

日本天文学会2025年秋季年会

S20a

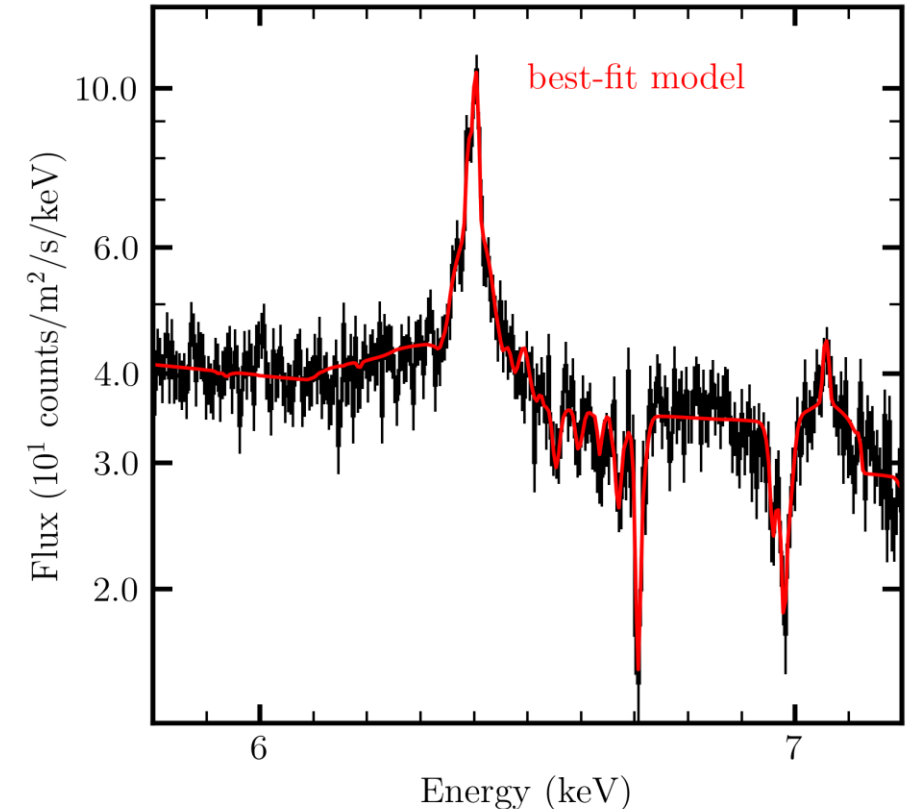
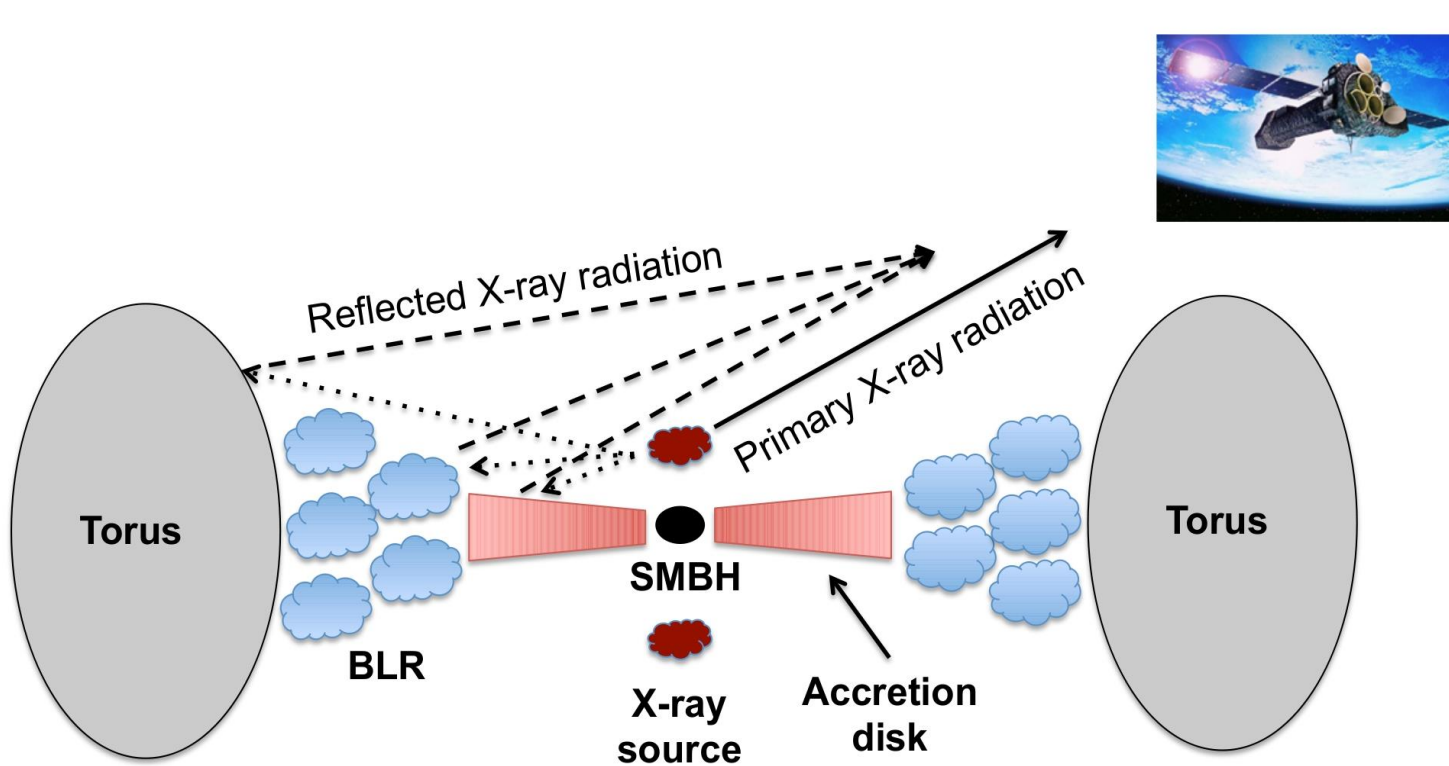
ドップラー効果を考慮した 活動銀河核のX線反射スペクトルモデルの開発

2025年9月11日

胡田蓮, 深沢泰司, 榎木大修(広島大学), 小高裕和(大阪大学)

Introduction: AGNのX線スペクトル

1/9



NGC4151スペクトル
(XRISM Collaboration et al. 2024)

ref: https://www.astro.unige.ch/~ricci/Website/Active_Galactic_Nuclei.html

Introduction: X線分光撮像衛星XRISM

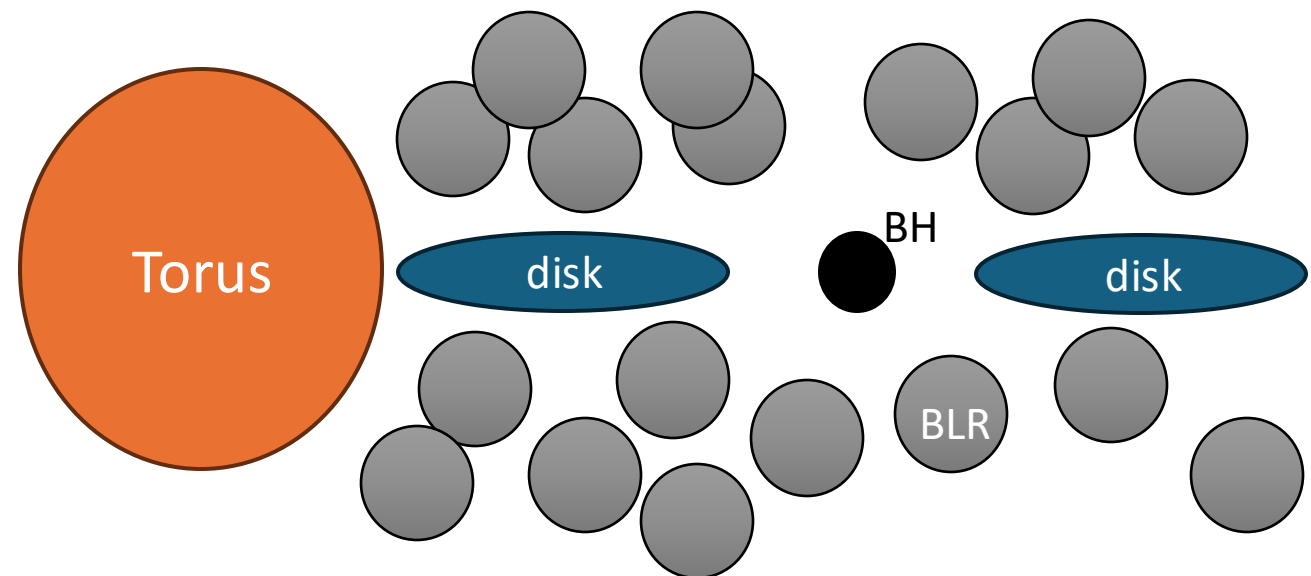
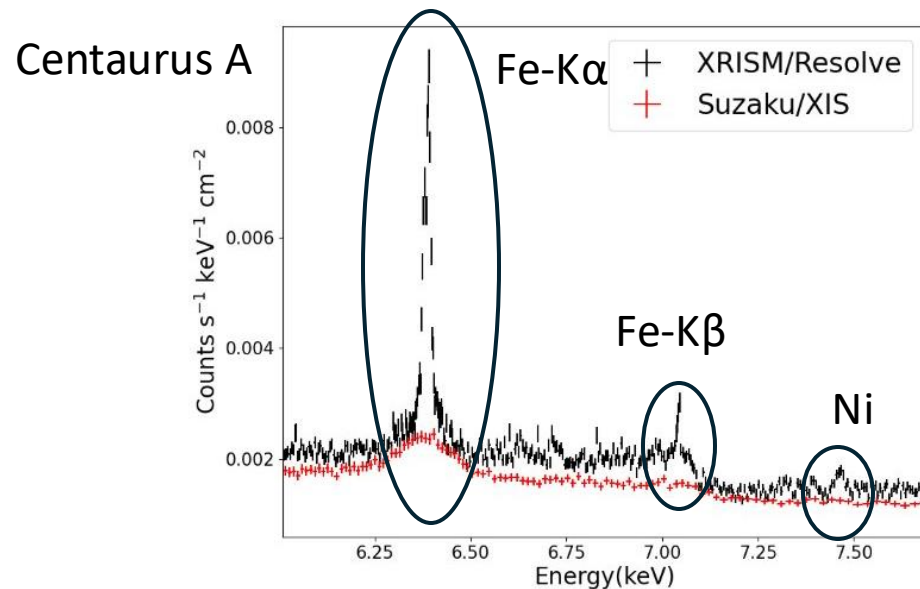
2/9

