

測光・分光同時モニター観測によるアウトフロー の電離状態変動シナリオの検証



信州大学大学院 総合工学系研究科 **D1**

堀内 貴史

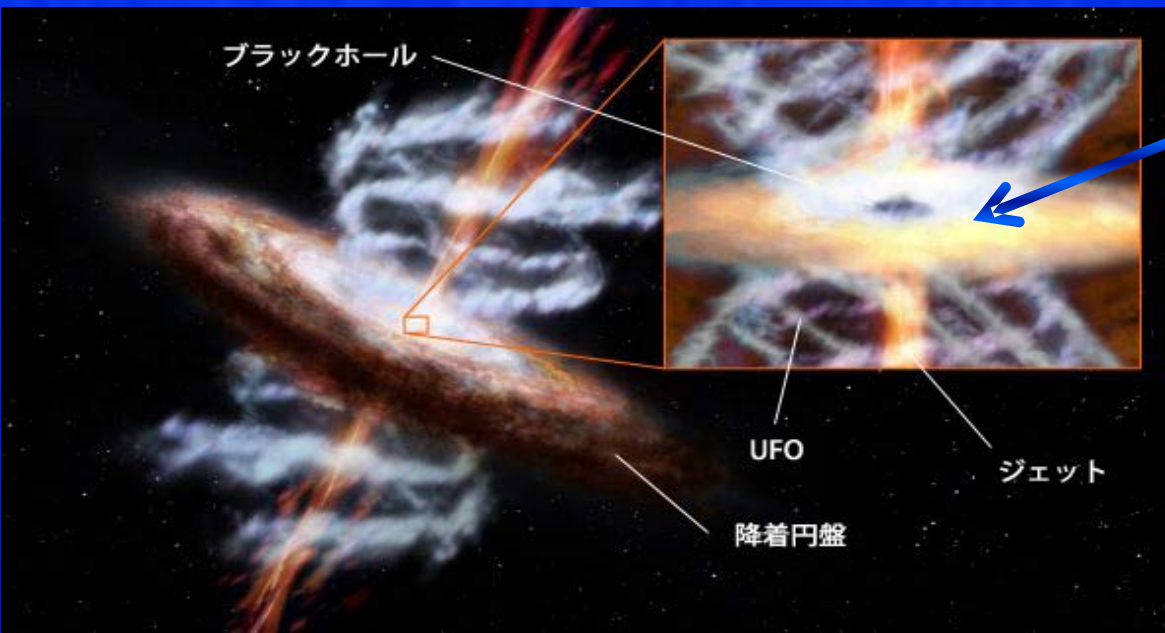
目次

- 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重要性

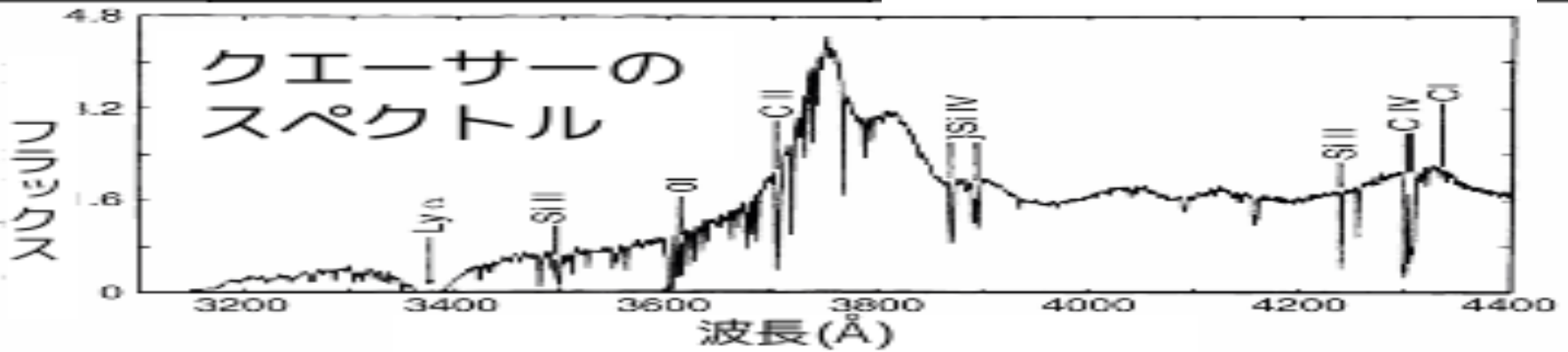
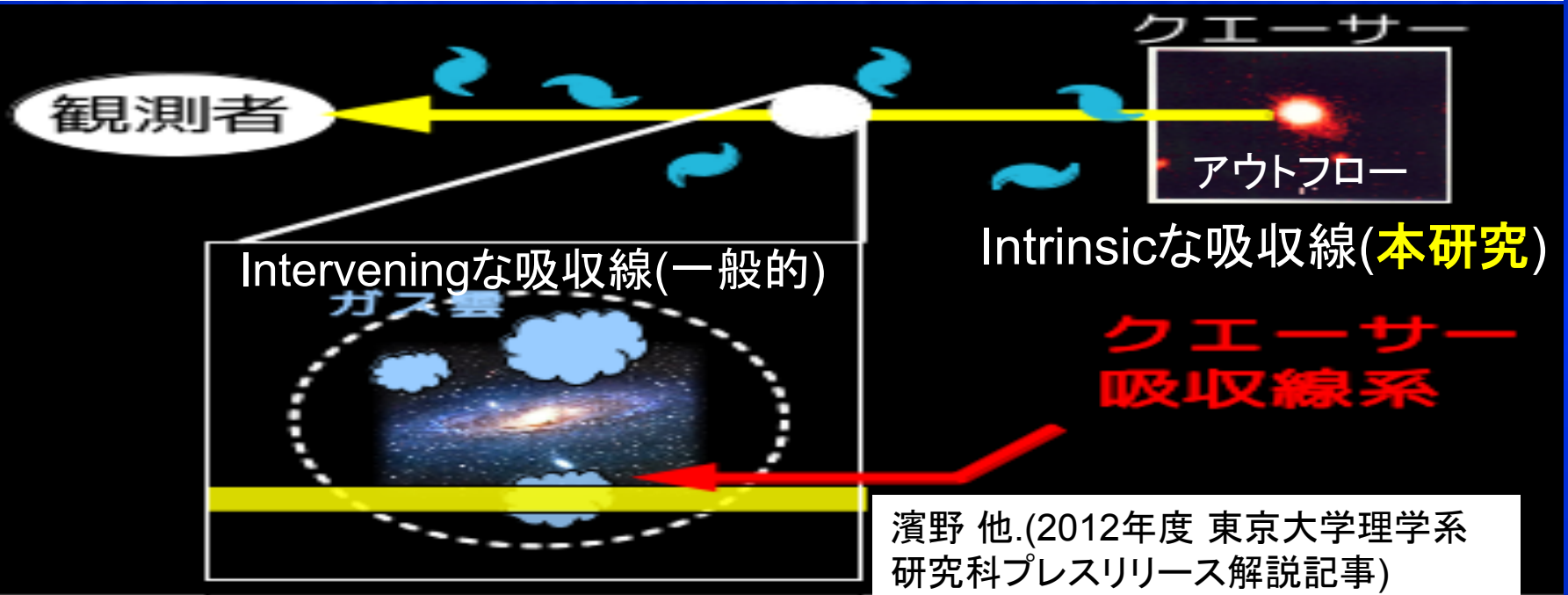
- ・ クェーサーの降着円盤より放出される、アウトフローは
 - 1) 降着円盤より角運動量を排除し、新たなガスの降着を促進する. そのため、クェーサーの成長に不可欠な要素である(Murray et al. 1995; Proga et al. 2000).
 - 2) 多量のエネルギー、金属を母銀河に注ぎ込む ⇒ 星形成の抑制、宇宙の化学進化に重要な役割を果たす(Di Matteo et al. 2005 ; Moll et al. 2007 ; Dunn et al. 2012).



アウトフローガスの放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できる。



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!

Chartas et al. (2009)

