

より快適により多くの人を宇宙へ運ぶにはどうしたらよいだろうか？

～宇宙への輸送システムと宇宙食から探る～

中野敦志 平野みちる 半澤輝尚 木村慎吾

指導者：齊藤孝通教諭 臼井健司教諭

ABSTRACT

In the modern world, the main way to send people into space is to use rockets. However, they consume a lot of fuel and cost a lot. Moreover, people are required to be trained. In addition, there are also some problems about space food. For example, we have many requirements to meet. So we conducted a research on space travel systems which are safe and more functionable and comfortable mainly by literature searches. We concluded that one of the solutions for space trips is a space elevator, though the development of the cable for it is still under way. We also asked a space food company some questions and proposed to make space seafood curry which meets many requirements. Finally, we are going to use Ibaraki's local specialties for space food. It can not only help astronauts to control their conditions by decreasing their stress, but also lead to the revitalization of Ibaraki. We think both examining space travel systems and developing space food are meaningful for the modern world.

1 本研究の目的

(1) 新たな効率の良い宇宙への輸送システムの開発

現在、宇宙への輸送技術は急速に発展しているが、未だ一般市民が宇宙へ行くことはできない。これは、技術面、費用面、安全面などといった条件をすべて満たさなければならないためである。そこで私たちは「万人を宇宙へ運ぶ」ことを目的とし、ロケットなどの宇宙への輸送システムの構造改良で、より多くの人々をより安全により安く宇宙へ運ぶことに着眼した。

(2) 茨城県の特産物の利用を目指した宇宙食開発

宇宙での生活は不自由なことが多く、宇宙飛行士は孤独や緊張からストレスを感じていると言われている。そこで私たちは、そのストレスを解消する方法の一つとして、新たな宇宙食開発に着眼した。また、茨城県の特産物を利用することを目標にして、茨城県の活性化にもつなげたいと考えた。

以上二つの項目についての研究や開発は、科学技術が日々進歩している現代において、宇宙という新たな空間での開発の一つとなり、意義のあることであると考えられる。

2 本研究の調査手法

(1) 新たな効率の良い宇宙への輸送システムの開発

私たちは、宇宙への輸送システムの現状を把握し問題点を探るために、ロケットの機体構造や燃料システム、安全性やビジネスにおける開発費用についてそれぞれ文献調査を行った。その後、現行の輸送システムよりも優れた新たな輸送システムについて考察した。また、一般市民が宇宙旅行に対してどのような認識を持っているのか調査するため、マレーシアの、多くの人が集まるショッピングセンター、Kuala Lumpur City Center (KLCC) にてインタビュー調査を行った。そこで、どの程度の高度で宇宙を感じるかを調査し、結果からその傾向を考察することで、開発する輸送システムの規模を推定した。

(2) 茨城県の特産物の利用を目指した宇宙食開発

私たちは、茨城県の特産物を利用することを目標とした、新たな宇宙食を作るために、JAXA が設ける宇宙食の食品候補リストと、宇宙食として認証されるための条件を調査した。そして、元宇宙飛行士の意見をもとに宇宙食カレーの調理を行った。また、私たちが宇宙食を作るにあたって、企業の工夫点や留意点を探るため、宇宙食開発にも取り組んでいるマルハニチロ株式会社に調査を行った。その後、それらの情報をもとに宇宙食カレーを作り、本校生徒が見た目や風味等を評価した。その際既存の宇宙食カレーとの比較も実施した。

3 本研究の結果

(1) 現行のロケットの種類とその特徴

ロケットとは宇宙空間という特殊な環境を利用し、天体観測や実験を行うために、人工衛星や探査機、宇宙飛行士をのせた宇宙船を宇宙空間に運ぶものである¹⁾。

現在実用化されているロケットは推進力を得る燃料によって分類することができ、そのほとんどを化学ロケットが占めている。化学ロケットとは、燃料と酸化剤を燃焼させる化学反応により推進力を得るロケットであり、液体燃料ロケット、固体燃料ロケット、ハイブリッド燃料ロケットに分類できる。それ以外は非化学ロケットと呼ばれ、物理的な力で推進力を得る²⁾。