- Resolve検出器: エネルギー分解能 ~ 5 eV(@6 keV)
- 多くの輝線・吸収線が検出
- 中性鉄輝線に幅の異なる成分

(物質の回転速度が異なるため)



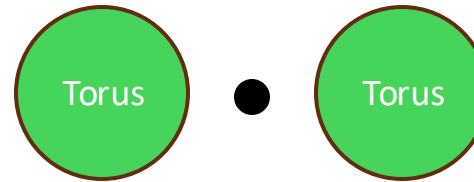
Credit: JAXA



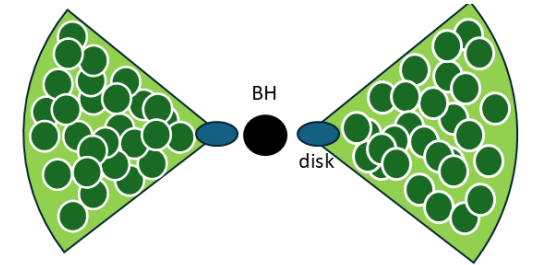
Introduction: 既存モデルの問題点

3/9

- トーラスのジオメトリが固定
極方向への広がり?
すり鉢型?

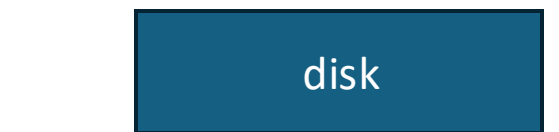


MYTorus(Murphy & Yaqoob 2009)
古井モデル(Furui et al. 2016)



XClumpy
(Tanimoto et al. 2019)

- 速度の情報がない
輝線幅の広がり: MYTorus \otimes rdblur
ジオメトリに矛盾



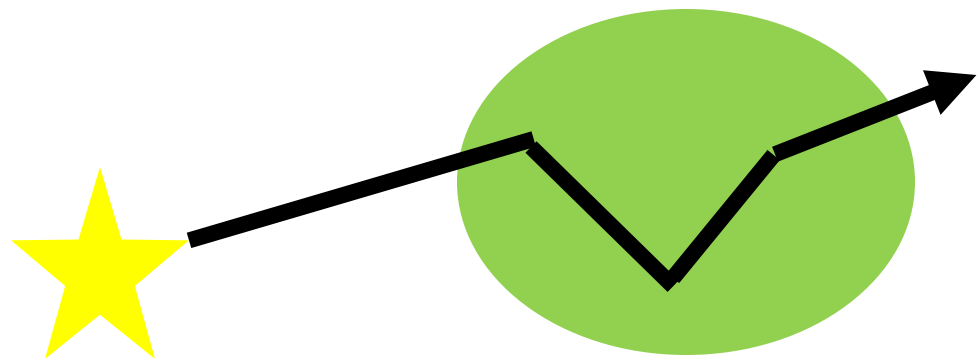
rdblur(Fabian et al. 1989)

モンテカルロシミュレーションに基づく速度分布を適用

MONACO(Odaka et al. 2011)

4/9

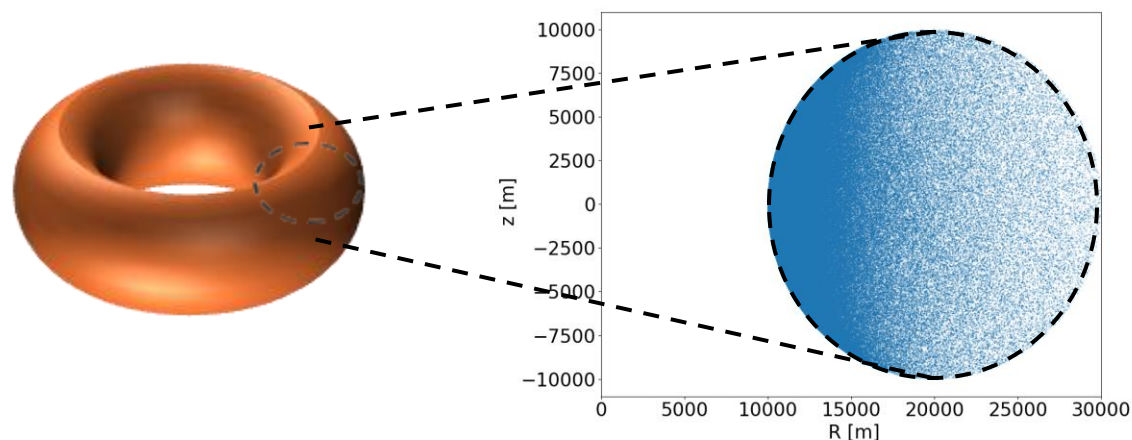
➤モンテカルロ放射輸送計算コード



➤ 光子に反応情報が記録


➤ X線反射成分モデル

- 古井モデル (Furui et al. 2016)
- XClumpy (Tanimoto et al. 2019)



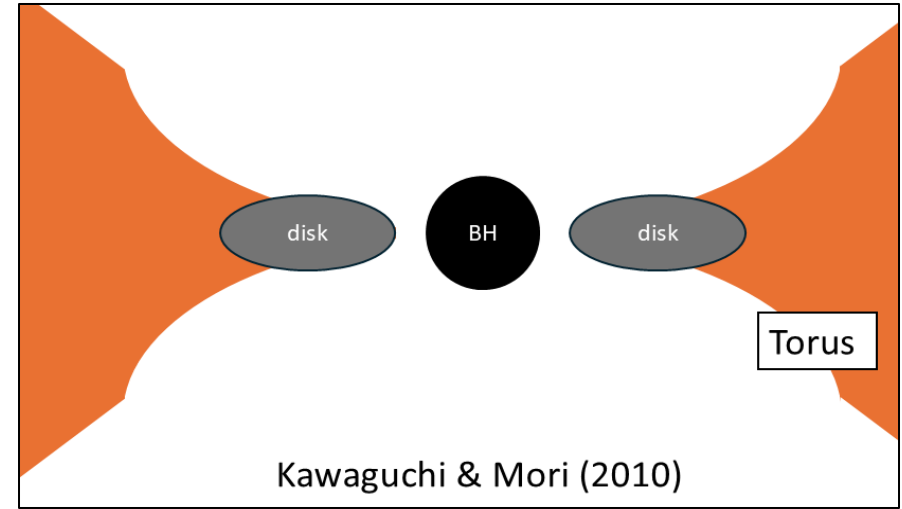
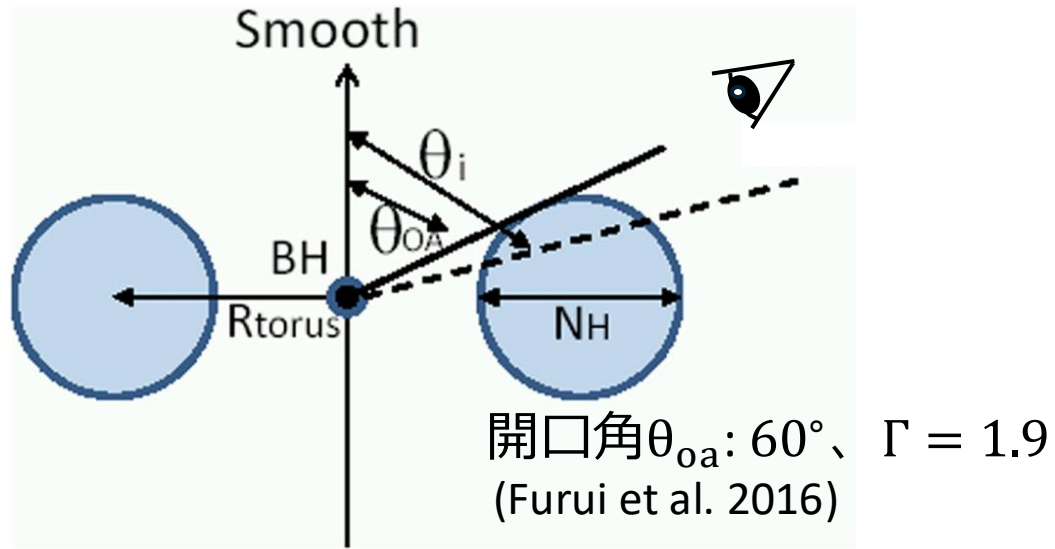
➤ ケプラー回転: $V = \sqrt{GM/R}$

➤ ドップラーシフト

反応位置 

ドーナツ型反射モデルの改良

5/9



👉 すり鉢型トーラス(future work)

【追加した要素】

- 輝線幅広がり(自然幅・ドップラー効果)
- 連続成分と輝線成分を分離(Tanimoto et al. 2019と共通)
- 光子数10億、Solar Abundance (Lodders et al. 2009) = 0.5~1.5、ビン幅0.4 eV
- (将来的に)ジオメトリを多様化

