

LiteBIRD — 熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星

① 計画の概要

本計画の主目的は、インフレーション宇宙理論を検証することである。LIGO 実験により重力波が観測された(2016年2月)。今後、新たな「観測手段」として、重力波を活用することは日本の基礎科学にとって極めて戦略性、緊急性が高い。LiteBIRD 計画は、特に LIGO や KAGRA では検出できない超長波長の原始重力波の発見を目指す。インフレーションの検証は現代宇宙論の最重要課題である。原始重力波は、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の偏光度分布に、渦状のパターンを刻印する。その検出は、量子重力理論の試験をも可能とする。LiteBIRD を世界に先駆けて打ち上げるため、JAXA 宇宙科学研、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構(Kavli IPMU)、高エネルギー加速器研究機構(KEK)素粒子原子核研究所を中心に実行体制を構築中である。2024-5年度の打ち上げを目指して2016年8月より概念設計(宇宙科学研フェーズA スタディ)を開始した。

② 目的と実施内容

宇宙はどのように始まったのだろうか?どのような法則が宇宙を創り、進化させたのだろうか?これらの問いは人類に課せられた最大の知的挑戦である。研究の最先端は、いまや「熱いビッグバン以前」を科学の目で捉えようとしている。ビッグバン以前を記述する仮説で最も有力な提案がインフレーション宇宙理論であり、それは原始重力波の存在を予言する。本計画の主目的は、原始重力波を観測し、代表的インフレーション宇宙理論を検証することである。原始重力波はCMBの偏光度分布に渦状のパターン(原始Bモードと呼ばれる)を刻印する。これを検出するのが最も感度の高い原始重力波発見法である。原始Bモード発見のために本計画では直径80cm程度の小型反射望遠鏡、超低温冷却系、高密度超伝導検出器を搭載した科学衛星LiteBIRDを開発し、CMBの偏光度を全天にわたり精密観測する。本計画は、宇宙論研究の中心としてのKavli IPMU、衛星開発・試験・打ち上げの中心としてのJAXA、地上におけるCMB観測実績を有するKEKの三機関をはじめ、国立天文台、カリフォルニア大学など、国内外の研究者のネットワークを構築して推進する。

③ 学術的な意義

本計画は代表的インフレーションモデルの検証を目的とし、宇宙論、素粒子論、天文学にわたる大きな成果が期待される。

- 1) 宇宙論: インフレーション宇宙理論が予言する原始重力波の痕跡をとらえれば、最も直接的な検証となり、科学史上最大の発見の一つとなると言われている。原始重力波が検出されれば、インフラトン(インフレーションを起こす新粒子)のポテンシャルエネルギーが決定される。検出されない場合は代表的モデルが棄却されるため、宇宙論に深刻な打撃を与える。予期せぬ発見があれば、宇宙に始まりがあるというパラダイムそのものが変更を迫られる可能性すらある。
- 2) 素粒子論: インフレーションの背後にある量子重力理論は、原始重力波の強度の異なる予言値を与える。原始重力波の検出は、究極理論候補の選別を可能とする現在唯一の手段であり、重力理論と量子論の統一という素粒子物理最大の目標に対して大きな意義を持つ。
- 3) 天文学: 銀河系・銀河系ハロー・局所銀河群磁場の構造及び起源の解明、星間ダスト組成分布及び整列機構の解明、宇宙再電離史の詳細決定と再電離機構の解明、Galactic Haze emissionの起源の解明、超高精度ミリ波サブミリ波偏光全天探査によるセレンディピタスな発見などが期待される。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

我が国には本格的なCMB偏光観測プロジェクトが存在しなかったが、KEKのグループは現在CMB偏光の地上観測で世界最高レベルの観測結果を出すところまで成長した。KEKが主導して進めるPOLARBEAR-2等の地上観測プロジェクトや、気球実験も進行中である。また米国では第4世代CMB偏光観測実験として、更に大規模な計画(CMB-S4)が検討されている。しかし、大気のゆらぎによる限界や全天観測の困難さのため、究極の観測にはCMB偏光に特化した人工衛星が必須となる。現在、米国ではPIXIEという計画があり、欧州ではPlanckの成果を得て新しい衛星の提案が予定されているが、LiteBIRDが世界に先駆けるチャンスは十分にある。

⑤ 実施機関と実施体制

機関名と役割

Kavli IPMU: データ解析パイプラインの構築、データ解析、キャリブレーション、光学系の設計・開発

JAXA/ISAS: プロジェクトマネジメント、システム設計、ミッション系設計・製作・試験、衛星バス部設計・製作、衛星組立・試験、打ち上げ、運用

KEK/総研大: 地上観測での技術実証、ミッション部設計・開発・試験

岡山大・スタンフォード大: 系統誤差の推定・放射線中性の試験

名古屋大・横国大・マックスプランク天体物理学研究所: 前景放射除去

国立天文台・カリフォルニア大・大阪府大・埼玉大・筑波大・甲南大: 光学系、検出器の開発

核融合研・関西学院大・東大理・大阪大・情報通信研究機構・東工大・東北大・理化研・APCパリ・カーディフ大・パリ ILP・コロラド大・マギル大・米国立標準技術研究所: 実現性検討、ミッション部設計・開発・試験への参加

備考: 衛星計画の実施機関はJAXAであり、プロジェクトマネージャーはISASに置く。一方、観測装置は、プリンシパルライン

ベスティゲータ（JAXA 外の人を選定されることもある）の下、大学共同利用や国際協力の枠組みによって開発される。なお、ISAS では、LiteBIRD の科学目標が宇宙からの天文学、宇宙物理学の最重要課題の一つと認識しており、将来進めるべきミッションの一つとして、技術ロードマップ等に記載している。

⑥ 所要経費

国内経費内訳

- ミッション部（観測装置）開発費：約100億円
- 衛星開発費：約125億円
- ロケット：約50億円（H3ロケットを想定）
- 打ち上げ・運用：約25億円
- 合計約300億円

備考：

- 1) JAXA 戦略的中型科学ミッションの総予算は300億円程度と想定されている。
- 2) 上記国内経費に加えて、ミッション部開発費の一部は、NASA-MO を通して申請・審査中
- 3) バス部の新規開発要素の可能性も含め、概念設計時に、より精度の高い予算見積もりを実施する。

⑦ 年次計画

2016-7年度：計画審査を経て概念設計を行う。この段階で宇宙科学研プリプロジェクトとなる。実現性の高い観測装置のシステム要求決定と、ベースラインとなる設計を行う。

2018年度：システム要求審査を経て計画の決定を行う。システム仕様書（案）を用意し、開発・製造企業の選定を行う。JAXA プリプロジェクトとなる。

2019年度：システム定義審査、プロジェクト移行審査、経営審査を経てプロジェクトとなる。基本設計を行う。

2020-1年度：基本設計審査を経て詳細設計を行う。

2022-3年度：詳細設計審査を経て、プロトフライトモデルとしてのコンポーネント、サブシステム、システム機器の製作、インテグレーション、試験を行う。

2024-5年度：開発完了試験を経て打ち上げ、初期運用、観測機器調整、性能確認を行い、本格的観測を開始する。

2026-8年度：L2地点において観測機器の較正を行い、観測を行う。

2029-32年度：較正を完了しデータの正当性のチェックを進めていく。原始重力波の探索に関する最終結果を発表する。データの公開を行い、広く天文・宇宙・素粒子研究への応用に供する。

