

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 ●慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュート (KGRI) 特任教授

低軌道衛星はブロードバンド回線からモバイルダイレクトが開始される次なるステージへ。HAPSは各社商用化を目指した動きが進み競争が本格化。6Gに向けて空のインフラは大きな役割を担うことになる。

■空からのインターネット

携帯電話業界で進み始めた6Gの議論において目玉になりそうなのが、空からのインターネット (Non Terrestrial Network : NTN) である。ITUが示した6Gのコンセプトに、新たに加わったユビキタス接続 (Ubiquitous Connectivity) がまさにこのNTNを指している (後述)。いつでも地球上のどこでも通信ができる必要が高まっており、6Gでも重要テーマとなっている。

その先頭を走るのが、SpaceXの宇宙通信事業である。2024年には、Falcon 9のブースター回収をアームでキャッチしてみせた。このSpaceXが低軌道衛星 (通称LEO : Low Earth Orbit) を使って提供するの、通信サービスである。同社が提供する固定ブロードバンドサービス「Starlink」は世界中で提供され、いつでもどこでもインターネットができる世界をつくり上げた。ウクライナ侵攻では、地上インフラが被害を受けてもこのStarlinkを使いウクライナの情報インフラが支えられた。2024年1月の能登半島地震でも、Starlinkでインターネット環境を早期に回復させたのは記憶に新しい。このように、各国において空からのインターネットの重要性が大きく高まっている。

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き、スマホに直接モバイルネットワークを提供する「モバイルダイレクト」 (通称) という新たな試みも、ついに2025年には実現しそうである。モバイルダイレクトが実現すると、衛星を使ったデータ通信が地上局のそれと遜色なく利用できるようになる。

一方で、以前は特殊端末で利用できていた通信速度が遅い静止衛星電話サービスを、緊急のSOS通信などのサービスに限定してiPhoneやAndroid搭載端末のスマホで直接受けられるようになってきている¹。携帯電話がライフラインになっているからこそ、通信の冗長性を衛星で高めているのである。

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4-2-2）。

●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。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前後の比較的近い宇宙を飛ぶ。GEOとは違い地球の自転と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ときにしかインターネットのサービスを提供できない。そのため、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のが、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。

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庭のインターネット回線として活用できるとともに、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開始された。技術が進み、今では携帯電話に直接電波を届けて通信することができるようにまでなっている。地表に近い所を飛ぶ衛星だからこそ、遅延や帯域の制限こそあれさまざまなサービスを実現できるのである。

●成層圏（HAPS）の特徴

HAPSは成層圏に飛ぶプラットフォームで、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ある。大気圏を形成する層の一つであり、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。

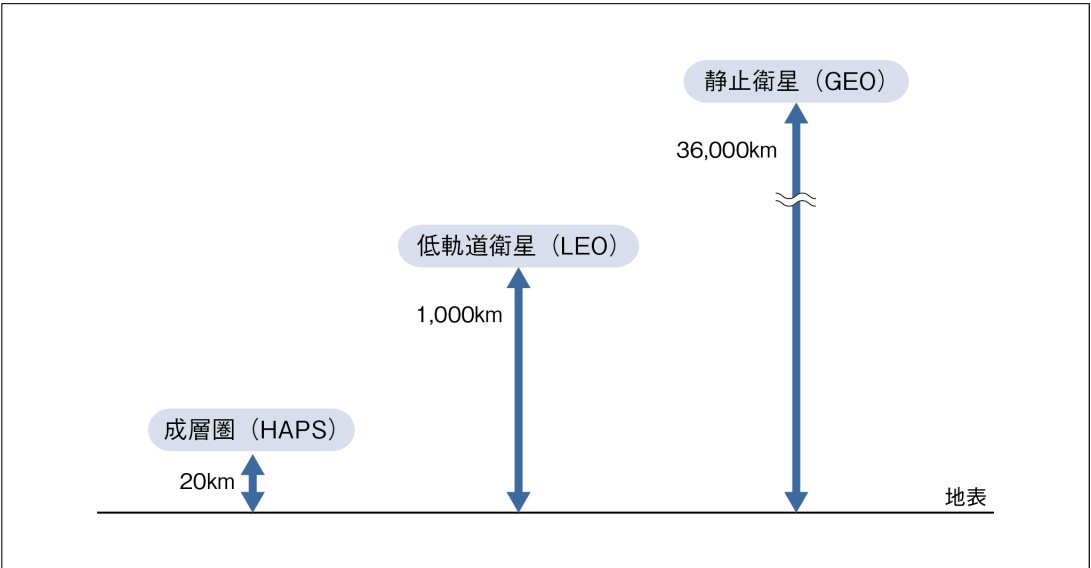
さらに、HAPSは地表から近い所に基地局を展開できるため、通信遅延や帯域について地上にある基地局と同等の性能を実現できる。商用化が果たせれば、成層圏に滞留させることで、地震や天候などによる災害に影響を受けず広域なサービスエリアを提供できるようになり、これにより、我々のモバイルインフラは大きく進化すると期待されている。

