

## 経済性による情報指向ネットワークの普及過程分析

橋本俊太郎<sup>†</sup> 三角 真<sup>††</sup> 上山 憲昭<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 福岡大学 大学院工学研究科 電子情報工学専攻

〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

<sup>††</sup> 福岡大学 工学部

〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

<sup>†††</sup> 立命館大学 情報理工学部

〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: †td212009@cis.fukuoka-u.ac.jp, ††mmisumi@fukuoka-u.ac.jp, †††kamiaki@fc.ritsumeikan.ac.jp

**あらまし** 情報指向ネットワーク (ICN: information-centric networking) が、コンテンツを効率的に配信する次世代のネットワークとして注目されている。ICN は各 Internet Service Provider (ISP) の単位で、経営判断に基づき導入される。ISP が ICN を導入することで、隣接する ISP との間の交流トラフィック量が変化する。ISP は交流トラフィック量に基づきトランジット費を相互に支払うため、ICN の導入は ISP の利益に大きな影響を与える。そのため ICN の普及可能性を明らかにするには、ICN が ISP に導入されていく過程を分析する必要がある。そこで本研究では公開されている実測による Autonomous System (AS) の接続トポロジデータを用いて、Multi-agent simulation (MAS) により、経済性を考慮した ISP の ICN の普及可能性を明らかにする。また、ICN の普及に必要なメカニズムを明らかにする。  
**キーワード** ICN, 経済性, 利益, ISP

## Analysis of the diffusion process of information-centric networking by economic efficiency

Shuntaro HASHIMOTO<sup>†</sup>, Makoto MISUMI<sup>††</sup>, and Noriaki KAMIYAMA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Graduate of Engineering, Fukuoka University

8-19-1, Nanakuma, Jonan-ku Fukuoka, 814-0180 Japan

<sup>††</sup> Faculty of Engineering, Fukuoka University

8-19-1, Nanakuma, Jonan-ku Fukuoka, 814-0180 Japan

<sup>†††</sup> College of Information Science and Engineering, Ritumeikan University

1-1-1, Nojihigashi, Kusatsu, 525-8857 Japan

E-mail: †td212009@cis.fukuoka-u.ac.jp, ††mmisumi@fukuoka-u.ac.jp, †††kamiaki@fc.ritsumeikan.ac.jp

**Abstract** Information-Centric Networking (ICN) is gaining attention as a next-generation network for efficient content delivery. ICN is deployed by each Internet Service Provider (ISP) based on its management decision. Since ISPs pay each other transit fees based on the amount of traffic they receive, the introduction of ICN has a significant impact on the profits of ISPs. Therefore, it is necessary to analyze the process of ICN adoption by ISPs in order to clarify the potential for ICN adoption. In this study, we use publicly available measured Autonomous System (AS) connection topology data and multi-agent simulation (MAS) to clarify the feasibility of ICN deployment for ISPs, taking economic efficiency into account. We will also clarify the mechanisms necessary for the diffusion of ICN.

**Key words** ICN, economy, profit, ISP

### 1. はじめに

インターネットの主要トラフィックはコンテンツ配信であり、コンテンツ配信のトラフィック占有率はビデオと web が大部分を占めている。現在、コンテンツ配信のプラットフォームとして主に Content Delivery Network (CDN) が使用されている。CDN は、インターネット上でコンテンツ配信の品質を向上し、ネットワークのトラフィック削減を目的として、効率的に配信する技術として広く普及している。CDN 事業者が、多数のネットワークに多数のキャッシュサーバを設置し、コンテンツをキャッシュし、ユーザから近いキャッシュサーバからコンテンツを配信することで、配信遅延時間の短縮と、ネットワーク内のトラフィックの削減が可能である。地域 Internet Service Provider (ISP) にとっては、トランジット費の支払いの対象となる上位のトラフィック量が削減し、またユーザの配信品質向上によるユーザ数の増加が期待されるため、地域 ISP にとって CDN 事業者との契約が有利なため CDN は広く普及している。CDN の動作を以下に説明する。

(1) CDN 事業者が図 1 の青線で示す地域 ISP にキャッ

シュサーバを設置する。

(2) ユーザのコンテンツ要求時、コンテンツを提供するコンテンツ事業者 (CP) ではなく、要求ユーザの最寄りの ISP B のキャッシュサーバがコンテンツ配信元として選択され、その IP アドレスがユーザに回答される。

(3) ユーザの要求コンテンツは、CP からでなく赤線のよように ISP B からユーザに対して転送される。

この結果、ユーザは自身の近くからコンテンツが取得可能となる。

Information-Centric Networking (ICN) は次世代のネットワークとして近年多くの注目を集めている。ICN は Internet Protocol (IP) と同じネットワーク層のプロトコルであるが、ルータがコンテンツをキャッシュし、コンテンツの名称でルーティングを行うなど IP ネットワークと ICN は全く異なるアーキテクチャを採用している。ICN は CDN と異なり、特定の事業者がキャッシュサーバを設置するのではなく、各 ISP が自身のネットワーク内のルータにキャッシュ機能を導入する。また、IP ネットワークではユーザはホスト名が含まれるコンテンツの名称でコンテンツを要求するが、ネットワーク内ではホス

