

# ドメイン間トラフィックを考慮した P2P トラフィック流量モデル

田上 敦士<sup>†1</sup> 長谷川 輝之<sup>†1</sup>  
阿野 茂浩<sup>†1</sup> 長谷川 亨<sup>†1</sup>

近年、アクセス網のブロードバンド化にともない、P2P (Peer-to-Peer) ファイル共有アプリケーションによるトラフィック (P2P トラフィック) が急増している。特にこれらのアプリケーションは、実ネットワーク構成に依存しないオーバーレイネットワークを構築し各ピア間で直接通信を行うため、ISP (Internet Service Provider) 間での P2P トラフィック増加が深刻化している。このため、ISP 間の P2P トラフィックを把握することが重要な課題となっている。本稿では、自発的なリソース要求を行わない受動ピアに着眼した新しいドメイン間トラフィック流量モデルを提案する。さらに、実際の P2P ネットワーク上のトラフィックを模擬したシミュレータを用いて、提案モデルの正当性を評価した。

## Modeling and Simulation Analysis of P2P Network Focusing on Inter-domain Traffic

ATSUSHI TAGAMI,<sup>†1</sup> TERUYUKI HASEGAWA,<sup>†1</sup> SHIGEHIRO ANO<sup>†1</sup>  
and TORU HASEGAWA<sup>†1</sup>

As a result of widespread of Peer-to-Peer (P2P) file sharing applications, it is a serious problem that inter-domain traffic between Internet Service Provider (ISP) networks increases. P2P applications construct symmetrical overlay networks on physical networks, on which all nodes communicate each other without considering their physical network locations. It becomes difficult to grasp its traffic behavior. In this paper, we present a novel inter-domain traffic flow model focusing on the presence of a passive peer. And we also evaluate the validity of our model by simulation analysis.

### 1. はじめに

P2P (Peer-to-Peer) ファイル共有アプリケーションによるトラフィック (P2P トラフィック) は、ブロードバンドアクセスの普及にともない増加しており、今後もその傾向が続くことが予想される<sup>1)</sup>。P2P ファイル共有アプリケーションは Web に代表されるサーバクライアントモデルに基づくアプリケーションとは異なり、すべての端末 (ピア) が一様に動作し相互に通信を行う。また、テキストや画像が中心の Web コンテンツとは異なり、音声や動画が多く 1 つ 1 つのファイルサイズが大きい<sup>2)</sup>。このため、大量のトラフィックがデータセンタ等の特定箇所に偏らず、ネットワーク全体に分散する傾向にある。さらに、実ネットワーク上にオーバーレイネットワーク (P2P ネットワーク) を構築し<sup>3)</sup>、オーバーレイネットワーク上でコンテンツの検

索・送受信・中継を行う。このため、ユーザの要求以上のトラフィックが、各ピアに流出入することとなり、トラフィックの流れを把握することが困難である。

このような P2P トラフィックの性質は、これまで ISP (Internet Service Provider) が前提としてきたトラフィックの性質とは大きく異なる。特に、相対的に回線容量が小さく、増設が容易ではない ISP ネットワーク間 (ドメイン間) での P2P トラフィック増加が特に深刻な問題となっている。ドメイン間における P2P トラフィックの傾向把握は、ネットワークの設計・運用において重要な課題となっている。

既存の研究では、P2P ネットワークの検索空間の規模や、制御メッセージ数を対象としたモデルが示されている<sup>4),5)</sup>。しかしながら、P2P ファイル共有アプリケーションにおけるトラフィック量において、制御メッセージが占める割合は低く、コンテンツの転送がほとんどである。

筆者らは、ドメイン間のトラフィックの流れ (トラフィック流量) に着眼し、P2P トラフィック流量に関する検討

<sup>†1</sup> 株式会社 KDDI 研究所  
KDDI R&D Laboratories Inc.

を行ってきた<sup>7)</sup>。本稿では、ファイル要求や生成等能動的な処理を行わず、ファイル転送の中継や蓄積等受動的な処理のみを行う受動ピアを考案し、P2P ネットワーク上に受動ピアを追加した場合のドメイン間トラフィック流量モデルを提案する。本モデルは、受動ピアに流入するトラフィックをモデル化することにより、ドメイン間における P2P トラフィック特有のトラフィック増加を把握することを目的とする。さらに、P2P トラフィックシミュレータを用い、提案モデルの適用可能範囲について明確にする。

本稿の構成は以下のとおりである。2 章では対象とする P2P ファイル共有アプリケーションの動作について述べる。3 章ではドメイン間トラフィック流量モデルの提案と、本モデルを用いたドメイン間トラフィックの定量的解析について述べる。4 章で P2P トラフィックシミュレータについて説明し、5 章ではシミュレーションを用いた提案モデルの適用可能範囲の明確化と、定量的解析結果に関する考察を行う。

