一般社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
IEICE Technical Report
CQ2023-48(2023-11)

ユーザのソーシャル性が ICN のコンテンツキャッシングに及ぼす影響 ～ 情報拡散行動とコミュニティに着目して ～

本田　紘大†　　中村　　遼††　上山　憲昭†††

† 立命館大学大学院 情報理工学研究科
〒 525–8577 滋賀県草津市野路東 1–1–1
†† 福岡大学 工学部
〒 814–0180 福岡県福岡市城南区七隈 8–19–1
††† 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: †gr0579vx@ed.ritsumei.ac.jp, ††r-nakamura@fukuoka-u.ac.jp, †††kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

あらまし　現代では，X (Twitter) や Facebook に代表されるソーシャルメディアは我々の生活を支える基盤となっている．ソーシャルメディア上でのやりとりは人に起因するものであるから，ネットワークを設計・制御する上で，ユーザが有するソーシャル性を考慮することが重要である．主要なソーシャル性は，ユーザによる情報拡散行動，影響力の強いユーザの存在，そしてコミュニティである．既に，次世代のネットワークアーキテクチャとして注目されている情報指向ネットワーク (ICN: Information-Centric Networking) を対象とし，ソーシャル性を考慮した ICN，特に，影響力の強いユーザの存在を考慮したコンテンツキャッシングが検討されている．一方，他の二つのソーシャル性は ICN の設計・制御には十分に活用されておらず，そもそもこれらのソーシャル性を考慮すべきかどうかも明らかにされていない．そこで，本稿では，ユーザによる情報拡散行動とコミュニティに着目し，これらのソーシャル性を考慮した ICN をモデル化するとともに，これらのソーシャル性が ICN のコンテンツキャッシングに及ぼす影響を分析する．その結果として，(i) コミュニティが失われている場合には，ユーザがコンテンツを広告したとしても，ICN ルータにおけるキャッシュの効果はほとんど影響を受けないものの，コミュニティが保持されている場合には，キャッシュヒット率およびコンテンツ配送に要するホップ数は劣化する．(ii) コミュニティの保持度に，キャッシュヒット率およびホップ数は大きく作用されることなどを示す．
キーワード　情報指向ネットワーク，ソーシャルメディア，コンテンツキャッシング，情報拡散，コミュニティ

On the Effect of User's Sociality on Contents Caching of ICN – Focusing on Information Propagation Behavior and Community –

Kodai HONDA†, Ryo NAKAMURA††, and Noriaki KAMIYAMA†††

† Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
1–1–1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525–8577, Japan
†† Faculty of Engineering, Fukuoka University
8–19–1 Nanakuma, Jonan, Fukuoka, Fukuoka 814–0180, Japan
††† College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
1–1–1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525–8577, Japan
E-mail: †gr0579vx@ed.ritsumei.ac.jp, ††r-nakamura@fukuoka-u.ac.jp, †††kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

Abstract　At the present, social media such as X (Twitter) and Facebook have become essential infrastructure supporting our lives. Because communication among users on the social media is originated from human, it is important to consider human factors, i.e., *sociality*, on designing and controlling networks. The representative sociality are user's behavior to propagate information, the presence of influencers, and community. In the literature, researchers focused on Information-Centric Networking (ICN), which has attracted attention as a next-generation network architecture, and tackled to design socially-aware ICN. In particular, they studied contents caching taking account the presence of influential users. On the other hand, the other two natures of sociality have not been fully utilized in the design and control of ICN, and it has not been clearly understood whether we should take these sociality into consideration. Therefore, in this paper, we focus on information propagation behavior of users and community, and describe ICN model that represents these two sociality. Also, we analyze these impacts on the contents caching of ICN. As a consequence, we reveal following two observations; (i) in the case that community is lost, the effectiveness of ICN routers' cache is rarely affected even if users advertise contents to their social friends, whereas in the case that community is maintained, the cache hit ratio and the number of hops for the content delivery are degraded, and (ii) the cache hit ratio and the number of hops is significantly affected by the degree to which the community is preserved.
Key words　ICN (Information-Centric Networking), Social Media, Contents Caching, Information Propagation, Community

