

P6最終発表 Swift のデータ解析

杉原悠太

研究の背景、目的

昨年はXMM-Newton、Chandra衛星で超新星の星周物質について研究



Swiftを使って超新星について研究してみる

Swiftの特徴：素早い姿勢変化で**多くの超新星をすばやく観測。**

2005~2024年の間に**1200以上**の超新星を観測している。



多くの観測を解析すれば興味深い考察ができるのではないかな？

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 ² (×2)	1000~2500 cm ²	300~450 cm ² (×6)
視野	~ 6.0 × 10 ⁻⁶ sr	~ 6.0 × 10 ⁻⁶ sr	~ 5.8 × 10 ⁻⁶ 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

3. 結果

光度 (flux × 4π × (距離)²)

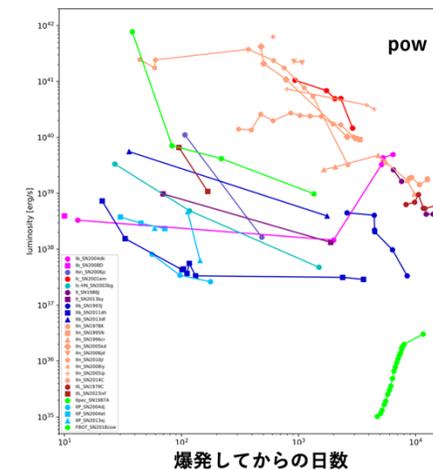
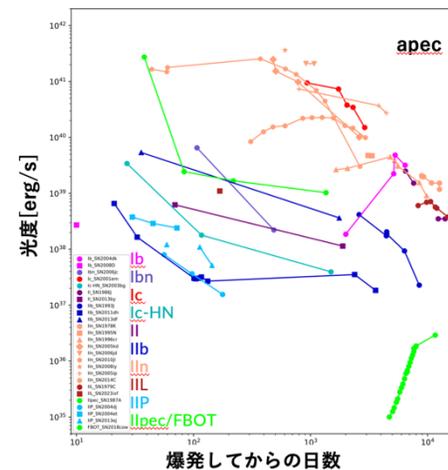


図1：昨年のP6卒業発表スライド

Swiftについて

- 視野と解像度
 - 視野: 約23.6' × 23.6'
- 検出器 (CCD)
 - サイズ: 600 × 600ピクセル (各ピクセル40 × 40 μm)
 - ピクセルスケール: 約2.36" /pixel
- 感度
 - 感度: 10⁴秒で約8 × 10⁻¹⁴ erg cm⁻² s⁻¹
- 2005~2024年の間に**1200以上**の超新星を観測

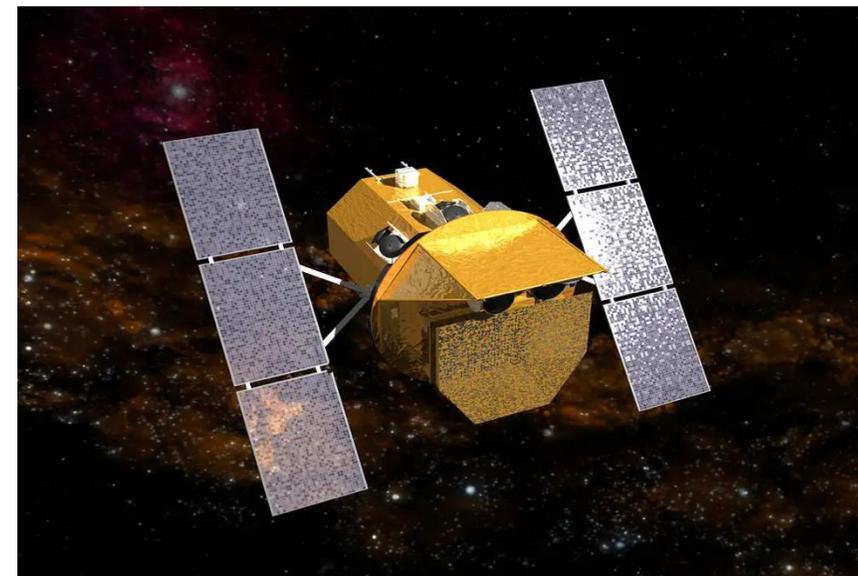
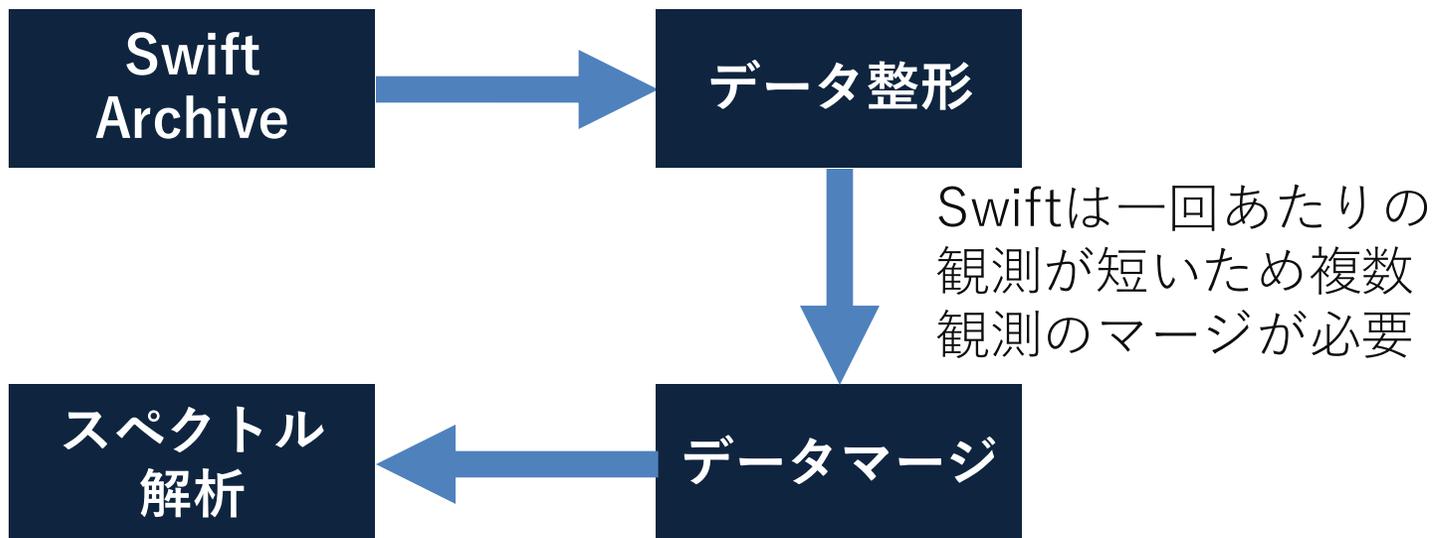


図 2 : Swiftのイメージ画像
(Neil Gehrels Swift
Observatory)

データ解析の流れ



超新星1つあたり、700近い観測数の物もあるため、1回1回手動で実行しては間に合わない。

ほぼ全ての作業を自動化して処理を実行。

```
1 from C1_merge import merge_swift_phi
2 from run_xspec_analysis import run_xspec_analysis
3 from C3_Flux_analysis import compose_csv_and_graph
4
5 N = 15
6
7 SN_id = 'SN2014J'
8 merge_swift_phi(N, SN_id)
9
10 for group_number in range(50):
11     print(f"Processing group number {group_number}")
12     run_xspec_analysis(
13         SN_id,
14         group_number,
15         bin_numbers=20, # group min
16         merge_numbers=N # 1回の合成分
17     )
18
19 compose_csv_and_graph(SN_id, N)
```

図3：データ処理実行の動画
データマージ
→スペクトル解析
→Flux時間変化の作成

手動でやること

データのダウンロード

超新星ごとにNasaのSwift archiveからダウンロード

バックグラウンドの確認

自動で超新星の座標を読み込み

source : 半径15arcsecの円

back : 半径25~35arcsec輪環

に自動で設定



銀河中心や強力なX線源がバックグラウンドにのみ入っている場合、手動で変更することが必要。

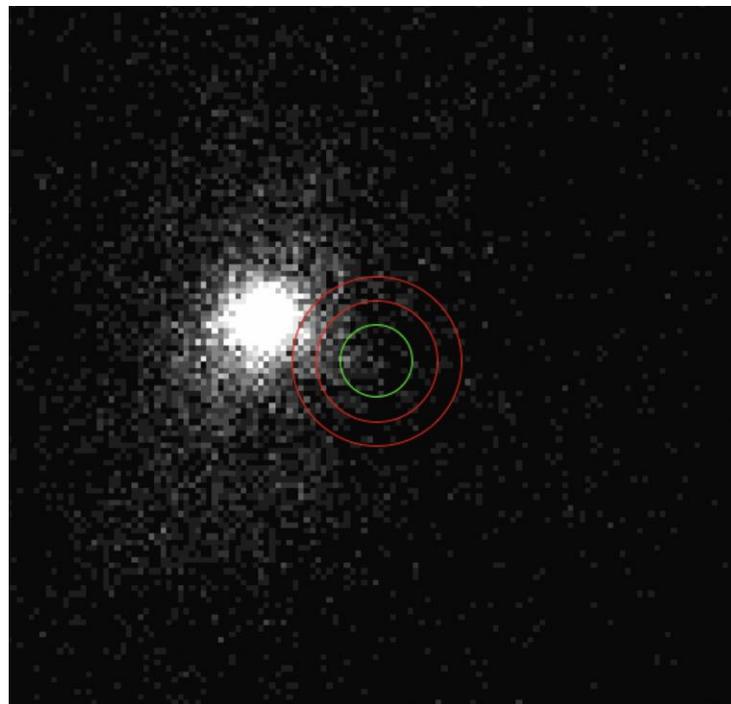


図4 : 自動で設定した
SN2014Jのソース、背景領域
(9:55:42.12,+69:40:25.90)
source : 半径15arcsecの円
back : 半径25~35arcsec輪環

