

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

提案者 日本惑星科学会会長 田近英一
説明 同副会長 倉本 圭

概要

背景

- 惑星科学100年の大目標
「生命誕生に至る惑星環境
の様態と物質進化過程の
解明」
- 日本の本格的太陽系探査
への参入
 - －「かぐや」「はやぶさ」



本計画

惑星科学研究コンソーシアム を形成

- 宇宙研等の進める多様な探査
プログラムを、搭載機器技術
開発や科学検討でサポート
- データ解析、モデリング、宇宙
物質分析研究を有機的に連携
- 実践的な人材育成・交流を
展開

太陽系生命前駆環境の 実証的解明を目指す

科学目標

太陽系生命前駆環境の解明

- ・ 原始外部太陽系における生命前駆物質の分布と様態
- ・ 内部太陽系への輸送
- ・ 天体上の物質進化

外部太陽系
H₂O凝結
有機物豊富

国際

木星系氷衛星
探査計画
「JUICE」

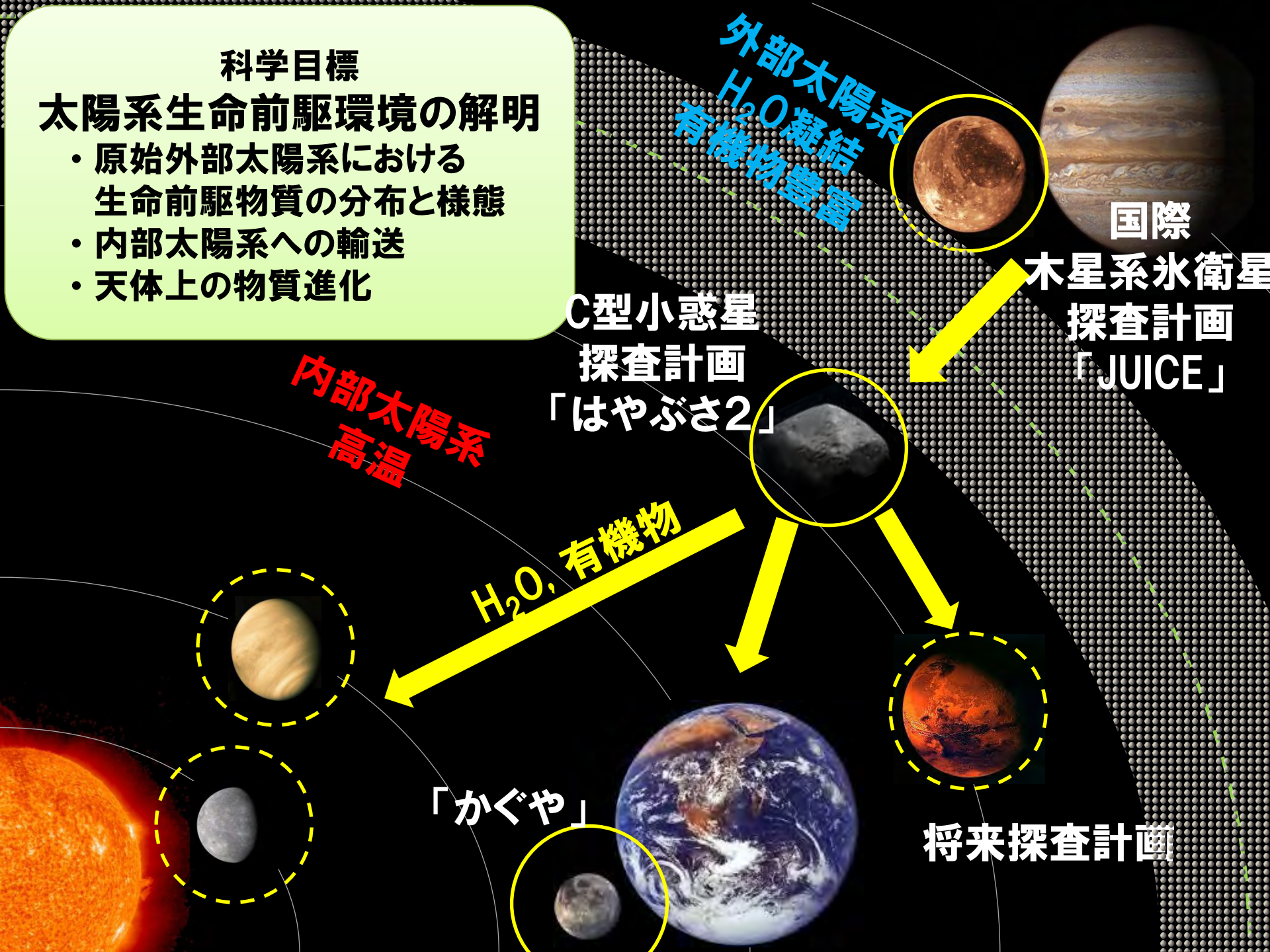
C型小惑星
探査計画
「はやぶさ2」

内部太陽系
高温

H₂O, 有機物

「かぐや」

将来探査計画



統合研究プログラムの全体像

個別的に行われてきた関連研究を統合し、探査データ・取得試料を活用するだけでなく、探査プログラムを高めることに貢献。探査から最大の科学成果を引き出すことを目指す。

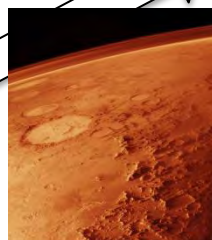
現在進行中の惑星探査プログラム

含有機物小惑星探査「はやぶさ2」
木星系氷衛星探査「JUICE」
観測シナリオ構築と搭載機器開発

理論モデリング、宇宙物質分析

生命前駆物質の分布と進化
物質進化場としての天体の構造
化学反応ネットワーク
リターン試料キュレーションと詳細分析

外部太陽系
揮発性物質の供給源



生命に至るまでの
太陽系環境の
様態と進化

次の惑星探査プログラム

