

# 金星探査機「あかつき」のデータアーカイブ

村上真也 (ISAS/JAXA)  
murashin@gfd-denou.org

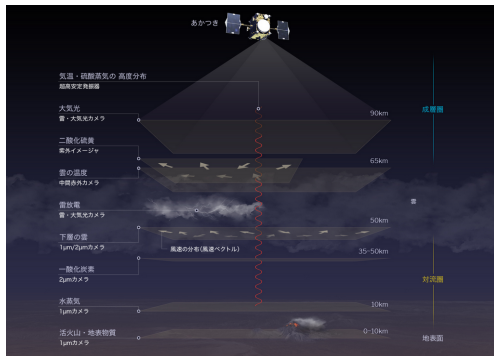
2018/03/02

# 概要

- ▶ 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。  
継続的に観測し、貴重なデータを取得し続けている
- ▶ 観測によって得られたデータは広く一般に公開し、また後世に残すためにアーカイブする
- ▶ 村上は、2013年より金星探査機「あかつき」のデータ処理・データアーカイブに携わっている。
- ▶ 2017年7月に、ようやく一般向けに本格的にデータアーカイブを公開し始めた。
- ▶ 本発表では、「あかつき」のデータアーカイブと、「あかつき」が取得したデータのアーカイブ作成に際して、印象に残っている事柄をいくつか紹介する。

# 「あかつき」の概要

- ▶ 金星版の気象衛星
- ▶ 大気の「スーパーローテーション」の形成・維持メカニズムの解明を狙い、多波長で異なる高度を面的に観測。3次元的な大気の運動を捉える
- ▶ カメラ x5 と電波発振器 x1 を搭載



あかつきウェブサイトの「ミッション → 金星大気の観測」の図より引用。

<http://akatsuki.isas.jaxa.jp/mission/observation/>

# スケジュール

年	できごと
2001-01	ミッション提案
2004	プロジェクト開始
2009-03(?)	データ処理話し合い開始
2010-05-20	打ち上げ
2010-12-07	軌道投入失敗
2013-04	村上がデータ処理に携わり始める
2015-12-07	軌道投入成功 / データ処理本格化
2016-06	データアーカイブ本格化
2017-07-11	データ 1st リリース
2017-12-01	データ 2nd リリース
2018-06-01	データ 3rd リリース

# あかつきの搭載機器

詳細: <http://akatsuki.isas.jaxa.jp/mission/spacecraft/>

機器	概要
<b>UVI</b> (紫外イメージャ)	CCD, 1024×1024, FOV: 12° ×12° 昼面を観測; SO <sub>2</sub> 、未同定吸収物質
<b>IR1</b> (1μm カメラ)	CSD/CCD, 1024×1024, FOV: 12° ×12° 昼面と夜面を観測。夜面は地面の熱放射が見える
<b>IR2</b> (2μm カメラ)	CSD/CCD, 1024×1024, FOV: 12° ×12° 昼面と夜面を観測。雲頂の高さ変動パターン、 雲の下の CO のパターンなど
<b>LIR</b> (中間赤外カメラ)	非冷却ボロメータ, 328×248, FOV: 16.4° ×12.4° 昼面と夜面を同時に観測。雲頂付近の輝度温度が分かる
<b>LAC</b> (雷・大気光カメラ)	APD: 8×8, FOV: 16° ×16° 夜面の雷と大気光を捉える。高時間分解能
<b>USO</b> (超高安定発振器)	電波掩蔽観測に使用する電波源。 高度約 35km から上の気温分布などが分かる

# アーカイブに反映されてくる「あかつき」の特色

## あかつきはカメラ主体の探査機

- ▶ UVI, IR1, IR2, LIR の 4 カメラは同一の形式にできる
  - ▶ いわゆる「ふつうのカメラ」的な露出時間で空間解像度が高い  
UVI, IR1, IR2 は  $1024 \times 1024$ 、LIR は  $328 \times 248$
- ▶ LAC は時間軸に沿ったデータと見るのが自然なので別形式
  - ▶  $8 \times 8$  画素の超高速スピードカメラ (というより測光機器?)
    - ▶ 時間方向のサンプリング間隔は  $32 \mu\text{s}$
    - ▶ 期待される雷の発光持続時間は  $0.1 \text{ ms} - 1 \text{ ms}$  くらい
  - ▶ シグナルがある時間範囲だけ記録
- ▶ USO(電波科学) は特殊; 処理レベルによって異なる
  - ▶ 低次データは受信信号のピーク周波数の時系列データ、  
高次データは温度などの鉛直プロファイル

