

超新星残骸

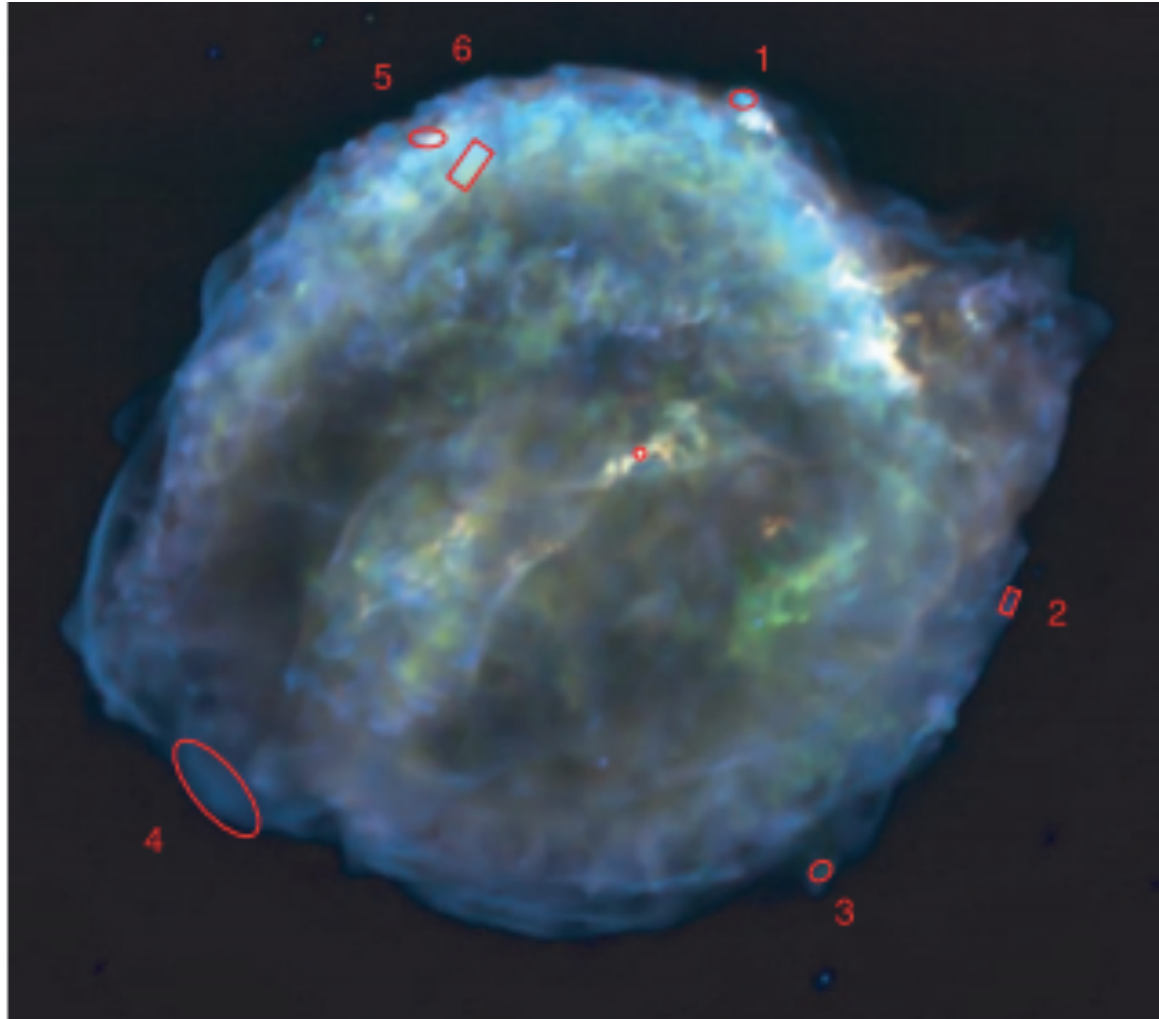
G359.0-0.9とG166.0+4.3

のX線スペクトル解析

担当 吉川 慶

伊藤 真音

超新星残骸とは

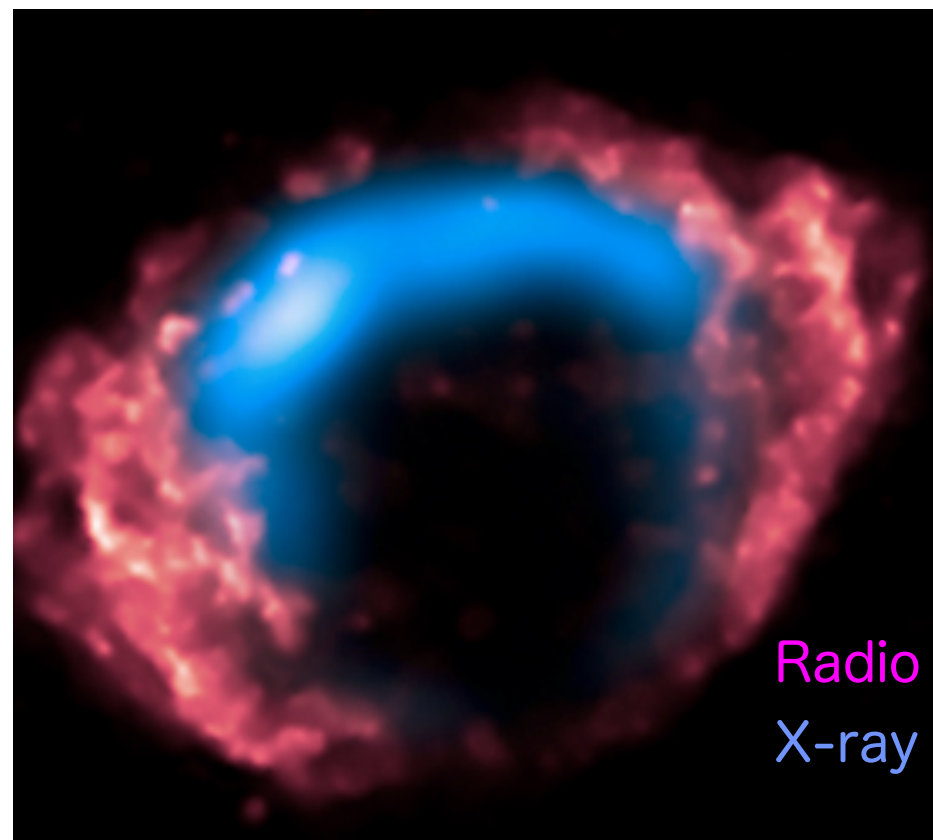


超新星残骸ケプラーの
ChandraによるX線イメージ
(Raynolds et al. 2007)

白色矮星や大質量星
の超新星爆発後、拡
散する衝撃波によっ
て、星間物質や元々
の星の物質が電離し
プラズマ化した天体

SNRのタイプ

シェル型



G1.9+0.3

X線、電波ともに
シェル状に放射している

MM型

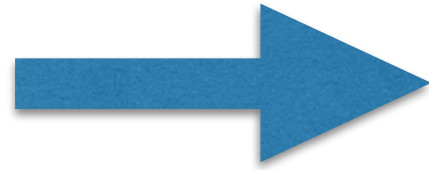


IC443

X線中心に集中して、
電波はシェル状に放射している

超新星残骸の進化

自由膨張期



- ・ 衝撃波が等方的に広がる
- ・ 速度 $\sim 10^4 \text{km/s}$
- ・ 約200年くらいの期間



断熱膨張期

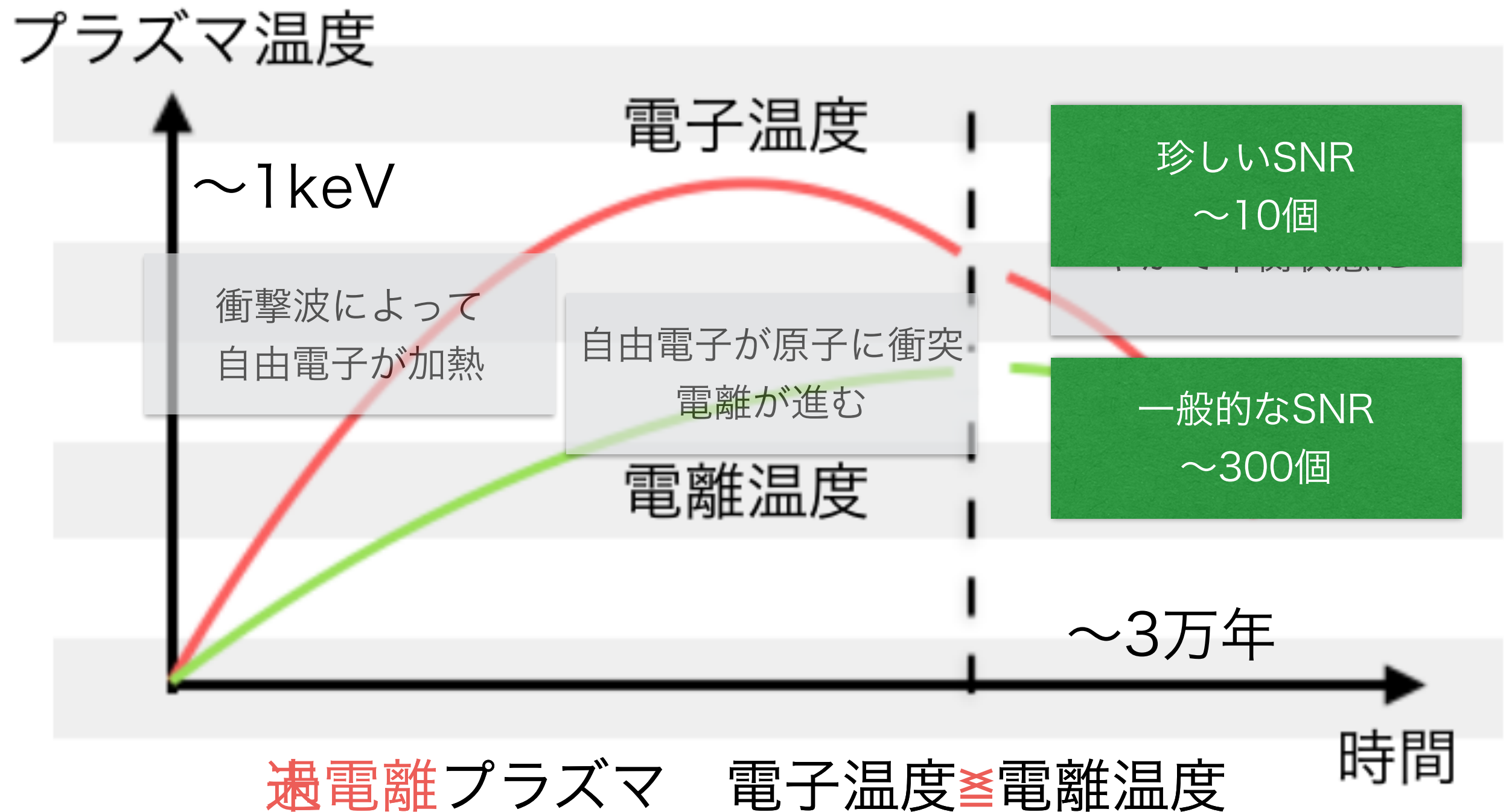


- ・ ほとんどの超新星残骸がこの期間にある
- ・ 電離が起こる期間
- ・ 温度 T と時間 t の関係 $T \propto t^{-6/5}$
- ・ 約 3.0×10^4 年の期間

