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

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE.

ソーシャルネットワークのトポロジ構造を用いた開発型オンラインコミュニティの成功度推定手法

津川　翔† 　杉山　浩平† 　大崎　博之† 　今瀬　真†

† 大阪大学 大学院情報科学研究科
〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5
E-mail: †{s-tugawa,k-sugi,oosaki,imase}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし　本稿では、参加者のソーシャルネットワークのトポロジ構造から、開発型オンラインコミュニティの成功度を推定する手法を提案する。近年、社会活動のネットワーク化が急速に進んでおり、ネットワーク上にさまざまな種類のコミュニティ(オンラインコミュニティ) が形成されている。オンラインコミュニティを活発化し、成功へと導くためには、まず、オンラインコミュニティの現在の状態を適切に把握することが重要である。これまで、オンラインコミュニティの成功要因を分析した研究や、ソーシャルネットワークを分析した研究が数多く行われている。それらの研究結果は、参加者のソーシャルネットワークのトポロジ構造が、オンラインコミュニティの成功に大きな影響を与えることを示唆している。そこで本稿では、特に開発型のオンラインコミュニティを対象とし、ソーシャルネットワークのトポロジ構造からコミュニティの成功度を推定する指標 CSI (Community Success Index) を提案する。開発型オンラインコミュニティの CSI は以下のように求められる。まず、参加者のソーシャルネットワークのトポロジ構造から、オンラインコミュニティにおける各参加者のリーダシップ度を推定する。推定した各参加者のリーダーシップ度から、オンラインコミュニティの成功度 CSI を計算する。さらに本稿では、オープンソース・ソフトウェア開発のための代表的なオンラインコミュニティである、SourceForge のログを用いた実験により、提案する CSI の有効性を評価する。その結果、提案する CSI は、開発型オンラインコミュニティの成功度の推定に有効である可能性が高いことを示す。
キーワード　オンラインコミュニティ、ソーシャルネットワーク、トポロジ構造、コミュニティ計測

On Estimating Success of On-line Development Communities using Topological Structure of Social Networks

Sho TSUGAWA†, Kouhei SUGIYAMA†, Hiroyuki OHSAKI†, and Makoto IMASE†

† Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan
E-mail: †{s-tugawa,k-sugi,oosaki,imase}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract　In this paper, we propose a method for estimating success of on-line development communities using the topological structure of their social networks. Since social activities have been rapidly shifting into networked environment in recent years, several types of on-line communities have been formed. For activating on-line communities, and also leading those on-line communities to success, it is essential to appropriately understand the current state of on-line communities. In the literature, many researches on factors affecting on-line community success and social network analyses have been performed. These research results implicitly suggest that the topological structure of a social network is strongly related to the success of an on-line community. In this paper, we propose an index called CSI (Community Success Index), which is an estimate of on-line community success, obtained only from the topological structure of a social network. The value of CSI is obtained as follows. First, leadership of each participant in an on-line community is estimated from the topological structure of a social network. From estimated leadership of participants, CSI is then obtained. In this paper, we also evaluate the effectiveness of the proposed CSI through experiments utilizing log data of SourceForge, which is one of representative sites for on-line development communities. Consequently, we show that the proposed CSI is effective for estimating success of on-line development communities.
Key words　Online Community, Social Network, Topological Structure, Community Instrumentation

1 はじめに

近年、社会活動のネットワーク化が急速に進んでおり、ネットワーク上にさまざまな種類のコミュニティ (オンラインコミュニティ) が形成されている。例えば、文献 [1] の分類によれば、表 1 に示すような、さまざまな種類のオンラインコミュニティがネットワーク上に形成されている。

