

パンスペルミア説と地球外生命の可能性

Panspermia hypothesis and the possibility of extraterrestrial life.

山岸 明彦（東京薬科大学 生命科学部）

Akihiko Yamagishi (School of Life Sciences, Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences)

本稿では、宇宙で行われた実験「たんぽぽ計画」とそこで検証したパンスペルミア仮説をまず取り上げる。また、火星での地球外生命探査計画について紹介する。さらに、地球上の生命の起源についてわかっている点や地球外生命の可能性について解説する。

たんぽぽ計画の科学目標

「たんぽぽ計画」は、2015年から2018年にかけて国際宇宙ステーションの曝露部で行われた実験である^[1, 2]。たんぽぽ計画は2つの科学目標をもって行われた。ひとつはパンスペルミア仮説の検証である。パンスペルミアとは、いまから100年以上前にアーレンiusというスウェーデンの化学者が提唱した仮説で、微生物が太陽風によって惑星間を移動するのではないかとという仮説だ。たんぽぽ計画ではパンスペルミア仮説の検証をひとつの

目標とした。

もうひとつの目標は生命の起源の前に有機化合物が惑星塵によって地球にもたらされたという仮説の検証である。宇宙空間、特に暗黒星雲と呼ばれる場所には大量の有機化合物が検出されている。宇宙空間で合成された有機化合物は、隕石や宇宙塵に含まれて大量に初期地球表面に降り注がれていた。宇宙塵中に有機化合物があることが既に推定されている。しかし地上に到着した宇宙塵中に地球由来の有機化合物が混入する可能性もある。そこで、宇宙空間で宇宙塵を捕集してそのなかの有機化合物を調べようというのがたんぽぽ計画の2番目の目標である。

たんぽぽ計画の宇宙実験の概要

たんぽぽ計画では、国際宇宙ステーション（図1）を

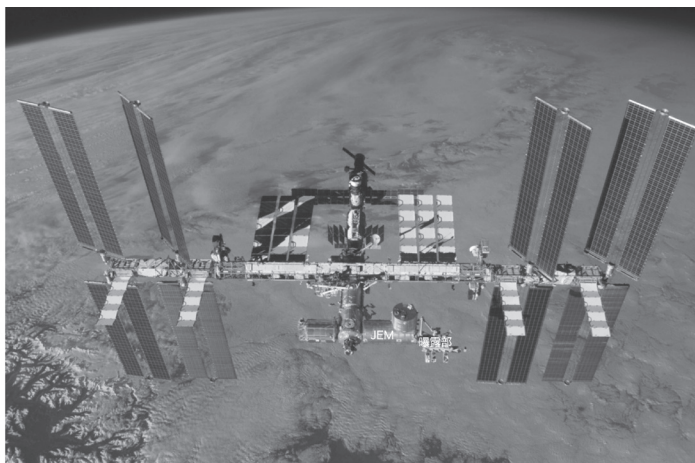


図1. 国際宇宙ステーション (JAXA/NASA)。長さ約70m幅約110m、重量約420tで高度約400kmの軌道を一周90分で地球を周回している。

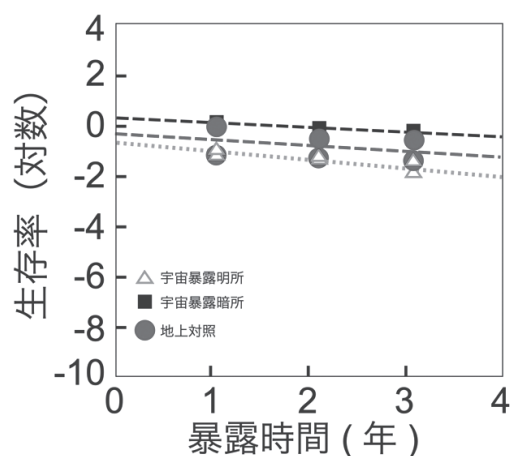


図2. 放射線耐性菌デノコッカス・ラジオデュランスの生存率の時間変化^[3]。

利用して実験を行った。国際宇宙ステーションは高度約400kmの軌道を一周90分で地球を周回している。国際宇宙ステーションには日本の実験棟（JEM）の外側に曝露部と呼ばれるプラットフォームが設置されている。そこに曝露パネル3枚を宇宙を向くような方向で取り付け、ExHAMという簡易曝露実験装置を設置した。1年間の宇宙曝露後に、3枚の曝露パネルのうちの1枚が取り外されて地上に持ち帰られた。2年間の宇宙曝露後に2枚目が、3年間の宇宙曝露後に3枚目が地上に持ち帰られた。こうして、3年間に3枚の曝露パネルを持ち帰ることで、微生物生存率の時間経過を解析できるようにした。

