

政治的問題としてのスペースデブリ問題

——宇宙開発の新たな時代的区分の検討——

坂口 滉 季*

要 旨

本論文は、スペースデブリ問題に着目して、中国による ASAT 実験と、国連総会でのスペースデブリ低減ガイドラインの採択が行われた2007年を境に、宇宙開発を「技術的問題としてのデブリ時代」と「政治的問題としてのデブリ時代」に区分する。前者では、スペースデブリの問題は宇宙開発機関にとっての専門的・技術的な問題であり、宇宙開発においてもデブリへの配慮が足りなかった。後者では、スペースデブリの問題が国際的に認知され、デブリが出るか出ないかが宇宙開発における1つの尺度となり、政治的な問題としてデブリ問題が扱われている。その上で、デブリ問題と他の宇宙開発に関わる問題との関係を、宇宙開発に関する区分という点から検討し、アクターの増加がデブリ問題の政治問題化につながり、それが更に衛星のコンステレーション化につながったこと、宇宙の軍事化とデブリ問題の政治問題化とは相互に影響しながら進行していることを明らかにした。

目 次

- はじめに
- I 宇宙開発の時代的区分の試み
- II スペースデブリ
- III スペースデブリ問題を強調した新たな区分について
- おわりに

はじめに

ここ数年間で宇宙開発全体が急激な変化に晒されている。

まず、従来の国家による宇宙開発に代わって民間企業による宇宙開発が拡大している。特にスペースX社やブルー・オリジン社などアメリカの新

興の巨大宇宙開発企業、いわゆるニュー・スペースは積極的な宇宙開発を志向する。アメリカのNPOである憂慮する科学者組合（Union of Concerned Scientists）が提供するオープンソース情報に基づく衛星データベース¹⁾において、軌道上に存在し、運用が行われている2666基の衛星のうち、商業用途に含まれる衛星は1645基に上り、前述したスペースX社は358基の衛星を運用している。今年、2020年の5月30日（日本時間では翌31日）、スペースX社の「クルードラゴン」ロケットの打ち上げが成功し、国際宇宙ステーション（ISS）へ2名の宇宙飛行士を輸送した²⁾。これは世界初の民間企業による地球軌道上への有人宇宙飛行であった³⁾。地球軌道上への有人宇宙飛行技術を持つ国家は、アメリカ、ロシア、中国の3カ国に限られており、技術力に関しても、民間企業は国家の宇宙開発機関に引けを取らない。

民間企業による積極的な宇宙開発は別の側面、

* さかぐち ひろき 法学研究科政治学専攻博士課程前期課程

2020年10月2日 査読審査終了

第1推薦査読者 星野 智

第2推薦査読者 李 廷江

宇宙の過密化も生んでいる。運用を終了したものを含めた軌道上にある人工衛星は増え続けており、特に地球との距離が近いために有用性が高い低軌道と、常に地球の同じ地点の上空に留まることができる静止軌道の2軌道に衛星が集中している。そのため、それらの軌道における宇宙物体間の衝突の危険性が増している。

また、宇宙の軍事化も進んでいる。宇宙アセットが戦争に不可欠であるとの認識は各国に広まっており、対衛星（ASAT）兵器やそれに対する防護手段の研究開発が進められている。2019年3月27日にインドは直接上昇型ASAT兵器の実験を行い、高度約300kmにあるターゲット衛星を破壊した⁴⁾。これによって、直接上昇型ASAT兵器の使用実験を行った国はアメリカ、ロシア、中国に次いで4カ国となった。

宇宙アセットの軍事的重要性が拡大したことによって、宇宙での安全保障を担う宇宙部隊の重要性も増し、部隊の新設・再編が進んでいる。アメリカは2019年に「第6の軍」として宇宙軍を発足させ、日本も2020年に宇宙作戦隊を組織した。またフランスは空軍を航空宇宙軍へと移行させようとしている。既にロシアは空軍を航空宇宙軍へと改編しており、中国も2015年に宇宙戦やサイバー戦などを専門とする戦略支援部隊を発足させている。

以上のように宇宙活動の政治的・経済的・軍事的重要性は拡大しており、宇宙の商業化・過密化・軍事化という傾向を持ちながらも、宇宙活動が活発化している。しかし、人類が宇宙活動を行う上で副産物として生じるのがスペースデブリ（以下、デブリ）、つまり宇宙ゴミである。デブリは宇宙を高速で飛来し、衛星などの宇宙アセットに衝突した場合に重大な損害をもたらすという点で深刻な脅威である。しかも除去技術が実用化されていないため、重力に引かれて地上に落下するなど自然に消滅しない限り、一度発生したデブリはいつまでも脅威のままである。

スペースデブリの問題は2007年の中国によるASAT実験と、それに伴う大量のデブリの拡散を契機として周知されるようになり、様々な対策が取られるようになったが、宇宙活動の重要性が拡大したことで問題も深刻化している。

本論文は宇宙開発における最大の問題ともいえるスペースデブリ問題を軸として、宇宙開発について新たな時代的区分を設け、デブリ問題と他の宇宙開発上の問題との関係を検討する試みである。

以下では、先行する宇宙開発の時代的区分の試みについて検討(I)し、そこから欠落したデブリの問題を概説(II)する。その上でデブリ問題を強調した新たな宇宙開発の時代的区分を提案し、それをIで検討した先行する区分の試みと比較することで、デブリ問題と他の宇宙開発上の問題との関係を検討(III)したい。

I 宇宙開発の時代的区分の試み

先行する宇宙開発の歴史の時代的区分の試みについて検討する。

1で検討するテクノクラシー／ネトクラシー、2で検討する第一宇宙時代／第二宇宙時代はどちらも宇宙開発全体の性質についての区分である。テクノクラシー／ネトクラシーはスペース・パワーのモデルについて、第一宇宙時代／第二宇宙時代は宇宙開発全体の性質について区分を行っている。3で検討するスペース・パワー論の区分は、宇宙開発全体ではなく、宇宙安全保障という観点からの区分であり、特に福島康仁による区分について検討する。

1. テクノクラシー（Technocracy）とネトクラシー（Netocracy）

宇宙安全保障について研究を行うジェームズ・クレイ・モルツは、2019年に書かれた『21世紀のスペース・パワーの変動力学（The Changing Dynamics of Twenty-First-Century Space Power）』の中で冷戦期のスペース・パワーが国家、

特に米ソ両国主導の宇宙プログラムに依存しており、① 打ち上げの回数とロケット・衛星の大きさ、② 宇宙飛行士の功績、③ 軍事を支援する技術、④ 宇宙科学の進歩によって、その能力が測られていた、としている⁵⁾。

モルツはその冷戦期のスペース・パワーのモデルを「テクノクラシー」と呼び、国家中心、秘密主義、軍事主導、個々の衛星の独立、少数かつ巨大で脆弱性の高い宇宙プラットフォーム、遅くトップダウン型のイノベーションなどの特徴を挙げている。これに対して、ポスト冷戦期、特に21世紀のスペース・パワーのモデルを「ネトクラシー」と呼び、国際的、高い透明性、商業主導、ネットワーク化された衛星網、多数かつ小型で弾力性のある宇宙プラットフォーム、急速かつボトムアップ型のイノベーションなどの特徴を挙げている⁶⁾。

