

MAXI/GSC による全天観測データ公開システムの開発

中平聡志^{*1}, 海老沢研^{*2}, 根来均^{*3}, 三原建弘^{*4}, 杉崎睦^{*4}, 芹野素子^{*4},
諏訪文俊^{*3}, 浅田真^{*3}, 富田洋^{*1}

Development of the MAXI/GSC all-sky data archive system

Satoshi NAKAHIRA^{*1}, Ken EBISAWA^{*2}, Hitoshi NEGORO^{*3}, Tatehiro MIHARA^{*4},
Mutsumi SUGIZAKI^{*4}, Motoko SERINO^{*4}, Fumitoshi SUWA^{*3}, Makoto ASADA^{*3} and Hiroshi TOMIDA^{*1}

Abstract

MAXI, the only all-sky X-ray monitor on the International Space Station (ISS), started observation in 2009 August. MAXI has two major objectives, 1) to issue rapid alerts of new X-ray novae/transients into astronomers worldwide and 2) to acquire long-term all-sky X-ray data. Thanks to the good network connection between the ISS and the ground station, we can obtain 70% of MAXI data through the real-time communication path. We built a ground system (referred as “MAXI-DB”) to handle real-time data efficiently; with the MAXI-DB and the alert system we issued 29150 rapid alerts in the three years since MAXI started observation. It is crucial to provide MAXI data to scientists all over the world, because MAXI data includes rich information. The MAXI data has been released to public step by step. Daily data products including images, light curves and energy spectra for 29300 pre-registered X-ray sources have been archived on the MAXI web site (<http://maxi.riken.jp/top>). Since the MAXI data taken by the slit-scan observation includes complex information on all-sky X-ray sources, it is not easy to collect data for a given source quickly on demand. We thus developed the MAXI on-demand archive system which sort all event data in orders of the sky region and the time. The new archive system is confirmed to process data for any celestial source 29100 times faster than the former system.

Keywords: X-ray astronomy, MAXI, data archive, real-time data

概要

MAXI(Monitor of All-sky X-ray Image)は2009年8月から「きぼう」船外実験プラットフォーム上で観測を続けているX線全天モニタである。MAXIには2つの主要な役割があり、1つはX線突発変動天体の速報、もう1つは長期にわたる全天のX線による定常的な観測である。MAXIはISSの通信環境により、観測時間の70%はリアルタイムにデータを取得できる。MAXIは、リアルタイムデータを効率良く扱うため、MAXI-DBという地上システムを構築し、それらを利用してこれまでの3年間の観測で150件以上ものX線天体の変動現象に関する観測速報を行った。MAXIの観測データには多くの天体に関する様々な科学情報が含まれるため、データを全世界の科学者に利用しやすい形式で提供することは重要である。我々は段階的にデータ公開を実現してきており、現在までに300程度のカatalog天体の日々の画像、ライトカーブ、エネルギースペクトルデータや、ユーザーが任意に入力した位置/時刻に対応したデータ(オンデマンドデータ)を公開している。MAXIのデータは時間/空間方向で複雑に入り組んでいるため、1日毎に全データを1ファイルにアーカイブする方式では非効率で、オンデマンド公開で天体毎の解析処理の際、要求される処理時間を達成できなかった。そこで、X線データを時刻や到来方向によって整理し、幾つかのファイルに分割し、結合する方式を使ったシステムを構築した。その結果、100倍程度の効率化を達成することができた。

キーワード: X線天文学, MAXI, データアーカイブ, リアルタイム

*1 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 ISS 科学プロジェクト室 (ISS Science Project Ofce, ISAS, JAXA)

*2 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所宇宙科学情報解析研究系
(Department of Space Science Information Analysis, ISAS, JAXA)

*3 日本大学理工学部物理学科 (Department of Physics, Nihon University)

*4 理化学研究所 MAXI チーム (MAXI team, RIKEN)

1 はじめに

全天 X 線監視装置 MAXI(Monitor of All-sky X-ray Image)[1] は、国際宇宙ステーション (ISS) 日本実験棟船外実験プラットフォーム上で、現在観測を継続中である。JAXA と理化学研究所が主体となり、東京工業大学、青山学院大学、大阪大学、日本大学、京都大学、宮崎大学、中央大学の研究者や大学院生によって運用および宇宙物理学の観測的研究が行われている。MAXI は ISS の周回に伴い、進行方向と垂直に細長い視野で走査観測を行うことで周回ごとに全天の大部分を観測する。検出感度は過去に存在した同種の観測装置と比較して 1 桁優れており (瞬間的な検出感度、長期観測による限界値共に)、これまで 2 年半の観測により数百の X 線源を検出している (図 1)。この高い検出感度と全天カバー率、観測頻度に加え ISS の恵まれた通信環境を活用することで、MAXI は

1. 突発的な天体の出現、既知の天体の変動現象について、即時に全世界に通報する
2. あらゆる天空方向に対する、長期 X 線観測データを恒久的にアーカイブし全世界に対して提供する

