

# 近傍銀河で発見された 超新星のX線解析

P6 X線解析班 最終発表  
上村悠介・福永千裕

# 目次

1. 研究背景
2. 研究手法
  - a. 使用した衛星
  - b. 扱う天体について
  - c. 解析方法
3. 結果
  1. 天体のスペクトル
  2. フィッティング結果のパラメーターをプロット
4. 考察
5. 今後の展望



# 1.研究背景

タイプに分けた中にもいろんな爆発があり、  
爆発機構や爆発する星（親星）の種類について、未解明なことが多い。

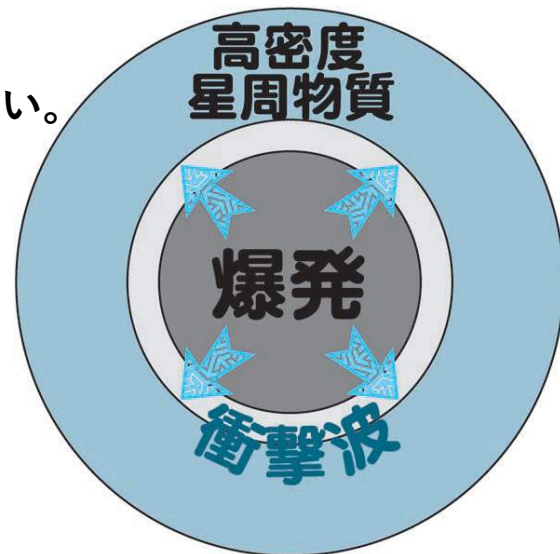
## 星周物質（circumstellar medium, CSM）

爆発する前に放出された、星を取り巻くガス。

爆発前の星の質量放出の様子を予想でき、

爆発機構のメカニズム解明につながると考えられる。

CSMを爆発衝撃波が加熱する際にX線が放射される。



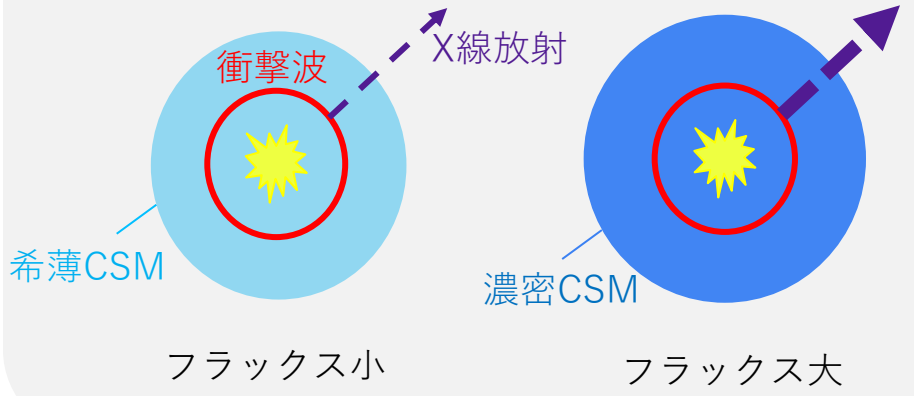
爆発のイメージ図（守屋 堯[天文月報 2022年2月]）

X線で超新星を観測することで星周物質の構造や吸収度合いについて調べ、  
超新星の爆発機構の謎の解明に近づきたい

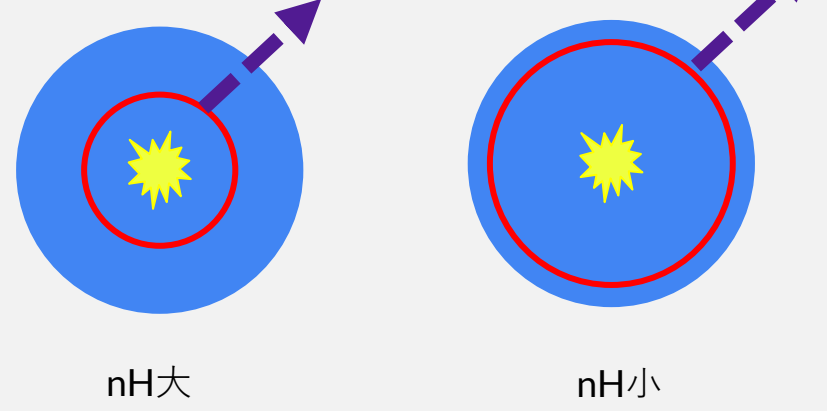
# 1.研究背景

## X線からCSMの構造について分かること

### ①フラックスとCSMの密度

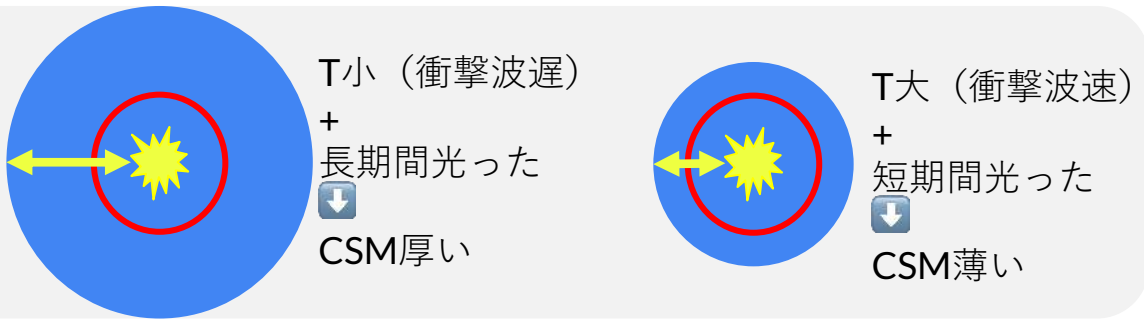


### ②水素柱密度とCSMの量



### ③温度とCSMの厚み

- ・ 衝撃波の速度<sup>2</sup> ∝ T
- ・ 光っている期間 \* 衝撃波の速度  
を時間で積分 = CSMの厚み



➡ これらの値の時間発展から、CSMの構造を把握する。

## 2.研究手法

### 使用したX線衛星

Chandra (NASA, 1999/07/23～) (主にこちらを使用)

...優れた角度分解能を誇る撮像装置 (ACIS) を有する。

XMM-Newton (ESA, 1999/12/10～)

...大きな有効面積,広い視野を持った撮像装置 (EPIC) を有する。

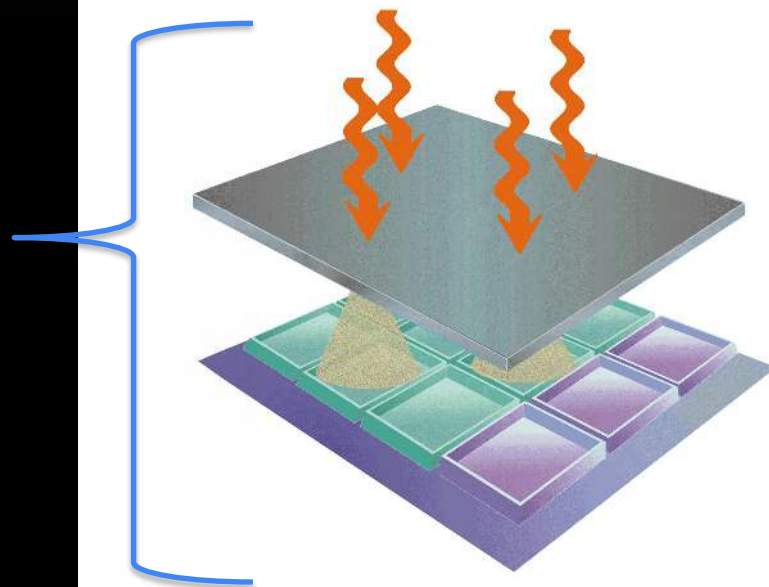
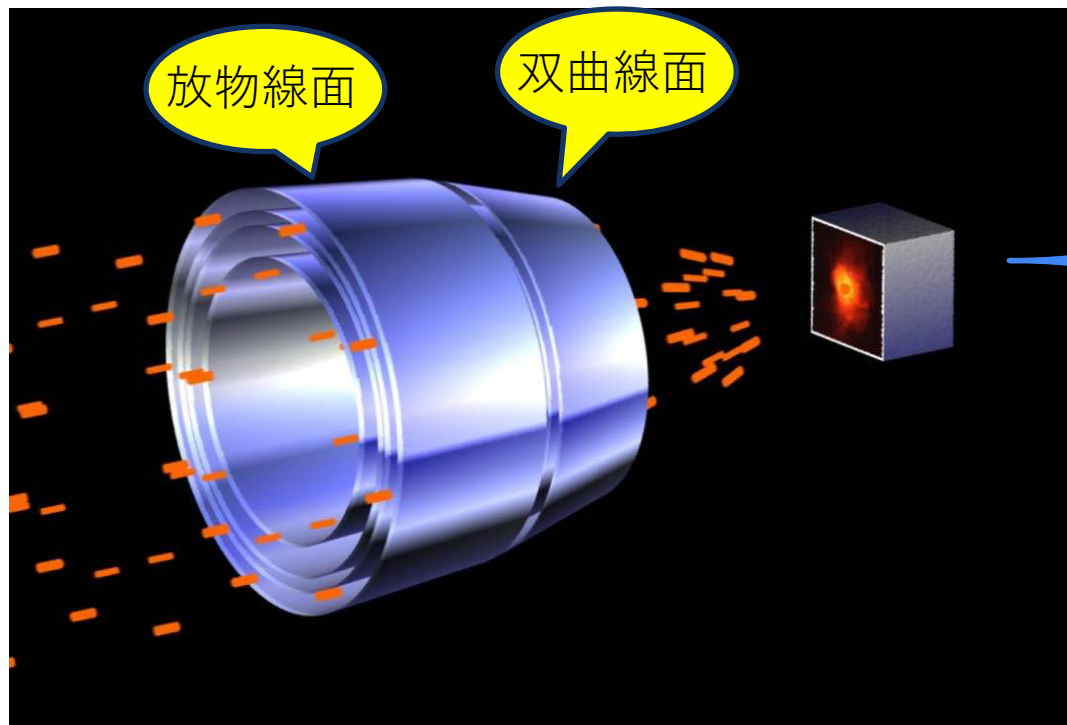
Instruments	EPIC(MOS)	EPIC(PN)	ACIS(wide)
エネルギー帯	0.15～12 keV	0.15～12 keV	0.3～10 keV
有効面積(1.5～5.5keV)	300～500 cm <sup>2</sup> (×2)	1000～2500 cm <sup>2</sup>	300～450 cm <sup>2</sup> (×6)
視野	～ 6.0 × 10 <sup>-5</sup> sr	～ 6.0 × 10 <sup>-5</sup> sr	～ 5.8 × 10 <sup>-6</sup> sr (×6)
エネルギー分解能(FWHM)	～ 70ev (at 1keV)	～ 80ev (at 1keV)	～ 130ev (at 1.5keV)
角度分解能(at 1.5keV, 80%)	～25 arcsec	～20 arcsec	～0.7 arcsec
時間分解能	2.6 s	0.0734 s	3.2 s

<https://cxc.harvard.edu/proposer/POG/html/index.html>

[https://xmm-tools.cosmos.esa.int/external/xmm\\_user\\_support/documentation/uhb/XMM\\_UHB.html](https://xmm-tools.cosmos.esa.int/external/xmm_user_support/documentation/uhb/XMM_UHB.html)

## 2.研究手法

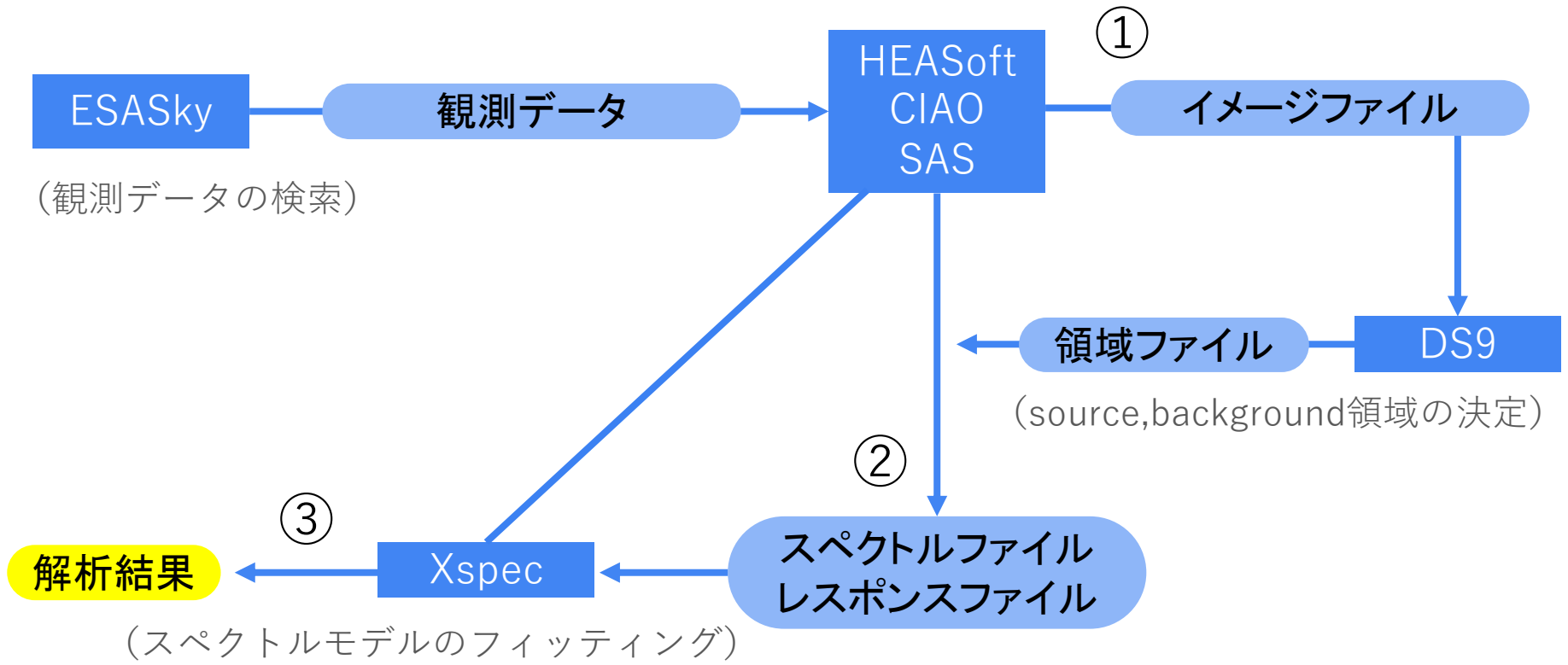
### X線検出の模式図



CCD (裏面照射型)

## 2.研究手法

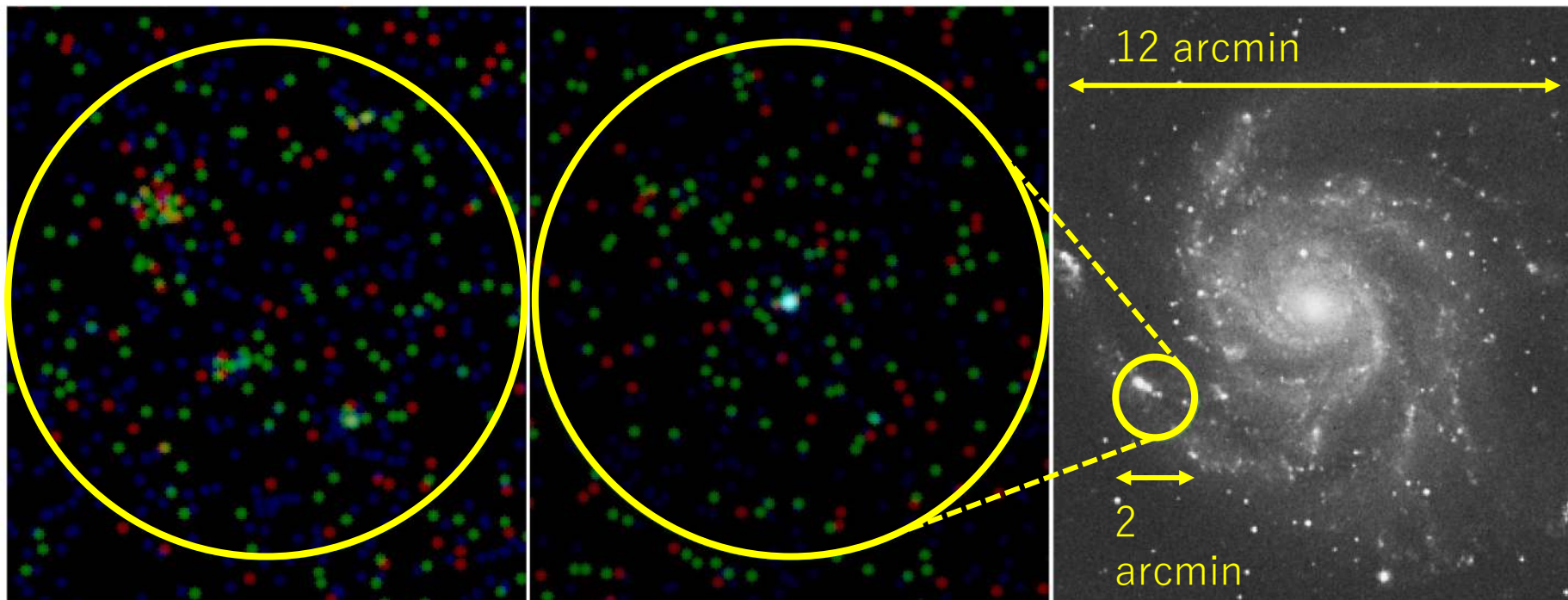
### 解析手順（全体の流れ）





## 2.研究手法

### 解析手順① (RGBイメージの作成)



SN2023ixf (発見の6年前)

SN2023ixf (発見の2週間後)

M101, 6.7Mpc

Host Galaxy	Distance(Mpc)	SNe
LMC	0.05	1987A
M31	0.79	1885a
NGC300	2.0	2010da, 2020acl
NGC4214	2.9	1954A, 2010U
NGC2403	3.2	1954J, 2004dj
M82	3.5	2004am, 2008iz, 2014J
M81	3.6	1993J
NGC7793	3.9	2008bk
Circinus	4.0	1996cr
NGC1313	4.5	1962M, 1978K
M83	4.6	1923A, 1945B, 1950B, 1957D, 1968L, 1983L
NGC6946	5.9	1917A, 1939C, 1945B, 1968D, 1969P, 1980K, 2002hh, 2004et, 2008S,2017eaw
M101	6.7	1909A, 1951H, 1970H, 2011fe, 2023ixf
M51	7.1	1994I, 2005cs, 2011dh
NGC891	8.4	1986J
MCG2-28-022	9.6	1988Z
M74	11	2002ap, 2003gd, 2013ej
ESO138-G10	14.8	2013by

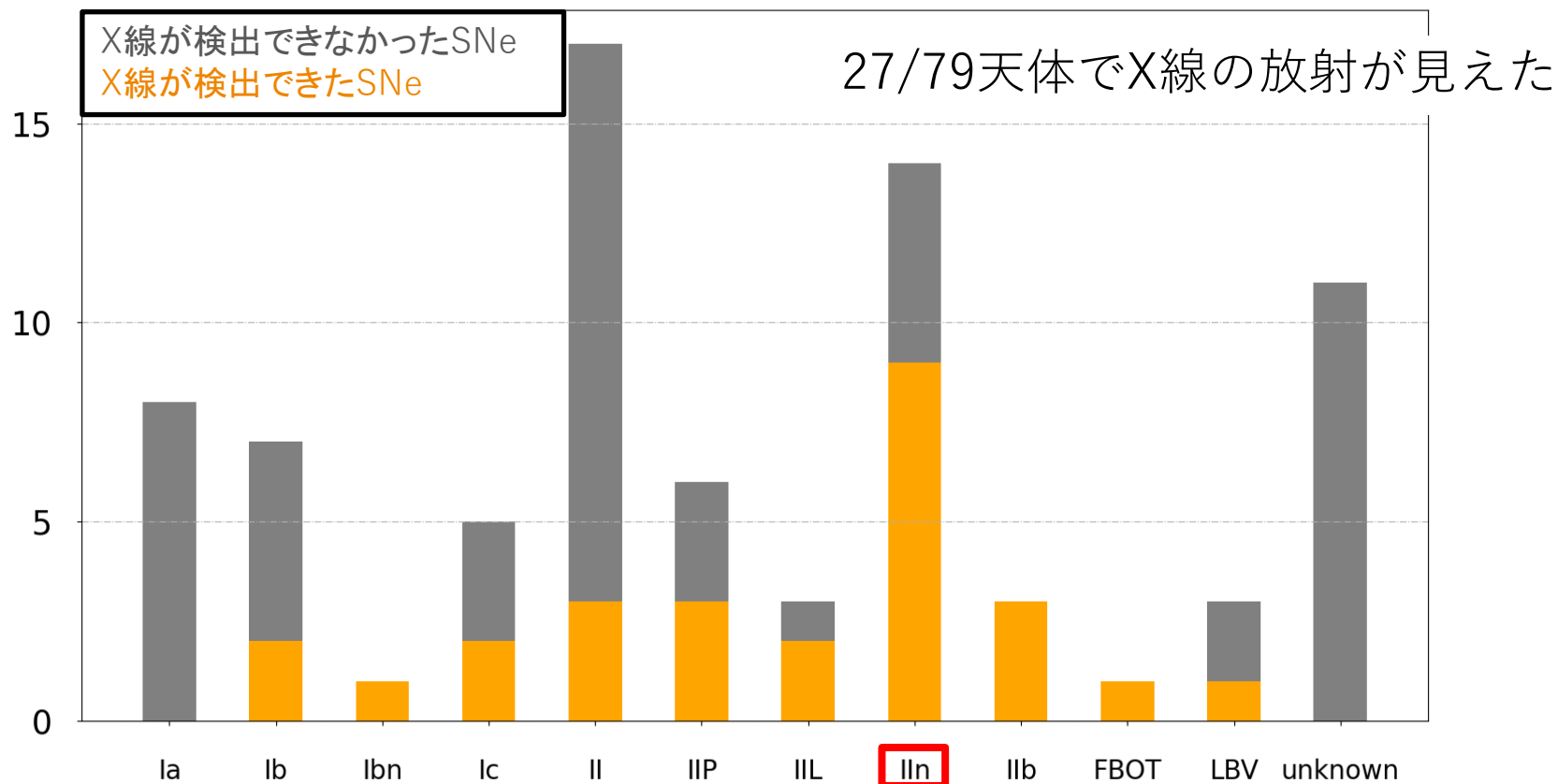
X線が検出できなかったSNe  
X線が検出できたSNe

(※ SNeのリストは内田先生から頂きました)

Host Galaxy	Distance(Mpc)	SNe
NGC3953	15.9	2001dp, 2006bp
NGC7331	15	1959D, 2013bu, 2014C
NGC4414	16.6	1974G, 2013df, 2021J, 2023hlf
M100	17.1	1901B, 1914A, 1959E, 1979C, 2006X, 2019ehk, 2020oi
MCG05-10-15	19.6	2003bg
NGC4041	22	1994W
ESO97-G13	22.8	2004dk
NGC4904	25.8	2006jc
NGC2770	27	1999eh, 2007uy, 2008D, 2015bh
MCG2-38-017	28	1995N
NGC2906	35	2005ip
UGC5189A	49	2010jl
CGCG137-068	60	2018cow
PGC14370	63.2	2005kd
UGC4147	79	2006jd
ESO336-G009	80	2012ca
UGC11797	81	2001em, 2015N
anonymous	179	2008iy

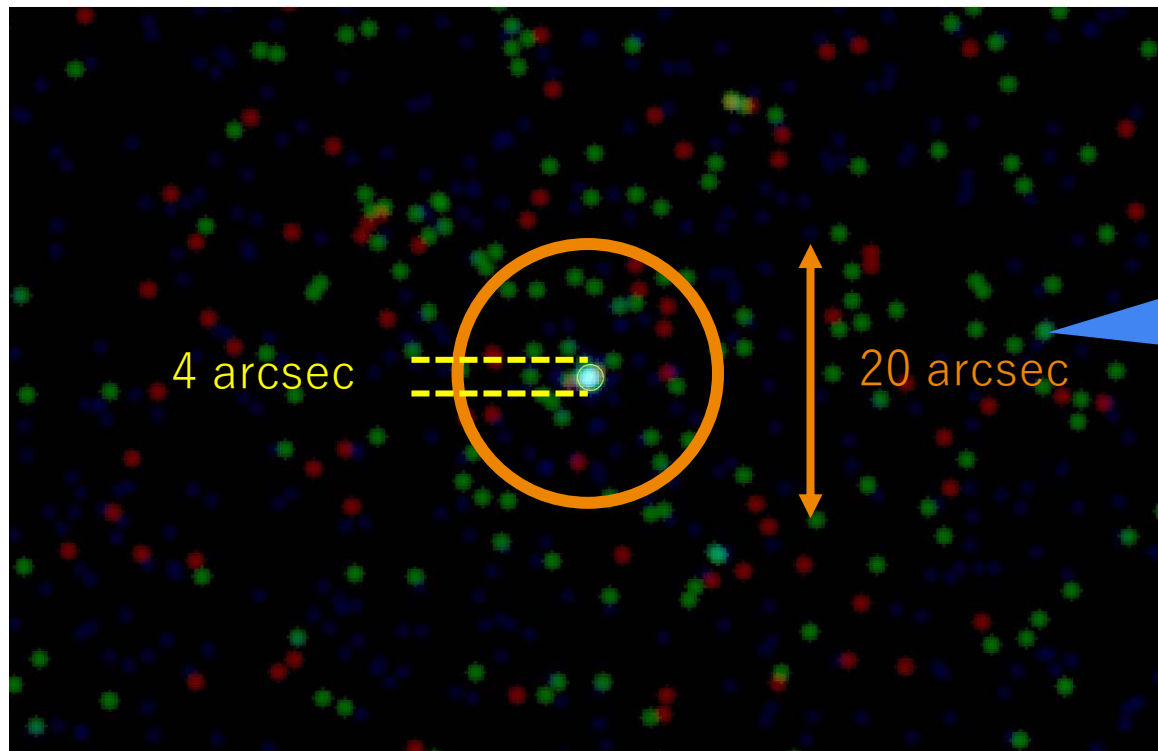
## 2.研究手法

### 扱った天体の度数分布（タイプ毎）



## 2.研究手法

### 解析手順②（スペクトルの抽出）



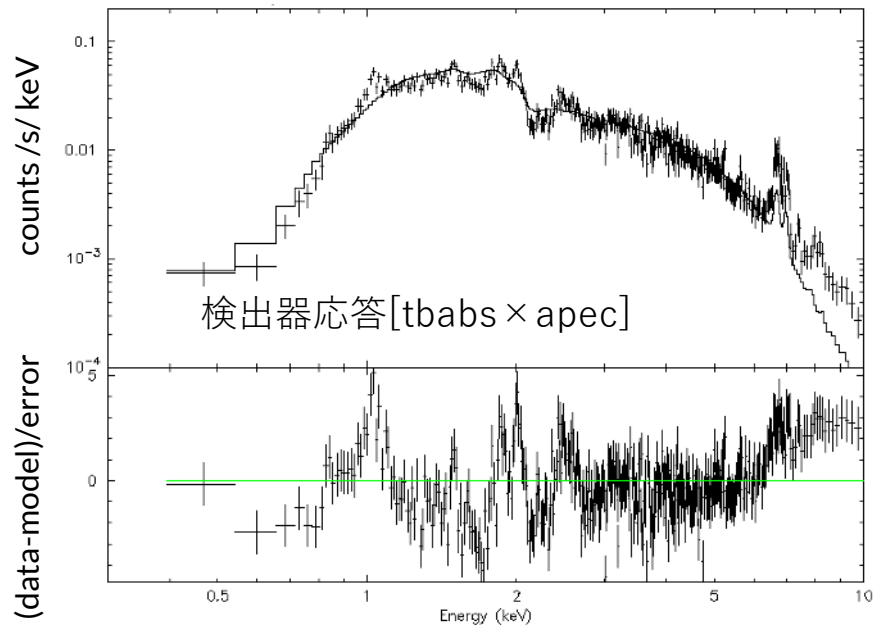
銀河の外縁部にいるSN  
の場合、バックグラウンド  
領域は銀河の中心部を  
含まないように注意した。  
(逆も然り)

## 2.研究手法

### 解析手順③（「吸収による減光」×「熱制動放射」）

TBabs × apec (太陽の組成で固定)

(ソース) - (バックグラウンド)



TBabs

$$I_{\text{obs}} = I_{\text{src}} \exp(-\sigma_{\text{ISM}} n_{\text{H}})$$

$n_{\text{H}}$ (水素柱密度)の時間変化を測る。

Apec

$$I_{\text{src}} = (\text{自由電子の制動放射}) + (\text{陽イオンの輝線})$$

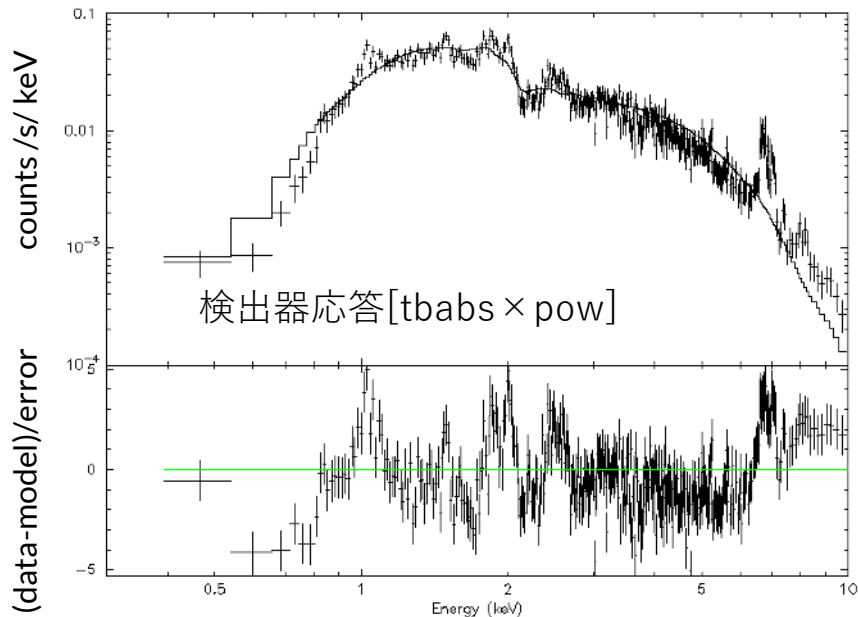
ボルツマン分布をしたプラズマからの放射。 $kT$ から、放射領域での衝撃波速度を見積もることが出来る。  
⇒ 衝撃波の移動距離 ( $\Delta R$ )

$$\frac{\Delta n_{\text{H}}}{\Delta R} \Rightarrow \text{視線方向のCSM数密度}$$

# 解析手順③（「吸収による減光」×「べき乗測」）

TBabs × powerlaw

(ソース) - (バックグラウンド)



Power law

$$I_{\text{src}} = KE^{-\alpha}$$

指数 $\alpha$ (log-log表示の傾き)から、ソフトな成分とハードな成分の強度比を見積もることが出来る。

放射領域の温度が高い⇒ハードが強い  
放射領域の温度が低い⇒ソフトが強い

apecが合わない場合もある。  
power lawも使ってnHの時間変化を測る。

### 3.結果

## 例① SN1996cr

観測日時：2009-12-28

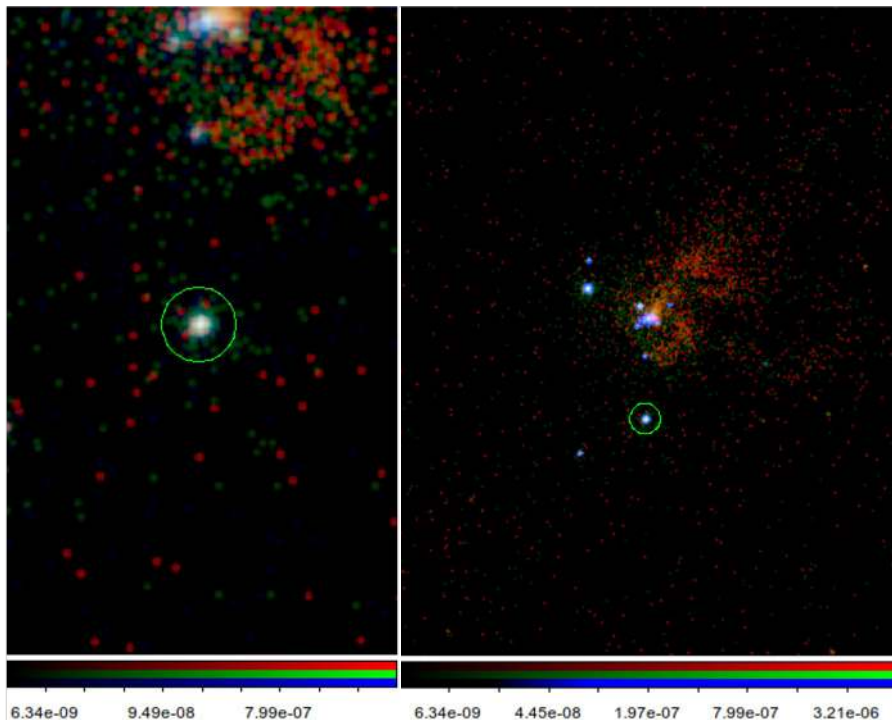
爆発：1995/09/07

銀河：Circinus(4.0Mpc)

Type：II n

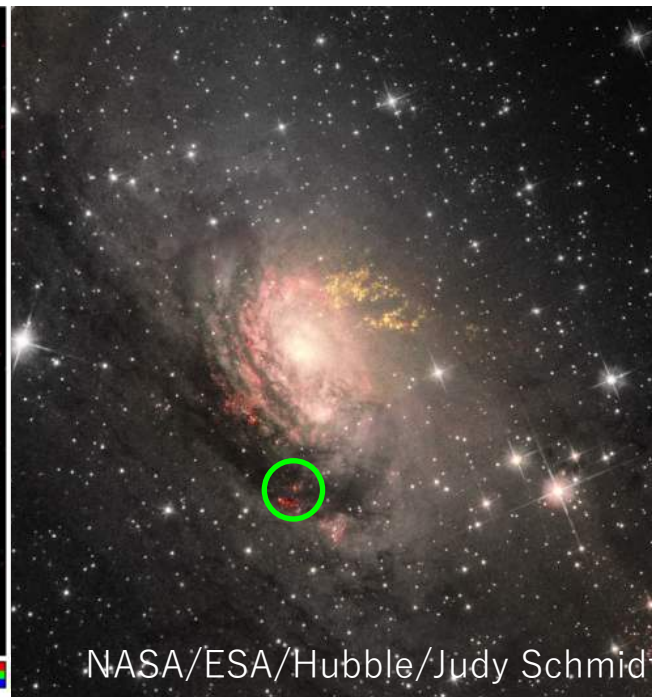
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700

Source：0.0008deg Bkg：0.003deg



chandraデータ(一部)

chandraデータ(全体)



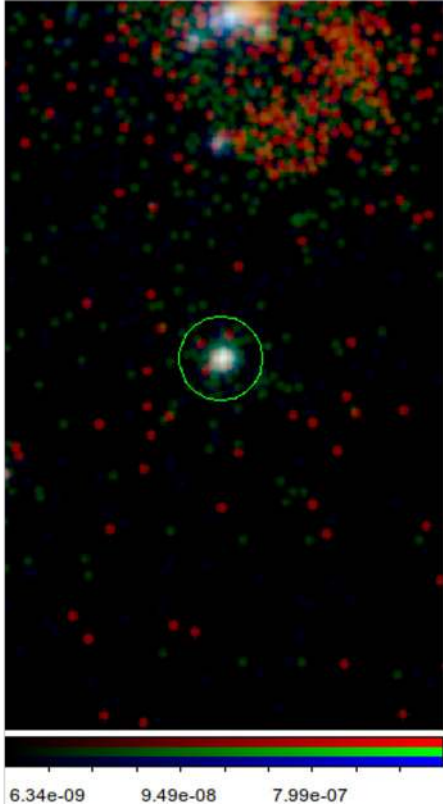
可視光での銀河の画像



### 3.結果

## 例① SN1996cr

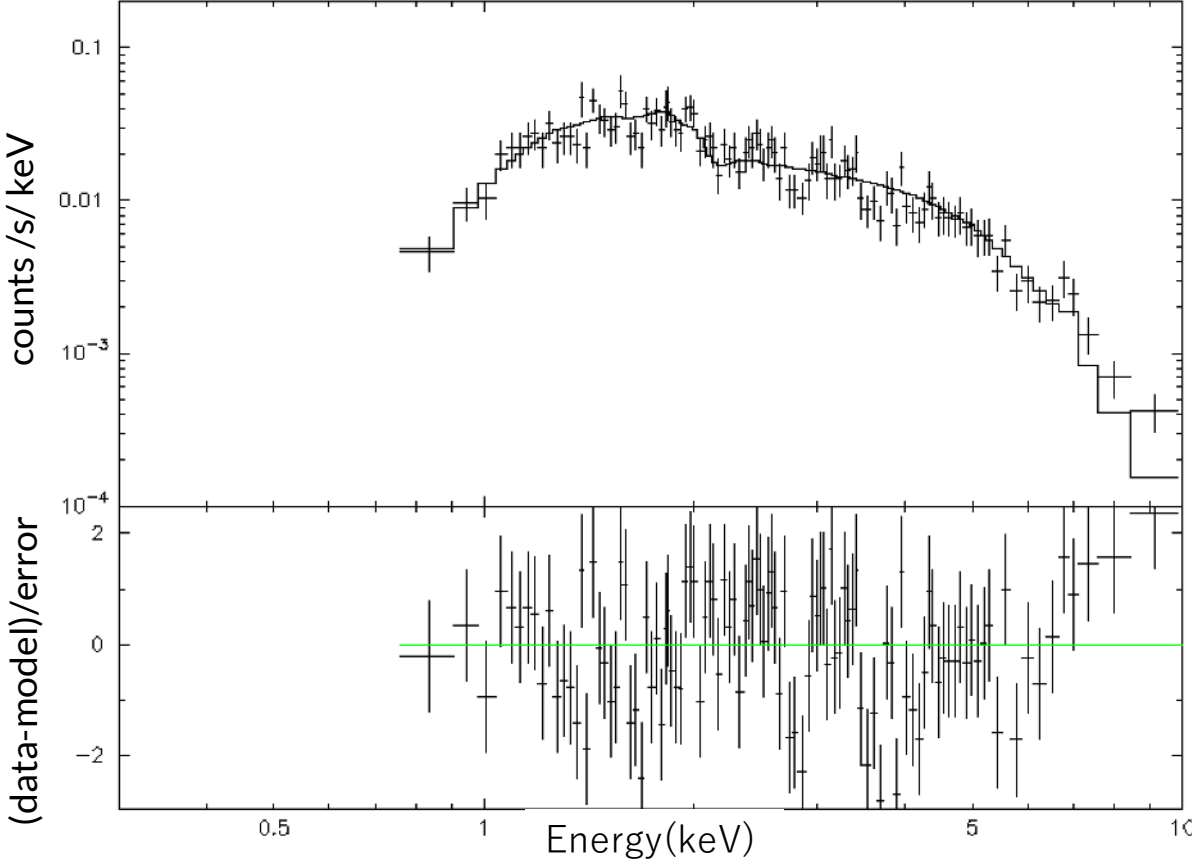
観測日時：2000-03-14



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：IIIn Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*apec

