# **テラフォーミングの実現性**

## 2020-12-13

MM7777

## じょーじ

## じょー

# 目次

## テラフォーミングの定義

## 火星と地球

## 火星に住むための条件

## 食糧から見る火星移住

## 将来的な火星

## 温暖化と費用

1. 環境被害
2. 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

## 3-①表面温度の上昇(平均で-5℃以上)[谷藤18]

## 3-②大気圧の増加[谷藤18]

## 3-③海の形成[谷藤18]

## 3-④大気組成の最適化(地球と同じように)[谷藤18]

3-⑤酸素・二酸化炭素の生成[将田12]

## 3-⑥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。

3-①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]

3-②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]

3-③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。

3-④大気組成の最適化(地球と同じように)[谷藤18]

3-⑤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、3-③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]

3-⑥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．地球温暖化と費用

日本は2030年度に温室効果ガス排質量を2013年比で26%削減する約束草案を提出している。なかでも、家庭部門は39%、運輸部門は28%の削減目標を掲げており、生活者のライフスタイル全体における低炭素化がますます求められている。

しかしながら、我が国における2013年の二酸化炭素排出量は1990年比で13.6%増であり、思うように削減が進んでいないのが現状である。部門別でみると家庭部門は53.4%増であり、人々の生活から排出される二酸化炭素は増加の一途をたどっている。

これらのジレンマを解消するには、生活者個々のライフスタイルや生活のあり方を見直し、省エネをはじめとした低炭素ライフ志タイルの普及促進をより一層進める必要がある。　　　　　　　　　　　　　[森田16]

生活環境変化の中でも特に生活コストや健康、停電など絵の影響に対する重要性が高いこと、高齢者のほうが下の世代より現在の生活行動を重視する傾向がみられること、文科系や社会系の趣味を持つ生活者のほうが将来における生活環境を重要とすることなどがあり、個人属性や生活嗜好の違いが将来の生活環境や現在の生活行動に関する価値観に大きく影響することと、その基礎的知見が得られた。

これらの知見から、低炭素ライフスタイルの普及を推し進めるためには、単に将来の気候変動に対する影響の情報を画一的に提示するだけでなく、例えば高齢者現在の生活行動を重視する層に対しては将来リスクよりも、低炭素ライフスタイルに転換することで、現在得られるメリット(例えば健康や経済性)を提示する一方、運動系や社会系に趣味を持つ層に対しては趣味と関連した将来リスク情報を提示するなど、個人属性に応じた情報やメディアの選択が有効の可能性が期待される。

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　[森田16]

地球温暖化に対する知見や行動は世界中の人が考えなくてはならない。そのため、時間やメディアを媒体に発信していくのであればお金もかかってくる。さらにはこれらの子田を知っていながら行動に移さない人が出てくる。それがほとんどだと思われるが、それは時間が解決するしかないともいえる。

例えば、100年後に今よりも平均気温が3度上がるだけでも国によっては夏が過ごしづらくなり、ことによっては建物から出られなくなる可能性もある。そのようなときにはじめて、今まで見て見ぬふりをしてきた人たちが温暖化について対策をとるのではないかといえる。

火星居住に費やす時間を考えると、温暖化についての行動を起こす時間のほうが優に早いように考えられる。そうなると、火星移住計画に費やしている費用をすべて温暖化対策にまわすことでもっと早く実現できるのではないか。

そこで火星に移住すると考えた時の費用を大まかに調べてみる。

6-①打ち上げ費用

火星探知機ローバーを飛ばす時に掛かった費用は約１８００億円で、ローバー自体は１９８２ポンド（約９００キログラム）ですので、１ポンドあたり、約９０８２万円掛かった計算になる。これに火星に住むのに必要な家具や娯楽に必要なものなど、多くのものが出てくる。

今のところ火星の面積では住むところを共有しあえば8万人住めるといわれている。木材は違うがそのほかのものを少なく見積もっても×5万にしたとき、これだけでも多大な費用が掛かってしまうことがわかる。

6-②移動費用

The Mars Societyの会社を利用すると、約３兆円。

SpaceXだと、約３兆６０００億円。

Nasaだと最高額の約１０兆円。

これが片道にかかる費用なので往復になったらこれの倍。月に行った時の乗客数を見るに、一度の乗れるのは3，4人が限界(違う形の飛行機やロケットを開発すれば別ですが)であり計算すると、3兆×４万円になる。到底払える額ではないのがわかる。