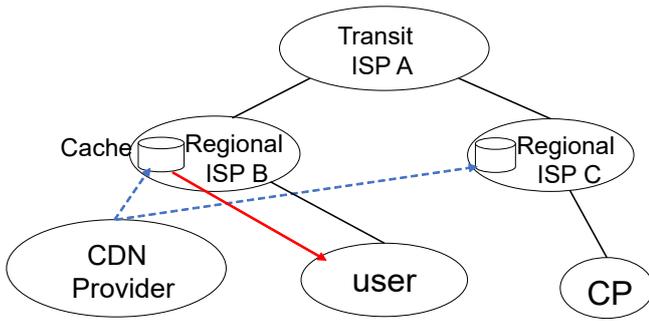


図 1 CDN model

トの識別子である IP アドレスでパケットを転送するため、通信開始時に名前解決のオーバーヘッドが発生する。一方、ICN ではルータがコンテンツをキャッシュし、コンテンツの名称でルーティングするため、ユーザの配信要求時に、名前解決のオーバーヘッドが減少する。図 2 は ISP A, ISP B, ISP C に ICN が導入されている状態である。ICN の動作の概要を以下で述べる。

- (1) ユーザがコンテンツの配信要求パケット (interest) を送出すると、interest は CP に向かって転送。
- (2) ルータが interest を受け取ったとき、要求コンテンツが、自身のキャッシュ内にある任意のコンテンツ名と一致すれば、自身が持っているコンテンツをキャッシュから interest が送られてきた隣接ルータにコンテンツを送信。
- (3) その結果、図 2 の赤線のように CP からではなく、ISP B からユーザに対し要求コンテンツが転送され、ISP B と CP との間に存在する ISP には本要求に関する interest は転送しない。

ISP は隣接する ISP との交流トラフィック量に依存したトランジット費をやり取りするが、ICN の導入により、キャッシュが導入され、ISP 間のトラフィック量が変わるため、ICN の導入は ISP の収益に大きく影響する。そのため ICN の普及可能性を明らかにするには、ICN の導入が及ぼす ISP の利益の増減を分析する必要がある。

そこで [1] では、階層的な Autonomous System (AS) 間トポロジを想定して解析的に各 ISP の利益を導出している。しかし実際の AS 間トポロジは、完全な階層構造とはなっていない。なお AS とはインターネットを構成する単位であり、ある一つの管理主体によって保有・運用されている独立したネットワークであり、ネットワーク事業者である ISP も AS の一つである。

そこで、本研究では、実際の AS 間のトポロジを反映した ICN の普及過程を分析し、ICN の普及を促進する効果的な方法を明らかにする。本稿では、その実現のために、公開されている AS 間トポロジデータを用いて、Multi-Agent Simulation (MAS) により ISP への ICN の普及過程を再現する。

以下、2 節では提案する MAS のモデルについて述べる。そして 3 節では AS への ICN 普及過程の性能評価方法を説明し、4 節で評価結果を示す。そして最後に 5 節で全体をまとめる。

## 2. 提案 MAS モデル

MAS とは、図 3 に示すように、人間のよう内部状態や行動ルールを持ち、自律的に意思決定を行うエージェントと呼ばれるオブジェクトを多数用いて仮想的な社会を作り、それらを用いて現実の様々な事象をモデル化するものである。MAS は、各プレイヤー、アクション、行動ルールで規定されている。今回のモデルでは、プレイヤーを AS、アクションを ICN 導入判断とする。各 AS は、(1)ICN を未導入で、IP でネットワークを運用している状態と、(2)ICN を導入済みで IP を用いていない状態、の 2 つの状態のいずれかである。行動ルールは、ランダム

