

## 新規大規模研究開発評価の 調査・検討項目に関連して

- 科学技術上の意義
- 社会・経済上の意義
- 国際関係上の意義
- 計画の妥当性
- 成果、運営、達成度等

■ **科学技術上の意義**  
(目的・意義・効果)

# アルマ計画への学術的評価 (1)

## 2001年以前:

日本学術会議(1994)、国際外部評価(1996、1997)

文部省学術審議会(2000): ミリ波サブミリ波計画推進を答申 (参考資料4)

## ■文部科学省 科学技術・学術審議会: 2002年

学術分科会の基本問題特別委員会・天文学研究ワーキング・グループで評価  
(2002年4月～12月)、翌年1月15日の学術分科会で了承(参考資料1)。

### 評価結果の要点

- ▶日本が相応の規模でアルマ計画に参加することは、国際的に日本の学術的及び文化的側面からのプレゼンスを高める重要かつ絶好の機会になり、「国民の夢」及び「国民としての誇り」を実現するものであり、その実現に向けて最大限の努力をすること。
- ▶観測にあたっての適切な対等性を担保することが重要であり、早期の正式参加の決定を実現すること。
- ▶観測所運営の適切な対等性が確保でき、および日本の持つ科学的・技術的実力が存分に発揮できプロジェクトの遂行に十分な貢献ができる適切な規模をもって参加すること。

## アルマ計画への学術的評価 (2)

日本学術会議 学術体制常置委員会 大型科学計画分科会  
「ALMA計画に関する検討会議」(2002年12月11日)

### 出席者：

<u>日本学術会議学術体制常置委員会</u>	<u>委員長</u>	<u>増本 健</u>
<u>同 大型科学計画分科会</u>	<u>主査</u>	<u>佐藤文隆(座長)</u>
<u>同</u>	<u>副主査</u>	<u>小林敏雄</u>
<u>同</u>	<u>委員</u>	<u>井上和子、矢崎義雄</u>
<u>学術体制常置委員会</u>	<u>委員</u>	<u>小林俊一、柴田徳思、谷口 旭</u>

評価の試行のため、報告はなし。公開議事録(参考資料3)の代表的意見：  
 野辺山での実績もふまえこの分野で国際的にリードしていることがわかった。こういう長年かけて積み上げてきた計画はぜひ実現してほしい。そしてこのようなすぐれた基礎研究の大型計画を、学術会議のような組織がきちんと評価していくようになるべきである。この検討会はその試みだ。(柴田委員)