という使命を与えられている。

この使命を達成するためには、過去の観測装置または現在運用中の指向型観測装置と全く異なるデータの取り扱いが必要であり、我々はその開発を行ってきた。本論文では、これまでに実現している天体変動現象の速報と、オンデマンドデータ公開を実現するための開発について説明する。まず 2 章では MAXI の装置と、**データ公開**および**データアーカイブ**の意義、これまでに行なってきたデータ公開の履歴について述べる、3 章では MAXI-DB と呼ばれる地上系を中心としたリアルタイムデータの扱いと突発天体変動現象の速報、4 章ではユーザーの入力した時刻と位置に対応するデータを提供する「オンデマンドデータ公開」の概要および、短時間でデータを提供するために構築した、短期アーカイブシステムについて

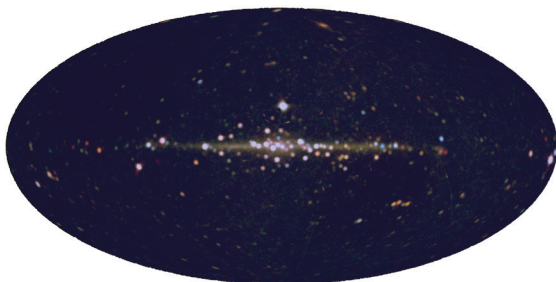


図 1 運用開始以降、約 2 年半の観測データを積分した全天画像。2-4, 4-8, 8-16keV の X 線強度をそれぞれ赤、緑、青に対応させた。銀河面上の明るい天体から、0.5mCrab 程度の暗い天体まで数百の X 線源が検出されている。

説明する。最後に、MAXI のデータを永久的に保存・公開するための長期データアーカイブシステムについて述べる。

2 MAXI とデータ公開

2.1 観測装置と観測のメカニズム

X 線天文学の黎明期より後に登場したほとんど全ての全天モニターは、主検出器としての指向型観測装置に対する、副検出器という位置づけであり、限られた性能しか与えられなかった。一方、MAXI は全天観測に特化した装置として考案され、電源、冷却、通信などのリソースが用意されている ISS という環境において、X 線検出器に十分な重量を割くことができ、それによって全天モニターとしては過去最高の性能を実現することができた。具体的には、以下の 2 種類の科学観測装置を搭載している。

■ **GSC(Gas Slit Camera)** GSC([2], [3]) は 12 台のガス比例計数管 (10m の炭素芯線と Xe99%+CO₂3% ガスを使用) によって構成されていて、2-30keV の X 線に感度を持ち、12 台合計で 5000cm² と非常に大きな検出面積を持つ。MAXI は ISS の進行方向と垂直方向に視野を持ち、GSC はの各視野の瞬間的な視野は 3° × 160° である。

■ **SSC(Solid State-slit Camera)** SSC([4], [5]) は 32 枚の CCD カメラチップを持ち、0.5-12keV の観測帯域と、3 × 90° の視野を、GSC 同様 2 つ持っている。また、その高エネルギー分解能を生かして、より詳細な輝線スペクトルの測定が可能である。

各カメラは、スリットとコリメーターによって制限/分割された細長い視野を持ち、検出器の 1 次元位置決定性能とあわせて X 線光子の到来方向を決定する事ができる。約 92 分毎の ISS の周回に伴って、この進行方向に対して垂直に細長い視野による走査観測を行うことで、全天の広い領域を見ることができる。MAXI の観測効率、検出感度などについて、表 1 にまとめた。X 線検出器は地球上の高緯度帯など、粒子バックグラウンドの高い領域では観測を停止するが、1 周回あたり全天の 5-70% 程度、1 日では 95% 程度を観測することができる。そのことで、ある天空領域に対しては、40-100 秒程度の観測を 1 日に数回から最大で ~ 20 回行うことができる。

2.2 データ公開

高感度で全天を走査する MAXI の観測データには多種多様な天体からの情報が含まれ、思わぬ発見につながる

表 1 MAXI による典型的な観測効率と、GSC, SSC それぞれの検出感度.

全天カバー率 (GSC+SSC)	50-70% / orbit ~ 95% / day (ある位置に対しては ~ 十数 scan/day)
リアルタイム ・データリンク	60-70%
検出感度 (5σ)	GSC : 50 mCrab/scan, 20 mCrab/day SSC : 100 mCrab/day

現象が潜んでいる可能性があり得る. よって, 全世界に対して使いやすい形でそのデータを提供し, より多くの科学者が利用できるようにすることが本質的に重要である. 我々は, 解析やデータ公開の準備が整い次第, 理化学研究所に設置した MAXI 公式 Web ページ¹を通じて, 科学的利用が可能な処理済みデータを以下に示す様に段階的に提供してきた.

■ 2009 年 12 月~光度曲線データ MAXI によって検出された天体, もしくは過去の観測装置や現在運用中に他の観測衛星によって検出されて監視が必要な天体の位置の X 線光度変化で, 図 2 にはその一例を示した. 最新の数日間の簡易プロットや運用開始以降にわたる数値データが入手可能である.