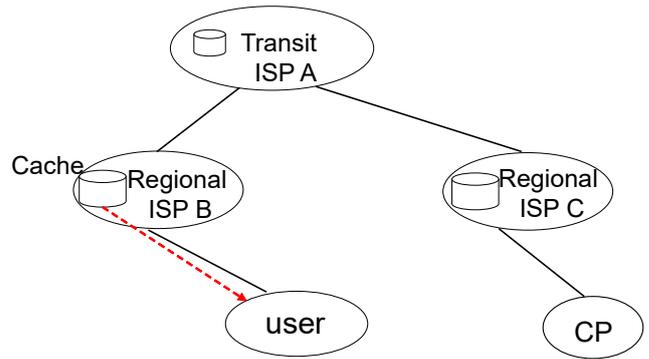


図 2 ICN model

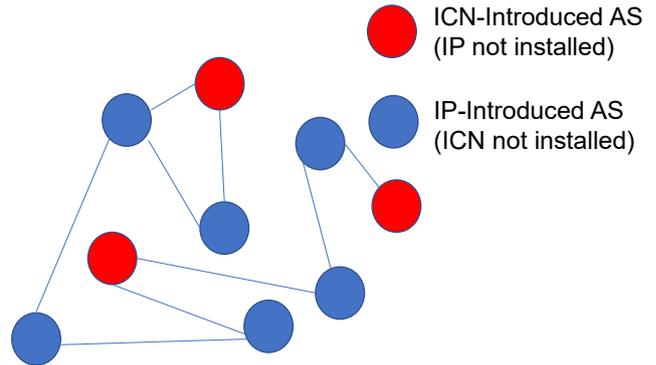


図 3 Proposed MAS model

に AS を選択し、選択 AS の ICN 導入判断を以下の処理で行う処理を反復する。

- ICN 未導入の AS を選択した場合
  - ICN 導入で利益が増加する場合：IP を廃止し、ICN を導入。
  - ICN 導入で利益が減少もしくは変化なし：IP を継続
- ICN 導入済みの AS を選択した場合
  - IP 導入で、利益が減少、もしくは変化なし：ICN を維持。
  - IP 導入で、利益が増加する場合：ICN を廃止し、IP を再導入。

本研究では、シミュレーション開始時は全ての AS は IP ネットワークを導入しているものとし、さらに IP か ICN のどちらかのみを導入することとする。また、ICN 導入前後の利益を比較し、ICN 導入判断を行う。

図 4 は ICN 導入や IP 再導入による利益変化の概念を示した図であるが、ここでは、ユーザとサーバ間に存在する AS に着目する。ICN の導入、IP の再導入によって収入と支出が図のとおり変化するとき、AS は次のように行動する。

• **Stage 1 → Stage 2:** ICN 導入前は、経由 AS の収入が 5 で支出が 8 であり、利益は -3 である。ICN 導入後、交流トラフィック減少で支出が 3 減少し収入が 2 減少した結果、AS の利益は -2 となり、ICN 導入前より利益が増加する。その結果、AS は ICN を導入する。

• **Stage 2 → Stage 3:** IP 再導入前は、AS の収入が 3、支出が 5 であり、利益は -2 である。IP 再度導入後、交流トラフィックが変化し収入が 2 増加して支出が 1 増加した結果、AS の利益は -1 となり、IP 再導入前より利益が増加する。その結果、AS は IP を再導入する。

### 2.1 AS のネットワークトポロジ

本研究で実トポロジによる分析で用いるデータは CAIDA の AS トポロジデータ [2] で、AS 間の接続状態に関するデータ (as\_rel file) と AS の属性 (表 1 に AS の属性を示す) や規模のデータ (as2attr.txt) を使用する。CAIDA が配布する AS トポロジデータは 20,305 件の AS と、AS を結ぶ 85,136 件のリン

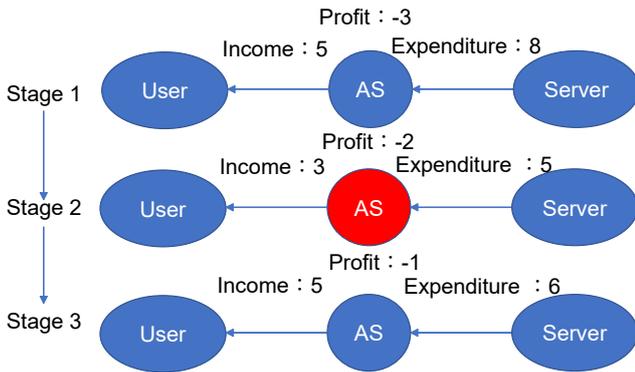


図 4 ICN 導入や IP 再導入による AS 利益の変化の例

表 1 AS の属性

属性	内容 [3]
t1	大規模 ISP
t2	小規模 ISP
edu	大学
comp	顧客
ix	Internet exchange points (IXP)
nic	Network information centers (NIC)

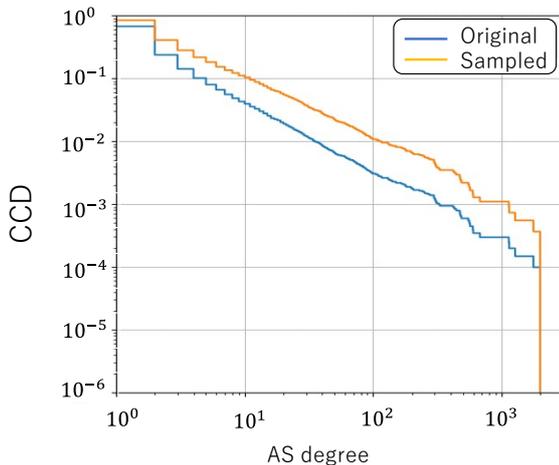


図 5 未加工トポロジとサンプル後のトポロジの次数の累積補分布

クのデータが含まれている。未加工の CAIDA の AS トポロジデータに含まれる AS とリンクの情報は、シミュレーションで扱うには多すぎるため、AS トポロジデータを MAS で使用可能な規模まで縮約するために、次の手順でスノーボールサンプリングを行った。

