

東京大学公共政策大学院

2023 年度 研究論文

人工衛星軌道に関する国際調整手続きの変遷と現状分析  
－静止衛星軌道、非静止衛星軌道、月周回軌道と国際法－

氏名 神谷英美

学籍番号 51-228016

所属 東京大学公共政策大学院公共政策教育部公共政策学専攻

国際公共政策コース 2 年

指導教官 城山英明教授

## 目次

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 序章 研究目的及び衛星の現状 .....                                      | 1  |
| 第1節 研究目的 .....                                            | 1  |
| 第2節 衛星軌道の現状 .....                                         | 5  |
| 第1章 静止衛星軌道の国際調整手続き .....                                  | 10 |
| 第1節 無線通信規則（RR）の概要 .....                                   | 10 |
| 第2節 衛星軌道の国際調整手続き .....                                    | 12 |
| 第3節 静止衛星軌道の有限性に関する個別事例 .....                              | 14 |
| 第4節 小括 .....                                              | 18 |
| 第2章 非静止衛星軌道の国際調整手続き .....                                 | 20 |
| 第1節 WRC19における「マイルストーン」措置の導入 .....                         | 20 |
| 第2節 ITU 全権委員会議 2022 における決議（決議 186,219,218） .....          | 24 |
| 第3節 WRC23 に向けた CPM における議論（議題 7A,7B,7J） .....              | 26 |
| 第4節 小括 .....                                              | 31 |
| 第3章 月周回軌道の国際調整手続き .....                                   | 34 |
| 第1節 「Artemis」に関する月通信網の構築（LunaNet, LCRNS, Moonlight） ..... | 34 |
| 第2節 「ILRS」に関する月通信網の構築（Qieqiao） .....                      | 44 |
| 第3節 宇宙周波数調整グループ（SFCG）の概要 .....                            | 47 |
| 第4節 月周回軌道の国際調整手続き（SFCG 決議 12-1,26-1,40-1） .....           | 52 |
| 第5章 小括 .....                                              | 58 |
| 第4章 ITU 及び SFCG における国際調整手続きの対比と考察 .....                   | 60 |
| 第5章 まとめ .....                                             | 61 |
| 参考文献 .....                                                | 65 |
| 謝辞 .....                                                  | 72 |

## 序章 研究目的及び衛星軌道の現状

### 第1節 研究目的

#### 1. 問題意識

近年、地球周回衛星軌道において、数千～数万機体の衛星から構成される大規模衛星コンステレーション計画が欧米中等で数多く構想されており、衛星通信サービスを提供する米国 SpaceX 社を中心として、人工衛星の打上げ機数が急増している。2022 年は過去最大の 2,600 機以上の衛星が打上げられており、2013 年の 206 機と比較して過去 10 年間で約 11 倍に増加した<sup>1</sup>。SpaceX 社は国際電気通信連合（ITU：International Telecommunication Union）の国際周波数登録簿（MIFR：Master International Frequency Resister）登録済みの約 12,000 機の衛星ネットワークに加え、約 30,000 機の新たな計画を追加検討しているほか、米国 Amazon 社は約 3,200 機、米国 Boeing 社は約 1,400～3,000 機、欧州でも仏国 Airbus 社が約 650 機、同じく仏国 Thales 社が約 1,600 機、中国でも約 1,300 機の衛星計画等が実施、推進されている<sup>2</sup>。

衛星軌道は ITU 条約第 44 条<sup>3</sup>において有限な天然資源と明記されており、同条約体系の 1 つである無線通信規則（RR：Radio Regulation）では、特にその経済的効率性と希少性を背景として 1960 年代以降、衛星打上げが続いてきた静止衛星軌道を中心に、使用権に関する国際調整手続きの枠組みが構築されてきた。しかし、上述の衛星数の急増は、地球周回軌道の混雑を招き、従来以上に電波干渉や衛星機体間の物理的衝突のリスクを増大させるなど、新たな懸念も生じさせている。

非静止衛星軌道への衛星数の急増に対して、2019 年に開催された世界無線通信会議（WRC：World Radiocommunication Conference）では、一部の非静止衛星軌道システムに「マイルストーン」措置の導入が決議され、一定の条件（マイルストーン）を満たさない非

---

<sup>1</sup> 「資料 2 宇宙輸送を取り巻く環境認識と将来像」内閣府宇宙開発戦略推進事務局、宇宙政策委員会宇宙輸送小委員会第 2 回（2023 年 6 月）<<https://www8.cao.go.jp/space/committee/05-yuso/yuso-dai2/siryou2.pdf>>2023 年 12 月 8 日最終閲覧（以降、特段の付記の無い URL は同日最終閲覧）

<sup>2</sup> 「資料 31-1 Beyond 5G の実現に向けた宇宙ネットワークに関する技術戦略について」総務省国際戦略局宇宙通信政策課、総務省情報通信審議会情報通信技術分科会技術戦略委員会第 31 回（2022 年 1 月）<[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000790343.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000790343.pdf)>

<sup>3</sup> 第 44 条（無線周波数スペクトルの使用及び対地静止衛星軌道その他の衛星軌道の使用）

1 構成国は、使用する周波数の数及びスペクトル幅を、必要な業務の運用を十分に確保するために欠くことができない最小限度にとどめるよう努める。このため、構成国は、改良された最新の技術をできる限り速やかに適用するよう努める。

2 構成国は、無線通信のための周波数帯の使用に当たっては、無線周波数及び関連する軌道（対地静止衛星軌道を含む。）が有限な天然資源であることに留意するものとし、また、これらを各国又はその集団が公平に使用することができるように、開発途上国の特別な必要性及び特定の国の地理的事情を考慮して、無線通信規則に従って合理的、効果的かつ経済的に使用しなければならないことに留意する。

（和訳は総務省<[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000171443.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000171443.pdf)>参照）

静止軌道衛星システムは、登録可能な衛星総数が削減されることとなる新たな規律が成立した。2022 年に開催された ITU 全権委員会議においても、非静止衛星軌道上の衛星数の急増によって生じる問題の特定とその対処に向けた調査研究の実施が、ITU 無線通信局へ急務として指示されている。現在の無線通信規則は非静止衛星軌道への需要が急激に成長している現状に十分対応していないため、関連規定の検討と整備が現在まさに進められようとしているところである。

また、米国が主導し世界 30 か国以上が賛同する月面探査事業「Artemis」の始動に伴い、米国宇宙航空局（NASA：National Aeronautics and Space Administration）は月面活動に不可欠な通信及び航法の総合的なインフラとして「LunaNet」の開発を進めているほか、欧州宇宙機関（ESA：European Space Agency）は月周回軌道上に衛星コンステレーションを配備する計画「Moonlight Initiative」を立ち上げている。中国が主導する「国際月面研究基地（ILRS）」プログラムにおいても、複数の月周回軌道に衛星コンステレーションを構築する「Qieqiao」衛星網が計画されており、地球周回衛星軌道だけではなく、将来的には月周回衛星軌道についてもその重要性が増すと見込まれている。

月活動の活発化に伴い、今後、従来以上に多数国の宇宙機関や商業組織による、月関連活動の増大が想定されるが、月近傍衛星軌道の使用については、現在、主要な宇宙開発先進国の宇宙機関が自主的に運営する宇宙周波数国際調整グループ（SFCG：Space Frequency Coordination Group）で自律的な事前調整が行われ、最終的に、非静止衛星軌道の一環として ITU の MIFR に登録される流れとなっている。月近傍への宇宙機の打上げは従来、宇宙開発先進国の宇宙機関が主要実施者であったため、SFCG での調整手続きは ITU での国際調整手続きに対する事前のものではあっても、実質的な機能を有していると考えられる。近年、商業組織や多数国が月周回軌道に参入する時代に備えて、SFCG 内部での調整手続きに変化が生じていることから、その現状を明らかにすることとしたい。

## 2. 研究目的

衛星軌道の国際調整手続きの主軸を形成してきた静止衛星軌道と、近年衛星機数が急激に増大する非静止衛星軌道、そして今後月面有人活動計画を契機に需要の増加が想定される月周回衛星軌道、これらの人工衛星軌道の国際調整に関する規律の動向は、宇宙活動及び衛星産業が急速に成長する日本においても注視すべき、そして必要に応じて望ましい規律となるよう対処すべき重要な課題と考えられる。静止衛星軌道及び非静止衛星軌道の規定を議論する ITU と、月周回衛星軌道の調整を実施する SFCG の、それぞれの決議や規則の改訂過程から、各軌道の国際調整手続きの変遷と現状を明らかにすることを目的とする。

なお、本稿において「国際調整手続き」とは、ITU 及び SFCG に規定される定義に加え、異なる主権国家間の合意形成過程の意味に重点を置いて使用する。

### 3. 先行研究

衛星軌道に関する無線通信規則の改訂経緯については、ITU 会合出席者の報告を含めて従来から多数の先行研究が蓄積されている。特に、宇宙通信（衛星通信）も含めた周波数配分制度の制度設計や歴史的展開は、城山（1997）<sup>4</sup>において体系的に整理されている。衛星通信における国際調整制度にも触れられており、MIFR の整合性や執行を確保する要因として、情報の公表及び共有の機能（情報を公表することで主管庁間の調整を促進し、MIFR の整合性や執行を確保する）が分析されている。また、1990 年代以降の静止衛星軌道の国際的逼迫に関する研究では、青木（2013）<sup>5</sup>において、いわゆる「ペーパー衛星」に関する個別事案の経緯とその結果が詳細に取り上げられている。

本稿は、これらの ITU の制度運用における情報共有と透明性の観点や、静止衛星軌道資源の有限性に対する国際社会の意識への観点を土台とした上で、2010 年代末期以降に需要が急拡大している非静止衛星軌道の論点も加えて ITU の軌道に関する国際調整手続きを概観し、月周回衛星軌道に関する SFCG の国際調整の枠組みと対比することとする。

なお、非静止衛星軌道に関する論点は 2019 年以降、特に 2022 年と 2023 年に開催の ITU 会合の内容を題材とするため、先行研究は時間的にほとんど見受けられない。また、月周回衛星軌道に関する国際調整枠組みを題材とした研究も見受けることができない。月周回軌道上で活動する探査機等の数が多くなく、その実施主体は非商業的な科学調査活動を目的とする各国宇宙機関が主要であり、宇宙機関間で自主的に相互調整を実施する現在の枠組みで十分であると認識されているためと考えられる。さらに Artemis 計画の発表が 2019 年、ILRS 計画の決定が 2021 年であり、これらの計画に連動して、月周回軌道上に通信網を構築する構想が公表されたのは近年のことでもある。

本稿ではこのため、主に ITU や SFCG 等の国際組織が公表する近年の決議文書や、NASA 等の各国宇宙機関が公表する資料、報道等を参照しながら考察することとしたい。

### 4. 本稿の構成

本章次節において、年毎の静止衛星軌道及び非静止衛星軌道（特に低軌道）への衛星打上げの動向を確認し、各軌道における衛星機体数の増加傾向を読み取る。月周回軌道に長期滞在する宇宙機の打上げは数が限られているが、今後各国の大規模な月活動計画の始動に伴い複数の通信及び航法衛星網等が月周回軌道上に構築される見込みのため、第 3 章でこれらの計画の概要を確認する。

第 1 章では、最初に、法的拘束力を以て全ての衛星軌道の国際調整手続きを規定する無線通信規則の概要と、無線通信規則における標準的な国際調整手続きの概要を確認する。また、特に希少性の高い静止衛星軌道の国際調整手続きに影響を与えた 2 つの個別事例と

---

<sup>4</sup> 城山 英明『国際行政の構造』東京大学出版会、1997 年

<sup>5</sup> Setsuko Aoki, “Efficient and equitable use of orbit by satellite systems: “Paper satellite” issues revisited”, 64th International Astronautical Congress 2013, International Astronautical Federation,

して、1)「ペーパー衛星」問題とその帰結である「ドゥーデリジェンス (Due Diligence)」手続きの導入、2)「ホッピング衛星」問題とその対処のための「BIU」の定義の明確化を取り上げる。有限な天然資源である静止衛星軌道位置を巡る競合と、国際調整手続きの適正性や信頼性を確保するための根幹機能として、透明性の重要性を読み取る。

第2章では、急増する非静止衛星軌道の利用に対して ITU で現在上がっている論点や、規制制度の検討案を明らかにするため、1) 2019 年開催の WRC19 で導入された非静止衛星軌道に対する「マイルストーン」措置の概要、2) 2022 年開催の ITU 全権委員会議で採択された決議 219「宇宙サービスが利用する無線周波数帯域と関連する衛星軌道資源の持続可能性」、決議 218「「Space2030」アジェンダの実施における ITU の役割」、決議 186「宇宙活動における透明性と信頼性醸成措置に関する ITU の役割の強化」の概要、3) WRC23 に向けて 2023 年春に開催された CPM の議題 7A「非静止衛星システムの軌道特性に関する許容誤差 (空間分離)」、議題 7B「BIU 後のマイルストーン手順」、議題 7J「非静止衛星軌道システムに対する電力束密度の制限値」の論点と主要な衛星通信事業者の考え方を確認する。静止衛星軌道システム事業者と非静止衛星軌道システム事業者間の競合など、加盟国主管庁だけでなく、市場の競合によっても無線通信規則の精緻化が進められていることが読み取れる。

第3章では、最初に、米国が主導する Artemis 計画の月通信網「LunaNet」「LCRNS」「Moonlight」と、中国が主導する ILRS の月通信網「Qieqiao」を概観することで、今後月周回軌道上に複数の通信及び航法衛星網が構築される見通しを得る。月探査機の月面着陸や安全な有人月面活動にはこれらの機能が不可欠であることから、各網間の相互運用性を当初から視野に入れた詳細設計が検討されている。また、民間事業者による網構築によって、競争によるコスト低廉化や技術革新の促進、市場の形成が目指されている。月探査や宇宙探査に関する無線周波数の調整は、従来から SFCG で実施されてきており、その調整手順は決議 12-1「SFCG 機関間の周波数調整手順マニュアル」にまとめられている。月周回軌道は、ITU における地球周回軌道の状況とは異なり、その使用に関する競合は生じていない。しかし Artemis 計画の本格始動に伴い、今後多数の探査機打上げや月衛星網が計画されていることから、効率的な調整を図るべく「全ての月活動に対して 1 つの機関」による調整形態を導入する決議 40-1「月地域活動への周波数割当て支援」が採択された。Artemis 計画によって多数の個別の月探査を実施する NASA が全ての月活動の無線周波数調整における中心的役割を担うこととなっている。全計画の半数以上を占めている実態も反映されていると考えられる。

第4章では、ITU をベースに国際調整手続きが進展する静止衛星軌道及び非静止衛星軌道と、SFCG をベースに調整手続きが進展する月周回軌道を、対比して考察する。本研究は、変化するこれらの衛星軌道の国際調整手続きの現状を明らかにすることであるが、対比することで見られた調整形態の差異について、特に民間事業者の参画有無や関与の深さの観点から考察を加えた。米欧は月衛星網構築時点から民間事業者の参入を推進している

ため、長期的展望として、現在の衛星通信事業のように多数国の多数事業者が参入する段階では、決議 40-1 の「全ての月活動に対して 1 つの機関」による調整形態は変化する可能性があると考えする。

第 5 章では、まとめとして日本国内の政策を概観する。日本国内でも月面開発や衛星運用等の宇宙産業の拡大が期待されており、その前提となる軌道及び無線周波数を確保するための国際調整手続き（国際法）も重要性が更に増すと見込まれる。今後も米国を中心とした諸外国の関連動向を注視していく必要があると考える。

## 第 2 節 衛星軌道の現状

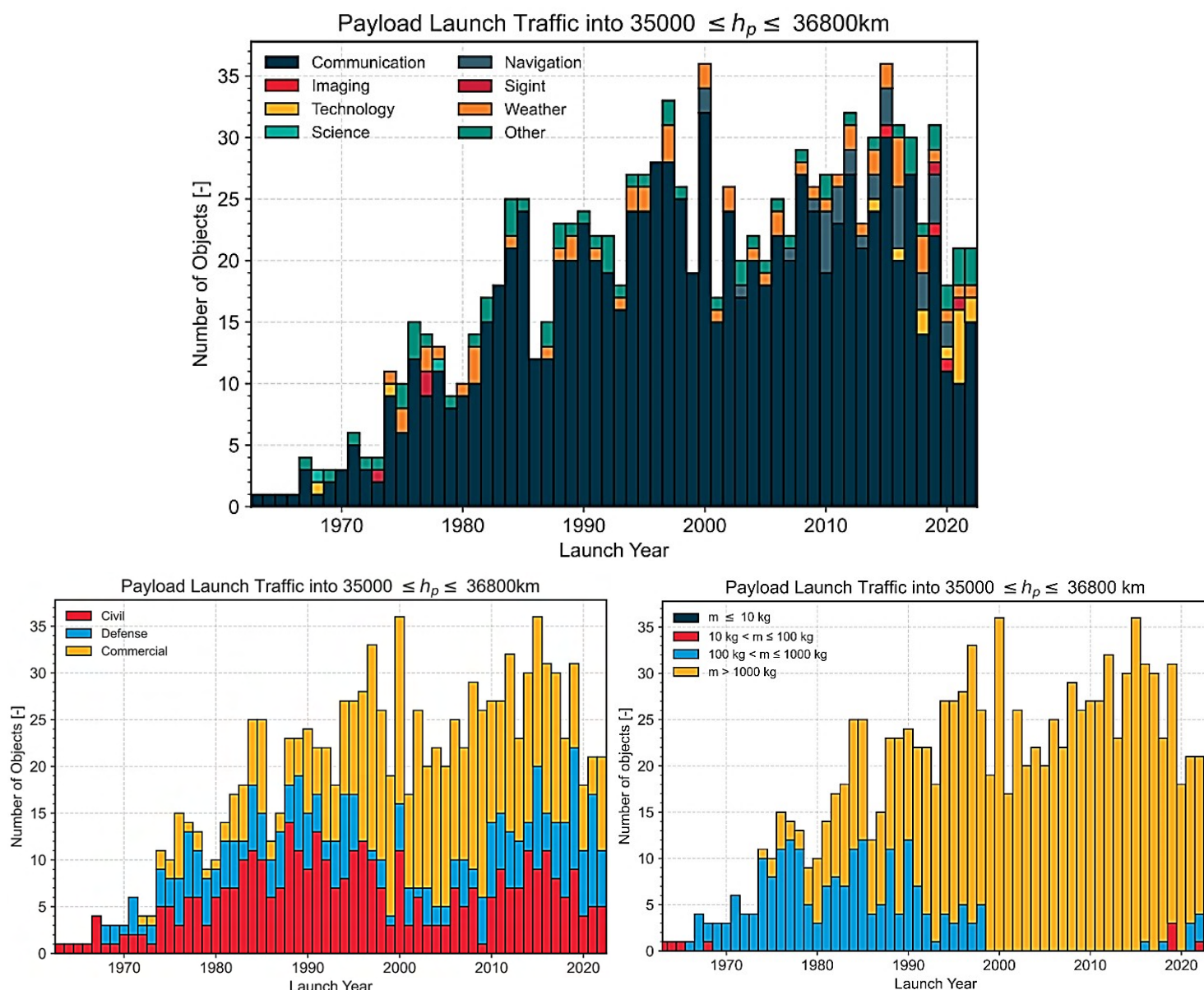
地球を周回する人工衛星はその目的に即して、高度や周期、軌道傾斜角等の様々な要素を計算した軌道が設定されている。軌道の種類には、高度による分類（低軌道、中軌道、高軌道）や、軌道傾斜角（赤道面に対する軌道面の傾斜角）による分類（傾斜軌道、巡行軌道、逆行軌道、極軌道）等がある。高度による分類では、一般的に高度 2,000km 以下が低軌道（LEO：Low Earth Orbit）、高度 2,000km 以上～約 36,000km 以下が中軌道

（MEO：Medium Earth Orbit）、高度約 36,000km 以上が高軌道（HEO：High Earth Orbit）と区分される。高度 36,000km 付近は、地球の自転周期と一致する対地同期軌道に適しており、特に赤道上空の対地同期軌道は静止軌道（GEO：Geostationally Earth Orbit）と称されている。

ITU では、高度 36,000km 付近の対地同期軌道である静止衛星軌道（GSO：Geostationally Satellite Orbit）と、これ以外を示す非静止衛星軌道（NGSO：Non Geostationally Satellite Orbit）の二つの区分に基づいて規定が形成されているため、本稿はこの区分に合わせることにする。

## 1. 静止衛星軌道への打上げ機体の変遷

【図 1：静止衛星軌道への打上げ機体の変遷】



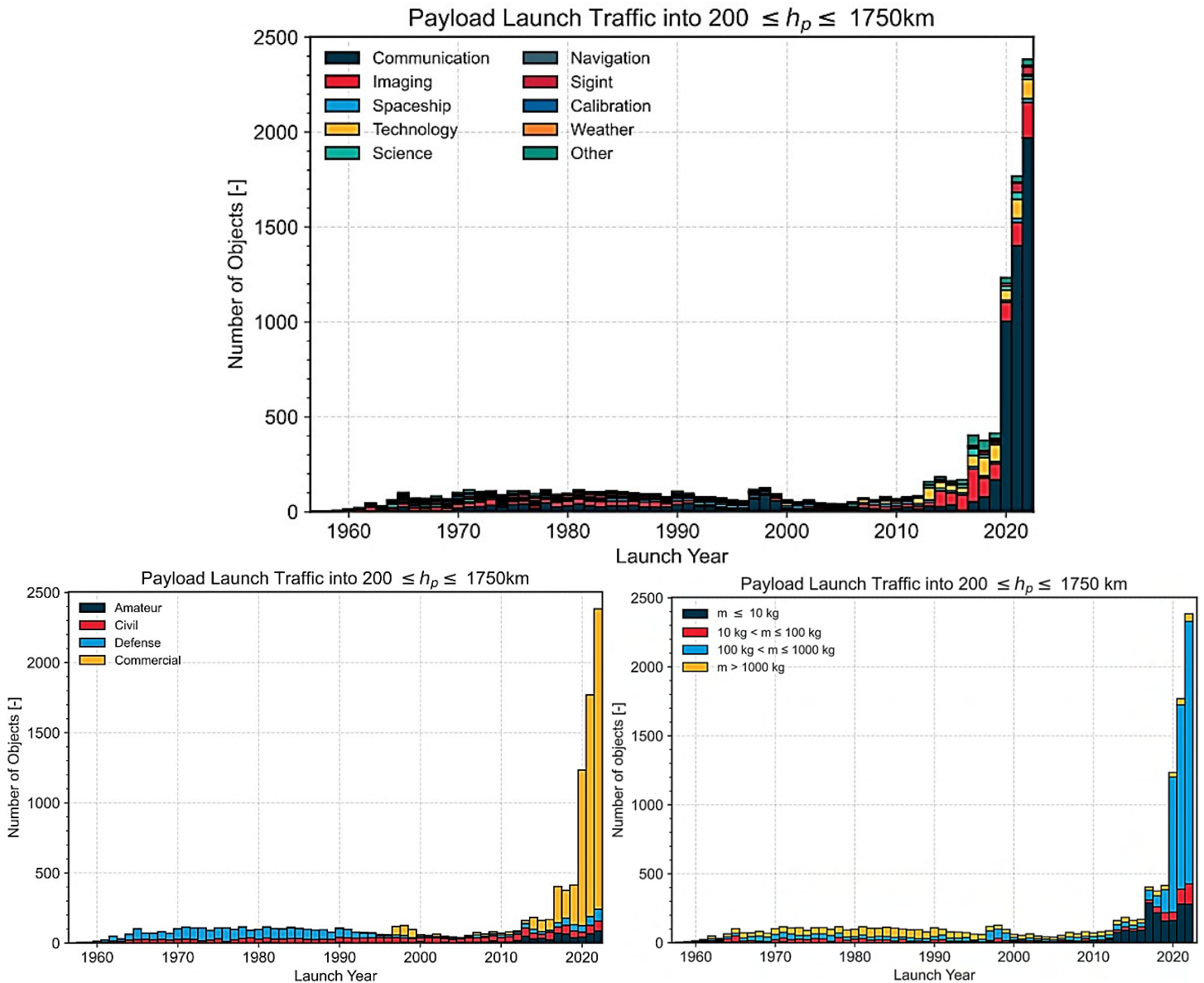
出典：ESA's Annual Space Environment Report, ESA Space Debris Office, June 2023

静止衛星軌道上へは 1960 年代から年間 1 機～36 機の打上げが継続しており、年によって増減がありながらも緩やかに 2010 年代末まで増加傾向にある<sup>6</sup>。1,000kg を超える大型機体の割合が高く、大多数は通信放送用衛星である。1960 年代当初の各国宇宙機関（Civil）による打上げから、その後、商用その他の目的の比率が拡大している傾向が読み取れる。

<sup>6</sup> 2020 年以降の減少は、新型コロナウイルス感染症やロシアのウクライナ侵攻による影響と考えられる。

## 2. 非静止衛星軌道（特に低軌道）への打上げ機体の変遷

【図 2：低軌道への打上げ機体の変遷】



出典：図 1 と同じ

非静止衛星軌道の中でも特に近年、急激に衛星数が増加する低軌道の状況を確認する。2010 年代中頃までは年間最大でも 200 機前後で推移していたが、2020 年以降は年間 1,000 機以上に急増し続けている。商用通信衛星 12,000 機から形成される「Starlink」網や、同じく 648 機から形成される「OneWeb」網の構築開始に伴うものである。前者は今後 30,000 機の衛星が追加され合計 42,000 機へと規模が拡大される予定である。この他にも各国で、数百機～数千機体で構成される多数の低軌道衛星網が計画されており、今後も年間数千機規模の打上げの継続が推測される。

### 3. 衛星軌道の現状

米国の科学者による非営利団体「UCS：Union the Concerned Scientists」が公表するデータベースに基づくと、2023 年 1 月時点で運用中の人工衛星は 6,718 機ある。

【図 3：運用中の人工衛星の状況（軌道別、所有・運用国別、目的別）】

| 衛星総数    | 低軌道     | 中軌道   | 静止衛星軌道 | 楕円軌道※ |
|---------|---------|-------|--------|-------|
| 6,718 機 | 5,938 機 | 141 機 | 580 機  | 59 機  |

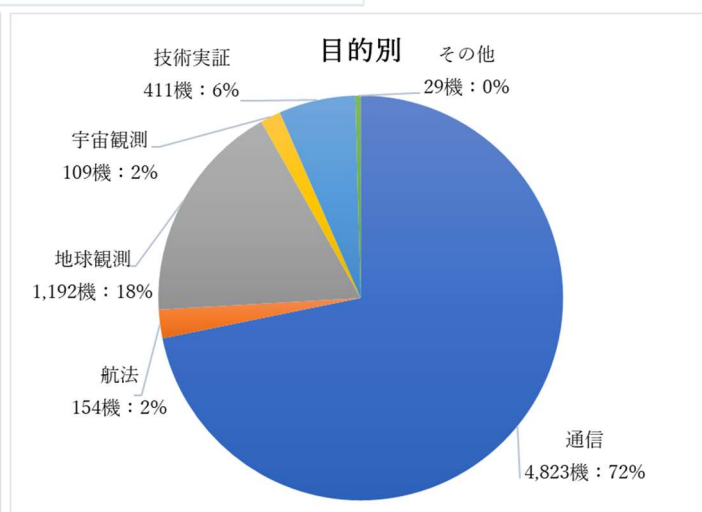
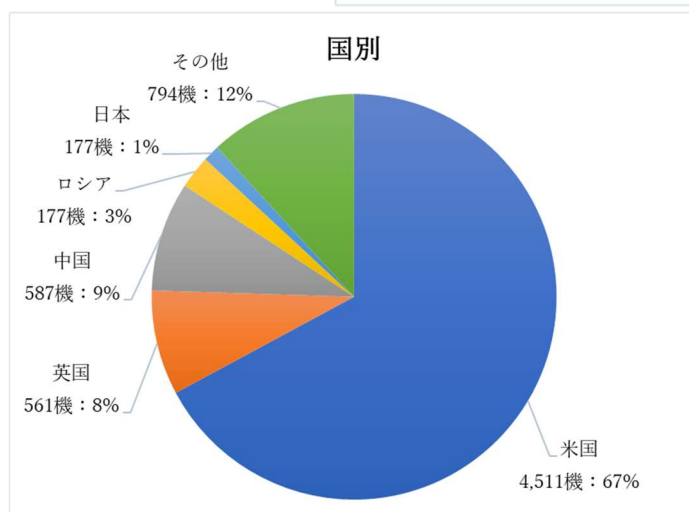
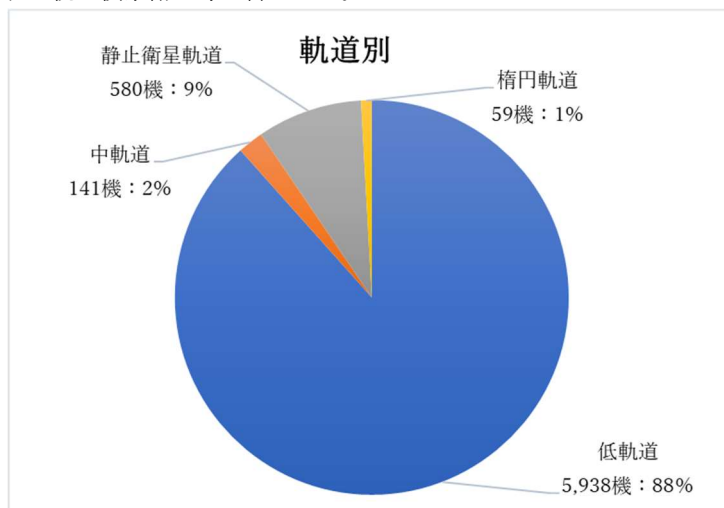
※楕円軌道は地表からの高度が位置によって異なる、図 4 イメージ図を参照。

| 衛星総数    | 米国      | 英国    | 中国    | ロシア   | 日本   | その他※  |
|---------|---------|-------|-------|-------|------|-------|
| 6,718 機 | 4,511 機 | 561 機 | 587 機 | 177 機 | 88 機 | 794 機 |

