

4

企業組織ネットワークの解析

— 戦略的な組織構造と個人間のコミュニケーションの役割 —

水田秀行

(IBM 東京基礎研究所)

本稿ではネットワークという観点から企業組織内のコミュニケーションを評価した例について紹介する。企業をネットワークという視点で考えるとき、そこには、強いリーダーシップの下に企業活動を戦略的に遂行するための明示的な人事組織構造と、組織に所属するメンバー間に自発的に発生する関係性としてのコミュニケーションネットワークという2種類のネットワークが存在する。企業内で日常的に電子メールが用いられるようになった結果、大量のコミュニケーションについて効率的に調査することが可能となってきた。我々は企業内のメールログから抽出し統計的に処理されたコミュニケーションのデータを、グラフ/ネットワーク理論における評価指標を用いて、組織変更による指揮系統の方向性の変化や凝縮化について分析した。また、得られた知見を元にエージェントベース・シミュレーションによるコミュニケーションネットワークの形成についても調べた。



企業とネットワーク

ネットワーク研究では、上下関係のない知人間のネットワークや Web ページ等の文書間のリンクが広く知られている。これに対して本稿では、実際のビジネスへの応用も考えて、企業におけるネットワークを対象とする。企業をネットワークという視点で考えるとき、そこには複数のネットワークが重なりあって存在していることに気が付く(図-1)。

企業活動を強いリーダーシップの下に戦略的に遂行するため、企業には取締役会、CEO、社長をトップとし、いくつかのレベルの管理者を経て、一般社員を末端の葉とする木構造の人事組織が通常存在する。このような組織構造は政府や軍隊でも同様に見られる。トップの経営方針、企業風土、ビジネス環境を考慮して、戦略的に組織の構築や改革を行っていくことによって、ビジネス目標をより効率的に達成させるということが従来の MBA や社会科学での組織研究の動機となっている。

また、定型のビジネスプロセスとしてのモデル化が困難なサービスビジネスや R&D においては、組織を横断した柔軟なコラボレーションによる価値の創造が重要視されている。一般にコラボレーションについて考えるとき、まず人と人とのコミュニケーションによる繋がり、いわゆるソーシャルネットワークが特徴的なトピックの1つとしてあげられる。

ビジネスコンサルティングの観点から企業戦略を評価する際にも、これら組織構造とコミュニケーションが注目されている。

ソーシャルネットワークという用語は、知人を紹介していくことによりコミュニティを形成するためのツール

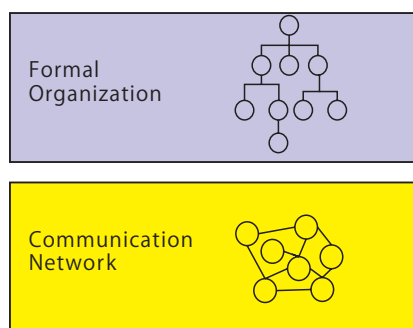


図-1 組織構造 (Formal Organization) とコミュニケーションネットワーク

という意味で用いられることもあれば、社会科学、特に計算組織理論¹⁾において、ネットワークに注目してコミュニティを研究する場合に用いられることもあり、多少混乱があるかと思う。また、最近注目されるようになってきた、自然界に存在する、あるいは、人為的に生成されたネットワークがしばしば持つトポロジカルな性質²⁾から、スモールワールドネットワーク³⁾やスケールフリーネットワーク、進化ネットワークといった表現もよく耳にする。本稿では、簡単にコミュニケーションネットワークと表記することにする。

コミュニケーションネットワーク

一口にコミュニケーションといってもその形態にはさまざまなものがある。ビジネス上のコラボレーションでも、直接顔をあわせての会話から電話、メール、掲示板、グループウェアといった IT を活用したものまで、いろいろなレベルがあり、そのすべてを把握することはまだ

