

# 3.2 天文学研究の成果

## (10) 研究成果(銀河からのガス・ダスト流出)

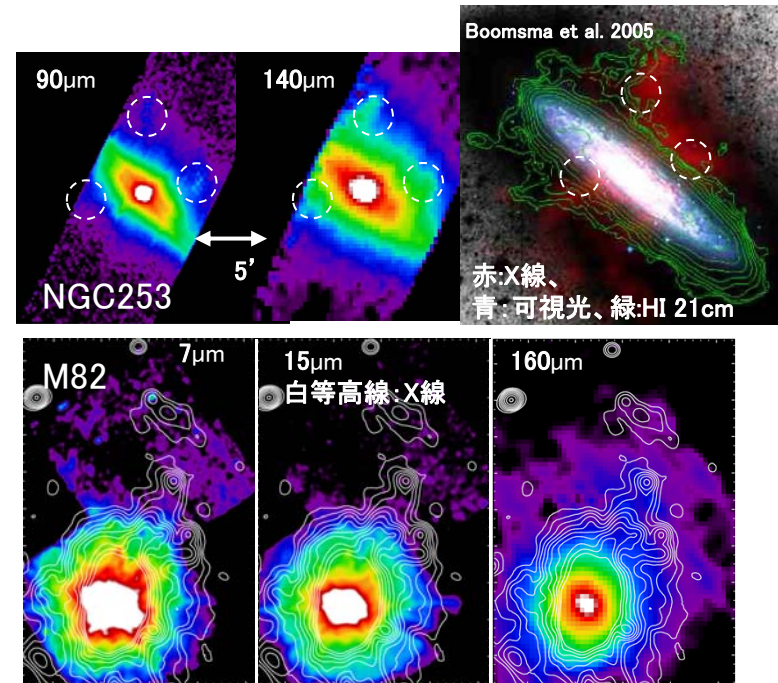


### 銀河の衝突によるダスト流出

銀河同士の衝突／重力相互作用により、銀河円盤内では爆発的星形成が起きたり、銀河中のガスやダストが銀河の外にまき散らされる。爆発的星形成が起きた銀河では、同時多発的な超新星爆発による爆風で、やはりガスやダストが銀河外にまき散らされる。

「あかり」は、これまで明確に分かっていなかった銀河間空間の低温ダスト(20 K)の存在を明らかにした。(上図の赤色部分が発見された銀河間ダスト分布)

今後も、全天サーベイ観測による広域マップを利用し、近傍で大規模な銀河衝突を起こしたM81-M82銀河グループ等で銀河間ダストの存在および、その空間分布を初めて詳細に調べることが期待される。Suzuki et al. ApJL, 731, L12 (2011)



### 爆発的星形成を起こしている銀河からのダスト流出

X線でガスの流出を示す銀河のダストと有機物分子の分布を調べ、各銀河でダスト流出を検出した。ガス/ダストの質量比は、中心から銀河円盤、周辺部に行くにつれて小さくなり、ダストが大量に銀河から流れ出ていることを示唆している。

NGC3079: Yamagishi et al., PASJ, 62, 1085 (2010); M82: Kaneda et al., A&A, 514, 14 (2010); NGC253: Kaneda et al., ApJL, 698, 125 (2009)

## 3.2 天文学研究の成果

### (11) 研究成果(活動銀河核／ブラックホール) (1/3)



#### 目的と背景

中心に超巨大ブラックホールを持ちそのブラックホールへ質量を供給することでエネルギーを解放する活動銀河核は、この宇宙において重要なエネルギー源の一つであると考えられている。そのような天体がどのように生まれ現在まで進化してきたのか、またその存在量を見積もることは重要な問題である。

活動銀河核の存在量を見積もるにあたって、活動銀河核が厚い星間物質に隠されていることがあり、その存在を認識することが出来ない天体がある。特に高光度で赤外線で輝く超高光度赤外線銀河の正体として、その活動銀河核の存在を明らかにすることは、宇宙のエネルギー源を見積もるにあたって重要な課題である。また、これまでの活動銀河核探査で見落とされている塵に覆われた活動銀河核の存在が従来の観測から示唆されている。このような天体の探査には、「あかり」中間赤外線全天サーベイのフォローアップ観測が重要となった。

活動銀河核がどのように生まれ、どのように進化してきたかという問題も未だに解決できていない。活動銀河核の主要構成物からの放射が主となる、静止系で可視・近赤外線にあたる波長域が、その赤方偏移のために赤外線域にシフトしていることにより、近傍天体と同等のデータの取得が困難であったからである。このような比較をするためには「あかり」による観測が必要となった。

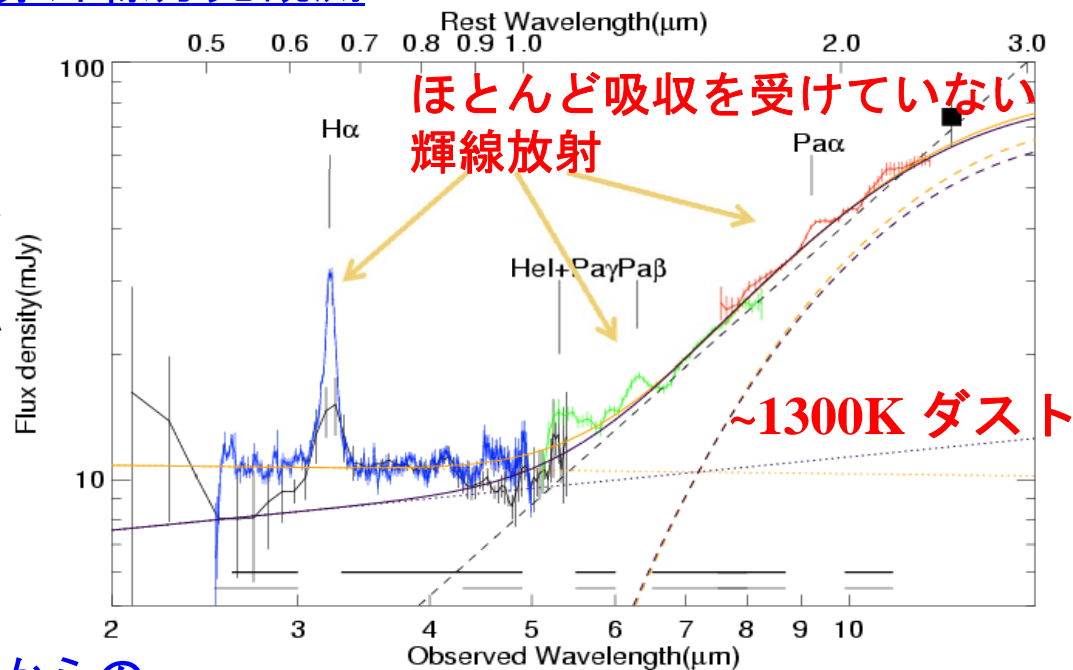
# 3.2 天文学研究の成果

## (11) 研究成果(活動銀河核/ブラックホール) (2/3)



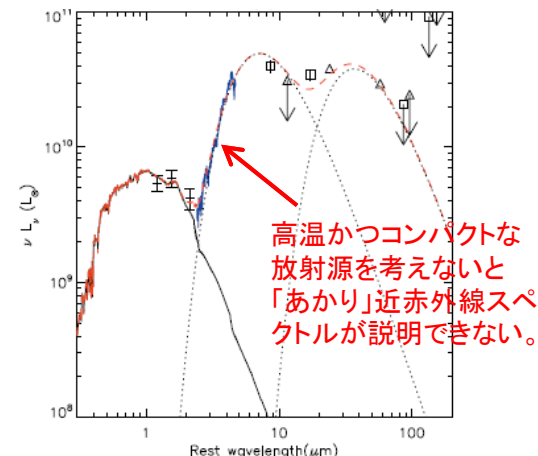
### 高赤方偏移クェーサーの近・中間赤外線分光観測

•120億年前の高光度活動銀河核(クェーサー)を観測しても、近場でのクェーサーと大きな違いを見つけないことが出来なかった。クェーサーのシステムは、宇宙誕生から17億年後にはできあがっていたという観測的証拠。  
Oyabu et al. ApJ, 697, 452, (2009)



### 「あかり」中間赤外線全天サーベイからの活動銀河核探査

•「あかり」の波長域で、~500Kの温度を示すコンパクトな放射源を発見。その活動銀河核の兆候が「あかり」でしか見ることの出来ないダストに完全に覆われた活動銀河核と考えられる。  
Oyabu et al. A&A, 529, id.A122, (2011)

