

アウトフローの時間変動の起源 の解明に向けて



信州大学 博士課程2年
堀内貴史

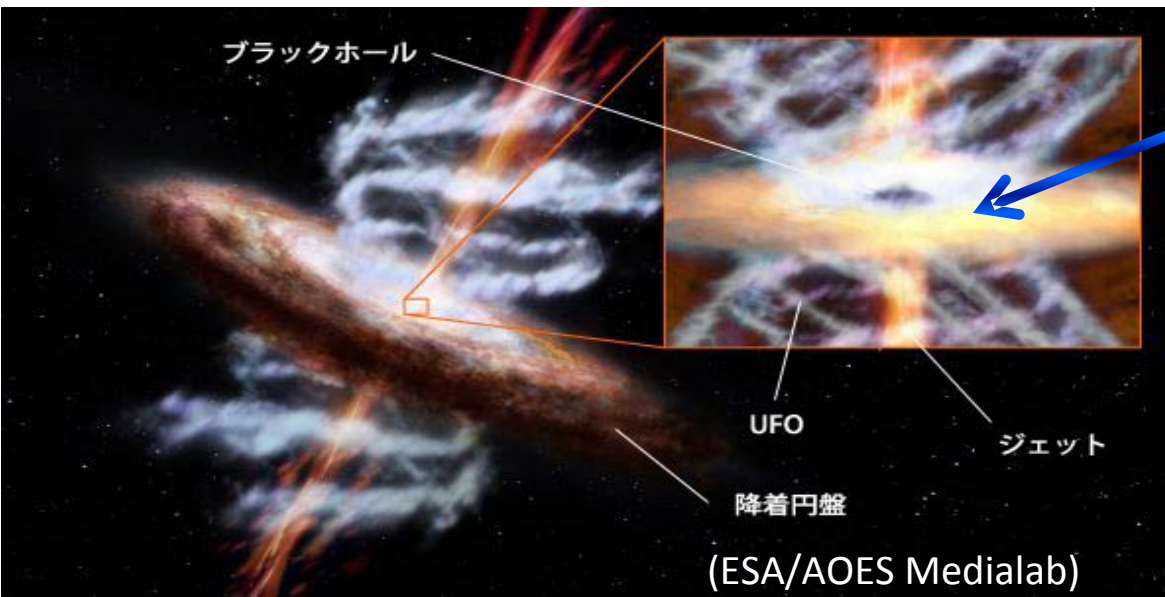
目次

- 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

- クエーサーの降着円盤より放出される、アウトフローは
 - 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).
 - 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).

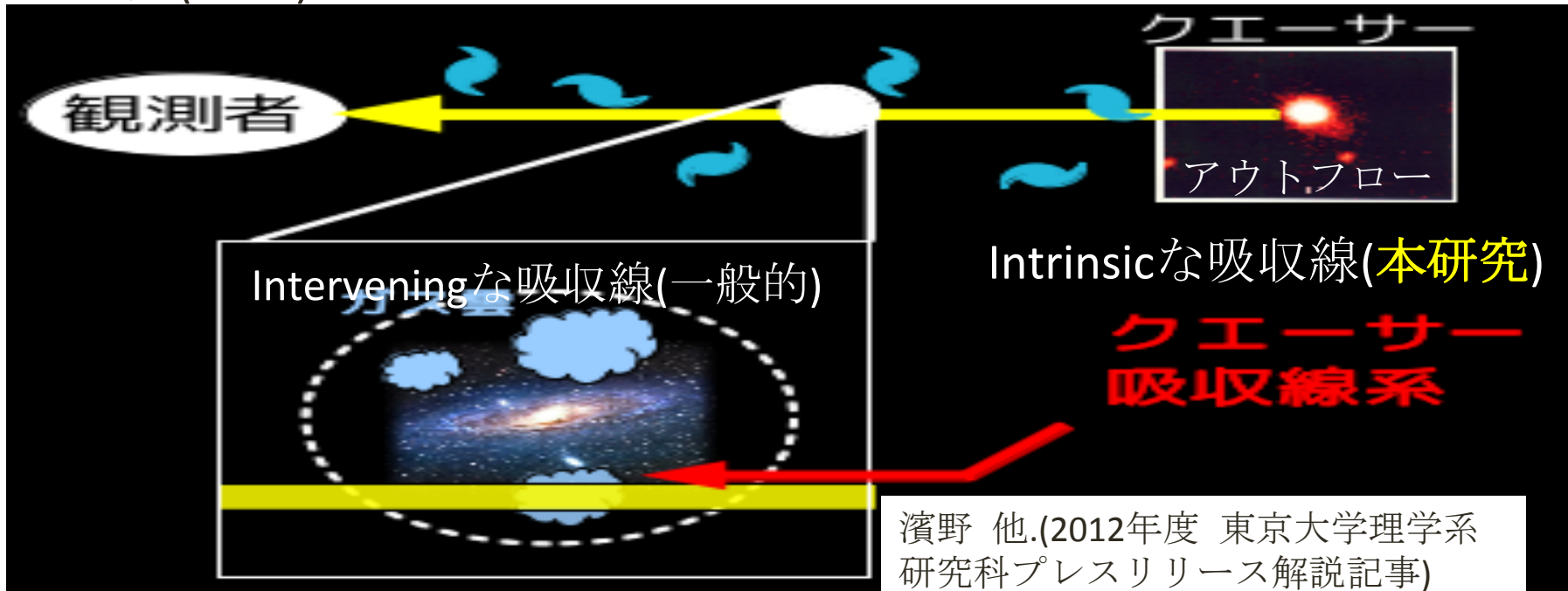


アウトフローガスの噴出には降着円盤の輻射圧による影響が大きい(Murray et al. 1995, Proga et al. 2000). その他、磁気力(Everett 2005)や磁気力+輻射圧など.

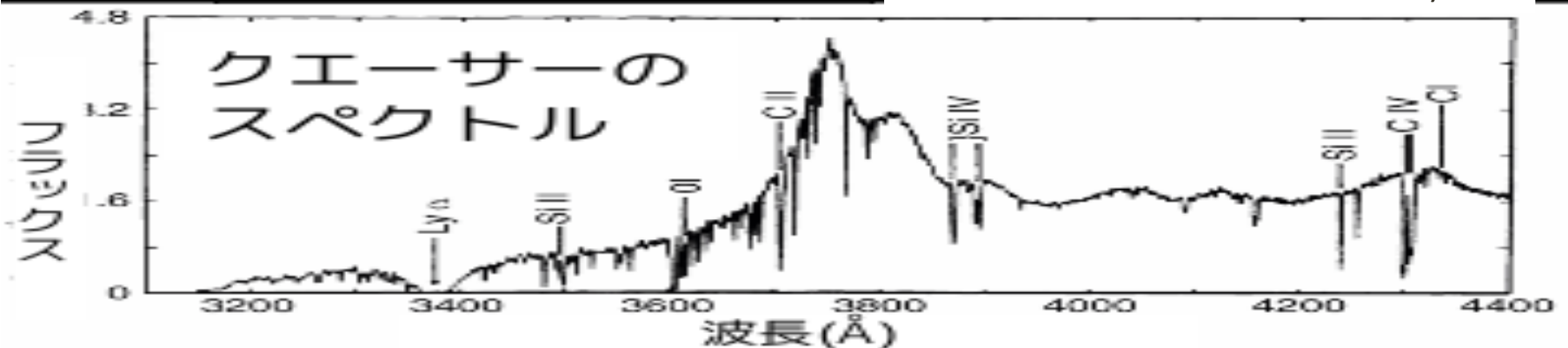
クエーサー吸収線

4 / 18

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。



濱野 他.(2012年度 東京大学理学系
研究科プレスリリース解説記事)

