

# キューサーの光度変動が アウトフローガスに与える影響

信州大学 D2  
堀内貴史

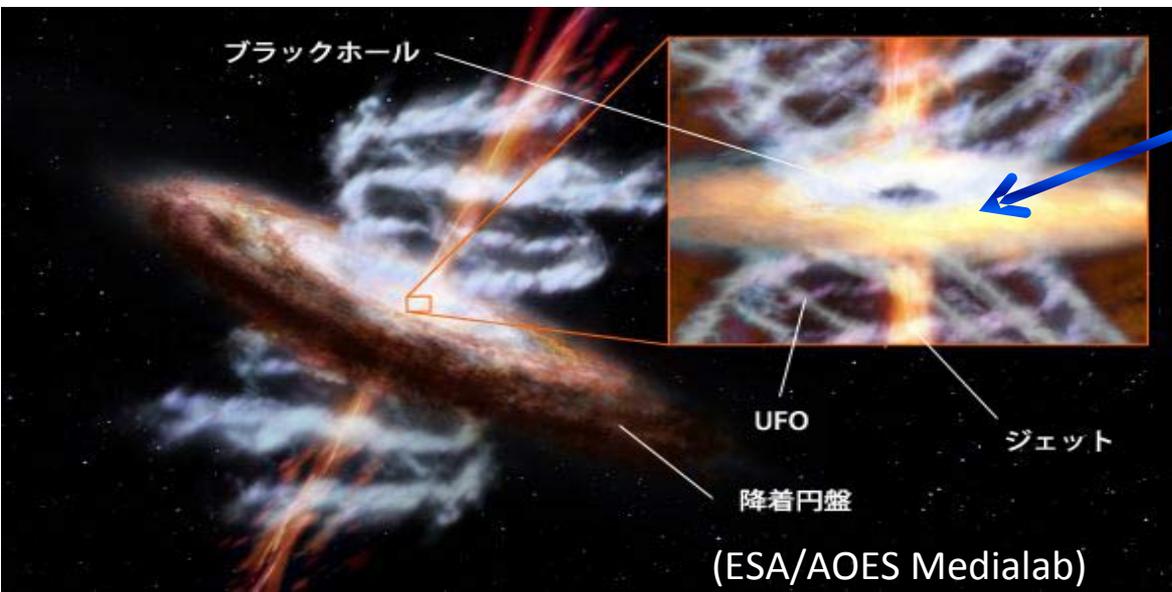
# 目次

- 導入・研究の目的 
- 観測
- 結果
- 電離状態変動シナリオの考察
- 展望・まとめ

# アウトフローガスの物理的な重要性

3 / 18

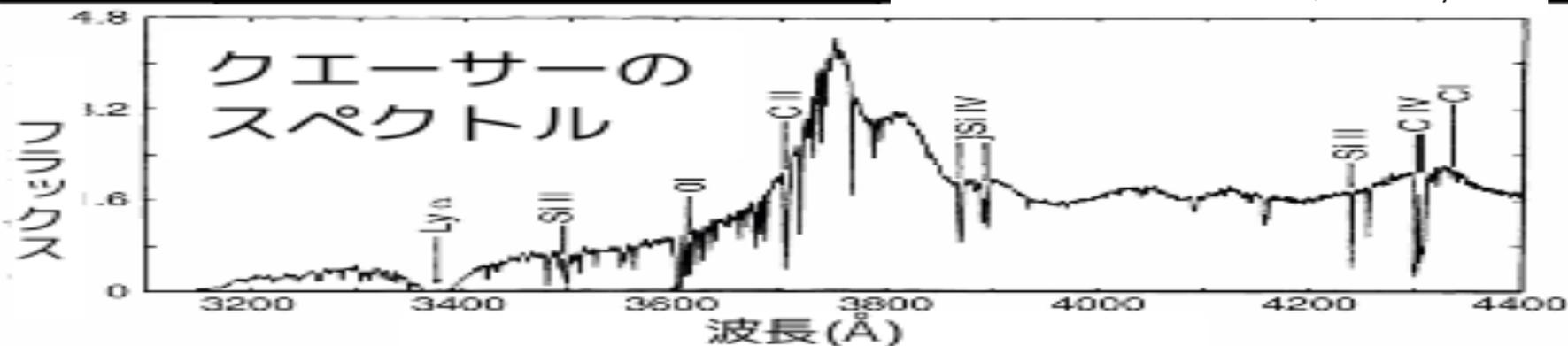
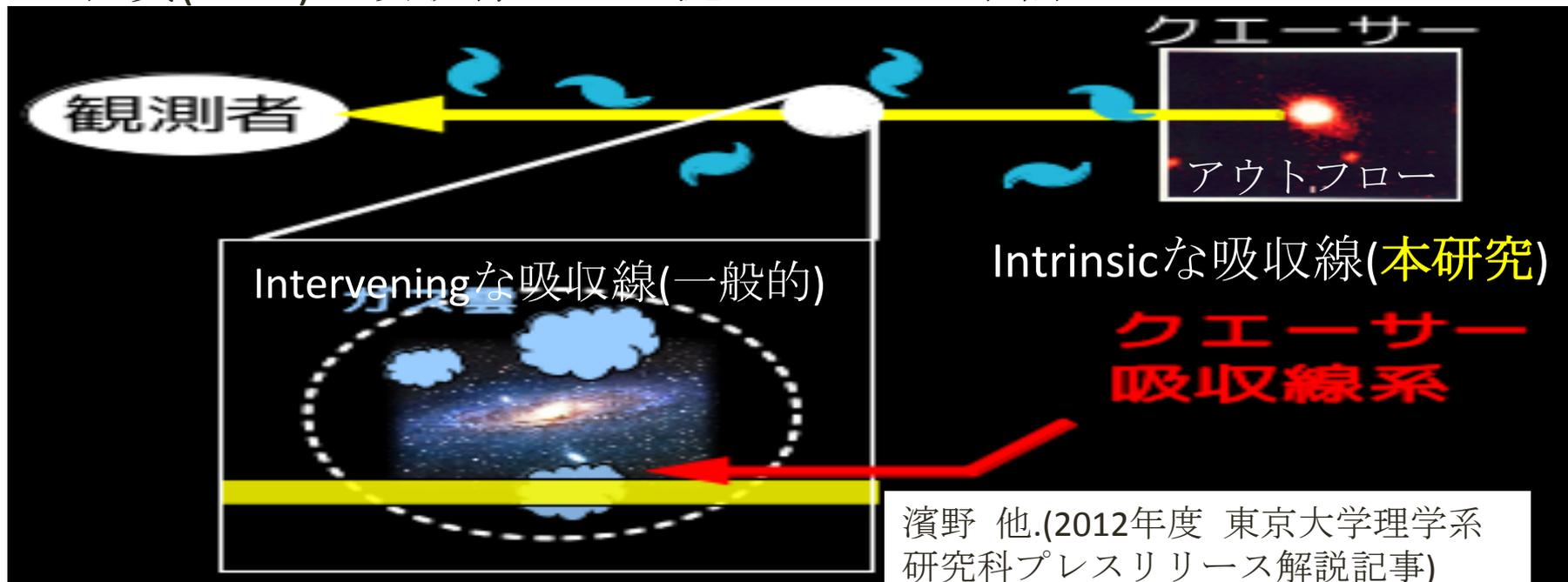
- ・ 降着円盤より放出される、アウトフローは
  - 1) 降着円盤より角運動量を排除し、新たなガスの降着を促進する  
⇒クエーサーの成長に不可欠な要素(Murray et al. 1995; Proga et al. 2000).
  - 2) 多量のエネルギー、金属を母銀河に放出 ⇒ 星形成の抑制、宇宙の化学進化に重要な役割を果たす(Di Matteo et al. 2005 ; Moll et al. 2007 ; Dunn et al. 2012).



アウトフローガスの噴出には降着円盤の輻射圧による影響が大きい(Murray et al. 1995, Proga et al. 2000). その他、磁気力(Everett 2005)や磁気力+輻射圧など.

# クエーサー吸収線

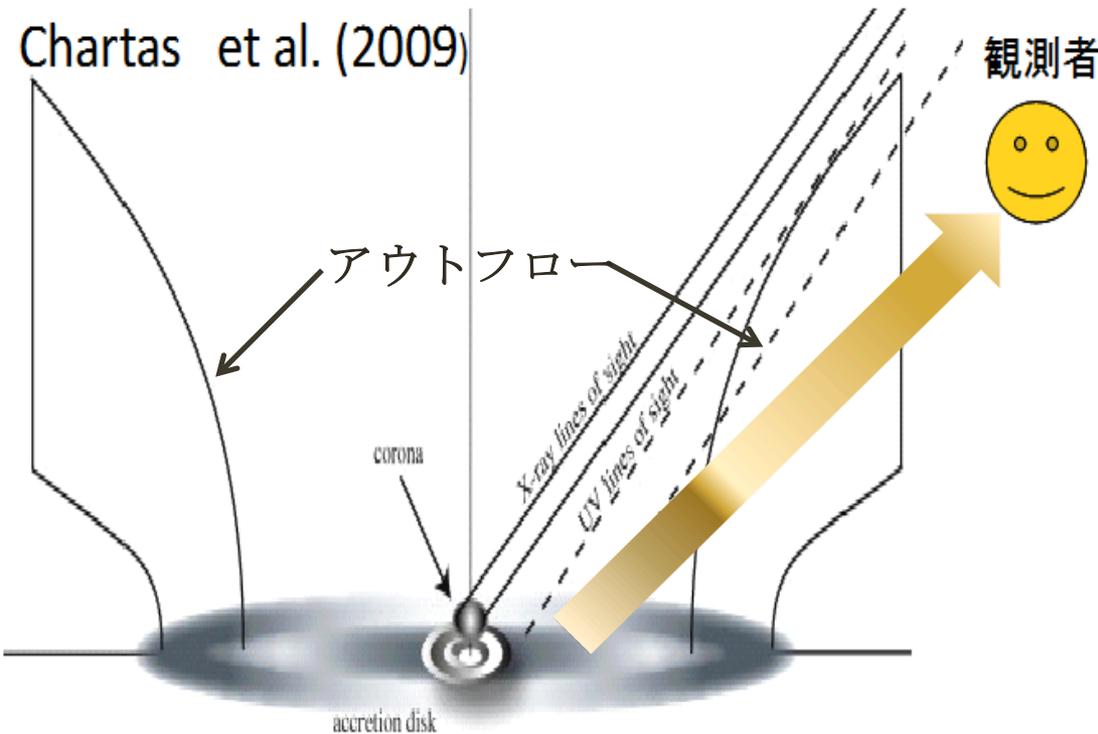
クエーサーを背景光源として用いることにより、視線上に存在する物質(ガス)を吸収線として捉えることが出来る。



