

# 月探査と科学

宇宙理学委員会

中村正人

何用あって月世界へ？

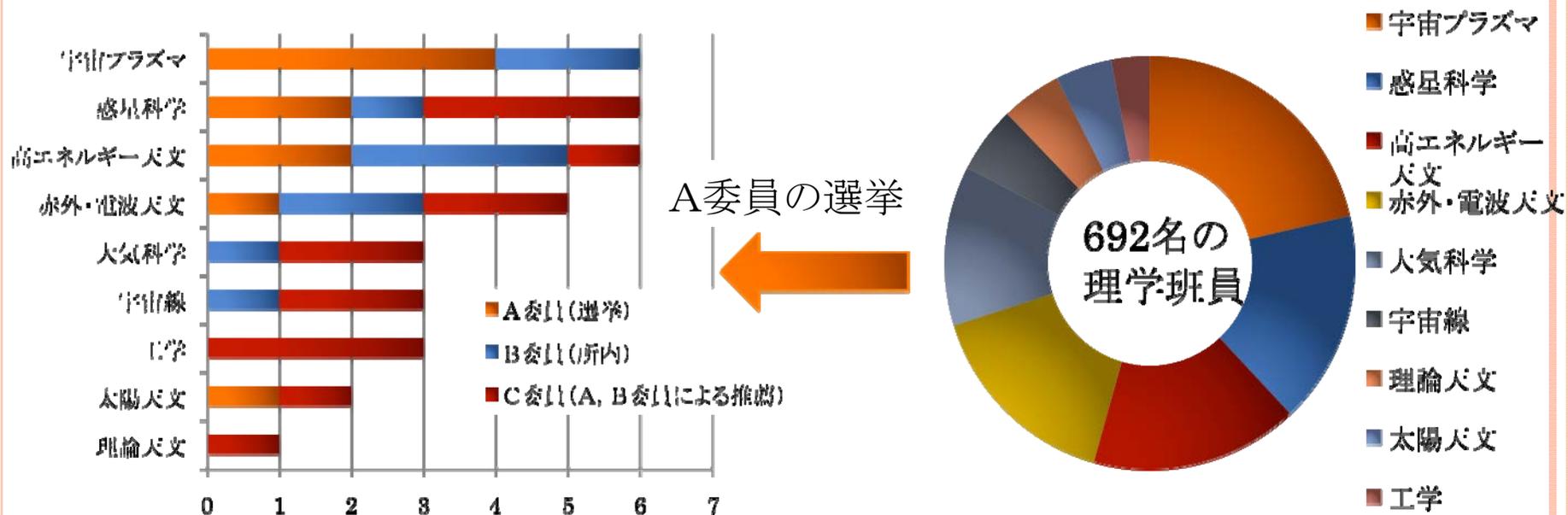
月はながめるものである

山本夏彦



- 全く正論
- しかし、あえて言う
  - 科学をせんとて月世界へ

# 宇宙物理学委員会の構成



宇宙物理学委員会には日本の宇宙科学をリードするメンバーが多くいる。例えば

名古屋大学副総長、国立天文台副台長、東大宇宙線研所長、東大ビッグバン国際研究センター長、岡山大学地球物質科学研究センター長

日本天文学会理事長、日本地球惑星科学連合宇宙惑星科学セクション Vice President、地球電磁気・地球惑星圏学会元会長、日本惑星科学会 元会長、前会長

本日はこの委員会の代表(宇宙物理学委員長)としてお話しさせて頂きたい

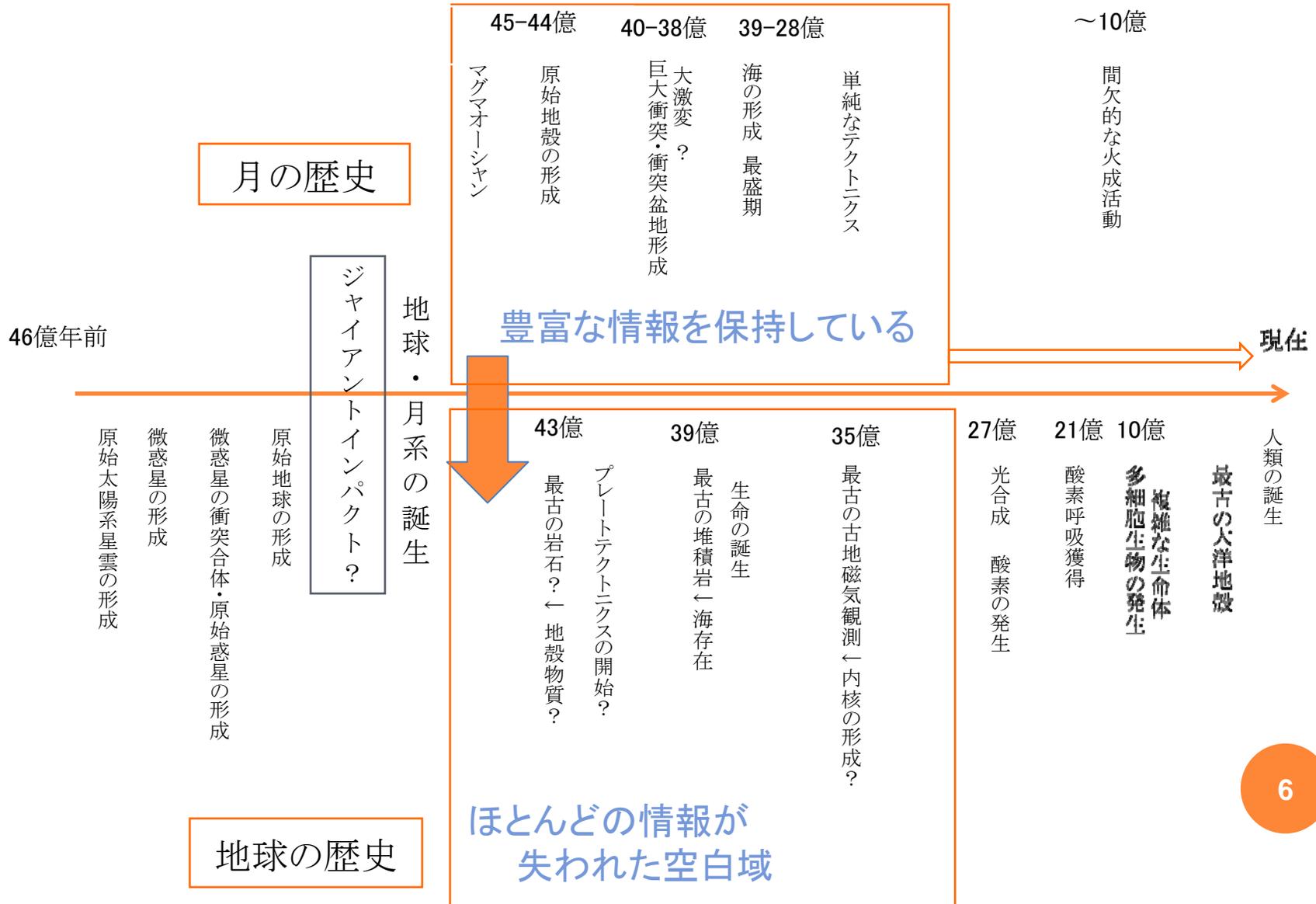
## 月に関するささやかな誤解

- 月は既に科学的に良く分かった星である、という考えは間違いである
  - アポロが月面に着陸した時代は技術的にも手探りの段階
    - 着陸した地点も、着陸しやすい極めて特異な地点
  - クレメンタイン(米)、かぐや(日)で初めて全球的なリモートセンシング探査を実現
