宇宙科学・探査ロードマップと惑星科学

渡邊 誠一郎¹

(要旨) 本稿では、2013年9月に宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究所(ISAS)から宇宙政策委員会宇宙科学・探査部に報告され、同部会で了承され親委員会に報告された「宇宙科学・探査ロードマップ」[1](以下、RM2013と略称する)について解説し、特にその中の惑星科学・探査に関わる部分について、その後の動きを含めて紹介したい。著者は、ISASの宇宙理学委員会・工学委員会²の下に設けられたタスクフォース(TF)の一員として、その作成に関与した。このTFは同年6月12日開催の第39回理学委員会および7月5日の第37回工学委員会において設置が承認され、9月4日の第38回工学委員会および9月9日の第40回理学委員会に答申を報告したということで、実質、夏休みの1ヶ月ちょっとという短期間での検討となった。そのため、ボトムアップによる合意形成ではなく、TFメンバーの見識(?)とISAS執行部の意向が強く反映されるものとなっている。以下では、RM2013の記述に従って³その内容について整理し、その背景および惑星科学・探査に関わるその後について簡単に補足したい。

1. ロードマップ作成の背景

日本の宇宙科学の大型研究は、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を実行する方法(ボトムアップ方式)で機能してきた。しかし、2013年夏の時点では、惑星分光観測衛星SPRINT-A(9月の打上げ後は「ひさき」)、小惑星探査機「はやぶさ2」、ジオスペース探査衛星ERG、X線天文衛星ASTRO-H、国際水星探査計画BepiColomboが開発中である一方、その先のミッションの提案募集は発出されていない状況が続いていた。

その背景には、2009年からの電波天文衛星ASTRO-Gプロジェクトの中断(2011年11月に正式に中止決定)や2010年12月の金星探査機「あかつき」の金星周回軌道投入失敗などに伴うISASを取り巻く厳しい状況のもとでの2011年3月に発生した東日本大震災による予算縮減の圧力、2012年7月に宇宙開発利用に関する政策を審議する場が文部科学省の宇宙開発委員会から内閣府の宇宙政策委員会に移されたことなどに加え

て、プロジェクトの大型化・先端化・リスク軽減強化に伴う開発経費増があると考えられる。次期有力候補と目されていた赤外線天文衛星SPICAは、中型計画の250億円規模をはるかに超える予算が必要と見込まれたため、そのスタートがなかなか決まらずにいた。

2013年1月、宇宙開発戦略本部が決定した新たな宇宙基本計画⁴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1つとして位置づけられた。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」と謳われ、「一定規模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。問題は、今後の日本の宇宙科学の推進戦略と国家財政の逼迫状況に照らして、この「一定規模の資金」をどの程度の額に設定すべきなのかということである。ISAS(および宇宙科学コミュニティ)に対して

1. 名古屋大学大学院環境学研究科
seicoro@eps.nagoya-u.ac.jp

2. 宇宙科学 = 宇宙理学 + 宇宙工学というISAS流の定義で記載する。宇宙探査の位置づけについては意見が分かれる。

3. 煩雑になるので、RM2013[1]からの引用はいちいちマークはつけていないが、多くを引用している。

4. 宇宙基本法の制定から宇宙科学基本計画の立案の過程、およびその内容に関しては[2]を参照いただきたい。

は、この議論の前提となる、従来からの実績・成果に立脚し、かつ現在進行している研究・プロジェクト提案活動などに基づいた、中長期的な計画を戦略的に策定することが求められた。

このためISASでは、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もとにTFを設置し、RM2013を策定することとなった。

2. ロードマップ作成の基本となる考え方

宇宙科学は、スペース(宇宙空間)でのその場観察・探査、および宇宙観測により、地球・太陽系の起源、宇宙の物質・空間の起源、宇宙生命の可能性探求に新たな地平を築く人類の知的資産創出を狙い、同時に探査機・輸送システム等の宇宙工学技術をパラダイムシフト的に革新することをめざして先導するものであるとRM2013では位置づけている。その成果は人類の活動領域の拡大など宇宙開発全体にも資するものである。ISASは、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としている。

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

限られた予算の中で、これらを実現するために、(a) 宇宙科学の目的と必要とされるリソースを厳しく見極め、ミッション規模を適切に設定し、(b) 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、(c) イプシロンの高度化などの日本の基幹ロケット開発と密接に連携して、低コスト・高頻度な宇宙科学ミッションを実現し、(d) 世界を先導すること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、(e) 海外プロジェクトへの参加などの多様な飛翔機会の活用など、限られたリソースで成果創出の最大化を図るとしている。

RM2013では、具体的な進め方としては以下を提案している。

- 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) 成果創出、人材育成、求心力維持などの観点から、(a) イプシロンで打上げる小型ミッションを2年に1度程度の頻度で実行し、(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的中型ミッションを実現し、(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。

