

月惑星に社会を作るための勉強会 第13回勉強会

「月社会の運営のための輸送システム討論会」(パネルディスカッション) 概要

日時： 2021年7月28日(水) 17:00-19:00

モデレータ： 稲谷 芳文(ムーンビレッジ勉強会) 【稲】

パネラー： 佐々木宏氏(JAXA) 【佐】

油井亀美也氏(JAXA) 【油】

辻田大輔氏(MHI) 【辻】

朝妻太郎氏(ispace) 【朝】

内田敦氏(三菱総合研究所) 【内】

【稲】：今日はパネル討論会をしたいと思います。この勉強会は月に1回のペースでやっていますが、今回はオリンピックにぶつかっているということにある時に気がつきまして、これは避けた方が良いかという議論もあったところに、今度は緊急事態宣言がまた発令されてしまいまして、パネラーのみなさんにお集まり頂くのも大変、となったのですが、ビッグネームを集めてオリンピックもコロナもぶっ飛ばせと、勉強会世話人のみなさんの努力で日本橋クロスタワーで感染対策も万全にしてパネラーのみなさんと一緒に集まることにしました。

それでは、日本の宇宙でいろんな方面の第一線で活躍されているパネラーのみなさんをご紹介します。後の討論の時に皆さんからは自己紹介をして頂きたいと思っています。JAXA有人と探査の元締め佐々木宏さん、それから宇宙飛行士の油井さん、三菱重工の辻田さん、ispaceの朝妻さん、三菱総合研究所の内田さんです。今日はよろしくお願ひします。私がコントロールできないような立派な方が集まって頂いていますので、おもしろおかしくやりたいと思います。



佐々木宏さん



油井亀美也さん



辻田大輔さん



朝妻太郎さん



内田敦さん

【稲】最初に私から後のパネル討論のための話題提供をさせていただきます。月で「社会」とでも呼べるような規模の人の営みをする場を作るとすると、どういうことを考えたらいいのだろうか、と勉強会の皆さんと議論しています。月での大規模な人類の活動を考えるときに、人数や規模を仮置きして、どういうことを具体的に考えたらいいか、どういう問題があるのか、という議論です。社会というほどの規模になるためには、今の宇宙ステーションよりもっと桁が大きいところで、例えば1000人規模の営みとはどういうことになるかを考えてみる。単に住んでいるだけでなく、そこでやっている人類の活動が何らかの価値を生み出さないと持続的に運営するというのは難しいので、月の上でどういう価値を生み出して、その価値に対して投資がなされてリターンがあるという循環をどうやって作っていくかということが大事だと考えています。今の宇宙開発あるいは宇宙活動とは随分規模や様相の違うことを考えないといけない、さて「何をあぶり出すのが面白いか？知的な刺激になるか？」という動機で、リファレンスモデルというのを作ってみようという活動をやっています。

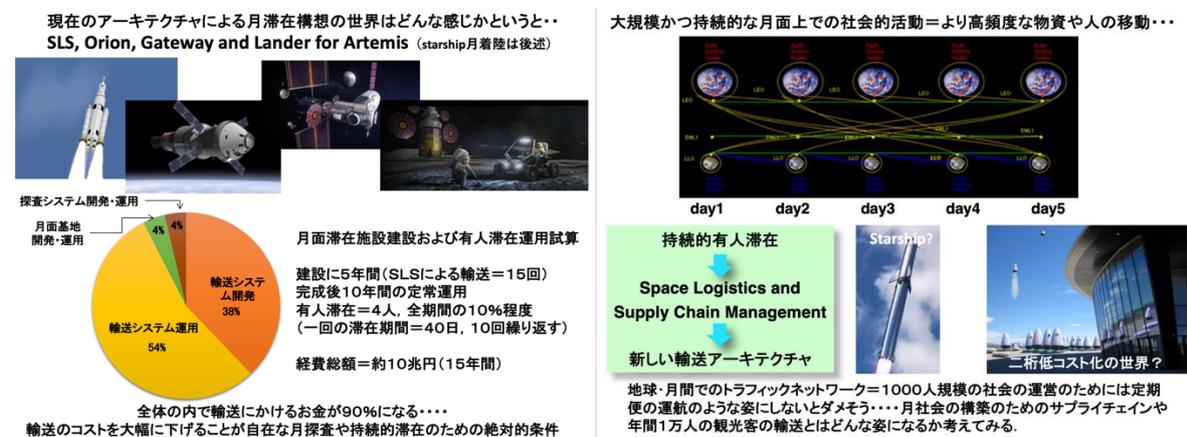
地球を離れた場所での価値の創造のひとつは、人類の知識の拡大とか活動領域の拡大とか言う普遍的な価値のことで、これらは国家の仕事に属することでしょう。もうひとつの側面は経済合理性の意味で行うビジネスです。月で資源や水を見つけてそれを活用すればいろいろなビジネスができるだろう、とか、そこに行くこと自身が価値になるので観光や旅行を考えるということで、資源事業や観光のビジネス規模を考えたらどうかという話になります。その仮定として1,000人が住んでいる社会で、例えば1万人のビジターが毎年訪れるとします。ISSの感覚からすると、とんでもない規模になりそうですが、そういうとんでもない世界がどういう世界か具体的に考えてみませんかというのが、この勉強会のスコープであります。

私が話すとお金の話になって下品になるのですが、今の国際宇宙ステーションISSは、建設費は大体10兆円、維持費は毎年4,000億円ほどと言われています。宇宙ステーションの場合は国の事業として税金で賄われています。これは決して小さいお金ではありません。そのことをひとつ頭に入れておきたいと思います。

ISSの次に国際協力でやろうというのがアルテミス計画です。これは月に、出来れば持続的というのに近いような状態で人間が活動する仕掛けを作ろうという計画です。これまでと違って民間が入ってくる可能性も出てきていて、これから国と民間の新しい関係が作られるかもしれません。今日は油井さんにも来ていただいています。日本の宇宙飛行士が月に行く場面や、佐々木さんは、この活動への取り組みで日本が尊敬される位置を占めるように頑張っておられます。これらの点については、また後で議論します。

アルテミス計画では、どういう仕掛けを作ろうとしているかを見て、お金がどのくらいかかるのだろうか試算してみました。宇宙ステーションと同じ規模として、総経費10兆円ということにします。このSLS というNASAが作る大きなロケットで、オリオンという宇宙船で月の周回軌道にあるGateway というのに行って、そこから月に着陸するという仕掛けを作ろうとしているわけですが、お金の内訳を見てみると、大体総額の90%ぐらいが地球から月軌道や月面あるいは帰還などの輸送のために使われているということが分かります。裏返して言うと、10兆円かけて月の滞在のために使えるのは1兆円だけということです。月は、ことほど左様に遠いのである、とも言えます。月でいろんなことをやりたければ輸送のコストを下げなさい、とこの絵が言っているのです。このSLS という巨大ロケットは一発打上げると、2,000億円の費用がかかると言われています。この数字もちょっと覚えておいて下さい。

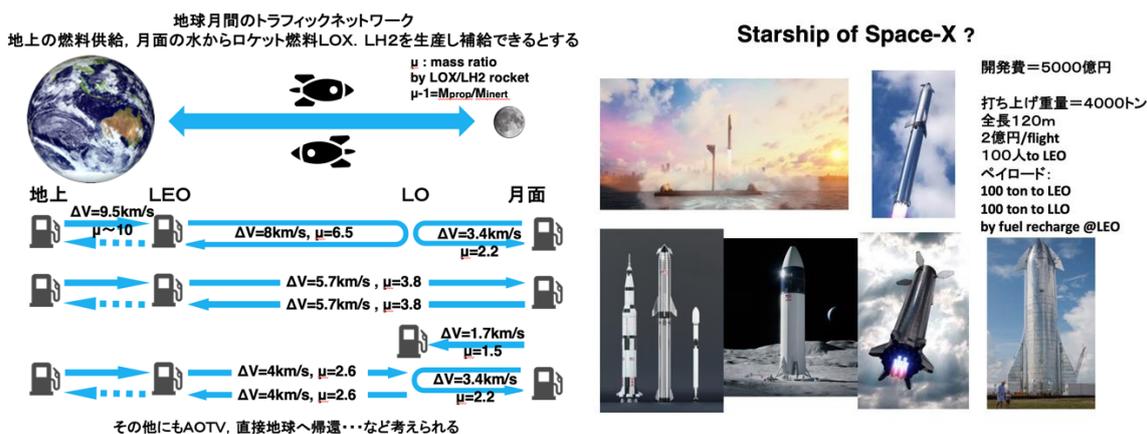
先ほど言ったような1,000人の社会、1万人の旅行者の相手をするということになるとどんな仕掛けがあるかと考えると、例えば毎日定時に出発して、行ったり来たりするということが常態的に行われるような地球と月の間にある種の交通ネットワークみたいなものを作って、高頻度の物資や人の移動を行う、ということが求められると考えています。さっきの SLS という現在のロケットでやると、今日一発打ちました、はい2,000億円です、二日目打ちました、また2,000億円・・・5日目まで毎日打ちました、とすると5日分だけで1兆円のお金が消えていってしまうわけで、現在の輸送のアーキテクチャを使っている限りは、持続的な営みを「できる」と主張するのはなかなか難しいなと思います。そこで新しい輸送の仕掛けを考えましょうというのがここでの主題です。



さっきのような地球-月間のトラフィックを考えるとして、先ほどの前提条件=年間1万人の観光客とすると、大体毎日30人を月に運びなさいとなります。人間1人は重量とし

ては100キロという規模で、目方としては3トン、キャビンや人が生きるための仕掛けを入れてまあ10トン。物資の輸送もまあそんなものかとして、その規模の輸送を毎日やると考えると、どういうことになるのか考えてみます。知りたいことは、どういう輸送の仕掛けを作ればいいのか、燃料はどこから調達するのか、月の水が燃料になるのだが、どれくらいの量をどれくらいのコストで生産できればいいのか、などです。それから一番興味があるのは、例えば自分が行くという立場になった時に、ではお金をいくら払ったら行けるのですか、即ち切符はいくらで買えますか、というのが多分直感的にわかりやすい指標になるでしょうから、この辺をちょっと数字にしてみようと思います。

地球と月の間をどういう区分けをするかと言うと、地上と地球周回軌道、地球周回軌道と月周回軌道、月周回軌道と月面、その4箇所の区切りというか中継点を考えることができます。一方で、アポロのように直接行って直接帰ってこようという考えもあるし、スターシップはLEOで燃料補給とか、月で推進剤を調達することも含め、何通りも考えることができます。この辺のスタディは今、先ほどの勉強会のアーキテクチャーグループの人たちが行っていますので、詳しい話しは近々紹介されると思います。



さて、地球と地球周回軌道の間は、月に行くためだけに用意するかというとは実はそうではなくて、別のビジネス、例えば東京ニューヨークを1時間で飛ばしましょうとか、地球周回の宇宙旅行をしましょうとか、そういう輸送機の議論がされていて、ここには実は巨大なマーケットがあると期待されています。今の商業航空輸送の世界からの類推で、年間何100万人の乗客が100万円オーダの切符を買って行くという世界を作れるのではないかとこの予測があって、10兆円規模の年間需要というマーケットがあるという議論がされています。月に行くのもこの仕掛けを使わない手はないと、地球から周回軌道に出るところは、こいつに委ねましょうという話になります。

地上・LEO間の高頻度大量輸送・民間ビジネスによる輸送の世界のイメージ  
宇宙旅客輸送のマーケットの創出

・ P2P大陸間高速輸送  
10時間以上の航路の航空旅客数=1.5億人/年  
この内1~10%の旅客が高速輸送を選択=百万から千万人が利用/年  
切符一枚ファーストクラス並み=1~200万円  
年間売り上げ=1兆~20兆円規模の市場  
<http://www.thespaceview.com/article/3680/1>



