

An artistic rendering of the Jupiter system. In the background, a large Jupiter with its characteristic bands is visible. In the foreground, several of its moons are shown, including a large one with a blue ring system. The JUICE spacecraft is depicted in the lower right, with its long boom and antennas extended. The title text is overlaid on the image.

JUICE-JAPAN WG 木星氷衛星探査計画 —Jupiter Icy Moons Explorer “JUICE”—

*齋藤 義文(宇宙研) 佐々木 晶(大阪大学) 東原 和行(宇宙研)
JUICE-JAPAN WG

JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer) はESAが2012/5に選定したLクラス計画

木星系(木星・磁気圏・衛星)の詳細観測、

とくに最大氷天体で自励磁場を有する**ガニメデ**を極周回軌道から**精査**

- 系外惑星を意識した、巨大ガス惑星の世界の理解
- アstro・バイオロジーを意識した、ガニメデ、エウロパ、カリストの地下海の有無を調査

Habitat(生命居住環境)としては、狭いhabitable zoneにいる地球よりも、普遍的で安定な存在。

(Laplace共鳴→衛星軌道安定・潮汐加熱)

2022年打ち上げ、2030年木星系到着

日本からは
観測装置開発 4チーム、サイエンス 2チーム
が参加

Planetary Scienceでは
BepiColomboに続く
esaとの国際共同ミッション

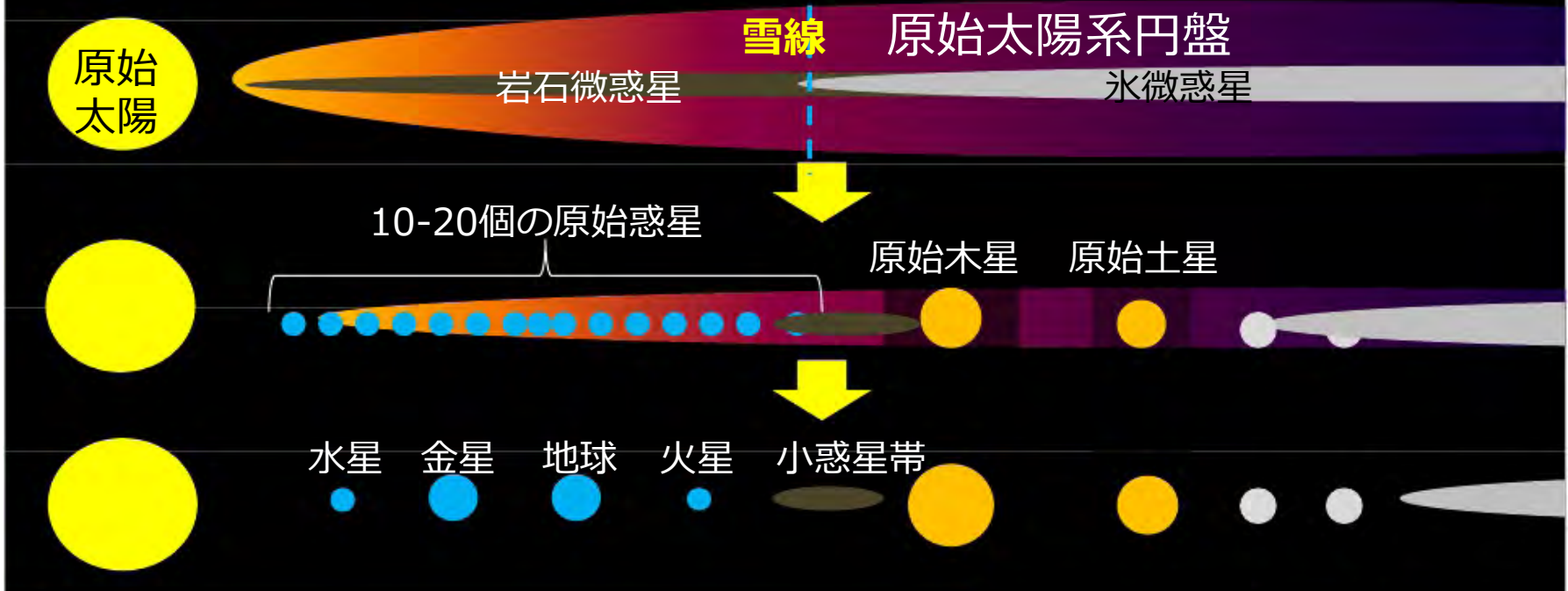


木星 Voyager1, 2号がイオ火山等を発見、Galileo探査は通信制約・機器トラブルのため、データ量少なく成果は限定的。

氷衛星周回探査は行われていない。

地下海は予想されているが、確証は得られていない

太陽系形成の標準シナリオ



ガス惑星の形成シナリオ

- ① 原始惑星が**地球質量5-10倍**に
- ② 円盤ガスを捕獲し**暴走的成長**
- ③ 周惑星円盤と**衛星の形成**
- ④ 円盤に**ギャップ** or **ガス散逸**