図2は、放射線耐性であるデノコッカス・ラジオデュランスという菌の生存率が3年間にどのように低下したかという結果を表している^[3]。灰色の丸で示した地上での対照実験や黒四角で表した宇宙で暗所においた場合を比較対照として、太陽紫外線が当たる場所に置いた菌の生存率を三角で示している。これらの直線は、傾きがほとんど変わらなかった。これらの線の傾きと、曝露した菌の総数から計算すると、宇宙空間で紫外線が当たった場所でも2～8年間、紫外線が当たらなければ48年間この菌が生存できると推定された。

地球と火星の間を微粒子が移動する場合、たとえば地球を飛び出した粒子は、太陽の周りを周回する。微粒子は周回しているうちにたまたま火星に衝突することになる。地球を飛び出した微粒子が火星に到達するまでの時間は平均すると数千万年かかることになる。ところが、

たまたまとても都合の良い時期に都合の良い方向に飛び出した微粒子は1年から数年で火星に到達する。逆の方向の移動も同じである。すると、微生物は紫外線があたってもあたらなくても、地球と火星のあいだを移動する最短期間は生存可能だということになる。したがって、もし40億年程前に火星で生命が誕生したとすれば、それが地球にやってきて地球の生物の元になったという可能性もあることになる^[3]。

火星での生命探査

さて、それでは現在の火星には生命はいないのだろうか^[4]。現在の火星には、水や酸素はなく、大気は地球の1000分の7と極めて薄い。温度も平均-56℃と地球生命にとって過酷な環境である。ところが、最近の研究で火星が誕生して数億年のあいだは厚い二酸化炭素の大気に覆われ、表面の約30%に海が存在していた。当時の火星には、磁気も火山もあって、当時の地球に似た環境であったことがわかってきた。したがって、地球に生命が誕生したのなら、火星にも生命が誕生してもよいことになる。

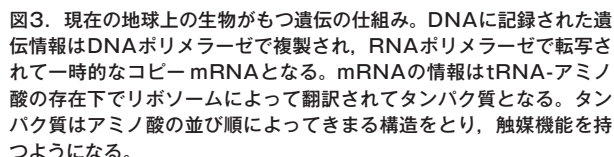
また、最近の探査で、現在の火星にも液体の水が地下に発見された。火星の表面温度も高い場所では20℃に達する。つまり火星表面には地球の微生物なら生存可能な環境があるということがわかってきた。アメリカ航空宇宙局が火星に送った探査車キュリーオシシティがゲールクレーターの中を探査し、泥岩の中に有機物があることもみつけた。生命にとって必要な元素（水素、炭素、酸素、窒素、イオウ、リン）も火星の表面に見つかっている。また、生命の生存に必要なエネルギー源として利用可能なメタンや還元型のイオウが地表にあることがわかってきた。突発的にメタンガスが噴出することが観測された。これらは、地球の化学合成細菌と呼ばれる微生物のエネルギー源となり得る。つまり、現在の火星には地球の生命であっても生存可能な環境が残っていることになる。

ところで、火星に生命がまだ生きていたとしてどのような生命なのだろう。地球の歴史をみても、最初の20数億年間は原核生物と呼ばれる1μm程度の小さい細胞をもつ微生物の世界だった。火星の海は最初の10億年ほどでなくなってしまったので、火星にまだ生物が生き残っているとしても、おそらく小さい細胞をもつ微生物

そこで、日本の微生物研究者が中心となって、火星の微生物を顕微鏡で探査する計画を検討している^[4]。火星表面に探査機を送り込み、ローバーが適切な場所まで移動し、火星表面の土壌をすくって、それを顕微鏡で観察しようという計画である。ところで、地球の土を普通の顕微鏡でみても粘土の粒と微生物を見分けることはできない。しかし、蛍光色素という特殊な色素で染色することで、微生物を検出することができる。たとえば、有機物があれば赤に、有機物が膜に囲まれていれば緑に光る蛍光色素がある。また、細胞がもつ酵素と呼ばれる触媒によって反応し、緑色の蛍光色素に変わる色素もある。探査車にのせた顕微鏡に火星表面の土壌を入れて、こうした色素を自動的に添加して蛍光顕微鏡で自動的に撮像する。その写真を探査車から地球に送れば、その写真を解析して微生物がいるかどうかの判定ができるはずである。現在その顕微鏡の開発を進めている。2020年代後半から2030年代前半にはなんとかこの顕微鏡を載せた探査機を火星に送ることができることを期待している^[4]。

さて、そもそも地球ではどのように生命は誕生したの
だろう。地球での生命の誕生に関してまだわかっていな
いことは沢山あるが、その大筋はわかってきている^[5]。

ただし、有機化合物があるだけでは生命は誕生しない。生命が誕生する上で最も大きな謎は遺伝の仕組み（図3）の誕生である。遺伝情報はDNAに塩基と呼ばれる化合物でACGTの文字のように記録されている。その遺伝



