

# クエーサーからの放出ガスに見られる 時間変動の起源



三澤 透<sup>1</sup>, 諸隈 智貴<sup>2</sup>, 堀内 貴史<sup>1</sup>, 岡本 理奈<sup>1</sup>, 小山田 涼香<sup>1</sup>  
(1: 信州大学, 2: 東京大学)

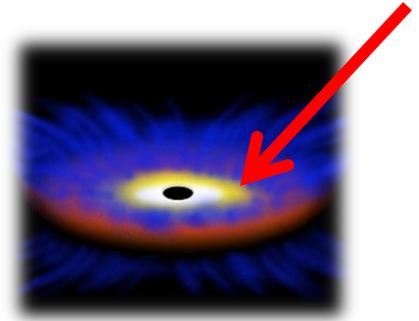
# 吸収線を用いたクェーサー内部の研究

## 輝線:

広輝線領域 (BLR)・狭輝線領域 (NLR)・近傍の星からの寄与がある  
→ 光源に不定性が残る

## 吸収線:

視線上に存在する**アウトフローガス(放出ガス)**の情報  
のみを提供 → 他者の影響を受けにくい



## 【放出ガスの理解は以下の点から重要】

1. 降着円盤から角運動量を取り去り、新たなガスの降着を促進する。  
すなわち**AGNの成長に不可欠な要素**  
(e.g., Murray et al. 1995, Proga et al. 2000)
2. エネルギー・運動量・金属量の豊富なガスを銀河間領域に放出する  
**宇宙の元素汚染(化学進化)**にも影響を及ぼす。  
(e.g., Di Matteo et al. 2005, Moll et al. 2007)
3. 結果、星形成を抑制し、**銀河の進化にも影響**を及ぼす  
(e.g., Granato et al. 2004, Chartas et al. 2007)

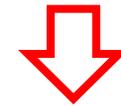
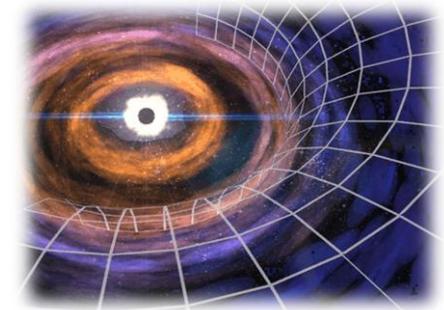
# 研究の概要

## A. イン트로ダクション

### B. 吸収線で探るアウトフローの構造

#### ① 統計的解析

吸収線検出率から探るアウトフロー構造



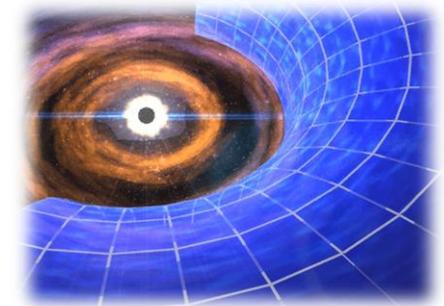
### C. アウトフローの時間変動

#### ① 吸収線のモニター観測

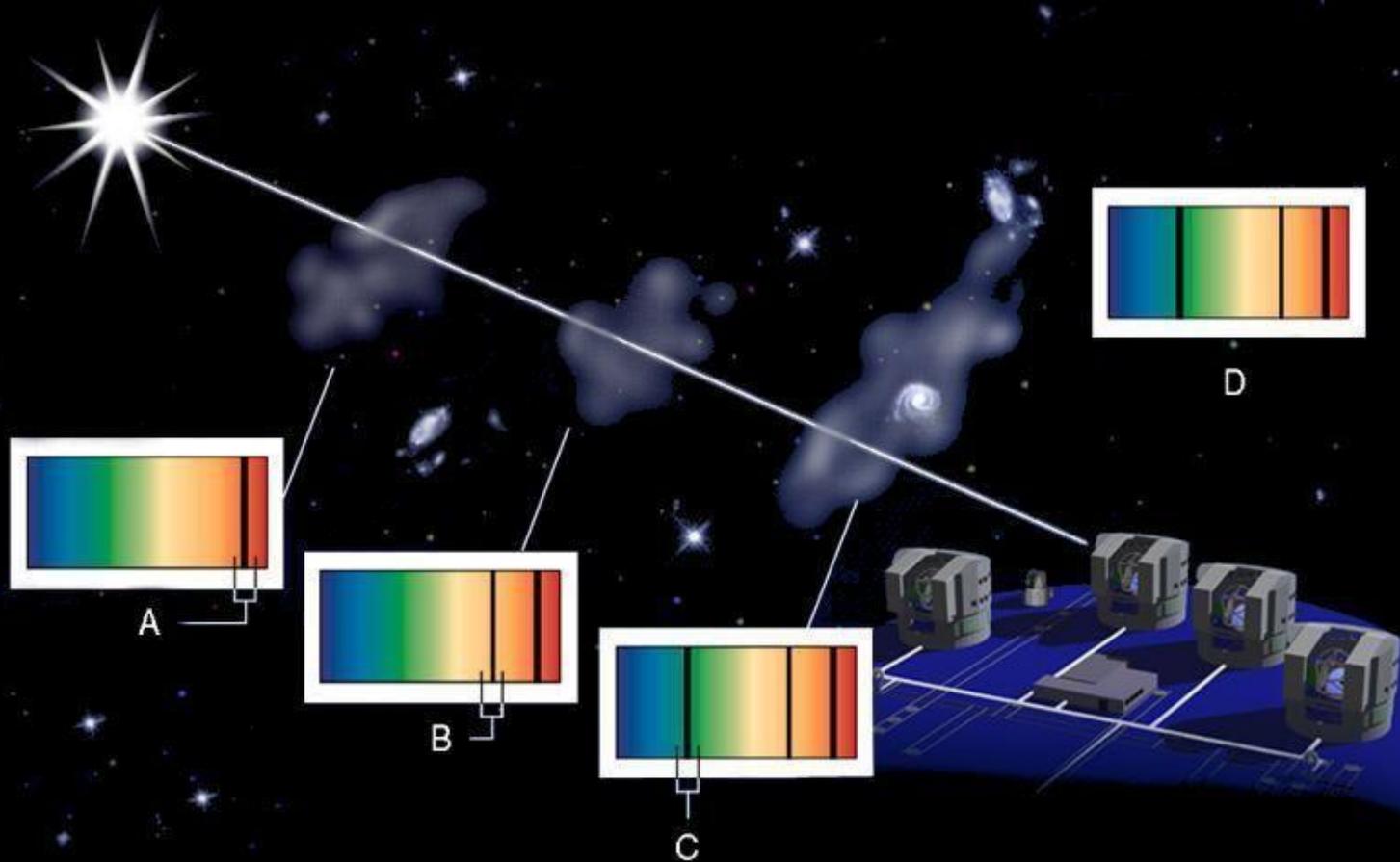
時間変動の傾向と変動原因の提案

#### ② 時間変動原因の絞り込み

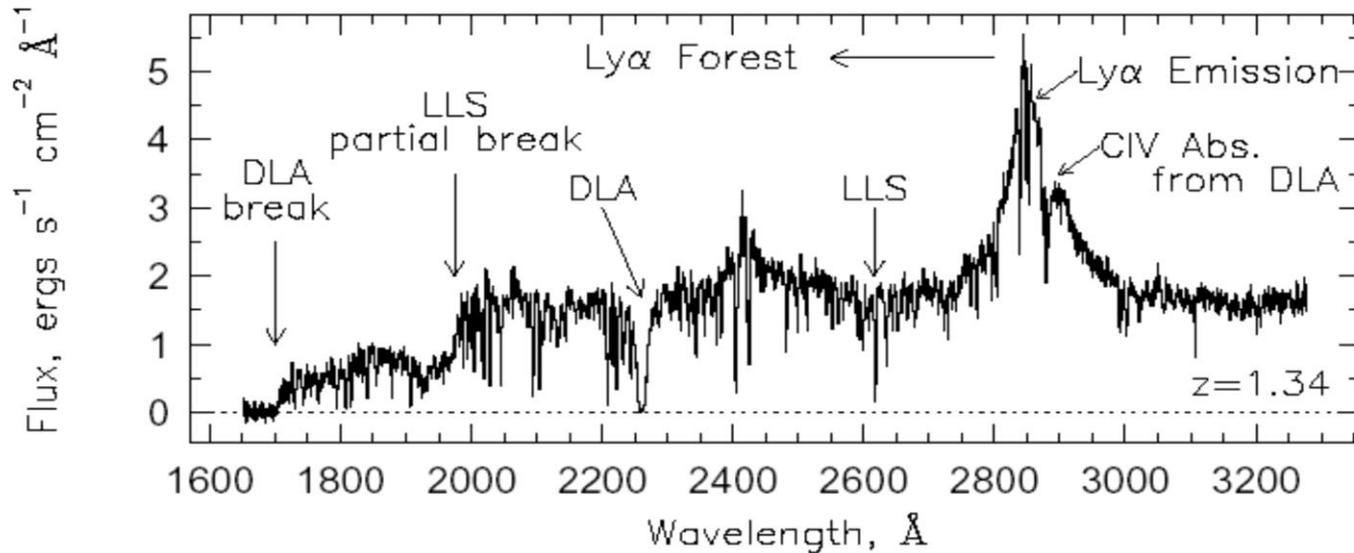
高分散分光観測、偏光観測、X線観測



# クエーサー吸収線



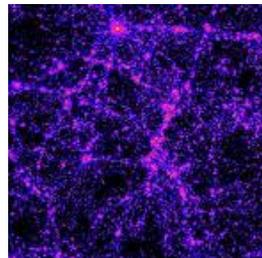
# Intrinsic & Intervening abs.