※所有・運用国に 2 か国以上が記載されている場合は、「その他」に含めている。

| 衛星総数    | 通信      | 航法    | 地球観測    | 宇宙観測  | 技術実証  | その他※ |
|---------|---------|-------|---------|-------|-------|------|
| 6,718 機 | 4,823 機 | 154 機 | 1,192 機 | 109 機 | 411 機 | 29 機 |

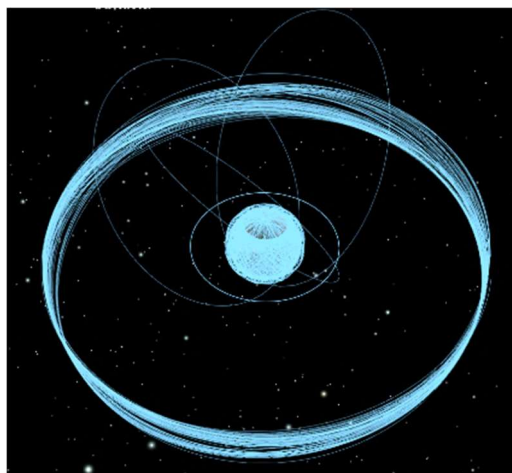
※「その他」には、監視・偵察衛星等が含まれる。



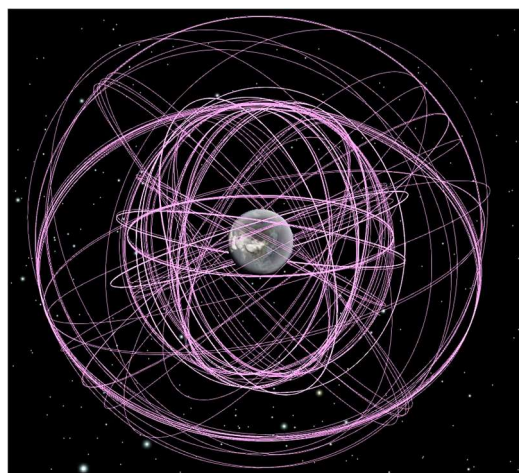
出典：UCS Satellite Database, Union the Concerned Scientists,

< <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database> > より著者作成

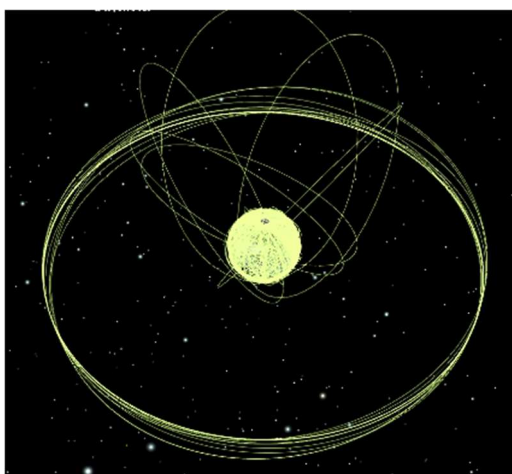
【図 4：用途別及び国別のイメージ図】



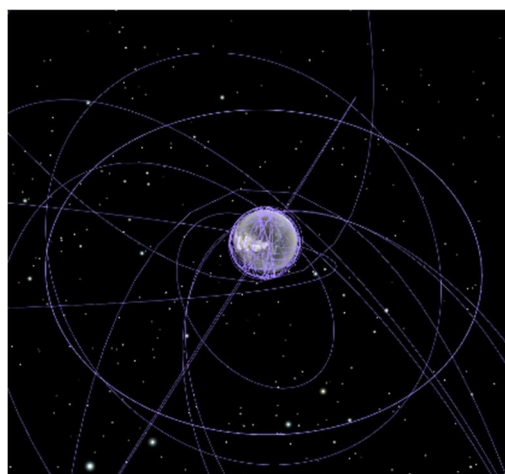
通信衛星



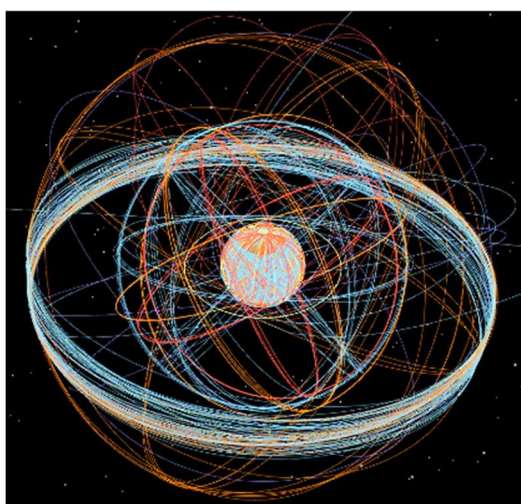
航法衛星



地球観測衛星



宇宙観測衛星



※国別  
 水色：米国  
 黄色：英国  
 橙色：中国  
 赤色：ロシア  
 紫色：日本

国別※

各イメージは、前記UCSの  
 2022年9月時点のデータベー  
 スを元に作成されている。

出典：Satellite Xplore, Esri 社 < <https://geoxc-apps.bd.esri.com/space/satellite-explorer/> >

## 第1章 静止衛星軌道の国際調整手続き

無線周波数及び衛星軌道の国際調整手続きを規定する無線通信規則（RR）の概要として、第1節では、RRの前文に記載されている目的と原則を確認する。第2節では国際調整手続きの改訂をもたらした個別事例として、「ペーパー衛星」問題と「ドゥーデリジェンス（Due Diligence）」手続きの導入、「ホッピング衛星」とBIUの明確化に向けた経緯を取り上げる。先着優先方式（いわゆる「早い者勝ち」）の特性から生じてきた、有限な軌道資源の公平な使用の在り方を巡る議論を確認することとしたい。

### 第1節 無線通信規則（RR）の概要

#### 1. 初期の人工衛星打上げの概要

1957年10月、当時ソ連が人類初の人工衛星 Sptnik1 号の打上げを成功させ、高度 200km~900km の軌道周回中に信号電波を 0.3 秒毎に発出した。翌 1958 年 12 月には米国がテープレコーダと送受信機を搭載した衛星衛星スコアを打上げ、アイゼンハワー大統領のクリスマスメッセージが世界中に配信している。1962 年 7 月には米国電話電信会社（現 AT&T 社）が Telstar1 号で大西洋間のテレビ国際中継に成功、翌 1963 年には米国宇宙航空局（NASA：National Aeronautics and Space Administration）の Relay1 号を用いて最初の日米テレビ中継実験が実施、翌 1964 年には米国 Comsat 社が運営する Syncom3 号が初めて静止衛星通信を実現<sup>7</sup>し、同年開催された東京オリンピックを衛星中継している。1967 年から打上げられた米国応用技術衛星（ATS）シリーズでは、1 号は病院と遠隔地を結ぶ遠隔医療、3 号は南極から帰路の調査隊の海難救助、6 号では遠隔地へのテレビ放映による遠隔教育へと用途を拡張してきた。

人工衛星 Sptnik1 号の打ち上げ成功から 2 年後の 1959 年、ITU は初めて研究用途に電波天文業務に無線周波数を分配し、1963 年には宇宙通信に関する臨時主管庁会議 EARC63（Extraordinary Administrative Radio Conference）を開催して、実用宇宙通信用途への無線周波数の分配を開始した<sup>8</sup>。増加する衛星打ち上げ数と拡大する衛星サービスへの需要に応じるため、1971 年に開催された宇宙通信を主要議題とする WARC71（World Administrative Radio Conference、現 WRC の前身）では衛星放送やリモートセンシング用途へ分配を拡大するとともに、静止衛星間の電波干渉を評価するための計算方法等が議

---

<sup>7</sup> 1963 年 2 月に打上げられた Syncom1 号は静止衛星軌道に向かう途中で通信途絶、同年 7 月に打上げられた 2 号は近地点 35,600km、遠地点 36,700km の周期約 24 時間の軌道に乗り、大西洋上で米欧テレビ中継実験に使用されたが、傾斜角が 33 度あり南北方向に姿勢が揺れていた（3 号は傾斜角 0.1 度）。姿勢制御の整った本格的な実用の静止衛星通信の実現は Syncom3 号と考えられている。

<sup>8</sup> 現在の衛星に関する分配は、固定衛星業務、衛星間業務、移動衛星業務、陸上移動衛星業務、海上移動衛星業務、航空移動衛星業務、放送衛星業務、無線測位衛星業務、無線航行衛星業務、無線標定衛星業務、地球探査衛星業務、気象衛星業務、標準周波数時報衛星業務、アマチュア衛星業務、さらに宇宙に関する分配は宇宙研究業務、宇宙運用業務、電波天文業務など、目的に応じて多岐に分類されている。

論され、1979 年に開催された WARC79 では、国際調整を経て MIFR に登録する現行の国際調整手続きの原形が形成され、制度整備が図られた。

## 2. 無線通信規則 (RR) の概要

RR は陸上、海上、航空、宇宙及び放送の各分野における無線通信業務について、周波数の分配及び割当て、無線設備の技術基準、無線局の管理、無線従事者の免許等を規定している。前文には RR の目的が以下のとおり示されている<sup>9</sup>。

- ・有限な天然資源である無線周波数スペクトル及び静止衛星軌道の公平かつ合理的な利用の促進 (RR 前文第 6 項)
- ・遭難及び安全の目的のための周波数の有害な混信からの保護及びその利用の保証 (同第 7 項)
- ・異なる主管庁の無線通信間の有害な混信の防止と解決の援助 (同第 8 項)
- ・すべての無線通信の効率的及び効果的な運用の促進 (同第 9 項)
- ・新たな無線通信技術のアプリケーションを提供し、必要な場合はそれを規律すること (同第 10 項)

無線通信技術は遭難時の人命救助に特に有効であることから、第 7 項には安全目的が掲げられている。また電波伝搬による空間共有性や資源の有限性といった特性の上に成り立つことから、第 6 項及び第 8～10 項では、最新技術の取り込みと電波干渉の回避に加えて、無線周波数と軌道の公平かつ合理的な利用、また無線通信の効率的及び効果的に運用が目指されている。

これらの目的に沿ったうえで、RR の原則が同じく前文に示されている。

- ・構成国は、使用する周波数の数及びスペクトル幅を必要な業務の運用を十分に確保するために欠くことができない最小限にとどめるよう努力しなければならない。このため、構成国は、改良された最新の技術をできる限り速やかに適用するよう努力しなければならない (RR 前文第 2 項、ITU 憲章第 195 号)
- ・構成国は、無線業務のための周波数の使用に当たっては、無線周波数及び静止衛星軌道を含む関係の軌道が有限な天然資源であり、また、これらを国又は国の集合が公平に使用することができるように、開発途上国の特別な必要性及び特定の国の地理的事情を考慮して、無線通信規則の規定に従って合理的、効率的、経済的に使用しなければならないことに留意しなければならない (同第 3 項、同第 196 号)
- ・すべての局は、その目的のいかんを問わず、無線通信業務を行い、かつ、無線通信規則の規定に従って運用する他の構成国、認められた事業体その他正当に許可を得た事業体の無線業務又は無線通信に有害な混信を生じさせないように設置し、及び運用しなければならない (第 4 項、ITU 憲章第 197 号)

---

<sup>9</sup> 和訳は『国際電波法規 (第 9 版)』一般財団法人情報通信振興会 (2018 年) を参照。

原則の主要な内容は、最新技術も活用した無線周波数の効率的利用、無線周波数及び軌道資源の公平な使用、有害な混信の回避であり、これらの背景には全ての無線通信を両立して、共存させようとする前提が読み取れる。

衛星軌道の国際調整手続きの編成においては、上記の目的と原則に照らして様々な課題の特定と対応策が判断されてきた。

## 第2節 衛星軌道の国際調整手続き

### 1. 国際調整手続きの概要

赤道上空 36,000km を地表と同じ速度で周回する静止衛星をはじめとして、衛星は制御や運用に無線通信が不可欠であり、その無線周波数の割当と衛星軌道の管理に係る国際調整手続きは、国際条約の一環として法的拘束力を持つ RR 第9条「他の主管庁との調整及び合意を得る手続き」<sup>10</sup>に規定されている。宇宙空間の人工衛星と地球局間の無線通信では、電波伝搬の範囲が国境を越えて広範であることや、広範囲に電波を発射するために電力が高出力となることから、諸外国の無線局との混信のリスクが不可避である。このため、個別の衛星システムの無線周波数及び衛星軌道位置を登録する前に、技術的調整及び諸外国の合意を得るための手順として、国際調整手続が策定された。

全体の主要な手順は、1)衛星システムの諸元をまとめた事前公表資料（API：Advance Publication Information）を ITU へ提出するとともに、電波干渉を発生するおそれのある関係国との間で技術的な調整を実施する国際調整の段階、2) 国際調整の結果を反映した実際に打上げる予定の衛星等の最終的な仕様をまとめた通告資料を ITU へ提出する段階<sup>11</sup>、3) ITU が通告資料を審査する段階、4) 審査結果に問題が無ければ MIFR へ周波数割当等が記録される段階、そして 5)実際に衛星軌道へ衛星が投入され運用開始（BIU：Bringing Into Use）される段階、以上から構成される<sup>12</sup>。

国際調整の結果、有害な混信を発生させるおそれがない場合には、MIFR に記録され、国際的な認知のもとで保護を受けることとなるが、基本的には先着優先方式による「早い者勝ち」の性質を持つ制度であることから様々な課題が生じてきた。

### 2. 静止衛星軌道の逼迫と「早い者勝ち」の性質

1961 年 7 月、米国ケネディ大統領は「宇宙通信に関する大統領声明」<sup>13</sup>を発出し、地球

---

<sup>10</sup> Article9, Procedure for effecting coordination with or obtaining agreement of other administrations

<sup>11</sup> 通告以降は、第 11 条「周波数割当ての通告と記録（Article11 Notification and recording of frequency assignments）」に規定。

<sup>12</sup> 手続きの詳細については、「総務省電波利用ホームページ 周波数の国際調整について」＜

<https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/process/freqint/>> または「小型衛星通信網の国際周波数調整手続きに関するマニュアル 第 3.2 版」総務省（2023 年 4 月）を参照。

<sup>13</sup> “Statement by the President on Communication Satellite Policy”＜

規模の衛星通信システムを構築する計画を発表した。国連も、同年 12 月に開催された総会で、衛星を用いた通信を全世界無差別に実用化し、世界各国が使用できるよう設定することの必要性を決議で宣言<sup>14</sup>している。1964 年には国際電気通信衛星機構の暫定的制度「Intelsat : International Telecommunications Satellite Organization 暫定制度」が、米国を中心とした世界 11 ヶ国の政府及び電気通信事業者から設立された。米国からは COMSAT、日本からは KDD が参画している。1972 年にはソ連を中心とする社会主義諸国 9 か国も宇宙通信国際機構「Intersputnik」を設立し、1979 年には米英ソ日ノルウェーが中心となって、船舶通信や海上における遭難安全通信の確保を主業務とする国際海事通信機構「Inmarsat : International Maritime Satellite Organization」が設立された。さらに 1977 年には、サウジアラビアを中心としたアラブ諸国がアラブ通信衛星機構「ArabSat」が設立されるなど、1970 年代までには衛星通信を提供する国際機関の設立や衛星サービスの利活用が拡大してきた。

これに伴い 1970 年代頃からは、宇宙開発先進国による衛星周波数や衛星軌道の「早い者勝ち」の性質に基づく獲得は抑制すべきであるという意見が宇宙開発の後発の国々から強まっている。1973 年に改正された ITU 条約（マラガ・モノトリス条約）では、宇宙通信の無線周波数と静止衛星軌道は「有限の天然資源」である旨が新たに規定（33 条 2 項（現在は ITU 憲章 44 条 2 項））され、1982 年に改正された ITU 条約（ナイロビ条約）では、同 33 条 2 項に「発展途上国の特別な配慮を考慮にいれなければならない」旨が追加された。その結果、1988 年に開催された WARC-ORB88（WARC-Orbit）<sup>15</sup>では、固定衛星業務について各国に少なくとも一つの静止衛星軌道とそれに対応する周波数を割当てる「国別割当計画」が策定された。衛星放送は現在のように通信網が展開されていなかった時代において、情報を配信及び受信する機能や教育の機会等として重要なものであり、静止衛星軌道等の公正かつ効率的な使用を全ての国に保障することを目的として、割当計画をあらかじめ作成するものである。国別割当計画は RR 第 30 条に掲載されており、割当計画の変更や追加によって現在も更新が続けられている。

なお、国連宇宙空間平和利用委員会（UNCOPUOS : Committee on the Peaceful Uses of Outer Space）<sup>16</sup>の法律小委員会<sup>17</sup>においても、宇宙資源のひとつとして静止衛星軌道位

---

<https://www.presidency.ucsb.edu/documents/statement-the-president-communication-satellite-policy> >

<sup>14</sup> “International co-operation in the peaceful uses of outer space”, A/RES/1721(XVI), United Nations General Assembly

<sup>15</sup> 会議名は、“World Administrative Radio Conference on the use of the geostationary-satellite orbit and the planning of the space services utilizing it (2nd session)（静止衛星軌道の使用及びこの軌道を使用する宇宙業務の計画作成に関する世界無線通信主管庁会議(第 2 回)）”。第 1 回は 1985 年に開催。

<sup>16</sup> 宇宙空間の研究に対する援助、情報の交換、宇宙空間の平和利用のための実際的方法及び法律問題の検討を行い、これらの活動の報告を国連総会に提出することを任務としている。加盟国は 2023 年 12 月 1 日時点で日本を含む 102 か国。

<sup>17</sup> 専門的な見地から宇宙活動により生ずる法律問題に関する検討を実施する。これまでに、宇宙条約（月

置の公平な利用について議論がされ、その報告書が 2000 年に国連総会に承認されている<sup>18</sup>。静止衛星軌道を含むあらゆる衛星軌道と周波数について、既に衛星を上げている国（いわゆる宇宙開発先進国）とそうでない国が同じ軌道位置と周波数帯の使用を ITU に申請した場合、前者は後者が衛星を打ち上げることができるよう全ての実行可能な措置をとるべきであると表明しており、UNCOPUOS も宇宙開発の後発の国々への特別な配慮を要請している。

### 第 3 節 静止衛星軌道の有限性に関する個別事例

このような状況の中、1990 年頃から、衛星を打上げる計画は無いけれども将来の軌道権益の確保に向けて MIFR 上で静止軌道位置を占有する「ペーパー衛星」の問題が発生してきた。特に静止衛星軌道は、例えば衛星間に 0.2 度を目安とした間隔を確保した場合は理論値で最大 1800 個までの軌道位置しか使用できないことから<sup>19</sup>、使用されないまま確保された軌道位置が増えると実際に使用したい国が衛星を打上げられなくなる問題が生じる。1990 年、トンガ政府が自身では使用しない衛星周波数と軌道を複数取得し、これらの衛星軌道を米露の私企業に有料でリースし経済的利益を得るといった事例や、軌道の優先使用権が認められる期限内に衛星の打ち上げ及び運用開始（BIU）が間に合わなかったことから自社が有する他の衛星を移動し該当の軌道で一定期間使用すること（「ホッピング衛星」と称される）で、その衛星軌道の使用実績を主張した 1997 年の仏国 Eutelsat 社の事例などがある。ペーパー衛星問題に対処するため、WRC97 では「ドゥーデリジェンス（due diligence）」手続きが採択され、他の衛星を使用した BIU については、WRC12 で BIU の定義の明確化と詳細化が図られた。有限な天然資源である無線周数及び衛星軌道の公平かつ合理的な使用の在り方をめぐり、現在も議論が継続している。

---

その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約）、宇宙救助返還協定（宇宙飛行士の救助及び送還並びに宇宙空間に打上げられた物体の返還に関する協定）、宇宙損害責任条約（宇宙物体により引き起こされる損害についての国際的責任に関する条約）、宇宙物体登録条約（宇宙空間に打上げられた物体の登録に関する条約）、宇宙物体登録勧告等が、法律小委員会において作成されている。（外務省参照 < <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/technology/universe/copuos.html> >）

<sup>18</sup> “Annexes III Some aspects concerning the use of the geostationary orbit: paper adopted by the Legal Subcommittee”, Report of the Legal Subcommittee on its 39<sup>th</sup> session, March-April, 2000A/AC.105/738, United Nations General Assembly

<sup>19</sup> Lawrence Roberts, “A Lost Connection: Geostationary- Telecommunication Union”, Berkeley Technology Law Journal Vol.15, Issue 3, 2002

ITU が公表するデータベースでは、混雑する場所では 0.1 度の間隔で配置されている事例もある。干渉を防ぐための個別調整によって実現していると考えられる。データベースは “Bringing into use of satellite network frequency assignments”, ITU < <https://www.itu.int/net/ITU-R/space/snl/listinuse/index.asp> > を参照。

## 1. Tongasat 社の事例

ペーパー衛星と称される問題が最初に発生したのは Tongasat 社<sup>20</sup>の事例である。1990 年、トンガの主管庁は実際の衛星打ち上げ計画を持たずに東経 130 度、131 度等の 16 の静止衛星軌道位置を ITU へ申請したが、当時の RR には実際の衛星製造や打上げ計画の詳細開示を行う規則が無かったため、ITU や諸外国は衛星計画の実際の有無を確認することができないままに、翌年トンガは混信等の技術的問題が生じない 6 つの軌道位置の優先使用权を確保した。そしてトンガの衛星軌道位置を処理する衛星会社の Tongasat 社は、自国の衛星を打上げることなく、得られた軌道位置の一部の使用权を米国やロシアの私企業にリースし、1 軌道について年間数百万ドルの経済的利益を得るという事業を開始した。この行為は有限な天然資源である衛星軌道の公平かつ合理的な使用を規定する RR 及び ITU 条約の精神に反することや、また衛星軌道を商品として扱うことは宇宙条約<sup>21</sup>の下で禁止されていることから、「ペーパー衛星」問題と称され国際的に強く非難された。1994 年に京都で開催された ITU 全権委員会<sup>22</sup>では、決議 18「衛星網に関する ITU の周波数調整及び計画枠組みの再検討」<sup>23</sup>においてこの問題に対処すべき喫緊の課題に選定し、その後 1997 年に開催された WRC97 では、ペーパー衛星問題への具体的対処として決議 49「一部の衛星通信業務に適用される行政ドゥーデリジェンス」<sup>24</sup>が採択されている。

## 2. 「ドゥーデリジェンス (Due Diligence)」手続き

トンガが申請した 1990 年時点では、1982 年の RR 改正に基づき、API によって申請した衛星軌道位置は一度登録されると 5 年間有効であり、5 年以内に衛星の打ち上げが実施されない場合は、申し出によって 3 年間の延長がほぼ自動的に承認されていた。しかし WRC の決議 49 によって、衛星軌道位置保持の延長には衛星を打上げるロケット等の宇宙輸送機の名称や製造者名、契約締結日、打上げ事業者の名称や軌道投入予定日等の詳細情報 18 項目<sup>25</sup>の開示が要求されることとなった。「ドゥーデリジェンス手続き」は、国際調

---

<sup>20</sup> COMSAT 社に所属していた米国人衛星事業関係者がトンガに移住し、1988 年に創設。

<sup>21</sup> 該当する条文は、Article II: Outer space, including the moon and other celestial bodies, is not subject to national appropriation by claim of sovereignty, by means of use or occupation, or by any other means. (第二条 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っても国家による取得の対象とはならない。)

<sup>22</sup> ITU の全構成国の代表が参加する ITU の最高意思決定機関であり、4 年に 1 度開催される。憲章・条約等の改正、事務総局長を始めとする幹部職員等及び理事国の選挙が行われるほか、4 年間の ITU の活動方針(戦略計画)、予算の枠組(財政計画)等について審議される。

<sup>23</sup> Resolution 18, Review of the ITU's Frequency Coordination and Planning Framework for Satellite Networks, Final Acts of the Plenipotentiary Conference 1994

<sup>24</sup> Resolution 49, Administrative due diligence applicable to some satellite communication services, Final Acts World Radiocommunication Conference 1997

<sup>25</sup> 項目には A～C の 3 区分がある。A 衛星網の特性：a)衛星網の特性(名称)、b)主管庁の名称、c)国名の

整に係る一連の手続きにおいて、申請内容の真正性の確認とそれを証明する手順（確認する必要のある情報を問う設問を申請様式に適切に設定し、申請者は正確に記入して情報開示する）を組込むことで、規則の運用の適正性を維持する意図と考えられる。これによって、真正な衛星計画を持たない軌道位置の延長申請の抑制が図られた。

また、同決議では、延長可能期間も従来の 3 年間から 2 年間に引き下げられている。Tongasat 社による軌道位置のリース事業化といった事例への対処に加え、1980 年代以降、民間事業者による衛星の打ち上げが増加することで静止衛星軌道の逼迫が現実的な問題として認識されるようになり、無線周波数と軌道位置を MIFR に登録しながらも衛星を打上げない国々に対して、他の国々や衛星事業者から強まる非難が反映されたと考えられる。

### 3. Eutelsat 社の事例

RR に規定された期限以内に BIU が実施されなければ登録された軌道位置は MIFR から削除され優先使用权を失うこととなるが、衛星打ち上げ計画が予定通り進捗しない場合に、運用中の他の衛星を該当軌道位置に配置して一定期間使用することを以て、BIU と認めることは可能かどうか議論された事例である。本事例の議論を通じて、RR における BIU の定義の明確化と詳細化が図られた。

1989 年、フランスに本拠地を置き欧州の衛星通信網構築を目指していた欧州政府間国際組織 Eutelsat 社は、静止衛星 Europesat 計画を公表し、フランス政府が当該計画のための衛星周波数と衛星軌道位置の東経 29 度を MIFR に登録した。しかし計画の進捗の遅れによって API から 5 年間の期間内に衛星を打ち上げることができず、当時の RR に基づき 3 年間の延長は認められたものの、そのままでは 1997 年には登録した軌道位置は失効される見込みとなっていた。RR では、一定期間までに登録した軌道位置で電波を発射し、使用開始（BIU）しなければ MIFR から登録が削除されると規定している。このため、Eutelsat は 1996 年に自社が既に運用していた別の衛星 Hot Bird2 を移動し、Europesat 計画用の軌道である東経 29 度上で数週間程の試験電波を発射させ、これを以て BIU の実績を有するため東経 29 度の軌道位置の権利は消滅しないと主張した事案である。なお、ルクセンブルクに拠点を持つ民間衛星運用事業者 SES 社は、このような方法ではフランスは軌道位置を維持しているとは言えず、その優先的使用権を失ったとして、自社の Astra 衛星を複数機、近隣の東経 28.2 度まで移動して運用し、当該軌道位置の確保を主張する等、他の衛星事業者からの反発が生じている。

---

略記、d) API への参照、または付録 30 及び 30A の計画の変更要求への参照、e) 調整要請への参照（付録 30 及び 30A には適用されない）、f) 無線周波数帯域、g) 運用者名、h) 衛星の名称、i) 軌道特性、B 宇宙輸送機の製造事業者：a) 製造事業者名、b) 契約締結日、c) 契約上の「納品期間」、d) 衛星調達数、C 打上げサービスの提供者：a) ロケット提供者名、b) 契約締結日、c) 予想される発射または軌道上への配備日程、d) ロケットの名称、e) 発射施設の名称及び所在地

1998 年 7 月に開催された ITU の無線通信規則委員会<sup>26</sup>の決議では、Eutelsat 社の衛星移動は軌道位置の使用実績とはならず、Eutelsat 社は周波数と軌道位置を失ったと判断されている<sup>27</sup>。フランスの抗議によって再審査された同年 12 月に開催された会合でも、この判断は維持された<sup>28</sup>。しかしその後、Eutelsat 社は 2001 年に新たな衛星を東経 28.5 度に打ち上げていることから、登録は残存され、フランスとルクセンブルクとの間で混信回避の折衝がなされたと推測されている<sup>29</sup>。

#### 4. BIU (Bringing Into Use) の定義の明確化

Eutelsat 社の他にも、2000 年代に衛星打ち上げの遅延に関する静止衛星軌道位置の取扱いをめぐる事例が続いて生じ、BIU の定義の明確化と詳細化が必要とされたことから、ITU 無線通信部門 (ITU-R : Radiocommunication Sector) 内で調査研究が行われ、2012 年に開催された WRC12 では、BIU の認定には同一の衛星による 90 日間連続の運用が必要ながことが定義された<sup>30</sup>。これは、衛星の打ち上げの失敗や遅延の他にも、故障等によって一時的に当初の衛星が使用できなくなった場合に、他の衛星が、MIFR に登録されて法的に確保された状態で当該軌道位置を使用するための条件となる。90 日間の期間の設定に関する議論では、BIU を所期の衛星で達成できなかった場合の衛星事業者の経済的打撃等と、他方で、一つの衛星で多数の静止衛星軌道位置を確保できることに対する懸念が論点となっている。

WRC12 の事前準備会合の検討では、まず、衛星網を展開する過程で、衛星打ち上げの失敗によって BIU の期限に間に合わず MIFR から申請が一度削除されると、それまでの国際調整も含めて衛星網構築に向けた全ての取組が無効となり、衛星事業者に多大な経済的損失がもたらされるほか、その国の行政機関が衛星資源に関与する機能や、その国の衛星通信網の展開に悪影響が与えられると認識されている<sup>31</sup>。損失や悪影響の大きさを比較考慮して、他の衛星を申請場所まで移動させて一定期間使用（無線周波数の放射）する場合に

