

公開天文台としての「すざく」

海老沢 研

〈宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 〒252-5210 相模原市中央区由野台3-1-1〉
e-mail: ebisawa@isas.jaxa.jp



「すざく」は、プロポーザル制により観測時間を国際的な共同利用に供するとともに、すべてのデータをアーカイブ化している「公開天文台」である。それによって、「すざく」チームメンバー以外でも、メンバーと同品質のデータを手にすることができる。また、プロポーザルを提出しなくても、占有期間が過ぎた後は、全く同じデータを自由に使うことができる。日米の「すざく」チームの協力により、いかにして公平性の高い公共天文台が実現し、運用されてきたかを紹介する。また、「すざく」データを用いて出版された論文について、著者の国別分布などを分析する。最後に、「公開天文台としてのすざく」について、個人的な評価・反省・教訓等を述べる。

1. はじめに

「すざく」はASTRO-E2であるが、その前にASTRO-E1があり（2000年2月打ち上げ失敗）、さらにその前には「あすか」（ASCA）があった（1993年2月打ち上げ）。私は、ASTRO-E1打ち上げ前は、NASA/GSFCにてASCA Guest Observer Facility（GOF）のメンバーとしてASCAのGuest Observer（GO）サポート業務と並行して、ASTRO-E1のデータ解析・アーカイブシステムの開発に従事していた。2000年のASTRO-E1失敗と「あすか」観測終了後（GSFCで仕事がなくなってしまった!）、2001年よりジュネーブにてESAのINTEGRAL衛星のデータ解析・アーカイブシステムの開発に参加していたが、2005年初頭、ASTRO-E2 GOFで働くために、NASA/GSFCに戻ってきた。2005年7月10日の「すざく」打ち上げ後、13年ぶりに帰国し、8月からJAXA宇宙科学研究所（ISAS）で勤務を開始した。

ISASでは、「すざく」をはじめとするJAXAの宇宙科学データアーカイブの構築・運用に従事し

ている。また、一人の研究者として、さまざまな天文衛星や地上観測装置（「公開天文台」）にプロポーザルを提出し、観測時間を得て研究を行っている。このように、さまざまな立場から「すざく」や「公開天文台」にかかわってきたわけだが、本稿では、できるだけ客観的・具体的に、「公開天文台としてのすざく」がどのように実現し、運用されてきたかを解説したい。また、この機会に、「すざく」による論文出版状況を分析する。最後に、より広い視点から「公開天文台としてのすざく」を眺めて、私なりの評価、反省、教訓等を述べたいと思う。

2. 公開天文台としてのデータポリシー

2005年以来、毎年1回、JAXAとNASAから世界の研究者に向けて「すざく」の観測提案を募集するAnnouncement of Opportunities（AO）が発せられてきた。2005年11月に発せられた最初のAO（AO1）に、日米で合意した「すざく」のデータポリシーが明確に記載されている。打ち上げから8カ月間の観測プログラムは、「すざく」

のScience Working Group (SWG) が決定し、データの使用権を占有する。9カ月以降、衛星のメンテナンス (3%)、機器較正 (キャリブレーション; 5%)、予期しなかった突発現象の観測などに用いられるDirector's Directionary Time (DDT; 5%) 以外の観測時間は公開され、観測対象はGOによるプロポーザルによって決定される。全観測時間のうち、日本分が50% (うちESAが8%)、アメリカ分が37.5%、日米ジョイント分が12.5%である。日本、アメリカ、ESA以外のGO観測は、日本時間に含まれる。また、すべてのSWG、GOデータの占有期間は1年間で、その後、データは世界に向けて公開される。AO4からは、通常の観測提案とは別に、特に科学的に重要で長い露光時間を有する観測 (“key project”) の公募が始まった。Key projectデータについては観測提案者に優先権はなく、データは提案者に配布されると同時に直ちに公開される。

このように、最終的にはすべての観測データを公開・アーカイブ化するポリシーが採用されており、それを前提として、さまざまな制度やシステムが設計されている。なお、これは「すざく」に限らず、NASAやESAがかかわるほぼすべての天文衛星に通じるポリシーである。

