

## 月資源採掘の倫理的課題とその規制

2023年2月6日

文学部3回生 0100329198 射水暉介

### はじめに

1969年にニール・アームストロングを載せたアポロ11号が人類で初めて有人月面着陸に成功したこと<sup>1</sup>は多くの人が知るところであろう。しかし1972年にアポロ17号が月面を離れて以降、人類は一度も月面に降り立っていない。そのような状況のなか、現在NASA（アメリカ航空宇宙局）はアルテミス計画<sup>2</sup>という名称の月面探査プロジェクトを始動しており、2024年以降に人類は再び月に降り立つ予定である。そののちもNASAは継続的に有人月面活動を行う方針であり、ゲートウェイと呼ばれる月周回有人拠点においては将来的に宇宙飛行士による年間30日程度の滞在が想定されている<sup>3</sup>。また現在、中国も嫦娥計画という月探査プログラム<sup>4</sup>を行っており、今後月面における人類の活動は活発になっていくと思われる。

そのような状況で懸念される課題のひとつが月面における資源採掘の問題である。後述するように宇宙資源の採掘に関する有効な国際的規制は存在するとは言えない状態であるが、月資源の採掘を掲げるアクターは多い。例えばNASAが月資源の採掘に言及しており、月資源の採掘によって今よりも地球に依存しない安全で効率的な月面活動が可能になると述べている。また、月資源を用いて、人間が使用する消耗品や推進剤に変換したり、月面に居住区や構造物の建造をしたりする可能性も挙げている。さらにNASA以外にも、ムーン・エクスプレス社がそのミッションとして人類の利益のために月の資源を解き明かすことを掲げている<sup>5</sup>ほか、シャクルトン・エナジー・カンパニーが月の極地にある氷を抽出し、ロケットの燃料にすることを掲げている<sup>6</sup>。このように多様なアクター<sup>7</sup>が月資源の活用を視野

<sup>1</sup> John Uri, “50 Years Ago: One Small Step, One Giant Leap”, NASA.

<sup>2</sup> 以降のアルテミス計画に関する記述は、特に説明のない限り、NASAが公開している”NASA’s Lunar Exploration Program Overview”の内容に基づく。

<sup>3</sup> “GATEWAY”, JAXA.

<sup>4</sup> “嫦娥計画（じょうがけいかく: Chang’e Project）”, 月探査情報ステーション.

<sup>5</sup> Moon Express のホームページによる。

<sup>6</sup> Shackleton Energy Company のホームページによる。

<sup>7</sup> かつての宇宙開発においては国家が主なアクターであったが、近年の宇宙開発や宇宙利用において民間のアクターが果たす役割は非常に大きくなっている。例えばスペースXなどは、初の民間有人宇宙船の打ち上げを成功させたり月周回有人拠点ゲートウェイへの機器提供を行ったりするなど、宇宙開発において重要な役割を担っている。

に入れている現在の状況を鑑みると、いかなる国家にも領有されない月<sup>8</sup>においてその資源をどのように扱うべきかを示すことは喫緊の課題であると考えられる。そこで本稿は、月資源の採掘について倫理的に考えられる課題を提示し、先行の議論を取り上げながらどのような規制が考えられるかを示すことを目的とする。

本稿の議論は以下のように進む。第一節では宇宙資源採掘をめぐる現況について、国際法や協定といった観点から概観する。第二節では、月における資源採掘について考えられる倫理的課題を、先行研究をもとに提示する。第三節・第四節では、宇宙資源の採掘について論じた議論をひとつずつ取り上げ、第二節の倫理的課題に応じる形で考えられる規制の在り方を論じる。最後に第五節にてまとめとし、筆者の見解を述べる。

## 1. 月資源採掘をめぐる法・協定

本節では月資源採掘にまつわる<sup>9</sup>現在の法的な状況および国際協定などを概観する。月の資源採掘を考えるうえで重要なものは大きく4つある。それぞれ、宇宙条約、月協定、アルテミス合意、アメリカ合衆国の商業宇宙打上げ競争力法をはじめとする国内法<sup>10</sup>である。

### 1.1. 宇宙条約（1967年）

宇宙条約とは国際宇宙法の諸原則を定めたものである。特にその第1条第2文で、月その他の天体を含む宇宙空間の探査と利用の自由とすべての地域への立ち入りの自由を認めている。そしてその第2条では、月その他の天体を含む宇宙空間の国家による領有を禁止している。この条約は宇宙資源の採掘という個別の事業に関して法的な枠組みを用意するものではないため、前述したこの条約の規定からは宇宙資源開発の自由あるいは禁止を明確に導き出すことはできていない。

### 1.2. 月協定（1979年）

月協定とは、月その他の天体の探査および利用において国家活動の原則を定めた協定であり、月をはじめとする宇宙資源の採掘にたいする規律も設定している。

月協定の第11条において、月及びその天然資源は人類の共同財産とされ、いかなる手段

<sup>8</sup> 宇宙条約は宇宙空間の領有を禁止している。宇宙条約については第一節で詳述する。

<sup>9</sup> ここで取り上げる法・協定においては月資源と宇宙資源は特に区別されていない。またここでの議論において、月資源をはじめとする宇宙資源の獲得はその資源を有する天体およびその土地の領有なしに行われるものとする。

<sup>10</sup> 宇宙条約、月協定、アメリカ合衆国の商業宇宙打上げ競争力法についてはおもに近藤の議論（近藤2018）を要約した。宇宙条約および月協定の条文に関する記述は、JAXAの公開するそれぞれの日本語本文をもとにした。

によってもいかなる主体の所有にも帰属しない<sup>11</sup>とされる。そして月の天然資源の開発が実行可能になった際には、特別の国際的な枠組みの下でのみ開発を許容するとされる。その枠組みの主な目的のひとつとして月の天然資源から得られた利益の公平な分配がある<sup>12</sup>が、その際に開発途上国の利益と月探査に貢献した国の努力に特別な配慮が払われるものとされる。

ただし、アメリカ合衆国を含む宇宙開発先進国はこの協定の当事国ではなく、よってこの協定によって拘束されない<sup>13</sup>。

### 1.3. アルテミス合意

アルテミス合意とは、アルテミス計画を進めるためアメリカ合衆国をはじめとする日本やUAEやイギリスなどの国々が、宇宙条約に基づき、平和目的のための月・火星・小惑星・彗星の利用と民間探査の協力の原則を定めたものである。平和目的での協力活動や、透明性、科学的データの公開、宇宙空間の遺産の保護などの原則が確認されているが、なかでも資源に関して注目すべきは宇宙資源に関する第10条であろう。第10条において、署名国の月・火星・彗星および小惑星の表面及び地下からのあらゆる回収を含む宇宙資源の抽出と利用は宇宙条約を遵守し、安全で持続可能な宇宙活動への支援の下で実行されるべきであることを強調することを定め、宇宙資源の抽出は本質的に宇宙条約第2条に定められた国家による専有に当たらないことを確認している<sup>14</sup>。つまり、アメリカ合衆国をはじめとしてアルテミス合意に合意している国々は宇宙資源の採掘および利用を認めていることになる。

### 1.4. 商業宇宙打上げ競争力法（2015年）などの国内法

ここでは、資源の所有を定めたアメリカ合衆国をはじめとする数か国の国内法を挙げる。上述の3つは国際協定や国際条約であるが、一方で宇宙資源の採掘やその所有を可能にする国内法が存在する。月資源をめぐる法の観点において、これら自国内での宇宙資源の所有等を認めた法を確認することは非常に重要である。

商業宇宙打上げ競争力法とは、国内で多様な宇宙ベンチャーが宇宙資源の開発を目指している動向を受け、それを宇宙産業の柱としてその成長を促進するため、アメリカ合衆国議会によって制定された法律である。なかでも、宇宙資源開発利用法と題された箇所の第51303条「小惑星資源及び宇宙資源に対する諸権利」は、それによって自国の宇宙ベンチ

<sup>11</sup> 正確な条文は「月の表面又は地下若しくはこれらの一部又は本来の場所にある天然資源は、いかなる国家、政府間国際機関、非政府間国際機関、国家機関又は非政府団体若しくは自然人の所有にも帰属しない」。「本来の場所」を近藤は「所定の場所」と表記している（近藤 2018）。

<sup>12</sup> そのほかに挙げられているものは、月の天然資源の秩序ある安全な開発・合理的な管理・使用の機会の拡大である。

<sup>13</sup> 日本、中国、ロシアなども当事国ではない。

[https://www.unoosa.org/pdf/publications/ST\\_SPACE\\_11\\_Add1\\_Rev1E.pdf](https://www.unoosa.org/pdf/publications/ST_SPACE_11_Add1_Rev1E.pdf)

<sup>14</sup> ここまでの記述は Artemis Accords をもとに筆者が訳しまとめたものである。

ヤーに対して宇宙において獲得される資源の占有、所有、輸送、使用、販売の権利を付与することを試みたものになっている。これは、前述した国際宇宙法に違反しないとされる。なぜならばアメリカ合衆国は月協定の当事国ではなく、また宇宙条約の規定する探査の自由および領有の禁止が宇宙資源をどのように扱うかは定かではないからだ。ゆえにこの法律も宇宙条約の可能なひとつの解釈と位置付けられる。他にもルクセンブルクやUAEや日本にも同様の法がある。たとえば日本では、令和三年に施行された「宇宙資源の探査及び開発に関する事業活動の促進に関する法律」(通称、宇宙資源法)により、宇宙資源の探査及び開発に関する事業活動を行う者が事業活動計画に従って採掘等した宇宙資源について、所有権を認めている。

### 1.5. 月資源をめぐる法・協定の現状

以上、本節では現在の法・協定にまつわる状況を概観してきた。宇宙条約は宇宙資源の扱いに対して明確な解釈が存在せず、月協定は宇宙開発において主要な役割を担っている国家に対して実効力を持たない。つまり月資源をはじめとする宇宙資源に関して明確な国際法的規制のないなかで、アルテミス合意などの国際合意やアメリカ合衆国などの国々の国内法のもと、月資源をはじめとする宇宙資源の国家および民間アクターによる採掘が進められうる状況が整っているといえる。

## 2. 月資源採掘における倫理的課題

本節では月資源採掘について考えられる倫理的課題を、近藤が挙げているもの(近藤2018)<sup>15</sup>をもとに大きく3つ示す。それぞれ、天体環境の破壊、月環境利用の利害対立、月資源の枯渇である<sup>16</sup>。

### 2.1. 天体環境の破壊

月資源の採掘は、当然ながら月表面および地下を掘削することによって得られる。これは、不可避的に月がこれまで形成してきた手つかずの環境を改変することを意味する。

ここで月に関して天体環境の破壊を伴う例を挙げる<sup>17</sup>。ヘリウム3はヘリウムの同位体であり、理論的には放射性廃棄物を出さずクリーンな原子力を実現できるものである。ヘリウ

<sup>15</sup> 近藤は「天体環境の破壊」、「科学研究の阻害」「月資源の枯渇」という3つの観点に加えてもうひとつ、「宇宙資源の独占」という事態を指摘している。彼は自由な宇宙採掘が認められたとき、少数の主体による利益の独占が富の偏在という観点から問題視されうるとしている(近藤 2018)が本稿では扱わない。近藤は特にこの問題を取り上げて論じているため、詳しくはそちらを参照してほしい。

<sup>16</sup> 近藤(2018)では広く宇宙資源を念頭に置いて論じているが、どの論点も容易に月単体の議論へと当てはめて論じることが可能であると考えられるためそのまま扱う。本節における議論は、特に注を付した部分を除き近藤(2018)の要約である。

<sup>17</sup> Capper, 2021

ム3は地球上においては入手が困難であるが、月においてはそのレゴリス（表土）に太陽から到達したヘリウム3が結合して存在していることが分かっている。そしてこのようなヘリウム3を月から採掘し、地球に持って帰って核融合発電炉に使用することができれば莫大な利益が見込まれる。しかし月において、ヘリウム3は非常に微細であり、それを入手するためには莫大な量のレゴリスを処理しなければならない。つまりヘリウム3を月から安定して供給しようとするれば、月面環境を大規模に破壊することは不可避である。さらに、月にはプレートテクトニクスは存在しないため、採掘によって破壊された月面が時間の経過とともに回復することはない。

## 2.2. 月環境利用の利害対立

近藤は、「科学研究の阻害」という問題を提起している。それはつまり以下のようなことである。月資源の採掘という事態を想定したとき、科学研究との両立において問題が生じることが予想される。採掘に際しては事業者による資源への排他的なアクセスや天体の特定の場所の一時的な占拠などといった事態がしばしば生じると考えられる。ゆえにもし科学的活動が資源採掘よりも道徳的に優先されるとの考え方を採れば月資源の採掘において大きな懸念材料となるだろう。たとえばシュワルツは、科学研究が資源開発に優先することを、宇宙をめぐる科学的知識の蓄積が備える内在的価値や、社会の偶然的な発展の触発という手段的価値などを挙げつつ論じている<sup>18</sup>。

実際には、探査の利用や商業利用、住環境としての利用、科学利用など、さまざまな月環境の利用が想定される。たとえば、資源のある地域と、天体望遠鏡設置候補地が重複した場合などこれらの利害が対立する可能性は十分に考えられる。そのため本稿では、これらの問題を「月環境利用の利害対立」と解釈して扱う。これらの利害対立の解決には、利益に優先順位を設けることや、各価値の比較考量が必要となるだろう。よってこの観点も考慮すべき倫理的課題といえる。

## 2.3. 月資源の枯渇

当然ながら月資源には、非再生資源が含まれる。このような資源は無尽蔵でないことだけは確かであり、月資源の採掘はいずれ必ずその資源の枯渇という事態に至る。月資源から得られる利益が将来世代の人々にも享受されるべきであるなら<sup>19</sup>、月資源の採掘が無計画に行われることは問題視されなければならないだろう。

同様の議論は、地上のさまざまな問題においても考えられるが、月資源の問題においてこ

<sup>18</sup> 近藤 2018: p.201 に示されているシュワルツの議論を引用した。

<sup>19</sup> 当然このことには「非同一性問題」が考えられる。つまり、資源が枯渇する将来と何らかの方策によって資源が枯渇しなかった未来では、誕生の条件が異なってくるがゆえに、将来世代と呼ばれる人々はそれぞれ全く異なった人々であると思われるということだ。本稿では将来世代の問題において、非同一性問題には踏み入らない。

の点が特に問題視されうると筆者が考える根拠は、地球上の資源問題と異なり、月資源の採掘は現時点でいっさい行われていないという点にある。それが人類の生存に不可欠でないにもかかわらず全く新しい環境において資源を採掘する以上、十分な道徳的根拠が必要だろう。特に資源枯渇の問題が発生すると容易に予測できるにもかかわらず、その資源を採掘しようとするのであれば、それはその枯渇の問題や将来世代への影響を十分に検討してから行われなければならない。将来世代が生存に不可欠な形で月資源を利用せねばならないことも考えうるのである。

#### 2.4. 地球上の環境倫理と比較して

本節の最後に、月資源採掘にまつわる倫理的課題が既存の環境倫理の問題とどの程度異なるのかを検討する。

加藤尚武は、その著書にて環境倫理学の主張を大きく三つ挙げている。自然の生存権の問題、世代間倫理の問題、地球全体主義である。このそれぞれに沿って月資源における問題と比較し、どのような観点が重要となってくるのかを明確化する。

まず、自然の生存権の問題とは、人間だけでなく、生物の種、生態系、景観などにも生存の権利があるので勝手にそれを否定してはいけないという論点である（加藤 2020）。しかし、この点に関しては月には生物が存在しないという大きな違いがある。そのため他の生物の権利という観点や、種の保存のために環境を保全しなければならないという観点は月の文脈においては説得力を持たない。

つぎの世代間倫理の問題とは、現代世代は将来世代の生存に対して責任があるという観点である。これはつまり、環境の破壊や資源の枯渇は結果として将来世代の資源利用可能性を失わせるということを意味する。このことは現代世代の将来世代への加害ともいえるし、少なくとも将来世代の持ちうる選択の幅を狭めることを強制することである（加藤 2020）。この観点は、月資源についても同様のことが言える。月の資源を枯渇させてしまえば将来世代は二度とその利益を享受することができない。上述の資源枯渇の問題は、それ自体の不正義も問題となりうるものだが、それ以上に将来世代に対する問題として提示されている。

最後に、地球全体主義についてである。これは地球の生態系は開いた宇宙ではなく閉じた世界であるとする観点である。利用可能な物質とエネルギーの総量は有限であり、そのうえで配分の問題が重要となる（加藤 2020）。これについても、月資源まで拡大しても同様のことが言えるだろう。本稿で問題となるのは無限の宇宙に数多存在するだろう資源ではなく、地球に加えて月に有限の量だけ存在する資源である。よって、これに関しても月に拡張しても地上の環境倫理と同様の問題が存在する。

以上のことから、これら 3 つの観点のうち、とくに世代間倫理および地球全体主義の議論は月資源においても変わらず用いられることがわかる。月資源の倫理問題においても、地球上の環境倫理と同様、将来世代への責任と、有限の資源の配分と規制が問題となる。

### 3. 考えられる規制：8分の1原理

本節と続く第四節では、前節で述べた倫理的課題への考えうる応答として二つの議論を取り上げる。本節では M.エルヴィスと T.ミリガンによる議論を紹介する。彼らは、宇宙資源の採掘を行うにあたってどのような原理を設定すればいいかを提示し、その根拠を述べている。その原理が 8 分の 1 原理 (The one-eighth principle) である (Elvis, Milligan 2019)。

#### 3.1. 8分の1原理

エルヴィスとミリガンは宇宙資源の開発に際して過剰開発 (super-exploitation) をさけるために 8 分の 1 原理を適用することを提唱している。

**8 分の 1 原理：**経済成長が指数関数的であるうちは、われわれは太陽系における開発可能な資源<sup>20</sup>の 8 分の 1 のみをわれわれにとって使用できるものとみなすべきである。ここでいう「われわれにとって」とは、人類の特定の世代あるいは世代の集団ではなく、人類すべてにとってという意味である。残りの 8 分の 7 の開発可能な太陽系は原生宇宙 (space wilderness)<sup>21</sup>として残されるべきである。(Elvis, Milligan 2019: p. 575. 訳は筆者)

彼らは、この 8 分の 1 原理が適用されるのは、経済の成長が指数関数的であるときであると述べる。そして、そうではなく経済が静的な状態 (さらなる資源の利用を必要としない状態) に至ったり、あるいはそのような状態にいつでも移行することができる革新的なメカニズムを発展させたりできたような場合には、この原理は合理的に取り除かれるだろうと述べている。

また、彼らはかなり流動的な概念としてこの原理を提唱している。この原理はあらゆるセクターに対してデフォルトとしてその 8 分の 1<sup>22</sup>に資源利用を限定するが、厳密に例外なく 8 分の 1 の資源利用を認めるものではない。たとえば月など、その独自性に関連する倫理的

<sup>20</sup> 開発可能な惑星とその大気、衛星、環、彗星、そして小惑星があげられている。また、太陽や木星などいくつかの例外が挙げられている。

<sup>21</sup> 原生宇宙という語を彼らは「弱い」意味で用いている。この議論の重点は自然保護ではなく、資源の枯渇を避けることである。つまり、ここで原生宇宙として残すということは様々な人間の使用を排除するものであるが、考えうる人間の影響全てを拒むものではない。彼らは何らかの人間による影響は避けがたいものであると考えている。またこのような考え方は、星は星全体規模での環境保護を受けるべきとの立場をとったさいには不十分であることも指摘している。