# アルマの技術的波及効果

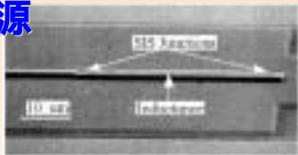
## 超高精度アンテナ

- 高精度自動制御
- 超軽量・超硬度



## 超高感度受信機

- 超微細・超伝導素子
- サブミリ波光源



## 超高速信号処理装置

- 大規模専用コンピュータ
- 超広帯域通信



技術移転  
応用

## 波及効果

- 宇宙航空産業



- LSI・精密光学部品等の超微細加工



- X線に代わる身体に優しい診断装置



- 超ブロードバンド通信



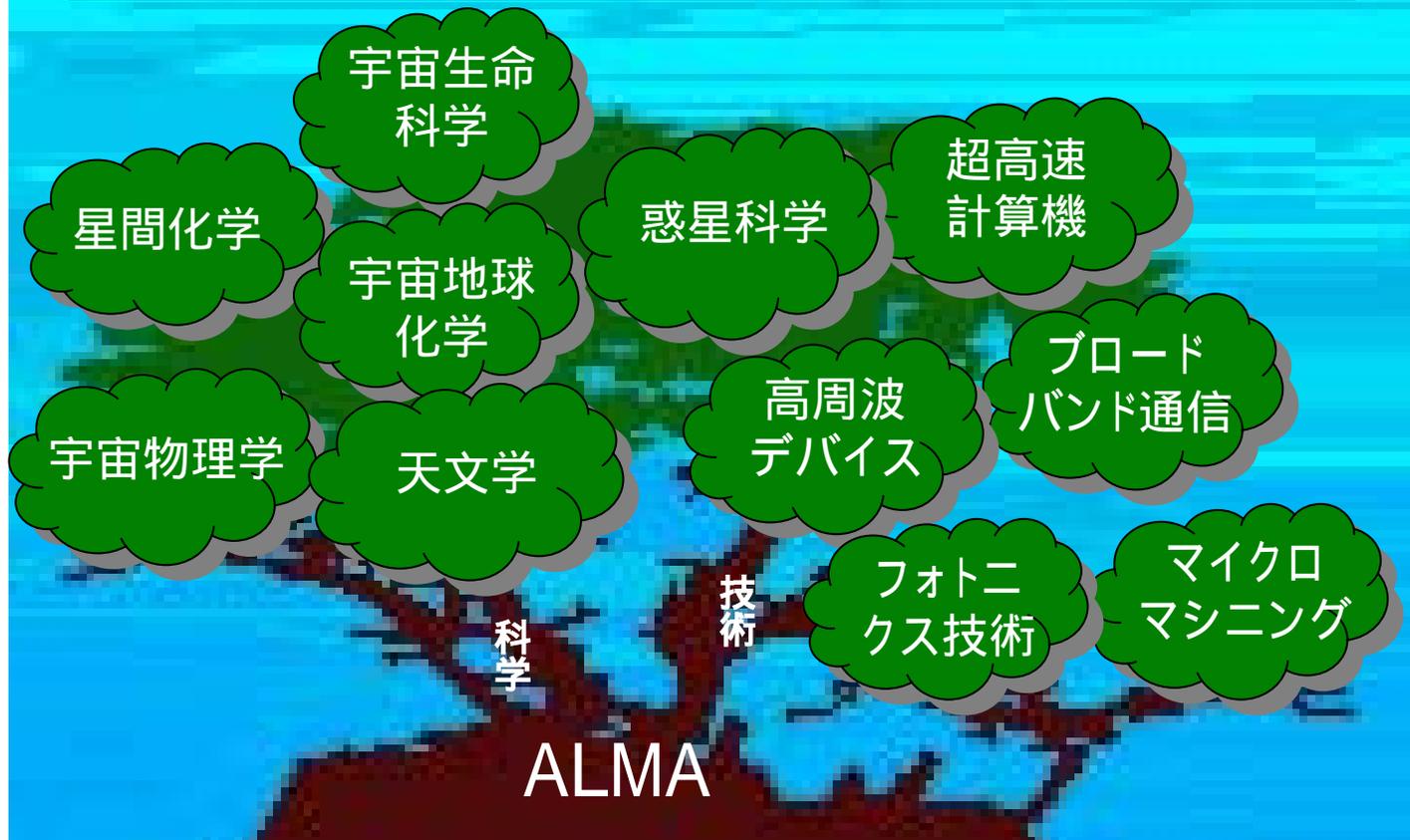
- ウルトラスーパーコンピュータ



# 科学技術・学術研究とアルマ

電波天文学は、これまで**多くの学問分野**や**社会**に大きな影響。  
 アルマは、惑星科学、化学、物理学など**広く基礎科学**や**先端技術**に寄与。  
 惑星形成、宇宙物質の進化、生命材料物質の探査などの観測を通じ、宇宙における生命の起源にも迫り、**人類の事項認識にインパクト**をもたらす。

