

Tomo-eとKOOLS-IFUで探る クエーサー光度とアウトフローの 時間変動の相関

信州大学 堀内 貴史

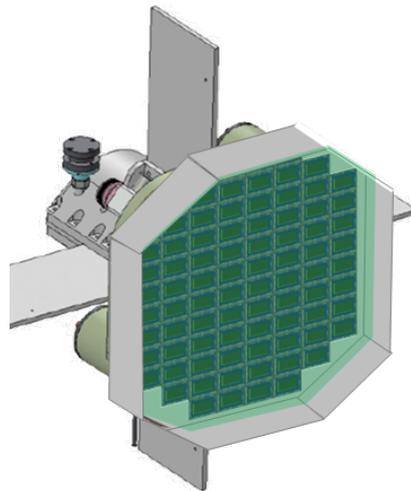


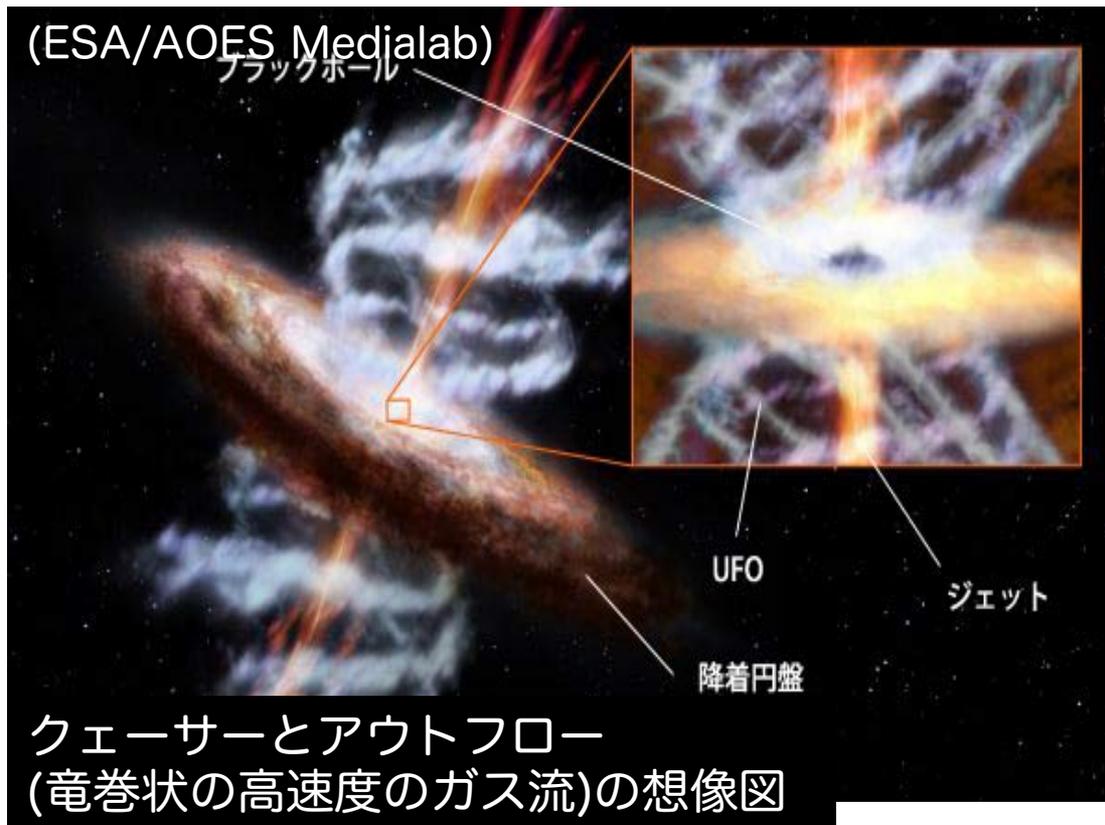
- **これまでの情勢**

1. クェーサーのアウトフローと時間変動
2. アウトフローの時間変動の起源について
3. 問題点

- Tomo-eとKOOALS-IFUを用いた研究の展望

- まとめ・展望





アウトフローの放出速度は典型的には $\sim 10,000 \text{ km s}^{-1}$

放出のメカニズムは**輻射圧** (Proga et al. 2000) + **磁気圧** (Everett 2005) の効果が有力

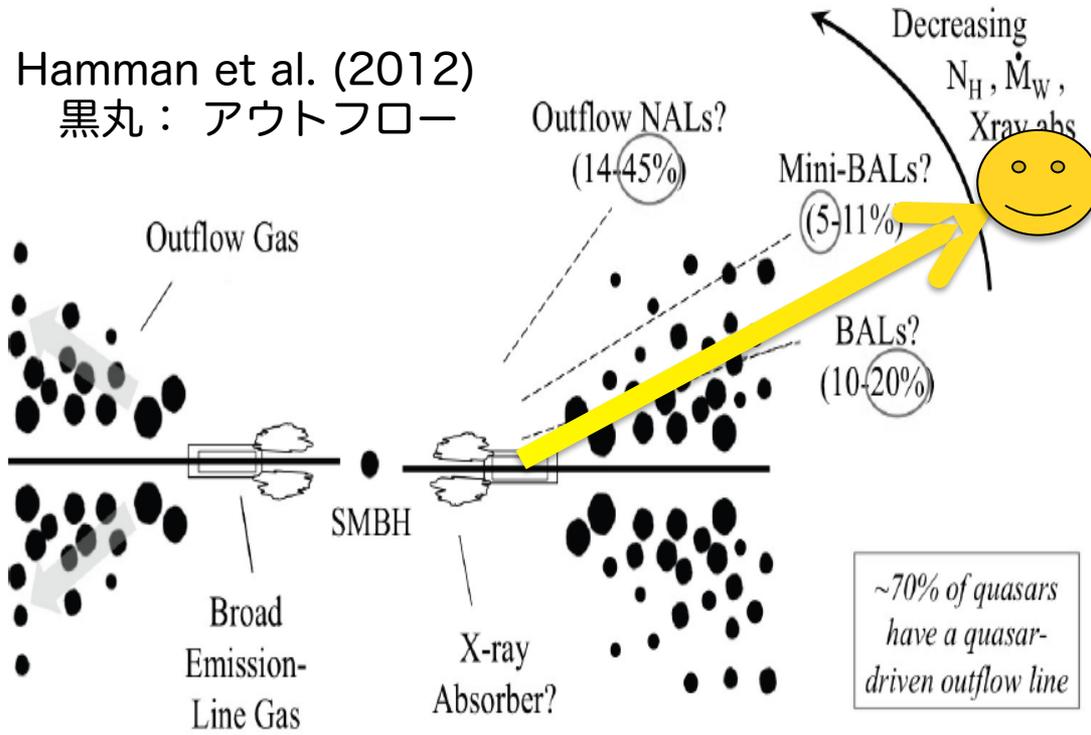
どのようにアウトフローを観測するのか?