## 2. P2P ファイル共有アプリケーション

P2P ファイル共有アプリケーションは、リソース検索方式によってハイブリッド型とピュア型に分類される<sup>6)</sup>。ハイブリッド型は、リソース検索を中央集権サーバに依存し、検索結果から得られたピアとの間でリソース交換を行う方式である。ピュア型は特別な中央集権サーバが存在せず、他ピアとの連携によってリソース検索を行う方式である。前者の例としては Napster<sup>8)</sup>、後者の例としては Gnutella, Freenet<sup>9)</sup> 等がある。

ピュア型 P2P ファイル共有アプリケーションでは、P2P ネットワークからのピアの脱退によりリソースが消滅することを防ぐため、リソースの複製配置が行われている<sup>10)</sup>。リソースは、P2P ネットワーク上を転送され、その経路上のピアで保持される(図 1)。この処理(複製配置処理: replication)により、リソースの複製が複数のピア上に配置される。このため、自発的なリソース要求やリソース生成を行わないピアであってもリソースは蓄積される。

複製配置処理は、既存のサーバ-クライアント型ネッ

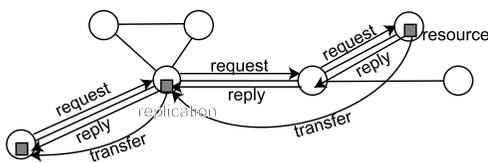


図 1 複製配置処理の一例  
Fig. 1 An Example of replication.

トワークにはない P2P アプリケーション特有の処理である。本処理により、経路上のピアはリソースの中継を行いユーザの能動的な操作とは関係なくトラフィックを発生させる。このため、リソース要求ピアが直接リソース保持ピアからリソースを取得するよりも多くのトラフィックがネットワークに流れることとなる。このユーザ行動と関係のないトラフィックの振舞いを解析することは、P2P トラフィックの性質を把握するうえで重要である。そこで本稿では、ピュア型の P2P ファイル共有アプリケーションについて、能動的なリソース要求やリソース生成を行わないピア(受動ピア)を流れるトラフィック流量に着目し、解析を行う。

## 3. P2P ドメイン間トラフィック流量モデル

### 3.1 トラフィック流量モデル

P2P ネットワーク上に、受動ピアを追加した場合のトラフィック流量をモデル化する。受動ピアを、自発的なリソース要求とリソース生成を行わないピアと定義する。すなわち、P2P アプリケーションが動作しているが、ユーザによる操作がまったく行われないピアである。

図 2 に受動ピアを含むトラフィック流量モデルを示す。本モデルでは、ネットワーク上のすべてのピアを My Domain と Other Domains に分ける。My Domain は受動ピアを含む自 ISP 等の注目するネットワークに属するピアの集合、Other Domains はその他のネットワークに属するピアの集合である。このとき、My Domain と Other Domains の間に流れるトラフィックがドメイン間トラフィックとなる。実ネットワークにおいては、My Domain と Other Domains が複数の物理回線で結ばれていることも想定されるが、本モデルではその全回線のトラフィックの合計をドメイン間トラフィックとする。

受動ピアに流入・流出(incoming・outgoing)するトラフィックの総量を  $T$  とおく。さらに  $T$  を、受動ピア

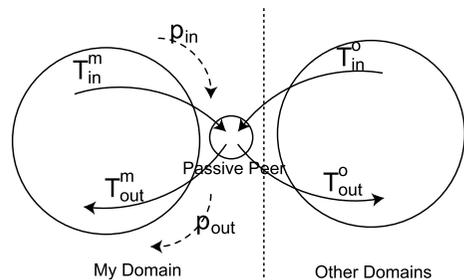


図 2 受動ピアを含むトラフィック流量モデル  
Fig. 2 Traffic flow model with passive peer.

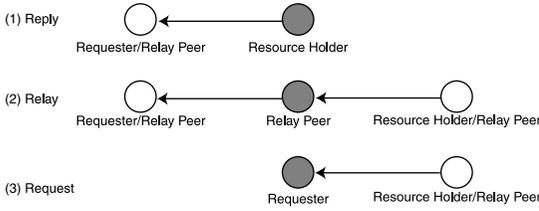


図 3 リソース転送時のピアの振り舞い

Fig. 3 Three roles of P2P peer in resource transfer.

