

ひとみ衛星の観測データ処理

高橋 弘 充

〈広島大学理学研究科 〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1〉

e-mail: hirotaka@astro.hiroshima-u.ac.jp



ひとみ衛星で観測したデータは、公開天文台として世界中の研究者が簡潔かつ正確に解析できるように処理される。本稿では、衛星に保存されたバイナリデータが世界標準のデータフォーマット Flexible Image Transport System (FITS) へと変換され、さらにその中身が科学的に意味のある物理量(工学値)へと較正されるデータ処理について述べる。これらのデータ処理を行うソフトウェア群は、検出器開発チームと独立にデータ処理専任の部隊を立ち上げ、日米の国際協力で開発された。大まかに、FITS形式に変換されるまでを「プレパイプライン」処理と呼び日本側が担当、日本で生成されたFITSファイルの中身を物理量へと較正する「パイプライン」処理を米国側が担当した。取得された全データは、すでに日米のデータ公開サイトに置かれている。ひとみ衛星で構築されたこれらのデータ処理の流れとソフトウェア群は、2021年度打ち上げ予定のXRISM衛星でもほぼそのまま利用される計画である。

1. ひとみ衛星の観測データ

人工衛星にも、身近なパソコンと同様に、CPUやメモリ、データを保存する記憶装置が搭載されている。衛星が天体観測を行ったデータは衛星上の記憶装置に一時保存された後、地上局(ひとみ衛星では内之浦宇宙空間観測所)の上空を通過する際に、地上へと転送(ダウンリンク)される。また人工衛星との通信速度(データ容量)には限りがあるため、衛星で保存されるデータは最小限に圧縮されたバイナリ形式である。そのため地上に転送されたデータは、データ種別を解読した後、研究者が解析できる「この時刻に検出器が観測に適した状態で動作していたか」「何時何分何秒に、天球座標のどの方向から、エネルギー何keVの光子を検出した」などの物理量(工学値)へと較正する必要がある。

他の記事で詳述されているように、ひとみ衛星には衛星本体に加え、搭載機器である軟X線分光

検出器(SXS)、軟X線撮像検出器(SXI)、硬X線撮像検出器(HXI)、軟ガンマ線検出器(SGD)があり、それぞれの観測データを適切に処理しなければ正しい観測結果は得られない。例えば、SXSは世界最高のエネルギー分解能を持つため、エネルギー情報は従来よりも1桁以上も高い精度(情報量)で取り扱う。また、SGDは約8万もの検出ピクセルを有しており、多数ピクセルが同時に反応した複雑なデータ処理を行う必要がある。

ひとみ衛星では公開天文台としての機能を実現すべく、衛星開発者でなくても間違えることなく簡潔に観測データを解析できる枠組みとして、これまでのX線天文衛星「あすか」や「すざく」と同様に^{1),2)}天文研究の世界標準データフォーマット Flexible Image Transport System (FITS)を採用し、較正データを迅速に反映できるようにした。さらに過去の衛星の経験から、検出器開発チームと独立にデータ処理専任の部隊を立ち上げ、ソフトウェア群は日米の研究者とエンジニア

が共同で開発した。2章でデータ処理の流れについて説明し、3章では2021年度打ち上げ予定のXRISM衛星などにも利用予定であることを述べる。

2. ひとみ衛星の日米でのデータ処理

ひとみ衛星は種子島宇宙センターから打ち上げられ、軌道傾斜角 31° 、高度575 km、周期が約100分の円軌道に投入された。そのため、データのダウンリンクを行う内之浦宇宙空間観測所(USC)の上空を1日に5回通過し、また1回のダウンリンク時間は10分ほどであった。図1に、USCでダウンリンクされた衛星データが処理されて研究者に届くまでの流れを示す。

データ処理の流れは大きく分けて3段階に分かれる。以下、2.1節で衛星データを世界標準のFITS形式へ変換するプレパイプライン処理、2.2節でFITS形式のファイルの中身を物理量へ較正するパイプライン処理、2.3節で処理されたデータの公開(アーカイブ)について述べる。詳細については学術論文を参照していただきたい^{3),4),5)}。

