

アフィリエーションネットワーク概念を用いた ソーシャルネットワークと情報ネットワークの 連携法の提案と効果検証

栗野俊一[†]高橋俊雄[‡]吉開範章¹

†: 日本大学理工学部数学科

‡: (独) 雇用・能力開発機構

1: 日本大学大学院総合科学研究科

概要: 情報ネットワーク (IN) とソーシャルネットワーク (SN) は、個々に独立した対象として研究されてきたが、SN の分析結果から得られる情報を情報ネットワークの設計・制御に応用させることにより、ユーザーから見たネットワークサービスの効率・信頼性の向上が可能となる。本稿では、個人とグループを同時に評価可能であるアフィリエーションネットワークを抽出する手段として、メールヘッダ情報を使用する方法を提案し、次に SN の分析法を示す。それらの正当性を示すために、2つのケーススタディにより SN 分析結果に対する検証結果を述べる。さらに応用として、ユーザーに任せられていた優先度情報に SN 分析結果を適用させる場合に、故障したネットワーク上で復旧特性を向上させることが可能であることも示す。

Linkage Method between Information Network and Social Network based on Affiliation Network Concept and Verification of its Effectiveness

Syun-ichi Kurino[†]Toshio Takahashi[‡]Noriaki Yoshikai¹

†: Nihon University, College of Science & Technology, Department of Mathematics

‡: Employment and Human Resources Development Organization of Japan

1: Nihon University, Advanced Research Institute for the Science and Humanities

Abstract: Traditionally, the information network (IN) and the social network (SN) have been researched separately as the independent targets. However, the researchers for designing the network service have to consider two kinds of networks simultaneously, because the value of network services depends on INs and SNs. It is possible to improve the reliability and effectiveness of network services by adopting the analysis result of an SN, which is built on the affiliation network concept, in order to design the IN. This paper depicts the verification the effectiveness of the linkage between IN and SN by the case study investigated SN by the e-mail header information. It is also shown that, since the reliability of the network services can be increased by applying the information for the priority control into the restoration mechanism of the SN, the linkage between IN and SN is an important issue for optimizing the network services.

1. まえがき

コンテキスト・アウェアネス、ユビキタス技術、アンビエント・ネットワーク等により、ユーザー個人の通信環境や過去の履歴に応じて、情報ネットワーク (IN) やその上のサービスを制御する研究が、盛んに進められている。一般に、ユーザーが IN にアクセスし、通信を行う前提として、何らかの組織化活動に関わる情報共有・交換を行うことが常であり、通信サービス品質は、その組織活動への影響まで踏み込んで評価される必要があると考える。特に、企業活動においては、通信品質の影響は大きく、通常のネットワークのトラフィック設計だけでなく、災害や事故時の制御においても、組織活動における重要度や緊急度を考慮する必要がある。最近では、企業が災害、あるいは事故に遭ったとしても、重要事業を中断せず、仮に中断した場合でも、極力短期間に再開し、顧客の他社への流出、マーケットシェアの減少、企業評価の低下等の脅威から企業を守るために、事業継続計画 (Business Continuity Plan) を作成することが経営戦略上、重要視されてきている⁽¹⁾。BCP 作成のためには業務の現状分析の後、ビジネス機能と IT 機能に分離して個々に復旧計画を立てる方法が取られる場合が一般的である⁽²⁾が、本来、企業内のビジネス機能は、

企業内に構築・使用される情報ネットワーク上に展開される社員間のソーシャルネットワーク (SN) と融合した社会活動として実現されるものと考えられ、復旧計画を立案する場合も、ビジネスの復旧特性と、それを実現可能な IN での復旧特性を総合的に設計・制御することが重要である。また重要プロジェクトあるいはキーパーソンの決定法は、復旧計画のキー要素となるが、簡単な特定方法は明らかになっていない。そこで、組織活動情報として電子メールヘッダ情報を使い、個人の活動と組織全体の活動を同時に評価するアフィリエーションネットワークを用いた組織内情報分析法を示し、その有効性を示すために行ったケーススタディの結果を述べる。また、SN 分析の結果、得られた優先度情報を用いた故障復旧特性をシミュレーションにより示し、BCP 実現のため、IN と SN の連携を考慮すべきであることを示す。

