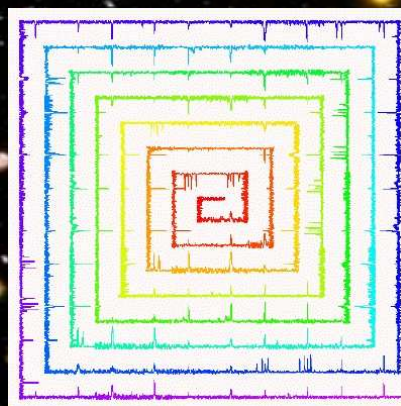


2008年度 光学赤外線天文連絡会 シンポジウム
『地上大型望遠鏡計画: 2020年のための決心』



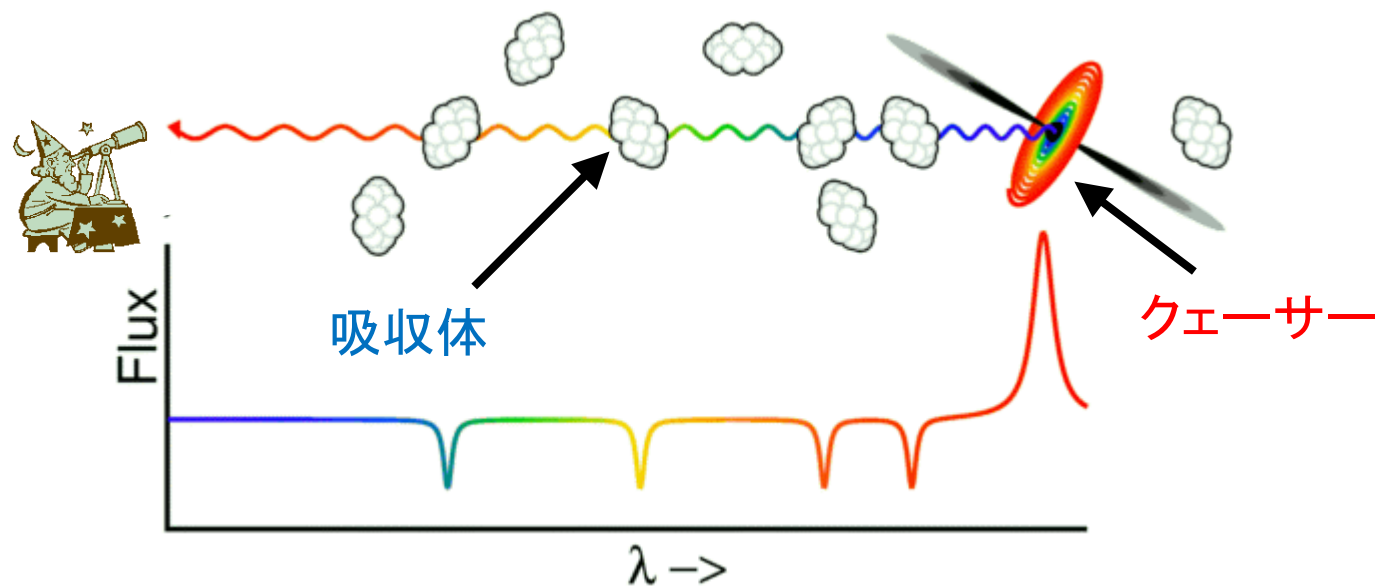
TMTで拓かれる キューサー吸収線研究の新時代

三澤 透 (理化学研究所) & Team JQAL

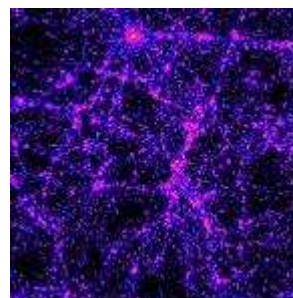


クエーサー吸収線とは

クエーサーに対する我々の視線上に存在するさまざまな吸収体が、クエーサーのスペクトル上につくる吸収構造。



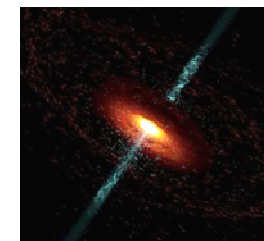
銀河系



銀河間ガス



銀河



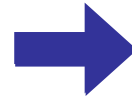
クエーサー

クエーサー吸収線研究の歴史

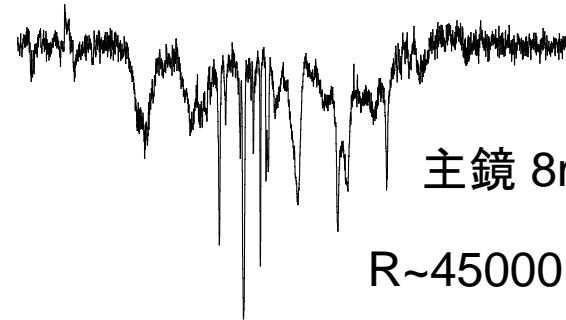
～1990年代初頭



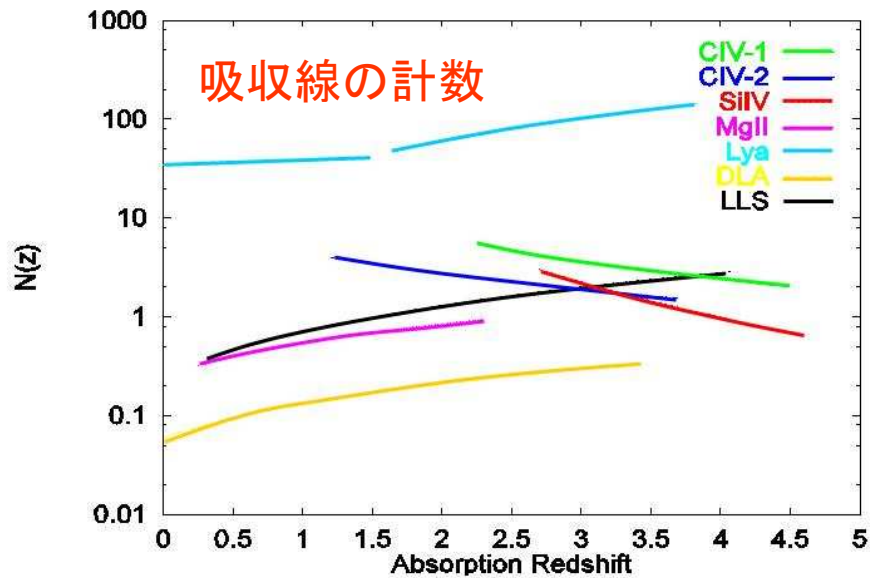
R~3000



1990年代初頭～現在



R~45000



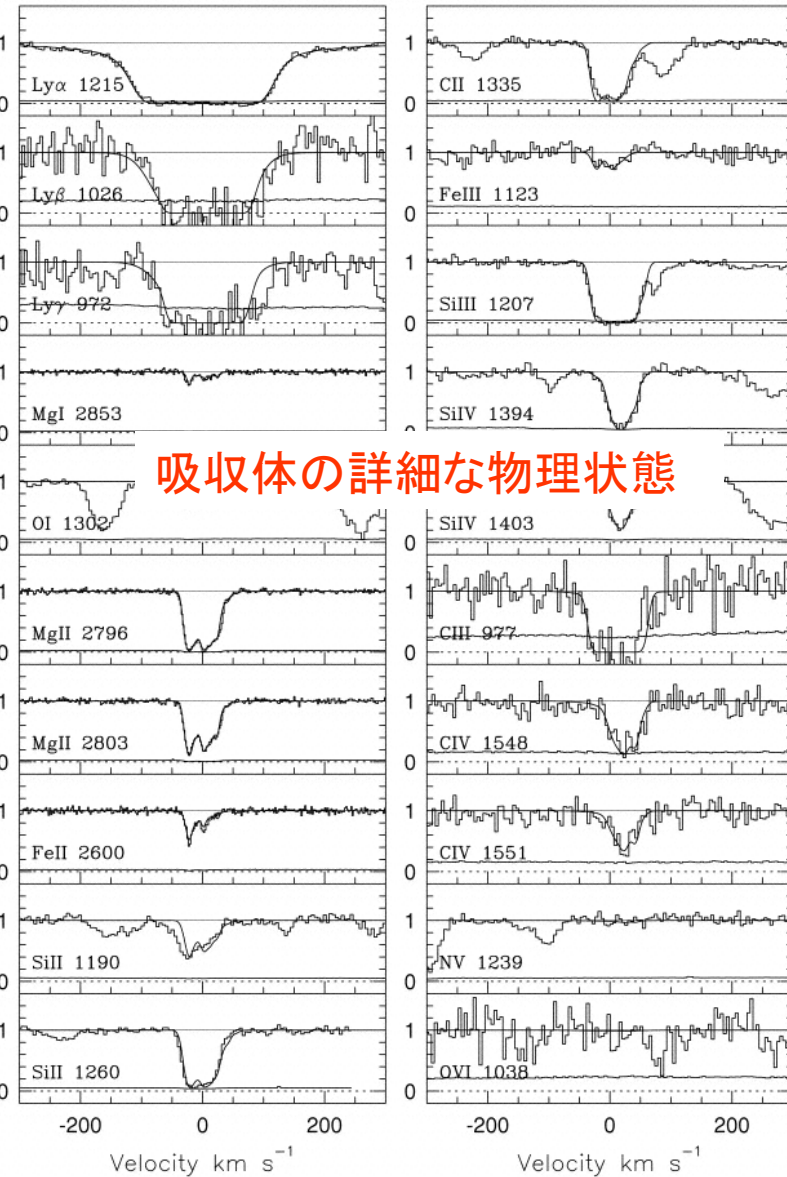
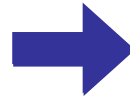
クエーサー吸収線研究の歴史

