

# スペースミッションにおけるデータ アーカイブ：「あかり」～SPICAへ



山村一誠（宇宙研）

2020年9月14日



## 内容

---

- 「あかり」のデータ処理、解析、アーカイブは
  - どのような方針で、
  - どのような体制で、
  - 進められたのか
- 議論
  - 衛星データの処理・アーカイブをうまく進めるためには？
- 国際協力ミッションのデータアーカイブ
  - SPICA



# 赤外線天文衛星「あかり」



打ち上げ: 2006/2/22 (JST)

観測期間:

2006/5/8~2007/8/26 (Phase 1 & 2: 液体ヘリウム冷却)

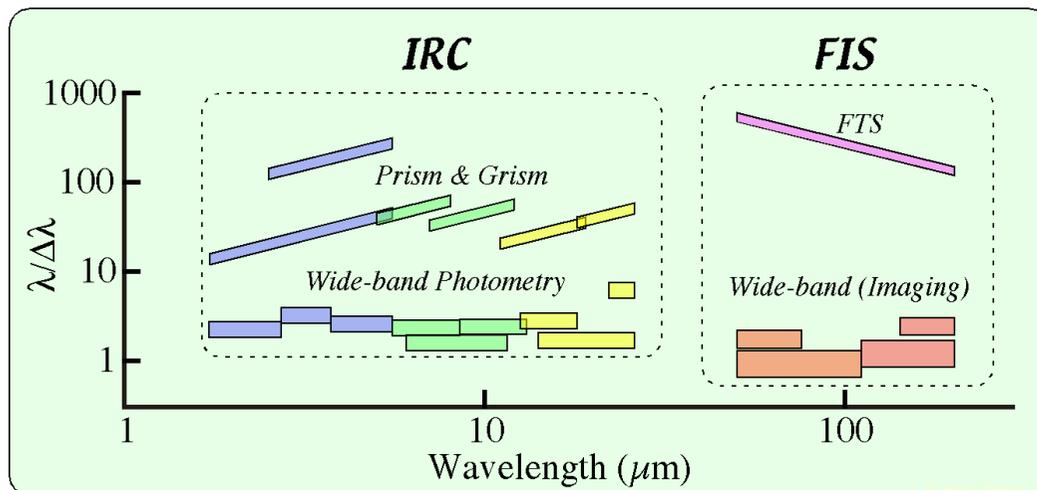
2008/6/1~2010/2/15 (Phase 3: 機械式冷凍機のみ)

運用終了: 2011年11月24日

望遠鏡口径 68.5 cm

二種類の観測装置

観測波長 1.8–26, 50–180  $\mu\text{m}$



- 全天サーベイ  
(2006/05–2007/08)
  - 9, 18, 65, 90, 140, 160  $\mu\text{m}$
  - 全天の96%以上をカバー

## ■ 指向観測

| Phase | 1&2  | 3    |
|-------|------|------|
| IRC撮像 | 3000 | 3800 |
| IRC分光 | 900  | 8800 |
| FIS撮像 | 1100 | —    |
| FIS分光 | 550  | —    |

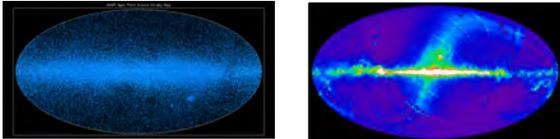
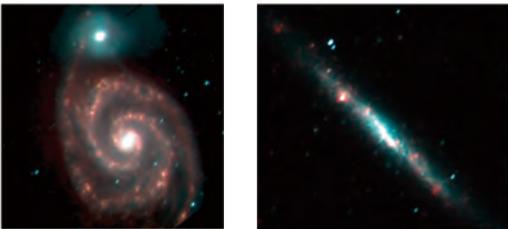
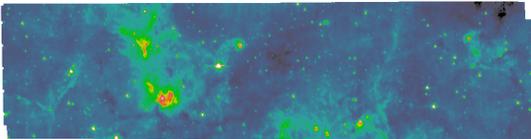
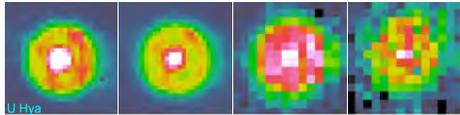
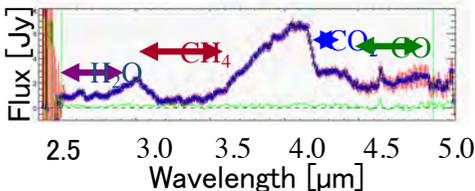
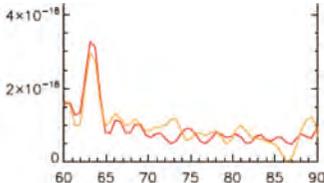