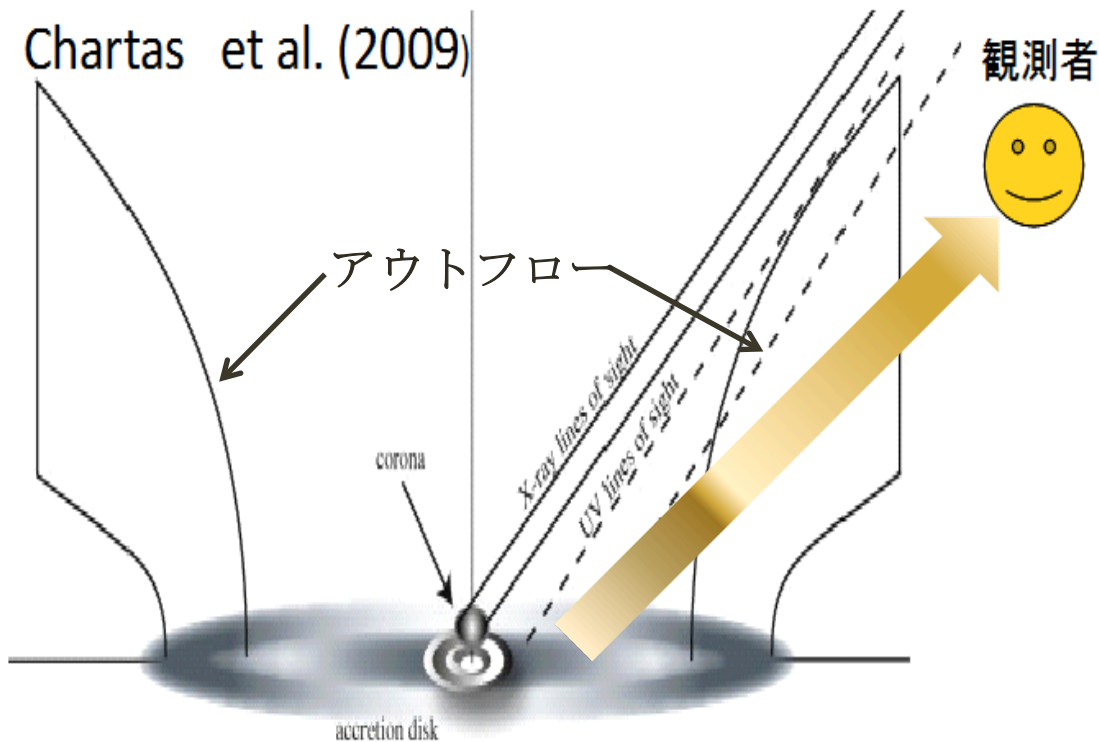


アウトフローのつくる吸収線

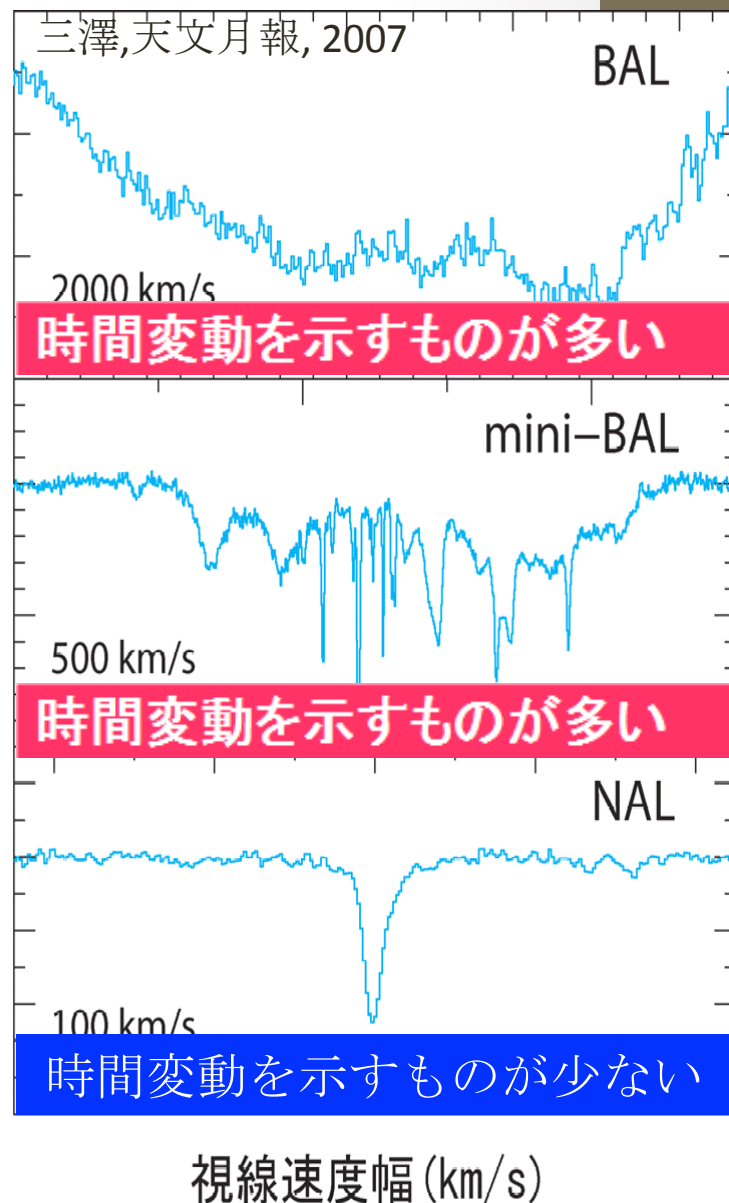
5 / 18

3種類の吸収線に分類

吸収線を作る!



