

社会ネットワークにおけるハブユーザ探索範囲の検討

本村 昭太郎[†] 刈谷 博和[†] 渡部 康平[†] 会田 雅樹[†]

[†] 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科

〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

E-mail: [†]{motomura-shotaro,kariya-hirokazu,watabe-kouhei,maida}@sd.tmu.ac.jp

あらまし 通信サービス市場の競争が激化している昨今、企業が新しい通信サービスを世に送り出すとき、短期間でサービスを普及させることは重要な課題である。なぜなら、低コストでサービスを軌道に乗せることに繋がるからである。我々はこれまで、携帯電話のトラフィック量やSNSのユーザ数のデータに現れるべき乗則から、人間の情報交換関係に関する社会ネットワークの構造を明らかにしてきた。その結果、社会ネットワークにはハブユーザと呼ばれる情報伝搬速度に強い影響を持つユーザが存在することがわかり、マーケティングへの応用上重要性が高いと期待できる。本稿ではこの点に着目し、通信サービスの初期状態として最初に参加するユーザの次数の大小が、情報伝搬速度に与える影響を定量的に評価する。さらに、新たなハブユーザ探索モデルを提案し、ネットワーク内に存在するハブユーザの効果的な探索範囲を理論的に示す。また、同様のモデルをシミュレーションを用いて分析し、理論的な考察の妥当性を考察する。

キーワード スケールフリーネットワーク、次数、ハブユーザ

Range of Hub User Search in Social Networks

Shotaro MOTOMURA[†], Hirokazu KARIYA[†], Ichiro TSHUSIN[†], and Masaki AIDA[†]

[†] Graduate of System Design, Tokyo Metropolitan University

Asahigaoka 6-6, Hino-shi, Tokyo, 191-0065 Japan

E-mail: [†]{motomura-shotaro,kariya-hirokazu,watabe-kouhei,maida}@sd.tmu.ac.jp

Abstract Recently, the competition for the communication service market has intensified. It can be said that spreading it in a short term when the enterprise sends off a new product and the communication service to the world is important because it connects with orbiting in service low-cost as the management strategy of the enterprise. In our previous work, the structure of a social network concerning behaviors of information exchange between pairs of users from various data (amount of the traffic and SNS users). There is importance hub user that it has an effect on entire network. In this paper, the effect that degree gives transmitting velocity is evaluated. we propose a new hub user search model, and theoretically show the range of search to the hub user in social networks. Moreover, the similar model is analyzed by the simulation, and validity is verified.

Key words scale-free network, degree, hub user

1. はじめに

近年、現実存在する様々なネットワークの構造がさかんに研究されており、異なる種類のネットワークでも共通して観測される性質が明らかにされていて、スケールフリーネットワークと呼ばれている [1] [2]. スケールフリーネットワークの例として、人と人との繋がりをあらわすネットワーク (社会ネットワーク) が挙げられる。自分の知り合いのなかで、非常に社交的で顔の広い人が一人ないしは二人は存在する。さらにそうい

う人たちはお互い顔見知りであることも多く、そういう人をうまく辿っていくことで関係が遠いと思われる人に意外に少ないホップでも辿り着くことができる。このようにスケールフリーネットワーク構造にはスモールワールドと呼ばれる性質があることが明らかになっている。その他にも、ハリウッドの俳優で共演したもの同士を結んでできるネットワークや、学術論文を共著したことのある研究者同士を結ぶネットワークなどにおいてもスケールフリーの性質が見られる [3]. しかしながら、大規模な社会ネットワーク (例えば日本人全体の社会ネットワー

ク)は、コストや時間、プライバシーなどの問題があるため、個人の交友関係を調べることが困難であり、社会ネットワーク構造を直接観測することができない。文献[4][5]ではこの問題を克服するため、携帯電話端末によるデータ通信サービスのトラフィック量やソーシャルネットワーキングサービス(SNS)のユーザ数の経時変化、コンピュータウィルスの感染過程などの通信ネットワークに関するデータに見られるべき乗則を利用して、それらの通信データの背後にある普遍的な社会ネットワーク構造を明らかにした。この方法の特徴は以下のとおりである。分析に用いる通信サービスに固有のデータはそれ自体では社会ネットワーク構造の全体像を示すものではない。しかし、それらのデータを相補的に組み合わせることで、通信サービスの背後にある共通で普遍的な社会ネットワーク構造を浮き彫りにするものである。

