# **テラフォーミングの実現性**

## 2020-10-11

MM7777

## じょーじ

## じょー

# 目次

## 1テラフォーミングの定義

## 2火星と地球

## 3火星に住むための条件

## 4食糧から見る火星移住

## 5将来的な火星

## 6参考文献

概要

現在、地球温暖化が進んでいる中で、将来、人間が地球(だけ)で暮らしていくのは難しいかもしれない。

そこで、現状でのテラフォーミングの実現性を確かめ、一つの解決策になるかどうかを検証する。

# テラフォーミングの定義

## テラフォーミングとは、人為的に天体（主に惑星と衛星）の環境を変化させ、人類が住めるようにすることをいう。[谷藤18]

## 火星は地球の約半分の大きさで地球より太陽から遠く、大気圧も地球に比べ極端に低いので、気温も低い。しかし、自転軸の傾きがほとんど等しく、これにより四季が存在する。また、低温ながらも日中の赤道付近では 20度を超えることもあり、太陽系の天体の中でも特に地球に似ているといえる。[谷藤18]

1. 火星と地球

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **軸の傾き(度)** | **1年の長さ(地球日)** | **1日の長さ(時間)** | **平均気温**  **(℃)** | **大気圧**  **(hPa)** | **太陽からの平均距離**  **(AU)** |
| 地球 | 23.5 | 365.25 | 23.56 | 15 | 1013.25 | １ |
| 火星 | 25 | 687 | 24.37 | -55 | 6.08 | 1.52 |

[谷藤18]

# 火星に住むための条件

## 表面温度の上昇(平均で-5℃以上)[谷藤18]

## 大気圧の増加[谷藤18]

## 海の形成[谷藤18]

## 大気組成の最適化(地球と同じように)[谷藤18]

1. 酸素・二酸化炭素の生成[将田12]

## 紫外線照射の削減[谷藤18]

これらすべてについてみていく。

1. 表面温度の上昇

極冠にあるドライアイスを気化させ、メタン・二酸化炭素を発生させる。[谷藤18]

太陽との距離が遠いために、温度が上がらないので地球と同じ距離に近づけることも考えてみる。

しかし、火星に行き且つ、火星を動かすなんて考えると何千年先の話になるかわからない。

なので、ほかに太陽の熱を多く受け取れる方法を探してみる必要がある。

温度とは少し違うが、火星表面について別のこともわかっている。火星には現在も毎日240トンの炭素が隕石として降り注ぐにもかかわらず、着陸探査による有機物の検出はきわめて限られている。火星表面における強い酸化環境があるため、有機物があったとしても地表面では比較的短時間で壊されてしまう可能性が高いといわれている。[宮本16]

これのせいで火星表面に生物が存在できないのではないかと危惧されている。[宮本16]

1. 大気圧の増加[谷藤18]

メタン存在の可能性がある。

火星表面で反射された太陽反射光を観測し、その反射光が火星の大気を通過することでメタンの吸収を検出している。

夏に北極冠が昇華することで、地下に貯蔵されていたメタンが放出されたのかもしれない。

しかし冬になると急激にメタンの量が低下していることがわかる。この原因はいまだわかっていない。

これらのことはあくまで仮定であり、検出の仕方に問題を少なからず抱えているため、メタンが存在するとは断定できない。

しかし、いくつかの方法で検出を試みたところ共通点っも多かったため、メタンが存在する可能性を示唆している。[石丸12]

またメタンは現在の火星大気中では比較的短命と考えら れていて，供給されることがなければせいぜい約300 年，場合によってはわずか200日間から数時間で分解 されるといわれている。[逸見18]

1. 海の形成[谷藤18]

一つの方法として巨大なミラーを置く。

大気圧を上昇させるために、ミラーで極冠のドライアイスを気化させる。→二酸化炭素(大気)上昇、気温も上昇。

そうすると火星の地下にある永久凍土が温暖化によって溶け出し、地表面に海が出現すると言われている。火星の地表下にあるとされる永久凍土が温暖化によって溶けだした場合、地表面の４分の１を覆うと考えられている