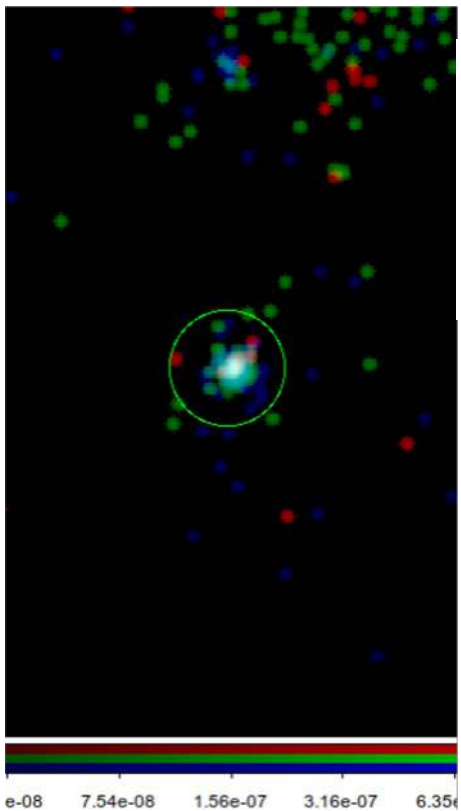
data and folded model



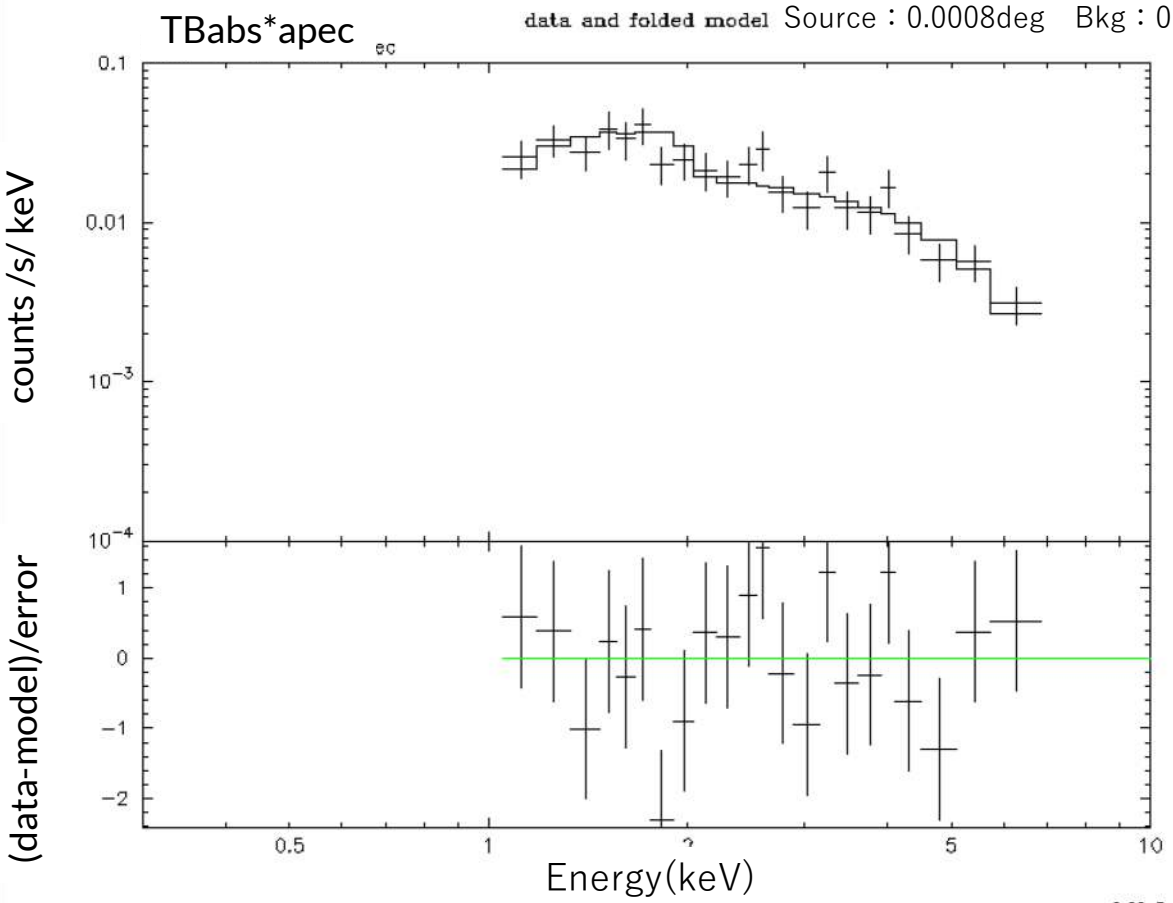
### 3.結果

## 例① SN1996cr

観測日時：2001-05-02



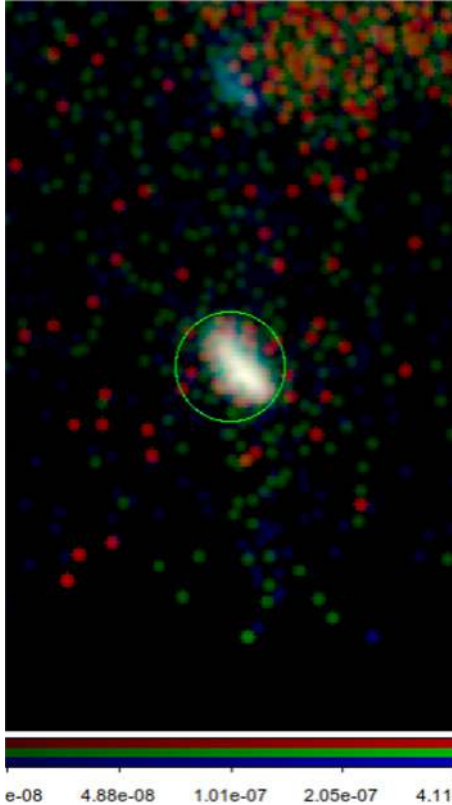
爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg



### 3.結果

## 例① SN1996cr

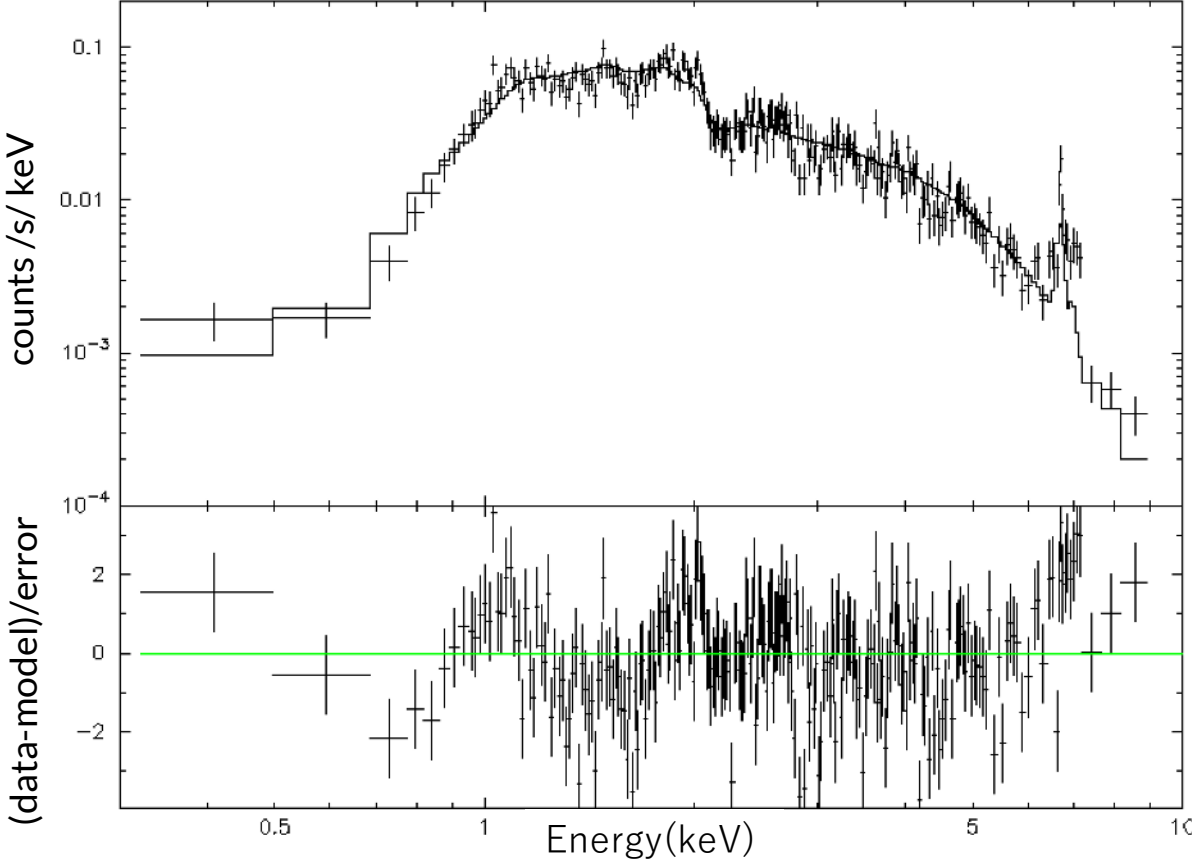
観測日時：2008-10-26



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*apec

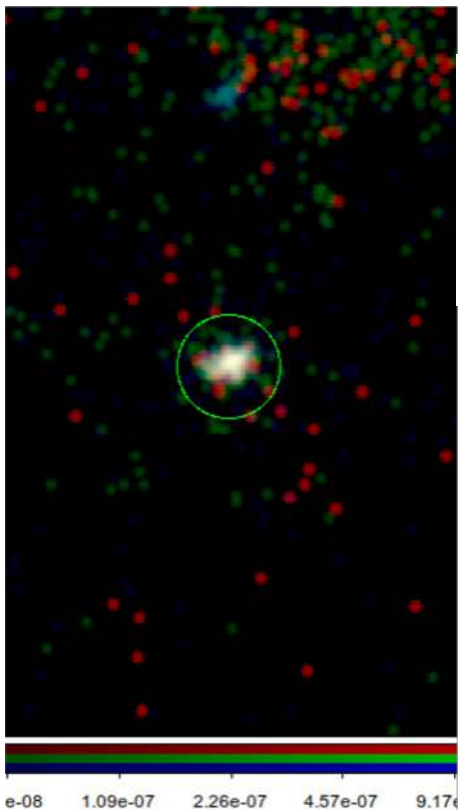
data and folded model



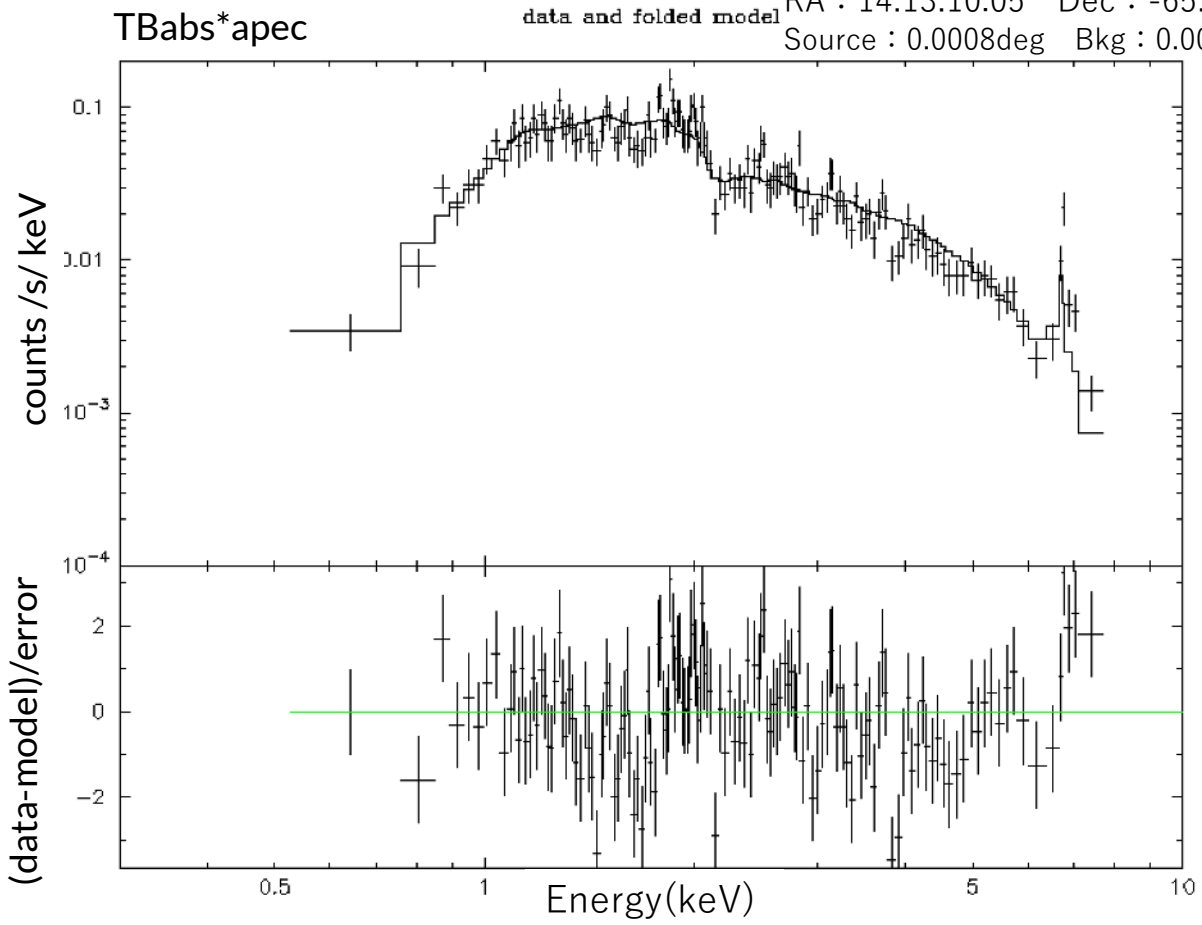
### 3.結果

## 例① SN1996cr

観測日時：2009-12-28



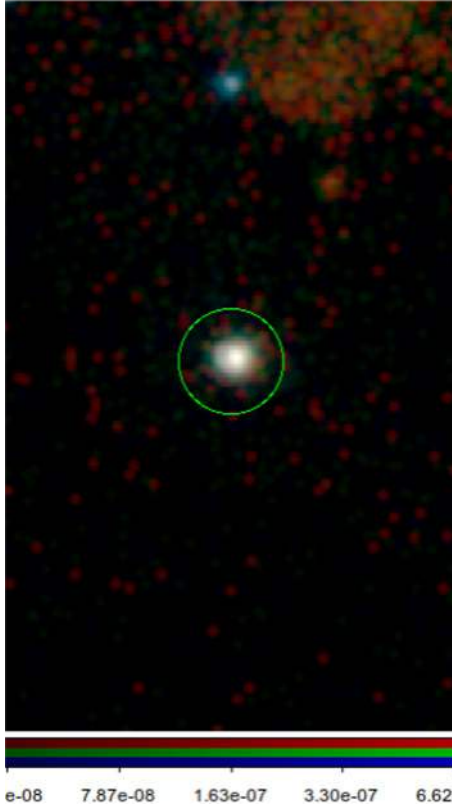
爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg



### 3.結果

## 例① SN1996cr

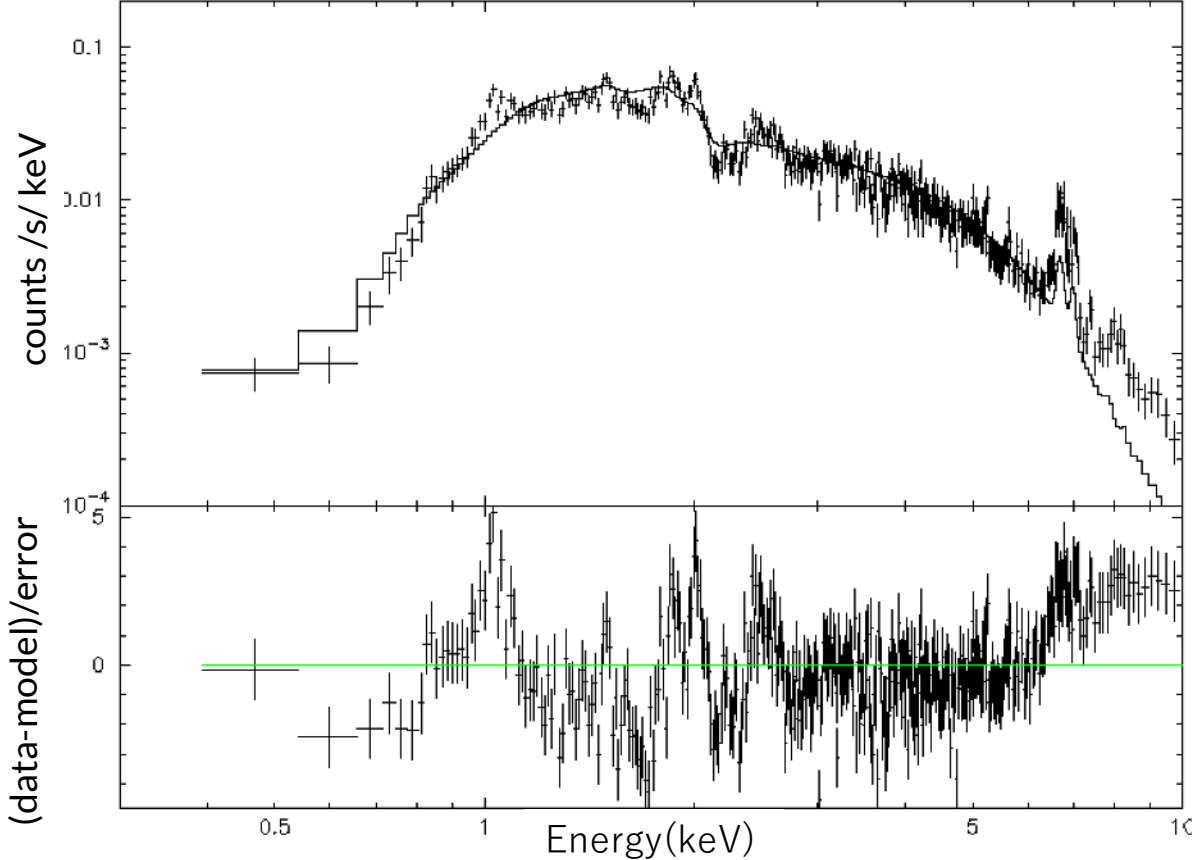
観測日時：2010-12-07



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*apec

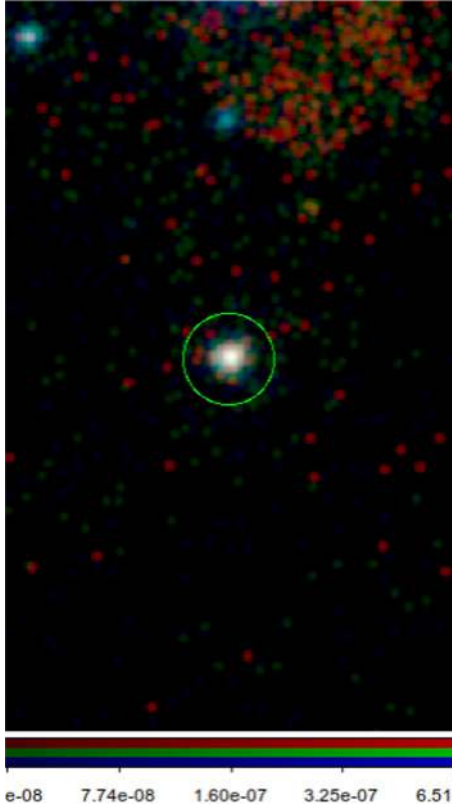
data and folded model



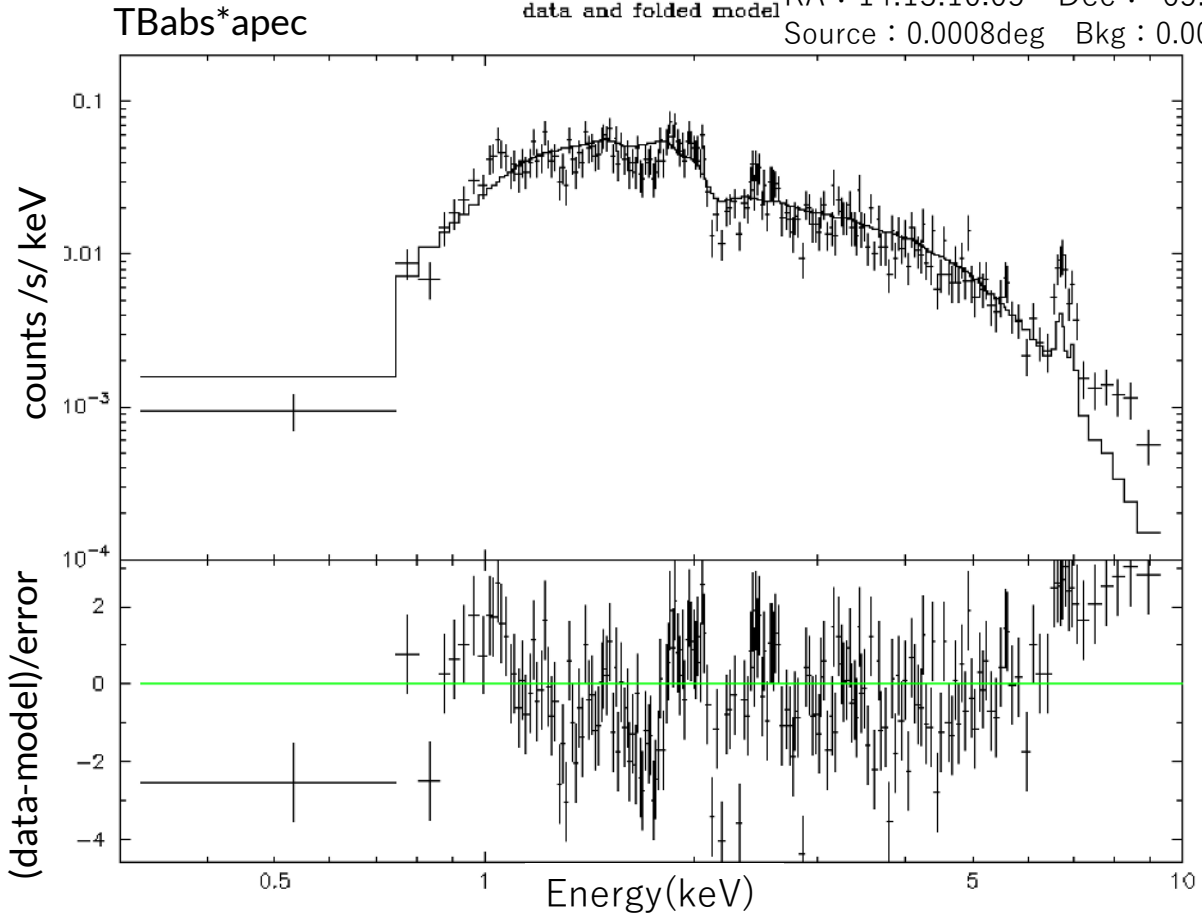
### 3.結果

## 例① SN1996cr

観測日時：2010-12-24



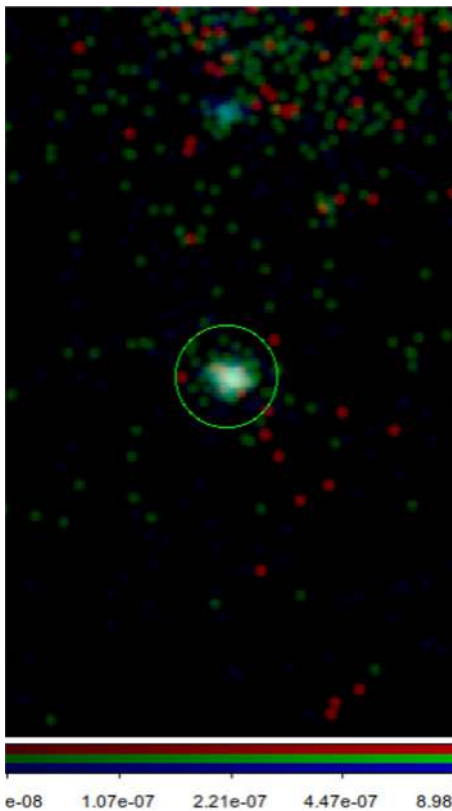
爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg



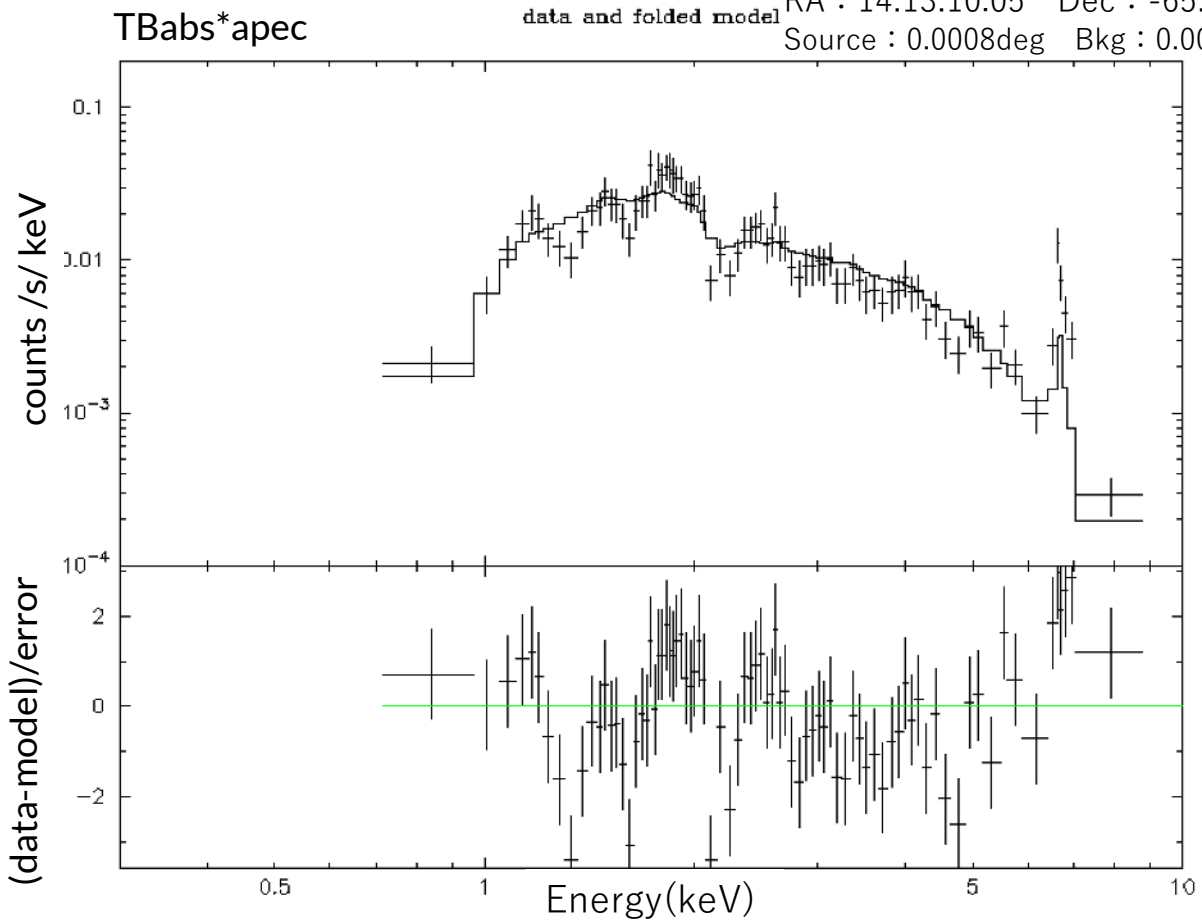
### 3.結果

## 例① SN1996cr

観測日時：2018-11-27



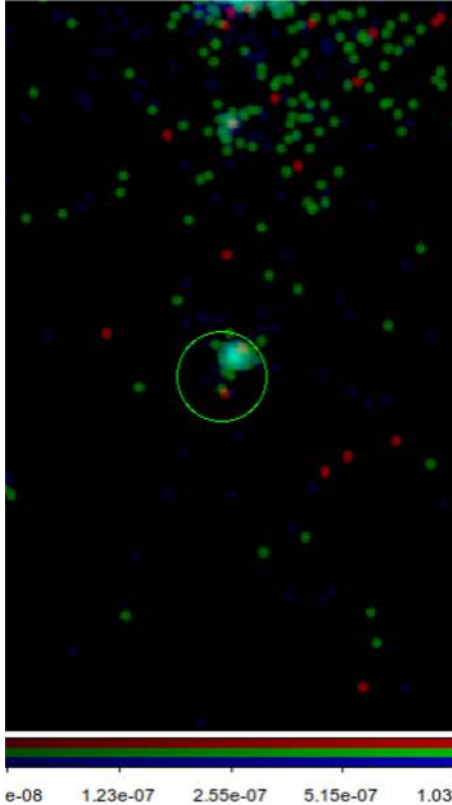
爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg



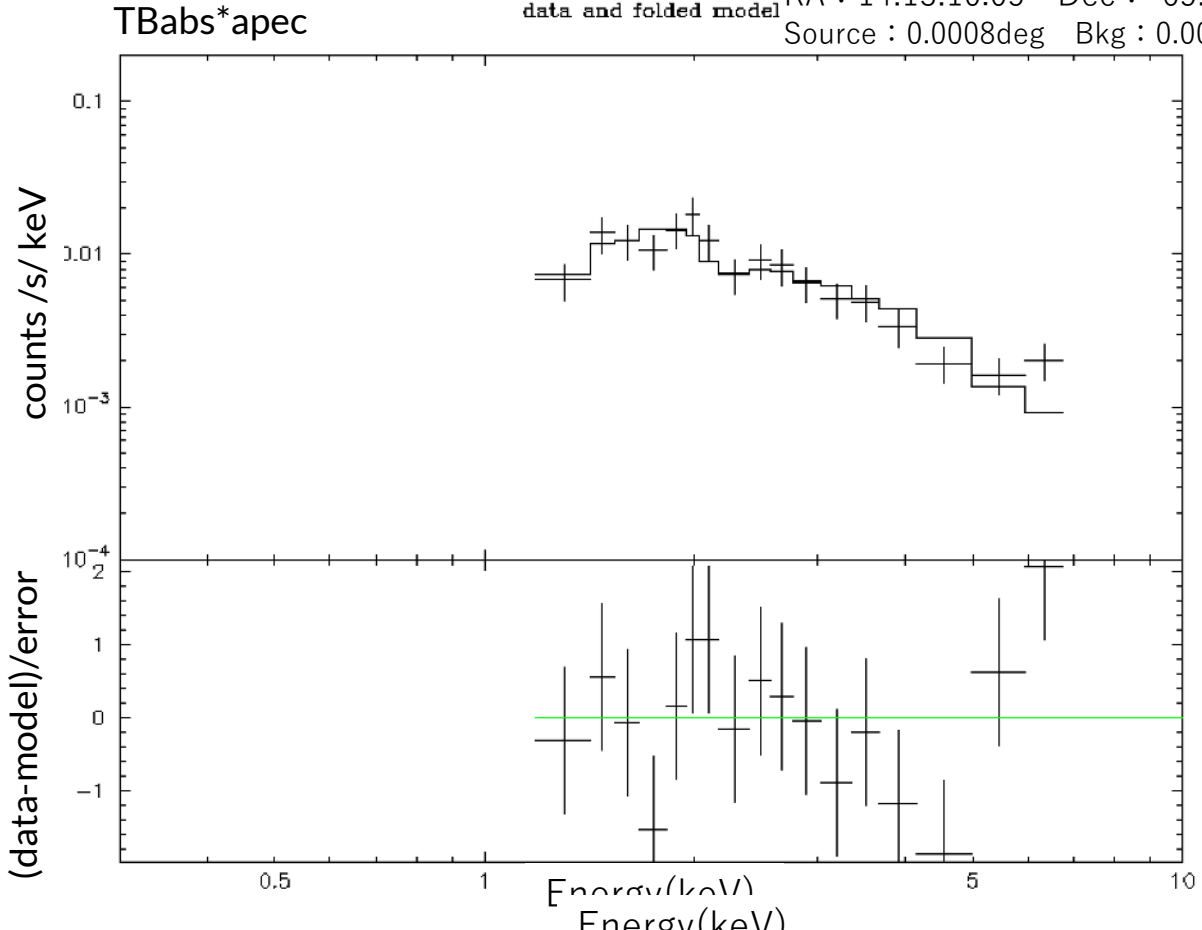
### 3.結果

## 例① SN1996cr

観測日時：2022-07-11



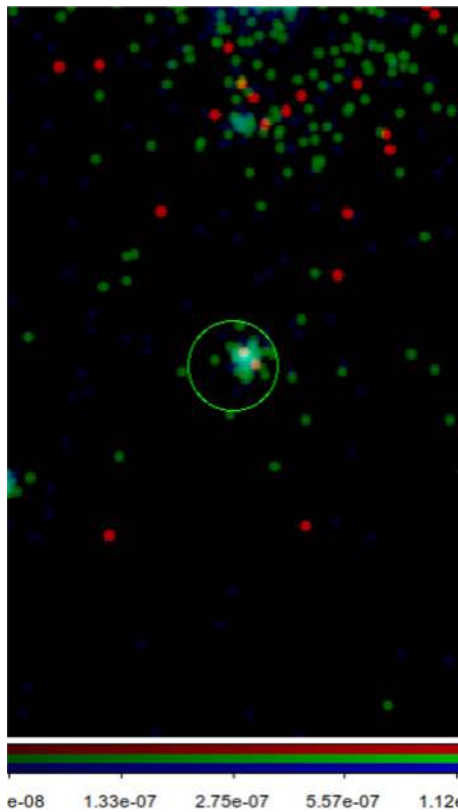
爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg





# 例① SN1996cr

観測日時：2022-07-24



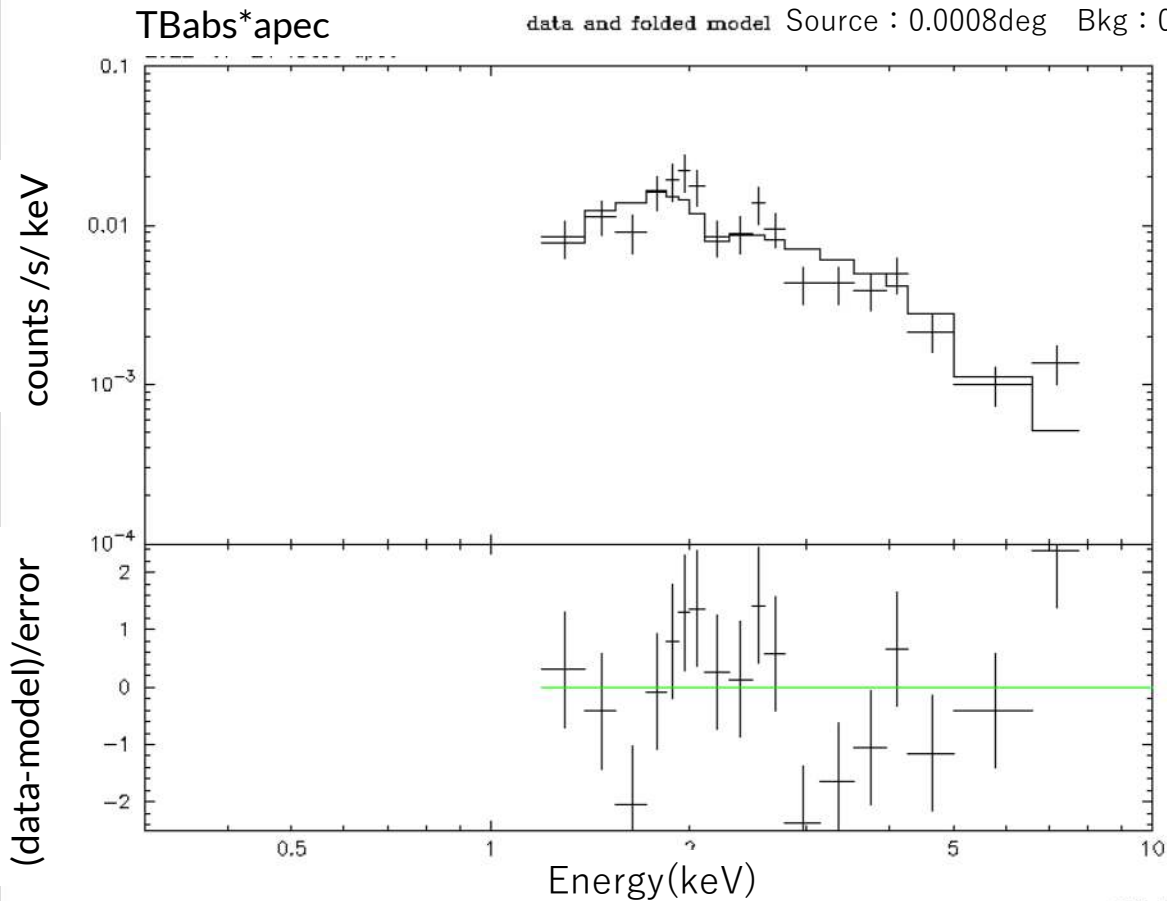
爆発：1995/09/07

銀河：Circinus (4.0Mpc)

Type：II n Redshift：0.001419

RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700

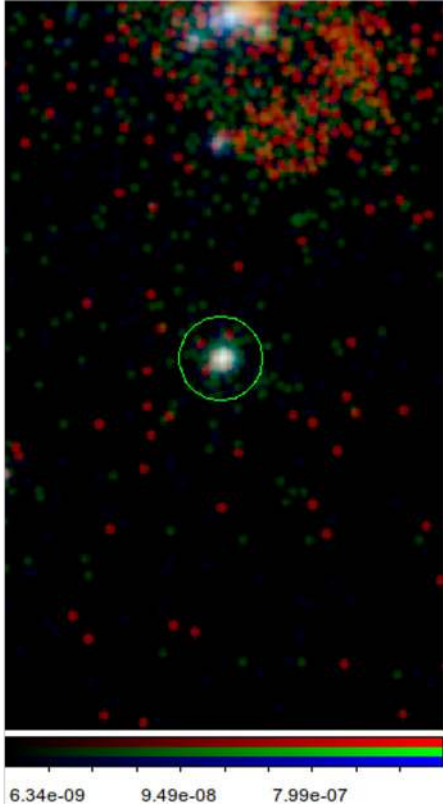
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg



