

全天 X 線監視装置「MAXI」のデータアーカイブの開発

中川 友進^{*1}, 海老沢 研^{*1}, 中平 聡志^{*1}, 上野 史郎^{*1}, 富田 洋^{*1}, 木村 公^{*1}
杉崎 睦^{*2}, 芹野 素子^{*2}, 三原 建弘^{*2}, 根来 均^{*3}

Developments of the MAXI Data Archive

Yujin E. Nakagawa^{*1}, Ken Ebisawa^{*1}, Satoshi Nakahira^{*1}, Shiro Ueno^{*1}
Hiroshi Tomida^{*1}, Masashi Kimura^{*1}, Mutsumi Sugizaki^{*2}, Motoko Serino^{*2}
Tatehiro Mihara^{*2}, Hitoshi Negoro^{*3}

Abstract

The Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) was launched on July 2009. It is installed on the exposed facility of the Japanese experiment module "Kibo" on-board the international space station (ISS). The main purpose of the MAXI is to discover and promptly report X-ray transients as well as steady monitoring of known X-ray sources in the whole sky. The MAXI operation is approved at least until the end of March 2018. We are working on public data release of the MAXI, in order to enhance use of the MAXI data by scientists all over the world. On-demand data analysis system using a web-interface has been in service since November 2011. Now we are working toward the permanent public MAXI data archive together with the MAXI specific software for scientific analysis.

Keywords: MAXI, Archive, Pipeline Processing

概要

MAXI は、全天における X 線突発変動天体の発見・速報、および既知の X 線天体の定常的な監視を目的とする全天 X 線監視装置である。2009 年 7 月に打ち上げられ、国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに搭載されている。2018 年 3 月まで運用が認められている。MAXI の観測データを全世界の科学者が容易に利用できることを目的として、データ公開を進めており、2011 年 11 月に開始した Web インタフェースを用いたオンデマンドデータの公開に続き、データを恒久的に後世に残すためのデータアーカイブの開発を進めている。データアーカイブの開発の現状、および今後の計画を報告する。

1 はじめに

全天 X 線監視装置「Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI)」¹⁾ は、宇宙物理学の研究を行うために、宇宙の全ての方位を X 線で監視する装置である。MAXI はスペースシャトルにより 2009 年 7 月に打ち上げられ、国際宇宙ステーション (International Space Station; ISS) の「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに搭載された。2009 年 8 月には初期運用を開始し、2009 年 10 月から 2012 年 10 月まで、当初の計画通りの 3 年間の定常運用を行なった。定常運用が終了するにあたって行われた延長審査において、運用延長が認められ、2015 年 3 月まで後期運用を行なった。現在は、さらなる運用延長が決定し、少なくとも 2018 年 3 月まで運用が認められている。

* 平成 27 年 12 月 17 日受付 (Received December 17, 2015)

^{*1} 宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency)

^{*2} 理化学研究所 (Institute of Physical and Chemical Research)

^{*3} 日本大学 (Nihon University)

表 1: GSC と SSC の主な仕様

	GSC	SSC
視野	160 度 × 1.5 度 (2 方向)	度 90 度 × 1.5 度 (2 方向)
エネルギー帯域	2–30 keV	0.5–12 keV
エネルギー分解能	18% at 5.9 keV	<150 eV at 5.9 keV
位置決定精度	0.1 度	0.1 度

MAXI の主な科学目的は、ブラックホールなどの X 線天体の特性を明らかにすることである。この目的を達成するため、MAXI は新たな X 線突発天体を発見し、即座に研究者にその位置や明るさを速報するように設計されている。さらに、全天の既知の X 線天体を継続的に監視することができる。

新しい天体の探査、および既知の天体の活動状態の監視を行うために、日本大学に「リアルタイム突発天体探査システム」を設置している。図 1 に示すように、リアルタイム突発天体探査システムは、MAXIDB(TKSC/JAXA) からデータを取得する。

