情報システム利用者における Small-World 構造の検証

Analysis of social network in campus computer system

堀 幸雄[†]
Yukio HORI[†]

米倉 正和[‡]
Yonekura MASAKAZU[‡]

本稿は UNIX ワークステーションのアカウント情報を用いて利用者のネットワーク構造を抽出する手法について述べ、得られた大学生計算機利用者の人間関係の特性について考察する。情報システムというように「人」が主役の場では人の関係が重要である。例えば、初対面の人と会った場合には、自分とその人とのつながりや、趣味、共通の知人などが分かれば、コミュニケーションがよりスムーズに進むと考えられる。このように情報システム利用者の社会ネットワークは非常に重要な情報のひとつであると考えられるが、これまで情報支援の研究において着目されることは少なかった。これは利用者のネットワーク構造を情報システムが獲得することが困難であるためであると考えられる。本稿の手法を用いた結果、大学生の人間関係は任意の二者間の平均経路長が 2.95 人であるスモールワールドネットワークの特徴を持つことがわかった。

In this paper, we propose to extract the social network of participants from the information system using their accounting records. We discuss the social network feature. In an environment of information system, it is desirable to provide a user with information depending on a user's situation, such as time, location, user behavior, and social context. Since such information was difficult to gain from system, it was rare to be used. We also discuss the analysis of social network in the campus computer system.

1. はじめに

我々は神奈川大学理学部情報科学科の教育用共同計算機システムのアカウント情報を用いて、端末利用者間のネットワーク構造を分析した。同時刻に隣席した利用者同士を関係のある利用者と仮定し、利用者の人間関係を得た。その結果システムを利用する任意の利用者二名間の平均経路長が平均 2.99 人であることがわかった。同様に任意の米国人 A, B と 2 名を選び、A から B に人づてに手紙を配送する場合、平均 5.5 人の手を経由することで手紙が B に到着することが知られている [15]。

情報システムというように「人」が主役の場では人の関係が重要である。例えば、初対面の人と会った場合には、自分とその人とのつながりや、趣味、共通の知人などが分かれば、コミュニケーションがよりスムーズに進むと考えられる。また大学生という組織全体の人間関係を見れば、どういう主要な派閥があり、自分はどこにいて、どういう派閥の人とはあまり知り合いがいないか理解できれば役に立つだろう。人間関係は遠いが、近い内容の研究をしている人との出会い支援は効果的かも知れない。

このように計算機利用者の社会的な人間関係は非常に重要な情報のひとつであると考えられるが、これまで情報支援の研究において着目されることは少なかった。それは利用者の人間関係の情報をシステムが獲得することが困難であるためであると考えられる。

本研究は UNIX ワークステーションの持つアカウント情報を用いて自動的に利用者の組織構造を抽出する手法を述べ、得られた情報システム利用者である大学生の人間関係がスモールワールド構造を持つことを検証する。

1.1 関連研究と類似システム

(1) Web マイニングとしての人間関係ネットワークの抽出と情報支援 [14]

松尾らは Web からユーザ間の人間関係ネットワークを自動的に抽出する手法を提案している。これは既存の検索エンジンを用いて、人間関係のつながりの強さとその種類を判断するものである。この手法は検索エンジンを用いるため、大学の情報システムの利用者といったように Web に情報のない人の情報を扱うことができない。本稿は抽出に用いるデータは情報システムのアカウント情報を用いるため、検索エンジンに掲載されていなくても人間関係の抽出が可能である。

(2) FOAF(Friend of a Friend)¹ の作成と公開

FOAF は RDF/XML² を用いて人間に関する情報とその関係を公開、共有する仕組みである。しかし人間関係全てを手で記述するのは現実的とは言えない。本稿の手法とはユーザが情報システムを利用するとユーザに関する情報が自動的に生成される点で異なる。

(3) Social Network を利用したサービス

eurekster³ は Web 検索に Social Network を取り入れてサービスを開始している。ユーザの検索する検索傾向をもとに、同じ組織の他のユーザの求めるものを推測する。また Google が開始した orkut⁴ は今後ビジネス、趣味、社交的な関係を構築するために利用されるとしている。本稿のシステムはユーザに情報支援を行なう是非について検討中であるため、これらサービスとの比較は議論しない。