2. 準備

モデル化に、グラフ理論を用いるので、使用した記号と意味について説明する。

2.1 グラフ

[グラフ: G] ノード(点)集合 N と、リンク(辺)集合 E を用いて、 $G = \langle N, E \rangle$ で表す。ノードはノードにつけられた番号 (1, 2, ..., M) で、リンクはその始点と終点の番号の順序対 $\langle i, j \rangle$ で、それぞれ表現するが、本論ではすべて、無向グラフを扱うので、この順序には意味が無い。

[隣接行列: X] グラフ $G = \langle N, E \rangle$ の隣接行列 X は、次のように定義される

$$X = (x_{i,j}), \quad x_{i,j} = \begin{cases} 1 & (\langle i, j \rangle \in E) \\ 0 & (\langle i, j \rangle \notin E) \end{cases}$$

[誘導される部分グラフ: G_v] グラフ $G = \langle N, E \rangle$ の部分グラフで、特定なノード集合 V から誘導される部分グラフを次の様に定義し、以下 V 自身と同一視する。

$$G_v = \langle V, E_v \rangle (E_v = \{ \langle i, j \rangle \mid \langle i, j \rangle \in E \wedge i, j \in V \})$$

[2部グラフ] ノード集合が二つの集合に類別可能で、リンクが、この二つの集合の要素間にしか、存在しないとき、そのグラフは二部グラフであると言う。

[クリーク] 部分グラフ V が、クリークであるということは、その部分グラフが全結合の時である。

$$G_v = \langle V, E_v \rangle, \quad \forall i, j \in V (i \neq j \rightarrow \langle i, j \rangle \in E_v)$$

[n-クリーク] V が、n-クリークであるということは、V 内の各々の要素間の G での距離 $d(G, i, j)$ が、n 以下となる場合である。

$$(\forall i, j \in V [d(G, i, j) \leq n]) \wedge (\forall i \notin V \exists j \in V [d(G, i, j) > n])$$

[n-クラン] V が n-クランであることの定義は、V が n-クリークでかつ、部分グラフ V 内での距離 $d(V, i, j)$ が n 以下になることである。

$$V \text{ が } n\text{-クラン} \quad \wedge (\forall i, j \in V [d(V, i, j) \leq n])$$

2.2 アフィリエーションネットワーク

以下では、アフィリエーションネットワークに関連する記号について述べる。これらは主に、参考文献(4)に基づく。
[アフィリエーションネットワーク] ユーザーの集団 (1-M) が、複数のグループ (M+1-M+L) に所属している時、ユーザーとグループをノードとし、ユーザーとグループの所属関係をリンクとするグラフを アフィリエーションネットワークと呼ぶ。

$$\langle j, i \rangle, \langle i, j \rangle \in E$$

↔ 個人 $i (1 \leq i \leq M)$ がグループ $j (M < j \leq M+L)$ に所属

アフィリエーションネットワークの隣接行列は、N 人が、L グループに所属しているかどうかを表す所属行列 A を用いると、次の様に小行列を用いた形でも表現できる。

$$X_{MN} = \begin{pmatrix} 0 & A \\ A & 0 \end{pmatrix}$$

ただし、所属行列 A は、次のように定義される。

$$A = (a_{i,j}), \quad a_{i,j} = \begin{cases} 1 & (i \text{ 番目の個人が } j \text{ 番目 } n \text{ のグループに所属する}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases}$$

[個人間誘導ネットワーク] 個人間誘導ネットワークは、アフィリエーションネットワークから作られるグラフでノードはユーザー、リンクはユーザーが共通に所属するグループがある場合に引かれる。

個人間誘導ネットワークの隣接行列も、所属行列 A を用いて、次のように求めることができる。

$$X_N = A' A$$

[組織間誘導ネットワーク] 組織間誘導ネットワークは、組織の関係に着目したネットワークであり、ノードをグループとし、共通に所属するユーザーがいる場合にリンクを引く。