オンラインコミュニティを活発化し、成功へと導くためには、まず、オンラインコミュニティの現在の状態を適切に把握することが重要である [2]。

ただし、何がオンラインコミュニティの「成功」であるかは、オンラインコミュニティの種類によって異なる。種類の異なるオンラインコミュニティは、一般に、それぞれ異なる目的のために形成されている (表 1)。例えば、開発型オンラインコミュニティでは、オンラインコミュニティの活動の結果として得られる成果物 (例えば、ソフトウェア開発であれば、ソフトウェアそのもの) の完成度によってその成否が決まる [3]。また、知識共有型コミュニティでは、オンラインコミュニティの活動の結果、共有された情報の質および量によってその成否が決まる [4]。

これまで、オンラインコミュニティの成功要因を分析した研究が数多く行われている [4–7] 。これらの研究では、現実のオンラインコミュニティの参加者に対してアンケート調査を実施し、オンラインコミュニティの成功要因を分析している。例えば、文献 [6] では、8 つの開発型オンラインコミュニティの成功要因を分析している。文献 [5] では、韓国の 44 の交流型オンラインコミュニティの成功要因を分析している。

これらの研究は、少なくとも開発型や交流型のオンラインコミュニティでは、オンラインコミュニティにおける「リーダの存在」が、オンラインコミュニティの成功に大きな影響を与えることを示している。

その一方で、人と人の交流関係によって形成されるソーシャルネットワークの研究がさかんに行なわれている [8–11] 。これらの研究の中に、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、ソーシャルネットワークにおいて重要な役割を果たしているノード (ソーシャルネットワーク中の人に相当する) を推定するという研究が存在する [8, 9]。例えば文献 [9] では、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、重要な役割を果たすノードを推定する手法 (グラフエントロピ法) が提案されている。

これらの研究結果は、参加者のソーシャルネットワークのトポロジ構造が、オンラインコミュニティの成功に大きな影響を与えることを示唆している。つまり、ソーシャルネットワークの研究 [9] は、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、重要な役割を果たしている (リーダに相当する) ノードが推定できることを示している。また、オンラインコミュニティの成功要因を分析した研究 [5, 6] は、オンラインコミュニティにおけるリーダの存在が、開発型・交流型オンラインコミュニティの成功を左右することを示している。これらを合わせて考えると、オンラインコミュニティのソーシャルネットワークのトポロジ構造が分かれば、オンラインコミュニティの成否が推定できる可能性があると考えられる。

表 1　さまざまな種類のオンラインコミュニティ [1]

種類	目的	例
交流型	人との交流	MySpace, Facebook, mixi
ゲーム用	ゲーム	Ever Quest
コンテンツ共有型	コンテンツの共有	YouTube, Flicker
知識共有型	知識の共有	Wikipedia, Slashdot
取引型	電子商取引	eBay, Craigslist
活動型	実社会の活動の支援	Immigration Voice
開発型	開発	SourceForge, ThinkCycle

そこで本稿では、特に開発型のオンラインコミュニティを対象とし、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、オンラインコミュニティの成功度を推定する指標 CSI (Community Success Index) を提案する。本稿で提案する CSI は、開発型だけでなく、交流型など他の種類のオンラインコミュニティにも適用できる可能性がある。しかし本稿では、評価実験の容易さから、まず、開発型のオンラインコミュニティのみを対象とする。開発型以外のオンラインコミュニティへの適用は今後の課題である。

開発型オンラインコミュニティの CSI は以下のように求められる。まず、参加者のソーシャルネットワークのトポロジ構造から、グラフエントロピ法 [9] によって、オンラインコミュニティにおける各参加者のリーダシップ度を推定する。ここで、ソーシャルネットワークのトポロジ構造は、開発型オンラインコミュニティの参加者間のコミュニケーション (メイリングリストや掲示板でのコミュニケーション) から構築する。次に、推定した各参加者のリーダーシップ度から、オンラインコミュニティの成功度 CSI を求める。ここでは、参加者のリーダシップ度が高いほど、もしくはリーダシップ度の高い参加者が多いほど、オンラインコミュニティが成功しやすいという特性 [5, 6] を利用する。