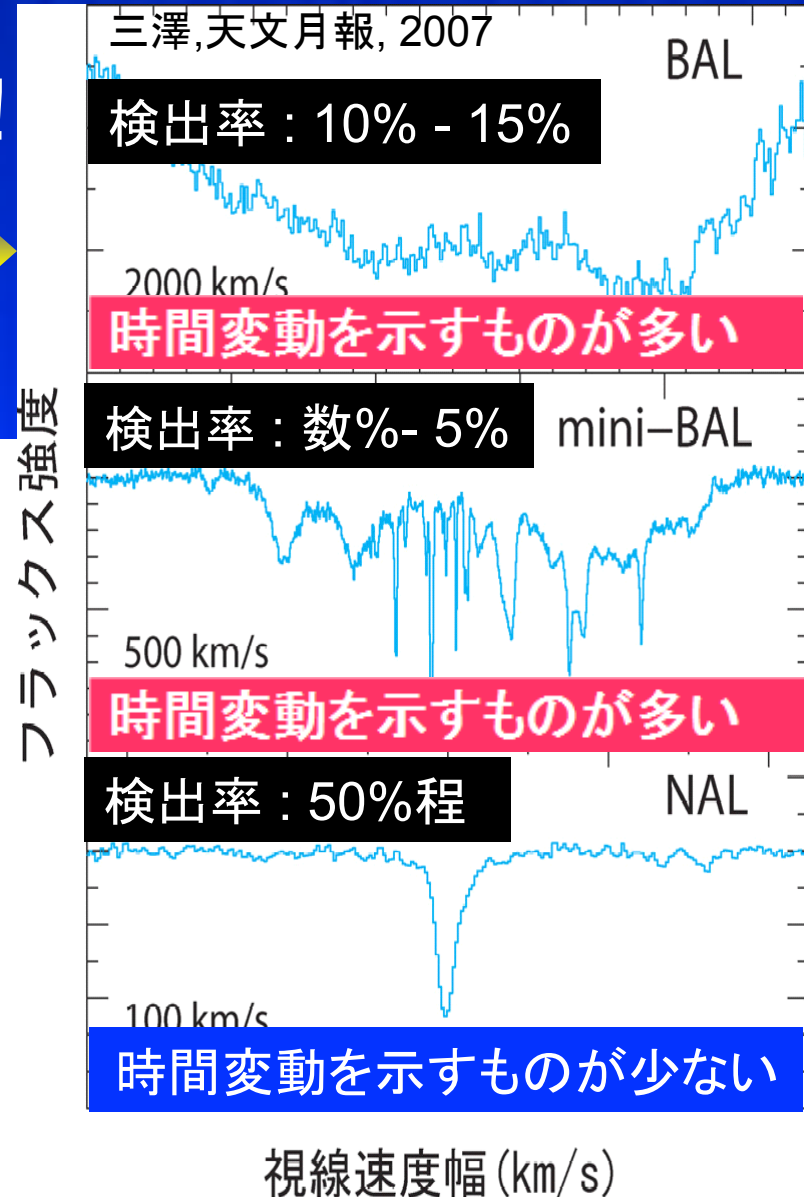
アウトフロー

観測者

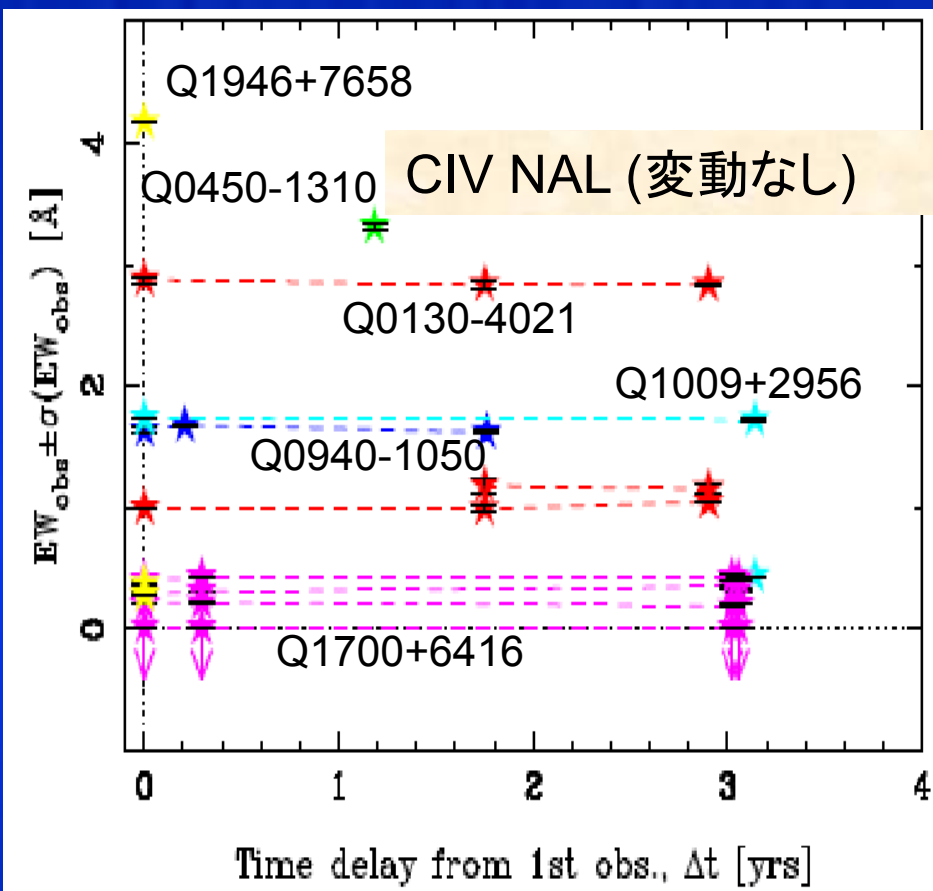
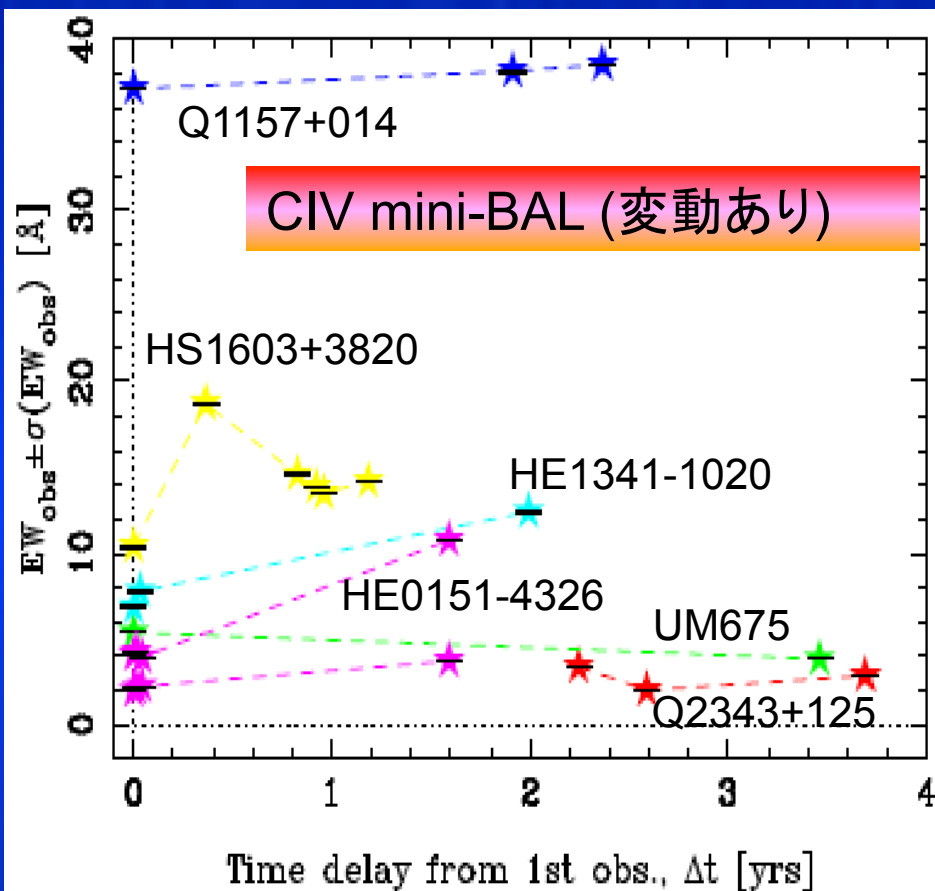


アウトフローの時間変動を調査することで、アウトフローの構造・環境に制約を与えることができる!!

accretion disk

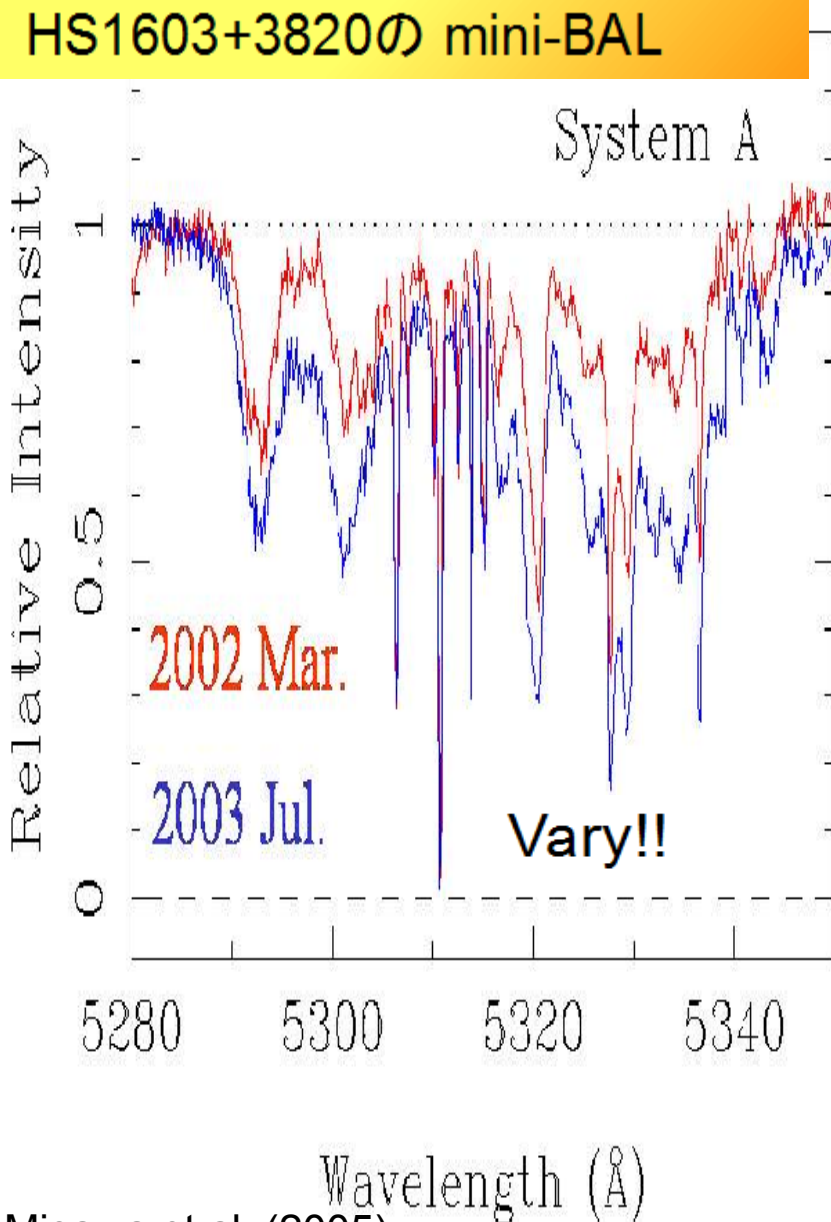


先行研究 ～MINI-BAL,NALの変動～



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, submitted). 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.

なぜmini-BALは時間変動を示すのか？



(1)クエーサーに対する吸収ガスの横断

可能性は低い

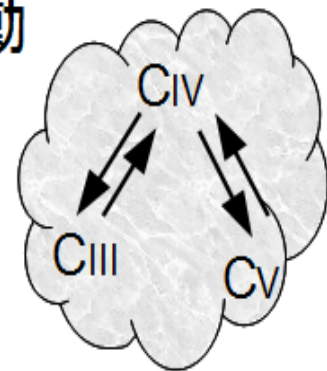
背景光源

(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

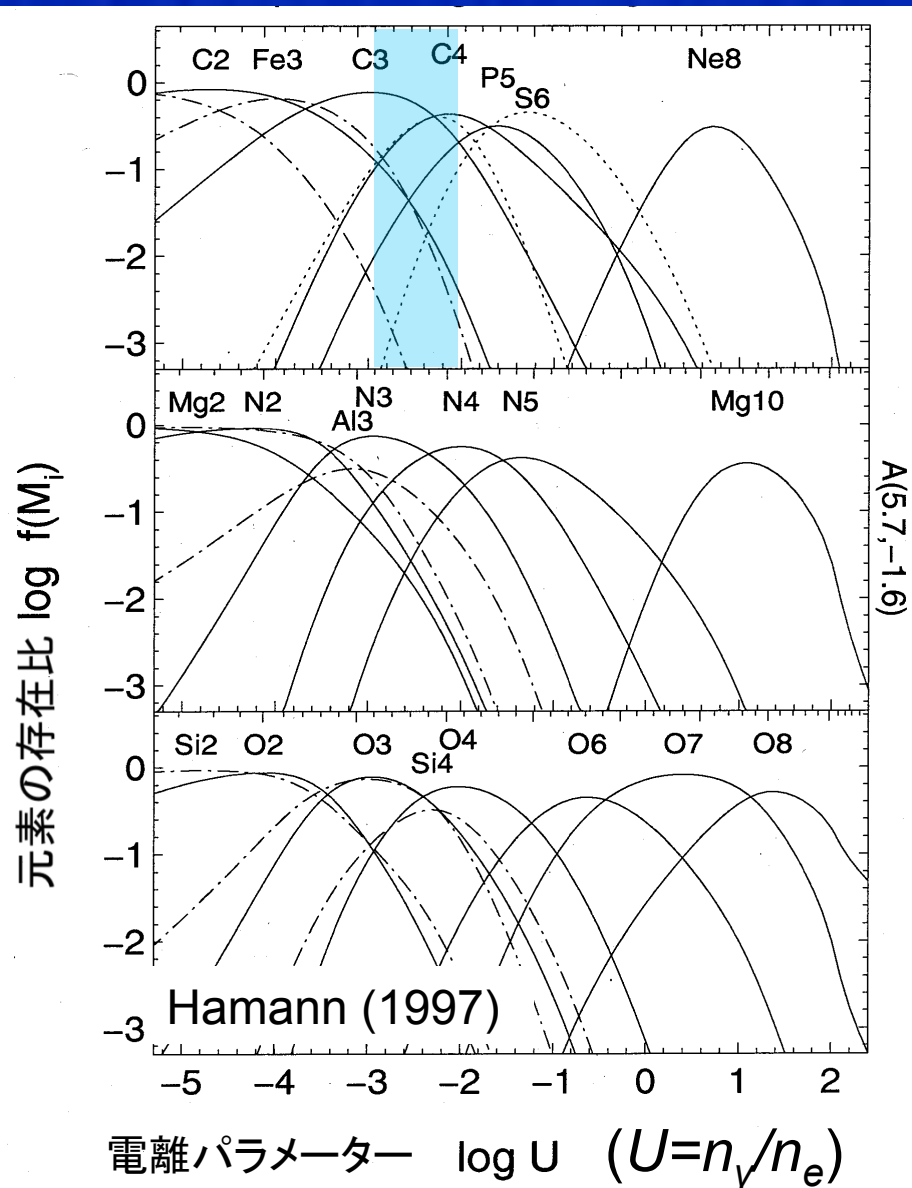


電離状態変動シナリオと研究目的


目的: mini-BAL, NALを持つ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の検証

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



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

電離状態変動シナリオの検証方法

$2 \leq z \leq 3$ のmini-BAL, NALクェーサー(それぞれ4個, 5個)に対する測光・分光同時モニター観測を実施する. そして、クェーサーの光度と吸収線の変動が同期するかを確かめる.

