

## インターネット・トラフィックの短期的特性の分析

小松原 重之 鈴木 亮一 茂木 一男 三上 博英  
E-mail: {comacie, ryoichi, mogi, mikami}@slab.ntt.co.jp  
NTT ソフトウェア研究所 広域コンピューティング研究部

本研究は、標準化が進むIPv6(Internet Protocol version6)に含まれる、トラフィックを制御するのに有効な新機能を利用し、新しい分散パラダイムの確立について、考察を行う。IPv6ネットワークがIPv4ネットワークを、後継するという見地から、現在のIPv4ネットワークの現状について、省際研究情報ネットワーク(Inter-Ministry research information Network;IMnet)で収集したトラフィックデータに基づき分析を実施する。

The Analysis Of The Short-range Behavior Of The Traffic In The Internet  
Shigeyuki KOMATSUBARA, Ryoichi SUZUKI, Kazuo MOGI and Hirohide MIKAMI  
NTT Software Laboratories

We report a confirmation of a new distribution system paradigm with IPv6 (Internet Protocol version6), that includes some functions being enable to control the traffic. At a point of view of prediction which IPv4 will be replaced by IPv6, we show the result of traffic analyzation of IPv4-network behavior at IMnet (Inter-Ministry research infomation network, Japan).

### 1.はじめに

IPv4(Internet Protocol version4)ネットワークのトラフィックは依然、顕著に増加している。いくつかのサービスプロバイダでは、現在の技術的限界に近い伝送速度に達するトラフィックを記録しており、トラフィックの増加に対応する技術の必要性が高まっている。

標準化が進む IPv6(Internet Protocol version6)では、トラフィックを制御するのに有用な新機能をその提案仕様の中に含んでいる。そこで本研究では、それらの機能を利用した、新しい分散パラダイムの確立について、可能性を検証することを目的としている。IPv6ネットワークがIPv4ネットワークを、後継するという見地から、現在のIPv4ネットワークの現状について、省際研究情報ネットワーク<sup>1)</sup>(Inter-Ministry research infomation Network; 以下 IMnet)で収集したトラフィックデータに基づいた分析を実施する。以下順に、分析の環境、IPv6トラフィック関連技術の動向、IPv4ネットワークにおけるトラフィックを用いた検証結果について述べる。

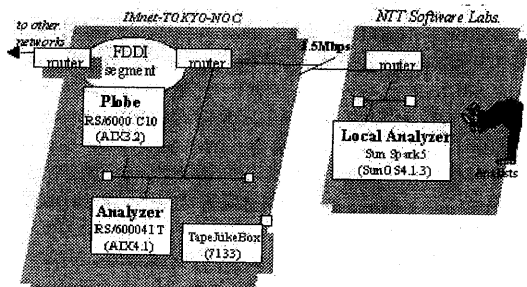
### 2.分析環境について

IMnet 東京 NOC(Network Operation Center)の FDDI セグメント上に、全パケット収集・記録を行う装置<sup>2)</sup>(Probe)を設置した。Fig.1 にその構成を示す。

FDDI リングに設置した Probe 上を通過する、全ての FDDI フレームの複製を作り、IPv4 ヘッダと上位プロトコルのデータ 64 バイト分を、Analyzer へ転送する。

Analyzer ではこれらの情報を蓄積し、定期的にテープへ格納する。また、遠隔マシン(Local Analyzer)からの操作に従って、分析を実行する。分析に必要な計算量の大きさによっては、Local Analyzer ヘデータを移し、そこで分析を行う。

現在の運用では、この FDDI リング上には、平均して 2 ないし 3Mbps のトラフィックが流れている。このため、1 日に蓄積するべきトラフィック情報は、およそ 10G バイトのテープ 1 本分を消費して記録される。このテープは、20 連テープ自動運転装置に接続されており、20 日間の連続運転が可能である。本環境の特徴として、個々の IP ヘッダの情報から、高精度なトラフィックデータを再現できる。このため、SNMP(Simple Network Management Protocol)などを利用する分析と比べて、精密かつ多様な分析を実行できる点を特徴とする。



