

現行宇宙基本計画策定検討プロセスにおける「太陽系探査科学分野のプログラム化」の議論  
(議事録の抜粋・概要)

第 13 回宇宙科学・探査部会 議事録

1. 日時：平成 26 年 7 月 18 日（金）9：00－11：00

○田近委員（…前略…）特に太陽系探査・科学分野というのは、ロードマップ作成時の考え方として、最初の 10 年は小型ミッションに専念して、10 年後以降の大型ミッションによる本格探査に備える、と書かれているのです。（…中略…）実際のミッションというのは 2 年おきの公募に対して応募があって、その都度選んでいくというボトムアップ的な原則が尊重されているので、点が線としてつながらないということが一番憂慮される点です。10 年後以降に例えばどういう探査をやるのか、それにはどのぐらいの打ち上げ能力が必要かという目標に向け、段階的にどのような打ち上げ能力が必要であるという要望を輸送系とうまく連携して計画的に高度化する必要があります。その意味では、ボトムアップを尊重するということはもちろんですが、やはりそれだけでは仕組みとして機能しないのではないかと思います。それはこの部会で議論することなのか、宇宙理学委員会、宇宙工学委員会もしくは宇宙科学研究所執行部による意思決定なのかはわかりませんが、いずれにしても両者が連携して、中長期ビジョンなどの方向性に沿ってどのようにやっていくかという議論をまさにする必要があると思います。

○永原委員 私も実はその点を最初に指摘したいのです。今の意思決定の方法は基本的に科研費とある種同じであり、本当に徹底してボトムアップなのですが、やはりこれでは勝てない。今これだけ世界的な競争が厳しくなっている中で、ほかのサイエンス分野でも大型の計画の場合は非常に明確なロードマップのもとに意識的な研究を積み重ねないと勝てないということをはっきりしています。それはこの部会が決めることではなくて、宇宙科学研究所あるいは宇宙理学委員会、宇宙工学委員会が決めていくことだとは思いますが、目標として大きく、まず中型計画を概ね 10 年で 3 つぐらいとする。これはある種の外的条件に制約されますが、そこを決めれば、小型計画というものを大きい目標に向かってきちんと合わせて進めていけるような形で全体をプランニングしなくてはなりません。今コミュニティもそれを意識すべき段階に至っているのだと思います。

○松井部会長（…中略…）10 年あるいは 20 年スケールでは、例えば天文、宇宙物理、太陽系探査はどういうところにウエートを置いてやっていくのか、ある程度絞り込まないとだめだろうと思います。日本の現状を考えたときに、天文の場合はある程度バックグラウンドがしっかりしていると思いますが、惑星科学などになると、本当に小惑星もやり、月も火星もやるというほど、それをサポートする科学者の数が日本にいるかといったら、ほとんどいない。世界の最高水準の成果を出そうと考えて計画を立てたとき、日本が本当にありと

あらゆる分野の探査を計画として持てるのか、私は個人的には非常に大きな疑問なのです。

その辺をきちんと議論して方向性を決めていかなければいけないだろう。これについては、先ほどから何度も出ているように、宇宙理学委員会とか宇宙工学委員会がボトムアップでいろいろな提案を受け付けているという現状では、なかなかそういう方向性が出てこない。ある範囲の予算とロードマップの中で、どのような仕組みで日本としての方向性を出していくのか、ある程度の考え方を見せていく必要があるのではないかと思います。

## 第14回宇宙科学・探査部会 議事録

1. 日時：平成26年8月1日（金）16:00-18:00

（・・・前略・・・）

○永原委員 宇宙科学、それから惑星探査ということで、分野として近い私と田近委員で考え方を少し整理しようということで話し合いをいたしました。それから、前回の山川委員からの非常に刺激的な提案も参照しつつ、我々が個人的に知っている探査にかかわっている人たちとも話もしまして、今から説明させていただきたいと思います。コンセプトの部分は私から説明させていただいて、具体的な部分は田近委員から説明していただきます。より詳細なことについては、やはり従来のボトムアップの議論というのを尊重してきましたので、宇宙理学委員会、宇宙工学委員会というところで議論していただきたいと思っています。

コンセプトについては、天文の部分と惑星探査の部分の違いをもう少しはっきりする必要がありますだろうと思います。従来、宇宙理学委員会では、天文というのは、基本的には地球周りでやる観測がほとんどで、太陽の場合だけ少し遠くまで行きますけれども、多くは地球周りであります。そして、実績もあります。この部分に関しては、基本的に従来型の宇宙理学委員会を通じたコンペティションで、それぞれのコミュニティーもそれなりの力も持っていますので、それで進められるであろうと思います。

