

研 究

宇宙開発・宇宙利用に対する脅威の概念の拡張 ——外生的な脅威と新たな脅威——

坂 口 滉 季

はじめに

- I 従来の宇宙開発・宇宙利用への脅威の認識
- II 宇宙開発・宇宙利用に外生的な脅威
- III 新たな脅威の可能性

おわりに

はじめに

2022年2月8日、アメリカのスペースX社は、同月3日に打ち上げた同社のスターリンク衛星を最大40基喪失したことを明らかにした。太陽活動の変化による地磁気嵐とそれに伴う地球大気圏の膨張が原因と考えられている¹⁾。磁気嵐に伴う大気の膨張による人工衛星の喪失は、2000年の人工

1) The Washington Post, “How a rather mundane space storm knocked out 40 SpaceX satellites”, <https://www.washingtonpost.com/weather/2022/02/12/spacex-starlink-explainer-storm-sun/>, Accessed on April 17, 2022; CNN, “スペースX、スターリンク衛星40基を喪失へ 太陽嵐の影響”, <https://www.cnn.co.jp/business/35183356.html>, Accessed on April 17, 2022.

衛星「あすか」への被害など、これまでもあった²⁾。しかし、今回の衛星喪失は、一度の事象としてはこれまでも最大規模の被害である。このように衛星や地上に影響を与える、「主に太陽を起源とする地球近傍宇宙の電磁環境」は「宇宙天気」と総称されている³⁾。

人類はこれまで、地球軌道上を主たる宇宙開発・宇宙利用（以下、宇宙開発等）の舞台として、主に地球の観測と情報の送受信によって多大な利益を得てきた。また月や火星、各種の小惑星から資源採掘の計画や地球軌道上でのソーラー発電といった新たな宇宙開発等も志向されている。宇宙開発等が持続的に発展することで、人類は莫大な利益を得ることができ、最終的には人類の生存圏の拡大にも繋がるかもしれない。しかし、「宇宙天気」の問題をはじめとして、宇宙開発等を妨げかねない各種の脅威が存在し、また宇宙開発等の変化によって更に新たな脅威が生まれる可能性がある。

持続的な宇宙開発等の発展・拡大を妨げうる脅威は多様だが、これまで国際関係論、宇宙法、安全保障論などの分野で取り上げられてきた脅威はそのうちの極一部である。「宇宙天気」の問題も自然科学では盛んに研究されてきたが、社会科学の分野では、ほとんど検討されてこなかった。宇宙開発等の安全保障を確保するためにも、これまで検討されてこなかった脅威、あるいはこれから発生しうる脅威をまずは認識せねばならない。

以上のような問題認識の下で本論文は、持続的な宇宙開発等に悪い影響を与える可能性がありながら、これまで国際関係論、宇宙法、安全保障論などの社会科学の諸分野では脅威として認識されてこなかった諸脅威、及び宇宙開発等の今後の変化によって新たに出現すると考えられる諸脅威について、問題の内容、政策的・法的状況を明らかにし、どのような政策・

2) 柴田一成、上出洋介編著『総説 宇宙天気』京都大学学術出版会、2011年、16-17頁。

3) 石井守「宇宙天気監視の現状と将来」『日本航空宇宙学会誌』64巻11号、2016年、334-335頁。

法が必要となるのかを検討する。

本論文はまず、従来、脅威として認識されてきた宇宙開発等に対する問題として、宇宙空間の混雑化の問題、対宇宙能力の拡大・拡散の問題を検討する（Ⅰ）。次に、これまで脅威として認識されてこなかった宇宙開発等に対する問題として、宇宙開発等のコストの問題と宇宙天気の変動の問題を分析する（Ⅱ）。最後に、宇宙開発等の変化に伴って、新たに出現する可能性がある脅威を、宇宙開発等が行われる空間が拡大したことで生じる脅威と、宇宙開発等の質的な変化によって生じる脅威とに分けて分析し、その上で全般としてどのような対策が必要なのかを明らかにする（Ⅲ）。

I 従来の宇宙開発・宇宙利用への脅威の認識

(1) 従来の宇宙開発・宇宙利用と認識された脅威

現在までの宇宙開発等は、主に地球軌道上で行われてきた。宇宙開発等を行う諸国は国威や威信などの政治的利益、地上の観測、宇宙空間を經由した情報通信による経済的・軍事的利益を得ることができ、また国内産業の活性化も進めることができる。更に外交的資源としても宇宙開発等は利用されてきた⁴⁾。

そのような宇宙開発等の過程において、宇宙開発等への脅威が出現し、拡大してきた。このような脅威を、宇宙開発等に「内生的」な脅威とする。これらの脅威の解消をめぐることは、これまでに国際関係論、宇宙法、安全保障論などの諸分野で議論され、また規範の形成や問題への解決・対処のための国際的な議論も進んでいる。

このような「内生的」な脅威としては「宇宙空間の混雑化」の問題と、「対

4) 鈴木一人はこのように多様な利益を持つ宇宙システムを「ハードパワー」「ソフトパワー」「社会インフラ」「公共事業」「コモディティ」という側面から分析している。以下を参照。鈴木一人『宇宙開発と国際政治』岩波書店、2011年、3-20頁。

宇宙能力の拡大・拡散」の問題が挙げられる。両問題は、人類の宇宙開発等の結果として出現した脅威であり、また地球軌道上で発生し、その被害を拡散させてきた。

各国の政策文書等でも、地球軌道上における衛星・デブリの増加と対宇宙能力の拡大・拡散は脅威として認識されている。

例えば、内閣府が宇宙基本法24条に基づいて作成する、宇宙基本計画（令和2年6月30日閣議決定）では、「1, 宇宙政策をめぐる環境認識」のうち、「(3) 宇宙空間の持続的かつ安定的な利用を妨げるリスクの深刻化」の中で、リスクとして「スペースデブリの増加」, 「衛星数の増加」, 「対宇宙能力の開発が進展」が挙げられている⁵⁾。

また、アメリカのNational Space Policy (2020年9月)は「Principle (原則)」の中で、「United States will seek to deter, counter, and defeat threats in the space domain that are hostile to the national interests of the United States and its allies (アメリカは、アメリカ及び同盟国の国益に敵対する、宇宙領域での脅威を抑止し、報復し、打ち破る)」, として、敵対国からの妨害への対抗を示唆している⁶⁾。また、「Preserve the Space Environment (宇宙環境の保護)」を掲げており、具体的には「minimizing space debris (スペースデブリの最小化)」を目標とする⁷⁾。

これらの「内生的」な脅威は宇宙開発等を脅かしているが、宇宙開発等に対する全ての脅威ではない。宇宙開発等の過程の外側で出現した宇宙開発等に対する脅威、つまり宇宙開発等に「外生的」な脅威が存在する。このような「外生的」な脅威については、これまでの政治的・法的な研究や、国際的な議論は少なかった。本節では、宇宙開発等に「外生的」な脅威を検討する前段階として、まずは「内生的」な脅威を検討する。

5) 内閣府『宇宙基本計画（令和2年6月30日閣議決定）』2020年、5頁。

6) Executive Office of the President, *National Space Policy*, 2020, pp. 3-4.

7) Ibid. pp. 14-15.

