

新たなChanging-look quasar 3C332の発見と double peakな輝線シナリオの制限

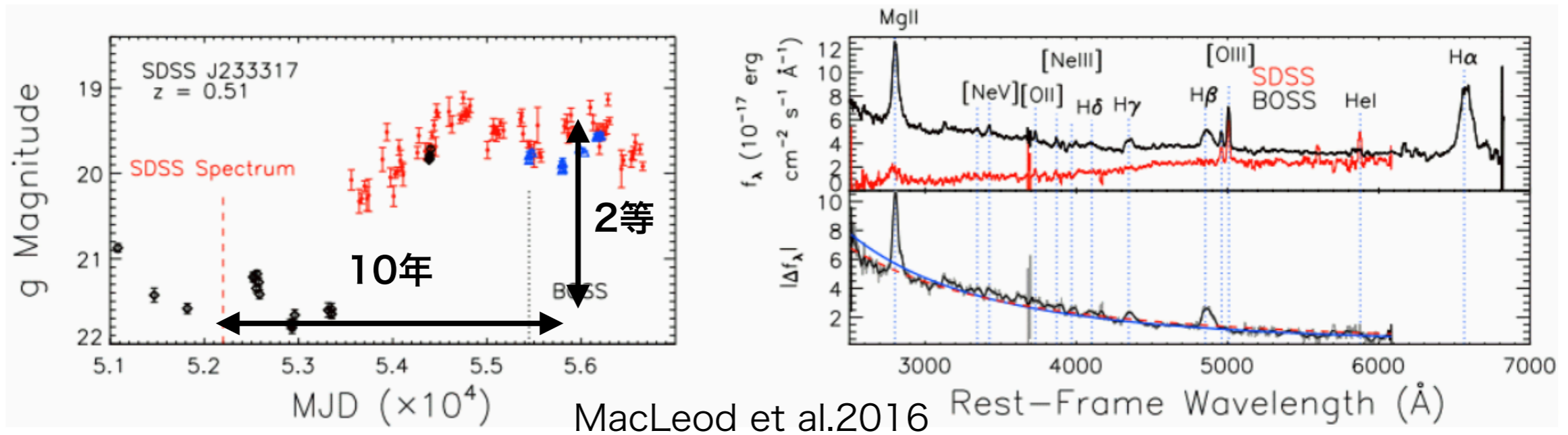
京都大学D3 和田一馬

概要

- 近年Changing-Look Quasar (CLQ) と呼ばれる可視光/中間赤外で明るさが大きく変化し、**広輝線も出現/消失**するほどの大きな変化を見せる天体が報告されてきている。
- 私たちは長期(~10年)の連続的な可視光変光を示す天体をCLQ候補として、**2018年5月に西はりま天文台で分光観測を行なったところ**
3C332のH β 輝線が大きく変化していることを発見した。
- この天体は以前より、H α でdouble-peakな輝線形状を持つとして報告されてきた
- 円盤モデルで説明されるという報告もあるが、binary BHの可能性もある
- 我々はさらなる3C332の特徴(BHmass、BLR半径、速度オフセットの変化)調査のため、**2020年2月~2020年6月に計12回の分光観測をせいめい望遠鏡で行った。**
- 2つのピークの速度オフセットの変化からdouble-peakの起源は**円盤モデルとconsistent**という結論を得た。
- またChanging-lookのタイムスケールはthermal timescaleと合っていることもわかった。