# アーカイブの規格: Planetary Data System

NASA Planetary Data System (PDS) は、惑星探査データの長期保存・利用を目指すシステム。

以下のような特徴がある

- ▶ 詳細なドキュメントが必要 (データだけではわからない/使えない)
  - ▶ データに関する説明文書を十分に提供する
  - ▶ データそれぞれにラベル (PDS ラベル) を付ける
- ▶ 100 年単位の保存を念頭においた規格  
= データ (構造) を複雑にしない
- ▶ ピア・レビューによる審査がある
- ▶ バージョン
  - ▶ PDS 3
    - ▶ Object Description Language (ODL) ベース
    - ▶ 2011 年より前に打ち上げの探査機のアーカイブの標準
    - ▶ 枯れている
  - ▶ PDS 4
    - ▶ Extensible Markup Language (XML) ベース
    - ▶ 2011 年以降に打ち上げの探査機のアーカイブの標準
    - ▶ いまだ開発・発展途上

# PDS のデータセット ID

データセット ID(DATA\_SET\_ID) の読み方

例: VCO-V-UVI-3-CDR-V1.0

- ▶ VCO: 探査機略称
- ▶ V: 対象天体の略号, V は Venus, E は Earth, S は Sun, ...
- ▶ UVI: 観測機器略称。UVI, IR1, IR2, LIR, LAC, RS, SPICE
- ▶ 3: CODMAC processing level number; データ処理レベル
- ▶ CDR: データの種類を表す略号。CDR は Composite Data Record で、生データに可逆的な処理を施したもの。この項目は省略可。
- ▶ V1.0: バージョン文字列

## 「あかつき」のデータアーカイブ

観測データは「すべて」アーカイブして一般に公開  
(= 金星が写ってなくても公開; 使用目的を予め限定しない)

アーカイブするデータの種類; {CAM} = UVI, IR1, IR2, LIR

1. カウント値画像 (L1b で作成); VCO-V-{CAM}-2-EDR-V1.0
2. 較正済み物理量画像 (L2b で作成);  
VCO-V-{CAM}-3-CDR-V1.0
3. 幾何情報 (L1b で作成); VCO-V-{CAM}-3-SEDR-V1.0
4. 緯度経度格子 (L3 で作成); (PDS 非準拠)
5. 雲追跡ベクトル; (PDS 非準拠)
6. 天体・探査機の軌道、探査機の姿勢、カメラの仕様の情報などといった ancillary data (SPICE カーネル);  
VCO-V-SPICE-6-V1.0

他に RS(電波科学), LAC もアーカイブされる (テーブル形式のテキスト)。

# アーカイブの現状のステータス

## PDS 準拠データ (19 データセット)

- ▶ **peer-reviewed**: VCO-V-SPICE-6-V1.0
- ▶ in peer review: VCO-V-{UVI, IR1, IR2, LIR}-{2-EDR, 3-CDR, 3-SEDR}-V1.0, VCO-V-RS-{3, 5}-OCC-V1.0,
- ▶ 準備中: VCO-{V, S}-RS-2-OCC-V1.0, VCO-V-LAC-{2-EDR, 3-CDR}-V1.0

## PDS 非準拠データ (UVI, IR1, IR2, LIR)

- ▶ 準備中: L3, 雲追跡風 (雲追跡風は論文に使用されたデータのみ公開予定)

どちらに分類すべきか不明

- ▶ 準備中: ユーザーズガイド

## アーカイブ作成時に見つかった課題たち

- ▶ 機器から出てくるメタデータが間違っている
- ▶ データの仕様が不自然・標準規格に沿っていない
- ▶ 地上でのキャリブレーション情報のアーカイブが不十分
- ▶ そもそも体制が不十分
- ▶ ...etc.

# データアーカイブに際しての心構え・方針

- ▶ (観測) データは唯一無二のものである
- ▶ とれたデータを (できるだけ) 選別せずに保管する
  - ▶ あかつきの場合、すべてアーカイブの対象とする
  - ▶ 金星が写ってなくてもアーカイブ
  - ▶ 宇宙空間を撮っていても....  
ノイズレベルがわかったり、  
キャリブレーションの役に立ったり、  
はては超新星爆発があったかどうかの判別に役立ったり

# いろいろな問題

- ▶ 評価されない問題
  - ▶ 評価されないので (?) 積極的にやる人も少ない  
(ような気がする)
- ▶ 知識、知見、ノウハウ等の継承問題
- ▶ 仕事量に対して携わる人が少ない
  - ▶ 期限は決まっているのに...
- ▶ アーカイブのためのデータ処理
  - ▶ 打ち上げ前の地上でのキャリブレーションに関するデータのアーカイブが不十分
  - ▶ データ取得段階のメタデータが不十分/間違っている
  - ▶ 作成されたデータが分かりづらい/規約違反している

