

国際共同木星圏総合探査計画WG 設立提案書



2007年1月

将来木星圏総合探査検討チーム

国際共同木星圏総合探査計画 WG 提案要旨

提案者：将来木星圏総合探査検討チーム

代表： 佐々木晶(国立天文台)、藤本正樹(JAXA)

副代表： 高橋幸弘(東北大)、笠羽康正、高島健、岡田達明(JAXA)

2020年代での実現を目指す国際共同木星圏総合探査をより組織的に検討するため、国際協力対応カテゴリのWGとして本WGの設置を提案する。

(1) 将来惑星圏探査計画の検討状況

わが国の惑星圏探査は揺籃期にある。Selene(月探査：2007打上)、Planet-C(金星気象観測：2010打上、2011到着予定)、さらには BepiColombo(日欧国際共同による水星総合探査：2013打上、2019到着予定)の準備が本格化している。将来計画は、その次に来る「発展期」の検討となる。我々は、宇宙開発委員会で議論されてきた「宇宙科学長期計画」に対応し、「太陽系諸天体の構造と進化」「太陽と地球・惑星環境」という研究テーマにかかわる将来展望を整理するとともに、その背景となる「太陽系科学ロードマップ」の構築を進めてきた。また、これに伴い「月惑星探査チーム」の活動にリンクする形で、「将来惑星環境探査プログラム」の検討がJAXA内外の有志で進められつつある。

この中で惑星科学に属する複数分野に跨って焦点となるのが、木星圏の理解であることが見えてきた。ここでは、地球周回衛星を源泉とする科学の国際競争力、地球惑星科学全体の研究力を背景とし、日欧共同によって水星圏の全貌を解明する BepiColombo 計画の後継として、日欧による国際協力木星圏総合探査の検討を組織的に進めるべく、国際共同対応カテゴリのWG設立を提案する。

(2) 国際共同木星圏総合探査：検討状況

BepiColombo のように、「ひとつの世界」の全貌を明らかにする総合探査には、文字通り総合力が必要とされる。日本においてこれを実施していくには、得意分野を武器とした国際計画への積極参入によって探査の機会を継続的に確保することが必要である。

BepiColombo という日欧共同計画での経験は、これを実施するスキームをわが国の惑星圏探査を推進していく上での資産とした。このスキームを活かした日欧共同の次の大目標として、木星総合探査の検討が日欧の科学者間で進められてきた。同時に日本国内でも、具体案の構築に向けて国内各種学会・研究会等で意見集約を加速しつつある。現段階で想定するのは、3機の探査機からなる木星総合探査計画、すなわち「木星周回機(2機) + ガリレオ衛星(エウロパないしイオを想定)周回機」案である。想定する主目標は、

- (1) 太陽系起源論:木星系の起源を明らかにすることで太陽系の起源に迫り、かつ、系外惑星の起源にも迫る。
- (2) 宇宙プラズマ物理:太陽系惑星最強、つまり、「その場」観測が可能なフィールドでは最強の粒子加速機構を観測的に解明し、普遍的宇宙プラズマ物理学の構築に貢献する。
- (3) 惑星気象学:多くの点で金星や地球と正反対の特徴を有する木星大気を調べ、太陽系外惑星も含めた惑星流体一般の性質を理解する。

日本は、BepiColombo での共同計画実施の実績、および月・金星探査の成果・技術発展を基軸に本計画に主体的参加をすることで、新たに多様な国内研究者が全体計画へと参加する機会を確保する。また、衛星への着陸を「その次のミッション」として想定し、ガリレオ衛星(エウロパ、ガニメデ)周回機等を検討中の米国も含めた共同計画とすることも視野に入れる。

これまで、日欧間ではウィーン(2006年4月)、ナント(6月)、北京(7月)、ベルリン(9月)、東京(10月)、ロンドン(11月)、サンフランシスコ(12月)等で会合をもってきた。欧州側は、2007年2月に公示される「ESA Cosmic Vision 2015-25」の第一回提案受付において、2020年以降に打ち上げられる大型計画としてこの木星探査計画の「コンセプト提案」を行う予定である。このクラスの提案では、2007年の段階ではミッションコンセプトを提示することが求められている。これに対応して、日本側からは「Letter of Intent」によってミッション検討への興味を表明したい。その母体となるのがここで提案するWGである。

(3) 国際共同木星圏総合探査: 今後の日程

想定打上時期は2020年代であり、先は長い。実際、欧州側での作業レベルも提案受付時に求められているコンセプトスタディの段階にある。よって、現段階での作業内容は宇宙科学本部における従来型WGの設置基準とは合致しない。しかし、今後、より広いコミュニティから系統的に意見結集を図る必要があること、国際協力対応を行うための母体が必要であること、必要な技術検討・開発を長期プランに基づいて戦略的に行っていく必要があることから、「国際協力に対応するWG」として本WGの設立を提案する。

本WGでは、木星総合探査の目標・仕様構築を、まずは理学メンバーを中心に今年度末目標に進める。それとともに、来年度から開始する工学メンバーも参加するコンセプトスタディのベース案を固める作業を行う。数年をかけて検討を進め、適切な時期に「ミッション検討WG」へと格上げする。

<目次>

第 章	計画概要
第 章	目指す科学
第 章	ミッション構成案
第 章	観測機器の候補
第 章	今後の予定
第 章	チーム構成
Appendix 1	検討履歴

第 章 計画概要

I-1. 背景と目標

(1) 新しい将来惑星圏探査計画検討のあり方

わが国の惑星圏探査の将来計画を検討する際に、3つの意味で新しい段階を迎えたことを意識する必要がある。

まず、わが国の惑星探査は、Selene(月探査:2007打上)、Planet-C(金星気象観測:2010打上、2011到着予定)、さらには BepiColombo(日欧国際共同による水星総合探査:2013打上、2019到着予定)の準備が本格化し、その揺籃期を経つつあるということである。したがって、将来計画はその次に来る「発展期」のものとなることを意識しなければならない。

次に、我々は宇宙開発委員会で議論されてきた「宇宙科学長期計画」に対応し、「太陽系諸天体の構造と進化」「太陽と地球・惑星環境」に跨る将来展望を整理するとともに、背景たる「太陽系科学ロードマップ」の構築を進めてきた。またこれに伴い、「月惑星探査チーム」の活動にリンクする形で、「将来惑星環境探査プログラム」の検討がJAXA内外の有志で進められている。今後の探査計画はそれぞれが個別に策定されるのではなく、将来を見通した形での戦略があって、その中での探査計画の位置づけ・意味づけを行いつつ検討されていくべきである。

そして3番目に、BepiColombo という日欧共同計画での経験は、国際共同によって惑星圏の全貌解明を実施するスキームを、わが国の惑星圏探査を推進していく上での資産としたことにある。惑星関係コミュニティの総力を結集して「ひとつの世界」の全貌を明らかにする「総合探査」には、文字通り総合力が必要とされる。日本がこれを実施していくには、得意分野を武器とした国際計画への積極参入によって、惑星圏総合探査の機会を継続的に確保することが必要である。

(2) post-BepiColombo としての将来国際共同木星圏総合探査計画

惑星科学の下には複数のサブ分野があるが、これまでの惑星科学関係コミュニティにおける議論から、木星圏の探査においてさまざまな分野(惑星磁気圏・惑星大気という日本の得意分野も含む)の興味の焦点が結ばれることが明らかとなった。詳細は後述するとして、木星圏総合探査を実施することで、

- (1) 太陽系起源論:木星系の起源を明らかにすることで太陽系の起源に迫り、かつ、系外惑星の起源にも迫る。
- (2) 宇宙プラズマ物理:太陽系惑星最強、つまり、「その場」観測が可能なフィールドでは最強の粒子加速機構を観測的に解明し、普遍的宇宙プラズマ物理学の構築に貢献する。
- (3) 惑星気象学:多くの点で金星や地球と正反対の特徴を有する木星大気を調べ、太陽系外惑星も含めた惑星流体一般の性質を理解する。

という大きな科学成果を得て、日本の、そして、世界の惑星科学を推進することが出来ると考え

る。

具体的な木星圏総合探査への参加の問い合わせは、欧州の科学者コミュニティから2006年3月にあった。日欧では BepiColombo を共同で進めてきており、ここで培われた信頼関係がその端緒となっていたことは言うまでもない。欧州側での提案は2007年6月に行うこと、2020年以降打ち上げの大型計画として提案すること、提案はミッション・コンセプトの提案であってミッションそのものの提案ではないこと、などが示された。その後、話し合いをほぼ毎月行う中で、欧州側から示されたミッション・シナリオ原案は必ずしも100%満足できるものではないこと、現段階では日本からの参加手法には高い自由度があり、それは提案後の検討において詰めていくべきことであること、日本独自案を逆提案することでミッションのサイエンス価値を高める建設的な議論が可能な土壌があること、が見えてきた。つまり、国際共同によって効果的に科学的価値を高めることによる構図、BepiColombo と同様な構図が成立するのである。そこで、国内で議論を重ねた結果、上に述べた科学目標を達成するのに現段階で想定するのは、3機の探査機からなる木星総合探査計画、すなわち「木星周回機(2機) + ガリレオ衛星(エウロパないしイオを想定)周回機」である、という日本側第一次案に達した。日本は、打ち上げ機の提供も視野に入れながら、水星・月・金星の成果・技術発展を基軸に本計画を主導するとともに、全体計画へ多様な国内研究者が新たに参加することを可能にする。全体構図の類似から post-BepiColombo と位置づけられようが、Planet-C の実施により実力を蓄えるであろう惑星大気分野も中心的に参加することにも留意されたい。ガリレオ衛星(エウロパ、ガニメデ)周回機等を検討中の米国も含めた共同計画とすることを視野に入れ、また、衛星への着陸探査を「その次のミッション」として想定する。

(3) なぜ木星か？

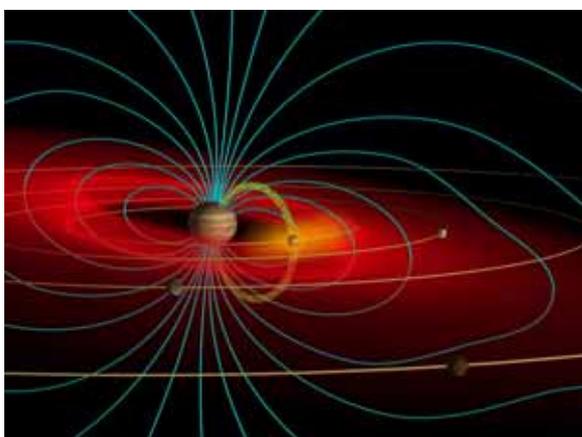
以下に示すように、木星総合探査には、太陽系科学諸分野にとって全く新しいデータをもたらすことが期待できる。探査計画には、それによって得られたデータの解析による成果をもたらすことはもちろん、それを意識することで関連した理論研究も進むという効果も期待すべきである。木星探査の場合、木星に類似した系外惑星の発見や木星磁気圏が「その場」観測が可能な対象のうちで最も天文学に近いことから、太陽系科学をより大きな枠組みへと、惑星科学と天文学とが融合した新分野へと発展させることを誘導する役割も期待できる。