本研究では、上記分析により明らかとなった社会ネットワークモデルやユーザ間の通信頻度を前提として、クチコミによるマーケティングへの応用技術を検討する。具体的には、次数の大きいハブユーザの重要性を定量的に評価する。また、人からの紹介によってハブユーザを紹介してもらう場合の、効率的な探索範囲について検討する。本稿ではまず、既存ユーザからの招待によって新規ユーザが加入する、初期のmixiのような「招待加入型」の通信サービスを対象とし、サービス開始時の初期ユーザの次数の大小によって、その後のユーザ数の増加速度にどのような影響を与えるかを定量的に評価する。これは、初期ユーザの次数の違いによる情報伝搬速度の特性を調べていることになる。さらに、新たなハブユーザ探索モデルを提案し、ネットワーク内に存在するハブユーザへの探索範囲を解析的に示す。また、同様のモデルを、シミュレーションを用いて分析し、解析的な検証の妥当性を示す。

2. 通信ネットワークデータから見た社会ネットワーク特性

本節では、社会ネットワークの特性を利用したマーケティング技術を検討していく前提として、まず文献[4]により行われた通信データの分析に従い、社会ネットワークが持つ性質をまとめる。

ネットワークの構造自体に関する性質は以下のとおりである。

- 社会ネットワークの次数分布 $p(k)$ は次数 k に対して

$$p(k) \propto k^{-4} \quad (1)$$

となるスケールフリーネットワーク^(注1)である。

- 社会ネットワークのユーザを次数の大きい順に n 人選んだとき、選ばれたユーザが持つ全リンクのうちで、選ばれた

(注1)：ネットワークがスケールフリーであるとは、次数分布が

$$p(k) \propto k^{-\gamma}$$

となることを言う。ここで、 k はユーザの次数、 $p(k)$ は次数 k を持つユーザの割合、 $\gamma > 0$ は定数である。

ユーザ同士を結ぶリンク数の割合 $c(n)$ を次数比率と呼ぶ。社会ネットワークでは次数比率が

$$c(n) \propto n \quad (2)$$

となる。この性質は、社会ネットワークにおける人間同士の次数の大小による偏りがほとんどない社会ネットワーク構造を持つことを示している。

ユーザ間の通信頻度に関する性質は以下のとおりである[6]。 N 人のユーザからなる社会ネットワークに対し、次数の大きい順に n 人のユーザを選んで誘導部分グラフを構成する。このとき、誘導部分グラフのユーザ i, j 間の通信頻度は、次数比率 $c(n)$ と、ユーザ i, j それぞれの次数 $D(i), D(j)$ を用いて記述すると

$$(\text{リンク通信頻度}) \propto c(n)^{2/3} (D(i)D(j)) \quad (3)$$

となる。これを「招待加入型」のモデルに適用することを考える。招待に関する通信は、通信サービスの中での通信ではなく、その背後にあるネットワークにおける情報交換である。つまり誘導部分グラフの中の情報交換ではなく、 N 人のユーザからなるネットワークでの情報交換である。このことから、 $c(N) = 1$ となり、「招待加入型」モデルのリンク通信頻度は