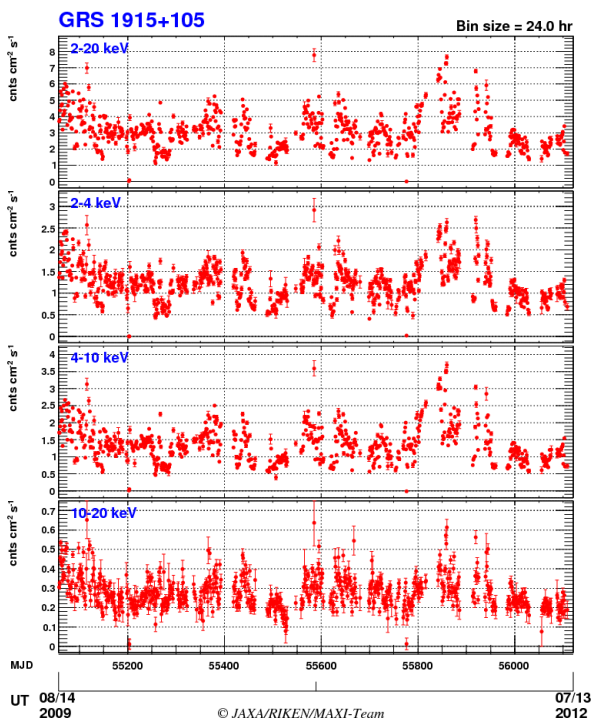


図 2 MAXI 公式 Web ページから取得した光度曲線の図. ここでは, マイクロクェーサー GRS 1915+105 の全観測データを示した.

■ 2010 年 09 月~1 日毎のスペクトルデータ公開

MAXI によって有意に検出されている天体のうち比較的明るいものに限り, 1 日毎に積算したエネルギースペクトルと応答関数データを提供.

■ 2011 年 11 月~オンデマンドデータ公開 任意の天体・時刻に対する画像, 光度曲線, スペクトルを, ユーザーの入力に応じて提供する. 詳しくは 4 章で説明する.

3 リアルタイムデータと地上システム

2009 年 8 月の観測開始以来, 現在にまでに, MAXI はブラックホール連星, 中性子星連星, X 線パルサー, 活動銀河核といった様々な高エネルギー天体を連続的にモニターし, 状態遷移などの変動現象や, ガンマ線バーストや星フレアなど, 数多くの突発現象を捉えてきた. 検出された変動現象のうち価値が高いものは, MAX チームの提供するメーリングリスト², The Astronomer's Telegram(ATel)³ および The Gamma-ray Coordinates Network(GCN)⁴ などの天文学観測コミュニティに対して速報され, 現在までに 100 件以上となっている. この速報を実現するためには, ISS の通信環境と地上系が大きな役割を果たしている. 本研究は, ISS から地上系のデータの流れと MAXI-DB を起点とする MAXI 地上系の概要について説明する. データフロー及び地上系のより詳細と, MAXI-DB および速報系の技術的な面については出版準備中の別論文 [6] で述べられる.

3.1 観測データのフロー

図 3(a) に簡略化した機上から地上へのデータの流れを示した. X 線観測データや House Keeping(HK) データ, ISS 補助データからなる MAXI データは, オンボードのデータ処理系によってテレメトリデータとして処理され, データ中継衛星を経由してつくば宇宙センターに転送される. 転送系には低速系と呼ばれる 1553b と, 中速系と呼ばれる Ethernet の両方が用いられ, 低速系は転送容量が小さいため中速系と比較してデータの品質を低下させているが, それでも科学的目的が達成できるように設計されている. 60 ~ 70% 程度の時間は ISS と地上とのリンクが確立されていて, 取得から数秒で地上へ届くリアルデータとして取得でき, リアルタイムに転送されなかったデータは, Communication Outage Recorder に蓄積され, リンク再開後に再生され取得可能である.

1 <http://maxi.riken.jp/top/>

2 <http://maxi.riken.jp/mailman/listinfo>

3 <http://www.astronomerstelegram.org/>

4 <http://gcnc.gsfc.nasa.gov/>

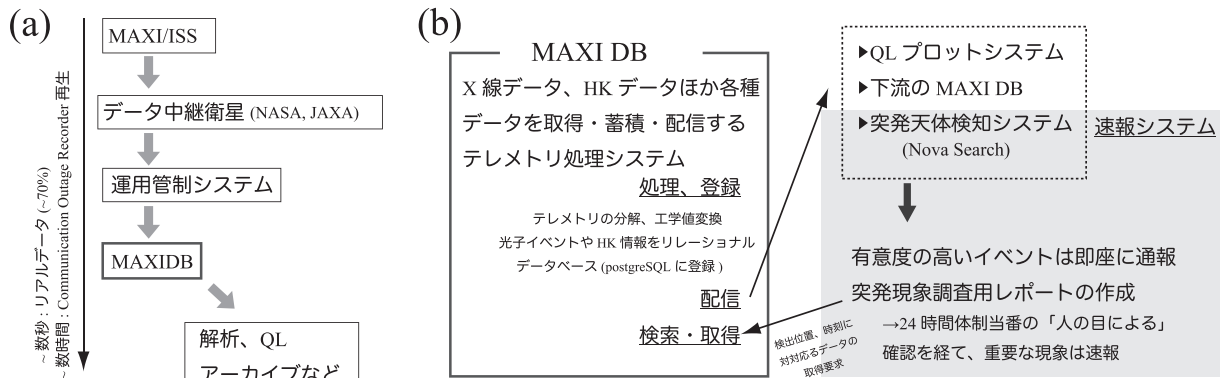


図 3 (a)ISS から MAXI 地上系までのデータの流れの概略 (b)MAXI-DB と MAXI 地上系

3.2 地上システム

運用管制システムを通過したテレメトリデータは、MAXI チーム独自のシステムである MAXI-DB に転送され、MAXI-DB を起点として様々な処理がなされる (図 3(a)).

