

[Z102a]

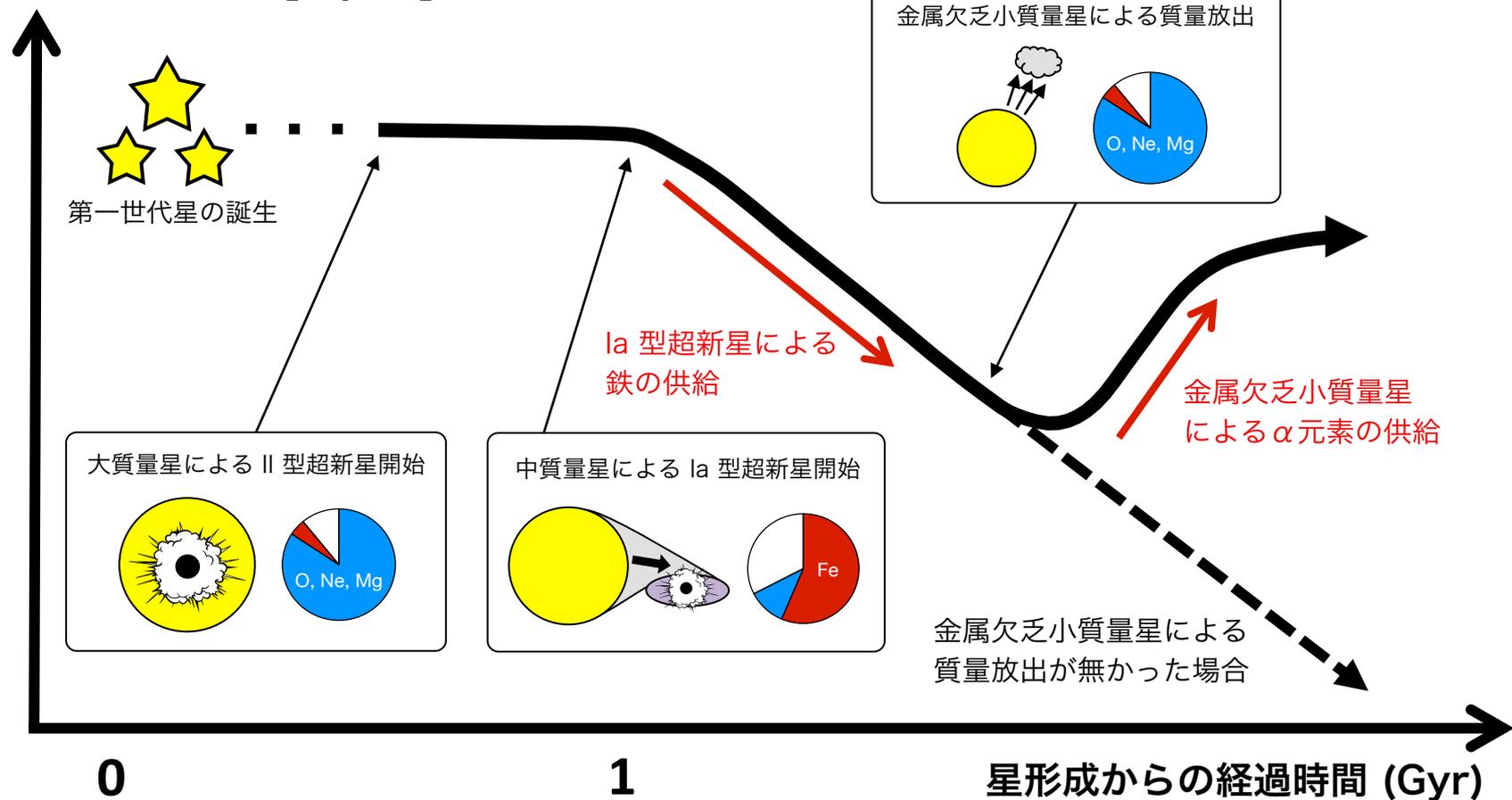
クエーサーで探る [Mg/Fe] 組成比の 宇宙論的進化と星形成史

鮫島 寛明 (京都産業大学), 吉井 譲 (東京大学)