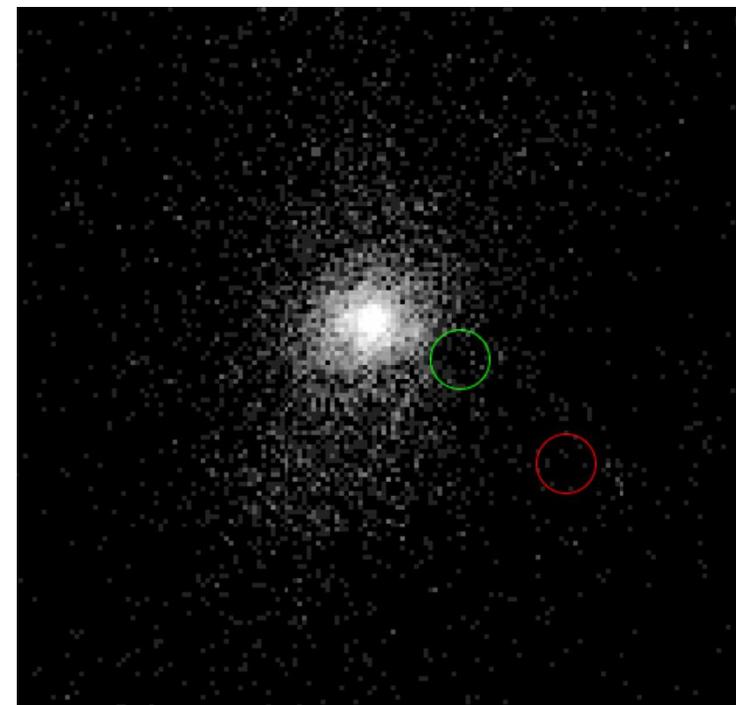


図5 : 手動で設定した
SN2014Jのソース、背景領域
(9:55:42.12,+69:40:25.90)
source : 半径15arcsecの円
back : 半径15arcsecの円

手動でやること

マージする観測数の確認

図2の動画のコードを実行すると自動で右のグラフを生成



この中から、最も多く有意なFluxの点が取れるマージ数を選定

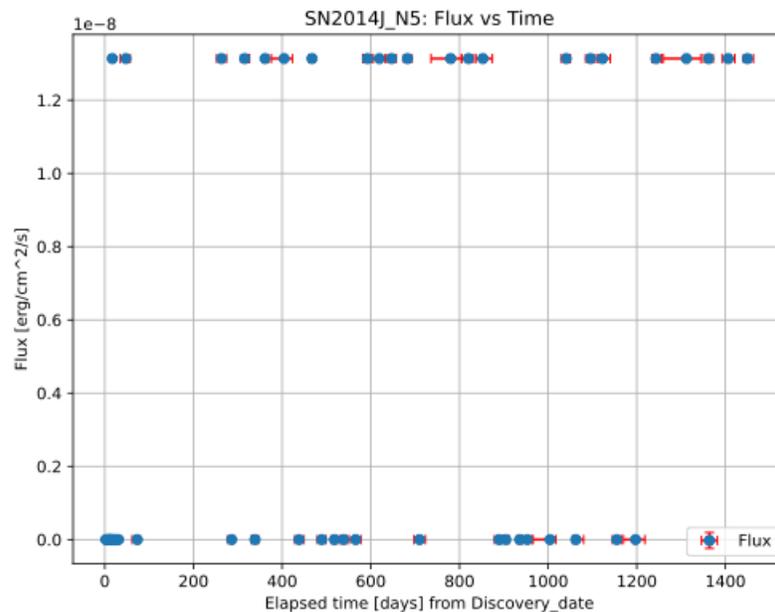


図6：SN2014JのX線のFluxの時間変化

失敗例：マージ数5の場合
(フォトンカウントが少ないため有意なFluxが取れていない)

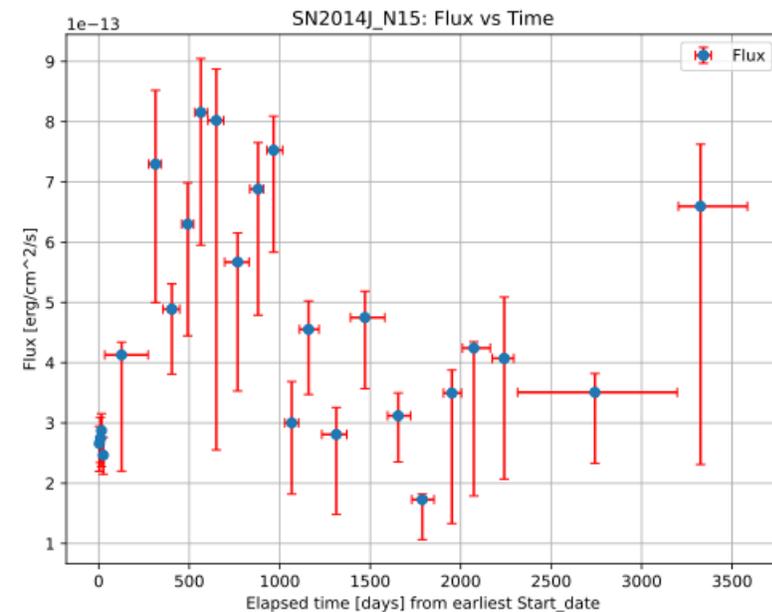
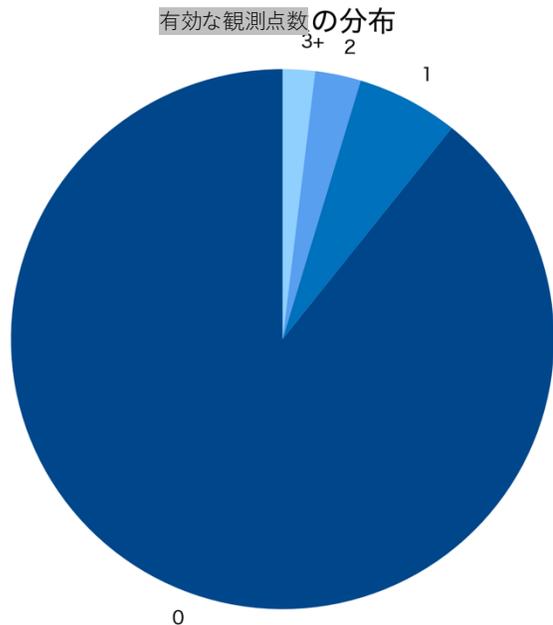


図7：SN2014JのX線のFluxの時間変化

成功例：マージ数15の場合
(有意なFluxが取れている)

