超新星残骸 3C58 の観測による SIS のキャリブレーション

鳥居研一*(大阪大学) 、 Asca team

1995 年 12 月

概要

AO3 の観測 (PI:Torii, Slane) と Asca SIS の低エネルギー側のレスポンス、特に Rosat とのクロスキャリブレーションの目的で 3C58 の観測を行なった。 3C58 は「かに星雲」型の超新星残骸でスペクトルは単一のべき関数と小さな吸収で良く表されると考えられる。あすかの結果について報告し、過去の衛星の結果と比較する。

1 Introduction and Motivation

Rosat PSPC、 Asca SIS の低エネルギー側の有効面積のクロスキャリブレーションの必要性から、 Dr. Mushotzky により 3C58 の観測が提案された。 3C58 は「かに星雲」型の超新星残骸で、スペクトルは単一のべき関数で表され、吸収が小さく、また時間変動がないことから、キャリブレーションに好適な天体である。

SIS の低エネルギー側のレスポンスは AGN や銀河団のソフトエクセスや吸収構造を決定する際に本質的に重要となるが、 Rosat と Asca で決定されるパラメタに矛盾があり問題となっている。

いくつか具体例を挙げると、橋本谷ら [1] によって解析された銀河団 A496 については、中心から 12 分角までを Rosat と Asca で輪切りスペクトルを作って解析したが、いずれの領域でも SIS で $5\text{-}10\times10^{20}[\mathrm{cm}^{-2}]$ の吸収の超過が見られた。また、同じポスタ中で議論している Coma Cluster についても、 SIS では過去に報告されていない～ $4\times10^{20}[\mathrm{cm}^{-2}]$ の吸収の超過が必要であった。

AGN に関しては、村上ら [2] が、 PSPC と SIS で同時観測を行なった NGC5548 について完全に重なっている観測時間帯のスペクトルを比較した。その結果、 PSPC ではべきの normalization が SIS よりも 2 割程度大きく出た。また、吸収をフリーにすると我々の銀河の吸収を超過する吸収が必要となり、ブラックボディを入れるとフィットが改善された。これらのことからも低エネルギーのレスポンスが本質的に重要であることが分かる。

2 観測と解析ソフトウェア

観測は１９９５年９月１２日から１４日にかけて４つの姿勢で行なわれた。様々な要素を考慮し、４つの姿勢で観測した。観測はすべて 1CCD/Faint モードで、ノミナルチップと隣接する 2 つのチップに対して行ない、ノミナルチップの対角にあるチップでは観測しなかった。４番目の観測ではノミナルチップで隣接領域のバックグラウンドを取得した。 SIS のレヴェルディスクリはすべての観測で 0.41keV である。観測モードを表 1に、観測時間を表 2にまとめる。便宜上、観測時刻順に、 obs1-obs4 という番号を付けた。

データ解析はおもに表街道のソフトウェアを用いた。使用したソフトウェアは、 frfread ver.3.029、 MKFILTER 1.20、 MKGAINHIST、 ascalin V0.9o、 xselect V1.3、 jbldarf 2.01 等である。 DFE に関する部分では一部、裏街道のソフトウェア、 animaldfe 5.41 などを使用した。

arf を作る際に用いる psf, ea については、 V1.1、 V2.0 を試した。 V1.1 と V2.0 の違いは石田さんの 95 年 12 月 2 日付けのニューズ (astrod.ascanews) の内容と矛盾なかったので、繁雑になるのを避けるため、本レポートでは V1.1 の結果のみを述べる。また、点源用と広がった天体用の arf を作って比較したが、 normalization 以外のパラメタは有意に違わなかったので、この点についても繁雑を避けるため、点源用の結果のみ述べる。 arf を作る際の psf については、エネルギーに依存しない解析的なものを用いる方法とエネルギー依存性を取り込んだテーブルを読み込む方法を試した。この点についても有意な差がみられなかったので、エネルギー依存性を取り込んだ psf を用いた結果のみ述べる。以上から、 arf は jbldarf で「(1) 点源用、 (2)ea, psf は V1.1、 (3)psf は table を用いた」結果のみ述べる。

*torii@ess.sci.osaka-u.ac.jp

XSPEC で読み込むスペクトルのビンまとめ (グルーピング) については、 grppha で、最低２０イヴェント、最低１０イヴェントを試した。最低２０イヴェントとすると 0.5keV 付近の細かい構造が見えなくなったので、本レポートでは最低１０イヴェントとした結果のみを述べる。最低１０イヴェントとすると、 0.5keV 付近のビンのイヴェント数 (カウンティングレート) がべきと吸収のみでフィットしたモデルと比較して著しく低くなることが分かった。 (図 3、図 4参照) この１ビンにパラメタが引っ張られるので、フィッティングの際は無視することにした。