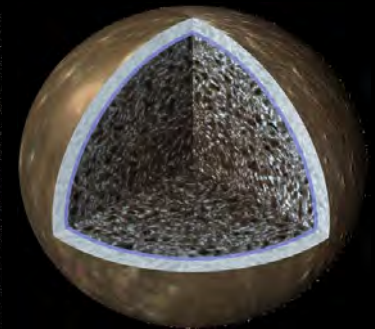
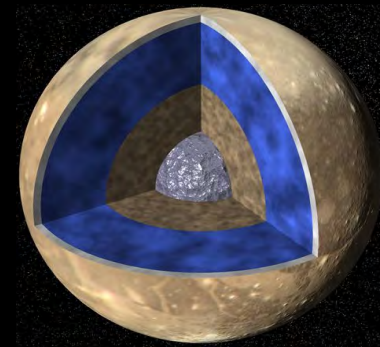
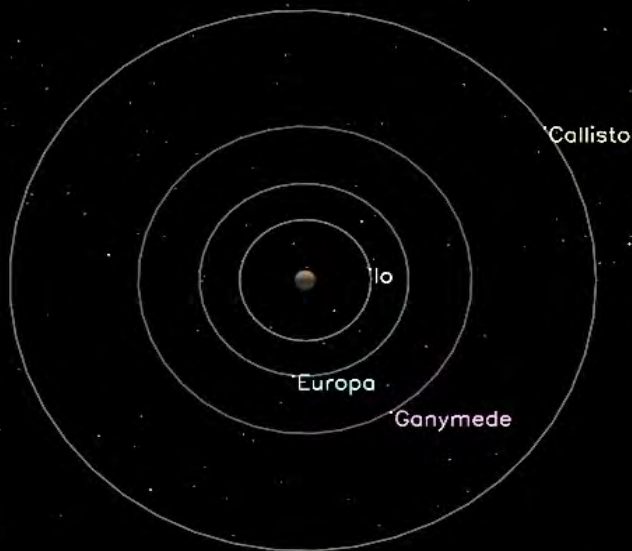
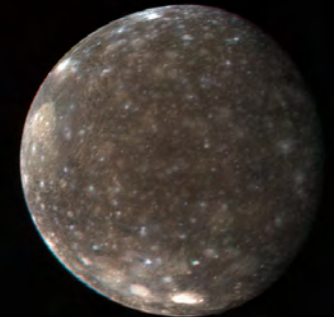
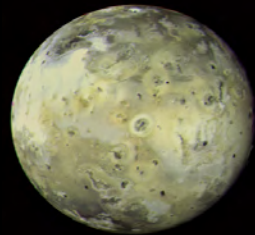
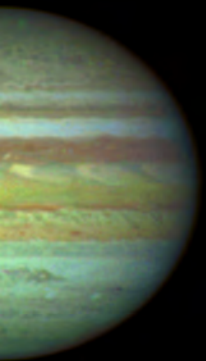
氷衛星
ガス惑星形成
末期の“化石”

木星周囲ガス円盤でガ リレオ衛星形成

Distance
Temp.
Accretion
Interior

Close
Warm
Fast
Differentiated

Far
Cold
Slow
Undiff.



