

大型研究計画に関する評価について(報告)

「アルマ計画の推進」

平成25年9月30日

科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会

目 次

はじめに	1
「アルマ計画の推進」について	
1. 計画の概要	2
1. 概要	
2. 実施体制	
3. 当初計画	
2. まとめ	6
1. 計画の進捗状況	
2. 今後の運用体制	
3. 事業推進にあたっての留意点	
科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会	
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 委員等名簿	12

はじめに

文部科学省においては、学術研究の大規模プロジェクトへの安定的・継続的な支援を図るべく、平成24年度、新たに「大規模学術フロンティア促進事業」¹を創設した。

この事業は、世界が注目する大規模プロジェクトについて、「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想『ロードマップ』²」等に基づき、社会や国民の幅広い理解・支持を得つつ、国際的な競争・協力を迅速かつ適切に対応できるように支援し、戦略的・計画的な推進を図ることを目的とし、現在整備中又は推進中の大規模プロジェクトの着実な実施とともに、新規の大規模プロジェクトを推進することとしている。

本作業部会で平成24年11月に整理した「大規模学術フロンティア促進事業の年次計画について（以下、「年次計画」という。）」においては、「アルマ計画の推進」についての留意事項として、「アルマ望遠鏡が完成し、本格運用に移行する段階で進捗評価を行う」ことが挙げられていることから、このたび、本作業部会において進捗評価を実施した。

評価に当たっては、関係分野の専門家にアドバイザーとして加わっていただき、ヒアリング及び審議を実施した。また、確認内容として、①計画の進捗状況、②今後の運用体制、③事業推進にあたっての留意点を設定し、評価結果を取りまとめた。

¹ 本作業部会が、平成24年5月28日にとりまとめた「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想 ロードマップの改訂—ロードマップ2012—」において、「・・・国は、ロードマップ等を基本に、長期的視点に立ち、大型プロジェクトの着実な推進に向けて、安定的・継続的な予算の確保に最大限の努力をすることが必要」、「平成24年度に『大規模学術フロンティア促進事業』が創設され、今後の大型プロジェクトの推進は、ロードマップ等に基づくとの方針が明確に打ち出されている。もとより、大型プロジェクトに関する予算は、当該事業だけに限定されるものではなく、例えば科学研究費補助金や独立行政法人運営費交付金等によることが期待される所であり、国として様々な手法を駆使しながら、戦略的・計画的に大型プロジェクトを推進していくことが求められる」としている。

² 本作業部会は、平成22年10月、日本学術会議が策定したマスタープランを踏まえ、学術研究の大型プロジェクト推進に当たっての優先度を明らかにする観点から、学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想「ロードマップ」を策定し、公表した。その後、日本学術会議がマスタープランの小改訂を行ったことを受け、本作業部会は新たに盛り込まれた15計画を中心に検討を進め、本作業部会としての評価結果を盛り込むこと等により、平成24年5月、「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想 ロードマップの改訂—ロードマップ2012—」をとりとまとめた。

「アルマ計画の推進」について

1. 計画の概要

1. 概要

アルマ計画は、日米欧の諸国が協力して、チリ・アタカマの標高5,000mの高地に「アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）」を建設し、運用するものである。直径12mアンテナ50台のアレイ（＝干渉計）と、これらの性能を高度化するための「ACA（アタカマコンパクトアレイ）システム」（7mアンテナ12台及び12mアンテナ4台で構成）を組み合わせ、一つの巨大な電波望遠鏡であるアルマ望遠鏡を構成する。

アルマ望遠鏡の特徴は、以下の3点である。

- ①ハッブル宇宙望遠鏡の10倍の高い解像度で、天体を細かく観測
- ②これまでの電波望遠鏡の100倍の高い感度で、遠くの天体を観測
- ③これまでの相関器の10倍の高い分光能力で、存在する物質を観測