(効果 i) 降着円盤から角運動量を排除し、新たなガスの降着を促進
→ **クエーサーの成長に重要** (Murray et al. 1995, Proga et al. 2000)

(効果 ii) 大量のエネルギー、重元素を放出 → **母銀河・銀河間空間の化学進化も促進** (Di Matteo et al. 2005 ; Moll et al. 2007; Dunn et al. 2012)

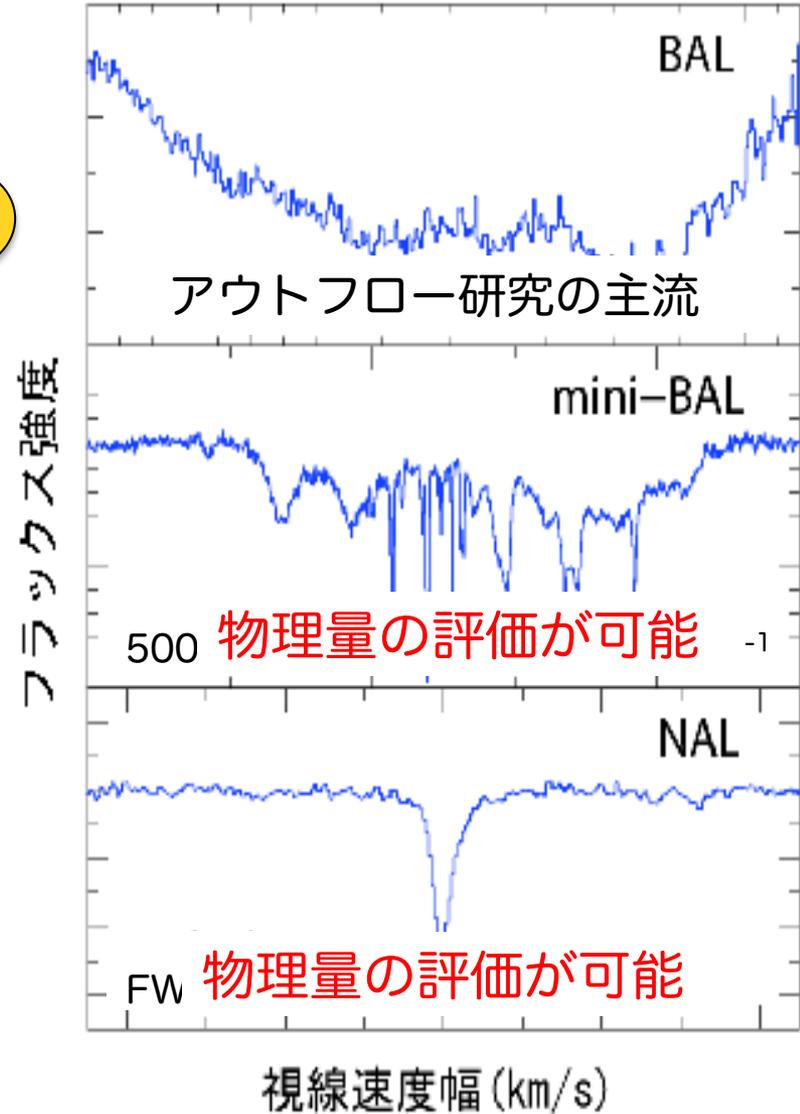
アウトフローの観測: クェーサーに付随する吸収線

Hamman et al. (2012)
黒丸: アウトフロー

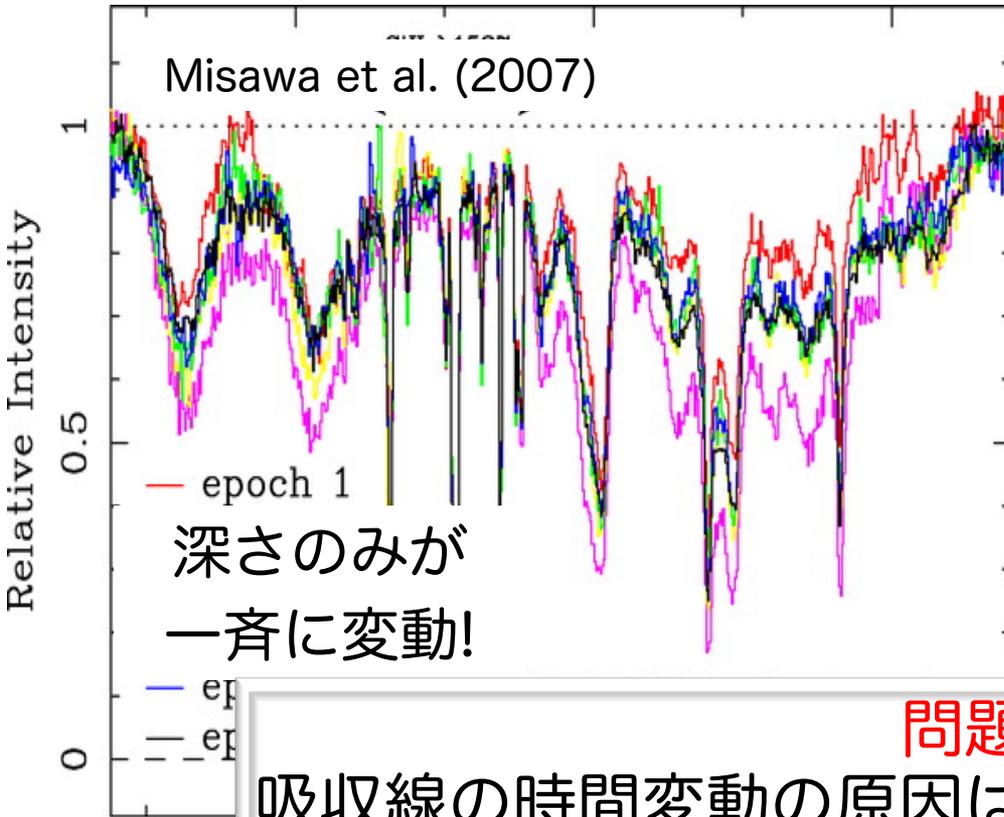


mini-BALとNALが本研究のターゲット!