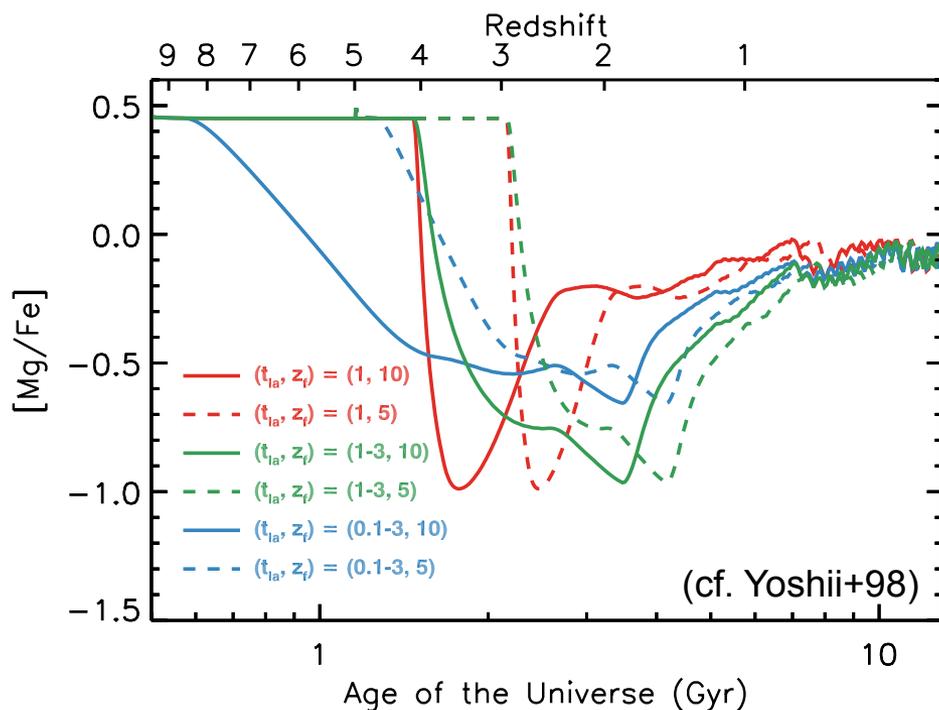
2016-03-16 日本天文学会2016年春季年会

宇宙の化学進化と星形成史

銀河内ガスの $[\alpha/\text{Fe}]$ 組成比



宇宙化学進化の理論計算

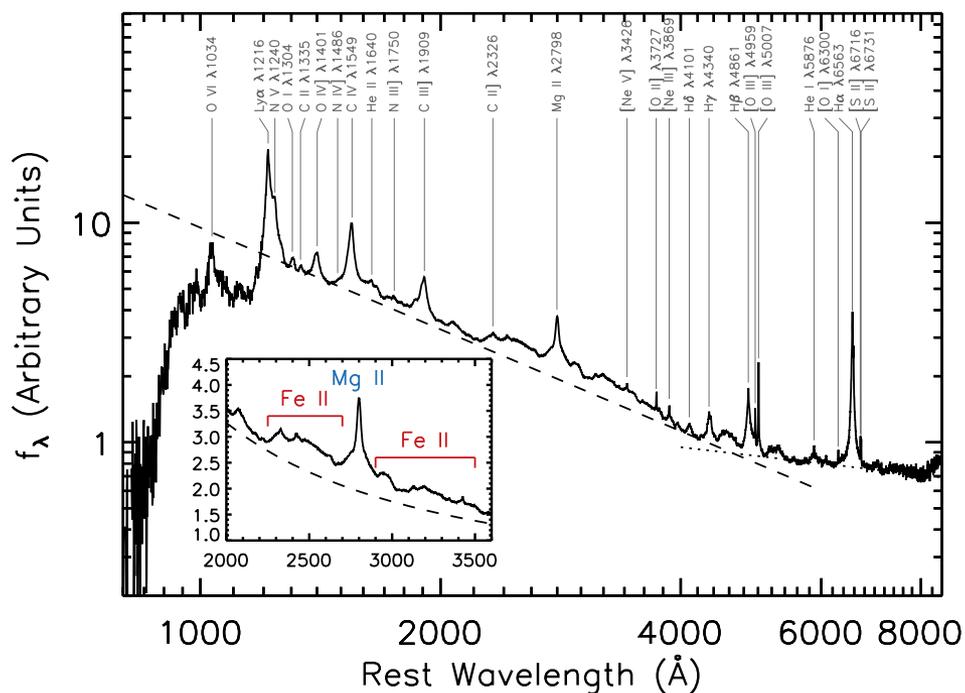


主なパラメータ

- 初代星の形成時期
- Ia型超新星爆発の寿命

高赤方偏移では、パラメータによって進化の様子が大きく異なる

クェーサーの紫外・可視光スペクトル



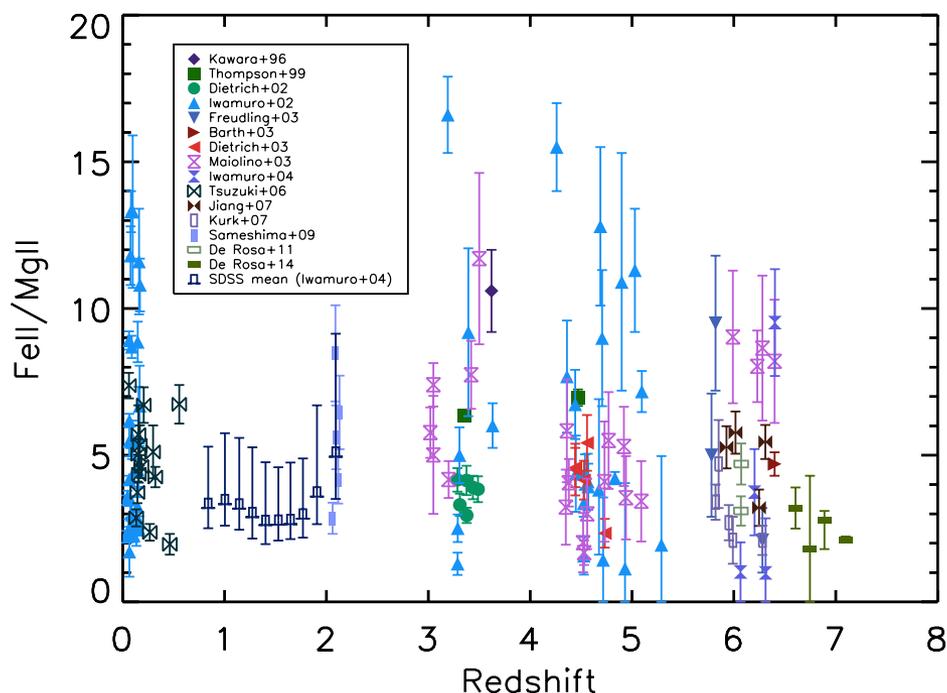
クェーサーの利点

- 明るく、遠方でも観測が比較的容易。
- 様々な金属輝線が見られる。

鉄と α 元素のプロープ