モルツは、テクノクラシー型からネトクラシー型へのモデルの変化に伴って、それらを生み出す環境を持つアメリカがそれらを持たない国々、特に中国とロシアに対してスペース・パワーについて優位に立ちうるとの見解を示している⁷⁾。

モルツは宇宙開発における民間企業の活動の拡大を強調し、それが変化をもたらしたと主張する。スペース・パワーの源泉が国家の資本と国家によるイノベーションから、民間企業の資本とアイデアや人間の自由な移動によって生まれるイノベーションへと移ったがために、伝統的なスペース・

パワーの尺度も再編する必要があるとしている。

どこでテクノクラシー型のモデルからネトクラシー型のモデルへ移行したかという点で、具体的な契機となる出来事をモルツは示していない。ただ、「過去の数年間を通して、宇宙活動の総体に占める商業宇宙（活動）の割合が増加していることから、従来の尺度を再評価する必要がある」⁸⁾と述べており、モデルの移行が過去数年間、特に2010年代後半に起こったことだとしている。このため、テクノクラシー型のモデルは冷戦終結後もかなりの間、主流であったことが示唆される。

2. 第一宇宙時代（First Space Age）と第二宇宙時代（Second Space Age）

第一宇宙時代と第二宇宙時代という区分は、アメリカ航空宇宙局（NASA）の戦略・政策実施担当上級顧問（当時）であるトーマス・E・クレメンスが2014年に提唱したものであり、一握りの大国が宇宙開発の資源を独占していた時代（第一宇宙時代）に対して、宇宙開発に関与するアクターが増加した現代は第二宇宙時代である、という文脈で使われていた⁹⁾。

これを発展させたのがトッド・ハリソンである。ハリソンは2017年に書かれた「第二宇宙時代におけるエスカレーションと抑止（Escalation & Deterrence in the Second Space Age）」の中で、第一宇宙時代と第二宇宙時代を比較し、宇宙におけ

表1 スペースパワーモデルの区分の比較

冷戦期のスペースパワーモデル （「テクノクラシー」）	21世紀のスペースパワーモデル （「ネトクラシー」）
<ul style="list-style-type: none"> ・ 国家的 ・ 秘密 ・ 軍事主導 ・ 独立 ・ 少数・巨大なプラットフォーム （脆弱） ・ 遅く、トップダウンのイノベーション 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国際的 ・ 透明 ・ 商業主導 ・ ネットワーク化 ・ 多数・小型のプラットフォーム （強靱） ・ 速く、ボトムアップのイノベーション

（出所） James Clay Moltz, “The Changing Dynamics of Twenty-First-Century Space Power,” *Journal of Strategic Security*, Vol. 12, Issue. 4, 2019, pp. 27の Fig. 1. Comparison of Space Power Models を筆者が翻訳。

る新たな抑止モデルの必要性を訴えている。

第一宇宙時代は国家、特に米ソの二大超大国による宇宙開発がほぼ独占されていた時代である。1957年から1990年までに打ち上げられた衛星の93%がこの2国によって占められていた。また軍事主導の宇宙開発の時代でもあり、全衛星の70%が軍事衛星であった。しかし、これらの軍事衛星は核抑止力の維持に役立っていたために、攻撃の対象とはならなかった¹⁰⁾。

冷戦が終結した1991年以降、第一宇宙時代から第二宇宙時代へと移行し始める。これは宇宙の商業利用、地球上の地政学的な環境、軍事的なパワーバランスがほぼ同時に変化した結果である。第二宇宙時代は第一宇宙時代に比べて、多様かつ無秩序で危険な時代とされる。伝統的な宇宙超大国であった米露以外の国々による打ち上げが拡大し、また多くの民間企業が宇宙開発に参入した。民間企業は国家による宇宙利用より多様な宇宙利用を志向しており、既存の法律や規制では対応できなくなりつつある。また各国の軍隊の宇宙への依存が進んだために、宇宙アセットへの攻撃はより魅力的な手段となりつつあり、宇宙利用に対する脅威が広がっている。核抑止以外へ宇宙アセットの軍事利用が拡大したために、第一宇宙時代の抑止やエスカレーションの制御がもはや有効ではないとハリソンは主張している¹¹⁾。

ハリソンは第一宇宙時代から第二宇宙時代への変化の原因について、複合的な要因（宇宙の商業利用、地球上の地政学的な環境、軍事的なパワーバランスの変化）を挙げる。しかし、この背後にはクレメンスが第一宇宙時代と第二宇宙時代との区分で主張した「アクターの増加」があると考えられる。つまり、宇宙の商業利用については商業アクターの参入、地政学的な環境の変化による米ソ両大国以外の国家の宇宙開発への参入・開発の拡大である。軍事的なパワーバランスの変化には、地政学的な環境の変化が大きく関わる。宇宙開発に関与するアクターの拡大が、第一宇宙時代から

第二宇宙時代への変化の根本にあると考えられる。

3. スペース・パワー論の区分

福島康仁は『宇宙の安全保障』の中で、スペース・パワー論の中での宇宙の利用価値をめぐる議論の分類について、ラプトンによる古典的な分類を参照した上で、それを発展させた新たな分類を示し、アメリカにおける主要な議論が時代と共に変遷してきたと主張している。その上で、世界的な宇宙ガバナンスが変化を迫られていることを明らかにし、ガバナンスの在り方を模索している¹²⁾。

ラプトンは、1988年に書かれた『宇宙戦論 (On Space Warfare)』の中で、スペース・パワー理論における宇宙の利用価値をめぐる議論を「聖域学派」「残存性・脆弱性学派」「高地学派」「コントロール学派」の4つに分類した¹³⁾。

福島は、ラプトンの分類を踏まえ、冷戦後の議論を考慮に入れて、スペース・パワー論について「聖域学派」「情報学派」「坑たん性・コントロール学派」「高地学派」の4つに分類した¹⁴⁾。このうち、「聖域学派」と「高地学派」はラプトンの定義をそのまま引き継いでいる。

以下で福島による4分類をそれぞれ簡単に解説する。

まず、「聖域学派」は、「他の主権国家の国境内を覗き見ることに宇宙空間の軍事的価値を見だし、そうした価値を守るために宇宙空間を戦争のない聖域にとどめておくべきだと主張」し、核抑止力に不可欠な構成要素として宇宙からの監視を重視している¹⁵⁾。

次に「情報学派」は、「地球上での戦闘を情報という観点から支援することが、宇宙空間の有する最も重要な価値であると考え」、戦闘において情報が中核的な役割を持つ中で、宇宙空間を通じた情報のやり取りに最大の宇宙空間の軍事的価値を見いだす¹⁶⁾。

そして、「坑たん性・コントロール学派」は、宇宙利用への依存が作戦面で進んでしまった中で、

レジリエンス（強靱性、弾力性）を強化して、有事でも宇宙利用を継続できるようにすべき、と主張する¹⁷⁾。これには、宇宙空間をめぐる戦闘、特に衛星に対する攻撃の可能性が背景にある。

最後に、「高地学派」は、「最も宇宙空間の軍事的価値を重視」し、宇宙空間から弾道ミサイル、他の衛星、他の衛星打ち上げロケット、高高度を飛行する航空機などを迎撃・攻撃することに宇宙空間の軍事的価値を見だし、「宇宙空間を制するものは地球を制すると主張する」¹⁸⁾。