[Fig.1] トラフィック分析環境

### 3. IPv6 トラフィック関連技術の動向

本稿においては、RFC(Request For Comments) 1883 に対して IPv6 の仕様、という表現を用いる。以下 Fig.2 に、仕様化されている IPv6 ヘッダの構成を示す。

バージョン	優先度	フローラベル	中継境界
	ペイロード長	次ヘッダ番号	
		発信元アドレス	
		送信先アドレス	

バージョン: 6

優先度: パケットの優先順位

フローラベル: パケットが属するフローの識別子

ペイロード長: IPv6 ヘッダに続くデータの大きさ

次ヘッダ番号: IPv6 ヘッダに続くヘッダの識別子

中継境界: パケットが中継される境界数

発信元アドレス: パケット生成者の IP アドレス

送信先アドレス: パケット受信者の IP アドレス

[Fig.2 IPv6 ヘッダの構成]

現在この仕様に対して出されているコメントを集約した、Draft-ietf-ipngwg-ipv6-spec-v2-00 が出されておりこれに対して IPv6 の草案、という表現を用いる。この草案においては、いくつかの機能が見直され、近い将来、仕様に置き換わるものと推測される。本稿ではこれら 2 つの案に対して実現可能性を考慮する。その中で提案される、フローラベルと優先度に関する機能について、トラフィック関連技術として考察を述べる。

フローラベルは、実時間性の強い処理を要求するプロトコルが、これを用いることを想定している。これを利用することにより IPv6 パケットは、送信先までの途中のルータに対し、同じフローに属していることを明示する。ルータでは、これに基づき、同じ転送処理を実施することが可能である。その結果通常の転送より、高速に実施されることが期待できる。このラベルは同じフローに属する全てのパケットに、同じ値を用いる。発信者は、24bit 空間の中から偏りなくランダムに一つの値を選択し、これをフローラベルとして用いる。草案では、ルータはフローラベルを処理するしないにかかわらず、これを書き換えてはいけないことを規定している。このことにより、フローラベルと発信者の組み合わせは、広域ネットワーク中で、一意になる。草案はこの一意性を強化するために、発信者がフローラベル使用中にクラッシュした場合、いかにしてフローを再開すべきか、について追加規定を設けている。例えば、最低でも 6 秒は、フローの使用再開を待ち合わせるべきで、というルールが規定される。これらのフローの積極的利用は、IPv4 にはなかった技術であり、今後多方面からの検証が要求される。

優先度は、発信者がルータに対して、複数のフローが要求する処理が、実施不可能になった場合に、パケットを破棄するための順位を示すものである。発信者もしくはルータが、16 の優先度(4bit)から一つ選択してこれを設定し、他のルータへ、破棄して欲しい順序として、明示する。16 の優先度は 2 種類のカテゴリに分類されており、一つは Van Jacobson のスロースタートアルゴリズムに従って輻輳制御される、プロトコル群が用いる。もう一つは、それ以外の通信(例えば実時間性指向などのもの)で、別の制御に属するプロトコルがこれを用いる。それぞれのカテゴリは、8 段階の優先度をもってている。

草案では優先度は、クラスに変更される。この変更は、各プロトコル間の優先順位について、議論を保留することを意味している。クラスをどのように扱うべきか、運用を行い、その知見をもって一意な階層化を達成しようという狙いである。今後運用方法について、活発な議論がなされるであろう。

