

惑星科学、生命圏科学、および天文学に向けた紫外線宇宙望遠鏡計画 (LAPYUTA)

① ビジョンの概要

宇宙の「物質と空間の起源の理解」と「生命の可能性の探求」は人類の最も基本的な科学目標である。惑星探査と相補的な望遠鏡を最大限に活用し、太陽系天体の生命生存可能環境の理解を進める。その知見を系外惑星に拡張し多様性の理解に取り組む。物質と空間の起源については、銀河形成や重元素の起源についての未解決問題に取り組む。これらの課題に今後 10 年で先鞭をつけ、その後の大型計画と国際協力により理解の深化を目指す。

② ビジョンの内容

宇宙における「生命の可能性の探求」では、(1)惑星系の仕組みの解明、(2)生命生存可能環境をもつ天体の発見、(3)生命を育む様々な環境の理解、が必要とされている。(1)のためには太陽系内の多様な天体を直接探査するのが理想だが、地球に近い天体の探査に加えて地球周回軌道や地上の望遠鏡を最大限に活用して進める。(2)では、地球型惑星大気の進化の中での生命生存可能環境の獲得と喪失を理解するため、惑星環境への外的要因となる恒星と惑星

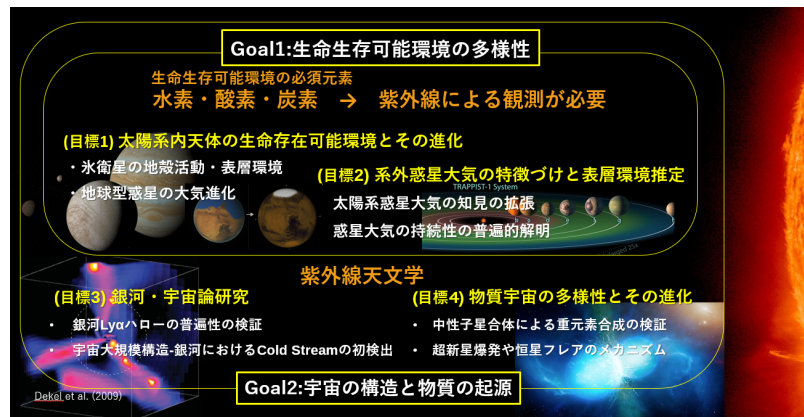


図 1 LAPYUTA の科学目標

の相互作用に加え、恒星活動の理解も目指す。今後 10 年で多数の同定が期待されるハビタブルゾーン内の系外惑星に対しては、大気の特徴づけを通して表層環境の推定を行う。太陽系の天体の詳細な知見を系外惑星系に拡張し、天文観測と太陽系探査の融合を進めることが欠かせない。(3)は LAPYUTA の直接のスコープからは外れるが、地球科学と生命科学の知見の融合が必要となる。「宇宙の物質と空間の起源の理解」では、銀河がどのように形成され、多様な星や惑星系が生まれてきたのかを理解する必要がある。宇宙の構造形成の歴史に残る基本的な問題のひとつに銀河の形成過程がある。銀河は、星形成銀河や活動的な超巨大ブラックホールを持つ銀河など、多種多様である。宇宙論スケールでの銀河分布が示す物質のフィラメント構造は標準的な理論枠組みであるラムダ項入りの冷たい暗黒物質 (Λ CDM) モデルで説明されるが、銀河形成に関わる様々なバリオン過程は、宇宙史を通して多くの課題と疑問が残されている。これは銀河形成の背後にある星形成とそれらを引き起こし抑制する物理過程を明らかにするための重要な観測的証拠が欠落しているためである。宇宙の物質進化においても根本的な問題が残されている。ビッグバンにおける軽元素の合成過程や、ヘリウムから鉄までの元素が恒星中心での核融合反応で合成される過程はよく分かっているが、鉄より重い重元素の起源は十分に分かっていない。重元素の元素合成過程の解明は中性子星合体や超新星爆発に伴う元素合成過程の解明が鍵となり、爆発直後に出現する高温ガス中の重元素の詳細な観測が不可欠である。

③ 学術研究構想の名称

惑星科学、生命圏科学、および天文学に向けた紫外線宇宙望遠鏡計画 (LAPYUTA)

④ 学術研究構想の概要

宇宙の「生命生存可能環境」と「構造と物質の起源」の理解を目標とし、紫外線の分光及び撮像観測により 4 つの科学課題に取り組む。太陽系内の天体では巨大惑星の氷衛星と地球型惑星大気に焦点を当てる。氷衛星には表層の氷殻の下に地下海が存在し、地球とは異なる生命生存可能環境を持つ可能性がある。火星と金星では、過去に大量に存在したと考えられる水や温室効果ガスが大気散逸を通して失われた可能性があり、大気進化の解明は地球型惑星の生命生存可能環境の形成の理解につながる (課題 1)。系外惑星では大気の検出と特徴づけを目指す。太陽系の知見を系外惑星大気の特徴づけに拡張するとともに、惑星環境に影響を与える恒星活動の探査を進める (課題 2)。宇宙の構造と物質の起源の課題に対しては、宇宙の構造形成において未解決の銀河形成 (課題 3) と、鉄より重い重元素の起源 (課題 4) の問題に焦点を当てる。氷衛星の表層