<sup>22</sup> そのほか、彼らは測定問題 (measurement problem) という問題を考えている。これは、どのようにして 8 分の 1 を決定するかという問題であり、その質量によるものと表面積によるものを考えられる可能性として挙げている。彼らの提案は、基本的に惑星や大きい衛星には表面積による測定を、小惑星などには質量による測定を当てはめるというものである。

背景や特別の科学的関心などによって、開発からのより強い保護を求める場所や対象がある可能性を認めている。また、あるセクターの上限を引き上げる代わりに他セクターの上限を引き下げるなどといった事態も想定しているし、特定の地域から他の地域へと開発を移動させるために、その地域の資源の重みづけを増やすといった調整を行うことも想定している<sup>23</sup>。

### 3.2. 指数関数的経済成長と倍加期間

ここでなぜ 8 分の 1 なのかということについて、エルヴィスとミリガンの議論を紹介する。GDP などをとってみても経済成長率が指数関数的特徴を示すことは多い。中国の経済は 30 年にわたって毎年ほぼ 10% 成長していたことなどが例として挙げられる。そのようななかで地球上と異なり供給や政治による制約の少ない宇宙経済が大きな成長率を示す可能性が考えられる。

もちろん経済の指数関数的成長も通常はいずれ先細っていくものだが、そのことも正確な予測は困難であり、過剰開発が生じる前に成長率の低下が十分な形で起こるかは想定できない。ここで注意すべき概念が倍加期間 (doubling time) である。これは一定の成長率を維持する場合に、その規模が倍加するまでにかかる時間である。これを宇宙資源の採掘にあてはめると、たとえば宇宙資源の採掘が全体の 16 分の 1 から 8 分の 1 に到達するのに必要とする時間が倍加期間である。そしてひとたび 8 分の 1 に達すると、もう 3 度の倍加期間を経るだけで資源は枯渇する。しかし、指数関数的成長は変化の程度が急激化していくために、初期の成長率の計算の些細な誤りが重大な予測の誤りを引き起こしうる。それゆえ、枯渇まで一定の猶予を残しつつも初期ではないタイミングに基準を設けることがもとめられ、8 分の 1 を彼らは基準点として採用している。

エルヴィスとミリガンは、実際の 8 分の 1 原則がどの程度厳しいのかについても言及している。彼らが例示しているのは小惑星帯から採掘される鉄であるが、それによれば想定される 8 分の 1 の量は地球の鉄の埋蔵量の百万倍であると概算され、結論として 8 分の 1 原理を採用しても経済の発展に十分な余地を残していると述べられている<sup>24</sup>。

### 3.3. 倫理的立場

<sup>23</sup> またこのように流動的な基準とすることで歪んだ形態の保護をもたらす可能性を指摘している。たとえば特定の資源へのアクセスを重視して 8 分の 1 原理による保護の対象を恣意的に設定するというような場合である。しかし彼らはあえて、そのような事態を避けるためのシステムを提案しない。ある程度のシステムの不完全性は不可避であると考えると同時に、利益関心による歪んだ測定は権力を過度に中心化してまで取り組む価値がつかねにあるとは限らないからである。

<sup>24</sup> ここで 8 分の 1 が到達しえない規模であれば、8 分の 1 原理は必要ないのではないかの疑問に彼らは答えている。鉄の例では 8 分の 1 は莫大な量に思われるが、実際にそうとは限らない。指数関数的成長の可能性と倍加期間を鑑みると、われわれが想像するより短期間で 8 分の 1 に達する可能性を彼らは指摘している。

最後に、彼らがいかなる倫理的な立場<sup>25</sup>に立脚しているかを確認する。彼らは、この原理は人類に対する倫理的義務に依拠しているとする。そしてそれは特定の、あるいは特異な倫理的理論によるものではなく、様々な異なる理論に共通する最小限の倫理的主張によるものとしている。彼らによれば、権利によるアプローチも、帰結主義的アプローチも、徳倫理的アプローチもみな、われわれは将来世代の利害関心を考慮する義務があることを受け入れる傾向にある<sup>26</sup>。つまり、議論の基盤に多くの倫理的理論に共通するだろう前提を置きながら、その主張を最低限にとどめたとしている。

また、その導入において彼らは、宇宙開発の正当化において人類の未来を持ち出す<sup>27</sup>ような人々は、少なくとも 500 年以内の未来の人間への配慮を認めるべきだとしている。

そして最後にふたつの結論を提示している。ひとつは保護と使用および様々な理由に関するより詳細な倫理的理論と、どの 8 分の 1 が利用されるべきかを選択する賢明な政策に関する審議とに対する必要性、もうひとつは、科学的根拠に基づく完全なる太陽系のインベントリーの作成<sup>28</sup>の必要性である。

### 3.4. 検討および第二節への応答

まずこの議論において押さえておかなければならないのは、エルヴィスとミリガンは月資源のみを念頭に置いているわけではないということだ。しかしながら筆者は、この議論は第二節にて述べた「月資源の枯渇」という道徳的問題に一定の示唆を与えていると考える。

第一に 8 分の 1 原理が非常に単純かつ資源枯渇の問題に対して有効であると考えられることである。当然ながら採掘する資源に上限を設ける以上、この原理に則っている限り資源の枯渇はあり得ない。そして、そのことがある程度簡略化された形で、しかしそれゆえに受け入れられやすい将来世代への義務という形で正当化の試みがなされているという点は評価できるだろう。

第二に、8 分の 1 原理は簡潔で、解釈の幅をある程度許すがゆえに指針としての有効性が高いと考えられることである。その流動性ゆえに現在の宇宙開発における運用体制を変えることなくそのまま当てはめることが可能な形で提示になっていることも評価できるだ

<sup>25</sup> 彼らは、「社会全体にとってリバブルな倫理は過度な要求を行うことはできない。つまり、合理的な社会倫理は、……それが不可能であるほどに困難なものを要求することはできない」(Elvis, Milligan 2019: p. 57. 訳は筆者)とも述べている。

<sup>26</sup> “…… it rests only upon a minimal set of ethical claims which happen to be common to a variety of different theories. Rights based approaches, consequentialist approaches and virtue ethical approaches all tend to accept that we do indeed have a duty to consider the interests of future generations.” (Elvis, Milligan 2019: p. 580)

<sup>27</sup> この正当化が倫理的に妥当かについては検討が必要である。また、このような正当化のなかにも、「人類の繁栄のために新たなフロンティアの開拓が必要だ」といったものから、人類存続義務による議論までさまざまなものが考えられる。

<sup>28</sup> インベントリーの作成は、資源開発と同時に行われる想定である。

ろう。

また、この議論に対する批判もここで検討しておきたい。神崎宣次がこの議論への批判を挙げているため、まずそれを要約する（神崎 2021）。彼によれば、8分の1原則はふたつの部分に分けて理解する必要がある。それは太陽系における資源開発には上限を設定しておく必要があるという主張と、その上限は8分の1であるという主張である。前者において、エルヴィスとミリガンは8分の1原則後の経済の在り方について詳細な想定を述べていない。彼らは無制御な成長に反対しているだけであると述べているが、サステナブル・ディベロップメントのディベロップメントをどう解釈するのかについて疑問が生じると神崎は述べている。しかし筆者は、神崎の指摘は、月資源の文脈においては重要でないと考える。なぜならば、8分の1原則後の経済を考えるのは、原則を適用した後でも問題ないからである。資源開発に上限を設けるべきであるという主張が認められ、かついずれ循環型経済に移行せねばならないということが認識されるのであれば、新たな経済の形は8分の1に達するまでに検討されればよい。

また、神崎は8分の1原則の議論で、地球の資源が使い果たされようとしているという想定、あるいは地球上で循環型経済が達成される見込みについての想定が置かれているかも重要な点であると指摘する。これは宇宙開発の根拠と正当化にかかわるからであり、またその理由が資源の使い果たしにあるのなら太陽系に進出したとしてもそれが有限である限り必ず同じ問題に直面するからである。筆者もこの点は重要であり、いずれ必ず検討されねばならないと考える。しかしここで注意すべきは、神崎自身も指摘するように8分の1原則はどのように宇宙開発を行うべきかに関する原則であるという点である。筆者は、当然これらの正当化に関する想定は明確化されるべきであるが、適用するさいに循環型経済に達する見込みがあると合理的に述べられなければならないとまでは言えないと考える。よってこの原則を、月資源の問題に対して、これらの検討の明確な結論に先んじて適用することは可能である。

また、神崎の挙げる後者の主張、つまり8分の1が上限であるという主張に対しても彼は批判を行う。彼によれば、エルヴィスとミリガンはこの点においては十分に妥当な議論を提示できていない。筆者もこの点は同意見である。彼らの理論は可能なひとつの試算であるだろうが、検討の余地が大いにあるだろう。ただし上限を設けることは必要であるし、ある程度それを明確化することにも意義はあるといえる。ただし、8分の1に達するまでの間に、8分の1が適切な上限値であるのかということに対する検証が、月資源の正確なデータや循環型経済への移行の見込みも踏まえて行われ続ける必要がある。

最後に筆者が月資源採掘においてこの原理が問題となると考える点を挙げる。それは、8分の1原理は、指針としては有用であり現実的であるが、目下の月の探索などを鑑みると具体性に欠ける点、および彼らが意図的に認めている流動性によってさまざまな解釈がありえてしまうことである。たとえば、8分の1原理が受け入れられたうえで、月のどの部分でも資源採掘をしてよいことになりかねない。あるいは、どの国家や企業がどのような形で

その 8 分の 1 の資源を採掘するかについても一切の制約がない状態である。これらは考慮されるべき問題であろう。

#### 4. 考えられる規制：月面保護地区の設定

本節では D.キャッパーの議論を紹介する。彼は月に限定した議論を行っており、月をどのように保護するべきかを論じている（Capper 2021）<sup>29</sup>。

##### 4.1. 月の文化的価値とその破壊の可能性

彼はその議論の随所で月の文化的価値をはじめとする多様な価値について言及している。つまり、月は人類にとって、歴史的・文化的に大きな価値を持つ。彼は多数の例を挙げているが、われわれにとってもっともなじみ深いのは「月のウサギ」だろう。月は単なる天体のひとつという以上の意味を持っている<sup>30</sup>。そして彼はその価値が、月資源採掘などによって脅かされると指摘する<sup>31</sup>。月の美的価値や文化的価値は、その表面が地球から容易に観測可能であるがゆえに月の環境破壊も容易に観測可能である。たとえばアペニン山脈が地球のいくらかの山がそうであるように採掘によって削られると、西洋人が月の表面に見る「月面の男」の像は鼻を欠くことになる。

##### 4.2. 月面保護地区の設定

彼は区域ごとに様々な利用を認める月面保護地区を設定することによって純粋に商業的あるいは科学的なものを超えた良い結果をもたらし、大きな利益を作り出すことができると主張する。彼によれば MAB プログラム<sup>32</sup>のようなアプローチを用いることで、科学・文化・歴史的保全・レクリエーション・責任能力のある商業といった需要に同時にこたえることが可能である。

<sup>29</sup> ただし、想定される月の利用の大きな要素として資源採掘を含めて考えているものの、資源の採掘のみを主要な対象として扱った議論ではない。

<sup>30</sup> 彼はその議論のなかで、月の価値をその地球側（月のウサギが位置する側）、裏側、極地に分けて論じ、そのすべてにおいて価値をもつ地域があるとする。ここでの議論は月の地球側に関する価値についてであるが、ほかにも例えば極地は地質学的・天文学的な価値をはじめとして多様な価値をもつ地域がある。また、人類および人工物が月にアプローチした痕跡も人類にとって同様に歴史的価値をもち保全されるべきであると述べる。

<sup>31</sup> たとえば極地の氷の利用などといった月の資源採掘や開発の目標は理解可能であるが、月のいくらかの場所の環境に配慮されていないことが多いと指摘している。

<sup>32</sup> ユネスコの「人間と生物圏（Man and the Biosphere）」プログラム。これまでに多くの国々で生物圏の保護を行ってきた。MAB は保護地区を保全やレクリエーションや持続可能な産業・商業といったものを別々の地区にわけることによって様々な需要にこたえている。ただ、彼はその概念を月に応用しようとはしているが、生物圏というのは月に対しては正しい言葉ではないかもしれないと指摘している。

彼の想定する保護地区は大きく 3 種類に分けられる。1つは月生態保護区ともいえるものであり、そこにおいてはいかなる痕跡も残さない科学的介入以外を一切認めない地域である。2つ目は持続可能な保護区であり、産業や商業を一定程度認める区域である。そして3つ目は公園地区である。これは人間のレクリエーションのために指定された区域である。キャッパーは、このようなレクリエーションを認めることによってそれを楽しむ人々の利益になるという意味で、科学や生態保全や組織的産業にかかわる利益が増加すると論じている。

そして、月の地球側は多様なレイヤーの文化的意味をもち、裏側はそうではないことから、もし月が人間の文化や月の生態系を脅かす害を必ず受けなければならないとするのなら、その害は月の裏側に移されるべきであると彼は述べる。彼によれば、われわれは月の文化的表象を損なうことを避けるべきであるが、なかでも月の地球側を傷つけることは、裏側を傷つけるよりも悪い。それゆえ、この提案を通じて月の裏側のほとんどを自由な産業と商業に開放する<sup>33</sup>一方で、地球側のほとんどあるいはすべてを保護することが求められているとされる。

第一節で論じたように宇宙条約において月の領有は禁止されているため、これらの保護地区はいかなる主体にも属さない国際領域になる。しかし月面のほとんどは保護地区に含まれないため、宇宙商業財産法がどのように発展しようともその統制下に置かれることとなる。また彼によれば、保護地区の提案の採用においては COPUOS (国連宇宙空間平和利用委員会) による設置だけではなく、国際的な合意が必要とされ、国連の条約によって太陽系に保護地区が設置されることが最も望ましい。しかし、このような協定は現実的には実現が困難であるため、COPUOS は二国間あるいは数か国間での協定を促進することから始めるべきであると彼は考える。そうすればいくらかの宇宙大国が保護地区の境界を設定しそれを守るまでに時間や費用はそこまで必要とされないだろうし、そのような形で保護地区が成立することは現実的であると考えられる。保護地区設置の時期について彼は、人類の月への帰還を待たず、速やかになされるべきであると述べる。

また、この速やかになされるべきであるという点に関して、補足的にミリガンらの議論を紹介する (エルヴィス、クロリコスキ、ミリガン 2020)。彼らも、月の特徴や将来の開発およびミッションについて我々の知識が限られているにもかかわらず、現時点で取り決めをすることに2つ利点があると述べている。

ひとつは、取り決めの際に人間の利用や居住にとまなう歴史性に配慮せずすむという点である。現在、歴史的価値を持つものは、月探査機の着陸跡や落下跡、月面上に残された人工物などくらいである。今後開発が進めば増えてくると予想される、様々に歴史的価値が主張されるであろうものは現在ほとんど存在しない。つまり、取り決めの際に考慮を求めら

<sup>33</sup> 彼は月資源の利用などについても他にもいくらか言及している。例えば極地のマラベールは保全されなければならないが、月の氷の利用やその他の活動は近辺の保護区域外の場所で好きに行えるので、それらの活動は制限されないと述べており、それらの採掘や商業活動に否定的な訳ではない。

れる事柄が少ないという点でこれは現時点での取り決めに推進する利点である。

ふたつに、現時点でわれわれがある意味で真の無知のヴェールの向こう側にいるということである。つまり、現時点では価値があるとされている資源が実際にはそれほど価値を持たなかったり、あるいはその逆であったりするかもしれない。現時点では十分な知識がないために、今後の調査が進んだ際には合意に至るのに困難になるかもしれない要素がまだ出そろっていない。そのために各国が自国の利益を十分に予測できないがゆえに、むしろ合意に至りやすいというのである。彼によれば、たとえば宇宙条約の締結も、予測される利益のみならず、不確実性にも支えられていたというのだ。

### 4.3. 道徳的裏付け

キャッパーは、議論において自身の環境保護の主張の根拠に文化的伝統としての仏教（とくにアメリカ仏教）を用いている。キャッパーによれば仏教は土地の保全を歴史的に行ってきたおり、彼は現在の環境科学の概念と環境保護への仏教的価値観を組み合わせることを試みている。そして、自身の提案を裏付けるためにアメリカ合衆国の仏教徒<sup>34</sup>に対して調査を行っている。とくに彼らの倫理観の拡張のなされ方に焦点を当てて調査がなされており、質問は以下の通りである。

1. われわれの月およびその他の地球外の土地は、生物が存在しないとしても、価値を認められ、不当な害から保護されるべきである。
2. 仏教原理は可能な月の採掘と移住を導くために活用すべきであると思う。
3. われわれが可能な月の採掘と移住に関して仏教原理を用いるとするならば、これらの原理はどのようにあるべきか。（訳は筆者<sup>35</sup>）

1 つ目の質問に対する仏教徒の応答のうち 88%が、無生物の月が害から保護されることに賛成した<sup>36</sup>。このことに関して彼は、調査の対象であるアメリカ仏教徒は無生物である月に価値を認めているが、この月への非加害は（非）宗教的文脈<sup>37</sup>のなかでも採用されうる倫理的態度であると述べている。ただし、質問文中の不当な害（undue harm）が、具体的にどのような害を想定しているかは彼の議論からは不明である。また 2 の質問に関して 90%が月の採掘が仏教的価値観の権限のうちにあることに同意し、地球の倫理的価値や環境的

<sup>34</sup> アメリカ合衆国の仏教徒について月の自然保護について現代的な倫理的観点をわれわれに提供できる（can offer us capable contemporary ethical perspectives regarding lunar nature reserves）と述べている（Capper 2021: p. 6）。

<sup>35</sup> 回答形式に関する記載は省略したが、1 と 2 は strongly agree – strongly disagree までの 5 段階から選択する形式であり、3 は回答の選択肢を提示したうえでその他の回答も許容する形式である。

<sup>36</sup> 彼が対照させるために無作為の大学生相手に行った調査でも同様に月の保護が支持されている。

<sup>37</sup> “……an ethical attitude that may be adopted within any (non)religious context”（Capper 2021: p. 7）

価値が宇宙に応用されるとの考えを示している。また 3 の質問に対しては「相互に接続された宇宙」「無害」<sup>38</sup>が最も多く、このことは調査対象の多数が宇宙は時間や空間のあらゆるレベルで相互につながっているという仏教的概念に自身の倫理的価値観の基礎を置いているということを示している。彼によると、何千年にもわたって生態学的価値を持つ環境を保護してきた仏教の例と合わせて考えることで、このデータは彼の提案への倫理的な裏付けを示唆するという。

#### 4.4. 検討および第二節への応答

上述の議論は、月環境利用の利害対立および天体環境の破壊という第二節で述べられている倫理的課題に一定の解決を示しているにとらえられる。

まず、1 点目に月環境利用の利害対立という視点についてである。キャッパーは自身の提案において、科学研究とその他の用途の対立という点に関して、科学研究に必要な保護地区をあらかじめ用意しておくことでこの問題に答えつつ、商業その他の月利用との両立を可能<sup>39</sup>にしている。

また、科学的探究の対象として月においての人類の活動とその影響も今後想定されている。その点についても保護地区をその観察対象とすることで、そのような研究にも保護地区からのデータが使用できるだろうと述べており、科学研究に対するコミットメントが提示されている。ただし、月全てにおいて可能なかぎり人類の影響のない状態を必要とする科学が想定されているのであれば、彼の提案は効力を発揮しないだろう。