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.
Copyright ©2023 by IEICE

1 はじめに

今日では，Twitter(注1) および Facebook に代表されるソーシャルメディアは，我々の社会生活を支える不可欠な基盤となっている．これらのソーシャルメディアを介して，我々は，オンライン上においても友人とやりとりすることができ，彼ら/彼女らと交友を深めることができる．ソーシャルメディアは，ネット炎上やフェイクニュースのような負の側面を有するものの，基本的には，我々の社会活動や経済活動をより豊かにしている．

ソーシャルメディアの普及に伴い，通信ネットワーク上を転送されるトラヒック量も増大することから，このような増大を緩和するための手段として，情報指向ネットワーク (以降では単に「ICN」と表記する．) が有望視されている [1]．ICN は，キャッシュを有する複数のルータから構成されるキャッシュネットワークの一種であり，ルータはコンテンツの複製を一時的に保持することができる．このため，コンテンツのオリジナルを保有するサーバだけでなく，中継ルータからもコンテンツを配信することができる．その結果として，ユーザは，近隣に位置するルータからコンテンツを取得できるため，ネットワーク上を転送されるトラヒック量が削減される．

ただし，ICN を，ソーシャルメディアのためのコンテンツ配信基盤とする上では，ソーシャルメディアに参加するユーザの特性 (つまり，ユーザのソーシャル性) を考慮しながら ICN を設計・制御することが望ましい [2]．上述したように，ICN はキャッシュネットワークであるから，通信ネットワークとしての ICN の性能は，ネットワーク内におけるルータのキャッシュを効率的に利用できるかどうかに依る．このため，ICN において重要であるのは，ルータにおけるキャッシュ制御である「キャッシング戦略」および「キャッシュ置き換え方式」を適切に設計することである [3]．キャッシング戦略は，ルータがコンテンツを中継する時に，当該コンテンツを自身のキャッシュに挿入するかどうかを決定する規則である．一方，キャッシュ置き換え方式は，キャッシュが他のコンテンツによって完全に占有されている場合に，キャッシュから掃き出されるコンテンツを決定するアルゴリズムである．これらのキャッシュ制御に，ユーザのソーシャル性を考慮することができれば，ソーシャル性を指向した ICN の実現につながる．

ユーザのソーシャル性の主要なものは以下のようにまとめられる [2,4].

- ユーザによる情報拡散行動: あるユーザが発信した情報が，ユーザ同士の交友関係 (つまり，ソーシャルネットワーク) を介して，他のユーザに伝搬する．
- 影響力の強いユーザの存在: いわゆる「インフルエンサ」と呼ばれる影響力の強いユーザが発信した情報は，そうでないユーザに比べて，ソーシャルメディア上で拡散されやすい．
- コミュニティ: 性質が似ているユーザらによってコミュニティが形成され，同一のコミュニティに属するユーザらの交友は活発である．

(注1)：本稿を執筆している時点では，正確には X である．

著者らによる研究も含めた従来研究は，上述したソーシャル性の中でも，特に影響力の強いユーザの存在に着眼して，ICN の設計を議論している．これまで，ソーシャル性を指向したキャッシュ制御として，ルータがキャッシュするコンテンツの対象を，全てのコンテンツではなく，影響力の強いユーザが発行したコンテンツのみに制限する，という方式が提案されており，その有効性が明らかにされている [5]．ただし，どのように影響力の強いユーザを決定すればよいか，ということは，文献 [5] において十分に検討されていなかった．このため，我々は，文献 [6,7] において，影響力の強いユーザの選択方法やその割合が ICN のコンテンツキャッシングに及ぼす影響を多面的に分析し，その重要性を，実験的に，かつ数理的に示した．

一方，他の二つのソーシャル性は，主要な特性であるにもかかわらず，我々の知る限り，ICN の設計・制御には十分に活用されておらず，そもそもこれらのソーシャル性を考慮すべきかどうかも明らかにされていない．このような現状の要因は，ソーシャルメディア上のユーザ間によるコンテンツ配送モデルの不完全さにある，と著者らは考えている．不完全な点を具体的に述べると，(i) ユーザはコンテンツの要求と発行を繰り返すのみであり，他のユーザによる情報拡散によって広告されたコンテンツを要求する，ということが表現されていない，(ii) 物理ネットワークを構成する ICN ルータにユーザを収容するときに，収容先となる ICN ルータをランダムに決定しているため，ユーザのコミュニティが失われている．