# 「あかり」の観測

|        |              | 種類                       | 説明  | 観測計画  | データ解析                                   |
|--------|--------------|--------------------------|---|---|---|
| サーベイ観測 | プロジェクト主体     | 全天サーベイ                   | 全天をくまなく観測して、カタログやイメージマップを作成。                | 「あかり」プロジェクトの専任チームが作成。                           | 「あかり」プロジェクトの専任チームがカタログ、イメージマップなどを作成～公開。 |
|        |              | Large Area Survey (LS)   | 指向観測によるサーベイ。北黄極領域、大マゼラン雲の2カ所。               | 「あかり」プロジェクトの中にチームを作って観測計画を作成。                   | 担当チームがデータ処理をして、カタログの形で公開。               |
| 指向観測   | 提案型 (プロポーザル) | Mission Programme (MP)   | 「あかり」プロジェクトメンバーによる優先観測時間を使った指向観測 (指向観測の70%) | 「あかり」プロジェクトメンバーが、研究分野ごとにグループを作って観測計画を立案。        | 生データを配布。各研究者がデータ解析。                     |
|        |              | Open-Time programme (OT) | 一般の天文学者からの公募観測 (指向観測の30%)                   | 「あかり」プロジェクトに参加している、日本、韓国、ESAメンバー国の一般の天文学者からの提案。 |   |
|        |              | Director's Time (DT)     | プロジェクト責任者の判断で行う観測。実際にはキャリブレーション観測や、緊急観測など。  | 原則としては公開だが、実際にはチームメンバーからの随時提案。                  |   |

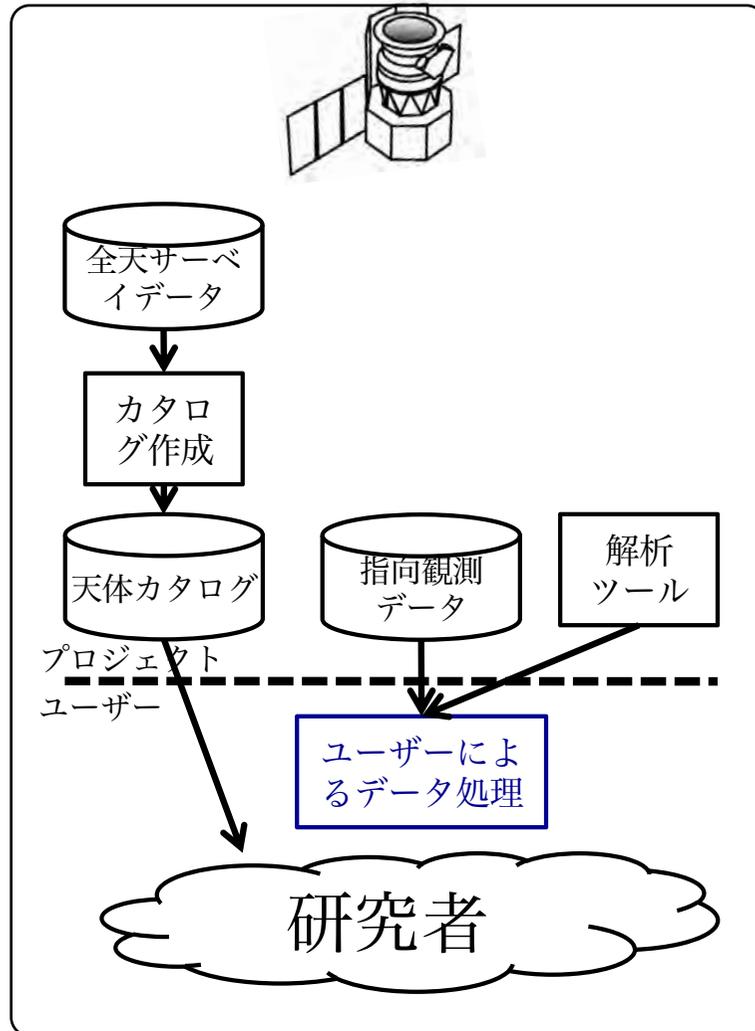
※ 指向観測データは、1年間の専有期間後一般に公開。

# 「あかり」の観測とデータプロダクト

| 観測モード |                | 観測装置   | 近・中間赤外線カメラ (IRC)   | 遠赤外線サーベイヤー (FIS)  |
|-------|----------------|--------|--|---|
|       |                | 全天サーベイ |  |  <p>天体カタログ    イメージマップ</p>   |
| 指向観測  | 撮像観測 (一点静止)    |        |    |   |
|       | 撮像観測 (スロースキャン) |        |    |    |
|       | 分光観測           |        |  <p>Flux [Jy] vs Wavelength [<math>\mu\text{m}</math>]</p> |  <p>Flux [<math>10^{-18}</math> W/m<sup>2</sup>/μm] vs Wavelength [<math>\mu\text{m}</math>]</p> |