化学ロケットは燃料に液体または固体を用いる。液体を推進剤とするロケットの長所としてあげられるのは、推力を調節することができ、固体ロケットに比べて精密な軌道投入が可能であるという点である。また、一度着火しても、タンクのパルプをしめることで燃焼を止めることができるため、ロケットの発射前にあらかじめ何度もエンジンの燃焼試験を行うことができる。短所としては、構造が複雑なため開発・製作・取り扱いなどが難しいということが挙げられる。一方で固体を推進剤とするロケットの長所は、部品数が少なく構造が簡単であるため信頼性が高いことや、開発・製作・取り扱いが容易でコストが抑えられるという点にあ

る。また、推進剤の密度が大きいためロケットを小さくすることができる。短所としては、燃料に一度火をつけると、燃焼の調節ができないため精密な軌道投入に困難が生じることが挙げられている³⁾。ハイブリッド燃料ロケットは燃料を固体で、酸化剤を液体で搭載するロケットである。長所は、安全性が比較的高いことと、取り扱いが容易であり管理コストを抑えることができることである。短所は、適切な混合比で燃料を燃やし続けることが難しいことである⁴⁾。

非化学ロケットには、電気ロケット、イオンロケット、プラズマロケットなどがある。の中で、電気ロケットは実用化されており、イオンロケットは開発・構想段階である⁵⁾。

ロケットは、今のところ宇宙へ人や物資を運ぶ唯一の手段である。しかし、前述したようにロケットと言えその種類については多様であり一概に語ることはできない。どの形状のロケットにも欠点があり容易に打ち上げることが難しいのが現状である。

(2) 万人を宇宙へ運ぶ一つの手段としての宇宙エレベーター

現在、宇宙への人・物資の運搬は全てロケットを用いている。しかし、ロケット（例えば日本のH2Aロケット）の1基あたりの製造費用と、実際に打ち上げにかかった1回あたりの費用は約100億円に上り、非常に高額である。私たちの目標は「万人を宇宙へ運ぶこと」であり、この状況では一般市民が海外旅行の延長のように宇宙に行くことのできる未来はありえないと考えられる。しかし今日、これまで不可能だと言われていた「宇宙エレベーター」が現実味を帯びてきたとの先行研究が存在する⁶⁾。

ア 宇宙エレベーターの概要

宇宙エレベーターとは、地球と宇宙を行き来するエレベーターのことを指す。宇宙エレベーターは、高度3万6000kmに静止軌道ステーションを設け、そこから地上に向かってエレベーターを伸ばすのと同時に、重さが偏ることを防ぐために反対側へも5~10万kmものケーブルを伸ばす必要があるとされる。つまり、これは宇宙エレベーター自体の重力に耐えることができ、かつ合計9~14万km近くものケーブルを作る必要があることを示しており、技術的な難しさが存在する⁷⁾。

また、動力には宇宙太陽光発電を用いたリニア式が検討されている。リニア式では、摩擦がないため大きな速度を出すことが可能となる。また、宇宙太陽光発電による電気エネルギーを用いることで、その費用をロケットの100分の1ほどに抑えることができる⁸⁾。

宇宙エレベーターが実現すれば、日本が研究の最先端をゆく太陽発電衛星によるエネルギー問題の解決や宇宙遊覧・宇宙ホテルなどへの滞在、無重力・低重力を利用した様々な産業などの現実味が増してくると言われている⁹⁾。

イ 宇宙エレベーターの材料とその特徴

宇宙エレベーターを実現するほどの耐久性の高い物質は50年以上開発されなかったため、宇宙エレベーターは実現不可能とされてきた。

しかし今、それを可能にしようとしている物質がカーボンナノチューブ(carbon nanotube, 以下CNT)である。CNTは中空円筒の構造をした炭素の結晶で、直径が0.7~70nm(1nmは1mmの100万分の1)、長さが数十μm(1μmは1mmの1000分の1)以下のチューブ状の物質である。2013年時