- 強い Mg II 輝線 (@2798 \AA).
- 大量の Fe II 輝線が混じり合い、2000-3500 \AA に連続光状に存在。
- $z \sim 7$ クェーサーでも確認。

FeII/MgII 輝線強度比の進化



測定の歴史

- $\text{Fe II/Mg II} \propto [\text{Fe/Mg}]$ を仮定。
- 1990年代から現在まで、絶え間なく測定されている。
- 現在の最遠方は $z \sim 7.1$ 。

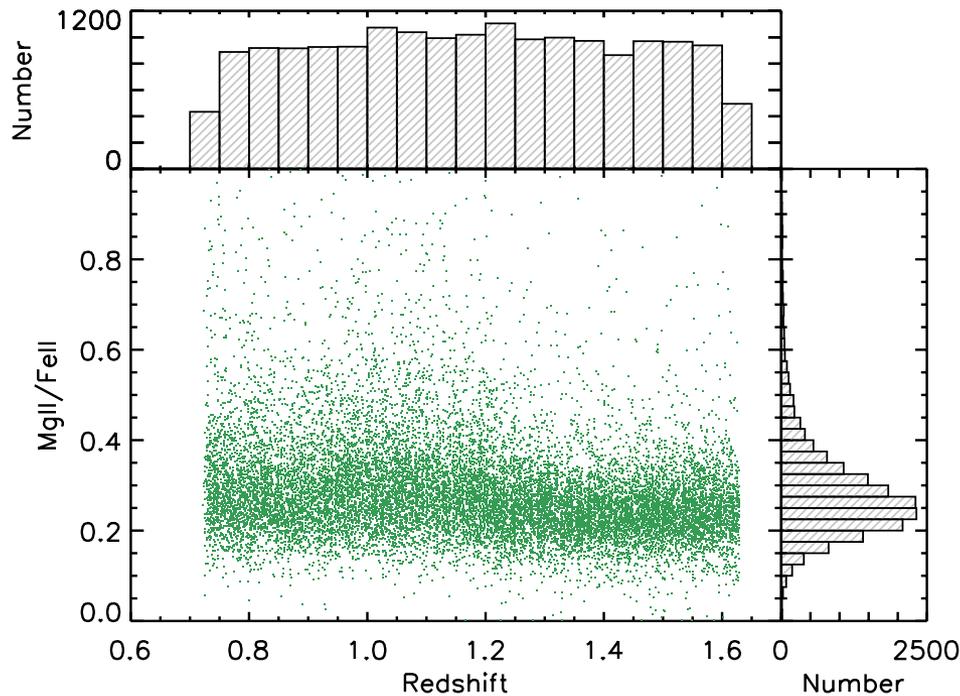
現在の状況

- 測定値の分散が大きい。
- 進化の議論をすることは難しい。
- そもそも $\text{Fe II/Mg II} \propto [\text{Fe/Mg}]$ という仮定は正しいのか？