月、水星、火星、トロヤ群小惑星
基礎的機器開発と定量的な立案

データ解析、シミュレーション

「かぐや」マルチリモートセンシングデータ
外部太陽系から月地球系への物質供給
「あかつき」金星データ
大気保有惑星の惑星システムモデリング

国際木星系氷衛星探査計画への参画

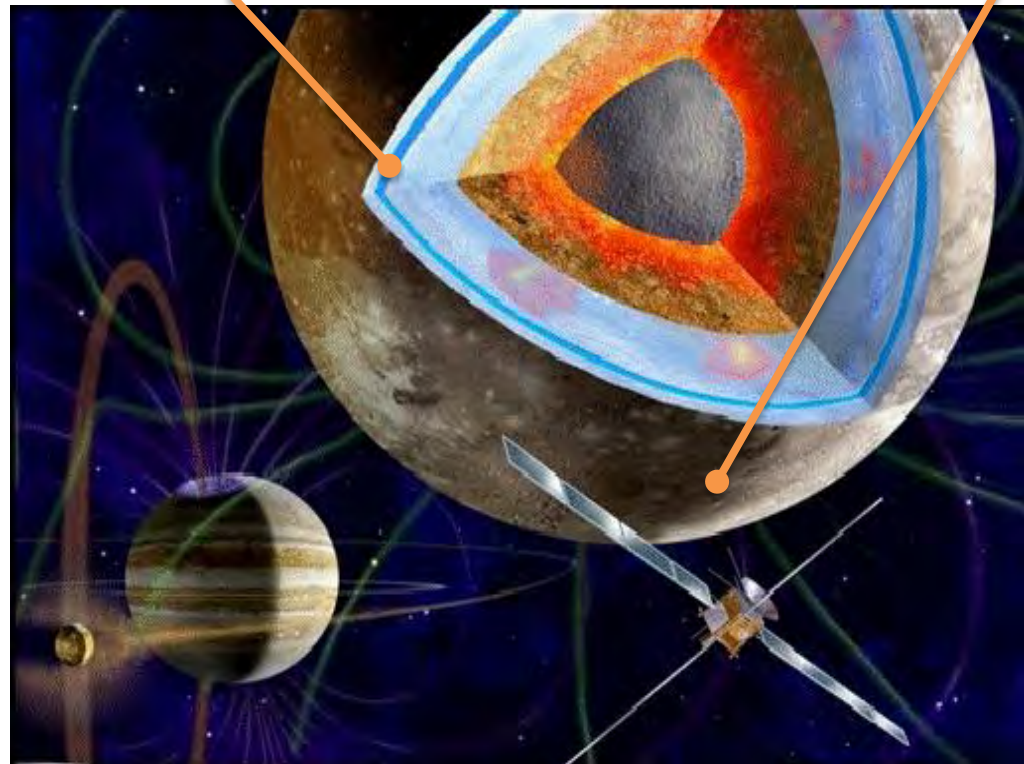
JUICE: Jupiter Icy Moon Explorer

- ESA主導の大規模国際共同探査
- 2020年打ち上げ、2030年木星到着、2033年ガニメデ周回
- 日本チームとして参加決定
 - 「かぐや」「はやぶさ」「Bepi-Colombo」等の実績
 - 複数のコミュニティ研究者に協力打診
- 日本が人類の知的財産の形成に協力できる格好の機会
- 開発リソースは自己調達する仕組み
- 喫緊に予算手当と開発体制を整備する必要あり

本計画では
サイエンス検討、観測シナリオ構築、
機器開発に貢献

レーザー高度計
潮汐変形、
内部海の構造

サブミリ波サウンダ・
赤外スペクトルイメージャ
表面化学・同位体組成



モデリング・データ解析と併せ、生命前駆物質の
貯蔵庫、化学進化の場としての氷衛星と
外部太陽系を実証的に解明へ

推進体制

コンソーシアムの必要性

- 惑星探査をめぐる問題点
 - 探査の対象・形態(サイズ, 国際協力...)の多様化
 - 各探査をつなぐ戦略性が弱い
 - 欧米の2番煎じでない「したたか」な探査プランが必要
 - 惑星科学 = 本質的な意味で学際的分野
 - 大型装置を更新しながら共有する、巨大科学の典型パターンに当てはまらない
- コンソーシアムの必要性
 - はやぶさ2・JUICEなど進行中の探査計画の科学成果を最大化するため、宇宙研と協働する体制構築が急務
 - 100年を超えて人類の大事業となる惑星探査の**世界の流れに置いていかれないため、JUICEなどの国際協力ミッションを安定推進する基盤**