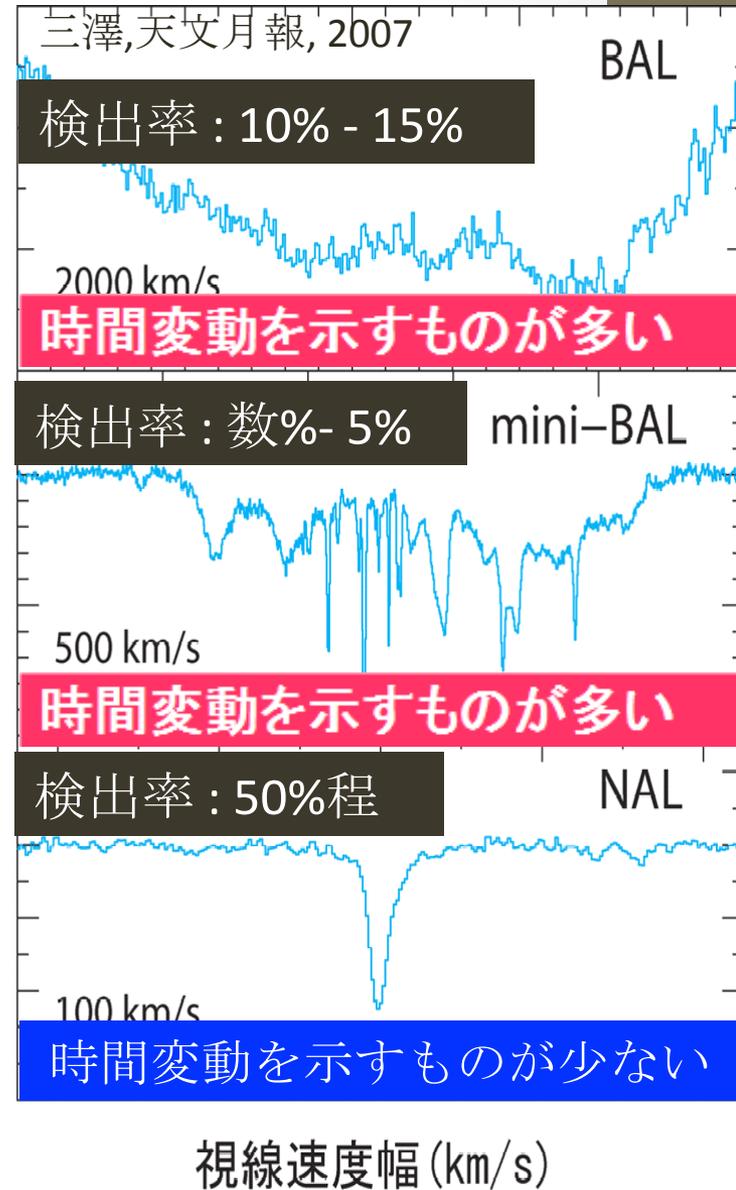
# アウトフローのつくる吸収線

様々な幅を持つ吸収線を示す

吸収線を作る!



フラックス強度



## ・目的

mini-BAL, NALを持つ複数のクエーサーに対するアウトフローの電離状態変動シナリオ (**Variable Ionization State scenario: VIS scenario**)の検証

## ・シナリオの概要

クエーサーの**光度変動**がアウトフローガスの電離状態に変化を与えるというシナリオ

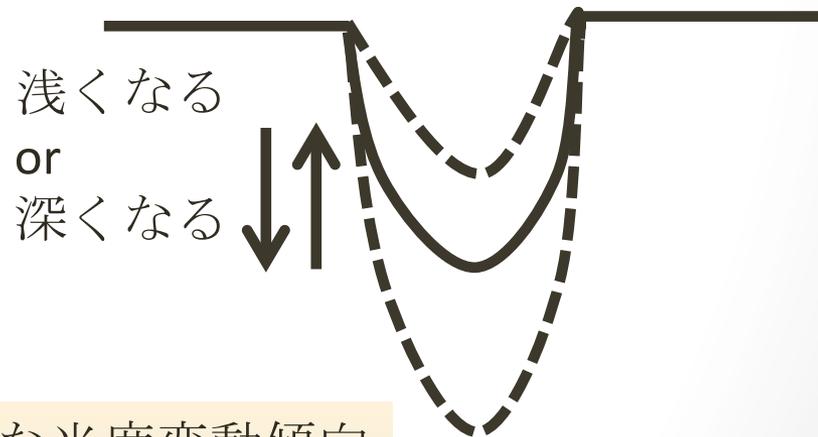
mini-BALクエーサーのみ特別大きな光度変動傾向が確認されてもVISシナリオを支持する可能性あり!



変光

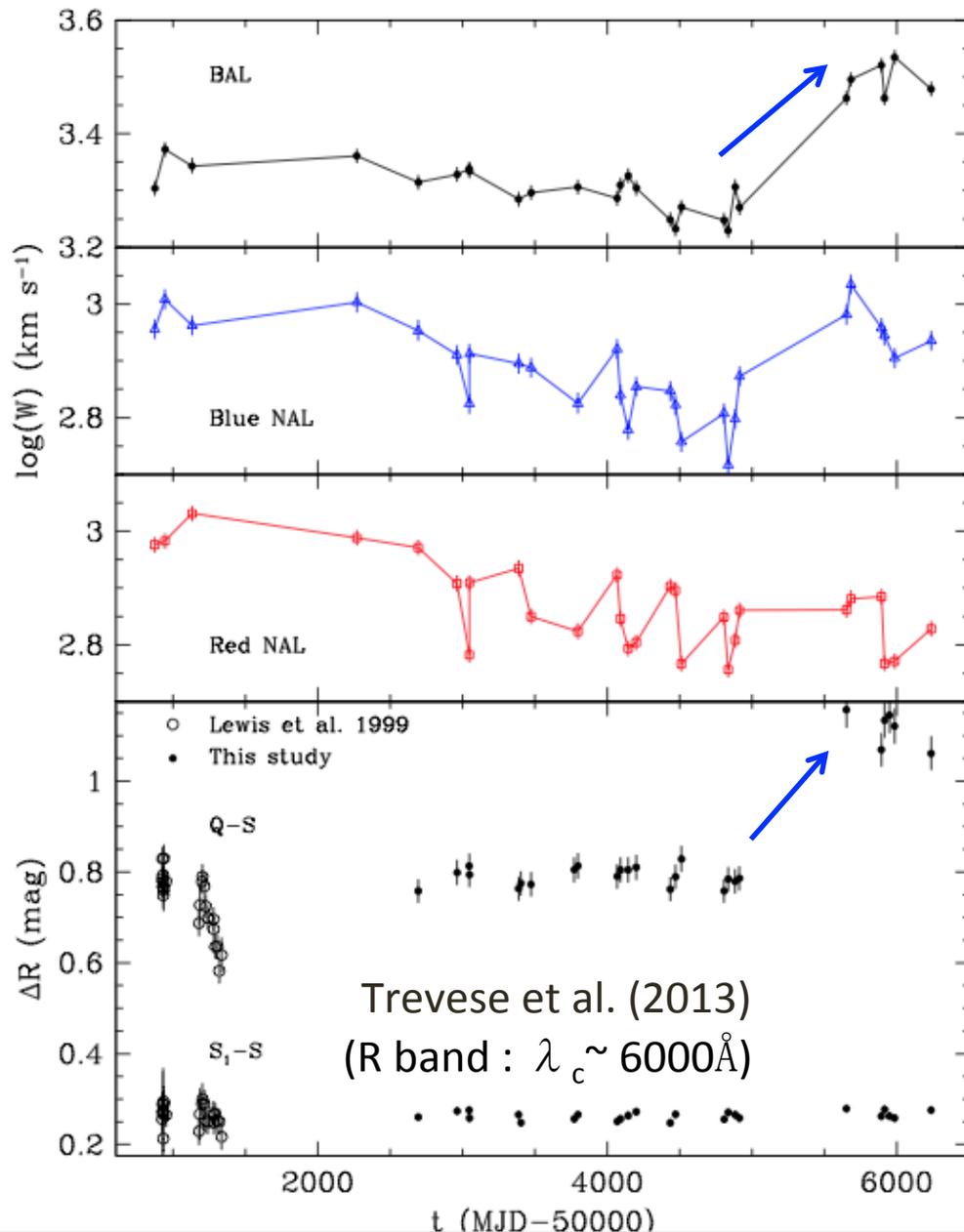


アウトフロー  
由来の吸収線



# VISシナリオを支持する先行研究の例

7 / 18



- クェーサーAPM  
08279+5255の0.3 mag 程の光度変動と、BALの等価幅の変動がリンクしていることが確認された (Trevese et al. 2013).

⇒VISシナリオを支持する可能性の高い結果!!