銀河系



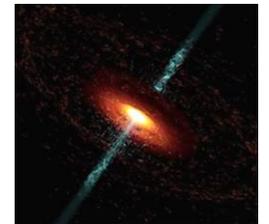
マゼラン雲



銀河間ガス



銀河



クェーサー

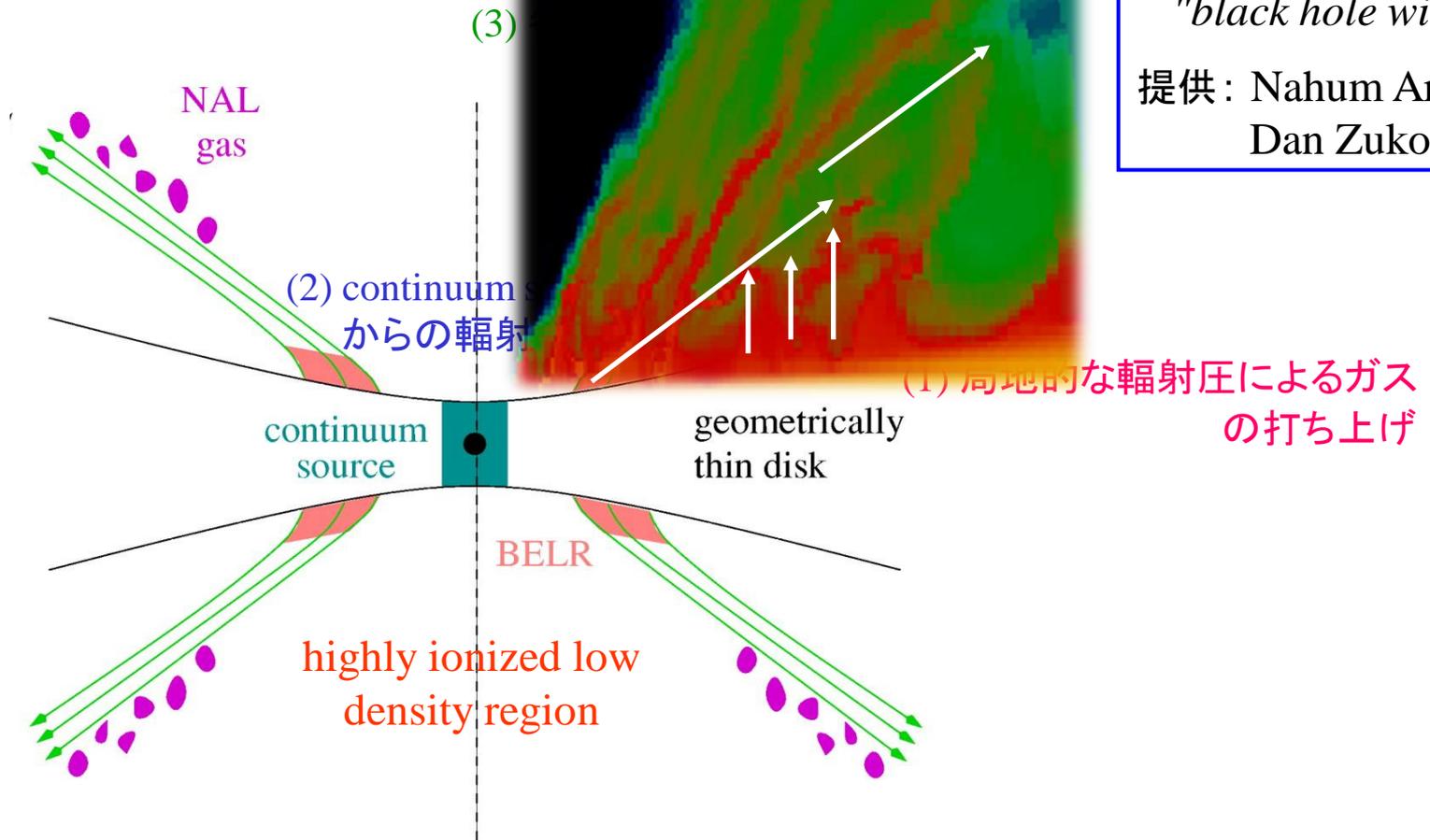
Intervening abs.  
(介在吸収線)

Intrinsic abs.  
(付随吸収線)



*A journey to  
"black hole winds"*

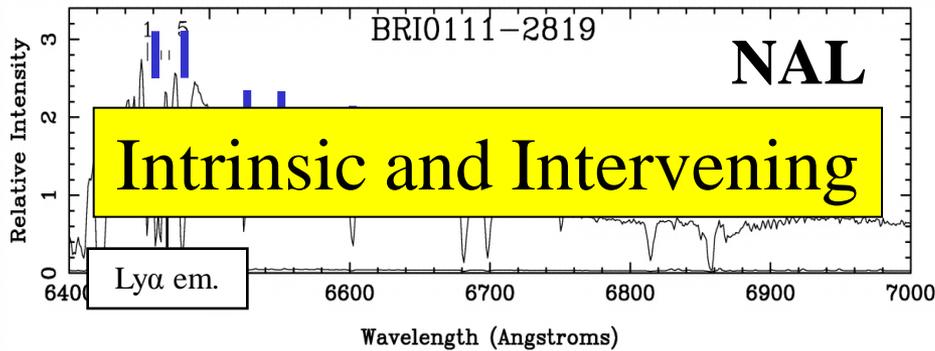
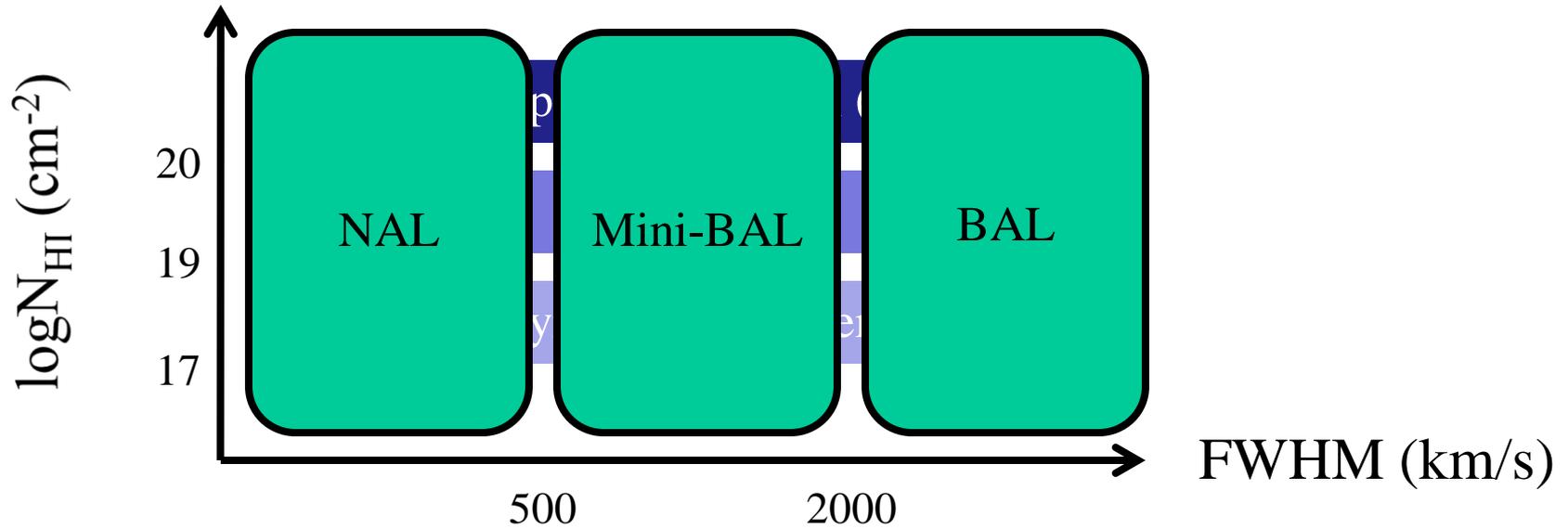
提供: Nahum Arav,  
Dan Zukowski



