

Telecoms／ブロードバンド衛星

日本の視点：

日本の衛星通信コンステレーション事業の方向性と宇宙状況監視への貢献

衛星通信コンステレーション、真の黎明期、加速する未解決課題

衛星コンステレーションとは、従来の衛星1機で多くの仕事をこなす規格とは異なり、複数衛星で仕事を分配（1衛星あたりの仕事を減らす）し、衛星システム全体で機能を構築する規格のことである。この規格は近年の宇宙業界を賑わしている代表的なトレンドであるが、衛星コンステレーションという着想そのものは、1980年代の米レーガン政権時代に軍事目的（宇宙空間配備型のkinetic/hit-to-kill）で考えられていた比較的古い規格¹であるといえる。1990年代にはイリジウムやグローバルスターなどの米国企業が衛星“通信”コンステレーションによる衛星通信サービスを開始したが、ビジネスとしては成功に至らなかった。その理由としては、当時の衛星通信コンステレーションによる衛星通信サービスは電波の途絶・遅延性・低速などの明らかな技術的な課題が挙げられる。

では近年の衛星通信コンステレーションの盛り上がりはどこからくるのか？それはついに衛星通信コンステレーションが一般大衆化できる可能性があるということである。より具体的には、例えばSpaceXやOneWebの衛星通信コンステレーションは4G/LTE水準の高速で低遅延な衛星通信サービスを提供しており、既存の携帯通信サービスと十分に戦える新時代に突入しているのである。

しかしまだまだ重要インフラである通信サービスに、衛星通信コンステレーションが取って代わるほどの技術的・事業的な優位性はない。高速移動する地球低軌道上の通信衛星を的確にとらえ、数分の間に送受信を行い、次衛星とシームレスにハンドオーバーするなどの技術面の課題。継続的な通信サービス提供のために打ち上げ続けるリプレース機、さらに地上におけるゲートウェイ端末や通信可能な移動体通信端

末を普及させる高コスト体質などの事業面の課題。またこれら以上に、そもそも衛星通信コンステレーションという宇宙空間に配備された衛星自体が持続的に安全なオペレーションを実現できるのかも大きな悩みである。後者の課題認識がグローバル版の視点である。本稿では、まず初めに日本企業が企画している衛星通信コンステレーション事業を整理し、次にグローバル版の視点である宇宙空間の持続的な利活用に関する日本企業の取り組みを紹介したい。

日本企業が狙う衛星通信コンステレーション事業

米国のみならず中国、欧州などにおいても民間・政府それぞれが独自の衛星通信コンステレーションの配備計画を進めているが、日本ではわざわざ莫大な予算を割いて全地球を網羅するような衛星通信コンステレーションを独自に配備することは狙っていない。日本の衛星通信コンステレーション事業は、米英の衛星通信コンステレーションサービスの国内展開、あるいは、米英の衛星通信コンステレーションと独自の国内通信網をブレンドさせた既存通信サービスの高度化である。具体的にはソフトバンク株式会社、KDDI株式会社、楽天モバイル株式会社の3社が日本国内での衛星通信コンステレーションサービスを企図している。

ソフトバンク株式会社は、宇宙～成層圏からの通信サービスを提供する「非地上系ネットワーク」ソリューションの開発を目指し、英OneWebと技術・商品開発や国内許認可取得などに係る協業関係を構築している^{2,3}。従来の通信衛星と比較して大幅にダウンリンク／アップリンク／低遅延性を向上させたインターネット回線並びにセルラー回線の提供を目指している。

図表 1-2 国内衛星通信コンステレーション事業のサービススペック（例示）

	衛星シリーズ名	ダウンリンク速度	アップリンク速度	遅延性	周波数帯	サービス開始
ソフトバンク (インターネット回線)	OneWeb	195Mbps	32Mbps	静止衛星の 1/10	Ku,Ka	未定 (当初2022年中)
KDDI Starlink Business (インターネット回線)	Starlink	40-220Mbps	8-25Mbps	25～50ミリ秒	Ku	2022年12月
楽天モバイル (セルラー回線)	BlueWalker3	2Mbps	NA	NA	S,UHF	2024年～

ソース：各社ウェブサイトなど公開情報^{8,9,10}

KDDI株式会社は、SpaceXと業務提携を結び、Starlinkをau通信網のバックホール回線に利用したサービス（主に国内企業、自治体向け）を2022年12月1日より開始している⁴。同社のサービスは「Satellite Mobile Link」と呼び、通信が脆弱な山間部や島しょ地域におけるモバイル通信やDXサービスに貢献することを狙っている⁵。さらに同年12月22日からは、Starlinkの衛星通信サービス（主にインターネット回線）を日本展開するサービスとして「Starlink Business」も始めている⁶。