(2) 宇宙空間の混雑化の問題⁸⁾

「宇宙空間の混雑化」の問題とは、地球軌道上に存在する、特に人工の宇宙物体の数が増加し、それら相互の衝突の可能性が増大する問題である。この問題が進行することで、宇宙開発等の過程で衛星やロケットなどが被害を受けるリスクが拡大し、最終的には宇宙開発等自体が不可能になることも懸念されている⁹⁾。増加する人工の宇宙物体は、人工衛星と、スペースデブリ（宇宙ごみ）とに分けられる。

軌道上の人工衛星は1957年以来、一貫して数的には増加する傾向にあり、特に近年の増加が著しい。これは、衛星コンステレーション（Constellation, 多数の衛星で構成される宇宙システム）の建設が進み、多数の小型衛星が打ち上げられているためである。特にスペースX社がスターリンク・コンステレーション（12,000基を予定）の建設を進めていることが増加の大きな要因となっている¹⁰⁾。このような人工衛星の増加は、宇宙空間で発生した事故などがより多くの衛星へ被害をもたらす可能性をも高めている¹¹⁾。

8) 「宇宙の混雑化」問題について、坂口混季「政治的問題としてのスペースデブリ問題」『中央大学大学院研究年報』50号, 2021年, 163-178頁, 及び坂口混季「宇宙環境問題としてのスペースデブリ問題：法的・政治的環境からの予備的考察」『法学新報』128巻9号, 2022年, 185-214頁で詳しく検討を行っている。

9) いわゆる「ケスラー・シンドローム（Kessler Syndrome）」である。以下を参照。八坂哲雄『宇宙のゴミ問題：スペース・デブリ』裳書房, 1997年, 88-91頁。

10) 同コンステレーションは構築が進められており、2018年以来、既に2,000基以上の衛星が打ち上げられている。ただし軌道上にそれら全ての衛星があるわけではなく、またコンステレーションの一部として稼働しているわけでもない。以下を参照。SPACENEWS, “SpaceX passes 2,000 Starlink satellites launched”, <https://spaceneews.com/spacex-passes-2000-starlink-satellites-launched/>, Accessed on April 17, 2022.

11) スターリンク・コンステレーションは、1度に約60基の衛星を打ち上げており、これが「はじめに」でも紹介した大量の衛星喪失をもたらしたと考えられる。

軌道上のスペースデブリは、宇宙開発が始まって以来、地上への再突入などによる自然減がありつつも、おおむね増加する傾向にある。宇宙開発等が盛んになるにつれて事故等の機会も増えて累積的に増加している他、軌道上での宇宙物体の衝突や意図的な人工衛星の破壊などの少数の事故・事件によって一挙に大量のデブリが出現してきた。21世紀に入ってからは、2007年の中国による対衛星（Anti-Satellite：ASAT）実験、2009年のイリジウム＝コスモス衛星衝突事故、2021年のロシアによるASAT実験などの事故・事件での増加が著しい。

宇宙空間の混雑化は量的な問題であり、宇宙空間に存在する物体が一定の閾値を超えて増加することでリスクが徐々に顕在化する。このため、宇宙開発が始まってしばらくの間、問題は認識されてこなかった、スペースデブリ問題が国際的に認知されたのは1980年代以降のことである。この時期には米ソが宇宙ステーションの建造計画や運用を進めており、人命へのリスクが増加したことで、認識されるようになった¹²⁾。

このような宇宙空間の混雑化の解決に向けて、国際的に広く議論が進められており、特にデブリへの対応は整備されつつある。国連スペースデブリ低減ガイドラインや各国の関連法、各宇宙機関内部の自主的な基準など、デブリの出現を抑えるための重層的な規範と取組みがある¹³⁾。将来的には、軌道上からのデブリの能動的な除去が進められることも期待されている。一方で、人工衛星の増加に関する規範は存在せず、各国機関・企業が独自にコンステレーションを構築する、あるいは構築しようとしている¹⁴⁾。ま

12) 橋本靖明「宇宙ゴミ（スペース・デブリ）への対応：状況認識から総合的な宇宙利用政策へ」『海外事情』68巻2号，2020年，61頁。

13) 日本を例にとれば、国連及び国際機関間スペースデブリ調整委員会のスペースデブリ低減ガイドラインが国際的な規範として存在し、その下で宇宙活動法などの国内法がスペースデブリ対策を規定し、更にそれに基づいて宇宙航空研究開発機構などの宇宙開発等を行う機関は「スペースデブリ発生防止標準」などの独自の基準を策定している。

14) 例えば、軌道上からのインターネットサービスでは、スペースX社以外に、

たそれ以外にも、宇宙開発等による利益が増大する中で多くの衛星が日々打ち上げられている。

宇宙空間の混雑化の解消のために、人工衛星の廃棄手順を確立することでデブリの増加を抑えようとする取組みがある。例えば、国連スペースデブリ低減ガイドラインは、意図的な大気圏への再突入か、他の衛星との接触の可能性が低い軌道へ移動させることを求めている¹⁵⁾。

また人工衛星が他の衛星やデブリと衝突するのを防ぐために、地球軌道上の物体の動きを監視する宇宙状況監視（Space Situational Awareness：SSA）が各国・各機関によって行われている。例えば、アメリカ宇宙コマンド（U.S. Space Command）が運用する宇宙監視網は、衛星と他の宇宙物体との衝突の危険があると判断した場合に、その衛星の運用者に対して警報を発している¹⁶⁾。推力を持つ人工衛星は、事前に衝突の危険性が分かっていたら、他の衛星やデブリとの衝突を回避することが可能である。

このように、宇宙空間の混雑化の脅威に対しては国際的に一定の規範が存在し、問題の進行を遅らせるための努力も行われている。しかし、スペースデブリは、1度の事象で大量に増加することが繰り返されてきた。意図的な事象によるデブリの拡散を防ぐことを含めたデブリ低減のための規範の確立とその履行の強化が必要であり、更に問題を根本的に解決するためには宇宙空間から物体を除去する技術が確立される必要がある。近年になって小型衛星の急速な増加が進んでおり、人工衛星については、今後しばらくは増加の傾向が続くだろう。軌道上の衛星の数を減らすためにも国

OneWeb社（648基を予定）も構築を進めており、またAmazon社（最大3,226基を予定）、中国電信股份有限公司衛星通信分公司（いわゆるチャイナ・テレコム社、13,000基弱を予定）もそれぞれで独自に計画を進めている。

15) 青木節子・小塚莊一郎編集『宇宙六法』信山社、2019年、75頁。

16) 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、52-59頁。なお2015年当時はアメリカ戦略コマンド傘下の統合宇宙運用センターが宇宙監視網を運用していたが、アメリカ宇宙コマンドの再設置に伴って移管されている。

際協力などを通して、同一機能を持つコンステレーションが複数存在する状況を避けるようにしていく必要もある。

(3) 対宇宙能力の拡大・拡散の問題

宇宙からの地上の観測や測位、宇宙空間を通じた通信は、地球上で行使される軍事力を強化するという点でも有用性を持つ。従来、その有用性は戦略レベルが中心であり、冷戦期には米ソ間の核抑止と軍備管理とに宇宙アセットが用いられていた¹⁷⁾。しかし、1991年の湾岸戦争、特に「砂漠の嵐」作戦で、アメリカは多くの軍事衛星を利用し、宇宙利用の包括性を示した¹⁸⁾。それ以来、宇宙アセットは作戦的・戦術的にも軍事的有用性を持つという認識が広がり、作戦レベル以下での宇宙利用が本格化している¹⁹⁾。各国は宇宙におけるある種の軍拡競争を展開し、各種の軍事衛星の開発と配備とが進められている。アメリカはその後も宇宙アセットを積極的に利用して軍事作戦（ユーゴスラビア空爆、イラク戦争、アフガニスタン戦争など）を進め、また仏露なども実際の紛争で利用を進めてきた²⁰⁾。2022年8月現在進行中の、ロシアのウクライナへの侵攻でも、各種の宇宙アセットがその有用性を示している²¹⁾。