福島は、現実反映された中心的なスペース・パワー理論が、聖域学派→情報学派→坑たん性・コントロール学派と変化してきたと主張しており、聖域学派は冷戦期まで、情報学派はイラク戦争の初期まで、そしてそれ以後は坑たん性・コントロール学派が中心的だとする¹⁹⁾。

このスペース・パワー論の分類と、現実における反映の変化は、議論がどう進んでいたか、あるいはその時代に中心的な軍事宇宙利用が研究開発や配備されたかだけでなく、それが実際に使用されたか否かという点から判断されている。そのため、あるスペース・パワー論が議論として中心的であった、あるいは技術的にも可能であり、そのための兵器が配備されていた、というだけでは変化が起こったとはされない。具体的な例を挙げると、「坑たん性・コントロール学派」の時代の到来をもたらす対宇宙兵器²⁰⁾、特に軌道上の衛星を攻撃可能な兵器²¹⁾は冷戦期には既に配備されていたが、実際に敵対国の衛星を攻撃することは行われておらず、そのためにレジリエンスの強化にも重点が置かれていなかった。また「高地学派」の時代の到来をもたらす宇宙空間からの弾道ミサイル迎撃は、研究開発は行われていたが、技術的な問題から不可能であった²²⁾。

また、時代が移行しても、以前の時代で中心的だった軍事宇宙利用がその価値を失うわけではない。例えば、聖域学派の時代に中心的であった核戦略への宇宙アセットの利用は現在も行われてお

り、その価値は失われていない。また、ASAT兵器は拡散しているが、宇宙アセットは戦術的に重要なままである。

「聖域学派」の時代とされる宇宙開発の始まり～冷戦の終結まで、衛星などの宇宙アセットは、相互確証破壊に基づく核抑止を支えるものとして重要な意義を持っていた。相互確証破壊は米ソ両国が確実に敵を破壊しうる第二撃（敵による先制核攻撃＝第一撃を受けた後の核兵器による反撃）能力を持つことである。この第二撃能力を維持するためには、敵の核攻撃の兆候を把握し、敵が核攻撃を始めたことをいち早く確認し、また敵の核攻撃を受けた後に反撃を命令するなどの手段が必要とされた。そのため、地上にあるものに比べて攻撃を受けにくい宇宙アセットが重要とされ、偵察・気象・測位・早期探知・通信などの衛星が整備された。また米ソ間の軍縮条約の検証手段としても宇宙アセットは活用される。このように、「核抑止と軍備管理への貢献が宇宙システムの主な役割であった」²³⁾。

「情報学派」の時代の始まりを、福島は湾岸戦争においている。湾岸戦争では、多くの宇宙アセットが活用され、諸外国にも宇宙アセットの核抑止を超えた有用性が認知される契機となった²⁴⁾。その後、アメリカによる宇宙アセットの戦闘への活用は大幅に拡大し、NATOによるユーゴスラビア空爆、2001年からのアフガニスタン戦争、2003年からのイラク戦争と、軍用の宇宙アセットとドクトリンが整備され続け、重要性も増していった。そして、戦争の遂行において不可欠の存在となっていく。一方で、宇宙アセットに対する攻撃や宇宙アセットの利用の妨害は試みられておらず、ソ連崩壊後の唯一の宇宙超大国であったアメリカは一方的に宇宙アセットを利用することができた。

2003年のイラク戦争の際、イラク軍はアメリカの攻撃に対して、GPSの妨害を行っており、宇宙アセットの利用の妨害を図った²⁵⁾。福島によれば、これが「坑たん性・コントロール学派」の時代の

始まりとされる。これ以後、宇宙アセットに対する攻撃の脅威が拡大していくこととなり、戦時における宇宙アセットの利用を保証するために、衛星のレジリエンスの強化を目指すこととなる。

福島は地上の安全保障における宇宙アセットの重要性の高まり、いわゆる宇宙の軍事化を強調し、それが変化をもたらしていると主張する。冷戦期までは専ら米ソ間の戦略的な核抑止と軍備管理に対して宇宙アセットは意義を持っていたが、湾岸戦争以降は戦術的なレベルにまで宇宙アセットの重要性が拡大し、それによって宇宙アセットに対する攻撃の可能性も拡大したとされる。

4. 結 論

本節で取り上げた3つの区分は、いずれも冷戦期とポスト冷戦期～現代との間に何らかの変化があり、それによって時代的な区分を行えるとの立場を共有している。しかし、何が変化したことによって時代が変遷したのか、またどのタイミングで区分を行うかという点で異なった考え方をしている。

図1は本節で取り上げた3つの区分を時間的に整理したものである。

冷戦期は第一宇宙時代であり、スペース・パワーはテクノクラシー型のモデルで生み出され、また宇宙の安全保障については聖域学派が主流であ

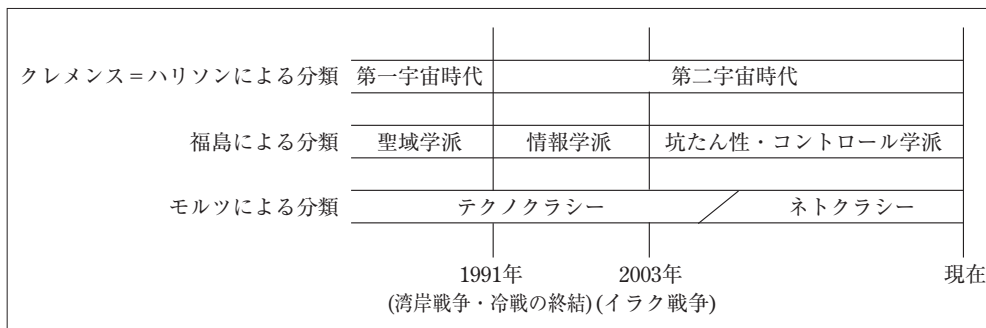
った。つまり、アクターが少数、特に国家に限られ、宇宙開発も国家が主導であり、軍事的には宇宙アセットは核抑止と軍備管理に主たる意義を持っていたため、宇宙は聖域として攻撃の対象にはなりえなかった。

しかし、1991年に湾岸戦争が勃発すると、宇宙アセットは冷戦期の範囲を超えて、戦闘の全局面に影響を及ぼすこととなり、それ以後、実際の戦闘に影響を及ぼすものとして宇宙アセットの意義は拡大していき、「情報学派」が主流となっていく。またソ連の崩壊に伴って米ソ両超大国による宇宙開発の独占は崩れ、宇宙開発技術も普遍化して多くのアクターが宇宙開発に参加していくこととなる。

1991年から2003年までの間、地上での戦闘に宇宙アセットが重要な意義を持つようになっていく。宇宙アセットに対する攻撃やその使用の妨害は試みられてこなかったために、宇宙アセットは一方的に地上の軍事活動に対して支援を提供することができた。また、冷戦期と変わらず、国家が宇宙開発における中心的な役割を担っていたが、スペースX社(2002年設立)やブルーオリジン社(2000年設立)など、現在の巨大宇宙開発企業がこの時代に設立されており、商業主導の宇宙開発の動きが始まりつつあった。

2003年以降、先進国にとって宇宙アセットが戦

図1 本節で取り上げた分類の整理



(出所) 筆者作成。

争の遂行で不可欠となる一方、宇宙アセットに対する地上からの妨害が実際の紛争で行われるようになり²⁶⁾、また非国家主体による衛星システムへの攻撃も行われうようになった²⁷⁾。特にGPSを妨害する技術は広範囲に広がっている²⁸⁾。このため、各国は宇宙アセットを分散させることで攻撃に備えようとしている。また、宇宙開発の有用性が明らかになったことで、より多くの国家が宇宙開発に参画するようになり、民間企業も急成長した。そのような状況の中で、スペース・パワーがネトクラシー型へと変化していった。