  - このデータを元に、我々は探査すべき地点を探り出し、そこに着陸して多くのデータを得なければならない。特に月の裏側への探査は決定的に重要

# 月の成り立ちを解明する事が、われわれの住む地球誕生の秘密を解く最初の鍵である

- 我々はどこから来たのか、我々は何者か、我々は何処へ行くのか (Gauguin)
  - 人類共通の関心事, サイエンスの一大源流となっているテーマ
  - 宇宙における太陽系・地球の誕生はその重大事件の一つである
- 月は地球と太陽系の形成・進化の解明に導くロゼッタストーン
  - アポロ以降の月探査や理論的・実験的研究により新たな理解
    - 冷たい月の起源から熱い月の起源へ
      - 太陽系の始原的な物質を集めて冷たいまま成長した天体ではなく, 高温に熱せられ大規模な(全)融解を経験した天体と判明。地球も月もどろどろに溶けた高温状態(マグマ大洋状態)で誕生したと説明された
    - 巨大衝突による月の誕生理論
      - 地球形成の最終段階で, 火星サイズの惑星がおおよそ秒速15km/秒で斜め衝突, 地球軌道上にばらまかれた高温物質が集積して月が誕生したとする理論: 大多数の研究者が支持
    - 地球に残っていない原始の情報が存在する
      - 月は地球よりもサイズが小さく冷却が早いため形成初期の情報を「化石」として保持している

