

X線観測のFITSデータ

ISAS/JAXA

宇宙科学情報解析センター 村上弘志

1. はじめに — X線による天体観測とは？

X線でブラックホール(図1参照)とか観測してます、と言うと驚かれることがよくある。一般の人にとってブラックホールはマンガや小説の世界のもので、実際に存在していて、しかもそれを観測している人がいるなどとはあまり考えないらしい。X線は温度にすると数百万度から数億度という非常に高いエネルギーに相当する波長帯のため、特にブラックホールや中性子星、超新星爆発など「高エネルギー天体」を観測する強力な道具である。また、レントゲン写真に用いられるように透過力が強いという特徴があるため、濃いガス中で星が生まれる現場を捉えることにも成功している。1962年に初めてX線星が発見されて以来、X線天文学は可視光など従来の観測では全く予想できなかった激しい天体活動を続々発見し、現在では可視光や赤外線、電波と並ぶ重要な分野となった。

ブラックホールや中性子星(パルサー)など、せっかく言葉としては有名なのだから、これを利用すると興味をひくことができるかもしれない。また、X線はエネルギー帯がかけ離れており、目で見る(可視光の)宇宙とは全く違う姿を示す。身近な天体をX線で見るとどう見えるか、なども目新しい教材となる可能性がある。

今回は教材利用を考える前に、X線の観測、またX線のFITSとはどのようなものかに重点をおいて説明する。その後、私が所属する宇宙科学情報解析センター(PLAINセンター)での取り組みを報告する。

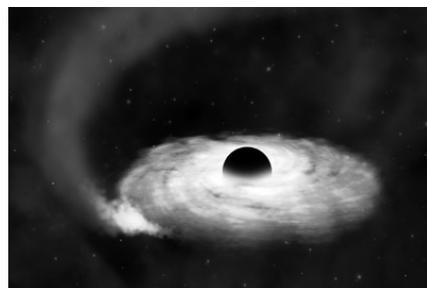


図1: ブラックホールのイメージ画。星を吸い込むところのこと
(NASA/CXC/M.Weiss)

2. X線の観測手段

X線は地球の厚い大気にはすぐ吸収されてしまうため、地上から観測することはできない。そのため、人工衛星を打ち上げて観測をおこなっている。日本は1979年に打ち上げられた「はくちょう」以来継続して衛星による観測を行っており、世界のトップレベルを維持している。現在は5代目の「すざく」が活躍中である。活躍中の衛星の主検出器のほとんどはX線CCDで、動作原理としてはデジカメのCCDと大差ない。一つのCCDは百万画素程度のサイズ。以下、現在活躍中の衛星とその特徴を簡単に示す(図2参照)。

- ・すざく(日本) — CCDと半導体検出器等により広いエネルギー範囲を観測可能
- ・チャンドラ(アメリカ) — ハッブルと同程度の高解像度
- ・ニュートン(ヨーロッパ) — 大開口面積が特徴

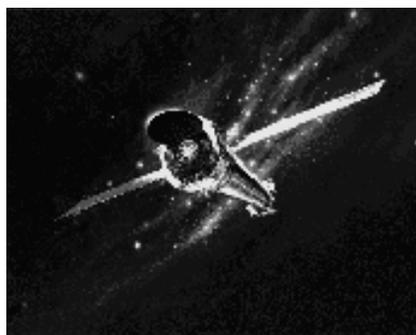
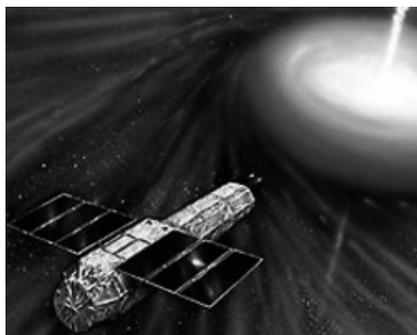