 - 探査正面への投資だけではなく、基礎開発への配分を増やすことが必須。その集約的な受け皿を作る
 - 多様なアイデア、基盤技術、人材、人的ネットワークを常時キープしつつ、**次期探査に向けて**戦略を構築する体制が不可欠
 - 分散的な拠点を設け、相互につなぎ多様性を維持する

惑星科学研究コンソーシアム

米LPI 欧ISSI 台NCU

宇宙探査工学
輸送・システム

惑星探査プログラム群【宇宙研など】
立案、機器、データアーカイブ、試料解析環境提供

宇宙研・国立天文台・東工大WPI等外部有識者

統括部門

惑星科学研究
センター

惑星科学
コンソーシアム
運営委員会

搭載機開発プロジェクト

東大新領域・千葉工大惑星探査研究センター・国立天文台水沢

データ解析プロジェクト
会津大 月惑星データセンター

宇宙物質分析プロジェクト
東大新領域・北大創成科学研究機構

モデリングプロジェクト
神戸大理・北大理・他

新規プロジェクト

開発部門

惑星探査機器
開発センター
(新設)

インターユニバーシティ研究教育プログラム・アウトリーチ・共同開発
国内外コミュニティ、隣接分野、国民、産業界

推進体制

- 分散共同利用拠点を配置し、プロジェクトとして役割を分担。
 - これまでの探査計画への参画経験と得意分野をベースに、搭載機器開発、宇宙物質分析、データ解析、モデリングに特化
 - それぞれの研究資源を全国の研究者に提供
- 統括部門が、統合研究を重層的にドライブ
 - 米月惑星研究所、欧宇宙科学研究所等との国際連携網を活かし、インターユニバーシティ研究教育プログラム、探査立案アセスメント、知見ライブラリの整備と公開、アウトリーチを展開
- 開発部門が、基盤計測技術、搭載機器、リターン試料キュレーション技術の開発環境を提供
 - レーザー技術を基盤とする高度計、元素分析装置等の搭載機器の基礎開発を展開し、探査計画へ機器を供給
 - 工学や産業界との持続的なパイプ形成も担う