3. アーカイブ

3.1 データのアーカイブ化

観測者がその場 (観測所) で観測対象や観測条件を変更可能な地上観測とは異なり、人工衛星を用いた天文観測では、ほぼすべての運用が、あらかじめプログラムされたコマンド・シーケンスに従って実施される。また、地上観測における天候の変化のような、突発的な不定要因が少ない。よって、比較的、人工衛星のデータ処理は標準化しやすい。そのような「パイプライン処理」によって、取得したすべてのデータに対して標準的な較正を適用し、その生成物 (画像、ライトカーブ、イベントデータなどの「高次データプロダク

ト) をアーカイブ化することが通例である。「すざく」においても、SWGメンバーやGOが手にするのと全く同じ高次データプロダクトがアーカイブ化されている。

3.2 天文データをアーカイブ化する意義

さて、「すざく」に限ったことではないが、ここで改めて、天文データをアーカイブ化する意義を考えてみよう¹⁾。

・データがもたらす結果の検証を可能にする

天文観測においては、多くの場合、統計的有意性ぎりぎりのところで、新発見が報告されることが多い。そのため、(この分野の研究者ならば誰でも知っているように) 大々的にプレスリリースされた論文が、後に間違いだと判明した例には枚挙にいとまがない。その中でも、特にインパクトが大きかった間違いの背景を調べてみると、観測装置を開発したグループがデータを公開しないことを前提に、閉じたチーム内で解析し、成果発表した場合が多いことがわかる²⁾。長年苦勞して装置を開発してきたグループは、どうしてもインパクトのある結果を発表したい。また、その成果 (データ) を占有したい。すると、第三者による検証が入る余地がない。人のなすことゆえ、このようなバイアスがかかった状況下で間違いが起きがちなのは、当然とも言える。一方、「すざく」の場合は、そもそも非公開データを用いて成果発表をしてはいけないので (3.3.2項参照)、同様の間違いは起きえない。

また、論争のある分野においては、同じ公開データを用いて、異なる解釈による論文が何本も出ている。一つの例として、広がったように見える輝線構造をもつことで有名な活動的銀河中心核MCG-6-30-15³⁾のデータを調べてみたところ (2006年1月に観測)、この観測データを用いて、実に17本の査読付き論文が出版されていた。(私も当事者の一人であるが) 同じ「すざく」データを用い、同じ土俵の上で全く異なった解釈を主張し合い、MCG-6-30-15のブラックホール近傍で

いったい何が起きているのか、純粋で健全な科学的論争が続いているのである。

・データが使われる範囲を広げ、衛星から得られる成果を最大化する

「すざく」は日米共同で、主に日本とアメリカの税金を投入して開発された。よって、まず「日本とアメリカ」が国として優れた科学成果を上げることが期待されているのは当然である。一方、投入されたコストに対して、「一つの衛星として」成果を最大化することも期待されている。そのためには、日本とアメリカだけでなく、世界中の科学者の力を借りる必要がある。すなわち、多様なアイデアによるGO観測を実施し、できるだけ多くの手でデータ解析を行い、手分けして論文を出版する。その結果、6章で述べるように、すざくデータを用いて753本の査読付き論文が出版されており、その主著者の所属国は28カ国に上っている(2015年7月末現在)。衛星データを広く公開することが、国際的な科学に対する貢献になり、また、それが衛星の評価や、衛星を開発した国の評価を高めることにもなる。

・データの寿命を延ばし、将来の研究をサポートする

天文現象の多くは一過的なもので、特にX線領域においては、著しい時間変動を示す天体が多い。よって、ある衛星によって発見された天体や観測された現象が後の衛星では再現されず、それらのデータが長期間、高い科学的価値をもち続けることがある。また、長年にわたる知識の蓄積や最新の理論を古いデータに当てはめることによって、新たな発見が生まれることがある。例えば、1991年に「ぎんが」が発見したブラックホール新星GS1124-683について、近年になって正確にわかってきた天体までの距離、軌道傾斜角、降着円盤モデルをアーカイブデータに適用して再解析したところ、ブラックホールと降着円盤が逆回転しているらしい、という興味深い論文が2014年に出版された⁴⁾。同様に、「すざく」アーカイ

ブデータを使った論文が、20年以上後にも出版され続けることは、容易に予想される。すなわち、「すざく」を公開天文台と考えたとき、それはデータの公開範囲を地理的に広げると同時に、未来に対して時間的にも広げていることになる。