太陽系起源論：太陽系の起源の解明には、最大サイズにして最大の角運動量を占める木星の起源の解明が必要である。また、現在までの系外惑星の観測は、木星のような巨大ガス惑星が宇宙において普遍的な形態であることを示した。つまり、木星の起源の解明は、普遍的な惑星系形成過程の解明という惑星科学の最大目標につながるのである。木星は、原始太陽系円盤中にサブ円盤を形成し、そこからガスを取り込んで形成したと考えられている。木星の起源の解明(さらに、系外惑星の多様性の解明)には、ガス集積過程に制約を与える情報が必要であり、それは、衛星(特にガリレオ衛星)の氷成分や希ガスなどの微量成分の観測から得られるであろう。

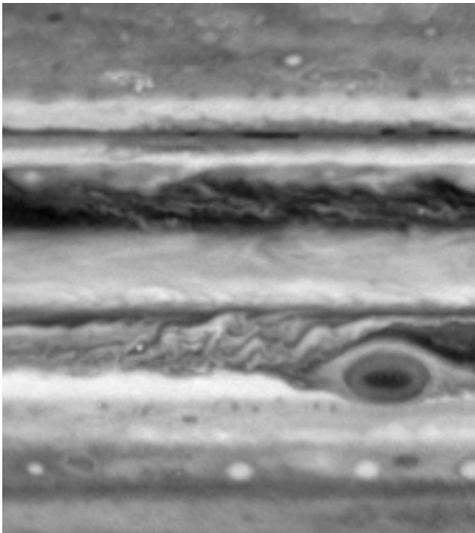
太陽系天体の多様性： 衛星イオは太陽系で最も活動的な固体天体であり頻繁に火山噴火が起きていることが知られるが、そのエネルギー源は潮汐である。特徴的な表面地形をもち地下海の存在も考えられている衛星エウロパの活動も、惑星潮汐で支配されている。放射性熱源ではなく惑星潮汐を熱源とする活動的固体天体を解明することは、太陽系天体が持ち得る多様性を理解していく上で重要なステップである。また、潮汐発熱で維持される地下海が生命進化の場所になりうるという仮説があり、それを検証することも重要である。



宇宙プラズマ物理学： 宇宙空間を満たすプラズマガスは無衝突の状態にあり、高エネルギー粒子・非熱的粒子が豊富に存在する。これらの粒子の加速機構を理解することは最重要課題のひとつである。この普遍的な枠組みを意識して木星磁気圏を見ると、それは、「その場」観測が可能な空間の中で最大の粒子加速が起きている領域という新しい魅力を持つことがわかる。そして、ここでの粒子加速過程を観測的に解明することは宇宙プラズマ物理学における大きなステップであるに気づく。木星での粒子加速には、磁場が強いこと、木星が高速自転していること、内部磁気圏にイオというプラズマ源があること、の三つの要素が鍵であろうと考えられる。このシナリオを物理として確立するには、広いエネルギー範囲をカバーする粒子観測を木星磁気圏「その場」で行うと同時に、プラズマイメージングを同時に行って、「その場」を包む木星磁気圏のグローバル・ダイナミクスの把握も必要である。



惑星気象学：木星大気の力学的特徴としては、高速自転に伴うコリオリ力の効果が大きいこと、固体地表を持たないガス天体で大気の下境界がはっきりしないこと、太陽光による入力と同等以上に内部熱源の効果があること、主成分は水素とヘリウムであり、より大きな分子が主成分である地球・金星と比べて極端に軽いことなどであり、地球・金星とは異なるこれらの特徴を有する木星大気を調べることは、太陽系外惑星も含めた惑星流体一般の性質を理解する上で重要なステップである。木星にも積乱雲があり、また、雷放電があることが知られるが、放電1回あたりのエネルギーは地球の1000倍と推定される。地球同様電荷分離や絶縁破壊が積乱雲に伴って起きている可能性、水蒸気潜熱の開放を伴う太陽系最強の鉛直対流機構を解明するのも木星ならではの研究テーマである。



I-2. 日本側検討ベース案

将来木星圏国際探査計画:基本構成(日本側検討ベース)			
目標	<p>(1) 太陽系起源論:木星系の起源を明らかにすることで太陽系の起源に迫り、かつ、系外惑星の起源にも迫る:木星の起源、衛星の内部構造と組成、地下海の構造(エウロパ)、地殻と火成活動(イオ)</p> <p>(2) 宇宙プラズマ物理:太陽系惑星最強、つまり、「その場」観測が可能なフィールドでは最強の粒子加速機構を観測的に解明すし、普遍的宇宙プラズマ物理学の構築に貢献する:木星型磁気圏の大規模構造、木星型磁気圏の太陽風結合、木星型磁気圏の本体-衛星結合、木星型放射線帯の解明</p> <p>(3) 惑星気象学:多くの点で金星や地球と正反対の特徴を有する木星大気を調べ、太陽系外惑星も含めた惑星流体一般の性質を理解する.:惑星大気力学の普遍的理解、大気化学・組成の解明、太陽系最大の雷放電活動の解明</p>		
観測機器	<p>[Galileo衛星] 可視・近赤外マルチバンドカメラ、近赤外分光撮像、中間赤外分光計・マルチバンド測光、レーザー高度計、地下電波レーダー(兼電波観測器)、磁気計、ダスト計測器、重力計測、ガンマ線分光計、中性質量分析計(イオ周回の場合)</p> <p>[木星磁気圏] 熱的粒子観測装置、低エネルギーイオン観測装置、中間エネルギー粒子観測装置、高エネルギー粒子観測装置、超高エネルギー粒子観測装置、磁場観測装置、電場・波動・電波観測装置、高エネルギー中性粒子観測、オーロラ撮像モニター</p> <p>[木星大気] 可視・近赤外カメラ、雷放電発光カメラ、VLF/VHF 雷電波受信機、ガンマ線カウンター]</p>		
打上げ・巡航	<p>- Launcher: “H2A-2024 + Kick-Motor” を想定。Launcher でGTOへ。Kick-Motorで惑星間空間巡航軌道へ。総重量 2600kg を想定。</p> <p>- Cruising: 化学推進によるVEEGA軌道(地球→金星→地球→地球→木星)を想定。6~8年。</p> <p>- 木星周回:化学推進で木星周回長楕円軌道(3RJ×300RJ)へ投入。その後の木星圏内での軌道制御は、木星衛星を利用したスイングバイを多用。総重量 1500kg を想定。</p>		
観測モジュール	木星周回母機	Galileo衛星周回機	木星高緯度周回機
軌道	6Rj(Io) x 15Rj (Ganymede) [赤道面軌道]	Europe ないし Io 周回 200 km x 200 km [極軌道]	5Rj(Io) x 50~100Rj [赤道面軌道へ投入後、衛星 flyby で軌道面変更]
姿勢	3-axis ないし Spin 地球指向	3-axis Nadir	Spin (6-20rpm [TBC]) 地球指向
質量	500 kg 級 (Payload: 約 50kg)	350 kg 級 (Payload: 約 30kg)	200 kg 級 (Payload: 約 20kg)
電力	400 W [TBC]	300 W [TBC]	300 W [TBC]

TLM・アンテナ	X/Ka 1.0mφ	X/Ka 1.0mφ	X/Ka 1.0mφ
運用期間	巡航 + 3 year	分離後 0.5 year	分離後 3 year
TLM	50 kbps [TBC]	50kbps [TBC]	50kbps [TBC]
オプション	1) ペネトレータ(ないしランダ): Galileo 衛星周回機に同梱。 <100kg. 2) エントリープローブ: 木星極軌道・高緯度周回機に同梱。 <100kg.		
想定打上年	2020 年代前半		
射場	H2A を想定の場合、種子島		
地上局	臼田局、サンチャゴ局: 1日16時間運用を想定		

第 章 目指す科学

1. なぜ新しい探査計画が必要なのか？

1)「ガリレオ」との比較

木星周回観測衛星としてはNASAの「ガリレオ」が既にある。ところが、データ通信上の技術的問題が生じてしまったために、取得されたデータ量と質に問題があったことは否めない。また、ガリレオ衛星の観測はフライバイによるものであった。本計画の検討内容の視点から、具体的に問題点を整理すると

(1)衛星の科学：

- ・ 高分解能の画像は少ない、とくに連続的な時間変化(エウロパの変形、イオの火山活動)の観測はなかった。
- ・ 衛星を周回オービターではないため、衛星全面の詳細画像はそもそも取得できなかった。
- ・ そもそもレーダーサウンダーは搭載していなかったため、この手段から衛星の内部構造に迫ることはなされなかった。
- ・ 地下海との関連で注目されるエウロパ表面温度の異常を捉えられる波長域(10ミクロン付近)の撮像センサーは持たなかった。
- ・ 地下海との関連で興味深い誘導磁場の変化の観測はしていない。
- ・ 高度計による衛星表面地形の観測はできなかった。

本計画では、ガリレオ衛星(エウロパないしイオを想定)周回機を用意し、かつ、上で欠けていた観測機器を搭載することで、潮汐を活動エネルギー源とする天体であるガリレオ衛星に迫る。

(2)磁気圏・宇宙プラズマ物理：

- ・ 低エネルギー粒子観測のデータがほとんどない。プラズマ流は高エネルギー粒子の非等方性から見積もられたものであり、長時間平均描像以上のものではない。
- ・ 高エネルギー粒子データの時間分解能が悪く、低エネルギー側との連携もできないため、粒子加速現象があったという事実発見の次の段階へと進めることは困難である。
- ・ 普遍的宇宙プラズマ物理という新しい視点は、たとえ木星磁気圏においてであっても詳細観測データの総合的・徹底的解析を求めるが、それを可能にするデータの質ではない。
- ・ X線オーロラや雷放電に伴う線など、ガリレオ以降に見つかり、かつ、木星探査においてこそ興味深い観測項目がある。

本計画では、磁気圏観測分野のロードマップを意識し、その中で木星磁気圏探査が果たすべき役割を認識し、新規開発の観測機器を搭載して普遍的宇宙プラズマ物理の構築に貢献する観測の実施を目指す。

(3) 惑星気象学・木星本体の科学:

- ・ 大気科学理解において最も重要な連続的なデータによるダイナミクスの把握がなされなかった。ガリレオで連続撮像が行われたのは、特定地域の限られた期間のみであり、大気運動の全容把握にはほど遠い。
- ・ 大気構造の観測に用いられたフィルターは数波長と極めて限られており、雲やヘイズの鉛直構造の推定には仮定が伴い、大きな不確定性を残している。
- ・ 水蒸気検出を目指してエントリープローブ実験が実施されたが、非常に乾燥した地域に落下されたとされ、木星の水蒸気量は謎のままである。
- ・ CCD カメラで雷放電発光が撮像されたが、時間分解能はなく、雷放電の頻度や時定数は未知のままである。また、観測時間が限定されているため、発生地域や時間変動についても殆ど未解明。

本計画では、連続観測から大気ダイナミクスを把握する。超多波長撮像から雲の鉛直構造の確度の高い推定を行うことを可能にする。また、多波長・高解像撮像から上層の水蒸気検出を試みる。

2) JUNOとの比較

JUNOとは2015年に打ち上げが予定されるNASAの木星探査機であり、木星周回極軌道をとることが想定されている。本検討との対比は

(1) 衛星の科学:

近赤外から赤外域のカメラ、サウンダーなど、ガリレオ衛星の観測に適した観測機器はJUNOには搭載されず、それとは対比的に本検討では充実している。ガリレオ衛星の観測から木星系の起源へと迫る科学は、本計画においてなされるものである。

