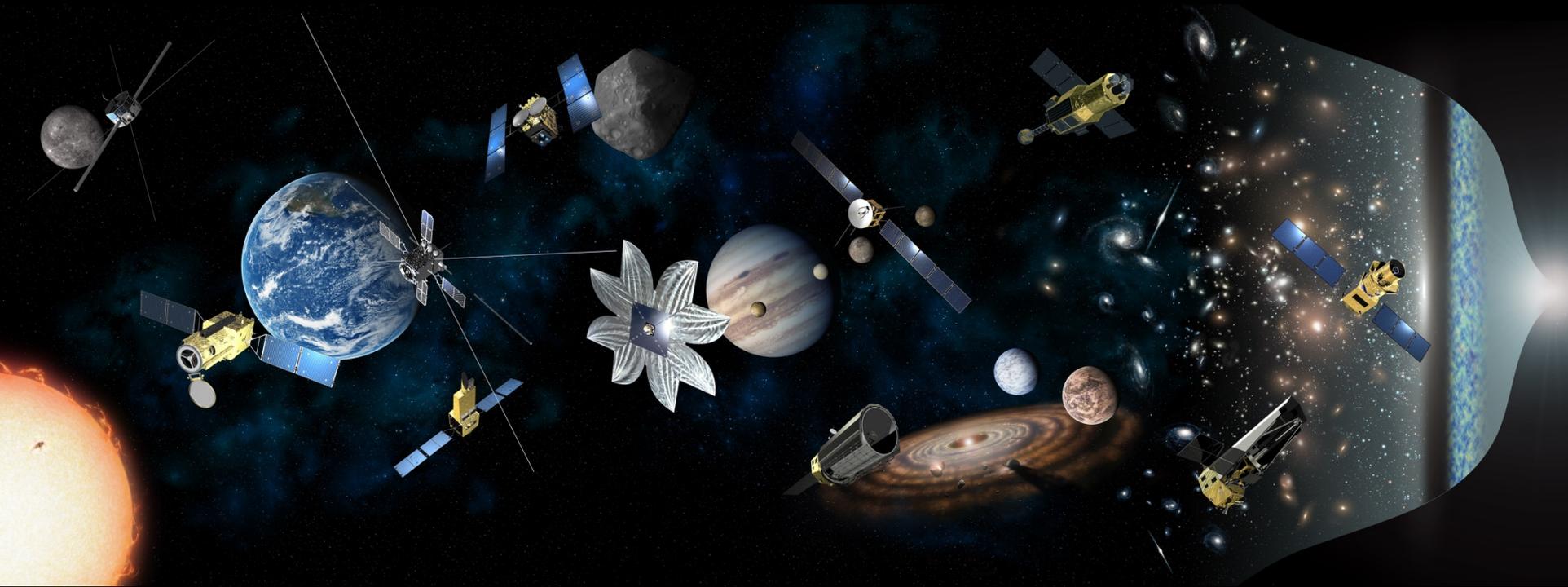


# スペースミッションの展望

常田佐久(宇宙科学研究所)



日本学術会議シンポジウム  
「天文学・宇宙物理学のさらなる地平を探る」  
平成29年 3月11～12日

# お話し概要

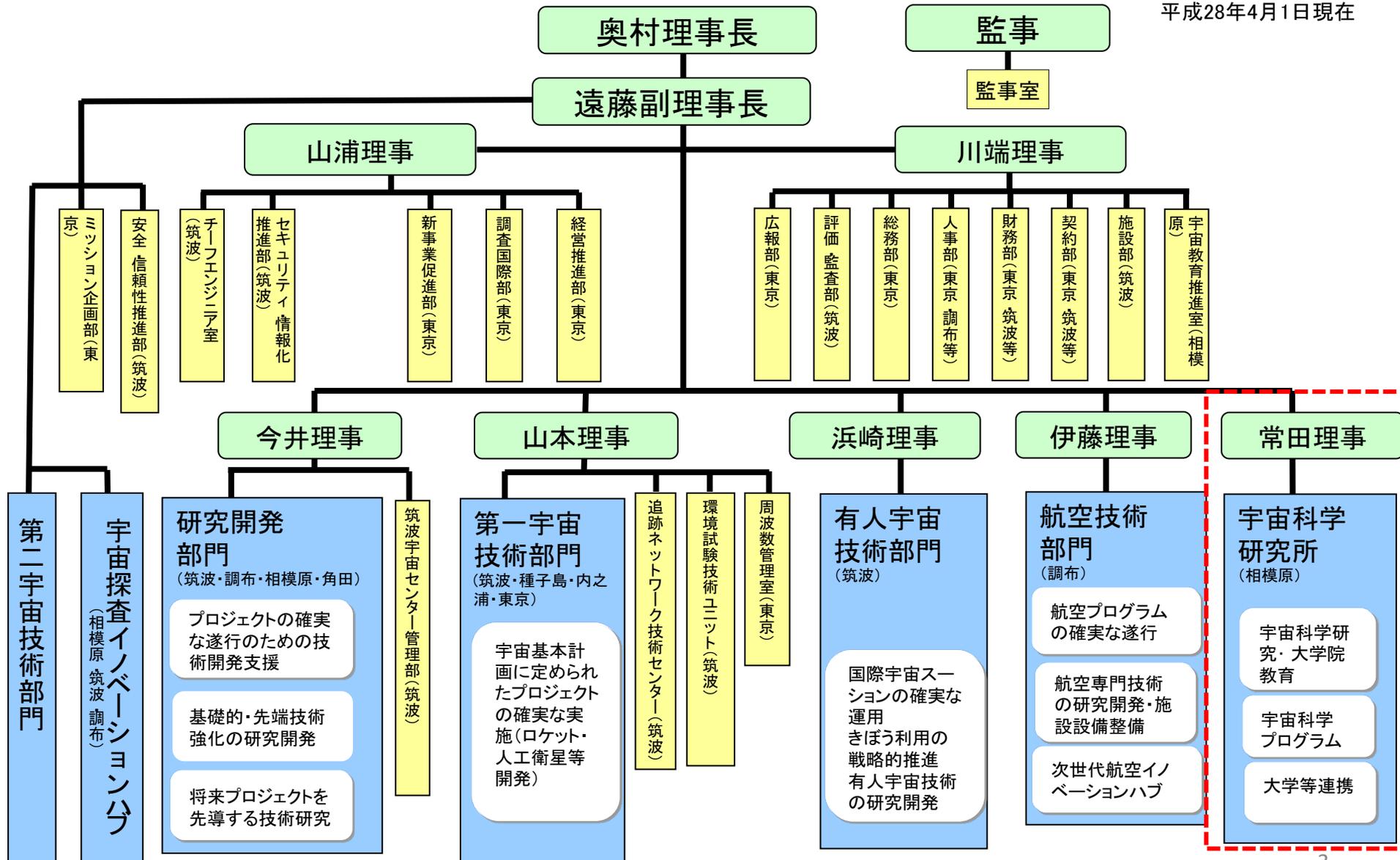
- JAXAと大学共同利用機関
- 新宇宙基本計画とロードマップ・  
工程表の位置づけ
- ESA/NASAとの比較
- ボトムアップとプログラム化
- 課題と今後の方向性



