

# KWFCとKOOLSを用いたアウトフローガスの 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

共同研究者：三澤透, 諸隈智貴, 小山田涼香, 岡本理奈, 高橋一馬

# 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



# クェーサーのアウトフローガスの重要性

- ・ 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、金属を母銀河に放出する ⇒ 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).

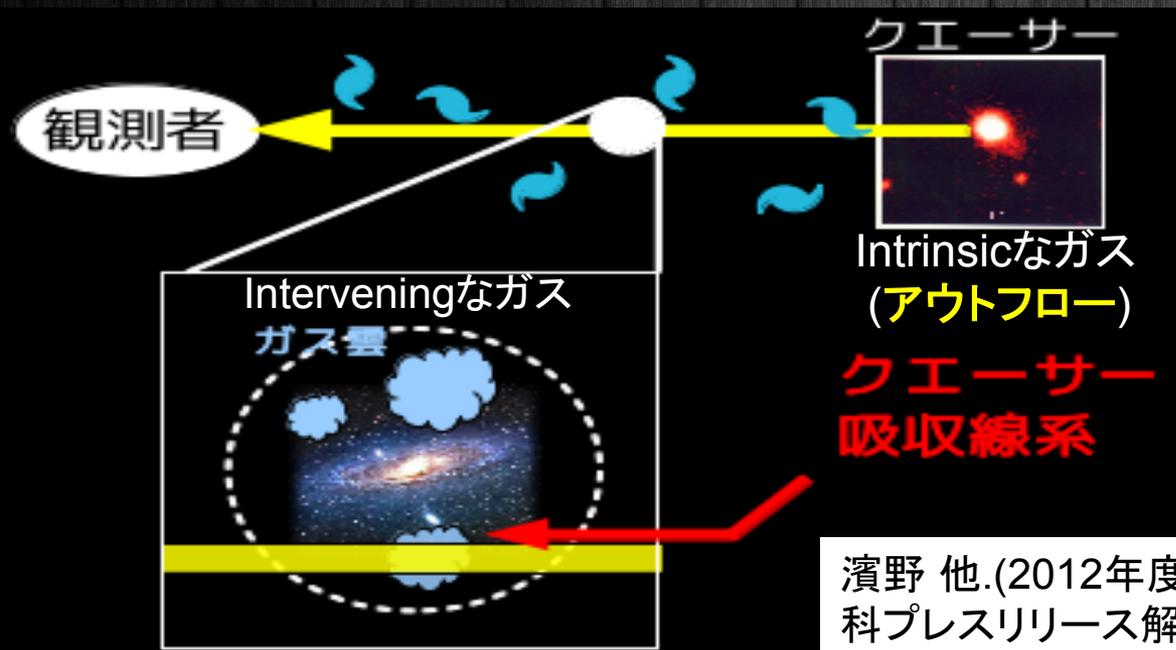
Title : A journey to "black hole winds"

提供者 : Nahum Arav & Dan Zukowski

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.

# クエーサーのアウトフローガスの重要性

- ・ 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、クエ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観測

クエーサーを背景光源として用いることで、アウトフローガスに由来する(クエーサーにintrinsicな)吸収線を調べる。

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

様々な幅を持つ吸収線を示す!

吸収線を作る!

Chartas et al. (2009)