フラックス強度

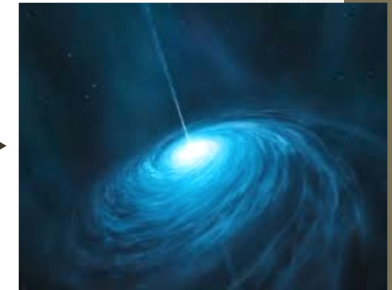


・シナリオの概要

クェーサーの**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

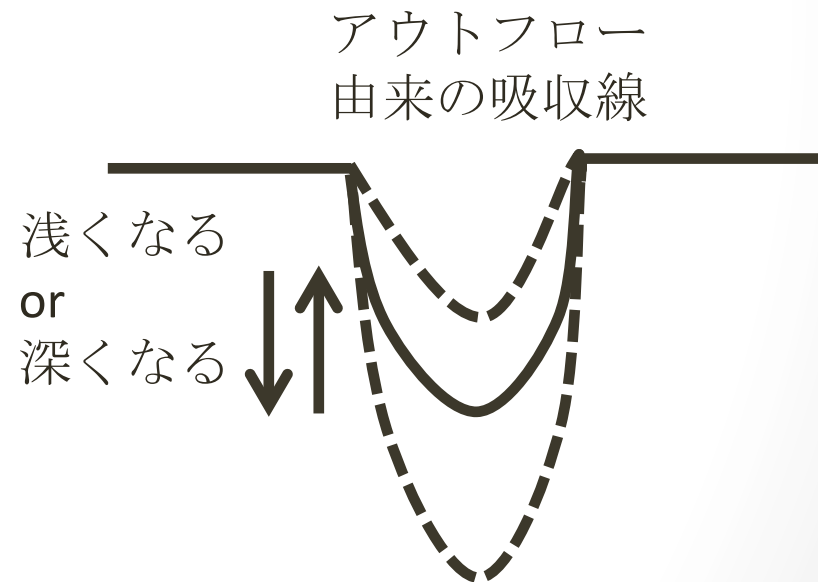


変光



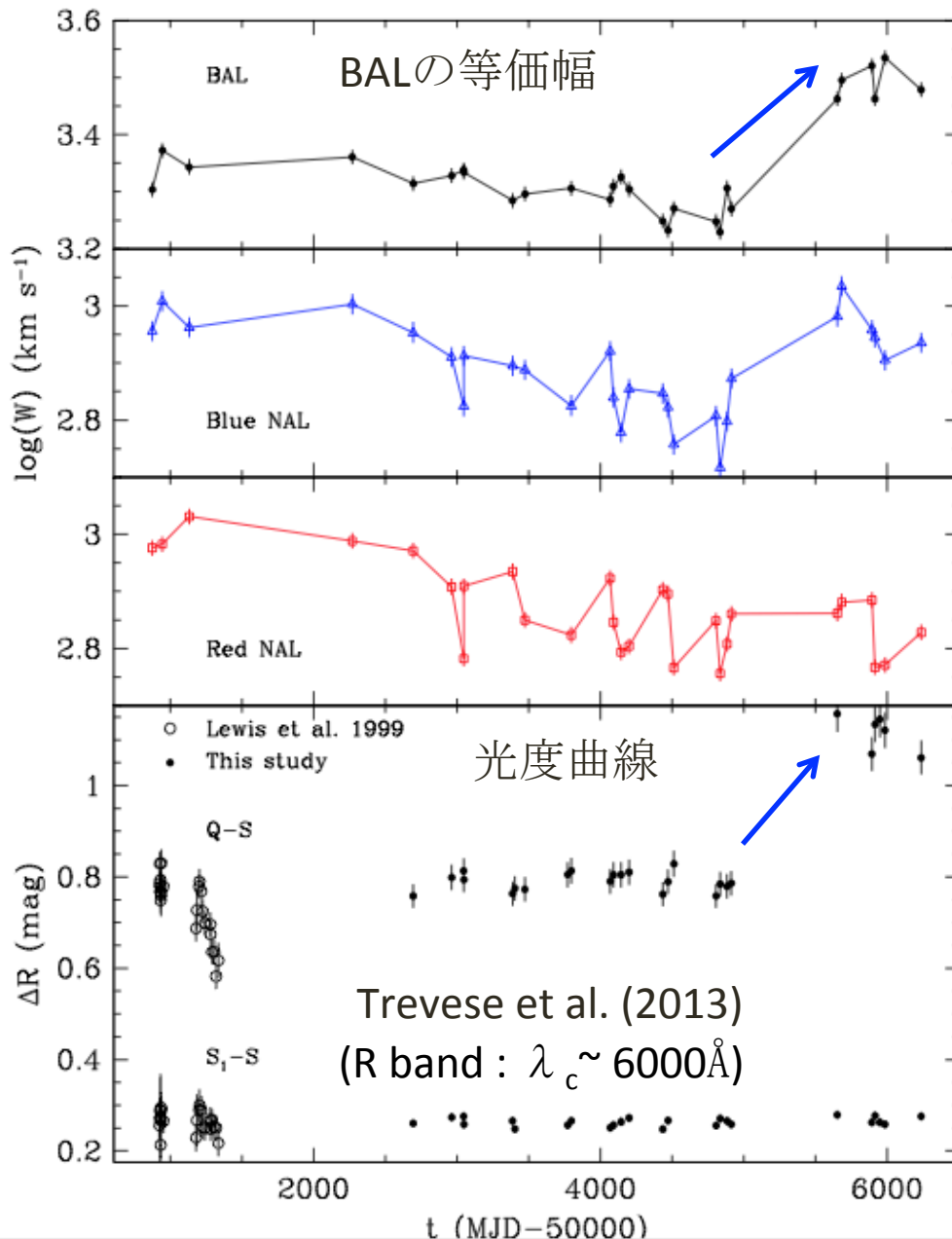
・目的

mini-BAL, NALを持つ複数のクェ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



VISシナリオを支持する先行研究の例

7 / 18



- クエーサーAPM 08279+5255の0.3 mag 程度の光度変動と、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!!

本研究では複数のmini-BAL, NALクエーサーでVISシナリオを検証する!!

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クエーサーの光度と吸収線の変動が同期するかを確認める. $2 \leq z \leq 3$ のクエーサー(Super Eddington: $\langle \epsilon \rangle = 3$)に対する分光・測光同時モニター観測を実施する.

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



188cm望遠鏡



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

目次

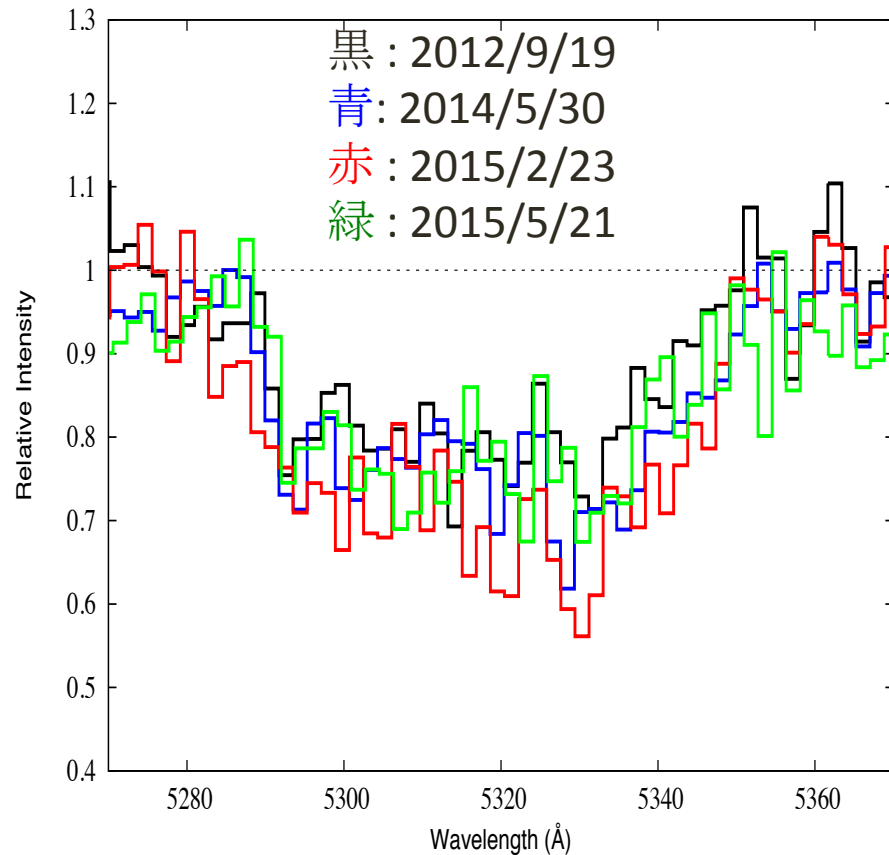
- 導入・研究の目的
- 観測
- 結果 (KOOLSで得られたCIV mini-BAL , NAL)
- 考察
- 展望・まとめ