6-③住宅費用

この住宅費は、移動費に含まれる。広さは、１２０立方メートルと、土地の広さと比べたらそこまで大きくは作れませんが、暮らすには十分だと考えられる。

家の高さを２．５メートルとしたらだいたい１６坪くらい（約３２畳）でしょうか。

NASAで約２７０億円。

SpaceXだと約１５０億円かかってくる。

これをを8万人分用意しなくてはならない。

こんなのにお金をかけるくらいなら、世界のどこかに豪邸を建てたほうが安く済むのではないかという見方もある。

6-④生活費

まず必要になるのが、水です。成人は１日に約３．７リットルの水が必要と言われています。

そして、栄養素。こちらも、１日に１２００〜１５００キロカロリーが必要と言われています。

これらを一年間蓄えるとしたら、輸送費、貯蓄費の合計金額（一人あたり）は、

NASAで、約４２億円。

SpaceXで、約１３億円。

このあたりの話は4.食量から見る火星移住でやりましたが、これとは別で考えてこの額は最低の額なのでまだ食物要素などは考えてないものとする。

また前にも話したように火星には氷や水があるかもしれないといわれているが、これもないものとして考える。

6-⑤総合計

１人の人が土地、食事などを手に入れ生活するなら、

NASAで、１年間で約１２兆円かかります。

SpaceXで、約５兆円。

これを国が負担しすると考えたらもっとほかのことに使いたいと考える荷が普通です。もし火星に行く前に命を落としたり、火星で亡くなってしまえば、そのお金はなかったことになる。そして、一人で火星移住するのは気が引けるというのが大半だと考えられる。そうなると、一人でその費用なのでもっと費用が掛かってしまう。将来的には8万人を送ると考えたときにその額を出してくれるのか、とてもではないが確証が持てないと言えてくるだろう。

1. Web参照：お金コラム

この温暖化対策か火星居住、どちらにお金をかけるか考えたときに時間も費用も温暖化のほうが現実味を帯びていると考えられる。

たしかに、地球で暮らせなくなくなってしまったら可能性としては火星が最有力ではあるが、その暮らせなくなったタイミングで、はたして火星に移住できる手段が用意されているかと考えたときにその可能性は低いといえるだろう。

7．環境被害

環境被害によるリスクも考える必要がある。まさに今現在、新型コロナウィルスで世界中が悩まされている。こういったときに別の環境(惑星)に避難できる場所があると大きな力になると考えられる。

話を戻しますが、今地球が人々に与えている被害を確認し、それは人為的なのかどうかを考え、人為的なのであればその被害を抑える方法を見つけ行動していかなくてはならない。もし、人為的なものが少ない、もしくは被害を抑えるのが厳しいのならば、テラフォーミング計画を最優先したほうがいいと考えられる。

そのためにも一刻も早くどちらを優先すべきかの判断をし、行動に移していく必要がある。

その一角でもある環境被害についてここでは述べていく。

|  |
| --- |
| 感染症と寄生虫疾患 |
| 疾病または傷害 | 主な介入エリア |
| 呼吸器感染 | 室内空気汚染と周辺の大気汚染、受動喫煙、住宅改善 |
| 下痢症 | 水と衛生、農業における習慣、気候変動 |
| 腸の線虫感染 | 水と衛生、灌漑用排水の管理 |
| 住血吸虫症 | 排泄物管理、安全な水供給、安全な農業習慣、作業者保護 |
| リンパ系フィラリア症 | 排水および廃水池の改善、清澄な水の取水と灌漑計画 |
| デング熱 | 家の周りの水管理、澱んだ水の除去 |
| 日本脳炎 | 灌漑エリアの管理と家畜の分布、個人的保護 |
| HIV/エイズおよび性感染症 | 性産業と移民労働者の職業的感染 |
| 結核 | シリカや石炭粉塵などの浮遊微小粒子への鉱夫および他の職業集団の曝露、家庭燃料の燃焼煙と受動喫煙の可能性、刑務所、病院および過密住宅条件などの環境 |

 [浅見18]