本研究の目的

クエーサーに見られる Fe II, Mg II 輝線強度のパラメータ依存性を SDSS の膨大なサンプルを用いて調査し、輝線強度から [Mg/Fe] 組成比を測定する手法を考案する。

SDSS QSOs の解析



(Sameshima+16, submitted)

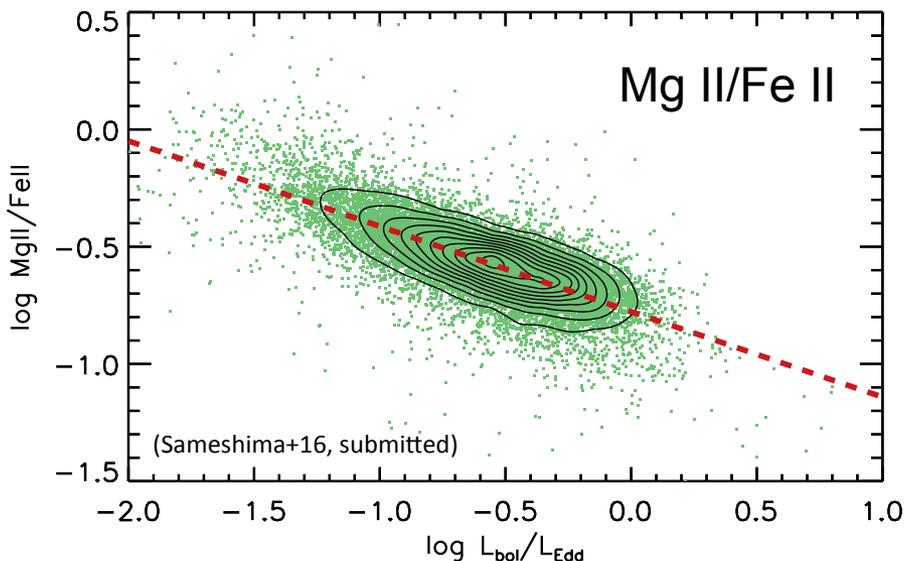
サンプル

- SDSS QSOs (DR7) 17,432 天体。
- 赤方偏移は $0.72 < z < 1.63$ 。

解析

- Fe II (2000-3000Å), Mg II λ 2798 のフラックス測定。
- Mg II 輝線幅から、ブラックホール質量とエディントン比を測定。

輝線強度のエディントン比依存性



Mg II/Fe II 輝線強度比

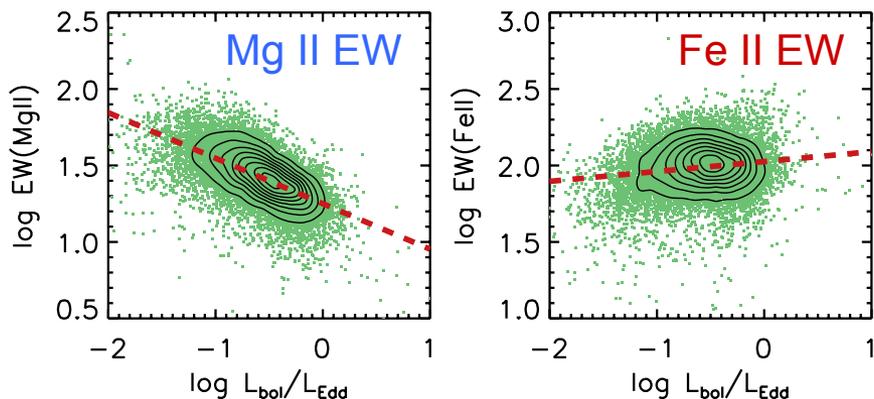
- エディントン比との間に、明確な負の相関が見られる。
- 輝線強度比が、組成比以外のパラメータにも依存している可能性を強く示唆。