そこで，本稿では，ユーザによる情報拡散行動とコミュニティに着目し，これらのソーシャル性を考慮した ICN をモデル化するとともに，これらのソーシャル性が ICN のコンテンツキャッシングに及ぼす影響を分析する．ユーザによる情報拡散の程度やコミュニティの保持度を調整するパラメータを様々に変化させながら，コンテンツキャッシングの良さを測る指標である，キャッシュヒット率とコンテンツの配送に要したホップ数をシミュレーションによって計測し，これらの相互作用を調査する．

本稿の貢献を以下にまとめる．

[C1] ソーシャルメディアで観測されるユーザの主要な特性である，情報拡散行動およびコミュニティを考慮した ICN モデルを構築する．

[C2] シミュレーションによって，ユーザによる情報拡散の程度や，コミュニティの保持度が，ICN のコンテンツキャッシングに与える影響を分析する．その結果として，ユーザによる情報拡散行動によってキャッシュの効果が低減するかどうかは，コミュニティの保持度に依存することなどを示す．

本稿の構成は以下の通りである．2 節では，主要なソーシャル性である情報拡散行動とコミュニティを考慮した ICN モデルを記述する．3 節では，これらのソーシャル性が ICN のコンテンツキャッシングに与える影響を，シミュレーションを通して分析する．最後に 4 節では，本稿のまとめと今後の課題を述べる．

2 ソーシャル性を考慮した ICN モデル

本節では，まず，ソーシャルメディア上のユーザ間のやりと

りを，ICN におけるコンテンツ配送としてモデル化する．さらに，既存のユーザ行動モデルを拡張し，ユーザによる情報拡散行動を記述した行動モデルを構築する．

2.1 ネットワークモデル

ICN ネットワーク上のルータに収容されているソーシャルメディア上のユーザ間におけるコンテンツ配送を離散時間システムとしてモデル化する．本システムにおける時刻およびスロット長を t および Δ とそれぞれ表記する．

キャッシュを有する ICN ルータから構成されるネットワークを無向グラフ $G_I = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ として表記する．ICN ルータは，要求およびコンテンツを中継するとともに，キャッシング戦略とキャッシュ置き換え方式に従って，コンテンツをキャッシュする．

ソーシャルメディア上におけるユーザ間の交友関係を表すネットワーク (以降では，単にソーシャルネットワークと表記する．) を有向グラフ $G_S = (\mathcal{U}, \mathcal{L})$ として表記する．有向グラフ G_S 上における辺 (u, v) は，ユーザ u がユーザ v をフォローしていることを意味する．したがって，ユーザ u がフォローしているユーザの集合 $\mathcal{N}_u^+$ は，$\{v \,|\, (u, v), v \in \mathcal{U}\}$ である．逆に，ユーザ u をフォローしているユーザ (いわゆる「フォロワ」である．) の集合 $\mathcal{N}_u^-$ は，$\{v \,|\, (v, u), v \in \mathcal{U}\}$ である．

ユーザが属するコミュニティの集合を $\mathcal{C}$ と表記し，ユーザは，いずれかのコミュニティ $c \in \mathcal{C}$ に属するものとする．本稿では，単純なコミュニティ構造を対象とするため，複数のコミュニティに同時に属さないものとする．つまり，$\bigcup_c c = \mathcal{U}$ かつ $c \bigcap c' \neq \emptyset \forall c, c' (c \neq c') \in \mathcal{C}$ である．

