

ユーザ視点による IPv6 インターネット環境の調査

新 麗^{1,a)} 豊田 安信^{2,3} 北口 善明⁴

概要：インターネットのユーザは、使用している環境や品質について数値として認識することは少ない。本報告では、IPv6/IPv4 に対応した通信品質計測 Web サービス “iNonius Speed Test” を利用して、ユーザに提供されているインターネット環境の分析を行った。計測サービスによって数値化されたインターネットの品質は、IPv4 より IPv6 のほうが全体に高品質であること、時間等によりゆるやかに変動していること、既存の計測方法よりも変動の差が大きいことが認められた。

キーワード：IPv6, インターネット品質計測

Survey of the IPv6 Internet Environment from a User Point of View

Abstract: Internet users rarely recognize their Internet environment as a measured value. In this paper, we measured an end-user Internet environment by “iNonius Speed Test”, a web service that measures the Internet quality of users with IPv4/IPv6 dual stack, and analyzed that data. The result of the measurement service shows IPv6 is higher quality than IPv4, and the data fluctuates according to time of day, and the range of fluctuation is more prominent than the existing tool.

Keywords: IPv6, Internet quality measurement

1. はじめに

リモートワークの普及やオンライン授業の導入が進み、ユーザのネットワーク環境がますます重要になってきている。日本国内では各 ISP 事業者がユーザに対する IPv6 サービス提供を進めており、普及率が上昇してきている。モバイルサービスにおいても対応が進んでおり、NTT ドコモは 2022 年 2 月 1 日から、ドコモの端末に IPv6 アドレスのみを割り当てる「IPv6 シングルスタック方式」を提供すると発表している [1]。一方で Google/YouTube を始めとする大規模コンテンツ事業者は IPv6 でサービス開始しており、ユーザが意識せずに IPv6 を利用できる環境が整ってきた。

ネットワークのユーザにとっては、接続性だけでなくアプリケーションとしての通信品質が重要である。Google の Speedtest や NetFlix の Fast.com などの Web ベースのスピードテストサイトを利用するのが一般的であるが、これらのサイトは IPv4 と IPv6 を同時に測定することができないため、比較評価をすることができない。

そこで著者らは IPv4/IPv6 のインターネット品質を同時に計測できる Web サービスである “iNonius Speed Test” を日本国内に設置し、運用している。2020 年 6 月 3 日から 2021 年 1 月 22 日までに記録されたデータを比較分析し、各計測項目において IPv6 のほうが IPv4 よりも良好な計測結果が得られていることを報告している [2]。

計測されたデータには、ユーザ環境の接続形態などによる影響が含まれるが、サーバに収集された端末からユーザ環境を推定するのは困難である。そこで本研究では、ユーザ側に計測用 PC を設置し、一定期間に定期的に iNonius サーバにアクセスすることによって、ユーザ側から見た IPv4/IPv6 サービスの通信品質を計測してし比較する。また時間帯ごとの通信品質の変動を調査する。

本稿では、まず第 2 章において、本研究で利用しているイ

¹ 株式会社インターネットイニシアティブ
Fujimi, Chiyoda, Tokyo 102-0071, Japan

² 慶應義塾大学
Keio University

³ 株式会社ブロードバンドタワー
BroadBand Tower, Inc.

⁴ 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

^{a)} ray@ijilab.net

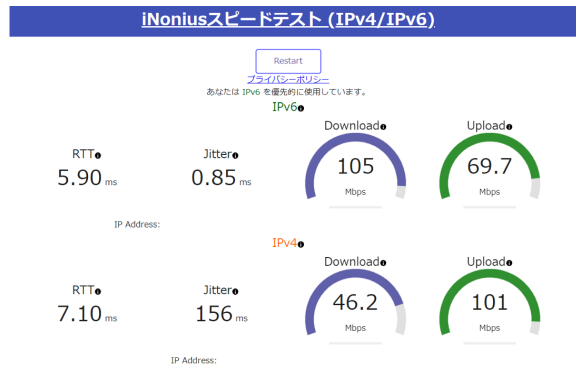


図 1 iNonius Speed Test サイトの表示例

Fig. 1 Example of iNonius Speed Test site

表 1 iNonius Speed Test にて収集している計測項目例

Table 1 Example of measurement metrics on iNonius.