2. ユーザの要素化と構造分析

2.1 ユーザの要素化

まず学内の教育用共同計算機システム(図 1)の利用者を対象に個々のユーザのシステム内での行動を要素する方法について説明する。

¹<http://xmlns.com/foaf/0.1/>

²<http://ja.wikipedia.org/wiki/{RDF,XML}>

³<http://www.eurekster.com>

⁴<http://www.orkut.com/>

[†] 神奈川大学理学部情報科学科
Department of Information Science, Faculty of Science,
Kanagawa University

horiyuki@goto.info.kanagawa-u.ac.jp

[‡] 神奈川大学院理学研究科情報科学専攻
Graduate School of Science, Kanagawa University
kazu@kk.info.kanagawa-u.ac.jp

図 1: 学内教育用共同計算機室

ユーザのシステム内での行動を要素化するには、システムからアカウンティング情報を取得し、各利用者 (x_i) ごとに使用したプロセス (p_i) を使用頻度で重み付けした n 次元のベクトル u_i を用いる (式 (1)). アカウンティング情報は一般的に UNIX で用いられている acct⁵ を使用する. このアカウンティング情報はユーザベースのプロセスの情報を記録・管理している.

$$u_i = \{P(x_i : p_1), P(x_i : p_2), \dots, P(x_i : p_n)\} \quad (1)$$

$$\text{ただし } P(x_i : p_k) = \sum_{j=1}^m w_j^{j-1}$$

2.2 ネットワーク構造の抽出

学内の情報システムは課題、演習などを行なうことを目的とし、さらに学外ネットワークから利用できない環境にあるため物理的に計算機室にて使用することになる. 計算機室を利用する人が多いほど、計算機室が賑やかになるのはコミュニケーションを行なう友人が近くに居ると考えられる (図 2). したがって隣席関係をなんらかの関係のある利用者同士と仮定して、ネットワーク構造を抽出する. ただし偶然に関係のない利用者間が隣席することも考えられるので、閾値として月に 1 時間以上隣席を設定した.

図 2: うるさい隣席

2.3 実現

隣席関係の抽出はシステムのアカウンティング情報からログイン記録⁶と座席表から機械的に抽出した. 分析対象のデータを表 1 に示す. 括弧内の数値は月に 1 時間以上という閾値を越えた値である.

表 1: 対象データ	
実験期間:	2003 年 9 月 20 日 ~ 2003 年 12 月 31 日
総利用者数:	2,369 (777)
総隣席数:	5,108 (1,548)

2.4 関係の検証

こうして得られたユーザ (大学生) の人間関係が実際の人間関係の強さと同じであるのかについて検証する. 実際の人間関係の場合には関係には、今回得た同じ時間を過ごすといった強さだけでなく、「友人」や「サークルのメンバー」といった種類がある. このような関係の種類には、

1. 研究室: 同じ研究室のメンバーである.
2. 発表: 同じ研究会や大会で発表している.
3. サークル: 同じサークルのメンバーである.
4. 作業内容: 同じレポート、演習等に取り組んでいる.

等が考えられる.

隣席時間とこの利用者の使用内容との分布を図 3 に示す. 横軸は隣席時間であり、縦軸は二者間のプロセスの使用ベクトルのなす余弦 ($\cos \theta$) の値である.

図 3: 二者間の隣席と計算機使用の分布

図 3 より二者間の隣席時間が増えると、計算機の使用内容が似ていくのがわかる. どのようなプロセスに使用傾向があるのかは個々の利用者の使用プロセスのベクトルの成分や大きさを見ることでわかる.

また得られたネットワークについて 2, 3 名にネットワーク質問を行ない、自分のまわりの人間の氏名を言ってもらったところ全員本人と 1, 2 段階の関係を持つ利用者であることがわかった.

このように隣席時間と計算機の使用内容と強い関係があり、実際の知り合いとも等しいことから、本研究で得られたネットワークが実際の人間関係ネットワークと大きく違いはないと思われる.

3. 関係の可視化

図 4 に情報科 3 年生の利用者間の人間関係ネットワークを示す. 全体の図示は困難であるので、中心的な (人数の大きい派閥) ネットワークを示している.

⁵プロセスごとのアカウンティングファイル

⁶utmp, wtmp, lastlog 等

表 2: 各種ネットワークの指標

ネットワーク	平均距離	クラスタ係数	ノード数(リンク数)
大学生の計算機利用者	2.95	0.63	777(1,548)
物理学者の共著	4.0	0.726	56 627 (4.898 × 10 ⁶)
医学研究者の共著	4.6	0.07	1.389 × 10 ⁶ (1.028 × 10 ⁷)
ニューロン	2.65	0.28	—
電力線	18.7	0.08	4 941 (6,610)
Web	3.7	0.24	325 729(1. 470 × 10 ⁶)