$$(\text{リンク通信頻度}) \propto (D(i)D(j)) \quad (4)$$

となる。

3. 社会ネットワークの再現

本節では、文献[5][7]に基づき、前節で導かれた人間関係の構造を適用したネットワークモデルを生成する方法について述べる。

社会ネットワーク生成法としてまず、ネットワークサイズを決定する。ネットワークサイズの数だけノードを生成し、式(1)の次数分布に従うようにリンクを持たせる。この状態ではノードから出ているリンクは相手ノードにつながっていない。次に次数比率 $c(n)$ の条件を満たすリンクの繋ぎ方を考える。 $c(n)$ は、次数が大きい順に n 人のユーザを選んだときに、選んだユーザ間に何本のリンクが張っているかによって決まるため、 $c(n)$ の条件を満たすようリンクを繋いでいけば良いここで、リンクの接続関係を決定していくために、参照関数 $f(n)$ を導入する。参照関数 $f(n)$ はリンクを何本張るかを決定するもので、 $c(n)$ と比較しながらリンクの接続を考えていく。参照関数 $f(n)$ はネットワークサイズを N としたとき、

$$f(n) = \left(\frac{n-1}{N-1} \right) \quad (5)$$

とする。これは、式(2)を満たすネットワークを生成するために $c(n)$ の値が満たすべき値になるように決めたもので、生成したネットワークの $c(n)$ を $f(n)$ の値と比較しながらリンクの接続を決定していく。

以上のネットワーク生成手順のアルゴリズムの動作をまとめ

ると次のようになる。

step1 ユーザの次数を $\gamma = 4$ のべき分布に従うように決定する。

step2 最も次数の大きいユーザを選択し、以下の処理を行う。

- (a) 接続先の決まっていないリンクを一本選び、現在選択されているユーザから接続されていないユーザのうち、接続先の決まっていないリンクを持つユーザをランダムに選び、リンクを繋げる。接続先の決まっていないリンクが無ければ step 3 に進む。
- (b) $c(n)$ を計算し $f(n)$ と比較する。
- (c) $c(n) < f(n)$ ならば (a) に進む。 $c(n) \geq f(n)$ ならば step 3 に進む。

step3 現在選択されているユーザの次に次数の高いユーザを新たに選択し、(a) に進む。選択すべきユーザが無ければ終了する。

この方法を用いて社会ネットワーク再現モデルを生成する。

4. 初期ユーザの次数がサービス普及速度に与える影響

本節では、上記ネットワークモデルを用いて通信サービス普及特性を評価する。文献[8]では同じ目的の評価を行っているが、初期ユーザの数をネットワークの規模に対して多く設定しているため、次数以外の影響が排除されずに残ってしまっているという問題があり、適切な評価となっていない。本評価ではそれを解決するために初期ユーザの数を1とすることによって、適切な初期条件を用いて社会ネットワーク上の情報伝搬シミュレーションを行い、次数がサービス普及速度に与える影響を定量的に評価する。

4.1 対象となる通信サービス普及モデル

検討対象とする通信サービスは、社会ネットワーク構造の特性が通信サービスの普及過程に直接影響を与えるようなサービスに限定する。具体的には、「招待加入型」の特性を持つモデルのサービスである。招待加入型のサービスでは、新規ユーザの加入がユーザの社会ネットワーク構造に強く依存し、社会ネットワーク構造の特性が通信サービスの普及過程に直接影響を与えるようなモデルとなっている。

4.2 初期ユーザの次数が情報伝搬速度に与える影響の評価

初期ユーザの次数の大きさが情報伝搬速度に与える影響を、シミュレーションを用いて評価する。このシミュレーションモデルは、招待加入型のサービスモデルを再現しており、ユーザ間の通信頻度は式(4)で与えられ、両端ユーザ i, j の次数をそれぞれ k_i, k_j としたとき、その積に比例したパラメータ $\lambda \propto k_i \cdot k_j$ の指数分布で決まる時間間隔で、通信が生起するものとする。通信が生起されると、リンクを介して通信相手のユーザに情報が伝わっていくとし、ここでの情報の伝搬を「新サービスに加入すること」と解釈している。シミュレーションで用いるネットワークのサイズは100,000とする。

