

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 ●慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 特任教授

小型衛星の技術革新と低軌道衛星の発展がインターネットサービスの未普及地域や災害時に不可欠。成層圏を飛ぶHAPSをはじめ、空のインフラへの挑戦は続く。

■成層圏から宇宙まで

この数年、宇宙事業が盛んである。イーロン・マスク氏がロケットを地上に戻して再利用を目指し、民間人も宇宙にどんどん旅立つ時代になった。その派手なニュースに隠れて、宇宙事業の重要なトレンドがもう一つある。小型衛星の技術革新と低軌道衛星の活用である。巨大な静止衛星とは違い、数キログラムから数十キログラムの小型の衛星を、地球から近い低軌道に、大量に展開することによって、新しい通信サービスが生まれるのだ。

宇宙よりもっと近い地球の成層圏を使った通信サービスの技術開発も進んでいる。この低軌道衛星（通称LEO：Low Earth Orbit）や成層圏（通称HAPS）といった空からの仕掛けこそが、インターネットの次のインフラとして大いに期待されているのである。

■地表からの距離で変わる衛星の活用

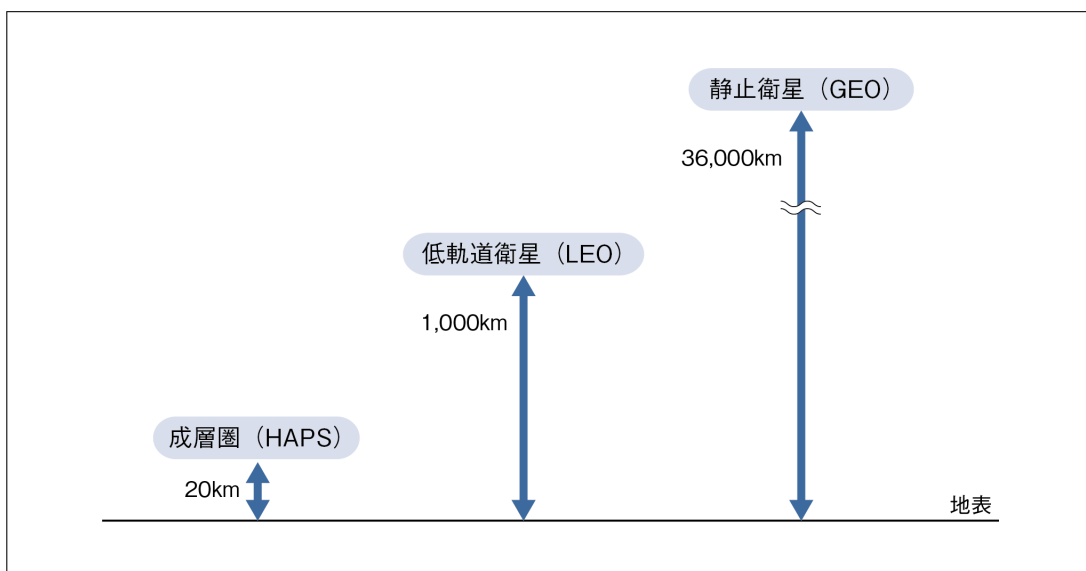
空からのインターネットを整理してみよう。資料4-2-3にある通り、地表からの距離が大きく通信サービスに影響する。

一般的に通信衛星と言えば、長らく静止衛星（GEO：Geostationary Orbit）のことを指してい

た。静止衛星は地上から3.6万kmのはるかかなたにある衛星で、地球の自転周期と同じ周期で回り、地上からは静止しているように見えるため、通信エリアを一定に保つことができる。気象衛星、放送や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。ただ、地球から遠いため、通信速度が限られたり、通信遅延が大きかったりといった問題がある。そのため、以前は小さいデータの送受信や、リアルタイム性が厳密に要求されない用途の通信にしか適していなかった。しかし最近では技術も進み、過疎地や災害地の4Gや5Gの基地局バックホールとしても利用されている。

●LEOの特徴

LEOの特徴は、地上から1000km前後の近い宇宙を飛ぶことである。静止衛星と違い、地球を周回するため、本来は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は受けられないが、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受けられるようにする。一度に何十基もの小型衛星を搭載したロケットを宇宙に送り、何百



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

基もの小型衛星の網を作るのだ。衛星数を増やせば通信キャパシティを増やせるので、より多くの利用者にサービスが提供できるようになる。LEOのインターネットサービスは、人が住ま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る。また、飛行機、タンカー、大型船などの広いエリアを動く乗り物をインターネットに接続する技術としても期待されている。

●HAPSの特徴

HAPSは、High Altitude Platform Stationの略称で、成層圏に飛ぶプラットフォームのことである。具体的には、成層圏に滞留できる小型から大型のドローン、気球、飛行船などを指している。成層圏は、地上から20km程度の空間を意味し、宇宙ではなく地球の一部として扱われる。成層圏には、空気や気圧が薄い半面、風が穏やかで気象環境が安定しているという特徴がある。HAPSの機体を長期間上空に停滞させることができるの