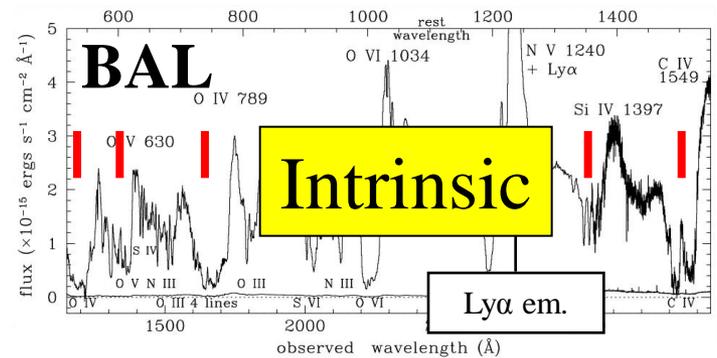
- Magnetocentrifugal winds model (Emmering et al. 1992, Everett 2005)
- Thermal pressure driven model (Begelman et al. 1983, Chelouche et al. 2005)

- Accretion Disk Wind model (Murray et al. 1995; Proga et al. 2000; cartoon from Ganguly et al. 2001)

# クエーサー吸収線の分類(強度・形状から)



細い吸収線構造



スムーズで広い吸収線構造  
(10-15% のクエーサーで検出)

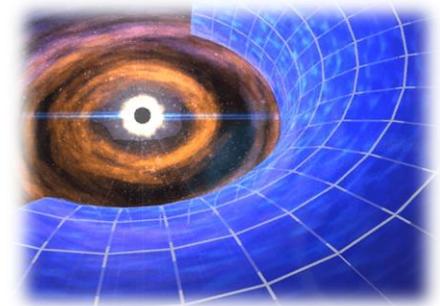
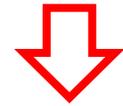
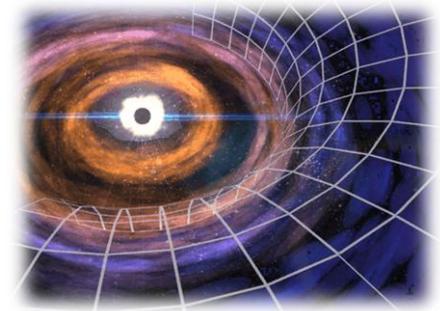
# 研究の概要

## A. イントロダクション

## B. 吸収線で探るアウトフローの構造

### ① 統計的解析

吸収線検出率から探るアウトフロー構造



## C. アウトフローの時間変動

### ① 吸収線のモニター観測

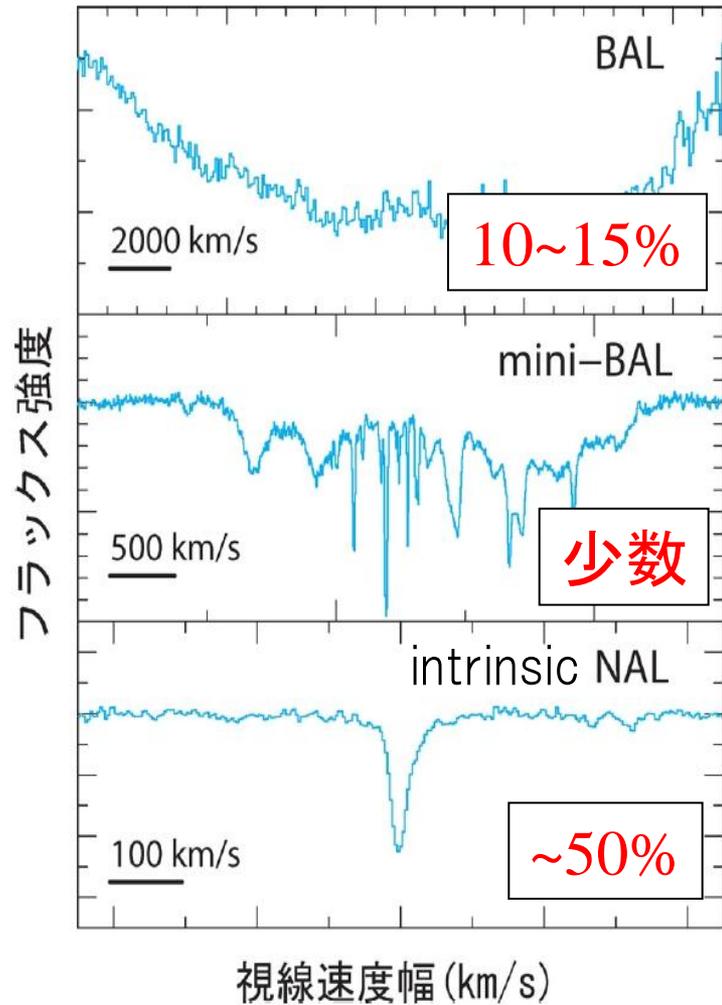
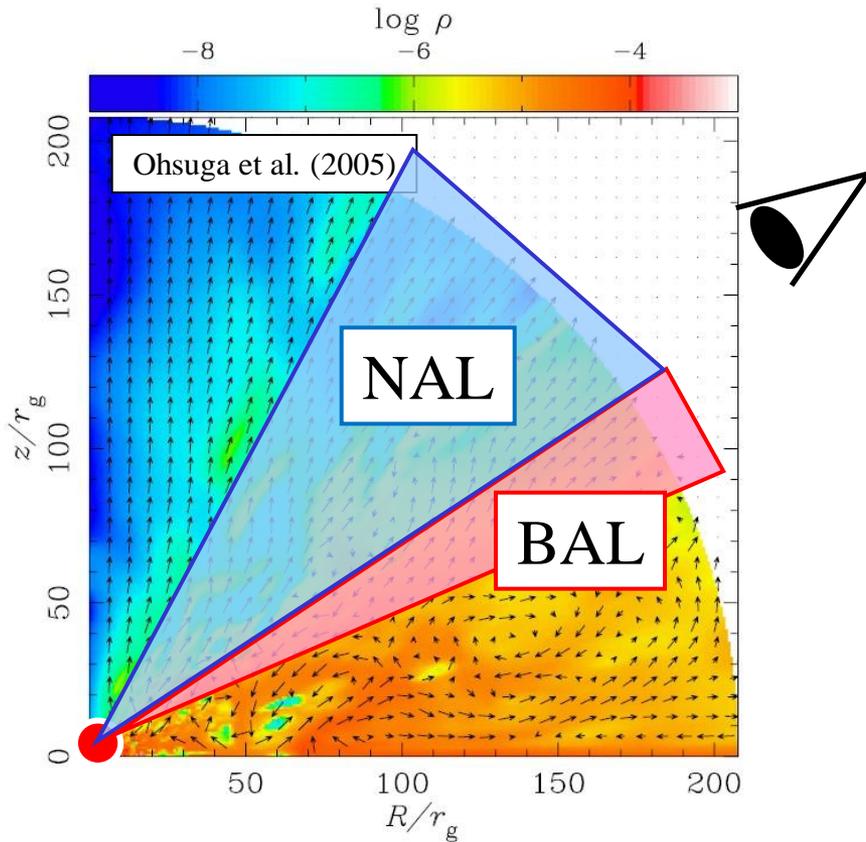
時間変動の傾向と変動原因の提案

### ② 時間変動原因の絞り込み

高分散分光観測、偏光観測、X線観測

# 統計的解析に基づくアウトフローの構造

## BAL, mini-BAL, NAL の検出頻度



掩蔽率 { ~ 50% (NAL)  
~ 10-15% (BAL)

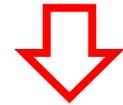
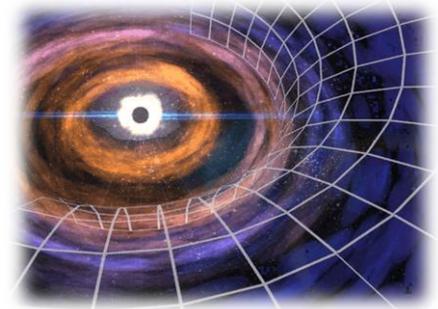
# 研究の概要