### 3.結果

## 例① SN1996cr

観測日時：2000-03-14

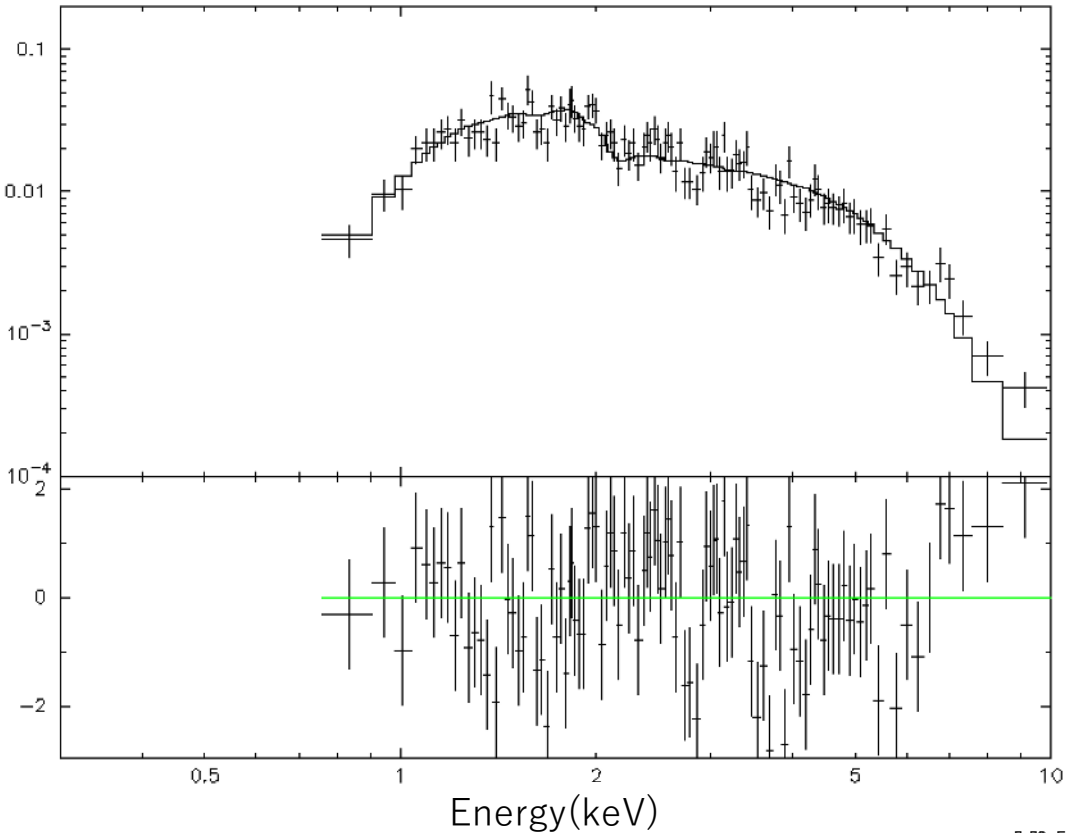


TBabs\*power law

data and folded model

counts /s/ keV

(data-model)/error

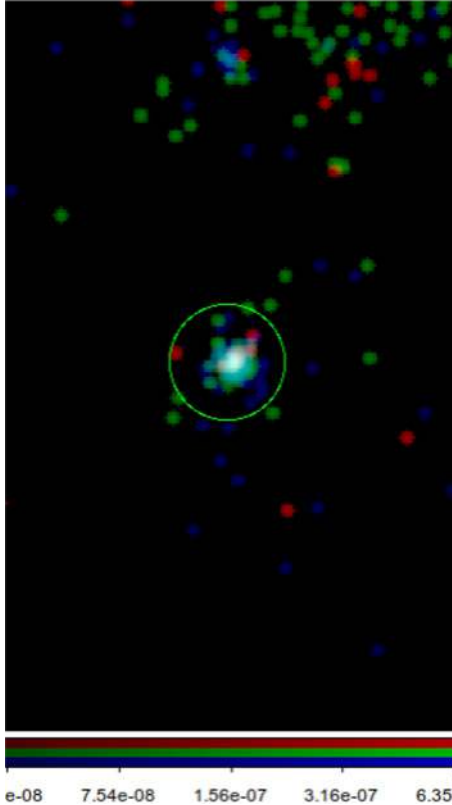


爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

### 3.結果

## 例① SN1996cr

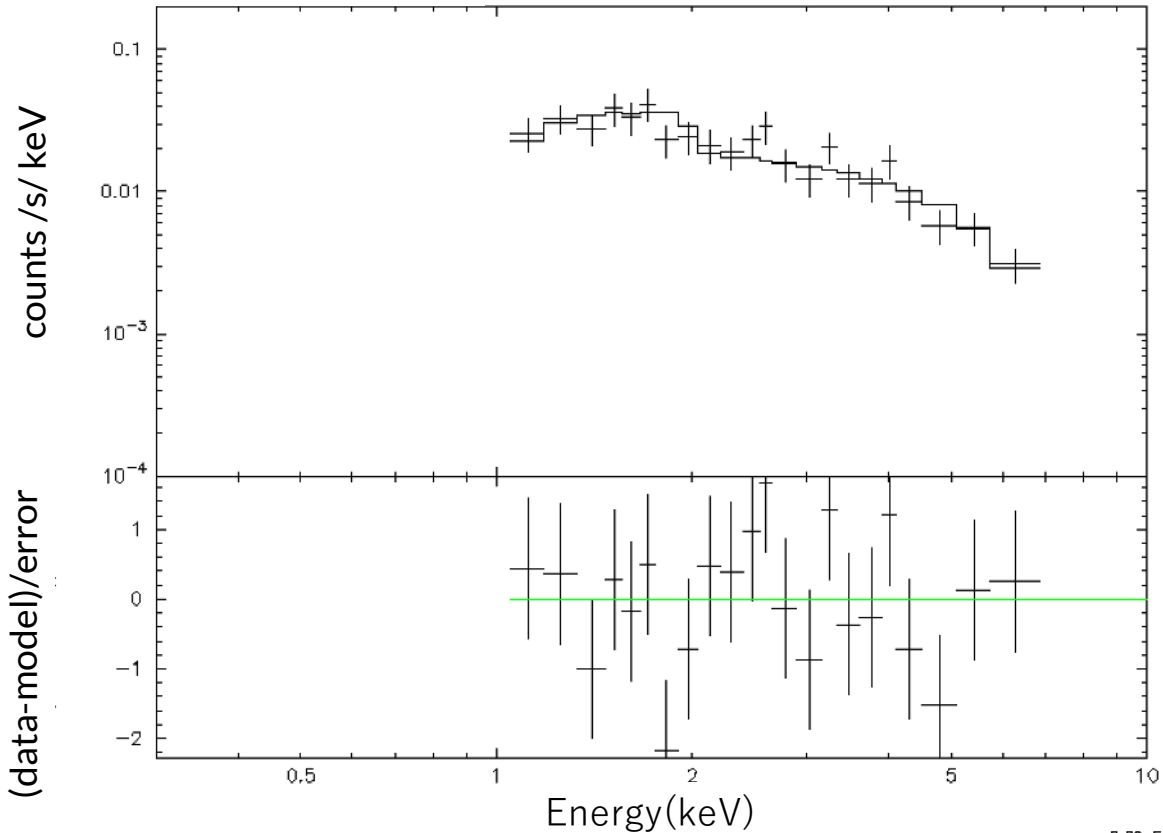
観測日時：2001-05-02



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*power law

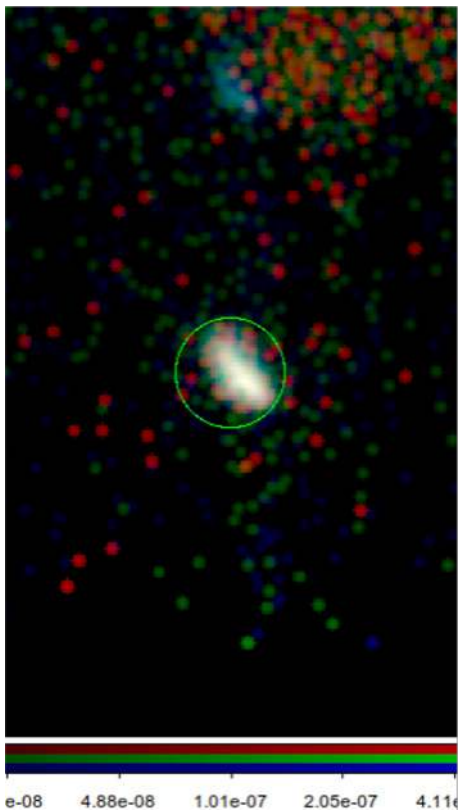
data and folded model



### 3.結果

## 例① SN1996cr

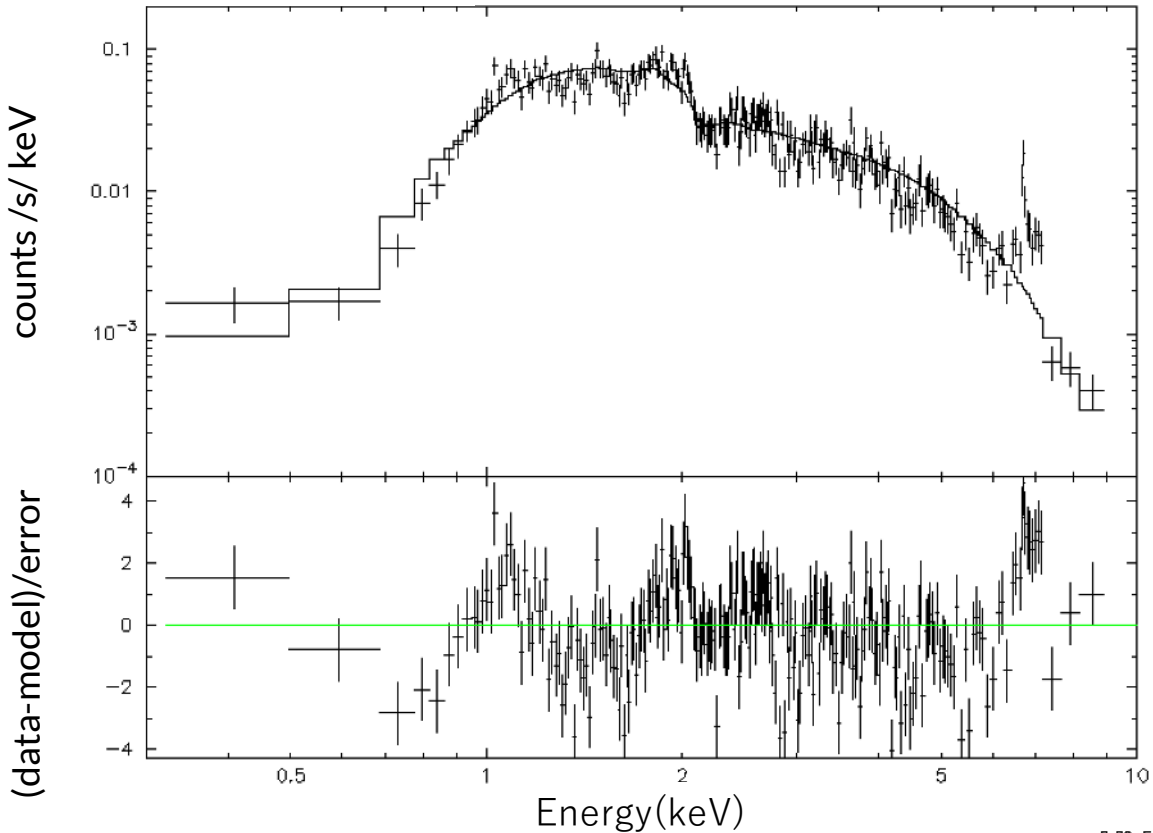
観測日時：2008-10-26



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*power law

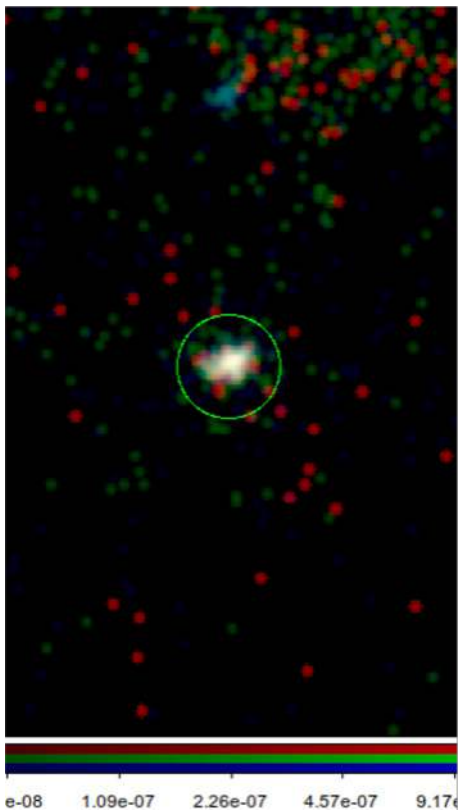
data and folded model



# 3.結果

## 例① SN1996cr

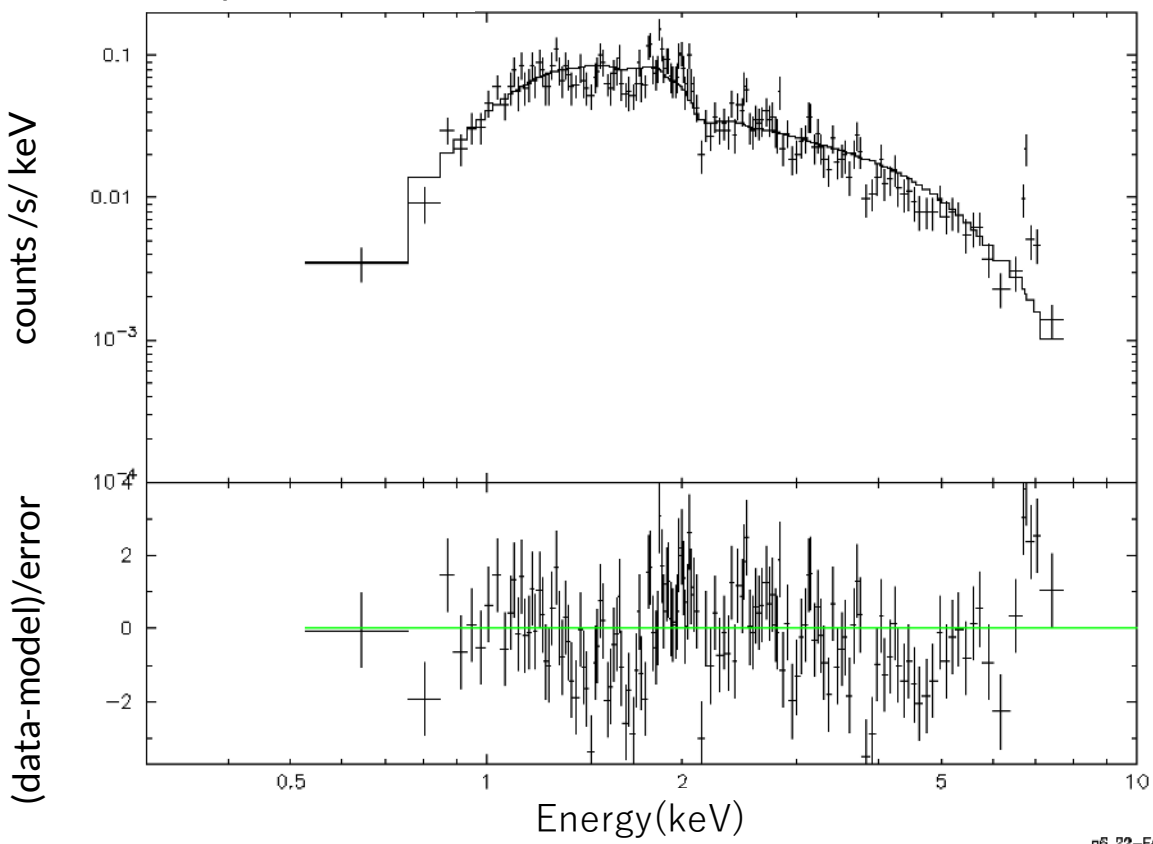
観測日時：2009-12-28



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*power law

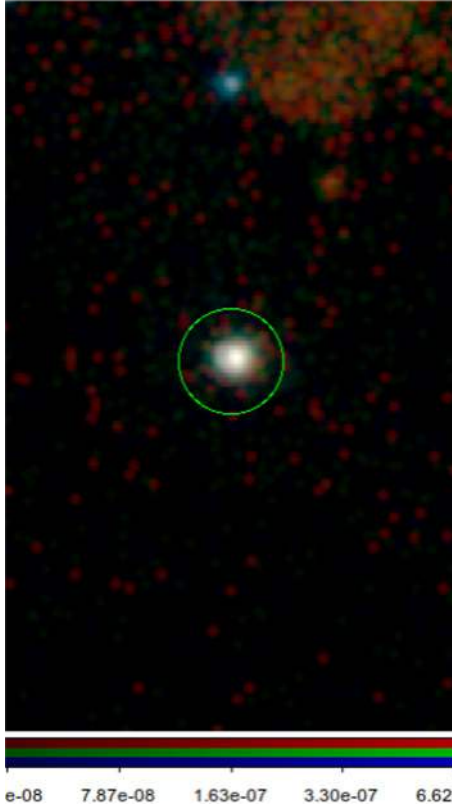
data and folded model



### 3.結果

## 例① SN1996cr

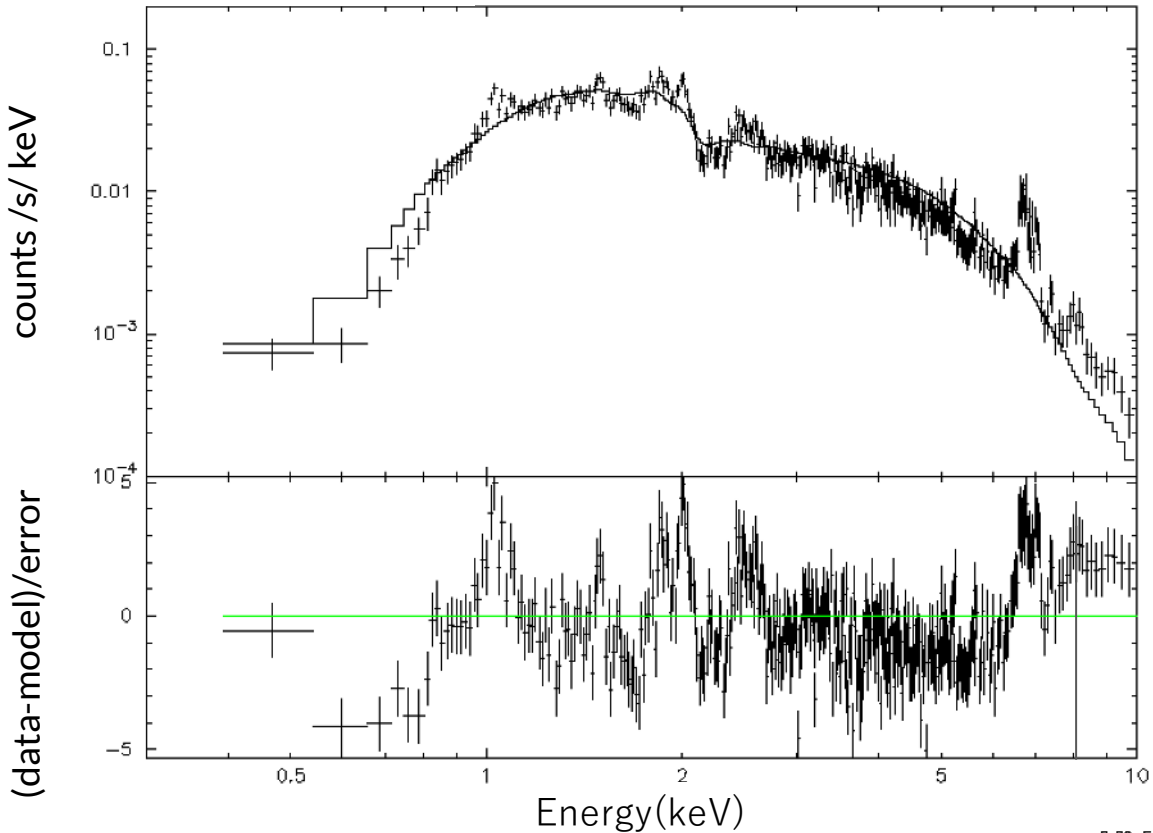
観測日時：2010-12-07



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*power law

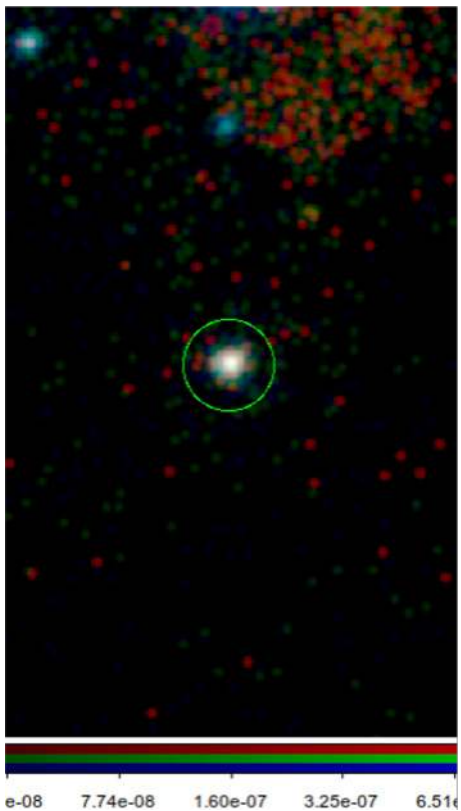
data and folded model



# 3.結果

## 例① SN1996cr

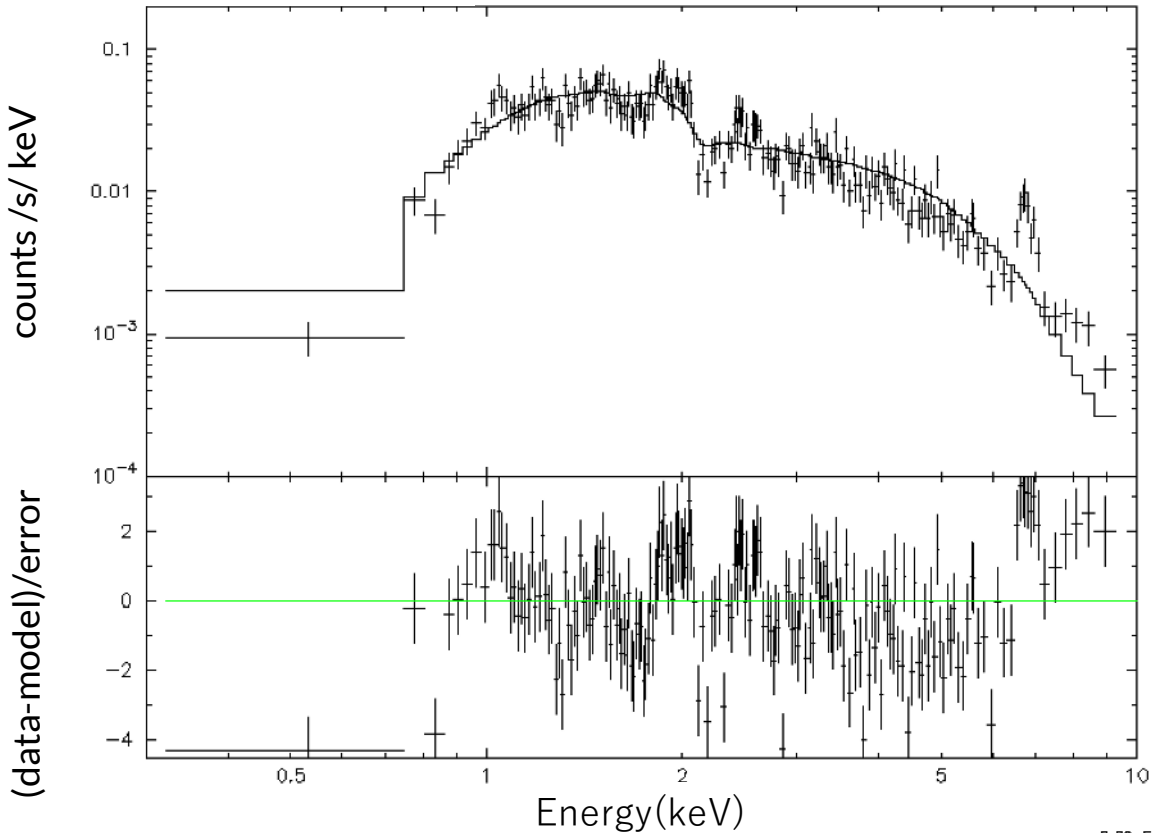
観測日時：2010-12-24



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*power law

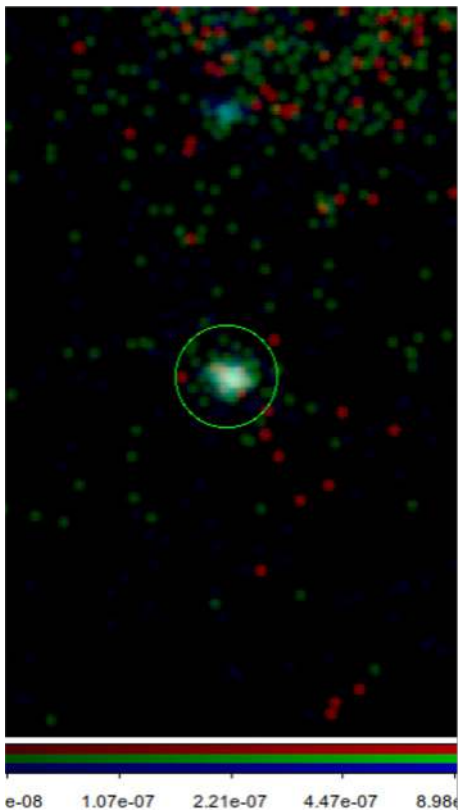
data and folded model



### 3.結果

## 例① SN1996cr

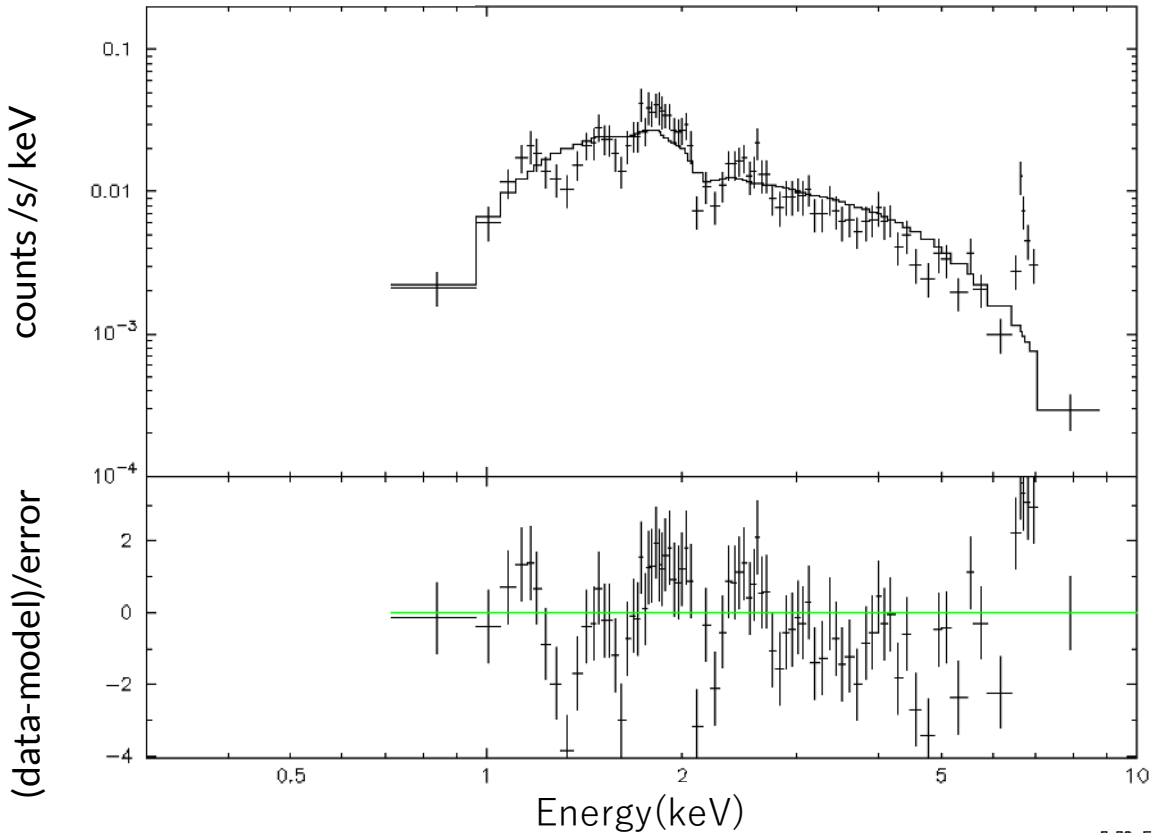
観測日時：2018-11-27



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*power law

data and folded model

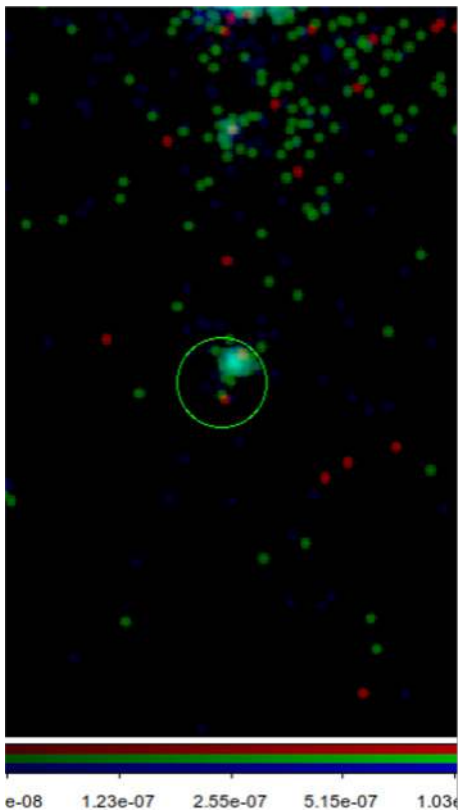




### 3.結果

## 例① SN1996cr

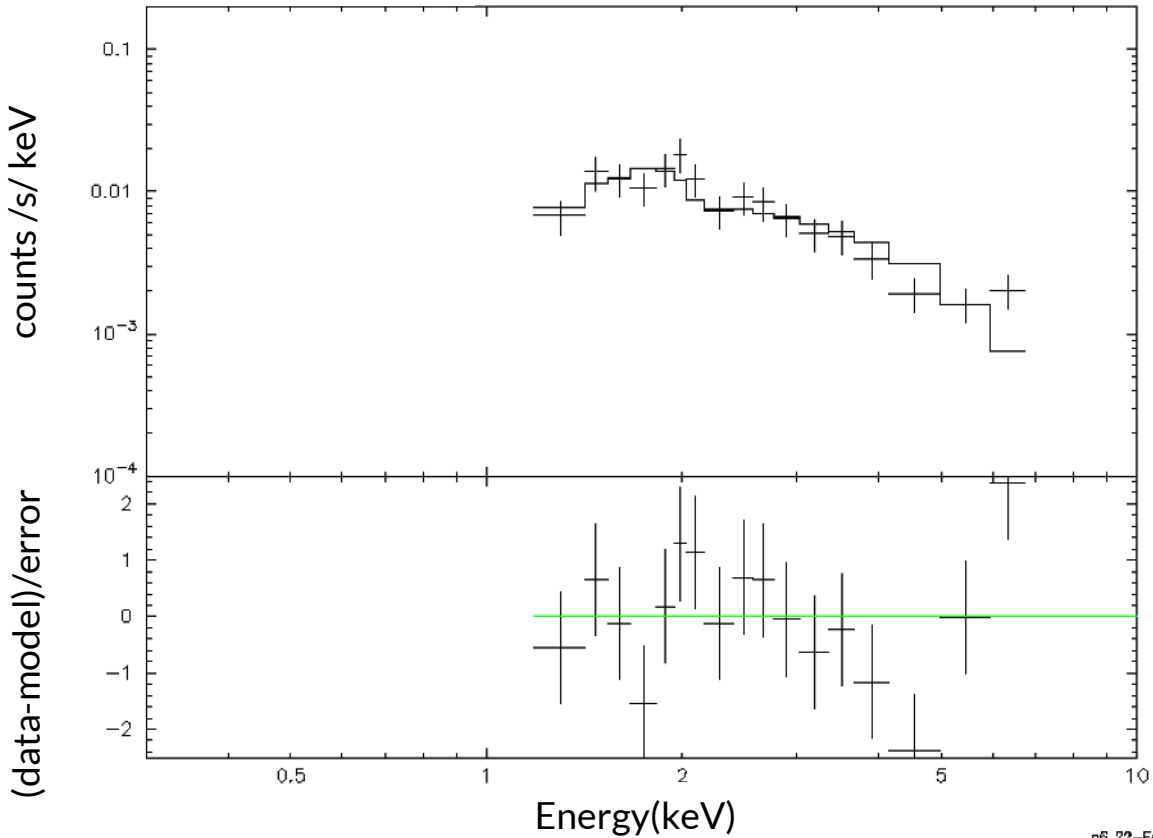
観測日時：2022-07-11



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift:0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*power law

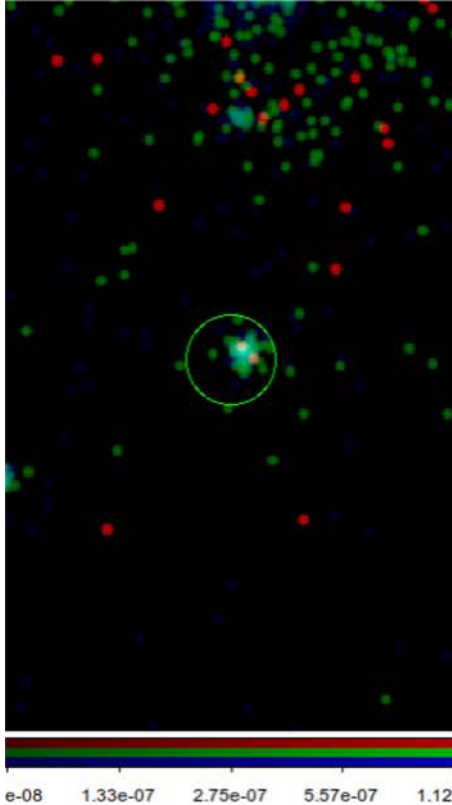
data and folded model



### 3.結果

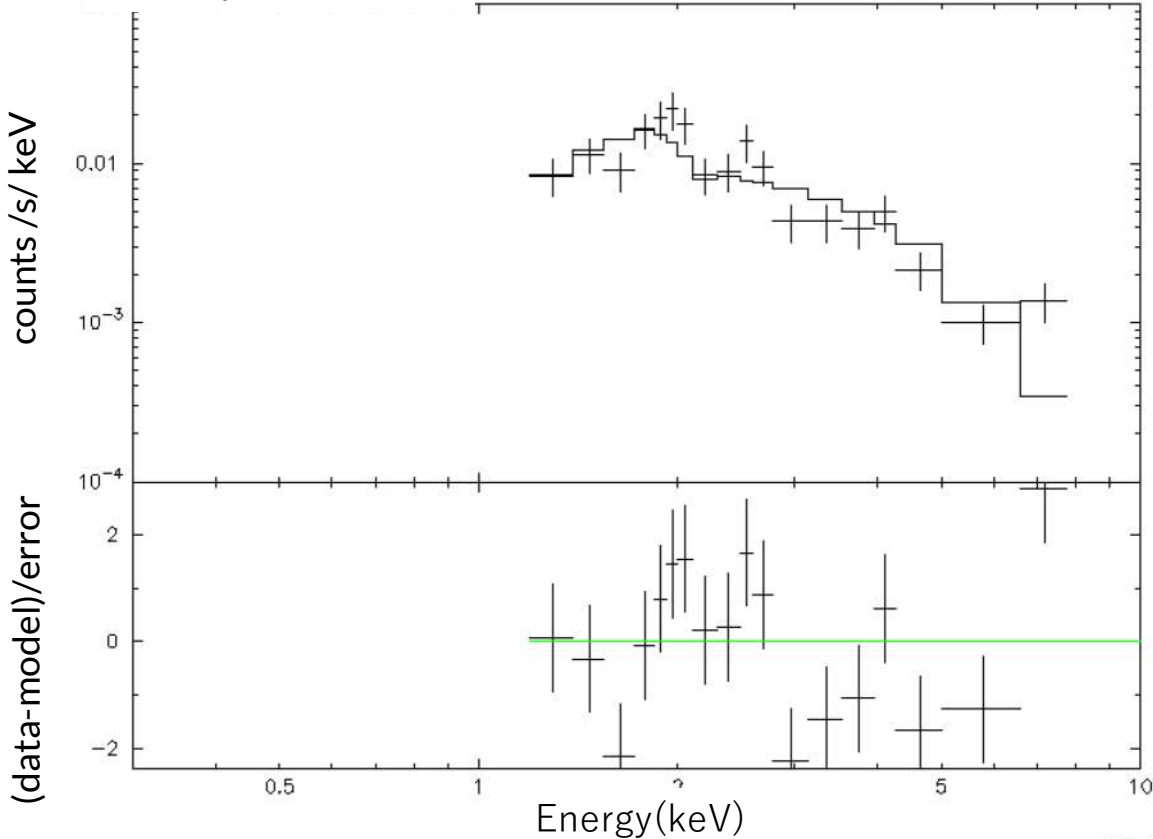
## 例① SN1996cr

観測日時：2022-07-24



爆発：1995/09/07  
銀河：Circinus (4.0Mpc)  
Type：II n Redshift：0.001419  
RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700  
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

TBabs\*power law



### 3.結果

## 例① SN1996cr

爆発：1995/09/07

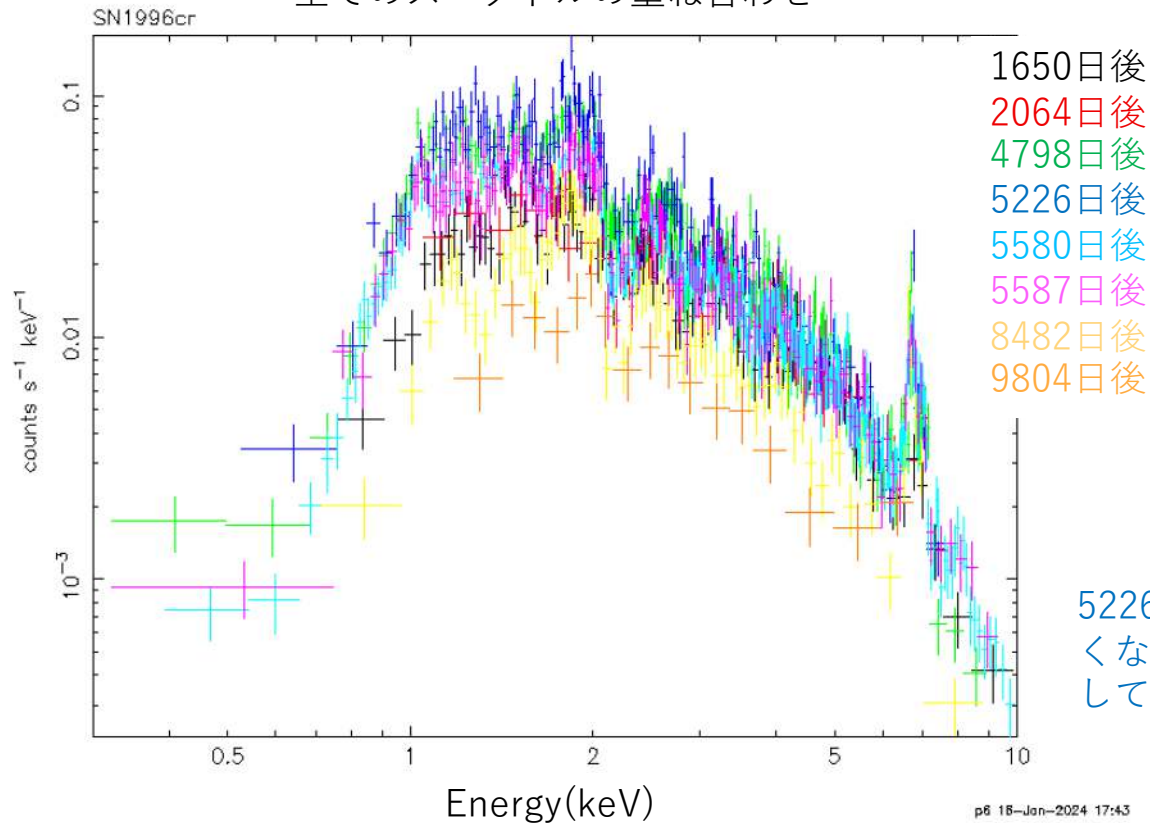
銀河：Circinus (4.0Mpc)

Type：II n Redshift：0.001419

RA：14:13:10.05 Dec：-65:20:44.700

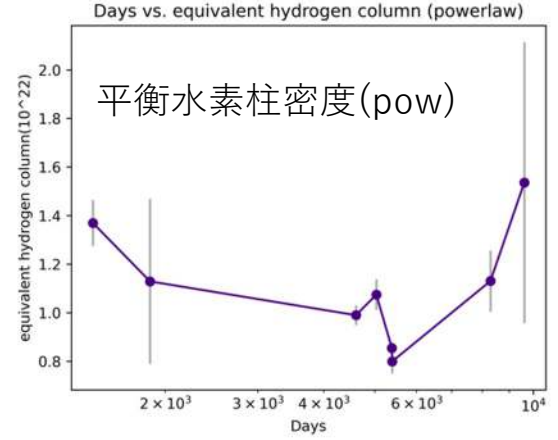
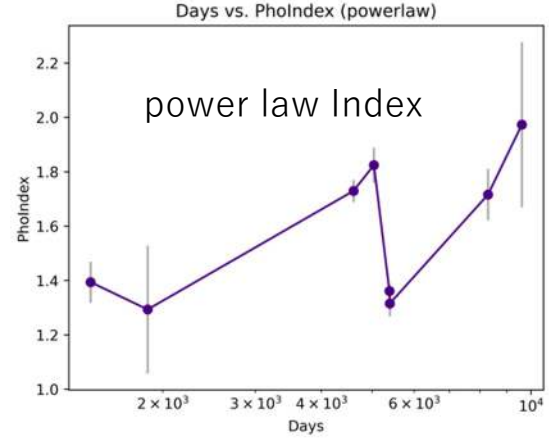
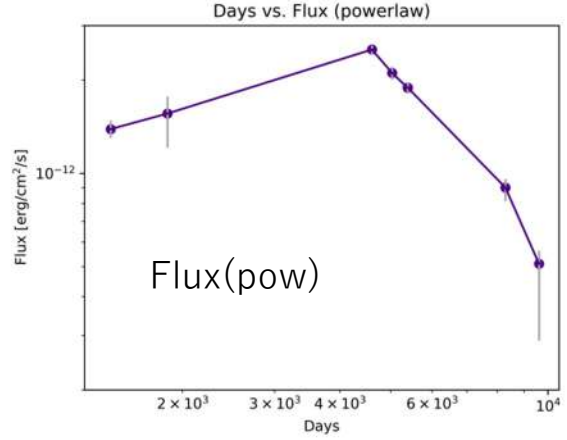
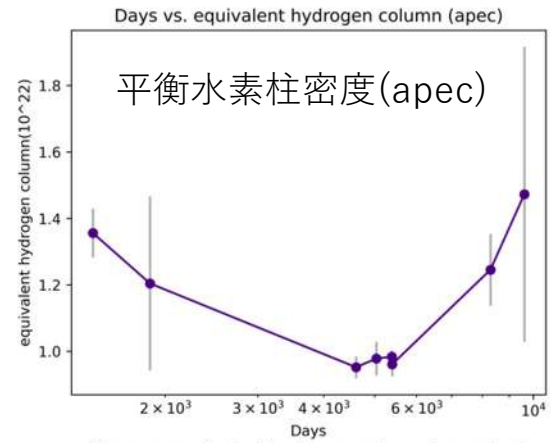
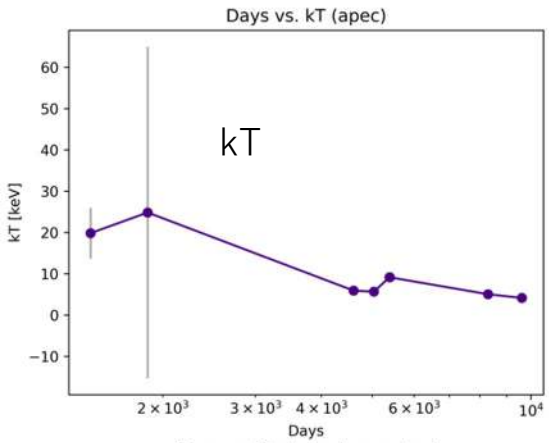
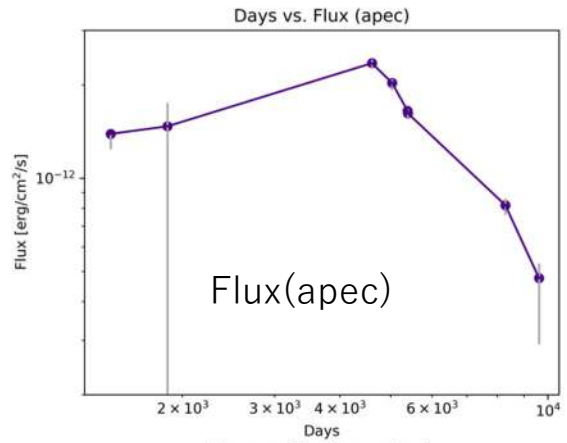
Source：0.0008deg Bkg：0.003deg