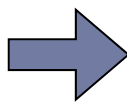
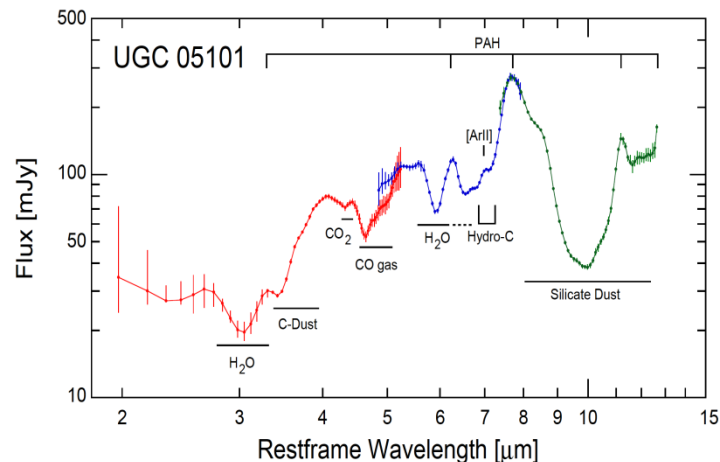


# 3.2 天文学研究の成果

## (11) 研究成果(活動銀河核/ブラックホール) (3/3)

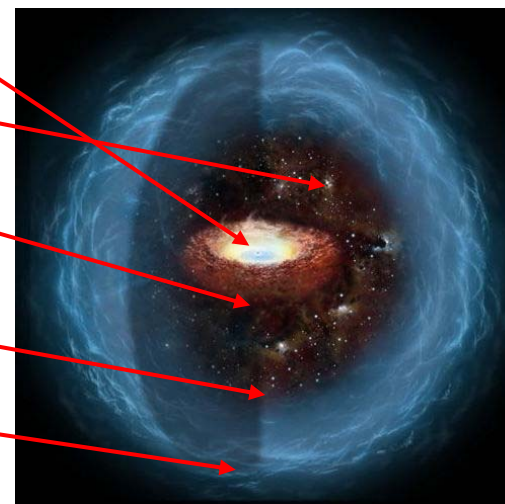


### 近傍の超高光度赤外線銀河 UGC05101 の 近・中間赤外線分光観測



- 巨大ブラックホール
- 星形成領域 (PAH放射)
- 濃くて暖かいガス (CO分子吸収)
- 濃くて冷たいダスト (H<sub>2</sub>O分子吸収)
- 薄くて冷たいダスト (ダスト吸収)

スペクトルから予想される  
銀河中心核の構造(想像図)



「あかり」によるUGC05101のスペクトル  
(Shirahata et al., ASP Conf. Series, 373, 505, 2007)

記者発表: 2007年3月26日,

「ブラックホールの活動で暖められたCOガスを発見」

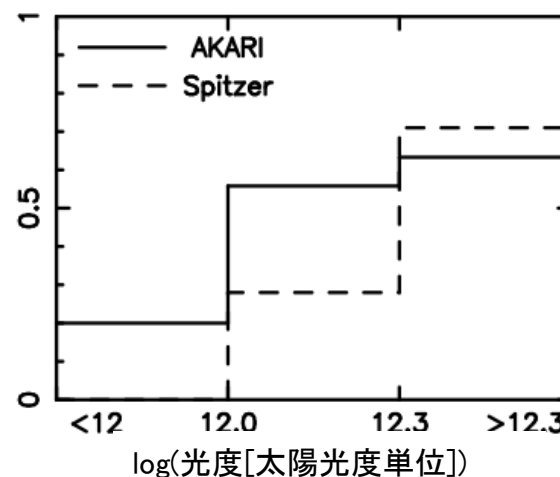
### 約300天体の近赤外線分光による統計

Imanishi et al., PASJ, 60, S489, (2008);

Imanishi et al., ApJ, 721, 1233, (2010)

・明るい超高光度赤外線銀河ほど、星形成活動ではなく、塵に隠された巨大ブラックホールの活動により輝いている銀河の割合が増加することを発見。

ブラックホール周囲の活動により  
輝いている銀河の割合



## 3.2 天文学研究の成果

### (12) 研究成果(遠方銀河観測と宇宙の星形成史)(1/2)

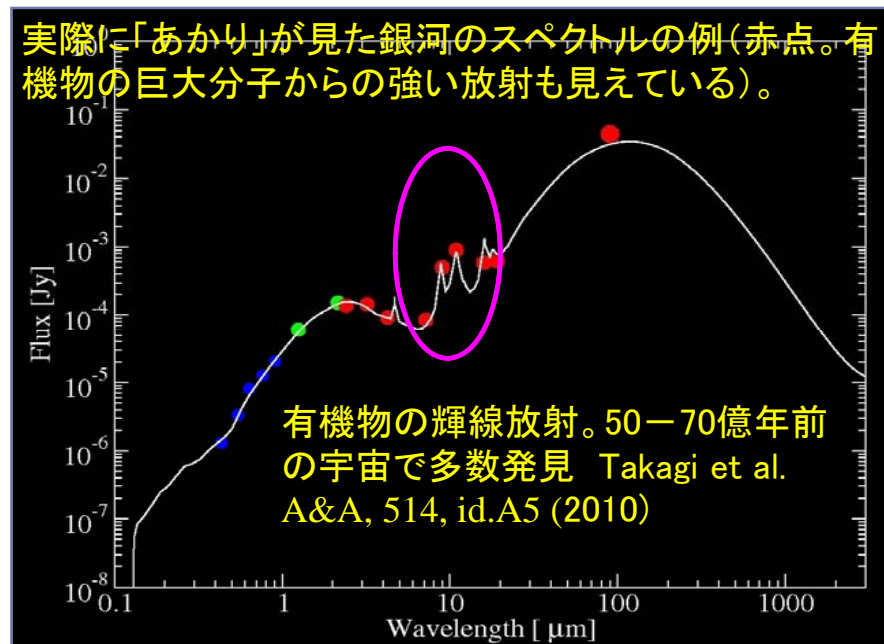
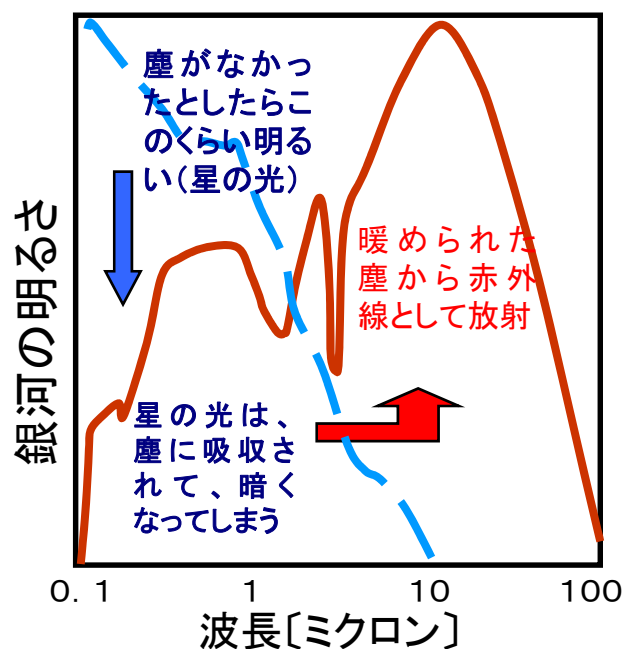


#### 遠方銀河のスペクトル

- ▶ 宇宙の大半の活発な星形成中の銀河は、塵に覆われて可視光では調べることができない。逆に赤外線では非常に明るくなる(下図左)。

赤外線の明るさ=星形成活動の指標

- ▶ 北黄極領域のディープサーベイのデータを元に、今から70-90億年の昔に、このような赤外線でも明るく輝く銀河がどれくらい存在したのかを調査した。
- ▶ サーベイからは、多くの星形成中の銀河を発見。
- ▶ 有機物の巨大分子(多環式芳香族炭化水素)の放射も見えた。これは中心のブラックホール周囲の活動ではなく、星形成活動が活発であることを示す。