Mg II 等価幅

- エディントン比との間に、明確な負の相関が見られる。

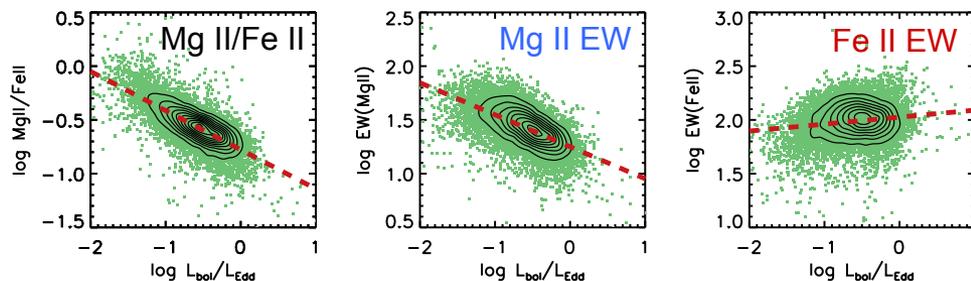
Fe II 等価幅

- エディントン比との間に正の相関？
- 明らかに他の2つほど強くはない。



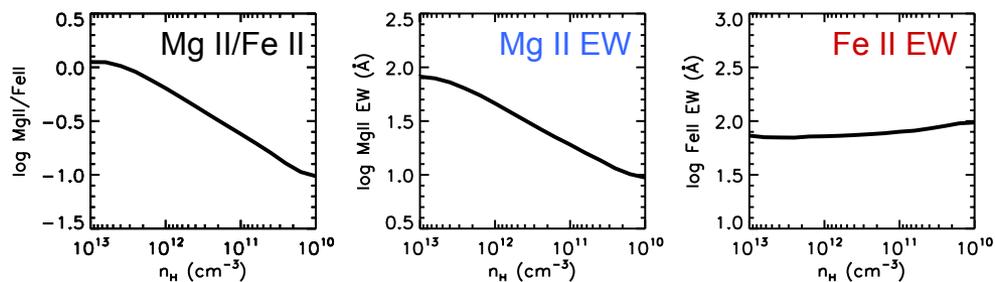
ガス密度と輝線強度

Observation



log エディントン比

Calculation



log ガス密度

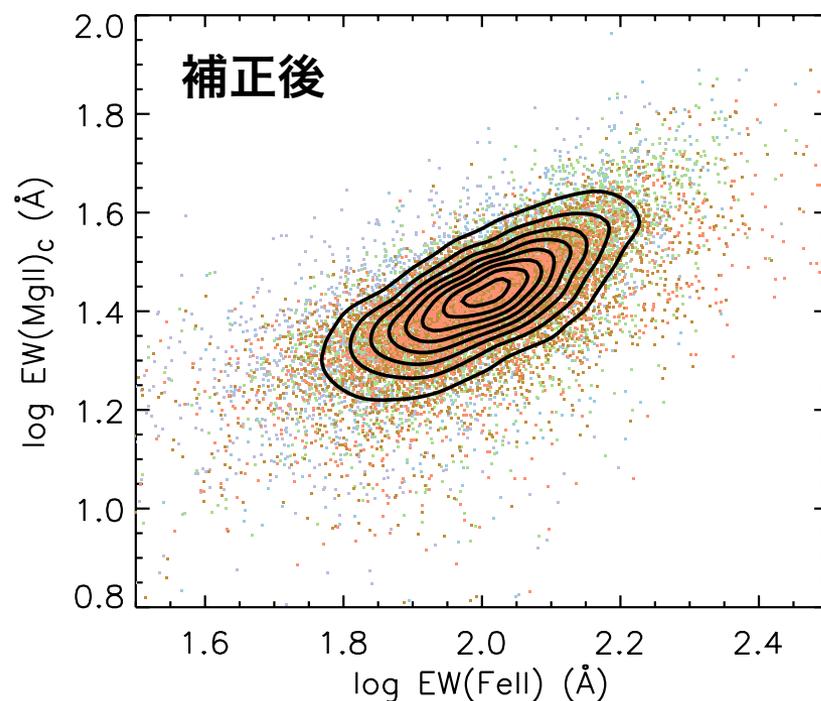
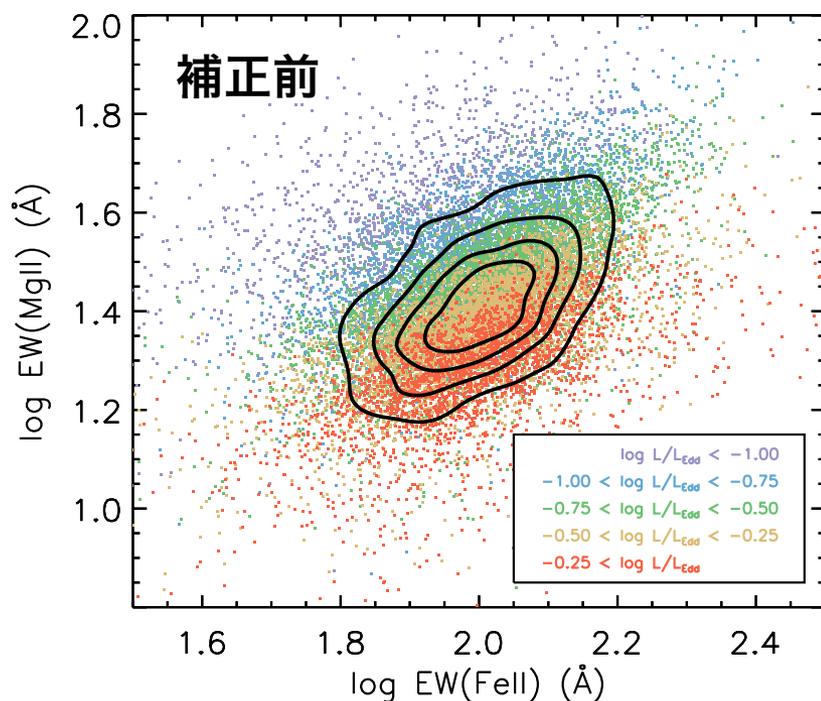
輻射輸送計算