# 「あかり」 データ解析ポリシー

打ち上げ前～運用中



## ■ 全天サーベイ

- プロジェクト（専任チーム）がデータ処理を行い，結果（天体カタログ）を公開

## ■ 指向観測

- プロジェクトは装置・衛星に依存するデータ処理ソフトウェアツールと、校正情報を提供
- 実際にデータを処理し、科学的解析を行うのはユーザー（観測提案者）

ユーザーは、「あかり」装置や衛星運用に関する知識を持つことが前提



## 打ち上げ前～運用中の体制

- 遠赤外線全天サーベイの解析システム構築は2001年頃から具体的に活動
  - 国際チームで延べ10名程度、実働 5 FTE 程度？
- それ以外の観測モードについては、基本的に各モード1名が中心となって実装
  - IRC撮像、分光それぞれポスドク1名
  - FIS撮像は1-2名、分光(FTS)は数名のチーム(H/W開発者)
- 指向観測データの解析ツール開発は、打ち上げ前から徐々に進められていたが、本格的な開発は打ち上げ前後からスタート
  - H/W開発チームメンバーが参入
- 指向観測データ配布のためのアーカイブシステム構築 (DARTS/C-SODA)



## プロジェクト終了

---

- 「あかり」運用終了: 2011年11月
- 「あかり」プロジェクト終了: 2013年3月
  
- この時点で利用可能なデータは限定的
  - 中間・遠赤外線点源カタログ
  - LMC点源カタログ、分光カタログ
  - NEP点源カタログ
  - 指向観測データ (生データ、要データ処理)
  
- 「あかり」の観測データ資産の有効活用のため、データ処理を継続することを要望
  - 宇宙研理学委員会でのミッション終了審査と並行して議論、後押しを得て研究所としてチーム形成



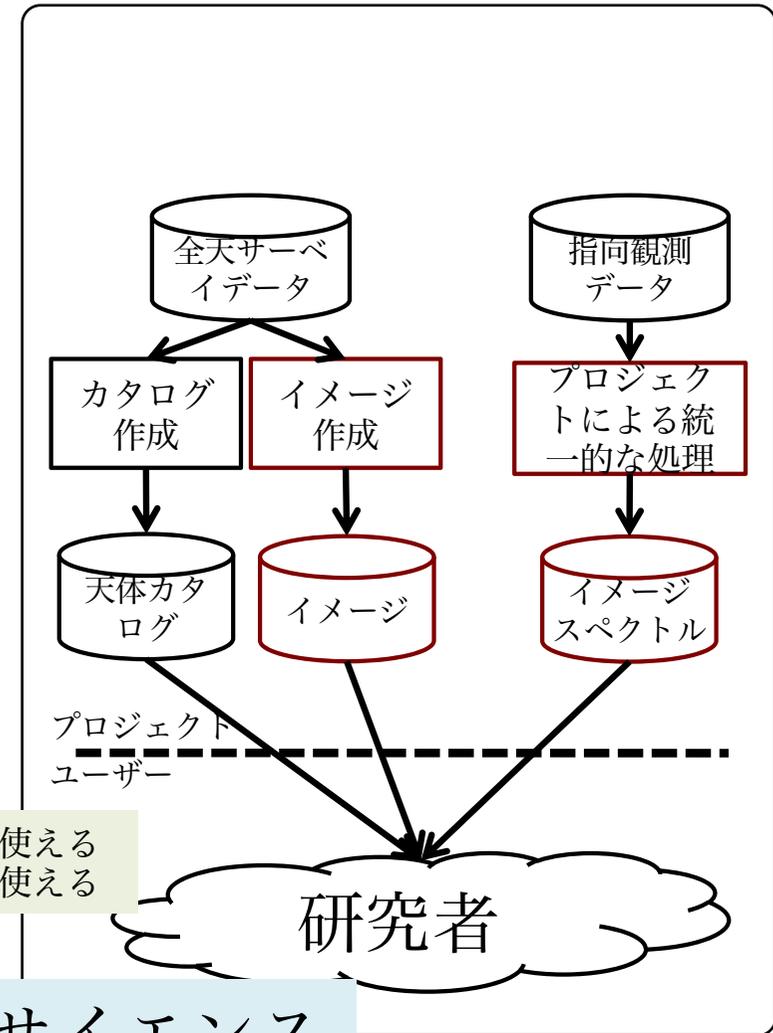
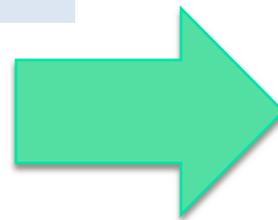
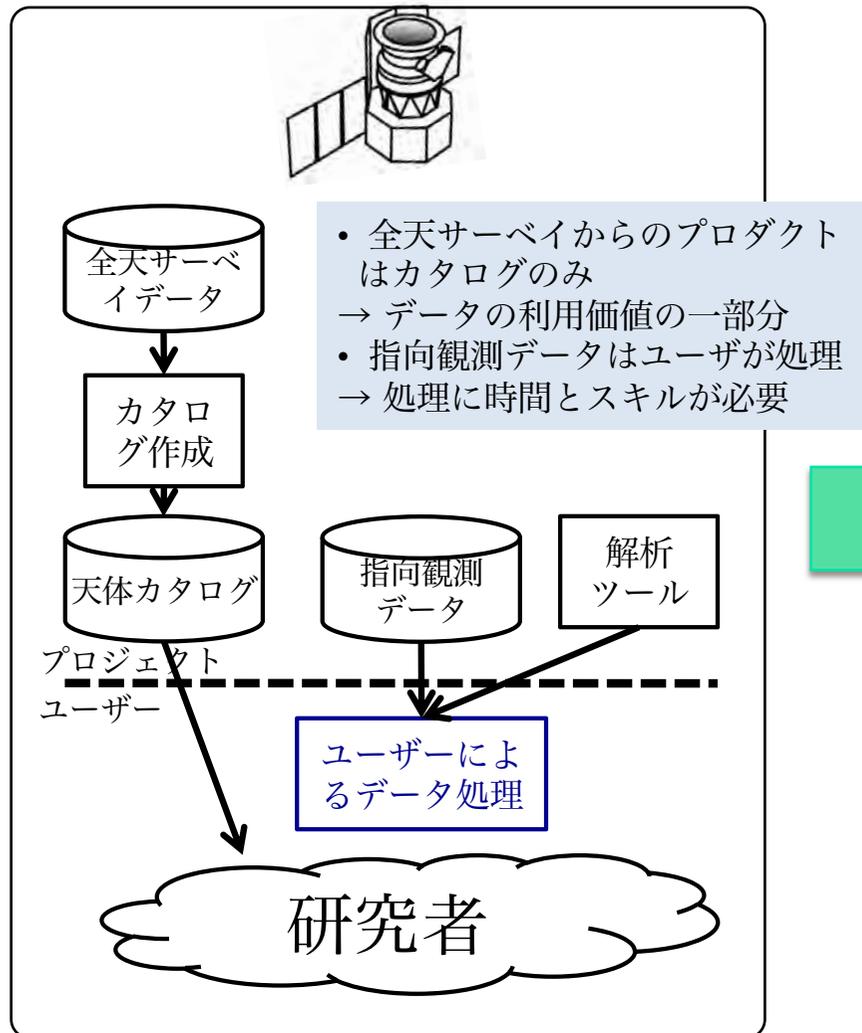
## 「あかり」データプロダクト作成計画