- ・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



mini-BALクェーサーのみに、特別大きな光度変動傾向が確認されれば、電離状態変動シナリオをサポートする結果となるはず!

木曾105cmシュミット望遠鏡

188cm望遠鏡

使用filter : SDSS u,g and i

木曾・岡山での過去の観測達成状況

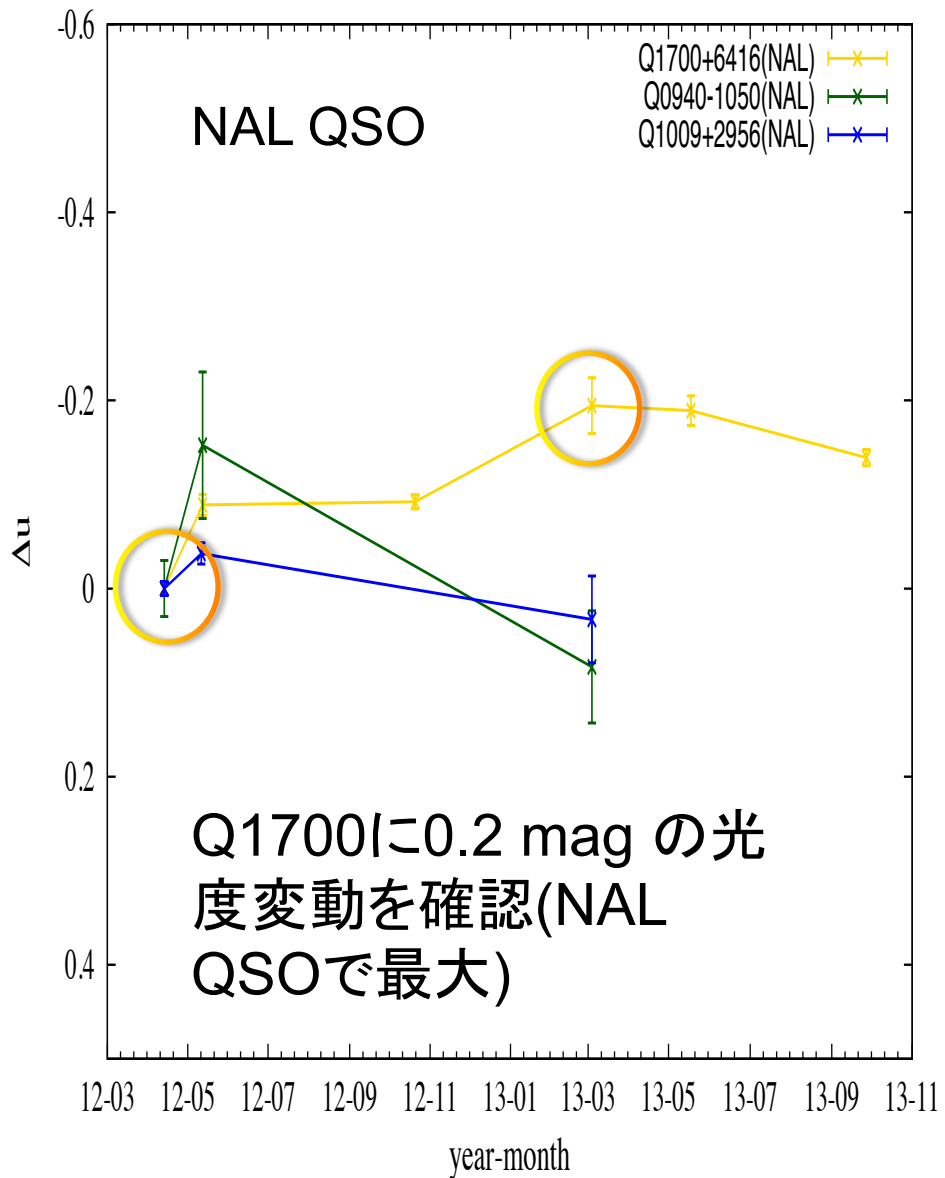
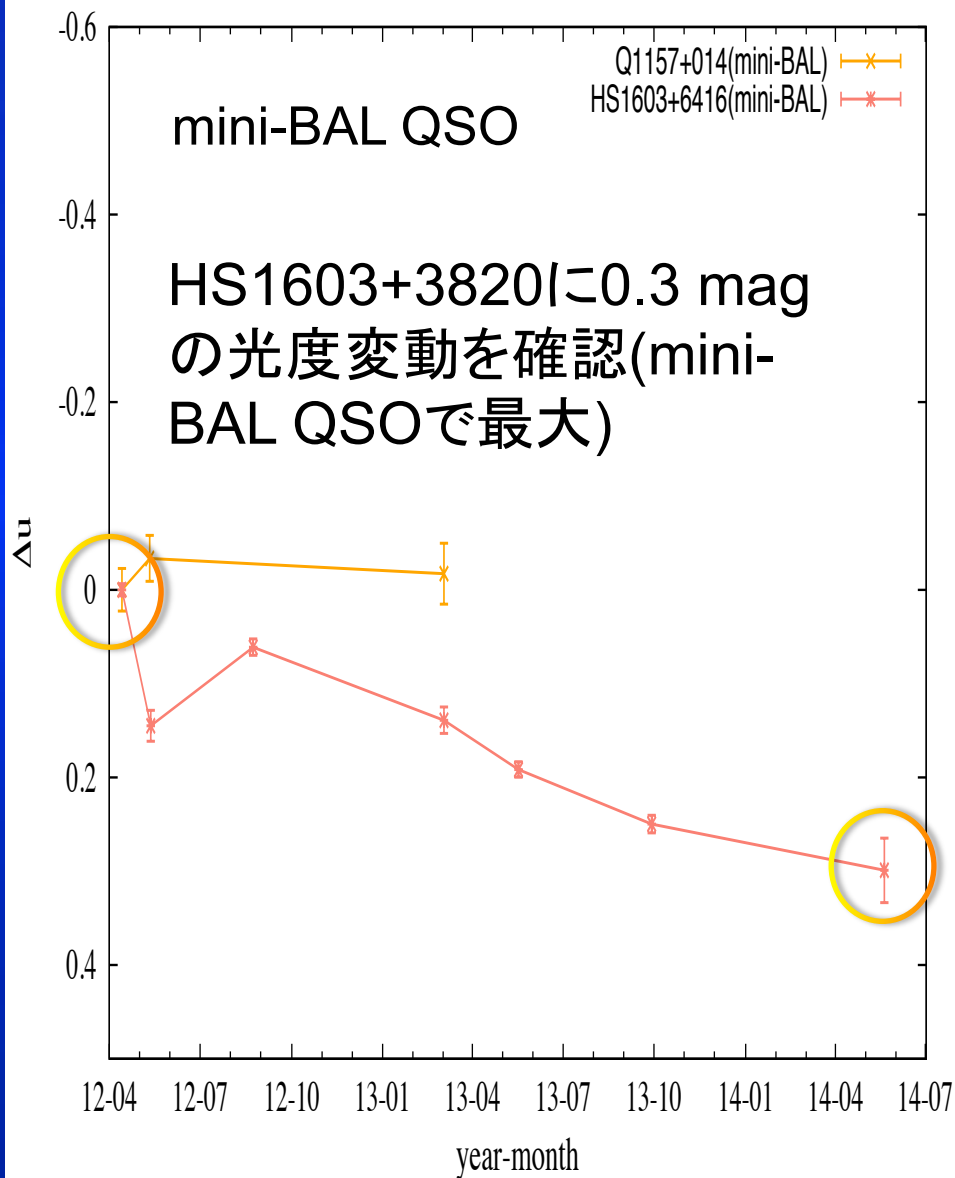
観測時期	木曾での達成度 (%)	岡山での達成度 (%)
2012/ 4	100	
2012/ 5	100	
2012/ 8	40	
2012/ 9	50	50
2012/ 10	70	
2012/ 11	80	
2012 / 12	今回は測光のお話	60
2013/ 1		
2013/ 2		
2013/ 3	90	解析は間もなく終了予定
2013/ 5	80	
2013/ 9	100	50
2013/ 12	25	30
2014/ 3	0	0
2014/ 6	50	90

