

## APAN 東京 XP の運用について

北辻 佳憲\* 屏 雄一郎\* 窪田 歩\* 小林 克志\*\* 北村 泰一\*\* 加藤 朗\*\*\*

小西 和憲\*

\*(株)KDDI 研究所

\*\*通信総合研究所

\*\*\*東京大学

### 概要

1997年に運用を開始した APAN(Asia-Pacific Advanced Network)は、接続地点・帯域・接続性・サービスを拡充し、アジア・太平洋と米国を接続する国際ネットワークとして世界的に認識されてきた。これまでの国際実験ネットワークは1対向の国と国をポイントツーポイントの回線で接続する接続形態が多かったのに対し、APANはポイントツーポイントの回線を各国 XP に終端して複数の国をマルチポイントに接続する国際実験ネットワークの環境を提供する。APAN 東京 XP は4ヶ国の学術系バックボーンネットワークと相互接続し、APANのハブとして重要な接続点である。東京 XP は通常の IPv4 のユニキャストの通信の他に、マルチキャスト・IPv6・DiffServ等のサービスを提供して、APANを利用する多くの国際共同実験、デモンストレーション、研究プロジェクトを支援する。本論文では、APANの概要、東京 XP のネットワーク構成、利用規約を実現して冗長性を確保する経路制御手法、安定な運用を行うための運用体制および運用の負担を軽減するツールの紹介を行う。そして、最後に今後の予定として、高帯域な米国回線を有効に利用することを目的として、利用者が高性能な TCP 通信を実現するために我々が今後検討すべき項目について考察する。

## Operation of APAN Tokyo XP

Yoshinori KITATSUJI

Yuichiro Hei

Ayumu Kubota

Katsushi KOBAYASHI

Yasuichi KITAMURA

Akira KATO

Kazunori KONISHI

•KDDI R&D Laboratories Inc.

••Communications Research Laboratories

•••University of Tokyo

### abstract

APAN (Asia-Pacific Advanced Network), which initiated its provision of the high performance research and educational network environment in Dec, 1997, has become widely used by researchers in Asia Pacific region with expanding number and bandwidth of the links as well as enhanced and expanded services. APAN provides the multi-point testbed, while many existing international testbeds are limited to point-to-point environment. Because Tokyo XP (eXchange Point) is situated as hub of APAN, it provides native multicast, native IPv6 and Differentiated Service on easily congested link besides IPv4 unicast connectivity and supports many international collaboration, research and demonstration with these services. This paper describes the outline and network construction of Tokyo XP, source address base routing for allowing only authorized uses and operation for providing stable use. At last, we discuss items which should be achieved for provision high performance TCP transmission over long distance TransPAC link connecting between Asia and USA to promote researchers to launch their project smoothly.

### 1. はじめに

APAN(Asia-Pacific Advanced Network)は各国の研究機関がアジア・太平洋地域に持つ国際回線を相互接続した多地点実験ネットワークで<sup>[1]</sup>、APAN 東京 XP<sup>[2]</sup>(eXchange Point, 以下東京 XP とする)を中心に、6箇所のアジア太平洋地域の学術系バックボーンネットワークおよび6箇所の国内研究ネットワークと接続する。

APANはプロジェクト指向の利用規約をIPv4のユニキャストに設けており、APAN Allocation/User service Committee<sup>[3]</sup>に承認されたプロジェクト参加組織の間

の通信を許可している。IPv6およびマルチキャストなどに関しては通信を提供することが実験と位置付けられるため、利用者を制限しない。

本論文では、東京 XP のネットワーク構成、経路制御手法、運用、今後の予定について述べる。経路制御手法については、IPv4ユニキャストの送信元アドレスを基にした経路制御手法および米国回線の冗長化、マルチキャストのユニキャストと異なる経路情報の管理の実現手法、IPv6の経路制御についてそれぞれ述べる。運用については、運用体制および運用の負担を軽減するツール

の紹介を行う。最後に、今後の予定として、高帯域な米国回線を有効に利用することを目的として、利用者が高性能な TCP 通信を実現するために今後検討すべき項目について考察する。

