

# 空のインフラ——成層圏と低軌道衛星インターネットの動向

湧川 隆次 ●慶應義塾大学 KGRI 特任教授

低軌道衛星を利用した通信技術がインターネットサービスのさらなる普及を促す。成層圏を飛ぶHAPSから宇宙空間の衛星まで、空のインフラの発展に期待が高まる。

## ■空からのインターネット

民間人による宇宙旅行までもが現実のものとなったように、近年、宇宙事業が非常に活発化している。とりわけ2022年は、低軌道衛星（通称LEO：Low Earth Orbit）を使ったモバイルダイレクトサービスに注目が集まった1年となった。低軌道上に展開した大量の小型衛星によるインターネット接続サービスに続いて、スマホに直接モバイルネットワークを提供するという新たな試みへの参入が多く見られ、楽天が出資するASTスペースモバイルやテスラのイーロン・マスク氏が率いるスペースXが参入を発表した。端末ではアップルのiPhone 14から、緊急のSOS通信を低軌道衛星経由でいつでもどこでもつなげられるサービス<sup>1</sup>が米国で始まり、各国でも順次開始する予定だ。

また、成層圏を利用した通信サービス（通称HAPS：High Altitude Platform Station）の進展も見逃せない。成層圏は人類が事業化を果たせていない未踏の領域であるが、宇宙よりも近く、大気圏内であるこの空間の利用には多くの可能性がある。こうした空のインフラの拡大は、インターネットのさらなる普及や利便性の向上をもたらすことになるだろう。

## ■地表からの距離に応じた衛星の活用

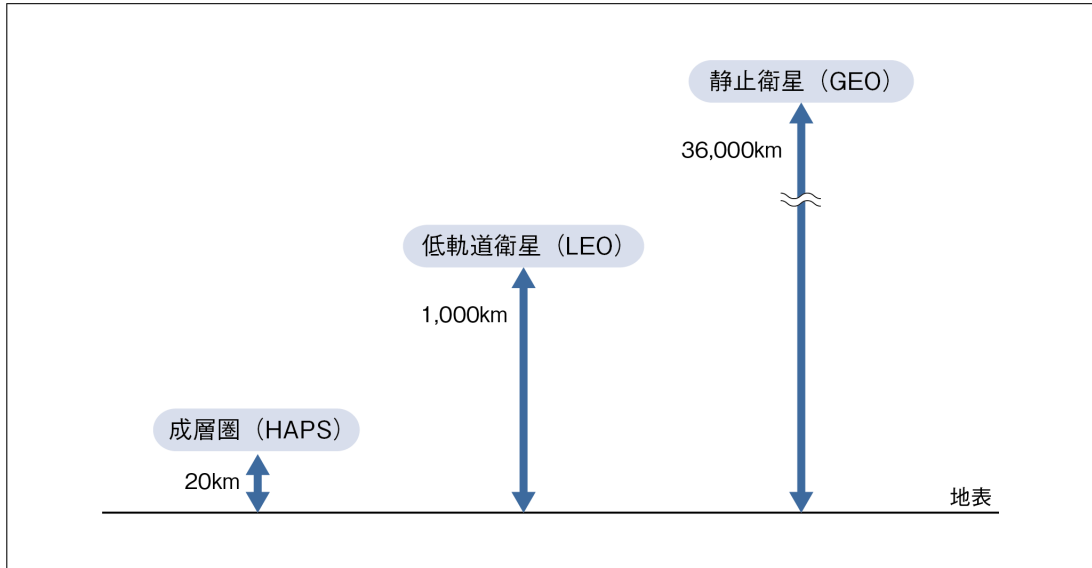
通信衛星を利用した空からのインターネットは、その衛星やプラットフォームが飛ぶ高度、すなわち地表からの距離によって3種類に大別することができる（資料4-2-3）。