気温、気圧が上昇し、液体の水も存在できるようになれば植物を植えることができるようになる。→酸素の生成 [谷藤18][逸見18][山岸14]

別の論文の大量の水の存在からも考えてみる。[宮本16]

最近15年間に送り込まれた９機の火星探査機は、これまでの火星像を大きく覆す重要な発見をもたらした。[宮本16]

たとえば火星にかつて大量の液体の水が存在していたのは確実である、と認識されるに至った。岩石学・鉱物学的には、さまざまな種類の硫酸塩水和物や層状ケイ酸塩、シリカの濃集などが水の存在を強く示唆する証拠と考えられている。[宮本16]

しかもただ単に水が存在していただけでなく、河川が谷を侵食し、その下流に湖や海が形成されていたようだ。[宮本16]

これは堆積岩や堆積構造、谷地形、扇状地、デルタ（三角州）、土石流堆積物などの存在からも明らかにされている。デルタ（三角州）の分布が北部平原の海岸線のような地形に沿い、さらにこれらの存在が一定の等ポテンシャル面高度に集中してみられることなどは、かつて海が形成されていたことを強く示唆する重要な証拠とされている。[宮本16]

こうした大量の液体の水の存在は、過去の火星大気状況なら可能だったことが現在の火星大気の状況（圧力約7mbar、平均－50℃以下）で液体の水が安定して存在できないことが判明したとされている。

さらには、地下に存在が確認されている氷は，たとえ温度が上昇しても液体相を経ずに蒸気へと昇華してしまう。[宮本16]

これは先ほどのミラー実験が不可能な可能性を示唆しているといえる。

1. 大気組成の最適化(地球と同じように)[谷藤18]
2. 酸素・二酸化炭素の生成[将田12]

この二つはとてもよく似ている。まず酸素・二酸化炭素の生成を行い、これが成功したのちに人間が住める、適応できる大気組成の最適化を図らなくてはならない。

酸素は約30億年前、地球でのラン藻の光合成による酸素発生によって、それまで水蒸気の紫外線分解によって微々たる量しか存在していなかった酸素が、積極的に大気中に放出されるようになった。[野口03]

太陽からの無尽蔵の光エネルギーと、自身の住処である水の電子を用い、原始大気の主成分であった二酸化炭素を還元して糖を合成するというメカニズムができた。

つまり、ラン藻や植物は、二酸化炭素を還元するための電子を獲得する目的で水を分解し、その結果として“出てきてしまった”酸素を捨てていることになる。そうして酸素は生まれた。[野口03]

酸素発生の元であるラン藻は比較的繁殖力が高いため、地球から火星に持っていき、火星の水でも繁殖できるのか確かめる必要がある。

しかし、③でも述べたように、火星環境下での水の保存は極めて困難と言われている。それをも覆す大気組成と表面温度を実現できれば不可能とは言えなくなってくる。[宮本16]

火星での十分な水の確保とラン藻の繁殖が可能であれば、火星での酸素発生は現実味を帯びてくる。しかし、太陽風で酸素が流れてしまう可能性があり、留めておくのが困難だともいえる。[野口03]

⑥ 紫外線照射の削減[谷藤18]

## 地球と火星の往復飛行にかかる日数が360日と仮定した場合、火星往復飛行で宇宙飛行士が受ける被曝量は662ミリシーベルトということがわかった。 [山岸15][角地16]

## この仮定では，火星における滞在期間は含まれ ていない。この被曝量は、福島第一原発事故後に一時的に設けられた放射線量の限度である年間 250ミリシーベルトも超えることになる。

## 短期間の飛行あるいは火星に定住することが可能であれば片道なら安全といえる。 [山岸15][角地16]

## 将来的に人類を火星に定住させる計画であれば、先に火星に物資を送っておき、火星の地下に基地を建設するなどして放射線被曝を低くする対策を取ることができる。 [山岸15][角地16]

## 短期間で火星に到達する方法としては、原子力推進ロケットを用いる方法が検討されている。原子力推進ロケットを使えば、地球から火星までの航行期間は 1 ヶ月から1 ヶ月半程度になると推定されており、従来のロケットに比べ航行期間を大幅に短縮することができる。 [角地16]