計測項目	計測手法
通信遅延	HTTP 通信 10 回分の最小値
ジッタ	HTTP 通信 10 回分の遅延差
下り速度	HTTP GET を 6 stream
上り速度	HTTP POST を 3 stream
ISP 情報	IPinfo 利用と独自実装

インターネット通信品質計測 Web サービスである“iNonius Speed Test”と本サービスで収集されたデータの分析結果を紹介する。第 3 章において、ユーザ環境での iNonius の計測データと周辺情報の収集方法、およびネットワーク環境を述べる。第 4 章においてデータの分析と考察を行い、第 5 において関連研究を紹介し、第 6 章においてまとめと今後の課題を述べる。

2. インターネット通信品質計測 Web サービス

“iNonius Speed Test”は、Web ブラウザを利用して、IPv4/IPv6 デュアルスタック環境におけるインターネット通信品質を、最大 10Gbps まで計測できるサービスである。Web ブラウザ機能のみで計測可能とするため、HTML5 による通信品質計測を実現している OSS: LibreSpeed^{*1}を利用している。IPv4 および IPv6 専用ドメインを設けることで、両プロトコルでの通信品質計測を同じタイミングで実施し、ユーザの同定も可能としている。図 1 に示すように、一度の通信品質計測において、IPv4 および IPv6 の両プロトコルにおける計測結果を表示している。“iNonius Speed Test”における主な計測項目を表 1 にまとめる。

iNonius の計測区間は図 2 に示す通り、ユーザの端末から iNonius サーバ間となる。

既存研究 [2] において、通信遅延、下り回線、上り回線、ジッタのすべての項目について IPv6 のほうが IPv4 よりも良好な結果が得られている。この結果は多彩なユーザ環

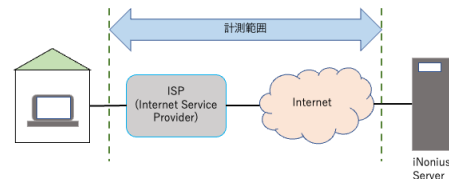


図 2 iNonius 計測区間

Fig. 2 iNonius measurement interval

境から測定してサーバに収集されたデータから得られたものであり、ユーザ視点で観測した場合に常に IPv6 のほうが良好な結果となることは保証していない。そのため本研究では、特定のユーザ環境から定点観測を行い、結果を分析して既存研究と比較する。

3. ユーザ視点における計測手法

ユーザのネットワークに設置した計測用 PC から iNonius サーバにアクセスし、Web ページ上に表示される測定結果の数値をスクレイピング技術により計測用 PC に保存するシステムを作成する。IPv4/IPv6 デュアルスタック環境においては、iNonius サーバはそれぞれのプロトコルごとに通信遅延、ジッタ、上り速度、下り速度の計測結果を表示する。測定は同時ではなく順番に行われ、終了するまでに 1 分程度を要するが、本システムでは計測開始時を測定時刻として記録する。計測間隔は 10 分とする。

計測に使用した PC は Core i5-1035 8G RAM を搭載しており、OS は Windows10 Home、ネットワークは 5GHz 帯の Wi-Fi 6 で接続している。

また、同じ計測用 PC から iNonius サーバに対して ping コマンドによる ICMP ECHO を測定する。iNonius の IPv4 アドレスと IPv6 アドレスとに 5 分おきに 10 回の ping コマンドを発行してデータを取得する。

インターネットのアクセス回線タイプは、フレッツ光サービスを使用した IpoE 接続による IPv6 サービスと、IPv4 as a Service による IPv4 サービスで構成された IPv4/IPv6 デュアルスタックのマンションインターネットである。

