

浩志会 2019 年 8 月度月例会

講師：國中均 様（国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）理事、宇宙科学研究所長）

演題：「はやぶさ 2」小惑星探査 ～宇宙と地上双方へのイノベーション～

1. 「はやぶさ」について

はやぶさは 2003 年に打ち上げたが、当時、宇宙科学の領域では NASA の活躍が華々しく、日本はそれに近づきたい追いつきたい一心で開発に取り組んでいた。検討を始めたのは 1990 年代前半だったが、NASA に追いつけなかった原因はロケットの大きさだった。日本のロケットはアメリカと比べて非力だったため、当時の日本の技術をあわせてどこまでやれるか、を検討していた。

小惑星の宇宙探査には次の段階がある。

1 つめはフライバイ。小惑星に高速ですれ違い際に写真をとり、地球にデータを送るもので、すれ違いの時間は数分から数十分程度。

2 つめはランデブー。小惑星に同じ速度で並走して長い時間ターゲットを観測するもの。

3 つめは着陸。地球から観測装置を運んで行き、小惑星に着陸して、取得したデータを地球に送るもの。

4 つめはサンプルリターン。物を地球に持って帰ってきて Spring 8 などの地上の分析装置で分析するもの。

通常は、1 から 4 へと段階的に行うが、挑戦的な試みとして、一気にサンプルリターンまで行おう、と検討していた。

日本の非力なロケットで目的天体に到着するためには推進装置が必要であり、化学燃焼を利用する「液酸液水エンジン」を代表とする化学ロケットでは噴射速度秒速 3～4 キロメートルが上限である。噴射速度が速いほど、燃料は少なくて済むため、噴射速度が秒速 3 キロから 30 キロになれば、燃料は 10 分の 1 で足りることになる。そのための方法が、電気でガスを加速する電気ロケットであり、そのうちの 하나가イオンエンジンで、プラスイオンがマイナス電極に吸い寄せられる力を使って毎秒 30 キロメートルの高速噴射を作り出す。

はやぶさ小惑星探査機は、重さが約 380 キログラム、太陽電池のパネルを広げると 5 メートルくらいの大きさである。これにイオンエンジン 4 台組み合わせ、2003 年 5 月に打ち上げ、2005 年 9 月にイトカワに到着し、サンプルを採取したが、その後、事故で故障し、2007 年に帰還する計画を変更し、2010 年に帰還となった。

打ち上げ直後は地球に近い軌道を通り、イオンエンジン噴射によって少しずつ軌道を変え、1 年後に地球に戻り、地球スイングバイをして大きな楕円軌道に乗り換えて、2 年掛けてようやく太陽の向こう側で小惑星にランデブーに成功した。

ちなみに、地球と太陽は 1 億 5000 万キロメートル離れており、光の速さでいうと 8 分かかる。地球から電波を探査機に送り、返事が地球に届くためには往復 4 天文単位かかる。そ

のため、通信は 30 分遅れて成立する状況となることを頭に置いて聞いていただきたい。

イトカワの全景は、500 メートルくらいの岩のかけらであり、12 時間くらいで 1 回転している。地球からも、光のスペクトルを調べることで物質はある程度わかるため、ほぼ石でできていることは事前にわかっていた。形も、光の明滅を分析することで、だいたいわかっていたが、どんな岩が転がっているかは全くわからないため、あらかじめ着陸地点を決めておくことはできなかった。

はやぶさがイトカワに着陸したときは、かなりひどい衝撃で、燃料漏れを起こしたため、姿勢を制御できず、一時行方不明になったが、色々と工夫をし、1 か月後に探査機を目覚めさせることができた。復活までの状況をお話したい。

発見された探査機はクルクル回っており、まずそれを止めないといけない状況だった。イオンエンジンを起動させたいところだが電気が十分でなかったため、ガス噴射だけでスピンを止めることはできないか試行してみたところ、3 か月でスピンを止めることができた。その後、太陽電池パネルを太陽のほうに向けて電気を得て、イオンエンジンに電気を入れ、地球への帰還を目指した。

