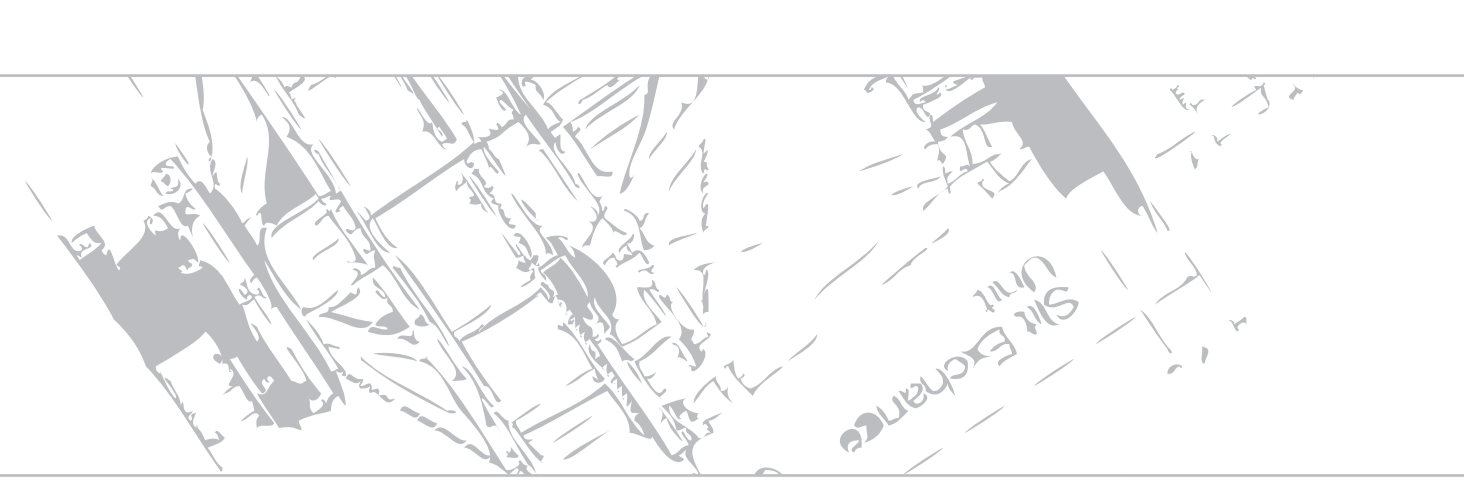


最遠方電波銀河の化学進化

松岡 健太 (愛媛大学)、長尾 透、池田 浩之、荒木 宣雄、谷口 義明、Roberto Maiolino、Alessandro Marconi



Introduction

重元素は恒星内部の核融合反応によって生成されるため、銀河の金属量を調べることで銀河進化(星形成史)を探ることができる。特に遠方宇宙における化学進化の調査は、初代銀河のような銀河形成の初期段階に迫ることを可能とする。しかしながら、赤方偏移 $z=1$ を超える銀河は一般的に暗く、また金属量診断に用いる静止系可視輝線が赤外線領域に逃げてしまうため化学進化の調査は困難である。そこで、我々は非常に明るく静止系紫外輝線によって金属量診断が可能な活動銀河中心核 (AGN)、特に電波銀河の狭輝線領域 (NLR) に着目して遠方宇宙における化学進化を調べることにした (Nagao et al. 2006)。過去の研究において、我々は $1.2 < z < 3.8$ の電波銀河の NLR 金属量を調べて、赤方偏移 $z=3.8$ まで顕著な化学進化は見られないことを明らかにした (図 1: Matsuoka et al. 2009)。この結果は、顕著な化学進化を捉えるためにはさらに高赤方偏移電波銀河の調査が必要であることを示唆している。そこで、今回我々は最遠方電波銀河として知られる TN J0924-2201 ($z=5.2$) の可視分光観測を行い NLR 金属量を調べた (Matsuoka et al. in prep.)。