図2: 世界の主な衛星

(左) 日本のすざく衛星。ブラックホール観測中?(中)チャンドラ衛星。きれいなX線写真を多数撮っている。
<http://chandra.harvard.edu/> (右)ニュートン衛星。大口径の反射鏡が3つある。

3. X線のFITSの構造

まずX線の観測が可視や赤外などと大きく異なるのは、X線は粒子的な振る舞いを示すことである。それに加えて、可視光や赤外線と違って光量は一般的に少ない。したがって、普通(可視光)の写真の撮影のようにシャッターが開いて閉じるまでの間に一枚の画像ができるのではなく、露出時間内にCCDに入るX線は数十～数百程度と数える程度である。そのため、全ピクセルのデータを知る必要はなく、X線が来た場所のデータだけを記録することになる。それに応じて、FITSの構造も、光子一つ一つについて**到着時刻、位置、エネルギー**を記録する形式をとるのが一般的である。つまり、図3にあるように表のような形式でデータが格納されている。

この形式からイメージを作りたい場合は、位置情報だけを抜き出してヒストグラムを作ればよい。一つ目のイベントの(X,Y)の場所に一つ点を打ち、次のイベントの点を打ち、…と続けるとイメージができる(この様子をアニメーションにすると実際にX線が来る様子がわかってそれはそれで面白いものになるかもしれない)。

Event #	時刻	位置 X	位置 Y	エネルギー
1	0000	XXX	XXO	###
2	000X	OXO	OXX	###
:	:	:	:	:

図3:X線のFITSの構造を模式的に表したもの

同様にエネルギーの欄でヒストグラムを作るとエネルギースペクトルが得られ、時刻情報からは光度曲線が作られる。一般的には、他の欄の情報でイベントを選別した上で他の欄の情報を使うことが多い。例えば、ある時間のイメージを作るような場合は、時刻情報でイベントを選び、そのイベントのX,Y情報だけを使ってヒストグラムを作ることになる。スペクトルや光度曲線の場合はX,Yで注目する天体の場所だけに絞り込むことが多い。

4. X線データの使い方

X線のデータは、通常観測後一年で公開される。誰でも自由に取得することができ、機器校正なども済んでおりすぐ使える形で配布されている。人工衛星での観測のため観測条件が揃っており、また観測機器や観測モードも限られているためデータの一次処理はほぼ自動化され、ユーザー自身がやるべきことはほとんどない。以下、X線のデータを簡単に扱うことのできるツールを紹介する。

4.1 fv

fvは、FITSをGUIでインタラクティブに読み書きするためのツールである。

<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/lheasoft/ftools/fv/>

で入手でき、Windows版もある。

fvを起動し、event FITSを読み込むと、図4(左)のようなwindowが開く。この、EVENTS Extensionの部分が、event情報を格納しているものである。右のViewの欄で”All”や”Select”を選ぶと、図3のような表形式でデータを見ることができる。

fvは、さらにヒストグラムの表示も可能である。”Hist”ボタンを利用する。この機能を利用すると、X,Yのイメージやスペクトル、光度曲線を簡単に描くことができる(図4右)。

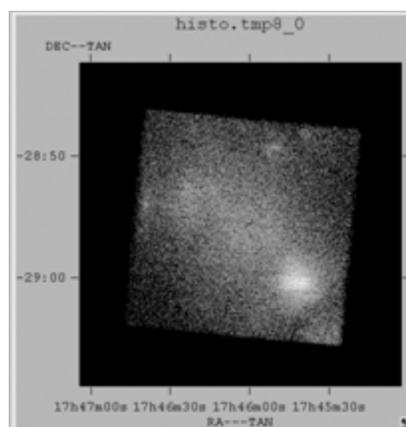
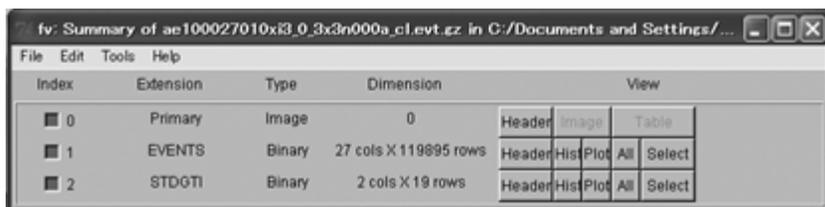