## A. イントロダクション

## B. 吸収線で探るアウトフローの構造

### ① 統計的解析

吸収線検出率から探るアウトフロー構造



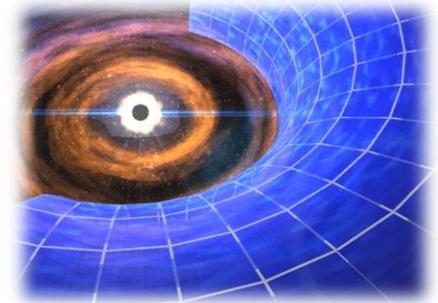
## C. アウトフローの時間変動

### ① 吸収線のモニター観測

時間変動の傾向と変動原因の提案

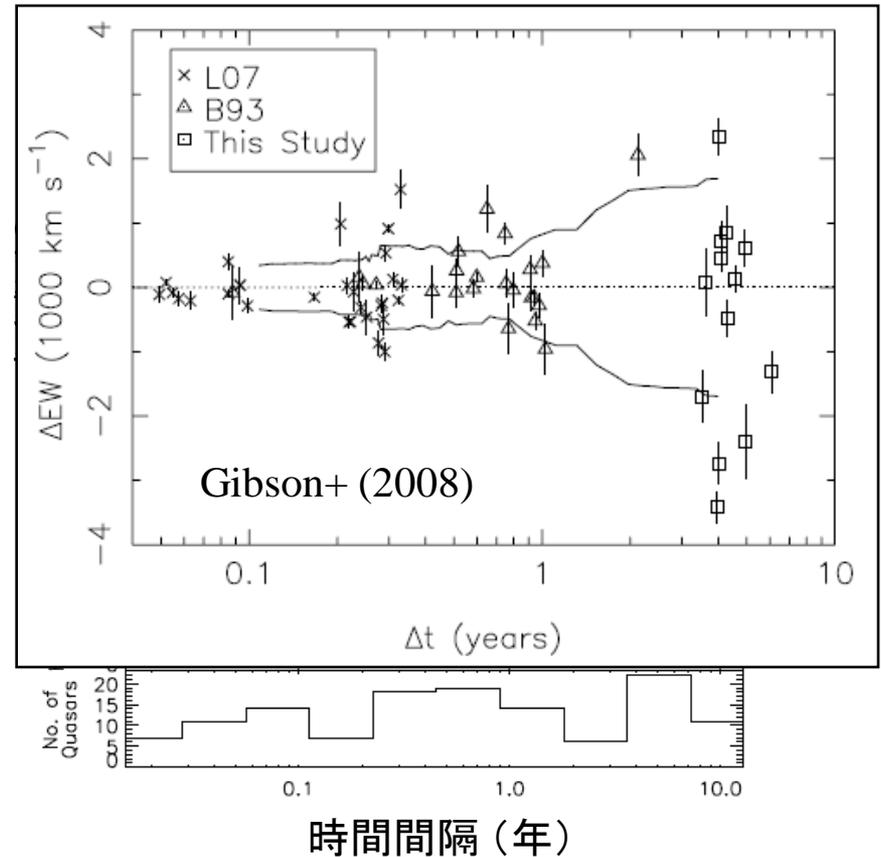
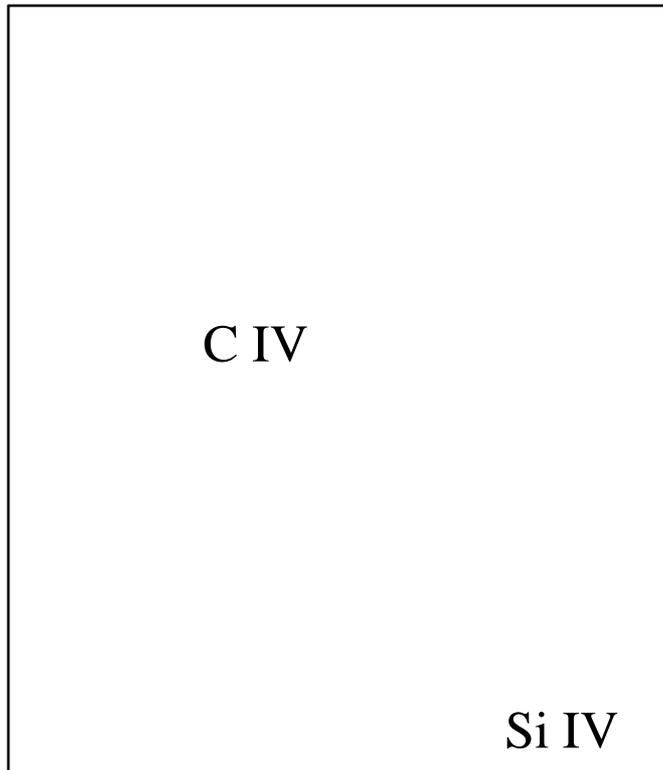
### ② 時間変動原因の絞り込み

高分散分光観測、偏光観測、X線観測



# 吸収線の時間変動(BAL)

- ・ およそ 70-90% の BAL が時間変動を示すが**起源は不明**
- ・ 時間間隔を広げるほど BAL の変動率が上昇



BAL (Capellupo+ 2012a,b)

# 吸収線の時間変動 (mini-BAL, NAL)

6 mini-BAL and 6 NAL quasars の高分散分光モニターを実行

## Mini-BAL

HS1603	Q2343+125	UM675	Q1157+014	HE1341-1020	HE0151-4326
03/23/2002	09/24/1994	09/24/1994	04/30/2000	05/02/2001	09/18/2001
07/07/2003	10/18/1995	08/19/2005	06/14/2001	06/13/2001	10/09/2001
02/26/2005	08/13/2001		01/23/2002	03/20/2007	11/16/2001
06/28/2005	08/18/2002		01/23/2006	08/04/2007	09/05/2007
08/19/2005	10/29/2003		06/06/2007		
05/31/2006					

## NAL

Q0130-4021	Q0450-1310	Q0940-1050	Q1009+2956	Q1700+6416	Q1946+7658
12/15/1995	02/13/1998	04/03/2000	12/29/1995	04/07/1994	07/31/1994
01/13/2003	11/06/2002	02/02/2001	12/15/1998	05/10/1995	09/25/1998/
09/05/2007	11/28/2002	06/06/2007	03/09/1999	07/07/2005	10/28/1998
			06/06/2007	08/19/2005	

	Subaru/HDS
	Keck/HIRES
	VLT/UVES
	Magellan/MIKE



Subaru+HDS



Keck+HIRES

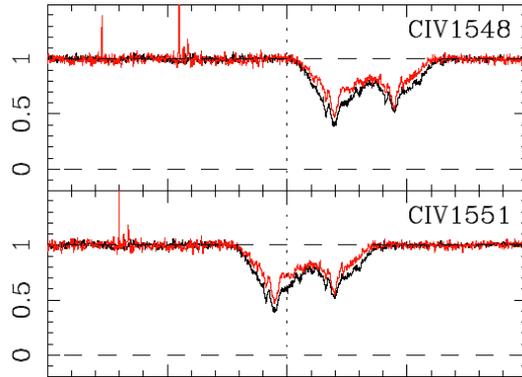


VLT+UVES

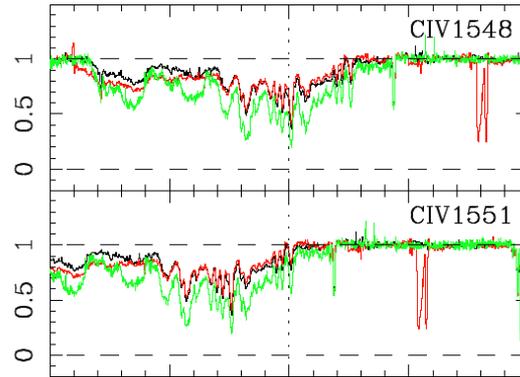


Magellan+MIKE

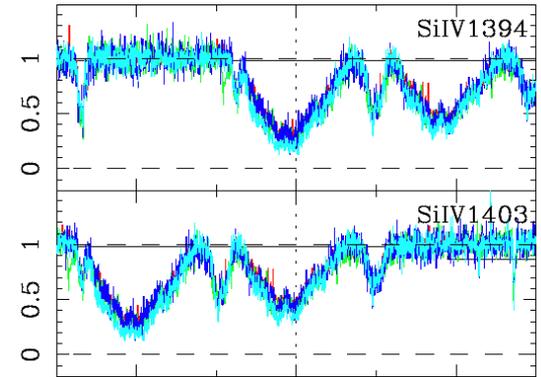
## Mini-BAL: 明らかな時間変動がみられる



C IV mini-BAL  
(UM675)