■ **MAXI-DB** MAXI-DB は MAXI チームと SEC 社によって開発されたシステムで、テレメトリを受信し、データを分解・整理、検出器のキャリブレーション情報に基づいて加工し、PostgreSQL[7] によるリレーショナルデータベースへの登録を行なうという機能を持つ。また、ユーザーは Quick Look(QL) 用インターフェイスに接続することでリアルタイムのデータ配信を受け、光子イベントや補助ファイルのデータベースに接続し、検索とデータ取得を行なうことができる。MAXI-DB のデータ配信機能を利用して我々は、観測装置の状態を確認するための QL 表示や、Nova Search と呼ばれる変動現象探索・通報システムを運用している。突発天体や変動天体の候補が発見されると、さらなる解析のため、データベースから注目する時刻と位置に対応する光子イベントを取得し、調査用のレポート Web ページを生成し、24 時間体制の人の目による確認を経て、重要性の高いイベントについては速報を行なっている。また、データベースに蓄積された光子イベントや、ISS 姿勢、太陽パネル角などの科学解析に必要な情報は、日毎に FITS ファイルとして抽出され、理化学研究所を通じて共同研究機関に配布されている。

4 オンデマンドデータ公開と空域イベントファイルシステム

MAXI チームは、2011 年 11 月より、任意の時刻/位置に対する処理済みデータを提供するオンデマンドデー

タ公開を提供している。オンデマンドデータ公開では既知天体のデータ公開とは異なり、ユーザーの入力に対応してリアルタイムにデータ取得を行ない、イメージ、スペクトルおよび光度曲線データと表示用の Web ページを生成する。このように、MAXI の膨大な観測データから必要なデータを、実用的な処理時間で抽出するには観測の特性を考慮に入れたデータアーカイブが必要である。以下では、まずオンデマンド公開で行なっている処理の概要について説明し、その後 MAXI のような観測装置のデータから効率的にデータを抽出するために考案したデータアーカイブシステムについて説明する。

4.1 オンデマンド公開の処理

オンデマンドデータ公開では、ユーザーからの入力を受けると同時に以下の様な手順で処理を行い、データを提供している。

1. ジョブの受付

(a) Web インターフェイス

Web インターフェイス⁵を通じてユーザーは、興味のある天体の座標、時刻範囲、ファイル名として使う名前、イメージおよび光度曲線のエネルギー範囲、光度曲線の積分時間範囲を入力する。詳細なオプションとして、自動作成リージョン(後述)の半径や、ds9[8]形式のリージョンファイルを入力する事もできる。

(b) データ処理サーバーへジョブの投入

入力パラメータに対して簡単なチェックを行い、ソケット通信を使って解析サーバーにジョブを投入する。現在のところ処理時間に対して利用ユーザーは多くないので、解析サーバーは 1 台のみである。

5 <http://maxi.riken.jp/mxondem/>

2. 初期処理

(a) 結果表示用 Web ページの作成

データプロダクトと情報を表示するための html ファイル(図4)を作成・転送し、ユーザーは中間ページを介して、表示用ページへリダイレクトされる。表示用ページに15秒毎にリロードを繰り返すタグを埋め込みことで、処理が進むごとに情報を更新する。

(b) 周辺天体の抽出と解析リージョンの決定

入力した位置の周辺の既知天体を表示するために、カタログを検索する。また、解析に用いる ds9 リージョンを生成する。現時点での解析はすべてアパ

チャ測光を用い、ソース領域とバックグラウンド領域にはそれぞれ入力位置の周囲を円状/円環状に利用する。同時に、周辺天体の情報から2.2で説明したカタログ天体に対する光度曲線データを調べ、明るさに応じて付近の既知天体からの寄与を解析から取り除く。

(c) X線イベントの抽出

後述のアーカイブシステムを利用し、解析に必要なX線イベントデータを抽出する。

(d) 補助データリストの作成

1日ごとにアーカイブされた、補助データ(ISSの姿勢情報など)のうち解析時間範囲に対するリストファイルを作成。

(e) Good-Time Interval(GTI)情報の作成

MAXIデータを用いた、アパチャ測光方式による精度の良い光度曲線とエネルギースペクトルの作成には、その天空領域内での各スキャン観測が不連続にならないようなデータ選択が必要であることがわかっている。ここではHK情報とISSの姿勢情報を利用することで、指定した期間内に存在する多数のスキャン観測のうち、解析領域内で観測が開始/停止することなく連続的に観測したスキャンのみを選択し、残り(1-2割程度に相当)を破棄するGTIを作成している。

