

# Space Business Insight 2020

第2回  
宇宙移住時代の到来  
- 宇宙における居住



# 宇宙移住時代の到来 – 宇宙における居住

宇宙空間への研究、ビジネスが加速しており、宇宙に「居住」することも遠い未来ではなくなってきた。そこで本インサイトでは、インフラ整備と生活をより豊かにするためのQOL(Quality of Life)向上の2つの観点から宇宙ビジネスの機会を考察する。

## 1. 序論

イーロン・マスク氏やジェフ・ベゾス氏などの起業家達が、「経済圏を宇宙まで拡大する」ことを目指して宇宙ビジネスに乗り出している。実際に月や火星を目指す動きは政府機関、民間問わず活発になってきており、宇宙大航海時代が迫ってきている。経済圏が宇宙まで拡大すると、必然的に宇宙空間で人類が生活することとなる。つまり、衣食住のサービスを宇宙空間でいかに実現し、提供するかが今後のビジネス機会となる。宇宙移住時代の到来である。

政府などの公的機関、民間企業問わず、宇宙空間での生活環境に関する研究が進められている。本連載の第2回では、衣食住の中でも「住」に焦点を当てて、日本や世界各国の事例を交えながら、宇宙空間で「居住」する上での課題や、どのようなビジネス機会があるのかを考察する。

ここでの居住とは、月面や火星面上など惑星・衛星地上面などにおける建造物だけを対象とせず、宇宙空間での宇宙船などの構造物に居住することも想定している。居住建造物の建設にあたっては、軽量化やコンパクト化して地球から輸送する方法や、3Dプリンターを活用して現地で組み立てる方法が検討されている。

## 2. 宇宙空間の環境

地球上では当たり前にある環境に関して、宇宙空間ではさまざまな可能性を考慮しなければならない。まず宇宙空間は「無重力」である。そして「水」や「空気」もない。また、宇宙線(宇宙空間を飛び交う高エネルギーの放射線)など人体に有害なものが飛び交っている。そして、月や火星など別の惑星や衛星は、地球とは重力の大きさも、地盤の状況も、大気の構成などもそれぞれ異なる。こういった環境でいかにして人類は居住できるのだろうか。重力や水、空気といった人類が生きていく上で必要不可欠なものが無い(あるいは異なる形で存在する)世界での生活となることから、「地球人」である人類が、宇宙空間での居住を考える際は、まずどう生命を維持するかについて考える必要がある。

例えば、重力について、宇宙空間は無重力であるため、人間が生活するうえで地球上では発生しない身体的影響についての考慮が必要となる。

その1つに血流が挙げられる。地球上では重力により、「下」に全てのものは引っ張られている。そのため地球上では血液は重力によって下半身に向かっており、ふくらはぎなどがポンプの役割を果たすことで全身に血が巡っている。しかし、宇宙空間などの無重力状態では、上半身にも血が巡りやすくなる。いわば逆立ちしているような体の状態になり、頭が重く感じたり、鼻詰まりになったりする。これは『宇宙酔い』や『体液シフト』と言われるもので、訓練を受けた宇宙飛行士でも数日から数週間程度続くという。



また、無重力状態が続くと人間の筋力や骨が弱くなりやすいため、地上帰還後に大きな問題となる。特に骨密度に関しては、長期滞在した宇宙飛行士のデータからも実際に大きく減少することが知られている。そのため国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士は1日2時間の運動が必須となっている。

このように、無重力状態による身体への影響は大きいことから、宇宙空間で「居住」するにあたっては、身体機能の衰えを防ぐための日常的なトレーニングが必要なことが分かる。このように、「住」環境における宇宙ビジネスの可能性を考察するにあたって、生命維持に必要な不可欠なインフラ整備の観点と、宇宙空間での生活をより豊かにするためのQOL向上という2つの観点が重要となる。