これらの性能を活かして、光や赤外線では見えない天体や宇宙物質をミリ波・サブミリ波観測で捉えることにより、以下のアルマ科学目標の三本柱の達成を目指している。

科学目標1：太陽系以外の惑星系とその形成過程を解明

科学目標2：銀河形成と諸天体の歴史を解明

科学目標3：膨張宇宙における物質進化を解明

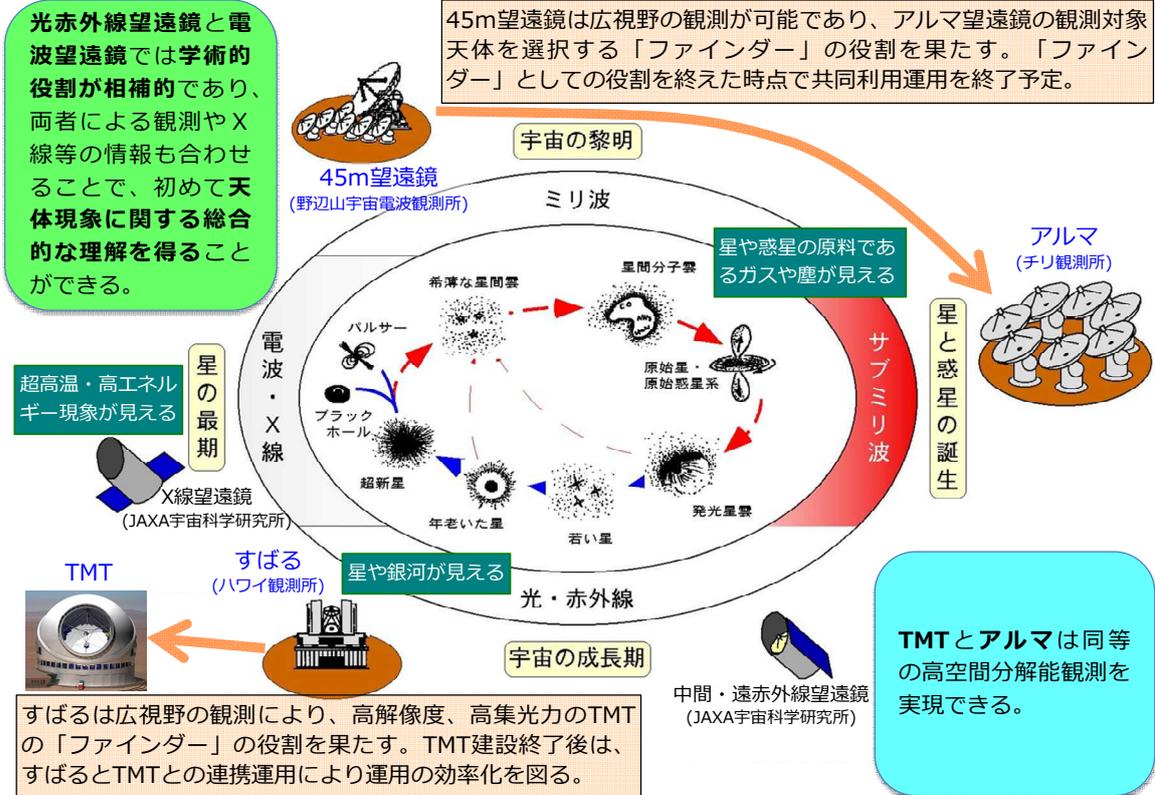
なお、電波望遠鏡は、銀河や星の材料となる宇宙空間の塵（ちり）やガスが発する低温の電波を観測することができ、主に、銀河や星・惑星の誕生過程を解明することに強みを持っている。一方、光赤外線望遠鏡は、活発に活動する銀河や星等が発する高温の可視光や赤外線を観測することができ、銀河や星・惑星の成長過程を解明することに強みを持っている。

アルマ望遠鏡をはじめとして、自然科学研究機構国立天文台が運用・計画する望遠鏡と学術上の役割分担は以下のとおりである。

国立天文台が運用・計画する望遠鏡と学術上の役割分担

望遠鏡	学術上の役割分担	運用予定
アルマ望遠鏡 (電波：大型)	光や赤外線では見えない天体や宇宙物質をミリ波・サブミリ波による高度な観測で捉え、銀河・惑星系の形成過程や生命の起源の解明に挑む。	平成 22 年度初期科学運用開始。平成 24 年度本格運用開始。30 年間以上の運用予定。
野辺山 45m 電波望遠鏡 (電波：中型)	広視野の観測が可能であり、アルマ望遠鏡の観測対象天体を選択する「ファインダー」の役割を果たす。	「ファインダー」としての役割を終えた時点で共同利用運用を終了予定。
TMT (光赤外：大型)	地球型の太陽系外惑星に生命の可能性を探り、時空の彼方にある宇宙最初の星や銀河を観測する。	平成 26 年度建設開始。平成 33 年度試験観測開始予定。平成 34 年度本格運用開始予定。30 年間以上の運用予定。
すばる (光赤外：大型)	広視野観測により TMT の「ファインダー」の役割を果たす。	TMT 建設終了後は、すばると TMT との連携運用により運用の効率化を図る。
岡山 1.8m 光学望遠鏡 (光赤外：小型)	銀河・恒星・太陽系外天体の光学赤外線観測。また、国内で観測できる望遠鏡として、学生教育、院生教育に活用。	京大 3.8m 望遠鏡建設終了後に、国立天文台としての運用を停止予定。

