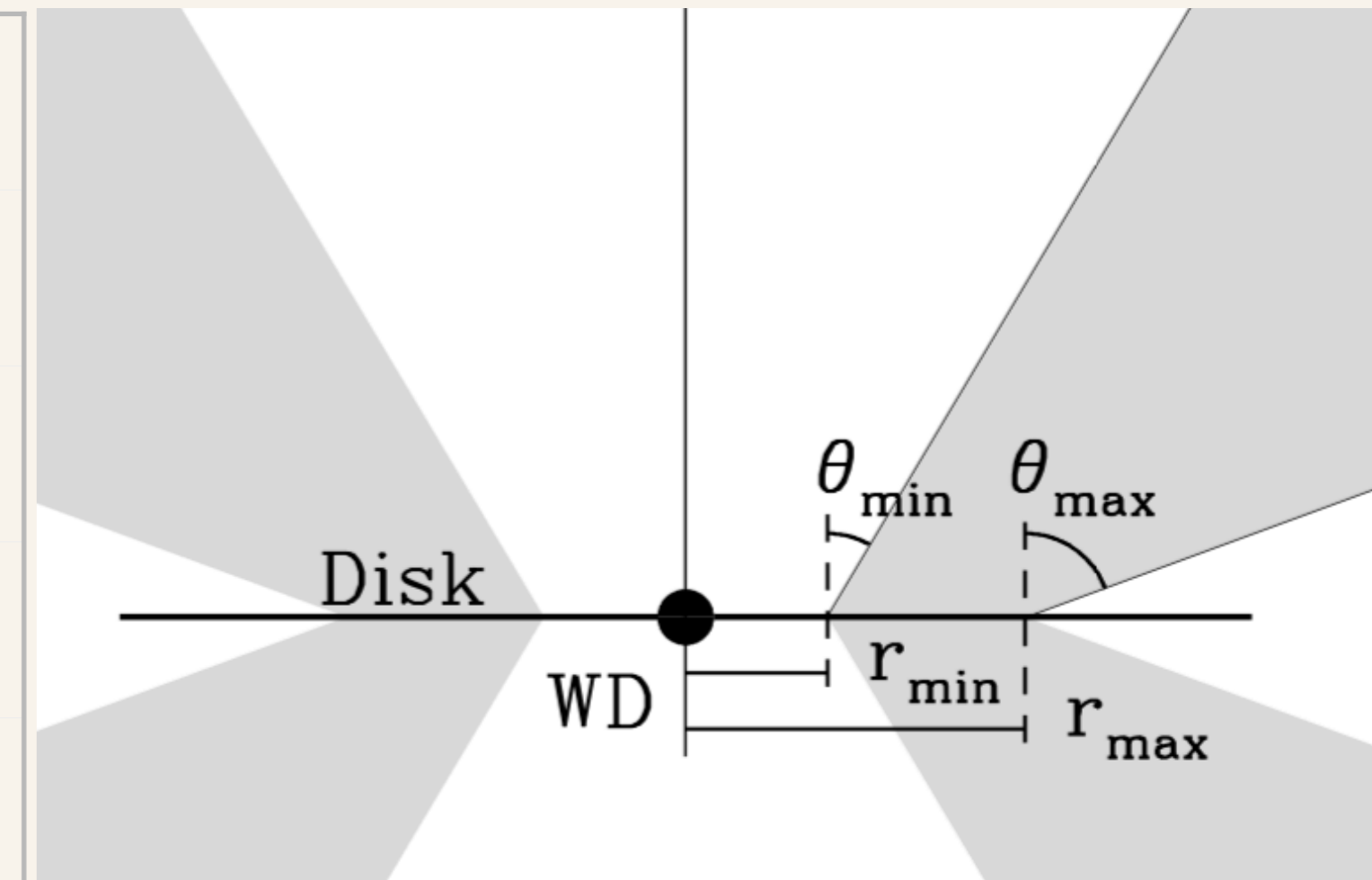
コード：PYTHON (Long & Knigge 2002, Matthews+2015)

円盤風：Kinematic wind model (Shlosman & Vitello 1993)

パラメーター：円盤降着率 - \dot{M}_{acc} , 円盤風質量損失率 - \dot{M}_{wind}
円盤風速度場 - α , R_V

poloidal velocity of wind : $v_l = v_0 + (v_\infty - v_0) \left[\frac{(l/R_V)^\alpha}{(l/R_V)^\alpha + 1} \right]$