2 点目に天体環境の破壊についてである。彼の議論に則るのであれば、天体の破壊は避けようがないとされているが、彼は価値の重みづけをし、より重要な地域を守ることで甚大な価値の損失を避けようとしている。ただ、彼の議論では月が人間の文化や月の生態系を脅かす害を必ず受けなければならないとするのなら、その害は月の裏側に移されるべきであるとされているが、なぜその害が不可避であるかは述べられていない。また、懸念すべきは彼が保護地区以外の月面のほとんどは自由な産業や商業に開放されると述べていることで、それを認めた場合には重要な地域への環境破壊が避けられたとしてもかなりの規模の破壊が生じる可能性があるだろう。

## 5. まとめ

本稿では、月資源採掘における倫理的課題とその規制について議論した。第一節で法や協

<sup>38</sup> 彼は無害の原則も誰もが抱きうるものであると述べている (Capper. 2021)。

<sup>39</sup> この点はエルヴィスとミリガンの議論 (Elvis, Milligan 2019) と共通するところである。両者とも、科学研究と月資源採掘そのための商業活動が同時に行われることを前提として論じている。しかし、科学研究については両者ともに大きな価値を見出していることも確かであり、エルヴィスとミリガンはインベントリーの早急な作成を、キャッパーは科学研究のための保護区を提唱している。

定の観点から現在の月資源採掘をめぐる現状を概観し、明確な国際的規制が存在しないこと、アメリカ合衆国をはじめとする数か国が国内法によって採掘資源の所有権等を認めていることを示した。第二節では、月資源採掘において発生しうる倫理的課題として天体環境の破壊、月環境利用の利害対立、月資源の枯渇の3つを示した。また地球上の環境倫理学と比較し、月資源の問題は月が無生物であることを除けば、将来世代への問題や配分の問題といった共通の観点を持つことを示した。さらに第三節と第四節で、それら倫理的課題に対する応答となりうる規制の議論をふたつ取り上げて論じた。第三節では、開発可能な資源の8分の1のみをわれわれが使用できるものとみなすべきとするエルヴィスとミリガンの8分の1原理をとりあげ、それが月資源採掘に適用できる原理であることを示した。この原理はいくらかの批判がありうるものの、いかに宇宙開発を行うべきかという指針として意義があり、月資源の枯渇という問題に対する応答となりうる。しかし、この原理だけでは月に対する具体的な議論はできないことが問題としてあげられる。第四節では、キャッパの月面保護地区設定の議論を検討した。彼は区域ごとに様々な利用を認める保護地区を月面に設定することを提唱し、それがどのように形成されるべきかについても述べている。彼の議論は、用途に対応した保護地区を設置するという点で月環境利用の利害対立に対する応答となりうる。天体環境の破壊についても、破壊は避けられないながらも価値の重みづけによって重要と考えられる地域を守ることで価値の損失を避ける議論になっている。しかしながらそれ以外の地域に対しかなりの規模の破壊が及ぶことが懸念される。

最後に本節では、これまでの議論をまとめて、考えられる規制の形について述べる。筆者の考えでは、第三節および第四節で紹介した議論は両立しうるし相互補完的な働きをなすだろう。つまり資源の採掘量に関しては8分の1原理を原則として適用し、月の持つ個別の価値を保護するために保護地区を設定するということである。また、第四節の最後に示した懸念も解決される。保護地区の設定だけでは月の表面の多くは自由な商業や産業に開かれることになるが、8分の1原理をそこに適用することによって無秩序な採掘に歯止めをかけることができるだろう。

現行の国際的な規制や枠組みが乏しく、アメリカ合衆国を筆頭に資源採掘を進める枠組みが整いつつあるなか、これらの議論は倫理的課題に最低限応答しながらも現実性のある提案を行っていると考えられる。筆者は、月資源採掘をめぐる倫理的課題は喫緊の課題であるため、このような議論はその現実性を鑑みると有効であると考えられる。

しかし、本稿では月の資源採掘に対する懸念としてしばしば取り上げられる将来世代への責任という観点について深く掘り下げることができなかった。また、紹介した議論はいずれも商業化や資源採掘を一定の程度で認めることを前提とした議論だったが、その正当性や根拠についても十分に検討できなかった。さらに、各議論にて提示されていた道徳的背景の妥当性の検討も十分に行えなかった。これらは今後の課題としたい。

【参照】

- John Uri, "50 Years Ago: One Small Step, One Giant Leap", NASA, Jul 19. 2019, <https://www.nasa.gov/feature/50-years-ago-one-small-step-one-giant-leap>
- "NASA's Lunar Exploration Program Overview", NASA, Sep 2020, [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis\\_plan-20200921.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf)
- Artemis 1 Press Kit, NASA, <https://www.nasa.gov/specials/artemis-i-press-kit/>
- "GATEWAY", JAXA, <https://www.exploration.jaxa.jp/program/index.html>
- "嫦娥計画 (じょうがけいかく: Chang'e Project)", 月探査情報ステーション, <https://moonstation.jp/challenge/lex/chang-e>
- Moon Express ホームページ, Moon Express, <https://moonexpress.com/>
- Shackleton Energy Company ホームページ, Shackleton Energy Company, <http://www.shackletonenergy.com/overview#goingbacktothemoon>
- "2222 (XXI). Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies", UNITED NATIONS Office for Outer Space Affairs, <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>
- "1-2-2-5 月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約", 宇宙法, JAXA, [https://www.jaxa.jp/library/space\\_law/chapter\\_1/1-2-2-5\\_j.html](https://www.jaxa.jp/library/space_law/chapter_1/1-2-2-5_j.html)
- "Status of international agreements relating to activities in outer space as at 1 January 2004", United Nations treaties and principles on outer space Addendum, UNITED NATIONS Office for Outer Space Affairs, [https://www.unoosa.org/pdf/publications/ST\\_SPACE\\_11\\_Add1\\_Rev1E.pdf](https://www.unoosa.org/pdf/publications/ST_SPACE_11_Add1_Rev1E.pdf)
- "34/68. Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies", UNITED NATIONS Office for Outer Space Affairs, <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/moon-agreement.html>
- "2-2-2-20 月その他の天体における国家活動を律する協定", 宇宙法, JAXA, [https://www.jaxa.jp/library/space\\_law/chapter\\_2/2-2-2-20\\_j.html](https://www.jaxa.jp/library/space_law/chapter_2/2-2-2-20_j.html)
- "51 U.S. Code § 51303 - Asteroid resource and space resource rights", Legal Information Institute, <https://www.law.cornell.edu/uscode/text/51/51303>
- "宇宙資源の探査及び開発に関する事業活動の促進に関する法律", e-Gov, [https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=503AC0000000083\\_20211223\\_00000000000000](https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=503AC0000000083_20211223_00000000000000)
- "Artemis Accords", NASA, <https://www.nasa.gov/specials/artemis-accords/img/Artemis-Accords-signed-13Oct2020.pdf>

- 近藤圭介, 2018, 「宇宙資源の採掘に関する道徳的懸念 —制度設計に向けて理論構築できるか—」, 伊勢田哲治・神崎宣次・呉羽真 (編), 『宇宙倫理学』, 昭和堂, p.p. 199–214.
- M. Elvis, T. Milligan, 2019, “How much of the Solar System should we leave as wilderness?”, *Acta Astronautica*, 162, p.p. 574–580.
- D. Capper, 2021, “What Should We Do with Our Moon?: Ethics and Policy for Establishing International Multiuse Lunar Land Reserves”, *Space Policy*, 59, 101462.
- M. Elvis, A. Krolkowski, T. Miligan, 2020, “Concentrated lunar resources: imminent implications for governance and justice”, *Phil. Trans. R. Soc. A*, 379, 20190563.
- 神崎宣次, 2021, 「人類の生存と宇宙進出の問題」, 日本科学協会 (編), 『科学と倫理』, 中央公論新社, p.p. 185–200.
- 加藤尚武, 2020, 『環境倫理学のすすめ【増補新版】』, 丸善出版, p.p. 1–44.

\*インターネット上の文献は特に指定のない限りいずれも最終閲覧 2023 年 2 月 6 日

## 「宇宙開拓における科学者の倫理的価値」

### 概要：

資源は有限である。有限であるから競争が生まれ、時には紛争を引き起こす。宇宙開拓は多くの人にとって魅力的であるが、宇宙にある”資源”も有限であるため、競争を生む危険性を孕む。衝突のスケールは国単位で予想され、これによる多大な被害は避けるべきであろう。

宇宙開拓は地上における南極の開拓と類似点が多く、宇宙条約は南極条約をモデルケースとして作成されている。南極の開拓も紛争の可能性を孕んでいたのにも関わらず、現在まで戦争に至っていない。この”成功”には科学者の存在が大きいと指摘される。第二次世界大戦後から12年後の1957-1958年に行われた世界の科学者による大規模な共同研究が南極開拓を推し進め、結果的に1961年の南極条約締結という平和的な開拓を実現した。本研究では、科学者による南極開拓がなぜその平和的利用に結びついたのか考察し、宇宙開拓においても科学者の活動が平和的利用を実現する可能性について議論する。一方で、科学と軍事技術は共に発展してきた。甚大な被害を生んだ第二次世界大戦にも多くの科学者が関わったという史実が残っている。ここでなぜ科学者が加害者になったのかについて改めて考え、南極開拓における状況と比較しながら、宇宙開拓においてその平和的利用のための科学者の戦略を提案する。

### 章立て：

#### 1章 序論

#### 2章 南極の開拓における科学者

- 2.1 南極開拓の歴史
- 2.2 国際地球観測年と南極条約
- 2.3 科学が与える国際政治への影響

#### 3章 第二次世界大戦における科学者

- 3.1 軍事開発と基礎科学
- 3.2 第二次世界大戦における科学者
- 3.3 南極開拓における科学者との立場の違い

#### 4章 宇宙の開拓における科学者

#### 5章 まとめ

# 1 章 序論

現在、アルテミス計画<sup>1</sup>を始め人類による宇宙開拓が加速している。宇宙の開発により大きな富が得られることが期待される一方、その財の獲得に向けた競争が人類同士の衝突を生む危険性を孕む。衛星攻撃兵器 (ASAT) が開発され、アメリカなどでは宇宙軍<sup>2</sup>が発足されるなど、新たな戦争の場として宇宙の開発の準備が進んでおり、宇宙が新たな戦争の場として利用されることが危惧されている [例えば 1]。

宇宙の平和的利用のために参考にすべきは地球の南極大陸の開拓であろう。未知の土地の開拓として宇宙と南極の開拓は類似点が多く、宇宙における代表的な法である宇宙条約は南極条約を基に作成されている [例えば 2]。両条約は自然科学のために軍事利用を禁止することが主となっている。この南極条約をもって、現在まで南極で戦争が起きていないどころか、領土権を所有する国がない事実を踏まえて、その開拓は成功していると言えるだろう。その南極の開拓、そして南極条約の締結において、科学者<sup>3</sup>の存在が大きかったとされている。南極条約締結の前年までに国際地球観測年という国際的な科学観測が当時の研究者によって行われた。この活動で多くの成果が生まれたことがその南極条約締結に大きく貢献したと考えられている [3]。

しかしながら、科学の発展とともに軍事が発展してきたことも事実である。科学者の開発したものが直接戦争に使用されたものもある。その最たる例は原子爆弾であろう。このように、科学者はその惨禍に大きな貢献を果たしてしまった例もあり、現在の宇宙開拓に伴う戦争に科学が貢献しないためにも、科学者は今何を考えるべきであろうか。

宇宙開拓の最前線においても既に科学者の存在は大きい。科学者の存在・立場が宇宙開拓においてどういった影響をもたらすか、上記に挙げた事例をもとに、宇宙の平和的利用に向けて科学者が科学者としてどういった活動ができるかを議論したい。本研究では、このように歴史的背景を概観しながら宇宙開拓における科学者の倫理的価値について議論する。2章にて南極開拓における科学者の活動、3章にて科学と軍事開発の関係について述べる。4章にてそれぞれの情勢の中での科学者の立場の違いについて議論し、宇宙開拓において科学者が取るべき立場について提案する。最後に本研究で得た結論を5章にまとめる。

---

## 脚注

1. <https://www.nasa.gov/specials/artemis/>

2. <https://www.spaceforce.mil/>

3. 本研究において科学者と呼ぶときは、大まかに純粋科学の研究に従事するものを指す。

## 2章 南極の開拓における科学者

1章で述べたように、南極と宇宙の開拓には類似点は多い。1つ目に膨大な地下資源が期待される一方で、具体的な利用の目処は立っていない点である。南極は既に多くの調査が進められており、巨大な資源が眠っていることが指摘されている [4-5]。ただし、南極条約により保護されている点も大きい。現在も使用されていない。宇宙に関しても現在はまだ資源探査がされている段階であるが、現実的に地球ないしは宇宙で利用するという目処は立っていない。2つ目に科学観測・研究の場としても類似している。宇宙ではもちろん、大気・光害の影響を受けないため天文観測に最適の場となっており、多くの宇宙観測衛星が運用されている。さらには、衛星軌道を用いた相対性理論の検証 [6] であったり、無重力環境を生かした製薬の開発 [7] であったりと多様である。南極に関しても同様であり、気球実験から極地という特性を活かしたオーロラやオゾンホールを観測 [8-9]、さらには大きな氷をうまく利用した宇宙観測実験 [10] と多くの研究が行われている。3つ目に原子炉の設置場所としてよく候補に挙げられる点でも同じである。人がいない場所に設置することが望まれているため、月、南極は格好の場とされているようである [11-12]。

本章では、宇宙の開拓と類似性の大きい南極開拓において平和的利用が成功した理由について考察すべく、2.1節にて南極における開拓の歴史について概観し、2.2節でそのマイルストーンとなった国際地球観測年について述べ、2.3節に南極条約において科学者の活動がどう影響したのか議論する。

### 2.1 南極開拓の歴史

表1に南極条約の歴史をまとめる。南極の発見は1820年頃であり、ロシア・イギリス・アメリカの3カ国がそれぞれ独立に発見を主張した。その後、イギリスに始まり、日本も含めた数カ国が領有権を主張した。日本はその後第二次世界大戦敗戦後1951年、サンフランシスコ平和条約によりその領有権の放棄を強制されたが、1950年代前半までは図1に示すような国々が南極の領有権を主張していた [13-15]。

表1、南極条約の歴史 [13-15]

年	出来事
1820 頃	南極を発見 (ロシア・イギリス・アメリカがそれぞれ独立に主張)
1908	イギリスが南極地域の一部に対して領有権を主張 ニュージーランド・フランス・ノルウェー・オーストラリア・日本なども領有権を主張。領有権を主張する国、認めない国に分かれ、緊迫した状況が続く。 (例、1952年にアルゼンチン軍によるイギリス隊員への銃撃事件)
1957-1958	国際地球観測年
1959	南極条約が12カ国により採択
1961	南極条約発効
1972	「南極のあらざしの保存に関する条約」が締結
1980	「南極の海洋生物資源の保存に関する条約」が締結
1991	「環境保護に関する南極条約議定書」が締結
現在	南極条約: 締約国 54カ国

その後、次節で詳しく述べる国際地球観測年を経て、1959年に南極条約が締結され、すべての国がその領有権を撤回するに至った。これは現在まで続いており、南極条約が大きな成功であったとされる所以である。

## 2.2 国際地球観測年と南極条約

国際地球観測年（1957–1958年）とは地球上に発生する諸種の自然現象（極地の気象、地磁気、オーロラ等）を全地球的規模のもとに国際協力によって観測・調査する年のことである。これは、第三回国際極年の別名であり、国際極年は第一回が1882–1883年、第二回が1932–1933

年、第四回が2007–2008年に行われている。この国際地球観測年における主な成果として、世界初のロケット・人工衛星の打ち上げ成功、地球の磁場構造、バン・アレン帯の発見、そして、南極での観測の開始、日本にとっても昭和基地の設営などが挙げられる [16]。特に、世界初の人工衛星はロシアが成功したものであり、当時のアメリカに対して大きな衝撃を与えたことから、その人工衛星の名にちなんで「スプートニク・ショック」と呼ばれている。

そして、1958年にはアメリカを筆頭に科学的な協力体制が取るための条約締結に向けて動き始めたとされる [17]。南極条約によって、これまで争いの元凶であった南極の領土権を凍結され、各国の平和的利用の礎が築かれた。

## 2.3 科学が与える国際政治への影響

ではなぜ国際地球観測年といった科学者の活動が南極条約の締結へと導き、結果として平和的利用が達成されたであろうか。

そこを解釈する方法の一つとして、「ソフトパワー」の概念を用いることができる [18, 19]。宇宙システムにおいてソフトパワーはハードパワーと分けて定義される。ハードパワーとは警察力や軍事力といった物理的強制手段と、資金援助や投資、資源といった経済的資源を活用して他者に特定の行動を強制する政治的な力のことを指し、ソフトパワーは強制や政治的利益ではなく、魅力によって生み出される影響力のことであり、その魅力とは文化・政治的理念・政策などが含まれている。特に、宇宙開発そのものがグラマラスな事業分野であり、ニュースとしての価値が高く、自国の国家威信を示す絶好の機会であり、他国との差異化を図る上で、極めて可視的なインパクトを与えるものという特性がある [19]。前述の国際地球観測年におけるスプートニク・ショックに引き続き、1961年にはユーリ・ガガーリンを乗せたヴォストーク1号によって人類初の有人宇宙飛行が成し遂げられた。これらの出来事が、アメリカにおける宇宙開発が平和裏に行うミサイル開発というハードパワーの獲得を目指したのから、自国の技術的優位性を証明するというソフトパワーの獲得を優先する方向へと転換した。結果、当時のアメリカにおいて、直接的な軍事開発の予算が減少し、宇宙開発事業の予算が増大することとなった。このように、大きな科学成果が国際政治に大きな影響を与えることがわかる。南極開拓

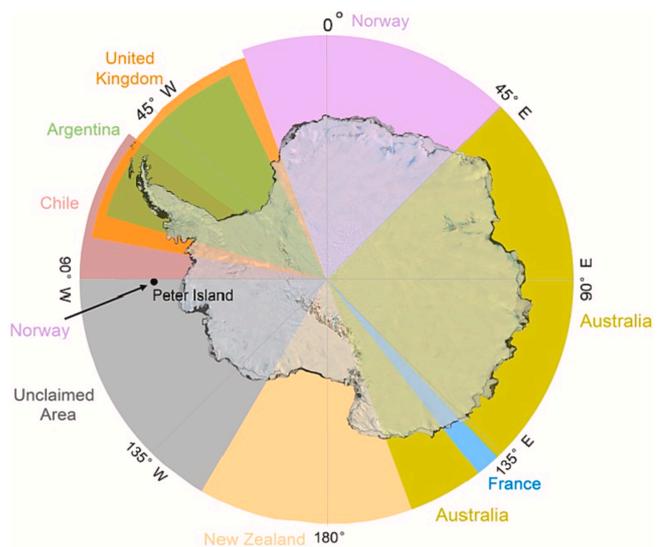


図1、南極の領有権を主張した国々 [5]

においても、上記の国際地球観測年が国際政治に与えた影響と同様な圧力が働いたとも予想できる。結果として、目の前の領土の奪い合いよりも、各国において科学者がさらなる成果を上げソフトパワーとしての政治成果を望んだ結果が、南極の平和利用につながったのだと考えられる。