組織間誘導ネットワークの隣接行列も次のようになる。

$$X_M = A A'$$

2.3 中心性

個人間誘導ネットワークの分析から、組織の様々な特徴を抽出することができる。

[次数] i 番目の個人の次数は、所属行列 A を用いて次のように定義される。

$$C_D(i) = \sum_{k=1}^L a_{i,k}$$

個人間誘導ネットワークにおけるノードの次数は、「その個人がどれだけ多くの(グループを介して、他の)個人と関係をもっているか」を表現していると解釈できる。従って、その次数が大きければ大きいほど、その個人の活動量が多いことを示すことになる。

[媒介値] k 番目の個人の媒介値は、他者 ij 間の測地路中に k が拘る ij 媒介値の総和として表される。

$$C_b(k) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M b_{i,j}(k)$$

ただし、ij 媒介値は、個人間誘導ネットワークの隣接行列の対角要素を 0 とし、更に、個々の重みを 1 に直した行列 Y と、更に、その Y の k 行目、k 列目の要素 0 とした行列 Z、そして ij 間の最短距離 s を利用して次のように計算できる。

$$Y_s = (y_{i,j}), \quad Z_s = (z_{i,j}) \text{ の時、 } b_{i,j}(k) = \frac{y_{i,j} - z_{i,j}}{y_{i,j}}$$

3. 組織内情報分析法

ネット上の組織活動状態は、基本的にはユーザー個々の活動で決定されるが、各ユーザーは、組織に所属することにより様々な活動や発想の可能性が与えられると共に、逆に、行為に対する制約を受けることもある。また同時に、組織内外の個人の相互作用を通して組織と個人の両方を変えてゆく可能性を持つ。複数の組織に参加する個人は、それら組織を結びつけ、その活動を通じて自身の中心性(組織内における位置)を上げてゆくことが出来る。一方、高

い中心性を有する個人により構成される組織は、さらに組織的な中心性を一層高めることが可能となる。このように組織活動を考えると、個人の活動だけでなく、個人から構成される組織も同時にモデル化しなければ、正確な組織内の活動分析は困難であることが分かる。そのためには、ユーザー間の接続と同時に、ユーザーが所属するグループの活動状態を同時に表現する「アフィリエイト・ネットワーク」が有効である⁽⁴⁾。グラフ理論を使い、そのネットワークを表現する場合、個人を上段、下段はグループを示すため、2部グラフ(bipartite graph)と呼ばれる。対象となる組織内活動状況は、次数中心性、媒介中心性、及びフロー中心性に関する分析結果より、リーダー的な人物、活動が盛んなグループ等を具体的に把握できる。

しかし、2部グラフは、その構成の性格上、個人間のリンクは、必ずグループを経由する必要がある、組織内に存在するグループを明確に把握する必要があり、その構成法自体が研究課題である。一方、組織内グループは、名目上の組織構成とは異なり、業務やプロジェクトに応じてダイナミックに変化するものであるため、その実態を把握することも課題となる。本稿では、実態に即したグループを抽出する狙いから、クリーク(対象ノード内の全てがリンクしあっている部分集合)及びクラン(半径Nのクリークで、かつ距離がN以下となる部分グラフ)を単位とする仮想グループをメールアドレスから抽出する方法からアフィリエイト・ネットワークを構成する方法を検討した。

4. ケーススタディ 1

4.1 組織概要と評価環境

総勢77名から構成され、3つの研究開発グループと支援グループ、及び事務局からなる。組織全体の運営は、研究開発運営委員会で決定され、組織全体の責任者は、各研究開発チームリーダーの持ち回りで運営される。またアシスタントチームのメンバーは、必要に応じて、研究開発チームに召集され、特定のラインには帰属しない。メールヘッダの処理において、予想以上にスパムメールが送られてきており、その駆除に始まり、さらに、同一人物が使用している複数のメールアドレスの特定と該当するメールの整理を実施した。対象メール測定期間は2ヶ月である。分析ツールとしては、Mathematica⁽⁵⁾と、NetMiner⁽⁶⁾を使用し、データのフォーマット整理及び変換ソフトは内製した。