進行中の探査計画の科学を最大化、
次期探査計画の定量的な立案を行う

コミュニティの合意形成

- 活発に議論を積み重ねてきた
 - JpGU 宇宙惑星科学セクション「宇宙惑星科学の将来を語る会」(2011～現在)
 - 日本惑星科学会「月惑星探査の来る10年」(2009～現在)
 - 惑星科学センター主共催将来探査関連シンポジウム (2008～現在)
- 多様な専門の有機的連携の必要性が共有されている

社会的価値

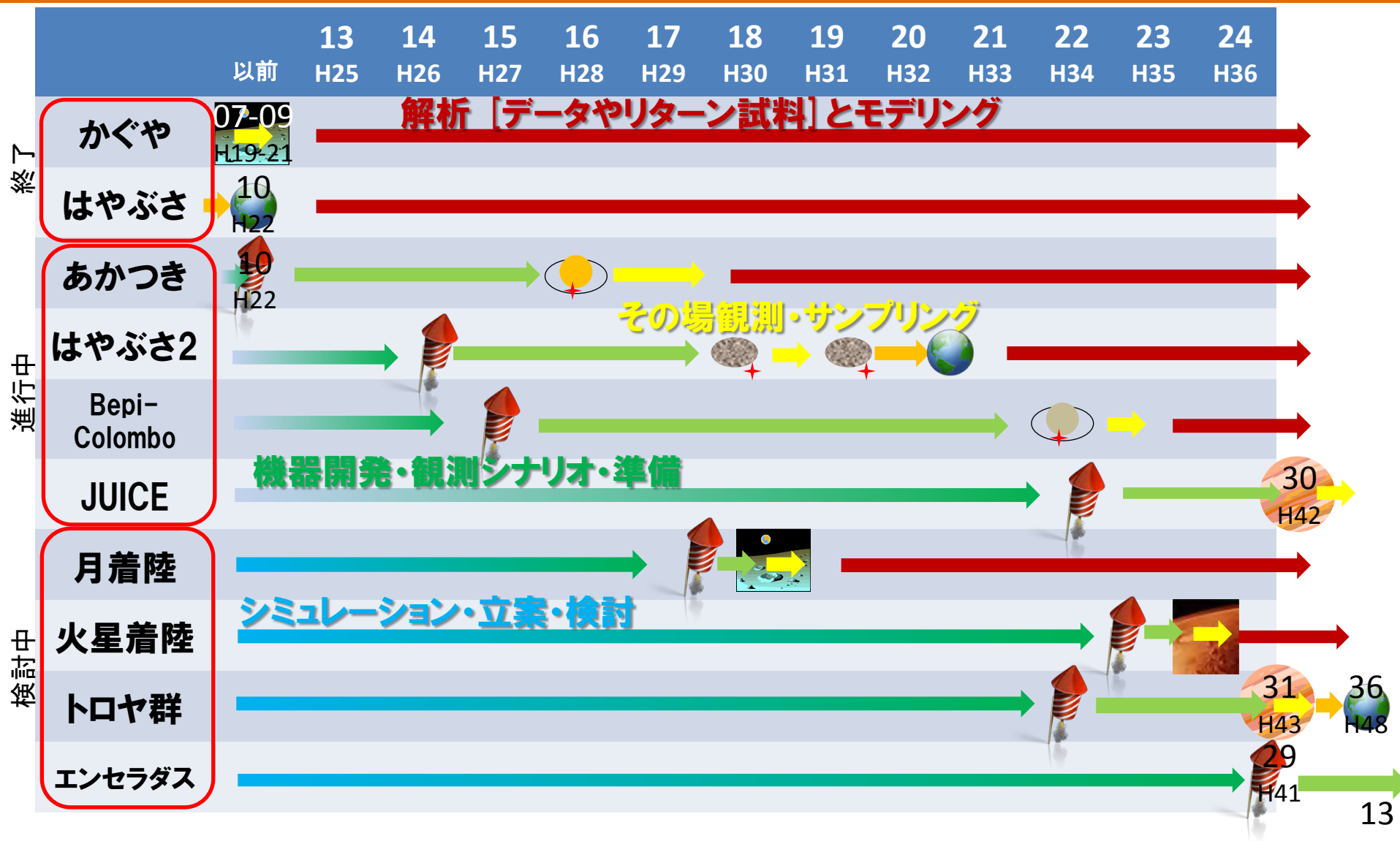
- 宇宙開発関連メーカーにおける人材の持続的育成、技術イノベーションの誘発
- 人類の根源的問いにつながる知的価値
- 国民への夢と希望：人類の活動領域の太陽系への拡大
- 理科教育コンテンツとしての活用