(2) 磁気圏・宇宙プラズマ物理:

本検討は、地球磁気圏での同時マルチスケール観測SCOPE/CrossScale 計画の後継という位置付けでもある。具体的には、撮像観測による全体像と「その場」観測による局所精密情報を組み合わせて、「スケール間結合」の視点から木星磁気圏を舞台に展開するプラズマ現象を根源的理解し、宇宙プラズマ物理に新しい地平をもたらす。

(3) 惑星気象学・木星本体の科学:

JUNO はサウンディングによる大気化学組成の観測に重点が置かれ、カメラは搭載されるものの詳細な科学計測に耐えるデータは得られない。本検討ではダイナミクスの観測を中心的に行い、JUNO の化学観測と合わせて大気科学の両輪を駆動する。また、「雷」というテーマにとって木星は興味深く、それに分野融合的にチャレンジするのは本計画だけである。

3) ソーラーパワーセイル計画への期待

JUNOでの大気組成観測は空間パターンを相対値で表現するものであり、絶対値は得られない。

特に木星大気中の水蒸気量は、大気科学だけでなく木星起源論にとっても重要な情報であるが、これはエントリープローブによってのみ得られる。「ガリレオ」のエントリープローブ観測結果は謎を残したままである一方、JUNOではプローブは搭載されず、総合探査を目指す本計画でも、全体目標とプローブというリソース要求の大きい特殊装置とのバランスは難しい問題である。エントリープローブ観測は、JAXAにおいて検討が進められているソーラーパワーセイル計画においても実施することを検討していきたい。

-2. 木星系の起源と衛星の科学

1) 木星の起源

木星は最大の惑星で、太陽系の角運動量の大部分を占め、その起源は太陽系の起源そのものである。また約 200 個にも及ぶ系外巨大惑星の発見によって、木星が宇宙の代表的な天体であることが明らかになった。木星は、太陽系のみならず、惑星系一般の形成過程の解明、太陽系のより本質的な理解につながる。

木星は、氷・岩石からなるコアを大量の水素・ヘリウムが取り巻く巨大ガス惑星である。その形成過程は、コアがある臨界質量に到達したことが引き金となり、原始太陽系円盤ガスを重力的に取り込んだと考えられる。Voyager や Galileo(さらに Juno)では、コア質量を決めることに焦点が当てられ、木星本体の物理量(重力モーメント、大気組成など)の観測がなされた。しかし、コア質量は巨大ガス惑星形成の必要条件を制約するだけであり、木星の質量・位置などの起源の解明(および系外惑星の多様性の解明)には、更にガス集積過程に制約を与える情報が必要である。

ガス集積過程の情報は、衛星、特にガリレオ衛星から取得できる。木星への円盤ガス流入は、原始木星周囲に形成された小型ガス円盤(サブ円盤)を通して起こった。サブ円盤内での角運動量輸送がガス集積を支配する。ガリレオ衛星はサブ円盤中で形成されたと考えられる。ガリレオ衛星の密度は木星に近いほど高い。氷成分・希ガスなどの微量成分の情報から、サブ円盤内の力学的・熱的条件を制約できる。

さらに、探査機 Galileo で得られた木星大気の高元素(Li 以上)の存在度との比較によって、よく知られる「木星大気の高元素超過」の起源に制約を与えることができる。これは材料物質の特定や(原始太陽系円盤の散逸時期と比べた)円盤ガス獲得タイミングの情報につながる。こうした情報は、木星の起源だけでなく、惑星系の多様性の解明のための鍵となる情報である。

2) 衛星の内部構造と組成

ガニメデ(直径 5268km)は水星(直径 4879km)よりも大きく、イオ(3630km)でさえ月(3476km)よりも大きい。ガリレオ衛星は質量・サイズからは衛星というよりも惑星と呼ぶ方がふさわしい天体であり、その詳細探査は地球型惑星との比較の視点で行うことになる。

例えば、ガニメデには固有磁場があり、溶融した金属コアがあると考えられているため、水星との比較の点で重要である。また、カリスト、エウロパでは、岩石・金属が分離しているかどうかまだ

不明である。イオは特異であり、氷・岩石の量比が他の Galileo 衛星と異なる理由は未だ解決しておらず、その詳細探査によって原始周木星ガスディスク内の推定される温度分布に対する重要な示唆が得られる可能性がある。最近、より内側にあるアマルテアに含水鉱物が発見された。これは、木星の衛星が現在の位置よりも遠い場所で形成された可能性も示唆している。また、最近発見された遠領域を巡る「非捕獲起源の衛星群」には探査の手が及んでおらず、原始木星円盤の構成を探る上で、その初探査は重要目標となりうる。

3) 地下海の構造: エウロパ

地形、推定内部温度、磁場観測から、エウロパ、ガニメデには地下海の存在が推定される。しかし、その深さ、含塩類の種類・濃度、有機物の存否といった問題は未解決である。

地下海の存否や深さは、内部における放射性元素の崩壊熱や潮汐加熱の強さにより決まる。その発生熱量は、地殻熱流量を測定することによって見積もることが可能である。現活動域の検出には、表面温度を調査し、輻射平衡温度より高温の部分を探し出すことが重要である。

ガリレオ分光観測から、過去に地下海成分が噴出した場所で水和硫酸塩の濃度が高いというデータがあり、その詳細分布や塩類種の説明が期待できる。表面構成物質は、断層地形や衝突クレータの緩和地形から、低温下での氷 Ih の強度・粘性よりはるかに小さく見積もられる。その要因として硫酸塩等の混入が考えられ、その種類と存在量はエウロパのテクトニクスを解明する上で重要である。有機物の存否、アモルファス氷-結晶氷分布なども重要である。また、周回機による誘導磁場の変動測定で地下海の深さや電気伝導度を制約でき、他情報と合わせて塩分濃度を推定可能である。また、土星の衛星エンセラダスで確認された「氷微粒子とガスの噴出現象」が、エウロパでも起きているかどうか興味深い。

エウロパの「氷地殻」の厚さには不定性が大きい。数 10km 程度であると予想されているが、直接測定されたものはない。電波レーダーにより、地下 10km 程度の深さまで検知することができ、薄い部分や内部の成層構造の取得が可能である。また、周期的な潮汐変形(剛性率によるが 30m ほど)を高度計で検知できれば地殻平均厚さを制約できる。さらに、荷重変形の正確な測定でも可能である。ペネトレータによる人工震源を介した地震測定によって、さらに精度良く決められる。地震計は、潮汐変形に起因する氷地殻内の地震発生の有無の探査にも意義がある。

4) 地殻と火成活動: イオ

岩石天体のイオでも、地殻厚さ、リソスフェア厚さは重要な量である。火山の多いイオにも、非火山性の山地があり、堅い地殻リソスフェアが支えていると考え、高度詳細計測から、その厚さを推定することは可能である。

潮汐エネルギーの支配する天体は、木星の衛星だけではない。最近ではエンセラダスの活動も潮汐力が主因と考えられ、また太古の月も地球に近かった時代に激しい潮汐エネルギーの散逸によってその初期進化が影響された可能性がある。

イオは、太陽系で最も活動的な固体天体であり、潮汐エネルギーを熱源とした火山活動が頻繁

に起きている。また、イオから放出されるガス・エアロゾルは、その内部組成の観測を容易とするだけでなく、木星磁気圏の高エネルギー粒子や高速ダストの源ともなっている。イオ活動の観測は、木星系の起源と環境の双方の研究にとって重要である。これまでイオはフライバイ観測が行われたのみで、火山活動の長期的なモニタリング観測は行われていない。イオ周回機により、リモートセンシング観測に加えて、エアロゾル・ガス分析を直接行うことが可能となる。また、イオに着陸機・ペネトレータを着地させ、地震などの直接計測から火山活動計測、地殻厚さ計測を実施することも高度な科学目標となる。

-3. 磁気圏・宇宙プラズマ

普遍的宇宙プラズマ物理学の構築へと貢献し得る質の「その場」プラズマ観測を行い、リモート観測(オーロラ発光、プラズマイメージング)とを結合させた同時観測によって、木星磁気圏ダイナミクスを解明することを目標とする。宇宙プラズマ物理の視点から木星磁気圏はその高エネルギー粒子が最大の特徴であり、これと強く関連する要素として(1)非常に強い磁場を持つ天体であること、(2)高速自転をしていること、(3)イオという磁気圏内部に強力なプラズマ源を持つこと、を挙げることができる。より具体的には、この三つの要素が結合することで、木星近傍の強い双極子磁場領域での加速、磁場が双極子からディスク状へと変化すると同時にプラズマガスが剛体回転から遅れ始める木星中心から距離 ~ 20 木星半径領域での電磁流体乱流による粒子輸送・加速、外部磁気圏での磁気リコネクションによる粒子の内部領域への再循環、の連携が可能となっていることが、電子から、イオから出た低エネルギーの硫黄イオンまでが、他の惑星では見られないまでのエネルギーに加速されている理由であろう。木星探査は、ここでの物理機構を解明する機会を与えるので、地球内部磁気圏での粒子加速を探求する小型衛星計画ERGの延長線上に位置付けることが出来よう。木星磁気圏は、相対論的エネルギー粒子加速の解明に向けた「その場」観測における最高の観測ターゲットということが出来る。

「その場」観測は、基礎物理量パラメータ(磁場、電場、密度、速度など)を決定できるため、現象の物理的理解にとっては非常に強力な武器である。本計画においてはさらに、「その場」観測と撮像(リモート)観測(オーロラ発光、プラズマイメージング)とを結合させ、詳細観測の現場を包含するマクロスケールのダイナミクスも同時に把握することを狙う。これは、SCOPE・CrossScale計画においては地球磁気圏での編隊観測によって複数スケール同時観測を行うことに対比されよう。実際、エネルギーレベルの高い木星磁気圏は、波長ごとに興味深い撮像観測対象がある。以下に、木星磁気圏探査における観測ターゲットを解説する。

1) プラズマトーラスの理解: 木星磁気圏粒子の起源と輸送

イオから放出された火山性ガスはその周辺に中性雲を形成し、それが電子衝突及び光電離によりイオン化することで木星磁気圏へとプラズマが供給される。イオ起源のプラズマは、まず、「イ

オプラズマトーラス」を形成し、その後、自転による遠心力で励起される交換型不安定性などで輸送される。この磁気圏へのプラズマ供給の効果は大きく、外部木星磁気圏でプラズマ圧力を主に担っているのは硫黄イオンである、つまり、イオ周辺プラズマ環境の変化が木星磁気圏全体に影響を及ぼすと考えられる。また、回転系において内側に重いガスがありそれが遠心力の効果で外へと輸送されることが、オーロラメインオーバルとして可視化される内部・外部磁気圏遷移領域の活動性の起源である。これら粒子の元素分布(電子密度に加え O^+ 、 S^+ 、 S^{++} 等)を測定することによって、磁気圏プラズマ源としてのイオ及びプラズマトーラスの寄与を観測的に明らかにする有力な手がかりとなる。

トーラス周辺でのイオン組成計測は、木星最大の特徴である相対論的エネルギー粒子加速機構の解明にも不可欠な情報である。木星磁気圏は、イオから放出された数 eV の硫黄イオンが数十 MeV までに加速されていることが象徴するように、強力な粒子加速がその最大の特徴である。特に木星磁気圏のように多様な粒子種が共存する場合の加速機構を理解するのに、その粒子種依存性を把握し選択的な機構の有無を観測的に明らかにできることは、「その場」観測ならではの最大の利点である。これを明らかにするためには、広い System III 経度、動径距離にわたったプラズマの直接観測が必要である。「その場」精密観測と同時に、トーラス全体での時間変動を撮像衛星により観測したい。