# 地球と月の歴史



# ロゼッタストーンとしての月

## ○ 月の科学の主目標

### ● 「月の起源」「月の進化」「衝突史」の解明

月の起源・進化課程にある、すべての惑星に適応される普遍的なプロセスを解明する

### 【月起源】巨大衝突説の確証を得る

- 巨大衝突説では説明しにくい問題もある(例えば材料物質、酸素同位体)

### 【月進化】固体惑星の成層構造の形成の謎

- 融解惑星はどのようにして大地を生み出すのか？
- 中心核は、どのようなものか、いつ、どのように形成されたのか？

**有力仮説:** マグマ大洋の結晶分化→原始地殻・原始マンツルの形成→分化したマグマの密度が増加し大規模なマンツル転倒発生→月の「海」(黒く兎の模様に見える玄武岩で覆われた盆地, 二次地殻)の形成

### 【衝突史】太陽系惑星にはいつどれだけの小天体が衝突したのか？

- 月は古い衝突地形が保存されているため太陽系の衝突履歴の記録媒体となっている。衝突頻度は単調に減少したのか、それとも大激変(40~38億年前)があったのか？
- 月の衝突履歴がわかれば地球への影響もわかる

**有力仮説:** 巨大惑星の(大)移動 → 惑星・小惑星の軌道変化 → 小惑星同士の衝突・散乱 → 内惑星へ短期間に大量の小天体衝突 → 地球生命誕生に影響

# 月の謎の解読に必要な手法

## 地球物理学と地質学の共同作業

- かぐや 科学主体の遠隔観測の成果
  - ◆ 表側と裏側で熱史が異なる
  - ◆ 月地殻の成分は従来の常識と異なる新たな説明を要する
  - ◆ 月の初期に固有磁場の存在を示唆。新しい海の地域には残留磁気がみられない
  - ◆ かぐやの成果を元に物理、地質、科学的観点から熱史と内部構造モデルの再構築が世界中で始まろうとしている
- 再構築の結果としての新たな月モデルについて確証を得る為には内部構造調査, その場での地質調査, さらには試料回収が必須
  - 月内部の分化の情報を担う内部構造は未解明もしくは不鮮明
  - アポロ着陸点は, 月の特徴的な地質区分の1つに集中している
- 内部構造調査で得られる物理的データと地質調査の結果によって得られる化学・岩石学的データから、月がどのような物質からどのような歴史を経て出来たのか正しく解釈できる

# 人類は月探査の第一の動機として科学を掲げよう

- 「われわれがどこからきてどこへいくのか」という大きな問題へとアプローチする上で、月の科学は柱の一つである
- 月の科学によって人類は自らの存在理由を含めた太陽系誕生の歴史を知り得る
- 月の科学は月探査にかかる人的、資金的投資に十分見合った成果を人類に与える一つのチャンネルである
  - 太陽系探査における月探査のアドヴァンテージ:地球に最も近い天体であり、通信の面だけからも取得できる情報量は他の惑星探査とは桁違いに豊か
- 「日本の品位を示すため」「平和国家の誇りを体現するため」にも国威発揚ではなく人類に如何にして日本が貢献できるかを問うべき。これによって日本の存在価値も高まる。それが科学である

では、科学が全てなのか？

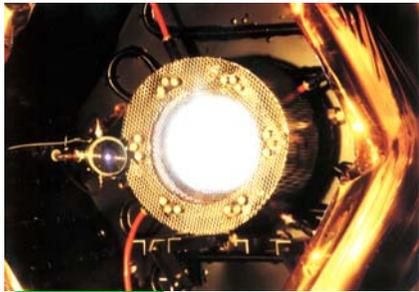
恐らくそうではない

- 月の科学を実行するためには極めて沢山の技術的に解決しなければならない課題がある。これらを一つ一つ解決していくことが日本の宇宙技術を磨く一番の早道
  - 着陸・帰還技術
  - 遠隔自律制御技術・ロボティクス
  - 長期滞在・熱制御・エネルギー技術
  - 移動体技術
  - 世界一級の観測技術

# 月惑星探査機に採用された先進技術(1)

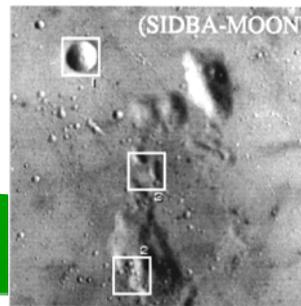
## 小惑星探査機:「はやぶさ(MUSES-C)」

電気エネルギーを利用した  
高性能電気推進エンジン



小型ロボット:  
ミネルバ  
(小型高機能部品)