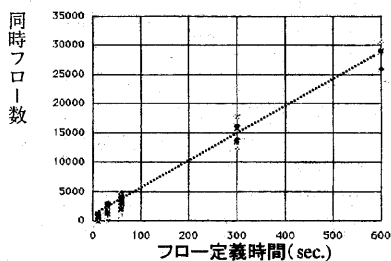
またクラスは 8 分類(3bit)しかなく、新たに Dbit(Delay sensitive bit; 遅延感応フラグ)が定義される。これは、パケットの発信者または受信者が、低速なリンクの先に接続されている場合に、発信者は Dbit を設定することにより、途中の経路上のルータに対して、スループロットに関する要求を放棄するかわりに、低遅延な転送(対話的な転送)を行って欲しいことを明示する。このような機能を実現するためには、いくつかの技術が、組み合わせられてはじめて実現する。たとえば、全員が単純に Dbit を全てのケースで使用しないためには、Dbit に割り当てるための帯域を、他の一般の通信とは分割して、上限を設けていることが必要である。今後は、分割設計の方法をはじめとする各要素技術の検証が行われる。

### 4. フローラベルの特性についての考察

フローラベルを持つパケットの転送が、効果的に実現されるためには、ルータにおいてフローラベルを持つパケットの転送処理が、フローを処理しない場合よりも高速に処理される必要がある。ただしこれは、入力された IP パケット中の、上位層プロトコルが示す特定のフィールドの値を読み出し、その値によってプロトコルが決める外部ルーチン呼び出し、フィールド値の計算を行った上で、次に転送すべきインターフェースを決定し、転送を実施する、という一連の同じ処理を、全てのパケットについて繰り返すよりは、フローラベルを処理する方が、高速に転送できるという性能が求められる。これについては、キャッシュ技術を応用したアプローチが取られる。

サービスとして成熟するために重要なことは、大多数のパケットはフローラベルを用いない、という前提である。これはフローによる転送の方が効果的で、かつ大多数となれば、IPv6 の現在のデザインは成立しないためである。従ってフローラベルの利用方法は、需要予測を行う上で、重要な意味を持つ。

ルータでの処理において、フローを運用出来る状態は、どの程度、一つのフローに対して連続的に保持される必要があるだろう。草案では、ルータは、独自にキャッシュし高速化が図れる場合は、任意にこのような状態を作って高速化を図ることを許容している。この「機を見て作られるキャッシュ」の場合、最長でも6秒で、その状態は放棄されねばならない。逆に、フローラベルの存在によって、確立した「明示的なキャッシュ」の場合は、6秒を超えて保持して良いが、その場合の時間は、フローラベルを使用するプロトコルにより規定される、と定義している。しかし、その時間がいかにしてルータに通知されるかについて規定はなく、今後も仕様が模索されることになる。以下、キャッシュ保持を許容する最長時間を「同時フロー定義時間 T」、フロー定義時間内に発生するフローの数(キャッシュエントリの数)を「同時フロー数 P」と呼ぶこととし、IPv4 ネットワークの運用データをもとに最近の実状を調べた(Fig.3)。



[Fig.3 同時フロー数とフロー定義時間の関係]

IMnetにおける全てのトラフィックが何らかのフローに基づくことを仮定している。フロー定義時間 T に対し、ほぼ線形に同時フロー数 P が増加することが分かる。T を 60 秒とした場合、P は最大 4,900、毎秒平均では 47.2 である。これらのことから、フローラベルのハンドリングは現在のキャッシュ技術の応用で効果的実装が可能であると思われる。また、100%のユーザが使用すれば、IP フォワーディングと同程度の計算量が、フローの確立と破棄のため必要になることが明らかになった。

## 5. クラスの特性についての考察

本節では、未定義となっているクラス運用によって、通信に付加価値を与える 2 つのプランを模索し、IPv4 ネットワークのデータによってプランを検証する。以下、背景から述べる。

トラフィックが、リンクのリソースの能力を上回る場合は、ルータ内で待合わせが発生する。IPv4 ネットワークを構成するほとんどのルータは、先に入力されたパケットを先に出力させる処理に、最適化した実装を持っている。この機能は、ユーザに対し、ネットワーク中一意に公平に、リソース利用の機会を保つことになる。しかし、各トラフィックを平等に扱う以外に、何らかの付加価値を付けるという要求が高まりつつある。例