表 1: 観測モード

	FRF	SIS0	SIS1	GIS2	GIS3
obs1	ft950912_1413.0750	c1	c3	ph nominal	ph nominal
obs2	ft950913_0750.1720	c0	c2	ph 8-6-6-5-0(-6)	ph 8-6-6-5-0(-6)
obs3	ft950913_1721.0400	c2	c0	ph 8-6-6-5-0(-6)	ph 8-6-6-5-0(-6)
obs4	ft950914_0401.1400	c1	c3	ph 8-6-6-5-0(-6)	ph 8-6-6-5-0(-6)

表 2: 有効観測時間 [s]

	SIS0	SIS1	GIS2	GIS3
obs1	22049	22189	27137	27053
obs2	12309	12311	15275	15369
obs3	15241	15338	18081	18079
obs4	13913	13929	16984	16964

3 画像

3.1 3C58 自体の広がり

3C58 は Asca にとってはほぼ点源とみなして良いと考えられるが、 Einstein や Rosat では広がりが見えている。ここではこの天体の形を調べておく。

Einstein IPC の画像を東西に射影してガウシアンでフィットすると $\sigma_{EW} \sim 1.5$ 分角程度、南北に射影してガウシアンでフィットすると $\sigma_{NS} \sim 1.3$ 分角程度となる。

Rosat HRI では、同様に東西、南北に射影すると、単一のガウシアンでは、 $\sigma_{EW} \sim 0.89$ 分角、 $\sigma_{NS} \sim 0.90$ 分角であるが、中心天体の突出した成分があるので、ガウシアン 2 個でフィットすると、 $\sigma_{EW1} \sim 1.2$ 分角、 $\sigma_{EW2} \sim 5.4$ 秒角、 $\sigma_{NS1} \sim 1.1$ 分角、 $\sigma_{NS2} \sim 9.1$ 秒角となった。 (図 17、図 18参照、図中バックグラウンドレヴェルの差はスライスした幅の違いによる) 最近、 Rosat HRI の結果が Helfand ら [3] により出版された。本レポートで用いた RHRI の画像は彼らと同一のもので、「中心天体に付随した RHRI でも分離できない点源と、周辺のシンクロトロンネビュラの 2 成分」という描像と矛盾していない。なお、 RHRI では中心天体からのフラックスは全体の $\sim 7\%$ であり、パルサーは発見できなかった。

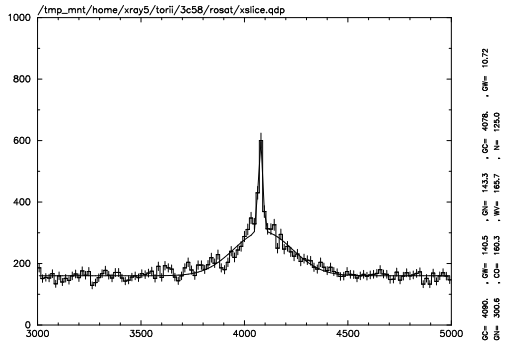

図 1: Rosat HRI 東西方向

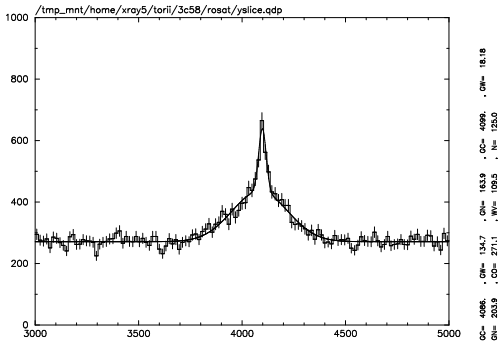

図 2: Rosat HRI 南北方向

今回の Asca のデータ (S0C1) では、同様の解析で、 0.5-2keV では $\sigma_{EW} \sim 2.0 arcmin$、 $\sigma_{NS} \sim 1.4 arcmin$、 3-10keV では $\sigma_{EW} \sim 1.4 arcmin$、 $\sigma_{NS} \sim 1.2 arcmin$ (エラーは 1 割程度) となり、高エネルギーで有意に小さい。[1]

4 Obs. 1

SIS はノミナルチップに対応する観測で、 GIS もノミナルモードである。 SIS のバックグラウンドは Obs.4 を用い、 GIS のバックグラウンドは Obs.1 の周辺領域を用いた。 SIS のスペクトルフィットの結果を表 3に、 GIS の結果を表 4にまとめる。エラーは 3 個のパラメタを全てフリーにしたときの 90% コンフィデンスエラーである。

