

一番星へ行こう！ 日本の金星探査機の挑戦 その32 ～データアーカイブ～

村上 真也¹, 山本 幸生¹, はしもと じょーじ², 山田 学³,
山崎 敦¹, 佐藤 隆雄¹, 小郷原 一智⁴, 高木 征弘⁵,
Kevin McGouldrick⁶, 平田 成⁷

(要旨) 金星探査機「あかつき」によって取得されたデータのアーカイブを 2017 年 7 月に公開しました。本稿ではデータアーカイブの概要と今後のリリース予定について紹介します。

1. はじめに

金星探査機「あかつき」は2015年12月7日に金星周回軌道への投入に成功し、これまで継続的に観測を行ってきました。観測によって得られたデータは、当初の予定ではデータ取得の1年後を目処に公開されることになっていましたが[1]、機器チームがデータの校正と「あかつき」の運用に忙殺され取得したデータを用いて研究をするどころではなかったため、データ取得の1年半後を目処に公開する、と変更されました。そして、軌道投入成功から1年7ヶ月後の2017年7月ようやく、「あかつき」の打ち上げから軌道投入後6ヶ月後までに取得されたデータを宇宙科学研究所の科学衛星データ公開システムDARTSで公開しました(図1)。

以下では「あかつき」のデータアーカイブの概要と今後のリリース予定について紹介します。

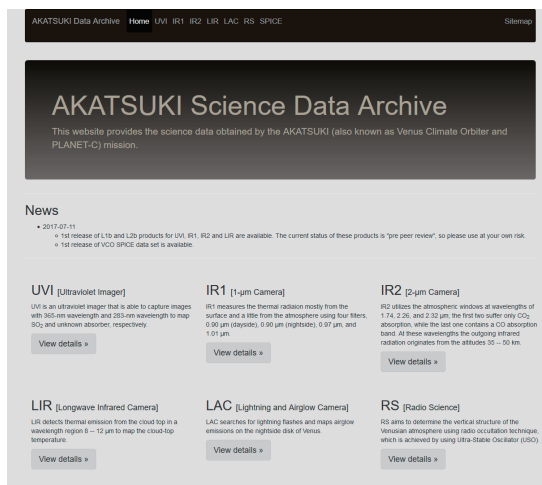


図1: JAXA宇宙科学研究所DARTSのAkatsuki Science Data Archiveのウェブサイト。

URL: <http://darts.isas.jaxa.jp/planet/project/akatsuki/>

2. データアーカイブの概要

アーカイブされる「あかつき」のデータセット群を表1に示します。2010年の記事[1]からプロダクトの種類や処理レベルを整理したため、多少の変更がありますのでご注意ください。

以下で表1の各カラムを説明します。「機器」は主にデータ取得のために使われた機器を表します。RSとSPICEは機器の名前ではありませんが、機器にあたるようなデータを表す呼称です。RS(Radio Science;

1. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
2. 岡山大学 大学院自然科学研究科
3. 千葉工業大学 惑星探査研究センター
4. 滋賀県立大学 工学部
5. 京都産業大学 理学部
6. コロラド大学ボルダー校 大気宇宙物理研究所
7. 会津大学 コンピュータ理工学部
murashin@gfd-dennou.org

表1：「あかつき」データアーカイブのデータセット群.

