

## 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

生命誕生に至るまでの惑星環境の様態と物質進化過程の解明は、来る百年の惑星科学の大目標である。近年、本格的な太陽系探査に参入した我が国は、プロジェクトを推進する宇宙科学研究所（ISAS）を機器開発や科学検討の面で支える周辺拠点を充実させるべき段階にある。そこで、国際協力のもと、魅力的で実現性の高い太陽系探査プログラムを立案し、次世代機器の開発を戦略的に進めるとともに、データ解析・モデリング及び宇宙物質分析研究を有機的に連携させ、実践的な人材育成・交流が展開できる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、ISASを取り巻く形で構築することをめざす。

進行中の小惑星探査計画「はやぶさ2」により鉱物・水との相互作用による有機物進化をその場遠隔観測とリターンサンプル研究によって解明する。国際共同探査計画「JUICE」において、原始地球海洋に似る内部海を保持する木星巨大氷衛星のモデリングと探査シナリオ構築、搭載機器開発を推進し、科学成果の最大化を目指す。また、「かぐや」の月全球データに基づき、月・地球系への小天体供給率の変遷とその供給源を解明し、新物質生成をもたらす衝突現象を探る。火星や氷衛星などの天体モデリング研究と探査観測技術の開発を進め、月や火星、トロヤ群小惑星などを目指す次期探査計画の定量的立案を行う。

関連周辺分野からの幅広い連携協力が必須である太陽系探査の特性に鑑み、優れた資産を有する研究グループを拠点として拡充整備するとともに、共同教育研究支援サービス機能を提供することにより、全国に分散する研究者の有機的な結合を図って研究推進・人材育成・産学協働のための体制を発展させていく。

### ② 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環境の様態とそこでの物質進化に焦点を当て、始原小天体からのサンプルリターンや前生命段階にある天体上での生命関連物質の循環ネットワークのその場観測、天体上に残された様々な有機物進化の記録をたどる着陸探査などを戦略的に行っていくことが不可欠である。本計画では、こうした長期間を要する探査プログラム群を持続していける拠点と体制、人材育成の仕組みを構築し、理工一体で太陽系生命前駆環境を解明していく研究プログラムを確立する。これによって、前生命環境における有機物の鉱物や水との相互作用について、天体スケールでの物質進化場と長期的な物質進化過程の面からの解明が期待される。さらに、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、内部太陽系への物質供給とそれに伴う惑星表層の改変過程の解明や、原始地球型惑星の大气海洋系-内部の新しい共進化シナリオの提起などが期待できる。

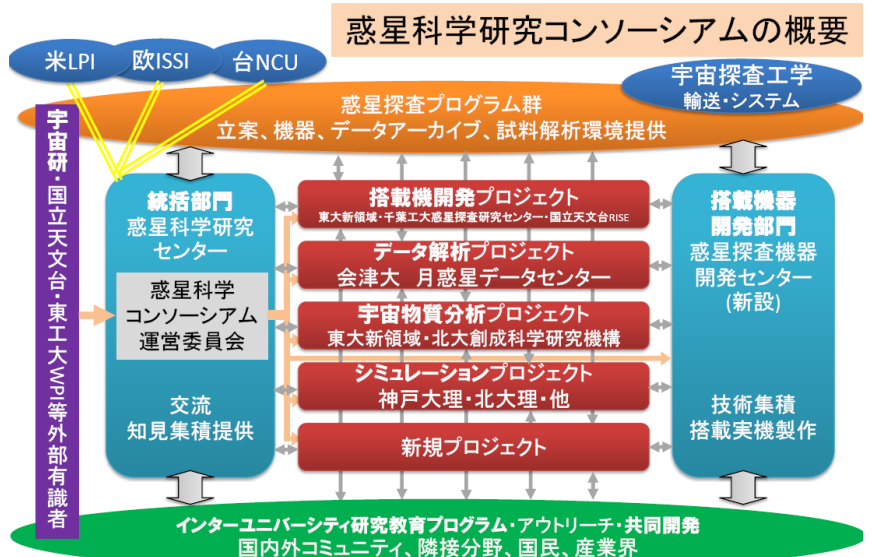
[効果と意義] 「はやぶさ2」、「JUICE」の機器開発、科学成果を最大限に高める探査シナリオ、リターンサンプルの分析体制およびデータアーカイブの構築準備が喫緊の課題である。また、太陽系探査は機器開発に十年程度を要するため、次期ミッションの定量的探査立案や新規機器の基礎開発はコミュニティ・ベースで常時進めなければならない。本計画はこれらの課題へ全面的に貢献する。リモートセンシングデータ解析、惑星大気シミュレーションなどのモデリング研究、始原物質分析は、科学研究のみならず、探査計画の定量的な立案や機器開発に活用される。これには高い信頼性と精度が要求されるため、解析・シミュレーション・分析技術を世界トップレベルに高める原動力となる。

