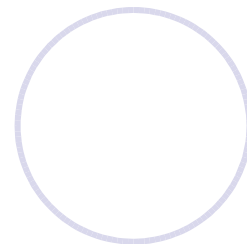
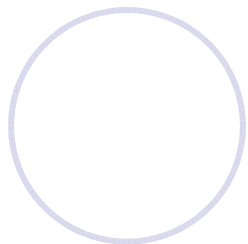


次世代QSO吸収線観測による 高赤方偏移での重元素の分布

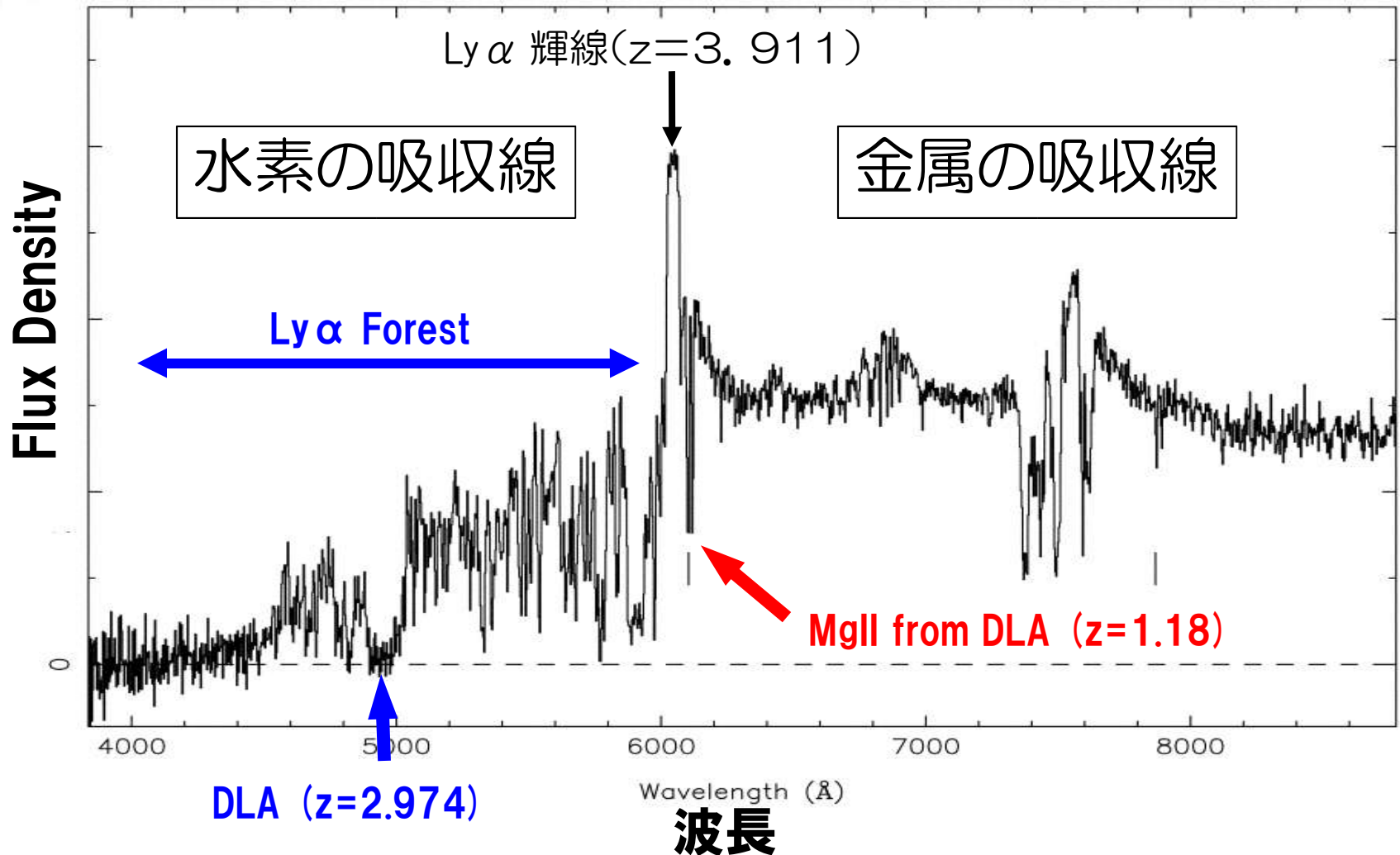
東大理天文センター
小林 尚人

内容



1. **高赤方偏移QSO吸収線系の意義**
2. **5年スケールでの将来**
3. **10–20年スケールでの将来**

高赤方偏移QSO吸収線系



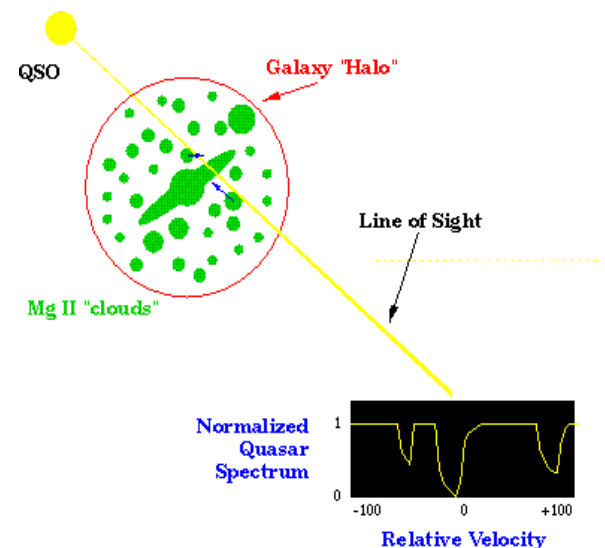
高赤方偏移QSO吸収線系の意義

1. 銀河間物質の大局的化学進化

- 銀河系の星のアバンドンスパターンを説明できるか？
- **Type Ia 超新星型、Type II 超新星型、もしくは？？**
(鉄族元素) (α 元素)

2. 銀河ハローの形成過程

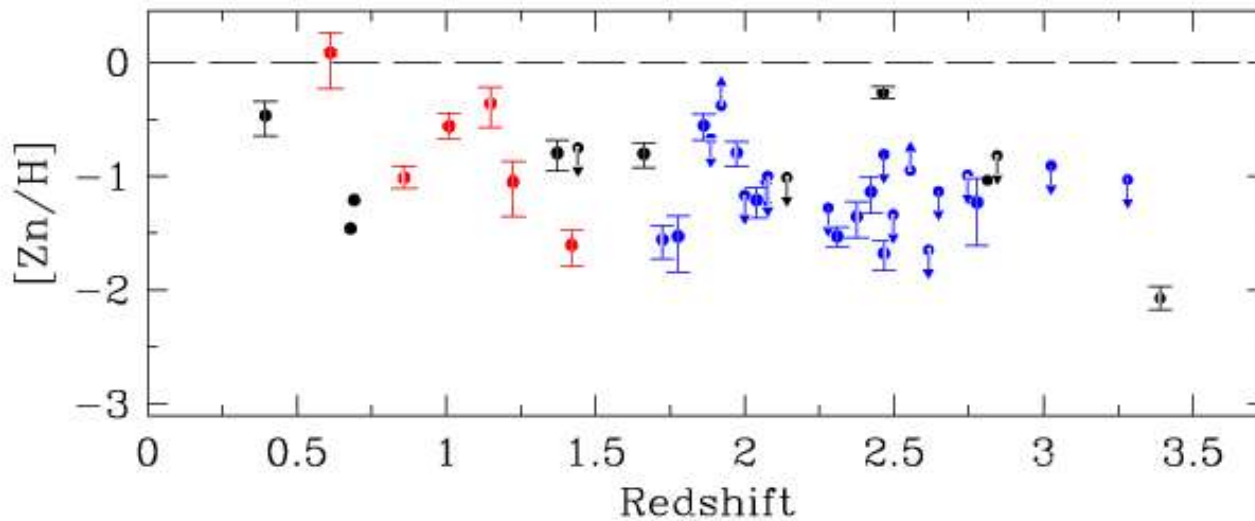
- ハローのサイズ
- **ハローガス雲の運動 (infall と回転)**
- ハローガス雲のサイズ