アルマは、21世紀の基礎科学を牽引する計画の1つ



# 大学等との共同開発体制

## アルマ共同開発研究の採択例

### 共同開発研究課題を公募

- 基礎技術開発の推進に電波天文学コミュニティの力を結集
- 工学分野からも専門を活かして計画に参加
- 計画の推進を通じた教育・人材育成

分野	代表者	所属	課題名	
受信機	鶴澤 佳徳	通信総合研究所	窒化ニオブを用いたテラヘルツ帯高感度SIS受信機の開発	平成11-14年度
	松永真由美	愛媛大学	サブミリ波干渉計受信機における受信アンテナおよび導波路の開発	平成12-14年度
	米倉 覚則	大阪府立大学	ALMAミリ波帯超伝導受信機の開発	平成14年度
	坪井 昌人	茨城大学	Band 1 HEMTアンプの基礎開発	平成14年度
	小川 英夫	大阪府立大学	ALMAバンド3超伝導受信機の開発	平成13年度
	水野 範和	名古屋大学	ALMA用4Kデューワーにおける熱スイッチの開発	平成13年度
	佐藤 広海	理化学研究所	超伝導トンネル接合素子を用いたサブミリ波帯検出器の開発	平成13年度
	水野 亮	名古屋大学	ミリ波サブミリ波帯における超伝導ミキサの性能向上に関する研究	平成11-12年度
	諸橋 信一	山口大学	ジョセフソン接合による2次元量子型検出器の研究	平成10-12年度
	坪井 昌人	茨城大学	超伝導ミリ波ミキサマウントの小型化単純化	平成11年度
	水野 亮	名古屋大学	ミリ波サブミリ波におけるSSB・SISミキサの開発	平成11年度
	関本裕太郎	東京大学	サブミリ波(492GHz)受信機の開発と天体観測による性能評価	平成10年度
	小川 英夫	名古屋大学	短ミリ波ハーモニクミキサの開発	平成7-9年度
	山本 智	東京大学	サイト調査用492GHzラジオメータの開発	平成9年度
坪井 昌人	茨城大学	ミリ波偏波器の開発	平成7-8年度	
フォトニクス	武者 満	電気通信大学	Photonic LO用光源の開発	平成13年度
	松浦 周二	宇宙科学研究所	周波数可変サブミリ波光源の開発	平成12年度
冷凍機	安藤 浩哉	豊田工専	電波天文学に適したGM型冷凍機の実用化に関する研究	平成11年度
微細加工	水野 亮	名古屋大学	小型の専用高精度NCフライスを用いたミリ波・サブミリ波ミキサの開発	平成14年度
	水野 範和	名古屋大学	NC旋盤を用いたサブミリ波用高精度ワイヤグリッドの製作	平成12年度
電波観測法	河野孝太郎	東京大学	高精度水蒸気ラジオメーターによるAnomalous refractionの補正	平成13年度
	木内 等	通信総合研究所	Wavefront clock方式のミリ波干渉計への応用	平成10-12年度
制御	佐々木 実	岐阜大学	外乱に強い高速高精度アンテナ制御技術の開発	平成14年度
地盤工学	八嶋 厚	岐阜大学	過酷な気象条件下におけるALMAサイト基礎岩盤の長期強度変形特性について	平成13年度
防雷	渡邊 貞司	岐阜大学	ALMAアンテナ群防雷対策のための落雷様相調査	平成13-14年度

# 大学院教育等への貢献

すばるの効果:

天文台の大学院生・ポスドクは急速増大

優れた科学・技術者の養成

先端装置の開発・製作への興味  
(国際的に高い評価)

最新鋭装置の共同利用  
(院生、若手の育成)

関連企業の人材育成のトリガ

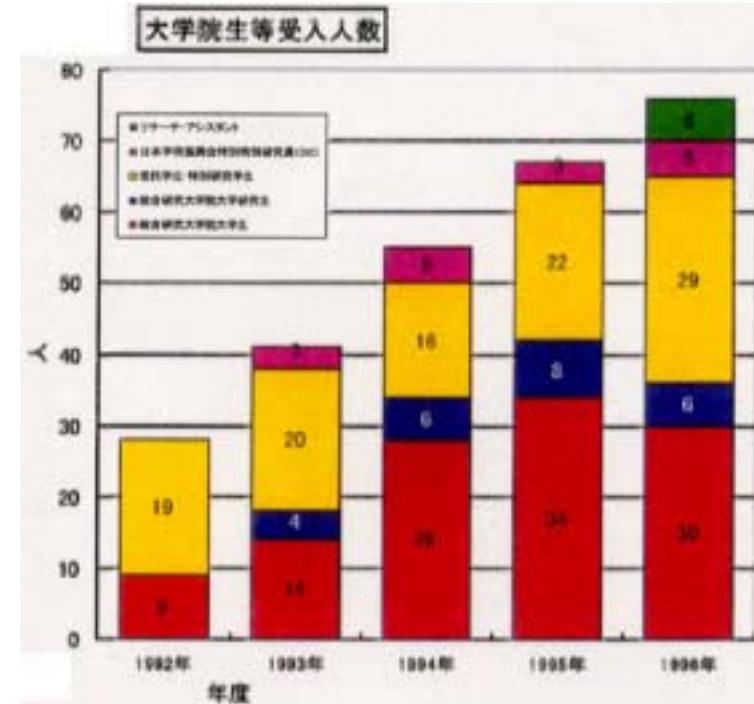
関連分野への波及

企業、公共天文台、教育機関への人材供給

国際プロジェクトを通じた人材育成

大型・国際プロジェクトの経験、国際的視野の獲得

国際共同による海外の人材育成(主にアジア)



