

推進2-1-3

# 「はやぶさ2」プロジェクトについて 宇宙科学コミュニティが支える 小惑星探査に向けて

2011年6月27日



日本惑星科学会 会長  
名古屋大学 大学院 教授  
渡邊 誠一郎

# 0. 日本惑星科学会 (JSPS) とは

## 日本の月惑星探査の黎明期

**設立:** 日本惑星科学会は 1992 年に設立された新しい学会

**目的:** 日本での惑星科学および関連諸科学の進歩に貢献するとともに、その知見を広く社会に普及すること

**概要:** 1993年, 日本学術会議登録学術研究団体として認定.  
現在, 会員数は約600名. 日本地球惑星科学連合の一員として, 日本学術会議にも代表者が参加.

**惑星科学とは:** 宇宙の進化と生命の進化を結び, 私たちの自然界における位置づけを考察する学問. 太陽系や系外惑星の起源と進化, 惑星や衛星のダイナミクスと進化, 地球外物質と生命の起源・進化などを研究し, それらの理解や比較から地球の本質を把握する営み. 必要な技術や道具を作って探査や観測を行うことも惑星科学の重要な柱である.

# 1. 惑星形成を解く小惑星探査(1/5)

まずは、広く「小惑星探査」の意義について述べる。

— 惑星形成過程における未解決重要問題を解く鍵

- 巨大ガス惑星(木星など)の形成過程の解明

- コア集積モデル: 固体コア → 円盤\*ガス捕獲

- 円盤重力不安定モデル: 円盤\*から直接生成

論争

\* 円盤: 原始惑星系円盤(惑星の母胎  
となった太陽を取り巻くガス円盤)

- “仮想天体”微惑星の実証

- 生成の謎: ダストからの合体生成の困難性

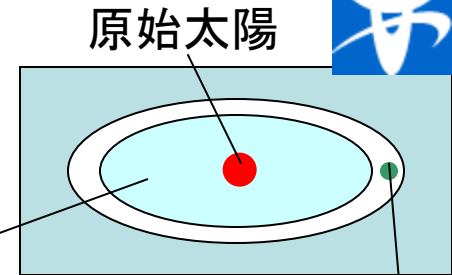
- 正体の謎: 微小重力粉体集合体の未解明な物理

- 惑星原材料の起源: 表面/内部での物質進化

→ 周到な計画の小惑星探査により読み出せる!

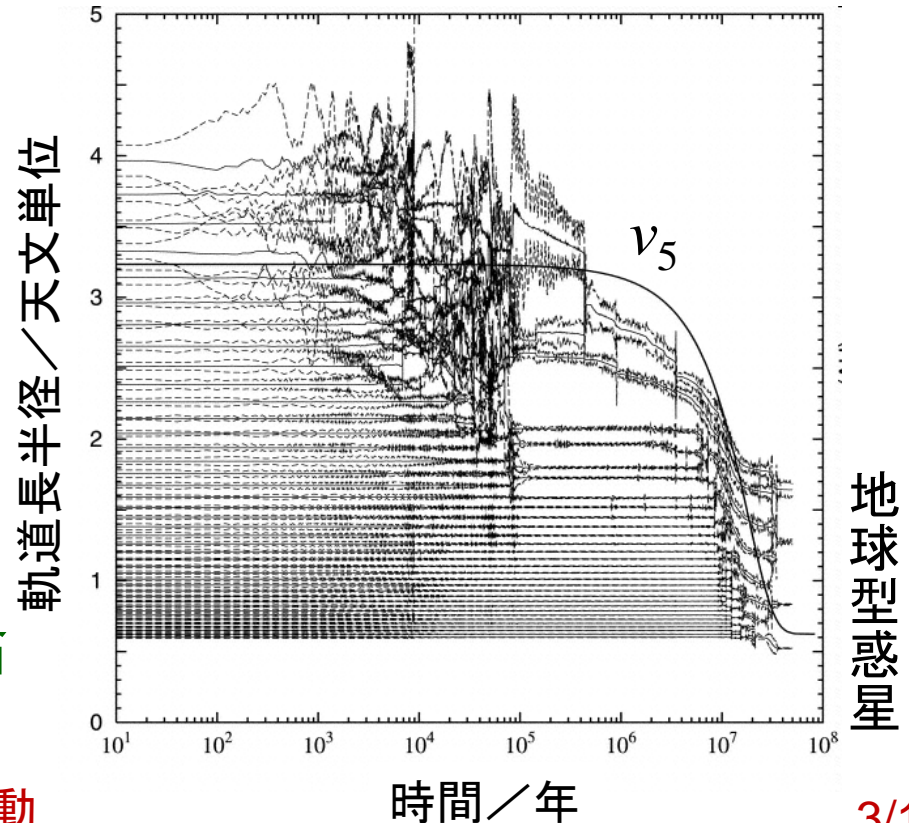
# 1. 惑星形成を解く小惑星探査 (2/5)

