

HTTP 通信を利用した IPv4 と IPv6 のネットワーク環境比較

北口善明[†] 伊波源太^{††} 永見健一^{††}

本研究では、IPv6 インターネットの現状を把握するための計測と評価を行った。評価する指針として、TCP の MSS および IPv4 での TTL と IPv6 での Hop Limit を取り上げ、デュアルスタックサーバとクライアント間の通信で比較した。この結果を基に IPv6 インターネットの現状を評価すると、IPv6 ネットワークにおけるマルチホーム接続の割合が低いと推測できた。また、地域毎の接続形態の違いも観測でき、IPv6 ネットワークの現状を推測する有効なパラメータであると考えられる。

Evaluation of network environment using HTTP in IPv4 and IPv6 network

Yoshiaki Kitaguchi[†] Genta Iha^{††} and Kenichi Nagami^{††}

We did measurement and appraisal of the IPv6 Internet in order to grasp the present network condition. We observed the MSS of TCP, TTL of IPv4 and Hop Limit of IPv6 between dual-stack server and client, and compared those parameters. On basis of this measurement results, we evaluate the present condition of the IPv6 internet. As a result, it is presumed that the ratio of IPv6 multihoming is less than that of IPv4. In addition, it is thought that it is the effective parameter which presumes the present condition of IPv6 network.

1. はじめに

IPv4 アドレスの国際的な在庫 (IANA Pool) の枯渇が目の前に迫っており[1], IPv6 によるネットワーク展開の推進が急務となっている。IPv6 への移行を推進するに当たって、IPv6 ネットワークの現状を把握し評価する必要がある。そのため、我々は現状の IPv4 の観測データと比較することで IPv6 の通信品質やネットワーク環境を評価することを目指している[2]。

本研究では、IPv6 ネットワークと IPv4 ネットワーク環境の比較に焦点を当て、評価パラメータに”TCP における MSS (Maximum Segment Size) 値”と”IP における TTL (Time To Live) 値 (IPv6 の場合には Hop Limit 値)”を取り上げる。これらの計測データの比較から現状の IPv6 ネットワーク環境を評価し、IPv6 ネットワークの展開状況を推測する。

2. 計測手法

TCP/IP の各データの収集には、デュアルスタック対応したウェブサーバへの HTTP アクセスデータを利用した。同一クライアントからの通信を特定するための手法には、コンテンツに IPv4/IPv6 それぞれでアクセスを促す仕組みを利用している[2]。

今回、ユーザの情報を求めるために用いたデータは、2010 年 11 月 30 日時点のもので、文献[2]と同様に、RIR による IP アドレス割り振り情報[3]と Route Views Project による BGP フルルート情報[4]を利用している。また、ユーザの所属地域 (RIR による分類) の特定は IPv4 アドレスを基にしている。

2.1 MSS 値による分析手法

MSS は TCP で扱うセグメントの最大値を示すもので、TCP 通信の送受信で扱うことができる最大パケット長となる。この MSS は、TCP 通信の開始時に受信 (ユーザ) 側が送信 (サーバ) 側に対して宣言するもので、一般的には MTU (Maximum Transfer Unit) [a]から IP ヘッダ長と TCP ヘッダ長 (20 バイト) を差し引いたサイズが用いられる。従って、MSS 値を観測することで、ユーザとサーバ間の MTU を求め、通信路がどのようなものなのか推測することが可能となる。

例えば、IPv6 over IPv4 のような IP in IP トンネル接続を Ethernet 上で行なうと、IPv6 の MTU は、

[†] 金沢大学 総合メディア基盤センター
Information Media Center, Kanazawa University

^{††} 株式会社インテックシステム研究所

^{††} 株式会社インテックシステム研究所
INTEC Systems Institute, Inc.