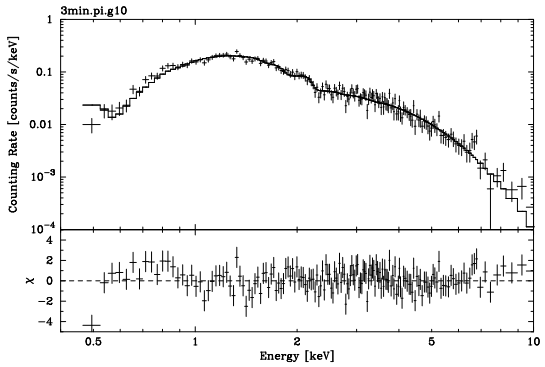

図 3: S0C1

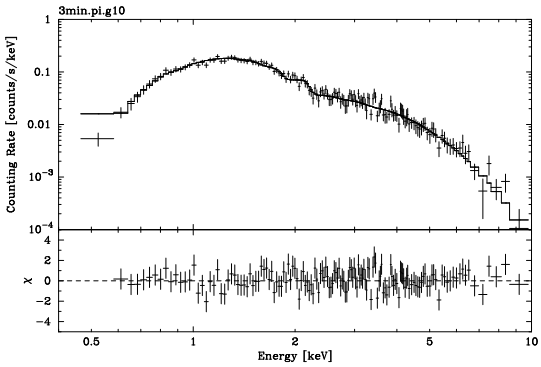

図 4: S1C3

[1] 現在、より詳細な解析を進めているが、輪切りにすると中心付近から周辺部分に向かって、視半径 1 分ごとにべきが ~ 0.05 程度ずつ急になっていく傾向が見られる。

表 3: Obs.1 S0C1, S1C3 のパラメタ

g10, ea_V1.1,psf_V1.1	S0C1	S1C3
γ	2.14±0.07	2.32±0.08
norm	(4.3±0.3) $\times 10^{-3}$	(5.0±0.4)$\times 10^{-3}$
$n_H[10^{22}]$	0.33±0.03	0.41±0.04
χ^2	155.9/161=0.9684	116.2/147=0.7905
observed/unabsorbed flux (0.5-4.5keV)	$8.8 \cdot 10^{-12}/1.4 \cdot 10^{-11}$	$8.4 \cdot 10^{-12}/1.6 \cdot 10^{-11}$
observed/unabsorbed flux (2-10keV)	$8.8 \cdot 10^{-12}/9.1 \cdot 10^{-12}$	$7.8 \cdot 10^{-12}/8.2 \cdot 10^{-12}$

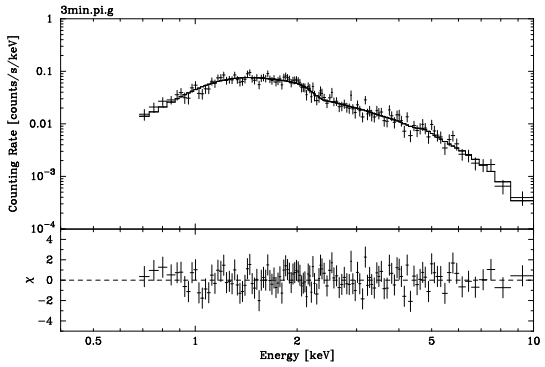

図 5: GIS2

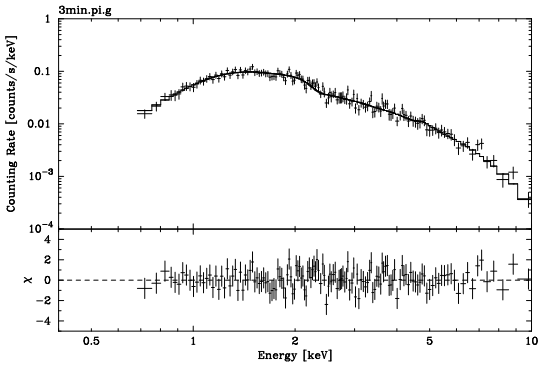

図 6: GIS3

表 4: Obs.1 GIS2, GIS3 のパラメタ

ea_V1.1,psf_V1.1	GIS2	GIS3
γ	2.29±0.11	2.24±0.09
norm	(2.4±0.4) $\times 10^{-2}$	(2.2±0.3) $\times 10^{-2}$
n_H	0.34 ±0.09	0.36 ±0.07
χ^2	108.1/121=0.8931	115.5/140=0.8250
observed/unabsorbed flux (0.5-4.5keV)	$4.4 \cdot 10^{-11}/7.7 \cdot 10^{-11}$	$4.2 \cdot 10^{-11}/7.3 \cdot 10^{-11}$
observed/unabsorbed flux (2-10keV)	$3.9 \cdot 10^{-11}/4.1 \cdot 10^{-11}$	$3.9 \cdot 10^{-11}/4.1 \cdot 10^{-11}$