Changing-Look Quasar (CLQ)とは？

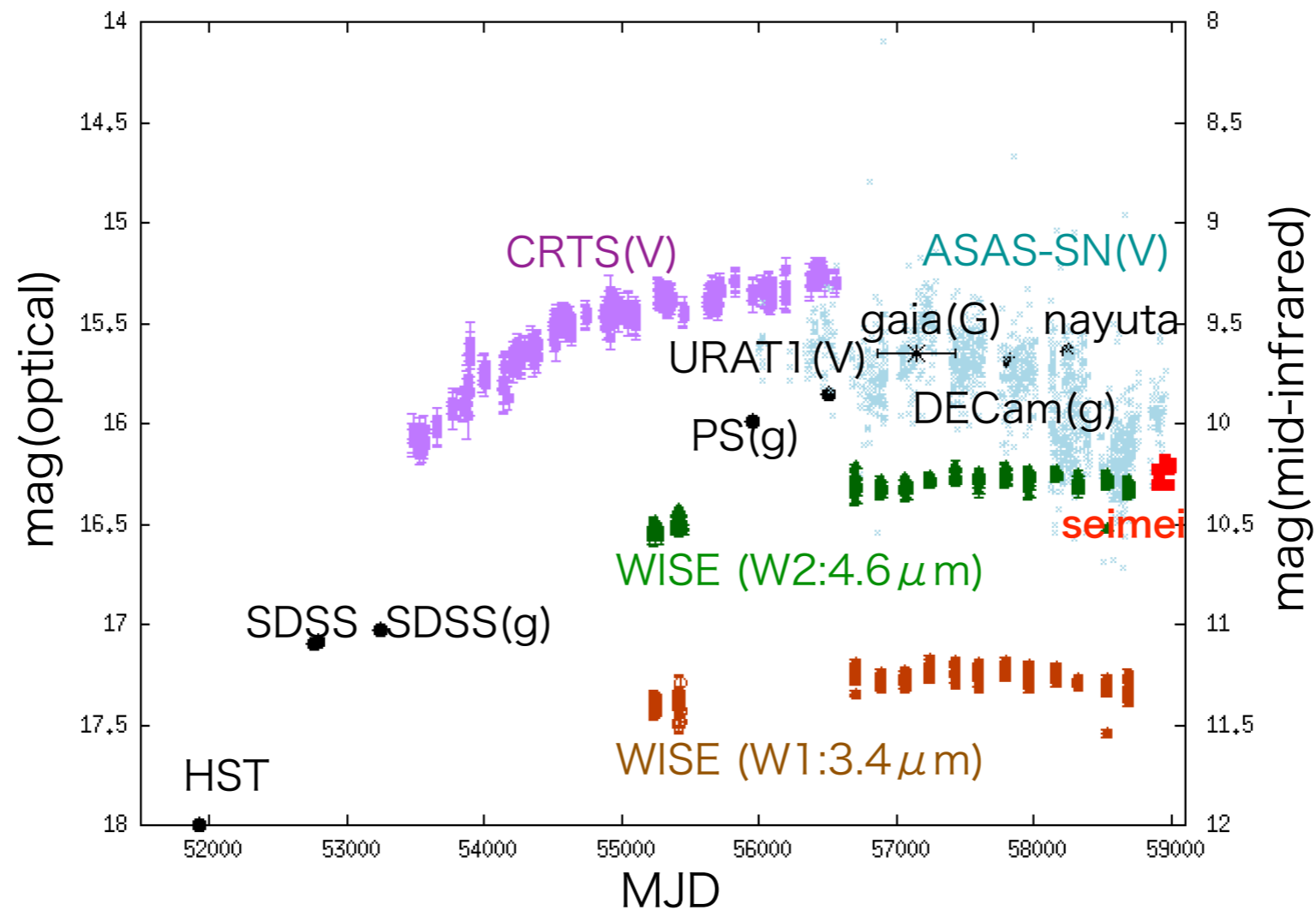
CLQの光度曲線とスペクトル変化の例



- 可視光(と中間赤外)で明るさが数年~十数年で1~2mag程度変化し、
H β などの広輝線が出現/消失するほどの変化をするクエーサーのこと
(通常クエーサーでも明るさは変化するが、数ヶ月~yearで0.2mag程度)

3C332の可視光/中間赤外変化

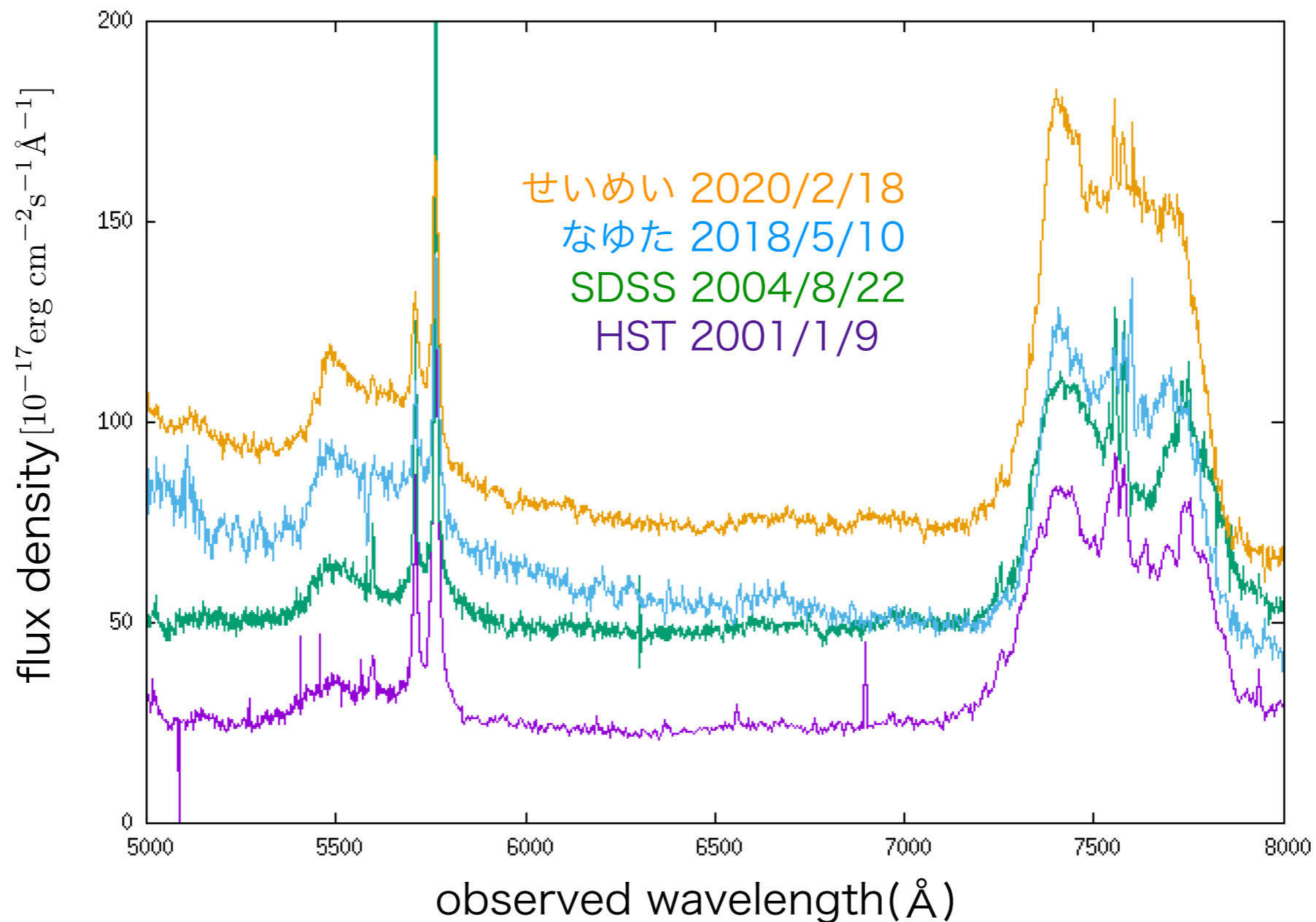
- 可視光データは 可視光サーベイCatalina Realtime Transient Survey(CRTS)などや過去に取られた分光観測結果からVバンド相当のデータに換算してプロット
- 中間赤外データはWISEを参照した



- HSTが最小でMJD56500あたりで最大の明るさになるとすると可視光で12年で2.5mag変化している
- また中間赤外ではW1バンド(3.4 μm),W2バンド(4.6 μm)共に0.2mag以上変化した