さらに本稿では、オープンソース・ソフトウェア開発のための代表的なオンラインコミュニティである、 SourceForge のログを用いた実験により、提案する CSI の有効性を評価する。ソフトウェア開発型オンラインコミュニティの成功の指標として、成果物であるソフトウェアのダウンロード数およびコミュニティの Web ページへのアクセス数を用いる。参加者のソーシャルネットワークのトポロジ構造のみから推定した CSI と、ソフトウェアのダウンロード数および Web ページへのアクセス数の関係を調査する。その結果、提案する CSI は、 開発型オンラインコミュニティの成功度の推定に有効である可能性が高いことを示す。

本稿の構成は以下の通りである。2 章では、関連研究として、オンラインコミュニティの成功要因を調査した研究およびソーシャルネットワークのトポロジ構造から重要な役割を果たしている ノードを推定する研究を紹介する。3 章では、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、オンラインコミュニティの成功度を推定する指標 CSI (Community Success Index) を提案する。4 章では、オープンソース・ソフトウェア開発のための代表的なオンラインコミュニティである、 SourceForge のログを用

いた実験により、提案する CSI の有効性を検証する。最後に、5 章において本稿のまとめと今後の課題を述べる。

2 関 連 研 究

以下では、オンラインコミュニティの成功要因を調査した研究およびソーシャルネットワークのトポロジ構造から重要な役割を果たしているノードを推定する研究を紹介する。

近年のオンラインコミュニティへの注目の高まりから、オンラインコミュニティの成功要因を調査した研究が数多く行われている [4–7] 。これらの研究では、現実のオンラインコミュニティの参加者に対してアンケート調査を実施し、どのような要因が、オンラインコミュニティの成功に影響しているかを分析している。

特に、オンラインコミュニティにおけるリーダが、オンラインコミュニティの成功に与える影響を調査した研究として、文献 [5, 6] が存在する。

文献 [5] では、コミュニティ参加者に対するアンケート調査により、韓国の 44 の交流型オンラインコミュニティの成功要因を分析している。ここでは、交流型オンラインコミュニティを対象としているため、コミュニティの成功を、各参加者のコミュニティへの帰属意識 (membership)・影響度 (influence)・熱中度 (immersion) と定義している。分析の結果、交流型オンラインコミュニティの成功には、オンラインコミュニティにおけるリーダの熱意 (leader's enthusiasm)・参加者の類似性 (similarity)・オフ会の活発さ (offline activities)・陽気さ (playfulness) が影響することを示している。具体的には、(1) リーダの熱意・参加者の類似性・オフ会の活発さが帰属意識に影響を与えること、(2) オフ会の活発さと陽気さが影響度に影響を与えること、(3) 陽気さが熱中度に影響を与えること、などが示されている。

文献 [6] では、オンラインコミュニティのリーダが、オンラインコミュニティの成功にどのような影響を与えるかを調査している。カナダの複数の組織における、8 つの開発型オンラインコミュニティの参加者に対してアンケート調査を実施し、リーダと、開発型コミュニティの成功度の指標 (目的達成度・組織への貢献度・参加者の利益・参加者の満足度) との関係を分析している。その結果、リーダの活躍が、開発型コミュニティの成功に大きな影響を与えることを示している。

これらの研究は、少なくとも開発型や交流型のオンラインコミュニティでは、オンラインコミュニティにおける「リーダの存在」が、オンラインコミュニティの成功に大きな影響を与えることを示している。

一方、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、重要な役割を果たしているノードを推定する研究として、文献 [8, 9] が存在する。文献 [9] では、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、重要な役割を果たしているノードを推定する手法 (グラフエントロピ法) が提案されている。グラフエントロピ法は、より多くのメッセージを発信している人や、他の人からメッセージを受信していない人へメッセージを発信している人が、重要な役割を果たす人であるという考えに基いている。さらに、現実の企業のメールのログを用いた実験により、グラフエントロピ法によって選択された上位のノードに、企業の実際のリーダが含まれていたことが示されている。