3.3 すざくデータアーカイブシステム

ここでは、データアーカイブを、「データ保存」、「データ処理」、「データサービス」の集合体と考える¹⁾(図1)。「すざく」アーカイブのそれぞれについて、解説する。

3.3.1 データ保存

ISASの衛星テレメトリーデータは、SIRIUSと呼ばれるデータベースに保存されている。SIRIUSには、限られたプロジェクトメンバーのみ、ISAS内部からアクセスできる。「すざく」プロジェクトは、SIRIUSのテレメトリーデータにFITSヘッダーをラップした、Raw Packet Telemetry (RPT) というファイルを作成しており、これがデータ処理の源泉となる(次項参照)。データ処理後の高次データプロダクトは、公開アーカイブであるISASのDARTS (<http://darts.isas.jaxa.jp>)とGSFCのHEASARC (<http://heasarc.gsfc.nasa.gov>)にて、恒久的に保存される。ユーザーは、DARTSまたはHEASARCから高次データプロダクトを取得して、データサービス(3.3.3項)を受けて、利用する。

3.3.2 データ処理

衛星の姿勢決定や、RPTを高エネルギー天文学で標準的に用いられている配布FITS形式に変換する初期データ処理は、ISASで行われる。配布FITS形式は姿勢情報とともにGSFCに送られ、その後は、日米で全く同じパイプライン処理が実施されている。日米国際協力でデータ処理システムを開発・運用することの苦勞は、日本側の担当者であった尾崎氏の解説記事に如実に語られているが⁵⁾、そのおかげで、DARTSとHEASARCに置かれているデータプロダクトが同一であることが保証されている。

「すざく」データ処理の特徴・特長をいくつか挙げてみたい:

1. 配布FITS形式以降のデータ処理を行うためのソフトウェア (HEASoft) と機器較正ファイル (CALDB) が、どちらもGSFCから公開されている。ソフトウェアや機器較正ファイルが更新されるたびに、これらはGSFCからリリースされる。これによって、ユーザーは、すでに配布された (受け取った) データに対して、自分で最新の機器較正を適用することができる。

2. 厳密なバージョン管理がなされている。パイプライン処理の結果である高次データプロダクト (較正済FITSファイル) のヘダーには、プロセッシング・バージョンが記されている。例えば、2015年7月末の時点で、最新のプロセッシング・バージョンは2.8.20.41である。ピリオドで区切られた四つの数字は順に以下の意味をもっている; パイプラインスクリプトのメジャーバージョン, マイナーバージョン, ソフトウェアのバージョン, 機器較正ファイルのバージョン。「すざく」の論文出版の際には、用いたデータのバージョン番号を、解析に用いたソフトウェア (HEASoft等) のバージョンとともに記載することが慣習となっている。それによって、原理的に、論文出版された結果を、誰でも再現できるようになっている。また、プロセッシング・バージョンはDARTSやHEASARCで管理されているので、データをダウンロードしなくても、アーカイブ化されているデータのバージョンを知ることができる。なお、「すざく」のすべての観測データが公開された後、最終的なソフトウェアと機器較正を取り入れた最終プロセッシング・バージョンで、全データが再プロセスされる予定である。その「バージョン3.*.*」が「すざく」の恒久的なアーカイブになるであろう。

3. 非公開データへのアクセスが制限されている。「すざく」データ処理は、ISASとGSFCに配置した専用計算機上で実施されているが、その計

算機にアカウントを保有しているのは、限られたデータ処理担当者と機器較正担当者のみである。それらのチームメンバーも、非公開データを科学解析に用いることは禁じられており、論文を出版する際には、必ず、DARTSかHEASARCから公開されるデータを用いなくてはならない。これによって、「すざく」チームメンバーとチーム外の科学者間の公平性が保証されている。

3.3.3 データサービス

DARTSとHEASARCでは、ユーザーがデータを取得するためのFTP、検索サービス等を提供している。その他、ユーザーが公開データを用いて成果を出版するために必要なさまざまなサービスが、無償で提供されている。これらについては、5.1, 5.2節でより詳細に述べる。