全てのスペクトルの重ね合わせ



### 3.結果

## 例① SN1996cr 各パラメーターの時間変化 (横軸日数)

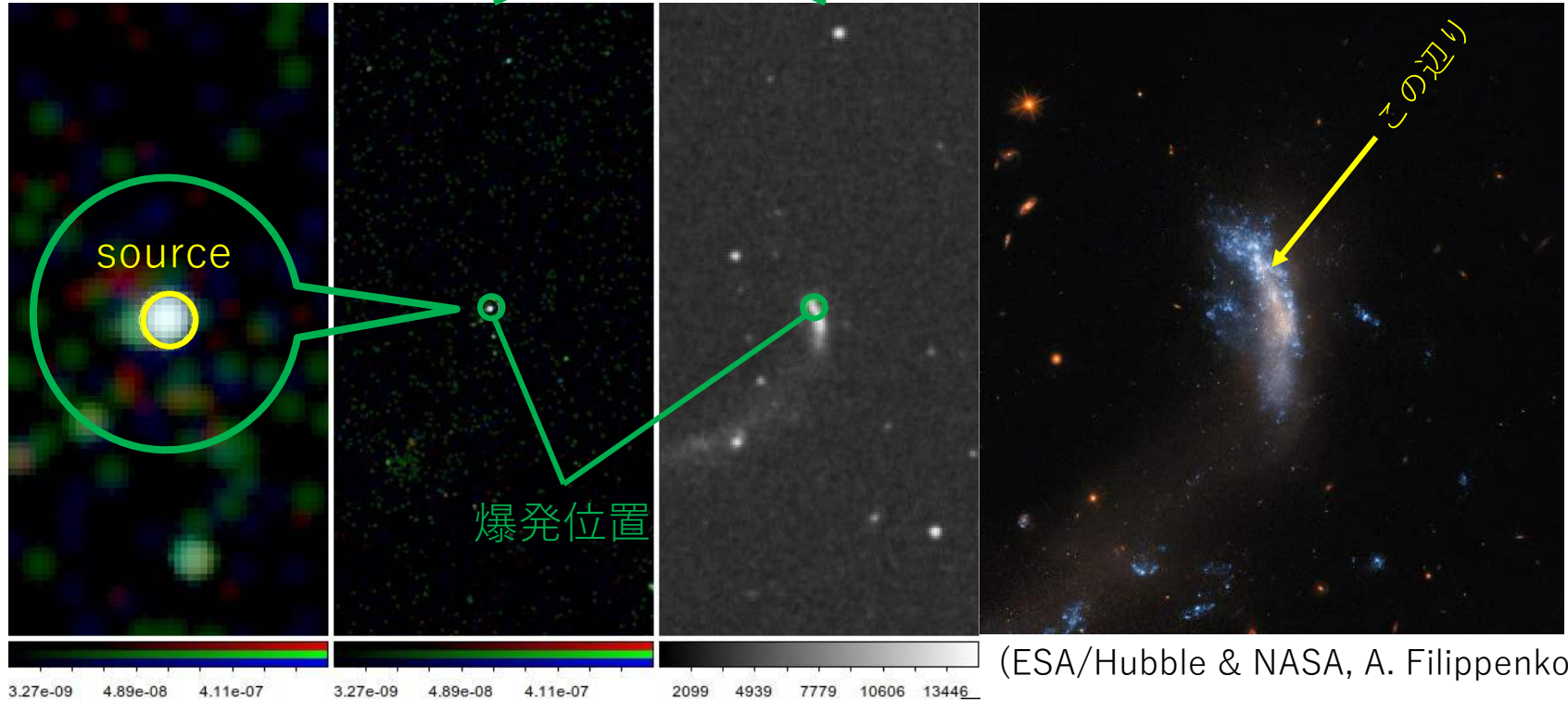


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

同じ縮尺

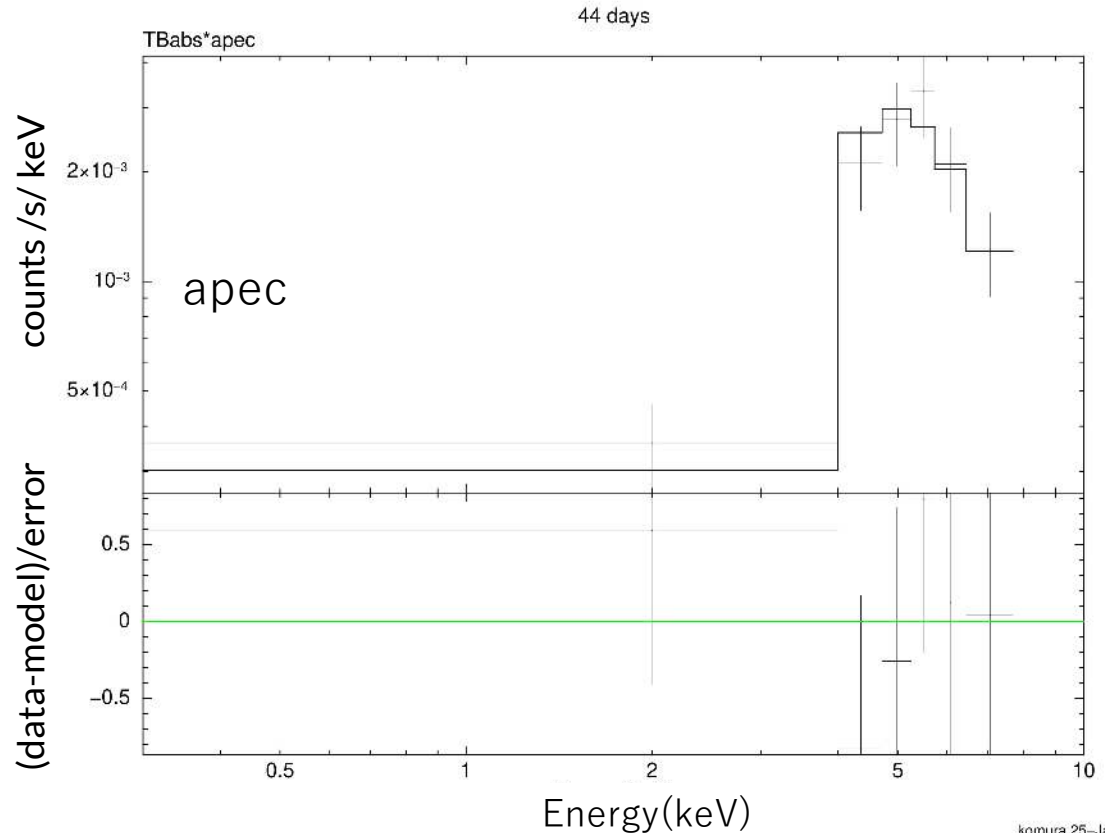
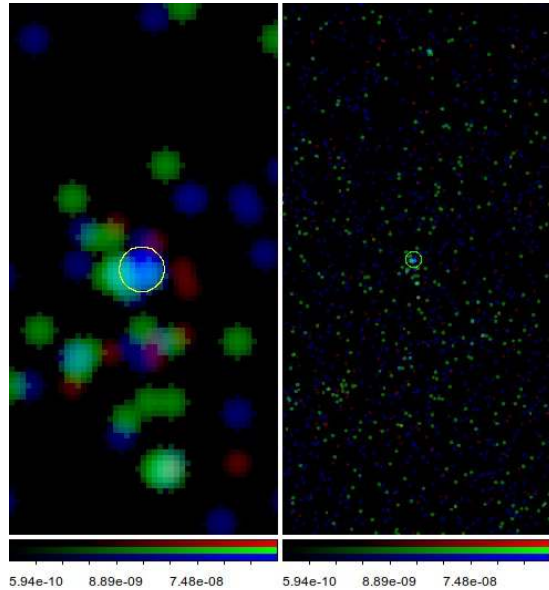


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2010/11/22

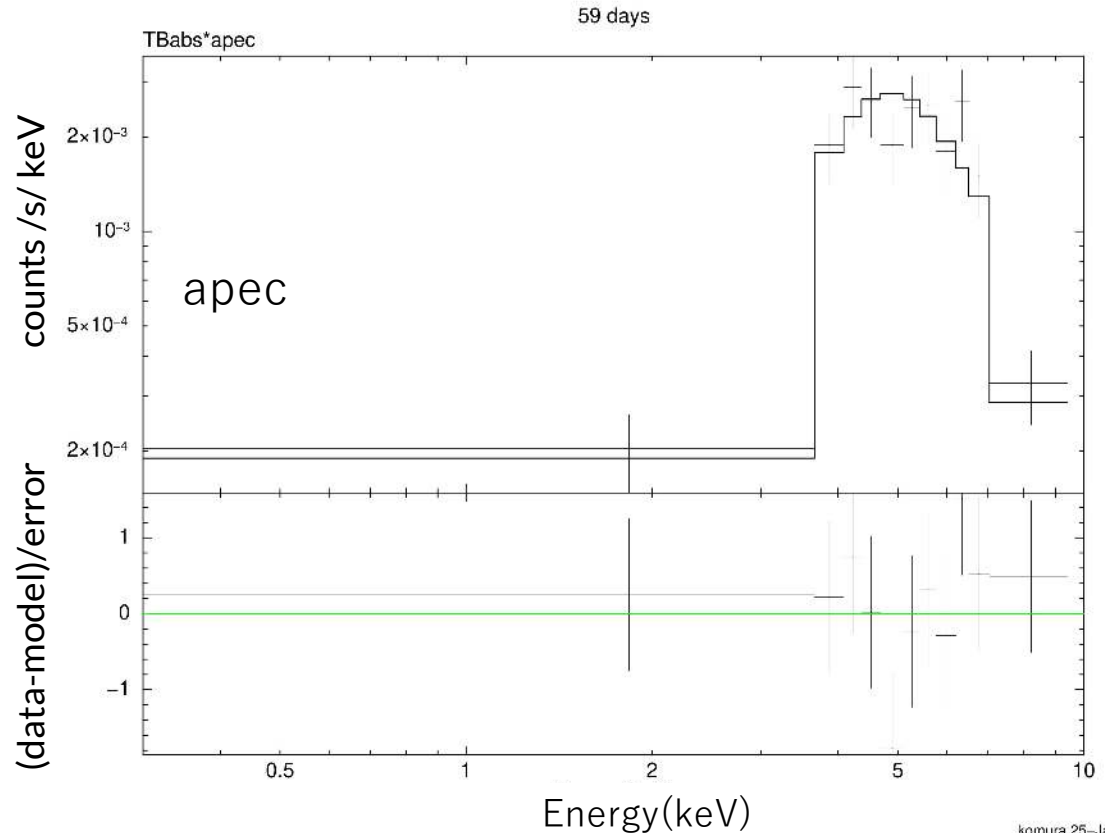
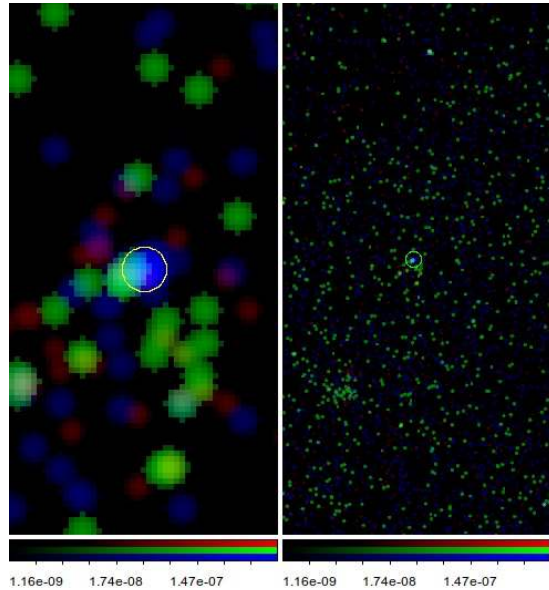


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2010/12/07



### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発：2010/10/09 (Fransson et al. 2014)

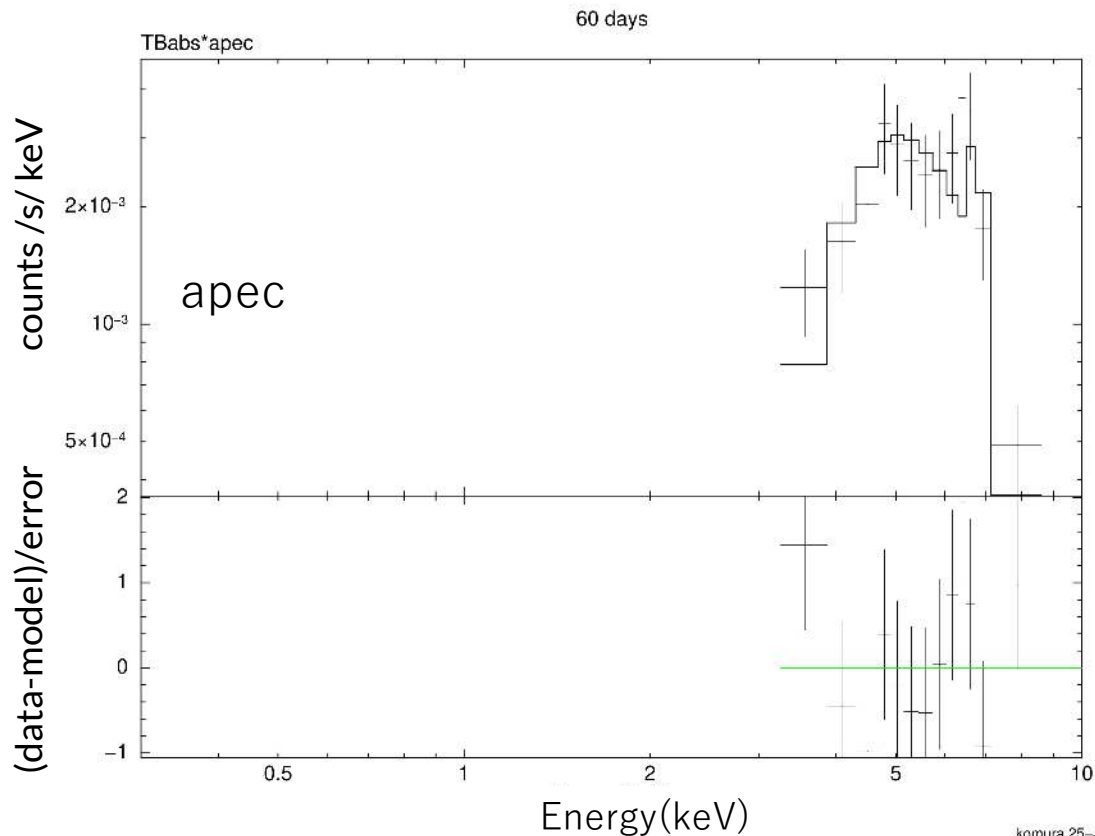
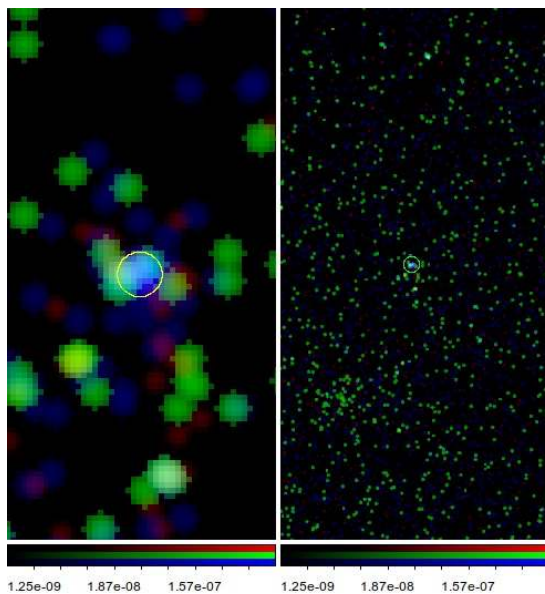
銀河：UGC5189A (49Mpc)

Type：IIn redshift：0.010697

RA：09:42:53.33 Dec：+09:29:41.8

source：1.7" bkg：6"

観測：2010/12/08





### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発：2010/10/09 (Fransson et al. 2014)

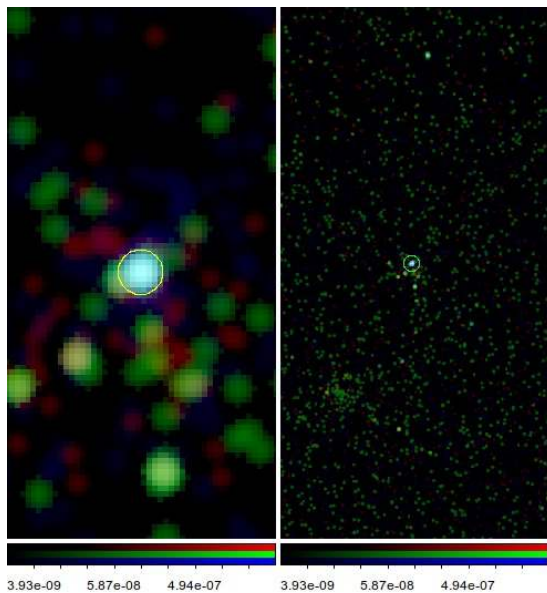
銀河：UGC5189A (49Mpc)

Type：IIn redshift：0.010697

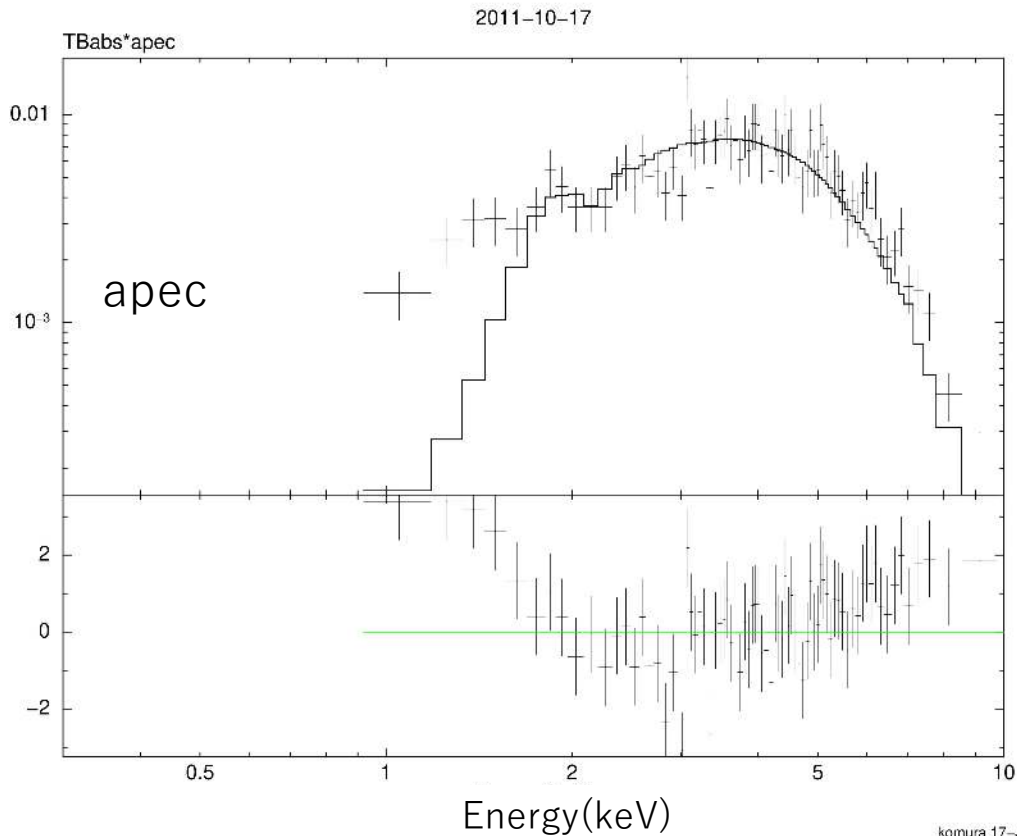
RA：09:42:53.33 Dec：+09:29:41.8

source：1.7" bkg：6"

観測：2011/10/17



counts / s / keV  
(data-model)/error

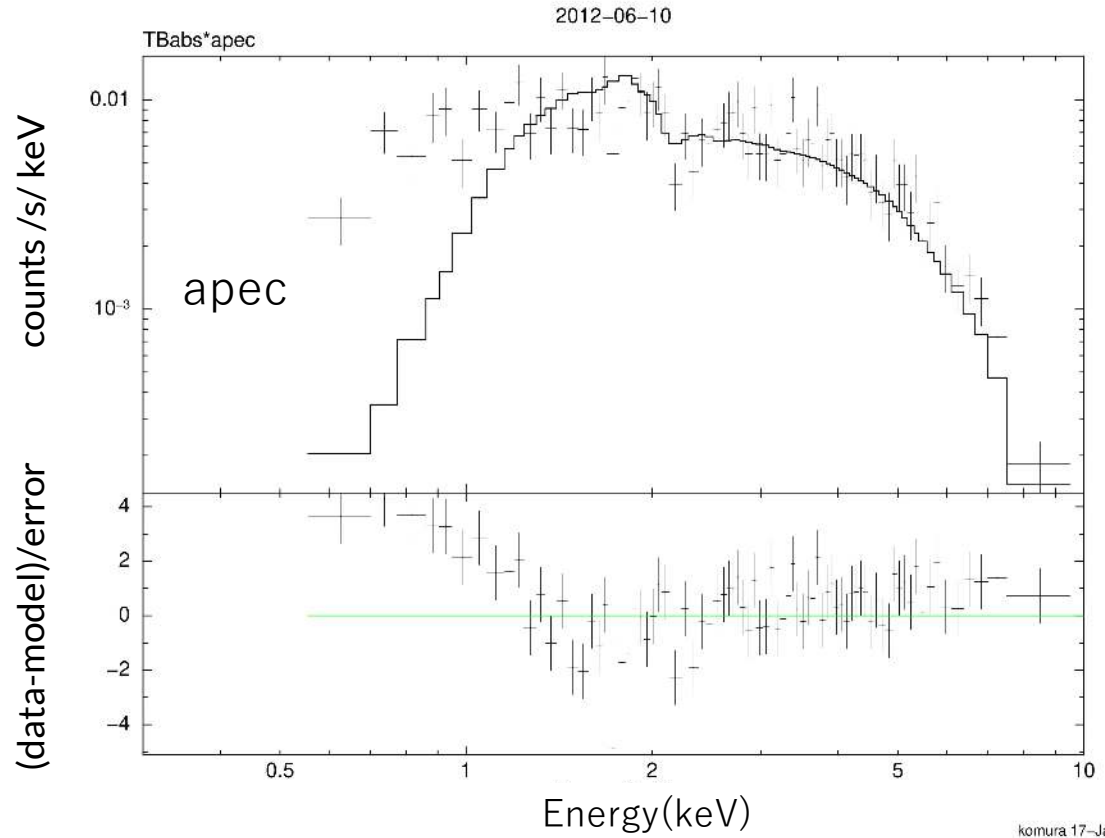
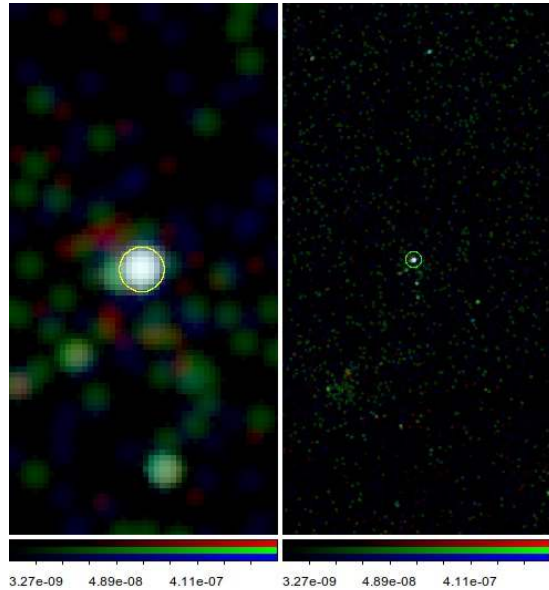


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2012/06/10



### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発：2010/10/09 (Fransson et al. 2014)

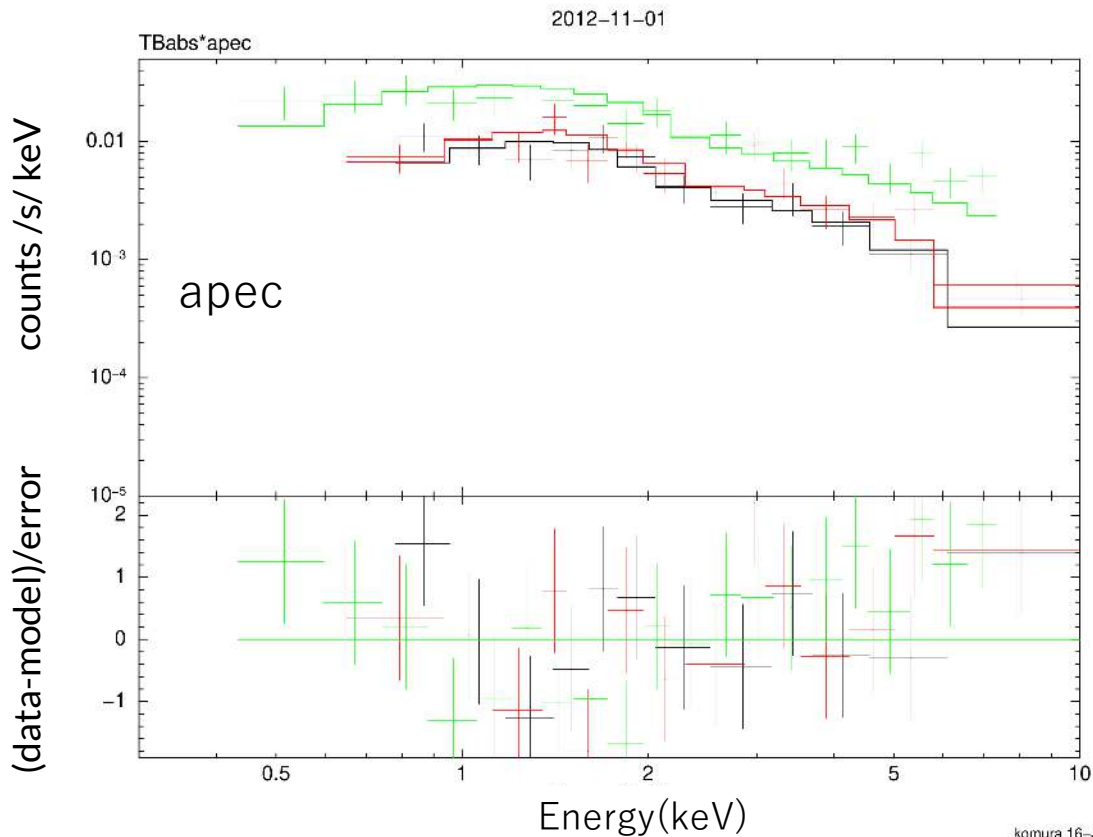
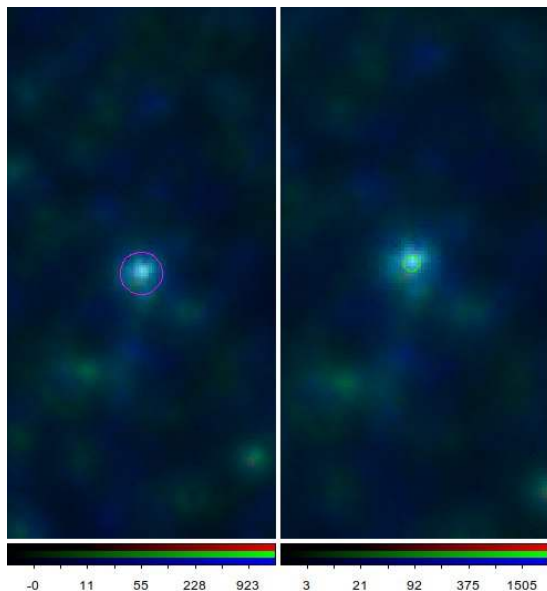
銀河：UGC5189A (49Mpc)

Type：IIn redshift：0.010697

RA：09:42:53.33 Dec：+09:29:41.8

source：1.7" bkg：6"

観測：2012/11/01

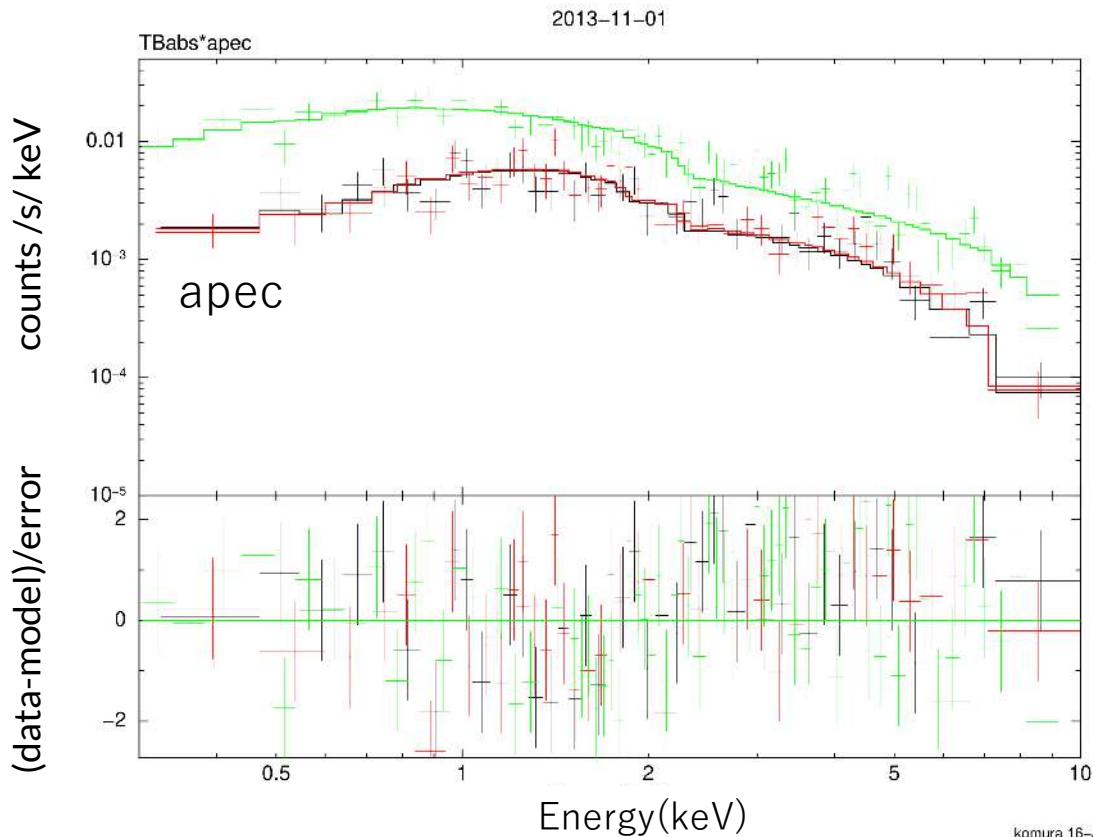
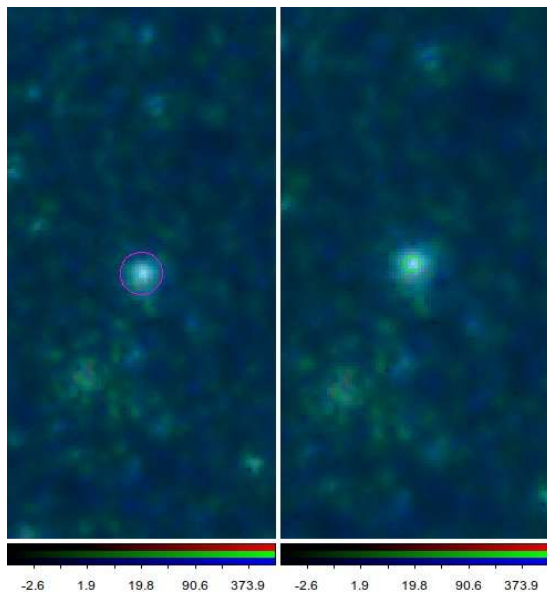


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2013/11/01



### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)

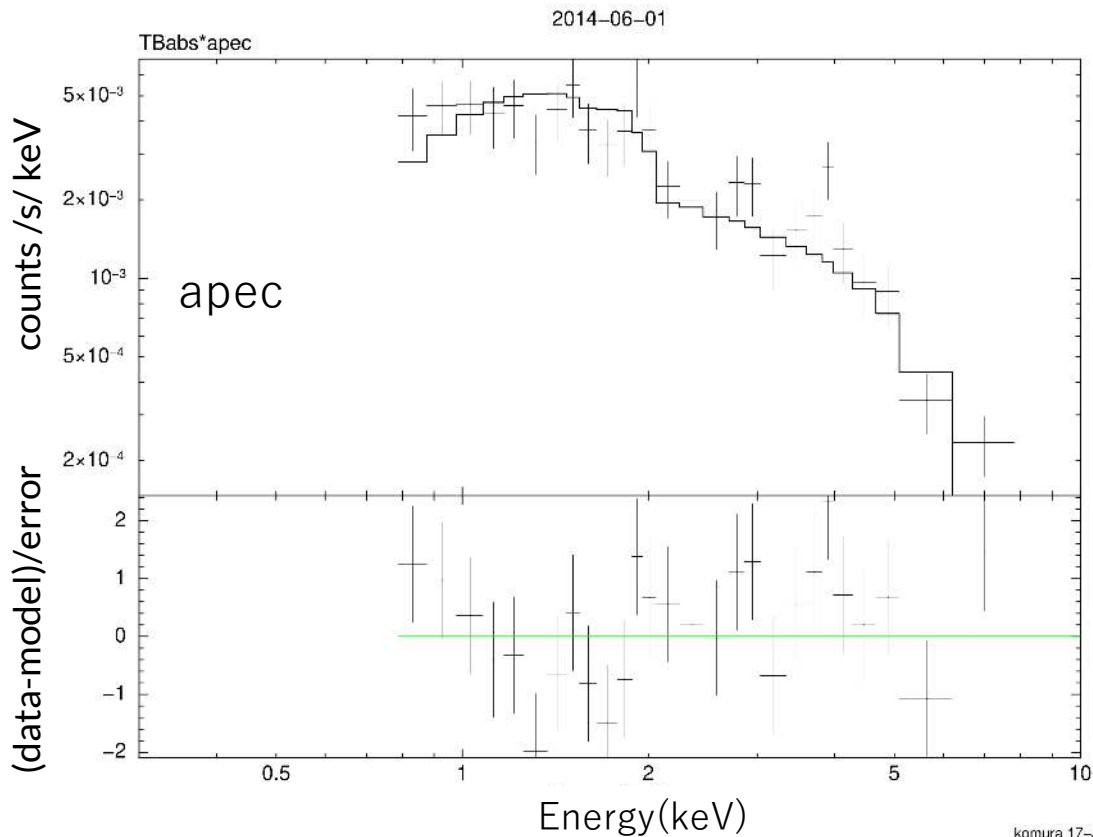
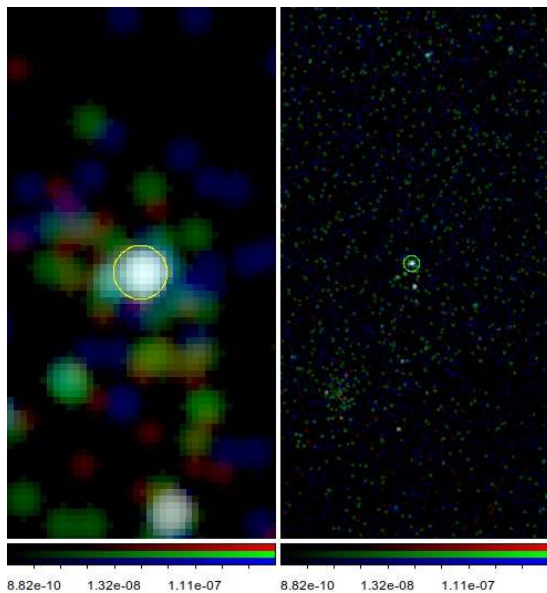
銀河 : UGC5189A (49Mpc)

Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697

RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8

source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2014/06/01

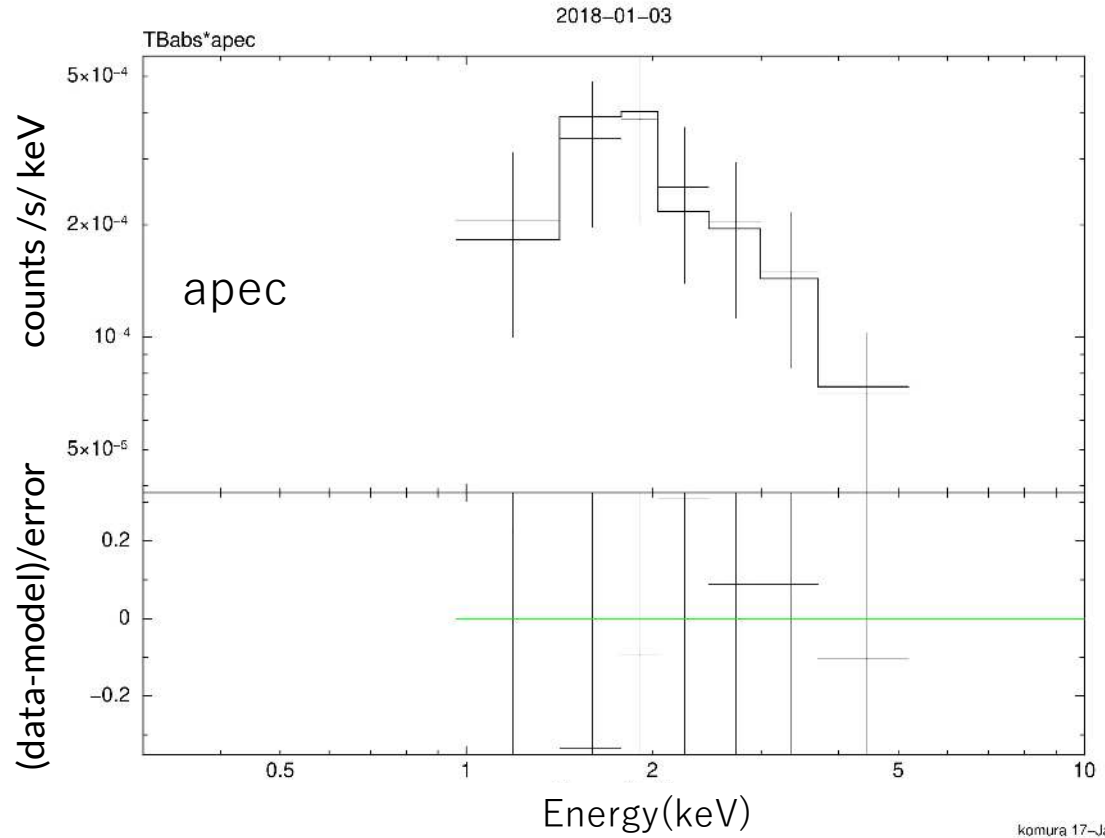
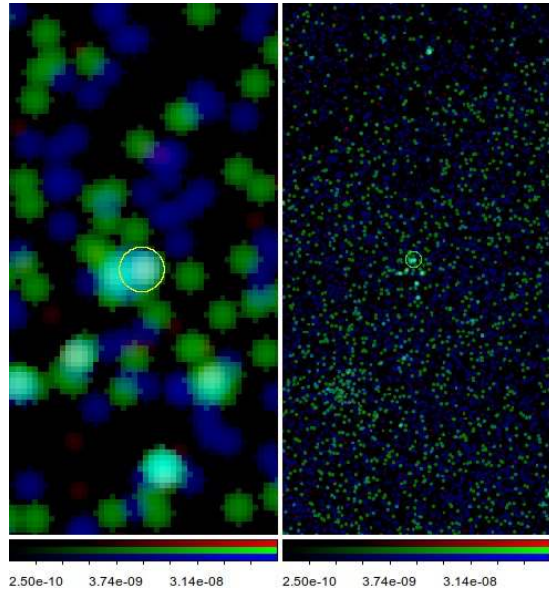


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : IIn redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2018/01/03