---

<sup>26</sup> RR 及び WRC の決定に適合した手続き規則の承認、現行の手続き規則で解決できない事項の検討を行う。有害な混信事案を審査し、必要な勧告の作成することも含む。米州、欧州、旧ソ連地域、アフリカ、アジア・太平洋の全世界 6 地域から選出された 12 名で構成され、年 4 回開催される。

<sup>27</sup> Summary of Decisions of the 13th meeting of the RRB, “Item4.1 Status of the Eyropesat-1 BSS network at 29° E”, ITU Document RRB98/116-E, July 1998

<sup>28</sup> Summary of Decisions of the 14th meeting of the RRB, “Item6, Regulatory Issues: Communications received”, ITU Document RRB98/149-E, December 1998

<sup>29</sup> ITU のデータベース（注 19）上では現在、東経 28.5 度にはフランス 2 件（国別割当計画に基づくもの）、ルクセンブルク 2 件、ドイツ 3 件の衛星が登録されている。

<sup>30</sup> WRC-12 Final Acts, Article 11 Notification and recording of frequency assignments, 11.44B, 他

<sup>31</sup> Report of the CPM to WRC-12, 5/7/4E, “Issue 4E: Provide limited and qualified extensions of the regulatory time-limit for bringing into use assignments in accordance with Appendix 30B due to launch failures”

は、1998 年の判断から変化し、適法な BIU として認める方向性となっている。Tongasat の事例との違いは、衛星軌道位置の優先的使用権を得ることで、衛星を用いた実サービスの提供を意図している点（優先的使用権を失うと意図していた無線通信やサービス提供に実際に影響を与える点）にあり、諸外国の衛星事業者と主管庁もこのような軌道位置の損失のリスクに対して共通認識を持ったために、認められる方向になったと考えられる。

他方で、WRC12 の一つの前の会合である WRC07 の準備会合の議長を務めた衛星開発新興国の代表者は、BIU の最低基準が例えば 1 ヶ月間となることは、逆に、1 ヶ月以上の義務は無いことを示しており、衛星運用事業者は衛星を移動させることで、同じ衛星で別の移動位置を使用できることに懸念を示している<sup>32</sup>。1 か月後には、衛星を移動してさらに別の軌道位置を BIU することができ、1 年後には 1 つの衛星で最大 12 の軌道位置の要件を満たすこととなり、ホッピング衛星によって他の衛星事業者が提供できたはずの多数のサービス提供が妨げられることを危惧している。衛星を軌道の定位置に停止させるには相当の燃料と費用が必要となることから、インテルサット社や SES 社は、該当する軌道位置へのコミットメントを示すには 1 か月の運用十分としていたが<sup>33</sup>、ホッピング衛星による多数の衛星軌道の占有への懸念も考慮され、WRC12 では 90 日間で妥結した。

なお、議論の過程では、1 つの行政機関や 1 つの衛星事業者が RR の規定のもとで 100 の静止軌道位置を申請する事例が挙げられ、これによって軌道位置を使用する意図を持たないままに他国の軌道位置へのアクセスを制限できることも問題視されている。多数の申請が横行することで、静止衛星軌道位置の順番待ちにおいて、例えば 7 番目の状態では、衛星網構築に向けて金融機関からの融資を得ることが困難なことも示され、結果的に、後発の衛星開発国の静止衛星軌道資源へのアクセスが制限されることへの懸念が表された<sup>34</sup>。1 つの衛星が複数の軌道位置を使用できるホッピング衛星の問題と、実現可能性が疑われる多数の軌道位置の申請に対する問題は現在も完全には解消されていない。

## 第 4 節 小括

第 1 節では無線通信規則の概要を確認した。無線周波数には電波伝搬の性質から国境を越える空間共有性があり、また主権を持たない宇宙空間にある衛星軌道位置には天然資源としての有限性がある。衛星軌道位置及びその無線周波数を 1 つの主権国家で独占することや、関連手続を 1 ヶ国内のみで完結することができないという特性が、無線通信規則に

---

<sup>32</sup> Peter B. de Selding, “Iran’s WRC-12 Delegation Pushes for Overhaul of Satellite Registry Rules”, SpaceNews, January 27, 2012 < <https://spacenews.com/irans-wrc-12-delegation-pushes-overhaul-satellite-registry-rules/> >

<sup>33</sup> Peter B. de Selding, “Phantom Satellites Among Tough Issues Regulators Tackling at WRC”, SpaceNews, January 30, 2012 < <https://spacenews.com/phantom-satellites-among-tough-issues-regulators-tackling-wrc/> >

<sup>34</sup> 注 32 及び注 33 と同じ

において法的拘束力のある国際調整手続きを長年に渡り発展させてきた背景と考えられる。

また、第2節、ドゥーデリジェンス手続きの導入及びBIUの定義の明確化の経緯からは、様々な手段を講じて静止衛星軌道位置の優先的使用権を得ようとする、若しくは維持しようとする国際的な競合環境が読み取れる。1988年のWARC-ORB88で採択された国別割当方式では、各国が衛星放送サービスを国内に提供できるよう、宇宙開発の先進国とそうでない国々との間の均衡を図り、少なくとも1つは各国が静止衛星軌道位置の割当てを受けられる計画が策定された。しかし、その他の区分では先着優先方式が維持されている。静止衛星軌道位置を年間数百万ドルでリースしようとした事例からは、その金銭的得ようとする借り手の存在が見込まれたからであり、100の軌道位置を申請した事例からは、多数が順番待ちの状態においても可能な限り軌道位置を得られる機会を増やしたいとする意向が感じられる。有限性や希少性も相まって、静止衛星軌道位置の経済的価値と重要性、そして静止軌道位置の獲得に向けた各国主管庁間及び衛星事業者間の激しい競争環境が認識される。

国際調整手続きでは、電波干渉等の不測のリスクを避けるために調整状態及び調整結果が加盟国間で情報共有されており、事例のような不当な軌道利益や不適切な申請に対しては、他者から問題視されることで改善の契機が生じている。情報共有が是正機会を生じさせていると考えられる（制度的改善に加え、情報公表によって、レピュテーションリスクや企業ブランドへのリスクを考慮した自発的対処の機会も生じている）。ドゥーデリジェンス手続きの導入では情報開示項目が拡大されたが、「ドゥーデリジェンス」の表現を使用していることから、情報開示と透明性が、静止衛星軌道位置の競合の健全性を維持し、そして国際調整手続の制度としてのRRの適正性や信頼性を確保するための根幹機能であると理解される。

## 第2章 非静止衛星軌道の国際調整手続き

第1節では、急増する非静止衛星軌道の利用に対して2019年のWRCで導入された、マイルストーン措置を取り上げる。続いて第2節では、2022年に開催されたITU全権委員会議の結果から、有限な軌道資源に対する国際社会の現在の認識や取組を確認する。第3節では、WRC23の事前準備会合の結果から、静止軌道衛星システムと非静止軌道衛星システム間で周波数共用を図るための電力束密度制限値や、非静止衛星軌道システム間で共用を図るための空間分離に関する論点等に着目し、非静止軌道衛星の急増に対してどのような課題が挙がり、どのような対処策が提案されているかの現状を確認する。

なお、非静止衛星軌道には、静止衛星軌道以外の全てが包含されるが、序章で触れたとおり、衛星数が急増している低軌道の論点に焦点を当てることとする。

### 第1節 WRC19における「マイルストーン」措置の導入

#### 1. 1990年代における非静止軌道衛星システムの動向

序章で前述のとおり、近年、小型衛星を多数軌道上に配備する大規模衛星コンステレーションの構築が世界的に相次いでいるが、1990年代にも、非静止衛星軌道上の衛星コンステレーションによる衛星通信等サービスの事業計画が多数発表されている。1990年、米国に拠点を置くIridium社はFCCへ免許申請を行い、高度約800kmに66機の衛星から構成される低軌道衛星コンステレーションを構築して衛星携帯電話（データ通信を含む）サービスを世界的に均一料金で提供する事業計画を立てている。1990年代には高度1400kmに48機の衛星を配備運用するGlobalstar社の「Globalstar」計画や、同じく高度1400kmに288機の衛星を配備する「Teledesik System」計画、Inmarsat社の子会社であったICO Global Communications社による高度10000kmに12機の衛星を配置する「Inmarsat P System」計画などが進められた。

1997年に開催されたWRC97において、これらの新たな衛星通信サービスを提供するために必要な無線周波数が非静止軌道衛星システムへ分配されている。しかし、静止軌道衛星システムと非静止軌道衛星システムが無線周波数帯域を共用できるよう、決議130「特定の周波数帯域における固定衛星サービスにおける非静止システムの使用」<sup>35</sup>では、地球局に近い非静止軌道衛星システム側に暫定的な電力制限が課せられたほか、調整の開始の前後に関わらず静止軌道衛星システムが優先される<sup>36</sup>こと、電波干渉が発生する可能性が

---

<sup>35</sup> Resolution 130, Use of non-geostationary systems in the fixed-satellite service in certain frequency bands, Final Acts World Radiocommunication Conference 1997

<sup>36</sup> “non-GSO systems shall not claim protection from GSO networks in the FSS operating in accordance with the Radio Regulations, irrespective of the dates of receipt by the Bureau of the complete notification information for the non-GSO FSS systems and of the complete coordination information for the GSO networks（非静止軌道固定衛星サービスシステムに関する完全な通知の情報、及び静止衛星軌道ネットワークに関する完全な調整の情報を事務局が受領した日付に関係なく、非静止軌道システムは無線通信規則

ある場合は非静止軌道衛星システム側が問題を解決する<sup>37</sup>ことが規定された。これらは静止軌道衛星システムによって従前より提供されている衛星放送等のサービスを保護するためである。同会合では、静止軌道衛星システムと非静止軌道衛星システムの周波数共用や、電波干渉を低減させるための技術的手法に関する調査研究が ITU-R へ指示され、この研究結果を反映して、WRC2000 では電力制限値が更新されるとともに、静止衛星と同様に様々な非静止衛星の技術基準値が RR に整備された。現在の非静止衛星システムに関する RR の諸規則の原形は、この時代に形成されたと考えられる。

## 2. WRC19 における「マイルストーン」措置の導入

静止衛星及び非静止衛星ともに、国際調整手続きでは ITU が API 資料を受領してから 7 年間以内に BIU を実施するよう期限が定められており、期限を超えると MIFR から削除され、RR による保護が得られなくなる。ペーパー衛星問題等によって静止衛星軌道で明確化が図られた BIU の定義について、2019 年に開催された WRC19 では、非静止衛星軌道についても BIU の定義の導入が図られ、静止衛星軌道と同様に軌道上で 90 日間以上連続運用（受信及び中継機能を証明）することが条件となった。さらに近年の大規模な非静止衛星コンステレーションの増加に対しては、非静止衛星の軌道位置と関連する周波数の不当な占有のリスクに対応するため、決議 35「特定の周波数帯域及びサービスにおける、非静止衛星システム内の宇宙局への周波数割当てを実装するためのマイルストーンベースアプローチ」<sup>38</sup>において「マイルストーン」措置の導入が議論された。

従来の RR では、数千機規模の非静止衛星システムを登録すると 1 機の衛星の運用開始によって該当衛星システム全体が運用開始したと見なされ、1 機の衛星打ち上げによって数千機分の軌道位置と関連する周波数の権益が確保されていた。しかしこの措置の導入によって、申請から規定の年限（国際調整手続き開始から 7 年～14 年目）までに順次一定の割合（30%～100%）の衛星を打ち上げなければ、MIFR に登録可能な衛星の総数が削減されることとなる。

---

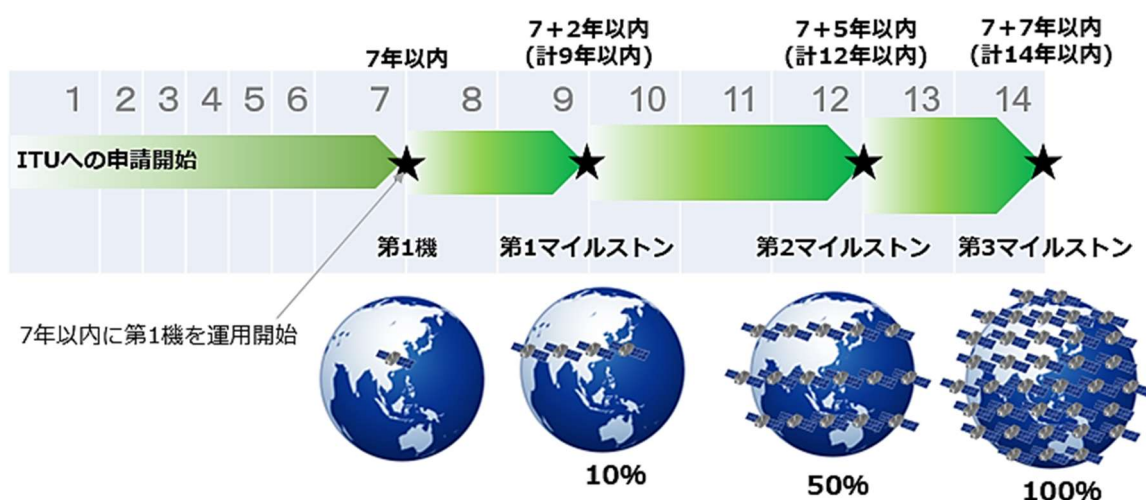
に従って運用されている固定衛星サービス内の静止衛星軌道ネットワークからの保護を要求してはならない）” Resolution 130, resolves 6 より抜粋。

<sup>37</sup> “if an administration operating or bringing into use a GSO FSS system (中略) considers that a non-GSO FSS system proposed by another administration might cause unacceptable interference into its GSO system, then, (中略) the administration operating the non-GSO FSS system shall resolve the difficulties (静止軌道固定衛星サービスシステムを運用または導入している行政が、別の行政によって提案された非静止軌道固定衛星システムがその静止軌道システムに許容できない干渉を引き起こす可能性があると考える場合、非静止軌道固定衛星システムを運用している行政が問題を解決するものとする)” Resolution 130, resolves 6.1～6.1.2 より抜粋。

<sup>38</sup> Resolution 35, A milestone-based approach for the implementation of frequency assignments to space stations in a non-geostationary-satellite system in specific frequency bands and services, Final Acts World Radiocommunication Conference 2019

議論の段階では、Boeing 社、Lockheed Martin 社、Maxar Technologies 社、Northrop Grumman 社が拠点とする米国は総衛星数の 10%を 3 年以内に、5 年後に 50%、7 年後に 100%打ち上げることを義務付けるマイルストーンを提唱していたが、Airbus Defense and Space 社や Thales Alenia Space 社の本拠地であるフランスとイタリアは 2 年後に 10%、4 年後に 30%、7 年後に 90%を義務付けるマイルストーンを提唱していた<sup>39</sup>。複数の案が挙げられながらも、最終的には、最初の衛星を打上げてから 2 年以内（最初の 1 機を打上げるまでの 7 年に 2 年を加算して、最大 9 年以内）に 10%を、5 年以内（最大 12 年以内）に 50%を、7 年以内（最大 14 年以内）に 100%を義務付ける規定が採択され、2021 年 1 月にマイルストーン措置を反映した改正 RR が施行された。

【図 5：WRC19 マイルストーン措置のイメージ】



出典：Xavier Laurenson, ITU Space Services Department, “Bringing Into Use Of GSO and NGSO Satellite Networks” p17, 29<sup>th</sup> World Radiocommunication Seminar, November-December 2020 を参考に著者作成

### 3. FCC におけるマイルストーン措置

無線周波数及び軌道資源の不当な占有、いわゆる「倉庫保管（Warehousing）」を防ぐため、静止衛星軌道網のマイルストーン制度は米国において従来から導入されている。倉庫保管とは、FCC から認可を受けた衛星網の構築や打ち上げ、運用に係るコストとリスクを負担するつもりがない、又はそのような取組を十分に行っていない事業者が、無線周波数及び軌道資源の優先使用权を保持し続けることである。被認可者が軌道位置と無線周波数を取得して保管することが過度に容易になることや、新しい競合他社がこれらの有限な資源を利用できなくなり短期的には衛星サービスの量が減少すること、また長期的にはイノベ

<sup>39</sup> Caleb Henry, “ITU sets milestones for megaconstellations”, SpaceNews, November 21, 2019 <  
<https://spacenews.com/itu-sets-milestones-for-megaconstellations/>>

ーションが妨げられる可能性を防ぐため、マイルストーン制度と、さらにマイルストーン制度を確保するための保証金制度が米国で運用されている。

2017 年までの規定では、FCC が非静止衛星軌道システムの計画を認可してから、1)1 年以内に非静止衛星軌道システムの構築契約を締結し、2)2 年以内に衛星の設計や開発段階を完了すること、3)2 年 6 か月以内に最初の衛星の製造を開始すること、4)3 年 6 か月以内に最初の衛星を打ち上げて運用を開始すること、5)6 年以内に認可されたすべての衛星を運用開始することが義務付けられていた。マイルストンの条件を達成できない場合は、非静止軌道衛星システムの認可全体が無効となるほか、FCC に預け入れた保証金 50 万ドルも没収されることとなっている<sup>40</sup>。しかし、FCC は米国国内より、数千機体から構成される大規模衛星コンステレーション計画の申請を受けて、マイルストンの実現可能性の観点から、2017 年に従来のマイルストンの条件の簡素化と緩和を図った。現在は中間のマイルストーンが省略され、また 6 年以内に半数を打上げる規定へと改正されている。

規定の目的は、倉庫保管問題によって衛星網の構築に意欲のある事業者の参入が抑制されるといった事態を無くし、健全な市場競争環境を維持することにある。このため、例えば 2020 年に発生した新型コロナウイルス感染症の感染拡大を防ぐための外出禁止等によって生じた衛星の配備の遅延に対しては、マイルストーン期限の延長が認められている<sup>41</sup>。

なお、FCC は 2023 年 4 月に旧国際局を再編するかたちで組織内に「宇宙局 (Space Bureau)」を設立している<sup>42</sup>。宇宙活動に不可欠である通信の許認可制度の拡充や、関連市場を促進することで、周波数及び軌道資源の効率的な使用を推進することを主要目的としている。米国国内の事業者 SpaceX 社、Amazon 社、Boeing 社、Inmarsat 社、Intelsat 社等から全体では 38,000 機<sup>43</sup>を超える衛星通信用の無線周波数と軌道が申請されており、増大する需要を迅速に処理し、米国衛星業界の成長に合わせた規制の枠組みを整備するために、宇宙局が設立された。FCC における宇宙関連業務の比重の拡大が読み取られる。

---

<sup>40</sup> “Comprehensive Review of Licensing and Operating Rules for Satellite Services”, Part 25 Streamlining Second Report and Order, FCC-15-167, Dec 2015 < <https://www.fcc.gov/document/part-25-streamlining-second-report-and-order> >

<sup>41</sup> “Space Norway AS Petition for Modification of Grant of U.S. Market Access for the Arctic Satellite Broadband Mission to Extend or Waive Milestone Date”, FCC, DA-23-922, October 2023 < <https://www.fcc.gov/document/space-norway-granted-milestone-extension-satellite-constellation> >

<sup>42</sup> “FCC Space Bureau & Office of International Affairs Launches April 11”, FCC, April 2023 < <https://www.fcc.gov/document/fcc-space-bureau-office-international-affairs-launches-april-11> >, Ryan Daws, “FCC establishes space bureau to meet growing demands”, TELECOMS, January 2023 < <https://www.telecomstechnews.com/news/2023/jan/10/fcc-establishes-space-bureau-meet-growing-demands/> >

<sup>43</sup> 2023 年 9 月時点では 56,000 機以上に増加。” Chairwoman Rosenworcel Remarks to the Global Aerospace Summit”, FCC, September 2023 < <https://www.fcc.gov/document/chairwoman-rosenworcel-remarks-global-aerospace-summit> >

## 第2節 ITU 全権委員会議 2022 における決議（決議 219,218,186）

非静止軌道上の衛星数の急増に対しては、2022 年に開催された ITU の最高意思決定機関である全権委員会議でも、関連する決議が採択されていることから、その内容を確認する。

### 1. 決議 219「宇宙サービスが利用する無線周波数帯域と関連する衛星軌道資源の持続可能性」<sup>44</sup>

決議 219 では、非静止衛星軌道へ打上げられる衛星数の近年の急増を受け、非静止軌道衛星システムの衛星数について、緊急に再検討する必要性を提言するほか、静止軌道衛星システムやその他の無線通信業務との電波干渉を回避するため、必要に応じて非静止軌道衛星システムの承認にあたって新たな規制を整備する必要性にも言及している。加えて、ITU 憲章第 44 条の目的に合致した衛星資源への公平なアクセスと合理的な利用、そして非静止衛星軌道の長期的な持続可能性の問題についての調査研究の実施が、この決議によって ITU-R へ指示された。研究結果は可能な限り WRC23 で共有されることとしている。

決議 219 に対して、加盟国は共同で「これは衛星軌道の合理的な利用を確保し、ITU 憲章第 44 条に規定されている、すべての国の公平なアクセスに取り組む第一歩に過ぎない」とコメント<sup>45</sup>し、公平性の観点を強調している。このことから、非静止衛星軌道の混雑による電波干渉のリスク増大に対する問題意識だけではなく、他の無線システムに電波干渉を与えない健全な分量の非静止衛星軌道資源が先行使用者によって占有されてしまうことへの諸外国の懸念も示唆していると考えられる。

この決議に関連するものとしては、同会合の決議 218 も採択されている。

### 2. 決議 218「「Space2030」アジェンダの実施における ITU の役割：持続可能な開発の推進力としての宇宙、及びそのフォローアップと見直しのプロセス」<sup>46</sup>

決議 218 では、2021 年 10 月の国連総会で採択された「Space2030 アジェンダ：持続可能な開発推進力としての宇宙」<sup>47</sup>や ITU 憲章第 44 条にも触れながら、WRC23 や以後の WRC が、開発途上国の特別なニーズを考慮した衛星軌道への公平なアクセスの課題に引き続き高い優先順位を与えるよう指示している。小島嶼開発途上国や内陸開発途上国を含め

---

<sup>44</sup> Resolution 219, Sustainability of the radio-frequency spectrum and associated satellite-orbit resources used by space services, Final Acts of the Plenipotentiary Conference2022

<sup>45</sup> “Highlights: ITU Plenipotentiary Conference 2022”, ITU <  
<https://pp22.itu.int/en/newsroom/highlights/>>

<sup>46</sup> Resolution 218, ITU's role in the implementation of the "Space2030" Agenda: space as a driver of sustainable development, and its follow-up and review process, Final Acts of the Plenipotentiary Conference2022

<sup>47</sup> “The “Space2030” Agenda: space as a driver of sustainable development”, A/RES/76/3, United Nations General Assembly

て、開発途上国は衛星周波数及び衛星軌道を利用するための複雑な調整手順に関する専門知識が不足するなどの課題を抱えており、これらの国々が衛星を利用できるような支援が実施されるべきであることが表明されている。

決議 218 及び 219 からは、従来以上に商業的な宇宙活用が世界的に急激に進展している現在において、宇宙利用の国家間の格差がこれ以上拡大しないよう、静止衛星軌道及び非静止衛星軌道への公平なアクセスの確保の在り方や、具体的な宇宙開発途上国への支援の手法を、継続的に議論していくべきとする方針が示されている。

### 3. 決議 186「宇宙活動における透明性と信頼醸成措置に関する ITU の役割の強化」<sup>48</sup>

また、決議 186 では、2021 年 12 月の国連総会で採択された決議 55「宇宙活動における透明性と信頼醸成措置」<sup>49</sup>や、2022 年 6 月の世界電気通信開発会議で改訂された決議 37「デジタルデバイドの解消」<sup>50</sup>に触れた上で、衛星周波数及び衛星軌道の国際調整の際に各国行政機関から受領したドゥーデリジェンス情報の公表や、IMFR 情報へのアクセスの容易性や透明性の改善、衛星監視施設に関する情報の各国主官庁への提供等が ITU 無線通信局へ指示されている。

衛星監視施設とは、衛星通信による電波干渉を検知し早急に解決するために、ドイツ、米国、露国、中国、韓国、ウクライナ、ブラジル、カザフスタン、日本<sup>51</sup>等の各国主管庁が運営する衛星監視施設の国際ネットワークであり、いくつかの施設は ITU と協力覚書を締結している。決議 189 は加盟国に対して、これらの衛星監視施設の情報へのアクセスを促すほか、衛星監視施設の使用に関する協力覚書締結への参加を呼びかけており、電波干渉の回避と公平な軌道管理の推進の観点から、衛星監視施設の国際ネットワークの有効活用を進めようとする姿勢がうかがえる<sup>52</sup>。

---

<sup>48</sup> Resolution 186, Strengthening the role of ITU with regard to transparency and confidence-building measures in outer space activities, Final Acts of the Plenipotentiary Conference 2022

<sup>49</sup> “Transparency and confidence-building measures in outer space activities”, A/RES/76/55, United Nations General Assembly

<sup>50</sup> Resolution 37, Bridging the digital divide, WTDC-22 Final Report, ITU

<sup>51</sup> “Measurement facilities available for the measurement of emissions from both GSO and non-GSO space stations”, Report ITU-R SM.2182-2, June 2019 を参照。日本では、総務省関東総合通信局三浦電波監視センターが国際監視局に指定されている。人工衛星からの電波を受信し、その電波諸元の測定や衛星の軌道位置の分析を行い、人工衛星が正しく運用されているかの監視、混信の原因調査等を実施している。

<sup>52</sup> この他、JAXA をはじめとした諸外国宇宙機関は、宇宙状況把握（SSA: Space Situational Awareness）の活動として、スペースデブリの 1)観測、2)軌道情報のデータベース化、3)人工衛星との接近解析、4)大気圏再突入予測などを実施している。電波監視施設は電波干渉の回避を主目的としており、SSA はスペースデブリ等の宇宙状況の把握を主目的とする。

### 第3節 WRC23に向けたCPMにおける議論（議題7A,7B,7J）

WRCの議題は、開催される一つ前の会合で決定されており、例えばWRC23の議題はWRC19で決定している。このためWRC23に向けては、WRC19会合直後から世界各地の地域無線通信会議<sup>53</sup>における検討や、ITU-R内部の研究委員会（SG：Study Group）<sup>54</sup>において調査研究が開始されてきた。2023年3月～4月には、WRC23の準備会合（CPM：Conference Preparatory Meeting）第2回が開催され、これらの検討結果や調査研究の報告内容に関して情報共有が行われている。CPMの報告書にはWRC23で対処すべき論点の特定と対応策に関する現時点で最新の情報がまとめられているから、この報告書の内容に沿って非静止衛星軌道に関する国際調整手続きの主要な論点の現状を確認する<sup>55</sup>。

#### 1. 議題7A「固定衛星サービス、衛星放送サービス又は移動衛星サービスの非静止衛星システム宇宙局の特定の軌道特性に関する許容誤差」<sup>56</sup>

議題7トピックAでは、非静止軌道衛星システムの宇宙局の軌道特性について、MIFRに登録された軌道特性と、実際に運用される際の軌道特性の差異を考慮するために、RRへ許容誤差の導入を検討している。静止軌道衛星システムの軌道特性については、既に軌道許容誤差に関する制約が整備されており、例えばRR第22条では、静止衛星軌道の経度の許容誤差として $\pm 0.5^\circ$ が規定されている。またITU-RBも、国際調整手続きで通知された軌道位置から慣行として $\pm 0.5^\circ$ 以内の位置で運用されている静止軌道衛星システムを、条件を満たしていると判断している<sup>57</sup>。しかし、非静止軌道衛星システムに搭載された宇宙局については、これらの許容誤差に関する規定は存在しない。WRC19において、マイルストーン措置に関する議論を進める中で、規定の整備の差異が認識され、WRC23に向けた議題として、非静止軌道衛星における許容誤差が挙げられた。

国際調整手続きで通知された軌道特性からの逸脱、例えば大幅な高度変更などは、電波干渉に大きな影響を与え、さらに非静止軌道衛星システムの周波数資源の効率的な利用にも影響を生じる可能性がある。潜在的、しかし重大な影響を発生し得る逸脱には対処する必要があるが、他方で、デブリとの衝突を防ぐために一時的に軌道位置を変化させる場合

---

<sup>53</sup> 地域電気通信機関である、アジア・太平洋電気通信共同体（APT）、アラブ周波数管理グループ（ASMG）、アフリカ電気通信連合（ATU）、欧州郵便電気通信主管庁会議（CEPT）、米州電気通信会議（CITEL）、旧ソビエト連邦構成国による合同通信地域連邦（RCC）において開催される。

<sup>54</sup> 無線通信技術・運用等の問題の研究及び勧告の作成を行う。主題に応じて、SG1：周波数管理、SG3：電波伝搬、SG4：衛星業務、SG5：地上業務、SG6：放送業務、SG7：科学業務、が設置されている。

<sup>55</sup> WRC23は2023年11月20日～12月15日にドバイで開催され、開催後に暫定的な結果報告書

「Provisional Final Act」<<https://www.itu.int/en/publications/ITU-R/pages/publications.aspx?parent=R-ACT-WRC.15-2023&media=electronic>>が公表された。

<sup>56</sup> Agenda item 7, Topic A – Tolerances for certain orbital characteristics of non-GSO space stations of the FSS, BSS or MSS, Report of the CPM to WRC-23

<sup>57</sup> 139～42, p781, Report of the CPM to WRC-23

など衛星の安全な飛行運用を確保する必要や、高度 700km 未満における大気抵抗によって徐々に低下する宇宙機の高度を元の軌道高度へ戻す必要<sup>58</sup>もある。軌道特性を変動する正当な理由がある場合にも柔軟に対応できるよう、軌道逸脱と許容誤差の範囲を過度に規制しないことの重要性も、検討では考慮された。