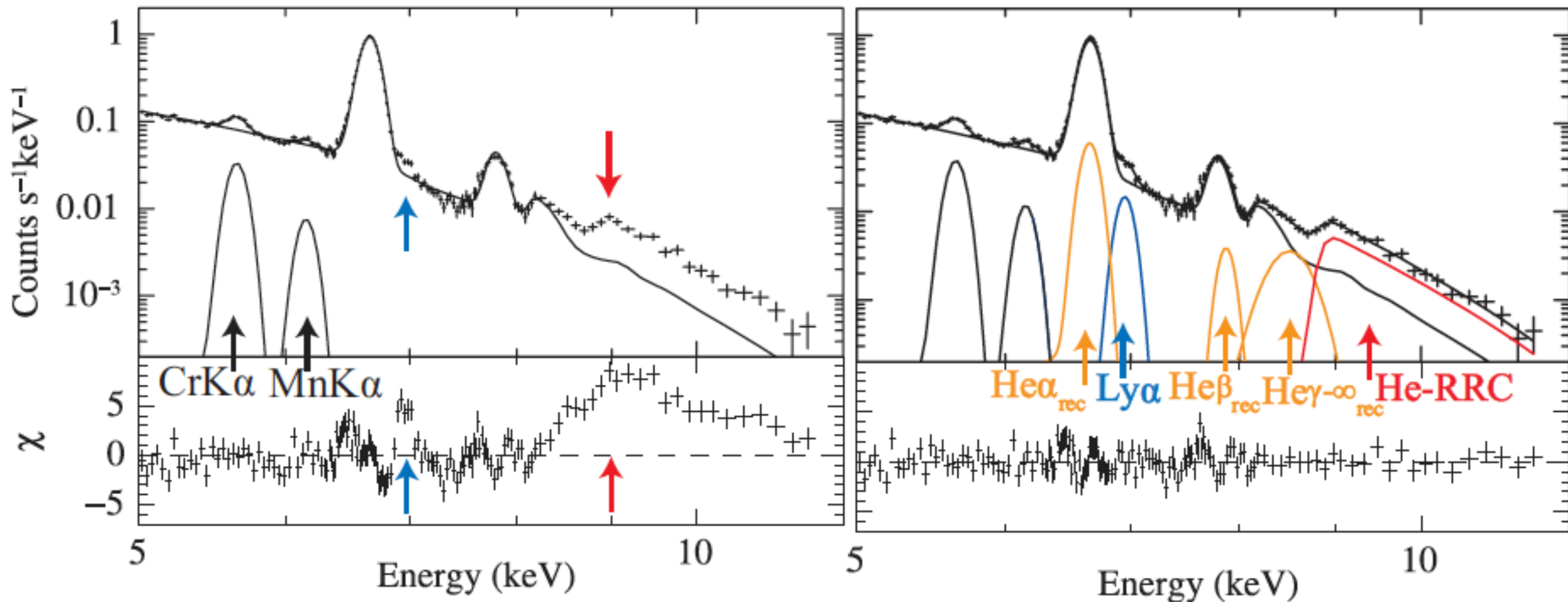


放射冷却期

SNRのプラズマ進化過程



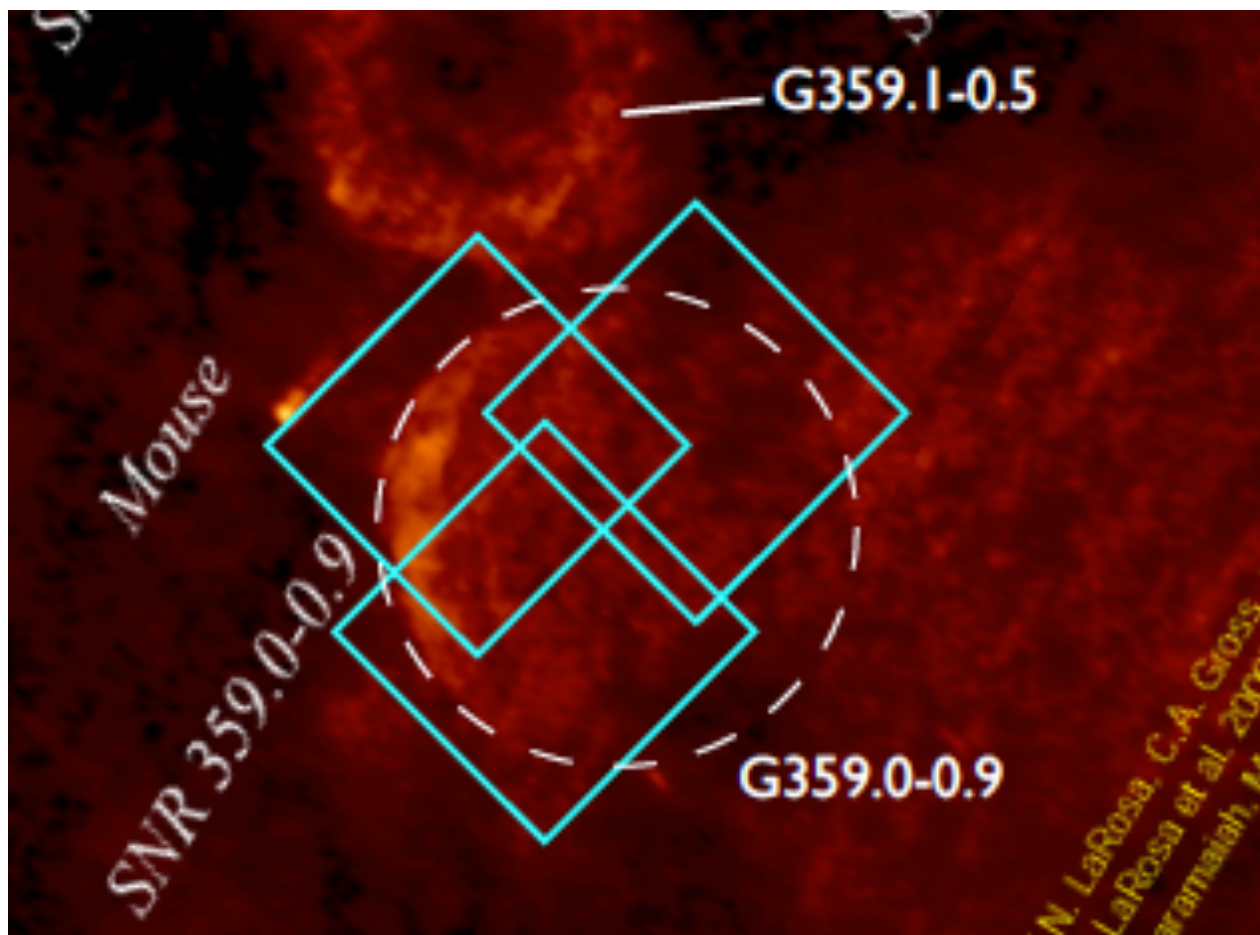
過電離プラズマの特徴



今まで発見された過電離プラズマのSNRは、
全てMM型である。

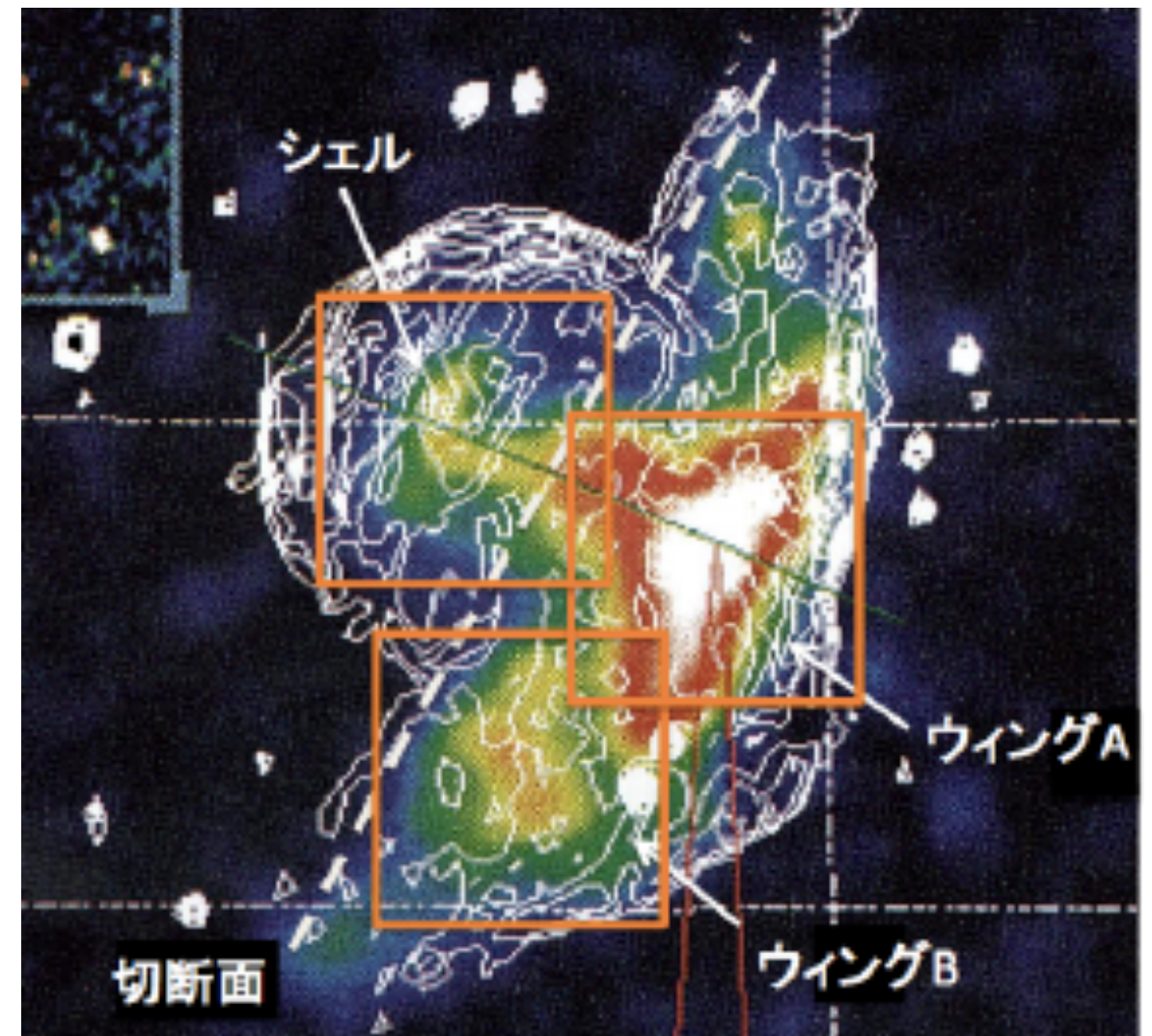
今回解析した過電離プラズマ候補天体

G359.0-0.9



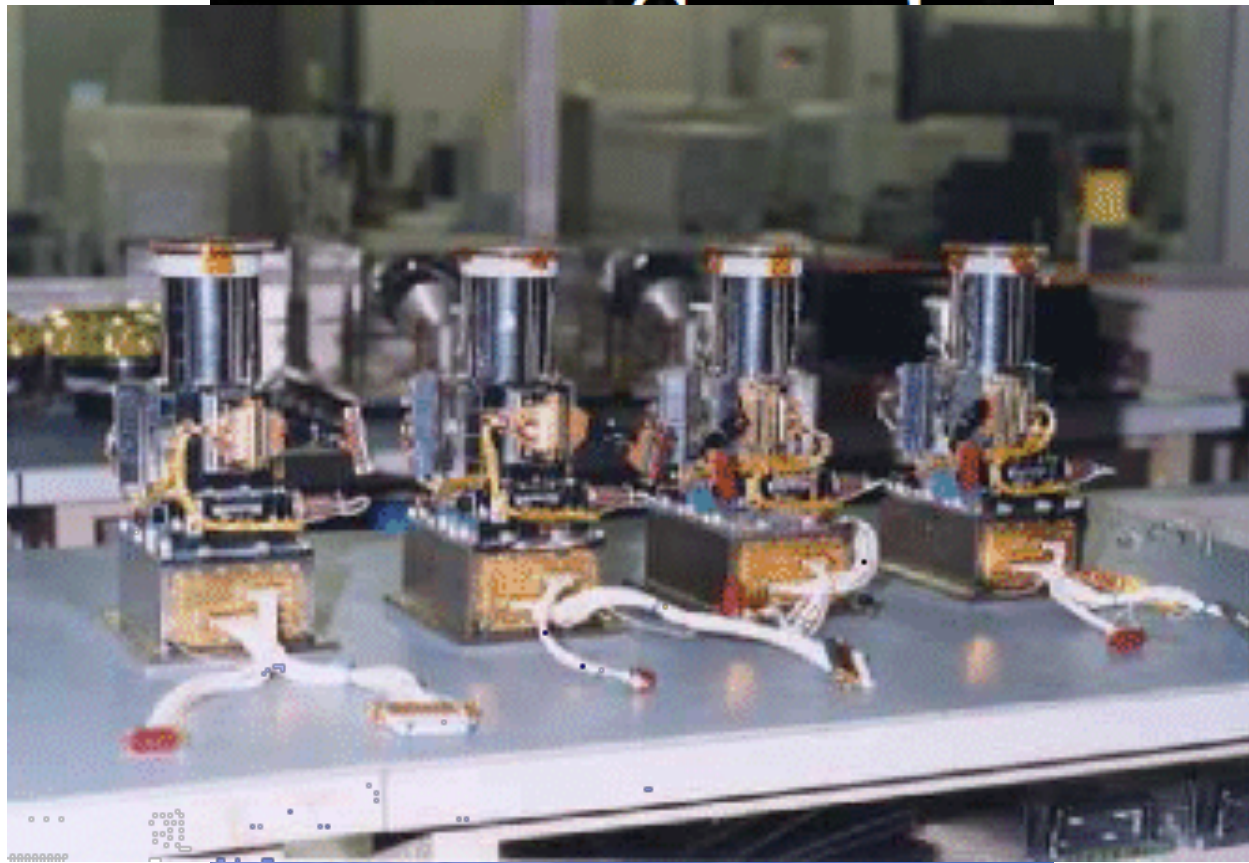
吉川 慶

G166.0+4.3



伊藤 真音

X線観測衛星すざく



- ・ 4台のCCDカメラ
- ・ 2005年7月10日打ち上げ
- ・ パックagingが低い
- ・ 日本で5番目のX線天文衛星
- ・ 高いエネルギー分解能をもつ