■空からのインターネットは6Gの目玉

2024年には6Gのロゴも正式に決定されるなど、6Gに向けた動きが活発化している。ITUが5GのビジョンであったIMT-2020を6Gに向けて拡張した、IMT-2030ビジョンも発表されている（資料4-2-3）²。

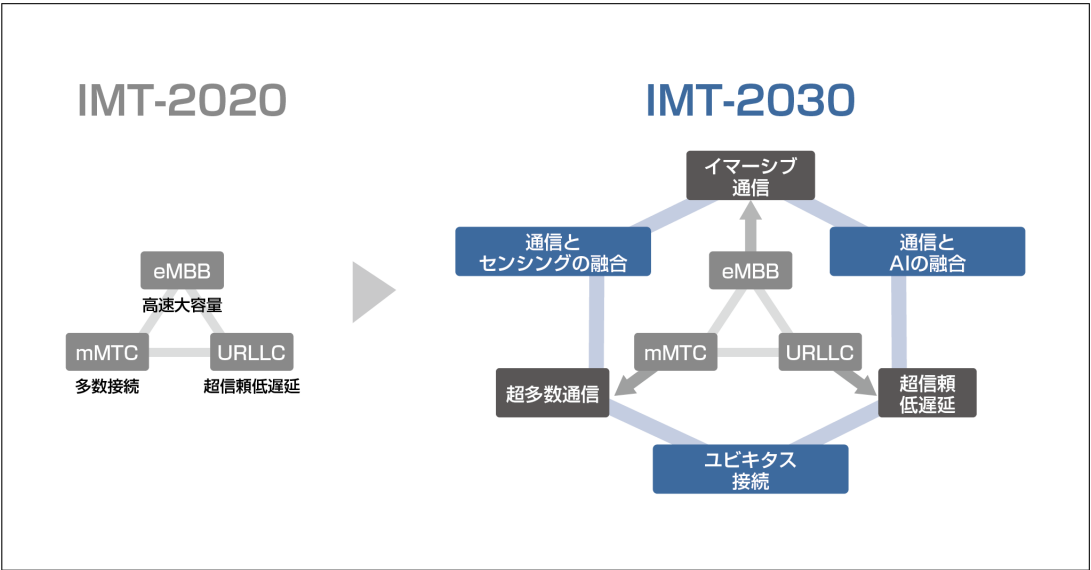
IMT-2030には、通信とAIの融合、通信とセン

資料 4-2-2 各 NTN の地表からの距離



出所：村井純、湧川隆次、『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、2021 年

資料 4-2-3 IMT-2030 ビジョン



出所：ソフトバンク、「6G とは？ 次世代通信技術の解説とソフトバンクの取り組み」

シングの融合、そしてユニバーサル接続が新たに追加された。このユニバーサル接続が、まさに NTN によるカバレッジ拡大が期待されている領域である。

6G に向けては、仕様を策定する標準化団体である 3GPP で議論が活発化しているほか、6G 向けの新しい地上周波数帯の検討も進んでいる。

HAPS で利用できる周波数も大きく進捗した。

HAPSで携帯電話向けに使える周波数はこれまで2.1Ghzだけであったが、日本が主導し、拡張したのである。2019年のWRC-19から始まったこの取り組みは、2023年のWRC-23で700～900Mhz、1.7Ghz、2.5Ghz帯の追加が正式に決定された³。これで、HAPSが商用時に使える周波数の選択肢が広がった。

■ GEO/LEOをめぐる企業の動き

GEOでは、米国のグローバルスターやSkylo Technologiesがモバイル接続を提供している。GEOは地球から遠く通信遅延や通信帯域が大きく制限されるため、衛星携帯電話やIoTデバイス向けのサービスで利用されていた。しかし、携帯電話の重要性が高まる中、災害時や通信障害時におけるライフラインとして、このGEOを使ったインターネットが再注目されている。例えばiPhoneでは衛星通信を使った緊急SOSサービスが開始されており、2024年には日本でのサービスも始まっている。グーグルのPixelもSkyloのサービスを使い、電話やSMSなど緊急時のSOSサービスを始めている。

LEOでは、2021年、SpaceXが家庭向けのインターネットサービス「Starlink」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、利用には衛星からの電波を受信するためのアンテナ⁴や受信端末が必要となる。2022年には、日本でのサービスも開始されている。

2022年12月、KDDIはStarlinkを使った、基地局のバックホールでのLEOの利用を開始した⁵。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、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る。2024年1月に発生した能登半島地震においても、KDDIやソフトバンク

が無償でStarlinkを提供し、災害地におけるインターネット回線を回復させるのに大きく貢献している。

2023年、OneWebはEutelsatと合併し、Eutelsat OneWebと名前を変えた。同社はサービス開始に向けて、小型衛星の打ち上げを進めている。日本ではソフトバンクが、Starlinkのベストエフォートと違い、閉域型の帯域保証サービスとして提供を開始することを発表している⁶。