楕円を描く非静止衛星軌道の遠地点・近地点高度の許容偏差等も含めた、技術的検討の結果、軌道特性の各パラメータの許容限界に関する明確な結論は得られなかったとしながらも、報告書では対処方針として 4 つの方法が提示された。

- ・第 1 案：RR を変更しない
- ・第 2 案：非静止軌道衛星システムの特定の軌道特性について許容誤差を導入する新しい決議案を作成する
  - ・オプション第 1 案：全ての非静止軌道衛星システム、または、マイルストーン措置の対象となる非静止軌道衛星システムに対して、許容偏差の適用を提案する
  - ・オプション第 2 案：国際調整手続きの間においても、衛星網構築の最終設計を反映するために軌道特性は変更されうる。このため、特定の非静止軌道衛星システムについて、①国際調整手続きの調整段階と通知段階の間の差異、そして②登録と実際の配備の間の差異、2 つの許容誤差の適用を提案する
- ・第 3 案：衛星の登録に必要なデータ項目を規定する RR 付属書 4 を改訂して、許容誤差に関する項目を追加するとともに、関連する既存規定や決議に、項目の追加に関する参照を追記する
- ・第 4 案：マイルストーン措置の対象となる非静止軌道衛星システムに対して、実際に配備された衛星の高度と傾斜に関する定期的な報告を求め、登録した軌道特性からの逸脱が電波干渉を増加させないことを保証するための注釈を RR 第 11 条に追加する

第 1 案は RR の変更をしない提案、第 2 案は許容誤差を導入する新たな決議を作成する提案、第 3 案は付属書 4 に許容誤差に関する項目を追加する提案、第 4 案は定期的な報告を求めることなどを RR 第 11 条の注釈に追加する提案、である。

## 2. 議題 7A に関連する事業者の考え方

2023 年第 4 号の ITU News Magazine (ITU 公式情報雑誌)<sup>59</sup>は、WRC23 の衛星通信の議題を主要テーマに掲げ、ITU 関係部門の担当者や各国政策担当者、関連産業界の衛星事業担当者が寄稿を寄せており、この議題に関しては Amazon 社の Kuiper プロジェクト担

---

<sup>58</sup> 米露欧加日が運用する国際宇宙ステーションは、高度約 400km~700km を飛行しているが、大気の影響によって徐々に高度が低下するため、定期的にリブースト（エンジン噴射等によって高度を上昇させ、元の軌道高度へ戻す）を実施している。リブーストによって短時間で高度が大幅に変化する。

<sup>59</sup> ITU News Magazine “Satellite connectivity”, No. 4, 2023 < <https://www.itu.int/hub/publication/s-gen-news-2023-4/> >

当者が解説及び見解を述べている<sup>60</sup>。衛星の数に加えて、非静止軌道衛星システムの最も重要な軌道パラメータは軌道面の高度と傾斜であり、もし WRC23 が軌道許容誤差を高度 10%、傾斜 10%に制限することを決定した場合は、シンプルな例として、非静止軌道衛星システムが高度 500km、傾斜 30° で衛星システムを登録している時の許容誤差は高度±50km、傾斜±3° になると、解説している。また、許容誤差は非静止軌道衛星システムのマイルストーン手続きにおける BIU の定義にも関与し、前述の例えの場合、高度 450km～550km で傾斜 27° ～33° の間の衛星は、登録した軌道面上に維持されていると見なされ、90 日間以上運用継続すると運用開始の基準を満たすこととなる。さらに、有害な電波干渉を回避するためには衛星が実際にどこにあるかを正確に把握する必要がある、MIFR の精度や非静止軌道衛星システムの調整の在り方にも影響を与えると、許容誤差の概念の意義を概説している。衛星通信事業者間では、宇宙の安全の確保を目的として、大規模衛星コンステレーション間に適切な分離を設けることがベストプラクティスとして受け入れられていることも紹介しており、必要性に基づく議論であることが示されている。

許容誤差に表現されるように、衛星コンステレーションの軌道面は一定の厚みがあること、そして近隣のコンステレーションとの間には一定の空間分離が必要なことから、他の非静止軌道衛星システムや他の無線システムに電波干渉を与えない健全な非静止衛星衛星ネットワークの数には上限があるであろうこと、無限にコンステレーション網が構築可能ではないことが示唆されていると考えられる。

WRC23 の開催の結果、高度と傾斜角に関する許容誤差の規定値が新たに導入されることとなった<sup>61</sup>。

### 3. 議題 7B「非静止軌道衛星システムの BIU 後のマイルストーン手順」<sup>62</sup>

議題 7 トピック B では、マイルストーンを達成した後に非静止衛星軌道上の衛星数が減少した場合の手順を検討している。マイルストーン措置が形成された理由の一つは、MIFR に登録された大規模なコンステレーションの衛星数が、実際に軌道上に配備されている衛星数と整合することを確保するためである。しかし、一旦マイルストーンが達成された後に、例えば軌道上の衛星の故障等によって衛星数が減少する可能性もある。現在の規定では、

---

<sup>60</sup> Julie Zoller, Head, Global Regulatory Affairs, Amazon Project Kuiper “Orbital characteristics and operational flexibility in non-GSO space stations”, ITU News Magazine No. 4, 2023

<sup>61</sup> WRC23 の結果、「RESOLUTION COM5/4 (WRC-23)」が新たに作成されることとなった。登録値と観測値の差（許容誤差）は、原則として、高度 2000km 以下の場合は高度 30km 以内かつ傾斜角 2 度以内、高度 2000km 以上の場合は高度 30km 以内かつ傾斜角 3 度以内とされた。なお、例えば、高度 2000km 以下で誤差が高度 70km 以内かつ傾斜角 2 度以内、高度 2000km 以上で誤差が km 単位で高度の 5%以内かつ傾斜角 3 度以内の場合は、誤差に関する追加説明が必要と規定されている。誤差の値毎に対応が異なる。新たな決議の作成に伴い、11.44C、11.49、11.49.5 が改正されている。出典は注 55 と同じ。

<sup>62</sup> Agenda item 7, Topic B – Non-GSO bringing into use post-milestone procedure, Report of the CPM to WRC-23

MIFR に登録された衛星数と実際に配備されている衛星数がわずかにでも不一致となった場合には、直ちに登録数を削減される可能性や該当する非静止軌道衛星システムの登録自体が取り消される可能性がある。このため、1)衛星数の減少を報告する義務とその条件を明記すること、2)衛星数が減少した時に ITU へ報告する期限や減少が回復した時の報告期限、3)減少数が回復しない場合に、その衛星システムを保有する国が登録数を自ら削減する期限、4)衛星数が減少しながらも ITU へ報告をせず ITU からの連絡にも応答しない場合の対処の在り方などについて、新たな規定の形成を検討するものである。

2023 年 3 月に開催された ITU 第 92 回 BBR の資料では、マイルストーン措置の対象となる非静止軌道衛星システムは 26 件がリスト化されており、このうちマイルストーン達成済のものは 4 件（このうち 1 件は衛星数が全 1 個のシステム）となっている。マイルストーン制度が適用された実績数はまだ少ないが、既にマイルストーン達成後の手順について補強を行い、制度の精緻化を図る段階に入りつつあることが検討状況から読み取れる。

WRC23 の開催の結果、マイルストーン達成後の諸手順は、整備されることとなった<sup>63</sup>。

#### 4. 議題 7J「決議 76（WRC15 最終改訂）の修正について」<sup>64</sup>

決議 76<sup>65</sup>は、放送衛星サービスなどを提供する静止軌道衛星システムを、非静止衛星通信システムから保護するための総電力束密度の制限値を規定しており、さらに、制限値を超えないことを保証する手順に関する勧告の形成や、規制値を超えないことを共同で保証するための関係者間の協力の仕組みの形成に関する調査研究を、ITU-R に指示している。

制限値の遵守は、非静止軌道衛星システムを運用する全ての主管庁に対して RR 第 22 条に基づき課せられているが、しかし、電波干渉の正確なモデリングを考慮した最近の勧告は存在せず、また関係各国が制限値を超過しているかどうかを共同で判断するための方法論や手順が存在しないこと、さらに、もし制限値を超過している場合に、決議 76 で記されているところの、総電力束密度を低減するために集団で実施すべき「必要な措置」を示す明確な指針や手続きも存在していないことが議題 7J の論点となっている。事前検討では、非静止軌道衛星システムの運営者間に適用される、これらの総電力束密度の超過を回避するための協議手順が検討されており、報告書では、以下の 5 つの案が提示された。

・第 1 案：決議 76 を変更しない

---

<sup>63</sup> WRC23 の結果、「RESOLUTION 35 (REV.WRC-23)」が改正され、マイルストーン達成後の諸規定（衛星機数が減少した場合の手続き等）が追加整備されることとなった。出典は注 55 と同じ。

<sup>64</sup> Agenda item 7, Topic J – Modifications to Resolution 76 (Rev.WRC-15), Report of the CPM to WRC-23

<sup>65</sup> Resolution 76 (Rev.WRC-15) Protection of geostationary fixed-satellite service and geostationary broadcasting-satellite service networks from the maximum aggregate equivalent power flux-density produced by multiple non-geostationary fixed-satellite service systems in frequency bands where equivalent power flux-density limits have been adopted（決議 76（WRC15 改訂）等価電力束密度制限が採用されている周波数帯域における複数の非静止固定衛星サービスシステムによって生成される最大合計等価電力束密度からの 静止固定衛星サービスおよび静止放送衛星サービスネットワークの保護）

- ・第2案：総電力束密度の超過が発生した場合に協力的に削減に向けた合意ができるよう決議 76 を修正し、非静止軌道衛星システムの運用者間で「協議プロセス／協議会合」の概念を導入する
- ・第3案：非静止軌道衛星システムの‘運用システム’のみを考慮した協議プロセス／協議会合を通じて、同決議に含まれる総電力束密度を準拠できるよう決議 76 を修正する
- ・第4案：非静止軌道衛星システムの‘運用システム’と‘計画システム’を考慮した協議プロセス／協議会合を通じて、同決議に含まれる総電力束密度を準拠できるよう決議 76 を修正する
- ・第5案：決議 76 を修正し、非静止軌道衛星システムの正確なモデリングと総出力電力の制限の遵守を確保するための規制手続きに関する、さらなる研究を求める。

第1案は決議を変更しない案、第2案は「協議プロセス／協議会合」の概念を決議 76 へ導入する案、第3案は運用中のシステムのみを考慮した協議枠組みを決議 76 へ導入する案、第4案は運用中のシステムに加え、計画中のシステムを考慮した協議枠組みを決議 76 に導入する案、第5案は制限値に関するより正確なモデリングと協議枠組みの形成に向けてさらなる研究を求める提案、となる。

ITU-R の研究では、非静止軌道衛星システムと静止軌道衛星システムの間の総電力束密度の干渉を評価するための既存の勧告は、干渉を正確にモデル（計算）しておらず、実際の電力束密度を過大評価している（非静止軌道衛星システムへの制限が強すぎる）可能性があることが示された。本議題は、大規模な非静止衛星コンステレーションの運用が近年開始されたことで実績値が得られるようになり、現行の勧告が形成された時代から、電波干渉に関する研究が進展したことにも起因する。このため第5案では、協議枠組みだけでなく、制限値の見直しも視野に入れるものとなっている。

WRC23 開催の結果、制限値の変更は生じなかったが、既存の制限値の修正の可能性を「緊急問題」として継続して検討することや、非静止衛星システムを運用する主管庁間で定期的な協議会を開催すること等が決定した<sup>66</sup>。

## 5. 議題 7J に関連する事業者の考え方

前述の ITU News Magazine では、Starlink 衛星を運営する SpaceX 社の衛星政策担当者がこの議題に対する見解を述べている<sup>67</sup>。非静止軌道衛星システムに関する諸規定の原型

---

<sup>66</sup> WRC23 の結果、「RESOLUTION 76 (REV.WRC-23)」が改訂されることとなった。1) 非静止衛星システムを運用する主管庁は、静止衛星システムを非静止衛星システムの電波干渉から保護するために実施すべき措置を検討するための定期的な協議会を開催すること、2) 等価電力束密度 (EPFD) 制限に関する研究を「緊急課題として」継続し、既存の制限値の修正の可能性や EPFD 制限に関する ITU の計算ソフトウェアを開発、発展させる可能性を検討し、これらの検討結果を WRC27 以降に報告すること等が追記された。既存の規制値の変更は生じていない。出典は注 55 と同じ。

<sup>67</sup> David Goldman, Vice President, Satellite Policy, SpaceX “Enabling global connectivity with non-GSO

が形成された 1997 年及び 2000 年の WRC で、計画段階の非静止軌道衛星システムに対して電力束密度の制限値が設定されたが、採用された値は過度<sup>68</sup>であり、その結果、運用上の制限や通信容量の削減、未使用の無線周波数帯が生じるなどの問題が発生していることを解説している。また、現在の非静止軌道衛星システムは、静止軌道衛星システムに許容できない電波干渉を引き起こすことなく世界中に通信接続を提供できる機能が組み込まれていることから、電力束制限値は早急に改正されるべきであると、制限値の改正の必要性を述べている。電力束密度の制限値によって静止軌道衛星システムによる既存サービスのユーザーを保護することと同様に、非静止軌道衛星システムによって世界的な通信回線の未整備地域へ通信サービスを提供する意義を述べて、遅延することなく対応すべきことを強調している。

他方で、電力束密度の制限値によって保護される静止衛星軌道システムを運用する SES 社の周波数管理及び開発担当者は、制限値の変更に異論を示している<sup>69</sup>。現在の制限値は ITU 会合の長年に渡る技術分析の結果であり、非静止衛星軌道システムの産業拡大を下支えしながら、静止衛星軌道システムに合理的な保護を提供していると述べ、安易な枠組みの変更に懸念を示している。同じく静止衛星軌道システムを運営する Viasat 社の取締役会長兼最高経営責任者は、静止軌道衛星システムへの電波干渉保護を低減させると、静止軌道衛星システム側の技術革新が損なわれる可能性を述べている。さらに、最初の手非静止軌道衛星システムの運営事業者が、現在の市場競争の未発達及び規制措置の未形成を利用して、多数の通信中継衛星を先に導入することで、潜在的な非静止衛星軌道システムの市場競争が先制されていると指摘している<sup>70</sup>。

静止衛星軌道システムと非静止衛星軌道システム間において、電力束密度制限値の算出モデルに関する 1)技術的側面に加えて、放送回線が未整備地域における衛星放送サービスの提供、または通信回線未整備地域への衛星通信サービスの提供といった 2)政策的側面、そして、静止衛星運用事業者と非静止衛星運用事業者間の 3)事業経営側面での、相対する姿勢が読み取られる。

## 第 4 節 小括

第 1 節では、非静止衛星軌道システムに対するマイルストーン措置導入の経緯を確認した。従来に無い大規模な衛星数の打上げに対してマイルストーンを設置することで、BIU の定義

---

satellite constellations”, ITU News Magazine No. 4, 2023

<sup>68</sup> “non-GSO satellites are required to whisper while distant GSO can shout（遠くの静止軌道衛星システムは大声が可能だが、非静止軌道衛星システムは小声でささやくことが要求されている）”と例えている。

<sup>69</sup> Jason Rainbow, “Battle of the Bands: What’s at stake for space at WRC-23”, SpaceNews, November 20, 2023 < <https://spacenews.com/battle-of-the-bands-whats-at-stake-for-space-at-wrc-23/> >

<sup>70</sup> Mark Dankberg, Chairman of the Board, Chief Executive Officer and Co-Founder, Viasat, “Sharing between satellite orbit systems”, ITU News Magazine No. 4, 2023

を詳細化し、MIFR に申請された衛星群が完全に配備されるまでの過程も情報開示されることとなった。BIU は、MIFR に登録して軌道位置の法的拘束力を確保するための最終段階であること、また MIFR の真正性（実際の軌道上の衛星の状況と MIFR 登録情報が適合する状態）を確保する必要性から、特に規定改訂において焦点が置かれたと考えられる。

第2節では、2022 年に開催された ITU の最高意思決定機関である全権委員会議において、1)非静止衛星軌道上の衛星数の急増に対する課題の特定と必要な規制案の検討の実施が指示されたこと、加えて、2)国連総会決議「Space2030」に基づき宇宙開発の後発国への配慮と支援の必要性、そして 3)実際の衛星軌道上の無線局（衛星機体に搭載される宇宙局）の状況を監視する衛星監視施設の利用の活性化、が決議されたことを確認した。

1)では、RR に基づき、非静止衛星軌道上の衛星数の増加は、国際調整手続きにおいて従来から各国の主管庁を通じて認識されていたと考えられるが、実際の非静止衛星軌道上の衛星数の急増（打上げの実施）に対して、あらためて対処の必要性が国際社会で共通的に意識されたことが読み取れる。

また 2) では、静止衛星軌道の逼迫においても長らく議論されてきた、宇宙開発先進国とそれ以外の国々の間の軌道資源の配分のバランス、さらには宇宙開発機能の不均衡に対して、対処の必要性が採決されている。これには、非静止衛星軌道の活用拡大に加えて、次章で焦点をあてる月活動計画の始動も背景にあると考えられる。

3) では、実際の静止衛星軌道及び非静止衛星軌道の使用状況は MIFR の記載内容と齟齬が生じている現実もあり、低軌道における衛星数の急増に代表されるように宇宙開発が拡大する時代において、軌道の監視機能（主として電波を送受信する機能を有する物体への監視）の利活用が推奨されている。登録上の情報だけでなく、軌道上の実際の状況を直接確認する重要性も上じており、決議の表題のとおり、透明性が信頼醸成に必要とされている。

第3節では、WRC23 の論点として、1)非静止衛星軌道システムの軌道特性の許容偏差、2) BIU 後のマイルストーン措置、3) 非静止衛星軌道システムの電力束密度を、事前会合の報告書から確認した。2)では、MIFR の正確性を維持するために、WRC19 で採用されたマイルストーン措置の拡充が早くも図られようとしており、RR の柔軟性と透明性の原理が理解される。1) では、隣接する非衛星衛星網間では空間分離が必要であり、電波干渉を生じさせない健全な分量の非静止衛星網は有限であること、3) では、電力束密度の制限を巡り、静止衛星軌道システム運用事業者と非静止衛星軌道システム運用事業者間の相対する立場が見られた。数千～数万機体の大多数の衛星を配備することで、非静止衛星網の構築に関する競合が、先行者によって先制されているという指摘も確認した。

ITU は 193 か国が加盟する国際組織であり、署名を伴う国家単位での加盟となるが、大多数の国において電気通信事業は民間企業運営へ移行している。このため、条約と等しく法的拘束力を持つ RR の改訂においても、電気通信網の運用者である民間事業者が参画し、技術的詳細や運用環境の実態を考慮しながら改訂作業が進む。例えば電力束密度は、静止

衛星網及び非静止衛星網のそれぞれのサービス提供エリアや確実な接続（途切れない通信接続）にも関与し、またサービスを提供するために最低限配備しなければならない衛星数や地上施設の規模にも影響を与える。ユーザー獲得数や設備投資額も含めて事業計画や経営戦略にも直結するため、詳細な討議が実施される状況が認識される。

多数国の主管庁に加え、実際に衛星網を構築、運用する多数の民間事業者が RR の改訂作業に深く関与することで、衛星軌道及び関連する無線周波数の使用に高い透明性と高い合理化が追求され、数値設定も含めて制度の精緻化が進められる ITU の体制の現状も理解される。

### 第3章 月周回軌道の国際調整手続き

本章では、まず第1節では、米欧や中国が進める大規模な月面活動計画の概要と、月面活動計画に伴って構築される月面及び月周回軌道を含む月通信網の概要に触れる。第2節では、SFCG内の月の無線周波数と月周回衛星軌道の現在の国際調整手続きの進め方を確認し、ITUが実施する静止衛星軌道や非静止衛星軌道の国際調整手続きとの差異を確認することとしたい。

#### 第1節 「Artemis」に関する月通信網の構築（LunaNet, LCRNS, Moonlight）

##### 1. 近年の月面探査の状況

2019年5月、米国NASAは「Artemis」計画を発表し、2022年11月にはArtemis Iとして無人の宇宙輸送/探査機「Orion」の月周回軌道における飛行試験を実施した。Orionは月近傍を2周回した後に、翌月地球へ予定通り帰還している。来たる有人月面活動に向けてNASAは2009年に月周回無人衛星「LRO：Lunar Reconnaissance Orbiter」を打上げており、詳細な月面地図の作成や月面状況のモニタリング、地質（氷等埋蔵量）情報等を収集しながら、現在も月面上空約50kmを継続して運航している。日本では、宇宙航空研究開発機構（JAXA：Japan Aerospace Exploration Agency）が2007年に月面観測や月周回軌道への投入及び軌道姿勢制御技術等の実証を目的とした月周回衛星「かぐや」等を打上げているほか、2023年9月には小型月着陸実証機（SLIM：Smart Lander for Investigating Moon）が打上げられた。SLIMは2023年12月に月周回軌道へ投入され、2024年1月に月面へ着陸した<sup>71</sup>。また、2023年3月から4月までは日本の民間月面探査船「HAKUTO-R」が月面着陸を目指して月周回軌道に滞在した。2023年7月に打上げられ、世界で初めて月の南極付近に着陸したインドの無人月面探査機「Chandrayaan3号」や、翌8月に打上げられたロシア無人月面探査機「Luna25号」、2007年以降継続的に打上げられ、月の裏側への着陸や月面試料採取を実施した中国の無人月面探査機「嫦娥」各号も月面着陸に向けた一定期間、月周回軌道に滞在している。

また、恒久的な月面有人拠点の構築を目指すArtemisに連動して、NASAは月地球間を接続する通信網「LunaNet」の設計を国際標準化も視野に入れて推進、欧州宇宙機関（ESA：European Space Agency）は月面上空に通信衛星コンステレーションの構築を目指す「Moonlight」計画を進めているほか、中国も「国際月面研究基地（ILRE）」プロジェクトにおいて、「Qieqiao」通信網を構想している。

##### 2. 「Artemis」計画の概要（米国）

---

<sup>71</sup> 「資料6-1 XRISMとSLIMの打上げ結果について」宇宙航空研究開発機構（JAXA）、宇宙政策委員会宇宙科学・探査小委員会第57回会合（2023年10月）、「資料83-1 SLIM及びLEV1,2の月面着陸結果について」宇宙航空研究開発機構（JAXA）、文部科学省宇宙開発利用部会第83回会合（2024年2月）<[https://www.mext.go.jp/content/20240226-mxt\\_uchukai01-000034190\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20240226-mxt_uchukai01-000034190_1.pdf)>2024年3月1日最終閲覧

Artemis は NASA が主導する大規模な有人月面活動計画である。現時点の計画では、史上初となる女性飛行士も含めた月面着陸を 2020 年代後半<sup>72</sup>に実現することを目指しており、2030 年代には月面に恒久的な有人滞在拠点を形成、運営することが構想されている。2017 年 12 月、米国大統領による宇宙政策指令第 1 号<sup>73</sup>への署名によって、有人月面探査と続く火星探査の実施が正式に決定され、2019 年 5 月に Artemis 計画として概要が公表された。月面での持続的な滞在を確立し、さらにその次の有人火星探査という長期的目標に向けては、国際的なパートナーシップが重要な役割を果たすことが期待され、欧州 ESA、日本 JAXA、カナダ宇宙庁（CSA：Canadian Space Agency）、オーストラリア宇宙庁（ASA：Australian Space Agency）等も参画する。Artemis 計画を念頭において米国から提唱された Artemis 合意<sup>74</sup>は、月や火星などの宇宙探査や宇宙利用に関する基本原則を示しており、2020 年 10 月に米国や米国、日本などの 8 か国の署名により合意された。2024 年 2 月末時点では 36 か国<sup>75</sup>が合意している。

計画は複数の段階から構成されており、前述の Artemis I では、発射システムと宇宙輸送機の飛行実証が行われ、輸送機は軌道変更等の試験を通じて月周回軌道を数日間滞在してから 12 月に地球へ帰還した。2024 年以降に予定されている Artemis II では有人の月周回軌道への飛行が計画され、Artemis III では有人月面着陸が計画されている。長期的には 10 以上の段階が提案されており、民間企業が月面経済圏を形成するための基盤構築も視野に入れている。また月周回軌道上には、月探査だけでなくその先の火星探査活動への活用も見込まれる国際有人宇宙基地「Gateway」の配備も計画されている。

これらの活動と設備に不可欠な機能として、NASA は月面及び月周回軌道上を含む月探査活動のための通信網「LunaNet」の開発を、また Artemis に協力する ESA は月周回軌道

---

<sup>72</sup> NASA は 2024 年 1 月に、Artemis 計画のスケジュール変更を公表。Artemis II（月近傍軌道への有人飛行）は 2024 年後半から 2025 年 9 月へ、Artemis III（月面有人着陸）は 2025 年後半から 2026 年 9 月へ移行した。延期は、飛行カプセルの断熱シートや生命維持装置等の技術的課題に対処するため。NASA News Release, ‘NASA Shares Progress Toward Early Artemis Moon Missions with Crew’, January 09 2024 <<https://www.nasa.gov/news-release/nasa-shares-progress-toward-early-artemis-moon-missions-with-crew/>> 2024 年 3 月 1 日最終閲覧

<sup>73</sup> “Space Policy Directive-1, Presidential Memorandum on Reinvigorating America’s Human Space Exploration Program”, White House <<https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/presidential-memorandum-reinvigorating-americas-human-space-exploration-program/>>

<sup>74</sup> “The Artemis Accord, Principles for Cooperation in The Civil Exploration and Use of the Moon, Mars, Comets, and Asteroids for Peaceful Purposes”, NASA <<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2022/11/Artemis-Accords-signed-13Oct2020.pdf>>

<sup>75</sup> アルゼンチン、オーストラリア、アンゴラ、バーレーン、ベルギー、ブルガリア、ブラジル、カナダ、コロンビア、チェコ、エクアドル、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイスランド、インド、イスラエル、イタリア、日本、ルクセンブルク、メキシコ、オランダ、ニュージーランド、ナイジェリア、ポーランド、韓国、ルーマニア、ルワンダ、サウジアラビア、シンガポール、スペイン、ウクライナ、アラブ首長国連邦、イギリス、アメリカ、ウルグアイ（36 か国、2024 年 3 月 1 日時点）

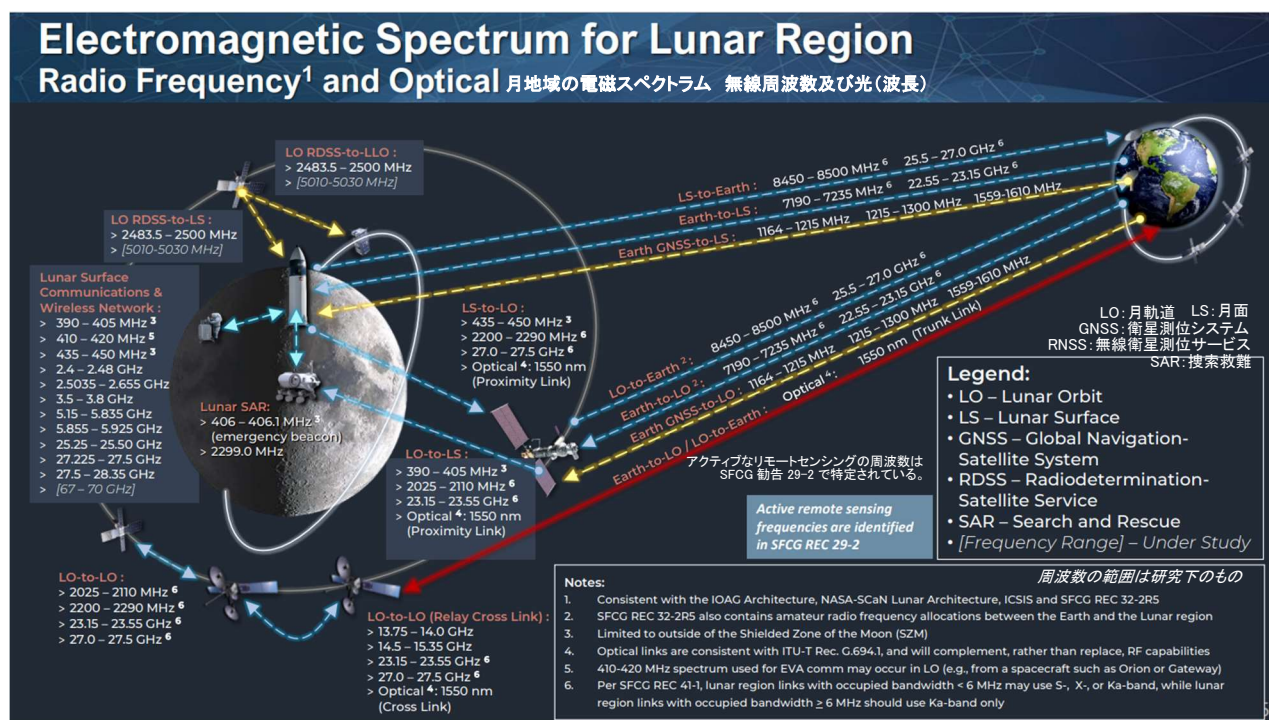
上の衛星網「Moonlight」の開発を進めている。

### 3. 「LunaNet」の概要（米国）

LunaNet は、米国 NASA が Artemis 事業に伴って開発を進める、月面及び月近傍の一連の通信インフラの全体構想である。月面及び月近傍での長期的な探査活動や滞在拠点の形成には、月面通信や月面航法、遭難救助等のための一連の通信機能が不可欠なことから、これらの需要に応じた望ましい月面及び月近傍の通信インフラの全体構造がまとめられている。

全体像は図 6 のとおりであり、月面内通信や月地球間通信、月軌道と月面間通信等から構成されている。LunaNet から提供される機能としては、通信サービス、位置測定・航