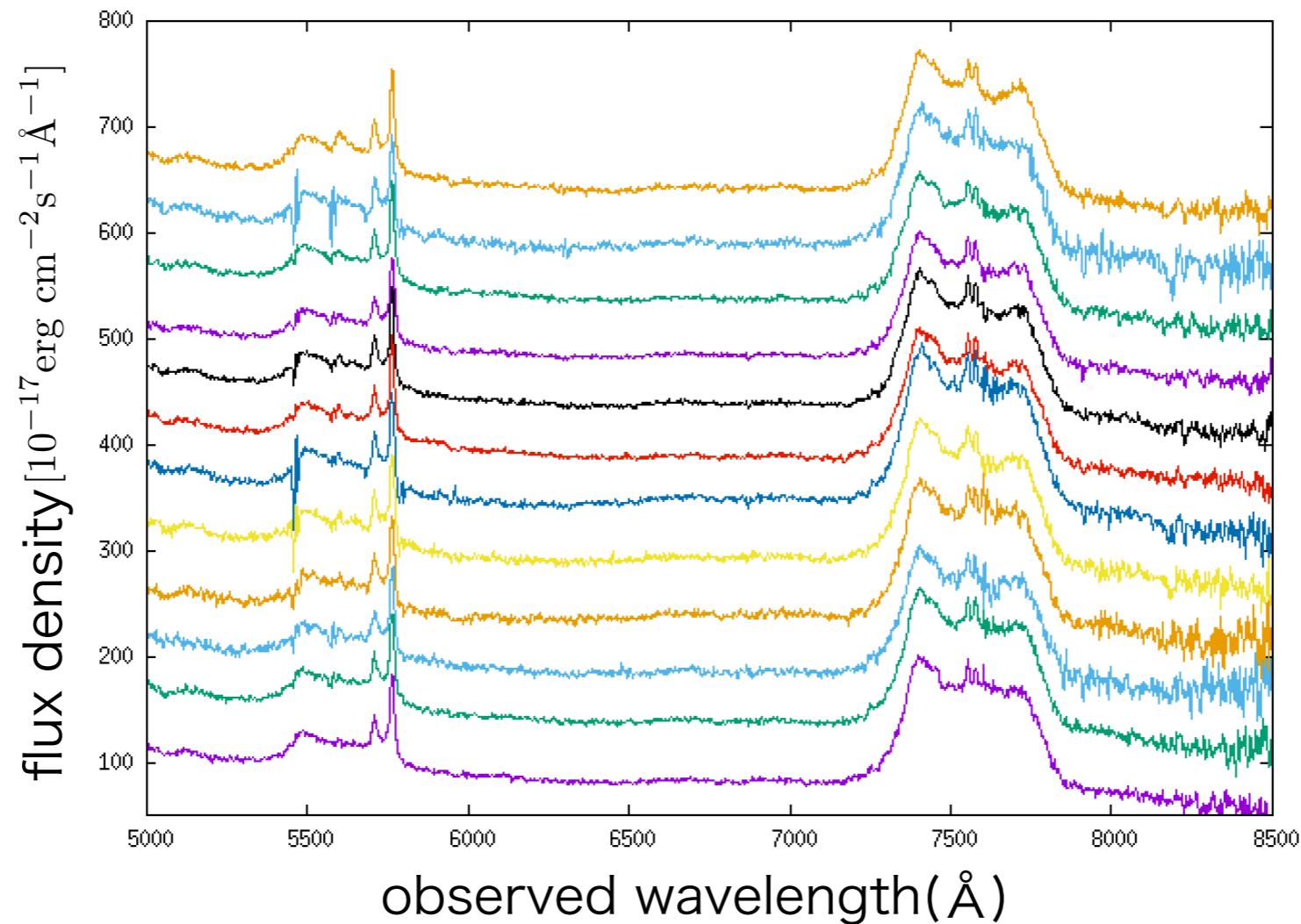
西はりま天文台での分光観測(2018年5月)

- SDSSで2004年に取られたスペクトルではH β が弱かった(HSTではほとんどなかった)
- 2018年5月に西はりまで観測したところH β が出現していた(下図;changing-look)



