

惑星のテラフォーミングⅢ

Terraforming of Mars

環境情報教育課程 環境教育コース
学籍番号 115617 白神 信行
地学教室 金光 理 教官

1 序論

「テラフォーミング（惑星地球化計画）」という言葉は1940年代、SF作家ジャック・ウィリアムソンによって作り出された造語である。彼は、地球以外の惑星惑星を生命が生存できる環境まで工学的に改造するプロセスをこの言葉で表現しようとした。

70年代半ば頃から、科学者たちは火星のテラフォーミングに関心を示し始めた。惑星進化の最新モデルによれば、45億年くらい前の火星は、地球と同じくらいの大気があり、その表面の3分の1が水で覆われていたと考えられている。

火星の環境は地球を除けば、太陽系のいかなる惑星よりも生命の温床として非敵対的であり、その資源も予想されるどころ相当なものだろうといわれている。

また、人類が生き残る唯一の道は、地球を離れて別の惑星に移住することだという科学者もいる。つまり、人類は火星をテラフォーミングする以外ないのである。

よって、本研究では火星のテラフォーミングをするにはどうすればよいのか、具体的方法について検討を行った。

2 火星

火星は、最も簡単にたどり着ける惑星である。それだけでなく重要なのは、誕生からある時期まで、地球と似通った歴史を歩み、今もなお、大量の水の存在する可能性が極めて高い惑星だということである。よって、太陽系の中で、火星こそ人類が移り住むのに最適な星なのである。

3 テラフォーミング論の概要

火星のテラフォーミングの第一歩は、平均 -60°C という気温を上げることである。

テラフォーミングが実現可能かもしれないと具体性を帯びてきたのは1990年代に入ってからである。火星を暖めるために、温室効果ガスを使うというアイデアが出されたのである。

火星でまず放出しようと考えているのは、フロンガスである。フロンガスといってもいろいろ種類があるが、オゾン層を破壊する恐れがあるフロン類ではなく、「代替フロン」と呼ばれるものの一種であるPFCを使う計画である。フロンガスの温室効果は二酸化炭素

の1万倍前後もあり、原料であるフッ素や炭素は火星に豊富に存在する。数ppmのフロンガスと少量のメタン、アンモニアを大気中に放出することで、火星の気温はおよそ20℃上昇する。これによって、まず南極で大きな変化が起こるものと見られている。

これまでの観測から、火星の南極にはドライアイスが多くあることがわかっている。気温が20℃上がると、このドライアイスが溶けはじめる。火星の大気中に充満した二酸化炭素は、温室効果ガスとして働きはじめ、火星の温度はさらに上昇していこう。温室効果ガスの力で、太陽エネルギーを逃がさないようにすることができれば、火星はわずか数十年で暖くなるはずである。そして50年か100年の間に火星は今よりもずっと濃い二酸化炭素の空気で満たされることになるだろう。

4 Simulation 方法と結果

一般に気体の圧力・温度・密度は相互に無関係なものではなく、状態方程式という関係式で結ばれている。容積Vをもつ気体について、その質量をm、圧力をP、温度をTとすると

$$PV = mRT$$

という関係がある。この式を理想気体の状態方程式という。ここでRはいま考えている気体に特有な定数で、気体定数という。気体の密度は $\rho = m/V$ で定義されるから、単位質量をもつ気体の状態方程式は

$$P = R\rho T$$

となる。

大量の気体が失われてしまうような惑星は、長時間大気を保持することはできない。したがって、大気が失われる条件について調べることは逆に惑星が大気を持つ条件を調べることにもなる。まず、惑星の重力が十分に大きくて、大気が惑星にしっかりと束縛されている状態を考える。この時には、大気中の力の釣り合いから、大気中の圧力分布を求めることができる。このとき圧力Pは次の式で与えられる。

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_{(r)}}{r^2} \rho_{(r)}$$

ここでrは惑星の中心からの距離、Mは惑星の中心から半径rの球内にある物質の質量、 ρ は大気の密度、Gは万有引力定数(= $6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$)である。この式は静水圧平衡の式と呼ばれる。

地表面での escape parameter を導入する。

$$\lambda_0 = \frac{GM_0 m}{r_0 k T_0}$$

λ_0 の定義に現れる物理量のうち T_0 以外は、すべて固体惑星の大きさや大気組成がわかれば決まる量である。つまり λ_0 は地表面温度 T_0 を表す無次元のパラメーターであると考えてよく、惑星が大きく、地表面温度が低いほど大きな値をとる。 λ_0 がある臨界値以上であ