2) 相対論的粒子加速の解明: 波動・粒子相互作用の観測

木星磁気圏は地球と比べて量および最高エネルギーで1~2桁以上の強度を有する太陽系惑星最強の粒子加速器である。電子は電波観測から最高エネルギー40 MeV 以上、硫黄・ヘリウムなどの重粒子は数百 MeV まで加速されている。木星が強い双極子磁場をもつことは内部領域での断熱加速に有利に働くが、それだけではこれらの高エネルギー粒子加速は説明できない。最近、波動粒子相互作用による粒子加速の研究が物理素過程に基づくシミュレーションを中心に研究が進んできた。地球磁気圏における Akebono・Geotail 衛星観測データと Galileo 衛星による木星探査データの比較から、地球磁気圏の放射線電子(~1MeV)と同時に木星の~10MeV 電子を波動粒子相互作用から説明できる可能性が見えてきた。波動粒子相互作用は宇宙プラズマにおいて普遍的なものであるが、理論研究に伴うさまざまな仮定の妥当性の検証、あるいは、理論研究の新たな展開を動機付ける契機のために、詳細な「その場」観測は必須である。地球磁気圏編隊飛行計画(SCOPE)においても波動粒子相互作用の理解は進み、また、地球磁気圏においても相対論的エネルギーへと到る加速過程を小型衛星計画ERGによって探求するが、さらに高いエネルギー範囲での検証は粒子フラックスが低いために困難である。木星においてこそ、相対論的エネルギー粒子に対する波動相互作用の直接観測を行い、物理素過程の理解と検証が行うことができる。

3) 内部共回転領域、外部磁気圏、それらの遷移領域の理解: 回転系固有の電磁流体力学

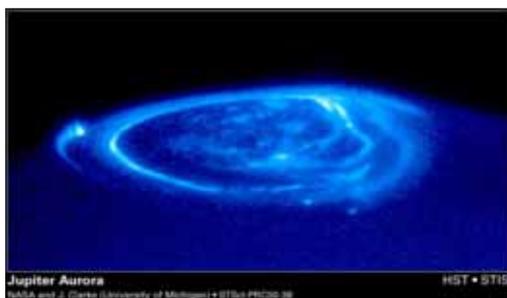
木星近傍の磁力線とプラズマは木星本体と共回転している。共回転は、その根元が木星本体

(電離層)に刺さる磁力線が針金のように張力をもたらすことで維持される。もし磁気圏プラズマが軽ければこのままなのであるが、実際にはイオという強力なプラズマ源が木星中心から～6木星半径の内部磁気圏にある。この結果、木星から離れるにつれ磁気圏プラズマは共回転から遅れるようになる。一方、磁力線は共回転に戻そうとするので、共回転から遅れ始める地点で興味深い磁気圏 電離層結合(オーロラ活動)が期待できる。

実際、共回転からの遅れは木星中心から15～20木星半径の距離の地点で始まり、その磁力線の根元がメインオーヴァルと呼ばれる極をリング状に囲むオーロラが発光する領域である。ここでの物理は、回転系特有の交換型不安定などを内包するなどたいへん興味深いものであることが想像されるが、その本質に迫るデータは取得できていない。この領域でどのようなプラズマ輸送があるのかという問題は粒子加速問題にも直結する大事な問題である。

さらに外側では、磁力線・プラズマ密度はディスク状構造を持つようになる。このディスク中心では反対向きの磁場が向き合うことになるが、伸びきった磁力線は経度にして真夜中過ぎの地点でつなぎ替え(磁気リコネクション)を起こして短くなり、木星方向へと戻ることが知られている。この磁気リコネクションによって加速粒子が再び捕捉され更なる加速を受ける可能性が生まれる。このように粒子加速の視点からも磁気ディスク領域での磁気リコネクションは興味深い。

この外部磁気圏は太陽風の影響を強く受けていると考えられる。上で述べたように外部と内部磁気圏は強く連結しており、木星磁気圏活動全体が太陽風の影響を受けている可能性がある。しかし、地球磁気圏とは異なり、過去の木星探査では上流の太陽風データがなく木星磁気圏活動と太陽風変動との基本関係の理解は進んでいない。従来は、木星磁気圏では自転エネルギーが極めて大きく磁気圏ダイナミクスにおける太陽風の影響は2次的なものと認識されていた。現在は、惑星間空間探査機(Ulysses)データと地球からの木星電波・光学観測との比較から、太陽風がある程度影響を及ぼしている可能性が示唆されつつある。地球磁気圏と同様の、太陽風中の探査機による観測と磁気圏内の観測、あるいは、地球・軌道上の電波・光学リモート観測が結合することで、この問題の解決に決定的な一歩を印すことができる。太陽風動圧の変化による木星磁気圏-電離層結合の変調プロセスは、風の中に浮かぶ回転系という普遍的に在る天体磁気圏ダイナミクスの具体例であるという側面にも留意したい。



4) 撮像観測からの粒子加速理解への貢献:X線オーロラ観測、雷放電からの線観測

木星オーロラは磁気圏粒子(重イオン、電子)のピッチ角散乱による降下による発光現象と考えられていたが、発光強度を説明するにはエネルギーフラックスが足りない。現在、定常的な発光は

「電離圏-磁気圏結合電流系」、或いは、「衛星 - 電離圏結合電流系」の上向き沿磁力線電流領域で加速された電子によると考えられている。ただし、この電子加速は 100keV にも届く(地球では高々10keV)とされる。これらの解明は、磁気圏～オーロラ域へ繋がる電流系の観測によってなされ、具体的には、極域電磁場・粒子の「その場」観測と撮像衛星によるオーロラ観測により、木星オーロラ電流系の検証・解明に大きく寄与できる。

木星での X 線発光は 1980 年代の Einstein 衛星によるサーベイ観測により初めて確認された。近年、Chandra 衛星および XMM/Newton 衛星等によって、木星 X 線オーロラの観測が進みつつある。準周期的な X 線発光は、紫外線で同定された「ポーラーエミッション域のフレア現象」やキロメートル帯電波や高エネルギー粒子観測で同定されている「準周期的バースト現象」との関係が想像され、極域に繋がる磁力線上での強い粒子加速を示唆する。降り込む重イオン粒子種の直接的な同定や重イオンの極域への輸送過程は、準周期現象の起源解明と同様に重要な課題である。「その場」観測による粒子・電波観測と撮像機からの X 線観測との同時観測は、これらの X 線オーロラ発光に寄与する粒子の起源の解明に大きく寄与出来るとともに木星磁気圏における粒子の加速場所の理解に寄与する。

地球を周回する太陽 線観測衛星 RHESSI はしばしば地球の雷放電に伴う 線も検出している (TGRB: Terrestrial Gamma Ray Burst)。スペクトル形状は、10 MeV 程度まで電子が加速されていることを示唆し、これは地球磁気圏での最大エネルギーにも及ぶ勢いである。木星での雷放電に伴うエネルギー開放は地球の 1,000 倍にも及び、このことは木星周回衛星で 線観測への期待を高めさせる。木星探査は、この気象学と宇宙プラズマ物理・高エネルギー天文学とがオーバーラップする興味深い現象を解明する機会をも与える。

5) 木星磁気圏とガリレオ衛星の相互作用: Binary-system のアナログ

ガリレオ衛星は木星磁気圏内に存在する。イオは、太陽系内で最も活発な火山を有する天体であり、そのガス放出は木星周辺の宇宙環境に支配的な影響を与えている。イオの周囲に形成される電離圏は、木星の磁場との相互作用により強力な電場を生成し、その磁力線の根元にイオ・スポットと呼ばれる特異なオーロラを光らせる。ガニメデは、衛星として固有磁場を有する太陽系唯一の天体である。この磁場生成機構そのものがトピックであり、また木星磁気圏内を飛行する別の磁気圏であるため、磁気圏・磁気圏間相互作用を起こしている唯一の天体である。強力な磁場を有する天体とその周囲をめぐる天体とが強く結びついた現象は、木星システムでしか直接観測できないユニークな現象である。普遍的宇宙プラズマという視点に立てば、宇宙には中性子星や原始星の周囲をめぐる磁気天体という設定はあり、そこでも様々なエネルギー開放過程が起きている。木星系はそうした天体現象に対するテストベッドを「その場」観測データとともに提供することが可能であり、天体現象の理解の糸口となると考えている。

4. 大気・本体: 惑星気象学の新展開

木星の大気の複雑で鮮やかな模様は知らない者はいない。しかし、その力学的・熱力学的メカニズムや大気組成すら確実な観測事実はない。木星探査の意義は、様々な点で太陽系ガス惑星の典型であり、Planet-C で詳細に調べられる金星と対をなして、惑星大気の普偏的理解の鍵となる要素を持つことにある。

例えば、木星では、縞模様や大赤斑、オーバル構造の成因さえ、基本的なモデルが同定できないなど、大気理解は非常に初歩的な段階に留まっている。古くから、「浅いモデル」「深いモデル」があるが、単独では説明が難しい。「浅いモデル」には「熱起源説」と「外力(小さい渦)起源説」があり、最近の Galileo などの観測は「外力起源説」を支持している。

木星大気の諸問題の解明には、雲の3次元構造とアンモニアの空間分布、それに鉛直対流を反映すると考えられる雷放電活動の把握が本質的である。また当然、大気力学の本質を決めている水蒸気を何らかの手段で計測することが強く望まれる。

1) 惑星大気力学の普偏的理解

木星大気力学の特徴は、

- ・惑星サイズに対して相対的に高速で自転しており、コリオリ力の効果が非常に大きい
- ・固体地表を持たないガス天体で、大気下部境界がはっきりしない

という点である。地球の11倍の直径を持ちながら2倍以上の自転角速度をもつ木星は、地球とほぼ同じサイズで静止に近い自転速度(地球の1/240)しかない金星と対極にある。また、金星は「スーパーローテーション」と呼ばれる全緯度に渡る西向き高速風で覆われているが、その大気角運動量は固体地表から渡され、全体が流体である木星とは明らかに異なる。しかし、どちらの惑星も雲高度において東西方向の風が卓越するという点では共通している。

木星は太陽距離が地球の5倍と遠く、太陽光入力は比較的小さい。一方、強力な内部熱源を持っているといわれ、そのフラックスは太陽光入力を上回る。探査機による観測から、木星にも積乱雲のあることが明らかになったが、その上昇流は内部熱源によって駆動されると考えられる。この点でも、金星や地球と様相が大きく異なる。

さらに、木星大気の主成分は水素とヘリウムであり、窒素と酸素からなる地球や、二酸化炭素が主成分の金星と比べて極端に軽い。木星大気にも水蒸気が含まれており、その潜熱が大気循環において大きな役割をしていることが推測される。しかし、地球では水蒸気が大気平均分子量よりも小さいが、木星では逆に大きい。これが大気運動へ及ぼす影響は不明である。