せいめい望遠鏡で12回分光観測

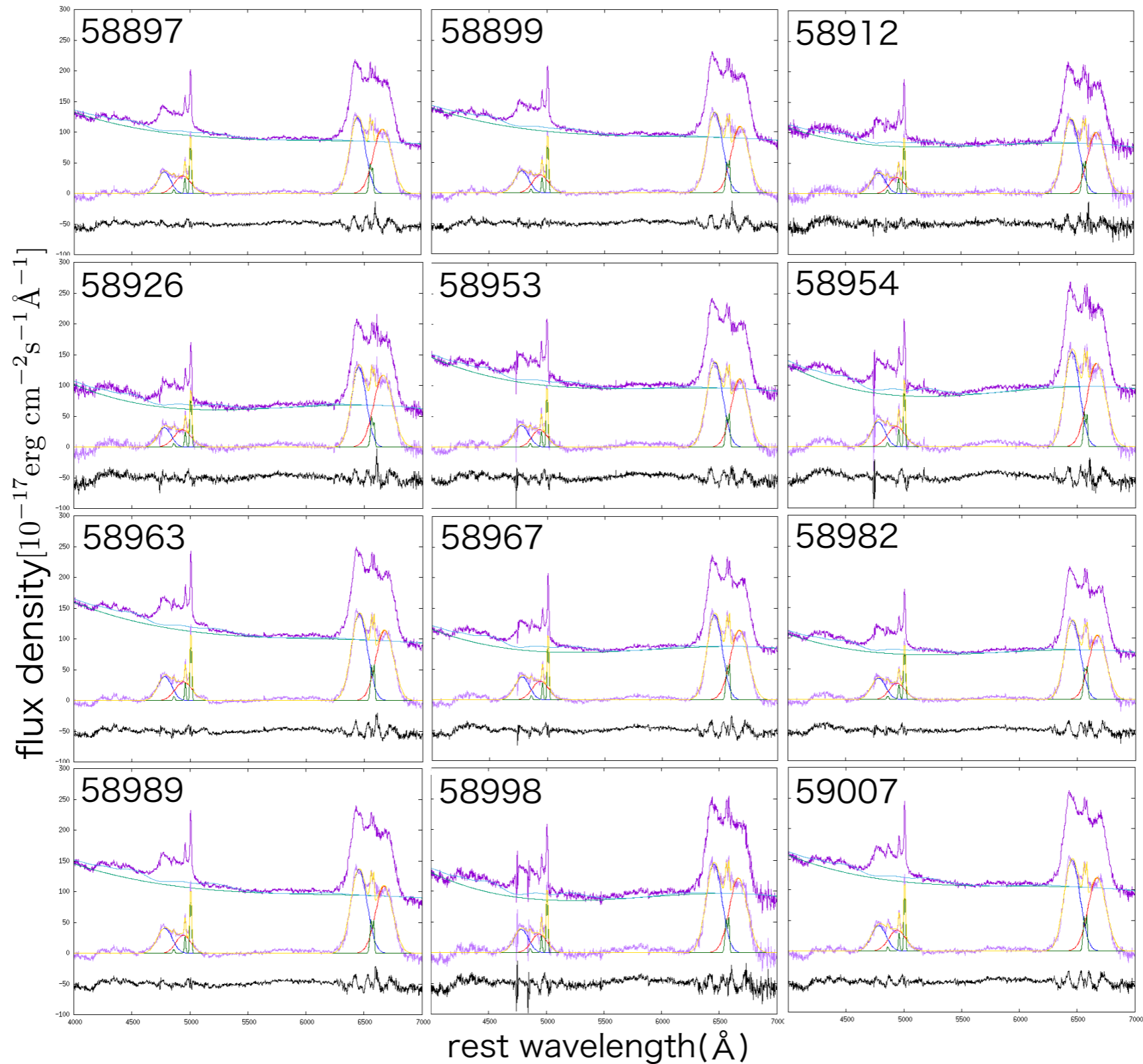
- 使用グリズム：VPH-blue
- 露出時間：10分×6
- 観測頻度：2週間に1回程度(2020年2月~6月)



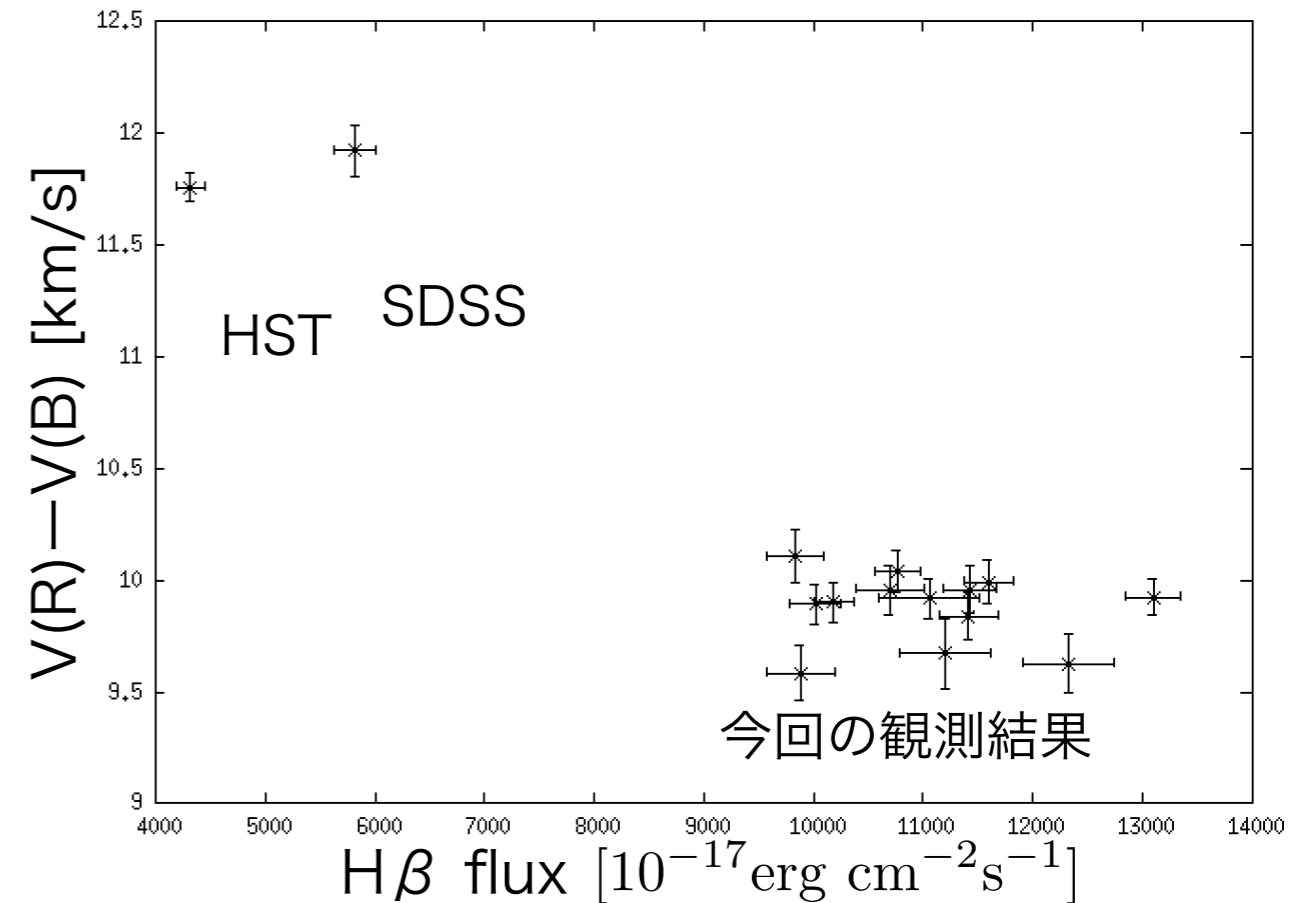