図4: fvの使用例。(左) event FITSのSummary画面。Extensionの情報などが書いてある。(右) “Hist”で作成したイメージ。この画像は我々の銀河系中心部である。

4.2 ds9

ds9は、特にイメージ操作に特化したツールである。もともとirafの表示用に使われていたSAOimageから発展した。以下のURLから取得できる。

<http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>

やはりWindowsでも動作可能である。image FITSに限らずevent FITSをそのまま読み込むことが可能で、スムージングやスライスなど、様々なイメージ処理を簡単に行うことができる。また、三色合成イメージも簡単に作成でき、あらかじめエネルギー帯を区切ったFITSを用意しておくことで、擬似カラーイメージを表示できる。図5にds9の使用例を示す(白黒印刷ですが、擬似カラーイメージを表示しているところ)。

funtoolsという機能拡張用のツールを使用すると、ある領域のイベント数を調べる、radial profileを作成する、さらにはある領域のスペクトルや光度変動を作成するなどの操作も可能である。URLは以下の通り。

<http://hea-www.harvard.edu/RD/funtools/>

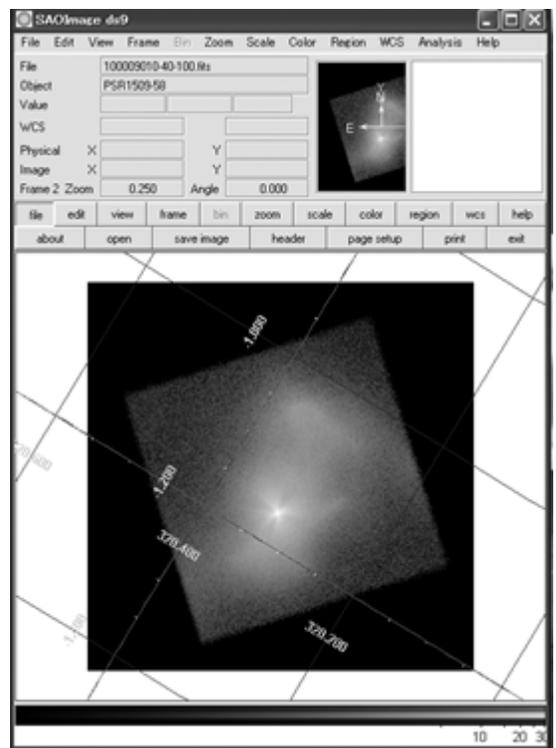


図5:ds9で擬似カラーイメージを作成した様子

5. PLAINセンターでの開発

私の所属するISAS/JAXAのPLAINセンターでは、さらに簡単にX線のデータを扱うツールを開発中である。まとまった教材という形にはなっていないが、材料探しには使えるのではなかとと思う。また、広報目的できれいなイメージを入手する、などの用途も考えられる。いずれもweb browser上で動作するツールであり、誰でも使えるように留意しながら開発を進めているので、ぜひ使ってみて感想・要望などお聞かせいただけると嬉しい限りです。

5.1 UDON

UDON - Universe via DARTS ON-line は、上のds9で作成したような擬似カラーイメージを簡単に、かつ任意のエネルギー帯で作成するためのツールである。

<http://darts.isas.jaxa.jp/astro/suzaku/udon.html>

からUDONにアクセスし、天体名やObsIDで検索して好きな観測を選ぶと図6のような画面になる。この左側の欄でR,G,Bそれぞれのエネルギー範囲を自由に選ぶことができる。

