

資料11-2

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第11回)H25.7.12

赤外線天文衛星「あかり」(ASTRO-F) プロジェクトの終了について



2013年7月12日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所



本資料の位置付け

- ▶ 赤外線天文衛星「あかり」は、JAXA宇宙科学研究所(ISAS)が開発・運用した科学衛星である。平成9年度に開発を開始し、平成18年2月に打上げ、平成23年11月に停波し運用終了した。
- ▶ 「あかり」の運用終了を受けて、JAXA/ISASとしてプロジェクト終了審査を実施した(次ページ参照)。審査項目(*)は以下の通り。
 - ▶ プロジェクト目標、ミッション目的の達成状況とそれによる社会的・政策的・国際的貢献状況や波及効果
 - ▶ 投入した経営資源(資金・人員)、実施体制、スケジュールの実績の妥当性
 - ▶ 開発中及び軌道上で発生した諸事項の処置の妥当性
 - ▶ プロジェクト終了後に移行する事業の計画の妥当性に関する評価
 - ▶ 機構横断的に継承すべき教訓・知見等の識別状況や人材育成結果
- ▶ 審査の結果、成果と今後の作業計画などの整理状況と、今後機構横断的に継承すべき教訓・知見等の識別状況を考慮して、機構としてプロジェクト終了を妥当と判断した。
- ▶ 本資料では、「宇宙開発利用部会における研究開発課題等の評価の進め方について」(平成25年4月4日宇宙開発利用部会決定)における基本的な考え方を踏まえ、JAXA自らが評価実施主体となって実施した終了審査の結果を報告する。



本資料の位置付け

科学衛星プロジェクト終了に係る手続き

- ▶ 宇宙理学委員会における終了審査
 - ▶ 理学的成果と波及効果、プロジェクトにより得られた教訓・知見、プロジェクト終了後に行う事業計画について評価。



- ▶ 宇宙科学研究所 (ISAS) における終了審査
 - ▶ 経営的な観点に重点を置いた審査を実施。



- ▶ JAXA理事会議にて終了審査結果を報告



- ▶ 文部科学省宇宙開発利用部会で報告



目次

1. 「あかり」(ASTRO-F)の概要		参考	
(1) 天文学研究における「あかり」の位置づけ	5	1. 「あかり」(ASTRO-F)の概要	24
(2) 全体概要	7	2. プロジェクトの経緯	26
(3) 科学目的	8	3.1 成功基準の達成状況	32
(4) 観測装置	9	3.2 天文学研究の成果	38
2. 主な成果		3.3 波及効果	61
(1) 科学成果の例	10	4. プロジェクトにおける発生事象への対応と 今後への反映	64
(2) データ利用状況、研究成果出版状況	14	5. プロジェクトの効率性について	72
(3) 社会的/政策的/国際的貢献状況や波及効果、 人材育成	15	6. データプロダクト作成について	76
3. 成功基準達成状況		7. 将来計画	78
(1) フル成功基準	16	8. 「あかり」終了審査委員会メンバー	79
(2) エクストラ成功基準	17		
4. JAXAにおけるプロジェクト終了に係る手続			
(1) 概要	18		
(2) 審査結果	19		
5. 今後の計画			
(1) データアーカイブ作成計画	20		
(2) 天文学研究の発展	21		
6. まとめ	22		

1. 「あかり」(ASTRO-F)の概要

(1) 天文学研究における「あかり」の位置づけ



- ▶ 天文学の究極の目的は、この宇宙がどのようにして生まれ、進化し、生命の誕生に至ったかを理解することである。そこには、銀河の誕生と進化、星の誕生から死、それに伴う物質の循環、惑星の形成など、重要な研究課題がある。
- ▶ これら宇宙の営みの主役となるのは、宇宙に漂う低温の塵やガスである。可視光では見えないこれらの物質の性質や活動を捉えるためには、赤外線観測が必要となる。しかし、赤外線波長の大部分は地球大気の吸収や放射の影響により地上からは観測不可能か、あるいは限定的な情報しか得られない。高感度の赤外線観測のためには、大気の吸収や放射のない、宇宙空間が理想の環境である。
- ▶ 宇宙からのみ観測可能な波長で研究を行うためには、そのターゲットとなる赤外線天体がどこに存在するかを知らなくてはならない。従ってまず全天サーベイを行って天体をリストアップし、次にそれを詳細に観測するという戦略をとることになる。
- ▶ 世界初の赤外線天文衛星「IRAS」(1983年、米英蘭)は全天サーベイを行い、約25万個の赤外線天体のカタログを作成した。「IRAS」データはそれ自身天文学研究に革命的な進歩を与えたほか、ESAの「ISO」(1995年)、米国の「Spitzer」(2003年)といった天文台型の赤外線天文衛星による詳細研究へのガイドマップとなった。しかし、作成以来既に30年を経た「IRAS」カタログは、現代～将来の天文学研究のデータとしては、感度、解像度ともに不十分であり、新しい赤外線天体カタログの作成が望まれていた。
- ▶ 赤外線天文衛星「あかり」は、解像度、感度、波長範囲のすべてにおいて「IRAS」を凌駕する全天サーベイを行い、今後数十年の天文学の基礎資料として使われる、第二世代の赤外線天体カタログを作成すべく計画された。計画が始まった1990年代半ば以降現在まで、遠赤外線での全天サーベイカタログの計画は他にはない。
- ▶ 日本のスペース赤外線天文学は、1995年に打ち上げられた宇宙実験・観測フリーフライヤ(SFU)に搭載された赤外線望遠鏡「IRTS」で培った技術と経験をもとに「あかり」を実現させた。「あかり」の天体カタログは、ESAの遠赤外線・サブミリ波天文衛星「Herschel」をはじめ、地上望遠鏡の「ALMA」や「すばる」、さらには次期赤外線天文衛星「SPICA」(計画中)によるより詳細な観測・研究へ活用されることで、宇宙の謎の解明に大きく貢献すると期待される。