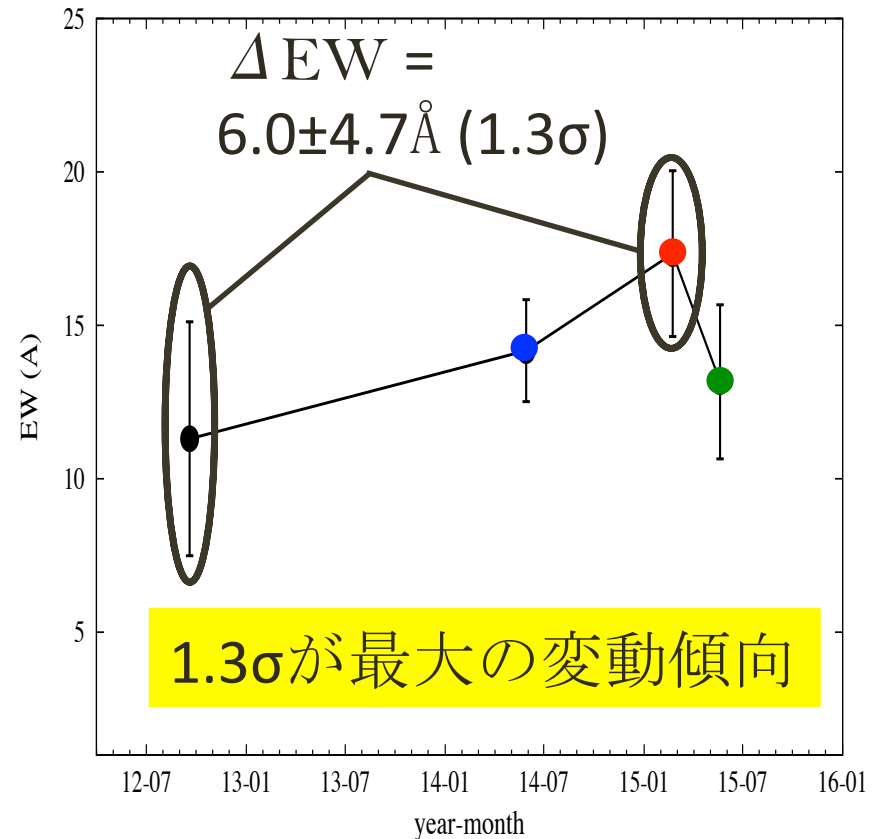
KOOLSで得られたCIV mini-BALと等価幅の動向

ターゲット天体 : HS1603+3820

吸収線 : CIV mini-BAL



HS1603 で確認された C IV mini-BAL



mini-BALの等価幅の動向

mini-BAL QSO HS1603の光度曲線と吸収線の等価幅

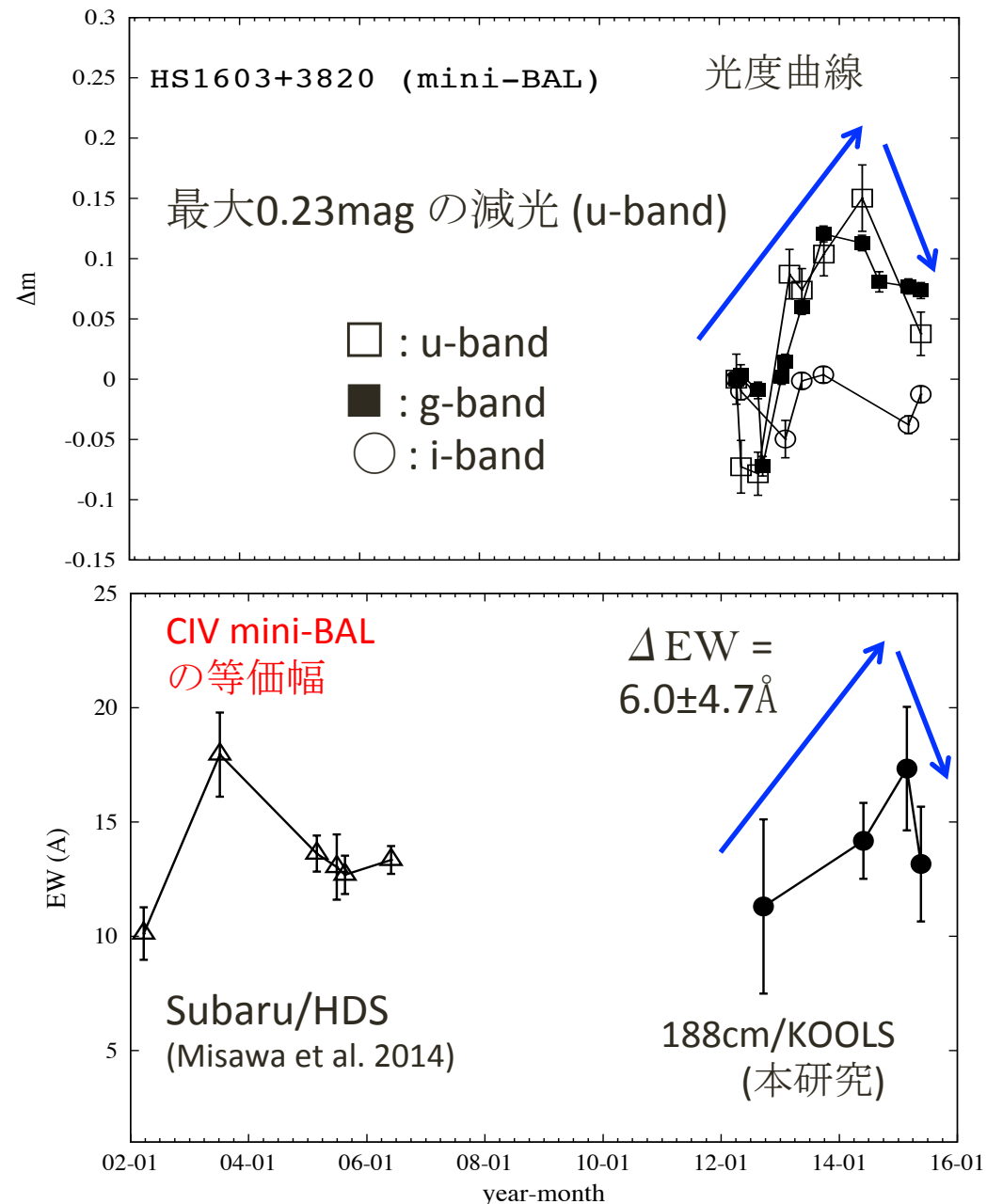
• HS1603+3820のmini-BAL :

変光の度合いは小さいが、**u-band**の光度と等価幅の変動傾向と同期している !?