分化したガニメデと深部は未分化のカリスト; 何が
運命を分けたか

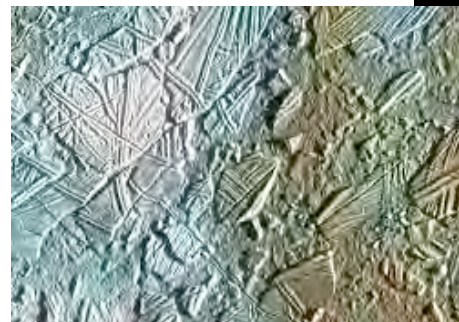
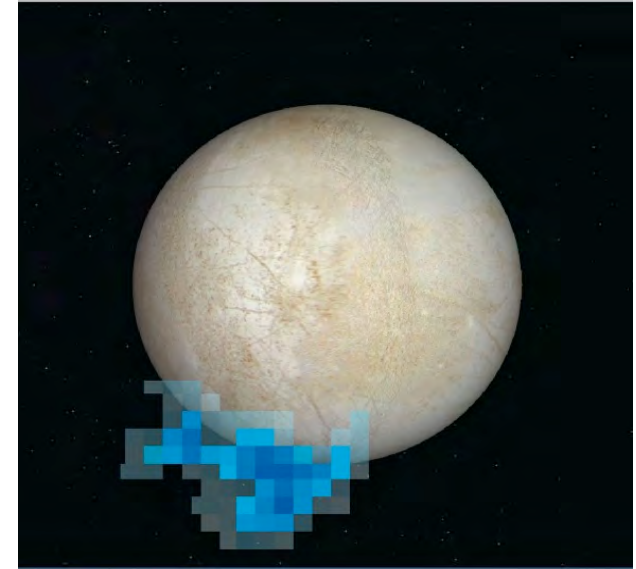
エウロパで氷のプルーム発見

ハッブル宇宙望遠鏡の紫外観測により、エウロパの南極地域から水蒸気の噴出が確認された。

Roth et al. (2013) Science

水蒸気の大きな雲は約200kmの高さまで立ち上っていて、水の噴出量は毎秒3000kgにも上る。2012年12月には観測されているが、11月には確認されていないことから、断続的な噴出と考えられている。

エウロパ表面のカオス地形(冰山ブロックが分裂、回転、移動、傾斜した地形)は、浅い内部湖の存在を示唆。プルーム源の可能性。



最大の氷天体ガニメデ = 氷惑星モデル

■ 二分性をもつ表面

- 明るく、年代の若い溝地形に覆われた領域
- 暗く、古い、クレーターの多い領域
- アモルファス氷、塩類が存在

■ 分化した内部構造

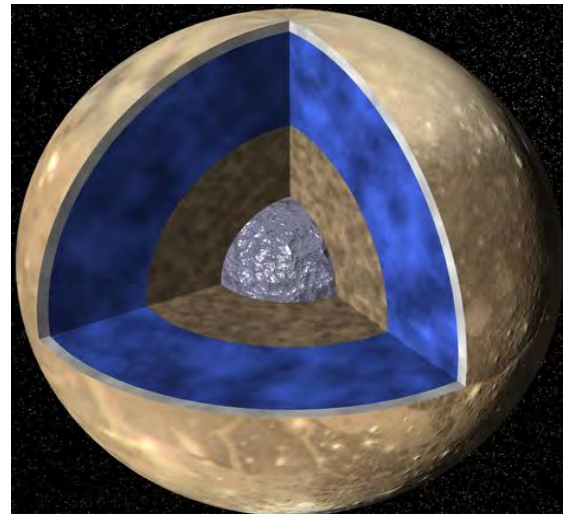
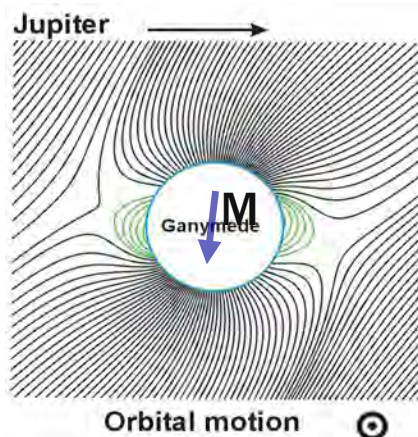
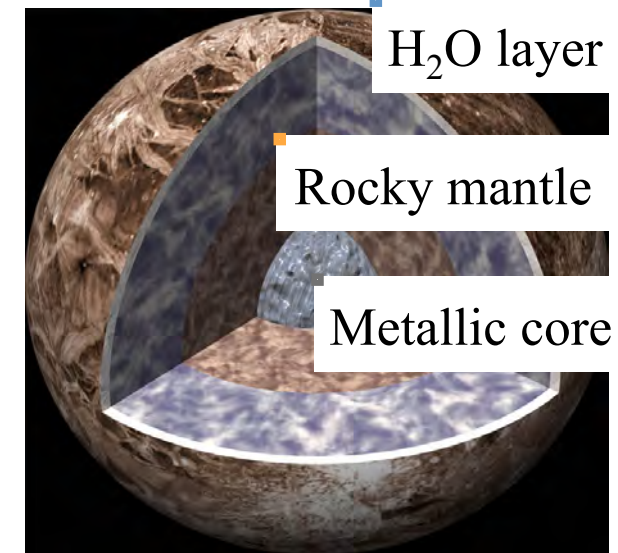
- 50% H_2O , 層構造
- 生命を育む長期間安定な地下海？

■ 自励磁場

- 溶融金属コア、対流、ダイナモ.