初期条件(初期ユーザの選択)については以下の二つのパターンからシミュレーションを開始する。

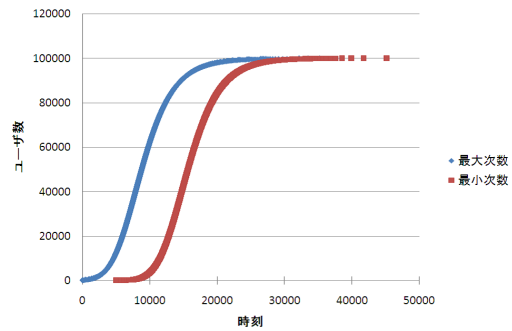


図1 ユーザ数の経時変化

● 最大次数ユーザ

ネットワークに存在するユーザのうち次数が一番大きいユーザを1人を選択する。

● 最小次数ユーザ

ネットワークに存在する次数の一番小さいユーザのうちランダムに1人を選択する。

このシミュレーションでは、初期状態で情報を与えるユーザを1人とし、初期ユーザの次数の違いがその後の普及速度に与える影響を評価する。図1は上記二つのパターンから始めたユーザ数の経時変化を表しており、シミュレーションを各パターン20回実施したデータの平均を表示している。平均をとることにより、多数の選択肢のある、最小次数から始める情報伝搬モデルにおいて、初期ユーザの選び方による確率的影響を除去することができる。横軸は経過時間、縦軸はサービス加入者数で表示している。ネットワーク内に存在する最大次数ユーザから始める情報伝搬モデルでは、初期加入期間において早い段階で多くユーザが加入し、加入者数が立ち上がるまでの時間が短いことがわかる。最小次数ユーザから情報伝搬を始めたモデルでは、同期間でのユーザの加入に時間がかかり、加入者数が立ち上がるまでに長くかかることがわかる。

伝搬の速さを特徴付けるのはハブユーザの存在であると考えることができる。なぜなら、最小次数から情報伝搬を始めたモデルにおいて、情報がハブユーザに到達後の挙動は、最大次数であるハブユーザから伝搬を始めたモデルと同じ挙動を示しているからである。このことから、特に初期加入期間でハブユーザが加入することで、短期間にユーザを増やす事に繋がると考えられる。

4.3 結果の妥当性検証

ここでは結果の妥当性について検証を行う。招待加入型の通信サービスでは、ユーザの加入順序は次数の高い順であり、またサービス開始からの経過時間 t でのユーザ数を $m(t)$ としたとき、サービス開始の直後を除いた初期加入期間において

$$m(t) \propto t^3 \quad (6)$$

のようにユーザの加入者数が時間の3乗に比例するということがわかっている[4]。そこで、図1が式(6)に従うかを評価するために、図1の結果を両軸対数で表示し、傾き3の直線を添え

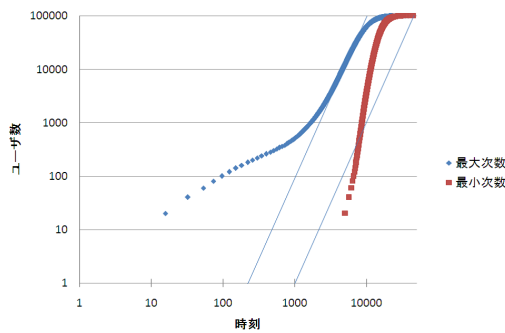


図2 両対数表示によるユーザ数の経時変化

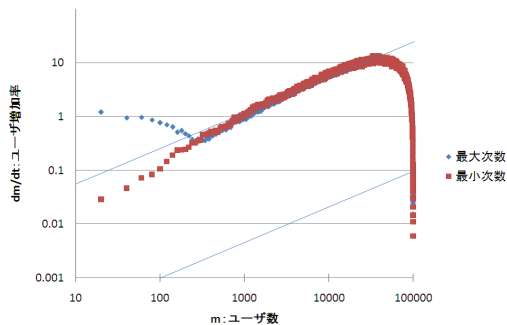


図3 ユーザ増加率に対するユーザ数の変化

たものが図2である。最大次数のユーザから始めたモデルにおいては、サービス開始直後を除く初期加入期間において、傾き3の直線と一致していることから、式(6)に従っていることがわかる。しかしながら、最小次数のユーザから始めたモデルにおいては、傾き3の直線から大きくずれ、式(6)に従っていないことがわかる。