から流出するトラフィック/受動ピアに流入するトラフィック、および My Domain に属するピアとの通信/Other Domains に属するピアとの通信の 2 つの条件により 4 種類のトラフィック量  $T_{in}^m, T_{out}^m, T_{in}^o, T_{out}^o$  に分類する．このとき次式のように  $p_{in}, p_{out}$  を定義する．

$$p_{in} := \frac{T_{in}^m}{T_{in}^m + T_{in}^o}, \quad p_{out} := \frac{T_{out}^m}{T_{out}^m + T_{out}^o} \quad (1)$$

このとき、 $p_{in}$  は受動ピアが通信相手先として My Domain を選択する確率（選択確率）を表す．また、 $p_{out}$  は受動ピアを通信相手先として選択したピアのうち、My Domain のピアである確率を表す．

ここで簡単化のために、各ピアはランダムに通信先を決定すると仮定する．このとき、 $p_{in}$  と  $p_{out}$  は各ネットワークに含まれるピア数によって決定し、以下の等式が成り立つ．

$$p_{in} = p_{out} \quad (= p) \quad (2)$$

このとき、 $q (= 1 - p)$  を用いてトラフィック量の間には以下の式が成り立つ．

$$\frac{T_{in}^m}{T_{in}^o} = \frac{T_{out}^m}{T_{out}^o} = \frac{p}{q} \quad (p \neq 0, q \neq 0) \quad (3)$$

次に、受動ピアに流れるトラフィックの性質について説明する．図 3 に、ピアのリソース転送時の振り舞いを示す．ピアは別のピアからリソース要求を受信したとき、該当するリソースを所持している場合はこれを送信する (Reply)．所持していない場合は、別ピアにリソース要求を送信し返信を待つ．その後返信されたリソースを中継する (Relay)．受動ピアは能動的なリソース要求を行わないため、リソース要求者 (Requester) になることはなく、送信と中継時に発生するトラフィックのみを考慮すればよい．

また、受動ピアはリソースの生成を行わないため、所持するリソースはすべて外部ピアから受信したものである．すなわち受動ピアはキャッシュのように動作する．受動ピアのキャッシュ性能を  $\kappa$  とすると以下の式が成り立つ．

$$\kappa := \frac{T_{out}}{T_{in}} \quad (4)$$

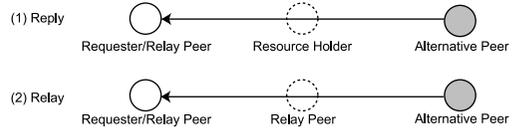


図 4 受動的ピア追加がない場合のピアの振り舞い

Fig. 4 P2P Peer behaviors in resources transfer without passive peer.

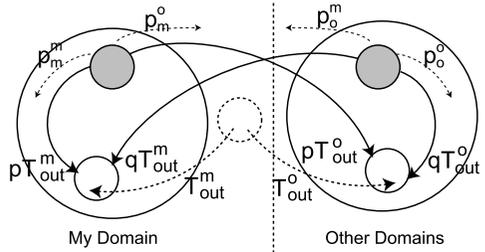


図 5 受動的ピア追加がない場合のトラフィック流量

Fig. 5 Traffic flow without passive peer.

ただし

$$T_{out} := T_{out}^m + T_{out}^o, \quad T_{in} := T_{in}^m + T_{in}^o \quad (5)$$

### 3.2 受動ピア追加によるトラフィックの変化

本節では受動ピアの追加によるドメイン間トラフィックの変化について論ずる．まず、受動ピア追加後の My Domain と Other Domains 間のトラフィック量  $\mathfrak{S}_{peer}$  は図 2 より、

$$\mathfrak{S}_{peer} := T_{in}^o + T_{out}^o \quad (6)$$

となる．次に受動ピアを追加しない場合のドメイン間トラフィック量を考える．図 2 で定義した 4 種類のトラフィック量のうち、 $T_{in}^m$  と  $T_{in}^o$  は、中継によって生じたトラフィックであるので消失する． $T_{out}^m$  と  $T_{out}^o$  は、受動ピア以外のピアが必要としたリソースの総量である．受動ピア追加がなければ、これらのリソースは受動的ピア以外の代替ピアから転送される (図 4)．代替ピアが選択される確率を図 5 に示すように定義すると、 $T_{out}^m$  と  $T_{out}^o$  は、以下のように表される．

$$\begin{cases} T_{out}^o = p_o^o T_{out}^o + p_o^m T_{out}^o \\ T_{out}^m = p_o^m T_{out}^m + p_m^m T_{out}^m \end{cases} \quad (7)$$

ここで、受動ピアは My Domain に所属する 1 ノードであり、通信相手を選択する確率はドメイン内で変化しないと仮定すると、式 (7) は、 $p, q$  を用いて以下のように表される．

$$\begin{cases} T_{out}^o = p T_{out}^o + q T_{out}^o \\ T_{out}^m = p T_{out}^m + q T_{out}^m \end{cases} \quad (8)$$