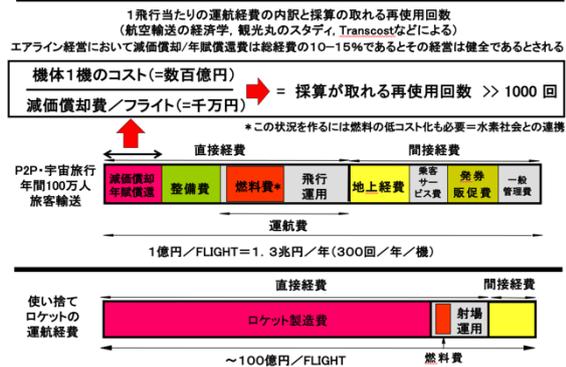
主要大都市間を1~2時間以内で飛行

・ 一般大衆の宇宙旅行  
年間旅客数=100万人  
切符一枚=1~200万円  
ワンフライト経費=1億円  
乗客数=50人  
運航=60機のフリートを毎日運航  
年間売り上げ=1.3兆円(日本国内)  
世界では10兆円規模のポテンシャル



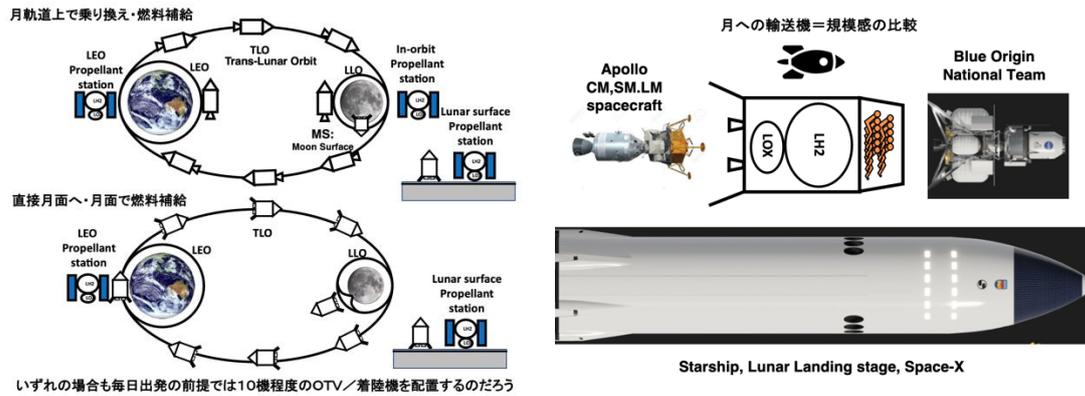
日本ロケット協会「宇宙旅行」のスタディから

P2P・宇宙旅行事業のワンフライト当たりの経費  
1000回以上の再使用回数の根拠



その宇宙旅行やP2Pのスタディの中での話なのですが、さっきの100万人に100万円で切符を提供できるビジネスだとすると、大体、1回のフライトに例えば50人とか100人のお客さんが乗ると、図にあるように、1回飛ぶとまあ1億円の切符の売り上げ、となります。そのうちで機体を買って借金を返しますというお金の割合が全体の10-15%くらいを占めている様だと、商業航空の世界ではJALやANAなどのエアラインの経営が健全であるということのようです。この条件から何回繰り返し飛ばすとペイしますか？という計算ができません。飛行機の世界では当然のことですが、ロケットの世界でも再使用ということで何度も何度も飛んでこういう勘定が出来る世界にしないとイケません。あとで月に行く時にも同じ話しをします。そうすると機体を一回で使い捨てている世界に比べて、何千回も使えば1回あたりのコストはずっと下がって、二桁以上の輸送コストダウンということが実現します。

次にLEOから先のことを考えます。地球から月まで行くのに三日以上の時間がかかりますので、毎日出発すると、今日出発したやつが明日どこまで行っているか、昨日出発したやつは、おととい打ったやつは・・・、と考えると、軌道上に配置した何機かの機体をぐるぐる回転させるという状況を作ることになります。燃料をどこで補給するか、地球から全部持っていくのか、月で補給するのか、直接月に着陸するのか、月の軌道上で乗り換えるのか、などいろんなバリエーションが思いつきます。それらの規模感を計算してみますと、月面での燃料供給が出来るとすると、30人乗りのロケットを地球の周回軌道上から毎日月に飛ばす、大体何10トンとかいう規模の機体に燃料も何10トンとかいう程度になるだろうとなります。30とか50とかありますが、まあ何10トンの規模だと思えば良いかと思えます。

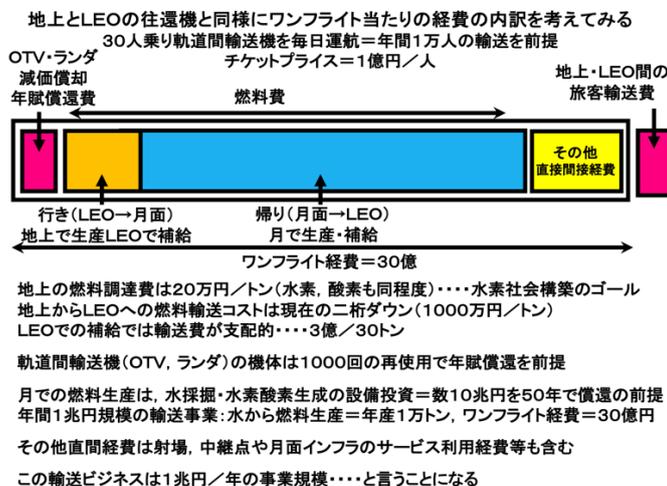


この程度の規模感の機体は他と比べてどうかと言うと、この図のように、アポロがあって、アルテミスで参加しようとするブルーオリジンのナショナルチームの提案するランダー、それからスペース X は先ほどの巨大ロケットを地球から打とうというやつを、地球軌道上で燃料補給して月に降ろそうという計画をしています。これはスターシップの派生で地上から打つ時の2段目で全段ではさっきのSLSよりも大きい巨大なものです。今僕らが考えている毎日30人乗せる機体はこんな規模になるでしょう。それほど巨大なものにはならない、でもそれほど小さくもない、そんな感じの機体規模かなと思います。

ここからまたお金の話をします。仮置き目標を先に言ってしまうと、切符一枚1億円でできるかできないかを考えよう、ということにすると、30人乗りなので、ワンフライトで切符の売り上げは30億円ということになります。数字はずいぶん違いますがさっきの地上とLEO間の輸送機の話と同じです。1フライト30億円でその飛行ができるとすると、その事業が成り立つということを条件にして、内訳を考えてみることにします。いろんな仮定があるわけですが、月で調達する燃料がある値段で提供されればこれに頼って帰ってくると言うことが経済的、かつ技術的には合理的な答えということになりそうで、ここに書いてあるように月での燃料の生産コストというのが、キーのドライバーになるだろうと思います。

ここでは、この図に書いてあるように月での水からロケットの推進剤の生産をする設備を作る費用と、それを何十年間で償還するというような計算をすると、大体ワンフライトあたりで10億円とか20億円とかいう数字を作ることができて、年間生産量が1万トンの規模でワンフライト30億円、すなわち切符1枚1億円で月往復が出来ると言う数字を作ることが出来ます。さらにこの図から切符の値段を下げたいのであれば、この図が示すように月での生産のコストが過半を占めるのでこれを下げることが本質的で、それ以外のコスト、機体の償却費であるとか、往きの燃料などはマイナーポーションということになって、どこを頑張れ、

ここは頑張っても効き目ない・・・などという議論が出来ます。1万人のお客さんに切符1枚1億円で提供するので、このビジネスは、1万人 × 1億円、即ち、年間売り上げが1兆円の輸送事業ということになる・・・などとビジネスの収支計算も大雑把にできます。これで事業ができますか、できませんか、月での生産はどういうコストであればいいですか、ということに大雑把だがある種の目標値を与えた、ということをご理解下さい。



以上まとめると、先ほどのように地上と地球周回軌道間の輸送は、月へ行く以外の宇宙旅行や移動のための需要があって投資がなされると期待しても良いとしましょう。それがまず1点目です。2点目は、年間1万人を月へ運ぶというためには、30人乗りの機体を10機程度用意してぐるぐる回すという仕掛けを数字にしてみました。推進剤（酸素水素）は、地上からはLEOへ輸送する、月からの帰りは月の水から作って補給するということにすると、経済的に合理的な解を導くことができます。その月での燃料生産コストが輸送費を決めるメジャーポジションになるだろうと出ました。

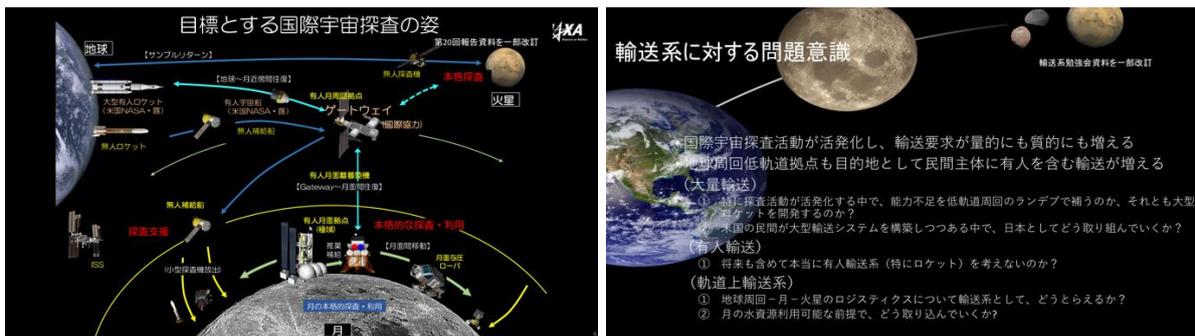
その上で切符1枚1億円という世界は、ここに書いたような月での燃料生産コストが達成されれば作れそうではないかとなりました。ただしもう一声、切符一枚を1千万円の桁にするのはちょっと難しそう、という感じでしょうか。という訳で、輸送については先ほどの、地球から月の間の低コストかつ現実的な輸送体系、それから月での燃料生産の具体化、まず水の発見からですが、これら二つがあれば議論はなりたちそうです。目標値としてはこんな話しで如何でしょう？それを実現するには、このような輸送の仕掛けに一般の人が乗客として切符を買って搭乗し、さて安全に行って帰ってこられるのかということも、大事な視点で、この点でも今後いろいろな議論がされるべきところでしょう。

話題提供イントロとしての話は以上です。この後のパネルでは、今のようなお話を切り口として考えていただいて、今日来られているパネラーの皆さんからそれぞれ自己紹介と独自の視点でお考えの事をお話しただければと思います。佐々木さんからお願いします。

【佐】：はい、まず自己紹介します。JAXAになる前、宇宙開発事業団に30数年前に入って、最初は10年輸送系をやっていました。OREX、ハイフレックス、HOPE、H-I、IIですね。再突入機を結構楽しくやっていた時期があって、実はOREXとかハイフレックスって私が勝手につけた名前なのですが、で、その調子で宇宙研に行っているいろんな発表をしていたら、稲谷先生の方からだいぶ厳しい指摘を受けて（パネラー笑い）、しゅんとした記憶があります。

その後の10年は、「こうのとりのり」(HTV)の開発を中心に、有人の宇宙技術開発をやっていました。その後、経営企画から宇宙科学研究所、ここでまた当時副所長の稲谷先生に色々とわがままを言われて苦労した記憶がありますが（パネラー笑い）、そんなことをやってきて、今現職に至っています。輸送系について今日話題なのですが、輸送系は20年間くらいやっていきたいので、お話しはできるかなと思って参加させていただきました。

次お願いします。これは数年前に、政府の委員会なんかで、目標とする国際宇宙探査の姿というのを示したもので、地球から輸送系があって、月周回の有人拠点があり、月面に送るランダーがあり、火星等に向かっていくという姿です。