Galileo, 13 km/pix (C) NASA/JPL



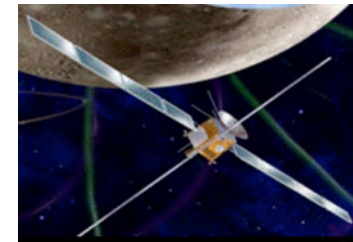
■ 地下海の厚さ、
数は不明

JUICEのTarget

This document is provided by jAXA.

Jupiter Icy Moons Explorer

Mission profile	06/2022 - Launch by Ariane-5 ECA + EVEE-type Cruise 01/2030 - Jupiter orbit insertion <u>Jupiter tour</u> Transfer to Callisto (11 months) Europa phase: 2 Europa and 3 Callisto flybys (1 month) Jupiter High Latitude Phase: 9 Callisto flybys (9 months) Transfer to Ganymede (11 months) 09/2032 – Ganymede orbit insertion <u>Ganymede tour</u> Elliptical and high altitude circular phases (5 months) Medium altitude (500 km) circular orbit (3 months) Low altitude (200 km) circular orbit (1 month) 06/2033 – End of nominal mission
Spacecraft	3-axis stabilised Power: solar panels: 630-700 W (EOM) HGA: 3.2 m, body fixed X- and Ka bands Downlink ≥ 1.4 Gbit/day High delta-V capability (2700 m/s) Radiation level: 240 krad /10 mm Al solid sphere, equipment tolerance <50 krad Dry mass at launch: ~1800 kg



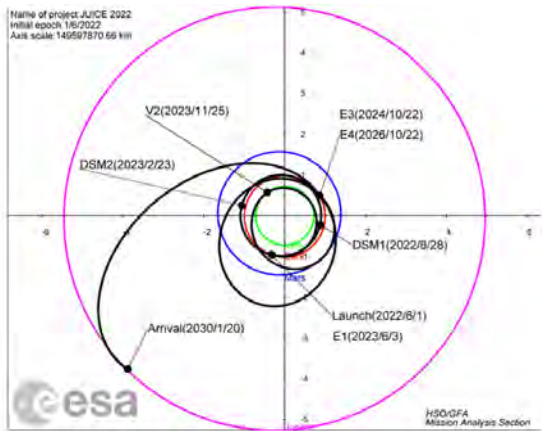


Figure 4-1: Baseline interplanetary transfer in the ecliptic inertial frame

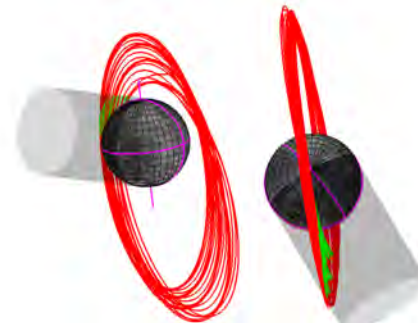


Figure 9-4: Representation in three dimensions of the GEO. The Sun shadow cone is also represented in light grey. The eclipses are shown in green close to the pericentre

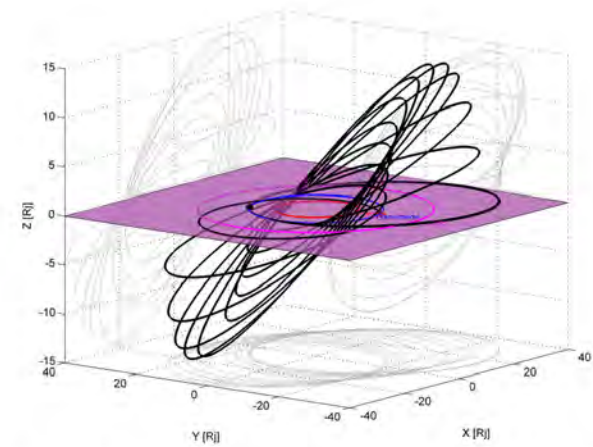


Figure 7-4: Three dimensions trajectory in the JSE for the Jupiter high latitudes phase

