

全天X線監視装置MAXIを用いた突発天体の探索

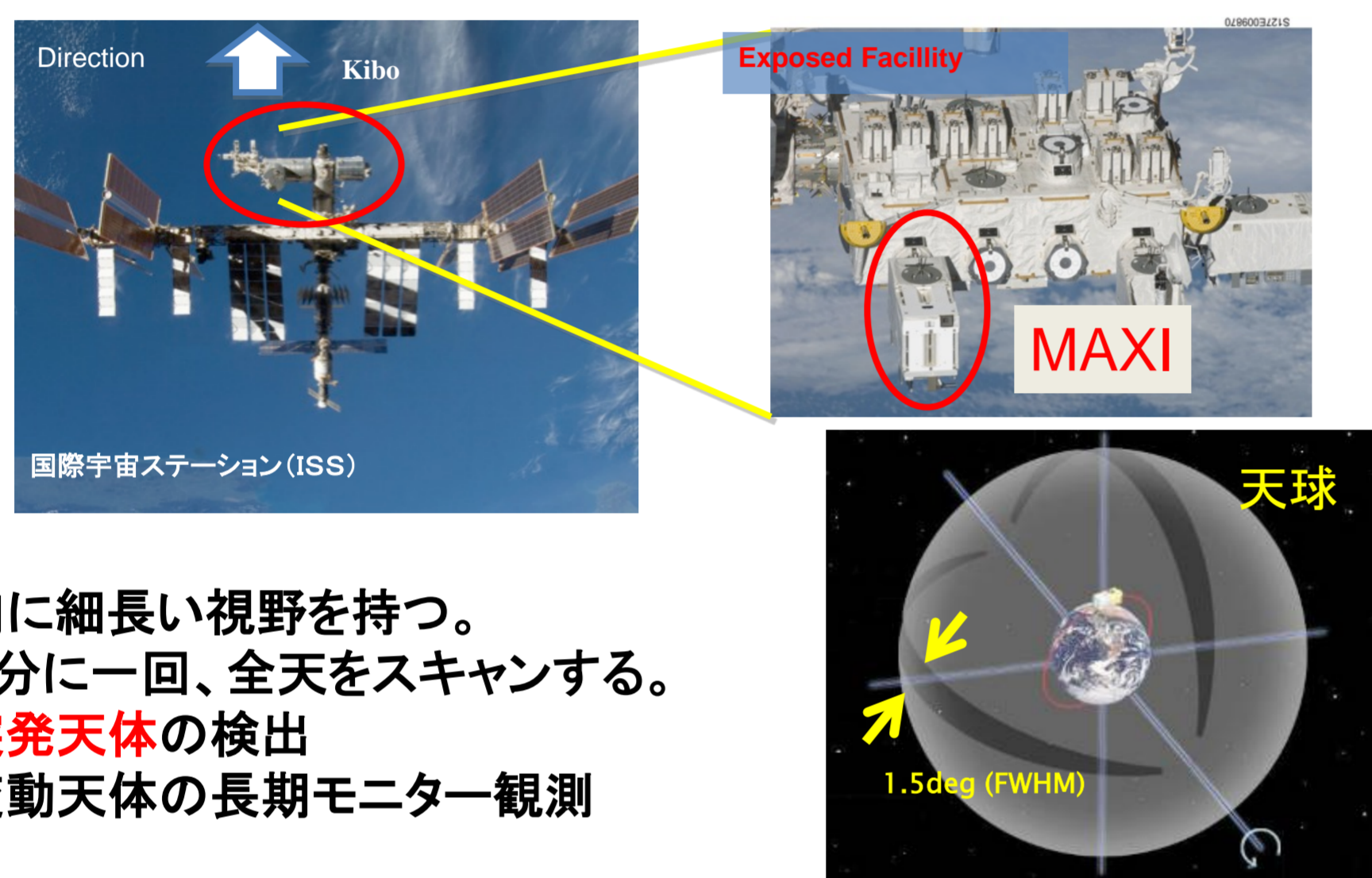
森井 幹雄 統計的機械学習研究センター 特任助教

全天X線監視装置「Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI)」[1]は、国際宇宙ステーションの日本の実験モジュール「きぼう」に搭載されているX線天体の観測装置である。2009年8月から観測を続けており現在も稼働中である。狭く深く天体を観測する望遠鏡タイプの天体観測装置とは異なり、広く浅く観測する点が特徴である。人間の目には見えないX線で明るく輝く天体(X線天体)の多くは、ブラックホールや中性子星といった高密度でコンパクトな天体であり、明るさは激しく時間変動し、また予期しない変動を起こすことが多い。そのため定期的に監視することが重要である。MAXIは約92分に1回の頻度でほぼ全天のX線天体を監視しており、X線天体の突発現象の発見に威力を発揮している。