MAXI は、Gas Slit Camera (GSC)²⁾ と、Solid State Camera (SSC)³⁾ の 2 種類の X 線検出器で構成される。GSC は、1 個の Xe (99%) と CO₂ (1%) が充填された一次元位置感応型ガス比例計数管を "1 カメラ" と定義しており、12 カメラで構成される。一方、SSC は 16 個の X 線 CCD チップを "1 カメラ" と定義しており、2 カメラで構成される。したがって、32 個の X 線 CCD チップで構成される。X 線 CCD チップは 1 辺が 25cm (1024 ピクセル) の正方形の形状をしている。GSC と SSC の主な仕様を表 1 にまとめる。表 1 に記載されているように、GSC も SSC も扇型の細長い視野を持っている。そのため、ISS が地球を周回するのに合わせて、時々刻々と GSC と SSC の視野が変化していき、全天を掃くようにして、観測を行う。

MAXI は 2015 年 12 月時点において、6 年を超える長期間の観測を行っており、大量の観測データがあるため、MAXI チームだけでは全ての観測データを詳細に解析できていない。MAXI チームによる日々の運用により、新しい天体の発見や、既知の天体の増光など、大部分の天体現象は科学コミュニティへ情報を発信できているが、暗い天体現象などは見落としている可能性がある。そのため、MAXI による科学的な成果を最大化するためには、MAXI の観測データやソフトウェアを全世界のエンドユーザー（科学者）へ向けて公開することが重要である。これによって、科学コミュニティの発展を期待できるだけでなく、既に出版された科学的な成果の再検証を可能にする。そのために、JAXA を中心として、RIKEN (理化学研究所)、大学の研究者からなる MAXI データアーカイブチームにより、観測データの恒久的な保管、および全世界のエンドユーザーが容易に利用できる解析システムの開発が進められている。本論文では、MAXI のデータアーカイブの基本設計、現在の状況や今後の計画を解説すると共に、MAXI アーカイブ開発から得られた教訓や、将来ミッションのアーカイブ開発に有用と思われる指針等についても述べる。

2 データアーカイブの基本設計

2.1 データアーカイブの要求

MAXI のデータアーカイブは、JAXA 宇宙科学研究所の科学衛星運用・データ利用ユニット (C-SODA) で運用されている Data Archives and Transmission System (DARTS) に保管され、全世界のエンドユーザーへ公開される。エンドユーザーの利便性、およびバックアップのため、データアーカイブのコピーを NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) が運営している High Energy Astrophysics Science Archive Research Center (HEASARC) に保管し、全世界のエンドユーザーへ公開する。データアーカイブの保管に際しては、高エネルギー宇宙物理学で標準的に用いられている Flexible Image Transport System (FITS) フォーマットを用いる。MAXI の運用終了後においても、データアーカイブは半永久的に C-SODA/JAXA と HEASARC/NASA において保管・公開され