えば輻輳時の緊急用に帯域の確保や、対話型の利用における通信品質の段階的な付加価値の提供である。こうした要求は IPv4 設計時には微少だったが、インターネットの拡大と基盤化の中で、次第に増加してきた。IPv4 のルータでは、別の待合わせ制御が可能で、マルチキューイング技術の研究が進められており、IPv6 の仕様は、これらの技術が効果的に使用できることを前提として、各パケットの優先度という概念を定義している。

草案はこの優先度に代え、クラスを定義することでこのような要求に答えることを提案している。クラスは 3bit から構成されるパケットの属するクラス識別子である。このクラスの 3bit を独立に定義し、個別にその動作を設計しようとするアプローチも草案とは別に、提案されている。

クラスの具体的な定義は、まだない。今後、様々な運用での階層化が議論され、最終的に広域ネットワーク中で一意なものとして階層化され、定義される。それまでは各ドメイン内で独立して運用され、外部ドメインへ渡される際には初期化され、外部ドメインから受け取ったものはその値は無視される。このような背景であるので、ドメイン間の相互運用性の高いものから順に、階層化を進める方法が効果的であろう。

草案はドメイン内での運用について、2つの利用形態を例示している。一つは、プロバイダが顧客に対して、顧客毎のポートにクラスを設定し、サービス品質を変えた契約を提供するケースである。もう一つは、利用の形態によって品質を変えるために、プロトコルなどでクラスを設定するケースである。以下ではこれを、(1)顧客によるクラス化、(2)プロトコルによるクラス化、と呼ぶこととし、それぞれのクラス化の特性について IMnet のトラフィックを例に、考察を行う。

### 5.1. 顧客によるクラス化

IMnet では現在、115 顧客組織(whois.nic.ad.jp 情報による)をバックボーンに接続している。また、外部の複数のネットワークと接続している。これらを外部ネットワーク群として、一まとめとするモデルを考え、各顧客組織間のトラフィックによりクラスを設定する場合を、以下のように検証した。なお顧客組織名については、仮称としている。

顧客組織と外部ネットワーク群の組み合わせは  $115 \times (115 - 1) / 2 = 6555$  通りである。これらの各組み合わせ毎に方向(出入別)トラフィック(Packets/hour)を算出した。Table1 は顧客組織からのトラフィックに関して、大きなもの上位 6 つの顧客組織と、それ以外のものの合計を示しており、上位 6 顧客組織で、全体の 71.4% を占めている。

Table2 はその逆方向の比較である。顧客組織へのトラフィックに関して上位 6 顧客組織とそれ以外のものを示しており、上位 6 顧客組織で、全体の 71.0% を占めている。上記の 2 つは良く一致している。従って顧客組織のトラフィックについてクラス化する場合、方向

性は重要ではないようである。また寡数の顧客組織のクラスが、ネットワーク状態を決定する可能性が高く、使用量に沿ったクラス化が、トラフィック制御という観点で効果があることが分かった。

[Table1 顧客組織からのトラフィック]

Domain Name	Packets/hour
domA.go.jp	504252
domB.ad.jp	210578
domC.go.jp	97506
domD.go.jp	95752
domE.co.jp	64217
domF.or.jp	61203
(other)	386767
(total)	1446741

[Table2 顧客組織へのトラフィック]

Domain Name	Packets/hour
domA.go.jp	520360
domB.ad.jp	128078
domD.go.jp	98027
domC.go.jp	89036
domF.or.jp	69773
domG.go.jp	65393
(other)	395702
(total)	1366369

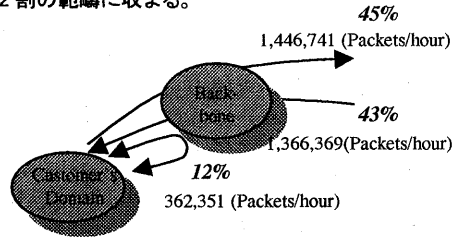
Table3 は顧客組織から顧客組織へのトラフィックに関して、上位 6 顧客組織とそれ以外のものを示しており、上位 6 顧客組織で、全体の 62.4%を占めている。ここでも、使用重量に沿ったクラス化が、トラフィック制御に関し効果的であることが分かる。

