

「宇宙グリーン犯罪学」と「宇宙環境刑法」の基本構想

——宇宙資本主義・人新世に基づく宇宙探査・開拓・開発批判——

竹村 典良

目 次

- I はじめに
- II 宇宙探査・開拓の「負の遺産」～スペースデブリ（宇宙ゴミ）
- III 新ゴールドラッシュ「宇宙探査・採掘」（宇宙資本主義）による宇宙環境汚染・破壊とその規制
- IV 宇宙環境保護とその哲学的基礎
- V 結論

I はじめに

近年の歴史において、宇宙探査が現実となるとともに、人類は宇宙空間を人類の征服と成功のための新たな希望と挑戦の場と考え始めた。このように考えるならば、無限に思われる機会をどのように活用すべきかについて決定することが人類にとって重要であった。言い換えるならば、この新しい領域を熟知したあるいは熟知している者は誰もいないがために、人類がこの新しいフロンティアを濫用し、無謀に征服する可能性がある（Launius; Schwartz 2011）。しかしながら、国家間の世界戦争、宇宙戦争、慢性的紛争の可能性を恐れるがために、人類は宇宙空間を効果的かつ注意深く使用するために法的枠組みが必要であると認識した。

一方で、軌道上の人工衛星は現在の私たちの生活を支えている。それらは、宇宙科学、地球観測、気象学、気候調査、テレコミュニケーション、ナビゲ

ーション、宇宙開発のように、多くの活動や研究分野において使用されている。それらは特有な視点、科学データ収集のための資料、商業機会、多様で基本的な応用法とサービスを提供し、調査研究と開発のための無類の可能性を導く。しかしながら、過去数十年間に、宇宙活動の増加に伴い、スペースデブリという当初予測されなかった新しい危険が登場した。

他方で、地球外採掘が多数の国にとって新しい計画となって以来、主たる関心が何であるのかを決定し、平和な地球外宇宙のために必要な法律を立法することが重要となった。地球外採掘は地球外物質の所有と売買を促進し、多数の国連条約に抵触する恐れがあるために議論の余地がある主題となった。

本稿では、新しい概念「宇宙グリーン犯罪学」及び「宇宙環境刑法」を基盤として、スペースデブリの蓄積と低減、地球外宇宙採掘と環境破壊、宇宙資本主義・人新世と持続的開発、宇宙探査・開拓・開発の国家的・国際的規制、宇宙環境保護の哲学的基礎など、宇宙探査・開拓・開発に伴う宇宙環境汚染・破壊に関する諸問題について論じる。

Ⅱ 宇宙探査・開拓の「負の遺産」～スペースデブリ（宇宙ゴミ）

1. スペースデブリ：宇宙における新たな危険の発生

1) 軌道上に残存する物体の衝突と爆発

60 年以上の宇宙活動において、6,050 以上の打上げにより約 56,450 の追跡物体が軌道上にあり、そのうち約 28,160 が宇宙に残留し、米国宇宙監視ネットワーク (the US Space Surveillance Network) により定期的に追跡され、地球低軌道 (low Earth orbit) にある約 5 ～ 10cm より大きい物体と静止軌道 (赤道面上高度約 36,000km の円軌道) にある 30cm ～ 1 m の物体までを扱う「観測・監視カタログ」(宇宙監視ネットワーク) に載せられている。今日、フル稼働している人工衛星は、そのわずか一部の約 4,000 である。この大規模な量の宇宙船操縦装置は総量で 9,300 トンである。

カタログに搭載されている物体の約 4% は人工衛星であり約 11% は使用済みのロケット上段部分と打上げアダプターとレンズカバーのような任務に関連する物体である。1961 年以降、560 以上の軌道上の破片による事故が記

録されている。そのうちわずか7件の事故は衝突に関連したものであったが、最近の大部分の事故は宇宙船やロケット上段部分の爆発であった。しかしながら、将来的には衝突がスペースデブリの主要な発生源になるであろうと予想されている（European Space Agency 2022b）。

これらの破片事故は、90万件のナンバリングされている1 cmより大きい物体を生み出したと考えられている。自然発生した流星体からの散発的流出物体だけが、およそ0.1～1mmの人工的なデブリの数を上回っている。軌道上の爆発の主たる原因は、地球軌道に廃棄され残っているロケットの上段部分あるいは人工衛星タンクあるいは燃料管に残留する燃料、あるいは、他の残余エネルギー源に関係する（European Space Agency 2022b）。

時間の経過とともに、厳しい宇宙環境が人工衛星の内外部分の機械的に完全な状態を損ない、燃料成分の漏洩あるいは混交が生じ、自然発火を惹起するであろう。その結果発生した爆発は、物体を破壊し、大量の破片を拡散する（Inter-Agency Space Debris Coordination Committee 2018）。

2) 「ケスラーシンドローム」とその回避

今日の約110件の年間打ち上げ数、将来における年間平均発生数10～11件の分解が継続するならば、スペースデブリの数は徐々に増加するであろう。デブリの増加の結果、大惨事となる衝突の蓋然性も漸進的に増加する。物体数の倍増は衝突リスクをおよそ4倍にする。現状維持のシナリオでは、今後数十年の間に、そのような衝突が現在支配的な爆発を上まわり始め、最終的には、衝突の破片のすべてが微小なサイズになるまで相互に衝突を繰り返すであろう。特に地球低軌道において重要な自動継続プロセスは「ケスラーシンドローム」（Kessler syndrome）として知られている。したがって、国際的スケールにおける時宜を得た低減・改善手段の適用によりこのような末期的現象を回避することは必要不可欠である（European Space Agency 2022b）。

現在、大惨事となる衝突を引き起こす可能性があるスペースデブリの大部分は、宇宙飛行の歴史において発生した500以上の軌道上の破片事故の結果として生じたものである。スペースデブリの環境についての長期的発展に関するシミュレーションは、今後数十年間に、衝突によって発生した破片が少なくとも高度800～1,400km付近の軌道において支配的になるであろう

ことを示している。最も蓋然的なシナリオによれば、当初破片は大きく完全な物体と衝突し、その後その衝突の結果生じた破片は他の大きく完全な物体と衝突し始め、最終的には衝突によって生じた破片同士が衝突し、全ての物体が微小サイズになるまで衝突を繰り返す。暴走的自動継続的カスケード衝突プロセスは、デブリが高密度で大気の引力による浄化が不十分な場所である高度 900 ～ 1,400Km 付近で始まるであろう (European Space Agency 2022b)。

これらの環境に関する長期シミュレーションは、スペースデブリ低減ガイドラインおよび軌道上の分解頻度の観点から、現在の宇宙飛行動向からの推計の結果として、日常的に宇宙船が運航される結果、物体数が指数関数的に増加するであろうことを示す。全ての宇宙船の「不動態化」が成功し、軌道上の分解が制限され、任務終了後に効果的な廃棄戦略が広範に（例、90%以上）採用されるならば、数量増加の抑制に役立つであろう。小規模な人工衛星の大規模な群れが地球低軌道に存在する状況に関して、国際機関間スペースデブリ調整委員会 (The Inter-agency Space Debris Coordination Committee: IADC) (以下、IADC と略す) は 13 の宇宙機関構成員を横断する研究を行った。これらの研究によれば、最低でも 95%、特に大規模な「伝統的な人工衛星」の場合は 90% 以上の廃棄率の場合にのみ軌道環境の安定した発展が達成される (European Space Agency 2022b)。

2. スペースデブリの低減：衝突回避と不動態化

1) スペースデブリの増加とその影響

宇宙は世界中の個人や社会に巨大な利益をもたらしてきたが、打ち上げ物体の急増と宇宙軌道における交通量の増加は、デブリを常態的に生産し、これまで依存してきたテクノロジー自体を脅威にさらしている。過去数年間にロケットと人工衛星の打ち上げ数の劇的な増加がみられ、過去数十年間では、非営利機関よりも民間企業がより多くの小規模な人工衛星を打ち上げ、飛行ミッションの類型が変化した。近年、国連に登録されない物体の数が増加し、今後も増加することが予想される (European Space Agency 2021)。