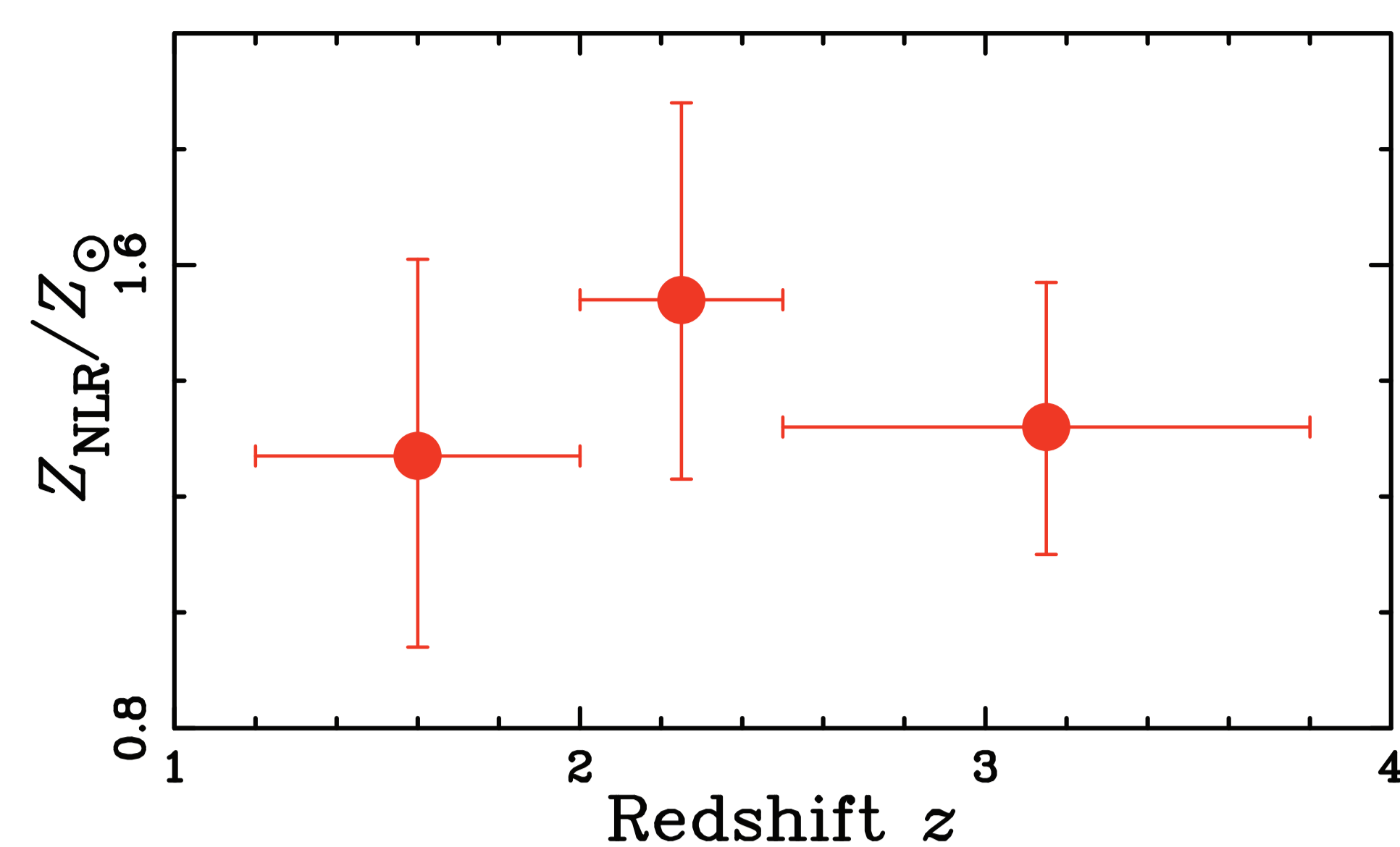


図 1: 電波銀河における NLR 金属量の赤方偏移依存性。赤方偏移 $z=3.8$ まで顕著な化学進化は見られない。

Observation

最遠方電波銀河 TN J0924-2201 に対して、Subaru/FOCAS を用いた可視分光観測を行った (2009/02/01)。スリット幅は $0.8''$ 、フィルターは SO58、グリズムは 300R を選択。18,000s ($1,200s \times 15$) の積分時間を投入した。一部天候が優れなかったため、最終的に用いたフレームは 10 枚 (12,000s)。