高赤方偏移 ($2 < z < 6$) では銀河形成と密接に関連

1. 銀河間物質の大局的化学進化

金属量の進化(DLA)



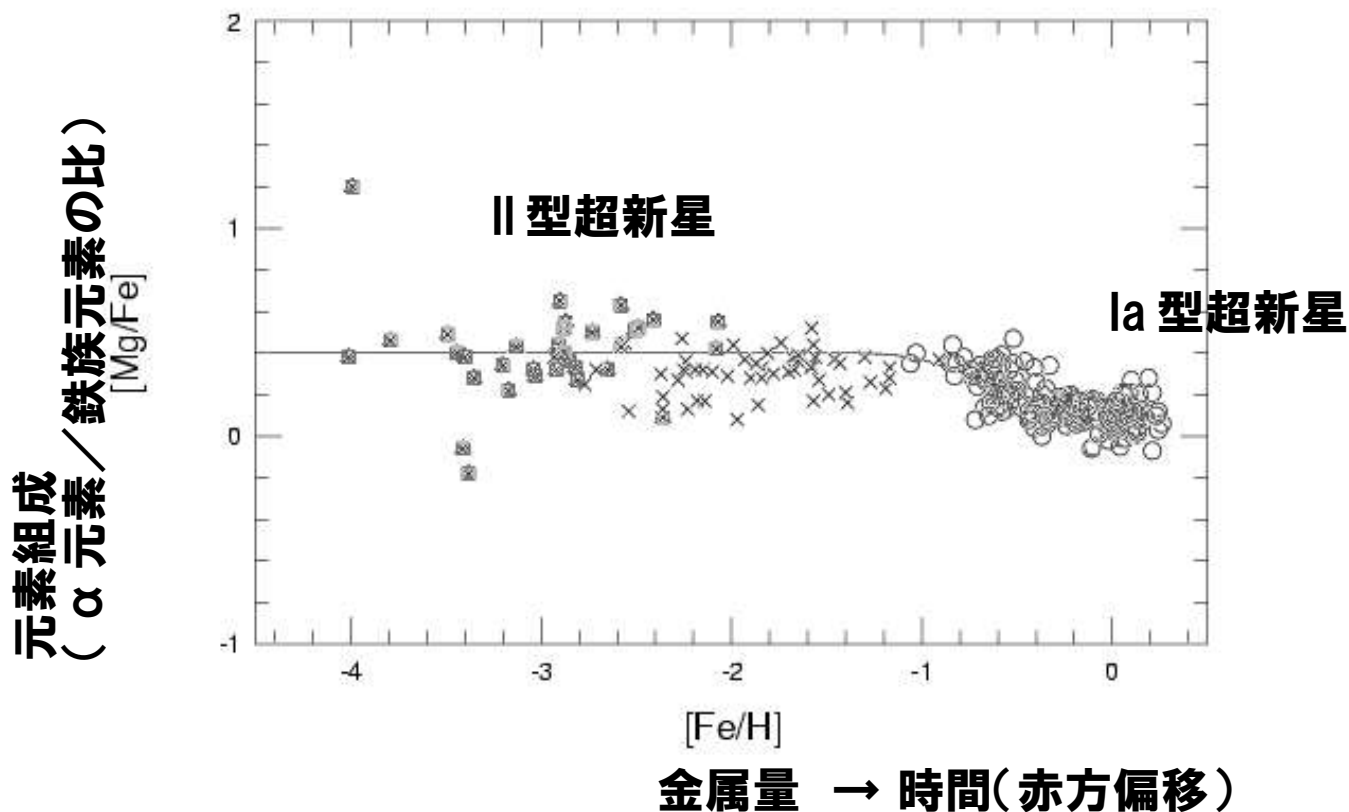
Ellison 2003

→ ゆるやかな変化しか見られない

1. 銀河間物質の大局的化学進化

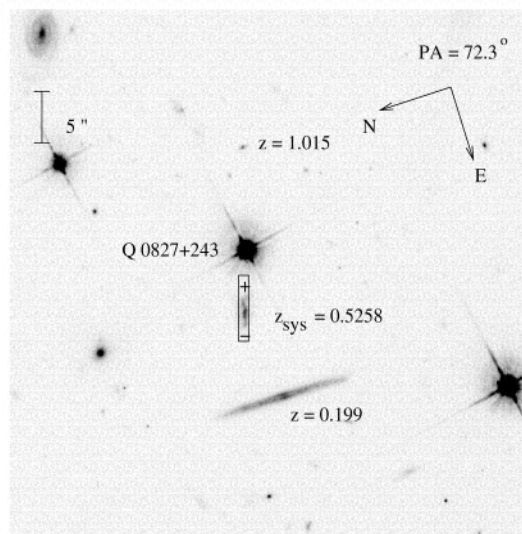
元素組成の進化（銀河系の星）

Tsujimoto, private comm.

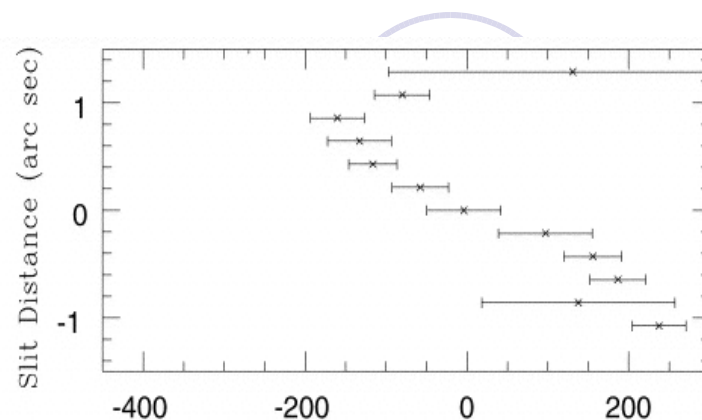
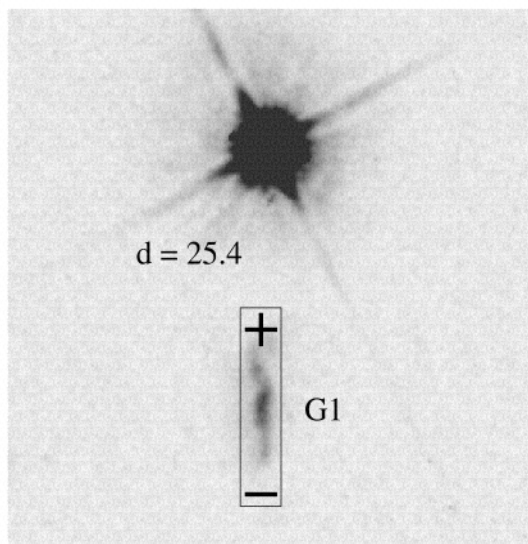