4.2 中心性の分析結果

(1) 実効的なグループの抽出⁽⁷⁾

対象組織のクリークとクランを分析した結果を以下に示す。なお最大距離N=2とした。

全部で140個のクリークが観測され、最大の凝集指数は、22.8を示す研究員1名、研究支援者2名のコミュニティであった。凝集指数5以上のコミュニテ

ィは29グループ存在し、3名から6名の小さなコミュニティで構成されている。総務のメンバーが含まれることが多いが、組織分類通りの研究員と支援者だけのグループと、組織横断的に接続を持ち活動しているメンバーにより構成されるバーチャルグループが存在することが分かった。次に、コミュニティ内の結びつきを強め、より組織活動に近い分析を行うために、クラン分析を行った。最大50名の参加者があるコミュニティから、最小6名の参加者のいるコミュニティまで34個のクランが構成されていることが分かった。凝集指数は1.50から4.23の間となった。

(2) アフィリエイトネットワークの生成

クラン分析結果で得られたグループ構成とメンバーデータを基に、アフィリエイト・ネットワークを表現するための2部グラフを形成した。ネットワークは、個人とグループを各要素とする113x113の隣接行列(B)から描写できるが、その行列の転置行列(^tB)とBとの積から、対角成分を0にする作業により、個人間誘導ネットワークと組織間誘導ネットワークを導くことができる。前者は、各個人対が共通に所属するグループの数を表現し、後者は、特定の組織対に共通に所属する個人の数を表したものとなる。これらの行列計算結果を元に、組織重複度を関係強度とする個人ネットワークと組織間の個人重複度を関係強度とする組織間ネットワークを導き出すことが出来、そのデータから、組織内の活動状況を具体的に把握することが出来る。組織間誘導ネットワークは、34ノード間に完全なメッシュ上に561本のリンクが張られ、完全グラフとなった。また個人間誘導ネットワークは、77ノード間に310本のリンクが張られる。図1に、得られたアフィリエイト及び誘導ネットワークの各図を示す。

(3) 分析結果

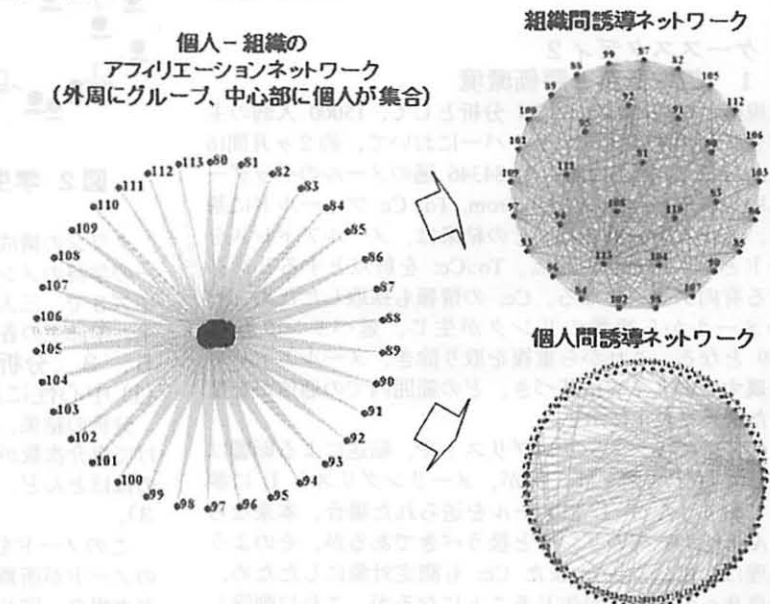


図1 アフィリエイトネットワークと誘導ネットワーク

次数・媒介の各中心性を、アフィリエイトネットワーク(モデル1)と、誘導ネットワーク(モデル2)に分けて分析した。

次数中心性に関しては、総務系ノード69～77を除くと、ノード8が、モデル1、2共に最大の次数を示し、ノード18、30、35、43、71などの次数が高いことが分かった。また媒介中心性に関しては、次数中心性と同様に、ノード8が高い媒介中心性を示す。また組織的な活動としては、次数の高いノード80が、媒介中心性も高いが、ノード98のように、次数中心性は低いにも拘らず、媒介中心性が高いノードが発見できる。つまり、組織内において、他のグループとの繋がりは相対的に低い、そのグループの成果が組織全体の活動に与える影響が大きい位置に存在していることが分かる。

