

総合科学技術会議 評価専門調査会
「アルマ計画」評価検討会（第1回）議事概要（案）

日 時：平成15年9月17日（水）9：02～11：04
場 所：中央合同庁舎4号館 743会議室（7階）

出席者：畚野座長、大山議員、江崎委員、増本委員、小平委員、佐藤委員、
知野委員、松本委員、満田委員

- 議 事：1．開 会
2．調査・検討の進め方について
3．研究開発概要の説明と質疑応答
4．議 論
5．閉 会

（配布資料）

- 資料1 - 1 調査・検討の進め方について
資料1 - 2 評価検討会運営要領（案）
資料2 「アルマ計画」評価検討会資料

（机上資料）

- 国の研究開発評価に関する大綱的指針（平成13年11月28日）
科学技術基本計画（平成13年3月30日）

ヒアリング説明者：

（文部科学省）

文部科学省研究開発局宇宙政策課長 関 裕行
国立天文台台長 海部 宣男
同台教授 石黒 正人

議事概要：

（座長）それでは定刻がまいりましたので、ただいまから総合科学技術会議評価専門調査会「アルマ計画」評価検討会（第1回）を開催いたします。

まず、この評価検討会の設立の経緯でございますが、総合科学技術会議は、内閣府設置法に基づきまして、科学技術に関する大規模な研究開発、その他の

国家的に重要な研究開発につきまして評価を実施することになっております。これを受けまして、総合科学技術会議では、本年3月28日の本会議におきまして、新たに実施が予定されております大規模な研究開発で国費総額が約300億円以上の研究開発につきましては、総合科学技術会議みずからが評価を行うということを決意いたしております。

本日、この評価検討会は、その大規模な研究開発に該当します文部科学省の研究開発課題「アルマ計画」の評価のために必要な調査・検討を行うために設定されたものでございまして、皆様方にそのメンバーをお引き受けいただいたものでございます。大変急なお願いにもかかわらず、お引き受けいただきましてありがとうございます。厚く御礼申し上げます。

それでは、本日初めての評価検討会でございますので、簡単にメンバーを事務局から紹介させていただきます。

(事務局) それでは、メンバーのご紹介をいたしたいと思っております。

それで、お手元の資料の2枚目にメンバー表がございます。これに沿って私の方からご紹介させていただきます。

まず、上から、総合科学技術会議の議員でいらっしゃいます大山議員です。それから総合科学技術会議評価専門調査会の専門委員でいらっしゃいます江崎委員、同じく評価専門調査会専門委員でいらっしゃいます、本日座長をお願いしております畚野委員でございます。

それからその次は、同じく評価専門調査会専門委員の増本委員、今日はちょっと都合でおくれられておりますので、もうしばらくでお着きになると思っております。

それから、国立木更津工業高等専門学校教授であります小平先生でございます。

それから、東京大学大学院理学系研究科教授の佐藤先生でございます。

それから、読売新聞編集局解説部次長の知野先生でございます。

それから、アニメーション作家で日本宇宙少年団理事長でもいらっしゃいます松本先生ですが、ちょっとおくれられております。

それから、最後になりますが、宇宙科学研究所宇宙圏研究系教授の満田先生でございます。

以上でございます。

(座長) それでは、この検討会の進め方などにつきまして、事務局から説明させていただきます。

(事務局) それでは、私の方から進め方につきまして、簡単にご紹介いたします。お手元の資料の3枚めくっていただきますと、資料1-1というのがございます。これに沿ってご説明を申し上げます。既に資料等をお送りしております。

すので、大体のことはご承知かと思いますが、評価対象といたしまして、この評価検討会におきましては、アルマ計画というものを取り上げるということです。大規模な新規の研究開発の用件は総額300億円以上の研究開発ということで、アルマ計画は平成16年度の概算要求額は11億円でありますけれども、全体計画が建設費が256億、それと運用費がかかりますので、300億を超えていくということで対象にしています。

後ほどご説明がありますけれども、国際共同プロジェクトでありますし、それから天文学の中で大きな位置づけをもつプロジェクトであるということもございます。そのような点にも留意しながら必要性、効率性、有効性等を検討していくということでもあります。

その具体的なブレイクダウンが2.のところに書いてございまして、これはすべての評価、総合科学技術会議が行う評価の標準形でございますけれども、1つ目に科学技術上の意義、2つ目に社会経済上の意義、3つ目に国際関係上の意義、このあたりが必要性に該当するものであろうかと思えます。

それから、効率性、有効性の関係で、計画の妥当性、それからめくっていただきまして、成果、運営、達成度等ということで、ただこのEのところにつきましては、今回は事前評価の位置づけでございますので、目標の達成度といったものは該当しないかと思いますが、以上のような点に着目をして評価の検討をしていただくということでございます。

それから3.のところにスケジュールがございまして、去る9月11日にこの会の親会であります評価専門調査会が行われまして、この評価検討会をつくるということが決定され、同時に座長には畚野委員がなっていただくということになっております。

本日9月17日の第1回の評価検討会ということで、これから担当であります文部科学省のサイドからこの計画の概要等についてのヒアリングを行います。その後、質疑応答をしていただきまして、それで約1時間、その後、残りの約1時間を使いまして、文部科学省が退席をした後、この評価検討会の内部での議論という大まかな計画にしております。

それから、第2回目が10月1日から8日と資料にあります。皆さんのご予定を調整をさせていただきます。10月6日に第2回の評価検討会を行うということにいたしたいと思っております。

第2回では、追加のヒアリング、これは本日のヒアリングを経て、質問事項等、さらに質問をしたいというような事項がありましたら、それも含めて第2回目のヒアリングをしていくということでありまして、第2回目で論点整理がされていくということになるかと思えます。

その結果を踏まえまして、再度評価コメントを出していただきまして、事務

局あるいは有識者議員等によりまして中間報告の原案をつくってまいります。

10月15日に次回の評価専門調査会を予定しておりますので、そこで中間報告案を検討した後、1回、総合科学技術会議本会議に中間報告をいたしまして、最終的には12月に決定をしていくということです。この間、もし必要があれば第3回目の評価検討会を行うということもあるかと思いますが、昨年3課題評価を行いましたけれども、その中では第3回を行ったものはございませんで、大体第2回目でまとまってきたという経緯がございます。

それから、資料1-2をごらんいただきたいと思います。これは本評価検討会の運営要領案でございます。本年はこの評価検討会以外に4つございまして、全部で5つの評価検討会が動きます。それぞれにつきまして同じものを使うということで考えてございます。ごく標準的なものでございまして、座長を置くといったこと、あるいは欠席の場合、代理出席はできない、欠席の場合書面による意見の提出ができる。議事は過半数で決めるということ。それから公表につきましては、座長が認めるときは非公開とすることができるということ。それから、会議資料、議事録は原則として公表すること。ただし、適当な場合には非公開とすることができるといったことが定めてございます。

ご説明は以上でございます。

(座長) どうもありがとうございました。

本検討会の使命とスケジュール等の説明でございますが、何かご質問ございますか。

それでは、評価検討会の運営要領に関しまして、私から本検討会の運営につきまして提案をさせていただきたいと思います。

まず、会合は非公開にさせていただくということで、主に理由としましては、評価される方の自由な発言を確保するためということです。それから傍聴も総合科学技術会議の事務局に限る。それから、府省より説明を求めますときは必要な部分のみ出席していただきまして、メインテーブルにつく、この際、若干の説明補助の随行は認める。資料は会合終了後に公表いたします。ただし、公表に適さない部分は理由を明確にした上で非公表とする。議事録は発言者の校正後に発言者名を伏しまして公表する。校正における修正は最小限にとどめたいと思います。特段の理由のない限り実際の発言に沿ったものをお願いしたいと思います。

このような内容でよろしゅうございましょうか。

それでは、これから文部科学省からアルマ計画の概要を説明していただきます。

(ヒアリング説明者 入室)

(座長) 本日はお忙しい中を本評価検討会にご対応いただきましてありがとう

ございました。既にご案内のように、新たに実施が予定されております大規模な研究開発につきましては、総合科学技術会議が評価を行うこととなっております。今回、アルマ計画がこれに該当するということで、本評価検討会で検討を行って評価を実施することにしております。本日は、まず、研究開発の概要をご説明いただきまして、その後、質疑応答をさせていただきます。

それでは、ご説明をお願いいたします。

文部科学省から約30分をお願いします。

(文部科学省)文部科学省宇宙政策課長、関でございます。よろしくお願いいたします。

冒頭、私の方から若干申し上げさせていただきます。後、実質的な説明は国立天文台の海部台長の方からさせていただきたいと思っております。

私の申し上げたいことでございますけれども、幾つかご留意いただきたい点ということで冒頭申し上げさせていただきたいと思っております。

1点目は分野といいますか、実施主体の問題でございますけれども、大学共同利用機関である国立天文台の事業であるということでございます。来年度以降は、自然科学研究機構ということになるわけでございますけれども、いずれにいたしましても、大学共同利用機関法人ということでございます。したがって、国立大学法人法にもかかれておりますように、いわばその特性、学術研究といいますか、教育研究の特性に十分配慮しなければならないということが法律にうたわれておるわけでございますので、ぜひそういう点にご留意をいただきたいということでございます。そういうこともありまして、本日の説明は実質的に国立天文台の方からさせていただきたいと思っておるわけでございます。

それから2点目は、このプロジェクトが国際協力プロジェクトであるということでございます。日米欧の3極のプロジェクトであるわけでございますけれども、既に米欧の2者で協定を結びまして走っておるわけでございますけれども、従来の経緯からいたしまして、日本の参加というのが当然に期待されているわけでございます。これは極論すれば、日本が参加しませんとこのアルマ計画というのは完全なものにはならないのではないかということございまして、そういう国際協力の中で動いているということにご留意をいただきたいわけでございます。

それから3点目に申し上げたいのは、いわば意義といいますか、学術的な意義ということでございますけれども、これにつきましては、ご説明をさせていただきますように非常に大きいものがあると思っておるわけでございます。かつ、それは日本の天文学にとってみましても、従来からこの分野は世界をリードしてきた部分でございますので、まさにそういった観点からも非常に重要な

事業であろうというふうに考えておるわけでございまして、そういった点につきましては科学技術・学術審議会における評価を初めといたしまして、いろいろな観点でチェックをしてきているというふうに考えておるわけでございます。

ということでございまして、こういったことから、お決めいただきました評価の実施方法書の中にも書かれておったかと思うわけでございますけれども、ぜひ改めまして、ご留意をいただきたいということで、申し上げさせていただいたところでございます。

それでは、以下の説明は天文台の海部台長の方からさせていただきたいと思っております。

(文部科学省) 国立天文台の台長、海部でございます。今日はお忙しいところ、ありがとうございます。

時間がありませんので、早速始めさせていただきたいと思っておりますけれども、お手元に資料がございます。大分分厚いですが、30分で話しきれませんので、私としてはその中から、飛ばし飛ばしでこちらでお話をいたします。

まず、アルマ計画、今、関課長の方からお話しいただきましたが、日本としては、もう20年来計画を進めてきたものでございます。アメリカ、ヨーロッパと共同でこの世界望遠鏡をつくるという非常に大きな夢に向けて、実は2年前に米欧と一緒にスタートをしたかったわけでございますが、日本の経済的な状況もあり、2年間はいわば仮でということでやってまいりました。今日の内容ですが、ほぼこういって、最初に、この5つの項目でアルマの全体状況をお話しいたします。最後に、この評価の評価事項に関連する部分でもう少しという部分をご説明するつもりであります。

右上に番号が書いてございます。これが皆様のお手元の資料のページですので、飛ばした場合にはそれをご参照いただきたいと思います。

では、早速ですが、最初にイントロダクションとして、天文学というものの現状と国立天文台についてごく簡単にお話しをさせていただきます。

まず、天文学の目的ですが、これは先生方に申すまでもありませんが、宇宙というものの構造、運動、歴史、これを我々は「遠くへ」「過去へ」と遡る、そのことによって何を理解したいかといえ、これは私たちがどういう世界にいるのか、どういう存在であり、どこへ行くのか、これは天文学だけではございませんで、いわば基礎科学の全体にかかわる目標と言えるものですが、天文学の場合特にそれを「遠くへ」「過去へ」という大きな特徴がございます。そのためにどうしても観測、遠くを見る望遠鏡が必要であるということは十分ご承知のことだと思っております。