- 理学委員会からの推奨を受けて、所に提案。チーム組織と予算処置を受けた。
- 目標を設定（作成すべきデータプロダクトのリスト）
- 作成計画と対応するリソースを設定
- リリースするデータの条件を設定
  - 作成者と独立のチームメンバーによるフォーマットチェック
  - 「あかり」関係者による試用（科学的解析）と評価
  - データを解説する文書（査読論文）の発行
- アーカイブ計画設定
  - チームによる暫定アーカイブ
  - DARTSによる恒久アーカイブ

# 「あかり」データ解析ポリシー

打ち上げ前～運用中

運用終了後





## 「あかり」データ処理・解析チーム(2013～2017)

- 専任チームを組織
  - チーム長 (山村)
  - ポスドク: のべ10名 (同時期に3-4名)
  - 技術派遣: 長期2名、短期数名
  - 大学 (東大、名古屋大) と協力
- 基本的にひとつのプロダクトを一人が担当
  - ポリシーというよりは、リソースの制限と各データ処理に要する技術、経験の違いから
  - 遠赤外線全天カタログ(サーベイデータ)は、異なる処理段階および評価過程で複数人が関与
  - FIS Slow-scan は人海戦術となり、技術派遣が支援
  - これ以外に一部作業を外注
- 作成したプロダクトの検証は独立した担当者が実施