波長

サブミリ波

遠赤外線

中間赤外線

近赤外線

スペース赤外線天文学の発展

100μm

10μm

1μm

Herschel (天文台型)

2009~2013年 (ESA)

口径: 3.5mφ

波長: 55~700μm



新たな宇宙の解明へ



SPICA (天文台型)

2023~年 (日欧韓)

口径: 3.2mφ

波長: 3~200μm

AKARI (サーベイ型)

2006~2011年 (日)

(2007年ヘリウム枯渇)

口径: 0.685mφ

波長: 2~180μm



観測技術の向上

新世代サーベイ観測



ISO (天文台型)

1995~1998年 (ESA)

口径: 0.60mφ

波長: 2.4~240μm

先駆的サーベイ観測

詳細観測による宇宙の理解



IRAS (サーベイ型)

1983年 (米英蘭)

口径: 0.57mφ

波長: 8~100μm



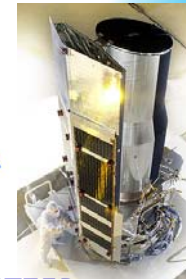
IRTS (サーベイ型)

1995年 (日米)

口径: 0.15mφ

波長: 1~700μm

観測技術の向上



SPITZER

2003年~ (米)

(2009年ヘリウム枯渇)

口径: 0.85mφ、波長: 3~180μm



WISE (サーベイ型)

2009~2011年 (米)

口径: 0.4mφ

波長: 3~25μm

JWST (天文台型)

2018~年 (米)

口径: 6.5mφ

波長: 0.6~28μm



惑星系形成活動の名残の検出
恒星末期進化の理解
赤外線銀河の発見~銀河進化の手がかり

より根源的な問題

銀河誕生のドラマ
惑星系のレシピ
宇宙の物質循環の解明

1980

1990

2000

2010

2020

年

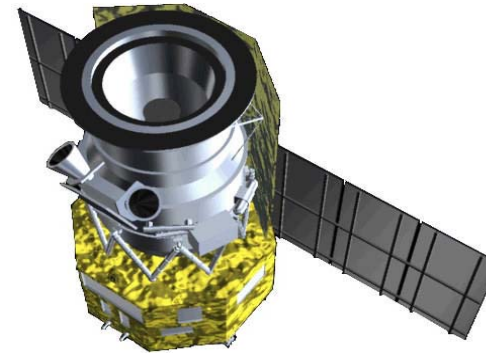
1. 「あかり」(ASTRO-F)の概要

(2) 全体概要



特長

- 日本初の赤外線天文観測専用衛星
- 高度約700 kmの太陽同期極軌道
- 高さ 3.7 m、重さ 952 kg
- 有効口径68.5 cmの反射望遠鏡
- 液体ヘリウムと冷凍機で極低温冷却
- 目的: 「全天サーベイ観測」による宇宙の赤外線地図作り。世界の天文研究者に第二世代の赤外線天体カタログを提供。さらに「指向観測」により銀河、星・惑星系の誕生と進化を追う。



開発から運用終了までの主な経過

- 平成7年1月 宇宙理学委員会にてミッション採択(当時の名称:IRIS計画)
- 平成9年度より 第21号科学衛星「ASTRO-F」として開発開始
- 平成18年2月22日 M-Vロケット8号機により打上げ。
- 平成18年4月13日 望遠鏡の蓋を開き、試験観測を開始。 5月8日 本観測を開始。
- 平成19年8月26日 液体ヘリウム全量消費。約1年4ヶ月(試験観測期間を除く)の観測によりフルサクセスを達成。
- 平成20年6月 1日 冷凍機冷却による近赤外線観測(エクストラサクセス)を開始。
- 平成22年2月14日 冷凍機性能劣化。 5月より観測中断、性能復帰をめざした運用を開始。
- 平成22年3月30日 赤外線天体カタログ初版公開。
- 平成23年5月24日 電力異常が発生。 6月 科学観測終了を決定。
- 平成23年11月24日 衛星姿勢の再確立～軌道降下運用を経て停波、運用終了。