~1990年代初頭

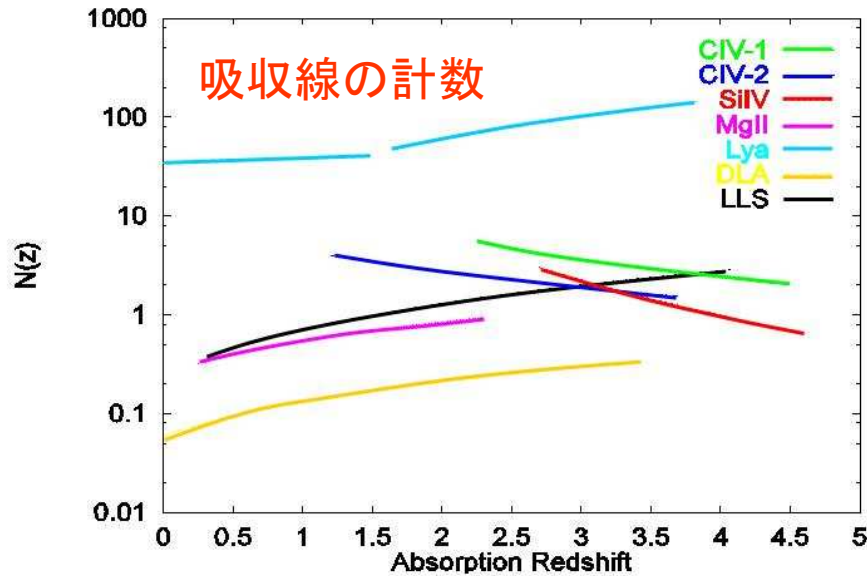


主鏡 4m クラス

R~3000



吸収体の詳細な物理状態

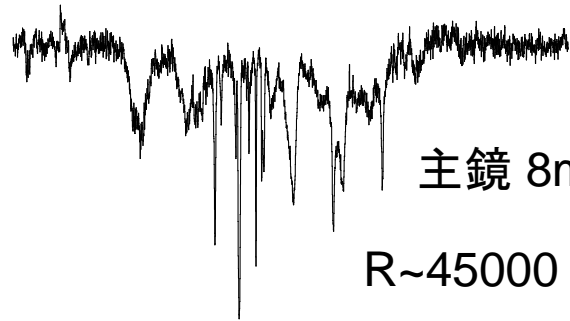


吸収線の計数

CIV-1
CIV-2
SiIV
MgII
Lyα
DLA
LLS

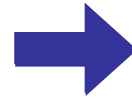
クエーサー吸収線研究の歴史

1990年代初頭～現在



主鏡 8m クラス

R~45000



2020年～



主鏡 30m クラス

R>100,000

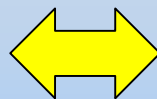
よりNarrowな吸収線へ [高分散]

よりWeakな吸収線へ [高S/N比]

テーマ1：微細構造定数の変動を探る

基礎物理定数(万有引力定数 G 、真空中の光速 c 、素電荷 e 、プランク定数 h など)は本当に全宇宙で不変か？

現代素粒子物理学は、これら物理量が不変のものであると仮定した上に成り立っている。



大統一理論(GUT)、超対象性理論(SUSY)、超弦理論などの現代基礎物理理論は、これらの物理量の変化を許容している

微細構造定数 $\alpha \equiv 2\pi e^2 / hc$

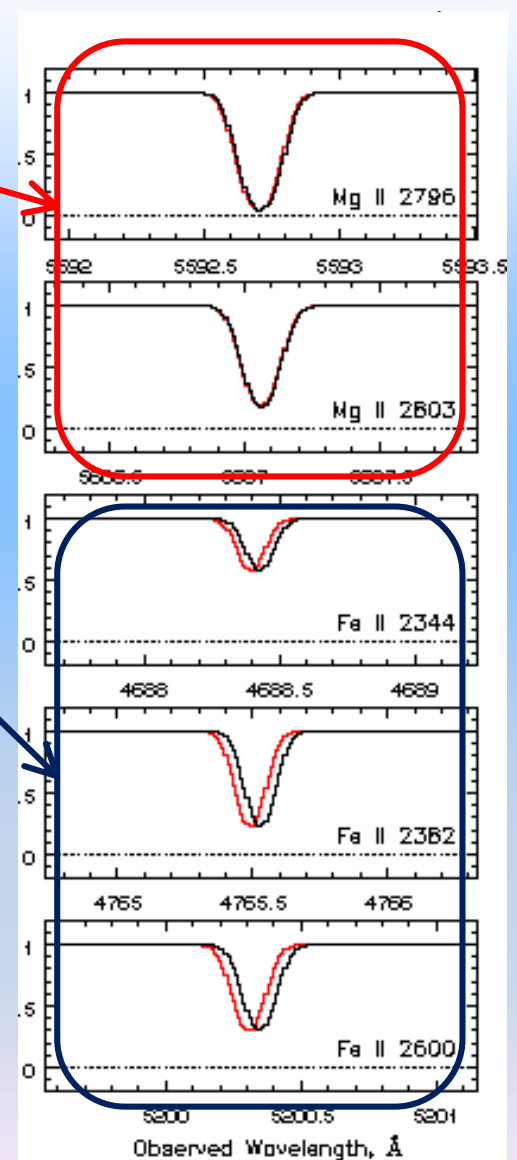
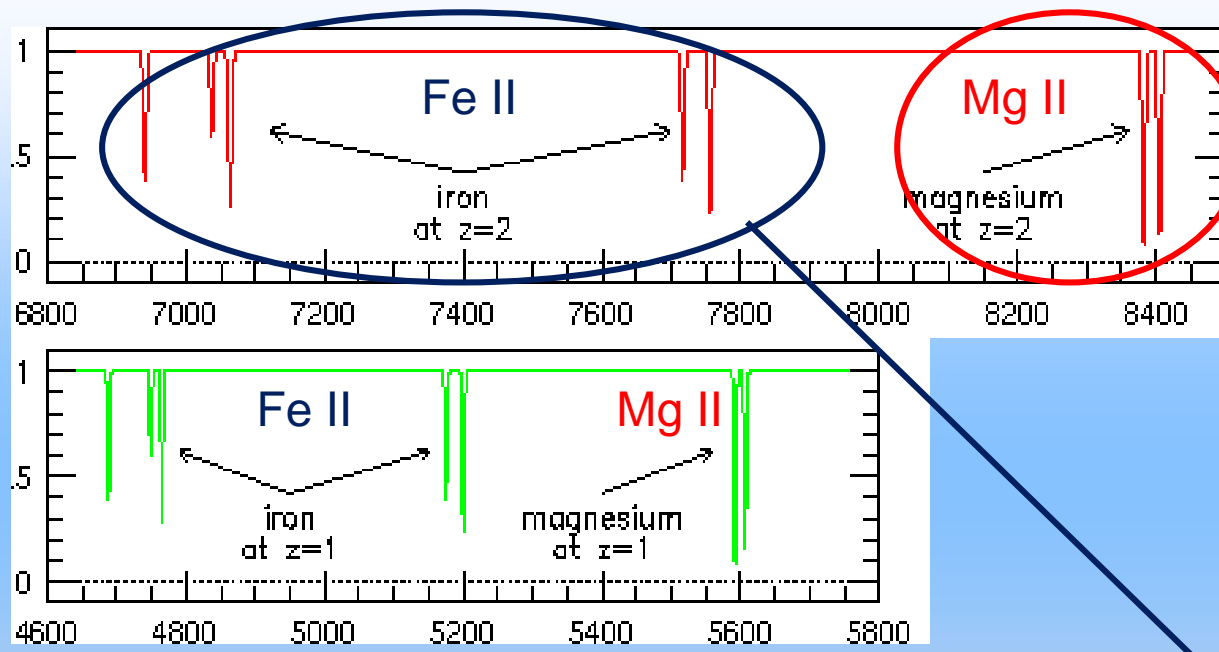
クエーサー吸収線(共鳴吸収線)を用いて、遠方宇宙での変動の有無の確認が可能。

at $z < 1$, **radio/mm** spectra: HI-21cm, molecular transitions

at $z < 4$, **optical/NIR** spectra: resonance doublet lines

at $z > 10$, **MIR/FIR** spectra: sub-levels of the ground states

地上実験室系 $\Delta\alpha / \alpha = (-1.6 \pm 2.3) \times 10^{-17} \text{ (year}^{-1}\text{)}$



赤方偏移により、すべての吸収線が長波長側にシフトするが、微細構造定数に変動がある場合、イオンによりシフトの度合いが異なる。

Fe II, Zn II: α の影響が強い
 Mg II, Si II: α の影響が弱い

両者を比較して α の変動を探る

Murphy et al. (2003)

$$\Delta\alpha / \alpha = (-0.57 \pm 0.11) \times 10^{-5}$$

at $0.2 < z < 3.5$



α は過去に遡るほど小さくなっている！



吸収線フィッティングに不備がある
Murphy et al. (2007)

Chand et al. (2005)

$$\Delta\alpha / \alpha = (-0.15 \pm 0.44) \times 10^{-5}$$

at ~ 2

Levshakov et al. (2006)

$$\Delta\alpha / \alpha = (-0.07 \pm 0.84) \times 10^{-6}$$

at ~ 1



α は不変だ！



エラーの評価に不備がある！
Srianand et al. (2007)