JUICEの軌道

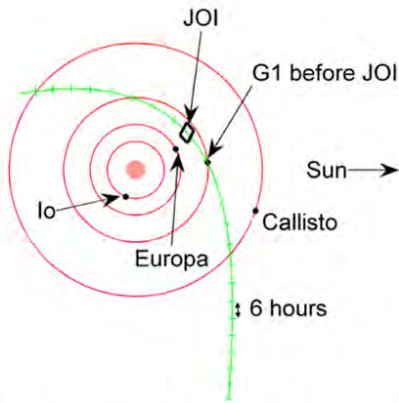


Figure 5-1: Spacecraft capture around Jupiter

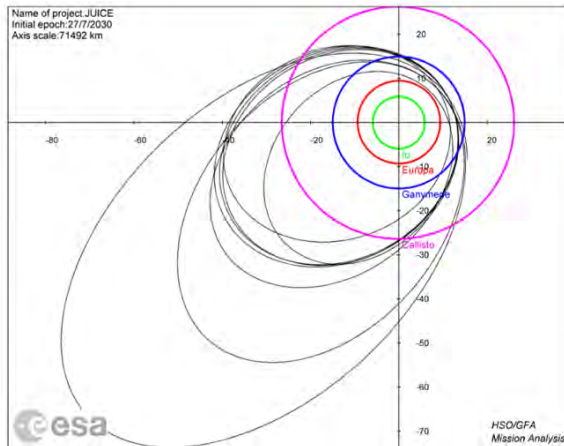


Figure 5-3: Trajectory from G2 to C8 in the JSO

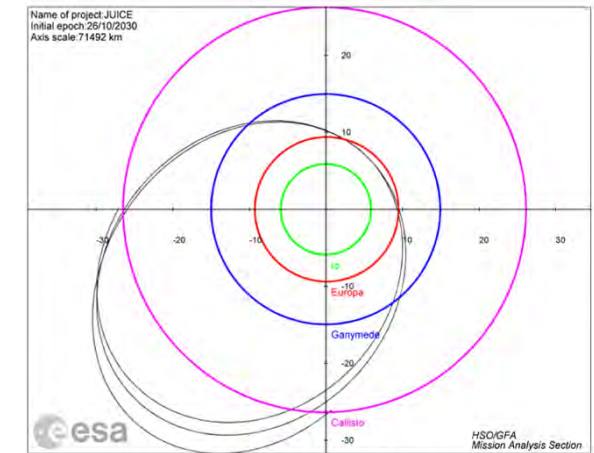


Figure 6-3: Trajectory from C8 to C11 in the JSO

これまでの経緯

JUICE経緯: 欧州側

- ・2006～ 日欧米共同してのオリジナル案(LAPLACE)提案等
(JAXAでは理委の木星探査WGが活動主体)
- ・2012・5 ESAがLクラス第一号計画として木星系探査計画JUICEを選定
- ・2012・7 観測機器AO発行
- ・2012・10 観測機器AO締め切り
- ・2013・2 観測機器選定結果公表

JUICE経緯: 日本側

- ・2012・6 理委にて、日本からのAO参加という枠組みの承認
- ・2012・9 理委にて、日本からAOに参加するチームの提案書審査が実施
- ・2013・9 理委にて、JUICE-JAPAN WG 設立提案 を行い、設立が認められた

JUICE搭載11機器

- | | |
|------------------------|--|
| 1) JANUS(カメラ) | P. Palumbo (Italy) |
| 2) MAJIS(可視・赤外分光) | Y. Langevin (France)/G. Piccioni (Italy) |
| 3) UVS(紫外分光) | R. Gladstone (USA) |
| 4) SWI(サブミリ波動) | P. Hartogh (Germany) |
| 5) GALA(レーザー高度計) | H. Hussmann (Germany) |
| 6) RIME(レーダー地下構造探査) | L. Bruzzone (Italy) |
| 7) JMAG(磁力計) | M. Dougherty (UK) |
| 8) PEP(プラズマ粒子) | S. Barabash (Sweden) |
| 9) RPWI(プラズマ波動) | E. Wahlund (Sweden) |
| 10) 3GM(電波科学) | I. Luciano (Italy) |
| 11) PRIDE(電波科学用地上アンテナ) | L. Gurvitis (The Netherland) |

これまでの経緯

JUICE経緯: 欧州側

- ・2006～ 日欧米共同してのオリジナル案(LAPLACE)提案等
(JAXAでは理委の木星探査WGが活動主体)
- ・2012・5 ESAがLクラス第一号計画として木星系探査計画JUICEを選定
- ・2012・7 観測機器AO発行
- ・2012・10 観測機器AO締め切り
- ・2013・2 観測機器選定結果公表