(1) 最大次数を持つ AS を選択。

(2) 選択 AS と隣接する AS の中からランダムに一定数 (20%) を選択し、選択した各 AS に対し、再度、1 を実施する処理を反復。

サンプリング後のトポロジデータと未加工の AS トポロジデータの特徴が同様であることの確認のために、それぞれの AS の次数分布を図 5 に示して比較する。横軸は AS の次数、縦軸は累積補分布を示しているが、未加工の AS トポロジデータ (Original) とサンプル後の AS トポロジデータ (Sampled) の AS 群の次数分布は同様の特徴を有していることが確認できる。

## 2.2 経路設計ポリシー

実測の AS トポロジ情報は得られたが、それらの経路情報は公開されていない。そのため本稿では、経路コストであるトランジット費を最小化可能であり、実際の AS 間経路に広く用いられている valley-free [4] のルールに従い、サンプリングした

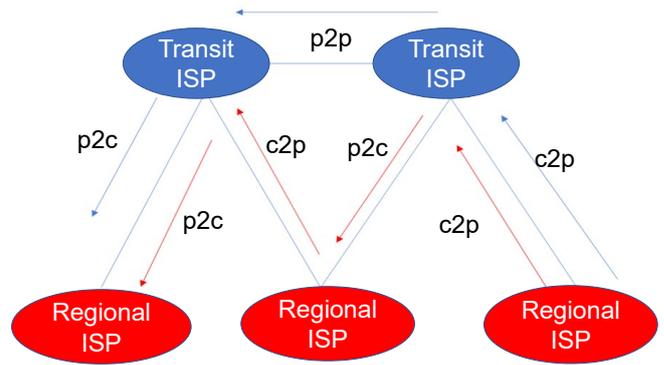


図 6 valley-free routing

AS の経路を決定した。

AS 間の接続には、料金を伴うトランジット接続と伴わないピアリング接続が存在する。トランジット接続は、図 6 のように provider であるトランジット ISP から customer である地域 ISP へのリンクである provider-to-customer (p2c) と、customer から provider へのリンクを用いた接続である customer-to-provider (c2p) である。これらのリンクを用いた接続は、トラフィック量に応じたトランジット費を customer が provider に支払う。ピアリング接続は地域 ISP 間のある peer-to-peer (p2p) でリンクを用いた接続であり、このリンクを用いた接続は料金の支払いは発生しない。トランジット費を最小化するためには、可能な限り p2p リンクを用いた経路を選択することが望ましい。

valley-free のルールに従って経路選択することにより、図 6 の赤い矢印のような谷のある経路ではなく、青い矢印のように谷の無い valley-free な経路が選択される。なお、本シミュレーションにおいて、谷の存在しない経路だけでは到達できない AS 間については、最小限の谷の発生を許容する経路を選択した。

## 2.3 トラフィック量のモデル

ICN はコンテンツのキャッシュ機能を有していることから、AS 間の交流トラフィック量に影響を及ぼし、ISP の収益に影響を与える。そこで本稿では ICN のキャッシュが与える影響を考慮した隣接する AS  $i$  と AS  $j$  との間のリンクを流れるトラフィック量を式 (1) で定義する。本式で用いる定数の定義パラメータを表 2 に示す。

$$v_{i,j} = \sum_{s \in S1} \sum_{d \in S2} \sum_{m \in M} q_m a_s f_d U(i, j, s, d, m) \quad (1)$$

$S1$  と  $S2$  はいずれも AS の集合であるが、その構成は異なっている。 $S1$  はユーザが存在することが想定される表 1 の edu, comp の AS の集合である。 $S2$  は全ての AS からコンテンツが発信されることを想定していることから、全 AS の集合である。ユーザ  $s$  からコンテンツを要求する確率  $a_s$  は、コンテンツを要求する AS  $s$  に存在するサブネットワークを  $S1$  の総サブネットワーク数で除した値とする。

要求コンテンツが AS  $d$  に存在する確率  $f_d$  は要求コンテンツが各 AS  $d$  に存在するサブネットワーク数と  $S2$  の全サブネットワーク数で除した値とする。

コンテンツ  $m$  の要求比率  $q_m$  は式 (2) で定義される zipf 分布で設定する。

$$q_m = \frac{1/m^l}{\sum_{k=1}^N 1/k^l} \quad (2)$$

ただしコンテンツ集合  $M$  の要素数を  $N$ 、 $m$  は順位である。 $l$  は人気度のパラメータであり、 $l$  が 0 のときにはどのコンテンツにも平等にリクエスト発生し、 $l$  の値が大きくなるほど、人気の高い順位のコンテンツにリクエストが集中する。

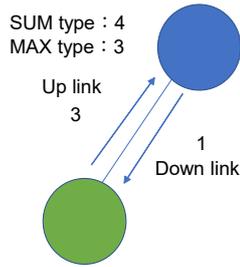


図7 トランジット課金方法別のトラフィック量

$U(i, j, s, d, m)$  は AS  $s$  に存在するユーザが、AS  $d$  に存在するコンテンツ  $m$  を要求したときに、AS  $i$  と AS  $j$  との間のリンクを配信フローが経由するときに 1 を、経由しないときに 0 をとる 2 値変数である。