# 食糧から見る火星移住

もし、火星に移住すると決まったとき、火星での移住活動や定住を考えると、火星での食事は可能にしておかなくては移住作業の計画を進められなくなり、一向に話や作業が遅れてしまう。そこで、地球でできていた当たり前の食事は可能なのかを考えてみる必要がある。

## 2011 年から 2060 年の 50 年間での食料自給率を計算してみる。 前提として、12 品目(小麦、イモ類、大豆、野菜、果実、牛肉、豚 肉、鶏肉、鶏卵、乳製品、砂糖、濃厚飼料)の食料自給率と生産量の変化を見る。[廣瀬 16]

2011年と比べて2060年に自給率が上昇している品目は、小麦、大豆、牛肉、鶏肉、鶏卵、乳製品、砂糖、濃厚飼料の8品目である。一方、自給率が低下している品目は、イモ類、野菜、果実、豚肉の４品目であり、自給率が上昇する品目数の方が低下する品目数よりも多いことが分かった。(図1)

しかし、作付面積・頭数要因は自給率低下に作用していることが分かった。長期的な将来でみると、技術進歩などによる単収・一頭当たり生産量増加による自給率の上昇要因が、耕作放棄などによる作付面積減少や頭数減少による自給率の低下要因で、打ち消されてしまう可能性を示唆している。[廣瀬 16]

## その結果、農業者の減少、畑や牧場の数の減少といった理由で12品目の需要量が供給量を上回ってしまった。 [廣瀬 16]

## 栄養価が高く採取しやすい昆虫も考えてみる。

## どの昆虫もタンパク質と脂質が多く、必須アミノ酸が豊富に含まれている。

## また虫は乾燥させ粉にして、栄養補給として用いられていた。[片山06]

## 主要な作物種として、コメ、ダイズ、サツマイモ、コマツナの炭水化物、ビタミン、ミネラル、食物繊維の四つを考慮して考えたところ、この組み合わせが最適だということがわかった。これらを火星で栽培し、昆虫を採取できれば食事には困らない。

## しかし、火星表面は太陽光高度が地球に比べて低く、栽培できる状態ではない可能性が高い。[片山06]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 2011年自給率(％) | 2060年自給率(％) |
| 小麦 | 11.1 | 13.6 |
| イモ類 | 75.4 | 44.4 |
| 大豆 | 6.9 | 12.1 |
| 野菜 | 79.5 | 58.0 |
| 果実 | 37.8 | 17.5 |
| 牛肉 | 40.4 | 44.0 |
| 豚肉 | 51.9 | 46.8 |
| 鶏肉 | 65.7 | 90.8 |
| 鶏卵 | 94.3 | 160.5 |
| 乳製品 | 64.8 | 96.9 |
| 砂糖 | 33.4 | 53.3 |
| 濃厚飼料 | 12.1 | 15.2 |

(図1)

[廣瀬16]

5．将来的な火星

将来火星で生命探査を行うとしたら、その調査地点の条件として、①地表付近で短時間であっても水分活性0.6以上をもち、なるべく地下から揮発性物質が放出されている場所かその周囲、②自由エネルギーの獲得が可能であること、③着陸やローバー等による移動が容易であること、があげられる。[宮本16]

現在の火星表層では，液体の水は安定して存在することはできないため、①の条件はまったく成り立たな いと従来は考えられてきた。[宮本16]

しかし少しでも地中に入れば、水蒸気や氷の存在（地球で氷の内部において、塩水や液体包有物の形の水の内部に微生物が存在できることが知られている）、塩水の存在（飽和塩化ナトリウム溶液の水分活性は0.75であり、そのなかでも微生物が存在できる）などにより達成しうるし、地表面であっても短時間であれば達成しうる。[宮本16]