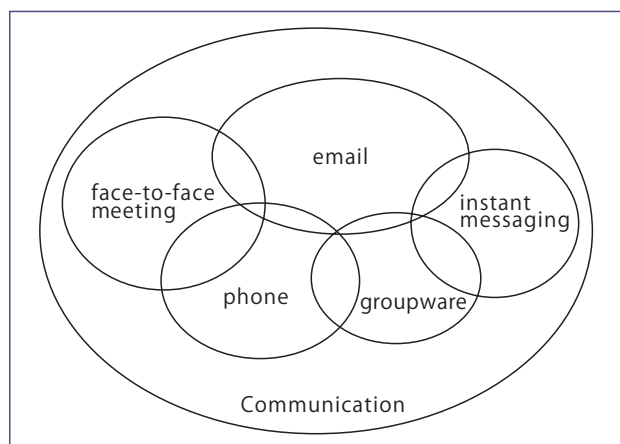


図-2 さまざまなコミュニケーション手法

困難である（図-2）。ただ近い将来には、ほとんどのコミュニケーションはIP電話やWeb会議のようにITネットワーク上で行われるようになるものと期待される。

ここで解析を行う対象のコミュニケーションネットワークとしては、電子メールの送受信のログから得られるトランザクションを考えた。

社会学の手法では、被験者集団に対するインタビューによってすべてのコミュニケーションについて調査が行われることも多いが、非常に手間がかかる上に人手で集められるデータの量も限られてくる。電子メールにおいて送受信のたびに自動的にサーバに保存されるトランザクションログを用いることで、半自動的に膨大な量のデータを活用することができる。このような大量のデータによって、たとえば経済物理において金融市場の新しい特性を発見したように、コミュニケーションネットワークについても新しい知見が得られるものと期待される。

一方で、直接の会話や電話といった昔からのコミュニケーションについてのデータが欠落することによって重要なリンクを見落とす危険もある。しかしながら、電子メールによるコミュニケーションが十分発達した企業では、そうした従来のコミュニケーションも統計的に見ればメールコミュニケーションと相関がある、すなわち、電話や会議を行う相手とはメールでのやりとりも存在するものと期待される。

本稿では日本IBMとIBMビジネスコンサルティングサービスの組織内で実際に行ったコミュニケーションネットワークの調査結果を紹介する。すでに述べたように、電子メールのトランザクションログを解析することで、大量のコミュニケーションの解析を行ったが、その際、個人のプライバシー保護の観点から、個人が特定されないように所属する部門間のトランザクションとして集計し、発信日時についても月単位で集計した。さらに、経営戦略における解析に必要と判断される粒度の固まり（ノード）に集約を行った（図-3）。

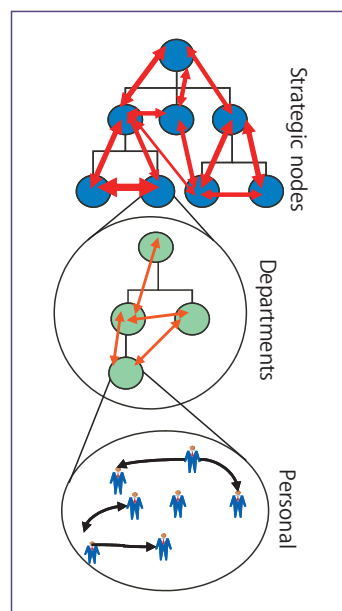


図-3 個人間コミュニケーションの部門（department）および戦略ノードへの集約

ネットワーク指標を用いた分析手法

我々は、この分析手法によって組織の何が見えてくるのかを確認するため、まず自社内のコミュニケーションネットワークを対象として、グラフ／ネットワークの単純な指標を用いた分析を行った。その際、コンサルタントグループと協力して、経営戦略の視点から解析し、経営層に提示するのに適当な粒度で組織内のグループを分割した。

分析の前処理としては、電子メールのトランザクションデータを、分析したい対象である戦略的なグループ（ノードと呼ぶ）間のリンク情報に集約し、必要であればノードに含まれる人数での正規化や、メール量の閾値を指定してそれ以下は0とする二値化等を行う。