目次

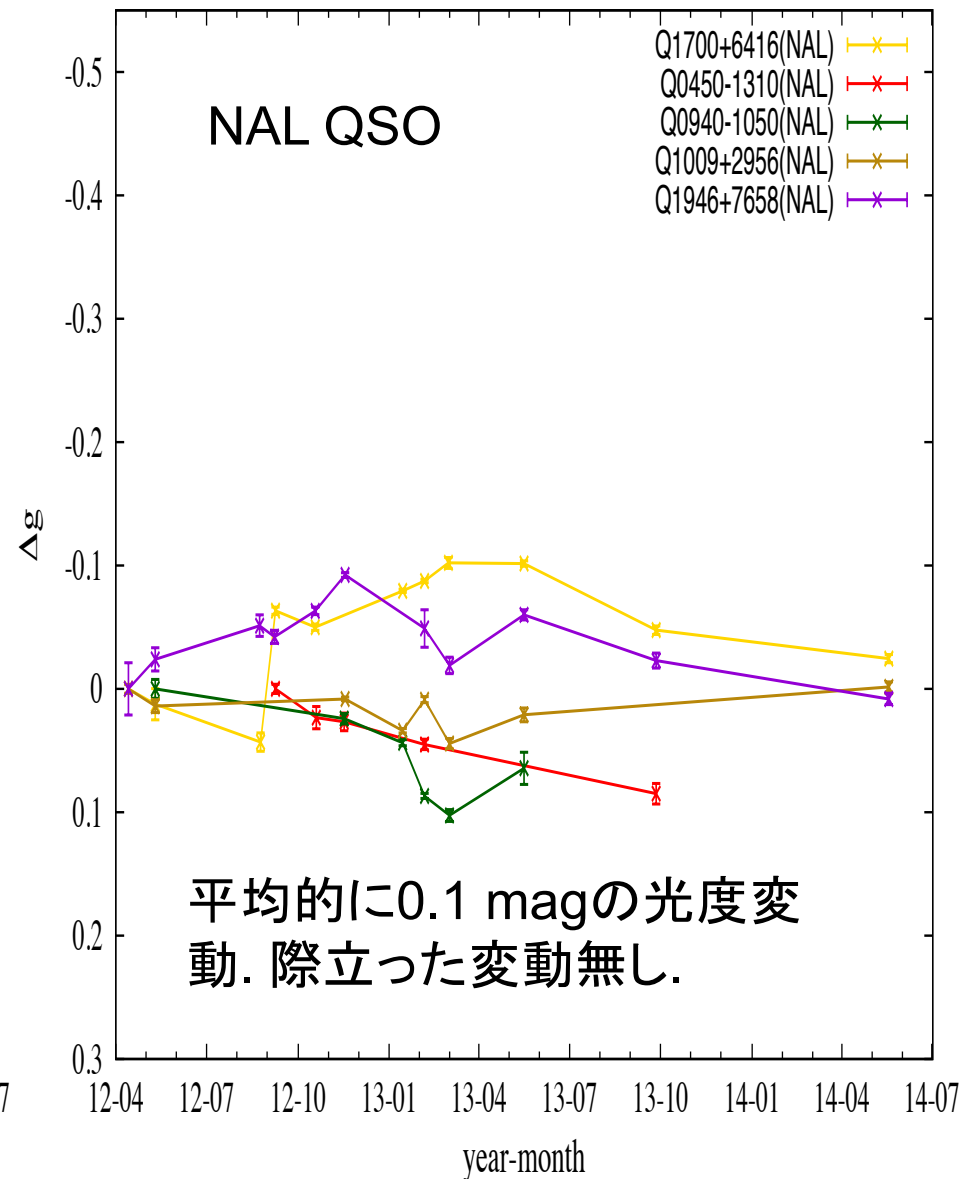
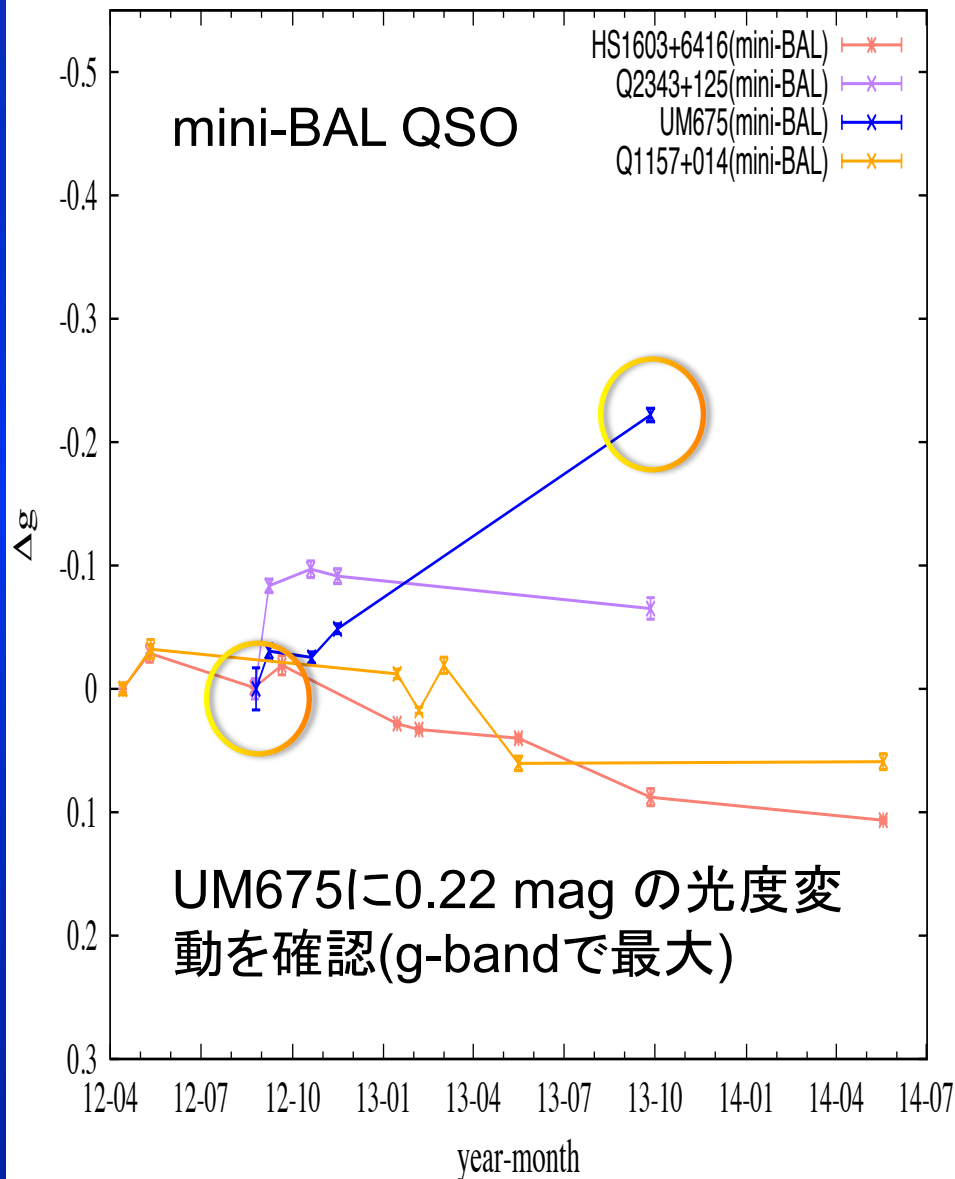
- 導入・研究の目的
- 観測
- 結果 (光度曲線とStructure Function)
- 電離状態変動シナリオの考察
- 展望・まとめ



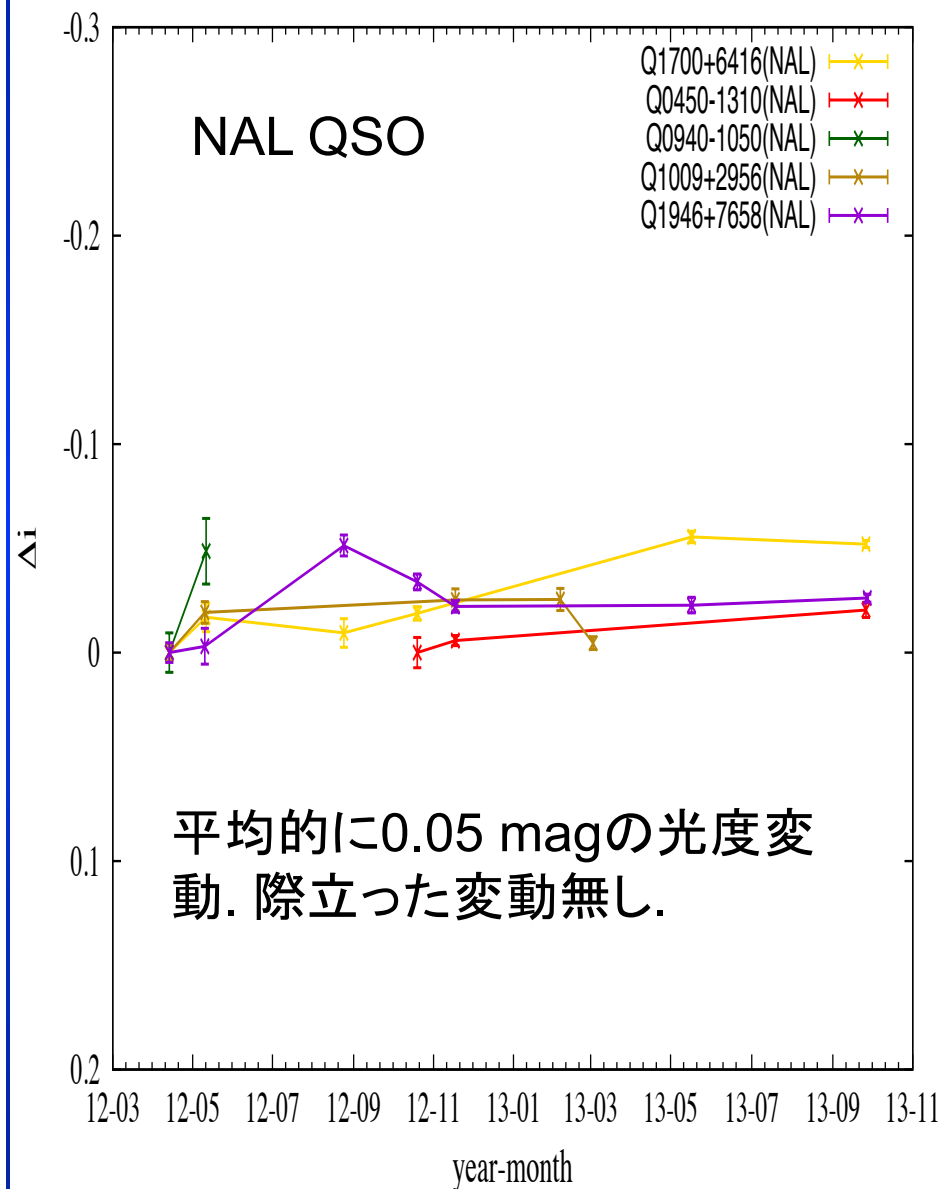
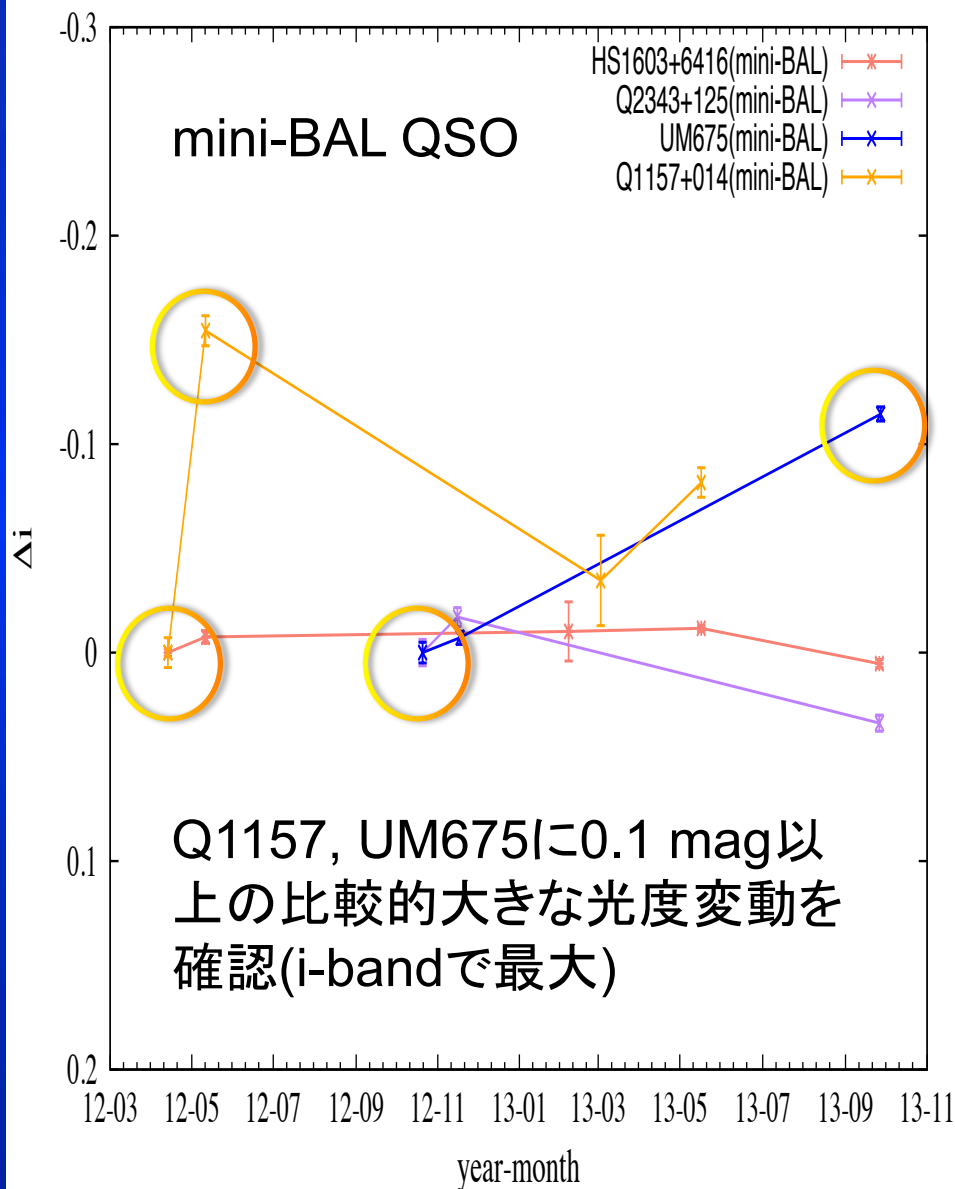
サンプルクエーサーの光度曲線 (u-band)



サンプルクェーサーの光度曲線 (g-band)



サンプルクェーサーの光度曲線 (i-band)



光度曲線の結果のおさらい

- ・ 2年間以上の測光モニター観測の結果、mini-BALクェーサーHS1603とUM675に特に大きな光度変動が確認された(HS1603 : u-bandで**0.3 mag**, UM675 : g-bandで **0.22 mag**)
- ・ NALクェーサーの光度変動の最大値はu-bandで0.2 mag 程度(Q1700+6416).
- ・ 全体的に短波長側のフィルターの方が大きな光度変動を示す(mini-BAL, NALクェーサー問わず、**明るくなると青くなる**). この結果は従来の先行研究(e.g. Givon et al. 1999; Tre`vese, Kron & Bunone 2001)と矛盾のないものである.