以上のように、本節で取り上げた3つの区分がいずれも異なった点に着目しているために、区分のタイミングが異なっている。以下では、本節で取り上げた区分について、どこを強調しているのかを示す。

まず、1で取り上げたモルツのテクノクラシー／ネトクラシーの区分は、商業部門の拡大を強調している。2で取り上げたクレメンス＝ハリソンの第一宇宙時代／第二宇宙時代の区分は、アクターの拡大を強調している。1のモルツの論に通じるところもあるが、ハリソンは商業部門の拡大以外にも、宇宙開発に関与する国家の増大にも関心を払っている。3で取り上げた福島スペース・パワー論の分類は、国家の安全保障における宇宙アセットの重要性の高まり、いわゆる宇宙の軍事化を強調している。

これらの区分は、いずれも宇宙開発の重要な変化に沿って区分を行っている。しかし、すべての区分においてスペースデブリの問題は見逃されている。次節ではスペースデブリ問題について概説する。

II スペースデブリ

1. スペースデブリとは何か

スペースデブリ、直訳すると宇宙ゴミは、地球軌道に存在する人工的な廃棄物である²⁹⁾。これには、打ち上げたロケットの残骸、使用されなく

なった人工衛星、破壊された人工衛星の破片や部品など様々なものが含まれるが、そのほとんどは人類による宇宙開発によって生み出されたものである³⁰⁾。これらのデブリは、重力によって地球の大気圏内に再突入し、燃え尽きることもあるが、軌道に残存し、地球を周回し続けることもある。特に、後者が宇宙利用にとっては脅威となる³¹⁾。

これらのスペースデブリは宇宙空間を高速で飛来するために衝突時の被害が大きく、地上から見えづらいために回避が困難であり、現在の技術では除去も困難で³²⁾、宇宙開発の大きな脅威となっている。前述したとおり、デブリは様々な要因から発生し、大きさも様々である。分離したロケットのタンクなど巨大なものは数mにも達することがあるが、数mm、あるいは μm 単位のデブリがほとんどである。しかし、それらの微小なデブリであっても、高速で飛来するがゆえに人工衛星や、国際宇宙ステーション (ISS) などの宇宙ステーションにとっては十分な脅威となる³³⁾。

現在、スペースデブリの具体的な数は、地上からの観測が容易な10cm以上のデブリに限っても約2万3000個が報告されている。また、1cm以上10cm未満のデブリでは約90万個、1mm以上1cm未満のデブリは約1億2800万個が存在すると推測されている³⁴⁾。

スペースデブリの除去は現時点では実験段階であり、技術が実証されていない。そのため、スペースデブリ問題への具体的な対策は、観測と情報の共有、衛星の操作による回避、スペースデブリの発生を抑える形での宇宙開発の推進（衛星の設計や打ち上げのやり方などの工夫）などに限られている。

またデブリは現在の技術では除去されず、自然に地球に再突入する以外には宇宙空間からなくなる。デブリ同士が衝突を繰り返すことによって、デブリの数が自己増殖して、最終的には宇宙利用そのものが困難になる「ケスラー効果」と呼ばれる事態が危惧される³⁵⁾。

デブリと衛星との衝突事件は後述するイリジウム33とコスモス2251との衝突も含めて既に複数回発生³⁶⁾しており、宇宙空間の利用に対する現実的な脅威になっている。また、デブリや他の衛星の接近を事前に感知して衛星やロケット、宇宙ステーションが衝突を回避する緊急機動は日常的に行われている。

2. スペースデブリ問題の歴史

スペースデブリは、宇宙開発が始まると同時に生まれた。最初の人工的なスペースデブリはスプートニク1号の打ち上げの際に、宇宙空間に運ばれたロケットの最上段であるとされる³⁷⁾。初期の宇宙開発ではデブリは問題とはなっておらず、宇宙空間における核実験³⁸⁾や人工的な電磁帯形成のための約4億本の針の散布実験³⁹⁾などが行われ、多くのデブリが出現した。また1959年のボールド・オリオン計画⁴⁰⁾以来、米ソは冷戦期に何度もASAT実験を行っており、それもデブリを発生させた。

宇宙開発の中でスペースデブリが問題化したのは大型ロケットの打ち上げに伴う大量のデブリ出現があった1980年代のことであり、スペースシャトル計画や国際宇宙ステーション計画など人命尊重の気運が生まれる中で、デブリが問題となった⁴¹⁾。その結果として、宇宙開発の先進各国であるアメリカ、日本、フランス、ロシアなどが独自のデブリ発生抑制の基準を策定していった。その中で、1993年に日本のJAXA、アメリカのNASA、欧州のESA、ロシアのPKAによって宇宙機関間スペースデブリ調整委員会(IADC)が組織⁴²⁾され、2002年にスペースデブリ低減ガイドラインが策定される⁴³⁾。

21世紀に入って、2つの重大なデブリの拡散があった。2007年の中国による直接上昇型ASAT実験と、2009年の米露の衛星衝突事故によるデブリの拡散である。以下でそれらの事件について簡単に解説する。

2007年1月11日、中国はSC-19ミサイル⁴⁴⁾によ

って、高度851~869kmで自国の気象衛星「風雲1号C」を破壊するASAT実験を行った⁴⁵⁾。これによって、3405個のデブリ(アメリカの宇宙監視ネットワークによってカタログ化されたもの)が飛散(2016年1月4日時点で2880個が軌道に残存)した⁴⁶⁾。これは一度の破壊で飛散したデブリとしては過去最大である。この実験は使用頻度の高い低高度の軌道帯にデブリを撒き散らしたことで、運用中の衛星や宇宙ステーションに対するリスクを25~40%増大させることになり⁴⁷⁾、国際的な非難を巻き起こした。

2009年2月10日、アメリカのイリジウム社が運用する通信衛星イリジウム33と、運用が停止された、つまりデブリとなっていたロシアの軍事用通信衛星コスモス2251が高度800kmで衝突した。イリジウムの展開物とコスモスの本体が激突した形で、両衛星あわせて2296個のデブリ(アメリカの宇宙監視ネットワークによってカタログ化されたもの)が飛散(2016年1月4日時点で1505個が軌道に残存)した⁴⁸⁾。偶発的に飛散したデブリの数としては過去最大である。この当時、米空軍の統合宇宙作戦センター(JSPOC)⁴⁹⁾が後述する宇宙状況監視(SSA)を行っていたが、衝突の危険を察知することができておらず、イリジウム社に対して衝突の警告を出すこともできなかった⁵⁰⁾。後述するが、この事故は米軍に依存した衝突回避メカニズムへの不信感をもたらし、新たな国際衝突回避メカニズムを作る機運につながっていく。

以上の2つのデブリ拡散は、その規模において宇宙開発の歴史で最大であり、国際的には重要な影響を及ぼした。これらの事件・事故を契機として、デブリ不拡散という規範が国際社会に強く浸透している。

現在に至るまで、デブリは宇宙開発における最大の脅威であり続けている。はじめにでも述べたように、民間企業による宇宙開発は急速に進行しており、デブリではない衛星の数も急増している。このような宇宙の混雑化の中で、デブリを含む宇