2.1 日本側プレパイプライン処理

ひとみ衛星から地上へダウンリンクされたデータはCCSDS形式であり、1パケットの中に複数の情報が含まれていたり、また大きな情報は複数パケットに分割されていたりする。このCCSDSパケットは、最初に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)の管理するデータ蓄積装置SIRIUSに登録される⁶⁾。衛星運用の都合上、同じデータが重複してダウンリンクされたり、衛星上のデータ記憶装置の読み出し順序によってはデータ取得の順序とダウンリンクの順序が逆になってしまうことが生じる。そこで、SIRIUSではデータの重複を削除し、またデータを観測(生成)の時刻順に整列する。

日本側で整備したプレパイプライン処理では、このSIRIUSに登録されたデータを衛星バス・検出器に分類し、さらに後者をHouse Keeping(HK)・天体イベント信号に分ける。これらをそれぞれ個別のFITS形式ファイルに変換する。これらのファイルは一連の処理の第一段階の生成物であるため、First FITS File(FFF)と呼ばれる。開発に際しては、データ処理内容は衛星や検出器のテ

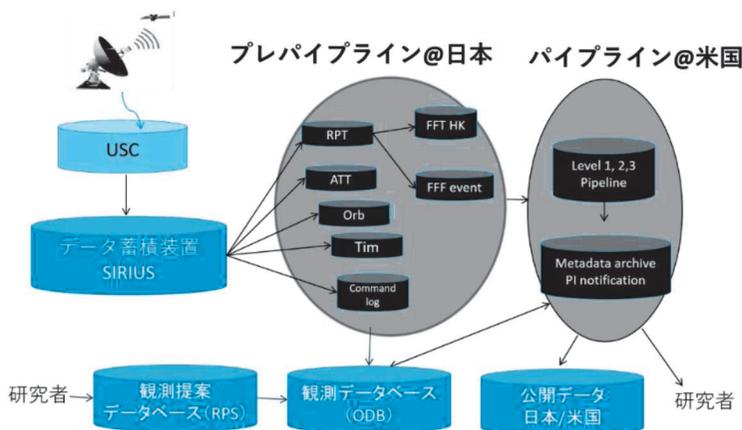


図1 ひとみ衛星の観測データが処理される流れ。観測データは、内之浦宇宙空間観測所(USC)にダウンリンクされてから、日本側のプレパイプラインと米国側のパイプラインで処理され、公開(アーカイブ)される。一番下は、研究者からの視点。観測提案はRPSを通して行う。提案に従って天体が観測されると、関連する全情報はODBに保存される。データが処理され解析できる状態になると、その通知が研究者に届く。また処理されたデータは日米サイトから公開され、ダウンロード可能となる。

レトリ設計に固有である、次節2.2で述べる下流のツールに対する最適化も必要である、という点に特に労力がかかった。

上記に加え、衛星の姿勢情報 (Att)、軌道情報 (Orb)、衛星が上空でカウントしている時刻と絶対時刻の対応表 (Tim) なども日本側のプレパイプライン処理で生成される。

2.2 米国側パイプライン処理

日本側のプレパイプライン処理で生成された FFF ファイルは、まだ科学的な意味をもつ物理量には変換されていない。そこで日本から米国へ転送された FFF は、米国側で開発されたパイプライン処理により物理量へと較正される。変換係数をまとめた較正データ表などが更新された際に、世界中の研究者が同じパイプライン処理をかけられるように、利用するソフトウェア群と較正データ表はそれぞれ HEASoft と CALDB として公開されている^{7),8)}。

HEASoft は、FITS ファイルを汎用的に取り扱えるツールと、様々な衛星に特化したツールから構成される (あすか、すざく衛星のツールも含まれている)。ひとみ衛星のツールは、日米の検出器開発チームから提供された仕様に従って、NASA/GSFC のエンジニアによってコーディングされた。すざく衛星までは検出器チームが HEASoft の開発も行ってたのに対し、これはひとみ衛星からの新しい試みであった。これにより、検出器チームはソフトウェア開発にかかる労力が削減でき、また出来上がったソフトウェアもより信頼性の高いものになったと考えている。

パイプライン処理により、FFF は中身が物理量へと較正された Second FITS File (SFF) となり、さらに衛星や検出器が観測に適した状態で動作していた時間帯、天体が地球の陰にいる地没や南大西洋地磁気異常帯 (SAA) 以外の時間帯だけを抜き出すことで、科学的解析に適したデータ (clean events) のみが抽出される。天体のエネルギースペクトル解析に必要な、望遠鏡や検出器の応答関