### ●静止衛星（GEO）の特徴

従来、通信衛星として一般的に用いられてきたのは静止衛星（通称GEO：Geostationary Orbit）である。静止衛星は地表から3.6万kmほどの高さを、地球の自転と同じ周期で公転している。そのため地上からは静止しているようにしか見えないが、この性質ゆえに通信エリアを一定に保つことができる。気象衛星や放送、通信でも利用されており、日本でもスカパーJSATが有料テレビ放送「スカパー！」のサービスを提供している。しかし静止衛星は地上からはるか遠くを周回している都合上、その通信速度は限られ、通信遅延も多い。そのため小さいデータの送受信や、厳密なりアルタイム性が要求されない通信を中心に用いられてきた。

### ●低軌道衛星（LEO）の特徴

LEOは、地上から1000km前後の、比較的近い



出所：村井純、湧川隆次著、『アンワイアード デジタル社会基盤としての6Gへ』、インプレスR&D

宇宙を飛ぶ。静止衛星とは違い、地球の自転とは異なる周期で低軌道上を周回するため、1つの衛星ではその衛星が利用者の上空にいる時にしかインターネットのサービスを提供できない。そこで何百基もの衛星を周回させ、次々に通信先を切り替えることで、常時インターネットのサービスを利用できるようにしていることがLEOの特徴である。何十基もの小型衛星を搭載したロケットを次々と宇宙に送り、何百基もの小型衛星の網を作る。こうして増やした衛星数がそのまま通信キャパシティの増加につながり、より多くの利用者へのサービスの提供が可能になるのである。このためLEOのインターネットサービスは、人の少ない過疎地や発展途上国における家のインターネット回線として活用でき、さらには、飛行機やタンカー、大型船など、広範なエリアを行き来する乗り物をインターネットに接続する技術としても注目が集まっている。

#### ●HAPSの特徴

HAPSは成層圏に飛ぶプラットフォームのことで、成層圏に滞留できる小型から大型のドローン、気球、飛行船などを指す。成層圏は地上から20km程度の高さに広がる空間で、大気圏を形成する層の1つであり、宇宙ではなく地球の一部として扱われる。成層圏は空気が薄く気圧が低い半面、風が穏やかで気象環境が安定しているという特徴があり、HAPSの機体も長期間上空に停滞させることができる。そのため、機体に基地局を装備することで「空飛ぶ基地局」としての利用が可能になるのである。

GEO、LEO、HAPSといった、これらすべての技術が人々のネットワークの利用を支えている。近年では地上局 (Terrestrial Network) とこの上空の通信機を区別するため、「NTN (Non Terrestrial Network)」というカテゴリーが移動通信の標準化団体である3GPP (Third Generation Partnership Project) に追加され、空のインフラ整備に向けて

新しい技術やユースケースの検討が活発に行われている。

## ■LEOをめぐる企業の動き

LEOの発展によって地上から宇宙までの距離が縮まり、通信に伴う遅延も短縮され、通信品質も向上できると期待されている。LEOとは超小型の通信衛星を低軌道に数百基も投入し、世界中をインターネットのサービスエリアにしようという壮大なプロジェクトであるとも言える。

2021年、スペースXが家庭向けインターネットサービスである「スターリンク」の提供を始めた<sup>2</sup>。下りが300Mbps、上りが100Mbps程度の固定サービスで、利用には衛星からの電波を受信するためのアンテナ（スカパー！などの衛星放送を受信するのと同等のもの）や受信端末が必要となる。ほかにも、ソフトバンクが出資参画しているワンウェブ（OneWeb）など、複数の事業者がLEOの実用化に取り組んでおり、2022年12月時点でスペースXでは3500基以上、ワンウェブでも500基以上の衛星が打ち上がっている。周波数は衛星で使われているマイクロ波のKUやKABANDが主に利用されていて、これらの周波数を使うことでグローバルなサービス提供が可能となる。