5 Obs. 2

S0C0, S1C2 を用いた観測である。

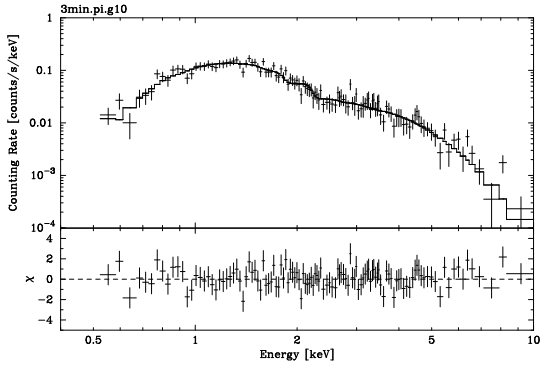

図 7: S0C0

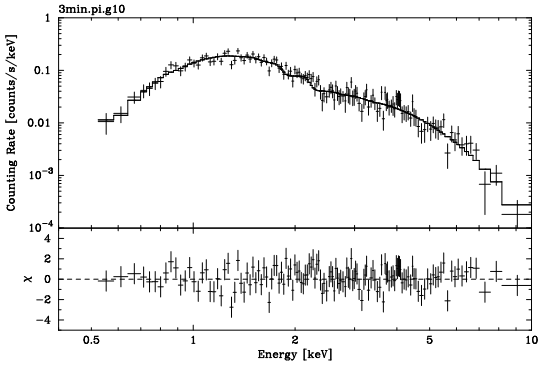

図 8: S1C2

表 5: Obs.2 S0C0, S1C2 のパラメタ

g10, ea_110494,psf_V1.0	S0C0	S1C2
γ	2.17±0.13	2.30±0.11
norm	$(6.4\pm0.8)\times10^{-3}$	$(7.4\pm0.8)\times10^{-3}$
$n_H[10^{22}]$	0.36 ±0.06	0.47±0.06
χ^2	103.3/118=0.8754	134.8/133=1.014
observed/unabsorbed flux (0.5-4.5keV)	$2.1\cdot10^{-11}/2.1\cdot10^{-11}$	$1.2\cdot10^{-11}/2.4\cdot10^{-11}$
observed/unabsorbed flux (2-10keV)	$1.2\cdot10^{-11}/1.3\cdot10^{-11}$	$1.2\cdot10^{-11}/1.2\cdot10^{-11}$

6 Obs. 3

3 番目の、 S0C2、 S1C0 に対応する観測の SIS の結果をまとめる。

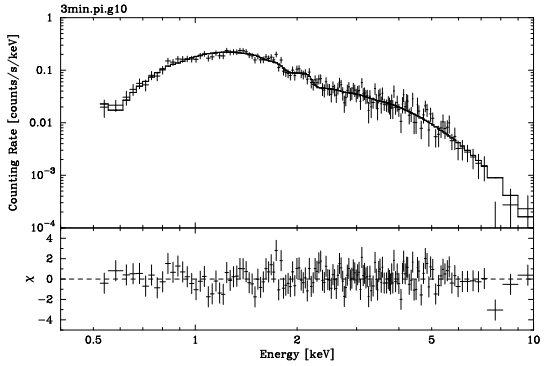

図 9: S0C2

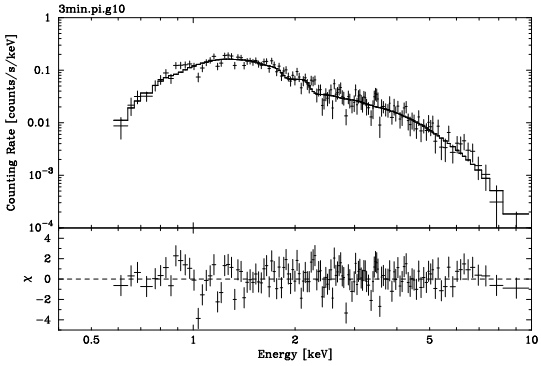

図 10: S1C0

7 文献との比較

7.1 フラックス (または、 normalization) の絶対値

あすかの結果と過去の観測を比較する。結果は表 7、図 11に示す。 3C58 は Ginga にとってはそれほど明るいソースではなく、 LAC の視野の広さとバックグラウンドのゆらぎを考慮すると矛盾ないといって良い。

表 6: Obs.3 S0C2, S1C0 のパラメタ

g10, ea_110494,psf_V1.0	S0C2	S1C0
γ	2.26±0.13	2.33±0.11
norm	(4.3±0.4) $\times 10^{-3}$	(4.9±0.5)$\times 10^{-3}$
$n_H[10^{22}]$	0.38±0.06	0.49±0.05
χ^2	141.5/150 = 0.9435	175.6/134 = 1.311
observed/unabsorbed flux (0.5-4.5keV)	$7.7 \cdot 10^{-11}/1.4 \cdot 10^{-11}$	$7.5 \cdot 10^{-11}/1.5 \cdot 10^{-11}$
observed/unabsorbed flux (2-10keV)	$7.3 \cdot 10^{-11}/7.6 \cdot 10^{-11}$	$7.4 \cdot 10^{-11}/7.8 \cdot 10^{-11}$

表 7: フラックスの比較、 IPC の 2-10keV はべきを LAC の値に固定して外挿した。

衛星、検出器	Energy range [keV]	observed flux $[ergs/s/cm^2]$	unabsorbed flux $[ergs/s/cm^2]$
Einstein IPC	0.5-4.5	$> 1 \times 10^{-11}$	1.3×10^{-11}
Einstein IPC	2-10	7.4×10^{-12}	7.7×10^{-12}
Exosat ME	2-10	$> 8.2 \times 10^{-12}$	1.1×10^{-11}
Ginga LAC	2-10	1.2×10^{-11}	1.2×10^{-11}