ソーシャルネットワーク上のユーザ $u \in \mathcal{U}$ の収容先となる ICN ルータ $r \in \mathcal{V}$ を，ユーザが属するコミュニティに基づいて，決定する (図 1)．具体的には，まず，コミュニティ単位で収容される ICN ルータを決定し，そのルータに，コミュニティに属する全てのユーザを収容する．その後に，各ユーザを，一定の確率で，ランダムに選択された異なる ICN ルータに転移させる．前者の，コミュニティを単位としたユーザの収容は，ソーシャルネットワーク上において近くに位置するユーザらは，物理ネットワークである ICN ネットワークにおいても，近くに位置している，ということを表現している．一方，後者の確率的なユーザの転移は，コミュニティがどの程度保持されるか，ということを，調整するための操作である．以降では，ユーザ u が収容されている ICN ルータを r_u と表記し，ユーザをルータ間で転移させる確率を「転移確率」と呼ぶ．なお，転移確率がゼロであれば，コミュニティは完全に維持される．一方，転移確率が 1 である場合には，コミュニティは失われ，それは，ユーザをランダムに ICN ルータに収容することに相当する．

ソーシャルネットワーク上のユーザは，コンテンツを発行し，そのコンテンツを他のユーザが要求する．ここで，ユーザ u によるユーザ v への要求は，これらのユーザが収容されているルータ間の経路 $P_{u,v} = (r_u, \ldots, r_v)$ に従って，経路上の ICN ルータを転送されるものとする．また，コンテンツそのものは，要求が転送された経路の逆順を辿って，要求ユーザに返送されるものとする．

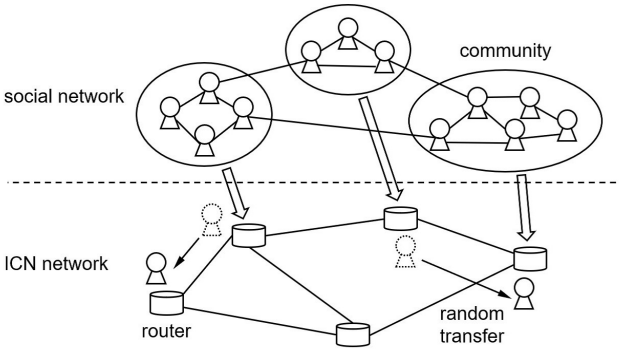


図 1: コミュニティに基づくユーザの ICN ルータへの収容

2.2 ユーザ行動モデル

ソーシャルネットワーク上のユーザの行動モデルとして，[8] で提案されている行動モデルに，ユーザによる情報拡散行動 (例えば，Twitter におけるリツイートに相当する．) を導入したものを用いる．ユーザ行動モデル [8] では，ユーザは以下のように振る舞う; (i) セッションを開始する; (ii) そのセッション内において，フォローしているユーザが発行したコンテンツを閲覧する，もしくは，自身が新たにコンテンツを発行する; (iii) 一定の間隔を空けながら (ii) を繰り返した後に，セッションを終了する; (iv) (i) ～ (iii) を，一定の間隔を空けながらセッション単位で繰り返す．本稿では，(ii) における行動を以下のように拡張する．以降では，時刻 t におけるユーザ $u \in \mathcal{U}$ の行動に着目し説明する．

- 要求

ユーザ u は，まず，自身がフォローしているユーザ $v \in \mathcal{N}_u^+$ が最後に発行したコンテンツを要求する．同時に，自身がフォローしているユーザによって広告されたコンテンツも要求する．ユーザ u が前回に要求を行った時刻を t_{prev} と表記すれば，ユーザ u は，$(t_{\mathrm{prev}} : t)$ の間に自身に広告されたコンテンツを，その発行ユーザに要求する．ただし，異なるユーザから同一コンテンツを広告された場合には，当該ユーザへのコンテンツ要求は単一なものに集約するものとする．

ユーザ u は，コンテンツを取得した後に，次に述べる「広告」行動に遷移する．

- 広告

ユーザ u は，自身をフォローしているユーザ $\mathcal{N}_u^-$ に，確率 p_u で，コンテンツを広告する．これは，IC (Independent Cascade) モデル [9] を参考にしている．

- 発行

ユーザ u は新たにコンテンツを発行する．

3 シミュレーション

本節では，ユーザのソーシャル性である情報拡散行動とコミュニティが ICN のコンテンツキャッシングに与える影響を調査する手法を説明し，シミュレーションによって得られた結果