本研究は複数のmini-BAL, NAL quasarでVISシナリオを検証!!

# 目次

- 導入・研究の目的
- 観測 
- 結果
- 考察
- 展望・まとめ

# VISシナリオの検証方法

mini-BAL, NALクェーサーの光度と吸収線の変動が同期するかを確認する.  $2 \leq z \leq 3$ のクェーサー計9つ(Super Eddington:  $\langle \epsilon \rangle = 3$ )に対する測光・分光同時モニター観測を実施する.

- 測光モニター観測: 木曾, 105cmシュミット望遠鏡/ KWFC
- 分光モニター観測: 岡山, 188cm望遠鏡/ KOOLS



木曾105cmシュミット望遠鏡(使用filter : SDSS u,g and i)



188cm望遠鏡

# 木曾・岡山での過去の観測達成状況

10 / 18

観測時期	木曾での達成度 (%)	岡山での達成度 (%)
2012/ 11	80	
2012 / 12		60
2013/ 1	40	
2013/ 2	50	
2013/ 3	90	
2013/ 5	80	
2013/ 9	100	50
2013/ 12	25	30
2014/ 3	0	0
2014/ 6	50	80
2014/ 9	40	0
2014/ 12	0	0
2015/ 2	70	50
2015/ 5	100	40
2015/ 9		

# 目次

- 導入・研究の目的
- 観測
- 結果 
- 考察
- 展望・まとめ

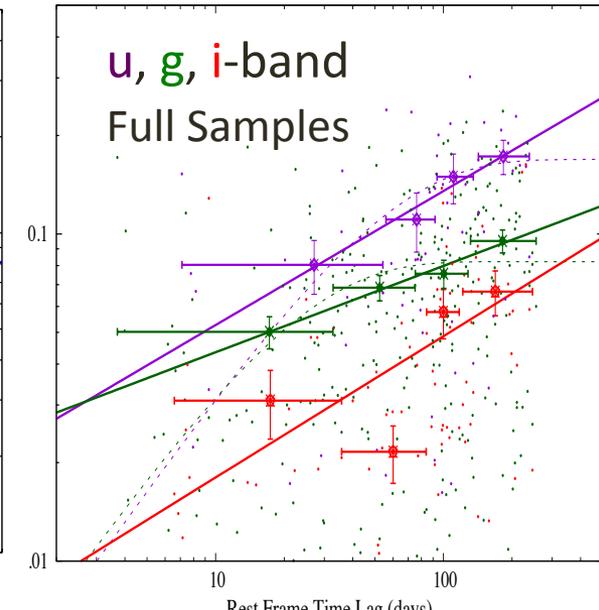
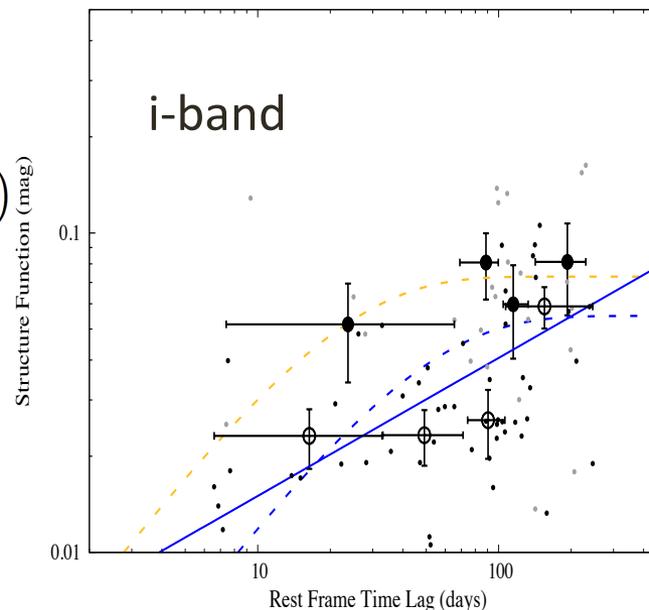
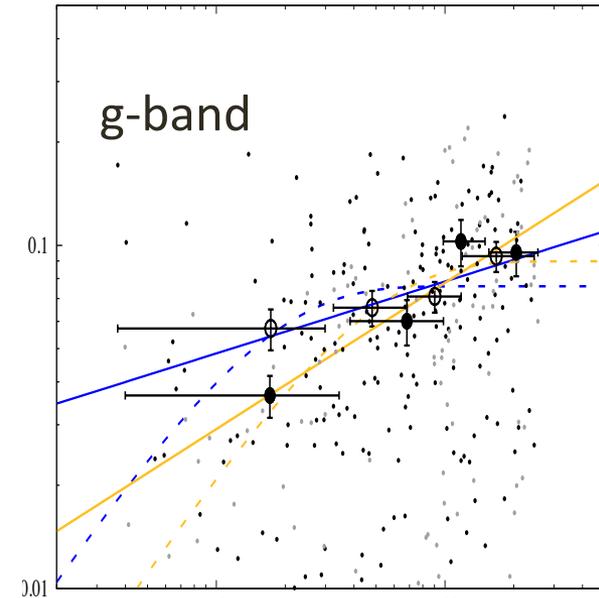
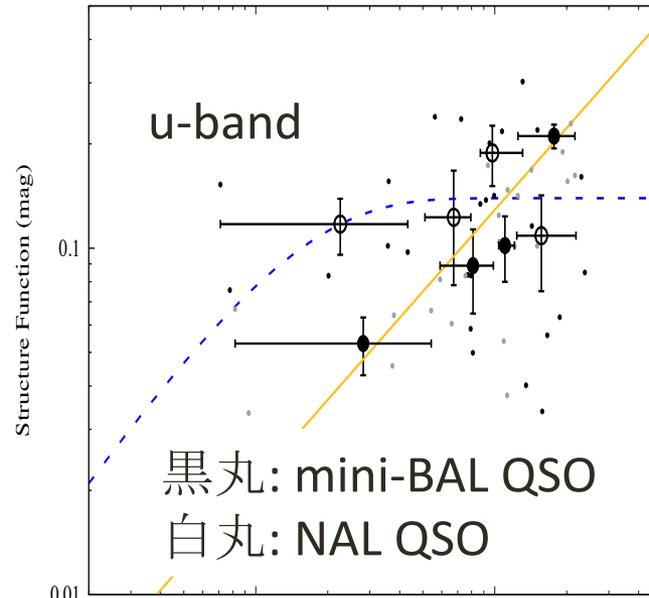
# Structure Function(SFs)解析

- SFs : 光度変動の大きさの平均値を各期間でプロットしたもの.
- mini-BAL, NAL QSOのSFsに対しモデルフィット(ベキ, 漸近関数).

$$S_p(\Delta\tau) = \left(\frac{\Delta\tau}{\Delta\tau_p}\right)^\gamma \begin{matrix} \text{ベキ} \\ \text{関数} \end{matrix}$$

$$S_a(\Delta\tau) = V_a(1 - e^{-\Delta\tau/\Delta\tau_a}) \begin{matrix} \text{漸近関数} \end{matrix}$$

- 短波長側の変動の方が大きい(明るくなると青くなる)



# Structure Function(SFs)解析

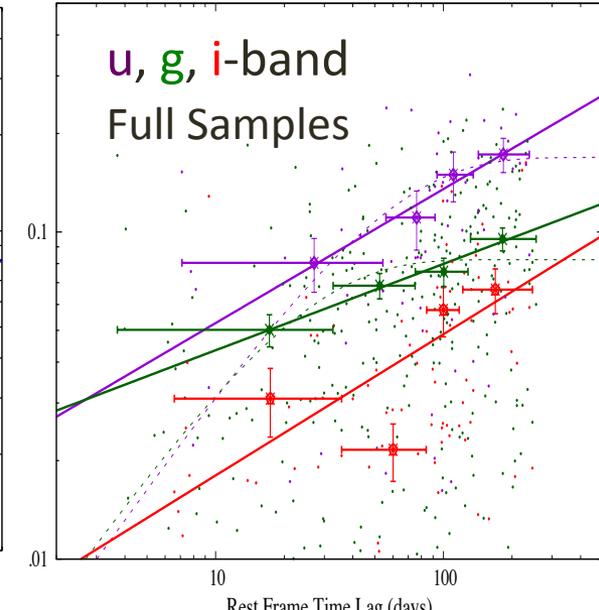
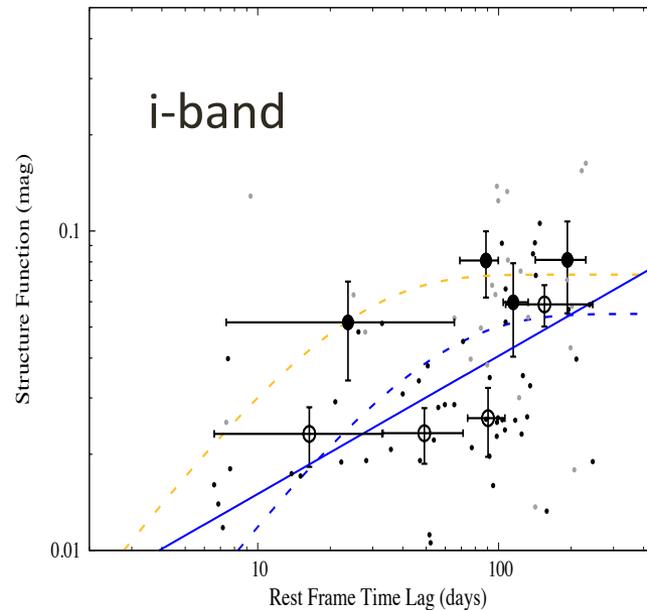
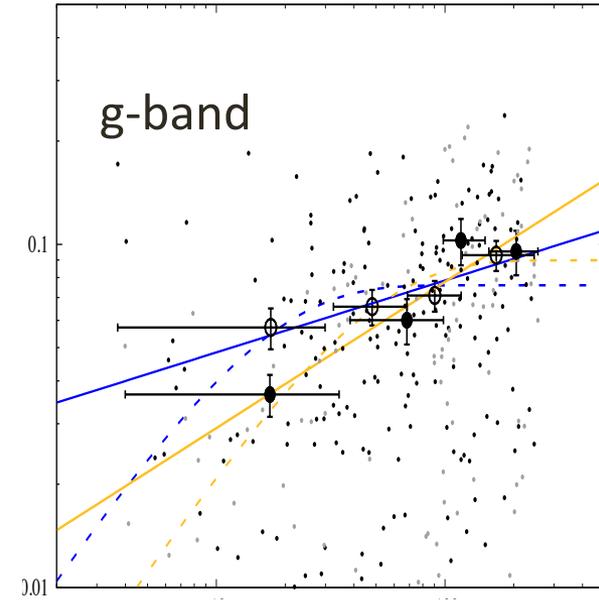
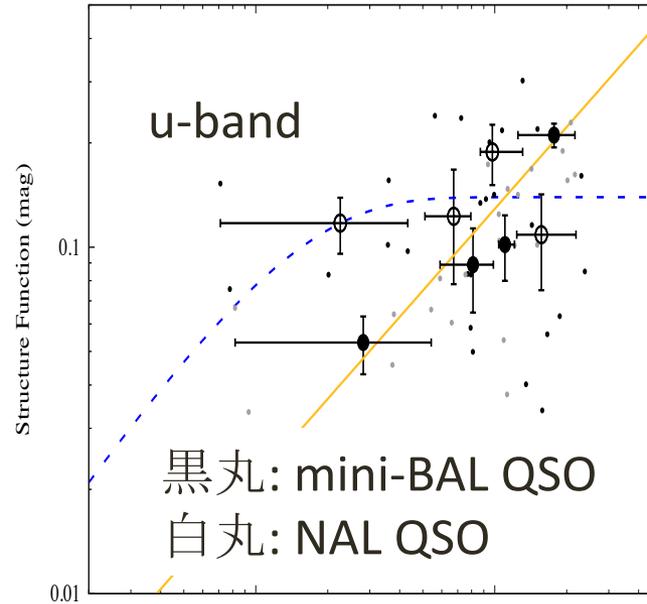
- 各期間における光度変動の大きさ  $|\Delta m|$  も Over Plot した。