軌道上の人工衛星は何百万もの高速で移動する危険なスペースデブリと地球近傍宇宙を共有する。ミリメートルサイズの微小な破片から任務を終了後

に原形を保持し宇宙軌道を無制御で放浪する人工衛星まで、すべてのデブリ破片・部分・完全体は秒速数キロメートルで移動する。これらの物体の一つの衝突であっても、少なくとも運用中の人工衛星の機能を損ない、最悪の場合には完全に破壊し、さらに多くのスペースデブリが生じる。デブリによって惹起される危害も、人工衛星のパーツの漸次的崩壊から即時的で全体的な崩壊に至るまで異なる。米国航空宇宙局 / 欧州宇宙機関ハッブル宇宙望遠鏡（The NASA/ESA Hubble Space Telescope）は、数十年継続して、小さなデブリ物体に発する小規模爆発を観測したが、壊れていない人工衛星同士の衝突も発生し、何千というデブリ破片が生まれた（European Space Agency 2021）。

2) 地球への落下と再突入

地球の大気は軌道上の人工衛星の速度を徐々に減速し、それらは再び地球に戻る。この過程は、低い高度を飛行する人工衛星は相対的に速く 25 年以下であるが、地上数万 km の高度の軌道に打ち上げられた人工衛星の場合、それらに大気の影響が及ぶならば、帰還までに数千年を要する可能性がある。人工衛星を宇宙に打ち上げるならば、それらの任務終了後にどのように取り除くかを考慮しなければならない。さもなければ、衝突、爆発、大量のスペースデブリの創出の危険のある古く機能停止した宇宙船で空がいっぱいになるであろう（European Space Agency 2021）。

宇宙に送り出された物体は、事実上、大気圏突入がスペースデブリの創出を最小限度に抑え、宇宙の持続的な未来を保証する基本的な手段である。地球低軌道上の物体は、地球の大気の影響を受け、次第に高度を下げ、高速かつ灼熱となり、地球に向かって降下する。小さな物体は非常に大きな摩擦と熱の影響で再突入時に崩壊するが、より大きな物体のパーツは地上に落下するために、自由地域の土地に制御されなければならない（European Space Agency 2021）。

3) 衝突回避と不動態化

宇宙は空虚で巨大な空間のように見えるが、地球軌道の人工衛星は他の人工衛星やデブリ破片と衝突する恒常的危険に直面している。混雑する軌道にある人工衛星のオペレーターの日常業務は、人工衛星の危害の発生を防ぐことである。実際に、欧州宇宙機関では、1つの飛行任務につき、年平均2

回の「衝突回避操縦」を行っている。これらの操縦は費用がかかり、天空をモニタリングし、リスクを計算し、操縦を計画するために多数の時間を要する (European Space Agency 2021)。

人類は宇宙で多数の競争をしているが、地球低軌道で活動する者にとって、スペースデブリは現実的な関心事である。国際宇宙ステーション (The International Space Station) は地上 400 キロメートルを若干超える高度で軌道を周回している。打ち上げ後の 20 年間に、スペースデブリの衝突を避けるために、28 回の「衝突回避操縦」が行われた。衝突の可能性が差し迫り、ステーションを移動する時間がない場合には、緊急避難をすることができる。現在までに、ドッキングしたソユーズ宇宙船を使って、5 回の「避難所設置」(shelter-in-place) 操縦が行われた (European Space Agency 2021)。

現在軌道上にある何百万というデブリ破片は、過去における「分裂事故」(fragmentation events) の直接の結果である。今日までに知られている 550 の事故のうち、推進装置によって惹起された事故が大部分のスペースデブリを創出した。廃棄されずに人工衛星やロケットに放置されたエネルギーは爆発の原因となる可能性があるため、国際スペースデブリ低減ガイドラインは、役割の終了とともに人工衛星を「不動態化」(passivated) する (例、燃料タンクを空にし、バッテリーを外す) ように求めている。将来、ガイドラインと不動態化技術の開発によって推進装置に関連する爆発が低減することを期待されているが、宇宙の交通量が急増しているがため、衝突の件数が増加することも予想される (European Space Agency 2021)。

3. 国際協力と宇宙環境レポート

1) スペースデブリの低減のための国際協定

スペースデブリを低減する手段の必要性に関して国際的同意が存在する。そのような手段が議論され練り上げられる最も著名な国際機関は、国際機関間スペースデブリ調整委員会 (The Inter-Agency Space Debris Coordination Committee: IADC) (以下、適宜 IADC と略す) であり、2002 年に (2007 年、2020 年改定)、低減ガイドラインを公刊した。これは、国連宇宙空間平和利用委員会 (United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: UNCOPUOS) によって採択された 7 つのスペースデブリ低減ガイド

ライン（Space Debris Mitigation Guidelines）に影響を及ぼした（European Space Agency 2022c; Inter-Agency Space Debris Coordination Committee 2021; United Nations Office for Outer Space Affairs）。

IADC ガイドラインが求めるステップは、

- 1) 通常運航中のデブリ放出の制限、
- 2) 運航中における崩壊の可能性の最小化、
- 3) 事故衝突の蓋然性の制限、
- 4) 故意による破壊と他の有害な活動の回避、
- 5) 燃料タンクやバッテリーの爆発のような、貯蔵エネルギーから発生する任務終了後の崩壊の蓋然性の最小化、
- 6) 任務終了後に宇宙船と多段式ロケット段が地球低軌道地域に長期滞在することの制限、
- 7) 任務終了後に宇宙船と多段式ロケット段が地球に対して静止状態を保つ地域に対して長期にわたって妨害することの制限、

である（European Space Agency 2022c）。

例えば、IADC ガイドラインに従う一つの方法は、人工衛星の任務終了後に、脱軌道操船し、船内システムを不動態化するために、十分な燃料を機内に保持することである。操船により人工衛星が十分な低軌道に移動し、25年以内に大気の影響により、減速し、大気圏に突入する限りにおいて、ガイドラインは十分尊重される。この技法は確実であるかもしれないが、実際には、地上への原因作用のリスクにより異なる追加コストと複雑性を伴う（European Space Agency 2022c）。

IADC によって練り上げられたスペースデブリ低減方法は、UNCOPUOS 科学技術小委員会（Scientific and Technical Subcommittee: STSC）に提示され、国連スペースデブリ低減ガイドライン（UN Space Debris Mitigation Guidelines）の基礎となった。2007年に、これらのガイドラインは、63のSTSC構成国家によって、任意の高レベル低減方法として承認された。それ以来、ガイドラインは、国際標準化機構（International Organization for Standardization: ISO）および欧州宇宙標準協会（European Cooperation for Space Standardization: ESSC）によって公表され、工学技術スタンダードとなり、今日ではスペースミッションの立案を管理監督している。その上、

いくつかの国はこれらの勧告、ガイドライン、スタンダードを国内法で採用し、スペースデブリの低減を義務化した。数年間の国際協力の後、2019 年 6 月 2 日、UNCOPUOS は宇宙活動の長期持続可能性と取り組む 21 のガイドラインを採用した。これらのガイドラインは、安全な宇宙飛行業務のための宇宙環境を維持する、国際的に認知され受容された手段によって構成される (European Space Agency 2022c; 加藤 ; 堀口)。

2) 欧州宇宙機関「宇宙環境年次レポート2022」

宇宙時代の幕開け以来、稼働中の人工衛星よりも多くのスペースデブリが軌道上に存在してきた。スペースデブリはグローバルな規模で地球近傍環境に対して問題を惹起するがために、グローバルに支持された解決方法だけがその答えとなり得る。これにより、国際的に認められたスペースデブリ低減手段が必要となる。2002 年にこの方向における主要な第一歩が取られ、国際機関間スペースデブリ調整委員会 (The Inter-Agency Space Debris Coordination Committee: IADC) はスペースデブリ低減ガイドライン (IADC Space Debris Mitigation Guidelines) を公刊した。以来、この文書は拘束力のない政策文書、立法のための指針として、また、技術標準の派生の出発点として貢献してきた。低減手段の標準化は、透明性があり比較可能な過程を導くのに必要な任務の共通理解を得るために重要である。首尾一貫した手段を持つことがスペースデブリというグローバルな問題と取り組むために最も重要であるとしても、それらの適用は個々の国家、オペレーター、製造業者次第である (European Space Agency 2022a; Inter-Agency Space Debris Coordination Committee 2021a)。

宇宙時代の黎明と共に、物体の総数、総体としての量と領域は着実に増加し、稼働中の人工衛星とスペースデブリの不慮の衝突の発生に至っている。過去数十年における宇宙監視センサーの能力が発達することにより、デブリが確実に捕捉されカタログに掲載されるサイズの限界が押し下げられた。これにより、かなりの量のデブリを認識するようになったが、発生するきっかけとなったすべての事故を知ることはできない。商業的事業への移行に伴い、宇宙システムの小型化と大規模コンステレーション (多数宇宙船配置) の展開に刺激を受け、2015 年以降、とりわけ地球低軌道において著しい変化が生じた。これらの三要素 (例、交通量、宇宙船の類型、業務形態) は、国連