# これまでに一般公開されたデータ

2018年2月現在

| プロダクト名   | 公開日                      | データ数               | 説明  |
|--|--------------------------|--------------------|---|
| AKARI-FIS Bright Source Catalogue Ver.1  | 2010/03/30               | 427,071            | 波長 65, 90, 140, 160 $\mu\text{m}$ での全天サーベイにより検出された天体の位置と明るさの情報                              |
| AKARI-IRC Point Source Catalogue Ver.1   | 2010/03/30               | 870,973            | 波長 9, 18 $\mu\text{m}$ での全天サーベイにより検出された天体の位置と明るさの情報   |
| The AKARI Asteroid Catalogue (AcuA)  | 2011/10/14               | 5,120              | 中間赤外線全天サーベイで検出された小惑星の直径と表面の反射率  |
| Large Magellanic Cloud: Point Source Catalogue   | 2012/11/13               | 660,286            | 波長 3, 7, 11, 15, 24 $\mu\text{m}$ で観測した大マゼラン領域約10平方度で検出した天体の位置と明るさ                          |
| Large Magellanic Cloud: Near-infrared Spectroscopic Catalogue                          | 2013/01/07               | 1757               | 上記点源カタログに記載されている天体の一部について、波長2.5~5.0 $\mu\text{m}$ のスペクトル                                    |
| North Ecliptic Pole Wide Point Source Catalogue Ver. 1                                 | 2013/03/15               | 114,794            | 波長 2, 3, 4, 7, 9, 11, 15, 18, 24 $\mu\text{m}$ で観測した、北黄極領域5.4平方度の天体の位置と明るさ                  |
| North Ecliptic Pole Deep Point Source Catalogue Ver. 2                                 | 2013/10/16               | 27,770             | 波長 2, 3, 4, 7, 9, 11, 15, 18, 24 $\mu\text{m}$ で観測した、北黄極領域0.67平方度の天体の位置と明るさ。Ver.1より感度・信頼性向上 |
| AKARI Far-infrared All-Sky Survey Maps   | 2014/12/19               | 6,688              | 波長65, 90, 140, 160 $\mu\text{m}$ の全天の画像データ。この波長域ではこれまでで最も高い約1分角の空間分解能。                      |
| AKARI-FIS Bright Source Catalogue Ver.2  | 2016/04/28               | 501,444<br>416,612 | 波長 65, 90, 140, 160 $\mu\text{m}$ での全天サーベイにより検出された天体の位置と明るさの情報。2010年に公開されたカタログの改訂版。         |
| IRC Pointed Observation Images (Phase 1&2)<br>IRC Pointed Observation Images (Phase 3) | 2015/03/30<br>2016/04/28 | 4,008<br>4,244     | IRC 指向観測撮像モードで取得された、処理・校正済み画像データ  |
| IRC Point Source Spectral Catalogue  | 2016/04/28               | 5,712              | 全観測期間に取得された近赤外線点源天体のスペクトル   |
| AKARI/IRC MIR-S slit-less spectroscopic catalogue                                      | 2018/11/08               | 862                | 604天体862観測の中間赤外線(5.5~12.5 $\mu\text{m}$ )スペクトル  |
| AKARI IRC NIR Low-resolution Spectral Catalogue of Diffuse Sky Patches                 | 2013/06/27               | 278                | 全天の278箇所の拡散光の低分散 (R~20) 近赤外線 (1.8~5.3 $\mu\text{m}$ ) 分光データ                                 |
| AKARI Near-infrared Spectral Atlas of Galactic HII regions                             | 2014/03/10               | 464                | 銀河系内電離領域 (H II領域) の36天体232カ所の波長1.7~5.4 $\mu\text{m}$ 分光データ。                                 |
| The Asteroid Catalog using AKARI IRC Slow-Scan Observations Ver. 1                     | 2014/05/12               | 88                 | IRC Slow-scan 観測データから抽出した小惑星88天体の直径と表面の反射率  |
| AKARI/IRC NIR Spectral Atlas of Galactic Planetary Nebulae                             | 2016/03/29               | 72                 | 波長2.5-5.0 $\mu\text{m}$ で観測した惑星状星雲27天体のスペクトルデータ。  |
| AKARI Asteroid Flux Catalog Ver. 1   | 2016/10/04               | 20,780             | 小惑星カタログ作成に用いた源泉データである、全天サーベイおよび指向観測での小惑星のfluxデータ。   |
| AKARI Near Infrared Asteroid Spectral Catalog Ver.1                                    | 2018/11/30               | 147                | 小惑星の近赤外線スペクトルカタログ。66天体147観測分。   |