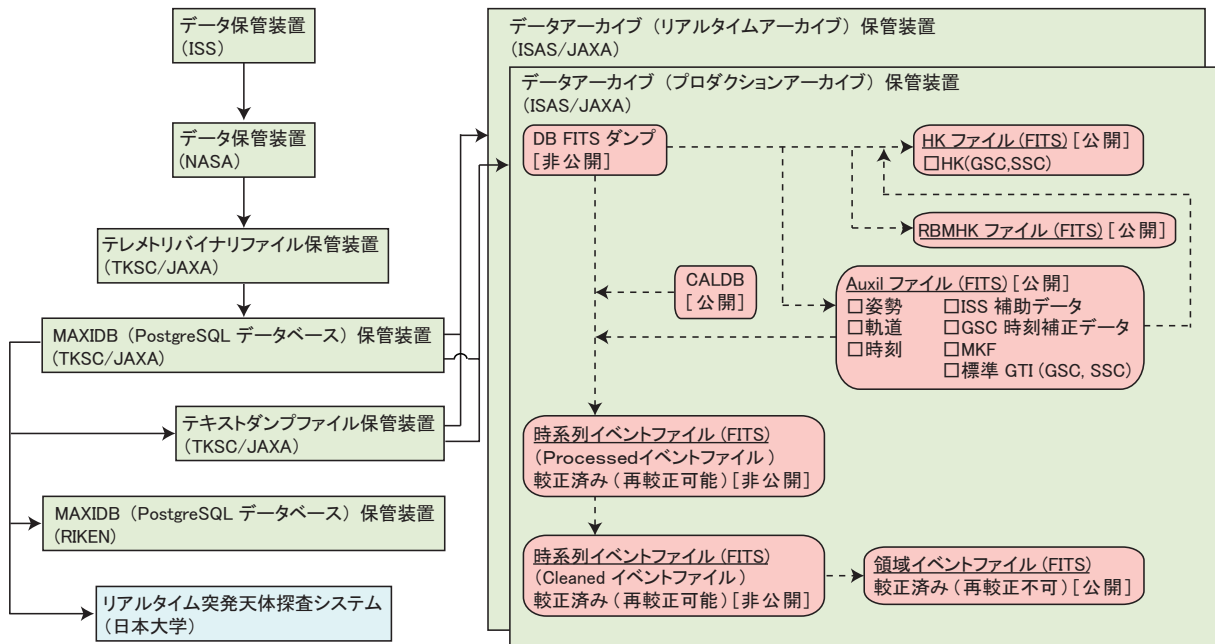


図 1: MAXI のデータが、ISS で取得されてから、データアーカイブへ保管されるまでのフローチャート、およびデータアーカイブの作成の流れを示す。図中の四角（薄緑）はデータ保管装置の名称、四角（薄青）は関連するシステムの名称、角丸四角（薄赤）はデータの名称を表す。四角（薄緑）や四角（薄青）を繋ぐ実線は、データ保管装置やシステムの間におけるデータの流れを表す。一方、角丸四角（薄赤）を繋ぐ破線は、どのような流れでデータが作成されるかを表す。リアルタイムアーカイブとプロダクションアーカイブの内容はほぼ同じであるが、更新頻度と完全性が異なる。

る。エンドユーザーは、HEASARC によってメンテナンスされる、HEASARC Software (HEASoft) と Calibration Database (CALDB)^{*4} を用いてデータ解析を行う。

データアーカイブで公開するデータには、公開の時点において最新の校正を適用する。また、再校正に必要なデータは公開しないため、エンドユーザーはデータを再校正することはできない。新しい校正が使用可能となった場合、全てのデータに再校正を行ない、新しいバージョンのデータアーカイブを公開する。

エンドユーザーの利便性を高めるために、DARTS と HEASARC は、ftp や http のプロトコルを用いて、任意の天体座標や観測期間のデータをダウンロードできるサービスを提供する。より高度なユーザーインターフェースを用いたデータの公開は、DARTS の JAXA Universe Data Oriented 2 (JUDO2^{*5})から行う予定である。さらに、Web から科学プロダクツ（イメージ、エネルギースペクトル、光度曲線、エネルギー応答関数）を得られるオンデマンド機能を、Universe via DARTS ON-line 2 (UDON2) に追加する。現在は、オンデマンド機能を RIKEN で公開しており、これを UDON2 へ取り込み、JUDO2 から呼び出せるようにする。

MAXI の低次データは、PostgreSQL を用いたデータベースである“MAXIDB”に保管している。MAXIDB を恒久的に保管することは、PostgreSQL を実行する環境の維持が難しいため、PostgreSQL のテーブルをそのまま FITS フォーマットへ変換した“DB FITS ダンプ”を作成し、源泉データとして保管する。FITS は仕様が決まっているので、半恒久的にデータを利用できる。MAXI は継続的に 1 周（約 100 分）でほぼ全天を観測しており、そのためイベントデータは時系列に並んでいる。しか

^{*4} これらは MAXI チームが開発したものであるが、JAXA には全世界のユーザを対象に長期にわたってデータ解析環境をサポートする体制が整っていないため、HEASARC の協力を仰ぐことにした。

^{*5} <http://darts.isas.jaxa.jp/astro/judo2>

し多くの場合、エンドユーザーは、全天ではなく、より小さな領域のみのイベントデータを必要とする。そこで、Hierarchical Equal Area isoLatitude Pixelation of a sphere (HEALPix)⁴⁾ の手法を用いて、全天のイベントデータを 768 個の領域に分ける (領域イベントファイル)。領域イベントファイル、および解析に必要な姿勢や軌道の情報が書かれた Auxil ファイルは、毎日作成し、公開する。パイプライン処理を自動的かつ定期的に実行して、MAXIDB から領域イベントファイルや Auxil ファイルなどを作成する。