長期持続可能性ガイドライン（The UN Long-Term Sustainability Guidelines）と調和するように、スペースデブリ低減ガイドラインの妥当性および持続的な宇宙事業の可能な方法を検討する際に、すべてが関係する（European Space Agency 2022a, 4; Inter-Agency Space Debris Coordination Committee 2021b）。

グローバルレベルにおけるスペースデブリの低減は徐々に進んでいると指摘されるが、長期的に見て持続可能な環境を確実にするには成功例があまりに低いレベルに留まっている。注目すべきは、ロケット本体の制御された再突入、地球低軌道の過重負担を軽減する稼働終了後の成功廃棄率のような低減手段の受入れの増加のいくつかは、大規模コンステレーション（多数宇宙船配置）の展開と回収と関係することである（European Space Agency 2022a, 4; Inter-Agency Space Debris Coordination Committee 2021b）。

最後に、軌道利用と発射量の増加予測は、継続的な断片化と制限された稼働以後の成功廃棄率とともに、今後数世紀にわたる衝突事件のカスケードに至るであろう。今後軌道に発射しないとしても、既に存在するスペースデブリ物体間の衝突が予想され、スペースデブリ数のさらなる増加に至るであろう（European Space Agency 2022a, 8）

このような状況を根本的に克服し、将来に希望の活路を見出すためには、以下のような批判的見解を検討することが重要であろう。Hunter と Nelson によれば、権力を有する利害関係者による地理的想像力により軌道上のデブリが形成され、これらの物体との関りを制限する。学際的な文献を調査検討することにより、軌道上のデブリに対する広範なアプローチを鼓舞し、機能性に焦点を当てるヘゲモニック・ナラティブを超越することができる。デブリと不正義の関係が明らかにされ、地球上の権力とエコロジーとの関係で検討されなければならない。また、カウンターヘゲモニックな枠組みが出現する可能性について熟考し、どのように、なぜデブリが汚染物質、リスクなどに多様に関係するかを解明しなければならない（Hunter *et al.*; Morin *et al.*）。

4. 小括

宇宙は巨大に見えるが、地球周回軌道は有限の天然資源である。何百万ものデブリ破片がこれらの軌道を埋め、それらの行路を横断する宇宙船の脅威

となっている。人工知能のテクノロジーは地球近傍に張り巡らされ、今後ますますその度合いを高めるであろう。天気予報、気候調査、コミュニケーション、位置情報サービスのために不可欠なデータが収集される特有な軌道の領域を保護することがますます重要になっている。増加する宇宙交通、より複雑な宇宙業務、大規模コンステレーションのように、長期の持続可能性に脅威を与える多数の傾向があるが、他方で、持続可能な将来を確実にするアプローチも存在する (European Space Agency 2021; Madi *et al.*; 加藤; 堀口)。

地球を周回するスペースデブリの量は、宇宙飛行士や衛星を脅威にさらすより多くのデブリを代わる代わる生み出す可能性のある衝突の「ティッピング・ポイント」(臨界点)に到達した。私たちは、時速 17,500 マイルで地球の周りを飛ぶ使用済みロケット本体、放棄された衛星、何千という他の廃棄物部品によって惹起される偶発的事故を減少するための新しい戦略が必要である。損害は、大気中の二酸化炭素濃度の高まり、核廃棄物の貯蔵、有害薬物(殺虫剤、除草剤など)の地下帯水層への長期的残留などに関係する。それぞれが及ぼすのは小規模で短期的な影響ではあっても、長期的には将来的に社会に対してより多くの影響を及ぼすことになる (Takemura 2012; Committee for the Assessment of the NASA's Orbital Debris Programs: National Research Council: 1)。

スペースデブリがもたらす危険に関して、宇宙を科学的あるいは商業的に使用する者は次第に関心を高めている。観測可能でカタログに搭載された物体の他に、追跡することができない危険なスペースデブリの総数ははるかに多い。特別な分類とその結果としての総数の動力学は、所与の宇宙任務の衝突リスクを決定するのに用いることができる数学モデルに表現することができる。多様なスペースデブリ減少手段により、軌道上のリスクを減じることができ、その効果はスペースデブリ環境の長期的な計画において検証することができる。他の減少手段は、大気圏への再突入と地上への影響のリスクを減じることが目的とすると定義づけられる。いずれにせよ、宇宙環境は将来世代のために出来る限り清浄かつ安全に保持されなければならない (Takemura 2012)。

Ⅲ 新ゴールドラッシュ「宇宙探査・採掘」（宇宙資本主義）による 宇宙環境汚染・破壊とその規制

1. 宇宙資本主義：新しい宇宙経済

地球外宇宙の平和利用に関する委員会（Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: COPUOS）（以下、適宜 COPUOS と略す）は、小惑星採掘の黎明について、地球外採掘、いわゆる小惑星採掘の歴史は 20 世紀末における地球外宇宙と衛星の打ち上げに対する関心の高まりとともに始まった、と説明する。多数の人々は地球における天然資源の枯渇に関心を抱くようになると共に、彼らは地球外宇宙における入手可能な資源により注意を向け始めた。例えば、金属小惑星は大量の鉄、コバルト、ニッケル、プラチナを供給する可能性がある。実際に、科学者は新しい再生可能なエネルギー資源を探し求めてきたが、ヘリウム 3 は注目度の高い天然資源であると結論付けた。この特殊な資源は、地球上ではほとんど得られないがために、月でしか入手することができない、ということが重要である（Committee on the Peaceful Uses of Outer Space 2017a; McKay *et al.* 220-229; Rapp; ナショナルジオグラフィック編集部 2021 年 b; ナショナルジオグラフィック編集部 2019 年 a; ナショナルジオグラフィック編集部 2019 年 b）。

COPUOS は宇宙採掘の合法性について説明する。多くの科学者は、宇宙採掘が数十年以内に実現すると考える。地球外宇宙は、より多くの資源が発見されることが期待されるがゆえに、多数の国々にとって前途有望な領域となった。今日では、国家だけでなく民間の採掘会社も地球外採掘に注目している。アメリカ合衆国とルクセンブルクの両政府は、いち早く、地球外採掘に基金を提供し、民間企業が地球外物質を所有、売買、移転することを認めることによって、地球外採掘を合法化する法律を成立させた。しかしながら、地球外条約（Outer Space Treaty）と月協定（Moon Agreement）のような国連条約が地球外宇宙の平和を維持するために地球外の資源や惑星を所有することを禁止しているがために、条約違反の問題と直面せざるを得ない（Committee on the Peaceful Uses of Outer Space 2017a）。

Pelton によれば、宇宙採掘企業は、試行テスト、技術開発から現実のビ

ビジネスに移行し、宇宙における新しい資源獲得の可能性を実現しようとしている。現実に従業員を雇用し、新しい資源をもたらそうとしているベンチャー企業を支援するための資本を増額している企業がある。これらの活気に満ちた「新しい宇宙」(New Space)の商業活動は、化石燃料エネルギーの置き換え、21 世紀末には一般的となる天然資源不足を補完する重要な役割を果たすであろう。宇宙資源にアクセスすることができないならば、私たちの惑星とグローバル経済は過剰人口と過少資源のために衰退する虞がある(Pelton 91)。中心的な企業の一つである Deep Space Industries は、将来の採掘に向け、ミネラルと氷の存在を調べるために小さな探査衛星を送る計画である。今一つの企業である Planetary Resources は、採掘のために小惑星を分析する望遠鏡を開発する計画である (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space 2017a)。

新しい宇宙経済・宇宙資本主義は、私たちが新しい人類の時代に突入するがゆえに、未来への道筋である。しかしながら、Pelton の警告によれば、この移行が正しく行われなければ、惑星と人間の文明の長期にわたる持続可能性が危険にさらされ続けるであろう。これらの新しい宇宙事業は地球上で枯渇しつつある天然資源と化石燃料を補完する以上のことをなさなければならない。それらは人間社会を変容する包括的戦略の一部として広い視野で捕捉されなければならない (Pelton 99; Galliot; Iacomino; Moore 2016; Moore 2015; Dallas *et al.*; Hofmann *et al.*)。