## 2. APAN の概要

APAN のネットワークは NOC によって運用され、アジア太平洋地域のインターネットの研究活動を推進する APAN 活動の根幹をなす。特に、相互接続点 (eXchange Point) である東京 XP, ソウル XP, SingAREN はそれぞれ米国回線を持つほか、アジア太平洋地域の国際回線を終端し、APAN のハブとしてネットワークの安定運用を行う重要な位置にある。本節では、APAN の国際回線および東京 XP の機器構成について述べる。

### 2.1 国際回線

APAN のネットワークはアジア・太平洋地域で行なわれる研究開発用に確立されるポイントツーポイントの国際回線を XP に集めた、多地点実験ネットワークである。APAN の XP が終端する国際回線は表 1 の通りである。

表 1: APAN で利用される国際回線

接続区間	所有者	帯域
東京/シアトル	インディアナ大学	622Mbit/s
東京/シカゴ	科学技術振興事業団	622Mbit/s
東京/北京	CERNET(注 1)	10Mbit/s
東京/ソウル	CRL/KISDI(注 2)	8Mbit/s
東京/フィリピン	農林水産研究情報センター	768Kbit/s
東京/マレーシア	NTT コミュニケーションズ	192Kbit/s
ソウル/シカゴ	KOREN(注 3)	45Mbit/s
ソウル/シンガポール	KISDI/SingAREN(注 4)	2Mbit/s
ソウル/フランス	KISDI/RENATER	2Mbit/s
シンガポール/シアトル	SingAREN	14Mbit/s

(注 1): China Education and Research Network

(注 2): Korea Information Society Development Institute

(注 3): Korea Advanced Research Network

(注 4): Singapore Advanced Research and Education Network

この他に、東京 XP と相互接続を行なって、APAN の研究活動のトラヒックをトランジットする研究ネットワークの国際回線に、SINET の東京/タイ間の 2Mbit/s の回線と、AI3 の藤沢および奈良からインドネシア、シンガポール、タイ、フィリピン、ベトナム、ホンコン、マレーシアへ接続する衛星回線 (日本からの往路: 1.5Mbit/s、復路: 512kbit/s) がある。図 1 に日本を中心とする APAN の国際回線の接続図を示す。

APAN のネットワークは複数の国際回線によって構成されるが、それぞれには回線固有のプロジェクトがあ

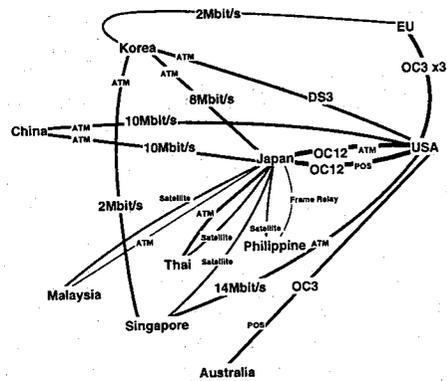


図 1: APAN の国際接続

り、そのプロジェクトを推進するための利用既約が規定されている。APAN はこれら国際回線を XP で終端して、各プロジェクトの参加機関の間で相互にトラヒックを交換できるように経路制御を行なう。APAN は国際的な研究活動を支援しており、これらの国際回線を複数利用する研究プロジェクトを全世界から募っている。利用を希望する組織は、APAN を通して各回線の所有者から承認を得ることで、回線所有者のプロジェクトと平行して研究プロジェクトのトラヒックを交換できる。

利用の手続きは基本的にメールによって進められ Allocation Subcommittee (<http://alloc.apan.net/>) から申請方法、申請書、手続きの流れ、既承認プロジェクト、国際回線別利用可能研究機関などの情報を得ることができる。APAN との接続については、申請者の自らの接続地点までの到達性確保を基本とする。日本の場合、東京 XP は国内の学術系バックボーンネットワークである IMnet, JGN, SINET, WIDE 等と接続しおり、多くの研究機関はこれらの研究ネットワークを経由して到達できる。

TransPAC(米国) 回線 [4] や APII 韓国回線では、承認されたプロジェクトに関係する組織間の通信のみが許可されているため、東京 XP では流入するトラヒックの送信元アドレスの検査によるアクセス制限を行なって、回線の利用規約を厳守している。