⑧ 社会的価値

熱いビッグバンからわずか38万年後の宇宙をCMBによって見るだけで、すでに驚嘆すべき事だが、LiteBIRDは、CMBの偏光観測により、ビッグバン（熱い火の玉宇宙）以前の信号を検出することを目指す。これは国民に大きな夢を与える。原始重力波の存在を発見すれば、人類にとってその知的価値は計り知れないものであり、そのような知的価値を日本主導で供給できれば、国民に大きな自信と誇りをもたらす。以上の理由から、科学技術立国を目指す日本の重要なプロジェクトとして、広く国民の理解を得る事ができる。

⑨ 本計画に関する連絡先

羽澄 昌史（東京大学・国際高等研究所・カブリ数物連携宇宙研究機構 高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所）

【物理学】 LiteBIRD(ライトバード) – 熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星

計画期間	2016-2032(2019プロジェクト化、2025打ち上げ、2032最終結果発表)
実施機関等	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所を中心とした国際・学際グループ
所要経費(億円)	JAXAの総予算額300億円程度(戦略的中型宇宙科学ミッション)

人類にとって根源的な問いに答える

- ◆ 宇宙誕生の瞬間とは？
- ◆ 宇宙・時空を創るルールブック(究極理論)とは？

「宇宙のインフレーション仮説」(佐藤勝彦日本学術振興会学術システム研究センター長等が提案)は、熱いビッグバン以前の宇宙に関する最有力仮説。原始重力波の存在を予言。

原始重力波は宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の偏光マップに「指紋」の様な痕跡(Bモードと呼ばれる)を残す。

LiteBIRDはスペースからの観測でのみ可能な「指紋」の全天精査を行い、インフレーション仮説を徹底検証する。

- スピンレート: 0.1~0.3rpm
- 40~400GHzの間で15バンド観測
- 角度分解能: 約30分角@100GHz



LiteBIRD(ライトバード)インフレーション仮説の徹底検証

インフレーション

宇宙マイクロ波背景放射

地上観測で「指紋」の証拠が得られた場合、全天精査に向けた国際競争と緊急度はさらに高まる。

小型科学衛星 DIOS: Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor

① 計画の概要

DIOS は、宇宙の中で未検出となっているダークバリオンの大部分を構成している中高温の銀河間物質 (WHIM) を探索することで、宇宙の熱史、化学進化、構造形成に対して新しい制限を与えるとともに、超新星残骸や銀河・銀河団の大規模なガスの運動状態を明らかにしようとする衛星で、JAXA で計画されている「X線天文衛星代替機」とヨーロッパ主導の大型計画 Athena を踏まえて、2030 年ごろの打ち上げを目指す。本計画では、新たに X 線望遠鏡を大型化し高速姿勢制御機能を追加することで、ガンマ線バーストの X 線残光の吸収線をとらえ、赤方偏移 7 に至る宇宙初期の銀河や銀河間ガスの重元素存在量をも明らかにすることを計画する。観測装置は日米協力を軸として開発・製作され、30-50 分角の視野をもつ 4 回反射 X 線望遠鏡と、400 素子以上の TES カロリメータアレイおよび冷却系から構成される。TES カロリメータの視野と面積の積 (広がった放射への感度) は「ひとみ」の SXS 検出器の約 300 倍に達し、2028 年に計画される大型 X 線天文台 Athena をも凌ぐ感度を持つ。運用期間は最低 2 年、目標は 5 年であり、5 度四方の領域を深くサーベイする他、ガンマ線バーストの X 線残光の瞬時観測、銀河・銀河団、超新星残骸等のポインティング観測などを行い、高温ガスの重元素分布や大規模運動状態を明らかにする。観測系には世界初の 4 回反射 X 線望遠鏡が用いられる。口径約 80 cm、焦点距離 1.2 m ほどのコンパクトなもので、日本が成果をあげてきた多重薄板望遠鏡技術を極限まで発展させるものである。焦点面検出器の TES カロリメータは、日米チームが中心となって開発し約 2 eV のエネルギー分解能を実現する。日本が「ひとみ」へ開発してきた機械式冷凍機を用い、無寒剤で長期間の観測に挑む。このように、DIOS は低コストでありながら世界の最先端の技術を盛り込み、宇宙物理学の新たな地平を開拓するミッションである。

② 目的と実施内容

DIOS はバリオンの大部分と予想される中高温銀河間物質 (WHIM) を、赤方偏移約 0.3 まで酸素輝線で捉え、宇宙の大構造形成と化学進化の過程を解明する。またガンマ線バーストの X 線吸収線を観測し、高赤方偏移に存在するガスの重元素量を高い精度で明らかにする。同時に銀河団、超新星残骸、高温星間ガスの組成とダイナミクスを明らかにし、広い階層での高温ガスの生成と進化を直接解明する。WHIM の大部分を占める 100 万度以上のガスは X 線でのみ観測が可能であるが、検出にとって大きな問題は、天の川銀河に存在する 100-300 万度の高温星間ガスが強い輝線や吸収線を生じるため、それらを赤方偏移によって分離できるような高いエネルギー分解能 (600 eV の X 線に対し 5 eV 以下) が必要なことで、観測には TES カロリメータが必須である。

DIOS は 4 回反射 X 線望遠鏡、TES 型マイクロカロリメータ、無冷媒の冷却系を搭載する衛星である。TES カロリメータは 400 素子以上からなり、検出器の大きさを約 1 cm とすることで視野 30-50 分角をカバーする。観測系の開発は日米協力を主軸とし、ヨーロッパとの協力も検討している。X 線望遠鏡は日本が中心となって開発し、フライト品の製作は日米共同で進める。TES カロリメータ素子と冷却最終段の断熱消磁冷凍機は米国主体で開発し、機械式冷凍機、真空断熱冷却容器、データ処理系は日本主体による開発を行い、日米の緊密な連携のもとに製作と試験を進める予定である。衛星全体は日本の責任で設計、製作、総合試験を行う。高速姿勢制御は国際的に実績のある技術をベースに日本で設計と製作を行う。

③ 学術的な意義

DIOS 計画の第一の意義は WHIM として存在すると予想される大量のバリオン (陽子、中性子等の通常物質) の探索とその宇宙論的進化の理解である。バリオンは、ダークエネルギー (70%) やダークマター (25%) に比べると存在量こそ 5% と小さいが、宇宙の進化に果たしてきた役割は極めて大きい。星や銀河等に含まれるすべての元素はもちろん、光や X 線の放射を出すのもブラックホールもバリオンである。DIOS は赤方偏移 0.3 以降のダークバリオンの存在と大規模分布を調べ、ガンマ線バーストの吸収線から初期宇宙での重元素生成とその進化を明らかにする。その結果は、ビッグバン宇宙における物質創成および軽元素合成のシナリオを検証する試金石であり、観測量が予想値とかけ離れていた場合、宇宙論へのインパクトはきわめて大きい。さらに、DIOS の結果は、バリオン全体の熱的、化学的進化と大規模構造の形成過程を直接教えるため、バリオン進化だけでなくダークマターが支配する宇宙の理解の正しさを検証する上でも高い意義をもつ。

一方、DIOS の高い感度と分光性能は銀河団周辺部 (ビリアル半径の外)、銀河風の拡散、銀河団衝突や超新星爆発の衝撃波などの重元素量とガスの運動を明らかにする。こうした、ガスのダイナミクスが大きな役割をもつ領域は、まさに天体が形成進化する現場であり、そこで展開するプラズマ現象を世界ではじめて高い感度で明らかにする意義はきわめて高い。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ダークバリオンの探索は紫外線や X 線の観測が行われているが、いずれも背後の明るい天体に対する吸収線を見るという手段のため、WHIM の広がりを知ることができない。ハッブル宇宙望遠鏡に搭載された紫外線検出器 COS は、多くの吸収線を観測しているが、紫外線で検出できる WHIM はダークバリオン全体の約 10% であるため、全体を捉えることができない。一方、X 線は 1999 年に打ち上げられた大型衛星 Chandra と XMM-Newton による吸収線観測が行われているものの、明るい背景天体の制限から WHIM と断定できる例はまだ 1-2 例に留まっている。また DIOS は吸収線ではなく輝線をとらえるため宇宙に大きく広がる WHIM の構造を捉えられ、輝線の赤方偏移も合わせると WHIM が作る宇宙の 3 次元構造をはじめ捉えられるのが大きな特徴であ