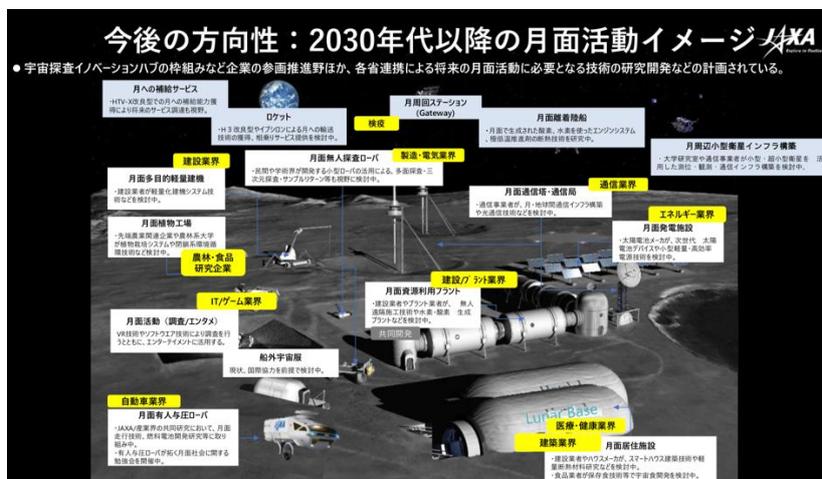


その時の議論で、輸送系の勉強会の時に発表したのですが、やはり再使用しないといかんだろうという話では、軌道間輸送機、それから月面と周回の着陸機、こういったものは再使用を目指すのだろうということで書いています。ただ、デルタVの観点でやはり、地球から周回へ出るというのが、赤で書いてありますが、一番大変で、ここが技術的には一番クリティカルなのだろうなと思っています。軌道間輸送機は、効率性は別にしてシステム上は出来ますし、離着陸機についても、実績はないのですが、デルタVが1/4とかになるので、月面でもし燃料がしっかり取り込めれば、かなり出来るのかなと思っていました。この辺はどういう構成するのかというのが議論かなと思っています。

その時にちょっと問題意識として述べたのは、輸送系だと、この大量に運ぶのと、有人で行くというのが、結構二律背反で、昔、スペースシャトルが退役したときも大型の物資輸送と有人輸送を兼ねているところが指摘されているということがあって、将来は両方できるようになるのでしょうかけれども、途中段階で、大型で行くのか、安全に有人は有人で行くのかといったところは論点なのかなと思っています。

あと輸送系の議論だと、今回の場合は月までということで、幅広くシステムを検討いただくことになるのだらうと思います。えてして、輸送系も議論ではロケットがどうかという話になりますが、地球から地球周回まで、それから月まで、火星までといった全体のアーキテクチャとして輸送系を捉えるのが大事かなと思っています。

そういう意味で、月探査活動が活発化して非常に関心が高まっている一方で、後、低軌道、地球周回の低軌道についても民間主体で有人輸送が最近多く見られていると思いますが、輸送が増えるだろうということで、アーキテクチャの議論でポイントになると思っているのは、一つは、繰り返して言っていますが、月面での燃料の確保が大きなポイントなのですが、もう一つは、地球周回の有人拠点と、それから月に行く、この二つがなんか全然関係ないっていうわけにいかないと思うので、両方でうまく、相乗効果というか補完しあって、効率的なアーキテクチャを作る必要あるのだらうなという風に思っています。そういう意味では、やっぱり、いきなりどかんと、地球から月まで行くっていうよりは、地球周回の拠点をうまく活用する方が、ISSは軌道がよくないのですが、いろんな組み合わせがあるのだらうと思っています。簡単ですがまずはこんな感じで。



【稲】：はい、ありがとうございます。目指すところは同じでも、立場が違うとやり方が変わってきて、二人で話していると面白いなと思いがらいつもやっていますが、グッドウィ

ルを持っていることにおいては変わらないと思っておりますので、お手柔らかに、よろしくお願い致します。

それでは、後で今の論点に戻ってお話したいと思います。次は油井さん、お願い致します。

【油】： JAXA宇宙飛行士の油井亀美也です。

私は防衛大学校を含めて自衛隊で20年ほど仕事をして、JAXAに入ってから10年ほど仕事をしています。あとは特徴的なところは、自衛隊の経験で言うと、テストパイロットという仕事をしていました。この仕事は、新しい乗り物や装備品なんかを作った時にそれが安全に飛行できるのかというのを確かめる仕事なのですが、そういう仕事をして JAXA に入った以上、いつも思っているのは、日本が有人の宇宙船なんかを作ったら、私がしっかりとテストをして、安全を確かめられるのになぁなんて思いながら、いつも仕事はしておりました。2015年、私は宇宙にだいたい142日間滞在したのですが、そういう経験を生かして、今日は話ができればなと思っていますし、現在、宇宙飛行士グループ長という役目をしていまして、現役7名いる宇宙飛行士の取りまとめをしているのですが、宇宙飛行士グループ長というとなんか聞こえはかっこいいですが、私も新しく入ってきた飛行士の一人でみんな先輩なので、どちらかといえば挟まれて、こういう仕事あるのですが先輩やっていただけませんかみたいな話をして、それは後輩がやれば？みたいな話になったら、はい、じゃあ私がやりますみたいな感じでいつも仕事を進めているという状況ですね。そういった中でも、宇宙飛行士が将来のミッションで活躍できるような事を考えながら仕事をしています。

私が宇宙にいつる時にやはり一番印象的だったのは、「こうのとりの」という日本の宇宙船が、私が宇宙に行く前にたくさんの宇宙船、補給船が上がったのですが失敗が続いていて、ISS が物不足になってたのですが、日本がしっかりとその信頼性を活かして無事に荷物を届けてくれて、宇宙ステーションを救ってくれたというのが、私のミッションの中でもハイライトでしたし、非常に印象に残っています。ロシアもアメリカの飛行士も本当に素晴らしい宇宙船、補給船だと言って褒めてくれていましたね。



あと今日はどちらかという他の皆さんとは違ってデータを見せるような感じではなくて、宇宙の経験、心で感じたことなんかをベースに皆さんとお話することになると思うのですが、宇宙に行って、やっぱり気づくのは地球の美しさですね、あとは自分の住んでいたところを宇宙から見たときの感動というのは、お金ではちょっと換算できないような素晴らしい感動があるということを伝えたいです。あとは、宇宙に行って、天の川なんかを眺めていると、やはり宇宙の全体的な広さですね、可能性の広さと、あとは地球の小ささを、やっぱり感じました。



宇宙から見た月というのは非常に素晴らしくて、ここにもちょっと一部うさぎさんが見えますけれども、私も次は、亀美也のキはカメという字がありますけれども、月に今ウサギさんがいて、私が月よりも遠くに行かないとウサギとカメのレースに負けたことになっちゃうので、できれば月、そしてその遠くにもっと行きたいなという風に思っていますし、もし私が行けなくても、私の後輩がしっかりと宇宙に行って、月に行って、そして火星に行って、仕事ができるようにというところを考えながら、飛行士の育成なんかも考えています。先週も私、大西さん、金井さんで、探査を見据えて地質学の訓練なんかもしましたし、そういうところも含めて紹介できればいいかなと思って、今日は参りました。よろしくお願いします。

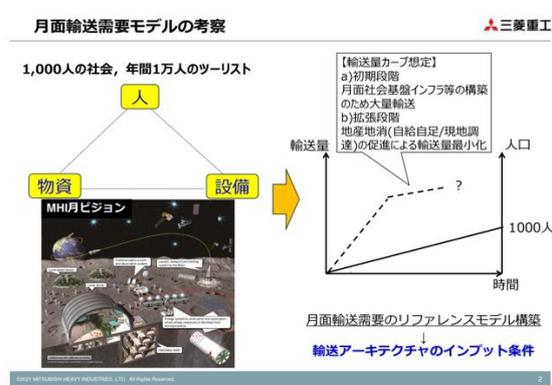
**【稲】**：ありがとうございます。今日は、月に向けてやっておられることとか、油井さんのお考えなどもこの後の議論の中でご紹介いただければと思います。よろしくお願いします。それでは、辻田さん、お願いします。

**【辻】**：三菱重工の辻田です。

自己紹介に代えてということで、これまで私のやってきたことを紹介いたします。私は入社以来、約20年近くですが、HTVの初号機から開発に携わってきまして、今HTVは退役してしまっていて、その次の世代のHTV、「こうのとりのとり」ということで、HTV-Xをやっています。またさらに、そのHTV-Xを発展させて、Gatewayに物資を補給するという検討も始まって

いますので、そちらでも携わらせて頂いております。また今、ポストISSということで、低軌道の利用、民間利用ということで、こちらの活動にも携わっております。その中、輸送アーキテクチャの問題意識と致しましては、先程、佐々木さんからもありましたけれども、低軌道とGateway、個別にあるのではなくて、それを統合した最適な輸送アーキテクチャを考えていく必要があると思っています。また月面社会を構築するのであれば、人が行くというのは必須になりますので、有人輸送技術を日本としても持つべきだと考えています。HTVは、宇宙ステーションに係留しているとき、宇宙飛行士が中に入って活動してくれているといったこともあり、日本も、持っている技術を有人に発展できる素養は十分にあるのかなと思っておりますので、そこを個人的にも盛り上げていきたいと考えています。

それで、月面の輸送需要モデルとはどんなものだろうというふうに考えました。稲谷先生はコスト収支が成り立つ観点からの求められる輸送系という風にご説明いただきましたけれども、私が考えた観点は、そもそもどれくらい輸送の需要があるのだろうと、人だけじゃなくて、物資や設備、月面に社会構築するためには必要なもので、そういったものも合わせたトータルの輸送量を踏まえて、それを実現するために最適な輸送アーキテクチャとは何だろう問題意識を持って考えています。右側のグラフですけれども、時間が経つにつれて、1,000人規模の常駐の人がいらしゃると。そんな中、輸送量はどんどん増えていくと。ただ、輸送量のカーブは「はてな」で書いていますけれども、人が増えれば芋づる式に増えるのではなくて、現地現産や循環的なシステムを構築して、地球からの輸送量はどんどん減らしていく必要があると思っています。こういったところがリファレンスモデルとしてできると、輸送アーキテクチャのインプット条件になって、より具体的な検討ができるのではないかと考えます。



## 輸送アーキテクチャの考察(1/2)

三菱重工

インプット条件(月面需要モデル)に基づき、様々な輸送アーキテクチャの経済性評価が可能。

### 【ケース1】ダイレクト月面輸送



### 【ケース2】OTVネットワーク輸送(低軌道ステーション経由)



### 【その他ケース】

皆さんとのディスカッションでリアレンスケースを作ればと考えています。

## 輸送アーキテクチャの考察(2/2)

三菱重工

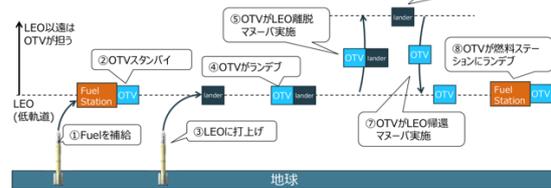
☆OTVネットワークとは(低軌道ステーション経由の場合)

<構成要素>

OTV : Orbital Transfer Vehicle (軌道間輸送機)

Lander : 人・物資・設備(ペイロード)を運ぶ月着陸機

Fuel Station : OTVへの燃料補給するステーション



(参考文献)中須賀貞一、「低軌道より上の輸送インフラストラクチャの一例 - OTVネットワーク再考 -」, 日本航空宇宙学会, 2001

輸送アーキテクチャの考察ですけれども、アーキテクチャのシナリオがあれば経済性評価はできると思っています。社内でも若手中心に勉強会をしまして、モデルを作って経済性評価などを勉強しています。簡単な例でいうと、一つ目はダイレクト月面輸送、これはどんな人でもどんなものでも運ぶのに、高信頼性のロケットを使って何度も何度も運ぶということで、先ほど稲谷先生も言っていましたけれども、その分高くなるというケースです。それをなんとか打開する手はないのかなというので、OTV ネットワークというのを一つの例として考えました。

これは、2001年に中須賀先生がOTVネットワークの考察という論文を出されていて、それを我々も読んで自分たちでモデル化してやりました。このコンセプトは、低軌道に燃料ステーションを設けて、後から上がってくる月面ランダーを、軌道上に既にあるOTVが月面の近くまで運んであげて、また低軌道に帰ってきてという、OTVがランダーを宅配便のように軌道間輸送してあげるといったシナリオです。で、これも、さっきの高い有人ロケット仕様のものでひたすら全部やっていると高くなるのですが、例えば、燃料を打ち上げるロケットは安くする、ランダー、人や物が、人が乗るようなものは高信頼性ロケットでやるという風に、ロケットの種類を変えることで、コストをダイレクト輸送よりも安くするっていうことができるというケーススタディをやったりしています。こういったものも踏まえて、運用シナリオのモデルを考えて計算して評価して、もっと良い輸送アーキテクチャの議論ができると考えて、今日は参りました。