図 4: 人間関係ネットワーク全体

また図 5 に一部を拡大したものを示す。それぞれの点
は利用者に対応しており、辺には「隣席時間」のラベル
がつけられている。

図 5: 人間関係ネットワークの一部

4. ユーザのネットワーク構造の分析

ここで得られた計算機システムを利用する大学生の人
間関係ネットワークを分析する。組織構造の特徴量には
様々なものがあるが、分析の全般的な詳しい説明は文献
[24]に譲り、ここでは Watts がスモールワールドネット
ワークを定式化するために用いた 2 つの特徴量 [22] を
扱う。

4.1 スモールワールドネットワークの定式化

Duncan Watts はグラフにおいて次の 2 つの特徴量に
よりスモールワールドネットワークを定式化した。

- L(characteristic path length): グラフ中のすべての
点の組についての最短経路の長さの平均。
- C(clustering coefficient): 共通の知人を持つ二者間
が直接の知人である確率についての平均。これはグ
ラフ中の点 i が k 本の辺を持っている場合、 k 個
の点の間に存在する辺の数を m としたとき、(2) 式
で表わされる。

$$C_i = \frac{m}{k(k-1)/2}$$

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

なおスモールワールドネットワークとは、点がクラスタ
状に集まっているにも関わらず、点同士の経路が短い
という特徴を持つグラフである。図 6 は β -Graph と呼
ばれるスモールワールドのモデルである。まず n 個の
ノードがそれぞれ近傍の k 個のノードに辺が張られて
いるレギュラーグラフを考える。そして各辺に対して確
率 p で辺のつながりかえてできるグラフにおける L と C
の値を $p=0$ の値 $L(0), C(0)$ で規格化して表示してあ
る。 p が中間的な値を持つときに、小さな L かつ 大き
な C を持つことがわかる。この C の曲線と L の曲線に
挟まれた領域をスモールワールドネットワークと呼ぶ。

図 6: スモールワールドのネットワーク構造

本稿で得られた学内の情報システムの利用者の組織構
造量を分析した結果、

- C: 0.63
- L: 2.95

という値であった。同様にこの指標についてこれまで分か
っているネットワークを表 2 に示す [1][3][17] [19][21][22]

表 2 から本研究で得た大学生の計算機利用者の組織構
造も他の組織同様に平均経路が短かく、高クラスタ係数
のネットワークであることがわかる。

4.2 スモールワールドの特性

また Watts はスモールワールドネットワークでは流
行や伝染病が伝わりやすいことを示している [23]。彼が
用いたモデルでは、時間 $t=0$ で 1 名の人が病気になる。
病気になる人は近傍の人に確率 p で病気を伝染
し、ネットワークから除かれる。最終的に、病気の流行

が終わるか、病気が広がって人がいなくなるまでこれを繰り返す。

このモデルを用いたシミュレーションの結果 L が小さいスモールワールドネットワークでは、伝染は短時間に広まるということがわかっている。

他にもスモールワールドの性質として、ダメージに対して強いことがあげられる。ランダムに点を除去しても、グラフにおける点の距離はそれほど変わらず、影響は少ない。しかし点が集中している点 (ハブノード) を選択的に攻撃した場合には、ダメージが大きいのである [1]。

つまりランダムの攻撃に対するロバスト性と、狙いを付けた攻撃に対する脆弱性の両面がスモールワールドの特徴である。

5. 討 論

本研究は、利用者の組織構造に対する情報支援という観点から計算機利用者の組織構造を抽出し、分析を行った。その結果、計算機システムを利用する大学生間の人間関係ネットワークの平均経路長が 3 であることがわかり、かつスモールワールドの特性を持つことがわかった。

もちろん、隣席関係だけでは推測できない関係も存在する。例えば、隣席関係上には情報がないほど新しい関係や、形式的に現われないような関係 (昔の友人関係) を隣席情報から得るのはむづかしい。しかし、計算機システム上の隣席情報には人間関係を近似的に取り出すには十分な情報がある。また今後ますます多くの情報が電子的に利用可能になると思われる。

ただし、いくつか考慮しなければならない点がある。アカウント情報に関する問題⁷、利用者のプライバシーに関する問題など、社会的な合意がまだ不十分でむづかしい問題であるが、サービス提供の際には十分な配慮を行なうことが必要である。

6. おわりに

本研究では、人間関係ネットワークを計算機システムから抽出する手法を提案したが、どういう人間関係の人が近くにいるときにどういう支援を行えば良いのか、人間関係ネットワークの位置と利用者の活動状況の関係はあるのか、活発な派閥の人間関係ネットワークはどういう特徴を持っているのかなど、今後、さまざまな研究が可能であると考えられる。本研究はユーザの名前とその行動から、その間の関係を網羅的に取り出すことが可能である。