求める指標としては、各ノードの入力および出力次数（集計されたメール数）、2つのノード間の最短距離をそれぞれ要素とする距離行列、および、全ノードへの距離の合計の逆数から求められる Closeness（ネットワーク的な近さ）が代表的なものとしてあげられる。

このほか、ソーシャルネットワーク分析でよく用いられる UCINET⁴ を使用して、Power（影響を与える度合い）や Faction（サブグループ）も求めたが本稿では結果は省略する。

また階層組織とネットワークを3Dで可視化するため伊藤らの可視化ツール⁵も使用した（図-4）。色のついた直方体がノードに対応し、その高さが入力次数を表し、Closenessの大小に応じて色が緑から赤へと変化する。これらの直方体は組織階層の入れ子構造を反映した領域に配置されている。最も外側の枠線が組織全体を統括するトップに対応する。さらに、ある程度以上の大きさのリンクがノード間に存在するとき、白線で直方体が

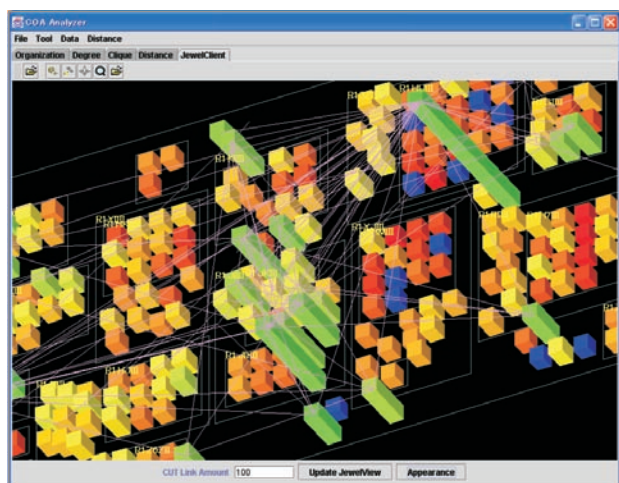


図-4 Visualization

結ばれる。

実際の企業における解析例

これらのデータやツールを用い、コンサルタントと共同で組織内のコミュニケーションネットワークの調査を行った。特に、組織のマトリクス構造の強化のために実施された組織変更注目して、ノード定義と解析を行い、コミュニケーションネットワークに現れた変化を見た。

用いたデータは組織変更前後の電子メールのトランザクションログと、組織構造を調べるための(限定された)人事情報である。対象としている組織変更は、従来からマトリクス型ではあったものの、ある一方向(便宜的に横方向と呼ぶ)が強かったのに対し、もう一方向(縦方向)の組織の強化を図ったものである。そこで、各方向に沿ったコミュニケーションネットワークの次数を調べた結果を示したものが、概念図(図-5)である。

このグラフから縦方向のコミュニケーションに顕著な増加が分かる。一方で、横方向のコミュニケーションには悪影響は見られない。

また、リンクの強さ(コミュニケーション量)に基づいたサブグループを機械的に求めたとき、戦略的に定められた新しい組織構造とよく合致した結果が得られた。

少なくとも、コミュニケーションの量においては、経営者の組織構造の再配置という意図は、従業員の活動に現れ、測定できると言える。

いわゆる経営指標 KPI とは関連が明確ではないが、組織の文化として従業員のコミュニケーションを重要視する企業も多い。

対象とした電子メールのログには To と Cc の区別はなく、重要度もさまざまである。さらに、コミュニケーションの量が組織活動の良し悪しを判断することはできない。