	Reference	Updated
$\dot{M}_{\text{acc}} [M_{\odot} \text{ yr}^{-1}]$	10^{-8}	5×10^{-8}
$\dot{M}_{\text{wind}} [M_{\odot} \text{ yr}^{-1}]$	10^{-9}	2×10^{-8}
α	1.5	1.5
$R_V [\text{cm}]$	7×10^{10}	7×10^{10}



↑ スペクトル合成計算に用いたパラメータ

↑ 円盤風のイメージ図

質量損失率の高い円盤風による再現

Reference：矮新星Z Camの紫外光スペクトル (Long & Knigge 2002)

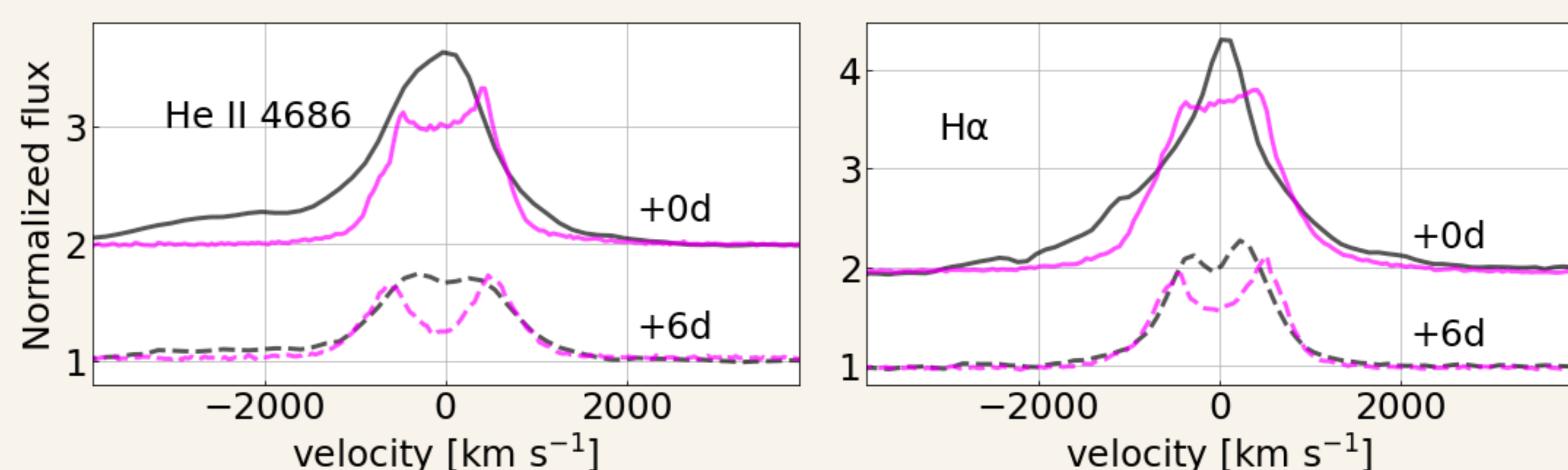
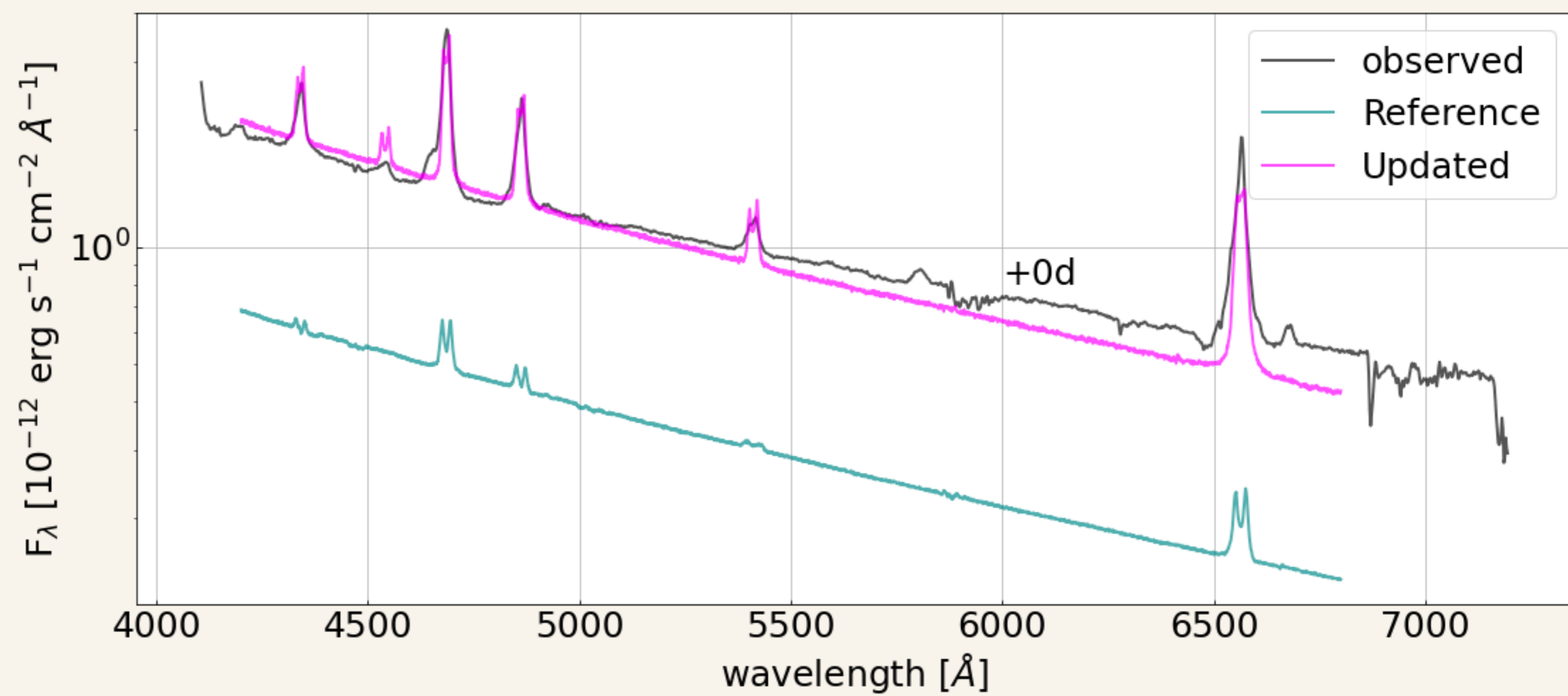
Updated：矮新星V455 Andの可視光スペクトル