点で、中国が50センチ以上のCNTの生成に成功しているが、実用化にはまだ時間がかかると言われている¹⁰⁾。

ウ 宇宙エレベーターの現実性と一般市民の宇宙旅行に対する考え

宇宙エレベーターが現実のものになれば、ロケットよりも安く、安全に宇宙へ行くことができるようになる。つまり、より多くの人を宇宙に運ぶという目標にも近づくことができると考えられる。宇宙エレベーターの最大の利点は、その「安さ」にある。安ければ、多くの人々が宇宙エレベーターを用いて宇宙へ行くことができ、そこには市場が発生する。その結果、宇宙産業が発達し、様々なサービスが生まれることは明確である。例えば、宇宙エレベーターでどこまで行くかによって、「宇宙旅行バック」を作ることができるのではないかと私たちは考えている。

この宇宙旅行について、一般市民の考えを明らかにするために、私たちはKuala Lumpurにて「宇宙に行くことができたら何をしたいか」という質問を50人(複数回答可)に行い、表1の回答を得た。

表1 一般市民の宇宙旅行に対する考え

質問項目	回答人数(人)
大陸と海を見たい	5
上記に加え、無重力を体験したい	9
上記に加え、宇宙から地球全体を見たい	14
上記に加え、宇宙遊泳をしたい	24
その他	2 (他の惑星に行きたい、 宇宙で物を食べたい)

この調査から人々はより地球から離れたところに行ってみたいと考えていることが確認された。そこで、前述した宇宙旅行バックでは、宇宙エレベーターに幾つかのターミナル駅を設け、地球からより離れたターミナル駅に行くにつれ金額が上がるシステムにすることを提案したい。

宇宙へ多くの人を運ぶことができるようにするために、現時点では宇宙エレベーターの開発は必須であるとする。私たちは、「かご」が大きくなればなるほど、「かご」自体の質量が大きくなり、上昇するのが難しくなるために、宇宙エレベーターの内部はそれほど広くはないだろうと予想している。しかし、宇宙エレベーターを研究する株式会社大林組の考案する宇宙エレベーターは50人乗りとなっており、狭く慣れない場所で50人の人が寝食を共にすることは旅行者にとって大きなストレスになりうることも考慮されなければならない¹¹⁾。

このビジネスアイデアは実際に宇宙エレベーターを起動する段階にならないと意味をなさない。宇宙エレベーターの開発にはまだ多くの時間がかかると言われており、その材料として注目されているCNTは、前述したように今は作ることも難しい。さらに、CNTの強度や、連結する際のリスクについても考察する余地がある。

しかしながら、ロケットよりも安く、速く宇宙へ行くことのできる宇宙エレベーターは万人を宇宙へ運ぶための輸送システムの一つとして、大きな可能性を秘めていると考える。

(3) 日本人宇宙飛行士に適した宇宙日本食づくり

ア 日本人宇宙飛行士の宇宙日本食の必要性

日本人宇宙飛行士が宇宙に長期滞在すると精神的なストレスがかかり、そのストレスを解消するためには日本食が欠かせないと言われている¹²⁾。そこで宇宙航空研究開発機構（JAXA）では、日本人宇宙飛行士の増加に伴い宇宙食に日本食を取り入れようとする動きが広がっている。ここで開発される宇宙食は「宇宙日本食」と呼ばれ、民間の企業により開発が進められている¹³⁾。また、ここでの日本食とは日本で一般的に食べられている食事や味付けをしたもののことであり和食とは限らない¹⁴⁾。そこで私たちは、この宇宙日本食を作ることを考えた。