順調かと思われたが、あと半年で地球へ帰還、というときに、イオンエンジンが壊れて動かなくなった。4 台のエンジンのうちスラスタ A は「イオン源 A」が壊れており、スラスタ B は「中和器 B」が壊れていた。そのため、無事だった「中和器 A」と「イオン源 B」を組み合わせ、推力を復活させた。

2010 年 6 月 3 日、オーストラリアの砂漠に探査機が着陸した。探査機は木端微塵となったが、カプセルだけは着陸に成功し、小惑星起源の粒子を発見することができた。同物質は最大でも 0.3 ミリという小さなものであるが、現在、世界中の科学者が分析中である。

はやぶさの小惑星イトカワからのサンプル採取という事実の科学的意味は大変大きく、小惑星を地球から望遠鏡で見ただけだったのに対して、物質を採取し、それを地球の電子顕微鏡や Spring 8 で実際に分析できるようになった、ということであり、隔世の感がある。

2. 「はやぶさ 2」について

2010 年にははやぶさが帰還した後、2011 年にははやぶさ 2 の開発に着手した。当時、あまり予算がつかず、300 億円必要であるところ、初年度は 30 億円、次年度も 30 億円しかつかなかったが、様々なキャンペーンを行い、最終的には必要な予算を得ることができた。

2014 年 12 月 3 日には種子島宇宙センターから H 2 A ロケットで「はやぶさ 2」の打ち上げに成功した。最初は地球の近くの軌道に乗り、1 年後に、「地球スイングバイ」で大きな楕円軌道に乗り換え、3 年半かかって「リュウグウ」に近づいた。リュウグウは、直径 1 キロメートルで、そろばんの玉のような形をしている。イトカワは反射率が 40% のところ、リュウグウは 4% であり、真っ黒な天体である。また、イトカワが石でできていたのに対して、リュウグウは炭素質小惑星であり、カーボンが多く含まれると考えられる。

昨年10月には、リュウグウに投下したロボットがホッピングして移動し、地表を撮影したところ、地面には黒い岩が転がっていることがわかった。

また、今年4月には人口クレーターをあけた。直径30センチメートルのシリンダー状のインパクトをおろし、弾丸を発射したところ、土煙があがったことが確認された。砂塵による故障を避けるため、探査機はいったん待避して、2週間後に10メートルほどのクレーターができていることを確認した。

このクレーターの作出は、内部物質を露出させたことに意味がある。イトカワからの物質採取の際、地表に露出しているものは、太陽光や紫外線で「宇宙風化」していることがわかっていたので、小惑星本来の物質を手に入れたかった。そして、7月11日に物質の採取に成功し、今年12月にリュウグウを出て来年12月に地球に戻る予定。

3. 今後予定している事業について

- ・デスティニープラスが小惑星フェイトンを目指して2020年前半に打ち上げ予定
- ・ベッピィーコロomboみおが2018年10月にギアナ宇宙センターから打ち上げられ、2025年に水星に到着予定。
- ・SLIM着陸船が2021年に月に着陸予定。
- ・火星にはPhobosとDeimosという2つの月があるが、なぜできたのかわかっていないため、探査機を2024年に打ち上げ、2029年にサンプルを持ち帰る予定で、一部開発に着手している。
- ・木星のガニメデ衛星は氷で覆われているが、内側には海があると考えられており、ヨーロッパと共同で研究予定。この研究のキーワードは「水」。地球には水がたくさんあると思われると思うが、実は0.1%しかない。それに比べてTITANは40%、EUROPAには30%の水がある。木星や土星などのガス惑星には大量の水があるが、温度が低いため氷になっている。地球等の岩石惑星では水があるが、誕生当初は水はなく、小惑星や彗星によって木星や土星等から水が運ばれてきて、水や大気をつくったと考えられている。また、アミノ酸の形で有機物も同様に運ばれてきたと考えられており、その真偽を確かめる研究を予定している。