2. 技術的進歩と宇宙採掘の発展

宇宙採掘産業はどのような段階にあるであろうか。現在、宇宙採掘を推し進める企業は 4 つあり、これらはすべて米国を基盤としている。これらの新規事業を開始する企業は、Planetary Resources, Inc.、Deep Space Industries、Shackleton Energy、Moon Express である (Pelton 99)。

Pelton によれば、今日の宇宙採掘企業はいくつかのキーポイントにおいて視点の多様性を示している。ある企業は月面での採掘を構想し、他の企業は小惑星での採掘に焦点を当てる。これらの宇宙採掘事業が目指す潜在的なターゲットは多岐にわたる。ある企業は揮発性物質、とりわけ、宇宙基地におけるロケット発射装置のための燃料スタンド (filling station) を作るため

に水素と酸素に分解することができる水に焦点を当てる。ヘリウム3アイソトープのような希少物質の獲得を目指す者があれば、ほとんど純粋なプラチナでできている小惑星の発見を目指す者もいる。実際に宇宙採掘事業に着手する前に、有望な小惑星のターゲットを発見する注意深い調査が必要であることに大部分の企業は同意する（Pelton 101; Hellgren）。

しかしながら、技術の進歩と宇宙採掘の発展に関して、宇宙採掘がそれほど迅速に実現するかどうかについて疑念が存在する。懐疑論者は次のような問題を提示する。巨大な投資によってもたらされる宇宙開拓資源が費用に見合うだけの価値を有するであろうか。地上あるいは海洋で採掘された資源が競争的に優位にあることを鑑みれば、いかなる宇宙資源が意味をなすであろうか。過去半世紀において、宇宙輸送、宇宙居住環境、人工知能ロボットの進歩は著しく、過大な労力を有する任務を段階的に実現できるようになってきた。信頼のおける低コストの宇宙移動システムを作成する技術、遠隔採掘をするために精巧なセンサーとロボット装置を備える小型で安価なロボット探査宇宙船、宇宙採掘を可能とする何十という技術能力は、現在開発されつつあるか、開発途上にある（Pelton 99, 106; Chen *et al.*; Hein *et al.*; 寺藺）。

要するに、宇宙採掘は将来有望な産業技術であることを歴史が示している。しかしながら、同時に、更なるグローバルな紛争と議論の原因となる可能性がある（Takemura 2019, 7-9）。

3. 持続可能な宇宙採掘のための法的枠組み

Leterreによれば、宇宙採掘産業が歩みを進めるとともに、宇宙資源の活用を規制する法的枠組みの必要性が増大した。そのような採掘の許容性について地球外宇宙条約に残された曖昧性は、さらなる活動の発展のために必要とされ、現在の国際法が十分に保証していない法的確証を投資家に与えるために、米国とルクセンブルクの2カ国をそれぞれ独自の法的枠組みを採用するに至らしめた。米国とルクセンブルクが国際体制の確立を待つのではなく国家的枠組みを選択したことは、国際団体から、とりわけ国連地球外宇宙の平和的利用に関する委員会の法小委員会（The Legal Subcommittee of the UN Committee on the Peaceful Use of Outer Space）のセッションにおいて批判された（Committee on the Peaceful Use of Outer Space 2017a; Le-

terre 3-4; Johnson 90-91)。

将来における地球外宇宙の法的枠組みについて熟考することは、単なる試行訓練ではない。地球で採掘される資源がますます乏しくなる時代には、地球外宇宙で発見された資源が地球採掘資源の代替物と考えられるがために、極めて重大な人類の関心となる。民間企業が地球外宇宙を利用する任務を遂行するというよりも、この資源開発が導くネガティブな結果から人類を守るということがより重要になるであろう。なぜなら、「一番の関心が採掘で、その結果は二番目である」という、これまで地球で行われたことを繰り返さないことが重要であるからである。そのようなディレンマの解決方法を発見する手助けとなる熟慮の要素を提供することが法的熟慮の役割である (Leterre 78; Doshi)。

4. 「人類の共同遺産」原則

De Cnudde は、国際制度として「人類の共通遺産」(Common Heritage of Mankind) 原則を導入する。なぜ宇宙の資源開発に国際体制が必要なのかを強調することが重要である。自制的でない宇宙資源開発には多くのリスクがあり、月面における資源採掘の際に現実化する虞がある。また、将来において、宇宙資源開発は国家と民間企業の合弁会社によって行われるようになるであろう。その際には、営利の点で最高の利益が得られるように規制がなされなければならないであろう。いま一つ別の観点で、宇宙資源開発とともに宇宙の唯一の環境が危険にさらされる多大なリスクがあるがために、環境の視点は重要である。現在のスペースデブリは、宇宙におけるテレコミュニケーションの商業的利用の結果の一部である。ここでも、唯一の宇宙エコロジーを保持することを保証するために国際規制が必要である。さらに、全ての国が宇宙の商業的利用を開始する能力を有するわけではなく、能力と資源を有する国は少ないがゆえに、国家間のより多くの不平等が生じるのを回避するために、何等かのセキュリティを確保する国際的な条約が必要である。このコンテキストにおいて、議論的になる「人類の共通遺産」原則は重要な役割を果たす。最後に、宇宙資源開発のための国際体制を促進するための議論は、個々の当事者にとって可能な限り公正に商業活動が組織された、よりよく計画された市場も創出しなければならない (de Cnudde 2-3;

Takemura 2012)。

先進国の視点からすれば、宇宙資源開発の現状は十分満足のいくものであり、さらなる規制は各国に任されるべきである。しかしながら、このような考え方にはいくつかの問題がある。環境保護が十分でなく、エコロジーの侵害に対する対策も欠如している。その結果、人類全体の利益に対する配慮が薄く、先進国だけが地球外宇宙の利益を享受することになるであろう。公正かつ安全な環境を作り出すためには、国際的な規制が必要である (de Cnudde 93; Tronchetti 2009; Jakhu *et al.* 2008; Jakhu *et al.* 2017; Reinstein)。

5. 国際的、国家的規制

Jakhu ほかは、国家規制と国際規制の調和の難しさを指摘する。困難で過大な要求をする宇宙探掘活動は、国際的並びに国家的規制環境の現状の下で行われるであろう。主として 1967 年の地球外宇宙条約及び 1979 年の月協定に代表される現在の国際宇宙法は、その段階に止まっている。秩序立った宇宙天然資源の開発のための基盤を提供する明確でグローバルな宇宙統治システムが必要である。2015 年の米国宇宙法 (the U.S. Space Act of 2015) のような先導的な国家規制は、国内法的・行政的目的のために必要であろうか、また、国際的義務に抵触する潜在的虞はないであろうか。関係する国際条約の遵守を維持するためには、そのような国家法を注意深く適用しなければならない (Jakhu *et al.* 2017, 147; Hobe *et al.*; Tronchetti 2013; Nyka; Coffey)。

地球外宇宙における探掘の主題に限って議論された特別な議決や法案は存在しない。しかしながら、過去数年間において、国連は地球外宇宙活動に関する多数の議決を行なった。現在、スペースデブリの削減、地球近傍物体 (near-earth object (NEO)) の管理、グローバル衛星システム、地球外宇宙における核力利用、地球外条約のレビュー、知的能力の形成のような多様な問題に関するレポートが存在する (Committee on the Peaceful Use of Outer Space 2017a; Committee on the Peaceful Use of Outer Space 2017b; De Man; Paikowsky *et al.*)。

要するに、宇宙探査と宇宙産業の急速な発展、地球外探掘のような宇宙活動の新しい展開に伴い、宇宙法の強力な執行と法の支配について議論し、近未来において地球外宇宙をよりよく規制することが必要である (Takemura

2019, 9-10; 岡田他；伊勢田他)。

Ⅳ 宇宙環境保護とその哲学的基礎

1. 宇宙環境の保護

地球外宇宙の平和的利用に関する委員会 (COPUOS) は、宇宙採掘における環境的配慮の重要性を指摘する。初めて大規模な採掘が地上で行われて以来、そのプロセスにおいて環境に対する重大な外的影響が生み出されることが明らかになった。過去数十年における環境運動の成果として、これらの実務に対する最高レベルの精査が行われるようになり、採掘企業は規制と世論によって生産方法を変えることを余儀なくされるようになった。この調整の重要部分は採掘過程をよりエネルギー効率を良くすることにより行われた。地球近傍の小惑星や他の天体が探査され、最終的に資源採掘されるであろうがために、この新しいフロンティアにおいてなされる活動に向け、類似の議論が行われなければならない。宇宙においても、採掘によって惹起される環境汚染・破壊が考慮されなければならない。採掘が行われる天体の自然はこの議論に影響を及ぼすであろう。なぜなら、長期居住を目的とする天体は厳しい精査に従わなければならないからである。環境的配慮が働かなければならないならば、いかなる環境法が採掘実務を規制すべきかなど、その範囲は潜在的で議論の余地がある (Committee on the Peaceful Use of Outer Space 2017a; 岡田他；伊勢田他)。