多くの点で金星や地球と異なる木星大気の解明は、太陽系外惑星も含めた惑星流体一般の性質を理解する上で本質的な作業である。

2) 大気化学・組成の解明

大気組成について分かっていることは僅かである。例えば、色鮮やかな縞模様や大赤斑の物質同定はできていない。大気力学上最も重要なパラメータのひとつである水蒸気の鉛直分布さえ、

代表性のあるデータはない。唯一ガリレオプローブが直接的な計測を試みたが、予想よりもずっと少ないという結果が得られ、その解釈が難しくなっている。そもそも水蒸気の存在量は、惑星の起源論に影響するパラメータであり、その計測は最重要課題の一つとあって良い。木星の組成分布を調べることは、大気運動を研究する上でも大きな手がかりを与えると考えられている。

3) 太陽系最大の雷放電活動

地球以外の惑星で、唯一雷放電の発光現象が観測されているのが木星である。ボイジャーやガリレオ探査機の観測から、放電1回あたりのエネルギーは地球の1000倍、全球発生頻度は地球と同程度と推定されている。雷放電の観測領域では近傍に積乱雲が確認されており、地球同様の電荷分離・絶縁破壊が積乱雲の活動に伴って起きている可能性が高い。そうであれば、水蒸気輸送を含む「鉛直対流」を表現する有力な proxy として有用性が期待される。また、激しい放電活動は、大気化学的にもインパクトを持つ。メタンやアセチレンの一部は雷放電起源ではないかという説もある。

4) 来るべき観測の姿

以下の観測目標を達成するため、

- ・高空間解像度をもつスペクトル撮像
- ・雷放電発光モニター観測

が必須である。JUNO は大気組成に重点をおいた観測に限られており、ダイナミクス特に積乱雲生成過程を追うことのできる微細構造の観測は、Galileo以降途絶えている。Galileo はデータ量と継続性の点から限界があるため、本ミッションで画期的な前進を期待可能である。

1. 雲層の正体の解明

最上層雲でさえ物質が不明である。落下プローブによる直接的計測やスペクトル撮像による物質同定を行うことが大切である。

2. 雲とアンモニアの分布

「雲の3次元構造」と「アンモニアの水平分布」の把握によって、力学モデルを絞り込むことが可能になる。高解像度のスペクトル撮像によって、雲長高度とアンモニアの2次元分布を求める。近距離からの高空間分解を活かして、積乱雲付近の雲構造を、水蒸気分布と併せて計測できると意義が大きい。

3. 雷雲活動観測

対流圏下部にある積乱雲のダイナミックな活動を、雲頂構造と同時に捉えることで、下部大気からの運動量輸送領域と表層雲構造の変化を対応づけ、力学過程の同定を目指す。特に、これまでの観測で雷放電活動の見つかっていない、ベルトや高緯度域での活動の有無にも留意する。

第 章 ミッション構成案

-1. 軌道計画：例

「日本独自探査案」の検討として進める。一方、欧州側との議論のため、欧州側計画との整合も念頭に入れる。すなわち、木星軌道への投入可能質量推算は、以下の仮定を置く。

- | | |
|-------------|----------------------------|
| a. Launcher | H2A+キックモータ |
| b. 推進系 | 化学推進 |
| c. Cruising | VEEGA 軌道：地球→金星→地球→地球→木星を経る |
| d. 木星周回軌道 | 欧州案(ESTEC 検討案)を踏襲 |

(1) 軌道計画：以下の4例が挙げられる。今回は、「b:VEEGA軌道」を仮定する。

a. 直接投入 (地球 木星、推進系:化学のみ)

脱出速度： $C3 \sim 90\text{km}^2/\text{s}^2$ 巡航期間：約2年

評価： 非現実的

b. VEEGA 軌道(地球 金星 地球 地球 木星、推進系:化学のみ)

脱出速度： $C3 \sim 10\text{km}^2/\text{s}^2$ 巡航期間：6～8年

評価： Galileoと同。化学推進のみで可能。熱設計で、金星軌道を考慮要。

c. EDVEGA 軌道(地球(地球) 地球 木星、推進系:化学+電気)

脱出速度： $C3 \sim 1 - 10\text{km}^2/\text{s}^2$ 巡航期間：5～7年

評価： はやぶさ・ソーラーセイルと同。熱設計で、金星軌道の考慮不要。

d. その他

月・地球スイングバイ、木星スイングバイ等により燃料削減。

燃料量と巡航期間の Trade Off となる。

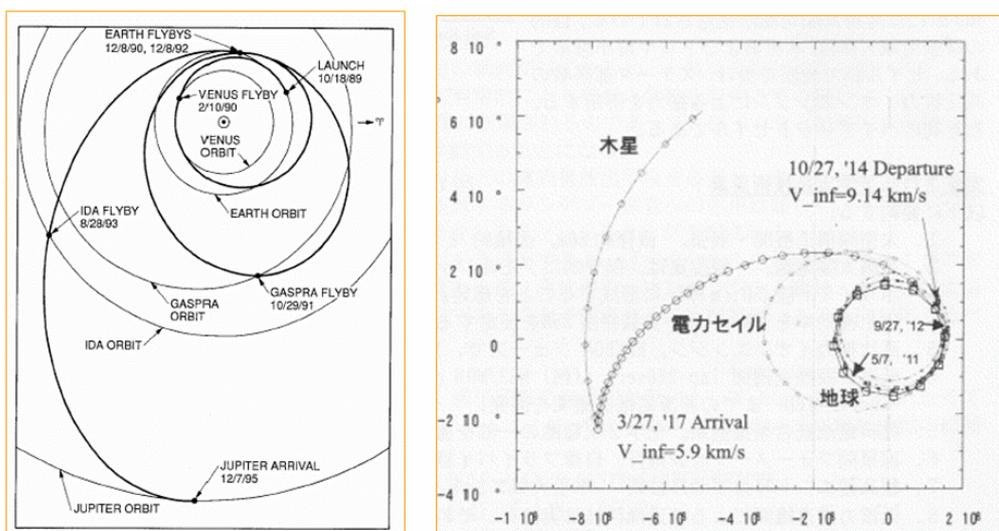


Fig.. III-1.1

巡航軌道案。(左)VEEGA軌道(Galileo計画)。これをベースとして想定。(右)EDVEGA軌道(ソーラーセイル案)。

(2) 重量推算

a. Launcher

先日報道において、MHIが「H2A202」と「H2A204」に今後構成を絞り込む、という報道があったが、この検討は「H2A2024」をベースとする。

また、LauncherでGTOまで投入、キックモータで巡航軌道へ投入する。

- ・欧州案は Soyuz-Fregat (GTO3ton 級) で、木星投入重量 1ton 程度。
- ・本案 (H2A + KM, GTO5ton 級) では、木星軌道投入重量 1.4ton。(H2A 増強型, H2B などより大きな重量が可能(1.5 倍程度))。いずれにせよ、キックモータ開発は必須。

	H2A202-4S	H2A2022-4S	H2A2024-4S	H2A212-4S
2 段投入能力	4100kg	4500kg	5000kg	7500kg
KM 重量	1960kg	2350kg	2390kg	3580kg
探査機初期質量	2140kg	2150kg	2610kg	3920kg

ロケット構成	KMなし	LEO + KM	GTO + KM
使用機体	H2A2024-4S	H2A2024-4S	H2A2024-4S
脱出C3	16km ² /s ²	16km ² /s ²	16km ² /s ²
探査機脱出 ΔV	0km/s	3.91km/s	1.59km/s
2 段投入軌道	地球脱出	300kmLEO	250km×30000km
2 段投入能力	2000kg	11700kg	5000kg
KM 重量	---	9720kg	2390kg
探査機初期質量	2000kg	1980kg	2610kg

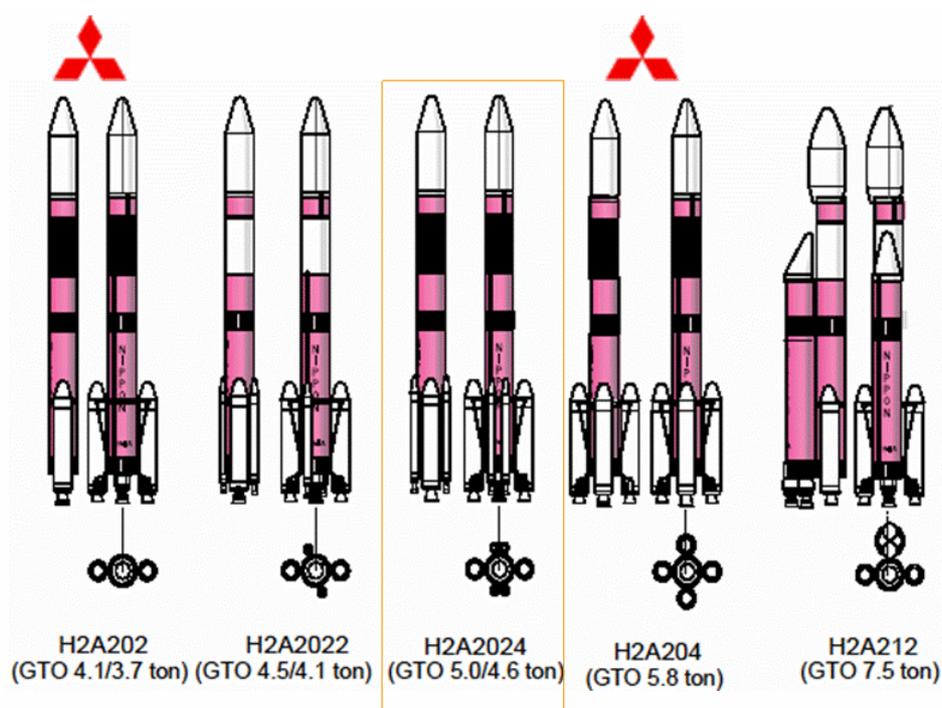


Fig.. III-1.2

H2Aの原稿機種構成
H2A2024をベースとして想定。

c. 探査機重量

VEEGA 軌道による巡航を経て、欧州側想定と同じ軌道に投入した場合の重量は以下となる。

< 木星周回軌道投入重量: Io ~ Ganymede間軌道の場合 >

	地球離脱時	木星軌道投入後
日本側案(H2Aベース)	約2600kg	約1500kg
欧州側案(Soyuz-Fregat ベース)	約2900kg	約1300kg

[注: 公表されている古めの検討から。最新値は変わっている。]

イベント	ΔV	燃料重量	ΔV 後重量	備考
地球脱出時			2610kg	初期重量
TCM	300m/s	262kg	2358kg	
木星周回軌道投入	808m/s	846kg	1774kg	3RJ×300RJ 軌道
木星観測軌道確立	700m/s	387kg	1387kg	Ganymede GA 利用 12.7RJ×27RJ 軌道
エウロパ周回機(ERO)分離			832kg 554kg	(←木星周回機) (←エウロパ周回機)
木星周回機軌道制御 ERO エウロパ投入	400m/s 1300m/s	109kg 204kg	722kg 351kg	(ERO: Ganymede/Europa GA 利用, 200km×200km 円軌道周回)

- ・ 弾道飛行方式の場合、スイングバイを活用。
- ・ 電気推進の場合、1AU 付近で 1~3 年加速してから、地球スイングバイを経て木星へ。システム重量は VEEGA に比してメリットがあり。

(3) 木星衛星との会合(フライバイ観測およびスイングバイ軌道変更)

現想定では、化学推進で木星周回長楕円軌道(3RJ×300RJ)まで投入し、その後の木星圏内の軌道制御は、木星衛星を利用したスイングバイを多用する。

- ・ 黄道面内軌道 木星衛星スイングバイで低高度軌道(12.7RJ×27RJ etc)に投入できる。
- ・ 極軌道 長楕円軌道(10RJ×300RJ 程度)が最終軌道となる。

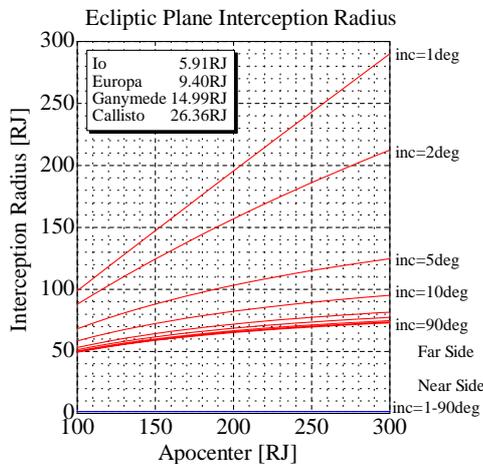


Fig.. III-1.3 軌道傾斜角と木星衛星会合半径.