### 2.2 東京 XP の概要

東京 XP は 4ヶ国の学術系バックボーンネットワークと相互接続し、APAN のハブとして重要な位置にある。東京 XP の機器の物理的な接続を図 2 に示す。多くの対外接続は ATM スイッチで行い、ルータとルータまたはルータとサーバの間の通信は L2/3 イーサネットスイッチを介して行う。主ルータは認定組織のトラヒックを送受し、多くの認定組織と ATM PVC で接続する。認定

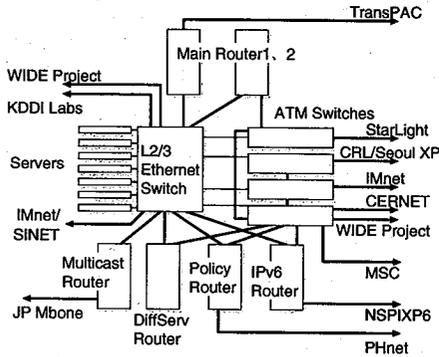


図 2: 東京 XP の機器の物理接続

組織とは APAN Allocation/User service committee に APAN の国際回線の利用を許可された組織を意味する。認定組織と非認定組織を持つバックボーンネットワークとの接続はポリシールータで行い、認定/非認定組織からのトラヒックを分別する。

東京 XP では上記の他に、IPv6 で接続を行う IPv6 ルータ、QoS 実験に利用する DiffServ ルータ、JP Mbone への接続する DVMRP 用ルータなどを導入して、利用者の研究活動を支援している。

### 3. 経路制御

東京 XP では IPv4 のユニキャストおよびマルチキャスト、IPv6 の通信を提供している。本節では、IPv4 ユニキャストの送信元アドレスを基にした経路制御手法および米国回線の冗長化、マルチキャストのユニキャストと異なる経路情報の管理手法、IPv6 の経路制御について述べる。

#### 3.1 IPv4 ユニキャスト

認定組織と非認定組織の双方のトラヒックを転送する研究ネットワークとの接続においては、非認定組織の国際回線の利用を制限するために、パケットの送信元アドレスのチェックが必要となる。パケットの送信元アドレスのチェックは、通常の宛先アドレスを基にするパケット転送処理と異なるため、十分に高速な転送性能を得られない可能性がある。そのため、東京 XP では、図 3 のようにパケットの送信元アドレスを検査するためのポリシールータと、認定組織の経路情報を管理して認定組織とのトラヒックの交換に利用する主ルータの 2 種類を用いている。

主ルータは認定組織の経路情報を管理し、認定組織発のパケットが送り込まれることを想定している。そのため、組織全体が認定されている組織や、認定組織のパケットのみを送り込むように自ら経路制御を行う研究ネットワークとの接続は、主ルータで行う。

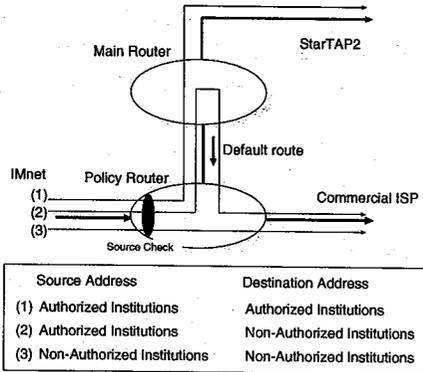


図 3: 送信元アドレスを基にした経路制御の概念図

一方、認定組織と非認定組織の両方のパケットを送り込む研究ネットワークとの接続は、ポリシールータで行う。ポリシールータは接続インタフェースでパケットの送信元アドレスを検査して、認定組織発のパケットであれば主ルータへパケットを転送し、非認定組織からのパケットであればポリシールータで通常の宛先アドレスを基にした転送処理を行う。ポリシールータでは通常の経路制御によるパケット転送を行った場合に、非認定組織発のパケットが主ルータへ転送されることを防ぐために、主ルータから認定組織の経路情報を受けない。主ルータでは、デフォルト経路をポリシールータへ向け、認定組織宛ではないパケットをポリシールータへ転送する。