国立天文台が運用・計画する望遠鏡と学術上の役割分担



2. 実施体制

本計画は、日本（国立天文台）、米国（米国国立科学財団）、欧州（欧州南天文台）及びチリの計20の国と地域の国際協力で推進している。日本は、これまで野辺山宇宙電波観測所で多くの成果を挙げてきたミリ波天文学の科学的・技術的実績を基に、国立天文台が中心となり、全国の大学・研究機関および東アジアの関連機関の共同協力体制により建設計画を推進してきた。

運用段階においては、日米欧の国際協力で運用されるチリ・アルマ観測所が、観測の実施、観測データの各地域センターへの配布、観測装置の運用保守を行う。チリ・アルマ観測所の運用の中核となるポジションには、日米欧から国際職員約40名が派遣されており、平成25年8月現在、国立天文台職員13名が貢献している。

また、各地域センターが日米欧に設置され、各割り当て観測時間での観測データ解析および画像化を分担する等、備えるべき機能等が日米欧で取り決められている。

本計画は、平成24年から本格運用が始まり、建設段階から運用段階に移行した。現在の運用計画は、平成19年に、日米欧三者によるアルマ評議会で承認された平成27年までの長期計画に基づくものであり、平成28年以降については、運用実績を踏まえた検討が今後行われ、アルマ評議会で決定される予定である。また、長期計画に基づき、毎年開催されるアルマ評議会において、翌年度の運用予算が決定される。

観測提案の採択から観測までの流れは次のとおりである。

- ①観測提案は、主研究者（P I）が所属する各地域センターを経由して申請され、チリ・アルマ観測所が運営する「プログラム審査委員会」で審査される。
- ②「プログラム審査委員会」では、すべての観測提案を審査し、P Iの所属地域を考慮せずに、1番から最後の提案までの優先順位付けを行う。
- ③その上で、優先順位の1番から順番に、P Iが所属する各地域に割り当てられた観測時間を満たすまで観測提案を採択していく。
- ④採択された観測提案にはP Iが所属する地域とは独立に優先順位がついており、優先順位の高い観測提案から観測が実施される。

以上のとおり、高い優先順位で採択された観測提案は、早期に良い観測条件の下で観測を行うことができ、研究成果に直結する観測データを得られることにつながる。

3. 当初計画

（1）建設及び運用のスケジュール

- ①建設：平成16年度～平成23年度（8年計画）
（米欧は平成14年から建設）

- ②運用：

平成19年度 部分運用開始、平成22年度 初期科学運用開始、
平成24年度 本格運用開始（30年程度を計画）

（2）資金計画（日本負担分）

建設費：総額 256億円、 運用経費：年間 約30億円
（日本負担分 全体の約25%の貢献割合）

2. まとめ

1. 計画の進捗状況

(1) 設備の整備状況

計画当初から日米欧が、建設地であるチリの協力を得て、国際協力で建設を進めてきた。日本の建設参加は米欧に比べて2年遅れたが、開始後は建設を着実に進め、米欧に先んじてアンテナ第一号を完成させた。

本計画において日本が製造した主要装置は「高精度アンテナ（12mアンテナ4台、7mアンテナ12台）」、「受信機システム（3つの周波数帯の受信機、合計219台）」、「相関器システム」と、それらを統合した「ACAシステム」である。この我が国独自のACAシステムは、従来のミリ波サブミリ波領域の観測装置を凌駕する性能を実現して、欧米のシステムと相補的な役割を果たしている。これらは当初計画どおり、平成19年度に部分運用を開始し、平成22年度に初期科学運用を開始、平成24年度に本格運用を開始した。