- CLOUDY (ver.13.02) を使用。
- 他の研究から示唆される広輝線領域 (BLR) ガスパラメータの典型値を仮定。

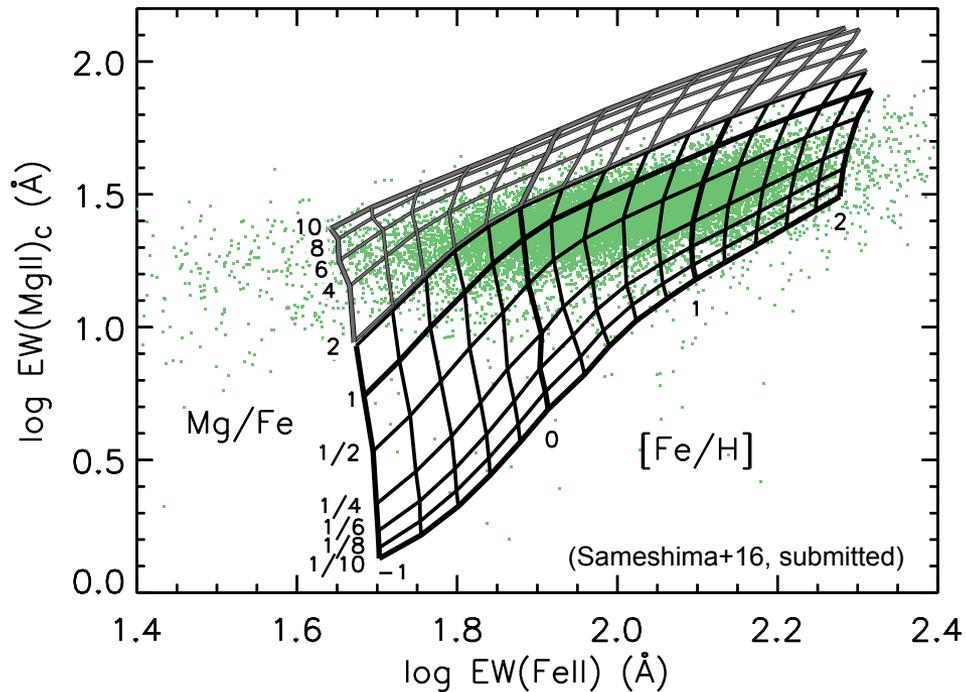
結果

- ガス密度を変化させると、観測で見られた傾向を見事に再現。
- エディントン比に応じて BLR ガスの密度が変化し、輝線強度も変化している。
- **Mg II/Fe II 輝線強度比を、そのまま [Mg/Fe] 組成比と見なすことはできない！**