Result

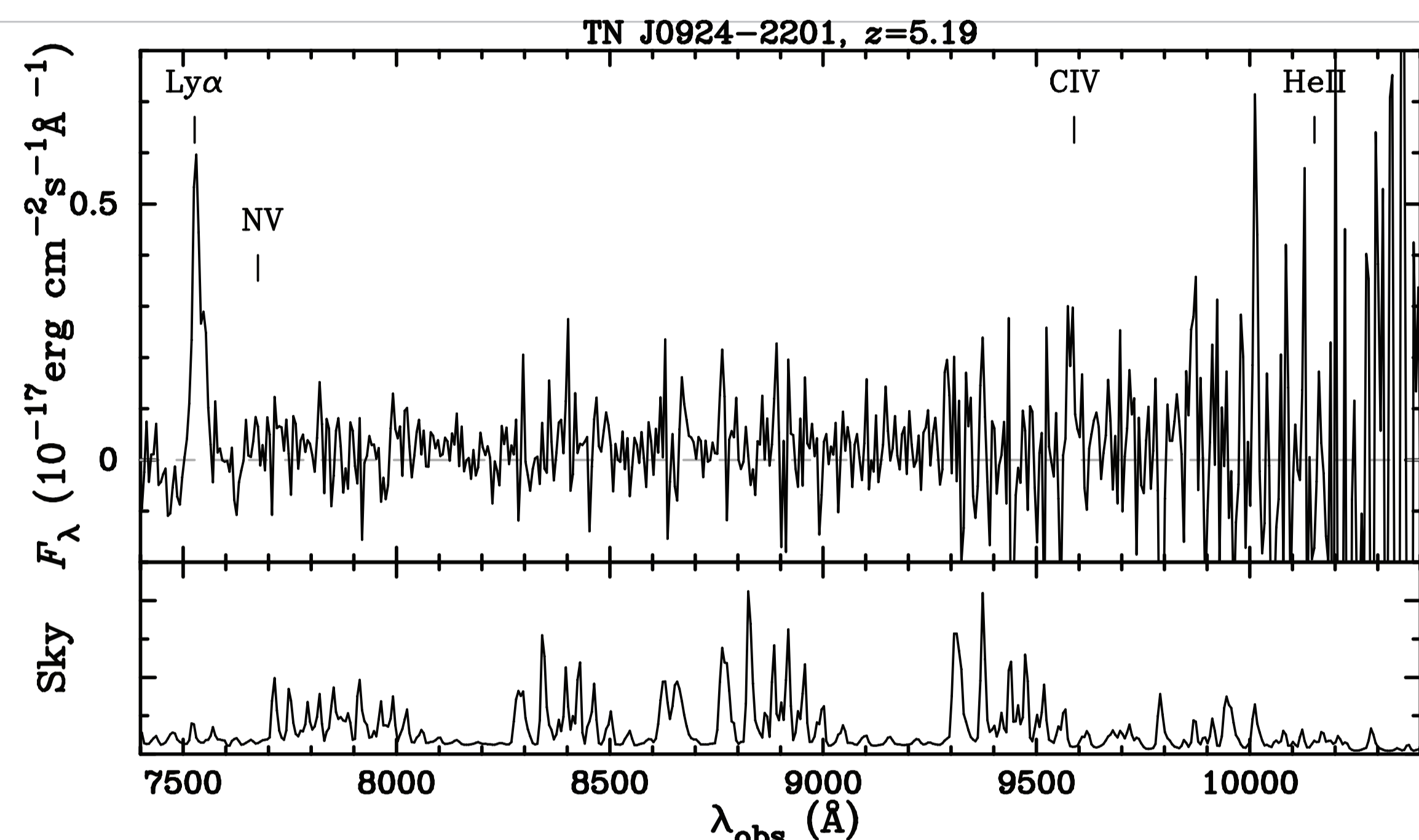
図 2 に TN J0924-2201 のスペクトルを示す。これまでの研究では Ly α 輝線しか検出されていなかったが、今回の観測によって CIV 輝線を捉えることに成功した。赤方偏移 $z=5$ の宇宙における、母銀河スケールに広がった重元素からの原子起源 (分子起源ではなく) の輝線は初検出である。

$$F(\text{Ly}\alpha) = 1.61e-16 \text{ erg/s/cm}^2, F(\text{CIV}) = 5.46e-17 \text{ erg/s/cm}^2,$$

$$F(\text{NV}) < 1.25e-17 \text{ erg/s/cm}^2, F(\text{HeII}) < 5.54e-17 \text{ erg/s/cm}^2$$