17) 福島康仁『宇宙と安全保障：軍事利用の潮流とガバナンスの模索』千倉書房、2020年、37-38頁。

18) 同上書、48-51頁。

19) 同上書、47-48頁。

20) 同上書、65-66頁。

21) 本侵攻での軍事宇宙利用には大きく3つの要素が観察できる。まず、ロシアはGPSなど測位信号への妨害を積極的に行っている。ロシアの測位信号の妨害能力は以前から確認されており、積極的に実験などを行っていた(本文で後述)。次に、地球観測衛星や偵察衛星からもたらされる大量の衛星画像が出回っている。西側諸国は民間企業も含めてロシアに比べて圧倒的に多くの地球観測衛星・偵察衛星を運用しており、それらが取得した画像はウクライナの防衛に役立つだけでなく、メディア報道などにも生かされている。プチャにおいて路上に放置された民間人の遺体がロシア軍の撤兵前に出現していたことも衛星画像に

宇宙アセットの軍事利用が拡大し、各国の軍事力が宇宙アセットに依存するに従って、宇宙利用を妨害する対宇宙能力（Counter-Space Ability）の価値も増大した。現在、対宇宙能力の技術・能力は拡散・拡大する傾向にある。

対宇宙能力は大きく人工衛星を直接対象とするASAT攻撃と、地上での衛星データの送受信を妨げる衛星利用の妨害とに分けることができる。前者は物理的な衛星の破壊から、サイバー攻撃などによる一時的な衛星の機能の停止まで、衛星の機能を停止させる行為全般を含む。後者は、ジャミング（妨害電波によって、衛星との電波の送受信を妨げる）やスプーフィング（偽の信号を送ることで、正しいデータの送受信を妨げる）といった電波的な手段を駆使して、衛星の利用を妨げることである。

特に宇宙開発等を妨げる可能性があるのは、軌道上の人工衛星を破壊す

よって突き止められた。最後に、民間企業であるスペースX社のスターリンク（Starlink）がウクライナに供与され、地上システムに頼らない強固な通信インフラとして機能している。第三国の企業が提供する宇宙サービスが効果を発揮することは、今後これら衛星が対宇宙能力の標的となる可能性を高める。

ロシアによるウクライナでの測位信号の妨害については以下を参照。Space.com, “Russia is jamming GPS satellite signals in Ukraine, US Space Force says”, <https://www.space.com/russia-jamming-gps-signals-ukraine>, Accessed on April 29, 2022; SPACENEWS, “HawkEye 360 detects GPS interference in Ukraine”, <https://spacenews.com/hawkeye-360-gps-ukr/>, Accessed on April 29, 2022.

ブチャの衛星画像からの観測については以下を参照。The New York Times, “Satellite images show bodies lay in Bucha for weeks, despite Russian claims.”, <https://www.nytimes.com/2022/04/04/world/europe/bucha-ukraine-bodies.html>, Accessed on April 29, 2022.

スターリンクのウクライナへの供与については経緯などを含めて以下を参照。Newsweek 日本語版, “ウクライナ軍が衛星インターネット「スターリンク」を無人偵察機やドローン攻撃で活用”, <https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2022/03/post-98412.php>, Accessed on April 29, 2022.

るASAT攻撃の技術・能力の拡散・拡大である。ASAT攻撃は、人工衛星を何らかの物体を衝突させて物理的に衛星を破壊するキネティックASAT (Kinetic-ASAT) と、それ以外の非キネティックASATとに分かれる。前者は衛星を物理的に破壊する行為であるために軌道にデブリを飛散させ、宇宙開発等を阻害する。冷戦期を通してキネティックASAT技術は米ソ両国のみが保有していたが、2007年に中国が、2019年にインドが実験を通して能力を実証し、技術・能力の拡散が見られる²²⁾。しかも、インドは中国によるキネティックASAT実験を受けて軍事宇宙能力の開発を始めており、中国によるASAT能力開発がインドのASAT能力開発の原因になったと考えられる²³⁾。非キネティックASATは多くの手段が存在しているが、地上から人工衛星の機能を妨害する能力は多くの国家で開発・配備が進んでいると考えられている²⁴⁾。

衛星利用の妨害能力・技術もまた拡大・拡散が進んでいる。特に顕著なのが、GPSなどの衛星測位に対する妨害であり、本論文ではこれを中心に検討する。宇宙利用の中でも、衛星を利用した測位は著しく普及しており、

22) ただし、それ以外の諸国もキネティックASAT攻撃を行うために必要な技術・能力を保有している場合がある。例えば、2008年にアメリカが行ったUSA-193衛星の破壊は、イージス艦から発射されたRIM-161スタンダード・ミサイル3 (SM-3 ミサイル) によって行われたが、イージスシステム及びSM-3 ミサイルは海上自衛隊にも配備されている。以下を参照。REUTERS, “U.S. shot raises tensions and worries over satellites”, <https://www.reuters.com/article/us-satellite-intercept-vulnerability-idUSN2144210520080222>, Accessed on April 17, 2022.

23) Smart, Benjamin T., ASIAN STATE RESPONSES TO CHINA'S SPACE POWER STRATEGY, 2019, Monterey, CA; Naval Postgraduate School, pp. 24-30.

24) Harrison, Todd, “International Perspectives on Space Weapons”, https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/200527_Harrison_IntlPerspectivesSpaceWeapons_WEB%20FINAL.pdf, pp. 5-8, Accessed on May 16, 2022.

多くの携帯電話端末が測位衛星からの信号を受信できる他、自動車、船舶、飛行機などにも受信機器が搭載されていることが多い。更に衛星測位は銀行間の決済、測量などの民生分野に加えて、軍事分野でも位置把握からミサイルの誘導まで利用されており、幅広くインフラとして機能している。このように衛星測位は非常に一般的に利用されている反面、その信号の受信を妨害する技術・能力も拡散と拡大が進んでいる。特にアメリカ軍が運用しているGPS衛星は最も広く普及しており、その妨害が最も激しい。

現在、国家から個人のレベルまで、その範囲と強度とは異なるもののGPSの利用に対する妨害を利用することが可能である。例えば、ロシアはウクライナでGPS信号の妨害を行っている他、平時にも信号の妨害を行ってきた²⁵⁾。中国もその能力を向上させつつあると推測されている²⁶⁾。犯罪組織や個人などの非国家主体によって衛星測位信号が妨害された事例もあ

25) 例えば、フィンランド・ノルウェーが2018年11月にロシアから測位信号の妨害を受けたと抗議をしている。両国はこの時期にNATOの合同軍事演習（トライデント・ジャンクチャー 18）に加わっていた。以下を参照。REUTERS, “Norway says it proved Russian GPS interference during NATO exercises”, <https://www.reuters.com/article/us-norway-defence-russia-idUSKCN1QZ1WN>, Accessed on May 5, 2022.

26) 中国は測位衛星システムに対する妨害について演習を行っている。また2018年から2019年にかけて上海などの中国の主要な港湾で大規模なGPS妨害が確認されているが、これに中国政府が関与している可能性が指摘されている。以下を参照。Department of Defense, *Annual Report to Congress: Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China*, 2020, pp.82-83; MIT Technology Review, “Ghost ships, crop circles, and soft gold: A GPS mystery in Shanghai”, <https://www.technologyreview.com/2019/11/15/131940/ghost-ships-crop-circles-and-soft-gold-a-gps-mystery-in-shanghai/>, Accessed on May 5, 2022; SKY TRUTH, “Systematic GPS Manipulation Occuring at Chinese Oil Terminals and Government Installations”, <https://skytruth.org/2019/12/systematic-gps-manipulation-occurring-at-chinese-oil-terminals-and-government-installations/>, Accessed on May 5, 2022.