接続する研究ネットワークからポリシールータへ転送されるパケットはそれぞれ、次の経路を通して接続組織へ送り出される (図 3 参照)。

- パケットの送信元と宛先の両方が認定組織である場合  
パケットは送信元アドレスが検査されて主ルータへ転送される。主ルータではパケットの宛先アドレスをもとに、接続組織へ送り出される。
- パケットの送信元アドレスが認定組織で宛先アドレスが認定組織ではない場合  
パケットは送信元アドレスが検査されて主ルータへ転送される。主ルータではパケットの宛先アドレスに一致する経路情報が無い場合、デフォルト経路にしたがってポリシールータへ戻される。ポリシールータでは主ルータから転送されてきたパケットに対して通常の経路制御が行い、商用プロバイダ等へパケットを転送する。
- パケットの送信元アドレスが認定組織ではない場合  
ポリシールータで送信元アドレスが認定組織とマッチせず通常の経路制御が行われ、商用プロバイダ等へ送り出される。

経路情報の交換に関しては、どちらのルータに接続する研究ネットワークも、接続する研究機関の全てまたは一部が認定されていれば、主ルータから認定組織用の経路情報を受けなければならない。そのため、BGP

のセッションを主ルータとの間で確立する。ポリシールータに接続する研究ネットワークは eBGP multihop を使って、ポリシールータを通り越すセッションの確立を行なう。

パケットの送信元アドレスの検査を行うポリシールータには、CISCO 社製 7505 を使用しており、Policy-Based Routing<sup>[5]</sup>(以下、PBR とする)の機能を使用している。PBR の動作は、パケットフィルタリングと同様にインタフェースに到着するパケットがある特定の条件にマッチするかを検査するもので、条件にマッチしたパケットに対しては特定の処理が行われる。ポリシールータの場合、認定組織のネットワーク番号のリストを作成して PBR の条件としておき、マッチしたパケットを主ルータへ転送するよう next hop の値を設定する。

TransPAC 回線は 2001 年 10 月に増速されて、シアトルおよびシカゴと接続し、一方が利用できない場合は他方の回線をバックアップとして使用できるようになった。そのため、最もトラフィック量が多い Abilene との接続については双方の回線上で BGP による経路情報の交換を行っている。東京 XP では米国回線の増速に合わせて主ルータを増設して、ルータの冗長化も図った。双方のルータは iBGP で経路情報を交換しているため、どちらのルータへパケットが転送されても、パケットは宛先アドレスを基に適切に送出される。しかし、PBR の設定では next hop に指定できるアドレスが 1 つであるため、認定組織発のパケットは 2 台のうち一方の主ルータにしか転送できない。

そこで、ポリシールータおよび 2 台の主ルータを Ethernet の同一セグメントに接続して、2 台の主ルータの間で VRRP(Virtual Router Redundancy Protocol)<sup>[6]</sup> を使って仮想的なアドレスに双方の主ルータが応答できるようにした。ポリシールータの PBR の next hop のアドレスを、この仮想的なアドレスに設定することで、いずれかの主ルータが動作していれば、PBR の next hop アドレスが有効であり続け、主ルータの冗長性をより有効にできる。

### 3.2 IPv4 マルチキャスト

東京 XP を始め、APAN の XP では PIM-SM<sup>[7]</sup>、MBGP<sup>[8]</sup>、MSDP<sup>[9]</sup> を導入して、ネイティブな(トンネルを使用しない)マルチキャストの通信を行っている。東京 XP は JP Mbone を始めとする国内の利用者へ向けて米国およびアジア太平洋地域のマルチキャストトラフィックを転送する意味で重要な立場にある。

マルチキャストでは、ルータが管理する経路情報はパケットの RPF(Reverse Path Forwarding)チェックに使われる。マルチキャストは利用規約に制限がないた

め、経路情報の交換に特別制限を設けないが、ユニキャストでは前節の通りルータによって管理する経路情報が異なる。そのため、ユニキャストとマルチキャストの経路情報が一致せず、それぞれ独立に管理されなければならない。そこで、APAN の XP では経路情報の交換に MBGP を使ってユニキャスト用とマルチキャスト用の異なる経路情報を管理することとした。