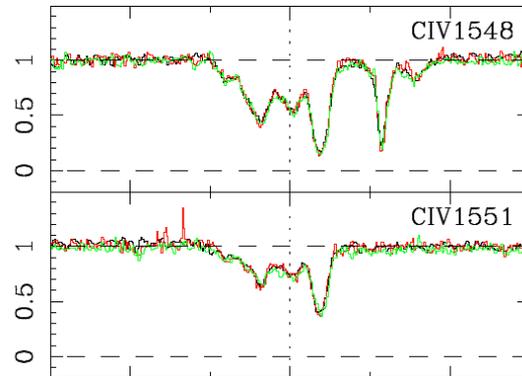


C IV mini-BAL  
(Q1341-1020)

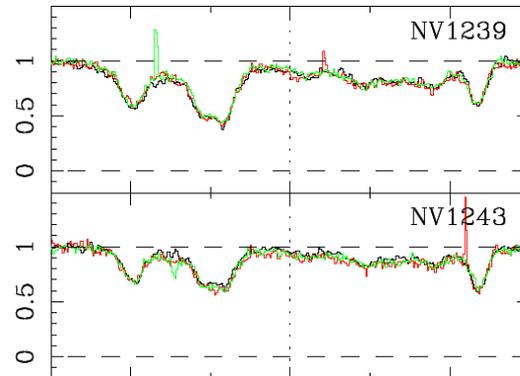


Si IV mini-BAL  
(Q1157+014)

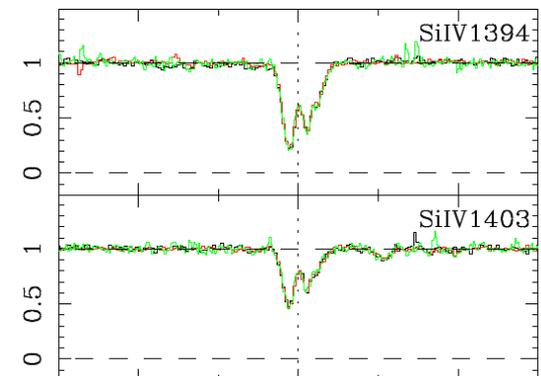
## NAL: 時間変動が見られない (例外もある; e.g., Narayanan+ 2004)



C IV NAL  
(Q0130-4021)



N V NAL  
(Q0130-4021)

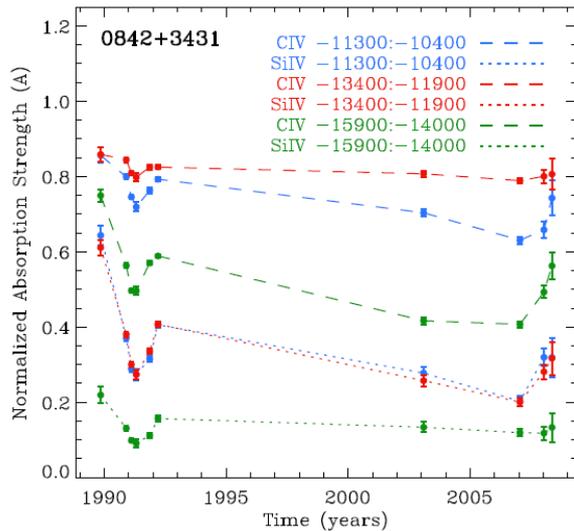


Si IV NAL  
(Q0940-1050)

# 等価幅の時間変動 (BAL, mini-BAL, NAL)

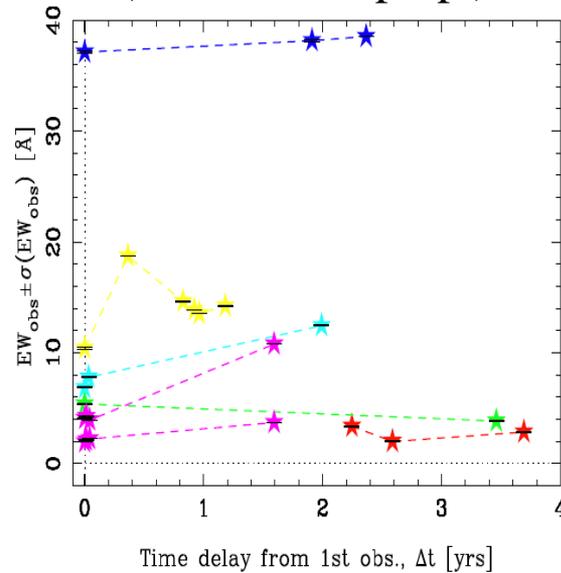
## BAL

(Capellupo+ 2012)



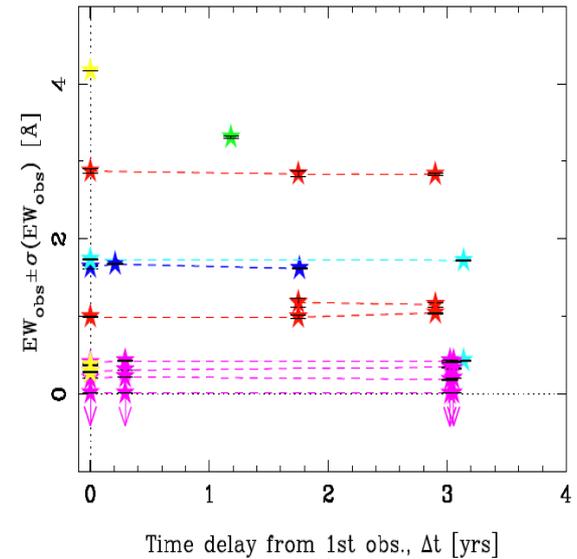
## Mini-BAL

(Misawa+ in prep.)



## NAL

(Misawa+ in prep.)



BAL, mini-BAL ⇒ 時間変動 **あり**

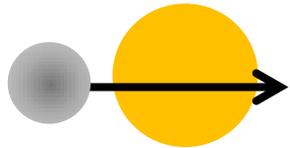
NAL ⇒ 時間変動 **なし**

そもそも吸収線が時間変動する理由は何か？

## (1) 背景光源に対する吸収ガスの横断【ガス横断シナリオ】

Hamann et al. (1997)  
など

Clumpyな吸収ガスが背景光源を横断することにより、掩蔽率が変化する



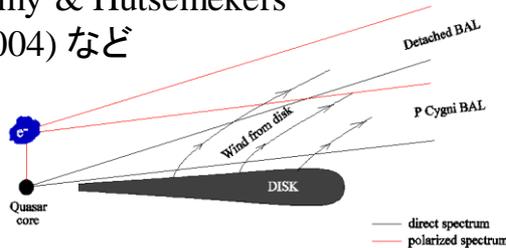
$$v_{cross} \geq (C_f(2) - C_f(1)) \frac{R}{t_{var}}$$

掩蔽率の変化に伴い吸収強度が変化するため両者の間に相関がみられる

→ モニター観測

## (2) クェーサー近傍のガスによる散乱【散乱光シナリオ】

Lamy & Hutsemékers  
(2004) など



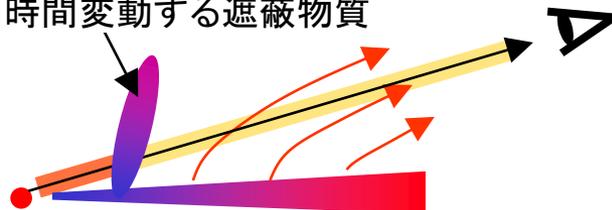
光源と吸収ガスの大きさによらずに部分掩蔽が再現できる

散乱光は偏光するため、吸収部分での偏光率が高くなることが予想される

→ 偏光分光観測

## (3) 連続光変動による吸収体電離状態の変化【電離状態変動シナリオ】

時間変動する遮蔽物質



→ 測光・分光同時モニター

明るいクェーサーほど変動小さく時間スケール長い (e.g., Vanden Berk+ 2004) ため、変動する X-ray warm absorber による遮蔽か？