X線は、星間ガスが濃い場所では低エネルギー側が吸収されるので、赤い光が減り、青っぽく見える。また、超新星残骸は比較的低エネルギーのX線を多く放射するので赤っぽく見え、パルサーなど高エネルギーの天体は青っぽく見える。擬似カラーイメージからこのような天体の特徴を知ることができる。

さらに、エネルギー範囲の指定を工夫することで、三色合成に限らず二色や単色のイメージを作成することもできる。輝線のバンドだけを取り出したイメージなどにも面白いものがあるだろう。超新星残骸は、星内部で合成された元素を撒き散らすので、ある特定の元素が集中する様子なども観測可能である。

UDONは、データをdownloadせずweb上で様々な解析をすることを目指したものであり、将来的にはスペクトルや時間変動などの解析も可能にする予定である。

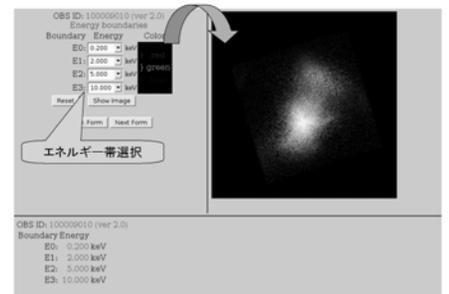


図6:UDONの使用例。PSR1509-58 (obsid: 100009010) で赤: 0.2-2.0, 緑: 2.0-5.0, 青: 5.0-10.0 keVとしたもの(これは白黒なのでぜひ実際にやってみてください...)

5.2 JUDO – PLAINセンター版Google sky

もう一つPLAINセンターで開発しているツールが、JUDO – JAXA Universe Data Oriented である。これは、Google sky のように科学衛星データを全天マップ上に配置し、マウス操作で移動・拡大縮小を自由に行うことを可能にしたものだ。

図7が初期画面で、ここから移動・拡大して好きな領域を見たり、または天体名で検索したりなどできる。座標系は銀河座標、赤道座標系、黄道座標系が選択可能である。ある程度拡大すると、「すざく」の擬似カラーイメージが表示されるようになっていく。

図8にいくつか面白い天体を載せた。ぜひカラーで見てください。URL: <http://darts.isas.jaxa.jp/astro/judo/>。

現在は「すざく」のデータのみだが、来年度以降の開発で他衛星のデータも表示できるようにする予定である。特に「あかり」など全天サーベイのデータを表示することを目指す。「あかり」の赤外線領域のデータと「すざく」のX線データを切り替えて比較するなどできるようになると活用方法も広がるであろう。