→ クエーサー吸収線系で「元素組成」を求めるのが最大の目標

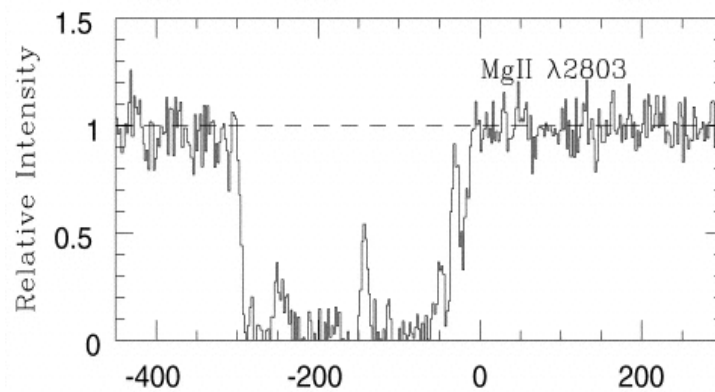
2. 銀河ハローの形成過程



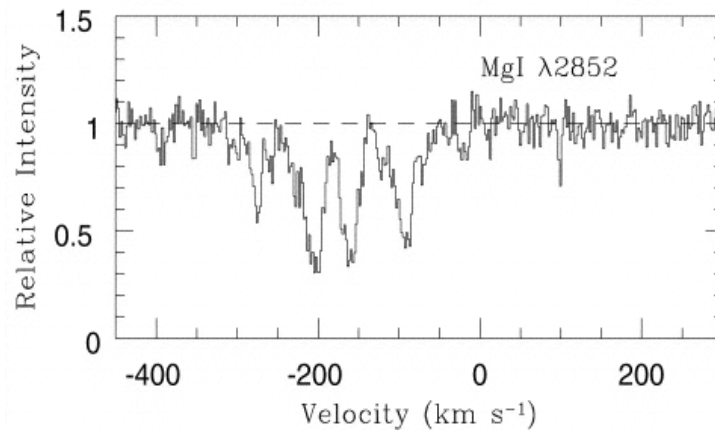
Halo の回転と Disk の回転の比較



Disk



Halo



Steidel et al. 2002

5年スケールでの将来

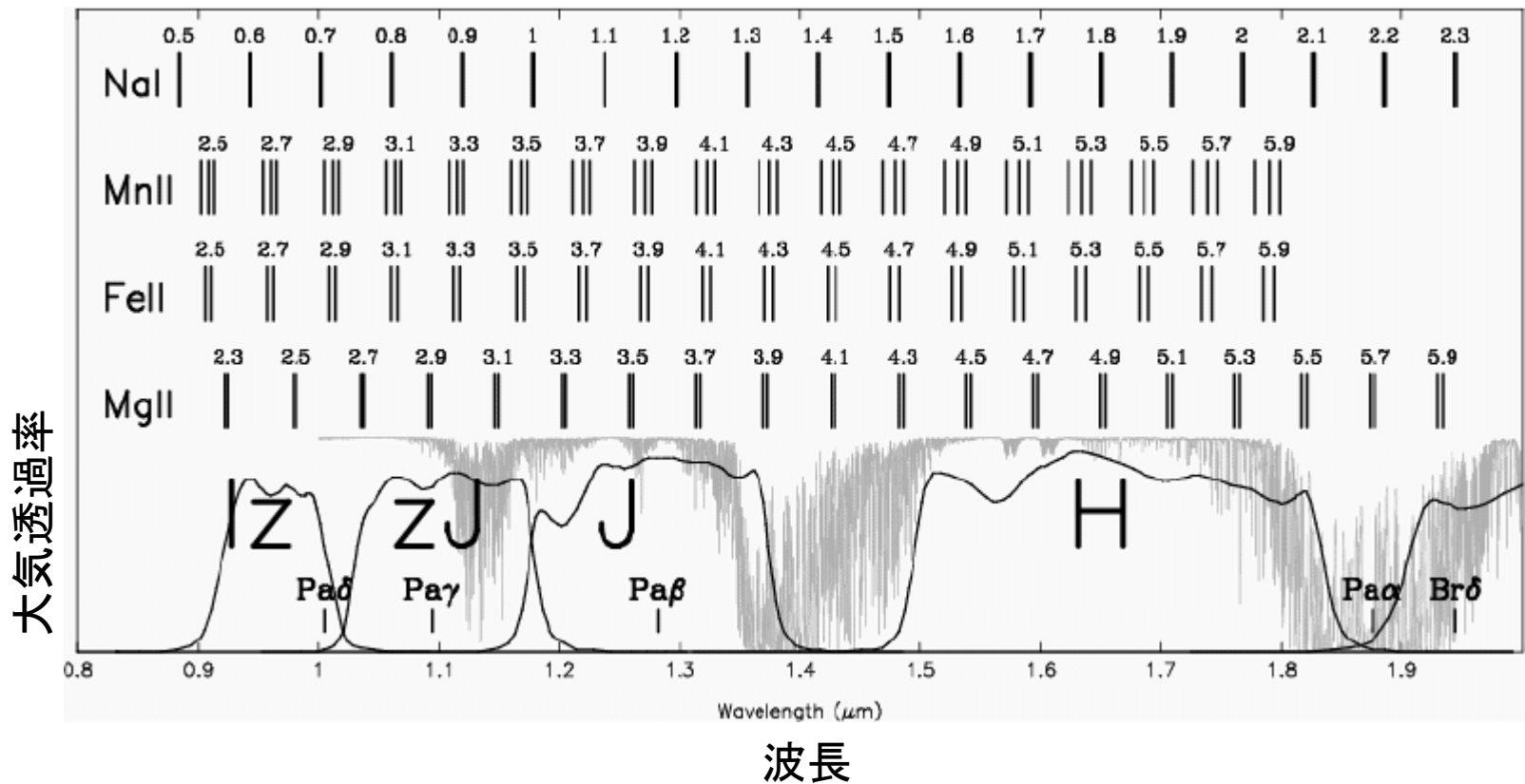
- **可視（超）高分散分光** 0.3–0.9 μm
8mクラスの望遠鏡で、 $R > 100,000$ が定常化？
- **高感度近赤外高分散分光** 0.9–2.5 μm
8 mクラスの望遠鏡 +AOで、 $R > 50,000$ が定常化
Z > 5 QSOもターゲットに
- **高感度電波吸収線分光** ALMA
分子線(COなど), 原子線(CIIなど)

赤外線高分散観測の動機

- 重要な金属吸収線は $Z > 2.5$ で近赤外線域に

MgII $\lambda\lambda$ 2796, 2803, FeII $\lambda\lambda$ 2587, 2600

MnII $\lambda\lambda$ 2576, 2594, 2606, NaI $\lambda\lambda$ 5892, 5897



5年スケールでのサイエンス（例）

- **長い波長へ** 0.9–2.5 μm $z > 3$ へ
豊富な金属吸収線 e.g., Mn, Zn
- **GRBの吸収線分光** very high- z へ
大型望遠鏡をすぐに向けられるフレキシブルさが求められる
- **吸収線系の対応銀河** $b < 5$ kpc
high- z 銀河の most dominant population
補償光学(AO)による高分解能撮像
- **銀河 Halo の kinematics**
dark matter halo を含めた銀河進化の描像

10–20年スケールでの将来

- **超大口径望遠鏡** $D > 30\text{m}$

$z > 6$ QSO を中心とした観測

超高分散分光 ($R > 300,000$, $\Delta v = 1\text{km/s}$)

…電波分光に匹敵するレベル

- **スペース望遠鏡** $\lambda > 1\mu\text{m}$

近赤外 $1-5.5\mu\text{m}$ での一様な吸収線サンプル

ナトリウム D 線、DIB (星間塵) の高赤方偏移吸収線 ($\lambda > 3\mu\text{m}$)