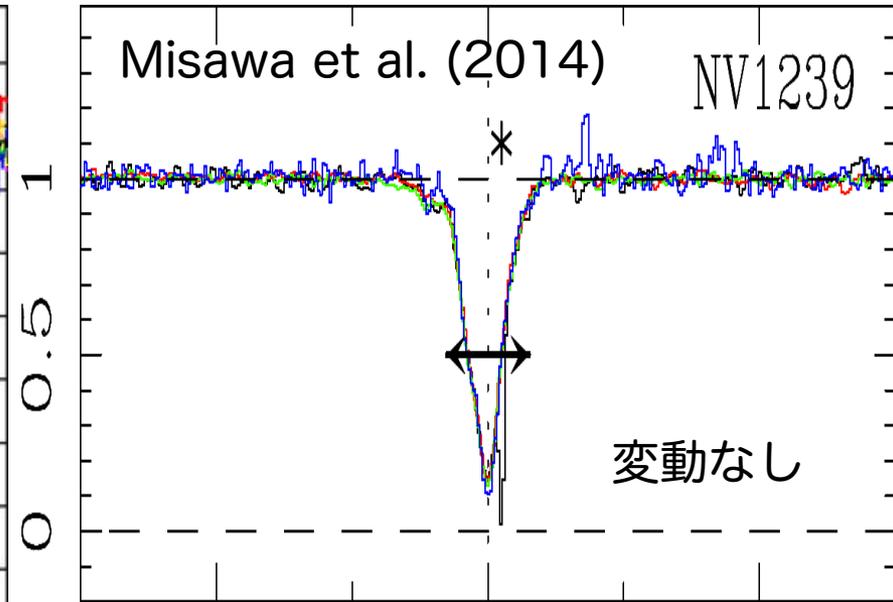
アウトフロー由来の吸収線



HS1603+3820のCIV mini-BAL



Q1009+2956のNv NAL



問題点

吸収線の時間変動の原因は解明されていない。

もし解明できれば

クェーサーの構造や進化するタイムスケールに制限をかけることができる。

は

有力な説: 電離状態変動シナリオ

6/17

・シナリオの概要

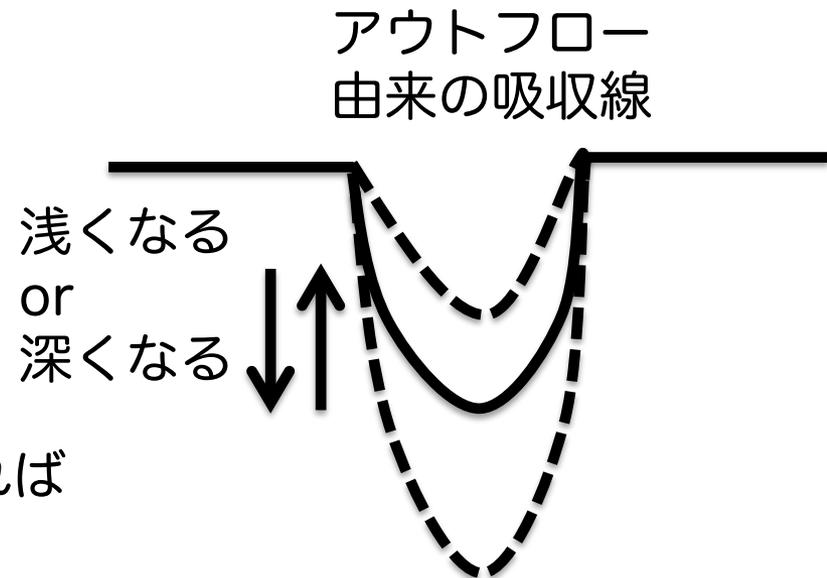
クエーサーの**光度変動**がアウトフローガスの電離状態に変化を与えするというシナリオ



電離状態変動
(VIS)シナリオ

VIS: Variable Ionization State

光度変動と吸収線の変動が同期すれば
VISを支持できる!



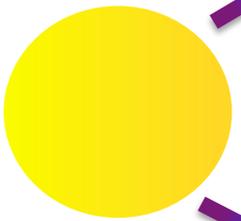
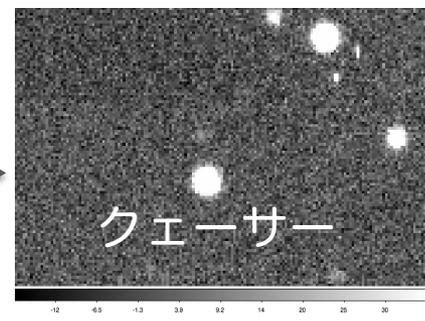
同時モニター観測によるVISシナリオの検証

測光モニター観測
filter: SDSS *u, g, i*



木曽105cmシュミット望遠鏡/KWFC

測光



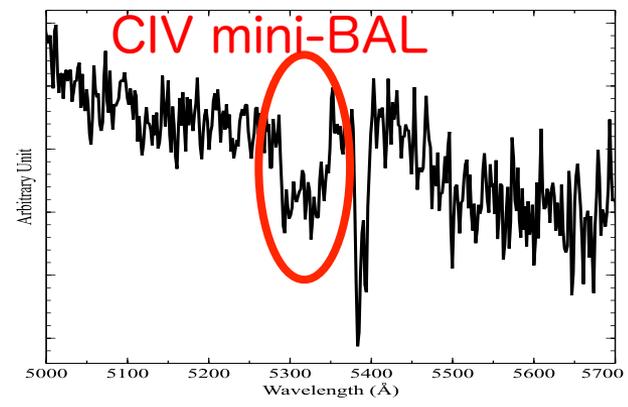
クェーサー

分光モニター観測
波長分解能~1,100



岡山188cm反射望遠鏡/KOOLS

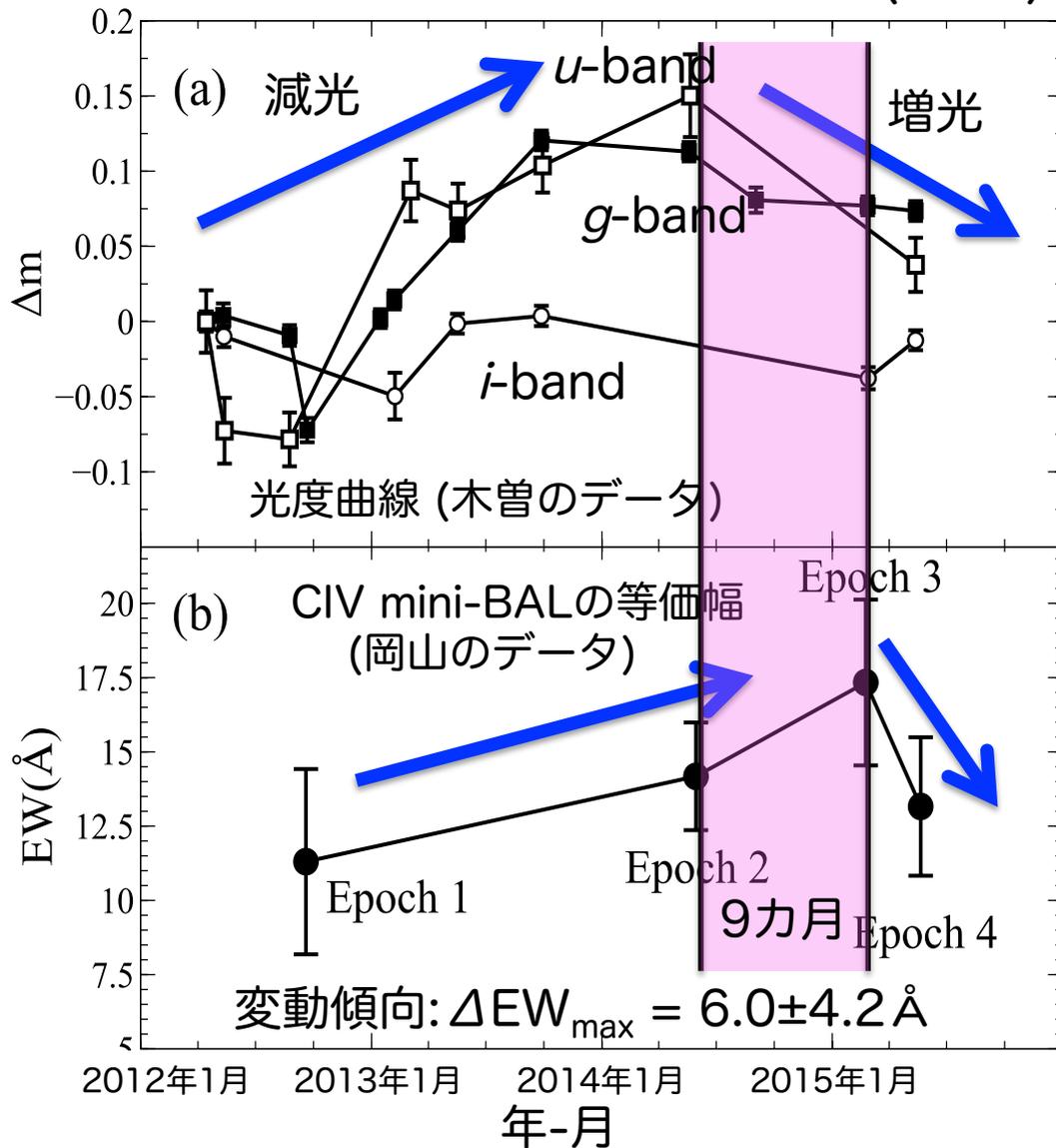
分光



可視測光・分光同時モニター観測を3年にわたり実施
ターゲットはmini-BAL, NALクェーサー

光度曲線と吸収線等価幅の変動傾向

Horiuchi et al. (2016)