10年間での 解明や展開が期待される主な項目

- 「はやぶさ2」: 生命前駆物質の原始太陽系における分布、小天体上における鉱物-水-有機物相互作用による進化
- 「Bepi Colombo」: 内惑星領域への物質供給プロセスの解明
- 「JUICE」: 巨大氷衛星の内部海での化学プロセス、外部太陽系の揮発性物質の進化場としての様態に関するモデル構築と科学成果を最大とする観測シナリオの構築
- 世界最高品質を持つ、かぐや月リモートセンシングデータの解析による、外部太陽系から月・地球系への物質輸送過程
- 火星システムモデリングと生命前駆物質進化の解明、理工連携による次期探査計画案
- 国立天文台や東工大ELSIなどの進める太陽系外惑星科学や初期地球生命学とリンクし、生命前史の総合的解明を推し進める

将来展望：太陽系探査を基軸とする惑星科学の相乗的展開

多様な探査プログラムを多面的に支え、探査から最大限の科学を引き出し、
魅力的な次期探査の立案を行うオールジャパン体制を確立



付録

共同研究展開のイメージ①

C型小惑星サンプルリターン計画「はやぶさ2」

- 内外有識者、最新の科学知見に照らした、観測シナリオや予測データについてのアセスメントの場を統括部門が提供
- ランデブー時のリモートセンシングデータをデータ解析Pが解析し、モデリングPと共同で、有機物進化の場としての小天体の構造を解明。
- 宇宙物質分析Pが、有機物を含むリターンサンプルのキュレーション・初期分析に必要な技術要素を抽出、機器開発Pとの共同で技術開発
- 帰還後分析を推進、リモートセンシングデータ、太陽系物質進化モデリングと合わせ、1999JU3の起源領域、そこでの生命起源物質の分布、小惑星上での生命前駆物質の進化過程について統合的な解明を推進



