

もう一つの月世界へ:火星衛星探査計画MMX その6 ～火星衛星とMMXと私～

玄田 英典¹

(要旨) 偶然から始まった筆者の火星衛星の研究。初めて参画した探査計画MMXでは、数々の困難に直面しながらも、なんとか乗り越えてきた。筆者目線で、これらのエピソードの一部をここで紹介したい。

1. 火星衛星との出会い

私が火星衛星の研究を始めるきっかけとなったのは、2011年の夏に、当時カルフォルニア大学バークレー校の大学院生であったRobert Citron君(現:マサチューセッツ工科大学/NASAゴダード宇宙飛行センター)から送られてきた共同研究の依頼メールであった。私が作成した天体衝突計算コードを用いて、火星への巨大天体衝突の計算を行い、火星衛星の衝突起源説にチャレンジしたいという内容であった。恥ずかしながら、当時の私は、火星に衛星が存在していたことすら知らなかった。

さっそく文献を調査し、火星には極めて小さな2つの衛星(フォボスとデイモス)が回っていることがわかった。火星衛星の発見は1877年で、発見者はアメリカの天文学者アサフ・ホールとされている。余談になるが、発見の約150年前に出版された「ガリバー旅行記」で、すでに火星衛星の存在が、しかも2個とも予言されていたのはとても面白い。火星衛星の起源としては、「捕獲説」と「衝突説」の主に2つの仮説が提唱されていた。「捕獲説」は、小天体が火星重力圏に飛来し捕獲されて衛星となったという説で、「衝突説」は、地球の月の起源のように、天体が火星に衝突して、その破片が火星周辺にばら撒かれて円盤を形成し、その円盤から火星衛星が形成されたとする説

である。当時の私は、フォボスとデイモスを足しても火星本体の質量の5000万分の1にしか満たない、こんな小さな火星衛星は、きっと飛来した小天体がたまたま捕獲されただけのものだろうと思った。数少ない火星衛星の起源に関する論文も、捕獲説の方が主流のようだった。

当時、井田さん(東京工業大学)にも相談したことを覚えている。井田さんも私と同じような考えで、「そんなちっぽけな衛星はどうせ捕獲だろ?」と言っていた。結局、本人がやりたいというのであれば、やってみたらどうか、というそんな後ろ向きな姿勢で、火星衛星の衝突起源説に関する共同研究が始まったのだった。私と井田さんが、まったく衝突説を信じていない状態で始まった研究であることは、Robert君は知らないで、内緒にしておいてほしい。

研究を進めていくうちに、確かに火星への天体の斜め衝突で円盤が形成され、詳しく調べるとその飛び散った破片は、結構遠くまで広がり、現在のデイモス軌道(火星半径の約6倍の距離)にまでおよぶことがわかった。衝突で形成された円盤から、どのような衛星が何個形成されるのかについての定量的な計算は行わなかったが、フォボスとデイモスを、もしかしたら衝突説の枠組みで作れるかもしれないという感触を得ることができた。結果をまとめるのが少々遅れてしまったが、2015年の1月にIcarusに投稿し、2月にアクセプトされ出版された[1]。以上が私と火星衛星の出会いであり、火星衛星に関する最初の研究

1. 東京工業大学 地球生命研究所
genda@elsi.jp

論文となった。

その後、火星衛星の衝突起源説に関しては、広がった円盤から、現在のような軌道をもつ小さな衛星2つが形成可能である[2]ことや、衝突説で形成された火星衛星の特徴がどのようなものになるか、などの詳細な研究が進んだ。衝突説に関する詳しい解説は、遊星人の過去の記事[3]を参照してほしい。

2. MMXとの出会い

そんなこんなで、2015年2月に火星衛星の衝突起源説に関する論文[1]を出版したあと、いつものようにネットサーフィンをしていたら、Yahoo!ニュースで、「世界初、火星の衛星探査 JAXA 試料採取し帰還 2021年度にも打ち上げ」(2015年6月9日)という記事を偶然見つける。当時、火星衛星の研究をかじっていた私でさえ、「え?なんで火星衛星に?」と思ったのは内緒である。それだけ、火星衛星はちっぽけな天体で、サイエンス的になんの面白味があるのだろうか?と思っていた。