輝線幅広がり表現

6/9

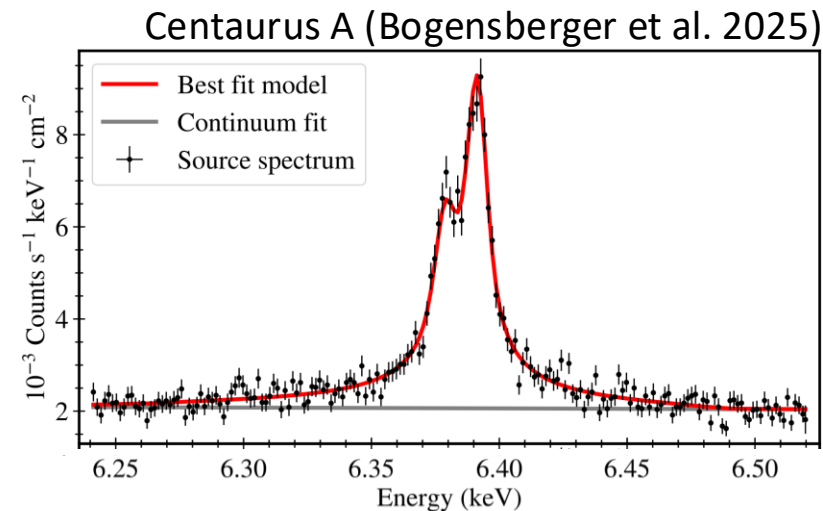
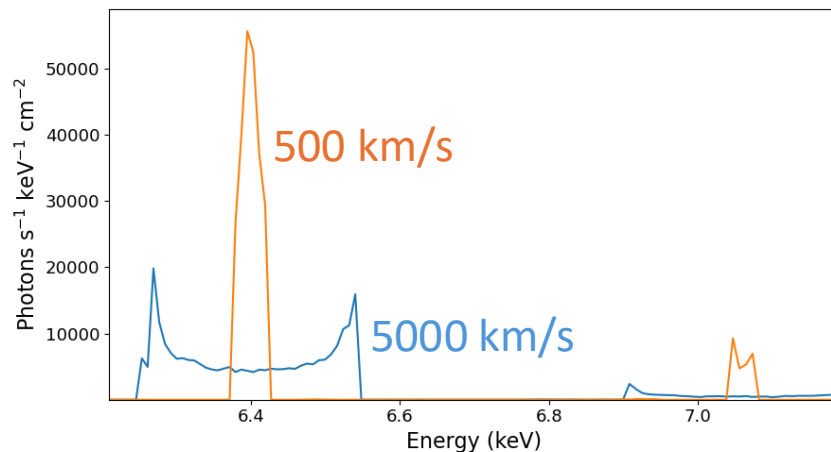
～モデル～