mini-BALクェーサー
HS1603+3820の

(a)明るさ

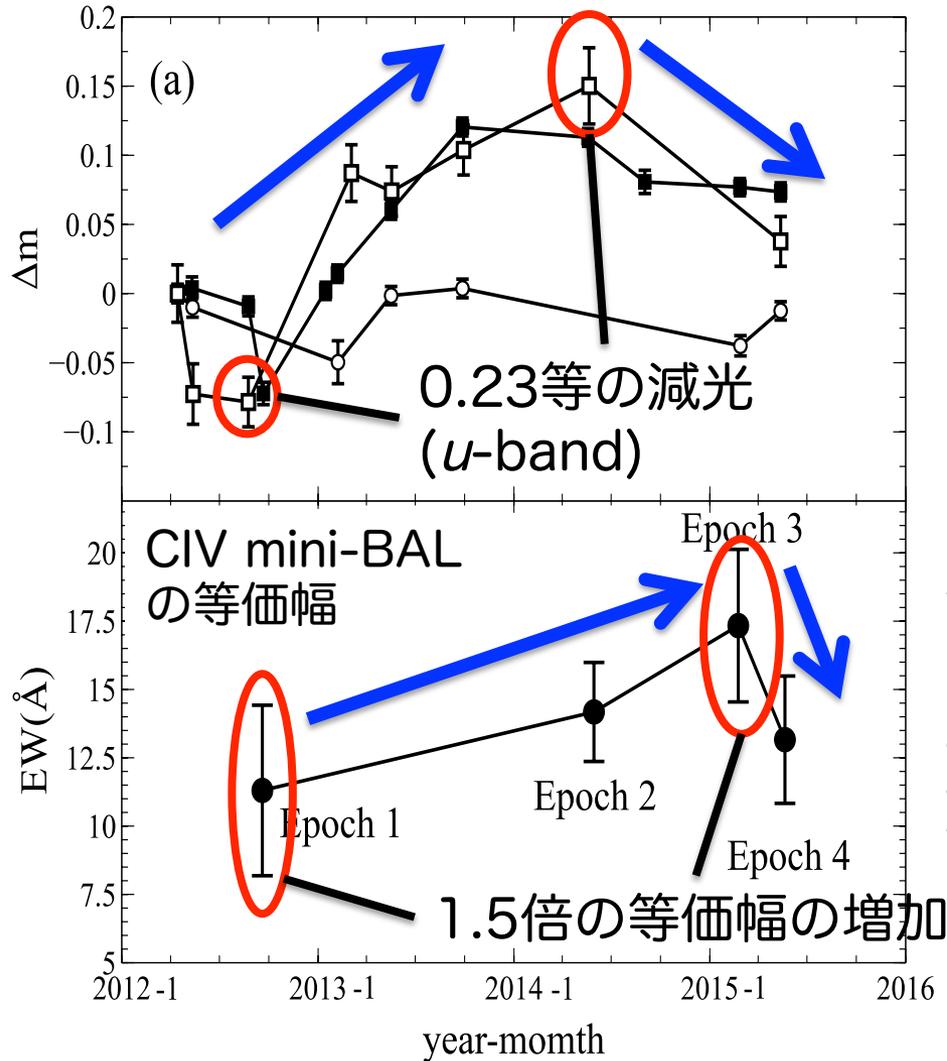
(b)アウトフローの吸収線
の変動傾向が同期

→ VISシナリオを支持する
傾向が得られたのはmini-
BALクェーサーで初めて。

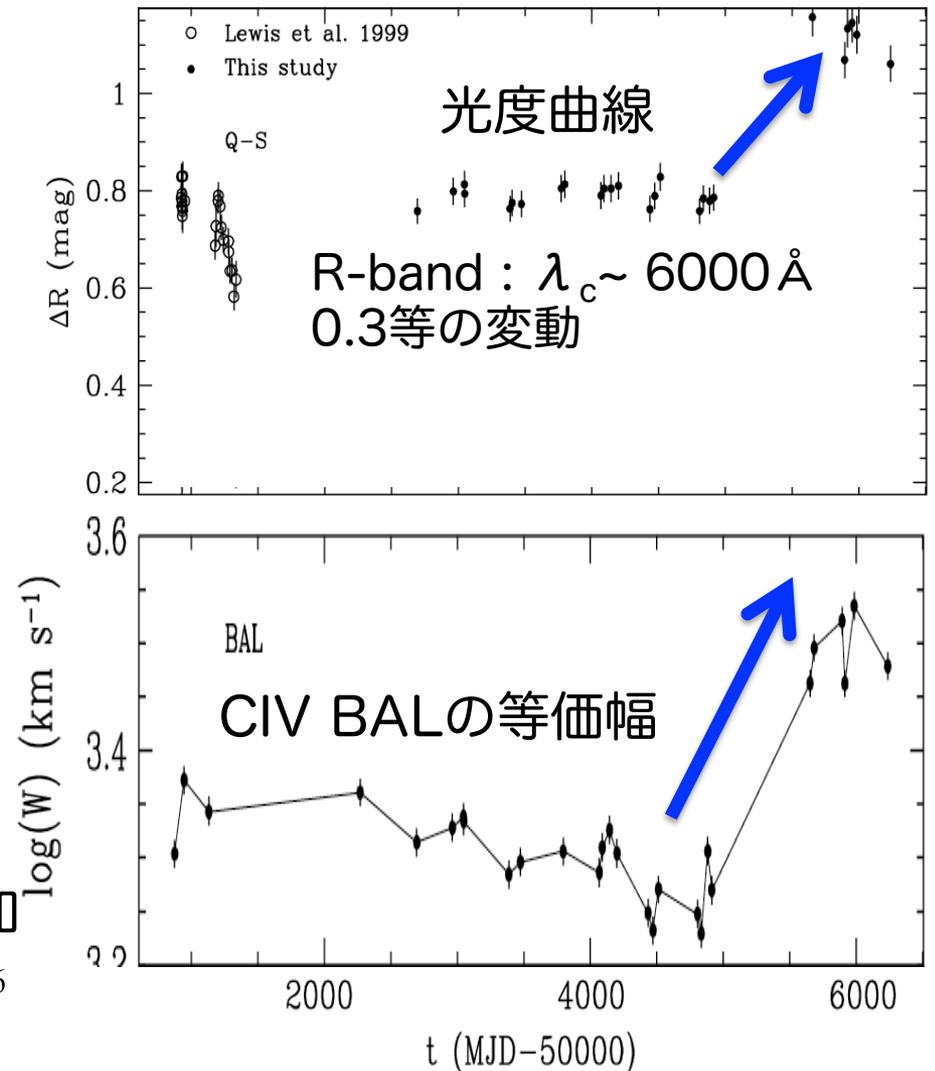
タイムラグは再結合時間
と解釈可能(CV→CIV)