3. 今後の宇宙科学・探査プロジェクトの推進方策

RM2013では、宇宙科学における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、従来めざ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て優先し、中型(H-IIロケットクラスで打上げを想定)、小型(イプシロンで打上げを想定)、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ものとしている。

ここで中型プロジェクトとは打上げ費用を含め300億円程度の経費で行い、世界第一級の成果創出をめざし、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なりつつ、多様な形態の国際協力を前提に、戦略的に実施するものとされている。小型プロジェクトとは、打上げ費用を含めて100-150億円規模の経費で行い、高頻度な成果創出を目指し、公募型で実施するものとされ、地球周回および深宇宙ミッションを機動的かつ挑戦的に実施していくとともに、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と謳われている。

小規模プロジェクトとは、年間10億円以下の経費で行い、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ものとされている。

新たに定義されたこれらのカテゴリー毎のミッションの実施頻度に関しては、戦略的中型プロジェクトは10年間に3回程度、公募による小型プロジェクトは2年に1回程度、多様な小規模プロジェクト群は年間経費枠の範囲で推進することが提案されている。

RM2013では、こうした推進方策のもとでの宇宙科学・探査の実効に必要な「一定規模の資金」を見積もっている。この資金の対象としては、学術研究を目的とした宇宙科学・探査に関する活動とし、基幹ロケットの開発や追跡管制の施設設備整備費用などの経費は含まないものとされる。必要経費を試算すると、中型プロジェクトが85億円／年、小型プロジェクトが60億円／年、小規模プロジェクトが10億円／年、学術研究・実験等や軌道上衛星の運用、施設維持に関して75億円／年となり、「一定規模の資金」としては、約230億円／年の予算が必要となる。もちろん、衛星開発スケジュールなどによって、各年度の予算は変動することに留意が必要である。

ただし、数年平均で「一定規模の資金」に収まらない場合(世界をリードする大型プロジェクトの実施など)、学術の動機以外の要素を含め、文部科学省および宇宙政策委員会において政策的な評価を受け、承認を得られれば、「一定規模の資金」の外枠として推進する可能性を留保している。

4. 天文学・宇宙物理学分野の将来構想

RM2013には、天文学・宇宙物理学分野全体を俯瞰する将来ビジョンとして、

(a) 宇宙の本質的理解に関わる課題

宇宙の誕生と進化の過程(インフレーション、宇宙膨張の加速)、バリオン宇宙の多様性(元素合成、行方不明バリオン)、宇宙における生命の探査(太陽系外惑星)など。

(b) 物理学の根幹に関わる課題

素粒子論と物質の根源(暗黒物質、反物質、中性

子星)、一般相対論の検証(暗黒エネルギー、ブラックホール、重力波)、進化と構造形成の物理学(プラズマ過程、天体形成、粒子加速)など。

が掲げられている。そして今後20年程度を通して、日本が採るべき戦略を、以下のように列挙している。

- (1) 広範な国際協力の下、国際的優位性をもつ分野をさらに発展させると同時に、インパクトのある新分野を育成し、有望な萌芽的課題を世界に先駆け開拓する。
- (2) H-IIロケットによる中型ミッション、イプシロンロケット等を用いた小型ミッション、相乗り機会や海外計画への参加による小規模計画を、柔軟かつ適正に組み合わせる。
- (3) 中型ミッションは、研究コミュニティ(学会・学術会議等)、宇宙理工学委員会、およびISASでの審議や検討を通じ、段階的かつ戦略的に選定する。
- (4) 宇宙工学や国内先端産業と協力して独創的な技術を開発し、日本の宇宙活動に貢献する。関連大学や近隣分野と、人的な連携交流を一段と強化する。

今後5年程度の目標は、ASTRO-HとSPICAが掲げられ、20年先を視野に入れた目標としては、原始重力波の痕跡である宇宙マイクロ波背景放射の偏光B-mode観測や、スペースでの原始重力波の直接検出をめざす国際大型計画への参加、近赤外線域での遠方超新星および地球型系外惑星のサーベイ、初源巨大ブラックホールや銀河団形成期を探索する国際大型X線天文台計画への参加、広視野X線分光による「行方不明」バリオンの探索などが例示されている。

5. 宇宙工学分野の将来構想

RM2013では、様々な飛翔機会を活用して宇宙工学研究を創造的・実証的に遂行し、宇宙へのアクセス(より自在に)と宇宙でのモビリティ(より遠くへ)を確保するとともに、より多面的かつ高度な科学観測や探査活動を実現することにより、宇宙開発利用全体への貢献や人類的課題の解決への先駆けとなることをめざすとしている。そして、将来ビジョンとしては、

(a) 宇宙航行・輸送系の課題

イプシロンロケット高度化につながる固体ロケットシステム・推進技術研究により、低コスト／高

信頼化と運用性や製造性の向上を実現する。また、深宇宙航行を革新するためのシステム・推進技術・大気圏内高速飛行／再突入研究を推進する。さらに、再使用技術、新たな推進システムなどにより、低コストで高頻度な将来型輸送システムを実現する。