る。

⑤ 実施機関と実施体制

衛星全体の組み上げ、試験、打ち上げに至る計画の主たる実施機関は JAXA の宇宙科学研究所である。一方、ペイロードとなる X 線観測装置は首都大学東京が中心となり、各研究機関と連携しながら製作と試験を実施する。打ち上げ後の衛星運用は JAXA 宇宙研で行うが、データアーカイブの管理と解析に関するさまざまなサービスは首都大学東京 理工学研究科付属の宇宙物理学研究センター（2013 年 4 月発足、大橋がセンター長）が中心となって行う予定である。JAXA 宇宙研と首都大は距離的にも近く緊密な連携が 20 年以上続いている。

⑥ 所要経費

これまで想定していた DIOS の経費は以下の通りである。日本の負担約 130 億円（ペイロード日本負担約 20 億、衛星バス約 60 億、打ち上げ約 50 億）、この他に米国の寄与約 50 億が必要である。ペイロード日本負担内訳は下記の通りである。冷凍機（8 億：光学ベンチ、冷凍機、冷凍機駆動回路を含む）、カロリメータ低温部（4 億：冷却容器、極低温回路、X 線入射部）、カロリメータ室温回路部（5 億：前置増幅、TES 駆動、デジタル処理、冷凍機制御）、X 線望遠鏡（2 億：名古屋大学が主体となって開発）、運用（1 億：初期 1 年間+サイエンスデータ）。米国の負担として、カロリメータ検出器と低温のアナログ処理部、断熱消磁冷凍機、室温の回路部、望遠鏡の製作などを合わせて 35 億、NASA として観測から解析までをサポートする費用として約 15 億を見込んでいる。今後 DIOS を 2030 年ごろの打ち上げに向けて見直すため、経費についても変更が予想される。

⑦ 年次計画

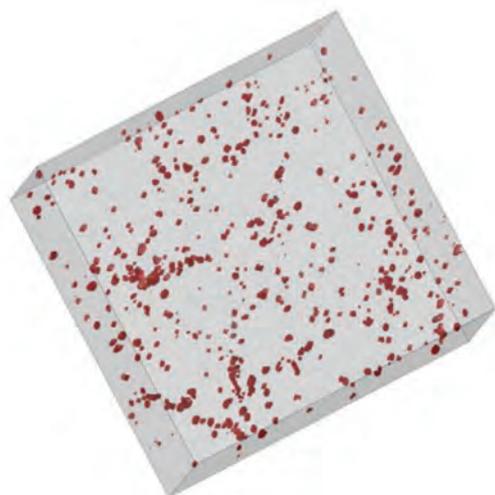
DIOS はこれまで JAXA のイプシロンロケットによる 2022-2023 年の打ち上げを目指していたが、これに近い時期に日本の「X 線天文衛星代替機」が、また 2028 年に大型の Athena が計画されることを踏まえて、打ち上げ時期も 2030 年ごろへと遅らせることになる。これら先行ミッションのために開発される技術を踏まえて、具体的な衛星設計を進め、2020 年代前半には DIOS のミッション提案を行う計画である。

⑧ 社会的価値

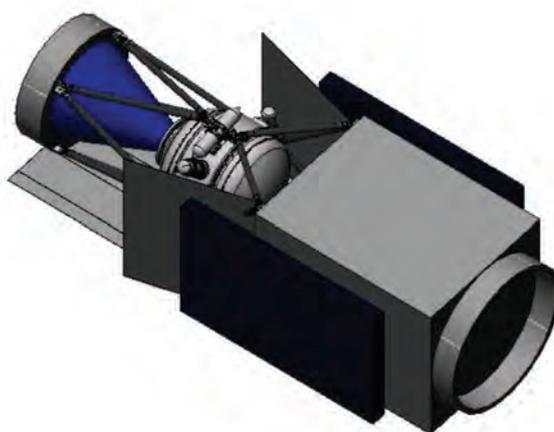
陽子や中性子などの通常物質であるバリオンは、人々の関心の高いダークエネルギーやダークマターに比べると、宇宙のエネルギー密度という点では小さな寄与である。しかし、星や銀河や、すべての元素はバリオンが構成しており、宇宙史におけるその進化の全貌を理解することは、人類の知にとって必須である。DIOS は見えなかったバリオンを捉えそれを可視化する初めての計画である。宇宙の進化とともに大構造が形成され、それが収縮と加熱と元素の拡散を経て現在に至る様子が明瞭に描き出されることは、一般の人々からも関心を集め、宇宙に対する国民の理解に大きく資すると考えている。また「ひとみ」や Athena のために開発されたマイクロカロリメータと冷凍機技術を利用することで、低コストで大きな成果を上げることを目指しており、コスト面での価値も高い計画である。さらに、TES カロリメータは CCD などの半導体検出器に比べてエネルギー分解能が 10 倍以上優れているため、高感度の物質分析などの産業応用の道も今後大きく開ける可能性が高いと考えている。

⑨ 本計画に関する連絡先

大橋 隆哉（首都大学東京 理工学研究科 物理学専攻）



DIOS の広視野 X 線分光観測による WHIM の大構造検出のシミュレーション。図は 5.5 度×5.5 度の領域で、赤方偏移 0.2 で 48 Mpc の広がりに対応する (Takei et al. 2011, ApJ 734: 91)



検討中の DIOS 衛星の概念図。4 回反射望遠鏡と TES カロリメータを収めた真空断熱容器、衛星バスからなる。2030 年ごろの打ち上げを想定し、改良を加えることを検討していく。

次世代赤外線天文衛星 SPICA

① 計画の概要

次世代赤外線天文衛星 SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics、図 1) は、宇宙が重元素と星間塵により多様で豊かな世界になり、生命が存在可能な惑星世界がもたらされた過程を解明することを目的とする。

この目的を達成するため、SPICA では、日本が開発してきた宇宙用冷却技術によって、大口径の望遠鏡 (口径 2.5 m) 及び焦点面観測装置全体を極低温 (8 K 以下) に冷却する。それにより、中間赤外線・遠赤外線波長域において観測装置由来の雑音が大幅に低減し、きわめて高感度、高解像度の観測を実現する。SPICA 計画は、2006 年打上げの赤外線天文衛星「あかり」の成功に代表される、日本のスペース赤外線天文学の成果と実績を踏まえて立案された。宇宙用極低温冷凍機、軽量望遠鏡、及び太陽-地球系の第 2 ラグランジュ点を周回する軌道を採用する等、高い独創性をもつ。特に、日本が開発し、利用・発展させてきた宇宙用冷却システム技術の活用が、最重要技術要素となっている。

SPICA 計画全体は、日欧協力を軸とする国際共同ミッションである。日本においては、長年にわたる天文学コミュニティでの議論・技術開発を経て、JAXA および大学連合が中心となって概念検討および技術開発を進めている。欧州では、ESA 長期計画 Cosmic Vision M-class の枠組みの中で進められる予定である。遠赤外線観測装置は、ESA とは独立のコンソーシアムが開発する。2027/28 年の打上げを目指しており、運用期間は最低で 3 年、目標は 5 年である。

② 目的と実施内容

ビッグバンから始まった宇宙の歴史の中で、いつ、どのようにして銀河や星が形成され、また、様々な元素が作られて、最終的に生命が存在することが可能になったのか? この根源的な問いに答えるために、SPICA は以下の 2 大科学目的を設定している。