Gallagher (2006) など

→ X線分光観測

## Mini-BAL

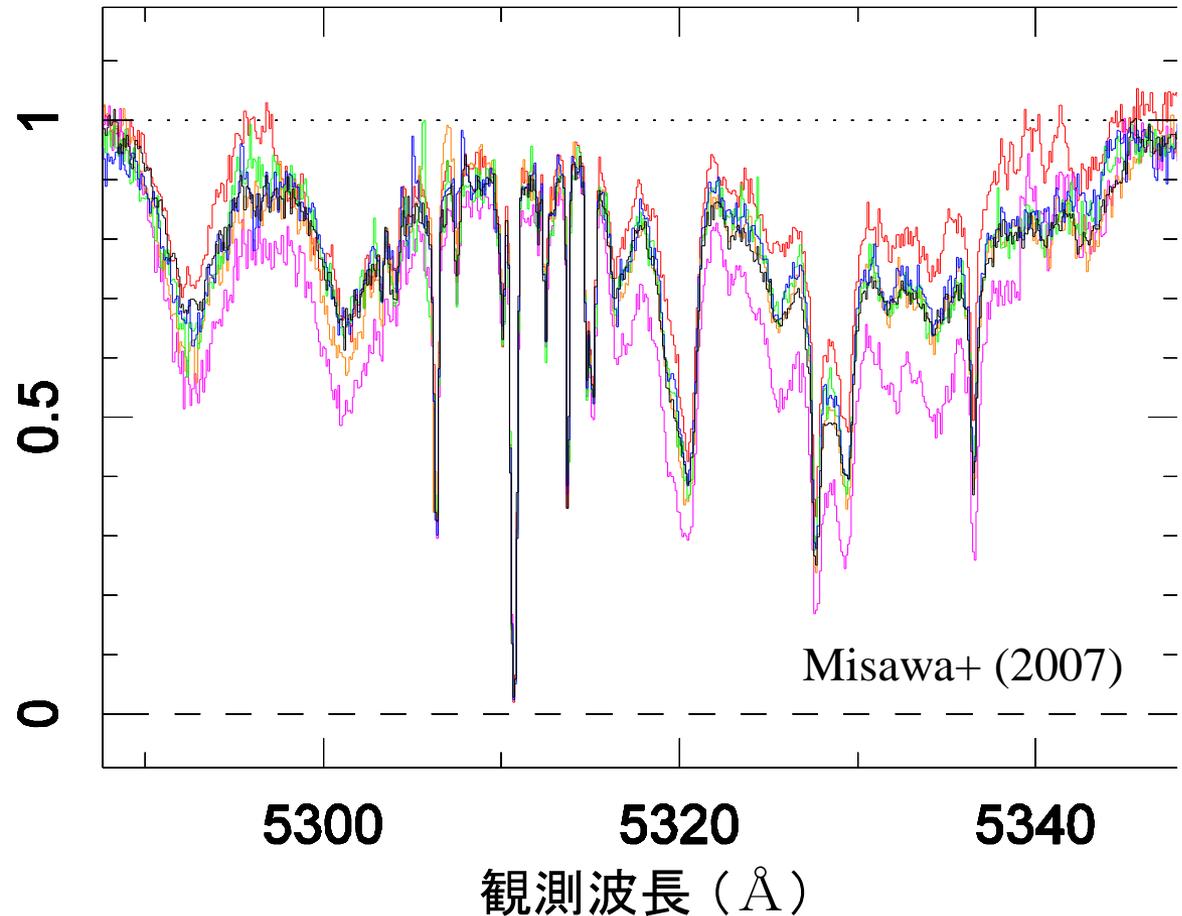
観測 高分散分光観測

R~40,000 with Subaru/HDS

HS1603	Q2343+125	UM675	Q1157+014	HE1341-1020	HE0151-4326
03/23/2002	09/24/1994	09/24/1994	04/30/2000	05/02/2001	09/18/2001
07/07/2003	10/18/1995	08/19/2005	06/14/2001	06/13/2001	10/09/2001
02/26/2005	08/13/2001		01/23/2002	03/20/2007	11/16/2001
06/28/2005	08/18/2002		01/23/2006	08/04/2007	09/05/2007
08/19/2005	10/29/2003		06/06/2007		
05/31/2006					

C IV mini-BAL  
(HS1603+3820)

規格化したフラックス

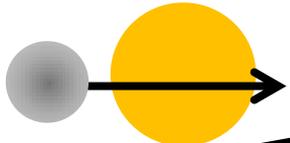


## (1) 背景光源に対する吸収ガスの横断【ガス横断シナリオ】

Hamann et al. (1997) など

Clumpyな吸収ガスが背景光源を横断することにより、掩蔽率が変化する

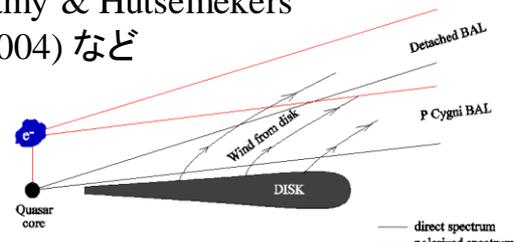
掩蔽率の変化に伴い吸収強度が変化するため両者の間に相関がみられる


$$v_{cross} > (C_f(2) - C_f(1)) \frac{R}{t_{var}}$$

→ **モニター観測**

## (2) クェーサー近傍のガスによる散乱【散乱光シナリオ】

Lamy & Hutsemékers (2004) など



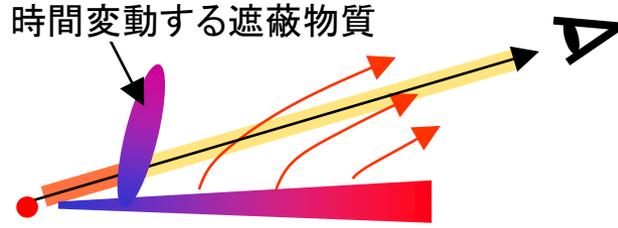
光源と吸収ガスの大きさによらずに部分掩蔽が再現できる

散乱光は偏光するため、吸収部分での偏光率が高くなることが予想される

→ **偏光分光観測**

## (3) 連続光変動による吸収体電離状態の変化【電離状態変動シナリオ】

時間変動する遮蔽物質



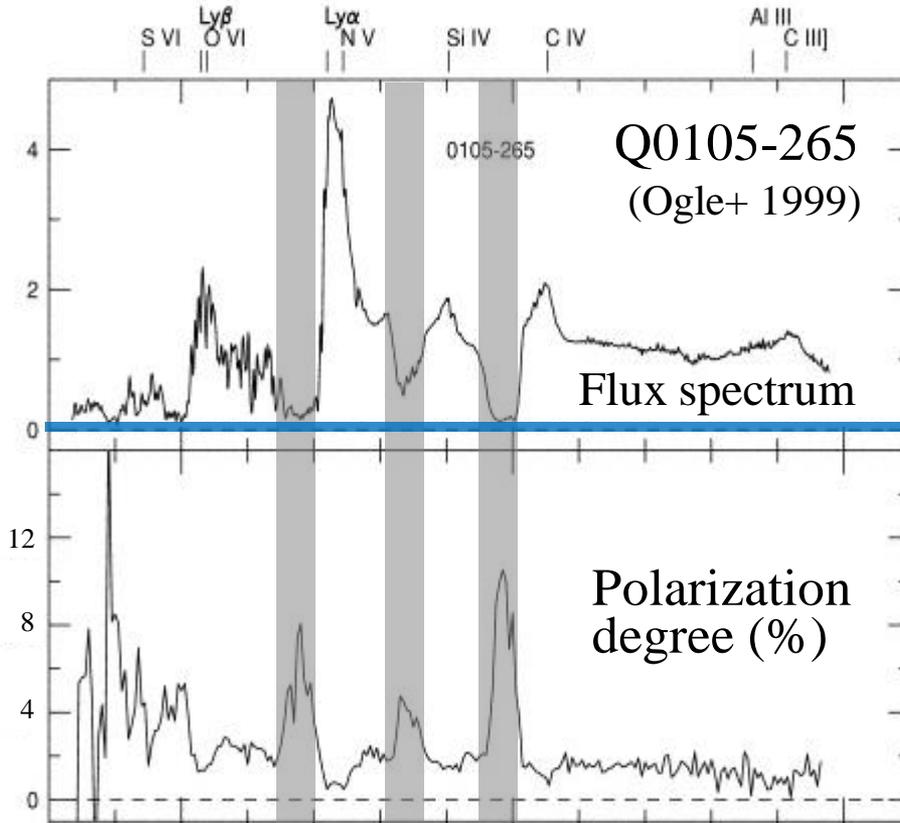
→ **測光・分光同時モニター**

明るいクェーサーほど変動小さく時間スケール長い (e.g., Vanden Berk+ 2004) ため、変動する X-ray warm absorber による遮蔽か？