STRUCTURE FUNCTIONについて

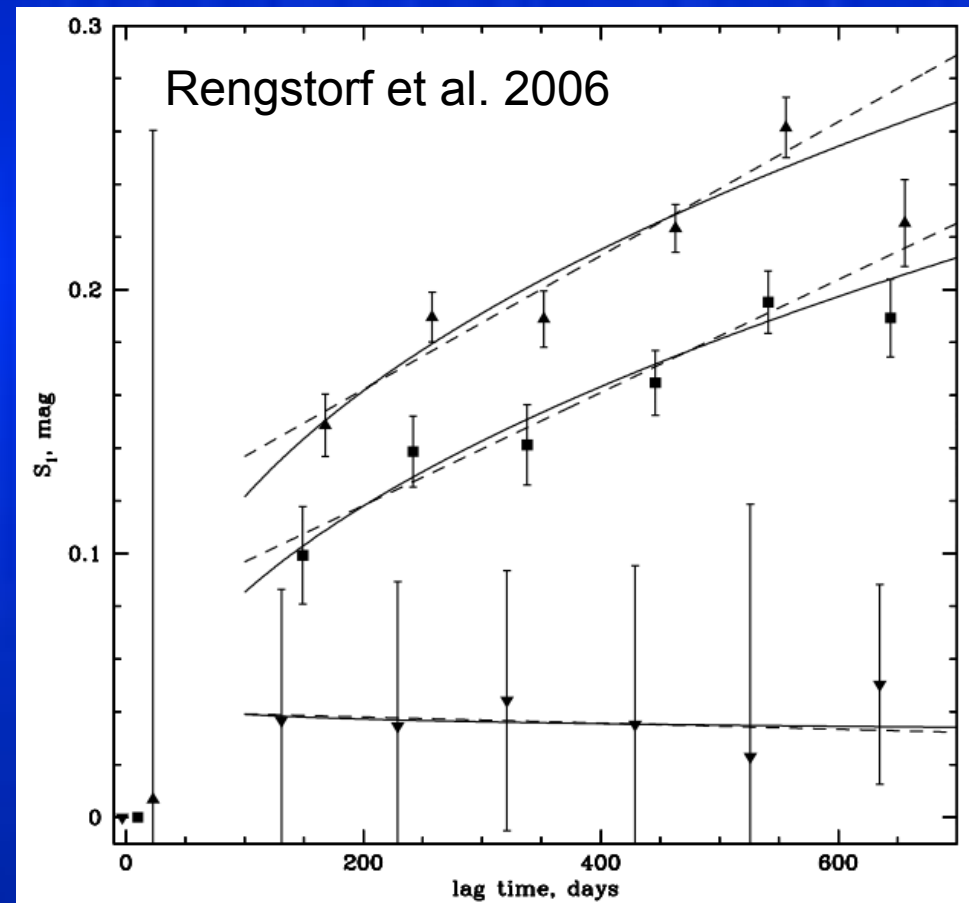
Structure Function(di Clemente et al. 1996) : 観測のTime Lag (rest-frame)とともに、クエーサーがどのような光度変動傾向を見せるのかを、異なる分類(ここではmini-BALとNAL)やフィルターに対し調べる。

$$S_1(\Delta\tau) = \sqrt{\frac{\pi}{2} \langle |\Delta m(\Delta\tau)| \rangle^2 - \langle \sigma_n^2 \rangle}$$

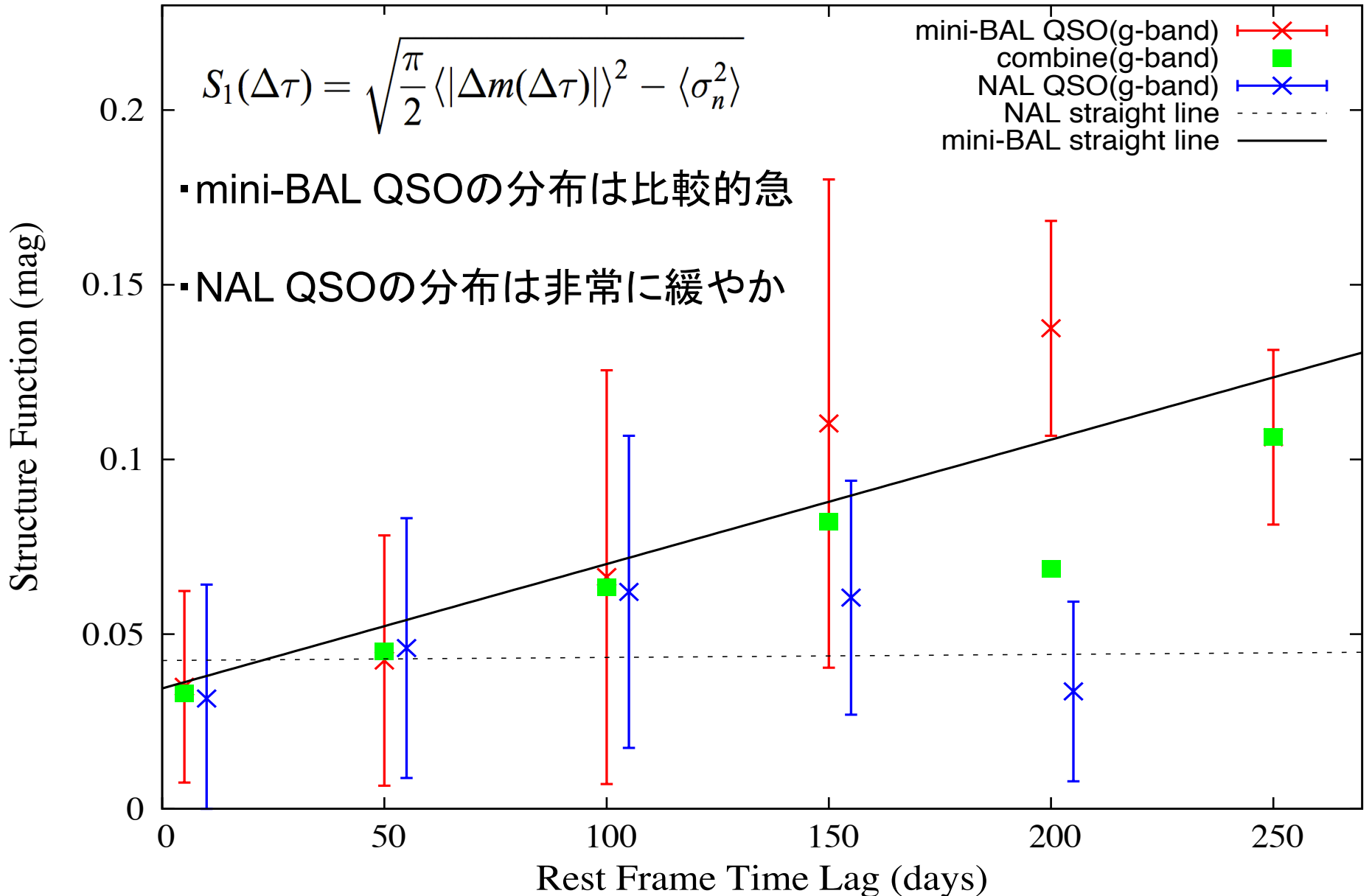
$\Delta m(\Delta\tau)$: 観測期間間隔 $\Delta\tau=t_2-t_1$ (rest-frame)における光度変動

σ_n^2 : t_1, t_2 における測光誤差の平方和

・今回はデータ点の多いg-bandについてstructure functionをプロットした。



STRUCTURE FUNCTION (g-band)



目次

- 導入・研究の目的
- 観測
- 結果(光度曲線とStructure Function)
- 電離状態変動シナリオの考察
- 展望・まとめ

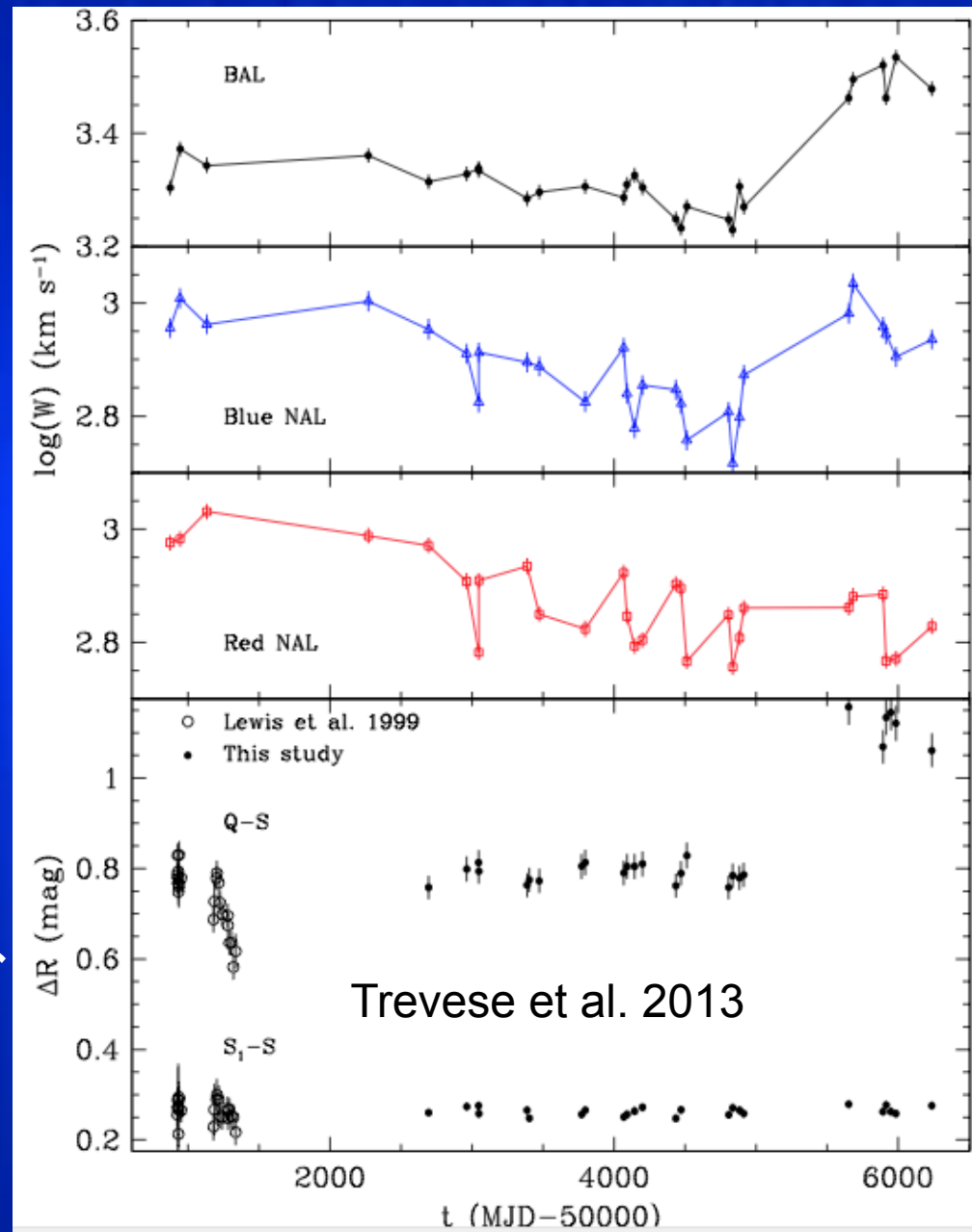


電離状態変動シナリオの考察

・BALクェーサーAPM
08279+5255($z=3.87$)での**0.3 mag** 程の光度変動(R band :
 $\lambda_c \sim 6000\text{\AA}$)と、BALの等価幅
の変動がリンクしている
(Trevese et al. 2013).