JUICE経緯: 日本側

- ・2012・6 理委にて、日本からのAO参加という枠組みの承認
- ・2012・9 理委にて、日本からAOに参加するチームの提案書審査が実施
- ・2013・9 理委にて、JUICE-JAPAN WG 設立提案 を行い、設立が認められた

2013. 2 ESAにおける選定

ESAにおける選定結果

- ・JUICE全体で11機器
- ・日本メンバーが参加するもののうち、日本からのハード提供があるものでは4チーム、サイエンス参加では2チームが選定された。いずれも、欧州PI。
- ・観測機器開発経費は、欧州各国、日本JAXA、米国NASAが支出する。

日本からのJUICEへの参加

- ・ハードウェア提供あり
 - RPWI(プラズマ波動): 笠羽(東北大)
 - GALA(レーザー高度計): 並木(千葉工大)
 - SWI(サブミリ波分光計): 笠井(NICT)
 - PEP(プラズマ粒子): 浅村(ISAS)
- ・サイエンス参加
 - JANUS(カメラ): 春山(ISAS)、高橋(北大)
 - J-MAG(磁力計): 松岡(ISAS)

磁気圏・プラズマ～高層大気・大気～氷衛星のサイエンスを広くカバー

この後、磁力計を搭載するMAST提供の可能性が浮上し、本年度中に提供可能性の検討を実施することとなった。

JUICE-JAPAN Working Group

コアチーム

主査：齋藤義文（宇宙研）

サイエンスリード：佐々木晶（大阪大）

ハードウェア提供4チームリード

サイエンス参加2チーム

RPWI：笠羽康正（東北大）

JANUS：春山純一（宇宙研） 高橋幸弘（北大）

GALA：並木則行（千葉工大）

J-MAG：松岡彩子（宇宙研）

SWI：笠井康子（NICT）

PEP/JNA：浅村和史（宇宙研）

WG 支援

プログラムオフィス（東原）

システムズエンジニアリングオフィス

研開本部

MAST 検討 チーム

RPWI チーム

SWI チーム

サイエンスチーム

GALA チーム

PEP/JNA チーム

太陽系探査科学分野の将来構想(1/2)

■ 分野を俯瞰する将来ビジョン

• 太陽物理学

太陽活動(フレアやコロナ現象)の起源を理解するとともに、太陽のプラズマ現象を理解し、磁場の起源と変動に迫る。そこから、宇宙天気予報を実現し、人類の宇宙進出を支え、地球環境への長期影響を解明する。

• 宇宙空間物理学(磁気圏プラズマ物理, 惑星大気科学)

太陽活動により変動する太陽圏・惑星圏環境を理解し、惑星大気プラズマのダイナミクスと進化を解明する。

• 惑星科学(固体惑星, 始原天体)

太陽系形成過程を物証に基づいて明らかにするとともに、太陽系における生命起源物質の進化過程を探る。

■ 今後20年程度を見通して、日本が採るべき戦略

• イプシロンロケットの高度化等により、小型太陽系探査を高頻度で実施し、日本独自の技術や観測機器の実証を系統的行える枠組みを構築する。

• **先進分野を国際共同の枠組みで実施しつつ**、今後の発展が必要な分野を分野間連携・理工連携により強化する。

• 国際的な優位性を持つ太陽物理・磁気圏プラズマ分野は、世界の動向を踏まえた国際協力をさらに積極的に推進する。

• 始原天体探査は、はやぶさ・はやぶさ2の実績を発展させ国際的な優位性を確立する。

• 惑星周回探査や重力天体着陸探査については、小型探査により日本独自の技術を育成した上で、欧米とは差別化された本格的探査を立案・実施する。

太陽系探査科学分野の将来構想(2/2)