→ **mini-BALでの確認は初!!**

変動がリアルだとすれば
2002-2015年の間に、HS1603の
CIVアウトフローは短期間での
激しい増減を2回以上経験し
ていることになる。

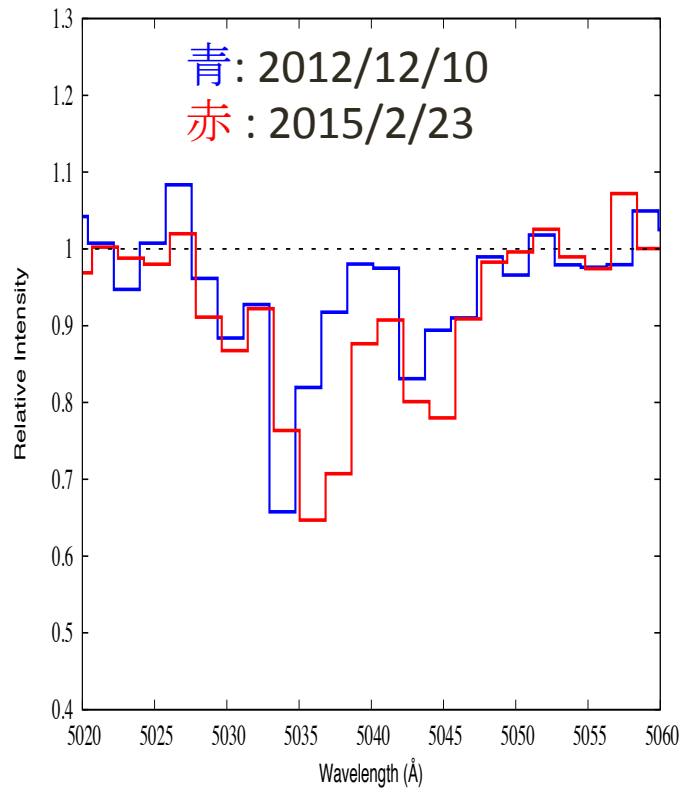
→ 過去にも光度と等価幅の
変動が同期していた可能性が
ある。



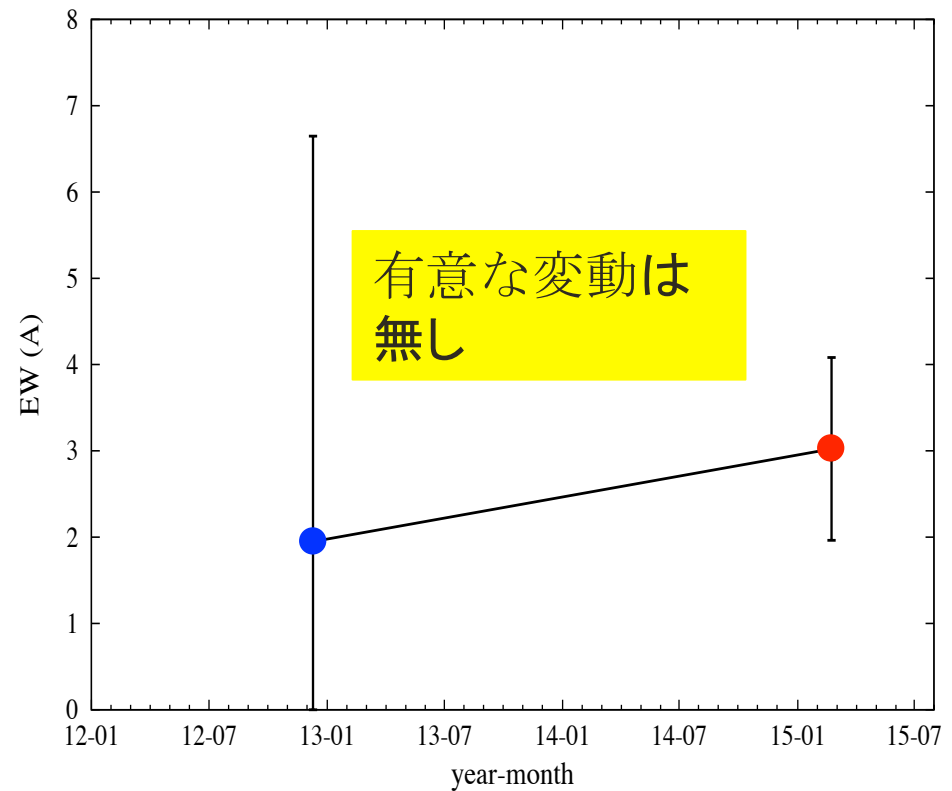
KOOLSで得られたCIV NALとその等価幅の動向

ターゲット天体 : Q1009+2956

吸収線 : CIV NAL



Q1009で確認された CIV NAL



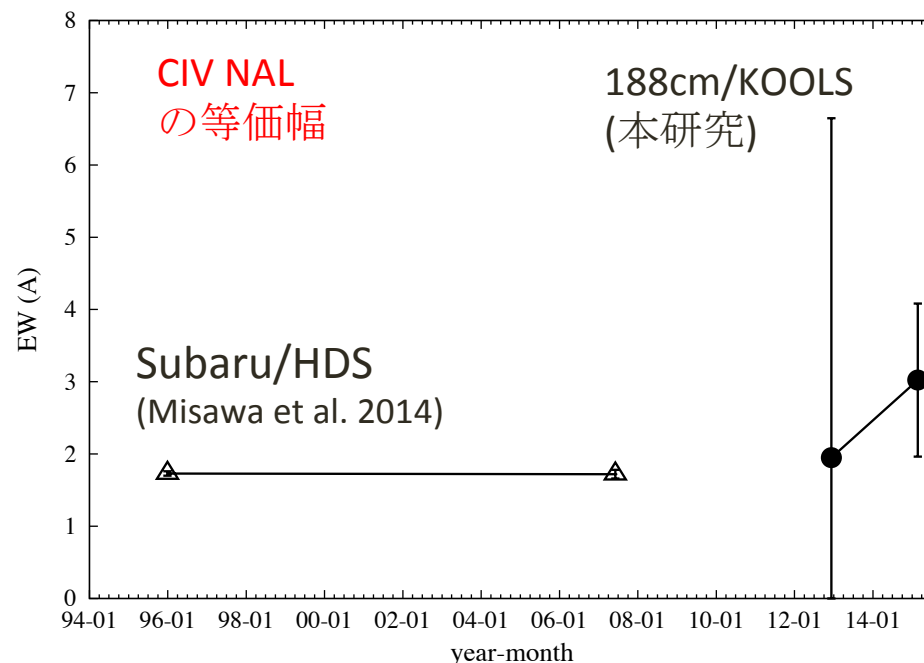
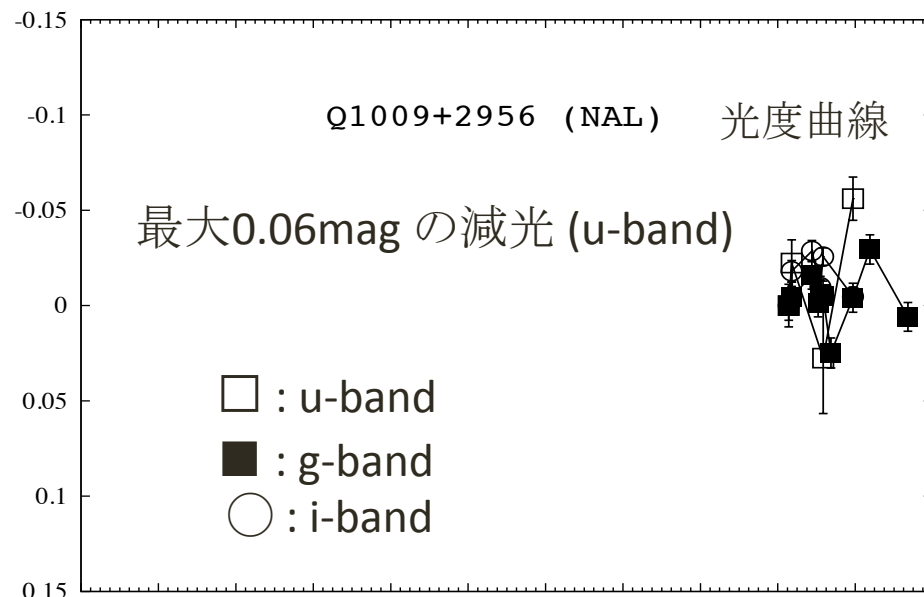
NALの等価幅の動向

Q1009+2956のCIV NAL

1994 – 2015年の間でCIV NAL₁の有意な変動は確認されなかった.

→ 先行研究(e.g. Misawa + 2014)とconsistentな結果.

・ 光度の変動の最大値も0.06magと、全サンプル中一番小さい.



目次

- 導入・研究の目的
- 観測
- 結果
- 考察
- 展望・まとめ



観測された光度変動でCIVの存在比は変動するのか?