1. 有効データと、非有効データ



有効な観測点数	Count	Percentage
0	884	89.3%
1	60	6.1%
2	27	2.7%
3+	19	1.9%

図8：有効データと非有効データの比率

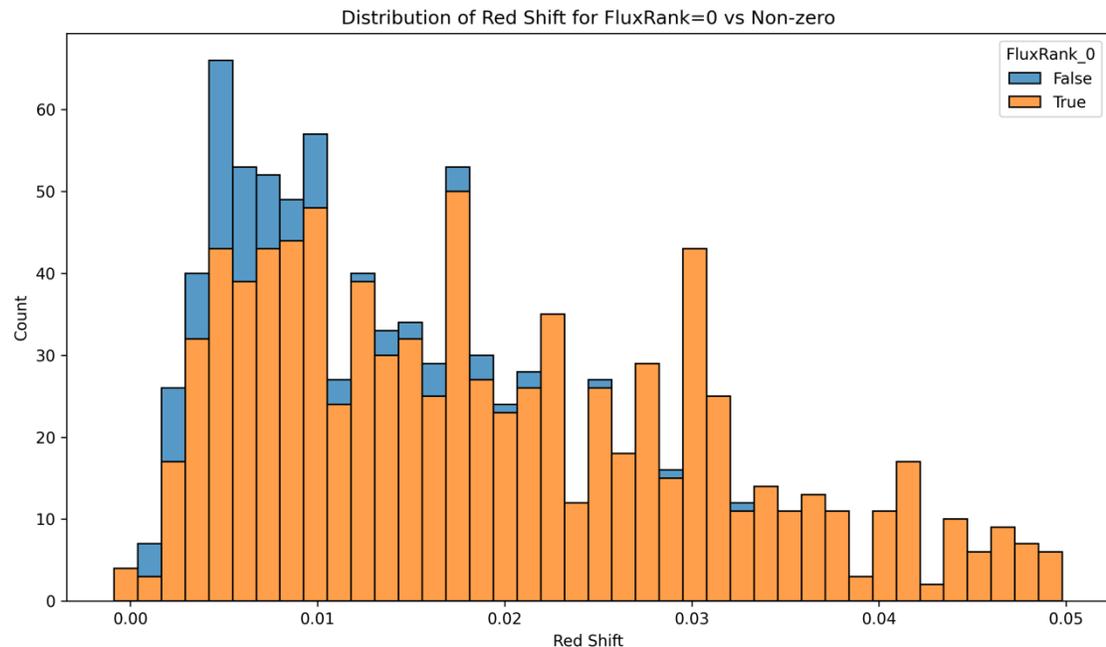


図9：Swiftで観測されたRedShiftごとの有効データと非有効データ

非有効データの数が多く、RedShiftが0.04を超えたあたりから有効なデータがほぼなくなる



RedShiftが0.05未満の**990個**の超新星に関して解析

1. 有効データと、非有効データ

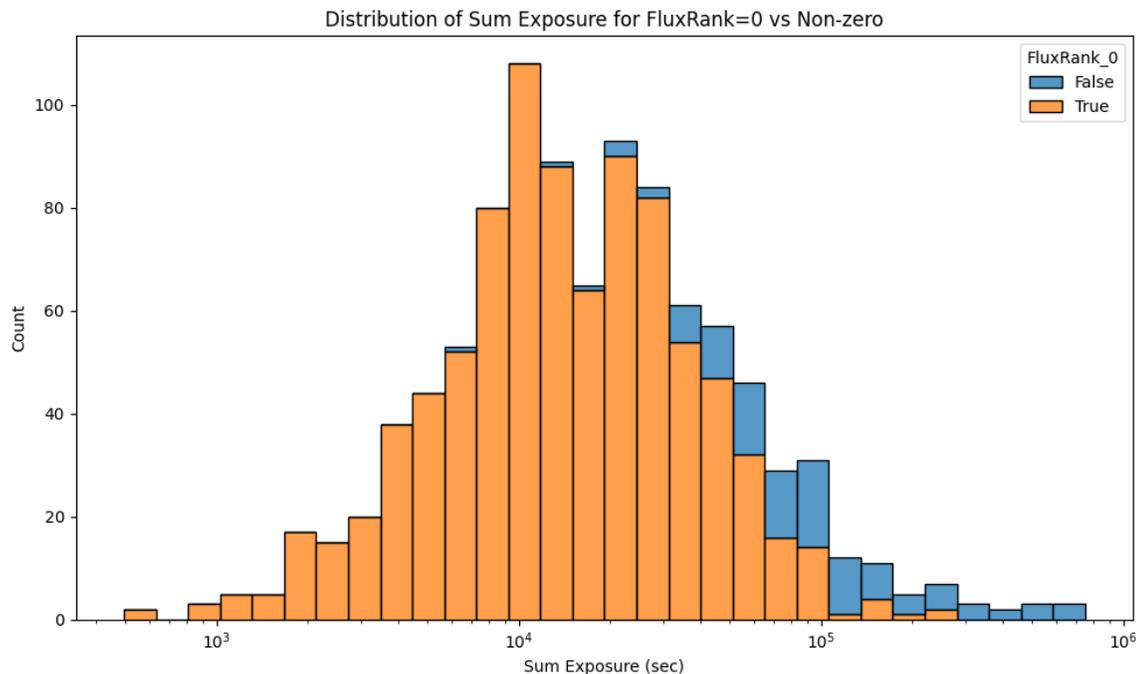


図 1 0 : Swiftが観測した超新星の総観測時間と有効データと非有効データの比率

あまりにX線を観測できていない超新星が多いため、その理由を知りたい。



左の図から、観測時間が 3×10^4 secより短いとき、ほとんどの場合において、有効なFluxを計算できていない。



Swiftが観測している超新星の観測時間が足りないのではないか

1. 有効データと、非有効データ

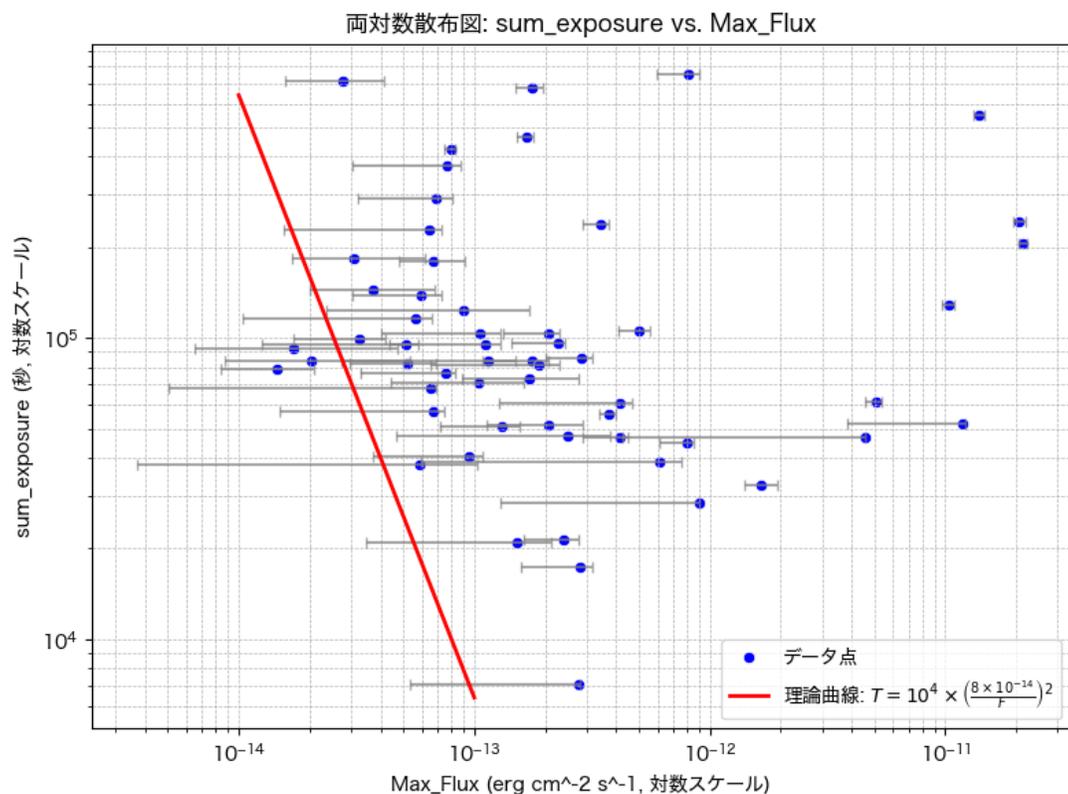


図 1 1 : 観測できた天体のFluxと総観測時間

Swiftの感度： 10^4 秒で約 $8 \times 10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