から噴き出す水や惑星大気から散逸するガスにより、天体には外圏大気・電離大気が形成される。課題1と2では、多様な太陽系天体・系外惑星の外圏・電離大気を網羅的に観測し、太陽系内天体の理解の深化と系外惑星大気の特徴づけを通して、生命生存可能環境の多様性・普遍性の理解を進める。課題3では銀河周辺物質の構造を調べ、宇宙構造形成の枠組みで予言されたガスの流入による星形成を検証する。課題4では中性子星合体直後の高温ガス中の重元素イオンの観測を通して重元素合成過程を解明する。

⑤ 学術的な意義

LAPYUTAは、宇宙の「生命生存可能環境の探求」と「構造と物質の起源の理解」という学術的に重要な2つの目標の解明を目指す。生命生存可能環境の探査という観点から、ガス惑星を周回する氷衛星と地球型惑星の大気進化の研究が太陽系探査の焦点となっている。氷衛星は「第二のハビタブル環境」を持つ天体として注目されており、氷衛星の観測から地球とは異なるハビタブル環境の解明が期待されている。火星・金星では、かつて存在した水が失われた要因の一つとして宇宙への流出が重要視されており、現在も大気中の水蒸気や温室効果ガスが流出している。大気の流出量の空間および時間変化の法則性を見出すことで歴史上失われたガスの総量に制約を与えることが期待される。太陽系天体の詳細な知見と、今後の天文観測から得られる恒星系天体の統計情報を組み合わせることで、惑星系における普遍的な生命生存可能環境の理解を深めることができる。生命生存可能環境の探求の背後には、宇宙そのものの進化や、宇宙の構造が現在の姿に至る過程についての根本的な興味がある。宇宙の構造形成史に残る基本的な問題として銀河の形成過程がある。銀河形成の背後にある物理過程を明らかにするために欠落している重要な観測的証拠を新たに得ることによって、理論的な研究によって提案されている銀河形成のシナリオの検証が可能となる。宇宙の物質進化については、中性子星合体の直後に出現する高温ガス中の重元素の観測により、元素合成過程を明らかにし、宇宙の物質進化の解明に寄与する。

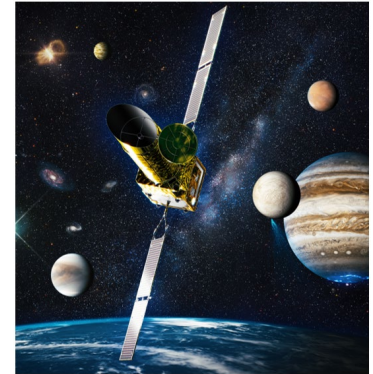


図2 LAPYUTAの想像図

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

氷衛星は2030年代の国際探査の対象となっており、2035-2050年代のESAのL-classミッションVoyage2050においても、Moons of the Giant Planetsが実施候補の1つに位置づけられている。火星、金星においても2030年代に複数の探査計画が予定されている。さらなる系外惑星の発見をめざす計画としてはTESS、JASMINE、NGRST(Roman)、PLATOがあり、可視赤外線トランジット分光による大気観測を行うJWST、ARIELがある。一方、ハッブル宇宙望遠鏡の退役後に紫外線波長域をカバーする高解像度の宇宙望遠鏡はなく、LAPYUTAは2030年代の紫外線観測を担う。その場の詳細観測を行う惑星探査と、空間構造を俯瞰する撮像観測を行うLAPYUTAの協調観測により、科学成果の最大化が期待できる。

⑦ 社会的価値

LAPYUTAは、様々な太陽系内・系外の惑星の観測を通して、生命生存可能環境の形成・進化に関する普遍的な知見の獲得を目指す。これを通して、地球の様な惑星のシステムとその進化過程の理解を深め、変化の途上にある地球環境の未来を科学的知見に基づいて予測し、人類の文明の持続に資する知的価値をもたらす。また、キー技術を通して、国産技術の育成による宇宙ミッションの重要技術の安定供給にも貢献する。

⑧ 実施計画等について

実施計画は、概念検討期間(3年)、プロジェクト準備期間(3年)、プロジェクト期間(開発6年、運用3年)からなる。2023年度にJAXA宇宙科学研究所の公募型小型計画6号機候補に選定され、プロジェクト準備期間に向けた検討の具体化を進めている。プロジェクト準備期間では、高い空間分解能要求を早期に検証するため、主要部品の試作と評価を実施する。プロジェクト期間では、エンジニアリングモデルの評価を通してフライトモデルの設計と製造を行う。2032年に打ち上げ、3年間の観測で4つの科学課題を実現する他、年間1-2カ月の公募観測期間を設ける。プロジェクト期間終了後は、最長9年の後期運用観測を実施する。実施機関はJAXA宇宙科学研究所で、プロジェクト経費の試算額は172億円である。

⑨ 連絡先

土屋 史紀(東北大学)