|  |
| --- |
| 非感染性疾患 |
| 疾病または傷害 | 主な介入エリア |
| がん | 家庭内と周囲の空気汚染、受動喫煙、電離放射線、紫外線、化学物質、作業者保護 |
| 精神障害，行動障害および神経障害 | 職業上のストレス、洪水、地震および火災などの災害（住宅、洪水管理、気候変動に関連）、開発プロジェクトでの移住、アルコール関連の職業頭部外傷（てんかん）、化学物質（幾つかの神経障害）、騒音（不眠症）、眩しい光、空気の質の悪さおよび臭い（頭痛） |
| 白内障 | 紫外線、室内空気汚染 |
| 難聴 | 高い騒音レベルへの職業的曝露 |
| 心疾患 | 室内空気汚染と大気汚染、受動喫煙，鉛への曝露、ストレスの多い労働条件、交代制勤務 |
| 慢性閉塞性肺疾患 | 室内空気汚染と大気汚染、職場での粉塵への曝露 |
| 喘息 | 大気汚染、受動喫煙、湿気への室内曝露、アレルギー源への職業的曝露 |
| 他の分野の非感染性疾患で，環境に関連しないリスク要因 |
| 運動不足 | 作業場での活動、職場での長時間着座、移動様式、適切な公園とオープンスペースの利用可能性 |
| 肥満 | 身体活動に有利となる環境要因 |
|  | [浅見18] |
| 非意図的傷害 |
| 疾病または傷害 | 主な介入エリア |
| 交通事故 | 道路設計、土地使用計画、大きなインフラプロジェクトを有する開発エリアでの交通渋滞 |
| 転倒 | 家庭と作業環境の安全 |
| 火災，熱，高温物質 | 調理の安全性、照明と暖房器具、建物の防火対策、家庭の可燃物の使用、職業環境の安全と対策、気候変動 |
| 溺死 | 水環境の安全、国民意識、規制、作業者の安全、気候変動 |
| その他の非意図的傷害 | 動物の刺伵と毒性植物への接触からの保護、機械器具の安全、電離放射線と電流 |
| 意図的な傷害 |
| 疾病または傷害 | 主な介入エリア |
| 自傷 | 殺虫剤などの有害化学物質へのアクセス、銃器へのアクセ |
| 対人暴力 | 銃器へのアクセス、都市設計（たとえば移動性、可視性）、作業者保護 |

 [浅見18]

この表は疾病と傷害および重要な環境介入を表しているものであり且つ、その一部である。これから見てわかる通り、人間がどれだけ地球環境に被害を受けているのかがわかる。

これが死に直結するわけではないが、暮らしづらくなっているのは一目瞭然である。

それに関連したこのような表もある。

|  |  |
| --- | --- |
| 主な部門と主要な予防機会の関連 |  |
| 主な部門 | 選択したリスク/介入エリア |
| 農業 | ・寄生虫病による感染リスク：家庭と家庭周囲における媒介生物管理・化学物質への職業的曝露：規制、身体保護具・化学物質への消費者の曝露：規制 |
| 産業/商業 | ・空気汚染：産業放出管理：改善されたエネルギーの選択；屋内の禁煙法令・化学物質、大気汚染、紫外線曝露、騒音への職業的曝露：作業者の身体保護；保護行動に関する教育；換気、粉塵汚染防止手法、汚染源の封鎖など，曝露を減らすための工学的アプローチ；汚染源や他の関連曝露源の除去、規制・産業化学物質への曝露（労働者、消費者）；法令、協定・水質汚染：工場排水規制・騒音：騒音規制 |
| 輸送 | ・大気汚染：身体活動度減少：都市計画改善，公共輸送機関の増加：交通渋滞の削減：旧式ディーゼル車の置換など・傷害のリスク：交通騒音防止と他の交通規制解決策；車道と歩道の分離など |
| 住宅/地域社会 | 室内空気汚染：クリーン燃料の使用：固形燃料から煙への曝露を減らす戦略－WHOの「室内空気質ガイドライン」（WHO，2014）の実施・デング熱媒介生物との接触：家の周りの水容器の管理・低い身体活動、肥満：よりよい都市計画、プログラムに基づくスポーツ施設、学校および職場へのアクセス・不衛生な飲料水：安全な家庭水の処理・アレルギー源への曝露：ハウスダストと菌類/湿気を減らすための介入・紫外線への曝露：地域社会ベースの太陽光に関する安全教育・化学物質への曝露：家庭と地域社会での化学物質の安全管理・転倒のリスク：家庭の安全の改善・溺死のリスク：水環境へのアクセスと安全の改善・火災による負傷のリスク：調理と暖房器具および近代的エネルギー /燃料の使用；建物の安全基準 |
| 水 | ・不十分な水と衛生：十分な飲料水と衛生設備の提供；衛生と水安全計画の実施；飲料水ガイドラインの実施 |

 [浅見18]

このようにいろいろな環境被害の対策案も出ている。だからこそあまり死に直結するようなこともない。

この先何十年何百年も同じように対策ができていれば、テラフォーミング計画は不要なのではないか。むしろその分環境被害対策に力を入れたほうが効率は良いのではないかと考えられる。

地球が人にやさしく、人が地球にやさしくしていけば可能といえるだろう。

# 8．参考文献

[浅見 18] 浅見真理, 欅田尚樹, 環境によるさまざまな健康リスク, 保健医療科学, 67巻, ３号, 2018-08-31, pp. 241-254.

[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.

[森田16] 森田紘圭, 川原志郎, 大西暁生, 気候変動による将来の生活環境への影響と現在の生活行動に対する住民価値観の分析, 土木学会論文集, 72巻, 5号, 2016年, pp. 195-204.

## [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.

Web参照

1. お金コラム「火星に住むにはいくら掛かる？米は防衛費次第で８万人が移住可能！？」

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。)