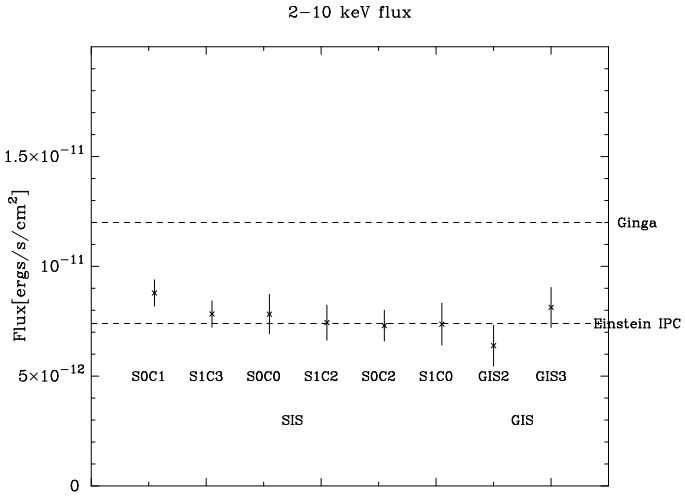

図 11: Asca の各検出器によるフラックス

表 8: 他の衛星の結果

衛星、検出器	γ	$n_H[cm^{-2}]$
Einstein SSS	$1.5\ ^{+0.5}_{-0.2}$	$(1.8 \pm 0.5) \times 10^{21}$
Einstein IPC	ほぼ 2	SSS の約 2 倍
Exosat ME	2.30±0.26	Einstein SSS の値に固定
Ginga LAC	2.19±0.12	$< 3.16 \times 10^{21}$

7.2 吸収とべき

Einstein SSS (0.5-4.5keV), IPC (0.5-4.5keV)[5]、 Exosat ME (2-10keV)[6]、 Ginga LAC (2-20keV)[7] の結果を表 8にまとめ、あすかの結果とともに図 12にプロットした。 Einstein IPC は「キャルの精度が不確定である」との理由で文献 [5] ではべきがほぼ 2 、吸収は SSS の 2 倍程度、という記述に留まっている。したがって、図中のエラーは根拠なく適当に付けた。なお、 Exosat ME については吸収を Einstein SSS で決定した値に固定してフィットしてあり、また、 Ginga の吸収は上限値である。[2]

これらの結果から、 SIS0 の各チップに比べて、 SIS1 の各チップで吸収が $1 \times 10^{21}[cm^{-2}]$ 程度大きく出る傾向がある。この余分な吸収が、もし、 SiO_2 によるとすると、厚さ $0.02\mu m$ に相当し、また、もし CCD 表面や可視光フィルタ表面に付着した密度 1g/cc 程度の有機物によるとすると厚さ $1\mu m$ に相当する。

Einline データベースによる、中性水素の柱密度 (Colden) の結果、 $6.540 \times 10^{21}[cm^{-2}]$(-550 to 550km/s) である。

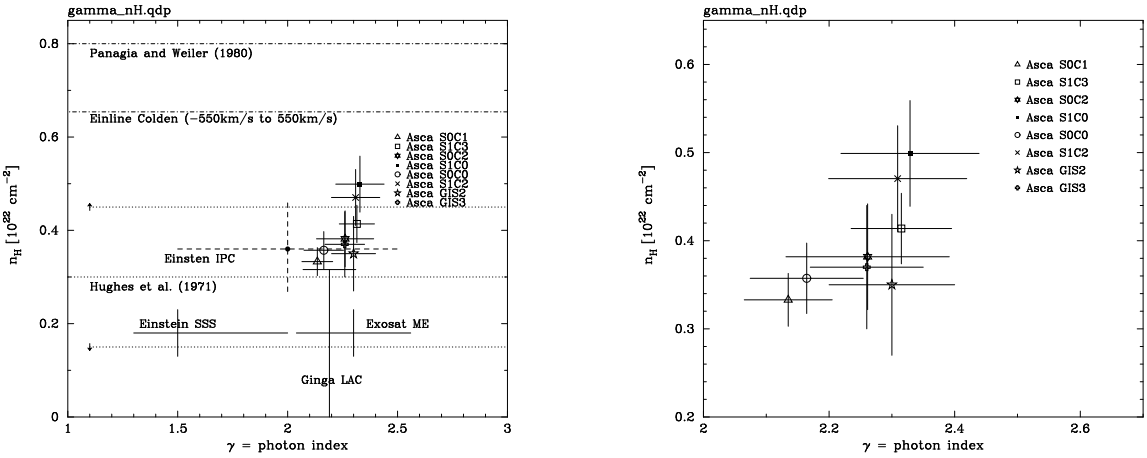

図 12: 左：べきと吸収、文献との比較、右：左の拡大図

8 スペクトルを作る半径に対する依存

スペクトルを作る際、点源では標準的に半径 3 分角を取っている。この、積分半径に対するパラメタの依存を調べた。これは、たとえばかに星雲の場合に、ダストによる散乱で低エネルギー側で数分角に広がり、スペクトルを作る半径が小さいと吸収が大きく見えるという効果が知られている[3]からである。