それに対して惑星、特に深宇宙探査というようなことを考えた場合には、理学的要素よりもむしろ工学的要素が圧倒的に大きいという実際の制約があることや、コミュニティーの経験も浅いということを考えますと、惑星部分はもっと明確にプログラム化して、全体をうまく進めることを考える必要があります。純粹にボトムアップの議論から出てきたものだけを連ねていても、力がついていかないだろうと思います。そうすると、基本的にはやはり工学的要素の大きい、つまり技術獲得を目的とした小型の計画、その先にやはり理学と工学がタイアップしたような中型のミッションを置くという、プログラム化した計画というのを考えていくべきであろうと思います。

ただし、遠くに行くというのはそれなりに時間もかかります。地球周りみたいに打ち上がってすぐに観測を始められるというのとは全然話が違うので、やはり10年という単位ではとても無理です。20年をとりあえず単位として考えるべきではないかと思っています。

従来の枠組みですと、20年の間に中型6機、それから小型が10機近くというような大前提でこの全体を考えていくことになります。

サイエンスの部分はどうかというと、天文や宇宙物理というのは、基本的には根源問題、普遍的な問題を追及するというのが究極目標になってきます。一方で、惑星探査はどちらかと言うと普遍性ではなくて多様性を追求する問題にいきやすいのです。そうすると、火星のあそこでどうするか、この惑星ではどうするかという話になって、それが本当に何百億円のミッションに値するかということが必ず出てきますので、ここでも究極の問題というものやはり我々は基本的には追求するべきであろうと思います。それは、言うまでもなく

惑星系の形成にかかわる問題、それから特に生命の起源にかかわる問題を大きな科学目標において、プログラムを作っていくべきだというのが大前提です。

それから、従来の経験というものは非常に限定的であって、惑星探査では、成功したものは「はやぶさ」と「かぐや」、残念ながらあまりうまくいかなかった「のぞみ」と「あかつき」の経験、それらの上に立って具体的なことを考えていく必要がある、以上がコンセプトの部分です。

○松井部会長 プログラム化という説明だけれども、それはボトムアップで出てくるのをコーディネートして、何か中型計画のようなものを企画していくという意味ですか。

○永原委員 それだけだと無理で、やはり意識的に中型の非常に大きい理学・工学ミッションを成功させるためには何が必要かという観点で、事前の小型ミッションを幾つか設ける必要があります。そのミッションはケース・バイ・ケースで一つかもしれないし、三つかもしれないのですが。

○松井部会長 今、小型と言っているのがイプシロンによる 150 億円程度のものだとすると、純粋にボトムアップのものを幾つかと、それから少し大きな視野に立ってやっていくという意図で、あらかじめイプシロン的な規模のものも幾つか進めていくべきだということですか。

○田近委員 今、永原委員からご説明いただいたのは、我々が、例えば 10 年、20 年という時間スケールで考えたときに、これまでやってきた天文、宇宙物理のミッションと惑星探査のように深宇宙に探査機を送り出すものを同列に考えるのは難しいだろうということ、ある種の考え方の整理をしてみたものです。これは実際には宇宙理学委員会、宇宙工学委員会でも議論していただく必要のあることだと思います。ただ、基本的には、前回、山川委員が提案されたスキーム、すなわち小型のミッションで技術実証をしていって中型のミッションにつなげていく、という考え方というのは、やはり深宇宙探査、惑星探査には必要なことであろうというのが基本的なコンセプトです。

そうすると、例えば向こう 15~20 年ということを見ると、天文とか宇宙物理はいろいろな提案が既に出ていますので、基本的にはそれらから重要なものを選択していくという形でやっていけば良いわけです。それは中型のミッションも小型のミッションでも同じです。一方で、惑星探査に関しては、やはり 10~20 年後を見据えた中型ミッションを想定して、それに必要な工学的な技術実証を、イプシロンを使った小型ミッションで行っていく、というのが基本的な考え方です。前回の、山川委員の提案は、私たちにとっては、とても明解で刺激的な考え方でした。それはまず、月で着陸の実証をし、次に火星の着陸実証をして火星探査をやるというプログラムだったわけです。もう一方は天文系ではありますけれども、SPICA をやる前に電気推進の DESTINY をイプシロンの小型ミッションとしてつなげていくというものでした。