サンプル回収用小型カプセル  
(耐断熱材料、再突入制御)



カメラ画像を使った自動着陸装置  
(画像処理、画像認識、自律制御)



サンプル回収装置  
(ロボティクス)

# 月惑星探査機に採用された先進技術(2) 金星探査機:「あかつき(PLANET-C)」

集熱を避け小型軽量を実現した  
高性能平面アンテナ

省電力機器の開発と  
高効率太陽電池 & 高性能電池の  
採用による省電力 & 少発熱設計

金星大気の運動  
を3次元に撮像する  
科学観測装置と  
機械式冷凍装置  
(赤外 & 紫外カメラ他)

超遠距離通信を  
可能にする  
再生測距型  
送受信装置

幅広い温度範囲に  
対応する  
姿勢検出装置と  
精密3軸姿勢制御装置

半球状通信領域をカバーする  
広角レンズアンテナ

高性能放熱 & 断熱制御材料を使った  
幅広い温度範囲(低温 ~ 高温)  
に対応する熱設計

新素材(セラミック材料)を  
使った軌道制御用エンジン

# 月の科学的究明は宇宙科学・惑星探査の柱 のひとつとして人類全体でおこなうべき活動

- 地球や太陽系、恒星、銀河、我々の宇宙が出来てきた仕組みを知る事が宇宙科学の大きな目標である
  - 月の科学は、惑星の形成・進化の普遍的な理解を与える
  - 火星、金星などの惑星の科学は、月・地球と比較することにより、青い地球の存在を理解する上で重要
- 調査対象に多様性を持つ惑星探査は訪問順序、探査内容の順番を考えて、効率よく進める事が大事
  - 月以外の惑星は往(復)路に長時間かかることを考慮
  - 国際情勢(国際協調、国際的競争)によって順序を考えることもある
  - ミッションの難易度を考慮する必要もある
  - 長期的にシリーズ化するためには資金的にスムーズなプロフィールを考えることもある
  - 日本の実力を見つめる事も大切。分野によっては50年米露に遅れている
- 人類活動として行うべき良い科学ミッションは、「第一級の科学目標」を明確にし、それを実現するための「挑戦的技術要素」を含んだミッション計画立案することで得られる。「第一級の科学成果」「新たな技術要素」の獲得は、適正なリソース投入を必要とする。