からこれらの影響を議論する．

3.1 手　　法

ICN ネットワーク G_I は，ER (Erdös-Rényi) モデル [10] によって生成したランダムグラフを用いた．ICN ネットワークのノード数 (ルータ数) は 25 であり，平均次数は 3 である．ICN ネットワークにおいて，要求およびコンテンツが転送されるルータ間の経路は，最短経路とした．

また，ソーシャルメディア上のユーザの交友関係を表すソーシャルネットワーク G_S は，コミュニティ構造を有するスケールフリーネットワークを生成するモデルである，Li-Maini モデル [11] によって，生成した．ソーシャルネットワークのノード数 (ユーザ数) は 1,000 であり，平均次数は 12 である．ICN ネットワークにおけるルータ数と，ソーシャルネットワークのコミュニティ数とを等しくさせるため，Li-Maini モデルに与えるパラメータであるコミュニティ数 M を 25 とした．その他のパラメータは次の通りである; $(t, m_0, m, \alpha, n) = (850, 6, 6, 0.05, 1)$. これらの記号の定義は文献 [11] を参照されたい．

2 節で記述したように，ソーシャルネットワークにおけるユーザをコミュニティ単位で収容し，その後に，転移確率に従って，ユーザを他のルータに転移させた．本シミュレーションでは，コミュニティ数と ICN のルータ数が等しいため，コミュニティと ICN のルータとを一対一で対応付けた．

ソーシャルネットワーク上のユーザは，2 節で記述したユーザ行動モデルに従って，コンテンツの要求・広告・発行を行う．本稿では，ユーザ u がコンテンツを広告する確率 p_u を，ユーザに依らず，0 ～ 0.1 で変化させた．

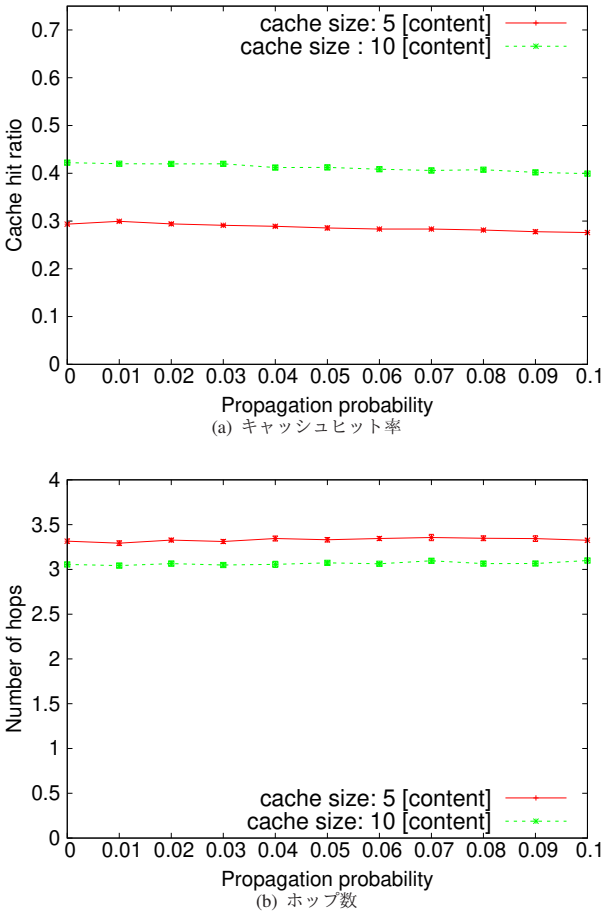
ICN ルータにおけるキャッシュの設定は次の通りである．まず，キャッシュの大きさは 5 [content] もしくは 10 [content] とした．キャッシング戦略として，典型的な LCE (Leave Copy Everywhere) [12] を用いた．LCE に従うルータは受信したコンテンツを一律にキャッシュする．また，キャッシュ置き換え方式として LRU (Least-Recently Used) を使用した．LRU は，キャッシュに存在するコンテンツの中から，参照されたのが最も古いコンテンツを掃き出す，というアルゴリズムである．