若干、現在の天文学の現状を大変乱暴なんですけれどもレビューをさせていただきます。現状は、ビッグバンというものの存在を我々は知っております。そこで、

軽元素が合成されたこともわかっていると、そこから原始銀河が生まれ、さまざまな天体、銀河が生まれたことが理解されております。その中で、星の活動により重元素が合成され、進化が始まっていくと、さらにその中から、今度は暗黒星雲が生まれ、その中で固体を中心とした惑星系が生まれてくるということが理解されました。そういう固体が含んだ宇宙の物質の中では、実は有機化合物を含むさまざまな生命材料分子が合成されているということが理解されている。これは野辺山を初めとしますミリ波天文学、赤外線天文学の成果でございます。

さらに最近、生まれかけの星をとりまく原始惑星系円盤というものがあり、その中でさまざまな物質が生まれている、特にホットニュースは、太陽系以外の惑星系が今やたくさん見つかりつつあります。毎年どんどん見つかりまして、現在、太陽系以外の惑星が既に100個以上数えております。これは21世紀の天文学の非常に大きな分野として新しいものを開くと考えております。

当然ながら、それに付随して、そういう惑星系あるいは地球に近い惑星を発見し、その上で生命を見つけていきたいというのが1つの大きな流れになりつつあるということ、これはぜひ申し上げておきたい。

我々の野辺山での成果は、そういうものの基礎を開いてきたものですが、アルマはその学問的なブレークスルーを開きたいというふうに考えております。

さて、このように非常に多岐にわたる天文学の対象でございますが、それを観測するには当然ながらたくさんの観測機器が必要であります。可視光からいろいろありまして、これは国立天文台の長い歴史の間につくってまいりました装置でございます。この中でも、やはり何といたっても可視光、赤外線ですね、すばるに代表されます。それと、野辺山に代表されます電波天文学、電波望遠鏡というものが天文学の観測を支える2つの支柱である。もちろんスペースからの観測としては宇宙科学研究所の衛星など新しいものをどんどん取り上げておりますが、地上からは、大型装置を展開できるこの2つの装置が最も重要な柱になります。

この2つの大きな流れですね。地上望遠鏡の流れというものについて、ごく簡単にお話ししますと、まず、1960年に国立天文台の前身である東京大学東京天文台が岡山に1.88メートルの望遠鏡をつくりました。これは当時は世界第6位と言われましたが、現在では世界何位かわからないところまできておりますけれども、日本の初期の天体物理学を開拓しました。

その上に立って、国立天文台への改組を経てすばる望遠鏡が完成して、いろいろな成果を上げているのはご存じのとおりです。

一方、電波天文学は、1982年に野辺山に宇宙電波望遠鏡が完成しまして、

波長の短い、ミリ波に特化して、非常に大きな成果を上げてまいりました。その上に立って、アルマが計画され、実現を目指しているものですが、右上に書きましたように、これはいずれも国立天文台がというよりは、日本の天文学コミュニティ全体が計画し支持するプロジェクトを大学共同利用機関としての国立天文台が推進していく。これを私たちは、ですから、日本の天文学のこのような方針を実現する責務を負っているわけでございます。

以上がごく簡単なイントロダクションでございます。

次に、アルマ計画の目的・目標について申し上げます。

まず、非常に概略ですが、12メートルのアンテナ64台とコンパクトアレイシステムという12メートル4台、7メートル12台を中心とする干渉計型の巨大電波望遠鏡。干渉計と申しますのは、1つの単一の望遠鏡を、10キロの望遠鏡をつくるのはできませんので、たくさんの望遠鏡を10キロの範囲にばらまいてこれをケーブルあるいは光ファイバーでつなぎ、データをあわせて1つの望遠鏡として働かせる、これを干渉計と申しまして、これからの天文学のトレンドであります。

それを実際、実施することによって、最大14キロの基線長を実現します。これが実現しますと、電波というのは光に比べて波長が何百倍、何千倍と長いわけですが、したがって、分解能が何百分の1、何千分の1と不利なんです。しかし、14キロという望遠鏡を実現することによって、実は、すばるやハッブルが実現している現在世界の最高の性能であります0.1秒を10倍上回る100分の1秒の分解能を実現する。これはまったく新しい世界が見える初めてのことになります。

そして、もう1つはミリ波、サブミリ波という、ミリ波は野辺山がリードをして開発・開拓をしてまいりましたが、さらに波長の短いサブミリ波という極限的な未開拓の電波を観測することによって、特に、先ほど言いました太陽系以外の惑星系形成がじかに見えてくる、こういうものを考えているわけでありませう。

そして、日米欧の本格的国際協力というのは実は天文学の分野でも初めてです。今までの国際協力はどこかが手を挙げて、この指とまれでやってきました。これはがっぷり3者が一緒にやりましょう、こういうものでございます。

この科学目標について、ご説明をいたします。

3つに分けて申し上げます。まず第1に先ほどから申していますが、太陽系以外の惑星系、その形成を解明するということ。これは後でもう少し詳しいご説明をいたします。

それから、宇宙の諸天体の起源と歴史を読み解く。先ほどの天文学の全体の進化の話にありましたように、宇宙の最初に天体が生まれ、それがどのように

発展して現在に至ったかということを一読し解いていく。最後に、膨張宇宙における生命への物質進化を追及する、これは惑星系の1番にも関連して、アルマは可視光あるいはすばる等の赤外線望遠鏡と比べましても、分子や固体微粒子の分光というものが非常にすぐれて、これは全く違うことができるということでもあります。そういうものを使いますと、生命に関連していくような物質の進化が追っていけるということです。

最初の、太陽系外の惑星系とその形成を説明というところでございます。13ページですが、このような絵があります。すなわち、すばる望遠鏡で見た左の絵、これは星が誕生しているところ、この中で無数の星が生まれます。その中に円盤のシルエットが見えますと、これはハッブルスペース Telescope が見ているものですが、シルエットとして、このような円盤が見えてまいります。これが実は太陽系を生み出すもとになる原始太陽系円盤です。しかし、現在のすばる、HSTの0.1秒の分解によれば、この形しかわからない。外形しかわからない。アルマはそれをさらに分解をして見る。これはコンピューターシミュレーションですが、実際にこの中で惑星が生まれたときに、この円盤がどのようになっていくのか、それから実際に惑星が生まれ、これは原始の木星が生まれている計算値シミュレーションです。そういうものを実際にとらえることができる。ですから、そのようなものをたくさん観測することによって、このアルマは惑星系というものが太陽系以外のものはどのように生まれ、どのようなものが実際にできてきているのかをとらえる、これは今までの望遠鏡には決してできない。

それから3番目の物質進化についてももう少しご説明しますと、先ほどの宇宙の歴史のところ、膨張宇宙からさまざまな天体が生まれて、さまざまな物質が生まれてきたということをおっしゃいました。実際に野辺山の電波望遠鏡では、非常にたくさんの有機物を宇宙の空間で見つけてきております。これは野辺山の大きな成果の1つであります。そのような宇宙の雲から惑星が生まれるということが今やわかってきたわけでありまして。その中で、例えばアミノ酸の類まで観測することがだんだん可能になってきているということ。まだ実は見つかっておりませんが。我々はそのようなものを見つけて、原始惑星を生み出すような円盤の中でどのような物質進化が起こっているかということをお非常に高度な分光能力のもとで実際に解き明かしていこうというわけです。

そういうアルマの国際的意義であります。先ほどおっしゃったように、日米欧の共同建設、共同運用を考えております。これはどこかが中心になってそこに分担幾らで何%で参加するということではなく、いわば日米欧3極でやりましょう。残念ながら日本はいろいろな状況もあって、米欧に比べて全体のコントリビューションがやや低いのでありますが、それでも十分に今までの実績、

実力からいって対等にやっていると考えております。

世界望遠鏡というのは、天文学は国際協力が非常に盛んでありますが、そこでも初めてのことであります。日本は欧米に2年おくれて参加であります。

あともう1つ、我々が将来を見通して考えているのは、アジアでの共同でございます。アジアの中国、韓国、台湾は、まだ我々とがっぷり協力するだけの力は残念ながらありませんが、我々はずっと支援を続けてまいりました。その支援の結果、いよいよこのアジアの諸国もアルマに参加したいという意思表示をはっきり示し始めていまして、我々はアルマの完成までにはもう少ししっかりした共同ができるということを考えております。

さて、日本参加のいきさつを若干くどく申しますけれども、先ほど関課長が申しましたように、3者で計画、そもそもアルマは3者で計画したものでございます。それをどうやって日本が2年遅れだけでも完成させるかということについて、協議を重ねております。2年先行した米欧がまずミリ波中心の基幹部分、すなわち64台の12メートルアンテナとその受信機の幾つかをつくります。日本がそれに特にサブミリ波あるいは高度な技術が得意でございますので、こういうサブミリ波、画像性能の高度化ということによって当初のアルマを完成させたい。これが従来からの3者合意を日本が遅れたことでモディファイした結果でございます。

しかし、結論、目指す結果は変わりません。国際的緊急性に関しましては、やはり米欧が既に検討を始めておりますので、どうしてもそれとの整合性ということを見るとこれ以上遅れるというのは我々にとって非常に、これはもう決定的ダメージというふうに我々は思っております。

それから、米欧は当然ながら日本にはぜひ早く参加してもらいたいということでもあります。来週我々はまた、ワシントンでの協議を行うということになっております。

その具体的内容についてであります。

まず、建設予定地ですが、南米のチリ。何で南米になるのかとおっしゃるかもしれませんが、南天でありまして赤道に近いために非常に広い全天がカバーでき、すばる望遠鏡との空のカバーレージも十分です。そこには標高5,000メートルの乾燥高地があり、10数キロメートルを車で走り回れるというすばらしいところがあります。これを見つけたのは実はプロジェクトリーダーの石黒さん初め、我がグループでございます。ここでぜひやろうということを出して、結果として米欧も、アメリカは最初ハワイとか、ヨーロッパはまた別のところを言ったんですが、結局ここに合流をしました。最適な立地条件であります。5,000メートルで、水蒸気が少ない。大変乾燥しておりますので、サブミリ波には最適です。チリ政府もここはすばらしいというので、

科学保護地域に既に指定をいただいております。ご心配かもしれませんが、チリは治安もよろしいです。

さて、主要装置ですが、これがアンテナでございます。ごらんのように、これが12メートルのが64台。これが日本がつくる12メートル4台と7メートルのアンテナが12台。そのアンテナの中にはおのおのたくさんの受信機、全部で7バンド、欧米は4バンドで日本が3バンド。それだけの受信機がすべてで80台というのはこれは膨大な受信機になります。しかもサブミリ波の非常に高度なものも含んでいる。

それからバックエンドですね。これを信号を送り出すためのシステム。

そして、一番重要な、画像にする分光相関器システム、こういうものですが、日本としてはアンテナは米欧がどうしても基幹部分の64台を先行して製作しますので、我々はその半分よりはるかに少ない量のアンテナではありますが、これは欠かせないアンテナであると。

受信機に関しては、アルマ全体で必要なものの約半分程度を我々が分担する予定です。

以上のものに対して見合う全アルマの観測時間を獲得することができることになっております。

個別にお話ししますが、主に3つございます。日本の分担分ですね。まず64台のアンテナは今もう米欧がスタートしておりますので、これは我々としても参加できなかったものなんです、そのかわり、というわけではありませんが、最も高度な高精度のACA、アタカマコンパクトアレイシステムを我々は担当すると。当初はヨーロッパが担当するはずだったんですが、切りかえによって日本が担当することになりました。7メートルのアンテナが12台、12メートルのアンテナが4台でございます。これは後でご説明しますが、干渉計の欠点を補って、正確な電波画像を受信する。もう1つ、サブミリ波を中心とする3バンドの受信機で、特にその中心は本格的なサブミリ波観測に進むためのものがございます。これは何度も申しますが、日本はサブミリ波の受信機では断然世界一の力があると。

それから、分光器ですね。先ほど申しましたさまざまな物質を分析していくために重要な分光性能を備えた分光装置、これは従来のを大きく凌駕するようなものを我々としては用意しております。

