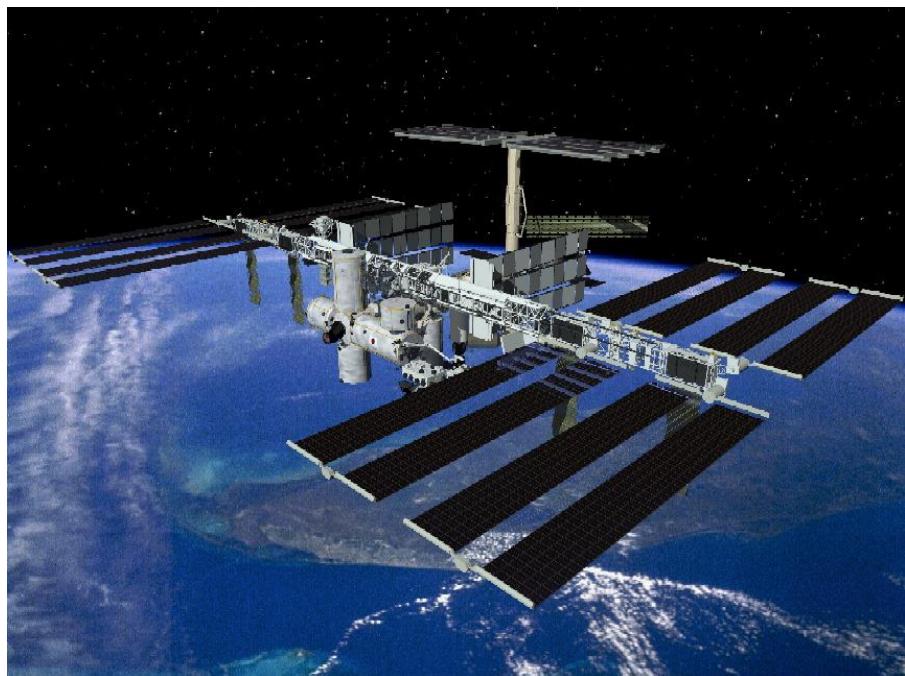

15. 宇宙植物工場

宇宙ステーション、月、火星で野菜を栽培する





宇宙へのあこがれ

人類が、他の星に移り住む世界が、もう真近に来ています。すでに宇宙ステーションには長期滞在し、さらに月に宇宙への進出基地を、さらにさらに火星は大改造し、地球と同じ環境にしてしまおうとまで、議論が進んでいます。

宇宙という夢に対して、その人間の理解度はと言うと、最近ではダークマターやダークエネルギーだけでなく、ボクもずっと希望を抱いてきた、重力制御や空間ワープなど、もしそれば可能な技術とすれば、1%どころか、人間の理解度はホンのかけらほどもないでしょう。

話は変わりますが、そのホシのかけらからできている我々の生命体も、なぜ感情を持つのかという根源的な事の答えはでていません。理解度はかけらどころではありません。微塵の理解もないとは、本当にこのことでしょう。

人類の宇宙への冒険は、人類そのもの、ひいては自分そのものを知るための、根源の冒険でもあります。

1995年3月22日、当時のワレリー・ポリヤコフ宇宙飛行士は、ミール宇宙ステーションで438日という世界一の宇宙滞在記録を達成し、地球に帰還しました。その結果、火星旅行の可能性