10–20年スケールでのサイエンス（例）

- **長い波長** 0.9–2.5 μm で $z < 6$ における定量化
豊富な金属吸収線の観測が定量的になり
 $z < 6$ の最終結論
- **GRBの吸収線分光** very high- z へ
 $R > 100,000$ による本格的な観測
- **全く新しい微弱吸収線**
Ba, Eu など
- **物理定数の時間変化**
微細構造定数(α)については、 $\Delta \alpha / \alpha \sim 10^{-8}$ へ到達

結論

- 高赤方偏移QSO吸収線系は、宇宙論規模での時間スケールでのバリオンの化学進化を明らかにできる唯一のプローブとして際立つ
- まだまだ発展中の分野
- 次世代地上大型望遠鏡による高感度化、高分散化で、もっともメリットがあるサイエンスの一つ

赤外線高分散観測の動機（2）

● 8mクラスの望遠鏡により、高感度な近赤外線**吸収線**高分散分光が可能に

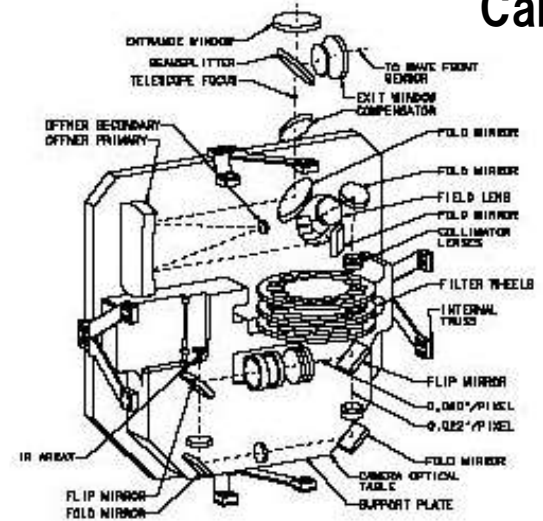
- **Keck NIRSPEC (1999-)**
波長分解能 $R \sim 30,000$ MAX (10 km/s)
- **Subaru IRCS (2000-) 今はほぼ独占状態**
波長分解能 $R \sim 20,000$ MAX (15 km/s)
限界等級 $J(1.25 \mu\text{m}) = 16.5 \text{ mag}$ for $R=5,000$
- **VLT CRIRES (2005-)**
波長分解能 $R \sim 100,000$ MAX (3 km/s)

タイムリーなテーマ

Subaru IRCS

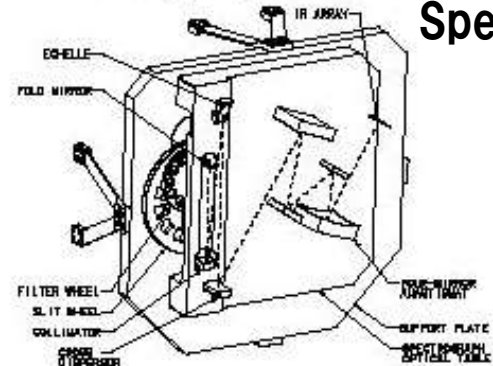


(a) The fore-optics and camera sections



Camera

(b) The spectrograph section



Echelle Spectrograph

ターゲット: B1422+231

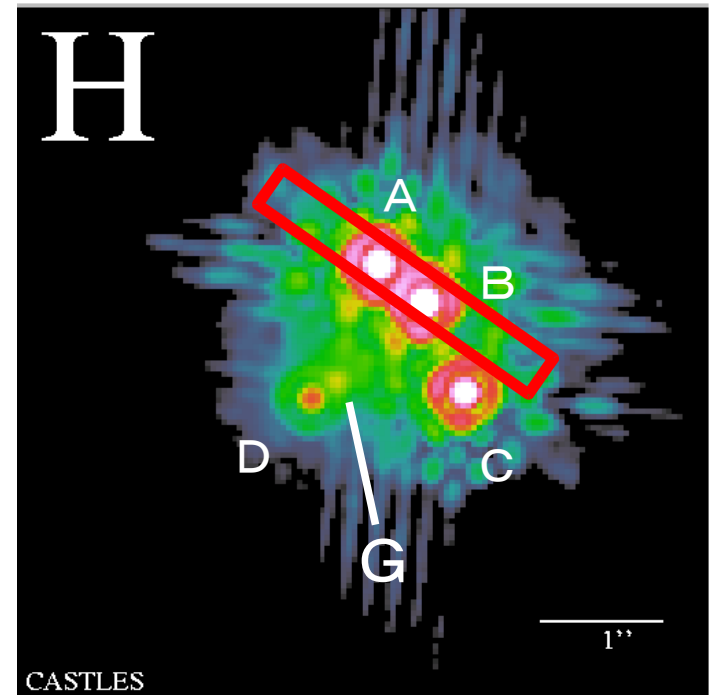
- $Z=3.62$
- 近赤外線で2番目に最も明るい high- z QSO
- 重力レンズQSO

$$z_{\text{lense}} = 0.339 \text{ (Tonry 1998)}$$

A-B: 0".5

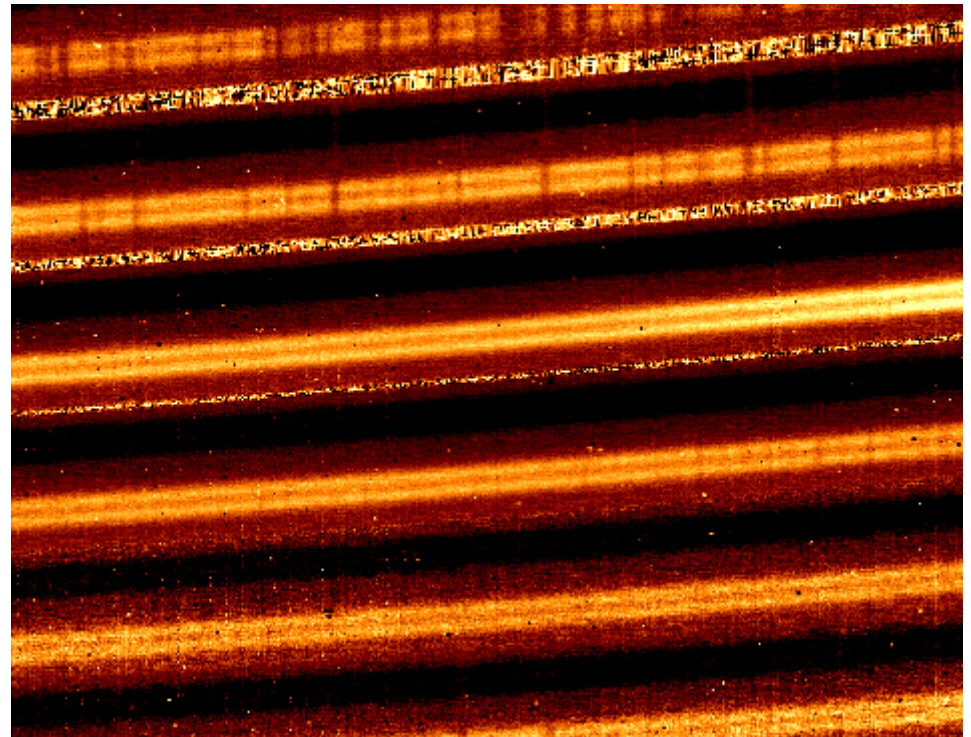
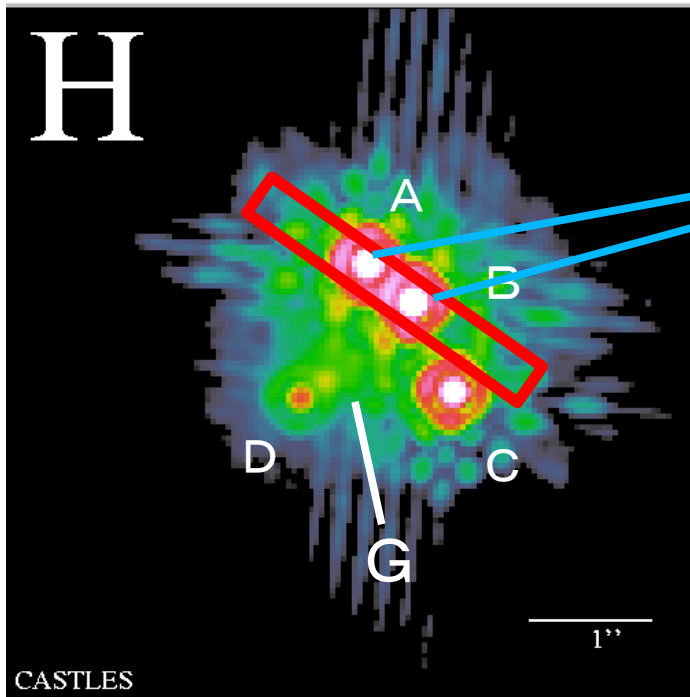
地上近赤外だと分解可能