## 木星の影響下の小惑星進化



- **木星の影響**: 円盤ガス散逸に伴う,  $\nu_5$ の**永年共鳴** 木星  
位置の移動によって  
小惑星帯は, 一旦  
きれいに掃除される?
- 小惑星の情報から  
木星の形成時期や  
円盤ガス散逸過程が  
制約できる
- 小惑星と惑星の関係  
– 地球への原材料供給

Nagasawa et al. 2005



永年共鳴  $\nu_5$ : 近日点移動速度が木星と一致する天体に生ずる累積的な軌道摂動

# 1. 惑星形成を解く小惑星探査(3/5)

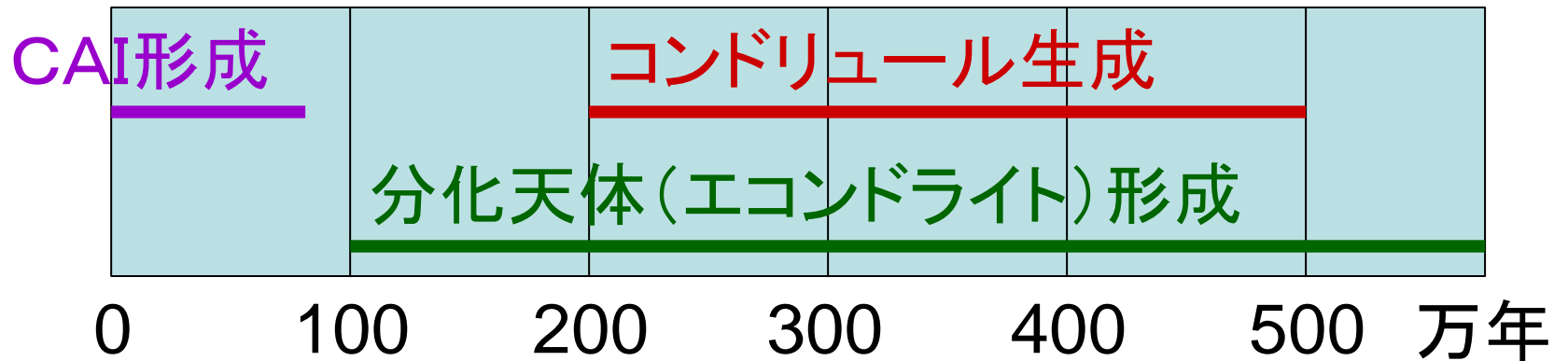
## 惑星形成過程の新たな見方

- 従来理解: 微粒子(CAI, コンドリュール) → 微惑星

コンドリュール: 隕石中に Cコンドライトが最も始原的  
含まれる溶融した形跡のある球形粒子(珪酸塩鉱物/ガラス)