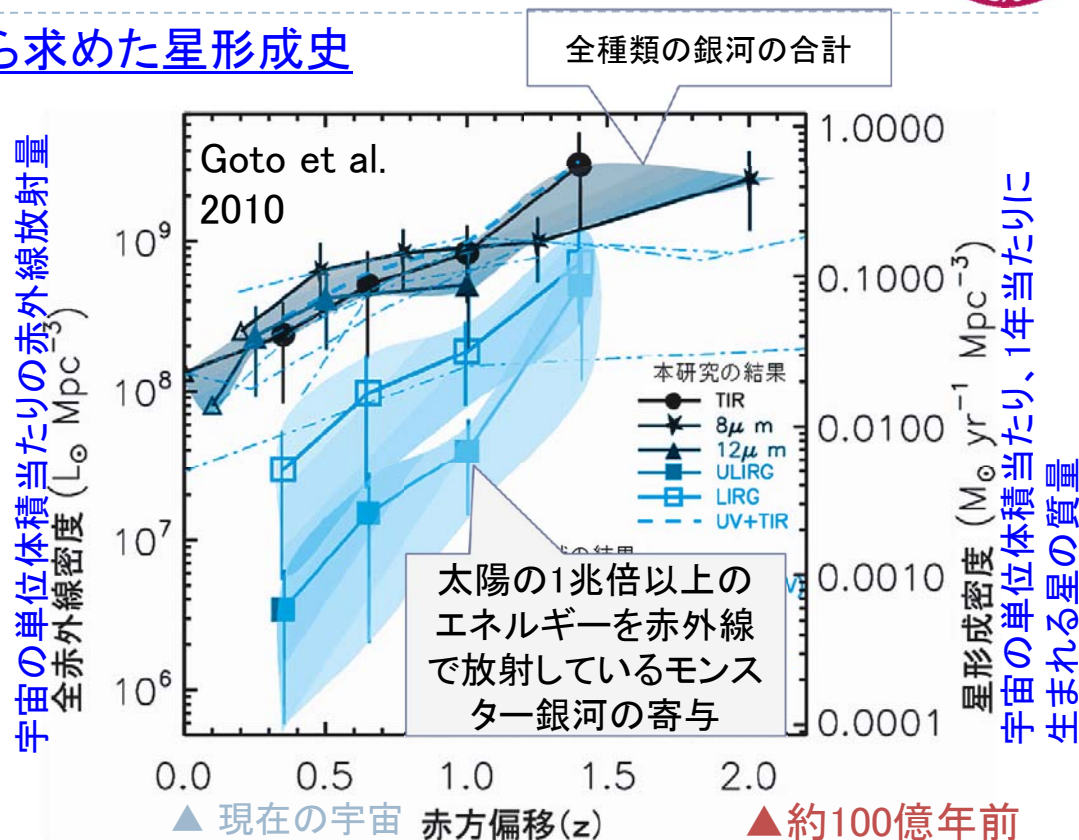
# 3.2 天文学研究の成果

## (12) 研究成果(遠方銀河観測と宇宙の星形成史) (2/2)



### 北黄極(NEP)ディープサーベイから求めた星形成史

- NEPサーベイは目標の指向観測回数(約700回)の95%を達成。
- 検出限界は、目標の半分程度にとどまったが、過去70-90億年にさかのぼった宇宙の星形成史の解明を達成。
- NEPサーベイのDeep領域(0.38平方度)では、近赤外線でも2万個以上、中赤外線でも5,000~8,000個の天体を検出。Wada et al. PASJ, 60, S517, (2008), Lee et al. ASPC, 418, 291, (2009)



- ▶ 宇宙の赤外線光度密度の進化図の決定版
  - ▶ 赤外線密度 = 星形成密度が100億年前に向かって数十倍増加
  - ▶ 特に爆発的星形成をしている超大光度銀河(10<sup>12</sup>太陽光度以上)の寄与はz=0.35 → 1.4 で500倍変化。
- Goto et al., MNRAS, 410, 573, (2011), Goto et al., A&A, 514, id.A6, (2010)

# 3.2 天文学研究の成果

## (13) 研究成果(宇宙背景放射) (1/3)



### 目的と背景

宇宙背景放射: 個別には検出が困難な宇宙初期天体をまとめて背景放射として検出

過去の観測: COBE(米国)や IRTS(日本)によれば、近赤外と遠赤外波長域の宇宙背景放射には銀河では説明のつかない超過エネルギーが存在

超過成分の解釈:

近赤外線 - 赤方偏移 $\sim 10$ の時代に宇宙で最初に形成された第一世代の星によるライマン $\alpha$ 線

遠赤外線 - 遠方銀河の星形成や活動的銀河核(ブラックホール)に伴うダスト熱放射

課題: 前景放射(主に、黄道光と系外銀河)の寄与推定に不定性

「あかり」によるブレークスルー:

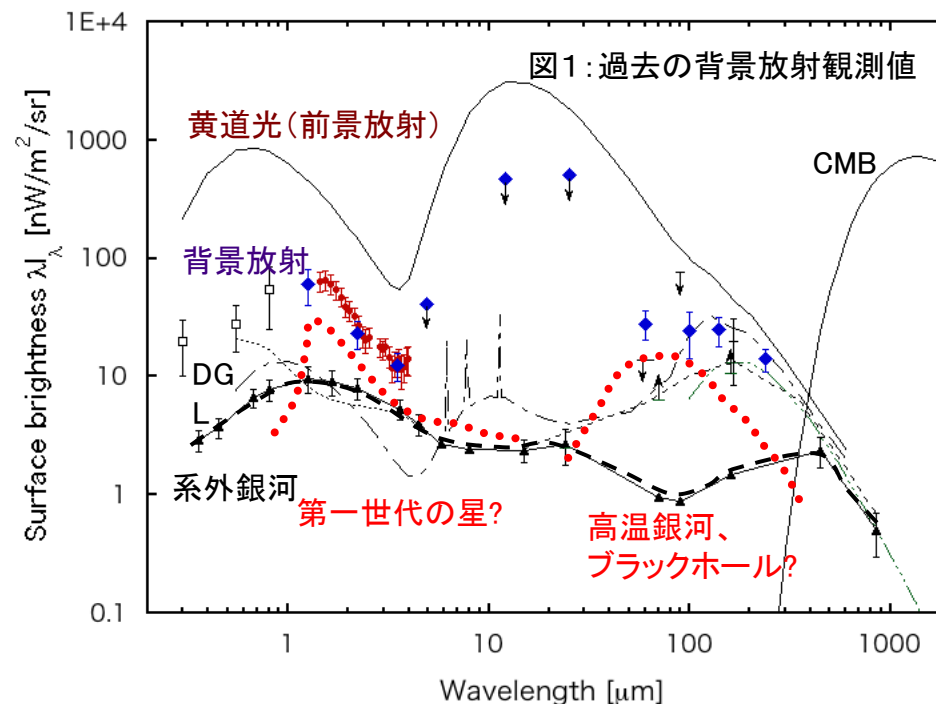
COBEやIRTSよりも10-100倍

高い角分解能により、

- ・遠方の暗い銀河や星を除外した背景放射測定

- ・黄道光の影響が小さい背景放射の角度ゆらぎ測定

が可能、宇宙初期起源を検証



# 3.2 天文学研究の成果

## (13) 研究成果(宇宙背景放射) (2/3)



### 近赤外線観測結果 —宇宙第一世代の星の探求—

- IRC撮像／分光指向観測、北黄極サーベイ領域中心部の6平方度をマッピング
- 点源(銀河・星)の影響がない宇宙背景放射の測定を実現
- 系外銀河では説明できない大角度(10分角スケール)の背景放射ゆらぎを発見
  - 第一世代星の分布や放射スペクトルの理論的予測と良い一致
  - 観測的宇宙論に大きなインパクト

#### 成果論文:

丹下勉, 東工大修士論文 2008年  
 Seo et al., ASP Conf. Ser., 418, 539 (2009)  
 Matsumoto et al., ApJ, 742, 124, (2011)  
 ISAS web発表 2011年10月21日

#### 今後の研究展開:

- 全観測データを用いた高度な測定
- IRC分光データを用いた第一世代の星からの輝線探査
- (H $\alpha$ , H $\beta$ , HeII等)
- FISによる遠赤外域の背景放射データとの相関解析
- 波長2 $\mu$ m以下のロケット観測(CIBER)との相関解析

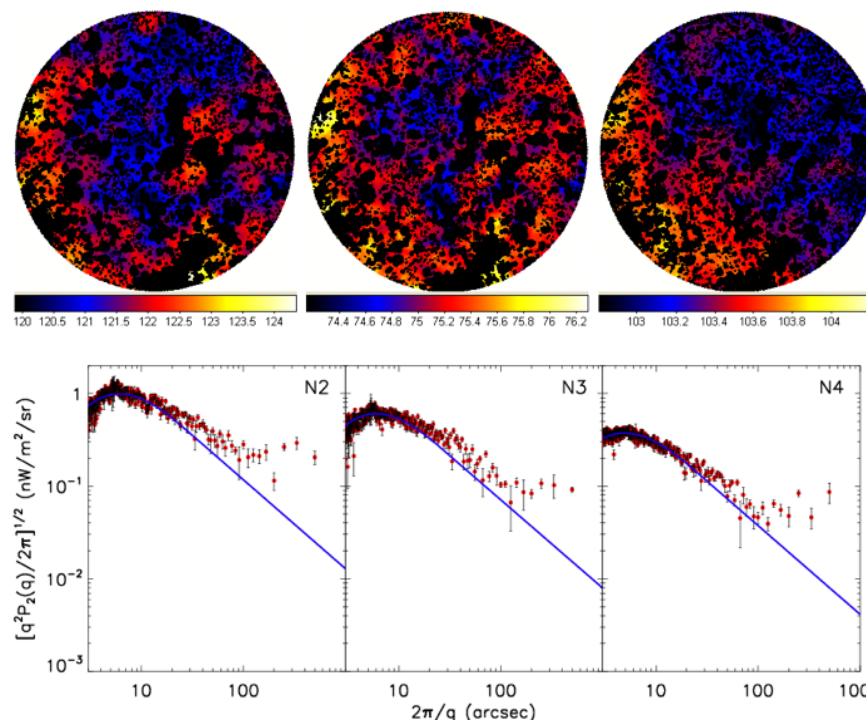


図2: 上図 - 観測領域の部分画像(左から波長2.4, 3.2, 4.5 $\mu$ m).  
 下図 - ゆらぎの角度パワースペクトル(横軸は角度スケール、縦軸はゆらぎ振幅、データ点は青線のポアソンゆらぎの推定値より超過している).  
 (Matsumoto et al. 2011)