- mini-BAL, NAL QSO の  $|\Delta m|$  の最大値 (u-band)

mini-BAL QSO :  
0.23 mag (HS1603+3820)

NAL QSO :  
0.30 mag (Q1700+6416)

0.3等級はサンプル中で最大の光度変動



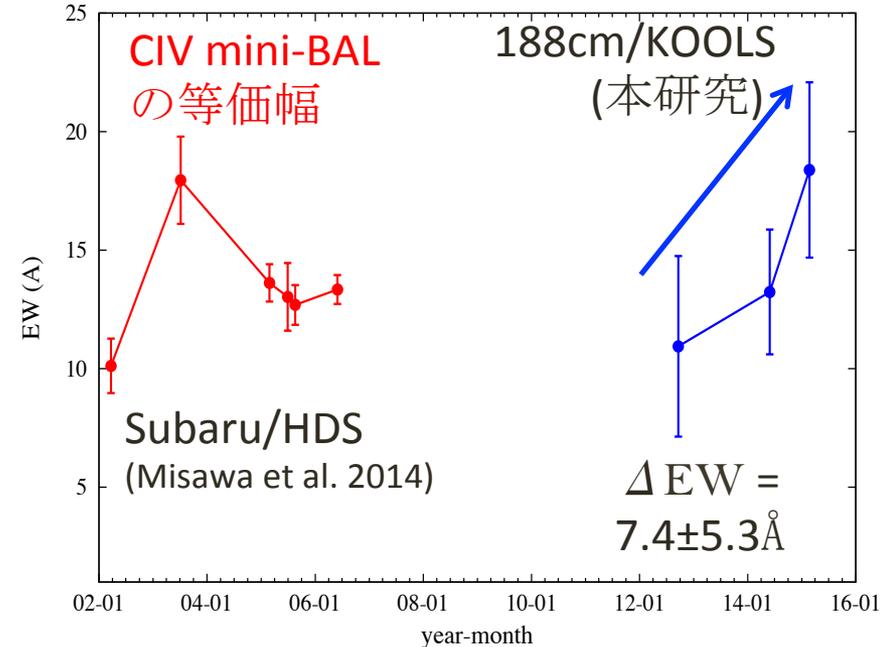
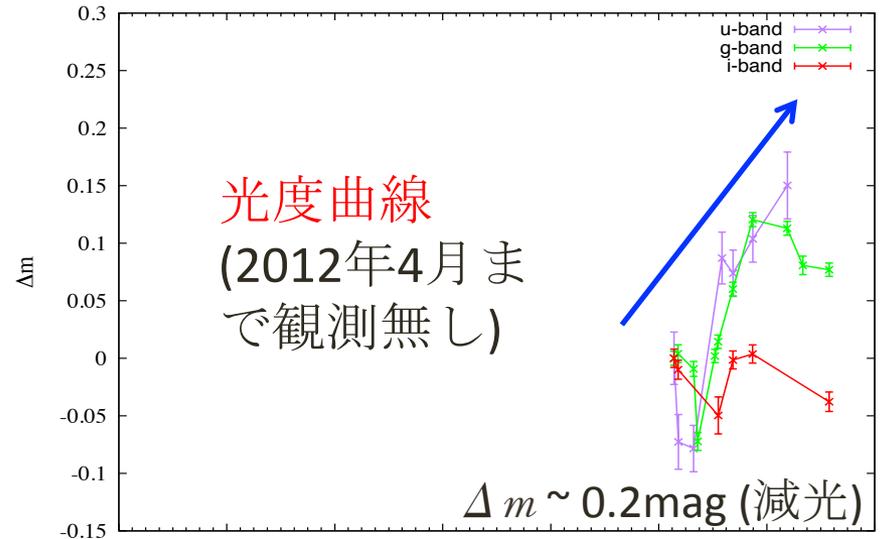
# mini-BAL QSO HS1603の光度曲線と吸収線の等価幅の動向

## • HS1603+3820のmini-BAL :

クエーサーの光度が減少すると等価幅が大きくなる傾向が見える  
(CV→CIVへの再結合!?)

KOOLSのデータにおいて、最大 $1.4\sigma$  (84%)の変動傾向を確認。

VISシナリオを直ちに支持することは出来ないが、再結合によって等価幅が増加した可能性がある。



# 目次

- 導入・研究の目的
- 観測
- 結果
- 考察 
- 展望・まとめ

# SFsのモデルフィット結果の考察

- 先行研究(Vanden Berk et al. 2004; Wilhite et al. 2008)に比べ、光度変動振幅に関するパラメータ  $S(100\text{day})$ ,  $V_a$  は小さい。

光度-光度変動の反相関関係を反映した結果

- mini-BAL, NAL QSO両者のパラメータに有意な差はない。

見込むアウトフローの構造の違いで光度変動傾向に差異は生じない。

Quasars	Authors	$S_p$		$S_a$	
		$\gamma$	$S(\Delta\tau=100\text{d})$ (mag)	$\Delta\tau_a$ (Asymptotic) (day)	$V_a$ (mag)
SDSS <i>u</i> -band					
mini-BAL quasars	this work	0.785±0.109	0.129±0.037	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>
NAL quasars	this work	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>	12.28±10.09	0.139±0.026
All of our quasars	this work	0.410±0.115	0.135±0.076	49.35±15.20	0.169±0.019
SDSS 7886 quasars	W08	0.435	0.173±0.001	—	—
SDSS <i>g</i> -band					
mini-BAL quasars	this work	0.426±0.078	0.078±0.036	31.70±4.79	0.090±0.016
NAL quasars	this work	0.210±0.071	0.078±0.067	13.53±6.981	0.076±0.008
All of our quasars	this work	0.264±0.056	0.080±0.043	20.77±7.480	0.082±0.008
SDSS 25,710 sample	VB04	0.293±0.030	—	51.9±6.0	0.168±0.005
SDSS 7886 quasars	W08	0.479	0.147±0.001	—	—
SDSS <i>i</i> -band					
mini-BAL quasars	this work	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>	18.87±9.088	0.073±0.008
NAL quasars	this work	0.432±0.111	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>	0.054±0.046
All of our quasars	this work	0.432±0.121	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>
SDSS 25,710 sample	VB04	0.303±0.035	—	62.6±8.3	0.139±0.005
SDSS 7886 quasars	W08	0.436	0.108±0.001	—	—