楽天モバイル株式会社は、楽天株式会社による米AST & Science（現AST SpaceMobile）への出資と戦略的パートナーシップに基づき、国内セルラー回線（主に4G）向けの衛星通信サービスの開発を目指す「スペースモバイル」プロジェクトを進行中である⁷。

これら3社はいずれも米英衛星通信コンステレーション事業者のインフラに頼ることで国内での衛星通信コンステレーションサービスを提供しようと企図しているが、ビジネス展開の方針はそれぞれ異なっている。ソフトバンク-OneWebペアは、ソフトバンクが資本投入を行いながら、衛星通信コンステレーションに関する技術開発～日本国内サービス開発まで一貫して共同開発する全体方針が感じ取れる。KDDI-SpaceXペアは、KDDIがStarlinkのユーザーとして国内既存通信サービスの高度化を図る側面と、SpaceXのいわば日本代理店としての顧客開拓・サービス開発の側面を持っていると考えられる。両ペアいずれのサービスも基本的には光ファイバー網/地上通信ネットワークの構築が難しいエリアにおける通信サービスの提供を目指しており、想定しているユースケースは建設現場、山間部における林業、僻地インフラ設置・メンテナンス、災害対応などに必要となるインターネット回線の提供並びに移動体通信端末へのセルラー回線提供である。楽天モバイルはソフトバンク・KDDIと異なり、直接携帯通信端末に通信することを主眼に置いたセルラー回線のみを検討している。参考までに、2022年12月時点における3社の通信サービスの基本スペックを図表1-2にまとめる。

衛星通信コンステレーションの課題「地球低軌道の混雑化」

図表1-2に例示した衛星通信コンステレーションサービスの質は、これら国内通信事業者間の競争の中で磨かれていくと想定できる。一方、そもそもの衛星通信コンステレーションサービスが持続的なものになるかは、その“インフラ”の脆弱性をいかに克服してくことができるかがキーとなる。このインフラの脆弱性は多様な論点から指摘することが可能だが、本稿ではグローバル版でも取り上げられた「地球低軌道の混雑化」に焦点を当て、まずは混雑化の定量イメージ（衛星数）を分析し、次にこの混雑化に対する日本企業の取り組みを紹介する。

地球低軌道の混雑化（衛星打上げ数の伸長）

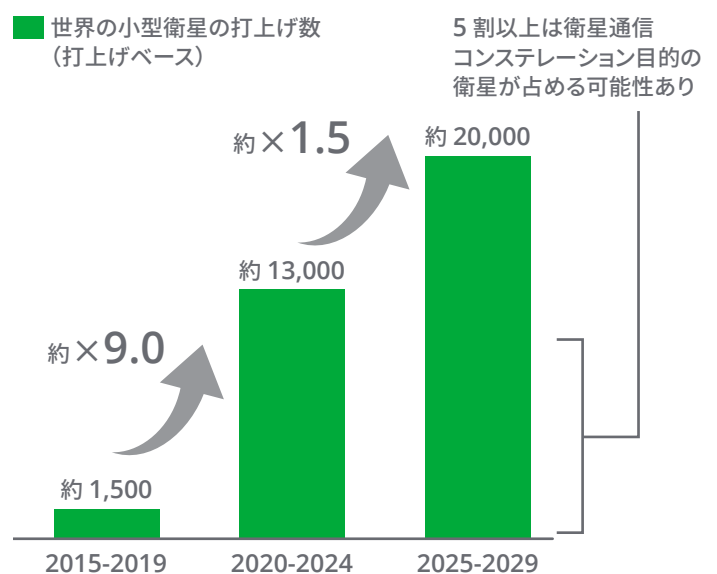
宇宙と聞けば広く聞こえるが、実際は軌道別に利活用の向き不向きがある。そのため人気の軌道は想像以上にも利用可能な場所がひっ迫している。例えば、衛星通信コンステレーションの多くは地球低軌道（地上から200kmから1,000km程度の範囲）を使う。この軌道に歴史上

経験したことの無い大量の小型衛星（1衛星通信コンステレーションシステムあたり数百衛星規模）を打ち上げることが衛星通信コンステレーションという“インフラ”構築に必要なのである。これはすなわち、地球低軌道における競争激化、混雑化によって引き起こされる問題が近未来に顕在化することを暗示している（既に周波数の取り合いや電波干渉などは世界的な課題）。

この地球低軌道の環境変化は衛星打上げ数ベースで見るとより明瞭に理解できる。例えば5年ごとの世界の小型衛星打上げ数は、2015-2019年の間は約1,500機/5年程度だったが、2020-2024年には約9倍の約13,000機/5年、2025-2029年にはさらに伸張し約20,000機/5年という水準まで拡大すると考えられる¹¹（図表1-3）。弊社の見立てではこの数字の5割以上を衛星通信コンステレーションが占めると考えている。つまり我々はこれまでに経験したことの無い数の衛星を地球近傍にバラまく予定なのである。