ACAシステムというのは何かというのは若干わかりにくいかもしれませんが、少しご説明いたします。

これは、干渉計には実は欠点がある。どういう欠点かというと、広くアンテナを分散して10キロというような基線をカバーできる。これはすばらしいんですが、どうしても間をあいて飛び飛びになってしまう。飛び飛びになります

と、それで天体の画像を合成するときには情報が抜けてしまう。抜けた結果、広がった天体をとろうと思うと真中のコンパクトでするどいところしかかからなくて、あとは逃げてしまうんですね。それは干渉計の一大欠点でありまして、それを補うためにコンパクトアレイというものを構想していたわけですね。これを実際に全体のデータと全部一緒にして、もちろんアルマは完全に一体です、それぞれ独立にあるわけじゃありませんので、完全に一体のデータとして画像をつくるわけです。そのことによって、初めてアルマが構想している非常にすぐれたイメージが完成します。

それを実際に例としてお目にかけますが、ACAシステム、コンパクトアレイシステム、こちらは、基線長、アンテナの間隔とっていただいてもよろしいですが、それを焼き直すと、空間周波数、電波の画像イメージの空間周波数になります。これは相対感度であります、64台の12メートルアンテナだけだとかこういう形で短いところがすばっと当然抜けます。飛び飛びでありますので。これは先ほど言いましたようにかなり致命的なことで、日本がつくるACAシステムはここを埋めるように最適化されて設計したものでありまして、それを日本の参加でこの情報が埋まりますと、その全体として画像を描くのに完全な情報になると、こういうことであります。

この例をお目にかけます。

例えば、これはモデル、これは例えば銀河でもよろしいし、あるいは原始惑星系、太陽系の生まれるような円盤でもよい。そのモデルを与えておきまして、実際に64台の12メートルアンテナだけでイメージを描くようになります。つまり広がった部分は抜け落ちてしまうわけです。先ほど言いました間があいているためですね。ところが12メートルアンテナ64台に日本がつくるACAをあわせた結果はこうなりまして、これはもうほとんど100%もとの画像が描けてしまいます。ですから、広がった銀河でありますとか、原始惑星系のようなものの構造を観測しようと思ったらこれは全く不可欠でございますし、それから全体の電波の強度も逃げて、半分以下に落ちてしまいますので、それでは定量的な観測は、宇宙論的な観測でも不可能だということになります。これでACAの必要性はご理解いただけたかと思えますけれども、そのほかにもサブミリ波は視野が狭いんですが、7メートルアンテナの広い視野を使ってより広範囲な観測ができるということです。

次に、日本がつくる中での受信機システムですけれども、日本の導入するバンドはこの3つであります、その中でも特にバンド10として0.35ミリという本当に極限の波長です。これがアタカマ高原で日本の測定装置をもってきて実際に測りました大気の透過率ですが、これが200ギガヘルツ、400、600、800ギガヘルツであります。つまりこの辺は大体0.3ミリ、この

辺が波長1ミリで野辺山でのミリ波でやっているのはこちらのこの辺であります。ここから先は、アタカマのようないいところでないといけません。そこここにあいた窓がありまして、これを埋めたいわけですが、米欧はとりあえずこれだけしかつけれない。この4バンドでやる。それに対して日本が3つのバンドを持ち込むわけですが、それがこのようにしてサブミリ波のバンドとしてすべてをカバーしようと。特に、非常に難しい800ギガヘルツ帯は日本がやるということでもあります。これはすべて日本の技術が、特に野辺山で培ってきましたさまざまなミリ波検出器を初めとして、周辺の先進的な技術がございまして、そういうものを総合して、現在既に富士山でサブミリ波の800ギガヘルツの観測をやっている、実際にこれはですから計画でも夢ではなく、実際にやっております。

次に分光相関器ですが、これは先ほどのような微量の非常に多様な分子でありますとか物質を見るためには最も本質的なものなんですが、ヨーロッパ、アメリカが見切り発車したために、現在、アメリカ、ヨーロッパが作る分光器は甚だ貧弱であると、我々から見ると。それを日本が計画しているものではチャンネル数で64倍、周波数分解能が1,000倍以上になると、これはもう全く問題にならないものです。日本がおくれたためにこれが実現できなかったという、非常に残念ですが、我々としてはそれをカバーしようと考えております。これが従来型のアメリカ、ヨーロッパが現在公表しているものであります。これは予算がもう決まっていますので、仕方ないことです。

日本はACA相関器に新しい日本のものを持ち込むと同時に米欧のものを改良するという計画を立てて、基本的には若干使い勝手は悪いけれども、同様な性能を発揮できるようにすると。

ごらんのように全く分解能が違って、上ではもう埋もれてしまうような微量のものが下では幾らでも出てくるということになります。これは実は野辺山で国立天文台の近田教授が発明したFX相関分光器、これは世界的に現在使われているわけですが、それを最大限に利用します。

年次計画ですけれども、既に2002年度から米欧はとにかくスタート。日本は2002年度、3年度は研究開発ということで、プロトタイプアンテナ等をつくるお金をいただきました。これについては後でご紹介をいたします。それから、2004年度からは参加するということで、そのすべての準備を進めているわけですが。

今後の計画は、部分運用、2007年から一部装置、この干渉計というのはアンテナを順番につくっていきますので、そうしますとできたアンテナを使って、試験的に観測しましょうと、この方がサイエンスも早くできるし、技術にもいいということで、2007年度からの計画をしております。2011年度

からは本格的なラン、実際には2011年の終わりだと思いますが、本格的な観測運用を開始する、こういう計画を進めております。

予算であります、平成16年度の概算要求が10.8億円、全体計画256億円、運用費が30億円、米欧の建設予算が、これはインフレ見込み込みでございますがそれぞれ459億。

さて、ちょっと時間がおして申しわけありません。急いでいきます。

現在の状況は、プロトタイプ、これが日本のプロトタイプで、アメリカのNRAOのVLAというサイトで3者が日本のもの、米国のもの。ヨーロッパのものはおくれましてまだちょっと組み立てていません。今はもう立ち上がっていると思います。日本は非常に早い。基本的に早いし、精度でも全くおくれをとっておりません。アンテナご存じの方なら、12メートルアンテナで鏡面精度20ミクロンというのはいかに驚異的かわかりかと思えます。野辺山は45メートルで0.2ミリ、200ミクロンです。現在、その性能を米欧と対等な条件で試験中です。

次に、受信機の開発はもう既にプロトタイプの製作はどんどん進んで、実際の観測にも使っております。それから特に重要な800ギガヘルツについても既に試験的なデータがとれております。これは492ギガヘルツですが、フォトリックローカルという、光をミックスしてサブミリ波の信号源を得るという非常に新しい方式で、今、トップを走っております、これも既に実際に使いました。実際に観測で確かめております。

高分散相関器、これは日本が得意とするデジタル技術でありますので、野辺山でもこれは随分開発してきました。これも既に試験機をつくり実際に野辺山の干渉計に接続して、世界で初めて2ギガヘルツ幅という、こういうデータをとっております。これはここからここまで2ギガヘルツでして、この中に細かい細かい分子の線がいっぱいあります。その1つ1つの拡大がこれで、従来型の相関器ですと、これを1つずつ観測するわけですね。全くそれは能率からいくと問題にならない。我々としてはこれをぜひ実際に実現し、その性能にほぼ見合うものを現在進んでいる米欧の相関器にも持ち込みたい。

そういうわけで、日本は、実はこの種のものはかなりは天文台の自前でやっています。これは国立天文台が最近三鷹に設置しました大型クリーンルームで、この中で実際のサブミリ波の超伝導素子をつくっております。世界最高水準のものをつくってます。受信機も野辺山、三鷹で組み立て、メーカーの方々にも手伝ってもらいながら基本的にそれでやられている。それから先ほどのフォトリックローカルですね。これは全く新しい技術です。光をまぜて変換するという技術ですが、これはNTTとの共同で今世界の最先端を走っておりますし、それからもちろん、デジタル超高速技術については、これも今、世界で群を抜

いていると思っております。

推進体制についてですが、これはちょっとごらんいただきたいと思いますが、アルマ計画推進室、石黒ディレクターを中心に川辺、長谷川、個人の情報は資料の最後につけてございます。それからさまざまな装置開発チーム、開発チームについては天文学コミュニティと共同でやっております。アルマ計画推進小委員会というものがあって、これが大学と一緒に天文学全体のコミュニティとの橋渡しになっています。

途中に名簿とか、国際的な組織ございますが、ちょっと飛ばして45ページで、これで全体のことをご説明しますと、天文台と大学から各装置の開発のためのグループをたくさんつくっております。それからアルマ計画推進小委員会で学術的な、あるいは技術的な評価を常時生かしております。そして国際的にはアルマ科学諮問委員会というのがあって、これは各国一流の研究者が出て、日本からももちろん出ていますが、そこで学術的評価をいたします。そして、そういう全体がアルマ評議会という、これは日米欧の代表による最高決定機関が運営をするという形になります。

アルマの観測所自体は独立した別の組織になり、それはアルマ評議会の指揮下に置かれます。この観測所は日米欧3者から人を出して、チリで人を雇って運営をいたします。

さて、時間をちょっと超過しており、申しわけないんですが、こういう事項を資料でいただきました。大体今まで申し上げてきましたけれども、もう少し申し上げておきたい部分をこれから、かいつまんで申し上げます。

まず、科学技術上の意義に関しましては、2001年以前には日本のミリ波サブミリ波計画についての評価を、既に学術審議会等でいただいております。エンドースいただいているんですが、これは参考資料の4、一番最後に1枚ものでつけてございます。日米欧3者での新しい世界望遠鏡にするという方針が明確になった後、2002年に文部科学省の科学技術・学術審議会ですべてに専門のワーキンググループをつくっていただきまして、非常に重厚な評価をいただきました。その要点であります。これは参考資料1に冊子になっておりますので、後でまた詳しいことはごらんいただきたいと思っております。日本が相応な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。それから、適切な対等性を担保することが重要であり、早期に参加を実現すること。それから最後に、適切な規模、日本が十分寄与できる適正な規模が必要であると、そういうことを言っていたいております。

もう1つは、日本学術会議の学術体制常置委員会の大型科学計画分科会が、

これは総合科学技術会議の石井紫郎先生ほかからのサゼスチョンがあり、とにかく大型科学研究についての評価ということをやってみてはどうかということで、その試行として、こういうものをお願いしていただいた。これはアルマのために、増本先生にもお願いしたわけですが、これはもう丸一日の会議をやっていたきまして、それはただ試行ということですから、報告、特に結論というものはないわけではありますが、公開議事録がございまして、これは参考資料の3につけてございますので、ごらんいただければと思います。例えば、高エネルギー加速器機構機構の柴田委員さんは、「野辺山での実績もふまえて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」と発言しておられます。

技術的な波及効果についても若干申し上げるべきかと思えますけれども、これはもちろん一朝一夕ですぐということではありませんけれど。天文学は常に最先端の非常に大きな目標に向かって走りますので、その技術は必ずいろんなところに波及してまいります。今申しました高感度受信機、あるいは大量信号の処理といいますのは、それぞれ例えば、ブロードバンド通信でありますとか、X線に代わる、これはサブミリ波診断ということがこれからやられるようになると思えますから、我々のやっているサブミリ波の検出あるいは発信の技術がそういうことに非常に役に立っておるわけでございますし、さまざまに展開されていくというふうに思っています。

それから、大学院教育への貢献について、一言申し上げておきたいんですが、実はすばるの効果というのは絶大です。すばるがスタートしてから、大学院生はどんどん伸びておりまして、天文台にいる大学院生、大分多いわけですが、これは総研大だけではなくて、むしろ東大を初めとするいろんな大学から実際に院生が来て、特に装置開発に非常に熱心に取り組んでおります。これは基礎科学といえども、日本のそういう技術あるいは業務における開発へも貢献できるということを示しておりますし、さらに国際的にもどんどん今海外に進出しているところであります。

それから次に、社会経済上の意義ですが、余り天文学というのは社会に役に立たないということではありますけれども、実は野村総研にアルマの経済波及効果の調査をお願いいたしました。これは参考資料の2につけてございます。分厚いものなので、ごらんいただければと思います。投資額のアルマが日本経済にもたらす波及効果にはいろいろ計算式があるようですが、2.1倍これは通常の公共事業の場合は1.3倍から1.5倍なんだそうではありますが、我々全くそういうことにうといんですが、やはり高度な科学技術であるという

