

Beyond 5G/6G に向けたネットワークの挑戦

田上 敦士

概要: 2030年の実用化を目指し、次世代のモバイルネットワークである Beyond 5G (B5G)/6G の議論が活発に行われている。その特徴としては帯域・遅延・端末数といった基礎的な指標だけではなく、消費電力・自律性・信頼性・拡張性といったインフラの持続性や普遍性を求めるものが指標として入ってきている点が挙げられる。一方で、インターネットに目を向けると、QUIC や HTTP/3 といった新しい通信プロトコルの標準化が進み、セキュアで効率の良いネットワークが提案されている。さらに、Web/3 といった新しい分散ウェブアーキテクチャの提案も行われており、今後のネットワークがどのようになっていくのか議論するのに良い次期であると言える。本稿では、インターネットのフラット化について現状を示すと共に、それがネットワークの設計に与える影響を考えてみる。

1. はじめに

2019年から2020年に通信キャリアが5Gサービスを開始する共に、2030年頃の実用化を目指して、Beyond 5G(B5G)/6Gの議論が開始されている [1]。現在、通信キャリア各社をはじめ様々な組織が B5G/6G に向けた Whitepaper を公開し、ユースケースや目標性能を示している [2], [3], [4], [5], [6]。これらに共通しているのは、5G の性能指標として利用されている「高速・大容量」「低遅延」「多端末接続」だけでなく、「カバレッジ」「低消費電力」「低コスト化」「高信頼性」「多層化」「時空間同期」といった新しい指標が B5G/6G に求められている事である。日本国内では、総務省が 2020 年 6 月に Beyond 5G 推進戦略懇談会の提言に基づいて発表した「Beyond 5G に求められる機能等」をベースにすることが多い [7]。具体的には、5G の特徴的機能の更なる高度化として「超高速・大容量」「超低遅延」「超多数同時接続」の 3 つ、持続可能で新たな価値の創造に資する機能の付加として「超低消費電力」「自律性」「超安全・信頼性」「拡張性」の 4 つの計 7 つの機能を提案している。これは、モバイルネットワークが社会インフラとして重要なものとなっており、その持続性について注目が集まっていることの表れであると考えられる。

インターネット全体で俯瞰すると 2 つのシナリオが考えられる。1 つは現在の流れに沿って Google, Amazon といった Contents Delivery Network (CDN) 業者へのトラフィック集中が加速していくシナリオである。現在 CDN を使っているウェブサイトの 60% がトップ 3 つの CDN に集

中しており [8]、これがさらに進むことが考えられる。この動きはインターネットのフラット化と呼ばれている。それに対して別のシナリオとしては、Web/3 の普及がある。Web/3 については明確な定義がまだないが、巨大企業へのコンテンツの集中を回避するために、分散型の Web サービス構築を目的の 1 つにしている。その時、どのようなトラフィックの流れになるか予測は難しいが、その目的を鑑みるとインターネットのフラット化は鈍く、もしくは後退することが想像できる。

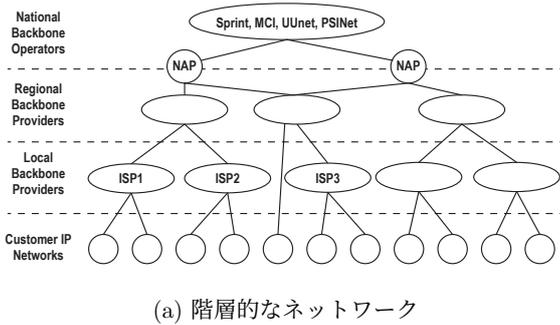
本稿では、インターネットのトラフィック流の変化からモバイル網が必要とされる課題について考えてみる。