当然のように、衛星同士の衝突リスク、新たなデブリ発生リスク、そして衛星とデブリの衝突リスクの増加、という負のサイクルが発生することが今後ますます現実味を帯びてくる。事実、既に2019年の時点でSpaceXのStarlinkとの衝突リスクを考慮した欧州宇宙機関は運用中の衛星に回避運動をとらせている¹³。ではどうすれば混雑化の一途をたどる地球低軌道でのリスクを軽減できるのか？1つの手段として政府・民間が整備を進めるのが、正しく衛星及びデブリの位置を把握する「宇宙状況監視（SDA）¹⁴」と呼ばれる機能の具備である。宇宙空間のいつでも何が周回しているのかを正しく把握することで、ようやく対策が考えられる。

図表1-3 世界の小型衛星の打上げ数推移¹²



ソース：公開情報をベースにデロイトトーマツ独自推計

日本企業によるSDAへの貢献

宇宙の混雑状況の把握に必要なSDAデータ（デブリや衛星の位置情報など）の基礎となっているのは、一般的に米軍の連合宇宙運用センター（Combined Space Operations Center: 通称CSpOC）が各国政府や衛星事業者に提供しているデータである¹⁵。しかし軍がデータを管理していることから、必ずしもすべての物体情報が米国以外に共有されているわけではない。さらにCSpOCが観測できないデブリも多いとされている¹⁶。ここに商機を見た民間企業が独自で地上や宇宙空間に観測器を配備して、CSpOCのデータを補完するSDAサービスの提供を始めている。ここでは日本発のSDAソリューションを2種紹介したい。

2021年度S-Booster（宇宙を活用したビジネスアイデアコンテスト）¹⁷で審査員特別賞を受賞したチーム「スターシグナル・ソリューションズ」は、すべての衛星に搭載されているスタートラックと呼ばれる恒星の位置を測定する機器のデータを再利用するソリューションを企図している。具体的には、スタートラックで観測する恒星と自衛星の間のデブリや他衛星といったノイズ情報を集め解析することで、SDAデータとしての価値を生み出すというものである。同社のシミュレーションによると、高度800kmの太陽同期軌道に配備されている衛星の場合、±100km範囲に存在する90%以上の物体の軌道を把握することが可能となっている¹⁸。

一方で、弊社グループである有限責任監査法人トーマツは、東京大学と共同で科学観測用望遠鏡を活用したSDAサービスの開発を計画している¹⁹。当該サービスでは、科学観測データに含まれるデブリが原因で発生するノイズを収集し、独自のアルゴリズムでデータを解析することで、将来のデブリの速度や位置などを高精度で予測でき、衛星オペレーターに対して的確なデブリ接近アラートを発信することが可能となる。これは、物体の位置捕捉精度が高く、地球高軌道を含む遠方を観測できる科学観測用望遠鏡だからこそ実現できるソリューションであり、トーマツのシミュレーションでは、デブリが通過する軌道予報円の大きさを従前の10,000mから100mまで抑えることができると試算している（予報円を99%縮小）。

おわりに

2022年は、衛星通信コンステレーションサービスが既存の通信サービスを代替する水準にまで発展し、一般大衆化に向け大きく進歩を見せた年である。何をもって一般大衆化かと呼ぶかは難しいところだが、2022年12月には100万人ユーザーを達成したSpaceXのStarlinkは記録的な業績であるといえる²⁰。日本国内でも通信事業者が衛星通信コンステレーション事業に乗り出しており、企業や家庭で衛星通信コンステレーションを介したインターネット回線やセルラー回線を利用し始めるのは時間の問題である。他方、衛星通信コンステレーションが配備されている地球低軌道の環境悪化（混雑化）は年々加速しており、持続可能な衛星通信コンステレーションサービスの実現には地球低軌道を周回する物体の見える化の精度を高めることが不可欠である。日本でも、JAXAや防衛省のみならず、民間事業者もSDAソリューションの企画検討・開発を進めている。理想的なSDAシステムの構築には、グローバル×産官学が力を合わせることに肝要である。今後もより多くの日本企業が新たなSDAソリューションを開発することで、混雑しつつもコントロール可能な持続的な宇宙空間を実現につながることを期待される。