MAXI の情報は、様々な形態 (Wiki, メール, 口伝など) で残っており、それらを整理し、“アーカイブ基本設計書”として文書化し、後世の研究者やエンジニアが見たときに、MAXI のデータアーカイブの設計を把握できるように整備した。

MAXI の観測方法は特殊であり、後期運用 (2012 年 11 月～, §1 を参照) を開始してからデータアーカイブを開発・公開することが決まった。それまで用いられていたソフトウェアは、MAXI チームのみの使用を前提にしていたため、より簡便に利用できるソフトウェアの整備が必要であった。そこで、ソフトウェアの仕様や実行手順を整理して、容易に扱えるように改善した。さらに、エンドユーザーが円滑に科学解析を行えるように、科学解析の手順を再設計すると共に、自動的に GSC と SSC の科学プロダクツを作成するスクリプト (mxproduct) を開発した。データアーカイブの公開の際には、MAXI データアーカイブチームから、分かり易いマニュアルを提供する。

2.2 データアーカイブの構成

MAXI のデータは、10 秒程度の遅れで MAXIDB へ登録される “Real Time Data” (以後、REAL データ)、数十分から 6 時間程度の遅れで MAXIDB へ登録される “Communication Outage Recorder Data” (以後、COR データ)、数日から 1 ヶ月程度の遅れで MAXIDB へ登録される “欠損データ” の 3 種類に大別される。REAL データは全体の約 70% であり、残りの約 30% が COR データと欠損データである。COR データは原則として自動的に補完される一方、欠損データは手動で補完する必要がある。NASA のサーバーからデータを再取得することは容易ではない。また、図 1 に示す NASA より上流における欠損は補完が出来ない。データアーカイブを構築するにあたり、これらのデータの遅延を考慮する必要がある。そこで、MAXI のデータアーカイブは、データの完全性を保障しない “リアルタイムアーカイブ”、および取得できる全てのデータを使用した “プロダクションアーカイブ” の 2 種類に分けている。図 1 のデータアーカイブは、リアルタイムアーカイブとプロダクションアーカイブで構成される。どちらのデータアーカイブもファイル名やフォーマットは同じである。つまりエンドユーザーは、最新のデータはリアルタイムアーカイブから、完全性が保障されるデータはプロダクションアーカイブから、取得することになる。

リアルタイムアーカイブ

エンドユーザーが出来る限り最新のデータアーカイブを使用できるようにするため、リアルタイムアーカイブは 3 段階の更新頻度のデータで構成される。この 3 段階は、5 分毎に更新される “リアルタイム更新”、1 日毎に更新される “デイリー更新”、手動で更新する “手動更新” であり、更新頻度が遅くなるほどデータの完全性が高い。エンドユーザーはどの段階の更新頻度のデータなのかを意識すること無く科学解析を実行できるが、領域イベントファイルの FITS ヘッダーを見ることで、どの段階の更新頻度のデータなのか知ることができる。

プロダクションアーカイブ

プロダクションアーカイブは欠損データの補完が完了した時点においてのみ作成する。更新頻度は半年に 1 回程度である。MAXI データアーカイブチームによって手動で作成され、その際に領域イベントファイルの FITS ヘッダーにプロダクションアーカイブであることを記載する。

2.3 データの流れ

図1に示すフローチャートのうち、四角（薄緑）を繋ぐ実線で示している、MAXIのデータがISSで取得されてから、DARTSのデータアーカイブへ保管されるまでの流れを解説する。

データ保管装置 (ISS) → データ保管装置 (NASA) → テレメトリバイナリファイル保管装置 (TKSC/JAXA)

ISSで取得したテレメトリデータは、ISSからNASAの地上局へ1553bもしくはイーサネットのインターフェースを用いて送信される。これらのテレメトリデータは、インターネットを用いてNASAからJAXAのTsukuba Space Center (TKSC)に伝送され、テレメトリバイナリファイルとして保管される。

テレメトリバイナリファイル保管装置 (TKSC/JAXA) → MAXIDB(PostgreSQL データベース) 保管装置 (TKSC/JAXA) → MAXIDB(PostgreSQL データベース) 保管装置 (RIKEN)