すざくX線観測衛星

SNR G359.0 - 0.9

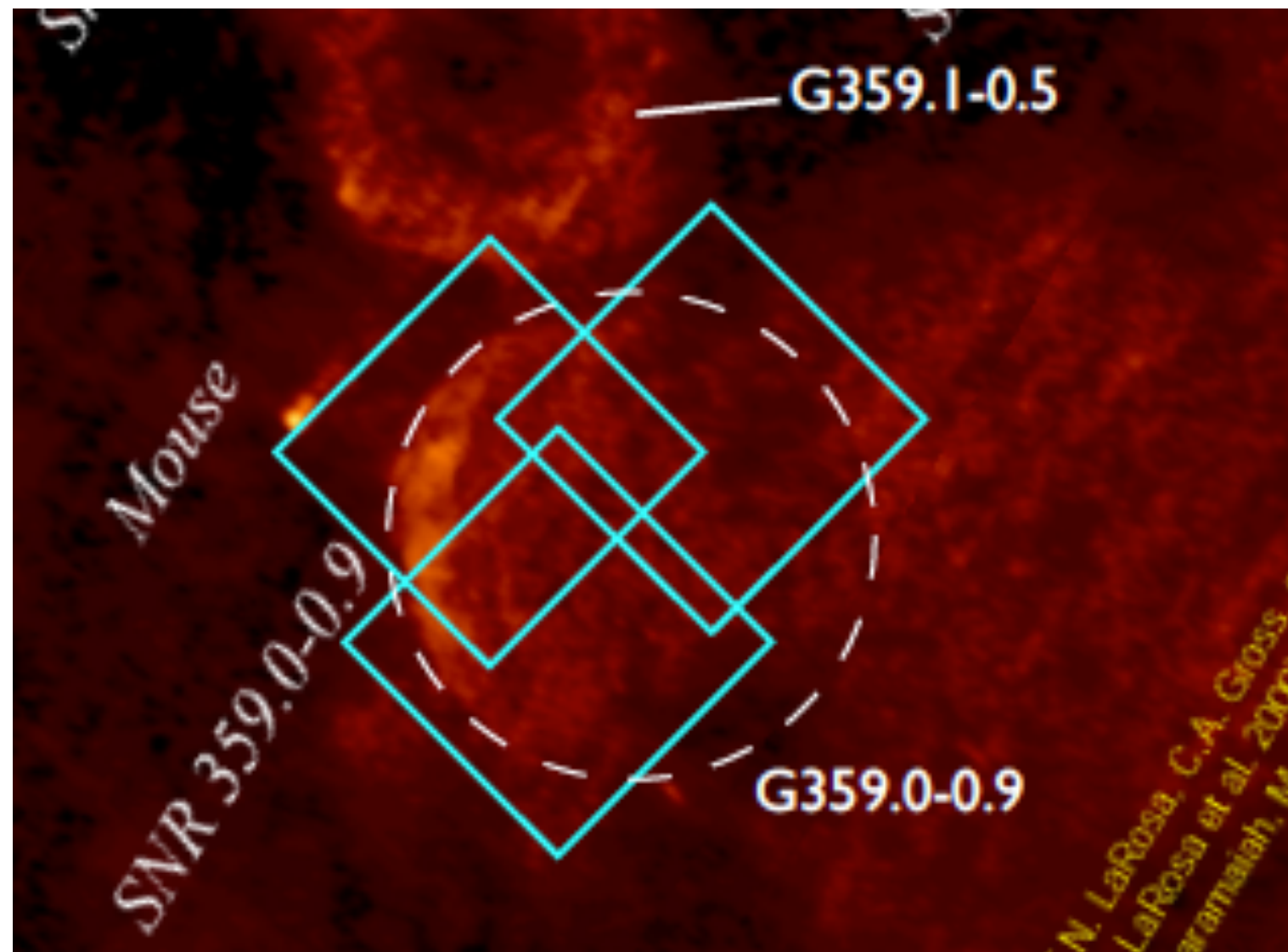
年齢 18000yr

距離 6kpc

シェル型を示唆

(Bamba et al. 2000)