検出される光子はPoisson過程に従うため、感度は観測時間 T の平方根に反比例すると仮定

▶ 赤色の理論曲線： $T = 10^4 \times \left(\frac{8 \times 10^{-14}}{F}\right)^2$

左の図から、ほぼ全ての観測で仮定した理論直線より、観測時間、超新星のFluxの条件がよい。

▼
 $3 \times 10^4 \text{ sec}$ 程度の観測時間でX線を観測できる超新星は、X線フラックスが大きいものに限られる。

▶ **Swiftを使った超新星のX線観測は総観測時間が短すぎる。**

1. 有効データと、非有効データ

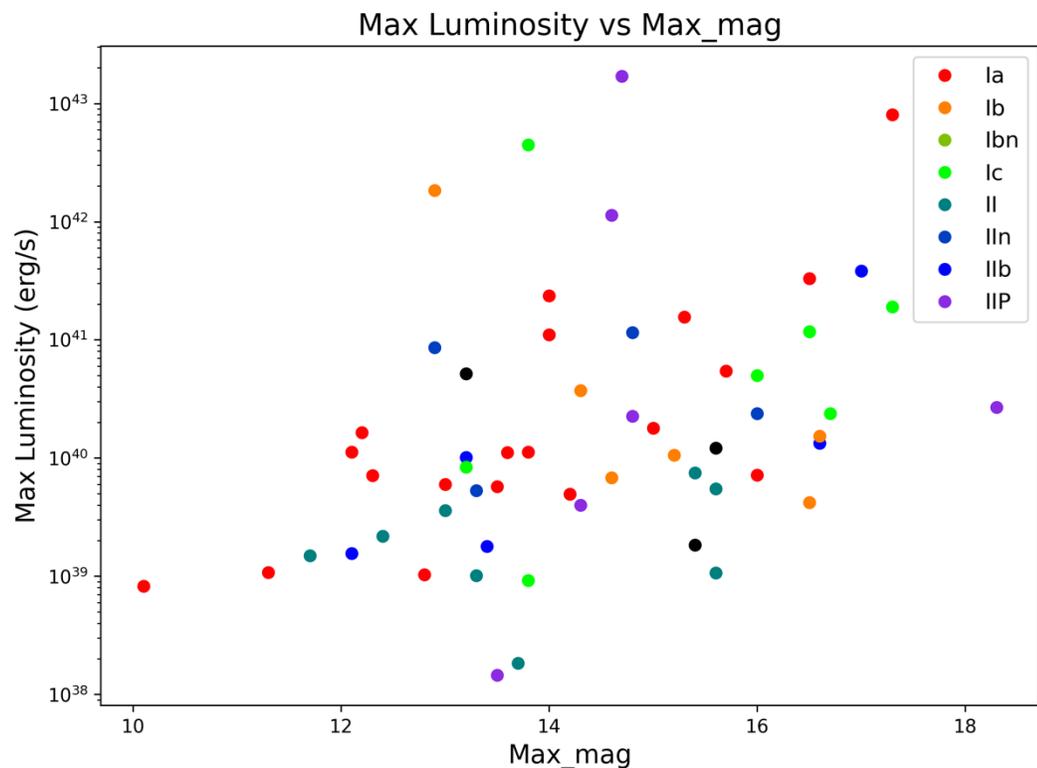


図 1 2 : 観測できた天体のLuminosityとMagnitude

可視光とX線の大きさの強い相関や、超新星の型ごとの強い因果関係は見られなかった。

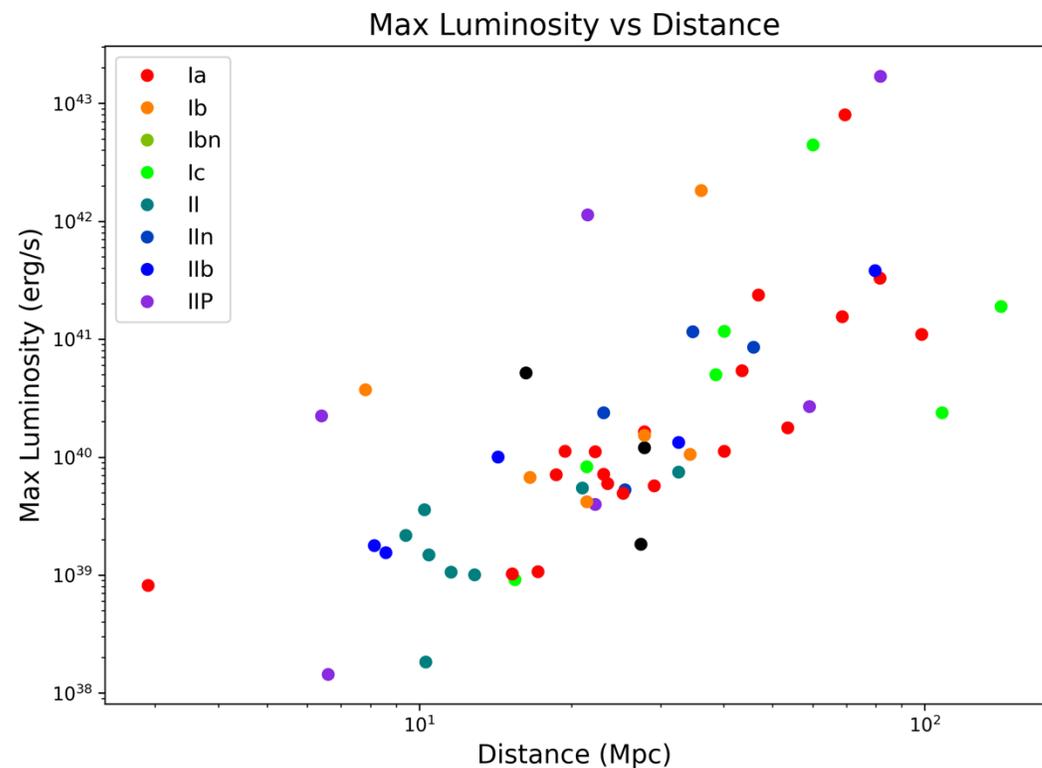


図 1 3 : 観測できた天体のLuminosityと距離

暗くて遠い天体は見えず、距離に応じて起きる超新星の数自体は増えるので、相関が見られた。

2. Luminosityの時間変化

- I c型超新星とII P型超新星は比較的明るい？
- I b型超新星とII b型超新星は比較的暗い？
- I a型超新星は、本来X線が観測されないはずだが、観測されているように見える。また、あまりLuminosityが変化しない？
- II P型超新星は、多くのものが、 10^3 日を超えても明るくなり続ける？

一つ一つの超新星のFluxの変化を見た方が良さそう

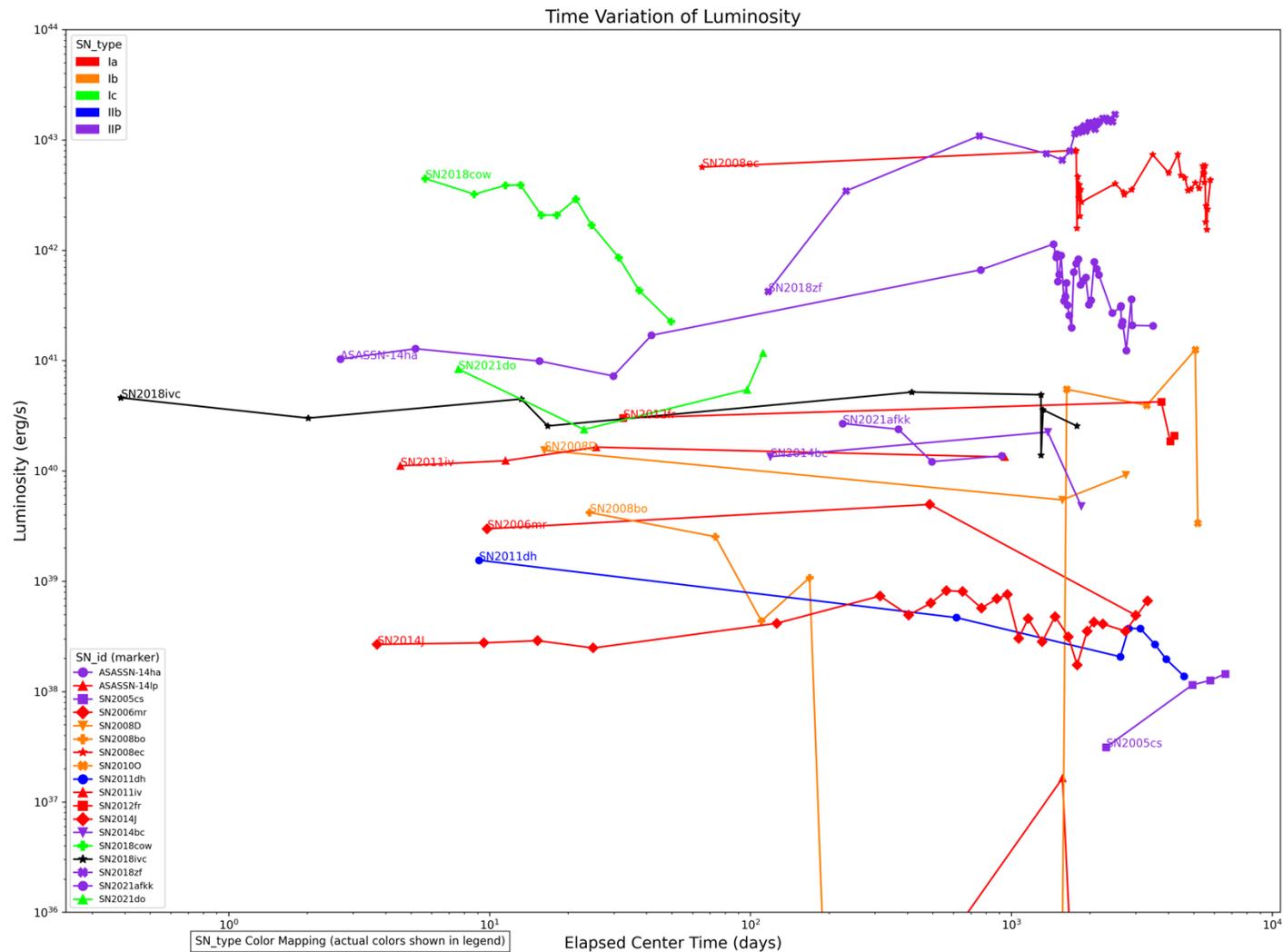
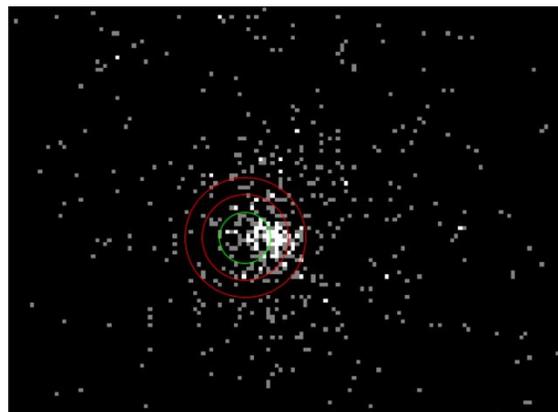
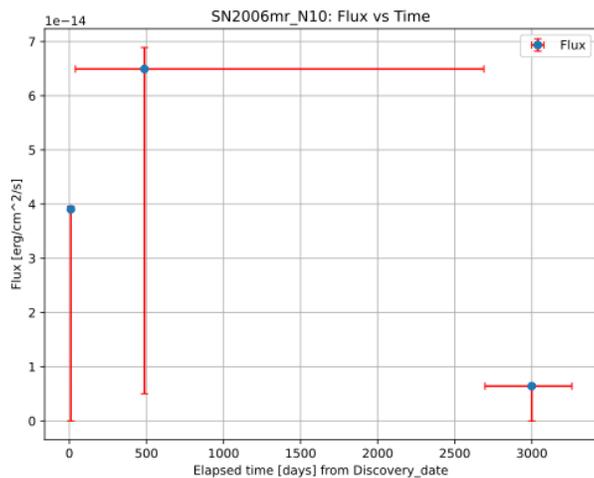


図14：超新星のLuminosityの時間変化

研究の結果 I a 型超新星



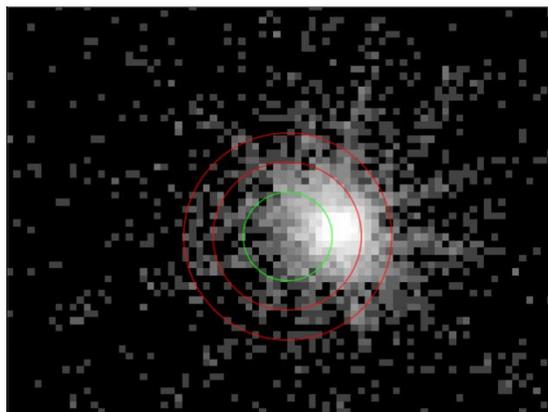
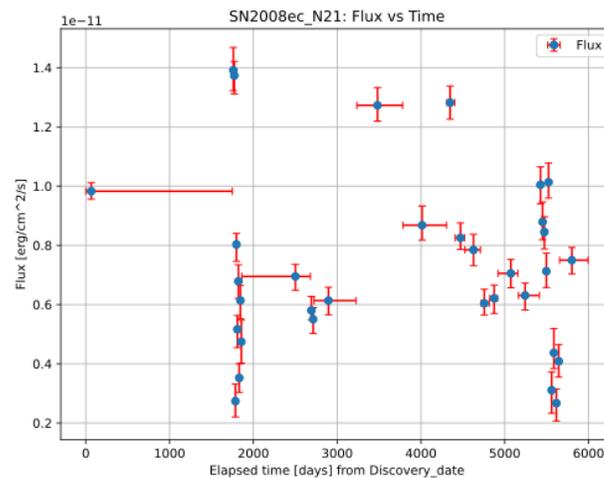
SN2006mr

爆発：2006/11/4

銀河：NGC1316 (25.286Mpc)