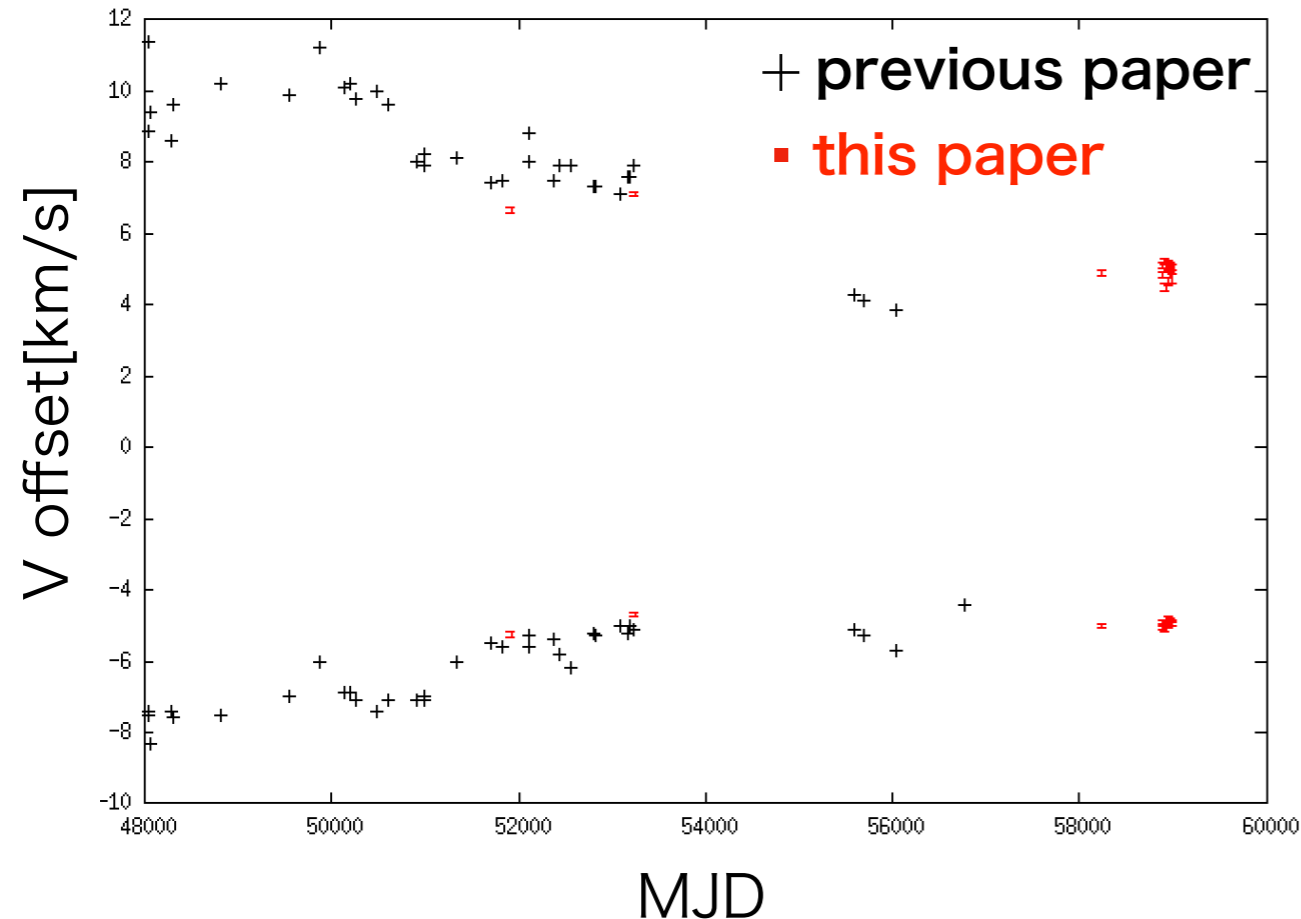
- 下から順に時系列順になっている
- スペクトルが重なるのを防ぐため、
図中では第*i*回目 ($i=1, 2, \dots, 12$) の観測フラックスの値は $+50 \times (i-1)$ した