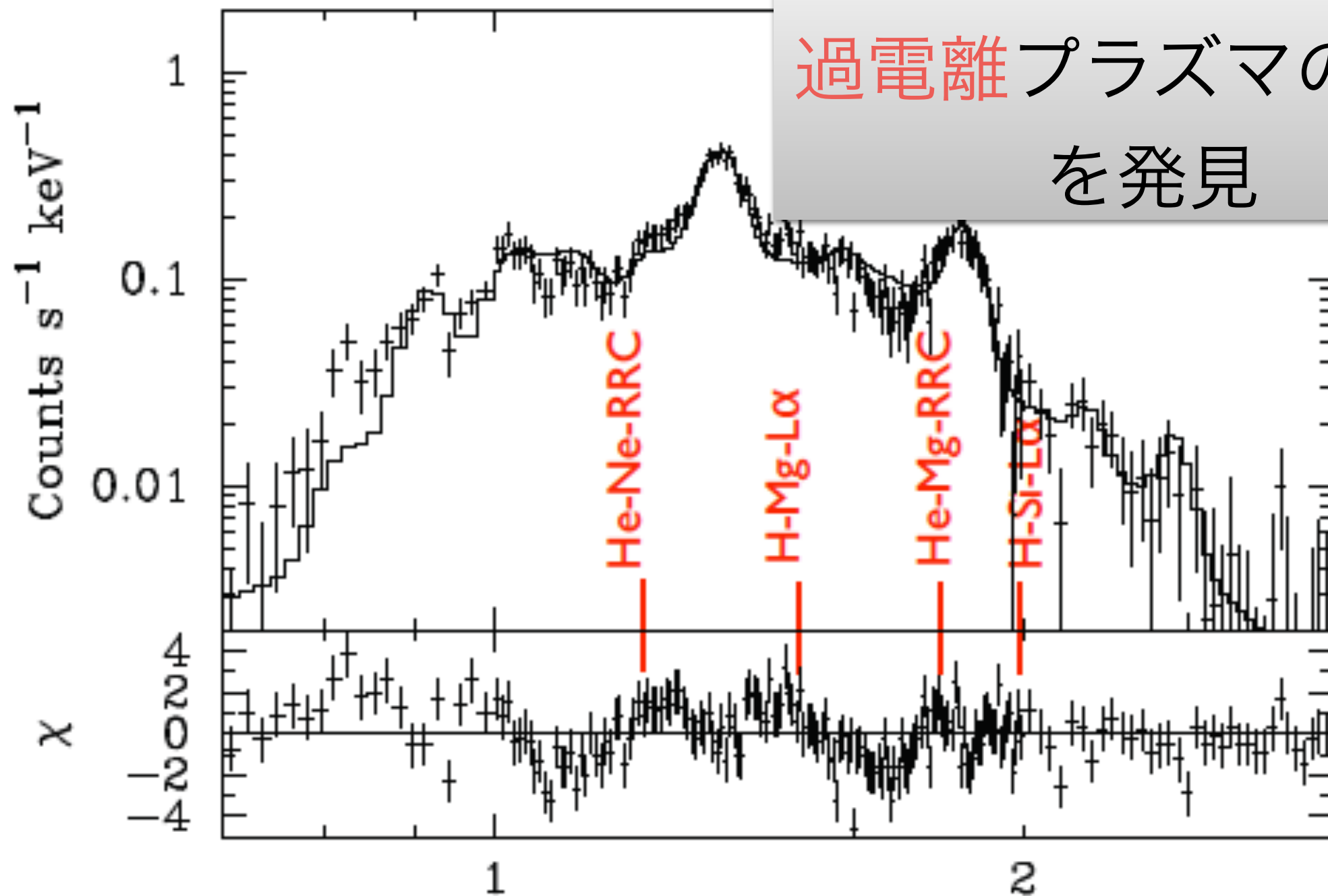
XMM-Newtonの観測では、
再結合RRCの兆候を示した。



XMM-Newtonの観測結果

残差に再結合RRC

過電離プラズマの兆候
を発見



電離平衡プラズマモデル

現状

一般的なSNR 未電離プラズマ

珍しいSNR MM型過電離プラズマ

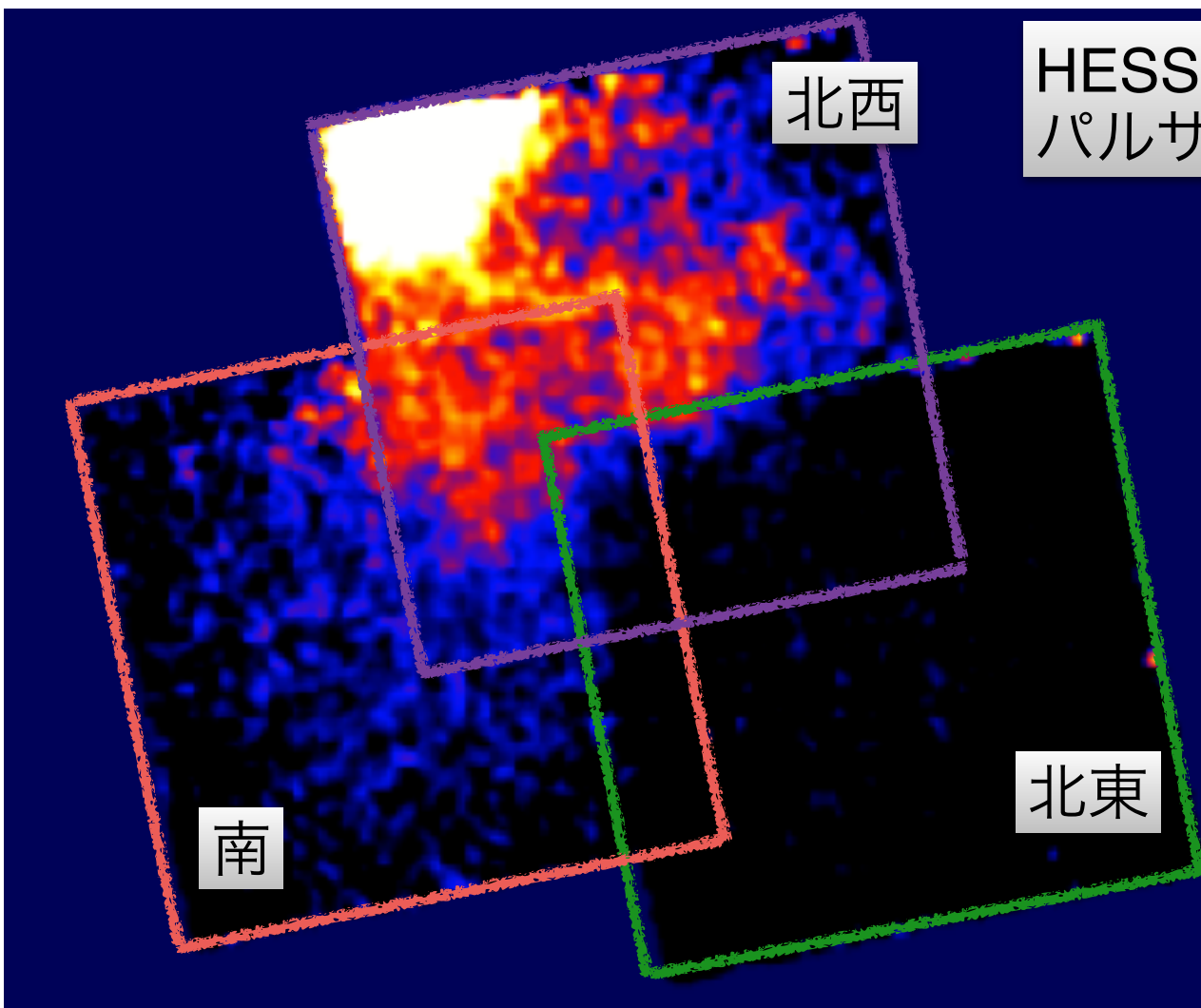
未発見 シェル型過電離プラズマ

目的

① ~~シェル型~~ SNRの検証

② ~~過電離~~ プラズマの初発見を目指す

すざく XISイメージ



0.4~5.0keV



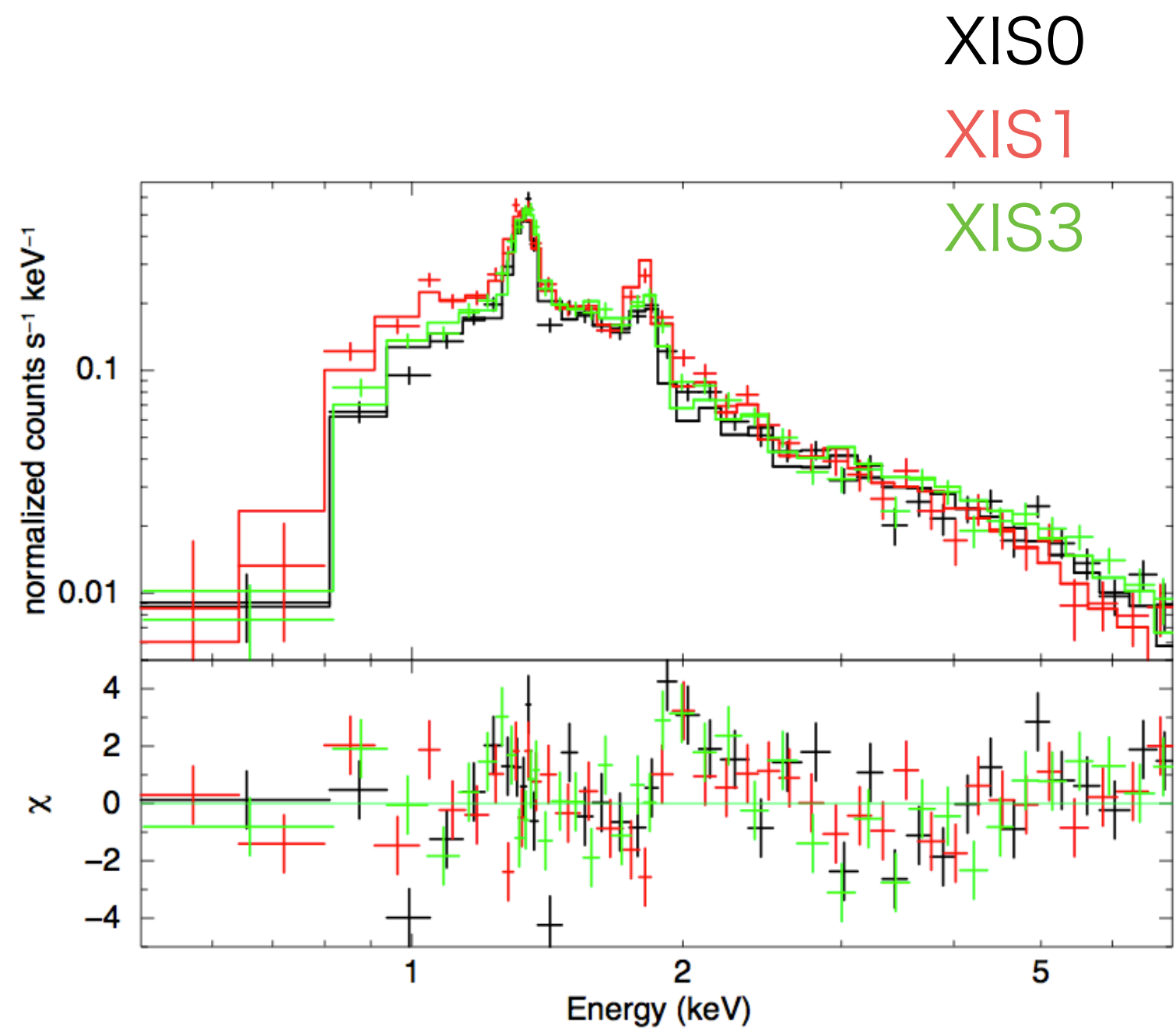
赤 0.4~1.0keV

緑 1.0~1.8keV

青 1.8~5.0keV

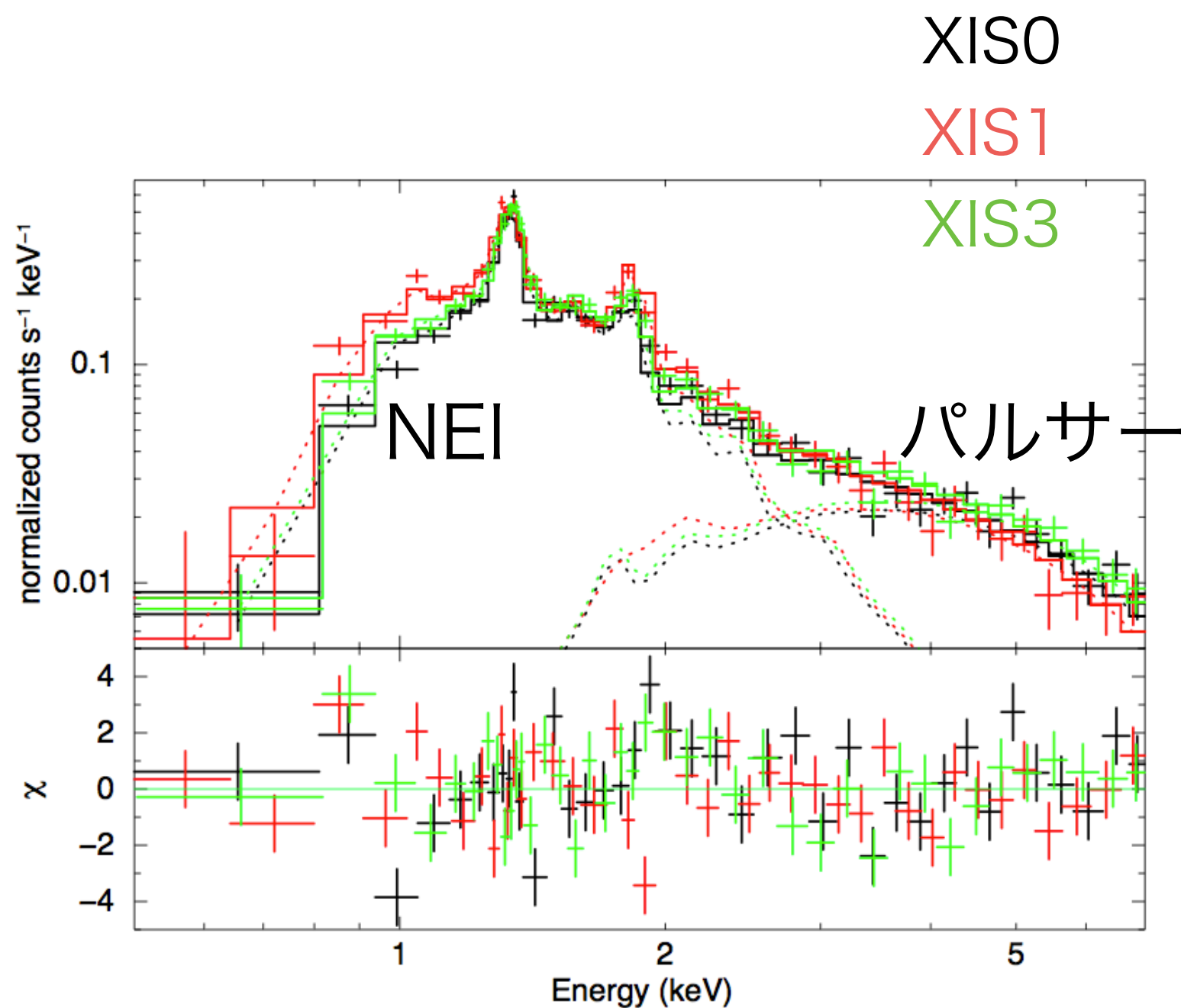
等高線 843MHz

NEIモデルでフィットした結果



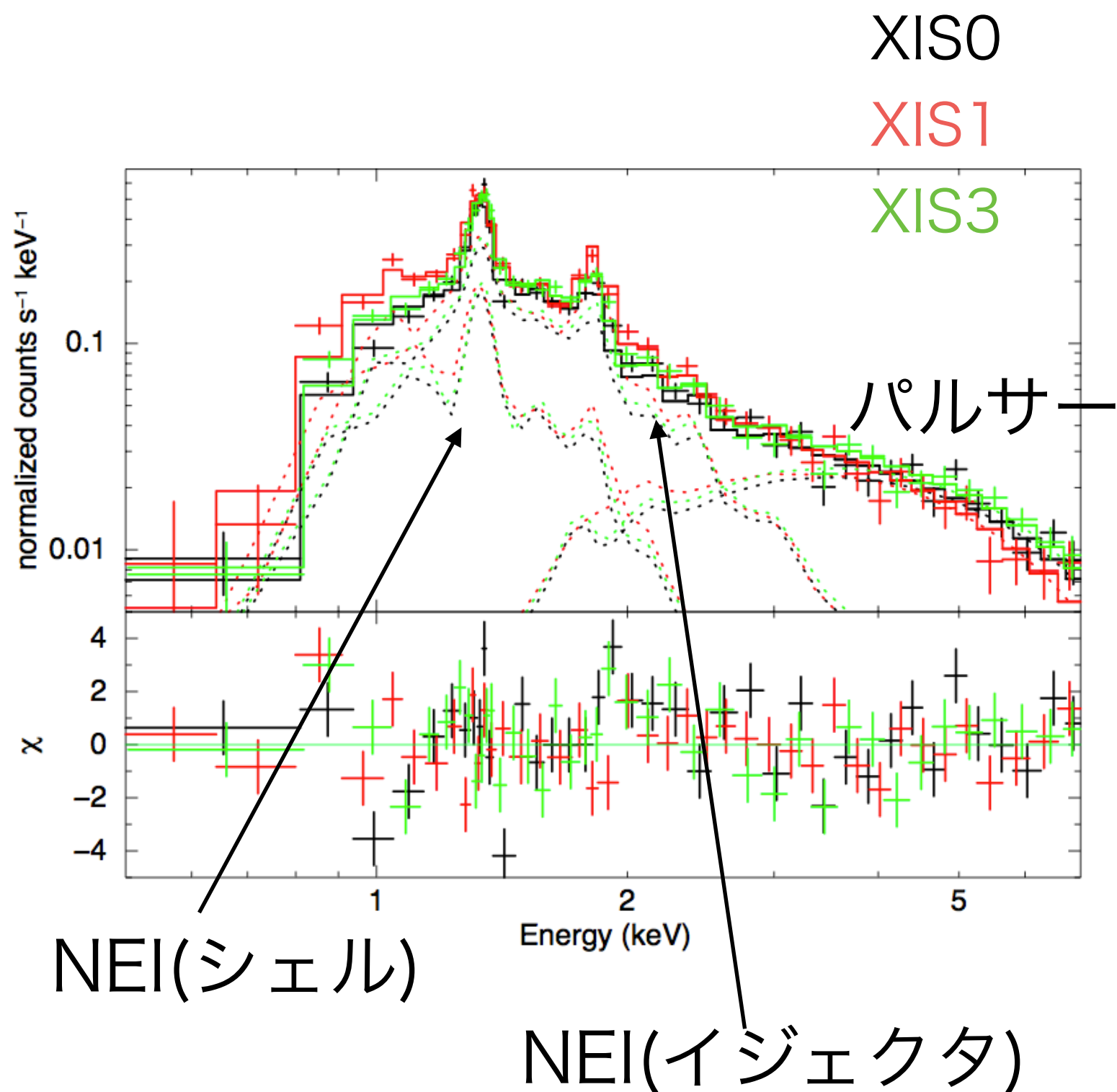
	parameter	error
星間吸収	1.30×10^{22}	$+0.01 \times 10^{22}$ -0.01×10^{22}
電子温度[keV] (シェル)	5.47	+0.35 -0.28
電離状態 [cm ⁻² s]	1.39×10^{10}	$+0.06 \times 10^{10}$ -0.09×10^{10}
Mg	1.22	+0.04 -0.03
Si	0.479	+0.027 -0.031
S	0.387	+0.10 -0.09
Fe	0.479	+0.034 -0.042
χ^2	1.741	

NEIモデル 1 成分+べき関数でフィットした結果



	parameter	error
星間吸収	1.58×10^{22}	$+0.01 \times 10^{22}$ -0.01×10^{22}
電子温度[keV] (シェル)	0.806	+0.008 -0.008
電離状態 [cm ⁻² s]	6.25×10^{10}	$+0.63 \times 10^{10}$ -0.94×10^{10}
Mg	0.865	+0.029 -0.031
Si	0.439	+0.036 -0.027
S	0.334	+0.092 -0.091
Fe	0.254	+0.029 -0.035
χ^2	1.718	