4. 計測データの分析と考察

2021 年 11 月 29(月) から 12 月 26 日(日)の間に計測した IPv4/IPv6 データについて、分析および考察を行う。

4.1 IPv4/IPv6 の通信品質比較

各計測項目に対して、IPv4/IPv6 それぞれの測定データについて分析を行い、通信品質を比較する。

上り速度の通信品質について、図 3 に分布図、表 2 に平

^{*1} LibreSpeed: <https://github.com/librespeed/speedtest>

表 2 上り速度比較

Table 2 Comparison of Upload

	平均値 (Mbps)	中央値 (Mbps)
IPv4	142	145
IPv6	527	532

表 3 下り速度比較

Table 3 Comparison of Download

	平均値 (Mbps)	中央値 (Mbps)
IPv4	136	144
IPv6	142	148

表 4 ジッタ比較

Table 4 Comparison of Jitter

	平均値 (ms)	中央値 (ms)
IPv4	2.60	0.86
IPv6	1.94	0.73

均値，中央値を示す。どのデータからも IPv6 のほうが明らかに良好な結果が得られている。IPv4 は約 150Mbps 以上の計測結果がまったくないのが特徴的で，なんらかの上限値が設定されているように見受けられる。IPv6 には同様の傾向は見られないことから，無線基地局以降で IPv4 のみに有効となる性能のあるいは機能的な制限が存在すると思われる。

下り速度の通信品質について，図 4 に分布図，表 3 に平均値，中央値を示す。上り回線ほどの大きな差は見られないものの，IPv6 のほうが平均値・中央値ともに良好な結果が得られている。ただし，予備実験として計測 PC を無線ではなく Ethernet に接続した際には，IPv4 よりも IPv6 の計測結果のほうが 100Mbps 程度高い数値が得られていたため，数値の差についてはユーザの環境に大きく影響を受けると考えられる。

ジッタの計測値について，図 5 に分布図，表 4 に平均値，中央値を示す。平均値，中央値ともに数値の小さい IPv6 のほうがゆれが少ないという結果が得られている。また分布図には，IPv4 のほうが 20ms 程度までの数値が現れる回数が多いことが示されており，対する IPv6 は大きなゆれが起こる回数も少なくなっている。

通信遅延の計測値について，図 6 に分布図，表 5 に平均値，中央値を示す。遅延についても IPv4 よりも IPv6 のほうが良好な結果が得られている。また分布図から，IPv6 のほうが数値が集中しておりあまり変動しないことが読み取れる。

参考として，ネットワーク接続性を確認するツールである ping コマンドを用いて遅延時間の測定し結果を比較す

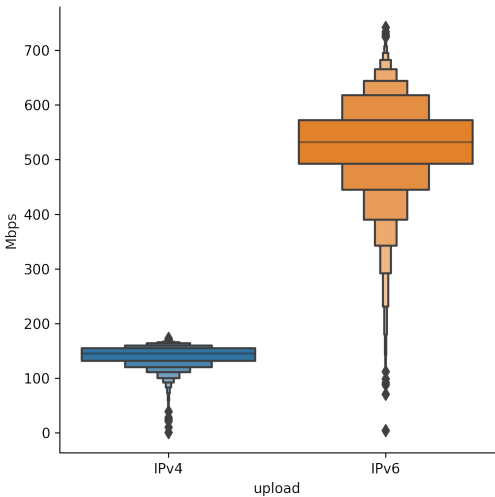


図 3 上り速度分布

Fig. 3 Distribution of Upload

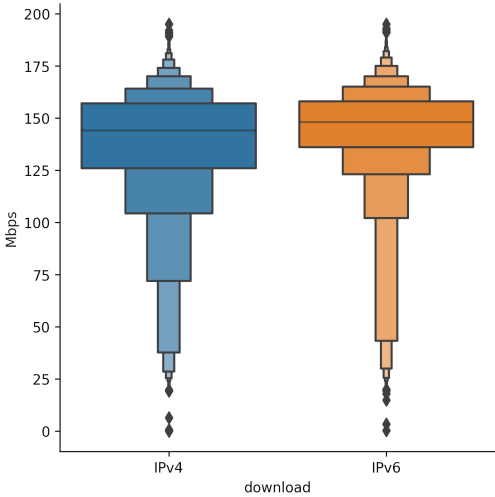


図 4 下り速度分布

Fig. 4 Distribution of Download

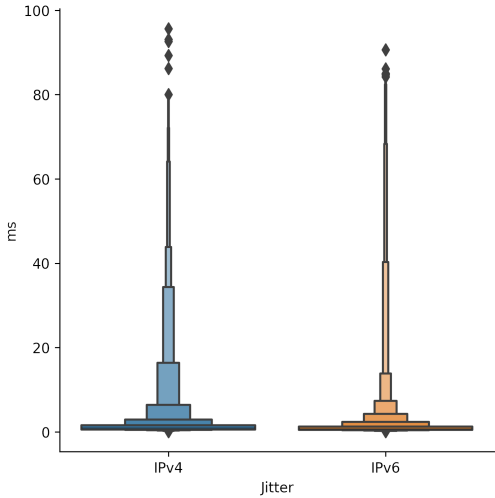


図 5 ジッタ分布

Fig. 5 Distribution of Jitter

表 5 通信遅延 (iNonius) 比較
Table 5 Comparison of RTT (iNonius)