# 3.2 天文学研究の成果

## (13) 研究成果(宇宙背景放射) (3/3)



### 遠赤外線の観測結果

- 南天のダスト放射が少ない領域(「あかり」ディープフィールド; ADF-S)で、指向観測により全天サーベイの20倍高い感度で12平方度を観測
- 2,000個以上の銀河を検出(波長90 $\mu\text{m}$ )
- 遠赤外線背景放射ゆらぎの検出
  - 遠方の銀河の集合(宇宙の大規模構造)を検出
- 銀河の集合では説明できない謎の遠赤外線放射成分を発見
  - 未知天体の存在、宇宙初期天体の可能性

「あかり」研究会2009年(Shirahata et al., Matsuura et al., Malek et al., Hatsukade et al., Sedgwick et al., White et al.)

松浦周二 パリティ 2010年5月号

Malek et al. A&A, 514, id.A11, (2010), Hatsukade et al., MNRAS, 411, 102, (2011), Clements et al., MNRAS, 411, 373, (2011), Sedgwick et al., MNRAS, 416, 1862, (2011), Matsuura et al., ApJ, 737, 2, 2011

ISAS web発表 2011年8月10日

#### 今後の研究展開:

- 国際研究チームによる多波長フォローアップ観測のデータを用いて超過成分の起源を探る
- IRCやCIBERの近中赤外データとの相関解析により第一世代の星との関係を探る

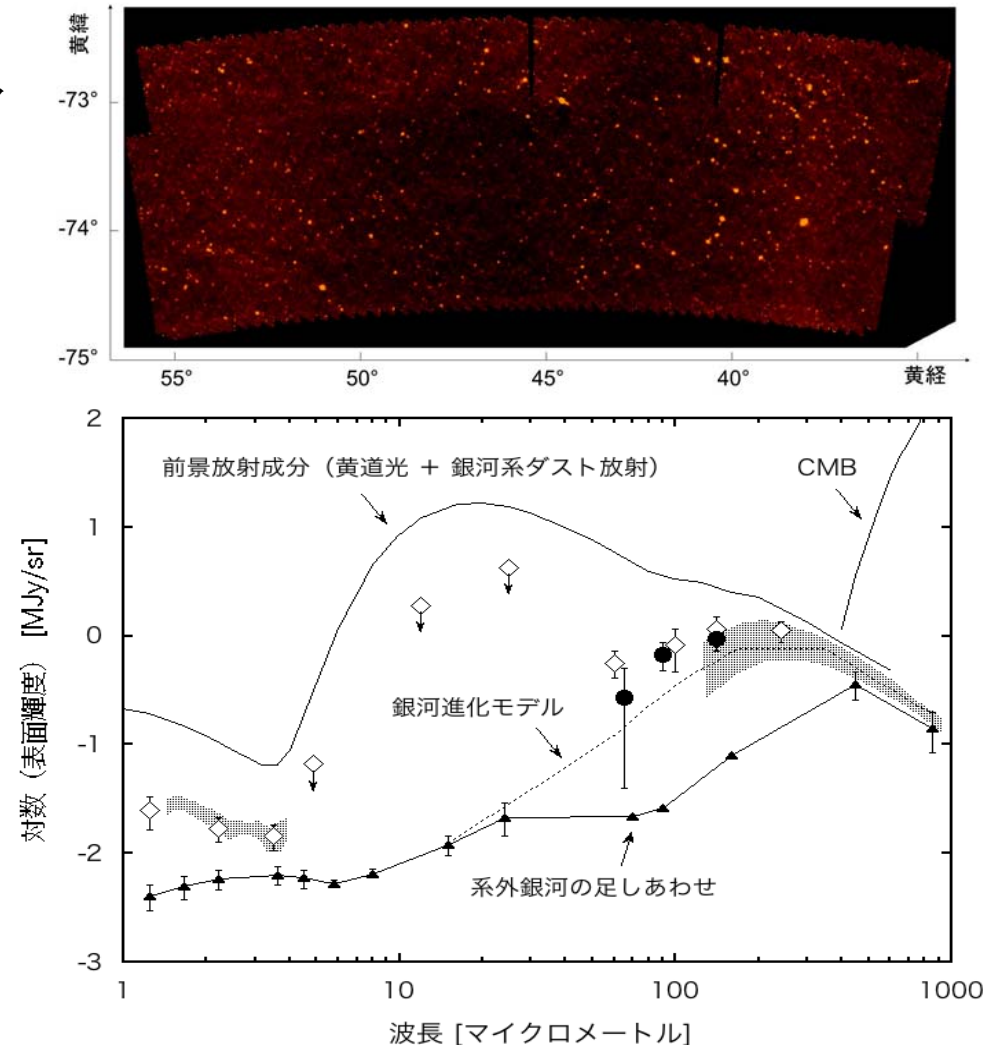


図3: 上図 - 90 $\mu\text{m}$ の観測画像。下図 - 観測された背景放射スペクトル。◇と陰影部分はCOBE、●は「あかり」のデータ。背景放射の観測値は、銀河進化モデルの予測よりも明るい。(Matsuura et al. 2011)

## 3.2 天文学研究の成果

### (14) アウトリーチ (1/2)



#### ▶ メディアによるアウトリーチ

以下のような報道により、宇宙科学の成果の国民への発信、理科教育への貢献を果たした。また大学・大学院での教育にも貢献している。

##### ▶ 一般向け雑誌

- ▶ ニュートン(2001, 2009, 2010, 2013)、月刊天文(2006)、天文ガイド(2006, 2011)、月刊星ナビ(2006, 2007, 2012)、日経サイエンス(2007)、ナショナルジオグラフィック日本版(2007)、宇宙年鑑2007、Nature(2007)、SKY&TELESCOPE(2007)、NEW SCIENTIST(2007)、パリティ(2010)、新潮45(2011)

##### ▶ テレビ・ラジオ(JAXA発表に基づくニュース報道は除く)

- ▶ 九州朝日放送「ドオーモ」(2006)、NHK教育「サイエンスZERO」(2006, 2010)、NHKラジオ第一「ラジオタ刊」(2006)、PODCAST番組ヴォイニッチの科学書(2006)、TBS「ニュース23」(2006)、BS朝日「わくわく科学な時間」(2007)、J-WAVE「GOOD MORNING TOKYO」(2007)、FMさがみ「JAXA相模原チャンネル」(2012)

##### ▶ 新聞報道

- ▶ 2006年の打上げ以来、15回の新聞発表(うち1回は欧州のみでの発表、また東京大学、国立天文台、名古屋大学よりの発表それぞれ1回を含む)、2回のweb発表(<http://www.ir.isas.jaxa.jp/AKARI/Outreach/results/results.html> 参照)
- ▶ 打上げ前の2005年より現在までの新聞掲載回数は、主要全国紙5紙で49件。
  - ▶ 読売(8)、朝日(14)、毎日(12)、日経(5)、産経(10)
  - ▶ その他の全国紙、地方紙は、プロジェクトで把握しているもののみ、参考情報として以下に記す。
  - ▶ 東京(10)、中日(1)、神奈川(10)、南日本(9)、西日本(5)、赤旗(2)、
  - ▶ 日刊工業(10)、日本産業(1)、フジサンケイビジネスアイ(2)、電波(1)
  - ▶ JAPAN TIMES(1)、DAILY YOMIURI(1)、時事通信(1)

## 3.2 天文学研究の成果

### (14) アウトリーチ (2/2)



- ▶ メディアによるアウトリーチ(続き)
  - ▶ 学会・研究機関・博物館等の広報誌、ホームページ等
    - ▶ JAXA 's (2006, 2007, 2010)、ISASニュース(2009年に特集号、他多数)、名古屋市科学館友の会・天文クラブ機関誌(2006)、総研大ジャーナル(2007)、広報いばら(美星天文台がある岡山県井原町広報誌;2007)、American Museum of Natural History HP (2007)、天文月報(天文学会広報誌;2009年に9号にわたって特集)、ISASビデオシリーズ vol.13 (2009)、大学ジャーナル(2009年)、日本化学会教育協議会「化学大好きクラブニュースレター」(2010)、名古屋大学理学部「理 philosophia」(2010年)、東京大学理学部ニュース(2010)、SPACE RESEARCH TODAY (2011)
  - ▶ 関連企業の広報誌
    - ▶ NAS技報(2006)、NIKON HP(2006)
  - ▶ プラネタリウム番組
    - ▶ 名古屋市科学館(2012)、相模原市立博物館(2012)
- ▶ 「あかり」データを元にした教育用素材の製作が進められており、今後理科教育現場での活用が期待できる。