4. 観測プロポーザル

アーカイブデータを用いて研究を実施するためにプロポーザルは必要ないが、自分のアイデアで観測を行い、占有データを得るためには観測プロポーザルを提出し、採択される必要がある。毎年、AOの発出と同時に、「すざく」の衛星システムと観測装置の性能をまとめた、“Technical Description”が公開される。「すざく」が打ち上げられた2005年には、すでにNASAのChandra, ESAのXMM-Newtonという巨大X線天文台が稼働していたため、GOは、Chandra, XMM, 「すざく」の性能を比較し、自分の研究目的に最も合致した衛星に観測提案を提出することになる。特に、「すざく」がChandraやXMMに比べて優れているのは、広帯域 (0.2-70 keV) のスペクトル性能や広がった天体に対する感度 (低バックグラウンド) 等である。

プロポーザル策定の際、観測目的を達するために、どれだけの観測時間が必要か、シミュレーションを行うことが通例である。そのためのツールが、GSFCのSuzaku GOFから公開されている。観測プロポーザルはRemote Proposal System

(RPS) を用いて、提案者の所属機関に応じて、ISAS, NASA または ESA に提出する。RPS は「あすか」の時代から使われている「枯れた」ツール (ウェブアプリケーション) であり、決して洗練されたものではないが、X線観測に慣れていない GO にとっても、その利用は容易と思われる。

提案されたプロポーザルは、日本、アメリカ、ESA で独立に審査され、その後、International Merging Committee による調整を経て、最終選考される。プロポーザルには、評点に応じて A, B, C のプライオリティが付けられる。その優先順にスケジュールされ、もし観測時間が提案時間の 90% (A ターゲット) または 70% (B ターゲット) に満たない場合には、追観測が行われる。C ターゲットの観測は、スケジュールに余裕がある場合にのみ行われ、その実施は保証されない。

5. ユーザーサポート

私が GO として、さまざまな地上やスペースの公開天文台を利用してきた経験から述べると、一般に天文衛星のユーザーサポートは地上観測の場合よりも優れている (至れり尽くせりである)、という感がある。Chandra や XMM と同様、X線データ解析の経験が少ない天文学者でも、「すざく」のデータ解析を行い、論文を出版できるようなサポート体制が整っている。

5.1 データ解析

データ解析のためのソフトウェアが、HEASoft として、GSFC から公開されている。ソースコードが公開されているが、主要なアーキテクチャーのためのバイナリーも用意されているので、インストールは容易である。ソフトウェアとともにデータ解析に必要なのが機器較正ファイルであるが、これも GSFC から CALDB という枠組みで公開されている。CALDB は厳格なバージョン管理が行われており、ユーザーは迷うことなく、最新の機器較正ファイルをダウンロードすることができる。なお、これらのソフトウェアと較正ファイ

ルはほとんどが日本の「すざく」チームによって開発されたものだが、日本側の担当者が国内の開発をとりまとめ、一括して GSFC に送っている。これによって、非公式の較正情報やソフトウェアが出回り、それを用いた結果が出版されるような状況を防いでいる。

データ解析のためのマニュアルとして、英語で書かれた “ABC Guide (The Suzaku Data Reduction Guide)” がある。また、日本語で書かれた、「すざくファーストステップガイド」も存在する。大学院に入ったばかりの院生を見ていると、これらのガイドや先輩方のアドバイスを参考に、M1 の夏休み前には、Chandra, XMM とともに、「すざく」のアーカイブデータをほぼ自由に扱えるようになるようである。

5.2 ウェブアプリケーション

DARTS と HEASARC で全く同じ高次プロダクトをアーカイブ化しているが、それぞれ、独自に相補的なウェブアプリケーションを提供している。世界の高エネルギー天文衛星のアーカイブデータを網羅した HEASARC においては、Chandra や XMM など、「すざく」と同時に、NASA や ESA の高エネルギー衛星との同時検索が可能になっている。

一方、JAXA/ISAS の科学データアーカイブである DARTS では、より「すざく」と JAXA の衛星に特化したサービスを提供している。たとえば、観測やデータ処理中に発生した気付き事項を記録したデータベース (SUZAKULOG)、CCD の特殊モードによる検索を可能にするサービス (Suzaku XIS log)、観測ターゲットのカテゴリーごとの公開データ一覧と解析に必要な補助ファイルへのリンクをまとめたページ (Suzaku Public Data) などは、HEASARC にはない、DARTS 独自のサービスである。