さらに、戦争直後という緊迫した国際情勢において科学者によって国際協力研究を行った意義も大きいと考える。国際地球観測年に第二次世界大戦の戦争国である日本が参加でき、南極条約締結の最初の12カ国の一つとして肩を並べられたことから、国際的な圧力に対し科学者の自由が優先されたと言える。国際地球観測年における日本の参加の経緯は、オーストラリア・ニュージーランドによる反対があったものの、朝日新聞の資金援助、米ソの参加科学者への根回しがあって、幾多の賛成論、反対論、修正論の応酬が交錯した後、日本の参加が容認されたようである [12]。当時の日本の代表であった永田氏も「政治的イデオロギーが極端に異なる二国を含め、全世界が一つの組織のもとに有効な協力態勢を保って、自然現象の究明にあたることが実は可能である」と述べている [20]。このことから、当時の科学者たちが政治という枠を超えて活動していたことが伺え、そして、この積極的な国際共同研究が国際政治に影響を与えたのだと考えられる。

## 3章 第二次世界大戦における科学者

2章において、科学者による活動が南極という未知の土地の開拓において平和的な利用を促進したというある種の成功例を紹介した。ただし、科学者の活動が常に平和的な結果を導いてきたわけではない。その最たる例が第二次世界大戦における原子爆弾の開発であろう。本章では、節 3.1 で科学者と軍事開発との関係性について述べ、節 3.2 において第二次世界大戦下での科学者の活動について述べる。

### 3.1 軍事開発と基礎科学

科学の発展と軍事の発展は切っても切り離せないものである。例えば天文学分野においても、ガリレオ・ガリレイ (1564–1642) は自ら制作した望遠鏡を用いて多くの天体現象を解明し、科学の父とまで呼ばれるようになったが、当時の欧州では争いが多く軍事応用のための望遠鏡も開発され、ガリレオ・ガリレイもこの一幕に関わっていたと述べられている [21]。一方で軍事開発が天文学の発展に影響した例もある。1967年、核実験監視衛星 Vela (USA) によって当時の新天体種「ガンマ線バースト」が発見された [例えば 22]。ガンマ線バーストとは太陽がその一生をかけて放出するエネルギーをわずか数秒で放出する宇宙最大の爆発現象であり、相対論的ジェットを伴う天体である。その予想外の発見をきっかけに、CGRO (USA, 1991)、Beppo SAX (Italy, 1996) などこの天体種の観測を目的とした天文衛星が多く打上げられ、多くの天体物理学者によって研究が盛んに行われている。

軍事研究とそれ以外の研究の線引きは非常に難しく、議論は多岐にわたる [例えば 23–24]。ただし、多くの文献において明確な線引きはできず、議論を促進することを提案するにとどまっている。

### 3.2 第二次世界大戦における科学者

3.1 節では科学の発展と軍事の発展が表裏一体である事実について述べたが、これらにおいて科学者・研究者のすべてが積極的に軍事開発を行いたいと考えていたわけではない。これは当たり前のように聞こえるが、第二次世界大戦時はそうではない状況であったことが伺える。第二次世界大戦下において、多くの科学者がその戦争の影響を受けた。その大きな例の一つとしてマンハッタン計画が挙げられる。マンハッタン計画とは、第二次世界大戦下、アメリカ・イギリス・カナダが原子爆弾の開発のために科学者・技術者を総動員した計画のことである。この第二次世界大戦を象徴する原子爆弾の開発には多くの著名な科学者が参加している [25]。結果として、第二次世界大戦下に軍事応用された主な科学技術として次のようなものがある。

- ・原子物理の理解
- ・爆縮レンズ法の開発
- ・プルトニウムの連鎖反応。長崎に投下された Fat man と同型
- ・同時係数法の開発。原子爆弾実験用放射線モニターとして利用
- ・レーダー技術の開発

原子爆弾の開発は当時の研究者の望んだものだったのであったのかもしれないが、その使用を望んでいたわけではない。例えば、物理学者アルベルト・アインシュタインは「私は常に日本への原爆投下を非難してきたが、あの運命的な決断を阻止するために何もできなかった」とい

う言葉を残している [26]。他にも、天文学者ブルーノ・ロッシの言葉にも「多くの同僚たちと同様に、私は爆弾により日本が降伏するように、血を伴わないデモンストレーションとして使用されることを期待していたのである」とある [27]。戦禍の日本においても、軍事研究が推奨された経緯があったとされる [28]。戦後、学術と軍事の決別を図るため日本学術会議の設立に至っている [29]。

### 3.3 南極開拓における科学者との立場の違い

ここまで、前章で科学者の国際政治への貢献という意味では成功例と言える南極開拓における科学者の活動、前説では失敗例と言える第二次世界大戦下における活動について述べた。この二つの歴史的な出来事における状況の違いとして、まず戦時中と戦後という違いがある。これに伴い、多くの科学者が純粋科学という近くない未来に役に立つ可能性があることよりも、目の前の戦争に対する活動を優先せざるをえなかった状況であったことが予想できる。

学術における研究費は財団法人や民間企業からもあるが、基礎科学のような民間企業で扱われることの少ない分野では研究資金を国から得る場合が多い。したがって、研究者は国政の影響を受ける可能性が十二分にある。近年、防衛省より安全保障技術推進制度により 100 億円規模の競争的資金の公募がある [30]。研究によっては国防総省の研究との関連性が少ないと考えられるが、日本の安全保障技術研究推進制度の研究と天文学との関連分野について次の 7 項目が挙げられ、関連する可能性があること示唆される [29]。

- ・ 赤外線光学材料に関する基礎研究
- ・ 冷却原子気体を利用した超高性能センサー技術に関する基礎研究
- ・ 大気補償光学に関する基礎研究
- ・ 高出力レーザーに関する基礎研究
- ・ 高速化演算手法に関する基礎研究
- ・ 対象物体自動抽出技術に関する基礎研究
- ・ 人と人工知能との共同に関する基礎研究

そもそも安全保障研究が非だとすることは難しいが、[23] によればこの資金を用いた研究は軍事研究とみなされることになる。しかしながら、資金が得られず満足に研究ができていない科学者にとって資金を選ぶ余裕はなく、研究者にとっての意図でなくとも安全保障の研究を進めることがあり得る。つまり、研究資金源が全てこうした安全保障研究に関わる公募に置き換われば、必然的に多くの研究者が軍事研究を行うことになる可能性もある。こうした国政と科学研究の結びつきは、上記のような第二次世界大戦時の科学者の活動の幅をより狭めてしまった可能性がある。

一方で、南極開拓・国際地球観測年時においては、日本でも学術会議が設立直後であり、こうした科学の自由が促進される背景があったと予想される。結果として、ロシア (当時はソ連)、アメリカといった敵国であった国の研究者とも共同研究することができたのだと考えられる。

## 4章 宇宙の開拓における科学者

ここまで、南極開拓の歴史と科学（第2章）と軍事開発と科学の関係性（第3章）について議論し、それぞれ科学が国際政治与える影響と国際政治が科学に与える影響について考察した。本章では、上記を踏まえて宇宙開拓において科学者が科学者としてどういった戦略が立てられるのかを考えてみる。

第2章にて述べたが、宇宙と南極の開拓は類似しており、科学者の活動が南極開拓における紛争を抑制したことが事実であれば、科学者による月・火星の開拓は戦争を伴わない開拓を実現することが期待できる。一方で、第3章で述べたように、国際政治における科学のバランスが崩れた時、その戦争に伴う被害を増大する可能性がある。では、その国際政治における科学の力が担保されている限り、宇宙開拓における科学者の活動は宇宙の平和的利用を促進するものなのだろうか。

宇宙開拓における例として、国際宇宙ステーション (ISS) での活動が挙げられる。ISS では多様な国の研究者により利用されており、そういった意味では南極開拓のように国際共同研究による宇宙開拓が行われているとみなすこともできる。特に、ロシアによるウクライナ侵攻により他国との緊張関係が高まったにもかかわらず、ロシア人宇宙飛行士がISSでの活動できたことは [31]、戦争の被害の拡大を止める方向に働いたのではないかと推測される。しかしながら、このウクライナ侵攻による影響を科学者が受けていないわけではなく、実際にロシアとの国際共同研究の一部に支障が出ている [32]。こうした政治的活動により科学者の活動が狭められる事態は避けるべきであろう。現代の科学者による宇宙開拓が宇宙の平和的利用を実現するか否かは、地上におけるこの問題を克服し、日本が戦後間も無く国際地球観測年に参加できたように、ロシアとの国際共同研究を継続・新規に始められるかが一つの目安になるだろう。

また、科学者による先駆的な宇宙開拓を通して、現在の宇宙条約がより洗練されることも期待できる。ここまでに南極条約と宇宙条約が類似していることを指摘したが、一部相違があることも指摘されている。その一つに発効してから新たに追加される制度が未だ少ないことが挙げられる [2]。表1に挙げたように南極条約は発効後にいくつかの制度が追加されている。一方で南極条約のシステムができてから国際共同研究が増えた事例も報告されており [33]、こうした制度の修正と国際的な結びつきの強さに相関があることが示唆される。科学者による大規模な国際協力による宇宙開拓によって、宇宙の法の整備が進むことが期待できる。

他としては、地球の北極の開拓においてもこの仮説が適応されるのかが議論の余地がある。地球温暖化による氷（永久凍土）の溶解に伴う資源開発が進み天然資源の埋蔵量としては世界の22-25%程度あるとされている [34]。北極は南極と同じく国際地球観測年において観測が進められた一方で [35]、法の整備を進めるべきだと指摘されているものの南極条約のような法の整備が進んでいない [36]。なぜ、南極条約ができた一方で北極の条約はできなかったのか、その詳細を吟味することで、今回の議論をより強固にできる可能性がある。

## 5章 まとめ

本研究では、南極開拓と宇宙開拓の類似性から、南極開拓における科学者の活動について焦点を当てその南極開拓成功の要因について考察した。結果として、国際地球観測年という国際的な巨大な共同研究の中で得られた科学者の成果が、宇宙システムにおけるソフトパワーとしての価値を与え、国際政治において大きな影響を与えた可能性があることがわかった。

一方で、科学と軍事というのは本来切り離せないものであり、そのネガティブな例の一つである第二次世界大戦における科学者の活動についても考察した。この南極開拓と戦争下における科学者の活動の違いは、国際政治と科学のバランスの違いによって生じたものであり、そのバランスが保たれている場合は、科学者の科学者としての活動が宇宙開拓においてもその平和的利用を促進する要因になり得ることを示した。

現在、アルテミス計画をはじめとした月や火星の開拓において、その最前線に科学者が立って国際科学利用を進めることにより、宇宙の平和的利用の実現に貢献できる可能性があることが期待できる。今後、ロシアによるウクライナ侵攻によって一部影響を受けている国際共同研究において、日本が戦後間もなく国際地球観測年に参加できたように、その共同研究を今後も進められるか、そして、新たな大規模な国際共同研究が始められるかが一つのテストになるだろう。宇宙開拓における科学者の倫理的価値が試される。

## 参考文献：

- [1] 伊勢田哲治他, 2018, “宇宙倫理学”, 昭和堂
- [2] Race, Margaret S., 2011, "Policies for Scientific Exploration and Environmental Protection: Comparison of the Antarctic and Outer Space Treaties." in *Science Diplomacy: Antarctica, Science, and the Governance of International Spaces*, edited by Berkman, Paul Arthur, Lang, Michael A., Walton, David W. H., and Young, Oran R., pp. 143–152.
- [3] H. Rolston, 2002, “Environmental Ethics in Antarctica”, *Environmental Ethics*, Vol 24, Issue 2, pp 115–134
- [4] N. A. Wright and P.L. Williams, 1974, “Mineral Resources of Antarctica”, *Geological survey circular*, 705, p.1
- [5] P. G. Talalay and N. Zhang, 2022, “Antarctic mineral resources: Looking to the future of the Environmental Protocol”, *Earth-Science Reviews*, 232, 104142
- [6] C. W. F. Everitt et al., 2011, “Gravity Probe B: Final Results of a Space Experiment to Test General Relativity”, *Physical Review Letters*, 106, 221101
- [7] Hiroaki Tanaka et al., 2012, “Improved protein crystallization technology in microgravity”, *Space Utiliz Res*, Vol. 28, pp. 98–101
- [8] 海老原祐輔, 2007, “オーロラを探る”, *Japan Geoscience Letters* Vol.3, No. 1, pp. 4–6
- [9] 佐藤薫, 2007, “極域の大気とオゾンホール”, *Japan Geoscience Letters* Vol.3, No. 1, pp. 6–8
- [10] <https://icecube.wisc.edu/>
- [11] <https://forbesjapan.com/articles/detail/44835>
- [12] 友次晋介, 2013, “日本の南極への関与 1910–1963”, *年報政治学*, Vol. 64, No. 1, pp. 360–380
- [13] <https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/pr/wakaru/topics/vol31/index.html>
- [14] <https://www.polewards.com/about-antarctic-treaty/>
- [15] <https://spacemedia.jp/spacebis/437>
- [16] 河野長, 2009, “国際地球観測年(IGY)における日本の活動の意義と日本学術会議”, *学術の動向* Vol. 14, No. 5, pp. 56–59
- [17] <https://www.polewards.com/about-igy/>
- [18] J. S. Nye, 2003, “The Paradox of American Power: Why the World's Only Superpower Can't Go It Alone”, Oxford Academic,
- [19] 鈴木一人, 2011, “宇宙開発と国際政治”, 岩波書店
- [20] 永田武, 1955, “国際地球観測年について”, *生産研究*, Vol. 7, No. 8, pp.179–180
- [21] Neil deGrasse Tyson and Avis Lang (北川蒼/國方賢訳), 2019, “宇宙の地政学 科学者・軍事・武器ビジネス上”, 原書房
- [22] 河合誠之, 深沢泰司, 2013, “宇宙最大の爆発：ガンマ線バースト”, *学術の動向*, Vol. 18, No. 11, pp. 64–70
- [23] 眞嶋俊造, 2022, “何がその研究を軍事研究とするのか—分類と事例から考える”, *社会と倫理*, Vol. 35, pp.187–199
- [24] J. Ryberg, 2003, “Ethics and Military Research”, In: Boof-Bavnbe, B., Høyrup, J. (eds) *Mathematics and War*. Birkhäuser, Basel.
- [25] 井原總, 1983, “マンハッタン計画の全体像について”, *茨城大学教養部紀要*, Vol. 16
- [26] <https://www.theguardian.com/science/2005/jul/05/japan.internationaleducationnews>
- [27] ブルーノ ロッシ (小田稔訳), 1993, “物理学者ブルーノ・ロッシ自伝—X線天文学のパイオニア”, 中央公論社
- [28] 河村豊, “戦時下日本で、科学者はどのように軍事研究にかかわったか”, *日本天文月報*, 2018年3月

- [29] 須藤靖, “安全保障に関する日本学術会議声明-若手天文学研究者に向けて-“, 日本天文月報, 2017年11月
- [30] <https://www.mod.go.jp/atla/funding.html>
- [31] <https://www.cnn.co.jp/fringe/35186926.html>
- [32] Toni Feder, 2022, “In Ukraine, science will need rebuilding postwar; in Russia, its isolation could endure”, *Physics Today*, 75 (6) 22
- [33] Aguiar, 2019, “The Antarctica Treaty System and the promotion of international scientific cooperation: an evaluation of the regime”, *Estudios Internacionales* Vol.51, No.194, pp.43-73
- [34] <https://www.polewards.com/antarctic-and-arctic-resource/>
- [35] Y.S. Lyubovtseva et al., 2020, “Sixtieth anniversary of the International Geophysical Year (1957–2017) – contribution of the Soviet Union”, *History of Geo- and Space Sciences*, Vol. 11, No. 2, pp. 157–171
- [36] A. Tonami, 2017, “Influencing the imagined ‘polar regions’: the politics of Japan’s Arctic and Antarctic policies”, *Polar Record* 53, 5, pp. 489–497  
(上記の URL は 2 月 6 日閲覧)

宇宙飛行の乗員増加に伴う医療サポート体制の検討

経営管理大学院 M2

7530333589 阪田哲史

## 1 はじめに

本稿では、宇宙船の収容人数増加に伴う乗員の健康管理方法の変化と課題について、倫理的観点から検討する。

宇宙への進出というテーマを考える際に、有人か無人かという切り分け方が出来るが、前者であればアメリカ合衆国政府が出資するアルテミス計画が進行中のプロジェクトとしては世界をリードしており、後者についてはスペース X 社が構築するスターリンクの様なメガコンステレーションの増加が想定されている。そのような 2023 年初頭にあつて、有人宇宙飛行を巡る環境の変化によって起こり得る事柄を検討することは、今後の有人宇宙飛行がより円滑に行われることに資すると考える。

現状では、例えば立花(2010)によれば JAXA において宇宙飛行士 1 名に対してフライト・サージャンが 1 名任命される。フライト・サージャンは宇宙には上がらず、NASA の飛行場から宇宙飛行士の健康管理を行う。今の宇宙船は 7 名程度の定員だが、近い将来にアルテミス計画が想定するような形で 1 度のフライト定員が 100 名近くまで増えることになる際に、様々な前提をあらためざるを得なくなるだろう。その中でも重要な要素として、乗員の健康管理の問題が挙げられる。

今行われている健康管理の方法はそのまま適用可能なのか、そうでなければどのような点を考慮すべきなのか。次節以降でフライト・サージャンを中心とした健康管理の現状を確認したうえで、有人飛行で想定される変化を踏まえて管理の在り方を考える。また類似事例として海洋船舶での船員の健康管理について比べる形で検討を行う。

## 2 フライト・サージャン (FS) の役割と宇宙での健康管理

フライト・サージャンとは、どのような役割を担っているのだろうか。緒方(2009)によればいくつかの分類が指摘されているが、本稿では宇宙飛行士の健康を管理する医師、特に JAXA が行う業務の担当者を論じる。JAXA ではミッションにアサインされた宇宙飛行士に対して専任の FS が任命される。嶋田(2014)によれば日本において FS は、ISS での自国の宇宙飛行士の健康管理を行うため 1992 年より運用開始されている。現在 JAXA には 6 名の宇宙飛行士がエントリーされているとともに、2020 年時点で 5 名の FS が勤務している。宇宙飛行士の選抜から始まり、定期的な医学検査、リスクの高い地上訓練や飛行任務中（飛行前、打ち上げ時、飛行中、帰還時、リハビリ）の健康管理運用を行う。

以下に JAXA が掲げる FS の果たす役割を宇宙ステーション・きぼう JAXA 広報・情報センターの解説ページより抜粋する。

1. 宇宙飛行士の医学基準、医学運用手順を国内・国際調整を経て設定。

2. 宇宙飛行士の日常健康管理・年次医学検査・医学審査準備。
3. 宇宙飛行士の訓練時の医学管理と緊急時対応。
4. ミッションに任命された宇宙飛行士の専任 FS (宇宙飛行士の任務期間中の担当として指名された FS を JAXA では「専任 FS」と呼んでいます) として、ミッション前後の医学検査・健康管理の実施とミッション中の医学運用・緊急時対応。
5. 宇宙飛行士候補者の募集・選抜のうち、医学及び心理学試験。
6. 組織の計画・資金・人員等の管理 (管理職)。
7. JAXA が実施する研究開発の被験者等の医学管理。
8. JAXA 低圧試験設備を用いた試験参加者の医学管理。
9. 宇宙飛行士健康管理技術の研究開発。

(出典:<https://iss.jaxa.jp/med/healthcare/supporting/surgeon/>)