Keck+HIRES,
targeted for Northern hemisphere

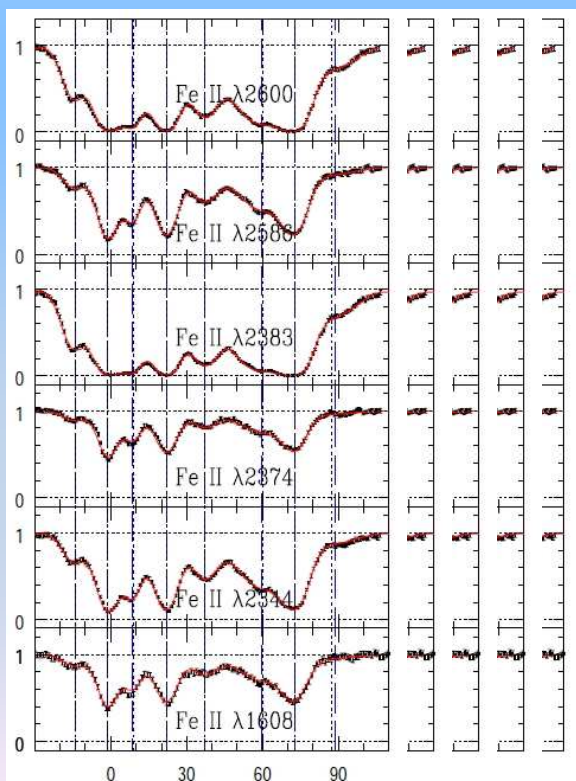
VLT+UVES,
targeted for Southern hemisphere

観測装置による影響が考えられるが、両者の直接比較は困難

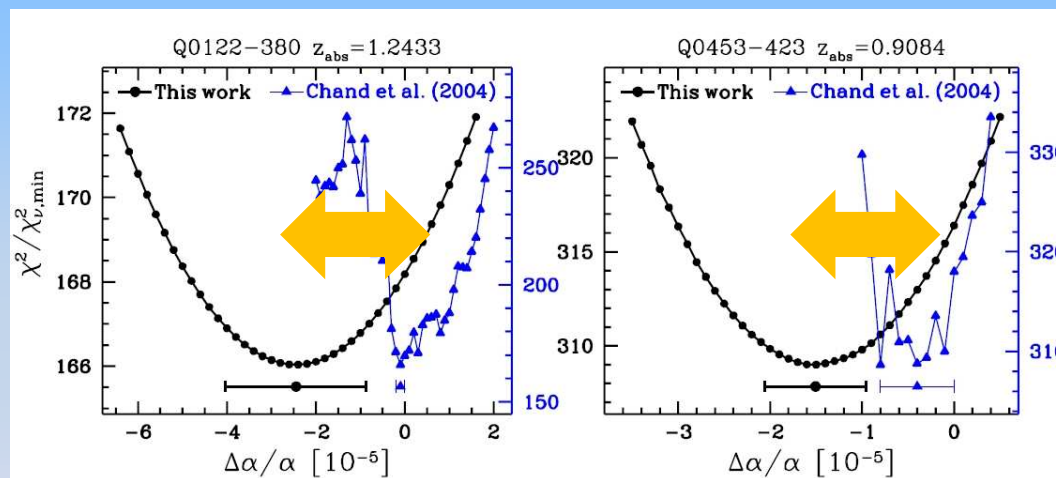
短期的には. . . Subaru+HDS でKeck/HIRESの結果を検証

ただし、 $R \sim 100,000$ のキューサースペクトルを高S/Nで多数確保することは極めて困難なため、根本的な解決にはならない

将来的にはTMTでKeck/HIRES, VLT/UVESの結果を検証

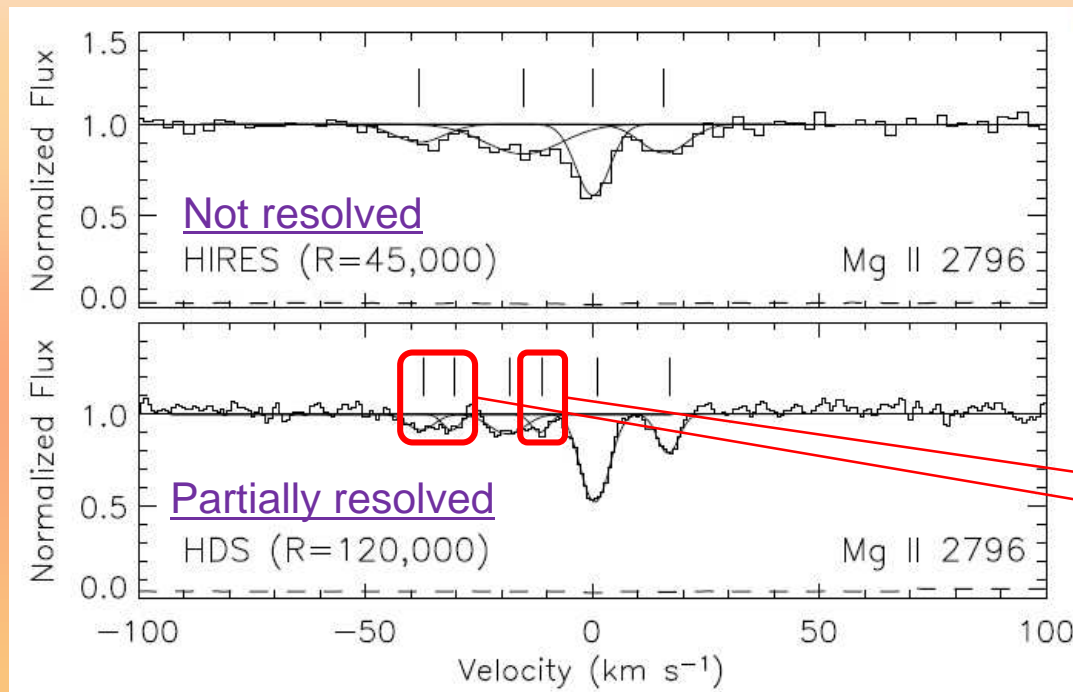


$V \sim 17$ のキューサーであれば、1時間積分で
 $R \sim 100,000$, $S/N \sim 50$ のスペクトルの取得が可能



微細構造定数の変動に決着

テーマ2: 極低温ガスの物理



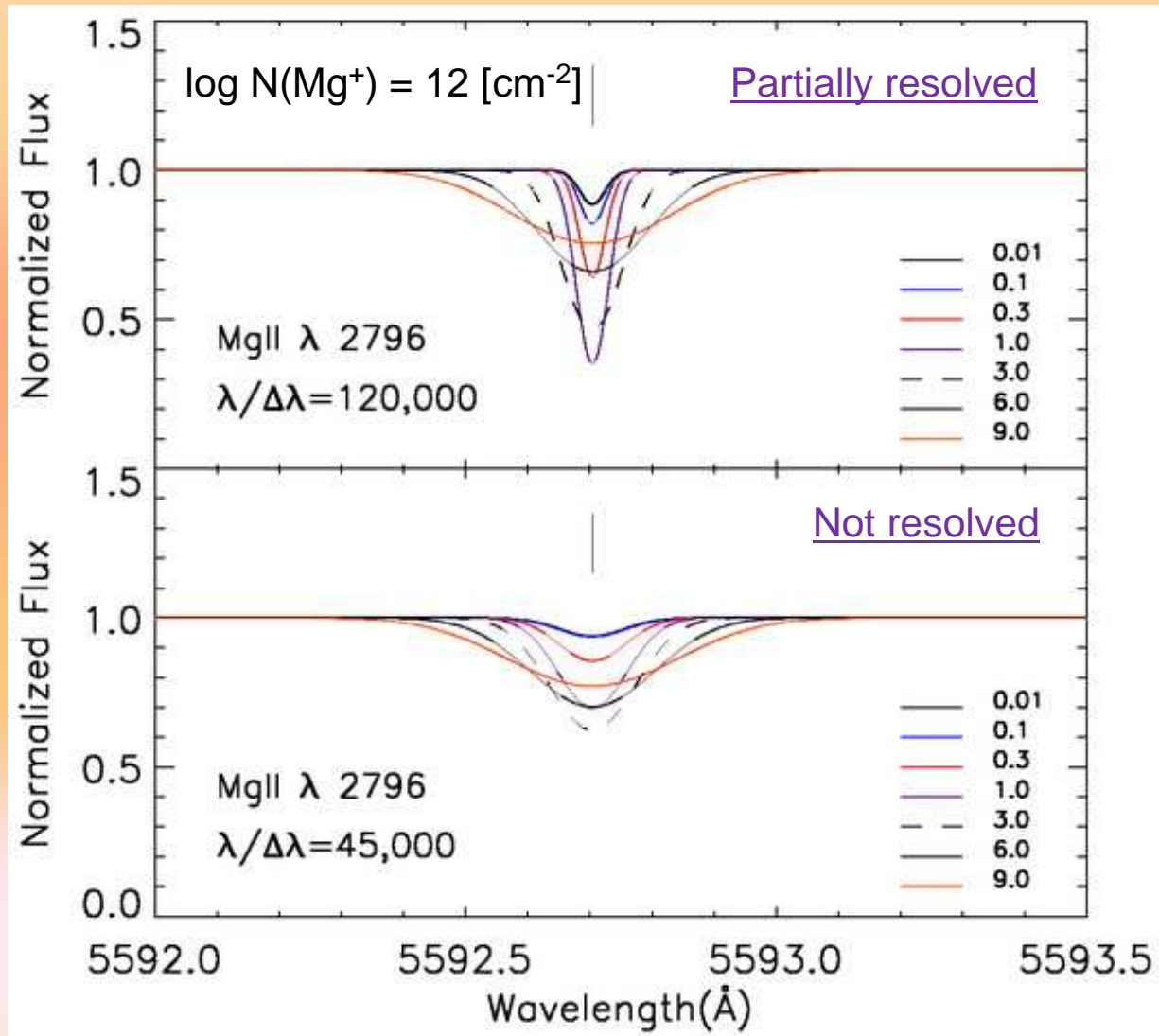
Narayanan et al. (2006)