1. Iridium: 7 Years Out Of Bankruptcy, Satellite Communications Player Eyes A 2009 IPO, barron's, 2008/2/22: <https://www.barrons.com/articles/BL-TB-6346>
2. 宇宙空間や成層圏から通信ネットワークを提供する非地上系ネットワークソリューションの展開を推進～SkyloやOneWeb、HAPSモバイルの通信サービスを活用して、産業のデジタル化を加速～, ソフトバンク株式会社, 2021/6/9: https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2021/20210609_01/
3. ソフトバンクとOneWeb、日本およびグローバルでの衛星通信サービスなどの展開に向けた協業に合意, ソフトバンク株式会社, 2021/5/13: https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2021/20210513_02/
4. スペースXの「Starlink」をau通信網で利用開始, KDDI株式会社, 2022/12/1: <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2022/12/01/6414.html>
5. Satellite Mobile Link, KDDI株式会社, 2023/3/28アクセス: <https://biz.kddi.com/service/satellite-mobile-link/>
6. STARLINK BUSINESS, KDDI株式会社, 2023/3/28アクセス: <https://biz.kddi.com/service/starlink/>
7. 「スペースモバイル」でどこでもつながる通信へ、楽天モバイルの挑戦, 楽天モバイル株式会社, 2022/5/19: https://corp.mobile.rakuten.co.jp/blog/2022/0519_01/
8. Rakuten OPTIMISM, 楽天モバイル株式会社 HP, 2023/3/28アクセス: <https://optimism.rakuten.co.jp/>
9. AST&Science LLC, "BLUEWALKER 3 NON-GEOSTATIONARY SATELLITE", 2020年: <https://fcc.report/ELS/AST-Science-LLC/1059-EX-CN-2020/265582.pdf>
10. 楽天モバイル、AST SpaceMobileの衛星通信、2024年の導入をめざすと表明, UchuBiz, 2022/11/11: <https://uchubiz.com/article/new9694/>

著者



谷本 浩隆
Hirotaka Tanimoto

デロイトトーマツ コンサルティング
合同会社
ディレクター



脇本 拓哉
Takuya Wakimoto

デロイトトーマツ コンサルティング
合同会社
マネジャー



諏訪 太一
Taichi Suwa

デロイトトーマツ コンサルティング
合同会社
シニアコンサルタント

編集メンバー

奥村 啓文
Hirofumi Okumura

デロイトトーマツ コンサルティング
合同会社
シニアコンサルタント

内野 幸治
Koji Uchino

デロイトトーマツ コンサルティング
合同会社
シニアマネジャー

監修

真鍋 裕之
Hiroyuki Manabe

デロイトトーマツ コンサルティング
合同会社
執行役員

10年以上にわたり、一貫して航空宇宙・防衛分野において、新規事業策定、中長期戦略策定、サプライチェーン改善などのコンサルティングサービスに従事。近年は、空飛ぶクルマ・宇宙領域などの新技術の実用化・社会実装に向けたプロジェクトを多数リードしている。

宇宙ビジネスに関する新規事業戦略、マーケット調査、政策・法規制分析、日本宇宙企業の海外輸出サポートなどのコンサルティングサービスを提供している。ジョージワシントン大学大学院宇宙政策研究所（修士）、同大学院博士課程（在籍）

通信・自動車業界の民間企業に対して、戦略策定～システム導入までEnd-to-Endでクライアント企業の支援を実施した経験を有する。近年は、宇宙業界の民間企業・官公庁に対して、新規事業戦略や宇宙政策の策定支援など幅広いコンサルティングサービスを提供している。

11. 公開情報をベースにデロイトトーマツ独自推計
12. 2015-2019は打上げ実績値ベース、2020-2024は打上げ実績値とデロイト独自予測値ベース、2025-2029はデロイト独自予測値ベース
13. ESA spacecraft dodges potential collision with Starlink satellite, SPACE NEWS, 2019/2/2: <https://spacenews.com/esa-spacecraft-dodges-potential-collision-with-starlink-satellite/>
14. 英語ではSpace Domain AwarenessやSpace Situational Awarenessという呼称があるが、本稿ではSDAと呼ぶ（尚、グローバル版ではSpace Situational Awarenessという呼称を使用している）
15. SPACE DEBRIS AND SPACE TRAFFIC MANAGEMENT, AEROSPACE, 2018/11/14: <https://aerospace.org/space-debris>
16. Space debris, Airforce HP, 2023/3/28アクセス: <https://www.airforce.com/experience-the-air-force/airmen-stories/inside-air-force-innovation/space-debris>
17. S-booster, 2023/3/28アクセス: <https://s-booster.jp/>
18. S-booster選考プレゼンなどより
19. 第10回スペースデブリワークショップ, 宇宙航空研究開発機構 (JAXA), 2022/11/28: https://www.kenkai.jaxa.jp/event/2022/debrisws2022_03.html
20. Starlink now has more than 1,000,000 active subscribers., SpaceX公式twitter, 2022/12/20: <https://twitter.com/SpaceX>