こと、それから国内でほとんどのことをやりとりしているので、波及効果が高いということでした。

それから、社会への普及還元でありますけれども、すばる望遠鏡 例えば火星をテレビで放映、生中継を何度かしましたから、これはもう全国数千万の方がのべごらんになりまして、非常に大きな火星フィーバーにつながったことをご記憶かと思います。例えば火星データを全国70もの高校の生徒にわたして解析などに使ってもらうとか。このような広報活動を、天文台はもともと重視しておりまして、野辺山はできて以来20年で、約230万人の見学者、毎年10万人というのは、これはその辺の博物館には負けない数字でございます。それから、アルマの支援署名は6カ月で4万5,000人集まっています。新聞等でも天文学というのは大変人気が高うございまして、プラネタリウムの入場者数というのはJリーグの観客動員数より多いそうで、それは私は知りませんでした。さまざまなそういう効果があって、やはり社会における科学の関心の役に立てること、高めることには、我々は決して天文学だけではなく、科学のショー・ウィンドウとしての役割として重要だと考えております。

アルマの推進署名には、非常にたくさん期待の声をいただきまして、例えばこういう若い人が誇りを感じる壮大なプロジェクトで、感動と刺激を与えていただきたい、こういう我々がじんと来るようなものも、たくさんございます。

国際関係上の意義ですが、もう既に大分申し上げてまいりましたけれども、一言申し上げておかなければなりません。

まず、日本は得意分野のミリ波サブミリ波に集中投資しておりまして、長波長の大きな計画は日本は残念ながら持っておりません。欧米ではパラレルに長波長の計画を持っています。日本はサブミリ波に特化して、プロジェクト経費は大体こういうことになりまして、それは国内総生産で、ちょっと資料は古いんで最近はもうちょっとへっているかもしれませんが、ほぼ2割であります。ただし、申し上げておきたいことは、これは我々では電波天文学の中でも、サブミリ波に集中した結果こうなっているということをご承知願いたいと思います。

次に、アジア・近隣諸国との連携については、もう10年以上努力をつみあげています……すみません、急ぎます。これをごらんいただきたいと思いますが、中国、台湾とは既に協定を結びまして、韓国とは現在協議中ございまして、チリ大学とも協力を推進中というわけでありまして、東アジア諸国がアルマの完成の際に、たぶん本格的に参加してくると期待しています。そういう条件づくりを進めております。

日本参加の意義・効果については、これはちょっと省かせていただいて、計画の妥当性にいきます。

野辺山のいろいろな成果に基づいて、このアルマ計画が進行しているということは、もう申し上げてきたところかと思いますが。改めてこれを強調しておきたいと思います。

それから、すばるとの関係についても、こういう絵がございますので、ごらんいただきたい、これは相補的な関係になります。

よくいただく質問としては、天文衛星との役割分担はどうなんだということですが、スペースからの観測は宇宙科学研究所が推進しておりますが、国立天文台はやはり地上から大気を透過してくる電磁波を観察する。それからもう一つ、大規模に展開して、スペースではやりようのない巨大な観測装置を推進すると。一方、スペースからの観測は、大気を透過してこないX線とか、赤外線、これは宇宙科学研究所が中心となって衛星を打ち上げ、さまざまな研究をしていらっしゃる。もう一つは、大気の揺らぎを避けたい観測装置も宇宙へ打ち上げる必要があります。ただし、ハッブル宇宙望遠鏡でも口径2.4メートルでしかありません。8メートルはスペースでは無理です。

これは重要なところでありますので、申しわけありませんが、天文台の対応計画。我々としては、明確なスクラップ&ビルドでこれを進めるつもりです。まず、電波関係で45m電波望遠鏡は、いまだにユニークな世界一のミリ波望遠鏡でありますので、これは合理化しつつ動かしますが、10mのミリ波干渉計は、アルマの部分運用が始まった時点で終了いたします。それから、電波ヘリオグラフも、2008年太陽の活動に一定の区切りができた段階で終了をいたします。それから、ほかの分野に関しましては、計算機システムの合理化とか、各観測所での合理化をいたします。それをもって、アルマの建設を進めるわけではありますが、全体計画が256億円の総経費と申しましたが、そのうち96億円は天文台の自助努力です。観測分野をこえた工夫をいたします。完成後の運営経費も、現在の運営費交付金の枠内でやるという覚悟で計画を立てております。この辺はぜひ、ご理解をいただきたいところです。

計画の緊急性、これも重要なところです。米欧は、2002年度から進めておりますので、ぜひとも2004年度からの建設参加を。これができないと非常に大きなダメージを受けます。もう一つは、2007年度からの部分運用に我々がきっちり参加して初期成果をあげていくためには、やはり2004年度からの参加で十分なプレゼンスが必要であるということです。

では、これは飛ばしまして、時間を超過して申しわけありませんでしたが、一応私の説明とさせていただきます。

(座長) ありがとうございます。

ちょっと時間が押しておりますが、委員の方から質問を。よろしく願います。

(委員) ご案内いただきましてありがとうございました。

今のご案内の中で、総投資の中で日本の分担金が約22%、これは施設建設費の負担割合だと思うんですけど、そうすると日本の施設利用というの、大体その分担金率というか、約5分の1に相当すると考えてよろしいか？

(文部科学省) それベースになるわけではありますが、実際には日本の場合、例えば技術的に非常に難しいところをやるとか、そういうところで交渉をしていくわけでありまして、できるだけ多くの望遠鏡時間を獲得したいということで、そういう交渉もやっています。来週の交渉も、実はその詰めをするつもりであります、我々としては22%よりは多い率を獲得できるというふうに考えております。

(委員) そういう交渉過程の中で、先ほどご案内のあったサブミリ波のような、日本の競争優位がある程度、有利に働くと言うことですか。

(文部科学省) やはり、あれはサブミリ波とか、それから非常に高度な分光器のような、技術的に高度なものにつきましては、それなりの敬意が払われているということだと思っております。もちろん交渉ごとですから、なかなかタフですけども。

(座長) サブミリ波というのは、一つのキャッチフレーズだと思うんですけども、バンド10が一番高いところをやっておられるんですけども、必ずしも全部がそうではない、この4、8、10を選ばれた理由は、それをひっくり返してサブミリ波という理由はどういうことですか。

(文部科学省) 8はもちろんサブミリ波であります、8は特に炭素の原子のスペクトルのあるところで、これは日本の天文学、富士山望遠鏡等でも先鞭をつけているんですが、我々は非常に天文学上重要なバンドだと思っております。

これは、いわば米欧が先にスタートするとき、それまで、だれがどれを担当しようかという、もう三者でやっていたんですが、その中で米欧が、では我々これでスタートしていいかということで、我々としても、ではそれでいきましょうと。ですから、バンド9というのは米欧としても、それをなしでスタートするわけにはいかなかった部分ですので、これはヨーロッパが担当して頑張っていくと思います。ただバンド8の天文学的な重要性を我々は確保したいのと、それからバンド10というのは、技術的に非常に大きなジャンプがありますので、実際にはミクサー素子のブロックから新しいものにしないといけません。

(座長) それはわかるんですけども、バンド4を日本が担当するということですが。

(文部科学省) それについては幾つかの理由があります。これは、一つには要望が強いということと、それから日本国内の大学のグループがこれを相当強力

に開発をしております、せっかくそういう技術力は生かしていきたいという気持ちと、もちろんサイエンティフィックの重要性はあります。宇宙論的に非常に遠くをサーベイするとき、バンド4は大事ですから、そういうものを日本がつくっておくということは大事です。これはサブミリ波からちょっと外れるのはおっしゃるとおりです。

(座長) そうすると、この組み合わせに、特別な周波数の3つの組み合わせに特別な意味があるというわけではない。これは、欧米の抜けているところを埋めたというか、あるいは最初からの打ち合わせで、こういうところを分担するという事になったのか。

(文部科学省) どちらかというと、今2番目におっしゃったところに近いところ。バンド10は、ぜひやるというのは、これは最初からの日本の主張でありましたので、それは聞き入れてもらっています。

(座長) それからその部分で、受信機の開発について、分担の部分で奇異に思うんですけども、4、8、10 日本からサプライするのはいいんですが、欧米の部分で3、6、7、9をやることになっていますね。7メートルの分については、日本は全部やると。お互いにやりとりはできないんですか。

(文部科学省) 米欧の3、6、7、9を日本の7メートル、12台に載せる場合は、米欧から購入するという事で、日本で独自に新たにつくるということはないです。

(座長) そうすると、4、8、10も欧米が買うということですか。

(文部科学省) そうです。買うというよりは提供して、その結果のコントリビューションで望遠鏡時間を日本は獲得するという事になります。

(座長) 64台分の時間を獲得するという事ですか。

(文部科学省) 64と12台、全部含めてです。結局、要するにアルマ望遠鏡の全体に、日本としてインカインド、物で貢献をしますね、全体の貢献の割合に応じて、全体の望遠鏡を何%使えるかということでありまして、日本が持ち込んだものに対して、日本が使用の優先権をもっているというわけではない。外国もそうです。

(文部科学省) 結局、米欧は既にスタートしている。予算もいろいろ決まっているわけですね、基本的に。ですから、日本が新たに参加する予算で何をするかという話になる。全体として一番いい形にしたいと。一番効率的に安くしたい。今、先生おっしゃったように、既に米欧がつくっているものについては、我々は買うということが一番安くできるわけです。しかし、それがないと日本が新たに参加したACAシステムがきちり動きません。こういうことです。

(座長) そうすると、向こうのシステムに参加するために、こっちから物は提供するけれども、こっちは向こうのやつは買うということですね。

(文部科学省) 向こうとこっちという区別はないと思っていただいた方がいいと思うんですけども。結局は一つの望遠鏡になるわけです。三者で共有する。ですから、向こうとかこっちとかということはなくて、同じ最終目的を達成するのに、限られた予算でどうするのが一番いいかということですので、その辺はあれでしたら、さらにもう少し詳しくご説明したいと思いますけれども。

(座長) では、次にちょっと違う話題で。ほかの委員の方ありますか。

(委員) ちょっと私、基本的なことを聞きたいんですが。こういう共同研究、もちろんお金を何%払ったりとかいいいますが、それもあるんですけども、一番はやはり人間の問題です。どれほど日本人がこの分野でリーダーシップを発揮できるかということが基本的な問題だと思うんです。これほどお金をかけるわけですから、多分我が日本人のアstroフィジシストのリーダーシップがあって、そういう方々がやられるんだろうと思うんですが、何か全体的に見ますと、こういう分野における日本人の貢献度 例え論文、サイテーションインデックスとか、そういうことを考えますと、どの程度日本人はこの辺で活躍しているんですか。去年はノーベル物理学賞を幸いとられたわけですけども、天文の分野でノーベル賞をとったのは今回初めてですよ。今までの外国人は天文の分野でノーベル賞を大分とっておられる人はいましたが。そういう分野で日本が、これははっきり答えられない問題だと思うんですけども、日本人がこの分野でどれほどリーダーシップを発揮しておったわけですか。その辺のところ、もし……

(文部科学省) 大変これは、私からは答えにくい部分を含んでおりますが、これは恐らく後のクローズドセッションで委員ほかからいろいろご意見いただければと思います。少なくとも日本は、例えばある部分の理論でありますとか、それから電波天文学では、世界の第一線の方たちに負けなだけの活躍をそれぞれのリーダーはしてきたと、私は自負しております。

すばる望遠鏡は一つの例ですけども、これは先生おっしゃったのは、個人個人の力量ということを知っていていらっしゃるということはわかってはおりますけれども、例えばすばる望遠鏡をあのよう形で、これは押しも押されぬ世界、本当に私は地上望遠鏡としてトップだと、折り紙もついていると思います。それだけのものに仕上げるだけの力を実際に発揮してきているわけです。それによる論文がどうかということについては、もしご質問があれば資料等お持ちすることはできます。ただ日本の場合、おっしゃるように、論文を書くという意味で、例えば日本人の天文学者の数が最近うんとふえましたけれども、過去は少なかったですね。それから……