り、GPSの妨害技術・能力は広く拡散している²⁷⁾²⁸⁾。

対宇宙能力、特にキネティックなASAT攻撃をいかに規制するのか、という問題は国際機関等で以前から議論が行われてきたが、軍事的な安全保障と密接に結びつくために対応は進んでいない²⁹⁾。例えば、ジュネーブ軍縮会議では、1985年以来、「宇宙空間における軍備競争の禁止」が断続的に審議されているが、協議が遅れることが続いている。また中露や欧州などが独自の規制案を出してきたが、どちらも合意調達が困難になっている³⁰⁾。

国際法による対宇宙能力への規制が進んでいないために、各国は抑止によって対宇宙能力が自国の宇宙アセットに対して使用されるのを防ごうとしている。例えば、アメリカ国防総省は2011年に発表した国家安全保障宇宙戦略 (National Security Space Strategy) の中で、「多層的な抑止アプローチ (multilayered deterrence approach)」を行うことを表明している³¹⁾。これ

27) 例えばメキシコにおけるトラック強盗で利用された事例や、香港のドローンショーが妨害された事例などがある。以下を参照。Reuters, “Mexican truckers travel in fear as highway robberies bleed economy”, <https://www.reuters.com/article/us-mexico-crime-transport-idUSKCN1I1N1D2>, Accessed on May 12, 2022; South China Morning Post, “HK\$1 million in damage caused by GPS jamming that caused 46 drones to plummet during Hong Kong show”, <https://www.scmp.com/news/hong-kong/law-and-crime/article/2170669/hk13-million-damage-caused-gps-jamming-caused-46-drones>, Accessed on May 12, 2022.

28) GPS信号のジャミング装置 (ジャマー) は市販されており、誰でも購入が可能である。以下を参照。坂井丈泰「GPSのセキュリティ」『日本信頼性学会誌：信頼性』39巻4号、2017年、159-161頁。

29) 以下、対宇宙能力、特にASAT能力の規制については、坂口滉季「宇宙物体の意図的破壊に対する法的規制：合意形成を妨げる要因の分析」『法学新報』129巻1・2号、2022年、257-281頁で詳しく検討を行った。

30) 坂口 同上論文。271-273頁。

31) The Department of Defense and the Intelligence Community, *National Security Space Strategy: Unclassified Summary*, 2011, pp. 13-14.

は、規範による抑止、同盟・連合による抑止、拒否・弾力性による抑止、攻撃・応答による抑止で構成される³²⁾。しかし、抑止力のみを頼りにする場合、新たに宇宙アセットを軍事的に利用しようとする国々が、既に存在する対宇宙能力に対抗して対宇宙能力を開発し、対宇宙能力の拡散・拡大が一層進むことになりかねない。

宇宙利用の妨害は広範に技術・能力が普及し、現在も紛争地帯などで使用されている。これらは各国の国内法で規制されており、紛争時の使用は国際人道法等ではまったく規制されていない。

対宇宙能力の保持に関して国際法上の規制が存在せず、その使用も一般国際法以外では規制されていないため、その抑制が抑止力のみによる現状は非常に不安定である。対宇宙能力、特にデブリを出現させて宇宙開発等全般に影響を与えかねないキネティックなASAT能力の保持や利用についての規範を形成していく必要がある。

II 宇宙開発・宇宙利用に外生的な脅威

前節で検討した「内生的」な脅威に加えて、国際政治学、安全保障論、宇宙法学などの社会科学の研究では、これまでほとんど検討の対象とされてこなかった脅威が存在する。これらの脅威は、宇宙開発の過程で出現したのではなく、宇宙開発等とは独立して発生した「外生的」な問題である。

そのような、宇宙開発等に「外生的」な脅威として、本論文は宇宙開発等のコストの問題と宇宙天気の変動の問題を取り上げて検討を行う。

32) Zeman, Joseph M., *Disaggregating the United States Military: An Analysis of the Current Organizational and Management Structure of U.S. National Security Policy as It Relates to Military Operations in Space*, Missouri State University, Thesis, 2019, pp. 24-30.

(1) 宇宙開発・宇宙利用のコストの問題

宇宙開発等は宇宙で行われるが、その予算や資材の確保、技術開発、機器の製造などの大部分の作業は地球上で行われている。そのコストは莫大であり、それを負担できない場合に宇宙開発等は停滞せざるを得ない。このような宇宙開発等のコストを理由とした政治的・社会的圧力によって宇宙開発が停滞する可能性を、「宇宙開発・宇宙利用のコストの問題」として検討を行う。特に各国の政府機関による非軍事的な宇宙開発等は、短期には利益が出ないことが多い一方で、国家の安全保障には直接に関連せず、圧力を受けやすい。よって、本項では、特に軍以外の各国政府機関による宇宙開発を検討する。

有人宇宙飛行や宇宙探査などのプログラムは、各国に国威獲得などの政治的利益、科学的な知識の獲得など中長期的な経済的利益をもたらし、また人類の持続可能性を高めるためにも欠かすことができない。しかしこのようなプログラムは往々にして莫大なコストを必要とする一方で、短期的な経済的利益はもたらさない。民間企業、特にニュースペースと総称される新興の、あるいは異業種から参入した企業による宇宙開発等が近年進展しているが、基本的に民間企業は利益を得ることを目的として宇宙開発に参入しており、短期的なリターンが薄い宇宙開発等を行うことは考えがたく、そのようなプログラムは政府機関などが担うことになる。

莫大なコストが掛かるプログラムに対しては常に批判の声がある。特に数年ごとに選挙がある民主主義国家では、そのようなプログラムを計画することは政府にとってリスクを伴う。また議会や市民からの支持を得られない場合に、宇宙開発等が縮小、あるいは打ち切られる可能性は常に存在する。アメリカを例にとると、NASAの予算は1958年の創設以来、米ソ宇宙競争の影響もあって、1960年代前半に急増し、ピーク時には連邦予算の4.4%まで増大した。しかし、アポロ11号が月面着陸を成し遂げ、アメリカがソ連に勝つという目標が達成されたために、巨額の財政支出を正当化できなくなり、予算は減少していった³³⁾。それ以外にも、巨額のコストが

掛かるために中止に追い込まれたプログラムは多く存在する³⁴⁾。

また、現在は商業宇宙開発が非常に盛んであり、各国の政府機関や民間企業が、人工衛星の打上げを含めた各種の商業宇宙サービスを提供している。このため、各国政府は、商業宇宙サービスを利用することで、自国が一から宇宙開発等を行うよりも低コストで同じ機能を得ることができる。しかし外交関係の変化によって、それらの商業宇宙サービスへのアクセスを停止されてしまう可能性があり、宇宙開発等を外国の商業サービスに依存することはリスクともなる³⁵⁾。

国内での政治的・社会的なコスト削減圧力による宇宙開発等の停滞を防ぐために、各国の政府機関は宇宙開発等を行うことの意義を国民へ継続的に説明し続ける必要がある。また宇宙プログラムが長期にわたることを前提として、政権が変わっても過去の宇宙プログラムを引き継ぐことを政党

33) 鈴木 前掲書, 42-44頁。

34) 例えば、2004年に米ジョージ・W・ブッシュ政権が打ち出したコンステレーション計画（スペースシャトル後継機の開発、月面基地の建設、火星探査を目指す）は、2010年にリーマン・ショックによる景気の悪化やイラク・アフガニスタン戦争による歳出の増加を理由として打ち切られた。以下を参照。鈴木前掲書, 52-54頁。

35) 外交関係の変化によって外国の商業宇宙サービスへのアクセスが停止された例として、1990年のイラクの事例がある。イラク政府はフランスのスポット・イメージ（SPOT Image）社から衛星画像を購入して戦略的偵察に利用していたが、イラクのクウェート侵攻に伴って、フランス政府は衛星画像の禁輸を行った。以下を参照。Sheehan, Michael, *The International Politics of Space*, New York, Routledge, 2007, pp. 98-100.

また民間企業の事例だが、2022年3月、ロシアのロスコスモス公社が、ロシアのウクライナ侵攻に対する英の制裁を理由として、英OneWeb社の衛星36基の衛星打ち上げ計画を中断した。以下を参照。SPACENEWS, “Rogozin puts poison-pill conditions on OneWeb Soyuz launch”, <https://spacenews.com/rogozin-puts-poison-pill-conditions-on-oneweb-soyuz-launch/>, Accessed on May 5, 2022.