はやぶさ2によるC型小惑星
1999JU3の探査スケジュール

- 2014年打ち上げ
- 2018～2019 ランデブー
- 2020 末帰還、分析開始

共同研究展開のイメージ②

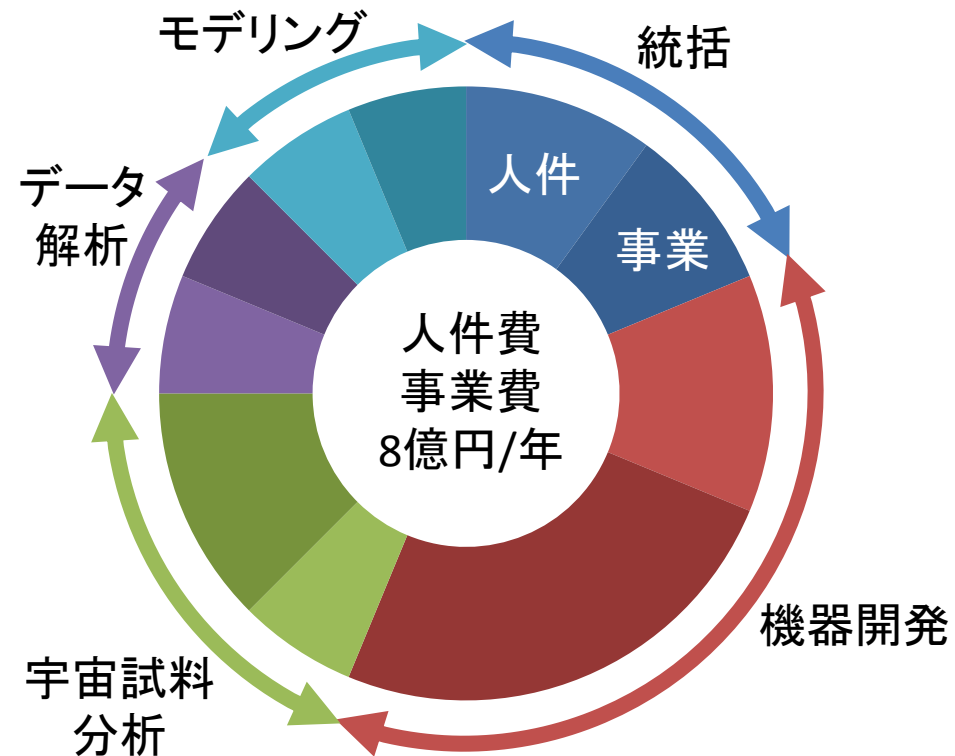
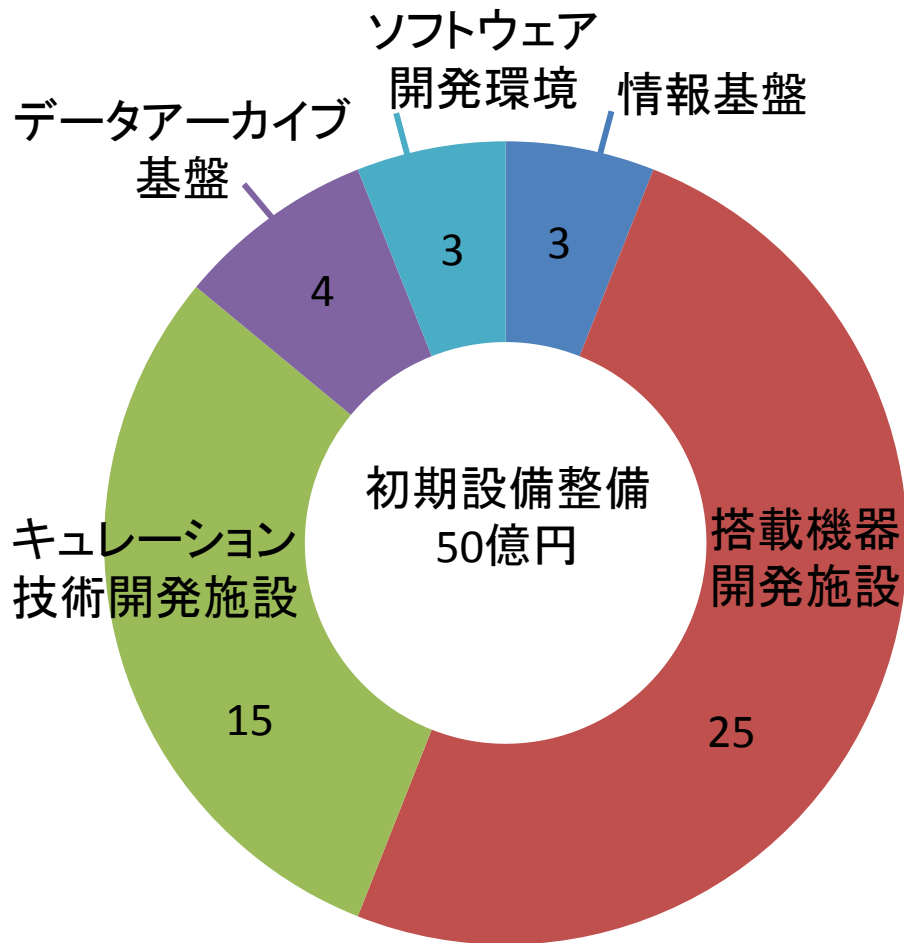
火星着陸探査計画の立案

