



## HAPS電波伝搬モデルの国際標準化状況



ソフトバンク株式会社 基盤技術研究室新技術研究開発部 部長 **おもて 表 英毅**

### 1. はじめに

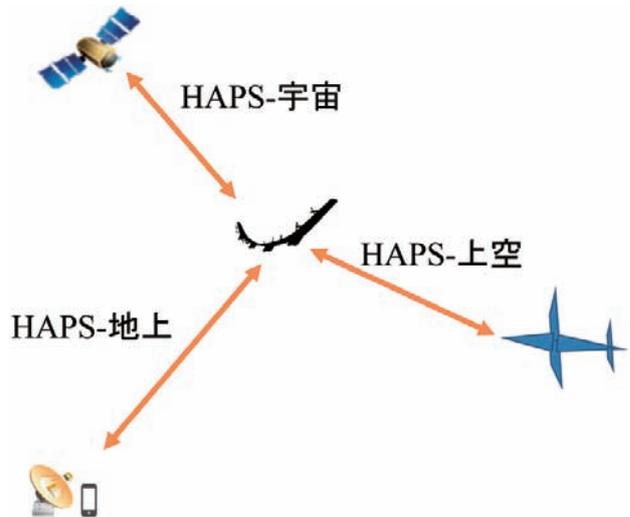
超広域のカバーエリア、災害に強いネットワークなどを実現する新たな移動通信プラットフォームとして成層圏プラットフォーム (HAPS: High-Altitude Platform Station) への期待が高まっている<sup>[1, 2]</sup>。HAPSは気流の安定している高度20kmの成層圏を飛行する飛行船や飛行機などのプラットフォームに搭載される無線中継局であり、固定通信、移動通信、放送などへの活用が期待されてきた<sup>[2]</sup>。1990年代から盛んに検討が行われてきたが、昨今では機体の性能が飛躍的に向上したことから、再び脚光を浴びつつある。主にインターネットバックホール回線としての期待が高いが、筆者らは地上移動通信網と同一システムを用いる移動通信としての活用に注目している<sup>[1]</sup>。HAPSは地上への見通し良好で超広域のカバーエリアを実現できる一方、衛星通信と比較して格段に地上に近い20kmの高度であることから、衛星通信と異なり、最大100kmで通信可能なLTE (Long Term Evolution) の端末とも直接通信することが可能である。このため、災害時等においても誰もが特別な端末を持つことなく、通常の端末を用いて通信を確保できることから、究極の災害時の通信インフラとしても期待される。

このような昨今のHAPSへの期待を受け、ITU-R (International Telecommunication Union Radio Sector) では、2019年5月にHAPS対応電波伝搬モデルの検討を目的としたCorresponding Group (CG) 3J-3K-3M-14が設立され、その検討が進められてきた<sup>[3]</sup>。CG 3J-3K-3M-14での議論を基

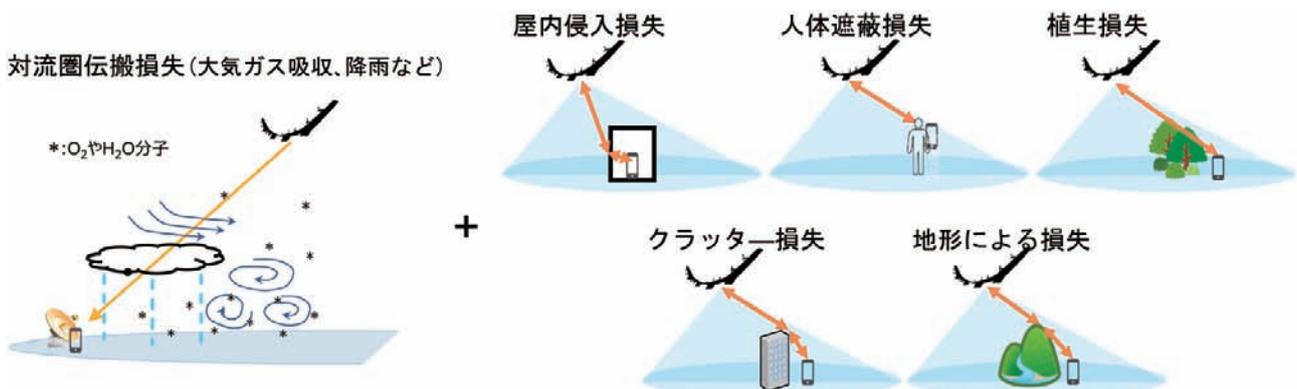
に2021年6~7月に開催されたITU-R SG3 (Study Group 3) 関連会合で干渉検討用HAPS対応電波伝搬モデルが採択され、加盟国による郵便投票手続に進んだ。本稿では、HAPS対応電波伝搬モデルの国際標準化の経緯について報告する<sup>[3, 4]</sup>。