-2. 周回モジュールの構成案

複数分野に渡って木星圏科学に対するブレイクスルーを実現するため、木星圏における初の「マルチスペースクラフトミッション」、すなわち観測目的に最適化された以下の「3周回モジュール」を実現する。

- A) 木星周回母機：赤道面軌道 500kg 級 (Payload: 約 50kg)**
- ・目標 **巡航&フライバイ観測：** 小さい「非捕獲衛星」、アマルテア等の初精密観測。
木星磁気圏観測： その場観測・撮像観測の結合による、初の木星磁気圏赤道域の大規模構造・高エネルギー加速検出
木星本体観測： 中低緯度の大気構造・運動の初の詳細連続長期間観測。
 - ・軌道 巡航を受け持つとともに、木星衛星のマルチフライバイを経て、「イオ～ガニメデ間」での木星周回軌道に投入する。赤道面軌道となる。
木星からの距離は、 $6 R_j(\text{Io}) \sim 15 R_j(\text{Ganymede})$ 。
 - ・姿勢 3軸制御(対地上通信・木星本体観測に最適化) ないし
スピン制御(スピン軸：地球指向)。
 - ・機能 巡航モジュール全体の制御を実施する。
ESA案にある「リレー衛星機能」付加を検討する。
カメラ等の可動プラットフォームの検討を要する。
- B) ガリレオ衛星周回機：エウロパないしイオ周回 350kg 級 (Payload: 約 30kg)**
- ・目標 **ガリレオ衛星観測：** 表面・地下構造の初詳細観測。
-エウロパケースでは、氷衛星の地下海確認、地下物質の噴出検出等。
-イオケースでは、初の火山・地殻構造解明、上空組成観測で木星起源論。
両者とも、将来の着陸探査への発展を念頭に置く。
 - ・軌道 木星周回軌道投入の後、「木星周回母機」から切り離す。その後、自力でエウロパないしイオの周回軌道に入る。
現在の想定は「200 kmの極周回円軌道への投入」だが、重量軽減および寿命長期化を図るため、高度を上げることを検討。
 - ・姿勢 3軸制御(対地上通信・Galileo衛星観測に最適化)
 - ・機能 オプションとして、軽量の着陸手段(ペネトレータないしランダ)を装備する可能性を検討する。母機との通信機能を検討する。
- C) 木星高緯度周回機 200kg 級 (Payload: 約 20kg)**
- ・目標 **木星磁気圏観測：** 高緯度磁気圏の初詳細観測、および母機とによる初の木星圏マルチ編隊観測によって、地球磁気圏と天体磁気圏の狭間を埋める。
木星本体観測： 木星極域の大気構造・運動の初の詳細観測。木星大気全体の運動の初の詳細観測。

- ・軌道
 - a. 木星周回軌道投入の後、「木星周回母機」から切り離す。その後、ガリレオ衛星とのフライバイによって、軌道面を変え、高緯度領域へ到達可能とする。木星からの距離は、 $6R_j(I_0) \sim 50 - 100R_j$ 。
 - b. 木星周回軌道投入の前に「木星周回母機」から切り離す。その後、自力で木星周回高緯度軌道に投入。
- ・姿勢
 - スピン制御(対地上通信・木星磁気圏観測に最適化)
- ・機能
 - オプションとして、エントリープローブを装備する可能性を検討する。母機との通信機能を検討する。

なお、大きな開発を要するためオプションとしている「ペネトレータ」(ランダ)および「エントリープローブ」について、**-2** および **IV-3** でその目標を述べる。いずれも、想定重量は 100kg 以下 とする。

-3. 技術的検討課題

衛星システムとして成立させるため、以下の検討課題が存在する。具体的検討は、2007年4月以降の課題となる。

a. 全体	H2Aのための高効率キックモータ開発 惑星間巡航軌道/木星周回軌道の設計	
b. 構造・機構	軽量太陽電池パネルの確立 到達後に動作する各種機構部：軽量化・高信頼化・低温動作化	
c. 熱	熱設計・材料開発によるヒーター電力極小化 地球(金星)軌道～木星軌道で一貫成立する熱設計	
d. 電力	太陽電池：低温時動作での高効率化・耐放射線化。 薄膜セルを使った軽量化：可能？ Rigid Cell が必要？ (VEEGAでも電気推進でも、必要なセル面積は同レベル)	
e. 通信	軽量・高信頼の集中電源ユニットによる全電源系軽量化 X・Ka帯対地上通信：送受信機・アンテナの高効率化 モジュール間通信：送受信機・アンテナの高効率化	
f. 推進	スラストの低温動作化	
g. 姿勢	対地球・モジュール間通信と観測の両立	
h. 制御	高度集約型・高度自律型の衛星制御ユニット 観測器統合制御ユニットのシステム制御ユニットとの統合化 観測機器統合制御による自律的観測の実現	
i. 耐環境	耐放射線素子(> 1 Mrad)の開発によるシールド重量低減	
j. 地上	地上2局体制化 Ka対応化によるTLM量増大	
k. オプション-1:	ペネトレータ(ランダ)	熱設計・観測技術等々
l. オプション-2:	エントリープローブ	熱設計・観測技術等々
m. オプション-3:	原子力電源の開発	開発の可否判断からまず必要

第 章 観測機器の候補

-1. 観測機器

基本構成要素として掲げた以下の3モジュール、すなわち

- A) 木星周回母機：赤道面軌道 500kg 級 (Payload: 約 50kg)
- B) ガリレオ衛星周回機：エウロパないしイオ周回 350kg 級 (Payload: 約 30kg)
- C) 木星高緯度周回機 200kg 級 (Payload: 約 20kg)

に搭載すべき観測機器候補について、国内グループの提案とその国際競争力を述べる。現在進行しつつある月探査計画「Selene」、初の本格的な金星気象衛星となる「Planet - C」、現在日欧協力の下で進行しつつある日欧共同水星探査「BepiColombo」、日欧共同磁気圏編隊探査「Scope / XSCALE」、現在計画提案されている小型衛星計画等が礎となるプロジェクトである。

3モジュールの「姿勢」「軌道」「搭載観測機器」の最適化による科学成果の極大化が今後の重要検討項目となる。

1) Galileo 衛星を目標とする観測機器群 (45kg程度)

<高い国際競争力を有するもの>

・地下電波レーダー(兼 電波観測器)

地殻厚さ、内部成層構造を検知に必要な「電波サウンダー」は、あけぼの、Nozomi、SELENE での実績があり、Seleneの成果によって国際的認知が高まるだろう。現在、東北大・JAXA にて小型・省電力タイプの開発を進めつつあり、また必要となるアンテナは JAXA にて SCOPE 計画に連動した開発がなされつつある。電波観測においては、BepiColombo で日欧協力が進められており、そのスキームを直接転用も可能である。本観測項目は、「2) 木星磁気圏を目標とする観測機器群」との共用となる。

・磁力計

小型軽量の磁力計は、BepiColombo・SCOPE 計画に連動して開発が行われつつあり、必要なセンサーの性能および探査機設計の最適化には高い定評がある。

本観測項目は、「2) 木星磁気圏を目標とする観測機器群」との共用となる。

・ダスト計測器

小面積は BepiColombo 計画で開発されつつある。軽量大面積も開発試験中である。

本観測項目は、「2) 木星磁気圏を目標とする観測機器群」との共用となる。

<今後の努力ないし国際協力による参入を要するもの>

・可視・近赤外マルチバンドカメラ (0.4-1 μ m)

軽量の高分解能カメラは、はやぶさでの実績がある。高放射線帯でのカメラ開発は、BepiColombo で東大等において行われつつある。

本観測項目は、「3) 木星本体を目標とする観測機器群」との共用となる。

・近赤外分光撮像(0.7 – 5 μ m)

鉱物調査のためには少なくとも3-4 μ mまでが必要となる。PLANET-Cの近赤外カメラ開発をベースとした新規開発が必要になる。

本観測項目は、「3)木星本体を目標とする観測機器群」との共用となる。

・中間赤外分光計 ないし マルチバンド測光(7-14 μ m)

温度計測に必要な10 μ m付近の観測は、PLANET-Cの中間赤外カメラ開発をベースとした新規開発が必要になる。

本観測項目は、「3)木星本体を目標とする観測機器群」との共用となる。

・ガンマ線分光計、中性質量分析計(イオ周回の場合)

前者はSeleneでの開発実績、BepiColomboでの日欧口協力がある。後者は、Nozomiで米国と協力するとともに、カナダ・E-POP衛星への搭載のためのJAXAの開発がある。いずれも、大幅な性能向上・軽量化・省電力化を目標とした開発を要する。

・レーザー高度計

衛星表面地形・内部構造推定に必要な「レーザー高度計」は、SELENE、はやぶさの実績がある。はやぶさでは、小惑星イトカワの表面を高度20km~40mでデータ取得した。SELENEでは、高度100kmから誤差5m以下、フットプリント40mで測定を行う。

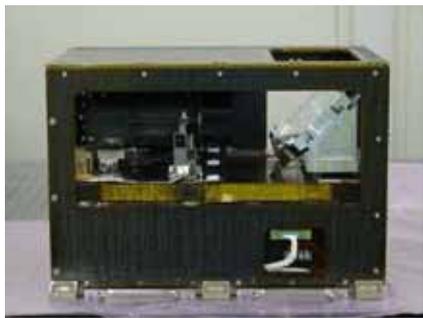


Fig. VI-1.1 Selene レーザー高度計

・重力計測

衛星電波のドップラー追跡による重力測定は「はやぶさ」で行われ、SELENEでは本格的な周回衛星追跡による重力測定がなされる。衛星のVLBI位置決定も、SELENEで世界最高水準のデータを取得される。木星衛星の重力計測にも役立つ。

2) 木星磁気圏を目標とする観測機器群(45kg程度)

木星磁気圏は、その活動度の高さから、地球磁気圏以上にリモートセンシングによる磁気圏撮像観測に向く。初のマルチスペースクラフト観測を「その場観測」と「リモートセンシング観測」の結合によって行うことで、Galileo計画やJuno計画では実現できない「大規模現象と高エネルギー現象との同時相関観測に基づく、木星型磁気圏の究極的な解明」を達成できる。