極低温ガスの存在
b ~ 1 km/s
(T ~ 1500 K)

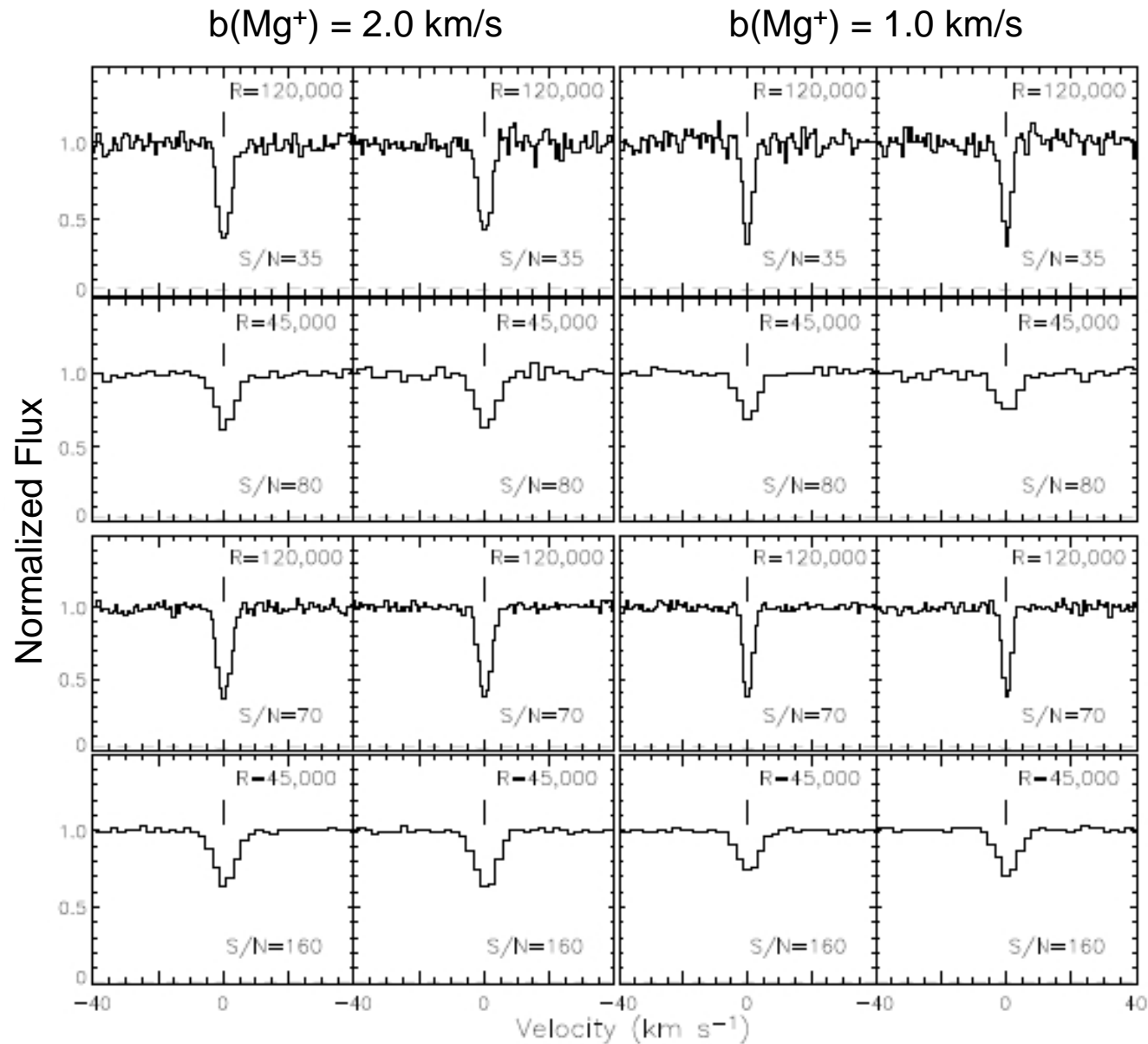
1 km/s スケールの極細吸収構造の存在を示唆する観測結果

1. 小さな星間物質 ($l < 1$ pc, $\Delta v < 3$ km/s) の存在 (Na I D; Points et al. 2004)
2. HVCに $T < 900$ [K]の極低温ガスが存在 (HI 21cm; Richter et al. 2005)
3. DLAに極低温状態を示唆するHI 21cm 吸収線を検出 (Lane et al. 2000)
4. DLAに対する光電離モデルが超低温状態を示唆 (Wolfe et al. 2003)
5. Mg I / Mg II 比が低温状態のガスの存在を示唆 (Churchill et al. 2003)