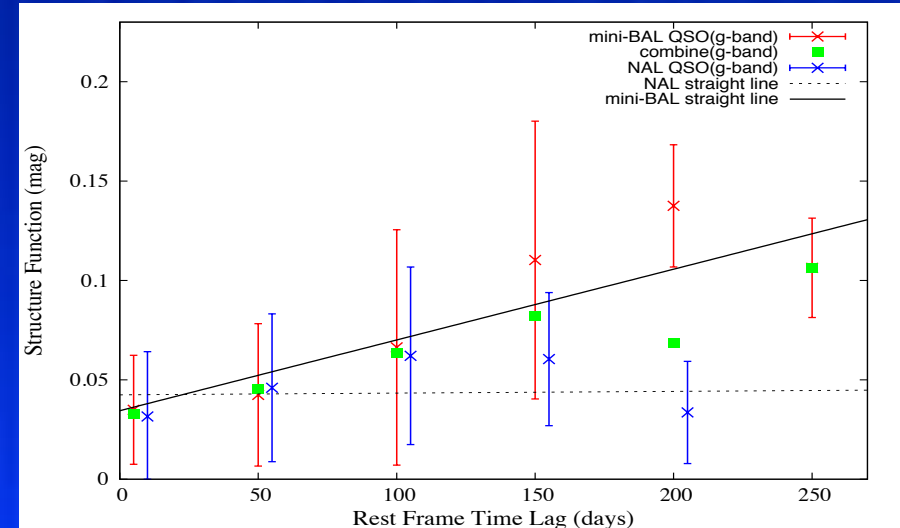
・我々のmini-BALクェーサー
($z=2-2.5$)も **0.3mag** 程度の光
度変動と、吸収線の変動がリンク
する可能性あり!?

・光度変動は典型的には数ヶ月、
数年でそれぞれ0.1、最大0.5等
級の変動を見せる(Webb &
Malkan 2000).



Structure Functionからの光度変動の考察

・分布の傾きの違いから、mini-BAL QSOとNAL QSOとで光度変動の振る舞いに差があるように思える。



・しかし、我々のNAL QSOは平均的に $z \sim 2.8$ で $V=16.2$ であるが、mini-BAL QSOは $z \sim 2.3$ で $V=16.9$ である。 $\rightarrow \Delta m(\Delta \tau)$ と L_{bol} の反相関関係(e.g. Cristiani et al. 1997; Vanden Berk et al. 2004)を反映しているだけかもしれない。

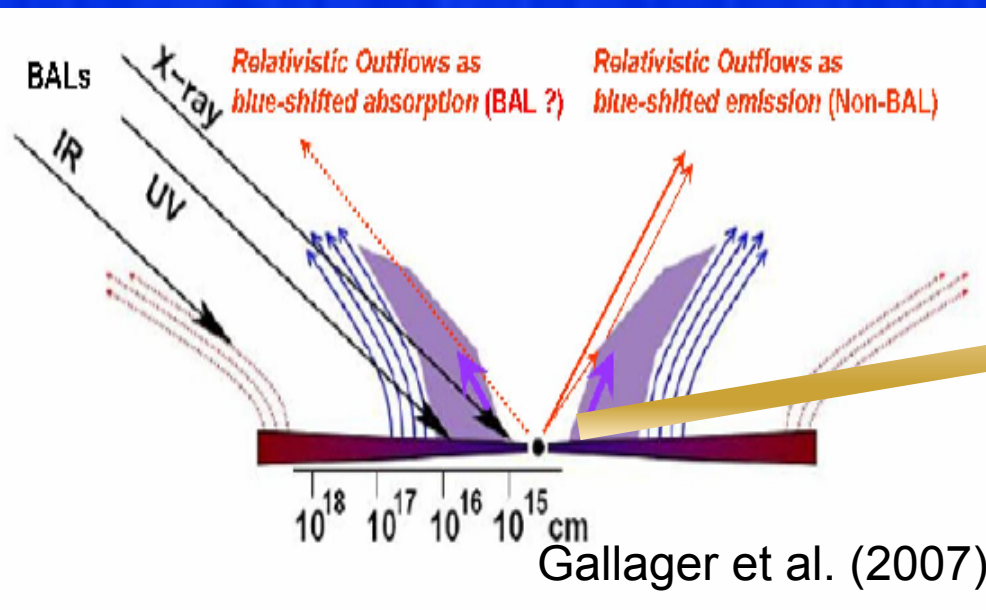
QSO name	RA ^a	Dec ^b	m_{opt} ^c	z_{em} ^d	z_{abs} ^e	v_{ej} ^f	variability ^g
mini-BAL Quasar							
HS1603+3820	16:04:55	+38:12:01	15.9	2.542	~ 2.43	~ 9500	Y
Q1157+014	11:59:45	+01:12:07	17.6	2.00	~ 1.97	~ 3000	Y
Q2343+125	23:46:28	+12:49:00	17.0	2.515	~ 2.24	~ 24400	Y
UM675	01:52:27	-20:01:06	17.1	2.15	~ 2.13	~ 1900	Y
NAL Quasar							
Q0450-1310	04:53:12	-13:05:46	16.5	2.300	2.2307	37037	?
Q0940-1050	09:42:53	-11:04:25	16.6	3.080	2.8347	18578	N
Q1009+2956	10:11:56	+29:41:41	16.0	2.644	2.2533	33879	N
Q1700+6416	17:01:01	+64:12:09	16.13	2.722	2.7125	767	N
Q1946+7658	19:44:55	+77:05:52	15.85	3.051	2.8928	11944	?

まとめ・展望

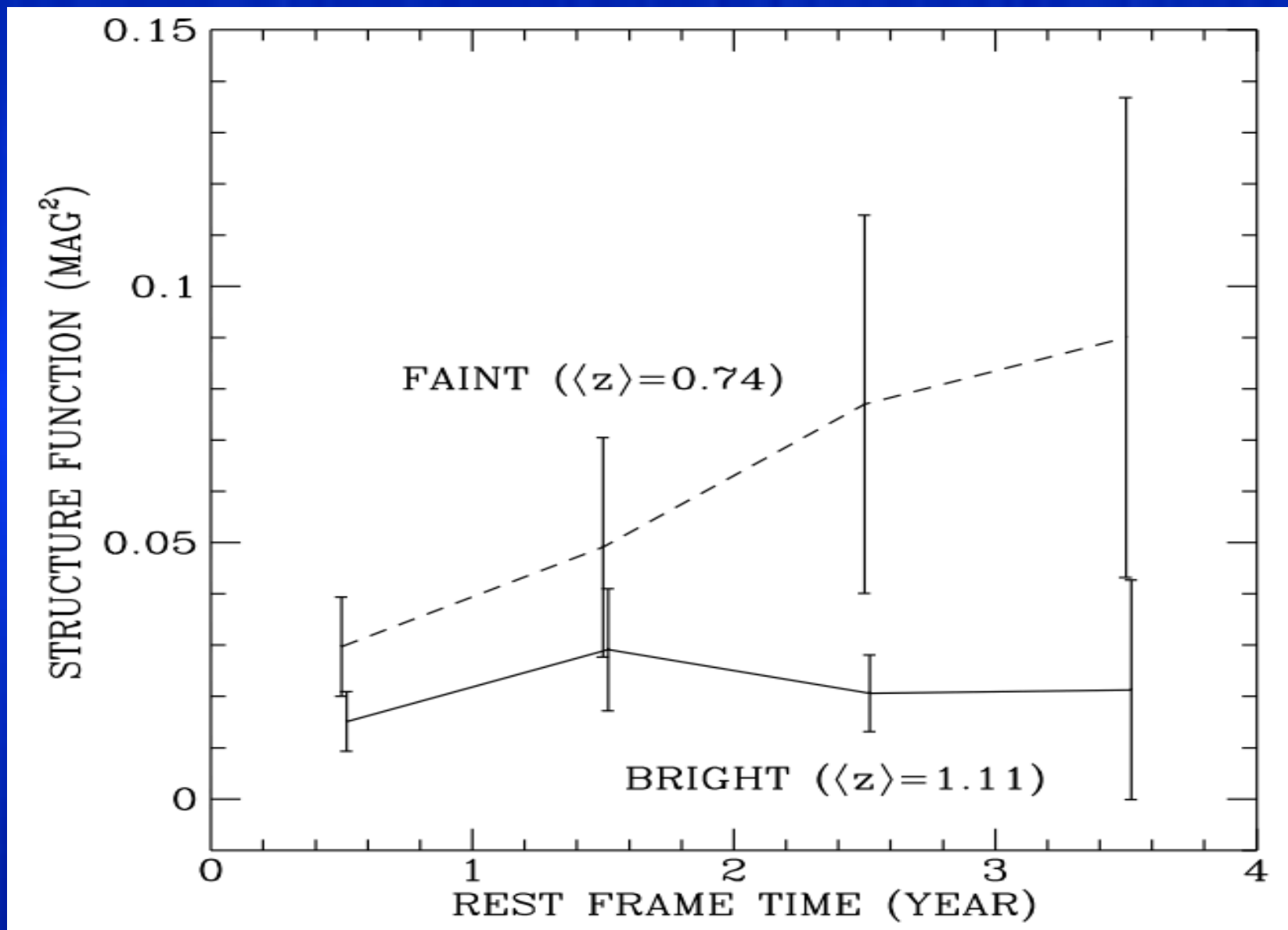
- ・ 2年以上に渡る観測の結果、mini-BALクェーサーHS1603+3820, UM675に比較的大きな光度変動が確認された(それぞれ、0.3 mag, 0.22 mag). **光度とアウトフローの変動がリンクしている可能性がある!**
- ・ Structure Function の解析の結果、mini-BAL, NALクェーサーとでフィット直線の傾きに差が出たが、 $\Delta m(\Delta \tau)$ と L_{bol} の反相関関係を反映しているだけかもしれない。
- ・ mini-BAL, NALクェーサーが今後さらに大きい光度変動及び、吸収線の変動を見せ、それらの変動がリンクする可能性がある。
→木曾/岡山でさらに観測を進める。
- ・ 電離状態変動シナリオには補助機構が存在する。補助機構の一つは、降着円盤内縁に存在する遮蔽ガス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うものである。シナリオ検証のため、X線観測天文衛星(XMM-Newton等)も使い、可視・X線同時モニター観測を将来的に、実施する計画である。

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)