ドーナツ型

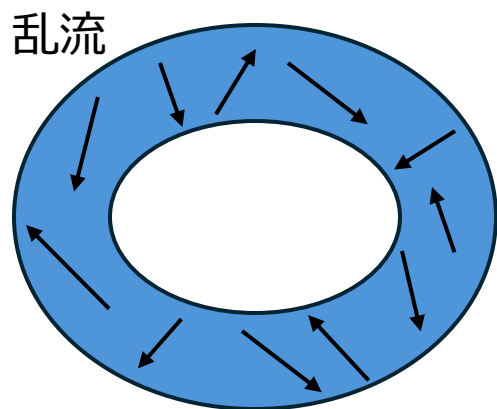
～データ～

天体: Centaurus A

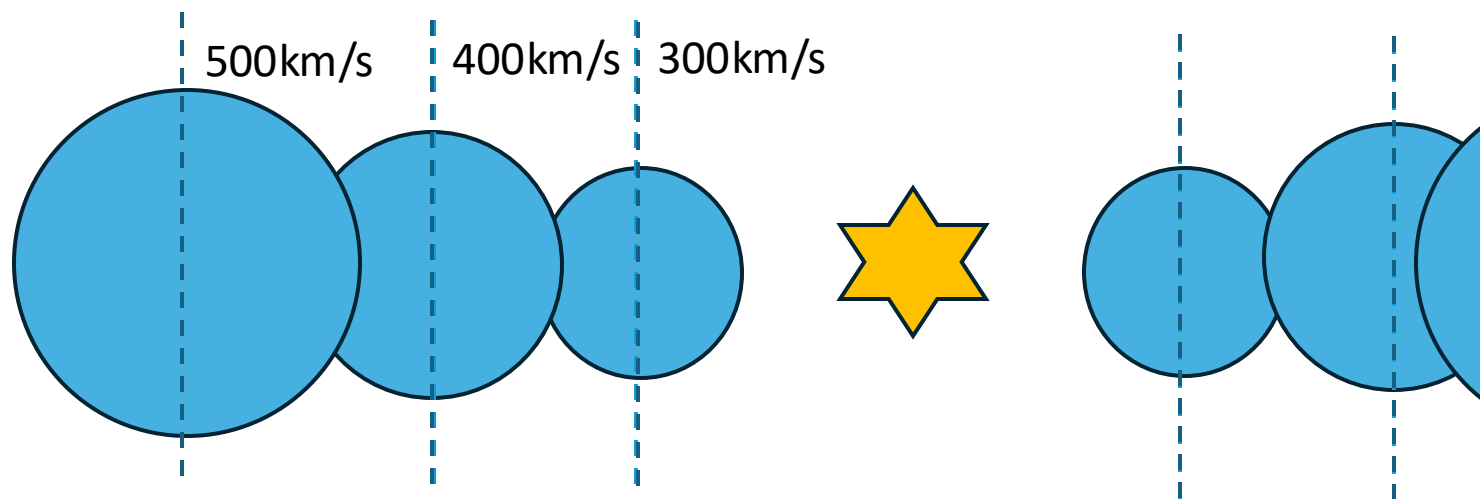
装置: XRISM/Resolve



① ガウシアンを畳み込む

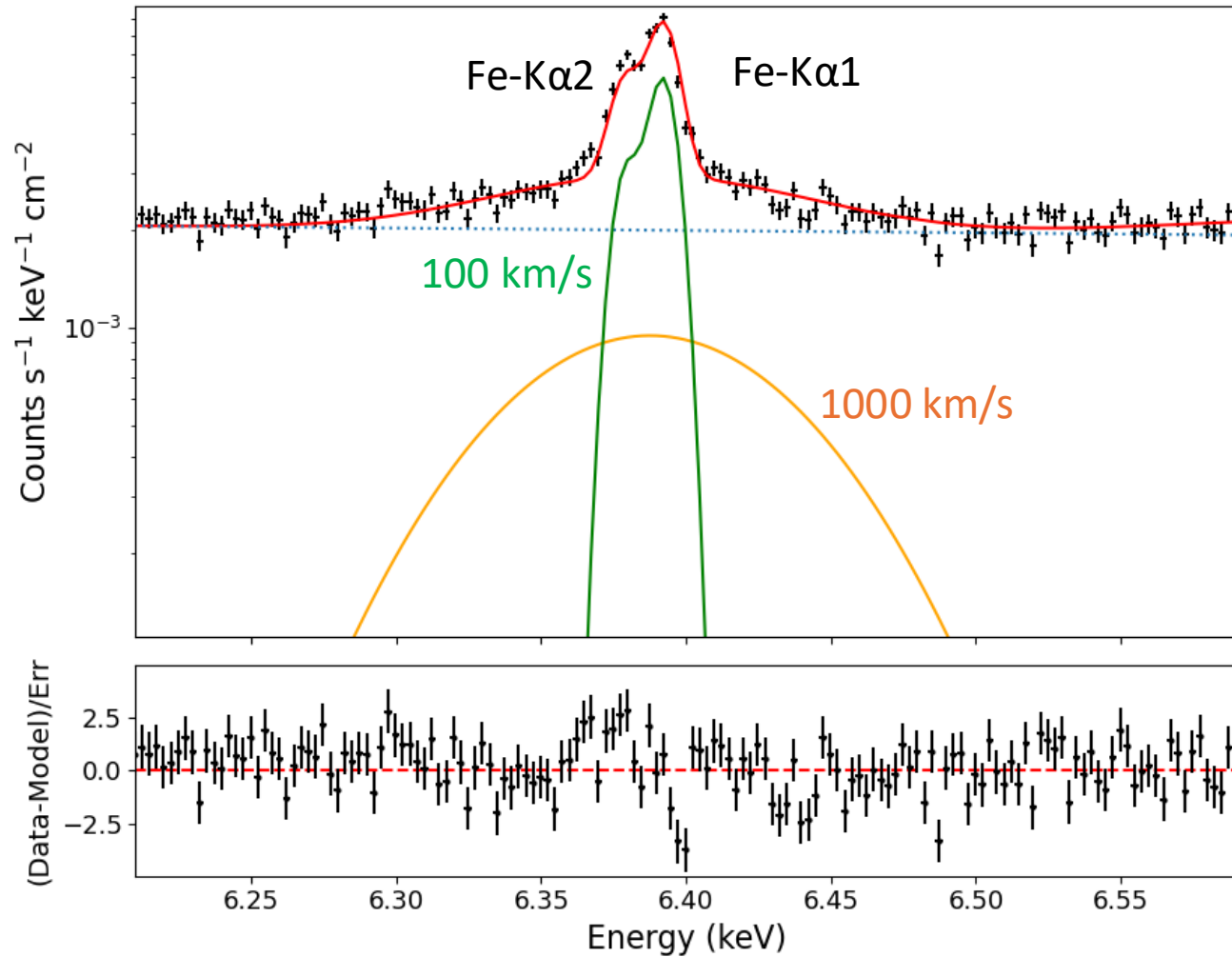


② 速度が異なる複数のトーラス成分を合成



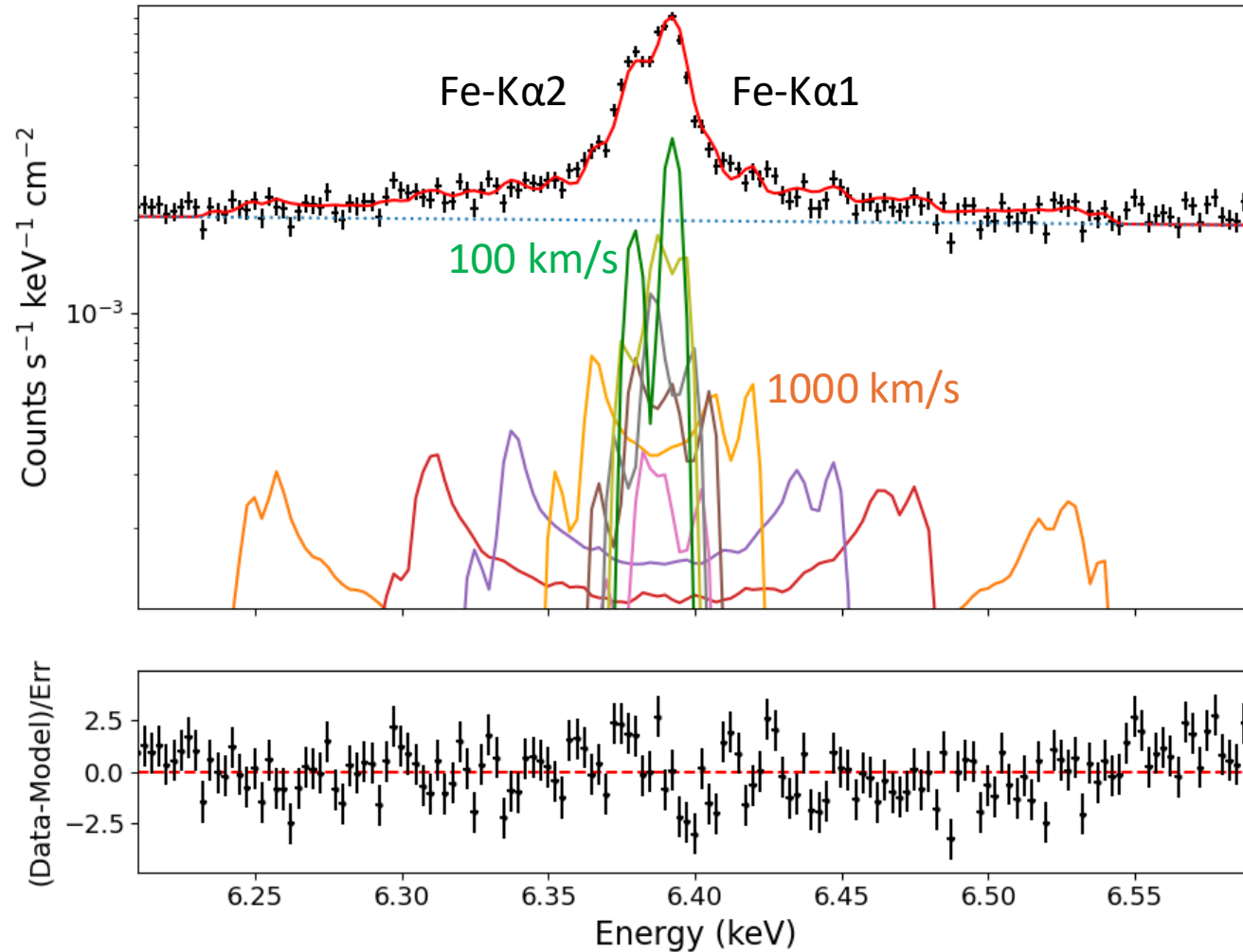
結果(ガウシアン畳み込み)

7/9



結果(複数トーラス反射成分)

8/9

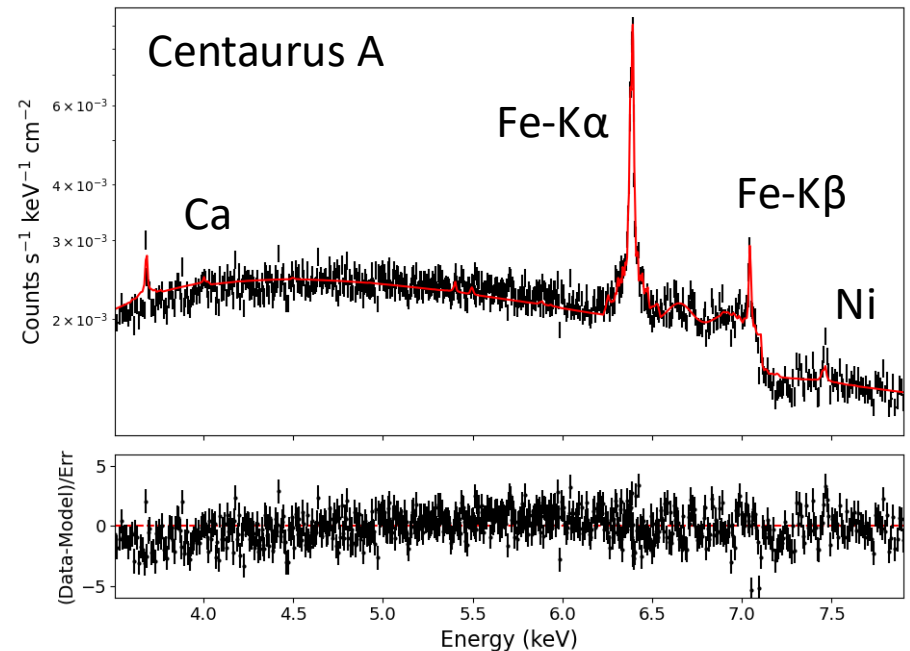


回転速度	強度(arbitrary)
5000 km/s	4.1
4000 km/s	0.96
3000 km/s	5.2
2000 km/s	5.0
1000 km/s	6.6
500 km/s	2.5
400 km/s	2.1
300 km/s	3.4
200 km/s	6.1
100 km/s	8.1

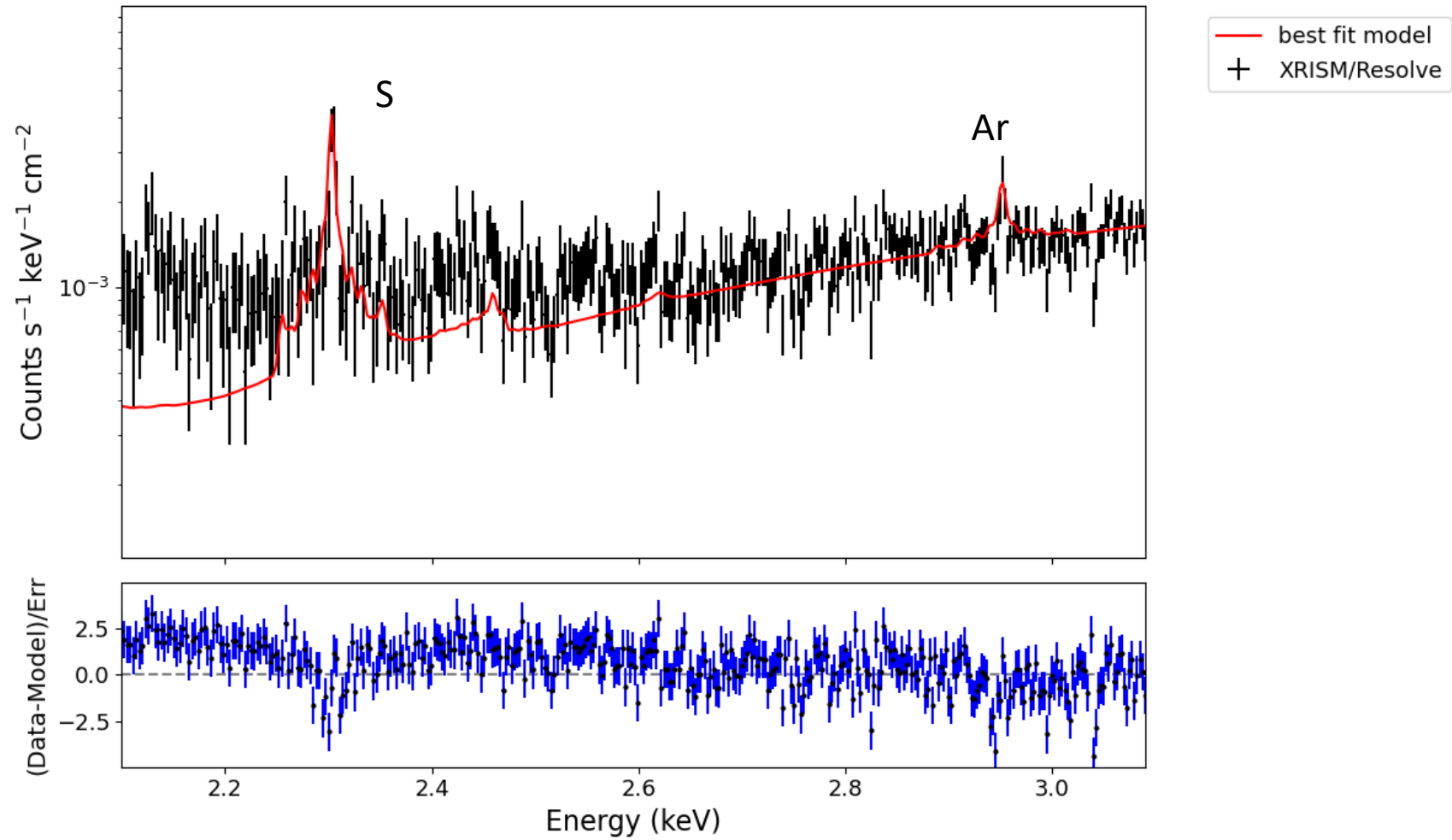
まとめ

9/9

- XRISM衛星の観測によりX線スペクトルで幅の異なるFe-K α 輝線が確認できる。これにより物質の分布が推定
- MONACOを用いて、ドップラー効果をモデルに導入
- 複数トーラス成分によりデータを表現
- 今後すり鉢型含め様々な形のトーラスを用いたアプローチ