a) MTU : 一度に送信可能なパケットのデータサイズ。Ethernet の場合には 1500 バイトとなる。

$$1500 \text{ (Ethernet の MTU)} - 20 \text{ (IPv4 ヘッダ長)} = 1480 \text{ バイト}$$

となる。MSS の値はここから IPv6 ヘッダ長(40 バイト)と TCP ヘッダ長を引いた 1420 バイトとなるため、観測された MSS が 1420 バイトであれば、ユーザからの通信路が IPv6 over IPv4 であると推測することができる。表 1 に代表的な通信路の形態と MTU および MSS の値をまとめる。

表 1 代表的な通信路の形態と MTU/MSS

通信路の形態	MTU	MSS (IPv4)	MSS (IPv6)	オーバーヘッド
Ethernet	1500	1460	1440	
IP in IPv4	1480	1440	1420	IPv4(20)
GRE tunnel	1476	1436	1416	IPv4(20), GRE(4)
PPPoE	1492	1452	1432	PPPoE(6), PPP(2)
NTT PPPoE	1454	1414	(1394)	NTT_PPPoE(46)
PPTP	1474	1434	1414	IPv4(20), GRE(4), PPP(2)
L2TP (ver.2)	1454	1414	1394	IPv4(20), UDP(8), L2TP(16), PPP(2)
L2TP (ver.3)	1452	1412	1392	IPv4(20), UDP(8), L2TP(18), PPP(2)

2.1 ホップ数による分析手法

IP ヘッダには、パケットがネットワーク上で存在できる期間を示す TTL (IPv6 の場合には Hop Limit) が設定されている。この値は、ルータを経由可能な最大値を示しており、ルータにて 1 ずつ減算されて転送される。そのため、この値を観測することで、通信路のホップ数を推測することができる。ただし、送信元で設定される TTL/Hop Limit の値は OS によりそのデフォルト値が異なり (表 2)、また、任意に設定変更も可能である。

表 2 代表的な OS におけるデフォルトの TTL/Hop Limit

OS	TTL	Hop Limit
Windows XP (SP3)	128	64
Windows Vista (SP2)	128	64
Windows 7	128	64
Mac OS X (10.6)	64	64
Linux kernel 2.6	64	64
FreeBSD 8.1	64	64
Solaris 10	255	64

今回の計測では、計測対象のトラフィックが HTTP であるため、ウェブサーバへのアクセスログから User-Agent ヘッダの値を抽出することで、クライアントの OS 情報を割り出すことが可能である。そのため、まず表 2 の値を利用して OS 情報から TTL/Hop Limit のデフォルト値を割り出し、その値から、観測された TCP パケットの TTL/Hop Limit の値を差し引くことで、ホップ数を割り出すことを検討した。しかし、実際のトラフィックを観測した結果、デフォルト値と異なるユーザが多数存在していた。そこで、ユーザ側で設定される TTL/Hop Limit の値が 64, 128, 255 であると仮定し、ホップ数が負の値にならないような下記に示す計算式で導くこととした。

- TTL/Hop Limit が 128 以上の場合： ホップ数 = 255 - TTL/Hop Limit
- TTL/Hop Limit が 128 未満で 64 以上の場合： ホップ数 = 128 - TTL/Hop Limit
- TTL/Hop Limit が 64 未満の場合： ホップ数 = 64 - TTL/Hop Limit

3. 計測結果の分析と考察

本稿で分析に利用するデータは、2009 年から 2010 年までに得られた計測データを用いている。利用したウェブサーバへのアクセス数は日平均で 200,000 から 600,000 アクセスとなっており、その内約 8%程度が IPv6 によるものである (図 1 参照)。

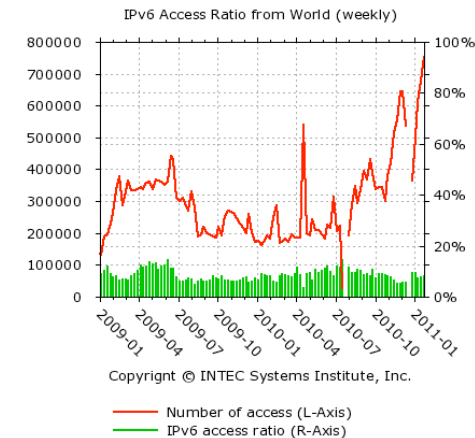


図 1 ウェブサーバへのアクセス数の推移[5]