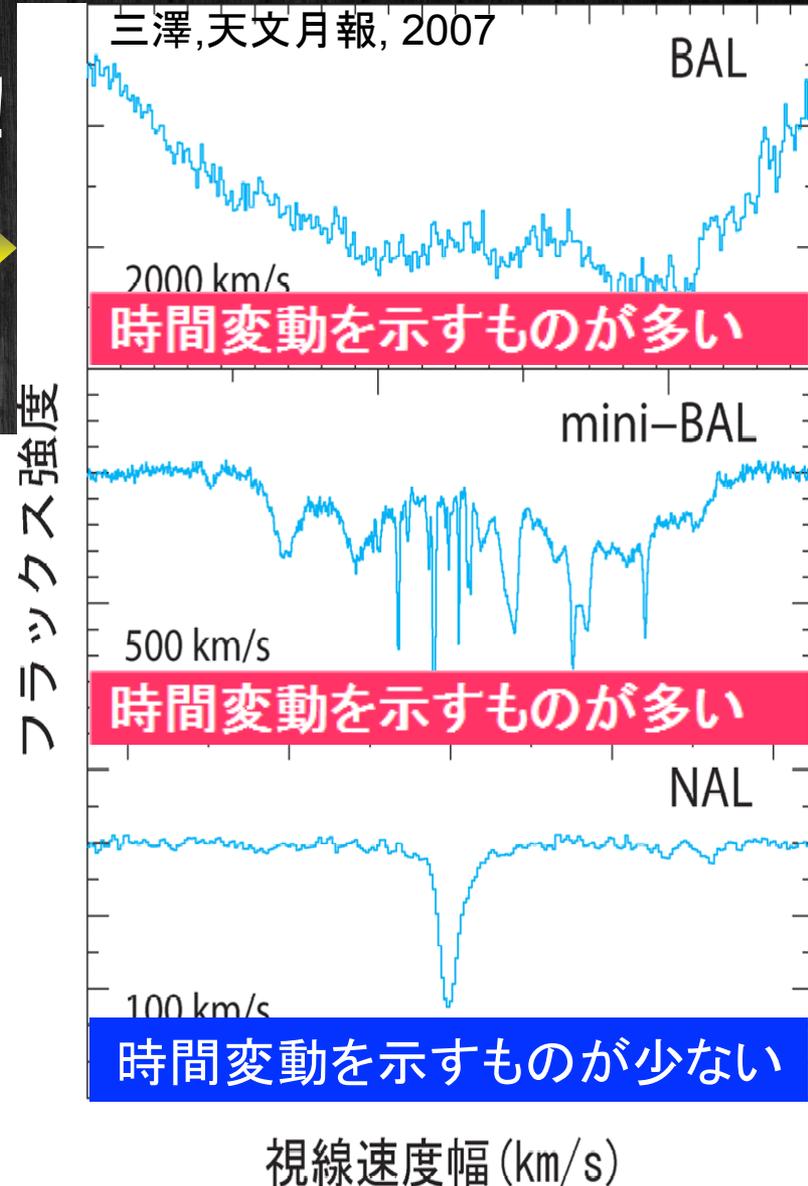
アウトフロー

観測者

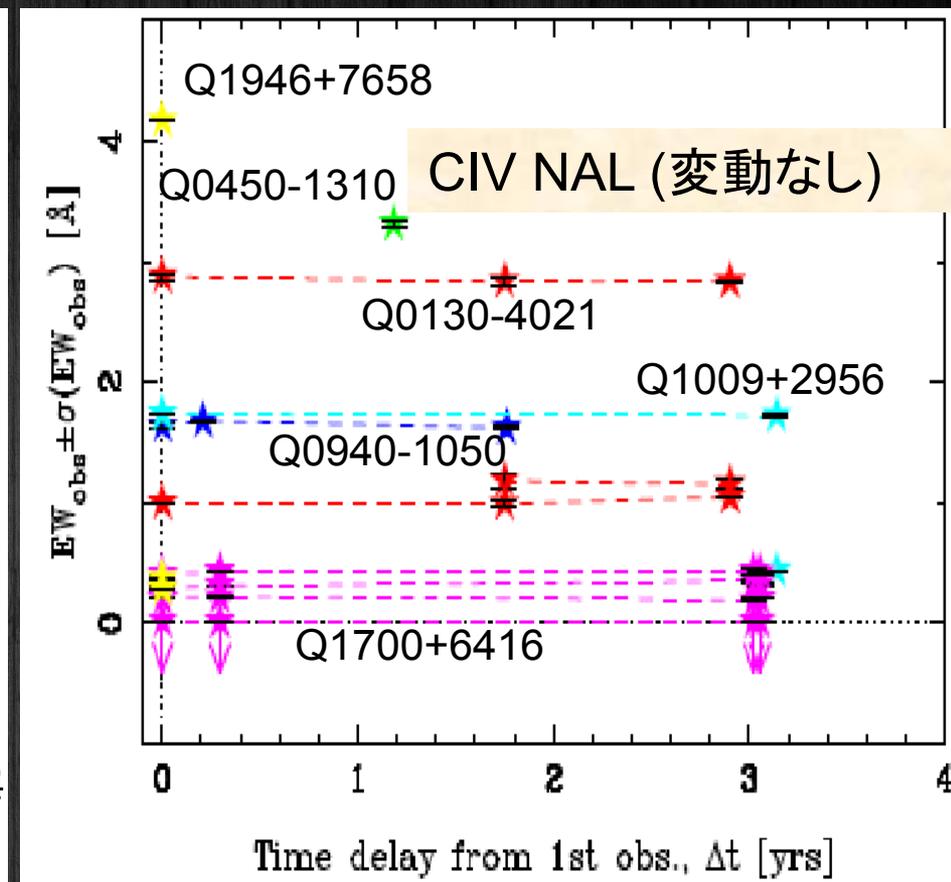
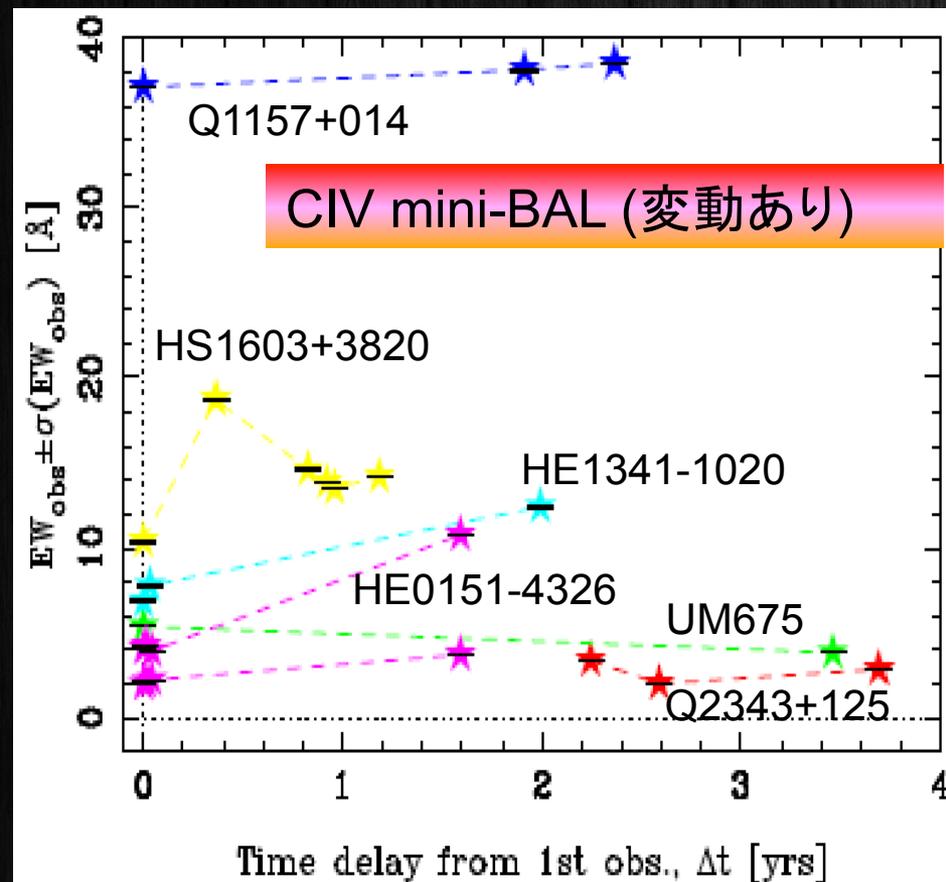
lines of sight  
of sight

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 (Misawa et al. 2007)



(2)クエーサー近傍のガスによる散乱光の増減

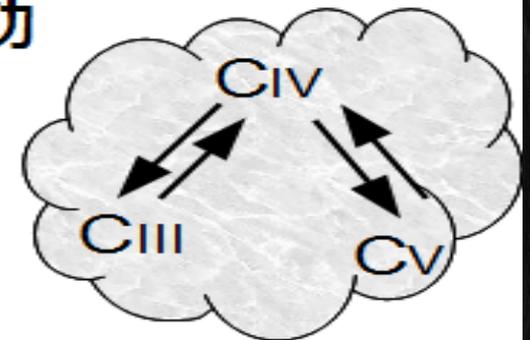


可能性は低い (Misawa et al. 2010)

⇒吸収線が変動!