Almárによれば、太陽系の環境を注意深く保持する問題は「宇宙環境主義」(astroenvironmentalism)と呼ばれ、惑星探査・開拓・開発の計画に関する知見を提供する。一方における未来の惑星資源の開発利用者と他方における惑星保護主義者としての天文学者のそれぞれの利益の間には基本的な争いがある。すなわち、惑星の開発利用者は彼らの活動による環境への影響を十分に検討することはなく、天体の地表あるいは地表下の原初の状態を保護することはなく、惑星、小惑星、衛星の起源や発展に関する原初の基本的な証拠が将来の天文学者に残されることはない。ミッションの影響と科学的帰結、あるいは、それらによって得られる可能性のある他の利益の間に balan

スが取られなければならない。さらに、環境にとって著しく有害な特定の活動は、他の方法では得られないようないかなる利益をもたらすものであっても、規制あるいは禁止されなければならない（Almár 1577-1578; Hlimi 445-449; MacWhorter; Druyan; Kiselev *et al.* 507-576; Williamson, M.; Williamson, H. R.; Cockell; Reiman）。

2. 宇宙活動と潜在的行動の分類

宇宙活動は以下の四つのカテゴリーに分類される。

1) 調査研究

現地調査では常にある程度の汚染が生じる。概して、必要物資だけが天体に、産出物だけが地球に届けられ、天体の環境も地球環境も汚染されてはならない。すでに、月、金星、火星の地表には多量のスペースデブリが存在する（Almár 1578）。

2) 産業活動

採掘は小天体を破壊する可能性がある。中規模天体の地表の採掘活動によって、天体の全地表が変えられ破壊されるかを明示することができる。火星の小さな月であるフォボスはその正面の溝のシステムの特殊性により、太陽系の中でもおそらく独特な存在である。人類が月を採掘しあるいは月に植民することを決定するならば、月環境に対する影響は著しく増加するであろう。地球上での経験が示すように、探査が開拓・開発に変わる時、環境は多大な被害を受けることになるであろう（Almár 1578）。

3) 植民地化と惑星地球化

植民地化と惑星地球化は、大規模な環境の変化、すなわち、人類が居住するための惑星の環境の変容をもたらすであろう。いくつかの難問が提示される。惑星としての火星はそれ自体本質的な価値があるのであろうか。生命が存在しない惑星は活動的な生態系が存在する惑星と比べ本質的な価値が劣るのであろうか。火星に存在し入手することができる資源にアクセスし利用すべきであろうか、それとも、あるがままにしておくべきであろうか。惑星地球化に関する環境問題は将来の世代の検討事項として残すのが合理的であると言えよう（Almár 1578; Kaku; Lockard; Schwartz 2012; Mautner; 向井; 稲葉; ナショナルジオグラフィック編集部 2021 年 a）。

4) 自由競争

異質な環境におけるあらゆる種類の活動の結果は、戦略や法体制に大きく依存する。自由競争においてあり得る最悪のシナリオは、「最初にたどり着いた者は望むことを何しても良いという権利を持つべきだ」ということである。これにより、天体全体が破壊され、将来における更なる探査が不可能となる虞れがある (Almár 1579)。

Almár によれば、環境に対する関心が宇宙開発にも適用されるべき時がきた。「いかなる国も企業も共有資源を専有する権利を持たない」という 1979 年の月条約における考え方が中心的な前提となる。「人類の共有財産」原則はこの考え方の基本となっている。しかしながら、この原則が現実的には尊重されていないということを最近の二つの例が示している。民間企業の Altemis Society は月旅行を企画している。他方で、月に対する事業関心が認可を得ずかつ権利と義務を認識せずに生じている。SpaceDev は、小惑星を探査し、最終的には資源を採掘するために、民間の宇宙探査機を打ち上げる計画がある。認可を得ずに、また、小惑星を私的に所有することは将来における危険な例となるであろう (Almár 1579; Krolikowski *et al.*)。

3. 保存メカニズムの枠組み

特別な科学的関心あるいは国際的科学的保護の領域について呼称が検討されなければならない。地球外宇宙における自然保護区域の私的所有を禁止する適切な環境法体制を構築することが基本的な「未開地原則」(wilderness principle)である。しかしながら、そのようなシステムを現実化するには効果的な法的枠組みが必要であるが、21 世紀においてそのような法的枠組みが存在せずに様々な天体において大規模な産業活動が行われるならば、対策を講じる前に有害な影響が発生するであろう。「地球外未開地」(outer-space wilderness)を保護するために、国際的環境保護条約が必要なのは明白である。特別な環境を保護するためのニーズを満たすために、それらの原則を適用する基準が作られなければならない。同時に、通常の宇宙探査と開発を可能とするような何等かの柔軟性も必要である (Almár 1580)。

要するに、環境に対する関心が宇宙開発にも向けられるべき時が来た。地球外宇宙における未開地領域の私的所有を禁止するための適切な環境保護体

制が喫緊に構築されなければならない（Takemura 2019, 10-12）。

4. 環境保護主義の歴史：人間中心的、生態系中心的、宇宙中心的環境保護主義

第一に、「人間中心的環境保護主義」(anthropocentric environmentalism) について、人類は「環境の敵」として自己同一視する。誰もが、きれいな空気を吸い、きれいな水を飲むことを望み、有害な物質によって自身の体や財産を傷つけようとは思わない。このような生活を望む者が人類の大多数を占め、彼らは人間中心的保護主義の支持者であるということが出来る。人間中心的環境保護主義は政治の世界でも見つけることができる。例えば、右翼から極左マルクス主義に至るまで、人間の福祉に対する環境的脅威と戦うために、これまで経験したことのないグローバルな政府の介入を要求している。また他の者は、地上における人間の福祉を最大にするための適切な環境保護手段として、レッセフェール資本主義を指示してきた。人間中心的環境保護主義にとって、人間以外の生物や物質は人間がそれらに価値を付与する限りにおいて価値がある（Huebert *et al.* 283; Holley *et al.*; Hamilton *et al.*; Farrier; Bonneuil *et al.*; Lewis *et al.*; Ellis; Schmitz; Pálsson; Brand *et al.*; Olson *et al.*; 仲正；斉藤）。

第二に、「生態中心的環境保護主義」(ecocentric environmentalism) について、20 世紀後半に、今一つ別のタイプの環境保護主義が台頭した。生態中心的環境保護主義によれば、環境それ自体に本質的な価値があり、人間自身は環境全体の中で役割を果たしそれを支える限りにおいてのみ価値がある。ラディカルな生態中心主義によれば、生態系全体（種、生態系、土地、生物共同体など）はそれ自体に価値があり、生態系を構成する部分の価値は生態系全体の生存あるいは生態系の良い状態に貢献する程度によって決定される。生態中心的視点は動植物に対する関心に限られるのではなく、土や岩石を含む地球全体にまで拡張される。人間を除く地上の万物には本質的な価値があり、それらは人間の干渉によって破壊されあるいは脅威にさらされる（Huebert *et al.* 284; Barter）。

第三に、「宇宙中心的環境保護主義」(astrocentric environmentalism) について、二種類の考え方がある。その一つは、今後数十年に、地球外宇宙や

他の天体への活発な進出が見られるであろうが、環境保護のアプローチからすれば、地球外宇宙環境とそのサブシステムの保護は最優先課題であり、地球外宇宙が人類の宇宙活動のために利用されることはそれを前提とする。何世紀にもわたって脅威と創造の源であった地球外宇宙は、それ自体および将来の世代のために原初的な状態で保護するに値する (Huebert *et al.* 286)。今一つの宇宙環境保護主義は、環境保護・保存主義の考え方を宇宙探査、商業主義、軍事化の展開に適用するものである。近年の宇宙探査の発展はこの考え方を示している。人類は地球上で環境の窮境を生み出し、そのダメージに対する代償を支払っていることを鑑みるならば、この問題は極めて重要である。なぜなら、「私たちは地球で行ったのと同様の過ち（環境汚染・破壊）を宇宙で行うのを避けなければならない」からである。今日私たちが宇宙に踏み出そうとしているステップの環境的影響が問題である。宇宙環境保護主義は、「開発すべきフロンティア」(frontier to exploit)ではなく「保護すべき宇宙未開地」(space wilderness to protect)を含む、総合的な環境保護に対する関心を再編成するものである (Miller 2001; Miller 2005; Collins)。