R=120,000 vs. R=45,000



R=120,000 vs. R=45,000



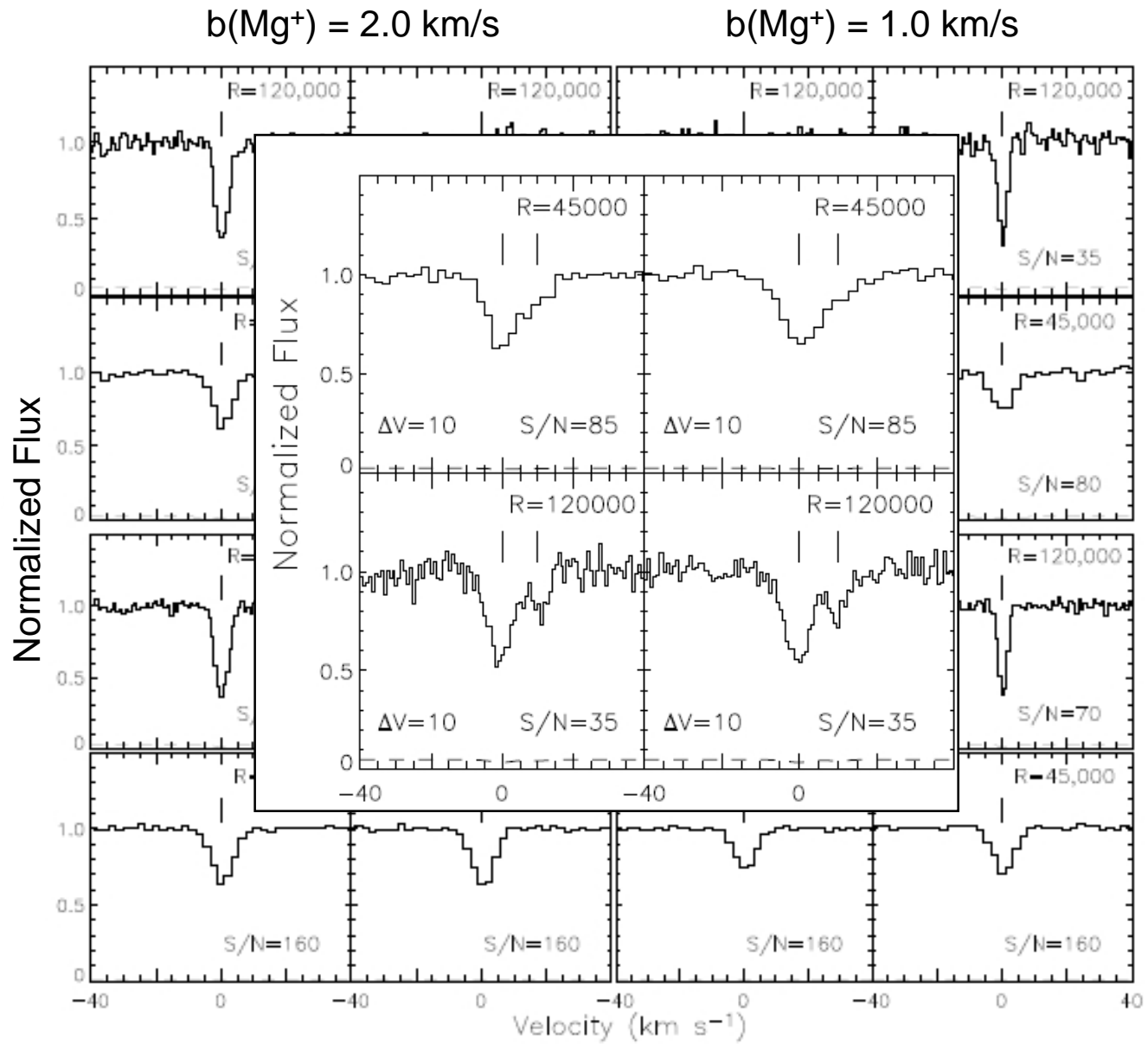
R=120,000
0.0016 Å/pix
S/N=35/pix

R=45,000
0.04 Å/pix
S/N=80/pix

R=120,000
0.0016 Å/pix
S/N=70/pix

R=45,000
0.04 Å/pix
S/N=160/pix

R=120,000 vs. R=45,000



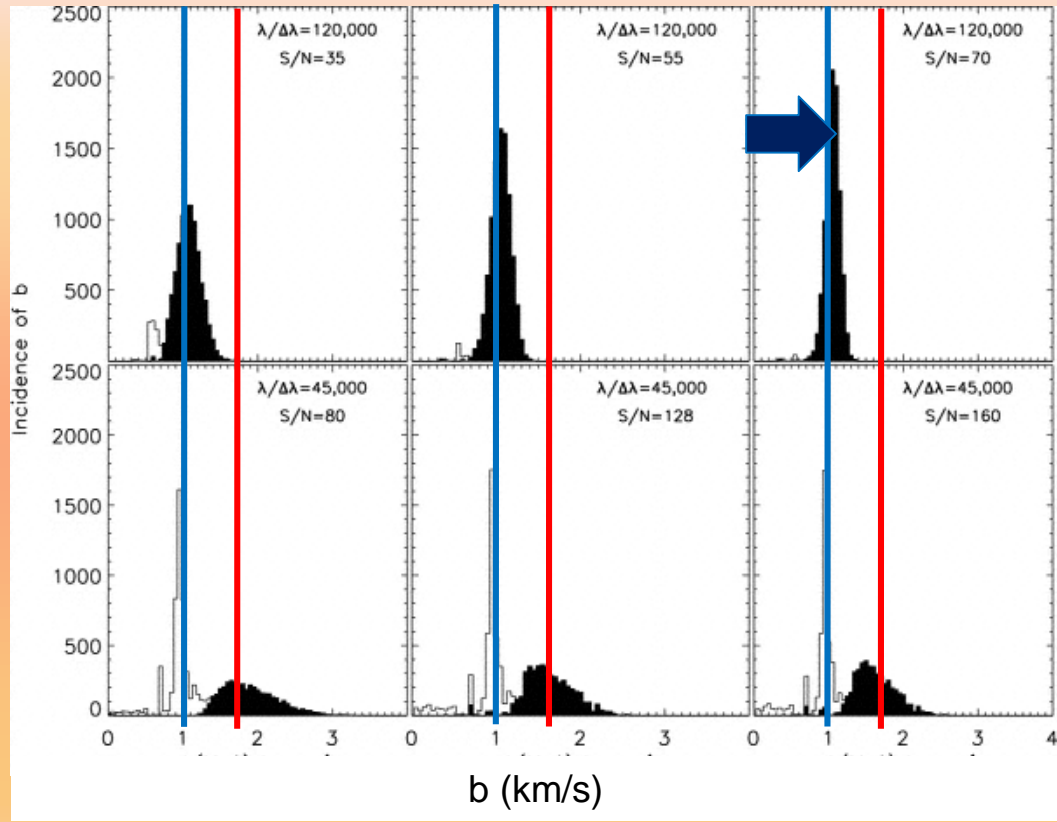
R=120,000
 0.0016 Å/pix
 S/N=35/pix

R=45,000
 0.04 Å/pix
 S/N=80/pix

R=120,000
 0.0016 Å/pix
 S/N=70/pix

R=45,000
 0.04 Å/pix
 S/N=160/pix

$T_{\text{gas}} = 1500 \text{ K}$ \rightarrow $T_{\text{gas}} = 6000 \text{ K}$



$b(\text{Mg}^+) = 1 \text{ km/s}$
 $R=120,000$ $\log N(\text{Mg}^+) = 12 \text{ cm}^{-2}$

$R=45,000$

$\xrightarrow{\text{S/N}}$

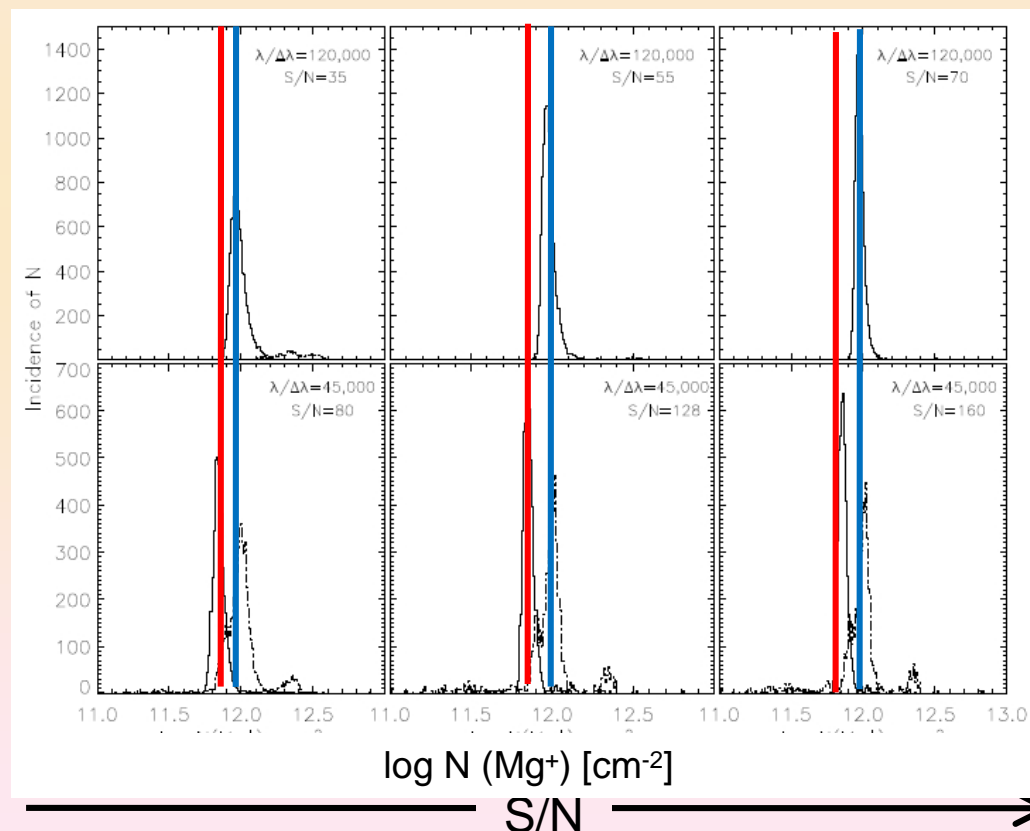
Very cold gas の温度(柱密度)が
過大(過小)評価されていた。
DLA System などの金属量評価
に影響をあたえる。



