

# 火星のテラフォーミング

環境教育課程環境教育コース  
金光研究室 265614 羽根 大翔

## 1. はじめに

現在、私たち人類の住んでいる地球には様々な問題がある。オゾン層の破壊、大気汚染、酸性雨、水質汚濁、土壌汚染などが挙げられる。地球全体で見ると、地球温暖化や人工増加による資源や食料の枯渇などが挙げられる。このほかにも数多くの問題を抱えている。これらの対策として様々な方法が試されているが、問題の根本を解決するには至っていない。進行を遅らせている程度である。このまま問題が進行してしまえば、人類は地球に生存することが不可能になってしまう。

そこで、考えられたものが地球以外の惑星のテラフォーミングである。テラフォーミングとは、地球（テラ）をフォーミング（創造する）という意味であり、地球以外の惑星に人類が手を加え、地球化し、人類が住むことのできる惑星にするという方法である。そして、その惑星に人類を送ることで、地球の負担を軽減し、人類の生存領域を拡大するという目標である。今回は火星のテラフォーミングに焦点を当てて研究を行った。

## 2. 火星の事実

### 2.1 火星の概要

火星は太陽系第4惑星であり、太陽から約2億2853万kmの距離にある。これは地球の1.52倍となっている。直径は6791kmと地球のおよそ半分の大きさに値する。重力は0.38Gである。その他にも自転周期は24時間37分、地軸の傾きは25.0度と地球と非常に似ており、テラフォーミングするにはうってつけの惑星である。しかし、大気は地球の0.6%程しか存在しておらず、主成分も96%が二酸化炭素である。そのため、平均気温が192.15K(=-81℃)しかなく、とても人類が住むことのできる環境ではない。

### 2.2 極冠

火星の北極と南極にはそれぞれ極冠という白い氷で覆われた地域が存在する。北極冠は直径1100km、厚さは3km、面積は100万平方kmであり、水の氷とドライアイスでできている。しかし、大部分は水の氷でできているため、ドライアイスはわずしか存在していない。そのため、北極冠から二酸化炭素を取り出して火星の温暖化に使うことは難しいと考えられる。それに対し、南極冠は直径400kmであり、北極冠の3分の1程度であるが、表面が風によって運ばれてきた堆積物で覆われて、白く見えてない部分が周囲に広がっていると考えられるため、面積は144万平方kmもある。北極冠とは違い南極冠はほとんどがドライアイスでできているため、何らかの方法ですべてのドライアイスを昇華させることができれば、火星の温暖化における大きな1歩を踏み出すことができる。

### 2.3 レゴリス

レゴリスとは、流星物質の衝突破片や宇宙風化作用によって砕けた岩盤などの細粒物からなる。このレゴリスにも二酸化炭素があると言われている。南極冠と同様に、何らかの方法で火星の温度を上昇させることができれば二酸化炭素が放出され、温暖化に重要な役割を果たす。

### 3. テラフォーミングの概要

#### 3. 1 現在考えられているテラフォーミング方法

熱吸収物質によるアルベドの変化	両極冠やレゴリスに熱吸収物質をばらまき、アルベドを変化させることによって、付近の温度を上昇させて内部の二酸化炭素を放出し、温暖化を図る方法。
巨大反射鏡による太陽光線の増加	火星の周りに巨大反射鏡を設置し、火星に入る太陽光線を増やすことによって、直接火星の温度を上昇させたり、両極冠に太陽光線を当てることで、ドライアイスを昇華させたりし、温暖化を図る方法。
超温室効果ガスによる温暖化	火星に存在する元素を使って超温室効果ガスを作り、大気の惑星放射吸収率を上げ、温暖化を図る方法。

#### 3. 2 テラフォーミングの流れ

テラフォーミングするにあたって、まず火星の改善すべき点は温度である。現在の火星の平均気温は - 63℃である。当然この温度下では人類だけでなく生物は生存することができない。そのためテラフォーミングするにあたって目標とする平均気温は0℃以上であるということである。これは液体の水が地表面に存在しなければ生命は生存することができないからである。

### 4. 研究内容

#### 4. 1 研究の流れ

今回の研究はテラフォーミングをするにあたって、最初に解決すべき温度に焦点をあてて研究を行った。その大まかな流れとしては、まず太陽風から火星を守る必要がある。火星には磁気がないため、太陽風の影響を直接受けてしまう。そこで、火星の周りに磁気シールドを発生させることで、惑星全体を取り囲むような人工磁気圏が形成され、太陽風や放射線から火星の大気を守る環境をつくることができる。その次に、火星に存在する元素を使って、超温室効果ガスであるクロロフルオロカーボン（CFC）を生成する。磁気シールドのみでも温暖化は進んでいくのだが、テラフォーミングの時間を短縮するために超温室効果ガスを使用する。この超温室効果ガスによって温度が上昇すると、それに伴い両極冠やレゴリスから二酸化炭素が放出され、さらに温室効果を促して目標とする0℃まで近づけるという流れである。