を示すことができました。

実際に火星への有人飛行を目指して、地上でも実験棟での実験が繰り返されました。長期間、同じ空間での作業による人間の行動について、綿密に調査が行われました。

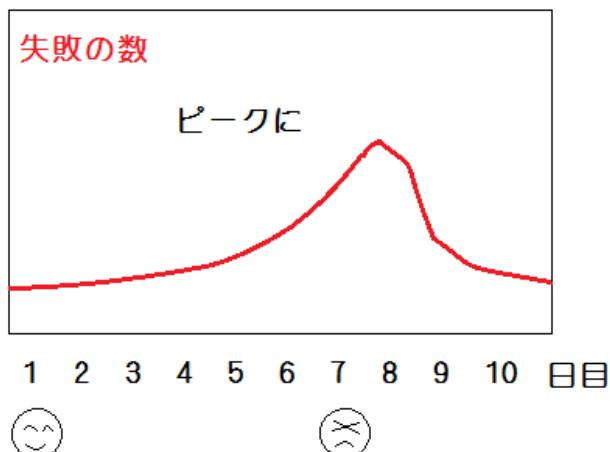
宇宙船内での作業は、生死がかかっているだけに重要です。宇宙船乗組員の体調管理は、基本的な身体データのほか、精神面の調査も行われました。

その結果、始め作業は順調に進んでいるのですが、徐々に失敗回数が増え、1週間もすると、かなりの失敗を行うとの事が結果として出てきました。これはゆゆしきことなので、さっそく対策が取られ、その当時は、ビデオ通信によるテレビ電話で、家族と通話し、それにより次の1週間のやる気が出るというものでした。ワレリー・ポリヤコフ氏は述懐しています。

「家族との通話のおかげで、元気を取り戻し、またやる気が出できます」と。

<宇宙ステーションでのストレス>

ストレス度



まだそのソ連の時代、ミールに植物栽培装置が持ち込まれました。小型の小麦の栽培装置がありました。水耕栽培で育てているのですが、こんごはより早く生長する品種や、栄養価の高い品種を栽培することになります。

小麦を栽培する時間は決まっているのですが、長期的に宇宙船にいると、ストレスがかかります。このストレスの減少にも、小麦の栽培が、一役買おうようです。栽培時間でもないので、いとおしそうに小麦をなでたり、声をかけたりするそうです。

<植物栽培装置（地球）>



宇宙では無重力状態なので、地球のような縦型だけを考えるわけにはいきません。そこで JAXA からの依頼で設計した植物栽培装置は次のような装置でした。

野菜はどの面でも栽培でき、無重力なので体を浮かしながら収穫します。もう 15 年も前のことでしたが、これからやっとこのような時代が来たと、楽しみにしています。

<植物栽培装置（宇宙）>



JAXA からの依頼でエム式水耕研究所が設計した球形の植物栽培装置

また地球での植物工場をそのまま宇宙ステーションに持っていくには、重量が大きすぎます。鉄の代わりに炭素繊維や、無重力空間なので、軽量化はできるでしょうが、逆お意味の難しさもあります。水をどう保持するとか、作物がどの方向に育つかなど、いろいろな問題が山積しています。

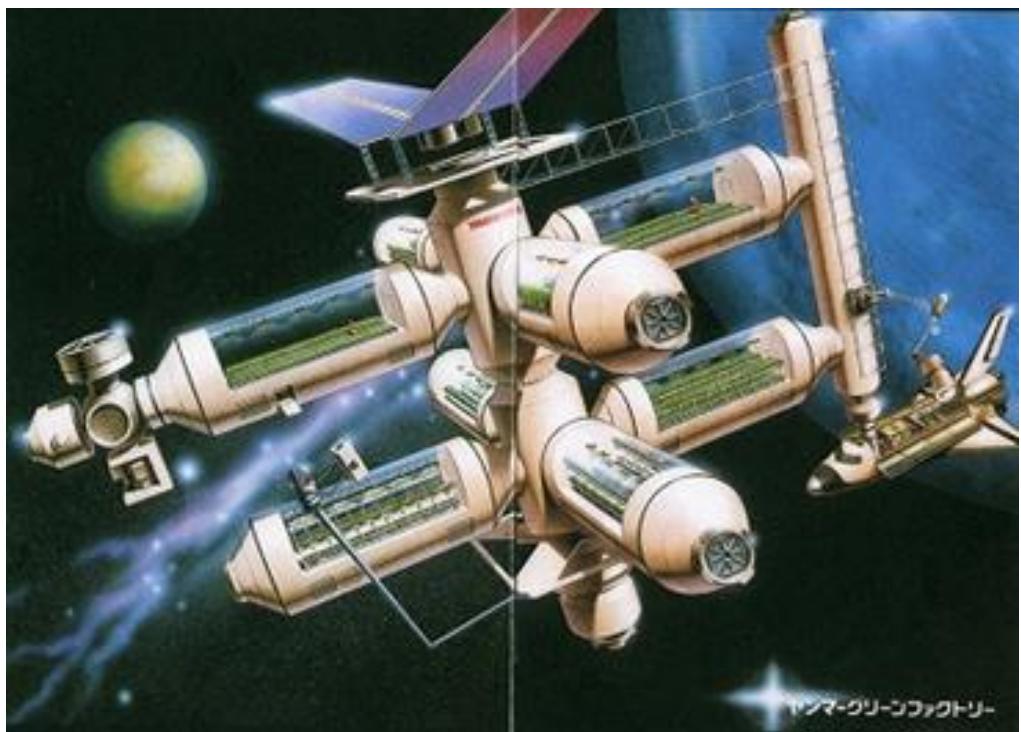
ソビエトでの実験棟でのストレス実験では、もっと小型の小麦栽培装置が使用されました。