よって、受動ピアに流れるトラフィックのうち、受動ピア追加がない場合にドメイン間を流れるトラフィック

$\mathfrak{S}_{nonpeer}$  は  $p, q$  を用いて以下のように表される .

$$\mathfrak{S}_{nonpeer} = qT_{out}^m + pT_{out}^o \tag{9}$$

受動ピア追加に起因するドメイン間トラフィックの変化量  $r$  は  $\mathfrak{S}_{nonpeer}$  と  $\mathfrak{S}_{peer}$  の比で表される . 式 (6) , (9) , (3) , (4) より  $r$  は

$$r = \frac{\mathfrak{S}_{peer}}{\mathfrak{S}_{nonpeer}} = \frac{T_{in}^o + T_{out}^o}{qT_{out}^m + pT_{out}^o} = \frac{1 + \kappa}{2p\kappa} \tag{10}$$

となる .

### 4. P2P トラフィックシミュレータ

#### 4.1 設計方針

前章で提案したトラフィック流量モデルの検証を行うため , P2P トラフィックが実ネットワークに与える影響を解析可能な P2P トラフィックシミュレータ<sup>11)</sup>を開発した .

本シミュレータは , ユーザ行動処理モジュール , P2P ネットワークモジュール , 実ネットワーク処理モジュールから構成される ( 図 6 ) . ユーザ行動処理モジュールは , 1 人のユーザの P2P ネットワーク上での行動を模擬し , 取得リソースと取得間隔を決定する . P2P ネットワークモジュールは , ユーザ行動処理モジュールで決定されたリソースを , P2P ネットワーク上で検索し , リソース転送経路を決定する . 実ネットワークモジュールは , P2P ネットワークモジュールが決定したリソース転送経路を , 実ネットワーク上の経路に対応させ , リンク単位でのトラフィック流量を計算する . 本処理を数十万のユーザ処理モジュールが独立して動作させることにより , 実ネットワーク上の P2P トラフィックの振舞いを解析する .

#### 4.2 ユーザ処理モジュール

ユーザは , ある時間間隔でリソースの取得を試みる . 取得するリソースの傾向はすべてのピアで同一とし , あらかじめ与えられたリソースの選択されやすさ ( 人気度 ) に応じる . 取得を試みる時間間隔は指数分布に従うものとし , ピア定義で定めた行動パラメータ  $\lambda$  の違いによってヘビーユーザとライトユーザの差をつける .

### 4.3 P2P ネットワーク処理モジュール

P2P ネットワーク処理モジュールは , P2P ネットワークの構築と , ユーザ処理から取得要求されたリソースの検索を行い , 実ネットワーク処理モジュールに通信の要求を行う . P2P ネットワークを構築/検索するアプリケーションとして , 以下の特徴を持つ一般的な P2P ファイル共有アプリケーションを想定し実装した .

- サーバを持たないピア型である .
- 実ネットワーク上でのアクセス回線速度に基づき階層化されたオーバーレイネットワークを構築する .
- 検索クエリを hop by hop で転送し<sup>10)</sup> , 最も早く返信のあったピアを通信相手とする .
- リソース転送時に経路上のピアが確率的に複製配置処理を行う .

#### 4.4 実ネットワーク処理モジュール

実ネットワーク処理は , P2P ネットワーク処理モジュールにより指定されたピア間の通信を模擬し , その時間変化を出力する . 実ネットワークはピアとルータおよびそれらを結ぶリンクから構成され , 通信経路は最短距離法により決定される . 多くの P2P ネットワークを利用するアプリケーションは , アプリケーションレベルでの帯域制限機能を持っている . このため , 本シミュレータでは , リンクに 1 コネクションが利用する最大利用帯域を設定し , ピア間の通信速度は経路上の最大利用帯域の最小値とした .

## 5. 評価と考察

### 5.1 評価シナリオ

3 章では , P2P ネットワーク上の各ピアがランダムに通信相手を決定すると仮定し , トラフィック流量モデルの解析を行った . 実際の P2P ファイル共有アプリケーションでは , P2P ネットワーク上でリソースの検索を行い独自のアルゴリズムにより通信相手を決定する . しかしながら , ドメイン間規模のトラフィック流量の解析には , ランダムな通信相手決定手法に近似可能であると思われる . そこで , 提案モデルの適用可能範囲を明らかにするため , 4 章で述べた P2P トラフィックシミュレータを用いて検証を行った .