2. インターネットのフラット化

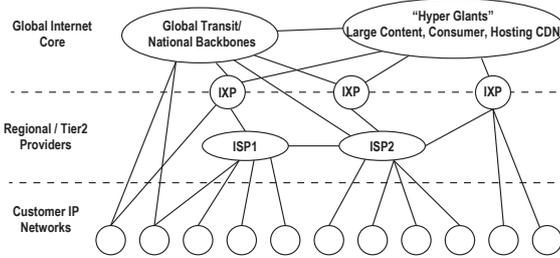
インターネットのトポロジは階層型に設計され、実際に初期の米国政府主導で構築された NSFNET 時代が、Network Access Point (NAP) を提供する 3 つの通信事業者を頂点とした階層を形成していた (図 1a)。インターネットが普及するに従い、ユーザの体感品質向上のために CDN が使われるようになり、現在ではクラウドプロバイダや CDN など、プラットフォームで配信することが一般的である [10]。これらのプラットフォーム提供者は、コンテンツ配信効率向上のため、Internet Service Provider (ISP) や Internet Exchange Point (IXP) に直接接続している。このため、現在のインターネットのトポロジは綺麗な階層構造はしていない (図 1b)。

我々は実際に、インターネットのトポロジについての計測を実施した [11]。日本国内の 4 つの ISP から Alexa's top 10k domain name [12] に含まれるドメインに traceroute を

¹ KDDI 総合研究所
KDDI Research, Inc.



(a) 階層的なネットワーク



(b) 階層的でないネットワーク

図 1: インターネットトポロジの変遷 ([9] をベースに作成)

表 1: 計測に用いた ISP

	ISP A	ISP B	ISP C	ISP D
契約者数 [百万]	64	5	3	N/A
隣接 AS 数 (合計)	335	81	22	26
RIPEstat での登録数	305	14	22	6
traceroute の結果	30	67	0	20

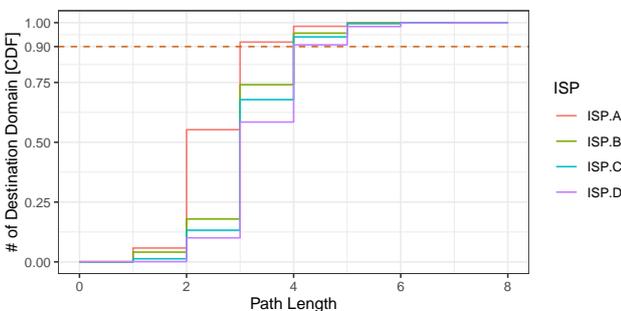


図 2: AS パス長の分布

行い、CAIDA のデータセット [13] を用いて AS パスを導出した。traceroute に失敗した場合は RIPEstat [14] から AS グラフを生成した。表 1 に計測に用いた 4 つの ISP の情報を示す。

図 2 に、AS パス長さの分布を示す。パス長が 1、すなわち、直接接続されている宛先 AS は 6% 未満であるが、3 から 4AS で 90% 以上のドメインに到達できていることが分かる。さらにこのデータを元にトラフィック流量の推定を行う。インターネットトラフィックは Zipf 即に従う事がよく知られており [15]、本節では、トラフィックの流量はドメインの人気度に応じて Zipf 則 ($\alpha = 0.8$) に従うと仮定する。この時のトラフィック流量とそのトラフィック経路の AS