私たちが宇宙飛行士の健康管理と聞くと、主に 4 のミッション前後の医学検査・健康管理とミッション中の医学運用・緊急時対応を思い浮かべるだろう。それに加えて、訓練時や日常の健康管理・対応である 2 や 3 も比較的イメージしやすいかもしれない。

1 の医学基準の設定や 6 の管理職としての業務、9 の研究開発まで含めると、フライト・サージャンは BME (医療システム技師) など他の専門家と連携しながら広汎で膨大な量の業務を担っている側面を持っていること、様々な意思決定の権限を以て特定の宇宙飛行士たちのためにサポートを行っていることが伺える。

冒頭で述べたようにフライト・サージャンは地上から宇宙飛行士の健康管理を行うため、宇宙船内で医療行為が必要になったとしても対応が出来ない。その際に医療行為を行う担当として、クルー・メディカル・オフィサー(CMO)が任命される。彼／彼女らは医学検査以外にも、軌道上で宇宙飛行士が体調を崩したり、怪我をした場合に、地上のフライト・サージャンの助言をもとに、搭載している薬や医療器具を用いて治療を行うことが出来る。

現状、宇宙飛行士に対して人的リソースという観点では非常に手厚いケアを想定していると言えよう。そしてそのケアを担う中心的存在としてフライト・サージャンが位置付けられていることが分かる。

### 3 想定されうる宇宙飛行の形と健康管理

ではなぜ、フライト・サージャンは宇宙飛行士に対してそのような手厚いケアを行っているのか。要因として、宇宙に行けること自体が希少である点や、宇宙に行くことが人体に与える影響など調べる必要がある点、また健康不良や死亡による軍事機密の漏洩を防ぐ必要がある点などが挙げられる。本稿では宇宙飛行の希少性に関する視点から論を進める。

2011 年までに 135 回打ち上げられた OV-105 エンデバー号では定員 7 名となる。一方でアルテミス計画において NASA から月着陸船として想定されているスペース X 社のスターシップでは定員が 100 名、エンデバー号からは約 14 倍の増加となる。

例えば 100 名の乗員に対し、100 名のフライト・サージャンを手当てするのだろうか？

また、スターシップは所有が私企業であるため、宇宙旅行など様々な活用方法が想定される。宇宙への旅行と言え、2021 年の前澤友作氏が記憶に新しい。彼は実業家であり、エンジニアではないし医師でもない。一般的には宇宙旅行者（旅客）と言えよう。宇宙旅行が出来るということは、乗員が宇宙飛行士と旅客に分かれる可能性が高い。フライト・サージャンが引き続き地上で健康管理を担う場合、何名のクルー・メディカル・オフィサー（CMO）を手当てすればよいのだろうか？

1 点目の疑問に対しては、宇宙船の運航主体が民間に移っていく過程でビジネスとしての収支が今までよりも重視され、積極的に実装される可能性は低いと考える。前節の FS に期待される役割を見るに、管理職としての役割や、医療基準の策定など、必ずしも全員が行う必要のない役割が含まれていることを指摘できる。また、1 人の健康を管理することと 100 人の健康の管理することは全く異なる業務なので、管理手法自体を再設計する必要性を指摘できる。

その際に、良い管理方法を検討するために何が必要なのだろうか。既に確立されている安全衛生管理の手法を踏まえることが考えられるため、次節にて類似事例を確認する。

2 点目の疑問についても、クルー・メディカル・オフィサーを設置すべきなのか、フライト・サージャンが宇宙船に乗り込むことが望ましいのか、また両者の併用が望ましいのかを検討することは価値があるだろう。5 節にて検討する。

#### 4 類似事例（船医）との比較

宇宙船における健康管理体制を考えてきたが、類似事例から示唆を得られる可能性を考える。

船舶においては各国で法律が整備されており、日本船籍の船は日本の船員法第 82 条によって、船医の配置が「近海区域以遠を航行する 3,000 t 以上の船舶で、最大搭載人員 100 人以上（国内各港間のみを航海する場合を除く）」と定められている。船医を設置せずとも、衛生管理者を設置する基準が明快だ。

船医・衛生管理者の役割および衛生管理者の資格要件は国土交通省海事局に資料より以下に挙げる通りとなる。

##### 【船医および衛生管理者の役割】

1. 船員の健康管理及び保健指導に関すること。（※衛生管理者は、緊急時には医師の助言等を受け投薬・注射も可能）
2. 船内の作業環境衛生及び居住環境衛生の保持に関すること。
3. 食料及び用水の衛生の保持に関すること。
4. 医薬品その他の衛生用品、医療書、衛生保護具等の整備及び点検に関すること。
5. 船内の衛生管理に関する記録の作成及び管理に関すること。
6. その他船内の衛生管理に関すること。

【衛生管理者の資格要件】※船舶に乗り組む医師及び衛生管理者に関する省令第 12 条

- ・衛生管理者試験に合格した者
- ・医師、看護師等の医療系国家資格を有する者
- ・商船大学、商船高専、水産系高校で関連科目を履修し、かつ国交大臣登録講習を修了した者等

フライト・サージャンが期待される役割と比べて船医および衛生管理者の役割は、船内衛生の保持という観点で重視されていることや、記録の作成といった具体的な実務に踏み込んだ内容であることが伺える。

船医および衛生管理者がフライト・サージャンと異なる点として、外部環境の不確実性が高い。船の航海においては過去からの蓄積によりリスクコントロールが比較的容易であるのに対し、宇宙船においては重力や宇宙線といった地上では想定されない事項の影響が考えられるものの、影響や対処方法などわからないことが多く、まずは乗員の状況把握のための体制を整備することが望ましいのではないかと考えられる。

別途、海容船舶においては令和 5 年 4 月より法律の改正で、船員の働き方改革の一貫として産業医の設置が制度として導入されようとしている。

## 5 FS の乗船について

前節までを踏まえ、FS は地上で宇宙飛行士の健康管理業務に就いている点を述べたが、その状況は改善すべきだろうか。具体的に医師が現場に必要な存在である要素としては、対面での問診や手術などの医療行為の必要性が考えられる。本稿では医師による医療行為が必要な場面が存在するという前提で論じていく。3つのケース、将来的に FS が乗船して健康管理する場合、現状維持（CMO に依頼）の場合、FS と CMO を併用する場合といった選択肢が考えられるが、船舶での場合にはその航海の目的や乗員数といった要素で場合分けがなされており、宇宙船においても場合分けが考えられる。

宇宙飛行の目的という観点では、今のところ ISS と地上の行き来など限られている場合に FS が乗船していなくても CMO の存在により安全が担保できている。しかし今後は月の周回や火星など宇宙飛行の目的が広がっていくことが予想され、フライト日数が増加することですぐに地上に戻ることが難しくなる。そうすれば大気圏外で治療を完了させる前提で、FS が宇宙船内で勤務している必要性は高まるだろう。

また、FS が乗船していたとしてもスターシップの様な 100 名を超える乗員数の場合には FS だけでは対応が難しくなることも考えられ、CMO のように医師の代替業務がある程度行える存在や看護師の様な医師をサポートする専門家とのチームでの医療体制の整備が必要になると考えられる。

まとめると今後の宇宙での活動の広がりに応じて、乗船することも踏まえ、柔軟に FS の

運用方法が多様化していくものと考えられる。

## 6 終わりに

現状において宇宙飛行士はフライト・サージャン等によって恵まれた医療リソースを配分されている状況である一方、背景に有人宇宙飛行の希少性の観点があったことを確認した。今後は宇宙船の乗員数増加による健康管理体制の再設計が考えられる中で、FSの乗船や他の乗員との連携を含めたより良い制度設計をどのように行うかが重要であることを指摘した。

またその際に、船医等に期待される役割を参考にしたが、現状のようにFSが宇宙船に同乗しない形が否定されるわけではなく、船舶においても衛生管理者のみで管理が行われている。船医とFSの違いとして、宇宙における人体のことは不明点が多いことを考慮することも指摘した。

一方でFSが宇宙においてどのような患者に対応するのかという点や、乗員が増える際に、宇宙船の航行を業務とする船員と観光客など非船員に分かれる点については本稿で論じておらず今後の論点として考えられる。

今後宇宙旅行が少しずつ身近になるにつれ、宇宙での健康管理は引き続き重要な関心事項として検討されるだろう。その際に本検討が参考になることを期待する。

### <参考文献>

- ・ 嶋田和人, 国際宇宙ステーション医学運用と JAXA 航空宇宙医師, 宇宙航空環境医学 Vol 51, No. 1, pp. 13–18, 2014
- ・ 立花正一, 有人宇宙開発と宇宙飛行士の健康管理について, 日本温泉紀行物理医学会雑誌 74 巻 1 号, pp. 25–26, 2010
- ・ 緒方克彦, フライトサージャンと航空医学, 第 19 回病態生理学会, pp. 28–34, 2009
- ・ 宇宙ステーション・きぼう JAXA 広報・情報センター, 宇宙飛行士の健康管理 医療支援チーム, <https://iss.jaxa.jp/med/healthcare/supporting/medical/> (2023 年 2 月 6 日閲覧)
- ・ JAXA, 宇宙のしごと JAXA 宇宙飛行士, <https://humans-in-space.jaxa.jp/space-job/astronaut/> (2023 年 2 月 6 日閲覧)
- ・ 国土交通省, 船員法施行規則等の改正 (船員の健康確保①), <https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001470636.pdf> (2023 年 2 月 6 日閲覧)
- ・ 国土交通省海事局, 資料 1 「船員向け産業医の役割について」, <https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001340479.pdf> (2023 年 2 月 6 日閲覧)

## 宇宙エレベータと倫理

—科学技術的課題の解消のみが宇宙エレベータ実現への条件か—

2023.2.6

所属：京都大学工学部地球工学科 二回

学籍番号：1023337396

氏名；鈴木聡平

## 目次

1. はじめに
2. 宇宙エレベータとは
3. 宇宙エレベータの科学技術的な課題
4. 宇宙エレベータが建設、運転されている未来と倫理的懸念  
    宇宙エレベータを建設した星を題材にした寓話～「地球」の未来～
  - (ア) megumi による貧富の差
  - (イ) 宇宙の支配
  - (ウ) 宇宙開発の急加速
  - (エ) 宇宙 EV が象徴するもの
5. 結論
6. 結びに
7. 謝辞
8. 参考文献

## 1. はじめに

1969年のアポロ計画から50年が過ぎ再び月面に人を送り込もうとアルテミス計画が話題になり、いよいよ宇宙開発が進みそうな雰囲気が流れている時代である。宇宙エレベータと聞いてなじみのある人は多くないだろうが、これの建設を企てている組織も存在する。2017年には中国の国営新華社通信が2045年までに宇宙エレベータを建設することを望んでいる旨を発表し<sup>1)</sup>、アメリカではNASAの援助を受けたLIFTPORT GROUPという企業、日本では大林組をはじめとした企業や大学がその実現に向けて研究をしている。

この文章では科学的進捗度合いは主に大林組の研究結果を用いており、その課題をまとめている。続いてそれらの課題が解消された架空の世界を考えることで、発生するであろう倫理的な問題について取り上げる。宇宙進出には科学技術的な課題が主に取り上げられているが、その陰に隠れた別角度の問題を提起する。

## 2. 宇宙エレベータについての基礎知識

この章では宇宙エレベータを倫理の観点から見るという主題を扱うにあたって必要となる、その構造や建設方法などの基礎知識についてまとめる。

宇宙EV (space elevator) は、地上と宇宙とをつなぐ輸送機関であり、完成すれば人や物資を従来の手段よりも安い費用でかつ早い時間で行き来させられると考えられている。日本語では、ほかの呼び方で「軌道エレベータ」、英語では「orbital elevator」や「earth elevator」というものもあるが、ここではより一般的である「宇宙エレベータ」と呼ぶことにする。(以下、宇宙EVと略す。) 建設に向けた進捗状況としては、未だ研究段階であり宇宙EVの着手には早いですが、その構想や研究状況が一部の機関から発表されている。

宇宙 EV を構成する主な構造物として、アースポート、テザー、クライマー、静止軌道ステーション、カウンターウェイトなどがある。アースポートとは、宇宙 EV の発着点となる地上の基点である。定説では、赤道上に作るのが物理的に良いとされている。これは、赤道以外の場所に作る場合、宇宙 EV 全体に遠心力が、地球の自転軸に鉛直な方向にかかるのに対して、重力は地球の中心方向に働くため、合力を考えると赤道側へ引っ張られた状態になってしまうからである。そのため赤道上に建設することで、先に挙げた二つの力の方向が直線上になるため問題が解消されるのだ。次に、テザーとは地上と宇宙をつなぐケーブルのことであり、クライマーとは、人や物資を載せる部分である。それぞれ、役割としては一般的なエレベータでいうところの「主ロープ」と「かご」の関係に等しい。そして、静止軌道ステーションとは、宇宙 EV の中間的なゴール地点ともいえる場所で、高度 3 万 6000 km 地点に位置する。地球上空を円軌道で周回するには、地球の重力（地球の中心に向かって引かれる力）と遠心力（地球の外側に向かって引かれる力）が釣り合うような角速度で動かなければならない。その角速度は高度によって一つに定まるため、地球の自転と同じ角速度で周回することで地球から見ると静止しているように見える。これが静止軌道であり、高度 3 万 6000km に当たるのだ。また、カウンターウェイトとは全体の重心を静止軌道上にするために取り付けられるおもりのことである。

続いて、宇宙エレベータの全体構想について、株式会社大林組の構想を元に紹介する。全長は 9 万 6000km であり、高度の低いところから、まず地上にはアースポート、高度 3900km、8900km 地点にはそれぞれ、火星重力センター、月重力センターがあり、2 万 3750km には低軌道衛星投入ゲート、3 万 6000 には静止軌道ステーション、5 万 7000 km には火星連絡ゲート、先端にはカウンターウェイトがある。全体の重心を静止軌道に置くために先端にはカウンターウェイトが置かれ

ている。火星、月重力センターとはそれぞれの星と同じ重力となる高度に設計されるもので、専門家にとってはその星で想定される活動の訓練がされ、旅客にとっては低重力や眺めを楽しめる場所になる。一方、火星連絡ゲートとは、火星の資源探査や採掘を目的としていて、ここから宇宙船を放出することで少ないエネルギーで火星に到達できる。<sup>2)</sup>

また、建設方法で主流となるものが二つあり、一つ目は旧ソ連のユーリ・アルツターノフが提案したように静止軌道上にある衛星や宇宙船から地上とその反対方向の両方に向かって、重心を変えないようにテザーを伸ばしていく方法である。二つ目は、ブラッドリー・C・エドワーズによるもので、まず、巻いた状態のケーブルとその他の必要なものを低軌道に打ち上げ、そこで宇宙船を作る。その宇宙船がケーブルを静止軌道まで運び、そこからは片方を地球に向けて伸ばし、他方は宇宙船が持ったまま地球と反対に向けて伸ばすという方法である。後者では宇宙船がそのままカウンターウェイトの役割を果たす。

### 3. 宇宙エレベータの建設意義とその科学技術的課題

従来のロケットと比較すると、宇宙EVの建設によって宇宙へのアクセスは容易になり、そのコストも大幅に削減される見通しである。また、これを先駆けとして宇宙にホテルや娯楽施設を建て宇宙ビジネスが広がる可能性もある。そんな夢のようなものにはどのような課題があるのかを以下で述べていく。

宇宙EVが理想通り、正常に動けば上のような恩恵を人類は大いに享受することができるかもしれない。しかし、宇宙EVには科学技術的に解決されていない問題が山積している。ここでは他の地上の建造物や宇宙進出用機材とは異なる、宇宙EV特有の性質による難点を紹介する。宇宙EVは交通、輸送機関でありながらそれ自体が景色や低重力を楽しむためのエンタメ性を持つという観光用トロッコ列

車のような側面と、日常の環境に距離的、コスト的に容易に引き返すことができないという遊覧船のような側面、加えてそれが鉛直方向へ移動であり、宇宙という環境に長時間暴露するという特異性がある。ここではこの特異性によって生まれるテザーとその宇宙曝露について焦点を当てる。

まず、そもそも宇宙 EV を地上から塔を作るようにして宇宙まで届かせることは不可能か。結論から言うと不可能である。これを佐藤の書籍を参考に説明する。仮にレンガ※を宇宙に向けて積み上げていく場合、どのような問題発生するのか。積み上げていくにつれ、最も下のレンガに働く力はその上にあるレンガの数に比例して大きくなる。レンガの数を増やしていくと、いつかレンガ自体がその力に耐えきれなくなり砕ける限界がある。その限界の大きさの指標が圧縮強度というもので、レンガの場合だと、およそ 1.5km でその限界をむかえる。また、強度がおよそ 2 倍のコンクリートを用いた場合も約 8.2 km となり、一般的に宇宙といわれている上空 100 km には程遠いという結果である。また下から積み上げる場合は風雨による水平方向の力によって倒壊の危険性が高いため難しい。一方、上から吊るして作る場合は破断長という長さの限界がある。佐藤によると、「破断長とは引っ張り強度を重量に換算してから密度で割った量… (中略) …地表での重力がそのままどこまでも作用している仮想的な空間にケーブルを吊り下げたとすると、どのくらいの長さで切れるかを表した量」である。これは素材の種類によって固有の値を取り、例えば、鋼鉄では約 50 km、ケブラー繊維では約 200km である。宇宙 EV 実現には破断長 4 万 6000km 程度が必要になり、これを唯一超える物質がカーボンナノチューブ (CNT) である。理論上、およそ 1 万~10 万 km の破断長を有している<sup>3)</sup>。しかし、現状では大林組によると、実用されているものは数 $\mu\text{m}$ ~1mm 以下であり、10 万 km 近い長さで欠陥のないものを作ることが大きな課題になっている。<sup>4)</sup>

また、同社の国際宇宙ステーション（ISS）で行われた、ケーブル材料の宇宙曝露実験によると、「ISS の進行方向・背面方向の位置にかかわらず引張強度の低下がみられた。…（中略）…電子顕微鏡観察により、AOによるとみられる撚糸表面の損傷が生じたことがわかった。…」(AOとは原子状酸素のことで高度 200 km～600km において大気を支配する成分) という実験結果であった<sup>4)</sup>。この損傷がどの程度の問題であるかは記述されていないが、同社は「表面からの損傷を防ぐための被覆対策を行った宇宙曝露実験を計画中であり、引き続き検討を行う」<sup>4)</sup> としている。

現状の科学技術的課題については、落雷や宇宙デブリや放射線対策など、ほかにも多く存在するがここではその紹介を一部にとどめた。進捗状況としては、宇宙EV によるメリット以前にそれ自体の完成が現実に行えるかの検討段階であることが実験結果からうかがえる。

#### 4. 宇宙エレベータが建設、運転されている将来と倫理的懸念

先に述べた通り、現状では宇宙EV を建設することはSF と言われても仕方ない。しかし、宇宙に無限の資源があると仮定したらどうだろうか。その資源を利用すべく宇宙EV を建設した「地球」という架空の星のシナリオを以下に簡単な小説にしてみた。話は宇宙EV が完成した年までである。

##### ～「地球」でのシナリオ～

存在するのか、しないのか、ある「地球」という星の話である。そのころ「地球」では人類初の月面着陸（1969 年）を遂げてから 100 年余りが経とうとしていた。月面着陸を機に宇宙産業は大きな盛り上がりを見せ、宇宙研究への投資は膨れ上がった。月面着陸以降最大の成果として「月に無限といえる量の資源がある」という報告があった。この資源（megumi と名付けられた）は、ごく少量から膨大なエネルギーを生み出すもので、「地球」の環境汚染を引き起こす可能性も極めて低い