われわれは、「すざく」や「あすか」の観測視野や画像を天球上に表示し、画像を早見しながらグラフィカルにデータを検索可能にするシステ

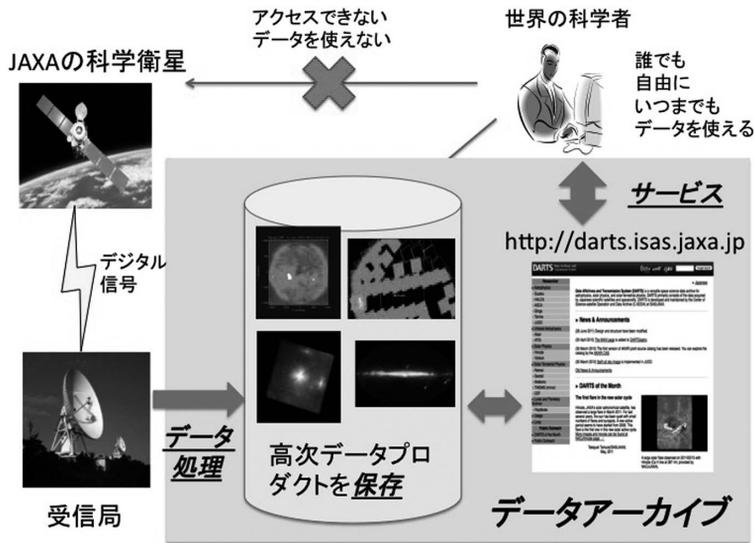


図1 アーカイブと、データ保存，データ処理，データサービス。

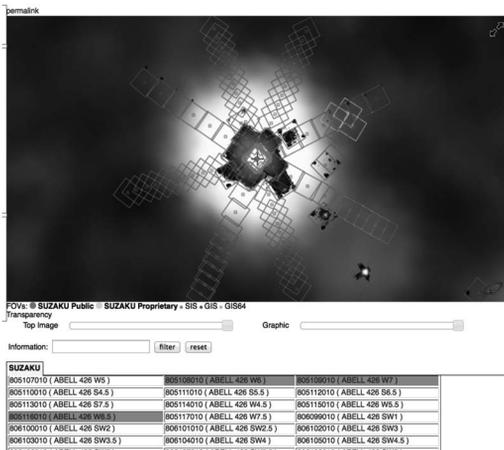


図2 JUDO2 (<http://darts.isas.jaxa.jp/astro/judo2>)で表示したペルセウス銀河団 (Abell 426) の周辺画像. MAXIのX線背景画像 (グレースケール) の上に、「すざく」の視野 (四角) と画像を重ねて表示した. 温度や元素の空間分布を測定するために、銀河団の中心から裾まで、放射状にポインティングしている. 他の衛星や他波長の画像を参照しつつ、視覚的に「すざく」の観測シーケンスを選択することができる. 印刷版では表現できないが、X線スペクトル分布をカラーで表現している.

ム、JUDO (JAXA Universe Data Oriented) の開発を2007年に開始した. 2015年には、MAXIの全天X線画像を追加すると同時に、フランスの

データセンター CDSで開発された Aladin Lite という技術を導入して改良し、“JUDO2”として公開した (図2). JUDO2では、さまざまな多波長全天データを重ね合わせて高速表示できるので、X線以外の研究者にも活用していただけるものと期待している.

また、UDON (Universe via DARTS ON-line) というシステムでは、ブラウザから「すざく」、「あすか」の公開データにアクセスし、指定した天体 (天域) のスペクトル、ライトカーブを抽出することができる. 今年度は、MAXIの解析機能もUDONに追加する予定である. このようなウェブアプリケーションの開発により、JAXAの科学衛星データ利用を可能な限り容易にし、それによって得られる科学的成果を増大させたいと考えている.