その直後、6月17日に倉本さん(北海道大学)から一通のメールが私に届いた。表題は「火星衛星サンプルリターン計画：初期科学メンバ参加のお願い」であった。数ヶ月前に出版された我々の論文が目にとまったようだ。正直、最初は参画することを迷った。これまで、理論研究のみを行っていた私が、探査にどれだけの貢献ができるのだろうか?どれくらい自身の研究時間が探査に割かれるのだろうか?このようなネガティブな面が頭をよぎった。一方で、これまで行ってきた私の研究は、何かしらの数値計算をすれば、何かしらの結果がでるような代物である。恐れずに言うならば、ある適当(と思われるよう)なモデルを用いてある適当(と思われるよう)なパラメーターで計算すれば、大体的場合、良い結果が得られ、多くの問題は解けてしまう。しかし、そのモデルやパラメータは本当に正しいのだろうか?研究を進めていくうちに、理論研究で得られた結果や仮説を検証することの重要性もひしひしと感じるようになっていた。

そこで私は一念発起し、MMXに初期から参画することで、火星衛星の起源に決着をつけるだけでなく、MMXで実現可能な火星衛星および火星、ひいては太陽系全体の初期進化にまつわるサイエンスを

創出し、そして検証するという大きな役割の一端を担うことを覚悟に決めた。

また余談になるが、毎週、MMX初期科学メンバーがオンライン上で集まり議論を行う。この会議は、現在ではサイエンスボード定例会と呼ばれ、これを執筆している現時点で429回行われてきた。ものすごい数の会議である。長寿番組で知られる「笑点」の放送回数を超えるかもしれないと思ったが、「笑点」はすでに2906回(2024年4月13日の時点)放送されており、さすがに「笑点」は越えられないと思った。

3. MMXの危機?

約9年間、MMXに関わってきた。これだけ長期間になると、探査計画の推進を阻むような危機に幾度となく出くわす。例えば、探査機の立ち上げは、当初2021年度であったが、いつのまにか2024年になり、直近では、H3ロケット試験機(1号機)の打ち上げ失敗によって、打ち上げが2026年に延期された。計画当初はフォボスとデイモスの両方からサンプルを採取する予定だったが、燃料・コストの問題で、どちらか片方に絞らなければならなくなった。コロナウィルスのパンデミックの時期とも重なり、国内外の各チームやメーカーとのすり合わせが遅れたり、昨今の物価高や人手不足により、MMXにかかる経費も当初よりも膨らんでしまった。このような数々の危機の中で、私が直接的に関わったものに「惑星保護の観点からMMXが頓挫するかも?」という危機があったのでその経緯を紹介したい。

2018年頃、私は、MMXで採取するフォボス試料に、どれくらい火星表層由来の物質が含まれている可能性があるのかを検討していた。直近の5億年間に形成されたと推定されている火星上の複数のクレーターに注目して、それらのクレーターを形成するような小天体の衝突で、宇宙空間へ巻き上がった火星表層物質が、近くを回っているフォボスにどれくらい降り積もるのかを見積もっていた。最終的に総量として 3×10^9 kg程度、フォボスに降り積もることがわかった[4]。これは、MMXでフォボスから採取した砂粒1000粒のうち1粒は火星表層由来であることを意味している。採取された砂粒の粒径にもよるが、MMXで最低持ち帰ってこうとしているサンプル

量10gを想定した場合、そこには100粒以上の火星表層物質が含まれていることになる。火星に着陸して、火星本体から直接サンプルを取ってこなくても、火星衛星から火星表層の物質を持ち帰ることができる。とわかり、私の心は弾んでいた。しかもこの100粒は、火星の様々な場所から飛来した可能性が高く、火星の様々な時代の表層環境を物証的に解明することが可能かもしれない。一つ一つの砂粒は小さいが、現在の精度の高い分析機器と技術を用いれば、地球で行われてきた「全地球史解説」のようなことが火星でも行うことができるかもしれない。「全火星史解説」である。

さらに、話を飛躍させて、もし、現在の火星表層上に、生きた微生物、もしくは微生物の死骸や痕跡が残っているとしたら、フォボスから採取された試料にも、微生物そのもの、もしくはその痕跡が見つかるのではないかと考えた。NASAとESAは、火星本体からのサンプルリターンの計画(MSR)を現在進めており、彼らよりも、2年早く、MMX計画で地球外生命(の痕跡)が発見できるかもしれない、と私の心はさらに弾んでいた。MMXが2026年打ち上げに延期され、フォボス試料が地球に帰還するのは2031年となったが、MSRの方の計画も遅延しており、早くても火星表層サンプルが地球に帰還するのは2033年であり、現在もおMMXの方が2年先行していることは付け加えておく。