SIS のノミナルチップの結果を図 14に、 GIS の結果を図 15に示す。

[2]キャルミーティングにおいて、 Dr. Mushotzky から、 Einstein IPC、 SSS と Exosat ME の同時フィットの結果を頂いた。 (図 13) これによると、キャルに不定性があった時期の論文 [5] と異なり、 Einstein と Exosat の結果は Ginga や Asca と矛盾ない結果となっている。

[3]BBXRT ではこの効果は見えないそうです。

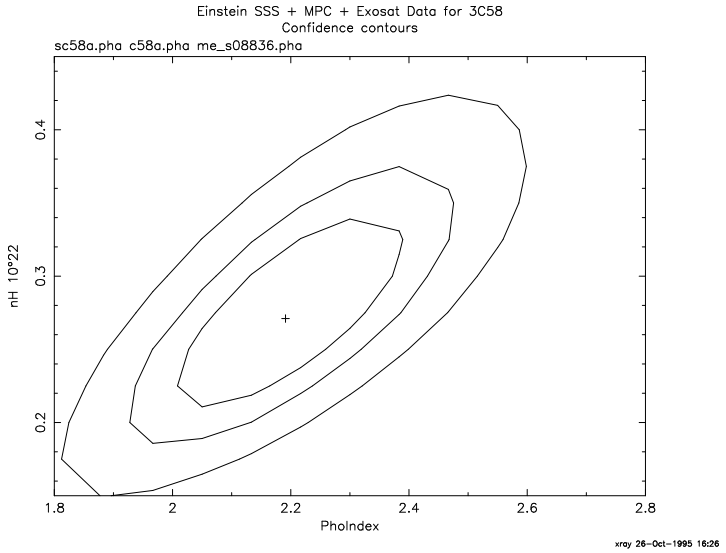

図 13: Einstein IPC, SSS, Exosat ME の同時フィット、 Dr. Mushotsky による

表 9: スペクトルを作る半径の影響、 S0C1

s0c1, (ea_V1.1,psf_V1.1)			
radius	1arcmin	2arcmin	4arcmin
γ	1.99±0.13	2.09±0.08	2.18±0.06
norm	(2.9±0.4) $\times 10^{-3}$	(3.8±0.4) $\times 10^{-3}$	(4.6±0.3) $\times 10^{-3}$
$n_H[10^{22}]$	0.37±0.07	0.35 ±0.04	0.33±0.03
χ^2	94.65/100=0.9465	1133.1/147=0.9053	1161.1/176=0.9153
flux 0.5-4.5keV	$6.3{\cdot}10^{-12}/1.0 \cdot 10^{-11}$	$8.0 \cdot 10^{-12}/1.3 \cdot 10^{-11}$	$9.1 \cdot 10^{-12}/1.5 \cdot 10^{-11}$
flux 2-10keV	$7.3{\cdot}10^{-12}/7.5 \cdot 10^{-12}$	$8.5 \cdot 10^{-12}/8.8 \cdot 10^{-12}$	$8.8 \cdot 10^{-12}/9.1 \cdot 10^{-11}$

表 10: スペクトルを作る半径の影響、 S1C3

s1c3, (ea_110494,psf_V1.0)			
radius	1arcmin	2arcmin	4arcmin
γ	2.17±0.15	2.33±0.10	2.30±0.08
norm	(3.2±0.5)$\times 10^{-3}$	(4.7±0.5)$\times 10^{-3}$	(5.1±0.4)$\times 10^{-3}$
$n_H[10^{22}]$	0.42±0.07	0.44±0.05	0.41±0.03
χ^2	77.57/86=0.9019	139.4/131=1.064	126.5/159=0.7953
flux 0.5-4.5keV	$5.9{\cdot}10^{-12}/1.1 \cdot 10^{-11}$	$7.7 \cdot 10^{-12}/1.5 \cdot 10^{-11}$	$8.6 \cdot 10^{-12}/1.6 \cdot 10^{-11}$
flux 2-10keV	$6.2{\cdot}10^{-12}/6.5 \cdot 10^{-11}$	$7.2 \cdot 10^{-12}/7.5 \cdot 10^{-12}$	$8.1 \cdot 10^{-11}/8.5 \cdot 10^{-11}$