【稲】：はい、ありがとうございます。三菱重工で実際に飛ばすモノを作っておられる立場もあって、現実的という話と未来のあるべき姿のギャップの間で、僕らはいつも悩むのですけれども、先のお話をしないと面白い話がない、そういうところでぜひ面白い議論をしていただきたいと思います。ありがとうございました。

それでは、朝妻さん、よろしくお願ひします。

【朝】：はい、よろしくお願ひいたします。ispaceの朝妻と申します。自己紹介とispaceの話を含めてさせていただければと思います。

ispaceは、2022年に1回目のミッションで、無人のランダー（月着陸船）を月に送る予定です。その翌年も2回目のミッションを計画していて、先ほどもお話でましたけれども、高頻度で月に物資を輸送するようなシステムを構築しようという今時点で計画しています。

「月を生活圏」にと添えていますけれども、ビジョンとしては、“Explant our planet. Expand our future.”という形で、我々の住んでいる領域をどんどん広げて行って、そこにどんどん未来を広げていくという、そういったビジョンのもとで話を進めている宇宙ベンチャーになります。

私の自己紹介になりますけれども、大学でアメリカに行きまして、大学の前までは日本におりまして、実はあの、佐々木さんが先輩にあたってバスケット部の先輩です。大学で航空宇宙工学を勉強して、色々書いてありますが、私の一番原体験で大きかったのは、やはり、当時2000年代ぐらい、20年前のイーロン・マスク氏に僕は学生時代にお会いして、あと、ピーター・ディアマンテス氏、アンサリX prize の、そういった方々とわりと近い距離で目にする機会があって、宇宙開発というのは、どうするとお金が流れていくのだ、そこにどういう風にお金が流れていくかということ、非常に目の当たりにしたアメリカでの学生時代でした。

今日も稲谷先生からお金の話がでていますが、やはりビジネスはお金が流れないと進んで行かないという視点で、そのままアメリカでエンジニアも少し働いたのですが、日本に帰ってきて広告会社でいわゆる広告ビジネスみたいなものの経験を積んで、その前に、今のispaceの前身の会社の立ち上げを袴田CEOとも進めて、その後、戻って、2年前ぐらいからispaceにリジョインしているという形になります。

この後内田さんからもお話があると思いますけれども、今は、フロンティアビジネス研究会のメンバーとしてもやらせて頂いて、主に資源ワーキンググループのリーダーをさせて頂いています。何をやっているかと言いますと、月面にあると言われていた水がどれぐらいの価値があるか、どういう形でそこに市場が作れるかという事を資源ワーキンググループでもそうですし、このムーンブレッヂ勉強会でもさせていただいています。

第10回の勉強会の時に私の方でも発表させていただきましたけれども、その時の議論として、まず大事なポイントとしては、これからビジネスが成立する視点において、いわゆる経済合理性というのが一つ大事なポイントでした。月から水を持ってきてLEOに持ってくるのと地球から持ってくるのと、どっちが安い？シンプルにいうとそういうことです。その視点が常に、どこで燃料補給するにしても、設定されるかつ、その経済合理性の上に地理

的特性というのも一つか関わってくるかと。極域なのか、それとも中緯度なのか。そういうところも非常にポイントになってきて、さらに、未来史というのをどういう風にしていくか、これもかなり意志が含まれてくると思うのですが、月にこれから行くという人達がどういう意志をもって、どうい社会をそこに作っていくかという所が、非常にポイントとしては大きいのではないかと。そういったフィロソフィがあった上で、そこに推進剤の市場だったりとか、そこにどの程度資源が投入できるかというところで、規模は変わってくるのだらうなというところを、これまでチームの中では議論させて頂いています。



#### 今後の進め方としての論点

##### <過去の議論ポイント>

1. 月面ビジネスに必要な点は、一定の経済合理性の上で成り立つ、地理的特性を最大限生かした、未来史ストーリー構築。
2. 月面資源市場において、最も大きいのは、推進剤の市場となる。すでに見えている計画から逆算をして、そのうちの程度月面水資源が投入できるかによって規模は変動する。
3. 地理的特性の上で、火星ミッションへの燃料補給という視点と、月面上でのライフサポートという視点で、月面の水氷の資源価格を局地的な合理性の成立をベースに\$500/kg~\$30,000/kgで変動させることで、初期投資のリターン設計が必要。

##### <今後の動き>

- ・ リファレンスモデルの定量化に向けて、前提とすべき数値・情報
  - ・ 例) 採掘コスト算出→水氷資源の様々なデータが必要
    - ・ 氷の組成データ他の割合によって、採掘、生成に必要な機器(およびそれに伴うコスト)が変化
  - ・ 例) 採掘後の資源保管コスト算出
  - ・ 例) 月産月消するために必要な、ライフサポート装置の耐用年数と初期コストなど。

具体的な検討中の数字で行くと、この3つ目にキロ当たり500ドルから3万ドルで、かなり幅がありますが、この幅の中で経済合理性が成り立ちつつ、先ほどの稲谷先生のお話ですと旅行する側のチケットが安くなるという視点だったと思いますが、私の視点としては、ここに参入する企業さんがどれだけ利益を得られるかというところが非常に大事なポイントだと思います。かつ、『宇宙兄弟』なんか見ていると、月面でこれから「働く」というか、何か建設をしたりとか何かを作ったりする時に、月に行って、ある程度リスクを背負うのだけれど、そのリスクを背負う時にリターンももちろんある、簡単に言うと賃金がすごく高いみたいな世界が生まれてくると、恐らく色々なドミノが倒れていって、社会というものが作られてくるのではないかと風に思っています。ですので、研究会視点、勉強会視点でいきますと、そこに対するコストをいかに算出していくかということが多分これから大事になってくるでしょうし、そのコストをある程度明らかにすると、今、宇宙に関わっていない日本の企業さん含めた地上の企業さんが参入しようという流れが生まれてくる。コストが見えると、それに対してリターンが繋がっていて、そこにバリューチェーンが生まれていく。恐らくそういった流れを、どうい風にして、ispaceとして輸送を担う立場として、提言や、いろんな研究会を通じて繋がっていければいいかなと思っています。

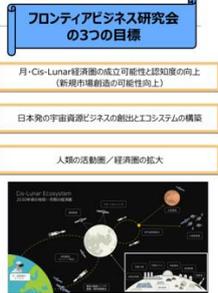
【稲】：私が言うとエエ加減に聞こえますが、朝妻さんがいうとちゃんとした話に聞こえます。ありがとうございます。後で、そのあたりの経済合理性の議論でまた盛り上げたいと思います。よろしく願います。それでは内田さん願います。

【内】：三菱総合研究所の内田でございます。

私は三菱総合研究所のフロンティア・テクノロジー本部というところにおりまして、その名の通り、宇宙とか海洋とか、そういったフロンティアな分野の仕事している部署にあります。気が付くと、かれこれ20年ぐらい宇宙の仕事をやっております、仕事を始めた頃には、ispaceさんのような宇宙スタートアップが出てくる時代が来るなんて、こういうスタートアップが100を超える時代がくるなんて、などは思いもしなかったもので、やっぱり時代は変わったなということを感じていたりしているところでございます。

### フロンティアビジネス研究会

- 月、月の近傍空間(Cis-Lunar空間)、そして火星へと向かう宇宙開発は中長期的に発展が見込まれる「**未来**」市場
- 「株式会社三菱総合研究所」および「株式会社ispace」では、**2016年末**に約10社の企業とともに「フロンティアビジネス研究会」を立ち上げ
- 現在、大手からベンチャーまで、非宇宙企業も含めて**35社が加盟**
- **産業界が主体**となって日本発の宇宙資源ビジネスの市場創出を目指した検討を実施
- 全体会合以外に居住、資源、遠隔・VR、低軌道実証、将来像検討といったテーマに応じたWGを設置し、具体的内容を議論



### 月面産業ビジョン協議会

- 産業化を視野に入れた月面開拓活動の実現を目的として、**政学産**からなる「月面産業ビジョン協議会」を設立
- 30社を超える企業、国会議員、学識経験者が参加
- 様々な分野での月面産業の創生およびエコシステムの形成に向けて必要となる活動についての「月面産業ビジョン～Planet 6.0時代に向けて～」をとりまとめ
- 月面開発の新産業創出に力点を置いた「**産業界による**」ビジョン
- 7月13日に井上内閣府特命担当大臣(宇宙政策)に手交



### 輸送系に期待するもの

- **将来の月面**では、「輸送分野(地球-月、月面)」、「情報・通信分野」、「メディア・コンテンツ分野」、「資源・エネルギー分野」、「建設・インフラ分野」、「食料・バイオ分野」、「金融・保険分野」、「観光分野」といった様々な分野での**産業創生が期待**される
- ただし、「輸送分野(地球-月)」および一部の産業を除き、**月面上での活動**であることから、**月面に到達する手段は不可欠**
- すなわち、**月面での産業を考える前提として、安価かつ高頻度な輸送手段の確保は必須なもの**

朝妻さんの発表にもございましたけれども、私、当社の仕事以外にもコミュニティの活動を幾つか行っておりまして、そのうちの一つがこのフロンティアビジネス研究会というものでございます。月とか、月の近傍空間、Cis-Lunar空間なんて言い方をしますけれども、そこから火星に向かう開発についても、未来の市場として発展が見込まれるだろうということでも立ち上げた研究会でございます。ispaceさんと一緒に、月が次にくるとすると、なかなか政府が動いてくれるのを待っていると遅れてしまうだろう、産業界でできることをどんどん進めませんかということで始めて、思いを同じくするような10社さんの企業にお声掛け

をして、こういった企業さんも、将来のことを是非考えたい、なかなか今の宇宙のフィールドだけだと閉塞感というか、見えている世界しかないの、新しいことを考えたいということに思いを同じくしてくれたみなさんと一緒に、立ち上げました。それがもう5年も経つと、結構増えてきて、今は、大手企業さんももちろんいけば、ベンチャー企業さんもいますし、宇宙分野ですっといらっしゃるようなEstablishedの企業の方々もいけば、非宇宙の方々もいるということで、35社の企業が自社のビジネスとして月のビジネスを考えるとということで参加して頂いて、議論をしているところです。

産業界が主体となって考えたいということで、メンバーは企業だけに限定をしています。そこが特徴でして、自社のビジネスとして市場を作るということを目指した検討をしています。全体で集まるような会合と、あと、朝妻さんにリードしていただいている資源ワーキング以外にも、居住とか遠隔・VRとか低軌道実証とか将来像検討のワーキングを作って、いろいろな議論をしています。資源は先ほど朝妻さんのご紹介がありましたけれども、例えば居住などですと、月ホテルを作ったら、一泊いくらで提供できるかみたいなケーススタディをして、一泊4億円とか言う数字が出て、なかなか泊まれないみたいな話になったような記憶があります。そういった形で数字をおいてみると、いろいろ議論が進んで、コストを下げるためにはどうすればいいかの議論をしています。

右側に目標として、こういう月とかCis-Lunar経済圏が成立するよという話をどんどん広めていきたいということで、今となっては、かなり広がってきたかなと思っています。あとはやはり、海外がビジネスを作ってその隙間に日本が入り込むという形ではなくて、日本「発」、日本オリジンのビジネスを作って行って、日本が主体となってエコシステムも作っていききたいということが二つ目の目的です。最後は、こういったことをしていくと人類の活動圏とか経済圏の拡大につながるだろう、という三つの目標を立てて活動しています。先に稲谷先生の資料にも参照いただきましたけれども、いくつかのキービジュアルを作って、こういう世界を作っていきましょうということで議論を進めていたりしています。

もう一つが最近行っている活動でございまして、「月面産業ビジョン協議会」というものでございます。こちらは、日本もアルテミス計画に協力するというので、月に向けて月の開拓の活動が始まったのですが、どうしてもやはり、研究開発であったりサイエンスであったりというところの目的が前面に出てきているというところもあって、産業界としては最初から産業化を視野に入れた月面開拓活動をして欲しいということを訴えたいということで、今回、政治家である国会議員の方々と、我々企業と、学識経験者の三つですね、政・学・産からなる協議会を作りました。