NEIモデル2成分+べき関数でフィットした結果



	parameter	error
星間吸収	1.65×10^{22}	$+0.01 \times 10^{22}$ -0.01×10^{22}
電子温度[keV] (シェル)	0.474	+0.007 -0.008
電離状態 [cm ⁻² s]	8.81×10^9	$+0.84 \times 10^9$ -0.94×10^9
電子温度[keV] (イジェクタ)	0.759	+0.001 -0.001
電離状態 (cm ⁻² s)	1.29×10^{11}	$+0.19 \times 10^{11}$ -0.16×10^{11}
Mg	0.742	+0.038 -0.050
Si	0.466	+0.061 -0.033
S	0.425	+0.105 -0.114
Fe	0.149	+0.037 -0.050
χ^2	1.718	

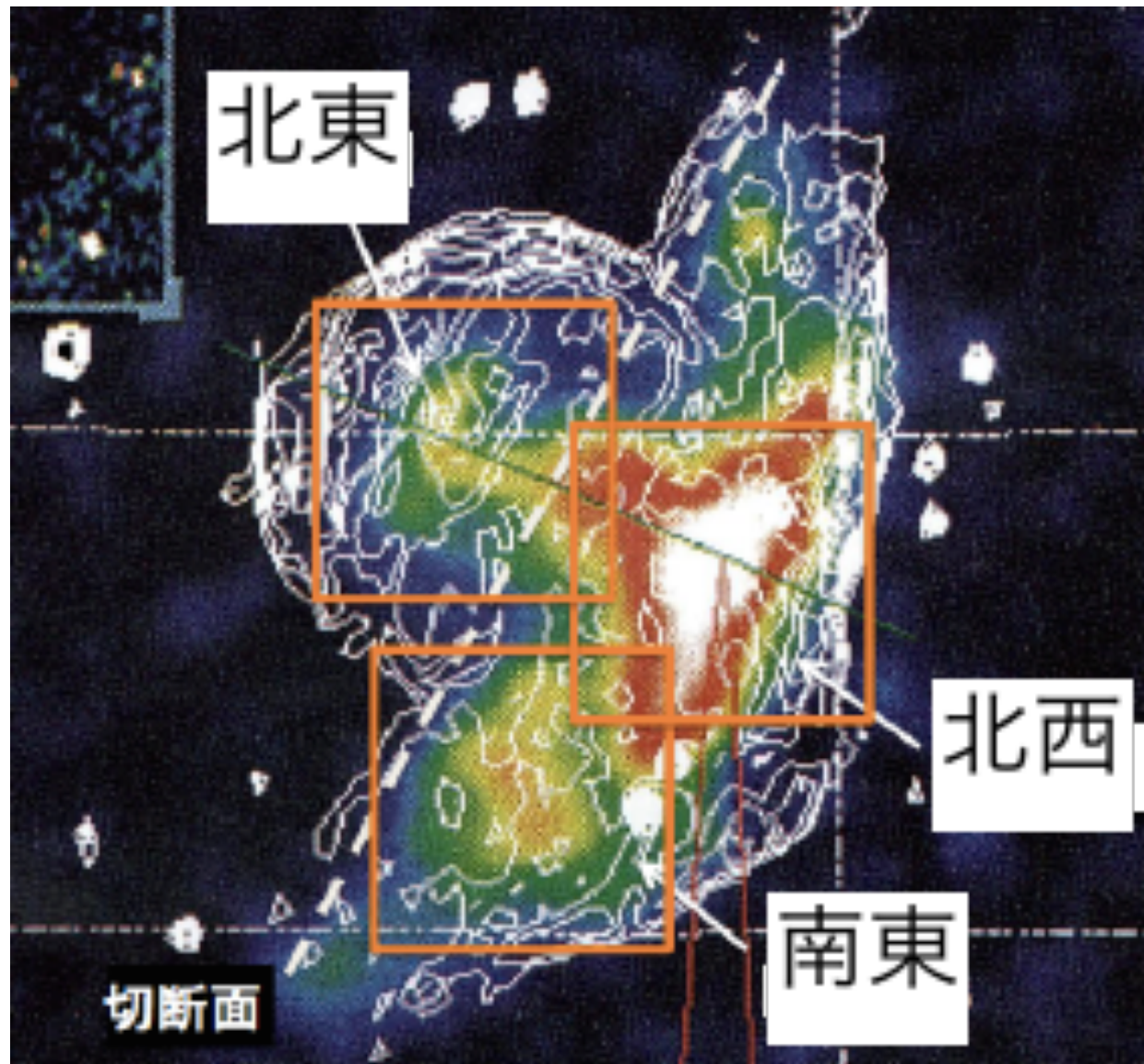
まとめ

- ・ シェル型SNRであることが分かった。
- ・ 過電離プラズマである証拠はつかめなかった。

課題

- ・ モデルを改善する。
- ・ 構造を説明できるシナリオを考える。

G166.0+4.3の概要



G166.0+4.3 のROSAT によるX線イメージと電波(1.4 GHz)のコントラスト

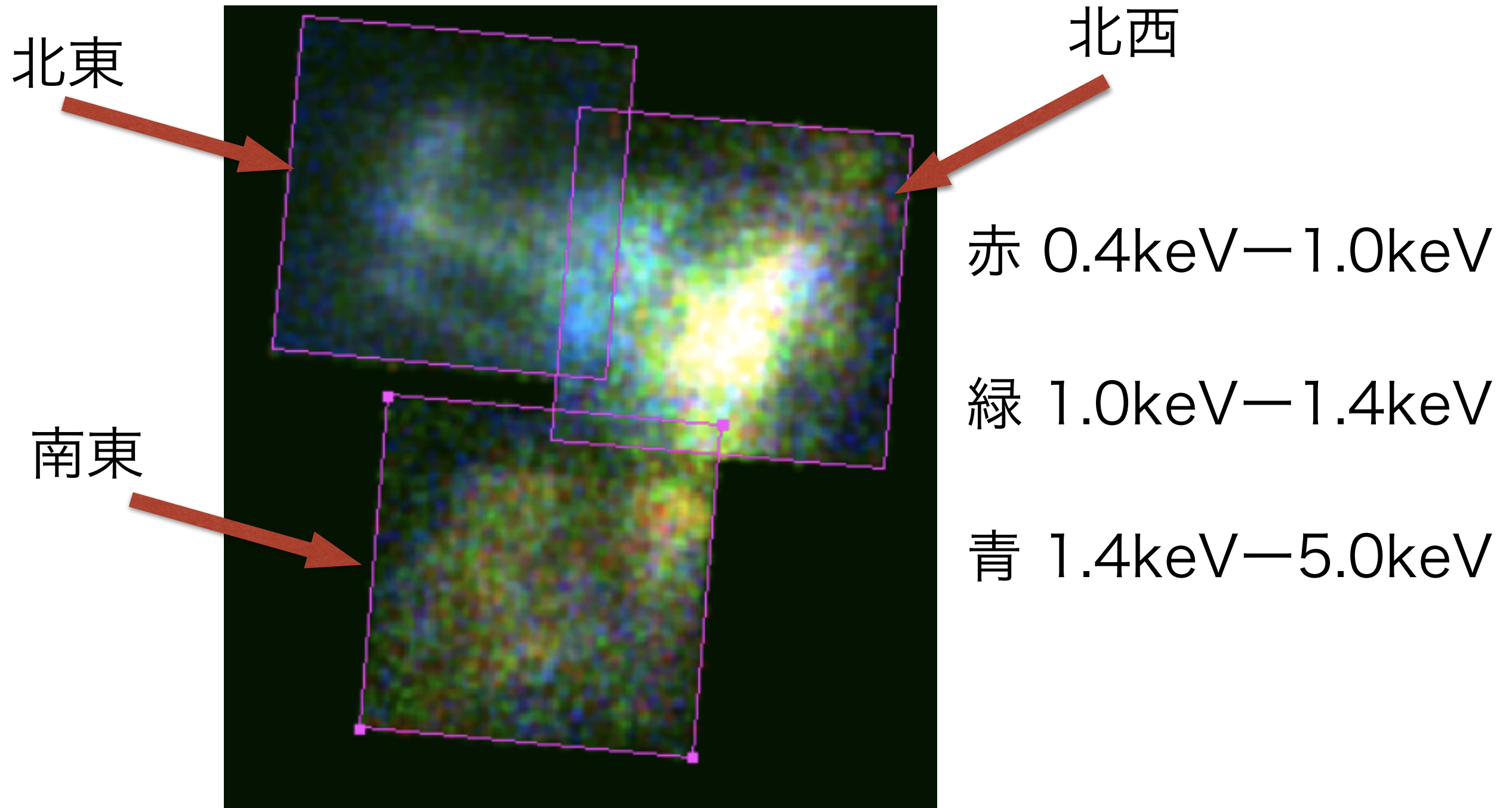
目的

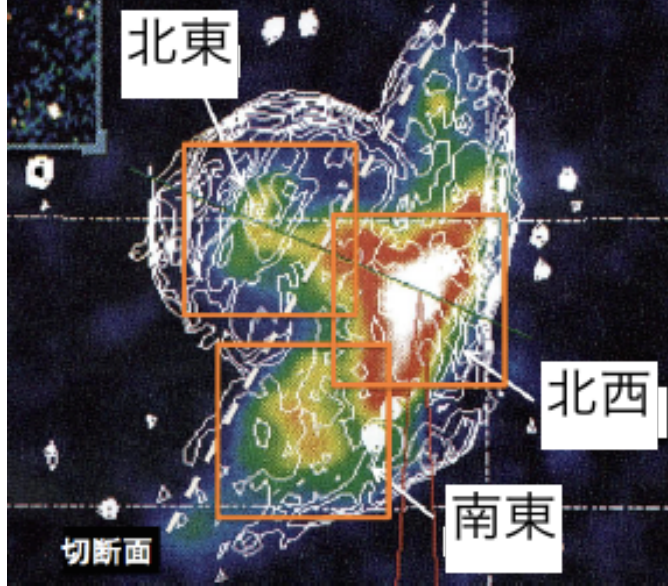
- ・ Mixed-Morphology型
- ・ 各領域における電離状態の調査
- ・ 年齢 約 2.4×10^4 year

(距離 約5kpc、電離平衡に達した状態から、衝撃波が低い星間空間に到達し、プラズマが希薄化し、断熱膨張(Burrows電子温度が 10^7 Kになる。電離温度はほとんど変わらないので、過電離が実現される)

- ・ SNRの形成過程の解明

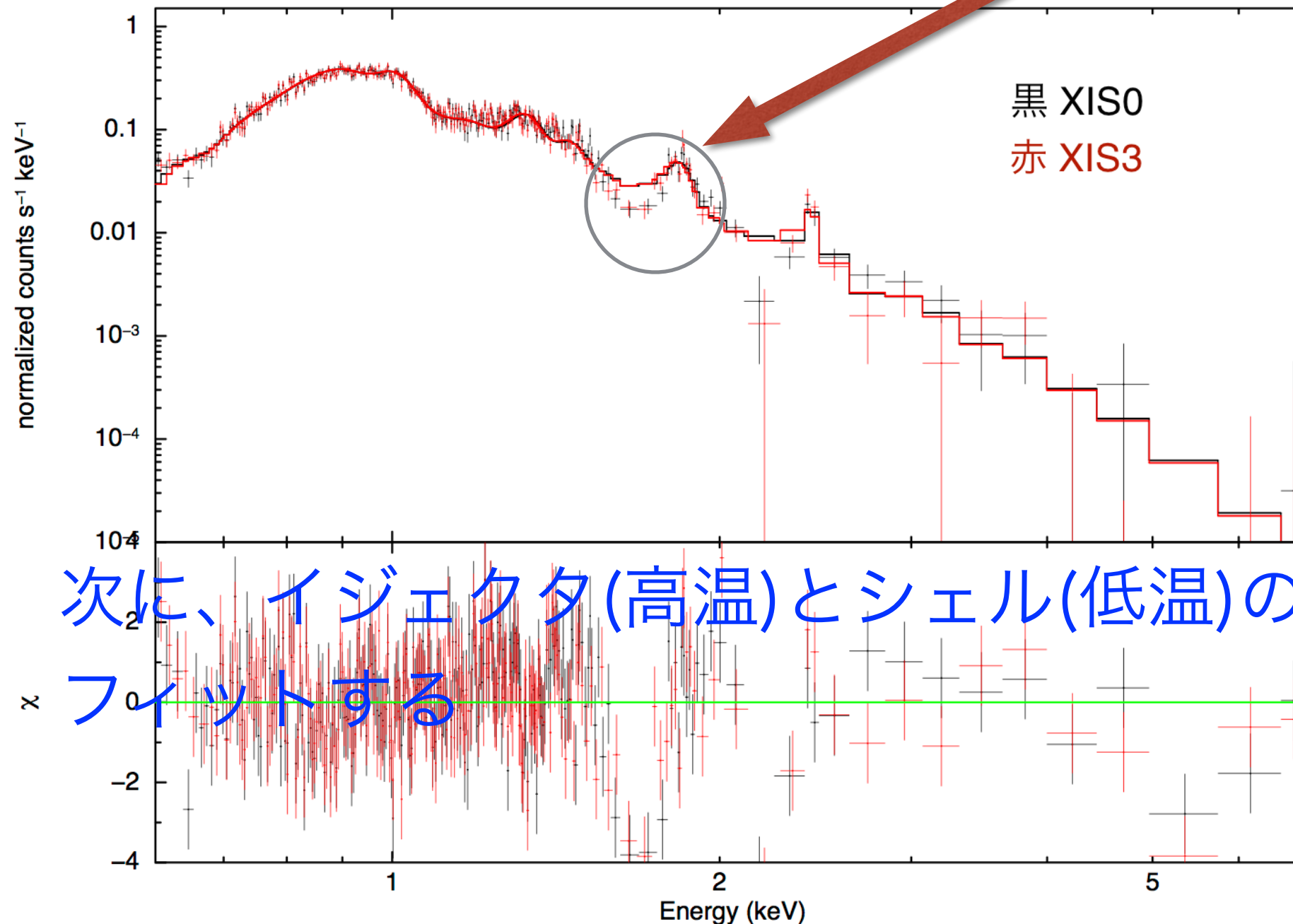
すざくによるX線イメージ





作戦

明らかに合っていない



パラメータ

結果

星間吸収

4.5×10^{20}

温度(keV)
(イジェクタ)