<宇宙ステーションでの小麦の栽培によるストレス低減イメージ>



日本の企業も宇宙ステーション事業に乗り出そうとしています。近い将来、宇宙ステーションで使用する作物の一部は、きっと宇宙ステーションの宇宙植物工場で栽培されることでしょう。

<宇宙植物工場-宇宙ステーション>



出典 ヤンマーグリーンファクトリー



月での農業をめざす

月はいずれにせよ、遠い宇宙への中継基地になります。月の特徴は、皆さんもわかっている通りで、空気も何も、大気がありません。植物は全く育つことができない環境です。

次の問題は水です。月の水(Lunar water)は、月に存在する水のことを指しています。月の水は月の表面に留まっていることはできず、水蒸気は日光によつてすぐに分解され、宇宙空間に拡散してしまいます。しかし月の極地方の永久影になったクレーターに氷が存在すると推測されていますが、2011年時点で確認されていません。

ここで、水及び水と化学的に関連する水酸基は、自由水として存在するよりも、月の鉱物と結合しても存在することができ、月の表面の大部分でその割合は非常に低いことを強く示唆する証拠が得られています。しかし、実際に、吸着水は 10ppm から 1000ppm の痕跡量の濃度でしか存在しないと計算されており、10ppm という濃度は、私たちが通常暮らしている空気中の二酸化炭素量(300ppm くらい)の 30 分の 1 です。ましてやこれは液体であり、意味としてはわずかな量であることを示しています。

< 地球の空気の成分 >

塩酸と炭酸カルシウムを反応させると、二酸化炭素が発生します。中学校の理科で習ったことですが、月に存在する鉱物から二酸化炭素を精製する必要があります。月と地球は兄弟で、その成分は同じであることがわかっているので、二酸化炭素精製用の工業プラントを作ることになります。

成分	体積比	沸点(°C)
窒素	78.08%	-195.8
酸素	20.95%	-183
アルゴン	0.94%	-185.9
二酸化炭素	330ppm*	-78.5
ネオン	18.2ppm	-246
ヘリウム	5.24ppm	-268.9
メタン	1.6ppm*	-161.5
クリプトン	1.14ppm	-153.4
水素	0.5ppm	-252.9
一酸化炭素	0.1ppm*	-191.5
キセノン	0.087ppm	-108.1