■ 今後5年程度の目標

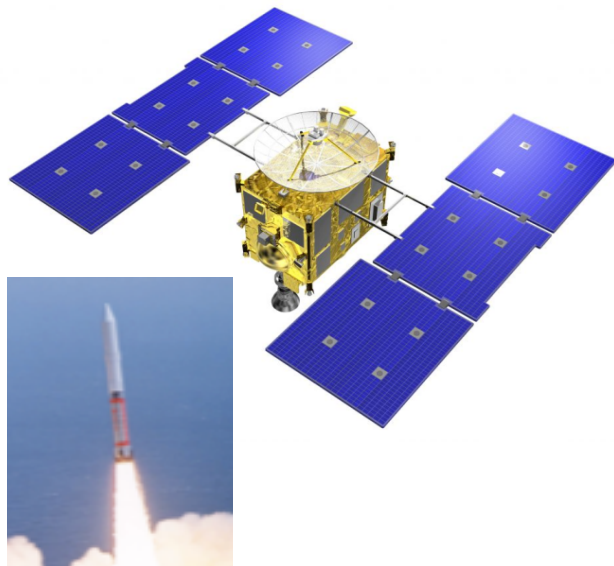
- 金星探査機「あかつき」
軌道投入を成功させ、金星大気・惑星気象学における科学的成果を創出する。
- 惑星分光観測衛星(SPRINT-A)
木星磁気圏プラズマ領域の理解、太陽風と惑星大気相互作用を明らかにする。
- 小惑星探査機「はやぶさ2」
より始原的な天体であるC型小惑星を探査し、水・有機物の存在の確認に挑み、生命の起源に迫る。また、日本独自の深宇宙探査技術確立する。
- ジオスペース探査衛星(ERG)
磁気圏「その場」観測によって、ジオスペースにおける相対論的電子加速機構を解明し、宇宙天気予報研究に貢献する。
- 国際水星探査計画(BepiColombo)
欧ESAとの国際協力により、謎に満ちた水星の磁場・磁気圏・内部・表層にわたる総合観測により、水星の現在と過去を明らかにする。
- 小型惑星探査ミッションの計画立案と実行
科学的な成果に加えて、将来の惑星探査への技術的な蓄積を行い、高頻度な惑星探査機の実現のための枠組み(惑星探査機の小型化、イプシロンロケット活用)を構築する。

■ 20年先を視野に入れた目標

- 太陽の光球からコロナにつながる、磁気プラズマ活動の本質を探るための超高解像度撮像や紫外線分光を行い、太陽活動・プラズマ現象の総合的な理解を行う。
- 編隊宇宙機によるプラズマ・ダイナミクスマルチ・スケール観測を国際協力により実施。
- 木星・氷衛星総合探査計画を国際協力により実施する。
- 惑星表面探査機(月、火星あるいは金星など)を実施する。
- 小天体往復探査機(地球接近小惑星、彗星、トロヤ群小惑星など)を実施する。

今後の宇宙科学・探査プロジェクトの推進

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。現行小型衛星計画のL/L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・気球など飛翔機会への参加、小型飛翔機会の創出、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。

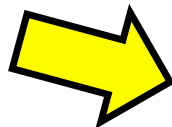
今後の宇宙科学・探査プロジェクトの推進

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。

海外が主体となり、かつ、きわめて魅力的な大型計画へ日本から機器提供という形で正式に参加することは、JAXA/ISASのプロジェクトとしては今回が初めてであり、様々なJAXA内での審査への対応や国際マターへの対応といったことを確実にクリアし、今後とも活用されるべきである「海外計画への参加」という枠組みを確立させるさきがけとする



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



より軽量同機能化に取り組む。多様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・気球など飛翔機会への参加、小型飛翔機会の創出、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。