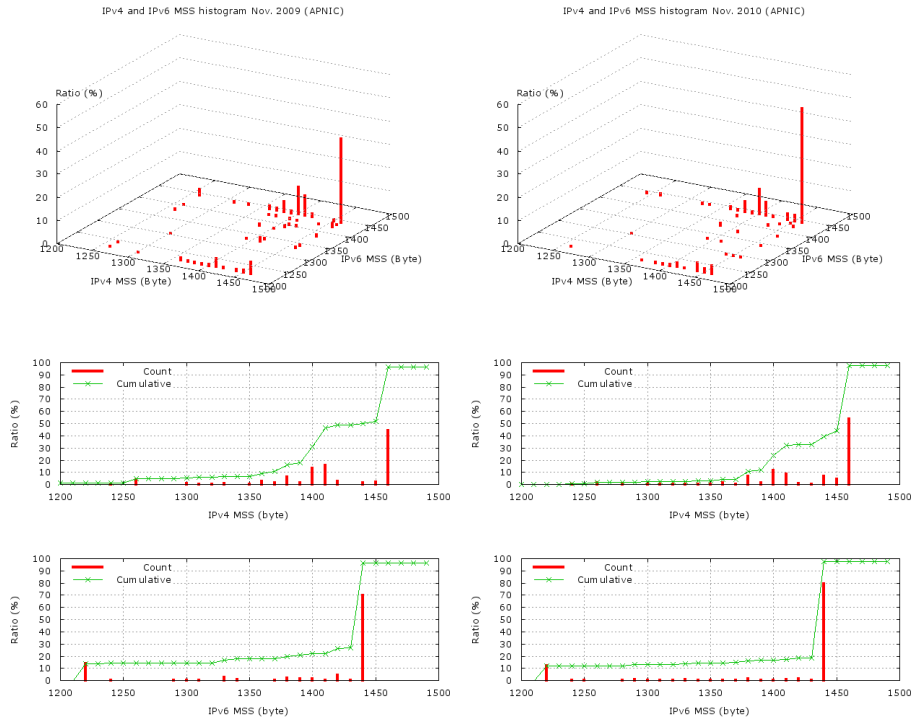


図 2 APNIC 地域における MSS 値のヒストグラム (左 : Nov. 2009, 右 : Nov. 2010)

今回の考察では、2009年11月と2010年11月のそれぞれ一ヶ月間のデータを利用して、地域別の傾向を分析した。なお、各ユーザからのMSSおよびTTL/Hop Limitの値には、計測期間における中央値を用いている。また、地域の傾向を見るためにユーザの所属地域をRIRを基に分け、母数の少ないLACNIC(中南米地域)とAfriNIC(アフリカ地域)を除くAPNIC(アジア・太平洋地域)、ARIN(北米地域)およびRIPE NCC(欧州・中近東地域)(以下RIPE)の三地域を対称とした。

3.1 MSS 値からみた傾向分析

三地域のユーザから観測されたIPv4およびIPv6のMSS値を基に、同じ値を持つユーザ数のヒストグラムを図2、図3、図4に示す。それぞれ左側が2009年11月、右側が2010年11月の値で、三次元ヒストグラムに続けて記載しているグラフはIP毎の