・ 表は水蒸気を除いた値であり、*印は変動する。

・ ppm とは、1万分の1%の単位。

水もこのような別プラントで、岩石の中に閉じ込められた水か、氷のようにまとまっているものを見つけるかして、確保しなければなりません。

地球の植物工場ではこの二酸化炭素は 1,000ppm 以上の濃さで使用しますので、月でも同じ条件になります。

さて、その植物工場を作る場所ですが、日本のかぐやも月の上空 100km での詳細写真を取り、地中に大きな洞窟を発見しました。月の地面の中に（地中と

いうのか月中というのか）直径 65 メートル、深さ 80~90 メートルの縦穴（マリウスヒルズホール）を発見しました。穴に差し込む太陽光と影を分析した結果、この縦穴の下には、横幅 370 メートル、内高 20~30 メートルのトンネルが存在することが明らかになりました。トンネルは、長さ数十キロメートルに及ぶ地下の溶岩洞窟である可能性があり、将来の月基地の候補になるといいます。ここに基地を作り、水や二酸化炭素の生成や、植物工場を建設することになります。

<月面基地の想像図>



出典 NASA

月は地球や後述の火星と違い、大気が全くありません。後述の火星では、最終的に自然の生態系をつくることを目標にしますが、月ではそれが不可能です。ここでは人工的な生態系を作る必要があります。

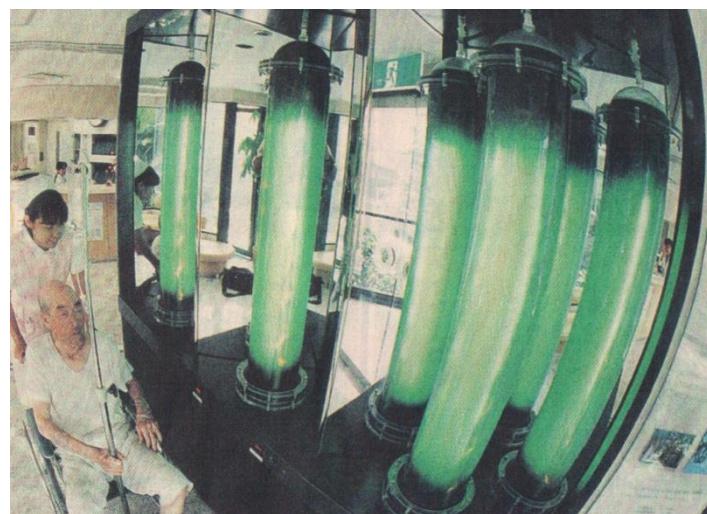
バイオスフィア (Biosphere) という言葉があります。写真はアメリカ合衆国アリゾナ州オラクルに建設された、巨大な密閉空間の中の人工生態系です。人類が宇宙空間に移住する場合、閉鎖された人工生態系を作ることを目的に建造されたものです。

<バイオスフィア建造物（アメリカアリゾナ州）>



補足ですが、バイオスフィアはもともと地球の生態環境の健全性を検証するために計画されました。それはバイオスフィア1 (Biosphere 1)であり、南極や宇宙での人工生態系をバイオスフィア2 (Biosphere2)と呼んでいます。いずれにせよ宇宙に行く前に、まず己の地球のことが一番ということに、違いありません。