0.79

Ne

1.1

Mg

0.79

Si

9.7

S

1.7

Fe

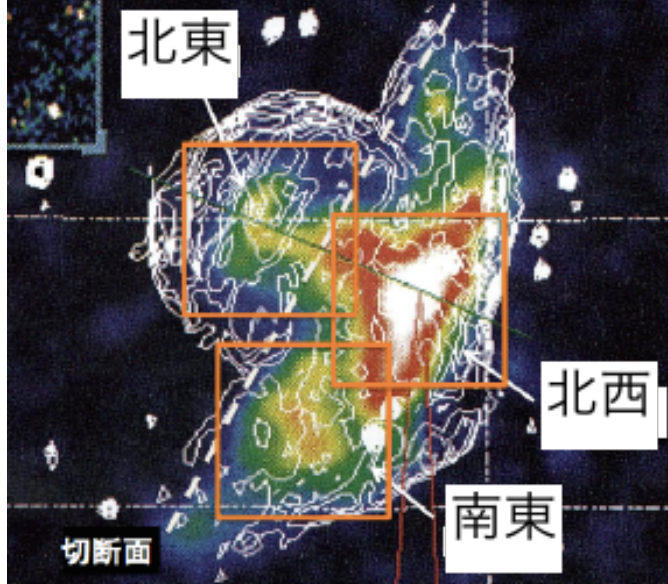
0.45

電離状態

3.8×10^{11}

χ^2

1.78



作戦

また明らかに合っていない

パラメータ

結果

星間吸収 3.1×10^{21}

温度(keV)
(イジェクタ) 0.82

Ne 1.3

Mg 0.79

Si 1.0

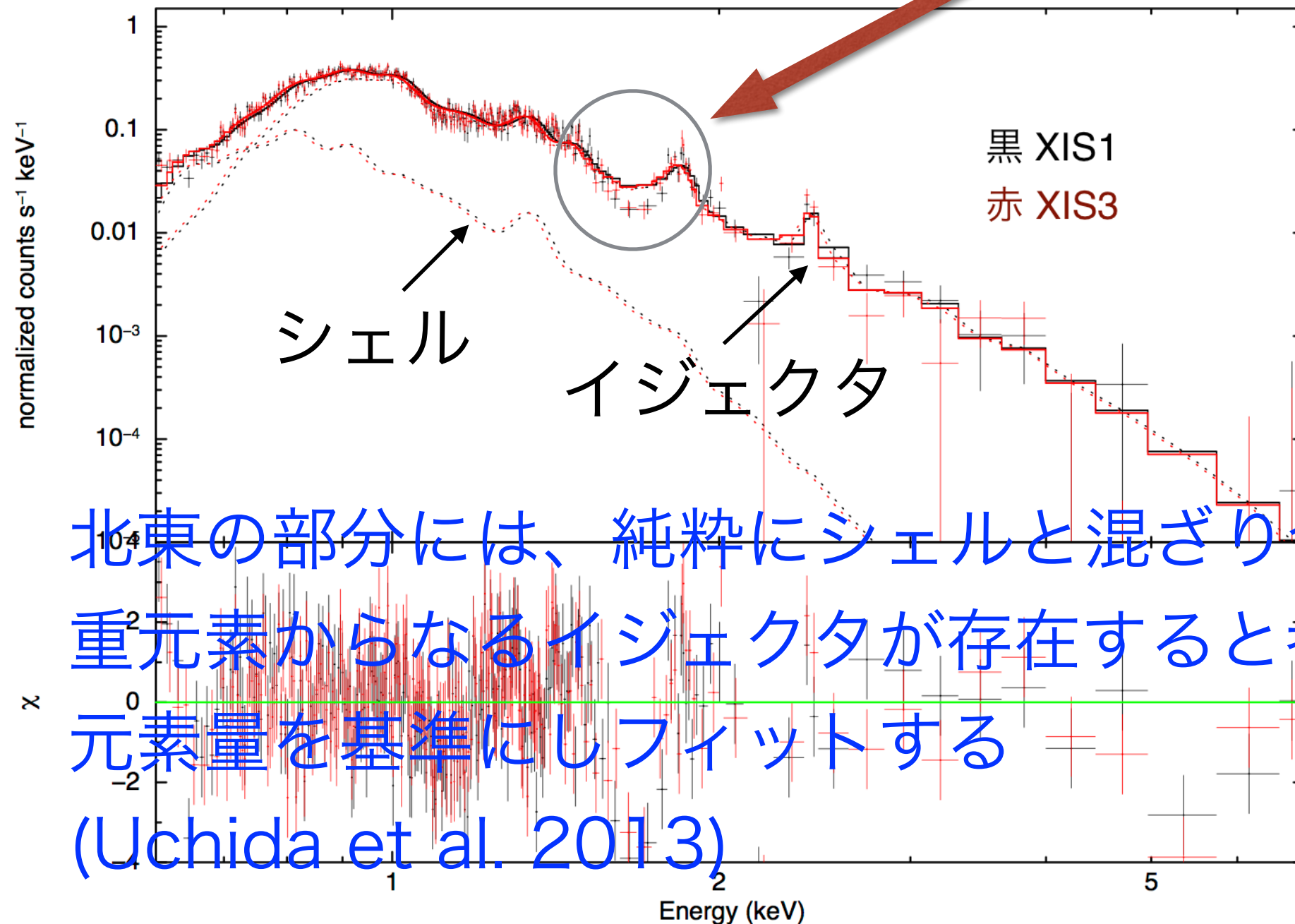
S 1.5

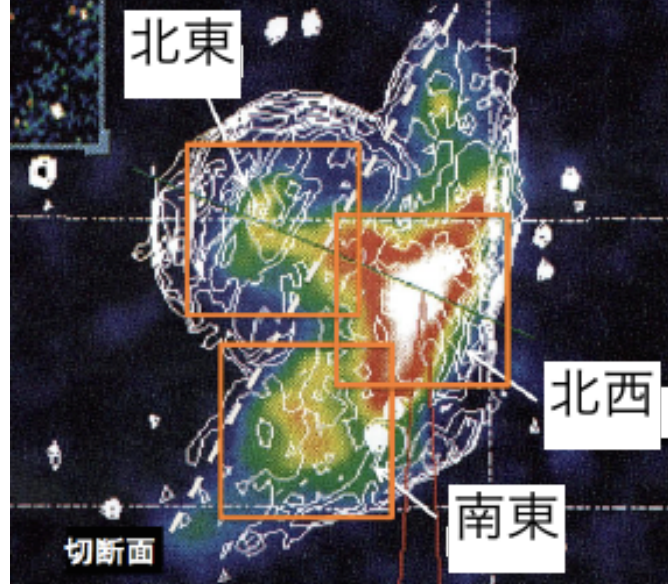
Fe 0.92

電離状態 3.7×10^{11}

温度(keV)
(シェル) 0.23

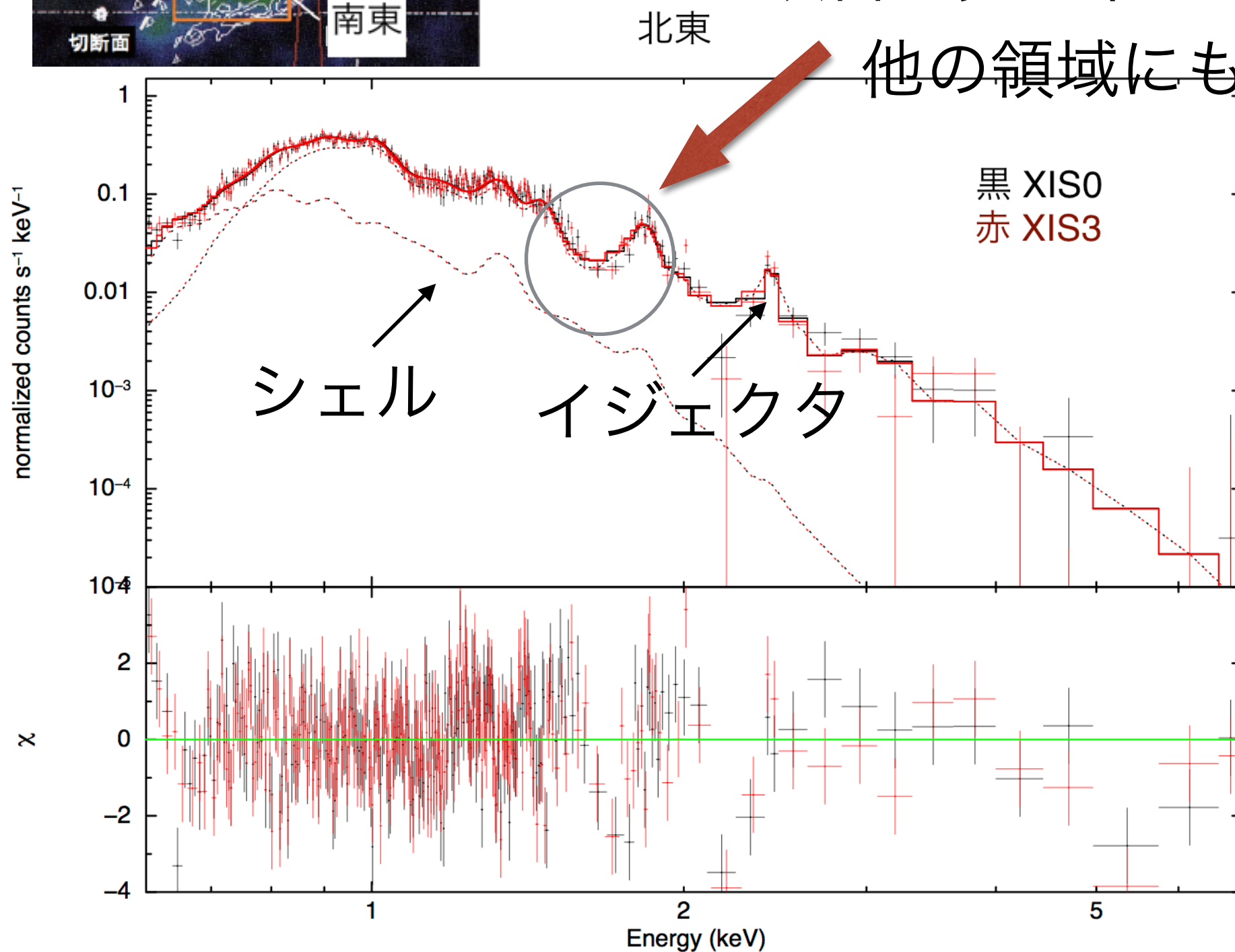
χ^2 1.74



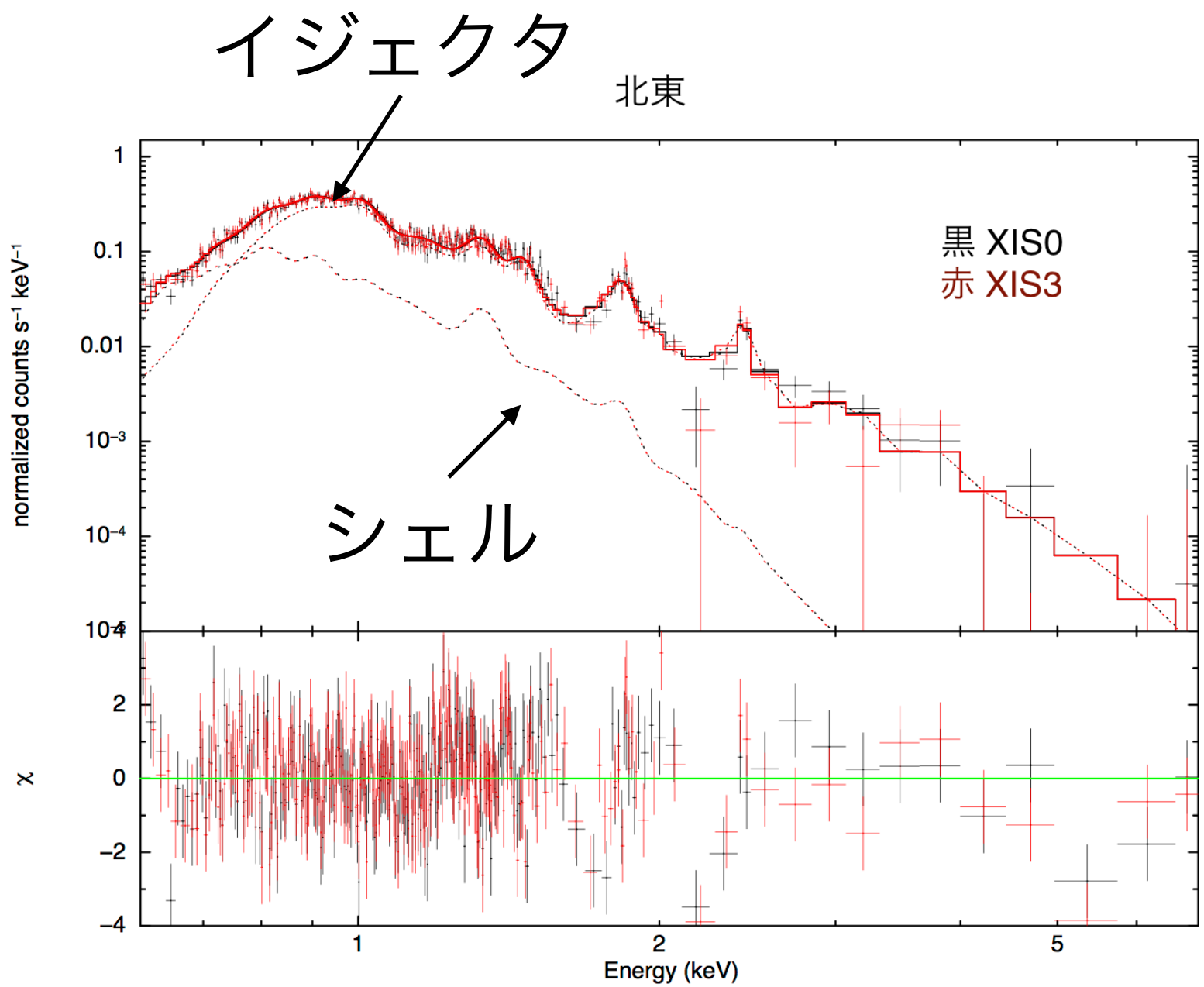


作戦

改善が見て取れるのでこの方法を
他の領域にも適応してみる

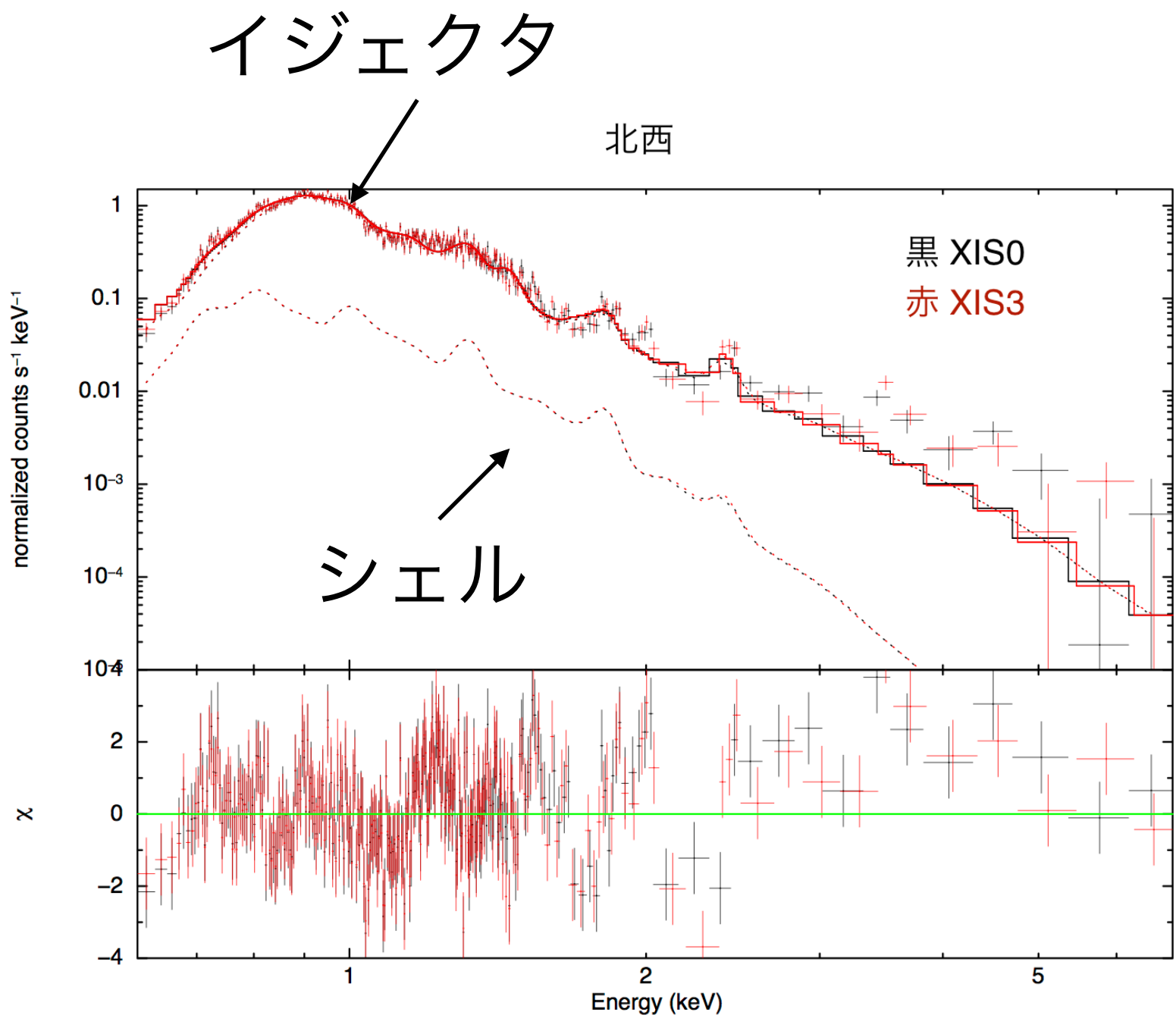


スペクトル解析 北東



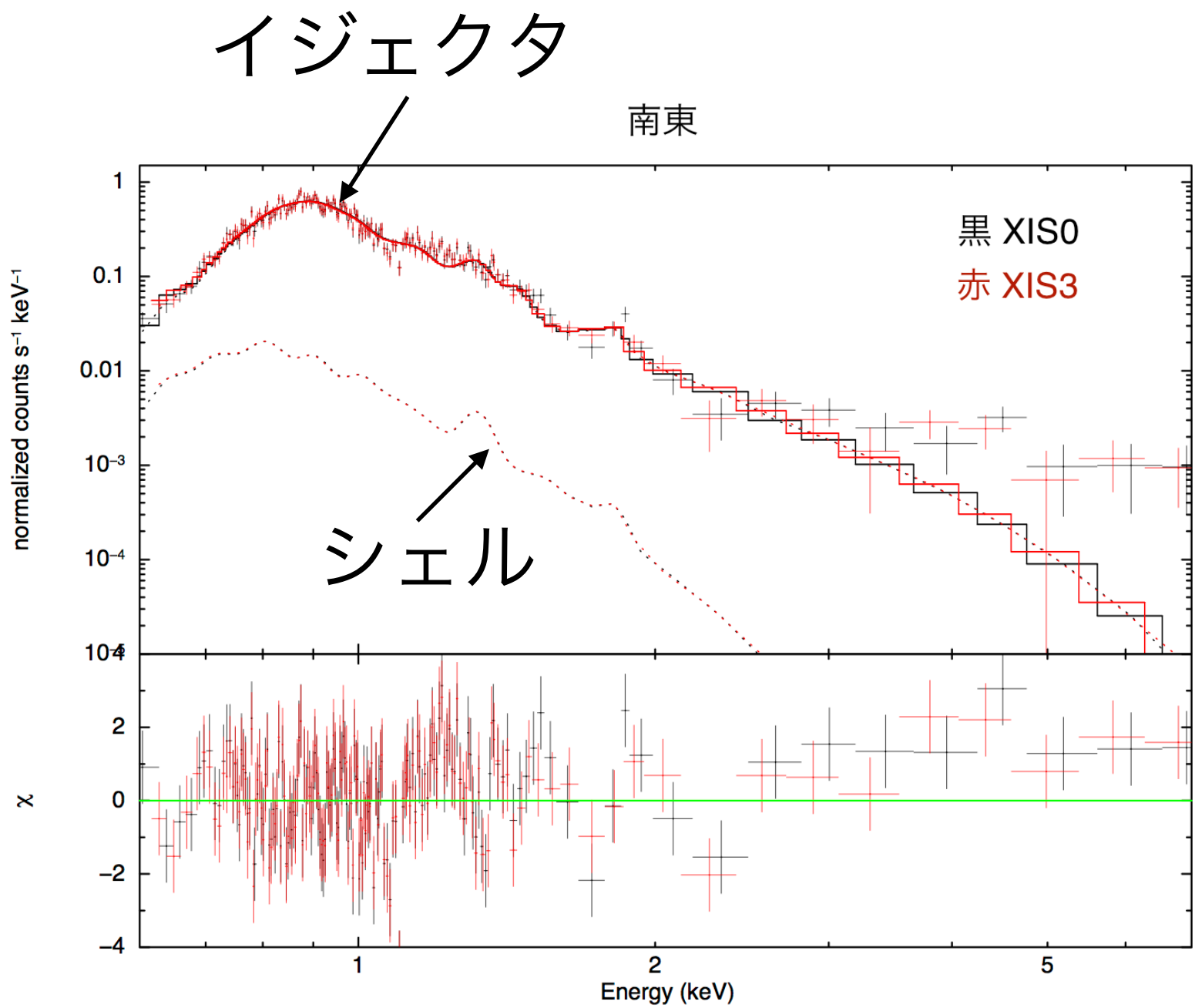
パラメータ	結果	エラー(-)	エラー(+)
星間吸収	3.4×10^{21}	3.1×10^{19}	3.5×10^{19}