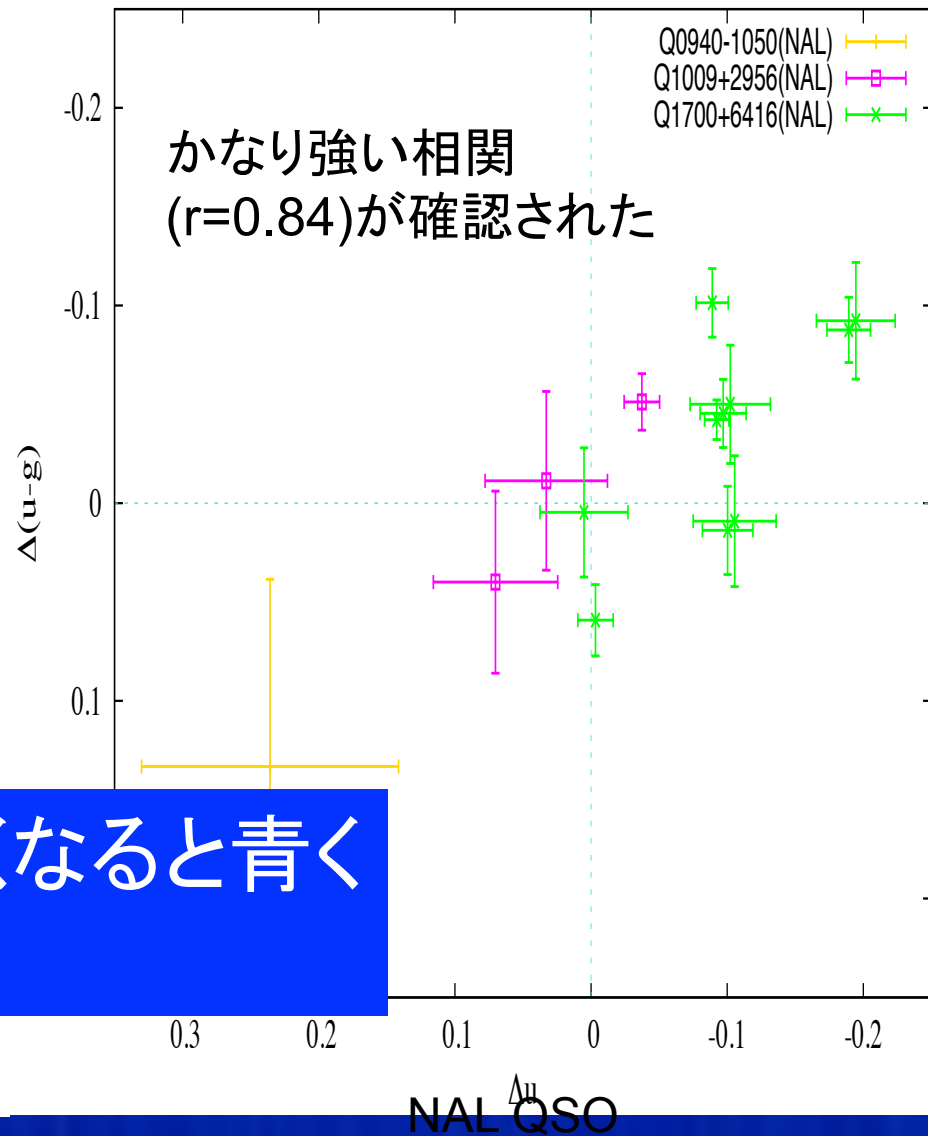
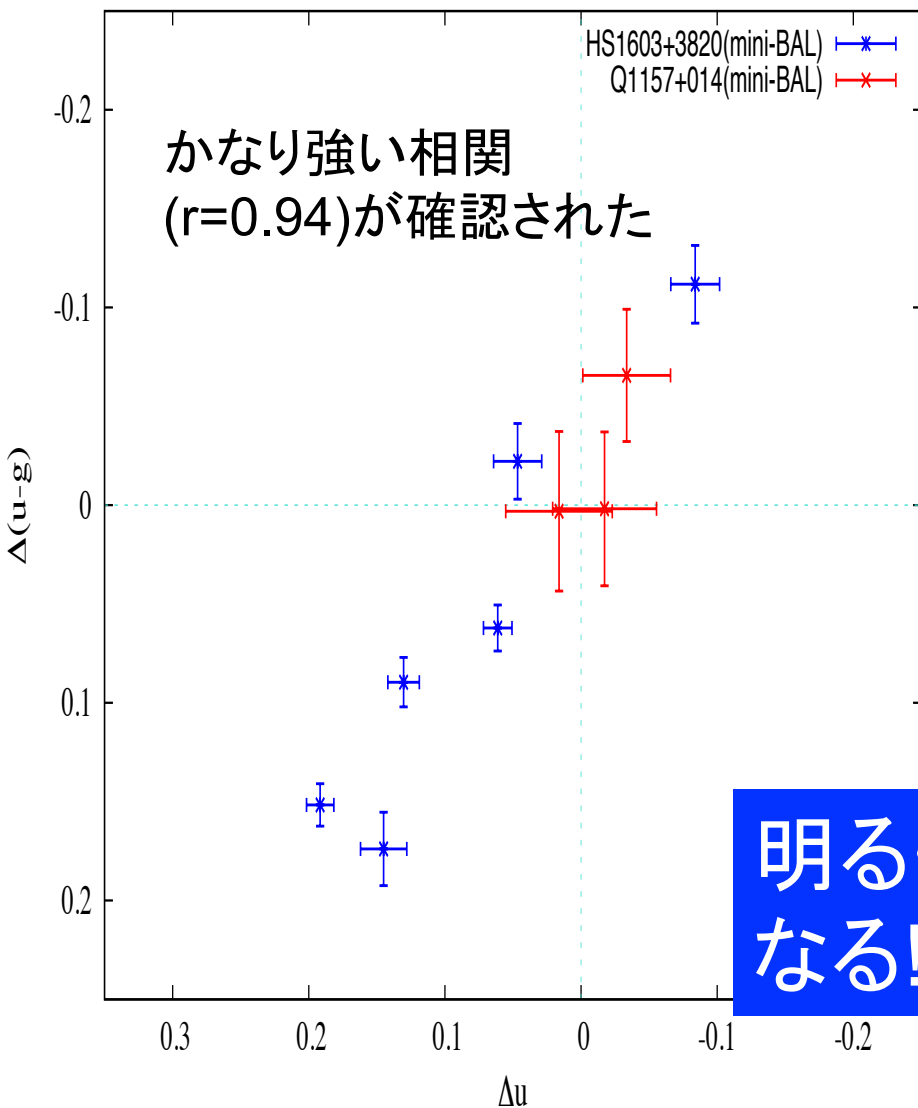


Cristiani et al. 1997に見られた光度変動と光度の反相関関係



色変動-光度変動分布

色：短波長側のフィルターの等級と長波長側のフィルターの等級の差



明るくなると青くなる!!

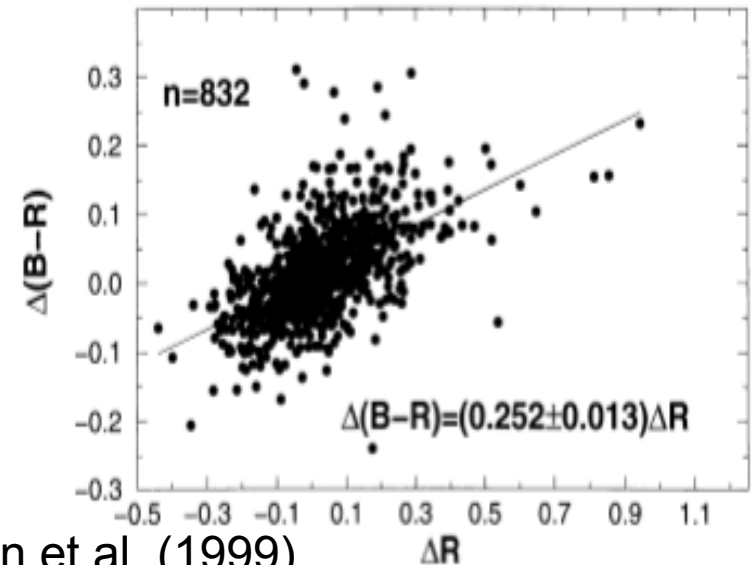
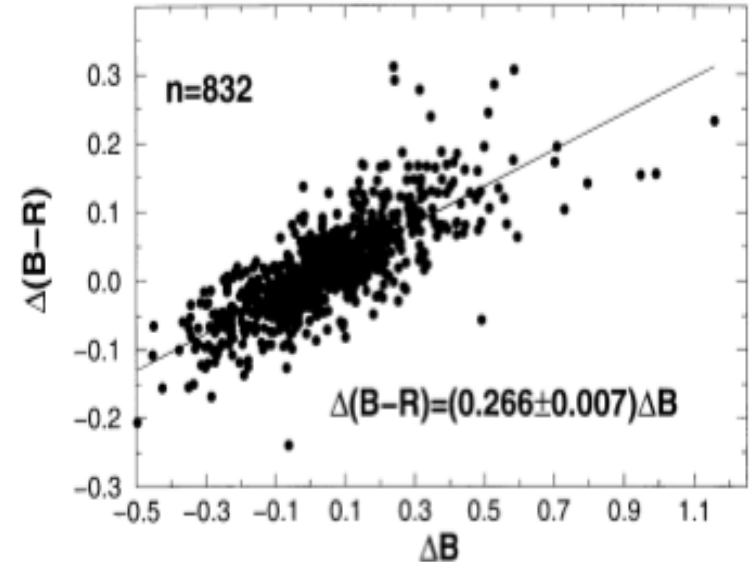
色変動-光度変動分布より分かったこと

Giveon et al. (1999)では半数のサンプルクェーサーに**明るくなると青くなる**傾向が確認されている。

本研究において上記の分布図を確認したところ、mini-BAL、NALクェーサー問わず**明るくなると青くなる**傾向が確認された



mini-BAL, NALクェーサーとで連続光放射の形態は変わらない可能性が高い(本研究で**初めて判明**)!



Giveon et al. (1999)