以上の結果から、ノード8が、この組織全体の中心として最もアクティブに活動している状況が浮かび上がった。また組織上の主任の一人であるノード18が個人ネットワーク、つまり自身の開発グループの中での活動に限ると、リーダーとして最もアクティブに活動していることが分かった。さらに、グループ98の活動が、この組織全体の活動成果に大きな影響を与えるため、その活動支援を重点的に行う必要があることも分かった。

すなわち、BCPを立案するためには、個人8と18の活動が中断しないような支援体制を組み、もし事故あるいは災害により中断した場合は、優先的に復旧させる手段を講じることが望ましいことを示唆している。またグループ80と98の活動が、他のグループへの影響も大きいことが分かったので、そのグループ活動の復旧の優先度も高くすることが、組織全体の活動復旧時間の改善に役に立つと考える。

なお、本分析結果を踏まえ、本人、及び関係者へのヒヤリングを行い、分析の妥当性についても確認した。

5. ケーススタディ2

5.1 組織概要と評価環境

大規模な組織におけるSN分析として、15000人弱の主に学生が利用するメールサーバーにおいて、約2ヶ月間(6月末から8月中旬)に届いた84346通のメールのヘッダーを採取し、そのヘッダーのFrom、To、Ccフィールドに基づき、メールを分析した。その結果は、メールアドレスをノードとし、From:を始点、To/Cc:を終点とするリンクとする有向グラフとなる。Cc:の情報も採取したため、一通のメールから複数のリンクが生じ、延べリンク数は86159となる。これから重複を取り除き、メールアドレスの所属するドメインに基づき、どの範囲内での通信かを整理した結果を表1に示す。

この分析では、メールリストや、転送による影響は配慮していない(例えば、Bが、メールリストLに参加しており、AがLにメールを送られた場合、本来ならば、AからBへのリンクと扱うべきであるが、そのような処理はしていない)。またCc:も測定対象にしたため、自分自身へのリンクが生じることになるが、これは削除した。

範囲	延べリンク数	リンク数
サーバー内	518	240
その他	85641	2620
合計	86159	2860

5.2 中心性の分析結果

最大距離N=2として対象組織のクランを分析した結果、全部で27個のクランが観測され、この内、最大のサイズを持つクランは、31の大きさを持ち、その凝縮度は、22.06であった(図2)。

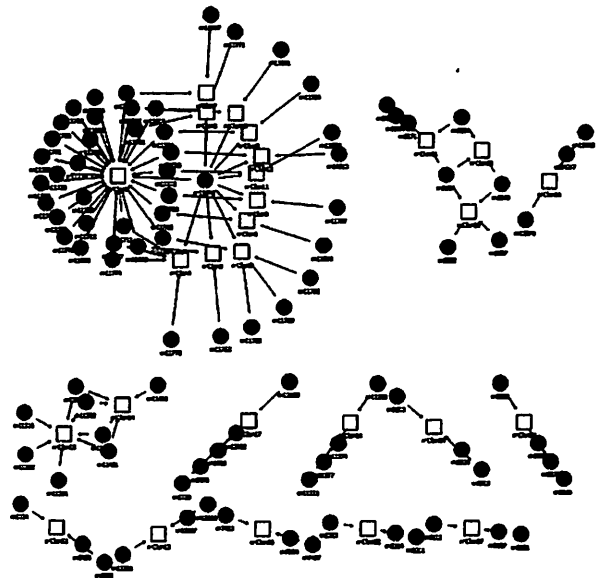


図2 学生アフィリエーションネットワーク

クランの構成メンバは、二つのクランを除き、すべて同一の学科のメンバからなっていた。残りの二つは、共にサイズ3で、三人全てが教員からなるクランと、教員、大学生、学部生の各一名からなるクランであった。