1. 銀河進化を通しての重元素と星間塵による宇宙の豊穡化過程の解明
宇宙史において、どのように星々が銀河内で形成され、その結果、いかにして重元素と星間塵 (ダスト) に満ちた現在の宇宙に至ったのかを明らかにする。
2. 生命存在可能な世界に至る惑星系形成メカニズムの解明
惑星系がどのような条件で、どのようなメカニズムで形成されたかを理解するため、原始惑星系円盤がいかにして太陽系のような惑星系へと進化し、惑星を形成するに至ったのかを明らかにする。

上記の目的を達成するために、大口径望遠鏡 (口径 2.5 m) を搭載した赤外線天文衛星を打上げる。特に、望遠鏡と焦点面観測装置全体が極低温 (8 K 以下) に冷却されることにより、中間・遠赤外線領域において、観測装置由来の雑音を大幅に低減し、従来と比べてきわめて高感度、高解像度の観測が可能になる。衛星の軌道として、観測機器冷却に有利な太陽-地球系の第 2 ラグランジュ点周りのハロー軌道を選択した。打上げは JAXA の新基幹ロケット H3 を想定している。

③ 学術的な意義

SPICA の第 1 の意義は、銀河が活発に生成された 70 億年から 120 億年前の時代における「銀河進化の歴史」を解き明かすことである。この時代は、銀河の活動の重要部分が塵に隠され、可視光線等では見えないため、透過性の高い赤外線による高感度観測が本質的に必要である。SPICA は、宇宙のエネルギー生成のピークにあたるこの時期において、「銀河のエネルギー生成の源」が何であるか (星か、巨大ブラックホールか) を初めて明瞭に示す。SPICA の第 2 の意義は、太陽系を含む惑星系が生まれてきた環境を解明することである。惑星系の形成研究においては、「固体と気体の両者の進化」を調べるのが重要であり、それを可能とするのが SPICA の高感度赤外線観測である。これらにより、宇宙が重元素と星間塵により多様で豊かな世界になり、生命が存在可能な惑星世界がもたらされた過程の解明を目指す。

SPICA は、この目的のためにこれまでにない高感度の赤外線分光観測を実現する。これは今後 SPICA よりも短波長 (近赤外線) で大きな役割を果たす地上望遠鏡 TMT (Thirty-Meter Telescope) や NASA 主導の JWST (James Webb Space Telescope) と、より長波長 (サブミリ波) で優れた観測を推進する ALMA の両者の間の波長ギャップを埋めるものであり、SPICA により他計画の価値もさらに高まることが期待される。また、SPICA は天文学のみならず、極限状態での化学反応として、宇宙空間での水、氷の存在形態の解明を通じて生命の起源など多くの科学分野における「人類の知の発展」に大きく貢献することが期待される。

さらに SPICA は「宇宙における革新的な冷却技術」を実証することにより、「宇宙科学の戦略的技術」を提供し、今後の日本の宇宙科学全体の発展に「技術的」にも重要な貢献を果たす。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

SPICA が実現する 2020 年代後半までには様々な大型装置を中心とした天文学の発展が期待されるが、その中で、SPICA は、観測波長帯、感度、そして観測対象についてユニークな計画である。可視光から波長 20 μm の波長帯では、JWST (NASA、2018 年打上げ予定) による革新的な成果が期待され、また波長 300 μm より長い波長帯では、稼働中の ALMA 望遠鏡による冷たいガ

ス、ダストの研究が大いに進展するだろう。これら JWST と ALMA との間の広大な波長のギャップに相当する中間赤外線、遠赤外線波長帯には、ダスト放射のピーク、芳香族炭化水素など有機物質の強い輝線バンド、電離領域・光解離領域の物理状態を反映する様々な元素・イオンの微細構造輝線など、豊かな観測プローブが存在する。この波長帯での研究を大きく進展させる高感度装置としては、国際的にも SPICA が唯一のものであり、JWST、ALMA をはじめ、WFIRST (NASA)、TMT 等超大型地上可視赤外線望遠鏡計画、大型 X 線望遠鏡 Athena (ESA)、長波長地上電波干渉計 SKA 等 2020 年代の計画と相補的・相乗的な成果が期待される。

⑤ 実施機関と実施体制

SPICA は、日本、ヨーロッパ各国、カナダ、アメリカなどが共同で開発を行う国際共同ミッションである。現在は、日本側では「JAXA として戦略的に実施する中型計画」としての実施を、ヨーロッパでは ESA Cosmic Vision M5 (中型ミッション 5 号機) としての実施を目指して、開発・検討を進めている。

○国内の主たる実施機関とその役割

- ・国内とりまとめ、冷却システム、打上げ運用：JAXA (代表機関)、大阪大学、国立天文台、東京大学、名古屋大学、東北大学、関西学院大学、京都大学等
- ・中間赤外線観測装置の開発：名古屋大学 (代表機関)、JAXA、大阪大学、東京大学、東北大学、京都大学等
- ・データセンター：JAXA、国立天文台

○国外の主たる実施機関とその役割

- ・衛星とりまとめ、衛星バス部、望遠鏡：欧州宇宙機構 (ESA)
- ・遠赤外線観測装置の開発：SPICA 遠赤外線観測装置コンソーシアム (14 カ国、代表機関：オランダ Space Research Organization of Netherlands)

⑥ 所要経費

日本負担分については、JAXA として戦略的に実施する中型計画に位置付けられる予算規模 (300 億円程度を想定) を目標に精査中であり、以下の経費を含む予定である：(1) ペイロードモジュール (冷却系を含む、望遠鏡を除く)、(2) 中間赤外線観測装置、(3) 打上げ (H3 ロケット)、(4) 観測運用。

ESA 負担分については、ESA Cosmic Vision M-class (550M ユーロ) 規模で精査中であり、以下の経費を含む予定である：(1) 衛星とりまとめ、(2) 衛星バス部、(3) 望遠鏡、(4) 衛星運用。

遠赤外線観測装置のコストは、担当コンソーシアムが 180M ユーロ規模で精査中である。

⑦ 年次計画

2016 年：	ESA Cosmic Vision 応募
2016-18 年：	概念設計
2018 年：	日欧でのミッション承認
2019-20 年：	基本設計
2020-22 年：	詳細設計
2023-27 年：	製作・試験
2027/28 年：	打上げ
2028-30 年：	観測運用 (2032 年まで運用延長を目指す)



図 1: 軌道上の SPICA (想像図)

⑧ 社会的価値

SPICA の実現によって、138 億年の歴史における「温かい」宇宙の姿、すなわち「銀河の進化と共に地球などの惑星や我々の体を作る物質がどのように作られてきたのか」についての知見が国民にもたらされると期待される。具体的には、まず、これまでの人類の知見を宇宙初期に向かって大きく遡り、有機物質やケイ酸塩を検出し、地球などの惑星や我々の体を作る物質の起源の糸口を探る。次にこれまでは濃い塵の雲に阻まれ観測困難であった銀河全般について、透過性の高い赤外線観測の特徴を活かし、「銀河の形成初期にどのように星やブラックホールが形成されたのか」の全貌の解明を目指す。さらに SPICA は他の恒星の周囲にある惑星系円盤の赤外線観測から「惑星誕生の母胎となる環境および太陽系の進化の道筋」を明らかにする。

さらに SPICA の実現は、技術的にも重要な意味をもつ。日本チームにとっての最重要技術課題は、無冷媒かつ長寿命の極低温冷却技術・超高感度赤外線観測技術の実現である。本技術は、SPICA のみならず、将来の宇宙科学ミッション (LiteBIRD、Athena など) にも活かすことができる共通技術であり、日本の宇宙科学の戦略的技術としての発展が期待される。

