

講義への質問と回答

山下雅道

Q1: 火星探査は人類にプラスか

宇宙探査にはたくさんの資源を投入することが必要なもので、得られるメリットがコストに引き合うかどうかは慎重に評価しないとイケない。  
山下は、火星で生命をみつけて 地球の生命と比較することで十分にお釣りがくると思っている。

Q2: 火星に肉食の動物がいるか

地球の生態系は、光合成によりバイオマスを生産する「生産者」(植物)と 動物などそれを消費する「消費者」、および生物の死骸や代謝産物を生産者が利用できる化学的な形態へと変換する「分解者」の3つのメンバーから構成されます。動物や植物が登場するまえは、化学合成や光合成により体をつくり生きるためのエネルギーを得ているバクテリアがいて それを捕食するバクテリアもいるという生態系が構成されていたろう。火星にはバクテリアのような生物が生きっていると推定している。食いつ食われつとの関係があるかはわからない。

Q3: 火星に動物はいなくても植物はいるのでは

1967年に実施されたバイキング計画でわかったのは、火星の表面の環境はとても酸化的で生命が表面にでて活動するのはできないということだった。したがって火星には表面で太陽光による光合成で体をつくり生きていくエネルギーを得る植物はいない。  
期待しているのは、地下(ちょっと深くて液体の水があり、化学的なエネルギー源もあるところ)に住む化学合成で生きるバクテリアのような生物です。

Q4: 火星の生物はどんな姿か

地下(ちょっと深くて暖かく液体の水があり、化学的なエネルギー源もあるところ)に住む化学合成で生きるバクテリアのような生物と想像しています。

Q5: 火星の生物の雄と雌

地球の生物の進化の過程で「有性生殖」がいつごろ発明されたかを調べてみよう。また「性」があることでその生物にどのようなことがあるかも考えるとよい。原生動物では 雄と雌という2つの性ではなく、沢山の接合型をもつ種もあります。  
小さな細胞であるバクテリアなど原核生物では「性」はなく、無性生殖をして増殖する。そのかわりに遺伝子の水平伝播という仕組みで 集団のなかで(別の種からでも)短時間に遺伝子を広める。この仕組みにより、変異によりいったん薬剤耐性ができると ことなる種のバクテリアのあいだでも それがあつというまに伝わり広まるなど 真核生物とは異なった性質を示すことがあります。

Q6: 地球以外で地球での共通祖先が生まれたら、ヒトなどに同じように進化、分化し、地球と同じような環境になったか

たぶん異なる生物の進化の歴史を辿ったろう。それを調べるのが宇宙での生命探査の重要な目的です。

Q7: 火星になったら歴史を遡るのか 地球の生命も外から来たのではないか

地球の生命のタネは火星から大昔に飛んできたという仮説もあります。アミノ酸と核酸は宇宙でたくさんあつたり前駆体があるのが見つかっているのだが、RNAやDNAをつくるために必要な糖はその前駆体が1つしか見つからない。稀にしか生成しない糖を いったんできたら分解させないためにはホウ素が必要であるといわれています。38億年前くらいの地球ではホウ素を高濃度にする環境がなかった。火星は地球に比べ海が小さかったので タイドプールのようなホウ素を濃縮する場所がたくさんあつたので 生命が始まる蓋然性は高いというのがその仮説のもとになっています。そして、条件がよければ 火星から隕石が射出して地球表面まで生命が届く可能性はあります。

#### Q8: 火星で生命体を見つけたら、地球に持ってかえるのか

火星を地球の生物で汚染しないよう また火星の生物や有機物にリスクがあるなら地球の生態系に持ち込まないように、順方向、逆方向の惑星検疫をします。火星生命体の検疫が済み次第 それをくわしく研究します。月から宇宙飛行士が帰ってきたときは、ステンレス製のバスのようなところでしばらく隔離して、大統領との面会もバスの窓越しでした。