スペクトルfitting

- 連続光と広輝線と狭輝線をfit
- 広輝線はガウシアン3つ(narrow1つ、broad2つ)

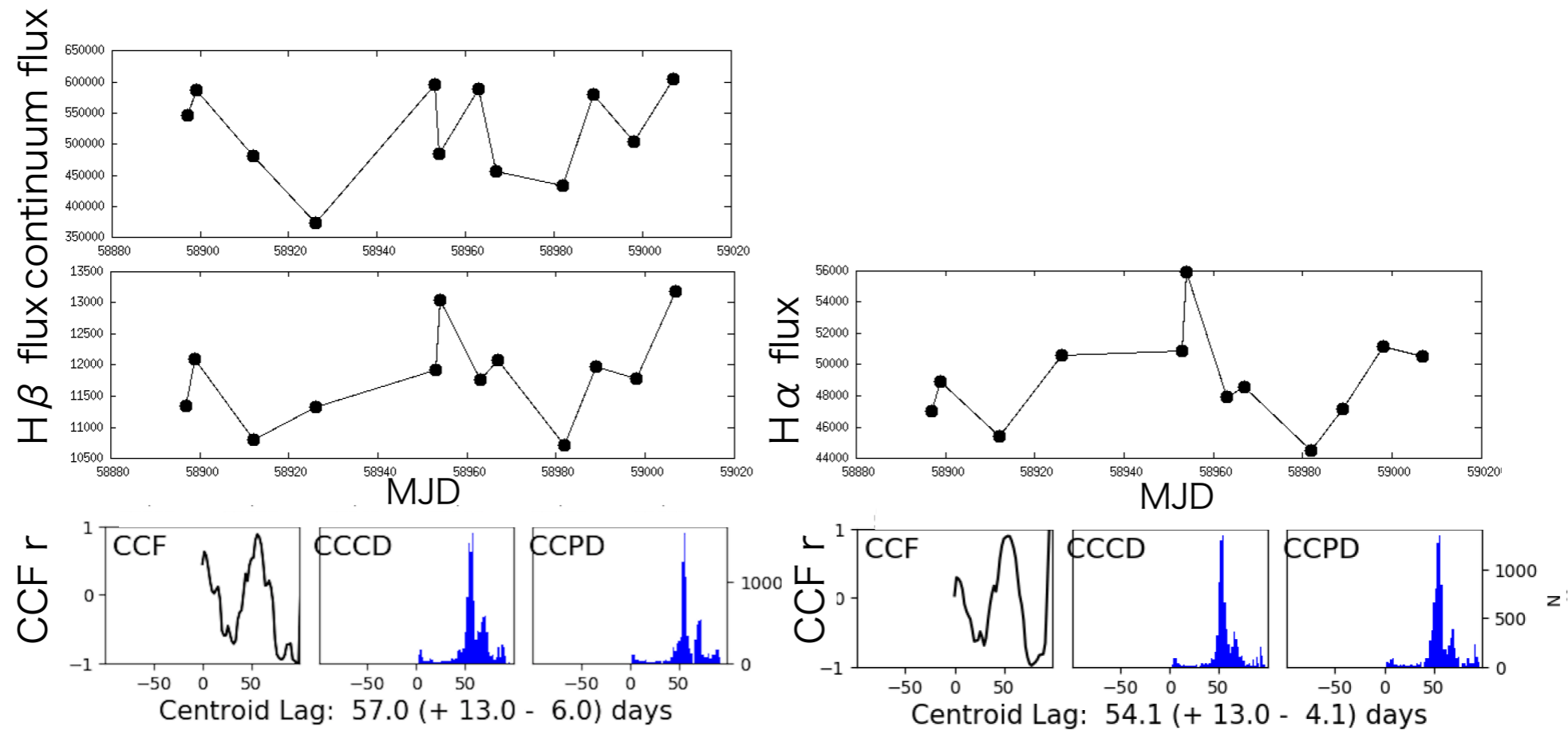


速度オフセットの時間変化と明るさとの関係



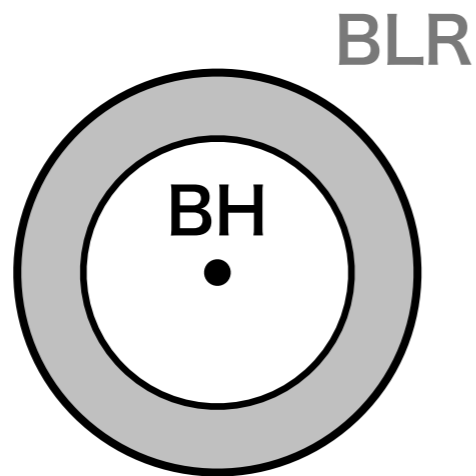
- binary SMBHの場合、左図の速度オフセットは周期を持ち
オフセットの差が最小のときは観測者と2つのBHが1直線上に並ぶ時で
速度オフセットはそれぞれ0で交差すると予想されていた
- 今回追加した観測結果では、0で交差する前に傾向が反転していることがわかる
- また、輝線強度と速度オフセットの差には負の相関があり、円盤モデルとconsistent

輝線強度と連続光(at 5500 Å)で反響マッピング

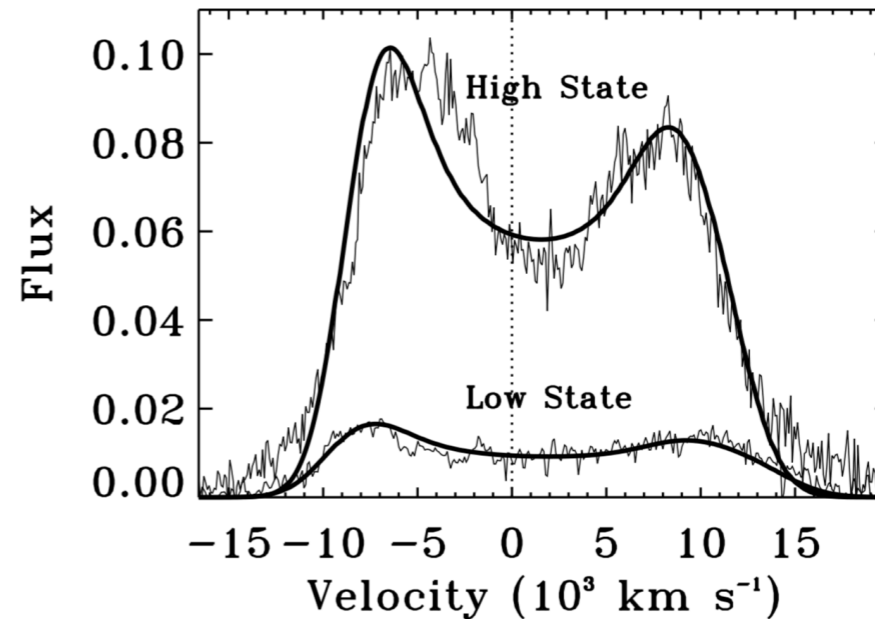


- lagとしてはCentroid lagを採用し、
H β のラグは57.0(+13.0,-6.0)day、H α のラグは54.1(+13.0,-4.1)day
- ほぼ同じ領域からH α もH β も出ている