シミュレーションで用いたネットワーク構成を図 7 に示す . 想定する P2P ファイル共有アプリケーションは , 高速なアクセス回線速度を持つピアが上位に来る階層的な P2P ネットワークを構築する ( 4.3 節 ) . そこで , アクセス回線速度が異なる表 1 に示すような 4 種類のピアを定義し , My Domain のノード数や , ピア種別の割合を変化させた以下の 3 つのシナリオを設

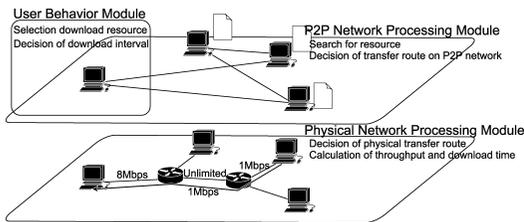


図 6 P2P トラフィックシミュレータ  
Fig. 6 P2P Traffic Simulator.

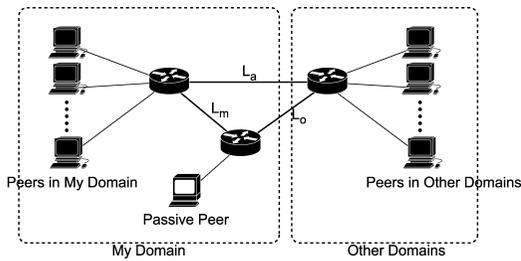


図 7 シミュレーション対象ネットワーク

Fig. 7 Physical network topology for simulation.

表 1 シミュレーションで用いた各ピアのパラメータ

Table 1 Parameters of each peer types.

| type         | Line Speed [bps] |      | Flow Speed [bps] |       | $\lambda$            |
|--------------|------------------|------|------------------|-------|----------------------|
|              | up               | down | up               | down  |                      |
| 1            | 50 M             | 50 M | 5 M              | 5 M   | $5.0 \times 10^{-3}$ |
| 2            | 30 M             | 30 M | 2 M              | 2 M   | $5.0 \times 10^{-3}$ |
| 3            | 9 M              | 18 M | 500 k            | 1 M   | $2.5 \times 10^{-3}$ |
| 4            | 6 M              | 12 M | 200 k            | 500 k | $2.5 \times 10^{-3}$ |
| Passive Peer | 50 M             | 50 M | 5 M              | 5 M   | -                    |

表 2 各シナリオにおけるピア種別ごとの割合

Table 2 Ratio of peer types.

|              | 1   | 2   | 3   | 4   |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| Scenario 1,3 | 25% | 25% | 25% | 25% |
| Scenario 2   | 10% | 15% | 30% | 45% |

表 3 My Domain における低速ノードの割合 (シナリオ 3)

Table 3 Ratio of low speed peers in My Domain (scenario 3).

| ratio | My Domain |     |     |     | Other Domains |     |     |     |
|-------|-----------|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|
|       | 1         | 2   | 3   | 4   | 1             | 2   | 3   | 4   |
| 0.0   | 10%       | 10% | 0%  | 0%  | 15%           | 15% | 25% | 25% |
| 0.1   | 9%        | 9%  | 1%  | 1%  | 16%           | 16% | 24% | 24% |
| 0.2   | 8%        | 8%  | 2%  | 2%  | 17%           | 17% | 23% | 23% |
| 0.3   | 7%        | 7%  | 3%  | 3%  | 18%           | 18% | 22% | 22% |
| ⋮     | ⋮         | ⋮   | ⋮   | ⋮   | ⋮             | ⋮   | ⋮   | ⋮   |
| 1.0   | 0%        | 0%  | 10% | 10% | 25%           | 25% | 15% | 15% |

定した。

シナリオ 1 すべての種類のピアの比率が等しいとき、

2つのドメインのノード数割合を変化させる。

シナリオ 2 低速回線ピアの比率が大きいとき、2つのドメインのノード数割合を変化させる。

シナリオ 3 2つのドメインのノード数割合が等しいとき、My Domain に含まれる低速回線ピアと高速回線ピアの比率を変化させる。

表 2 に、各シナリオにおける各種別ごとのピア数の割合を示す。シナリオ 1, 2 においては、My Domain と Other Domain における総ピア数の割合を 1:9 から 9:1 まで変化させる。シナリオ 3 においては、My Domain と Other Domain における総ピア数の割合を 2:8 に固定し、表 3 に示すように各種別ごとのピア数の割合を変化させる。

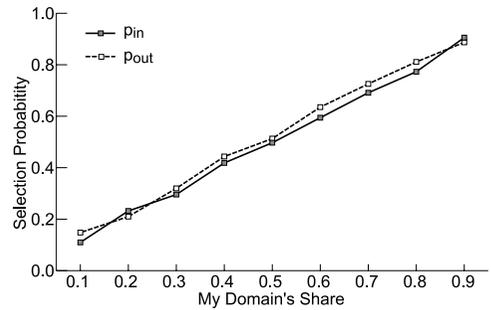


図 8 ピア総数割合の選択確率精度に与える影響 (scenario 1)

Fig. 8 Accuracy of selection probability (scenario 1).