#### Q9: 火星の環境を地球と同じにするのが最終目標か

火星には地球と違って強い磁場がないので、太陽から吹き付ける太陽風(高速で飛ぶ水素の原子核:陽子など)が上層大気的气体分子にぶつかって火星脱出速度を超える速度まで加速してしまう。これにより气体分子は火星重力圏からでていってしまう「大気の剥ぎ取り」がおこり、火星の大気密度は低い。テラフォーミングで地球のような濃い大気をつくっても どんどん剥ぎ取られてしまうので、山下はテラフォーミングはあきらめている。

#### Q10: 火星に地球の植物を持ち込み、大気中に酸素を増やすことはできないか

太陽風による火星の大気の剥ぎ取りの効果があり、露地の状態で酸素を増やすテラフォーミングは諦めている。密閉した気密空間のなかの大気で酸素を増やす。

#### Q11: 火星の地中に二酸化炭素が大量に凍っているか

火星大気に含まれるメタンは彗星が大量に火星表面に降ってきた時に火星内部に貯蔵されたメタンがじわじわ染み出しているともいわれている。二酸化炭素も同様に昔に降ってきたものが地下に溜まっていて染み出すかもしれないが、地下深くは温度が上がる(圧力は高くなる)ので、蒸気になりやすい二酸化炭素が大量にあるとは思えない。火星大気中の二酸化炭素は極域にドライアイスとなって固まり、暖かくなると昇華して大気中に出るといったサイクルをくりかえしている。

#### Q12: テラフォーマーで黒いゴキブリを火星に導入して温度を上げるプロットがあったが、可能か

地球の表面の太陽光の吸収度(反射率をアルベドという)を変えて 表面に入るエネルギーを多くし、同じ量のエネルギーを地球表面から宇宙に出射するには 表面温度が高くなる という仕組みを利用します。飛行機でシベリアの上空を飛ぶと、下には黒黒とした針葉樹林がみえます。針葉樹の上から太陽光が入ると反射せずに全量を木が吸収するので黒々として見える。温帯の森林には照葉樹が多くて、上空から見ると太陽光を反射するので明るい色に見える。温暖化を抑止するには農地にビニールハウスを多くして 太陽光を反射したり 明るい色の屋根を増やそうという構想もある。ゴキブリを含む動物の多くは 捕食されないために また餌動物から身を隠すのが普通なので 眼に見える日向に身を曝すことは少なく、ゴキブリで温度上昇はむずかしいかもしれない。

#### Q13: 火星にコケとゴキブリを持ち込んだらどうか

地衣類とコケでツンドラのような層を作り緑の惑星にかえていくというテラフォーミングの構想があった。最短1万年かかると推定されていた。

#### Q14: 豊かな土を作るのに繁殖力の強い植物種と相性のよい虫を

地球の土の中には、さまざまな生物が住んでいます。ダーウィンが研究したミミズは腐植などを摂食しながら土を掘り起こし、糞をすることで土壌を団粒化し耕します。植物と共生する菌(きのこ:菌根菌)は植物から光合成産物を受け取る代わりに 菌糸を広く伸ばし リンなどの肥料成分を植物が吸収できる化学的な形態にして根に運びます。一方 植物にとっては病原性でありがたくはない カビなどの菌や線虫も土の中にいます。アレロパシーといって他の植物や生物の成長に影響する化学物質を葉から落としたり根から分泌したりもします。土壌のなかの生態系は複雑です。

### Q15: 宇宙農業の難関はなにか

有人火星ということでは輸送系の信頼度を上げるのが難関でしょう。宇宙農業はクルーの存命性を確保するのが難関で、そのために その隊のためではなく 次に来る隊のための食料や酸素を生産して貯蔵しておくような仕組みにすることで、確実に生命維持できるような農業とします。

### Q16: 火星で作物植物が育つ速度は変わるか

植物の育つ速度のひとつに種子を植えて発芽させてから種子が稔るまでの一つの世代の時間があります。これは生物種や系統といった遺伝が支配します。宇宙実験で短い世代時間の植物が調べられ、シロイヌナズナ、ミヤコグサ、カラシナの一種のFast Plantsなどが使われています。もちろん生育環境によっても速度はかわります。

<http://www.carolina.com/wisconsin-fast-plants-seed-varieties/brassica-rapa-wisconsin-fast-plants-standard-seed-pack-of-50/158804.pr>