という研究結果が出されていた。また、ここでいう「無限」とは、すでに発見されている量だけで人類が過剰に使わない限り約4万年間使い続けることができるという意味であった。したがって、人間が使うほどの megumi を採掘することによって月の環境を大きく変えてしまうことによる倫理的な問題はないと考えられた。このような条件から、megumi は化石エネルギーに依存していたエネルギー事情を好転させ、地球温暖化の進行に歯止めをかける画期的な資源だと考えられた。

当時の「地球」では、megumi をいかにして運搬してくるかの方法について議論されていた。特に二つの方法が議題に上がり、その一つがロケットである。当時の最新ロケット (tsukuyomi) は月に行くのに片道 100 億円かかるというコスト面の難点と、燃料を除いて4~6トンしか載せられないという積載能力の難点があった。しかし、megumi は少量で大量のエネルギーを生み出すことから、tsukuyomi であっても燃料面を心配する必要性はないと考えられた。そしてもう一つの方法が、宇宙エレベータである。宇宙エレベータ (以下、宇宙 EV) とは、地上と宇宙をケーブルでつなぎ、クライマーがそれに沿って昇降することによってモノや人を運搬できる輸送機関である。宇宙 EV は 1895 年に、ある SF 小説家が自著内でその着想を述べていた。それから約 180 年経った当時では、超強力繊維カーボンナノチューブ (CNT) の実用化が進んでおり、元々視野は入っていなかったが、宇宙 EV への応用も考えられるようになっていた。megumi 発見以降に実験により、地上で使われている程度の長さをいくつもつなぎ合わせることで CNT を静止軌道から地上までの 3 万 6000km の長さまで成長させることに成功しており、「地球」で考えられる落雷や風雨に耐えるのに十分な強度も見込まれていた。目的地である「月」は 5 つ存在し、どれも静止軌道上かつ赤道上に位置していた。具体的に「月」の真下に当たる五か所が、モルディブ海域、シンガポール周辺、ナウル島、キリバス海域、ブラジルベレン沖となっていた<sup>5)</sup>。これらの条件、すなわち宇宙産業の隆盛、

科学技術の進歩、新資源の発見、「月」軌道の好条件、そして宇宙 EV のもつ新規性や話題性が重なり、宇宙 EV 建設を支持する風潮が主要国の間で広がっていた。

2085 年、国際宇宙ステーションを手掛けた国際機関（WSI）が宇宙 EV の着工を開始した。WSI は、宇宙産業をけん引してきたアメリカと日本をはじめとして、欧州各国やロシア、カナダを含めた計 15 か国で構成されていた。今回はこれらの国に加えて、宇宙 EV の海上基地（アースポート）の設置場所となったシンガポールも参加国に含まれることになった。シンガポールは赤道上の国の中では唯一経済成長をとげた国であり、情勢も安定している。公用語は英語で、周辺に多くの小島もあることから交渉の容易さや建設以降の周辺地域の経済発展も見込まれ建設地と決定した<sup>5)</sup>。建設前に宇宙法の解釈の一つとして、宇宙 EV は宇宙空間の占有であるという見解もあったが、宇宙法に批准している国が限られていることと、その解釈が分かれる記述であることから宇宙法の効力は弱かった。WSI の宇宙 EV 建設目的は、『「地球」の資源、環境問題の解決のための新資源の運搬』『宇宙ビジネス、宇宙エンタメの先駆け』の二点と公表され、「宇宙 EV は世界全体の環境、資源、貧困問題と人類の科学技術の進歩に寄与する」と明言した。

着工から 10 年後、世界有数の産油国であり、また周辺国との紛争が絶えないシリアが、ナウル島を領土とするナウル共和国との協議によって、シリアは石油輸出額の半分をナウルに払うことと引き換えに、ナウル島に宇宙 EV を建設するための領地の権利を得た。ナウル共和国はかつてリン鉱石の採掘で莫大な収入を得たが、その枯渇により、すでに経済的に落ちぶれた国となっていた。また、教育水準が低く、太平洋の中央に位置することから宇宙進出についての情報が遮断された環境であった。宇宙 EV が完成した将来では石油の価格は大幅に下落するとの予想が国際的になされていた。

2100 年には WSI が試験運転の実施を発表し、次いでその 10 年後には、シリア

もそれに並ぶことになった。よって 2110 年では二基の宇宙 EV が完成していた。この二つにはそれぞれ特徴がある。WSI は工学の発達した先進国が多く参加し、それぞれの部品が安全レベルを十分に満たしていて科学技術的に全体のバランスが取れたものであった。一方、シリアは周辺産油国との和解の末、その他の産油国のバックアップのもと建設に打ち出していた。紛争によって軍需品の技術レベルが極めて高く、テロに十分対応できるものになっていた。

架空の話はここまでとして、「地球」のような環境、条件を前提として、以下では上のシナリオの続きに生まれる可能性のある倫理的な問題について考える。

#### (ア) megumi による貧富の差

WSI は megumi を不参加国にも配分することを約束していたが、これが宇宙 EV を建設することの倫理的に正しい条件になるだろうか。宇宙 EV 完成以前に資源大国であった国々は、megumi の台頭によって経済的に不利益を受けることは明白である。それにも関わらず、国際機関がその事業を進めることは資本主義が最も正しい考えであるかのような印象を与える。また、megumi はそれぞれの国の人口や経済状況、市場規模などを勘案して配分することになるが、配分量の決め方は何を考慮するかによって無数に考えられ、倫理的に最も良い方法を見つけることは困難である。ここでの倫理的とは、宇宙進出国とそうでない国の貧富の差がさらに開くことと宇宙 EV の開発によって新たに貧富の差が生まれることがないという意味である。

#### (イ) 宇宙の支配

宇宙 EV は宇宙と地上の行き来を従来よりも極めて容易にし、宇宙エレベータ所有国と非所有国では宇宙へのアクセスにかかる時間とコスト、得られる情報量にかなりの差ができる。上記のシナリオでは、国際機関という名の数か国や、産油国

らが連合してひとつの月を所有しているとも受け取れる。実質的に宇宙の資源や情報を握っているのはそれらの国という意味で月と megumi は一部の国に支配されている。また、宇宙 EV を建設できる場所が数か所しかないため、立地条件の幅が広がらない限り先着で宇宙 EV を建設する機会が決まってしまう。これは、宇宙進出できるほどの技術進歩を遂げた時代の違いだけで、宇宙 EV を建設する機会の有無が決定する可能性が出てくるという問題がある。

#### (ウ)宇宙開発の急加速

宇宙エレベータの実用化に伴い、これまで以上に宇宙進出、開発が加速すると考えられる。これは人類の科学的進歩といえる半面、市場が混とんとする可能性がある。シナリオのように宇宙に地球では考えられないエネルギー規模のものがあれば、それを一部の国が手にすることは国家間の経済的、権力的パワーバランスを大きく変えることになる。よって、宇宙の法整備が進んでいない、もしくはその法律を破るメリットが、守るメリットを上回る状況では、一国がそれらを無視した開発を始めたとしても非難はできるが実際に止める手立てはない。よって結局先をいく国を追隨する形で各国、各機関が開発を進め、宇宙は無法地帯と化する危険性がある。

#### (エ)宇宙 EV が象徴するもの

宇宙 EV によって環境、資源問題が解決すれば、それは人類の科学進歩の象徴になり得るが、宇宙進出に伴った、宇宙についての知見や権力と、地上で起こるまたは広がる経済的格差である「宇宙進出格差」の象徴にもなる。また 2001 年のアメリカ同時多発テロをはじめとした地上で起こったようなテロやその他の工学倫理にふれる欠陥による事故は宇宙 EV への信頼を失うことになり、それ自体が、争いや汚職の象徴にもなりうる。宇宙が新たなフロンティアであるがゆえに、容易に宇宙進出や宇宙 EV には負のイメージもついてしまう。

## 5. 結論

宇宙 EV が現実になるには科学技術的に乗り越えるべき課題が多くあり、また現実になって初めて出てくる課題もあるはずである。建設段階では、その場所が限られていること、またどの組織で作るのか、また運転開始後にはそれに関連した出来事によって「〇〇の象徴」という言葉が簡単になってしまう。科学が進歩することで人類は大いに利便性を得てきたが、同時に悲惨な歴史も経験してきた。宇宙 EV は完成すれば科学進歩を加速させることになるが、それに伴う倫理的な議論はそれ以前に加速させるべきである。技術開発に邁進して、倫理から目を背けてはならない。

## 6. 結びに

この文章は、宇宙進出をしていく中で宇宙 EV のような画期的な開発に科学技術的以外の課題があると警鐘を鳴らす目的で書いた。一方でそれらも考慮したうえで進出をすることで宇宙産業はさらなる発展ができるという期待も込めている。研究方法は書籍や各ホームページ、そして宇宙倫理学教育プログラムでの議論をもとにした。

## 7. 謝辞

この文章は、京都大学宇宙総合学研究ユニットによる宇宙倫理学教育プログラムのメンバーの皆さんと、嶺重先生、伊勢田先生、清水先生そして RA の方々からのたくさんの助言をいただいたことで完成しました。心から感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) Yicai Global (2017 年 11 月 17 日) (2023 年 2 月 6 日 閲覧)

<https://www.yicaiglobal.com/news/china-shoots-for-stars-with-plans-to-build-space-elevator-by-2045>

- 2) 大林組プロジェクトチーム 「季刊大林 宇宙エレベーター建設構想」  
P.32～36  
[https://www.obayashi.co.jp/kikan\\_obayashi/upload/img/053\\_IDEA.pdf](https://www.obayashi.co.jp/kikan_obayashi/upload/img/053_IDEA.pdf)
- 3) 佐藤実 (2011) 「宇宙エレベータの物理学」 P.9～69
- 4) 大林組技術研究所 (2021) 「宇宙エレベーターの技術的課題への取り組み」  
[https://www.obayashi.co.jp/technology/shoho/085/2021\\_085\\_01.pdf](https://www.obayashi.co.jp/technology/shoho/085/2021_085_01.pdf)
- 5) 石川憲二 (2010) 宇宙エレベーター —宇宙旅行を可能にする新技術—  
P.129～137

注釈

※日本工業規格による普通レンガ (JIS R1250) 4種 (吸水率10%以下) 圧縮  
強さ 30.0N/mm<sup>2</sup>以上を想定している。

## 民間企業における宇宙デブリ抑制に向けたリスクとその可能性

福岡 浩二

### ・ 要旨

宇宙開発の領域では、米国をはじめ国家が牽引してきたが、民間による打ち上げロケットや衛星の打ち上げも活発になっており、特に地球低軌道領域では民間による衛星が密集している。そのため、既に顕在化している宇宙デブリ問題に対しては、国家だけでなく衛星開発・運用に関わる民間企業に対しても対策を講じる必要がある。

本レポートでは、国家と民間企業の行動原理を比較しつつ、民間企業の視点での衛星デブリ化を防ぐための倫理規範なあり方について1つの評価団体の手法を考察し、民間も含めた持続可能な宇宙開発を目指したものである。

### ・ 宇宙デブリの現状

まず、本レポートの「宇宙デブリ」についてその定義を明示しておく。

国連が採用した IDAC (The Inter-agency Space Debris Coordination Committee : 国際機関間スペースデブリ調整委員会) ガイドラインの定義<sup>[1]</sup>に従い、「地球周回軌道に存在するか大気圏再突入途中の、全ての非機能的人工物体であり、それらの破片と構成要素を含むもの」とする。

その時系列推移については、NASA<sup>[2]</sup>が観測出来る範囲では、図1のとおり増加傾向にある。

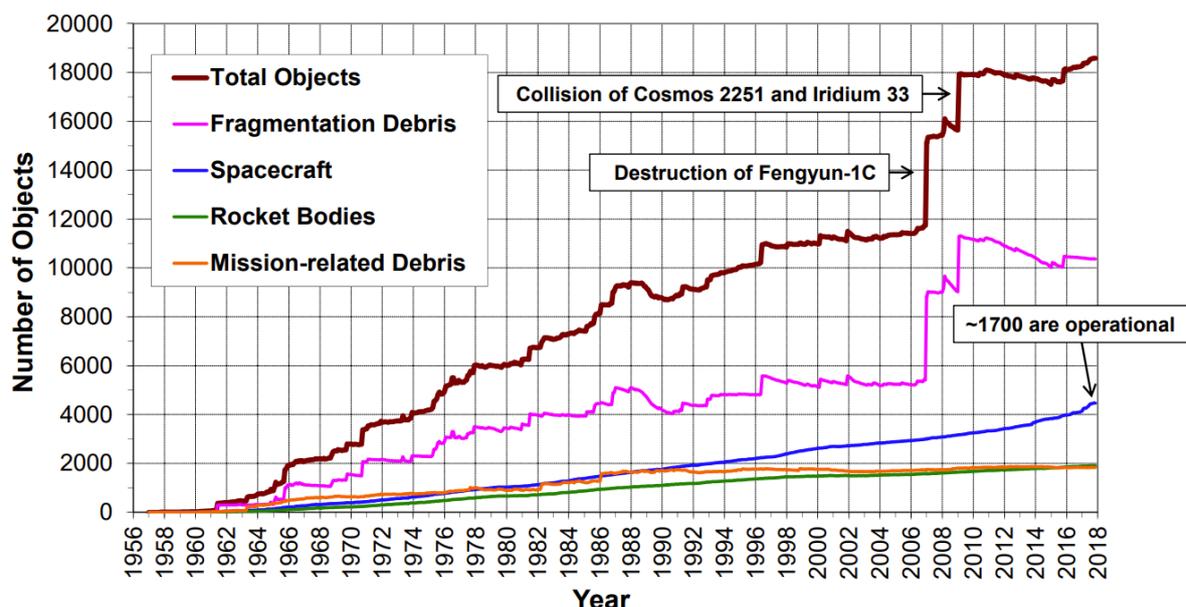


図1. 地上から観測可能な軌道上デブリの数量変化

過去にいくつか急増の時期があるが、2007年の中国による対衛星破壊実験（ASAT）によるものと、2009年の衛星同士（稼働中の米国製と、運用終了したロシア製）による衝突事故によるものである。

上記はあくまでNASAの観測可能な範囲内での数量であり、EUの宇宙機関ESAのモデルによれば、1cm以上のデブリは100万個に及ぶとの推測もある。[3]

次に、図2にある地球からの高度分布別を見ると（2015年9月時点）、地上2000km未満のLEO（Low Earth orbit：地球低軌道）と呼ばれる領域に集中しているのが分かる。

## 軌道上の衛星・スペースデブリの分布 (2015年9月時点)

資料3

JAXA資料

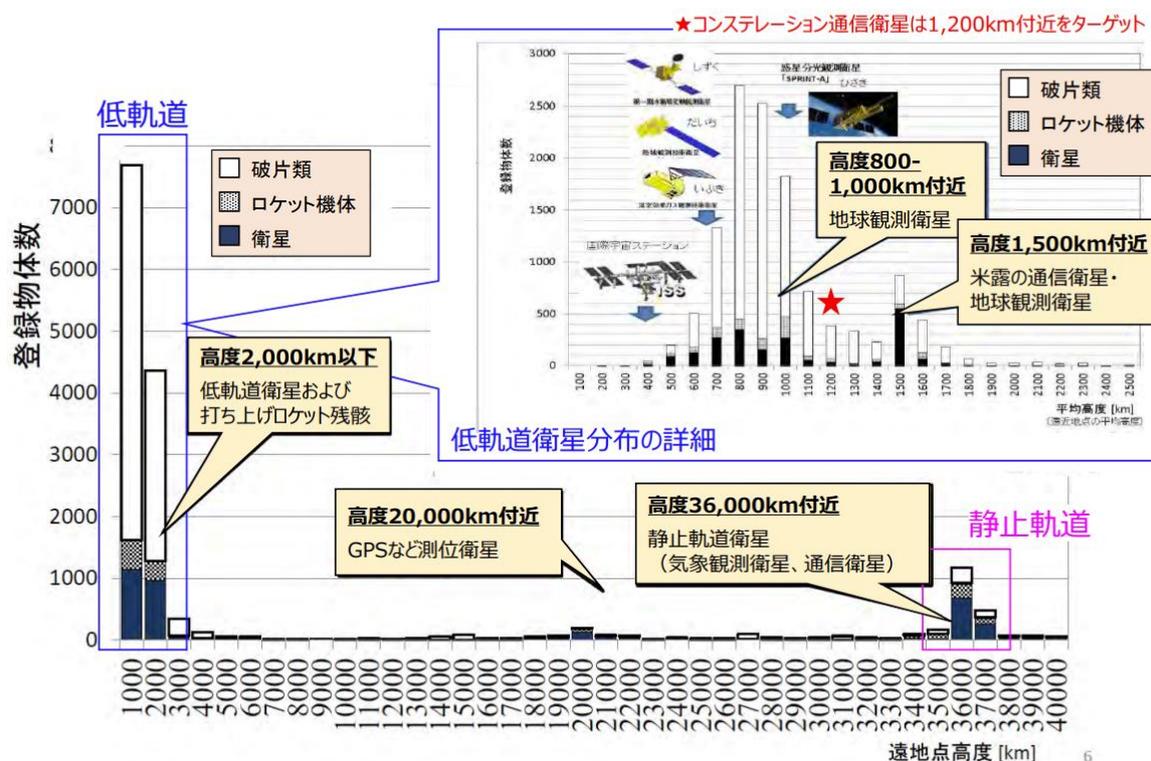


図2. 軌道上の衛星・スペースデブリの分布 (2015年9月時点)

### ・ 民間企業の宇宙進出動向

21世紀になると、米国がロケットや衛星を民間にゆだねる方針をとる。

代表例をあげるとスペースXやブルーオリジンなど、民間発の宇宙ベンチャーが国家プロジェクトに関わり始める。

ロケットについては多大な資本が要求されるためまだ参入企業は多くはないが、衛星については地上での通信やモニタリング用途での利用でその参入が進んでいる。

国連調査に基づく図3<sup>[6]</sup>をみると、2010年代後半から打ち上げ回数が急増しており、2019年時点で商用衛星がその過半数を占めている。<sup>[7]</sup>

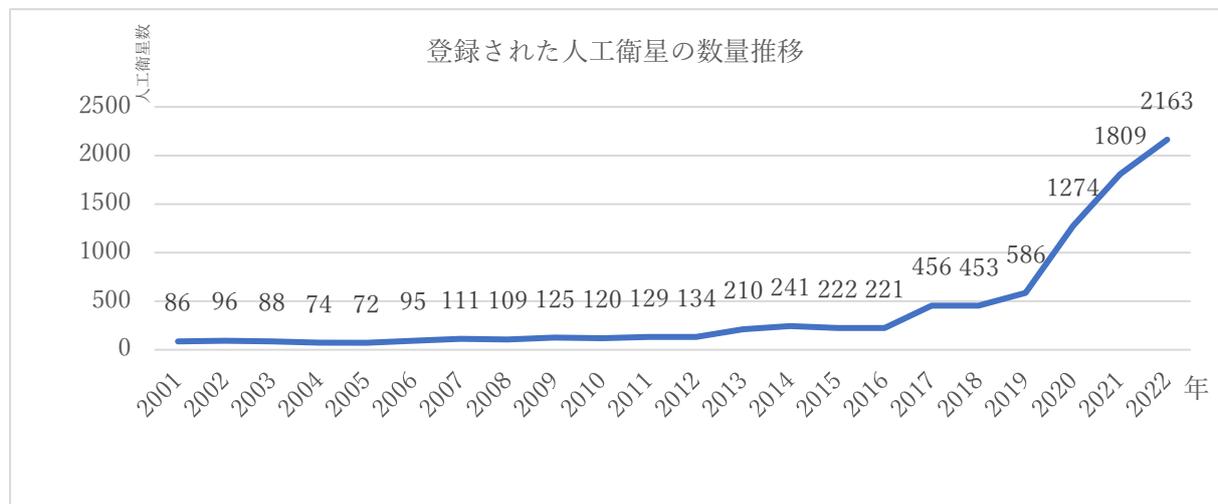


図3. 人工衛星の時系列推移 (2023年1月時点)