(委員) 総体的にはどのくらいですか。世界のうち。

(文部科学省) 大体先ほどの、ちょうどたまたまですが、先ほどの数に近い、

つまり米欧日を合わせたうち20%ちょっとという……

(委員) 20%ぐらい。はい。

(文部科学省) ですから、むしろ私は第三者の方から言っていたかと思っておりますが、我々は世界に台頭してきっちりやってきたという自負を持っております。天文学のすべての分野ということではもちろんありませんし、例えば物理学でも非常に優れた方々が多いけれどもすべての分野では決してありません。

(委員) 小柴さんなどは、彼は天文学者ではありませんから。

(文部科学省) そのとおりですね。ご存じかと思いますが、ノーベル賞には天文学賞というのはございませんで、物理学賞ですから、物理学の中で天文に近いことをやられた方が今まで受賞しております。

(事務局) 極めて基礎的なことなのですが、このアルマで観測するものというのは、結局この分子のスペクトルなんですか。どういうものを観測するんですか。

(文部科学省) 一番たくさん観測するのは分子のスペクトルです。分子のスペクトルといってもいろいろありまして、宇宙にあまねく存在する一酸化炭素のようなものでありますとか、それから炭素原子、C Iのようなものは、これは宇宙の果てまで観測する、あらゆる天体にあるとあってよろしいかと思っております。

一方では、特殊な分子、例えば有機物だとか、そういうものはある極限されたところであって、そういうところでどういう物質進化が起きているかということは、我々はまだ知らない部分も多分にあります。そういうところ、例えば原始惑星系星雲のようなところで、そのようなところではどういう化学条件であるかということ調べていこうと思うと、とても極限された、それこそ何かアルコールとか、そういうものを見ていくことになるかと思っております。

それで、ほかにももちろん分子だけではなくて、コンティニュームといいまして、これは高エネルギーの粒子が発する電波、あるいは熱電波と言いまして電子と陽子がぱっとぶつかり合って出る電波、そういうのを連続波と言いますが、こういうものも当然精力的な観測をするわけで、例えば非常に宇宙の遠くで起こっている活動銀河の爆発現象でありますとか、そういうものはそういう連続波で観測します。ですから、両方ございます。

(座長) こういう国際協力がどのような形で……

すみません、どうぞ。申しわけございません。どうぞ。

(委員) このアルマの0.01秒ですか、これを実現するには、まさに日本の一番高い周波数のサブミリの受信機、これが命を担っているわけですよ。これがなかったらその性能は出ないと。それを日本が過去の実績から日本が分担するという形になったと思うんですけれども、現在いろいろな研究開発された状況で、天文の受信機というのは、いわゆる通信工学のレベルよりもはるか高

い、10倍も100倍もすごい性能が要求されて、それを今までやってこられたと思うんですけれども、現段階での性能で十分なのか、あるいは今後どのぐらい開発が必要で、どんな体制でやっていくのか、まさにこれが本当の唯一の性能を出すキーポイントみたいなところがあるかなというふうに感じたんですけれども、その辺いかがでしょうか。

(文部科学省) ちょうど持ってきたものをお返しします。

(文部科学省) やはりバンドの10というのは、バンド9から以下に比べると、一つバリアが高いといえますか、技術的にもすごく超えなきゃいけないブレークスルーがあるんですね。それは今お返ししております、まず電波を受ける、経由するジャンクション、SISジャンクションというSISの素子を長年開発してきたわけですが、それを従来のニオブを使ったジャンクションでは、700ギガぐらいから上には、ギャップエネルギーの問題がありまして行けないんですね。そのために、窒化ニオブあるいは窒化ニオブチタンという新しい超電導薄膜を使ったジャンクションを現在開発中であります。今お返ししておりますが、試作品がようやくできたところで、これは世界で初めてのものなんです。まずはそういう一番の心臓部分、それからそのSISの素子をミキサーとしてつくる、いわゆるマイクロ波回路、実際にこれがサブミリ波の回路になるわけです。それを設計する技術、それからこれを冷却して受信機のシステムにする。ローカル発振器という、これもこのぐらいの周波数では世の中に余り存在していないんです。それを望遠鏡80台に安定して使えるもの、これも現在、回しておりますフォトリックでサブミリ波を発生する、これも世界最高レベルの技術を開発中ですが。それからさらには、それを望遠鏡80台に乗せて、実際にアルマがサブミリ波で観測できるためには、今度はやはり地球の大気との戦いもあるわけですから、そういうものを含めて総合的にサブミリ波の望遠鏡にしようということで、日本はその中でかなり今のサブミリ波の検出的技術ということでは、世界のリーダーシップをとっているというふうに思います。

現状では、アルマの大体の仕様では、量子限界の3倍ぐらいですが、現在3倍まで持っていくのはさらに数年かかるんですが、5倍ぐらいのレベルまでは到着しております、あとひと踏ん張りかなというふうに思っております。800ギガにつきましては、先ほど台長から説明がありましたように、富士山の望遠鏡で既に観測にルーチン的に使われております。

(座長) この素子の開発は、随分天文台を昔からやっているのを知っております、恐らく世界でトップクラスだというふうに認識しております。これは、アルマでは常温でやられるんですか。液体窒素温度ですか。

(文部科学省) 絶対温度で4度ということで、各アンテナに.....

(座長) 全部に、80台に全部.....

(文部科学省) そうです。

(文部科学省) 超電導を使うんです。

(委員) 2点ほど質問したいんですけども、現代、国民または科学者自身が非常に興味を持っている天文の課題といえば、ビッグバンの起源と、それからやはり宇宙に生命がいるか、我々1人かどうかという大きな問題だと思うんですけども、後者については、アタカマコンパクトアレーがあることによって原始惑星系の円盤などがきちんと見えてくるということで、非常に明確なお話でありまして大変期待するわけでありまして、宇宙論的な話に関しましても、やはりアタカマコンパクトアレーがあることで、例えば暗黒時代とか初期の形成の間がどのように見えてくるのか、そのあたりを少しご説明いただきたいのでございます。

それから、国際関係でありますけれども、やはりアジア地区における日本の位置というのは、これから日本の国全体としてのプレゼンスという意味では、非常に重要な課題だと思うんですけども、確かに今の時点では日米欧ということで三極ではありますけれども、日本というけれども、やはりアジア地区との連携というのは、極めてこれから日本自身の、いろいろな科学だけではなくて重要だと思うんですけども、そのあたりにつきまして、ちょっとお話ししていただきませんでしたけれども、いかにこれを今後進めていくのか、そのあたりをちょっとお話いただければと思います。

(文部科学省) ありがとうございます。

それでは、ちょっと私、言い残してしまって申しわけありませんでしたが、宇宙論的な観測にもアルマというのは非常に大きな力を発揮しますが、特にサブミリ波は、遠方に赤方偏移のために1000倍にも波長が伸びてくるような天体をサブミリ波でとらえるということが大変有効です。特にバンド10はそれに非常に有効であるということで、観測的宇宙論から大変大きな期待をかけております。実際、野辺山では、まだ光がほとんど出ていないが、ミリ波は強いという、非常に遠方の銀河を実際に見つけておりますので、そういうものをサブミリ波で100分の1秒の解像力で観測しますと、その構造がわかる、その中で何が起きているか。我々は、実をいうと、宇宙で最初に生まれた天体は銀河なのか星なのかというのは、いまだに論争がある部分であります。まず星ができたんだという説が最近では盛り返している。そういうことが実際どうなのかということを追いかけていくためにも、サブミリ波というのは非常に重要でありますし、分解能とともに集光力はすばらしいものですから、非常に大きな寄与ができると思います。もしご質問があれば、もう少し詳しいご説明を今度持ってまいります。

それからアジアですけれども、ご承知のようにアジアの諸国との協力をする

というのは非常に難しい面が多々ございますが、私はもう十数年来、東アジア天文会議というものを組織して、今座長をしておりますけれども、その中で交流をしながら、特に電波天文学を中心にして、実際の研究協力を進めるということをやってきました。中国、韓国の現在ミリ波天文学のリーダーをしている人たちが野辺山育ちです。台湾にも大勢行っております。そういうことで、我々もそういう意味では、少なくとも東アジア地域においては、アルマを中心にして、一つのコンソーシアムを立ち上げていくことができる状況に我々は来つつあるというふうに判断をしまして、それで実際に協議協定も結んだわけです。それで、まだまだ対等というわけにはいきません。我々ももっともって応援していかなければいけないですから、応援を技術的研究的にやって、さらに続けていって、そういう力が育ってほしいと。それは必ずや10年以内にはできるだろうというふうに思っているわけです。

(委員) ロードマップで、今まで長年の業績からこういう計画を立てられて、その点、我が国の力は非常にあると思っているんですが、私の質問は極めて簡単な質問なんですが、もし日本がやめたといったら、一体欧米の計画はどうなるのかなと。そこで皆さんが考えてどういう問題が起こると思いますか。私は話を聞いていると、非常に大切なところを日本は押さえているような気がするんですが、なぜ欧米はここを注視していなかったのかと、疑問が残っているんですね。そこら辺の説明をしていただければありがたいんですが。

(文部科学省) わかりました。それもなかなか一口ではご説明しにくいかもしれませんが、もちろん日本がやめれば、米欧は64台の12メートルアンテナで観測をやるわけでありまして。日本はそれから完全に置いていかれて脱落するわけでありまして。その点だけからいえば日本が大損すると、これは間違いない。アメリカ、ヨーロッパが、それではなぜ日本がいい部分を押さえているような形でスタートしたかというご質問、それはサブミリ波ということを中心としたのは日本なんです。我々が一番早くからサブミリ波を中心とした大型干渉計をつくるということを提唱し、これは学術会議でもそういう答申もいただき、そのためにチリのあの最高の場所を探したわけです。アメリカ、ヨーロッパはそこまでのサイエンティフィックな見通しは、私に言わせればなかった。ミリ波でやると、あんなに高いところでやる必要はありません。3,000メートルぐらいでいいんです。ですから、当初から姿勢の違いがあり、私たちは三者でのアルマ全体計画をつくる時に、ぜひ我々はそういうサブミリ波を重視したような、コンパクトアレイも実はサブミリ波のために非常に重要なものなんです。そういうことから、分光の能力も非常に重要なものです。それは我々野辺山で培った経験から、そういうことを言ってきたわけで、当初から日本がそういうことをやるということは、いわばある種の了解事項であったと私は思っており

ます。ただ、三者でやろうということ、あの大きな計画を決めた後で、残念ながら日本がおくれますということが出ましたので、それではどうするかと。では縮小するかというと、もう米欧はその気にはなれないわけです。ですから、あの計画で、とりあえず米欧が基幹部分をつくと。つまり、64台の12メートルをつくりましょうと。受信機はミリ波を中心だが、サブミリ波でもバンド9をつくりましょうということで、分光器はちょっと残念ながら日本の技術がないとできませんねという形でスタートをし、日本の参加を待つという形になったわけでありまして。ですから、日本が参加しなければ、もちろんあれはあれで一つの望遠鏡ですからやれると思いますが、さっき申しました非常に大きな弱点を抱えたまま、つまり大きくなり過ぎた望遠鏡を抱えることになると思います。これは世界にとって非常に大きな損失だと思えます。彼らもそれを非常に恐れているところです。

(委員) 私は2点ほどお聞きしたいことがあるんですけども、まず1点目は、ミリ波からサブミリ波に行くことによって、生命の物質進化というのは分光の部分において本質的に何が違うのかということ、をまず1点お聞かせいただきたいと思えます。

それから、2点目なんですけれども、バンド10の検出器に関して、欧米の技術開発というのはどういうステータスにあって、例えば日本が参加しなかったら、彼らがやろうとしても、もう何年もおくれてできないものなのか、それともどのくらいおくれるかというのは、その辺のことをお聞かせいただきたいと思えます。

(文部科学省) わかりました。どのくらいおくれるかは、ちょっと定量的に難しいですが、現実問題として、日本がこれを実際に手につけないと欧米はしばらくはやらないんじゃないかとすら思えます。

(委員) ベースとなる技術が存在していないということ。

(文部科学省) これはもうちょっと専門家がいますから答えていただければと思えますが。それからミリ波、サブミリ波に行くときには、サブミリ波というのはスペクトルの森と、無数のスペクトルがあるんです。そこに含まれている情報量というのはミリ波の比ではありませんで、そこには非常に多様な分子がその中には含まれていると。