[Table3 顧客組織から顧客組織へのトラフィック]

Domain Name(Src.)	Domain Name(Dst.)	Packets/hour
domB.ad.jp	domA.go.jp	134854
domH.ad.jp	domH.ad.jp	32743
domB.ad.jp	domI.go.jp	16732
domA.go.jp	domB.ad.jp	14696
domI.go.jp	domB.ad.jp	14091
domB.ad.jp	domF.or.jp	12895
(Other)		136340
(Total)		362351

Fig.4 は、Table1 から Table3 までの情報をまとめて、モデル化したものである。全トラフィックに関して、顧客顧客間の占める割合は 12%を占めることが分かる。従って、外部ネットワーク群に対するトラフィックを初期状態として扱い、顧客顧客間トラフィックに付加価値を付ける目的でのクラス化は、効果的に運用出来ることが分かる。また、IMnet ではトラフィックの観測点によって

違いはあるが、全ての場所で折り返しトラフィックは 1、2 割の範囲に収まる。

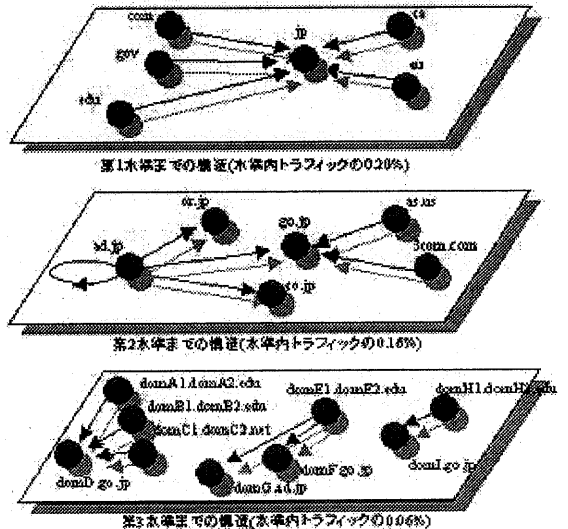


[Fig.4. バックボーンと顧客組織の通信モデル]

次に、ドメイン間の相互運用性について検証する目的で、顧客組織に限らず、IMnet 以外のネットワークの属する組織についてもドメイン名による評価対象とし、第 1 水準、第 2 水準、第 3 水準の各水準で、組織間の組み合わせ毎のトラフィックを分析した。

Fig.5 は、水準別に、ドメイン間トラフィックの上位 6 つの組み合わせについて示したものである。各水準とも、トラフィック的に大きな組み合わせはなく、全体中に占める割合は微少で、よく分散していることが分かる。逆にこれは、組み合わせ毎のトラフィックについてその重量でクラス化しようとする場合、トラフィック情報の精度が、クラス化される通信の品質に影響を与える可能性があるといえる。

精度に関する注意点として、本研究では IMnet 東京 NOC 内の FDDI セグメント上で観測した結果について述べているが、対象が同じ IMnet のバックボーンであっても大阪 NOC における観測であれば、違った結果が導かれる可能性が高い点に注意すべきである。このような値は普遍量ではないため、ドメインを超えてトラフィック情報の整合性を保つことは難しいといえる。ドメイン間で流通するトラフィック量に関して、広域に一意となる仕組みについて研究が必要であろう。



[Fig.5 ドメイン間トラフィック]