### 3. 宇宙での居住に必要なインフラ

人類が宇宙へ進出し宇宙空間で生活するうえで必要なインフラについて、地球上での生活を想定すると、「電気」、「通信」、「空気」、「水」の4つが挙げられるだろう。これらに加えて、地球には当たり前存在し、宇宙にはない観点で捉えた場合、「重力」も新たなインフラとして考えることも必要になるだろう。

電気、通信に関しては、地球上で利用している技術の応用が可能であろう。電気については、人工衛星などでも利用されているように太陽光などを活用しエネルギーに変換できる。通信に関しても、人工衛星でも活用されており、電波の送受信装置や通信網を整備するなど、既存の地球上の技術を応用することで提供可能であると想定される。重力に関しても、遠心力を利用して重力を生み出す方法などが官民において検討されている。

空気に関しては次の2つの方法が考えられる。

- ・地球からの輸送
- ・宇宙空間での生成

ここでは宇宙で生成する方法に注目する。宇宙空間で空気を生成するには、いかに酸素を生成するかが重要となるが、現在は水を電気分解し酸素と水素を分離し、酸素を取り出すことが主流の考え方となっている。この原理を活用して、ロシアや米国それぞれの国で空気生成装置が開発されており、ISS(国際宇宙ステーション)でも利用されている。この原理で空気を得るうえでは水をいかに得るか、維持し続けるかが非常に大切になっている。



# 宇宙移住時代の到来 – 宇宙における居住

宇宙空間に居住する上で、インフラの整備は欠かせない。重要なインフラとしては「電気」、「水」、「空気」、「通信」、「重力」の5つが挙げられる。また、今後は民間人が宇宙に居住することを見据え、QOLを向上させる取り組みやビジネス、そして健康維持、娯楽、バリアフリーという観点からも検討が必要である。

続いて水に関して、宇宙空間で水を得るためには主に次の3つの方法がある。

- ・地球からの輸送
- ・現地調達
- ・水再生システム

地球からの輸送について、ISS建設中は、水を地球からシャトルで運びモジュールに届けていたが、スペースシャトルによる運搬費用は平均すると1リットル当たり約100万円もかかっており、非常に高価であった。

現地調達については、月面地下に水が分布していることは確認されており、火星の地下にも氷が発見されているが、普段それがどのような状態であり、どのように抽出できるかまでは判明していないのが現状である。

水再生システムについては、水を作り出すシステムとして、尿から水を得るシステム(次世代水再生実証システム)の検討が進んでおり、実際にISSなどでも活用されている。尿を飲料水品質の水に再生するためにはイオン交換、電気分解、電気透析の3段階の工程を経る必要がある。電気透析の過程でアルカリ水と酸水が出てくるが、これを使ってイオン交換樹脂を掃除することでメンテナンスフリーを実現しており、3年以上フィルタを交換せず稼働することが可能である。また持続・循環する仕組みという観点で、人間が吐く息のCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)を還元し、CH<sub>4</sub>(メタン)とH<sub>2</sub>O(水)を得ることで循環して水を得る研究も進められている。現時点では、一定量の水を地球から運びつつ、居住空間でも水を作り出す(もしくはリサイクルし続ける)方法が現実的である。

インフラの整備にあたっては、技術面、費用面で多くの課題があり、官民間問わず解決に向けた技術検証などが進められている。宇宙に居住することを起点に検討した場合、尿(液体)から水を得る発想だけでなく、CO<sub>2</sub>のような新たな資源から水を得るような発想で解決策を考えることができ、連続的なイノベーションだけでなく、非連続なイノベーションを生み出す可能性を秘めていると言える。

## 4. 宇宙での生活を豊かにするには

宇宙空間は生命にとっては過酷な環境である。当初、宇宙空間での居住施設は、生命を維持するための最低限の設備が供えられたISSのようなものになると想定される。つまり、非常に狭く、無機質で、水や空気や電気などの使用も制限されるだろう。その制限は、身体にとっても、精神にとってもかなりの負荷がかかるであろうことは想像するに容易い。特に精神面での影響は大きく、地球上での生活のような気軽さが宇宙空間での居住には求められず、大きなストレスの要因になるだろう。このような環境で、いかにして生活の質、すなわちQOLを向上できるであろうか。