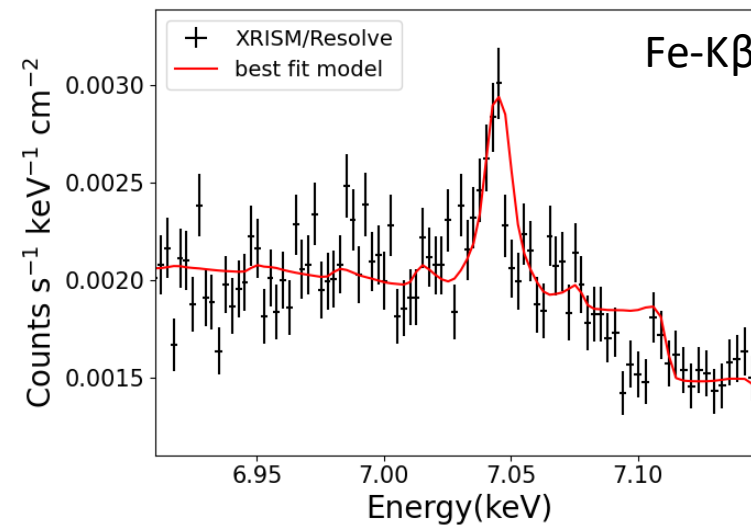
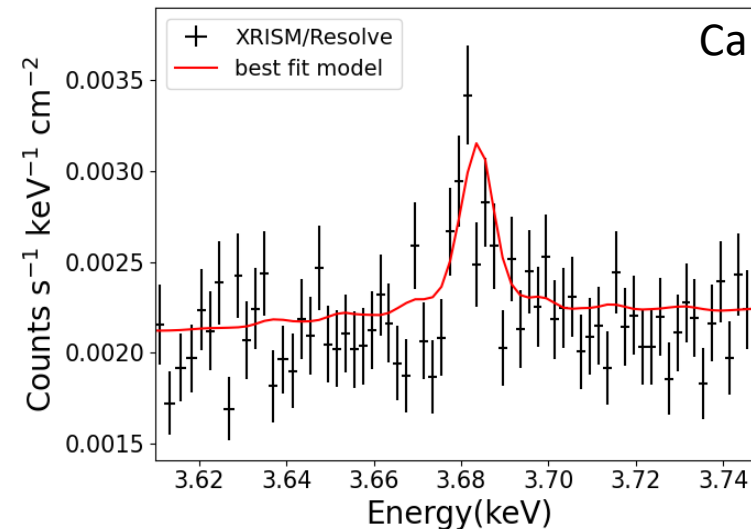
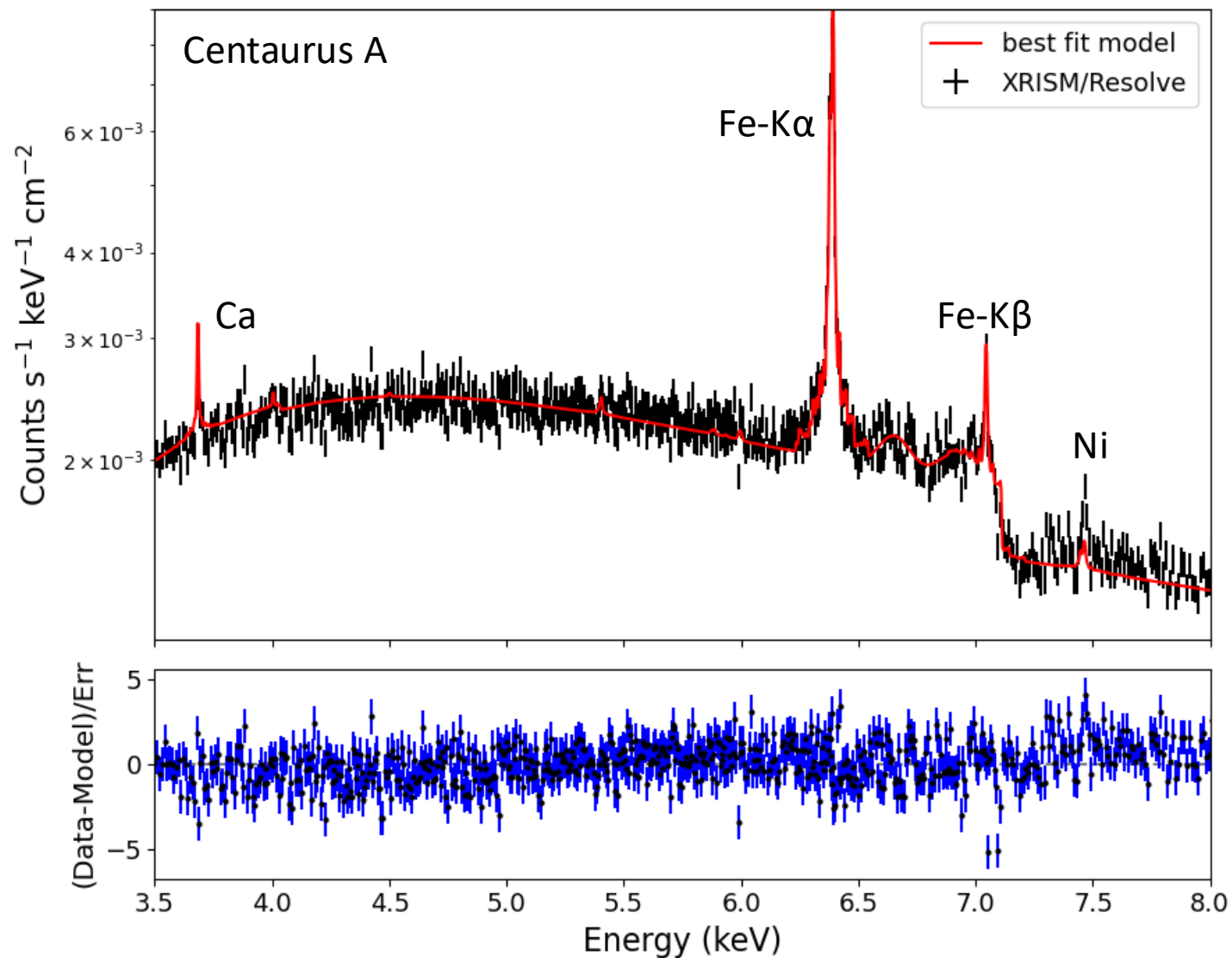