それぞれ $J \sim 15$ mag

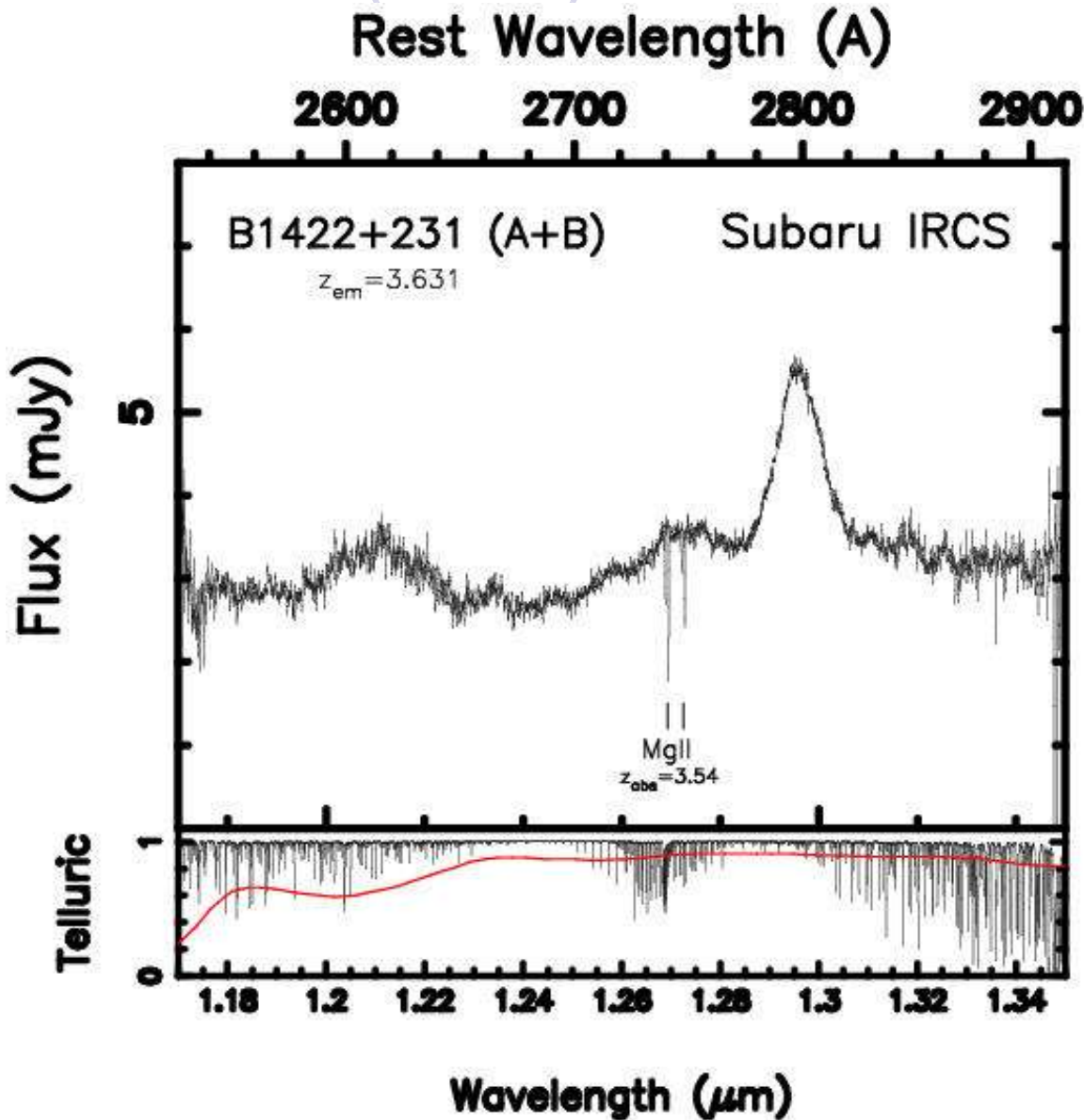


観測

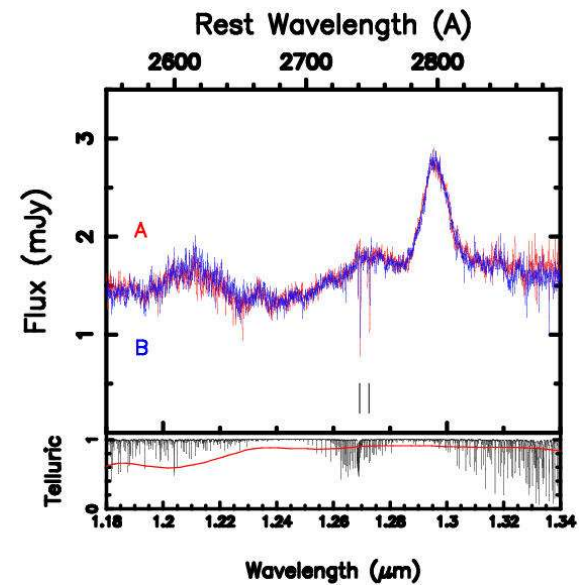
- すばる共同利用 IRCS : $0''.3$ -slit $R=10,000$ (30 km/s)
- 好天候 photometric, seeing $\sim 0''.3$
→ A,B ($0''.5$) を分解