RA,Dec：3:22:42.84,-37:12:28.50

Max_Luminosity,Mag：4.97e+39, 14.2



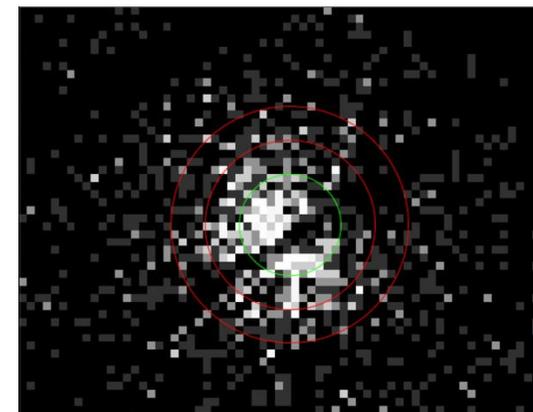
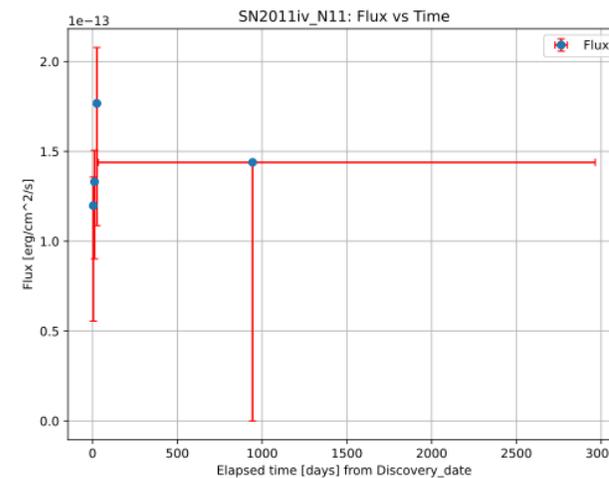
SN2008ec

爆発：2008/7/14

銀河：NGC 7469 (69.429Mpc)

RA,Dec：23:03:16.56,+8:52:19.80

Max_Luminosity,Mag：8.03e+42, 17.3



SN2011iv

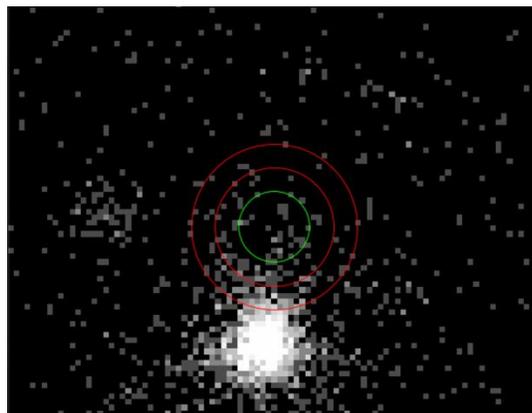
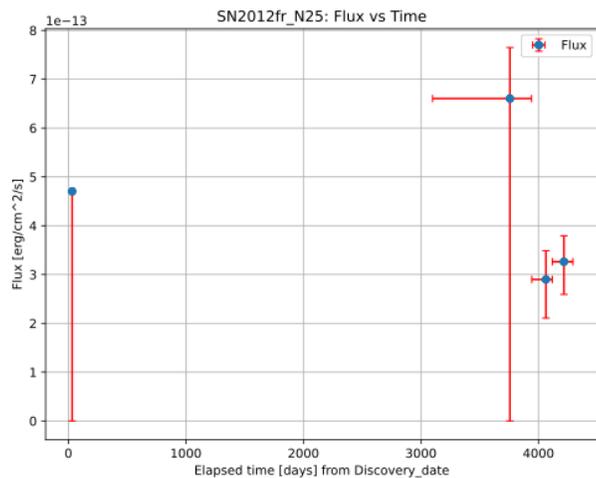
爆発：2011/12/2

銀河：NGC 1404 (27.857Mpc)

RA,Dec：3:38:51.34,-35:35:32.00

Max_Luminosity,Mag：1.64e+40, 12.2

研究の結果 I a 型超新星



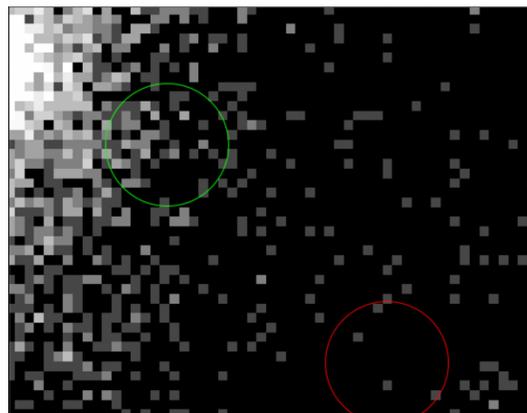
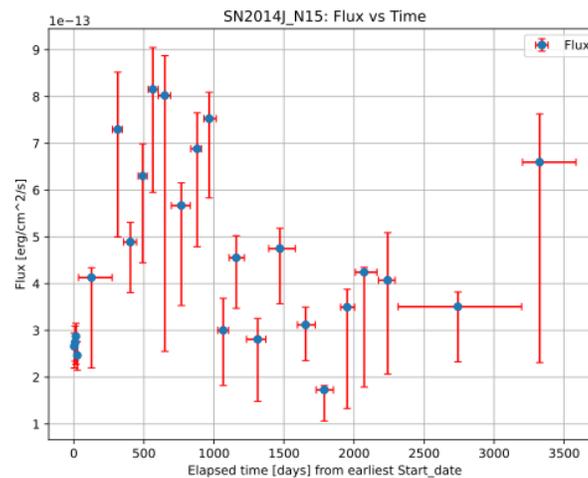
SN2012fr

爆発：2012/10/27

銀河：NGC 1365 (23.143Mpc)

RA,Dec：3:33:35.99,-36:07:37.70

Max_Luminosity,Mag：4.23e+40, 11.9



SN2014J

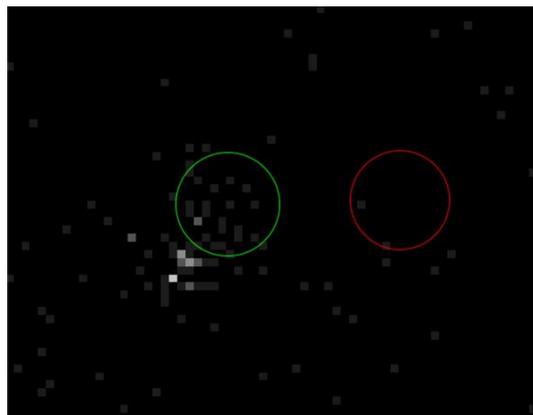
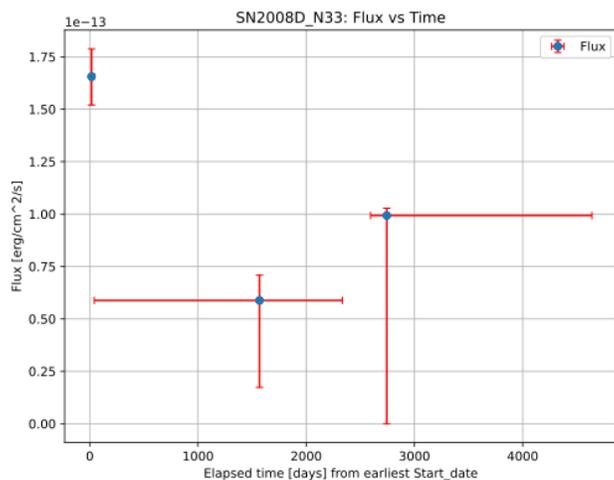
爆発：2014/1/21

銀河：M82 (2.901Mpc)

RA,Dec：9:55:42.12,+69:40:25.90

Max_Luminosity,Mag：8.21e+38, 10.1

研究の結果 I b 型超新星



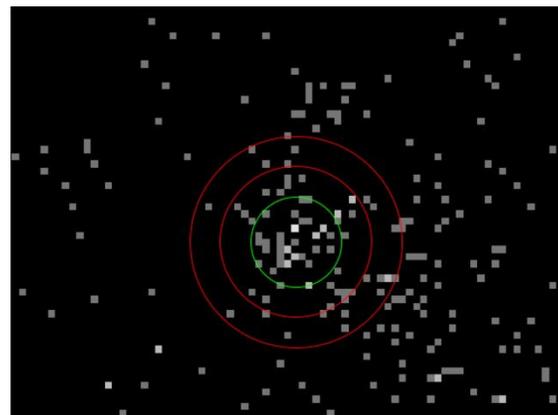
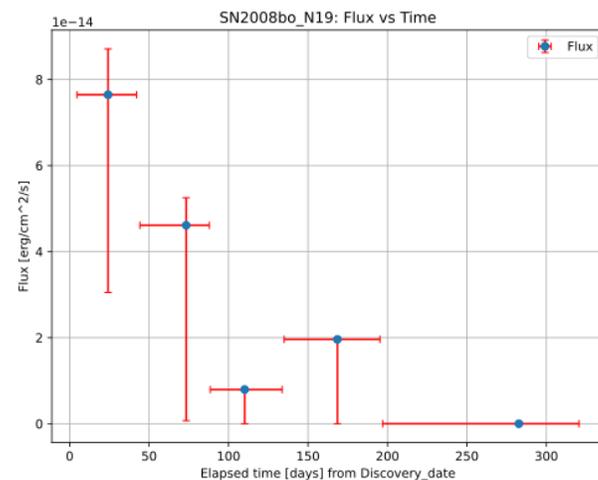
SN2008D

爆発：2008/1/11

銀河：NGC 2770 (27.857Mpc)