3. データプロダクトの作成

以下のようなデータを作成する。データセットを作成すると共に、表示用htmlを更新し、転送する。

(a) 天体周辺のイメージ

X線イベントを天空座標に投影し、FITS形式の画像ファイルを作成する。全データを用いた、観測量の補正やバックグラウンド差し引きのない生のイメージが生成される。

(b) エネルギースペクトル

上記で作成したGTIに含まれる観測を利用し、FITS形式のエネルギースペクトルファイルと、応答関数ファイルを作成する。スペクトル解析に関する詳細や、精度については、同様の手順を用いて解析した論文[9],[10]で詳しく述べられている。

(c) 光度曲線の作成

入力エネルギー範囲に対応するX線強度変化を入力された積分時間範囲ごとに計算し、ascii形式で作成する。全データ処理が終了すると同時に、自動更新を中止するためhtmlファイルの値を変更し、更新して終了。

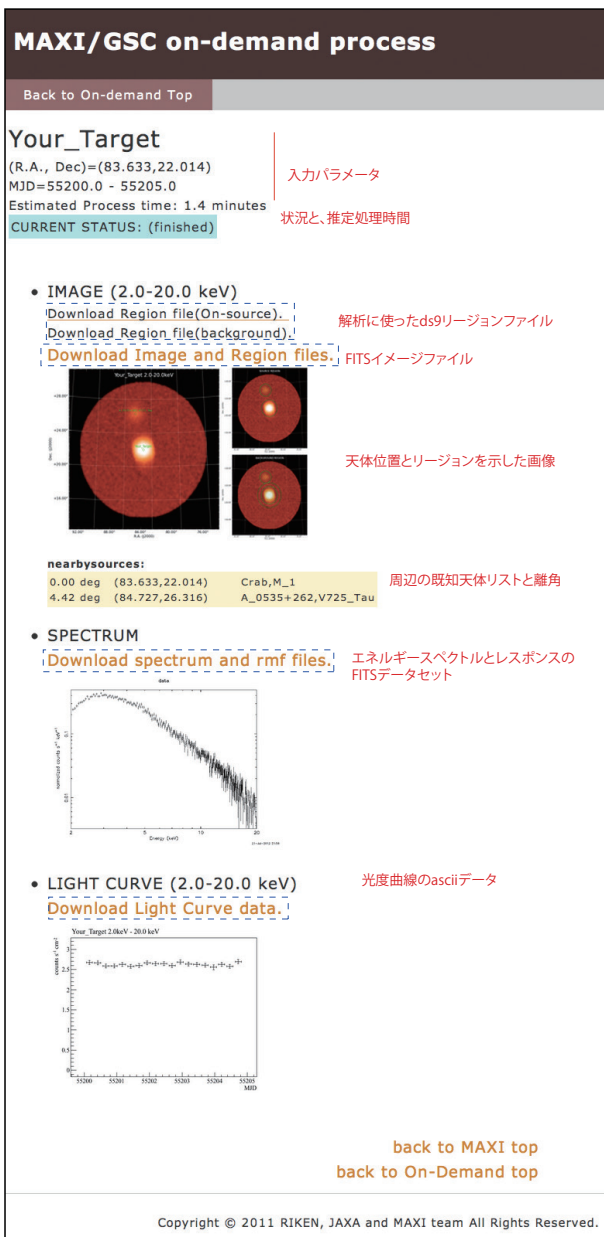


図4 オンデマンド公開、結果表示 Web ページの例。赤字で項目の説明を行い、青い点線の枠でデータプロダクトへのリンクの位置を示す。

4.2 空域イベントファイルシステム

まず、MAXIの観測の特性について指向型観測装置との比較という点から再度整理する(表2)。すぎく衛星を始めとする、望遠鏡を備えた観測衛星はターゲット天体への1指向観測を単位とし、ターゲット位置を使って必要とする観測データを取り出すことが出来る。一方でMAXIは、指向型観測装置の典型的な視野(全天の100万分の1)と全く異なり、全天の~95%の領域を1日に何度も観測することで、その観測データは、時間・空間方向に複雑に入り組んでいる。また、原理的に、一度各イベントを読み込んで必要な領域に含まれるか判定するまでは、それが必要なデータか判断できない。つまり一天体に注目した解析では、データ抽出クエリ毎に全データを読むことになり非効率である。

4.2.1 概要

データ抽出の効率化のため、我々は観測データをアーカイブする際にHEALPIXライブラリ[11]を利用して均等に分割した領域によって予め整理しておく手法を試みた。ここでは、HEALPIXのパラメータを $n_{\text{side}}=16$ に設定することにより、全天をMAXIのPSF全体が含まれる大きさ:約 $3 \times 3 \text{ deg}^2$ より少し大きい $3.6 \times 3.6 \text{ deg}^2$ のピクセルからなる3072の領域に分割した。図5に分割の様子が表されていてそれぞれ、標準的な解析の時に利用する半径 8° の円(マゼンタの領域)、HEALPIX上の1ピクセル(灰色)、半径 8° の円に含まれるピクセルの集合(青色)を表している。今回構築したシステムの上