1. 「あかり」(ASTRO-F)の概要

(3) 科学目的



- 大気に遮られて地上からは観測できない赤外線で天体観測を行う
- 全天サーベイ(ほぼ全天を覆う掃天観測)を行い、赤外線天体カタログを構築する
- 全天サーベイ、及び指向観測(特定天体／天域に望遠鏡指向方向を固定した詳細観測)により、銀河・星・惑星系の誕生と進化を追う。
 - 1983年に米・英・蘭により打上げ・運用されたIRAS衛星に比べ、より広い波長域、高い解像度・感度の全天サーベイを行い、第二世代の赤外線天体カタログを世界の研究者に提供する。
 - 全天サーベイに加えて指向観測を行い、より高い感度の撮像・測光、あるいは分光データを取得する。
 - 観測対象は太陽系内天体から宇宙の果ての銀河まで多岐にわたるが、主要な研究項目は以下の通り。
 - 星形成活動や原始星をとらえて、どこでどのように星が生まれるのかを探る
 - 惑星系の原料となる、あるいは惑星形成の過程で作られる、星の周りの塵円盤を観測して、惑星形成過程を探る
 - 生涯の終末にある星を観測して、星がガスや塵を宇宙に返す過程を探る
 - 星形成活動を遠方の(過去の)宇宙まで観測して、銀河の進化、あるいは宇宙の星形成史を探る

1. 「あかり」(ASTRO-F)の概要

(4) 観測装置

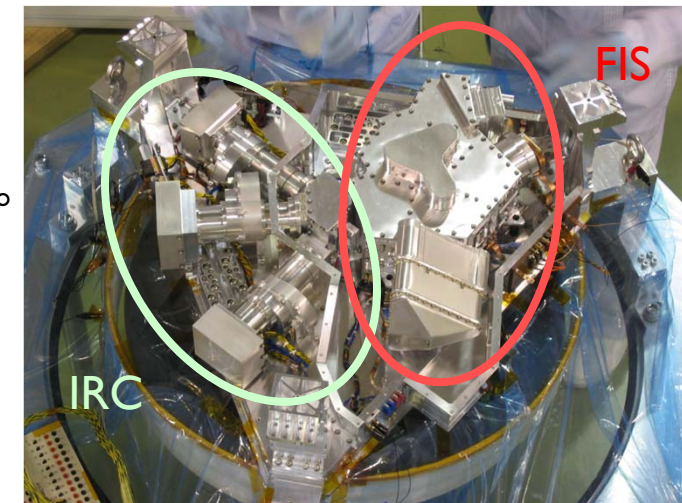


- ▶ 望遠鏡:有効口径 68.5 cm の反射望遠鏡。炭化ケイ素製の軽量鏡。
実績は、主鏡重量11kg、望遠鏡全体で約30kgを達成。
- ▶ 冷却系:液体ヘリウムとスターリングサイクル冷凍機を用いた高効率クライオスタット。170リットルの液体ヘリウムで1年以上の冷却寿命。
実績は、軌道上で550日間のヘリウム冷却を達成。



望遠鏡

- ▶ 焦点面観測装置:以下の2つの観測装置で全赤外線波長域をカバー。
 - 1) 近・中間赤外線カメラ(IRC):3台の屈折光学系によるカメラで構成。波長2~26 μm の9波長帯で撮像。InSb検出器アレイ、Si:As検出器アレイを使用。プリズム・グリズムによる分光機能。全天サーベイには9, 18 μm の2波長帯を使用。
 - 2)遠赤外線サーベイ装置(FIS):波長50~180 μm の4波長帯で全天サーベイ、撮像。Ge:Ga検出器アレイを使用。フーリエ分光器による分光機能も有する。