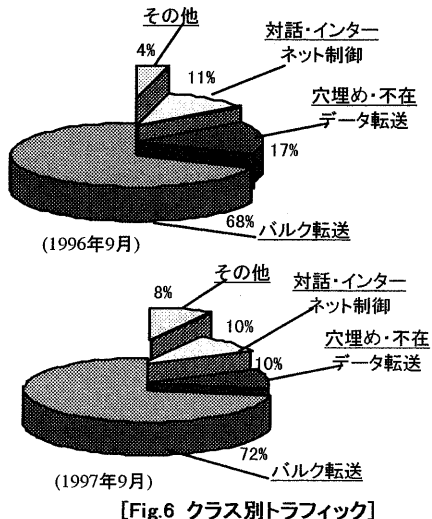
また Fig5 の結果からは、分類に用いるドメイン名の水準を、浅いものにするれば、相互運用性の高い統計が得られる傾向については確認できる。これら浅い水準でのドメイン間トラフィックの傾向について、他ドメインでの傾向について調査し、このようなクラスの相互運用性について検証を進める。

## 5.2. プロトコルによるクラス化

IPv6 の仕様はプロトコルをベースとしたトラフィックの種別毎に優先度を規定しており、相互運用性の高い設計となっている。一方、草案の 3 ビットで定義されるクラスは、分類に対しては一時保留することを提案している。本稿では、草案の 3 ビットを用いて、仕様の子集を作ることを考える。具体的には、以下のよう

- 0: その他のトラフィック
- 1: 穴埋め・不在データ転送トラフィック  
(ネットニュース、電子メールなど)
- 2: バルク転送トラフィック(HTTP、FTP、NFS など)
- 3: 対話・インターネット制御トラフィック  
(telnet、SNMP、ルーティングプロトコルなど)
- 4~7: 実時間指向トラフィックなど

0~3 は、VanJacobson のスロースタート・アルゴリズムによる輻輳制御ループを持つプロトコルが使用する。4~7 はそれ以外のトラフィックとし、0~3 と 4~7 の間の優先度はないものとする。HTTP については仕様上、未定義であるが、バルク型トラフィックとして分類する。1997 年 9 月の IMnet における最頻時 1 時間の傾向と、比較対象として、1996 年の同条件のデータについて、0~3 までのクラス毎のトラフィック比について分析を行った(Fig.6)。



[Fig.6 クラス別トラフィック]

このクラス設定ではバルク転送トラフィックが約 7 割を占めることを示している。これは HTTP をどのような

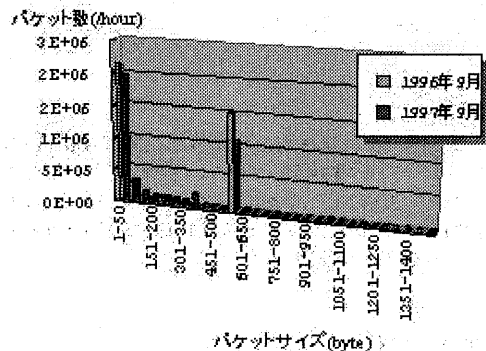
トラフィックとしてクラス化するかに、強く依存しており、仮に HTTP を「その他」のトラフィックにクラス化する場合、量的な序列が入れ替わる。プロトコル種別によってクラスを設定する運用では、HTTP の扱いについてドメイン間での合意を得ることが、相互運用性を決定するファクタの一つであることが明らかとなった。

また少なくとも、1996 年 9 月から 1997 年 9 月にかけて、クラスの見直しが必要となる程の、利用プロトコルの変化は見られないことが分かる。インターネットにおいては、プロトコルに関して、こうした安定的な状態の継続は、前提とすべきではない。ある種の変異性を前提として、プロトコルの客観分類が行えるような設計を、今後検討してゆく必要がある。

## 6. Dbit の特性についての考察

草案によって、現在の仕様に新しく追加されるものが、Dbit である。発信者から受信者までの途中経路上に、モデムや数 10Kbps ほどの低速リンクが含まれる場合に、発信者またはルータ、がスループットについての要求を放棄する代わりに、対話的に取り扱って欲しいことを明示するため用いる。ただしルータが用いるケースでは、経路制御情報との整合性などについて、取り扱いに注意が必要である。