以下予備スライド



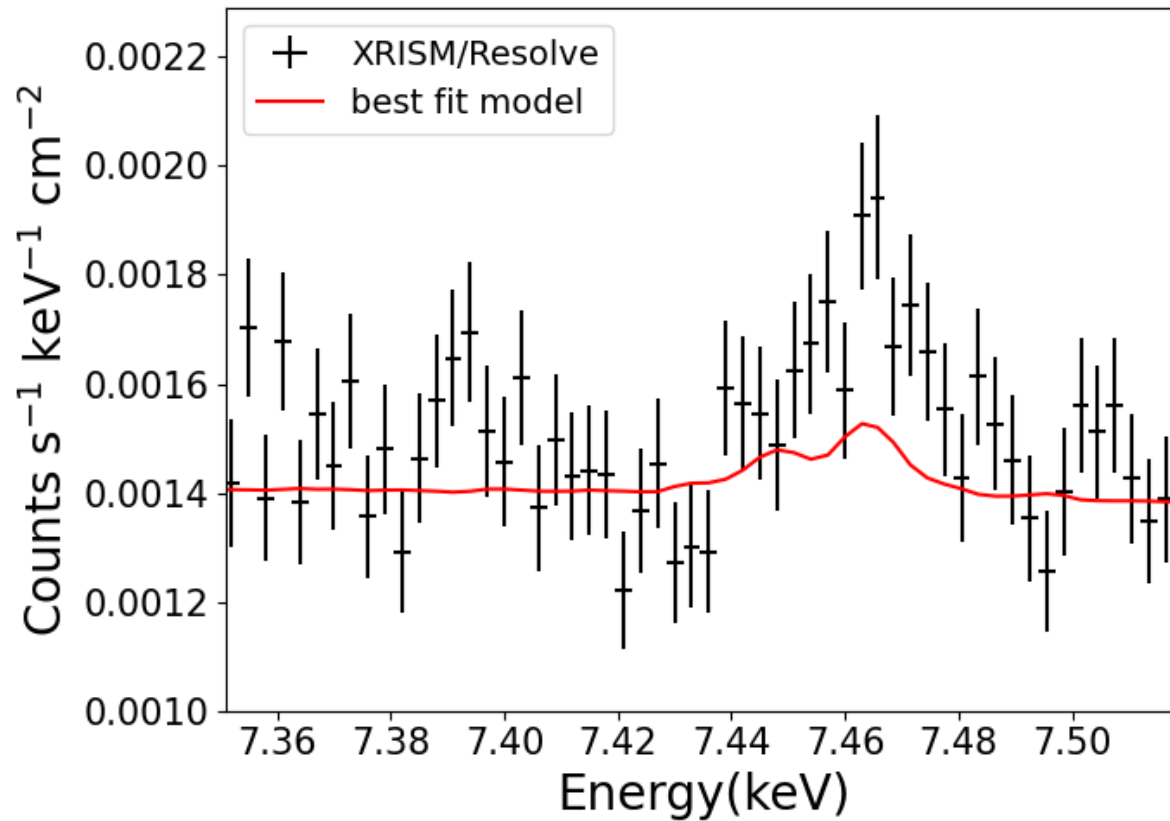
結果

12/9



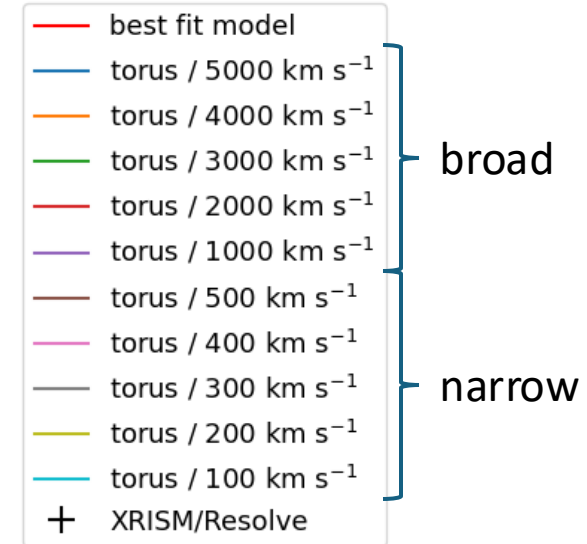
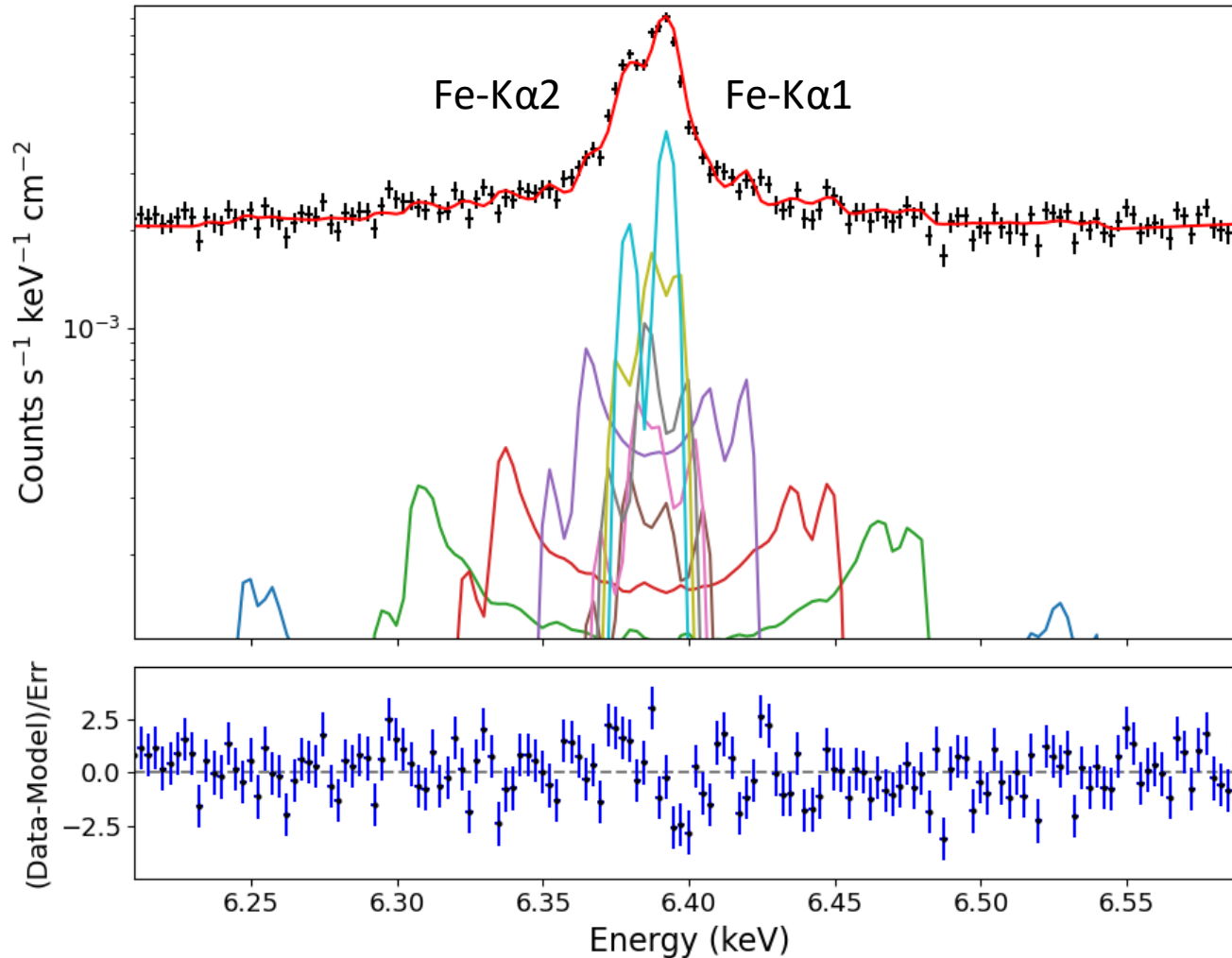
Ni輝線(モデルがデータより低い)

13/9



結果

↓複数のトラス反射成分によるフィット



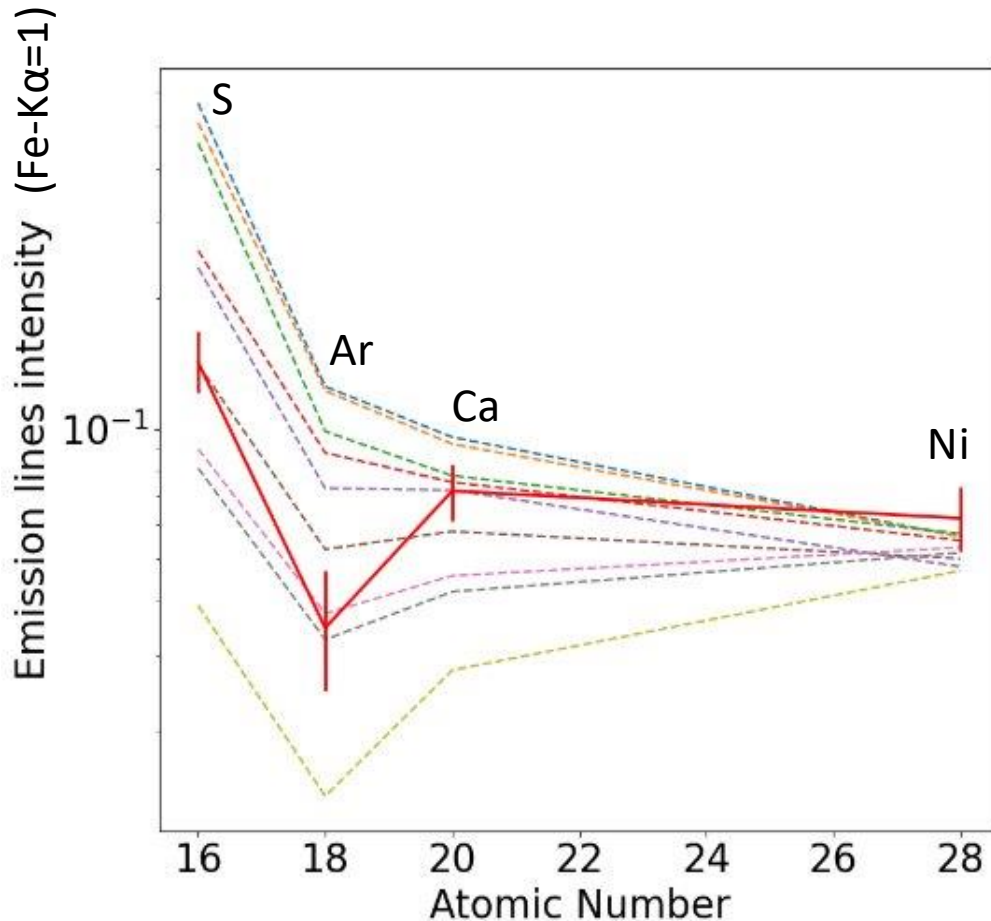
Abundance (Solar Abundance =1)