温度(keV) (イジェクタ)	0.83	9.2×10^{-3}	1.1×10^{-3}
0	1.0×10^4		
Ne	5.3×10^4	2.6×10^3	3.0×10^3
Mg	2.1×10^4	1.1×10^3	1.1×10^3
Si	1.9×10^4	1.5×10^3	1.5×10^3
S	2.8×10^4	4.1×10^3	4.1×10^3
Fe	1.5×10^4	2.5×10^2	2.4×10^2
電離状態	7.5×10^{11}	5.1×10^{10}	6.2×10^{10}
温度(keV) (シエル)	0.26	4.0×10^{-3}	3.6×10^{-3}
χ^2	1.58		

スペクトル解析 北西



パラメータ	結果	エラー(-)	エラー(+)
星間吸収	3.0×10^{21}	3.5×10^{19}	2.2×10^{19}
温度(keV) (ejecta)	0.83	8.0×10^{-3}	7.3×10^{-3}
0	1.0×10^4		
Ne	4.1×10^3	4.0×10^2	4.6×10^2
Mg	3.4×10^3	1.9×10^2	1.9×10^2
Si	1.5×10^3	2.2×10^2	2.6×10^2
S	2.7×10^3	6.5×10^2	6.1×10^2
Fe	5.0×10^3	48	64
電離状態	4.1×10^{11}	3.1×10^{10}	2.8×10^{10}
温度(keV) (ISM)	0.39	1.8×10^{-2}	1.2×10^{-2}
χ^2	1.57		