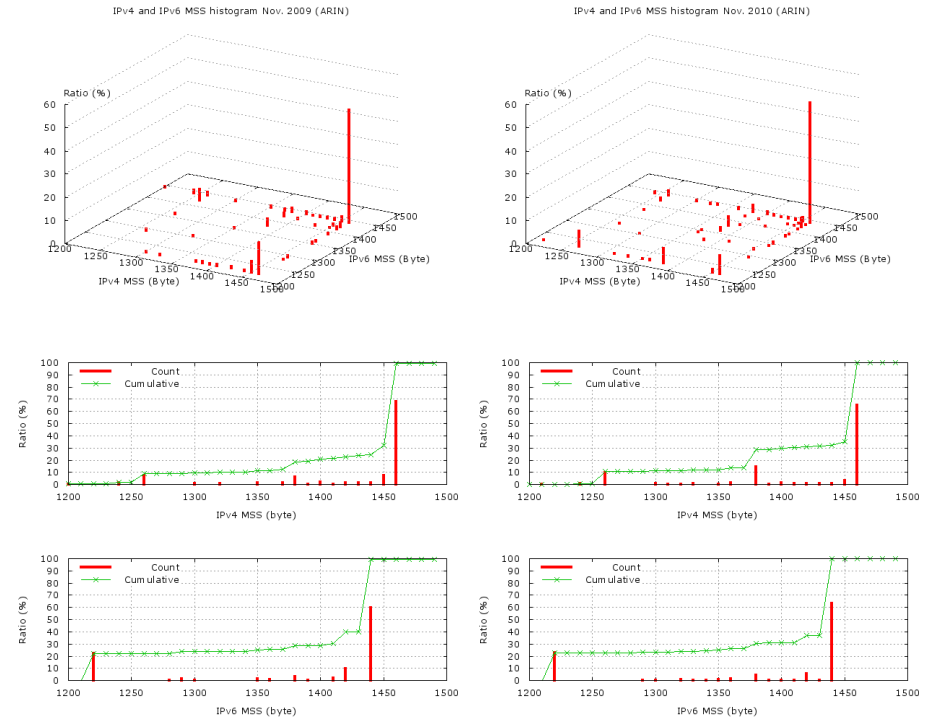


図 3 ARIN 地域における MSS 値のヒストグラム (左 : Nov. 2009, 右 : Nov. 2010)

ヒストグラムと累積度数分布である。なお、縦軸の値は一ヶ月間のデータに対する割合としている。

これらの図を見ると、全ての地域において、MSSの値が最大(IPv4で1460、IPv6で1440)となるユーザの割合が最も多い傾向で、一年前と比較するといずれも若干の増加が見取れる。また、IPv6ではMSSが1220となるユーザが二番目に多くっており、この値はIPv6の最小MTU(1280バイト)のものである。トンネルインターフェースなどではMTUが1280とされるケースがあり、トンネル接続ユーザを示す指標と考えることができる。

IPv4のMSSを見ると、地域毎に異なる特徴が見られる。APNIC地域ではMSSが1414、ARIN地域ではMSSが1380、RIPE地域ではMSSが1452となるユーザの割合が多くなっている。MSSが1414となるのはNTT東西によるフレッツ接続ユーザを、