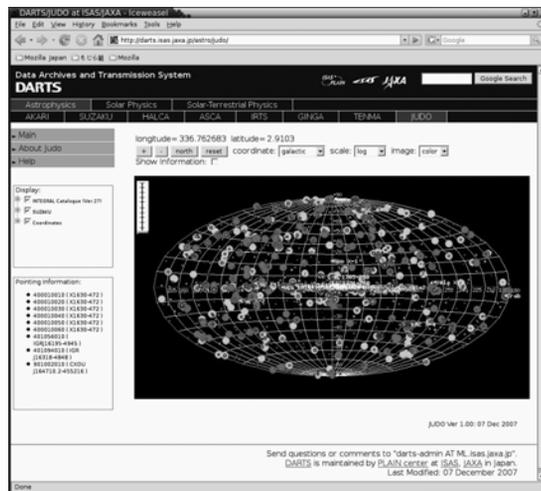


図7:JUDOのトップ画面。すざくの観測した領域にマークがつけられている。また、既知の天体の場所や明るさも示されている。

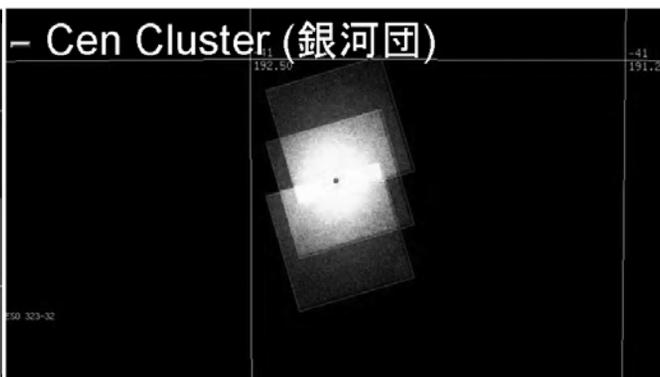
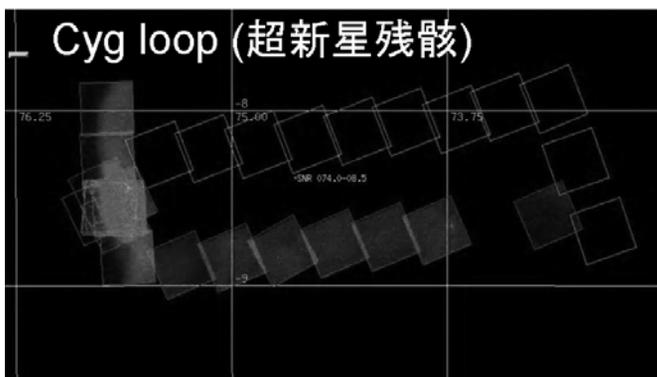
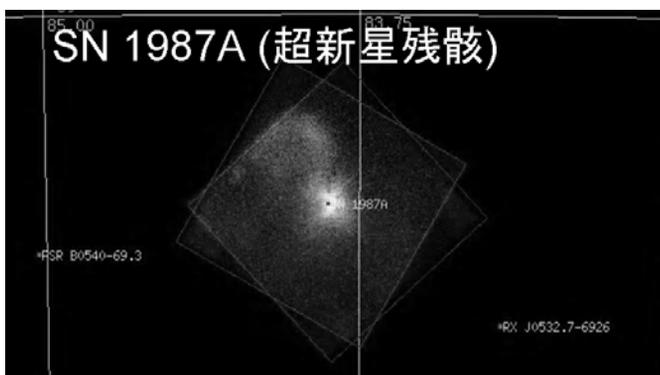
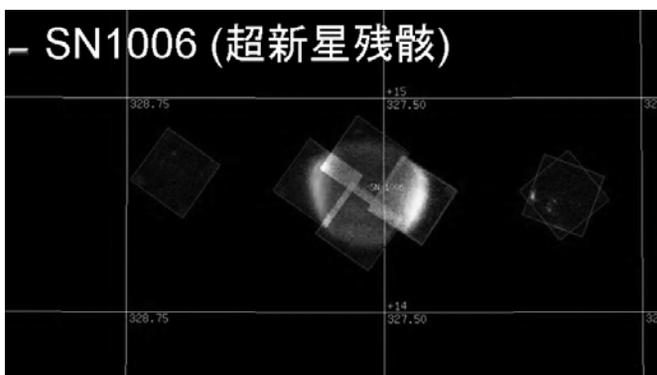


図8: JUDOのイメージの例。超新星残骸や銀河団など複数視野に広がった天体もきれいに表示される。ぜひカラーで見てください。

5. おわりに

今回は、X線のデータの特徴と扱い方、PLAINセンターの活動について報告した。X線は、ブラックホールの観測など興味をひくデータは多いと思うが、やはりまとまった形での教材がないとなかなか扱いにくい。今回は教材利用には踏み込めなかったが、前回のワークショップの集録に海老沢教授がいくつか案を出しているのので、参考にしてほしい。例えば、かにパルサーからのX線の時刻を、既知の回転周期33m秒で折りたたんで表示すると、きれいに一周分の変動の様子を見ることができる。このような単純な作業でも面白い結果が得られるので、ぜひ教材として作り上げていきたいと思う。