ここでは、組織変更というマネジメントの決定により

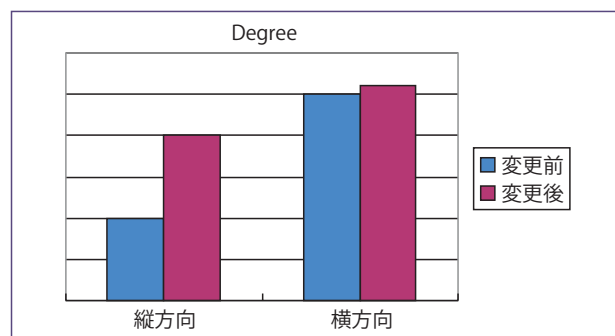


図-5 組織変更による縦方向、横方向の次数変化

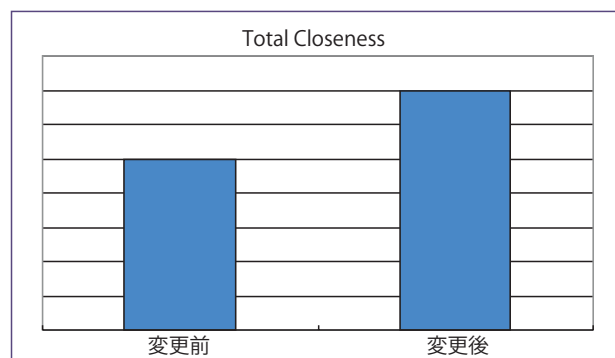


図-6 組織変更による Total Closeness 変化

生じる変化の定量化を最初の試みとして近似値によって行ったものと考え、得られたデータの解釈については経営者に委ねた。

将来的には他の指標やメール自体の属性も含めた解析もできるようになると期待している。

次に Closeness についても全体的な変化を調べた(図-6)。

マトリクス組織として縦横双方向のコミュニケーションが強化されたことにより、組織全体として、より凝縮したネットワークとなっていることが分かる。言い換えれば、組織の各部署が連絡を取り合う際に、知り合いをたどって伝言ゲームの長さが平均として短くなった。

また、ネットワーク全体のトポロジカルな性質を調べるために、ここで検討したコミュニケーションネットワークの次数の分布を1位から100位まで順に並べ両対数グラフで表示したものが図-7である。

次数が最も大きな数個のノードを除いて直線上に並んでいることより、このような企業組織におけるコミュニケーションネットワークにも他の多くのネットワークと同様のべき乗則に従う、いわゆるスケールフリーネットワークとしての性質があることが分かる。こうした普遍的な性質が見られることは、コミュニケーションという一見人間の気まぐれに大きく依存すると思われる現象も、科学的に考察可能な対象である可能性を示している。

次の章では、エージェントを用いたモデルによってシミュレーション実験を行い、スケールフリー性について

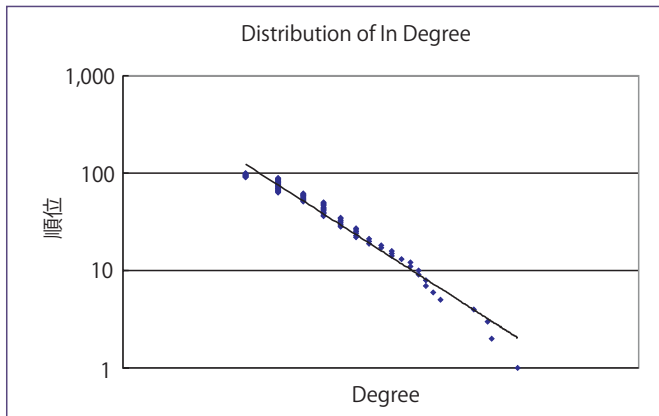


図-7 次数分布におけるべき乗則

も確認を行う。

組織シミュレーション

ここでは、組織コミュニケーションのエージェントを用いたシミュレーションを紹介する。

これまでの調査では、組織内のメールによるコミュニケーションを対象としていくつかの時点における状態を抽出した。だが、組織がビジネス環境の変化にどのように対応していくのか、そして、最適な組織を実現するために経営者は何をすべきかを知るためには、静的な解析だけではなくダイナミクスを理解する必要がある。ここでは、基礎的な試みとして、相互作用する多様なエージェントによって組織を構築し、その上でのコミュニケーションの動的モデルを構築した。

我々の解析手法では、戦略的な組織構造とアドホックなコミュニケーションネットワークを考えた。動的なシミュレーションモデルにおいても、こうした相互に関係する二重のネットワークを考える。すなわち、与えられた組織構造の上でのコミュニケーションネットワークの形成をシミュレートする。組織構造は、ノード集合と指揮系統のリンクによって与えられる。ここでは、ランダムに構築した木構造の組織を用いるが、マトリックス型の組織等さまざまな組織構造を考えることもできる。