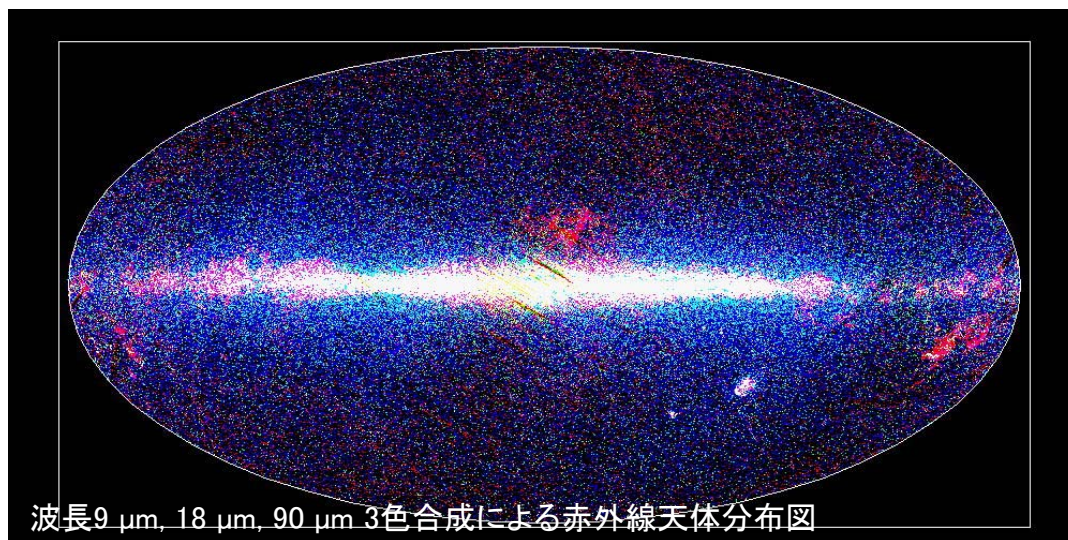


2. 主な成果

(1) 科学成果の例：大規模天体カタログの提供



▶ 「あかり」カタログは、天文学研究における**最新のガイドマップ**



波長9 μm, 18 μm, 90 μm 3色合成による赤外線天体分布図

■ 「あかり」赤外線天体カタログ

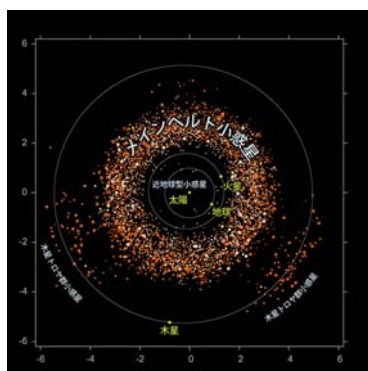
- 全天サーベイ観測による、「赤外線天体カタログ」初版を2010年3月30日に公開。
- 天体数は約130万。これまでの全天サーベイ (IRAS) 点源カタログと比較して約5倍の天体数。
- 2012年度までに本データを使った査読論文は139編。天文学研究の基礎資料として、広く使われている。

■ 北黄極天体カタログ

- 深探査領域カタログ (2013年3月15日公開): 7284天体の情報
- 広域探査領域カタログ (2013年3月15日公開): 約11万5000天体の情報

■ 「あかり」小惑星カタログ

- 小惑星5120個について大きさと表面反射率のデータを集録。
- 一般に公開されているカタログとして現在世界最大。
- 2011年9月16日公開



小惑星の分布。円は、内側より地球、火星、木星の軌道を示す。

■ 大マゼラン雲天体カタログ

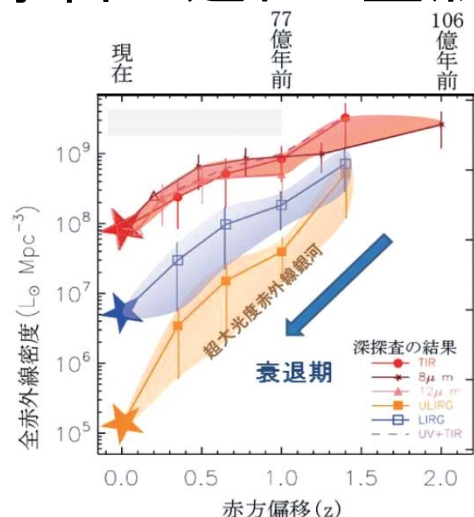
- 点源天体カタログ (2012年11月13日公開): 約66万天体の情報。
- 近赤外線分光カタログ (2013年1月10日公開): 1757天体について波長2-5 μm のスペクトル

2. 主な成果

(1) 科学成果の例：宇宙の歴史の解明



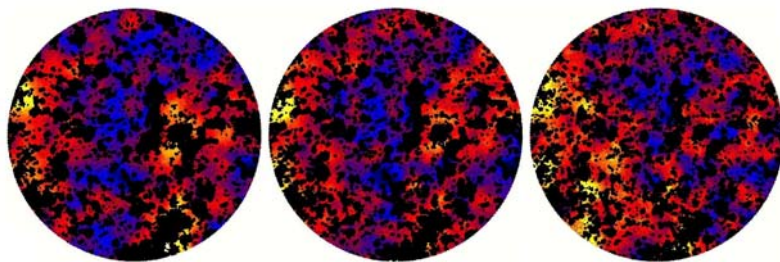
▶ 宇宙の進化と星形成活動の推移



■ 「あかり」の全天サーベイカタログと、北黄極カタログの解析により、宇宙の歴史の中で、星や銀河の形成活動が、**約90億年前には現在の約20倍も活発だった**ことが分かった。

Goto 他 (2011)

▶ 宇宙最初の星の光を検出



2.4 マイクロメートル 3.2 マイクロメートル 4.1 マイクロメートル

- 宇宙近赤外線背景放射の場所による揺らぎを検出。ビッグバンから3億年程度の宇宙で**最初に生まれた星々の光を捉えた**と考えられる。
- 揺らぎのスケールは宇宙初期の大規模構造に一致。宇宙初期の大規模構造を観測的に捉えたのは初めて。 Matsumoto 他 (2011)