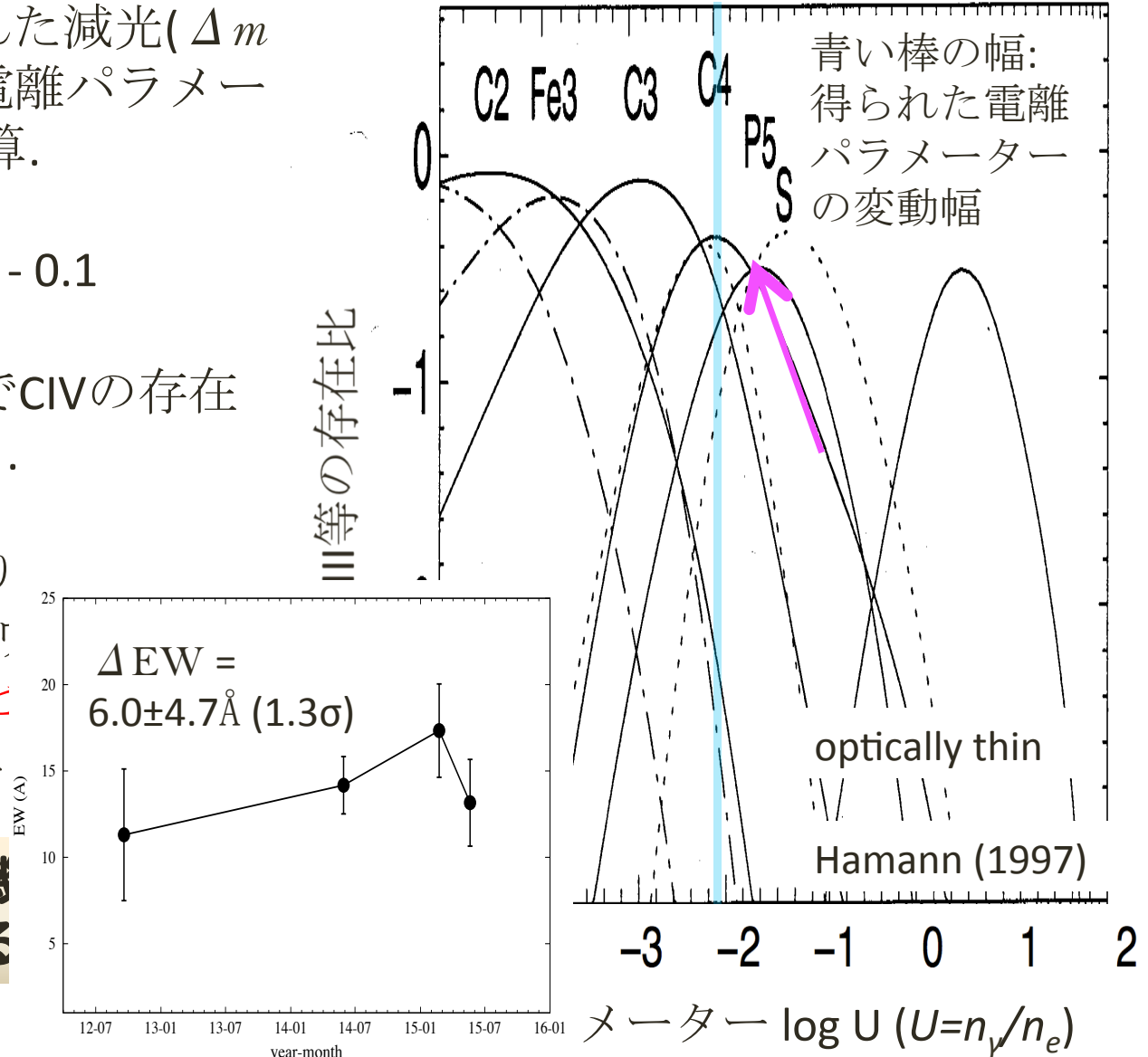
・ HS1603にて観測された減光($\Delta m = 0.23\text{mag}$: u-band)を電離パラメーター $\log U$ の変動に換算.

$$\Delta \log U = -0.23 / 2.5 \sim -0.1$$

3回目のKOOLSの観測でCIVの存在比は最大であるとする.

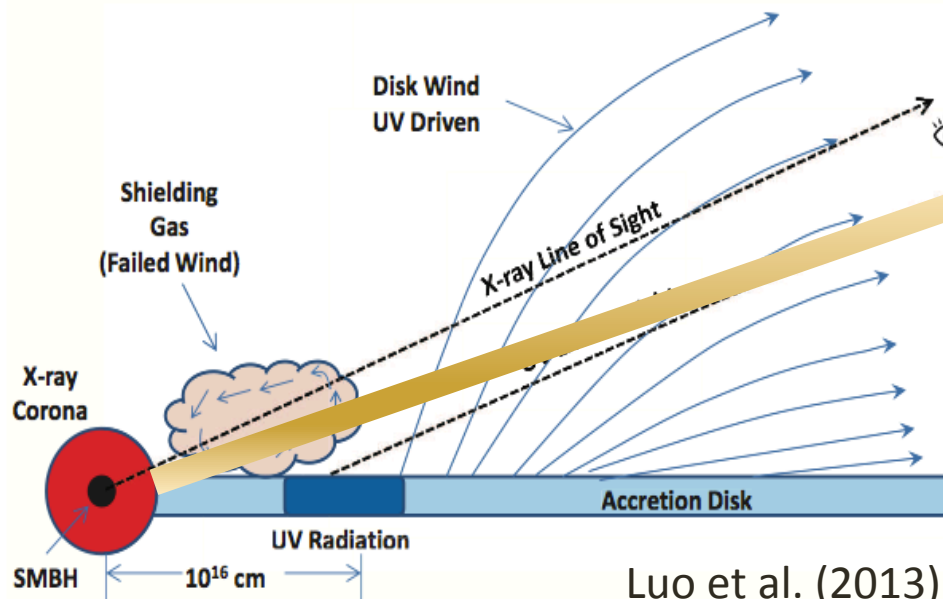
右図(Hamann 1997)より
 $\Delta \log U \sim -0.1$ ではア
 内のCIVの存在比は**ほと
 しないこと**が明らかに

**一体、どのような機
 トフローは変動する**



VIS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、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と下流のアウトフローの変動の時間的な関係を確認める → **可視・X線同時モニター観測へ!**



Luo et al. (2013)



XMM-Newton (from ESA)

まとめ

- 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. HS1603+3820に、VISシナリオを支持するための大きな光度変動は得られなかった.しかしながら、**光度とCIV mini-BALの時間変動傾向の同期が確認された**.この傾向を確認したのは**mini-BALでは初!!**
 - 2. Q1009+2956にはCIV NALの有意な吸収線の変動は確認されず、光度の変動も全サンプル中で最も小さかった. NALが変動しにくいという結果は多くの先行研究と**consistent**である.
 - 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.紫外域での光度変動が小さくても、X線の**Warm Absorber**には影響が及ぶ可能性がある.相乗効果でアウトフローも変動するのでは!?
- 可視・X線同時モニター観測で検証する計画である.

アウトフローの位置とガス密度の推定

- ・アウトフローのガス密度の推定

$$n_e \geq (\alpha_r t_{var})^{-1}$$

($\alpha = 5.3 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{s}$: 再結合係数,
 t_{var} : 吸収線の変動時間の上限値
 $= 2.2 \times 10^7 \text{ sec}$)