CAI: 隕石中の  
Ca, Alに富む  
白色包有物

鉛年代, 消滅核種( $^{26}\text{Al}$ )年代からの制約



- 最近の見方: 微惑星とコンドリュールの同時形成  
→ 星形成領域の天文観測とも比較

Cコンドライト母天体はOコンドライト母天体より新しい

C型小惑星

S型小惑星

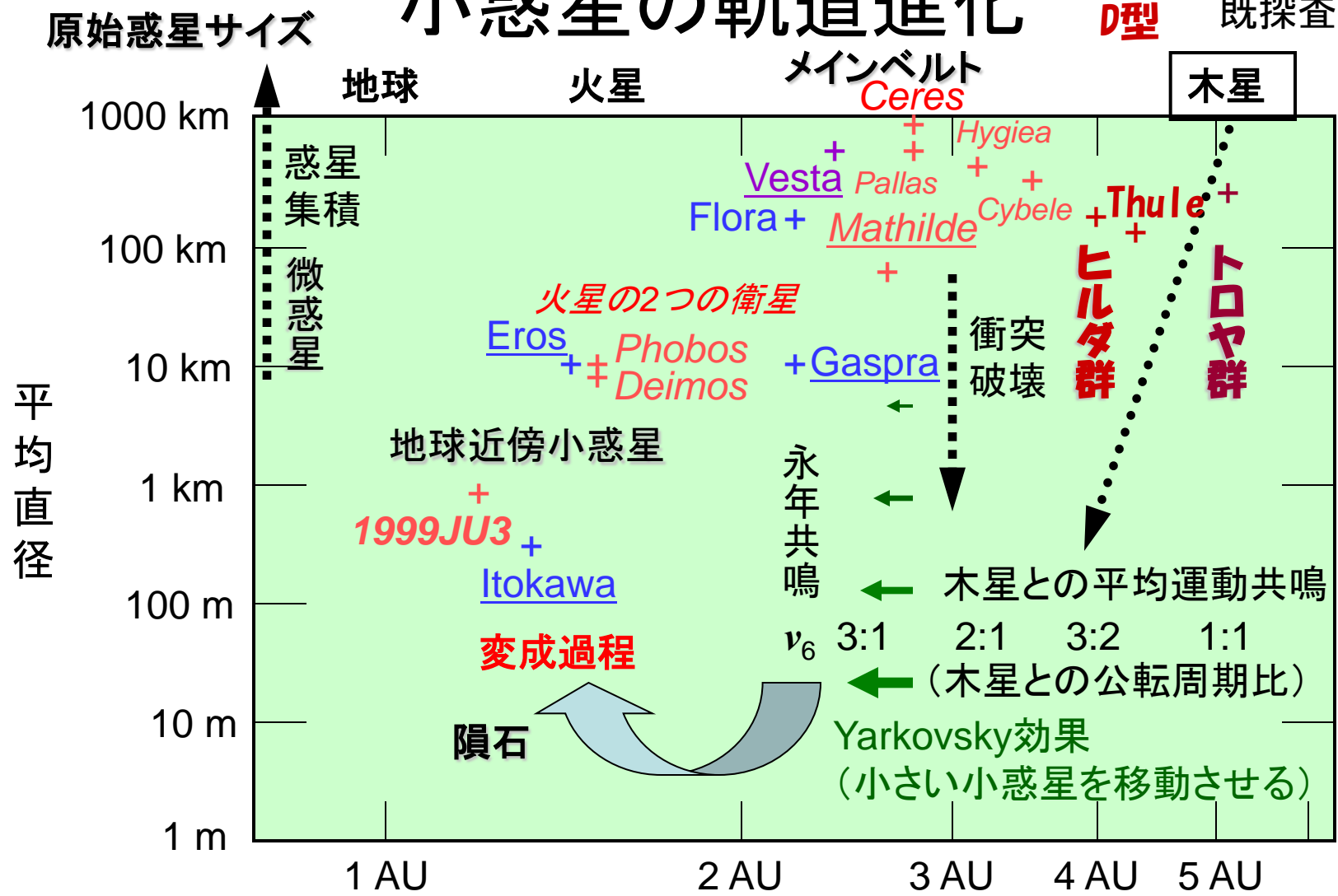
# 1. 惑星形成を解く小惑星探査(4/5)