5.3 分析結果

(1) 中心性に基づく分析

分析の結果、個人間誘導ネットワークにおいて、飛びぬけて媒介次数が高い(0.035096、二番目は0.006で、他のものはほとんど、0.001以下である)ノードが発見された(図3)。

このノードを詳しく調べたところ、大学院生であり、このノードが所属しているクランの他の構成要素は、ほとんどの場合、同じ学科の学部生からなることが判った。さらに、Subjectの内容と、それらのメールが、常に学部生からその院生へのメールになっていることから、その大学院生が、TAを行っており、メールを用いて課題を収集する役割を担っているということが推測できた。

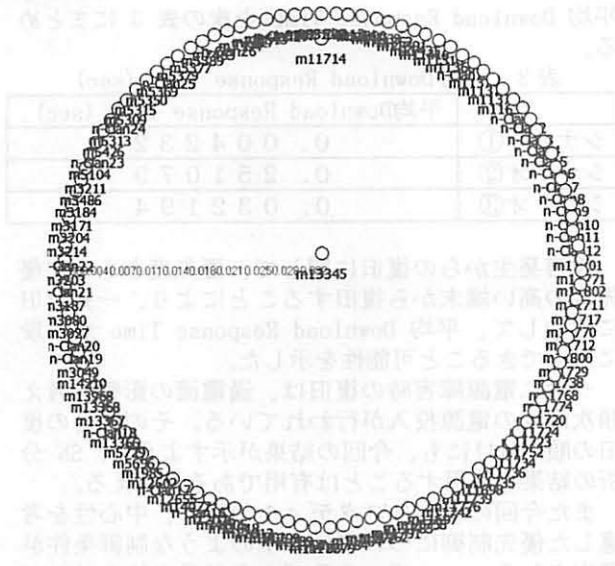


図3 個人間誘導ネットワークの媒介中心性

(2) 対象全体としての特徴

約 15000 人を対象にしたサービスであるのに対し、その間のメールのやり取りが、ほとんどなく、トラヒックのほとんどが、外部からのメールであることがわかった。これは、学生間での情報交換が、携帯メールなどで行われ、(1)の分析例にあるような、演習等の特別な場合にだけ利用されていることを示している。逆に、教員の立場でも学生への同報を行う場合、その宛先として、携帯のメールアドレスを収集することは、個人情報の保護の立場から避けたい為、学内のアドレスを使い、メールリストを作成する傾向がある。今後もこのような用途での使い分けがなされると思われる。

6. 情報ネットワーク制御への応用

LAN や VPN のようなユーザー認証が可能で、特定のユーザーのみがアクセス可能なネットワーク環境において、ユーザー間の接続は、実質的には、IP アドレスと個人情報により、情報ネットワークのリンクと対応させることが出来、トラヒックの優先制御や信頼制御において優先度をつける場合の条件として、組織内情報から抽出した中心性分析結果が使用でき BCP 作成時の基本データとして使用できる。

今回のケーススタディ 1 で得られた SN 分析結果をユーザーの優先度情報として使用した場合に情報ネットワーク上での障害発生からの復旧状況について検討した。対象とした情報ネットワークは、100Base-T を基本とした Ethernet で構成され、メールサーバー 1 台と 77 台の端末から構成される。77 台の端末は 5 つのグループに分かれ、グループ内の端末はスイッチングハブによって接続されている。グループ間は別のスイッチングハブで接続されており、このスイッチングハブにメールサーバーが接続されている。情報ネットワークの構成を図 4 に示す。