国立天文台での大学院生等の受入人数

- **社会・経済上の意義**  
(目的・意義・効果)

# 経済的波及効果の専門家調査

「ALMA計画の社会経済効果の評価」

平成14年9月 (株)野村総合研究所

(参考資料2)

- アルマ建設事業の日本経済にもたらす経済波及効果は**投資額の2.1倍**と推計され、産業間の取引を通じて様々な生産を誘発していく効果がある。
- **電子・通信機器産業**やそれに伴う研究機関、企業内での研究において**効果が大きい**と思われる。
- 生産誘発に伴う**雇用者数・雇用所得の増加**が見込まれる。
- サイエンス誌、天文関連雑誌等の出版及び天体観測機器関連の産業の躍進が期待できる。

# 科学教育への波及効果

## 最先端の優れた科学教材、資料の提供

- 刺激的な天文画像データ、研究成果 → 宇宙への関心
- 最新鋭の観測装置、観測方法 → もの作りへの関心
- 「4次元デジタル宇宙」計画 → 科学と世界への関心

→ { 理科離れからの回帰  
科学を目指す青少年の育成

## 科学の教育現場との協力

建設や観測現場からのインターネット/テレビ授業(すばるで毎月実施中)

時差や電波の特質(全日観測)を活かし教室で観測体験(すばるでも実施)

研究者による出前授業、科学講演など直接協力の多様な推進(多数実施)

4次元宇宙プログラムの無料配信、公開、普及(多数実施)

# 社会への科学の普及・還元

## すばる望遠鏡の広報・教育活動：

NHKとの共同番組制作(年間10時間以上)、ニュースなど多数  
 火星データの「お茶の間生中継」などで天文現象への関心が急増  
 火星データを全国70高校へ配信、解析など教育指導  
 ホームページの画像利用急増、等

## 野辺山電波観測所の見学者：230万人

年間 8万人～15万人/ 1982-2002

## アルマの支援署名：45000人/(6ヶ月)

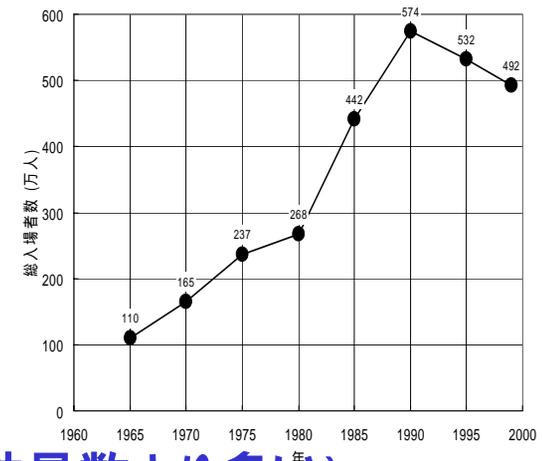
## 科学雑誌、公共天文施設、新聞の影響

プラネタリウムの入場者数(右上:Jリーグ観客動員数より多い)

天文・科学雑誌の発行部数、分野別出現頻度(別表)

放送大学の講義「宇宙の進化」：聴講者数は科学分野でトップ

## 「科学のショーウィンドウ」としての役割



## 科学雑誌「NEWTON」の分野別出現頻度に見る天文学の影響

区 分	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	合 計
天文学	19	18	28	26	15	19	13	13	28	19	198
惑星科学	12	17	16	16	10	17	13	9	10	7	127
地球科学	12	11	16	9	15	17	10	14	10	8	122
環境問題	7	26	34	5	3	8	6	8	11	11	119
物理学*	18	11	18	7	6	11	4	11	16	10	112
化学	2	2	0	0	0	0	0	0	2	1	7
数学	0	3	0	0	2	2	1	1	4	0	13
地理・紀行	17	22	14	17	18	19	18	16	10	15	166
生物・自然	17	29	32	24	20	14	11	16	16	21	200
化石・古生物	5	8	9	12	6	6	15	7	6	1	75
生命科学・バイオテクノロジー	10	10	14	8	7	5	4	8	14	17	97
医学・健康	17	18	7	9	11	16	14	14	17	10	133
宇宙開発	7	14	10	13	21	15	16	10	13	4	123
コンピュータ・テクノロジー	11	11	12	12	17	14	12	5	18	14	126
建築	0	0	0	0	3	1	2	0	0	0	6
考古学・歴史・人類学	5	7	9	11	14	13	14	20	14	5	112
施設・組織	3	3	8	2	7	13	5	3	5	12	61
科学史	11	12	12	12	11	13	12	8	6	11	108
星空	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	119

