

論文

キャンパス・ネットワークの 通信品質評価

池本 健人 藤井 拓 藤井 哲郎

インターネットを活用した映像生中継の機会が最近増えている。本学でも、平成26年4月16日に世田谷キャンパスで行われた東京都市大学と日本科学未来館の包括連携協定締結を記念した調印式、及び毛利衛さんの講演を横浜キャンパスに生中継する機会があった。高品質な映像伝送を行うためには、利用するネットワークの詳細な特性を予め知る必要がある。本稿では、ハイビジョンクラスの鮮明な映像をH.264/AVCHDクラスの高性能符号化方式を用いて、IPネットワークにてキャンパス間で伝送することを前提とし、本学のキャンパス・ネットワークの特性を詳細に把握することを目的とする。さらに、PerfSONAR等を用いて、外部学術組織との間の伝送特性についても測定した結果を併せて報告する。

キーワード：映像伝送、キャンパス・ネットワーク、パケット損失率、PerfSONAR

1 まえがき

横浜から世田谷或いは等々力に移動することなくTV会議システムを用いた遠隔会議が盛んにおこなわれている。大学院環境情報学専攻は環境情報学専攻が横浜キャンパス(YC)に、都市生活学専攻が等々力キャンパス(TC)に分かれている為、研究科委員会はこのTV会議システムを用いて開催している。本学の横浜キャンパスと世田谷キャンパス(SC)の間は、文科省が提供するSINET(Science Information NETWORK)を介して、1Gbpsの高速ネットワークで図1のように接続されている。基本的に、両キャンパスの学生及び教職員がインターネットにアクセスする為に整備されたネットワークである。本稿では、このキャンパス間ネットワークを用いて、映像伝送を行った場合の品質を探るために、ネットワークの詳細な伝送特性を測定した結果を報告する。

ネットワークが更新されたのは、平成26年8月29日である。学術ネットワークであるSINET(Science Information NETWORK)の横浜と東京のアクセスポイントに1Gbpsの専用線でつなぎこみ、キャンパス間を接続する方式に変更された。実は、これにより大幅に通信品質が改善された。従来のネットワーク接続では通信

品質が悪かったため、TV会議の伝送レートを1~2Mbpsに落とし、映像品質を落とした状態で使用していた。前述の研究科委員会開催中にも、しばしばパケット損失が発生し、映像が途切れたりもしていた。ところが、昨年の夏以降、この現象が全く現れなくなった。

安定なネットワーク運用のためには、正確にネットワーク状態を把握しておく必要がある。この為に、YC・SC間での映像伝送を前提としたネットワーク測定を実施した。本稿では、その結果を報告する。さらに、学術研究用に利用されている計測ツールperfSONARを利用して、国際的な学術ネットワークとの接続状態を把握するために、マルチドメイン間でネットワーク計測を行った結果も併せて報告する。

2 映像伝送における通信品質の評価

本節では、映像ストリーミング伝送を前提として、キャンパス間のネットワーク特性を測定した結果を報告する。

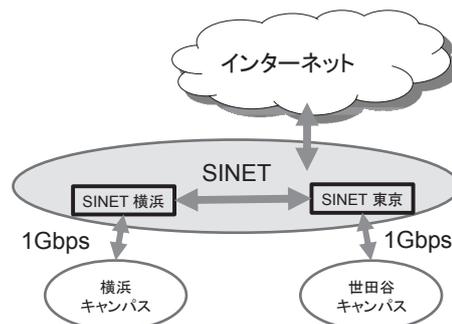


図1 東京都市大学のキャンパス間ネットワークの構成

IKEMOTO Kenta
 東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科 2014年度卒業生
 FUJII Taku
 東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科 2014年度卒業生
 FUJII Tetsuro
 東京都市大学 メディア情報学部 情報システム学科 教授

2.1 測定方式について

東京都市大学内において、キャンパスネットを用いたフルHD映像のストリーミング配信に対するニーズが高まっている^[1]。フルHD映像を高品質に伝送する為にはUDPによる10Mbps程度のストリーム伝送がパケット損失無く行えることが必要条件である。本稿では、この10Mbpsを指標に、キャンパス間ネットワークの特性解析を行う。