結果：全体のスペクトル A+B



- $z=3.54$ の強い MgII 吸収線を検出

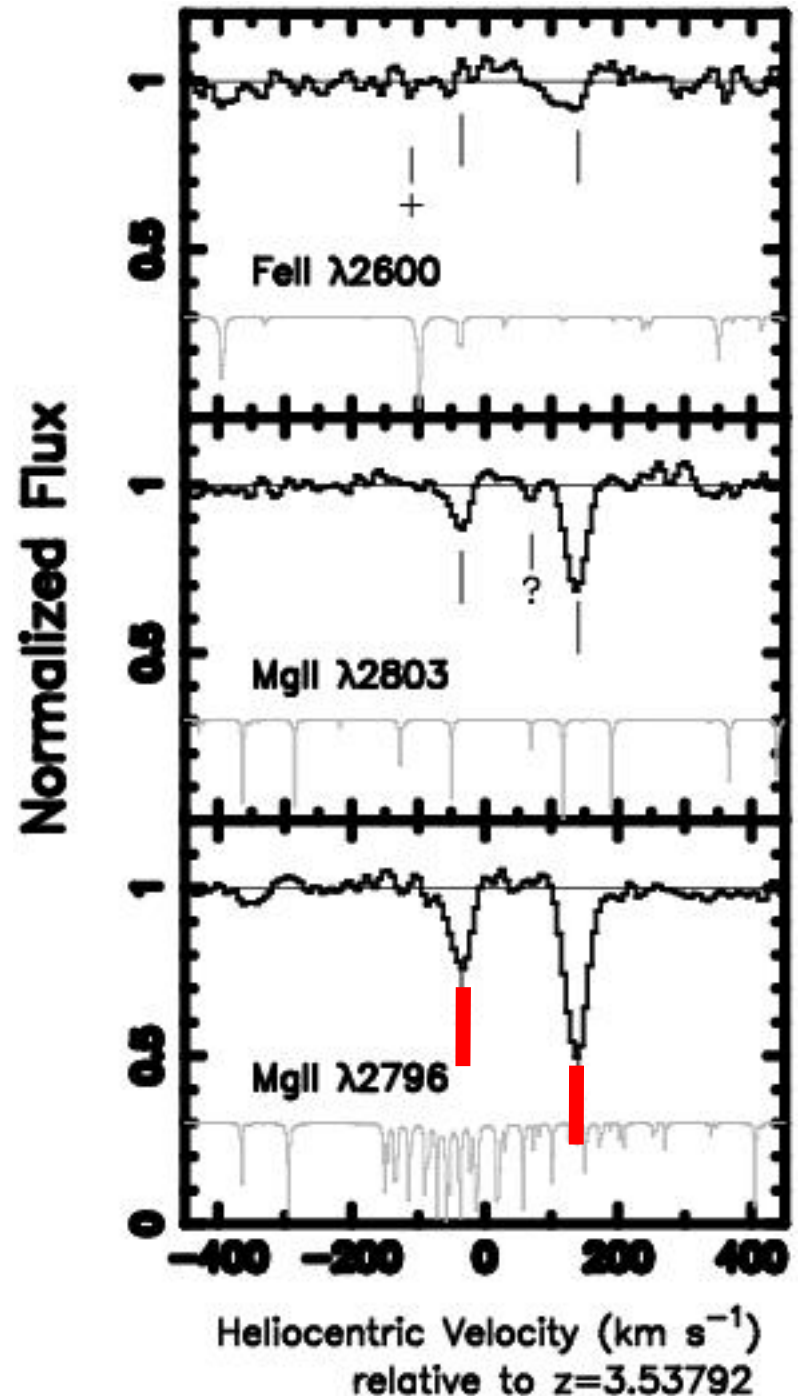


結果: $z=3.54$ system

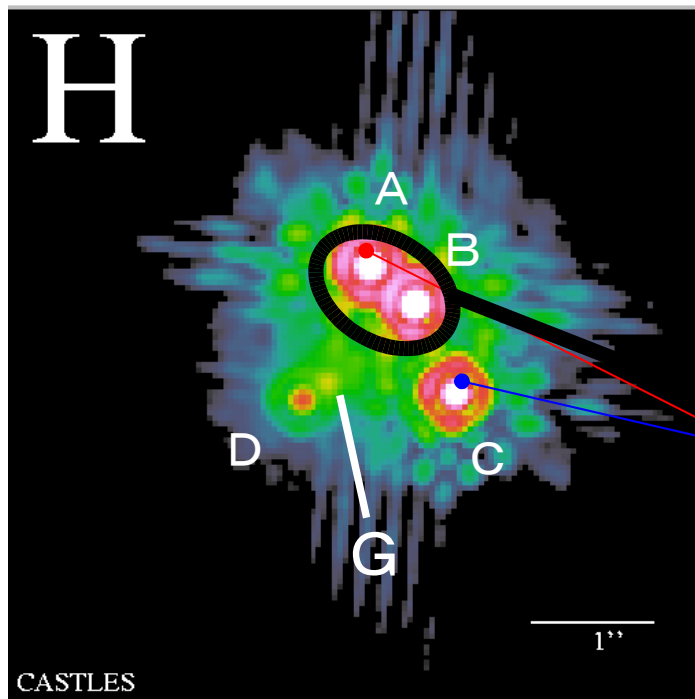
- MgII $\lambda\lambda 2796, 2803$
S/N > 30 (per pix) の検出

- FeII $\lambda 2600$
S/N > 5 検出?

→ **速度2成分が存在** //
(-50 km/s, +150 km/s)



z=3.54 system の同定

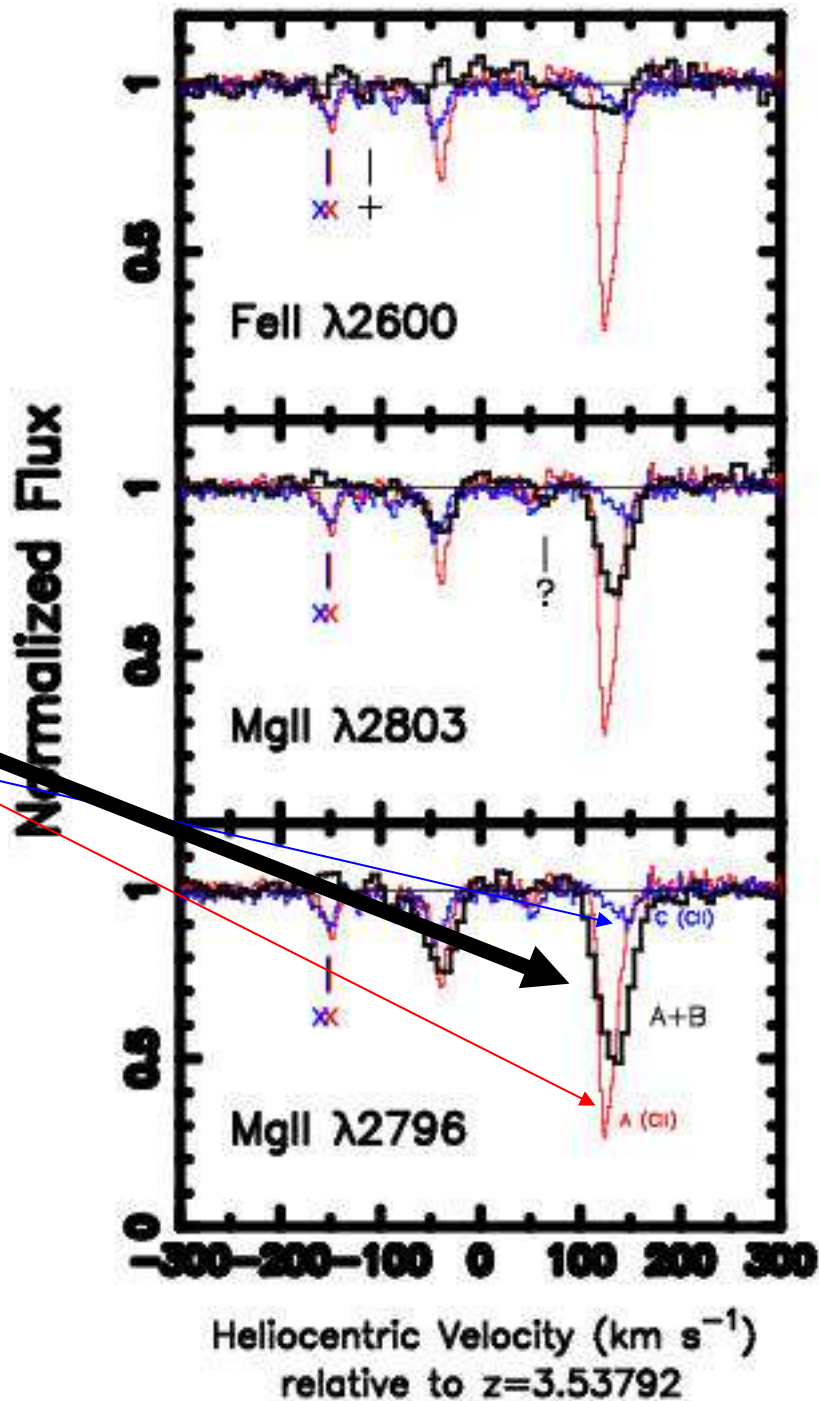


- sub-Lyman Limit System

$$\log N(\text{HI}) = 16.05 \text{ cm}^{-2}$$

Keck HIRES (A-C の観測)