このような遺伝の仕組みがないと、タンパク質は作られない。ところが、この遺伝の仕組みはDNAポリメラーゼ、RNAポリメラーゼ、rRNA-アミノ酸を作る酵素、リボソームタンパク質などがないと機能しない。一方、これらはいずれもタンパク質なので遺伝の仕組みがないとできない。生命誕生に関して、遺伝の仕組みなしにどのようにタンパク質ができたのか、あるいはタンパク質なしにどのように遺伝の仕組みが機能したのかということが最大の謎であった。この謎は「たまごとニワトリのパラドクス」と呼ばれている。

140

トマンのグループによってほぼ同時期に発見された。RNAはDNAと同様に遺伝情報を記録しておくことができる。つまり、RNAは触媒活性をもち、RNAは遺伝情報も記録できるので、RNAだけでできた世界がありうることになる。これは「RNAワールド」と呼ばれる。おそらくRNAワールドが現在の生命世界（DNAとRNAそれにタンパク質でできた世界）の前にあったということが明らかになってきた^[5]。

地球外生命の可能性

さて、地球以外の太陽系惑星や、太陽系以外でみつっている惑星、系外惑星に生命はいるだろうか？いるとすればどのような生命なのだろう^[6]？

たとえば、有機化合物以外の分子で構成された生命がマンガの世界では登場する。炭素ではなく、ケイ素骨格をもつ分子を利用した生命はいるのだろうか？具体的に可能性を考えていくと、その可能性はそれほど高くない。一番の理由はケイ素の酸化物である二酸化ケイ素が非常に安定な事である。したがって、ケイ素化合物はそのほとんどがケイ酸塩で存在している。ケイ酸塩の種類はそれなりにあるが、ケイ酸塩以外の化合物は極めて少ない。一方、炭素化合物は宇宙空間で100種以上、隕石のなかには数百種類以上の炭素化合物が既にみつっている。炭素を用いて多数の分子をつくることのできるのに対し、ケイ素でこのような分子が自然にできる望みは薄い。

隕石の中には多数の脂肪酸、アルコール、アミノ酸、アミンがみつっている。太陽系の地球以外の惑星にも隕石は到達したはずで、これらの分子もそれらの惑星に到達したはずである。他の惑星でもこれらの分子、つまり有機分子を基礎にした生命が誕生してもおかしくない。

一方、RNAそのものはまだ隕石中にみつっていない

いが、RNAの材料は隕石中にすべてみつっているのので、RNAを使った生命も地球以外で誕生してもおかしくない。ただし、RNAの材料が反応してRNA単量体となり、さらにRNA単量体が重合してRNAの多量体となる反応は陸上で進行する必要がある。したがって、太陽系で惑星形成初期に大気と陸のあった惑星、火星と金星では地球と同じ様なRNA生命が誕生したかもしれない。

太陽系以外の惑星系に5,000個を越える惑星が発見されている。そのなかには、中心星（その惑星の太陽）からの距離が遠すぎず近すぎず、適当な距離にあるので液体の水があっても良い惑星も多数みつっている。地球や火星、金星の様に岩石でできていると思われる惑星も多数ある。それらの太陽、中心星に含まれる元素の種類や量も我々の太陽と大体同じである。すると、その周りの岩石惑星であればおそらく中心には鉄とニッケルでできたコア、その周りをケイ酸塩を主体とした岩石でできたマントルで覆う、というような点で太陽系の岩石惑星と類似した構造の惑星である可能性が十分ある。一方、水の量はわからない。地球の海水の量は地球質量の0.02%ととても少ない。液体の水がまったくないわけではないし、地球全表面が水で覆われているわけでもない。この微妙な量の水がどのようににもたらされたのかは、まだわかっていない。

しかし、もし生命が誕生する惑星があるならばやはり、有機化合物でできていて、溶媒としては水を使っている生命が誕生する可能性は高い。また、様々な有機化合物の中でもアミノ酸は隕石中に70種類以上みつっている。アミノ酸は宇宙で普遍的に存在する可能性が高い。したがって、地球外の生命もアミノ酸を使っている可能性は高い。地球以外で生命が誕生したならば、有機化合物でできた地球生命とよく似た生命かもしれない^[6]。

参考文献

- [1] Yamagishi, A. et al. *Astrobiology* 21 : 1451-1460 (2021)
- [2] Yamagishi, A. et al. *Astrobiology* 21 : 1461-1472 (2021)
- [3] Kawaguchi, Y. et al. *Frontiers in Microbiol.* 11 : 2050 (2020)
- [4] 吉村義隆, 他. 日本惑星科学会誌遊星人. 27 : 147-151 (2018)
- [5] 山岸 明彦. *Viva origino* 49 : 1-14 (2021)
- [6] 山岸 明彦. アストロバイオロジー：地球外生命の可能性. P.145-161. 丸善出版 (2016)

山岸明彦

1975年東京大学教養学部基礎科学科卒業。1981年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了（理学博士）カリフォルニア大学バークレー校博士研究員等を経て、1987年東京工業大学理学部生命理学科助手。1995年 東京薬科大学生命科学部助教授。2005年同教授。2018年退職し、現在、名誉教授。研究内容: 宇宙探査, 宇宙における生命の起原, タンパク質工学。