機器	プロダクト	データの説明	フォーマット	DATA_SET_ID
UVI	L1b	生データ（カウント値）	FITS	VCO-V-UVI-2-EDR-V1.0
	L2b	較正済み物理量データ	FITS	VCO-V-UVI-3-CDR-V1.0
	geo, geo4	幾何情報（ピクセル中心と四隅）	FITS	VCO-V-UVI-3-SEDR-V1.0
	L3	較正済み物理量の緯度経度格子点データ	NetCDF	－
	L3x	視野方向補正検証用データ ＋ 補正済み幾何情報	NetCDF, FITS	－
IR1	L1b	生データ（カウント値）	FITS	VCO-V-IR1-2-EDR-V1.0
	L2b	較正済み物理量データ	FITS	VCO-V-IR1-3-CDR-V1.0
	geo, geo4	幾何情報（ピクセル中心と四隅）	FITS	VCO-V-IR1-3-SEDR-V1.0
	L3	較正済み物理量の緯度経度格子点データ	NetCDF	－
	L3x	視野方向補正検証用データ ＋ 補正済み幾何情報	NetCDF, FITS	－
IR2	L1b	生データ（カウント値）	FITS	VCO-V-IR2-2-EDR-V1.0
	L2b	較正済み物理量データ	FITS	VCO-V-IR2-3-CDR-V1.0
	geo, geo4	幾何情報（ピクセル中心と四隅）	FITS	VCO-V-IR2-3-SEDR-V1.0
	L3	較正済み物理量の緯度経度格子点データ	NetCDF	－
	L3x	視野方向補正検証用データ ＋ 補正済み幾何情報	NetCDF, FITS	－
LIR	L1b	生データ（カウント値）	FITS	VCO-V-LIR-2-EDR-V1.0
	L2b	較正済み物理量データ	FITS	VCO-V-LIR-3-CDR-V1.0
	geo, geo4	幾何情報（ピクセル中心と四隅）	FITS	VCO-V-LIR-3-SEDR-V1.0
	L3	較正済み物理量の緯度経度格子点データ	NetCDF	－
	L3x	視野方向補正検証用データ ＋ 補正済み幾何情報	NetCDF, FITS	－
LAC	L1	生データ（カウント値）	テキスト	VCO-V-LAC-2-EDR-V1.0
	L2	較正済み物理量データ	テキスト	VCO-V-LAC-3-CDR-V1.0
RS	L1	生データ	テキスト	VCO-V-RS-2-OCC-V1.0
	L2	受信周波数・信号強度の時系列データ	テキスト	VCO-V-RS-3-OCC-V1.0
	L3	屈折角・中性大気密度の鉛直プロファイル	テキスト	VCO-V-RS-5-OCC-V1.0
	L4	気温・圧力・硫酸蒸気混合比の 鉛直プロファイル	テキスト	VCO-V-RS-5-OCC-V1.0
SPICE	－	軌道・探査機の姿勢 ・カメラ視野などの補助情報	SPICE カーネル	VCO-V-SPICE-6-V1.0

電波科学)はUSO(超高安定発振器)を使用して取得されたデータで、SPICEはテレメトリ・地上からの測距・地上から送信したコマンドなどを元に作成されたデータです^{*1}。

「プロダクト」はデータ処理パイプラインの処理レベルに基づくデータの種類の短い呼称です。L1b, L2bなどの“L”は(処理)レベルの略です。「データの説明」では、「機器」と「プロダクト」の組み合わせで一意に決まるデータの種類の説明をしています。「フォーマット」は格納されるデータの主なフォーマットを表わします。「DATA_SET_ID」はPDS(Planetary Data System)のDATA_SET_IDキーワードの値を示します。PDSはNASAが定めたアーカイブの規格です^{*2}。DATA_SET_IDキーワードはPDSに準拠するデータセットを一意に表す文字列です。

L3, L3x以外のプロダクトはPDSのバージョン3に準拠したデータセットとして作成し、NASAのPDSによるピア・レビューを経てレビュー済みのデータセットとして宇宙研のDARTSとNASAのPDSから公開されます。また、L3, L3xはPDSには準拠しないものの、DARTSに加えてPDSの“Annex”と呼ばれる場所からも公開される予定です。

表1に示した以外にも、「雲追跡風」(Cloud Motion Vector; CMV)のデータセットが、論文に使用されたデータについてのみですがNetCDFフォーマットでアーカイブされて公開される予定です。

個々のプロダクトの詳しい説明はここでは割愛させていただきます。データとともにアーカイブされているドキュメント、または投稿中ではありますが[3]をご覧ください。

3. データアーカイブの方針と特徴

「あかつき」のデータアーカイブの作成方針と特徴を以下に簡単に述べます。

画像データに関しては、金星が映っているかどうかに関わらず、また品質の良し悪しに関わらず、すべてのデータを公開することとしました。サイエンスチームがデータの品質によってアーカイブするデータを選別してしまうと、本当は「お宝」であったものがそれ

とは気付かれずに埋没してしまう可能性があるかもしれないと考えました。本来の目的とは違う形でデータが利用される可能性や、後世になってデータを再び吟味する可能性に配慮して、できる限りオリジナルのデータを残すようにアーカイブの設計をおこないました。カウント値のデータ(L1b)は初期には公開を計画していませんでしたが、将来的によりよい較正ができる可能性があること(少なくとも、ゼロではありません)、また、処理の透明性の観点から公開することにしました。