草案は、この機能がネットワーク中で効果的に用いられるために、Dbit の使用を限定するファクタが必要であるとしている。例えば帯域分割技術により、Dbit 用の限定的な帯域割り当てを行い、むやみに多くのトラフィックが Dbit を用いることを防ぐことを求めている。割り当て帯域の目安としては数 Kbps をこれに割り当てれば十分であるとしている。この帯域設計を検証するため、現在の IPv4 トラフィックから Dbit の使用について類推するため、パケットサイズの傾向について調査した。IMnet の 1997 年 9 月における最頻時 1 時間の傾向と、比較対象として、1996 年の同条件のデータについて、50 バイト毎のトラフィック(Packets/hour)を調べた結果を Fig.7 に示す。



[Fig.7 パケットサイズの分布]

50 バイト以下のパケット数と、550 バイト付近のパケット数にピークが見られる。前者は何らかのコン

ールの性質を持ったパケットで、後者は IPv4 の最小限度の MTU (Maximum Transfer Unit) を伴った、データを含むパケットであろう。上位層への転送利得を向上させるため、最小限度 MTU は上げられる方向で、議論が進んでいる。

一方、50 バイト以下のパケットが使用する、帯域 (bit/sec) の合計は、全体帯域に対して約 9% であった。Dbit に関し、プロバイダに運用を期待する割り当て量と同等の、10% の帯域を、50 バイト以下のパケットに固定的に割当てても、コントロールに関する全てのパケットの対話性を向上させることを示している。ただ、現在の実装では、ルータでマルチキューイングされるパケットの扱いは、初期状態の扱いよりも低速な処理になるため、小さな全てのパケットがそのように扱われることが、問題がないとはいえない。ルータの実装している速度と関連して、Dbit の有用性は議論されるべきである。

## 6. おわりに

現在の IPv6 仕様からトラフィック関連技術の動向について述べ、IMnet のトラフィックデータによる考察を加えた。今後は、RSVP (Resource Reservation Protocol) や、hop-by-hop-option、あるいはクラスフィールドを用いたトラフィック制御に関するアプローチが、IPv6 上でも実験される。これらが成熟した技術として、次世代のネットワークを支えるようになるためには、ドメイン間の相互運用性から、技術を検証する視点が不可欠である。

トラフィック制御技術に関して、最終的に到達すべき目標は、クラスフィールドの一意な階層化である。現状ではトラフィックに関する運用方法は多様であり、ドメインを超えて、これを評価することは難しい。またプロバイダが提供する、品質に関する多様なサービスを、クラスによって反映できる仕様としなければならない。段階的な目標としてまず、それらの情報が、整合することが必要である。今後本研究は、広域なトラフィック情報流通の仕組みについて検討を進め、この問題について取り組んで行きたい。

## 謝辞

本研究は、科学技術庁科学技術振興調整費により収集したデータを使用している。収集に協力いただいた IMnet 東京 NOC の各位、ならびに御支援下さる市川晴久 NTT ソフトウェア研究所広域コンピューティング研究部部長に、深謝したい。

## 参考文献

1. <http://www.imnet.ad.jp/>
2. 串田高幸, 佐藤卓由, 山内長承, "インターネットにおけるトラフィック解析", 情報学会第 52 回全国大会講演論文集, 1996

3. Van Jacobson, "Pathchar - a tool to infer characteristics of Internet paths", MSRI, 21 April 1997
4. <http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-main.html>
5. RFC2133: Basic Socket Interface Extensions for IPv6
6. Internet-Draft "IP Version6 Management Information Base for the User Datagram Protocol"
7. Internet-Draft "IP Version6 Management Information Base for the Transmission Control Protocol"
8. Internet-Draft "Management Information Base for IP Version 6: Textual Conventions and General Group"
9. 小松原重之, 鈴木亮一, 三上博英, "IMnet におけるトラフィックオペレーションについて", 情報研報 Vol.96, No.111 (ISSN0919-6072)96-DSM-4,1996