火星というのは非常に重要な科学目標ですから、日本としてもぜひ探査をやるべきだと個人的には考えていますが、こうした月とか火星などの重力天体ミッションと、今年打ち上

げ予定の「はやぶさ2」という日本がこれまでアドバンテージがある小天体のミッションの2本柱で考えていくべきだと思います。そういう月惑星探査と小天体の探査という形で人材を回していくためには、ある程度の間隔でやっていく必要があります。今回の議論は一部の関係者にもいろいろ御意見を伺った上で、20年ぐらいのスケールではこうではないかということではあるのですが、惑星科学会ではフラッグシップミッションとして、月・火星・小天体という3つが提案されています。これは別々のプランとして考えることもできますし、月は火星へ行くためのステップとして位置づけて、月・惑星探査と小天体という形で位置づけることも多分できるだろうと個人的には思っています。そう考えると、まず月に関しては「かぐや」で周回探査に成功した実績がありますから、今度はやはり着陸ということが次のステップになるかと思います。ですから、まずは月への着陸の技術実証というものをイプシロンでやるべきという考えは、山川委員と同じです。

その次に、すぐに火星をやるかどうかということについては、いろいろ考え方がありますが、一方で月着陸による科学探査を実施するというプランは当然あり得ます。コミュニティーで議論しているのは年代学なのですが、イプシロンで着陸技術を実証した後、月探査をやるという可能性です。火星に関しては、火星周回軌道への投入にもまだ成功していないということがあるので、実力というものも踏まえた上で、周回や着陸実証が絶対に必要と考えます。高度化イプシロンを使うということになるのかと思いますけれども、これを実証した上で、火星の生命環境探査を実施する。月で培った探査のノウハウを火星にも持っていくということができるという意味では、火星という大きな目標と、それに向けて実証を積み重ねていくという形で成立するひとつのプログラムであろうと考えます。

一方で、小天体のほうは「はやぶさ」が成功したので、「はやぶさ2」の次に狙うべきなのは、かなりハードルが上がりますが、より始原的な天体を目標として、メインベルト（小惑星帯）、もしくはさらに遠方のトロヤ群へ行って、サンプルリターンをするということです。やはりこれに向けても、電気推進による航行技術、あるいはサンプルリターン技術等の実証にはいろいろな提案がありますので、そうした技術実証を経た上で、メインベルト天体に行く、あるいはトロヤ群に行くというスキームが成り立ちます。

これは20年ぐらいのスパンで考えて、具体的な数字で言いますと、20年間で中型ミッションは合計6回できますが、月と火星、それとメインベルトもしくはトロヤ群の探査で、そのうち3回分必要になります。技術実証といったものも、3~4回必要になる可能性があります。そうすると、天文・宇宙物理系では中型ミッションが3回、小型ミッションが6回ということが考えられるかと思います。

もちろんこの6回の小型ミッションは競争的にセレクションする、ということが基本です。10年では完結しないプログラムですので、20年という少し長いタイムスパンで考える必要があります。

○松井部会長 ほかの衛星等が10年ぐらいのスパンで議論しているので10年と言ったのですが、行くのに何年もかかるようなところで10年と言ったら、それだけで終わってしま

うので、深宇宙探査に関しては、もちろん 20 年ぐらいのスパンで考えて全然構わないと思います。しかし、今の話では、プログラム化されたというところが、かなり具体的になっているのではないですか。月を経由して火星へ行くとか、小惑星とか。それ以外の可能性というのは全く考えないのですか。

○田近委員　そうです。SLIM の先には、月ないし火星探査があるという考え方もできます。もちろん決まったものではないのですけれども、何のために SLIM をやるかと言えば、重力天体に着陸するという目的があるわけですから、当然、その先に月探査、火星探査ということが置かれても不自然ではなかろうと思います。

○松井部会長　要するに、ボトムアップで検討するときには、今のようなプログラム化の考えは出てこないわけですね。一方である程度は道筋を決めてやっていこうというときに、今のような議論として、月や火星、小惑星というのは、もうコンセンサスがあるような話なのか、あるいは、これからそういうのは議論していくという話なのかどちらでしょうか。

○田近委員　これは1つの構想であって、このように考えていかないと、月探査や火星探査を実現するのは難しいでしょう。もしそういうことをやるのであれば、やはりその前に工学的な技術実証がなければ実現は難しいだろうということです。