(委員) より高分子が観測できるという……

(文部科学省) 非常にたくさんの分子、多様な分子がそこで観測されます。得られる情報量もまるっきりけた違いです。

それから、もちろん先ほど先生のお話にもありましたが、サブミリ波に入ると、波長が短くなって分解能が高くなると。例えば、原始惑星系星雲を分解しようと思うと、サブミリ波というのは非常に本質的なんですね。分解能を高め

る……

(委員)空間的な分解能ですね。

(委員)よろしいでしょうか。私は、この方面の専門家ではありませんが、どっちかという妄想家の方でありまして申しわけありません。

ただ、子供たちと一緒に活動しておりますし、自分自身が、かつて自称天文少年だった。そのときに、これはこの計画に日本が参加していること自体が、次の世代、もちろん専門家を養成する土台にもなるし、それから国民全体、その時代の中核を担う世代が、恐らく自信を持つ、夢を持つ、確固たる態度で世界に臨める、そういう人材を育成する基本になると思うんです。それは、私は敗戦の直撃を受けたくらい、昭和20年で小学校2年生でした。焼け野原の北九州で育ったわけです。しかし、それでもプライドはなくさなかったんです。なぜかという、八幡製鉄がもうもうと黒煙を上げていたんです。当時から既に飛行機マニアだったものですから、対等に渡り合った。なぐり合いには負けたけれども、対等に渡りあったと。だから、我々はおくれをとっているわけではない、膝をついただけだと。この信念というのは、我々の世代に共通して全部あるはずなんです。だから必ず立ち直ると。手段として、よかったか悪かったかは別の問題、考え方です。そういう波及効果が巨大なので、私はこの観測データその他に参加するという意義と、観測データその他をなるべく若い世代、若い世代に伝達していくシステムをつくっておく必要があると思います。

実はNHKのハイビジョンの番組で「火星は僕らの惑星だ」という番組に参加したんですね。アーサー・C・クラークと一緒にやりましたけれども、そのときに、世界じゅうの少年に意見を求めたんです。その絵をもとにやったんです。そのときに、日本の少年ですと「あなたは宇宙飛行士になりたいですか」と。「なりたいです」と胸を張っているんですね。ヨーロッパのある国の少年に聞きますと、決しておくれしている国ではないんですよ。ですけれども、「あなたは宇宙飛行士になりたいですか」と。「なりたいです」、そこまでは同じなんです。しかし、自分の国ではうつむいてしまう。このときの精神的な落差の巨大さ、これは将来物すごく影響するぞと。だからそういうことで、次の時代を担う技術者や研究者、天文学者をつくり上げていく土台をつくるんだということです。そのところに支えられて未来が開けるといふ、そういう感じがするんですね、これを見ていると。そして、我々は子供のときからの自称天文マニアですから、宇宙の深淵の映像を見るたびに、ああ、こうだったかと。おれの小さいときにはここまでしか見られなかったというのは、頭の中で……。だから、今でもパロマー山の200インチの反射望遠鏡ですね、あれなんかが夢だったわけです。ここまで来たと。ここまで見えるようになったと。そうすると概念が変わっていくんです。すると、将来の子供たちは、恐らくそれをさ

らに土台にして、飛躍的なことを考える。たくさんの青少年の中には名だたる大天才も存在しているはずで、それと国際協力ということで、お互いに話し合いながら、共通のテーマにトライしていくということは、地球上から争いをなくす、そういう意味でも、これは夢と両方がかかっている大事なプロジェクトだと思います。私は単純明解に、これを見た瞬間に応援団と化すと、そういう感覚であります。

(委員) よろしいですか。

一つお願いします。アルマ計画なんですけれども、先生たち非常に熱心にホームページ等で活動されていて、逆に有名になり過ぎていて新鮮味が薄れるというわけではないんですけれども、あれ、まだ予算ついてないんだらうかという、むしろそういう印象を与えているんですね。

それで、素朴な質問で恐縮なんですけれども、話が長年出ていて、今までスタート着手できていない原因というのは、ひとえにお金ですか、どこに原因があるというふうにお考えになっていますか。

(文部科学省) これは、いろいろなご判断があると思います。私も、2年前には、私はこれはもう正直通ると思っておりました。新聞等でもそういうふうに思われたと思います。しかし、経済状況の悪化ということが直撃したと思っています。今の法人化もそうですが、やはり我々が今までの右肩上がりの日本経済の中で次々つくっていくという考え方ではだめなんであるというのは、私は思い知ったと思っています。

ですから、先ほど申しましたような天文台としての、非常に自助努力をどこまでやるかというのは、ぎりぎりやったつもりですし、そうでなければ実現しないだらうと。これは我々実現しなきゃならないんです。実現しないと日本の天文学はポシャるわけです。ですから、これはもう、どうしても実現しようということで、そこまで考えて、おかげさまでいろいろな文部科学省の方で考えてきたと思っています。私は、ひとえに日本の経済状況がかつてとは違うということであると思っています。

(委員) 当初の建設予算なんですけれども、これは当初より分担の割合というのは日本は減ったわけですか。

(文部科学省) はい。私どもは、当初1,000億を3等分して、ほぼ330億円ということで予算を組んでいました。それが256億になりました。かなり減ったわけです。私たちとしては、3分の1はだめだけれども、何とか4分の1を確保したいと。そこでプレゼンスとしては、そのあたりで勝負は何かできるだらうと、我々としては実績は十分ありますので、実際上対等な一翼としてやっていきたいと。

(委員) 先生に質問したいんですが、アジアとの関係でこれから極という形で、

日本だけじゃなくて共有のテーマとして会議を開いたり、研究者同士の協力はしているんですが、アルマ建設の費用、経費などの何かのサポートというのは今考えられていないんですか。

(文部科学省) この種の望遠鏡に関しては2とおりありまして、まず建設にお金を出すか出さないかと、その後の運用にお金を出すか出さないかとあります。今のところ、例えば中国はまだアルマの建設中にお金を出すというのは難しいと見ています。中国が科学に投じているお金は、現状では日本の科学の10分の1よりもまだ少ないと思います。それから台湾はかなり積極的で、もしかすると建設費も少し加わらせてくれないかということまで最近は言うようになりました。台湾とは国交はありませんけれども、科学的な交流なら大丈夫だろうと思っております。しかしながら我々は基本としては、韓国は電波のVLBIの計画に予算が通って、今アンテナをつくっております、これは我々とも交流があります。しかしアルマということになると、まだそれだけの人材は育てておりませんので、やはり多分運用に何らかの形で参加するか、あるいは彼らが十分なお金がないとしても、日本が代表する部分の中にアジアの枠をつくるなりで、少なくとも積極的にそういう人たちを入れていくということはどうしてもやりたいと思っております。

(座長) こういう国際協力ですね、結局どれだけ協力できるかというか、どれだけ主体性を保てるかというのが重要なわけですけども、今いろいろな理由でおくれてきた、結局日本は金なかったと、多分文科省の予算の枠がなかったとか、いろいろな事情はあると思いますし、こういう国際協力は、国によって予算年度も違いますし、いろいろ難しいところもあるんですけども。やはりまだ釈然としないのは、どうしてこういうふうに来たか。最初から、例えば分担なんかどういうふうになってきたか、そういう経緯をもうちょっと詳しく

きょうではなくて資料で出していきたいなと思うんですけども、予算の面あるいは技術的な分担も、最初からの外国との間の、欧米との間の話し合いの経緯も含めて、そこら辺が僕は一番釈然としないところです。多分技術的には十分立派な内容だと思いますが、これから実際にこれだけのお金を投資して、外国との間でこの装置をどういうふうな形で日本が使っていけるのか。日本としてどんな成果、あるいはコントリビューションができるのかというのは一番の問題ではないかと思っております。

あともう一つ、私が聞かせていただきたいのは、野村総研のあれですよ。幾らぐらいかかったんですか。

(文部科学省) 1,000万円ぐらいかかりました。

(座長) そうでしょう。大体、こういうのは決まった手法でやって、データベースも必ずしも信頼のできないものを使って、コストパフォーマンスは非常に

疑問な部分がありまして、2.1だ何だという数字も、出てくるのでお使いになるのは自由なんですけれども、どれだけ信頼性があるかということですね。今後こういうふうな科学的な計画にも使っていくのが、特に経済的な波及効果というのは必ずしも重要ではない、もっと社会的な効果が大事なときに、こういうのをやっていくというのは、私はかなり疑問を持っているんですが、それぞれ率直な感じどうなんですか。どういう考え方で出されて世間でやっているからやっとなかないといかんかと、これはやはり1,000万というのはかなりばかにならない金なんです。

(文部科学省)大変似た印象を持っておりますが、ただ野村総研は非常に一生懸命やってくれました。我々はもう少し、単なる経済的な効果というのは、方程式があって、こういう場合はこうという表があってだあっとやっていくようですね。しかし彼らは結構実地調査もあちこちやりまして、それなりの努力はされたようです。ただ私としては、もう少し社会への波及効果という面を深く掘り下げてほしかったとは思っています。それはそれなりにやられたけれども。それから多分、非常に外国人も含めて何人かの専門家にヒアリングまでやっています。学術的な価値とか、そういうことも含めて。ですから、相当の努力はして、払ったお金だけのことは多分やられたんだと思います。得られたものがどれくらい使えるかという点については、私も正直まだよくわかりません。これはもう先生方のご判断だと思います。

それから、野村の担当者が最後に言っていたのは、こういうのはもっとやった方がいいと やった方がいいというのは彼らがもうけたいからじゃなくて、おもしろかったと。だから、そういうことはやれるようになりたいと言っていましたけれども。

(座長)ほかによろしいですか。

(委員)ちょっと今の話で、この30億円の運用費というのは、この全体の運用費の22%ですか。どうなんですか。

(文部科学省)これは数というのはまだ概算でございますが.....

(委員)もちろん概算ですが。

(文部科学省)大体全体の1割ぐらいはかかるであろうという、実際は1割ですね。

(委員)全体の1割を我々が負担する.....

(文部科学省)いやいや、ごめんなさい。そうではなくて、建設費の1割ぐらいかかりますので、それはもちろんある程度.....

(委員)建設費の1割。そうすると、やはり22%というわけですね。

(文部科学省)それを22%、これは.....

(委員)建設費全体のパーセンテージに、我々のシェアが20億.....

(文部科学省) これは先生、なかなか我々にとって微妙なことでありまして、我々は建設費のコントリビューションは22%ですが、実際の技術的にコントリビュートしていると。テレスコープタイムをもっとよこせと申します。テレスコープタイムを26%もらおうと、では運営経費は26%出すのかと、こういう話になり、ここはなかなか微妙な話なんですよ。ですから、これはまさに交渉ごとでありまして、我々としては運営費でどこまで日本が実際に出せるかということも、これは実際に建設を進めていく中で、より明確になっていくと思いますし、それからお金の出し方も実は難しいわけでありまして、現金をそのまま出すというのはできないことですね。では、どういう形でやるかとか、人件費でやるかとか、いろいろな共用をしていくことになると思いますが、大ざっぱに言って30億円というのは、一応積み上げた結果これぐらいと。

(委員) 人件費がかなりこの中に入っているんですね。

(文部科学省) 非常に人件費は多いです。現地で人を大勢雇いますので。

(委員) 人件費はこの半分ぐらいですか。大まかに……

(文部科学省) まだ最終的に詰めは行っておりませんが、現地で人数にすると、日本だけで100人規模。アルマ全体で400人の現地スタッフがいるということで、日本はだから25%ぐらいとしますと、100人規模のスタッフを雇用することで貢献してほしいということを問われておりました。

(委員) 現地採用は400人ですが、本国から出かけるのは何人ぐらい。

(文部科学省) 現地で働くという意味で、その中の何%かは本国から派遣されるということも含まれております。

(委員) 100人のうちの何%が本国から出される。そうすると、大体欧米人を含めて、ともかく現地の人含めて全体で400人ぐらいがここで働くという、そんな感じ。

(文部科学省) そういうことになります。

(委員) 日本がそのうちの100人ぐらい。

(文部科学省) そういうことです。

(文部科学省) その30億円は全部チリではございませんで、国内にはこの資料の中にございますけれども、観測センターが置かれます。そこには、当然コンピューターとかデータベースがあって、運用して、実際には基本的には観測者はチリに行かないんです。それをやっていると大変ですから、国内から観測できるようにいたしますので、そういうものの設備や運用も……