disk model fit



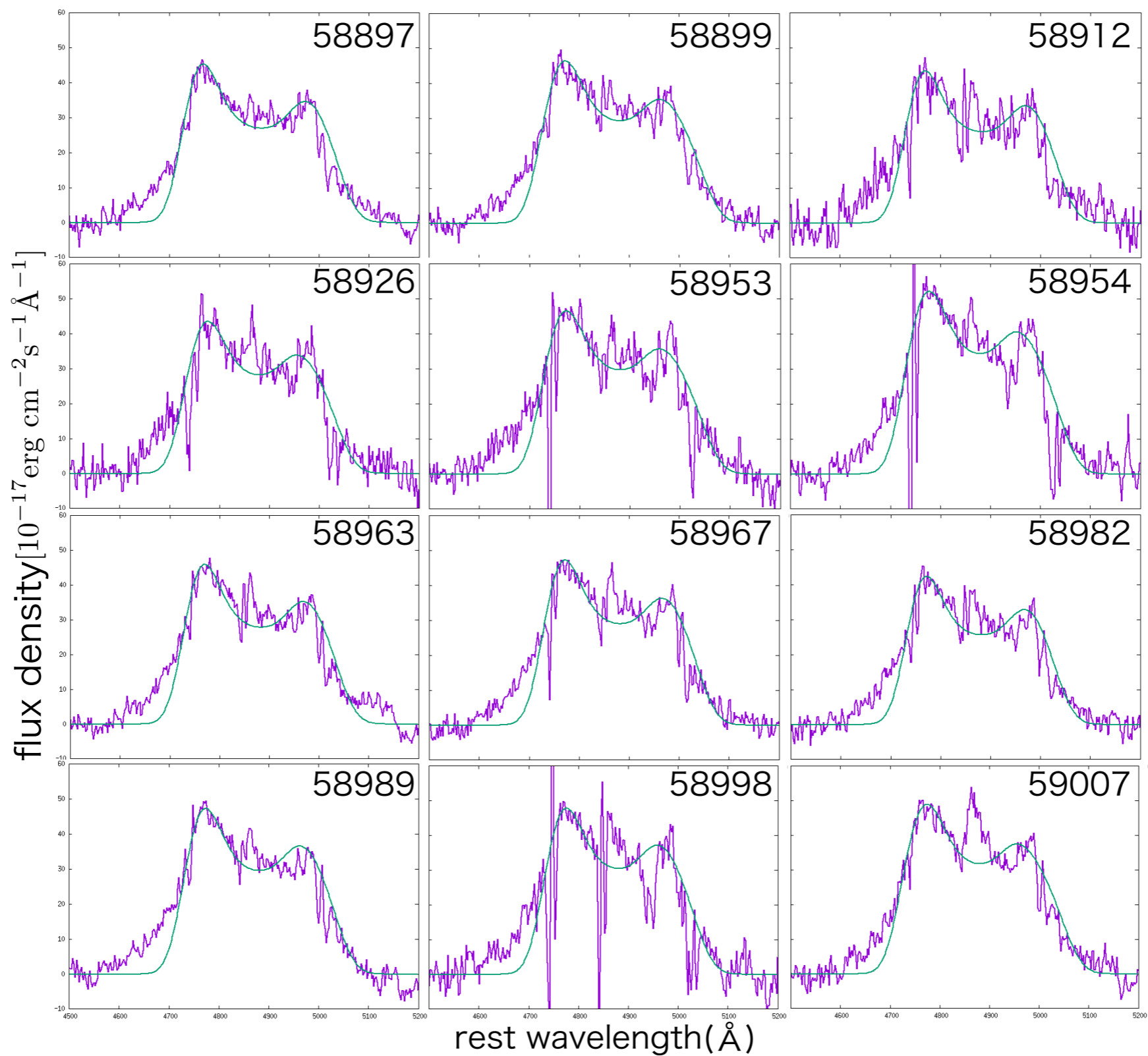
face-onで見た図



先行研究(Gezari et al.2007)でのfit例

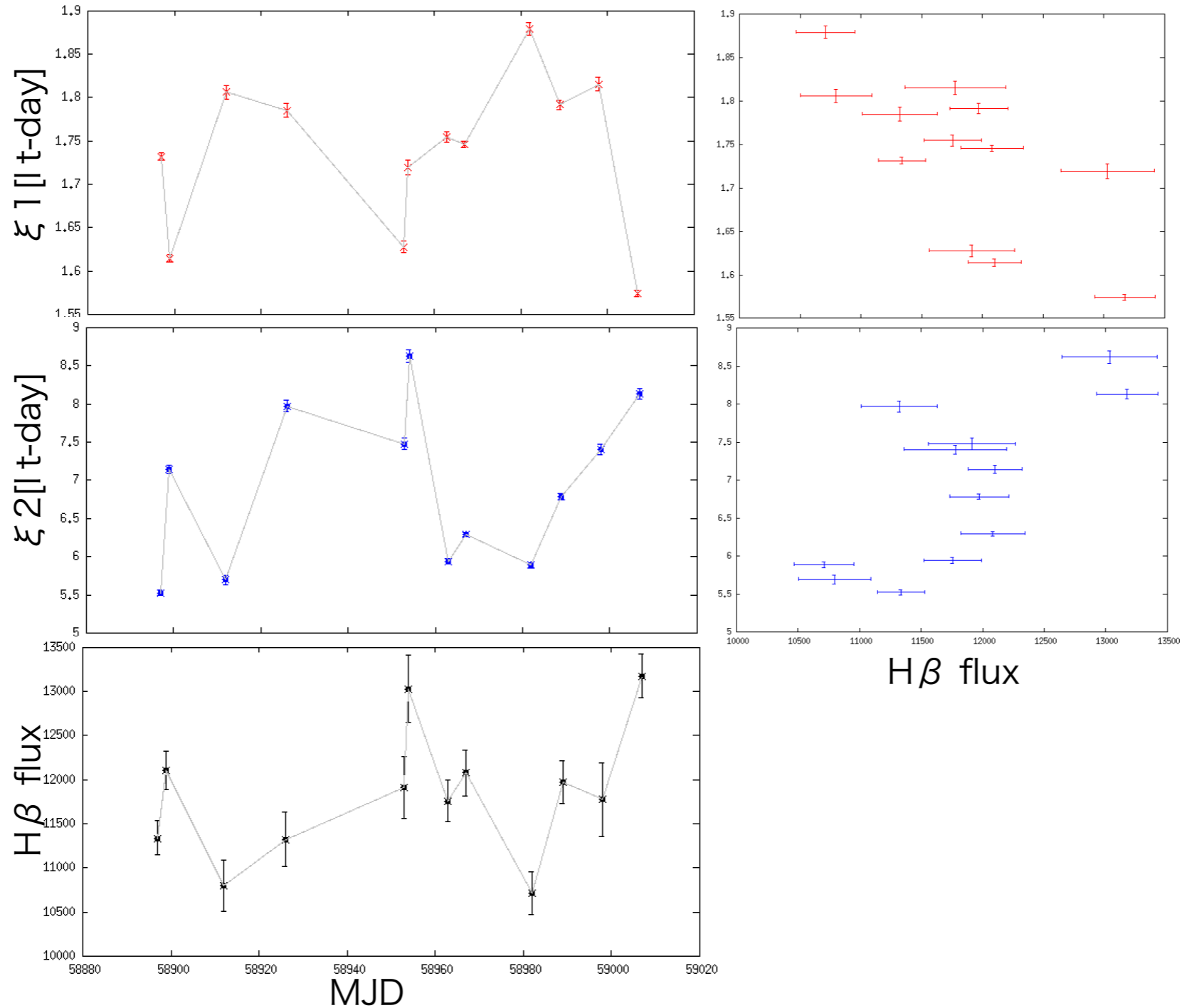
- 広輝線領域(BLR)がリング状に分布するモデル
(Chen Kaiyou, Halpern Jules P, & Filippenko Alexei V. 1989, ApJ, 339, 742)
- パラメータは内縁半径 ξ_1 、外縁半径 ξ_2 、強度 ε 、localな輝線の幅 σ 、軌道傾斜角 i 、放射率のパワー q (半径の何乗で放射率が落ちていくか) の5つ
- i と q は先行研究と同じ $i=36\text{deg}$ 、 $q=3$ 、 $\sigma=1600[\text{km/s}]$ で固定
- 連続光、narrow lineの成分を差し引いてfittingする