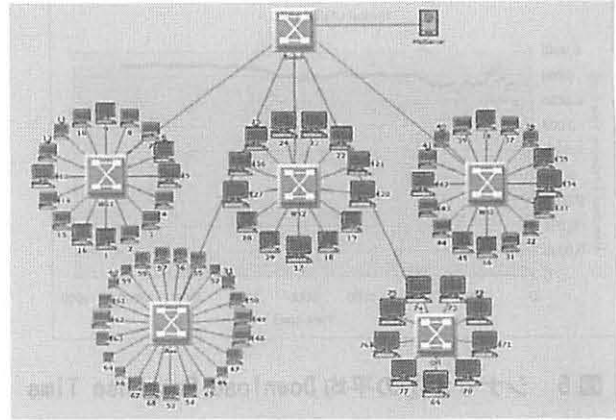


図4 対象ネットワーク図

なおシミュレーションには OPNET⁽⁸⁾を使用し、距離による遅延を考慮しない環境設定を用いて実施した。

シミュレーションでは SN 分析を元にメール機能に 3 段階の重みと優先度を設定した。

組織内活動において優先度が高い人は、"High" の優先度を付け、メールの使用頻度も高いとした。ほどほどにメールを使用する人を優先度が中の人で、"Medium" とした。優先度が低い人は "Low" とし、メールの使用頻度が低いとした。この 3 種類でメールの送受信にかかる重み付けを設定した。

3 つのメールの重みの設定内容と各端末に対する "High"、"Medium"、"Low" の優先度の設定数を表 2 に示す。

表 2 メールの設定内容と優先度の端末数

	Low	Medium	High
優先度	低	中	高
送信間隔(分)	60	12	6
送信数	3	3	3
受信間隔(分)	60	12	6
受信数	3	3	3
メールサイズ(bytes)	500	1000	2000
端末数	42	26	9

シミュレーションの時間は 1 時間とし、メールの受信時間 (Download Response Time) の比較を行った。この、Download Response Time は、(サーバーからの応答受信時刻) - (クライアントの要求送信時刻)である。実験したシミュレーションのシナリオは 3 つである。

対象ネットワークでのメールの Download Response Time の傾向を確認するために、平均 Download Response Time のグラフを示す。

まず、ある時点での平均 Download Response Time の統計値を求め、それを平均したものである。その経過を示しているグラフの最後のデータが 1 時間の平均受信レスポンスタイムになる。

シナリオ① 障害は発生しない
その時のグラフを図 5 に示す。

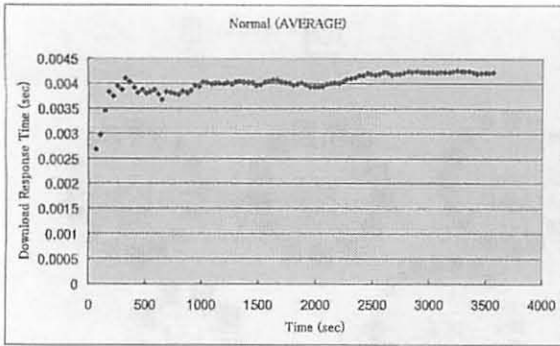


図5 シナリオ①の平均 Download Response Time

シナリオ② 障害が発生し、優先度を考慮せず復旧
 障害は、各グループにおけるスイッチングハブと各端末
 と間のリンク(ケーブル)に障害が発生し不通になり、その
 後復旧し通信が再開される。シナリオ②では、77端末全
 て一斉に不通になり、15分後に全ての端末が一斉に復旧
 する。不通になる時間は1200秒の時点、復旧は210
 0秒とした。その時のグラフを図6に示す。

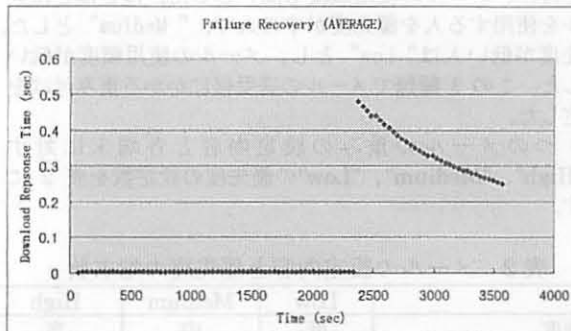


図6 シナリオ②の平均 Download Response Time

シナリオ③ 障害が発生し、優先度を考慮し復旧
 障害は、シナリオ②と同様に77端末が一斉に不通にな
 り、その後復旧し通信が再開されるが、復旧に優先度を持
 たせて、優先度が最も高い9端末を最初に障害発生5分
 後に復旧させ、2番目の優先度の端末26台がさらに5分
 後に復旧し、最後に残り42台が10分後に復旧する条件化
 で、メールの受信時間の変化をシミュレーションした。その
 時のグラフを図7に示す。