宙物体の衝突の危険性は高まっている。

最近は大規模な衛星コンステレーション⁵¹⁾の建設構想が相次いで持ち上がっており、既に構築が始まっている⁵²⁾。これらのコンステレーションはしばしば超小型衛星を利用して行われるが、超小型衛星はコストや重量の問題から推進能力が低い（あるいは軌道変更能力をまったく持たない）ことなど多くの問題があり、軌道環境を悪化させる危険性がある⁵³⁾。

3. スペースデブリを取り巻く法的・政策的状況
デブリが脅威であることは世界的に認識されているが、デブリの防止については前述したIADCのスペースデブリ低減ガイドラインを含めて、法的拘束力のない国際規範しか存在しない。

まず国際連合のスペースデブリ低減ガイドラインが存在する。これは2002年に出されたIADCのスペースデブリ低減ガイドラインを受けて、2007年に国連総会で採択された。これはIADCのガイドラインの最新版を参照する形で、宇宙機関間で行われてきた議論をフォローする⁵⁴⁾。

また、国連宇宙空間平和利用委員会(UNCOPUOS)は2019年に「宇宙活動に関する長期持続可能性(LTS)ガイドライン」⁵⁵⁾を全会一致で可決した。これは21のガイドラインの集合であり、全体で宇宙開発の長期の持続性を確保することを目的としている⁵⁶⁾。この中で、デブリ問題についてIADCや国連のスペースデブリ低減ガイドラインの参照、デブリ情報の収集と共有、デブリ問題に対応した衛星の設計、デブリの長期的管理のための新たな手法の検討などが推奨されている⁵⁷⁾。

また、各国レベルでは、各宇宙機関が独自のスペースデブリ抑制基準を定めている。例えば、JAXAは「スペースデブリ発生防止標準」⁵⁸⁾を、NASAは「軌道デブリを制限するためのハンドブック」⁵⁹⁾などを、それぞれ定めている。

スペースデブリを回避するためには、まずはスペースデブリを補足し、その軌道などを把握しな

ければならない。このために行われるのが、SSAである。これは光学望遠鏡とレーダーによって、軌道上に存在する物体を観測し、その軌道を把握する活動である。宇宙開発を行う各国は積極的にSSAを行っている。

最大のSSA実行国はアメリカであり、米軍の統合戦闘軍の1つである、USSPACECOMが宇宙監視ネットワーク(SSN)を通じて軌道上の物体を監視しており、その中でデブリも観測している。SSNを通じて得られた情報は、SSA共有プログラムを通じて、連携する各国家・機関と共有されている。またSSA共有プログラムは、衛星同士の衝突、衛星とデブリとの衝突が予測された場合に、その衛星の保有当事者に対して危険を通知しており、これは連携していない国家・機関に対しても行われる⁶⁰⁾。

このように、アメリカによるSSAと、宇宙物体の衝突の危険に対する緊急通知は、現在の宇宙開発にとって不可欠の存在となっている。しかし、このサービスだけでは限界があるとの見方もある⁶¹⁾。アメリカに限らず、各国は安全保障上の問題から機密衛星や軍事衛星の軌道（あるいは存在そのもの）を公開しようとはせず、SSAについても正確な情報を故意に流さない可能性がある⁶²⁾。

民間企業など非国家主体によるSSAの動きもある。前述した2009年のイリジウム33とコスモス2521との衝突事故を受けて、同年にインテルサット社、インマルサット社、SES社によって宇宙データ協会(SDA)が設立された⁶³⁾。2010年にSDAは宇宙データセンター(SDC)の運用を始め、衛星の保有・運用者間の情報共有を行っている⁶⁴⁾。

Ⅲ スペースデブリ問題を強調した新たな区分について

1. 2007年を基準とした区分

2007年、スペースデブリ問題について、前述した2つの重要な出来事、つまり中国のASAT実験による大量のデブリの発生と、国連におけるスベ

ースデブリ低減ガイドラインの採択とが起こった。国際的にスペースデブリの脅威がはっきり認識された年だといえる。

本論文ではこの2007年を境として、「技術的問題としてのデブリ時代」と「政治的問題としてのデブリ時代」とに、宇宙開発の時代的区分を行うべきであると考えらる。

「技術的問題としてのデブリ時代」は宇宙開発の始まり＝最初のスペースデブリの出現から、前述した2つの出来事が起こった2007年までである。この時代は、宇宙開発がほぼ米ソ両超大国によって独占され、宇宙アセットの重要性も軍事用・民生用の双方で比較的小さかった。また活動中の衛星の数もその後に比べて少なかった。それゆえに、デブリの問題も深刻な脅威であるとは認識されておらず、デブリの出現について配慮が薄かった。ただし、「技術的問題としてのデブリ時代」の後半、1980年代以降は徐々にデブリ問題へ関心が集まり、宇宙開発の先進国の間では各国独自のデブリ抑制基準の作成や、IADCなど国際機関での国際規範策定が行われた。しかし、全体としてスペースデブリ問題は宇宙開発機関の外部では重要な意義を持たなかった。よって、スペースデブリの問題は、国家や国家の宇宙機関が宇宙開発を行う上での技術的な問題として存在していたといえる。

「政治的問題としてのデブリ時代」は2007年以降である。「技術的問題としてのデブリ時代」の時代に比べて、宇宙開発に参加するアクターは増加し、活動中の衛星の数も急激に増え、軍事用・民生用の双方で宇宙アセットの重要性も拡大した。前述した2007年の2つの出来事からスペースデブリの脅威は国際社会全体に共有され、それゆえにスペースデブリを出さない宇宙活動を行うべきだとの規範も共有された。宇宙活動に当たってデブリが出るか出ないかが、その宇宙開発の評価の上で重要な意味を持ったといってもいい。例えば、2019年のインドによるASAT実験はデブリを比較的少数しか出さず、またそれらのデブリも大多数が2019

年末までに大気圏に再突入したために、中国によるASAT実験ほどには国際的な非難を受けなかった⁶⁵⁾。これはスペースデブリ問題の「政治化」と考えられる。また宇宙物体の衝突回避メカニズムが発展しつつあり、デブリに対する、特に民間による国際協力が進展している。

本論文がこのような区分を提案する理由として、以下の3点がある。

第1に、先行する宇宙開発の時代的区分の試みから、スペースデブリ問題の視点が欠落していたことがある。スペースデブリ問題は宇宙開発における重要な問題の1つであるが、これまでの区分では重要な事象だとはみなされていなかった。それゆえに、デブリに着目した新たな区分を作ること、これからの宇宙政策の研究に当たって有益である。

第2に、スペースデブリ問題は、民生・軍事を問わず、宇宙の持続的利用に対する最大の脅威である。これを強調した区分を試みることで、当初は宇宙活動を行う際の技術的問題であったスペースデブリ問題が、宇宙開発を取り巻く政治的問題に変化した過程を認識できる。

第3に、スペースデブリ問題が、他の宇宙開発における論点との間でいかなる関係を持っているのかを考える際に、スペースデブリにおいても何らかの区分が必要であったためである。詳しくは3で述べる。