mixiの分析では、次数の大きい順に加入が起きることが分かっているが、最小次数ユーザを初期ユーザとした実験はこの条件を満たしていない。そのため、最小次数の実験は式(6)の振舞いと一致しない。しかし、最小次数から開始した場合でも、いつかはハブユーザに到達し、その後はハブユーザから開始した場合と同様のサービス普及特性が見られるはずである。そこで、ハブユーザに到達する時間に左右されずに検証する方法を考える。式(6)より、招待加入型サービスのユーザの増加率は

$$\frac{dm(t)}{dt} \propto t^2 \quad (7)$$

となり、さらに、ユーザの増加率を t を陽に含まないように $m(t)$ の関数として書くと、

$$\frac{dm}{dt} \propto m^{2/3} \quad (8)$$

とすることができる。この式を利用して比較を行うことで初期条件に依存しない検証を行うことにする。

結果が図3である。横軸にユーザ数 m 、縦軸にユーザの増加率 dm/dt とし、両軸対数で傾き $2/3$ の直線を添えて表示してある。最大次数、最小次数から始めた両モデルとも傾きが $2/3$ の直線に従うことがわかる。このことから、情報伝搬速度の効果を表した図1で得られた結果と考察が妥当なものであったと

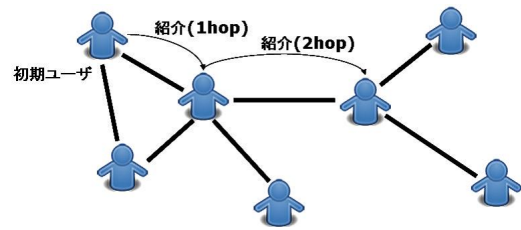


図4 最大次数ホップモデルの例

言える。

5. ハブユーザ探索モデルの提案

前節において、次数の大きいハブユーザが情報伝搬速度に与える影響が非常に大きいことが観測できた。そこで、本節では、ハブユーザを見つけるための新たな探索モデルとモデルの理論式を提案し、ハブユーザの適切な探索範囲を理論的に検証する[9]。

5.1 最大次数ユーザを紹介するモデル

ネットワーク上に存在するハブユーザの限定的な探索範囲を理論的に記述するために、対象とする探索モデルを述べる。これは、ユーザにハブユーザ（知り合いの多いユーザ）の紹介を依頼することでハブユーザを探索する方法である。まず、ある社会ネットワーク上でランダムに初期ユーザを選択する。次に、初期ユーザとリンクを介して繋がれているユーザのうち次数の一番大きいユーザにホップをする。これが初期に選んだユーザから、友人の多いユーザを紹介してもらったことに対応する。図4で小規模の単純なネットワークで例を挙げ、一連のプロセスの概要を図示した。この一連の動作を1 hop とする。2 hop 目も同様に、1 hop 目で選ばれたユーザとリンクを介して繋がれているユーザのうち、次数の一番大きいユーザにホップする。 n hop 目で選ばれたユーザとリンクを介して繋がれているユーザのうち、次数が一番大きいユーザが一つ前のユーザである場合は一つ前のユーザに戻る事を可能とする。このモデルは、ネットワークからランダムにユーザを選び、そこから最も友人の多い人を紹介してもらう戦略を想定したものである。最大次数にホップする理論的な次数分布を考察することから、ハブユーザを効率的に探し当てるための有効な探索範囲 (hop 数) を検討する。

5.2 提案モデルの理論式と評価

ネットワークからランダムにユーザを選び、そこから最も友人の多い人を紹介してもらう戦略を考えると、 n hop 目の理論的な次数分布を考察し、その結果からハブユーザの探索範囲を考察する。 $(n-1)$ hop 目のユーザの次数分布を $p_{n-1}(k)$ とすると、その隣のユーザの次数分布 $q_n(k)$ は

$$q_n(k) = \frac{k \cdot p_{n-1}(k)}{\sum_{\ell=1}^{\infty} \ell \cdot p_{n-1}(\ell)} \quad (9)$$