間で合意しておくことも重要であろう。

増大するコストに対応するために、各国は宇宙開発における国際協力を進めてきた。アメリカ、日本、欧州、ロシア、カナダが参画する国際宇宙ステーション (International Space Station:ISS) はその代表的な事例であり、現在アメリカを中心に進められている有人月面探査計画のアルテミス計画でも日本や欧州、カナダ、オーストラリア、民間企業などが協力している。これ以外にも、複数の宇宙開発機関による共同プログラムが日常的に行われており、コストを分担しようとしている。今後も国際宇宙協力の拡大傾向は続くだろう。このような複数の国家が参画するプログラムでは、責任の所在や負担の分担を事前に定めていくことが重要となる。

(2) 宇宙天気の変動の問題

前述したように、主に太陽を起源とする地球近傍宇宙の電磁環境は「宇宙天気」と呼ばれている。太陽活動は不安定で、しばしば爆発 (太陽フレア) を引き起こす。この太陽フレアによって、「高エネルギーの放射線粒子」,「X線や紫外線が放出され」, また太陽の外縁にある大気であるコロナが「塊として」飛び出す。これらは地球周辺にも到達し、X線や紫外線は地球の大気を暖めて膨張させ、低い軌道にある人工衛星を落下させる。また、コロナは磁気を帯びており、地球周辺に磁気嵐を発生させ、地上の送電網等に被害をもたらすと同時に、軌道上でも電波障害などを発生させる³⁶⁾。このような太陽フレアによる衛星への悪影響として、「はじめに」でも挙げた大気の膨張以外に、プラズマが到達することで衛星表面の電位差が大きくなって放電が発生する「衛星帯電」、放射線によって集積回路上に電荷が作られてソフトエラーなどが発生する「シングルイベント」、電子デバイスの耐圧を超える電子が付着して放電が発生する「内部帯電」、放射線が累積することで劣化が起こる「トータルドーズ」などがある³⁷⁾。このよ

36) 柴田, 上出 前掲書, 7頁。

うに太陽活動の変化による宇宙天気の変動は、地球及び地球軌道上の電磁環境に大きな影響を与えており、人工衛星にも様々な形で被害をもたらす。

宇宙天気の変動は、これまで宇宙開発等に多くの被害を与えてきた。宇宙環境が原因になっている約500の重大な衛星異常や故障が報告されており、「約半分が帯電放電であり、約3割が高エネルギー放射線粒子によるシングルイベントによる」³⁷⁾。宇宙天気の変動による地上被害としてよく知られているのが、1989年のカナダ・ケベック州の大停電である。これは「大きな太陽風衝撃波の地球への衝突により発生した誘導電流が、電力輸送網に異常を起こした」ためであり、約10時間の停電となって、600万人に影響を与えた³⁸⁾。

宇宙天気の変化そのものは人間にはコントロールできず、対応は衛星・宇宙システム側の強化による予防と、各種の観測・予報が中心となる。前述したSSAは、デブリ、地球近傍天体、宇宙天気をその要素とするが、宇宙天気情報の社会利用は進んでいないのが現状である⁴⁰⁾。

宇宙天気は太陽活動の変化によって変動するが、被害は磁気、X線、紫外線など様々な要素によって引き起こされる。観測もそれぞれで分かれ、世界各地で行われている⁴¹⁾。収集された観測情報が分析されて、宇宙天気予報として発せられる。宇宙天気予報は様々な組織が行っているが、国際組織としては国際電波連合（International Union of Radio Science）傘下の国際宇宙環境サービス（International Space Environment Service：ISES）が存在し、「準リアルタイムの国際的な宇宙環境のモニタリングや予報情報の

37) 同上書、13-17頁。

38) 同上書、13頁。

39) 同上書、21-22頁。

40) 石井 前掲論文、334頁。

41) 例えば、柴田、上出 前掲書、515-524頁では、太陽光学観測、太陽電波観測、太陽風観測、高エネルギー粒子・放射線粒子観測、地磁気観測、電離圏観測等に分けられている。

交換，宇宙環境変動の影響を軽減したい利用者の支援等を行っている」⁴²⁾。日本では，情報通信研究機構がISESの地域警報センター (Regional Warning Center) として宇宙天気情報を配信している⁴³⁾。

宇宙天気予報は緊急地震速報のようなもので，宇宙天気の変動による被害そのものを防ぐことはできない。軌道上の人工衛星の数が急増している現在，太陽活動の急速な変化による被害の可能性もまた増大している⁴⁴⁾。また，地球の天気予報に比べて，宇宙天気予報は「十分な観測データ」を得られておらず，現在の計算機が「宇宙天気で扱う領域全体を高精度に数値計算できるだけの能力に達していない」という制約もある⁴⁵⁾。

以上のような問題を解決するためには，更なる観測情報の蓄積と計算機等の技術的向上による観測の精度の向上に加えて，国際的な情報共有の仕組みを更に整備すること，軌道上の衛星及び地上の送電網等の防護の強化を進めていくことが必要である。

Ⅲ 新たな脅威の可能性

前節までは，既存の宇宙開発等の持続性・安定性を妨げる可能性がある脅威を検討した。しかし，今後は宇宙開発等が行われる空間は地球軌道外に拡張し，また宇宙開発等の内容も変化すると予想される。新たな宇宙開発等の中では，新たな脅威が出現するだろう。本節では，宇宙開発等の空

42) 同上書，526-528頁。

43) 情報通信研究機構は，宇宙天気予報の提供を行うサイト (<https://swc.nict.go.jp/>) を運営している。

44) 100年に1度クラスの極端な宇宙天気現象が発生した場合，運用中の衛星の0.7～7%を損失するという予測もある。以下を参照。Abt Associates, "Social and Economic Impacts of Space Weather in the United States", <https://www.weather.gov/media/news/SpaceWeatherEconomicImpactsReportOct-2017.pdf>, p.37, Accessed on May 9, 2022.

45) 柴田・上出 前掲書，553-554頁。

間的な拡大と、質的な変化の中で出現すると考えられる脅威を検討する。

(1) 宇宙開発・宇宙利用の空間的拡大によって出現する可能性がある問題

これまでの宇宙開発等は地球軌道上で主に行われてきたが、今やその外側で恒久的な宇宙開発等を行う計画が進められている。本項では、宇宙開発等の空間的な拡大によって、どのような脅威が生まれる可能性があるのかを検討する。特に、既に人類が到達した経験があり、現在も多くの探査・開発プログラムが進行している月を検討の対象とする。

小惑星を除いて地球から最も近い星である月は大気を持たず、現在の技術では人類が生存するのは難しい。しかし、月には膨大な資源が存在している可能性が指摘されており、また地球の6分の1という重力の小ささから、火星など太陽系の他の惑星へ移動する際の中継地点としても期待されている。現在、複数の月面探査計画が存在しており、それらの一部は恒久的な月面や月周回軌道の利用を計画に含む。例えばアルテミス計画は、2023年から月周回軌道上に有人ステーション「ゲートウェイ」を建設することを含む⁴⁶⁾。また2021年、中国とロシアは月面に有人研究ステーションを共同建設する覚書に署名した⁴⁷⁾。この計画では2026年から2030年までの建設の開始、2036年から2045年に長期的な人間の滞在が予定されている⁴⁸⁾。今後の宇宙開発等は地球軌道を離れて、月周回軌道や月面でも積極

46) NASA, “NASA’s Lunar Exploration Program Overview”, https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf, pp. 24–25, Accessed on April 19, 2022.