分類はNewton編集部による。重複あり。

\*：「物理学」の約半数は宇宙論・相対論など宇宙物理学関係。

# ALMA計画の推進署名45000名

## 期待の声 (主なもの)

- 今と次の若い世代の人々が 生きる力を身に付け 生きる喜びを どのような時にも 感じる事ができるよう、**壮大なプロジェクトで彼らに感動と刺激を与えて戴きたい**と思うのです。
- **国際協力のもと、遠い将来の世代にも役立つような知的プロジェクト**でないと、次世代に飛翔する感動と刺激を与える事ができないと思います。
- 学生の理系離れが叫ばれてどの位たつでしょう。子供にすら時間が無い現在、**ヴィジュアルで未知なる物への好奇心を掻き立てる天文映像は格好の材料ではないでしょうか。**
- **すばるで世界最高の光学望遠鏡を完成させ、まさしく日本の科学を世に知らしめました。このような国家威信は先進国として必要不可欠なもの**と思います。

## ■ 国際関係上の意義

(国際社会における貢献、役割分担、外交政策との整合性、国益上の意義・効果)

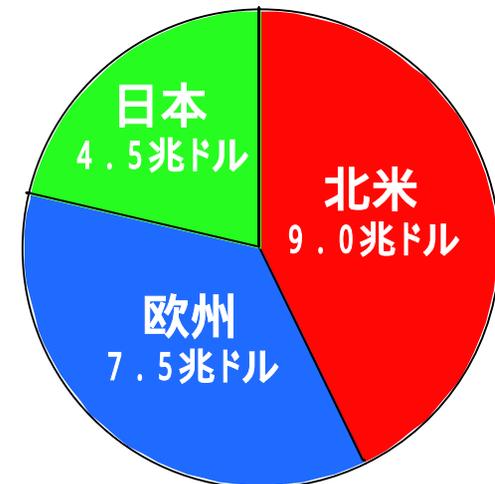
# 国際的な寄与とバランス

日本は得意分野のミリ波サブミリ波(アルマ)への集中投資により日本と世界の天文学に寄与、効果的に貢献。  
アルマプロジェクトの負担率は日本の経済ともよくバランス。

## プロジェクト経費

北米	459 億円 (39%)
欧州 (ESO)	459 億円 (39%)
日本	256 億円 (22%)

## 国内総生産



総務省統計局編集「世界の統計  
(2001年版)」に基づいて1995年から  
1999年の値を平均

# アジア・近隣諸国との連携(1)

## 基本方針

めざましく天文学を推進している東アジア諸国、アルマの地元チリ、および電波天文先進国オーストラリアと連携し、長期的にアルマでの協力を強化

## これまでの経過と現状

### 中国、台湾、韓国との協力：

中国国家天文台と、天文学とアルマで協力協定を締結(2002)

台湾天文学研究所と、協力協定を締結予定

韓国国立天文台と、アルマでの協力を協議中

### そのほか：

オーストラリア国立電波天文台と、ミリ波・サブミリ波での観測  
協力に合意。アルマの受信機、相関器の開発協力も検討。

チリ大学と、ミリ波サブミリ波での研究協力を推進中。

# アジア・近隣諸国との連携(2)

## 東アジアでの具体的な協力の進め方

### 開発段階

・協定に基づき、科学・技術両面での**人的協力**、**技術協力**を推進。

### 建設・運用期

協定に基づき、技術提携と人的協力(研究者、技術者、大学院生の交流、交換、派遣)の計画協議を進める。

### 運用開始後

新たな協定で、科学面、技術面のみならず**運用面での協力**の可能性も探る。

## チリとの密接な協力関係

チリ大学などを中心に、天文学観測、サブミリ波技術、通信技術などで、極めて緊密な協力関係を築いている。

# 日本参加の意義・効果

日本が米欧とともに立案した「世界望遠鏡」であるアルマにより、銀河や星・惑星誕生の解明、宇宙における生命の起源に迫るなど、**人類の知的最先端に挑戦し、日本のプレゼンスと発言力を高める。**