となる。次に、 $p_n(k)$ は、 $(n-1)$ hop 目の次数分布とそこに隣接するユーザ次数の最大値が k である確率を考慮することで

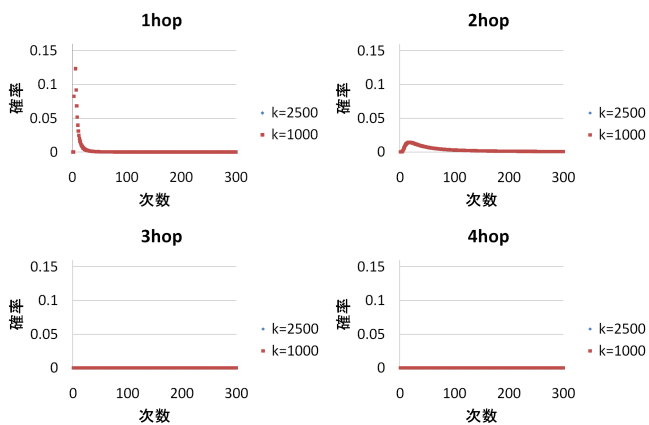


図 5 最大次数に hop する理論的な次数分布

$$p_n(k) = \sum_{\ell=1}^{\infty} p_{n-1}(\ell) \left\{ \left(\sum_{i=1}^k q_n(i) \right)^{\ell} - \left(\sum_{i=1}^{k-1} q_n(i) \right)^{\ell} \right\} \quad (10)$$

となる。初期ユーザについてはネットワークからランダムに選ぶため、 $p_0(k)$ は式 (1) となる。

図 5 は式 (1) の社会ネットワークに対し、次数分布 (10) を hop 毎にグラフ化したものである。横軸は次数、縦軸はその次数が存在する確率を表示している。実際のネットワークでは、すべてのユーザと繋がっているユーザの存在は考えにくい、次数分布 (10) では次数の上限値を無限としている。これは、ネットワークサイズが無尽大であることに対応する。ここで、数値計算を行う上で無限を取り扱う事ができないことから、次数の上限値として有限の値を用いて検証を行った。次数の上限値は $k = 1000$, $k = 2500$ を用い、図 5 の結果が上限値の違いに依らないことから、上限値の値が分布に影響を与えないことを確認した。

1 hop 目では初期分布である式 (1) に比べ、次数の大きいユーザにホップしているものの、ほとんどのユーザがまだ最低次数 3 近辺に存在している。2 hop 目では最低次数 3 近辺のユーザの数が減り、幾分次数の大きいユーザにホップしていることが確認できる。3 hop 目以降に関しては平均次数が発散していることが観測できた。従って次数の大きいユーザに到達していると考察できる。この事から、両上限値ともに少なくとも最大次数を 3 hop 辿る事でハブユーザに到達するといった結果が得られた。

6. ハブユーザ探索モデルのシミュレーション

前節において、社会ネットワークにおける最大次数をホップするモデルを理論的に検証を行った。この検証から、ホップ毎の平均次数が上がり 3 hop 目以降では平均次数が発散することを観測した。本節では、前節と同様のモデルを 3 節で生成した社会ネットワークシミュレーションを用いて検証を行う。

図 6 は、図 5 と同様に横軸を次数、縦軸をその次数が存在する確率で表示している。左上が 1 hop 目の次数分布、右上が 2 hop 目、左下が 3 hop 目、右下が 4 hop 目である。ネット