# JAXA組織図



平成28年4月1日現在



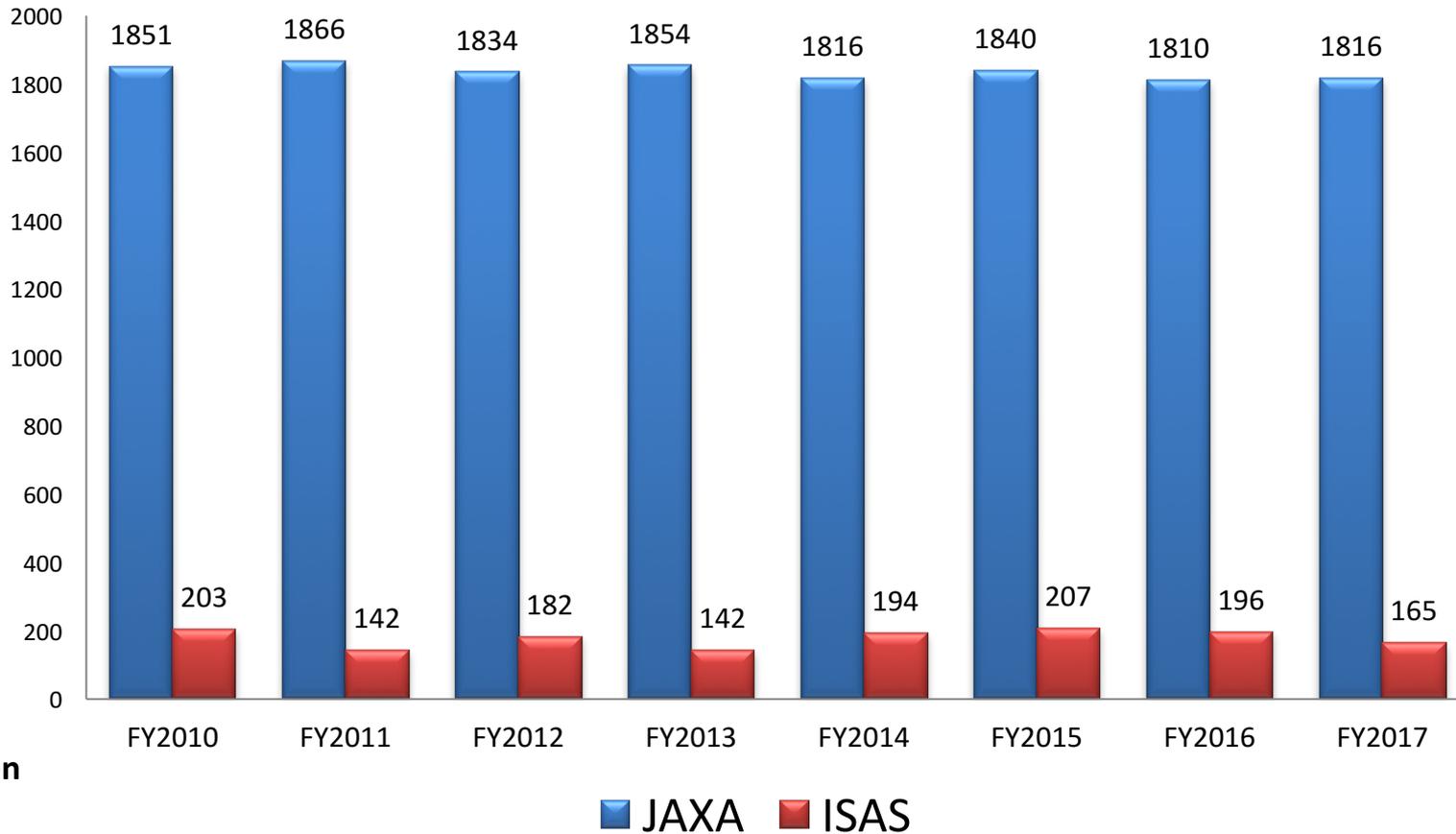


# JAXA and ISAS Annual Budget

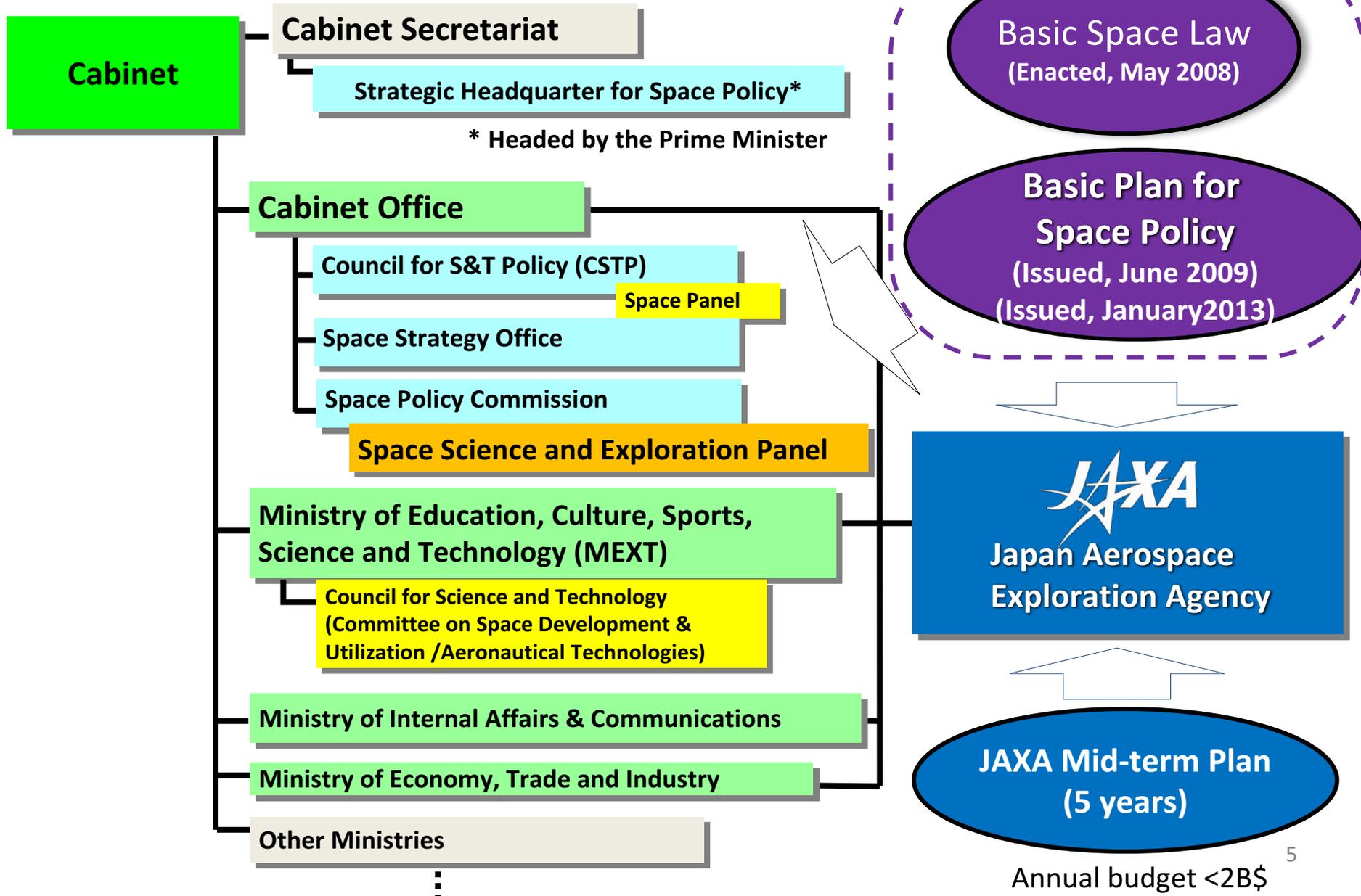


**FY2017 Government Budget: 181.6 Billion**  
(Including FY2016 Supplementary Budget)

宇宙科学予算  
NASA:数10倍  
ESA+欧州国:4~5倍



# Japan's Space Related Organizations



# JAXA法

(機構の目的)

- **第四条** 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(以下「機構」という。)は、大学との共同等による宇宙科学に関する学術研究、宇宙科学技術(宇宙に関する科学技術をいう。以下同じ。)に関する基礎研究及び宇宙に関する基盤的研究開発並びに人工衛星等の開発、打上げ、追跡及び運用並びにこれらに関連する業務を、宇宙基本法第二条の宇宙の平和的利用に関する基本理念にのっとり、総合的かつ計画的に行うとともに、航空科学技術に関する基礎研究及び航空に関する基盤的研究開発並びにこれらに関連する業務を総合的に行うことにより、大学等における学術研究の発展、宇宙科学技術及び航空科学技術の水準の向上並びに宇宙の開発及び利用の促進を図ることを目的とする。

# JAXA法(2)

- 第18条 機構は、第4条の目的を達成するため、次の業務を行う。
  - 大学との共同その他の方法による宇宙科学に関する学術研究を行うこと。
- (学術研究の特性への配慮)
- 第20条 文部科学大臣は、中長期目標(宇宙科学に関する学術研究及びこれに関連する業務に係る部分に限る。)を定め、又は変更するに当たっては、研究者の自主性の尊重その他の学術研究の特性への配慮をしなければならない。

# JAXA業務方法書

- (大学との共同その他の方法による宇宙科学に関する学術研究)
- 第3条 機構は、全国の大学や国内外の研究コミュニティの研究者により、衛星等の飛翔体を用いた宇宙科学研究計画の選定及び研究成果の評価についてピアレビューを行い研究計画に反映する等、大学共同利用システムにより研究等を推進する。
- 2 機構は、研究者の自由な発想に基づき研究を実施する等、学術研究の自由を尊重し、成果については公表しつつ、宇宙科学に関する学術研究を実施する。

## ● 大学共同利用システムに基づく宇宙科学研究の推進

個別の大学では実行不可能な学術研究事業を、分野の中核機関に資源やインフラを用意し、大学等関連研究者全体のノードとして実行する世界でもユニークなシステム

その特徴:

- 研究者の自主性・コミュニティの自律性を基本とした運営
- 国立大学と等質の人事制度と人事交流による研究の活性化(研究系教員組織)
- 大学院生などの受け入れ\*と「現場」における研究・教育・プロジェクト実施の一体的運営による人材育成