3 開発型オンラインコミュニティの成功度推定指標 CSI (Community Success Index)

3.1 動　　機

2 章で述べたように、オンラインコミュニティの成功の要因を分析した研究は数多く存在する [4–7] が、これらの研究では、アンケート調査によってオンラインコミュニティの成功要因を分析している。例えば、「リーダの存在」、「情報の質」、「システムの質」、「規範の存在度」などの主観的な指標と、「オンラインコミュニティの成功度」という主観的な指標との相関を分析することにより、オンラインコミュニティの成功要因を調査している。

アンケート調査自体は、オンラインコミュニティのように主観的な要因が入る場合には有効な手法であるが、オンラインコミュニティの現在の状態を把握するという目的には不向きである。アンケート調査の場合、オンラインコミュニティに参加者がその都度回答する必要があるため、調査自体にコストがかかる。また、調査開始から結果分析までにある程度の時間が必要である。

オンラインコミュニティを活発化し、成功へと導くためには、オンラインコミュニティの現在の状態を、できるだけ迅速に、かつ低コストな方法で把握できることが望ましい。そこで本稿では、オンラインコミュニティの定量的な指標から、そのオンラインコミュニティの成功度を推定する手法を提案する。

3.2 ア イ デ ア

1 章で議論したように、オンラインコミュニティの成功要因を分析した研究は、オンラインコミュニティにおける「リーダの存在」が、オンラインコミュニティの成功に大きな影響を与えることを示している [5, 6]。これらの研究は、対象とするオンラインコミュニティや調査手法も異なっているため、そこでの結果を単純に一般化することはできない。また、それ以外の要因が、「リーダの存在」と同程度にオンラインコミュニティの成功に影響するという結果も報告されている [5]。

本稿では、主観的な指標ではなく、客観的な指標から、オンラインコミュニティの成功度を推定するという研究の最初のステップとして、「リーダの存在」に着目する。前述のように、「リーダの存在」だけがオンラインコミュニティの成功に影響するわけではないが、少なくとも「リーダの存在」は主要な要因の一つであると考えられる。そこで本稿では、「リーダの存在」だけに着目した場合に、どの程度、オンラインコミュニティの成功度が推定できるかを検討する。

「リーダの存在」からオンラインコミュニティの成功度を推定するためには、どの程度のリーダシップを持った参加者が、何名存在するのかを知る必要がある。

本稿では、オンラインコミュニティの参加者によって形成されるソーシャルネットワークに着目する。2 章で述べたように、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、ソーシャルネットワークにおいて重要な役割を果たしているノードを推定する

という研究が存在する [8, 9]。どのような種類のオンラインコミュニティであっても、オンラインコミュニティの基礎となっているのは、参加者間のコミュニケーションである。参加者が匿名であるような知識共有型や交流型の特定のコミュニティを除けば、一般のオンラインコミュニティの参加者間にはソーシャルネットワークが存在する。

つまり、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、重要な役割を果たしている (リーダに相当する) ノードが推定できると考えられる。リーダの存在が分かれば、そこからオンラインコミュニティの成功度を推定することができる。これはつまり、オンラインコミュニティのソーシャルネットワークのトポロジ構造が分かれば、オンラインコミュニティの成否が推定できる可能性があることを意味している。

そこで本稿では、客観的な情報として入手可能なソーシャルネットワークのトポロジ構造から、オンラインコミュニティの成功度を推定する。

3.3 CSI (Community Success Index)

本稿では、特に開発型のオンラインコミュニティを対象とし、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、オンラインコミュニティの成功度を推定する指標 CSI (Community Success Index) を提案する。