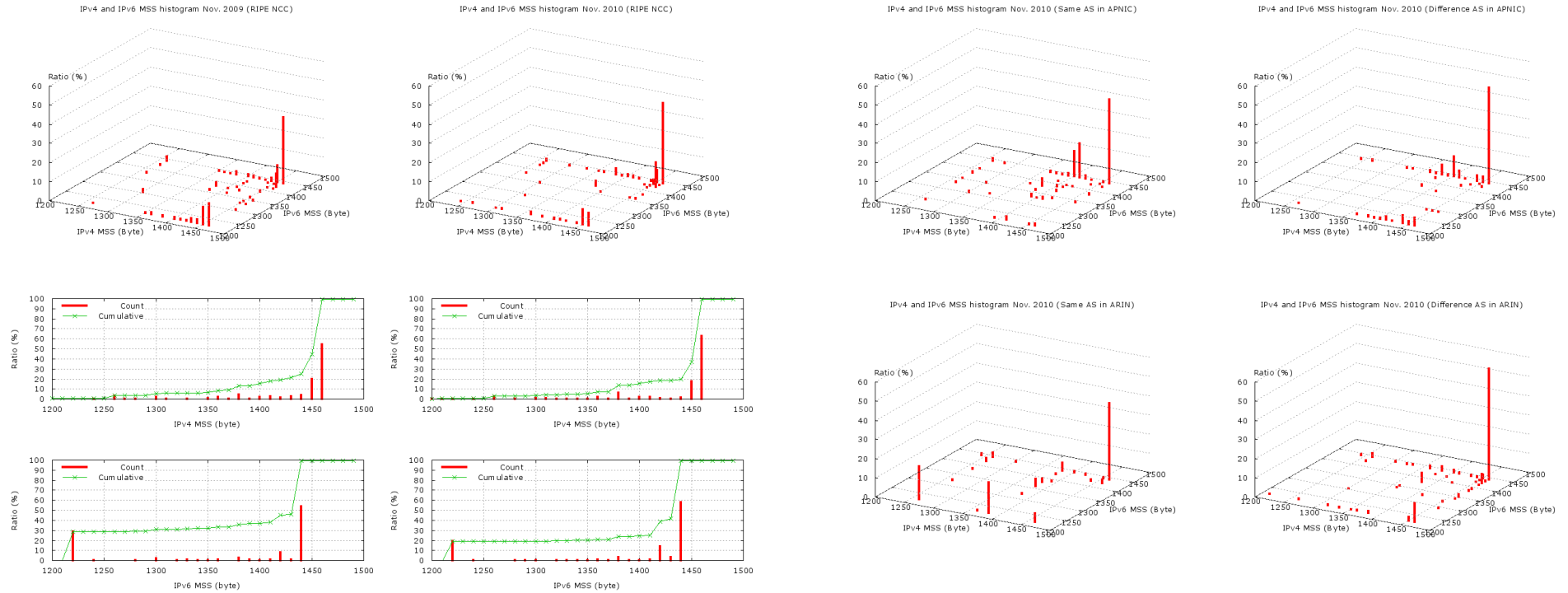


図 4 RIPE 地域における MSS 値のヒストグラム (左 : Nov. 2009, 右 : Nov. 2010)

1452 となるのは PPPoE 接続ユーザをそれぞれ示しているため、APNIC 地域ではフレッツ接続、RIPE 地域では PPPoE 接続のユーザが比較的多いことが分かる。ただし、RIPE 地域では、IPv6 においても PPPoE 接続 (MSS が 1432) のユーザが同じように多いが、APNIC 地域では IPv6 にその傾向が見られずトポロジが異なっていることが分かる。これは、フレッツ網を介した IPv6 接続サービスが現時点において開始されていないことが原因と考えられ、2011 年春からのサービス開始[6]によって傾向が変わってくると考えられる。また、ARIN 地域における MSS が 1380 となるユーザは、中間に存在するネットワーク機器による影響が考えられ、具体的には Cisco 社のファイアウォール機器での MSS 書き換えサイズのデフォルト値が 1380 であることなどが挙げられる[7]。ただこちらも、IPv6 との相関は大きくなく、IPv4 と IPv6 のトポロジが異なっていることを示していると言える。

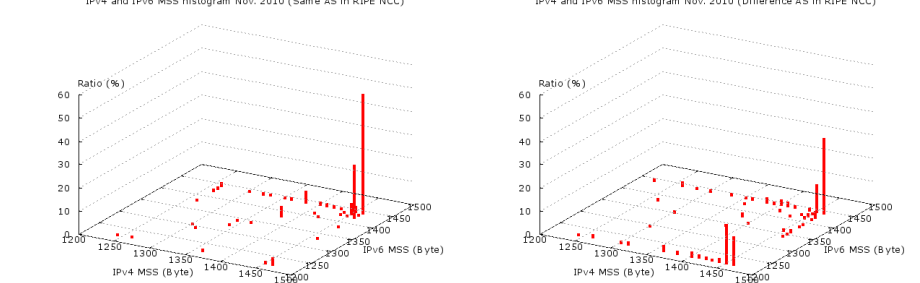


図 5 MSS 値のヒストグラム (左 : AS 番号が同じもの 右 : AS 番号が異なるもの)