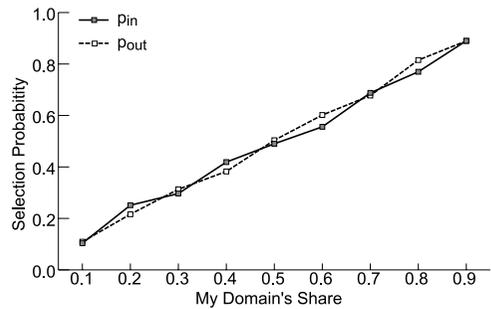


図 9 ピア総数割合の選択確率精度に与える影響 (scenario 2)

Fig. 9 Accuracy of selection probability (scenario 2).

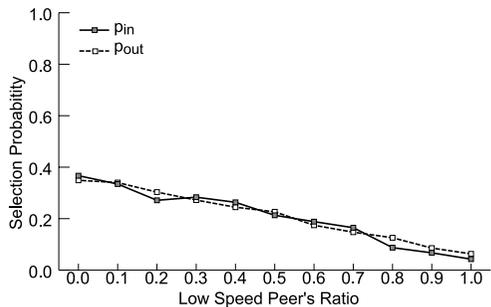


図 10 ピア種別割合の選択確率精度に与える影響 (scenario 3)

Fig. 10 Accuracy of selection probability (scenario 3).

### 5.2 選択確率

図 8, 図 9, 図 10 にシミュレーション結果より式 (1) を用いて算出した  $p_{in}$ ,  $p_{out}$  を示す。この結果より、2つのドメインのノード数の差や P2P ネットワーク構成の違いによらず、式 (2) が成り立つといえる。

図 8, 9 より、My Domain のピア種別の構成が全体のピア構成と等しいとき、選択確率  $p$  は総ピア数の比率とほぼ等しいことが分かる。また、図 10 よりピア種別の構成が異なる場合、選択確率  $p$  は高速アクセス回線を持つピアが多いドメインほど大きくなることが分かる。本シミュレーションが想定した P2P ネットワークは、高速アクセス回線を持つピアが上位となる階層型ネットワークであり、上位ピアが通信相手と

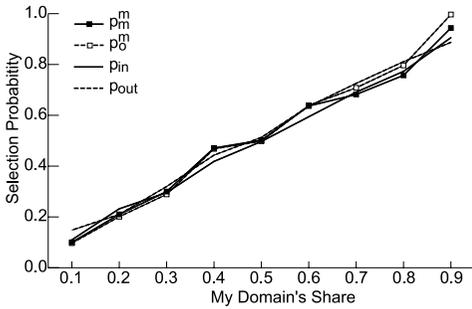


図 11 ピア総数割合のトラフィック変化に与える影響 (scenario 1)  
Fig. 11 Accuracy of traffic flow change (scenario 1).

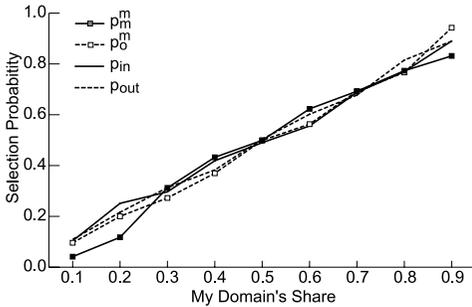


図 12 ピア総数割合のトラフィック変化に与える影響 (scenario 2)  
Fig. 12 Accuracy of traffic flow change (scenario 2).

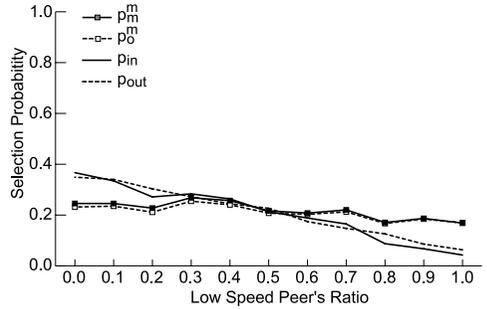


図 13 ピア種別割合のトラフィック変化に与える影響 (scenario 3)  
Fig. 13 Accuracy of traffic flow change (scenario 3).

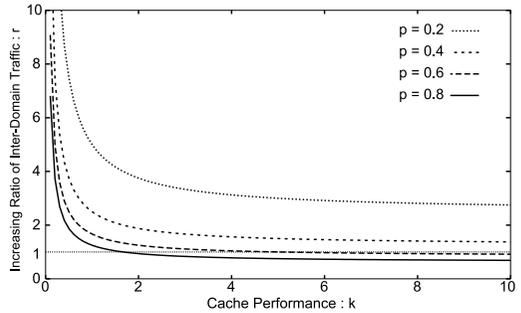


図 14 ドメイン間トラフィックの増加量  
Fig. 14 Increasing ratio of inter-domain traffic by passive peer.