47) SPACENEWS, “China, Russia enter MoU on international lunar research station”, <https://spacenews.com/china-russia-enter-mou-on-international-lunar-research-station/>, Accessed on April 17, 2022.

48) SPACENEWS, “China, Russia open moon base project to international partners, early details emerge”, <https://spacenews.com/china-russia-open-moon-base-project-to-international-partners-early-details-emerge/>, Accessed on April 17, 2022.

的に行われることが予想され、将来的には太陽系内の火星その他の惑星・衛星の軌道や表面にも拡大する可能性がある。

宇宙開発等が他の星の周回軌道上に及ぶことで、地球軌道上で発生している宇宙開発等への諸問題（宇宙空間の混雑化、対宇宙能力の拡大・拡散、宇宙天気の変動など）が持ち込まれる可能性がある⁴⁹⁾。地球軌道上は地球から近く、軌道上の観測や緊急事態への対応も比較的、容易であったが、他の星には観測等のインフラが存在しておらず、対応でもタイムラグが発生しうる⁵⁰⁾。

従来から存在してきた地球軌道上の諸問題が単純に別の星の軌道上へ拡大するだけでなく、他の星の表面上に地球表面上の政治的・法的な問題が拡大する可能性がある。地球軌道上では全ての物体が移動しており、地球も含めた相対的な位置関係は対地静止軌道上を除いて変化し、軌道上の空間を領域として分割することは不可能であった。そのような前提の下で、宇宙空間は公共空間・公共財とされてきた。例えば宇宙条約2条は「月その他の天体を含む宇宙空間は、主権の主張、使用若しくは占拠又はその他のいかなる手段によつても国家による取得の対象とはならない⁵¹⁾」と規定し、宇宙空間を主権が及ばない領域とする⁵²⁾。だが、他の惑星・衛星・小惑星の表面上は、地球表面上と同じように領域による分割と所有とが可能であり、領土争いが発生する余地がある⁵³⁾。特に月や火星では、貴重な水資源が極地等の一部の地域に偏在する可能性が指摘されている⁵⁴⁾。水は生

49) ただし宇宙空間の混雑化の問題などは予防措置を最初から取ることができるために、問題が重大化しないことが期待できる。

50) 例えば、地球と月の間の距離は1.3光秒、地球と火星との間の距離は4光分弱（最接近時）に及び、通信は最低でもそれだけの時間が掛かる。ロケット等で移動するには、地球から月周回軌道で数日、地球から火星周回軌道へは半年近くが必要となる。

51) 青木・小塚 前掲書、45頁。

52) 坂口「宇宙環境問題としての～」、200-206頁。

53) 小惑星等であれば、全体を1つの主体が保有することも考えられる。

命の存在に欠かせない他、酸素と水素とに電気分解することで、宇宙ロケット等の燃料として利用することができ、今後の宇宙開発等における重要な戦略資源となる。また月を含めた太陽系には核融合発電の燃料となることが期待されるヘリウム3や各種の金属資源が豊富に存在する⁵⁵⁾。これらの資源へのアクセスと利用が可能になることで、これらの資源を巡る紛争が発生する危険性も高まる。

このような宇宙での領土・資源問題の可能性が生まれる中で、先立って規則・規範を制定する動きがある。2021年、日米など8カ国が前述のアルテミス計画のために締結したアルテミス合意は、第11項で「宇宙活動の衝突回避 (Deconfliction of Space Activities)」を定めており、この中で「安全地帯 (Safety Zone)」の設置を定めている⁵⁶⁾。しかし、アルテミス合意のこ

54) 月の水資源は極地に加えて、クレーター内部など長期間日に当たらない領域（永久影）に存在する可能性が指摘されている。以下を参照。NASA, “NASA’s SOFIA Discovers Water on Sunlit Surface of Moon”, <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-sofia-discovers-water-on-sunlit-surface-of-moon>, Accessed on April 28, 2022; JAXA, “月極域探査ミッション”, <https://www.exploration.jaxa.jp/program/lunarpolar/>, Accessed on April 28, 2022; Qiao, Le et al. *Analyses of Lunar Orbiter Laser Altimeter 1,064 - nm Albedo in Permanently Shadowed Regions of Polar Crater Flat Floors: Implications for Surface Water Ice Occurrence and Future In Situ Exploration*, Earth and Space Science, 2019, p. 484.

火星の水資源については以下を参照。NASA, “NASA’s Treasure Map for Water Ice on Mars”, <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasas-treasure-map-for-water-ice-on-mars>, Accessed on April 29, 2022; CNN, “火星に「大量の水」発見、グランドキャニオンより巨大な渓谷で”, <https://www.cnn.co.jp/fringe/35181029.html>, Accessed on April 29, 2022.

55) 例えば月面には、少なくとも100万tのヘリウム3と、多くのレアメタルが存在すると予測されている。以下を参照。Duffy, Laura and Lake, James, *Cislunar Spacepower The New Frontier*, Space Force Journal, Issue. 2, 2021, <https://spaceforcejournal.org/3859-2/>, Accessed on May 8, 2022.

56) NASA, “The Artemis Accords”, <https://www.nasa.gov/specials/artemis->

の項目は、宇宙条約2条に抵触する可能性が指摘されている⁵⁷⁾。

以上のように、宇宙開発等が月や火星などの地球以外の惑星・衛星・小惑星の表面上、軌道上に及んだ場合、地球表面上や地球軌道上で認識されている諸問題が持ち込まれる可能性がある。このような問題の発生は当然に予期され、実際に地球軌道外の領域で宇宙開発等が進む前に、国際的な議論を通して規範を構築する必要がある。

(2) 宇宙開発・宇宙利用の質的变化によって発生する可能性がある問題

前項では、宇宙開発等が地球以外の他の惑星・衛星・小惑星の表面上、軌道上まで及ぶことで、領土争いの可能性などの新たな脅威が出現する可能性を検討した。本項では、地球軌道上で行われている宇宙開発等の質が変化することで、新たな脅威が出現・拡大する可能性を検討する。

現在までの宇宙開発等は地球軌道上からの地上の観測、軌道上を經由した情報の送受信が中心であった。これらは主に無人の宇宙機によって行われ、有人宇宙飛行や宇宙ステーションの運用など有人宇宙機の活動は非常に限られていた。また地上から軌道上へと様々な宇宙機がロケットで打ち上げられてきたが、軌道上から地上への物理的なモノの移動は大部分がそれらの地上への再突入であり、それ以外の宇宙空間での物質の採取は、月や小惑星などからのサンプル・リターンなどに限られ、量も少なかった⁵⁸⁾。しかし、新たに志向されている宇宙開発等においては、宇宙空間か

accords/index.html, Accessed on May 9, 2022.

57) Nelson, Jack Wright, "The Artemis Accords and the Future of International Space Law", *insights*, Volume, 24 Issue. 31, 2020, pp. 2-4.