- V455 Andスペクトルの再現には $\dot{M}_{\text{wind}} \geq 10^{-8} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ が必要
 - ✓ 輝線強度 (flux & EW), 幅広いFWZI, ライン間の輝線強度比 Δ (single-peakedではなく) flat-topな輝線プロファイル
- Clumpyなwindを考えれば, $\dot{M}_{\text{wind}}/\dot{M}_{\text{acc}} \approx 10\%$ も可能
- 同じ円盤風の速度場 = 同じ円盤風の加速メカニズム
 - 高い降着率によって質量損失率も比例して上昇しただけだろう

同様の円盤風モデル + 低下させた降着率&質量損失率での計算も実施

$$(\dot{M}_{\text{acc}} = 5 \times 10^{-9}, \dot{M}_{\text{wind}} = 2 \times 10^{-9} M_{\odot} \text{ yr}^{-1})$$

- V455 Andのスペクトル進化も定量的に再現可能
- 紫外観測よりも圧倒的に手軽な、OISTERでの高頻度な可視分光観測によって、円盤風の時間発展を詳細に調べられる可能性！



↑ スペクトル合成計算の結果(色付き線)と観測(黒線)の比較

参考文献 & 謝辞

Araujo-Betancor et al. 2005, A&A, 430, 629

Froning 2005, ASP Conf. V330

Long & Knigge 2002, ApJ, 592, 2

Matthews et al. 2015, MNRAS, 450, 3

Murray & Chiang 1996, Nature, 382, 6594

Shlosman & Vitello 1993, ApJ, 409, 372

Tampo et al. 2022, PASJ, 74, 2

Vitello & Shlosman 1993, ApJ, 401, 815

We acknowledge support from JSPS KAKENHI Grant Number 21J22351 and the JSPS Overseas Challenge Program for Young Researchers. 昨年夏にイギリスに滞在して研究した成果です。