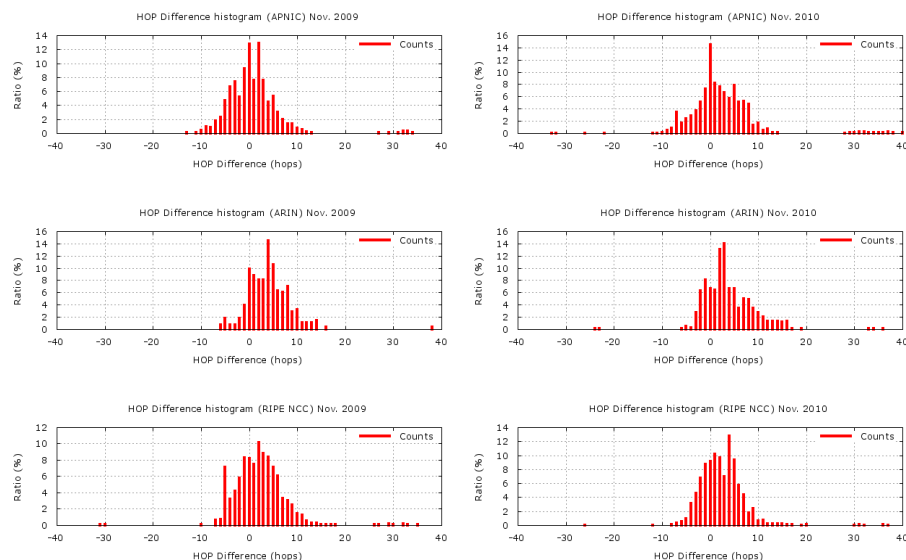


図 6 IPv4 のホップ数と IPv6 のホップ数との差 (左 : Nov. 2009, 右 : Nov. 2010)

次に、三地域に対して IPv4 と IPv6 で AS 番号が同じユーザの分布と異なるユーザの分布を図 5 に示し評価する。用いたデータは 2010 年 11 月の一ヶ月分である。

AS 番号が同じユーザの場合では、比較的 IPv4, IPv6 双方で MSS の最大値となるユーザが多い傾向ではあるが、ARIN 地域のように IPv6 の最小 MTU を示す MSS となっているユーザの割合が高い地域もある。これは、IPv6 サービスを IPv6 over IPv4 などのトンネル接続の形態で提供する組織が ARIN 地域に多いのではないかと想像できる。

AS 番号が異なるユーザの場合、IPv6 の接続性はトンネル接続が中心になるのかと想定していたが、IPv6 接続もネイティブ接続となるユーザの割合が最も多くなる結果であった。この結果から、「AS 番号が異なるユーザ=IPv6 はトンネル接続」と単純に考えることができないことが分かった。この AS 番号が異なるのに IPv6 がネイティブ接続となる原因としては、IPv4 ではマルチホーム接続だが IPv6 はシングルホーム接続していることが考えられる。マルチホーム接続を行う場合には、PI アドレス[b]を取得し、BGP による経路制御を行う必要があるが、シングルホーム接続であれば契約プ

b PI (Provider Independent) アドレス：プロバイダから独立したアドレス。マルチホーム接続などのために必要となる。

ロバイダのアドレスを利用し AS の運用も必要とならない。

以上のように、MSS 値を比較することで、IPv6 が現行の IPv4 とトポロジが異なる傾向が分かる。また、AS 番号の違いも含めると、IPv6 におけるマルチホーム接続が少ないことも分かり、ネットワークの複雑さを推し量る指標に成り得ると考えられる。

3.1 ホップ数からみた傾向分析

2.1 節で定義した算出方法を用い、ユーザからのホップ数を IPv4, IPv6 それぞれにて求め、ホップ数の差を比較する。図 6 に示すヒストグラムは、IPv4 のホップ数から IPv6 のホップ数を差し引き、ユーザ毎に求めた値の頻度を示している。