【図 6：LunaNet の概要】



注釈 1. IOAG\*設計、NASA-SCaN 月面設計、ICSIS 及び SFCG 勧告 32-2R5 と一致する。2. SFCG 勧告には、地球と月地域の間のアマチュア無線周波数の割当てにも含まれる。3. 月の保護領域（電波天文観測のために特定の電波規制が適用される区域）外に限定される。4. 光通信は ITU-T 勧告 G.694.1 と一致しており、電波通信の機能を置換えるのではなく補完する。5. 船外活動に使用される 410 - 420MHz は月周回軌道上で発生する可能性がある（例えば Orion や Gateway 等の宇宙機から）。6. SFCG 勧告 41-1 に従って、占有帯域幅が 6 MHz 以上の月地域リンクは Ka 帯のみを使用する必要があるが、占有帯域幅が 6 MHz 未満の月地域通信は S、X、または Ka 帯を使用できる。【※IOAG 等は後述】

出典：Richard Reinhart, NASA Glenn Research Center, “Lunar Communications and Navigation：Integrating Government, Commercial, and International Partner Solutions”, Global Satellite Servicing Forum, October 2023

法・時刻同期（PNT: Position, Navigation, and Timing）サービス、検出及び情報サービス等が計画され、それぞれのサービスの提供に望ましい無線周波数帯や光通信の利活用も特定されている。

通信サービスでは、地球上のインターネットで広く適用されている IP（Internet Protocol）技術による即時通信のほかに、遅延／中断耐性ネットワーク（DTN: Delay/Disruption Tolerant Networking）技術を用いて、即時通信が困難な場合に、時間をかけながらも最終宛先まで伝送を可能とする通信方式が定義されている。信号遮断等が生じた際にも、通信網を構成する各ノードに伝送データを一時保管し、伝送経路が決まった際にそのノードから送信することで、通信中断に対して耐性を持ち高い確実性で最終宛先まで伝送を可能とすることが特徴である。また月面通信では、月面通信設備と移動可能な月通信端末の間の多重的な接続として 4G や 5G、WiFi も視野に入れられており、NASA の委託を受けた Nokia 社による月面 4G の実証の実施も決定している。

PNT サービスは、GPS をはじめとする全地球航法衛星システムが提供する位置・速度・正確な時間を特定する機能を月面でも提供することで、月面における自律的な航法の実現を目指すものであり、精度 10m レベルでの地表測位が計画されている。また、検出及び情報サービスは、不測の事態が生じた時に PNT サービスも活用しながら宇宙飛行士の搜索救助を実施する機能や、潜在的に危険な太陽活動を検出して警報を発する宇宙天気予報に関する機能がある。これらのサービスを提供するため、LunaNet では月周回軌道へ独自の通信衛星及び測位衛星を配置してコンステレーションを構築する「月面通信中継および航法システム（LCRNS）」計画も進められている。

LunaNet の概要は、2020 年 7 月に開催された米国を拠点とする電気・情報工学系の技術標準化団体 IEEE の会合において、NASA ゴダード宇宙飛行センターの研究者の共同研究論文「LunaNet：柔軟かつ拡張可能な月探査の通信及び航法インフラ」<sup>76</sup>で発表された。宇宙活動に関連する多様な米国内外の行政機関や商業組織、研究機関がその機能を使用できるように、当初から相互運用可能な標準規格に準拠した構築が目指されている。2021 年 10 月には標準規格化を目指すための技術的な議論の土台として「LunaNet 相互運用性仕様」の初版が公表され、2022 年 2 月には最新版の第 4 版<sup>77</sup>が公表された。現在は第 5 版に向けた改訂作業が進められている。

LunaNet の開発方針は NASA の説明資料<sup>78</sup>によると以下のとおりである。

- ・サービス指向（Service-Oriented）：サービスには、データ伝送や位置測定・航法・時刻同期、（宇宙天気等による）危険が生じた際に警告する機能等が含まれる

---

<sup>76</sup> David J. Israel, NASA Goddard Space Flight Center 他 “LunaNet: a Flexible and Extensible Lunar Exploration Communications and Navigation Infrastructure”, 2020 IEEE Aerospace Conference

<sup>77</sup> “LunaNet Interoperability Specification Document Version 4”, NASA

<sup>78</sup> James Schier, Chief Architect Space Communications and Navigation (SCaN) Program, “LunaNet Overview”, NESCA Unique Science from the Moon in the Artemis Era Workshop, June 2022

- ・ 拡張性 (Scalable) : 初期の宇宙活動には最小限の機能を導入し、新たな利用者等の需要に応じて提供する機能を拡張していく
- ・ オープン性 (Open) : インターネットのようにオープンな国際標準に基づく
- ・ 強靱性 (Resilient) : ネットワーク拡大につれて、障害や停止に対する強靱性が向上する
- ・ 安全性 (Secure) : サイバー脅威への防御や早急な回復を通じて機密情報を保護する
- ・ 展開性 (Extensible) : LunaNet の概念をあらゆる惑星体へ適用する

強靱性や安全性といった、通信網設計に一般的に求められる性質に加えて、国際標準化や今後の通信網の発展、他の天体へ応用を視野に入れたオープン性や拡張性、展開性が特徴的である。今後、月をはじめとした宇宙における人間活動が長期的に拡大していくことを見据えて、Artemis 関係国や宇宙研究機関だけに閉じることのない通信網、例えば通信網構築に商業組織が参画する機会や、構築された通信網を他の宇宙機関や商業組織が活用する機会、さらに他の宇宙機関が構築した通信網と相互接続する機会も視野に入れていることが読み取れる。

月通信網の設計開発は、米露欧加日から構成される国際宇宙ステーションの宇宙機関で形成した「国際通信システム相互運用性標準 (ICSIS)」<sup>79</sup>や、米加日と欧州各国の宇宙機関で構成される宇宙機関間運用諮問グループ (IOAG) でも検討されているが、仕様書第4版には、これらの設計文書に置き換わることを目的としたものではないことを明記したうえで、第5版の素案について、NASA は 2023 年 11 月末まで広く意見や提案の募集を行い、関係する行政機関や IOAG 等とこれらの意見や提案を検討しながら確定版への改訂作業を進めるとしている。

#### 4. 月面通信中継及び航法システム (LCRNS) の概要 (米国)

LunaNet では、月面内通信や月地球間通信の中継機能と、月面への PNT 機能を提供するため、複数の月周回軌道から構成される衛星コンステレーション「月面通信中継及び航法システム (LCRNS : Lunar Communications Relay and Navigations Systems)」の構築が計画されている。

構築計画は時期に応じて3段階に設定されており、2023年 - 2025年頃の初期には、Artemis で重要な活動地点となる南極付近と月の裏側を周回する軌道が整備される予定である。月の表側（地球を向いている側）において、月周回衛星と地球間の直接通信や月面と地球間の直接通信の機能を提供するほか、南極や月の裏側の特定の場所への通信伝送機能の提供が計画されている。早ければ2024年にも、翌2025年に予定されている有人着陸システムの支援を LCRNS は始める予定であり、Artemis の事業計画の段階に沿って、月面着陸地点や活動拠点の場所に応じた機能提供と周回軌道が選定されている。

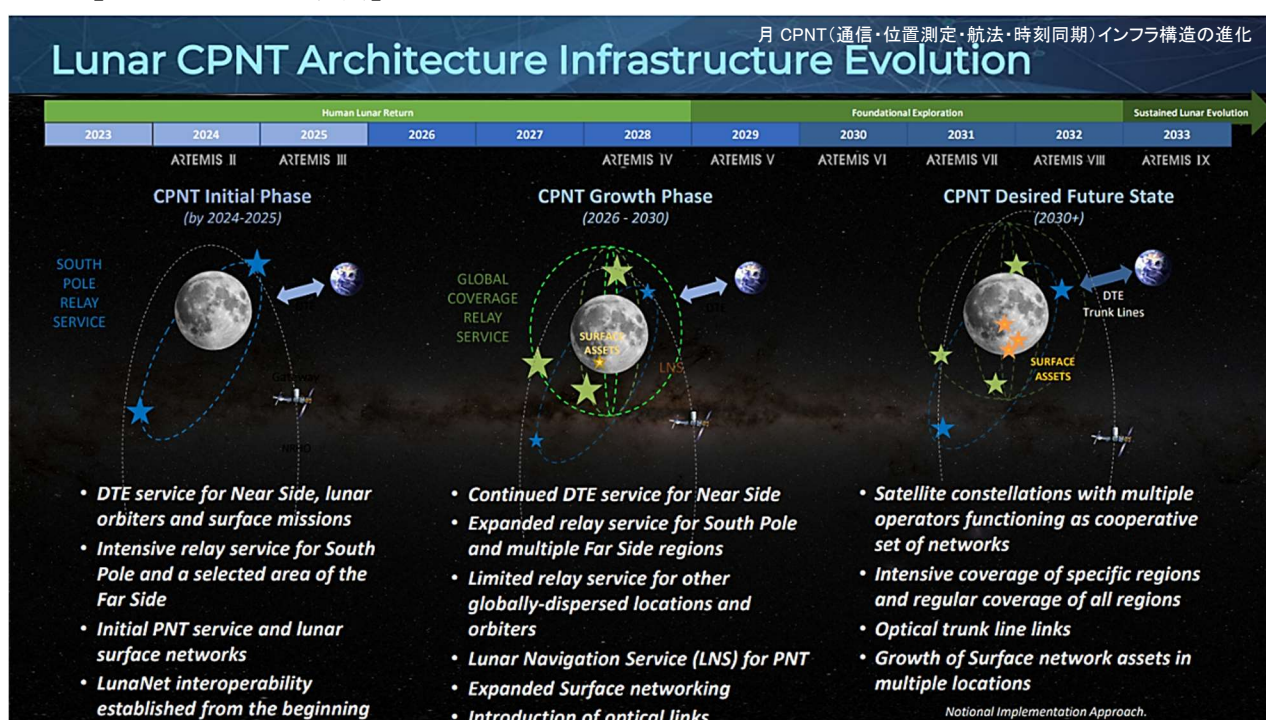
---

<sup>79</sup> “International Communication System Interoperability Standards, Revision A”, September 2020, International Deep Space Interoperability Standards (NASA, ROSCOSMOS, ESA, JAXA, CSA)

2026 年 - 2030 年の第二段階では、第一段階で整備された南極中継軌道に加えて、月全域をカバーする複数の月周回軌道が整備されることで、極地だけでなく月面各地へ一定程度の通信伝送機能が提供されることとなる。月面における通信拠点設備の設置や、現在研究開発が進捗しつつある光通信<sup>80</sup>の導入もこの段階の視野に入れられている。

さらに 2030 年以降の第二段階では、複数の運営者による衛星コンステレーションが協調的に稼働する月周回衛星網が形成されることで、月全体の通信が定常的にカバーされることが展望されている。光通信による月地球間の基幹伝送の形成や、月面における複数の通信拠点の整備が、望ましい将来状況として描かれている。

【図 7：LCRNS の概要】



- ・当初段階（2024 年 - 2025 年まで）：月の地球側、月周回衛星及び月面活動のための、地球との直接接続（DTE）サービス。月南極と月の裏側の特定の地域へ集中的な通信中継サービス。初期の PNT サービスと月面通信網。LunaNet の相互運用性を当初から確立。
- ・発展段階（2026 年 - 2030 年）：月の地球側へ DTN サービスを継続。南極及び月の裏側の複数地域へ通信中継サービスを拡大。月球体上に分散するその他の各地と月周回軌道へ限定的な通信中継サービス。PNT への月航法サービスを提供。月面ネットワークを拡大。光通信を導入。
- ・望ましい将来の状況（2030 年以降）：協調的なネットワークのセットとして機能する複数の運用者による衛星コンステレーション群。特定の地域へ重点的な通信提供と全ての地域へ定常的な通信提供。光通信による幹線接続。複数地点における月面通信設備の拡張。

出典：図 6 と同じ

<sup>80</sup> 電波と比較して大容量通信が可能だが、雨等によって減衰しやすい性質を持つ。大気が存在しない宇宙空間や月での利用が期待視されている。

LCRNS も当初の段階から相互運用性に基づく構築が意図されており、月周回軌道の機体や提供される機能への技術的な性能要件は、2022 年 10 月に初版が策定された「月通信中継サービス要件文書」<sup>81</sup>にまとめられて、公開されている。各機能が使用すべき無線周波数帯域の指定や、他の通信に干渉を与えてはならない等の LCRNS 構築方針等も明記されており、今後の LCRNS 構築への潜在的な参画者や、通信及び航法サービスの提供を受けて月面での探査活動や商業活動を企画する国内外の月活動関係者へ LCRNS の情報を提供し、彼らの事業計画の予見性を高めていると考えられる。

## 5. 「Moonlight Initiative」の概要（欧州）

2021 年 5 月、ESA は、持続可能な宇宙活動を可能にするための月周回衛星コンステレーションの構想「Moonlight Initiative」を発表した<sup>82</sup>。月周回軌道上に 3～4 機の衛星から構成される月衛星コンステレーションを構築し、月面上に通信及び航法サービスを提供する計画である。世界的に多数の月活動が予定されているが、月活動に不可欠な通信・測位衛星システムを個別の活動毎に構築することはコストもかかり非効率的なため、ESA は各国の宇宙機関が統合的に利用できる通信・測位衛星システムを形成することで、効率化を図っている。これによって個々の宇宙活動の設計の複雑さが軽減され、また月面に送り込む通信機器類を削減することで他の計測機器や貨物をより多く積み込むことができるメリット、さらにコスト効率が上がることで、新興の宇宙開発国や民間企業の参入障壁が低減し、宇宙活動自体が活性化する効果も展望されている<sup>83</sup>。

提供される通信サービスの例示には、1)月と地球間における非リアルタイムでの大容量データ伝送機能、2)月と地球間におけるリアルタイムでの映像及び音声通信機能、3)探査車等の遠隔操作に向けたリアルタイムでの遠隔測位・遠隔監視・遠隔指示機能が挙げられている。また航法サービスの例示には、1)リアルタイムでの絶対位置・絶対速度の取得機能、同じくリアルタイムでの正確な時間の取得機能、2)月面へのビーコン設置によるビーコン設置区域内でのより高精度なこれらの機能の提供が挙げられている。

Moonlight 構想の発表に合わせて、英国に拠点を置く Surry Satellite Technology Ltd 社等が主導する産学団体等が、その構築の実施主体候補として選定<sup>84</sup>されており、Surry 社が以前から開発を進めていた月周回軌道上の通信中継衛星「Lunar Pathfinder」が ESA の構

---

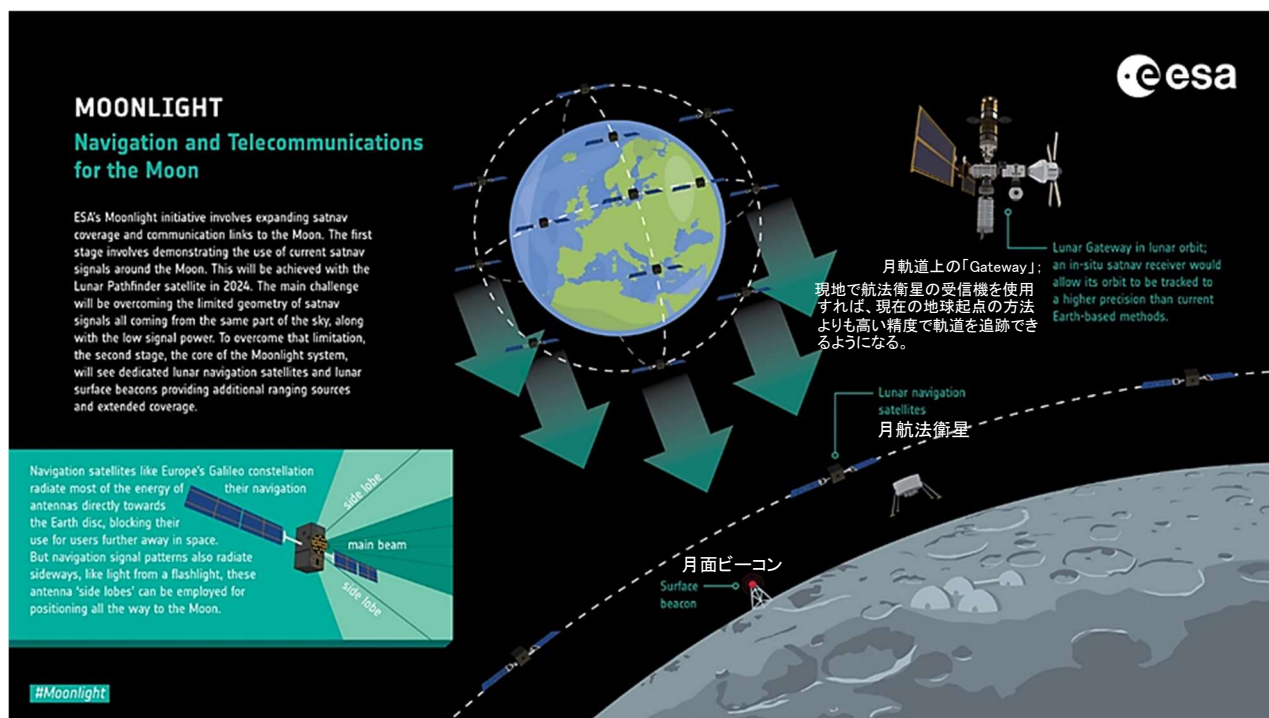
<sup>81</sup> “Lunar Relay Services Requirements Document (SRD), Revision B w/DCN 001”, Goddard Space Flight Center NASA,

<sup>82</sup> ESA advances its plan for satellites around the Moon, ESA, May 2021 <  
[https://www.esa.int/About\\_Us/Corporate\\_news/ESA\\_advances\\_its\\_plan\\_for\\_satellites\\_around\\_the\\_Moon](https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_advances_its_plan_for_satellites_around_the_Moon)

<sup>83</sup> Moonlight: bringing connectivity to the Moon, ESA, May 2021 <  
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2021/05/Moonlight\\_bringing\\_connectivity\\_to\\_the\\_Moon](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2021/05/Moonlight_bringing_connectivity_to_the_Moon)>

<sup>84</sup> “SSTL Lunar to Lead Consortium for ESA Moonlight”, SSTL, May 2021 <  
<https://www.sstl.co.uk/media-hub/latest-news/2021/sstl-lunar-to-lead-consortium-for-esa-moonlight> >

【図 8：Moonlight の概要】



左上：ESA の Moonlight 構想には、衛星測位システムの受信可能範囲と月通信接続の拡大が含まれる。最初の段階では、月の周囲で現在の衛星航法信号の使用を実証する。これは、2024 年に LunaPathfinder 衛星によって実施される予定である。主な課題は、信号出力が低いことに加えて、すべての衛星航法信号が空の同じ部分から到来することによる有限な幾何学構造を克服することである。この制限を克服するために、Moonlight システムの中核である第 2 段階では、専用の月航法衛星と月面ビーコンが追加の測距資源と通信可能範囲の拡張を提供する。

左下：欧州の Galileo コンステレーションのような航法衛星は、航法アンテナのエネルギーの大半を地球に向けて放射し、宇宙のより遠方の使用を妨げる。しかし航法信号は、懐中電灯の光のように横方向にも放射するため、これらのアンテナの「サイドローブ」を使用して月までの間を測位することができる。

出典：ESA, Moonlight - Navigation and Telecommunications for the Moon, May 2021 <

[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2021/05/Moonlight\\_-\\_Navigation\\_and\\_Telecommunications\\_for\\_the\\_Moon](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/05/Moonlight_-_Navigation_and_Telecommunications_for_the_Moon) >

築する月通信及び航法衛星網の最初の主要設備となる見込みである<sup>85</sup>。2025 年に打上げられて月の南極をカバーする楕円周回軌道上に配備され、欧州の地球周回軌道上の測位衛星システム Galileo からの信号を使用して月の測位を実施する計画である。計画は三段階があり、2027 年までの第一段階では Galileo と Pathfinder による地球の測位衛星システムを活用した航法サービス、2027 年から 2035 年までの第二段階では月南極に重点的に航法サ

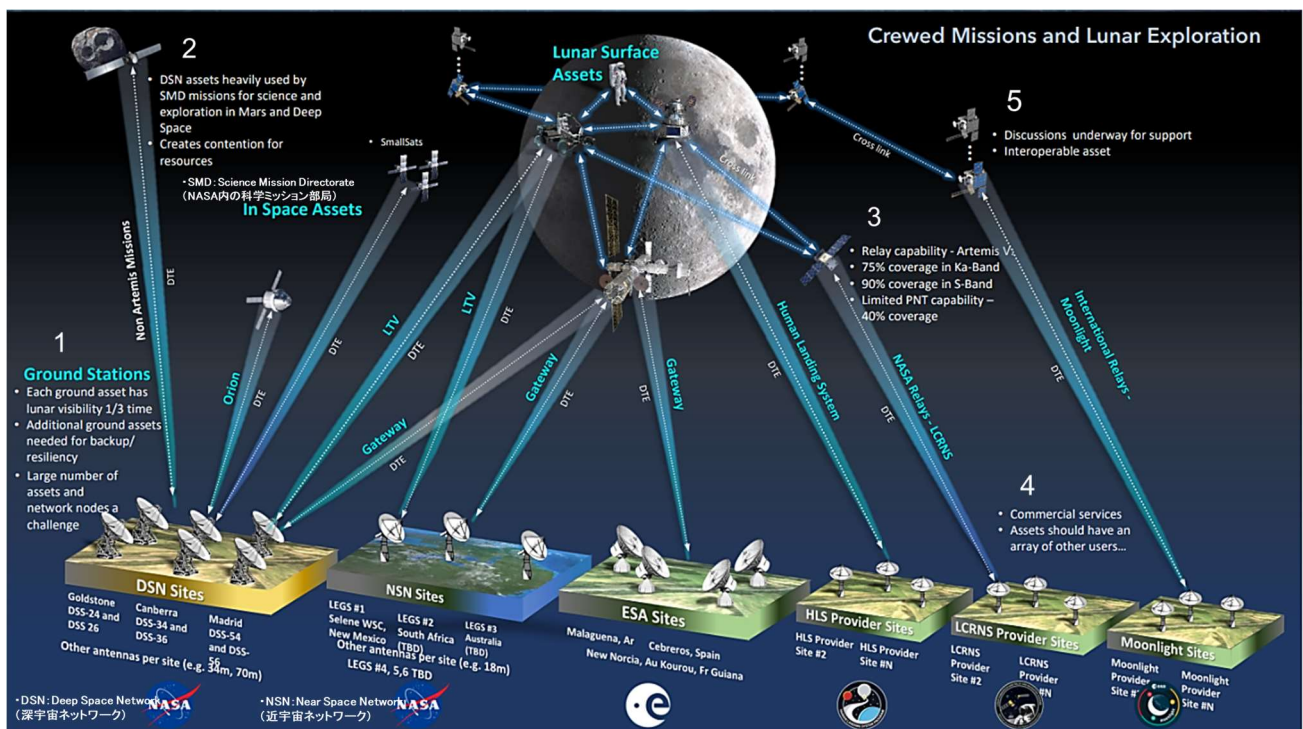
<sup>85</sup> Javier Ventura, “ESA Lunar Navigation Plans: Lunar Pathfinder & Moonlight”, International Committee on Global Navigation Satellite System (ICG) 16<sup>th</sup>, October 2022 <

<https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2022/ICG16/11a.pdf> >

ービスを提供できるよう、月周回軌道上に月航法衛星コンステレーションを構築、2035 年以降の第三段階では月全体に十分な航法サービス提供できるよう、全体的な月航法システムの機能拡張が計画されている。

Artemis を主導する NASA の LunaNet との関係性においては、宇宙飛行士の安全を確保する観点から冗長性として2つのシステムが整備される利点を ESA は示している<sup>86</sup>ほか、Moonlight と LunaNet の両方の衛星が連携することで、様々な宇宙活動を効率的かつ補完的に支援できるよう共同運用の体制を構想した共同構想<sup>87</sup>も策定されている。共同運用の

【図 9：月通信・航法網の全体像（LunaNet、LCRNS、Moonlight）】



- 1.各地上設備の月の視程は 1/3、バックアップ/強靱化のために追加の地上設備が必要、多数の設備とネットワークノード（の使用）が課題
- 2.深宇宙ネットワークは科学ミッション部局の深宇宙探査活動によって多用される、設備資源の競合が発生する可能性がある
- 3.中継機能 - Artemis V: Ka 帯で 75%カバー、S 帯で 90%カバー、制約された PNT 機能で 40%カバー
4. 商業サービス、設備は他のユーザーの順番待ちになる可能性がある
5. 支援に向けて協議中、相互運用可能な設備

出典：図 6 と同じ。NASA の設備に、ESA の地球局及び Moonlight を組込んだ全体像。

<sup>86</sup> Jeff Foust, “ESA awards study contracts for lunar communications and navigation systems”, SpaceNews, May 21, 2021 < <https://spacenews.com/esa-awards-study-contracts-for-lunar-communications-and-navigation-systems/> >

<sup>87</sup> “Joint Concept of Operations for Cooperative Lunar Relay and Navigation Service (Preliminary Draft)”, ESA and NASA, December 2022

対象には、月周回衛星の軌道位置の使用に関する合意形成も含まれている。案の中では、ESA と NASA は、月の通信中継及び航法サービスは調達によって実施し、民間事業者がこれらの月通信等設備を構築し運用する形態を計画していることが明記されている。このため、通信及び航法網を構築しサービス提供者となる民間月通信等事業者と、このサービスを利用するサービス利用者（多様な組織が想定される）、そして宇宙機関である ESA と NASA の、三者間の調整を図るための組織体制や、数段階から構成される調整手順が既に計画されている。

現時点では共同構想は素案の状態だが、月通信等のサービス提供者になる可能性のある民間事業者（潜在的なサービス提供者）や、これらの月通信等サービスの利用者になる可能性がある者（潜在的なサービス利用者）からの意見も考慮しながら、今後具体化が行われる予定とされている。

なお、民間企業による月近傍の通信網構築への参画では、例えば Lockheed Martin 社が 2023 年 3 月に、月近傍及び月面上の探査機に通信及び航法の機能を提供する新会社「Crescent Space Services LLC」の設立を発表した<sup>88</sup>。初期は 2025 年に打上げられる 2 機の衛星によって月周回軌道上に衛星コンステレーションを構築し、「Parsec」と称するサービスを開始する計画であるが、他の商業機関や NASA の月活動による需要に応じて、将来的に衛星を追加することも視野に入れている。NASA は観測機器や月面走行機等の月への輸送を民間企業に有償で委ねるサービス<sup>89</sup>を実施しており、これによって月面着陸の支援のために通信及び航法機能への需要が高くなると Crescent 社は見込んでいる。通信規格は相互運用性を推進する LunaNet に準拠し、そして Moonlight が示唆される他の月面通信システムともローミングできるようになることも展望している<sup>90</sup>。

## 6. 日本における月通信技術の研究開発

Artemis に連動した月通信に関する日本国内での研究開発としては、内閣府宇宙政策委員会衛星開発・実証小委員会が採択やフォローアップを実施する「宇宙開発利用加速化戦略プログラム（スターダストプログラム）」において、2021 年度から開始されている「月面活動に向けた測位・通信技術開発」<sup>91</sup>が挙げられる。JAXA と情報通信研究機構

---

<sup>88</sup> News Release, “Crescent Space to Deliver Critical Services to a Growing Lunar Economy”, Crescent Space Services LLC, March 2023 < <https://cdn2.assets-servd.host/crescent-space/production/files/Crescent-Space-Official-Press-Release.pdf?dm=1680007839> >

<sup>89</sup> CLPS : Commercial Lunar Payload Services. 複数の民間企業のサービスを利用する形式を取ることで、競争の活発化や価格の低下を見込む。米国の民間企業 14 社が採択されている。NASA < <https://www.nasa.gov/reference/commercial-lunar-payload-services/> > 参照。

<sup>90</sup> Jeff Foust, Lockheed Martin subsidiary to offer commercial lunar communications and navigation services, SpaceNews, March 29, 2023 < <https://spacenews.com/lockheed-martin-subsi-dary-to-offer-commercial-lunar-communications-and-navigation-services/> >

<sup>91</sup> 「資料 71-6 宇宙開発利用加速化戦略プログラム（スターダストプログラム）について（継続案件）」

(NICT : National Institute of Information and Communications Technology) を通じて、国内 10 社程度が参画するコンソーシアム形式で実施されている。通信の検討では、地球と月間の通信で十分な回線容量を確保し、かつ活動域である月南極をカバーする月周回軌道として ELFO 軌道<sup>92</sup>が、衛星機体の消費電力と軌道の安定性の観点から望ましいこと、また地球周回衛星と月周回衛星間では光無線通信の利用が見込めるが、月周回衛星と月面間では、月面端末の重量や大きさの観点から電波通信が必要となること等が検討されている<sup>93</sup>。航法・測位では、月面サービス区域にいる利用者が常時 4 機以上の可視衛星数を確保できるよう、ELFO 軌道に 8 つの衛星から構成されるコンステレーションを設置する構想を立て、月面受信システムや地球上設備、信号形式等の検討が進められている<sup>94</sup>。

## 第 2 節 「ILRS」に関する月通信網の構築 (Qieqiao)

### 1. 国際月面研究基地 (ILRS) プログラムの概要 (中国)

国際月面研究基地 (ILRS : International Lunar Research Station) <sup>95</sup>は、中国国家航天局 (CNSA : China National Space Administration) が主導する国際的な月面研究基地である。エネルギー供給能力や通信及び航法機能等を備え、月面及び月周回軌道上で長期間自律的に活動することで、科学探査・研究、資源開発・利用、最先端技術の検証など、多分野・多目標・大規模な科学技術活動を継続的に実施する総合科学実験施設として計画されている。2010 年代後半から提案されており、2021 年 3 月、中国国家航天局とロシアのロスコスモスが ILRS 共同建設のための覚書を締結したことで公式に実施が決定された<sup>96</sup>。2023 年 4 月には、ILRS 建設に向けた国際的パートナーとの調整・管理のための ILRS 協力機構 (ILRSCO : ILRS Cooperation Organization) を設立することが発表され、2023 年 12 月時点では 8 ヶ国及び 6 機関<sup>97</sup>が ILRS プログラムに加盟している。