# 付録

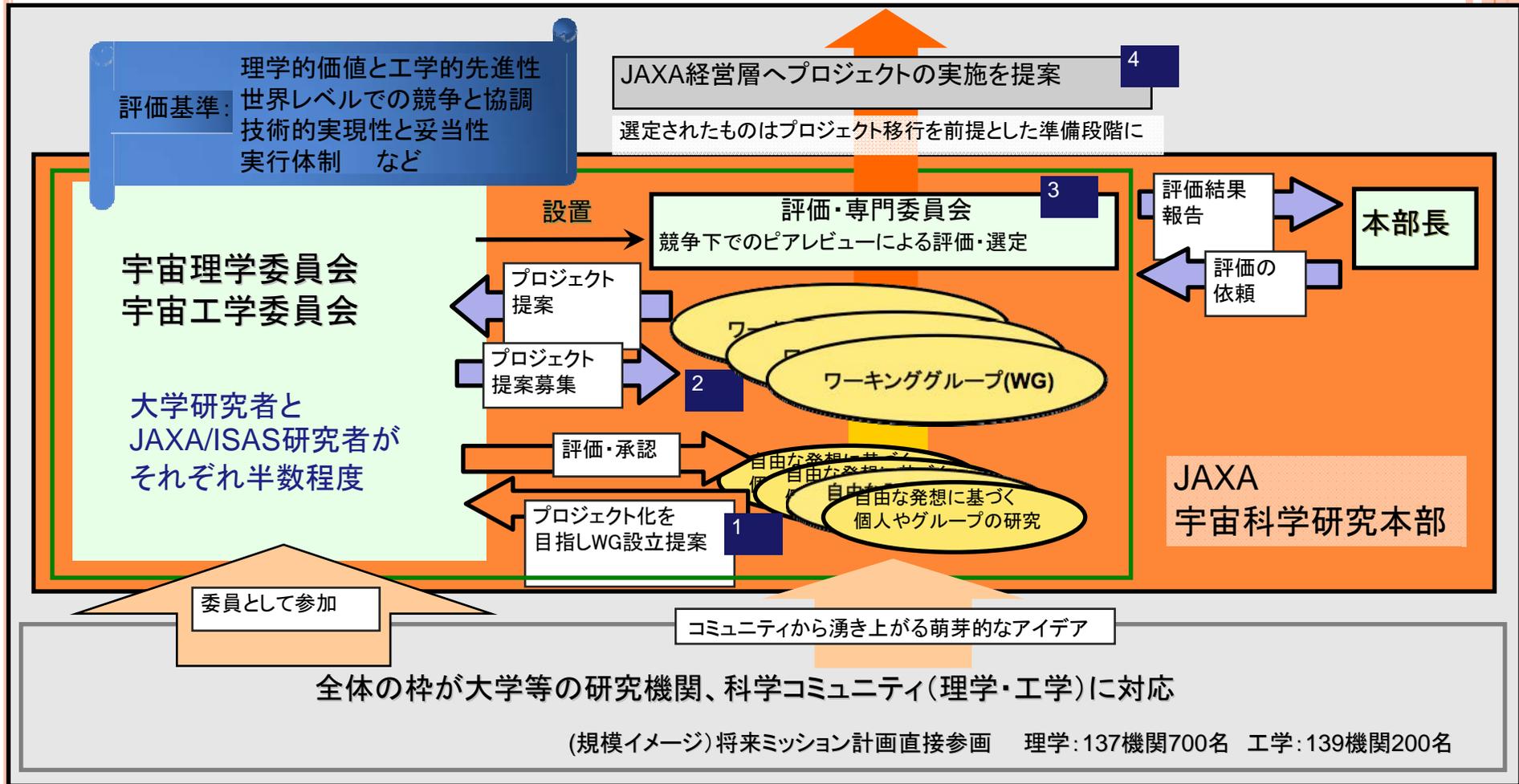
## 付録:宇宙理学委員会とは

- 宇宙における理学研究について、(地上からの宇宙観測は除いて)基礎研究から観測機器開発、宇宙科学プロジェクトの創出まで、全般的に舵取りをする委員会。
- 多くの科学コミュニティからのプロジェクト提案を受け、それを厳しい態度で育てて、一定の評価基準に達したらプロジェクト化を委員会として宇宙科学研究本部長に答申
- 従って宇宙理学委員長としては固体惑星科学だけではなく、様々な科学コミュニティを代表して意見を述べる立場にある。

## 付録: 良い宇宙科学プロジェクトの満たすべき宇宙物理学委員会の基準

- どの分野のプロジェクトも世界の基準から見て一流で無ければならず、そうでなければ認めない
  - 世界最先端のX線望遠鏡衛星
  - 世界で最も詳細な画像を取得する太陽観測衛星
  - 世界で初めて惑星気象学を拓く金星探査ミッションなど
- プロジェクトの実行を希望する科学分野のコミュニティだけではなく、むしろ他の科学分野のコミュニティによって認められて初めて科学意義が確認される
  - 切磋琢磨の精神
  - 例えば金星大気科学ミッションは大気科学コミュニティから提案され、X線天文、赤外・電波天文、太陽天文、宇宙プラズマ研究のコミュニティがその研究価値を認めて、実行に移された
- 解明すべき「科学目標」を明確にしてミッション計画を立案することが「決定的」に重要であり「良いミッション」と見なされる。逆のケースとして意義の薄い科学を、科学以外の理由から実行して事成れりとする事は許容しないし、科学を隠れ蓑にすることも容認しない

# 付録:宇宙科学プロジェクトの決定プロセス



## 付録:宇宙科学プロジェクト

- 理学を主目的としたプロジェクトと工学を主目的としたプロジェクトがあり、それぞれ宇宙理学委員会、宇宙工学委員会が所掌しているが、両者は連携して実施している。
  - 大型衛星、探査機：
    - ラグランジュ点や月周回軌道で3000kg程度。
    - 次期赤外宇宙望遠鏡「スピカ」、月探査機「かぐや」など。
  - 中型衛星、探査機：
    - 地球周回軌道で1000kg程度、惑星探査機で500kg程度。
    - X線天文衛星「すざく」、太陽観測衛星「ひので」、金星探査機「あかつき」など。
  - 小型科学衛星シリーズ：
    - 地球周回軌道で400kg程度。
    - 惑星望遠鏡衛星SPRINT-Aなど
  - 衛星、探査機搭載観測機器の開発：
    - ペネトレータなど。海外衛星への搭載を視野に入れたものもある。
  - 観測ロケット、大気球等の小型飛翔体を用いた実験
    - 萌芽的研究の育成、技術実証など