ポリシールータで行う送信元アドレスの検査は、マルチキャストの利用規約には不要となるため、ポリシールータに接続する研究ネットワークからマルチキャストパケットを受ける場合、ポリシールータのマルチキャストの経路情報を使って RPF チェックを行う。そのため、PBR の条件を追加して、宛先アドレスがマルチキャストアドレス(224.0.0.0/4)であれば next-hop アドレスを変更せず何もしない、すなわち、ポリシールータの通常の経路制御を行う設定を行っている。

ユニキャストと同様にマルチキャストにおいても、2 台の主ルータの冗長性を有効にするため、双方の主ルータを PIM の Rendezvous Point (以下、RP)とした。RP 間での送信元情報の共有には MSDP を使い、マルチキャストを利用する研究ネットワークと東京 XP の間で確立する MSDP のセッションは、いずれの主ルータとも確立できる。ポリシールータと接続する研究ネットワークは MSDP のセッションを 2 台の主ルータと確立して、一方のルータに障害が発生しても他方のルータをバックアップとして利用できる。

アジア太平洋地域では、ユニキャストほどマルチキャストが普及しておらず、APAN の利用者の中には、ネイティブな接続で XP までマルチキャストの通信経路を確保できない場合がある。そのような利用者に対して、APAN はトンネル技術による仮想的な回線を確立して、マルチキャストの利用を促進している。APAN で用いられるトンネル技術は、DVMPR トンネルではなく、GRE トンネル(または IP in IP トンネル)を確立して、その上で PIM-SM や必要であれば MBGP および MSDP を利用する。

### 3.3 IPv6

APAN では、ネットワークの構築が始まった初期の頃から、IPv6 のネイティブなネットワークの構築を進めてきており、東京 XP を始めとして全ての XP において IPv6 の定常利用を可能とする運用を行っている。東京 XP は米国の 6TAP、および日本の NSPIXP6 へ接続して国内の多くのネットワークと相互接続を行っている。東京 XP では、IPv6 ネットワークは IPv4 のネットワークに隣接する形で構築されており、IPv6 ルータはデュアルスタックの CISCO 社製 7505 を使用している。東

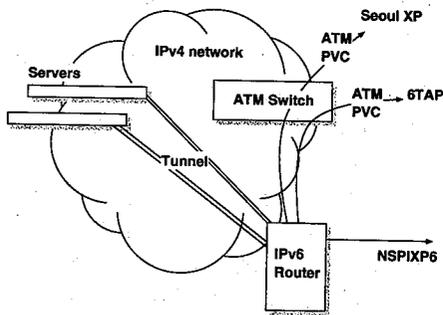


図 4: 東京 XP の IPv6 ネットワーク

京 XP に設置される APAN JP の DNS/メール/WEB サーバは IPv6 にも対応しており、デュアルスタック OS を搭載した PC と IPv6 ルータの間で IPv6 over IPv4 トンネルを確立している (図 4 参照)。

東京 XP の IPv6 ルータは 1 台であるため IGP の経路制御プロトコルは使用していないが、研究ネットワークとの経路情報の交換には BGP4+ を使用している。東京 XP は 6TAP および Seoul XP と ATM PVC で接続し、100Base-TX による NSPIX6 への接続を経由して WIDE および多くの研究機関と相互接続する。APAN の IPv6 による研究機関との接続は IPv4 に依存しないネイティブな接続を基本方針とするが、IPv4 を利用しなければ到達できない利用者との接続には、IPv6 over IPv4 のトンネルを確立して接続する。

#### 4. 運用

東京 XP は 3 つの担当による運用体制でネットワークの安定運用に努めている。運用では、ネットワークの監視が大きな負担となっており、対象の監視と異常が検知された場合の連絡を自動で行なうツールを用いて、負担の軽減を図っている。本節では、東京 XP の運用体制および運用に利用するツールについて述べる。

##### 4.1 運用体制

東京 XP の運用は、監視担当、操作担当、技術担当が協調してネットワークの運用をおこなっている。監視担当はツールを用いて、東京 XP が確立する BGP セッションの監視と、BGP セッションを監視するプログラムが動作するサーバへの到達性の監視を 24 時間行う。監視において異常が検知され、ツールから監視担当へ障害連絡が入ると、簡単な障害箇所の切り分けを行って操作担当へ状況を報告する。監視担当はネットワーク機器が設置される KDDI 大手町ビルに常駐しており、障害対応時の機器の再起動や電源の再投入など、操作担当の補助も行う。