本計画においては、平成21年度に、米欧担当部分について下記の計画変更が行われた。

- ①アンテナ製造コスト増に対応するための米欧担当分のアンテナ台数の減少（それぞれ32台→それぞれ25台。なお、日本は16台で変更なし。）
- ②計画変更による日米欧3者の建設貢献度は、米欧が製造するアンテナ台数の減少に伴い米欧の貢献度は減少する一方、米欧が担当するインフラストラクチャの建設難度の再評価により米欧の貢献度が上昇

計画変更による日米欧三者の建設貢献度割合は、上記2点を総合すると当初計画どおりとなった。

なお、建設においては我が国の産業の有する卓越した技術力が大きく貢献しており、アンテナの開発においては、我が国の産業用ロボット開発で培われた高精度リニアモーター技術が活用されるとともに、アンテナや受信機の製作においては、大企業のみならず、中小企業の熟練技術者が持つ高い製造技術が活かされている。さらに、受信機用の極低温冷凍機の開発が医療機器への応用に展開されるなど、我が国の産業のイノベーション創出にも貢献している。

(2) 経費の状況

日本の当初の資金計画は256億円であったが、前述のとおり米欧が製造するアンテナ台数の減少に伴い、アンテナの総数が80台から66台に減少したことに対応して、日本が製造する受信機台数が減少したため、その分が減額となり建設費総額は251億円となった。運用経費については、為替レートの変

動等により、当初計画の約30億円より2億円増の年間約32億円程度が予定されている。

建設費：総額 251億円

運用経費：年間 約32億円

内訳：チリ・アルマ観測所の運用保守経費 22.8億円

地域センター運用経費 9.0億円（平成26年度）

（3）社会や国民の理解を得るための取組

国立天文台は、マスメディア取材への対応や、動画配信等を含むインターネットによる広報、全国各地での講演会等により、社会や国民の理解を得ることに取り組んできている。

平成24年度においては国内の新聞・科学雑誌で約90件紹介されるとともに、初期科学運用の成果が新聞・テレビで随時報道された。特に平成25年3月にチリ現地で開所式を開催したことは、テレビ、新聞で数多く取り上げられた。また、観測成果と計画進捗について随時プレスリリースを実施するとともに、マスメディアのチリ現地を含む各種取材に対応するなどの取組を行っている。さらに、twitter（平成24年度末の読者数9400名）やFacebookの運用により、きめ細かい情報発信を行っている。

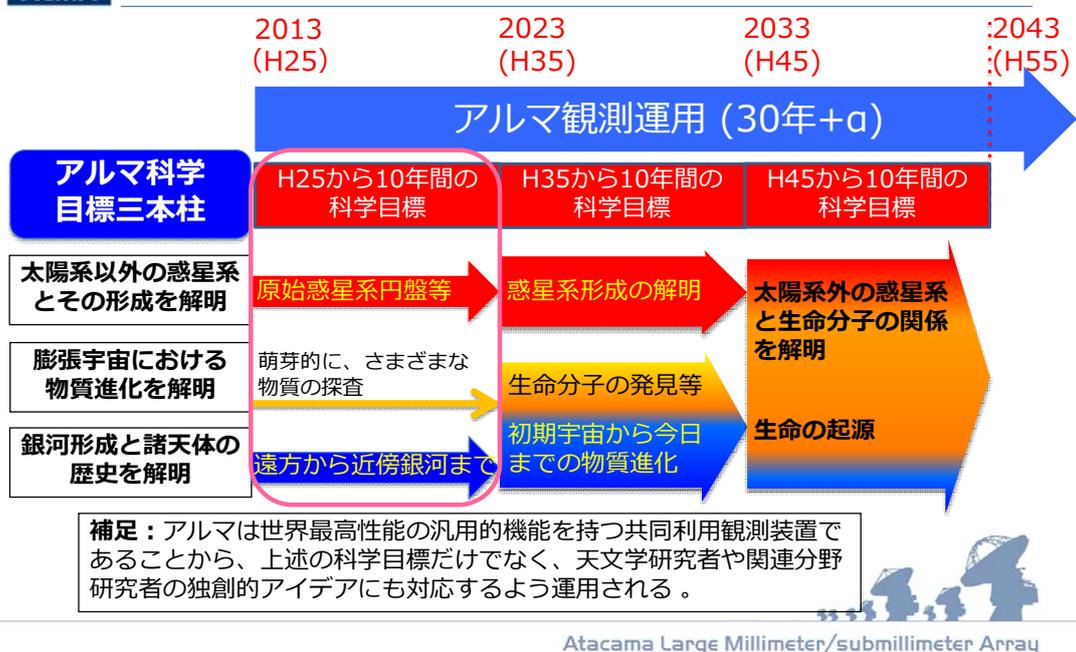
以上のとおり、当初の資金計画の範囲内で、予定どおりの期間で建設を終え、計画された性能を得ることに成功し、平成24年度に本格運用を開始するとともに、社会や国民の理解を得るための取組を行っている。このことから、本計画は順調に進捗していると評価する。