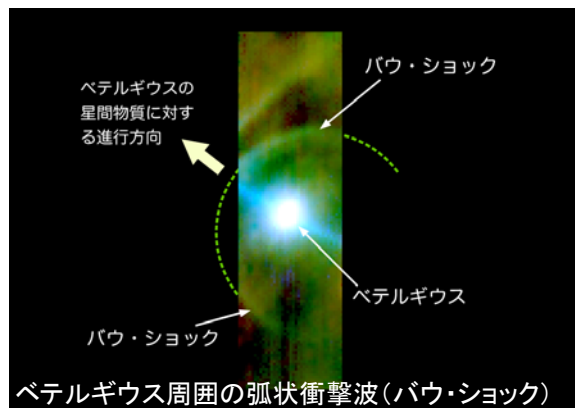
課題: 最初の星が生まれてから、90億年前までの活動を明らかにすること

2. 主な成果

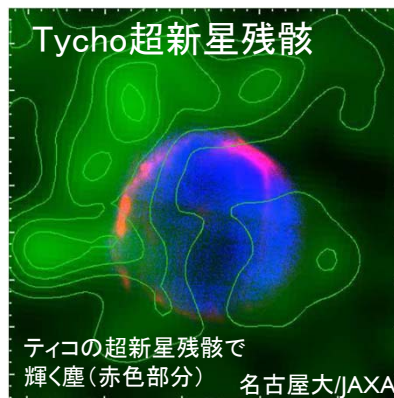
(1) 科学成果の例：宇宙の物質循環



▶ 星から放出された物質と星間物質の相互作用



Ueta 他 (2007)

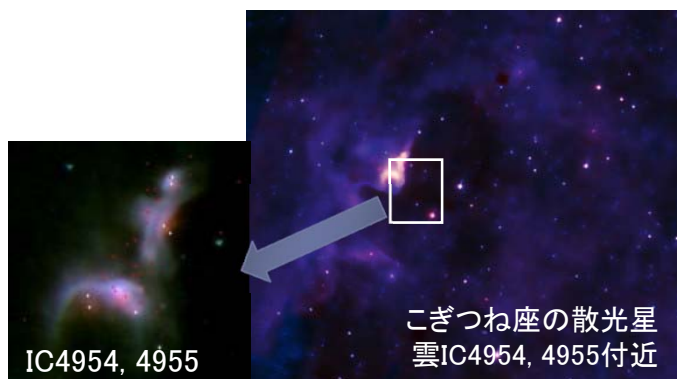


Ishihara 他 (2010)

■ 「あかり」は、宇宙の物質循環に関する新しい研究手法を確立

- 左図： オリオン座のベテルギウスが放出したガスとちりが、周囲の物質と衝突してできた弧状衝撃波（パウ・ショック）。詳細な解析から、星間物質の三次元的な流れを導出。この手法は「あかり」以降広く使われている。
- 右図：「ティコの超新星残骸」で捉えられた破壊されつつある塵と、新たに形成された塵が出す赤外線。星間ダストの起源に、新たな可能性を示唆。

▶ 星形成活動の連鎖



■ 「あかり」サーベイのもたらす広域データにより、三世代にわたる星形成の連鎖を俯瞰

- 右図： こぎつね座のIC4954, 4955付近では、かつて存在した大質量の星により、星間物質が吹き寄せられ100光年もの大きさの空洞が作られた。その壁に当たる部分では掃き寄せられ圧縮された物質から第二世代の星が誕生した。
- 左図： IC4954, 4955領域の中で、第三世代の星が連鎖的に誕生している証拠をとらえた。

Ishihara 他 (2007)

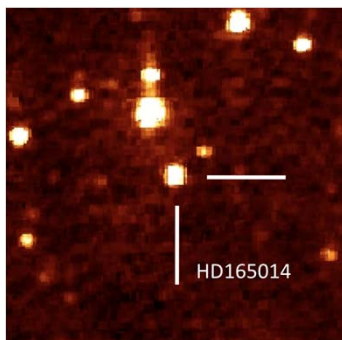
課題: 様々な空間スケールで、星間物質の物理的・化学的構造を明らかにすること

2. 主な成果

(1) 科学成果の例：惑星系形成



▶ デブリディスクに結晶質シリケートを検出

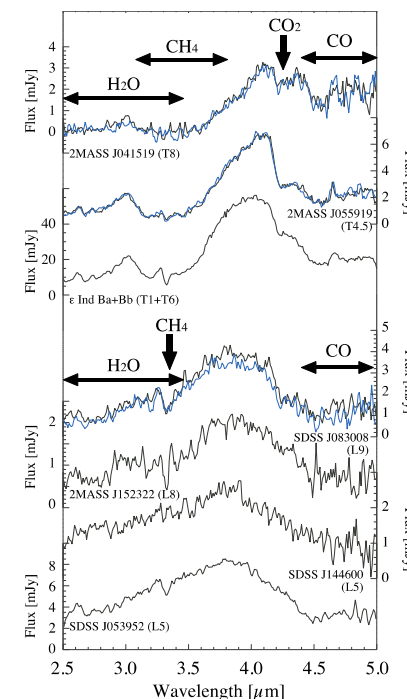


「あかり」の観測により発見された高温デブリディスクの18 μ m画像(中央)。

- 「あかり」全天赤外線カタログより、波長18 マイクロメートルで赤外線超過を示すデブリディスクを12天体同定した。うち、8天体は「あかり」で初めて発見したもの。
- そのうちの1天体を、「すばる」とスピッツァー宇宙望遠鏡で観測し、**結晶質シリケートの成分を同定した**。惑星形成時の環境を反映している可能性がある。 *Fujiwara 他 (2010)*