日本の建築業を中心に複数の民間企業で構成される宇宙での住環境に着目したビジネス、及び暮らしを検討するワーキンググループが存在する。例えば「2040年には人間が宇宙に滞在できるインフラが整っている」と仮定して、実際に宇宙ホテルをデザインしている。その過程で課題を見出す取り組みや、宇宙に滞在する人間の生活を描くことで一つひとつの行動に必要な物資が何か、そこからビジネスにつながる要素を見出す取り組みが実施されている。宇宙に居住する未来を想像することで、QOL向上のヒントが見つかるかもしれない。

また、身体の疲れを癒し、ストレスの緩和のために必要不可欠なものとして、睡眠が挙げられる。宇宙での睡眠の質を高めるため、日本の寝具メーカーが大学や公的機関と共同で、宇宙での長期滞在用の寝具の研究に着手した事例もある。無重力空間だからこそ快適性を発揮し、身体への負荷軽減だけでなく、個人にとってのプライベート空間を保つことをコンセプトにしたものだ。

さらに、宇宙空間は無重力であることから、居住空間内で思うように移動することができず、心身いずれにおいてもストレスが加えられることも想定される。無重力空間内での移動補助の仕組みなど、地球上のバリアフリーの概念を発展させることで、宇宙での居住空間デザインに繋げることも可能かもしれない。逆に、無重力であるからこそ、高齢者や体にハンディキャップを持った人間でも、宇宙においてはハンデを負うことなく、日常生活や仕事に取り組むことができる可能性もあるのではないだろうか。

宇宙空間での精神的ストレス緩和に関しては、花の香りが効果を示したことがNASAの研究で解明されている。宇宙での居住空間内では、地球上での生活以上に「香り」が求められるかもしれない。さらにこの研究では、宇宙で人工的な空間で咲かせたバラと地上で咲かせたバラの、におい分子を分析し比較した結果、宇宙の人工的空間で咲かせたバラの方がより繊細な香りとなっていたことが明らかになっている。そしてこの実験で得られた香りを、日本の某化粧品メーカーが再現し、香水を販売するに至っている。宇宙で開発された技術が地球上でのビジネスにも還元されている例といえる。

宇宙空間での生活においても、スポーツや映画、音楽などの娯楽が生活の質の向上に繋がるであろうが、制約事項の多い環境下だけに娯楽に求めるものも変わってくるのではないだろうか。つまり地球上で当たり前体験できることを体験する、ということが究極の娯楽になる可能性もある。

ある日本の大学の研究室において、宇宙空間でのお風呂の提供について研究している事例がある。現在のISSでは、シャワーはなく、頭は水なしシャンプーで洗いその後タオルで拭き取り、体もタオルで拭うという単純なものである。つまり入浴が体験できないのである。このような環境下で、もし暖かいお風呂に浸かれるサービスがあれば、究極の娯楽に成り得る可能性があろう。

このように、世界各国や日本において、宇宙空間での生活の質をいかに向上させるか、官民間わず検討が進められており、来るべき宇宙移住時代においては、QOLの向上は欠かせないテーマの1つである。