正確な通信品質を把握するために、世田谷キャンパスと横浜キャンパスを結ぶキャンパス間ネットワークの測定を行った。2台のパソコンを用意し、1台をSC情報基盤センターの2階に設置し、もう一台をYC情報基盤センターの情報メディアルーム内に設置した。パソコンは、富士通製デスクトップパソコンPRIMERGY MX130 S2である。共にギガビットイーサでキャンパスネットに接続されている。SCに設置するパソコンにはUbuntuサーバー版14.04 LTS 64bitをインストールした。YCに設置するパソコンにはUbuntuデスクトップ版14.04 LTS 64 bitをインストールし、GUIを用いて運用できるように構成した。

計測用ソフトウェアとしてnuttcpを用いた。伝送プロトコルについてもTCPとUDPの両方式を用いて測定を行った。SC側パソコンは、nuttcpをサーバーモードで動かす。これに対し、YC側パソコンではnuttcpをクライアントモードで利用する。nuttcpは、オプション(-r)を指定することで測定方向を容易に切り替えながら測定出来る。この機能を用い、YC→SCとSC→YCの両方向の伝送測定を行う。

2.2 SC-YC間キャンパス・ネットワークの測定

学生及び教職員のインターネット利用度に応じて、キャンパス・ネットワークのトラフィックが大きく変動することが佐藤らにより報告されている^[1]。これを踏まえ、全時間帯のスループットを測定するために、24時間の連続測定を1週間に渡り行うこととした。またTCPとUDP(10Mbps, 5Mbps, 1Mbps)の4項目をSC・YC間双方向で測定するため、合計で8項目のスループットを測定する。

Linuxのcrontabは、コマンドやシェルスクリプトを、指定した時刻に自動実行できる。8項目のスループット測定コマンドを一つのシェルスクリプトにまとめ、それをcrontabにより10分間隔で自動実行する。自動実行するシェルスクリプトの内容は、dateコマンドによって日付を出力した後、最初の項目を計測、5秒のスリープを経た後、次の項目に移る、という手順である。1回のシェルスクリプト実行に要する時間は8分35秒である。

TCPを用いて2014年11月8日から一週間に渡り測

定した結果を図2及び図3に示す。午前0時から24時までの1日分の計測結果を一週間重ね合わせて示している。図2はYC→SC方向、図3はその逆のSC→YC方向のTCPによる伝送速度を示している。両方向ともに、約94Mbpsでの伝送が常時実現できており、昨年度の測定値^[1]と比較すると約20Mbps程度改善している。ネットワークの更改により、帯域が少し改善されていることが解る。

UDPによる伝送レート10Mbpsでのパケット損失に関して得られた結果を図4及び図5に示す。午前0時から24時までの1日分の計測結果を一週間重ね合わせて示している。同図より、UDPを用いてフルHD映像を伝送する為に必要な伝送速度10Mbpsにおいて、SC→YC方向で最大0.025%、YC→SC方向で最大0.03%のパケット損失に留まっていることが判明した。ネットワークが2014年8月に更改され、パケット損失に関しては飛躍的に品質が改善されている。誤り訂正符号を用いていないH.264方式のHD映像伝送の場合、パケット損失が0.1%を超えると、誰もが知覚できるHD映像の画質劣化が発生する。パケット損失が0.01%を超えると人間が知覚し始める。但し、0.03%を超え

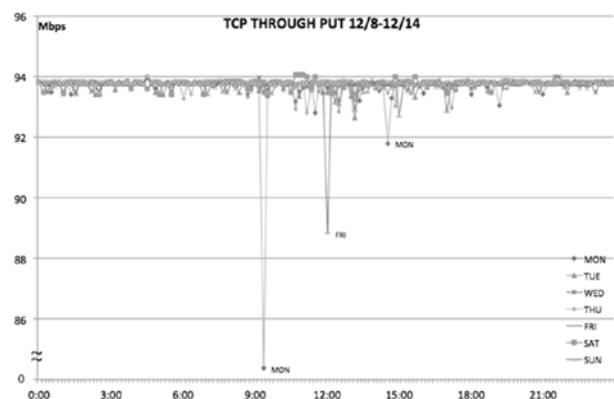


図2 TCPのスループット (YC → SC)