2. 将来的な第3の区分

前項ではスペースデブリ問題に着目し、宇宙開発を2007年を境に「技術的問題としてのデブリ時代」と「政治的問題としてのデブリ時代」の2つに区分した。「技術的問題としてのデブリ時代」では宇宙開発がごく限られたアクターに独占されていたためにスペースデブリの問題は一般的な問題ではなく、宇宙開発を行う機関にとっての技術的な問題であった。しかし「政治的問題としてのデブリ時代」では、スペースデブリの問題は国際的

に共有され、デブリを出さない宇宙開発が強く志向された。デブリの有無は宇宙開発を評価する上での尺度となり、国際的な規範としてのデブリ不拡散が共有された。

本項では、スペースデブリの除去に着目して、将来的な第3の区分の可能性を示す。

スペースデブリの除去は、現在は研究段階にあり、小型デブリの除去実験が行われている。例えば、サリー大学を中心としたRemoveDEBRISプロジェクトは2018年と2019年に2度のデブリ除去実験を行い、それらを成功させた⁶⁶⁾。

スペースデブリが脅威になる最大の理由は、それが人為的に除去することが困難であり、自然に消滅するのを待つしかなかったことにある。しかし、将来的にスペースデブリを除去できるようになった場合、問題の前提が変わってしまう。デブリを短期間・低コストで除去できるのであれば、デブリはそこまで脅威ではなくなりうる。

スペースデブリが除去できるようになった場合、2つの事象が起こると考えられる。1つは、デブリ不拡散の規範が弱まることで、宇宙開発への参入が技術的により容易になる。もう1つは、これまではデブリが出てくるために、国際的な非難の可能性と、自国の宇宙利用をも阻害する危険性から抑えられてきたASAT兵器、特にキネティック物理的な兵器⁶⁷⁾の利用が拡大する可能性がある⁶⁸⁾。

デブリには様々な種類があり、数も膨大であるために、除去技術が確立したとしても即座に問題が解決するとは考えづらい。しかし上に挙げたような変化が確実に起こるだろう。具体的にどこで区分を行うかは、除去技術が実際に確立されるかも含めて、現段階では不確かだが、「政治的問題としてのデブリ時代」の後に、デブリ問題が宇宙開発に対する持続的な脅威ではなくなった「一時的問題としてのデブリ時代」あるいはデブリ問題そのものが問題ではなくなった「ポスト・デブリ時代」という区分を設ける必要が出てくるかもしれない。

3. 先行する区分の試みとの関係

本項ではスペースデブリを強調して、2007年を境として「技術的問題としてのデブリ時代」と「政治的問題としてのデブリ時代」という時代に区分を行う本論文の提案と、Iで取り上げた3つの区分の試みとの関係性を検討する。Iで取り上げた区分は、いずれも宇宙開発における重要な変化に沿って区分を行っている。これらの区分と、前述した「技術的問題としてのデブリ時代」／「政治的問題としてのデブリ時代」という区分との関係を検討することで、スペースデブリ問題と他の宇宙開発における問題・論点との関係を見いだすことができる。

まず、モルツによるテクノクラシー／ネトクラシーの区分は、スペース・パワーの源泉の変化が強調され、過去数年間にそのモデルの変化が起こったとしている。スペース・パワーとスペースデブリの問題とは直接は関係を持たない。しかし、モルツの主張する変化の中には衛星が単独かつ大型の衛星から、大量のより小型の衛星による衛星網（コンステレーション）への移行が含まれる。これは、衛星の脆弱性を補うためだが、スペースデブリとの関連で2つの側面がある。1つはデブリの危険が増大したことで、単独の衛星を運用することの脆弱性が高まり、それに対するレジリエンスの強化としてコンステレーションが志向されたことである。もう1つは、大規模なコンステレーションの建設自体が宇宙の混雑化を招き、宇宙空間の利用を難しくすることがある。よってネトクラシーへの移行に、「政治的問題としてのデブリ時代」への移行が影響を及ぼしている。

次に、第一宇宙時代／第二宇宙時代の区分は、アクターの増大を強調している。冷戦終結を機として始まった第二宇宙時代への移行は、新たな宇宙アクターの増加を招き、宇宙利用による利益の拡大はデブリ問題の脅威を相対的に大きくした。また宇宙の混雑化が促進されたことで、宇宙における衝突事故の可能性も高まり、デブリ問題への

注目が集まった。「政治的問題としてのデブリ時代」への移行に、第二宇宙時代への移行が影響を及ぼしている。

最後に、福島によるスペース・パワー論の区分では宇宙アセットが国家安全保障上、冷戦期の戦略的重要性を超えて重要な役目を担うようになってきたのは情報学派の時代、福島によれば湾岸戦争以降である。この宇宙の軍事化の進行に伴って、デブリ問題は国家安全保障に対する脅威としての価値を持つこととなる。イラク戦争以降の坑たん性・コントロール学派の時代には、宇宙アセットをめぐる戦闘が想定されているが、ここでもデブリ問題は関わってくる。敵の衛星へのASAT、特にキネティックな攻撃を試みるためには、デブリを回避するのと同様に、対象を認識し、その軌道を確定させる必要があり、デブリ回避のためのSSAが軍事的に転用しうる。このようにデブリ対策は同時に、安全保障上の意義を持つこととなる。「政治的問題としてのデブリ時代」と「情報学派の時代」「坑たん性・コントロール学派の時代」は表裏一体に進行しており、相互に影響を与え合いながら移行があった。

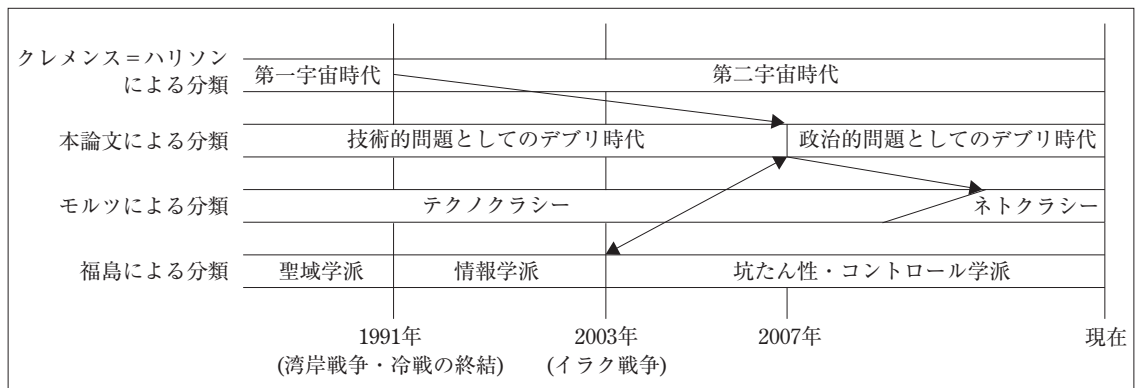
以上の検討を図2にまとめる

以上のように、第一宇宙時代から第二宇宙時代への移行、つまりアクターの増加が、「技術的問題としてのデブリ時代」から「政治的問題としてのデブリ時代」への移行に影響を与え、それが更にテクノクラシーからネトクラシーへの移行、特に衛星のコンステレーション化に影響を与えた。また、福島による「情報学派の時代」や「坑たん性・コントロール学派の時代」への移行と、「技術的問題としてのデブリ時代」から「政治的問題としてのデブリ時代」への移行とは相互に影響を与え合っている。つまり宇宙の軍事化とデブリ問題は相互に影響を与えている。