開発型オンラインコミュニティの CSI は以下のように求められる。

まず、開発型オンラインコミュニティの参加者のソーシャルネットワークを入手する。開発型オンラインコミュニティでは、通常、掲示板やメイリングリストでのコミュニケーションを行うことにより、成果物の開発が行われる。そこで、このような掲示板やメイリングリストのログを分析することにより、参加者のソーシャルネットワークを構築する。

ここで、参加者間のコミュニケーションのログから、どのようにソーシャルネットワークを構築するかが問題となる。一般に、ソーシャルネットワークはグラフとして記述されるが、グラフが有向 / 無向である、辺やノードの重みが存在する / しないなど、さまざまなソーシャルネットワークの表現方法が存在する。本稿では、簡単のため、ソーシャルネットワークを重み付き有向グラフ $G = (V, E)$ として表現する。参加者 i から参加者 j へのコミュニケーションが存在すれば、それをノード i からノード j への辺として表現する。また、ノード i からノード j への辺の重み $w_{i,j}$ は、参加者 i から参加者 j へのコミュニケーションの回数とする。

次に、参加者のソーシャルネットワークのトポロジ構造から、グラフエントロピ法 [9] を用いることにより、オンラインコミュニティにおける各参加者 i のリーダシップ度 L_i を推定する。

具体的には、以下の手順によってリーダシップ度 L_i を計算する。

(1) 次式により、グラフエントロピ E_{all} を計算する。

$$E_{all} \equiv \sum_{i,j} p_{i,j}\, log(1/p_{i,j}) \tag{1}$$

ここで、$p_{i,j}$ はノード i からノード j への辺の重み $w_{i,j}$ が、ネットワーク全体の辺の重みの和 $|E|$ $(= \sum_{i,j} w_{i,j})$ に占める割合である。本稿では、ノード i からノード j にリンクが存在すれば、$p_{i,j} = w_{i,j}/|E|$、存在しなければ 0 となる。

(2) すべてのノード i に対して、次式で定義される L_i を計算する。

$$L_i \equiv \overline{E}_i/log(E_{all}/E_i) \tag{2}$$

ここで、E_i は、ノード i が有する辺のエントロピであり、次式で与

$$E_i \equiv \sum_j p_{i,j}\, log(1/p_{i,j}) + \sum_j p_{j,i}\, log(1/p_{j,i}) \tag{3}$$

えられる。また、$\overline{E}_i$ は、グラフからノード i および隣接する辺をすべて取り除いた部分グラフのグラフエントロピである。

最後に、以上のように推定された、参加者 i のリーダーシップ度 L_i から、オンラインコミュニティの成功度 CSI を計算する。具体的には、リーダシップ度が大きい、上位 T % の参加者のリーダシップ度 L_i の合計を、オンラインコミュニティ全体の成功度 CSI とする。

4 実　　験

4.1 概　　要

本章では、オープンソース・ソフトウェア開発のための代表的なオンラインコミュニティである SourceForge [12] のログを用いた実験により、提案する CSI の有効性を評価する。ソフトウェア開発型オンラインの成功の指標として、成果物であるソフトウェアのダウンロード数およびコミュニティの Web ページへのアクセス数を用いる [3]。

実験には、ノートルダム大学が公開している、SourceForge 研究データアーカイブ [13] のデータを利用した。

2002 年 11 月から 2002 年 12 月までに開設されたすべてのコミュニティを対象とした。コミュニティが開設されてから、2004 年 6 月 31 日までの約 1 年半ぶんのログ (掲示板に書き込まれたメッセージのログ) を用いて、各 SourceForge コミュニティごとに、参加者のソーシャルネットワークを構築した。

ソフトウェアのダウンロード数および コミュニティの Web ページへのアクセス数は、コミュニティが開設されてから、2004 年 12 月 31 日までの累計値を用いた。オンラインコミュニティの成功度の指標とするため、ソーシャルネットワークの推定から、半年後までのソフトウェアのダウンロード数およびコミュニティの Web ページへのアクセス数を用いた。