商用衛星の中でも、特に地上でのインターネットサービスを提供する大量衛星による通信（衛星コンステレーション）用途が増えており、主だった企業（本社が登記された国家名称）とその予定打ち上げ数を以下に列挙する。<sup>[8]</sup>

- SpaceX（米国）：3600機超。今後2030年までにさらに4万機打ち上げる計画。
- Amazon（米国）：今後3200機の打ち上げ計画。
- OneWeb（米国）：400機超。今後6000機を打ち上げる計画。

上記含めて主だった通信衛星が位置するのは宇宙デブリが集中するLEOであり、したがって今後は民間企業による宇宙デブリへの取り組みも重要となる。

#### ・宇宙デブリ抑制に向けた国際的な取り組み

上記の状況に対して国連は、古くは1959年に設立したCOPUOS（国連宇宙空間平和利用委員会）において、宇宙空間を平和に活用できるための議論を行ってきた。

宇宙空間に関する規制として、1967年に発効された宇宙条約がある。ここでは天体の領有権の禁止や、大量破壊をもたらす兵器の宇宙空間配備などを初めて禁じたが、宇宙デブリへの規制に関しては言及していない。

宇宙デブリに関する国際的な取り組みは、前述のIDACが、デブリ化を防ぐ技術的なガイドラインを策定し、それが2007年に国連COPUOSがガイドラインとして採用した。

以降もCOPUOSが中心となって、宇宙活動の長期持続可能性ガイドラインの<sup>[5]</sup>策定が進んで

いる。

ただし、その内容を見る限り、工学的な視点に寄っていることと、あくまで批准国へのベストプラクティスの推奨にとどまり、その倫理的な規範及び法的拘束力までは提示していない。つまり、民間企業に対する国際的な倫理規定及び効力のあるルールは存在していないのが現状である。

民間企業は、一般的には特定の国家統制だけに縛られない組織であることから、今後宇宙デブリ化を抑止するためには、上記の取り組みとは異なる仕組みが必要と考える。

以降からは、民間企業特有となる行動原理への理解を深め、そのなかで1つの可能性を持った組織を題材にその可能性を提示する。

### ・ 国家と比較した民間企業の特徴

民間企業の行動原理については、NASA や JAXA など国家組織による宇宙開発との違いとして下記の3点が考えられる。

なお、ここでの「民間企業」とは、政府出資の影響力を持たない（公開・非公開を問わず）株式会社を指すものとする。

#### 1. 営利への追求

民間企業は主に会計指標・市場株価などで評価されるため、その計数への達成に対して功利的な態度をとる傾向にあるといえよう。

また、所有者（株主）と経営を執行する立場（経営層）が異なることから、高度な専門性を要する衛星事業において、所有者の利害偏重かつ非専門性によって、経営層は誤った経営判断を迫られる可能性もある。

結果として、例えば衛星機器の安全性よりもコスト削減を重視することで、デブリ化を招く危険性を高めてしまう。

#### 2. 国家を超えた活動

多くの場合民間企業は本社の場所を国単位で選ぶことが可能である。

そして前述した国連ガイドラインでは、国家の自発的なベストプラクティスが求められるため、国家毎にその遵守への強制化が異なることが予想される。

例えば、日本においては、国連ガイドラインをもとに独自にルールを設けており、日本から射出される衛星については遵守を強く要請している。

ところが、もし逆にこういった強制力が弱い国家があれば、民間企業から見ると有利ともみえ、本社または射場を戦略的に選択することも考えられる。

つまり、従来の国家規制の枠組みだけでは民間企業への抑止力に限界があるといえよう。

### 3. 法的違反のリスク

現代に限らず、民間企業によるコンプライアンス問題は起こってきた。あくまで一般論ではあるが、NASA など国家の宇宙戦略を担う組織に所属するまたは取引するにあたっては、民間企業よりも入念な個人審査が行われていると考えてよいだろう。

また、個人に帰属するコンプライアンスリスクだけでなく、民間企業におけるルールの複雑化と科学技術の高度化によって、その不正検知が困難になっている可能性もある。

ここで、上記に当てはまる近年起こった実際のケースを2つほど紹介する。

#### 1) OneWeb の破綻と再生

衛星コンステレーションの代表企業にも挙げられる OneWeb は、2012 年に創業した。以下にその代表的な動きは下記の通りである。<sup>[9]</sup>

2014 年：ヴァージン・グループやエアバスなどから約 5 億 US ドルを調達

2015 年：SpaceX が通信衛星サービス Starlink 開始を宣言

2016 年：ソフトバンクグループから約 10 億 US ドルを調達

2017 年：衛星機器の量産を開始

2020 年：開発コスト超過と新型コロナウイルスの影響で大幅な計画見直しが入り、連邦破産法の申請へ。当時の従業員 85% を解雇して事業再立ち上げを図り、オークションの結果インドの大手通信企業と英国政府の連合が買収して最大株主へ。

2022 年：当初打ち上げ予定のロシア製ロケットが、ウクライナ侵攻後に、英国政府が主要株主であることを理由にロシア側が一方向的に契約中止。(ロシアへの支払いは未返金。顛末として競合の SpaceX が打ち上げを引受)

通信衛星事業は、サービスインするまでに多大な先行投資を必要とし、かつその収益性の予測が困難であることから、上記の OneWeb 破産と再生の流れはどの競合にも起こりうるリスクである。

また、国家活動との共通項ではあるが、人工衛星は軍事的用途にも転用されやすいことから、株主に国家が入ることで事業活動に多大な影響を受けることも容易に想像がつく。

#### 2) 暗号資産（仮想通貨）取引所最大手の FTX 不正取引疑惑

宇宙事業ではないが、同じく新しい技術による新興産業として注目が集まっている「暗号資産」での事件について触れてみたい。

暗号資産は、国家信用に基づく法定通貨の枠外での価値取引手段で広まったが、それが法定通貨獲得への投機的手段やマネーロンダリングの温床になるのでは？と以前より警鐘は鳴らされていた。

FTX 元 CEO サム・バンクマン・フリード被告は、暗号資産の価値を担保にした不正取引など詐欺罪で起訴・逮捕に至り（目下裁判中）、FTX へ投資した組織・個人だけでなく商取引のあつ

た金融機関にも影響が広がっている。<sup>[10]</sup>

執筆時点でまだ訴訟中でこれから全容が解明されていくかもしれないが、少なくとも経営者個人への裁量とそれを制止する仕組みが同社に不在または機能不全であったことは否定出来ないであろう。

このことは、被告の特殊性にとどめるのではなく、急速な成長を遂げるベンチャーであれば起こりうるリスクと考えられよう。

つまり、民間企業はステークホルダー、特に株主支配による影響を受けやすく、かつ設立間もないベンチャー企業は特に企業統治への備えが脆弱でその実態が分かりにくいいため、上記であげた法令違反リスクは常に孕んでいる。

では、これらの民間企業による宇宙デブリ化を抑止するにはどうすればよいか？

理想をいえば、個々の企業経営層が意思を強く持ってデブリ化抑止を重要視した意思決定とその実運用を社外に説明する性善説を期待したい。

ただし、上記ケースが示すように、どうしても社内に閉じない株主との利害調整、場合によっては衝突の結果としての不祥事は否定できない。

そうなると、現実的な策として、企業経営層に影響を与える社外ステークホルダーを巻き込むという方法を考えてみたい。

そのための基礎材料として、この近年注目されている ESG 投資の動きに注目した。

#### ・ ESG 投資とその動向

地球規模で問題視されている環境問題や人権問題などを背景に、国連が主導して投融資機関に「Environment（環境）」「Society（社会）」「Governance（企業統治）」に配慮した投資責任を求める動きがあり、PRI（Principles for Responsible Investment）と呼ばれる。

PRI に署名した投融資機関は、意思決定プロセスにおいて ESG 課題解決を考慮し、投資先の企業とも対話を行うことを示す必要がある。

2022 年 3 月末時点で PRI は 4,902 の署名数に達し、その運用資産残高は 121.3 兆 US ドルを占める。<sup>[11]</sup>

上記と併せて、経済合理性を追求する株主偏重型資本主義のありように対して、企業側からも新しい動きが出ている。

代表的な動きを挙げると、2019 年に米国主要企業(全体株価 30%相当)CEO181 名が一同に集まって株主資本主義の訣別を表明した「ビジネスラウンドテーブル」や、翌年の 2020 年に世界経済フォーラム年次総会（通称：ダボス会議）で主要テーマとされた「ステークホルダー資本主

義」がある。<sup>[12]</sup>

これらの効果を測る1つの指標として、ESG投資に資するとされる Sustainable Investment の割合をみると、2016年以降も順調に増加し、2020年実績では投資全体の約36%を占める。<sup>[13]</sup>

以上触れた内容は、宇宙事業だけに特化しない資本主義全体のマクロな動向である。

あくまで21世紀以降での動きであり、これがESGの視点で実質的かつ持続的な効果を生んでいるのかを判断するのは早計かもしれない。

ただし、企業経営に影響を与える投融資機関がESGの観点で企業を評価する仕組みは、今回の民間企業の宇宙デブリ抑制への仕組み化で大いに参考になる取り組みである。

実はこの位置付けに近い活動を行っている唯一の非営利団体があり、SSR (Space Sustainability Rating) と呼ぶ。

本レポートでは、この団体の設立経緯と活動内容を紹介し、元々の趣旨である民間企業への宇宙デブリ抑止に向けた有効性について考察してみたい。

#### ・SSRの設立背景と趣旨<sup>[14]</sup>

SSR設立の背景は、前述でも登場した世界経済フォーラムの宇宙技術に関するグローバル・フューチャー・カウンシルで初めて構想され、下記の組織を中心に新しい評価プログラムの開発を2019年から開始している。

- ・テキサス大学オースティン校
- ・欧州宇宙機関 (ESA)
- ・MIT メディアラボ Space Enabled Research Group
- ・Bryce Space and Technology

2022年に評価制度の初期開発が終わって現在は運用に移行しており、主にEPFLスペースセンター (eSpace) がその役割を担っている。

SSRは、「宇宙デブリ、軌道上での衝突、および持続不可能な宇宙運用のリスクを軽減するために、衛星運用者による自発的な行動を促進すること」を目的としている。

上述のとおり、その事業者にとってインセンティブとなる評価制度を確立することでその行動を促進することをめざしている。

SSRが提示した論文<sup>[15]</sup>に基づくと、その設計思想は既存の事例を参考にしている。

実際に持続可能性 (Sustainability) という言葉は、他産業面においてもよく用いられている。

その中で、非営利団体 USGBC が開発した、建物や都市に対して環境面で高い性能を果たした事業者には認証を与える LEED(Leadership in Energy & Environmental Design)があり、それを成功例として SSR は大いに参考にしている。

・ SSR の評価内容

SSR は複合的な指標の累積スコアをもとに、Platinum・Gold・Silver・Bronze とランク格付けを付与している。その複合的な指標は主に下記の切り口ごとに設問とそのスコアが用意されている。

- ① Mission：該当ミッションが宇宙環境に与える影響
- ② DIT(検出可能性、識別性、および追跡可能性)：生じたデブリの検知可能性
- ③ CAC(衝突回避能力)：衝突回避できる能力
- ④ Data Sharing：同業者や利害関係者と共有すべき情報と、宇宙飛行の安全性に対するこのような情報共有への貢献
- ⑤ Design & Operations Standards：宇宙分野における国際的に承認された標準化の遵守
- ⑥ External Services：衛星の検知・改善・修理など外部サービスへのオープン性

先に、SSR と既存の国際的な活動との整合性について触れておくと、前半で述べた COPUOS・ISO など国際的にある程度認められた宇宙デブリの抑制ガイドラインについては、5 の中で明示している。

上記①～⑥はある程度重みづけがされており、全体スコアの 5 割を占めるのが 1 の Mission となる。設問のイメージを持つ意味で公開されている範囲の情報を下記に抜粋する。

<Mission スコア算出に事業者求められるデータ>

- ・ 衛星とミッションの設計
  - ・ 衛星数
  - ・ 衛星の質量
  - ・ 断面積
  - ・ 導入期間
  - ・ 予定軌道寿命
- ・ 軌道パラメータ
  - ・ 運用平均高度
  - ・ 傾斜
- ・ ミッション後の廃棄戦略
  - ・ ターゲット終末遠地点および近地点高度
  - ・ 想定ポストミッション廃棄成功率
- ・ 衝突回避戦略

- ・ 許容衝突確率レベル
- ・ リードタイム

上記データをもとに、主に ESA が中心となって開発した計算式に代入することで最終的なスコアを計算する。

設問には、クローズ型の設問も用意されており、例えば⑤については下記のような設問タイプもある。

*質問. 宇宙船やランチャーは軌道上にデブリを放出しますか?*

*あれば 1mm 未満 (1 点)*

*はい (0 点)*

ここで、全体の設問を通じて特徴的と考えられるのが、次の 3 点である。

1. 加点主義であり減点は基本的に含めていない (LEED の設計思想を踏襲)
2. 詳細な技術文書の開示までは求めていない (これも LEED の展開事例に従って初めは認証数を増やすことを重視)
3. 全体として工学的評価への重みづけが強い (計算式による従来型のスコア算出が中心の MISSION の切り口が全体の 5 割相当)

以上の基礎的な情報と要約した特徴を踏まえて、SSR が元々期待していた役割を担えるのかについて考察をしてみたい。

#### ・ **SSR の現状を踏まえた考察**

考察の前に、元々の意図を改めて箇条書きで以下に整理しておく。

- ・ 背景として、人工衛星の打ち上げを中心に民間企業での宇宙進出が進み、国家と異なる締め付けが必要である
- ・ 民間企業は国家と行動原理が異なり、国家を超越した利潤追求や法令違反リスクがある
- ・ 上記を踏まえた新しい仕掛けが必要となり、一定の成果を取めた ESG 投資に近い宇宙産業の評価団体に SSR という非営利組織がある

まず、民間企業の国家組織との相対的な違いとして、法令違反など倫理規範に欠ける可能性を指摘したが、そのために SSR にもその倫理規範を糺す役割を期待する。

ところが、設立目的の文章を再掲すると、「**宇宙デブリ、軌道上での衝突、および持続不可能な宇宙運用のリスクを軽減するために、衛星運用者による自発的な行動を促進すること**」とあり、目指すべき「持続可能性」自体への定義が曖昧模糊としている。

例えば、人工衛星の中で特に急増しているのが、インターネット環境をはじめとした通信衛星サービスである。

従来地上でも通信サービスを提供しており、通信衛星として多数打ち上げることで、地上局に設置するよりもコスト削減が出る可能性を視野に入れて開発を進めている。

つまり、あくまで衛星事業を営む民間企業の利潤追求行為であり、そこに対象企業以外の持続可能性を主張する論理を見出すのは難しい。

その対象企業においても、事業採算性が見えている企業は現時点では名言出来ず、かつ人工衛星自体の脆弱性（地上と違って防御が不十分）という問題もはらんでいる。

従って、「持続可能性」自体の定義をまず SSR として指し示すことが求められるだろう。

例えば、長期的には民間人による宇宙空間への進出・滞在機会が高まることが予想される。その際に宇宙デブリはどのようなリスクをあたえるのか？ これも人類に関わる 1 つの持続可能性といえよう。

つまり、そこにはある程度の価値観、または倫理規範にちかい事柄が要求され、その枠内においてスコアリング設計によるインセンティブ、つまり健全な宇宙開発競争を促すのであればより意義深い実用的な活動になるといえる。

まずはこの点が、SSR という組織の意義において、是正すべき主要な論点と考えている。

あくまで仮説だが、この浮かび上がった課題の背景として 1 つ考えうる理由は、決定プロセスに起因しているかもしれない。

SSR は多様な組織が集まって評価開発を行ってはいるが、細かく見ると各スコアを提示するテーマごとに 1 つか 2 つの組織が単独でスコアを設計しており（例：「1. ミッション」は ESA のみで既存のリスク評価手法を導入している）、その意味では多様性に欠けるといえる。

また、公開情報を見る限り、倫理の専門家が確認できず、それが今回の欠如につながった可能性も否定できない。

次に、各個別論点における是正すべき項目を取り上げてみる。

厳密には、主要な問題点への解決と連関して改善すべきではあるが、今回は問題の洗い出しとしてある程度独立した課題とみためて取り扱う。

#### 1) LEED（地上の評価ルール）との乖離

今回 SSR が参考にした LEED というビル・都市の環境への配慮を測る評価制度を、ランクの分類方法やその普及に至る方法まで大いに参考になっている。

確かに地上においては CO2 排出量をはじめとして環境面を評価する指標がある程度の汎用性をもって共通化出来る。

ところが、宇宙空間においては、前述の IDAC など工学的なガイドライン以上の評価はまだ定まっていない。つまり、宇宙デブリ化することによる問題の視点が限定的であり、例えば将来的には可能性のある有人の長期的な宇宙生活への影響などは考慮されていない。

ここは、スコアリングとして設計方法に加えて、そのランク分類についても盲目的（同じようなランク付け）に導入するのではなく、1案として例えば、丸めて Gold といったランクを付与せず、数値だけにとどめて、あとは投融资機関と企業との間で時間をかけていく中で運用をゆだねてもよいだろう。

例えば、Sustainability 領域のサプライヤー格付け組織に Ecovadis<sup>[17]</sup> という企業が存在する。彼らは環境面・社会面といったテーマごとにスコアとその定性的なコメントに情報提供を絞っている。

その情報に対して、サプライヤーを評価する企業側が、例えば 60 点以上でないと取引をしない、など個別に運用ルールを設定している。

## 2) 隠ぺいへの対処不足

これも LEED 評価設計の踏襲によるものだが、SSR では衛星の内部設計書やその利用意図を全て透明化する事は出来ない。ある程度は評価対象事業者の申告を性善説で認めている。

勿論それによって審査スピードや申請のハードルが下がることは事実であり、LEED の普及へ一躍買った可能性は否定できない。

ただ、この制度を悪用するケースを思い浮かべると、申請企業は虚偽の情報を提出してもそれを見破る仕掛けが SSR には欠如している。

クローズ型の質問は性善説を採用するしかないかもしれないが（裏づけ可能な設問にする改善案もあるが）、技術仕様書については多少その審査期間を延ばしてでもデブリ化リスクを第三者の視点で洗い出す手続きを踏みこむべきであろう。

繰り返しになるが、民間の特徴としてどうしても営利に過渡に走ってしまい、法令違反リスクが高くなることにあった。従って、むしろここは安心感を与える格付け機関としてのふるまいこそが SSR に期待される場所である。

## 3) 加点主義の弊害

前記と同じく LEED 設計思想に従って、SSR では加点主義を導入している。ところが、目的にある宇宙デブリ抑制に向けた自発的な行動を促すことと合致しない。むしろ、事業開発自体の宣伝的行為を誘発するリスクをはらんでいる。