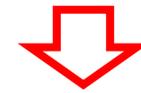
→ **X線分光観測**

Gallagher (2006) など

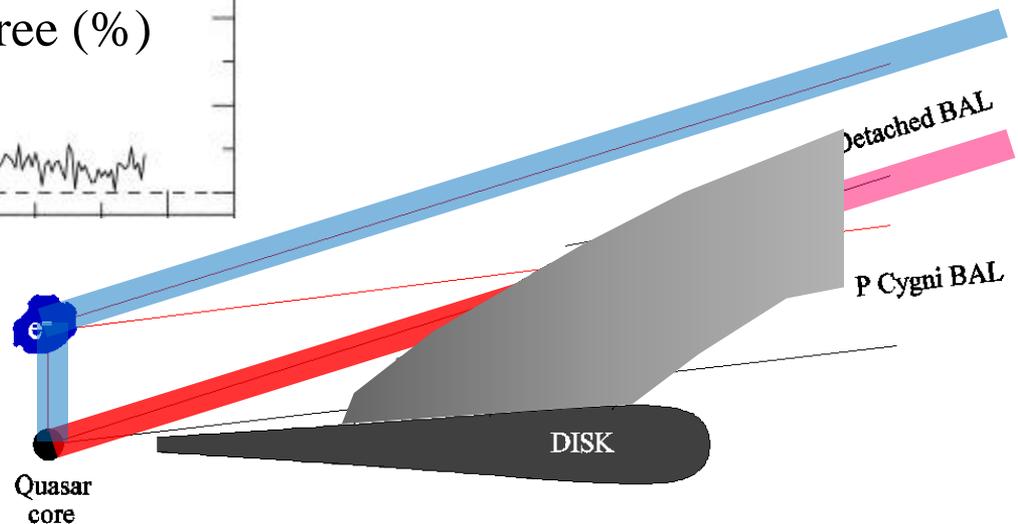
# 散乱光シナリオの検証



BAL profile 付近で偏光度の上昇が見られる



散乱光は背景光として一定の寄与をしている



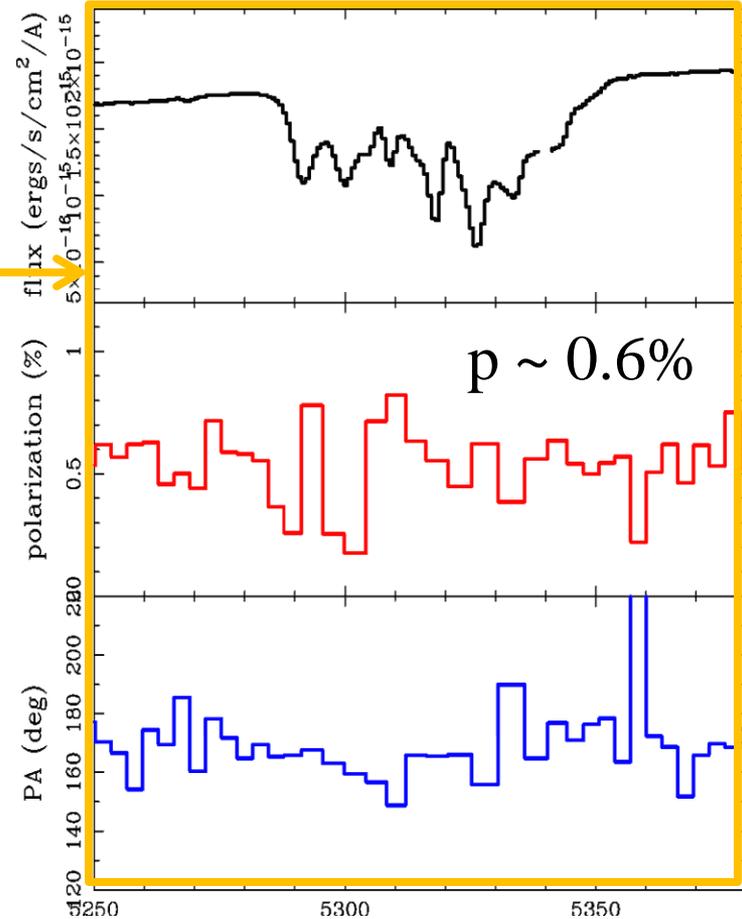
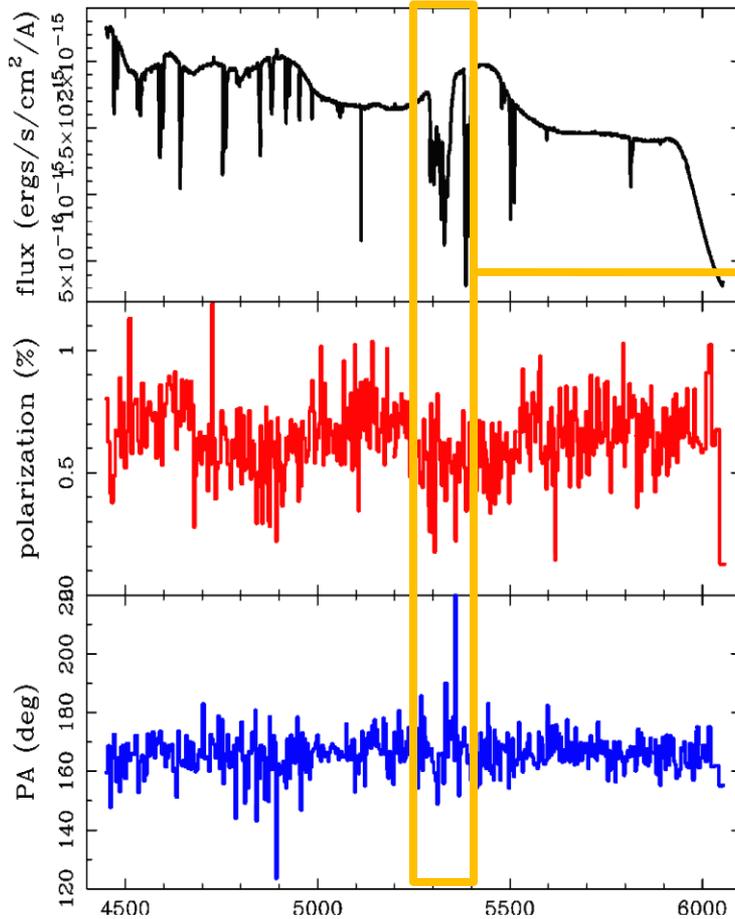
Lamy & Hutsemékers (2004)

観測

偏光分光観測

Misawa+ (2010)

8.0hrs exp., R~1500 with Subaru/FOCAS (2008/08)