APNIC 地域では、差が 0 となるユーザの割合が大きいことが分かるが、ARIN 地域と RIPE 地域では、IPv4 のホップ数のほうが大きくなる傾向が見て取れる。ホップ数が多いということは経路するルータ数(組織数)が多いことを表していると考え、ここから IPv4 と IPv6 のネットワーク規模の差を推測するできると言える。また、計測拠点より遠い地域ほどホップ数の差が大きくなっており、この値を観測することで IPv6 のネットワーク規模の変化を読み取ることができると言える。

2009 年 11 月と 2010 年 11 月を比較してみると、APNIC 地域ではホップ数差 0 のユーザの割合が増加していることが分かる。計測拠点から近い地域でのネットワークにおいて、トポロジ差が小さくなってきている傾向と考えることができる。他の地域では大きな変化は読み取れず、他の評価手法を検討する必要があると思われる。

その他、頻度が小さいがホップ数差が 30 以上となるユーザの分布が見られる。これは、今回利用したホップ数の算出方法に問題があるとも考えられるため、算出方法の評価が今後必要と考えている。

4. おわりに

本研究では、HTTP 通信を利用した IPv6 ネットワーク環境の評価を行った。評価に用いたパラメータは TCP の MSS 値と IP の TTL/Hop Limit で、IPv4 の値と比較することで IPv6 の現状を考察した。この結果、IPv6 ネットワークではマルチホーム接続が IPv4 よりも少なく、複雑な接続構成となっていないことが分かった。また、IPv4 と IPv6 の AS 番号が異なるユーザにおいても、両プロトコルともがネイティブ接続となる場合があることが分かり、MSS 値を利用した分析が有効であると考えられる。

今後検討が必要な点としては、頻度は少ないが表 1 に挙げた以外の MSS 値を持つネットワーク接続形態の精査や、ホップ数の算出方法で考えた仮定がどれだけ正しいか評価する点がある。また、本稿では文献[2]で取り上げた通信遅延とは別の切り口での評価を行ったが、それぞれのパラメータの比較を行なう必要があると考えており今

後の課題としている。

2011 年は IPv4 アドレスの在庫が枯渇する年となるため、IPv6 導入も本格化すると予想される。そのため、本稿で取り上げた通信パラメータの比較値が大きく変化することも想定されるため、引き続きデータ収集を行ない評価することが重要であると考えている。

参考文献

- 1) G.Huston: IPv4 Address Report, <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/index.html> (daily update).
- 2) 北口善明, 伊波源太, 永見健一: HTTP 通信からみた IPv4 と IPv6 通信遅延の比較評価, 信学技報, vol. 110, no. 206, IA2010-37, pp. 29-35 (2010).
- 3) 各 RIR による delegated latest file, <http://office.microsoft.com/ja-jp/default.aspx>,
<ftp://ftp.arin.net/pub/stats/arin/delegated-arin-latest>,
<ftp://ftp.lacnic.net/pub/stats/lacnic/delegated-lacnic-latest>,
<ftp://ftp.ripe.net/ripe/stats/delegated-ripenc-latest>,
<ftp://ftp.afrinic.net/pub/stats/afrinic/delegated-afrinic-latest>,
<http://ftp.apnic.net/stats/apnic/delegated-apnic-latest> (daily update).
- 4) University of Oregon Route Views Project, <http://www.routeviews.org/> (daily update).
- 5) INTEC Systems Institute, Inc., Internet Metrics, <http://www.inetcore.com/project/metrics/> (daily update).
- 6) 岩佐巧, NGN IPv6 サービス IPv6 インターネット接続方式について, IPv6 summit 2010 (2010).
- 7) Cisco Systems, Inc., Firewall Services Module コマンドリファレンス Release 3.1(1), http://www.cisco.com/japanese/warp/public/3/jp/service/manual_j/sw/cat60/fsmcr1/8124_01.pdf