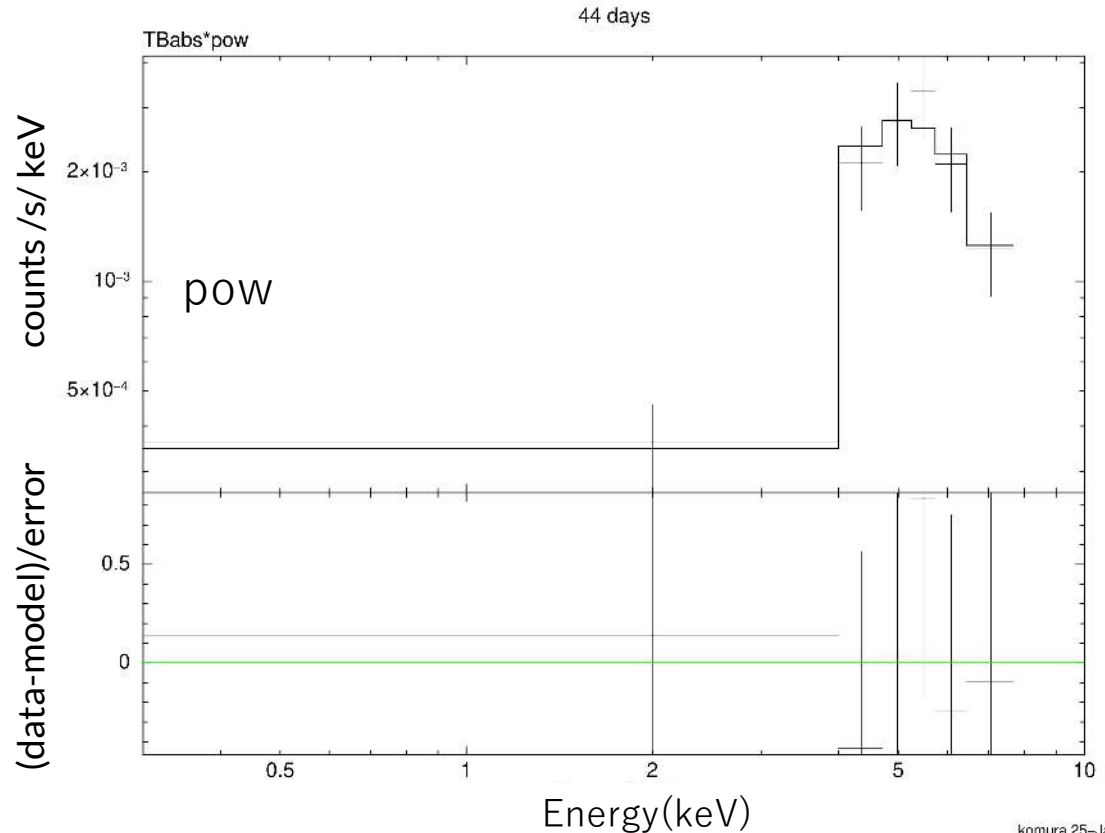
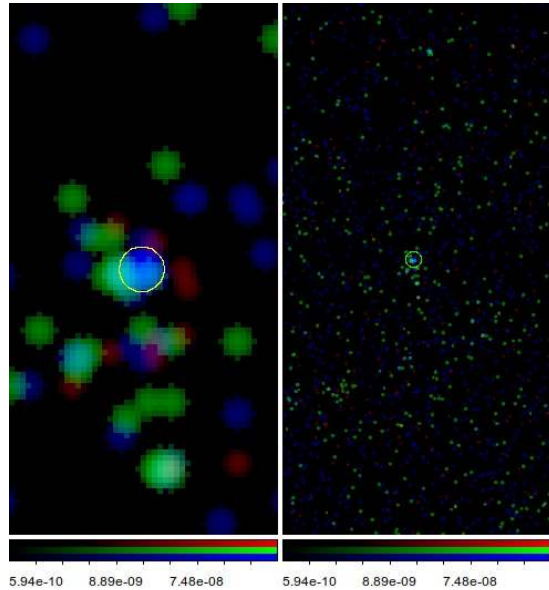


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2010/11/22

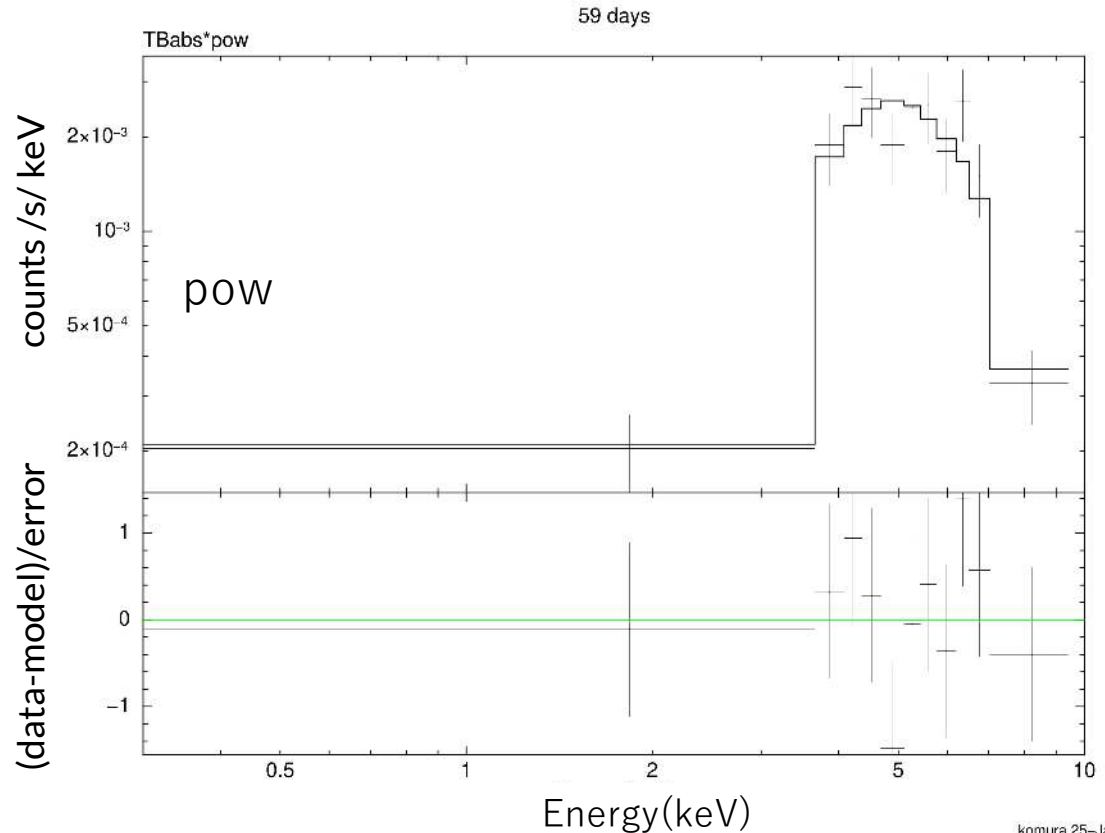
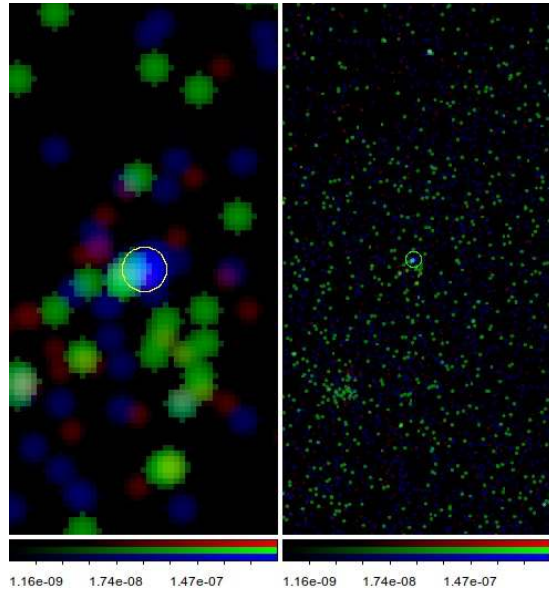


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2010/12/07



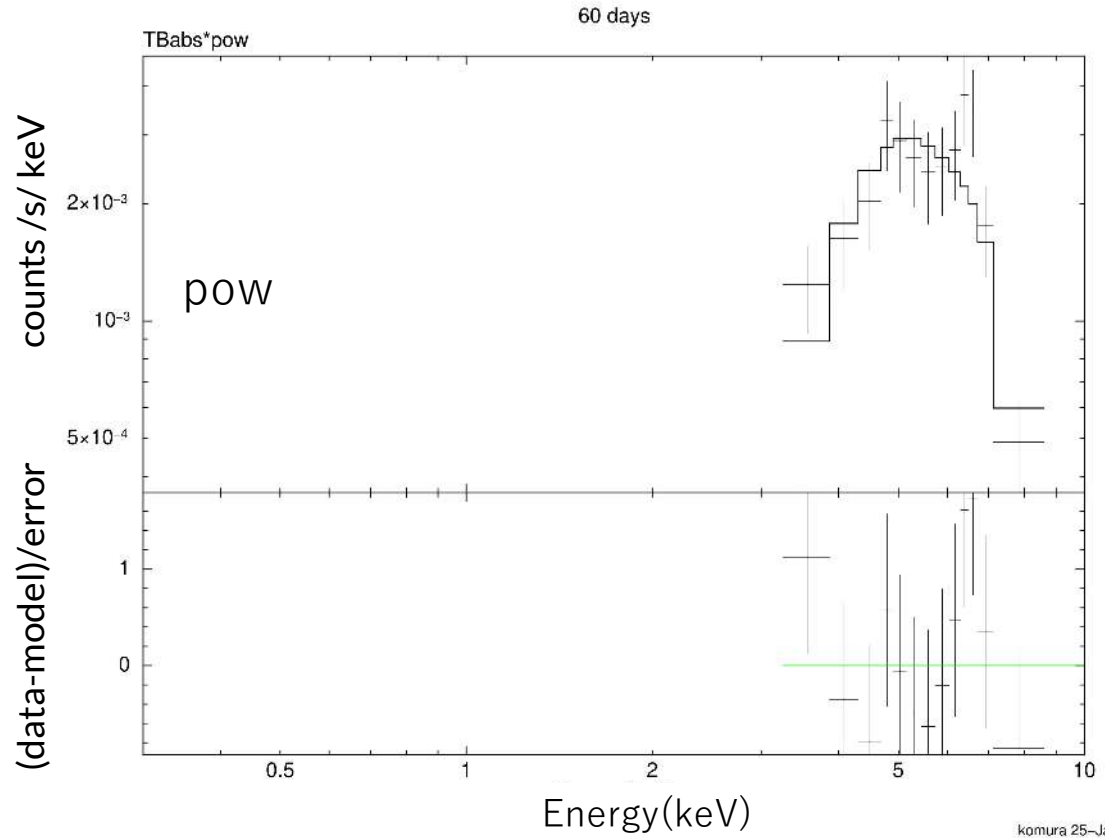
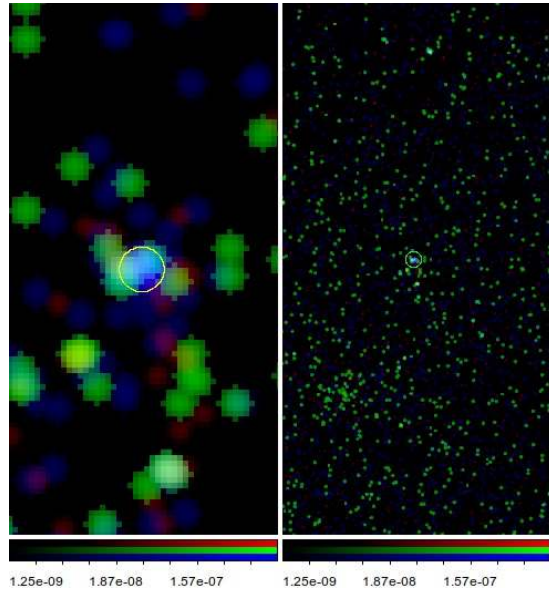


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : IIn redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2010/12/08

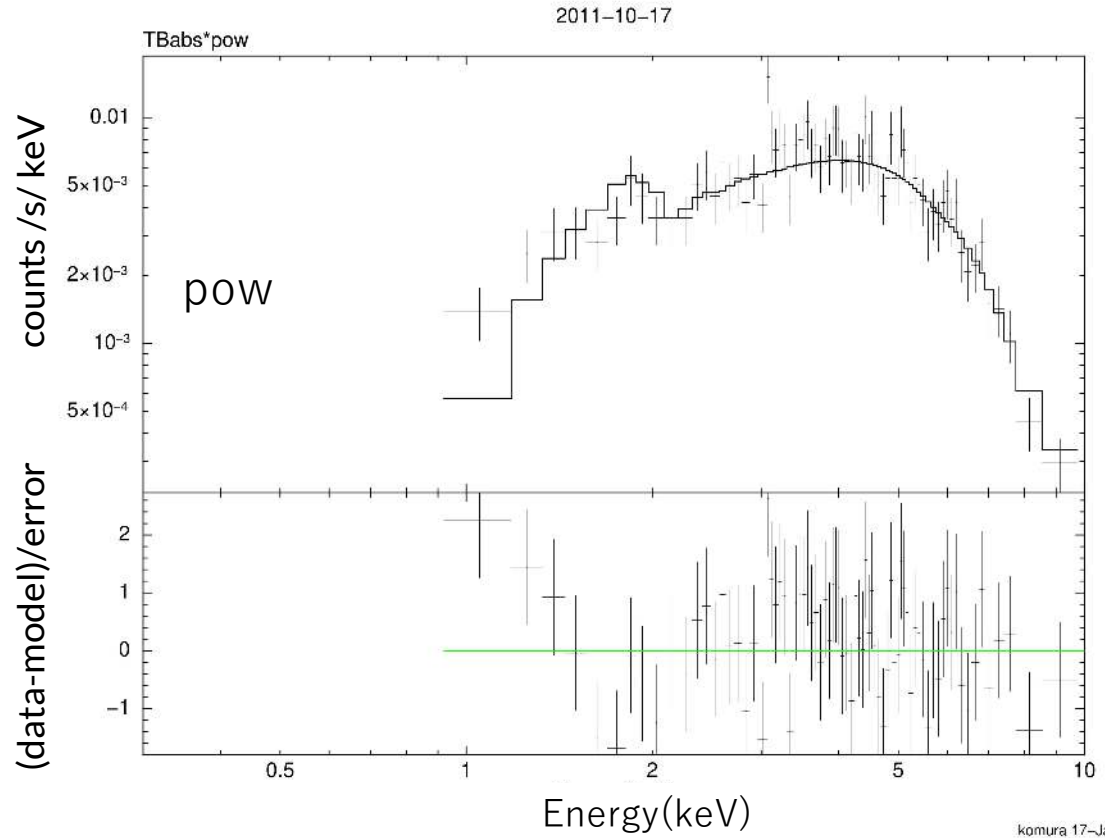
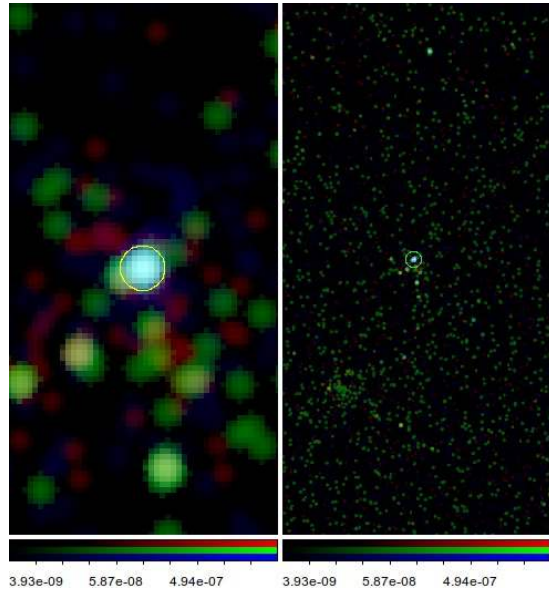


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2011/10/17

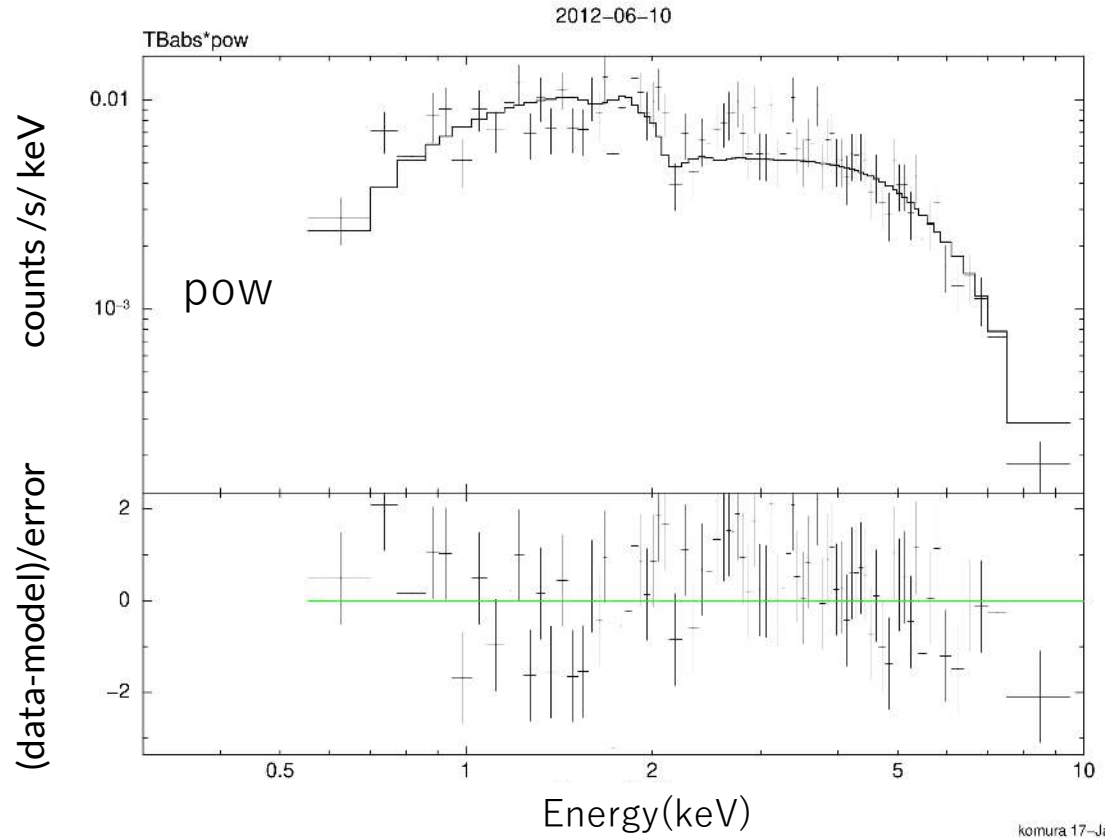
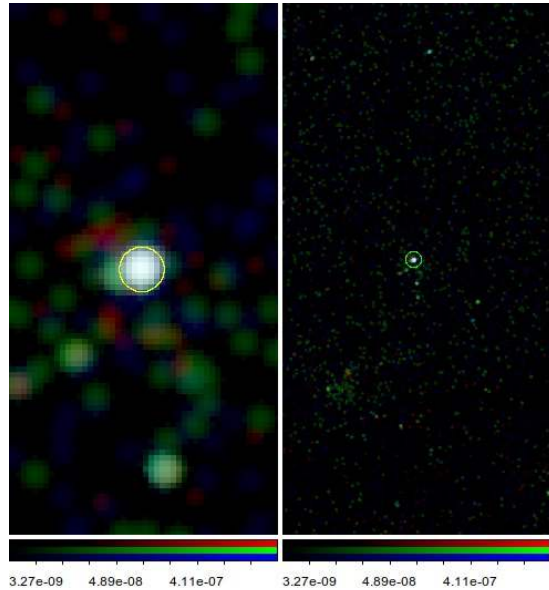


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2012/06/10

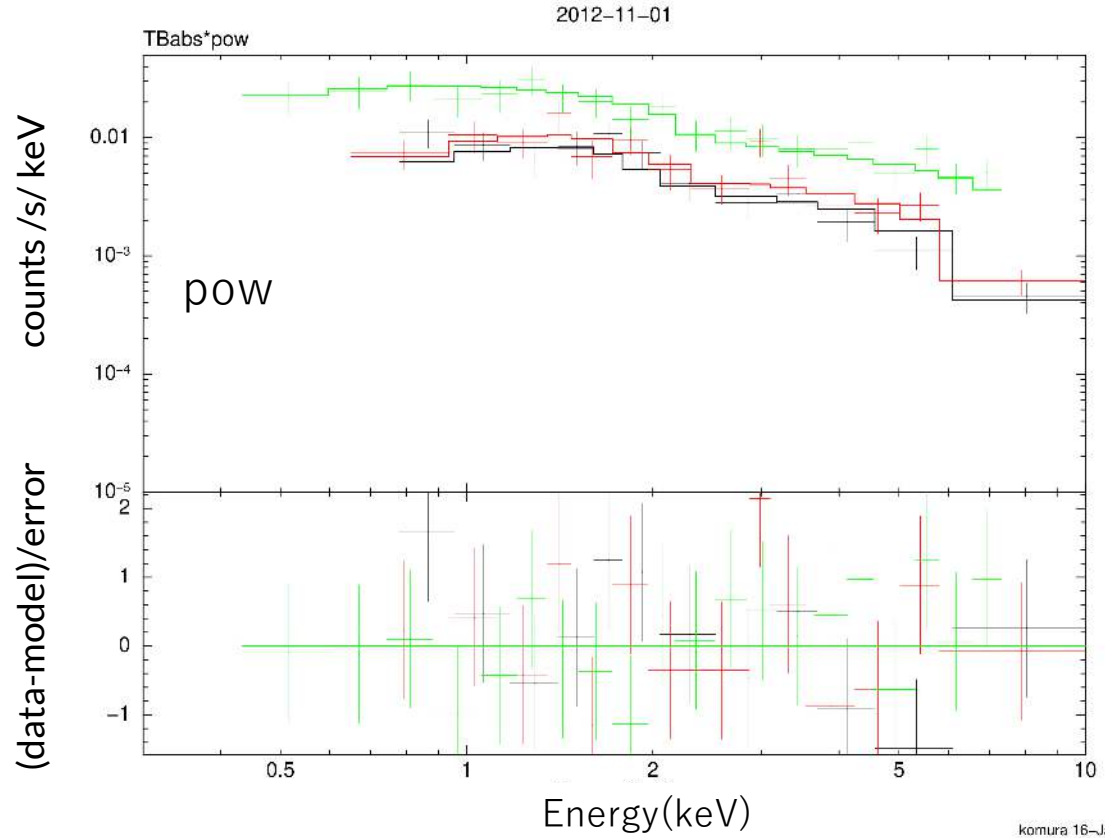
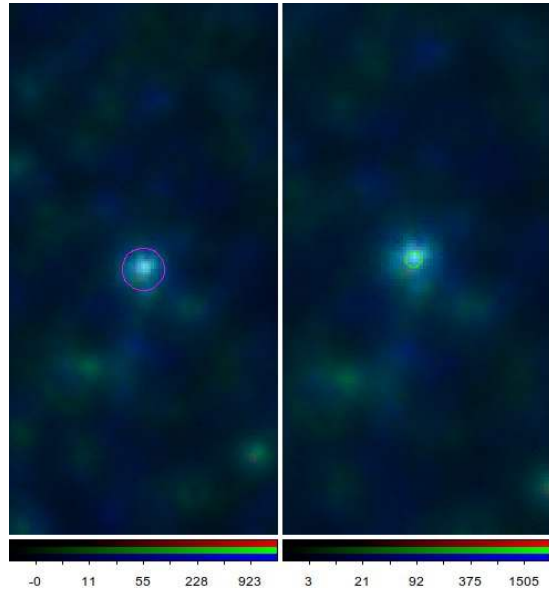


### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)  
銀河 : UGC5189A (49Mpc)  
Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697  
RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8  
source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2012/11/01



### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)

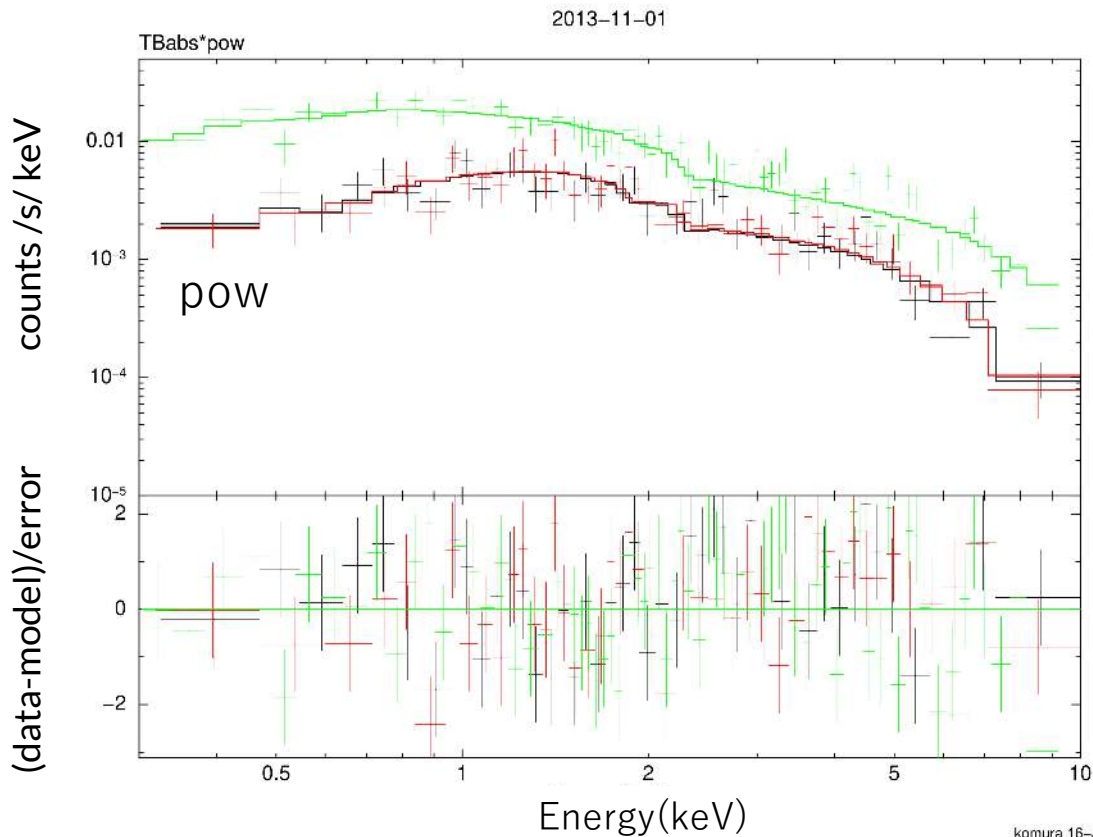
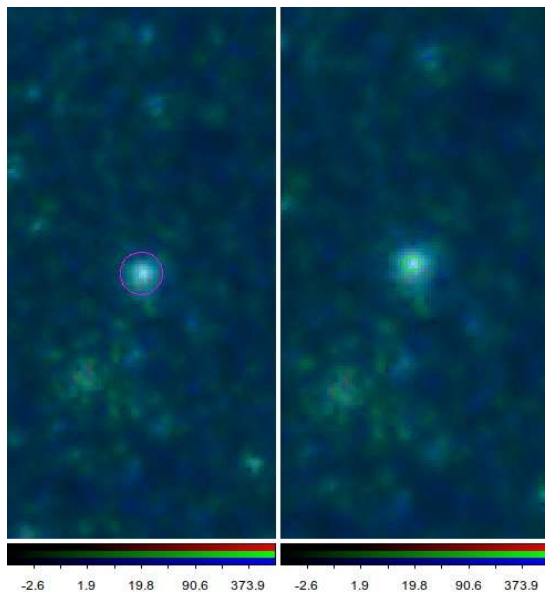
銀河 : UGC5189A (49Mpc)

Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697

RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8

source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2013/11/01



### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)

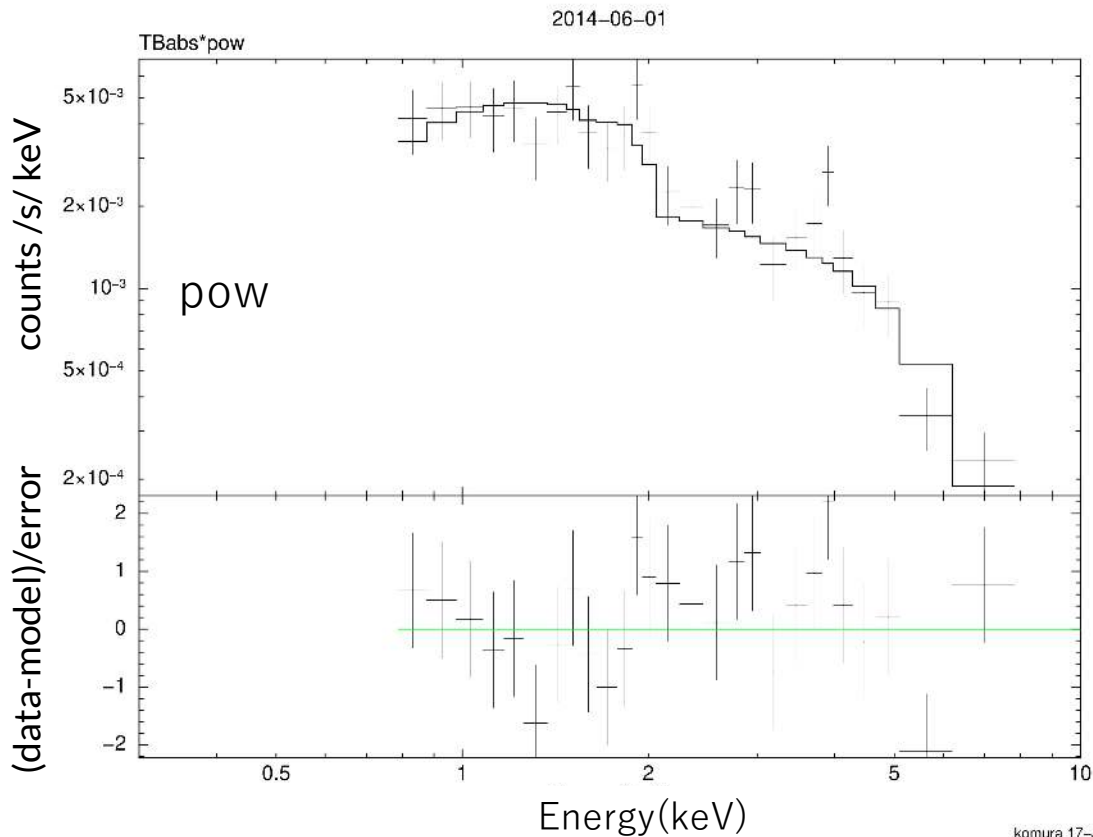
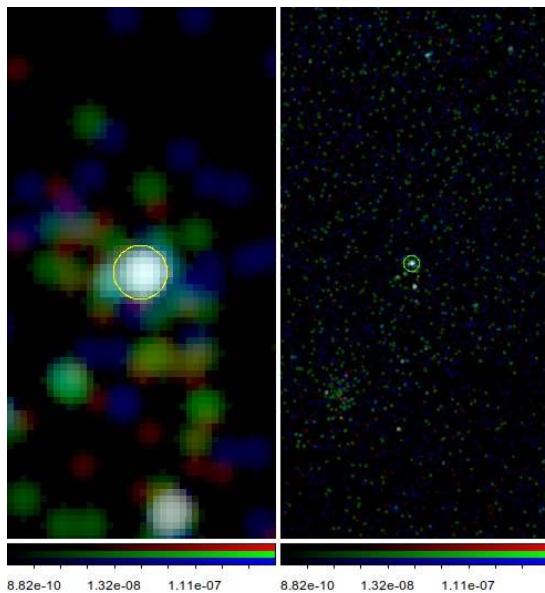
銀河 : UGC5189A (49Mpc)

Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697

RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8

source : 1.7" bkg : 6"

観測 : 2014/06/01



### 3.結果

## 例② SN2010jl

爆発：2010/10/09 (Fransson et al. 2014)

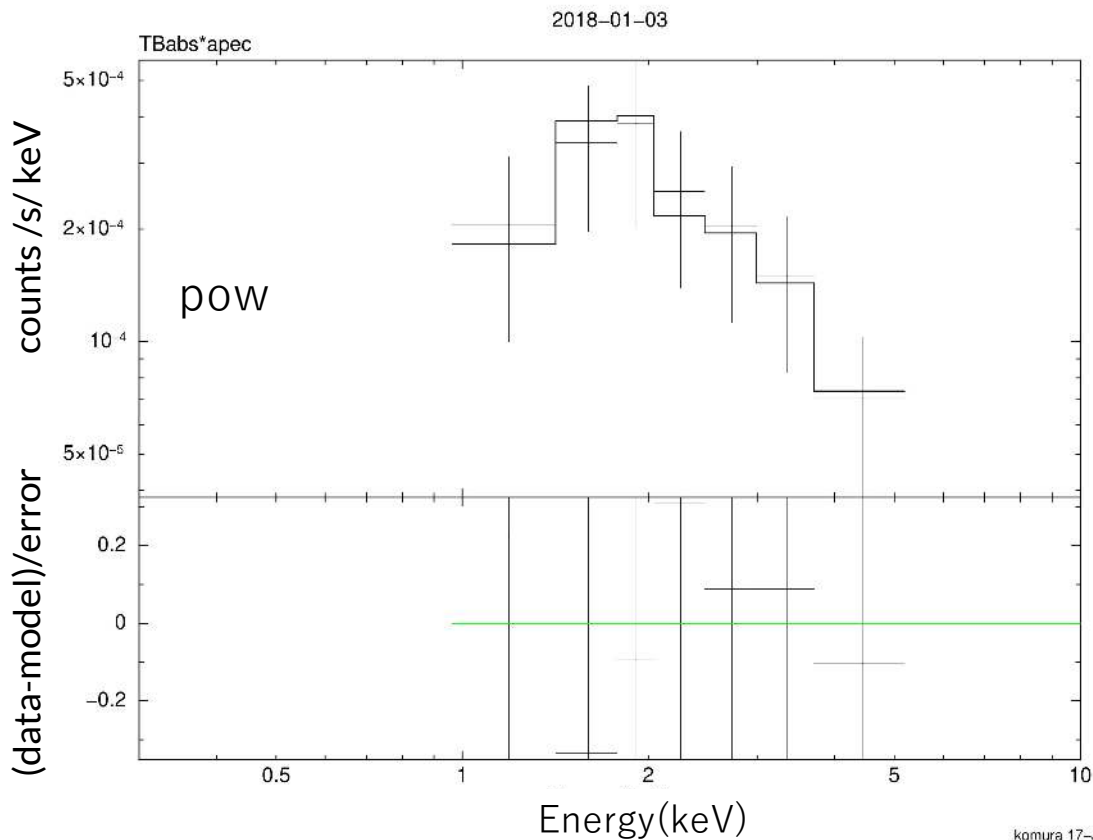
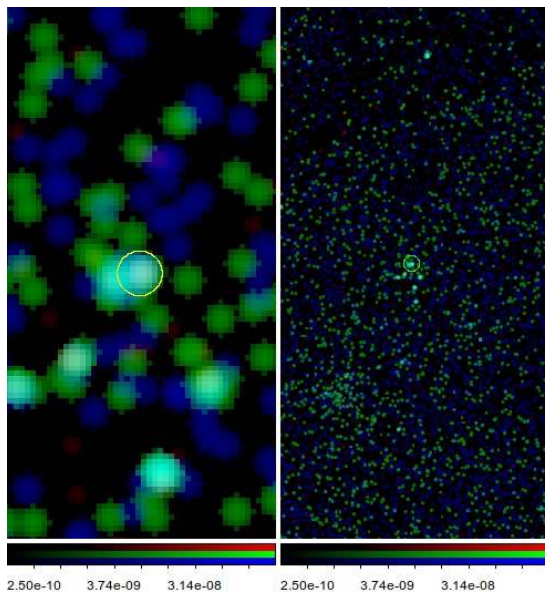
銀河：UGC5189A (49Mpc)

Type：IIn redshift：0.010697

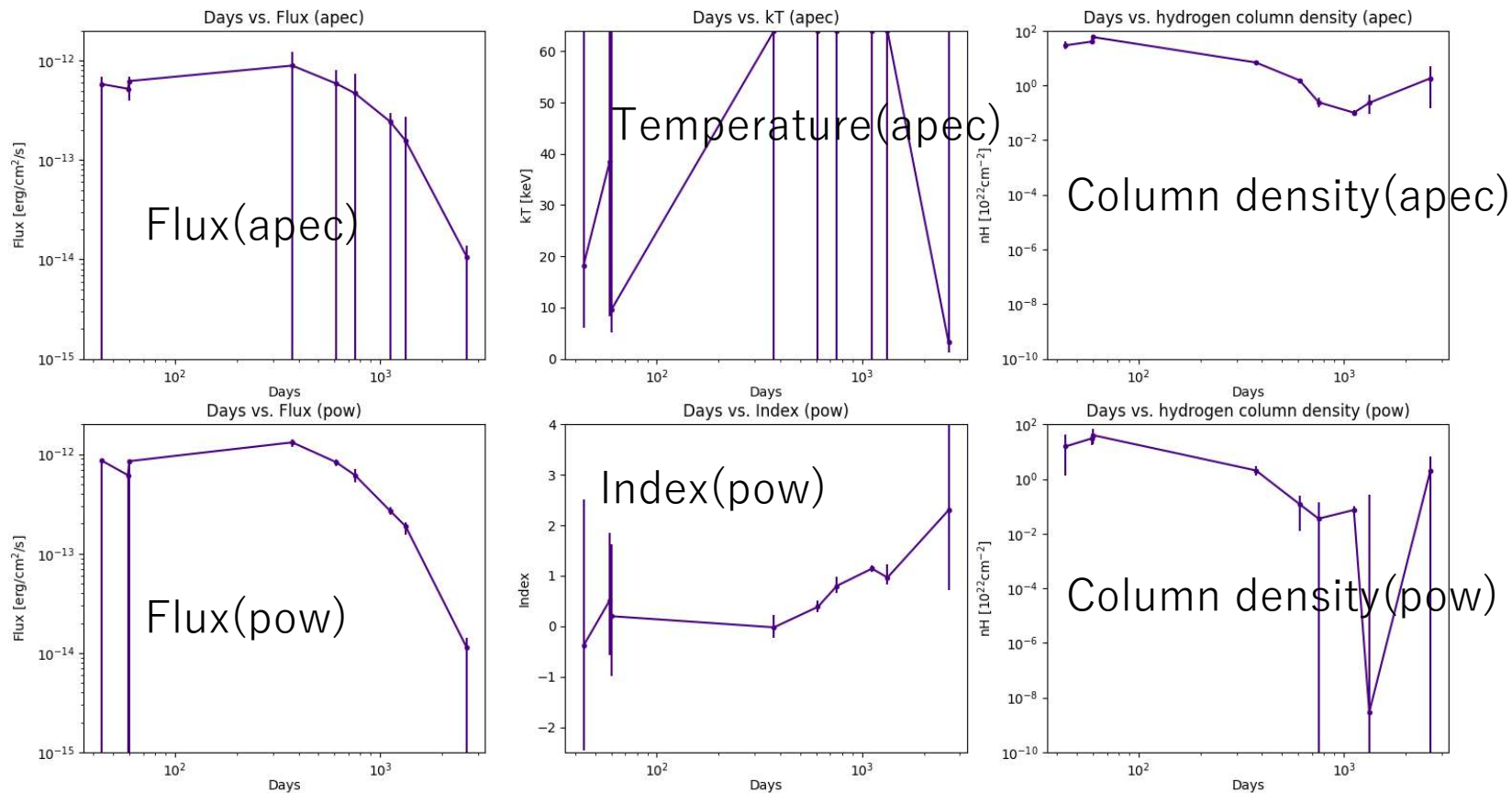
RA：09:42:53.33 Dec：+09:29:41.8

source：1.7" bkg：6"

観測：2018/01/03



## 例② SN2010jl 各パラメータの時間変化 (横軸対数)





### 3.結果

## 例② SN2010jl

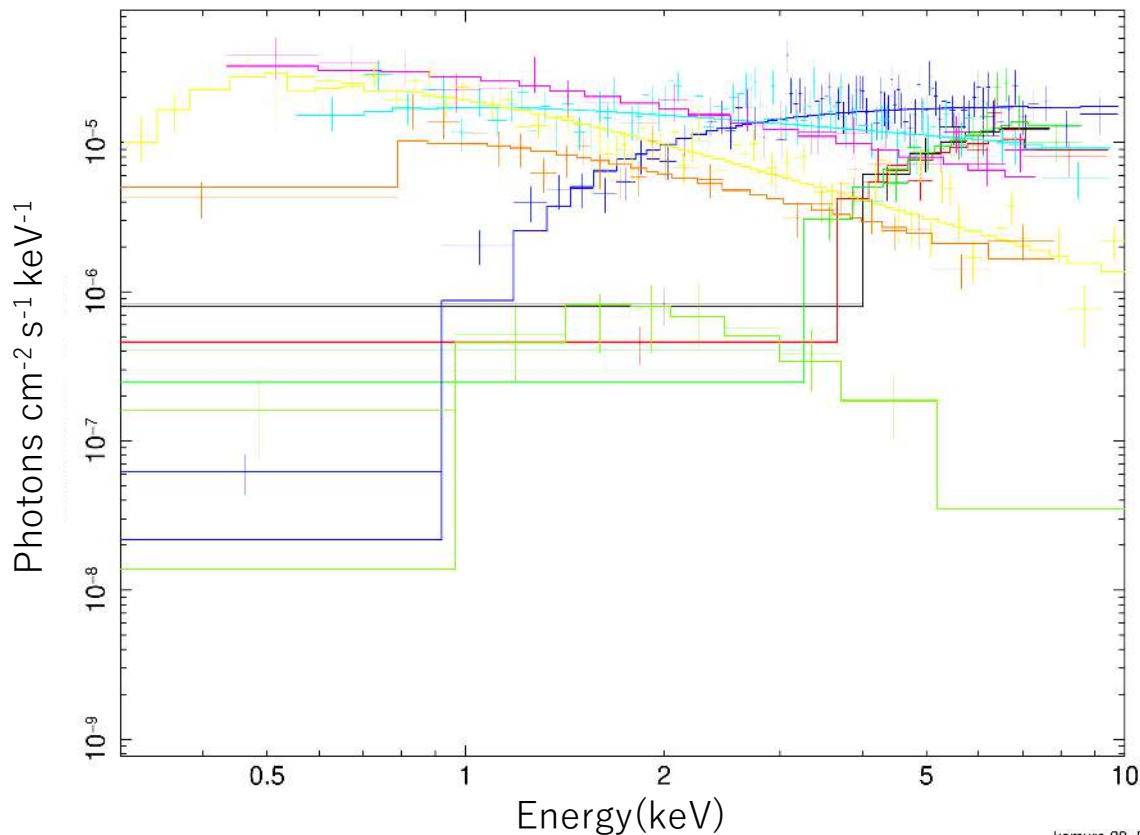
爆発 : 2010/10/09 (Fransson et al. 2014)