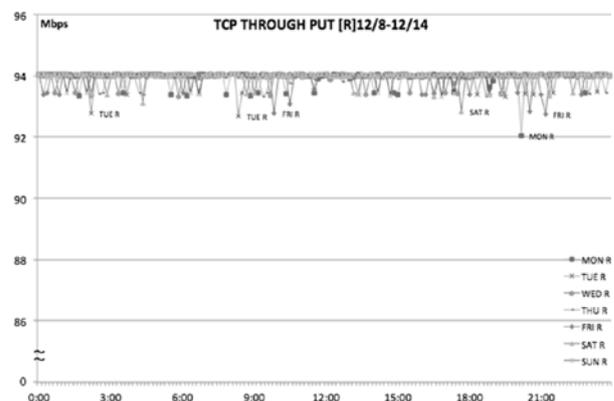


図3 TCPのスループット (SC → YC)

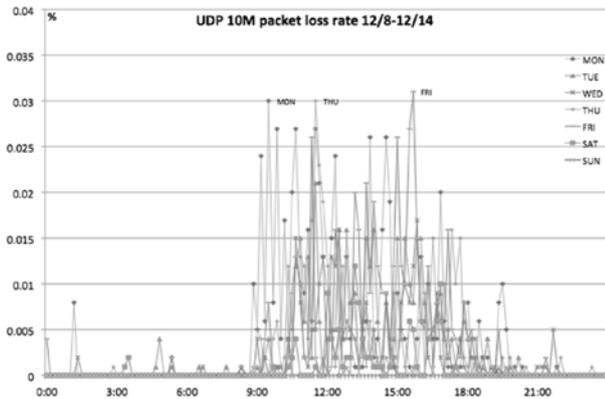


図4 UDP 10M 伝送時のパケット損失率 (YC → SC)

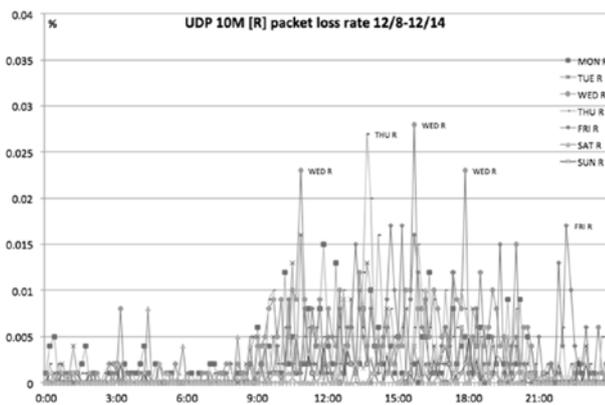


図5 UDP 10M 伝送時のパケット損失率 (SC → YC)

ない範囲では、その影響が限定的であることも知られている。殆どパケット損失を気にすることなく映像伝送が可能な状態であることが明かとなった。

1週間、24時間連続で計測を行った曜日毎の結果を図6-1から7に示す。パケット損失が発生し始めるのは、学生が登校してくる午前9時からであり、学生が帰宅する午後7時にはパケット損失が無くなる。また、日曜日は一日中パケット損失が皆無である。まさに、学生の活動がパケット損失の発生の主たる要因である。また、曜日により時間帯毎の使われ方は全くことなることもわかる。開講講義の少ない水曜日は他の平日に比べ比較的安定している。また、YC → SCよりも、SC → YCの方がパケット損失率が小さいことも解る。これは、インターネットからのダウンロード方向の利用によりパケット損失が発生しており、YCの学生数がSCよりも少ない為であると容易に推察できる。結論として、UDP 10Mbpsによる映像伝送が安定して行えることが判明した。

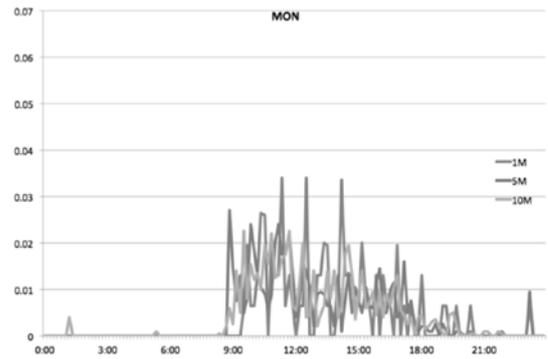


図6-1 月曜日のパケット損失率(1M,5M,10M 伝送時)