MAXIDBはテレメトリバイナリファイルをデータの種類ごとにテーブルに分けて登録したPostgreSQLを用いたデータベースである。MAXIDBはTKSCとRIKENに配置され、それぞれ、MAXIDB(TKSC/JAXA)、MAXIDB(RIKEN)とよばれる。MAXIDB(RIKEN)は、MAXIDB(TKSC/JAXA)のコピーである。

MAXIDB(PostgreSQL データベース) 保管装置 (TKSC/JAXA) → テキストダンプファイル保管装置 (TKSC/JAXA)

テキストダンプファイルは、MAXIDB(TKSC/JAXA)のテーブルをそのままテキストにダンプしたものである。2.2節で解説する欠損データの補完が完了した期間についてのみテキストダンプファイルが生成される。

テキストダンプファイル保管装置 (TKSC/JAXA) → データアーカイブ保管装置

MAXIDB(TKSC/JAXA)、およびテキストダンプファイルから、データアーカイブが作成される。

2.4 データアーカイブの作成の流れ

MAXIDB(TKSC/JAXA)・テキストダンプファイル → DB FITS ダンプ

DB FITS ダンプは、MAXIDB(TKSC/JAXA)もしくはテキストダンプファイルを、テーブルごとにFITSフォーマットへ変換したものである。FITSフォーマットに最低限必要なヘッダー情報などを追記して、情報の損失やフォーマットの変更が無いように作成される。2.2節で解説したように、リアルタイム性を重視する場合はMAXIDB(TKSC/JAXA)から、欠損データ補完の完全性を重視する場合はテキストダンプファイルから、DB FITS ダンプが作成される。

DB FITS ダンプ → 時系列イベントファイル (Processed イベントファイル)

時系列イベントファイル (Processed イベントファイル) は、DB FITS ダンプのイベントファイルについて、検出器の較正データ (CALDB) と補助データ (Auxil ファイルの姿勢と時刻) を使って、生の値を工学値へ変換して、時刻、座標、エネルギーの情報を付け加えたものである。

時系列イベントファイル (Processed イベントファイル) → 時系列イベントファイル (Cleaned イベントファイル)

時系列イベントファイル (Cleaned イベントファイル) は、時系列イベントファイル (Processed イベントファイル) に対して、検出器の視野の端のデータを削除するなどのスクリーニングを行ったものである。