2. 今後の運用体制

本計画においては、平成25年度からの10年間は、アルマ科学目標の三本柱のうち、主として「太陽系以外の惑星系とその形成過程を解明」と「銀河形成と諸天体の歴史を解明」を目指した観測を実施する。また、もう一つの柱である「膨張宇宙における物質進化を解明」では、生命の起源に関する様々な物質の探査を実施する。これらについては、大規模学術フロンティア促進事業の年次計画において、「各研究テーマの進捗状況及びこれに対する国際評価を踏まえ、平成29年度を目途に中間評価を実施する」とされており、今後の科学的成果が期待される。



アルマ計画の運用期間



今後の日本の国際的責務は、日米欧の国際協力で運用するチリ・アルマ観測所の運用保守の分担や、日米欧で取り決めた機能と装置等を備えた地域センターの運用である。

日米欧の国際協力で運用されるチリ・アルマ観測所は、観測の実施、観測データの各地域センターへの配布、観測装置の運用保守を行う。その運用経費については、日米欧が、割り当て観測時間（建設貢献に比例）に比例した分担率に応じて負担することが国際的責務であり、日本は25%の運用経費を分担する。

チリ・アルマ観測所と日米欧に設置された各地域センターは連携し、応分の機能・作業を分担する。各地域センターについては、各割り当て観測時間での観測データ解析および画像化を分担し（日本は25%）、日米欧すべての観測結果をアーカイブする等、備えるべき機能等が日米欧で取り決められており、それを果たすことが国際的責務である。日本では、国立天文台三鷹キャンパスにアルマ東アジア地域センターが置かれており、観測提案、データ解析、論文化の支援を行う。なお、観測者による観測データの占有期間は1年間であり、国際競争の観点から、観測後1年の期間内に一定の研究成果を出すことが求められている。

国立天文台は、大学共同利用機関として、共同利用・共同研究を推進すると

ともに、国際協力の窓口として、天文学及び関連分野の発展のために広く活動している。本計画では、国立天文台が中心となって日本全国の多くの研究者を支援した結果、観測提案登録者が400名を超え、初期科学運用では140件、本格運用では200件の観測提案が提出されている。

このように、本計画においては、明確な科学目標の下、国際ルールの中で、今後の運用体制が明確に整えられてきていると評価する。国は、本計画における国立天文台の取組に対し、適切な支援に努める必要がある。

3. 事業推進にあたっての留意点

事業推進にあたっては、国立天文台は以下の6点に留意が必要である。

(1) 日本のリーダーシップの発揮

本計画は、一つのホスト国の機関が中心となるのではなく、日米欧三者が対等の関係で推進する点で、学術研究の大型プロジェクトとして画期的な取り組みである。建設段階においては、米欧に先んじてアンテナ第一号を完成させるなど、日本が計画をリードしたが、今後の運用段階においても、米欧との厳しい国際競争の中、観測の実施、観測データの解析、観測装置の運用保守、研究成果の創出のそれぞれにおいて、日本のリーダーシップが発揮され、当該分野における国際的な優位性、信頼性を確保することが重要である。

国際的な役割分担や戦略等の意思決定プロセスにおいては、最高意思決定機関であるアルマ評議会やプロジェクトマネージャー会議等で日本のメンバーが発言力を高め、主導権を発揮できるよう、国立天文台が支援体制の強化に努めることが重要である。

また、大規模学術フロンティア促進事業の年次計画における「アルマ計画の推進」にあたっての留意事項に挙げられているとおり、「東アジア共同体の構築は今後の日本の天文科学にとって重要であり、今後のアルマ観測所の運営において、国際協力事業として我が国が主導的な役割を果たしていくことが必要」である。本計画においては、高い優先順位で採択された観測提案は、早期に良い観測条件の下で観測を行うことができ、研究成果に直結する観測データを得られることにつながることから、アジア諸国を牽引して、競争力の高い観測提案を作成することが重要である。この観点から、アルマ東アジア地域センターにおける台湾、韓国を含むアジア諸国の分担や連携を明確にするとともに、アジア各国の研究者コミュニティを一層支援することにより、本計画全体において日本のリーダーシップが発揮されることが重要である。