LEOを利用するには、地球をメッシュ状に覆い軌道上に沿って動く数百基の衛星を、地上側で追尾、観測し、次々と通信先を切り替えていかなければならない。そのために必要となるのが、GEOで用いられるような固定されたパラボラアンテナではなく、追尾型のアンテナだ。現在では物理的に首を振るドーム型のアンテナや、デジタルビームフォーミング制御<sup>3</sup>で追尾する平面アンテナが検討されている。

2022年には、LEOから携帯電話の周波数を使い、スマホに直接電波を届けるモバイルダイレク

トサービスを、ASTスペースモバイルやスペースXが相次いで発表している。2022年11月、ASTスペースモバイルは巨大な無線アンテナを宇宙で広げる実験に成功した<sup>4</sup>。上空500kmと地表から遠いところで基地局を動かすためには耳が良いアンテナが必要となるが、そうするとアンテナはどうしても巨大化（約700スクエアフィート）してしまう。そこでまず、アンテナを折り畳んで小さくした状態で宇宙に送り、宇宙空間で改めてそれを広げる必要があったのだ。また、スペースXは、T-モバイルと連携し、1.6Ghzと2.4GhzのISM周波数を使ってスマホの圏外エリアを無くす試験を検討している<sup>5</sup>。

さらに2022年12月、KDDIはスターリンクと提携し、基地局のバックホールでのLEOの利用を開始した<sup>6</sup>。離島や山間部が多い日本では光ファイバー回線が確保できないことが多く、これまでGEOの衛星通信や、マイクロウェブなどの2拠点を結ぶ無線通信が用いられてきた。今後は、地球上どこでも利用可能で低遅延かつ高帯域というLEOの利点を生かして、離島や災害時用のバックアップ回線として基地局に導入を進め、全国約1200か所に順次提供を拡大していくとのことである。

そのほか、アマゾン・ドット・コムが衛星インターネット事業を進めるKuiperプロジェクトの打ち上げを2023年に予定しており、AWSではLEO向けの地上局サービスを提供している。サービスが開始された衛星インターネットに加え、技術課題が残るモバイルダイレクトサービスの検証も開始されていくなど、LEOが数年注目を浴びるのは間違いのない。

## ■成層圏の利用と挑戦

成層圏の積極的な利用にはまだまだ課題も多い。解明されていない気象条件もあるし、そもそ

も飛行体を飛ばすための各種レギュレーションも整備されてない。しかし、この成層圏は地上から20km程度と圧倒的に近く、大気圏内である。そのためHAPSは通信インフラとして利用する上で、宇宙空間の通信衛星とは異なるメリットも多く持っているのである（資料4-2-4）。

通常、通信衛星の場合は衛星用の周波数を利用するため、専用の特殊端末が必要となる。しかし成層圏であれば、携帯電話向けの周波数を利用できるので、私たちのスマホがそのまま端末として使える。基地局の無線機を成層圏にまで持ち上げているだけなので、成層圏からの電波もスマホで送受信できてしまうのだ（LEOでもスマホ向けのサービスが検討されていることを前述したが、それはまだ構想段階である）。

成層圏に基地局を持ち上げるための手段としては、ドローンなどの飛行機型と、飛行船・気球型が検討されており、世界中の企業がこの新しい事業を実現しようと動き始めている。また、成層圏の早期事業化を目指すため、2020年にはHAPSアライアンス<sup>7</sup>という業界団体も設立され、2021年12月の時点で50社以上の企業が参加している。2022年には、パイロードの運用ガイドラインやHAPSオペレーター同士の交通管理手法の検討を白書として出版したほか、3GPPやITUでの標準化議論に貢献している。

成層圏を使ったインターネットサービスは、以前からグーグルやメタ・プラットフォームズといった事業者によって模索されていた。現在では彼らの実験やプロジェクトは終了を迎えているものの、その挑戦は未だ世界中で続いている。