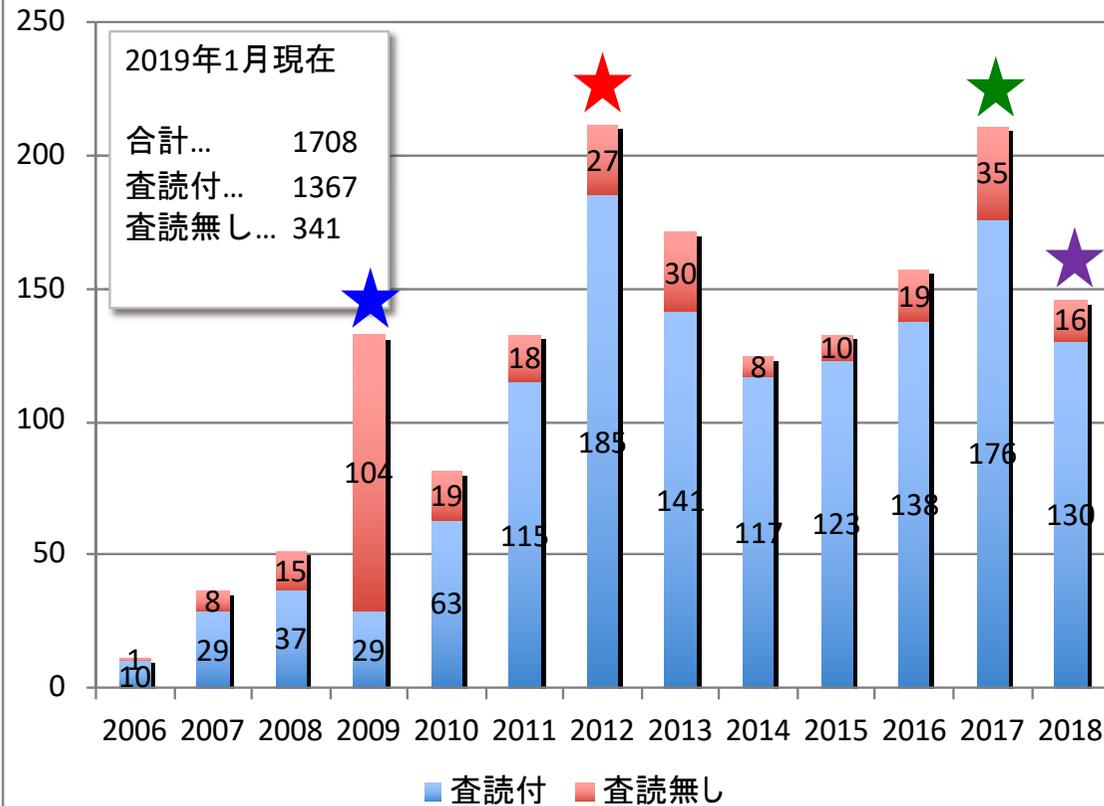
# 「あかり」データアーカイブ

- 「あかり」Web：暫定アーカイブ  
<http://www.ir.isas.jaxa.jp/AKARI/index-j.html>  
(研究者向け → Data Archive)
  - 作成されたデータをまず配布する場所
  - 検索機能等は最小限
- DARTS：恒久アーカイブ  
<http://darts.isas.jaxa.jp/astro/akari/>
  - 最終的な「あかり」アーカイブ
  - Catalogue Archive Server (CAS)等のサービスあり
- JVO@NAOJ  
<http://jvo.nao.ac.jp/portal/>
  - 天体カタログ、全天マップ等
- CDS, IRSA@IPAC 他

一般公開後のデータ  
は、世界中のデータ  
アーカイブに転載

# 「あかり」データを用いた成果論文

年別「あかり」関連論文数(打ち上げ後)



- 「あかり」全天赤外線カタログの発行（2010年3月）以降、「あかり」データを用いた論文出版数が増加。
- 平均して年間120編の論文が出ている。
- NEPカタログ、FIS全天マップ、IRC撮像データなどの公開によって、2015年は増加に転じた。
- 2014年7月に行われた第3回「あかり」国際研究会の集録が、2016年3月に発行(PKAS, 査読付)。76編の論文を掲載。
- 2017年10月に行われた、第4回「あかり」国際研究会の集録は、2018年3月発行。77編の論文掲載(査読無し、うち「あかり」データを利用したものは64編)。

**参考**

ADSでAbstract Keyword検索  
 Refereed paperの数

|                 |      |
|-----------------|------|
| AKARI(2006):    | 396  |
| WISE(2009):     | 931  |
| ISO(1995):      | 1863 |
| Herschel(2009): | 3862 |
| Spitzer(2003):  | 5360 |
| ISO(1983):      | 6636 |

調査方法: ADS全文検索より、“AKARI”, “ASTRO-F”をキーワードとして検索。一篇ずつデータの利用状況を確認。

- ★ 1st AKARI conference
- ★ 2nd AKARI conference (査読)
- ★ 3rd AKARI conference (査読)
- ★ 4th AKARI conference

※ 2018年3月現在。内容の精査はしていないので数値は精確でないが、比較の目的であれば有効



## 「あかり」データ処理、アーカイブの反省点（私見）

- プロジェクト初期に、データ処理体制・計画を（全天サーベイ以外）きちんと定義しなかったため、打上後に多くの作業が発生し、リソースが分散した。
- 開発プラットフォームを統一化できなかったため、体系的な開発、問題共有が出来なかった。
- 人的リソースの不足
  - 衛星運用（待ったなし）の負荷
  - 個人のスキルに依存
  - 研究と業務のバランス



## では、どうするべきか？

---

- 運用終了～アーカイブまで見越したミッション計画
- データ処理、アーカイブ、サービスの（専任）リソース確保
- H/W開発段階から、平行してソフトウェアの開発を進める
- ユーザーコミュニティの構築
  - プロジェクト（開発者）とコミュニティの密接な関係
  - コミュニティに頼らない（開発者はしっかり確保）