(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

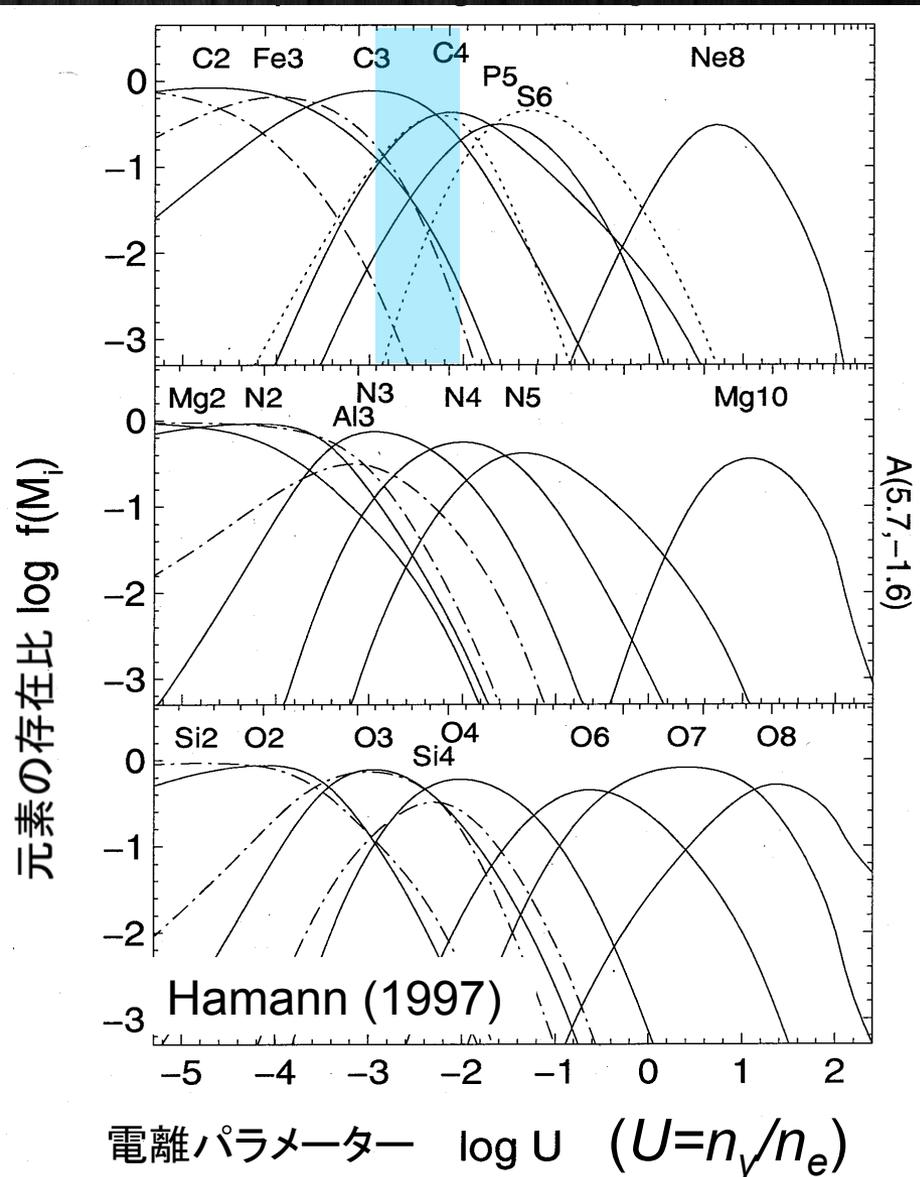


# 電離状態変動シナリオと研究目的

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クエーサー(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、クエーサーの光度と吸収線の変動が同期するかを確かめる.

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



188cm望遠鏡



木曾105cmシュミット望遠鏡

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	岡山での達成度 (%)	木曾での達成度 (%)
2012/ 4		100
2012/ 5		100
2012/ 8		40
2012/ 9	50	50
2012/ 10		70
2012/ 11		80
2012 / 12	60	
2013/ 1		40
2013/ 2		50
2013/ 3		90
2013/ 5		80
2013/ 9	50	100
2013/ 12	30	25
2014/ 3	0	0
2014/ 6	90	50