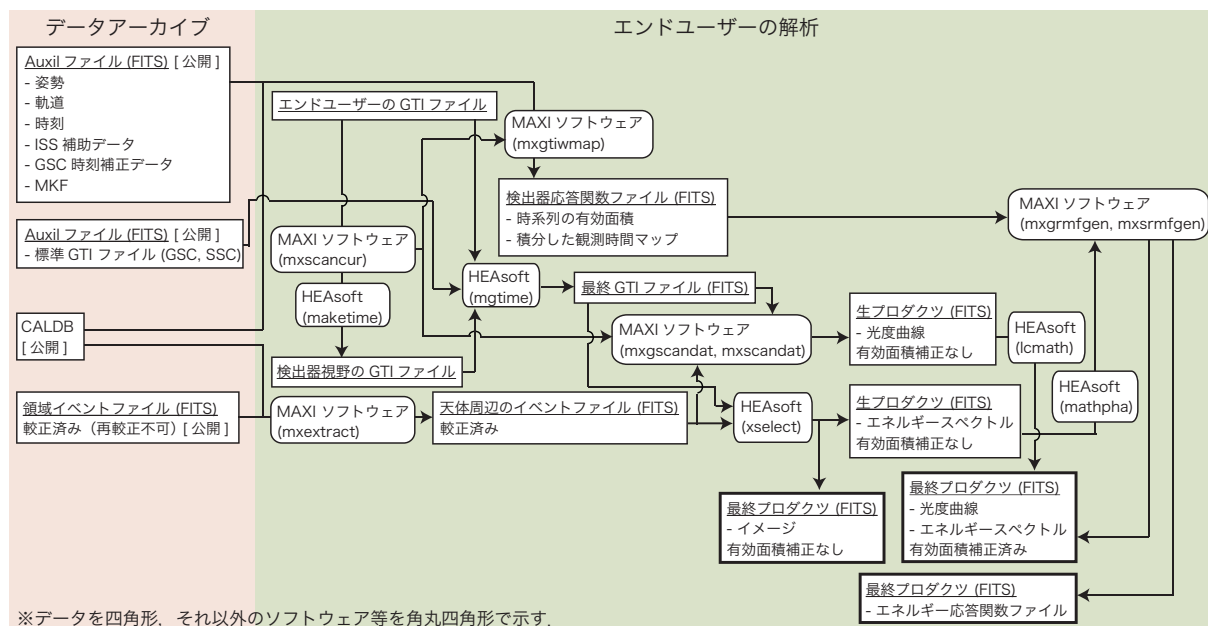


図 2: 左側（データアーカイブ）にエンドユーザーがデータアーカイブから取得するデータ、右側（エンドユーザーの解析）に mxproduct の内部で実行されるプロセスを示す。

時系列イベントファイル（Cleaned イベントファイル）→ 領域イベントファイル

領域イベントファイルは、全天を 768 個に分割して、時系列イベントファイル（Cleaned イベントファイル）を領域ごとに分けたものである。

CALDB

CALDB は地上較正や機上較正のデータを元に作成される。

DB FITS ダンプ → Auxil ファイル

DB FITS ダンプから、必要な情報を抜粋して、Auxil ファイルが作成される。Auxil ファイルは、MAXI の姿勢データが書かれた“姿勢”，ISS の軌道データが書かれた“軌道”，Data Processor の時刻補正が書かれた“時刻”，“ISS 補助データ”，“GSC の時刻補正データ”，時刻ごとの ISS の緯度・経度・高度，地球磁場の Cutoff-Rigidity，昼夜の情報が書かれた“MKF”，GSC と SSC の標準的な Good Time Interval (GTI) が書かれた標準 GTI で構成される。

DB FITS ダンプ → RBMHK ファイル

RBMHK ファイルは、DB FITS ダンプから、Radiation Belt Monitor のデータのみを抜き出したものである。

DB FITS ダンプ → HK ファイル (GSC, SSC)

HK ファイル (GSC, SSC) は、DB FITS ダンプから検出器 (GSC と SSC) の House Keeping Data を抜粋して、Auxil ファイルの情報と合わせて、生成される。

2.5 エンドユーザーによるデータ解析

MAXI の観測方法は特殊であるため、解析の手順が複雑である。そこで、MAXI チームによる解析と同質の科学プロダクト（イメージ、エネルギースペクトル、光度曲線、エネルギー応答関数）を誰でも得られる解析の枠組みを MAXI アーカイブチームから提供する。具体的には、自動的に GSC と

表 2: mxproduct で実行される MAXI ソフトウェアの動作内容

ソフトウェア名	動作内容
mxextract	領域イベントファイルから、解析に必要な領域のデータを抜き出す。
mxscancur	エンドユーザーの GTI ファイルの時刻範囲における、検出器への天体の入射角度を計算する。
mxgtiormap	Auxil ファイルと mxscancur の出力ファイルを用いて、時系列の有効面積、および積分した観測時間マップが書かれた、検出器応答関数ファイルを作成する。
mxgscandat, mxsscandat	mxscancur の出力ファイル, 最終 GTI ファイル, 天体周辺のイベントファイルから、有効面積を補正していない光度曲線を作成する。
mxgrmfgen, mxsrmfgen	Auxil ファイルを用いて、エネルギー応答関数を作成する。mxgrmfgen が GSC 用, mxsrmfgen が SSC 用である。

表 3: mxproduct で実行される HEAsoft の動作内容

ソフトウェア名	動作内容
maketime	mxscancur の出力ファイルを使用して、天体が検出器の視野に入っている時間帯についての GTI (検出器視野の GTI ファイル) を出力する。
mgtime	エンドユーザーの GTI ファイル, 標準 GTI ファイル, 検出器視野の GTI ファイルを読み込み、全ての GTI ファイルに共通する時間帯が書かれた最終 GTI ファイルを出力する。ここで得られる最終 GTI ファイルは、以降の科学プロダクツを生成するプロセスで使用する。
xselect	天体周辺のイベントファイル, 最終 GTI ファイルを読み込み, 生プロダクツ (光度曲線, エネルギースペクトル), および最終プロダクツ (イメージ) を生成する。
lcmath	生プロダクツの光度曲線は、カメラ (§1 を参照) ごとに得られるので、lcmath を用いて足し合わせる。
mathpha	生プロダクツのエネルギースペクトルは、カメラごとに得られるので、mathpha を用いて足し合わせる。