シミュレーションツールは Java で実装され、組織構造とコミュニケーションネットワークはどちらも一般的なネットワーククラスのサブクラスであり、ノードの集合を含んでいる。我々が経済シミュレーション等⁶⁾でこれまで実装してきたのと同様に、これらのネットワークとシミュレーションの実行をコントロールするエージェント (Central Agent) が存在する。そして、それぞれのノードに対応するエージェントがこの環境に参加することになる。

組織構造は Central Agent に属する GUI コントロールウィンドウ上に表示される (図-8)。円の中心に置か

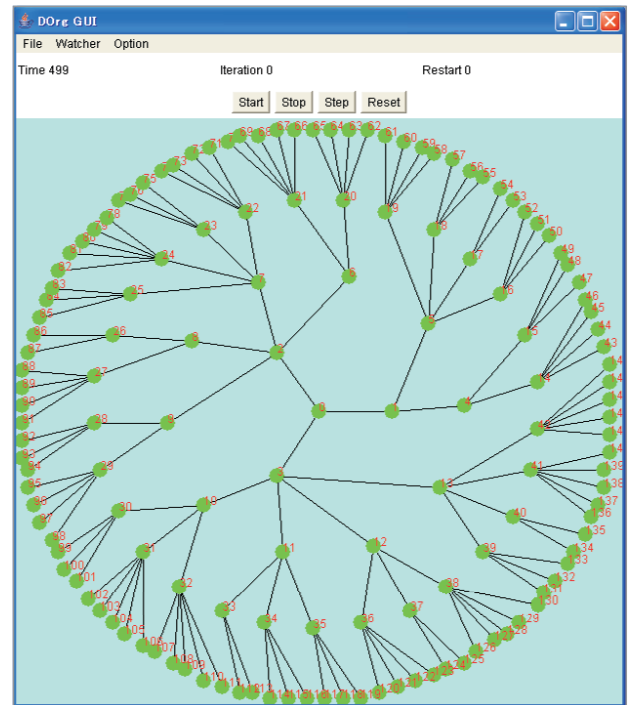


図-8 エージェントシミュレーションの GUI ウィンドウと組織構造

れた丸が組織のトップノード (CEO) を表し、外側に向けて広がるごとに組織階層をくだっていく。同じ階層のノードは同心円上に等間隔に並べられており、指揮系統上位のノード (上司) および直接管理しているノード群 (部下) と線でむすばれている。円の右上には赤い文字で各ノードの ID が記されている。GUI コントロールウィンドウは組織構造を表示するほか、シミュレーションの実行コントロール (開始、停止、リセット) や他の情報ウィンドウを表示するためのメニューを持っている。

集約されたコミュニケーションネットワークの様子は状況報告用エージェントによって表示される。図-9 は 500 ステップ目の状況を示している。ノードの配置はメインウィンドウの組織図での配置と同じである。一方、リンクはその時点までに行われたコミュニケーションの累積を示す。コミュニケーション量に応じて、ネットワークのリンクは白から黒にだんだん濃く変化していく。直接、組織としてもつながっているノード間に濃いリンクが張られることが多いが、それ以外にも複雑なリンクが形成され蜘蛛の巣状になっている。

では、実際にシミュレーションで用いた、個々のエージェントの動作モデルについて説明する。このように個々のミクロレベルの動作モデルを自由に設定 (プログラム) して、実験結果として現れるマクロレベルの複雑な現象を観察できるのが、エージェントシミュレーションの利点である。