第一回ゲスト講師の本川達雄先生の研究された「生物学的」時間が異なる重力環境でどのように変わるのかは興味ある研究課題です。

### Q17: 鋭利なレゴリスで作物が傷つかないか

レゴリスの問題は微細な粒子であることで 機械の潤滑部に入り込んで故障を起こさないかといったことであり、角で作物の表面にキズをつけるという心配はしていない。かつて水の流れた部分では流れでまみれを帯びた石などもあるようだ。

### Q18: 宇宙放射線に曝露された植物種子は生命力が強くなり収量も多いのか 悪い要素はないか

宇宙放射線曝露による突然変異で たとえば病虫害に強い性質ができたとか、背の高いイネや大きなトマトができたといった報告がされています。ただし、高エネルギーの重粒子線といった宇宙放射線特有の線質に固有の(人間にとってよい)突然変異が起きるのかどうかについては あまりはっきりはわかりません。突然変異で悪い性質の品種ができるリスクはあります。これは慎重に評価して 安全で かつ役に立つよい品種を選びます。

### Q19: 他の天体で暮らすための放射線対策

クロカビなど放射線につよい生物種が知られ、なぜ強いのかの仕掛けもわかってきているので、ヒトが放射線にあたっても障害を修復するはたらきを強める手立てがこれから見つかるかと期待している。現在の宇宙放射線生物学や医学は宇宙放射線特有の高エネルギー重粒子線のリスクがどれくらい高いかを評価することに注力しているのだが、そろそろ積極的な防護策の開発にむかわないかと思っている。

### Q20: オデッセイでジャガイモを栽培するプロットになっているのは、栽培しやすいからか

NASAの宇宙農業の研究者であるWheelerさんは もともとはジャガイモの研究者だった。オデッセイの原作者がプロットを練るときに相談したのだと思う。Wheelerさんとは「宇宙での居住」Space\_Habitation\_2013-b.pdf という一章を共著している。和訳が下のサイトからダウンロードできる。

[https://sites.google.com/site/spaceagriculture/SpaceAgri\\_docs](https://sites.google.com/site/spaceagriculture/SpaceAgri_docs)

ジャガイモは栄養生殖(タネイモ)で増えるので 種子から発芽させる作物種よりは栽培しやすいことがあるかもしれない。山下は ジャガイモよりサツマイモのほうがよいと考えている。甘いし 食物繊維が豊富でお腹の健康にもよい。

### Q21: 火星で栽培する農作物のほうが栄養たっぷりか

作物に含まれる栄養とか良い味がするかは栽培条件に支配される。たとえば新潟魚沼のコシヒカリは田んぼでの温度の日内変動が大きいために夜間にイネが余分な代謝をせず、良い味の成分を集積するからだといわれている。火星固有の条件で栄養たっぷりとか良い味というのはないかもしれない。

火星名物は重力1/3であり、火星にエベレストの3倍の高さのオリンポス山があるのとおなじような理由で 木の高さの限界が3倍高くなり 地球では116mがいちばん高い木なのだが、火星では300mまで木が育つかもしいと期待している。

Q22: 他の天体で作る食べ物は、ふだんの食べ物と味が違うか

宇宙では味覚や嗅覚がどうも変わるようなので、宇宙での食品の味付けは工夫する。ストレスがキツイので濃い目の塩味にするのがよいかも。食品の匂いも要注意。

Q23: 宇宙で一番美味しいご飯は

今は「味噌カツ」だろう。

Q24: カイコの蛹の味がエビの味に似るとするのは、エビの殻の味か、肉の味か

エビの白い筋肉と胴体にあるミソを混ぜたような甘い味がする。

Q25: カイコの蛹のほかに候補はなかったか

カイコの幼虫がからだのなかに持つタンパクの多くの部分は繭になってしまう。繭をつくらない昆虫、たとえばエビガラズメ、さらにはハエのウジなども宇宙食材の候補にあげた。ウジはなんでも食べるので、しばらく絶食させて消化管内の内容物を完全に出してから調理する必要がある。