	平均値 (ms)	中央値 (ms)
IPv4	6.98	6.0
IPv6	6.26	6.2

表 6 通信遅延 (ping コマンド) 比較
Table 6 Comparison of RTT (ping)

	平均値 (ms)	中央値 (ms)
IPv4	5.98	6.0
IPv6	6.02	6.0

る。ping コマンドで得られる測定結果は通信品質の評価には適さないことは知られているが、iNonius で得られる結果と相関があるかどうかの確認として試行する。ping コマンドは、実行した回数の計測結果の最小値、最大値、平均を提示するが、iNonius の通信遅延と同様に 10 回実行した最小値を採用している。

図 7 に分布図、表 6 に平均値、中央値を示す。中央値は一致しているものの、平均値および分布図は IPv4 のほうが遅延が少ないという結果を示している。これは、IPv4 のほうがヘッダのパケットサイズが小さいため、処理が速いからではないかと考えられる。このことは、iNonius の測定結果はすべてにおいて IPv6 のほうが良好であるにもかかわらず、ping コマンドでは同じ結果にならないことを示している。

以上の結果により、iNonius を利用してユーザ環境の一点で観測した場合にも文献 [2] と同様に、すべての計測項目において IPv4 よりも IPv6 のほうが良好な結果が得られることがわかった。またユーザ側から観測した結果を分析すると、どの項目においても IPv6 のほうが数値の分布の範囲が狭く、変動が少ない傾向が見られた。

4.2 時間帯による通信品質の比較

インターネット利用環境は時間帯によって体感品質が異なることは知られており、トラフィックの変動 [3] と同様に、一般的に深夜早朝は品質が高く、活動時間帯は品質が下がると言われている。そこで、本研究で収集したデータを時間軸で集計して、時間帯や曜日による通信品質の変動を分析する。

10 分おきの iNonius の測定結果の各測定項目ごとに 60 分の移動平均をとり、1 週間分のデータを作成する。各週で作成したデータを重ね、各時間帯の平均値を太線で表したものが図 8 から図 15 である。なお、本研究で分析している 4 週間は、祝日がなく、オリンピック・パラリンピックのようなイベントも COVID-19 対策のための特別措置等もなく、ほぼ平常の期間であると考えられる。

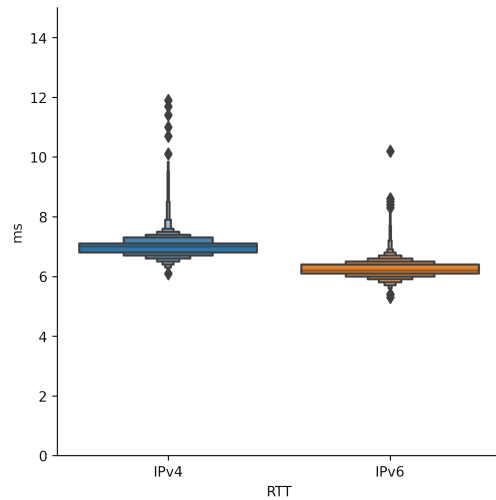


図 6 通信遅延 (iNonius) の分布
Fig. 6 Distribution of RTT (iNonius)

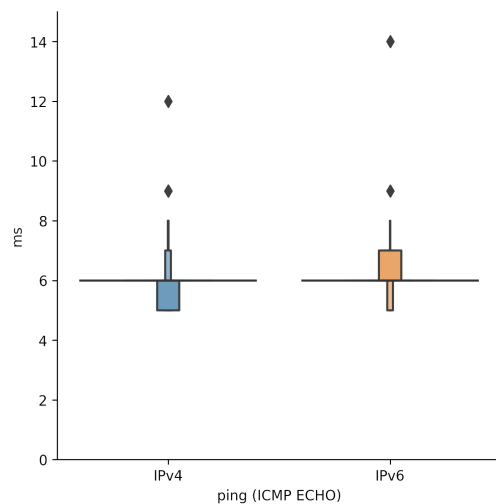


図 7 通信遅延 (ping コマンド) の分布
Fig. 7 Distribution of RTT (ping)