#### 4. 2 シミュレーション

##### ○磁気シールド

火星は磁気がないため、太陽風によって毎秒数100gの大気が飛ばされている。あまり大きな数字のように感じないが、1年では約3154トンもの大気が飛ばされている。これは火星のテラフォーミングに大きな影響を与えてしまっている。そこで、火星L1ラグランジュポイントに磁気双極子シールドを置くことによって、惑星全体を取り囲む人工磁気圏を発生させる。膨張可能な構造体がおそらく1または2テスラのレベルで磁気双極磁場を生成する可能性が高い。1または2テスラほどの磁気シールドは現代の技術では簡単に作り出すことが可能なため、非常に現実的な方法である。この人工磁気圏ができた後は、時間をかけて温度は約4℃

上昇, さらに, 過去存在していた海の7分の1が回復すると言われている。

○超温室効果ガス

現在の火星の平均温度は $-63^{\circ}\text{C}$ であり, この環境に二酸化炭素注入しても両極冠やレゴリスに吸収されてしまう。そこで代用できるものが超温室効果ガスのクロロフルオロカーボン (CFC) である。CFCは火星にある元素で作ることができる。かつ, 二酸化炭素よりも寿命が長いため, 温暖化にうってつけの気体である。このCFCを使って暴走温室効果を起こす。これらの超温室効果ガスには2つの特徴がある。

超温室効果ガス	寿命 (年)
$\text{CF}_3\text{Br}$	100
$\text{C}_2\text{F}_6$	500
$\text{CF}_3\text{Cl}$	400
$\text{CF}_2\text{Cl}_2$	110
$\text{SF}_6$	500

<CFCの種類とその寿命>

- 二酸化炭素よりも赤外放射を効率的に吸収する。
- 1 p. p. b. で地表面温度を0.1K上げることができる。

今回のシミュレーションはこの超温室効果ガスを火星で作って放出すると火星にどのような影響を与えるのかを研究していく。

シミュレーションは0次元放射モデルを使っていく。

惑星の温度が一定に保たれているならば

(惑星が受け取るエネルギー) = (惑星が放出するエネルギー) となっている。

$$\text{太陽放射は } S(1-A)\pi\alpha^2$$

$$\text{惑星放射は } 4\pi\alpha^2\sigma T_e^4$$

これらが釣り合っているということなので

$$\text{太陽放射} = \text{惑星放射}$$

$$S(1-A)\pi\alpha^2 = 4\pi\alpha^2\sigma T_e^2$$

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{S(1-A)}{4\sigma}}$$

$$= 215.39\text{ K } (= -57.76^{\circ}\text{C}) : \text{放射平衡温度}$$

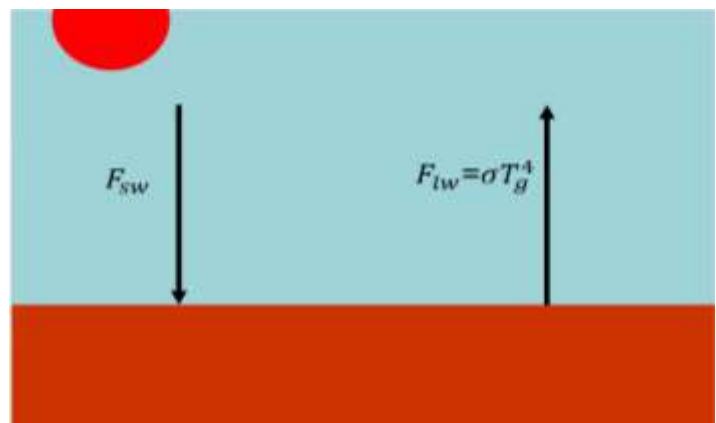
次に大気の温室効果がない場合を考える。

$S = 588.14 \text{ w/m}^2$ : 太陽定数
$A = 0.170$ : アルベド
$\alpha = 3395.5 \text{ km}$ : 火星半径
$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2$