- broad: $1.0^{+0.2}_{-0.1}$
- narrow: $0.83^{+0.23}_{-0.14}$

重元素組成比

15/9

モデルと観測データ (Centaurus A) で各元素の輝線強度を比較



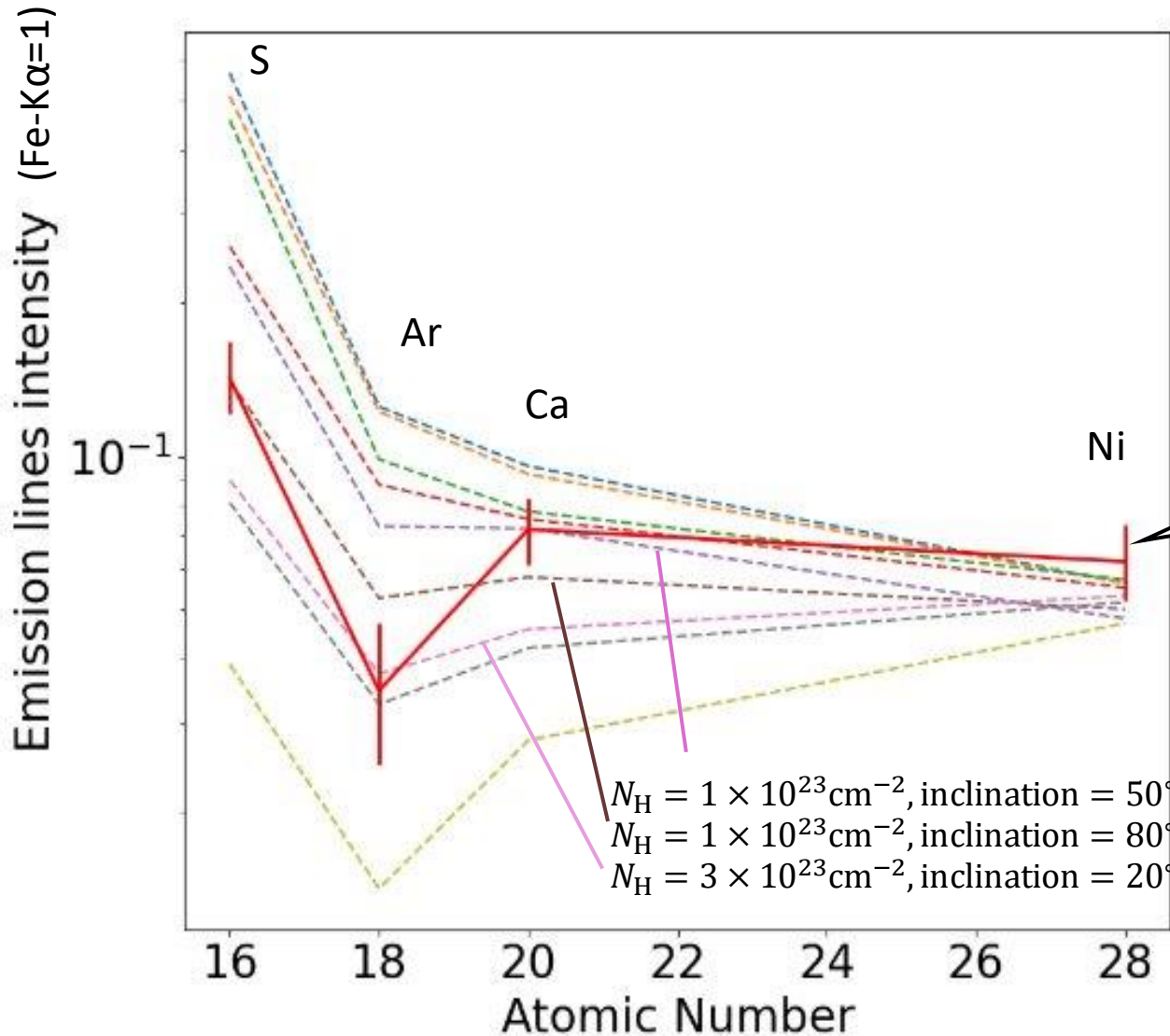
- $N_H = 3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 20°
- $N_H = 3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 50°
- $N_H = 3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 80°
- $N_H = 1 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 20°
- $N_H = 1 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 50°
- $N_H = 1 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 80°
- $N_H = 3 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 20°
- $N_H = 3 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 50°
- $N_H = 3 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 80°
- + Centaurus A

ドーナツ型反射モデル
Solar Abundance = 1

$N_H = 1 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 50° or 80° が近い
Centaurus A と太陽で組成比は s も含めて同じ傾向

重元素組成比

16/9



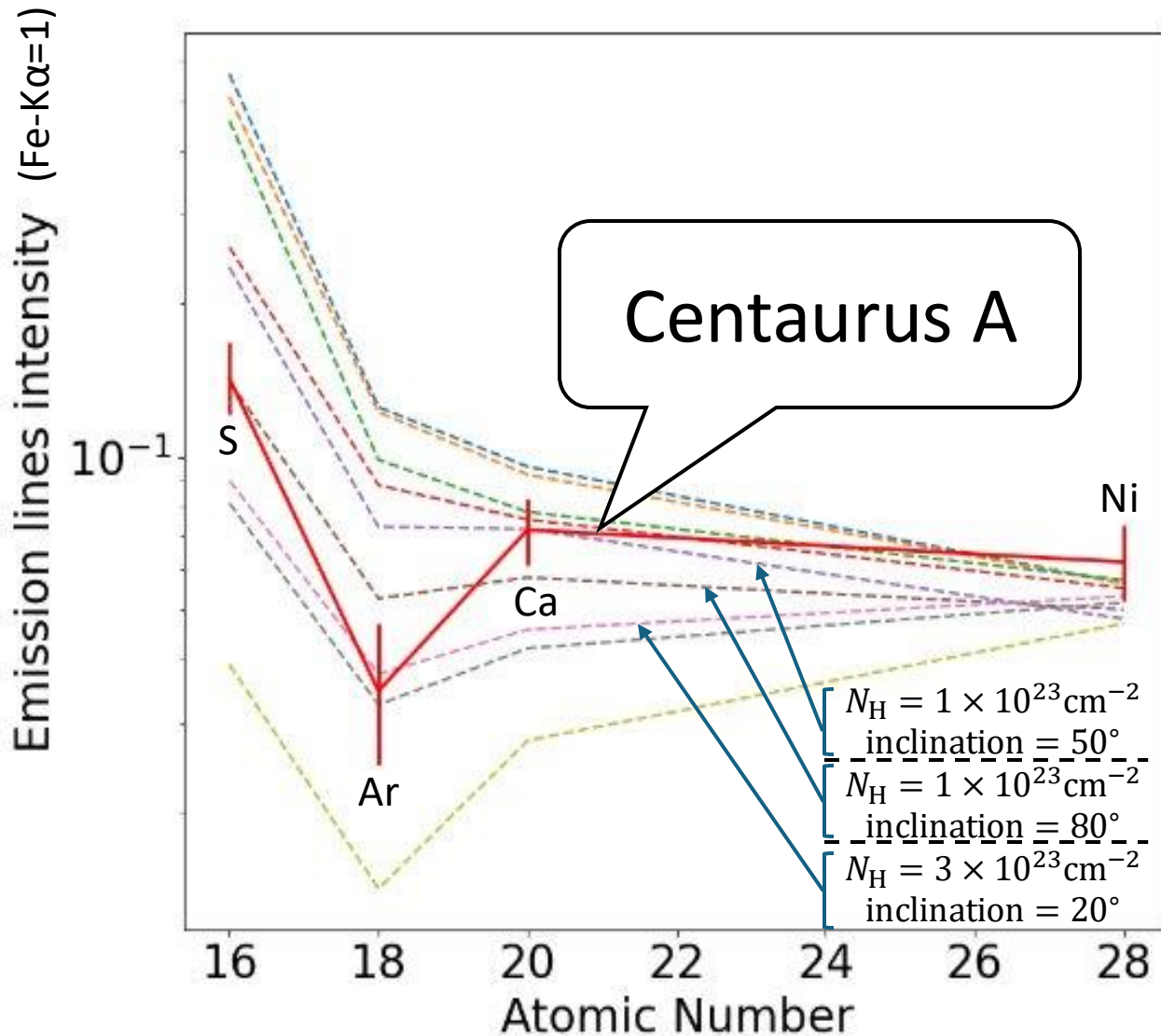
モデルと観測データで
各元素の輝線強度を比較

Centaurus A

$N_H = 1 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, inclination = 50° or 80° が近い
Centaurus Aと太陽で組成比はとも含めて同じ傾向

重元素組成比

17/9



【モデル】

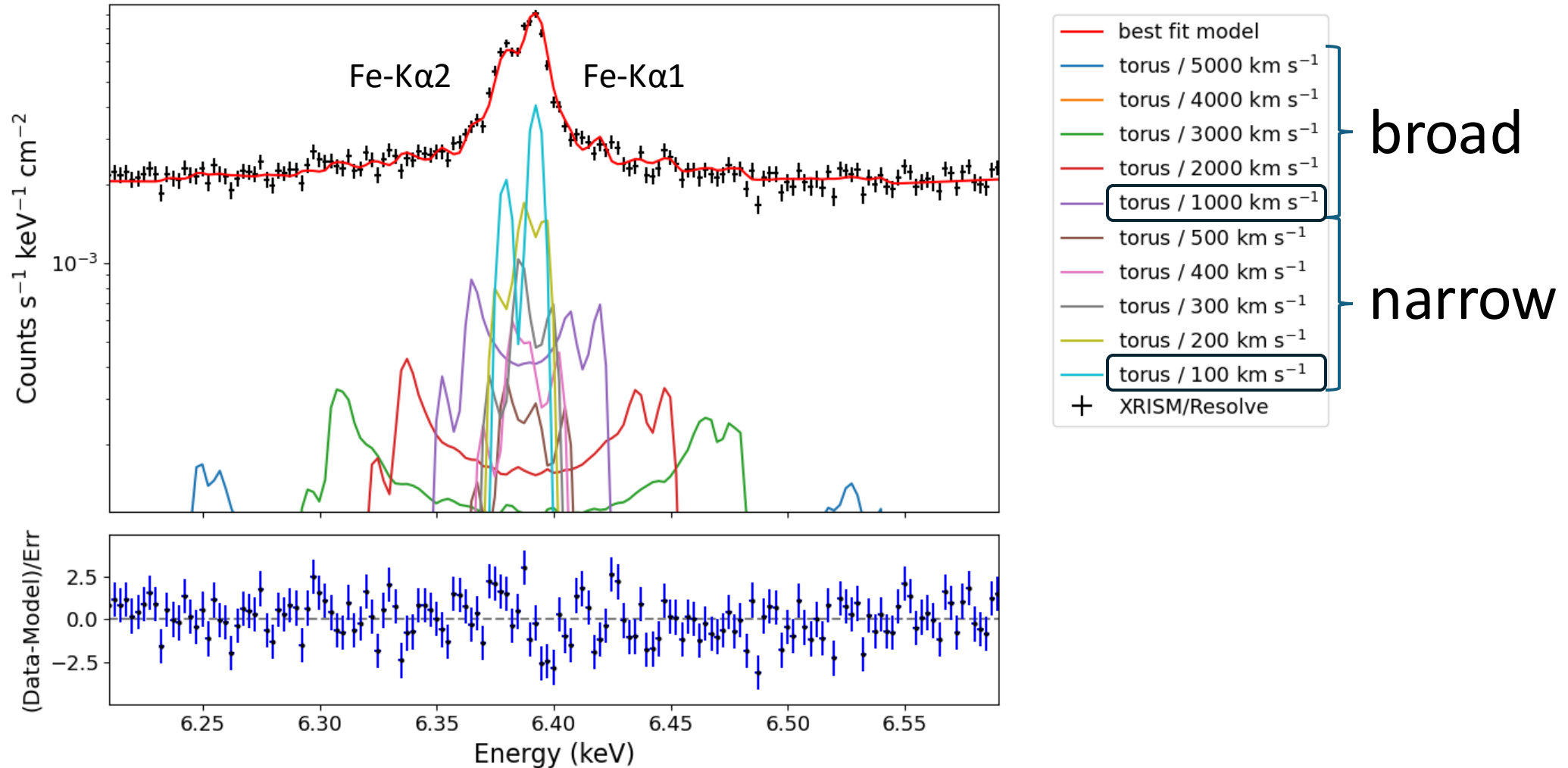
- Solar Abundance = 1
- $N_H = 0.3, 1.0, 3.0 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$
- Inclination = $30^\circ, 50^\circ, 80^\circ$
- ドーナツ型