⑨ 本計画に関する連絡先

常田 佐久 (宇宙航空研究開発機構 (JAXA) ・宇宙科学研究所)

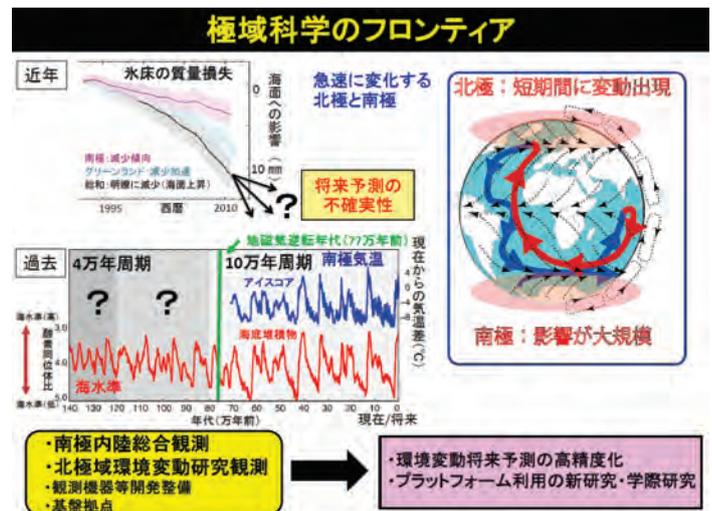
極域科学のフロンティア—両極観測の新展開による地球環境変動研究—

① 計画の概要

近年の北極域における海氷の急激な減少は日本を含む中緯度で大きな気候変動を引き起こしているほか、巨大な南極氷床の増減が地球規模の海水準変動をもたらす可能性が示唆され、南北両極域で起こる変化は、研究コミュニティのみならず広く国民の重大な関心事となっている。本計画は、地球システム変動・地球気候変動を知る上で重要な鍵となる南北両極域を通して地球の変動を理解する先進的プロジェクトである。通年観測が可能な南極内陸基地を世界先端拠点として新たに整備することを計画の中心として、この新内陸プラットフォームを活用した南極観測と、北極域環境変動研究を推進する。

世界最先端の観測拠点としての新南極内陸プラットフォームを整備し、アイスコア掘削およびその精密な分析により、氷期・間氷期サイクルの変動など百万年間の気候変動を詳細に解明する。また、大気・水・雪氷・海洋熱塩循環観測や陸域生態系監視などの南極環境の現状に関する詳細なデータを、より急激な変動を示す北極域に展開する観測拠点からのデータと融合することにより、両極から見た地球環境の現在を明らかにする。これにより、南極からの「百万年間」の変動史と、南北両極からの「現在」の気候変動を詳細に明らかにし、モデル研究により地球環境の「将来」予測に貢献する。

これらのデータを総合的に集積・解析し、広く研究者コミュニティおよび社会へ提供すると同時に、ニーズをとらえて計画にフィードバックする双方向的な展開を目指す。また、両極の観測プラットフォームにおける長期的な観測を担う研究者の人材育成にも貢献する。



② 目的と実施内容

本研究は地球システム変動・地球気候変動を知る上で重要な鍵となる両極域について「巨大な氷床を有し冷源域として気候システムの形成に大きな役割を果たす南極域」、「近年温暖化や海氷減少の加速をはじめ、急速に大気・海洋・陸域・雪氷の状況が変化している冷源域である北極域」の両者の統合的な研究を通して地球の変動を理解する先進的プロジェクトである。過去の変動を遡る調査と現在の変動を精密計測する精査、これらとモデリングの連携により将来予測に貢献する。

(1) 新内陸プラットフォームを活用した南極観測

通年で地球観測や天文観測が可能な南極内陸基地を世界先端拠点として新たに整備する。新内陸プラットフォームでのアイスコア掘削により百万年前までの気候を詳細に解析し、国際競争での一番のりをめざす。さらに、周辺海氷縁まで含めた地域での古気候解析や、内陸大気の観測、大型大気レーダーによる鉛直精密観測、次世代VLBIによる環境動態監視等と協調することで、上空から地球内部までの水平・鉛直観測によりデータを蓄積し、将来の地球環境変動予測の精緻化を目指す。

(2) 北極域環境変動研究観測

北極域研究プロジェクトにおいて整備を進めている国際協同体制の「環北極観測網」を活用し、大気・陸域の現地観測やモニタリング観測、アイスコア掘削及び氷床・氷河観測と広域機動性を持つ観測船・航空機・衛星による観測基盤を整備運用し、その観測データで急激に変化する北極域の理解に資する。

(3) 総合解析による地球システム変動の研究基盤拠点

(1)・(2)のデータを総合解析し、モデル研究と協働して全球的な地球環境変動を理解するための地球システムモデルの高精度化、また、観測・解析による膨大なデータの集積、研究者へ提供、フィードバックを観測側へ伝える双方向性の共同研究体制などの、基盤拠点を整備し地球惑星科学の新展開を図る。

③ 学術的な意義

近年の北極域での海氷の急激な減少は、大気や海洋の循環を通じて、中緯度の冬季の寒冷現象をもたらすと共に南極の気候にもシグナルが見られるなど、両極を対象とした総合的な観測と理解は火急の課題である。さらに、南極氷床末端の崩壊・海水準の上昇などは今後数十年で起こるかもしれない喫緊の課題であり、これまでのわが国の極域観測の実績という優位性を活かして遅滞なく取り組むべき研究対象である。本研究では、過去から現在、未来にわたる南北両極域の重要且つ貴重な情報を、プラットフォームを整備活用して取得することで学際研究の推進をはかるものである。両極の氷河・氷床や海底堆積物からは過去数百年から百万年オーダーの地球環境変動史が解明される。百万年までの気候データは、氷期・間氷期サイクルの正しい理解再現を通じて、地球環境変動理解を大きく推し進めるものである。また、大気・水・海洋熱塩循環観測・陸域生態系監視からは、南極・北極で近年起こっている変化から気候変動・地球システム変動の動態が把握される。両極の変化には応答の時間スケールやメカニズムに違いがあり、両極域の重点観測は、地球環境の将来を予測する気候モデルの検証に重要なデータ

を提供する。地球環境変化の将来を予測する様々なモデルの改良には、過去からのデータの蓄積と現在の変動の精密な理解の両方が重要であるが、本計画ではそれらのデータを総合的に集積し、研究者コミュニティへ提供するだけでなく、利用研究者のニーズを観測計画にフィードバックする双方向性を目指すなど、分野融合を促進し、我が国における分野横断型の極域観測、環境変動研究の一層の飛躍に貢献する。本研究で構築する南極内陸プラットフォームは、南極天文など他分野での活用も期待でき波及効果が大い。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

地球環境変動研究における最近の国際的な動向としては南極・北極を一体としたシステムとしてグローバルな視点での調査研究が目指されており、例えばICSUのもとのSCARやIASCは協調姿勢を強め、2018年にはダボスで共同総会を開催予定である。わが国もこれに呼応した両極の研究体制が必要である。本研究計画の核となる南極内陸域の観測拠点整備は、仏・伊、露、中が運用する3つの基地との競合となるが、それらはアイスコア深層掘削点、内陸気候観測拠点、天文観測拠点等として活用されつつある。中でも日本のドームふじ基地は観測条件で優位な位置にあり、特にアイスコアによって過去の地球環境変動を百万年まで遡って捉えることに大きな意義がある。一方、内陸基地周辺での広域観測やネットワーク観測の展開を図ることも、地球システム変動を理解する上で重要であり、我が国はドームふじ基地・昭和基地とその周辺でほぼ独占的に種々の広域・精密観測を実施してきた実績があり、優位な位置にある。補助金事業を中心に全日本的体制で推進する我が国の北極環境変動観測を南極観測と共に実施することはグローバルな変動を理解する上で極めて強力な推進力となる。