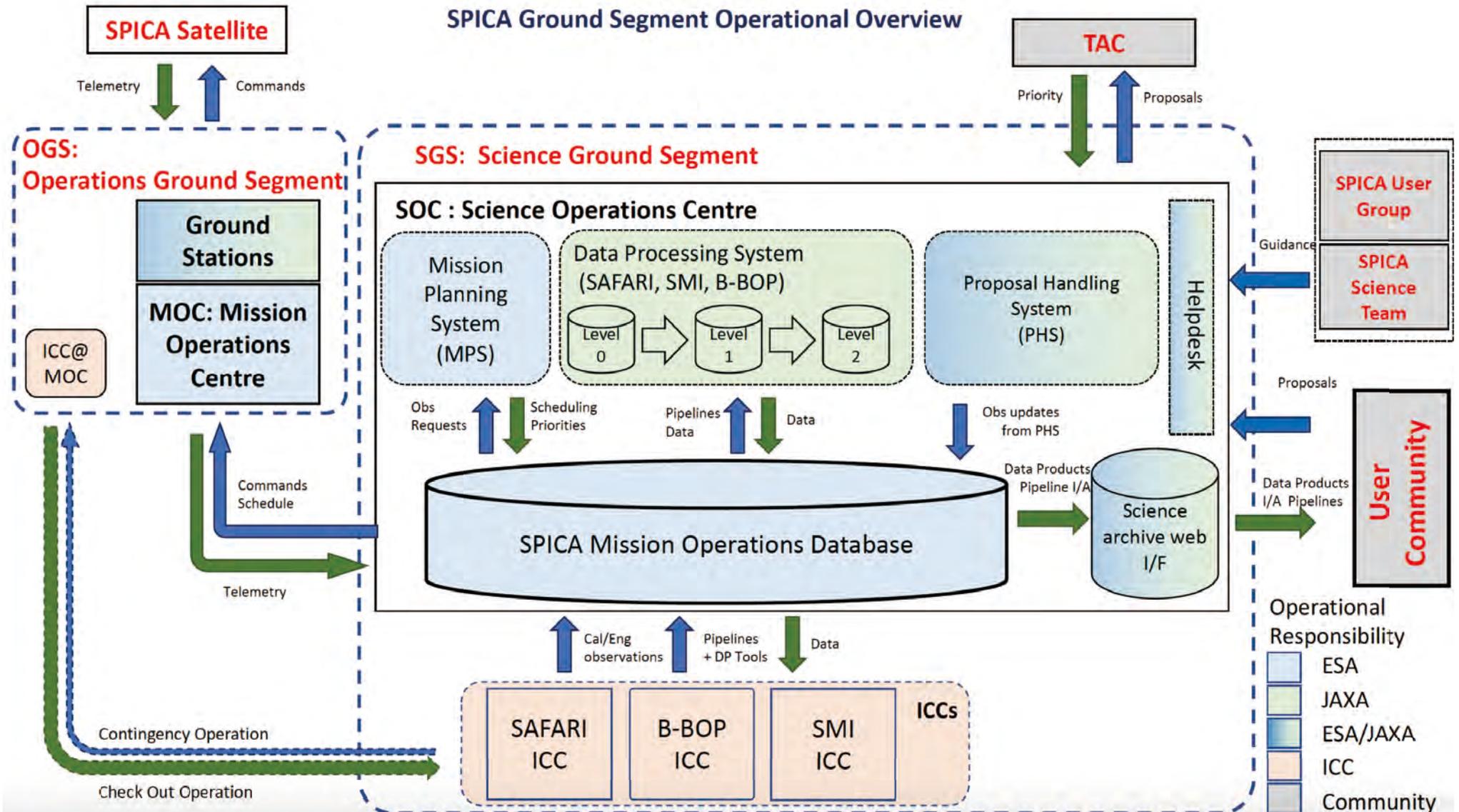


# 国際ミッションにおけるデータアーカイブ

- それぞれの国(機関)、分野による考え方、リソースの違い
  - コストと利益のバランス
  - ベースとなるシステム
  - 「うまく」調整する必要がある
- SPICAの事例
  - 科学運用はISO→Herschelのモデルがある。
    - ESAが運用するサイエンスセンターと、装置ごとの組織
    - 日欧は「あかり」で協力の実績
  - 赤外線処理ソフトは Scrap & Build
    - 各機関は、ノウハウは持つが、具体的な資産は持たない