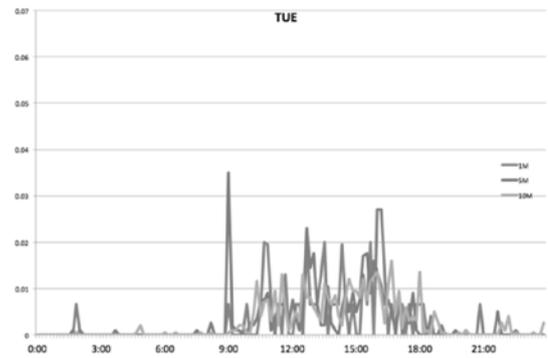


図6-2 火曜日のパケット損失率(1M,5M,10M 伝送時)

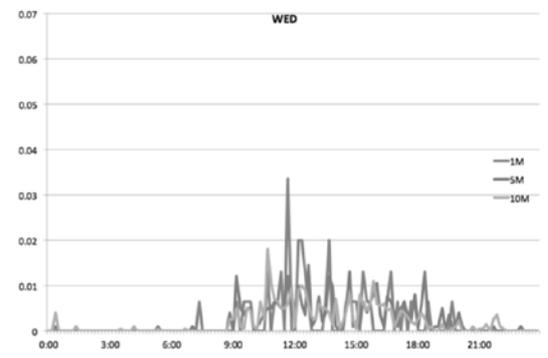


図6-3 水曜日のパケット損失率(1M,5M,10M 伝送時)

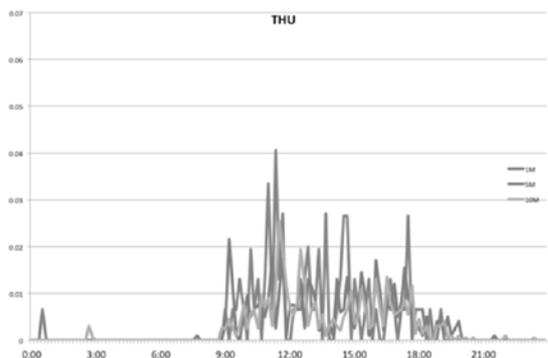


図6-4 木曜日のパケット損失率(1M,5M,10M 伝送時)

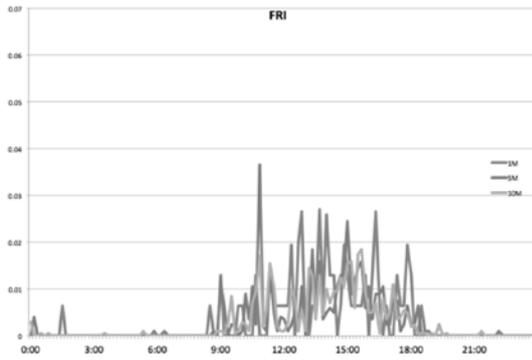


図 6-5 金曜日のパケット損失率(1M,5M,10M 伝送時)

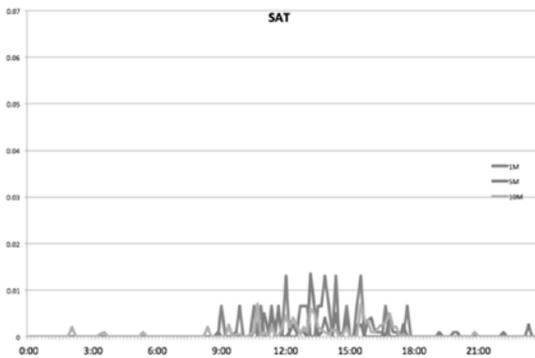


図 6-6 土曜日のパケット損失率(1M,5M,10M 伝送時)