すでにわれわれも JAXA の依頼でこの閉鎖型循環生態系の実験のために、1990 年にスプリルナという藻の一種から酸素を発生させる装置を作っています。



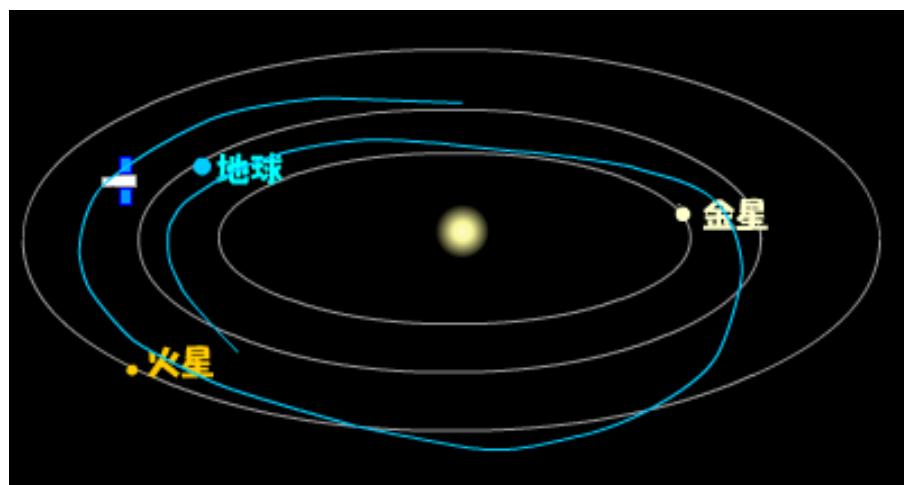
酸素はインテリア 1990年8月1日毎日新聞

火星には 500 日の行程

現代の宇宙航行技術は、惑星や恒星の重力を利用するスイングバイを使用しなければ、他に航行技術はありません。火星の近日点付近で接近すれば接近距離は 5600 万 km 程度ですが、直線距離を移動する技術はないわけなので、そのために、太陽の周回軌道を回り、徐々に火星に近づいていきます。

この期間は 500 日を超えると計算されています。火星へは行きっぱなしならいいですが、戻ってくることを考えると、4 年近い日を、宇宙船の中で過ごさなければなりません。

<火星への周回軌道>



しかしながら火星は遠く、リアルタイムなテレビ通話は不可能です。そこで考えられる一つの方法が、植物栽培です。しかし、まず始めに、べつのことの必要性で、植物工場を作らなくてはなりません。

火星への往復を仮に最低で 4 年間とすると、水については成人男性が 1 日横になっているだけならば 2.3 リットルで良いそうです。ただ、一般的な生活を行うといろいろ含めて 1 日 400 リットルを使っている計算になるとか。4 年間だと普通で 1459 日ですか。約 580 キロリットル。ドラムカンに換算して 2900 本、というところでしょうか。

さらに日本人なら米、そうでなければ小麦が必要になります。これにいては、1 日 6 合食べる（ちょっと食べ過ぎかも知れないが）とすると 1 合が約 150g なので、1 日 900g というところですか。10kg 入りの袋で 130 袋ぐらいですね。これらを宇宙船に搭載して持っていくことは到底できないので、水は汚水の再利用、穀物は最低限でも宇宙船内で栽培する必要があります。

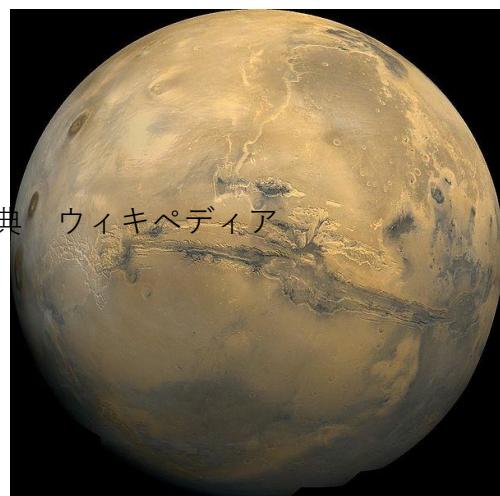
火星での農業をめざす

いつの時代か、火星への移住が計画されています。このまでいくと、地球温暖化や、太陽の膨張で、最終的には火星へ移住する必要に迫られるといわれています。火星にはわずかですが大気があり、二酸化炭素も含んでいます。