# 宇宙移住時代の到来 – 宇宙における居住

来る宇宙移住時代を見据えて地球の技術を宇宙へ展開することや、宇宙での生活を想像することで新たな技術、ビジネスの創出が期待されている。

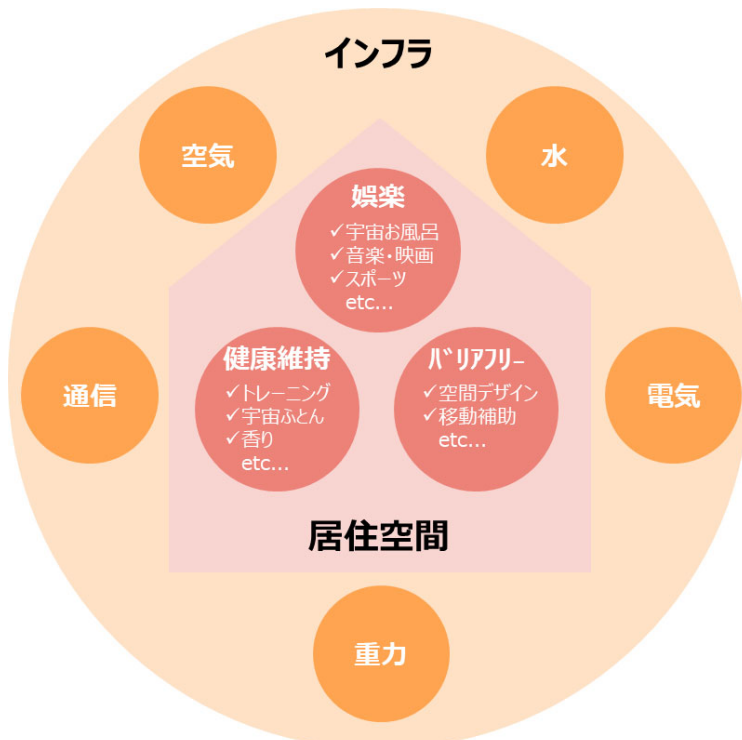
## 5. 総論

人類の宇宙への進出がただの夢物語ではなくなってきた現代において、宇宙空間での生活について考察することは、新たなビジネスチャンスの創出に繋がる。イーロン・マスク氏やジェフ・ベゾス氏は将来、宇宙には100万人が住んで、100万人が働くとして述べている。またそう遠くない未来である2040年においても、月に1,000人が住み、年10,000人が訪れることを目指している動きもあり、月面への移動や、滞在するための設備、滞在中のサービスなど、宇宙空間での生活に関する市場ポテンシャルは非常に大きいだろう。

すでに今、地球上にある技術やサービスを宇宙空間へ展開できないか検討を始めている事例が出てきている。その一方で、50年後の未来を想像し、人類が宇宙進出した時の宇宙空間での生活を想像することで、どういった技術やサービスが必要かを未来創造し、バックキャストすることで考察することもできるのではないだろうか。

最後のフロンティアと言われる宇宙ビジネス分野においては、多くの企業にビジネスチャンスが広がっている。地球上での日常生活の中からヒントを見つけ、宇宙での生活を想像することが、新たな宇宙ビジネスの創出に繋がるかもしれない。

図表1 宇宙での居住に関するビジネスイメージ





## お問い合わせ先

PwCコンサルティング合同会社  
〒100-0004  
東京都千代田区大手町1-2-1 Otemachi One タワー  
Tel:03-6257-0700 (代表)

中林 優介

シニアマネージャー

[yusuke.nakabayashi@pwc.com](mailto:yusuke.nakabayashi@pwc.com)

榎本 陽介

シニアアソシエイト

[yosuke.enomoto@pwc.com](mailto:yosuke.enomoto@pwc.com)

藤田 宗佑

シニアアソシエイト

[sosuke.fujita@pwc.com](mailto:sosuke.fujita@pwc.com)

前野 恵里奈

シニアアソシエイト

[erina.maeno@pwc.com](mailto:erina.maeno@pwc.com)

# Thank you

[www.pwc.com/jp](http://www.pwc.com/jp)

©2020 PwC Consulting LLC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network member firms and/or their specified subsidiaries in Japan, and may sometimes refer to the PwC network. Each of such firms and subsidiaries is a separate legal entity. Please see [www.pwc.com/structure](http://www.pwc.com/structure) for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.

B202003-1