れば大気圧が0になる r が存在するが、臨界値以下では r を無限大まで大きくしても、圧力が0にならなくなる条件は

$$\lambda_0 < \frac{\gamma}{\gamma-1}$$

である。これが静水圧平衡が破れる条件である。

z = 0での温度をT₀として定数を定めると、断熱大気の温度分布として

$$T = T_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)$$

が得られる。ただし、ここでHは断熱大気のスケールハイトで

$$H = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{R_g T_0}{\mu g}$$

である。

また、断熱大気の密度分布と圧力分布は、断熱気体の状態方程式

$$P = K \rho^\gamma$$

と、理想気体の状態方程式を用いて

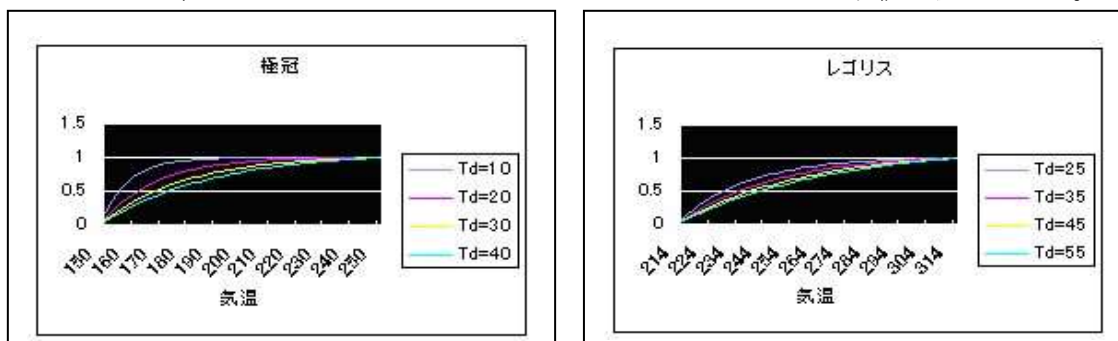
$$\rho = \rho_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)^{1/(\gamma-1)} \quad P = P_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)^{\gamma/(\gamma-1)}$$

となる。

また、熱による二酸化炭素の脱着を式を使って表した。

$$M a = C \exp\left(-\frac{T}{T_d}\right) P^\gamma$$

TとPは表面温度と圧力で、M aは吸着されている二酸化炭素の全コラム質量、Cは吸着物質の存在する面積と深さに依存する規格化因子であり、吸着されている二酸化炭素の総質量によって決まる。T dとγはそれぞれ温度、圧力に対する吸着作用の応答を決める定数である。物理的には、T dは二酸化炭素の1/eが放出されるために必要な温度変化である。つまり、T dが小さいということは二酸化炭素の結合力が弱いということである。γについてだが、ここではT o o n e t a l. の0.275という値を使っている。



火星のテラフォーミングでまず放出しようと考えられているフロンガスの地球温暖化係数 (GWP) は二酸化炭素の約2500倍に相当し、火星上では10億分の1 (1 ppb) の

混合比で地表面温度を0.1 K 上げることができる。フロンガスの放出による火星の温度上昇で、火星の極冠やレゴリスから二酸化炭素が放出されると考えられる。そこで、極冠は $T_d = 20 \text{ K}$ 、レゴリスは $T_d = 35 \text{ K}$ と仮定して **Simulation** を行った。

このときの温度変化は次式

$$T = \left(\frac{M_f}{S} W_f + \frac{Ma}{S} W_{CO_2} \right) H_w t + T_0$$

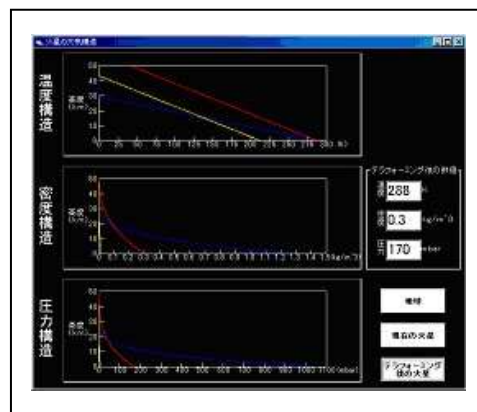
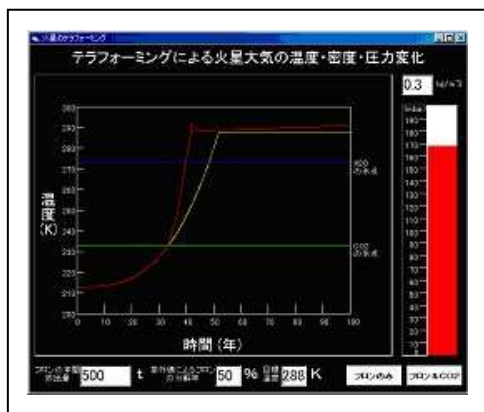
で、密度変化は次式

$$\rho = \frac{P\mu}{R_g T}$$

で、圧力変化は次式

$$P = \frac{S_0 + M_f + Ma}{Sm} g$$

でそれぞれ表すことができる。



火星の温度が上昇すると、極冠やレゴリスのドライアイスが溶け始め、二酸化炭素が放出される。二酸化炭素の温室効果により、火星の温度はさらに上昇していく。これを二酸化炭素の暴走温室効果と呼ぶ。

現在の火星と比べてテラフォーミング後の火星はかなり地球に近づいたといえる。しかし、やはり地球と比べ大気が引き締まっていない。これは、火星と地球の重力の違いによるもので、今のところどうしようもないというしかない。

5 考察と課題

温室効果ガスを用いた火星のテラフォーミングは、大気温度・密度・圧力のそれぞれにおいて、いままで考えられていた方法より、かなり効率的であるといえる。テラフォーミングの結果、火星の地表面には水が戻ってくるであろう。また、放出されたフロンガスが紫外線により分解されることで、オゾン層の代わりにある程度の量の紫外線を防いでくれることも期待できる。

テラフォーミングが完成した火星から見る地球が、まだ青いことを願っている。