X線突発天体の中で近年注目を集めているのが比較的低エネルギーのX線(軟X線; 数 keV以下)で発見される軟X線突発天体である。超新星爆発の瞬間[2]や、ブラックホールによる恒星の潮汐破壊現象の一部[3]は軟X線突発天体として観測されている。また重力波を放出する天体現象[4]の電磁波対応天体も軟X線突発天体として検出される可能性が指摘されている[5]。2011年11月には、MAXIにより超新星爆発の点火の瞬間(火の玉期)も軟X線突発天体として発見された[6]。

本研究では、MAXIの観測データの中から、超新星爆発の点火の瞬間に発生する軟X線突発現象を探索した。しかし、超新星爆発が多く発生する領域は、銀河面内であり、この領域にはX線の変動天体が周囲に多数存在しており、通常の解析(Aperture Photometry)によって光度曲線を作成することが困難であった。そこで、MAXI/GSCの点源形状関数(Point Spread Function)を用いたイメージフィットを用いた光度曲線作成プログラムを開発した。ここではベイズ情報量基準を用いたモデル選択によって、混入天体の選出を行った。2009年8月から2014年8月までに発生した可視光新星40天体について軟X線突発現象の探索を行った結果、有意なシグナルは検出されなかったが、重量級白色矮星の存在量に制限を与えることができた[7]。

MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image)



- 2方向に細長い視野を持つ。
- 約90分に一回、全天をスキャンする。
- X線突発天体の検出
- X線変動天体の長期モニター観測

MAXIの観測で得られたX線全天画像

銀河座標で表示したX線全天画像。真ん中が、我々の銀河系の中心方向。横に延びる帯状のX線天体の集まりが天の川(銀河系円盤)に相当する。



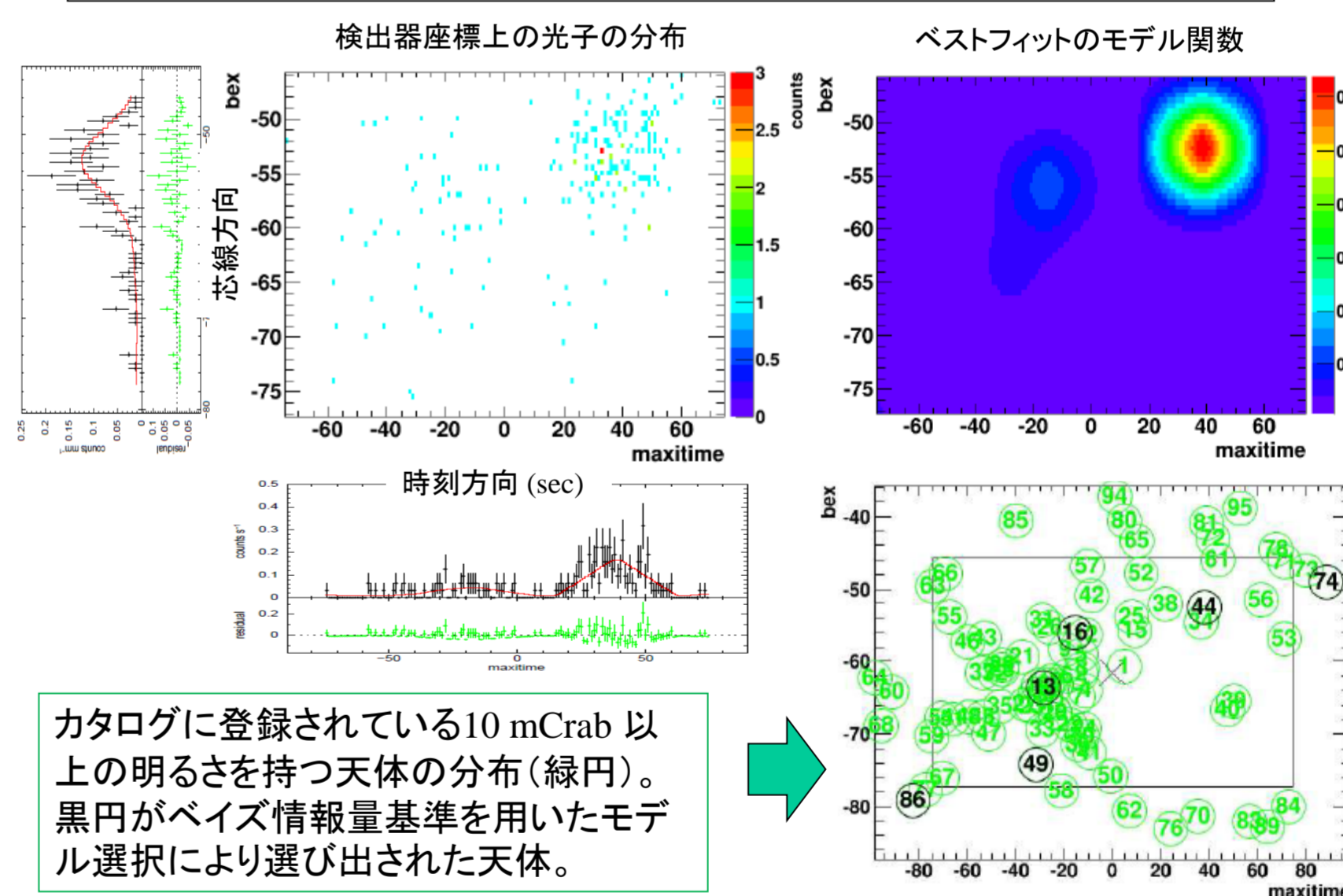
面白い天体が多く存在するのは銀河系円盤内。しかし、この領域は非常に混雑しており、データ解析が困難である。