4. 日本の行っている宇宙研究事業の意義について

JAXAでは、2010年にS型小惑星イトカワ、2020年にC型小惑星リュウグウ、2029年に火星の月、とサンプルリターンを10年間隔で実施することをアジェンダとしており、予定を公開することで世界中の科学者に分析の準備を促している。

また、採取されたサンプルは全て消費せず、一部は将来のためにとってある。数年後には分析装置が大きく改善されているだろうし、新たな仮説が現れ、その仮説の検証のためにサンプルが必要になることが予想されるためである。

サンプルリターンの実施により、日本はサンプルを世界に配布することができ、世界プレ

ゼンスを確保することができている。

5. 宇宙と地上双方へのイノベーションについて

JAXAは民間と共同で技術開発を行っており、例えば、SONYの光通信モデルを衛星間通信に応用することについて、来月、このとりで宇宙ステーションに持ち上げて実験を行う予定である。また、鹿島建設との共同研究も行っている。建設業界では慢性的な人出不足に苦しんでおり、一人のオペレーターが複数の機器を動かす技術を研究しているが、その技術が、月や火星の上の建設機械を地上からリモートコントロールすることに応用できるのではないかと考えている。宇宙と地上のイノベーションを同時に進めるため、民間から人材、活動費、知見を集めている。

宇宙科学研究費の予算は厳しい状況にあり、平均230億円程度であったところ、最近では急落し、100億円程度となっている。2019年から2021年までは新規打ち上げがない、という異常事態となっている。

そのため、事業を単発ではなくプログラム化すること、アジェンダを作成し公開すること、魅力的なコンテンツを示すこと、政府だけに頼ることなく外部資金を確保すること、などに取り組んでいる。

宇宙開発は、技術革新、イノベーションのゆりかごになると考えており、産業育成、人材育成、国家強靱化、インフラ化（GPSや気象衛星）に役立つとともに、国際的なプレゼンスを高めること、さらには国家安全、安全保障にも影響があると考えている。

6. 質疑応答

（質問）イオンエンジンでの燃料のキセノンは、地球を出てから帰還するまでずっと保有しているのか。自動運転で探査機を着陸させ、サンプル採取をするということだったが、どのように行うのか。日本の技術は他国と比較してどの程度進んでいるのか。

（回答）イオンエンジンはキセノンと電気で動いており、キセノンは地球から持っていき、電気はその場で発生させる。探査機を着陸させる際の自動運転については、カメラやレーザーシステムを用いて小惑星までの距離を測ることができるし、接地したことを感じ取るセンサーがついているため、そのようなデータを用いてコンピューターで動作を作り込むことができる。他国との比較については、小惑星着陸はどの国もできておらず、NASAが2020年6月に着陸を実施する予定であり、色々と日本に質問してきている状況。

（質問）2010年にイカロスの実験機が打ち上げられたが、現在はどのあたりにいるのか、

（回答）イカロスは、直径10メートルで、太陽の光を集めることで推進力を得ることができることを示したものだだったが、何年かは運用できていたものの、今は地球と音信不通状態であり、復活は難しいと思われる。

(質問) 研究データはどの程度公開されているか。

(回答) 科学データは全部公開されており、専門家であればデータベースにアクセスできる。

(質問) 外国とのプロジェクト・研究の状況はどうか。

(答え) 米国 NASA や欧州 ESA が主なパートナー。これらの国々・機関の間では「性善説」が成り立っており、仮に打ち上げの失敗等でお互いの機器を破損させた際にも損害賠償は相互放棄、となっている。これ以外にも、インドとの共同開発も検討されている。

(質問) はやぶさ 2 は地球帰還後にどのような余生を送るのか。

(答え) はやぶさ 1 はカプセル分離時に離脱できる能力がなかったため、木端微塵となった。はやぶさ 2 は分離後、軌道を乗り換えることを今後検討していく予定であるが、カプセル分離後はカプセルがあったところに穴があくことになり、そこから熱が逃げていくため、それほど長寿になるとは考えられない。