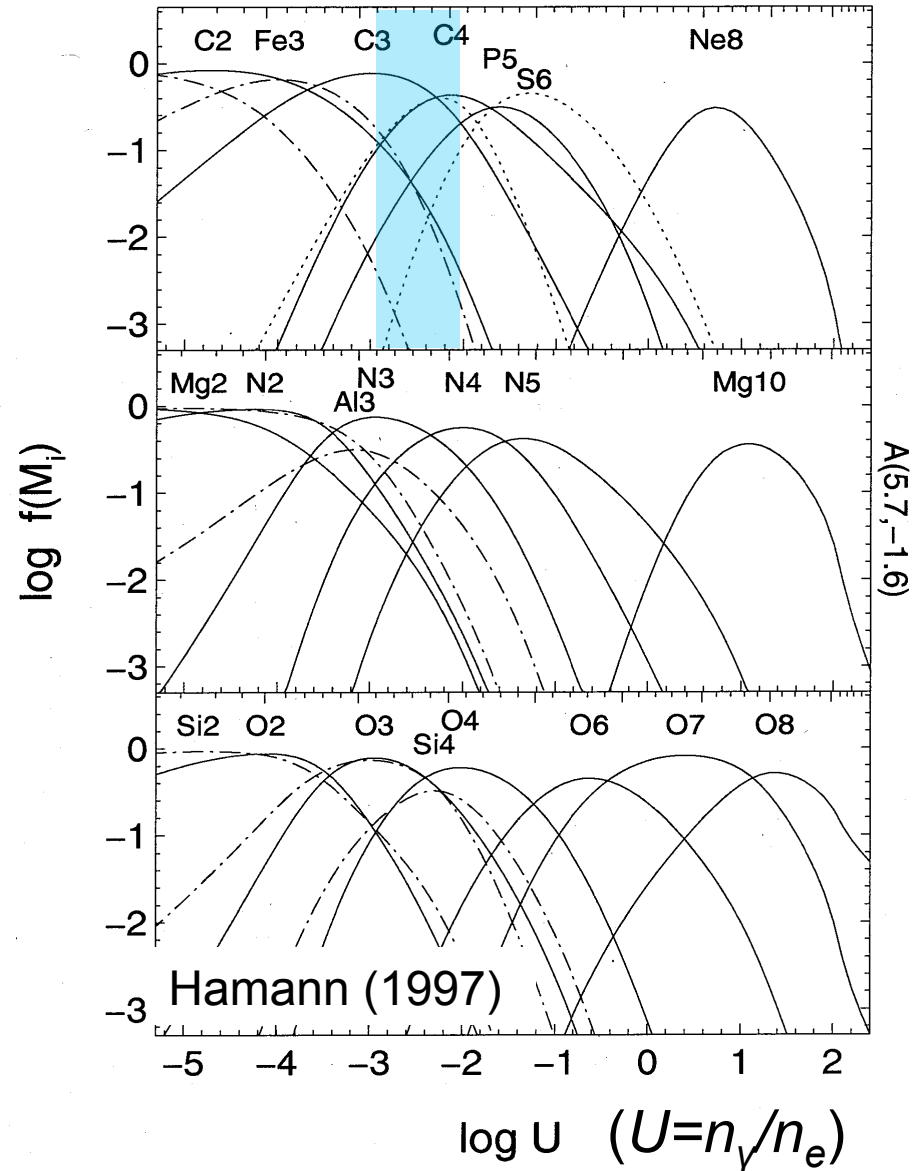
電離状態変動シナリオの検証

本研究におけるクェーサーの光度変動の最大値は0.2等級程である。



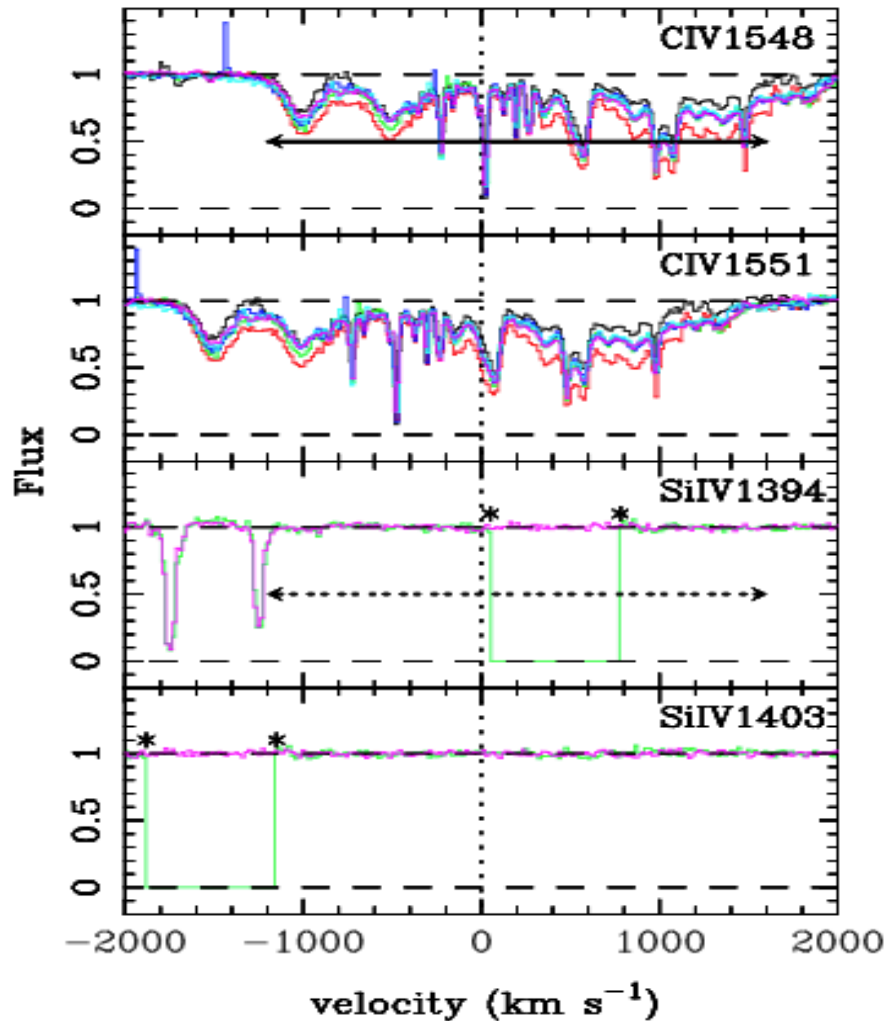
しかし、 $CIII \rightleftharpoons CIV$ の過程には1.5等級程の光度変動が必要 ($\Delta \log U \sim 0.6$)

つまり、典型的なmini-BALの変動のタイムスケール(数週間から数ヶ月)を仮定した場合、**電離状態変動シナリオを支持する可能性は低い!!**

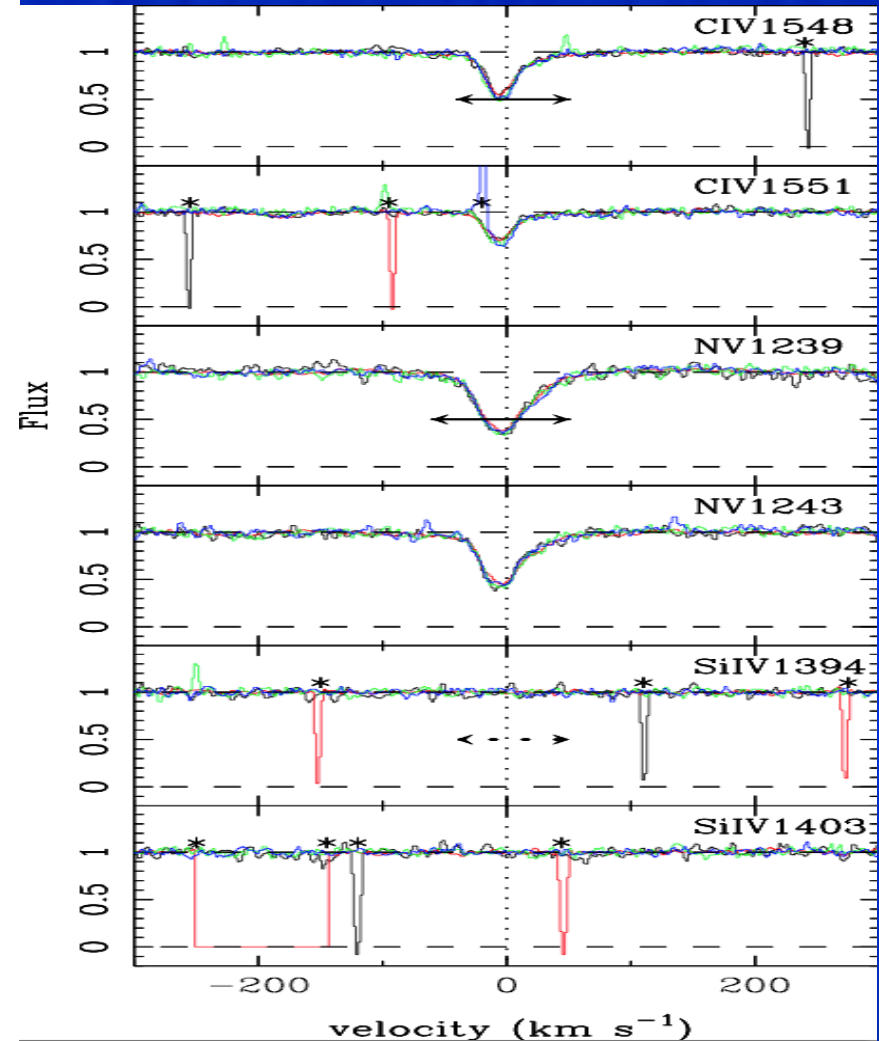


MINI-BAL,NALの吸収線スペクトル

HS1603_z2.43



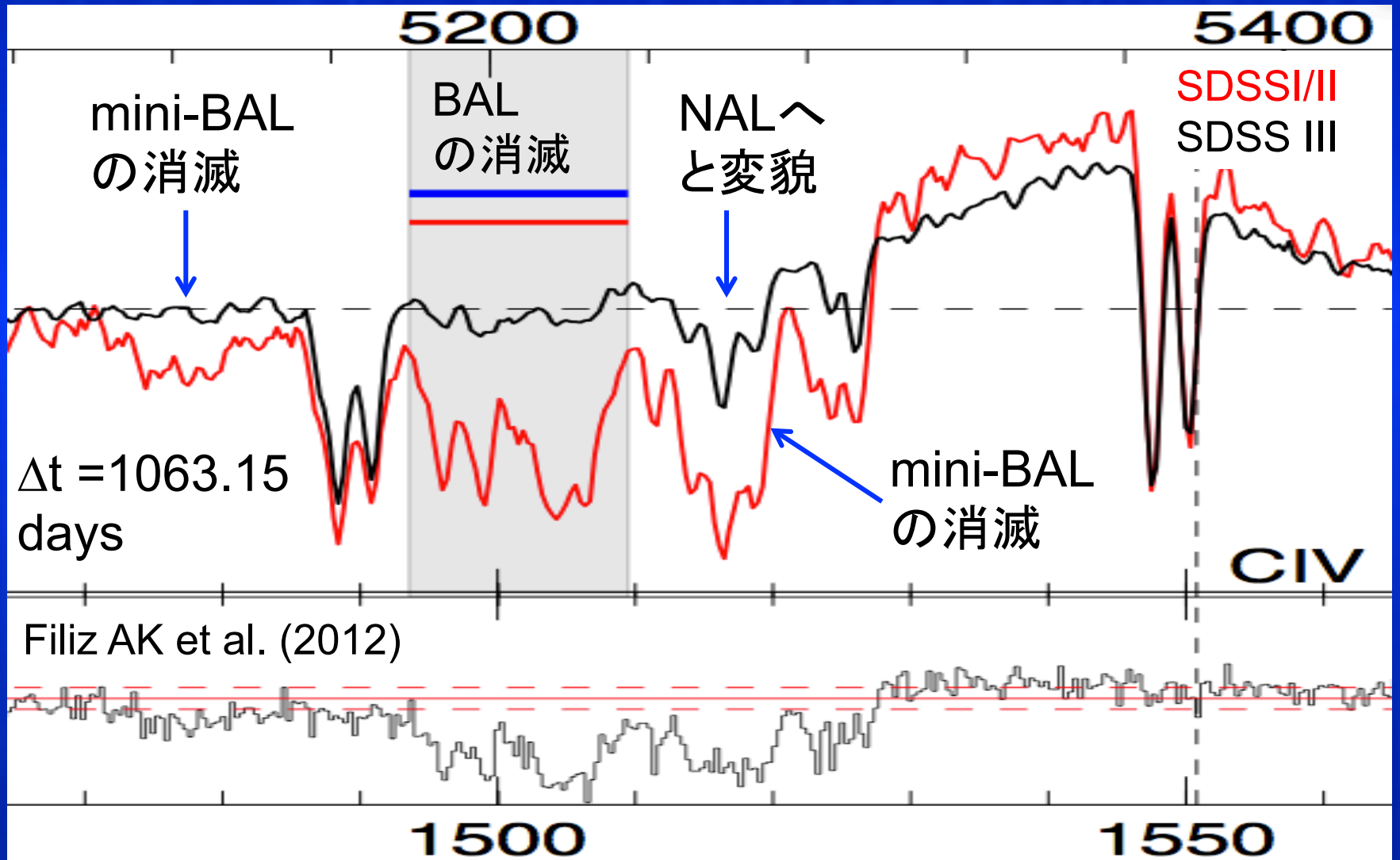
Q1700+6416



(左)mini-BALクェーサーHS1603と(右)Q1700の吸収線スペクトル(Misawa et al. 2014, submitted). mini-BALをもつサンプルには明らかな変動が確認されている。

吸収線の消滅の確認されたクェーサー

・SDSS J134544.55+002810.7 ($z_e = 2.468$, $V = 18.65$, $\log L_{\text{bol}} = 47.05$,
 $\log M_{\text{BH}} = 9.39$)



クエーサーの構造の概念図

約70%のクエーサーでアウトフローガスが観測される
(Hamman et al. 2012).