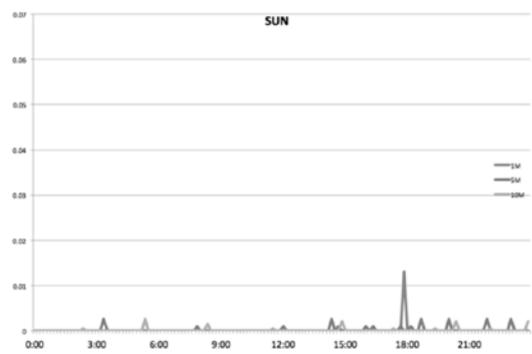


図 6-7 日曜日のパケット損失率(1M,5M,10M 伝送時)

2.3 インターネットへの配信に関する測定

インターネットを用いて、付属塩尻高校に遠隔講義のハイビジョン映像をライブ中継することがある。このような利用時の特性を探るために、インターネットへのストリーミング配信における伝送特性の測定も行った。配信先は、著者の一人の自宅である横浜市金沢区であり、光フレッツによる OCN に接続されている。VPN で接続し、2014 年 11 月 8 日から一週間に渡り測定を行った結果である。

TCP に関する連続測定結果を図 7 及び 8 に示す。図 7 は、横浜キャンパスから OCN サイトへの TCP による転送速度を示し、図 8 はその逆方向の転送速度を示

している。同図より、平均的には 12Mbps の速度が安定して出ているものの、夜間 21 時～深夜にかけて連続して 4Mbps～8Mbps まで速度が落ちることがある。以上のことから、映像伝送を 10Mbps で行うことは非常に難しく、映像の TCP によるストリーミング配信でも速度が 3Mbps 程度に限定されることが明かである。

UDP による 10Mbps 伝送時のパケット損失を図 9 及び 10 に示す。同図より、SINET による接続と比較して、非常に多くのパケット損失が発生していることが確認できる。常時 2% ほど落ちており、インターネット使用頻度が高いとされる夜間 21 時～深夜にかけて 5%～最大 30% パケット損失が発生している。特に夜 21 時以降は 5% 前後のパケット損失が連続しており、UDP による映像伝送を行った場合、映像の乱れが顕著に見られると予測される。

3 マルチドメイン間の伝送特性

perSONAR (PERformance Service Oriented Network monitoring ARchitecture) とは CentOS6 をベースに改良したソフトウェアパッケージであり、世界中の学術ネットワークの拠点で得られる測定データを