銀河 : UGC5189A (49Mpc)

Type : II<sub>n</sub> redshift : 0.010697

RA : 09:42:53.33 Dec : +09:29:41.8

source : 1.7" bkg : 6"



44日後

59日後

60日後

373日後

610日後

754日後

1119日後

1331日後

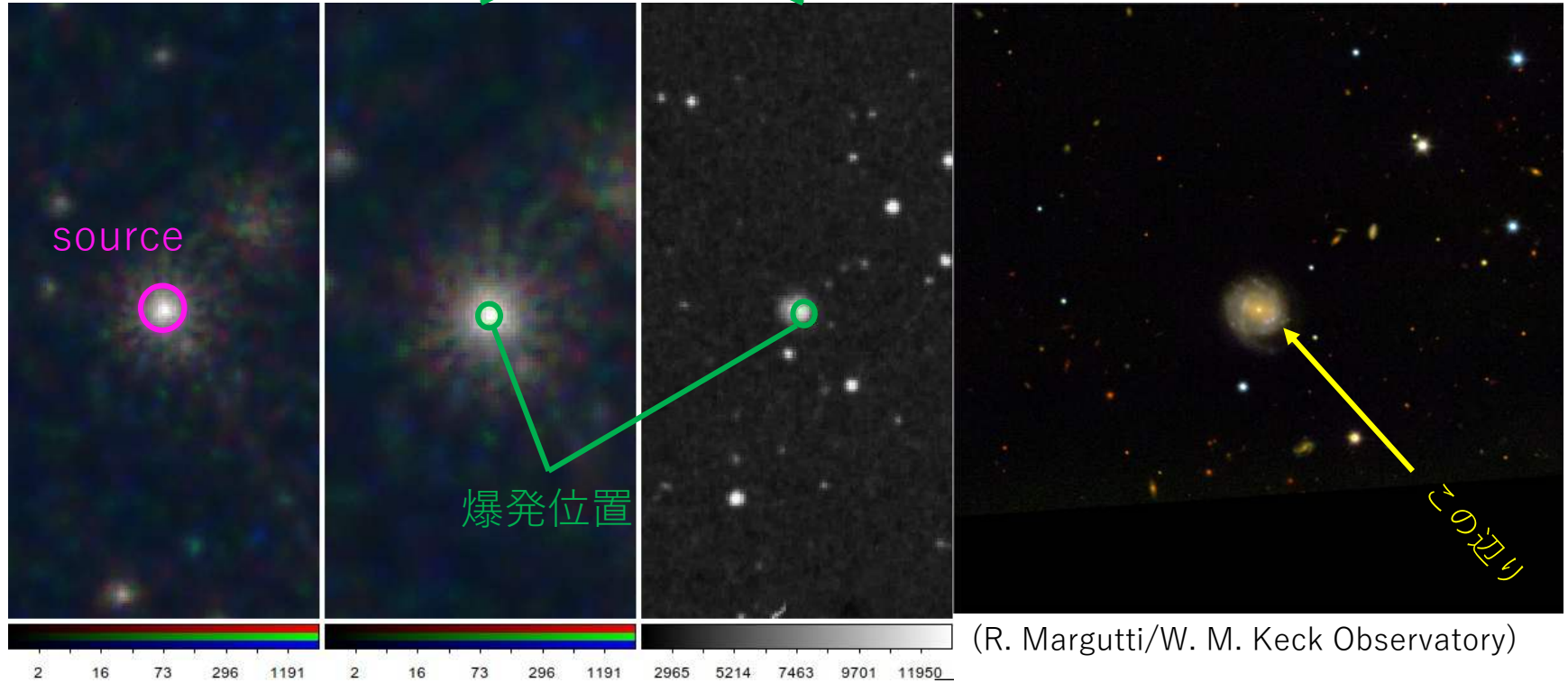
2643日後

### 3.結果

## 例③ SN2018cow

同じ縮尺

爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)  
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)  
Type：FBOT redshift：0.014  
RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83  
Source：20" Bkg：30"



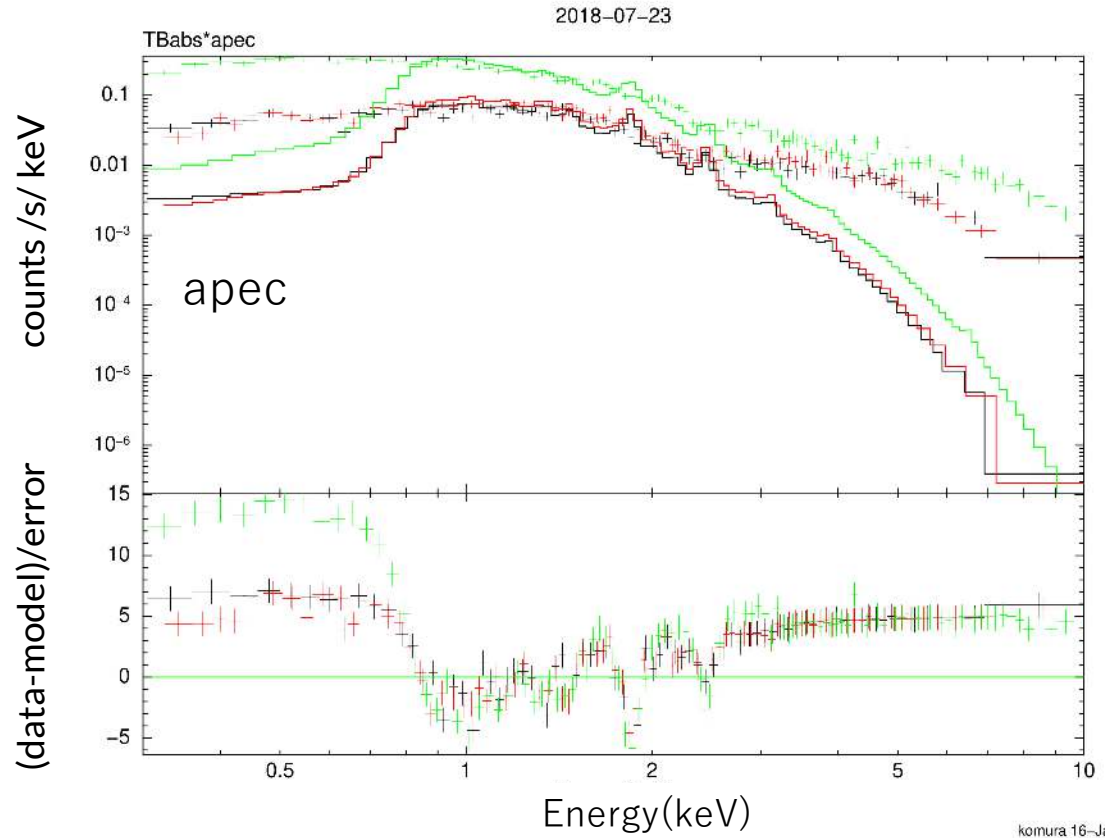
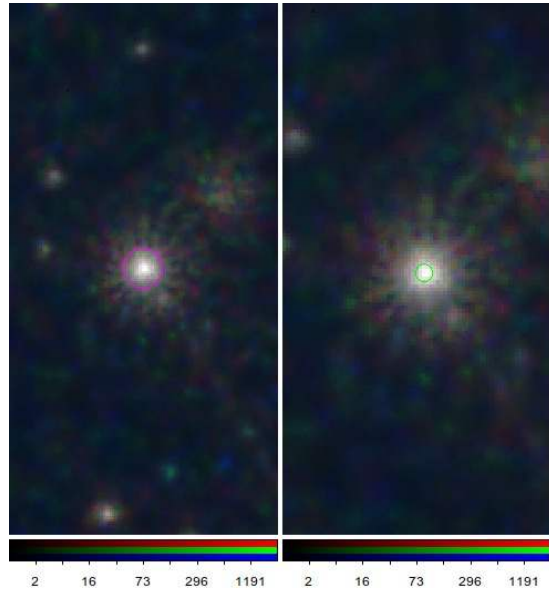
(R. Margutti/W. M. Keck Observatory)

### 3.結果

## 例③ SN2018cow

爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)  
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)  
Type：FBOT redshift：0.014  
RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83  
Source：20" Bkg：30"

観測：2018/07/23



### 3.結果

## 例③ SN2018cow

爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)

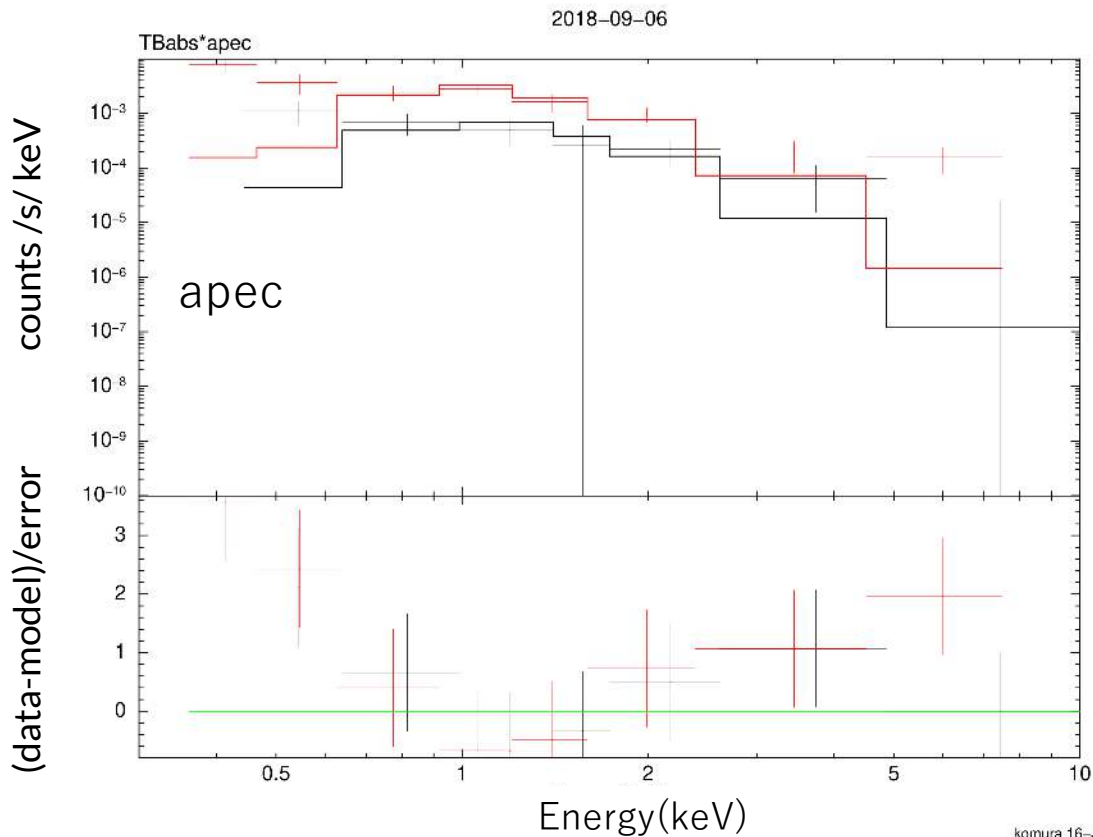
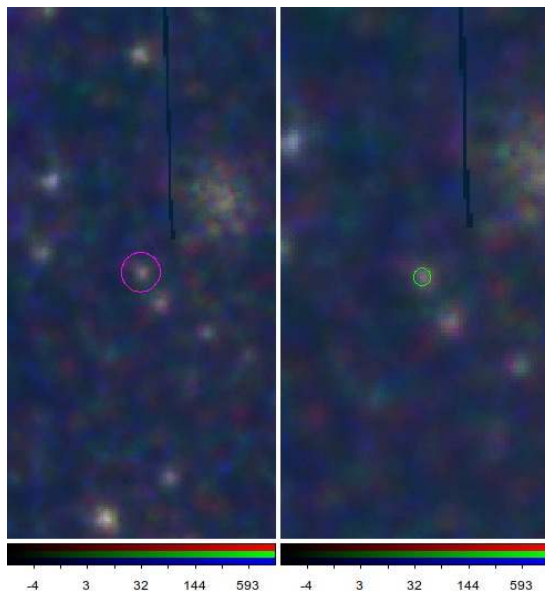
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)

Type：FBOT redshift：0.014

RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83

Source：20" Bkg：30"

観測：2018/09/06



### 3.結果

## 例③ SN2018cow

爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)

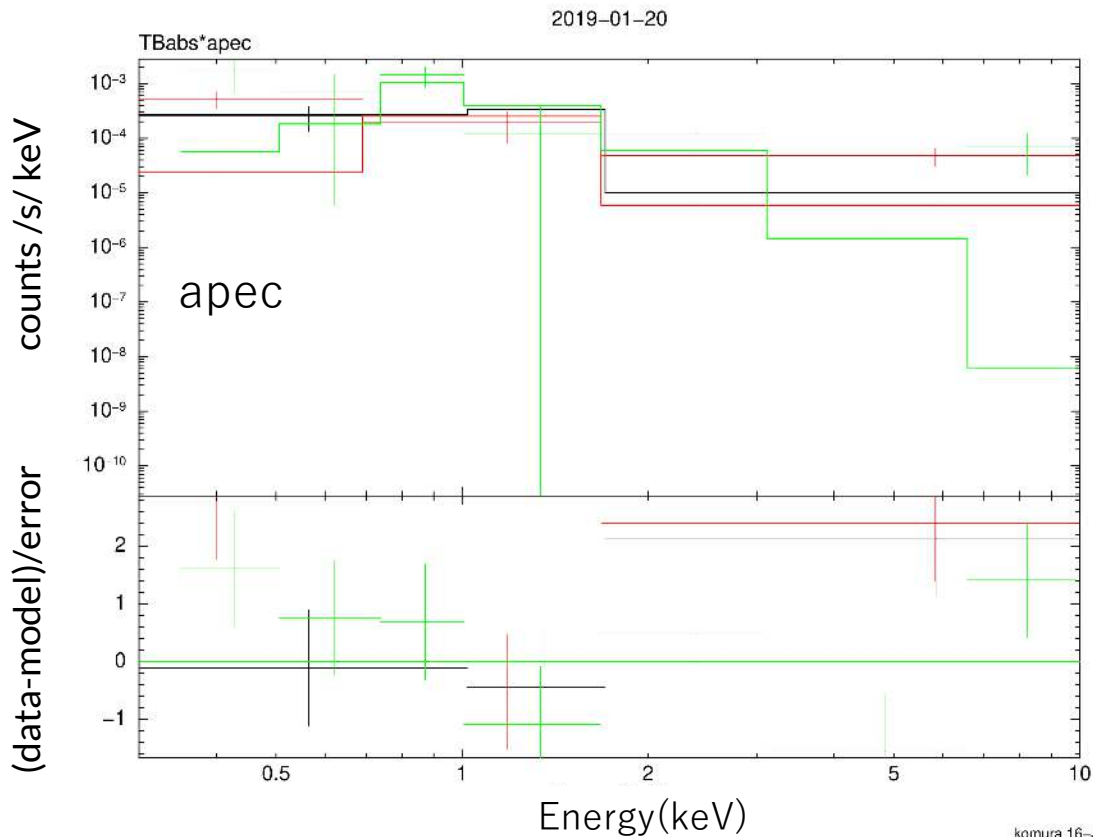
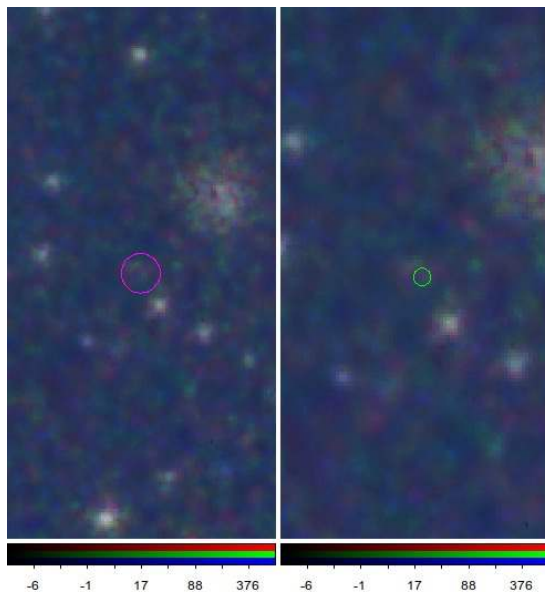
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)

Type：FBOT redshift：0.014

RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83

Source：20" Bkg：30"

観測：2019/01/20



### 3.結果

## 例③ SN2018cow

爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)

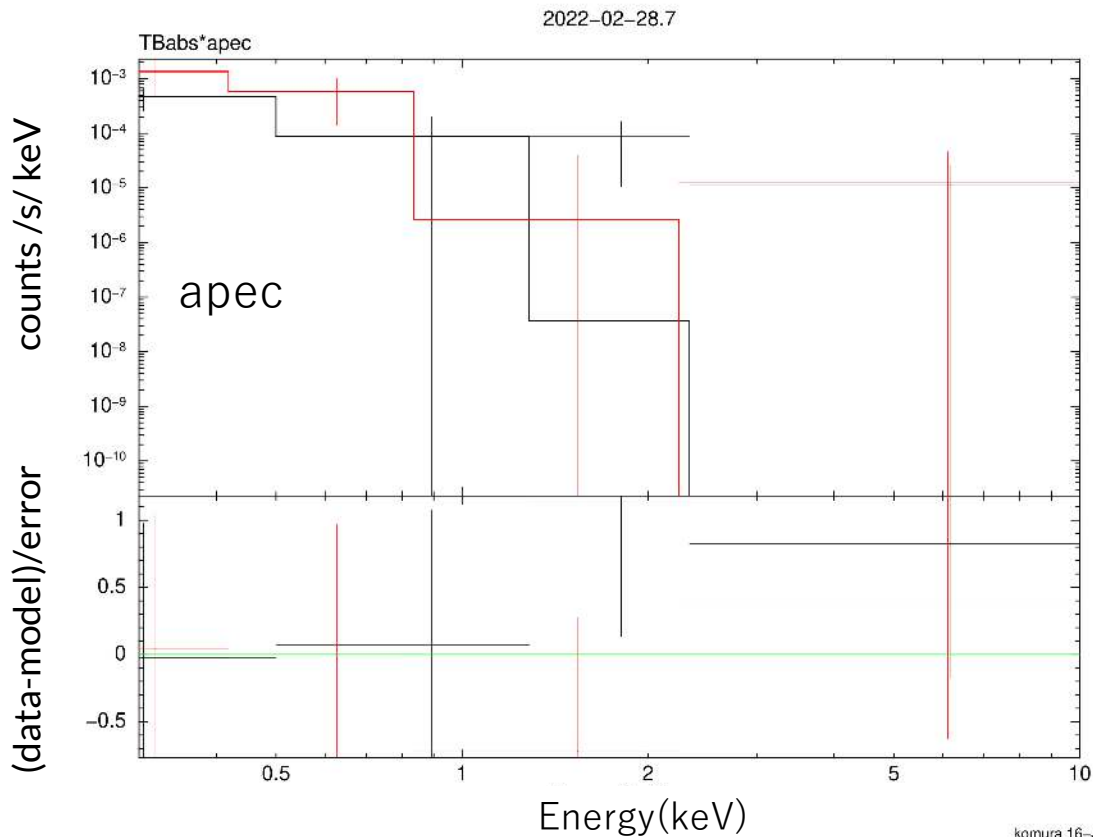
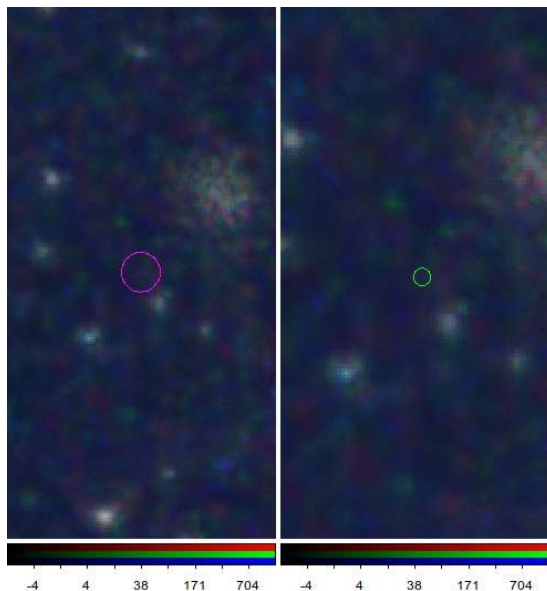
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)

Type：FBOT redshift：0.014

RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83

Source：20" Bkg：30"

観測：2022/02/24



### 3.結果

## 例③ SN2018cow

観測：2018/07/23



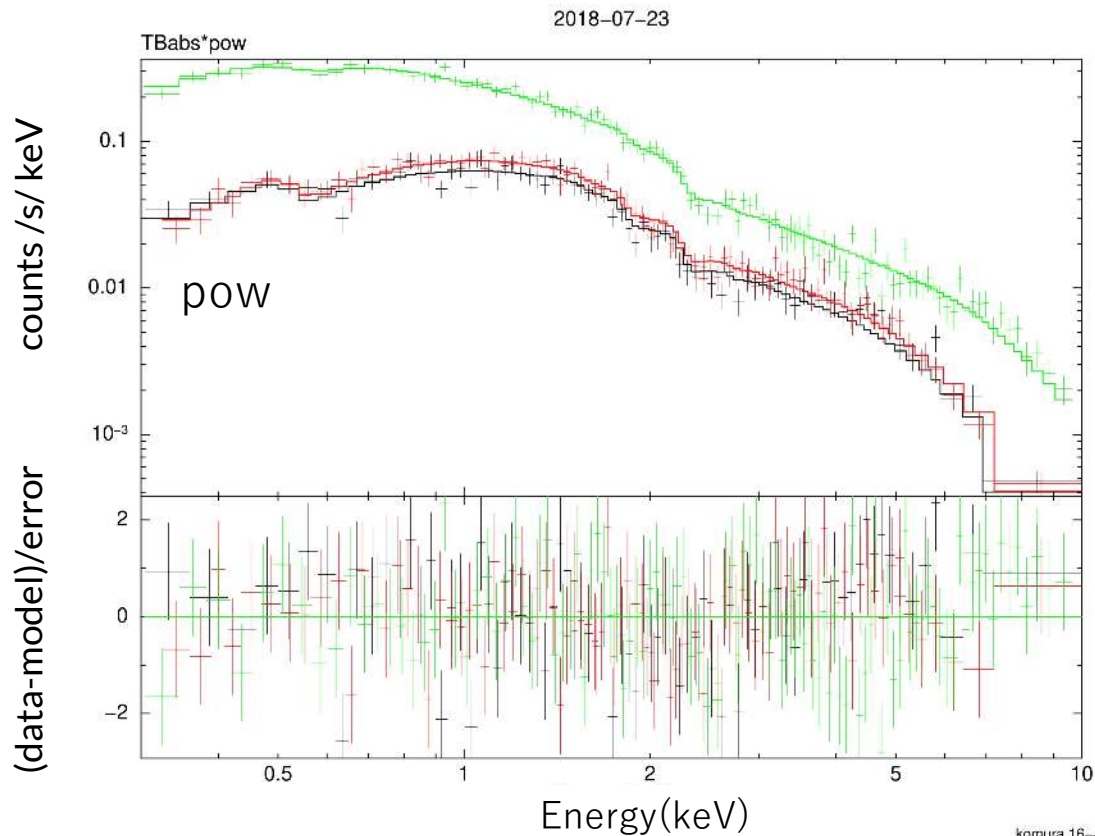
爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)

銀河：CGCG137-68 (60Mpc)

Type：FBOT redshift：0.014

RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83

Source：20" Bkg：30"



### 3.結果

## 例③ SN2018cow

爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)

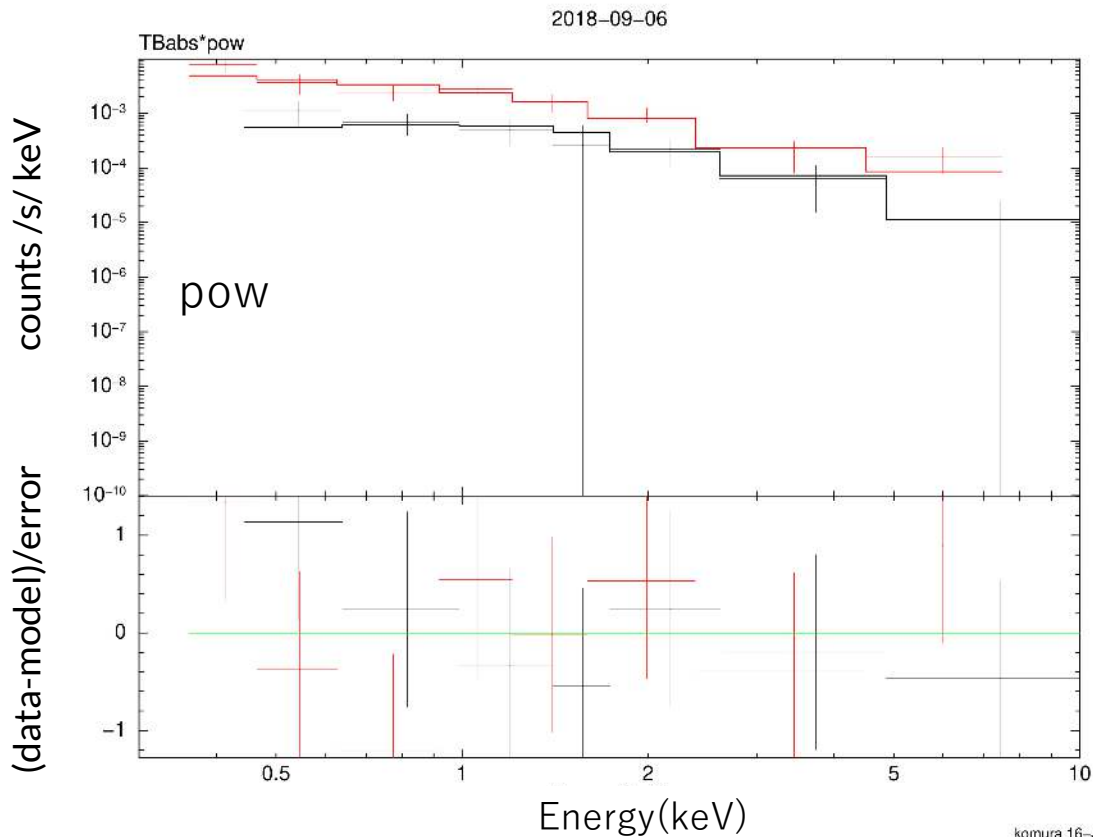
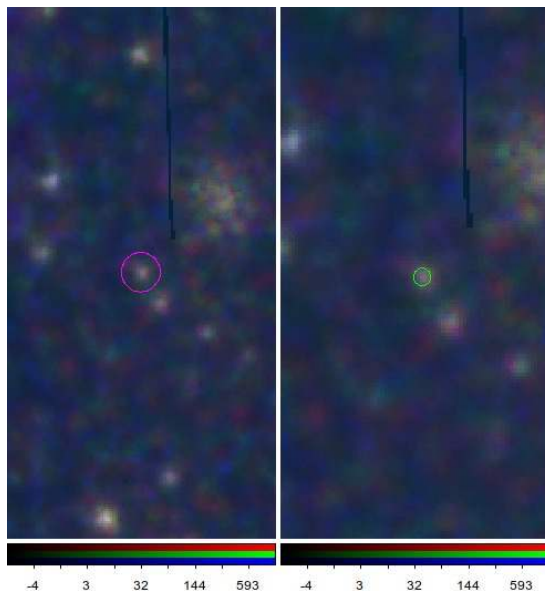
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)

Type：FBOT redshift：0.014

RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83

Source：20" Bkg：30"

観測：2018/09/06



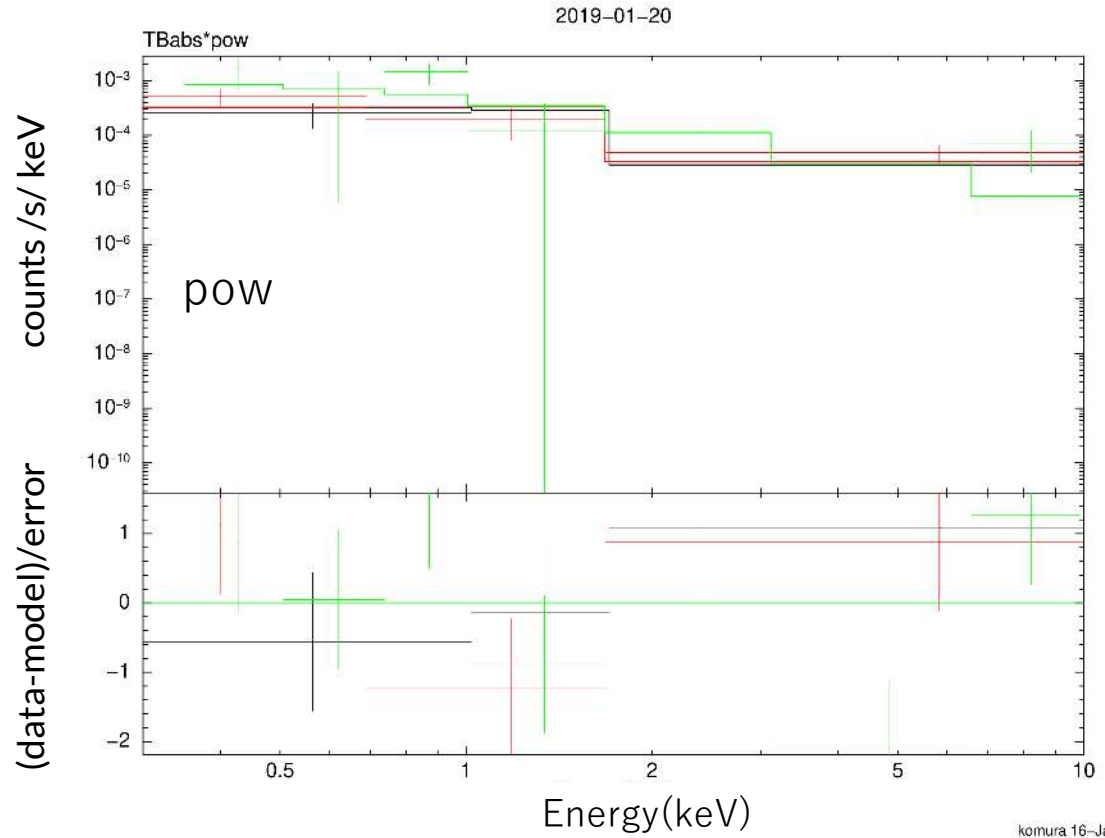
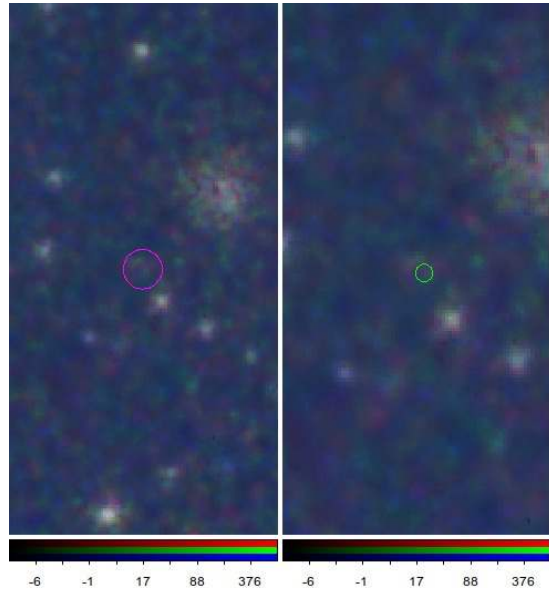


### 3.結果

## 例③ SN2018cow

爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)  
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)  
Type：FBOT redshift：0.014  
RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83  
Source：20" Bkg：30"

観測：2019/01/20



### 3.結果

## 例③ SN2018cow

爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)

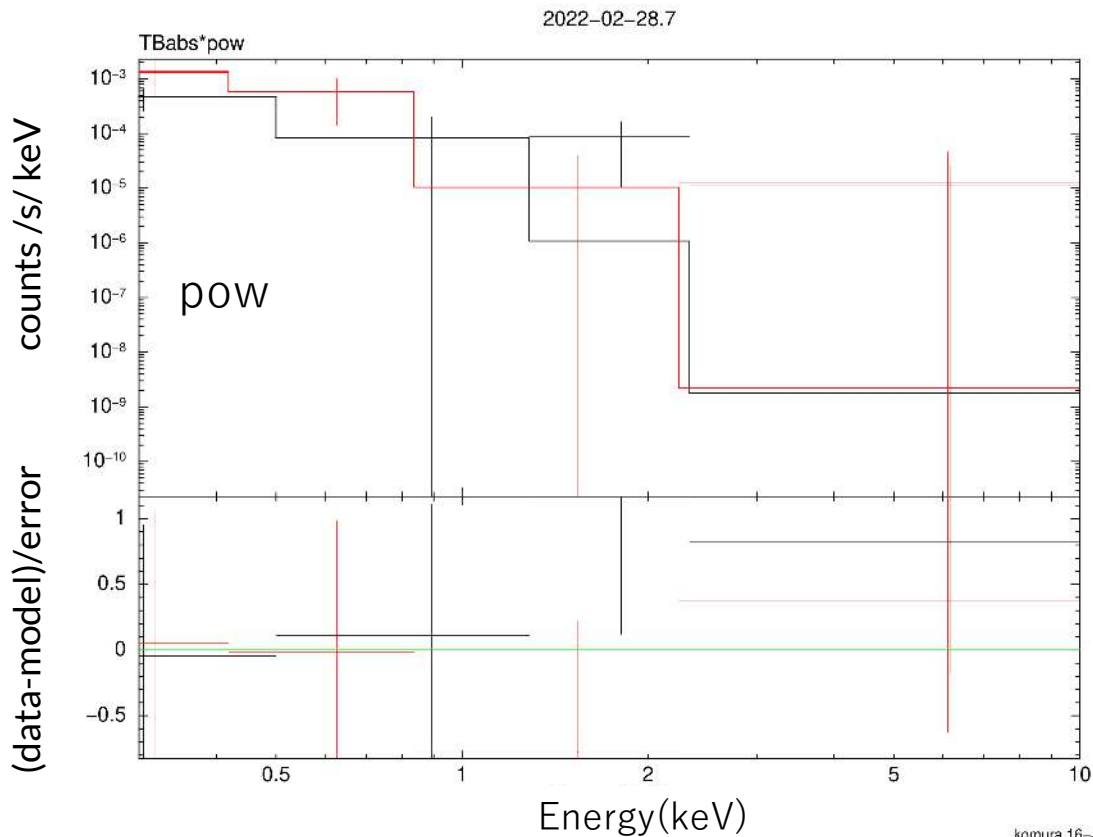
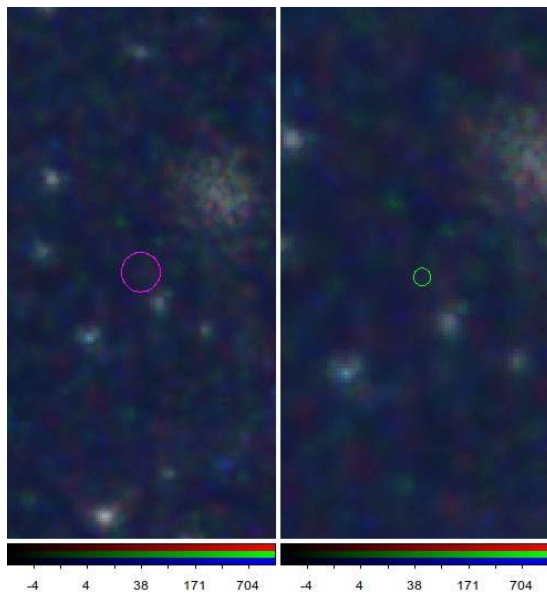
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)

Type：FBOT redshift：0.014

RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83

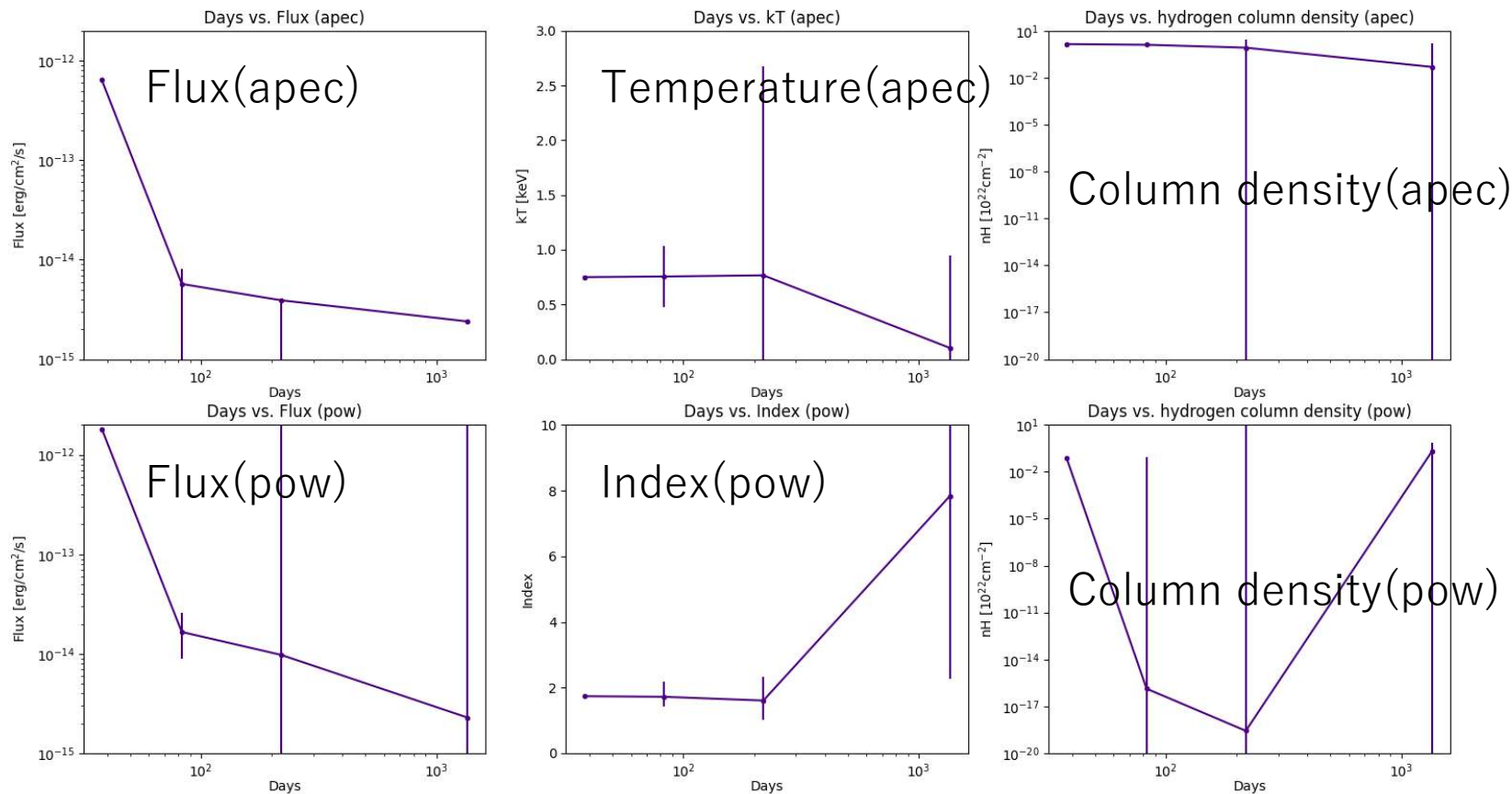
Source：20" Bkg：30"