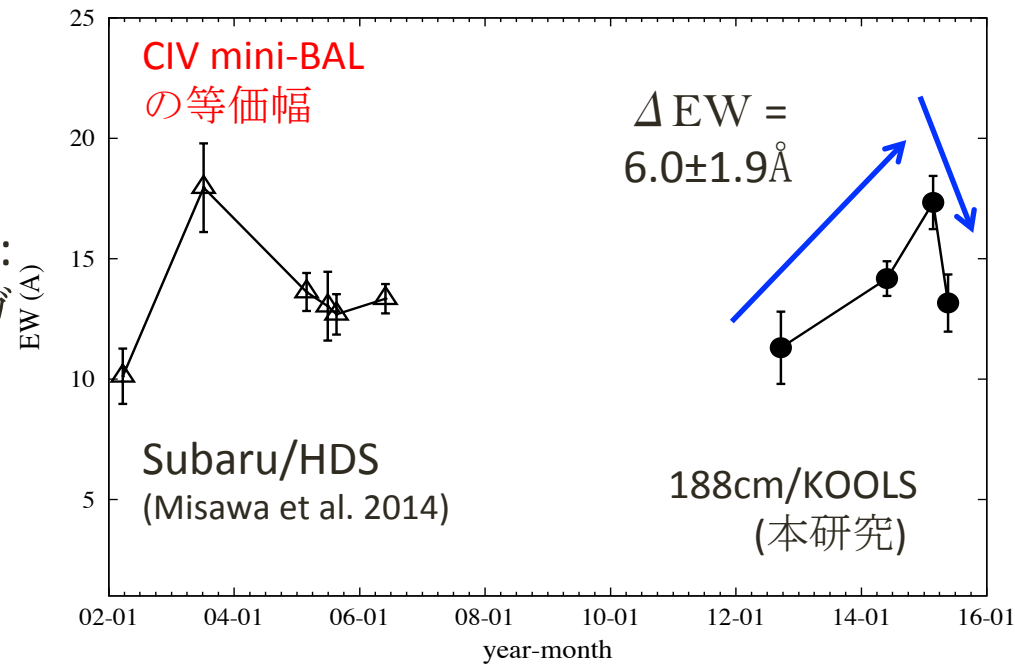
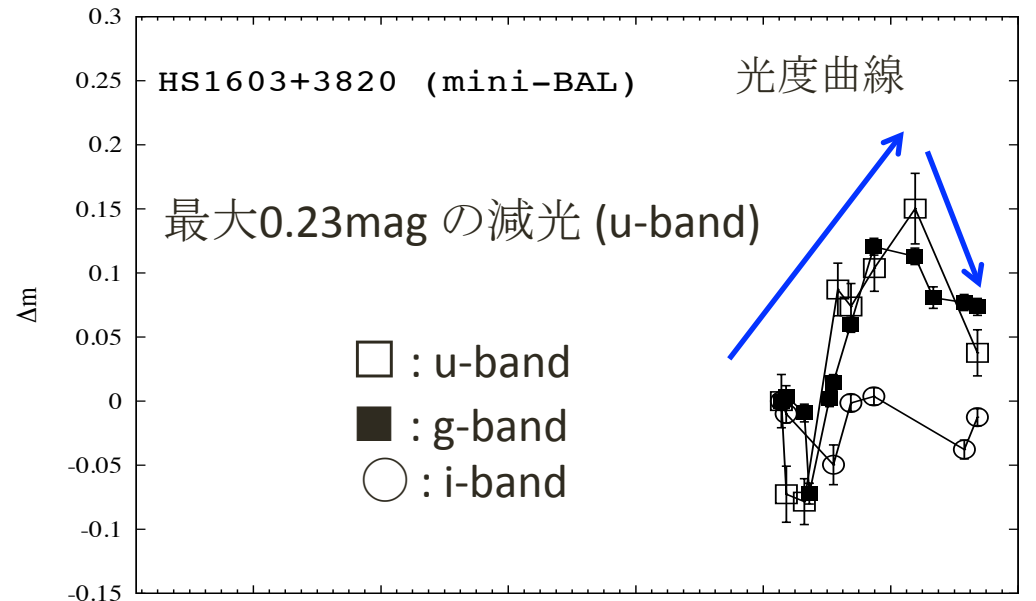
$$\Rightarrow n_e > 8.7 \times 10^3 / \text{cm}^3$$

- ・アウトフローの位置の推定

$$r \leq 1.18 L_{48}^{1/2} n_5^{-1/2} \text{ kpc}$$

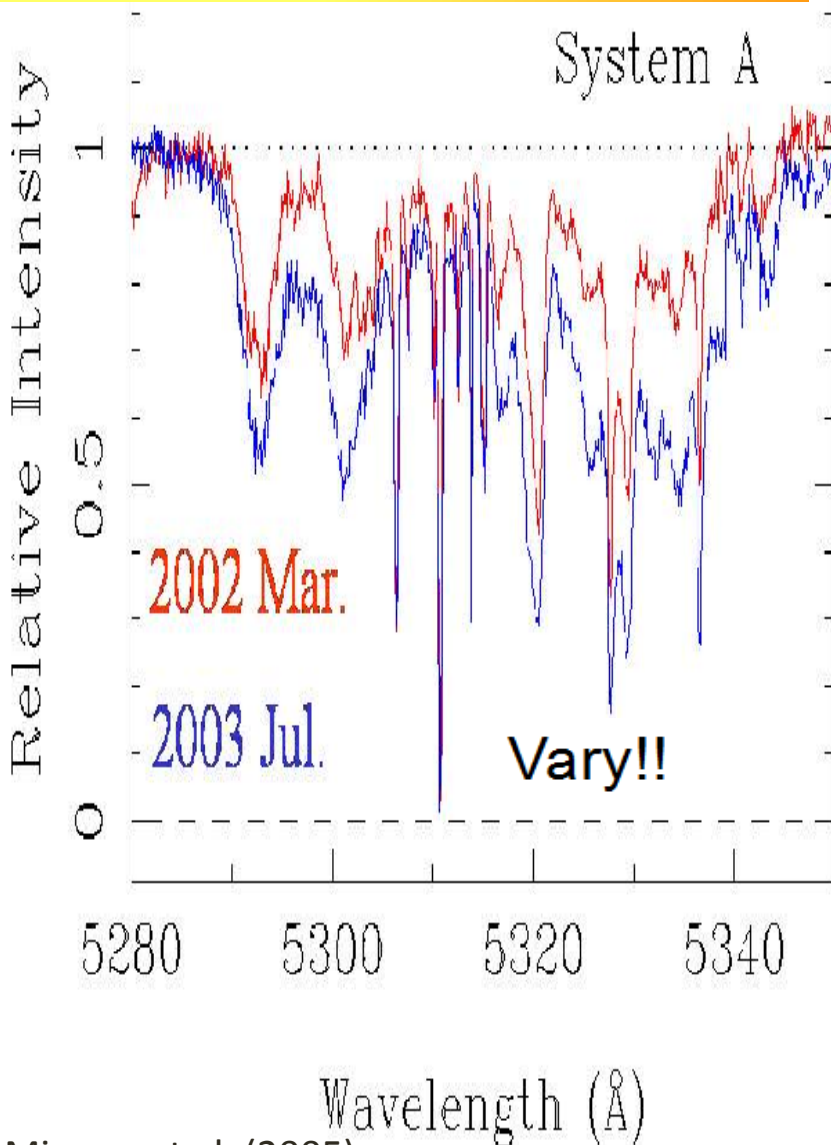
(r : 背景光源からのガスの位置, L_{48} : 10^{48} が単位の光度, n_5 : 10^5 が単位のガス密度)