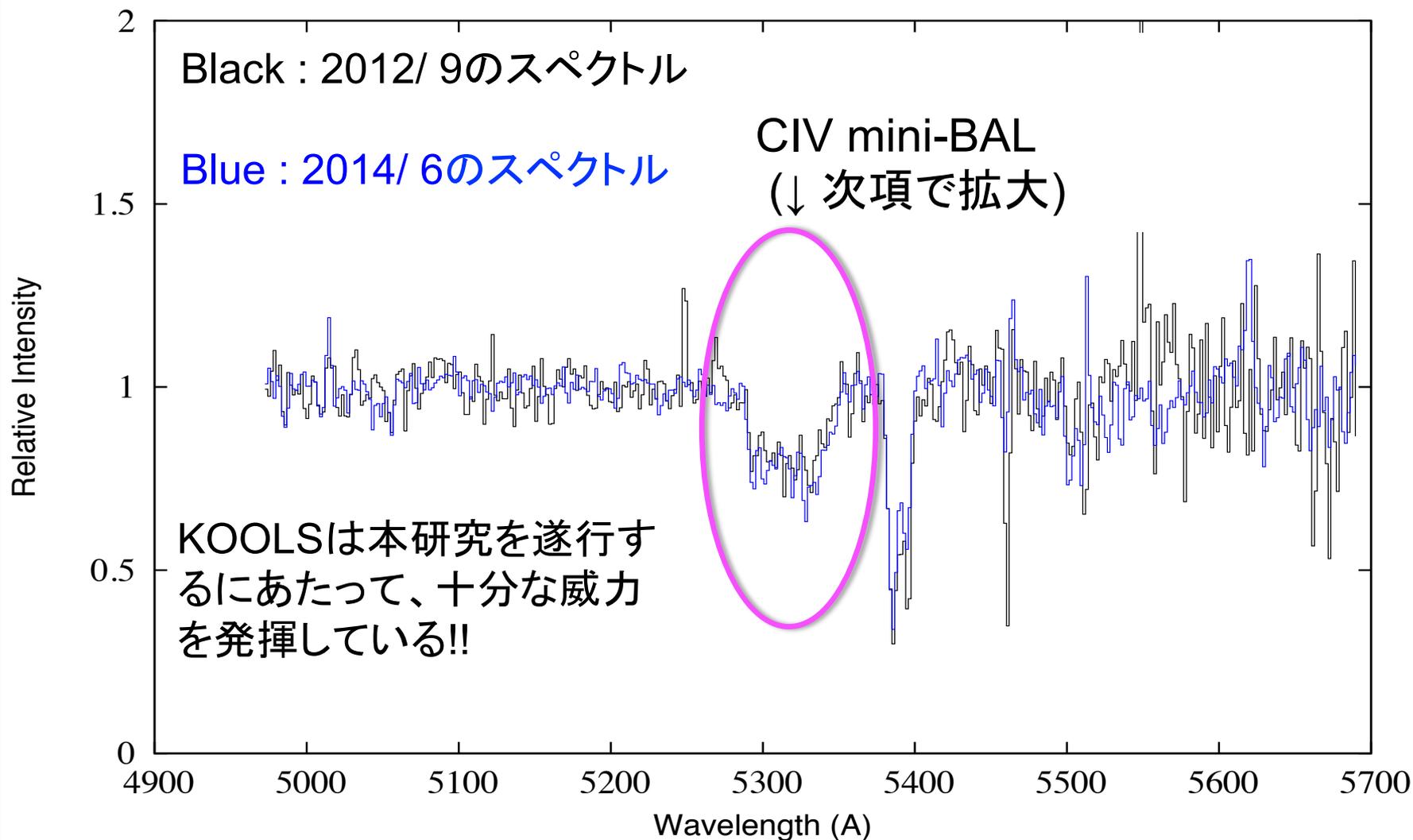
# 目次

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



# mini-BALクェーサーHS1603+3820の規格化したスペクトル

CIV mini-BAL of Quasar HS1603+3820

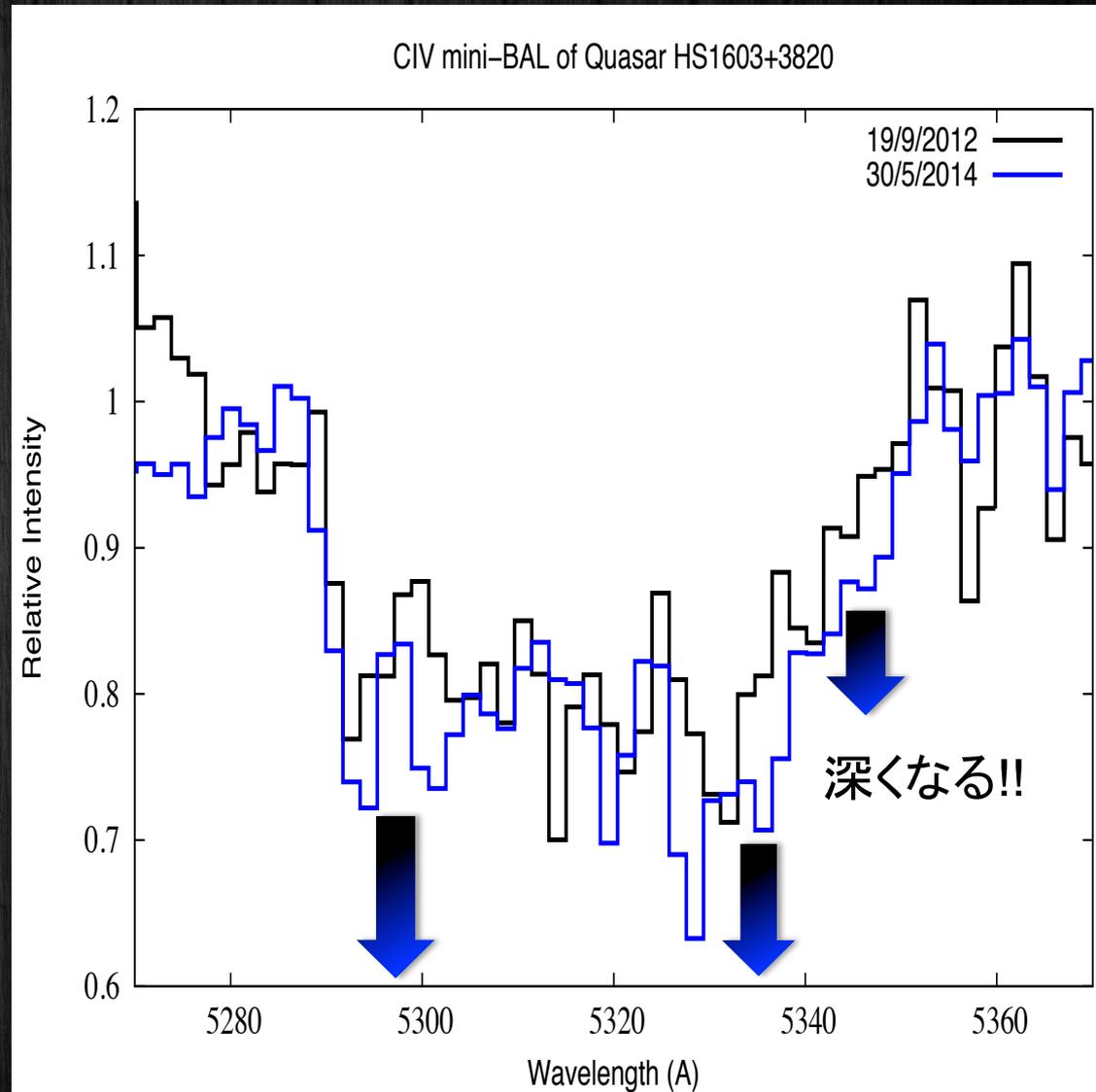


# HS1603+3820のCIV mini-BAL

・右図はmini-BALクェーサー  
—HS1603( $z=2.54$ )のCIV  
mini-BAL

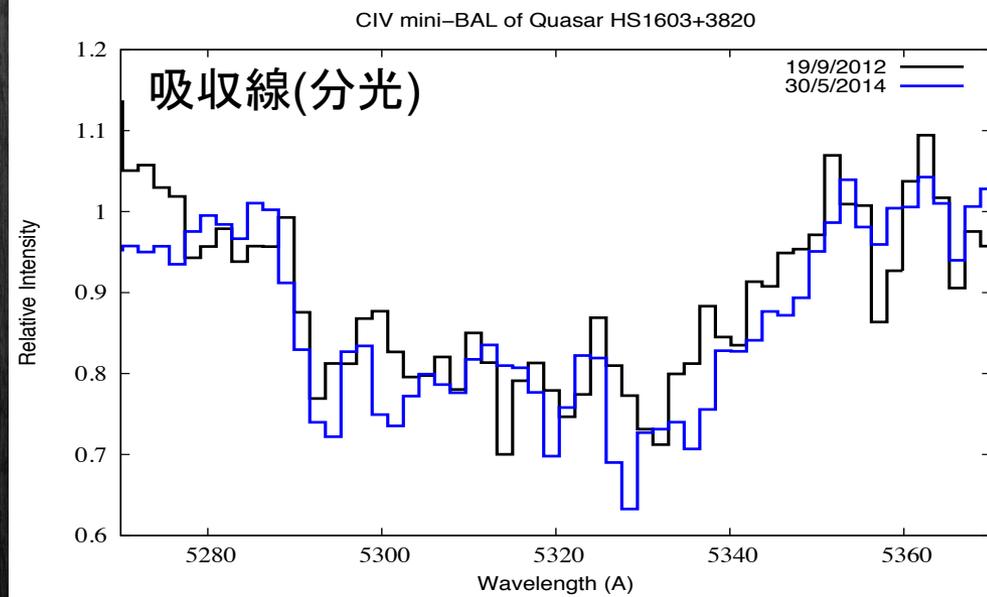
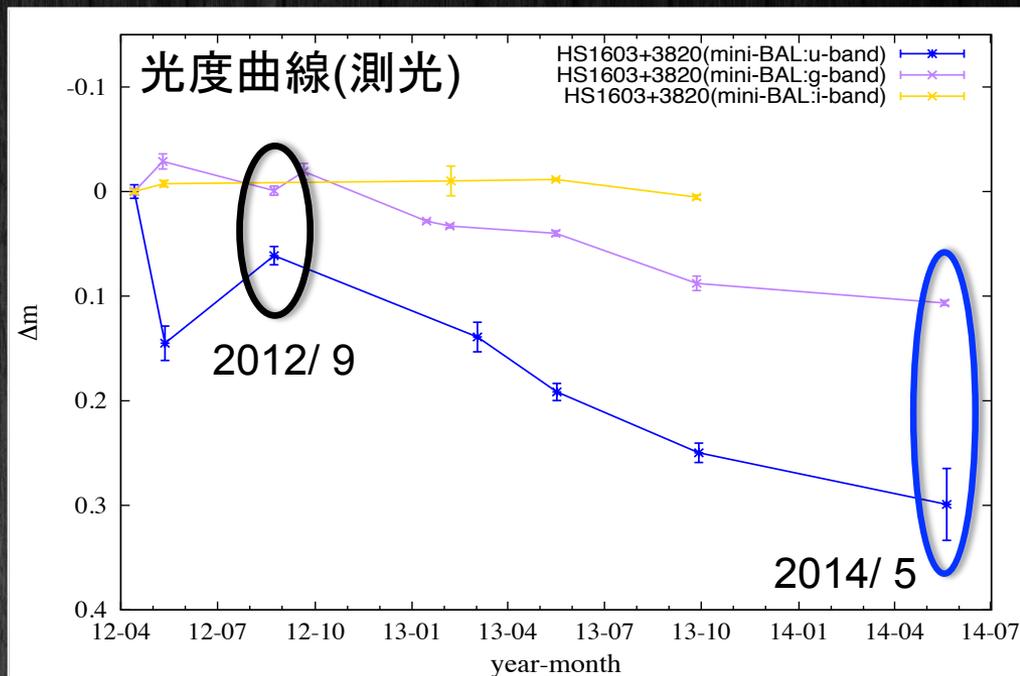
・観測のインターバルは1年  
9ヶ月(クェーサーの静止系  
で**約半年**)