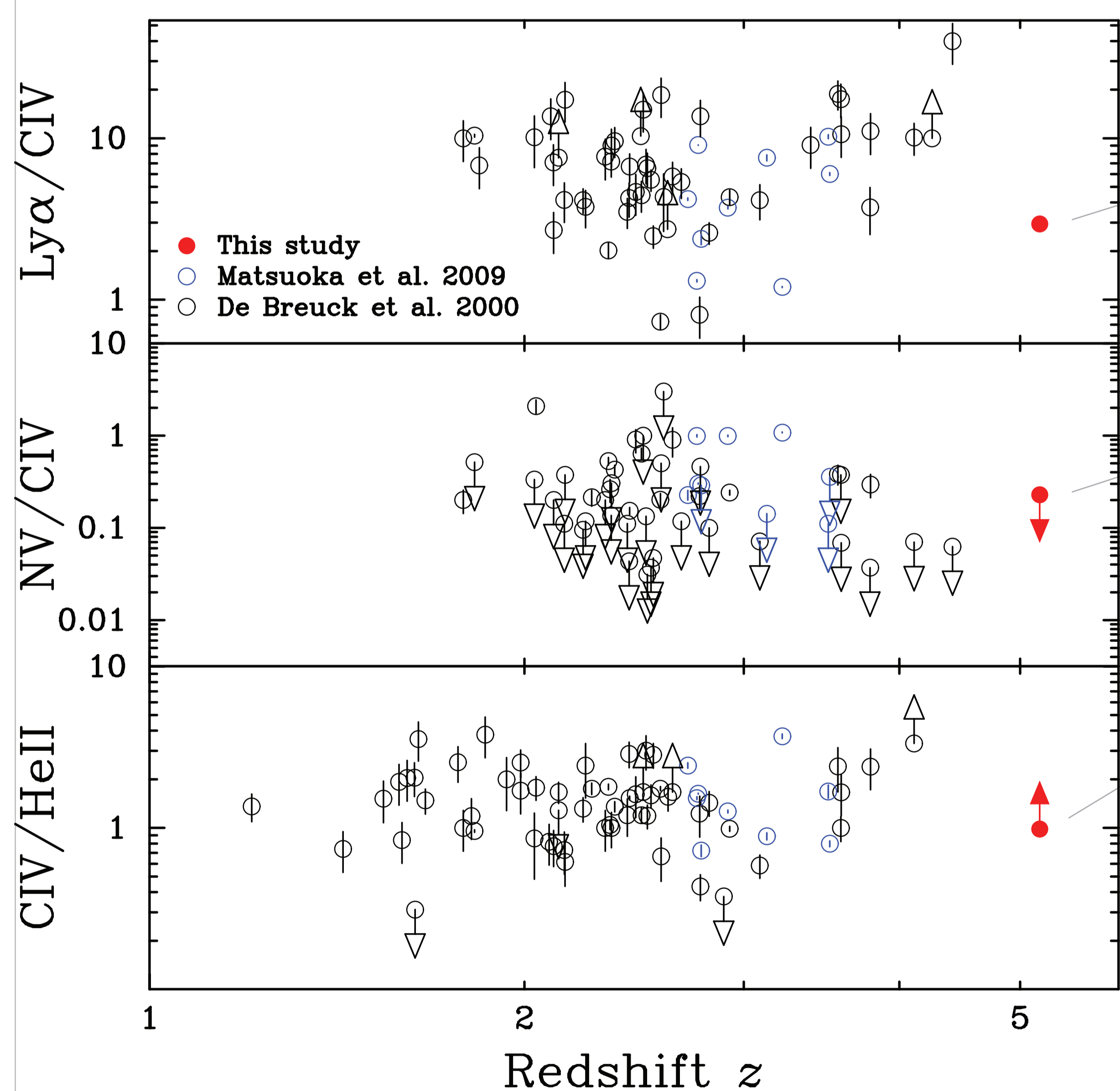
ただし、上限値は 3σ 。

図 2: 電波銀河 TN J0924-2201 ($z=5.2$) のスペクトル。CIV 輝線が有意に受かっている。



Discussion

図 3 に電波銀河における輝線強度比の赤方偏移依存性を示す。低赤方偏移電波銀河 ($1.3 < z < 3.8$) と今回の最遠方電波銀河 ($z=5.2$) の輝線強度比の振る舞いを比較して、以下にまとめた。