以下のように、 N 個のエージェントによる動的コミュニケーションモデルを構築する：

1. エージェント i は時刻 t において c_i の確率でコミュ

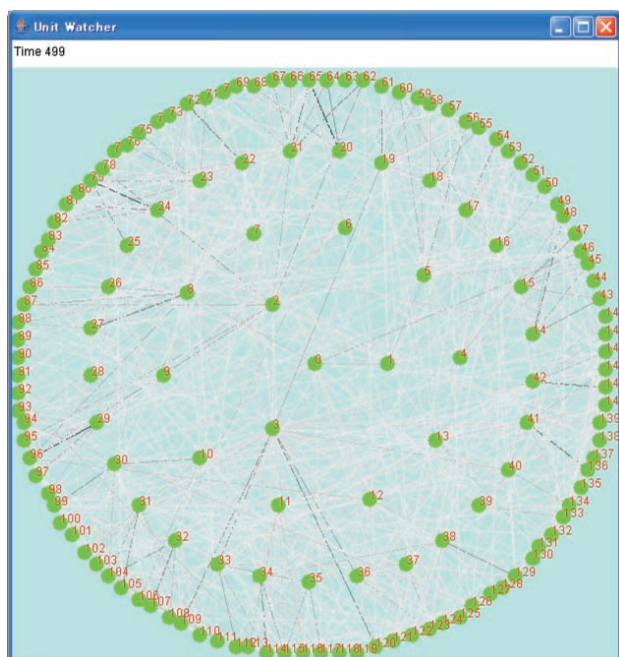


図-9 動的に形成されたコミュニケーションネットワーク

ニケーションを試みる。

2. コミュニケーションする相手のエージェント j は、(a) 組織構造に応じて選ばれたエージェント、(b) 過去にコミュニケーションをとった履歴のあるエージェント、(c) ランダムに選ばれたエージェントのいずれかから選ばれる。3つのルールの内どのルールを用いるかは、確率 P_n , P_h , P_r で選ばれ、さらにそれらの詳細は次のようになる：
 - (a) 組織構造から選ぶ場合、エージェント i は組織ネットワークのリンクによる距離（ホップ数） d_{ij} から与えられる重み付けを考慮して、相手のエージェント j を決定する。一般的には、直接リンクで結ばれたエージェント（直属の上司あるいは部下）が選ばれる確率が最大となる。
 - (b) それぞれのエージェントは決められた長さ M の履歴を持ち、メッセージを送信あるいは受信した相手を記憶している。この中からランダムに相手を決定する。
 - (c) あるいは、構造や履歴とはまったく無関係に全エージェントの中からランダムに相手を選ぶ場合もある。
3. 管理エージェントは、こうして決められたコミュニケーションのペア (i, j) をすべての送信エージェント i から集め、受信エージェント j に通知する。これによって、受信エージェント j はコミュニケーション履歴を更新することができる。

このモデルにおいてコミュニケーションネットワークは、ノード i ($0 \leq i < N$) の集合とコミュニケーションの総計によって張られた重み付きリンク L_{ij} の集合によって与えられる。

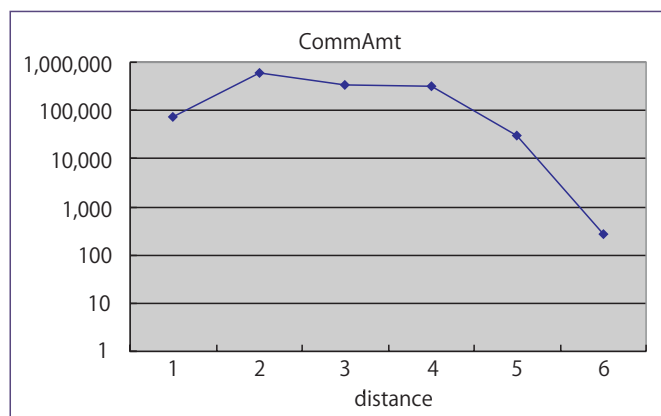


図-10 ノード間距離に応じたコミュニケーション頻度の累計(片対数グラフ)