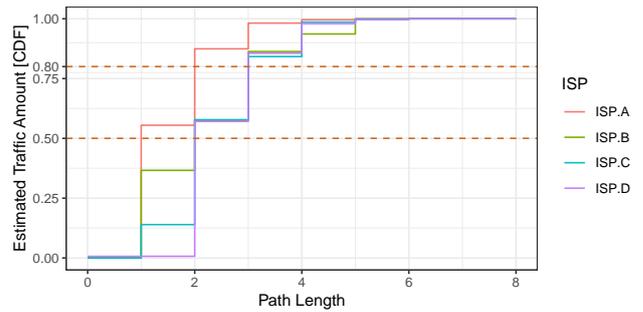


図 3: 推定トラフィック量の分布

パス長の分布を図 3 に示す。これより、50% のトラフィックは 1 または 2 ホップ先の AS から流れてきており、80% のトラフィックが 4 ホップ先以下の AS からということが分かる。この極端な偏りはインターネットの集約化が一因であると考えられる [11]。DNS のアクティブ計測の結果 [10] によると、インターネット全体の 90% 以上のドメインは、1000 以上のドメインをホストしている AS に属している。すなわち、そのような AS を隣接 AS として持つ ISP は、1000 以上のドメインと 1 ホップで到達できる事となる。CDN プロバイダのような様々なドメインをホストする AS は、多くの ISP と隣接関係となることで、遅延や帯域の面で多くのユーザに高い体感品質を与えることができるようになり、それが CDN の価値を高めさらに多くのドメインがその AS に集中するという好循環が回るようになっている。このため、今後トラフィック流量に対する AS パス長はより短くなる、すなわち、インターネットのフラット化は進む事が予想される。

長期的な観点、例えば 2030 年のインターネットトポロジを考える時、Web/3 の影響を考慮することは難しい。Web/3 はブロックチェーン、Non-Fungible Token (NFT) などのキーワードで語られる事が多いが、それがトラフィック流量に与える影響は議論されていない。Web/3 の目的のひとつとして巨大企業へのコンテンツの集中を回避するために、分散型の Web サービス構築が挙げられており、前述したインターネットの集約化からとは逆の方向のように感じる。一方で、ドメインとしては分散するが、結局大手 CDN やクラウドオペレータにホストされることは変わらず、AS 間でのトラフィック流量は増加するが、コンシューマ向けのトラフィック流量の集約化という面では変化しない、もしくは加速する方向も考えられる。この点は、サービスやビジネスモデルとも関係する点であり、動向を注視すべきである。

3. モバイルネットワークへの影響

前述の通り、コンテンツ配信のために CDN、クラウドオペレータはユーザにより近く、ISP と直接接続する傾向にある。これは、高速・大容量、低遅延、多接続といったモ

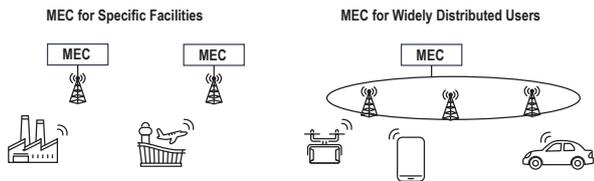


図 4: MEC の提供形態

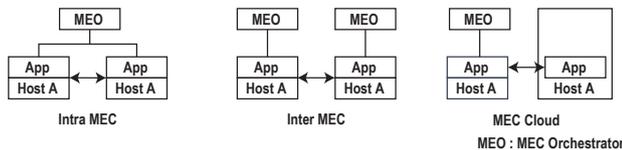


図 5: MEC Federation ([16] を参考に作成)

バイルネットワークでも必要とされる性能要件を向上させるためである。B5G/6G のさらに高い目標を達成するためには、この方向をさらに進める必要があり、Multi-access Edge Computing (MEC) の重要度が増加すると考える。MEC は、工場か空港など特定の施設やエリアに対して提供される形態だけでなく、広く一般ユーザに対して提供されるシナリオも想定されている (図 4)。B5G/6G に向けて、ネットワークの各種機能がソフトウェアで提供され、共通の計算機資源上で動作する場合、その余剰リソースを外部に提供する形での MEC の提供が想定される。この時、CDN やクラウドオペレータがユーザに最も近いノードとして MEC を活用するシナリオは現実的であると考えられる。

この時、複数の MEC 間もしくは MEC とクラウド間の連携が必要となることは容易に想像できる。MEC はユーザに近い場所に設置されている必要があるため、ユーザが移動した際に MEC を切り替える必要がある。また、異なる MEC に接続したユーザ同士でコミュニケーションを行うシナリオも想定される。ETSI では、MEC Federation [16], [17] として、MEC 間の連携について議論を行なっている。図 5 に示すように、MEC を提供する MEC Orchestrator (MEO) が同一である Intra MEC 間での連携だけでなく、MEO が異なる Inter MEC, MEC と Cloud 間の MEC-Cloud についても議論を行なっているのが特徴である。このように異なるオペレータが連携してサービスを提供するための仕組みが求められているのも、モバイルネットワークが社会インフラとして重要となっていく、普遍的なサービスが求められる事の表れだと考えられる。