58) 例えば、1969-72年のアポロ計画で月面から持ち帰られた月面の土砂や岩石の標本は合計で約842ポンド(約382kg)である。また宇宙探査機「はやぶさ」が小惑星イトカワから持ち帰ったサンプルは粒子1500個程であり、大きさのほとんどは100 μ m以下、総質量も数十 μ g程度であった。以下を参照。NASA, "Lunar Rocks and Soils from Apollo Missions", <https://curator.jsc.nasa.gov/lunar/>, Accessed on April 28, 2022; 海老原充「はやぶさ宇宙探査機が小惑星イ

ら地球へのモノの移動、あるいは宇宙空間と地球との人の往復が拡大することが予期される。

本項では、現段階で実現が近づきつつある新たな宇宙開発等の事例として、宇宙空間での資源採掘、宇宙ソーラー発電、宇宙旅行の3つを取り上げて、その概要を説明するとともに、どのような脅威が起りうるのかの検討を行う。

まず、宇宙空間での資源採掘に関する問題を検討する。前述したとおり、ヘリウム3やレアメタルなど地球では希少でも、太陽系全体を視野に入れば豊富な資源は多数存在する。それらを地球上へ持ち帰ることができれば、人類にとって多大な利益となるだろう。前述した宇宙条約2条は、宇宙空間に主権が及ぼされないことを規定するが、これは国家による占有を禁止し、個人に対しては明確には禁止していないという議論が存在してきた。また移動が可能な小惑星は動産であって、宇宙条約のいう天体に当たらず、宇宙条約は適用されないという主張も存在する⁵⁹⁾。このような背景から、既にアメリカやルクセンブルク、UAE、日本などの諸国では、私人による宇宙資源の採掘・所有に関する法律が定められている⁶⁰⁾。また宇

トカワから持ち帰った微粒子の中性子放射化分析」『Isotope News』No. 716, 2013年, 50頁。

59) Crombie, Joseph, "Legislating for Humanity's Next Step: Cultivating a Legal Framework for the Mining of Celestial Bodies", *Space & Defense*, Vol. 10, 2017, pp. 11-12.

60) アメリカは2015年に商業宇宙打ち上げ競争力強化法を、ルクセンブルクは2017年に宇宙資源探査利用法を、UAEは2019年に宇宙活動法を定め、宇宙での資源採掘に関して規定している。以下を参照。Goswami, Namrata. Garrestson, Peter A., *Scramble for the Skies: The Great Power Competition to Control the Resources of Outer Space*, London, Lexington books, 2020, pp. 122-123, 281-282; 小塚荘一郎・笹岡愛美編著『世界の宇宙ビジネス法』商事法務, 2021年, 250-251頁。日本では2021年6月に宇宙資源法が成立した。参議院, "議案情報", <https://www.sangiin.go.jp/japanese/joho1/kousei/gian/204/meisai/m204090204037.htm>, Accessed on May 9, 2022.

宙資源採掘を進めようとする企業も設立されている⁶¹⁾。

宇宙ソーラー発電は、地球（静止）軌道上で太陽光発電を行い、生み出された電力を地上へと送信する構想である。「宇宙空間で得られる太陽光エネルギーは、地上の場合と比較すると季節・昼夜・天候に影響されないため、単位面積当たりの年間利用可能エネルギー量は5～10倍になる」と推測されている⁶²⁾。このために各国が技術開発、構想を行っており、例えば中国は2025年に実証実験を行い、2050年から商業的レベルの運用を行う目標を立てている⁶³⁾。日本でも21世紀後半以降の実現を目指して研究が進められている⁶⁴⁾。

宇宙旅行は、宇宙開発等に直接関与しない民間人が宇宙空間に観光目的で滞在することである。これらは商業宇宙飛行あるいは民間宇宙飛行とも呼ばれ、少人数ながら既に行われてきた。1990年には秋山豊寛が世界初の民間人宇宙飛行士としてソ連のミール宇宙ステーションに滞在している。その後もミールやISSなどの宇宙ステーションへの民間人の訪問・滞在は続けられ、最近では2021年12月8日から20日にかけて、実業家の前澤友作など日本の民間人2人がISSに滞在した⁶⁵⁾。これらの訪問・滞在は各国政府機関が打ち上げたロケットによって行われており、完全に民間企業のみ

61) 例えば、アメリカのPlanetary Resources社が知られている。以下を参照。

Moltz, James Clay, *Crowded orbits: conflict and cooperation in space*, New York, Columbia University Press, 2014, pp. 110-111.

62) 鈴木拓明「レーザー方式宇宙太陽光発電の開発現状と展望」『レーザー研究』39巻1号, 2011年, 24-25頁。

63) Gao, Ji, Hou, Xinbin and Wang, Li, “Solar Power Satellites Research in China”, *Online Journal of Space Communication*, Issue No. 16, 2010, <https://spacejournal.ohio.edu/issue16/ji.html>, Accessed on April 23, 2022.

64) JAXA研究開発部門, “SSPSに関してよくある質問 (FAQ)”, <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/ssps/ssps-faq.html>, Accessed on April 23, 2022.

65) NHK, “前澤友作さん 地球に帰還 ISSでの12日間の宇宙旅行終える”, <https://www.3nhk.or.jp/news/html/20211220/k10013395341000.html>, Accessed on April 17, 2022.

で行われた商業宇宙飛行は2022年4月9日にスペースX社のクルードラゴン宇宙船によるものが初めてである⁶⁶⁾。

宇宙ステーションに滞在する長期間の宇宙飛行だけでなく、宇宙空間に短時間だけ到達するサブオービタル（Sub Orbital）宇宙飛行も注目を集めている。2021年にヴァージン・ギャラクティック（Virgin Galactic）社とブルー・オリジン（Blue Origin）社がそれぞれ初めてのサブオービタル有人飛行を行って成功させた⁶⁷⁾。両社は今後、商業宇宙飛行を本格的に行う予定である。

このような宇宙開発等の性質が変化することで生じる宇宙開発等への脅威はそれぞれ異なり、それぞれに対する対応も異なるものとなる。

宇宙空間での資源採掘は、前述したように、その所有権と法的根拠をめぐる問題を引き起こす。また現在、資源や発電燃料の多くが発展途上国から輸出されており、先進国による宇宙空間での資源採取やソーラー発電が本格化すると、それらの資源や発電燃料をこれまで供給してきた途上国が大きな打撃を受けるため、反発が予想される。

宇宙旅行等の拡大は、軌道上に滞在する人間、特に民間人の増加に繋がる。これにより、既存の諸脅威、つまり宇宙空間の混雑化や対宇宙能力による被害が民間人の人命損失へと発展する可能性が高まる⁶⁸⁾。また前述した宇宙天気の変化は衛星の損失による直接的な人命損失だけでなく、宇宙放射線の増加による被曝量の増大をもたらす⁶⁹⁾。

このような宇宙活動の質的变化に伴って出現する宇宙開発等への諸脅威

66) JIJICOM, “民間人4人乗せISSへ スペースXの宇宙船で”, <https://www.jiji.com/jc/article?k=2022040900178&g=int>, Accessed on May 9, 2022.

67) 「宇宙旅行時代へ、飛び立て 米企業の試験成功、商業飛行へ続々」朝日新聞、2021年7月12日、夕刊、10頁。「旅客乗せ宇宙へ、ベゾス氏成功」朝日新聞、2021年7月21日、朝刊、1頁。

68) 一方で、人命損失の危険性が拡大することで、宇宙開発等への諸脅威への対応の議論が活発する可能性もある。

69) 柴田・上出 前掲書、19-21頁。

は、その変化それぞれに応じて多様だが、いずれも既存の宇宙法システムでは想定されてこなかった問題である。宇宙からの資源採掘について、採取した資源の所有権は不明確であり、エネルギーは規定がない。宇宙旅行に関しては、民間宇宙飛行士の放射線被曝などへの責任は明確でない。

このような新たな脅威を解消するためには、それぞれの脅威を事前に予測し、脅威が顕在化する前に諸国間で議論を行って合意を形成し、制度や法を整備する必要がある。

(3) 宇宙開発・宇宙利用への脅威の整理と対応

これまで本論文で検討してきた宇宙開発等に対する脅威を表1に整理した。

表1 宇宙開発・宇宙利用に対する脅威

従来の脅威	内生的	宇宙空間の混雑化	<ul style="list-style-type: none"> 人工衛星の増加 スペースデブリの増加
		対宇宙能力の拡散・拡大	<ul style="list-style-type: none"> 人工衛星の破壊 (ASAT) 宇宙利用の妨害 (GPSなど)
	外生的		<ul style="list-style-type: none"> 政治的・社会的なコスト削減圧力 宇宙天気の変動
新たな脅威		宇宙開発等の空間的拡大	<ul style="list-style-type: none"> 他惑星・衛星の軌道上への諸脅威の拡大 軌道上の混雑化の可能性 軌道上での対宇宙能力の行使の可能性 宇宙天気の変動による被害の可能性 他惑星・衛星の表面、小惑星をめぐる領有権争い
		宇宙開発等の質的变化	<ul style="list-style-type: none"> 変化に応じて発生する様々な問題