\* 東京大学大学院, 総合研究大学院, 特別共同利用研究員など、約200名

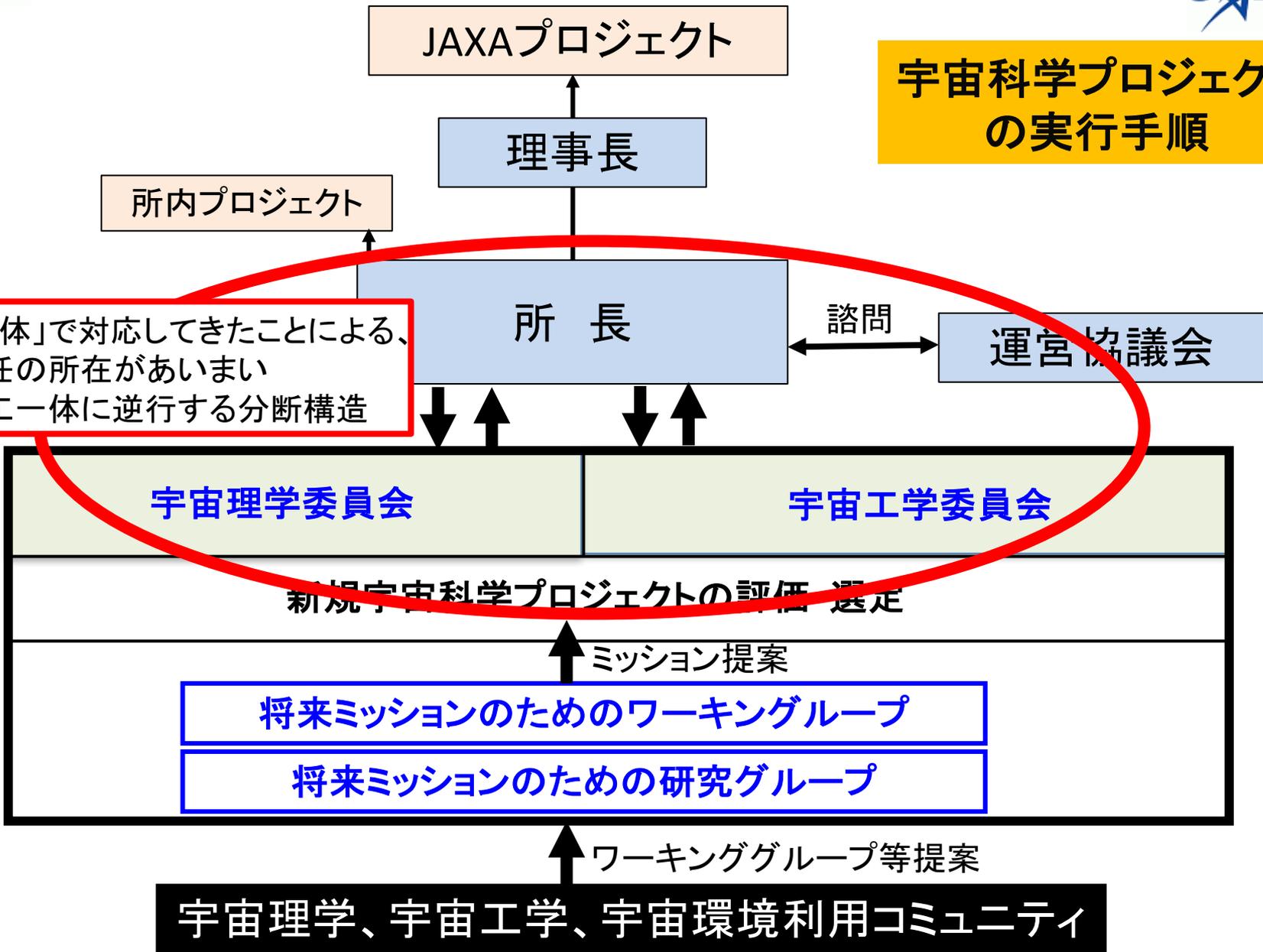
## ● 大学院教育・実践的人材育成機会の提供

小型宇宙飛行体による実験機会、衛星・探査プロジェクト参加による実践的研究機会、公募と競争的採択と実行



# 宇宙科学プロジェクト の執行手順

- 「一体」で対応してきたことによる、責任の所在があいまい
- 理工一体に逆行する分断構造



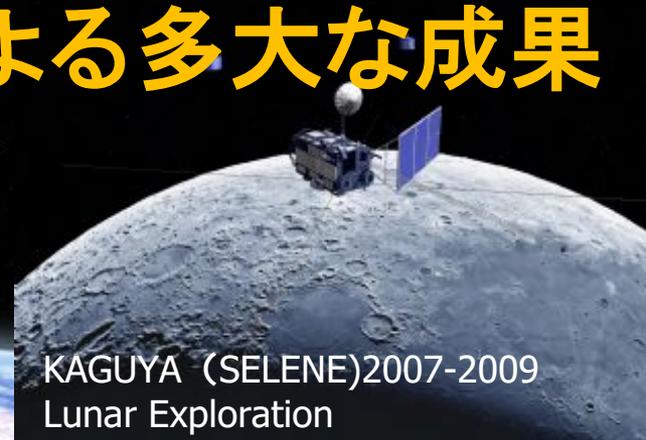
# ボトムアップによる多大な成果



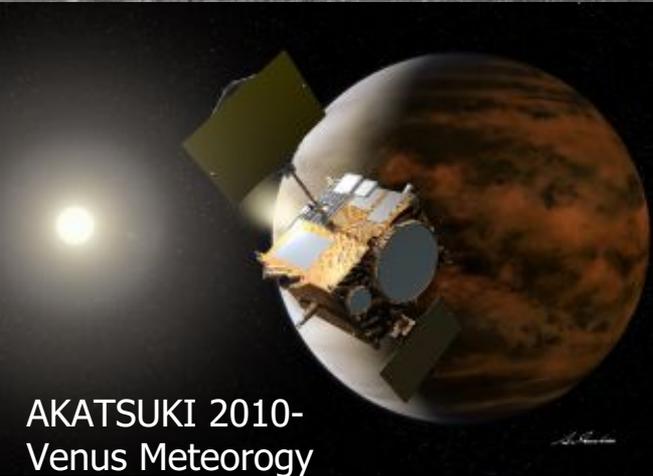
HAYABUSA 2003-2010  
Asteroid Explorer



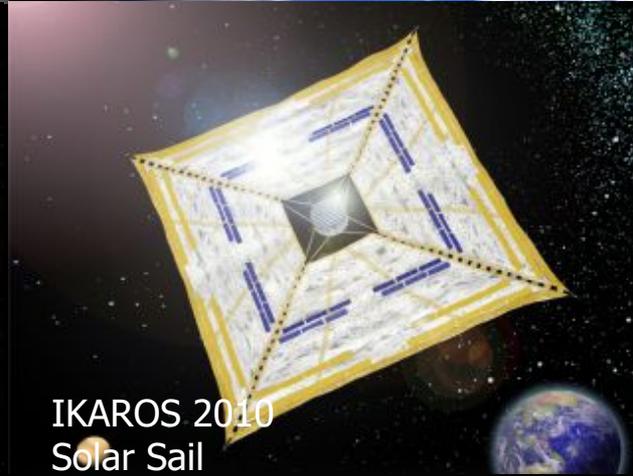
HINODE(SOLAR-B)2006-  
Solar Observation



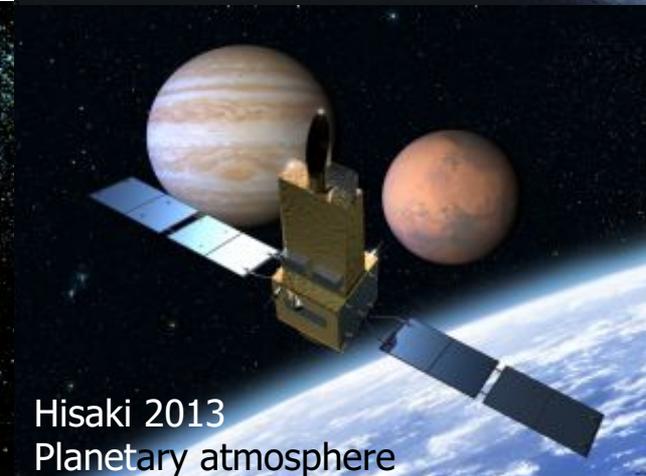
KAGUYA (SELENE)2007-2009  
Lunar Exploration



AKATSUKI 2010-  
Venus Meteorology



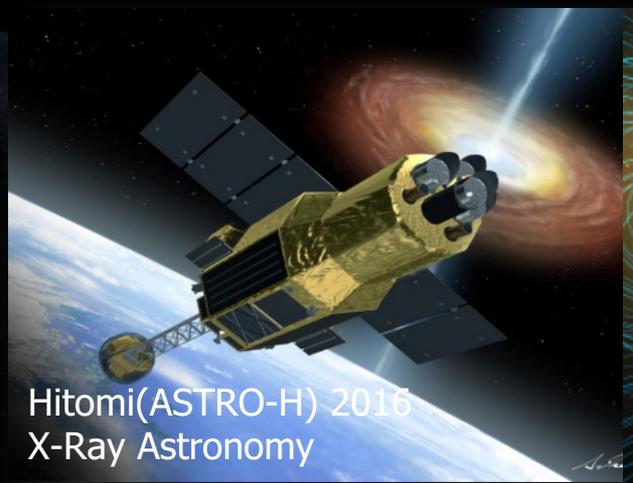
IKAROS 2010  
Solar Sail



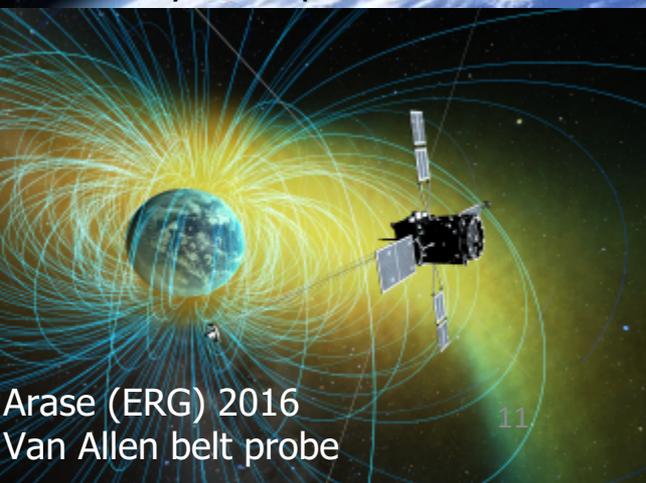
Hisaki 2013  
Planetary atmosphere



HAYABUSA2 2014-2020  
Asteroid Explorer



Hitomi(ASTRO-H) 2016  
X-Ray Astronomy



Arase (ERG) 2016  
Van Allen belt probe

しかし、

## ASTRO-H X-ray Observatory



The ASTRO-H *Hitomi* was the result of close collaboration between NASA, JAXA and other countries from its initial concept throughout its construction.



必読

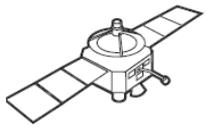
# Japan reboots x-ray probe and mission management

## SCIENCE, 354, 814, 2016

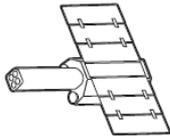
### After a series of mission failures, Japan's space science agency aims to overhaul lax oversight

#### Star-crossed missions

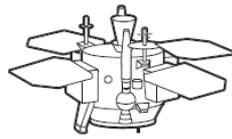
High-profile cancellations and failures, including ASTRO-H (see above), have prompted Japan's space science institute to take a hard look at its management style.



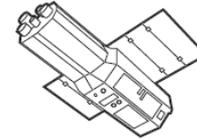
**Nozomi**  
Orbiter to study  
martian atmosphere  
Failed to enter orbit



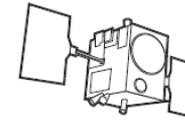
**ASTRO-E**  
Joint mission with NASA  
for x-ray astronomy  
Lost because of launch  
rocket failure



**LUNAR-A**  
Orbiter with two penetrators  
to study the internal  
structure of the moon  
Canceled in 2007  
because of development  
problems



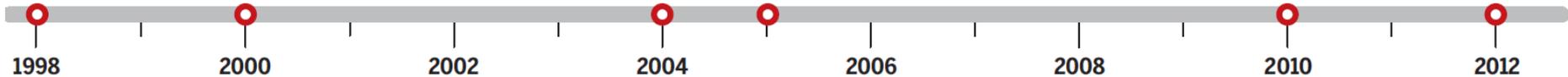
**Suzaku**  
Joint mission with NASA  
for x-ray astronomy  
Liquid helium coolant  
leak after launch crippled  
the main instrument, an  
x-ray spectrometer



**Akatsuki**  
Probe to study the  
venusian climate  
Failed to enter orbit  
on first pass in 2010,  
succeeded on second  
try in 2015