観測：2022/02/24



### 3.結果

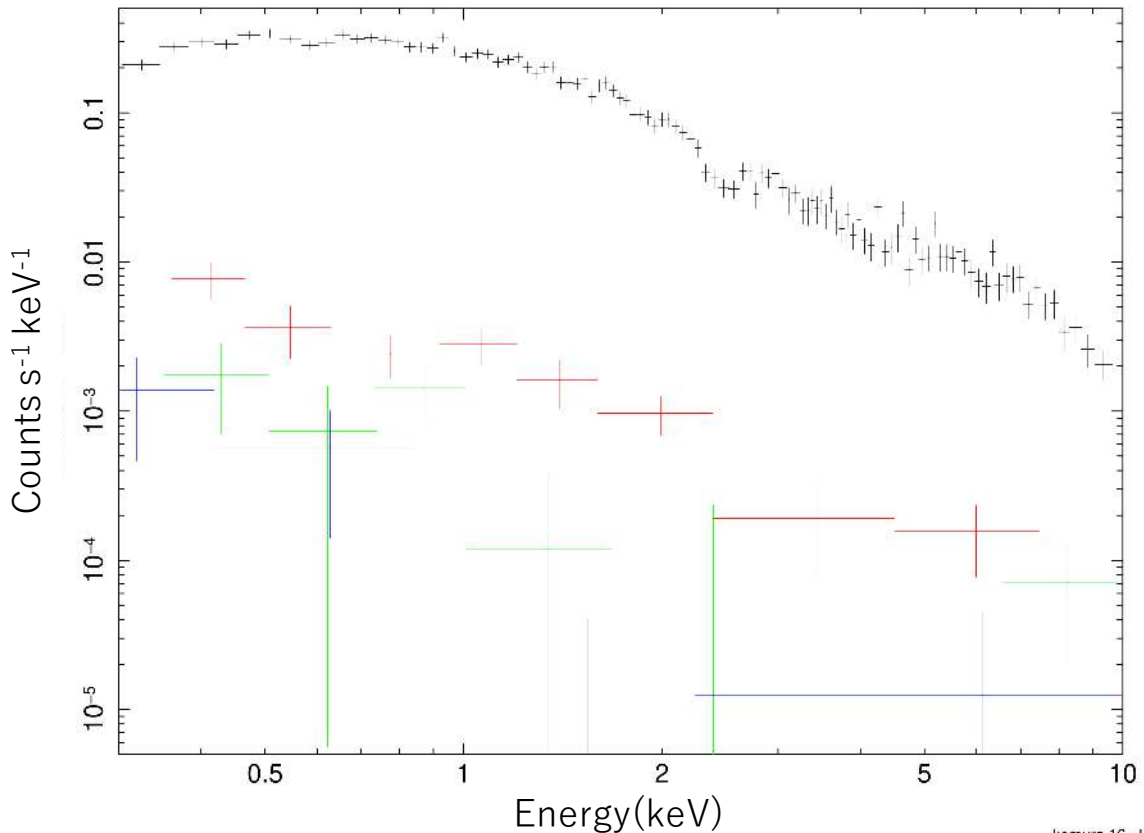
## 例③ SN2018cow 各パラメータの時間変化（横軸対数）



### 3.結果

## 例③ SN2018cow

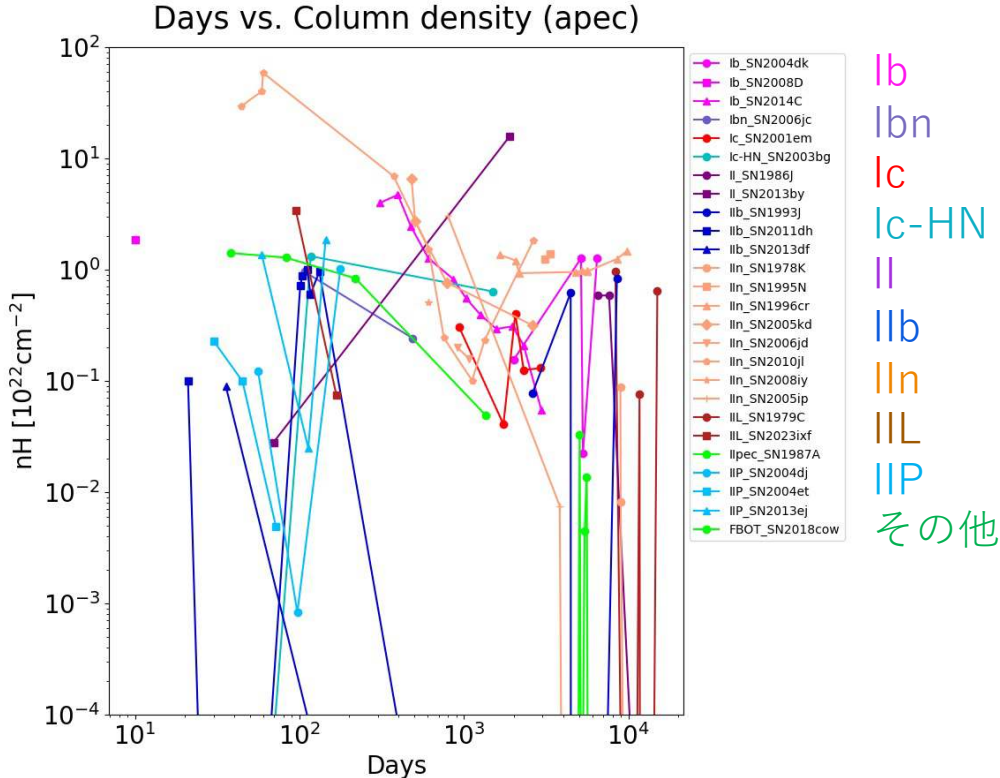
爆発：2018/06/16 (Bietenholz et al. 2020)  
銀河：CGCG137-68 (60Mpc)  
Type：FBOT redshift：0.014  
RA：16:16:00.220 Dec：+22:16:04.83  
Source：20" Bkg：30"



38日後  
83日後  
219日後  
1355日後

### 3.結果

## 水素柱密度の時間変化（全体）



大まかな傾向

- 右肩下がり  
⇒放射領域が手前に移動

フィッティングが合わなかった原因

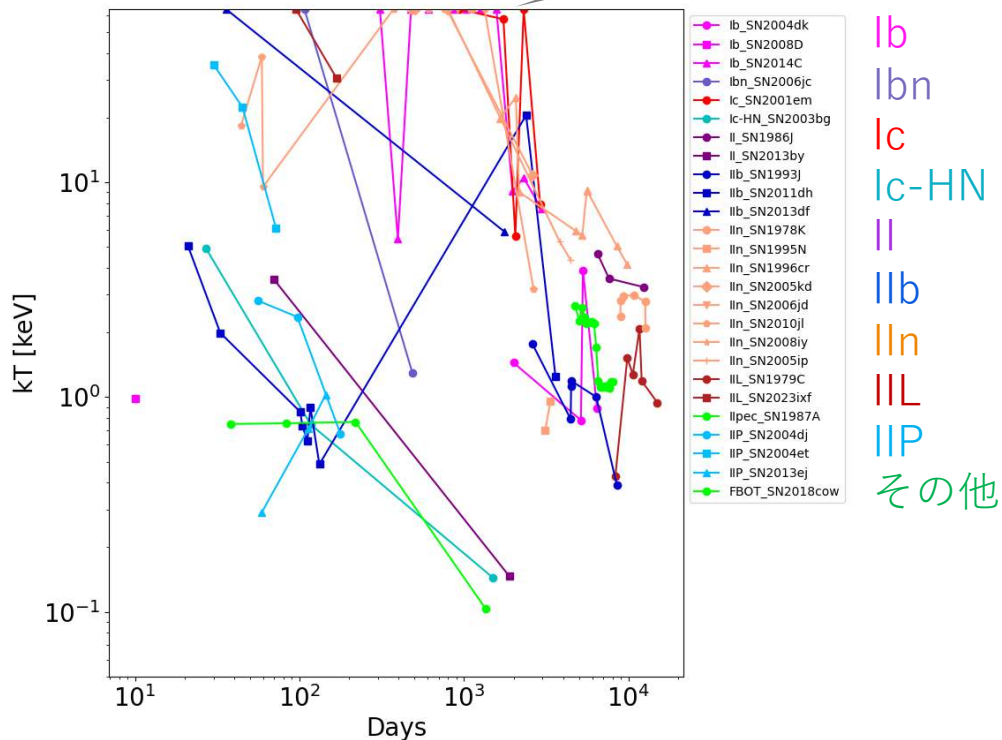
- SNの減光  
⇒Flux\_bkgの微妙な違いにスペクトルが強く影響される
- リバースショックの可能性  
⇒奥からの放射も加わるため、1成分のフィットは合わなかった？

### 3.結果

## 温度の時間変化 (全体)

上限に張り付いてフィッティングがうまくできなかった(64keVで記録)

Days vs. Temperature (apec)



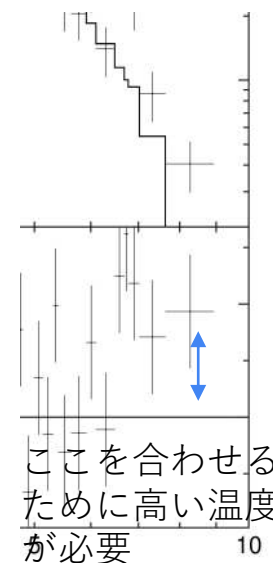
大まかな傾向

- 温度が下がる ⇒ ショックスピードの減衰

フィッティングが合わなかった原因

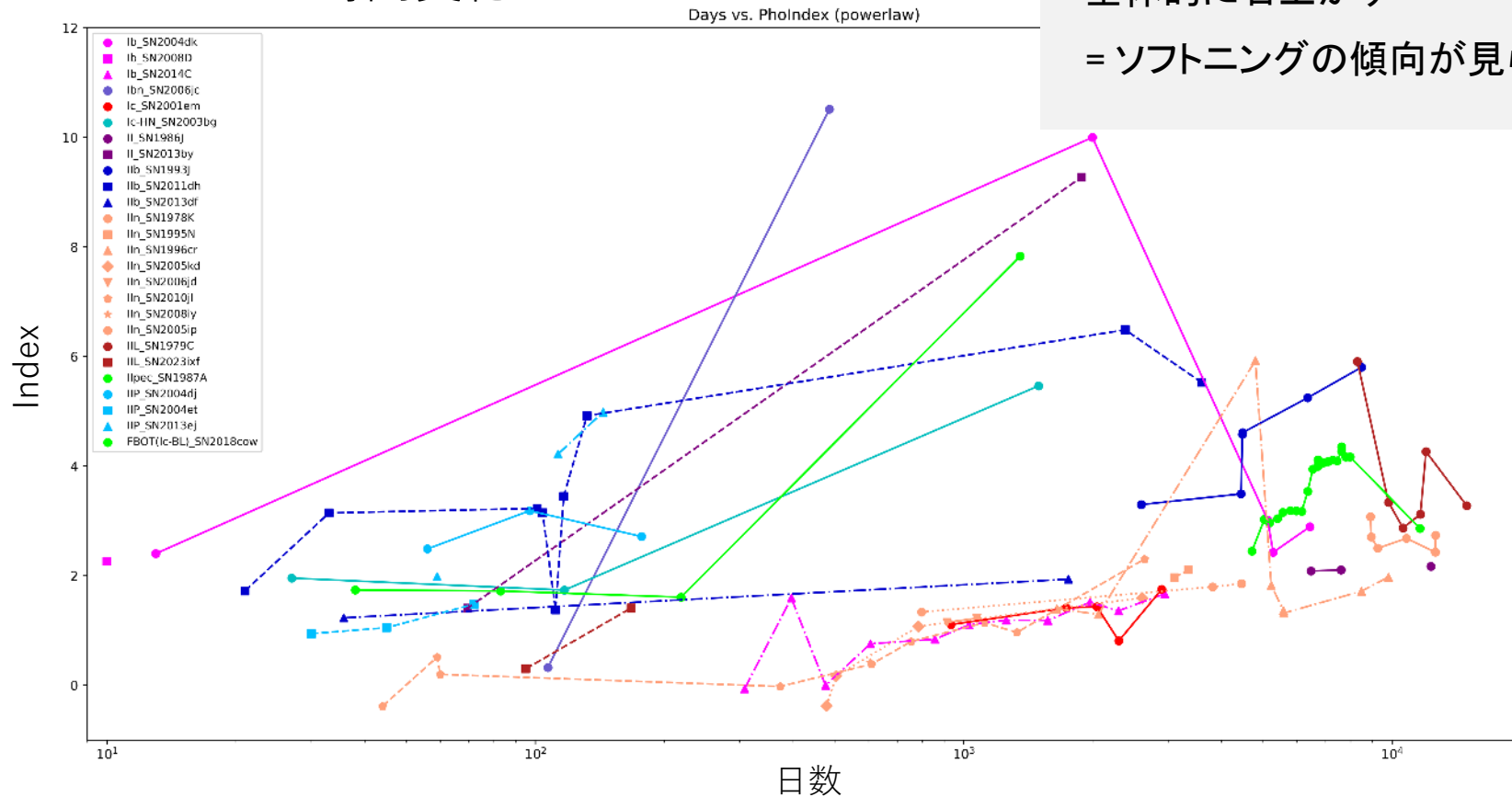
- 7~10keVの問題 ⇒ photons\_srcも photons\_bkgも小さく、1カウントの増減による影響が大きい

(2014C, 1257days)



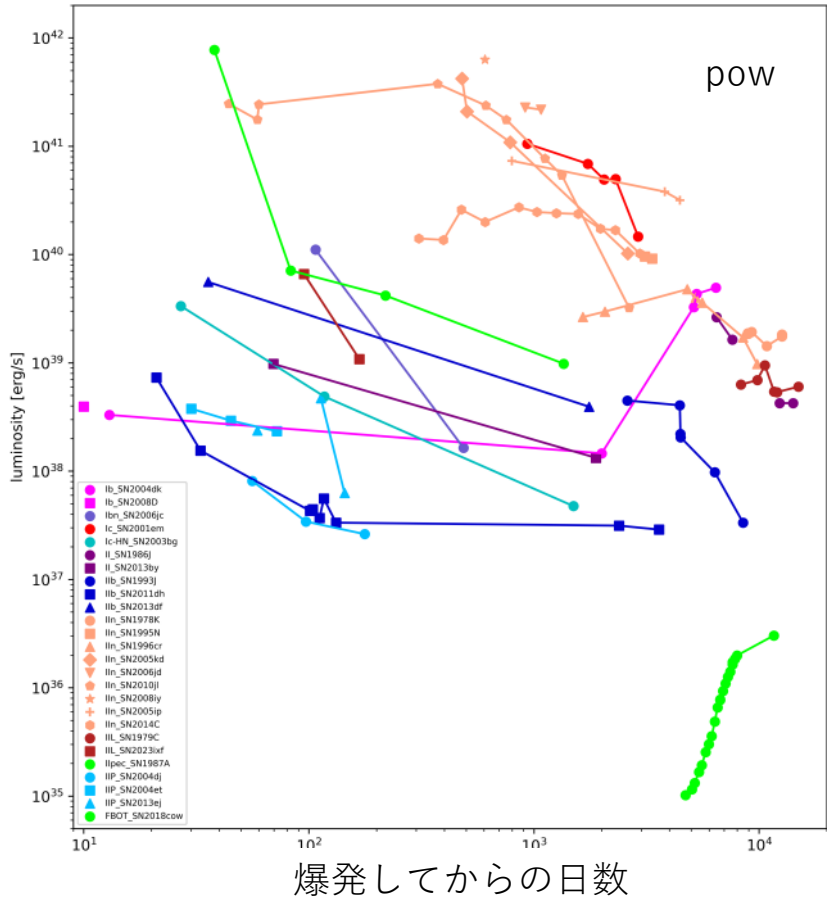
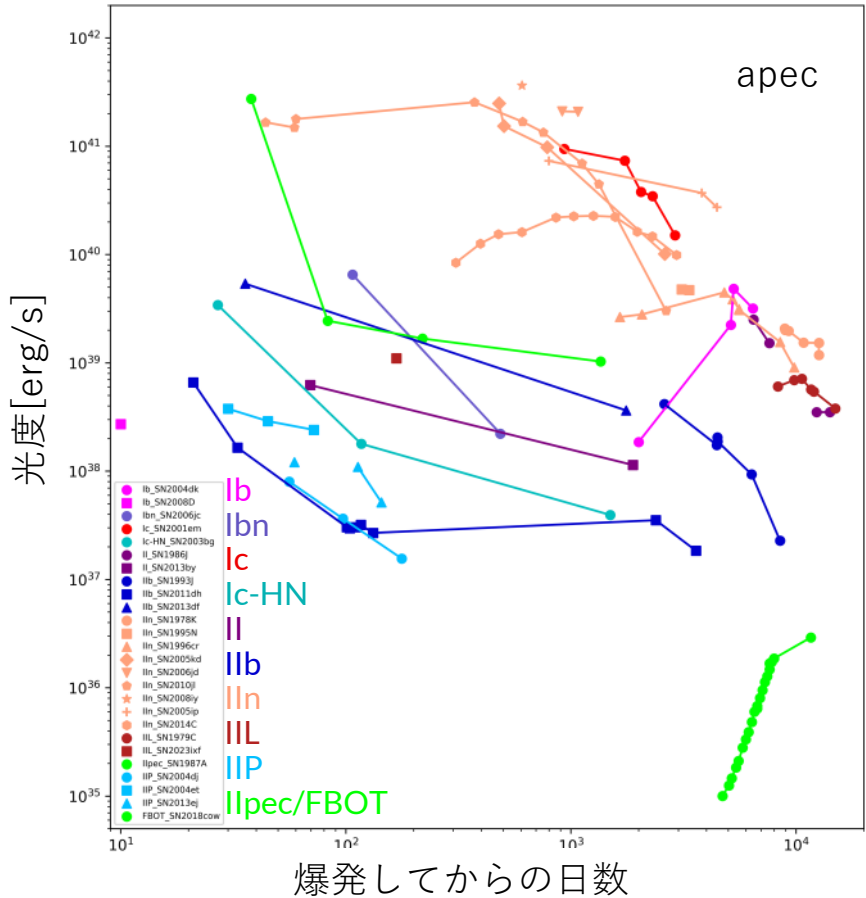
### 3.結果

## Photon Indexの時間変化



# 3.結果

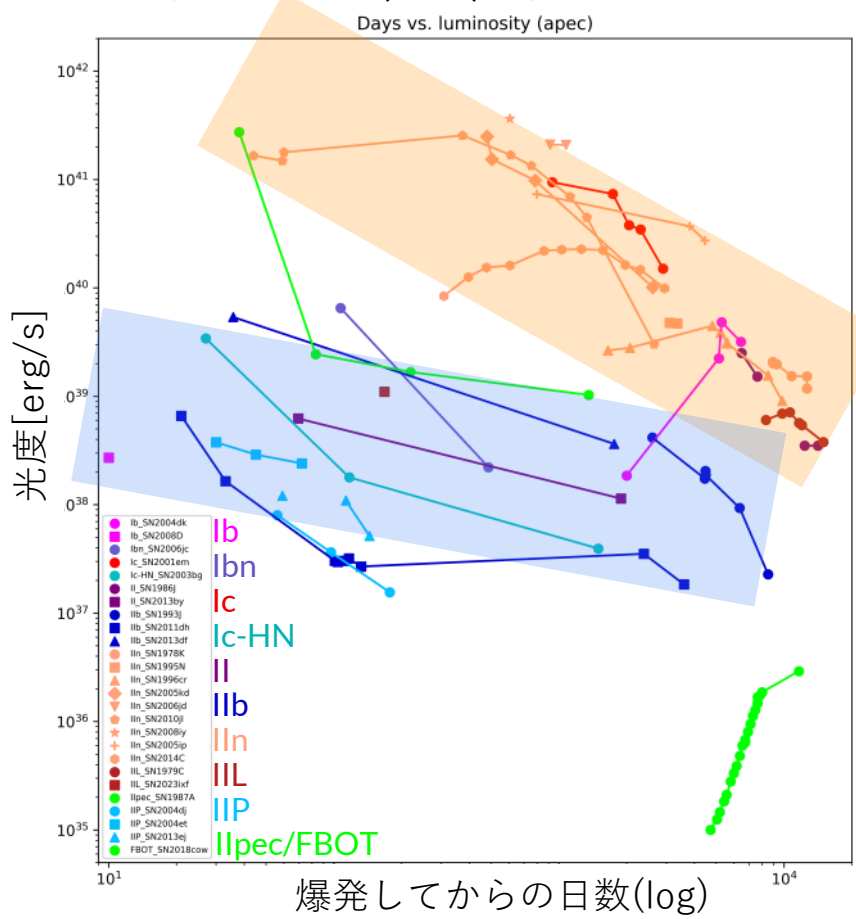
光度 ( $\text{flux} \times 4\pi \times (\text{距離})^2$ )





# 3.結果

光度 ( $\text{flux} \times 4\pi \times (\text{距離})^2$ ) における2つの傾向



## ① IIn, IIL, II(1986J)

- ・光度が高い = CSM 密度大 / 爆発エネルギー高
- ・長期間光っている
- = CSM 厚い / CSM が濃くて衝撃波が遅い

## ② IIP, Ibn, IIb, II(2013by)

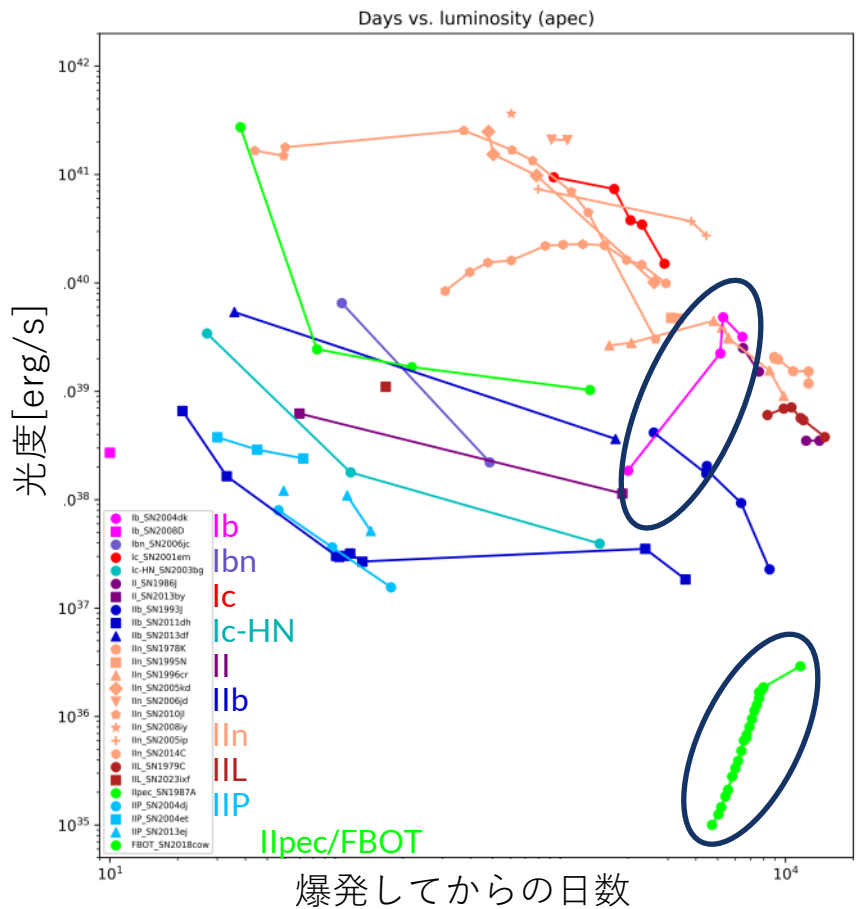
光度が比較的低く、落ち方が急

(どれにも当てはまらないもの)

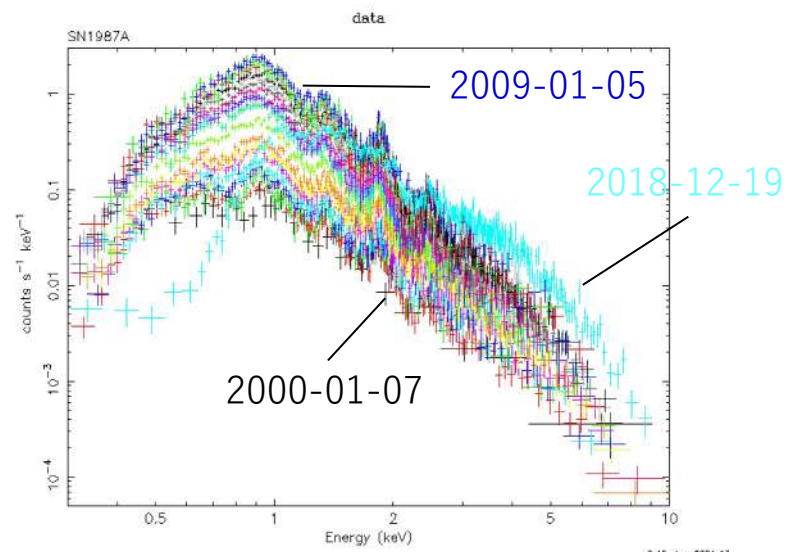
1987A(IIpec), 2018cow(FBOT), 2004dk(Ib)

# 3.結果

光度 ( $\text{flux} \times 4\pi \times (\text{距離})^2_{1987A(I\text{Ipec})}$ ) と2004dk(Ib)の類似について



“rebrightening” (Wellons et al. (2012))  
 爆発から数年後に起こる光度の上昇  
 →中心から離れた場所に高密度CSMがある



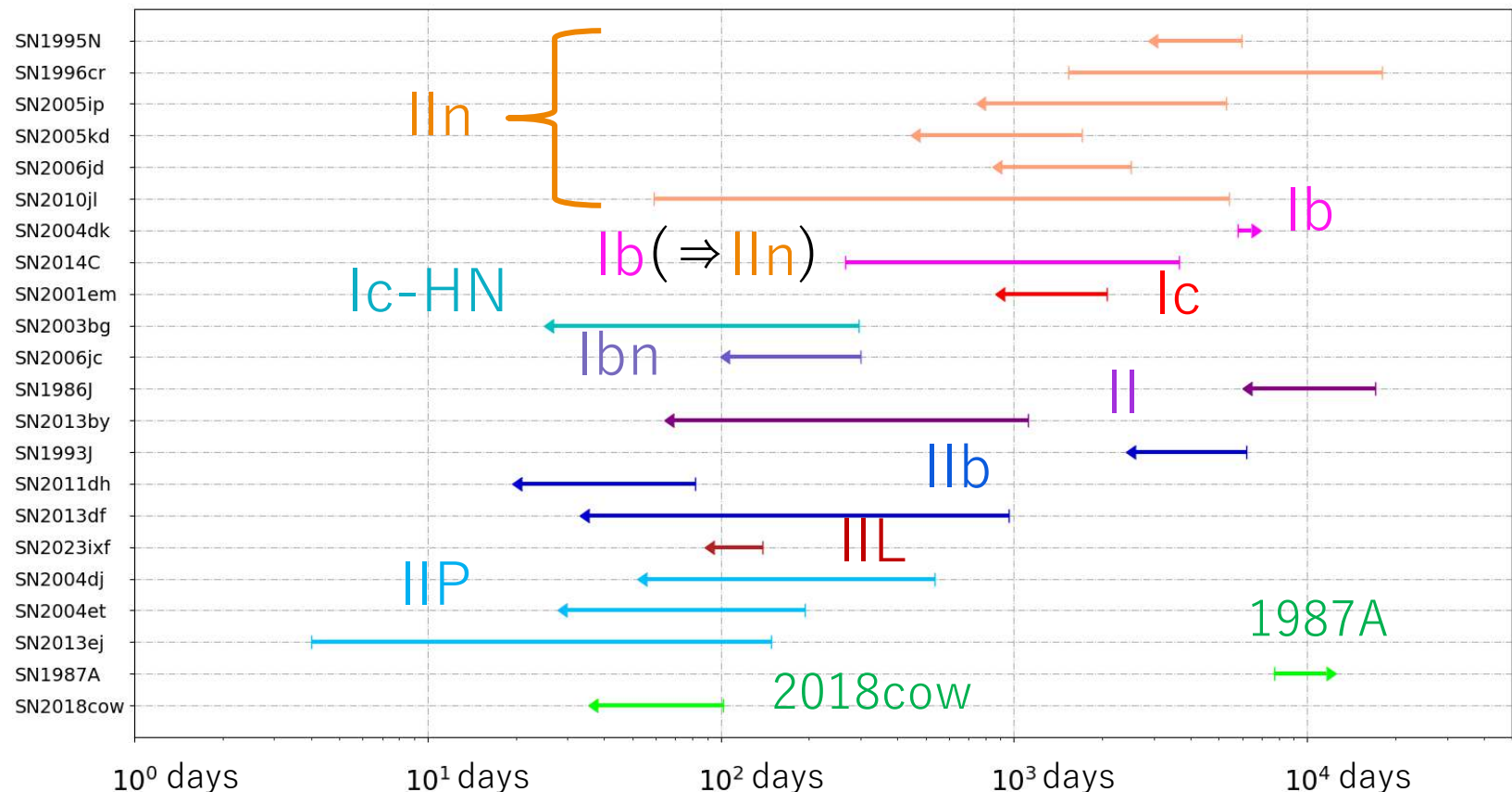
↑ SN1987Aのflux上昇の様子。

### 3.結果

## 爆発後、X線で明るくなる期間

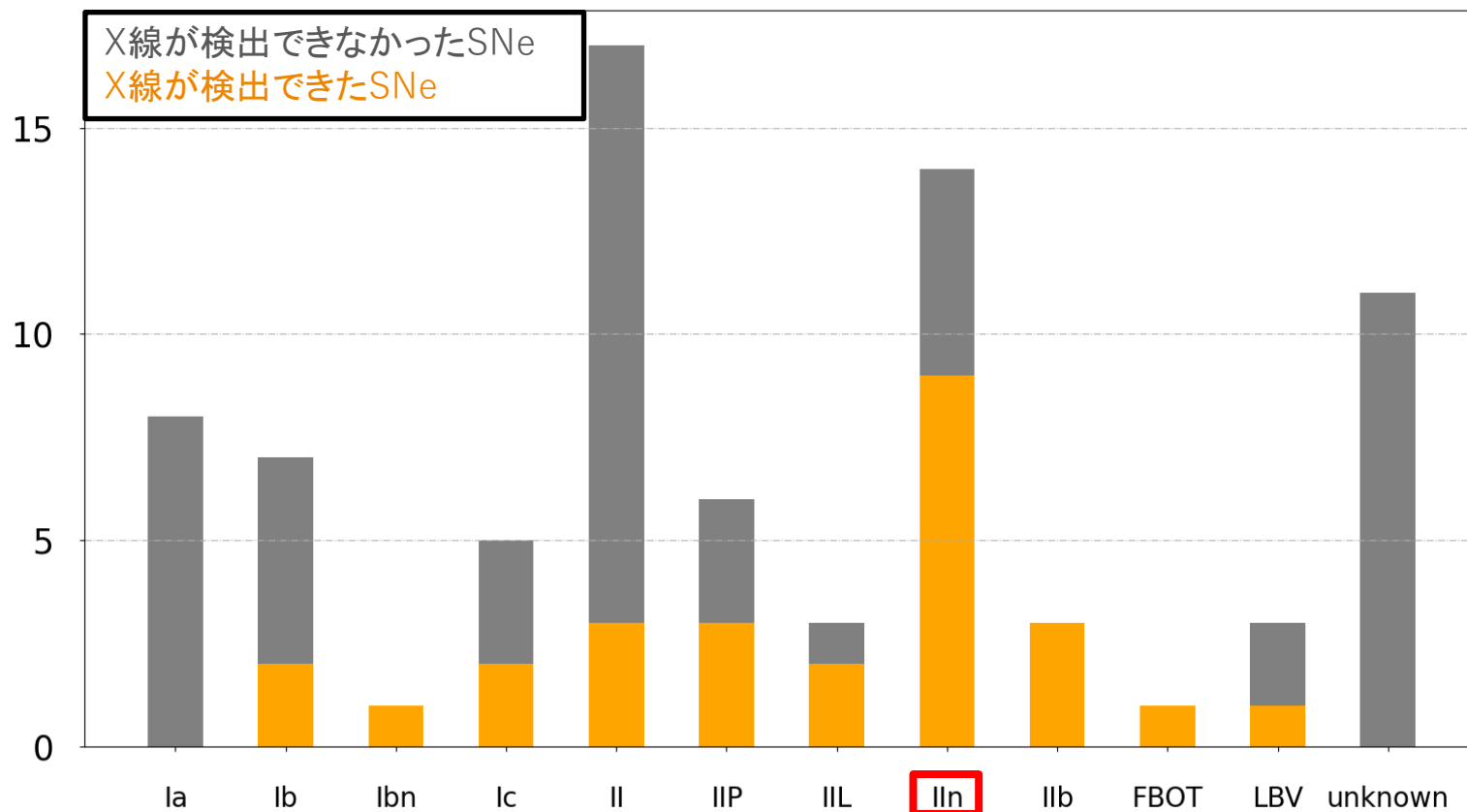
光度のピーク前と後でフィッティング  

$$L(t) = L_0 \times \left| \frac{t - t_0}{\text{days}} \right|^\alpha$$



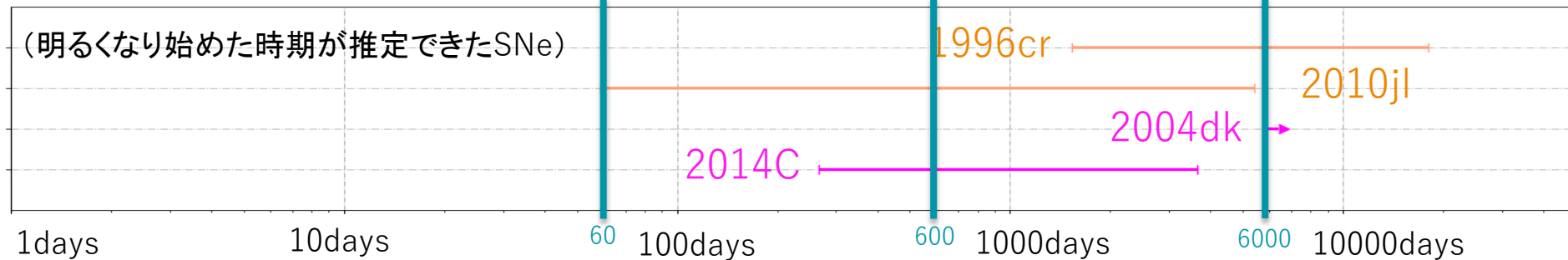
## 2.研究手法

### 扱った天体の度数分布（タイプ毎）



## 4.考察

# 光度の時間変化のみから考えるCSM分布



大雑把に、「衝撃波の速度」と「CSMの数密度」が光度に関係するはず...

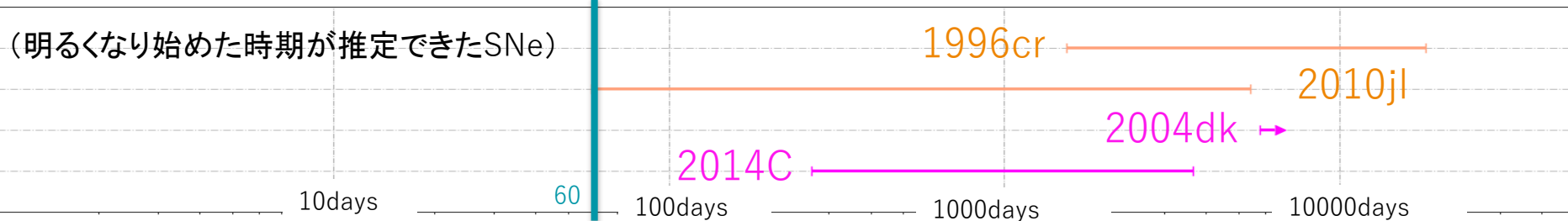
(X線のエネルギーに影響)

(X線の数に影響)

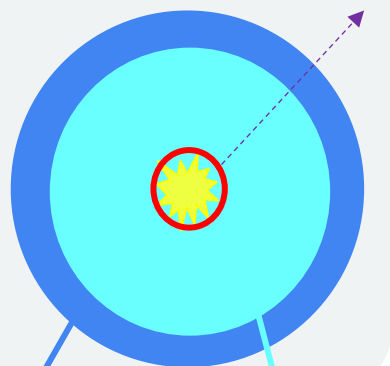
	60日後の明るさ	600日後の明るさ	6000日後の明るさ
SN1996cr (IIn)	dilute	dilute	dense
SN2010jl (IIn)	dense	dense	dilute
SN2004dk (Ib)	dilute	dilute	dense
SN2014C (Ib⇒IIn)	dilute	dense	dilute

## 4.考察

## 光度の時間変化のみから考えるCSM分布



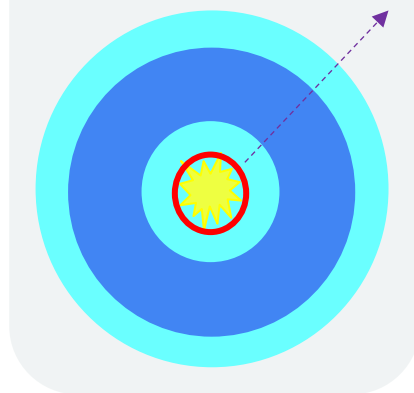
SN2004dk (Ib)



濃密なCSM

希薄なCSM

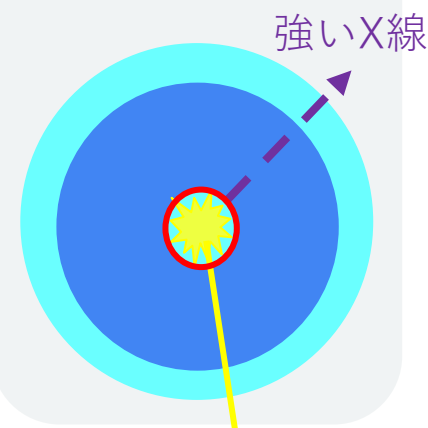
SN2014C (Ib)



SN1996cr (IIc)

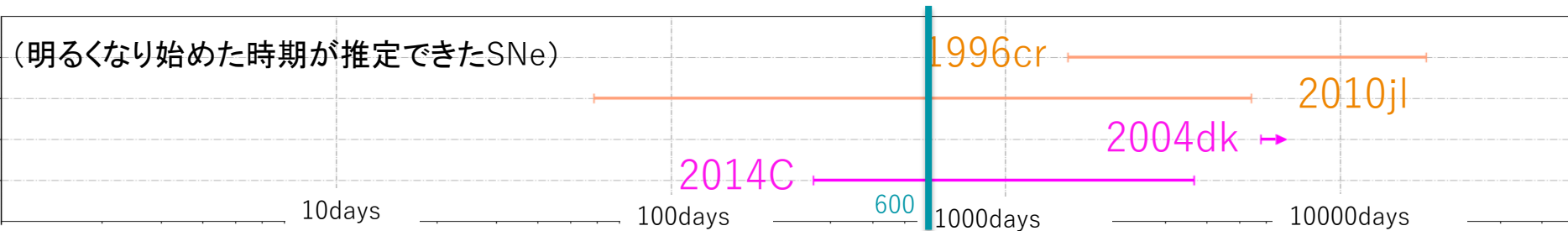


SN2010jl (IIc)

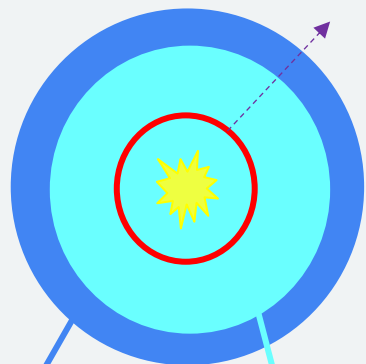


# 光度の時間変化のみから考えるCSM分布

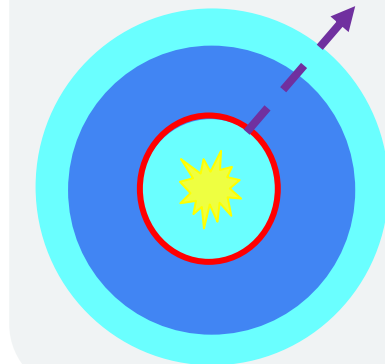
(明るくなり始めた時期が推定できたSNe)



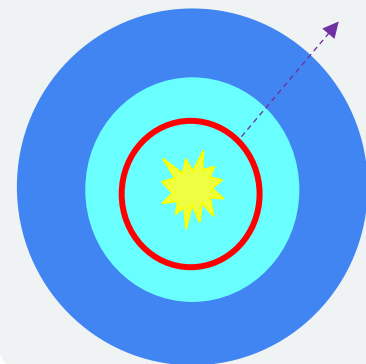
SN2004dk (Ib)



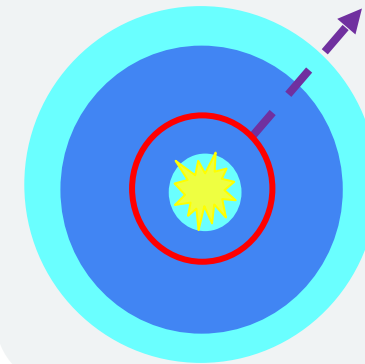
SN2014C (Ib)