5.3 ヘルプデスク

Suzaku GOFでは、ウェブを通じて、世界中からプロポーザルやデータ解析に関する質問を受け付けている. 一方、理研を中心とするボランティアグループは、主に日本国内向けのヘルプデスクを運用している. 両者は連携し合い、FAQや回答を共有している. 国内のすざくヘルプデスク

は、日本語で質問が可能なので、英語でのコミュニケーションに慣れていない大学院生らにとっては、優しいシステムである。なお、データ解析にかかわる質問の内容から、未発表の発見や成果を推測できてしまうことがある。よって、原則、ヘルプデスク担当者は秘密厳守であり、質問者が合意した場合のみ、質問と回答を公開している。このように、ヘルプデスク担当者には、自分自身の科学的興味の追求とヘルプ業務を公平に実施することを厳密に切り分ける、公正な態度が求められる。

6. 論文としての成果

次に、査読付き投稿論文として発表された成果の分析をしたい。ISASのX線グループでは、ISASのX線天文衛星による論文を調査している。2015年7月末現在で、「すぎく」のデータを用いた査読付き投稿論文の数は753本である。ちなみに、「ぎんが」（1987年2月打ち上げ、1991年10月に観測終了）については464本、「あすか」（1993年2月打ち上げ、2000年7月に観測終了）については1,641本である。

衛星ごとの論文数を比較すると、「ぎんが」は、当時では史上最高の有効面積（高感度）を誇り、かつ1980年代後半に活躍した世界で唯一のX線天文衛星であったために、インターネットやアーカイブの普及前には多くの論文が出版されていると言える。また、「あすか」はCCDを用いた硬X線撮像を世界で初めて実現し、2000年にChandraとXMMが稼働を始めるまで、その能力をもつ唯一の衛星であった。よって、論文数が圧倒的に多いことは容易に理解できよう。一方、「すぎく」は、1回目の打ち上げ（ASTRO-E1）失敗および打ち上げ直後の主観測装置（X線マイクロカロリメーター）故障のせいで、より優れた感度、位置分解能またはエネルギー分解能をもつChandraとXMMに約5年も遅れてスタートした衛星となってしまった。その大きなハンディ

キャップにもかかわらず、ChandraやXMMと相補的な特徴を生かし、これだけの論文が出版されていることは、世界に開かれた公開天文台として十分な成果を挙げていると言えるのではないだろうか。

日米協力の成果を評価するために、以前に「あすか」の論文で調査したように²⁾、(a) 著者が日本人（＝日本の研究機関に所属する人；以下同様）とアメリカ人の両方を含む論文、(b) 日本人を含むがアメリカ人を含まない論文、(c) アメリカ人を含むが日本人を含まない論文、(d) 日本人もアメリカ人も含まない論文の割合を調べてみた。「あすか」の場合は、それぞれ、1/6、1/3、1/3、1/6であった。(b) 日本のみの論文数と(c) アメリカのみの論文数が同程度で、(a) 日米共同の論文数と(d) 日米以外の論文数が、共にその半分程度、という、図らずも見事な(?) バランスに妙に感心した覚えがある。さて、「すぎく」の場合は、それが、274本(36%)、192本(25%)、192本(25%)、95本(13%)であった。(b)と(c)が全く同数だったことには驚いた。「あすか」と同じく、日米間で絶妙なバランスが取れている。また、「あすか」と比較して、(a)が多く、(d)が少ないことが見て取れる。日米協力がより進んだ一方、それ以外の研究者がChandra、XMMをより積極的に使った結果ではないか、と推測できる。また、主著者が二つ以上の国に所属する論文数を調べてみたところ、日本・アメリカが17本と、圧倒的に多かった(次がアメリカ・イギリスの5本)。これも日米協力が進んだことの証で、海外学振など、日本の制度を用いてアメリカで研究するポストドクが増えていることがその主な理由だと思われる。

次に、主著者の国別の割合を調べてみた(表1)。日本(378本)、アメリカ(205本)を筆頭に、主著者の所属国数は28カ国であった。ちなみに、「あすか」については、アメリカ(504本)、日本(501本)を筆頭に、31カ国であった(ただし調

表1 論文筆頭著者が所属する機関の国ごとの分布。複数の国に所属している場合は、各国にカウントした。以下の国は、1本ずつ；オーストラリア、ベルギー、ブルガリア、ホンジュラス、韓国、メキシコ、南アフリカ、スウェーデン。