**ASTRO-G**  
Radio astronomy  
Canceled in 2011  
because of development  
problems



ASTRO-Hを特例と見做さず、長年にわたる  
宇宙研のプロジェクト実施の構造問題(文化)を指摘

# 宇宙理学と宇宙工学 の連携は十分か？

工学者がドライブし  
宇宙科学のミッション  
を先導する

## 宇宙工学部門

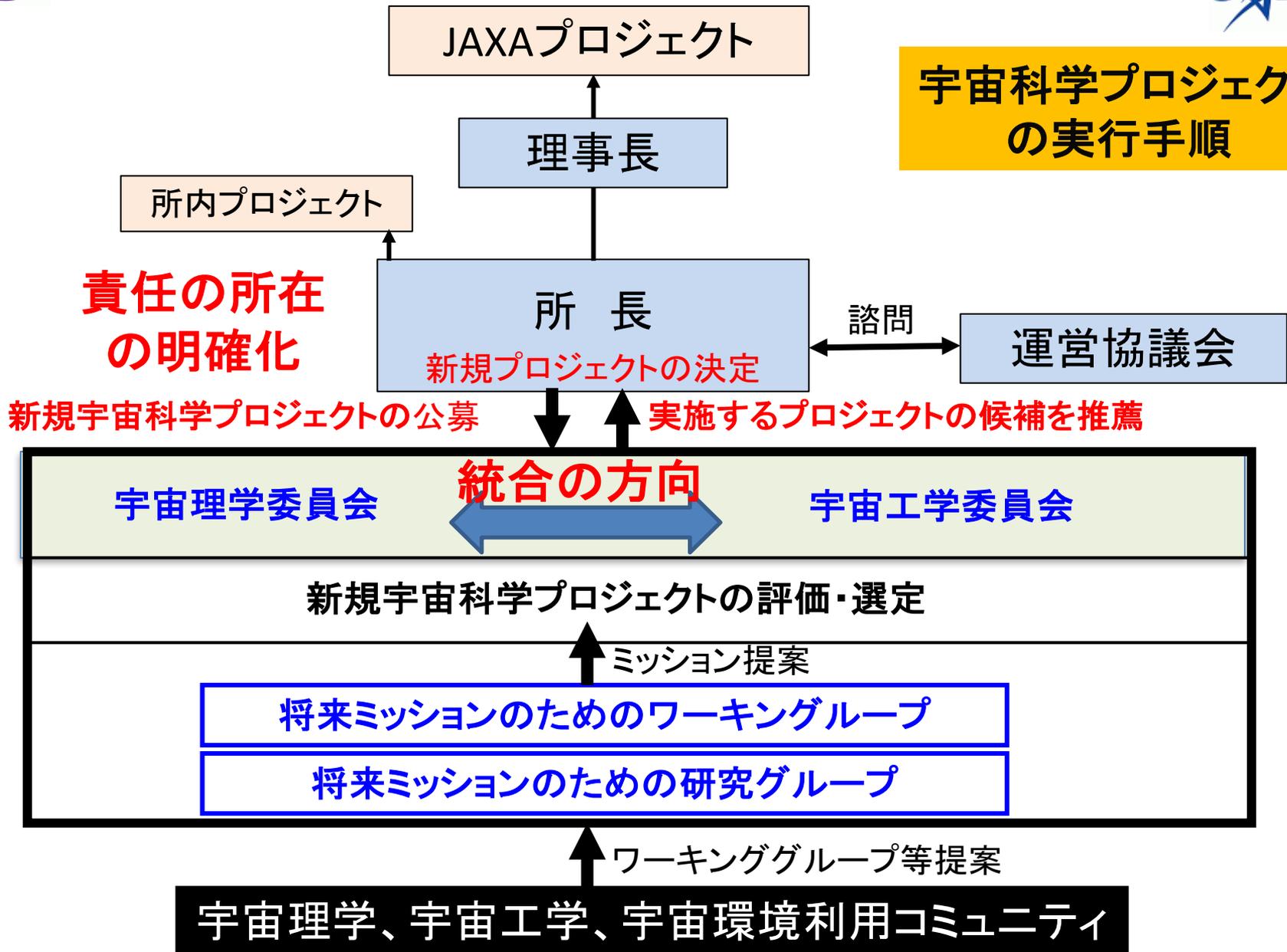
宇宙飛行工学研究系  
宇宙機応用工学研究系

理学者が要望する  
新しい工学技術の開発

## 宇宙理学部門

宇宙物理学研究系  
太陽系科学研究系  
学際科学研究系

宇宙科学プロジェクト  
の執行手順



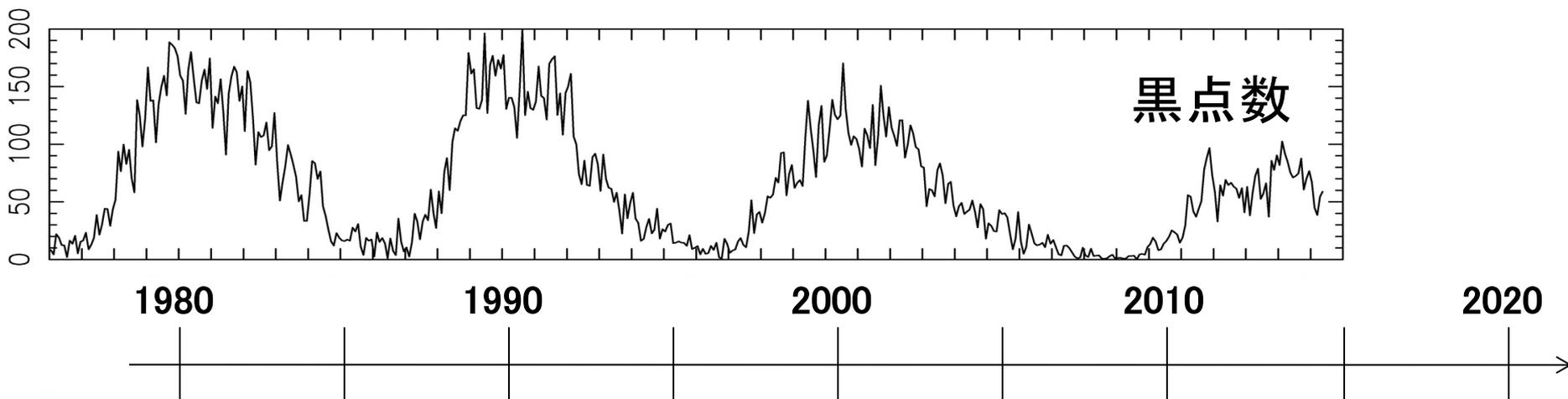
# ボトムアップの課題

- NASA ケプラー衛星 (2009年打上げ)
  - 口径1.4 mのシュミット望遠鏡と42個のCCD
  - Bill Boruckiを中心とした30年にわたるケプラー実現のための学術コミュニティとNASA 本部の緊張に満ちた苦難の歴史
- NASA Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) (2017年打上予定)
  - トランジット法により近傍の50万個の恒星の全天サーベイを行い、ハビタブルゾーンにある地球型惑星を多数見つける
  - 総重量350 kgの衛星に搭載したわずか口径10 cmの望遠鏡4台
- ケプラーもTESSも、技術的・予算的には日本で開発可能で、日本のロケットにより打ち上げることが可能だった。
- ケプラーやTESSが、なぜ宇宙研のミッションとして提案されなかったのか？ なぜその検討さえされなかったのか？
- 新規分野の参入困難

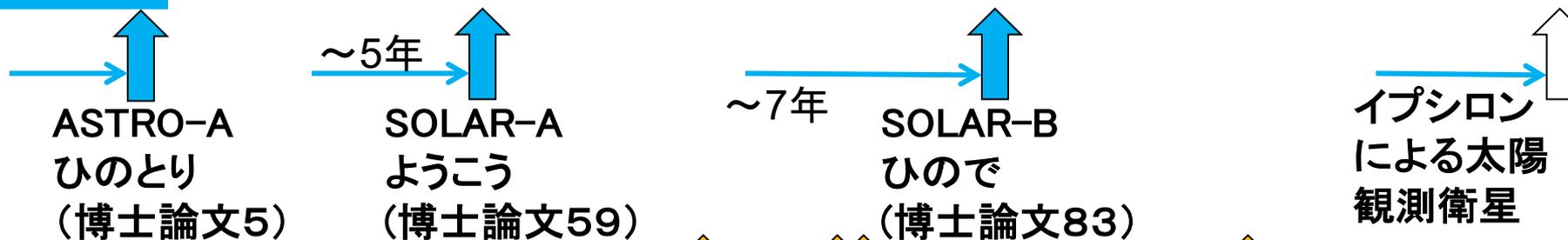
# 研究委員会からの推薦が足踏み

- ミッションの創成が従来のように単純なボトムアップの仕組みのみでは立ちいかなくなっている傾向あり
- 1. 10～20年度後に重要となる(探査)技術の戦略的開発テーマの同定と推進(新宇宙基本計画にあるプログラム化の推進)
- 2. コミュニティのミッション提案能力や観測機器の開発能力の向上
  - ① 宇宙科学の特定の分野ですぐれた実績と将来性を有する大学との「大学共同利用連携拠点事業」を推進
  - ② ワーキンググループによるミッション提案から打上げまでのシームレスな支援強化特に難所であるワーキンググループからプリプロジェクトへのレベルアップを支援するため、Phase-A1の設置、SE推進室と宇宙科学プログラム室の統合と体制の強化、プロジェクトの所内審査の改善などのきめ細かい対応。
  - ③ コミュニティへのRFP発出と各コミュニティの将来計画のとりまとめを行い、宇宙研とコミュニティの双方向のコミュニケーションによる将来計画立案能力の強化

# 日本の宇宙からの太陽物理は X線天文学の強力な支援により立ち上がった



## 衛星計画



X線天文学グループの支援

太陽物理グループの自立

計

~6年

観測ロケット実験  
彩層磁場  
(博士論文18)

18

# 宇宙科学ロードマップ制定の経緯

## 平成25(2013)年9月19日

- ① 新たな宇宙基本計画(平成25年1月戦略本部決定)において、「宇宙科学等のフロンティア」は3つの重点課題のひとつとして位置付けられた。また宇宙科学・探査の推進については、「一定規模の資金を確保し、世界最先端の成果を目指す」とされ、「一定の資金確保に当たっては、科学の発展や衛星開発のスケジュールに柔軟な対応が必要である」とされている。
- ② 日本の宇宙科学の実行は、大学共同利用によるコミュニティからの提案に基づいてプロジェクト実行を行う方法で機能してきた。この「一定規模」に係る適切な議論を行うために、従来蓄積された実績や生み出された成果に立脚し、かつ現状進められている研究・プロジェクト提案活動などに基づいて、中長期的な計画を戦略的に策定することが求められている。
- ③ 宇宙科学・探査の今後の計画を俯瞰し、戦略性を持って今後の計画を策定するため、宇宙科学研究所理工学委員会の元にタスクフォースを設置し、ロードマップを策定し提示した。これに基づいて宇宙研として、宇宙政策委員会 宇宙科学・探査部会に報告する。



# 宇宙科学・探査ロードマップ作成の基本となる考え方



宇宙科学は、宇宙空間でのその場観察や探査、及び、宇宙空間からの宇宙観測により、地球と太陽系の起源、宇宙の物質と空間の起源、宇宙における生命の可能性探求に、新しいパラダイムをもたらすような人類の知の資産創出を目指し、同時に探査機・輸送システム等の宇宙工学技術をパラダムシフト的な革新を目指して先導する。その成果は人類の活動領域の拡大を含む宇宙開発全体にも資するものである。

これまでの日本の宇宙科学の実績と特徴を生かし、強い意志を持った戦略的実行と、ボトムアップによる競争的環境の健全な維持発展の両立を図り、理工学コミュニティと一体で以下の課題に取り組む。

1. 宇宙・物質・空間は何故できたのかの解明
2. 太陽系と生命はどの様に生まれて来たかの解明
3. 探査機、輸送システム等の宇宙工学技術の先導および革新

限られた予算の中で、これらを実現するために、以下の戦略に基づいて実施する。

- 宇宙科学の目的とその獲得に必要なリソースを厳しく見極め、適正規模のミッションを実施する。
- 特に米欧日三極間での国際協調と相互補完により効率的なミッション計画を立案し実行する。
- 低コスト・高頻度な宇宙科学ミッションを実現する。その際、イプシロンの高度化を活用する等我が国の基幹ロケットと密接に連携して検討を進める。
- 世界を先導する事を期待される分野においてはフラッグシップ的ミッションを戦略的に進める。
- 海外プロジェクトへの参加、海外も含めた多様な飛翔機会の活用など、あらゆる機会を駆使して限られたリソースで成果創出の最大化を図る。

## ESA Cosmic Vision

### 「4つのキーテーマ」

- 惑星形成及び生命誕生のための条件は何か？
- 太陽系はどのように機能しているのか？
- 宇宙の基本的法則とはどのようなものか？
- いかに宇宙は創造され、宇宙は何でできているか？