# VISシナリオはどの程度の光度変動が必要か？

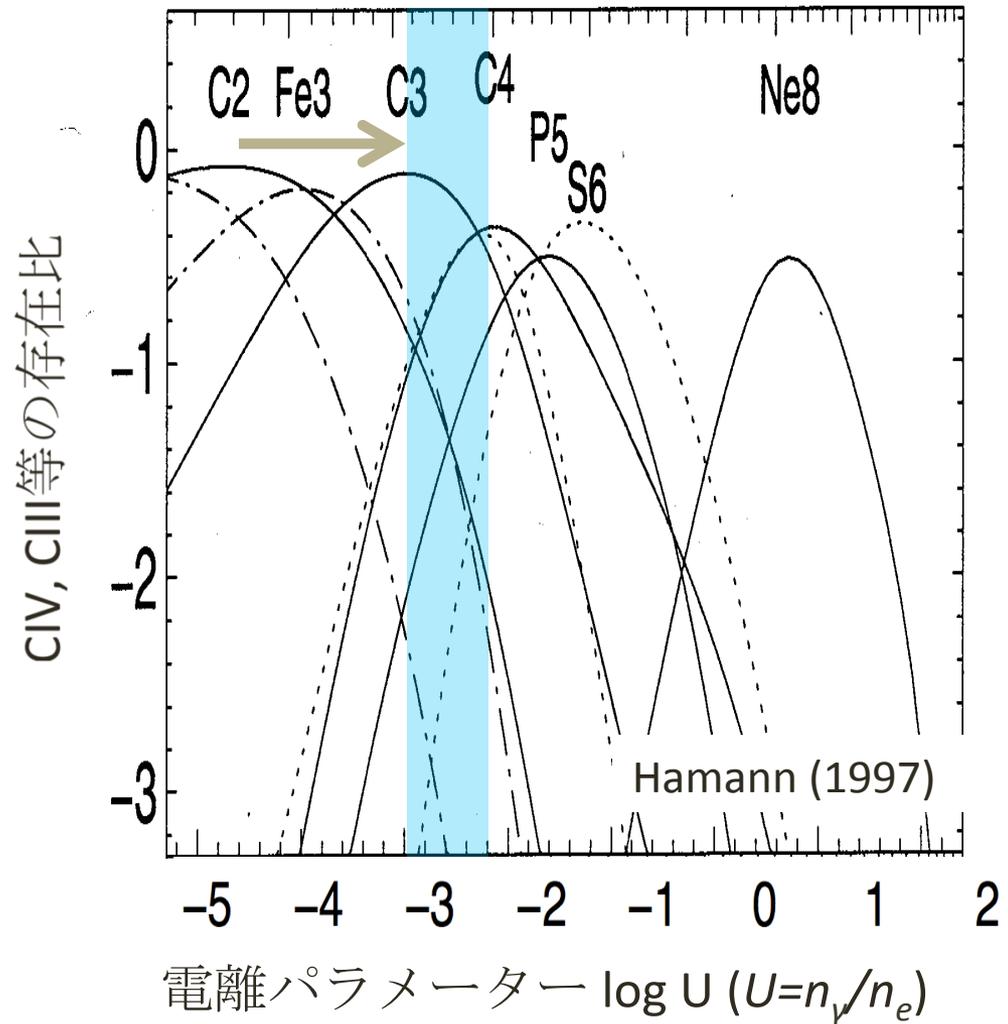
- 電離状態の変動に必要な光度変動の程度を見積もる.

右図 (Hamann 1997)から、光電離でVISシナリオをサポートするには、CIII→CIV電離パラメータの変化 $\Delta \log U \sim -0.8$ 程度が必要.

- 光度変動に換算

$$\Delta m = -2.5 \Delta \log U = 2.0$$

912Å以下(水素の電離光子の波長)で**2.0mag**の変動は我々のクェーサーでは再現出来なかった.

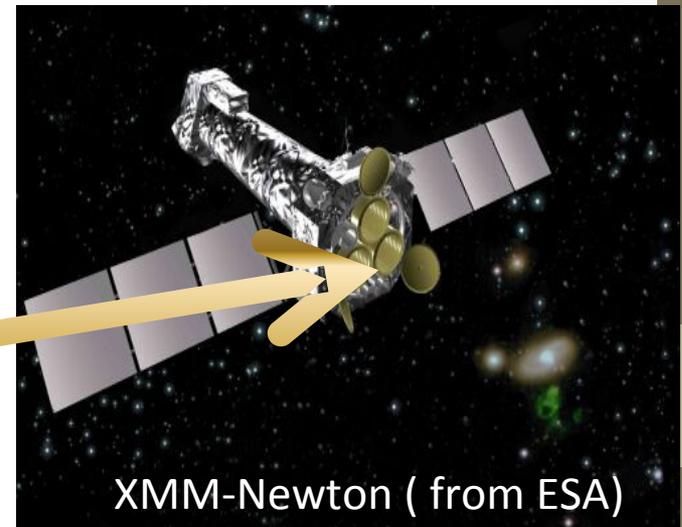
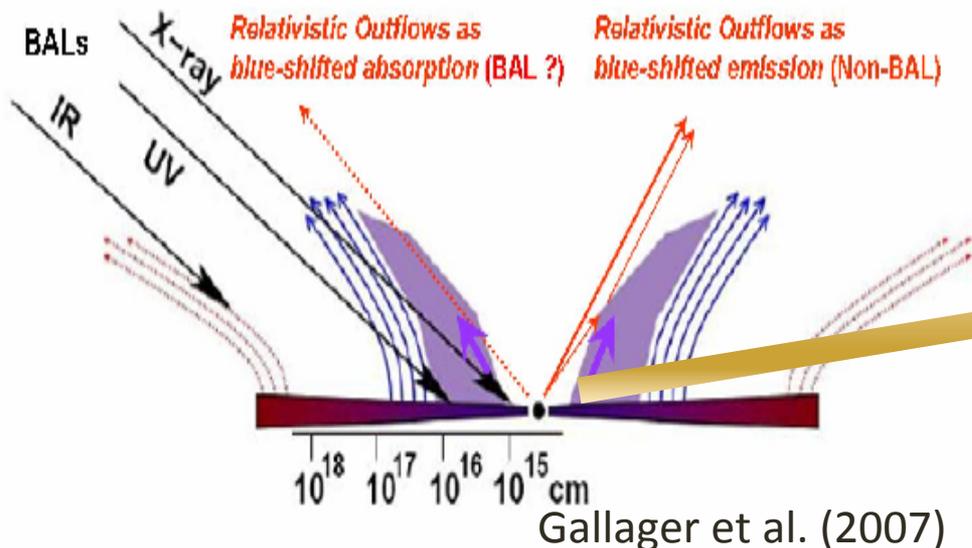


# まとめ・展望

- 3年以上に渡る測光(KWFC)・分光(KOOLS)モニター観測の結果以下のことが分かった。
  1. 光度変動の最大値はNALクエーサーQ1700+6416の0.3 mag程度であり、VISシナリオを支持するほどの大きな光度変動( $\sim 1.5$  mag)はmini-BAL/NALクエーサーの両者で観測されなかった(KWFC).
  2. Structure Function解析の結果、mini-BAL/NALクエーサーの両者の光度変動傾向に決定的な違いは確認出来なかった(KWFC).
  3. 吸収線のS/Nは十分でないが、HS1603+3820に光度と吸収線の時間変動傾向の同期(らしきもの)が確認された(KOOLS).
- 上記の結果は、VISシナリオの補助機構の存在を示唆する結果である。補助機構の一つは、X線で観測される(降着円盤内縁に存在する)Warm Absorberの変動が下流のアウトフローの電離状態に変化を与えるといるものである。アーカイブデータでWarm Absorber とアウトフローの変動を探る計画である。

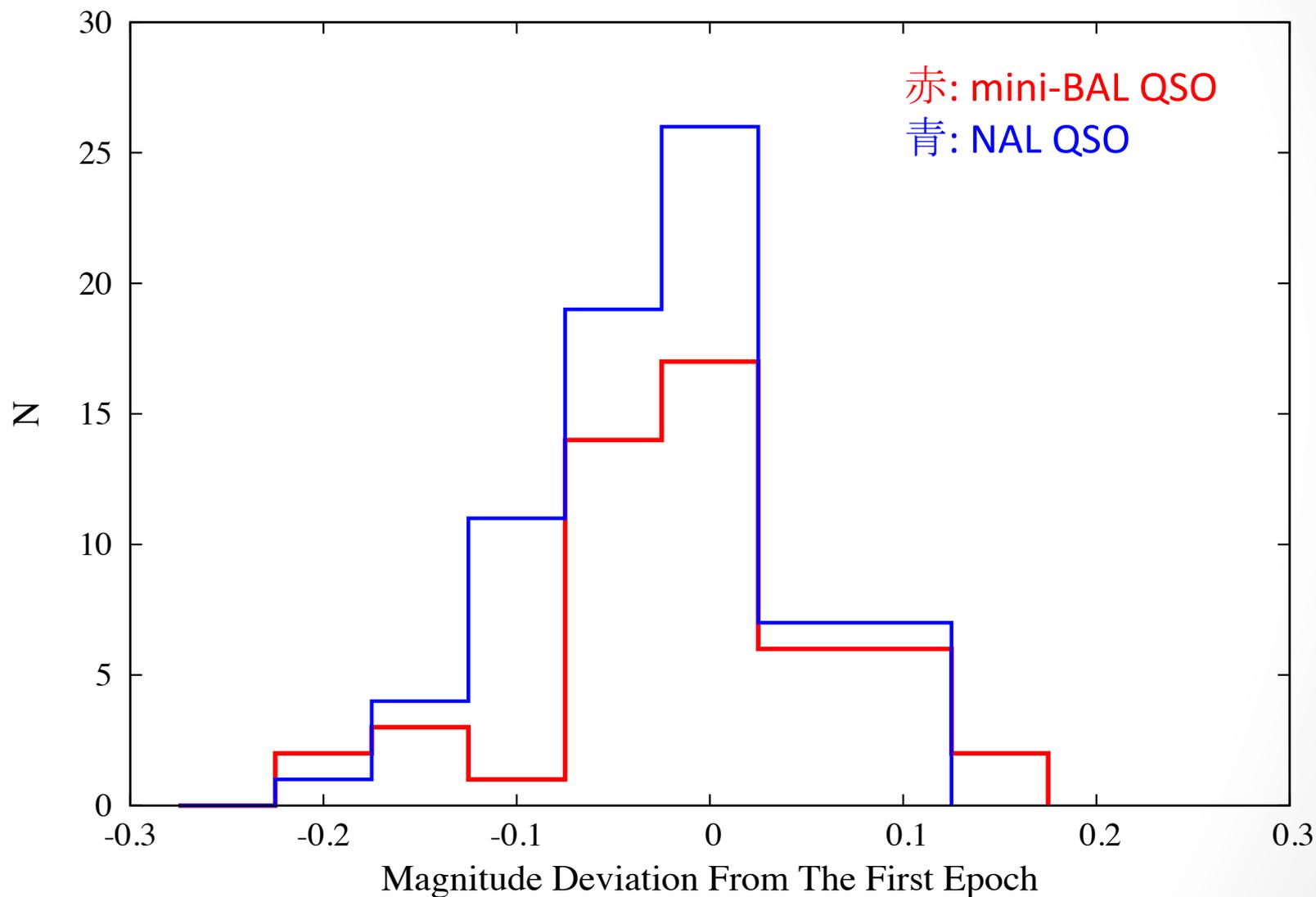
# 電離状態変動シナリオの補助機構の考察

- X線分光観測で観測されるWarm Absorber(e.g. Krongold et al. 2007)の光学的厚さが変動することで、連続光が調節され、下流に存在するアウトフローガスの電離状態に影響を与えている可能性がある！
- Warm absorber の変動の期間はおよそ1週間程度(Gofford et al. 2014)