- データ解析PとモデリングPが、着陸候補地点の惑星地理地質高次データ、気象予測、大気化学予測データを提供
- 科学的意義や予測データについての外部有識者・コミュニティを取り込んだ統括部門におけるアセスメント
- レーザー技術を応用した元素分析装置、年代測定装置、大気計測機等、機器開発Pの機器仕様設計・性能試験に反映
- 科学シナリオ、定量的な探査計画の立案へ



経費

- 10年計画
- 初期設備投資に50億円、運用に毎年8億円の総額130億円



主要な経費

- [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1億円/年、事業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0.5億円/年、事業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0.5億円/年、事業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
- [モデリング] 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0.5億円/年、事業0.5億円/年 開発環境保守更新

プロジェクトの具体的なイメージ

(例) 惑星探査データ解析プロジェクト

- コアは「はやぶさ」・「かぐや」の主要メンバー
- 情報科学に特化した(公)会津大学は、産学連携で復興支援センター／クラウドサービス基盤を構築。
 - － 現行JAXAにしかない月惑星探査データを遠隔バックアップ
- 将来に渡ってスペースクラウド拠点の役割を担う用意
 - － 情報工学と宇宙理学の連携、情報産業と大学・県の連携
 - － 解析ツールの開発／配布
 - － 高次データプロダクトの作成と配信
 - － アーカイブサイエンスとそれを遂行するノウハウの蓄積
 - － 人材育成

主な実施機関と特色

機器開発: 理工連携による搭載機器開発

主な機関	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	惑星探査機器開発センター (機器開発部門・新設)
実績	・「かぐや」、「はやぶさ」計画に主要メンバーとして従事 ・現在進行中の「はやぶさ2」「JUICE」のPI ・SELENE-2、MELOS等、次期月火星探査計画立案に貢献			
主な役割	・開発環境提供(機器加工・組立室、天体表層環境模擬装置群、試験装置他) ・搭載機器コンセプトの発掘、仕様検討、基礎技術開発、搭載機器開発・提供			
具体的テーマ	・国際共同探査計画「JUICE」: 木星巨大氷衛星のモデリングと探査シナリオ構築に基づくレーザ高度計「GALA」等、搭載機器開発と提供 ・小惑星探査はやぶさ2: 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の基礎開発 ・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			
特色	・理工連携による深宇宙探査教育・研究プログラムを推進 ・輸送等の宇宙システム工学とリンク。 ・宇宙試料分析・データ解析・モデリングとの共同。 ・海外研究機関との連携・交流 (RISE: 中国上海天文台、ウルムチ天文台、ロシア カザン大学、千葉工大: APL/JHU、韓国宇宙研究所、GALAで独宇宙センター(DLR)と協力。			

データ解析：情報工学分野の産学連携、アーカイブサイエンスの推進

主な機関	公立大学法人 会津大学	国立天文台RISE 月惑星探査グループ	JAXA/ISAS/C-SODA (データセンタ)	神戸大学CPS
実績	・「はやぶさ」「かぐや」計画に主要メンバーとして従事 ・ 科研費基盤A(2007-9)『深宇宙探査機データのGISへの統合遠隔共同解析技術の研究』 ✓ 不規則形状小天体の特殊なGISツールの開発・配布 ✓ 月面データの解析およびそのためのツール開発 ・ 2010年大型計画～ヒアリングでアーカイブの意義は評価された。			
主な役割	・ JAXA月惑星探査データの遠隔バックアップ ・ 科学データ利用の理念に基づく、アーカイブサイエンス促進／サービス提供 ✓ 付加価値をつけたオンライン地図配信(GIS, Web Mapping Service) ✓ データ解析ノウハウの蓄積、解析ツールの開発と配布			
具体的テーマ	・ 国際共同探査計画「JUICE」(かぐやの経験を生かした)探査シナリオ構築に資する、氷衛星の海外ミッションデータ高次プロダクト作成 ・ 小惑星探査計画「はやぶさ2」不規則形状小天体の形状認識と3D-GIS, 取得データプロダクトのGIS統合と高次プロダクト生成アルゴリズムの検討 ・ 地質マッピング技術の半自動化			
特色	・ 理工／産学連携で、他プロジェクトを支える情報工学・研究プログラム推進。 ・ 深宇宙探査ミッション実施を支援するもので、既存大型計画とは重複しない。			