#### 2.4 トラフィック費のモデル

AS 間のリンクにおいて、provider と customer の関係を持つ AS 間のリンクには、customer AS から provider AS へトランジット費の支払いが発生する。リンク  $n$  の月間のトランジット費  $T_n$  は、式 (3) で近似可能である [5]。

$$T_n = \varepsilon V_n^{0.75} \quad (3)$$

多くの AS ではリンク  $n$  のトランジット費を算出するとき、データ転送レートを  $V_n$  として、5 分毎の平均トラフィック量の 95% 値を用いるが、本稿では各 AS 間の上下の各方向の平均トラフィック量を 3 倍したものをを用いる [1]。  $\varepsilon$  は 1Mbps 当たりの平均トランジット費であり、本稿では 2018 年度の 0.165USD を用いた。

課金するトラフィック量を決定する方法として SUM 型と MAX 型の 2 種類を用いる。SUM 型は、アップリンクとダウンリンクの両方のトラフィック量の合計に課金する。MAX 型は、アップリンクとダウンリンクの両方のトラフィック量のうち、大きなトラフィック量に課金する。具体的な例を示すと、図 7 のネットワーク経路におけるリンクのトラフィック量は、SUM 型の場合はアップリンクとダウンリンクのトラフィック量の合計である 4 であり、MAX 型の場合はアップリンクとダウンリンクのトラフィック量のうち大きな値である 3 である。

#### 2.5 ICN のキャッシュモデル

ICN を導入した AS はキャッシュの機能を有する。本シミュレーションモデルでは、AS  $k$  のキャッシュ容量  $C_k$  は AS の度数に比例し、人気の上位  $C_k$  個のコンテンツを自 AS 内でキャッシュする。ユーザ AS  $s$  がサーバ AS  $d$  に対して、人気  $m$  番目のコンテンツの要求が発生した場合、 $s$  から  $d$  の本径路上の AS の中で、 $C_k \geq m$  となる  $s$  に最も近い AS が  $k$  であるとき、このコンテンツは AS  $k$  から  $s$  に配信する。

図 8 において AS  $s$  が人気順位の 10 番目のコンテンツを要求したとき、 $C_k \geq m$  となる  $s$  に最も近い AS は AS 2 であるので、このコンテンツは AS 2 から  $s$  に配信される。よって AS 2 と  $d$  間には配信フローが発生しない。AS  $s$  が人気順位の 15 番目のコンテンツを要求したとき、 $s$  に最も近い ICN 導入 AS 2 のキャッシュサイズは 12 であるため、キャッシュサイズが 20 の AS 3 から  $s$  に対してコンテンツを配信する。AS  $s$  が人気順位の 1000 番目のコンテンツを要求した際は、 $C_k \geq k$  となる ICN 導入 AS は存在しないので、CP のサーバ  $d$  から AS  $s$  に配信される。

### 3. 性能評価方法

先に述べたモデルを MAS で実装し、AS への ICN 普及過程をシミュレートした。各 AS の ICN のキャッシュサイズを AS の度数の 10 倍、コンテンツ数を 10,000 個、zipf のパラメータは 1.0 とする。

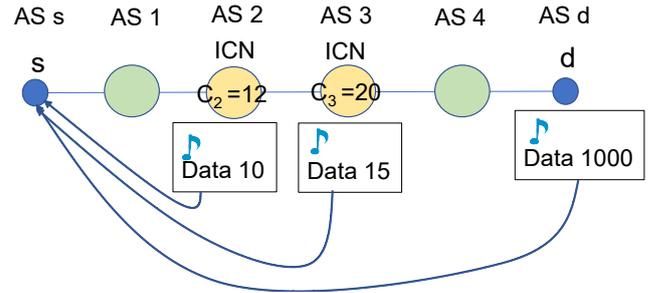


図8 経路上のキャッシュサイズが配信フローに与える影響

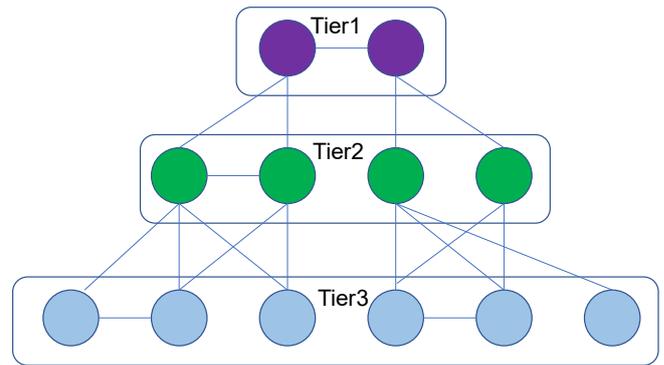


図9 階層的な ISP 群の構造

#### 3.1 ネットワーク内の役割による AS の分類

AS 群の構造は図 9 のように階層的である。そのため次の基準でネットワークにおける役割ごとに AS を分類する。

- Tier1 自 AS の隣接 AS に provider AS が存在しない
- Tier2 Tier1 以外でかつ、自 AS の隣接 AS に 2 以上の customer AS が存在
- Tier3 Tier1, Tier2 に分類されない AS