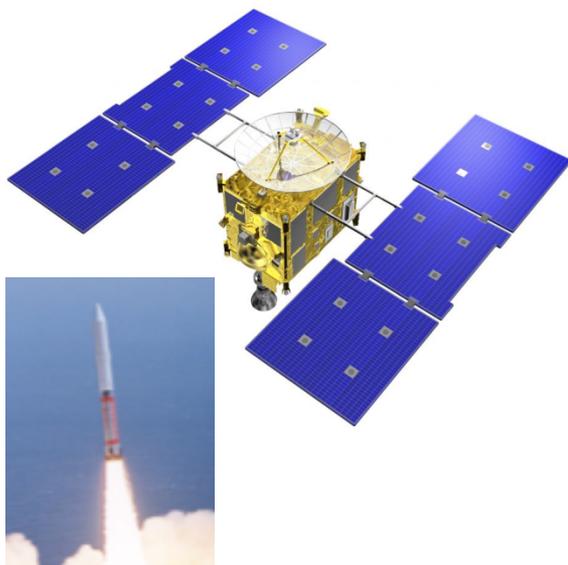
## NASA Cosmic Origin

- 宇宙の最初の恒星がいつ形成されたのか、またその恒星が周囲の環境にどう影響したのかを解明したい。
- (宇宙の質量の大半を占める未知の)ダークマターが、どのように宇宙初期に集まり、その高密度でガスを取り込み、やがて銀河となったか？
- 銀河が初期の系から、我々が住む天の川のような現在観測している系にどうやって進化したのか。
- 超大質量ブラックホールは明らかに宇宙の質量の大半を占めており、初期宇宙で超大質量ブラックホールが最初に形成されたのはいつか、また、それを含む銀河の一生にどのように影響したのかを解明したい。
- 恒星そのもの、さらに惑星系が形成されるメカニズムを理解したい。

- 1) イプシロンロケット高度化等を活用した低コスト・高頻度な宇宙科学ミッションを実現するべく、衛星探査機の小型化・高度化技術などの工学研究課題に取り組む。惑星探査、輸送系、深宇宙航行システムの研究成果をプロジェクト化する。
- 2) 太陽系探査科学分野は、最初の約10年を機動性の高い小型ミッションによる工学課題克服・技術獲得と先鋭化したミッション目的を立て、10年後以降の大型ミッションによる本格探査に備える。
- 3) 天文学・宇宙物理学分野は、フラッグシップ的の中型、機動的に実施する小型および海外大型ミッションへの参加など多様な機会を駆使して実行する。
- 4) 成果の創出、人材育成、コミュニティの求心力等の観点から、下記の頻度実現を目指す。
  - a) **イプシロンで打上げる規模のミッションを2年に1度程度の頻度で実行する。**
  - b) **ASTRO-Hを含め、今後10年間に3機程度の戦略的フラッグシップミッションを実現する。**
  - c) **多様な機会を活用した小規模ミッションを高頻度かつ継続的に推進する。**
- 5) 関連コミュニティや関連大学等との連携を高め、効率的効果的な推進体制構築を更に進める。

### Ⅲ. 今後の宇宙科学・探査プロジェクトの推進方策

宇宙科学における宇宙理工学各分野の今後のプロジェクト実行の戦略に基づき、厳しいリソース制約の中、**従来目指してきた大型化の実現よりも**、中型以下の規模をメインストリームとし、中型(H2クラスで打ち上げを想定)、小型(イプシロンで打ち上げを想定)、および多様な小規模プロジェクトの3クラスのカテゴリーに分けて実施する。



2000年代前半までの  
典型的な科学衛星ミッション  
M-Vロケットによる打ち上げ

#### 戦略的に実施する中型計画(300億程度)

世界第一級の成果創出を目指し、各分野のフラッグシップ的なミッションを日本がリーダーとして実施する。多様な形態の国際協力を前提。

#### 公募型小型計画(100-150億規模)

高頻度な成果創出を目指し、機動的かつ挑戦的に実施する小型ミッション。地球周回/深宇宙ミッションを機動的に実施。現行小型衛星計画から得られた経験等を活かし、衛星・探査機の高度化による軽量高機能化に取り組む。等価な規模の多様なプロジェクトも含む。

#### 多様な小規模プロジェクト群(10億/年程度)

海外ミッションへのジュニアパートナーとしての参加、海外も含めた衛星・小型ロケット・気球など飛行機会への参加、小型飛行機会の創出、ISSを利用した科学研究など、多様な機会を最大に活用し成果創出を最大化する。<sup>23</sup>

# 新「宇宙基本計画」本文

## (平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定)

- 学術としての宇宙科学・探査は、今後とも世界的に優れた成果を創出し人類の知的資産の創出に寄与する観点から、ボトムアップを基本としてJAXAの宇宙科学・探査ロードマップを参考にしつつ、今後も一定規模の資金を確保し、推進する。
- 今後10年間では、戦略的に実施する中型計画に基づき3機、公募型小型計画に基づき2年に1回のペースで5機打ち上げるとともに、多様な小規模プロジェクトを着実に実行する。具体的には、X線天文衛星(ASTRO-H)、ジオスペース探査衛星(ERG)、水星探査計画(BepiColombo)等のプロジェクトを進める。また、国際共同ミッションである次世代赤外線天文衛星(SPICA)の2020年代中期の打ち上げに関する検討も行う。さらに、現在 JAXA宇宙科学研究所(ISAS) において検討中のプロジェクトについては、検討結果を踏まえ、着実に進める。
- 太陽系探査科学分野については、効果的・効率的に活動を行える無人探査をボトムアップの議論に基づいて、プログラム化も進めつつ進める。プログラム化においては、月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動を目標として、特に長期的な取組が必要であることから、必要な人材の育成に考慮しつつ、学術的大局的観点から計画的に取り組む。(文部科学省)

- 戦略的中型3機/10年、公募型小型5機/10年
- その中で重力天体への無人機の着陸と探査を目標とする太陽系探査科学を「プログラム」化して実施



# 宇宙科学・探査工程表



## 4. (2)① ix) 宇宙科学・探査及び有人宇宙活動 宇宙基本計画工程表(平成28年度改訂)(H28/12/13宇宙開発戦略本部決定)より抜粋

年度	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	平成31年度 (2019年度)	平成32年度 (2020年度)	平成33年度 (2021年度)	平成34年度 (2022年度)	平成35年度 (2023年度)	平成36年度 (2024年度)	平成37年度 以降
25 宇宙科学・探査	はやぶさ2の運用										
	X線天文衛星 (ASTRO-H)										
	開発 ▲ 打上げ										
	X線天文衛星代替機 ▲ 打上げ										
	運用										
	水星探査計画 (BepiColombo) [ESAが打上げ担当のプロジェクト] ▲ 打上げ										
	開発										
	運用										
	ジオスペース探査衛星 (ERG) ▲ 打上げ										
	運用										
	水星到着 ▲										
	戦略的に実施する中型計画に基づく衛星(10年で3機)										
	火星衛星サンプルリターンの調査研究 ▲ 打上げ										
	火星衛星サンプルリターンの開発研究 ▲ 打上げ										
	戦略的中型1 ▲ 打上げ										
運用											
戦略的中型2 ▲ 打上げ											
運用											
[次世代赤外線天文衛星(SPICA)の2020年代中期の打上げに関する検討も行う]											
公募型小型計画に基づく衛星(2年に1回)											
小型月着陸実証機の開発 ▲ 打上げ											
運用											
公募型小型2 ▲ 打上げ											
運用											
公募型小型3 ▲ 打上げ											
運用											
公募型小型4 ▲ 打上げ											
運用											
多様な小規模プロジェクトの着実な実行、人材の育成											
※太陽系探査科学分野については、ポトムアップの探査だけでなく、プログラム化された探査も進める											

※以上すべて文部科学省

# 新「宇宙基本計画」の画期的な点

- 宇宙研・学術コミュニティーと政府の共同制作
- 一定枠の導入と戦略中型、競争的小型、小規模枠の3本柱の設定
  - 外国機関との協力事業立上げに大きな自由度
  - 学術コミュニティーに選択肢を与える
- 宇宙政策委員会は、コミュニティーの声に政府が耳を傾け意見を表明するプラットフォームとなり、そのことは現在まで続いている。
- 宇宙研は、学術コミュニティーと政府をつなぐ役割を果たし、宇宙科学の戦略作成を担う責任が明確となった。
- プログラム化の概念を導入



**Space Policy Commission** under cabinet office intends to guarantee predetermined **steady annual budget** for space science and exploration to maintain its scientific activities



2010

2020

2030

**Strategic Large Missions**  
(300M\$ class) for JAXA-led flagship science mission with HIIA vehicle (3 in ten years)

**Competitively-chosen medium-sized focused missions** (<150M\$ class) with Epsilon rocket (every 2 year)

**Missions of opportunity** for foreign agency-led mission



X-ray Recovery (2020)  
MMX(2024)

LiteBIRD, Solar-Sail (2027)  
SPICA (2028)



Hisaki(2013)  
ERG (2016)

SLIM(2020)  
DESTINY(2022)

#5(2024)

BepiColombo (ESA, 2018)

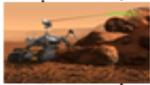
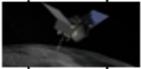
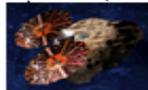
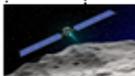
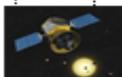
JUICE (ESA, 2022)

WFIRST(NASA, 2025)

ATHENA(ESA, 2028)

# 【参考】NASA 宇宙科学・探査プログラム(主要計画)

NASAはDecadal Surveyを踏まえ、各プログラム毎に公募によりミッションを選定。大規模ミッションでは事前に優先分野が提示されて、NASAによる決定・公募がある。

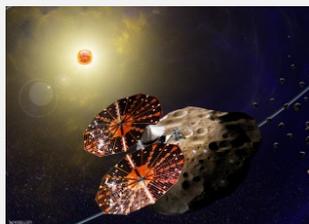
カテゴリ	NASA支出規模	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027		
Flagship-mission	10億-30億ドル ※ジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡は約90億ドル	マーズ・サイエンス・ラボラトリー 							ジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡 			MARS 2020 ローバー 		Europa Mission (2022?) 					Wide Field Infrared Survey Telescope(WFIRST) 		
New Frontier mission	10億ドル以下	木星探査機 ジュノー 						小惑星サンプルリターン オシリス・レックス 												New Frontier4 公募中 	
Discovery-mission ※Mission Of Opportunity (非NASAミッションへの観測機器等の提供)を含む	450百万ドル+launch以下	月探査機 							火星着陸機 インサイト 	木星トロヤ群 小惑星探査機ルーシー 	小惑星探査機 サイキ 										
Explorers mission ※Mission Of Opportunity (非NASAミッションへの観測機器等の提供)を含む	MIDEX 200百万\$ SMEX 120百万\$ 他Mission of Opportunity ※各Launch別	線天文衛星 NuSTAR 							太陽観測衛星 Parker Solar Probe 											MIDEX 公募選考中 	
																				SMEX 公募選考中 	
																				トランジット系外惑星探査衛星 TESS 	