3.1 おわりに

本稿では、インターネットのトポロジの変化という面から、モバイルネットワークでの課題について述べた。スマートフォンの普及により、モバイルネットワークはコミュニケーションだけでなく決済や証明書、チケットなど

社会インフラとして重要なポジションを担っており、持続的、普遍的なサービス提供が求められている。B5G/6G 時代には、Cyber-Physical System (CPS) やスマートシティの普及により、この要求は強くなると考える。一方で、持続的、普遍的なものは、特に画一的なものとなることを注意する必要がある、どこで差別化するかという課題がある。「高速・大容量」「低遅延」「多端末接続」という「通信の質」での差別化はこれまでも行われているが、今後、「超低消費電力」「自律性」「超安全・信頼性」「拡張性」といった付加技術についても高めていく必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 総務省: 令和 2 年度版情報通信白書 (2020).
- [2] NTT DOCOMO: 5G の高度化と 6G 第 4.0 版, https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/ (2021).
- [3] KDDI 株式会社, KDDI 総合研究所: Beyond 5G/6G ホワイトペーパー ver. 2.0.1, https://www.kddi-research.jp/tech/whitepaper_b5g_6g (2021).
- [4] Beyond 5G 推進コンソーシアム 白書分科会: Beyond 5G ホワイトペーパー～2030 年代へのメッセージ～, <https://b5g.jp/output.html> (2022).
- [5] 情報通信研究機構: Beyond 5G/6G White Paper 2.0 版, <https://beyond5g.nict.go.jp/download/index.html> (2022).
- [6] Latva-aho, M. and Leppänen, K.: Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence, 6G Flagship, University of Oulu, Finland (2019).
- [7] 総務省: Beyond 5G 推進戦略懇談会提言, Beyond 5G 推進戦略懇談会 (2020).
- [8] Kashaf, A., Sekar, V. and Agarwal, Y.: Analyzing Third Party Service Dependencies in Modern Web Services: Have We Learned from the Mirai-Dyn Incident?, *Proceedings of the ACM Internet Measurement Conference, IMC '20*, p. 634–647 (2020).
- [9] Labovitz, C., Iekel-Johnson, S. et al.: Atlas Internet Observatory 2009 Annual Report, *NANOG49* (2009).
- [10] Hoang, N. P., Niaki, A. A. et al.: The Web is Still Small after More than a Decade, *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, Vol. 50, No. 2, p. 24–31 (2020).
- [11] Ueda, K. and Tagami, A.: Internet Flattening and Consolidation Considered Useful (for Deploying New Internet Architecture), *Proceedings of the Interdisciplinary Workshop on (de) Centralization in the Internet, IWCI'21*, p. 11–17 (2021).
- [12] Alexa Internet, Inc.: Alexa's Top 10k Domain Names.
- [13] CAIDA: Routeviews Prefix to AS mappings Dataset for IPv4 and IPv6, <https://www.caida.org/catalog/datasets/routeviews-prefix2as/>.
- [14] RIPE: RIPEstat DATA API, https://stat.ripe.net/docs/data_api.
- [15] Breslau, L., Cao, P. et al.: Web caching and Zipf-like distributions: evidence and implications, *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications, INFOCOM '99*, Vol. 1, pp. 126–134 vol.1 (1999).
- [16] ETSI: Multi-access Edge Computing (MEC); Study on Inter-MEC systems and MEC-Cloud systems coordination (2021).

- [17] Suzuki, M., Miyasaka, T. et al.: Enhanced DNS Support towards Distributed MEC Environment (2020).