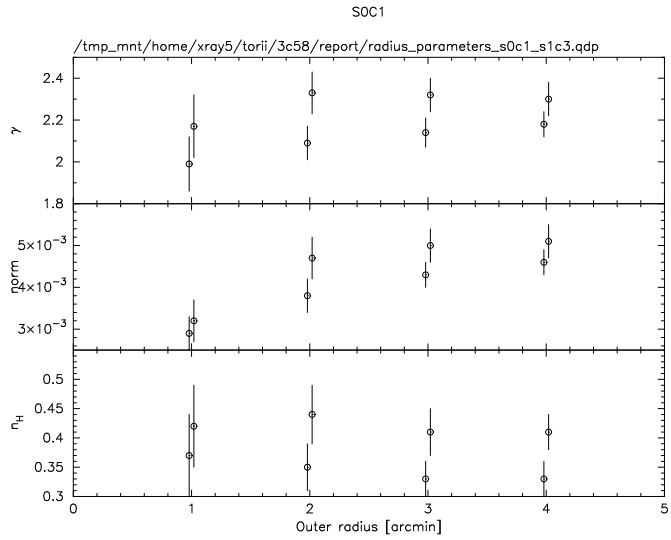

図 14: 半径によるパラメタの依存、各半径で左側が S0C1、右側が S1C3

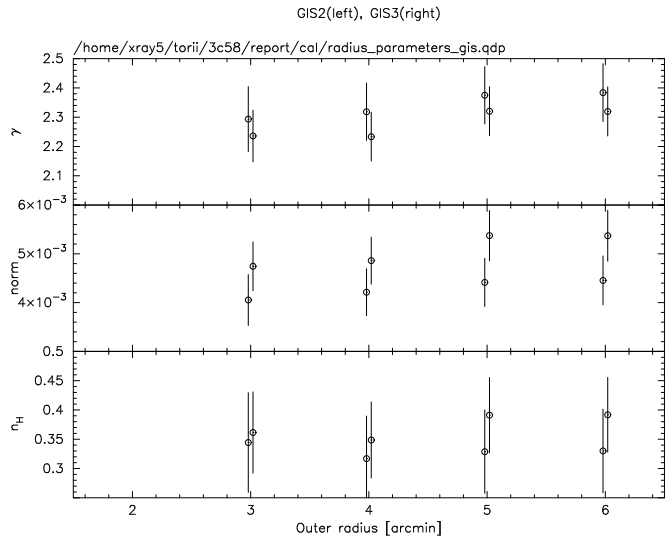

図 15: 半径によるパラメタの依存、各半径で、左側が GIS2、右側が GIS3

9 DFE 補正、 RDD の影響

表街道では RDD のためにエネルギースケールの原点がずれる効果がある。これを裏街道のソフトウェアを用いて補正し、パラメタの変化を調べた。図 16は、 S0C1 での表街道 (xselect の中で faintdfe)、裏街道 (animaldfe) での DFE とその差をプロットした。差は約 6eV に相当する。

しかし、べきと吸収のモデルでフィットして得られるパラメタには有意な差は見られず、ノミナルチップではほぼ一致した。

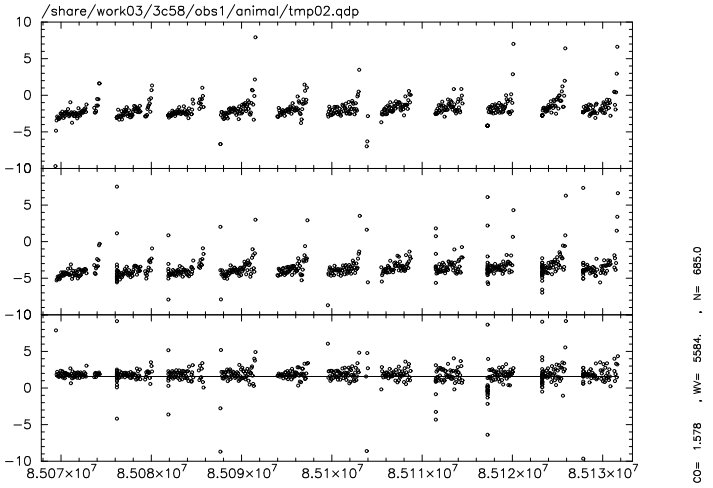

図 16: S0C1 の DFE、上から順に表街道、裏街道、その差

animaldfe を用いて補正したイヴェントファイルからスペクトルを作り、表街道の結果と比較した。結果的に、この効果によるパラメタの変化は小さい。

表 11: RDD の影響、 S0C1, S1C3

g10, ea_V1.1,psf_V1.1	S0C1	S1C3
γ	2.17±0.07	2.32±0.08
norm	$(4.5\pm0.3)\times10^{-3}$	$(5.1\pm0.4)\times10^{-3}$
$n_H[10^{22}]$	0.36±0.03	0.43±0.04
χ^2	174.7/169=1.033	137.6/155=0.8880
observed/unabsorbed flux (0.5-4.5keV)	$8.8\cdot10^{-12}/1.5\cdot10^{-11}$	$8.4\cdot10^{-12}/1.7\cdot10^{-11}$
observed/unabsorbed flux (2-10keV)	$8.7\cdot10^{-12}/9.1\cdot10^{-12}$	$7.8\cdot10^{-12}/8.2\cdot10^{-12}$