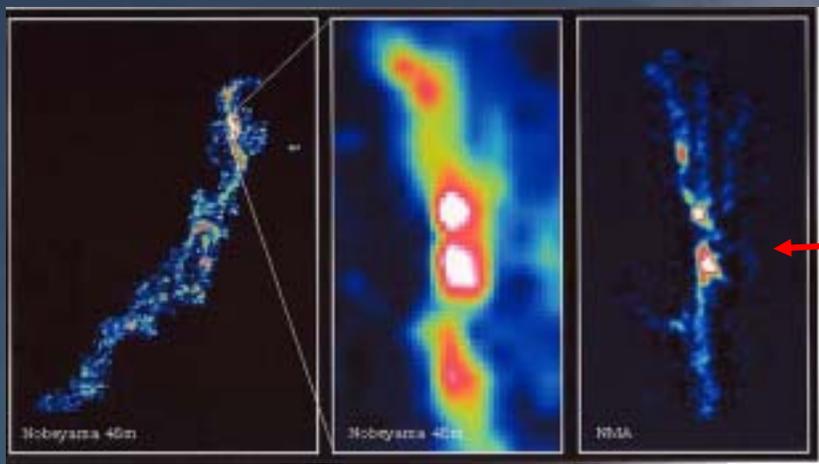
日本がリードしてきた惑星形成研究や電波天文学の蓄積を活かし、科学における画期的な**グローバルプロジェクトに主体的に参加**することにより、日本の知的・科学的・技術的基盤を強化。

日本が投資に見合う十分な成果を獲得するためには、**「2004年からの参加」**が戦略的に極めて重要。

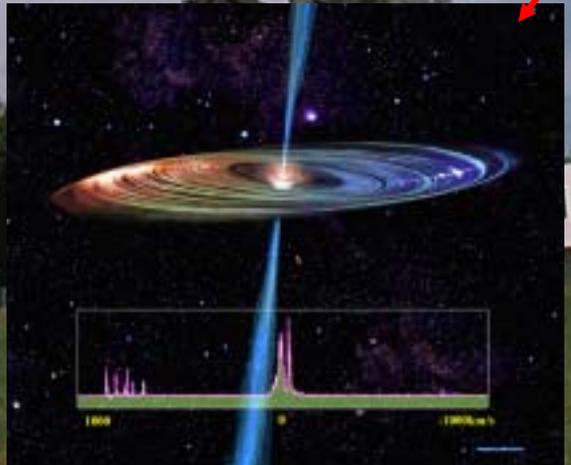
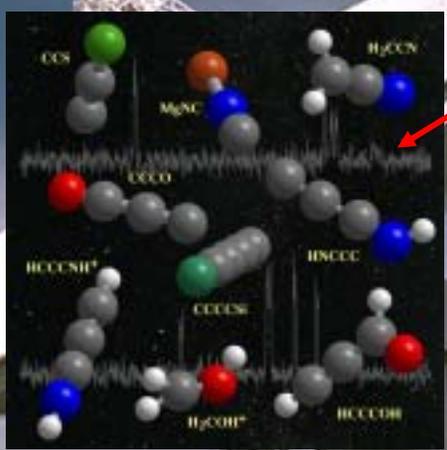
## ■ 計画の妥当性

(目標・期間・資金・体制・人材や  
安全・環境・文化・倫理面など  
からの妥当性)

# 野辺山宇宙電波観測所 (1982~) ミリ波天文学の開拓



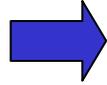
- 宇宙の雲からの星形成
- 宇宙における有機物質の発見
- 原始惑星系円盤の発見
- 巨大ブラックホールの初検証
- 宇宙初期の爆発的な星形成
- など



# アルマとすばるの連携

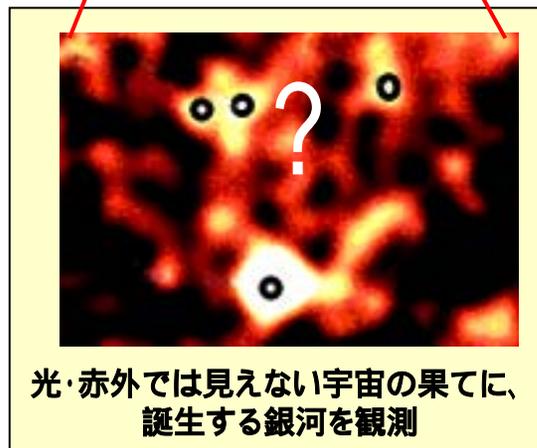
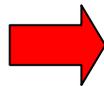
## すばる望遠鏡(可視光・赤外線)