国名	本数	国名	本数
日本	378	トルコ	8
アメリカ	205	ポーランド	6
イギリス	44	台湾	6
イタリア	44	カナダ	5
インド	18	ナイジェリア	5
ドイツ	17	ロシア	4
中国	15	フィンランド	3
フランス	12	ギリシア	2
オランダ	9	アイルランド	2
スペイン	8	スイス	2

査したのは2008年)。「あすか」には及ばないが、「すざく」も非常に多くの国々の科学者に使われていることがわかる。また、「あすか」とは異なり、日本人主著者の論文数がアメリカ人主著者の論文数を圧倒していることは、アメリカ人がChandra, XMMをより積極的に使った結果とも解釈できるし、日本人が頑張っ、て、精力的に「すざく」の結果を論文発表したため、とも言えるだろう(PASJ「すざく」特集号が3巻出ていることも大きい)。

7. 評価、反省、教訓など

まず、「公開天文台としてのすざく」がうまくいったと考えられる点と、個人的に思いついた、それらの理由(原因)について述べる。これまで述べてきたことをまとめて、公開天文台「すざく」は、以下の点で成功したと言って良いだろう: データ・機器較正・ソフトウェアが統一されているので、「すざく」チームメンバーでなくても、メンバーと同じ結果を出すことができる(公平性が高い)。また、それらについて常に最新のものが公開されているので信頼性が高く、厳重にバージョン管理されているので再現性が高い。

さらに、アメリカ・ヨーロッパの大型衛星と比

較すると、「すざく」解析・アーカイブシステムの開発・運用は非常に効率良く進められたことも特筆すべきだろう。アメリカ・ヨーロッパでは、大型衛星計画ごとに新たなデータセンターを設立し、ハードウェアの開発とは独立に、解析・アーカイブシステム開発に数十人単位の科学者・技術者を投入することが多い。一方、ASTRO-E1の時代を含めれば、日米の「すざく」チームは、「あすか」の運用をしつつ「すざく」の開発を行い、ASTRO-Hの開発をしつつ「すざく」の運用を行ってきた。「すざく」解析・アーカイブシステム専任の技術者・プログラマーは、アメリカに数名足らず、日本側にはほとんどいない(あとは科学者が兼任)。

これらの成功の原因として、以下の3点を挙げたい。まず、第一に「あすか」の反省があった。先に述べたように、「あすか」は非常に多くの論文を生み出した衛星である一方、解析・アーカイブシステムについては、いくつか反省点があった。たとえば、「あすか」初期に書かれた論文について、そこで用いられた機器較正やソフトウェアが不明で、結果の再現が困難である。検出器チームが主に使っていた解析システムとGOのために公開されたシステムが異なっており、結果が完全に一致しなかった。また、ミッション途中でシステムティックに機器較正をやり直す必要が生じたが、最終的な機器較正結果をデータ処理(アーカイブ)に反映させることができなかった。それらを反面教師として、「すざく」においては、日米が協力して、高い公平性・信頼性・再現性を実現するよう努力した。特に、技術的に、日本の検出器チームが用いるソフトウェアの体型を統一化し、それをほぼそのままHEASoftの枠組みに載せることができたことが大きかった⁵⁾。

2点目として、非公開のデータや機器較正を用いて科学成果を発表してはいけないと日米で合意し、それを正直に貫き通したことである。せっかく苦勞して発表した論文でも、第三者がそれを再

現できないと、信頼性が下がり、価値が薄れてしまう。それを「あすか」で経験したメンバーが、「すざく」開発の中心になったことが大きい。これは、決して当たり前のルールではなく、私が参加した海外の衛星プロジェクトでは、検出器チームやソフトウェア開発責任者が、当たり前のように非公開または公開前のデータやツールを用いて、結果を論文発表していた。私はそれを知っているので、自分が汗水垂らしてかかわったプロジェクトとは言え、この衛星を使って最高の成果を出そう（出せる）とは思えない。