> JAXA 中型

JAXA 小型

# 【参考】NASA Discoveryプログラム選定ミッション

## 木星トロヤ群小惑星探査機 「ルーシー(Lucy)」 (2021年10月打上げ)



トロヤ群の6個の小惑星を次々とフライバイし、撮像・赤外線分光等を行う(火星と木星の間にある小惑星帯の小惑星の観測も合わせて行う)。

木星トロヤ群の小惑星はもともと始原的であると言われている。その起源は未知であるが、捕獲された小惑星、彗星、カイパーベルト天体がその候補である。6個のトロヤ群小惑星の差異に注目することにより、トロヤ群小惑星の起源を解明し、惑星系の起源と深化、地球に存在する水などの揮発性物質と有機物の起源についての情報を得る。

## 小惑星探査機 「サイキ(Psyche)」 (2023年10月打上げ)

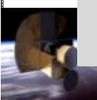


火星と木星の間にある小惑星帯(メインベルト)の巨大小惑星「16プシケ(16 Psyche)」の周回観測を行う。16プシケは、通常の小惑星が岩石ないし氷より成るのに対して、鉄及びニッケルを主成分とする極めて特異な小惑星であり、かつて火星サイズであった惑星のコアが露出したものとされている。その形成プロセスは、衝突によって岩石よりなる地殻がはぎ取られ、コアだけで構成される天体が形成されたというものである。プシケの探査により、プシケの形成過程の解明、太陽系に存在する惑星の内部構造とその成因に関する情報が得られる。

(参考)NASAによるNew Frontier4公募は、1. Trojan Tour, 2. Venus Lander, 3. Comet Surface Sample Return, 4. Lunar South Pole Aitken Basin Sample Return, 5. Saturn Probe, 6. Ocean Worlds (Titan and/or Enceladus)に関するミッション提案に限定されている。このうち1.-5.はdecadal surveyのrecommendationであるが6.はHouse Appropriations Committee for Commerce, Justice, Science, and Related Agenciesの指示によりNASAが追加したもの。

# 【参考】ESA宇宙科学プログラム「COSMIC VISION」

- ESAは「Cosmic Vision2015-2025」による各分野網羅的な宇宙科学プログラムを長期計画として展開(2007年公募ミッション以降)。
- 本長期計画に基づき、規模別にミッションを公募で競争的に選定し実施。

カテゴリ	ESA支出規模 頻度	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Large-Mission	10億€ (3機/20年)		水星探査計画 「Bepi Colombo」 (前枠組みでの実施) 					L1 木星探査計画 「JUICE」 						L2 X線天文台計画 「ATHENA」 						L3 重力波観測計画 「Gravitational wave Observatory」 	
Medium-Mission	5億€ (1機/2,3年)		M1 太陽探査衛星 「Solar Orbiter」 	M2 火星探査衛星 「Mars Express」 		M3 火星探査衛星 「Mars Express」 			M4 火星探査衛星 「Mars Express」 					M5 火星探査衛星 「Mars Express」 				M6 火星探査衛星 「Mars Express」 			M7 火星探査衛星 「Mars Express」 
Small-Mission	0.5億€ (1機/3,4年)		S1 系外惑星探査衛星 「CHEOPS」 		S2 系外惑星探査衛星 「CHEOPS」 									S3 系外惑星探査衛星 「CHEOPS」 					S4 系外惑星探査衛星 「CHEOPS」 		
Missions of opportunity (海外主導 ミッションへの参加)	0.5億€	海外機関からの要請に基づき、 適宜実施を判断。																			



# Strategic L-class missions with HIIA/H3



#4 ESA-Led SPICA

FY2029

FY2027

Large-size #3  
Lite BIRD or Solar-Sail  
24 months Phase-A1

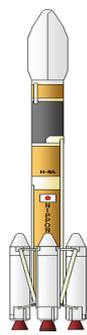
#2 Martian Moons eXplorer (MMX)



FY2024

#1 X-ray astronomy Recovery mission

FY2020



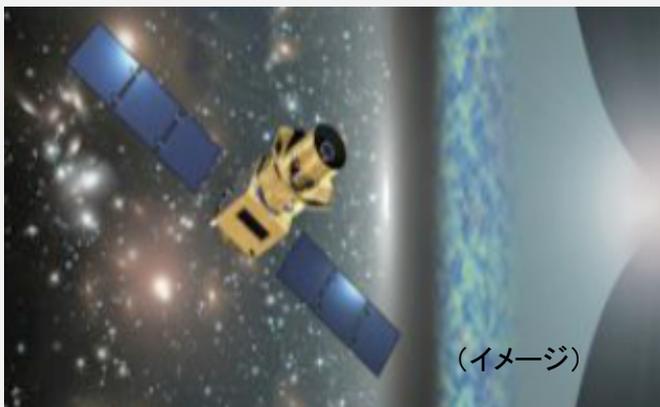
Strategic Large Missions (300M\$ class) for JAXA-led flagship science mission with HIIA/H3 vehicle (3 in ten years)

## ■公募によるミッション2候補の概要

### 宇宙マイクロ波背景放射 偏光観測衛星 LiteBIRD

宇宙ビッグバン以前に存在したと考えられるインフレーション宇宙仮説を徹底的に検証することを目的とする。

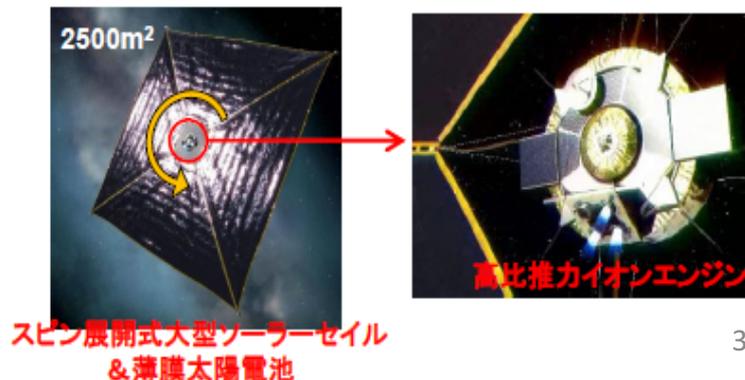
インフレーション宇宙は原始重力波を作り出し、その痕跡がCMB偏光マップの中に指紋のようにBモード揺らぎとして残っていると予測される。前景天体による強い信号を避けて最も原始重力波による偏光Bモードの信号が強くなる全天スケールの観測を宇宙空間から実現する。



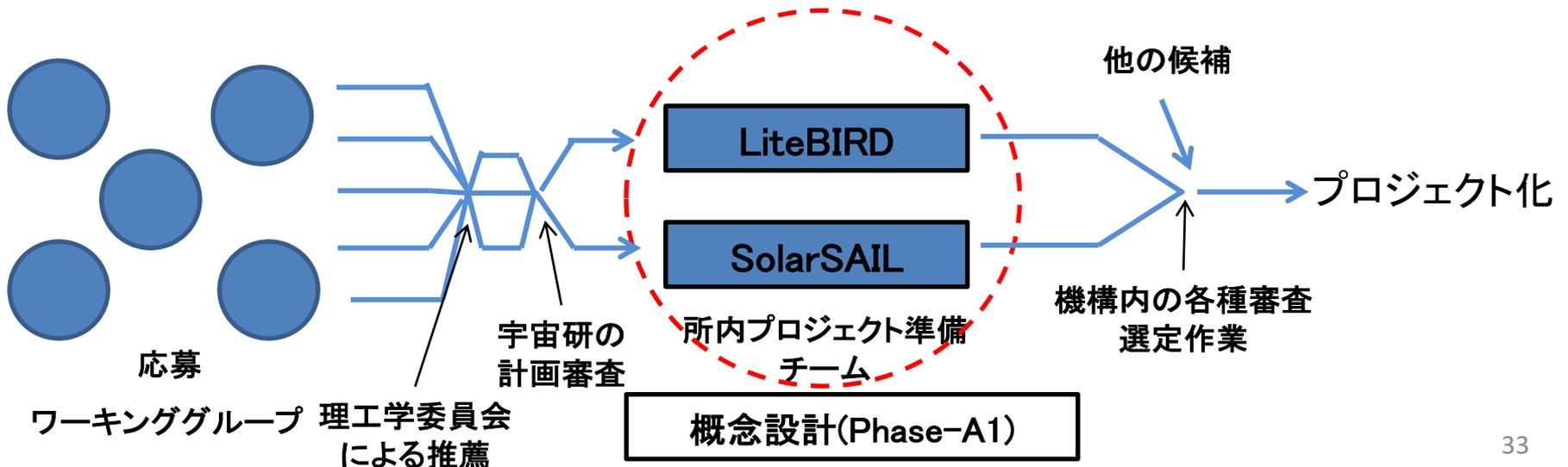
### ソーラー電力セイル探査機による 外惑星領域探査の実証

ソーラー電力セイルによる外惑星領域探査を実証することを目的として、「ソーラー電力セイル探査機の開発」、「トロヤ群小惑星とのランデブー」、「子機着陸による表面・内部試料の採取、その場分析」を行う。

これらにより、外惑星領域での航行技術と探査技術を実証・獲得し、「より遠く、より自在な、より高度な」宇宙探査活動を実現する。



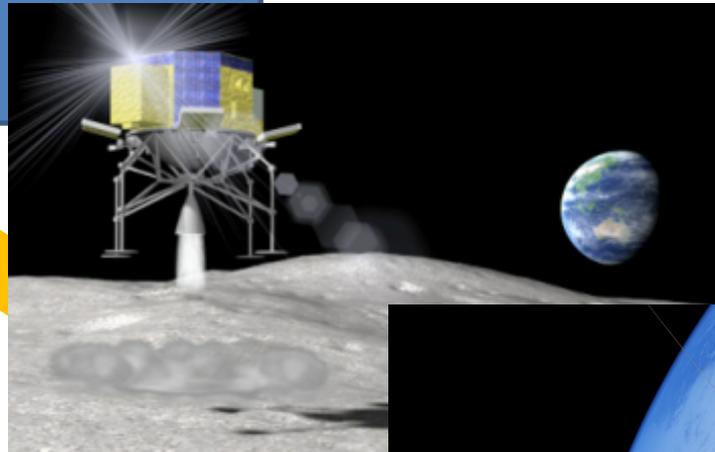
- 平成26年公募(応募件数は5件)。宇宙理学・工学委員会は平成27年5月に3候補を宇宙研所長に推薦した。宇宙研は平成28年7-8月にその中から以下の2候補を次のフェーズ(概念設計フェーズ)に進めることを決定した。
- 「宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星 LiteBIRD」
- 「ソーラー電力セイル探査機による外惑星領域探査の実証」
- 現在は、それぞれについて所内プロジェクト準備チームが設置され、クリティカルな要素技術の開発、衛星／探査機としてのシステム検討など、宇宙研支援による概念設計として実施している。
- 概念設計フェーズ終了時に、次のフェーズ(予備設計／計画決定フェーズ)に進める計画を一つ選定する。なお、公募を行い、そこから選ばれた候補が優れている場合は、それも審査の対象とする。