上り速度の変動については、図 8 に IPv4、図 12 に IPv6 の結果を示す。IPv4 は 3 で見た通り約 120Mbps から 160Mbps の幅で、深夜早朝は転送速度が高く、12 時頃から夜にかけて下がっていく様子が見える。土曜日と日曜日は品質が下がり始めるのが早く、日曜日の午後は 1 週間のなかで最も平均が低い傾向にある。IPv6 は IPv4 よりも全体に品質が高いが約 500Mbps から 600Mbps と変動の幅も広い。また、IPv4 ほどは時間帯の特徴に規則性が見えず、特に品質の良い日とときどき出現している。これが曜日の特徴であるのか別の要因であるのかを判断するのは、現状では困難である。

下り速度の変動については、図 9 に IPv4、図 13 に IPv6 の結果を示す。上り速度と同様に深夜早朝は転送速度が高く、12 時から夜にかけて下がっている。土曜日と日曜日は品質が下がる時間が早いのも同様である。また図 4 から IPv6 のほうが平均値周辺に数値が集まっている様子が

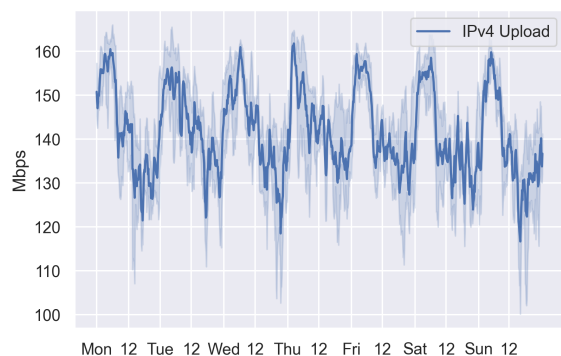


図 8 IPv4 上り速度の変動

Fig. 8 Fluctuation of IPv4 upload

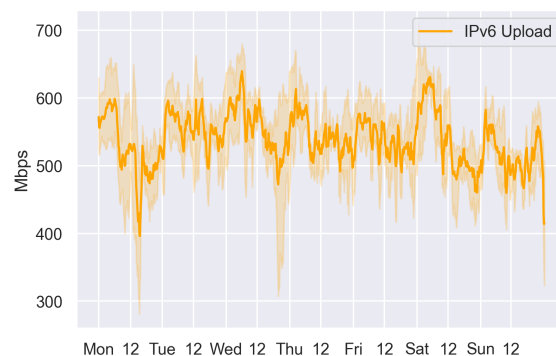


図 12 IPv6 上り速度の変動

Fig. 12 Fluctuation of IPv6 upload

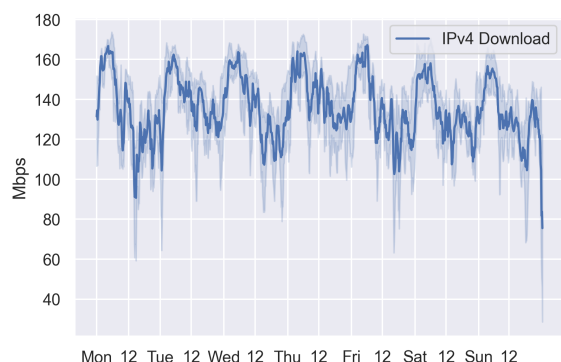


図 9 IPv4 下り速度の変動

Fig. 9 Fluctuation of IPv4 download

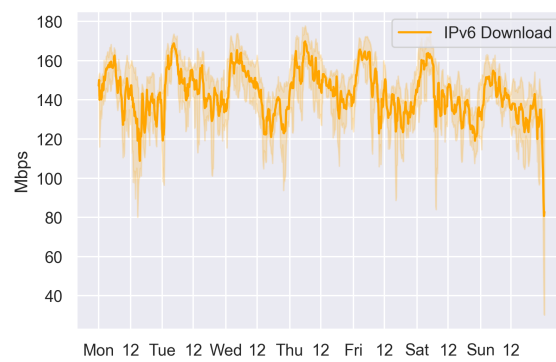


図 13 IPv6 下り速度の変動

Fig. 13 Fluctuation of IPv6 download

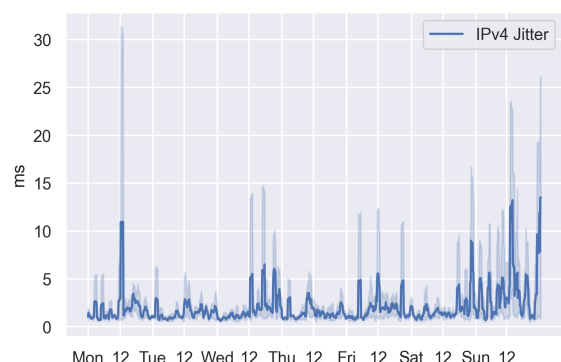