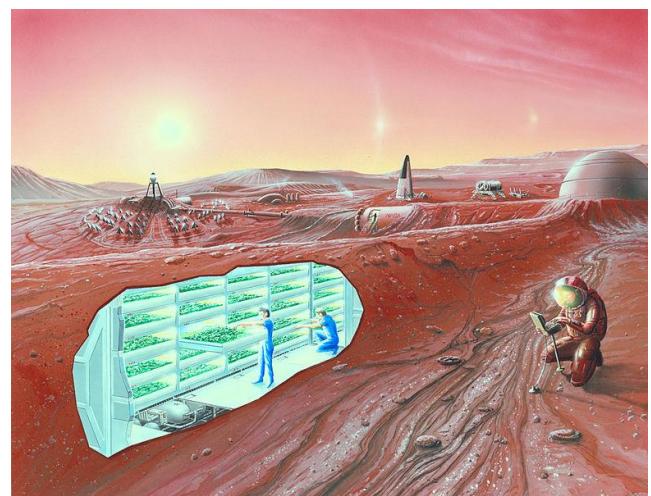
地表での大気圧は約 750Pa で、地球での平均値 (1,000hPa) の約 0.75%に過ぎません。逆に大気の厚さを示すスケールハイトは約 11km に達し、およそ 6km である地球よりも高いことになります。これらはいずれも重力の少なさに起因しています。大気が希薄なために熱を保持する作用が弱く、表面温度は最高でも約 20°Cといわれています。大気の組成は二酸化炭素が 95%、窒素が 3%、アルゴンが 1.6%で、他に微量の酸素と水蒸気を含む。2003 年、地球からの望遠鏡による観測で大気にメタンが含まれている可能性が浮上し、2004 年 3 月のマーズ・エクスプレス探査機の調査によって大気の解析が行われ、事実上その存在が確認された。現在観測されているメタンの量の平均値は体積比で約 11 ± 4 ppb です。

最終的に火星に森林を作ればよいのですが、まずは火星基地で、自分たちの食料を生産する必要があります。月と同様に地中に作られた植物工場で、穀物、葉物、根菜類を栽培します。

<火星移住>



<火星の植物工場>



アメリカでは、テラフォーミングをテーマとした NASA によるシンポジウムも開催され、1991 年にはネイチャー誌に、NASA のクリストファー・マッケイらによる火星のテラフォーミング計画に関する論文が掲載されました。

非常に少ない大気でも、二酸化炭素が 95%もあることは、植物栽培にとってこの上ないことです。火星への移住計画は、まずこの二酸化炭素をさらに濃く増やし、温暖化させることから始めます。二酸化炭素がドライアイスとして固まっていることが、概ねわかっているので、これを少しづつ溶かしながら、徐々に二酸化炭素量を増やしていきます。ドライアイスが溶け、二酸化炭素がふえていけば、火星の大気は濃くなっています。そして温暖化は火星の地下の氷やドライアイスを溶かし、さらに温度上昇を促します。

しかし、水と二酸化炭素量と温度を上げただけでは、自然環境としては植物は育ちません。アンモニアが必要だかです。植物工場では、これを肥料として与えますが、自然環境では、このアンモニアを生産するバクテリアが必要になります。火星で温度を上げ気圧を上げただけでは、自然環境では植物は育たないということです。

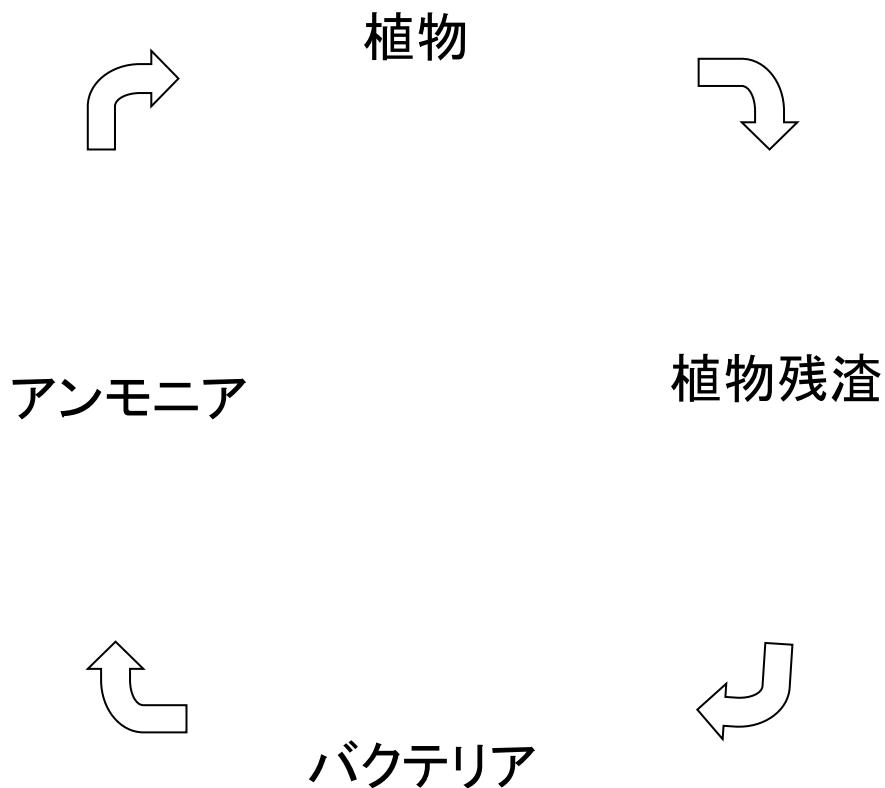
これは地球でも同じで、地球上でも高地で植物が途切れている地点が有ります。それをツリーラインと呼ばれ、それより高いところで、急に森がなくなっています。森林限界とも呼ばれ、その場所では気温、気圧が低いため、植物に