### ③ 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、金星探査機「あかつき」の打ち上げ、水星探査機「ベピコロombo」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、JUICE等の海外の探査計画への協力打診を受け、複数の研究グループが参画するに至っている。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試みが、日本惑星科学会「来る10年の月惑星探査」により段階的に進められ、全国の研究者が呼応するとともに、多様な専門の有機的連携が決定的に重要であることが認識されつつある。本提案は、進行中の探査計画を共通の科学目標で結び、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、科学成果を最大化すると同時に、次の探査の科学目標シーズの開拓を図る。太陽系天体をフィールドとする本計画は、別途推進されている太陽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。

### ④ 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] 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、試作実証機開発

[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ー、無汚染環境ストレージ、同位体ナノスコ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、データ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

## ⑤ 年次計画

本計画の研究期間は 10 年を想定し、種々の段階にある探査計画と関連する研究の連携を戦略的に進める。

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）・氷衛星（ボイジャー・ガリレオ）等データの解析。固体天体の物質進化場解明に向けた月惑星地質学の推進。これらを参照した小惑星探査「はやぶさ 2」と国際木星衛星系探査「JUICE」の観測シナリオの構築と月・火星将来探査の立案への貢献。金星・木星・火星大気シミュレーションモデル、原始太陽系星雲進化モデルの設計と開発。「はやぶさ」・「はやぶさ 2」リターンサンプルを念頭に置いたキュレーション・分析機器群の開発。搭載機器の試験実証のための超小型衛星計画の検討設計。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。既存惑星探査データの本格的移送と常時的な一般公開、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の構築結合に基づく、大気保有惑星のモデリング科学の深化と将来探査計画への貢献。はやぶさならびに国外探査リターン試料の詳細解析と、化学反応ネットワークモデリングによる宇宙物質科学の展開と機器改良。コミュニティ提案の将来探査計画の定量的評価と試作搭載機開発。超小型衛星機器の開発と検証観測の実施。

5 年目以降 点検評価、改善を加えた上記事業の発展的継続。「はやぶさ 2」（2018 年対象小惑星に到着、2020 年地球帰還予定）遠隔観測データを用いた太陽系始原天体の物質進化場の解明。「JUICE」搭載機完成（2022 年打ち上げ予定）。新規探査計画用搭載機のサイエンス検討と新規開発への着手。

## ⑥ 主な実施機関と実行組織

[統括] 神戸大学 惑星科学研究センターに惑星科学コンソーシアム運営委員会をおき、計画全体のマネジメントを行う。また学際共同研究、探査計画アセスメント、インターユニバーシティ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首都圏に新設し、搭載機開発環境を整備する。この下で千葉工業大学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・東京大学新領域創成科学研究科（東大新領域）が、輸送等の宇宙技術開発とリンクしつつ、氷衛星内部海の潮汐変形の検出を目指す「JUICE」レーザ高度計 GALA をはじめとする搭載機器開発を担う。宇宙物質分析部門との連携によるリターンサンプル分析の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、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] 北海道大学創成科学研究機構・東大新領域が、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の展開、そのための新規技術開発、「はやぶさ 2」リターン試料受け入れ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] 会津大学月惑星データセンター部門が、情報科学に特化した同大学の基盤を活かし、惑星探査データの解析を担う。JAXA 宇宙探査データのバックアップ配信サイトとしても機能する。

[シミュレーション] 北海道大学・理学、神戸大学・理学が中心となり、モデリング研究のコアチームを立ち上げる。オープンな数値シミュレーションモデル開発の豊富な経験を活かし、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基盤を提供する。

## ⑦ 社会的価値

深宇宙を目指す惑星探査の推進は、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、人材育成に供するだけでなく一般市民の理科教育コンテンツとしても活用が期待される。

産学協働による新しい搭載機の企画・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、惑星探査データ解析や流体シミュレーションなどの情報技術面と併せて、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。

## ⑧ 本計画に関する連絡先

倉本 圭（北海道大学・大学院・理学研究院） keikei@ep. sci. hokudai. ac. jp