Rauch, Sargent, & Barlow 1999



< 議論 1 > アバundance 「銀河化学進化」の視点で

➤ MgII abundance

$$[\text{Mg}/\text{H}] \sim +0.05 \pm 0.02 \quad (\log U = -4.4, \log (\text{HI}/\text{H}) = 0.15)$$

➤ FeII abundance

$$[\text{Fe}/\text{H}] \sim +0.02 \pm 0.1$$

→ $[\text{Mg}/\text{Fe}] \sim 0$ (preliminary)

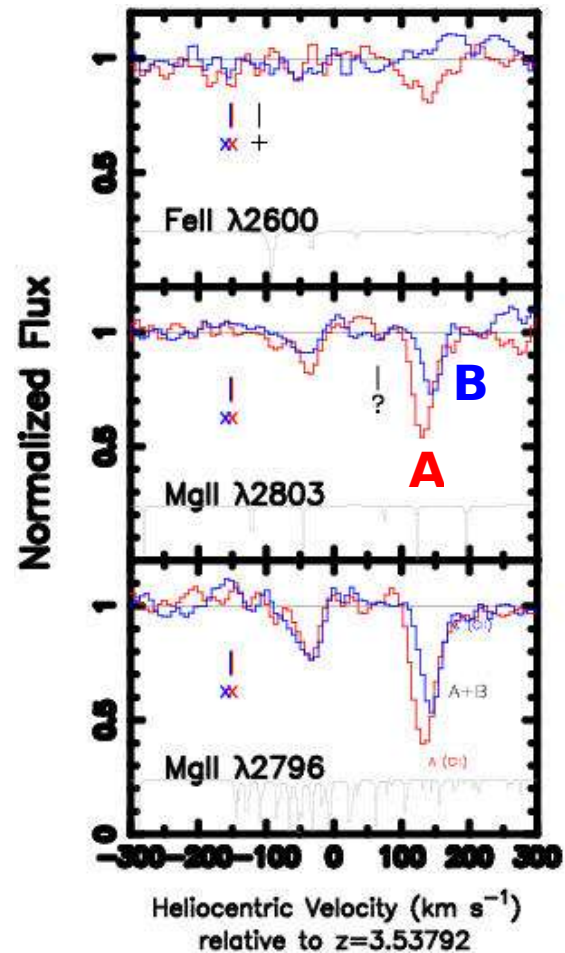
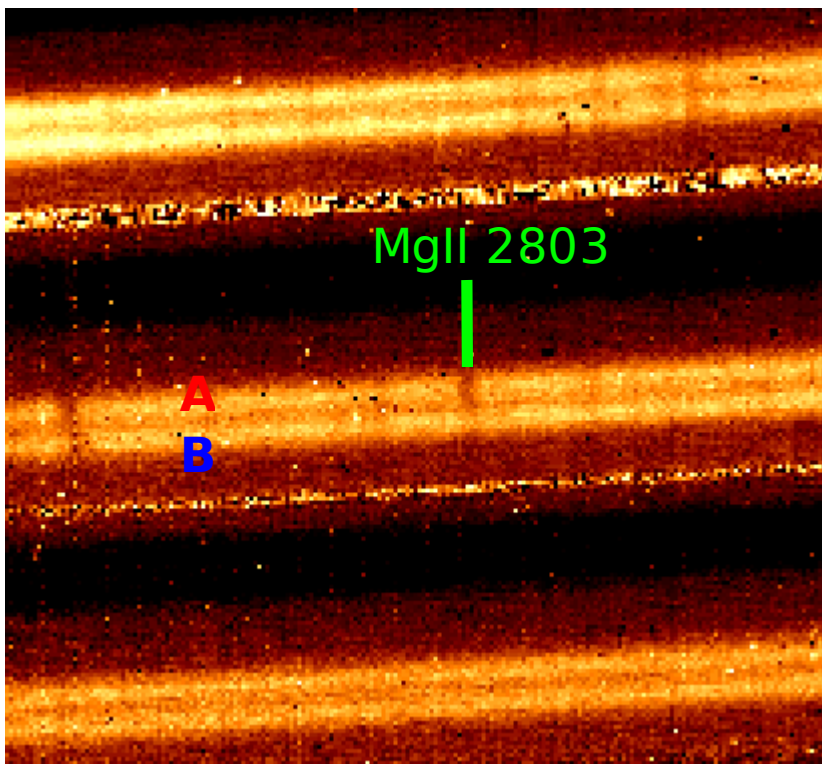
Ia 型超新星による元素合成? //

- Keck HIRES の DLA での結果「II 型超新星が主」
とは不一致 Prochaska et al.
- DLA と LLS でアバundanceパターンが異なるのか?

< 議論 2 > ハローガス雲のサイズ 「銀河ハローの形成過程」の視点で

● A-B に吸収の明確な違い

- 柱密度の差 (factor 2)
- ピーク速度のずれ (~15 km/s)