---

文部科学省宇宙開発利用部会第 71 回 (2022 年 12 月)

<sup>92</sup> ELFO Elliptical Lunar Frozen Orbit : 楕円月凍結軌道。天体の扁平性や引力、空気抵抗等に影響されないよう、最小の推進剤使用で長期安定的に留まることができるよう調整された軌道が凍結軌道。

<sup>93</sup> 高橋 幹 (KDDI 総合研究所) その他、「衛星を含めた宇宙での通信実現に関する取組み」『電子情報通信学会誌』、Vol.106, No.5, 2025 年 5 月

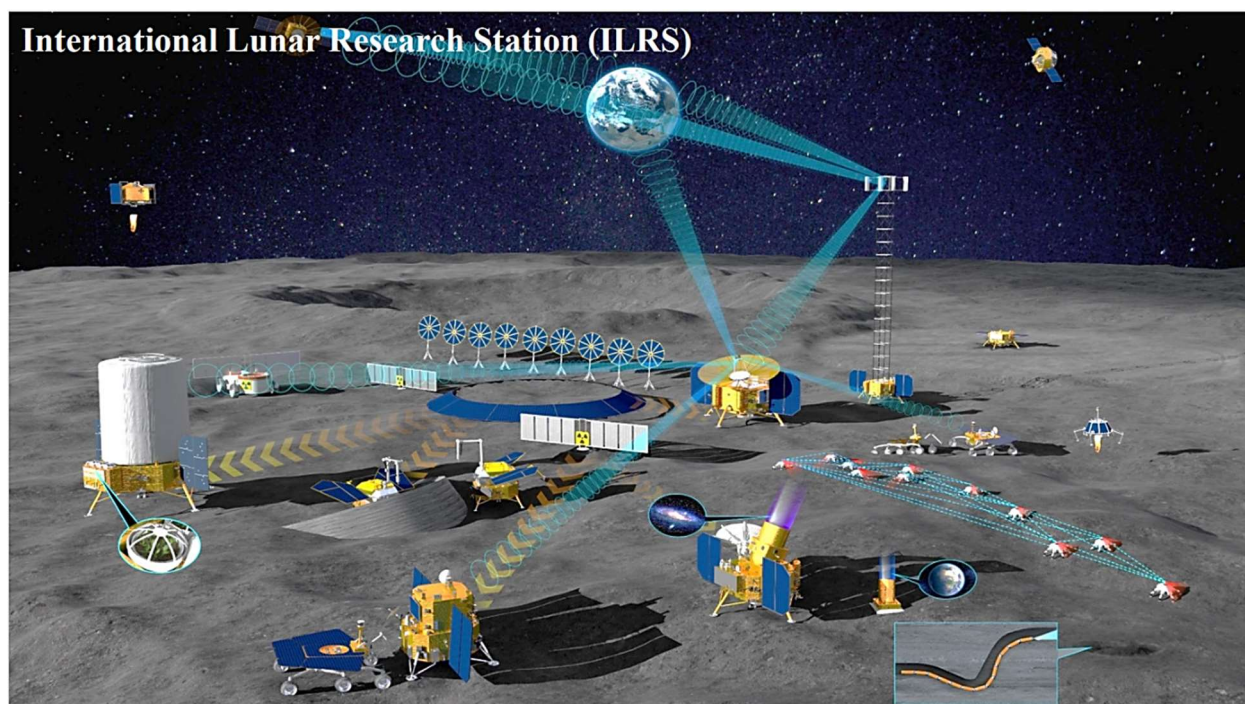
<sup>94</sup> 渋川 季裕、株式会社アークエッジ・スペース、「超小型衛星を用いた月測位実証ミッションに関する検討状況」、第 5 回月測位研究会、2023 年 10 月

<sup>95</sup> Deep Space Exploration Laboratory of CNSA, “International Lunar Research Station (ILRS)”, UNCOPUOS 66th Session, May-June 2023 <  
[https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2023/TPs/ILRS\\_presentation20230529\\_.pdf](https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2023/TPs/ILRS_presentation20230529_.pdf) >

<sup>96</sup> Andrew Jones, “China, Russia enter MoU on international lunar research station”, SpaceNews, March 9, 2021 <  
<https://spacenews.com/china-russia-enter-mou-on-international-lunar-research-station/> >

<sup>97</sup> 中国、ロシア、ベネズエラ、南アフリカ、アゼルバイジャン、パキスタン、ベラルーシ、エジプト、アジア太平洋宇宙協力機構 (APSCO)、nanoSPACE AG (スイス民間企業)、国際月天文台協会 (ILOA)、タイ国立天文学研究所 (NARIT)、Sharjah 大学 (アラブ首長国連邦の私立大学)、アドリア海航空宇宙協会 (A3)。署名者情報は、Andrew Jones, “Egypt joins China’s ILRS moon base initiative”, SpaceNews,

【図 10：ILRS の概要】



出典: 注 101 と同じ

計画には3段階が設定されており、第1段階では2024年に中国の嫦娥6号によって月の裏側からの試料採集（サンプルリターン）を実施、次いで2026年に嫦娥7号によって月の南極付近の環境調査や資源探査を実施、また月面着陸機や通信中継機等を月面に配備、さらに2028年に嫦娥8号によって月面走行車やロボットを配備、月資源の活用に関する実証実験を実施する計画である。第二段階では月面での長期的なエネルギー供給システムや通信中継システムの構築と確立、地形調査や月面での生物学的科学実験等の実施と、これらの科学研究活動を長期的に実施するための月面施設の設立が計画されている。さらに2040年以降の第三段階では、第二段階で構築したILRSの安定的な運用に加えて、火星探査への展開が構想されている。

## 2. 「Qieqiao（鵲橋）<sup>98</sup>」衛星コンステレーションの概要（中国）

中国が主導するILRSプロジェクトにおいても、月地球間通信や月面通信インフラとして月周回軌道上の衛星コンステレーションを含めた月通信網「Qieqiao」の構築が計画されている。2019年1月、史上初めて月の裏側へ着陸した嫦娥4号では、月周回軌道上に配備された通信中継衛星Qieqiaoが、地球と月の裏側との間の遠隔制御の通信を確保した。

---

December 7, 2023 < <https://spacenews.com/egypt-joins-chinas-ilrs-moon-base-initiative/> >に基づく。

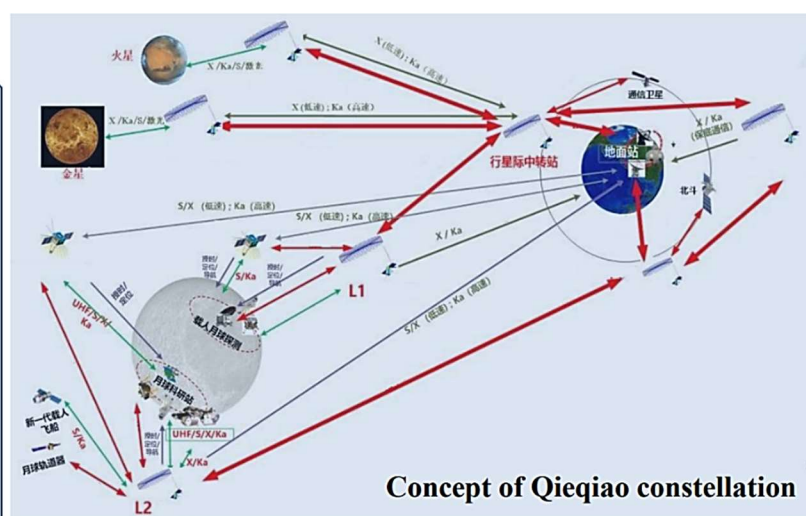
<sup>98</sup> 七夕（旧暦7月7日）に鵲が翼を並べて天の河に架けるとされる伝説上の橋に因む。

初号機の性能を上げた Qieqiao2 は、2024 年から 2028 年にかけて打ち上げされる嫦娥 6 号～8 号の、月の裏側及び南極付近での着陸及び月面探査活動を支えるため、2024 年にも打ち上げられる予定となっている。続く Qieqiao3 では複数の衛星機体を用いて、月面における通信・航法・リモートセンシングサービス提供の実証が計画されている。

Qieqiao 計画も複数の段階が設定されており、第二段階では複数の月周回軌道に衛星コンステレーションを構築することで、月面全域へのこれらのサービス提供が目指されており、さらに第三段階では、光通信技術を適用した火星及び金星への通信網の拡張が展望されている<sup>99</sup>。

【図 11：Qieqiao の概要】

- Build the Qieqiao comprehensive constellation with the ability of communication, navigation and remote sensing in the earth-moon space and far-reaching space.
- Serve for manned lunar landing, Mars, Venus and other deep space exploration.



左上：地球-月空間及び遠方宇宙での通信、航法、リモートセンシングの能力を備えた総体的な Qieqiao コンステレーションを構築する

左下：有人月面着陸、火星、金星、その他の深宇宙探査にも役立つ

出典：注 101 と同じ

なお、Qieqiao 計画のほか、CNSA は 1 機の親衛星と 8 機の子衛星（合計 9 機の衛星）で構成される月周回電波望遠鏡を 2026 年に打ち上げる計画も、2023 年 6 月に発表している<sup>100</sup>。子衛星は電波の検出、親衛星はデータ処理及び地球との通信を実施することで、地上の望遠鏡では捉えられない 30MHz 以下の電波を観測し、ビッグバンの発生から数億年以内に放出された電波をとらえ、宇宙の初期の姿を解き明かすことを目的としている。

<sup>99</sup> Andrew Jones, “China wants a lunar satellite constellation to support deep space missions”, SpaceNews, October 5, 2023 < <https://spacenews.com/china-wants-a-lunar-satellite-constellation-to-support-deep-space-missions/> >

<sup>100</sup> Tereza Pultarova, “China wants to launch a moon-orbiting telescope array as soon as 2026”, Space.com, June 10, 2023 < <https://www.space.com/china-moon-orbiting-radio-telescope-2026> >

### 第3節 宇宙周波数国際調整グループ（SFCG）の概要

#### 1. ITU-R 科学業務に関する研究委員会（SG7）作業部会 7B の概要

SFCG に関与することから、先に ITU-R の月に関連する研究委員会の概要を確認したい。SG7 科学業務の対象には、標準周波数及び標準時信号、地球探査衛星、気象衛星、気象観測支援に加えて、電波天文学や宇宙研究等が含まれており、これらの業務に適した無線通信技術の研究、電波干渉を回避するための調整や勧告等の形成を実施している。SG7 は4つの作業部会から構成されており、作業部会 7A は標準時間信号と周波数信号に関する業務、7B は宇宙無線通信業務、7C は地球探査衛星及び気象観測装置に関するリモートセンシングシステム、7D は電波天文業務を所管している。

WP 7B は宇宙運用・宇宙研究・地球探査衛星等で使用される遠隔指示、追跡及び遠隔測位データの送受信を管轄しており、有人及び無人宇宙輸送機の通信や、天体間の通信、通信中継衛星の使用に関する研究を行っている。これには宇宙輸送機に適した無線周波数帯の特定等も含まれている。宇宙探査活動には地球から 100 億 km 離れた活動もあることから、遠隔制御を行う性質上、高度な通信機器と技術が必要とされており、研究成果は ITU-R 報告書の SA（宇宙応用と気象学）シリーズにまとめられている<sup>101</sup>。

なお、1997 年に発出された質問「月及び/又は惑星の通信中継衛星による、地球局と月及び/又は惑星活動間の無線接続」<sup>102</sup>では、ITU-R は加盟国に対し、月通信中継システムに望ましい周波数帯域や帯域幅、軌道要件等に関する質問を投げかけており、2023 年までに月通信中継システムの概念をまとめるよう指示している。2019 年に公表された Artemis 等の前から大規模な月活動計画への潜在的な関心があったことや、月通信網の構築に向けた検討がなされていたことが読み取られる。

#### 2. 宇宙周波数国際調整グループ（SFCG）の概要

宇宙活動に関する無線周波数資源の課題に対処するため、世界各地域の宇宙機関の多国間協議の場として 1980 年に ESA の提案によって設立され、現在は NASA（米国）や ESA（欧州）、JAXA（日本）、ROSCOSMOS（ロシア）、ISRO（インド）、CNSA（中国）等の 27 か国・地域、35 機関が加盟、運営する組織である<sup>103</sup>。その活動内容は決議「宇宙周波

---

<sup>101</sup> ITU web 上には 2023 年 11 月時点で 34 件が公表されている。< <https://www.itu.int/pub/R-REP-SA/en> >

<sup>102</sup> Question ITU-R 222-2/7, Radio links between earth stations and lunar and planetary missions by means of lunar and/or planetary data relay satellites

<sup>103</sup> 加盟機関は、アルゼンチン宇宙活動委員会（CONAE）、オーストラリア宇宙庁（AUA）、オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）、オーストラリア宇宙局（ASA）、ゼルバイジャン宇宙機関（AZERCOSMOS）、ブラジル国立宇宙研究所（INPE）、カナダ宇宙庁（CSA）、北京理工大学（BITTT）、中国空間技術研究院（CAST）、中国国家衛星気象センター（CMA）、中国国家宇宙科学センター（NSSC）、中国衛通集团有限公司（SATCOM）、中国国家無線監視センター（SRMC）、エジプト宇宙機

数調整グループの付託条項」<sup>104</sup>において、以下のとおり定められている。

- ・宇宙システムやサービスの現在や将来の計画、またこれらに影響を与える他システムに関する早期理解を促進する
- ・宇宙活動に関する問題領域や調整の必要性、そしてこれらに関する潜在的な解決策を調査する
- ・各宇宙無線通信サービスに割当てられた周波数帯域の、将来の秩序ある利用に関連する問題と政策事項を特定する
- ・上記で特定された宇宙無線通信サービスの現在及び将来の周波数ニーズに関して、SFCG 加盟機関が取るべき行動方針を提案する
- ・加盟機関が無線通信に関する地域団体（例えばアジア太平洋電気通信共同体、欧州郵便電気通信主管庁会議、米州電気通信委員会等）や ITU-R SG への貢献を促進すべき事項を特定すること、あるいは加盟機関の行政が ITU WRC に提案を行うよう奨励する
- ・周波数管理の分野において、他の宇宙機関や、宇宙関連の周波数帯域が割当てられた商業または研究利用者と緊密に協力する
- ・SFCG の利益に影響を与えるその他のあらゆる技術的、運用的、管理的性質の項目を検討する
- ・関連する目的を持つ他の国際機関との強い結びつきを維持する

SFCG は、ITU で定義される宇宙研究や地球探査衛星、気象衛星、航法衛星、電波天文学、宇宙輸送などの宇宙無線通信に関する、各国宇宙機関間の議論と調整の機能を持って

---

関（EGSA）、欧州気象衛星機関（EUMETSAT）、欧州宇宙機関（ESA）、フランス国立宇宙センター（CNES）、ドイツ航空宇宙センター（DLR）、インド宇宙研究機関（ISRO）、イタリア宇宙事業団（ASI）、日本宇宙航空研究開発機構（JAXA）、マレーシア国立宇宙局（National Space Agency）、ナイジェリア国家宇宙研究開発機関（NASRDA）、韓国航空宇宙研究院（KARI）、ロシア連邦宇宙機関（ROSCOSMOS）、南アフリカ国立宇宙機関（SANSA）、スペイン国立航空宇宙技術研究所（INTA/INSA）、スウェーデン宇宙公社（SSC）、台湾国立宇宙機関（TASA）、オランダ宇宙局（NSO）、ウクライナ国立宇宙機関（NATIONAL SPACE AGENCY OF UKRAINE）、アラブ首長国連邦ドバイ政府宇宙機関（MBRSC）、イギリス宇宙機関（UKSA）、アメリカ航空宇宙局（NASA）、アメリカ海洋大気庁（NOAA）の 35 機関（26 か国・地域）。

オブザーバ機関は、宇宙データシステム諮問委員会（CCSDS）、地球観測衛星委員会（CEOS）、気象衛星調整会議（CGMS）、欧州気象サービスネットワーク（EUMETNET）、国際地球科学・リモートセンシング学会（IEEE GRSS）、宇宙機関間運用諮問グループ（IOAG）、国際電気通信連合無線通信部門研究委員会 7（衛星・科学業務）（ITU-R/SG7）、国際 TOVS（大気観測装置）作業グループ（ITWG TOVS/ATOVS）、電波天文と宇宙科学の周波数割当てに関する科学委員会（IUCAF）、世界気象機関（WMO）、その他名誉会員（Honorary Members）。

<sup>104</sup> Resolution SFCG A6-1R2, Terms of Reference of The Space Frequency Coordination Group (SFCG)

いる。各国宇宙機関が協業して宇宙無線通信に関して ITU へ提案すべき内容の形成や、将来の周波数需要に関する方針の検討、また、各宇宙活動間で生じうる電波干渉の事前回避のための運用調整等が実施されている。

設立以来、毎年年次会議を開催しており、直近では 2023 年 5 月から 6 月にかけて第 42 回会合が開催された。現在及び将来の宇宙活動計画や、これに関連する無線周波数帯及び軌道パラメータについての最新状況が加盟者間で情報共有されている。また、技術的決議「世界無線通信会議（WRC）に向けた SFCG の目標」等の既存決議 6 件の改訂、「月地域における通信、位置測定・航法・時刻同期周波数の割当と共有」等の勧告 4 件の改訂と新規勧告 1 件の採択、「8025～8400MHz 帯における地球観測衛星間の干渉リスク評価ガイドライン」等の既存報告書 7 件の改訂と新規報告書 2 件が作成、公表された。

これまでに技術的及び行政的合意を表明する決議 53 件や勧告 37 件等が採択、公表されているが、国際法上の法的拘束力の側面からは、これらの文書の有効性は加盟する各宇宙機関による自発的な受け入れに基づくものであり、勧告等が加盟機関を法的に拘束するための公式手続きは存在しない旨が明示されている<sup>105</sup>。国連配下の組織である ITU に比較して、より柔軟性を高くするための非公式性<sup>106</sup>の特徴も強調されているが、宇宙探査事業は科学研究活動である他方、高度に政治的な側面を持つことから、各加盟組織の自由度の維持を考慮した体制と考えられる。

### 3. WRC23 に向けた、月通信に関する SFCG の考え方

第 42 回会合で改訂された決議「世界無線通信会議（WRC）に向けた SFCG の目標」<sup>107</sup>では、月通信に関連して、2 件の議題に対する意思表示を行っている。

1 件目<sup>108</sup>は、14.8～15.35 GHz 帯における宇宙調査業務への国際分配について、現行の二次分配から一次分配への格上げを支持するものがある<sup>109</sup>。周波数の分配には、優先順位の高い順に一次分配と二次分配があり、一次分配を受けて高い優先順位を持つ一次業務に対して、二次分配を受けて行う二次業務は電波干渉を与えることはできず、また一次業務から電波干渉を受けても二次業務は許容しなくてはならないことが規定されている。現在、同周波数帯は、二次業務として数か国が衛星データ中継システム用途に使用しており、無

---

<sup>105</sup> SFCG 公式 Web, “Objective” < <https://www.sfcgonline.org/About/default.aspx> >

<sup>106</sup> 注 111 と同じ

<sup>107</sup> RES 40-1R4, Objectives of the Space Frequency Coordination Group (SFCG) for the 2023 World Radiocommunication Conference

<sup>108</sup> Agenda Item 1.13

<sup>109</sup> 周波数割当計画では、「一次業務」又は「二次業務」の区分が決められており、二次業務の無線局は、(1) 周波数が既に割当てられ、又は後日割当てられる一次業務の無線局に有害な混信を生じさせてはならないこと、(2) 周波数が既に割当てられ、又は後日割当てられる一次業務の無線局からの有害な混信に対して保護を要求してはならないこと、この 2 つの規律に従って開設することを条件に、周波数の割当を受けることができる。

人宇宙機から静止衛星を経由した地球局への遠隔測位や国際宇宙ステーションとの通信などに用いられているが、今後、月宇宙活動の通信（地球と月面または月軌道上の間の通信など）や月近傍間の通信への使用も期待されている。

SFCG は各国宇宙機関が中心的な加盟者であることから、将来の宇宙開発への国家投資を確保するために優先順位の高い一次分配に格上げする必要性を説明している。国家投資の確保という、国家事業の確実な実施を理由とする表現からは、Artemis をはじめとした世界各国の月宇宙活動の本格化が、一次分配を目指す背景にあることが読み取れる。

なお、ITU - R では、WRC19 の決議 661「14.8～15.35GHz において二次分配である宇宙調査業務の一次分配への格上げ可能性検討」<sup>110</sup>に基づいて、宇宙調査業務を一次業務に上げた際の隣接帯域への影響や、既に一次分配を受けている他の通信業務に追加的な規制が必要無いことを確認するための調査研究が 2019 年以降に開始されている。事前検討が行われていることから、一次業務への指定に向けた準備は既に進みつつある段階と考えられる。

2 件目<sup>111</sup>は、WRC27 の新たな議題に関するものであり、27.5-28.35GHz などの複数の周波数帯において、宇宙調査業務に新たな一次分配が可能かどうかの実現可能性調査の実施を提案するものである。WRC の議題は一つ前の会合で決定されるため、WRC27 の議題案は WRC23 の会合で決定される。このため WRC23 が開催される前から、WRC27 の議題に組み込む必要がある内容が検討されることとなる。第 1 節の SFCG 加盟諸機関の月活動計画では、月面上を移動する探査人員や無人探査車と、実験棟や居住施設の間の通信を可能にする大容量の月面ローカルネットワークが、探査活動の基礎的インフラとして構想されている。このため、各機器や施設を接続する半径 50km 圏の月面通信ネットワークの構築に向けて、複数の周波数帯域で宇宙調査業務に一次業務としての周波数分配が実施可能かどうかを調査することが、WRC27 の新たな議題の案として考えられている。なお、天体間や宇宙空間（地球と月の間等）の通信を主用途とする 1 件目に対して、2 件目は月面上のローカル通信を主用途とする違いがある。

月に関する大規模な国家事業の始動を背景に、まずは月探査活動に不可欠な月通信ネットワークに使用される周波数資源の分配を、高い優先順位で確保しようとする動向が読み取れる。

#### 4. WRC27 に向けた、月通信に関する FCC の議題提案

WRC に向けた月通信に関する動向として、関連して FCC の提案状況<sup>112</sup>を確認したい。

---

<sup>110</sup> Resolution 661, Examination of a possible upgrade to primary status of the secondary allocation to the space research service in the frequency band 14.8-15.35 GHz, Final Acts World Radiocommunication Conference 2019

<sup>111</sup> Agenda Item X.X2, 'Possible new WRC-27 Agenda items supported by SFCG'

<sup>112</sup> "Office of International Affairs Seeks Comment on Recommendations Approved by the World

国際的に最大規模の月面探査活動を主導する米国は、月面通信を WRC27 の議題とするよう、WRC23 への提案の準備を進めている。月面の通信基地局と半径 50km 以内の月面探査機との月面通信において複数の周波数帯域を使用できるよう、RR に新たな条項を規定することを検討するよう提案するものである。

また上記に併せて、WRC23 の新たな決議案として「将来の月面通信ネットワークの発展を支援する国際的なスペクトル管理規制枠組みの確立に関する研究」<sup>113</sup>の案を作成しており、WRC27 で月通信の規制措置を提供するために、WRC23 の決議において、月通信の規制の枠組みの事前検討を実施するよう求めるものである。前述のとおり、月を含めた天体の科学的探査を目的とする宇宙調査業務等への周波数割当は ITU で実施されてきたが、月面での周波数使用に関する個別の規制枠組みは ITU において存在していない。月面通信という新たな規制の枠組みに向けて、月環境の特性を踏まえた規制の在り方を事前に検討するよう、求める決議の案である。

調査研究の目的は、月面で優先的に使用できる周波数帯域の特定とその取得も主目的としているが、それ以上に、周波数分配が実施される地球上の 3 つの地域区分の外にある、月での周波数帯の使用に関する国際的な規制枠組みの確立を目指す新たな意義もある。RR 第 5 条では、国際的な周波数分配表が規定され、地球上の第一地域から第三地域の地域毎に分配が実施されているが、月はこの周波数分配表に該当しない場所となる。主権の存在しない月における無線周波数使用の、規制項目の特定や規制方法の事前検討を ITU で行うことによって、月面探査活動の実施が現在以上に本格化する 2020 年代後半に備えて、月通信の規制の在り方に関する国際的な合意形成を図ろうとしているものと見られる。

## 5. 宇宙通信に関連する SFCG 以外の国際会議

SFCG は無線周波数を主要議題としているが、宇宙通信に関連する宇宙機関間の国際的協議体として、ほかに宇宙データシステム諮問委員会 (CCSDS: Consultative Committee for Space Data System)、宇宙機関間相互運用性総会 (IOP: Interoperability Plenary)、宇宙機関間運用諮問グループ (IOAG: Interagency Operations Advisory Group)<sup>114</sup>が挙げら

---

Radiocommunication Conference Advisory Committee”, FCC, DA 23-296, Public Notice, April 2023 <  
<https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-23-296A1.pdf> >

<sup>113</sup> “Studies on the establishment of an international spectrum management regulatory framework in support of the future development of communications networks on the lunar surface, USA/4253A27/2”, 出典は注 118 と同じ

<sup>114</sup> 加盟機関は、イタリア宇宙事業団 (ASI)、フランス国立宇宙センター (CNES)、カナダ宇宙庁 (CSA)、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、欧州宇宙機関 (ESA)、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、アメリカ航空宇宙局 (NASA)、イギリス宇宙機関 (UKSA) の 8 機関。オブザーバ機関は、オーストラリア宇宙機関 (ASA)、中国国家航天局 (CNSA)、インド宇宙航空機関 (ISRO)、韓国航空宇宙研究院 (KARI)、ロシア連邦宇宙機関 (ROSCOSMOS)、南アフリカ国立宇宙機関 (SANSA)、アラブ首長国連邦宇宙機関 (UAESA) の 7 機関。

れる。CCSDS は 1982 年に各国の宇宙機関により設立され、宇宙データ通信システムの定義、規格化を進めている。国際標準化機構（ISO：International Standardization Organization）の宇宙データ通信分野の分科会の役割を担うことから、CCSDS が作成した文書（推奨規格・推奨実践規範）は法的拘束力を持たないものの実質的に国際標準化されている。宇宙機関間相互運用性総会（IOP）は、通信にとどまらない宇宙活動全般に関する、世界各国の宇宙機関間による相互支援の会合体として、1999 年に開催された。この第 1 回総会では、機関間相互支援に関する具体的課題を解決するための宇宙機関間運用諮問グループ（IOAG）の設立が決議されており、IOP がハイレベル会合、IOAG はより実行的な組織体となっている。

IOAG は、その内部に月通信ネットワークや火星通信ネットワークのコンセプトを検討する作業グループを形成し、SFCG や CCSDS と連携しながら、通信ネットワークの階層構造や通信方式、使用する周波数帯域や理想的な通信容量などをまとめた「将来の月通信構造に関する報告書」<sup>115</sup>と「将来の火星通信構造に関する報告書」<sup>116</sup>を 2022 年に公表している。その内容は、SFCG において議論される通信方式や無線周波数帯域とも整合しており、また SFCG 決議 26 で創設された月及び火星の無線周波数調整に関する LMSG のメンバーと IOAG のメンバーは、相互の会合にオブザーバ参加することが規定されているなど、宇宙通信に関連する各会議体は連携して活動していることが読み取れる。

#### 第 4 節 月周回軌道の国際調整手続き（決議 12-1, 26-1, 40-1）

##### 1. SFCG 加盟機関間における無線周波数の調整手順（決議 12-1）

SFCG 加盟機関間の無線周波数調整の手順については、1992 年に採択された決議 12-1 「機関間の無線周波数調整手順の確立（2008 年開催の SFCG28 で最終改訂）」付属書「SFCG 機関間の周波数調整手順マニュアル」<sup>117</sup>にまとめられている。ITU によって宇宙活動に割当てられた無線周波数を SFCG 加盟機関は共有しているが、周波数帯域が混雑してきており、各機関の実施する宇宙活動間の電波干渉を抑えるためには事前及び運用開始

---

<sup>115</sup> “The Future Lunar Communications Architecture, Final Version, V1.3”, Report of the IOAG Lunar Communications Architecture Working Group, January 2022 <  
<https://www.ioag.org/Public%20Documents/Lunar%20communications%20architecture%20study%20report%20FINAL%20v1.3.pdf> >

<sup>116</sup> “The Future Mars Communications Architecture”, Report of the IOAG Mars and Beyond Communications Architecture Working Group, February 2022 <  
<https://www.ioag.org/Public%20Documents/MBC%20architecture%20report%20final%20version%20PDF.pdf> >

<sup>117</sup> “SFCG Manual of Procedures for Inter-Agency Frequency Coordination”, Resolution SFCG A12-1R3, Establishment of Procedures for Inter-Agency Frequency Coordination <  
[https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A12-1R3%20\(Interagency%20Coordination\).pdf](https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A12-1R3%20(Interagency%20Coordination).pdf) >