(b) 探査機・衛星系の課題

月惑星表面探査技術として、自律運用(ロボティクス)・着陸・表面移動・越夜等の技術研究を推進し新たなミッションを創出する。衛星探査機アーキテクチャの革新、超小型化・軽量化、深宇宙航行の通信・航法・誘導・制御技術、非化学推進、ソーラセイル、宇宙空間におけるエネルギー発生・伝送技術などの革新を図り、より高度かつ自在なミッション創出を図る。

を掲げている。今後20年程度を見通して、日本が採るべき戦略としては、地上から地球周回軌道までの将来宇宙輸送と地球重力圏外へのモビリティ(太陽系探査)のための宇宙飛翔体における工学的課題に集中するとしている。

今後5年程度の計画としては、打上げ頻度の最大化のため、ミッションの小型化・高度化(自律化・知能化)と連動し、低コスト・機動的なミッション創出と、太陽系探査科学のミッション実行可能性を拡大するとともに、イプシロン高度化を含む将来輸送システム構築への貢献、および小型飛翔体による観測実験機会の革新のため、再使用観測ロケット計画を推進するとしている。さらに20年先を視野に入れた目標としては、ロケット推進、輸送システム、軌道間の輸送、深宇宙航行の推進技術などを革新するための実証的研究を、飛翔実験機会を活用して推進し、宇宙科学のみならず日本の宇宙開発利用に貢献するとしている。

6. 太陽系探査科学分野の将来構想

RM2013には、太陽系探査科学分野を俯瞰する将来ビジョンとして、

a) 太陽物理学

太陽活動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。

b) 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。

c) 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。

と謳われている。さらに、今後20年程度を見通して、日本が採るべき戦略は以下であるとされている。

- (1) 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に行える枠組みを構築する。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 始原天体探査は、はやぶさ・はやぶさ2の実績を進展させ国際的な優位性を確立する。
- (5) 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。今後5年程度の目標は、あかつき、ひさき、はやぶさ2、ERG、BepiColomboの遂行と、小型惑星探査ミッションの計画立案が掲げられている。さらに20年先を視野に入れた目標としては、太陽活動・プラズマ現象の総合的な理解のための超高解像度撮像・紫外線分光観測、編隊宇宙機によるプラズマ・ダイナミクスのマルチ・スケール観測(国際協力)、木星・氷衛星総合探査計画(JUICE、国際協力)、惑星表面探査機(月、火星あるいは金星など)、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)が例示されている。

7. 惑星科学・探査に関わるその後

さて、RM2013に記述されたイプシロンロケットの高度化により、小型太陽系探査を高頻度に行っていくことは可能であろうか。日本惑星科学会では2013年夏に将来計画委員会の下に小型惑星探査計画ワーキング

グループが作られ、5回にわたる検討を行った[3]。その後、RM2013の発表を受けて、11月には第6回小型探査計画WGが開催され、惑星科学会秋季講演会時の総会で荒川将来計画委員会委員長から報告があった。さらに2014年1月22日に神戸大学惑星科学研究センターにおいて「イプシロンロケットによる小型惑星探査」のシンポジウムが開催された[3]。小型惑星探査計画WGの活動は継続中なので、その詳しい内容をここでは述べず、いずれ『遊・星・人』に報告をしていたくのが妥当だろう。

ここでは、RM2013に示された太陽系探査の方向性に対して、われわれが考えておかなければいけないことを最後に述べたい。現状のイプシロンロケットの打上げ能力は惑星探査ミッションの実行には不足している。イプシロンロケット最終形態について、どの程度の増強をめざすのか、それをどんなスケジュールで進めるのかは今のところ不確定である。太陽系探査の側から、具体的なミッション案を想定して、打上げ能力に対する具体的な要望を強く出していくことが必要であろう。太陽系の一定の領域(月、火星、金星、地球接近小惑星など)を守備範囲とし、10年後の太陽系探査につながるような挑戦的で若手がのめり込めるようなミッション案を打ち出したい。ただ、増強されると言ってもイプシロンロケットの打上げ能力は限られており、探査機側の小型化・軽量化・高度化を追求することが不可欠である。理学側からもバスシステムに踏み込んで、試作・実験に基づいた技術検討を進められる人が出ることが強く求められている。つまり、真の意味での理工連携ミッションを創り上げていくことが、今後の惑星探査の目標となろう。

参考文献

- [1] 宇宙科学研究所, 2013, 第7回宇宙科学・探査部会資料1,
<http://www8.cao.go.jp/space/committee/kagaku-dai7/siryoul.pdf>
- [2] 秋山演亮, 2012, 遊・星・人 22(2), 102.
- [3] 日本惑星科学会HP将来計画委員会小型惑星探査計画WG Wiki,
<https://www.wakusei.jp/~shourai/wiki/epsilon/>