

太陽系生命前駆環境の実証的解明のための統合研究プログラム

① 計画の概要

「はやぶさ」「かぐや」を経て、「はやぶさ2」「あかつき」日欧共同水星探査「ベピコロンボ」「火星衛星探査 (MMX)」、さらに重力天体着陸等の探査計画を進めようとするわが国は、これら探査から最大限の科学成果を引き出すために、ミッションを実施する JAXA 宇宙科学研究所 (ISAS) を多角的に支える周辺拠点を充実させるべき段階にある。本計画では、実践的な人材育成・交流を展開しつつ、次世代機器の開発を戦略的に進め、データ解析・モデリング及び宇宙物質分析研究を連携させる「惑星科学研究コンソーシアム」を、ISAS を取り巻く形で構築する。これにより全国の研究者の有機的なネットワーク化を図りつつ各探査を強力に推進し、太陽系における生命圏の誕生・持続に至る条件と過程について実証的解明を進める。

② 目的と実施内容

太陽系における生命前駆環境の進化—生命圏の誕生・持続に至る条件の実証的解明を目的とする。1) 生命前駆物質の形成・進化、2) 惑星材料物質・生命前駆物質の分布・移動、天体への供給、3) 惑星・衛星の形成・分化、4) 地下熱水環境：鉱物—水—有機物反応系、5) 大気水圏の進化とその光化学反応系について包括的に解明し、各探査の科学成果を相乗的に最大化する。

「はやぶさ2」により、C型小惑星のその場観測と帰還サンプルの顕微分析によって鉱物・水との相互作用による有機物進化を解明する。日本の小惑星サンプルリターンと高品質月リモートセンシングの優位性を火星圏に伸ばす「MMX」の科学シナリオ構築と機器開発を進め、その場観測と帰還サンプル分析から火星衛星の起源を求めると同時に火星の材料物質、分化、大気水圏の起源と進化の解明に迫る。「あかつき」の金星大気循環データと「ベピコロンボ」の水星表層データを、「かぐや」の月全球データや、氷衛星データの高次解析と併せて統合的に解釈し、地球型惑星の分化や表層環境進化の比較解明を進める。

本計画は多拠点ネットワーク型の「惑星科学研究コンソーシアム」を構築し推進する。機器開発センターを新設し、JUICE、MMX、将来探査に向けた機器開発を行う。データ解析プロジェクトにおいて、一次データのバックアップアーカイブと同時に、その高次解析と解析ソフトウェアの開発提供を行う。物質分析プロジェクトにおいて、帰還試料の多段分析と、次世代分析技術の研究開発を行う。シミュレーションプロジェクトと惑星科学実験プロジェクトにおいて、探査天体の環境予測と探査データに基づくモデリングを進める。統括部門が、情報共有・交流環境と活動評価プログラムを提供するとともに、コミュニティによる将来探査計画の立案と練り上げを促進し、各拠点の活動を開かれた形で緊密にネットワーク化する。

③ 学術的な意義

[期待される研究成果] 生命の起源の解明には、生命誕生に至った太陽系および惑星環境の様態とそこでの物質進化の解明が重要である。そのためには多角的な探査ミッションを戦略的に進めていくことが不可欠である。本計画では、こうした一連のミッションを持続していくための体制を構築し、太陽系生命前駆環境を解明する研究プログラムを確立する。これによって、生命前駆環境における有機物の鉱物や水との相互作用、生命前駆物質の主供給源である外部太陽系における揮発性物質の分布と進化過程、最終的に生命を産み出した物質進化場である固体惑星の大気水圏の形成と進化についての解明が期待できる。

[効果と意義] 機器開発、探査シナリオの練り上げ、帰還試料分析およびデータアーカイブ・解析を推進する体制の構築が喫緊の課題である。多数の探査候補天体に対し多様な切り口を有する太陽系探査は、将来ミッションの戦略的立案や次世代機器の基礎研究開発を、コミュニティベースで常時進めなければならない。本計画はこれらの課題へ全面的に貢献する。月惑星データの解析、始原物質の分析、惑星大気水圏のシミュレーション解析は、探査計画の立案や機器開発にも活用される。これには高い信頼性と精度が要求されるため、解析・分析・シミュレーション技術を世界トップレベルに高める原動力となる。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

世界的評価を得た「かぐや」「はやぶさ」の成功、「あかつき」の軌道投入リカバリ、ベピコロンボの日欧共同開発を経て、以前は ISAS でしか担えなかった搭載機器開発や科学検査が全国の大学機関へ浸透し、日本の月惑星探査に欠かせない奏者に育つとともに、次期中型探査 MMX の立ち上げや JUICE 等の海外探査計画への協力打診に、多くの研究グループが参画・呼応するに至っている。一方、政策主導、工学主導であった探査を惑星科学コミュニティが自ら立案する活動が、日本惑星科学会により段階的に進められ、その成案が新規太陽系探査計画の一つに位置づけられるとともに、多様な専門と研究資源を有する全国の研究者が有機的に連携することの必要性が広く認識されるに至っている。本計画は、各探査を通底する科学目標で結び、伝統あるモデリング・分析研究と発展的に融合することによって、次の探査シーズを開拓しつつ科学成果を最大化する。そして別途推進されている系外惑星系の研究や初期地球生命研究と相補的に、生命前史の解明に貢献する。

⑤ 実施機関と実施体制

[統括] 神戸大惑星科学研究センターにコンソーシアム運営委員会をおき、評価を含む計画全体のマネジメントを行う。学際共同研究、探査計画アセスメント、高度専門家教育プログラム、知見ライブラリ配信、アウトリーチを展開促進する。