スペクトル解析 南東



パラメータ	結果	エラー(-)	エラー(+)
星間吸収	2.1×10^{21}	4.8×10^{19}	5.0×10^{19}
温度(keV) (ejecta)	0.80	6.7×10^{-3}	2.2×10^{-3}
0	1.0×10^4		
Ne	1.3×10^3	2.9×10^2	4.4×10^2
Mg	1.9×10^3	2.1×10^2	2.2×10^2
Si	1.0×10^3	4.1×10^2	3.2×10^2
S	8.8×10^2	8.8×10^2	9.5×10^2
Fe	3.2×10^3	59	56
電離状態	3.8×10^{11}	5.6×10^{10}	7.5×10^{10}
温度(keV) (ISM)	0.28	4.7×10^{-2}	5.8×10^{-2}
χ^2	1.30		

まとめ

北東

温度(イジェクタ)0.83keV

温度(ISM)0.260keV

アバundance比

Ne/0~5.3 Mg/0~2.1

Si/0~1.9 S/0~2.8

Fe/0~1.5

北西

温度(イジェクタ)0.83keV

温度(ISM)0.39keV

アバundance比

Ne/0~0.41 Mg/0~0.34

Si/0~0.15 S/0~0.27

Fe/0~0.5

南東

温度(イジェクタ)0.80keV

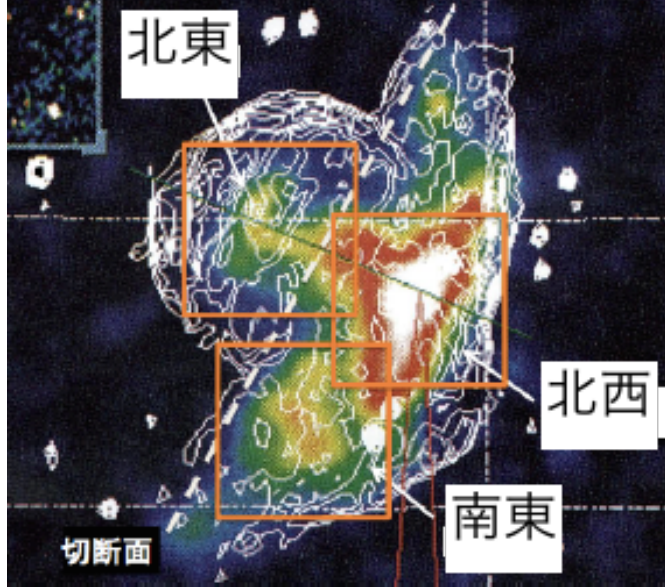
温度(ISM)0.28keV

アバundance比

Ne/0~0.13 Mg/0~0.19

Si/0~0.10 S/0~0.088

Fe/0~0.32



形成過程仮説

星間密度が高い領域

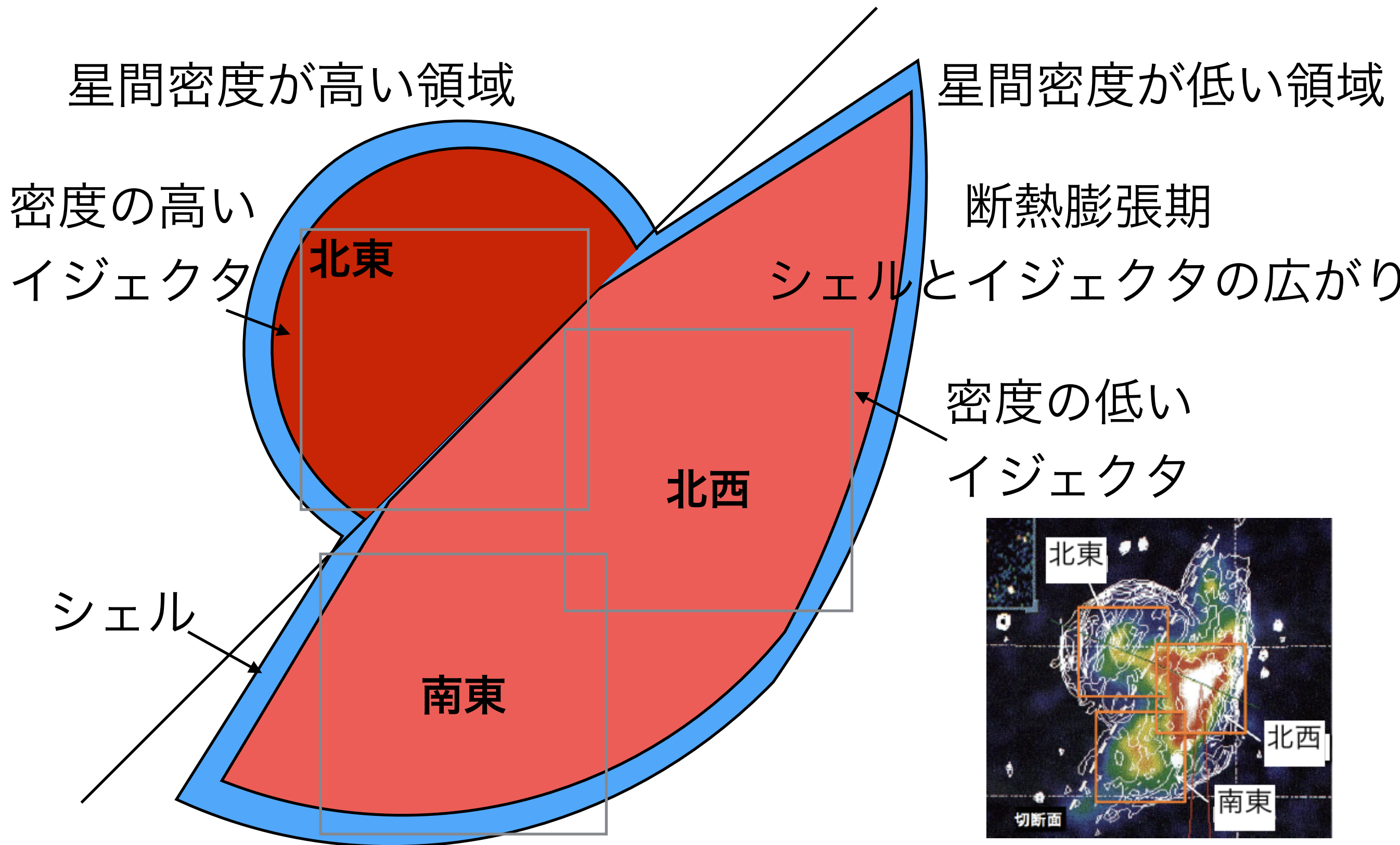
星間密度が低い領域

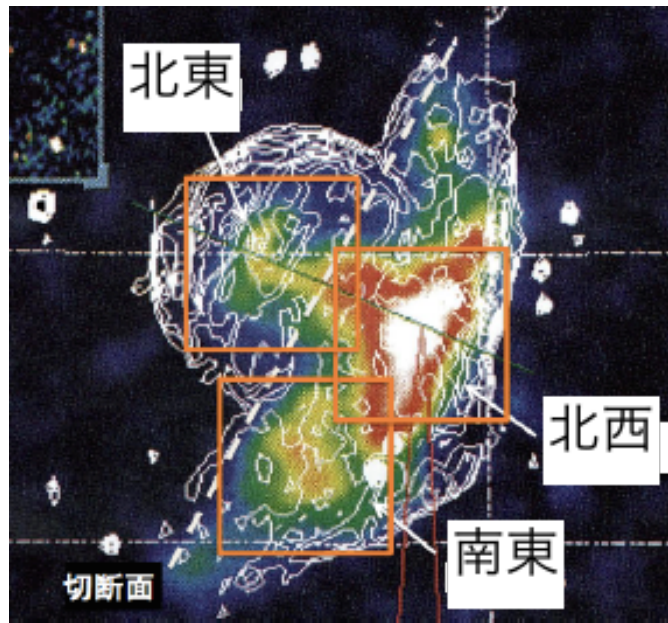
遅い

自由膨張期
衝撃波の広がり方

速い

形成過程仮説





今後の課題

- ・ バックグラウンド補正を向上させ、統計数を上げることによって、シェルとイジェクタの電離状態また領域ごとの電離状態を解明し、従来の目的である過電離SNRであるかの検証をする
- ・ 北西部分が突出して明るいことの理由を解明する

二つの天体のまとめ

超新星残骸G359.0-0.9

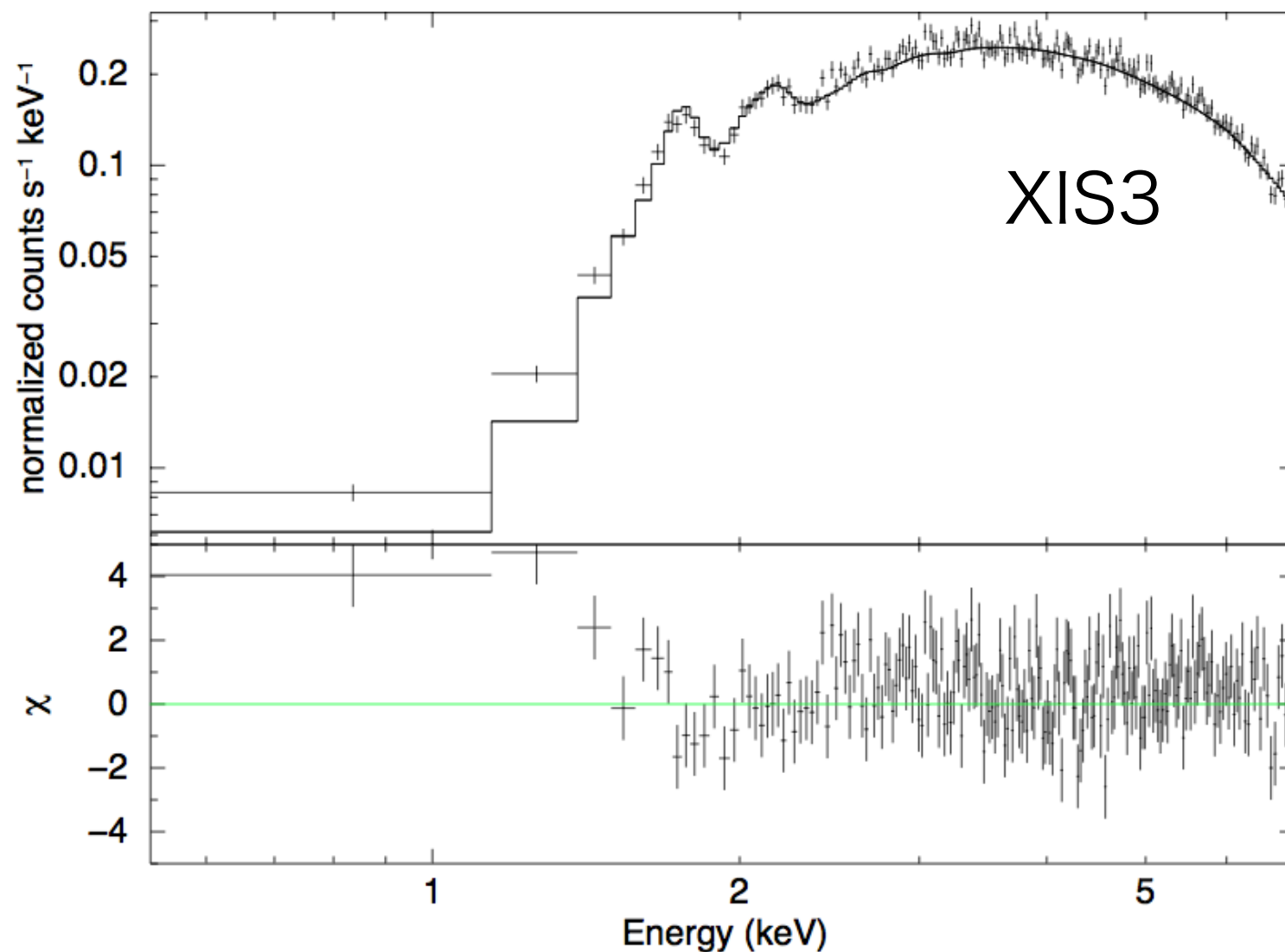
- ・ シェル型SNRであることが分かった。
- ・ 過電離プラズマである証拠はつかめなかった。

超新星残骸G166.0+4.3

- ・ 北東部分はシェルと混ざり合っていない純粋な重元素からなるイジェクタが優勢
- ・ 北西南西部分は北東に比べて、イジェクタの進出が少ない

パルサーをべき関数でフィットした結果

(定数)×(Energy)^(次数)



	parameter	error
星間吸収	4.56×10^{22}	$+0.04 \times 10^{22}$ -0.04×10^{22}
次数	-1.80	+0.01 -0.01
定数	3.96	+0.00 -0.00
χ^2	1.07	



スペクトル解析における領域