以上のようなデータを用いて、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から計算した CSI と、成果物であるソフトウェアのダウンロード数および Web ページへのアクセス回数の関係を調査した。以下のすべての実験で、CSI 計算時のパラメータとして $T = 10$ を用いた。

ほとんど活動のないコミュニティを除外するため、掲示板への書き込みが 5 人未満のコミュニティを削除した。また、ソフトウェア開発が完了していないコミュニティや、ソフトウェアがまったくダウンロードされていないコミュニティも削除した。

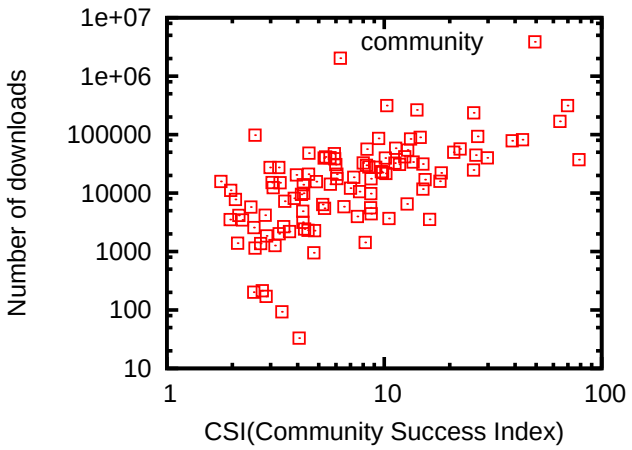

図 1: ソーシャルネットワークのトポロジ構造から計算した CSI とソフトウェアのダウンロード数の関係 (相関係数 $r = 0.57$)

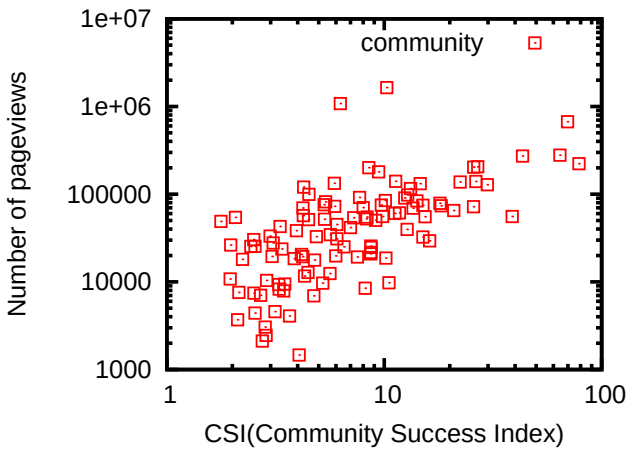

図 2: ソーシャルネットワークのトポロジ構造から計算した CSI とコミュニティの Web ページへのアクセス数の関係 (相関係数 $r = 0.64$)

4.2 考　　察

ソーシャルネットワークのトポロジ構造のみから計算した CSI と、成果物であるソフトウェアのダウンロード数およびコミュニティの Web ページへのアクセス数の関係を、それぞれ図 1 および図 2 に示す。

図 1 より、各コミュニティの CSI と、成果物であるソフトウェアのダウンロード数には、ある程度の相関 (相関係数 $r = 0.57$) が存在することがわかる。これはつまり、ソーシャルネットワークのトポロジ構造から、ソフトウェアのダウンロード数をある程度推定できる可能性があることを意味している。ソフトウェアのダウンロード数は、ソフトウェア開発型オンラインコミュニティにとって成功の指標の一つである [3]。このことは、提案する CSI が、開発型オンラインコミュニティの成功度の推定に有効である可能性が高いことを示している。

同様に、図 2 より、各コミュニティの CSI とコミュニティの Web ページへのアクセス数にも、ある程度の相関 (相関係数 $r = 0.64$) が存在することがわかる。コミュニティの Web ページへのアクセス数も、ソフトウェア開発型オンラインコミュニティにとって成功の指標の一つである [3]。このことからも、提案する CSI は、開発型オンラインコミュニティの成功度の推定に有効であると期待できる。