性能指標として，キャッシュヒット率およびコンテンツの配送に要したホップ数を用いた．キャッシュヒット率は，ユーザが発行したコンテンツ要求のうち，対応するコンテンツが経路上のルータのキャッシュから返送された割合である．また，コンテンツの配送に要したホップ数は，要求ユーザが収容されている ICN ルータから，コンテンツを返送する ICN ルータ (経路上の ICN ルータ，もしくはコンテンツを発行したユーザが収容されている ICN ルータ) までの経路の長さである．

我々が開発した ICNSIM (ICN SIMulator) を利用し，与えられた条件下において，100,000 [slot] の試行を 10 回繰り返したときの，各性能指標の平均と 95% 信頼区間を求めた．

3.2 結　　果

まず，ユーザの情報拡散行動によって，キャッシュヒット率とホップ数がどのような影響を受けるのかを確認する．図 2 に，拡散確率を 0 ～ 0.1 で変化させたときの，キャッシュヒット率およびホップ数を，示す．図中には，ICN ルータにおけるキャッシュの大きさが 5 [content] である場合の結果と，10 [content] である場合の結果を示している．ここでは，ユーザによる情報拡散に焦点を当てるため，ユーザをランダムに ICN ルータに収容することで，(つまり，転移確率を 1 とすることで，) コミュニティによる影響を除外している．

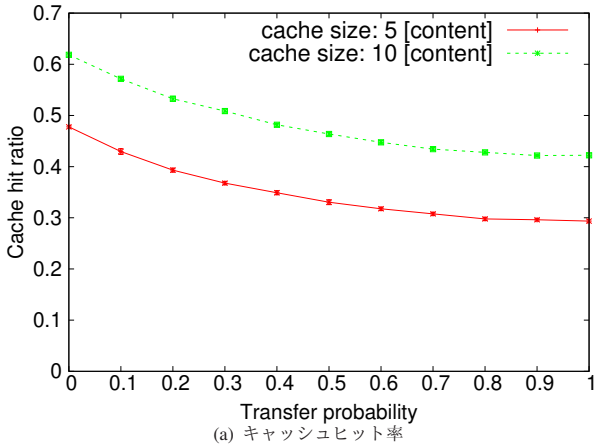


(a) キャッシュヒット率

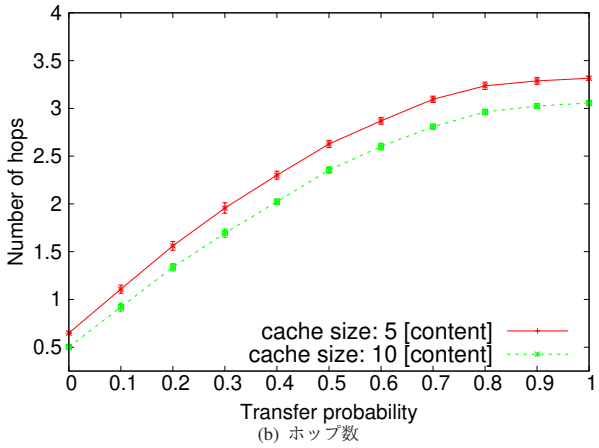
(b) ホップ数

図 2: ユーザによる情報拡散が与える影響

これらの結果から，ユーザによってコンテンツが広告されたとしても，キャッシュヒット率とホップ数はわずかに劣化しているだけであり，ほとんど影響を受けていない，ということがわかる．直感的には，情報拡散行動によってコンテンツが広告されると，ネットワーク内にはより多様なコンテンツが転送されるため，ICN ルータにおけるキャッシュの効果は低減すると考えられる．というのも，ユーザは，ソーシャルネットワーク上で自身に隣接するユーザが発行したコンテンツだけでなく，隣接ユーザによって広告されたコンテンツも要求するためである．このような (著者らの) 直感に反した結果となっている理由は，コンテンツ要求の時間的な連続性に由来する．より詳細に説明すると，まず，本稿でのユーザ行動モデルは，あるユーザが，コンテンツを取得した直後に，その隣接ユーザに確率的にコンテンツを広告し，広告を受けたユーザは，そのコンテンツを要求する，というものである．ここで，ユーザが広告した時刻から広告を受けたユーザが実際にコンテンツを要求する時刻までの間隔が短ければ，依然とネットワーク内の ICN ルータに当該コンテンツがキャッシュされている可能性は高い．その結