⑤ 実施機関と実施体制

(中心となる実施機関) 国立極地研究所

(主な連携実施機関) 海洋研究開発機構(JAMSTEC)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)、北海道大学、東京海洋大学、東京大学

(実行組織) 南極内陸総合観測計画は、国立極地研究所を中心に、国内の大学、定常観測実施担当機関等が参加する南極地域観測事業の中期計画として立案・実行される。総合測地観測網は、国土院、情報通信研究機構と連携し実施する。東南極広域大気観測は、東京大学大学院理学系研究科等の国内の大学・研究機関が参画して、南極大気研究拠点を組織して全日本的体制で推進する。北極域環境変動研究は、国立極地研究所が中心となり、JAMSTEC等の国内の大学・研究機関等の研究者からなる実行組織を構築する。特に北極気候変動に関する部分は北極域研究推進プロジェクト(ArCS)等で北極域の観測展開やモデルの構築・連携などを実施しており、協同・協力体制を強化して実施する。両極での観測においても、北海道大学、JAXA等と連携し、アイスコア掘削、氷床・氷河観測および衛星観測を実施する。モデル研究は、東京大学と東京海洋大学等が協力する体制で実施する。また両極のデータ蓄積と解析の中心基盤として、情報・システム研究機構に置かれる「極域環境データサイエンスセンター」を国立極地研究所が運営し、オープンデータを推進する。

⑥ 所要経費 (以下いずれも今後10年間の経費。)

○南極内陸総合観測：総額 99.6億円 ○北極域環境変動観測：総額 28億円 (砕氷観測船の整備・運用を別途希望)

○観測機器等開発・整備：総額 28.4億円 ○基盤拠点：総額 45億円

以上総計 201億円

⑦ 年次計画

「内陸基地建設・観測、アイスコア掘削」 H29-31 輸送技術開発整備、H29 掘削地レーダー探査、H30 掘削地選定、H31 浅層掘削、H32 同解析、H32-33 物資・燃料輸送、H33 準備掘削、H34-36 新ドームふじ基地建築、H34-36 掘削・コア処理、H37-38 新ドームふじ基地利用観測の推進

「東南極広域大気観測」 H29-33 大型大気レーダー協同観測、内陸大気観測、H34-38 ネットワーク観測、内陸大気重点観測

「総合測地観測網」 H30-31 VLBI アンテナ高度化、H32 VLBI 試験観測

「海水下大陸棚観測」 H29-30 観測用ロボット開発、H32 海底堆積物掘削装置開発

「北極域環境変動研究観測」 H29-31 スバルパル観測中核拠点の拡張整備、H29-31 ArCS 事業による観測研究と連携、H32-38 観測拠点、海洋観測、航空機観測の運用

「基盤拠点」 H29-32 基盤拠点の整備、H33-38 基盤拠点の運用、H32-39 データアーカイブシステムの運用

⑧ 社会的価値

両極域で進行中の変化とその重要性は、マスメディアを通じ広く国民の知る所であり、継続的な極域観測の重要性は広く認識されている。北極域の海水減少に伴う大気循環の変動は中緯度の日本の気候を大きく変動させているほか、巨大な氷床を有する南極域の気候変動も氷床量の変動が地球規模の海水面の変動をもたらすことから、国民の関心は高い。本計画で進展する地球環境変動の理解は、物理・化学分野から生態系にも及ぶ環境変化とその対策、新たな環境に適応した産業活動など、社会・経済の国際動向を左右するため、得られる知見は人類社会の今後の適応方策に関する重要な情報となる。信頼性の高い予測が基礎であり、精密な観測結果のモデルへのフィードバックが必須である。また、本計画の技術開発は、計測技術やデータ解析・情報処理等を通じ産業界へも貢献する。北極観測の推進は、北極評議会オブザーバー国としてのわが国の重要な責任でもあり、また南極内陸基地での科学への貢献は将来的大きな国際問題になる可能性がある南極の領土権問題など、科学技術外交としての側面も重要であり、国を挙げて取り組むべき問題である。

⑨ 本計画に関する連絡先

磯野 靖子 (情報・システム研究機構 国立極地研究所)

航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進

① 計画の概要

地球温暖化を含む地球環境の変動が急速に進行し、人間の社会活動や水・食糧供給などに大きな影響を与えつつある。本研究の目的は、わが国初となる地球観測専用の航空機を導入し、気候・地球システム科学研究を飛躍的に推進することである。地球環境変動の理解と予測の鍵となる、温室効果気体の濃度やエアロゾル・雲の粒径分布・化学組成などのマイクロ量は、航空機からの直接測定でしか観測できない。本研究では航空機観測によりこれらのマイクロ量を体系的に観測し、その変動プロセスの解明を目指す。特にアジアは PM2.5 に代表される大気環境変動が顕在化しつつあるホットスポットであるが、体系的な観測が実施されてこなかった航空機観測の空白域である。COP21 のパリ協定では温室効果気体の放出量の報告・検証が国際公約であり、アジア域での航空機による観測・推定は必須である。

本研究ではこれまで我が国の研究者が航空機を用いて大きな成果をあげてきた、地球温暖化の原動力となる「温室効果気体」、気候変動の最大不確定要因である「エアロゾル・雲・降水」、気候変動に伴う社会的インパクトの大きい「台風・集中豪雨」を最重要課題として位置づけ、研究期間の前半で重点的な研究を実施する。後半ではさらに広い地球科学研究へと展開する。

実施体制としては、名古屋大学宇宙地球環境研究所（共同利用・共同研究拠点）に航空機観測の中核拠点を担うために設立された飛翔体観測推進センターを中心に、気象研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構、東京大学の研究者がそれぞれ責任をもつ観測部会を組織・連携するオール・ジャパン体制をとる。観測機は国産の MRJ とし、運用を民間に委託することにより研究者は専有する形で利用する。研究期間は 10 年間とし、総額 180 億円を必要とする。

② 目的と実施内容

温室効果気体の濃度やエアロゾル・雲の粒径分布・化学組成などのマイクロな物理・化学量は、航空機からの直接測定でしか観測できない。地球環境変動の予測や対策の有効性を評価する数値モデルは、これらのマイクロ量に関する方程式で表されているため、その動態と変動メカニズムの解明が鍵となる。人工衛星は全球を効率的に観測するが、基本的に大気の高高度方向の積分量（マクロな物理量）しか測定できない。航空機観測の実施により、人工衛星観測、数値モデル計算も駆使した統合的な気候・地球システム科学研究の推進が可能となる。

研究期間の前半では、環境変動が顕在化しつつあるアジアにおいて体系的な航空機観測を実施し、温室効果気体、エアロゾル・雲・降水、台風・集中豪雨などの実態把握とその変動プロセスを解明する。後半では、陸上生態系や海洋など、幅広い地球観測研究へと展開する。

観測航空機としては、国産機のため改修が容易であり、また国内外の多くの研究者が利用可能なスペースを有する MRJ を保有・占有利用する。日本気象学会が中心となり地球科学分野の幅広い研究者により取りまとめられた研究計画書（2015 年 10 月、188 頁）に基づいた国際的な共同利用研究を実施する。



③ 学術的な意義

以下の 3 課題の解明を気候・地球システム科学研究の重点課題として位置づける。1) 地球温暖化の原動力となる「温室効果気体」、2) 放射強制力と気候感度の最大不確定要因である「エアロゾル・雲・降水」、3) 気候変化に伴う影響が危惧され社会的影響が大きい「集中豪雨・台風」。