$$\Rightarrow r < 5.5 \text{ kpc (Misawa et al. 2014 と comparable)}$$



なぜmini-BALは時間変動を示すのか？

HS1603+3820の mini-BAL



(1)クエーサーに対する吸収ガスの横断

可能性は低い

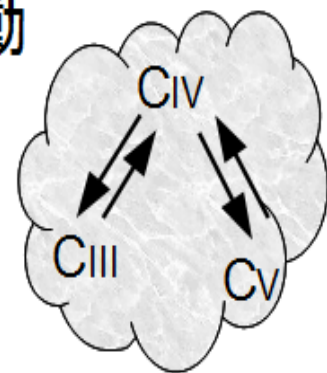
背景光源

(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

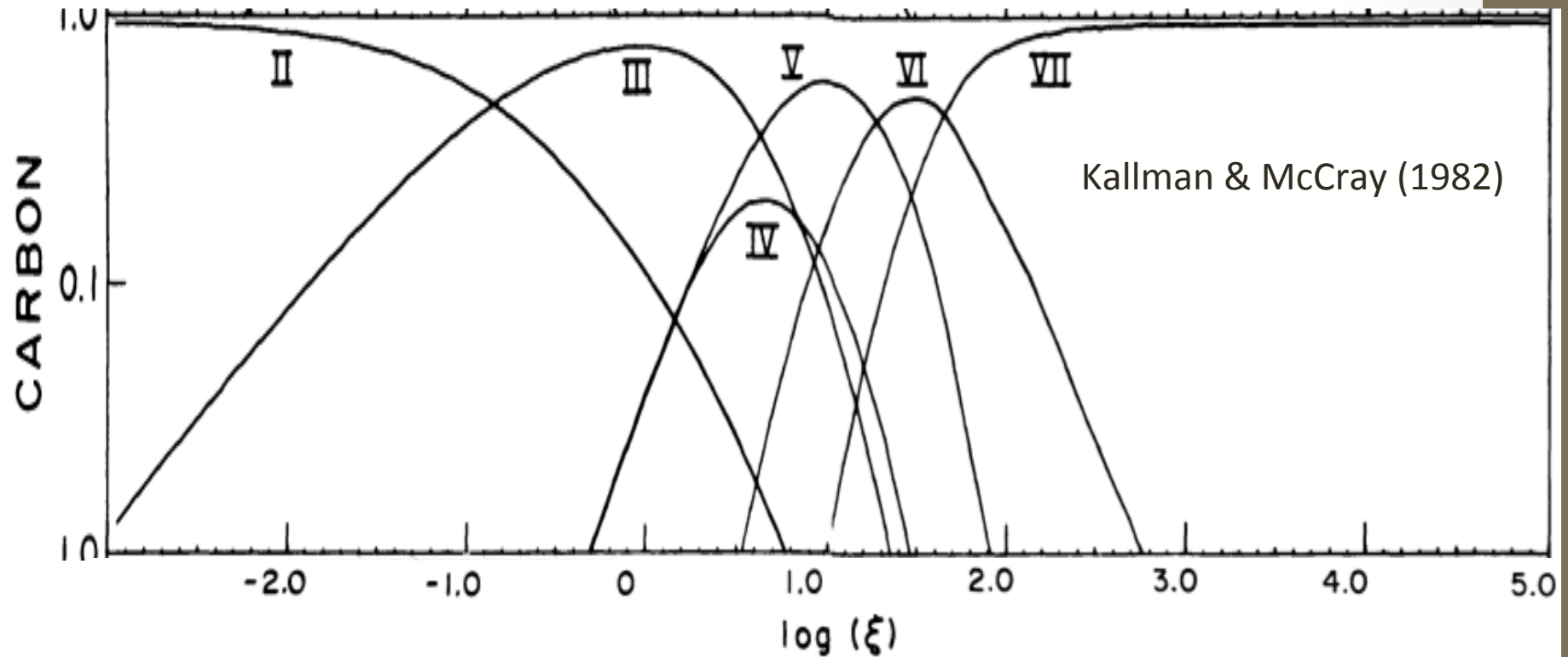


木曽・岡山での過去の観測達成状況

10 / 18

観測時期	木曽での達成度 (%)	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	観測予定	プロポーザル不採択

Carbonの各電離度での存在比

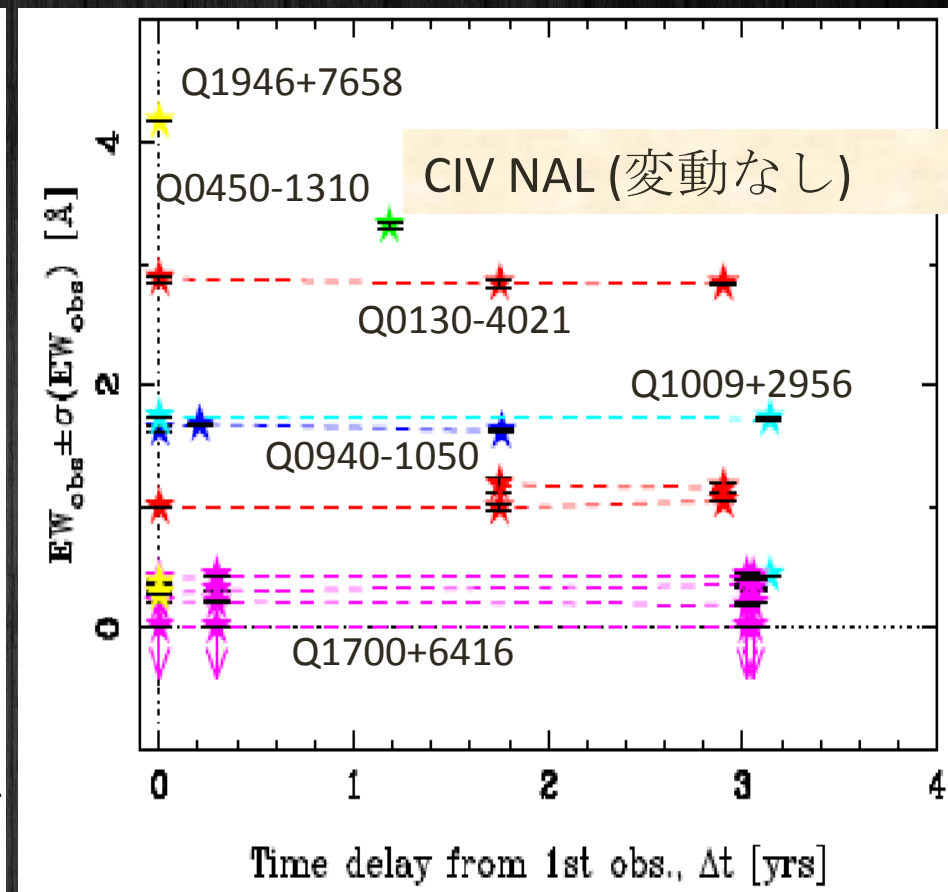
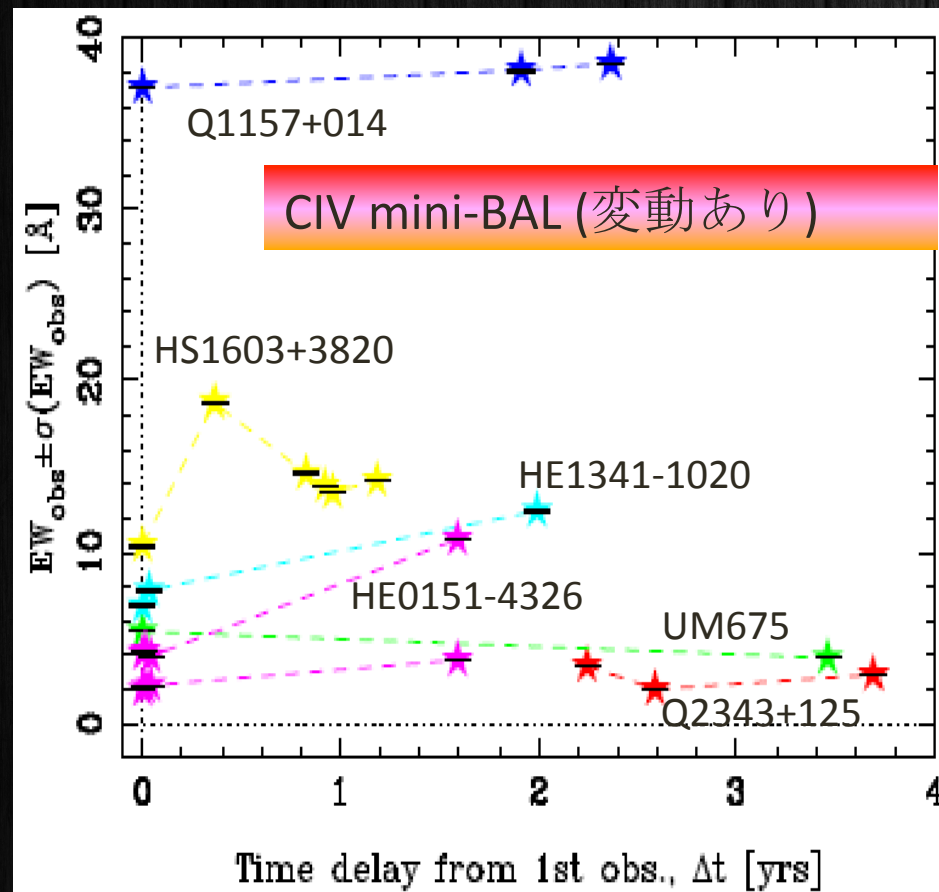


$$\xi = L/nR^2$$

可視では

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

先行研究 ～mini-BAL,NALの変動～



クエ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.