5. 「フロンティア開発」から「未開地保護」へ

Billings は重要な疑問を提示する。人類は地球外資源を利用し、地球外環境を変える権利を有するのであるか (Billings 2006a)。

最初に登場したのは、「フロンティア開発」のパースペクティブである。21 世紀になり、政治家や他の宇宙開発支持者たちは、開拓のための探査の対象として、そして、太陽系の私的所有要求、資源開発、商業的転回に門戸を開く手段として、「月・火星の事物」(the Moon-Mars thing)を宣伝し、販売を促進した。ある宇宙開発支持者は、太陽系を何でも揃う巨大な食料品店になぞらえた。この考え方によれば、店に最初にたどり着く手段をもつ者は、全ての物を手に入れることができる。それに対して、店に遅く着いた者は何も手にすることができない。これは帝国主義の精神におけるシステムのようである。この宇宙開発支持者のレトリックは、「物質主義、消費主義、ハイパー消費の価値は太陽系に拡散する価値がある」という前提を反映している。これらの支持者によって推進される地球外宇宙の考え方は、太陽系と広く開かれた宇宙の超越、無限の資源、すなわち、「宇宙フロンティア」

(space frontier) の考えを体現している。このフロンティアのレトリックは、開拓者、都市入植、征服などのイメージとともに、アメリカの歴史に存続し続けており、フロンティアの比喩はこれまでもそして現在でも、宇宙開発に関するレトリックにおいて支配的な比喩となっている (Billings 2006a; Weeks 171-179; Coradini; Brand *et al.*)。

現在、宇宙横断的な惑星保護政策において、「未開地保護」、保護と保存の科学的法的倫理的検討への動向が見られる。米国国家航空宇宙局 (NASA) と国際宇宙調査研究委員会 (Committee on Space Research: COSPAR) は、長期にわたり、太陽系探査ミッションを管理する国家的国際的惑星保護政策を用意し、地球外環境に地球上の生物学的汚染が持ち込まれ、また、太陽系システムのサンプルを持ち帰ることにより地球に地球外生物学的汚染が持ち込まれるのを防いで来た。これらの政策の論理的根拠は、科学的探査の目的のために、地球外環境の原初の状態を保持することである。未開拓の比喩は、「宇宙中心的环境保護主義」の考え方、環境保護と保全の価値を宇宙探査に適用するという見解に基づいて、フロンティアとしての宇宙という考え方に代替するものとして提示された。太陽系を開拓されるフロンティアとしてではなく保護すべき未開地として取り扱うことにより、環境的危害、人工的なゴミ、核兵器、原子力の宇宙への持ち込みを阻止し、私的あるいは国家的な所有の主張を禁止することができるであろう。Miller が指摘するように、「私たちは地球で犯したのと同様の過ちを宇宙でも犯すことを回避すること」が最も重要である (Billings 2006a; Billings 2006b; Schwartz 2014; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; Huebert *et al.* 287-288; Miller 2001; Miller 2005)。

6. 体系的な「宇宙正義」としての宇宙持続可能性

体系的視点によれば、人類と自然のダイナミックな均衡、及び、ガイアメガスシステム (Gaia mega-system) における両者の共進化にとって、持続可能性は自明の概念である。現実のレベルにおいて、これは全ての公共政策と社会的実践の調和、及び、人工システムと生態系の共進化を確実にするための収斂の要求として理解することができる。近代的な正義の考え方、自然と将来世代のための正義を実現するのは、この調和と収斂である (Aganaba

35)。

体系性原理の下では、三種類の資本、すなわち、自然資本、社会資本、文化資本が国家や市民の決定や活動によって減少する時ではなく、時間経過とともに増加する時に、持続可能性は存在する。その目的は、生態系と社会のさらなる悪化を防ぐために、共進化のプロセスの規制を通じて採用された公共政策により、資本を増加することである。宇宙環境の悪化に対する準備は、団結の促進と強化を追及すべきとする共通の目標である。それゆえに、この視点からする宇宙持続可能性の再概念化は、地球外宇宙を含む自然資本、領域を利用する活動家の文化資本、安全、安定、安心のような社会資本の増大、に巨大な価値を付与することになる (Aganaba 36-37; Islam; Hofman *et al.*)。

要するに、宇宙中心的環境保護主義は、宇宙探査、商業化、軍事化の発展に対して、環境保護・保全主義の価値を適用する考え方である。「天体は征服されるフロンティアではなく保護を必要とする原初的な未開地である」との宣言は、宇宙中心的環境保護主義の目標の一つである。何世紀にもわたって脅威とインスピレーションの源泉であった地球外宇宙は、それ自体及び将来世代のために原初の未開拓の状態で保存されなければならない (Takemura 2019, 12-14)。

V 結論

「宇宙資本主義」は、民間企業により行われる宇宙探査・開拓・開発が望ましい結果を生み出すと主張する。彼らは、市場原理、民間主導が、強化型の競争と地球外宇宙の重要な資源を通じて、先導すべきであると考え。宇宙には、地球上の多くの希少な天然資源を補うのに十分な巨大な金鉱があり、水素と酸素に分解して宇宙船に燃料補給をすることができる水、地球で枯渇しつつあるプラチナや他の貴重な金属のようなレアメタルがある。私たちは宇宙を無限の機会を提供する新しいフロンティアとして見る必要がある、とする。

宇宙における人間の未来に関する現代のビジョンは、注意深い探査と原初の未開拓の保存から、征服、植民地化、開拓のような地球上で見慣れたパタ

ーンまで及ぶ。21世紀の宇宙旅行を想像する機会に直面し、航空宇宙コミュニティは、月や他の天体の採掘、宇宙に人間の植民地を創造することを正当化するために、フロンティアの征服と領土拡張論という時代遅れのレトリックに頼り、未来に向けて旧弊の再開を選択した。しかしながら、今日においても、宇宙開発のためのフロンティア、征服、探査の論理的根拠は、宇宙コミュニティの外部においてはそれほど関心のある事項ではない。「なぜ私たちは宇宙に行かなければならないのか」という疑問は熟慮するに十分に値する（National Research Council of the National Academies 44-82; 「宇宙の人間学」研究会）。

現在、近年における宇宙探査・開拓の発展、宇宙資本主義に基づく積極的な開発に対して、「宇宙グリーン犯罪学」（astro-green criminology）、「宇宙環境刑法」（astro-environmental criminal law）という新しい研究領域を創造しなければならない。人類は、環境を悪化し生態系を破壊した廃墟を地球上に生み出し、現在ではスペースデブリが地球周辺近傍の宇宙を汚染し始めている。新しい視点によれば、宇宙探査・開拓・開発が必要であるとするならば、地球外宇宙環境を汚染・破壊することなく、宇宙気候変動を惹起することなく、地球外生命体あるいはその進化過程を危機に晒し、阻害するような悪影響を生み出さないように、宇宙環境的かつ宇宙生態学的に安全な方法で行われなければならない。私たちには、宇宙探査・開拓・開発、地球外採掘や地球外天体の植民地化のような人類の宇宙活動によって、地球外の天体（月、火星、小惑星など）の環境を汚染し破壊する権利はない（Takemura 2019, 14-15; Takemura 2012; Takemura (forthcoming); Lampkin）。

【注】

- 1) 本稿は、JSPS 科研費基盤研究（C）「科学技術の進歩と社会の発展に伴う環境・エコ犯罪とその対策に関する調査研究」（課題番号 15K03181）、及び、JSPS 科研費基盤研究（C）「南北統合グローバル・グリーン犯罪学と国際環境裁判所の創設に関する調査研究」（課題番号 JP19K01353）の研究成果の一部である。
- 2) 本稿は下記の米国犯罪学会年次大会における発表原稿他に基づいて執筆したものである。“Fission and Fusion of Time/Space Theory for Complexity Green Criminology”, the 67th Annual Meeting of the American Society of Criminology, 16-19

November 2011, Washington, D.C., U.S.A.; “Outer Space Mining: A New Frontier for Universal Green Criminology. Interconnect between human existence and space-/ astro-environment”, the 74th Annual Meeting of the American Society of Criminology, 14-17 November 2018, Atlanta, U.S.A..