▶ 褐色矮星の大気構造研究を進展

- 「あかり」は、星と惑星の中間の天体である、褐色矮星の2.5~5.0 マイクロメートルの連続的なスペクトルを世界で初めて取得した。これは、将来の系外惑星大気の大観測的研究の基礎となる。
- **二酸化炭素を初検出**。その存在量が、炭素・酸素原子の存在量に強く依存することを確認。褐色矮星の元素組成に天体毎の違いがあることを示唆。
- 褐色矮星の**半径を世界で初めて推定**。褐色矮星進化理論との間に齟齬があることを指摘。 *Yamamura 他 (2010)*



「あかり」による褐色矮星の近赤外線スペクトル。下から上に、有効温度が高い→低い順に並べている。

課題: 化学的、鉱物学的情報を蓄積し、惑星系形成の総合的な理解へ発展させるこ

2. 主な成果

(2) データ利用状況、研究成果出版状況

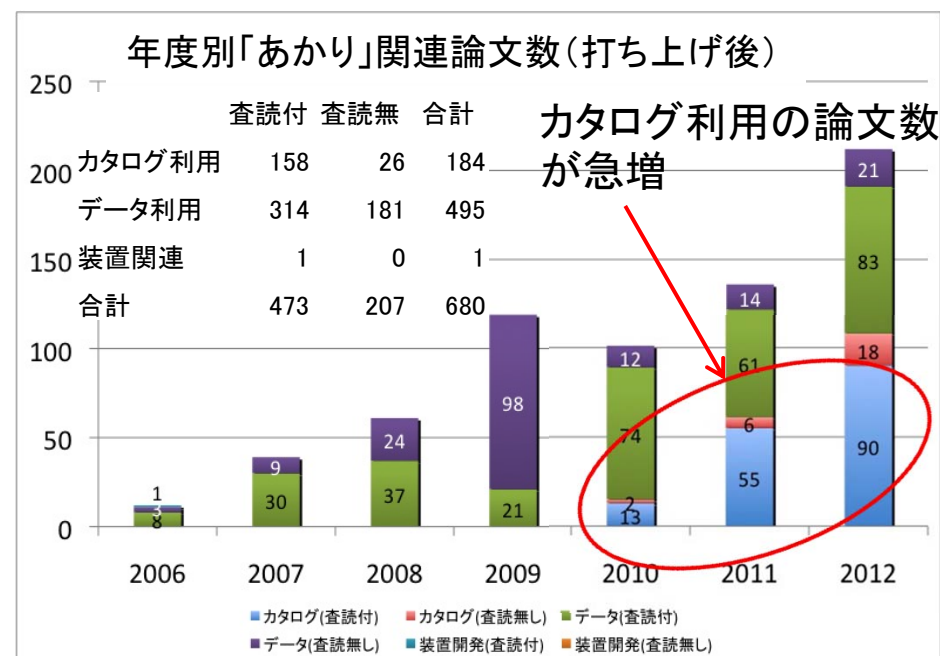


▶ カタログの利用

- ▶ 全天サーベイカタログは、2010年3月の公開以来2013年3月までに、ISASサーバへ世界の研究者から約78万件の検索。データファイルダウンロードは延べ約1100件。
- ▶ 小惑星カタログは2011年9月の公開以来ISASサーバからのダウンロード数が延べ約900件。
- ▶ これ以外にも、国内・海外のデータサーバ経由での利用が行われている。

▶ 「あかり」データを利用した論文数

- ▶ 打ち上げ後2013年3月までに査読付き論文が473編
- ▶ カタログデータを利用した論文数が2011年以降急激に増加している。



2. 主な成果

(3) 社会的/政策的/国際的貢献状況や波及効果、人材育成



- ▶ スペース赤外線天文学での国際プレゼンスの向上
 - ▶ 「あかり」の成功により、米・欧に並ぶ第3極としての地位を獲得、次期赤外線天文衛星「SPICA」(概念設計中の口径3m級次期宇宙赤外線望遠鏡)は、日本がリードする国際ミッションとして、欧州、台湾、韓国が参加を表明。
- ▶ 日本の戦略技術としての宇宙用冷凍機
 - ▶ 「あかり」のための冷凍機の開発は、1989年度から本格的に開始。住友重機械工業(株)のスターリングサイクル冷凍機は、最終的には100W以下の電力で、200mW以上(@20K)の冷凍能力(冷凍温度は無負荷時に約13K)を達成。当初は欧米に比べて10年以上遅れているとされた日本の宇宙用冷凍機は、現在では世界トップの技術となっている。
- ▶ 人材育成
 - ▶ 「あかり」の開発、運用、データ解析を通じて、大学院生、研究員などの若手が赤外線天文学の研究に合わせて光学設計、検出器駆動技術、検出器特性補正技術、低温技術、衛星運用技術、ソフトウェア開発、データベース技術などを学んだ。
 - ▶ 研究員の進路(JAXA雇用、科研費、学振研究員等36名中)
 - ▶ JAXA職員5名、大学等教員8名、大学等研究員12名、一般企業3名、現職8名
 - ▶ 博士学位を取得した大学院生の進路(関連大学含む、状況把握分のみ)
 - ▶ 大学等教員3名、JAXA/大学等研究員8名、企業3名
 - ▶ 学位取得状況(宇宙科学研究所外部の学生含む)
 - ▶ 博士: 打上げ前 5名、打上げ後 25名 修士: 打上げ前 21名、打上げ後 32名