企業さんは30社ぐらい入ってくださいまして、あと稲谷先生のようにムーンビレッジのコミュニティの代表の方とかも入っていただいて、国会議員の方に4名、学識経験者も4名

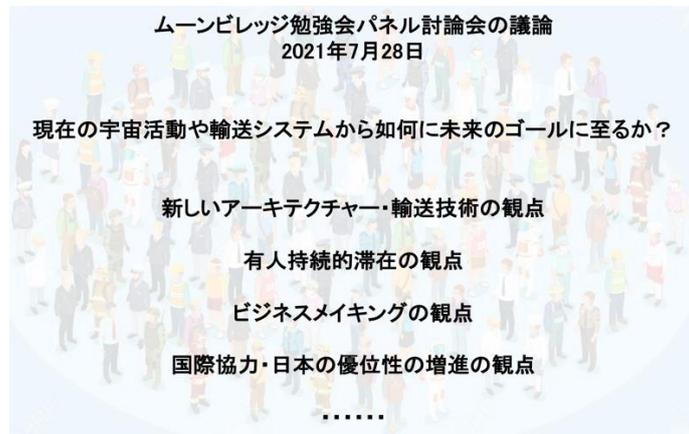
入っていただいて、いろいろ議論を進めました。月面に産業ができるというけれども、どういう産業なのだろうという議論を進めて、様々な分野での月面産業の創生であったり、どういうエコシステムを作られていくかと、あとはそういうものは勝手にできるわけではないので、そういうことを実現するためにはどういうことをしていかなきゃいけないのかということをもとめて、右側に表紙を載せていますけれども、『月面産業ビジョン プラネット6.0 時代に向けて』という形を取りまとめました。ここはやはり月の新産業創出に力点を置いたというところと、政府が作った産業ビジョンじゃなくて産業界自身が作ったというところが特徴的なビジョンかなという風に我々は思っています。実はこのビジョンは、7月13日に、宇宙担当大臣の井上大臣に座長の河村代議士から手交されるという形のイベントもしまして、政府側に渡ったというところでございます。

こういった立場を踏まえまして、輸送系に期待するものとして、稲谷先生のプレゼンを見る前に作ったものだったのですが、あまりズレていなくて良かったなと思っているのですが、私の立場として、やはりどういうニーズがあるかというところがお話しする形になるかなと思っています。

フロンティアビジネス研究会とか産業ビジョン協議会で話している中で、こういった産業が出てくるだろうと7つの産業をあげています。一つは当然月に行くということと月面上で動くという輸送なのですが、それ以外にも情報通信のところであったり、メディアやコンテンツですね、月の映像を見たり、あるいは月のコンテンツを使ったようなビジネス、朝妻さんが説明された資源、水資源を使ったもの、エネルギーを活用するための分野、当然ながらホテルを作ったり居住地をつくったりという建設とインフラ、人が行くのであれば食料であったり、あとは金融とか保険的なものでリスクをヘッジしていくところと、あとこれも稲谷先生のプレゼンにありましたが観光と、様々な分野できっと産業ができてくるはずだと思っています。ただし、輸送とか、地球-月間の輸送以外とか、あとメディアコンテンツですね、月の映像を使って地球でビジネスするみたいな話を除くと、月面上での活動なので、そもそも何かを持って行って作らないといけないということなので、月面に到達する手段が不可欠であるというところで、月面での産業を考える前提としてやはり、一定のコスト、安くて高頻度を持って行ってくれるという手段は必須なので、我々あんまりこの議論はして来なかったところはあって、月面どういう世界ができますかって議論してきたのですが、その前提となるものなので、今日はいろいろ意見交換できて、アイデアをいただければと思っていますので、どうぞよろしくお願いいたします。以上でございます。

**【稲】**：ありがとうございます。ご紹介したように、本当に幅広い分野の話をしていただけた方にお集まりいただいたので、この後いろんな議論をしたいと思います。

ここに議論したいことを何点か書いてみたのですが、一つは技術の話で、これが進まない  
と話になりません。ただし、技術の目標を、今までは単に性能の良いロケットを作りましょ  
う、軽い機体を作りましょうということだったのですが、そもそも何のためにやっているの  
かという議論がスキップされがちなこと多くて、そこはやっぱり、ビジネスができますか  
とか、月に行ったら給料の高い職場がありますとか、結局そういうところから、何が必要か  
という議論をしないといけないのだと思っています。



お金とかビジネスの話は後ですることにして、まずは技術の話で、私の先ほどの話ですが、  
繰り返しを何回もやると。私の話の中では、1,000回だとか言いましたが今のロケットから  
すると、とんでもない世界です。こう言う飛躍について行けないロケット屋が多いことも事  
実です。スペースシャトルは30年間飛んだけれども、全部で何回飛んだかと言ったら、135  
回です。シャトルは4機になったり3機になったりで、1機あたりは30年間で30回か40回とい  
うことは、1年に1－2回しか飛んでないみたいな平均になるということからすると、1年  
間毎日飛びなさいというのはとんでもない目標だという議論になるのですが、辻田さん何か  
ご意見ありませんか。その次は佐々木さんに聞こうと思います。お願いします。

【辻】：ロケット再使用の観点ですよね。

【稲】：今、スペースXのファルコン9の一段目は、10回の再使用を目標にしているのが、  
10回再使用をやってコストがいくら下がりましたかという議論は、実はあまり出てきてい  
ないのです。10回ぐらいでは、コストが1桁下がる、2桁下がるという世界は全く作れて  
いないので、次の目標はもっと高いところに置いたらどうか、っていうのは僕の考えなの  
ですが、例えば飛行機はどうかと言ったら、1万回はおろか、何10年間のライフの間に何万回  
飛びますという設計をされるわけですね。そこで桁が2つも3つも違う。その辺にどう、  
宇宙の人たちは挑んでいったらいいのか、という切り口が大事かと思っているのです。

【辻】：いかにリファビッシュというかメンテナンスフリーな機体にするか。それを目指しすぎると、重くてごつい、どんなに厳しい環境にさらされてもビクともしないようなロケットを作らないといけなくなって。重すぎるとたくさん打上げられない、けれども軽くして弱いものになると再使用回数が減る、そこのバランスが難しいのかなと、如何にそこを考えていくのかなと思っています。

【稲】：何かのブレークスルーがあれば突破できるとか、論より証拠でやってみるとか。これは本当か嘘か知らないのですが、イーロン・マスクはファルコン9に対して、今日帰ってきたら明日飛べ、と言ってるのだけれども、最短は、確か28日とかそれぐらいで、スペースXの現場は、イーロン・マスクの要求に答えられてない。イーロン・マスクは多分怒っていると思います。翻って日本ではそんな世界を作るにも僕らは実践する場がない。社長がやれと言って頑張っているような状況を日本に是非作りたい。それで、ものごとは磨かれていくのかなという気が私はしているのですが、三菱重工はそれを作る側に回らないといけないので大変ですが、その辺のことを、実際に現場でそういうものを作っておられる立場からするといかがですか。

【辻】：具体的な、こうすればいいというアイデアはないのですが、ただ、厳しい要求を課されない限り良いものは産まれないので、出来ないって悲鳴をあげている相手に対して、ひたすら厳しい要求を与えるというのは、私は必要だと思っています。

【稲】：三菱重工にそういう要求をしてもよいと言うことのようにです（パネラー笑い）。佐々木さん、では、発注する権限とお金を持っている日本で一番強い立場で何かその辺。

【佐】：やはり、メンテナンスフリーをどうするか、運用のブレークスルーをどうするかというところだと思います。

スペースXの打ち上げを見ていましたけれど、船に降りた後に、コンテナのように港まで回収して、普通の道路上を通過して、射場にもってきています。その後点検はそんなにしていませんでした。だからこそあれができていたのだと思うけれども、そういうのはやっぱり材料の余裕とか安全余裕とかいうところで、先ほどありましたエアラインの飛行機のエンジンとロケットのターボポンプを比較した時に、どれだけ限界まで使っているかというところで、そこが材料の強度が上がるとか耐熱性が上がることによって、大きく余裕を持てるし、ブレークスルーが起きるのだろうなと昔思っていましたけれども、30年経っても変わってない

なというのが本音にあって、なかなか難しいのだろうなというのが正直なところ。やっぱり、前提として点検をしなくていい設計をすることによってどこまでいくか、1,000回かどうか知らないですが、そういうアプローチを最初からするのだろうなと思います。打ち上げ前に1回燃焼試験をして、確認できたら、もう打ってしまうと。実績を作っていくというのはひとつのアプローチかと。

【稲】：繰り返し回数っていうのは、結局シャトルは成功なのか失敗なのか議論の分かれるところで、結局ターンアラウンド間隔を短くできなかったところがその本質だと思います。

【佐】：あと、もし発注側の立場で企業さんに言うのであれば（パネラー笑い）、1回1回ではなくて、やっぱりある程度まとめて、アンカーテナンシーとして10機なら10機の中で努力をしてもらう、そういう工夫は必要なのかなと思います。スペースXも、NASAがCRSである程度全体で契約しているというのは、やりやすくなったなと思います。

【稲】：その議論は、国と民間の関係の話で、後でやりたいと思います。油井さん、手が上がりました。

【油】：今の話に関連して、宇宙で仕事をしていた視点から話をしたいのですが。リクエストみたいになるけれども、軌道上のことだけじゃなくて、それが多分地上でのメンテナンスにも関わると思うのですが。モノはだいたい壊れるのですよね。なので、壊れた時のことをちゃんと想定して、簡単に直せるようにしてほしいっていうのは、よくあります。壊れることを想定しなかったのが、直すのはめちゃくちゃ大変ですというのが結構多いです。壊れたら、このカセットをガシャコンと入れ替えるだけで大丈夫ですとか、そういうものがやっぱりいいです。あと、壊れることを考えて、宇宙はやっぱり信頼性を高めるために冗長系を用意することが多くて、やっぱり、ものが重くなってしまうのですが、どちらかと言うと、遠くに行く時にはそれをあまり重くすることはできないという面もあるので、ひとつの物が壊れるにしても、壊れるモードっていうのが、いきなり全然使えないようにはならないというようなダウングレードモードみたいなものが用意されていて、全く新しいものではなくてもなんとかミッションは安全にこなせますよ、みたいな、そういう設計がされていると、宇宙飛行士としては非常に助かるなという風に思っています。

【稲】：私が油井さんに、お聞きしようと思っていたのは、技術を支える現場の人たちもいいものを作りたいと思っているのですけれども、チャレンジしすぎると危ないっていう話と

裏腹の中で、いかにレベルを上げていくかということです。特にロケットなんかはそうです。それに乗っておられる立場としてしては、そんな技術のことをあんまりわかりすぎると、なんだか乗るのが恐ろしくなったりするか。(笑い) 例えば、僕がロケットを作りました、お前乗れ、と言われたら、いやだ怖い、と言うと思うのですが。宇宙飛行士としての割り切りというか、その辺りはいかがなのでしょう。

【油】：乗っている方としては、私の性格かもしれないですが、知れば知るほど安心するということがあります。働いて作っている方々との関係も含めて、人間関係が良い方がやっぱり信頼関係が作れて、あの人がこういう仕事しているなら大丈夫だろうという風に思えるところもあるので、やっぱり知れば知るほどいいです。逆に言うと、問題があるのであれば率直に言っていただいた方が、飛行士の視点でこうしたらどうでしょうみたいなという助言もできるので。

【稲】：ここは今日初めて試すのだけれども、理屈はこれこれ、リスクはこれこれ、そこを理解して、了解して乗って下さい、運転してくださいね、そういうことですかね。

【油】：そういうことで、壊れたら、どういう風にすれば大丈夫ですかね、少なくとも帰って来られますか？というような議論をしておいた方が私は安心です。

【稲】：そのあたりはテストパイロットという仕事をされていたから、培われたものでしょうか。

【油】：それはひとつはあると思いますけれども、宇宙飛行士は、ほとんどがやっぱりテストパイロット的な仕事しないといけないのです。ですから、日本の宇宙飛行士も全員、多分、同じような視点を持っていて、誰が飛んでも多分同じような考え方で仕事ができるのではないかと思います。