JUICE-JAPANの長期スケジュール

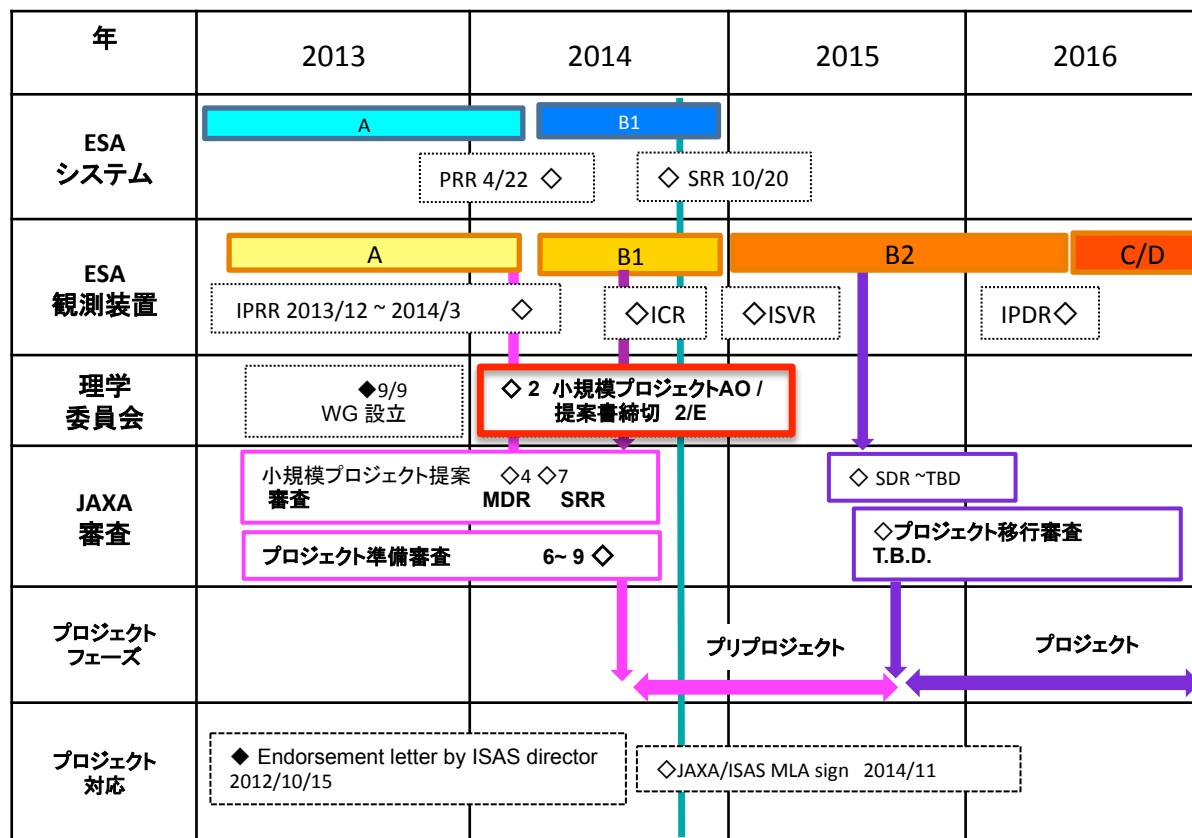
現在



カレンダー YEAR	2013				2014				2015				2016				2017				2018				2019				2020				2021				2022				2023														
四半期	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4																			
JUICE システム スケジュール																																									☆(4-6) 打上														
	Phase-A																																																						
					Phase-B1				Phase-B2																																														
									Phase-C																																														
																Phase-D																																							

I-PRR																																											
I-CR																																											
I-SVR																																											
I-PDR																																											
I-CDR																																											
I-QR																																											
I-FAR																																											
JAXA Review																																											
TECHNICAL																																											
I-MDR																																											
I-SRR																																											
I-SDR																																											
MANAGEMENT																																											
プロジェクト準備審査																																											
プロジェクト移行審査																																											
JAXA-ESA JUICE MLA																																											

JUICE-JAPANの中期スケジュール



IPRR: Instrument Preliminary Requirements Review
 PRR: Preliminary Requirements Review
 ICR: Instrument Consolidation Review
 ISVR: Instrument Science Verification Review

MDR: Mission Definition Review
 SRR: System Requirement Review
 SDR: System Definition Review
 IPDR: Instrument Preliminary Design Review
 MLA: Multi-Lateral Agreement

惑星の成り立ちと生命の可能性をもとめて木星へ

JUICE

Jupiter Icy Moons Explorer

- | | | | |
|--------|----------------|-----------|--------------------------------------|
| P2-138 | JUICE-JAPAN WG | 木星氷衛星探査計画 | —JUICEミッションの科学目的—
佐々木晶 他 |
| P2-139 | JUICE-JAPAN WG | 木星氷衛星探査計画 | —RPWI 電波・プラズマ波動観測器—
笠羽康正 他 |
| P2-140 | JUICE-JAPAN WG | 木星氷衛星探査計画 | —JUICE-SWI サブミリ波分光計—
笠井康子 他 |
| P2-141 | JUICE-JAPAN WG | 木星氷衛星探査計画 | —JUICE-GALA レーザー高度計—
並木則行 他 |
| P2-142 | JUICE-JAPAN WG | 木星氷衛星探査計画 | —JUICE-PEP/JNA 高速中性粒子計測装置—
浅村和史 他 |
| P2-143 | JUICE-JAPAN WG | 木星氷衛星探査計画 | —JUICE J-MAG 磁場観測—
松岡彩子 他 |
| P2-144 | JUICE-JAPAN WG | 木星氷衛星探査計画 | —JUICE-JANUS 可視分光カメラ—
春山純一 高橋幸弘 他 |