おわりに

本論文では、まずⅠで宇宙開発の時代的区分について、先行する3つの区分を参照しながら、それぞれの強調点と区分点を確認し、スペースデブリという問題が欠落していることを明らかにした。次にⅡでスペースデブリ問題について概説した。その上で、Ⅲにおいてスペースデブリ問題を強調し、2007年を境として、その以前を「技術的問題としてのデブリ時代」、それ以後を「政治的問題としてのデブリ時代」とする新たな区分を提案した。この「技術的問題としてのデブリ時代」と「政治

図2 本論文における区分と、Ⅰで検討した区分との関係の整理



(注) 矢印は影響を与えていることを示す。両矢印は相互に影響を与え合っていることを示す。
(出所) 筆者作成。

的問題としての「デブリ時代」という区分と、Iで取り上げた宇宙開発の区分とを比較することで、デブリ問題と、スペース・パワーの源泉の変化、宇宙開発に関与するアクターの増加、宇宙の軍事的利用との関係を検討し、それらがいかに影響を与え合っているのかを検討した。結果として、アクターの増加が、デブリ問題の政治問題化につながり、それが更に衛星のコンステレーション化に影響を与え、また宇宙の軍事化の問題とデブリ問題とは相互に影響を与えながら同時に進行していることが分かった。

本論文で検討しきれなかったこととして、各国の個別の政策の検討が挙げられる。また、デブリ問題と他の宇宙開発における問題との関係の検討も、区分の問題に焦点を絞ったために十分とはいえない。より詳しい検討を進める必要がある。

宇宙開発は著しく多面的であり、本論文で取り上げられたもの以外に多くの区分を試みる事が可能である。例えば、衛星を利用した機器の普及⁶⁹⁾や、測位システムなどの衛星の種類に着目した区分も考えられる。以下では、現在は区分を行うには適さないが、将来的に区分を行う必要がある可能性がある、宇宙への輸送手段を基準とした区分について示す。

宇宙への物体の投射は、宇宙開発の黎明から現在に至るまでロケットによって行われてきた。しかし、ロケットは燃料の必要性による重量上の問題、使い捨てる部分が多くなり高コストになるなど多くの問題を抱えている。これまでロケットが使われてきたのは代替する手段がなかったためである。しかし、他の投射手段を探そうという動きがある。例えば、宇宙エレベーター構想がある⁷⁰⁾。これは地上から軌道上、特に静止軌道まで伸びる巨大なエレベーターを建設する構想であり、ロケットよりは低速であるが人員や物資を安全かつ廉価に輸送することが可能である。残念ながら、宇宙エレベーターは技術的・コスト的な問題から現在まで構想の段階であり、実際に建設に着手する

動きは見られない。しかし、宇宙エレベーターが建設されたならば、宇宙開発は著しく低コストになり、大きな変化をもたらすだろう。宇宙エレベーターの建設を境として、それ以前を「ロケット時代」、それ以後を「宇宙エレベーター時代」とすることができるかもしれない。

現在、技術革新の影響もあり、宇宙アセットの利用の仕方も含めて宇宙開発は急速に発展・変化している。上に挙げた宇宙エレベーターのような、まったく新しい発想に立った開発も行われるだろう。だが高度な物理学や数学に基づいて実行される宇宙開発も、人間の社会的活動の一部であり、社会科学的な視点からの研究は有用である。宇宙開発について時勢に合った更なる研究が求められている。

注

- 1) 2020年4月1日版を利用。Union of Concerned Scientists “UCS Satellite Database”, <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>, Accessed on July 2, 2020.
- 2) BBC, 「スペースXの有人宇宙船、初の打ち上げに成功」, <https://www.bbc.com/japanese/52865321>, 2020年6月23日アクセス。
- 3) 民間企業による宇宙空間への有人宇宙飛行については、既に2004年にスケールド・コンポジット社がスペースシップワンによる宇宙空間を通過する弾道飛行を行っている。しかし、地球軌道上に人間を送り込んだわけではなく、宇宙空間に留まった時間も数分間であった。
- 4) CSIS “India Conducts Successful ASAT Test”, <https://missilethreat.csis.org/india-conducts-successful-asat-test/>, Accessed on June 23, 2020.
- 5) James Clay Moltz, “The Changing Dynamics of Twenty-First-Century Space Power”, *Journal of Strategic Security*, Vol. 12, Issue. 4, 2019, p. 18.
- 6) *ibid.*, p. 26–28.
- 7) *ibid.*, p. 27.
- 8) *ibid.*, p. 26.
- 9) World Economic Forum, “A New Space Age: Maximizing Global Benefits”, <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2019/>.

- weforum.org/global-strategic-foresight/thomas-ecremains-nasa-a-new-space-age/?doing_wp_cron=1592793640.9548881053924560546875, Accessed on June 22, 2020.
- 10) Todd Harrison, *Escalation and Deterrence in the Second Space Age*, October 2017, pp.2-4. (https://csis-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/171109_Harrison_EscalationDeterrenceSecondSpaceAge.pdf?pkqa8A3h5rRj8zkOrL2bDpUa4MtjERPa). Accessed on June 23, 2020.
 - 11) *ibid.* pp.5-9.
 - 12) 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，6-7頁。
 - 13) 同上書，14頁。
 - 14) 同上書，18頁。
 - 15) 同上書，14-15頁。
 - 16) 同上書，18-19頁。
 - 17) 同上書，19-20頁。
 - 18) 同上書，16頁。
 - 19) 同上書，21-23頁。
 - 20) 対宇宙兵器とは具体的に何かについて，国際的なコンセンサスは存在していない。宇宙にある物体で攻撃の対象となりうるものは，現在のところ，（有人宇宙ステーションを含めて）人工衛星に限られており，一般的には対衛星（ASAT）兵器に限られている。
 - 21) 軌道上の人工衛星への攻撃，つまりASATは，大きくキネティック物理・非キネティック物理・電磁・サイバーの4種に分類され，それぞれが異なる特性を持ち，更に複数の小分類に分かれる。また地上から宇宙を攻撃する兵器と宇宙から宇宙を攻撃する兵器とに分類することもある。詳しくは以下を参照。Todd Harrison, Kaitlyn Johnson, Thomas G. Roberts, Tyler Way, Makena Young, *Space Threat Assessment 2020*, March 2020. (https://aerospace.csis.org/wp-content/uploads/2020/03/Harrison_SpaceThreatAssessment20_WEB_FINAL-min.pdf). Accessed on June 22, 2020.; Todd Harrison, *International Perspectives on Space Weapons*, May 2020. (https://aerospace.csis.org/wp-content/uploads/2020/05/Harrison_IntlPerspectivesSpaceWeapons-compressed.pdf). Accessed on June 22, 2020.
 - 22) 福島 前掲書，23頁。
 - 23) 同上書，38頁。
 - 24) 同上書，48頁。
 - 25) 同上書，61頁。
 - 26) 同上書，59-61頁にイラク戦争における，イラク軍による米軍の宇宙利用の妨害が挙げられている。また，Harrison, Johnson, Roberts, Way, Young, *op. cit.*, pp.25-26には，ウクライナ紛争における宇宙利用の妨害事例が載っている。
 - 27) 例えば，世界的にテロ組織と認定されているスリランカの「タミル・イーラム解放のトラ」（現在は壊滅状態）は2007年にインテルサット社の通信衛星をジャックし，プロバガンダ放送を流した。詳しくは以下を参照。Space News, "Intelsat Vows to Stop Piracy by Sri Lanka Separatist Group", <https://spacenews.com/intelsat-vows-stop-piracy-sri-lanka-separatist-group/>, Accessed on June 28, 2020.
 - 28) 例えば，中国では養豚業者が2019年にGPS信号を妨害し，航空機の航行に影響を及ぼした。詳しくは以下を参照。South China Morning Post, "China flight systems jammed by pig farm's African swine fever defences", <https://www.scmp.com/news/china/society/article/3042991/china-flight-systems-jammed-pig-farms-african-swine-fever>, Accessed on June 28, 2020.
 - 29) ただし，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，5頁によれば，スペースデブリについて「国連などで幾つかの定義がなされている」が，「正式に合意された定義は今のところ存在しない」。
 - 30) 人類による宇宙開発の開始以前から軌道上に存在していた小惑星などの非人工物をスペースデブリに含むこともある。
 - 31) ただし，大気圏内に入っても，大型である，あるいは融点の高い素材で作られているなどの理由から燃え尽きず，地上に落下して被害を及ぼすケースもある。加藤 前掲書の115-120頁にそれらが詳述されている。また，加藤 前掲書にも触れられているが，地上に最大の被害を及ぼした再突入事件として，コスモス954事件がある。1978年1月24日，ソ連の原子力海洋偵察衛星コスモス954がカナダ北部に落下し，約4000以上の放射能を帯びた破片がばら撒かれた。同事件については以下を参照。小塚荘一郎・佐藤雅彦『宇宙ビジネスのための宇宙法入門〔第2版〕』有斐閣，2018年，55頁。
 - 32) 加藤 前掲書，16-17頁。
 - 33) IADC-08-03, "Sensor Systems to Detect Impacts