エディントン比 (密度) 依存性の補正



組成比診断



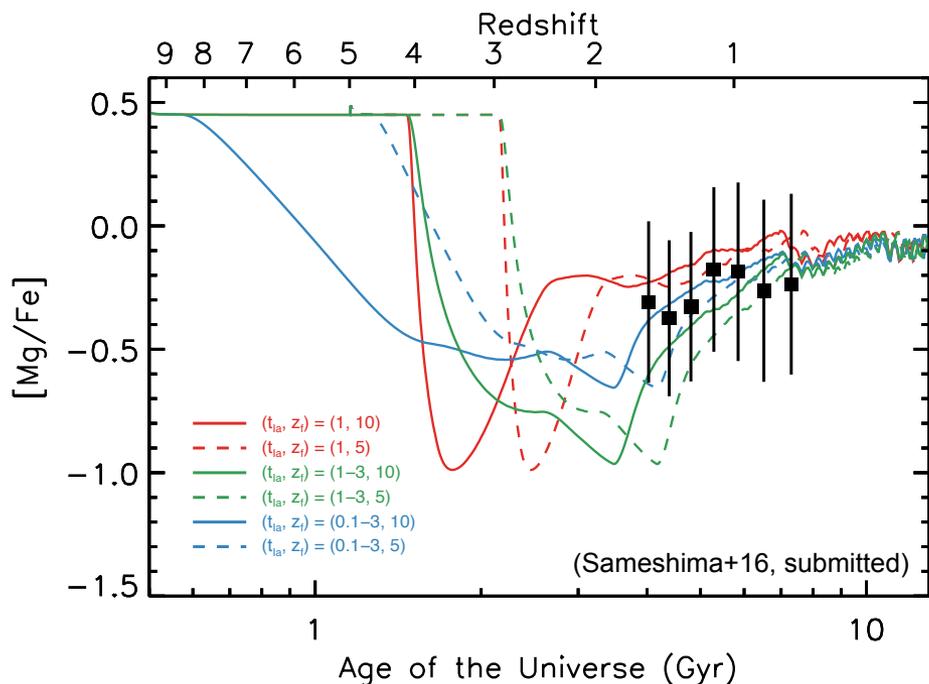
組成比を変化させた輻射輸送計算

- SN Ia, SN II の元素合成パターン (Nomoto+97a, b) の混合率を動かす。
- 金属量 ($[\text{Fe}/\text{H}]$) を動かす。

等価幅図とグリッド

- 観測値をカバーしている。
- グリッドから $[\text{Mg}/\text{Fe}]$, $[\text{Fe}/\text{H}]$ の値を測定。

化学進化



理論進化曲線との比較

- 小質量星からの質量放出を想定したモデルと合致。
- 赤方偏移2より早い段階で、小質量星からの質量放出により α 元素の供給が起こったことを示唆。

今後の課題

- 星形成史に制限を加えるには、高赤方偏移のデータが決定的に重要。
- 信頼できる組成比を得るには、大量のサンプルが必要。

TAO/SWIMS



高感度

- 望遠鏡の口径 6.5 m
- 標高 5,640 m
- $J = 21.4$ (0.5" slit width, 1hr exp., S/N=5)