どういうことかと言えば、衛星をライフサイクルで見たときに推測しにくい長期視点での評価ステップは保留にすることもできる。例えば、衛星打ち上げ間近であれば、まだだいぶ先にある長期運用後の廃棄段階での詳細な情報開示を控えることもできる。

その場合は、長期運用後の廃棄段階になってはじめてデブリ化リスクが露呈した場合、結果として目的に反するリスクを招いてしまう可能性があるだろう。

インセンティブを図りたいという業界活性化の意図は理解する一方で、真に持続可能な民間の宇宙開発環境を提供するのであれば、ある程度の減点主義は検討すべきである。

考察として否定的な論調が続いたが、言い方を変えると、上記を克服することによって元々の課題を克服する可能性を秘めた評価制度ともいえる。

#### ・ 最後に

今回は、今活性化している民間の衛星事業者が事業展開するうえで、良い意味で宇宙デブリの歯止めとなる可能性を秘めた SSR という組織に注目をしてみた。

過去からの歴史を紐解くと、一般的には工学的な規制に偏りがちな宇宙デブリ対応であるが、その中で比較的民間企業のインセンティブをうまくくみ取ろうとしているのが今回取り上げた SSR である。

SSR は 2022/12 時点でまだ 1 社 (Stellar 社) のみの取得で、今後の趨勢を見守る必要があるかもしれない。

今後の改善として、まずはそもそもの目的の中で触れた「持続可能性」に対する価値観 (または倫理規範の枠組み) の明確化にまずは取り組むことを期待したい。

特に、倫理の専門家を現行の評価プロセスに組み込みことは意義深いことと考える。

実はここで取り上げた「持続可能性」に関わる課題設定は、他の産業にも言えることである。宇宙デブリ問題がそれに対してモデルケースとなり、それが他産業での持続可能性の在り方を考えなおす機会に寄与すれば望外の喜びである。

最後になるが、今回の考察で触れた課題点を克服することで、民間も交えた健全な宇宙開発が進むことを願ってやまない。

#### < 参照 >

[1] IADC スペースデブリ低減ガイドライン (Jaxa サイト内の和訳)

[https://stage.tksc.jaxa.jp/spacelaw/world/1\\_02/02.J-9.pdf](https://stage.tksc.jaxa.jp/spacelaw/world/1_02/02.J-9.pdf)

[2] 第 55 回国連／宇宙空間平和利用委員会／科学技術小委員会への米国 NASA 報告書「USA Space Debris Environment, Operations, and Research Updates」2018 年 2 月

<https://ntrs.nasa.gov/citations/20180001749>

- [3] ESA's Space Environment Report 2022  
[https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris/ESA\\_s\\_Space\\_Environment\\_Report\\_2022](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/ESA_s_Space_Environment_Report_2022)
- [4] 軌道上の衛星・スペースデブリの分布（2015年9月時点）  
<https://www8.cao.go.jp/space/committee/30-housei/housei-dai1/siryous3.pdf>
- [5] Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities  
[https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/aac\\_1052018crp/aac\\_1052018crp\\_20\\_0\\_html/AC105\\_2018\\_CRP20E.pdf](https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/aac_1052018crp/aac_1052018crp_20_0_html/AC105_2018_CRP20E.pdf)
- [6] COPUOS の下で、宇宙開発に関する国際的な法的業務の実施や発展途上国の宇宙開発技術の支援を行う国際連合宇宙局（UNOOSA：United Nations Office for Outer Space Affairs）が公開する衛星登録数  
<https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp>
- [7] 「宇宙と安全保障」（千倉書房） P164  
<https://www.amazon.co.jp/dp/4805112042>
- [8] 各社公式 HP と下記記事を参考
- FCC authorizes SpaceX to begin deploying up to 7,500 next-generation Starlink satellites  
<https://www.cnbc.com/2022/12/01/fcc-authorizes-spacex-gen2-starlink-up-to-7500-satellites.html>
  - Amazon makes historic launch investment to advance Project Kuiper  
<https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/amazon-makes-historic-launch-investment-to-advance-project-kuiper>
  - アマゾンが1兆円注ぐ「衛星インターネット」の危険な未来  
<https://forbesjapan.com/articles/detail/36282>
- [9] 孫正義のお気に入り、なぜ破産したのか（2020/4）  
<https://newspicks.com/news/4783210/body/>
- [10] FTX 経営破綻 混乱の影響が銀行にも “預金が7割近く減少”  
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20230107/k10013943561000.html>
- [11] PRI アニュアルレポート 2022  
<https://www.unpri.org/annual-report-2022/signatories>
- [12] 米国トップ企業の経営者 181 人が株主資本主義との決別を宣言

<https://dhbr.diamond.jp/articles/-/6147>

[13] GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT REVIEW 2020

<http://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2021/08/GSIR-20201.pdf>

[14] SSR プロジェクトについて (MIT メディアラボサイト)

<https://www.media.mit.edu/projects/ssr-space-sustainability-rating/overview/>

[15] Space Sustainability Rating: Designing a Composite Indicator to Incentivise Satellite Operators to Pursue Long-Term Sustainability of the Space Environment

<https://dam-prod2.media.mit.edu/x/2020/10/14/IAC%202020%20Manuscript%20October.pdf>

[16] SSR の Rating 方法について

<https://spacesustainabilityrating.org/the-rating/>

[17] Ecovadis 公式サイト

<https://ecovadis.com/>

[18] Stellar initiates its historical journey towards space sustainability

<https://www.linkedin.com/pulse/stellar-makes-history-stellartc>

宇宙倫理学教育プログラム外部評価会 (2022年度)

## 教育プログラムの実施内容



### 受講者の募集

#### 2022年2月より情報公開・広報

- 募集要項, 応募フォーム.
- Webページ, 動画, フライヤー.
- 京大サイト, SNSでの告知.
- 新聞, ラジオからの取材.



## 受講者の選抜

**募集** ~12

- 大学院 5±2
- 学部 5±2
- 一般 若干名

**応募** 75(57)

- 大学院 9(6)
- 学部 9(7)
- 一般 57(44)

**選考通過** 16(+1)

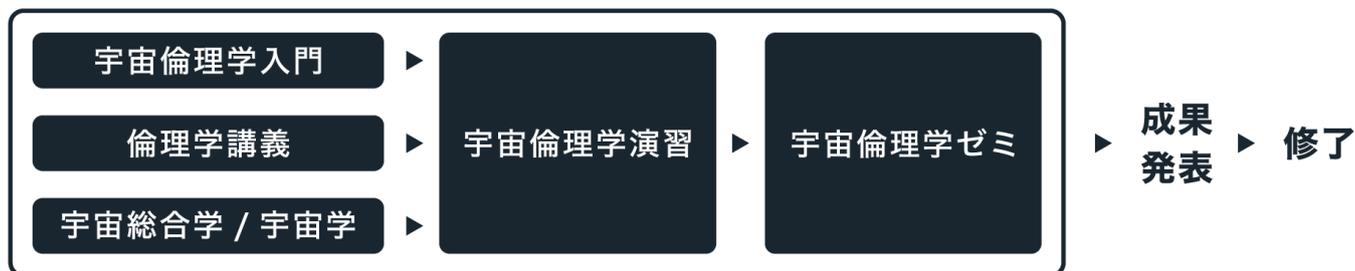
- 大学院 5
- 学部 7
- 一般 4(+1)

**受講決定** 13

- 大学院 5
- 学部 5
- 一般 3

## 教育プログラムの概要

必修科目



▲  
選択科目

選択科目 1

選択科目 2

## 倫理学講義

- 現代社会における倫理的問題を哲学的に考える仕方を身につけるために、規範倫理学における諸理論や重要な諸概念を習得するとともに、倫理的問題に関する実践的な対話術の習得を目指す。
- 毎回、前半に座学、後半に受講生同士のディスカッションを実施。ディスカッションを行った後、各班の代表者が議論の内容を全体に共有、さらに全体で議論して検討。
- 死刑、嘘、自殺と安楽死、喫煙、ベジタリアニズム、善行、法と道德など。

## 宇宙総合学／宇宙学

- 人類の宇宙関連活動に関係する諸分野について、毎回異なる講師たちがリレー式に講義を実施。(オムニバス方式)
- 宇宙と宇宙関連活動について関心と知識を広げる。
- 学部向けの「宇宙総合学」は基本的に座学中心で、大学院向けの「宇宙学」ではディスカッションも重視。(内容のラインナップには重なる部分と異なる部分がある)

## 宇宙総合学(学部コース)

- 宇宙総合学とは何か  
(浅井, 寺田, 田口)
- 宇宙天気予報 (浅井)
- 地球磁気圏とオーロラ (海老原)
- 天文学概論 (嶺重)
- 宇宙観の変遷 (平岡)
- 宇宙はどうやって使うのか (泉田)
- 人類は宇宙で何をしているのか  
(寺田)
- 宇宙落語 (林家染二)
- 宇宙と法 (近藤)
- 宇宙システム制御 (大塚)
- 宇宙開発利用のELSI (清水)
- 宇宙と倫理 (伊勢田)
- 科学技術・産業政策と宇宙 (桑島)
- まとめと振り返り  
(浅井, 寺田, 田口)

## 宇宙学(大学院コース)

- 宇宙研究の広がり  
(浅井, 田口, 寺田, 清水)
- 天文・宇宙科学概論 (嶺重)
- 宇宙政策とELSI (清水)
- 倫理学とクリティカルシンキング  
1: 問題の紹介 (伊勢田, 児玉)
- 倫理学とクリティカルシンキング  
2: 実践練習 (伊勢田, 児玉)
- 宇宙にまつわる法的問題 (近藤)
- 宇宙人 + 系外惑星 (佐々木)
- 衛星利用と天文の共存 (大石)
- 宇宙とビッグサイエンス (篠原)
- 宇宙開発利用の実際 (菊地)
- 国際宇宙法と安全保障 (高屋)
- 宇宙産業の課題 (桑島)
- 宇宙と科学コミュニケーション  
(常見)
- まとめとふりかえり  
(浅井, 嶺重, 田口)

# 宇宙倫理学入門

- 人類の宇宙進出に伴う倫理的諸課題と、それらをめぐる倫理的議論の概要について知る.
  - 基本的に座学型の講義だが、質疑・ディスカッションの時間を毎回確保.
- 
- 規範倫理学概説
  - 宇宙開発略史
  - 宇宙開発擁護論
  - 有人宇宙活動
  - 宇宙機の事故リスク
  - 地球環境と宇宙開発
  - スペースデブリ
  - テラフォーミング
  - 宇宙ビジネス
  - 宇宙安全保障
  - 宇宙資源開発
  - 宇宙開発と人類存続

## 宇宙倫理学演習(1)

- 宇宙倫理学入門の内容を踏まえ、宇宙倫理学に関わる英語文献を用いた演習を行なう.
  - 宇宙倫理学に関連する学術英語論文を読解し、主張と根拠を適切に整理する能力と、それに基づいた批判的・建設的ディスカッションの能力を養う.
- 
- 全部で6つの文献を取り上げ、各文献につき2回分の演習を行なう.
    - 1回目：発表者が要約資料を作成して発表し、内容理解の質疑を行なう.
    - 2回目：内容の復習+グループディスカッション+全体ディスカッション.
  - グループディスカッション(毎回シャッフル)では、司会者と発表者を決め、議論の進行役を担ったりグループ代表者として発表したりする能力も養う.

## 宇宙倫理学演習(2)：使用文献リスト

- Johnson-Freese, J. and K. Smith, 2021, “**U.S. Space Dominance: An Ethics Lens**,” in War and Peace in Outer Space: Law, Policy, and Ethics, Oxford University Press.
- Schwartz, J. S. J., 2020, “**The Accessible Universe: On the Choice to Require Bodily Modification for Space Exploration**,” in K. Szocik (ed.), Human Enhancements for Space Missions: Lunar, Martian, and Future Missions to the Outer Planets, Springer.
- Steer, C. and D. Stephens, 2021, “**International Humanitarian Law and Its Application in Outer Space**,” in C. Steer and M. Hersch (eds.), War and Peace in Outer Space: Law, Policy, and Ethics, Oxford University Press.
- Schwartz, J. S. J., 2020, The Value of Science in Space Exploration, Oxford University Press. (Ch. 6, “**The Need for Forbearance in Space Settlement**”)
- Milligan, T. and S. Inaba, 2020, “**Ethical Problems of Life Extension for Space Exploration**,” in K. Szocik (ed.), Human Enhancements for Space Missions: Lunar, Martian, and Future Missions to the Outer Planets, Springer.
- Schwartz, J. S. J., 2020, “**Myth-Free Space Advocacy Part IV: The Myth of Public Support for Astrobiology**,” in K. C. Smith and C. Mariscal (eds.), Social and Conceptual Issues in Astrobiology, Oxford University Press.

## 宇宙倫理学ゼミ(1)

- 受講者たちがそれぞれのテーマを探し、その進捗を報告する。
  - 受講生同士ディスカッションを行ないつつ、教員からコメントを受け、研究を進めながら、プレゼンテーションの練習を積む。
- 最終的に修了レポートを作成し、プレゼンテーション(発表会)を行なう。
  - SEEP参加教員からフィードバックコメントを受ける。

## 宇宙倫理学ゼミ(2)：報告リスト(後期)

- Parastronaut
- 宇宙での人の死
- 宇宙開発における理想的な官民連携のあり方とは
- 科学者による平和的宇宙開拓
- 人類の宇宙進出における種族と文化的断続の必然性と選択
- アルテミス計画とその倫理的課題
- 有人宇宙飛行にまつわる健康管理について
- 民間企業の宇宙デブリに対する倫理的な姿勢について
- 宇宙エレベーターと倫理
- 宇宙創薬における倫理的課題
- 宇宙活動の法的規律
- 宇宙探査に対する社会的合意形成の倫理学を試みる
- 国家と学問研究——二次大戦期の日本とドイツを事例に

## 宇宙倫理学ゼミ(3)：最終成果発表

### 大学院コース

- 阪田哲史(経営管理M2) 「宇宙飛行の乗員増加に伴う医療サポート体制の検討」
- 井上侑香(工学研究科M2) 「公益に資する宇宙創薬とは」
- 岡知彦(理学研究科D3) 「宇宙開拓における科学者の倫理的価値」

### 学部コース

- 鈴木聡平(工学部B2) 「宇宙エレベーターと倫理——科学技術的課題の解消のみが宇宙エレベーター実現への条件か」
- 射水暉介(文学部B3) 「月資源採掘の倫理的課題とその規制」

### 一般コース

- 福岡浩二 「民間企業における宇宙デブリ抑制に向けたリスクとその可能性」

# 一般コースの実施方法

- 倫理学講義・宇宙総合学・宇宙倫理学入門については、京都大学の正規(単位の出る)科目であり、一般コースでは出席受講ができない。
- それぞれの担当教員から教科書(映像視聴)課題とレポート課題が出される。  
▶ 提出レポートが教員に認められることで「合格・認定」とする。
- 演習とゼミについては全コースの受講者が合同で受講。

# その他の学習機会提供

## 宇宙学セミナー(2022年度)

- 第6回宇宙学セミナー(2022.9.20)  
寺菌淳也「世界と日本の月探査・最新情報」
- 第10回宇宙学セミナー(2023.2.28)  
清水右郷「研究の自由の科学哲学」

## 宇宙ユニットシンポジウム(2023.2.12)

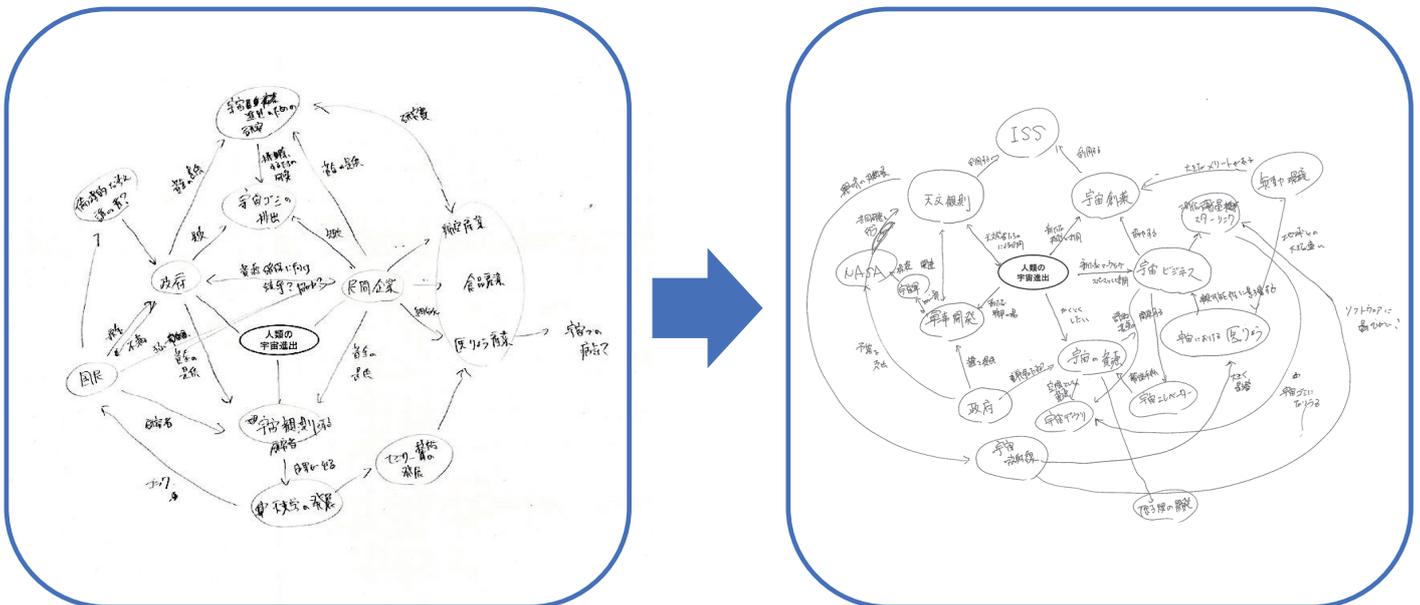
- 講演セッション3：宇宙開発をめぐる法と政治と倫理 (司会：近藤)  
青木節子「地球・月圏構築時代の国際宇宙法の現状と課題」  
鈴木一人「宇宙開発の国際政治」



# 教育評価(1)

- 受講者の学習達成度は複数の観点から保証・評価される。
  - 修了水準は 1+2 によって保証され、修了時までの学習発展度についてはそれらに 3+4+5 も加えて緩やかに評価する(させる)。
1. 必修科目+選択科目それぞれの単位取得(認定)。
  2. 修了レポート+修了プレゼンテーション。
  3. コンセプトマップ。
  4. 特点式自己評価。
  5. 記述式自己評価。

# 教育評価(2) : コンセプトマップ



# 教育評価(3)：得点式自己評価(1)

## 知識

- 1) 人類の宇宙進出の現状と展望
- 2) 人類の宇宙進出に伴う倫理的諸課題
- 3) 宇宙倫理的課題に関する既存の見解や論証
- 4) 規範倫理学と応用倫理学の理論や概念についての基本的な知識
- 5) 宇宙倫理学研究に関連する諸分野についての幅広い知識

## スキル

- 1) 宇宙倫理学に関する学術文献を正確かつ批判的に読解する能力
- 2) 宇宙倫理的課題について建設的なディスカッションを行なう能力
- 3) 宇宙倫理的課題の解決に資する研究を実施する能力
- 4) 宇宙倫理学に関する効果的なプレゼンテーションを行なう能力
- 5) 宇宙倫理学研究の成果を適切に文章化する能力

# 教育評価(4)：得点式自己評価(2)