以下の観測機器は、いずれも、現在日欧協力の下で進行しつつある日欧共同水星探査「Bepi Colombo」、日欧共同磁気圏編隊探査「Scope / XSCALE」、および現在計画提案されている小型衛星計画の中で、国際共同も含め世界トップの高性能・小型・省電力機器を実現できる。

A. 直接その場観測機器 (トータル: 約 35kg)

[粒子計測機器群]

木星磁気圏内で生成されている粒子群を全エネルギー範囲をカバーして初めて観測することによって、木星磁気圏の「構造」「運動」「エネルギー素過程」を初めて解明するとともに、質量分析によって上空から木星衛星群の組成を観測し、木星系起源の解明へ迫る。

特に中間エネルギー粒子観測装置 MEP は、検出器の難しさから観測結果がほとんどない新規の領域となる。さらに、MEP は粒子のエネルギーだけでなく、質量ならびに電荷も測定することが可能である。陽子と電子が殆どの地球磁気圏とは異なり、木星磁気圏は He 以上のイオンが占める世界である。特に粒子の電荷を測定できることにより、その粒子が木星磁気圏内部で生成されたものか太陽風から取り込まれたものかを知ることができる。同時に電荷数をターゲットマーカーとして磁気圏内での粒子の運動・対流を知ることができる。こからは、今までにない精度の良い観測となる。

本観測項目は、一部「1) Galileo 衛星を目標とする観測機器群」と共用できる。

< 高い国際競争力を有するもの >

・低エネルギーイオン観測装置	LEP-e/ion with mass analyzer	5kg *)
・中間エネルギー粒子観測装置	MEP: 1keV ~ 80keV	7kg
・高エネルギー粒子観測装置	HEP-i/e: 50keV ~ MeV	3kg *)

< 今後の開発努力ないし国際協力による参入を要するもの >

・超高エネルギー粒子観測装置	XEP-i/e: MeV ~ GeV	5kg
・熱的粒子観測装置	Thermal plasma analyzer	2kg

特に(*)は現在進行中の各ミッション計画において既に強い国際競争力をもっており、欧州との共同ミッションにおいて主導的な役割を果たしうる。他の機器も、共通技術を背景とした開発が現在進行中であり、同様の構図を構築すべく努力中である。

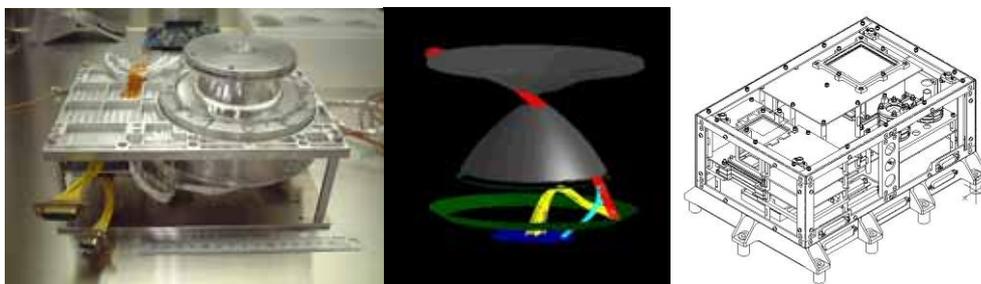


図: (左)INDEX(れいめい)に搭載された LEP 検出器 (中)ERG/SCOPE 用に開発が進んでいる MEP 検出器 (右)2007 年夏打上予定月探査衛星 SELENE に搭載している XEP 相当検出器(フレーム図)

[電場・磁場観測機器群]

木星磁気圏を構築する磁場、運動を支配する電場、高エネルギー素過程を支配する波動、活動域の重要な指標となる電波を粒子・リモートセンシングと同時計測することによって、木星磁気圏の「構造」「運動」「エネルギー素過程」の初解明に資する。

本観測項目は、一部「1) Galileo 衛星を目標とする観測機器群」と共用できる。

< 高い国際競争力を有するもの >

・磁場観測装置	MGF: MASTを含む	4kg
・電場・波動・電波観測装置	PWI: antenna を含む	5kg

これらも現在進行中の各ミッション計画において強い国際競争力をもっており、欧州との共同ミッションにおいて主導的な役割を果たしうる。特に鍵を握る軽量の伸展物は、これまでの日本の厳しい重量制約を背景としてトップクラスの実力を有する。なお、進展物は長期間クルーズ後の低温下での伸展を確実に行うべく開発・試験が必要となる。

B. リモートセンシング観測機器 (トータル: 約 25kg)

木星磁気圏のリモートセンシングは、地上・軌道望遠鏡からの電波観測(シンクロトロン波による放射線帯観測、デカメータ波等によるオーロラ帯観測等)、赤外・可視・紫外線観測(オーロラ発光およびイオトラス観測等)で行われてきたが、周回軌道上での連続モニタをその場観測と結合させることによって、これまで解明できなかった「太陽風、イオアウトガス量変動などと木星活動度との直接的な関係」を初めて解明できる。本観測項目は、一部「1) Galileo 衛星を目標とする観測機器群」および「3) 木星本体を目標とする観測機器群」と共用できる。

< 高い国際競争力を有するもの >

・高エネルギー中性粒子観測	ENA: 50keV-300keV	3kg
---------------	-------------------	-----

< 今後の開発努力ないし国際協力による参入を要するもの >

・オーロラ撮像モニター	UV/X-ray/γ-ray imager	10kg
-------------	-----------------------	------

前者は、水星探査計画 BepiColombo において日欧共同開発中である。後者は、ソーラーセル計画で検討を進めている世界初の「小型X線オーロラ撮像カメラ」の後継発展版として開発を行うものである。

また、軽量の「太陽風モニター」(1kg程度)、「放射線モニター(10~1000MeV)」(3kg程度)の分配搭載によって、サイエンスと衛星安全の同時増大の検討も行う。

3) 木星本体を目標とする観測機器群(10kg程度)

A. 木星極軌道周回機：木星全球大気運動および極気象の解明を目指して

* 目標

- a. 高緯度も含めた雲・雷構造：タンジェントシリンダーの内外で雲構造と雷放電活動に違いがないかを調べる。
- b. 雲の立体撮影(緯度構造)：軌道運動を利用して複数角度から撮影し高度分布を求める。スペクトル撮像による高度推定と比較することで、全球での精密推定を可能にする。
- c. オーロラとヘイズの関係：極域ヘイズはオーロラ分布に対応した緯度に浮遊しており、生成にオーロラ現象に関連する降下粒子が何らかの役目を果たしている可能性がある。
- d. 木星ガンマ線：木星雷放電における絶縁破壊プロセスでは、逃走電子加速が大きく関係している可能性が指摘されている。低軌道衛星にガンマ線センサーを搭載することで、地球での雷雲ガンマ線に類似した現象が捉えられる可能性が高いと予想される。

* 観測器：15kg程度。Selene・Planet-C・BepiColombo の成果にたつことができる

<高い国際競争力を有するもの>

[雷放電発光カメラ]

本観測項目は、「2)木星磁気圏を目標とする観測機器群」との共用となる。

656.3nmの狭帯域フィルターを用いた高速COMSカメラまたはAPDアレイセンサー。

[VLF/VHF 雷電波受信機]

本観測項目は、「2)木星磁気圏を目標とする観測機器群」との共用となる。

雷放電観測用のVLFおよびVHFアンテナと受信機。VLFは波形記録、VHFはスペクトルのみ。できれば3成分、最低1成分。アンテナ次第だが、3-4kg程度。

<今後の開発努力ないし国際協力による参入を要するもの>

[ガンマ線カウンター]

CsIシンチレータとAPDを組み合わせた数10eV-数10MeVをカバーするカウンター。4kg程度。本観測項目は、「1)Galileo衛星を目標とする観測機器群」と共用できる。

[可視・近赤外カメラ(<1 micron, 1-5 micron)]

本観測項目は、「1)Galileo衛星を目標とする観測機器群」と共用できる。

<1 micronはCOMSセンサー。フィルター方式なら5色で構造2-3kg程度。現在開発中の液晶波長可変フィルターを用いる場合、更に1-2kg程度増加する。

また、「1-5 micron」のカバーによる大気微量成分の運動トレースも重要目標であり、この開発は新規に行う必要がある。

B. 木星周回母機・Galileo 衛星周回機：木星の内部構造・雲構造の解明を目指して

* 観測器：Selene・Planet-C・BepiColombo の成果にたつことができる

<今後の開発努力ないし国際協力による参入を要するもの>

[可視・近赤外カメラ(<1 micron, 1-5 micron)]

既述。本観測項目は、「1)Galileo 衛星を目標とする観測機器群」との共用となる。

これによって、以下の目標の達成を目指す。

- a. 木星の自由振動検出：高時間分解(1分)の連続撮像(>数週間)
- b. スペクトル撮像による雲の立体撮影(主に中低緯度域モニター)

VI-2. ペネトレータ(オプション機器)

ペネトレータは惑星、衛星の内部直接構造探査を主目的に開発された、ハードランディングタイプの観測プローブである。軟着陸機とは異なり、惑星表層に毎秒数百メートルの速度で貫入させるのが特徴である。一般的には1機あたりのシステム重量が軟着陸機と比較して軽量であるために複数機体を設置したネットワーク観測の可能性を広げる。さらに地表面から数メートル貫入させることにより地表面とのカップリングを保つことができ、地震観測、熱流量観測にとって良好な観測条件が実現される。現段階の推定によると速度毎秒数百メートルの速度ではペネトレータは氷中でもメートルオーダーの貫入が期待される。我々は月内部構造探査計画(LUNAR - A 計画)で重量 13.5kg、速度約 300m/s で貫入させるペネトレータを開発し、現時点においては LUNAR-A 搭載用ペネトレータの開発をほぼ完了している。わが国において本技術は世界的に優位な立場を維持しており、多くのノウハウも蓄積している。従って、将来の月惑星探査に国際的にも貢献が期待できる有力な観測プローブである。ここではペネトレータを用いた表層部および内部構造探査を提案する。

ペネトレータによる探査の科学的意義

ペネトレータによる探査の科学的な最大の意義は地震探査により内部速度構造を決定することである。LUNAR - A計画でも月地震(月震)観測による内部構造探査は最大の科学目標であり、センサー開発、観測手法を確立し、木星衛星への適用についてもこれまでの蓄積技術を応用できると考えている。内部速度構造が明らかになると、物質の特定(氷とシリケートの割合など)、金属コアの存在、深部海が存在などについて決定的な証拠を得ることができ木星衛星の起源、進化への解明に向けて飛躍的な進歩が期待される。地震観測では得られる科学的成果が設置機体数で大きく左右される。内部構造を決定するためには3機以上設置することが望まれる。2機以下の場合では震源位置をある程度仮定して内部構造を推定せざるを得ないが、震源用のマスプローブを投下しアクティブに振動を発生させることができればこの問題点のある程度解決できるだろう。

ペネトレータが地中に埋設されるために熱流量観測の可能性も考えられる。このためには埋設された環境の熱伝導率と温度勾配を計測しなければならない。木星衛星の中には大きな潮汐力を発生するものがあると考えられており、低い精度でもその値を推定できればその科学的価値は

多大である。

表層部分における化学分析直接試料をサンプリングできるのでリモートセンシングでは不可能な物質や1～2桁高い精度での分析が可能と考えられる。氷衛星においては生命の存在可能性も考えられ表面でのその場化学分析は重要である。これらの装置を搭載することは新規開発であるが長期間の開発項目として目指すべき搭載機器である。