後の相互調整が不可欠になってきたために、調整手順のテンプレートとして、このマニュアルが策定された。

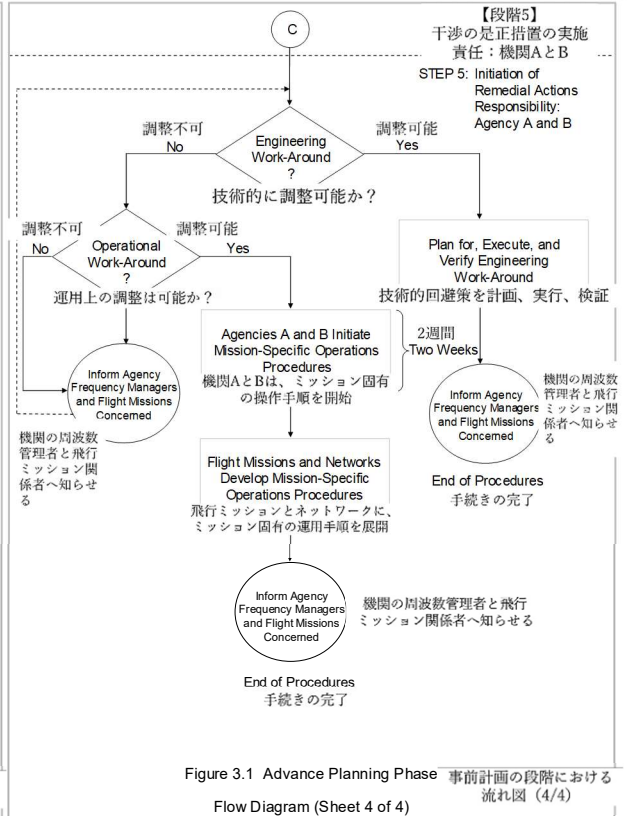
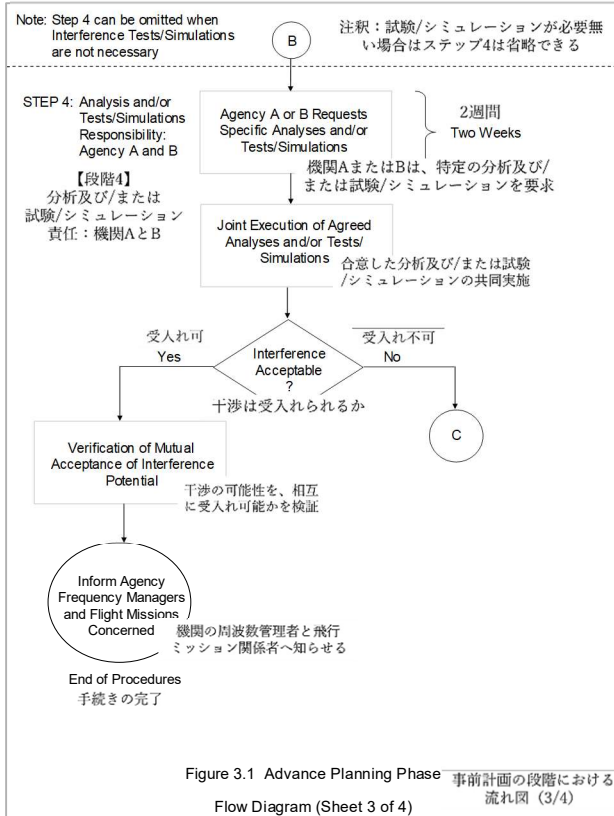
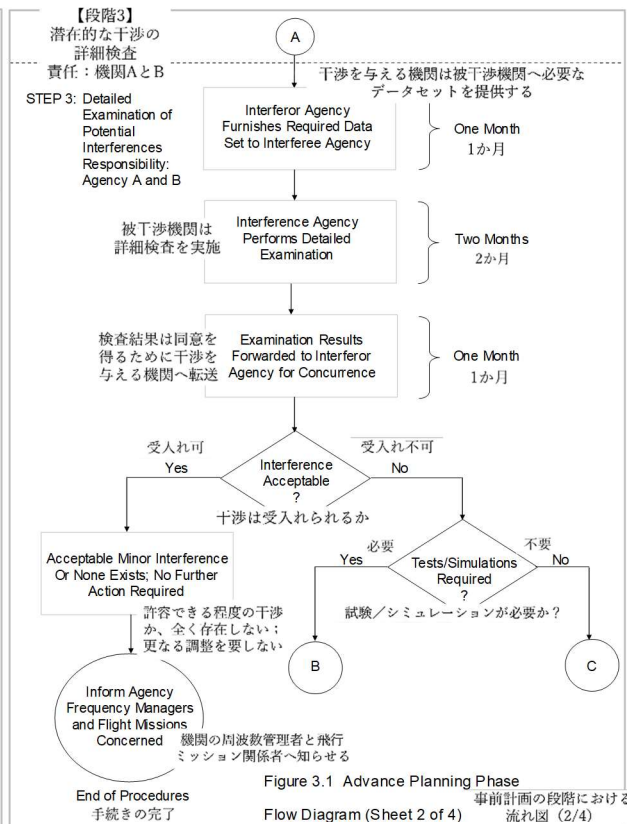
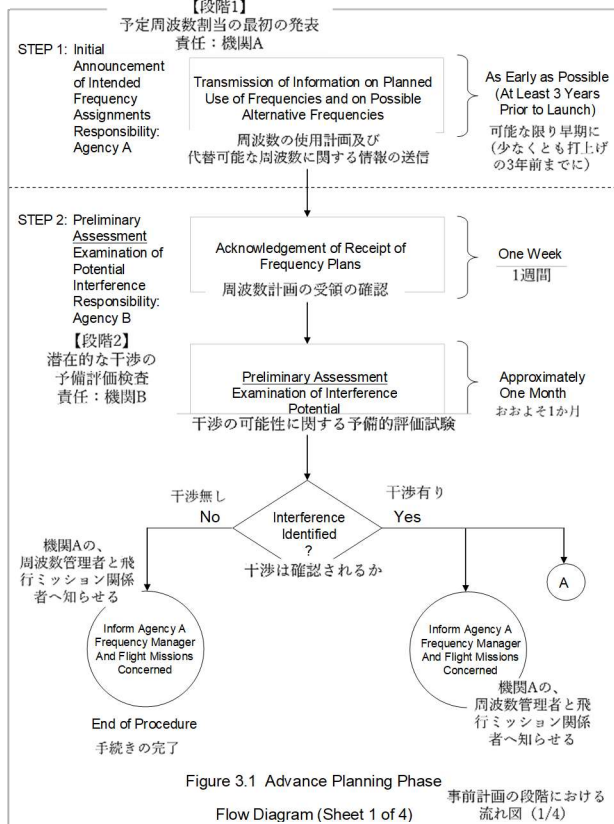
主要な手順は、事前計画段階と打上げ後の運用段階の 2 つから構成されており、事前計画段階は、ステップ 1)使用したい無線周波数帯域の発表、ステップ 2)潜在的な電波干渉の事前評価、ステップ 3)潜在的な電波干渉の詳細調査、ステップ 4)共同分析や共同シミュレーション実施、ステップ 5)電波干渉の解決策の実施の 5 つの手順となる。

ステップ 1)では、新たな宇宙活動を計画する機関 A は少なくとも打上げ予定日の 3 年前から使用する予定の周波数帯域や軌道情報を事前に発表する必要がある。ステップ 2)では、発表情報を受領した受領機関 B は、自機関の宇宙活動に与える電波干渉のリスク等を分析し、1 か月以内に発表機関へ事前評価結果として回答することが求められる。ステップ 3)では、電波干渉の可能性のある全ての関係機関間において優先度の高い案件から詳細な分析と検査を実施することになる。詳細調査に必要なデータセットは発表機関 A から 1 か月以内に機関 B へ提供され、機関 B の検査結果は 2 か月以内に発表機関 A へ提供することが求められる。ステップ 4)では、前述の手順までに電波干渉の問題が解決しなかった場合に、機関 A 及び機関 B で共同分析や共同シミュレーションを実施するものである。ステップ 5)では、ステップ 4 までの結果、許容できない電波干渉が確認された場合には、相互に受け入れ可能な技術的解決策がある時はその実装、もし技術的解決策が無い時は、打上げ後の運用手順を調整することで電波干渉を軽減する方策を共同で策定することとなる。

打上げ後の運用段階の項目では、ステップ 5 に基づいて打上げ後の運用手順を調整して電波干渉を軽減する場合に、その個別事例に応じた固有の運用調整手順を形成する流れを記載している。それぞれのステップにおいて、各手順を責任を以て実施すべき機関と、調整時間を伸ばし過ぎないための実施期限が定められている。

電波干渉は一度発生してしまうと、相互に高コストの設計変更や技術的調整が要求されること、また宇宙活動の目的そのものを制限してしまう可能性があり、さらに周波数の相互調整は一般的に時間がかかるものであるため、周波数競合が発生する可能性がある場合は、宇宙活動の計画のごく初期から調整を開始するよう奨励されている。このため SFCG 機関間の調整は、一般的に ITU の RR 第 9 条で規定する調整手続きの前に実施され、ITU における国際調整手続きの効率化を図り時間短縮にもつながるとされている。但し、規定された各国無線規制官庁間の調整に代替するものではないことがマニュアルにも明記されており、RR に基づく国際調整手続きを補完する、宇宙機関間の自主的な事前調整の位置付けと理解される。

【図 12：SFCG における無線周波数の調整手順】



出典：SFCG Manual of Procedures for Inter-Agency Frequency Coordination に日本語付記

## 2. 月周回軌道の国際調整手続き（決議 26-1, 40-1）

月周回衛星軌道及び周波数調整については、特に関連すると考えられる決議 26-1「月及び火星の相互運用性と無線周波数調整（2006 年開催の SFCG26 で採択、2023 年開催の SFCG42 で最終改訂）」<sup>118</sup>と、決議 40-1「月地域活動への周波数割当て支援（2021 年開催の SFCG40 で採択）」<sup>119</sup>に着目したい。

決議 26-1 では、SFCG 加盟機関において月又は火星の宇宙活動に関する構想が増加する中<sup>120</sup>、これらの二天体に衛星等宇宙輸送機が集中すると、地球局との間で電波干渉を生じる可能性が高いことから、特に月及び火星の無線周波数調整を専門的に実施する「月及び火星の無線周波数調整グループ（LMSG：Lunar/Martian Spectrum Group）」が SFCG 内部に設立されることとなった。主要目的は、無線周波数の事前調整を有効に実施することによって、月及び火星の宇宙活動中に電波干渉を発生させないことであり、LMSG 代表には NASA 担当者が就いている。実施する内容は以下のとおりである。

- ・遠隔測定や遠隔操作、無線航法、現場リンクの構築（月面上及び火星上の特定地域に無線通信リンクを形成）などに使用される月及び火星の無線周波数計画の策定
- ・月及び火星に関する個別の宇宙活動の、無線通信容量や周波数帯域幅の要件評価
- ・最新の月及び火星の無線周波数計画を SFCG ウェブサイトで維持
- ・月及び火星のロボット及び有人探査活動の計画に関する、すべての宇宙機関の無線通信の要求事項について、定期的な更新を求めるためのメカニズムを開発、提供
- ・LMSG の活動報告書を SFCG の年次総会へ提出

なお決議書には、SFCG は月及び火星の無線周波数使用計画の管理の実施に適した組織であり、月及び火星への特定の活動の無線周波数管理の責任を負う（take responsibility）と明記されている。

また、決議 40-1 では、SFCG 機関間又は非 SFCG 機関（営利団体や科学組織等）の月地域の宇宙活動に係る無線周波数調整は、米国 NASA の申し出によって、NASA が支援することとなった。個別の月活動に使用する無線周波数の選択には、電波干渉の影響を計算する適切なソフトウェアツールや高度な専門知識に加えて、他の月宇宙活動における無線周波数の使用状況又は使用予定、並びに技術的パラメータや軌道、宇宙活動の時間枠、活動中に計画されているイベントなどの情報が必要であり、さらに月活動だけでなく地球近傍の宇宙活動との電波干渉を考慮する必要性もあるとされる。同時並行的に計画される多

---

<sup>118</sup> Resolution SFCG A26-1R8, Lunar and Martian Interoperability and Spectrum Coordination

<sup>119</sup> Resolution SFCG A40-1, Assistance in the Assignment of Frequencies to Missions in the Lunar Region

<sup>120</sup> 決議 26-1 では、月及び/又は火星への活動を構想している組織として次が挙げられている。ASA（オーストリア）、CNES（フランス）、CNSA（中国）、CSA（カナダ）、CSIRO（豪州）、DLR（ドイツ）、ESA（欧州）、ISRO（インド）、JAXA（日本）、KARI（韓国）、MBRSC（アラブ首長国連邦）、NASA（米国）、NASRDA（ナイジェリア）、ROSCOSMOS（ロシア）、UKSA（英国）

数の月活動について、複数の関係者間の調整手続きと複雑な電波干渉の分析を効率的に推進するためには、「すべての月活動に対して 1 つの機関による (by one agency for all lunar missions)」調整が効率的であるとして、SFCG のデータベースと NASA が運営する月周波数管理ポータルデータベースの両方の情報を考慮しながら、NASA が支援を実施することとなった。

同決議では SFCG 加盟者と非 SFCG 加盟者のいずれにも対する推奨事項として、月活動を計画する場合は、活動に適した無線周波数の調査と電波干渉の分析を円滑に実施するため、計画策定初期から NASA の支援を使用し、月活動計画に関する最新の技術的及び運用上の情報を提供するように奨励している。電波干渉を回避するためには月の近隣で使用される全ての無線システムを協調的に設計する必要があることから (月地球間の通信や月面と月軌道間の無線通信は、伝搬範囲が広く、他の月無線通信に電波干渉する可能性が高いため、結果として月近傍の全ての無線システムを協調的に設計する必要がある)、同決議では支援という表現が使用されているが、実質的には調整漏れを防ぐため、調整の主導及びとりまとめ (全体制御) の意図も含まれると理解される。

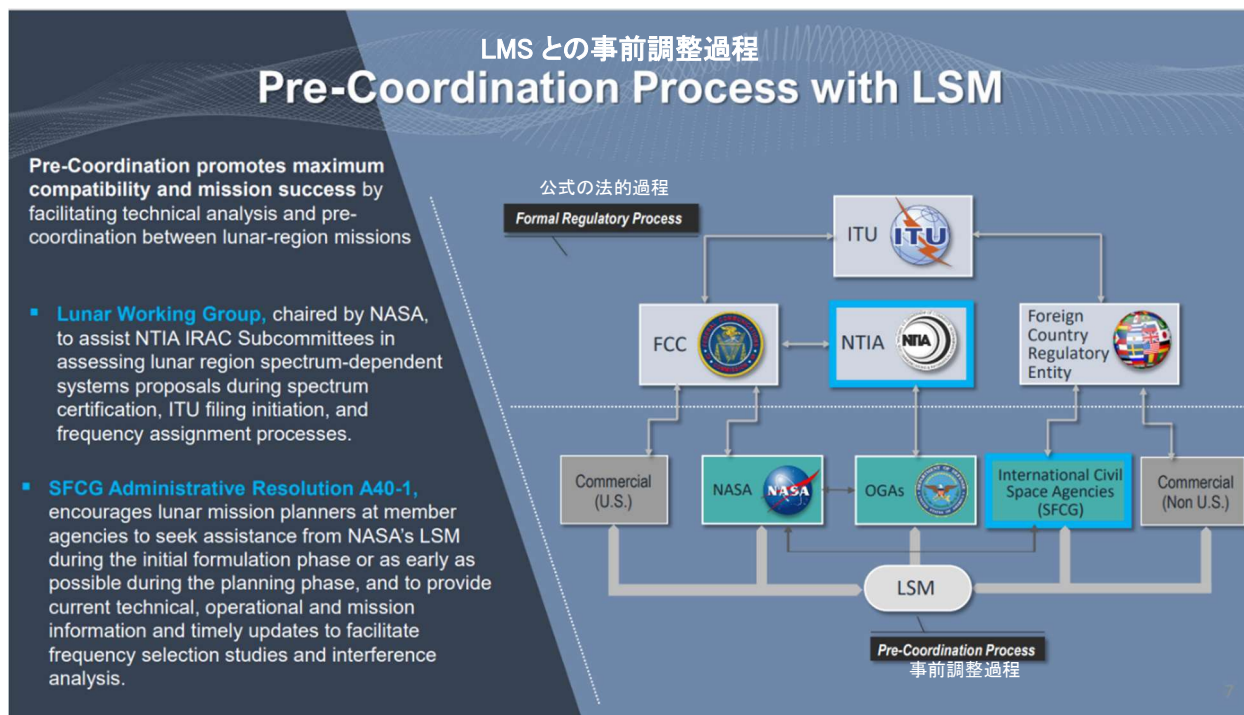
### 3. NASA LSM(月無線周波数管理)の概要

月地域の無線周波数調整を支援する、NASA の月無線周波数管理 (LMS : Lunar Spectrum Management) 業務を確認する。NASA の宇宙通信及び航法 (SCaN : Space Communications and Navigation) プログラム室と深く関与する業務であり、SFCG 決議 40 に基づき、米国内だけでなく、個別の月活動に係る国際的な無線周波数調整を主導している。NASA、米国国防省、米国営利組織、SFCG (諸外国宇宙機関)、諸外国商業組織などに対して、月地域に関する無線周波数の事前調整の結節点の機能を提供しており、これらの組織から、衛星等の打ち上げ日や宇宙輸送機の軌道、技術的パラメータ等の情報を得たうえで、利用可能な無線周波数の情報や該当する無線周波数の使用方針に関する情報の提供、電波干渉の解析、電波の干渉緩和に向けた技術的手法の開発などを実施している<sup>121</sup>。月地域の宇宙活動に関する関係者間の自主的な技術分析や事前調整を促進することで、事後に問題が起きた時に対処のために必要となる高いコストの削減や、運用中に発生するリスクの最小化を図り、月活動の全体的な効率化を目指している。図 13 からは、NASA は、国際調整手続き全体において、LMS を手続きの土台や起点として位置付けていることが分かる。

---

<sup>121</sup> Cathy Sham, NASA Lunar Spectrum Manager (LSM), SOMD (Space Operations Mission Directorate) Space Communications and Navigation (SCaN) Program Office, Spectrum Policy and Planning Division, “NASA Lunar Spectrum Management: Enabling and Protecting Lunar Science & Exploration”, National Economic and Social Council Workshop, NASA, June 2022

【図 13 : LSM の概要】



左上：事前調整は、月地域活動間の技術分析と事前調整を促進することにより、最大限の互換性とミッションの成功を促進する。

左中：月作業部会（Lunar Working Group）は、NASA が議長を務めており、周波数認証割当て手続きにおいて、月地域の周波数に依拠するシステム提案を評価する際に、米国商務省電気通信情報庁省庁間無線諮問委員会（NTIA IRAC）小委員会を支援する。【米国内の調整過程】

左下：SFCG の決議 A40-1 は、加盟機関の月計画の計画者に対し、最初の策定段階、あるいは計画段階の可能な限り早い段階で NASA の LSM に支援を求め、周波数選択調査や干渉解析を容易にするために、最新の技術、運用、ミッション情報と、時機を得た情報更新を提供するよう奨励している。

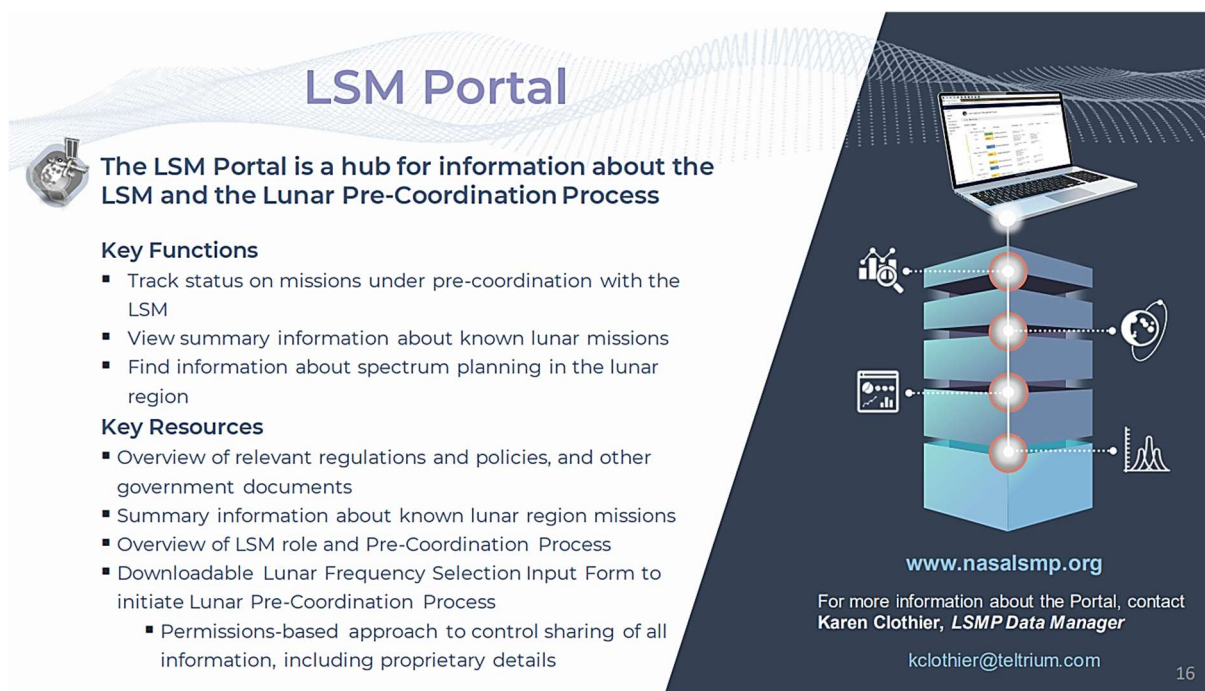
出典：注 127 と同じ

また、LSM は事前調整手続きの情報共有ポータルとして図 14 のとおり、「Lunar Spectrum Management Portal」<sup>122</sup>を開設しており、LMS との事前調整手続きに関与する者は、調整の進行状態や、他の月活動の無線周波数使用計画を把握することができる。知財や機密情報も含まれ得るため、調整手続き中の情報は関係者のみとなるが、各宇宙機関等で公表されている月活動の概要については、使用される周波数とともに一覧表形式で同 Web 内の「Lunar Mission Landscape」に公表されている。

ITU の MIFR には、宇宙探査機の軌道特性は使用する周波数帯域と一体的に登録されているため、LMS においても、周波数帯域に加えて軌道位置等の軌道特性も一体的に調整されていると考えられる。

<sup>122</sup> Lunar Spectrum Management Portal, NASA < <https://www.nasalsmp.org/SitePages/Home.aspx> >

【図 14：LSM ポータルの概要】



#### 主な機能

- ・ LSM との事前調整の下でミッションの状況を追跡する・既知の月ミッションに関する概要情報を表示する・月地域の無線周波数計画に関する情報を見つける

#### 主要な情報資源

- ・ 関連する規制や政策、その他の政府文書の概要・既知の月活動に関する概略情報・LSM の役割と事前調整手続きの概要・月の事前調整手続きを開始するための、ダウンロード可能な月の周波数選択入力フォーム
- ・ 機密情報を含むすべての情報の共有を制御するため、権限設定を行う

出典：Cathy Sham, NASA Lunar and Human Spaceflight Spectrum Manager, SFCG Lunar Martian Spectrum Group Chair, “Lunar Spectrum Considerations”, ICG 17<sup>th</sup> Plenary, October 2023 <  
<https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2023/ICG-17/icg17.02.08.pdf> >

## 第5節 小括

第 1 節において各国の大規模月計画と月通信網構築の計画を概観した。構築時期に前後はあるが、概ね 2020 年代後半から 2030 年頃にかけて月周回軌道上に通信及び航法衛星コンステレーションの配備が開始され、初期は月面着陸や月面活動の支援ため主に南極付近へサービスを提供、その後月全体へサービス提供の拡大や月面上の通信設備の拡充等が目指されている。標準化によって、各国設備間のローミングや相互運用が可能となり、敷設の負担を各国で分担できる可能性や、冗長性の高いサービスを提供できる可能性、さらに標準化に基づく民間企業の参入と開発競争が促進され、コストが低廉化される効果も期待されている。通信及び航法の目的だけでなく、電波天文学のための衛星コンステレーションも計画されており、今後多数の宇宙機関及び民間企業によって、多様な目的を持つ、多

数の衛星コンステレーションが月周回衛星軌道上に構築される見込みである。

第2節では、月通信に関する無線周波数及び軌道に関する SFCG での国際調整手続きの現状を確認した。静止衛星軌道または非静止衛星軌道（非静止衛星軌道の中でも、地球周回軌道）の国際調整手続きと比較すると、1)ITU に対して事前調整の位置付けのため、進め方に関する法的拘束力を持つ規定が存在せず、柔軟性の高い自主的な組織 SFCG が責任主体となって調整が実施されていること、2)SFCG 内の調整手続きにおいても、従来の各国宇宙機関間での調整から、NASA が中心的役割を担う調整形態へと変化していることが特徴と考えられる。

Artemis の始動によって米国は多数の月活動を計画しており、SFCG 加盟国が計画する全ての月活動の半数以上<sup>123</sup>が NASA の計画となっている。電波干渉を回避するための関係国間の調整においても、実質的に大多数の案件に NASA が関与することとなるため、このような実態に合わせて、NASA が月地域の無線周波数の調整手続きの全てにおいて中心的役割を担う形態へと変化したと考えられる。

---

<sup>123</sup> “The Future Lunar Communications Architecture”, IOAG（注 121）に掲載されている 2018 年～2030 年の IOAG 加盟国の月活動一覧では、全 46 件のうち 30 件が米国（NASA29 件、その他の米国機関 1 件）。

#### 第4章 ITU と SFCG における国際調整手続きの対比と考察

静止衛星軌道システム及び非静止衛星軌道システム、そして月周回軌道システムの国際調整手続きの対比を以下にまとめる。

|                  | 静止衛星軌道と<br>非静止衛星軌道                                         | 月周回軌道                                                                                            |
|------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 国際調整の組織          | ITU                                                        | SFCG                                                                                             |
| 組織の設立            | 1865 年※1                                                   | 1980 年                                                                                           |
| 組織の国際法上の<br>位置付け | ITU 憲章及び ITU 条約<br>(国際連合の専門機関)                             | －<br>※2                                                                                          |
| 加盟者              | 193 か国、700 以上の連合員<br>(事業者団体、学術組織等)                         | 35 機関 (26 か国・地域)、<br>10 以上の関連組織 (国際機関等)                                                          |
| 国際調整手続きの<br>根拠規定 | 無線通信規則第 3 章<br>「周波数割当ての調整、通知、記録<br>及び計画の変更」                | SFCG 決議 12 - 1 付属書<br>「SFCG 機関間の周波数調整手順<br>マニュアル」<br>SFCG 決議 26 - 1<br>「月及び火星の相互運用性と無線<br>周波数調整」 |
| 根拠規定の<br>法的位置付け  | 無線通信規則<br>(無線通信規則は ITU 条約と同等の<br>法的拘束力を持つ)                 | －<br>※3                                                                                          |
| 調整結果の記録          | 国際周波数登録原簿 (MIFR)                                           | SFCG ポータル及び<br>LMS ポータル※4                                                                        |
| 記録の管理者           | 無線通信規則に基づき<br>ITU 無線通信局                                    | SFCG 決議 40 - 1<br>(「月地域活動への周波数割当て支<br>援」) に基づき NASA                                              |
| 国際調整の主体          | 各国の主官庁                                                     | SFCG 決議 40 - 1 に基づき<br>各国宇宙機関と NASA                                                              |
| 軌道上の物体           | 多数の通信放送衛星、気象観測衛<br>星、位置測定/航法/時間配信衛星、<br>宇宙基地「ISS」「天宮」等が運航中 | 「LRO」「SLIM」等が運航中<br>(月衛星通信網「LunaNet」<br>「Moonlight」「Qieqiao」、天体探<br>査基地「Gateway」等が計画下)           |

※1 1865 年に創設された万国電信連合と、1908 年に創設された国際無線電信連合が 1932 年に統合して、国際電気通信連合となった。

※2 “The SFCG was established in order to provide a less formal and more flexible environment, as compared to the official organs of the International Telecommunications Union (ITU). (SFCG は国際電気通信連合(ITU)の公式機関と比較して、よりフォーマルでなく、より柔軟な環境を提供するために設立された。)” 出典は注 99 と同じ。

※3 “The effectiveness of SFCG recommendations depends upon voluntary acceptance. There is no formal process by which agencies formally agree to accept and be bound by SFCG recommendations. (SFCG の勧告の有効性は自発的な受入れに依拠する。加盟機関が SFCG の勧告を受入れ、法的に拘束されることに正式に同意するための公式手続きは無い。)” 出典は注 111 と同じ。

※4 SFCG 内での調整経過や調整結果はポータル上で共有されるが、最終的には RR の国際調整手続きを経て MIFR に登録され、ITU 条約と同等の法的拘束力を持つ。

## 1. 地球周回軌道の国際調整過程と月周回軌道の国際調整手続きの対比

月探査活動に使用される無線周波数は、ITU において宇宙研究業務や宇宙運用業務等に分配されており、月周回軌道も RR における非静止衛星軌道に含有される。しかし、従来月近傍と地球間で無線周波数を使用する者は宇宙開発先進国の宇宙機関が主体であったことから、主たる関係者で構成される SFCG で調整が行われ、その後、幅広く各国主管庁及び通信関連事業者が加盟する ITU において、不測の電波干渉を防ぐための国際調整手続きが実施されている。万が一、自主的取組である SFCG に加盟しない者が SFCG 関係機関と事前調整することなく、宇宙関連業務に分配された無線周波数を使用しようとした場合は、ITU の RR に基づく調整過程で、各国の宇宙機関等との調整が発生することとなり、最終的に調整漏れは回避される流れとなっている。

