JAXAブリーフィング 水星および木星系の探査

岡田 達明1

(要旨) 日本が目指す将来の水星および木星系探査の進め方、開発や検討の状況を報告する。水星や木星は固体惑星・大気・宇宙プラズマにわたる分野横断的に重要な研究対象である。その一方で長期間の宇宙航行を余儀なくされ、熱や放射線などの環境条件を克服する必要があるなど技術的制約が厳しく、探査の機会も限定される。それゆえ分野横断的な総合探査を国際協力も含めた最高の技術水準・規模で実施するのが望ましい。そのため長期戦略に立脚したプログラムとして立案し、その実現に向けた技術開発や基礎研究を進めてゆくスタンスが求められる。

1. はじめに

水星と木星では、小型の岩石惑星と大型のガス惑星、 内惑星と外惑星、という大きな違いがあるにもかかわらずここで同時に取り上げる理由は、科学目標よりも 探査計画立案の技術的困難さや過去の探査実績の度合いで整理したためである。

人類は先ず地球・月圏における宇宙技術を開発し、 有人探査を含めた大規模な計画を進めてきた。アポロ やルナによる合計9回の月試料サンプルリターンのほ か、周回軌道や月面での科学探査がなされた。その後 も最近の「かぐや」まで数機の探査機が送られている。 月探査は科学、有人の両面で今後の最重要な国際的な 探査対象と考えられている。金星・火星圏には失敗も 含めてともに30機以上の無人探査機を飛ばしている。 特に近年は火星に2年毎に探査機を送り、地質・気候・ 生命を中心に火星集中探査が進められている。金星で もプラネットC計画など大気観測を主題にした探査が 進行中である。小惑星や彗星など始原的小天体にも、 地球軌道に接近する時機を狙って探査機を送り、スタ ーダストと「はやぶさ」のサンプルリターンに代表さ れる探査が精力的に進められている。

一方、水星はマリナー 10号の 3 回のフライバイ (2008年1月14日にメッセンジャーが1回目のフライバイ)のみである。木星はパイオニア10、11号やボイジ

1. 宇宙航空研究開発機構

ャー1,2号のフライバイとガリレオによる探査のみである。ガリレオは大規模探査であったが、高利得アンテナの不具合によって最小限の成果に留まった。つまり水星と木星は偵察的な探査が実施され、いくつかの重要科学課題が明確化されている状況にあり、それらを解明するための本格的な探査の実現が切望されている。

しかし、水星や木星の探査には高い推力と長期間の 宇宙航行が必要である。探査機や搭載機器の軽量化、 高機能化、熱対策や放射線耐性など耐環境設計等の技 術課題の克服が必要である。当然、安価な小型探査で は実現困難であり、打ち上げ機会も限定される。それ ゆえ限られた探査機会を有効活用するための策を講じ る必要がある。

2. 太陽系探査の基本方針

2.1 太陽系探査ロードマップ

太陽系探査における主要な科学目標は、JAXA内外の研究者によって議論された太陽系探査ロードマップ[1]が基となる。それによれば、1)太陽系および惑星の起源・進化の解明、2)太陽系および惑星圏の環境の解明、が主課題である。前者は特に太陽系始原物質の分析や惑星内部構造の探査などを軸に、後者はプラズマ物理、生存圏の理解などを軸に進めてゆく。

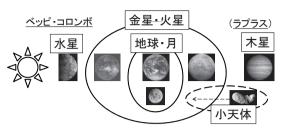


図1: 地球からの距離(探査機の到達しやすさ)で分類した太陽 系探査の対象、水星や木星系はこれらの中で探査の実現 が最も技術的に難しいグループに属する(画像:NASA, JAXA提供)

太陽系探査の進め方には今後2通りが考えられる. タイムリーな科学課題を厳選し追求する旧来の方式と, 長期的視点でプログラム的に進める方式である. それ ぞれの方式の長所を活かし,規模の大小も適宜織り交 ぜて探査を実施してゆくことが重要である. 但し太陽 系探査の場合,打ち上げから到着まで数年以上,水星 や木星では5~6年かかるため,結果を見てから次の 主課題を検討する方式はもはや適当とは言えず,ある 程度の戦略性をもって当たる必要がある.