したがって、流行や情報、知識の流れという点において、組織がどう存在するのかを特徴づける方法や、本研究で得た利用者を取り巻く人間関係から、利用者の活動情報、欲求、嗜好、これまでの履歴を考慮し、利用者の文脈に応じた情報支援の方法などが残された問題である。

謝 辞

実験データを提供して頂いたシステムの利用者の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] Albert, R., Jeong, H., Barabási, A.-L.: Diameter of the World-Wide Web, *Nature*, Vol.401, pp.130-131, 1999.
- [2] Amaral, L. A. N., Scala, A., Barthélemy, M., Stanley, H. E.: Classes of small-world networks, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 97, pp. 11149-11152, 2000.
- [3] Barabási, A.-L., Albert, R.: Emergence of Scaling in Random Networks, *Science*, Vol.286, pp.509-512, 1999.

⁷アカウント情報をもともと課金目的のために設計されたものである

- [4] Barabási, A.-L.: *Linked: The New Science of Networks*, Perseus Publishing, 2002. (青木訳: 新ネットワーク思考, NHK 出版, 2002).
- [5] Brin, S., Page, S.: The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine, *Proc. of the 7th International World Wide Web Conference*, 1998.
- [6] Buchanan, M.: *Nexus: Small Worlds and the Ground-breaking Science of Networks*, W.W.Norton & Company, 2002.
- [7] Davidsen, J., Ebel, H., Bornholdts, S.: Emergence of a Small World from Local Interactions: Modeling Acquaintance Networks, *Physical Review Letters*, Vol. 88, No. 12, 2002.
- [8] Dorogovtsev, S. N., Mendes, J. F. F.: *Evolution of Network*, Oxford University Press, 2002.
- [9] 福田 健介 他: ac.jp ドメインにおけるドメイン内 Web リンク構造の解析. 情報科学技術フォーラム, 情報処理学会, 2003.
- [10] Girvan, M., Newman, M. E. J.: Community Structure in social and biological networks, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol.99, pp.7821-7826, 2002.
- [11] Kleinberg, J.: Authoritative sources in a hyperlinked environment, *Proc. 9th ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 1998.
- [12] Marchiori, M., Latora, V.: Harmony in the small-world, *physica A*, Vol.285, pp. 539-546, 2000.
- [13] Mathias, N., Gopal, V.: Small worlds: How and why, *Physical Review E*, Vol. 63, No. 2, 2001.
- [14] 松尾 豊, 友部 博教, 橋田 浩一, 石塚 満: Web からの人間関係ネットワークの抽出と情報支援, 人工知能学会全国大会, 1F1-02, 2003.
- [15] Milgram, S.: The small world problem, *Psychol. Today*, Vol. 2., pp. 60, 1967.
- [16] Mossa, S., Barthélemy, M., Stanley, H. E., Amaral, L. A. N.: Truncation of power law behavior in "scale-free" network models due to information filtering, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 88, p.138701, 2002.
- [17] Newman, M.E.J.: The structure of scientific collaboration networks, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol.98, pp.404-409, 2001.
- [18] Newman, M.E.J.: Who is the best connected scientist? A study of scientific coauthorship networks, *Phys. Rev. E*, Vol. 64, p.016132, 2001.
- [19] Pastor-Satorras, R., Vazquez, A., Vespignani, A.: Dynamical and correlation properties of the Internet, *Phys. Rev. Lett.*, Vol.87, p. 258701, 2001.
- [20] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P.: *Numerical Recipes In C*, Cambridge University Press, London, 1998.
- [21] Strogatz, S.H.: Exploring complex networks, *Nature*, Vol. 410, pp.268-276, 2001.
- [22] Watts, D. J., Strogatz, S. H.: Collective dynamics of 'small-world' networks, *Nature*, Vol.398, pp.440-442, 1998.
- [23] Watts, D. J.: *Small World*, Princeton Univ, Press, 1999.
- [24] 安田 雪: ネットワーク分析, 新曜社, 1997.
- [25] 安田 雪: 実践ネットワーク分析, 新曜社, 2001.
- [26] 石川 大介, 堀 幸雄: 端末利用者間におけるグラフの分析, 情報処理学会, 第 64 回全国大会, 2002.
- [27] 堀 幸雄, 石川 大介: 端末利用者間のネットワーク分析, 情報化学技術フォーラム 2003, 情報処理学会.
- [28] 田代 淳一, 堀 幸雄 後藤 英一: アカウンティング情報を用いた利用者の専門性分析, 情報処理学会, 情報システム研究報告 No.83, Vol.2003.