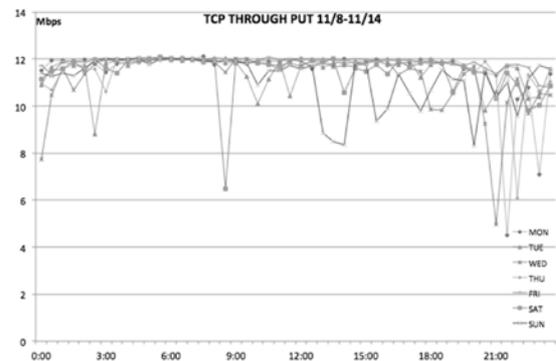


図 7 横浜キャンパスから OCN サイトへの TCP スループット

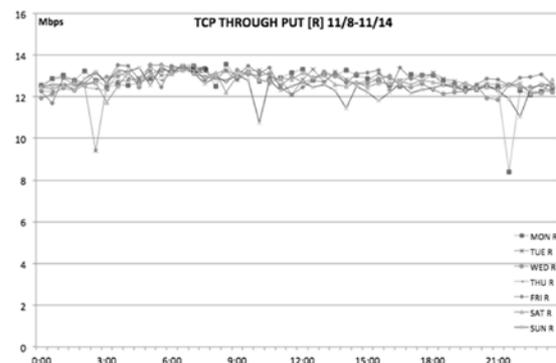


図 8 OCN サイトから横浜キャンパスへの TCP スループット

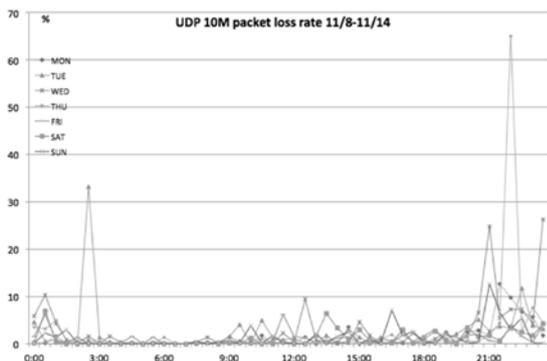


図 9 横浜キャンパスから OCN サイトへの UDP 10M ストリーミング伝送時のパケット損失率

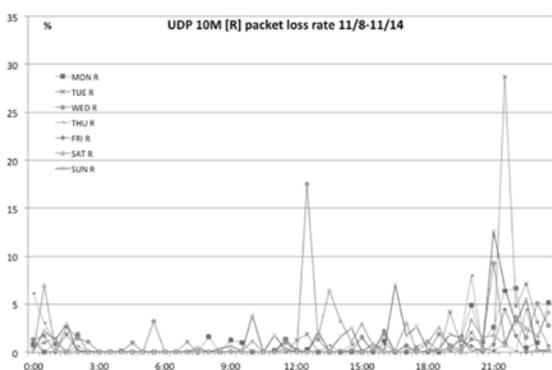


図 10 OCN サイトから横浜キャンパスへの UDP 10M ストリーミング伝送時のパケット損失率

共有するための統合環境である^[2,3]。このソフトを用いて本学と様々なドメイン間で測定した結果を報告する。

3. 1 PerfSONAR について

世界中の学術ネットワークの拠点で得られた測定データを共有するための統合環境として perfSONAR は開発されてきた。ネットワークの一般的な計測手法として、ping を用いた到達性や往復遅延の測定、SNMP を用いた機器 MIB 情報の取得、sflow、netflow を用いたパケットサンプリング技術、iperf/BWCTL を用いたスループット計測などがある。しかし、ドメイン間で異なる計測ポリシー、異なるユーザインタフェース、異なる計測ツールとなってしまう為に、データの比較などが十分に行えない問題点があった。perfSONAR はそれらの問題点を解決するように開発されており、現在、Internet2、ESnet、GEANT2 などの国際的な学術研究ネットワークで幅広く利用されている。

今回、スループットの計測ツールとして TCP/UDP のネットワーク最大帯域幅パフォーマンスを測定できるベンチマークツール iperf3 を用いた。iperf3 は、本来コマンドライクなツールであり、サーバーモード、或いはクライアントモードで利用する。また、計測時間、計

測間隔、ウィンドウサイズなどもオプション指定できる。perfSONAR に組み込まれたバージョンでは、様々なオプションを web インタフェースから設定し計測を行う。

perfSONAR の性能を評価する為に、横浜キャンパスネットの測定を試験的に行うことにした。利用状態が 1 日の中で大きく変化すると思われる 2 号館メディアホールの無線 LAN の測定を行う。2 台のパソコンを用意し、有線 LAN に接続した 1 台を藤井研学生室に設置し、無線 LAN アダプタを取り付けた 1 台を 2 号館メディアホール内に設置した。OS として perfSONAR-ps 3.4.1 をインストールした。学生室に設置したパソコンは富士通製の PRIMERGY TX-100 S3 (CPU:Pentium G620 2.6GHz、メモリ 4GByte)、メディアホールに設置したパソコンは HP 製 ProLiant MicroServer (CPU:AMD Turiron2 Neo、メモリ 4GByte) である。なお、無線 LAN アダプタとして、USB 無線 LAN ユニット WLI-UTX-AG300 を用いた。この計測が学生のネットワーク利用を妨げないように、10 分間隔で 10 秒間の測定という設定で計測を行った。計測結果を図 11 に示す。利用者が少ない夜の時間帯で最大値が 23Mbps となり、利用者の多い昼過ぎの時間帯では最低値 11Mbps となった。これにより、一日のネットワークの変動の様子が上手く計測できることが確認できた。