#### 3.2 MAS 停止の条件

図 10 は、SUM 型モデルの ICN の導入判断回数に対する AS への ICN 導入割合を表したグラフであるが、ICN の導入判断回数が大きくなると AS への ICN 導入割合は、ほぼ変化しておらず、無駄な試行が行われている。本稿では、ICN の導入判断回数の一定区間 (以降、sampling window) において、AS への ICN 導入割合の変化を一次関数とみなして最小二乗法で求めた傾きを ICN 導入割合の変化率として、ICN 導入割合の変化率が一定数以下となったときに、ICN 導入の判断を中止した。

今回のシミュレーションにおいては、sampling window を 2,000 とし、ICN 導入割合の変化率の閾値を  $5e-7$  としたが、これらは以下の手順で決定した。

sampling window が極端に少ない場合 ICN を導入しない AS が連続で存在したときに変化率は 0 になるため、sampling window 数 500 個毎に AS を取り、図 11 は、sampling window が 500~5,000 の複数の値で、ICN の導入判断回数に対する ICN 導入割合の変化率が大きく増減を繰り返さず安定してきた 2,000 を、sampling window として採用した。

さらに、図 10 において、AS への ICN 導入割合がほぼ変化しなくなったときの ICN の導入判断回数が 30,000 程度であると判断した。ICN の導入判断回数 30,000 のとき、sampling window が 2,000 の時の ICN 導入割合の変化率から、ICN 導入割合の変化率の閾値である  $5e-7$  を求めた。

### 4. 性能評価の結果と考察

#### 4.1 課金対象トラフィックによる ICN 導入判断比較

図 12 は SUM 型 (紫線) と MAX 型 (緑線) のトラフィックの課金方法別の自身への ICN 導入判断であり、横軸は AS への ICN 導入判断回数を示し、縦軸は AS への ICN 導入数割合を

表 2 トラフィック量を算出するパラメータ

パラメータ	内容
$s$	コンテンツの要求が発生する AS(ユーザ)
$d$	コンテンツの要求が到着する AS (サーバ)
$S1$	通信要求を行う全 AS の集合
$S2$	コンテンツの要求が到着する AS の集合
$M$	コンテンツの集合
$q_m$	コンテンツ $m$ の要求比率
$a_s$	AS $s$ から要求を発生する確率
$f_d$	要求コンテンツが AS $d$ に存在する確率
$m$	要求するコンテンツ (人気度順に連続する値を 1 から順に与えている)
$U(i, j, s, d, m)$	配信フローを経由するか判断する 2 値変数

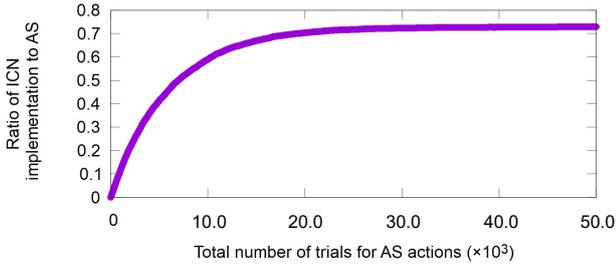


図 10 SUM モデルにおける試行回数に対する ICN 導入 AS の比率

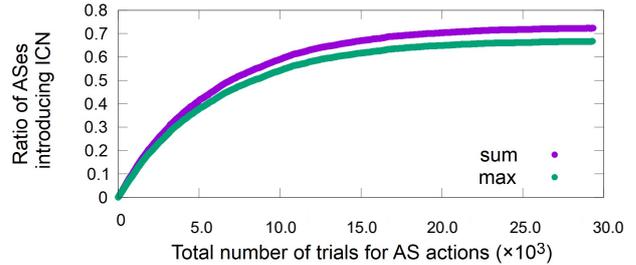


図 12 トラフィックの課金方法別の ICN 導入割合

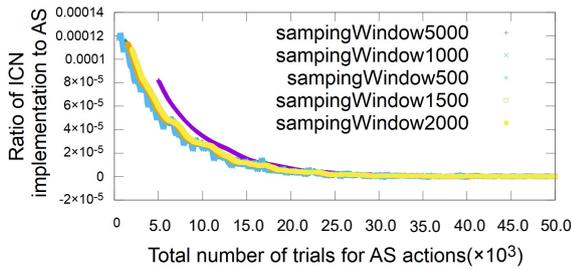


図 11 サンプルウィンドウ数毎の ICN 導入 AS の導入数割合の傾き

表 3 トラフィック量計算方式別 ICN 導入 AS 数

	導入数
SUM 型、MAX 型ともに ICN 導入	3887
SUM 型のみ ICN 導入	388
MAX 型のみ ICN 導入	11

示す。ICN 導入判断は、ランダムに選択した AS に対して順に行っていくが、SUM 型・MAX 型とも、シミュレーション開始当時から 6,000 回目程度までは、高い ICN 導入割合の変化率である。これは、シミュレーションで使用した AS 間ネットワークの AS 数が 5,847 個であることと関係していると考えられる。ICN 導入判断 6,000 回目程度以前は、ランダムに選択された AS において最初の ICN 導入判断であったことから、高い ICN 導入割合の変化率となった。一方、ICN 導入判断 6,000 回目以降においては、選択された AS にとって、再度の導入判断である可能性が高く、ICN の導入については、前回と同様の判断をした AS の割合が増加したため、ICN 導入割合の変化の割合は徐々に低下している。