VISシナリオを支持する先行研究との比較 21/24

Horiuchi et al. (2016): **mini-BAL**
 QSO: HS1603+3820



Trevese et al. (2013): **BAL**
 QSO: APM 08279+5255



観測された光度変動でCIVの存在比は変動するのか? 10/17

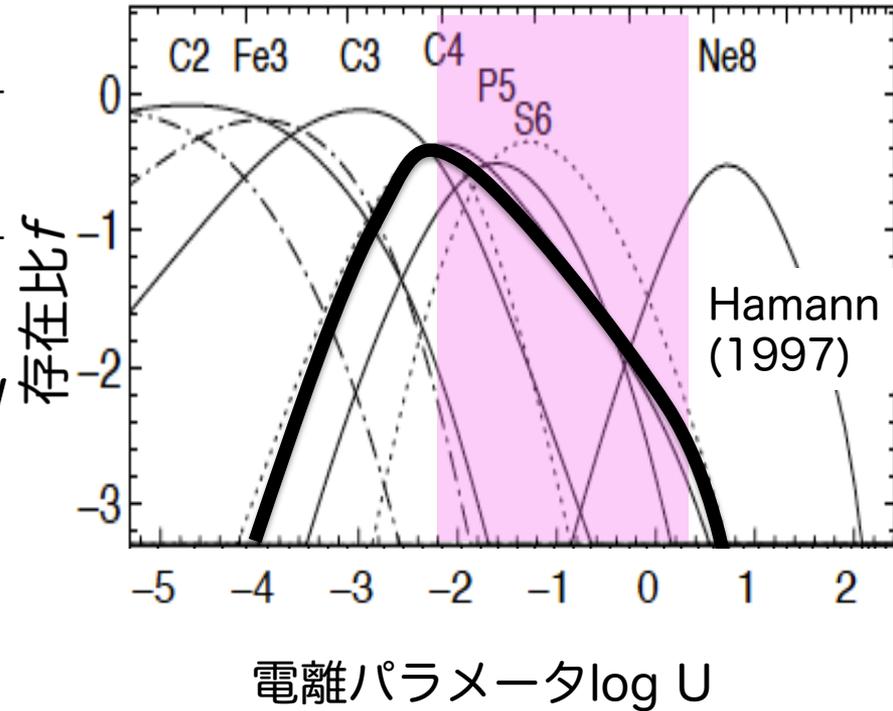
観測で得たHS1603に関する様々な値

電離パラメータ U の変動 ($U = n_r/n_e$)	$\Delta u_{\max} \sim 0.23$ $\rightarrow \Delta \log U_{\max} \sim -0.1$
CIVイオンの 存在比の変動	$EW_2/EW_1 \sim 1.5$ $\rightarrow \Delta \log f(\text{CIV}) \sim 0.18$
$\Delta \log f(\text{CIV}) / \Delta \log U$	~ -1.8

1) 観測で得た傾き $\Delta \log f(\text{CIV}) / \Delta \log U = -1.8$ は負なので、 $\log U$ は赤く塗られた領域にあると考えられる。

2) しかし赤領域の傾きの大きさは1.1であり、観測で得られた1.8と合わない。

観測した紫外域の光度変動単独ではVISを支持できる可能性は低い。



これまでのVISシナリオ検証の問題点と解決案

問題点	解決案
測光・分光モニター観測が行われた mini-BAL, NALクェーサーのサンプル数が少ない.	クェーサーサンプル数を増やす. SiIVも調査対象にする.
VISシナリオを支持するには光度変動幅が小さいサンプルが存在する.	本研究のサンプルより暗いクェーサー(18等程度)の観測を行う.
mini-BAL(またはBAL)とNALの両方をもつクェーサーに対して行われていない.	このようなクェーサーを先行研究からピックアップし, 観測を行う.

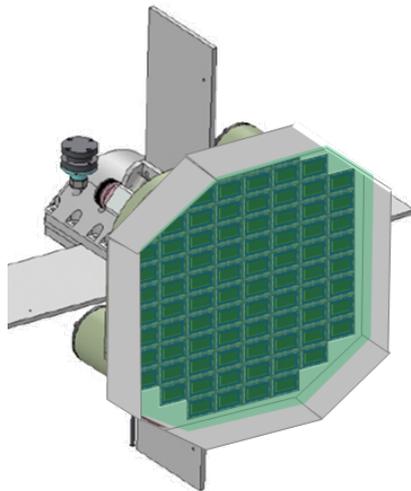
・クェーサーの光度が小さいほど単位時間での光度変動幅が大きい. 100倍明るいと4倍小さい(Vanden Berk et al. 2004)

・ **mini-BALをもつクェーサーのNAL**は, 変動しやすい (Narayanan et al. 2004).

- これまでの情勢
 1. クェーサーのアウトフローと時間変動
 2. アウトフローの時間変動の起源について
 3. 問題点

- Tomo-eとKOOALS-IFUを用いた研究の展望

- まとめ・展望

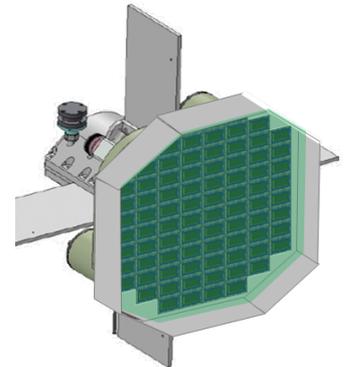


将来のVISシナリオの検証: 観測案

- 何をしたいか? → Tomo-eの撮像データとKOOLS-IFUによる分光で複数のクエーサーに対しVISを検証!
- Tomo-eのデータ利用: 調査したいmini-BAL, NALクエーサーは天体名, 天体数や座標等を予め決めておく.
その天体の撮像データを入手し光度曲線を調べる.

○ 16-18等後半のmini-BAL, NALをもつクエーサーがターゲット.
S/N >20-30: 1日分の画像をスタックして得られる?

○ 光度曲線の時間間隔は1ヶ月程度, 期間は3年ほど.



将来のVISシナリオの検証: 観測案

- 何をしたいか? → Tomo-eの撮像データとKOOLS-IFUによる分光で複数のクエーサーに対しVISを検証!
- KOOLS-IFUでの観測: Tomo-eで光度曲線を調査しているクエーサーに対して分光観測を行い, アウトフロー吸収線の変動を調査.