○松井部会長　火星についてはやはり生命というのがサイエンスの世界で非常に重要であること、小惑星も基本的に始原天体ということで、今の例として挙げているわけですね。

○田近委員　はい。ただしこれはあくまでも我々と一部の関係者の考えなので、実際にどうするかというのは、宇宙理学委員会、宇宙工学委員会での議論が必要です。

○永原委員　科学的に言えば、もっと先には当然、木星か土星の周りの衛星における生命探査が考えられます。しかし、これはエネルギー問題とか、もう少し深刻に検討しなければいけない問題があり、30 年ぐらい先の計画になるのでとても議論できません。ですので、20 年以内にやる価値があり、技術的にも日本が大きく進歩できるものとして考えました。さらに、やはりコミュニティーがそれほど強いわけではなく、経験も浅い中で、確実にそれをやり遂げるためには、技術の部分、工学の部分と理学の部分を、やはり確実に少し強制的にプログラム化して、成功に導けるようなステップを考えないと、うまくいかないだろうと思っています。完全なボトムアップで、あれもやりたい、これもやりたいでは、天文とは違って惑星探査は成功しないだろうというのが一番基本的な考えです。

○山川委員　(…中略…) 国際協力の観点からの価値をどう入れ込んでいくかという意味では、宇宙科学・探査ロードマップにも書かれていますけれども、いわゆる小規模のミッションとして、海外の大型のプロジェクトに参入することで大きな科学の成果を得られるというのはまさに、費用対効果という意味で大きいわけです。最終的な目的が工学的あるいは理学的な成果ということであれば、例えば年間 20 億円とか、30 億円ぐらいの予算で海外の計画に深く入り込んでいくということもやはり考えるべきだと思います。

そういった意味では、特に惑星探査のほうが遅れております。天文分野は海外と組むとい



うことを既に実施しているし、ASTRO-H もそうかもしれません。ただ、惑星探査に関しては、ちょっと厳しい言い方ですが、そういう努力がこれまで足りなかったと私は個人的には思っていますので、そういう方向性を追求すべきではないかというのがあります。

あともう一つは、別な場でも申し上げたのですが、先ほどのプログラム化という言葉が永原委員がおっしゃっていましたけれども、やはりボトムアップだけでは限界があると私は思っております。トップダウンとボトムアップの両方の方向性を融合させて、最終的には具体的なプロジェクト化する必要があると思います。昔から宇宙工学委員会、宇宙理学委員会というのは、実はボトムアップと言いつつ、ひそかにトップダウン的に決めていったという歴史があると私は認識しておりますけれども、それをより強めていく必要があるのではないかなと思います。そうしないと、ISS と同じように、費用対効果とか成果という観点から、このままでは厳しい目を向けられる可能性があると思っていますので、ISS に対して言ったのと全く同じことをこの宇宙科学に対しても申し上げたいです。

## 第16回宇宙科学・探査部会 議事録

1. 日時：平成26年9月30日（火）16：00－18：30

○松井部会長（…略…）本日は特に深宇宙探査について議論したいと思います。

天文関係の観測は、比較的計画が明確なので、あえてここで詳細を議論するほどではないと考えている一方で、惑星探査のような深宇宙探査は、10年、実際には20年、30年かかるプロジェクトであり、我が国としてははっきりした方向性がまだ決まっていないと思っております。そこで本日は特に深宇宙探査について議論したいと思います。

まずは、9月20日に「宇宙科学・探査の方向性を語る会」が開催されましたので、議論の様子を御紹介いただきたいと思います。

○JAXA 先日、土曜日で、しかも1週間前の予告でしたが、約60人の宇宙科学関係の研究者が集まりまして、約4時間にわたって非常に活発な議論が行われました。最初に、松井先生から、なぜこういう会を緊急に持たなければならなかったかという説明がございました。既に松井先生からお話がありましたが、宇宙基本計画を見直すということで、工程表の中に宇宙科学も盛り込まなければなりません。それは一定枠ありきではなくて、その中に非常に魅力的な今後の宇宙科学ミッションの姿を示して、それが確実に確保されるようにしていかなければいけないということが大切です。

それから、今まさに先生からお話がありましたけれども、天文学については着実に従来から進めているわけでありますが、宇宙探査については工学技術の開発に非常に長い期間がかかりますので、ボトムアップといって毎回公募し、その中で探査ミッションを選んでいくというやり方は、もはやなじまないのではないかというお話がありました。具体的には月、火星、小惑星であります。それぞれ学術的に魅力的なわけですが、どれを選ぶかによって長期にわたって開発すべき技術がかなり異なってくる場合があります。そういう状況で、継続的にプログラム化して開発せずに物事が成り立つのかという質問をされ、その辺はやはりある程度戦略を持って対応してほしい。しかも、それはトップダウンということでは必ずしもなくて、こういう会合を開いて、学術コミュニティに十分議論してもらって方向性を出してもらいたいということでした。