# 評価されない問題

- ▶ 評価されないので (?) 積極的にやる人も少ない (ような気がする)
- ▶ やはり論文になるかが評価基準というのが現実ではある
- ▶ 論文しか評価されないのは理想的ではないと思うが、さしあたっての回避策として、データセットを解説する論文誌に投稿する、という解がある
  - ▶ 最近ではいくつか論文誌があるようである
  - ▶ 例: **Geoscience Data Journal**  
ただし、データセットをアーカイブする機関がデータセットに DOI (Digital Object Identifier) をつけることが、投稿の必要条件
    - ▶ 宇宙研もデータセットに DOI をつけることができるようになったとのこと (宇宙研 C-SODA に感謝！)

## 知識、知見、ノウハウ等の継承問題

情報をミッションを超えて伝える仕組みが乏しい

- ▶ 現状、ミッション間でデータアーカイブに関する知見を共有できているとは言えない
- ▶ 現在の宇宙研の体制では、「科学衛星運用・データ利用ユニット (C-SODA)」がデータ保管を担う。アーカイブ作成支援(コンサルティング)もやる。
- ▶ アーカイブの作成は、ミッションごとでやる。
- ▶ ミッションで得た教訓を C-SODA に集約するのがいい?
  - ▶ おそらく、各ミッションからの教訓が C-SODA にきちんと集まらない気がする。アーカイブ作成の教訓を集めるインセンティブがないので(評価されない問題につながる)
- ▶ アーカイブをするのはたいてい任期付きのポスドクで、アーカイブが終わったら居なくなってしまう
  - ▶ 使い捨てにならないようにしてほしいものだが、とはいえ、評価されないので...
  - ▶ アーカイブ作成に従事する/したい人のキャリアパスがない/想像できない

# データの仕様: ファイルフォーマット

- ▶ FITS 規約に準拠していないファイルが生成されていた
  - ▶ ライブラリが「拡張機能」をもっており、勝手に規約外のデータを生成していた。規約で定義されていない形式のデータもあったし、禁止されている形式のデータもあった。
    - ▶ 「FITS フォーマットを読み込むソフトウェア側で簡単に対応できるので、対応してもらってください」
  - ▶ 対応: 拡張機能を使わないように、気をつける。生成されたデータをソフトウェアで自動的に検証する (fitsverify)。
    - ▶ DARTS には、FITS のように見えて FITS 規約に準拠していないデータがあった (指摘済みだが、まだあるか?)
  - ▶ 教訓: 規約には準拠する。
    - ▶ どうしても既存の規約に準拠しない場合、害のある動作を誘発するデータは避ける。
    - ▶ どの規約に準拠しているか、逸脱しているとしたらどのように逸脱しているか、なぜ逸脱しているか、規約に準拠したソフトウェアで読み込みたいときにはどう対応したらいいか、が書いてないと、ふつうのひとは使えない。アーカイブして後世に残す以前の問題。現代の人間ですら使えない。実際、Python の `astropy.io.fits` で読むと、ヘッダの該当箇所を読むと例外が上がり、データが読めない。

# キャリブレーション

地上でのキャリブレーション情報がちゃんと保存されてなかったり、共有されてなかったり

- ▶ 当時の情報がない。
- ▶ アーカイブ/データ処理する人に渡すフィルタ透過率のデータが間違っている (FM 品でなくて PM 品のデータだった)。
- ▶ わかっている人が現場にいない。
- ▶ 測定値があったとして、信頼性がわからない。どういう条件での測定値か、など。

## スケジュール、人員不足、適切な人員配置

そもそも不可能なスケジュールがたてられている

いわゆる情報技術にあまり詳しくない人がアサインされている

- ▶ メタデータ生成時は、フォーマットの決まったデータを生成するわけだが....
- ▶ 機器チーム担当者は「テンプレート」(Templating)を知らない。
- ▶ 「ヒアドキュメント」も知らない。
- ▶ じゃあどうやっているかということ、一行ずつ `printf(3)` している。
- ▶ メタデータは必ずしも行指向ではないので、プログラムが不要に複雑化する。

これらの言葉・技術・概念そのものを知らないことは本質的には問題ではない。そういうことができるはずである、できるはずだから調べて利用する、という感覚がないのがまずい。

(じゃあどうやって感覚を身につけるかということ、いろいろなプログラミングを学んで使用する、ということになり、そうすると自ずと知ることになるわけですが...)