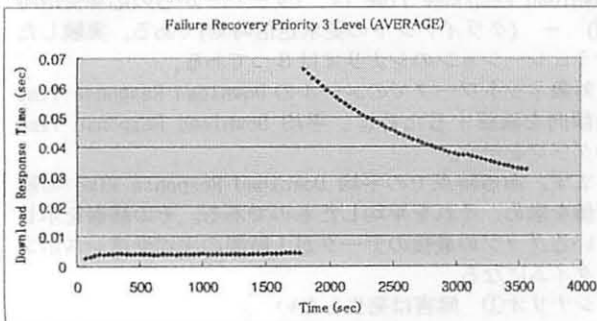


図7 シナリオ③の平均 Download Response Time

以上の3つの結果から対象ネットワークにおける
 平均 Download Response Time を次の表3にまとめる。

表3 平均 Download Response Time (sec)

	平均Download Response Time (sec)
シナリオ①	0.004232
シナリオ②	0.251079
シナリオ③	0.032194

障害発生からの復旧に関して、優先度をもとに優
 先度の高い端末から復旧することにより、一斉復旧
 に比較して、平均 Download Response Time が格段
 に短くできること可能性を示した。

一般に電源障害時の復旧は、過電流の影響を考え
 順次端末の電源投入が行われている。その場合の復
 旧の順序付けにも、今回の結果が示すように、SN 分
 析の結果を適用することは有用であると考ええる。

また今回のケーススタディ1の場合、中心性を考
 慮した優先制御については以下のような制御条件が
 導出される。ユーザー8及び18が最も他のメンバ
 ーとの繋がりが多く、トラヒックの変動が起き易い
 状態にある。そこで、サーバーとユーザー8間のリン
 クは、高速大容量とし、さらにユーザー8のため
 のミラーサーバーを設置して、他のユーザー間との
 トラヒックの円滑な運営を図ることが好ましい。ま
 たグループ98に所属するメンバー間のリンクも、
 組織全体の活動停滞を防止するために重要であり、
 大容量化及び高信頼化(2重化/多重化)の対象と
 して設計に反映させるべきである。

6. まとめ

アフィリエイトネットワークを考慮したソーシャル
 ネットワークと情報ネットワークの連携法を示し、ケ
 ーススタディとして、実存する2組織のメールヘッダ
 ー情報の分析から、組織内の中心的に活動する個人
 及びグループが特定可能であることを示した。さら
 に、その結果を使い、ネットワークの優先制御への
 応用例として、LAN上でのネットワーク制御に、
 組織内情報分析結果を応用する手法も示した。今
 後は、メール内情報やログ解析による分析内容の
 高度化と共にエンドツーエンドでの遅延や誤り復
 旧特性等サービス品質への直接影響を評価する予
 定である。

文献文献:

- (1) 内閣府 事業継続性ガイドライン: <http://www.bousai.go.jp/MinkanToShijyou/guideline01.pdf>
- (2) 例: <http://www.necsoft.com/solution/bc/>
- (3) J. Tyler, D. Wilkins and B. Huberman, "Email as Spectroscopy: Automated Discovery of Community Structure within Organizations", <http://www.hpl.hp.com/research/idl/papers/email/index.html>
- (4) 金光「社会ネットワーク分析の基礎」勁草書房(2003)
- (5) <http://www.wolfram.com/index.ja.html>
- (6) <http://www.netminer.com/NetMiner/>
- (7) 吉開・栗野・高橋; "ソーシャルネットワークと情報ネットワークを統合した網制御アーキテクチャ", 信学会ソサエティ大会2008, No. B-7-21.
- (8) <http://www.opnet.com/>