松井部会長からの初めての直接のコミュニティへの問いかけ、説明ということで、部会の意図するところが現在の状況を含めてコミュニティに非常によく理解されたと思います。そういう点において、今回の会の第一の目的、現在の情勢と部会長の現状認識について学術コミュニティに理解していただくという点においては、この会はまず大成功だったと思います。

次に、文部科学省から、先ほどのイノベーションハブ構想と国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会についての説明がございました。内容については御存じのことだと思いますので省略させていただきますが、特に国際、ISS関係、それから有人探査については、かなりの議論が行われました。学術コミュニティの中で一致していたのは、学術がドライブ



して有人探査をやることはないであろうということです。要するに、この学術研究をやらなければいけないから有人探査が必要であるというロジックはなかなか組みにくいということです。

一方、そういうものが政策的、あるいは国際関係上必要となる場合は、その中にやはり科学ミッションを入れていくことは考えており、そういう意味で、積極的に貢献していくということです。あるいは月、火星等の有人探査を行う場合は、その前に必ず無人探査による技術的蓄積が当然必要なわけで、その意味においても協力していきたいという姿勢は、コミュニティからかなりはつきり出たと思います。そういう意味で、学術コミュニティとしては、ISS、有人探査等の動向を積極的にウオッチするだけではなく、その中の議論にも許されれば入れさせていただいて、積極的な貢献をしていきたいということであったと思います。

次に、本論に入るわけですが、松井先生から、月か小惑星か火星かというような非常に生々しい設問が生まれて、これについては、宇宙理学の立場、それから宇宙工学の立場から、それぞれプレゼン等、非常に熱心な議論が行われました。やはり非常に広範な人が集まっていたということもありまして、月、小惑星、特に太陽から遠い方です。「はやぶさ」などで行くところより遠いほうの小惑星の探査、それから火星探査について、非常に日本が活躍できる余地があるという意見が出てきました。そして、それに伴う工学技術についても、今までの「はやぶさ」等の実績を考えると、十分慎重に準備をすれば、それが実現可能であるという認識が共有されましたが、それを一本に絞って、先生の疑問に答えて、これをやりますとピンポイントで言うところまではなかなか意見の集約がなかなかあったということがございます。

その中で、あえて申しますと、今まで「はやぶさ」で、いわゆる非重力天体、要するに降りるのに動力が要らないというもの、イオンエンジン等を使って到達できるものについては日本が既に世界の最先端に達しておりますので、これは今後も発展を続けて応用していくということです。

一方、重力天体については、まだ惑星への着陸ということが我が国としてはできていないということで、やはりその辺は工学技術の技術開発を加速して、理学ミッションを実現していきたいというかなり強い声がありました。そこがポイント1としますと、具体的には月か火星となるわけでありまして。一方でポイント2として、「はやぶさ」で培ったイオンエンジン、あるいは「IKAROS」で実現したソーラーセイル等の革新的技術であります。これをそのままやめてしまっているのかという意見もありました。これは大型イオンエンジンの技術、あるいはソーラーセイル、「IKAROS」の発展型によって太陽から遠い小惑星ないし彗星に行くということは、より資源的な環境に到達できるということでありまして、そこについてもやはり無視すべきではないというのがありまして、絞り込むというところまで行かなかったのですが、どの辺にいわゆるディスカバリー・スペースがあるかということについては、ある程度のコンセンサスが得られたと思います。

短時間でありましたので、本来は外国の動向、それから諸外国の将来計画について見て、

その中で我々の持つ強み等を考えつつ我が国の立ち位置を判断すべきであります。特に欧州宇宙機関の「ロゼッタ」が木星近くの彗星に到達しまして、今、大変な成果が期待されている状況で、そういう成果も本来は見て判断すべきであります。しかし、そこまでの議論は時間の関係もあってできませんでしたが、コミュニティのある種の危機感といいますか、惑星科学についてはプログラム化ということのある程度やっていかなければいけないということについては広く認識されました。

一方、現在の状況を考えて、宇宙探査の道筋を一つに絞っていくということについては、まだ先生の期待に応えられなかったかなという認識でございます。