○ 分解能 $R > 1,000$ での観測によって吸収線の等価幅を評価する。
グリズムはVPH495を使用。

○ 18等程度クエーサーでも20分×6積分でも $S/N=20$ は超えるため吸収線解析は可能。

○ 観測頻度は3ヶ月に1度で, 期間は3年ほど。

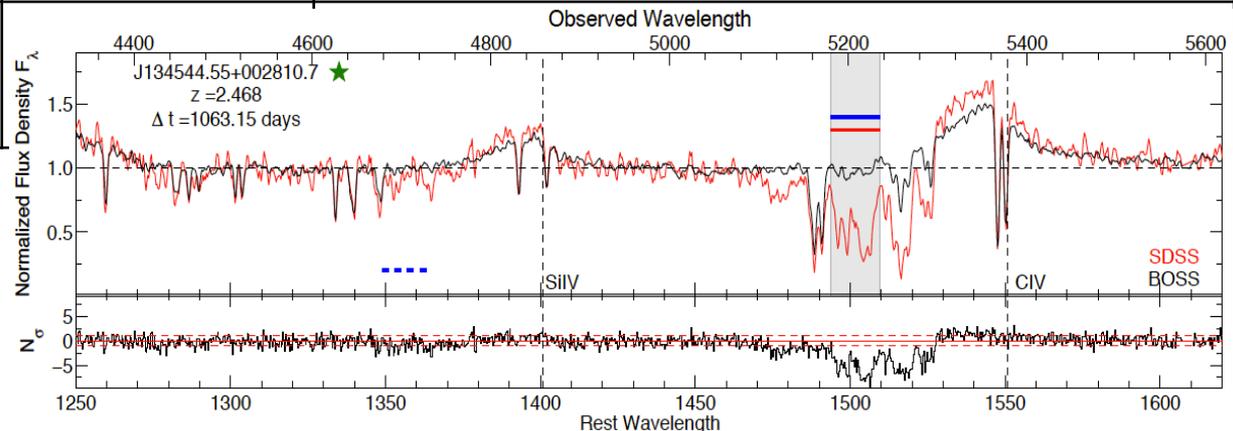
光度変動と吸収線の変動にはタイムラグがあったので必ずしも即時分光でなくて良い。



サンプルクェーサーの例

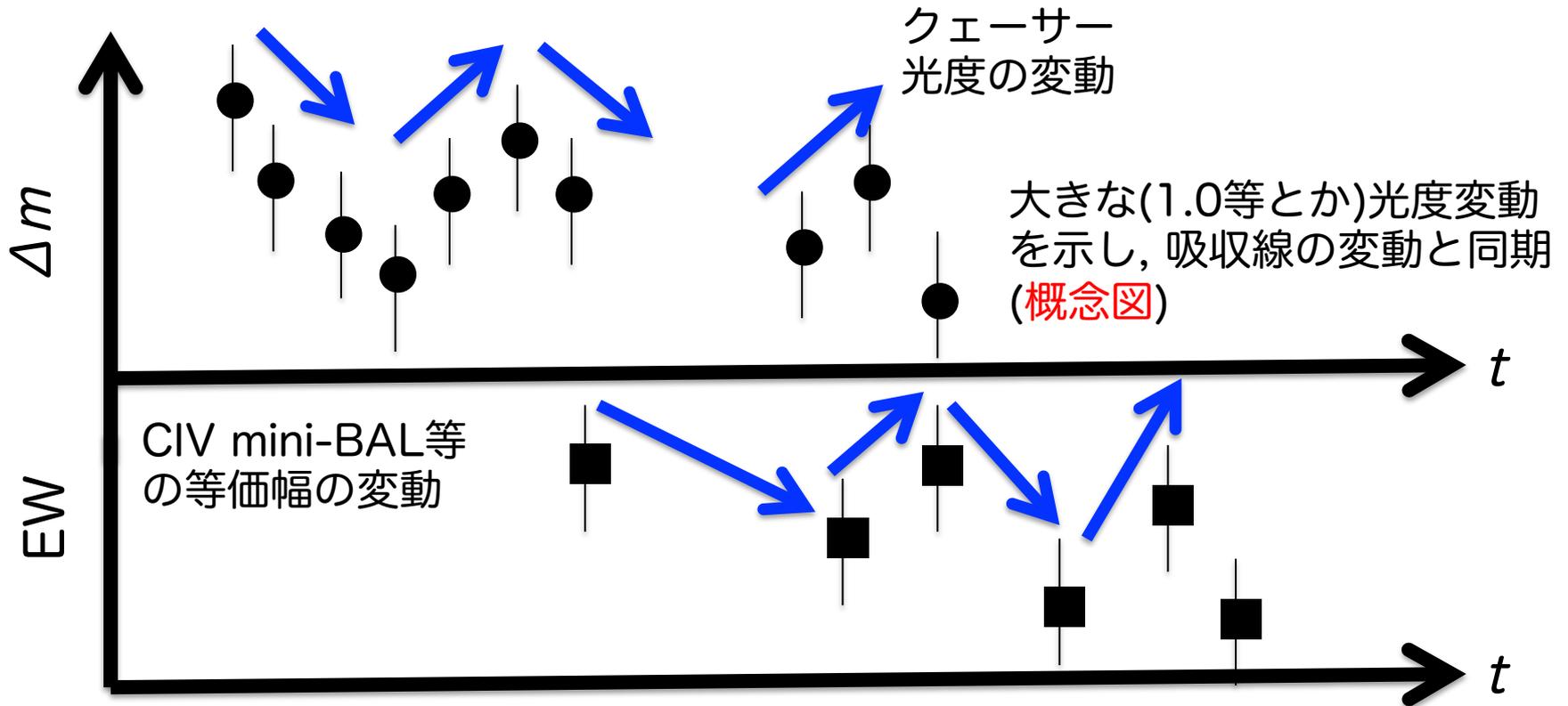
VPH495で観測可能な波長域(4160-6000 Å)においてSiIV, CIVの検出される $2.0 < z < 3.0$ のサンプルを用いる。

サンプルクェーサー	赤方偏移 z	視等級, 吸収線の特徴
HS1603+3820	2.542	$V=16.0$, mini-BAL
Q1157+014	2.00	$V=17.7$, BAL, mini-BALとNALをもつ
Q2343+125	2.515	$V=17.0$, mini-BAL
UM675	2.15	$V=17.4$, mini-BAL
J134544.55+002810.7	2.468	$V=18.65$, BAL, mini-BALの消失を確認. NALが残る(Filiz AK et al. 2012)
J0242+0049		



見込まれる観測結果の例

- 光度変動のみでVISを支持するmini-BALクェーサーのサンプル数が増える.



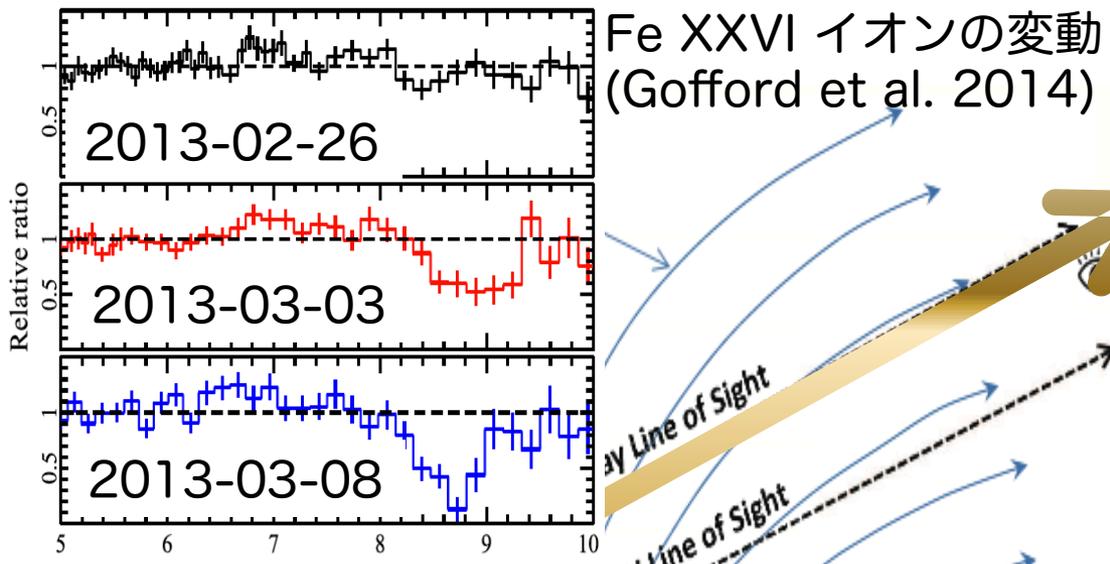
- mini-BALとNALの複数種の吸収線をもつクェーサーに対しNALの変動も観測される.

- これまでVISシナリオの様々な先行研究で検証が行われてきた. 先行研究には以下のような問題点と解決策があり, Tomo-eとKOOLS-IFUを用いて以下の問題を解決したい.