# 地上系構成

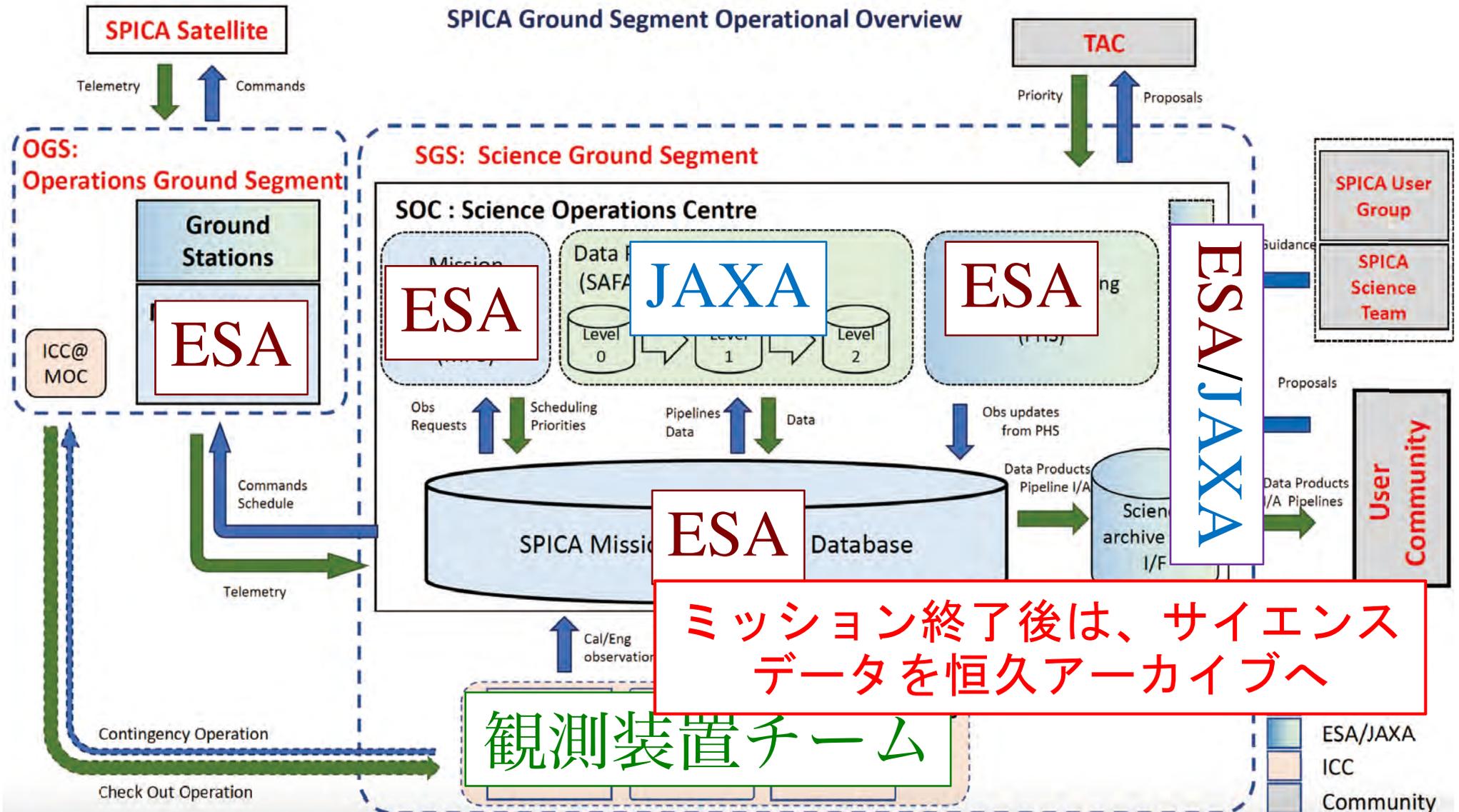
- Science Operation Assumption Document (SOAD) MCR提出版より





# 地上系構成

- Science Operation Assumption Document (SOAD) MCR提出版より





# 科学地上系運用ポリシー

- 組織構成
  - 日欧で出来るだけ共通化（ユーザー対応は個別窓口）
- Smooth Transition Policy
  - 衛星開発段階から地上系も並行して開発。打上げまでに十分枯らす。
- Mission Operations Database
  - 観測に関するすべての情報を管理するデータベース
  - 観測計画～データまで格納
- 観測データ処理ソフトウェア（パイプライン）
  - Open Source, Common vision for SW development, Common I/F
  - Platform independent (ex. Virtual Machine)→ユーザーにも自分で処理できる
  - ユーザーに提供するのは Level 2 データ（個別観測ごとに装置固有の補正・構成を施し、Science Ready状態まで処理したデータ）まで。一般的な科学解析は汎用ソフトウェアで。
  - 標準的なFITSデータフォーマット(汎用ツールが適用可能)
  - ソフトウェア開発、キャリブレーションはICC
  - SOCはデータ処理とクオリティチェックを行う

10年後のIT技術  
vs.  
「枯れた」システム



## まとめ

---

- 赤外線天文衛星「あかり」を例に、スペース天文学ミッションにおけるデータプロセッシング、アーカイブのあるべき姿について論じた。
- 天文衛星のような観測機会、観測期間の限られたミッションの場合、データアーカイブの構築は**前提**。
- ミッションからの成果を最大にするためには、プロジェクト計画段階から、最終アーカイブまで見越した計画と、適切なリソースの配分が必要である。
- ユーザーコミュニティとの連携は重要。