2.2 水星・木星探査の進め方

水星・木星に到着するまでに大きな速度変化(ΔV)を必要とするので、探査機重量に占める推薬や推進系の割合が高く、観測系が相対的に乏しくなる。日本独自の探査計画を立てる場合は小規模かつ目的を限定した探査なってしまう。この場合、ある重要な発見があり、課題が見つかっても、次の探査を行う機会の目処すらない状態となる。ゆえに分野連携の総合的探査を行い、技術的最高の観測データをひと通り収集する正攻法が、長期的にみても最適といえるだろう。これは探査計画が大規模かつ高額になることを意味する。しかし、国際協力まで含めた大型探査を実現させてこそ、大きな科学的貢献を果たすことができる。現在、水星探査は欧州のCornerstone枠で選定されて日欧共同で開発を進めており、木星探査は欧州のCosmic Visionの枠で日米欧で検討を進めている。

3. 水星探查

3.1 水星の科学

水星の主要な科学的課題は[2], 1) 水星の平均密度



図2: メッセンジャーのフライバイで撮像された未撮像側の写真、丸い領域は直径1300kmのカロリス盆地である. 月のオリエンターレ(東の海)などと異なり, 見た目で存在自体がよく分からないほど色の明暗差が小さい. これはマグネシウム数が100近い還元的マントルをもつことを意味するのか、解決は今後の探査に期待される(画像:NASA提供).

が大きい理由(水星の起源), 2) 太陽系内縁部の酸化 還元環境の理解(水星は還元的か?), 3) 水星固有磁 場の構造とその成因, 4) 水星の地殻変動(熱収縮かテ クトニクスか), 5) 希薄大気の成因, 6) 水星磁気圏 の構造と変動, 7) 水星の極の氷の有無, などである. まさに固体惑星・大気・宇宙プラズマ科学の総合探査 の対象である. 固体惑星分野については特に, 低高度 周回による重力場の精査や太陽潮汐による水星形状の 変位調査による内部構造の理解, 全球の平均組成や放 射性元素存在比の決定による地殻物質や地殻形成モデ ルの構築, 低高度および高高度での同時磁場測定によ る水星内部磁場の構造の精査などが必須である.

3.2 水星探査

水星は地球からみた太陽離角が小さいため観測が難しく、過去に反射スペクトルや赤外スペクトル観測、大気観測、レーダ探査による極氷など限られた観測が行われたのみである。水星はマリナー 10号によって初めて直接探査され、無数のクレータに覆われた大地や、数100kmに及ぶ断崖地形、水星固有磁場を発見した。但し、表面組成の情報は皆無である。マリナー10号による1974~75年の3回のフライバイに続き、メッセンジャーが最初のフライバイを2008年1月14日に実施した。これで未撮像側の半球の多くの地域が撮像され、ようやく水星がその全貌を現した。メッセンジャー[3]はNASAのDiscovery(既存技術で短期間に

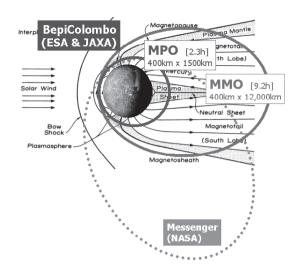


図3:メッセンジャーおよびベッピ・コロンボ(低高度:MPO,高高度:MMOの2機同時観測)の水星周回軌道の比較、メッセンジャーは長楕円で北極側に近水点がある特殊な軌道をもつ.

開発, 単目的の探査)クラスのいわば中小規模探査である。水星本体の地形や組成, 重力場, 周辺プラズマ環境などの探査を行い, 水星の知見を大きく前進させる重要な科学的成果をもたらすと期待されるが, 長楕円軌道のため解像度, 分解能, 精度に限界がある.

この後に実施される水星探査としては、総合探査による多項目にわたる精査である。低高度・高高度周回の2機構成にする必要があり、探査計画は必然的に大型化する。ベッピ・コロンボ計画は日欧共同で行う2機構成の総合探査である。

3.3 ベッピ・コロンボ

ベッピ・コロンボ[4]は、欧州が開発を担当するMPO(惑星周回機:高度400km×1,500km)と主に日本が開発を担当するMMO(磁気圏周回機:400km×12,000km)の2機の極周回探査機で同時探査を行う。日欧の観測機器が両探査機に搭載される。前者は主に水星表面の地形や組成、内部構造のための探査を行い、後者は主に水星磁気圏や希薄大気の探査を行う。2機連携により、MPOで水星の磁場構造、MMOで周辺磁場を同時測定することで水星固有磁場の測定精度を向上させる。2013年初頭に打ち上げ、電気推進によって航行し、2019年に水星軌道に投入されるミッション期間は約1年である。なお、初期には着陸機も検討され

たが、技術的・重量的・資金的な困難さから搭載を見 送られた。

分野横断的な総合探査としては月周回衛星「かぐや(SELENE)」でも行っているが、日欧共同という国際協力で進めた点で、ベッピ・コロンボは今後のひとつの雛形的計画といえる。なお、立ち上げ時期に「はやぶさ」「かぐや」の開発が架橋だったことも影響してか、日本の固体惑星分野からの参加は、レーザ高度計、エックス線分光計、ガンマ線分光計などで、主に科学メンバーとしての参加に留まっている。機器開発グループと学会やコミュニティの連携により、長期的視点で手を打つという戦略性をもつことが今後の国際協力探査への参加についての課題といえる。