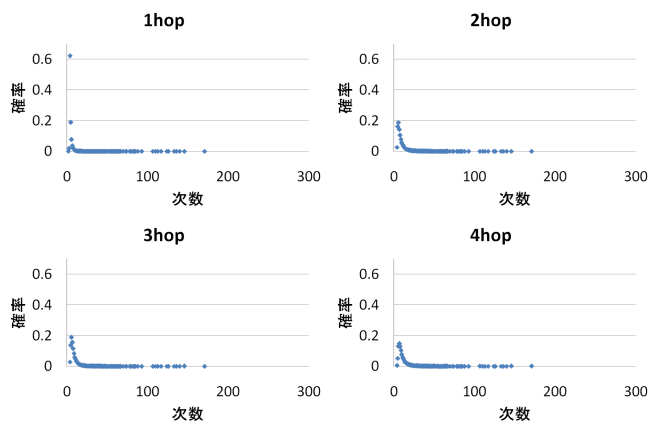


図 6 最大次数に hop するシミュレーション結果: NW size = 500,000

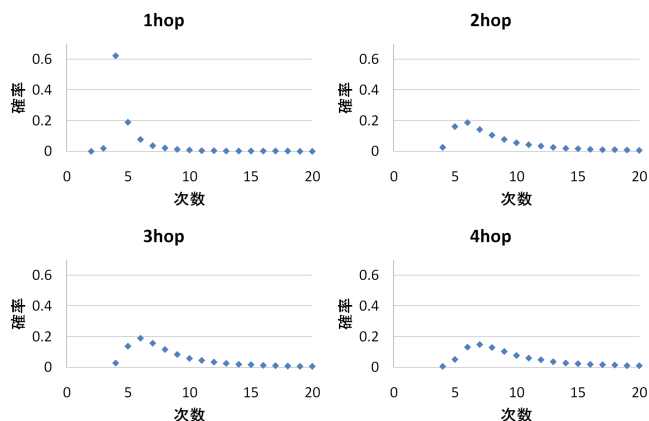


図 7 最大次数に hop するシミュレーション結果 (拡大図)

ワークサイズは 500,000 でシミュレーションを行ったものである。シミュレーションの結果より 1 hop 目から 4 hop 目まで通して、次数の大きいユーザに移動しているということは、図の概形からは読み取ることができない。そこで図 7 では、図 6 の横軸の次数を、0 から 20 の区間で拡大表示した。すると hop を重ねることで、多少ではあるが次数の大きいユーザに到達している事が観測できる。

この結果、シミュレーションに用いるネットワークサイズは有限なので、前節の理論的な評価に現れるような平均次数が発散する挙動は観測されない。しかしながら hop 数が増えると次数の高いユーザに到達する傾向は読み取ることができる。この結果を踏まえ、hop 毎の平均次数による検証を行うことで、ハブユーザに効率的に探索することができる hop 数の範囲を示す。

図 8 は hop 毎の平均次数を表した図である。横軸が hop 数、縦軸が平均次数を表示している。結果を見てわかる通り、1 hop 目、2 hop 目と平均次数を伸ばしている。選ばれたユーザとリンクを介して繋がれているユーザのうち、次数が一番大きいユーザが 1 hop 前のユーザである場合は、一つ前のユーザに戻る事を可能としていたので、戻りを繰り返し平均次数が振動する。振動を防止するために、戻ることが不可能なシミュレーションで確認を行った結果が図 9 である。図 8, 9 から観測できる通り社会ネットワーク上での最大次数をホップするシミュ

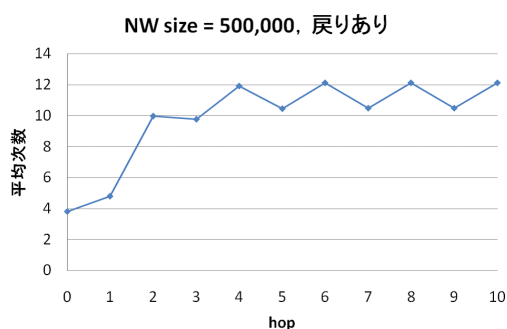


図 8 hop 毎の平均度数

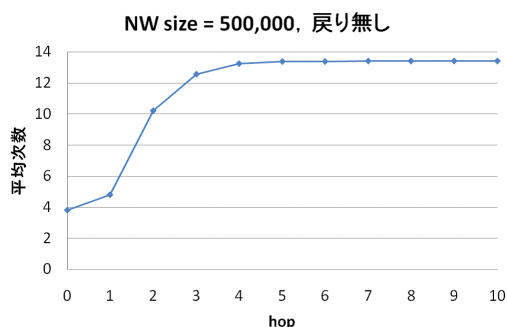


図 9 hop 毎の平均度数 (戻りなし)