日本では、ソフトバンクが2017年から成層圏

の活動を開始し、機体設計、試験機の製造、試験飛行を行い、2020年に飛行機型のHAPSを使って成層圏からの通信実験を成功させた。ソフトバンクの機体は尾翼長が78mで、10個のプロペラを搭載、自走で離陸し成層圏まで上がり、自力で着陸することができる。

2022年には、英Stratospheric PlatformsがサウジアラビアでHAPS 5Gデモに成功した<sup>8</sup>ほか、エアバスが無人飛行機の最長飛行記録を64日に更新している。また、NTTドコモは2022年4月にスカパーJSATと合弁でSpace Compassを立ち上げ<sup>9</sup>、成層圏も含めた宇宙統合コンピューティングネットワークの実現を目指している。

## ■空のインフラがもたらすこれからのインターネット

空からのインターネットの技術は、次世代の通信システムであるBeyond 5Gや6Gの要素技術としても期待されている<sup>10</sup>。今後技術開発の競争が始まれば、その実用化が一気に進む可能性もある。

HAPSモバイルによると、未だに世界人口の約半数、30億人以上もの人々がインターネットに接続できていないという。デジタル化やインターネット環境の有無が格差につながる現代において、これは大きな問題である。しかし、これまで見てきたように、近年ますます加速する空のインフラ整備が進めば、こうした問題もまた解決に近づくはずだ。

インターネットがいつでも、どこからでも利用できる世界。空のインフラはそんな世界を実現するための、重要な鍵となるだろう。

1. <https://support.apple.com/ja-jp/HT213426>

2. <https://ast-science.com/2022/11/14/693-square-foot-array-on-blue-walker-3-successfully-completed-deploy>

ent/

3. 伝搬路の品質を推定し、電波の位相や強度を制御して受信強度を高める方法。

資料 4-2-4 通信衛星と HAPS の比較

	通信衛星	HAPS モバイル (Sunglider)
地上との距離	1,000km 以上	20km
通信方式	衛星通信方式 (TDMA、FOMA など)	LTE、5G
通信サービス利用時のユーザー端末	専用端末	一般モバイル端末
通信サービスエリア	広範囲	直径 200km 円
通信遅延	20 ~ 500ms (ミリ秒)	0.3ms (ミリ秒) ※片方向

出所：村井純、湧川隆次著、『アンワイアード デジタル社会基盤としての 6G へ』、インプレス R&D

4. <https://ast-science.com/2022/11/14/693-square-foot-array-on-blue-walker-3-successfully-completed-deployment/>
5. <https://www.t-mobile.com/news/un-carrier/t-mobile-takes-coverage-above-and-beyond-with-spacex>
6. <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2022/12/01/6414.html>
7. <https://www.hapsmobile.com/ja/haps-alliance/>
8. <https://www.stratosphericplatforms.com/news/world-first-5g-transmission/>
9. <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/04/26/220426a.html>
10. 総務省「Beyond 5G 推進戦略 - 6G へのロードマップ -」  
[https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban09\\_02000364.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000364.html)



1996, 1997, 1998, 1999, 2000...

## [インターネット白書 ARCHIVES] ご利用上の注意

このファイルは、株式会社インプレスR&Dおよび株式会社インプレスが1996年～2023年までに発行したインターネットの年鑑『インターネット白書』の誌面をPDF化し、「インターネット白書 ARCHIVES」として以下のウェブサイトで公開しているものです。

<https://IWParcives.jp/>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、データ、URL、名称など)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真・図の作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は掲載されていない場合があります。
- このファイルの内容を改変したり、商用目的として再利用したりすることはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用される際は、出典として媒体名および年号、該当ページ番号、発行元などの情報をご明記ください。
- オリジナルの発行時点では、株式会社インプレスR&Dおよび株式会社インプレスと著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

お問い合わせ先

インプレス・サステナブルラボ

✉ [iwp-info@impress.co.jp](mailto:iwp-info@impress.co.jp)