操作担当は、技術担当の専門的な技術支援を受けな

がら、日常のネットワーク構成の設計・変更、新規回線接続、障害対応、研究機関の実験/デモの支援を行う。技術担当は APAN の技術部会のメンバーで構成され、それぞれ技術部会が行うネットワークを使った調査/実験/デモンストレーションと承認されたプロジェクトの利用の双方の調整、運用およびネットワークの設計に関する技術的な助言を操作/監視担当に行う。

APAN は研究活動の場を提供する実験ネットワークであるため、希望者には東京 XP のネットワーク機器のアカウントを提供して、より円滑に研究を推進できるよう便宜を図っている。また、隣接する研究ネットワークとも、相互にアカウントを提供し合い、障害切り分けや性能調査等に利用している。

##### 4.2 ツール

東京 XP を始めとして APAN の XP では、監視および運用管理に様々なツールを利用している。多くの場合は、一般に公開されているフリーのソフトウェアを利用して運用の負担を軽減しているが、独自に開発して利用するツールもある。

以下に東京 XP で利用する代表的なツールを紹介する。

- MRTG (Multi-Router Traffic Grapher)  
ネットワークの運用では最も広く利用されているフリーのトラフィック描画ツールで、SNMP による MIB の値を取得してグラフを描画する。SNMP を使ってデータを取得するため、トラフィック量に限らず様々な統計量のグラフ化が可能である。古いデータほど、集約して保存されるため、長期間のデータ収集とそのグラフ化に向く。
- ATM 回線のトラフィック描画ツール  
CAIDA が開発/公開する CoralReef を改良して KDDI 研究所で開発するツールで、ATM 回線のトラフィック量をグラフ化するツールである。韓国回線および米国 (シカゴ) 回線のトラフィックを描画して、WEB で公開している。一般に広く利用される MRTG に比べて、グラフの粒度が小さく (最小で 1 秒)、専用の PC を用いるためにルータなどのネットワーク機器に負担をかけず、PVC 毎および IP ヘッダの特定のパターンにマッチしたトラフィック量のグラフ描画が可能である。長期間のデータ収集が可能のように、MRTG と同じく古いデータは集約して保存される。
- BGP 経路情報表示ツール  
東京 XP のルータが送受する IPv4 のユニキャストおよびマルチキャストの経路情報をピア毎に WEB に表示する。表示される経路情報は特定の数でページを区切って表示され、ルータから収集される経路情報は cache されるために、頻繁なアクセスに対して、ルータに負荷を与えないよう設計されている。東京 XP で開発するツールである。
- 到達性計測ツール  
ホストの往復遅延時間およびパケットロスを複数同時に計測し、統計情報をグラフに描画する。システムを停止することなく計測対象を変更でき、長時間の連続動作が可能である。複数の対象を計測する場合も、計測誤差を小さくするように設計されている。MRTG と同様、古いデータは集約して保存される。KDDI 研究所によって

開発するツールである。

- BGP セッション監視ツール  
東京 XP の BGP セッションの状態を定期的に確認して変化が起こった場合に監視担当へメールで通知する。SNMP を用いて状態のポーリングを行うため、複数のルータ製品の BGP セッションの状態を監視できる。KDDI 研究所で開発するツールである。
- netperf, iperf  
エンドエンドの利用可能帯域を計測するフリーのツールで、TCP および UDP の性能を計測することができる。サーバクライアント型のツールで、計測中は計測結果に現れるトラヒックが生成され、他のトラヒックへ与える影響について注意しなければならない。
- pathchar  
宛先までのホップごとの回線帯域を計測するフリーのツールで、traceroute と同様に UDP または ICMP による ICMP time expire を利用して計測する。計測は netperf と異なり、計測結果に現れるトラヒック量と同じ量のトラヒックを生成するわけではない。

これらのツールから得られる情報の多くは、WEB を通して一般に公開されており、東京 XP の運用に利用されるだけでなく、利用者の障害切り分け作業等にも利用されている。