Extremely high density regions
の物理量を正確に再評価

$\log N(\text{Mg}^+) = 11.7$

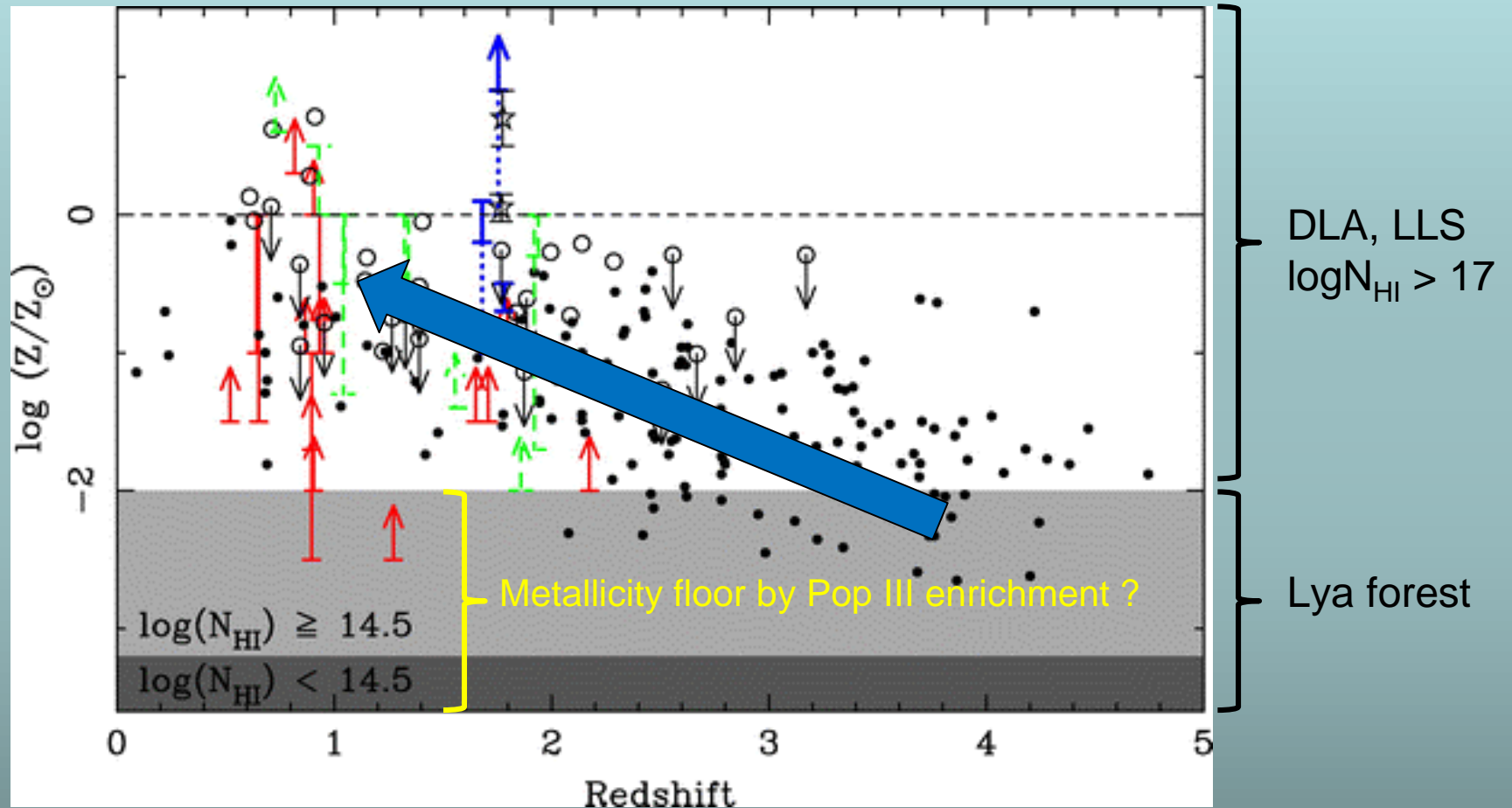
$\text{Log } N(\text{Mg}^+) = 12$

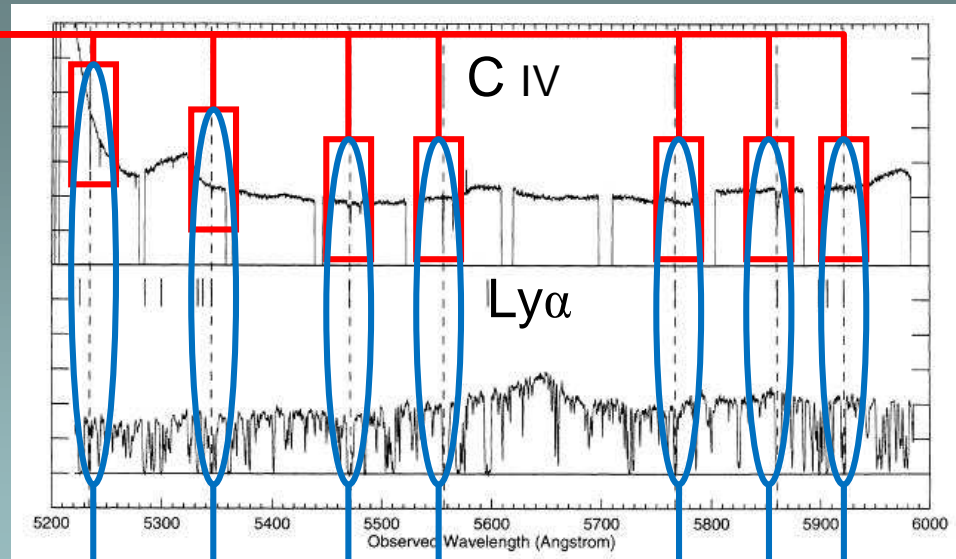


R=120,000

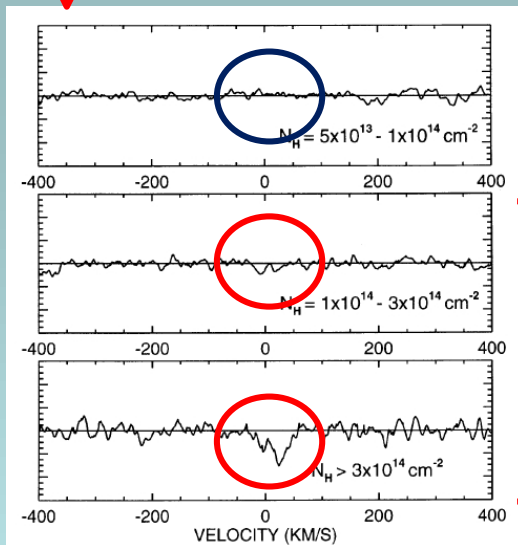
R=45,000

テーマ3: 銀河間ガスの金属量





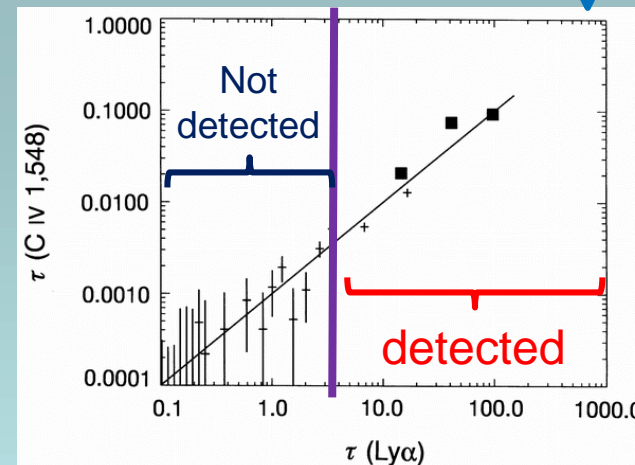
Stacking method



Not detected

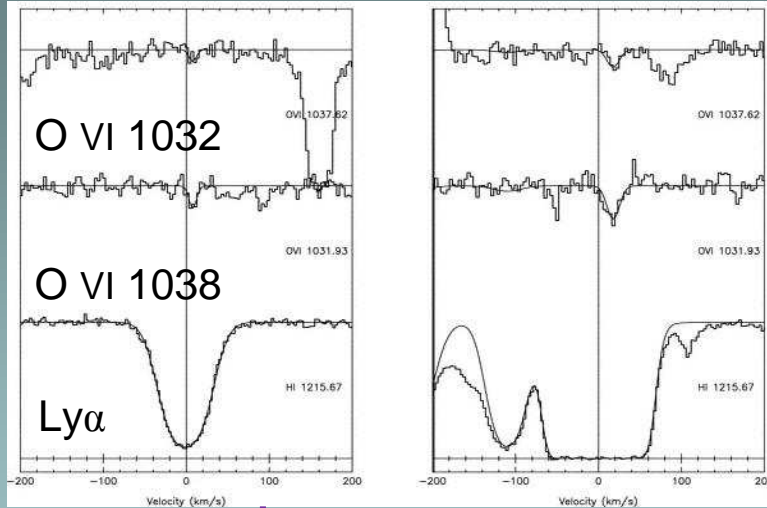
detected

Pixel-by-pixel method

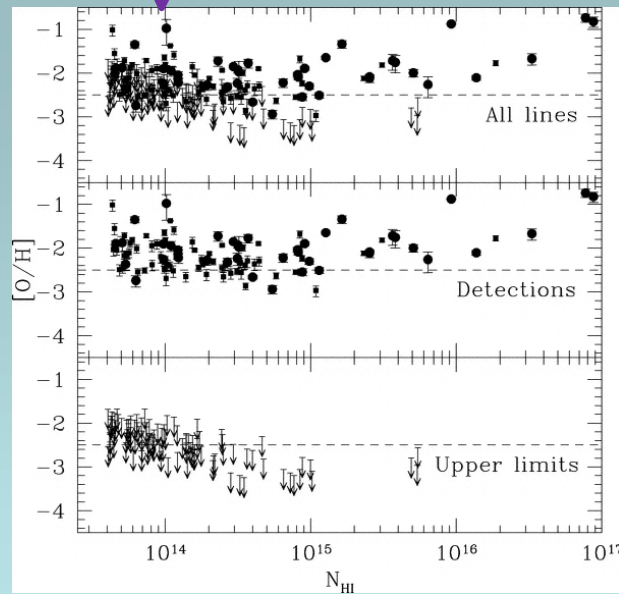


$[Z/Z_{\odot}] \sim -2.5$ at $\log N_{\text{HI}} > 14.5$
 No detection at $\log N_{\text{HI}} < 14.5$

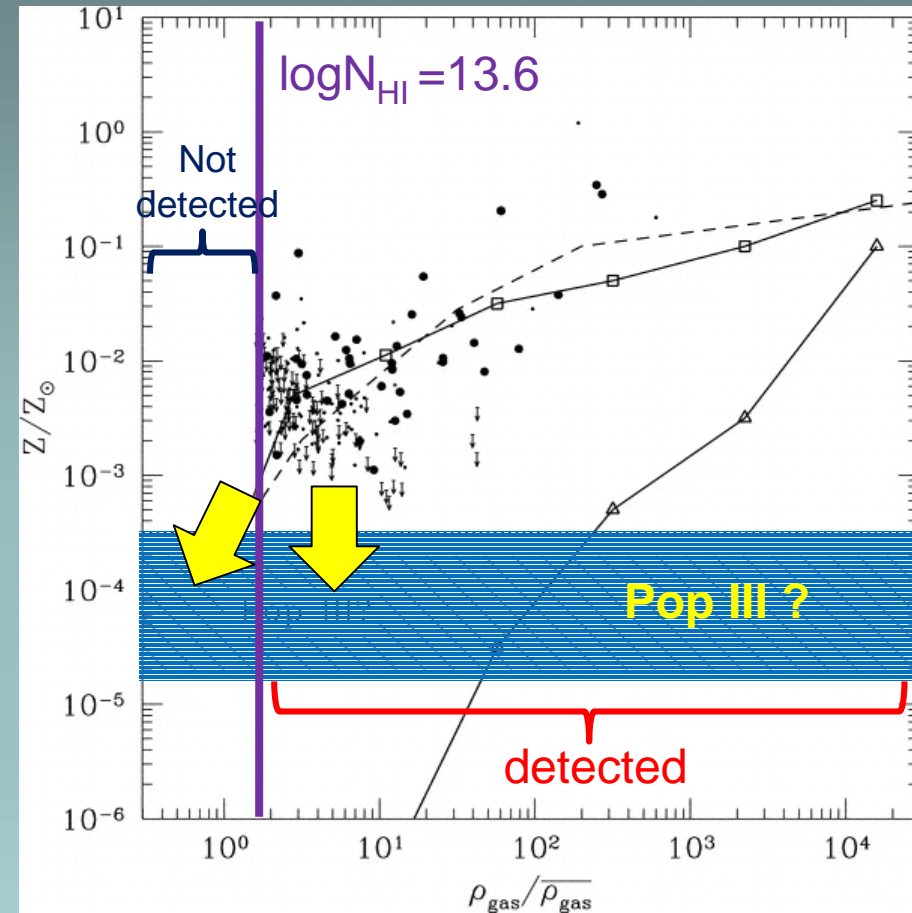
Cowie et al. 1995, 1998



Fitting method



Simcoe et al. 2004



$[Z/Z_{\odot}] \sim -2.85$ at $\log N_{\text{HI}} > 13.6$

No detection at $\log N_{\text{HI}} < 13.6$

Metallicity Floor の存在を探る

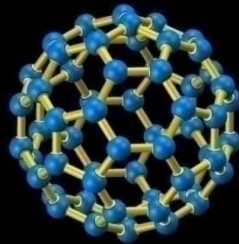
テーマ4：初期宇宙における有機物探査

Diffuse Interstellar Bands (DIBs):