ペネトレータによる木星圏探査衛星搭載にむけた開発課題

これまで開発したLUNAR - A搭載ペネトレータを木星衛星探査機搭載用に変更、改良するには多くの課題がある。特に、ペネトレータの投下システムは「スピントップの母船にシビヤなインターフェース条件が必要」なため、搭載可能性が著しく制約される。たとえば3軸制御スラスタを用いた投下など別のシステムの検討・開発が必要である(図参照)。また、表層温度が100K程度である可能性があり、搭載機器の耐低温対策、温度保持のための熱制御機構などの導入の検討が必要である。



LUNAR - Aタイプ以外のハードランダの可能性

「LUNAR - Aペネトレータ」は弾丸形状をしているが、これには複雑な投下システムを必要とする。「円盤形状」や「球形状」のプローブは、貫入距離・衝撃性・搭載スペースで不利だがより単純な投下システムで実現可能である。LUNAR - Aタイプにとらわれず、多角的な検討によって内部構造直接探査の道を切り開くことを検討する。

VI-3. エントリープローブ(オプション機器)

木星における電離圏より低高度での観測は、ガリレオ探査機によるエントリープローブによって一度行われたのみである。米 JUNO 計画でも、エントリープローブは断念している。しかし、低高度でしか実現しない重要なサイエンスがあり、オプションとして検討を行う。

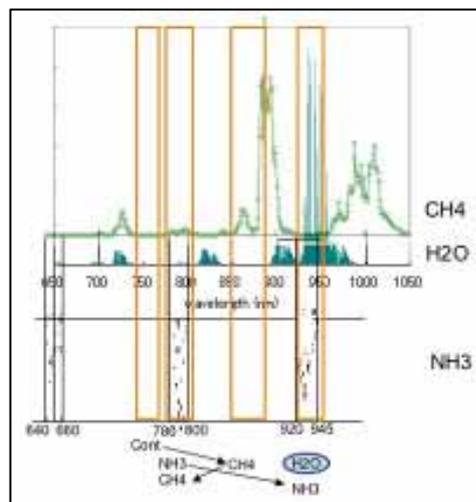
到達深度と重量に密接な関係がある(大深度を狙って現在欧州で同様オプション機器として検討されているエントリープローブは、300kg以上の重量に達している)。このため、以下のサイエンス課題を念頭に置きつつ、どこまで軽量プローブによって画期的成果をもたらさうか、慎重な検討を実施していく。

1. 水蒸気・アンモニアの鉛直分布

本観測では、可視・近赤外領域の最低4色のダイオードフォトメータによって太陽散乱光の測光を実施する。リソースが許すならより多波長でのスペクトル観測が望まれる。

木星大気理解において、組成の計測は非常に重要な位置を占める。米 JUNO 計画では組成

サンウンディングを軸にした観測が行われるが、リモートセンシングによる測定によって広範囲を確実にサーベイできる反面、絶対値計測はできない。ガリレオ探査機は水蒸気などの鉛直プロファイルの導出を目的としてエントリープローブ投入を行ったが、予想された量の水蒸気は検出されなかった。絶対水蒸気量の確認は JUNO の知見を活かす上でも最重要課題である。またアンモニアの鉛直分布は、大気ダイナミクスに大きな制約を与えることができる。本来5機程度のプローブを異なる地点に落下させることが望ましい。が、実績がガリレオプローブのみであり、1機でも意義は大きい。複数プローブの場合、落下地点にはさまざまな選び方が考えられる。また、到達高度(気圧)は最低 5 Barr、できればガリレオプローブと同じ 20 Barr 以上が望ましい。



2. 雷放電電波の検出

最低 1 成分の VLF 帯での強度計測を実施する。可能なら、3 成分での波形計測を行う。

木星雷放電電波は、軌道上でホイッスラー波が観測されているものの、エントリープローブでは明確な信号を捕らえられなかった。積乱雲から近い距離に落下できれば、雷放電活動やそのメカニズムの詳細の解明によって、木星大気圏を支配する積乱雲のダイナミクス解明に貢献する。

3. シューマン共鳴の観測

0.1-1Hz 帯に高い感度を持つ 3 成分の磁力計観測を実施する。

地球では、雷放電電波が地表-電離圏間ダクト伝搬によって、基本周波数が 8Hz の「シューマン共鳴」と呼ばれる現象が観測される。木星で同様の共鳴が確認できれば、地球の地表に相当するダクトの下部境界、つまり木星深部の貴重な情報が得られる。

4. 放射線帯粒子モニター

数 MeV 以上の高エネルギー粒子のカウントを実施する。

木星放射線帯への突入は非常に困難なため、Galileo 本体の木星本体突入時のデータがあるのみである。周回衛星の同時観測環境下において放射線帯の内部観測を行うことによって、太陽系最大の高エネルギー粒子生成機構の解明を果たすことが可能となる。

第 章 今後の予定

ここで想定する日欧共同の木星圏総合探査は、2020年代打ち上げの大型計画である。欧州側では、2007年2月に公示が予定される ESA Cosmic Vision 2015-25 に提案される。提案締め切りは2007年6月であり、その段階ではミッション・コンセプト提案である。日本が国際共同計画として参加することに興味があることを示すのに、「Letter of Intent」を提出する必要があり、その母体は本WGとなる。このことが、この時期に本WGを国際協力対応型として設置する提案を行う理由である。

設置後、本WGでは、今年度内に来年度から開始する工学を巻き込んだコンセプトスタディのベース案を固める作業を行うと同時に、欧州での提案書作成にも積極参加する。具体的には、欧州で行われる2月末の木星探査技術に関する懇談と3月初めの提案書執筆の分担決定会議に出席する。

2007年の提案締め切りまでの欧州側での日程をまとめておく：

2007年2月	ESA Cosmic Vision 提案受付の公示
2007年3月	Letter of Intent の締め切り
2007年6月	提案締め切り

2007年6月の提案締め切り後の欧州側での日程は以下の通りである：

2007年10月	第一次選定。3案が選定され、ESAでの技術検討へ。
2011年4月	第二次選定。2案が選定され、メーカーでの検討へ。
2016年	第三次選定。選定されたものは実装へ。
2020年以降	打ち上げ

これと同期させて日本側でも数年をかけて検討を進め、適切な時期に国際協力対応型である本WGをミッション検討WGへと格上げする。

第 章 チーム構成

2007年3月までは、木星科学に関連する地球惑星科学者からなる「有志メンバー」で構成する。
2007年4月からは、検討の進展状況(および「月惑星探査センター」構想の進行状況)を踏まえて拡大していく予定である。

-
- ・代表: 佐々木晶(国立天文台)、藤本正樹(JAXA)
- ・副代表: 高橋幸弘(東北大)、笠羽康正、高島健、岡田達明(JAXA)
- ・仮発足メンバー(随時追加予定):
- <北海道大> 山本哲生、杉山耕一郎、香内晃、倉本圭
 - <東北大> 森岡昭、三澤浩昭、土屋史紀、坂野井健、小野高幸、熊本篤志、岡野章一、加藤雄人
 - <独協医大> 野上謙一
 - <東大> 吉川一朗、星野真弘、杉田精司、宮本英昭、栗田敬、木村淳
 - <東工大> 長井嗣信、井田茂、生駒大洋、小林直樹、谷川享行、浅野芳洋
 - <東京海洋大> 大橋英雄
 - <立教大> 平原聖文、小笠原桂一
 - <名古屋大> 三好由純、関華奈子、水野亮、荒川政彦、深沢圭一郎
 - <京都大> 大村善治、町田忍、能勢正仁、橋本弘藏、山路敦
 - <大阪大> 中嶋悟
 - <広島大> 長沼毅
 - <愛媛大> 村田健史、清水徹
 - <高知工大> 山本真行
 - <高知高専> 今井一雅
 - <九州大> 中島健介、湯元清文、河野英昭、吉川顕正、羽田亨
 - <福岡大> 竹内覚
 - <鹿児島高専> 野澤宏大
 - <国立天文台> 荒木博志、高遠徳尚、今田晋亮、原田雄司
 - <国立極地研> 田口真、海老原祐輔
 - <NiCT> 寺田直樹、笠井康子、近藤哲朗、中川史丸
 - <理化学研> 滝沢慶之
 - <IRF> 二穴喜文
 - <CalTech> 天間崇文
 - <JAXA> 今村剛、阿部琢美、向井利典、前澤冽、中村正人、佐藤毅彦、早川基、斉藤義文、篠原育、松岡彩子、浅村和史、山崎敦、寺菌淳也、田中智、飯島祐一、長谷川洋、横田勝一郎、田中健太郎、宮下幸長
- ・オブサーバ 津田雄一(JAXA)、西田篤弘(総研大)、大家寛(福井工大)、石田十郎(NTSpace)
-

Appendix 1 検討履歴

< 日本側 >

- 2006年3月: BepiColombo 定例会合において、ESA Adv. Concept Office と会合、2020年代初頭における将来木星探査計画への協力の可能性の打診。
- 2006年4月: European Geophysics Union 会場において、欧州側科学者代表・Michel Blanc (CESR, France) と日本側代表・藤本が会合。次期磁気圏編隊探査、木星探査双方での協力検討を行うことを了承。
- 2006年6月: ナント(フランス)における計画検討会議に日本から出席。
理学委員会において、ESA Cosmic Vision 2015-25 において国際共同計画として提案を前提に検討を進めていることを報告。
- 2006年7月: 北京 COSPAR 会場において欧州側関係者と日本側関係者の会合。
- 2006年9月: ベルリンにおける計画検討会議に日本から出席。
続いて、ESTEC にて打ち合わせ。
- 2006年10月: ロンドンにおける計画検討会議に日本から出席。
立教大学における「宇宙プラズマ探査の将来構想国際会議」において欧州側関係者と日本側関係者の会合。
- 2006年11月: 相模原での地球電磁気・惑星圏学会の将来構想特別セッションにおいて、国際共同木星圏探査計画の検討を報告。欧州側への対応を日本側関係者で協議。
理学委員会で示された「国際協力対応WG」の設立を提案することを決意。
- 2006年12月: サンフランシスコAGU会場において欧州側関係者と日本側関係者の会合。
日本国内WorkShopを開催し、WG 設立準備の具体的作業を開始。
- 2007年1月: 欧州側での提案に向けた作業分担・日程案の決定。

< 欧州側 >

欧州側の検討履歴は以下のホームページで知ることができる:

<http://jupiter-europa.cesr.fr>

欧州側ではいくつかのチームを作って検討を進めているが、その中に「木星系の起源」チームというユニークなものがある。これは、探査計画の議論に直接的には関与しにくい惑星起源論の理論家グループとの接触を密に維持するための仕組みである。日本側の理論家もこのチームに参加しており、今回の国際共同化は木星系・太陽系起源論の理論研究の日欧国際交流を促進することにも大いに役立った。

ミッションの実施まで先が長いこと、また、惑星科学分野全体を動員する大型計画であることから、ミッション成果はデータ解析結果だけに依るのではなく、科学者コミュニティの期待を高めながらサイエンスをリードする面にもあるべきである。今後、さらにサイエンス議論のためのチームが作られ、日欧間の研究者交流が促進される。これは BepiColombo 計画では既に実施されており、この意味でもこの「木星圏総合探査計画」は BepiColombo の後継である。