$$F_{sw} = F_{LW}$$

$$F_{sw} = \sigma T_g^4$$

$$T_g = \sqrt[4]{\frac{F_{sw}}{\sigma}} = T_e$$



さらに、大気の温室効果がある場合について考える。右図の薄い場所は1層の大気を表している。

大気中の放射収支

$$\epsilon\sigma T_g^4 - 2\epsilon\sigma T_a^4 = 0$$

地表面での放射収支

$$F_{sw} - \sigma T_g^4 + \epsilon\sigma T_a^4 = 0$$

よって、

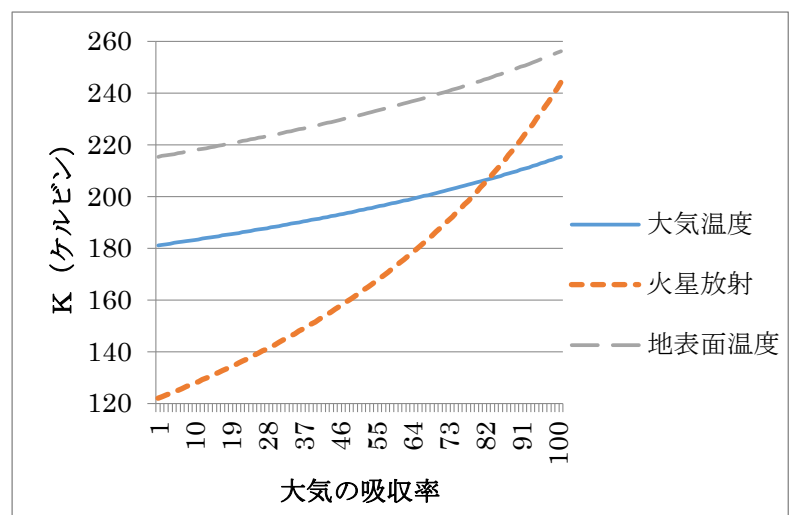
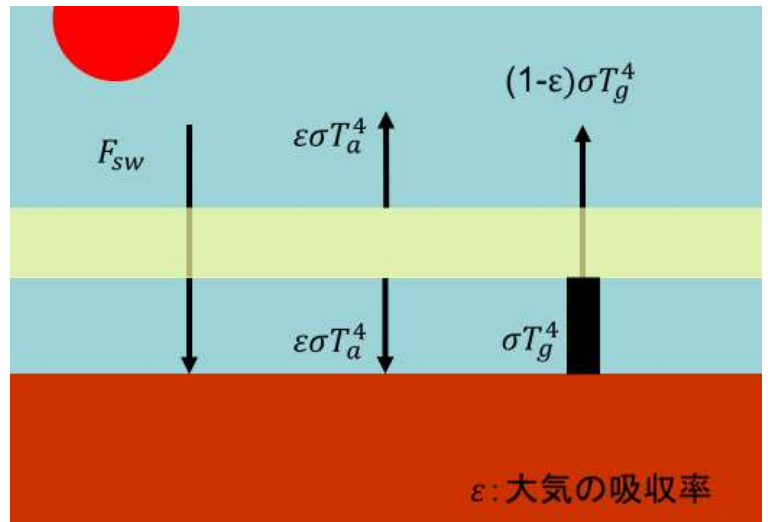
大気温度

$$T_a = \sqrt[4]{\frac{F_{sw}}{(2-\epsilon)\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{1}{2-\epsilon}} T_e$$

地表面温度

$$T_g = \sqrt[4]{\frac{2F_{sw}}{(2-\epsilon)\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{2}{2-\epsilon}} T_e$$

大気の吸収率を上げていく中での大気温度と地表面温度、そして火星放射の関係をグラフで表した。



## 5. シミュレーションの考察

グラフから読み取れるように超温室効果ガスを作って放出し、大気の吸収率を上げていけば、火星放射はどんどん上昇していく。それに応じて大気温度と地表面温度も上昇していき、最終的には大気温度 215.39 K (= -57.76°C)、地表面温度は 256.14 K (= -17.01°C) まで上昇している。この結果だけを見ても、生命が生存するにはまだ温度上昇が必要に見える。しかし、火星には両極冠とレゴリスには二酸化炭素がある。極冠は温度を 20 K 上昇させると極冠の二酸化炭素昇華が暴走状態となり、最終的にすべての二酸化炭素が昇華する。また、レゴリスは地表面温度を 25 K 上昇させると、二酸化炭素の正のフィードバックが起こる可能性があり、最終的には二酸化炭素はほぼすべて昇華すると考えられている。よって、超温室効果ガスによって温度上昇したあとは二酸化炭素昇華が暴走状態になるため、飛躍的に温度上昇する。

今回のシミュレーションによって、火星の磁気、温度の問題については時間さえあれば解決することがわかった。しかし、火星には酸素や窒素濃度や、重力の問題等がまだまだ多く残っている。これらの問題も必ず解決しなければならない。だが、逆に言えば、残された問題を解決することさえできれば、人類が火星に居住するのも遠い未来の話ではないということになる。これから火星のテラフォーミングが着々と進み、一刻も早く火星に移住し、人類の生存領域を広げられることに期待する。