# シチズンサイエンス 例:1 軌道と撮像の様子

あかつきの軌道・姿勢をCGで再現

2016-04-14 12:45:00 (JTC)  
2016-04-14 21:45:00 (JST)  
L=2155 [Day]

金星探査機「あかつき」の軌道と姿勢をCGで再現 (2015/12/1 ~ 2016/5/31)

視聴回数 424 回

Hidetakak  
2017/07/22 に公開

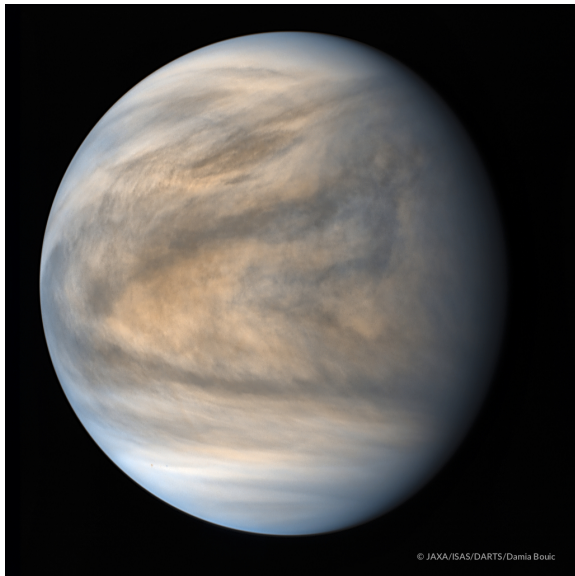
チャンネル登録 18

次の動画

- [ScienceNews2016]金星探査機「あかつき」 観測始まる！  
jstsciencechannel  
視聴回数 1.3万 回  
5:01
- 開発順調！水星探査計画「ベビコロンボ」  
JAXA | 宇宙航空研究開発機構  
視聴回数 9,474 回  
9:06
- はやぶさ2の軌道・姿勢をCGで再現(打ち上げ〜地球スウィングバイ)  
Hidetakak  
視聴回数 2,644 回  
22:42
- 小惑星探査機Dawnの軌道 (2007/9/27〜2016/6/17)  
Hidetakak  
視聴回数 123 回  
19:52
- 小惑星探査機「はやぶさ」の目に映った光景  
Hidetakak  
視聴回数 724 回  
14:57
- はやぶさ2の地球スウィングバイをCGで再現

(C) hidetakak [https://youtu.be/TZ\\_ry104Wnw](https://youtu.be/TZ_ry104Wnw)

## シチズンサイエンス 例:2 疑似カラー画像 (UVI)

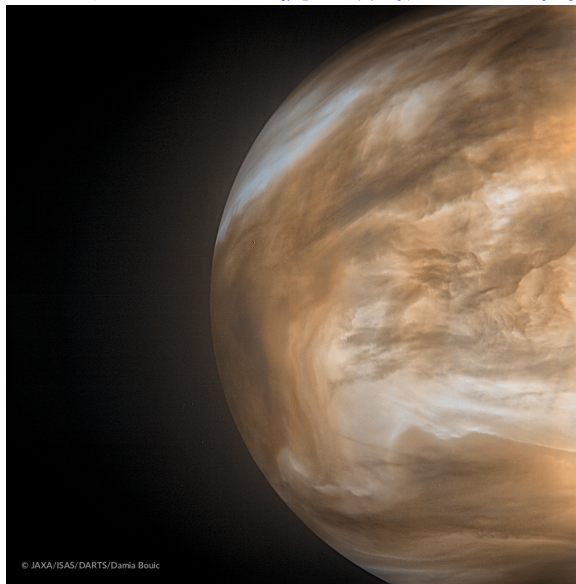


© JAXA/ISAS/DARTS/Damia Bouic

(c) Damia Bouic

<http://www.planetary.org/blogs/guest-blogs/2018/0116-a-new-look-at-venus-with-akatsuki.html>

## シチズンサイエンス 例:2 疑似カラー画像 (IR2)



(c) Damia Bouic

<http://www.planetary.org/blogs/guest-blogs/2018/0116-a-new-look-at-venus-with-akatsuki.html>

# まとめ

金星探査機「あかつき」のデータアーカイブについて述べました。

- ▶ あかつきの概要
- ▶ アーカイブの概要
- ▶ アーカイブにまつわる問題
  - ▶ アーカイブする人のメリットがない
    - メリットを用意したい (評価される、キャリアパスがある)
  - ▶ データの仕様が不自然・標準規格に沿ってない
    - ユーザー目線でのチェック機構が必要?
  - ▶ 地上でのキャリブレーション情報のアーカイブが不十分
    - 地上での開発時点から第三者の介入が必要?
  - ▶ そもそも体制が不十分
    - アーカイブ作成の重要性を訴え、体制を強化する
      - ▶ 公的セクターの事業なのに国民、ひいては世界に還元されない体制は道義的におかしい (と思う)。また、これは経済的に十分可能と思うのだが...
- ▶ シチズンサイエンス