(2) 天文データの解析

情報科学分野の研究者との連携の下で、本計画から得られる大量の天文データについて、東アジア地域センターでの解析能力を充実させるとともに、データの利活用に関する新技術の創出を推進することが重要である。さらに、国際協力を推進しつつ、大量のデータを高度な情報通信技術基盤を駆使して処理する観点からは、第4の科学の方法論といわれる e-サイエンスに関する世界的なリーダーシップを発揮することが重要である。

(3) 人員・経費の振り分け、若手研究者の育成等

国立天文台内のアルマ計画、野辺山宇宙電波観測所、すばる望遠鏡、TMT計画を考慮しながら、長期にわたっての国際職員や東アジア地域センター職員等の確保を含め、人員や経費の振り分けの最適性について十分に議論し、適切な資源配分に努めることが重要である。また、30年に及ぶ運用期間において最先端の成果を出し続けるため、若手研究者の育成体制の充実が重要である。

さらに、大規模学術フロンティア促進事業の年次計画における「アルマ計画の推進」に当たっての留意事項に挙げられているとおり、「共同運用に係る経費については、予算・決算の内容を十分に精査した上で、共同運用経費の分担を行うことが必要」であり、多額の国費が投入される本計画の性質に鑑み、経費の効率化に努めることが重要である。また、本計画における研究の進捗や、我が国やアジアの天文学研究及び関連技術の進展に伴って、国立天文台が必要に応じて経費について見直すことが重要である。

(4) 様々な事態への対処

本計画は、日米欧が一定割合の貢献をすることを前提としている国際協力事業であり、予算等の各国の事情によって年度ごとの進捗が予定どおりにならないことも想定される。また、平成25年8月から9月にかけて、チリ人技術者らのストライキにより観測が中断したように、チリにおける社会・政治・経済状況に応じて運用体制等に影響がある可能性がある。これらのことから、様々な事態への柔軟な対処についてあらかじめ検討することが重要である。また、技術的な観点からは、発生確率が高い故障などを予測し、対応可能な体制を構築することが重要である。

(5) 職員の安全対策

本計画に参加する職員の安全対策については、国立天文台において、緊急時の病院受入れの円滑化のための病院との協定、身元確認の迅速化のための緊急

連絡カード、同伴家族のスペイン語習得支援等の安全対策に努めているところであるが、海外で活動する職員の安全支援体制のさらなる強化に努めることが重要である。

(6) 社会や国民の理解

社会や国民の理解を得る観点から、ACAシステム及びアルマ計画全体でどのような性能が高まり、その結果、どのような新たな展開が見られ、学術上の成果が期待されるのかについて、分かりやすく示すことが重要である。また、我が国の技術のアルマ計画における貢献や、産業界との共同開発の過程における国内産業のイノベーション創出に与えた効果について示すことも重要である。

科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会
委員等名簿

(◎：主査、○：主査代理)

(委員)

西尾章治郎 大阪大学大学院情報科学研究科特別教授、
大阪大学サイバーメディアセンター長

(臨時委員)

伊藤早苗 九州大学応用力学研究所教授
◎海部宣男 国立天文台名誉教授、国際天文学会会長
○川合知二 大阪大学産業科学研究所特任教授
角南篤 政策研究大学院大学准教授
瀧澤美奈子 科学ジャーナリスト
横山広美 東京大学大学院理学系研究科准教授

(専門委員)

井本敬二 自然科学研究機構生理学研究所所長
小林良彰 慶應義塾大学法学部教授
高柳英明 東京理科大学教授
長田重一 京都大学大学院医学研究科教授
永宮正治 理化学研究所研究顧問、
高エネルギー加速器研究機構特定教授
新野宏 東京大学大気海洋研究所所長
吉田哲也 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
学際科学研究系教授

※評価にご協力いただいた専門家

國枝秀世 名古屋大学副総長
小林富雄 東京大学素粒子物理国際研究センター教授
西尾正則 鹿児島大学大学院理工学研究科教授

(敬称略、五十音順)