【稲】：ついでに質問ですが、宇宙ステーションに行く、とすると打ち上げてから地球のそばなのでまあ短時間で行ける、上で何かあったら極端に言えば1時間あれば帰って来られるという世界なのに対して、月に行きました、となると早くても片道3日とか4日とずいぶん違う。これからの話になりますが、その辺については、心構え的には、地球の周りに行くというのと月に行くというのは、何か違いそうですか。予感というか、そういうものはありますか。

【油】：違うところとそうでないところがあると思うのですが、私自身がそれほどでもないかなと思っている視点は、もし通信があれば、それがリアルタイムに近くでできるのであれば、そこまで不安にはならないかなという気はします。宇宙ステーションというのは、やっぱりそのシステム自体をたくさんの方が見守っていて、専門家が見ていて、何か起こればすぐに適切な助言が来るという安心感があるのですね。月に行く時も、数秒の遅れで通信ができていて、同じようなことができるのであれば、私はそこまで不安はないかなという気はしています。ちょっと例になるか分からないのですが、逆に、私が宇宙ステーションにいた時に、もしかしたら通信がしばらく出来なくなってしまうようなことになるかもしれませんよっていう状況があって実は、その時に対処しなければいけないのは、他のアメリカ人の二人は船外活動中だったので、私がやらなければいけないって状況だったのです。訓練は受けていましたけれども、ちょっと不安でしたね。あの長い手順を全部一人でちゃんとできるかなということで、慌ててその本を取り出して、一生懸命手順を見直したりとかしていたので、どちらかと言うと、通信があるかないかの方が、私は心理的なプレッシャーは感じると思います。必要に応じて、地上が助けてくれてコマンド送ってくれるとか、そういう状況がやっぱり大きいかと。ですから、月の表面のどこにコミュニティを作るか分からないのですが、月の裏側に作る言ったら、いつでも通信ができるように、通信ネットワーク、月の周りを回る衛星がやっぱり必要だと思います。そうしたことはやっぱり考えておく必要があるかなと思います。

【稲】：はい、ありがとうございます。我々ではなかなか思いつかないようなことを教えていただきました。

さっきの輸送の体系で、地上と周回軌道、それからそれ以遠の月への移動、これは分けた方がいい、あるいは、ビジネス的には、地球と周回では別の旅行や移動のビジネスが有り得るので、月のためだけにあるのではないということで、ここはここで、ビジネスを考えて、出来たやつを使って月に行くみたいなことを私申し上げましたが。たぶん、そんな議論になっていく。そこは、スペースXのビッグファルコンではないが巨大ロケットは一遍にどーんと向こうまで行ってしまう方法と、補給も含めて定常的にトラフィックがあるのを比べると、もしビジネス的なことから言うと、やりやすさも含めて、どっちがいいのかみたいなことに何かご意見があれば。これは、朝妻さん、どうですか。

【朝】：そうですね、ご質問としては、1回に全部持ってくるのがいいのか、途中で補給するシステムと、簡単に言うとどっちがいいかということですね。有人の場合は、やっぱり安全

性みたいな点が大事になってくると思います。あと、やっぱり経済合理性。本当にシンプルにどっちが安く済むのですかというところが大事なポイントなのではないか。おそらく一つの大きなシステムを全部毎回送るということは、何回送ってもおそらくコストは下がって行かない気がしますので、そこはある程度システムは分断をして、一つのシステムが非常に軽量でかつ安易に扱えるということが望ましいのじゃないかなという気がしますけれど。

【稲】：仕掛けは常にオペレーショナルな状態にあって、燃料さえ補給すれば、その状態はずっと維持される、そんなイメージでしょうか。定常状態を作るという感じですね。例えば、山手線がグルグル回っているのと同じようなのを、地球と月の間に作る。

【朝】：そんなイメージですね。回数が重なると信頼性が上がってくる。

【稲】：そうなるためには、それだけの需要がなくてはならない。結局は裏腹の話。内田さん、いかがでしょうか。

【内】：基本的には同じで、運ばれる方の立場とすると、安くて確実に届けてくれるのであれば、低軌道を経由しようが直接行こうが特に関係ないと思っています。荷物を宅配する時にヤマトがいいか郵便局がいいかと、こだわる人はこだわるかもしれないですが、どっちが安いとかどっちが早いとか、という話になるのと同じかなとは思っています。一方で、今の世界ですと年間何回という世界なので、そこが変わらないと、先生がおっしゃった1,000回みたいな話で世界が変わらないと、違う状況が起こらないのかなと思っていまして、低軌道の人工衛星の方では、リモートセンシングでも、スペースXのやっているスターリンクでも、急に100機とか1,000機とかいう世界になった瞬間に、それまでは壊れたら困るので絶対安全に打ち上げよう、壊れない衛星を作ろうの世界から、別に壊れたら代替りのものを打ち上げればいいじゃんという世界に変わったんですね。そうすると、やっぱり全然リスクの考え方が変わって、一個あたりの製造コストも下がってという形になりました。回数が増えていくのが当然になってきた時に、人を送るとなると安全性の話で全然変わるのですが、貨物である限りは、何回かに1回失敗しちゃうかもしれないけれど、その場合は次に運んであげるからとか、その分はお金で保証するからという形にして代えるという世界ができることが必要かなとは思っています。

【稲】：その辺が先ほどの、物資の輸送と人の輸送は違う仕掛けで、という話しの根拠でしょうか？それぞれに求める安全性も信頼性も違うもので、2トラックというか、重量物と軽

いものの違いも。その辺が私の話にはあまり入ってなかったのですが、そこも考えると言うことでしょうか。ありがとうございます。

【佐】：ビッグファルコンも結局月や火星に行くには軌道上で燃料補給するのですよね。やはり、打ち上げられるサイズの制約というのが、もうひとつあると思います。例えば、日本から上げるのだったら、ある大きさに限られるので、その時にそれが月まで運べるだけのサイズかどうか。そういうサイズでなければ、低軌道で何らか仕掛けがないと、しっかりしたものが運べない。引退しましたがH-IIBのサイズで、宇宙ステーションには物資が6トン運べますが、あのサイズで月面に行ったら1トンあるかどうかくらいですよ。そのくらい能力が違うので、ここは純粋に輸送系だけでなく、地上の制約とか、それも考えて何が最適かと考えていかないと。

【稲】：おっしゃる通りで。その辺が、日本の基幹ロケットを国としてきちんと維持しましょう、安全保障とかいろんな他の目的のためにも、とそのことと、新しい世界といいますか、今、朝妻さんとか内田さんがやられているようなビジネスの世界を、うまく絡めあいながら両方が進むみたいなピクチャーがうまく描ければ、国の投資と民間の投資と組み合わせができていくという良いストーリーができればいいなとも思っています。

ロケットの技術の話から始まって、もうビジネスの話に来ちゃいましたけれども、私がさっきお話の中で、切符1枚1億円で、1万人お客さんがいるというような議論をしました。一方で、地上から低軌道、遊覧飛行も含めて、あるいはポイントからポイントというのも含めると、100万円で100万人のお客さんだっという世界は予想できるとかいう話をしましたが、その辺の現実感というか期待感というか、1億円で切符が提供された時にお客さんがどれくらいいるだろうか、とか、乗客が年間1万人だったら切符はいくらぐらいが適当だろうかというところを、議論するのだろうと思います。その辺の金額感、チケットプライス感、人数の感じ、この辺は朝妻さん、いかがですか。

【朝】：そうですね。宇宙旅行に関して、我々もビジネスグループの中で、ムーンビレッジとして、どれくらい払えるかという視点がやはりベースになってきます。一人1兆円払えるのか、1兆円払える人はどれくらいいるのか、1億円だったらどうなの、多分そこがベースにスタートの起点にはなっているのですが、おそらくそれはもちろんそれで大事、ユーザー側として大事なのですが、それを運用する側の宇宙旅行会社ですが、どういう設定を最初にするかっていうところの方がむしろやっぱり大事なのかもしれないなという気はしています。そういう意味でいうと、チケット1億円だったら、多分スタディを見れば、払える方はいる

のだと思います。そこの設定と、それで本当に宇宙旅行会社さんが破綻しないのかというか、ちゃんとリターンで戻ってこれるのかという視点を併せ持つ方が、最初の議論のスタートとしては健全かもしれないなという気は致します。

【稲】：さっきお見せしたコストブレイクダウンは、極めて大雑把かつ超楽観的なものではあるのですが、まあこんなものかなと思うところもあって、切符1枚1億円は、ある種の月の燃料生産のコストなんかを考えたら、それほど不可能とまでは言えないかなと思う。ただ、これを1,000万円にしろとなると、とんでもなく難しいなという感じがさっきの絵からわかると思います。逆に10億円とかいう設定はできるけれども、こんどはお客さんが減っちゃう話。1億というのは何かいいとこなかなって感じが、さっきのような仮定でやってみたところではあるのですが。

【辻】：さっきの設定、朝妻さんのおっしゃった設定というのは、先ほどから思っていて。稲谷先生の発表だと、1人1億1切符で30人を運ぶと収支がとれると計算をされていましたけれども、やっぱり打ち上げる能力の制約があるので、30人として、例えばひとり1トンとすると30トンのものを低軌道に打ち上げなければいけない。それができる輸送形態を作らないといけない。それは現状の能力からすると、超えているので、という風に考えていくと、輸送能力からベースでコストを設定するという考え方もあるのかなと、私は伺っていて思っています。

【稲】：地上から軌道に上げるのは2桁ダウンのコストで、例えば、キロ単価は1万円というくらいのコストに下がるというのは大前提です。それがないと、さっき地上と軌道間の輸送はあのコストにはならないです。大きなものは、機体は何10トンしますとあって、その何10トンの機体を地球からあげられるのかという議論になったら、それは何かばらしてあって組み立てるとかいうこともできるし、そんな時こそ、スターシップが1回100トン運べるのだったらそいつらに運ばせればいいのか、そこはさっきの人とモノとか、大きい小さいでの役割分担の議論かなと言う気がします。どの切り口からプライスを話していくかで答えが変わってくるという話かもしれません。

【内】：前澤さんがスペースXのやつで行くというのが、うん10億という話が漏れ聞こえてきてますので、そういう意味だとそのレベルだとなかなかまだ追いつかないのだけれども、1桁下がって億になること、払える人はかなり増えるだろうなというのは朝妻さんに同意するところで、その金額感というのはありなのかなと。少なくとも初期は、それぐらいの金額

がターゲットプライスになるのかなとは思いました。一方で、低軌道軌道の、こないだベンスさんがいたりブランソンさんがいたりいうところだと、数分なのであまり事前の訓練とか要らないのですが、月に行くとなるとやっぱりそれなりの訓練とかも必要になりますし、そういう時間を作ることでできる人がどれくらいいるのか、とか、過酷な環境ですので、そういったものがお金を払ってまで行きたいと思ってくれるかみたいところで、行ってみたいという人は一定数いると思うのですが、お金を払い、かつそういうのにチャレンジしたい方がどれくらいいるかみたいところがあるかな、さらに考えなきゃいけないことは、油井さんが、ご自身が行くときは通信があればなんとかって言っていたのですが、1,000人行く世界になると、油井さんみたいなスーパーマンばかりではなくて、一般の人に近い人が行くことになるので、そういう方々は何か起こった時に対応できるのか、それが対応できない前提だとするとどういう仕掛けを準備しとかなきゃいけないのかというところは、多分合わせて考えとかないといけないと思います。運ぶところの安全性もそうなのですが、行った先での安全性みたいところも考えておく必要はあるのかなと思っています。