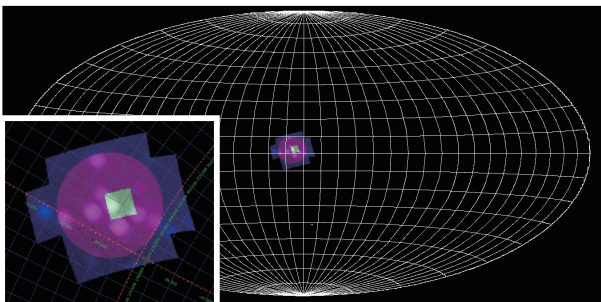


図5 全天を表す領域中に示した、(白)healpixの1ピクセル、(赤)ある位置の周囲 8° と(青)それを含むピクセルの集合

では各MJD(Modified Julian Date⁶)で1ピクセル毎に1つのFITSファイルを作成し(空域イベントファイル)、以下に例を示すようなディレクトリ構造でファイルを格納した。

```
EVENT_TOPDIR/
|-- MJD55060
| |-- gsc_MJD55060_pixel0000.fits
| |-- gsc_MJD55060_pixel0001.fits
| |-- ... ..
| +-- gsc_MJD55060_pixel3071.fits
|-- MJD55061
| |-- gsc_MJD55061_pixel0000.fits
| |-- ... ..
|-- ... ..
```

その後、必要な時間範囲、中心位置の座標と抽出半径を与えると、1日/1ピクセルの時間/空間幅で必要な空域イベントファイルをリストするソフトウェアを作成し、データ取得に利用する。

4.2.2 効率化の度合い

本システム構築以前に利用されていた、1日毎に全イベントデータを1ファイルをアーカイブする方式(全天イベントファイル)と比較して、イベントデータを天空領域に分割した「空域イベントファイル」を利用したシステムがどの程度効率的なのかを調査した。

■**検証方法** ここではまず、MAXIの全カメラが稼働を開始した2009年8月15日から2012年7月17日までの実観測データを使い、現在までに確立している解析では使わないエネルギー帯域や検出器位置のデータをあらかじめ除く一次処理を施した上で、以下で説明する各方式にしたがってアーカイブを作成した。全天イベントファイルでは、X線イベントは1日毎に1ファイルに、空域ファイルシステムは4.2.1で説明したとおりに、1日毎、HEALPIXピクセルごとにFITSファイルとしてアーカイブされている。

X線イベントの計数は、FITSファイルのイベント情

表2 MAXIと指向型観測装置の観測と観測データの比較

	指向型観測装置	MAXI
1日あたりの観測領域 (全天に対する割合)	$\text{several} \times 10^{-6}$	0.95 (同じ位置を周回ごとに繰り返し観測)
観測データ	ある位置に対する 固定観測の集合	観測する空域が連続的に 変わり時間・空間方向 入り組んでいる