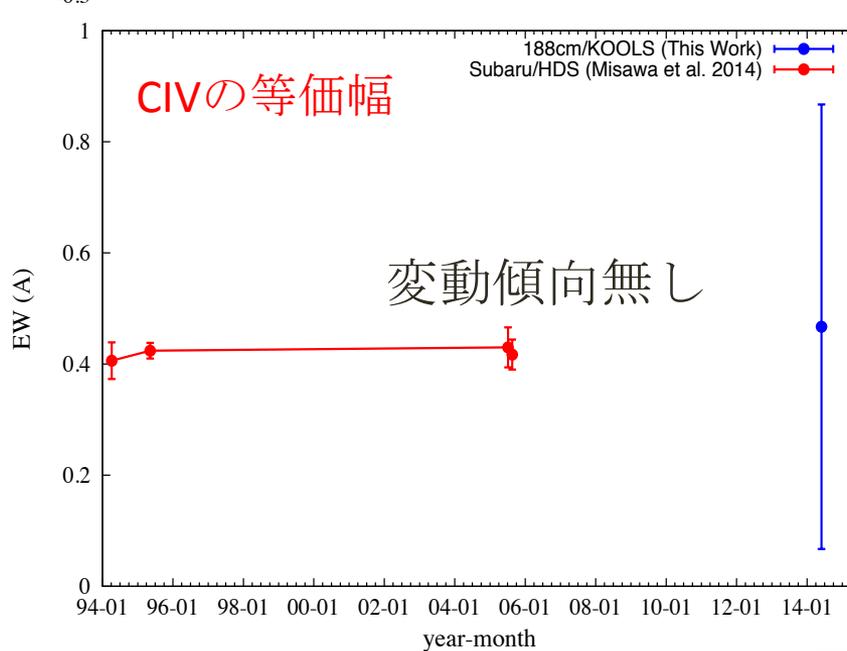
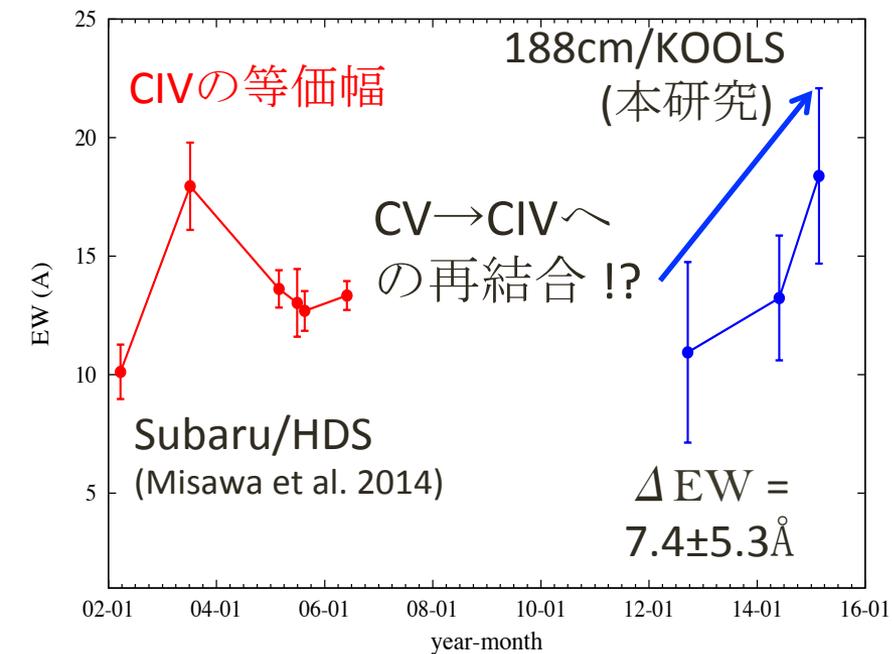
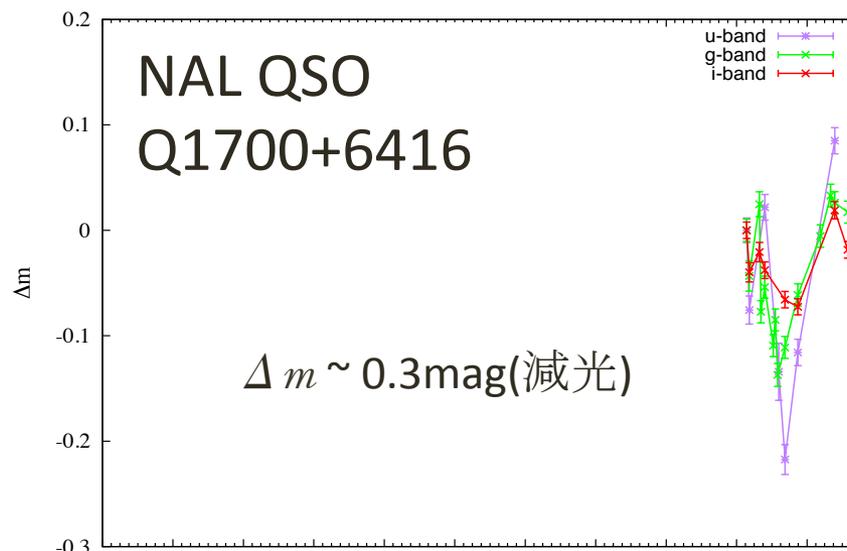
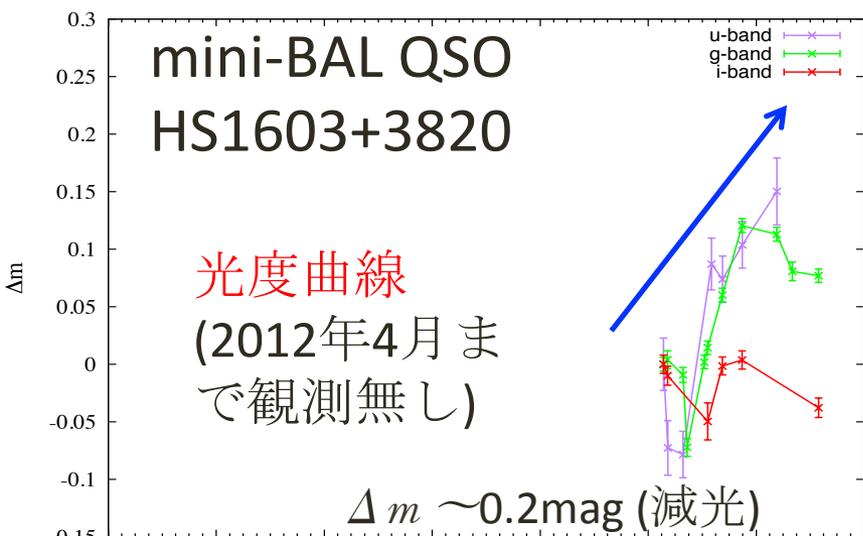


XMM-Newton ( from ESA)