イ 宇宙日本食づくりの条件と目標、評価方法

宇宙日本食の選定基準には次の項目がありこれらの基準を満たす食品づくりを目指した¹⁵⁾。

- ① JAXA が提示する宇宙日本食の食品候補に該当する食品であること。
- ② 宇宙食としての適性があること。（加水、加温、そのまま喫食のいずれかであることなどの調理方法、水分やカスが飛び散らないこと）。
- ③ 保存期間が常温で 1.5 年以上であること。
- ④ ナトリウム量が 1,000mg 以下であること。
- ⑤ 宇宙食分科会委員の試食による 9 点法の官能評価において外観、色合い、におい、風味（味）、食感、総合評価で平均 6 点以上あること。

私たちは宇宙日本食の試作品を決めるため 2015 年 9 月に SNS の Twitter で宇宙飛行士にアンケート調査を行った。その中で、元宇宙飛行士である Mark Kelly 氏からリクエストのあったカレーを調理することにした。また、宇宙日本食に豚肉や鶏肉のカレーはすでに存在することから、エビやイカを使った魚肉のシーフードカレーを調理することとし、2015 年 12 月にカレーを作り試食を行った。

ウ 宇宙日本食づくりの結果

前述した選定基準の中の「②宇宙食としての適性」と「③保存期間」の項目については粘度や強度などを測定する専門的な機器や環境を用いて実験を行わなければならない、私たちの持つ設備では調べることが不可能であった。「④ナトリウム量」の項目については一食約 800mg であり基準を満たすことができた。「⑤試食による官能評価」の項目では土浦第一高等学校の生徒 16 人が試食をし、実際の試食と同じ評価項目の下で評価を行った。その結果、評価項目すべてで平均 8 点以上であった。また、宇宙日本食として認定されたレトルトカレーであるハウス食品の SPACE CURRY と味の比較を行ったところ、表 2 のように同等以上の評価を得ることができた。試作したカレーに含まれる材料を表 3 に示す。

表 2 試作したカレーと既存の宇宙食カレーとの官能評価の比較

評価項目\食品	シーフードカレー（点）	SPACE CURRY（点）
外観	8.0	7.4
色合い	8.3	8.0
匂い	8.1	6.8
風味	8.0	6.4
食感	8.1	7.0
総合評価	8.0	6.8

※シーフードカレーは 16 人、SPACE CURRY は 5 人による平均点数とした。

表 3 試作したカレーの材料と分量（1 人分）

材料	分量
シーフードミックス	40g
タマネギ	50g
エリンギ	17g
水	67ml
カレールー（S&B）	19g
料理酒	小さじ 1
サラダ油	小さじ 1

エ 宇宙日本食づくりの今後の展望

今回の私たちの実験は宇宙食分科会委員による試食がなく、また保存期間の測定を始めとする検査を正確に行うことができなかったという点で模擬的なものであったため、実際の宇宙日本食になるまでには至らなかった。しかし嗜好性に関しては試食調査により実際の宇宙日本食と比べても劣らない評価を得られた上に健康面に関して少量のナトリウムで調理することに成功した。そのため宇宙飛行士の健康を守り日本人に合った宇宙食を作ることができたと言える。

また、2015 年 11 月に宇宙日本食を作っている株式会社マルハニチロにビジネスの側面から宇宙日本食の利益について調査を行ったところ、生産原価が高く数量が少ないためビジネスとしては成り立たず利益にはつながらないが、宇宙食に貢献しているという面でブランドイメージを高めることができたという回答を得た。この調査結果から、このブランドイメージの考えを地域に応用すれば地域のブランド力も高められると考えられる。本研究は基準を満たすための食品づくりであったが、材料を茨城県産の魚介類にするなど、茨城の食材を使った宇宙日本食づくりを行うことで茨城県の活性化に繋がると考える。

4 考察

(1) 新たな効率の良い宇宙への輸送システムの開発

本研究の調査より、ロケットの機体簡略化はコスト削減の大きな解決策となり、打ち上げ回数の増加につながると考えられる。そして、リニア式の宇宙エレベーターは、現在利用されているロケットと比べ、電力が動力源であるため、安全面と費用面の問題の両方を解決できる。しかし、宇宙エレベーターに関してはケーブルを中心として技術的な問題が残っており、未だ実現は遠い。開発が進み、人類を運ぶことができるようになってからは効率性が高いが、実現までの研究開発には多くの時間や費用が必要とされる。以上より、宇宙への輸送システムについては、私たちの提案をより現実的にするため、今後企業へ技術的な調査における協