## 3.3 波及効果



### (1) 社会的/政策的/国際的貢献状況や波及効果 (1/2)

#### 1. 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
- ▶ 日本の次期赤外線衛星として概念設計中のSPICA(口径3.2m赤外線天文衛星)には、すでに欧州が参加を表明しているだけでなく、米国でも最重要のミッションとして参加が検討されている。これは「あかり」による国際プレゼンス向上の結果である。

#### 2. 産業への効果

- ▶ 「あかり」の衛星開発により国内産業への一次波及効果は200億円程度、消費拡大による二次波及効果は130億円程度と見られる(三菱総研見積り)。波及倍率は他の科学ミッションと同程度。
- ▶ 「あかり」では冷却装置の比重が大きいことから、電気産業に加えて、機械産業への波及効果が他の科学衛星よりも大きいと推測される。

## 3.3 波及効果

### (1) 社会的/政策的/国際的貢献状況や波及効果 (2/2)



#### 3. 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された。冷凍機望遠鏡実現を目指して各種方式の冷凍機の調査／検討、特にパルス管冷凍機の試作が東芝と行われた。
- ▶ 1991年度に、「あかり」冷却系は液体ヘリウムと冷凍機の併用とする方針が決まり、20Kまでの冷凍温度が求められる冷凍機は、80K冷凍機技術を持っていた住友重機械工業(株)により開発が進められた。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)を達成した。
- ▶ 宇宙用冷凍機は、現在ではJAXA研究開発本部熱グループの主導により開発が継続されており、様々なミッションに採用されているだけでなく、上記スターリングサイクル冷凍機とJT冷凍機や断熱消磁冷凍機を組み合わせることにより、4Kあるいは1K以下までの冷凍が可能となっている。
- ▶ 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。

# 3.3 波及効果

## (2) 人材育成結果



- ▶ 装置開発に関わった大学院生、ポスドクは赤外線天文学の研究に併せて光学設計技術、検出器駆動技術、低温技術などに深い経験と知識を得た。
- ▶ 衛星の運用、データ処理に関わった大学院生、ポスドクは赤外線天文学の研究に併せて、赤外線検出器の特性・補正技術、衛星運用技術、衛星データ処理技術、ソフトウェア技術、データベース技術などを習得した。
- ▶ 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

「あかり」関係学位論文状況

	「あかり」データが主要な内容		「あかり」データを補助的に利用		装置開発関連		データ処理技術、キャリアレーション		合計	
	D	M	D	M	D	M	D	M	D	M
打ち上げ前 (~2005年度)	—	—	—	—	4	21	1	0	5	21
打ち上げ後 (2006年度~)	18	26	5	1	0	1	2	4	25	32



## 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

### (1) 開発中の発生事象への対応と今後への反映 (1/2)

#### 望遠鏡支持部不具合

- ▶ 問題の概要
  - ▶ 2002年11月、及び2003年4月の極低温振動試験後の検査で、望遠鏡の主鏡支持部の接着剤剥離による主鏡外れが発見された
- ▶ 主な原因
  - ▶ 主鏡接着パッドの材料であるスーパーインバーの、極低温での相変態による熱膨張係数増大を見逃したこと
  - ▶ 破壊力学的な面からの解析、試験(クラックの進展に伴うエネルギー開放率の評価)を行わなかったこと
- ▶ 対応
  - ▶ 対応: 東大、JAXA研究開発本部及び宇宙科学研究所(ASTRO-Fプロジェクト外)の構造/材料の専門家、プロマネ経験者等で構成した不具合対策会議により、不具合改修を主導。以下の改修を行った。
    - ▶ 接着パッドの材質をスーパーインバーからノーマルインバーに変更すると共に、発生応力の低い構造に設計変更。
    - ▶ バネ構造の主鏡支持金具の形状を変更し座屈強度を上げた。
    - ▶ 接着部のSiC表層がわずかに剥離した主鏡を、バックアップ主鏡に交換した。
- ▶ 今後への反映事項
  - ▶ 極低温での物性が明らかでない材料を使う場合には、常温からの外挿ではなく、実際に使用する温度での物性値測定を実施した上で、採用の判断、設計を行うべきである。



## 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

### (1) 開発中の発生事象への対応と今後への反映 (2/2)

#### 総点検

衛星の開発・打ち上げ・運用を確実にを行うため、衛星システム全体を総括し、ミッションに致命的な影響を及ぼす不具合が隠れていないかを洗い出すための総点検作業を実施した。

##### ▶ 点検経過

- ▶ 2004年9月29日のキックオフ会議より2004年11月まで：プロジェクトによる自己点検
- ▶ 2004年11月22、及び25日：独立評価チームによる総点検
- ▶ 2005年11月までに要検討事項、要処置事項の処置を行い、2005年12月16日に独立評価チームによるフォローアップを実施。

##### ▶ 要検討事項／要処置事項と実施した処置の概要

###### ▶ 要処置事項10件

- ▶ 電源／機器の短絡対策に関わるもの5件 ⇒保護抵抗の挿入、電流リミッタの追加等により対策
- ▶ その他は、帯電対策の追加、火工品ヒーターの冗長化、ACTEL社製FPGA不具合、リアクションホイールの追加検査、観測装置電気系不具合改修、各1件 ⇒指摘事項の実施、部品交換等実施

###### ▶ 要検討事項20件

- ▶ 追跡運用における信頼性向上に関わるもの6件 ⇒JAXA統合追跡ネットワーク技術部が運用する地上局(新GN局)とのコマンド／テレメトリリンクの強化、スバルバード局での受信運用追加、USC20mアンテナ設備強化等
- ▶ 他衛星の電気系不具合に関する検討2件、帯電対策2件、機器の耐久性関連2件、熱制御2件、液体Heスロッシング、コンタミネーション、打上げ手順、チタン合金ファスナ、電源短絡、極低温機構 各1件 ⇒解析を実施、一部試験を追加。

##### ▶ 効果

- ▶ 総点検の中でFPGA不具合への対応ができた等、信頼性向上に大きく寄与。
- ▶ コマンドアップリンク運用を、新GN局からも可能にしたことが、打上げ後の不具合対応(太陽面問題、冷凍機障害、終了運用等)を可能にした。





## 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

### (2)軌道上運用中の発生事象への対応と今後への反映(1/4)

#### 太陽面問題

- ▶ 問題の概要
  - ▶ 打上げ直後に、2次元太陽センサーの視野に検出不能領域が発生、二次元精太陽センサーによる太陽光検出ができない等、6項目の問題が発生した。
- ▶ 主な原因
  - ▶ 問題が発生した機器はすべて太陽指向面にあり、それらを覆う何らかの遮蔽物がある、との仮説が最も確からしい。遮蔽物はミッション部サンシールド起因である可能性が除外できないが、特定不可。
- ▶ 対応
  - ▶ 太陽電池パドルの出力電圧を頼りにマニュアルで太陽捕捉し、観測軌道への投入を実施。
  - ▶ 太陽面問題検討チームを立ち上げて原因究明を実施した。
  - ▶ 以下の対策を実施して観測を開始した。その結果、姿勢制御精度を維持し、その他の劣化もマージンの範囲内に収まった。これに伴い、望遠鏡蓋開け、観測開始が約一ヶ月遅れた。また、姿勢センサーの冗長性が減少した。
    - ▶ 観測用姿勢制御は、精太陽センサーを用いず、ジャイロとスタートラッカーで実施。
    - ▶ 粗姿勢制御では、太陽センサーではなく、地球センサーを用いてジャイロを較正する方式に変更。
    - ▶ 姿勢異常検出も太陽センサーを用いず、ジャイロ信号より太陽方向を推定する方式に変更。
  - ▶ ISAS安全・品質保証室に軌道上不具合情報として展開。
- ▶ 今後への反映
  - ▶ 原因の可能性の一つとして指摘されたMLI剥離に関しては、JAXA安全・信頼性推進部に設計標準WGが設置され、地上実証、検討が行われた。その結果は、MLI剥離防止設計標準 (JERG-2-311) としてまとめられ、知見が展開されている。



## 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

### (2)軌道上運用中の発生事象への対応と今後への反映(2/4)

#### 冷凍機異常電流、及び性能劣化

##### ▶ 問題の概要

- 1) 2007年6月より2台の冷凍機のうちB系のCold Head(膨張器)駆動電流が上昇する現象が発生、2007年9月に冷凍機駆動電気系の温度急上昇、Cold Head 低温部の温度急上昇により、B系冷凍機をコマンドで停止。
- 2) 2008年7月より、A系冷凍機Cold Headにも異常電流が見られるようになった。2010年2月、A系駆動電気系温度が急上昇。問題が起きない低電力での運転へ。
- 3) 2)と共に、本来必要な冷却温度を達成できたはずの駆動電力でも、近赤外線検出器性能が十分得られる温度まで冷却できない、という性能劣化が判明。