Ly α /CIV: 低赤方偏移電波銀河に比べると比較的小さい値を示す

金属量の減少とともに CIV 輝線の強度は増していくことから (Matsuoka et al. 2009)、この結果は金属量が低いため CIV の輝線強度が強いと解釈できる。しかしながら、ダストの吸収によって Ly α の輝線強度が弱くなっているという解釈も可能である。この輝線強度比を用いて金属量の議論を行うためには Ly α の等価幅の赤方偏移依存性といった更なる調査が必要である (現在調査中)。

NV/CIV: 低赤方偏移電波銀河に見られるような大きな値は示さない

NV/CIV は金属量の減少とともに小さな値をとると考えられている。今回の結果は、TN J0924-2201 の金属量が低赤方偏移電波銀河と比べて比較的金属量が小さい可能性を示唆している。

CIV/HeII: 低赤方偏移電波銀河と比べて小さな値は示さない

この結果は TN J0924-2201 の CIV 輝線が低赤方偏移電波銀河と同等、もしくはそれ以上の強さで受かっていることを示唆している。CIV 輝線は金属量の減少とともに強度を増していくため、今回の結果は CIV の輝線強度が強い、すなわち金属量が小さい可能性を示唆している。しかしながら、CIV 輝線の放射源である炭素元素が失われるほど著しく金属量が小さくはないとも言える。

図 3 の結果は、TN J0924-2201 が低赤方偏移電波銀河と比べて顕著な金属量の減少を示しているとは言えないが、化学進化の兆候を示しているかもしれないことを示唆している。

図 3: 電波銀河における輝線強度比 Ly α /CIV、NV/CIV、CIV/HeII の赤方偏移依存性。低赤方偏移電波銀河の振る舞いと比べて、CIV 輝線の強度が強い可能性を示唆している。

過去の銀河化学進化の研究において、炭素元素はアルファ元素と比べて存在量増加に時間がかかることが示唆されている。この場合、宇宙年齢を遡って化学進化を調べていくと、まず始めに炭素存在量の減少が見られることになる。そこで我々は、Cloudy による光電離モデル計算によって NV/CIV 及び CIV/HeII の炭素存在量依存性について調べた (図 4)。その結果、炭素存在量の下限値は $[\text{C}/\text{O}] > -0.766$ を示した。このような輝線強度比を用いた炭素存在量の診断方法を、高赤方偏移電波銀河 ($3 < z < 5$) に適応して銀河進化モデル (図 5) と比較することで『炭素存在量の減少』、すなわち『化学進化の最初の兆候』を捉えることができるだろう。

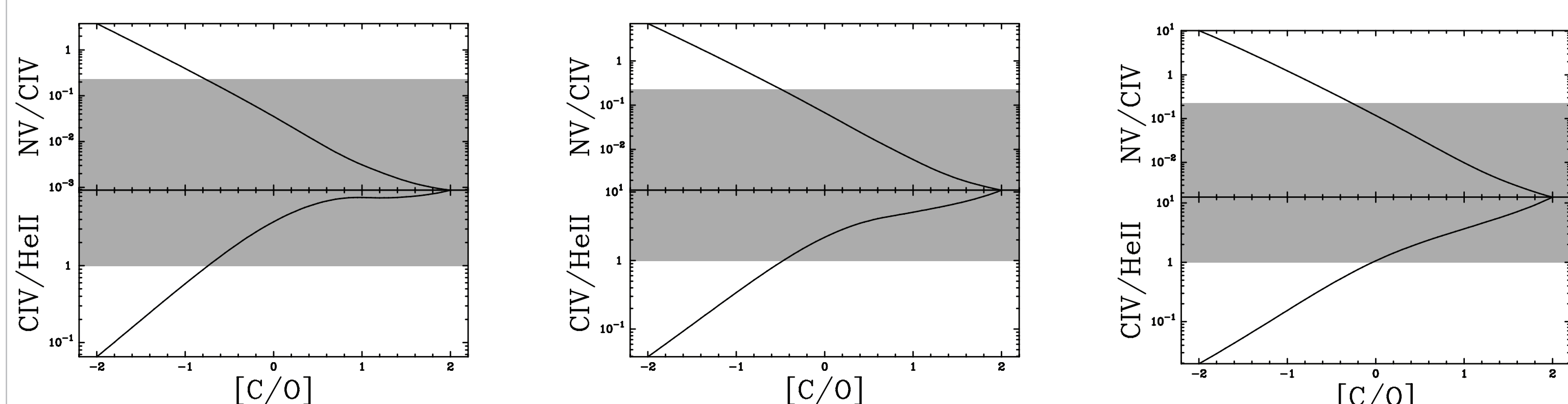


図 4: Cloudy を用いた光電離モデル計算による輝線強度比の炭素存在量依存性 (一部)。灰色部分は TN J0924-2201 のとり得る範囲を示しており、炭素存在量に制限を与える。