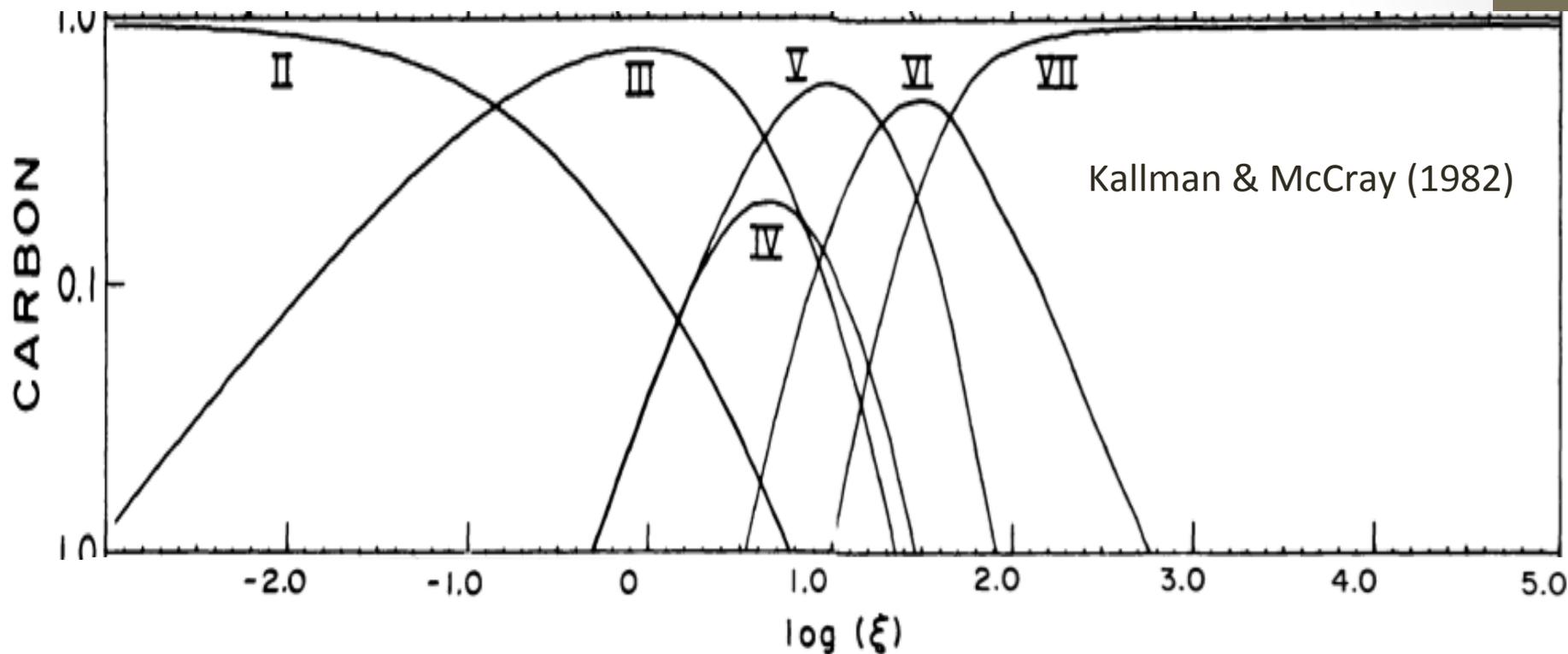
# 初回観測時からの等級の変動分布



# 光度曲線と吸収線の変動傾向



# Carbonの各電離度での存在比



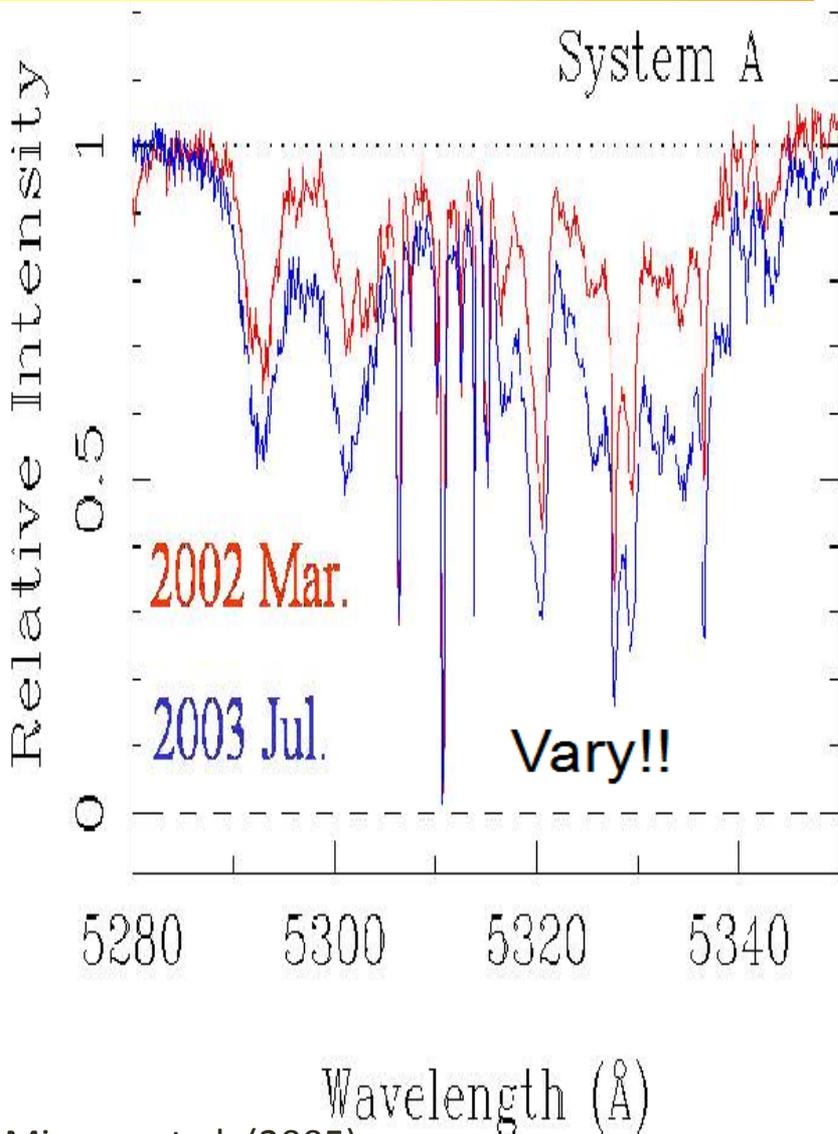
$$\xi = L/nR^2$$

可視では

$$U \equiv \frac{n_\gamma}{n_H} = \frac{Q(H)}{4\pi r^2 c n_H}$$

# なぜmini-BALは時間変動を示すのか？

## HS1603+3820の mini-BAL



Misawa et al. (2005)

(1)クエーサーに対する吸収ガスの横断

可能性は低い

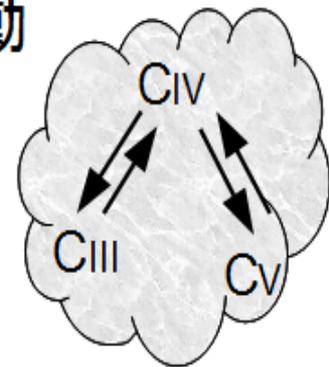
背景光源

(2)クエーサー近傍のガスによる散乱光の増減

可能性は低い

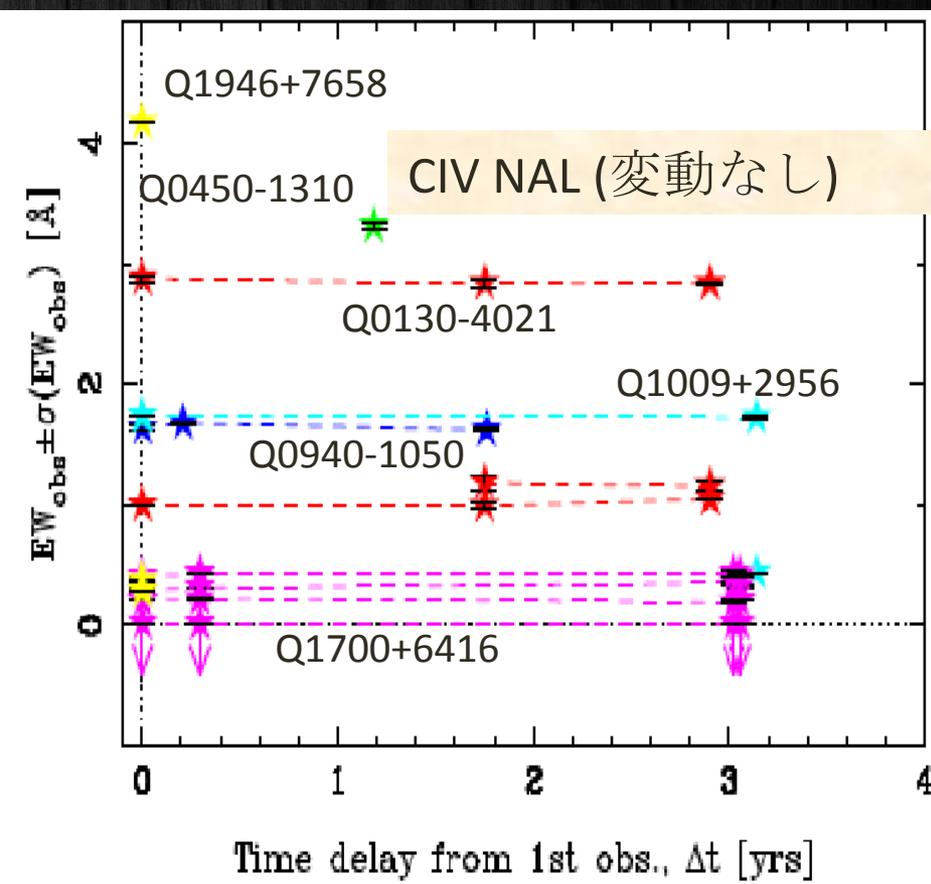
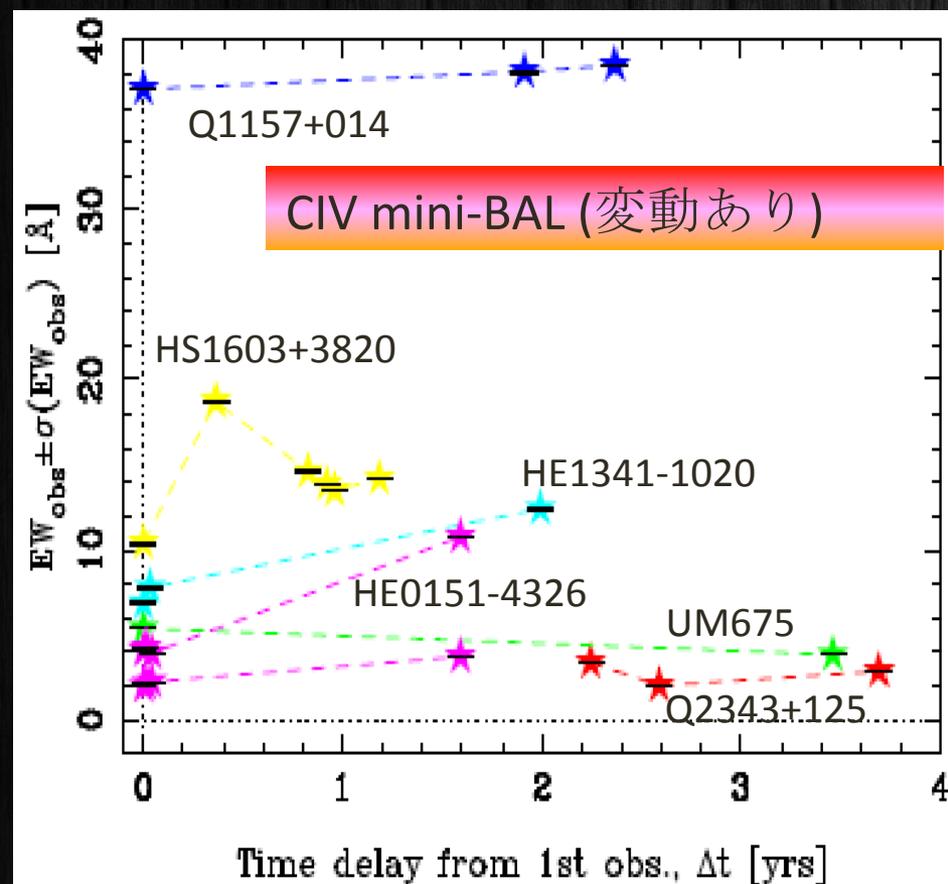
(3)吸収ガスの電離状態の変動