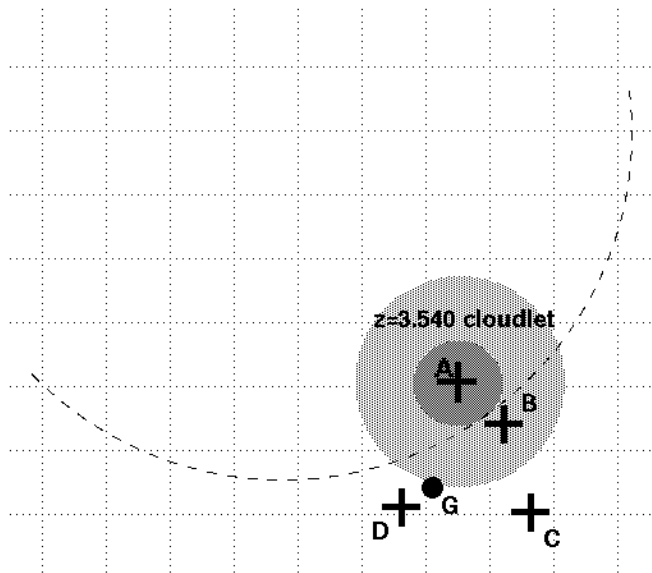


< 議論 2 > 吸収雲の空間スケール

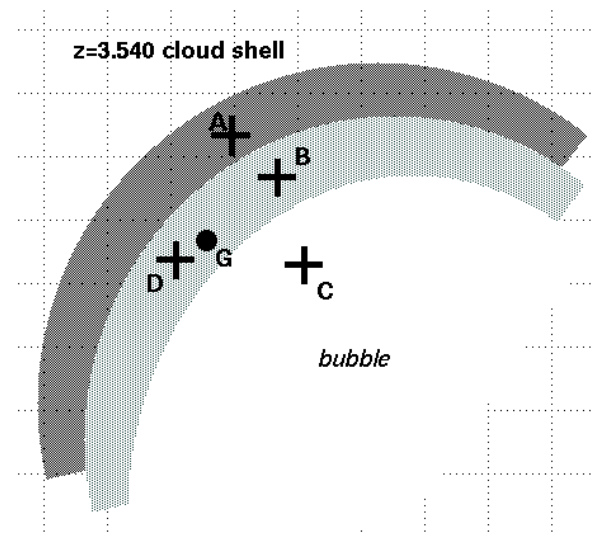
「銀河河ハローの形成過程」の視点で

→ 7pc スケールの構造 $z=3.54$

- giant molecular cloud の空間スケール
- 高赤方偏移で見られるガス雲の最も小さな空間スケール



1. 「小吸収雲」の場合



2. 「超新星シェル」の場合

まとめ: B1422+231

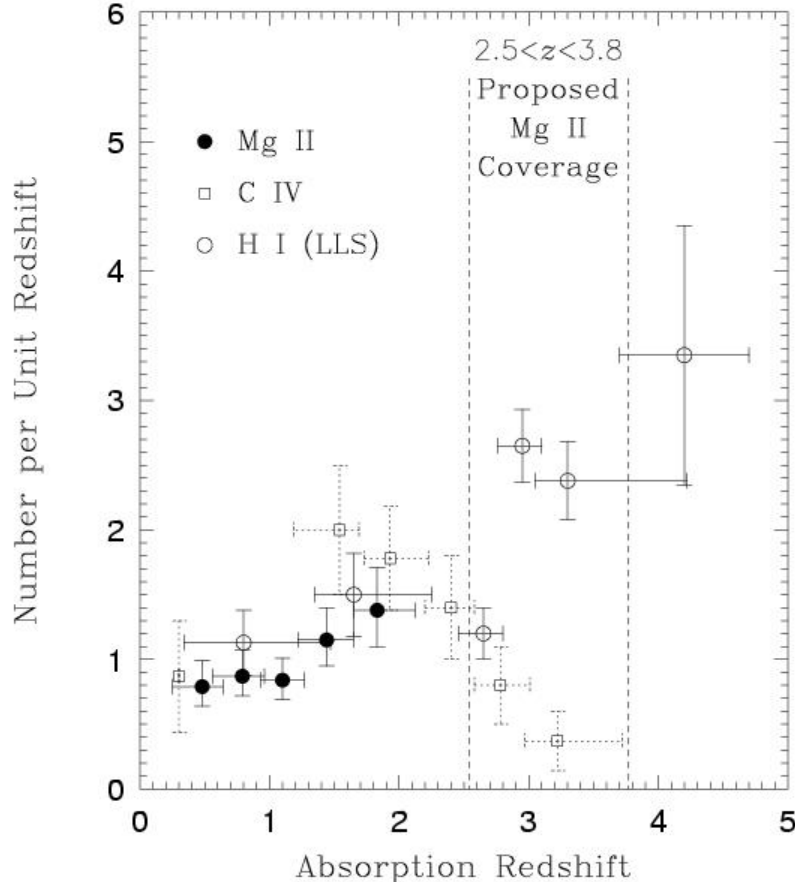
- すばる IRCS で観測
分解能 10,000 の高 S/N スペクトルを取得
- $Z=3.54$ の MgII/FeII 吸収線を検出
- アバンダンスは $[Mg/Fe] \sim 0$
Ia 型超新星によるものを示唆か？
- 7 pc の微細な空間構造を持っている
ことがわかった

現在、他の z の多数の弱い吸収線系を同定中

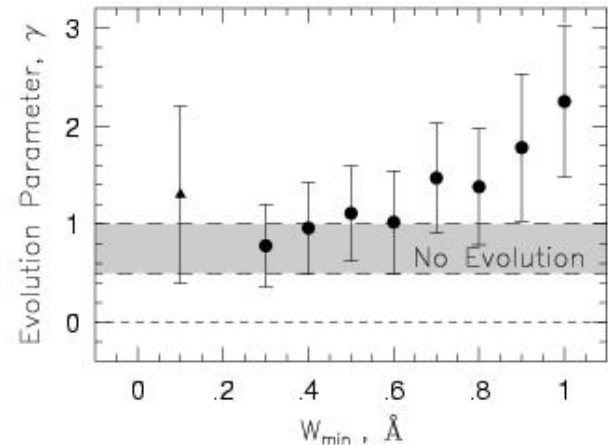
現在進行中の観測計画（1）

● MgII システムの個数密度(dn/dz)

さまざまな吸収線の dn/dz



$$dn/dz \sim (1+z)^\gamma$$



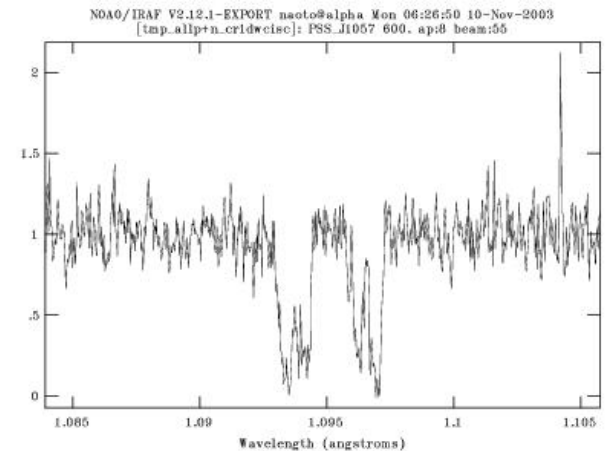
Low-z MgII システムの進化

現在進行中の観測計画（1）

● MgII システムの個数密度(dn/dz)

Subaru IRCS 共同利用観測

- zJ バンド ($z=2.5-2.9$ に対応)
- 無バイアス20天体を終了
- 50天体で明確な結果に
(Steidel の low- z サンプルと
同じ 100 天体が目標)



PSS J1057+ 4555 $z=4.116$

→ $2.5 < z < 3.8$ の MgII システムのハローの
進化を明らかに //

近赤外高分散分光の将来への展望

- この数年で各8 m クラスに
近赤外高分散分光装置が出そろおう

VLT CRIRES 2005-

Gemini GNIRS 2005-

Gemini New Instrument? 2010-

- Subaru でも最前線へ

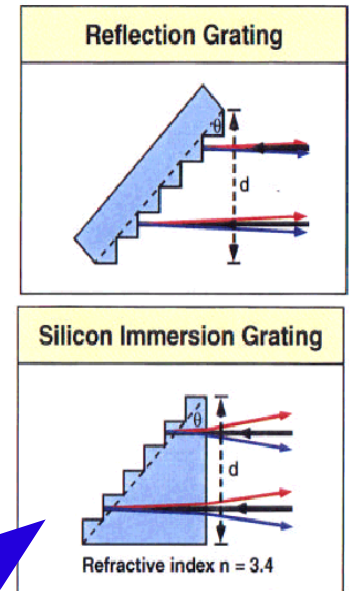
➤ LGSAO + IRCS upgrade (2006-)

高スループットで $z=6$ まで観測可能に

➤ IRCS に新 Silicon Immersion grating (2007-)

高分散化 $R=20,000 \rightarrow 60,000$ で

より faint な吸収線が観測可能に



われわれの将来計画

University of Tokyo NIR Echell Spectrograph

● QSO 吸収線観測に最適化

- ✓ 波長 0.9–1.7 μm まで (–2.5, –4.2 μm optional)
- ✓ $R=100,000\text{max}$ ($\Delta v = 3 \text{ km/s}$)
- ✓ 高効率(従来の2–3倍)
- ✓ 非冷却式(製作が容易)
- ✓ 2008– 南天の望遠鏡か？
- ✓ 科研費 若手 A(小林) 2004– ほか

● 東大赤外線装置開発体制整備の一環

本原、酒向、宮田、小林

- ✓ 大型赤外線アレイ読み出し開発
- ✓ 赤外 Lab の立ち上げ

ポスドク募集中