アマゾン・ドット・コムが進める低軌道ブロードバンドサービスであるProject Kuiperも準備が進められており、日本ではNTT、NTTドコモ、NTTコミュニケーションズ、およびスカパーJSATが戦略的協業を発表している⁷。

複数事業者でのサービス開始となれば、SpaceXの一強が終わり、普及がさらに進むことが期待される。加えて、通信事業者の動向も大いに気になるところである。衛星通信用の周波数には衛星で使われているマイクロ波のKuバンドやKaバンドが主に利用されており、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。

緊急SOSサービスなどの制限されたものではなく、データサービスをLEOによって提供するモバイルダイレクトの商用化も進みそうだ。SpaceXは、日本ではKDDIと実証実験を進めており、2025年春には衛星直接通信を開始すると発表している⁸。また、衛星の打ち上げを進めているAST SpaceMobileのサービスについては、楽天モバイルが2026年のサービス開始を発表している⁹。

モバイルダイレクトが商用化されれば、圏外地域が一気に解消されるだけでなく、災害時に地上インフラに障害が起きても通信を確保できる可能性が高まる。もし6Gを待たずしてモバイルダイレクトサービスが開始されれば、我々のユーザー体験が大きく変わると思われる。圏外で通信できなかったことが過去のことになるのだから。

■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が整備されてない。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を多く持っているのである（資料4-2-4）。

通常、通信衛星で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。基地局の無線線を成層圏にまで持ち上げてくれるだけなので、成層圏からの電波もスマホで送受信できてしまうのだ¹⁰。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。

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が設立された¹¹。HAPSアライアンスには、航空業界と通信業界が参加し、成層圏の実用化に向けた議論が続いている。日本からは、創設メンバーであるソフトバンクをはじめ、NTTやKDDI、NTTとスカパーJSATが設立したSpace Compass（後述）も参加している。レギュレーションや通信向けの標準化活動、運用に向けた議論、ユースケースの掘り起こしなどを進めており、2024年にはHAPSを防衛向けに検討するワーキンググループも新たに設置された。

成層圏を使ったインターネットサービスは、古くはグーグルやメタ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、その挑戦はいまだ世

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HAPS向け無人航空機「Sunglider」を使って成層圏からの通信実験を成功させた。同機は尾翼長が78mで10個のプロペラを搭載しており、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。2023年にはルワンダ政府と協力しHAPSからの5G通信実験に成功しており¹²。アフリカなどのインターネット未接続地域へのインフラ提供が進むと期待されている。2024年、ソフトバンクは米国防総省とSungliderを使って実証実験を実施し、成層圏フライトも成功させた。それ以外にも、商用化に向けた固体電池開発に取り組んだり¹³、ニデックとのモーター開発を進めたりするなど積極的な技術開発を進めている¹⁴。

NTTは2022年4月にスカパーJSATと合併で、Space Compassを立ち上げた¹⁵。同社は、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おり、エアバスが開発していた小型ドローン「Zepher」の商用化準備などを進めている。

NTTドコモとSpace Compassは2024年、エアバスおよびZepherを開発した同社子会社のAALTOと資本提携し、2026年に日本でのHAPSサービス提供を目指すことを発表した¹⁶。

■空のインフラがもたらすこれからのインターネット

ITUによると、いまだに世界で約30億人もの人々がインターネットに接続できていないという¹⁷。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。そのため、空からのインターネットがこれらの課題を解決していくと期待されている。さ

	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、『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、2021 年

らに、非インターネット地域の問題だけではなく、携帯電話やインターネットへの依存度を深める我々の社会生活において、災害時や通信障害時の接続性の観点からも大いに注目を浴びている。

その実用化は、6G を待たずに進んでおり、GEO からの緊急 SOS 通信、LEO によるブロードバンドおよびモバイルサービスの商用化が始まって

いる。HAPS も出てくると通信性能がさらに高度化し、地上局と遜色ないサービスの提供が可能になっていくだろう。

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、インターネットを支える重要な技術へと進化したのである。

1. <https://support.apple.com/ja-jp/HT213426>
2. <https://www.softbank.jp/corp/technology/research/story-event/053/>
3. https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2023/20231228_01/
4. スカパー！などの衛星放送を受信するのと同等のもの。
5. <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2022/12/01/6414.html>
6. https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2024/20240903_02/
7. https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2023/11/28_01.html
8. https://newsroom.kddi.com/news/detail/kddi_nr-381_3651.html
9. https://corp.mobile.rakuten.co.jp/news/press/2024/0216_01/
10. 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。
11. <https://hapsalliance.org/>
12. https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2023/20231017_02/
13. https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2024/20240702_01/
14. https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2023/20230627_01/

15. <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/04/26/220426a.html>
16. https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2024/06/03_01.html
17. <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/2024/11/10/f24-internet-use/>



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～2025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的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