⁶ 修正ユリウス日、1MJDは1日に対応する

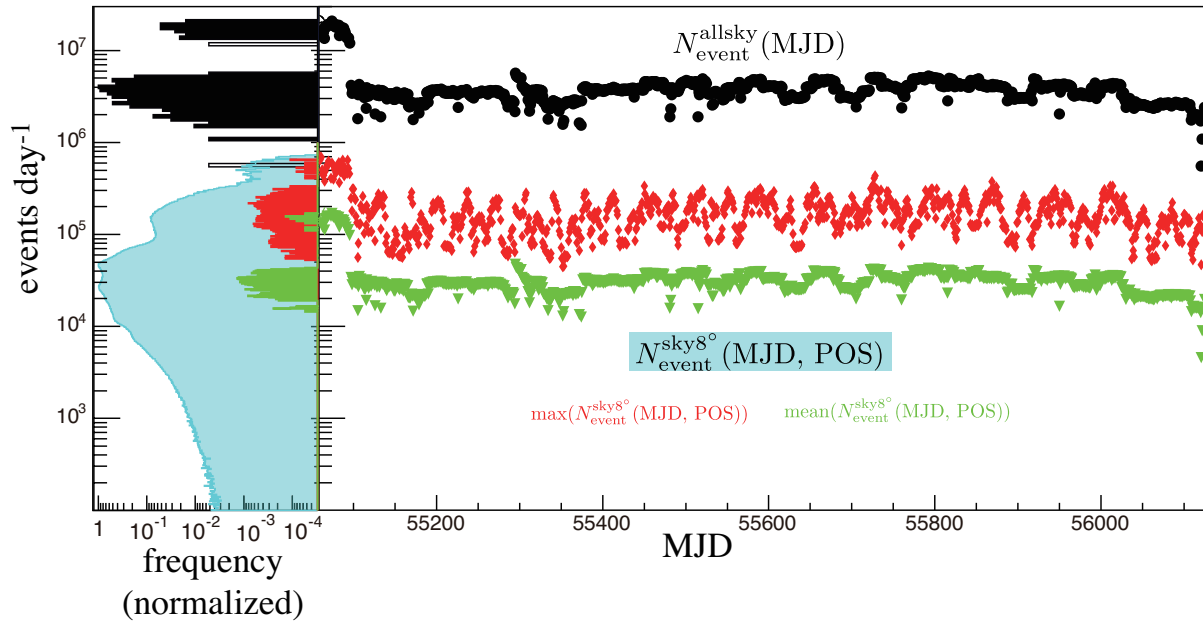


図6 2009年8月15日から2012年7月17日の期間の一次処理済み全天イベントファイルに含まれるX線イベントの一日ごとの数 $N_{\text{event}}^{\text{allsky}}(\text{MJD})$ (黒)と、各ピクセルを中心に8度に相当するピクセルのイベント数を積算した $N_{\text{event}}^{\text{skys}8^\circ}(\text{MJD}, \text{POS})$ の最大値(赤)と、平均値(緑). 左図にはその度数分布を作成し(最大値を1に規格化), すべての例に対する度数分布をシアンで示した. MJD55100以前は, 地球位置に依存する観測停止条件が異なり, 運用時間効率が高いためイベント数が多くなっている.

報を含むテーブルのヘッダーから行数の情報を読みとることで行なった⁷. 全天イベントファイルシステムでは, 指定する天体位置に関係なくデータ抽出時に読み込むイベント数が一定であるので, 1日ごとのX線イベント数 $N_{\text{event}}^{\text{allsky}}(\text{MJD})$ を求めた. 一方で, 空域イベントファイルシステムでは位置によって異なるため, 各1日分のデータに対してHEALPIXピクセルの周囲 8° に含まれるピクセルのイベント数を積算する操作を, 各3072ピクセルに対して繰り返すことで, 1日毎に各領域のX線イベント数 $N_{\text{event}}^{\text{skys}8^\circ}(\text{MJD}, \text{POS})$ を求める.

■検証結果 上記の手法で調べた, 各アーカイブ方式によるX線イベント数の1067日に渡る時間的な変化とその度数分布を図6に示した. $N_{\text{event}}^{\text{allsky}}(\text{MJD})$ は, 初期を除いて $(2-4) \times 10^6 \text{ events day}^{-1}$ に分布している. その変化は, 運用するカメラの台数の変化, 検出器保護のため観測を停止する地球上の領域の変更, ISSの放射線環境の変化によるバックグラウンド計数率の変動(太陽活動の変化や, 着陸用の高度計に ^{137}Cs 線源を利用しているソユーズ宇宙船の発着などの影響が大きい)など, 種々の条件で決まる各天空領域に対する観測量に依存して変化している. $N_{\text{event}}^{\text{skys}8^\circ}(\text{MJD}, \text{POS})$ は1日ごとに3072点あるの

で時間変化の図からは省略し, 代わりにその最大値と平均値を示した. それらの度数分布は左図に示してあり, 各方式ごとに最大の度数が1になるように規格化した. $N_{\text{event}}^{\text{allsky}}(\text{MJD})$ に対して, $N_{\text{event}}^{\text{skys}8^\circ}(\text{MJD}, \text{POS})$ の最大値は典型的に数十分の1, 平均値は約1/200であった.

次に, $N_{\text{event}}^{\text{skys}8^\circ}(\text{MJD}, \text{POS})$ の抽出位置に対する関係を調査した. ここでは, 指定した中心位置ごとにX線イベント数を積算するため, 各抽出領域の観測効率⁸の高さと含まれる天体の明るさに依存する値になる. 図7をみてわかるように, X線帯域で最も明るく見えるさそり座X-1が抽出領域に含まれる場合にイベント数が多く, 次いで銀河中心近傍, かにパルサーやGRS 1915+105など明るい天体の付近と, 図の右下に見られる観測効率の高い領域のイベント数が多く, その他の領域の, 位置による違いはfactor2~3であった.

最後に効率化の度合いを調べた. 図8には, $N_{\text{event}}^{\text{skys}8^\circ}(\text{MJD}, \text{POS})/N_{\text{event}}^{\text{allsky}}(\text{MJD})$ の度数分布を示している. 観測期間×ピクセル数だけ存在する全パターンのうち95%は, 1.6×10^{-1} 以下であり, 67.5%は 1×10^{-2} より小さいことから, 典型的には2桁程度高速化したと言える.

7 厳密に言えば, 全天イベントファイルに対しては各イベントの位置と抽出位置の離角を計算するコスト, 領域イベントファイルに対してはFITSファイルのオープン/クローズの回数が増えるコストが考慮されていない.

8 ISSは51.6度の軌道傾斜角で周回し, 多くの時間を進行方向に対して同じ姿勢で費やす. 通常姿勢では, 検出器上のある位置が観測する天空領域が決まっている. 結果的として有効面積の方向依存性やカメラの稼働台数により天空領域上の観測量が一様にはならない.