「あかつき」のデータアーカイブは、「あかつき」という探査機およびミッションの特徴を反映して構築されるべきです。「あかつき」ミッションでは、搭載された複数の観測機器が取得した異なる高度での面的な情報を、立体的に組み合わせ使用します。特に、UVI, IR1, IR2, LIRの4カメラはいずれも2次元の画像データを取得するものであり、これらは同一の解析プログラムで処理できるようなデータ構造を持たせることが期待されます。データアーカイブの設計においては、観測機器の違いを意識することなくデータを扱えるようにするため、ファイル名・ドキュメント・メタデータに至るまで、できるだけ同一の形式が保たれるように気を配りました。これは、データ処理とデータアーカイブの実務を筆者(村上)にほぼ集中させてもらったことの良い側面であると思います^{*3}。もし複数人でアーカイブをデザインしていたら、ここまで統一性のあるアーカイブにはならなかったのではないかと想像します。

また、SPICEカーネルのデータはかなりの労力をかけて整備しました。JPLのNAIFチームからの助言に従って、様々な点を改善したうえ、テレメトリが欠けている期間の探査機の姿勢、太陽電池パドルの向き、中利得アンテナの向きをコマンド送信履歴から抜き出してSPICEカーネル(C-Kernel; CK)を作成したりもしました。太陽電池パドルの向きと中利得アンテナの向きはサイエンスと(今のところ)関係はありませんが、これらのおかげでリアリティのある探査機の可視化が可能になります。実際、データ公開から2週間と経たないうちにSPICEカーネルを使った「あかつき」の軌

1. SPICEについての日本語の解説として[2]があります。

2. PDSを開発・維持している人々もPDSと呼ばれます。

3. 初期のデータフォーマットのデザインは山田学氏により行われ、そこを出発点に村上が好き勝手に変更を施しました。もしアーカイブに不備があれば、それは村上の責任であると明記しておきます。

表2：「あかつき」データアーカイブのリリース予定。
(*1) リリース済みです。
(*2) リリース日は数ヶ月前倒しされる可能性があります。

対象データ	プロダクト	リリース予定日	対象データのカバーする範囲
UVI, IR1, IR2, LIR	L1b, L2b, geo, geo4	2017-07-11 (*1)	2010-05-21 - 2016-05-31
RS	L2, L3, L4	2017-09-01	2016-03-03 - 2016-05-31
UVI, IR1, IR2, LIR	L3, L3x	2017-09-01	2010-05-21 - 2016-05-31
UVI, IR1, IR2, LIR, LAC, RS	すべて	2017-12-01	2016-06-01 - 2016-11-30
	すべて	2018-06-01	2016-12-01 - 2017-05-31
	すべて	2018-12-01	2017-06-01 - 2017-11-30
	すべて	2019-06-01	2017-12-01 - 2018-05-31
SPICE カーネル	-	2017-07-11 (*1)	2010-05-20 - 2016-12-31
	-	2018-06-01 (*2)	2017-01-01 - 2017-12-31
	-	2019-06-01 (*2)	2018-01-01 - 2018-12-31