Q26: カイコの繭から糸を宇宙で作れるか

繭から糸取りをして製糸や織りをせずに、カイコの幼虫を人型の上を這わせながら糸を吐き出させセリシンで固めて直接に衣類を作りたいと考えています。幼虫は上へと這い上がる性質があるので、人型をグルグル全方向に回転させれば人型の上に直接に衣服を作れます。シルクは100%タンパクであり、分解すればアミノ酸になる。コットンはセルロースで、分解すると糖になる。シルクとコットンは非常食と捉えている。

Q27: 山下は尿を蒸留して飲めるか

もともと化学が専門なので、飲める、ただし蒸留水の味はまずいので、味付けのために石の層など通してから飲むのがよいだろう。

Q28: 固体排泄物などをどのようにして太平洋へ捨てるのか

貯蔵中に腐敗が進まないように薬剤をふりかけてゴアテックスの袋のなかに入れておく。地上から荷物を運び上げた貨物船のなかに他の廃棄物と一緒にためて、宇宙ステーションから切り離れたあとに、速度を減ずるようにスラスタを噴射すると地球表面に落下していく。人がいない(少ない)太平洋の上に落ちるように切り離しのタイミングやスラスタ噴射を制御する。落下すると海面にまで届くことはなく上空で燃え尽きる。

Q29: 他の天体にいくとその場所にあった体に変化するのか

ピクサーアニメ:ウォーリー で地球から出て何代も経過した後に歴代船長の体形の変化をしめす額が船長室にかかっていた。体つきは環境の変化にしたがって、かなりはやくに変化するのがわかっている。火星に行く往路で微小重力で暮らすと、微小重力に適合して筋が萎縮し、火星についたときに、すぐには働けなくなるので、宇宙船のなかで1/3Gの環境を遠心法でつくり火星環境にあらかじめ馴らしておくという構想がある。低重力のほうが生活しやすい人たちがいるので、その人たちは積極的に宇宙でくらすのがよい。

Q30: 火星の土地は買えないのか

月条約(火星もおなじになるだろう)というのが南極条約とおなじようにあって、条約に加わった各国は領有権を主張できません。したがって国が保護する所有権を火星に設定するのはできない。お金を集める組織が、他の人に「所有」を名乗らせることはしないというくらい。星や場所の名前をつけるのは天文学会連合が権限を持っている。ところでアルゼンチンにはかつて南極ペビー計画があった。アルゼンチン夫婦を南極に送り、その2人が南極で子供を生む。その「南極国民」が南極の領有主権を主張して、アルゼンチンに保護を求めるという構想であった。火星の領有を目論むのであれば、夫婦で火星にいて子供を作るのがよいのかもしれない。

### Q31: 他の惑星に住むのに、火星より金星のほうがよくはないか

太陽光エネルギーという資源は太陽に近い金星のほうが豊富です。  
ただし火星は1日の長さがおよそ地球の1日であったり、太陽光のエネルギー密度は地球の1/2なのですが、地球由来の生物を育てるにはよい環境です。

### Q32: 金星は太陽に近くて暑すぎてだめか

金星に傘をかけて入射する太陽光の強度をおとせばよい。寒い火星よりはよいかもしれない。

### Q33: 化石燃料の採掘をやめたら、産業革命以前の状態にもどるか

農業も温室効果ガスをたくさん発生させる(全体の1/3)ので、人口が産業革命前よりとても増え、農業活動の規模が増大しているので農業由来の温室効果ガスの排出量は昔より多いのです。化石燃料の採掘だけが全球温暖化の問題ではありません。それよりも化石燃料がずっと掘れるということはないというのが、そろそろ大きな問題になります。石炭の採炭可能量は多いのですが、いかにせん燃焼させると公害ガスを出します。

<http://www.fao.org/news/story/en/item/216137/icode/>

### Q34: JAXAで働くには何をすればよいか

JAXAにかぎらず、宇宙関連のしごとをするには、幅広い興味とワザを身につけるのがよいでしょう。  
いま世界の若者が注目しているのはイーロン・マスクの創業したスペースX社と一緒に働けないかです。スペースX社は火星に人を送る計画も発表しています。みなさんもいかがですか。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B9%E3%83%9A%E3%83%BC%E3%82%B9X>