微かな銀河や星を観測、太陽系外の惑星の発見にも挑戦。



## アルマ (ミリ波・サブミリ波)

光赤外線では見えない、銀河・星・惑星の材料物質を観測。



アルマは、すばる望遠鏡とも連携し、宇宙の歴史に物質・地球・生命を位置づける。

# 天文衛星との役割分担

## 地上望遠鏡（主として国立天文台が推進）

大気を透過してくる電磁波を観測

可視光、近赤外線 : すばる望遠鏡 など

電波（マイクロ波、ミリ波サブミリ波） : 野辺山ミリ波望遠鏡、  
アルマ など

大規模に展開する観測装置（大口径・大型干渉計など）

## スペースからの観測（主として宇宙科学研究所が推進）

大気を透過してこない電磁波を観測

X線、ガンマ線 : あすか、Astro-E2 など

長波長の赤外線 : Astro-F など

大気の揺らぎを避けたい観測装置 : HST など

# 天文衛星計画との協力・補完の例

## 赤外線天文衛星

**ASTRO-F:** 宇宙科学研究所、2004年打ち上げ予定

ASTRO-F: 赤外線で、宇宙全天にわたり広域探査

アルマ: 個別の天体やその形成現場を、電波で詳しく分析

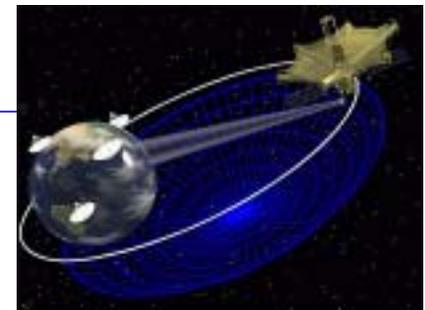
従って両者は、天体形成・進化の研究で極めて相補的な役割



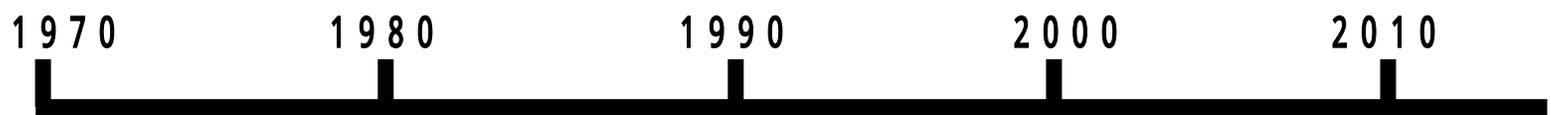
## 電波天文衛星

**はるか(VSOP):** 1997年打ち上げ、宇宙研 + 国立天文台

長波長の電波観測で、高エネルギーの活動銀河を主に観測



# 国立天文台の対応計画:スクラップ&ビルド



**45m電波望遠鏡**  
 (運用体制合理化)  
 建設                      運用



**10mミリ波干渉計**  
 (運用合理化) ↓ 終了  
 (2006年)  