**【稲】**：そのあたりはお客さんからお金を取るという商売の時に、どうやってその安全を保障していますかという議論だと思います。そこは今、宇宙旅行の世界でやっている人たちが切り開いていっているし、アメリカだったらFAAが基準を作って、最初は緩くしつつ、だんだん確立して、そういう世界を作ろうとしているので、油井さんみたいじゃない一般の人に対してお金の対価として提供できる環境において、その安全をどうやるかという議論になっていく。今、飛行機の話に転じると、現代の飛行機は100万回出発して1回事故が起きるか起きないかという安全の程度を世の中が認めていますという世界を実績として作っているわけで、そこまでできれば飛行機と同じでオッケーです。一方で宇宙ではその世界はまだまだ作られていないので、どうやったらそれに近づけていけるのかという議論を具体的にやるのかなという気がしています。油井さんは、両方のお立場が分かるので、飛行機のお客さんになる時もあるでしょうし、テストパイロットの職業の時もあるでしょうし、アストロノートで、その辺をいろんなご経験されている立場で、今の議論についてどうお考えですか。

**【油】**：宇宙旅行に本当に今の旅客機に乗れるように、訓練なく乗れるようになるのが理想ですけれども、すぐにはそうならないと思うので、他方、私たちみたいに宇宙に行くまで4年間、5年間訓練がありますというのは無理だと思うので、そこをどれだけ効率化するかというところ。あとは、それをプラス楽しくできるのかというところが宇宙旅行であれば必須なのかなと思っています。今、楽しみながら訓練を受けて、VRとか無重力体験とかがあって、それでその中で自然と必要最小限の知識と技能が身に付くみたいなものがあれば、当

然その1億円なり数億円なり用意できる方というのは、それなりに時間的な余裕もあるということで、数ヶ月ぐらいは休みが取れるみたいな、それ前提でやっぱり考えていく必要があるのかなと思います。

【稲】：それでもやっぱり数か月、訓練っていうか教育というか、そこはどんな感じですか？

【油】：そうですね。

【佐】：今、宇宙ステーションでも民間の旅行者として参加する人がいて、ミニマム訓練を、すごく少なくても、「きぼう」に入った訓練も10何時間。そのぐらいの規模感で、かなり少なめに訓練をして、3か月。やっぱり、1ヶ月、2ヶ月はやっていますね。宇宙ステーションも広いので、訓練が十分でない人が入ったら危ないということで、必ず先導する専門の宇宙飛行士がいて、その人が旅行者を案内する。エスコート付という形でやると、そうすると訓練も減らせる。同じようなレベルまではやる必要はないと。

【稲】：それは宇宙ステーションという実験あるいは研究の場にお客さんを入れるからそうであって、最初からお客さん用に作られた設備なら、また違うでしょうか。

【佐】：どこを触っても安全という場所だったら大丈夫ですが、危険なところがあるとすると、案内者がいるという姿になるのでしょうか。

【稲】：油井さん、今のクルードラゴンに民間人を乗せて遊覧飛行をしようとしているのは、その辺どうなっているかご存じでしょうか。

【油】：細かいところはわからないのですが、ミニマムどうしてもやらなければいけない船長さんとそれをサポートするパイロットがいて、その横に乗る人も、実は今は宇宙ステーションに行くときには訓練を受けていて、別にやることもあるんですね。このシステムのメンテナンスやってくださいとか。なので、訓練を受けています。そういう部分がないのであれば、ここに座っていて、このスイッチは触っちゃダメですよとか、これは自分の命を守ることなので、こういう状況だったらこれだけはやってくださいみたいなことをやるのであれば、だいぶ短くなるのではないかと思います。でも、それを本当に安全かというのは、ある意味、宇宙船の中というのはみんな協力していないと安全確保できないので、船長さんがこの人が乗っても大丈夫だなと思えるぐらいの信頼を勝ち取らないといけないということに

なると、この人はおかしいことしないよね、みたいなところまで訓練をするようになると、やっぱり少し。私がもし連れて行くのであれば、やっぱり1ヶ月、2ヶ月ぐらいは、どういう方が知ってから、一緒に飛びたいとは思いますが。（パネラー笑）

【稲】：お互いよく知ることが目的？

【油】：パニックになったりしなくて、これをやってくださいねって言ったら、どんな状況でもやってくれるだろうな、というそういう信頼ができるぐらいまでの時間は欲しいなと私は思います。現状ではですけども。

【稲】：一方でまた飛行機に乗るときは、座って安全ビデオを1分間見たらOKで、そこまでは無理かしらんけれども、いかにそれに近づけるかというのは、切符の値段の話も大事だけれども、そういうやらないといけないことを減らすというシステムを作るということも、一方で大事なことという気もしますね。

【油】：客室とパイロットを完全に分けてしまうとか、フライトアテンダントみたいな人がいるとかいうことであれば、だいぶ減らせると思います。

【稲】：先ほどの1億円の切符の話から、安全の話しにまで来ちゃいましたが、朝妻さんのおっしゃった、月で良い職場、高い給料、儲かる話という、行きたくなるインセンティブというか、そのことでもうちょっと具体的なイメージありますか。結局、そういう人がいないと需要ができないので、行きたい人が多くなればお金払う人も出てくると言う循環です。そこは何か、ispaceのMoon Valleyで、次の段階としての議論を何かされているのですか。

【朝】：ispaceの特徴として、ビジョンオリエンテッドというか、ビジョンを掲げてそれに向けて進んでいくのがここまでの歴史というか道筋なのですが、月に2040年に1,000人の人が住んで、10,000人の人が往来する社会を創ることをビジョンとしておくことで、そこから逆算していくと何が必要かを考えるところが、一つの我々の会社の特徴だなと思います。積み上げ形でいくと色んな制約が生まれて、特に宇宙開発ってすごく、そういう意味でいうと、コンサバティブな部分がどうしても発生するので、安全性みたいなこと考えたりとかすると、どうしても積み上げていくってところが非常に大事になってくると思うのですが、ビジョンを一回設定して、もう月に1,000人の人が住むのだ、住むためにはどうしたらいいんだ

っていうところから逆算していくと、そのために知っていかなきゃいけない事が一つ一つわかってきたってところが弊社の特徴なのだろうな、と思います。

そうした時に、まずは往来できる、物資を輸送するというシステムを作った上で、そこで向こうに行って何をやるんだって言ったら、じゃあそこは資源を探すんだっていうところに繋がって行って、何かストーリーを構築する時に、ぽんとやっぱり目標を置いてあげること、そこから逆算して何が出来るってところを考えることになっている。ケネディ大統領の60年代までに月に人をおくるというムーンショットの考え方に近いと思うのですが、何か明確なビジョンを置いて見るというのが、我々としてはそこから引っ張られているところがあるんだろうなと思っております。

**【稲】**：具体的に高い給料の職種は月の上で何だとか、そういうのは？ ここに就職したいとか？

**【朝】**：人が1000人住む状態を思い浮かべた時に、なぜその人が月に住んでいるのだろうってところが、多分大事なポイントかもしれません。地球に住んでいた方が楽ですし、安全だと思うのですが、その人はなにか仕事をしているのだろうから、そこから需要だったりマーケットだったりが見えてくるんじゃないかなって気がしています。そうすると、おそらく月に一年、月で何年ぐらい住めるかというのは放射線の影響とかで色々検討が必要だと思いますけれども、月で半年、1年住んで、そこで働いて帰ってくると、例えばですが、もう一生そのまま地球で暮らせていけるみたいなことがあれば、みんな月に行きたがるはずなのです。その状況って、例えば150年前を考えた時に、ゴールドラッシュというものがあって、人が未開の地に住み始めた時だったり、鉱山を開拓したりすることと近い形になるので、おそらく、我々の考え方として、2040年ってというのは我々のビジョンで設定していますが、10年、20年、30年、もしかして50年ぐらいのスパンで、そこにあるであろう未来とつなげるストーリーが描けると、きっと何かとつながっていくのだろうなという気がします。それはおそらく、経済合理性の視点に立った時に月に行ったら非常に豊かになれるという視点が前提にあれば、危険があったとしても人が動いていくのだろうなという気がします。

**【稲】**：はい、ありがとうございます。油井さんにお聞きしますが、宇宙ステーションで百何十日かおられて、1年住むか永久に住むかなどと考えると、社会という限りはそう短時間ではなくて、ある種持続性をもって活動するような、長い期間というのを考えたい。宇宙ステーションでは半年間そういう環境が作られているのですが、宇宙という地球とは違う環境というところで長い時間活動するということについて、何か今の朝妻さんのおっしゃる世界

を作りたいとした時にどんなこと考えたらいいか、僕らが一番気にするところなのですが、油井さんの経験から何かその辺についておっしゃっていただけますか。

【油】：私は宇宙がかなり快適だったので、「あまり帰って来たくありません」みたいなことを言って妻から怒られたのですが、そういった視点で言うと、私はずっと宇宙に住みたいし、月にも住みたいなど。このムーンビレッジという話を聞いた時に、ムーンビレッジだったら村長さんが必要だよな、村長さんになりたいなみたいなことを思ったのですが。どちらかという、私はお金とかいうよりは、例えばムーンビレッジの村長さんはすごく名誉な職業ですという形で、いろんな方から尊敬してもらえます、みたいな方が、私は魅力を感じますし。もしかしたお金だけじゃなくていろんな感じた方があって、例えば宇宙の、月で1/6ですから、スポーツやったら地上の6倍の記録が出るから、それで新記録を打ち立てたいとかそういうのもあるかもしれないですし、それぞれの価値観があってもいいのかなと、実は思っています。

【稲】：価値観のところはお金に変えられない部分があるということは一方で事実ですが、結局はそれについても誰かがお金を出してくれないと実現しません。そこをうまく、税金でやるべきことと民間投資としてやるべきことの仕分けをするのでしょうか。結局、宇宙ステーションを10兆円で作りました、次アルテミスをやするのに100兆円出しますかと言ったら、やっぱりそこは国際協力でも税金の世界ではなかなか難しいでしょう。一方で、地上のエネルギー資源ビジネスってお金がいくら流れていますかと言ったら、とんでもない規模のお金が流れているわけです。それは、スーパーメジャーとか言う民間の世界である。そこを上手いトランジションかコンビネーションか、を考えるのでしょうか。その辺が多分これから、国だけを頼りにしていると限度があるところを、その上乘せ部分をどうやっていくかだという気が私はしていて、僕は民間と国の新しい関係が大事かなと思います。その辺も含めてこれからどうやって行ったら、我々が思う未来に近づけるのかという視点で、何を突破したらいいんだ、というようなことを、パネルの最後にお一人ずつお話ししたいと思っていますので、みなさん考えておいてください。

先ほど何点かの視点をお見せしましたが、最後に、「国際協力・日本の優位性の増進の観点」としました。主語を日本とするのがいいのか悪いのか、の議論は一方ではあることも理解しながら、やはり国際協力というのは必要でしょう。その点で今アルテミスなどはまさに国際協力の話だと思うのですが、その中で役割分担した時に、大事なところはアメリカが渡しませんよというような世界があるという話が一方ではある中で、いかに日本のユニークネ

スを主張するのか、日本のためになっていくかと言う議論かと思うのですが、その辺の真ただ中で、やっておられる佐々木さん、日本のためですか、世界のためですか、両方ですか。

【佐】：人類のため。（パネラー笑い）

【稲】：人類のため。いい答えですが、ちょっとずるい。その辺をもう少し面白いことをおっしゃっていただけたら。

【佐】：正直言うとやっぱりNASAとJAXAの予算の規模が一桁以上違うという大前提があって、さらに米国の場合は、いろんな民間企業がかなりの投資をしてやっているって言う世界です。普通に戦うと、なかなかいいとこ取れないというのは現実です。やっぱり実績を積み上げるとか、テーマを絞ってコアなところをやっていくと、その時に一定の投資が必要なのだろうな、と思います。で、結果としてアルテミスで生命維持系とか宇宙ステーションでもやってなかいなかったことですし、補給とか、あと月面では与圧ローバーみたいな。そういう観点でいくと、今までやってきた部分でさらに実績を積み上げるか、新たな視点で日本の得意な、国として得意な自動車とか建設とかそういうところで日本がアピールするってというのがひとつのアプローチかなと思っています。面白いことはなかなか言えないです。

【稲】：言えないことはあるとも分かりつつ、何か言わないかなー、と思って聞きました。（笑）でもいいタマ、考えてるでしょ？

【佐】；考えてはいますけど。普通に戦うと負けちゃうので。やっぱりその考えながら、いい球を考えながら、うまくやっていうか、相手が弱いところというか、考えていないところを上手く提案して、やっていくというのが一つの作戦かなと思います。