disk model fit結果(H β)



- 先行研究と同じく、blue側に円盤モデルでは説明できない部分がある
-outflowの影響?

disk model fit のパラメータの時系列変化



- 内縁半径とH β fluxは負の相関、外縁半径とH β fluxは正の相関になっている
- 明るいほど外側まで光が届くので、外縁半径の正相関は予想通りだが、内縁半径に関しては検討中

近傍AGNのL-R関係とconsistent

- 観測されたタイムラグは観測された5500Åの光度とconsistent だろうか？
- 求めたH β のタイムラグより R=57光日
Bentz et al.(2013)よりL-R関係は

$$\log(R_{\text{BLR}}/1\text{lt} - \text{day}) = 1.527 + 0.533\log(\lambda L_{\lambda}/10^{44}L_{\odot})$$

- 計算すると**L5500=1.9e74 erg/s/Å**
- 一方、観測データからflux density(at 5500)~90*1e17 erg/s/cm/cm/Å(=f5500とする)
- z=0.151の場合、光度距離dl=6.92e8 pcなので
L5500=4 π *dl*dl*f5500~5.2e74
上で求めたL5500の推定値と桁は一致。
タイムラグ計測の誤差やL-R関係の誤差など考えると十分一致していると思われる

ブラックホール質量の制限

H β の円盤モデルfitの結果より

内縁半径 $\sim 1.75 M_{\text{BH}}/10^8 M_{\odot}$ [光日]

外縁半径 $\sim 7.14 M_{\text{BH}}/10^8 M_{\odot}$ [光日]

時間差からは広輝線領域の半径の平均が求められるはずなので

時間差の解析で求められた半径 $R=c\tau=57$ [光日]は上の半径の間にあるはず

$$\rightarrow 1.75 M_{\text{BH}}/10^8 M_{\odot} < 57 < 7.14 M_{\text{BH}}/10^8 M_{\odot}$$

この不等式を解くと求めたいブラックホール質量の範囲がわかる

$$8.0 < M_{\text{BH}}/10^8 M_{\odot} < 33$$

changing-look のタイムスケール

Stern et al.(2018)より特徴的なタイムスケールは以下の4式で書ける

$$t_{\text{orb}} \sim 10\text{days} \left(\frac{M_{\text{BH}}}{10^8 M_{\odot}} \right) \left(\frac{R}{150 r_{\text{g}}} \right)^{3/2}$$

$$t_{\text{th}} \sim 1\text{year} \left(\frac{\alpha}{0.03} \right)^{-1} \left(\frac{M_{\text{BH}}}{10^8 M_{\odot}} \right) \left(\frac{R}{150 r_{\text{g}}} \right)^{3/2}$$

$$t_{\text{front}} \sim 20\text{years} \left(\frac{h/R}{0.05} \right)^{-1} \left(\frac{\alpha}{0.03} \right)^{-1} \left(\frac{M_{\text{BH}}}{10^8 M_{\odot}} \right) \left(\frac{R}{150 r_{\text{g}}} \right)^{3/2}$$

$$t_{\nu} \sim 400\text{years} \left(\frac{h/R}{0.05} \right)^{-2} \left(\frac{\alpha}{0.03} \right)^{-1} \left(\frac{M_{\text{BH}}}{10^8 M_{\odot}} \right) \left(\frac{R}{150 r_{\text{g}}} \right)^{3/2}$$

$8.0 \times 10^8 M_{\odot} < M_{\text{BH}} < 33 \times 10^8 M_{\odot}$ なので上の式から

それぞれ $0.22 < t_{\text{orb}} < 0.9, 8 < t_{\text{th}} < 33, 160 < t_{\text{front}} < 660, 3200 < t_{\nu} < 13200$ [year]

光度曲線で増光していた時間は~13.7年程度のためthermal timescaleが最もよく合う

まとめ

- 私たちは長期(~10年)の連続的な可視光変光を示す天体をCLQ候補として、
2018年5月に西はりま天文台で分光観測を行なったところ
3C332のH β 輝線が大きく変化していることを発見した。
- 我々はさらなる3C332の特徴(BHmass、BLR半径、速度オフセットの変化)調査のため、
2020年2月~2020年6月に計12回の分光観測をせいめい望遠鏡で行った。
- 2つのピークの速度オフセットの変化からdouble-peakの起源は
円盤モデルとconsistentという結論を得た。
- Changing-lookのタイムスケールはthermal timescaleと合っていた
- 内縁半径と輝線fluxが反相関な原因やoutflowの影響は検討中
- H α のdisk model fitは現在計算中でH β と比較する予定