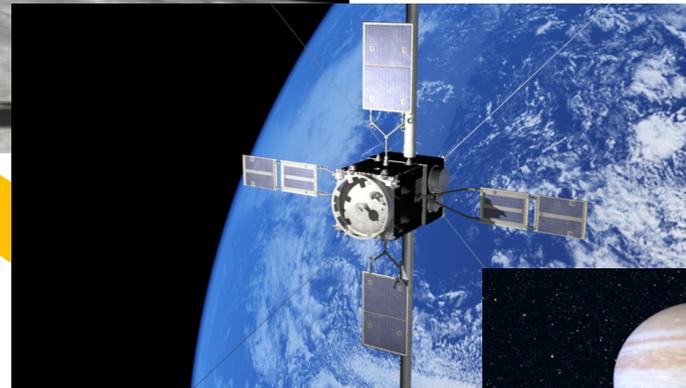
# Competitive *M-class* missions with Epsilon

Medium-size #4  
Under selection

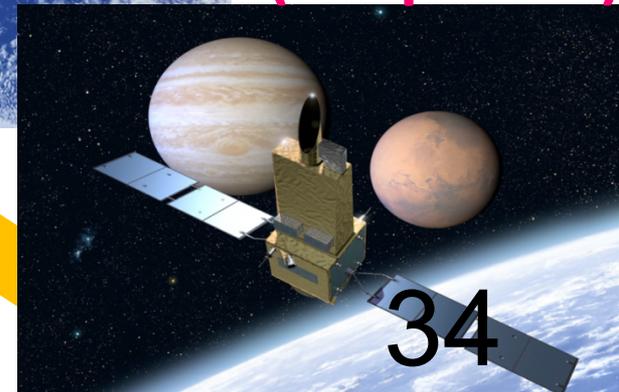
#3 Moon landing (SLIM)



#2 van Allen belt (ERG)



#1 *Hisaki*  
(UV planet)



FY2013

FY2016

FY2019

FY2021

Competitively-chosen  
medium-sized focused  
missions (<150M\$ class)  
with Epsilon rocket  
(every 2 year)



## DESTINY+

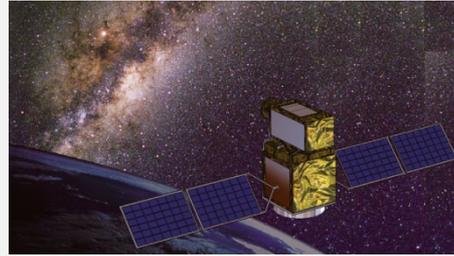


低コスト・高頻度の深宇宙探査を目指し、以下の技術を適用することで、小型高性能深宇宙輸送機技術を実証する。

- ・スパイラル軌道上昇
- ・薄膜軽量太陽電池パネル
- ・先進的熱制御デバイス
- ・標準バスの小型・高性能化

小惑星Phaethonフライバイにより、世界初の流星母天体(彗星-小惑星遷移天体かつ地球接近天体)の観測、また、惑星間ダストの検出分析を通して、ダストの形で有機物がスノーラインの外側から地球へと輸送されたという仮説を検証することも目的にする。

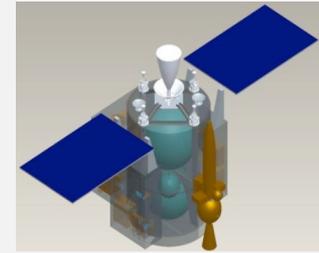
## JASMINE



我々の銀河系中心領域(バルジ構造)にある星々の天球上での位置とその変化を高い精度で測定する赤外線位置天文観測衛星。バルジ中の星々までの精密な距離や運動速度を観測し、それらの分布の解析からバルジ中心部の動力学的な構造を明らかにする。とくに銀河系の中心に潜む巨大ブラックホールの合体成長の履歴の有無を明らかにすることが目的である。

推進体制の構築とともに、目標とする10マイクロ秒角の精度達成が可能であることを実証することを課題をとってさらに検討を実施している。

## APPROACH



太陽系科学探査における世界初の高速貫入プローブを実証し、科学探査を行う。

地下へのアクセス、また、より温度的に安定した観測ポイントの構築により、揮発性元素の存在量の観測等の新たな観測が可能となる。さらに月震計による観測を通して月全体の内部構造、特に中心核付近の構造や状態といった、月起源・進化を解明する上で鍵となる情報を得る。

2号機の選定では不採択となったが、サイエンスの価値は評価され、継続的に検討が進められている。



# Foreign agency-led Large missions



?

#3 Athena (ESA)



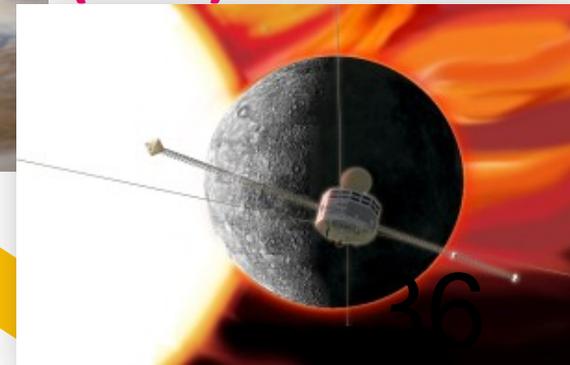
#2 Jupiter Icy moons JUICE (ESA)

FY2028



#1 Bepi-Colombo (ESA)

FY2022



FY2018

Missions of opportunity  
for foreign agency-led  
mission

# 新「宇宙基本計画」本文

## (平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定)

- 学術としての宇宙科学・探査は、今後とも世界的に優れた成果を創出し人類の知的資産の創出に寄与する観点から、ボトムアップを基本としてJAXAの宇宙科学・探査ロードマップを参考にしつつ、今後も一定規模の資金を確保し、推進する。
- 今後10年間では、戦略的に実施する中型計画に基づき3機、公募型小型計画に基づき2年に1回のペースで5機打ち上げるとともに、多様な小規模プロジェクトを着実に実行する。具体的には、X線天文衛星(ASTRO-H)、ジオスペース探査衛星(ERG)、水星探査計画(BepiColombo)等のプロジェクトを進める。また、国際共同ミッションである次世代赤外線天文衛星(SPICA)の2020年代中期の打ち上げに関する検討も行う。さらに、現在 JAXA宇宙科学研究所(ISAS) において検討中のプロジェクトについては、検討結果を踏まえ、着実に進める。
- 太陽系探査科学分野については、効果的・効率的に活動を行える無人探査をボトムアップの議論に基づいて、かつ、プログラム化も行いつつ進める。プログラム化においては、月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動を目標として、特に長期的な取組が必要であることから、必要な人材の育成に考慮しつつ、学術的大局的観点から計画的に取り組む。(文部科学省)

- 戦略的中型3機/10年, 公募型小型5機/10年
- その中で重力天体への無人機の着陸と探査を目標とする太陽系探査科学を「プログラム」化して実施

# プログラム化とは

(平成26年8月1日内閣府宇宙科学・探査部会における  
永原・田近発言に触発された議論)

- 日本の惑星科学コミュニティは歴史が浅く、歴史的経緯もあって、完全なボトムアップで固体惑星探査に成功した例がまだないのではないか。
- 今までの宇宙研のミッション選考は、ボトムアップの「**都度選考**」による単発であった。その時々の中のベストの選定をしたとしても、長期的にみて戦線の分散(水星、金星、火星、小惑星)を招いているのではないか。そこに指導原理はないのか？
- 太陽系探査は特に長期的な取り組みが必要なことから、純粋なボトムアップだけでは難しい面があり、宇宙研としての戦略・方針のもとプログラム化による実施が必要



## ■宇宙科学コミュニティ\*1に研究領域・分野の目標・戦略提出を依頼(RFI \*2)

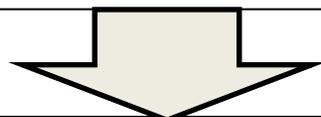
(\*1: 宇宙理学, 宇宙工学, 宇宙環境利用科学)、(\*2: RFI: Request for Information)

### ●RFIで各分野, コミュニティに依頼した内容

- 10-20年の世界のサイエンスの動向と日本の戦略
- 具体的なプロジェクト(あるいはプロジェクト群)の提案とその準備状況

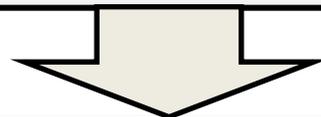
### ●RFIへの回答から獲得すべき事

- 各コミュニティの戦略の理解
- 目的の先鋭化状況、準備状況と技術的見通し



## ■太陽系探査科学のプログラム化の戦略策定

- 太陽系探査科学におけるRFI提案から導出される戦略と目標設定の抽出
- 工程表との整合性/技術的難易度/国際協力の可能性の評価
- 国際宇宙探査の中でのJAXAの役割と位置付けへの留意



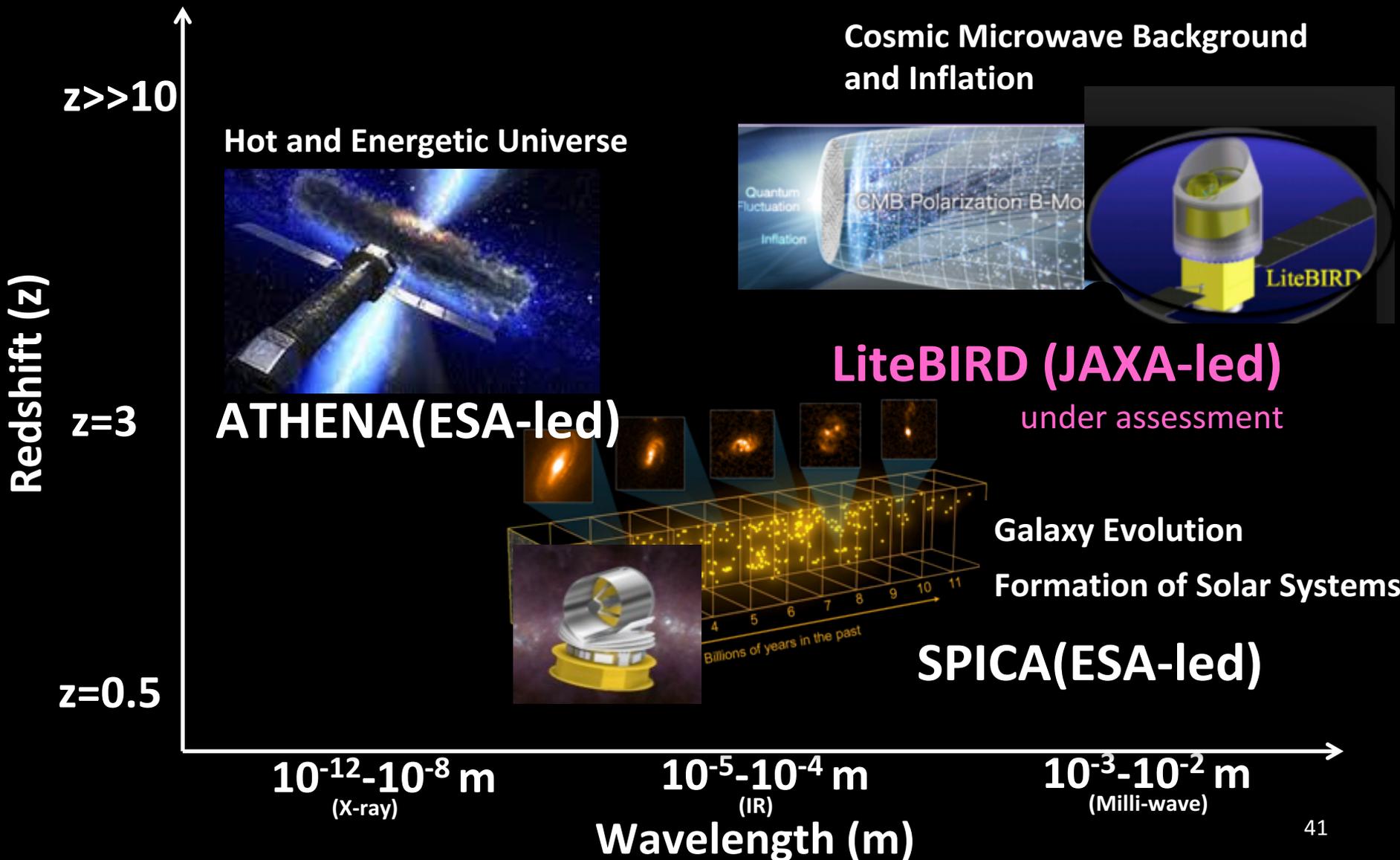
「コミュニティからの目標・戦略・工程表から宇宙科学の実行戦略へ」(16年1月)  
「宇宙科学の今後20年の構想を検討する委員会(通称20年委員会)」  
を理・工学委員会下に設置