10 Fraser's rmf

小谷さんのニューズ (astrod.sis 95/12/21) の rmf を用いた。これの特徴は (1) エネルギー分解能が 95 年 1 月 1 日の値であることと、 (2)Fraser のイオン化エネルギーを使うことで Si エッジ付近の構造が改善されている、という 2 点である。

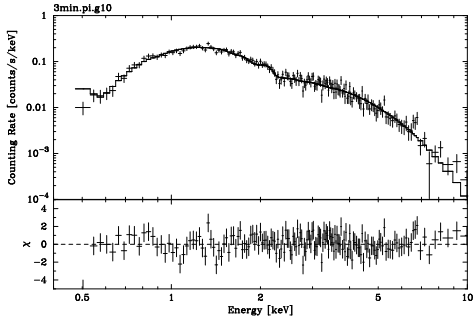

図 17: Fraser の rmf, s0c1

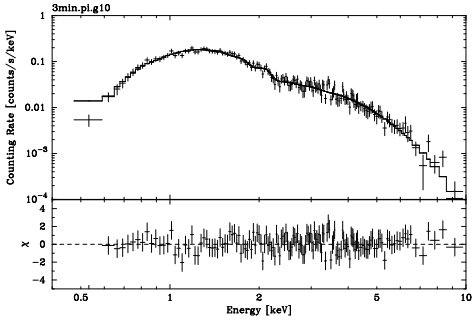

図 18: Fraser の rmf, s1c3

表 12: Fraser のイオン化エネルギーと 95 年 1 月 1 日のエネルギー分解能、 S0C1, S1C3

g10, ea_V1.1,psf_V1.1	S0C1	S1C3
γ	2.16±0.07	2.35±0.08
norm	$(4.5\pm0.3)\times10^{-3}$	$(5.4\pm0.4)\times10^{-3}$
$n_H[10^{22}]$	0.36±0.03	0.45±0.04
χ^2	151.6/161=0.9418	114.6/147=0.7793
observed/unabsorbed flux (0.5-4.5keV)	$8.8\cdot10^{-12}/1.5\cdot10^{-11}$	$8.4\cdot10^{-12}/1.7\cdot10^{-11}$
observed/unabsorbed flux (2-10keV)	$8.8\cdot10^{-12}/9.2\cdot10^{-12}$	$7.9\cdot10^{-12}/8.3\cdot10^{-12}$

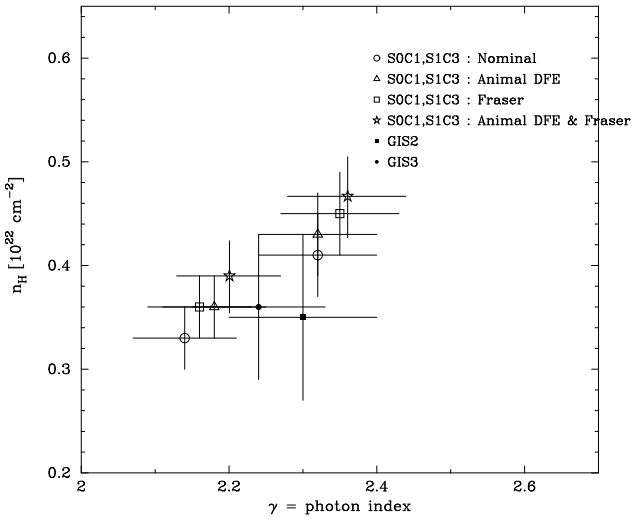

図 19: (1) 通常の解析 (2)Animal dfe (3)Fraser の比較

参考文献

[1] K. Hashimotodani, K. Hayashida and ASCA team, line X,γ 研究会ポスタ, 1995

[2] S. Murakami and K. Hayashida, private communication, 1995

[3] D.J. Helfand, R.H. Becker and R.L. White, *Ap. J.*, **453**, 741, 1995

[4] F.D. Seward, *Ap. J. Suppl.*, **73**, 781, 1990

[5] R.H. Becker, D.J. Helfand and A.E. Szymkowiak, *Ap. J.*, **255**, 557, 1982

[6] J. Davelaar, A. Smith and R.H. Becker, *Ap. J. Letters*, **300**, L59, 1986

[7] I. Asaoka and K. Koyama, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **42**, 625, 1990

Acknowledgement

3C58 の観測計画にあたっては、 Mushotzky 先生、長瀬先生、堂谷さん、石田さん、浅井さん、石崎さん、平山さん、深沢さん、 Rasmussen さん、 Gendreau さん、向井さん、他の方々にお世話になり、色々と教えて頂き、また有益なコメントを頂きました。本レポート作成にあたっては、大阪大学の諸先生、学生の方々にお世話になりました。宇宙研の堂谷さん、山下さんにはレポートに対して有益なコメントを頂きました。 DFE, RDD の解析に関しては、理化学研究所の大谷さんに教えて頂きました。 Ginga の 3C58 のフラックスについては、 MPE の朝岡さんに教えて頂きました。深く感謝致します。