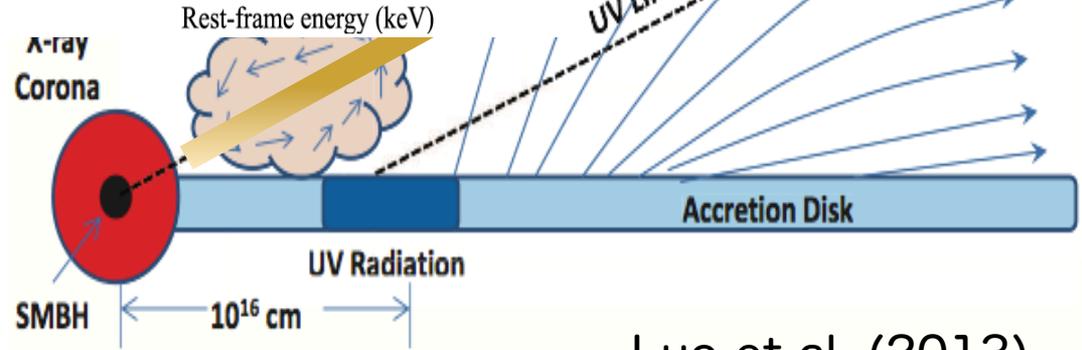
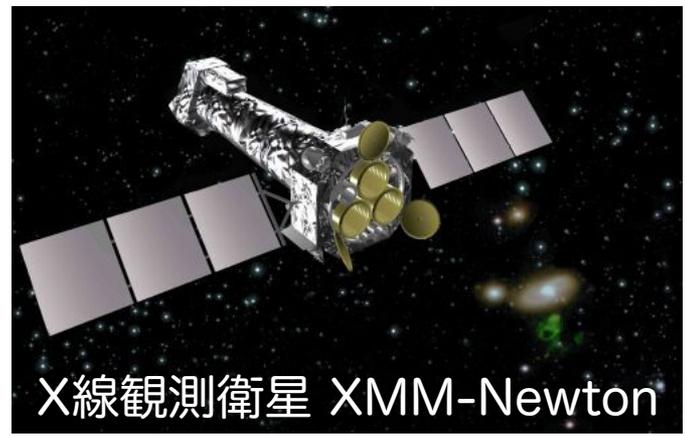
問題点	解決案
<p>測光・分光モニター観測が行われた mini-BAL, NALクエーサーのサンプル数が少ない.</p>	<p>サンプル数を増やす. Horiuchi et al. (2016)ではHS1603+3820のみ.</p>
<p>VISシナリオを支持するには光度変動幅が小さいサンプルが存在する.</p>	<p>本研究のサンプルより暗いクエーサー(18等程度)の観測を行う.</p>
<p>mini-BAL(またはBAL)とNALの両方をもつクエーサーに対して行われていない.</p>	<p>このようなクエーサーを先行研究からピックアップし、観測を行う.</p>

展望: VISシナリオの補助機構の検証

X線分光観測で観測される**遮蔽ガス**(候補は**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！
 → 補助機構は**Warm Absorber**の変動!?



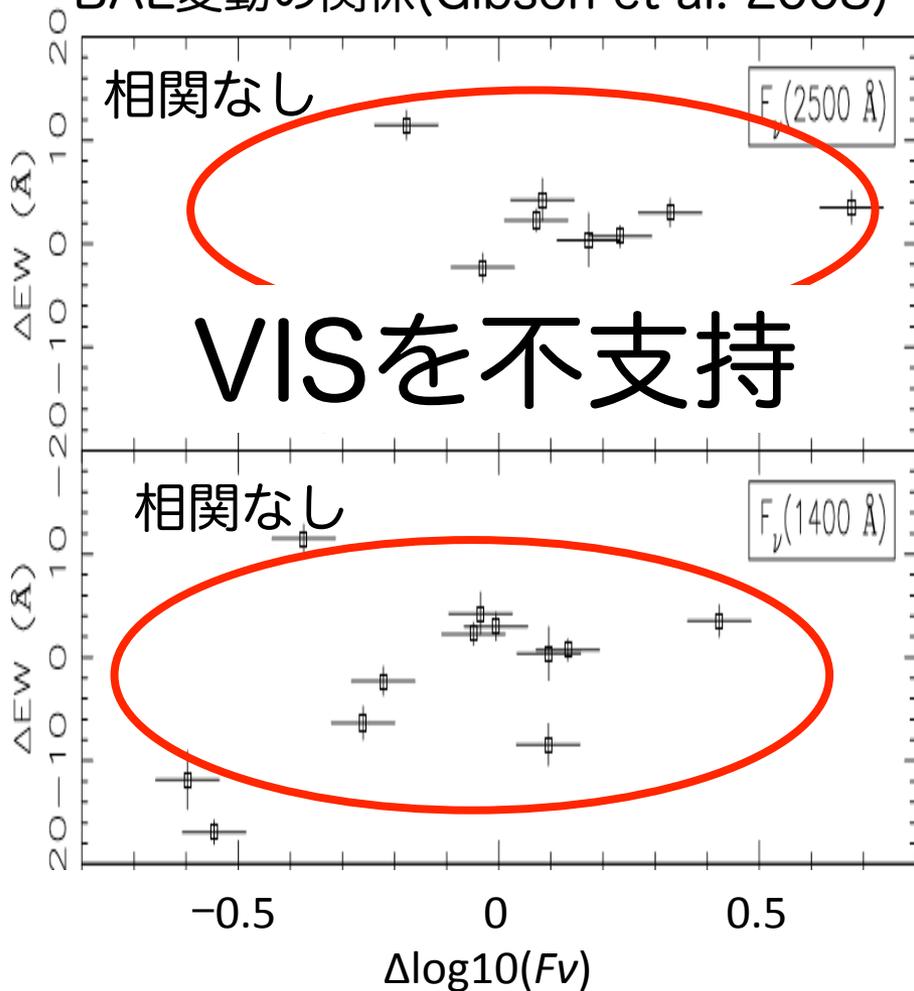
可視・X線同時モニター観測で検証予定



Luo et al. (2013)