そんなこんなで、心が躍っていた状況で、藤本さん(JAXA 宇宙科学研究所・副所長)から一通のメールが届く。「MMXで生命発見、っていうのはとても面白いんだけど、このままだと、惑星保護の観点から、MMX計画が頓挫しちゃうよ?なんとかしてくれない?」といった内容だった(と思う)。宇宙探査を行う上では、各国が従わなければならないルールがあり、地球以外の天体から未知の生物を地球に持ち込んでしまう可能性がある場合には、その対策を厳格に行わなければならない。この場合、未知の生物で地球が汚染されてしまう確率を100万分の1以下にしなければならぬのである。「はやぶさ」や「はやぶさ2」の対象天体は、生物の存在がないとされていたので、この対策をする必要がなかった。一方、火星本体からサンプルを持って帰ってくるMSRはこの対策を行っており、このままではMMXでも同様な対策

が必要となってくる。

具体的には、サンプルを入れたカプセルが地球大気へ投入される際に、物質が漏れ出してしまう確率を100万分の1より低く抑えるようにカプセルを設計する必要がある。また、サンプルを分析する際にも、外に生きた微生物が漏れ出さないような施設を新たに作る必要が出てくる。これらの追加の費用をざっと試算すると100億円以上の追加の予算が必要になってしまうわけだ。このことを受けて、藤本さんは、「どうしてくれるんだ?なんとかしろ!」となったわけだ。なんとかしろって言ったって・・・弾んでいた私の心は一気にしぼんだ。

急遽、藤田さん(当時JAXA)、黒澤さん(当時千葉工大)、兵頭さん(当時東工大)らとチームを結成し、生きている微生物をMMXで採取してしまう可能性を検討した。現在の火星表層での微生物密度を、バイキング2号の着陸機が搭載していた生命検出装置で検出することができないギリギリの上限である微生物密度 10^9 個/kgを仮定し、フォボスへの輸送過程、フォボス上での宇宙線による滅菌、フォボス上での微隕石衝突による衝突滅菌などなどを1つ1つ詳細に検討した。その結果、ほぼすべての生きた微生物は滅菌され、MMXで採取する10 gの試料に、1匹でも生きた微生物が混入する確率が、100万分の1以下であることを定量的に示した[5,6]。

この結果は、国際宇宙空間研究委員会(COSPAR)の惑星保護パネルに受理され、MMXを「はやぶさ」や「はやぶさ2」と同じレベルの惑星保護方針で行うことに対して、国際的な合意を得ることができた。つまり、対策に必要とされる100億円以上の追加予算は必要なくなり、危機を乗り越えることができたのであった。生きた微生物をMMXで発見する可能性はほぼ0となってしまったが、それでも微生物の死骸・破片・痕跡の発見チャンスはまだ残っている。後日、この活動が評価され、我々のチームは、2019年にJAXA理事長賞と賞金5万円をいただいた。我々のチームは100億円以上の追加出費を回避したのだから、1億円ぐらい賞金としていただけないかと藤本さんに交渉したら怒られた。

4. おわりに

本稿は、筆者目線で、火星衛星やMMXとの出会い、惑星保護に関する裏話的なものを書かせていただいた。私のこれまでの記憶やメールなどの記録をもとに、できるだけ正確に記したつもりだが、なにぶん数年も経ってしまうと記憶が曖昧になってしまっている部分があることも否めない。もし、間違いがあったとしても、そのあたりはご容赦していただきたい。読者の中には、火星衛星およびMMXのサイエンスをもっと深掘りしてもらいたいという意見もあるかもしれないが、そのあたりは、これまでの遊星人のMMXに関する連載記事や、これからも続く連載記事を参考にしてもらいたい。また、2年前に、EPS誌にて火星衛星およびMMXの特集号を出している[7]。そして、現在、PEPS誌にて特集号を組んでいる。来年度には出版される予定なので、期待していただければと思う。

次号へ続く。

参考文献

- [1] Citron, R. I. et al., 2015, Icarus 252, 334.
- [2] Rosenblatt, R. et al., 2016, Nature Geoscience 9, 581.
- [3] 兵頭龍樹, 玄田英典, 2018, 遊星人 27, 216.
- [4] Hyodo, R. et al., 2019, Scientific Reports 9, 19833.
- [5] Fujita, K. et al., 2019, Life Sciences in Space Research 23, 73.
- [6] Kurosawa, K. et al., 2019, Life Sciences in Space Research 23, 85.
- [7] Genda, H. et al., 2024, Earth, Planets and Space 76, 8.

著者紹介

玄田 英典



東京工業大学 地球生命研究所教授。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程終了。博士(理学)。日本学術振興会特別研究員PD, 東京大学特任助教などを経て2013年より現職。

MMXでは科学戦略チーム「Early Solar System Evolution」のPIを務める。