して選択されやすいことを示している。

### 5.3 受動ピア追加によるトラフィックの変化

式 (7) から式 (8) の導出の妥当性を評価するため、受動ピアが存在しない状態でシミュレーションを行い、以下の式を用いて  $p_m^m, p_o^m$  を導出した。

$$p_m^m = \frac{T_m^m}{T_m^m + T_o^m}, \quad p_o^m = \frac{T_o^m}{T_o^m + T_o^m} \quad (11)$$

ただし、 $T_o^m$  は Other Domains から My Domain に流れるトラフィックの総量、 $T_m^m$  は My Domain から My Domain に流れるトラフィックの総量とする。

導出結果と 5.2 節の結果との比較を図 11, 図 12, 図 13 に示す。図 11, 12 より、ピア総数の割合が変化した場合  $p$  と  $p_m^m, p_o^m$  はほぼ等しいといえる。一方、図 13 より、ピア種別の割合が変化した場合  $p_m^m, p_o^m$  は  $p$  とは大きく乖離することが分かる。すなわち、式 (7) と式 (8) が等価であるとする仮定は、My Domain のピア種別割合が、Other Domains のピア種別割合と等しいことを意味する。

想定する P2P ファイル共有アプリケーションにおいて、ピア種別は P2P ネットワーク構成に大きく関係している。My Domain における P2P ネットワーク上のピアが、P2P ネットワーク全体の構成から偏っていないとき、提案した P2P トラフィック流量モデルは適用可能であるといえる。

### 5.4 考察

提案モデルより、P2P ネットワーク上に受動ピアを追加したとき、ドメイン間トラフィックの増加量  $r$  は、式 (10) で求められる。図 14 に  $p, \kappa$  を変化させたときの  $r$  の値を示す。 $r < 1$  のときドメイン間のトラフィックは減少し、 $r > 1$  のとき増加することを意味する。

これより、受動ピアの流出トラフィックと流入トラフィックの比  $\kappa$  と選択確率  $p$  が大きいほど、ドメイン間トラフィックの増加量は小さくなる。また、十分にその値が大きい場合は、ドメイン間トラフィックを減少させることも可能である。

受動ピアの追加によってドメイン間の帯域が減少する条件は、次式で表される。

$$r < 1 \quad (12)$$

式 (12) を満たす条件は式 (10), (12) より

$$\frac{\kappa + 1}{2p\kappa} < 1$$

$0 < p < 1, \kappa > 0$  より、

$$\kappa > \frac{1}{2p - 1} \quad \left( \text{ただし } p > \frac{1}{2} \right) \quad (13)$$

となる。

ここで選択確率  $p$  は 5.2 節の結果より My Domain

のノード総数割合に依存する値であり、通常の ISP の場合その値は  $1/2$  未満となる。  $p < 1/2$  の範囲において、式 (13) の解は存在しない。すなわち、自発的なリソース要求を行わない受動ピアが追加されたときでさえ、ドメイン間のトラヒックは増加するといえる。

また、 $p$  が小さい、すなわち、ピア数が少ないネットワークほど、新規ピアが追加されたときのドメイン間トラヒックの増加量は大きい傾向にあり、 $\kappa$  が十分大きいとき、すなわち、ピアがサーバのように動作している場合はドメイン間トラヒックの増加量はさほど変化しないといえる。

## 6. おわりに

本稿では、ドメイン間トラヒックに着眼したピア型 P2P ファイル共有アプリケーションのトラヒック流量モデルについて述べた。本モデルは、自発的なリソース要求/リソース生成を行わない受動ピアを導入し、トラヒックを向き (incoming/outgoing) と通信相手 (My Domain/Other Domains) によって 4 種類に分類することを特徴としている。自発的な動作と関係なく発生するトラヒックは、既存トラヒックにはない P2P トラヒックの特徴である。受動ピアの振舞いを解析することにより、ドメイン間トラヒックに対して P2P アプリケーションが与える影響が把握可能となる。本モデルを、各 P2P ピアがランダムに通信相手を決定すると仮定して解析し、自発的な動作を行わない、すなわちユーザが操作を行わない受動ピアであっても、通常の ISP とインターネット間のトラヒックを増加させること、また流入トラヒックが多いピアほどその増加量が大きいことを示した。通常のピアは受動ピアの振舞いに加え、自発的なリソース要求を行うため、ドメイン間トラヒックをさらに増加させるといえる。