##### ▶ 主な原因

- ▶ 問題1)、2)については、Cold Headの摺動部で駆動コイル絶縁材料が摩耗、駆動回路の一部が接地されている周辺部に接触し地絡した可能性が高い
- ▶ 3)については、冷凍機動作ガス(He)中に不純物(CO<sub>2</sub>の可能性が高い)ガスが増加、低温部で固化して冷凍機動作を妨げている可能性が高い

##### ▶ 対応

- ▶ 問題1)、2)について、冷凍機開発の主体である研究開発本部・熱グループ、ISAS品証室と共同で原因究明の後、2008年11月に報告会を実施し、類似冷凍機搭載予定のプロジェクトに水平展開。JAXA信頼性改革会議にも報告し、水平展開を図った。
- ▶ 問題3)の原因と推定した冷凍機ガス中の不純物の問題については、開発中より研究開発本部・熱グループを中心に、冷凍機搭載予定のASTRO-H、SPICAとの共同で調査と対策検討を進めており、本事象についても他プロジェクトに研究開発本部・熱グループ経由で情報伝達。
- ▶ 問題3)について、2010年5月より観測を中断して、低温部の温度を一旦常温に戻す等、動作ガス不純物による性能劣化からの復帰を目指した運用を実施した。冷凍性能はある程度回復したが、赤外線検出器の温度要求は満たせないまま電源異常(次ページ参照)により観測運用終了。

##### ▶ 今後への反映事項

- ▶ 問題1)、2)について原因究明の結果に基づく冷凍機改良が、研究開発本部・熱グループにより実施された。
- ▶ 問題3)については、不純物および混入経路について同定。改善方法について研究開発本部・熱グループを中心に検討を進めている。

## 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

### (2)軌道上運用中の発生事象への対応と今後への反映(3/4)



## 電源異常

### ▶ 問題の概要

- ▶ 2011年5月23日、バッテリーに異常が発生し、充電が自動停止した。
- ▶ 放電が進みバッテリー電圧低下によりUVCモードとなり、その直後の日陰で衛星OFF。3軸姿勢制御は失われ、日照中に太陽電池パドルに日が当たる姿勢のときだけ自動的にオンになる状態となった。温度制御もオフとなり、推進系燃料も凍結に至った。

### ▶ 主な原因

- ▶ 16セルの組電池の高電圧側8セルの何処かで、地絡が発生したと考えられる。
- ▶ ただし、地絡経路は不明。

### ▶ 対応

- ▶ プロジェクトで発生した現象を解析、結果をDE組織電源グループへ引き継ぎ。

### ▶ 今後への反映事項

- ▶ Ni-MHバッテリーは「あかり」以後の衛星では使用されないこともあり、現状では水平展開は不要と判断。

## 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

### (2)軌道上運用中の発生事象への対応と今後への反映(4/4)



## 運用終了

### ▶ 運用の概要

- ▶ 前項の電源異常により、姿勢制御は失われてタンブリング状態、温度制御も失われて推進系の推薬は凍結した。
- ▶ 2011年8月より「あかり」の軌道が全日照条件になるのを待ち、太陽指向軸回りのスピナップを行い、姿勢のspin安定を目指した。9月末には成功し、安定した電力を確保、3軸姿勢制御の復帰まで行うことができた。
- ▶ 電力確保により温度制御が可能となり、10月末までに燃料の解凍に成功した。
- ▶ 11月10、14、17日に軌道変更運用を実施し、近地点高度を450kmまで低下させ(遠地点高度は約700kmのまま)、11月24日に停波を行い、「あかり」の軌道運用を終了した。

### ▶ 効果

- ▶ 「あかり」の観測軌道(高度約700kmの円軌道)の軌道寿命は100年を超えると予想されたが、軌道低下に成功したことにより、デブリ防止の国際的合意である25年以内の有用軌道からの離脱を達成可能となった。デブリ防止の措置を実際に行ったのは、日本の衛星で初めてである。

### ▶ 今後への反映事項

- ▶ 姿勢復帰運用の結果は論文(坂井ら)にまとめられた。
- ▶ 総括的な報告書面は、「あかり」不具合・知見のまとめとともに作成する方針。

## 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

### (3) 教訓、知見など (1/2)



#### 【宇宙理学委員会の終了審査におけるまとめ(概要)】

1. 「あかり」以前のIRTS等の経験について
  - ▶ 日本では初の赤外線衛星「あかり」が成功したのは、SFU搭載赤外線望遠鏡IRTSの開発・運用を通じて、宇宙用極低温冷却システム等、「あかり」でも核となる技術開発を実施できたこと、また衛星プロジェクトの進め方について非常に多くのことを学んだことによっている。  
中型以上の衛星を実現する前にIRTSのような小型ミッションを経験することは、本質的に重要と考える。
2. 成功基準について
  - ▶ 「あかり」成功基準は、宇宙開発委員会によるミッション評価が行われることになったのに伴い、急遽定義された。
  - ▶ ただし宇宙理学委員会による評価基準としては、もう少し具体的な科学的成果に関する成功基準を設定することが妥当であったと思われる。これにより、プロジェクト側としてもデータ処理／解析作業の優先順位がより明確になり、成果の創出を加速する効果がある程度期待できる。

## 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

### (3) 教訓、知見など (2/2)



#### 3. 観測計画立案、Science Advisory Committeeについて

- ▶ 「あかり」の観測計画の立案に際して、プロジェクト外の日本の天文学研究者からなる Science Advisory Committee (SAC) が設立された。SACは、プロジェクトが責任を持って遂行する大規模サーベイとプロジェクトメンバーが組織する研究グループによる観測計画立案への助言、公募提案の評価を行った。
- ▶ 研究者から提出された観測提案をレビューし、成果発表までのプロジェクト活動を外からモニターするSACの役割は、「あかり」の科学的成果を生み出す上で重要であり、うまく機能したと評価できる。
- ▶ スケジュール遅延や軌道上不具合等による観測計画の変更へのSACの役割が多少不明確であったこと、データ取得後に、各研究グループによるデータ解析に関する知見の共有化、フィードバックが不足したことが反省点である。

#### 4. データ処理に要する人員・リソースについて

- ▶ 「あかり」のデータは大量であり、また処理が複雑である。これを迅速に処理してデータプロダクトを作成するには多くのリソースを必要とする。これまでの科学衛星ではこのための十分な体制を組むことは許されていない。その状況下でも、「あかり」ミッションの根幹である全天サーベイデータについては、赤外線天体カタログの初版を公開するところまでこぎ着けた。
- ▶ 「あかり」ではミッション採択にあたり、宇宙理学委員会よりデータ処理体制を不安視する意見が出されたこともあり、衛星運用を含めて3名の常勤招聘研究員の雇用が許された(後に常勤2名+非常勤1名)ことが大きな助けとなった。
- ▶ 科学衛星でもデータ処理の専任チームが立ち上げられるのが望ましい。これには、データアーカイブを迅速に作り、科学衛星の成果を将来にわたって利用できるようにすることの重要性が、理解される必要がある。

# 5. プロジェクトの効率性について



## (1) 資金管理(実績)

■プロジェクト総資金は**213.7億円**である。内訳は下表の通り(予算ベース)。

衛星開発 (試作・製作・総合試験)	ロケット製作・打上げ (関連経費含む)	運用費(初期運用、定常運用 1年分、観測事業費)	合計
133.5	76.8	3.4	213.7

このほかに、競争的資金(科研費他)から約30億円を獲得。(単位:億円)  
観測装置技術の基礎開発や、科学的解析・研究活動等に用いた。

### 参考：諸外国の赤外線ミッション(2000年代の打上げ)とのコスト比較

ミッション	国	打上げ	望遠鏡口径, 質量, 軌道	開発費	備考
Spitzer	米	2004年	85cm, 950kg, Heliocentric	\$720M	1996年以降の開発・打ち上げ・初期運用
「あかり」	日	2006年	70cm, 952kg, 近地球	214億円	開発・打ち上げ・初期運用
WISE	米	2009年	40cm, 750kg, 近地球	\$320M	開発・打ち上げ・初期運用
Herschel	欧	2009年	3.5m, 3300kg, L2	€1,100M	開発・打ち上げ・科学(定常)運用