・この間mini-BALが全体的  
に**深く変動している**のが確  
認出来る(黒: 2012 /9, 青:  
2014 /6)!



# HS1603の光度変動とCIV mini-BALの変動の結果

- ・右図上段はHS1603のu,g,i-bandでの光度曲線を示す。
- ・2012年9月から2014年5月の間にクェーサーは暗くなり続ける(最大0.25mag程の光度変動: u-band). またこの間、mini-BALは深くなっている。
- ・上記の期間で、クェーサーの光度変動と吸収線の変動がリンクしている可能性がある!
- ・ただし、吸収線に関してはデータが2つの期間しかないためしかないため、今後も観測が必要。



# 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



# アウトフローの電離状態変動シナリオの考察

・クエーサーが暗くなると吸収線が深くなる → **再結合(CV→CIV)**で吸収線が深く変動したと考えられる。

・ CIVのガス密度  $n_e$  の下限値を

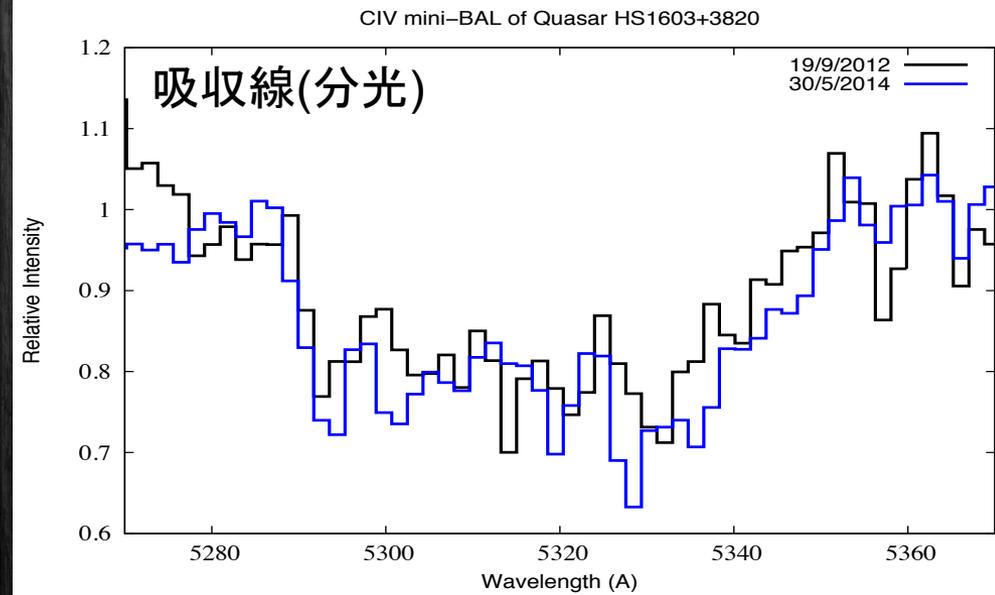
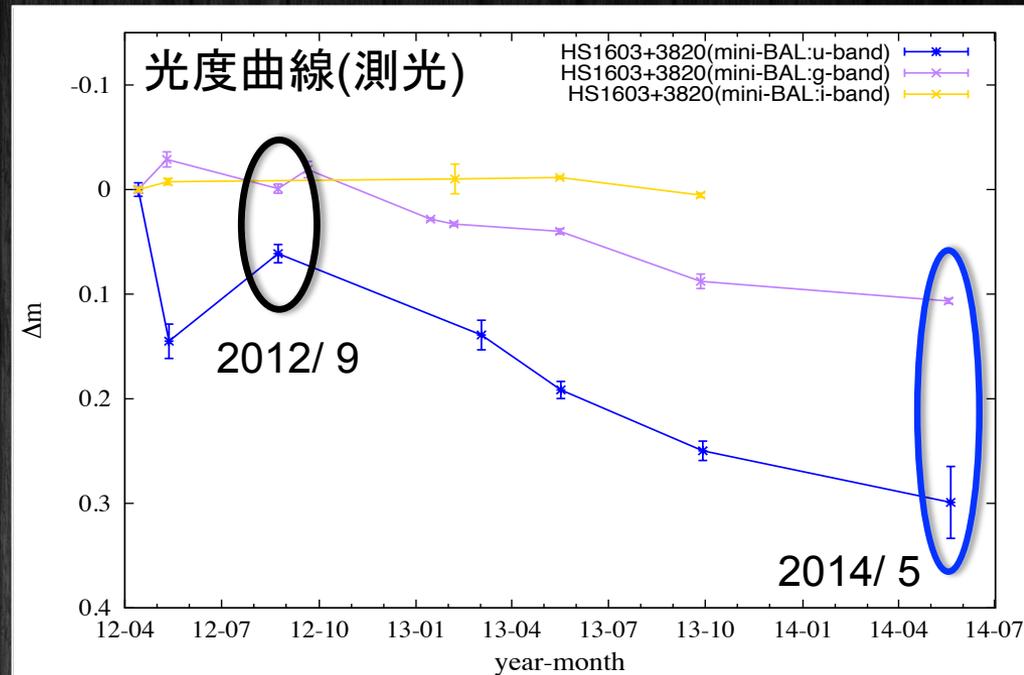
$$n_e \geq (\alpha_r t_{var})^{-1}$$

により評価すると( $\alpha = 2.8 \times 10^{-12}$  cm<sup>3</sup>/s : 再結合係数,  $t_{var}$  : 吸収線の変動時間の上限値)、