吸収領域での偏光度の上昇は見られない

## (1) 背景光源に対する吸収ガスの横断【ガス横断シナリオ】

Hamann et al. (1997) など

Clumpyな吸収ガスが背景光源を横断することにより、掩蔽率が変化する

掩蔽率の変化に伴い吸収強度が変化するため両者の間に相関がみられる


$$v_{cross} > (C_f(2) - C_f(1)) \frac{R}{t_{var}}$$

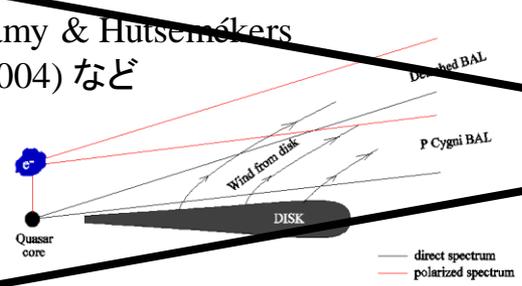
→ モニター観測

## (2) クェーサー近傍のガスによる散乱【散乱光シナリオ】

Lamy & Hutsemékers (2004) など

光源と吸収ガスの大きさによらずに部分掩蔽が再現できる

散乱光は偏光するため、吸収部分での偏光率が高くなるが予想される



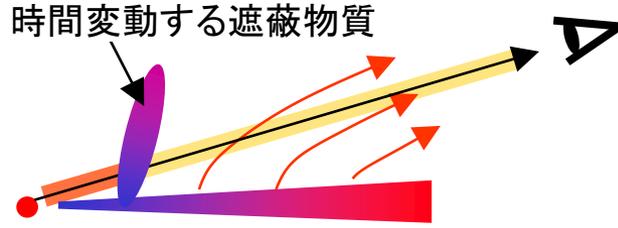
→ 偏光分光観測

## (3) 連続光変動による吸収体電離状態の変化【電離状態変動シナリオ】

時間変動する遮蔽物質

→ 測光・分光同時モニター

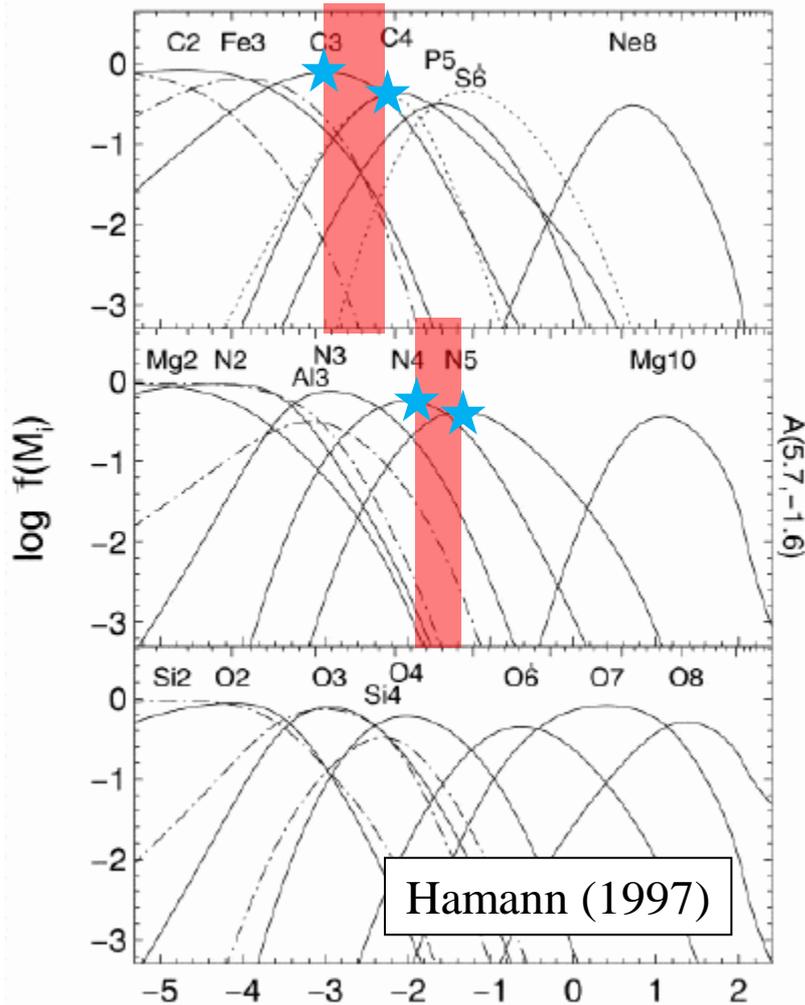
明るいクェーサーほど変動小さく時間スケール長い (e.g., Vanden Berk+ 2004) ため、変動する X-ray warm absorber による遮蔽か？【遮蔽サブシナリオ】



→ X線分光観測

Gallagher (2006) など

# 電離状態変動シナリオの検証



電離パラメータ  
 $\log U (= \log [n_\gamma / n_e])$

CIII  $\leftrightarrow$  CIV

$\Rightarrow \Delta \log U \sim 0.6$

$\Rightarrow \Delta m \sim 1.5$

NIV  $\leftrightarrow$  NV

$\Rightarrow \Delta \log U \sim 0.4$

$\Rightarrow \Delta m \sim 1.0$

典型的な変光

$\Delta m \leq 1.0$  (数年)

$\Delta m \sim 0.1 - 0.2$  (数ヶ月)

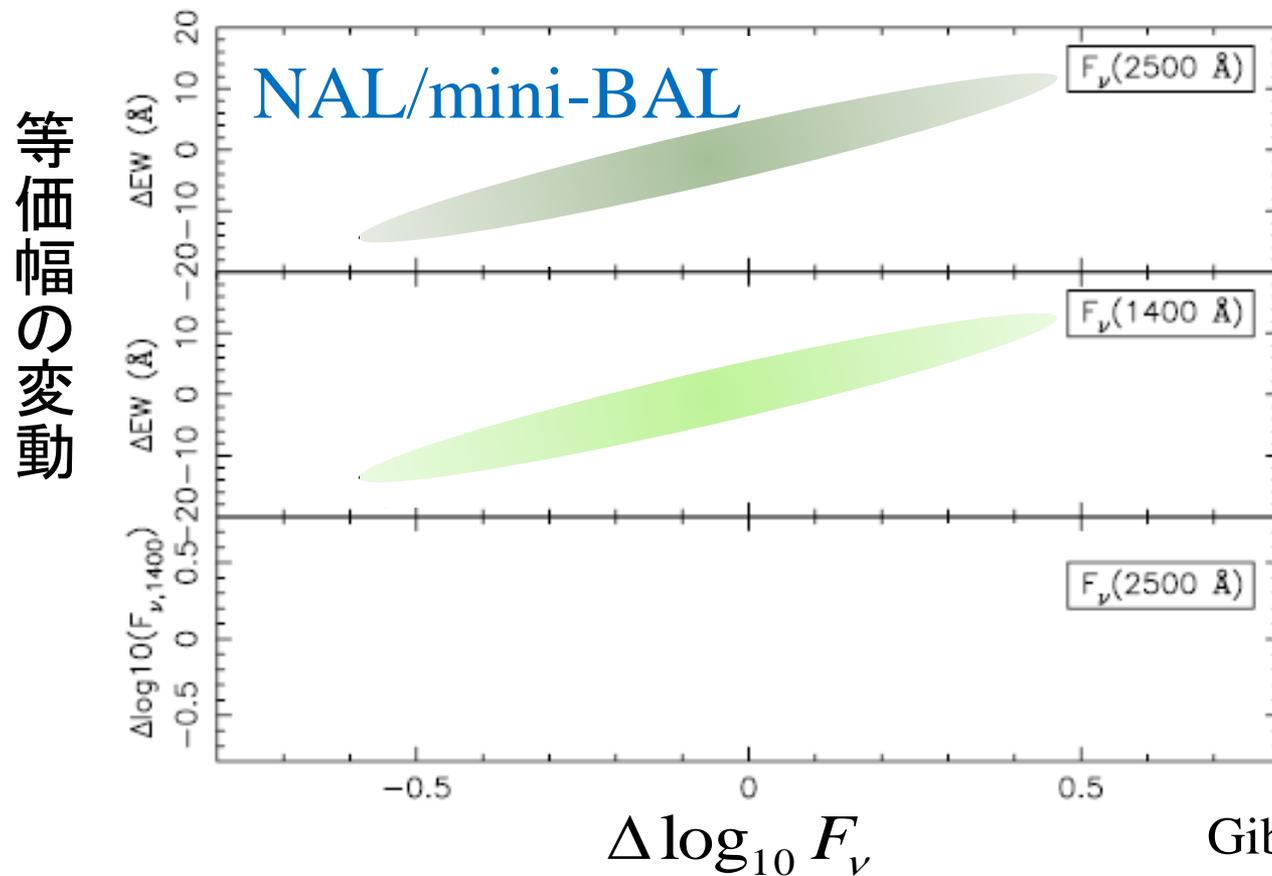
(e.g., Webb & Malkan 2000,  
and references therein)

## 観測

## 吸収線強度とクエーサー光度の同時モニター

- 測光モニター観測 with 木曾105cm/KWFC
  - 吸収線強度モニター観測 with 岡山188cm/KOOLS
- } 今年開始

測光：年12回(予定) + 分光：年4回(予定)



**クエーサー吸収線**は視線上の情報のみを効率よく検出できるため、降着円盤から吹き出すアウトフローガスの研究において威力を発揮する

各天体に対して一つの視線情報しか得ることができないが、十分なサンプルが得られれば**統計的な解析（遮蔽率の評価）**が可能となる

高分散分光による**物理量の定量評価**が可能であるばかりでなく、モニター観測によって、その**時間変動**を探ることもできる

## 本研究の現状

1. アウトフローの幾何構造（BAL, mini-BAL, NALの検出頻度から推測）
2. BAL, mini-BALにみられる時間変動は intrinsic NALにはみられない
3. mini-BALの時間変動の原因（HS1603+3820の場合）
  - × 背景光源に対する吸収ガスの横断 ← 吸収線の同時変動が説明困難
  - × 変動する散乱物質 ← 散乱光による偏光度(～0.6%)が小さすぎる
  - ? 吸収体電離状態の変化 ← 測光・分光同時観測, X線観測による検証  
⇒ 木曾と岡山による、**測光・分光同時モニター観測**で検証