さらに、P2P ネットワークの振舞いを模擬するシミュレーションを用いて、本モデルの適用範囲を考察した。現在一般的に利用されている P2P アプリケーションは、各ピアの回線速度に応じて P2P ネットワークを階層的に構成する。このとき、着眼するドメイン (My Domain) におけるアクセス回線種別の比率が他ドメイン (Other Domains) と乖離していない場合において、本モデルで用いた仮定は成り立つことが分かった。すなわち、特定のアクセス回線に特化していない一般的な ISP において、ドメイン間の P2P トラヒック流量は本モデルを用いて解析することが可能である。

## 参考文献

- 1) Okada, A. and Kawahara, R.: A Study of IP Traffic Analyses, Technical Report of IEICE, NS2003-5 (Apr. 2003). (in Japanese)
- 2) Saroiu, S., Gummadi, K.P., Dunn, R.J., Gribble, S.D. and Levy, H.M.: An Analysis of Internet Content Delivery Systems, *Proc. 5th Symposium on Operating Systems Design, Implementation*, Boston, MA. (Dec. 2002).
- 3) Zeinalipour-Yazdi, D. and Folias, T.: A Quantitative Analysis of the Gnutella Network Traffic, Technical Report, University of California, Riverside (Apr. 2002).  
<http://citeseer.ist.psu.edu/571303.html>
- 4) Kant, K.: An Analytic Model for Peer to Peer File Sharing Networks, *Proc. International Communications Conference*, Anchorage, AL. (May 2003).
- 5) Jovanovic, M.A., Annexstein, F.S. and Berman, K.A.: Scalability Issues in Large Peer-to-Peer Networks – A Case Study of Gnutella, University of Cincinnati Technical Report (2001).
- 6) Milojičić, D.S., Kalogeraki, V., Lkose, R., Nagaraja, K., Pruyne, J., Richardm, B., Rollins, S. and Xu, Z.: Peer-to-Peer Computing, HP Labs Technical Report, HPL-2002-57 (Mar. 2002).
- 7) Tagami, A., Hasegawa, T. and Hasegawa, T.: Analysis and Application of Passive Peer Influence on Peer-to-Peer Inter-domain Traffic, *Proc. 4th IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, Zürich, Switzerland (Aug. 2004).
- 8) Napster. <http://www.napster.com/>
- 9) Clarke, I., Sandberg, O., Wiley, B. and Hong, T.W.: Freenet: A Distributed Anonymous Information Storage and Retrieval System, *Proc. ICSI Workshop on Design Issues in Anonymity and Unobservability*, Berkeley, CA. (July 2000).
- 10) Lv, Q., Cao, P., Cohen, E., Li, K. and Shenker, S.: Search and Replication in Unstructured Peer-to-Peer Networks, *Proc. ACM International Conference on Supercomputing*, New York (June 2002).
- 11) Tagami, A., Hasegawa, T., Ano, S. and Hasegawa, T.: Design and Implementation of Large Scale Over-layer Network Simulator, Technical Report of IEICE, NS2004-255 (Mar. 2005).
- 12) Ohzahata, S. and Kawashima, K.: A Pure P2P Network Size Estimation Method using Network Measurements and Computer Simulation

Experiments, *Proc. 19th International Teletraffic Congress*, Beijing, China (Aug. 2005).

13) The Network Simulator 2.

<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

(平成 19 年 5 月 14 日受付)

(平成 19 年 11 月 6 日採録)



田上 敦士 (正会員)

平成 9 年九州大学大学院システム情報科学研究科知能システム学専攻修士課程修了。同年 KDD (株) 入社。以来、研究所にて、高速通信プロトコル、オーバレイネットワークに関する研究に従事。現在、(株) KDDI 研究所 IP 品質制御システムグループ研究主査。



長谷川輝之 (正会員)

平成 5 年京都大学大学院修士課程修了。同年 KDD (株) 入社。以来、研究所にて、高速通信プロトコル、次世代インターネットの研究に従事。現在、(株) KDDI 研究所 IP 品質制御システムグループ主任研究員。平成 15 年度電波産業会電波功績賞受賞。



阿野 茂浩 (正会員)

平成元年早稲田大学大学院修士課程修了。同年 KDD (株) 入社。以来、研究所にて、ATM 交換方式、IP ネットワーク管理・制御、次世代インターネットの研究に従事。現在、(株) KDDI 研究所 IP 品質制御システムグループリーダー。平成 7 年度情報処理学会学術奨励賞受賞。



長谷川 亨 (正会員)

昭和 57 年京都大学工学部情報工学科卒業。昭和 59 年同大学院修士課程修了。同年 (株) KDD 入社。以来、プロトコルの形式記述、高速通信プロトコル、次世代インターネットの研究に従事。平成 14~17 年国立情報学研究所客員教授。現在、(株) KDDI 研究所執行役員。情報学博士。平成 15 年度電波産業会電波功績賞受賞。