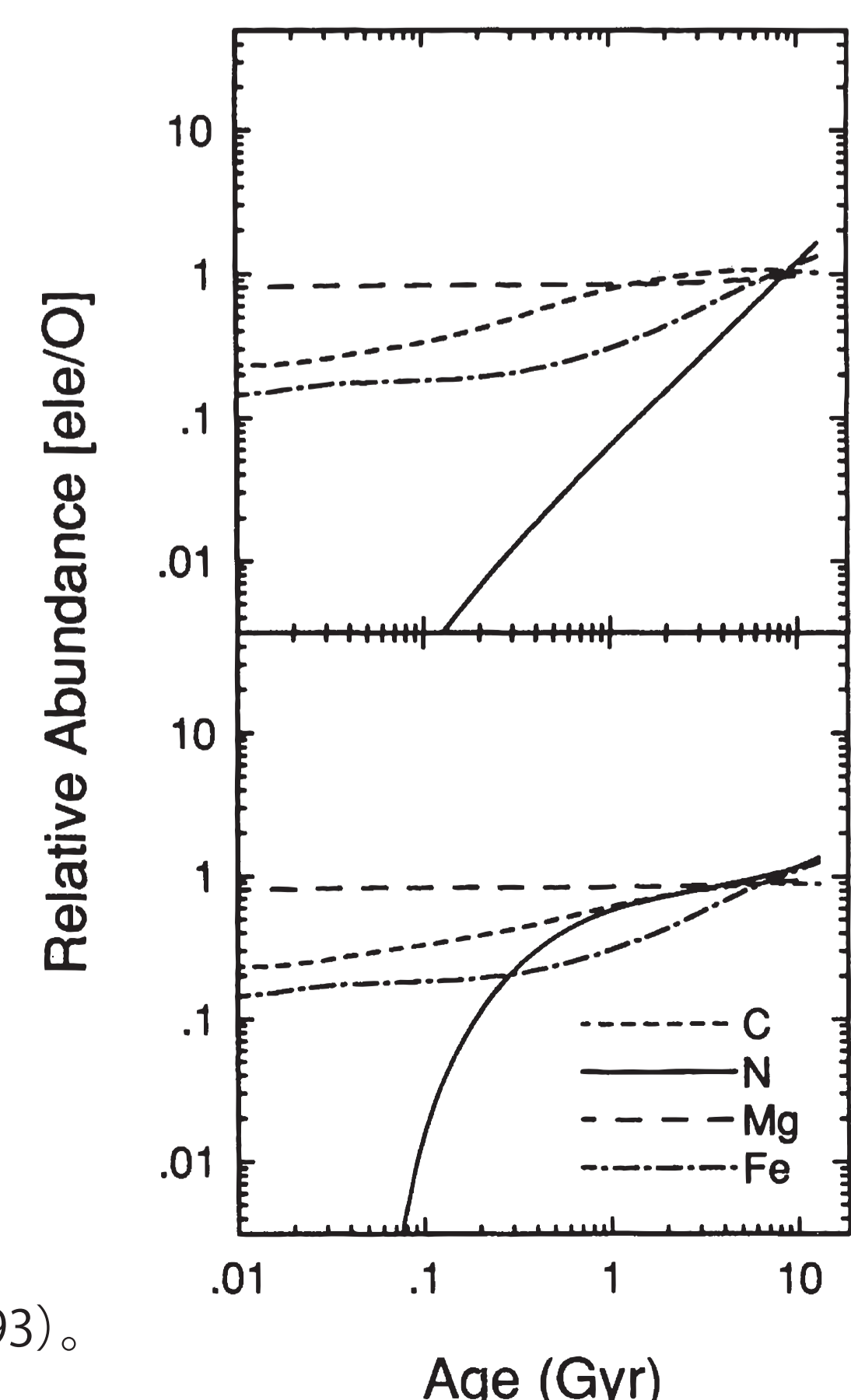


図 5: 銀河化学進化モデルの例 (Hamann & Ferland 1993)。