3. 成功基準達成状況

(1) フル成功基準



* 成功基準は、2005年6月3日 宇宙開発委員会・推進部会資料より
* ミニマム成功基準はフル成功基準に包含されるため省略

フル成功基準(運用期間最低1年)

1年以上の液体ヘリウム冷却による観測期間を実現し、以下の観測を達成して、天文学の重要課題の研究に大きな寄与を果たす。

- ◆ 遠赤外サーベイ装置により、過去の遠赤外線サーベイ観測^(註)より高解像度、高感度の全天サーベイを達成し、赤外線天体カタログを作成する。
- ◆ 遠赤外サーベイ装置及び近・中間赤外線カメラにより、多波長での広域撮像観測を達成する。(近・中間赤外線カメラによる観測では、分光データの取得も含む。)



実績: **フル成功基準を達成**

液体ヘリウム冷却による観測期間約1年4ヶ月(2006.5.8-2007.8.26、試験観測期間を除く)を達成し、以下の観測を行った。

- この間、遠赤外サーベイ装置による、過去の観測より、高感度、高空間分解能の全天サーベイを達成。天球のカバー率は96%以上。2010年3月に、赤外線天体カタログを一般公開。IRASカタログの約1.8倍の天体数(遠赤外線天体数では約4倍)。
- 液体ヘリウム冷却による観測期間中、約5000回の指向観測を行い、遠赤外サーベイ装置及び近・中間赤外線カメラによる多波長の広域撮像及び分光観測を達成

(註)過去の米・英・蘭の共同開発であるIRAS衛星(1983年打上げ)による観測を指す。

3. 成功基準達成状況

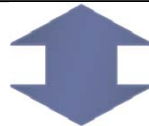
(2) エクストラ成功基準



エクストラ成功基準

フル成功基準に加えて以下のいずれかを達成し、天文学的成果を増大させる。

- ◆ 液体ヘリウム消費後も、機械式冷凍機による冷却のみにより、近・中間赤外線カメラを用いた近赤外線撮像／分光観測を継続する。
- ◆ 遠赤外サーベイ装置によるサーベイと並行して、近・中間赤外線カメラによる中間赤外線でのサーベイ観測を達成する。
- ◆ 遠赤外サーベイ装置の分光機能により、遠赤外線の分光観測を達成する。



実績 **エクストラ成功基準も達成**

- 液体ヘリウム枯渇後も機械式冷凍機のみでの冷却で近・中間赤外線カメラを用いた近赤外線撮像／分光観測(指向観測)を継続。2010年2月までに12,000回以上。
- 近・中間赤外線カメラも過去の観測より高感度、高空間分解能の全天サーベイを達成。2010年3月、中間赤外線天体カタログを一般公開。遠赤外線カタログと合わせ、IRASの約5倍の天体数。
- 遠赤外サーベイ装置による分光観測も達成(約600回の指向観測)

4. JAXAにおけるプロジェクト終了に係る手続



(1) 概要

▶ 宇宙理学委員会における終了審査

- ▶ 平成23年6月(第31回宇宙理学委員会):「あかり」終了審査委員会を設置。
- ▶ 平成24年6月(第36回宇宙理学委員会):「あかり」終了審査委員会が審査結果を報告承認。
- ▶ プロジェクトの科学的成果と波及効果、プロジェクトにより得られた教訓・知見、「あかり」データアーカイブ整備計画について評価。



▶ 宇宙科学研究所 (ISAS) における終了審査

- ▶ 平成24年12月6日及び19日に実施
- ▶ 宇宙理学委員会における評価を踏まえ、経営的な観点に重点を置いた審査を実施。
 - 投入した経営資源(資金・人員)、実施体制、スケジュールの実績の妥当性
 - プロジェクトチーム解散後に定常組織での業務に移行する「あかり」データアーカイブ化事業の目的・スコープ範囲、投入する経営資源(資金・人員)、実施計画、実施体制、スケジュールの妥当性に関する評価



▶ JAXA理事会における報告

- ▶ 平成25年1月29日理事会にて終了審査結果を報告、承認



▶ 文部科学省宇宙開発利用部会で報告(本日)

4. JAXAにおけるプロジェクト終了に係る手続

(2) 審査結果



▶ 宇宙理学委員会における審査結果

- ▶ 「あかり」プロジェクトはフルサクセスに加えエクストラサクセスを達成するとともに、世界の科学コミュニティに向けて天文学の重要な基礎データを提供するなどの成果を上げ、国際的、社会的に大きく貢献したと評価する。
- ▶ 「あかり」プロジェクトは衛星プロジェクトとしては終了することが妥当であるが、「あかり」によって得られたデータを科学コミュニティを含む社会へと還元するためには、「あかり」データアーカイブ・プロダクト作成作業を継続し、広く公開することが必要と判断する。
 - ▶ 作成を目指す「あかり」データプロダクトの種類と優先順位を示すため、プロダクトリストを作成(参考6. 表1参照)