Venus Climate Orbiter (AKATSUKI, PLANET-C) UVI Calibrated Image Data

orbit r0016: 2016-05-18T01:48:32 - 2016-05-29T05:25:55

image type: all | [283 nm](#) | [365 nm](#)
< r0015 |

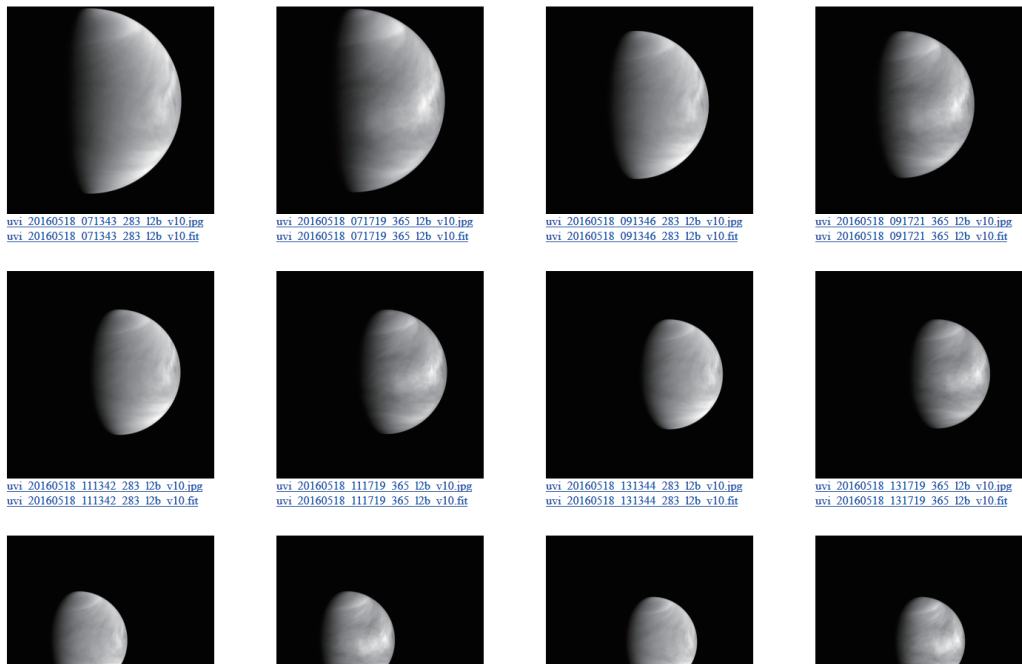


図2：公開されているUVIの較正済みデータ (VCO-V-UVI-3-CDR-V1.0) のクイックルック用ページ。

道と観測の様子の子の可視化の動画が、(おそらく「直接の関係者ではないのかなか」によって) Youtubeとニコニコ動画にアップロードされています。個人的には先を越されて悔しいという思いもありますが、SPICEカーネルのデータセット、特に太陽電池パドルと中利得アンテナの向きはこのような可視化のために整備したわけなので、可視化の動画を発見したときには苦勞が報われる思いでした。

4. 現在のリリース状況

本稿執筆時点(2017年7月下旬)においては、UVI, IR1, IR2, LIRの4つのカメラのPDS準拠のデータセット(L1b, L2b, geo)と、SPICEカーネルのデータセットをリリースしています。データセットのカバーしている期間は、SPICEカーネルのデータセットについては打ち上げから2016年末まで、その他は打ち上げから2016年5月末までです。

SPICEカーネルのデータセットはPDSのNAIFノート⁴によるピア・レビューを終えており、DARTSとNAIF(<https://naif.jpl.nasa.gov/naif/>)にすでに正式出版としてアーカイブされています。UVI, IR1, IR2, LIRのL1b, L2b, geo, geo4プロダクトについては現在PDSによるレビュー結果を待っている状態です。で、“pre peer review”版としてDARTSから公開しています。

RSのデータセットは準備が遅れていますが、できるだけ早く公開できるよう、現在RSチームとともに準備を進めているところです。L3, L3xプロダクトのデータも、できるだけ早く公開できるよう準備中です。

5. これからのリリース予定

今後は、SPICEカーネルデータセットは1年ごとに1年分をリリース、他のデータセットは半年ごとに半年分をリリースする予定です。リリース予定日を表2に示します。

6. まとめ

「あかつき」のデータアーカイブの概要と、リリース状況、予定を簡単に述べました。いまのところユーザーがデータを使い始める際に読むドキュメント(ユーザーズガイド)がありませんが、今後整備していく予定です。また、気軽にどのようなデータがあるのか概観できるように、JPEGファイルと一覧用のHTMLファイルを用意しています(図2)。こちらはWebブラウザだけで簡単に閲覧できますので、ぜひご覧ください。まだPDSのピア・レビューを完全に終えたわけではありませんし、これからもアーカイブは続きます。今後も暖かい目で見守っていただけると幸いです。

謝 辞

科学ミッションの行程で言えば、データアーカイブの作成・公開は科学論文の執筆・出版と同じく行程の最後段に位置するものです。この場をお借りして、ミッションに関わったすべての関係者に深くお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 山田学ほか, 2010, 遊星人 19, 157.
- [2] 山本幸生, 2017, WEB+DB PRESS 96, 98.
- [3] 小郷原ほか, 2017, Earth, Planets and Space, 投稿中.

4. NAIFはJPLの一部署で、SPICEの開発と維持・管理を行っています。