3点目として、GSFC/HEASARCが提唱する汎用システムの枠組みに乗り、できるだけ「あすか」をはじめとする実績のあるソフトウェア資産を活用したことが挙げられる。枯れたソフトウェア技術（C, Perl, シェルなど）のみを用い、新しい技術には飛びつかなかった。また、アメリカ側でできることはアメリカに任せたお陰で、日本側では検出器に特化した開発に注力できた。そのいっぽう、欧米の他の衛星では、新しい衛星のために全く新しい解析システムがスクラッチから開発され、予算と時間をかけた割には（かけ過ぎたせい？）、あまり使い勝手のよろしくないものになってしまった、という例が多々ある。宇宙関係のシステム開発プロジェクトは、エンジニア・プログラマの雇用対策という側面もあるので、十分に注意しなくてはいけない。

一方、「公開天文台としてのすざく」の運用があまりうまくいかなかったように思われる点もある。数え上げれば切りはないが、教訓のためにいくつか例を挙げてみたい：(1) 日米間で、観測情報やメタデータの共有・交換が必ずしもスムーズではなかった。(2) 日米の責任範囲が曖昧で、作業やエフォートの重複が生じた反面、十分に顧みられない事項もあった。(3) データを生成する側の「すざく」プロジェクトと受け取る側のデータセンターとの間で、役割分担・責任分界が曖昧であった。(4) 最終的なアーカイブが明確に定

義されておらず、DARTSやHEASARCにはアーカイブ化されていないが、科学的に重要なデータプロダクトが存在する。(5) 日本側で開発されてGSFCから公開された解析ツールについて、ミッション後期になってからバグが発見された。

では、今後、同様のプロジェクトについて、このような問題を防ぐためにはどうしたら良いだろうか？ そのためには、プロジェクト計画時から、プロジェクト終了後のアーカイブ運用まで、全体を通して最適化の方策を考える必要がある⁶⁾。「アクター」としては、日本のプロジェクトとデータセンター、アメリカのプロジェクトとデータセンターの四者があり、時期的には、プロジェクトが主に責任をもつ「短期アーカイブ」と、プロジェクト終了後にデータセンターが引き継ぐ「長期アーカイブ」がある。各時期において各アクターが担当すべき業務を定義し、無駄な重複が生じないようにすると共に、責任範囲を明確化する。アクター間のコンタクトポイント（窓口）を絞り、情報の流れを一元化する。これらをICD（Interface Control Document）として文書化し、情報共有を図る。いわゆる「プロジェクトマネージメント」においては普通のことであるが。

さて、いよいよ今年度、日本とアメリカを中心とする国際協力で開発されてきたASTRO-Hが打ち上げられる予定である。ASTRO-Hは、世界で最初にマイクロカロリメーターによるX線観測を実現する大型衛星であり、その寡占状態はおそらく2020年台後半、Athenaの打ち上げまで続く。「すざく」の教訓を生かし、ASTRO-Hは圧倒的に優れた「公開天文台」として、長期間にわたって世界の天文学の発展に貢献することになるだろう。

参考文献

- 1) ISASの科学衛星運用・データ利用センター運営委員会による「科学データの公開・利用について」(2011) (<http://c-soda.isas.jaxa.jp/bibliography/KagakuData.pdf>) を参考にした
- 2) 海老沢研 (2008), 日本物理学会誌63, 670
- 3) 海老沢研, 宮川雄大, 井上一, 2010, 天文月報103, 445
- 4) Morningstar W. R., et al., 2014, ApJ 784, L18
- 5) 尾崎正伸, 2015, 天文月報108, 716
- 6) ここで述べた「すざく」のデータ公開・利用に関する反省・教訓は, ほとんどすべての科学衛星に当てはまると思われる。「望ましい科学データ公開・利用のありかたについて」(2013) (<http://c-soda.isas.jaxa.jp/bibliography/NozomashiiDataKokaiRiyoushou.pdf>) 参照

Suzaku as an Open Observatory

Ken EBISAWA

JAXA/ISAS, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagamihara 252-5210, Japan

Abstract: *Suzaku* observation time is open for the international use via competitive proposals, and all the observation data are put in the public archive. Scientists outside of the *Suzaku* team can obtain exactly the same quality data as team members do. Also, everybody can use the same data after the proprietary period is over. I introduce how the *Suzaku* data analysis/archive system has been developed and operated in an open and fair manner, in cooperation of Japanese and US *Suzaku* team members. In addition, I analyze distribution of authors of the refereed papers using *Suzaku* data. Finally, I will present personal evaluation, reflection and lessons-learned on the "open observatory *Suzaku*."