【稲】：すべてにおいて狡猾な佐々木さんがやっているの、皆さん安心して見ていてください、と言っているようなので安心しました。

国際協力の視点は大事だと思っているのですが、その点何かご意見ある方おられますかね。インターナショナルビジネスとは、まさに狡猾にやらないといけないと思うのですが。朝妻さんたちのispaceの今のビジネスみたいなのは？

【朝】：国際協力的な視点も、お国柄的な視点でいくと、弊社は東京にヘッドクォーターがあって、ヨーロッパにもエンジニアがいて、米国にもエンジニアがいますので、日本のエン

ジニアだけでなく多国籍なエンジニアが在籍している状態です。今のお話の文脈で行くと、それぞれエンジニア思想が違うのですね、例えばヨーロッパは、何かしらルールをちゃんと最初に決めることが重要だったり、日本のエンジニアはすごく緻密に、決められたルールの中でしっかりと行おうとする力がある。米国はどちらかというと、なにか打破して、新しいものを作って行こうぜみたいな。特徴がそれぞれ分かれていて、国際協力する時に、それぞれの国の強みが全部混ざると本当はすごいいいのですが、またそこが宇宙開発の難しいところでもあって、混ざってうまくいくために考えなきゃいけないことが、多分たくさんあると思います。それが、佐々木さんを含めて、国際宇宙ステーションとか国際協調の中で多分ずっとご経験されていらっしゃる場所だなと思っています。そこで、調和の部分でうまく日本がリードできるか、もしくは、そういう意味でいうと、他の国のいいところも自分のものにして、何かこう、もっと良い成果を出せると、さらにやっぱり日本って強くなるのではないかなという気がしています。分かりやすい例でいうと、今ちょうどオリンピックなので、あの柔道の世界で、柔道って日本が強いじゃないですか。なんで？と言ったら、日本が発祥だからだと思うのですよね。自分達の物に、ルールもそうだし、エンジニアリングそのものをしてしまうと、きっと金メダルを取り続けられるって事になるでしょう。その自負があれば、「銀メダルですみません」という世界や「銅メダルですみません」という世界にきっとなるんだろうな、と言う気がしています。そこが、何か自分たちのものに、如何に自分のフィールドにすることが出来ると、日本のエンジニアリングがこれからきっと面白い世界になるのではないかという気がします。例えがよいかどうか分かりませんが。

**【稲】**：自分の土俵にしてしまう？

**【朝】**：自分の土俵で、自分のスポーツ、自分の仕組みにしてしまった時に、おそらく日本のエンジニアリングは国際協力の中でも、気づいたらトップにいる、トップでなければいけないという状況になるんじゃないでしょうか。

**【稲】**：ルールメーカーの役をできるくらいのことを何らかの方法でやりなさい、そういうイメージですか。わかりました。

時間が迫ってきましたので、お願いしたように、パネルの締めくくりに、どこから突破して行ったらよいかというところをみなさんお願いします。私は、国と民間の関係を変えて新しい図式を作らないと、国だけにやれやれと言ってるだけではダメだということを出発点にしたいと思いますが、その点も含めてご意見を頂いて、最後のメッセージにしたいと思いま

す。今度は逆の順で内田さんからいって、最後は佐々木さんで締めてもらおうと思っています。では、今日の議論を総括して、どこから突破していったらいいだろうかということについて、お考えをお願いします。

【内】：トリにならなくて良かったと思いつつ、でも皆さんどんなこと言うとか聞いてから喋りたかったというか、難しいなと思っているのですが。（笑）民間との関係でいうと、かつての、国が全部決めて、民間企業は委託で受けてその範囲でやるという世界はもうないのだろうな、と思っています。そうなので、もう最初から民間と一緒にやっていただくという視点で色々考えていくことが大事ななと思っています。その時に、なかなか日本の調達の仕組みだと難しいことは重々理解しているのですが、やっぱりプランを立てる段階から民間と色々意見交換をしていただいてやって頂きたいなっていうところがあって、今も民間企業に下げ渡されたりみたいなこともなくはないのですが、予定していた計画が終わったので民間さん活用をどうぞ勝手に考えてくださいってされ渡されるパターンが多くて、そうだとすると、民間の利用に最適化されていない状態で渡されるので、なかなか色々制約あって活用しきれないという所があるので、月面上で何か作るにあたって、最初から後の行程と言うか、のちのち国の実証が終わった後に民間が使うんですよっていうところも含めて議論をしておいて、何かを作るであったり何かを計画するという上流工程から色々意見交換をしていくって事が一つやり方として有り得るのかなということは常々思っていました。

もうひとつ、さっきの話題にも関係するのですが、ルールメーカーになったりっていうところは、やっぱりフロントランナーになるって事が大事なのだろうな、と思っていて、日本って正直得意でないところではあると思うのですがけれども、先頭を切って走っていくことによって、自分たちが何かルールを提唱したりとか、こうやるべきだって言えたりっていうことなので、そういうところをどこに置いていっていかってっていうところで、ご紹介した月面産業ビジョンの時でも、日本がやっぱりフロントランナーになるべきでしょうと。そのために、やっぱり今からこういう手を打っておかないと、ルールが決まった後に入るのだと、今までと同じ世界なので、是非皆でフロントランナーを目指して頑張りましょうっていうようなことを書いていたりします。そういう意識を、企業側も当然その覚悟を持って自らリスクを取っているいろいろやることも大事ですし、国の方々とも色々議論しながら、どうやれば日本が先頭に立てるのか、どこで戦うのかっていうことを考えていければなということと思っています。以上です。

【稲】：はい、ありがとうございます。それでは、朝妻さん、お願いします。

【朝】：今の内田さんの話に続いてと言うか、まさにそうだなというところですね、我々だけじゃなくて宇宙ベンチャーが、今たくさん日本でも生まれていて、本当にそういう意味でいうと、我々が成長できて、市場ができていく、産業ができていくっていうことを考えた時に、多分やっぱり国の導きはすごく大事だと思っています。それはスペース X のモデルが成立すればきっと素晴らしいでしょうし、そうでなかったとしても日本独自の、先ほどの予算の話もありましたけれども、日本ならではの言うか、日本だからこういう形で産業を育てていけるとか、芽を育ててくださるといふ土壌をうまく導いていただけると、我々としてもすくすくと成長できるというか、芽を出して大きな幹が作れるような気がします。何かそういう視点で日本オリジナルっていうことと、その育てていくっていう視点で、かつ、それがどんどん増えていく形がうまくできるとありがたいなという風に思います。とにかくそういう G 2 B なのか、Governmentからの流れってというのが、何か上手く健全な形でできるとすごくありがたい。それを宇宙ベンチャーとしては切に願っています。そのために我々は切磋琢磨、努力して、できることを積み上げていきたいと思っています。ありがとうございます。

【辻】：今日の話の輸送アーキテクチャを考える中で、今日議論していて思ったのは、いかにみんなに安心して使ってもらえる輸送アーキテクチャを作っていけばいいのだろうというのを、改めて思いました。1回低軌道に行ってそこから月に行くという2段階にするのと、それはそれで、ドッキングが発生する、リスクが発生する。ではやっぱり、ダイレクト輸送のエクスプレス便の方が皆さん乗ってくるのかなとか、そういった観点も必要なのかなと思いました。国と民間という意味では、輸送アーキテクチャを民間で一発で全部やってくださいと言われたら、やっぱり難しいところなので、発注者側の話に拘りますけれども、10回まとめて、まずお願いしますと言ってもらって、最初の方は実績を上げるために使わせてもらうとか、そういう分担をさせてもらうといいのかなと思いました。以上です。

【稲】：まず段階的にと言うか、最初は国の投資で、次に民間の出番、そんな感じでしょうか。では、油井さん、お願いします。

【油】：今日勉強会に参加させていただいて、私自身も大変勉強になりました。私自身抜けていたなと思うのは、前職が自衛隊で、今はJAXAで、どちらかと言うと国民の皆様方の税金を使って活動させて頂いて、どうやって資金を集めるとかの視点がなかったのが反省で。またそこは、自由な発想がもう少しはあってもいいのかなと。1億円集めるのであれば一人では無理ですが、何ですかね、宝くじみたいに誰かが買って、みんなが買って、当たった人が行けますとか、あるいは私自身、例えば老後にお金に余裕ができた時に、宇宙に行っ

た景色が素晴らしかったので、孫にちょっと宇宙から地球見せてあげたいな、100万円ぐらいだったら出せるかな、そういう感覚もあったりするので、自由な発想でいろんな層をターゲットにした具体的なプランを見せることができれば、お金も集まってくるかなって気はしました。

あとは、私自身宇宙飛行士のグループ長ですので、将来どういう方向に向かうにしても必ず宇宙飛行士が先陣を切って、そのミッションに望むことになると思いますので、どんな能力も足りないことがないように、どんなミッションが来ても必ず日本人の宇宙飛行士が活動できるようにというように、宇宙飛行士の募集をして、今年の秋から新しい募集ありますが、しっかりと募集をしてトレーニングをして育ててあげたいなという風に思いました。どうもありがとうございました。

【稲】：ありがとうございました。では佐々木さん。

【佐】：きちんとしたまとめはできないと思いますが。話が戻るのですが、1,000人規模の月面の社会をつくるっていうことで、昔いろいろ考えたことがあって、やっぱり地上の都市ができる成り立ちを、と、やっぱり資源ですね、あとは交通の要地だったり、あとは宗教ではないですが観光地ですよ、そういう所っていうのが最初なのかなとっていて。後は宇宙ステーションの例でいえば、研究開発の拠点、そういうところで1,000人くらいの規模ができるかどうかはちょっと悩むところなのですが。月の魅力を探すのが、自分の戒めなのですが、観光も含めて、魅力をどう見つけていくかが我々の仕事かな、国としての。国の予算で見つけていくのが仕事なのかとっています。それで、民間との関係なのですけれど、今まで人工衛星でもロケットでも、まずは国がやってそれが民間に移管されるっていう状態ですが。初めてですよ、探査に関してはスタートする時にもう民間がある程度力を持ってきた時代になっていて、そこでどう一緒にやるかっていうのは、最初から議論ができるものであるという風に、たぶん皆さん共通理解だと思っています。そんな中で、JAXAというか国と民間の役割分担をどうするかは、いろいろな階層で議論が進んでいるとっていて、一つの私の考えとしては、やっぱりある程度は科学とか研究開発によるのですが、そこでコアな技術を獲得して、インフラの整備、そういう所に突き進んでいく中で民間の方で広げてもらうというアプローチがいいのだろうな、と思います。今日の議論もそうですし、前々から、感じているところです。JAXAもいろんな、これから契約も含めて、民間の意見を吸い上げるような取り組みをしているのですが、もう一つ、今日出ている方も会ったことがない人はいないので、もう少しコミュニティが広がって、色んな民間の人がこうして欲しいっていう声をあげてもらうことが、前に進めるための近道かなという風に思いましたので、もっと稲

谷先生に頑張ってもらって、この勉強会のコミュニティを広げてもらったらいいなと思います。

【稲】：はい、最後の一言は別にして、ありがとうございます。

何であれものごとは前に進めたいというモチベーションがないと何も動かないので、みんながその気になることが大事だとおっしゃったと理解します。いろんなお立場で頑張っていただいてる皆さん、この先もご活躍されることをお祈り申し上げます。

以上、進行が悪くて少し時間が超過してしまいました。今日の柔道はどうだったのでしょうか、オリンピックとぶつかる中でご参加頂き有り難うございました。今日せっかく集まって頂いたパネラーの皆さんのパフォーマンスを、十分引き出せたかどうか心配ですが、参加頂いた皆さんと、どうやったら世の中を前に進めることが出来るかの議論を少しでも出来たとしたら、今回のパネルの目的は果たせたかと思います。私は楽しくさせて頂きましたが、みなさんも楽しんでいただけたとしたら幸いです。

それでは今日のパネル討論企画はこれで終わろうと思います。みなさんからフィードバックを頂ければなお有り難く存じますのでよろしくお願いします。パネラーの皆さん、ウェブで参加されたみなさん、そして世話人のみなさん、ありがとうございました。