(委員) 全部データをこちらへ送って、こちらでアナライズすべきだろうと思います。

(文部科学省) その辺はNTTともいろいろ協力をしています。

(委員) こちらのセンターは、NTTから……

(文部科学省) センターは国立天文台に置きます。三鷹に置きます。大学の先生はそこへ来て観測ができるわけです。そういう運営費もございます。人件費の中で、要するに全体の多分2分の1、3分の1強がチリで雇う人のお金になるだろうと。もしご興味がおありになれば、現在の積算はもちろんお示しすることはできます。

(座長) どうもありがとうございました。

非常に時間が押しておりますので、きょうの第1回目のご説明、ご質問はこれで終わらせていただきたいと思います。どうもありがとうございました。

(文部科学省) どうもありがとうございました。

(ヒアリング説明者 退室)

(委員) ここでは、すばる望遠鏡と比べるんだけれども、すばる望遠鏡というのはどのくらいお金がかかったんですか。どなたかご存じありませんか。すばると比べてこの金額というのは、どのくらいにバランスが……同じくらいですかね。

(事務局) すばるの運営費は34億ですね。

(委員) 運営費が34億。建設費は。

(事務局) 建設費が395億です。

(委員) 395億。あれは日本単独だよ。だから、相当……

(事務局) 相当大きい。3倍くらいですね。

(座長) レンズなんかは随分高くかかっていると思うんですね。

(委員) だから、すばるが……運営費が34億、395億。それに対して今度は256億、これは22%だから全体で1,000億円くらいのものだね。だから、大まかに言ったらすばるの倍くらいのスケールのものだと、感じとしては。だから、日本だけじゃもうとても無理だということ。

(座長) 私なんか、子供のころ、天文学というのは山の上の天文台にこもって高尚な瞑想にふけるという印象があったんですけども、今はもう新しい望遠鏡、新しいものをみつけるために新しい望遠鏡が必要だと。だから、もう今の天文学というのは、新しい望遠鏡をつくる学問というか、そのために金をとる学問みたいな感じになっちゃったりしてね。

(委員) それは同じことですよ。高エネルギー物理でもそうですし、エネルギーにどれほど大きな金を使うかということによって、ニューパーティクルがスケパーツされるかどうかということ。

(座長) そうすることで、ちょっとこれから大分時間が押しておりますが、少し時間を伸ばして、ざっくばらんな議論をいただいて、それでこの次、第2回的时候にまた追加質問していただく項目とか、出していただく資料とかありましたら、事務局の方でその中からまとめて向こうに通知していただきたいと思います。

すので。率直なご意見を。

(委員) これももう既に、委員も質問されたけれども、どうしてこれはちゃんと通らなかったんですか。話したけれども、世界で競争をやろうと。これは僕も心配するのは、後から行った人間は損しますよ、絶対に損しますよ。だから、その損をどういうふうにカバーするかということで、もう2人で決めてしまったもので、第三者が入ってやるわけでしょう。

(座長) これは写真見ましても、何か全体計画の後から、とにかく押しかけで風鈴をつけたみたいな感じがありますよね。この写真自身が。

(委員) それがちょっと心配で、そこが僕が一番心配なので、後からいる人間は、いろいろなことで不利だと思うんだけどね。最初の人が一応計画したものに、フォローしなくちゃいけないです。それはサブミリできるもので、いろいろ新しいんだけど、ミリ波からサブミリ波になって、そんなに革新的なものではないように僕は感じがするんだけど。その辺のところ、ちょっと微妙なところなので、そんなところいまさら、無理を言っても仕方がないんだけど、どうして.....

(事務局) 説明者が言っておられましたけれども、平成13年から総合科学技術会議が始まっているわけですが、そのころから、このアルマというのは何か出るのではないかと何かというのはいろいろ聞こえては来たんですが、結局出してこなかったわけなんです。

(委員) 出してこなかったんですか。

(事務局) はい。それは、どういうことかといいますと、やはり経済的に非常に日本も落ち込んでおりましたし、今出すのは全体の文部科学省としてまずいというような、時期でないという判断もあつたのではないかと思います。それは、全体ここに来て、ようやくまとまってきたということではないかと思います。

(座長) 多分、文科省の枠で、文科省から出なかったなではないかと思いますけれども。それで、今これは日本の常套手段ですが、外国がやったから、言っているから急いでやらなくちゃいかんという、まだこれにも出ているんです。いろいろな背景はあると思うんですけれども、大体そういう状況が多いような気がするんです。

(委員) ちょっとよろしいですか。私は、やはり説明者がおっしゃいましたように、もともとこれは日本独自のプログラムとして出ていたわけで、それは名前が「アルマ」なんという名前ではなかったんですよ。もともと「アタカマでのサブミリデータアレイ」というタイトルで大きなプロジェクトもそもそも出ていたんですよ。それにやはりアメリカとかは、独自のことを考えていたわけで、それを初めて国際共同で一緒にやろうということで、話が進んできたわ

けです。ですから、明らかに日本は日本で独自で、サブミリということで、極めて特徴的につくろうとしていたことは事実なんですね。ただ、やはりこれは巨大なお金になってきますし、やはり同じものが3つ、よく似たものが同じところに3つあるなんてというのは、一緒に一つのアレイとして配列としてやれば、よっぽど性能が上がるということで、一緒にやっていくことに段々まとめていったというのが歴史的な事実だと思うんですね。

ただ、委員がおっしゃいましたように、2年間のおくれというのは、僕は非常に大きな打撃だったと思います。だって、メインのアレイの中のメンバーになれなかったんですから、これはやはり文部省の方をちょっと頑張っただけで押しただけたらと思うんですけれども。けれども、結果的にこの2年間の後、どれだけカバーできるかというのは、委員がおっしゃったように、どれだけ存在感のある人がそこで頑張れるかということに尽きるんだと思うんですね。

(委員) そうなんです。天文に存在感のある人、かなりいらっしゃると思うんですけども、どうなんですか。本当に世界の学者と渡り歩いていますか。

(委員) 私は理論屋ですので、観測のことは全く知りませんが、海部台長は、ご存じのとおりまさに電波天文学者なんですね。彼は、もう周知の学生のころから、まさに45メートルの開発から全部機械をつくってきた人なんですね。すばるの悪口を言うわけじゃないんですけども、一般に光の観測というのは日本は小さな文献しかなかったし、はっきり言わせて機器開発する能力がなかったんです。ところが、電波天文だけは例外ですね。みずから機械から建設するというのが、やっていたのが唯一の天文の分野の機械からやったのは唯一電波天文の分野だけです。だから、そういう意味だからこそ、これだけの存在感があるんだと私は思います。つまり、装置開発の歴史がもう30年以上あるわけなんですね。そこが、やはりほかの光の分野に比べると、明らかに歴史が違うと思います。

(座長) 今言われたように、海部さんはもともと電波天文専門で、けれども、天文台の中ではすばるの方から、先に出ていたわけですよ。海部総理大臣になったものだから、あの人は赤外線天文学にかかわって、それですばるを実現させて、今度はもとに戻ってきたという感じがあるので、今先生言われたような形では、やはり外国に対して存在感というのはやはり海部さんだと思うんですね。先ほど、私が申し上げましたように、とりわけミリ波のこういうパーツから含めて、何十年も昔から独自でやっておられるというのは私もよく知っているので、技術的には余り心配はしていないんですね。立派なものだと思いますけれども。

(委員) アルマという計画からいいますと、多分一番おくれってきたのはヨーロッパなんだと思うんですね。LMSAという日本の計画は、まず10年以上前

にスタートして、ほぼ同じころにアメリカがミリ波を主体とした対象系の計画を得ていて、多分ヨーロッパがさらに10年ぐらいおくれてそれに乗っかってきたという.....

(座長) ここのタイムテーブルに出ていますよね。

(委員) あります。そういう形なので、実は実際はヨーロッパが一番後から乗っかってきたような形ではあるんです。

あとは、電波天文ということで、今分子の話があったんですが、初めてアルコールとか、そういった高分子の電波を見つけたのが日本の天文学の分野ですので、分子分光という分野では日本がずっとリードしてきていると。

(委員) あなたが質問したことに対して、十分な答えが得られなかったように思われるんですが。つまり、サブミリになったときに、どんな決定的な時点があるのかということをおあなたが質問したけれども、どうも多くのものが見つかるというようなことぐらいで、いつも定量的な答えだったように思うんだけど。サブミリにすることによってどうなるんですか。ちょっと専門家の意見を聞きたいんだけど。普通、ミリ波からサブミリになって、どんな決定的な.....

(委員) 必ずしも専門ではないんですけれども、少なくとも先ほどおっしゃられたことは、高分子に対するいろいろな波長というのはサブミリで.....

(委員) 高分子に対して分解能がよくなると。どのくらいの高分子なの。

(委員) サブミリの一番大きな特徴は、どちらかということアトムラインが非常にクリアに見えるところなんです。例えばカーボンそのものですね。いわゆるミリ波ではCOだとか、そういう分子になったものでしたらば、先生ご存じのように回転盤だとかいうことになりましてけれども、炭素だとかそういうようになりまして、いろいろなレベルが赤外に近くなってきますので、やはりサブミリというのが非常に大事になってきます。実際、もう日本がサブミリの技術を蓄えていた多くの一つは、今富士山の山頂にあります、ちょっと私たちのセンターのサブミリ波の望遠鏡ですけれども、これはもちろん天文台の寄与でできているわけなんですけれども、そういうことは、実はカーボンのライン、カーボンアトムそのものです。COになる前の、薄いガスの中の炭素を見ることで、星の形成の前がよく見えてくるようになってきました。それと同じことが、例えば宇宙初期で言うならば、最初の星形成の現場みたいなものがカーボンのラインそのもので見えてくるだとかということがあろうかと思えます。

それから、ほこりといいましょうか、ダストからのエミッションなんかサブミリ波でよく見ますので、要するに原始惑星系のできる円盤などを見るときには、これは非常にパワフルな観測装置になると思うんですね。

(事務局) そうすると、非常により原始的な、できるときのことかわかるとい

うことですね。

(委員) そうですね。

(事務局) そのことと、高分子が見えるということとは全然違うことなんですか。高分子はどちらかといえば、ずっとおくれたことなんですか。

(委員) むしろ生命の誕生というところについては高分子みたいです。

(委員) この高分子に関しては、サブミリというのは、特にこうというわけでは……

(委員) いや、そういうお答えだったと思います。サブミリが重要だと。

(事務局) ですが、先生のあれだとそうでもない。

(委員) 先生の宇宙初期、3つの目的をおっしゃられたうちの、それぞれについてサブミリがいいという……

(委員) だから、サブミリで、私も高分子の細かなことはわかりませんが、原始太陽系を見るにしたって、ダスト円盤を見る上では、これは明らかにサブミリであることが物すごく強力です。ガスがいかに固まって惑星ができるかという、その現場を見るのは、やはりサブミリというのは物すごく強力だと思いますね。ミリ波じゃやはりだめだと思います。サブミリ波であるからこそできるんだと思うんですね。だから、横にコンパクトなアレイをつくるということの意味は、そこにやはり大きいことはあると思います。だから、……

(事務局) だから、ご説明のように、あらゆる天文学のことを言ってしまうから、よくわからないんです。何でこれをつくらなきゃいけないのか。何を観測するのか……

(委員) 分解能だと思うんですね。

(事務局) 分解能。

(委員) 0.01秒という、光でも実現できない分解能で、それだからこそ惑星系が見えるんだと。今まで見えなかったものが見えるんだと。それを見るには2とおりにありまして、今の規模でサブミリの受信機を乗せるかですね、あるいはミリ波で、10倍の規模の望遠鏡にするかなんですね。だから、予算的にとても10倍の規模にはできませんので、どうにか受信機のサブミリを乗せて最高性能を実現したいと。もともと、開発の経緯が超電導の受信機の、ニオブアルミというのをベル研が最初に発見したんですね。それに対して、それよりも高い周波数で使えるチッ化ニオブ系とかチタン酸ニオブですか、そういうものというのは日本のオリジナルな、昔の通総研が開発した素子で、もともと通総研とか、ほかの研究所で結構やられてきたんですね。そういうものを野辺山が集約して多分やってきて、成果を上げているという背景があって。アメリカは、ですからサブミリでは自信ないのでミリ波で、ニオブアルミでとにかくいけばいいんじゃないかというのが最初で、それに対して日本はそれだけの規模