5　まとめと今後の課題

本稿では、参加者のソーシャルネットワークのトポロジ構造から、開発型オンラインコミュニティの成功度を推定する指標 CSI を提案した。さらに本稿では、オープンソース・ソフトウェア開発のための代表的なオンラインコミュニティである、SourceForge のログを用いた実験により、提案する CSI の有効性を評価した。今後、より詳細な実験が必要であるが、提案する CSI は、開発型オンラインコミュニティの成功度の推定に有効である可能性が高いことを示した。

今後の課題としては、「リーダの存在」以外の要因をも考慮した、成功度の推定指標の提案が挙げられる。3 章で議論したように、「リーダの存在」以外にも、オンラインコミュニティの成功に大きな影響を与える要因が存在する。このため、他の要因にも着目することにより、オンラインコミュニティの成功度をより正確に推定できることが期待される。

また、本稿で対象とした開発型のオンラインコミュニティだけでなく、他の種類のオンラインコミュニティに対する CSI の有効性を評価することも重要であろう。1 章で述べたように、本稿で提案した CSI は、交流型など開発型以外のオンラインミュニティも適用できる可能性がある。

謝　　辞

本研究を実施するにあたり、有意義な議論をしていただいた、日本電信電話株式会社 NTT 情報流通プラットフォーム研究所の村山純一氏、桑原健氏、八木毅氏、近藤努氏に感謝する。

文　　献

[1] D. Hinds and R. M. Lee, “Social network structure as a critical success condition for virtual communities,” in *Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences(HICSS’08)*, pp. 323–323, Jan. 2008.

[2] J. Preece, “Sociability and usability in online communities: determining and measuring success,” *Behaviour & Information Technology*, vol. 20, pp. 347–356, Sept. 2001.

[3] K. Crowston, H. Annabi, and J. Howison, “Defining Open Source Software Project Success,” *Proceedings of the 24th International Conference on Information Systems (ICIS 2003)*, 2003.

[4] H. Lin, W. Fan, L. Wallace, and Z. Zhang, “An empirical study of web-based knowledge community success,” in *Proceedings of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences(HICSS’07)*, p. 178c, Jan. 2007.

[5] J. Koh and Y.-G. Kim, “Sense of virtual community: A conceptual framework and empirical validation,” *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 8, no. 2, pp. 75–94, 2003.

[6] A. Bourhis, L. Dubé, and R. Jacob, “The success of virtual communities of practice: The leadership factor,” *Electronic Journal of Knowledge Management*, vol. 3, pp. 23–34, July 2005.

[7] J. M. Leimeister, P. Sidiras, and H. Krcmar, “Success factors of virtual communities from the perspective of members and operators: An empirical study,” in *Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences(HICSS’04)*, pp. 194–203, Jan.

2004.

[8] S. P. Borgatti, "Identifying sets of key players in a social network," *Computational & Mathematical Organization Theory*, vol. 12, pp. 21–34, Apr. 2006.

[9] J. Shetty and J. Adibi, "Discovering important nodes through graph entropy the case of enron email database," in *Proceedings of the 3rd international workshop on Link discovery*, pp. 74–81, Aug. 2005.

[10] G. F. Davis, M. Yoo, and W. E. Baker, "The small world of the american corporate elite, 1982-2001," *Strategic Organization*, vol. 1, pp. 301–326, Aug. 2003.

[11] E. Holger, M. Lutz-Ingo, and B. Stefan, "Scale-free topology of e-mail networks," *Physical Review E (Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics)*, vol. 66, pp. 1–4, Sept. 2002.

[12] "SourceForge." `http://www.sourceforge.net/`.

[13] G. Madey *et al.*, "The SourceForge Research Data Archive (SRDA)." `http://zerlot.cse.nd.edu/`, 2008.