 建設                      運用

電波天文学分野



**電波ヘリオグラフ**  
 (運用合理化) ↓ 終了  
 (2008年)  
 建設                      運用

国立天文台のその他の分野

計算機システム・各観測所運営経費等合理化

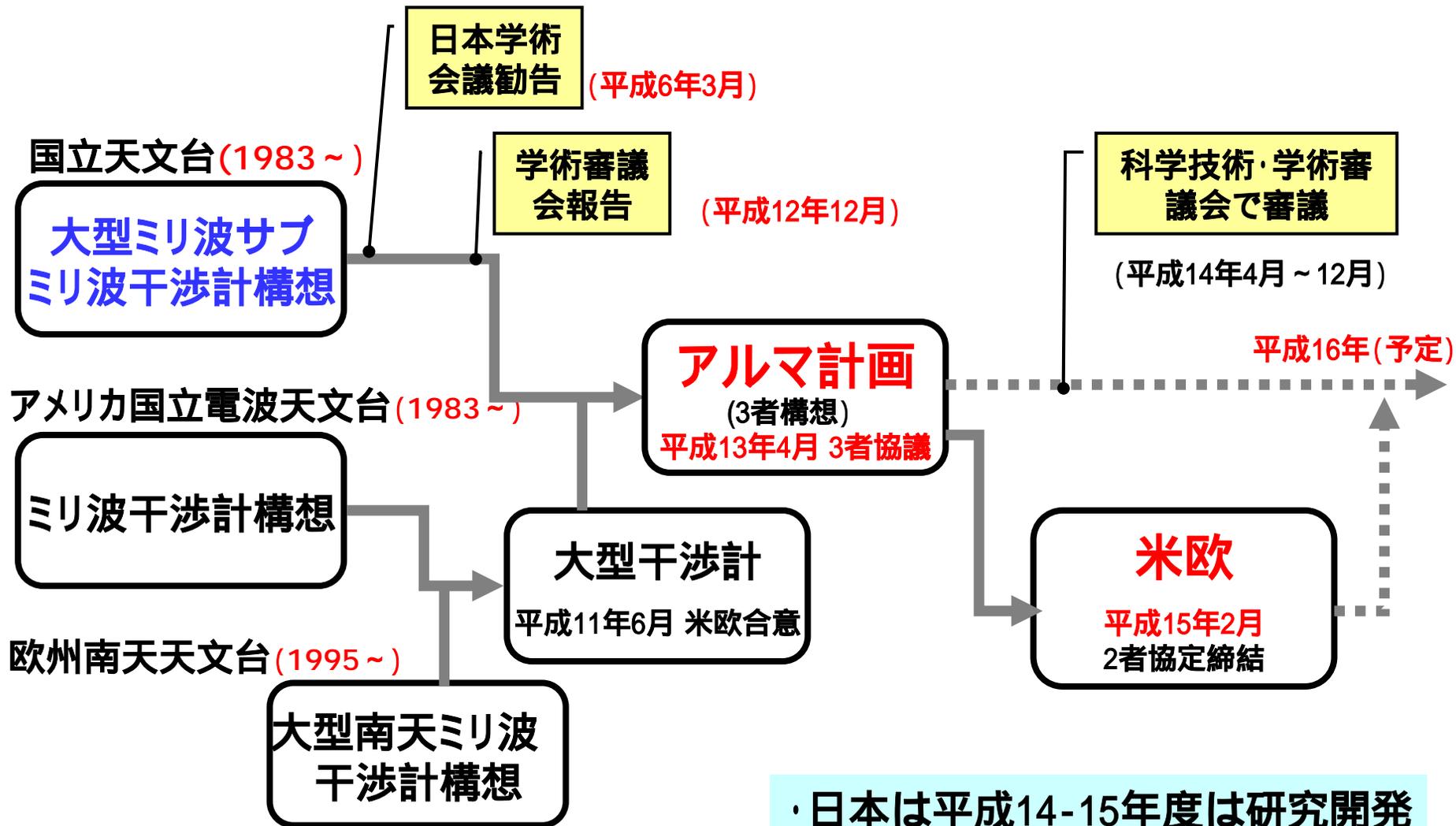
アルマ



建設(2004-2011)  
 部分運用 (2007-)    本格運用 (2011-)

建設費256億円のうち  
 96億円を運営費交付金から  
 完成後の運用経費も  
 運営費交付金の枠内で

# 国際協力・協議の経緯



## 計画の緊急性

米欧は、**2002年度**より建設を推進中である。日本が米欧と整合性を保ちつつ建設で主体的役割を果たし、これまでの投資と蓄積を生かして運用・観測に関わってゆくためには、**2004年度からの建設参加**が欠かせない状況である。

**アルマ**は**2007年度**より、部分運用（**完成部分による初期観測**）を開始する。初期の科学成果は非常に大きいと期待され、日本は**2004年度からの建設参加**により、十分なプレゼンスをもってこれに対応しなければならない。

## ■ 成果、運営、達成度

(投入資源に対する成果、運営の効率性、および目標の達成度等。評価結果の反映どの確認等。

## ■ 開発研究の成果

- 超高精度アンテナ： 12mプロトタイプ性能試験中
- 高感度受信機： サブミリ波で観測による技術実証
- 高性能分光相関器： 所期の性能を観測で技術実証

## ■ 運営の効率性

- 広帯域データ通信等で国内から観測
- 先端技術開発・高速データ解析等の分野横断的推進、データの早期公開など効果的な研究開発の体制
- 法人化に伴い、16年度から研究推進体制と人事制度を大幅に革新(プロジェクトの強化と効率的運営)