### 2. HAPSに必要な電波伝搬モデル

図1に対象とする電波伝搬環境を示す。主にHAPS-地上間のパス、HAPS-宇宙間のパス、HAPS-上空間のパスが定義された。本稿では、HAPS-地上間のパスについて詳述する。図2にHAPS-地上間のパスで想定される電波



■図1. 対象とする電波伝搬環境



■図2. HAPS-地上間のパスで想定される電波伝搬特性



伝搬特性を示す<sup>[3]</sup>。まず大気ガス吸収や降雨減衰等の対流圏での電波伝搬特性が必要不可欠である。また、HAPSは、20km上空から超広域をカバーするため、カバーエリア内には山岳地帯、森林地帯、市街地、郊外地、開放地等様々な電波伝搬環境が含まれる。これらの様々な電波伝搬環境に対して、異なる仰角に対応した電波伝搬モデルが必要不可欠である。例えば、山岳地帯では地形による電波伝搬損失、森林地帯では植生による電波伝搬損失、地物によるクラッター損失や屋内侵入損失を含む市街地、郊外地における電波伝搬損失等が考えられる。また、高仰角に対応した人体遮蔽損失も検討する必要がある。

ITU-R勧告P.1409-1はHAPSに対応した電波伝搬モデルの勧告であるが、HAPSに必要な電波伝搬環境を網羅していない<sup>[5]</sup>。また、各電波伝搬環境に対応した電波伝搬モデルの勧告は存在するが、それぞれのパラメータがHAPSの適用範囲をすべて網羅しているわけではない。各電波伝搬環境に対応した電波伝搬モデルの勧告のパラメータをHAPSの適用範囲へ拡張し、最終的にITU-R勧告P.1409-1に整理する必要がある。また、電波伝搬環境によっては新たな電波伝搬モデルの開発が必要である。

### 3. 2021年6~7月開催のITU-R SG3 関連会合までの経緯

本章では、2021年6~7月に開催されたITU-R SG3関連会合までの経緯を示す。HAPS対応電波伝搬モデルを検討するために2019年5月にITU-RにCorresponding Group (CG) 3J-3K-3M-14が設立され、検討が進められてきた<sup>[3]</sup>。HAPS対応電波伝搬モデルとしては干渉検討用とシステムデザイン用がそれぞれ検討されることとなった。

一方、WRC2019でHAPS関連課題としてAgenda Item 1.4が承認され、ITU-R WP5D (Working Party 5D) が責任WPとして承認された。WP5Dと電波伝搬を所掌するITU-R SG3が連携してHAPS電波伝搬モデルの検討を行ってきた。Agenda Item 1.4ではHAPSサービスリンクの干渉検討用として、既存の2GHz帯に加えて694-960MHz、1710-1885MHz及び2500-2690MHzの検討を課題としており、干渉検討用HAPS電波伝搬モデルについては上記の新たな周波数帯も含めて2021年7月までの国際標準化が求められた。一方、システムデザイン用HAPS電波伝搬モデルは、2021年7月以降もITU-R SG3関連会合で継続審議される予定である。