出典：筆者作成

既存の安全保障論、国際関係論、宇宙法は、主として「従来の脅威」のうち、特に宇宙開発等の過程の中で出現した「内生的」な脅威を研究の対象としてきた。「宇宙空間の混雑化」の問題も「対宇宙能力の拡散・拡大」

の問題も既に研究の蓄積があり、国際的にも議論が進められている。

宇宙開発等の過程とは関係なく発生した「外生的」な脅威としては、主として公共政策論で議論されてきた「宇宙開発等のコスト」の問題と、自然科学で議論されてきた「宇宙天気の変動」の問題を検討した。これらは、直接的には国家間関係と結びつくものではないが、国際協力を通して問題を軽減しうするため、安全保障論、国際関係論、宇宙法等の社会科学でも詳しく検討する必要がある。

更に、宇宙開発の変化に伴って新たに出現する宇宙開発等への脅威について、本論文では「宇宙開発等の空間的拡大」と「宇宙開発等の質的变化」という2つの側面から検討を行った。前者は地球上・地球軌道上で発生している問題が他の星の表面・軌道上でも発生するようになる、という問題であり、後者は今まで存在しなかった問題が生じる可能性である。これらは研究も国際的な議論も端緒に就いたばかりである。

全体として、宇宙開発等に対する国際的な制度・法システムが未整備であることが諸問題全体に共通する1つの大きな原因である。国際宇宙法は米ソのデタントが進んだ1960年代後半～1970年代前半に掛けて整備が進んだが、それ以後は議論が停滞している⁷⁰⁾。枠組み条約である宇宙条約も1967年に発効して以来、改定されておらず、実際の宇宙開発等の変化に追いついていない。現在の国際宇宙法構築のメカニズムは、宇宙開発等を行うアクターが増加し、また各国の安全保障を含めた利害が交錯しているために機能不全に陥っており、新たな規範がすぐに創出されることは考えがたい。

このような現状にあって、いかに持続可能な宇宙開発等を行うかを考えると、新たな宇宙開発等に対する脅威への対応が鍵になる。宇宙開発等の空間的な拡大にせよ、質的な変化にせよ、現状でそれらに関与できているのは一握りの宇宙開発大国のみであり、それらの国家が同意に達すること

70) 坂口「宇宙環境問題としての～」, 205-206頁。

で新たな規範を創出し、前例とすることが可能である。宇宙開発等の空間的拡大による既存の諸問題の拡大を防ぎ、質的变化によって生じる問題を予測して対応策を作り上げることで、今後の宇宙開発等に対する制度・法システムの基礎を作ることができる。そのような基礎は地球軌道上に存在する既存の諸問題への対応を行う上でも必ず役に立つだろう。

おわりに

本論文では、宇宙開発等を停滞させる可能性がありながら、これまで国際関係論、宇宙法、安全保障論などの社会科学で脅威と認識されてこなかった諸脅威、及び宇宙開発等の今後の変化によって新たに出現すると考えられる諸脅威について、その内容と既存の政策的・法的状況を明らかにし、どのような政策的・法的な対処が必要となるのかを検討した。

本論文は、まず従来認識されていた脅威について整理を行った上で、「宇宙空間の混雑化」の問題と「対宇宙能力の拡散・拡大」の問題を検討した（Ⅰ）。次に、従来存在したが認識されてこなかった問題として、宇宙開発等のコストの削減圧力の問題と、宇宙天気の変動の問題を検討した（Ⅱ）。最後に、宇宙開発等の変化によって生じうる問題を、「宇宙開発等の空間的拡大」から生じる問題と、「宇宙開発等の質的变化」から生じる問題とに分けて検討した（Ⅲ）。

従来の各種の脅威が解決・軽減されないのは宇宙開発等に対する国際的な制度・法メカニズムが未整備なことに1つの大きな原因があり、その未整備の原因は各国の利害の対立にある。その中で、いかに国際的な制度・法メカニズムを確立するか、を考えた時に、宇宙開発等の変化によって新たに生じらる脅威に対応した制度・法メカニズムを、各国の利害対立が生じる前に先手を打って形成して規範を作り、それから既存の諸問題へ対応するべきである、というのが本論文の結論である。

宇宙開発等に外生的な脅威、あるいは宇宙開発等の変化に伴って出現し

た新たな脅威に対する政治的・法的な対応を検討するために、今まで行われてきた内生的脅威に対する政治的・法的な対応に関する研究を参照することが必要である。その際には、アクターの分析が重要になると考えられる。各アクターは許容可能なコストの範囲内で目標を定めて宇宙開発等を行っている。宇宙開発等に対する諸脅威は、宇宙開発等のコスト等を高めることで各アクターの宇宙開発等を妨げる。また、各脅威に対して、各アクターは有効性と掛かるコストとを斟酌して対応を行っており、彼らを研究することで、どうすれば各アクターを問題解決に向かわせることができるのかが明らかとなろう。

最後に本論文で検討できなかった問題を以下に概説する。

第1に、本論文では現段階で実現が近づきつつある宇宙開発等として、宇宙空間での資源採掘、宇宙ソーラー発電、宇宙旅行の3つを取り上げて検討した。だが、構想段階のものを含めると、地上と高度36,000kmの地球静止軌道までを結ぶ軌道エレベーター構想や、火星への植民計画など、本論文で取り上げたもの以外にも多くの野心的な宇宙開発計画が存在する⁷¹⁾。これらの新たな宇宙開発等それぞれに宇宙開発等を停滞させうる新たな問題が潜んでいると考えられが、本論文は現段階で政府機関等が具体的な目標を定めて取り組んでいる計画のみを検討するに留めた。

第2に、地球近傍天体（Near Earth Object:NEO）の問題は取り上げなかった。NEOは文字通り、地球に接近する軌道を持つ天体であり、宇宙空間の混雑化の問題や宇宙天気の変動の問題でも取り上げたSSAはNEOの観測も行っている。NEOは膨大な数が確認されているが、微小なNEOは現在の技術では観測が難しく、予測されていなかったNEOが地上に衝突することもある。NEOは地球や人類に対する脅威ではあるが、宇宙開発等に対しては脅威とはいえないため、本論文では検討の対象とはしなかった。

71) 宇宙エレベーターについては日本では宇宙エレベーター協会が、火星植民計画については日本火星協会が存在している。

第3に、宇宙開発等の停滞の要因としての技術的問題は検討の対象とはしなかった。宇宙開発等には非常に高度な技術が使用されており、特に新たな性質を持つ宇宙開発等を行う場合には、全く新たな技術が必要となる。そのような技術開発は基礎科学からの科学的基盤があって初めて可能となるが、すぐに開発が進むことは考えがたく、宇宙開発等が停滞するリスクとなる。しかし、このような科学技術をめぐる問題は宇宙開発等に特徴的な問題ではなく、他の先端科学分野でも同様だと考えられることから、本論文では検討の対象とはしなかった。

以上のように、取り上げることの出来なかった宇宙空間に関連する問題は多く存在している。しかし、本論文は宇宙開発等を停滞させうる問題を整理するとともに、それらの問題を解決するためには今後いかなる政治的・法的な研究と議論とを行っていくべきなのかを示すことができたと思われる。

今後は、本論文で行った宇宙開発等に対する各脅威の整理を基として、それぞれの脅威に対していかに対処するのか、を宇宙開発等に関与する各アクターに着目しながら明らかにしていきたい。

(本学大学院法学研究科博士課程後期課程在籍)