【参考文献】

- Aganaba, T. U. (2011). *Towards Space Sustainability: Lessons from Environmental Liability Regimes*, Institute of Air and Space Law, McGill University, Montreal, Quebec, Canada.
- Almár, I. (2002). What could COSPAR do to protect the Planetary and Space Environment? *Advances Space Research*. 30 (6): 1577-1581.
- Billings, L. (2006a). How shall we live in space? Culture, law and ethics in spacefaring society. *Space Policy*, 22: 249-255.
- Billings, L. (2006b). To the Moon, Mars, and beyond: culture, law, and ethics in spacefaring societies. *Bulletin of Science, Technology, and Society*, 26(5): 430-437.
- Barter, B. (1999). *Ecologism: An Introduction*. (松野弘監訳『エコロジズム～「緑」の政治哲学入門』ミネルヴァ書房、2019 年)
- Bonneuil, C., et Fressoz, J.-B. (2013 et 2016). *L'Événement Anthropocène: La Terre, l'histoire et nous*. Éditions du Seuil. (野坂しおり訳『人新世とは何か〈地球と人類の時代〉の思想史』青土社、2018 年)
- Brand, U., und Wissen, M. (2017). *Imperiale Lebensweise: Zur Ausbeutung von Mensch und Natur im globalen Kapitalismus*. München: oekom. (中村健吾・斉藤幸平監訳『地球を壊す暮らし方～帝国型生活様式と新たな搾取』岩波書店、2021 年)
- Chen, S., and Ingalls, J. (2010). *Implication of Robotic Space Mining*. An Interactive Qualifying Project Report submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute.
- Cockell, C. S. (2007). *Space on Earth: Saving our world by seeking others*. Hampshire and New York: Macmillan.
- Coffey, S. (2009). Establishing a Legal Framework for Property Rights to Natural Resources in Outer Space. *Case Western Reserve Journal of International Law*, 41: 119-147.
- Collins, P. (2013). *Space travel as a new industry*. Hadano: Tokai University Press. (『宇宙旅行学 新産業へのパラダイム・シフト』東海大学出版会、2013 年)
- Committee for the Assessment of the NASA's Orbital Debris Programs: National Research Council. *Limiting Future Collision Risk to Spacecraft: An Assessment of NASA's Meteoroid and Orbital Debris Programs*. National Academy Press.

- Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) (2017a). *Mining in Space*. Toronto: NAMUN.
- Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) (2017b). *The “Space2030” agenda and the global governance of outer space activities: Note by Secretariat*. A/AC.105/1166. United Nations General Assembly. 13 December 2017.
- Coradini, M. (2017). *Conquête spatiale: Eldorado du 21e siècle et nouveau Far West*. FYP éditions.
- Dallas, J. A., Raval, S., Alvarez Gaitan, J. P., Saydam, S., and Dempster, A. G. (2020). Mining beyond earth for sustainable development: Will humanity benefit from resource extraction in outer space? *Acta Astronautica*, 167: 181-188.
- de Cnudde, P. (2015). *Mining the Moon: Current and Future Exploitation Regime*. Ghent: Ghent University.
- De Man, P. (2016). *Exclusive Use in an Inclusive Environment: The Meaning of the Non-Appropriation Principle for Space Resource Exploitation*. Springer International Publishing AG Switzerland.
- Doshi, P. D. (2016). Regulating The Final Frontier: Asteroid Mining and The Need For A New Regulatory Regime. *Notre Dame Journal of International and Comparative Law* 6 (1): 189-212.
- Druyan, A. (2020). COSMOS: POSSIBLE WORLDS. (藤井留美訳『コスモス いくつもの世界』(日経ナショナル ジオグラフィック社、2020 年))
- Ellis, E. C. (2018). *Anthropocene: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- European Space Agency (2021). *UNOOSA and ESA Space Debris Infographics and Podcast*.
- European Space Agency (2022a). *ESA's Space Environment Report 2022*.
- European Space Agency (2022b). *About Space Debris*.
- European Space Agency (2022c). *FAQ: Frequently asked questions*.
- Farrier, D. (2020). *Footprints: In Search of Future Fossils*. Fourth Estate Ltd. (東郷 えりか訳『未来から見た私たちの痕跡』東洋経済新報社、2021 年)
- Galliot, J. (2015). *Commercial Space Exploration: Ethics, Policy and Governance*. London and New York: Routledge.
- Hamilton, C., Bonneuil, C., and Gemenne, F. (eds.) (2015). *The Anthropocene and the Global Environmental Crisis: Rethinking modernity in a new epoch*. London and New York: Routledge.
- Hein, A. M., Saidani, M., and Tollu, H. (2018). Exploring Potential Environmental Benefits of Asteroid Mining. Conference Paper. 69th *International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1-5 October 2018*. International

- Astronautical Federation (IAF).
- Hellgren, V. (2016). *Asteroid Mining: A review of Methods and Aspects*. Lund: Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University.
- Hlimi, T. (2014). The Next Frontier: An Overview of the Legal and Environmental Implications of Near-Earth Asteroid Mining. *Annals of Air and Space Law*, 39: 409-453.
- Hobe, S., and de Man, P. (2017). National Appropriation of Outer Space and State Jurisdiction to Regulate the Exploitation, Exploration and Utilization of Space Resources. *Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht/ German Journal of Air and Space Law/ Revue Allmande de Droit Aérien et Spatial*, 66(3): 460-475.
- Hofmann, M., Rettberg, P., and Williamson, M. (eds.) (2010). *Protecting the Environment of Celestial Bodies*. IAA Cosmic Study. rapporteur: Haese.
- Holley, C., and Shearing, C. (eds.). (2018). *Criminology and the Anthropocene*. London and New York: Routledge.
- 堀口健夫「スペースデブリで問われる宇宙の環境法」法学教室 第 497 号 (2022 年) 50-53 頁。
- Huebert, J. H., and Block, W. (2007). Space Environmentalism, Property Rights, and the Law. *The University of Memphis Law Review*, 37: 281-308.
- Hunter, H., and Nelson, E. (2021). Out of Place in Outer Space? Exploring Orbital Debris through Geographical Imaginations. *Environment and Society: Advanced in Research*, 12: 227-245.
- Iacomino, C. (2019). *Commercial Space Exploration: Potential Contributions of Private Actors to Space Exploration Programmes*. European Space Policy Institute and Springer.
- 稲葉振一郎『宇宙倫理学入門 人工知能はスペース・コロニーの夢を見るか?』(ナカニシヤ出版、2016 年)。
- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (2018). *Spacecraft Components Vulnerability for Space Debris Impact*. IADC Working Group 3.
- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (2021a). *IADC Space Debris Mitigation Guidelines*. IADC Steering Group and Working Group 4.
- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (2021b). *IADC Statement on Large Constellations of Satellites in Low Earth Orbit*. IADC Steering Group and Working Group 4.
- 伊勢田哲治・神崎宣次・呉羽真(編著)『宇宙倫理学』(昭和堂、2018 年)。
- Islam, M. S. (2018). The Sustainable Use of Outer Space: Complications and Legal Challenges to the Peaceful Uses and Benefit of Humankind. *Beijing Law Review*, 9: 235-254.