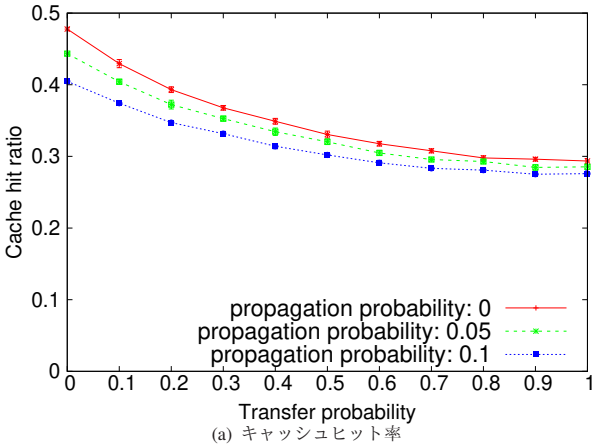


(a) キャッシュヒット率

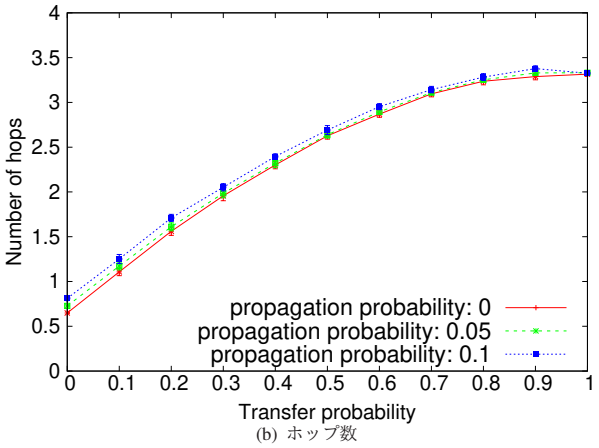


(b) ホップ数

図 3: コミュニティの保持度が与える影響



(a) キャッシュヒット率



(b) ホップ数

図 4: 情報拡散度およびコミュニティの保持度とコンテンツキャッシングとの相互作用

果として，広告を受けたユーザは ICN ルータのキャッシュからコンテンツを取得できるため，キャッシュの性能は劣化しない．

次に，ユーザのコミュニティを保持したまま ICN ルータに収容することの影響を確認する．図 3 に，コミュニティの保持度を表す転移確率を変化させたときの，キャッシュヒット率およびホップ数を，示す．図中には，図 2 と同様に，ICN ルータにおけるキャッシュの大きさを変化させたときの結果を示している．なお，拡散確率をゼロとすることで，ユーザによる情報拡散行動は無効としている．

これらの結果から，コミュニティを保持するかどうかに応じて，キャッシュヒット率と，コンテンツ配送に要したホップ数が，大きく異なることがわかる．コミュニティを保持したままユーザを収容すると，つまり，転移確率をゼロとすると，同一ルータに収容されているユーザ間でのコンテンツの配送が支配的になるため，キャッシュの利用効率が高まり，コンテンツ配送に要するホップ数も小さい．そして，転移確率が増大するにつれ，コミュニティが失われることを意味するため，この傾向は弱まる．キャッシュヒット率およびホップ数は転移確率に大きく左右されていることから，ソーシャル性としてコミュニティを考慮することの重要性を示唆している．

最後に，ユーザによる情報拡散行動とコミュニティの両方を考慮した場合の結果を考察する．図 4 に，転移確率を変化させたときの，キャッシュヒット率およびホップ数を示す．図中には，これまでの結果とは異なり，拡散確率を変化させたときの結果を示している．ここでは，ICN ルータにおけるキャッシュの大きさは 5 [content] としている．なお，この場合 (図 4) の傾向と，キャッシュの大きさが 10 [content] である場合の傾向は，同様であった．

これらの結果から，コミュニティが保持されている方が，キャッシュヒット率とホップ数は情報拡散による影響を受けやすいことがわかる．特に，図 2 に対する考察において，情報拡散行動が発生したとしても，キャッシュの効果はほとんど低減しない，と述べたが，コミュニティが保持されている場合には，キャッシュの効果が低減している．これは，ユーザによる広告が全く発生しない場合には，ユーザによるやりとりはコミュニティ内でのものが中心となるが，広告が発生する場合には，異なるコミュニティに属するユーザ間でのやりとりも発生するためである．