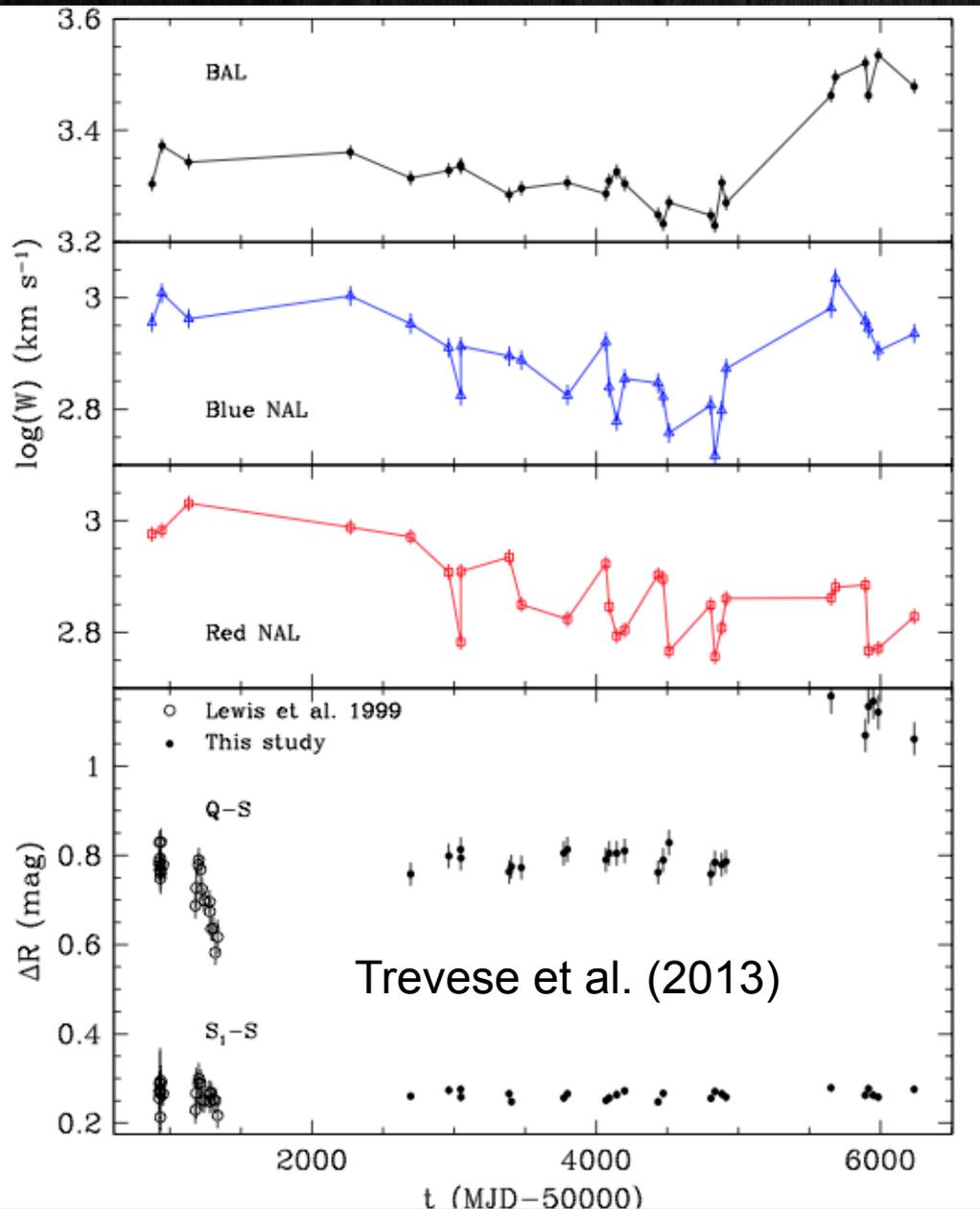
$n_e > 2.3 \times 10^4$  /cm<sup>3</sup>となる。

・しかし、観測期間の間隔が大きいため強い制限がかけられない。

※Misawa et al. (2007)の値と5倍程異なる( $n_e > 1 \times 10^5$  /cm<sup>3</sup>)。



# 電離状態変動シナリオを支持する先行研究の例



・Trevese et al. (2013)では、  
クェーサー APM 08279+5255 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ことが確認され  
た(電離状態変動シナリオを支持す  
る可能性の高い結果)!!

・我々の mini-BAL クェーサー  
( $z=2-2.5$ )も上記の結果と同程度の  
光度変動と、吸収線の変動がリン  
クしている可能性あり!?

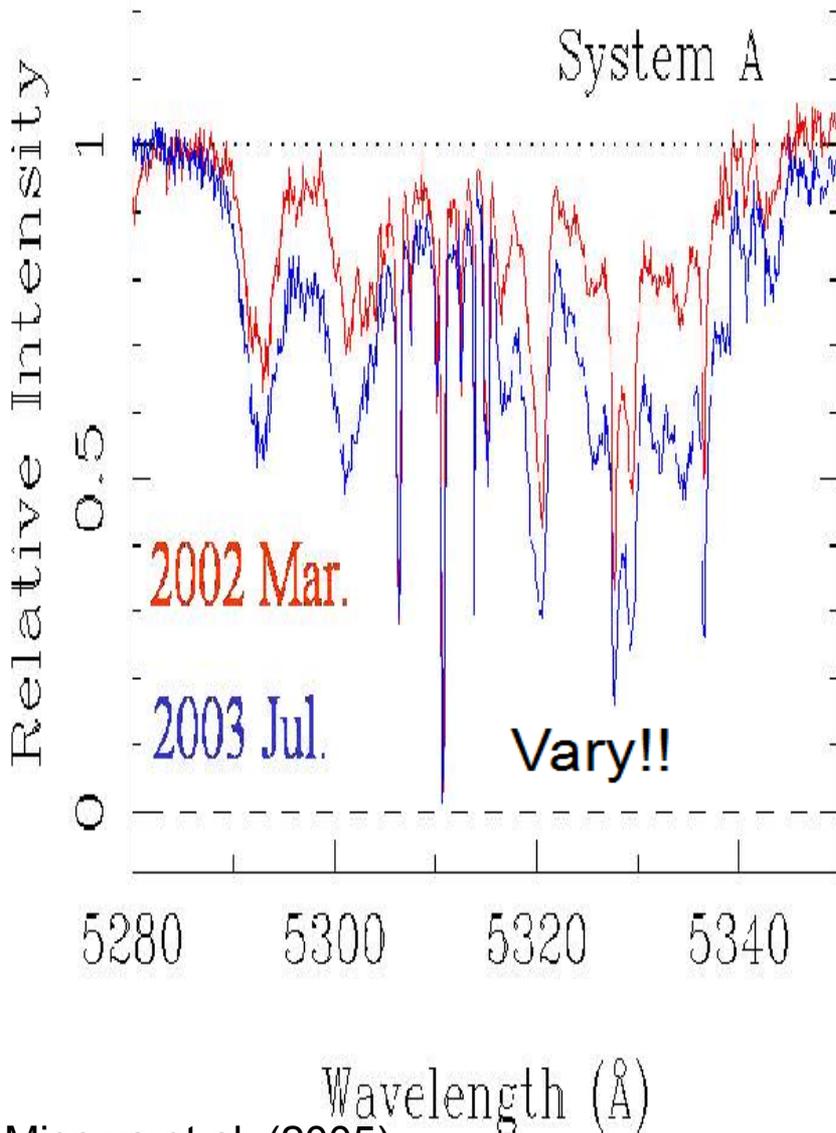
・光度変動は典型的には数ヶ月、  
数年でそれぞれ0.1、最大0.5等級  
の変動を見せる(Webb & Malkan  
2000). → 今後の観測に期待!!