3. 2 マルチドメイン間の測定

perfSONAR の特徴として、LS (Lookup Service) があり、各種 perfSONAR サービスの登録と検索が web インタフェース上で行える。その LS を用いて、学生室に設置したサーバーと国内 3 拠点、海外 3 拠点との間で計測を行った。用いたパソコンは前述の PRIMERGY TX-100 S3 である。このパソコンを学内のファイアウォール外のネットワークに接続し、24 時間連続で測定した。計測は、10 分間隔で 10 秒間とし、その伝送速度を記録した。perfSONAR を用いて、マルチドメイン間でのネットワーク計測を行った結果を以下に示す。

perfSONAR は主に国際的な学術研究用ネットワーク

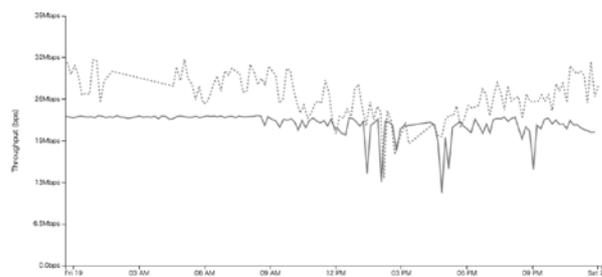


図 11 学内無線 LAN のネットワーク計測結果

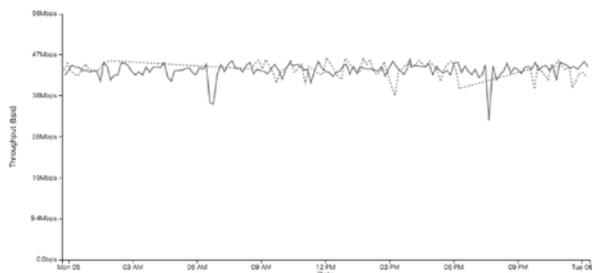


図 12 DTI (商用サーバー) とのネットワーク計測結果

でしか利用されていない。そこで比較の為に、DTI (株式会社ドリーム・トレイン・インターネット) のレンタルサーバーに perfSONAR を導入し計測を行った。これにより、一般的な商用ネットとの間のスループットも計測できた。測定方法は、マルチドメイン間の計測と同様とした。DTI レンタルサーバーとの間で測定した結果を図 12 に示す。平均して 41 ~ 46Mbps が計測された。最低値は午後 7 時に計測された 32Mbps であった。DTI ではサーバーを商業利用しているためネットワークの接続速度は高速ではないが、ISP のコアネットワークにサーバーが位置する為に、常に安定した速度が保証されていることが解る。

東京大学との間で測定した結果を図 13 に示す。スループットは午前 9 時から徐々に低下し、午後 1 時に最低値 91Mbps となっている。夜間にスループットが大幅に落ちることはなく、最大値 930Mbps である。学内と同様に、ネットワークの利用者数に応じてスループットの値が変化すると推察される。また、東京大学から学内ネットワークへのスループットは平均的に 140Mbps 程度と低いことから、東京大学では常時ネットワークの利用者が多いと思われる。次に、日本の APAN サイトとの測定結果を図 14 に示す。東京大学とのスループットとほぼ変わらない特性であることが解る。

海外のサーバーとの間のネットワークを計測した例として、MIT (Massachusetts Institute of Technology) との計測結果を図 15 に示す。平均値 359.7Mbps、最