をつくるならサブミリに乗せて世界最高を実現したいという主張をしてきたんだらうと思うんですね。

(委員) 宇宙運動のバックグラウンドのサウンドケイというのを発見しましたよね、ウィルソンと。あれはどのくらいの波長になるのかな。

(委員) 1センチです。

(委員) だから、ミリメートルよりもう少し簡単な……

(委員) はるか長いですよ。

(委員) あの辺の技術は随分持っているわけでしょう、向こうは。ミリ波の技術はベル研などは。

(委員) 私の質問も、今のところに関連するんですけど、日本が後から入ってくるが、ただサブミリ波という一つの武器をもって入ってくるわけで、そうすると、先ほどの説明で1けたぐらい観測性能が上がるわけです。単なる施設分担金でもって利用率が決まってくるというところに、この技術のアドバンテージがどのように生きてくるかという質問に対して、余り正確な、また交渉ごとだという話で、強力なインパクトが返ってこなかったと思います。この技術的なアドバンテージの度合をどう評価すればいいんですか。

(委員) まず委員がおっしゃったことは、ちょっと日本が損するんじゃないかということ……

(委員) 観測精度が1けた上がるということは画期的だと思うんですね、この施設全体にとって。そうすると、日本は分担金以上にもっと技術的なコントリビューションで施設利用面で、自己主張できるのではないかというのが私の考え方です。

(座長) そうですね、この利用の時間帯の確保というのも、64個の部分なのか、あるいはこのサブアレイの部分は、これは日本が優先権があるのか、その辺のところはよくわかりません。

(委員) それはシステム全体として一体で機能するわけですから、あっちこっちというわけじゃないだらうと思います。

(事務局) これ、利用時間というのはなぜ存在するか。それについて、

(委員) ちょっと私が聞いていること、今の技術的なエバルエーションというのを日米欧でやられていて、技術的なコントリビューションに対して、エバルエーションをすると。それに基づいて時間を配分するというをやっている、エバルエーションの最中らしい。30%を日本としては……

(委員) その時間配分というよりも、先ほどのやつで全部で400人のうち日本関係が100人だから、大体4分の1ぐらいでしょう。

(委員) お金……

(委員) お金じゃなしに、人間の数。お金も関係するわけね。

(委員) あれはだけど……観測時間……

(委員) そのくらい、そういう人間が、やはり参加するわけで、そのうちの日本人はサブミリメートルに集中するのか、その辺のところは僕はよくわからないけれども。

(事務局) ただ、日本で東京天文台でやっておられて……

(委員) 観測は、多分公募観測というのをやられていますね。

(委員) データはもってきてするわけだけれども、現実に向こうにおる人間が、やはりパートを操作するわけでしょう。

(委員) 多分、それは運用の問題なんですね。観測時間というのは、オブザーベーションの時間の何%をどの国の観測提案に基づいてやるかというその時間分け。それを実際にだれがオペレーションすることは関係ないはずですよ。

(事務局) その時間分けというのは、波長で分けるんですか。

(委員) 波長ではなくて観測時間だと思います。単純に。

(座長) これ、全体のシステムとして運用するとすれば……

(委員) 観測時間の何%を日本の……

(座長) 大学などの共同利用の施設について、やはりそういうのは……委員会で決めてやっていますから。

(委員) 多分1回の観測が、例えば数時間という単位で観測……

(委員) お金プラス人の寄与なんですね。だから、人の寄与だとか技術だとか、どういうふうにウエートをかけて評価されるかで、アメリカとグループ研究がありますけれども、それは何時間働いたか、人を何人送り込んだか、その人がどういう寄与ができたかが全部ポイント制みたいなものですよね。それを合計して寄与というのが常に評価されていていっているわけで、ですからこれからは先生がおっしゃいましたように、日本人がそれだけ存在感がある寄与をどんどんできることによって、その寄与はお金、現在出したこの二十何%という枠を超えて高めることもできるし、逆に怠けてしなければ、それは下がるということは、これはもう現実だと思うんですね。だから、やはり今のところ、私は海部さん自身が電波天文学者だし、台長みずから存在感のある方だし、国際天文学連合という国際全体の組織の副会長をされておりましたし、そういう長い意味で、日本の電波天文というのは歴史的には非常に評価は高い分野であることはたしかだと思いますね。

(委員) これは、成果のそのあとの問題ですね。実は、夕べ学生から電話があったばかりなんですよ「できたぞ」と。何ができたかといいますと、裸眼で見るホログラムなんですね。ホログラフィーの極めて精度の高いもの、そういう
これ日本で開発されたものです。そういう技術と、このデータを合体させた場合、例えばこういう論議をやっているときに、ここに見え方 例え原

始惑星とかビッグバンがどうだとか、観測の画像を立体として、ここに裸眼のまま見るものを浮かべることが可能になってきたわけです。ですから、そういうものとの合体で、今度は観測されたものの成果をわかりやすく、だれが見ても座って見ていればここにあるわけですから、浮いているわけですから、そういうものを利用していくようなものと、何か合体させる必要があるんじゃないかと。新聞やテレビや何かで報道されるものもぴんとこないんですね。見ても素人、我々にはわかりません。目で見ればわかるわけですね。その技術ができたぞというのは　まさにできたんですよ。お前のところに持っていくというんです。持っていくというのは「持ってこれるくらいのプロジェクターか」というと「そうだ」と言うんです。世界最小のもので、これだと特大から極小に至るまで、すべての画像をここで見ることができる。そういうものとほかの技術と、こっちの方の専門家の皆さんとの合体が必要ではないかと思うんですね。

(委員) 委員がおっしゃられるように、天文学のおもしろさというのは映像文化なんですね。現在の文化で典型的なのは映像文化で、天文学が目に見える、火星が見えると、おもしろいことだと。これも一つのおもしろい、もちろん若干抽象的になるわけですがけれども、現在の学問というのは非常に抽象化されている一方で、大変抽象化されているということで、また問題なんですがけれども、今そういうことを結びつけることは.....

(座長) そういう努力が必要ですよ。さっき、プラネタリウムはJリーグよりたくさん動員がいるといていたけれども、実はプラネタリウムは片っぱしから今つぶれているんですよ。やはり新しい努力が必要ですね。

(委員) あれも非常に.....ステートメントが間違っているんでしょう。

(委員) そのプラネタリウムをこれで助けられるという技術なんですね。今言ったのは。要するに、どんどんつめた。それは高機能プロジェクターが高過ぎるんですよ。物すごく高いので。

(委員) メンテナンスも高いんですか。

(委員) 機材そのものが高いんです。メンテナンスも劣化が進むので、プラネタリウムがえらい目に遭う。画像のつなぎ目が見えてしまう。それを消すための高機能プロジェクターを使うんですが、1台何億円というようなものを何台も据えなきゃいけないわけです。

(委員) プラネタリウムというのは、私は大阪で生まれたんですがけれども、大阪が初めて日本で始めた.....

(委員) 有名なプラネタリウムですね。

(委員) 初めてあれを見て大変印象的だったんですね。最近、東京のプラネタリウムもつぶれて.....

(委員) だから、それは昔ながらの天井に写すからいかなのです。目の前に浮

かべるプラネタリウム。これができれば動員力というのはかなり　しかもどんどんソフトを変えることができる。そういう方面へ、この観測の事実を伝えていく連携プレーが必要だと。それは逆に、日本が使ったお金を外国から改修をするために、そのソフトを外国に輸出する。ソフトの輸出は消費税がかからないんだそうですよ。輸出産業の保護のために。そういうことで、それは逆に外国が買ってくれると思うんですね。そういうような連動が必要なんじゃないかと思います。

（座長）これだけの金ですから、やはり税金使うわけですから、国民のリアクションというのは物すごい重要ですね。例えば、NASAが創立30周年で、NASAが30年間にやったもので何が一番よかったかというアンケートを国民に出したんですよ。みんなは、例えば宇宙に人間が行けたとか、宇宙から地球がよく見えたとか、見えるようになったとか、そういうことを期待していたんですけども、意外なことにプラネタリーミッション　木星とか土星やその衛星がああいうふうに見えた、これが一番よかったというのが圧倒的だったんですね。そういう意味で、これなどは国民に対するリアクションでも経済の2.1倍だとか、あんなものに1,000万使うなら、そういうようなことをもっと研究者自身が努力してアピールしないといかんと思うんですけども。

（委員）私が非常に興味があるのは、国際的な協力とか基礎科学の前進とか、もちろんそれは十分なんですけれども、逆の考え方で、もし日本がここでサブミリを撤退していかなかった場合は、将来的にはアメリカあるいは欧州がサブミリをやらざるを得なくなっていくだろうと思うんですね。ところが、そのサブミリというのは、今工学的に言いますと、ちょうどブランクなんです。エアポケットで、ミリ波の方は、かつてはマイクロ波というんですか、野辺山がミリ波の天文台を始めて、それ以降同時にいろいろミリ波の技術があちこちに適用されて、例えば高エネルギーのプラズマのダイナミクスがミリ波で観測できるとか、あるいは宇宙のオゾンホール物質のいろいろな悪さをしているやつをミリ波で見えそうだとか、そういうような形で、結構いろいろな面で、例えば自動車の衝突防止措置ですかね、あれはまさにミリ波のあれとかミリ波ランとか。工学的に、ようやくミリ波が今実現されつつあると。天文ではもう20年前から実用してきたんだと。それを考えたときに、サブミリがまだ全く工学的にはもう手のつけられない、かなりつけようとしても高いお金がかかって必要にならない。それが日本でやられて、これがまた徐々に普及してきたら、新しい波長領域の技術というのがそこから芽生えていく可能性がある。そうすると、どのくらいか予測はつきませんけれども、下の周波数からミリ波、サブミリ波と、それから一気に飛んでいる光から遠赤に来たわけですね。その間がちょうどサブミリというポジションを考えると、やはりエムロトでサブミリに

力を入れていくというのは、結構期待されるものが出てくるのではないかなというふうに、具体的にはよくわかりませんが、逆の面を考えると、ちょっとハンディが大きくなる可能性もあるなど。いろいろな面での効果がちょっとそこにあるような気がするんですけどもね。

(事務局) これは先生、時間も来まして、皆さんお忙しいので、とりあえず聞きたいことについては、紙に書いて出してもらおうと、いろいろなことをやりたいと思います。今、ちょっと説明をしたいと思いますが、よろしゅうございますか。

(事務局) お手元の資料の1枚紙で、こういう様式が入っていると思います。追加意見書と書いてありますけれども、きょうある意味でフリーディスカッションのような格好でやっていただいたんですが、まだまだご質問もあると思いますし、次回またこういう議論をしたいというようなお話もあるかと思うので、一応そういうことを書いていただけるように用意をさせていただきました。それで、1番目に評価の視点ですね。評価の場合の問題点なり、あるいはこれが論点だろうというようなこと。それから調査、検討すべき項目としてこんなことがあるのではないかと。あるいは、次回資料を用意して説明をしてくださいというような要望。何でも結構ですが、そういうことがございましたらこれに書いていただき、あるいはEメールも書いてありますので、様式自由でEメールで送っていただいても結構です。

大変時間がなくて恐縮ですが、9月19日、今週の金曜日の正午までというふうに書いてございます。何でも結構ですので、出していただきたいと思います。事務局の方で改めてまとめまして、文科省なり国立天文台の方に作業をやっていただきまして、次回のこの会合で質問に対する答えですとか、あるいはご提案のあった論点に関する議論ですとか、そういうことで進めさせていただきたいと思っております。

次回ですが、調整させていただきまして、10月6日月曜日でございますけれども、午後3時から5時、場所はこの場所と同じ743会議室でございます。

(委員) すみません、時間は……

(事務局) 3時から5時です。

(座長) 説明と質問が大分押したので、場合によったらご意見あったらもう少し伸びるかと思いましたが、これで大体きょうのあれは出尽くしたようです。今事務局から説明がありましたように、19日までに。

きょう説明のありました視点に基づいたような感じで考えていただいて、それでAから、EはいいからDまでというお話がありましたけれども、あれに基づいて何か追加の質問などありましたら、2回目に追加説明していただきたいと思います。

では、きょうはこれで終わらせていただきます。どうもありがとうございました。

了