必要なバクテリアが育たず、必要なアンモニアが生成できません。

1,000 年くらいで地球くらいまで温度を上げられるという計算もあるようですが、月と違い水や二酸化炭素が比較的容易に手に入るので、火星での植物栽培は、環境が整いながら、並行して栽培が進んでいくと思われます。

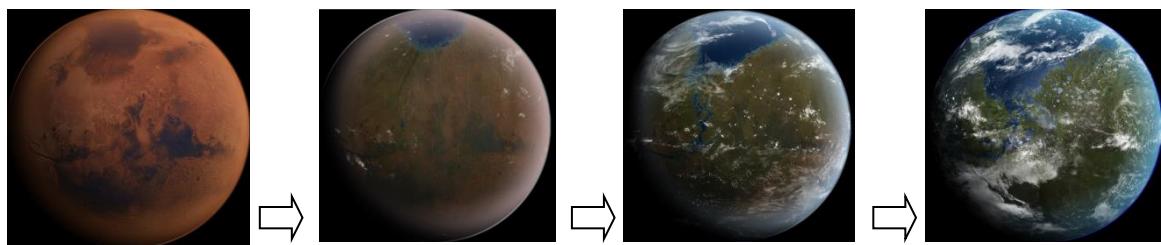
ところもなおさず、植物の成長にはバクテリアが必要です。そしてバクテリアにはアンモニアが必要なのです。自然の連鎖が重要なカギになっています。

<自然の連鎖>



マッケイ博士は、火星のテラフォーミングは早ければ 1,000 年といつていま
すが、長い時間をかけて、地球のような青い惑星に変化して行きます。

<火星のテラフォーミング>



出典 NASA

■ 用語説明 ■

<ppm などの単位>

ppm (パーツ・パー・ミリオン) は、100 万分のいくらであるかという割合を示す単位。主に濃度を表すために用いられるが、不良品発生率などの確率を表すこともある。「parts per million」の頭文字をとったもので、100 万分の 1 の意。百万分率とも。

$$* 1\text{ppm} = 0.0001\%$$

$$* 10,000\text{ppm} = 1\%$$

同様の単位に、ppc (パーセント、parts per cent、100 分の 1、百分率)、ppb
(パーツ・パー・ビリオン、parts per billion、10 億分の 1、十億分率)

ボクたち、宇宙に行くよ

スペースシャトルが 2011 年に引退しました。最後のフライトを追え、もう 2 度と飛ぶことはありません。今度はさらに新しい技術で人類を宇宙に運んでいきます。

日本も HTV という H2B ロケットで打ち上げる輸送コンテナーを開発し、国際宇宙ステーションの重要な輸送の役割を担っています。

さていよいよガチャ立ちも宇宙へ出発です。

「がんばってこいよ、がちゃ、ちびら、ふーすけ爺さん」