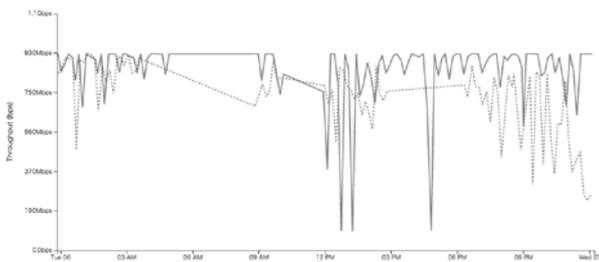


図 13 東京大学とのネットワーク計測結果

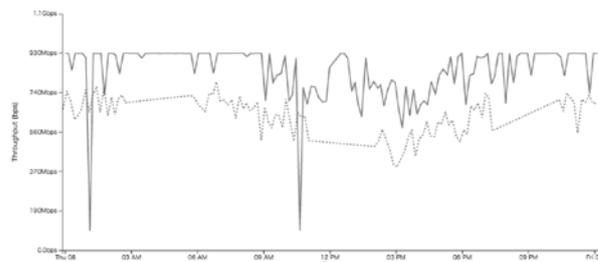


図 14 APAN (日本サイト) とのネットワーク計測結果

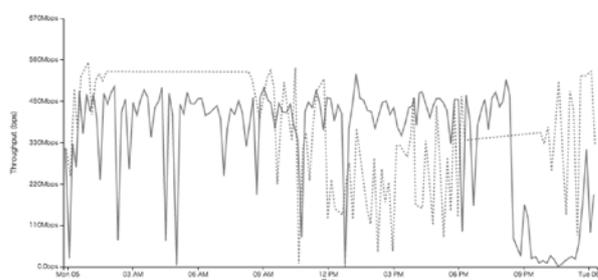


図 15 MIT とのネットワーク計測結果

大値として 520Mbps が計測された。国外のため時差が 14 時間あることを考慮し計測結果を詳細に眺めると、次のようなことも解る。現地時間午前 6 時から徐々にスループットが低下し、12 時までで最低値 1.7Mbps、この間の平均値が 59.4Mbps である。利用者の多い時間帯でスループットが低下することは学内計測の結果と同じである。本学が接続されている文科省の SINET は学術研究ネットワークであり、MIT と 1Gbps の高速なネットワークで接続されていることが解る。従って、時間帯を見計らって利用すれば、非常に高速な通信が行える事が解る。この他に台湾の TWAREN 及びヨーロッパの GEANT との間の測定結果を図 16 及び 17 に示しておく。同様の傾向が読み取れる。本学のネットワークが国際的な学術ネットワークと相互に高速に接続されていることが確認できた。

4 むすび

本学のキャンパス間ネットワークの特性を測定し、その詳細な特性が把握できた。これにより、フル HD クラスの映像ストリームを SC・YC 間ではほぼ問題無く双方向で伝送できることが判明した。また、学術研究で利用されている perfSONAR を用いることにより、マルチドメイン間でのネットワーク計測も比較的簡単に行え、本学が世界の主要な学術ネットワークと数百 Mbps の速度で高速に接続されている現状も把握できた。本学の 3 キャンパスは非常に高速で高品質なネットワークで接続されており、映像を積極的に活用できる環境に生まれ

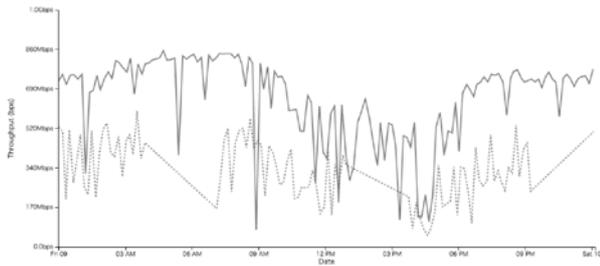


図 16 TWAREN (台湾) とのネットワーク計測結果

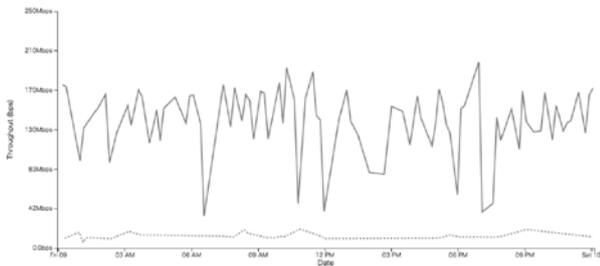


図 17 GEANT (欧州) とのネットワーク計測結果

変わったことが示された。今後、様々な映像を用いた新しい教育への利用が進展していくことを期待する。

参考文献

- [1] 佐藤, 伊東, 藤井「キャンパス間ネットを用いたHD映像ストリーミング配信に関する検討」東京都市大学, 情報メディアジャーナル, Vol.15, 2014年
- [2] 学術研究ネットワークにおけるネットワーク計測 http://www.jgn.nict.go.jp/jgn2plus_archive/japanese/data/pdf/SPARC/T5-200911-ikeda.pdf, 2014/1/4
- [3] 清水, 桑原「プログラマブル高機能ネットワークを支える測定技術」NTT 技術ジャーナル, pp.28-32, 2012年3月