4 まとめと今後の課題

本稿では，ソーシャルメディア上のユーザが有するソーシャル性として，情報拡散行動およびコミュニティに着目し，これらのソーシャル性を考慮した ICN をモデル化した．さらに，シミュレーションによって，ユーザによる情報拡散の程度やコミュニティの保持度を調整するパラメータを様々に変化させな

がら，キャッシュヒット率およびコンテンツの配送に要したホップ数を計測し，情報拡散行動およびコミュニティがコンテンツキャッシングに与える影響を分析した．その結果として，(i) コミュニティが失われている場合には，ユーザがコンテンツを広告したとしても，ICN ルータにおけるキャッシュの効果はほとんど影響を受けないものの，コミュニティが保持されている場合には，キャッシュヒット率およびホップ数は劣化する．(ii) コミュニティの保持度に，キャッシュヒット率およびホップ数は大きく作用されることなどがわかった．

今後の課題として，本稿で記述したモデルの妥当性を検証するとともに，モデルで用いる妥当なパラメータの設定を検討することが挙げられる．特に，コミュニティを単位としてユーザを収容し，一定の確率でユーザの収容先を転移させる，というモデルが，現実のネットワークにおけるユーザの収容方法を適切に表現できているかを検証する必要がある．さらに，ICN におけるコンテンツキャッシングは，コミュニティをどの程度保持するかどうかに大きく影響を受けるため，この保持度を調整するパラメータである転移確率の妥当な値を検討することも重要である．

謝　　辞

本研究の一部は JSPS 科研費 21H03436 および 21H03437 の助成を受けたものである．

文　　献

[1] G. Xylomenos *et al.*, “A survey of information-centric networking research,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 2, pp. 1024–1049, 2014. 2

[2] S. Tsugawa, “A survey of social network analysis techniques and their applications to socially aware networking,” *IEICE Transactions on Communications*, vol. E102–B, pp. 17–39, Jan. 2019. 2

[3] M. Zhang, H. Luo, and H. Zhang, “A survey of caching mechanisms in information-centric networking,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 3, pp. 1473–1499, 2015. 2

[4] F. Xia, L. Liu, J. Li, J. Ma, and A. V. Vasilakos, “Socially aware networking: A survey,” *IEEE Systems Journal*, vol. 9, pp. 904–921, Sept. 2015. 2

[5] C. Bernardini, T. Silverston, and O. Festor, “Socially-aware caching strategy for content centric networking,” in *Proceedings of the 2014 IFIP Networking Conference*, pp. 1–6, June 2014. 2

[6] 本田 紘大, 中村 遼, 上山 憲昭, “ソーシャル性を考慮した情報指向ネットワークの特性分析,” 電子情報通信学会技術研究報告 *(IA2021-64)*, pp. 31–36, Mar. 2022. 2

[7] K. Honda, R. Nakamura, and N. Kamiyama, “Characteristic analysis of socially-aware information-centric networking,” in *Proceedings of the 36th IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS 2023)*, pp. 1–5, May 2023. 2

[8] F. Benevenuto, T. Rodrigues, M. Cha, and V. Almeida, “Characterizing user behavior in online social networks,” in *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (IMC 2009)*, pp. 49–62, Nov. 2009. 3

[9] D. Kempe, J. Kleinberg, and É. Tardos, “Maximizing the spread of influence through a social network,” in *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (SIGKDD 2003)*, pp. 137–146, Aug. 2003. 3

[10] P. Erdös and A. Rényi, “On random graphs I.,” *Mathematicae*, vol. 6, pp. 290–297, Nov. 1959. 4

[11] C. Li and P. K. Maini, “An evolving network model with community structure,” *Journal of Physics A: Mathematical and General*, vol. 38, pp. 9741–9749, Oct. 2005. 4

[12] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, “Networking named content,” in *Proceedings of the 5th International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies (CoNEXT 2009)*, pp. 1–12, Dec. 2009. 4