図 10 IPv4 ジッタの変動

Fig. 10 Fluctuation of IPv4 jitter

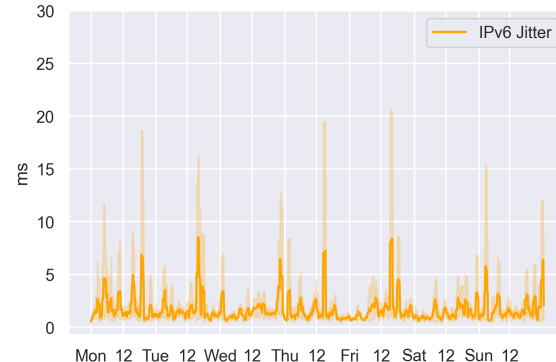


図 14 IPv6 ジッタの変動

Fig. 14 Fluctuation of IPv6 jitter

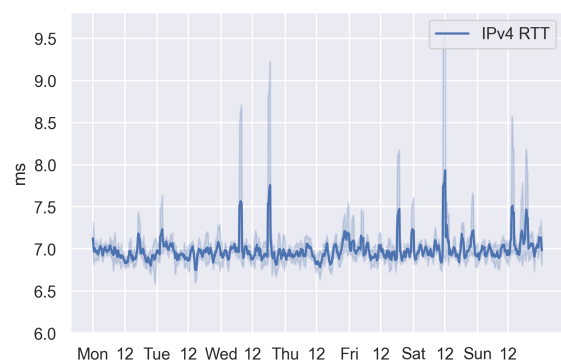


図 11 IPv4 通信遅延の変動

Fig. 11 Fluctuation of IPv4 RTT

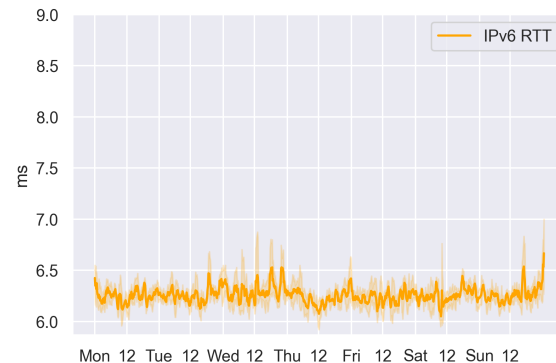


図 15 IPv6 通信遅延の変動

Fig. 15 Fluctuation of IPv6 RTT

みられるが、これは時間帯ごとの平均値に近い値が多く観測されるからだと考えられる。下り回線に関しては、IPv4とIPv6とでほぼ連動するように変動している。

ジッタの変動については、図10にIPv4、図14にIPv6の結果を示す。ジッタは、上り下り速度に比べると時間帯による規則性のある変動は明確ではないが、昼から夜にかけてしばしば品質低下を示す数値が記録されている。こちらも図5に見られるようにIPv4のほうが変動が大きく、特に土曜日午後から日曜日にかけては大幅な品質低下が示されている。IPv6は、土曜日・日曜日でも他の曜日とあまり差は見られない。

通信遅延の変動については、図11にIPv4、図15にIPv6の結果を示す。通信遅延については特に時間帯に相関のある形での変動は見られないが、これは最小値を採用しているためもあると考えられる。それでもIPv4においてときどき見られる通信遅延は、午後の時間帯に集中している。IPv6にはあまり大きな通信遅延は見られず、平均値付近に集中している。この結果から、通信遅延は利用しているインターネット環境の基本的性能を知ることはできるが、通信品質の変動を観測するためには適していないことがわかる。