S型  
C型  
D型

下線は  
既探査

## 小惑星の軌道進化



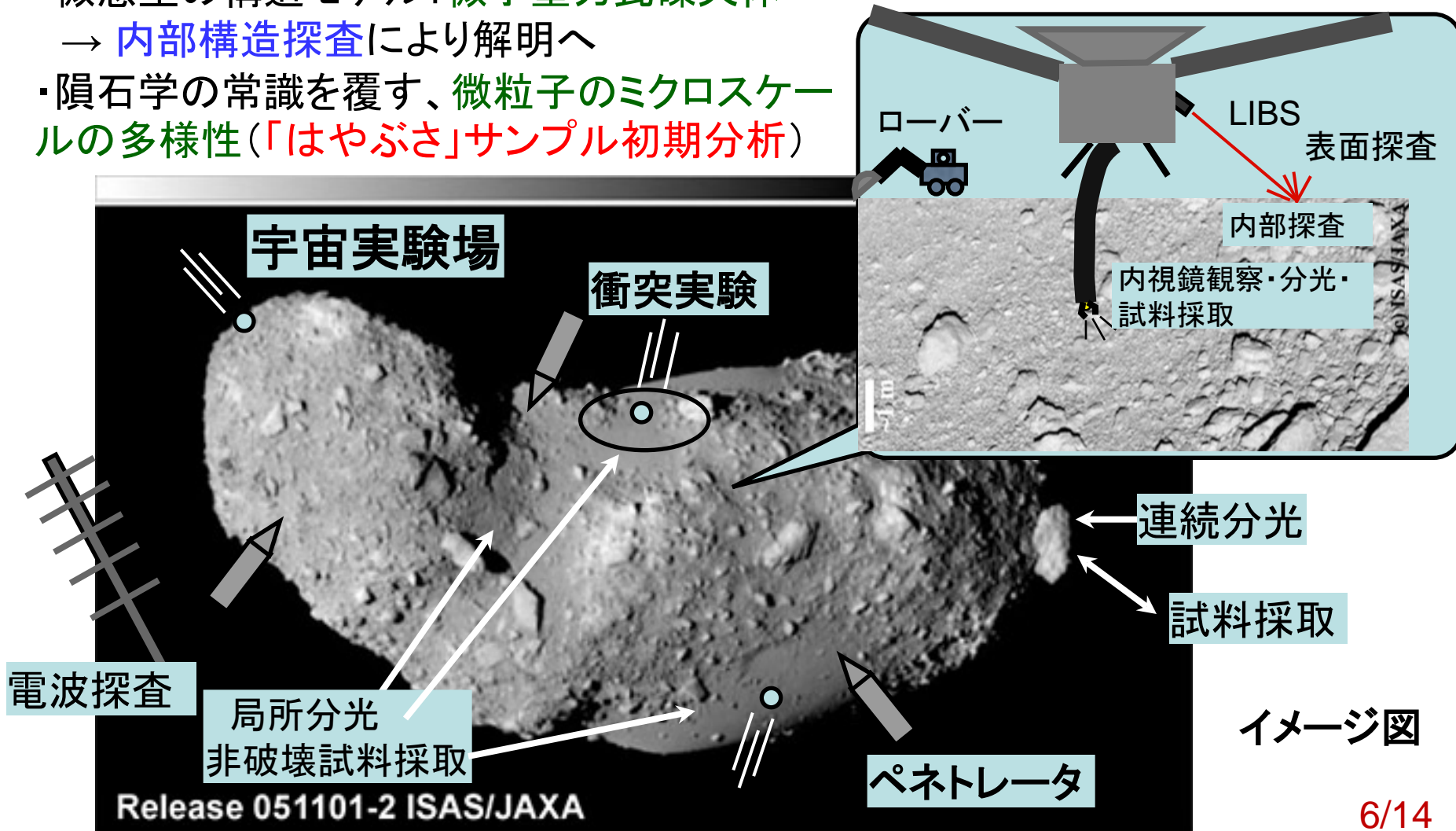
過去を読み解くために、軌道進化過程の理解が不可欠

# 1. 惑星形成を解く小惑星探査(5/5)

## 微惑星模擬天体としての小惑星

- ・微惑星の構造モデル: 微小重力瓦礫天体  
→ 内部構造探査により解明へ
- ・隕石学の常識を覆す、微粒子のミクروسケールの多様性(「はやぶさ」サンプル初期分析)

荒川(神戸大)・渡邊 2010



イメージ図

## 2. コミュニティでの議論

# はやぶさ2から考えるサイエンス研究会

- 前史: 緊急討論会: 2010/9/8, 惑星科学会秋季講演会懇談会: 10/8
  - 「はやぶさ2」プロジェクトの成功に向けて、周辺分野のコミュニティの広い支持を継続的に受けて、推進メンバーだけではなく、多様な分野の人材がさまざまな形で意見を述べていくことが重要.
  - 小惑星探査に限らず、広く宇宙惑星探査に関わる人々や宇宙物質科学, 室内実験, 惑星形成理論等の専門家を含めた議論
  - はやぶさ2の現行計画とサイエンス的意義, シリーズの中での位置づけなどについて, 様々な角度から意見を交換
  - プロジェクト外の研究者も探査内容をよく理解した上でプロジェクトに対して意見を発信する枠組みを構築し, 自由度の高い議論を深める
  - 第1回: '10/11/30, 第2回: '11/1/13, 第3回: 4/6, 第4回: 6/23
- この議論を踏まえ, 以下に「はやぶさ2」について意見を述べる.



# 3. 「はやぶさ2」プロジェクト(1/2)

## 概要

- “「はやぶさ」で別の小惑星へ行って来る冒険”
- 特長:「はやぶさ」の技術を最大限に継承し, 変更点を最小限に限定することで低リスク・低コスト・開発期間短縮を図る.
- 科学目標:C型小惑星の物質科学的特性/形成過程  
生命の原材料物質, 太陽系の起源・進化の解明
- 搭載機器
  - リモートセンシング(NIR分光計, 中間赤外カメラ等)
  - サンプルリターン(サンプラー) → サンプル分析
  - 衝突装置, 小型ローバ (or 小型ランダー)