筆者らもヘリコプター等を用いた模擬成層圏環境や実際の成層圏環境における電波伝搬測定等を実施し、各特性にお

ける電波伝搬モデルを提案した<sup>[6-12]</sup>。筆者らの提案は2021年6~7月のITU-R SG3関連会合に向けた継続審議議題としてITU-R P.1409-1の改定に向けた作業文書に記載された。

### 4. 2021年6~7月ITU-R SG3 関連会合での議論

本章では2021年6~7月にE-meetingで開催されたITU-R SG3関連会合での議論内容と結果について報告する。干渉検討用HAPS対応電波伝搬モデルは、審議の結果、継続審議議題となっていた筆者らの提案も含めITU-R P.1409-1とその参照勧告を改訂することがITU-R SG3において採択された。また、併せてシステムデザイン用HAPS対応電波伝搬モデルも一部の特性がITU-R SG3において採択された。以下に詳述する。

#### 4.1 HAPS-地上間のパスに対する全体構成

干渉検討用HAPS対応電波伝搬モデルのHAPS-地上間のパスでは、対流圏での電波伝搬損失の一部と地形の影響は常に考慮すべき電波伝搬特性として、一方、クラッター損失、屋内侵入損失、植生損失は該当する環境では検討が必要な特性として整理された。また、人体遮蔽損失はシステムデザイン用モデルとして整理された。

##### 4.1.1 対流圏及び地形の影響

対流圏の一部及び地形の影響については、大気ガス吸収、降雨減衰及び降雨散乱、対流圏シンチレーション、対流圏散乱、球面大地による回折、地形による回折が考慮すべき特性とされ、既存ITU-R勧告P.619及びITU-R勧告 P.528を参照することが合意された<sup>[13, 14]</sup>。30GHz以上、HAPSの高度20km以上、地形やその他回折損失が発生する場合、複数の反射波によるマルチパス環境、指向性アンテナを採用している場合のいずれか一つでも該当する場合はITU-R勧告P.619を、いずれも該当しない場合にはITU-R勧告P.528を用いて計算することとして整理された。

##### 4.1.2 クラッター損失、屋内侵入損失、植生損失

クラッター損失、屋内侵入損失、植生損失については、該当する環境では考慮すべき特性として整理された。

クラッター損失については、ITU-R勧告P.2108-0の改定に向けた議論が行われ、各国から様々なモデルが提案されたが、その中から筆者らが提案したモデルがITU-R WP3M (Working Party 3M) の議長報告に記載され、干



渉検討に考慮すべきモデルとしてWRC Agenda item 1.4 に関するリエゾン回答としてITU-R WP5Dへ発出された<sup>[15]</sup>。

屋内侵入損失については、干渉検討用のモデルではITU-R勧告P.2109が参照されることとなった<sup>[16]</sup>。また、システムデザイン用モデルは今後の継続審議となるが、将来の勧告化へ向けた検討として、筆者らの提案がITU-R報告P.2346に記載された<sup>[17]</sup>。

植生損失については、筆者らの提案モデルがITU-R 勧告P.833に追加改定されることが採択され、干渉検討用及びシステムデザイン用双方のモデルとして採用されることとなった<sup>[18]</sup>。

### 4.1.3 人体遮蔽損失

人体遮蔽損失については、筆者らの提案モデルがITU-R 勧告P.1409に追加改定されることが採択され、システムデザイン用モデルとして採用されることとなった<sup>[9, 10]</sup>。

## 4.2 HAPS—宇宙間のパス、HAPS—上空間のパス

HAPS—宇宙間のパスについては、ファラデー回転、電離層シンチレーション、電離層吸収及び地球表面の後方散乱を考慮することが合意された。HAPS—上空間のパスについては、大気ガス吸収、対流圏シンチレーション及び回折損失が考慮され、ITU-R勧告P.528が参照されることが合意された<sup>[14]</sup>。