# まとめ・展望

- ・KOOLSは本研究に対応しうる、十分に高い性能を持つことが確認された。また、電離状態変動シナリオの正当性を評価するための十分な分光データの数がかせげていない。→木曾/岡山でさらに観測を進める必要がある。
- ・2年以上に渡る測光・分光同時モニター観測の結果、mini-BALクェーサーHS1603+3820は暗くなり続け、吸収線が深くなった。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！
- ・分光の観測及び解析を進め、等価幅-時間のプロットを作成する。
- ・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。

# 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**

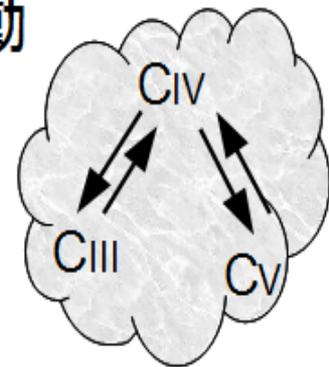
背景光源

(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**

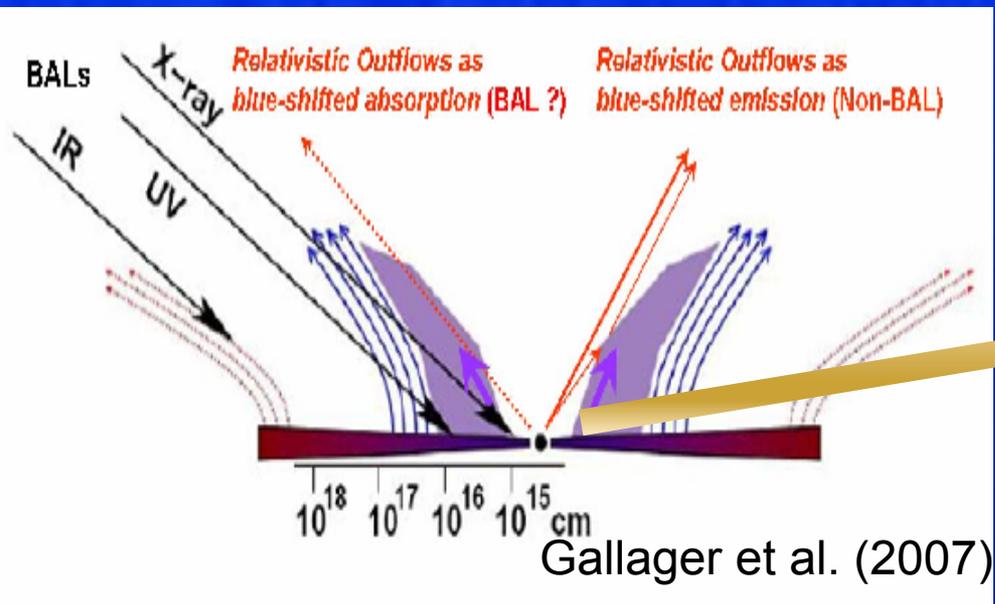
(3)吸収ガスの電離状態の変動

アウトフローの電離状態  
が変化する

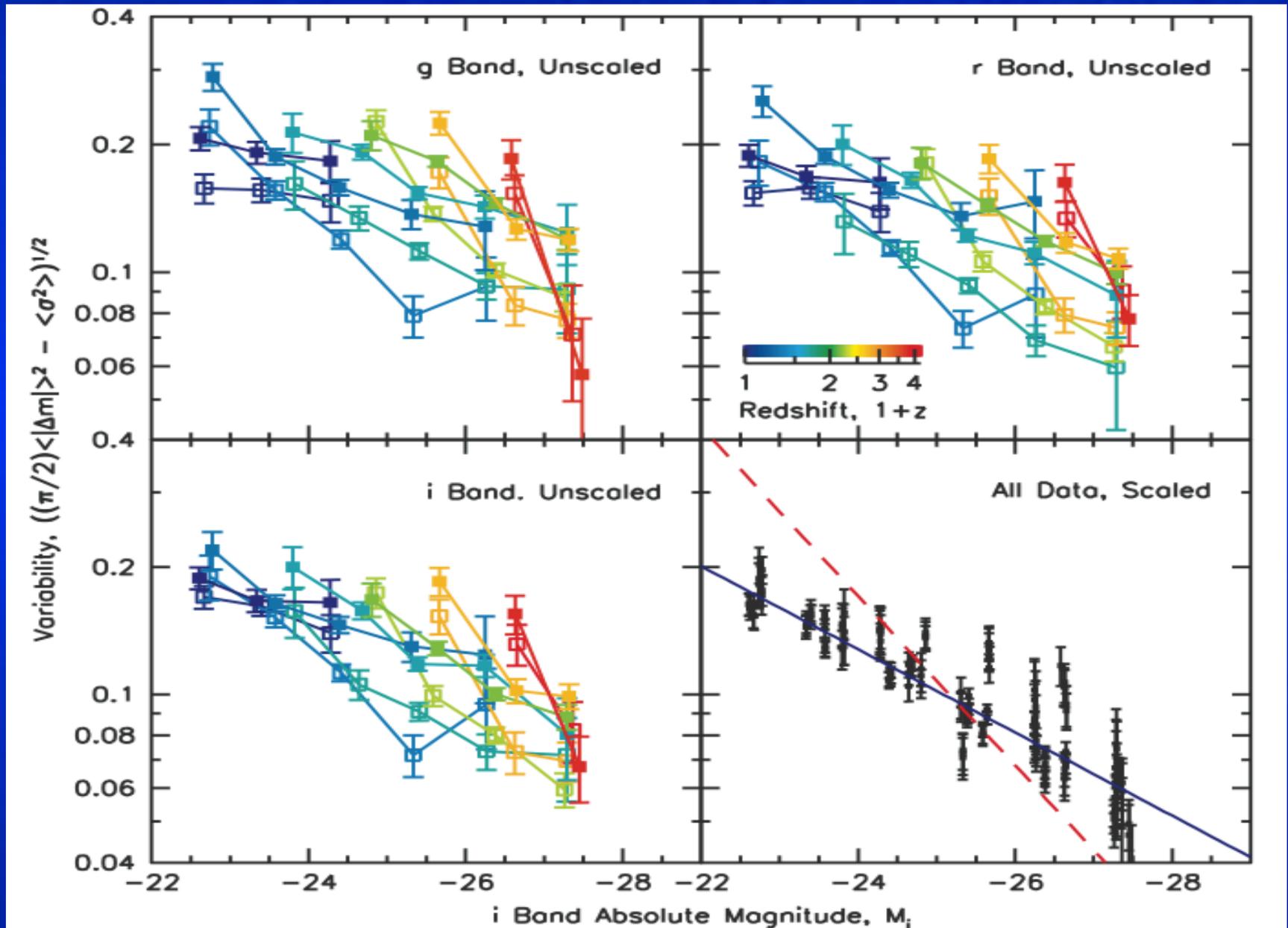


# 電離状態変動シナリオの補助機構の考察

- ・ 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)