アウトフローの電離状態  
が変化する



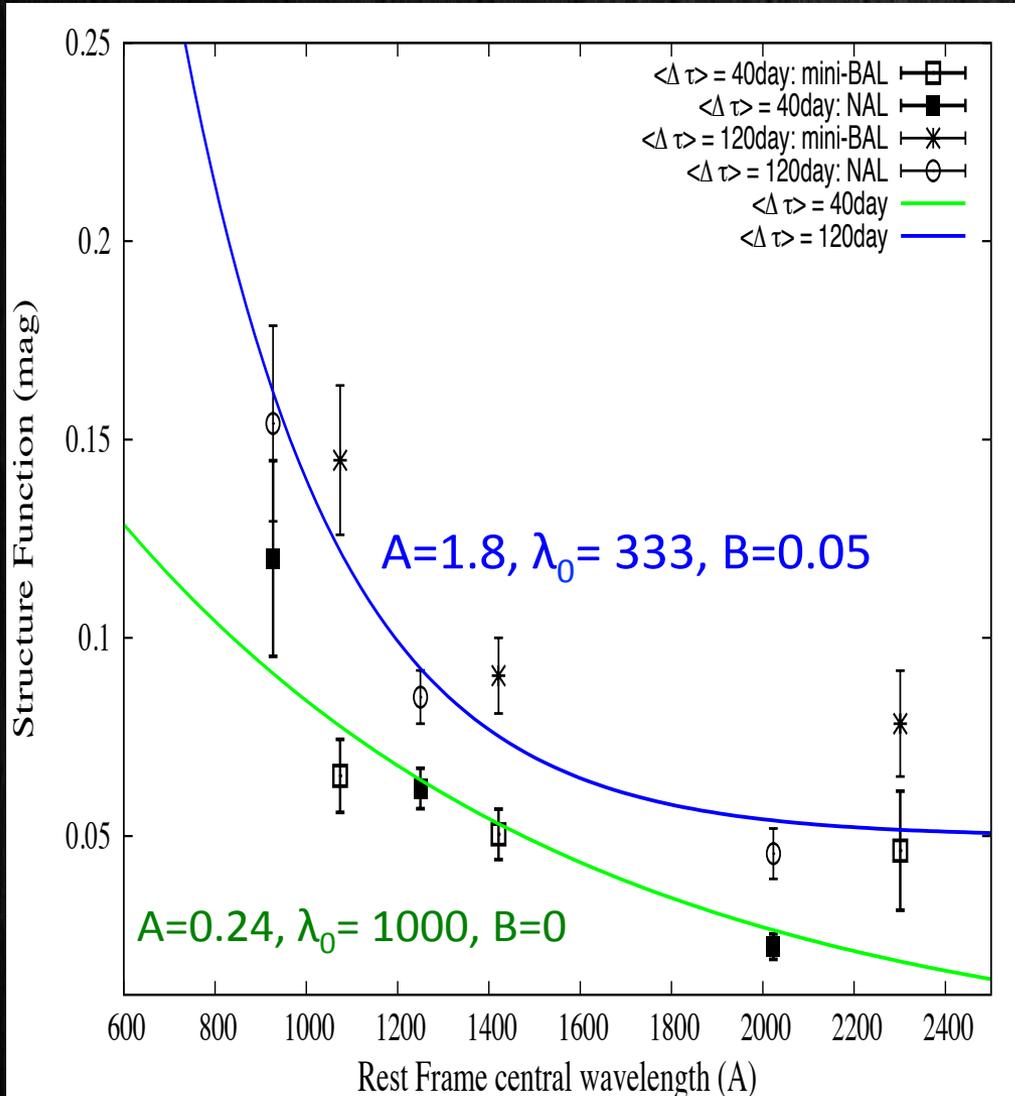
# 先行研究 ～mini-BAL,NALの変動～

5/



クェーサーの静止系におけるCIV mini-BAL(左)とNAL(右)をもつ計12天体の等価幅のモニター観測結果(Misawa et al. 2014). mini-BALをもつサンプルにのみ明らかな変動が確認されている。

# SFの波長依存性 (our quasar)

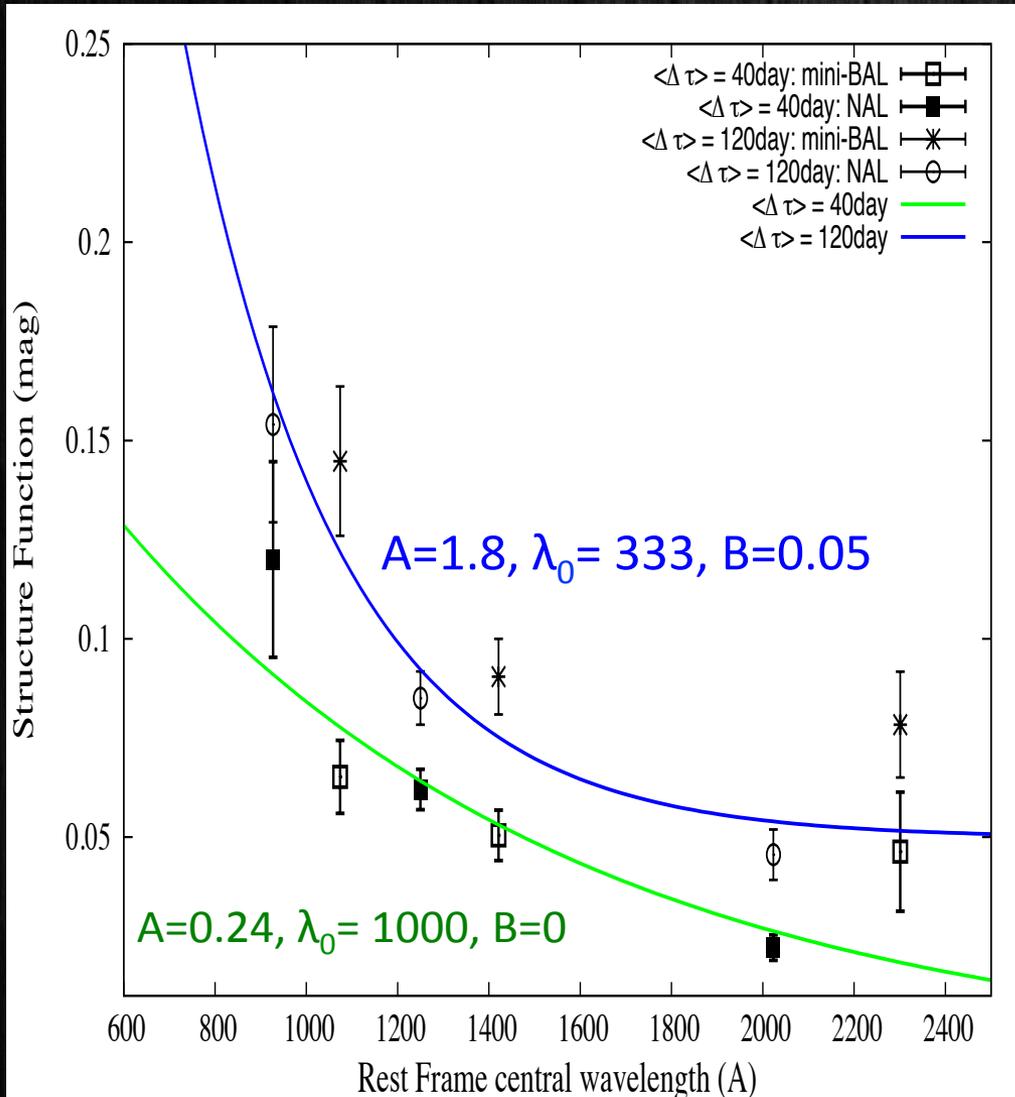


- 200Åにおける光度変動の程度を推定。
- Fitting Model (Vanden Berk et al. 2004)

$$S_1(\lambda) = A \exp(-\lambda/\lambda_0) + B$$

- $S_1(912\text{Å}) = 0.17\text{mag}$  (青)
- $\Rightarrow \langle |\Delta m| \rangle \sim 0.13\text{ mag}$

# SFの波長依存性 (our quasar)



- 200Åにおける光度変動の程度を推定.
- Fitting Model (Vanden Berk et al. 2004)

$$S_1(\lambda) = A \exp(-\lambda/\lambda_0) + B$$

- $S_1(912\text{Å}) = 0.17\text{mag}$  (青)
- $\Rightarrow \langle |\Delta m| \rangle \sim 0.13\text{ mag}$
- 912Åより短波長側ではさらに大きな変動が見込まれる.