5. 関連研究

ネットワークの計測は広く行われており、日本のブロードバンドネットワークの集計結果は定期的に報告、公開されている[3]。ユーザ視点におけるネットワーク環境の測定としては、遅延・ジッタ・パケットロスがスループットに与える影響の分析が報告されている[4]。また、IPv4/IPv6の体感品質の比較については、ユーザがHTTP接続を介してインターネット接続を利用する際の体感的な通信遅延の差分について議論されている[5]。アプリケーションとしての体感品質としては、動画配信の再生時間の分析により停止時間などの発生状況が報告されている[6]。

ユーザ環境の大規模な調査としては、ヨーロッパRIPEによるAtlasプロジェクト[7]において、ユーザ環境にプローブと呼ばれる機器を設置してデータを収集している。収集されたデータは公開され、各国の研究者が解析を行なっている。動画配信に注目した調査としては、Web VideoMark[8]が複数の動画配信サービス視聴時の体感品質を測定し解析している。

既存研究においては、収集サーバ側のデータを解析して傾向を見ているのに対し、本研究はユーザ側の一視点で継続調査している点異なる。

6. まとめと今後の課題

本研究は、フレッツ光サービスを使用したIPoE接続によるIPv6サービスと、IPv4 as a ServiceによるIPv4サービスで構成されたIPv4/IPv6デュアルスタック環境にお

いて、ユーザのインターネット品質を測定するWebサービス“iNonius Speed Test”を利用して、ユーザ環境において継続的に計測を行い、IPv4/IPv6の通信品質を比較した。先行研究[2]で報告されている通り、IPv6は上り速度・下り速度・ジッタ・通信遅延のすべての項目でIPv4よりも高品質であることが確認できた。また各項目において時間帯による変動を分析し、IPv4/IPv6ともにトラフィックが多い時間帯は品質が低下すること、IPv4よりもIPv6のほうが数値のばらつきが少ない傾向があることを示した。

ユーザ環境は各家庭、各組織によって異なるため、一家庭での計測結果をもって信頼できる傾向と言うことはできない。本研究の貢献は、iNoniusサーバを利用してユーザ側で計測をする方法を提案し、計測結果の一例を示したことにある。

今後、他の環境でも同様の計測と分析を行うことで、ユーザ環境で体感されている通信品質の数値化が進み、全体像が明らかになっていくと思われる。

参考文献

- [1] ドコモ、「IPv6 シングルスタック方式」を2月1日から提供へ、入手先 (<https://k-tai.watch.impress.co.jp/docs/news/1384743.html>), (参照 2022-01-31).
- [2] 豊田安信, 岩本裕真, 加藤良輔, 北口善明, 中川あきら, 永見 健一, 西野 大: 通信品質計測 Web サービスを活用した日本のIPv6インターネット環境の分析と考察, 情報処理学会研究報告, 2021-IOT-52(32), 1-6 (2021-02-22), 2188-8787.
- [3] 総務省 我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計結果(2020年5月分), 入手先 (<https://www.soumu.go.jp/main.content/000761096.pdf>), (参照 2022-01-31).
- [4] 吉田薫, 藤井資子, 菊池豊, 山本正晃, 永見健一, 中川郁夫, 江崎浩: ユーザ視点に基づいたブロードバンドインターネット環境における遅延・パケットロスの傾向分析, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J91-B, No.10, pp.1182-1192, 2008/10/01.
- [5] 北口善明, 伊波源太, 永見健一: HTTP 通信を利用したIPv4とIPv6のネットワーク環境比較, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-IOT-12, No. 16, 情報処理学会, pp. 1-6 (2011).
- [6] 土屋俊貴, 新 麗, 川原崎雅敏: 複数地点でのライブ配信再生状況の計測と評価, 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会, 信学技報, vol. 116, no. 203, IA2016-17, pp.25-30, 2016年8月.
- [7] RIPE Atlas, 入手先 (<https://atlas.ripe.net/>), (参照 2022-01-31)
- [8] Web Video Mark, 入手先 (<https://vm.webdino.org/>), (参照 2022-01-31).