▶ 宇宙科学研究所(ISAS)において実施した終了審査結果

- ▶ 「あかり」プロジェクトはエクストラサクセスを達成したことを確認した。「あかり」の成功により、スペース赤外線天文学における日本の国際プレゼンスの向上や、日本の宇宙用冷凍機技術の発展などの波及効果があったと評価する。
- ▶ 投入した経営資源(資金・人員)、実施体制、スケジュールの実績について、それぞれおおむね妥当な実施状況であったと評価する。但し、スケジュールについては、打上げ遅延のため海外ミッションに一部の観測を先んじられる、また他ミッションのデータアーカイブの公開時期までのアドバンテージが小さくなるなど、ミッションが本来目指した優位性の内、ある部分の成果の減少は避けられなかったと評価する。
- ▶ 開発中及び軌道上で発生した諸事項の処置についても、その対応が妥当であると評価する。これらの諸事項から得られた技術的知見、教訓については今後のミッションにも展開すべき事とし、2013年度中を目途に宇宙物理学研究系を中心として文書化することとした。また、教訓・知見、人材育成の結果についても確認をおこなった。
- ▶ 終了審査ではプロジェクト終了後の「あかり」データアーカイブ化事業計画についても評価を行い、妥当と判定する。
 - ▶ データアーカイブ化事業計画の妥当性を示すため、「あかり」の各データプロダクトの達成目標を明確化した、データアーカイブ化事業に関する5か年計画を作成。その活動は毎年度レビューを行い、次年度以降の作業計画を確認することとする。



5. 今後の計画

(1) データアーカイブ作成計画

- ▶ 「あかり」が取得した膨大なデータが持つ情報のうち、すでに天文学的成果として発表されたものはごく一部。
 - ▶ データ処理に、専用ソフトウェア、専門知識などが必要で時間がかかる。
 - ▶ そのため、新しい研究アイデアの試行、他波長での観測データとの比較などが簡単にできない。

- ▶ 「あかり」でしか得られない貴重な情報を、理論研究者を含む一般の天文学者に広く簡単に利用してもらうために、データ処理に習熟したチームにより Science Ready データを作成し、アーカイブを行う事でデータの利用を促進する。

- ▶ 宇宙理学委員会による終了審査においても、本事業を強く推奨。

- ▶ 実行計画
 - ▶ 2013年度から5年計画で、「あかり」の取得したデータの処理・アーカイブを進める。
 - ▶ 全天サーベイ: 天体カタログの改良に加え、全天イメージマップの作成を行う
 - ▶ 指向観測: 技術的に可能な範囲で、すべてのデータの処理、アーカイブを行う。
 - ▶ 宇宙科学研究所の科学衛星運用・データ利用センター(C-SODA)の下に、「あかりデータ処理・解析チーム」を設置し、大学研究者と協力して処理を進める。

5. 今後の計画

(2) 天文学研究の発展



「あかり」は多くの天文学成果をあげると同時に、多くの新たな研究課題を我々に提示した。

- ▶ 宇宙の歴史に関して：最初の星が生まれてから、90億年前までの活動を明らかにすること。
- ▶ 宇宙の物質循環に関して：様々な空間スケールで、星間物質の物理的・化学的構造を明らかにすること。
- ▶ 惑星系形成に関して：惑星系円盤や、惑星そのものの化学的、鉱物学的情報を蓄積し、惑星系形成の総合的な理解へ発展させること。
- ▶ 「あかり」カタログの中には、まだ知られていない、我々の宇宙の理解を大きく変える新しい天体が潜んでいる可能性がある。上記の具体的テーマに加え、カタログの解析と、多波長での追観測を続けることが必要である。



JAXAでは、「あかり」で培った技術を発展させ、優れた観測能力(広視野、高解像度、高感度、高分光能力)を持つ、天文台型の次世代赤外線衛星「SPICA」計画を研究中



6. まとめ

JAXAは、プロジェクトの企画立案と実施に責任を有する立場から、JAXA自らが評価実施主体となって評価を行った。具体的には、宇宙理学委員会、宇宙科学研究所において「あかり」プロジェクト終了審査を行い、評価結果を了承した。

- 日本初の赤外線天文衛星「あかり」は、フルサクセスに加えエクストラサクセスまでのすべての基準を達成した。
- 従来のカatalogを20数年ぶりに塗り替えた「あかり」の赤外線天体カatalogは、今後数十年に渡り世界中の研究者に使われる天文学の基礎資料であるとともに、「あかり」の観測データから宇宙の星形成史や大規模構造を解明するなど、数々の科学成果をあげた。
- このように、天文学の重要な基礎データを我が国が提供し、国際的、社会的に大きく貢献することで、赤外線天文学における日本の国際プレゼンスが向上。さらに宇宙用冷凍機技術の発展や人材育成などの波及効果を得て、日本のスペース赤外線グループは世界の第一線に立ち、将来の赤外線衛星計画をリードする立場となった。
- 開発中及び軌道上で発生した諸事項の処置は妥当であり、そこから得られた技術的知見や教訓は、今後のミッションに展開すべきこととされた。
- 今後の課題として、「あかり」データアーカイブ・プロダクト作成を継続し、広く公開していく必要がある。

以上の評価結果を踏まえ、JAXAは、「あかり」で得た成果や知見をさらに発展させ、次期赤外線天文衛星「SPICA」の実現を目指していく。