宇宙物質分析:キュレーション技術・分析技術の開発

主な機関	東京大学 新領域創成科学研究科	北海道大学 創成科学研究機構	惑星探査機器 開発センター
実績	・「はやぶさ」回収試料の初期分析、「はやぶさ2」計画メンバー ・将来サンプルリターン探査計画立案を開始 ・大型科学研究費補助金(特別推進研究, 基盤研究(S)など), JST補助金などにより, 独自の同位体顕微鏡を開発、世界の追随を許さない成果		
主な役割	・リターン試料キュレーション技術の開発 ・先端分析技術の開発と応用 ・先端分析装置の提供		
具体的 テーマ	・「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 ・微細試料分析技術の開発 ・「はやぶさ」「はやぶさ2」リターン試料等宇宙物質の微細高精度分析の展開		
特色	・地上キュレーション・分析のための技術開発を, サンプルリターン探査における試料採取搭載機技術の開発と協力して行う. ・探査機による観測と回収試料の地上分析をシームレスにつなぐ		

モデリング: 惑星探査に向けた惑星システムモデリング

主な機関	神戸大学 理学研究科	北海道大学 宇宙理学(理学研究院・低温研)
実績	・ 大気シミュレーションソフトウェアのオープンソース開発 ・ 原始太陽系円盤の力学と物質進化過程に関する豊富なモデリング実績 ・ 惑星分化過程における揮発性物質の分配モデリング ・ 新学術領域研究「太陽系外惑星科学の新機軸」の惑星大気・原始惑星系円盤モデリング推進	
主な役割	・ ソフトウェア開発環境の提供 ・ 開発ソフトウェアのオープンソース提供 ・ 探査計画の定量的推定を可能にする、大気循環モデリング	
具体的 テーマ	・ 原始太陽系円盤における水・有機物の輸送・進化過程のモデリング ・ 探査データの同化を可能にする大気シミュレーションモデルの開発と提供 ・ 惑星内部・大気・海洋結合システムシミュレーションモデルの開発と提供 ・ 以上を通じた探査データの予測、解釈、次期探査の定量的立案	
特色	・ 全国の大学(北大、京大、京産大、神戸大、岡山大、九州大、福岡大など)分散する教員・研究者が、インターネット空間上で開発活動を試行 ・ ELSIなどに属する有力な惑星形成論モデリング研究グループとも共同研究を推進	

統括部門: 連携の促進

主な機関 神戸大学惑星科学研究センター (CPS)

実績

- ・ グローバルCOEプログラム「惑星科学国際教育研究拠点の構築」(2008-12)により運営、多岐のインターユニバーシティ教育研究活動を企画・サポート
- ・ 国際プラネタリスクールなど、豊富な高度専門家教育プログラムを開発・実施、国外からも高評価
- ・ 惑星科学とその周辺分野を対象に、重層的かつ国際的な人材交流事業を提供
- ・ 将来検討シンポの企画開催などシンタンクとしても機能

主な役割

- ・ プロジェクトとコミュニティの連携研究教育活動の促進
- ・ 国際連携の推進
- ・ 惑星探査計画のアセスメント、惑星科学将来構想の立案
- ・ 知見ライブラリの提供とアウトリーチ
- ・ これらのためのホスティングサーバの開発と提供

特色

- ・ 米月惑星研究所 (LPI)、欧宇宙科学研究所 (ISSI) と同様に、学際科学としての惑星科学における共同研究教育を促進するための組織として設計。
- ・ アジア域の惑星科学研究教育組織のノードの一つとして、LPI、ISSI、台湾中央大学と連携協定を締結。