SUM 型と MAX 型を比較すると、MAX 型より SUM 型の方が高い ICN 導入数割合である。ICN 導入判断を終了したグラフの右端において、MAX 型よりも SUM 型の方が導入判断割合が 5.7 ポイント高い。この理由の分析のために表 3 のように ICN 導入する AS を SUM 型のみ、MAX 型のみ、両方で導入する 3 つに分類を行った。SUM 型のみと MAX 型のみに導入する AS 数を比較すると、SUM 型のみ導入する AS 数が多い。これは MAX 型でトランジット費を導出するとき用いるトラフィックが関係している。図 13 のような経路が存在するとして緑の AS B に着目し、自身がプロバイダとなる下りトラフィックであり AS C とのリンクを示している収入リンクと、自身がカスタマとなる上りトラフィックである AS A とのリンク

を示している支出リンクを表している。図 13 の青い線は着目した AS の上りトラフィックと下りトラフィックのアップリンクとダウンリンクを示している。MAX 型の場合、アップリンクとダウンリンクそれぞれにおいて、上りトラフィックあるいは下りトラフィックいずれか大きいトラフィック量に対して課金する。ここで、支出のリンクに着目すると、AS A がコンテンツを要求した際に、着目する AS の ICN のキャッシュ内にコンテンツが存在するとき、ICN のキャッシュに存在するコンテンツを AS A から転送する必要がない。そのため AS B に ICN 導入した時、支出リンクのダウンリンクトラフィック ( $T_{c_{down}}$ ) は減少するが、アップリンクトラフィック ( $T_{c_{up}}$ ) は減少しない。ICN 導入前の  $T_{c_{up}}$  が  $T_{c_{down}}$  よりも大きいときには、MAX 型において、 $T_{c_{up}}$  がトランジット費の導出に利用されるが、先に述べた通り  $T_{c_{up}}$  は ICN の導入によって減少しない。つまり、ICN の導入によって AS B の支出が減少することがないため ICN 導入には至らない。

一方、SUM 型の導入判断は各リンクのトラフィックの大きい方を取るのではなく、アップリンクとダウンリンクの合計トラフィック量を基準としたトランジット費で行われる。ICN 導入で、収入リンクと支出リンク双方のトラフィックが減少することは先に述べたが、SUM 型において、収入のリンクのトラフィック減少量より支出のリンクのトラフィック減少量が多い時に ICN 導入を行う。SUM 型のみ ICN を導入する AS のトラフィックパターンを見たところ、 $T_{c_{down}}$  より  $T_{c_{up}}$  の方が大きいトラフィックパターンであった。このような、SUM 型と MAX 型におけるトランジット費導入に用いるトラフィックパターンの差によって、SUM 型の方が多く ICN 導入判断を行う。

#### 4.2 AS が属する Tier による ICN 導入割合の比較

図 14、図 15 に、Tier 別の ICN 導入 AS 数比率を試行回数に対してプロットする。図 14 は SUM 型、図 15 は MAX 型の結果を示している。横軸は AS の ICN 導入判断回数を示し、縦軸は ICN 導入 AS の導入数割合を示す。Tier1(紫線)の AS

表 4 Tier 毎の各課金方式別の ICN 導入 AS 数

	SUM 型のみ ICN 導入する AS 数	MAX 型のみ ICN 導入する AS 数	SUM 型, MAX 型ともに ICN 導入する AS 数	AS 数
Tier1	0	0	0	19
Tier2	105	4	192	509
Tier3	233	7	3695	5319

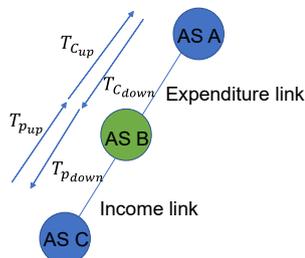


図 13 収入リンクと支出リンク

は、どちらのトラヒックの課金方法においても ICN は全く導入されなかった。Tier2(緑線)と Tier3(青線)の AS においては、MAX 型よりも SUM 型が ICN の導入割合が高く、とりわけ Tier2 で顕著な差が見られた。この理由について、以下で考察する。

a) Tier1

Tier1 に存在する AS の特徴として隣接 AS に provider が存在しないため、支出リンクが存在しない。そのため、Tier1 の AS は ICN の導入による交流トラヒックの減少によって、収入のみが減少する。その結果、Tier1 の AS は ICN を導入しない。