4. 木星および木星系探査

4.1 木星および木星系の科学

木星系は多くの衛星やリングからなるミニ太陽系を 構成しており、特にガリレオが発見した4大衛星は 惑星なみのサイズをもつ、活発な火山活動をするイ オ. 年代の新しい氷表面をもち内部海の存在を示唆す るエウロパ、磁場があり表層進化の痕跡があるガニメ デ. 相対的に未進化のカリスト. 木星からの距離に伴 って木星潮汐作用の大きさが進化の違い、現在の活動 度の違いに現れているのだろう. また、内側のリング や, 低密度の衛星の存在もあり, 物質の組成・同位体 比などを系統的に調べることができれば、木星系の進 化過程が解明できるかもしれず、それは太陽系進化の 理解にもつながる. 木星本体の大気運動や組成, 大赤 斑に代表される巨大雲の形成, 衛星の希薄大気は大気 科学的にも興味深い対象である. また, 木星磁気圏は 太陽系内最大最強な磁気圏であり、宇宙プラズマ物理 の最重要な探査対象である. それゆえ, 木星もまた分 野横断の総合探査が期待される.

4.2 木星探査

木星系の探査は水星探査と同様の問題に加え、太陽から5.2AU(AU=天文単位、太陽と地球の平均距離)と遠いため、太陽光照度が低く、太陽電池による発電効率が悪い、電源確保の困難さから日本独自の探査計画だと極めて限定された探査になる。

1970年代に打ち上げたパイオニア10, 11号, ボイジャー1, 2号によるフライバイで木星リングの発見, イオの火山活動, 多くの小衛星の発見をした. 1990年代のガリレオ探査機は木星にプローブを投入, また木星本体や衛星の探査を行い, 鮮明な撮像, ガリレオ衛星の磁場の発見(ガニメデは固有磁場, エウロパは誘導磁場とされる)を行った. しかし, 高利得アンテナの不具合により伝送された情報は限定された.

現在検討される木星・木星系探査は、NASAの次期 New Horizonとして木星極周回で大気運動や内部コア を探るJUNOが計画されている。木星系も含めた探査 として多くの提案はあるが、そのひとつに日米欧共同 で欧州Cosmic Visionに提案中のラプラスがある。

4.3 ラプラス

木星系探査は分野横断的に重要であるが、限定的とはいえ過去にある程度のデータ蓄積があることから、中小規模の探査よりも本格的な総合探査を実現することで大きな科学的進展が期待される。それゆえ、国際協力による大型探査計画の推進が重要である。ラプラス[5]は現在検討段階にあり、複数の試案の状態であるが、大体の構成は以下のようになっている。

衛星は木星系周回探査機(JPO),磁気圏探査機(JMO),エウロパ周回探査機(JEO)から構成される.打ち上げ時期は2020年頃で、5年ほどかけて木星系に到着する.現在,「起源」「衛星」「大気」「磁気圏」の4つの班で科学提案,搭載機器検討などを進めているので、興味のある方は積極的な参加を期待したい.

5. まとめ:水星・木星探査への流れ

このように水星および木星・木星系の探査は、複数分野連携による総合探査、国際協力まで含めた本格的なミッションとして推進することが最も妥当な策と思われる。これには長期的視点をもって早期に目標を掲げ、技術開発、機器開発、基礎科学研究、国際協調の議論を進める必要がある。その意味で、戦略的なプログラム探査という要素無しには成立しない。

分野横断的探査はすでに「かぐや(SELENE)」で実施しており、さらにベッピ・コロンボでは分野横断に加えて日欧協力で進めており、国際協力の道筋が築かれつつある、木星探査、さらに今後のプログラム的探

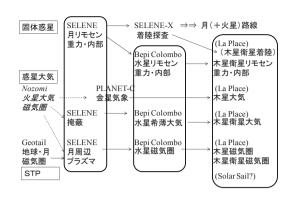


図4: 分野横断的ミッションとその流れ

査ではその長所を継承しつつ、日本の科学コミュニティにとってよりよい探査にしてゆく必要がある.

参考文献

- [1] 太陽系ロードマップ検討小委員会報告書, 2007, (http://www.isas.jaxa.jp/home/rigaku/roadmap_report.htm).
- [2] 岡田達明, 2005, 遊星人, 14, 127-133.
- [3] Solomon, S.C., 2001, Planetary Space Sci., 49, 1445-1465.
- [4] Grard, R., and Balogh, A., 2001, Planetary Space Sci., 49, 1395-1407.
- [5] Blanc, M. et al., Experimental Astronomy, in press.