RA,Dec：9:09:30.65,+33:08:20.30

Max_Luminosity,Mag：1.54e+40, 16.6



SN2008bo

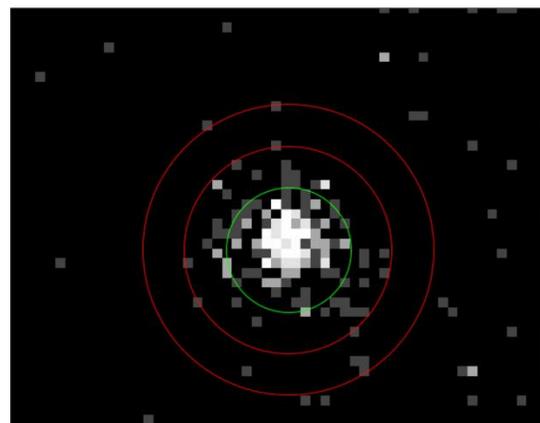
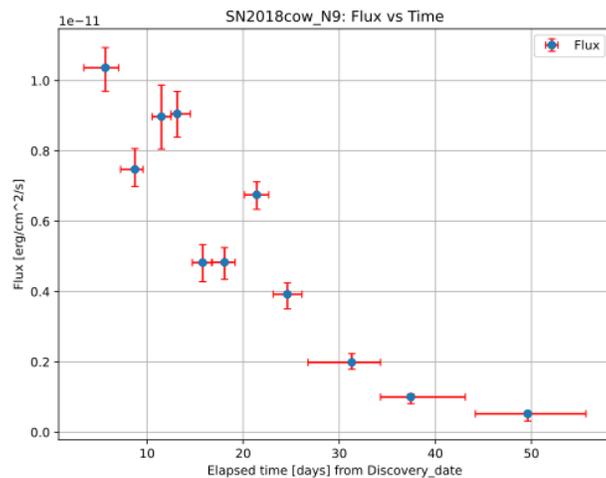
爆発：2008/3/31

銀河：NGC 6643 (21.429Mpc)

RA,Dec：18:19:54.34,+74:34:20.90

Max_Luminosity,Mag：4.20e+39, 16.5

研究の結果 FBOT/ I c 型超新星



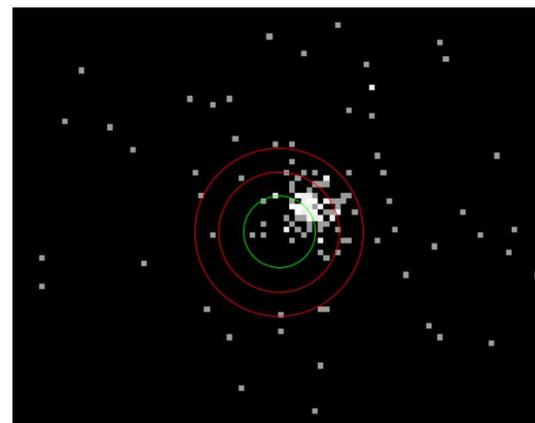
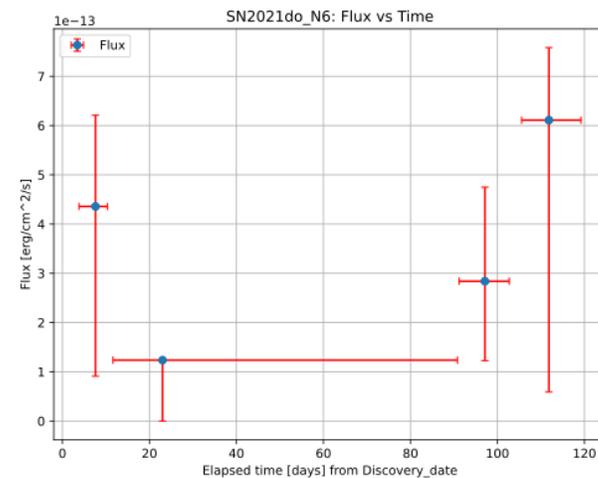
SN2018cow

爆発：2018/6/16

銀河：CGCG 137-068 (60Mpc)

RA,Dec：16:16:00.22,+22:16:04.83

Max_Luminosity, Mag：4.47e+42, 13.8



SN2021do

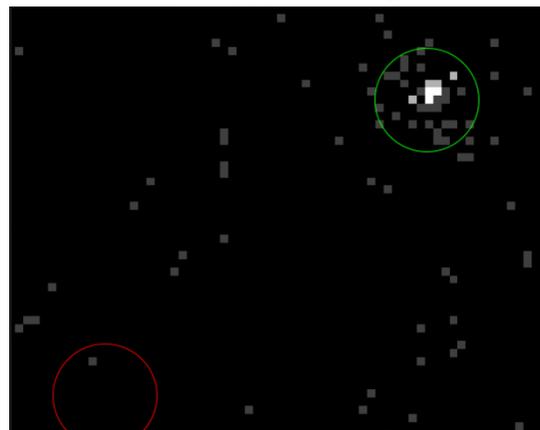
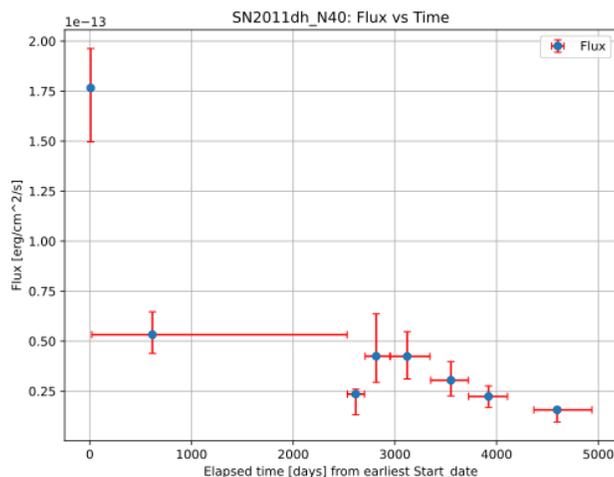
爆発：2021/1/2

銀河：NGC 3147 (40.054Mpc)

RA,Dec：10:16:56.67,+73:23:51.29

Max_Luminosity, Mag：1.17e+41, 16.5

研究の結果 II b 型超新星・II n/L 型超新星



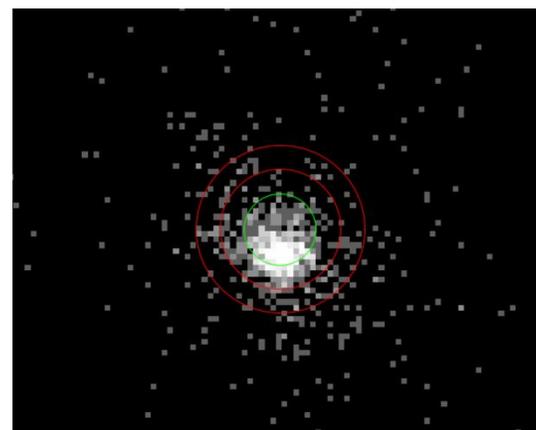
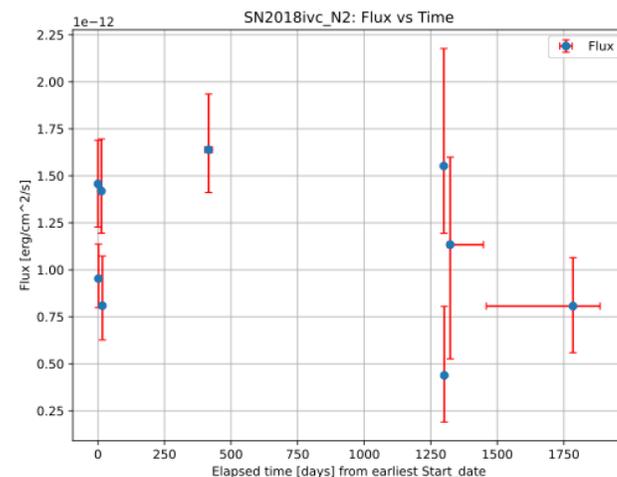
SN2011dh

爆発：2011/5/31

銀河：M51 (8.571Mpc)

RA,Dec：13:30:05.11,+47:10:10.92

Max_Luminosity, Mag：5.17e+40, 13.2



SN2018ivc

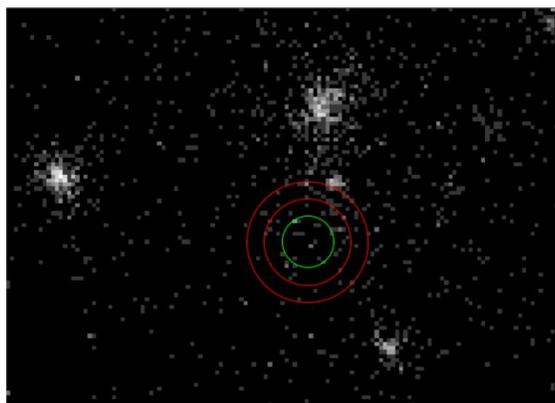
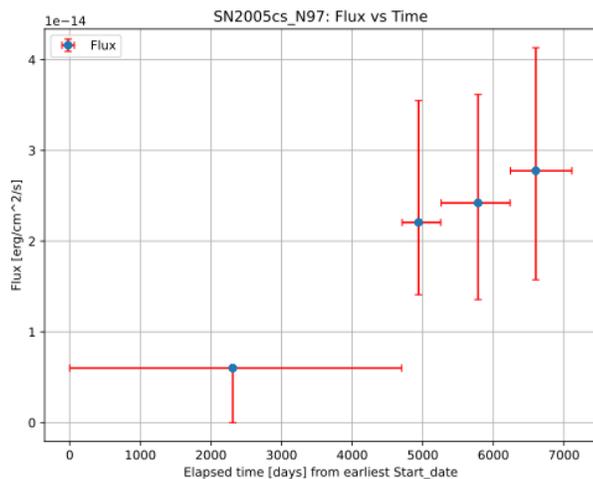
爆発：2018/11/24

銀河：M77 (16.243Mpc)