で、機体に基地局を装備すると、「空飛ぶ基地局」になる。

通信衛星、低軌道衛星、HAPS、これらすべてがネットワークの提供を可能にする。最近では地上局（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。

■参入が相次ぐLEO

LEOは、地表からの距離が縮まり、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。超小型の通信衛星を低軌道に数百基投入し、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。

2021年、テスラのイーロン・マスク氏が率いるSpace Xがスターリンクというサービス名で、

家庭向けインターネットサービスの提供を始めた。下りが300Mbps、上りが100Mbps程度の固定サービスである。スターリンクのサービスを受けるには、衛星からの電波を受信するためにスカパー！などの衛星放送を受信するのと同等のアンテナや受信端末が必要となる。スターリンク以外にも、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いる。Space Xでは1800基程度、ワンウェブでも500基以上の衛星を打ち上げる予定である。周波数は衛星で使われているマイクロ波のKUやKAバンドが主に利用される。これらの周波数を使うことで、グローバルにサービスを提供することが可能となる。

LEOがなぜここまで注目されているのか。これには、いくつか理由があるが、一つは小型衛星を利用していることである。小型衛星であれば、開発コストも開発期間も大型の衛星に比べて圧縮できる。小さいため、一度に複数の衛星をロケットに搭載して打ち上げたり、大型衛星の打ち上げロケットに忍ばせて打ち上げたりすることもできる。民間参入や再利用などでロケットの打ち上げコスト自体も下がっており、全体としての運用コストも下げられる。結果として、多くの民間会社やスタートアップまでもがこの分野に参入しているのである。

LEOは、数百基を宇宙に放ち、地球をメッシュ状に覆う。これらの衛星がぐるぐると軌道上にそって動く。そのため、地上側では見えている衛星を追尾し、見えなくなると次に見えてきた衛星に切り替えるという制御が必要になる。静止衛星サービスのようにパラボラアンテナを固定で設置するのではなく、追尾型アンテナが必要となる。物理的に首をふるような船舶によくあるドーム型のアンテナや、デジタルビームフォーミング¹制御で追尾する平面アンテナが検討されている。

■成層圏インターネットへの挑戦

成層圏は、人類が事業化を果たせてない未踏の領域である。まだまだ解明されて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と圧倒的に近く、宇宙ではなく、大気圏内である。通常、宇宙にいる通信衛星の場合は、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。成層圏の場合は、携帯電話向けの周波数をそのまま利用できる。私たちが使うスマホをそのまま利用できる。基地局の無線機を成層圏に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受けたり送ったりして通信ができてしまうのだ。資料4-2-4にそれぞれの違いを示しておく。

成層圏に基地局を持ち上げるため、無人機（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アライアンスという業界団体²も設立され、2021年12月現在、50社以上の企業が参加している。技術、ルール、ユースケースなどの熱い議論が始まっている。

成層圏を使ったインターネットサービスは、グーグルや旧フェイスブック（現在メタ）といったインターネット事業者が実験的に進めていた。彼らの実験やプロジェクトは終了を迎えているが、実はその火は全く消えてない。

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年に機体型のHAPSを使って成層圏からの通信実験を成功させている。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。化石燃料を一切使わ

	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

ないので、環境にも優しい。ソフトバンク以外にも、NTT ドコモがエアバスと連携して試験を進めたり、ドイツテレコムが燃料電池を使ったドローンを使って成層圏での通信実験を進めていたりする。

また、HAPS ではないが、LEO から衛星用周波数ではなくスマホで利用できる IMT 周波数の電波をそのまま届けようという計画もある。楽天も出資する、米国に本社がある AST & Science である。LEO のため、スマホと通信するには電波を届けるためのパワーが必要になるが、電波は距離に応じて減衰してしまう。こうした LEO の距離による減衰を補うため、AST では超巨大なアンテナを宇宙に広げ、アンテナの利得によってこの課題を克服しようとしている。

■世界中どこにいてもつながるインターネットの実現を

これまで見てきたように、全世界で空からのイ

ンターネットの提供が一気に加速している。

そしてこの技術は、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おり³、今後技術開発の競争が始まり、一気に実用化に進む可能性がある。

大事なことは、これらの技術そのものではなく、技術によってインターネットがいつでも、世界中のどこからでも利用できる時代に突入するということだ。HAPS モバイルによると、いまだに世界の半数の 30 億人以上がインターネットに接続できていない。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時代、これは大きな問題である。空からのインターネットの技術によって、インターネットにつながらない地域、モバイルの圏外があったことすら忘れ去られる日が来るかもしれない。

1. 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。
2. HAPS アライアンス
<https://www.hapsmobile.com/ja/haps-alliance/>
3. 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



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～2022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://IWParchives.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