数ファイルも、この HEASoft のツールによって生成される。HEASoft には、観測提案などに必要な天体信号をシミュレーションするためのツール (heasim) も含まれている。

2.3 データ公開 (アーカイブ)

日本でのプレパイプライン、米国でのパイプライン処理を経て、研究者が解析可能となったデータは公開 (アーカイブ) される (なお定常運用期では、データ処理から1年間は観測提案者のみにデータ占有権が与えられ、その後に全世界に公開される予定であった)。公開データは米国 HEASARC と日本 DARTS に同じファイルが置かれ^{9),10)}、研究者はこれらのサーバからダウンロードしてデータ解析を行う。

現在ひとみ衛星の運用は終了しているため、運用中に取得された全データ (天体観測時だけでなく、他の時間帯も含む) は処理された上、図2のように日米のそれぞれのサイトで公開されている。ぜひ活用していただきたい。

3. XRISM 衛星に向けて

ひとみ衛星に続く計画として進行中の XRISM 衛星は、2021 年度に打ち上げ予定である。これ

NAME	RA	DEC
MNV_small	60.73145523	21.7169984
MNV_middle	55.89719208	41.29625686
Perseus_core	49.87414323	41.48385962
Perseus_core_adjustment	49.93161083	41.51939238

図2 ひとみ衛星の公開データ。日本 DARTS と米国 HEASARC のそれぞれからダウンロードが可能。

には、ひとみ衛星と同等の衛星バス、軟X線分光検出器 Resolve、軟X線撮像検出器 Xtend が搭載される。XRISM 衛星のデータ処理にも日米の研究チームで臨み、日本でプレパイプライン処理を、米国でパイプライン処理を実施し、日米それぞれからデータを公開する準備を進めている。ここでのデータ処理には、ひとみ衛星用に作られ検証してきたソフトウェア群を再利用する。

ひとみ衛星の HXI や SGD 検出器用に開発されたツールは XRISM では利用されないが、これらは公開されているソフトウェア群であり、将来計画の広帯域 X 線高感度撮像分光衛星 FORCE や、磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す PhoENiX 衛星での利用が検討されている。

4. おわりに

本稿で述べたデータ処理ソフトウェアは、日米 Software Calibration チーム (SCT) およびアーカイブチームによって整備・検証・運用された。特に日本側の開発チームメンバーは、寺田幸功、信川正順、澤田真理、中島真也、湯浅孝行、小高裕和、大野雅功、海老沢研、田村隆幸である。

ひとみ衛星の科学成果は、衛星や検出器などのハードウェアと、本稿で述べたソフトウェアの両方が揃って達成できたものである。ひとみチーム全体に深く感謝したい。

参考文献

- 1) 尾崎正伸, 2015, 天文月報, 108, 716
- 2) 海老沢研, 2016, 天文月報, 109, 21
- 3) Angelini, L., et al., 2018, JATIS, 4, 011207
- 4) Loewenstein, M., et al., 2018, JATIS, 4, 048003
- 5) Yaqoob, T., et al., 2018, JATIS, 4, 048005
- 6) <http://c-soda.isas.jaxa.jp/index.html.ja> (2019. 05. 24)
- 7) <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/heasoft/> (2019. 05. 24)
- 8) https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/caldb/caldb_intro.html (2019. 05. 24)
- 9) <https://www.darts.isas.jaxa.jp/astro/hitomi/> (2019. 05. 24)
- 10) <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/archive.html> (2019. 05. 24)

Observation Data Processing of Hitomi Satellite

Hiromitsu TAKAHASHI

Hiroshima University, 1-3-1 Kagamiyama Higashi-Hiroshima, 739-8526, Japan

Abstract: Data obtained by Hitomi satellite are distributed in Flexible Image Transport System (FITS) format, the most commonly used format in astronomy, to be analyzed easily and reliably by all researchers over the world. In this article, we describe the process flow to convert the data into FITS, and calibrate the contents of the FITS files to physical (engineering) values. These data processes are done by softwares developed by Japan-US international collaborations independent from instrument teams. The first FITS conversion is called "pre-pipeline" processed in Japan, and the second calibration is called "pipeline" performed in US. All Hitomi data have been already processed and publicly available. We plan to utilize these data process flow and softwares for the next XRISM mission to be launched in 2021JFY.