## 5. おわりに

本稿では、HAPS対応電波伝搬モデルの国際標準化の経緯について報告した。ITU-Rでは、HAPS対応電波伝搬モデルの検討を目的としたCorresponding Group (CG) 3J-3K-3M-14が2019年5月に設立され検討が進められてきた<sup>[3]</sup>。CG 3J-3K-3M-14での議論を基に2021年6～7月に開催されたITU-R SG3関連会合で干渉検討用HAPS対応電波伝搬モデルが採択され、加盟国による郵便投票手続に進んだ。一方、システムデザイン用HAPS電波伝搬モデルは2021年7月以降もITU-R SG3関連会合で継続審議される予定である。

### 謝辞

本研究の一部は、総務省「HAPSを利用した無線通信システムに係る周波数有効利用技術に関する研究開発 (JPJ000254)」の助成のもとに行われた。

(2021年6月16日 ITU-R研究会より)

### 参考文献

- [1] 長手厚史, 星野兼次, 太田喜元, 表英毅, 林秀樹, “地上移動通信網と同一システムを用いるHAPS無線中継システム,” 信学ソ大, B-5-37, 2018.
- [2] 三浦龍, 大堂雅之, “成層圏プラットフォームを用いた通信・放送システムの研究開発,” 通信総合研究所季報, Vol.47, No.4, 2001.
- [3] 表英毅, 緒方大悟, 木村翔, 佐藤彰弘, “HAPS対応電波伝搬モデルの国際標準化状況,” 信学ソ大, B-1-88, 2019.
- [4] 表英毅, 田中翔馬, 木村翔, 林合祐, 佐藤彰弘, “HAPS対応電波伝搬モデルの国際標準化状況 (その2),” 信学総大, BS-2-3, 2021.
- [5] Rec. ITU-R P.1409-1, Propagation data and prediction methods for systems using high altitude platform stations and other elevated stations in the stratosphere at frequencies greater than about 1GHz, 2012.
- [6] Hideki Omote, Sho Kimura, Hoyu Lin, Akihiro Sato, “HAPS propagation loss model for urban and suburban environments,” ISAP2020, 2021.
- [7] Daigo Ogata, Akihiro Sato, Sho Kimura, Hideki Omote, “A Study on Vegetation Loss Model with Seasonal Characteristics,” EuCAP2020, 2020.
- [8] Akihiro Sato, Daigo Ogata, Sho Kimura, Hideki Omote, Takashi Hikage, “Measurement of Human Body Blockage in HAPS Communications with Consideration of Elevation Angle,” ISAP2019, Xi'an, 2019.
- [9] Akihiro Sato, Sho Kimura, Hoyu Lin, Hideki Omote, “Propagation Loss Model of Human Body Shielding in HAPS Communications,” ISAP2020, 2021.
- [10] 佐藤彰弘, 木村翔, 林合祐, 表英毅, “HAPS通信における人体遮蔽損失モデル,” 信学総大, B-1-19, 2021.
- [11] Sho Kimura, Akihiro Sato, Ho-Yu Lin, Hideki Omote, “Measurement and analysis of arrival angle at MS in High Elevation Environment, ISAP2020, 2021.
- [12] 木村翔, 佐藤彰弘, 林合祐, 田中翔馬, 表英毅, “高基地局環境における屋内侵入損失の測定解析,” 信学総大, B-1-16, 2021.
- [13] Rec. ITU-R P.619-4, Propagation data required for the evaluation of interference between stations in space and those on the surface of the Earth, 2019.
- [14] Rec. ITU-R P.528-4, A propagation prediction method for aeronautical mobile and radionavigation services using the VHF, UHF and SHF bands, 2019.
- [15] Rec. ITU-R P.2018-0, Prediction of clutter loss, 2017.
- [16] Rec. ITU-R P.2109-1, Prediction of building entry loss, 2019.
- [17] Rep. ITU-R P.2346-4, Compilation of measurement data relating to building entry loss, 2021.
- [18] Rec. ITU-R P.833-9, Attenuation in vegetation, 2016.