- Jakhu, R., and Buzdugan, M. (2008). Development of the Natural Resources of the Moon and Other Celestial Bodies: Economic and Legal Aspects. *Astropolitics*, 6: 201-250.
- Jakhu, R. S., Pelton, J. N., and Nyampong, Y. O. M. (2017). *Space Mining and Its Regulation*. Cham: Springer.
- Johnson, C. D. (2017). The 59th Colloquium on the Law of Outer Space at the 67th International Astronautical Congress. *Air and Space Law*, 42 (1): 89-94.
- Kaku, M. (2018). *The Future of Humanity: Transforming Mars, Interstellar Travel, Immortality and Our Destiny Beyond Earth*. Penguin Random House, Allen Lane. (齊藤隆史訳『人類、宇宙に住む 実現への3つのステップ』NHK出版、2019年)
- 加藤明『スペースデブリ～宇宙活動の持続的発展をめざして』（地人書館、2015年）。
- Kiselev, A. I., Medvedev, A. A., and Menshikov, V. A. (2001). *Cosmonautics on the Frontier of Millenniums, Summary and Prospects*. Moscow: Mashinostroenie. (Shelbakov, V., Novichkov, N., and Nechaev, A. (tr.). *Astronautics: Summary and Prospects*. Wien: Springer-Verlag Wien, 2003)
- 小塚莊一郎・笹岡愛美編著『世界の宇宙ビジネス法』（商事法務、2021年）。
- Krolikowski, A., and Elvis, M. (2018). Making policy for new asteroid activities: In pursuit of science, settlement, security, or sales? *Space Policy*.
- Lampkin, J. A. (2020). Mapping the Terrain of an Astro-Green Criminology: A Case for Extending the Green Criminological Lens outside of Planet Earth. *Astropolitics*, 18 (3): 238-259.
- Launius, R. D. (2018). *The Smithsonian History of Space Exploration: From the Ancient World to the Extraterrestrial Future*. Washington, DC: Smithsonian Books.
- Leterre, G. (2017). *Providing a legal framework for sustainable space mining activities*. Luxemburg: Université du Luxembourg.
- Lewis, S. L., and Maslin, M. A. (2018). *The Human Planet: How We Created the Anthropocene*. Penguin Random House.
- Lockard, E. S. (2014). *Human Migration to Space: Alternative Technological Approaches for Long-Term Adaptation to Extraterrestrial Environments*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.
- MacWhorter, K. (2016). Sustainable Mining: Incentivizing Asteroid Mining in the Name of Environmentalism. *William and Mary Environmental Law and Policy Review*, 40 (2): 645-676.
- Madi, M., and Sokolova, O. (2021). *Space Debris Peril: Pathways to Opportunities. Capacity Building in the New Space Era*. Boca Raton, London and New York: CRC Press.

- Mautner, M. N. (2014). Astroecology, cosmo-ecology, and the future of life. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 83 (4): 449-464.
- McKay, M. F., McKay, D. S. and Duke, M. B. (eds.) (1992). *Space Resources: Social Concerns*. Washington, DC: NASA National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Program.
- Miller, R.W. (2001). Astro-environmentalism: The Case for Space Exploration As An Environmental Issue. *Electronic Green Journal*, 1 (15).
- Miller, R.W. (2005). View Point: Millennial Fever, Extremophiles, NASA, Astroenvironmentalism, and Planetary Protection. *Electronic Green Journal*, 1 (22).
- Milligan, T. (2015). *Nobody Owns the Moon: The Ethics of Space Exploitation*. Jefferson: McFarland and Company, Inc.
- Moore, J. W. (2015). *Capitalism in the Web of Life: Ecology and the Accumulation of Capital*. London and New York: Verso. (山下範久・滝口良訳『生命の網のなかの資本主義』東洋経済新報社、2021 年)
- Moore, J. W. (ed.) (2016). *Anthropocene or Capitalocene? Nature, History, and the Crisis of Capitalism*. Oakland: PM Press.
- Morin, J.-F., and Richard, B. (2021). Astro-Environmentalism: Toward a Polycentric Governance of Space Debris. *Global Policy*.
- 向井千秋『スペース・コロニー 宇宙で暮らす方法』(講談社、2021 年)。
- 仲正昌樹『現代哲学の論点～人新世・シンギュラリティ・非人間の倫理』NHK 出版、2022 年)。
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2018). *Review and Assessment of Planetary Protection Policy Development Processes*. Washington, DC: The National Academies Press.
- ナショナルジオグラフィック編集部「月へのカウントダウン」ナショナルジオグラフィック日本版第 25 巻第 7 号 (2019 年 a) 30-59 頁。
- ナショナルジオグラフィック編集部「新たな宇宙時代へ」ナショナルジオグラフィック日本版第 25 巻第 7 号 (2019 年 b) 60-75 頁。
- ナショナルジオグラフィック編集部「魅惑の火星を探る」ナショナルジオグラフィック日本版第 27 巻第 3 号 (2021 年 a) 24-51 頁。
- ナショナルジオグラフィック編集部「太陽系の小天体探査」ナショナルジオグラフィック日本版第 27 巻第 9 号 (2021 年 b) 26-49 頁。
- National Research Council of the National Academies (2014). *Pathways to Exploration: Rationales and Approaches for a U.S. Program of Human Space Exploration*. Washington, D.C. The National Academies Press.
- Nelson, P. L., and Block, W. E. (2018). *Space Capitalism: How Humans will Colonize*

- Planets, Mons, and Asteroids*. Cham: Palgrave Macmillan.
- Nyka, M. (2018). Legal Prerequisites of the Management of Natural Resources of the Moon and Other Celestial Bodies. *Marketing and Management of Innovations*, 2018 Issue 3: 199-207.
- Paikowsky, D., and Tzezana, R. (2018). The politics of space mining – An account of a simulation game. *Acta Astronautica*, 141: 10-17.
- 岡田浩樹・木村大治・大村敬一（編著）『宇宙人類学の挑戦——人類の未来を問う』（昭和堂、2014年）
- Olson, V., and Messeri, L. (2015). Beyond the Anthropocene: Un-Earthing an Epoch. *Environment and Society: Advances in Research*, 6: 28-47.
- Pálsson, G. (2020). The Human Age. London: Welbeck Publishing Group Limited.（長谷川真理子監修、梅田智世訳『図説 人新世～地球破壊と気候変動の人類史』東京書籍、2021年）
- Pelton, J. N. (2017). *The New Gold Rush: The Riches of Space Beckon!* Cham: Springer.
- Rapp, D. (2018). *Use of Extraterrestrial Resources for Human Space Missions to Moon or Mars. Second Edition*. Springer International Publishing AG.
- Reiman, S. (2009). Is space an environment? *Space Policy*, 25: 81-87.
- Reinstein, E. J. (1999). Owning Outer Space. *Northwestern Journal of International Law and Business*, 20 (1): 59-98.
- 斉藤幸平『人新世の「資本論」』（集英社、2020年）。
- Schmitz, O. J. (2017). The New Ecology: rethinking a Science for the Anthropocene.（日浦勉訳『人新世の科学～ニュー・エコロジーがひらく地平』岩波書店、2022年）
- Schwartz, J. S. J. (2011). Our Moral Obligation to Support Space Exploration. *Environmental Ethics*, 33: 67-88.
- Schwartz, J. S. J. (2012). On the Moral Permissibility of Terraforming. *Ethics & the Environment*, 18 (2): 1-31.
- Schwartz, J. S. J. (2014). Prioritizing scientific exploration: A comparison of the ethical justifications for space development and for space science. *Space Policy*, 30: 202-208.
- Takemura, N. (2012). Floating Space Debris contaminating the Beach of Earth: Toward the time/space theory for complexity green criminology. *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 27: 59-64.
- Takemura, N. (2019). Astro-Green Criminology: A New Perspective against Space Capitalism. Outer Space Mining may make the Same Mistakes in Space. *Toin University of Yokohama Research Bulletin*, 40: 7-16.
- Takemura, N. (forthcoming). From Global Green Criminology to Astro-Green

Criminology: Intensification and Expansion of Natural Resource Conflicts, Environmental Crime, Human Rights Abuse from the Earth to Outer/Deep Space and Argument for/against International and Astro Environmental Court. In: Guzik-Makaruk, E. M., Laskowska, K., and Filipkowski, W. (eds.). *Individuals, society, and the state — from the perspective of penal law and criminology. Liber Amicorum in Honour of Professor Emil W. Pływaczewski on the occasion of his 70th birthday.*

寺藺淳也「宇宙資源探査の現状と課題 世界はいま、天からの恵みに目を向けている」現代思想第 45 巻第 14 号 (2017 年) 182-193 頁。

Tronchetti, F. (2009). *The Exploitation of Natural Resources of the Moon and Other Celestial Bodies: A Proposal for a Legal Regime.* Leiden and Boston: Martinus Nijhoff.

Tronchetti, F. (2013). *Fundamentals of Space Law and Policy.* Leiden and Boston: Martinus Nijhoff, Strasburg: International Space University, and New York, Heidelberg, Dordrecht and London: Springer.

「宇宙の人間学」研究会編『なぜ、人は宇宙をめざすのか「宇宙の人間学」から考える宇宙進出の意味と価値』(誠文堂新光社、2015 年)。

United Nations Office for Outer Space Affairs (2010). *Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space.* Vienna: United Nations.

Weeks, E. E. (2012). *Outer Space Development, International Relations and Space Law: A Method for Elucidating Seeds.* Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing.

Williamson, H. R. (2010). *Protecting the Environment of Celestial Bodies.* IAA Cosmic Study.

Williamson, M. (2006). *Space: The Fragile Frontier.* Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.

(たけむら・のりよし 桐蔭横浜大学法学部教授)