

火星テラフォーミングと宇宙農業

橋本博文（宇宙航空研究開発機構）

Mars Terraforming and Space Agriculture

Hirofumi Hashimoto*

*ISAS/JAXA, Sagami-hara, Kanagawa 252-5210

E-Mail: hashimoto.hirofumi@jaxa.jp

Abstract: Mars terraforming using greenhouse gases as a trigger was proposed. It was explained that during this process, technology to perform space agriculture in a low-pressure environment (1 to 100kPa) will be required.

Key words: Mars, Terraforming, Space agriculture

1. はじめに

黄道 12 星座を彷徨う赤い星は、太古の昔から人類を魅了してきた。かつて、アポロ計画を成功に導いたフォン・ブラウンは、月を越え、はるか火星に思いを馳せた。将来、火星に上陸した人類は狭い基地を飛び出し、赤い大地を緑に変えるであろう。

2. 温室効果ガスによる火星テラフォーミング

宇宙に進出した人類、最初は狭い基地内で過ごしていても、何れは地球と同じように広々とした大地を自由に動き回りたくなるに違いない。最初にそんな妄想を科学的に考えたのは、カール・セーガン¹⁾である。彼はその大きさと太陽からの距離が地球に近い金星を「地球化」することを考えた。この「地球化」を「テラフォーミング」と呼ぶ。その後、金星は表面温度 460°C、大気圧 9.2MPa (92atm) の灼熱地獄で、テラフォーミングが難しいことがわかった。月は十分な重力がなく、大気が維持することが難しいので、次の候補は火星となる。火星は地球よりも小さく、質量は 1/10、重力は 1/3 ほどであるが、自転周期は 24 時間 37 分で地球に近い。大気は地球と比べて、かなり薄く、0.7kPa (0.007atm) ほどであり、その 95%は二酸化炭素である。また、表面には液体が流れた後や凍土の存在を示すポリゴンと呼ばれる模様が存在し、地下に大量の水を埋蔵している可能性を示唆している。

火星表面の平均気温は、約 -60°C であるが、南極冠を構成するドライアイスを温めて昇華させることにより、暴走温室効果を誘導できることがわかっていいる。現在の火星南極は安定した平衡点にあり、約 -140°C であるが、20K だけ高めることができれば、昇華した二酸化炭素が温室効果を増幅し、さらなる温度上昇を引き起こす。最初のきっかけとなる温度上昇があれば、火星全体の温暖化を可能にする。かつては、大きな鏡を火星の周回軌道に設置し太陽光をあてる、小惑星を衝突させる、核兵器を使用す

る、など、荒唐無稽なアイデアが考え出されていた。それに対して、クリストファー・マッケイ²⁾は温室効果ガスを用いて火星を温暖化する方法を提案した。現在の地球では二酸化炭素の増加による温暖化が問題になっているが、この現象を逆に火星に応用できれば、火星を温暖化することができると考えた。温室効果ガスは、二酸化炭素、水蒸気、メタン、フロンなど、赤外吸収を引き起こす分子構造を持つ物質である。安定かつ安全で最も大きな温室効果をもたらすフロンガス C₃F₈ (八フッ化プロパン) を用いると、火星大気中に 1Pa の分圧で、33.5K の温度上昇をもたらすことが、計算により示されている。

火星に化学プラントを建設し、現地の材料を使って、C₃F₈ を製造し、火星大気に放出する。すると、徐々に大気温度と圧力が高まる。地下の凍土がとけて、水が地表に海を作り、水蒸気の温室効果により、さらに温度と圧力が高まる。同時に、海にラン藻を導入して酸素を作る。マッケイら³⁾は、およそ 100 年で地球大気温度と圧力に近づけることができるとしている。

3. 低圧環境下での宇宙農業

しかしながら、二酸化炭素と水の埋蔵量がわからないので、火星の暴走温室効果がどこで収束するかわからない。テラフォーミング進行中の火星大気が何°C、何 atm で平衡するか、見積もることができないのである。また、平衡するまでの長い期間、頑丈で狭い基地の内部で農業を行っていたのでは、開拓は進まない。そこで、低圧 (1~100kPa (0.01~1atm)) で宇宙農業を行うことを考える。

光合成を行う前の植物の発芽には、水と酸素だけが必要なことがわかっており、最も単純な低圧宇宙農業として芽出し野菜のスプラウト栽培を行うことを考え、低圧環境で発芽実験を行った⁴⁾。その結果、酸素分圧 1kPa (0.01atm) で発芽する植物が存在することが分かった。しかし、室温では水が 1kPa の気圧

で液体では存在できないので、実際は 5kPa まで減圧した空気を用いている。テラフォーミング初期では現在の火星環境と変わらない状態で農業を行うことを考える必要があり、しばらくは 1kPa での発芽を目指すことにする。栽培を行う温室の内部を火星の大気圧と同じに設定することにより、差圧がないのでビニールハウスのような簡易温室を用いることが可能となる。温室内部は純酸素で満たし、水は蒸発することを前提にして種子に供給し続ける非平衡状態を維持する。

並行して、作物となる植物の発芽最低圧力のデータベースを作ることにより、あらゆる圧力環境下での作物の栽培が検討できるようになるであろう。

4. おわりに

温室効果ガスをトリガーとした火星テラフォーミングを考え、その進行中は低圧環境（1～100kPa）で宇宙農業を行う技術が必要となることを解説した。

参考文献

- 1) Carl Sagan: The Planet Venus, *Science*, Vol.133, No.3456, pp849–858 (1961).
- 2) Christopher P. McKay, Owen B. Toon, and James F. Kasting: Making Mars habitable, *Nature*, Vol.352, pp489–496 (1991).
- 3) Margarita M. Marinova, Christopher P. McKay, Hirofumi Hashimoto: Radiative-convective model of warming Mars with artificial greenhouse gase, *Journal of Geophysical Research E: Planets*, Vol.110, No.3, pp1–15 (2005).
- 4) 橋本博文 : 超低圧環境下での発芽実験, 第 60 回宇宙科学技術連合講演会講演集 CD-ROM, 3D13 (2016).