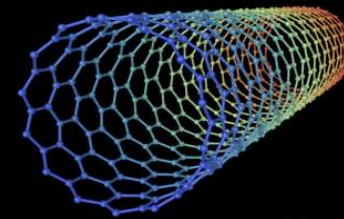
銀河系内の星間物質による吸収線のうち、比較的線幅の大きい未同定吸収線群



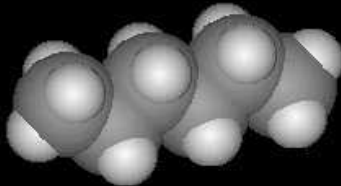
宇宙空間でも安定して存在できる高分子ガスによる吸収？



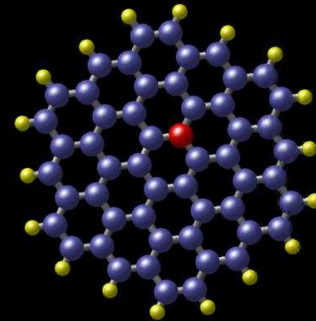
fullerene



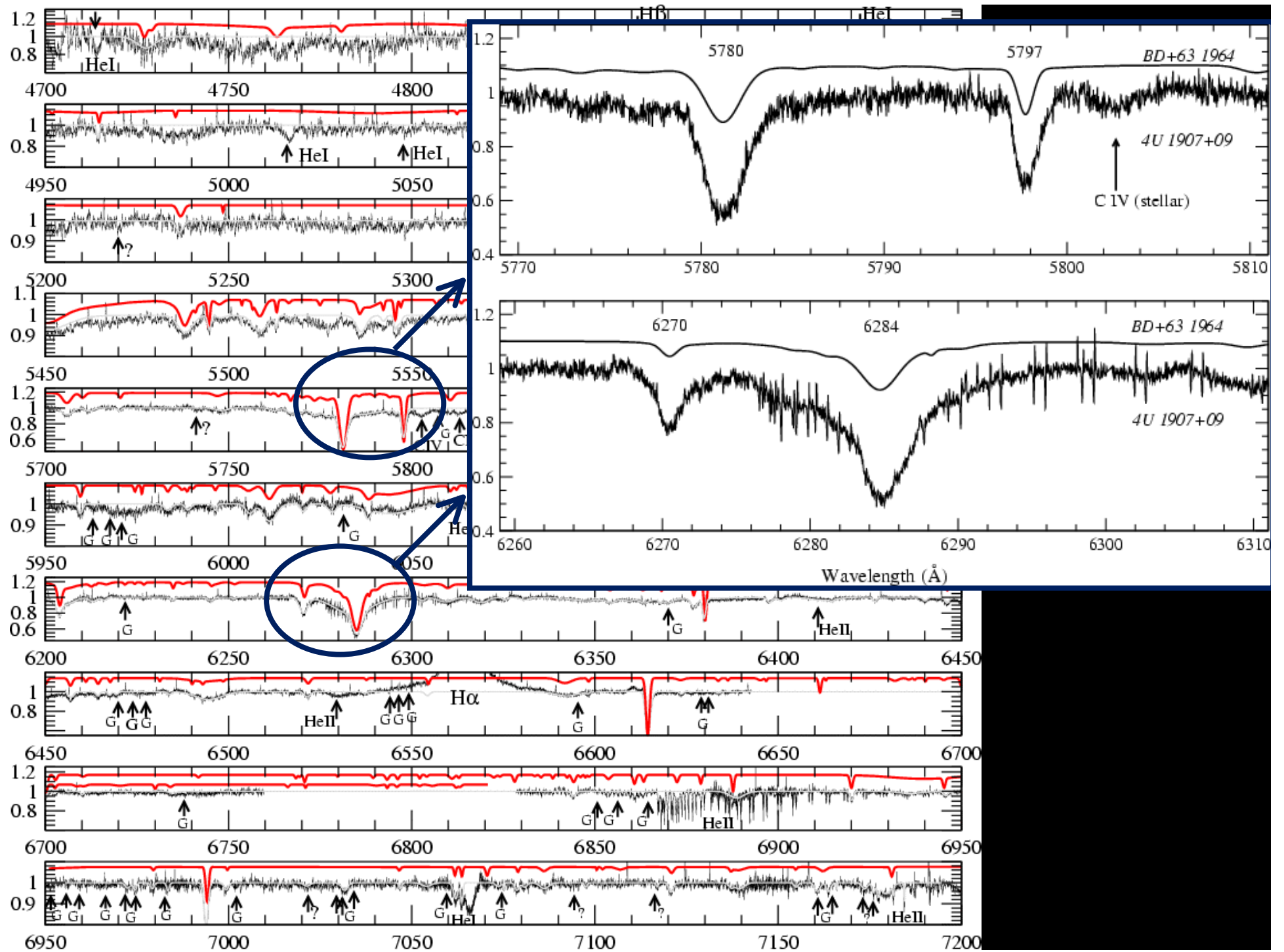
Carbon nanotube



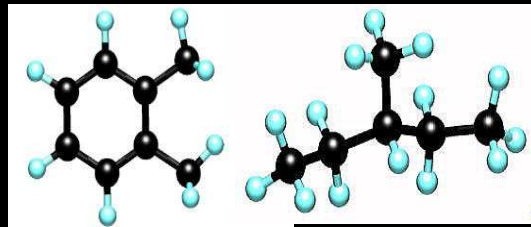
Carbon chain



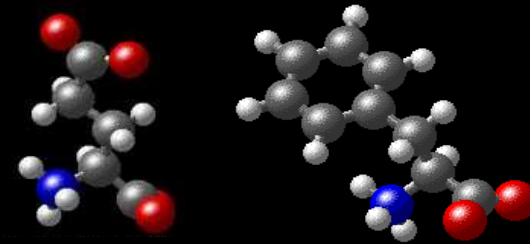
PAH



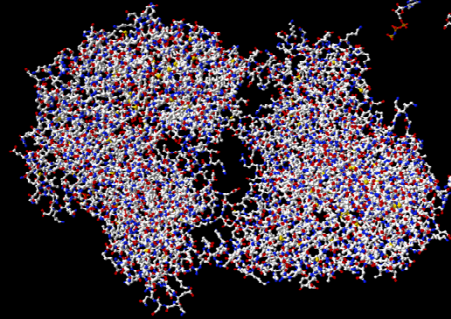
テーマ4：初期宇宙における有機物探査



organic matters



Amino acid



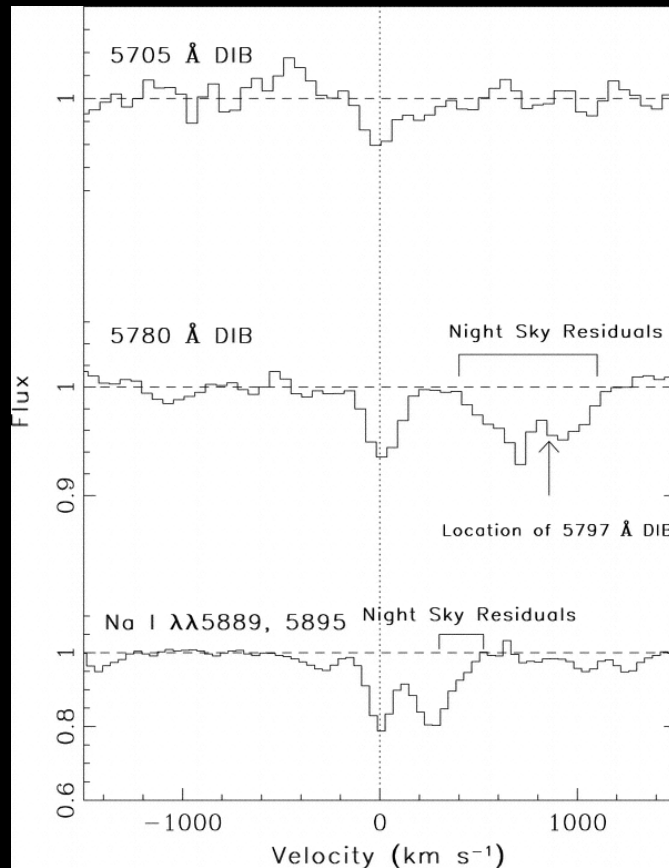
protein



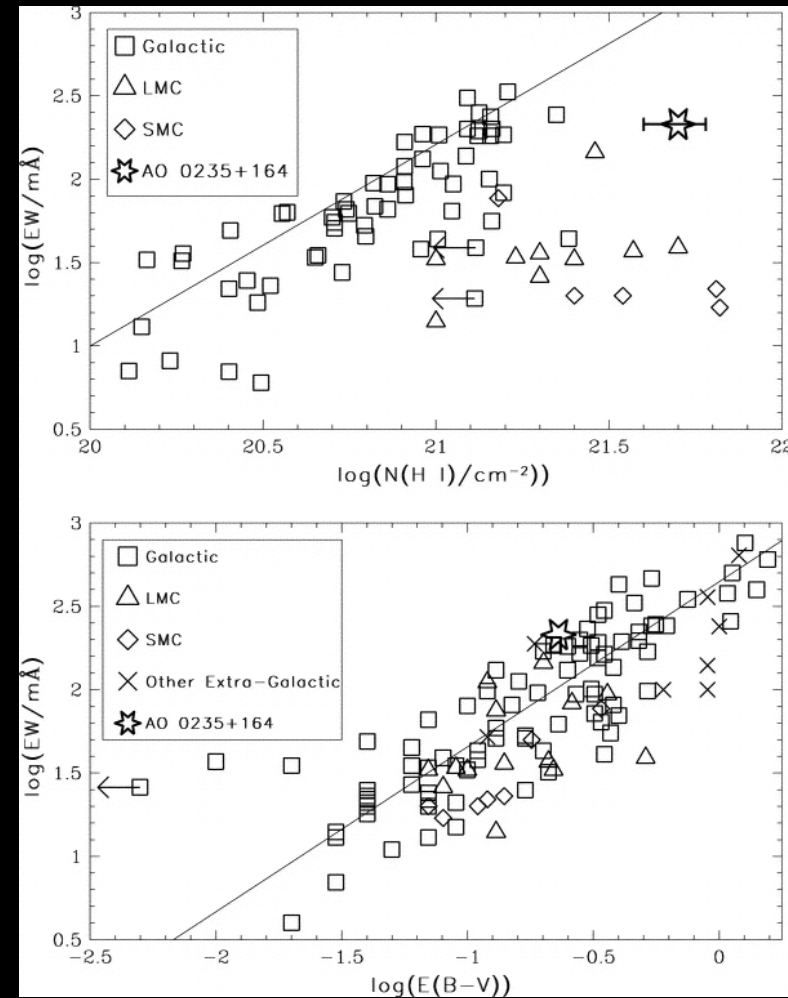
life

銀河系外におけるDIB探査の幕開け

Extra-galactic DIBs are detected in LMC/SMC and several DLA systems at $z > 0.5$