## 5. 長遅延環境下の TCP 通信の性能改善

東京 XP から米国へ接続する TransPAC 回線は 2001 年 10 月に OC3 から 2 つの OC12 回線に増速され、アジアと米国およびヨーロッパの間でより高速な通信を利用した研究活動が行える環境が整ってきた。国内においては、ATM OC3 主体の接続からギガビットイーサネットへ切り替えを進めており、高帯域な TransPAC 回線をより有効に利用できつつある。

最近では、APAN を使って遠隔地の間で多量なデータの共有を図る研究が進められており、長遅延環境での TCP による高速なデータ転送が求められている。これまで、TransPAC 回線を終端する東京 XP および StarTAP では太平洋の長遅延環境（往復遅延時間 145ms）下の TCP 性能の評価を行ってきたが、40~60Mbit/s の転送性能が限界であった。東京 XP では米国回線の増速を良い機会として、利用者と協力してより高速な TCP 性能をエンドエンドで実現するため、東京 XP 内部のネットワークの構成変更、接続する研究ネットワークも含めた転送経路上のボトルネックの解消について検討を行う予定である。

具体的には、下記の項目について検討して、エンドエンドの TCP 通信の性能の改善を目指す。

- 実験に協力してもらえ利用者が想定する環境において、TCP 性能の限界の把握と通信経路の確認
- 利用者が所属する組織のネットワークおよび東京 XP 内部のボトルネックの解消

- 通信経路上の組織の性能の限界の調査と代替経路の検討
- 一般利用者のトラヒックについて、東京 XP での性能の可視化方法の検討
- TCP 性能の改善の経験的手法の公開および情報の更新

上記の検討項目は、1. 特定通信経路の通信性能の改善と、2. 一般利用者への性能改善の支援の方法に分けることができる。1. では高帯域な TCP 性能の調査協力を得られる組織とともに実験を進めて、性能改善のノウハウを蓄積する。特に、現状の性能に影響を与えている問題点を明らかにするため、計測項目の洗い出し、接続する研究ネットワークの性能の限界の把握に重点を置く。2. では一般の利用者が TCP 通信の高帯域化の一助となる問題解決の方法についてノウハウの公開、利用者からのフィードバックによる手法の充実、東京 XP で計測できる通信性能を公開する方法について検討する。

## 6. おわりに

APAN の XP では複数の異なる利用既約の国際回線を終端しており、非認定組織による国際回線の利用を制限するために、送信元アドレスを基にした経路制御手法を行っている。

本論文では、IPv4 のユニキャストとマルチキャストおよび IPv6 の経路制御手法、運用体制および運用負荷を軽減するツールの紹介について述べた。また、今後の予定として、高帯域な米国回線を有効に利用することを目的として、利用者が高性能な TCP 通信を実現するために今後検討すべき項目について考察した。

## 参考文献/URL

- [1] Prof. Francis Lee & Mr. CY Wong, "APAN documentation", APAN, [https://www.singaren.net.sg/apps/apan\\_doc/contents.html](https://www.singaren.net.sg/apps/apan_doc/contents.html), 2000.
- [2] 北辻, 小林, 北村, 加藤, 小西, "APAN 東京 XP の構築と運用", 情報処理学会分散システム/インターネット運用技術研究会, Vol. 2000-DSM-17, pp.37-42, 2000
- [3] Allocation/User service Committee, <http://alloc.apan.net>,
- [4] "TransPAC Annual Report", インディアナ大学, TransPAC, <http://www.transpac.org/ar2000.html>, 2000.
- [5] "Policy-Based Routing", CISCO Systems, white paper, [http://www.cisco.com/warp/public/732/Tech/policy\\_wp.htm](http://www.cisco.com/warp/public/732/Tech/policy_wp.htm), 1996.
- [6] S. Knight, D. Weaver, D. Whipple, R. Hinden, D. Mitzel, P. Hunt, P. Higginson, M. Shand, A. Lindem, "Virtual Router Redundancy Protocol", RFC 2338, 1998
- [7] D.Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M.Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma, L. Wei, "Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification", RFC 2362, 1998.
- [8] T. Bates, R. Chandra, D. Katz, Y. Rekhter, "Multiprotocol Extensions for BGP-4", RFC 2283, 1998
- [9] David Meyer, Bill Fenner, "Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)", draft-ietf-msdp-spec-13.txt, Internet Draft, 2001