# 5. プロジェクトの効率性について

## (1) 資金管理(評価)



### 「あかり」開発コストが低く済んだ理由

- ▶ サーベイミッションとして狙うサイエンスに必要な能力を追求し、例えば高い分光性能は求めないなど観測装置の仕様を絞り込んだ。
- ▶ バス機器は先行ミッションの機器設計を多く採用し、新規開発要素を抑えた。
- ▶ 地上試験装置(電源、テレメトリ受信、コマンド送信等の試験装置)は、他のミッションと共通の設備を使用。
- ▶ 機器開発体制の低コスト化
  - ▶ SFU搭載IRTSで磨いてきた、宇宙用液体ヘリウムクライオスタットの基礎技術を活用
  - ▶ 観測装置の要素技術開発・設計の多くを、ISAS、関連大学及び研究機関のインハウスで実施

「あかり」は海外の赤外線ミッションと比較して、「シンプルなミッションデザイン」「先行ミッションの設計を採用」「開発済み基礎技術を採用」などの理由から、比較的 low cost で開発・運用を行うことができた。また、科研費等の競争的資金も多く獲得して開発に寄与していた。

このことから、「あかり」のプロジェクト資金管理は総合的に見ておおむね妥当であったと結論される。

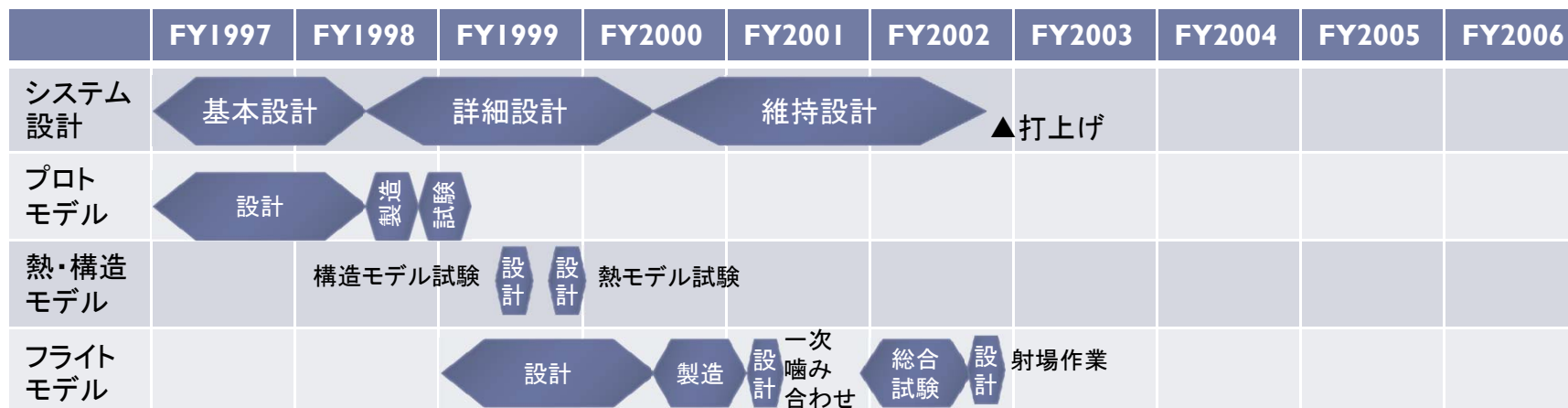


# 5. プロジェクトの効率性について

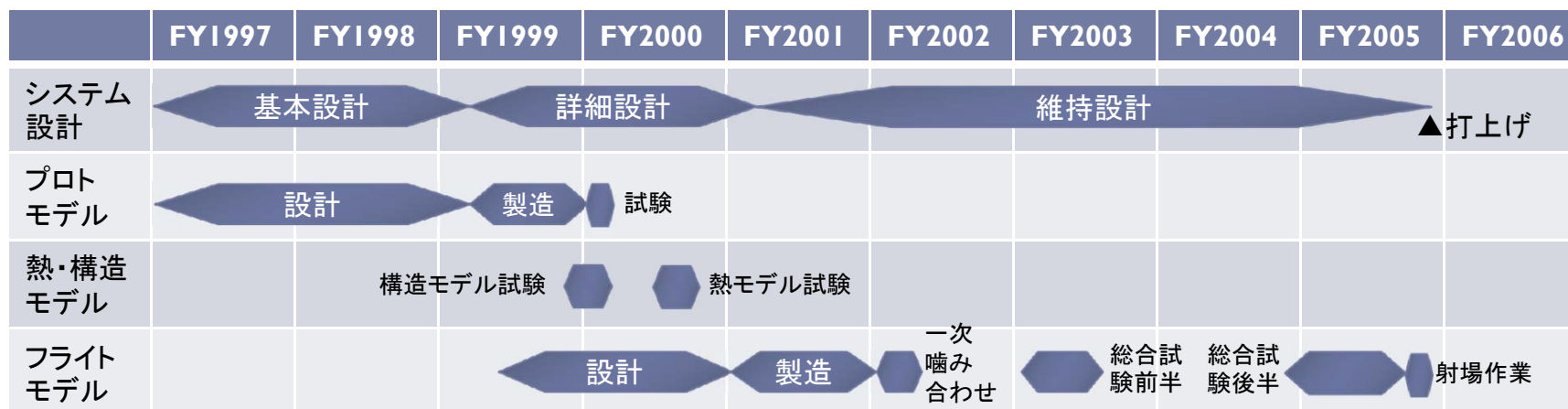
## (2) スケジュール管理 (実績)



当初のスケジュール(1997年7月時点)



### スケジュール実績



# 5. プロジェクトの効率性について

## (2) スケジュール管理 (評価)



### ▶ スケジュール遅延と理由

- ▶ 2000年度に、打上げ目標時期を、2002年度末から2003年度末へ変更  
理由: M-Vロケットの開発遅延等
- ▶ 2003年6月、打上げ目標を2005年度末に変更  
理由: 望遠鏡の極低温振動試験で主鏡支持部の接着剥がれが起き、改修のために1年半の開発遅延が発生(4(1))項参照)、さらに他衛星  
打上げスケジュールとの調整により、計2年の遅延となった。

### ▶ 遅延の影響

- ▶ 「あかり」は天文衛星であり、太陽系探査機のように確定した打上げ  
ウィンドウはないため、大きな計画変更には至らなかった。
- ▶ ただし、米国Spitzer Space Telescopeに一部の観測を先んじられた、  
後発の米国WISE衛星のデータが「あかり」データ公開からそれほど  
間を置かずに公開された等、ミッション優位性のある程度の減少は避  
けられなかった。この意味では、天文衛星といえども、スケジュール  
の維持は重要である。

# 6. データプロダクト作成について

表1. 作成を目指すデータプロダクトと優先順位(1/2)



(理学委員会終了審査最終報告書より)

	番号	名称(仮)	内容	優先順位
全天	1-1	FIS Bright Source catalogue v.2	公表済みのBright Source Catalogueの改訂版。測光精度・位置精度の向上、検出信頼性の向上がはかれる。天体数は大きな変更なし。	1
	1-2	FIS Single Scan Photometry Database	FIS Bright Source Catalogueの1スキャン毎の測光情報。変光天体研究に有効であり、公開に対し多くの要望が寄せられている。	1'
	1-3	FIS Scan Density Data	FIS Bright Source Catalogue の作成に際して、天球上の各点のスキャン回数を記録したデータ。既知天体の非検出が観測領域外であるためか等の情報を与える。FIS Bright Source Catalogue v.1 に対するデータは既に存在。v.2作成時にv.2用データを作成。	1'
	1-4	FIS Faint Source Catalogue	高黄緯の多数回スキャン領域で検出感度を上げた遠赤外線天体カタログ。Bright Source Catalogueに比べて、20万個程度の天体数の増加が期待される。	1
	1-5	FIS All-Sky Map	波長60, 90, 140, 160 $\mu$ mの全天画像。IRASの画像に比べて約5倍の解像度。太陽系天体、星間物質から遠方銀河に至る非常に多くの研究に用いられる、非常に需要の多いデータ。広報・教育目的でも非常に重要。初版公開後に、2, 3回の改訂作業を予定している。	2
	1-6	IRC Bright Source catalogue v.2	公表済みのBright Source Catalogueの改訂版。今後必要が生じた場合のみ作成。現状では作成予定無し。	5
	1-7	IRC Single Scan Photometry Database	1-2項のIRC版。IRC Bright Source Catalogue v.1に対するデータは既に存在。v.2を作成する場合のみ、v.2用データを作成。	5'
	1-8	IRC Scan Density Data	1-3項のIRC版。IRC Bright Source Catalogue v.1に対するデータは既に存在。v.2を作成する場合のみ、v.2用データを作成。	5'
	1-9	IRC Faint Source Catalogue	波長9, 18 $\mu$ mでのfaint source catalog。Bright Source Catalogueに比べて2~3倍の天体数が期待される。米国WISEとは異なるユニークな波長帯のカタログで、多く利用されるカタログになる。	1
	1-10	IRC All-Sky Map	波長9, 18 $\mu$ mの全天マップ。FIS All Sky Map同様、非常に多様な研究に用いられる。黄道光を除去した画像が提供される。初版公開後に、1, 2回の改訂作業を予定している。	2
	1-11	AKARI Asteroid Catalogue v.2	公開済みのv.1が約5,000個の小惑星を含むのに対し、さらに1,000個以上の小惑星数増加を期待。v.1, 2ともに小惑星熱モデル計算によるサイズとアルベドの情報を含む。遠赤外線での小惑星カタログも追加できれば非常にユニーク。	5