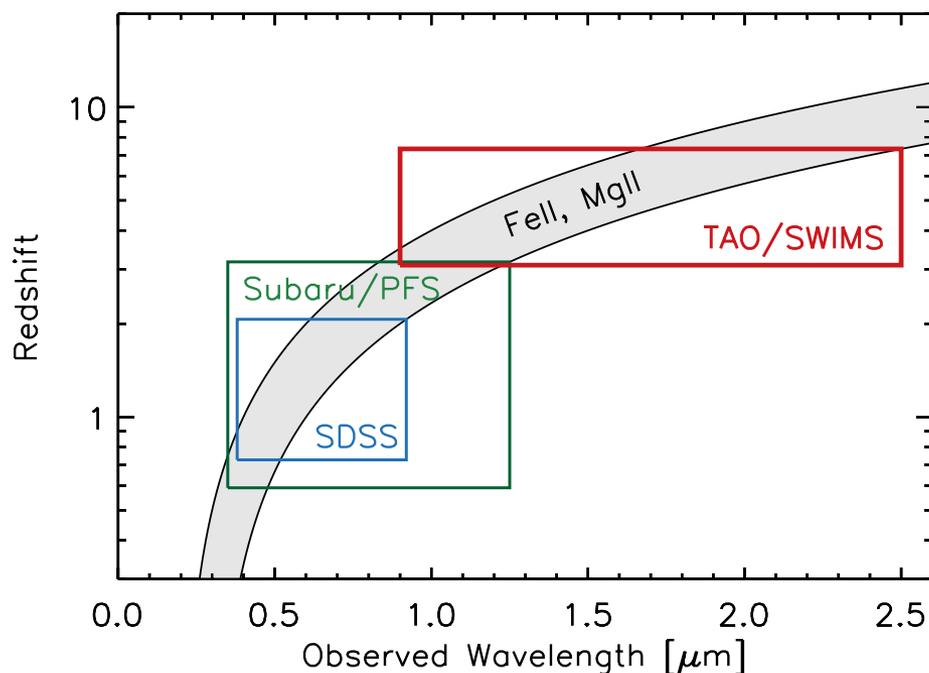
広波長域

- 0.9 – 2.5 μm を $R \sim 1,000$ で分光

豊富な観測時間

- 大学専有の望遠鏡

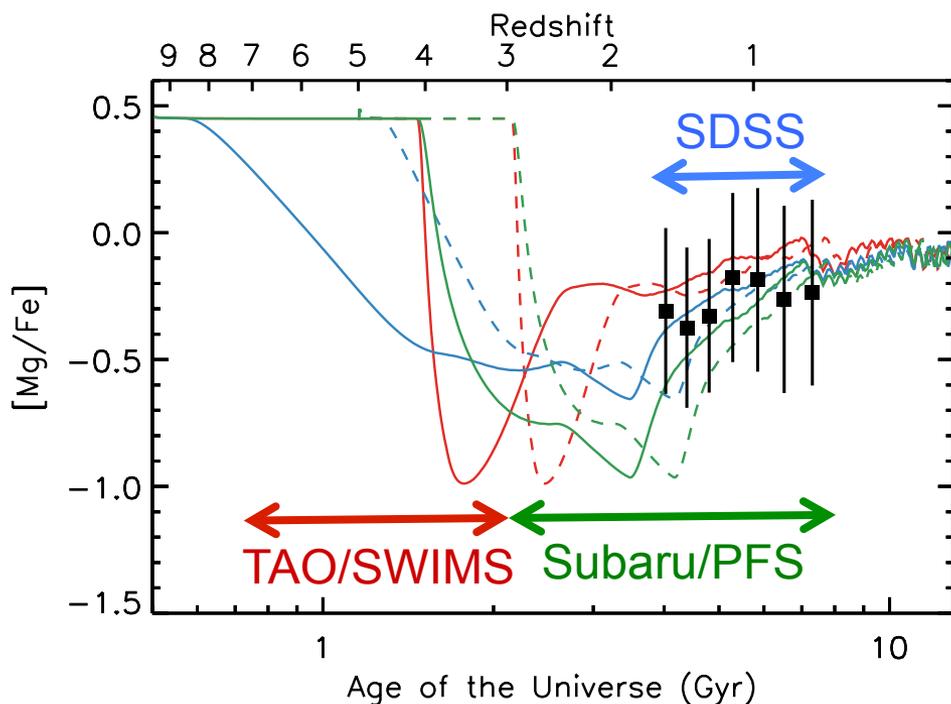
観測波長と赤方偏移



より高赤方偏移へ

- Fe II, Mg II を測定するには、静止波長で 2000-3000Å のスペクトルが必要
- TAO/SWIMS を使えば $3 < z < 7$ の化学進化に迫ることができる。
- Subaru/PFS だと $z < 3$.
(相補的とも言える)

化学進化研究の展望



化学進化の解明

- TAO/SWIMS, Subaru/PFS, SDSS を組み合わせることで、広い赤方偏移範囲をカバー。
- 宇宙年齢 8-80 億年における、宇宙の化学進化の様子が明らかに！

重要パラメータへの制限

- 宇宙論パラメータ
- 第一世代星形成時期
- Ia 型超新星の親星の寿命
- Pop III stars 元素合成

まとめ

クエーサーを用いた宇宙化学進化研究

- クエーサーの Fe II/Mg II 輝線強度比の測定が $0 < z < 7$ の範囲で行われている。
- 分散が大きく、化学進化の様子は明らかになっていない。

SDSS QSOs の解析

- Mg II/Fe II 輝線強度比とエディントン比が相関関係にあることを発見。
- 輻射輸送計算の結果から、輝線強度比がガス密度にも依存していることをつきとめた。
- エディントン比依存性を補正することにより、[Mg/Fe] 組成比を測定する方法を初めて考案。
- [Mg/Fe] 組成比の測定結果は理論曲線と極めてよく一致。小質量星の質量放出による α 元素の増加が $z > 2$ で起こったことを強く示唆。

TAO 時代の展望

- 高感度、広波長域、豊富な観測時間を活かすことで、宇宙年齢 8 億年まで遡って [Mg/Fe] 組成比進化を追うことが可能に！
- 宇宙論パラメータ、第一世代星形成時期、Ia 型超新星親星の寿命、Pop III stars 元素合成といったさまざまな重要事項に制限を加えられる。