力を依頼していくとともに、万人を宇宙へ運ぶ最初の段階として、「宇宙旅行パック」の詳細をさらに深く考察していきたい。

(2) 茨城県の特産物の利用を目指した宇宙食開発

本研究の調査より、新たな宇宙食開発は、宇宙開発において切り離すことができない観点になっており、大企業までもが取り組み始めている研究テーマであることも分かった。よって、茨城県の特産物利用を目標とした宇宙食開発は、宇宙飛行士の健康管理と茨城県の活性化を同時に担うことができるものであると考える。しかし保存期間や適性の問題を解決するには、調査設備の充実した企業や研究所と連携して宇宙食開発を進めていく必要がある。そのため、私たちはその前段階として、宇宙日本食の選定基準に配慮しつつ茨城県の特産物を取り入れ、味付けや食感などに工夫を施した、新たな宇宙食の開発を行っていきたいと考える。最終的には申請の段階まで行くことが目標である。

私たちは「万人を宇宙へ運ぶ」という目的を持って研究を行い、一般市民が宇宙へ行くことができるようになるにはまだ時間がかかるということを確認することができた。しかし、宇宙への輸送システム開発と宇宙食開発の双方は宇宙開発の柱を担っていくことが明らかとなった。以上より、一般市民が宇宙へ行くには、現在の問題を解決する輸送システムの開発と地域発の宇宙食の開発の両方を、多岐にわたる研究領域を融合させた上で研究を進めていくことが必要であると考えます。

<参考文献>

- 1) 「ロケットとは何か」
<<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/rockets.html>>
2016年02月23日参照
- 2) 「未来のロケットの種類」
<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/chemical_rockets.html>
2016年2月23日参照
- 3) 「固体ロケットと液体ロケット」
<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/solid_liquid_rockets.html>
2016年2月23日参照
- 4) 「次世代の宇宙輸送はハイブリッドロケットで！」
<<http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2012/shimada/>>
2016年2月23日参照
- 5) 「未来のロケットの種類」
<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/chemical_rockets.html>
2016年2月23日参照
- 6) 高比良公成『宇宙エレベーターの本 実現したら未来はこうなる』アспект 2014年, pp.173-174
- 7) 高比良公成『宇宙エレベーターの本 実現したら未来はこうなる』アспект 2014年, p.21
- 8) 高比良公成『宇宙エレベーターの本 実現したら未来はこうなる』アспект 2014年, pp.163-188
- 9) 「4.宇宙エレベーターが人類にもたらすもの 一般 JSEA 一般社団法人 宇宙エレベーター協会」
< <http://www.jsea.jp/about-se/what-is-spaceelevator-04.html>> 2015年10月10日参照

- 10) 「中国、世界最長のカーボンナノチューブの生成に成功 人民網日本語版 人民日報」
<<http://j.people.com.cn/95952/8330398.html>>
2015年10月10日参照
 - 11) 高比良公成『宇宙エレベーターの本 実現したら未来はこうなる』アспект, 2014年, p.27
 - 12) 田島真『宇宙食 人間は宇宙で何を食べてきたのか』井立出版, 2015年, p.9
 - 13) 田島真『宇宙食 人間は宇宙で何を食べてきたのか』井立出版, 2015年, p.44
 - 14) 「宇宙日本食とは」
<<http://iss.jaxa.jp/spacefood/about/>>
2015年10月10日参照
 - 15) 「審査項目」
<http://www.jaxa.jp/press/2014/09/20140905_sfood_j.html>
2015年2月2日参照
- ・田島真『宇宙食 人間は宇宙で何を食べてきたのか』井立出版, 2015年, p.51