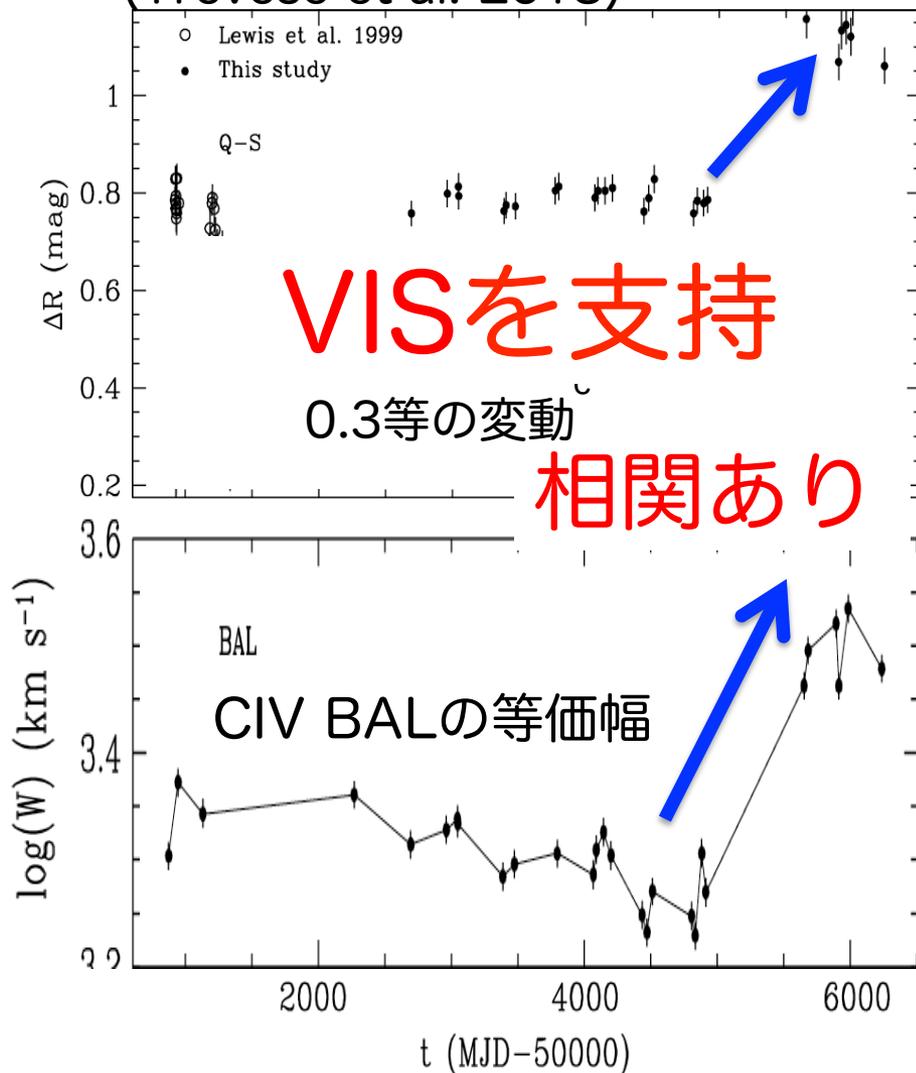
BALクェーサーにおけるVISシナリオの検証 ^{19/1}/₇

BALクェーサー13天体の光度変動-BAL変動の関係(Gibson et al. 2008)



2 epochのみ

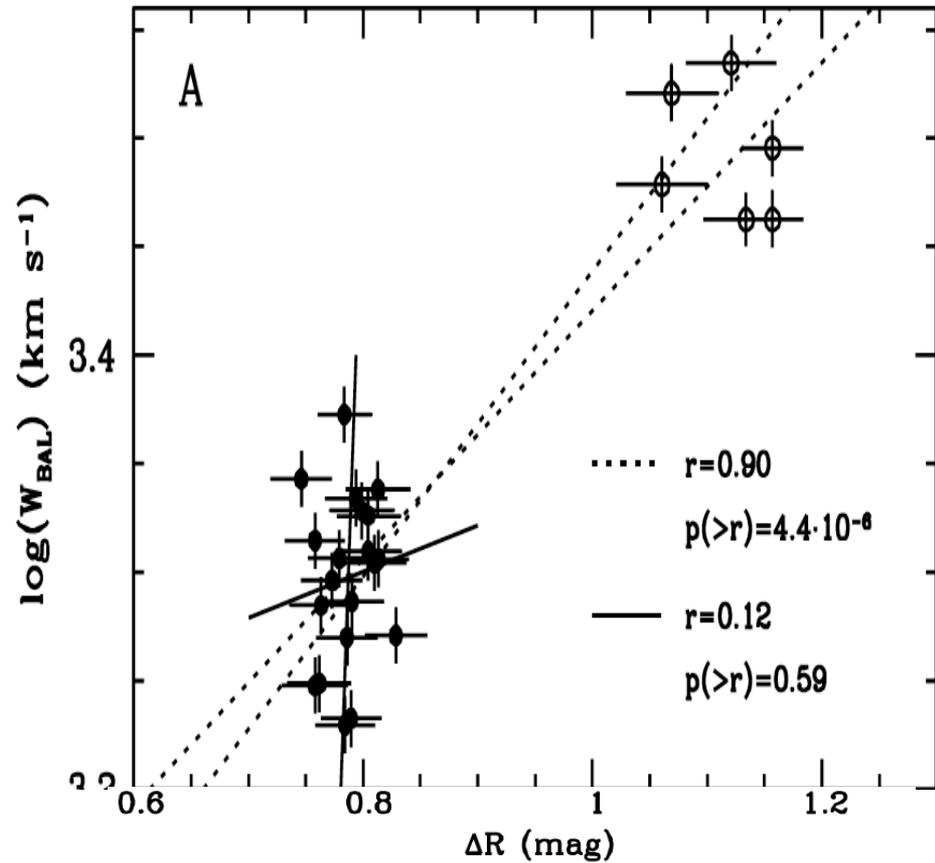
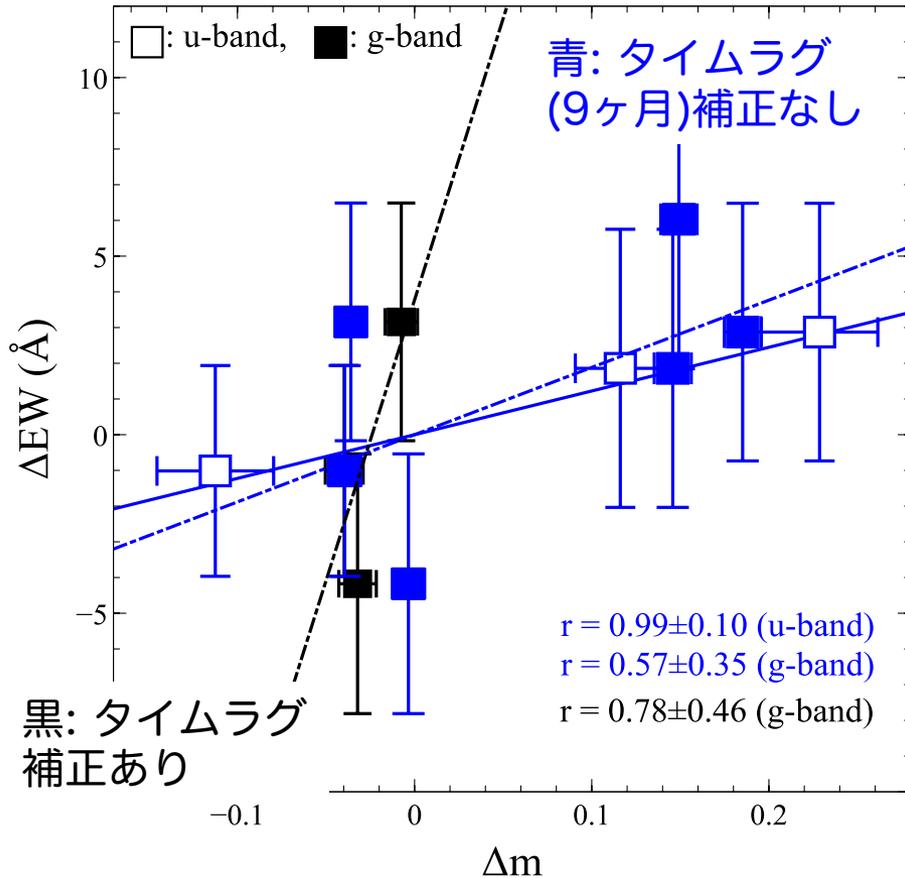
BALクェーサー APM 08279+5255 の光度変動-BAL変動の関係 (Trevese et al. 2013)



光度-等価幅分布における比較

APM 08279における ΔR -EW分布 (Trevese et al. 2013)

HS1603における Δm - ΔEW 分布



Trevese et al. (2013)同様に、本研究においても光度-等価幅分布に相関が確認できた!!

再結合過程における諸量の推定

- ・ ガス密度 n_e の推定

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

(再結合係数: $\alpha = 5.3 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{s}$, 再結合時間の上限値:
 $t_{var} := 6.5 \times 10^6 \text{ sec}$)

$$\Rightarrow n_e > 2.8 \times 10^4 / \text{cm}^3$$

- ・ クェーサー中心からのアウトフローの距離の推定

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

(L_{48} : 10^{48} を単位とするクェーサー光度, n_5 : 10^5 を単位とするガス密度)

$$\Rightarrow r < 4.0 \text{ kpc}$$