b) Tier2

Tier 別の ICN 導入割合を見た時に Tier2 に大きな差があったため、表 4 に ICN を導入した AS 数を、Tier 別に、SUM 型のみ、MAX 型のみ、両方で導入の 3 つの各々のケースで示す。Tier2 の AS は、カスタマ AS とプロバイダ AS 間のトラヒックを中継する役割を持つため、入出力双方の交流トラヒックが存在する。つまり、Tier2 の AS には収入リンクと支出リンクが存在する。MAX 型の場合、トラヒック量の大きいトラヒック量を基に課金するため、入出力双方の交流トラヒックを有する Tier2 の AS においては、ICN を導入しても支出が減らないリンクが存在し、その結果 ICN の導入判断には至らない可能性がある。そのため Tier2 では SUM 型の方が ICN を多く導入している。

c) Tier3

Tier3 は他 Tier よりも多く AS が分類されており、また、高い割合で AS への ICN が導入されている。Tier3 はネットワークの末端の AS であり、自 AS から見たカスタマ AS が存在しない、つまり、他の AS へトラヒックの中継を行わない AS が存在する。本シミュレーションモデルでは、カスタマ AS との交流トラヒックが発生するリンクが収入が収入リンクとしていたため、Tier3 に分類される AS においては、収入リンクが存在しない AS が存在する。収入リンクが存在しない AS において、ICN の導入によって減少する可能性のあるトラヒックは支出リンクのトラヒックのみとなることから、そのような AS においては、ICN の導入で利益が向上する。

## 5. まとめ

本稿では経済性を考慮した AS の ICN の普及可能性を明らかにすることを目的として、トラヒックの課金方法別の AS の ICN 導入判断の分析を行った。自身への ICN 導入判断をトラヒックの課金方法の 2 つで比較し、SUM 型の方が多く ICN を導入した。また Tier 毎で ICN 導入判断の分析を行ったが、

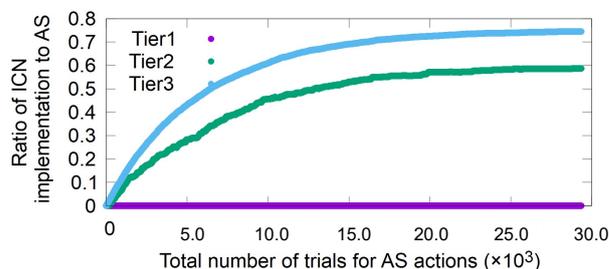


図 14 SUM 型の Tier ごとの各試行時点の ICN 導入割合

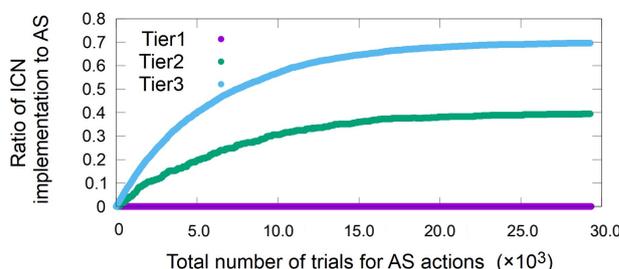


図 15 MAX 型の Tier ごとの各試行時点の ICN 導入割合

Tier2 への ICN 導入割合はトランジット費の課金方法が強く影響した。

効率的なコンテンツの配信の観点ではネットワークのトラヒックの交流が多い Tier1 への ICN 導入が効果的であるが、自 AS のトランジット費の利益の評価のみでは ICN 導入には至らなかった。そのため Tier1 の AS に ICN の普及を促進する効果的な方法を明らかにする必要がある。さらに、ICN の導入が周囲の AS に与える影響を考慮した ICN 導入判断指標の検討、ICN 導入によって発生するトラヒックの変化を考慮した経済的指標を検討する必要がある。

**謝辞** 本研究成果は、KDDI 財団研究助成寄付金 190051 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

## 文 献

- [1] Noriaki Kamiyama, "Analyzing Impact of Introducing CCN on Profit of ISPs", IEEE Transactions on Network and Service Management, Vol.12, No.2, pp.176-187, June 2015.
- [2] CAIDA, "Autonomous System Taxonomy Repository", 2013-11-6, <https://www.caida.org/catalog/datasets/as-taxonomy/>, (参照 2023-1-18).
- [3] Xenofontas Dimitropoulos, Dmitri Krioukov, George Riley, KC Claffy, "Revealing the Autonomous System Taxonomy: The Machine Learning Approach (pdf)", Passive and Active Measurements Workshop (PAM), Mar. 2006.
- [4] Lixin Gao, "On inferring autonomous system relationships in the Internet," in IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 9, no. 6, pp. 733-745, Dec. 2001.
- [5] N. Kamiyama and Y. Hosokawa, "Optimally Designing Virtualized CDN", IEICE Communications Express, Vol. 8, No. 8, pp.318-322, May 2019