# 6. データプロダクト作成について

表1. 作成を目指すデータプロダクトと優先順位 (2/2)



(理学委員会終了審査最終報告書より)

	番号	名称(仮)	内容	優先順位
指向	2-1	FIS FTS Data	遠赤外線フーリエ分光器による3次元データ。ISO以来の遠赤外線スペクトル。大マゼラン雲、銀河面などを中心に、600点の観測。習熟者でないとは解析が難しいため、輝線マップ等の最終解析結果の公開を目指す。	5
	2-2	IRC Slit Spectroscopy Data	拡散光の近・中間赤外線分光データ。指向観測2,000回以上のデータ。特に近赤外線スペクトルは「あかり」特有で高感度であり、多くのアウトプットが期待できる。公開済みの生データではなく、改良された手法で処理した、位置-波長の2次元データを公開。	4
	2-3	IRC Short Slit Spectroscopy Data	点光源の近赤外線分光データ。指向観測6,000回以上のデータ。地上から得られない波長帯を含み、多くのアウトプットが期待できる。公開済みの生データではなく、改良された手法で処理した、位置-波長の2次元データを公開。	4
	2-4	IRC Slitless Spectroscopy Data	波長2~25 μmのユニークなSlitless分光データ。液体ヘリウム消費後の近赤外線のみ観測まで含めると指向観測約3,000回分。公開済みの生データではなく、改良された手法で処理した2次元データを公開。	5
	2-5	IRC Pointed Observation Images	波長2,3,4,7,9,(11),15,(18),24 μmでの多色画像データ。指向観測8,000回分以上のデータ。公開済みの生データではなく、改良された手法で処理した、2次元データを公開。	4
	2-6	FIS Slow Scan Data	FIS指向観測でのスロースキャン約1100回分のSW, LW検出器のスキャンデータと処理済み画像データ。現在公開しているデータパッケージ(スキャンデータのみ)の改訂。	4
	2-7	IRC Slow Scan Data 1	指向観測でのスロースキャンによる波長9, 18 μmのスキャンデータと処理済み画像。全天画像よりも約5倍の感度を達成している。ただし、約20指向観測程度の少量データ。	4
	2-8	IRC Slow Scan Data 2	2-5項と同様のデータであるが、観測提案によるものではなく、FISスロースキャン時に自動的に得られたデータ。ただし500指向観測分以上のデータがある。	5
	2-9	AKARI Deep Field South Faint Source Catalogue	遠赤外線での深銀河サーベイ観測で得られた銀河の測光結果をカタログとして公開。約2,000個の銀河を含み、遠赤外線でのカタログとしてはこれまでで最大規模。	3
	2-10	IRC North Ecliptic Pole Catalogues	近・中間赤外線の深銀河サーベイ観測で得られた銀河のカタログ。北黄極付近で広くて浅い“Wide”と狭くて深い“Deep”の2種のサーベイ。Deepサーベイは中間赤外線では7,000を超える銀河を検出、中間赤外線では世界最大のデータベース。	3
	2-11	IRC LMC Star Catalogues	近・中間赤外線による大マゼラン雲サーベイによる、数十万個の星のカタログ。重い元素が少ない大マゼラン雲における星の進化研究には最重要のデータベース。	3
源泉	3-1	FIS Time Series Data	FIS全観測の源泉データ。時系列の各波長の輝度データ+指向方向、ステータスデータ等、及びその時点での最新の処理結果がまとめられる。	-
	3-2	IRC All-Sky Segment Data	IRC全天サーベイの源泉データ。各スキャンの電荷蓄積リセットごとに区切られた画像データ集。	-

# 7. 将来計画

## — 次期赤外線天文衛星「SPICA」 —



### 目的

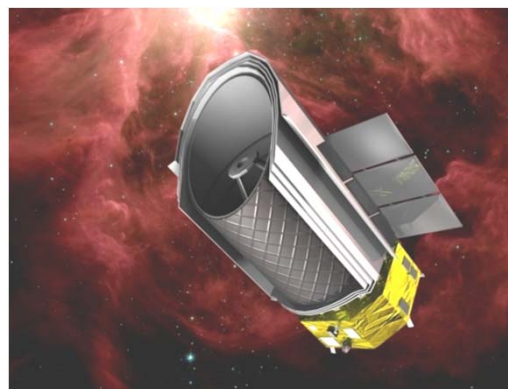
赤外線における高感度観測により、「ビッグバンから生命の誕生まで」の宇宙史の本質的過程を解明する。

### 科学的な位置付け

- ・宇宙塵に阻まれて他波長では観測できない、宇宙での歴史の中で最も重要な「天体の進化過程」を、赤外線高感度観測により解明する。
- ・具体的に、(1) 銀河誕生と進化過程の解明、(2) 惑星系形成過程の総合理解、(3) 銀河星間空間における物質循環の解明、の科学課題がお互いに有機的につながって、宇宙史の解明を目指す。
- ・ALMA(サブミリ波)、JWST(可視・近赤外)、TMT(すばる後継望遠鏡)の間の波長をつなぐSPICAの実現は、科学目的達成のために極めて重要である。これら地上・宇宙の次世代大型計画間のシナジーにより、より高い科学成果の創出を行う。

### 国際的な位置付け

- ・赤外線天文学分野では、これまで各国が特色あるミッションを交代で主導し発展させてきた。今後更なる発展を遂げるため、国際協調の下に一つの計画に集中し、分担して進めなければならない時代に入つつある。
- ・欧州は独自計画でなくSPICAに国際協力参加することを選択した。日本は、冷却技術など日本独自の技術を活かして主導しつつ、欧州他から各国の得意分野を持ちよることにより、チャレンジングなミッションを確実に実行する体制を構築する。



冷媒を使わない  
新冷却システム  
(冷却方式の革命)

日本の宇宙開発の  
戦略技術の実証・発展

「あかり」観測成果  
(「あかり」天体カタログ)  
を発展的に活用

### 人類の宇宙観を変革

- ・銀河誕生と進化過程の解明
- ・惑星系形成過程の総合理解
- ・宇宙の物質循環の解明

### 主要諸元(案)

- ・望遠鏡口径: 3.2 m
- ・主要観測波長: 5-210 $\mu$ m
- ・望遠鏡温度: 6K
- ・質量: 約3700kg
- ・打上げ: 平成34年度 H-IIA-204
- ・軌道: 太陽・地球ラグランジュ点2周りのハロー軌道
- ・ミッション期間: 3年(5年目標)

### 実施体制

JAXAが主導し、全国の大学や研究機関との協力によって進める。さらに、欧州、韓国、台湾との国際協力により実施。

### 日本にとっての意義

- ・日本の戦略的技術(冷却系)、ユニークな科学成果(「あかり」サーベイ等)を活用・発展させる計画。
- ・日本が主導し、世界が参加する大型ミッションにより、人類の宇宙観に大きな影響を与える成果を期待。



## 8. 「あかり」終了審査委員会メンバー

### 宇宙理学委員会終了審査委員会メンバー

海老沢 研	JAXA 宇宙科学研究所・教授(委員長)
原 弘久	自然科学研究機構 国立天文台・准教授
鳥居 祥二	早稲田大学 理工学術院総合研究所・教授
山本 智	東京大学大学院理学系研究科・教授
山田 亨	東北大学大学院理学研究科・教授
佐藤 毅彦	JAXA 宇宙科学研究所・教授
芝井 広	大阪大学 大学院理学研究科・教授 (オブザーバ)
上野 宗孝	JAXA 宇宙科学研究所・宇宙科学プログラム オフィス室長(オブザーバ)

※ メンバーはいずれも宇宙理学委員会の委員

### 宇宙科学研究所終了審査委員会メンバー

稲谷 芳文	JAXA 宇宙科学プログラム・ディレクタ (委員長)
中村 正人	JAXA 宇宙科学研究所 研究総主幹
鈴木 和弘※	JAXA 宇宙科学研究所 科学推進部長
上野 宗孝	JAXA 宇宙科学研究所 宇宙科学プログラム・ オフィス室長
海老沢 研	JAXA 宇宙科学研究所 学際科学研究系・教 授
篠原 育※	JAXA 宇宙科学研究所 衛星運用・データ利 用センター・科学データ利用促進グループ長
尾崎 正伸※	JAXA 宇宙科学研究所 宇宙物理学研究系・ 助教
水本 好彦※	自然科学研究機構 国立天文台・教授
原 弘久	自然科学研究機構 国立天文台・准教授

※ 宇宙理学委員会委員でない審査員