世界最大の CO2 発生源である中国を含むアジア域における温室効果気体 (GHG) の放出量・吸収量の高精度な推定は、全球濃度の将来予測や排出抑制対策に必須である。日本も加盟している COP21 のパリ協定では放出量の報告と検証が国際公約となっている。これまでの研究から、航空機による GHG 濃度 (マイクロ量) の立体観測は、GHG の放出量・吸収量の推定精度を格段に向上させることがわかっている。アジアに特化した高頻度観測は、現状把握と将来予測の精度向上に大きく貢献できる。

CO2 とメタンに次いで 3 番目に大きな地球温暖化効果をもつ光吸収性エアロゾルは、その濃度や粒径などのマイクロ量が影響評価の鍵であり、数値モデル検証に不可欠な情報である。特にアジアは PM2.5 に代表されるように世界的に見てもエアロゾルの高濃度領域であり、放射や雲・降水への影響の解明が飛躍的に進むことが期待される。

北西太平洋は世界で最も台風の発生が多く、地球温暖化によるスーパー台風の増加も懸念されている。航空機からのレーダおよび雲のマイクロ量の立体観測により、台風予測の鍵となる急発達メカニズムの解明が期待される。

さらに観測専用の航空機は、火山・地震などの自然災害状況の機動的で詳細な把握、高頻度観測による植生 (生態学)、海洋・海水、水文学、雪氷、固体地球科学、地表リモートセンシング研究分野への発展や新しい人工衛星測器の開発等を可能とし、地球科学分野の新展開の原動力となりえる。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

世界的にみると、航空機からの大気観測・地球観測は、気候・地球システム研究の不可欠な手段となっている。米国ではNASAが20機以上の観測専用機を使って地球観測を継続的に実施するなど、大きな成果をあげている。欧州では、EUFAR (European Facility For Airborne Research) が、EUの15カ国あまりの研究機関が保有する40機以上の航空機の観測運用を行い、多くのプロジェクトで成果をあげている。アジアでは、台湾が10年以上にわたり台風の継続的な航空機観測を実施している。

日本では従来、個別の研究費に基づいた断片的な観測や欧米の観測に参加することにより、個別には大きな研究成果をあげてきたが、体系的な観測は実施できていない。アジアの大気環境把握は日本の果たすべき国際的な責務であり、一刻も早い観測体制の整備が必要である。本研究計画に対しては、世界気候研究計画(WCRP)、NASA、EUFARをはじめとする世界の14の国際組織・研究機関から強いサポートレターをいただいている。

⑤ 実施機関と実施体制

2015年10月に名古屋大学の宇宙地球環境研究所(共同利用・共同研究拠点)に航空機観測の中核拠点を担うために飛翔体観測推進センター(以下、飛翔体センター)が設置された。本研究ではこの飛翔体センターが中心機関となり、同研究所内に設置される全国の専門家からなる航空機観測推進委員会(仮称、以下、委員会)と連携して、長期的な視点から航空機観測研究全体を統括・推進する。飛翔体センターと委員会は以下に述べる観測部会および支援組織と連携して、研究計画の公募・審査・採択・立案を行い、機体運用計画を作成・実施するとともに、観測後の評価、データベース化、広報、国際連携推進、若手育成などを実施する。委員会の下には研究課題ごとに実績のある研究者を代表とした観測部会を設ける。温室効果気体は国立環境研究所、エアロゾル・雲は東京大学、台風・豪雨は気象研究所、その他の地球科学(陸上植生、海洋、火山、災害・洪水、人間圏)は海洋研究開発機構の研究者が担当する。

機体の整備・運用やユーザーの技術支援は、航空機観測実験に実績のある民間企業に委託する。これらの飛翔体センター、委員会、観測部会、支援組織からなる20数名の体制で航空機の運用と共同利用・共同研究を推進する。このような体制により、継続的・戦略的な測器開発と若手研究者の養成が可能となり、航空機観測研究のための高度技術が蓄積される。

⑥ 所要経費

地球観測専用機としてMRJを占有利用する予定である。国産機のため機体改修が容易であり、比較的大きなスペースを有しているため国内外の多くの研究者の測器による同時観測が可能となる。このための予算は総額180億円である。うち、航空機の購入費が60億円、機体の改修・運用経費が10年間で90億円である。観測時間としては年間200時間を確保する予定で、集中観測(80時間)を2回と、それ以外の観測(合計40時間)を想定している。これらの機体の保有・改修・運用経費以外に、観測機器整備、教員・事務員人件費(外部委託を含む)、雑費(会議、広報など)として、10年間で30億円が必要である。MRJは比較的大型の航空機であるため、世界最先端のレーダやライダーなどの搭載機器を整備し直接測定の測定器と組み合わせることにより、画期的な観測研究が可能となる。

⑦ 年次計画

計画開始前までには、航空機観測推進委員会やその下に設置した観測部会において、航空機の共同利用・共同研究体制や航空機観測の技術的問題をさらに検討し、これまで個別の研究者が蓄積してきた高度な観測・研究技術を最大限生かした共同利用・共同研究が行えるように準備する。

初年度は、運用組織整備を実施し、その中で観測専用航空機の維持・管理、観測専用航空機に係るインフラの整備、観測機器搭載のための技術支援の業務委託契約等の体制整備を実施する。さらにMRJを用いた観測システムの検討、および航空局検査に適合した観測機器の搭載設計、機体にポッドを付加する場合の設計等を進める。2年度は、機体の調達および改造を行い、航空局の検査に向けた準備を完了させる。3年度は測器の調達および試験飛行を実施し、次年度からの本格的な研究開始のための機器の調整を行う。また、航空機観測推進委員会において、共同利用の公募・審査・採択・機体運用計画の立案を行うと共に、データの共有化のためのサーバシステムの構築等を行う。4～10年度は航空機観測推進委員会で立案した機体運用計画に従い、共同利用・共同研究を実施する。研究データをアーカイブし、観測終了から一定期間後にコミュニティでのデータの共有を図る。7年間の航空機観測・運用を通じてノウハウを蓄積し、世界をリードする航空機観測研究を推進するとともに、斬新な測器開発を通じて、将来現業機関で運用することが適切な観測も提案できることを期待している。

⑧ 社会的価値

地球温暖化を含む地球環境の急速な変動が、人類の生活基盤に大きな影響を与え始めており、これらの課題解決に寄与できる研究が社会から求められている。アジアは世界的に見てもCO₂やエアロゾル(PM_{2.5})などの人為的な物質の排出量が最も高いレベルにあるホットスポットであり、地球規模の環境・気候への影響が大きいため、アジアにおける大気科学・気候システム研究は国際的に見てもその重要性が高く、アジアの大気環境の把握はわが国が国際的に果たすべき責務となっている。航空機観測は気候変動プロセス研究や大気汚染の実態解明に不可欠であり、大きな国際的・社会的貢献となる。今回提案する計画に国際機関等から寄せられた多くのサポートレターでは、わが国がアジア域での地球環境問題において主導的な役割を演ずることへの強い期待が述べられている。また、自然災害の緩和、環境変動要因の解明と信頼できる予測、水資源管理の改善、生態系の管理・保護の向上などは国民の安全と福祉に直結している。さらに、国民の期待の大きい国産航空機の開発・利用の継続的な発展に、地球環境問題の観測・研究へのMRJの利用を通して寄与できることを期待している。

⑨ 本計画に関する連絡先

高橋 暢宏(名古屋大学 宇宙地球環境研究所 飛翔体観測推進センター)