これらのことを踏まえたうえで、生命探査だけではなくても、火星におり立つ日が来るのならば考えなくてはならない最低条件ではある。[宮本16]

さらに、将来的に人類の恒常的移住を目指した場合これらを考えなくてはならない。

基地(都市)開発

## 居住・空調環境

## 水・食物環境

## リサイクル環境

## 医療環境(肉体的健康と精神的健康)

## 法律環境

## 文化的環境

## [大西15]

# 6．参考文献

[石丸12]石丸亮, 小松吾郎, 松井孝典, 火星のメタン, 地質学雑誌, 118巻, 10号, 2012-10-15, pp. 664-674.

[逸見18] 逸見良道, 宮本英昭, 地形変化から見る現在の火星の地質現象と将来の火星探査の展望, 日本惑星科学会誌遊星人, 27巻, 3号, 2018-09-25, pp 152-162.

[大西15]大西武雄, 月・火星での人類の移住を目指して, 宇宙環境利用シンポジウム, 29巻, 2015-01,ｐ. 11.

[角地16] 角地 雅信, 宮嶋 宏行, 安濃 由紀, 村川 恭介, 火星模擬実験の概観と有人火星探査の検討, International Journal, 33巻, 3号, 2016-07-31, pp. 33-39.

[片山06]片山直美, 山下雅道, 和田秀徳, 三橋淳, 火星移住のための昆虫を考慮した宇宙食の構想, Biological Sciences in Space, 20巻, 2号, 2006-11-11, pp. 48-56.

[将田12] 将田真人・樺谷航介・高橋時市郎・森谷友昭, ゲーム構想支援のためのテラフォーミング過程のリアルタイム可視化技術の研究, 映像情報メディア学会技術報告, vol.36, No.16, 2012-03-09, pp 33-36.

[谷藤18] 谷藤敬, 火星のテラフォーミング, 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編, 59巻, 2018-03-31, pp 1-8.

[永井19] 永井大樹, 大山聖, 安養寺正之, 岡本正人, 藤田昂志, 米本浩一, 火星飛行機の実現に向けた空力課題への挑戦, 日本航空宇宙学会誌, 67巻, 6号, 2019-06-05, pp. 215-222.

[野口03] 野口巧, 光合成による酸素発生のはじまりとそのメカニズム, 化学と生物, 41巻, 5号, 2003-05-25, pp. 322-328.

[廣瀬16] 廣瀬拓, 赤堀弘和, 近藤功庸, 澤内大輔, 山本康貴, 将来の人口減少が品目別食料自給率に与える影響分析, 農林業問題研究, 52巻, 3号, 2016-09-25, pp. 148-153.

[宮本16] 宮本英昭, 小松吾郎, ドームジェームズ, 逸見良道, 臼井寛裕, 山岸明彦, 地形学からみた火星の表層環境史と生命探査, 地学雑誌, 125巻, 1号, 2016-02-25, pp. 171-184.

## [山岸14] 山岸明彦, 火星での生命探査計画, 文部省科学研究費総合研究, 40巻, 2014-04-10, pp 31-33.

## [山岸15]山岸明彦, 火星生命探査計画に向けた蛍光顕微鏡開発の現状と生命科学の宇宙探査への貢献, 宇宙環境利用シンポジウム, 29巻, 2015-01, pp. 9-10.

多くの学者や教授は実現性があると言っているが、それはあくまでも数値だけを見てのことである。実際にやってみなければその数値が正しいのかもわからない。

現状でのテラフォーミングの実現性は極めて低い。

しかし、何千年も先であれば可能だともいえる。

それまでに地球が人類に、人類が地球に対応してしまう十分な時間でもある

これからは人間の数を減らす、地球にやさしくするなど、を調べていきつつテラフォーミングの可能性が極めて低いので、どの点が可能性を低くしている理由なのかを的確に明確化していき、結論へとつなげていく。(できれば、もう一つ二つの論文を持ってきて可能性を上げたい。)