【近い傾向を示す条件】

$N_H = 1 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$,
inclination = 50° or 80°

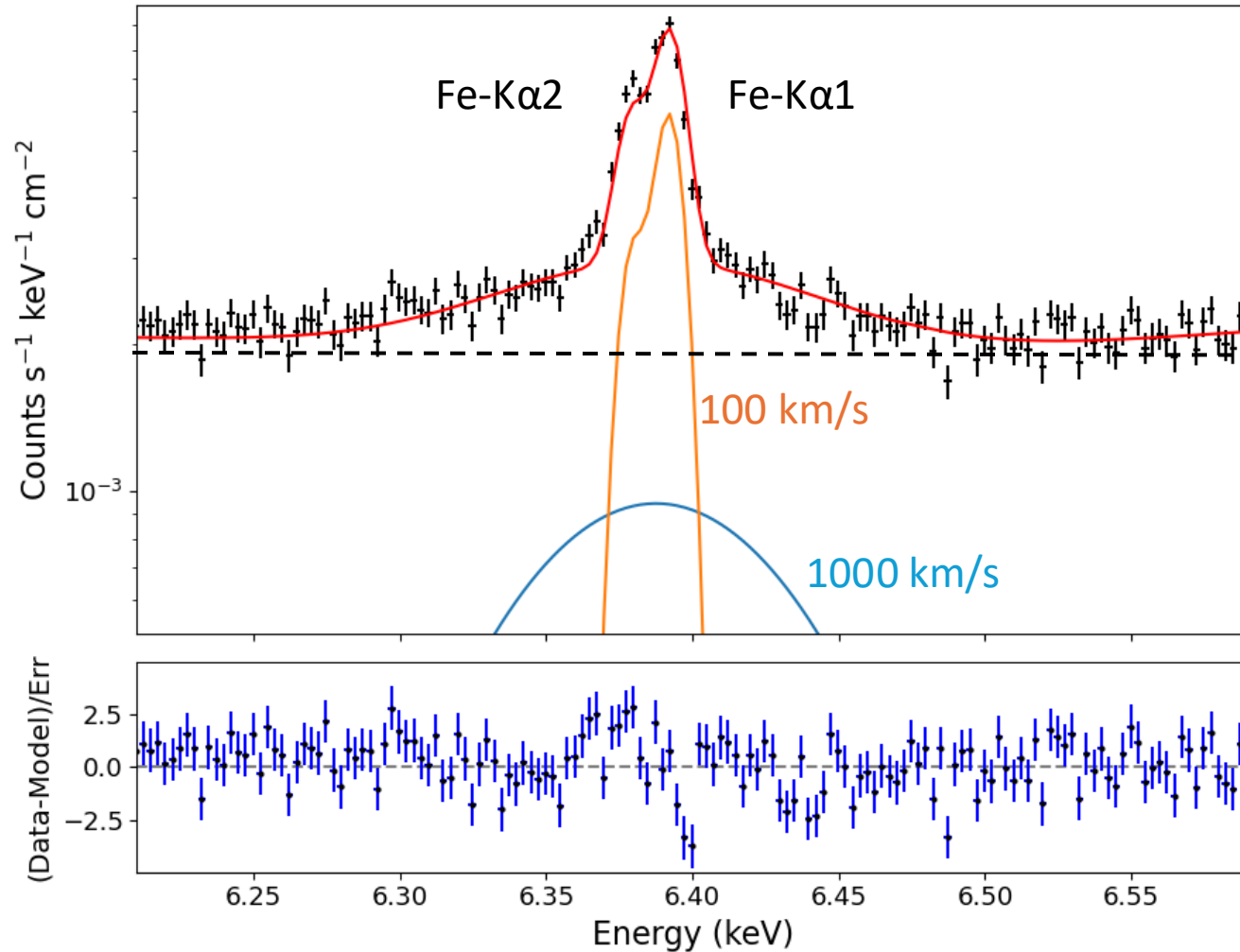
結果(複数トーラス反射成分)

18/9



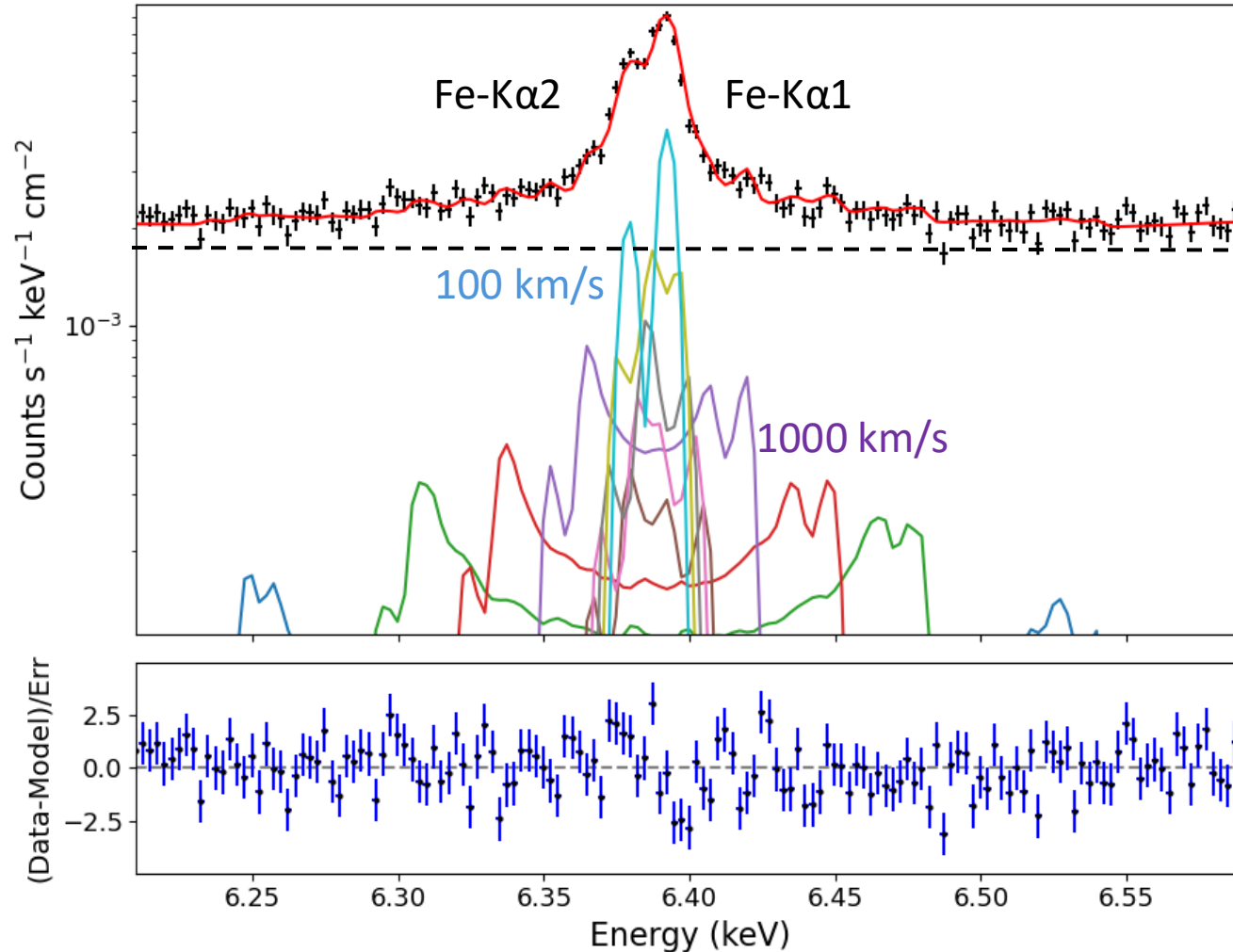
結果(ガウシアン畳み込み)

19/9



結果(複数トーラス反射成分)

20/9



回転速度	強度
5000 km/s	4.1×10^{-8}
4000 km/s	9.6×10^{-9}
3000 km/s	5.2×10^{-8}
2000 km/s	5.0×10^{-8}
1000 km/s	6.6×10^{-8}
500 km/s	2.5×10^{-8}
400 km/s	2.1×10^{-8}
300 km/s	3.4×10^{-8}
200 km/s	6.1×10^{-8}
100 km/s	8.1×10^{-8}