SSC の科学プロダクツを作成できる, Perl スクリプトである “mxproduct” を提供する。それによって、エンドユーザーが行うべきことは簡素化され、以下の 3 つのステップのみである。

- 1) HEASARC/NASA からソフトウェア (HEAsoft), DARTS/JAXA もしくは HEASARC/NASA からアーカイブデータを取得する。
- 2) mxproduct に天体座標と観測期間を与えて実行する (オプションにより個別の要求に対応)。
- 3) 生成された科学プロダクツを用いて科学解析を行う。

エンドユーザーが用意するデータ、および mxproduct で実行されるプロセスを図 2 に示す。図 2 における各々のソフトウェアの動作内容は表 2 と表 3 に、各々のプロセスの動作内容は表 4 に示す。プロセスの流れは GSC と SSC で共通である。図 2 に記載されている “MAXI ソフトウェア” は、HEAsoft に組み込まれ、HEASARC から公開される予定である。したがって、データアーカイブが公開された暁には、エンドユーザーが用意すべきソフトウェアは HEAsoft のみである。

ユーザーは、領域イベントファイル, Auxil ファイルが置かれているディレクトリにおいて mxproduct を実行する。引数は、天体座標 (赤経・赤緯), GSC と SSC のエネルギーバンドが書かれたテキストファイル, 解析したい期間の開始時刻と終了時刻の Modified Julian Date (エンドユーザーの GTI ファイル) である。その結果、有効面積が補正されていないイメージ, 有効面積が補正された光度曲線とエネルギースペクトル, エネルギー応答関数ファイルが出力される。

上記に示した引数だけで最低限必要な科学プロダクツは得られるが、より高度な解析を行いたいエ

表 4: mxproduct における科学プロダクツの作成プロセスの動作内容

科学プロダクツ名	動作内容
光度曲線	mxgscandata (GSC 用) もしくは mxsscandata (SSC 用) で、最終 GTI ファイル、mxscancur の出力ファイル、天体周辺のイベントファイルを読み込み、時刻ごとの検出器有効面積を計算すると共に、光度曲線を作成する。その後、lcmath を用いて、検出器有効面積の補正を行い、使用できる全てのカメラについて足し合わせて、最終プロダクツである有効面積が補正された光度曲線を出力する。
エネルギースペクトル	xselect を用いて、天体周辺のイベントファイルと最終 GTI ファイルから、エネルギースペクトルを作成する。mathpha を用いて、使用できる全てのカメラについて足し合わせる。ここで得られるエネルギースペクトルは、有効面積の補正がされていない。mxgrmfgen (GSC 用) もしくは mxsrmfgen (SSC 用) を実行する際の引数に、前述のエネルギースペクトルを与えることで、最終プロダクツである有効面積が補正されたエネルギースペクトルが出力される。
エネルギー応答関数	mxgtiwwmap (MAXI に固有のソフトウェア) へ、Auxil ファイルと mxscancur の出力ファイルを読み込ませて、検出器応答関数ファイル（時系列の有効面積、積分した観測時間マップ）を作成する。mxgrmfgen (GSC 用) もしくは mxsrmfgen (SSC 用) を用いて、検出器応答関数ファイルから最終プロダクツであるエネルギー応答関数ファイルを作成する。

ンドユーザーのために、様々なオプションを引数で与えることができる。また、オプションを与えることで不要なプロセスを省略できる。

3 現在の状況と今後の計画

MAXI のデータアーカイブ開発について、現在の状況と今後の計画を解説する。全世界の科学者（エンドユーザー）による MAXI のデータの利用を促進するため、MAXI 固有のソフトウェアを HEASoft へ組み込むための整備、およびデータアーカイブの公開を進めている。2015 年度末を目処に試験公開する予定であり、エンドユーザーへフィードバックを求めて、検討を行った後に、完全公開を行う予定である。完全性が保障されている観測期間についてはプロダクションアーカイブとして公開し、新しいデータはリアルタイムアーカイブとして公開する。較正において有意な改善があった場合は、MAXI データアーカイブチームで再較正を行い、データアーカイブの第 2 バージョンとして公開する予定である。Web から科学プロダクツ（イメージ、エネルギースペクトル、光度曲線、エネルギー応答関数）を得られるオンデマンド機能^{5)*6}を、UDON2 に追加する。現在は、オンデマンド機能を RIKEN で公開しており、これを UDON2^{*7}へ取り込み、JUDO2 から呼び出せるようにする予定である。また、JUDO2 からは MAXI のリアルタイム全天画像を公開する予定である。