SFCG における月周回軌道及び関連する無線周波数の調整過程の法的適正性は、RR に基づく過程で担保され、また調整結果についても MIFR に登録されることで法的に確保される。SFCG の調整手続きは、ITU における国際調整手続きに対して自主的な事前調整の位置付けであるが、月近傍通信における SFCG の実質的な調整機能に着目して、対比を行った。

## 2. 地球周回軌道の国際調整手続きに対する考察

ITU における地球周回軌道上の衛星通信に関する国際調整は、一般的に非常に時間がかかり、複雑な調整過程が要求されるとされている。その複雑さは、1)調整主体が水平関係にある各国の主管庁間であり、加盟国数と同じく主管庁が多いこと、また 1 つの主管庁の背景に多数の衛星関連事業者が存在しており、全体関係者数はさらに多いこと、2)各国の衛星産業が十分に確立されており、運用中及び計画下の衛星通信網自体の数が多いこと、3)衛星の利活用拡大によって新興事業者の参入が多く、加えて市場競争によって技術的発展が進展する等、産業規模的にも技術的にも成長傾向にあること、以上 3 点に由来すると考えられる。

第 1 章では、静止衛星軌道位置を巡る各国主管庁間及び各衛星通信事業者間の競合の様子を概観し、また第 2 章では、低軌道を中心とした非静止衛星軌道上で衛星数が急増する現状において、静止衛星事業者と非静止衛星事業者間の競合、そして先行する非静止衛星事業者が将来の非静止衛星システムとの競合を先制しているという指摘を確認した。これらの衛星市場における厳しい競争環境が、制度の向上をもたらす他方で、国際調整手続きという国際的合意を得る過程の複雑さも、もたらしていると考えられる。

なお、RR の柔軟な改訂経緯からは、常に高い透明性と効率化が追求されている様子が認識され、さらなる複雑性や煩雑性を抑制した結果が現在の状況とも理解される。

衛星通信網は当初は政府間組織等で構築されながらも、現在では特定の用途を除き、大多数を各国の民間事業者が運営している。社会経済を支える基盤インフラとして、監視する主管庁の機能は絶対的に不可欠であるが、RRの改訂作業にも深く関与している状況のとおり民間事業者の影響力は大きい。国際的に産業が十分に確立することで多数国に多数の衛星関連事業者が存在し、そして国際調整の実質的な主体であるだけでなく、国際調整手続きの在り方を巡る議論にも事業者が強く関与していることが、月の周回軌道及び無線周波数の調整手続きとの主要な差異と考えられる。

### 3. 月周回軌道の国際調整手続きに対する考察

月周回軌道及び関連する無線周波数に関する国際調整の特徴としては、特に SFCCG 決議 40-1「月地域活動への周波数割当て支援」に着目することとしたい。地球周回軌道における、天然資源たる軌道位置及び無線周波数の激しい競合の様子は、月近傍周回軌道では全く見られない状況である。しかし、各国の大規模月活動計画の始動によって、従来以上に複雑に発生する多数の無線周波数調整手続きを円滑に推進するためには、効率的な調整を図るための中心的組織が不可欠となってきたことから、決議 40-1 において「すべての月活動に対して 1 つの機関による (by one agency for all lunar missions)」調整形態が採択された。

米国は 1950 年代以降、月に関する宇宙活動を国際的に牽引してきており、Apollo 計画において有人月面活動に圧倒的な実績を有すること、また月周回衛星 LRO を長期的に運用して月及び月近傍の情報を既に多く蓄積していることから、NASA がその中心的調整機能を担うことは自然な流れと考えられる。月への探査活動を初めて実施する組織には、これまでの経験や実績に基づく NASA からの適切な帯域選定や干渉回避のための解析等の支援は、有益で重要なものと想像される。

他方で、調整手続きを通じて全ての情報が 1 つの宇宙機関に集約されることにより、中心的組織とそれ以外の諸外国宇宙機関との情報の非対称が発生する懸念や、さらには調整作業を重ねることで蓄積される情報量の差が拡大し、諸外国が実施する宇宙活動の自律性が相対的に低減する懸念も想定される。これは、各国の月探査計画の概要や調整後の月探査計画で使用する無線周波数の情報は全加盟組織間で共有されたとしても、調整の過程で関係者のみに開示、共有される詳細情報は中心的組織にのみ集積されと考えられ、このような非対称が積み重なると、いずれは、中心的組織に 1 つ 1 つを確認しないと、他の組織は個々の判断がし難くなる可能性があると推測される。加えて、大規模な月活動計画に連動する諸外国の月探査活動も増えてきているが、月面活動の基盤が成熟して各国の民間企業による多様な活動が増大してきた場合には、1 つの宇宙機関が全ての月活動の無線周波数調整を単独で中心的に調整する体制の負荷についても考慮すべきと考える。

例えば欧米では、月近傍無線通信インフラの構築における民間企業の参入を促進することで、構築コスト低廉化や技術革新の誘発を図るだけでなく、月関連産業の創出と事業者

間競争を通じた市場活性化を目指す政策を実施している。月探査活動の進展と同時並行で市場環境整備を進めることによって、長期的には国際的に多数の民間事業者（いずれか 1 か国における 1 社や 2 社ではなく、複数国の複数事業者）の参入が展望されることとなる。

長期的時間軸とはなるが、ITU の地球周回衛星軌道の議論で見られるような経済的損益がかかる事業者間の競合が月領域において生じ、複数国の複数の民間事業者から、高い透明性と高い中立性の調整を求められた場合は、従来の宇宙機関間の調整を土台とした「すべての月活動に対して 1 つの機関による (by one agency for all lunar missions)」調整形態は、変化する必要性が生じてくるのではないかと考えられる。

全ての月活動に関する無線周波数の調整を 1 つの宇宙機関が中心的に主導する SFCG 決議 40-1 の方法は、世界 30 か国以上が賛同する Artemis を主導する NASA と、国際的な宇宙関連市場の発展を先導する多数の米国宇宙企業といった、世界の月活動と宇宙活動を牽引する米国の産官研究界の現在の氣勢を反映したものとも考えられる。実際、全ての月探査計画の半数以上は米国が実施、計画するものであり、月近傍の無線周波数の調整の多くの案件に NASA が関与することからも、実態に即した調整形態と考えられる。今後の長期的展望として、将来的に月関連活動が成熟し、月活動及び宇宙活動に参加する国の多様化が進展して各国民間企業による商業的事業が普及していく際には、関係者が負担を分担しつつ、中立的かつ透明性高く調整手続きを進めることができる調整形態へと遷移する可能性があるのではないかと考える。

以上、地球周回軌道及び月周回軌道に関する国際調整過程について、対比の上で、民間事業者の参入度合いの差異から考察を加えた。

## 第5章 まとめ

静止衛星軌道及び非静止衛星軌道、月周回軌道は宇宙空間に存在する。日本では宇宙関連法として、「宇宙基本法」が2008年5月に制定、同年8月に施行された。宇宙基本法に基づいて、宇宙活動法（人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律）及び、衛星リモセン法（衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律）が2016年11月に制定、宇宙資源法（宇宙資源の探査及び開発に関する事業活動の促進に関する法律）が2021年6月に制定されている。また、宇宙基本法に基づき、宇宙開発利用に関する基本的な計画として最初の「宇宙基本計画」が2009年に策定された。2023年6月には最新の計画が策定され、新たに「宇宙技術戦略」を作成することが決定されている。なお、この間の2017年5月には、2030年をひとつの目途に宇宙産業全体の市場規模の拡大を目指す「宇宙産業ビジョン2030」も策定されている。

国内政策における月面開発、衛星基盤技術の強化に向けた具体的な取組の事例としては、第3章で一部触れたが、内閣府宇宙政策委員会衛星開発・実証小委員会のもと関係府省庁で実施される「宇宙開発利用加速化戦略プログラム（スターダストプログラム）」において、「月面活動に向けた測位・通信技術開発」をはじめとした20件以上の研究開発支援が2020年度から順次開始している。また、内閣府経済安全保障推進会議及び統合イノベーション戦略推進会議のもとで実施されるK-Program（経済安全保障重要技術育成プログラム）では、宇宙航空領域において「光通信等の衛星コンステレーション基盤技術の開発・実証に関する研究開発」等が採択されている。これらのプログラムでは多数の国内研究機関や民間企業が受託しており、月面開発及び衛星に関する技術革新の加速に加え、幅広い関連市場への波及効果も期待されている。

またJAXAとNICTは、宇宙領域において通信技術が多面的に発展しつつある現状に鑑み、宇宙関係機関や衛星通信事業者、大学等研究機関、衛星メーカーや機器メーカー等が、最新動向の情報交換や課題検討を行うための連携母体として、「スペースICT推進フォーラム」を2020年7月に設立した。宇宙領域と通信技術の連携と相乗効果が望まれている。

月面開発及び衛星活用も含めて宇宙利用の拡大が展望される日本においても、宇宙利用の前提となる、衛星軌道及び無線周波数の確保は、今後益々重要性が増すと見込まれる。衛星打上げコストの低廉化による国際的な衛星事業環境の変化や、複数の大規模月計画の始動等によって、RRの規定やSFCGにおける調整体制が柔軟に変化する現状を本稿で確認したが、軌道及び無線周波数は国際的に共有する資源であることから、国際調整手続きの変化が望ましいものとなるよう必要に応じて日本も対応すべきであり、このためにも、今後も諸外国の関連動向を注視していく必要があると考える。

## 参考文献

- ・青木節子『日本の宇宙戦略』慶應義塾大学出版、2006 年
- ・城山英明『国際行政の構造』東京大学出版会、1997 年
- ・小塚壮一郎『宇宙ビジネスのための宇宙法入門 第 2 版』有斐閣、2018 年
- ・『国際電波法規（第 9 版）』一般財団法人情報通信振興会、2018 年
- ・Setsuko Aoki, “Efficient and equitable use of orbit by satellite systems: "Paper satellite" issues revisited”, 64th International Astronautical Congress 2013, International Astronautical Federation <  
[https://www.elevenjournals.com/tijdschrift/iisl/2013/3%20International%20Regulations%20of%20Space%20Communications:%20Current%20Issues/IISL\\_2013\\_056\\_003\\_001.pdf](https://www.elevenjournals.com/tijdschrift/iisl/2013/3%20International%20Regulations%20of%20Space%20Communications:%20Current%20Issues/IISL_2013_056_003_001.pdf)  
>
- ・「資料 83-1 SLIM 及び LEV1,2 の月面着陸結果について」宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、文部科学省宇宙開発利用部会第 83 回会合 (2024 年 2 月)  
< [https://www.mext.go.jp/content/20240226-mxt\\_uchukai01-000034190\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20240226-mxt_uchukai01-000034190_1.pdf) > (2024 年 3 月 1 日最終閲覧)
- ・「資料 6-1 XRISM と SLIM の打上げ結果について」宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、宇宙政策委員会宇宙科学・探査小委員会第 57 回会合 (2023 年 10 月)  
< <https://www8.cao.go.jp/space/committee/27-kagaku/kagaku-dai57/siryou6-1.pdf> >
- ・「資料 2 宇宙輸送を取り巻く環境認識と将来像」内閣府宇宙開発戦略推進事務局、宇宙政策委員会宇宙輸送小委員会第 2 回 (2023 年 6 月)  
< <https://www8.cao.go.jp/space/committee/05-yuso/yuso-dai2/siryou2.pdf> >
- ・「資料 71-6 宇宙開発利用加速化戦略プログラム (スターダストプログラム) について (継続案件)」文部科学省宇宙開発利用部会第 71 回 (2022 年 12 月)  
< [https://www.mext.go.jp/kaigisiryoyou/content/221220-mxt\\_uchukai01-000026649\\_7.pdf](https://www.mext.go.jp/kaigisiryoyou/content/221220-mxt_uchukai01-000026649_7.pdf) >
- ・「資料 31-1 Beyond 5G の実現に向けた宇宙ネットワークに関する技術戦略について」総務省国際戦略局宇宙通信政策課、総務省情報通信審議会情報通信技術分科会技術戦略委員会第 31 回 (2022 年 1 月) < [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000790343.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000790343.pdf) >
- ・国際電気通信連合憲章(平成七年一月十八日条約第二号)及び国際電気通信連合条約 (同第三号) 和訳、総務省 < [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000171443.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000171443.pdf) >
- ・「総務省電波利用ホームページ 周波数の国際調整について」、総務省  
< <https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/process/freqint/> >
- ・「小型衛星通信網の国際周波数調整手続きに関するマニュアル 第 3.2 版(2023 年 4 月)」、総務省 < <https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/freq/process/freqint/001.pdf> >
- ・国連宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS) 概要、外務省

< <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/technology/universe/copuos.html> >

・高橋 幹（KDDI 総合研究所）その他、「衛星を含めた宇宙での通信実現に関する取組み」『電子情報通信学会誌』、Vol.106, No.5, 2023 年 5 月

・渋川 季裕、株式会社アークエッジ・スペース、「超小型衛星を用いた月測位実証ミッションに関する検討状況」、第 5 回月測位研究会、2023 年 10 月

< [http://qbic-gnss.org/lunar/wp-content/uploads/2023/10/lunar5\\_ae\\_231024.pdf](http://qbic-gnss.org/lunar/wp-content/uploads/2023/10/lunar5_ae_231024.pdf) >

・“Transparency and confidence-building measures in outer space activities”, A/RES/76/55, United Nations General Assembly, December 2021

< <https://digitallibrary.un.org/record/3951446> >

・“The “Space2030” Agenda: space as a driver of sustainable development”, A/RES/76/3, United Nations General Assembly, October 2021

[https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/resolutions/2021/general\\_assembly\\_76th\\_session/ares763\\_html/A\\_RES\\_76\\_3\\_E.pdf](https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/resolutions/2021/general_assembly_76th_session/ares763_html/A_RES_76_3_E.pdf)

・“Annexes III Some aspects concerning the use of the geostationary orbit: paper adopted by the Legal Subcommittee”, Report of the Legal Subcommittee on its 39th session, March-April, 2000A/AC.105/738, United Nations General Assembly, April 2000

< <https://www.unoosa.org/pdf/reports/ac105/LGLR00E.pdf> >

・“International co-operation in the peaceful uses of outer space”, A/RES/1721(XVI), United Nations General Assembly, December 1961

[https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/resolutions/res\\_16\\_1721.html](https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/resolutions/res_16_1721.html)

・Final Acts World Radiocommunication Conference 2019, ITU

< <https://www.itu.int/pub/R-ACT-WRC.14-2019> >

・Final Acts World Radiocommunication Conference 1997, ITU

< [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.5-1997-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.5-1997-PDF-E.pdf) >

・World Radiocommunication Conference 2023(WRC-23), Provisional Final Acts, ITU

< [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.15-2023-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.15-2023-PDF-E.pdf) > （2024 年 3 月 1 日最終閲覧）

・WRC-23 Closing Press Release, ITU, 15 December 2023, ITU

< <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2023-12-15-WRC23-closing-ceremony.aspx> > （2024 年 3 月 1 日最終閲覧）

・Report of the CPM to WRC-23, ITU

<<https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.467.81.en.1000.pdf>>

・Report of the CPM to WRC-12, ITU <

<https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.133.81.en.1000.pdf> >

- Final Acts of the Plenipotentiary Conference 2022, ITU  
< <https://www.itu.int/hub/publication/s-conf-actf-2022/> >
- “Highlights: ITU Plenipotentiary Conference 2022”, ITU  
< <https://pp22.itu.int/en/newsroom/highlights/> >
- Final Acts of the Plenipotentiary Conference 1994, ITU  
< <https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.15.43.en.100.pdf> >
- WTDC-22 Final Report, ITU < <https://www.itu.int/pub/D-TDC-WTDC-2022> >
- Summary of Decisions of the 14th meeting of the RRB, “Item6, Regulatory Issues: Communications received”, ITU Document RRB98/149-E, December 1998  
< <https://www.itu.int/itudoc/itu-r/archives/rrb/decision/98-149.html> >
- Summary of Decisions of the 13th meeting of the RRB, “Item4.1 Status of the Eyrpesat-1 BSS network at 29° E”, ITU Document RRB98/116-E, July 1998  
< <https://www.itu.int/itudoc/itu-r/archives/rrb/decision/98-116.html> >
- “Measurement facilities available for the measurement of emissions from both GSO and non-GSO space stations”, Report ITU-R SM.2182-2, June 2019  
< <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2182-3-2023> >
- ITU News Magazine “Satellite connectivity”, No. 4, 2023  
< <https://www.itu.int/hub/publication/s-gen-news-2023-4/> >
  
- “The Future Lunar Communications Architecture, Final Version, V1.3”, Report of the IOAG Lunar Communications Architecture Working Group, January 2022 <  
<https://www.ioag.org/Public%20Documents/Lunar%20communications%20architecture%20study%20report%20FINAL%20v1.3.pdf> >
- “The Future Mars Communications Architecture”, Report of the IOAG Mars and Beyond Communications Architecture Working Group, February 2022 <  
<https://www.ioag.org/Public%20Documents/MBC%20architecture%20report%20final%200version%20PDF.pdf> >
- “Terms of Reference of the Space Frequency Coordination Group”, SFCG Resolution A6-1R2, < [https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A06-1R2%20\(Terms%20of%20reference\).pdf](https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A06-1R2%20(Terms%20of%20reference).pdf) >
- “SFCG Manual of Procedures for Inter-Agency Frequency Coordination”, SFCG Resolution A12-1R3, Establishment of Procedures for Inter-Agency Frequency Coordination, < [https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A12-1R3%20\(Interagency%20Coordination\).pdf](https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A12-1R3%20(Interagency%20Coordination).pdf) >
- “Lunar and Martian Interoperability and Spectrum Coordination”, SFCG Resolution A26-1R8, < <https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A26-1R8> >

[1R8%20\(LMS%20Coordination\).pdf](#) >

- “Assistance in the Assignment of Frequencies to Missions in the Lunar Region”, RES A40-1, < [https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A40-1%20\(Assistance%20in%20the%20Assignment%20of%20Frequencies%20to%20missions%20in%20the%20Lunar%20Reg\).pdf](https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%20SFCG%20A40-1%20(Assistance%20in%20the%20Assignment%20of%20Frequencies%20to%20missions%20in%20the%20Lunar%20Reg).pdf) >

- “SFCG Objectives for World Radiocommunication Conferences”, SFCG Resolution 40-1R4, < [https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%2040-1R4%20\(SFCG%20Objectives\).pdf](https://www.sfcgonline.org/Resolutions/RES%2040-1R4%20(SFCG%20Objectives).pdf) >

- “International Communication System Interoperability Standards, Revision A”, September 2020, International Deep Space Interoperability Standards (NASA, ROSCOSMOS, ESA, JAXA, CSA) < [https://nasasitebuilder.nasawestprime.com/idss2/wp-content/uploads/sites/45/2020/10/communication\\_reva\\_final\\_9-2020.pdf](https://nasasitebuilder.nasawestprime.com/idss2/wp-content/uploads/sites/45/2020/10/communication_reva_final_9-2020.pdf) >

- “Joint Concept of Operations for Cooperative Lunar Relay and Navigation Service (Preliminary Draft)”, ESA and NASA, December 2022 < [https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/04/joint\\_con\\_ops\\_document\\_dec\\_14\\_2022\\_final\\_draft.pdf](https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/04/joint_con_ops_document_dec_14_2022_final_draft.pdf) >

- Space Norway AS Petition for Modification of Grant of U.S. Market Access for the Arctic Satellite Broadband Mission to Extend or Waive Milestone Date, FCC, DA-23-922, October 2023 < <https://www.fcc.gov/document/space-norway-granted-milestone-extension-satellite-constellation> >

- “Chairwoman Rosenworcel Remarks to the Global Aerospace Summit”, FCC, September 2023 < <https://www.fcc.gov/document/chairwoman-rosenworcel-remarks-global-aerospace-summit> >

- “Office of International Affairs Seeks Comment on Recommendations Approved by the World Radiocommunication Conference Advisory Committee”, FCC, DA 23-296, Public Notice, April 2023 < <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-23-296A1.pdf> >

- “FCC Space Bureau & Office of International Affairs Launches April 11”, FCC, April 2023 < <https://www.fcc.gov/document/fcc-space-bureau-office-international-affairs-launches-april-11> >

- Comprehensive Review of Licensing and Operating Rules for Satellite Services, Part 25 Streamlining Second Report and Order, FCC-15-167, Dec 2015 < <https://www.fcc.gov/document/part-25-streamlining-second-report-and-order> >

- “Statement by the President on Communication Satellite Policy”, John F. Kennedy < <https://www.presidency.ucsb.edu/documents/statement-the-president-communication-satellite-policy> >

- “Space Policy Directive-1, Presidential Memorandum on Reinvigorating America’s Human Space Exploration Program”, White House

<<https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/presidential-memorandum-reinvigorating-americas-human-space-exploration-program/>>

- “The Artemis Accord, Principles for Cooperation in The Civil Exploration and Use of the Moon, Mars, Comets, and Asteroids for Peaceful Purposes”, NASA <

<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2022/11/Artemis-Accords-signed-13Oct2020.pdf> >

- “LunaNet Interoperability Specification Document Version 4”, NASA<

[https://www3.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/lunanet\\_interoperability\\_specification\\_version\\_4.pdf](https://www3.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/lunanet_interoperability_specification_version_4.pdf) >

- “Lunar Relay Services Requirements Document (SRD), Revision B w/DCN 001”, Goddard Space Flight Center NASA < [https://esc.gsfc.nasa.gov/static-files/ESC-LCRNS-REQ-0090%20Rev\\_B%2012-05-2022%20DCN001.pdf](https://esc.gsfc.nasa.gov/static-files/ESC-LCRNS-REQ-0090%20Rev_B%2012-05-2022%20DCN001.pdf) >

- Lunar Spectrum Management Portal, NASA

< <https://www.nasalsmp.org/SitePages/Home.aspx> >

- Commercial Lunar Payload Services (CLPS), NASA

< <https://www.nasa.gov/reference/commercial-lunar-payload-services/> >

- NASA News Release, ‘NASA Shares Progress Toward Early Artemis Moon Missions with Crew’, January 09 2024 (2024 年 3 月 1 日最終閲覧)

< <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-shares-progress-toward-early-artemis-moon-missions-with-crew/> >

- NASA News Release, ‘NASA Welcomes Uruguay Foreign Minister for Artemis Accords Signing’, February 15 2024 (2024 年 3 月 1 日最終閲覧)

< <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-welcomes-belgium-as-newest-artemis-accords-signatory/> >

- Cathy Sham, NASA Lunar and Human Spaceflight Spectrum Manager, SFCG Lunar Martian Spectrum Group Chair, “Lunar Spectrum Considerations”, ICG 17th Plenary, October 2023 < <https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2023/ICG-17/icg17.02.08.pdf> >

- Cathy Sham, NASA Lunar Spectrum Manager (LSM), SOMD (Space Operations Mission Directorate) Space Communications and Navigation (SCaN) Program Office, Spectrum Policy and Planning Division, “NASA Lunar Spectrum Management: Enabling and Protecting Lunar Science & Exploration”, National Economic and Social Council Workshop,

NASA, June 2022

- Richard Reinhart, NASA Glenn Research Center, “Lunar Communications and Navigation : Integrating Government, Commercial, and International Partner Solutions”, Global Satellite Servicing Forum, October 2023

- James Schier, Chief Architect Space Communications and Navigation (SCaN) Program, “LunaNet Overview”, NESC Unique Science from the Moon in the Artemis Era Workshop, June 2022

- David J. Israel, NASA Goddard Space Flight Center 他 “LunaNet: a Flexible and Extensible Lunar Exploration Communications and Navigation Infrastructure”, 2020 IEEE Aerospace Conference

< <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20200001555/downloads/20200001555.pdf> >

- ESA’s Annual Space Environment Report, ESA Space Debris Office, June 2023 < [https://www.sdo.esoc.esa.int/environment\\_report/Space\\_Environment\\_Report\\_latest.pdf](https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf) >

- “ESA advances its plan for satellites around the Moon”, ESA, May 2021

<[https://www.esa.int/About\\_Us/Corporate\\_news/ESA\\_advances\\_its\\_plan\\_for\\_satellites\\_around\\_the\\_Moon](https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_advances_its_plan_for_satellites_around_the_Moon) >

- “Moonlight: bringing connectivity to the Moon”, ESA, May 2021

<[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2021/05/Moonlight\\_bringing\\_connectivity\\_to\\_the\\_Moon](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2021/05/Moonlight_bringing_connectivity_to_the_Moon) >

- “Moonlight - Navigation and Telecommunications for the Moon”, ESA, May 2021

<[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2021/05/Moonlight\\_-\\_Navigation\\_and\\_Telecommunications\\_for\\_the\\_Moon](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/05/Moonlight_-_Navigation_and_Telecommunications_for_the_Moon) >

- Javier Ventura, “ESA Lunar Navigation Plans: Lunar Pathfinder & Moonlight”, International Committee on Global Navigation Satellite System (ICG) 16th, October 2022

< <https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2022/ICG16/11a.pdf> >

- “SSTL Lunar to Lead Consortium for ESA Moonlight”, SSTL, May 2021

<<https://www.sstl.co.uk/media-hub/latest-news/2021/sstl-lunar-to-lead-consortium-for-esa-moonlight> >

- News Release, “Crescent Space to Deliver Critical Services to a Growing Lunar Economy”, Crescent Space Services LLC, March 2023 < <https://cdn2.assets-servd.host/crescent-space/production/files/Crescent-Space-Official-Press-Release.pdf?dm=1680007839> >

- Deep Space Exploration Laboratory of CNSA, “International Lunar Research Station (ILRS) ”, UNCOPUOS 66th Session, May-June 2023 <

[https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2023/TPs/ILRS\\_presentation20230529\\_](https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2023/TPs/ILRS_presentation20230529_)

[pdf](#) >

- ・ Andrew Jones, “Egypt joins China’s ILRS moon base initiative”, SpaceNews, December 7, 2023 < <https://spacenews.com/egypt-joins-chinas-ilrs-moon-base-initiative/> >
- ・ Andrew Jones, “China wants a lunar satellite constellation to support deep space missions”, SpaceNews, October 5, 2023 < <https://spacenews.com/china-wants-a-lunar-satellite-constellation-to-support-deep-space-missions/> >
- ・ Andrew Jones, “China, Russia enter MoU on international lunar research station”, SpaceNews, March 9, 2021 < <https://spacenews.com/china-russia-enter-mou-on-international-lunar-research-station/> >
- ・ Caleb Henry, “ITU sets milestones for megaconstellations”, SpaceNews, November 21, 2019 < <https://spacenews.com/itu-sets-milestones-for-megaconstellations/> >
- ・ Jason Rainbow, ‘Satellite transmission power battle drags on after WRC-23’, SpaceNews, December 15, 2023 (2024 年 3 月 1 日最終閲覧)  
< <https://spacenews.com/satellite-transmission-power-battle-drags-on-after-wrc-23/> >
- ・ Jason Rainbow, ‘Orbital Spectrum Clash’, SpaceNews, January 23, 2024  
< <https://spacenews.com/orbital-spectrum-clash/> > (2024 年 3 月 1 日最終閲覧)
- ・ Jeff Foust, Lockheed Martin subsidiary to offer commercial lunar communications and navigation services, SpaceNews, March 29, 2023 < <https://spacenews.com/lockheed-martin-subsi-diary-to-offer-commercial-lunar-communications-and-navigation-services/> >
- ・ Jeff Foust, “ESA awards study contracts for lunar communications and navigation systems”, SpaceNews, May 21, 2021 < <https://spacenews.com/esa-awards-study-contracts-for-lunar-communications-and-navigation-systems/> >
- ・ Peter B. de Selding, “Phantom Satellites Among Tough Issues Regulators Tackling at WRC”, SpaceNews, January 30, 2012 < <https://spacenews.com/phantom-satellites-among-tough-issues-regulators-tackling-wrc/> >
- ・ Peter B. de Selding, “Iran’s WRC-12 Delegation Pushes for Overhaul of Satellite Registry Rules”, SpaceNews, January 27, 2012 < <https://spacenews.com/irans-wrc-12-delegation-pushes-overhaul-satellite-registry-rules/> >
- ・ Ryan Daws, “FCC establishes space bureau to meet growing demands”, TELECOMS, January 2023 < <https://www.telecomstechnews.com/news/2023/jan/10/fcc-establishes-space-bureau-meet-growing-demands/> >
- ・ Tereza Pultarova, “China wants to launch a moon-orbiting telescope array as soon as 2026”, Space.com, June 10, 2023 < <https://www.space.com/china-moon-orbiting-radio-telescope-2026> >

(特段の付記の無い URL は、全て 2023 年 12 月 8 日最終閲覧)

## 謝辞

本論文の作成に当たり、快く指導教官を引き受けていただいた城山教授に感謝申し上げます。課題点の指摘や方向性に対する助言、新たな観点の提示等に加えて、科学技術と公共政策（行政）の在り方に関する幅広い示唆をいただくことができました。

また、公共政策大学院で例年開講され、城山教授も担当されている講義「Space Development and Public Policy」が本稿のテーマの契機となっています。国内の宇宙開発企業の担当者や、JAXA 及び NASA をはじめとした諸外国の宇宙機関の実務者から直接話を伺うことができる貴重な機会であり、講義を通じて形成された宇宙開発分野への関心と、講義から得られた知見が本稿の土台となりました。講義全体を主導された菊池講師（JAXA）と栗山講師（JAXA）に感謝を申し上げます。

上記講義では、工学部航空宇宙工学系研究科の中須賀教授の研究室で、開発中の衛星機体を拝見する機会もありました。その後、中須賀教授に別途お時間をいただき、衛星開発に関する最新の技術動向をご教示いただくこともできました。感謝致します。

あらためてとなりますが、年間を通じてご指導いただいた城山教授、そして様々な機会にご助言ご教示をいただいた皆様に、お礼申し上げます。

2023 年 12 月 8 日 提出

2024 年 3 月 11 日 加筆修正後、最終提出