### 3. 「はやぶさ2」プロジェクト(2/2)

## プロジェクトの「特長」自体が遂行の障害となる構造

- 技術を最大限継承 → 新たなアイデアが活かさない
- 開発期間短縮... → 改善／統合サイエンス検討に足枷
  - 制約がきつく, チャレンジする余地がほとんどない
- 小惑星・隕石コミュニティの枠 → 他分野に広がらない
  - “「地球・海・生命」の材料”等の大目標を具体的課題へ ×
  - 木星形成の証拠, 微惑星の化石, 宇宙実験場 等の観点 ×
- 要所に「はやぶさ」経験者を配置 → 外からメンバーが加わりにくい状況(はやぶさサンプル初期分析と同時進行)
- 「はやぶさ」サンプルが分析中で, その成果が未確定
  - 本来は, その成果を踏まえたサンプリング戦略が重要

# 4. 科学目標と機器選定(1/2)

## 科学目標の問題点

- ・ 科学目標(=一貫する指針)が不鮮明
  - 「はやぶさ」(MUSES-C)は工学ミッションだった
  - 「はやぶさ」のサンプル回収不成功後の2006年に独自MDRで、科学目標を明確にせず「はやぶさ2」を立ち上げ
- ・ 搭載機器の多くは「はやぶさ」のものを継承
- ・ 結果として「科学目標 → 機器選定・仕様決定」が不明確に
  - タイプの違う C型小惑星が目標 → 本来は上記は不可欠
- ・ 現在の「科学目標」は妥当か？
  - 「C型=始原的」か？ 地球近傍小惑星 ← 変成作用
  - サンプリング／衝突までに表面状態を把握可能か？
  - 元素組成が決められない(赤外分光だけでは無理)

## 4. 科学目標と機器選定(2/2)

### 「はやぶさ2」搭載予定機器の課題

- サンプルング地点のマルチスケールモニタ
  - 場所や産状などサンプル分析に必須な情報を取得できるか？
- サンプラ：はやぶさで未実施項目(弾丸発射等)のリスク対応は？  
コンタミ対策は十分か？(はやぶさサンプル) 非破壊回収は？
- 近赤外分光計(NIRS3)：科学目標に対し波長範囲が適切か？
- 中間赤外カメラ(TIR)：「あかつき」用を改変：科学目標は何か？
- 可視カメラ(AMICA)：理学観測用の迷光対策などが十分か？
- 衝突装置(SCI)： **未経験技術で実験開発要素が過大では？**
  - 科学目標が適切か？(衝突過程の観測必須) 更なる安全評価が必要ではないか？(放出される帯電したダストの挙動など)
- **蛍光X線分光計(XRS)非搭載**：表面元素分析をどうする？

## 5. 科学審査の問題点

- 審査(SDR等)では, 多くの課題が積み残されたまま「概ね妥当」と認可 → 作文を整える形での対応
- 科学の中身と技術の実現可能性は同時評価すべき
- 宇宙探査委員会: 審査機関としての機能は十分か?
  - 委員が実質指名選任で分野の幅が限られている.
  - 機器開発経験に乏しく, 実現可能性評価が困難
  - 宇宙理学委員会として状況把握・評価をすべき
- ポピュリズムに墜ちない規範を示すことが重要
- プロジェクトチーム: 指摘された課題を捌く技術力を
  - 科学目標と技術検討をバランス良く進めるべき

# 6. 宇宙科学コミュニティが支える 惑星探査

- 個々の探査を**グランドビジョンの下**に位置づける
  - 予算制約が厳しさ → **コミュニティの支援・信頼**が前提
  - プロジェクトの巨大化 → 大域的な連携・戦略の必要性
- **宇宙科学コミュニティの下**に惑星探査を位置づける
  - 経験の少ない惑星探査に**宇宙科学の長い経験**を導入
  - 工学セクター, 政策セクターとも連携した**“生態系”**構築
- 惑星探査の人材育成の必要性:**技術開発力の涵養**
  - 基盤が未成熟で, 大学間・分野間の協働が特に不可欠
- **プロジェクト推進と同時にこれらを整備していくべき**

## 7. まとめ

### 「はやぶさ2」の改善に向けて

- まずは 科学目標の再整備・実質化
- 次に「科学目標→機器選定・仕様決定」確認・明確化
- 広く「宇宙科学」コミュニティとの連携により進める
  - 推進体制の再構築：第1級の科学・技術チームへ
  - オープンな議論の場を継続・拡大させる重要性
    - 「はやぶさ2から考えるサイエンス研究会」
- 科学審査(科学の内容+技術の実現可能性)を一元化して 的確な状況把握をすることが肝要
- 以上から、現在のスケジュールの再検討も必要か