# 天文学ミッションの課題

- NASAとESAのフラグシップ天文ミッションのコストは、軒並み1千億円を超えている。最先端の宇宙科学を切り開く上でミッションの大型化・複雑化・高コスト化が進んでおり、ミッションの大型化の方向での競争が限界にきている。

# ISAS Astrophysics and fundamental physics 2020s

## Lead cryogenic astrophysics missions



# 天文学ミッションの方向性

- 国際協力が重要となるが、日本の宇宙科学は、NASA, ESAの大型ミッションに参画できていない。大型ミッションクラブに入れていない。(惑星科学ではJUCIEでとっかかりをつかみ発展の兆しがある。)
- 一例としてATHENAの国際協力:冷凍機での協力であるが、すでに国内メーカーの技術となったものであり、それだけで国際的なプレゼンスを保つことはできない。冷凍機に留まらない貢献をする必要がある。
- **SPICAの実現は、2030年代に日本が外国の大型天文ミッションにメジャーパートナーとして参画していくには、通らねばならない必須の道。**

# 天文学ミッションの目標設定

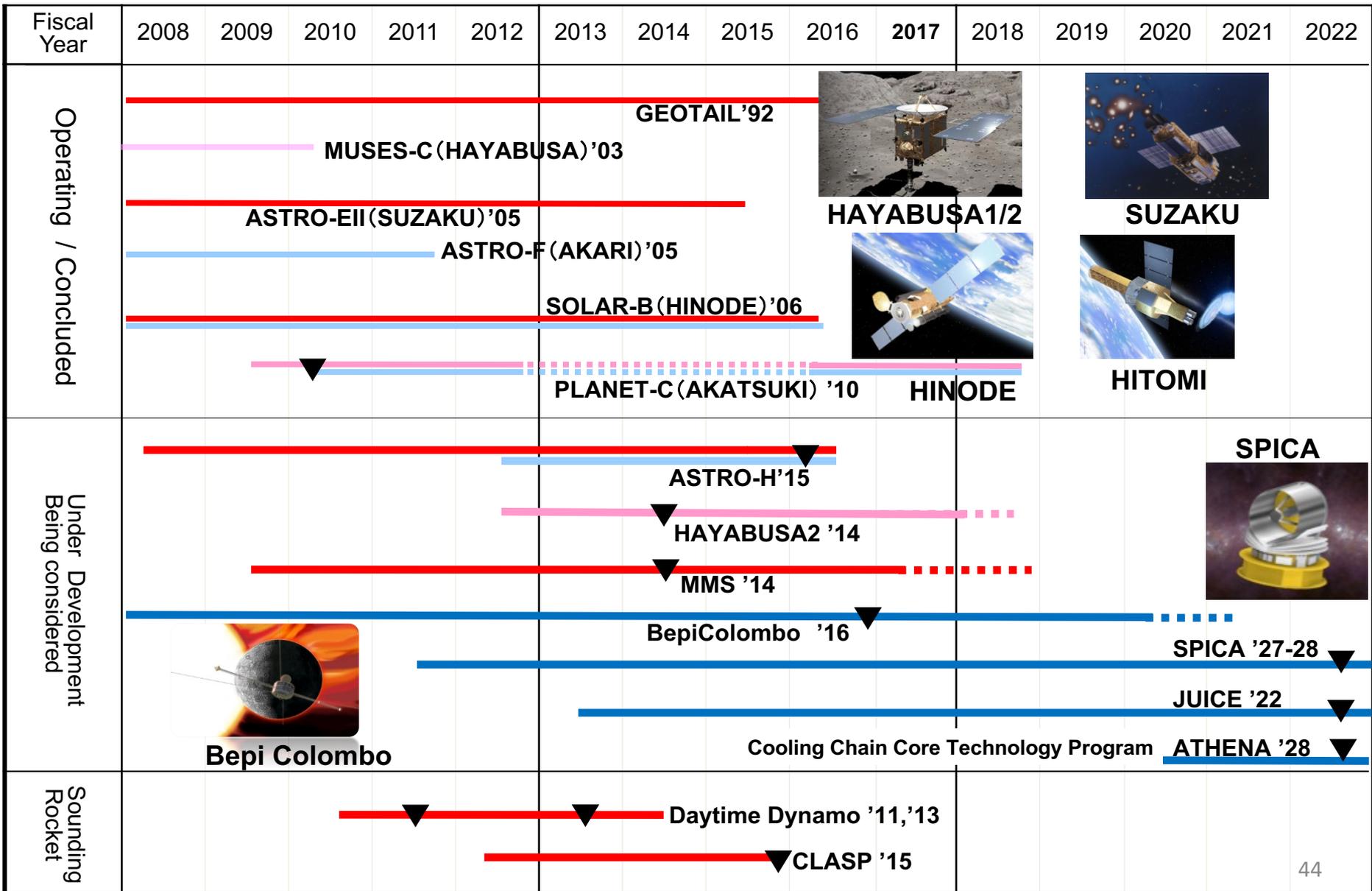
- 戦略的中型ミッションは依然として極めて重要
- 2030年代にNASAの超大型ミッションに主要パートナーとして参入する
- イプシロンで打ち上げる小型ミッションで比較的短期に特徴あるミッションを実現する
  - 赤道軌道なら1トン級の衛星が可能
  - 中型ミッションの科学的魅力を忘れてはならない



# Space Science Cooperation with NASA and ESA



— cooperation with NASA — cooperation with ESA





# それほど国際化されていない



## 日本の宇宙科学？

- 欧米は研究者のネットワークが確立しており、自在に協力体制を組み、それぞれの宇宙機関を巻き込む。宇宙機関もそれに答える調整機能を持つ。日本の研究者ももう一段の「国際化」が必要でないか。
- 外国宇宙機関とのコミュニケーションが個別のプロジェクトに限られていた状況のなか、外国宇宙機関リーダーとの戦略対話を開始し、NASA/ESA等とのバイラテラル会合を定期的に行う。宇宙機関幹部の宇宙研訪問も増え、彼らと対等な立場で情報交換や腹を割った対話が可能。
  - 機会の早期発見によりチャンスをつかむ
  - 宇宙機関間での重複ミッションの排除、上書き防止
  - NASA, ESAのほとんどの将来計画SDT(Science Definition Team)へ日本人研究者を派遣

# ISAS Planetary science 2020s

## *Lead sample & return*

Solar-power sail to  
Jupiter Trojan  
asteroids (JAXA-led)  
under assessment

Martian Moons  
eXplorer(MMX)  
(JAXA-led)

BepiColombo  
MMO(ESA-led)

SLIM Moon landing  
(JAXA-led)

Asteroid Sample Return  
Hayabusa, Hayabusa2  
(JAXA-led)

JUICE  
(ESA -led)

SPICA(ESA-led)

# 太陽系科学ミッションの課題(1)

- JAXAの探査機は、宇宙研の工学研究者のたゆまぬ努力により、金星・月・火星・地球近傍小惑星など、地球近傍の天体にアクセス可。
- MMX計画やソーラー電力セイル計画に見られるように探査領域の拡大を目指しつつ、それ以遠のターゲットでは、水星探査計画Bepi-Colomboや木星氷衛星探査計画JUICEのように外国の大型ミッションへの協力によりアクセス。
- どこまでをJAXAで行い、どこを国際協力に委ねるか？

# 太陽系科学ミッションの課題(2)

- 日本の太陽系探査は、「サンプルリターン」がキーワード。MMXの科学目的を達成するためには、サンプルリターンが必須。宇宙研の工学研究者の培ってきたサンプルリターン技術が、外国の協力を呼び込んでいる。サンプルリターンの学術的重要性は当面揺るぎなく、この技術をさらに発展させていく。
- 一方、火星以遠の惑星・小惑星等でサンプルリターンを行うことは当面現実的でない。特色ある観測装置を持ちその場分析を行うことが大事。欧米が圧倒的にリードしているこの分野で、日本は今後どうすべきか？



# 太陽系科学ミッションの方向性

## 例えば。。



- 搭載測定機器の充実：現在の世界標準では水素同位体の分析だけが可能。しかし、木星以遠の小天体・衛星では、炭素・水素・酸素・窒素同位体の同時分析が、太陽系の起源と進化を探る鍵。これらが可能な質量分析装置はまだ実現されていない。
- 中止となったLUNAR-A計画：宇宙研が多大な開発努力を行ったペネトレーター技術は世界のどこにもないもので、その完成と具体的なミッションの適用は検討課題。



# 宇宙科学経営事業方針2017



JAXAの中で宇宙科学の発展方策は中心課題となっている

- 長期的なシナリオ及び国際的なベンチマークに基づき、ボトムアップに留意しつつ、宇宙科学分野における戦略・工程表を取りまとめる。
- プロジェクト準備段階の事前検討を充実させ、提案能力の不足等から宇宙科学プロジェクトライフサイクル上の最も滞っている「ワーキンググループからプリプロジェクトへのレベルアップ」の支援強化を図る。
- 大学共同利用システムおよび宇宙科学コミュニティとの関係の拡大・強化・役割分担について検討を行う。