References:
 [1] M. Matsuoka et al. "The MAXI Mission on the ISS: Science and Instruments for Monitoring All-Sky X-ray Images", PASJ, 61, 999 (2009).
 [2] A. M. Soderberg et al. "An Extremely Luminous X-ray Outburst at the Birth of a Supernova", Nature, 453, 7194 (2008).
 [3] S. Gezari et al. "UV/Optical Detection of Candidate Tidal Disruption Events by GALEX and CFHTLS", ApJ, 676, 944 (2008).
 [4] B. P. Abbott et al. "Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger", PRL, 116, 061102 (2016).
 [5] N. Kawai et al. "Wide-field MAXI: soft X-ray transient monitor on the ISS", SPIE 9144, 91442P9 (2014).
 [6] M. Morii et al. "Extraordinary Luminous Soft X-ray Transient MAXI J0158-744 as an Ignition of a Nova on a Very Massive O-Ne White Dwarf", ApJ, 779, 118 (2013).
 [7] M. Morii et al. "Search for Soft X-ray Flashes at Fireball Phase of Classical/Recurrent Novae using MAXI/GSC data", PASJ, 68, S11 (2016).

解析手法

- ① 可視光新星が発見された時刻を含む期間(-50日~+50日)のMAXI/GSCデータを抜き出し、スキャン毎、カメラ毎に分割する。軟X線閃光が期待される2-4 keVのエネルギー範囲のデータを使用する。
- ② MAXI/GSCで検出できる可能性がある近傍のX線天体をカタログからピックアップする。
- ③ 天体数を1つつ増やしながらフィット(下図)。光子統計が小さいのでUnbinned Likelihood (c-stat)を計算してフィットする。各段階で追加する天体としては、フィットが最も改善したものを選ぶ。フィットの改善度合いは、ベイズ情報量基準(BIC)で評価する。天体の点源形状関数(PSF)はMAXI/GSCのコリメータ形状で決定される三角山関数と、芯線方向の広がりを表すGaussian関数との掛け算。バックグラウンドはコンスタントを仮定する。
- ④ 周辺天体の天体数は、BICの値が最小になるものを採用する。
- ⑤ 目標天体(可視光新星)と、上記手順でピックアップした天体をすべて加えたモデルでフィットし、可視光新星の位置でのX線強度を求め、光度曲線を求める。

可視光新星の位置を中心としたPSF-fitの一例



➢ 可視光で発見された新星爆発の位置に対し、新星発見以前のMAXI/GSCデータを解析し、軟X線突発現象を探索した。
 ➢ しかし、新星が多く発生する領域(銀河面内)は、近傍に明るいX線源が多数存在し、解析が困難である。
 ➢ 点源形状関数(Point Spread Function)を用いたフィットによって、光度曲線を作成するプログラムを開発した。ベイズ情報量基準を用いたモデル選択により混入天体を選出しながらフィットを行った。
 ➢ 2009年8月から2014年8月までに発見された可視光新星40天体に対して、火の玉期の軟X線閃光を探索した(2-4 keV)。
 ➢ この期間に、新星爆発の火の玉期起源の有意な軟X線閃光は無かった(有意度は3σ以下)。
 ➢ 1.40太陽質量以上の質量を持つ重量級白色矮星の存在量に制限を与えることができた。
 ➢ 新星の火の玉期のシミュレーションと本探索で得られたLuminosityの上限値を比較したところ、理論と矛盾しないことが分かった。
 ➢ 本研究で開発したPSF fitによる光度曲線は、地球上のどの領域でも作成可能である。これまで天体が混雑しすぎて光度曲線の作成をあきらめていた天体についても、光度曲線が作成可能になった。今後は、PSF fitによる光度曲線を他の種類の天体についても作成していく。

本研究で開発した解析手法を用いることで、銀河中心付近など、非常に天体が混雑した領域にある天体でも信頼できる光度曲線を作成することが可能になった。右図はその一例である。
 上図が通常のAperture Photometryを用いて作成した光度曲線、下図がPSF-fitを用いた光度曲線。Aperture Photometryの場合、近傍の明るい天体のPSFの裾の混入割合がISSの歳差運動に相当する70日周期で変化するため、その影響を強く受けている。一方、PSF-fitの場合、その影響を取り除けていることが分かる。