# Vanden Berk et al. 2004に見られた光度変動と光度の反相関関係



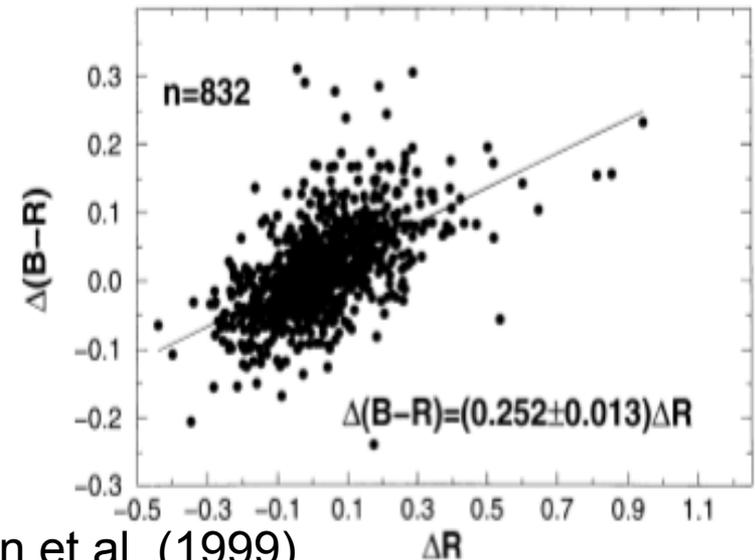
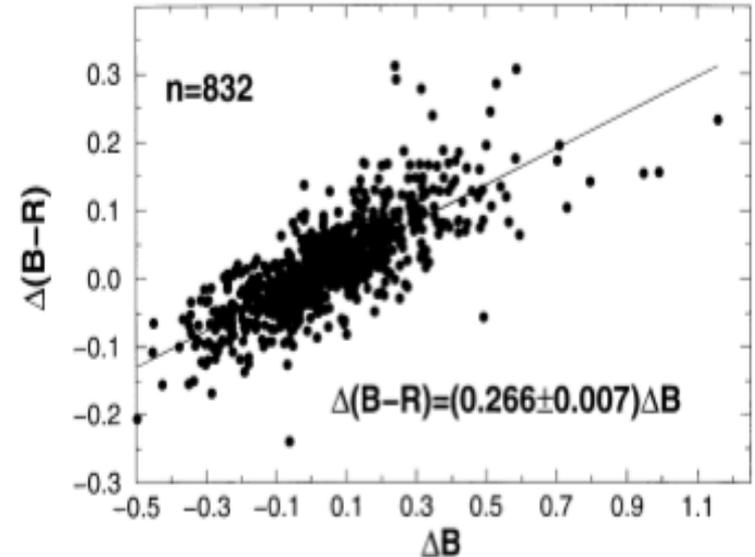
## 色変動-光度変動分布より分かったこと

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)

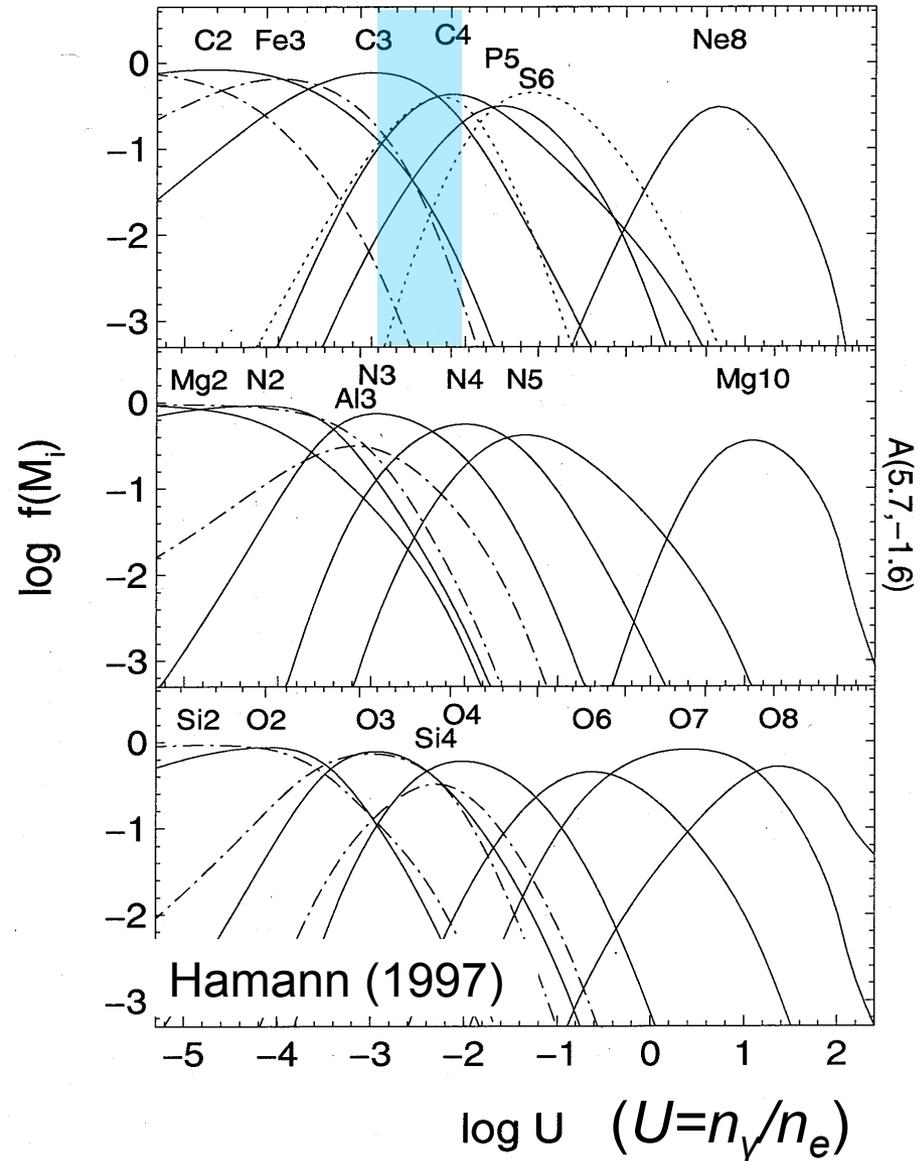
# 電離状態変動シナリオの検証

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!!**



# 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).