衛星による次世代全球地球観測システムの構築

① 計画の概要

世界各国科学者の検討に基づいた科学的観測要求に基づく国際的地球観測の枠組みである地球観測に関する政府間委員会 (GEO : Group on Earth Observations) 及びその宇宙部分の調整を担う地球観測衛星委員会 (CEOS : Committee on Earth Observation Satellites) における国際調整に基づき、JAXA が中心となって衛星による全球地球観測システムの構築を進めている。また、国連や世界的な機関が取り組んでいる気候変動・地球環境保全について、COP21 や IPCC 等の国際的な枠組みにおける我が国の貢献分野を考慮したシステムを構築する。既に構築中の観測システムを継続・発展させるミッションとして、(A) 地球規模の気候変動・水循環メカニズム解明を目的とし、地球規模・長期間の観測を衛星で実現する地球環境変動観測ミッション (GCOM) シリーズ、(B) 全球降水の高頻度・高精度観測と降水過程に伴うエネルギー収支の解明に貢献する全球降水観測計画 (GPM) と、気候変動予測における大きな不確定要素である雲・エアロゾルとそれらの相互作用による放射収支影響、エアロゾル・雲・降水過程の解明に貢献する雲エアロゾル放射ミッション (EarthCARE) の後継ミッション、(C) 大気中の温室効果ガス (CO₂、CH₄) の計測を行い吸収排出量の推定誤差低減等に資する温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) 後継ミッションがある。

② 目的と実施内容

地球規模の気候変動・水循環メカニズムの解明、地球温暖化予測の精度向上、気象予報の高精度化と、さまざまな社会課題の解決に資することを目的として、これらの基礎情報となる地球物理量を観測する衛星の開発・打上げ・運用・利用研究・データ提供を実施し、次世代全球地球観測システムを構築すると共に、研究・社会利用の両面でのデータ利用を推進する。

③ 学術的な意義

(A) 地球規模の気候変動・水循環メカニズム解明

開発運用中の衛星に続き、GCOM 後継機により重要気候変数の観測を継続し、長期データセット作成を可能にする。また、測器の高機能化等により水循環・放射収支・炭素収支に関わる重要気候変数の観測精度向上を図る。これにより、水循環・炭素循環・物質循環の解明に資する。特に、大気-陸域-海洋の循環ならびに沿岸-外洋相互作用の研究の高度化に寄与する。

(B) エアロゾル・雲・降水過程の解明

GPM・EarthCARE 観測の継続により、エアロゾル・雲・降水過程の総合的理解を目指す。降水は気象予報や洪水予測などの社会利用ニーズも高く、さらに、温暖化予測において不確定要素の大きい雲・エアロゾルを正確に把握することにより予測精度向上に貢献する。

(C) 温室効果ガス吸収排出量の推定誤差低減

宇宙から世界中の二酸化炭素及びメタン濃度を高精度且つ均一に観測し、その観測データを用いて、吸収・排出の推定精度の向上を図り、将来の気候変動予測の高度化に寄与するとともに、正確な排出量を提示することで炭素排出量削減に貢献する。また、新たに一酸化炭素の観測も行い、二酸化炭素の発生源も特定する。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国の JPSS および Decadal Survey 計画、欧州の Earth Explorer および Copernicus 計画等、主要衛星観測計画の策定においては、国連機関主導の全球気候観測システム (GCOS) や 各国宇宙機関からなる CEOS において、重複やギャップを極力避ける調整がなされる。(A)～(C)の継続ミッションは、そうした国際調整枠組みで調整されており、観測の独自性や先進性及び継続性を有しつつ、世界の観測計画と相補的な位置付けにある。

⑤ 実施機関と実施体制

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) (A～C) 全体システムの研究開発運用
 情報通信研究機構 (B) センサの研究開発、観測データの利用研究
 環境省/国立環境研究所 (C) センサの研究開発、観測データの利用研究

⑥ 所要経費

今後 10 年で 1,000～2,000 億円

⑦ 年次計画

GCOM シリーズは長期観測継続のための重複期間を考慮して後継機の打上げ年度を想定しており、GCOM-W 後継機が平成 33 年度、GCOM-C 後継機が平成 35 年度の打上げを目指している。GPM・EarthCARE 後継ミッションについても観測データの継続性をできるだけ重要視し、平成 35 年度の打上げを想定している。GOSAT-2 は平成 29 年度を打上げ目標として開発を進めている。

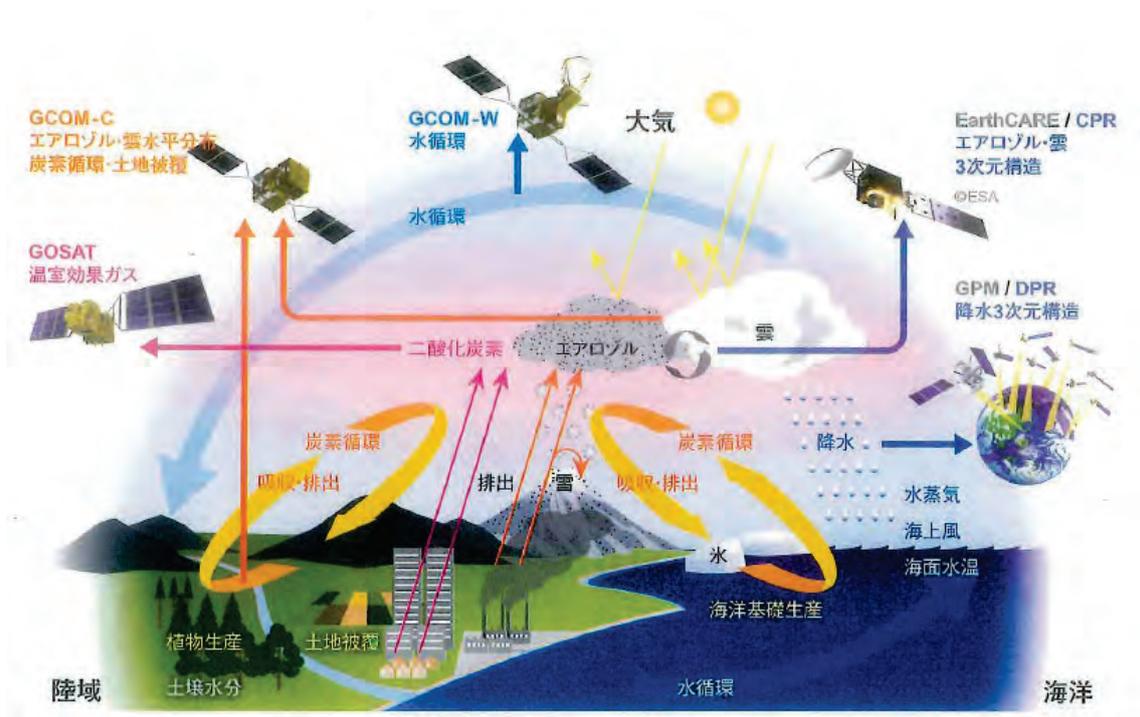
⑧ 社会的価値

提案ミッションで得られるデータは様々な社会的価値を創出する。例えば、現業気象機関の数値天気予報の精度向上を通じた、気象災害に依る利益損失の低減、海面水温・海色等の漁業者利用による経済効果と計画的漁業による資源管理、海氷情報を利用した北極海航路活用的高度化による経済効果・環境管理、降水・日射・土壌水分等を用いた大規模耕作地監視による食料安全保障対応、温室効果ガスの排出状況推定および森林バイオマス推定による吸収排出量の推定誤差低減への貢献、大気汚

染監視による越境大気汚染への対策、海面高度・海面水温・海上風などのデータ同化による海流予測の高精度化を通じた、船舶航行の効率化や津波等によるがれき・漂流ゴミ・放射性物質等の漂流予測の高度化等である。

⑨ 本計画に関する連絡先

金子 豊 (宇宙航空研究開発機構・第一技術部門地球観測研究センター)



全球地球観測システムの観測対象