RA,Dec：2:42:41.28,-0:00:31.92

Max_Luminosity, Mag：1.55e+39, 12.1

研究の結果 II P 型超新星



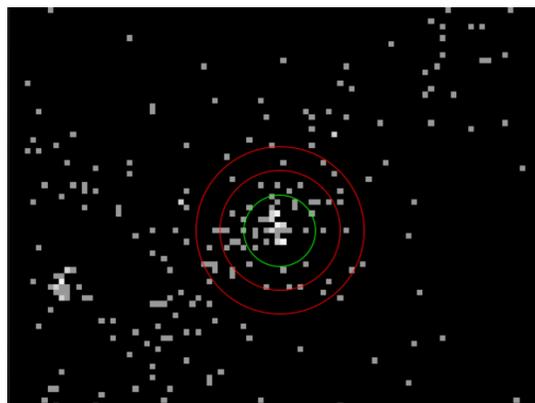
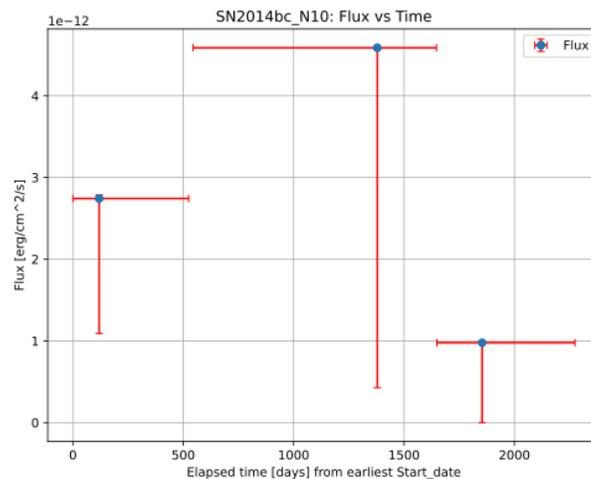
SN2005cs

爆発：2005/6/27

銀河：M51 (6.6Mpc)

RA,Dec：13:29:53.37,+47:10:28.20

Max_Luminosity, Mag：1.45e+38, 13.5



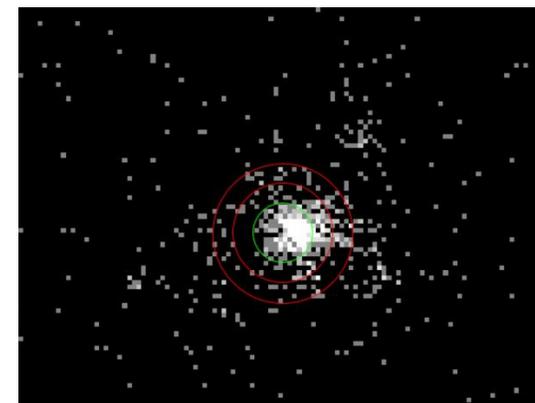
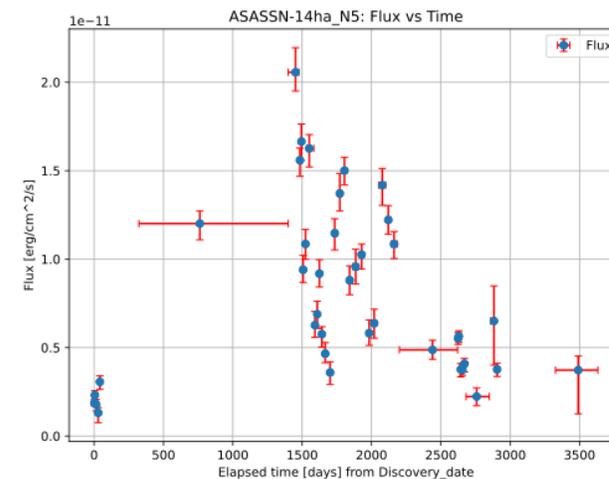
SN2014bc

爆発：2014/5/19

銀河：M106 (6.403Mpc)

RA,Dec：12:18:57.71,+47:18:11.30

Max_Luminosity, Mag：2.25e+40, 14.8



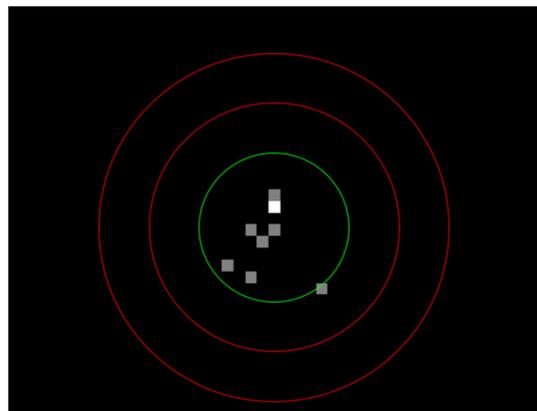
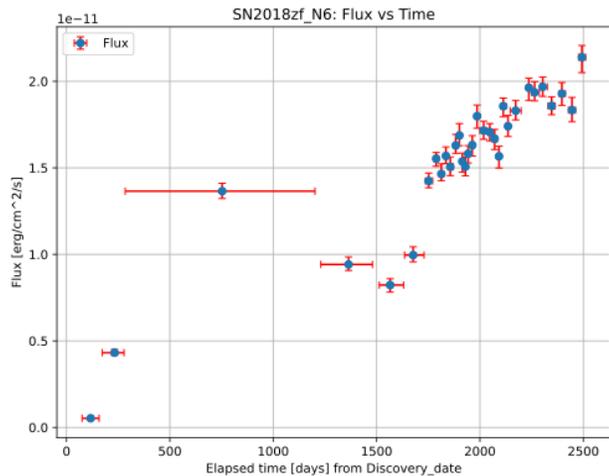
ASASSN-14ha

爆発：2014/9/9

銀河：NGC 1566 (21.501Mpc)

RA,Dec：4:20:01.41,-54:56:17.00

Max_Luminosity, Mag：1.14e+42, 14.6



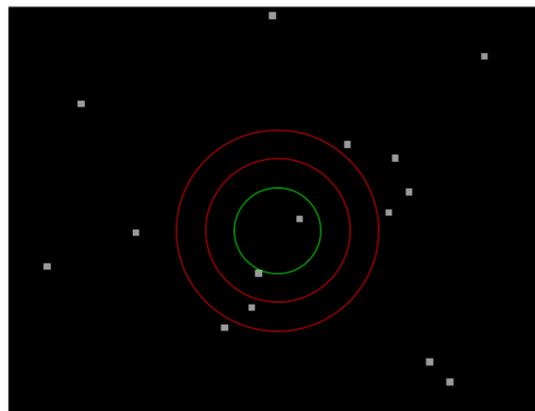
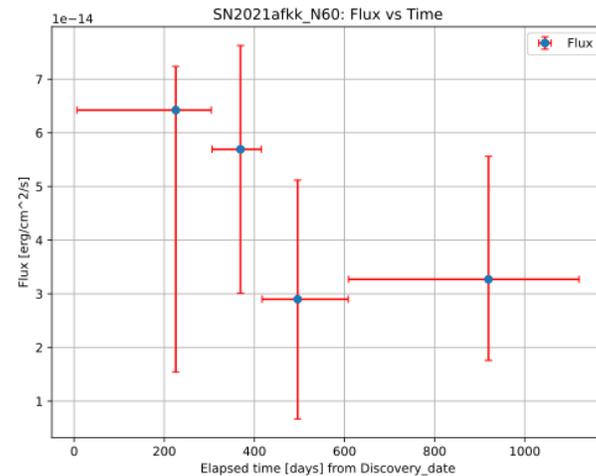
SN2018zf

爆発：2018/3/3

銀河：anonymous (81.643Mpc)

RA,Dec：19:27:19.49,+65:33:54.37

Max_Luminosity, Mag：1.71e+43, 14.7



SN2021afkk

爆発：2021/11/24

銀河：UGC 1971 (59.143Mpc)

RA,Dec：2:29:59.96,+28:38:03.02

Max_Luminosity, Mag：2.69e+40, 18.3

研究の考察

- 過去文献と見比べて確実に時間変化が見えたと思われる超新星
 - SN2008D (Ib)、SN2018cow (FBOT)、SN2011dh (II b)、SN2018ivc (II n/L)、SN2005cs (II P)
- 過去論文にはなかったが、X線が見えると思われる超新星
 - SN2008bo (Ib)、SN2021do (Ic)
- 爆発から1年以上経ったのちにX線が観測されたもの
 - SN2012fr (Ia)、SN2021do (Ic)、SN2005cs (II P)、SN2018zf (II P)
- 銀河中心などのX線に極めて近い天体のSwiftを用いたX線観測は非常に厳しいものがある。
 - 空間分解能が高いものでなければ難しい
 - 特に遠方の超新星は銀河中心と1arcsecも変わらない物もある。

Appendixxxx

データ処理の流れ

- 宇宙からのX線光子がXRTセンサーに到達。
 - 各光子の「到着時間」「位置」「エネルギー」が記録される。
- 生データを校正・クリーンアップし、解析可能なデータに変換（xrtpipeline）
 - センサーの基準値を調整し、信号の正確性を向上。
 - 基準値：センサーが光子を正確に検出するために、信号の「ゼロ点」を設定する値。
 - 故障やノイズの多いピクセルを特定し、データから除去。
 - 常に高い信号を出す異常ピクセルを検出・除去。
 - センサー上の位置情報を天球上の実際の位置（RA/Dec）に変換。
 - Swiftの場合、5arcsec程度の誤差が出る。
 - 不要な時間帯や異常な時間データを除去。
 - データの品質に基づいて光子イベントを選別（例えば、信頼できるイベントのみを残す）。

データ処理の流れ

- クリーンアップされたデータから、科学的に有用なファイルを作成。(xrtproducts)
 - スペクトルの抽出
 - ソース領域の定義：観測対象（例：GRB）の位置を中心とした円形の領域（ソース領域）を定義。ここで検出された光子イベントのみを使用。
 - 背景領域の定義：ソース領域の周囲に位置する別の領域（背景領域）を定義。ここで検出された光子イベントは背景ノイズとして扱う。
 - ソース領域内で検出された光子のエネルギーを集計し、エネルギーごとのカウント数を計算
 - ライトカーブの作成
 - 観測期間を一定の時間間隔（ビン）に分割（例：100秒ごと）。
 - 各時間ビン内でソース領域および背景領域の光子イベント数をカウント。
 - 各時間ビンでのカウント数を観測時間で割り、時間あたりの光子カウント率（明るさ）を計算。
 - 望遠鏡の効率や視野の変動（ビネット効果）を補正。