SN1996cr (IIn)



SN2010jl (IIn)

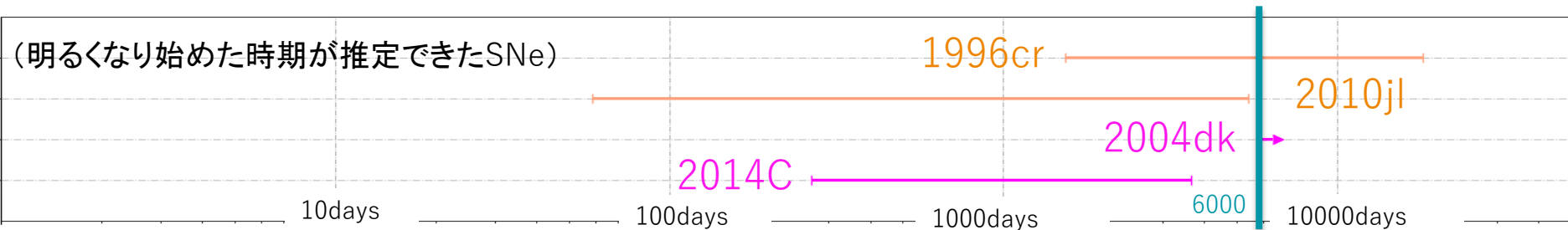


濃密なCSM

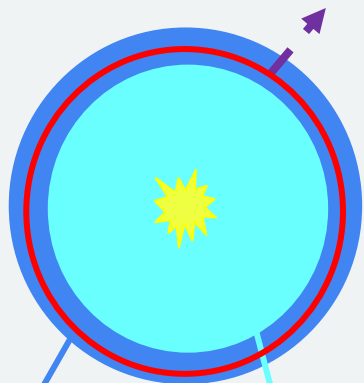
希薄なCSM

## 光度の時間変化のみから考えるCSM密度分布

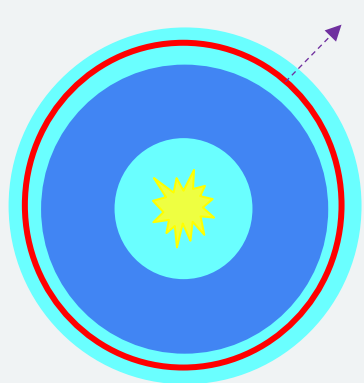
(明るくなり始めた時期が推定できたSNe)



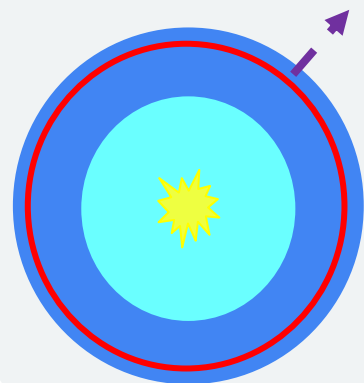
SN2004dk (Ib)



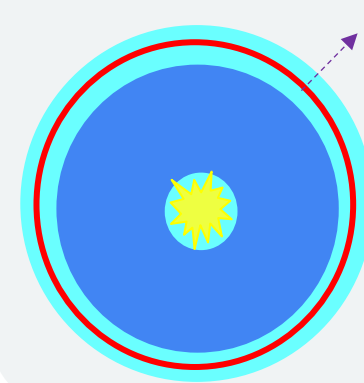
SN2014C (Ib)



SN1996cr (IIIn)



SN2010jl (IIIn)



濃密なCSM

希薄なCSM



## 4. 今後の展望

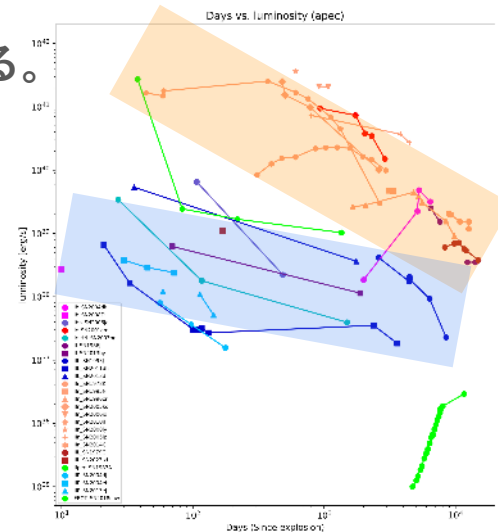
### 1. 今回X線で受からなかった天体について調べる。

- どの時期のデータが受かっていないのかを調べることで、CSMと衝撃波の作用の時期について何かわかるかもしれない。

### 2. 各天体のCSMの詳しい構造を把握する。

1.  $nH$ と $kT$ の推定がうまくいけば、より詳細なショックスピードとCSMの密度分布が描ける

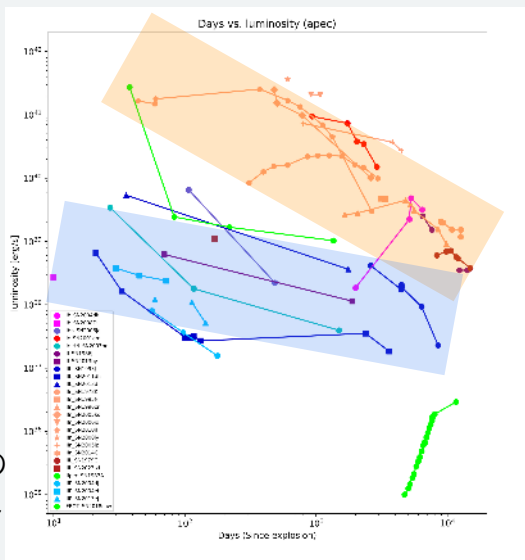
### 3. ライトカーブが示す、タイプごとの光度の違いの原因を探る。



X線で超新星を観測することで星周物質の構造や吸収度合いについて調べ、  
超新星の爆発機構の謎の解明に近づきたい

解析したスペクトルから、フラックス、  
Photon index, 温度、水素柱密度の値を得た。

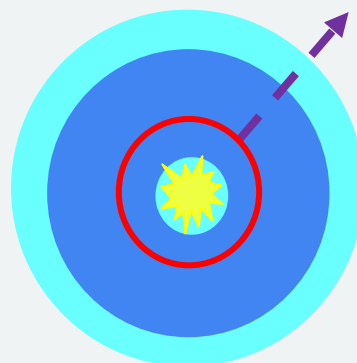
S



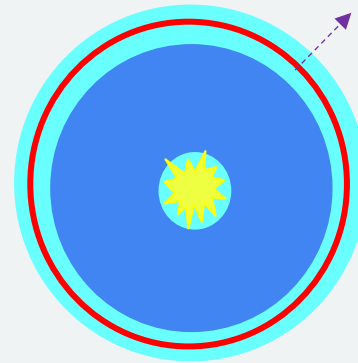
例)光度の  
プロット

光度の時間変化のみからCSM密度分布  
を考えた

例)SN2010jl (IIIn)



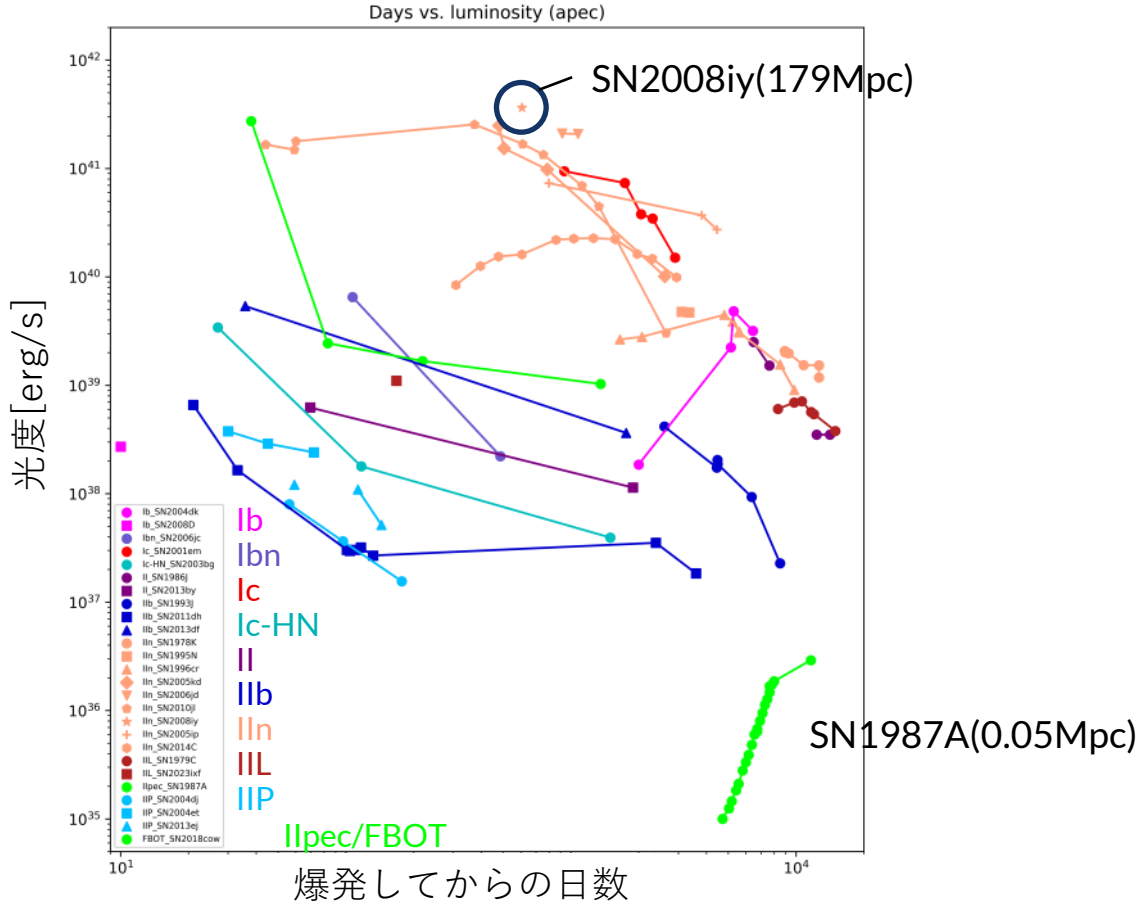
600日後



6000日後

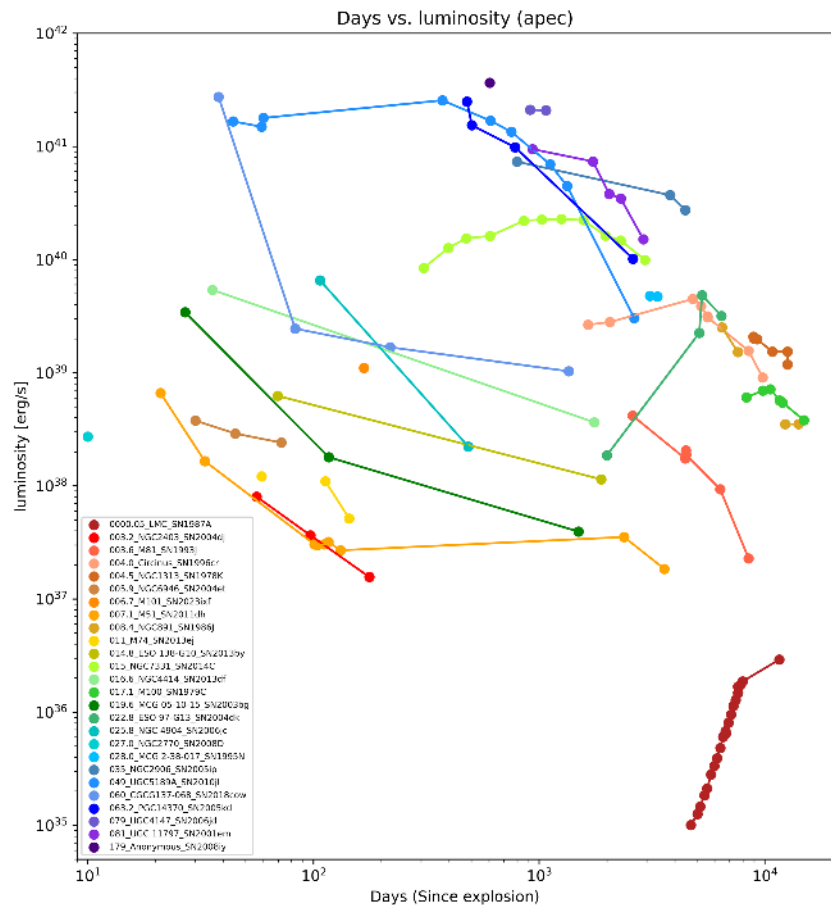
# 5. (おまけ) 距離と高度の関係

光度



## 5. (おまけ) 距離と高度の関係

光度



近い (赤色) ↔ 遠い (青色) で配色。

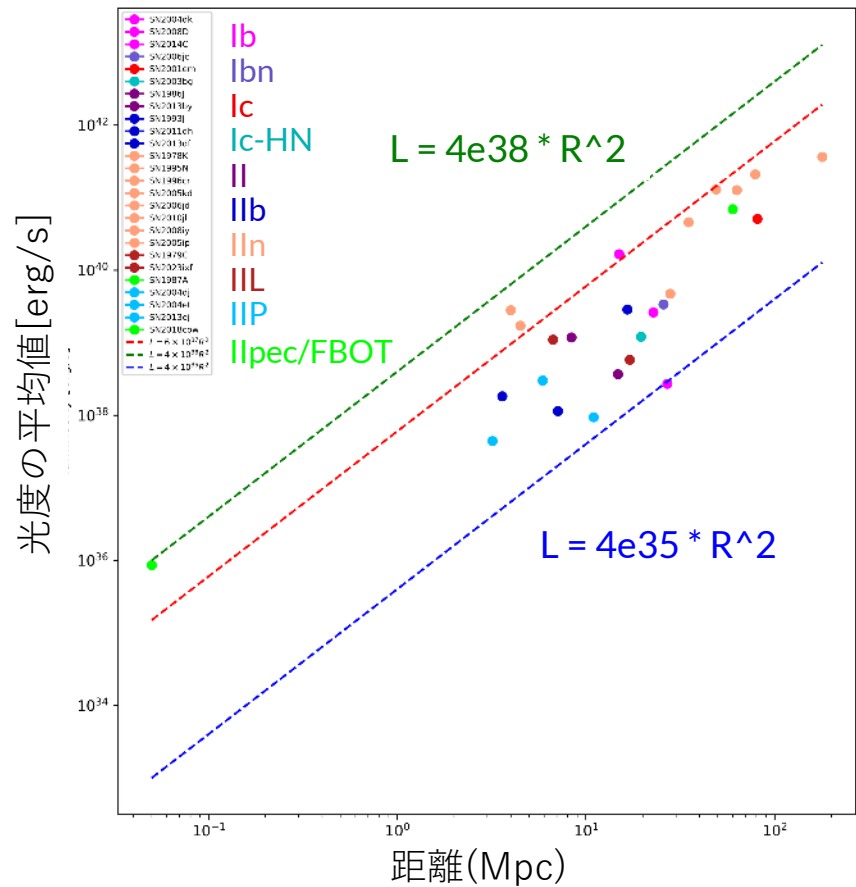
距離が遠いほど光度が大きい。

原因として、

「暗くて遠いと見えない観測バイアス」  
があると考えた

# 5. (おまけ) 距離と高度の関係

光度\_距離vs光度の平均値



「暗くて遠いと見えない観測バイアス」

||

天体のflux > 背景のflux

が必要と仮定。

⇔光度 /  $4\pi D^2$  > 背景のflux

背景のフラックスの、複数天体での平均

~ $1e-13 \text{ erg/cm}^2/\text{s}$ を

上の式に当てはめて

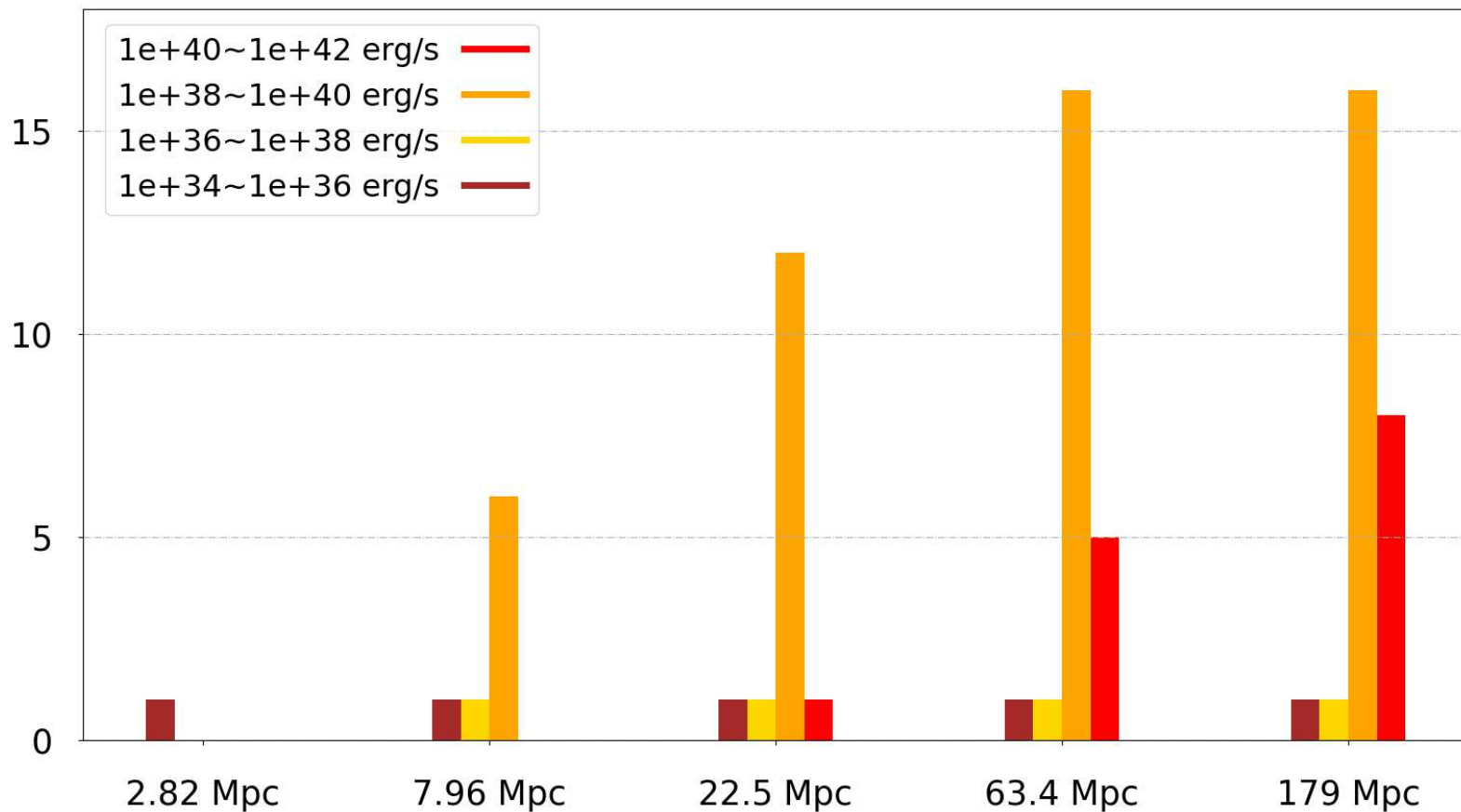
$L \sim 6e+37 * D^2 \text{ erg/s}$

の式と、各天体の光度の平均値をプロット。

傾きは $R^2$ と合うことがわかった。

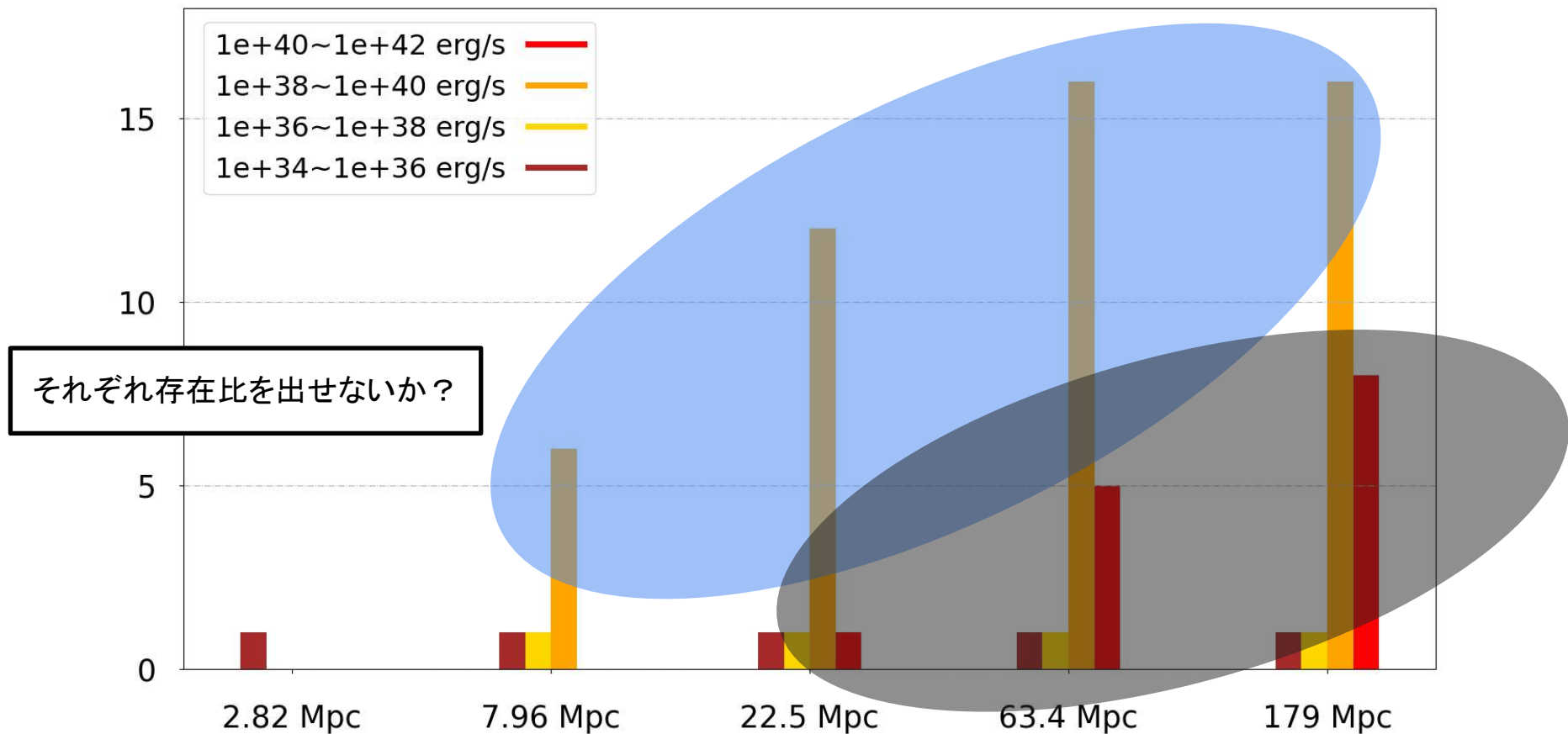
## 5. (おまけ) 距離と高度の関係

### 各距離までに含まれるSNの数 (平均光度別)



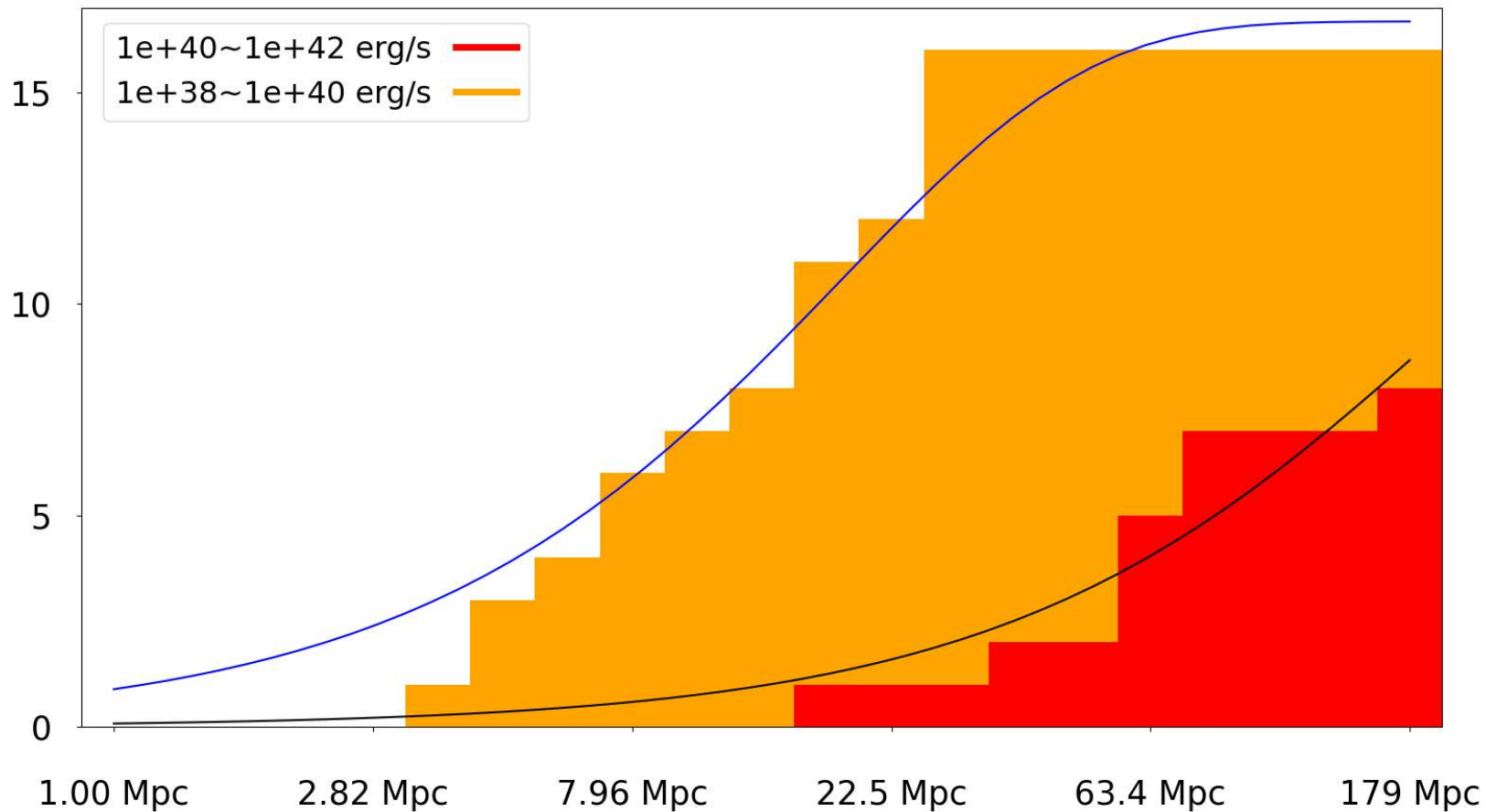
## 5. (おまけ) 距離と光度の関係

### 各距離までに含まれるSNの数 (平均光度別)



## 5. (おまけ) 距離と光度の関係

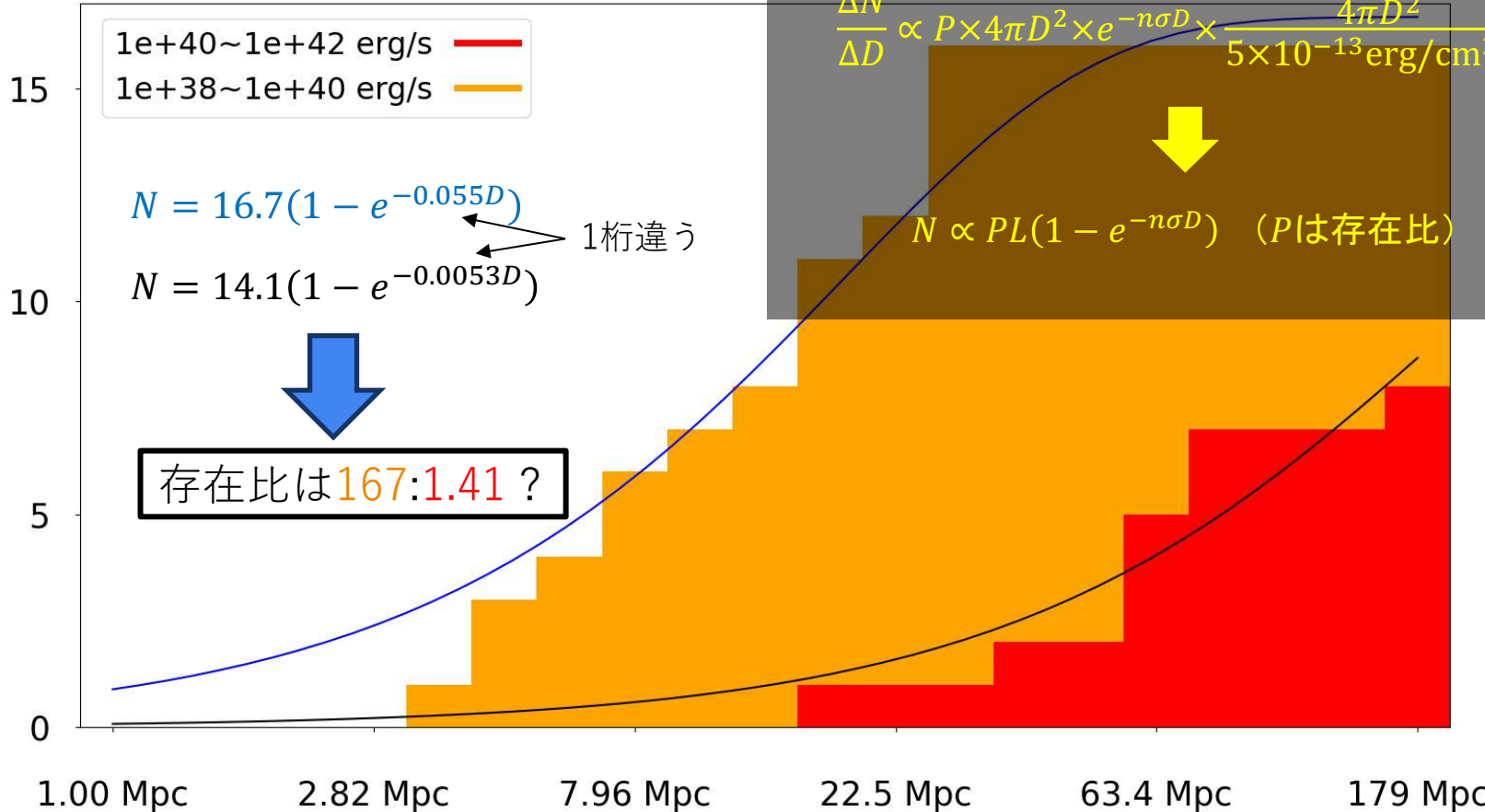
### 観測されるSNの粗い見積もり





5. (おまけ) 距離と高度の関係

観測されるSNの粗い見積もり



## 5. (おまけ) タイプも考慮したCSM分布

## 光度の時間変化とタイプのみから考えるCSM分布

(明るくなり始めた時期が推定できたSNe)

60

1996cr

2010jl

2004dk

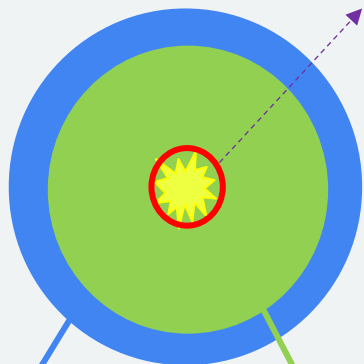
2014C

SN2004dk (Ib)

SN2014C (Ib)

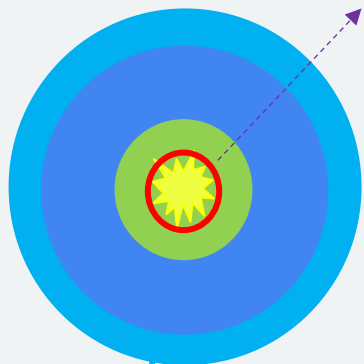
SN1996cr (IIn)

SN2010jl (IIn)

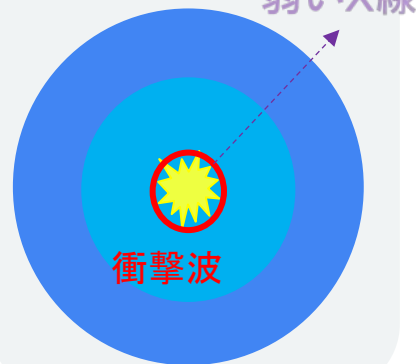


濃密な水素

希薄なヘリウム

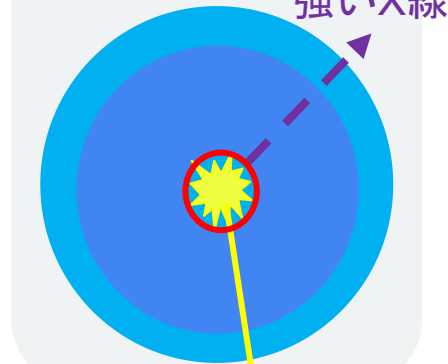


希薄な水素



衝撃波

弱いX線



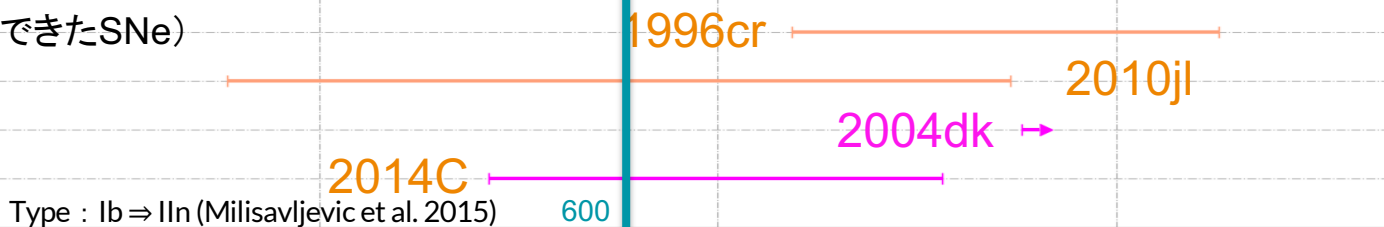
強いX線

中心星

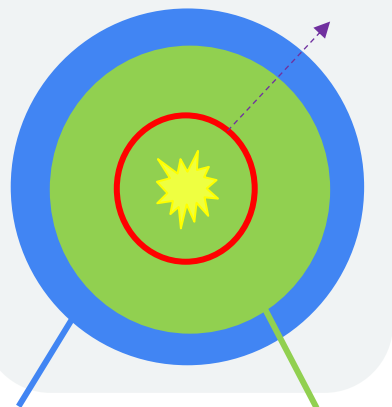
## 5. (おまけ) タイプも考慮したCSM分布

# 光度の時間変化とタイプのみから考えるCSM分布

(明るくなり始めた時期が推定できたSNe)



SN2004dk (Ib)



濃密な水素

希薄なヘリウム

SN2014C (IIIn)



希薄な水素

SN1996cr (IIIn)



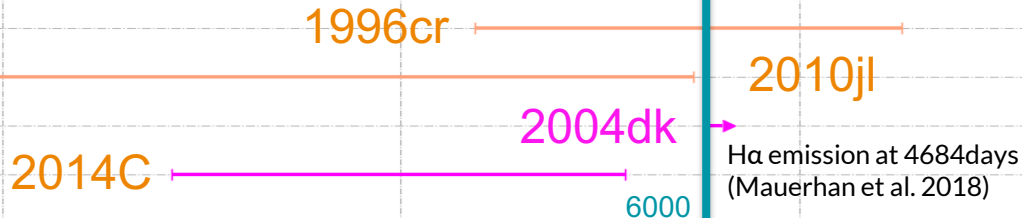
SN2010jl (IIIn)



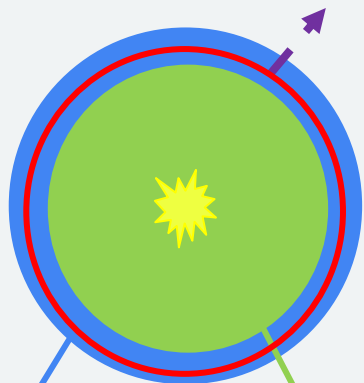
## 5. (おまけ) タイプも考慮したCSM分布

## 光度の時間変化とタイプのみから考えるCSM分布

(明るくなり始めた時期が推定できたSNe)



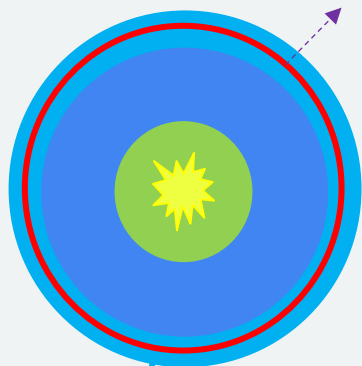
SN2004dk (Ib)



濃密な水素

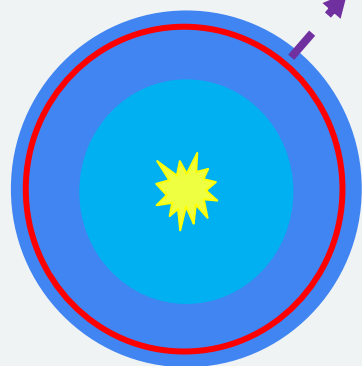
希薄なヘリウム

SN2014C (IIn)

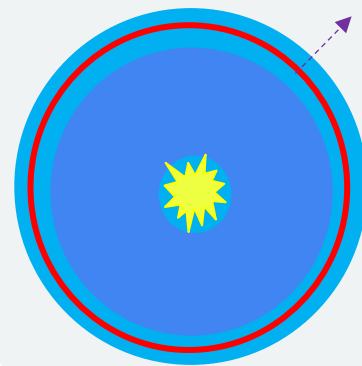


希薄な水素

SN1996cr (IIn)



SN2010jl (IIn)



## 5.補足資料

SN 1987A (IIpec)



爆発：1987/02/24

銀河：Large Magellanic Cloud(0.05Mpc)

Type：IIpec

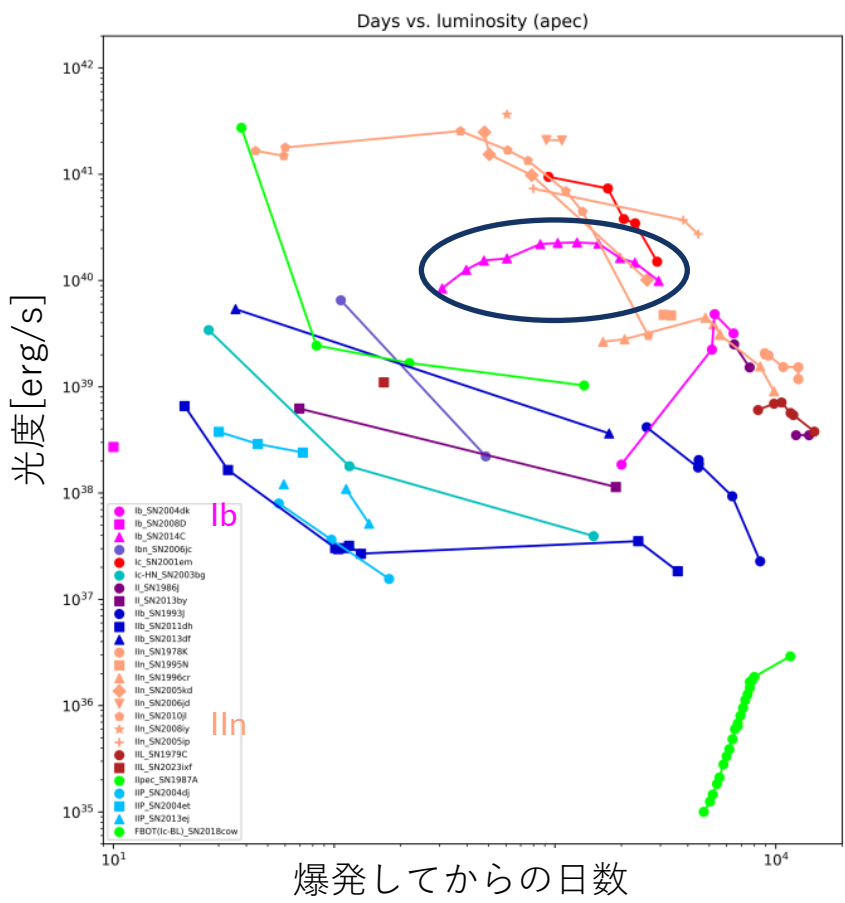
RA：05:35:28.020 Dec：-69:16:11.07

Source：0.001deg Bkg：0.01deg

爆発を起こしたのは青色巨星(Blancoetal.1987;Walbornetal.1987).

# 5.補足資料

光度(flux \* 4π \* distance^2)\_タイプごとに色分け



SN 2014C

IbからIInにスペクトルが変化。

光度や指数の変化からもIInに近づいていることがわかる