MAXI データアーカイブの公開により、MAXI データの利用促進、科学的成果の最大化、査読論文の増加を期待している。また、X 線分野の科学者だけでなく、他波長の科学者による利用が進むことを期待している。

4 データアーカイブの開発に基づく教訓と指針

MAXI のデータアーカイブの開発を通して学んだ教訓を交えて、今後の宇宙機の開発において、ミッションの大小に関わらず、重要となると考えている指針を示す。

^{*6} <http://maxi.riken.jp/mxondem>

^{*7} <http://www.darts.isas.jaxa.jp/astro/udon.html>

指針 1: データアーカイブの開発はミッションの早い段階で検討・設計すること

当初はデータアーカイブの公開が計画されておらず、後期運用（2012 年 11 月～，§1 を参照）になってから本格的に開始したため，ソフトウェアの様々な部分で作り直しが生じた．宇宙機が取得したデータのアーカイブ化は，今後，ほとんどの場合において必要となると予想されるので，ミッションの早い段階からデータアーカイブの開発を視野に入れることが重要である．ただし，ミッションの開発を進めながら，データアーカイブ開発を行うことは難しいので，データアーカイブの開発に専念する人材を確保することが重要である．

指針 2: データは一つの機関で一元管理すること，システム構造を文書化・更新すること

MAXIDB はきちんと管理されていた一方で，MAXIDB から作成された Auxil ファイルや時系列イベントファイルは，置き場所が変更される場合があった．開発においては，システム構造を変更したい場合があるが，そのまま大規模化および複雑化すると，誰も全容を把握できなくなる．早い段階で十分な議論を行ってシステム構造を決めて，仮に変更の必要性が生じた場合はその妥当性を検討した上でチーム全体で合意を行うと共に，きちんと文書に反映する必要がある．

指針 3: 共有できる形で文書化を徹底すること

「誰かの頭の中」にだけある知識が多くあり，情報収集に時間を費やした．慣れていない文書化は大変な作業であり，時間がかかる場合があるが，ミッションを効率的に進める上で重要である．

指針 4: ソフトウェア開発の管理・情報共有を徹底すること

MAXI の場合，様々なソフトウェアパッケージがあったが，必ずしも相互に足並みを揃えて開発されていなかった．科学解析の効率化や手順の明瞭化を追い求めるうちに，情報共有が行われず，関数名が変更されたり，メインバージョンが分岐して開発されていたり，同様なソフトウェアが複数作成されていたりした．すぐれたデータアーカイブの公開を実現するためには，決定権を有する責任者，および実働する開発者を，チームにおいて定義して，その責任者と開発者が十分に議論した上で，ソフトウェア開発を進めることが重要である．

参考文献

- 1) Matsuoka, M., et al., The MAXI Mission on the ISS: Science and Instruments for Monitoring All-Sky X-Ray Images, PASJ, 61, 2009, 999.0906.0631
- 2) Mihara, T., et al., The Gas slit camera, GSC, onboard MAXI, in Astrophysics with All-Sky X-Ray Observations, edited by N. Kawai, T. Mihara, M. Kohama, & M. Suzuki, 2009, 14
- 3) Tomida, H. et al., Solid-state slit camera (SSC) onboard MAXI, in Astrophysics with All-Sky X-Ray Observations, edited by N. Kawai, T. Mihara, M. Kohama, & M. Suzuki, 2009, 18
- 4) Górski, K. M. et al. HEALPIX - a Framework for High Resolution Discretization, and Fast Analysis of Data Distributed on the Sphere, ApJ 622, 759, 2005
- 5) 中平聡志ほか，MAXI/GSC による全天観測データ公開システムの開発，宇宙科学情報解析論文誌，第二号，2013，29 (<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/16827>)