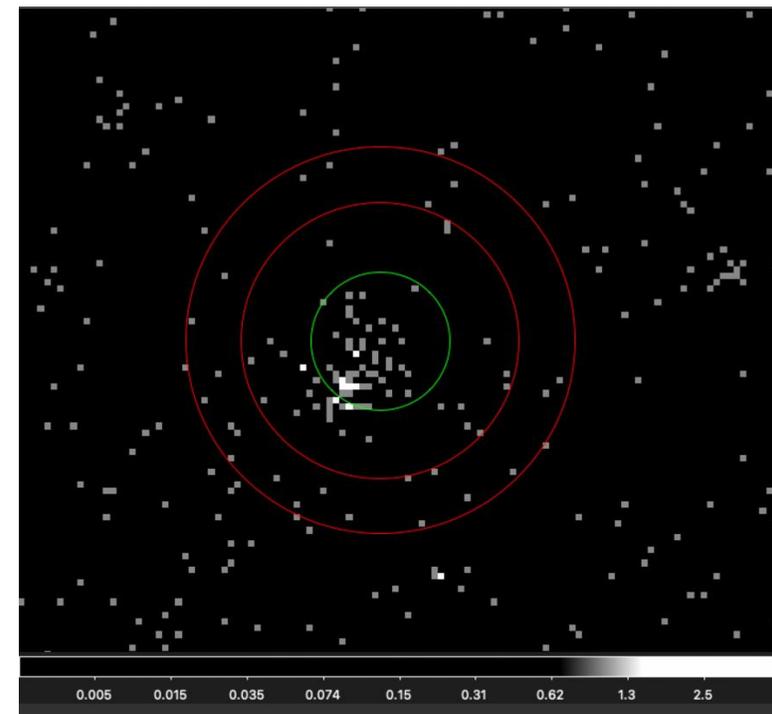


図1 : SN2008Dのソース、
背景領域
(9:09:30.63,+33:08:20.16)
Source : 25arcsec
Back : 50~70arcsec

出力される解析に使うファイル

- xpcw{ }posr.pha
 - 内容：特定の観測（{ }に入る数字）に対するフォトンカウントのヒストグラムを保持。
- xpcw{ }pobkg.pha
 - 内容：背景スペクトル。観測対象の周囲から検出されたX線イベントのエネルギー分布。
 - 用途：ソーススペクトルから背景を差し引く際に使用。
- xpcw{ }posr.arf
 - 内容：異なるエネルギー範囲に対する有効面積の表を含むファイル。
 - 用途：モデル化されたフラックス（光度）をカウント数に変換する際に必要であり、観測装置の感度を考慮して正確な解析を可能
- xpcw{ }po_sk.img
 - 内容：天球座標系でのX線画像。
 - 用途：天体の形状や周囲環境の視覚的解析。

出力されたファイルをXspecで描画、フィッティング

- 右図のようにPhoton Data、Back、Response、Arfファイルを用いて描画することができた。
- abun wilm という組成、model tbabs*powというモデルを使ってfitした
 - Flux : $3.5072e-05$ photons ($1.4096e-13$ ergs/cm²/s)
 - フィッティングはよくわからないので要勉強
- 右図は、爆発直後（当日）のスペクトルであるが、2日後以降は光子の数が大幅に減少しており、SN2008Dの特徴を少しだけ確認できた？

処理の自動化について

- 今回、Swiftでダウンロードした後のデータ処理、解析に使うファイルの作成までの処理を自動化した。
- また、この解析では利用していないが、データ数が少ない場合に複数観測を一つのデータとして合算することも学習した。
- 今回は上記二つに少なくない時間を費やした。

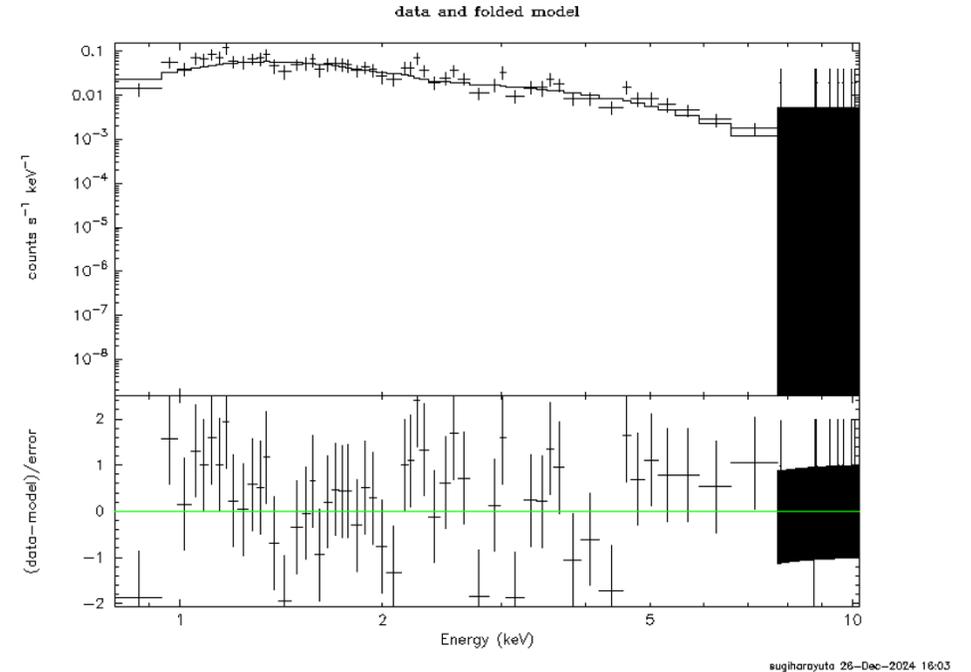


図 2 : SN2008DのX線スペクトル
観測日時 : 2008-01-09T13:00:00
abun wilm、model tbabs*powでFit

研究の方法

4. フィッティング

- フィッティングモデル
 - tbabs (Tuebingen-Boulder ISM吸収モデル)
 - Wilm の太陽系元素分布を使用。
 - 各エネルギーにおける吸収断面積 $\sigma(E)$ を計算し、吸収ファクター $\exp[-N_H \cdot \sigma(E)]$ を返す。
 - 星間物質による吸収効果を計算している。
- powerlaw (plow)
 - 単純なモデル。
 - 数式： $A(E) = K E^{-\alpha}$
 - K ：1 keVでの正規化 (単位：photons/keV/cm²/s)
 - α ：フォトン指数

研究の方法

4. フィッティング

- モデル

観測されるスペクトルは

$$F_{obs}(E) = \exp[-N_H \cdot \sigma(E)] \times K E^{-\alpha}$$

と表され、これを XSPEC でフィッティング。

- Binまとめ

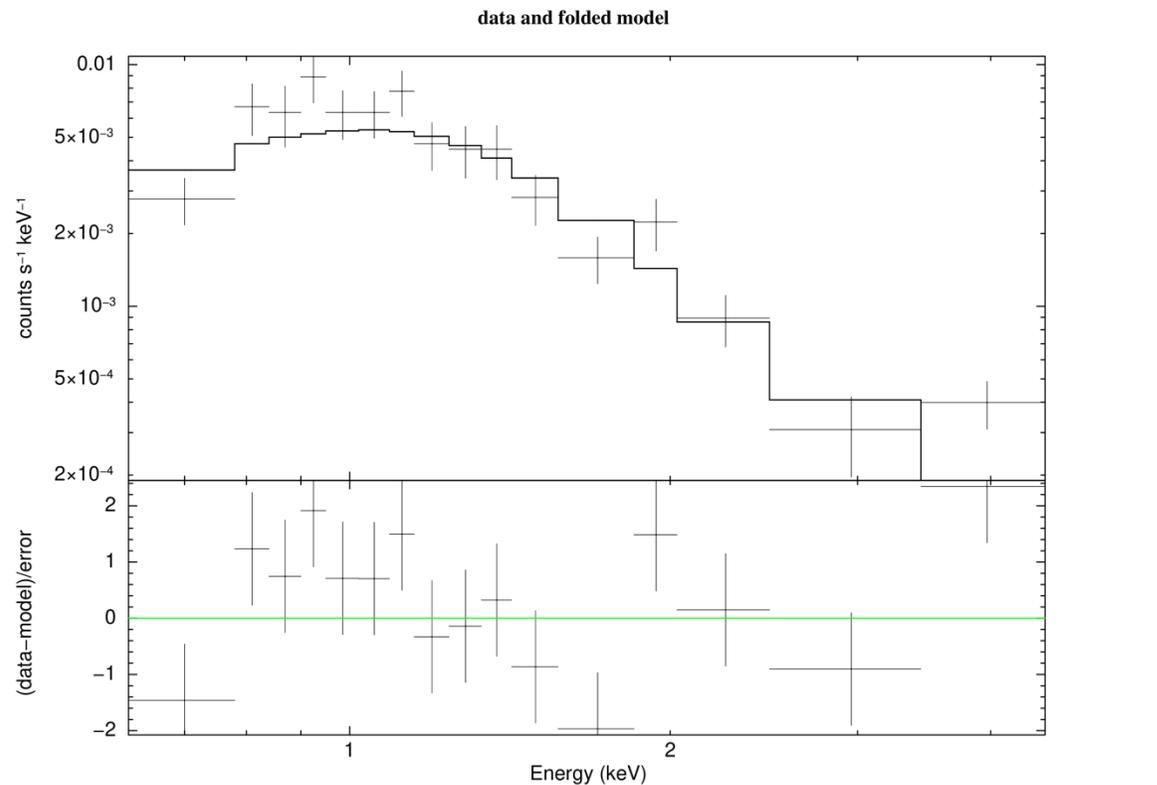
- この際、統計的に正規分布とみなせる最小値20でbinまとめをしている。

- Flux抽出

フィッティング後、指定エネルギーバンド内で

$$\text{Flux} = \int_{E_{min}}^{E_{max}} F_{obs}(E) dE$$

の数値積分で算出。



root 18--Jan--2025 19:12

図3：SN2014JのX線スペクトル
2014-02-09T07/00/00から
2014-02-22T00/00/00の15観測を
マージしたデータのスペクトル

Appendix : Swiftでのスペクトル作成について