レーションでは、少なくとも 3~4 hop 以上探しても、平均度数であり効果がでないことがわかる。

7. おわりに

本研究では、これまでの検討で明らかとなった社会ネットワークモデルやリンク通信頻度を用いて、マーケティング戦略への応用技術に結び付けることを目的としている。まず、次数の大小が情報伝搬速度、即ちユーザ数の加入速度に与える影響がどれほどであるかを評価した。その結果として、初期加入期間における情報伝搬速度は、次数の大きいユーザから始めることで非常に速く、また次数の小さいユーザから始めたモデルにおいても、情報の伝播が進みハブユーザが加入することで、ユーザの加入速度は一気に加速した。このことから、情報伝搬速度を特徴付けるのはハブユーザの存在であることが分かった。影響力の大きいハブユーザを探索することは、新規サービス普及においてマーケティングに応用することができると考えられる。このことから、本研究ではハブユーザの探索モデルを提案し検討を行った。実際には調査可能なデータからハブユーザを特定することは難しいので、ハブユーザ探索モデルとして最大次数ホップモデルを提案し、理論的にハブユーザ探索範囲を限定化した。その結果、隣接ユーザのうち一番次数の大きいユーザを紹介してもらうとき、3 hop 探索する事でハブユーザにほとんど到達することが分かった。この結果はネットワークサイズが無大であるとした場合の理論的な帰結である。現実の有限サイズのネットワークにおいて、理論的な帰結の妥当性を評価するために、同様のモデルを想定したシミュレーションで結果を比較検証した。その結果、3~4 hop 以降において平均度数がほとんど伸びず、それ以上探索しても、すでにハブユーザ

に達する場合も含めて効果が薄いことがわかった。従って、理論的な結果と考察が妥当なものであることを確認することができた。

今後は、異なるネットワークへの適用可能性の検討を行っていく予定である。

謝 辞

本研究は科研費基盤研究 (S) 18100001 および NICT 委託研究「新世代ネットワーク技術戦略の実現に向けた萌芽的研究」より研究費の援助を受けて実施したものです。

文 献

- [1] A.-L. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," Science. vol.286 pp. 509-512, 1999.
- [2] R. Albert and A.-L. Barabási, "Statistical mechanics of complex networks," Rev. Mod. Phys. vol.74 no.47, 2002.
- [3] 増田直紀, 今野紀雄, "複雑ネットワークの科学," 産業図書, 2005.
- [4] 会田 雅樹, "物理の現象論に学ぶ -通信ネットワークに現れるべき乗則を利用した社会ネットワーク構造の解明," 電子情報通信学会誌. vol.91 no.10 pp.891-896, 2008.
- [5] 佐々木 徹, 上嶋 聖人, 会田 雅樹, "ユーザの社会ネットワーク構造を反映したネットワークモデル生成法および社会ネットワーク上の情報伝播モデルの考察," 第 21 回アシュアランスシステム研究会, pp. 14-19, 2007.
- [6] M. Aida, Y. Honma, C. Takano, H. Koto and H. Nakamura, "Unified model of communication frequency between users in social networks," IEEE ICC 2010 Workshop (on Social Networks), 2010.
- [7] M. Uwajima, T. Sasaki, C. Takano and M. Aida, "Proposal for a communication link model based on resonance frequency of network users," The Second IEEE International Conference on Secure System Integration and Reliability Improvement (SSIRI 2008), 2008.
- [8] 平野 達矩, 上嶋 聖人, 高野 知佐, 会田 雅樹, "社会ネットワークの特性を利用した通信サービス普及戦略の検討," 信学技報 IN2008-135, 2009.
- [9] 本村 昭太郎, 刈谷 博和, 渡部 康平, 会田 雅樹, "社会ネットワークにおけるハブユーザ探索範囲の検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-7-34, 2010.