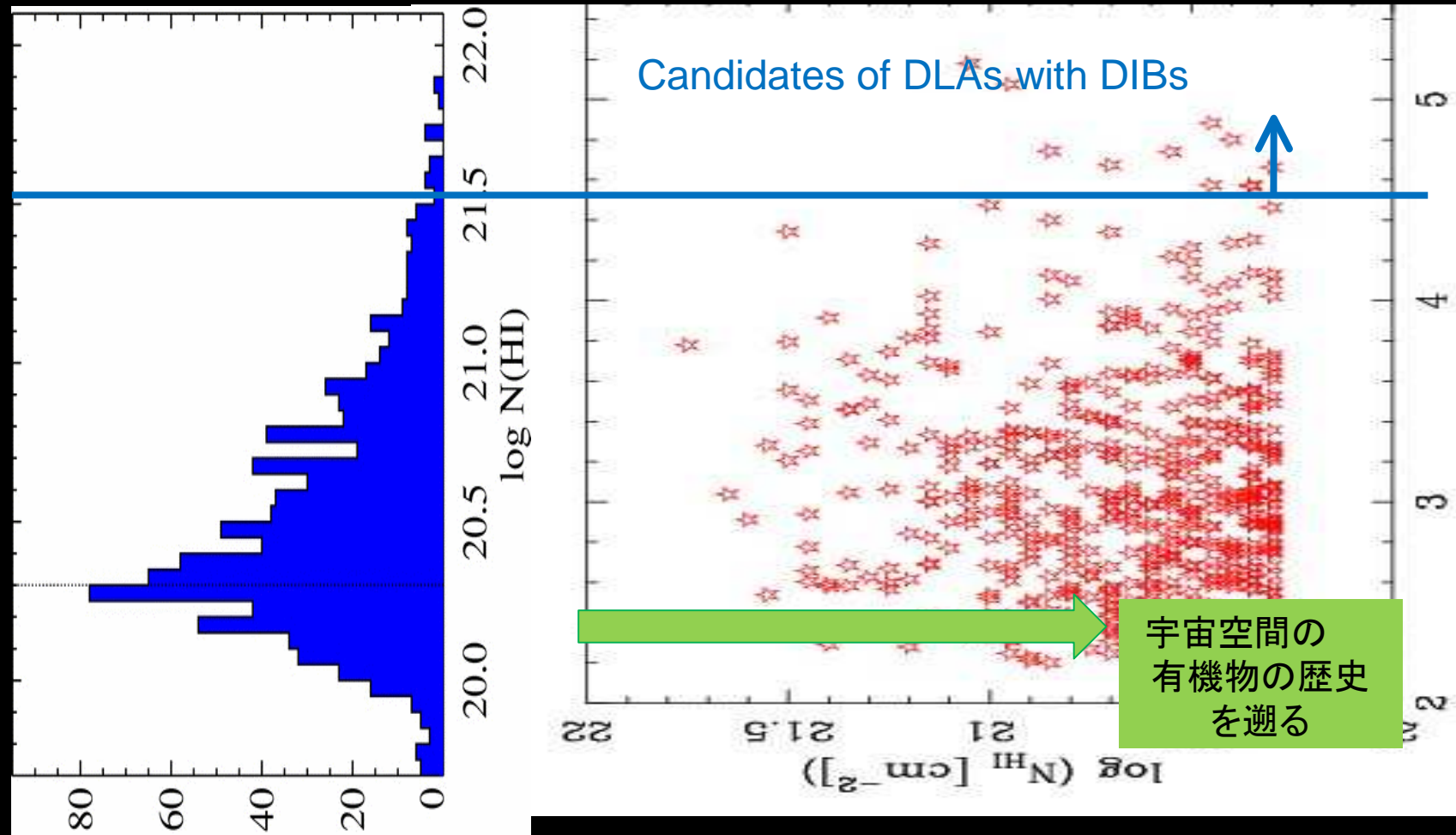


(at $z \sim 0.5$, 5 billion yrs ago)

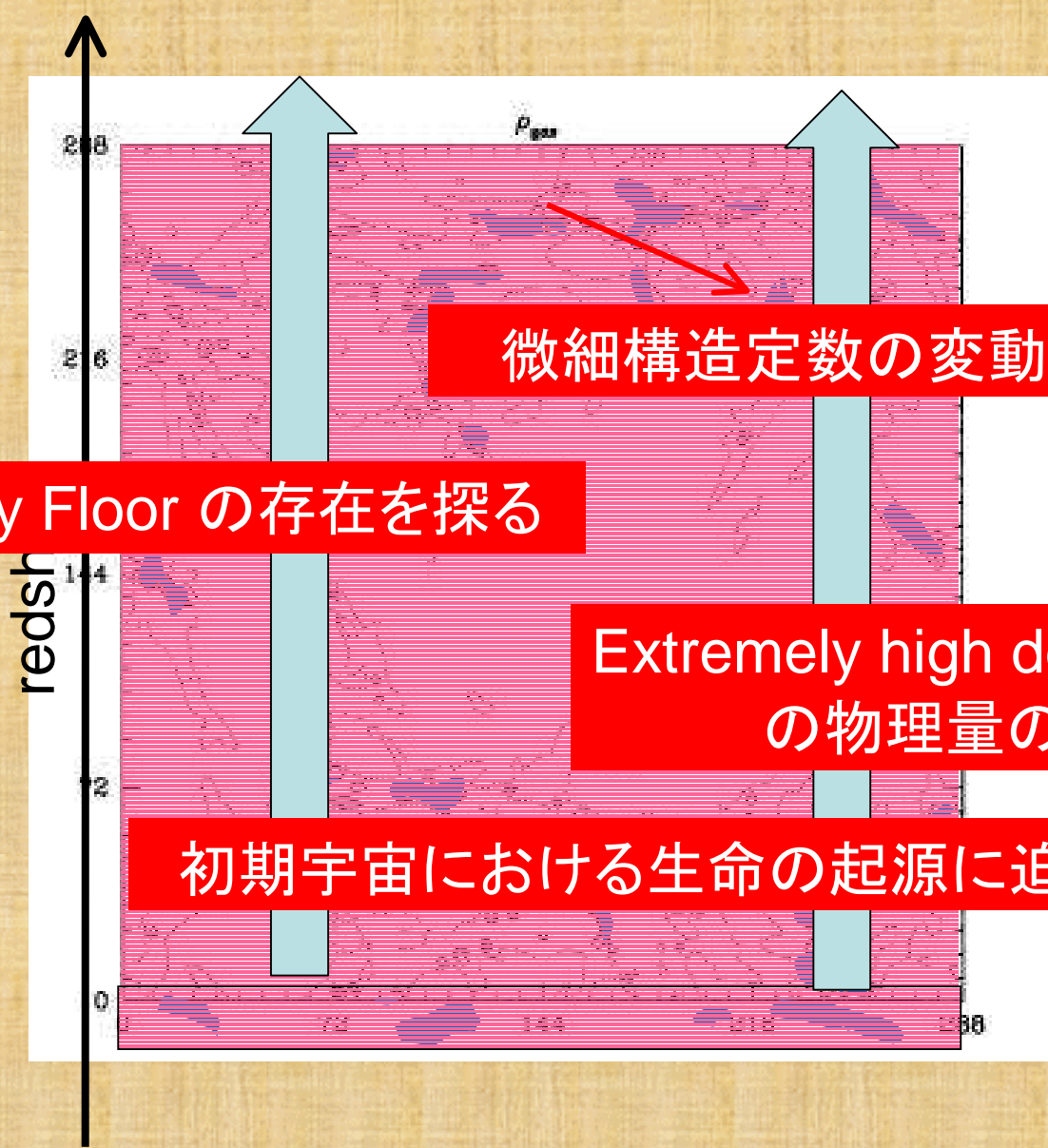


York et al. (2006)

銀河系外におけるDIB探査の幕開け



初期宇宙における生命の起源に迫る



微細構造定数の変動に決着

Metallicity Floor の存在を探る

Extremely high density regions
の物理量の再評価

初期宇宙における生命の起源に迫る

第2回クェーサー吸収線研究会

@長万部

10月11日(土)・12(日)

hosted by



(質疑応答 — Q:質問, A:回答, C:コメント — 氏名無しは発表者の発言, 敬称略)

(Q) もっとクエーサーを探して、サンプルを増やす必要はないのか？ (土居)

(A) その必要はある。

(Q) 講演で $R \sim 45000$ と 120000 の比較の話があったが、それは $R \sim 120000$ が限界という意味なのではないか？もっと高い R が必要ということはないのか？また超低温ガスが持つ astrophysical な意味は？ (吉田み)

(A) これ以上の高分散分光スペクトルはわかっていない、というのが現状。低温ガスについては、これが集まって DLA 天体を形成するという話もある。