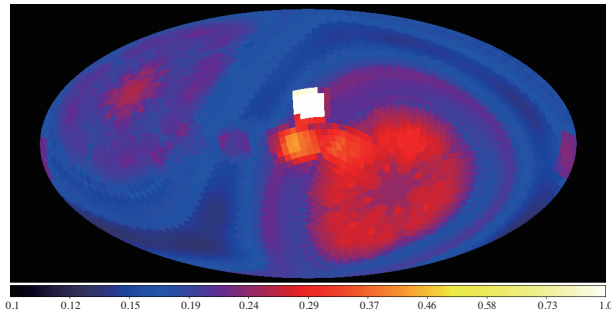


図7 $N_{\text{event}}^{\text{sky}8}$ (MJD, POS) の、抽出の中心位置による依存性。各中心ピクセルに対しては全期間のデータを積算した後、最大のピクセルが1になるよう規格化した上で銀河座標系を使って投影した。画像中心からやや上に位置するさそり座 X-1 を始めとする明るい天体の付近や、観測効率の良い天空領域において値が高くなっている。

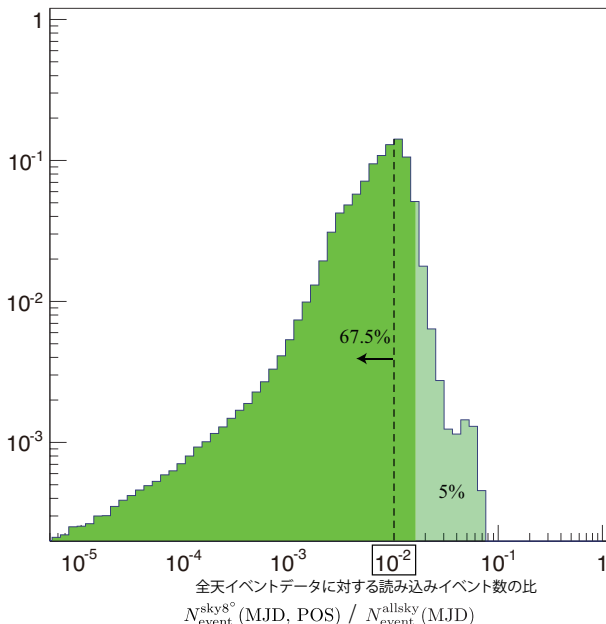


図8 空域イベントファイルシステムを使った、効率化の割合を示す図。 $N_{\text{event}}^{\text{sky}8}$ (MJD, POS) / $N_{\text{event}}^{\text{allsky}}$ (MJD) の度数分布と作成し、積分値が1になるよう規格化した。薄い色で示した領域が全体の5%を示していて、0.01以下のサンプルの割合は全体の67.5%である。

4.2.3 議論と今後の展望

旧方式である全天イベントファイルシステムでは、ある天体の周囲のデータを抽出する際に1日程度を擁していたが、新方式である空域イベントファイルシステムでは100倍程度の効率化により、長期間のクエリに対しても現実的な時間でデータの提供ができるようになり、そのことでオンデマンド公開が実現できた。

現在は周囲画像のチェックを容易にするため、X線イベントを抽出する半径を 8° (3072分割した場合26-27

ピクセル)に設定しているが、ある天体のデータに限れば、現在の解析方法でも半分の半径 4° のデータがあれば十分であり、ピクセル数と明るい天体が含まれる割合が減少することにより更に効率化する。また、バックグラウンドの再現性の調査を進め、疑似イベントを発生するバックグラウンドジェネレータが利用できるようになればバックグラウンド領域が不要となり、天体のPSFが入る1-4ピクセルで科学解析を行える。

5 まとめ

ISSに搭載された全天X線監視装置MAXIは2009年8月以降、3年近くにわたって観測を継続しており、段階的にデータ公開を実現してきた。現在、理化学研究所からMAXIチームの研究者に、1日ごとに1ファイルにアーカイブされた全天データファイルが配布されているが、オンデマンドデータ公開を実現するためには、効率的なアーカイブシステムの開発が必要であった。今回、我々はX線イベントデータを時間と天空領域を使って整理し、アーカイブする空域イベントデータシステムを開発することで、 10^2 倍程度の効率化を実現し、オンデマンドデータ公開において実際に利用している。

オンデマンドデータ公開で提供しているデータ、アーカイブシステムの項目で説明した内容はGSCについてのみであるが、我々はGSCと同じ観測原理を利用したSSCのデータについても、本論文で示した方式によるアーカイブ化とオンデマンド解析の実装を完了しており、ごく近い将来にはその提供が開始される予定である。

全MAXIデータは将来的に、宇宙科学研究本部の科学衛星運用・データ利用センターに配置、恒久的にアーカイブ化され、ftoolsに準拠した解析ソフトウェアと共に未来の科学者の利用に供される。その際に利用されるアーカイブシステムの方式として、今回開発したシステムの採用が検討されている。

参考文献

- [1] Matsuoka, M., et al., PASJ, 61, 999 (2009)
- [2] Mihara, T., Nakajima, M., Sugizaki, M., et al., PASJ, 63, 623 (2011)
- [3] Sugizaki, M., Mihara, T., et al., PASJ, 63, 635 (2011)
- [4] Tomida, H., et al., PASJ, 63, 397 (2011).
- [5] Tsunemi, H., et al., pasj, 62, 1371 (2010)
- [6] Negoro et al., in prep.
- [7] <http://www.postgresql.org/>
- [8] Payne, H. E. et al., ADASS XII ASP Conference Series,

Vol. 295, 489

- [9] Nakahira, S. et al., PASJ, 64, 13 (2012)
- [10] Shidatsu, M. et al., PASJ, 63, 803 (2011)
- [11] Górski, K. M. et al., 622, 759 (2005)