- on Spacecraft, Version 2_1”, 2013年4月, pp.3-5.
- 34) 橋本靖明 (2020), 「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』第68巻第2号, 2020年3月), 58-59頁.
 - 35) 上掲論文, 59-60頁.
 - 36) これらの事故によってデブリは更に増加した.
 - 37) 橋本 前掲論文, 57-58頁.
 - 38) 福島 前掲書, 147頁および加藤 前掲書, 194-195頁.
 - 39) 加藤 前掲書, 194頁.
 - 40) 世界初の ASAT 実験計画. アメリカが自国の衛星エクスペローラー6号に向けてB-47から弾道ミサイルを発射し, 衛星の付近を通過して実験は成功した. 詳しくは以下を参照. James Clay Moltz, *The Politics of Space Security: Strategic Restraint and the Pursuit of National Interests*, 6th ed., Stanford California, Stanford University Press, 2020, p.100.
 - 41) 橋本 前掲論文, 61頁.
 - 42) IADC-93-01 (rev.11.5), “Terms of Reference for the Inter-Agency Space Debris Coordination Committee”, 2018年10月3日, p.3.
 - 43) 橋本 前掲論文, 61頁.
 - 44) U.S.-China Economic and Security Review Commission, “2015 Report to Congress of the U.S.-China Economic and Security Review Commission” (Washington, DC: U.S. Government Publishing Office, 2015), p.294, https://www.uscc.gov/sites/default/files/annual_reports/2015%20Annual%20Report%20to%20Congress.PDF, Accessed on June 24, 2020.
 - 45) 加藤 前掲書, 70頁.
 - 46) NASA, “Top Ten Satellite Breakups Reevaluated” in *Orbital Debris Quarterly News*, Vol.20, Issue1/2 (Jan/Apr 2016), pp.5-6.
 - 47) 加藤 前掲書, 80頁.
 - 48) NASA, op cit., pp.5-6.
 - 49) 現在は複合宇宙作戦センター (CSpOC) に改組.
 - 50) Moltz, *The Politics of...*, pp.308-309.
 - 51) 多数の衛星によって特定の目的を果たすシステムのこと, 例えばアメリカのGPSは30基ほどの衛星で構成されるコンステレーションである.
 - 52) 例えば, スペースX社のスターリンク計画は12000基体制のコンステレーションになる予定であり, 衛星通信サービスの提供を目指している.
 - 53) 加藤 前掲書, 146-148頁.
 - 54) 橋本 前掲論文, 62-63頁.
 - 55) United Nations General Assembly, “Report of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space”, pp.50-69.
 - 56) 外務省, 「国連宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS) 本委員会 宇宙活動の長期持続可能性ガイドラインの採択」, https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/release/press6_000600.html, 2020年6月29日アクセス.
 - 57) 橋本 前掲論文, 64-65頁.
 - 58) JAXA, 「スペースデブリ発生防止標準」, http://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JMR-003C_N1.pdf, 2020年6月29日アクセス.
 - 59) 以下よりダウンロード可能. NASA, “Handbook for Limiting Orbital Debris”, <https://standards.nasa.gov/standard/nasa/nasa-hdbk-871914>, Accessed on June 29, 2020.
 - 60) 福島 前掲書, 126-132頁および橋本 前掲論文, 65-66頁.
 - 61) 福島 前掲書, 131-132頁.
 - 62) 同上書, 177頁.
 - 63) Moltz, *The Politics of...*, pp.315-316を参照. イリジウム33とコスモス2521の衝突事故以外に, 2008年にインテルサット社が自社衛星とロシアの衛星との衝突の危険からJSpOCにデータ提供を求めたのに対して, JSpOCがこれを拒否したことも, SDA結成の理由として挙げられている.
 - 64) 福島 前掲書, 171頁.
 - 65) Harrison, Johnson, Roberts, May, Young, op.cit., p.44.
 - 66) 1回目は2018年9月16日に網を利用してデブリを捕獲した. 2回目は2019年2月8日にハーブーン(鉈)を射出してデブリを捕獲した. 1回目の実験については以下を参照. University of Surrey, “Net successfully snares space debris”, <https://www.surrey.ac.uk/news/net-successfully-snares-space-debris>, Accessed on June 29, 2020. 2回目の実験については以下を参照. Surrey Satellite Technology, “RemoveDEBRIS: success for harpoon experiment”, <https://www.sstl.co.uk/media-hub/latest-news/2019/removedebris-success-for-harpoon-experiment>, Accessed on June 29, 2020.
 - 67) 地上から直接ロケットなどによって, 標的衛星を

破壊する「直接上昇型」、事前に軌道上に配置した衛星を捜査し、それを標的衛星に衝突させたり、近くで破壊することで標的衛星を無力化する「共軌道型」のASAT攻撃などがこれに含まれる。キネティック物理型のASAT能力はアメリカ、ロシア、中国、インドが実験を成功させて実証している。

- 68) スペースデブリの除去技術そのものが、敵対国の衛星の除去、つまりASAT兵器の技術にもなりうるというデュアルユース性がある。
- 69) 冷戦期は宇宙アセットを使用する機器の利用は国

家や大企業に限られていたが、現在ではほとんどの人がGPSを内蔵した携帯電話を利用している。

- 70) 以下、宇宙エレベーター構想についてはブラッドリー・C・エドワーズ、フィリップ・レーガン著、関根宏光訳『宇宙旅行はエレベーターで』オーム社、2013年などを参照。また日本の建設会社、大林組が建設構想を立てている。詳しくは以下を参照。大林組「宇宙エレベーター建設構想を動画で紹介」、https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news_20130730_1.html, 2020年6月28日アクセス。