[搭載機器開発] 惑星探査機器開発センターを新設し、搭載機器開発環境を整備する。このもとで東京大(理、工、新領域)・千葉工業大(惑星探査研究センター)・国立天文台(RISE 月惑星探査グループ)等を中心に、MMX や JUICE、将来探査に向けた機器開発を担う。宇宙物質分析部門との連携による試料ハンドリング利便性を追求した試料回収カプセルの開発、ロボット探査のための観測装置やその場年代計測を目的とするレーザ絶縁破壊分光計の汎用化等を進める。

[宇宙物質分析] 北海道大創成科学研究機構・東京大(理)を中心に、独自の同位体顕微鏡開発の経験をベースに、宇宙物質の微細高精度分析を展開し、そのための新規技術開発、「はやぶさ2」試料を想定したキュレーション技術の開発を行う。

[データ解析] 会津大(先端情報科学研究センター宇宙情報科学クラスタ)が、情報科学に特化した同大の基盤を活かし、名古屋大(環境)等と連携しつつ惑星探査データの hoch 解析を担う。現有のクラウドサービス基盤を活用し、宇宙探査データバックアップ配信サイトとして機能する。

[シミュレーション] 北海道大(理)、神戸大(理)を中心に、オープンな数値モデル開発の経験を活かし、他部門および周辺研究者との密な交流のもとに、惑星表層・原始太陽系円盤・始原天体・鉱物-水-有機物相互作用等のモデリング研究を展開する。

[実験惑星科学] 神戸大(理)と名古屋(環境)を中心に、機器開発チームと連携しつつ、衝突現象や熱輸送等、天体表層における物理諸過程の実験的解明を行う。

⑥ 所要経費

十年計画で初期設備投資に50億円、運用に毎年8億円の総額130億円を必要とする。

[統合部門] 情報基盤整備3億円 ホスティングサーバ・遠隔会議システム他、人件費0.8億円/年、事業費0.7億円/年 運営委・研究会・高度人材養成スクール開催、招聘・交換プログラム、知見ライブラリ事業

[搭載機器開発・実験惑星科学] 搭載機開発施設整備25億円 機器加工・組立室、天体表層環境模擬装置群、試験装置他、人件費1億円/年、事業費2億円/年 搭載機器、試作実証機器開発

[宇宙物質分析] キュレーション技術開発施設整備15億円 宇宙極低温物質有機物マニピュレーションチャンバ、無汚染環境ストレージ、同位体ナノスケープ等先端分析装置群、人件費0.5億円/年、事業費1億円/年 機器オペレーション、機器更新、微小試料分析技術開発

[データ解析] データアーカイブ基盤構築4億円 PBストレージ他、人件費0.5億円/年、事業費0.5億円/年 配信オペレーション、高次解析プログラム開発

[シミュレーション] ソフトウェア開発環境整備3億円 高速計算システム・大容量ストレージ他、人件費0.5億円/年、事業費0.5億円/年 開発環境保守更新

⑦ 年次計画

1年目 立ち上げ。施設設計整備。アーカイブデータ移送ならびに公開試験。月(かぐや)・小惑星(はやぶさ)・金星大気(あかつき)等データの hoch 解析。固体天体の物質進化場解明に向けた月惑星地質学・表層環境学の推進。これらを参照した火星衛星探査MMXと国際木星衛星系探査JUICEの観測シナリオの構築と機器開発ならびに将来将来月惑星探査立案の促進。惑星大気シミュレーションモデル、原始太陽系円盤モデルの開発。「はやぶさ2」・「MMX」に向けたキュレーション・分析機器群の開発。搭載機器試験実証のための超小型衛星の利用検討。研究会、研究者招聘・交換・人材養成スクールプログラムの実施。

2-5年目 上記事業の改善と継続。「はやぶさ2」(2018年小惑星到着、2020年地球帰還予定)その場観測と帰還試料分析による太陽系始原天体の物質進化場の解明。「JUICE」「MMX」搭載機器完成(2022~24年打上)。既存惑星探査データの本格移送と公開、惑星大気データ同化ソフトウェアの構築。惑星内部進化モデルとの結合に基づく、大気保有惑星のモデリング科学の深化、将来探査計画への貢献。はやぶさならびに国外探査帰還試料の詳細分析と、物質進化モデリングによる宇宙物質科学の展開と分析機器改良。将来探査計画の定量的評価と試作搭載機器開発。超小型衛星を用いた機器検証観測の実施。

5年目以降 評価に基づく改善を加えた上記事業の発展継続。「MMX」のその場観測と帰還試料分析による、火星衛星の起源ならびに火星の大気水圏の形成進化過程の解明。「ベピコロポ」その場観測データによる太陽系最内縁域における惑星形成・分化・進化過程と物質供給の解明。新規探査計画の科学シナリオ検討と搭載機器開発。

⑧ 社会的価値

深宇宙を目指す惑星探査の推進と成功は多くの国民、とりわけ若い世代に夢と希望をもたらす。また、太陽系と惑星の成り立ちの解明は、人類が共通に抱く根源的な好奇心に繋がる知的価値を有する。本計画では、探査データの配信や、知見ライブラリの提供も目的としており、これらは学際研究にとどまらず、一般市民の理科教育コンテンツとして活用が期待される。

産学協働による新しい搭載機器の時間をかけた企画・開発は、センサー、ロボティクス、通信技術などの小型化・高効率化・高信頼化等、さまざまな技術を先鋭化させ、企業側にも大きなメリットを生む。産業界とのパイプを活かした理工連携による長期的な開発計画をデザインし、惑星探査データ hoch 解析や流体シミュレーションなどの情報技術面と合わせて、高度科学技術を担う人材の育成と産業イノベーションに資する。

⑨ 本計画に関する連絡先

倉本 圭 (日本惑星科学会)

惑星科学研究コンソーシアムの概要