我々が行ったプロトタイプのシミュレーションでは、エージェントごとに異なるコミュニケーション確率 c_i を $[0.05, 0.3]$ の一様分布で与えた。 $c_i=0.1$ であればおよそ 10 ステップに 1 回コミュニケーションを行う。また、決定ルールはそれぞれ、 $P_n=0.4$ （組織構造から相手を決定）、 $P_h=0.3$ （履歴から相手を決定）、 $P_r=0.3$ （ランダムに相手を決定）の確率で選ばれる。最後に、それぞれのエージェントは $M=64$ の長さの履歴（過去 64 回のコミュニケーション相手の情報）を持つ。これらのパラメータは実際のデータから得られたものではなく、今回のシミュレーション用に我々が設定したものである。

また、組織構造に応じて相手を選択する場合の選び方については、以下のように実測データを参考にした。簡単のため、あるエージェントから見て組織構造上 d の距離にいるエージェントの集合を d -neighbor と呼ぶことにする。実際の調査の結果（図-10）によると、 d -neighbor（等距離にある複数エージェント）に対するコミュニケーションの累積頻度は d が組織階層全体の深さより小さい場合、ほぼ一定となることが示されている。

言い換えれば、木構造の組織において d -neighbor に所属するエージェントの数は d が増えれば指数的に増加するのだが、一方で個々のエージェント間のコミュニケーション頻度は距離 d が離れば指数的に減少する（図-11）。そして、この両者がうまくバランスをとり、トータルで見たコミュニケーション量が増加も減少もしないということになる。この結果を利用して、我々はまずコミュニケーション相手との距離を等確率で選び、その後、その距離に存在するエージェントをやはり等確率で選ぶことにより、パラメータを単純化した。

シミュレーションを実施した結果、時刻 $t=3,000$ における入次数（InDegree）の分布は図-12で示される。ここで入次数は、コミュニケーションリンクのうち、受信頻度が閾値 5 以上となった本数としている。さらに、入次数を大きさの順に並べ換え、その値を横軸に、1 位からはじまる順位を縦軸に、両対数グラフとしてプロッ

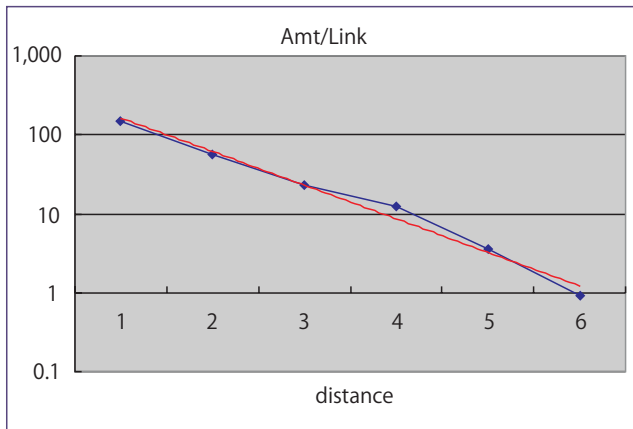


図-11 ノード間距離に応じた1経路あたりのコミュニケーション頻度の平均(片対数グラフ)

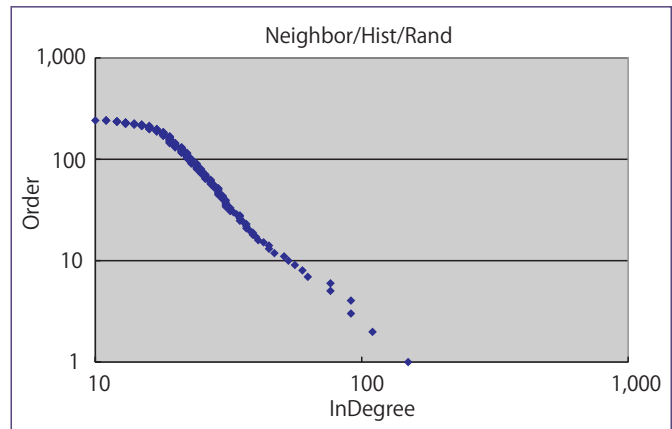


図-12 シミュレーションによって得られた入次数の分布

トしている。

グラフは、ほぼ直線上にプロットされ、スケールフリーネットワークの特徴であるべき乗分布が再現されている。スケールフリー性は、現実の人間の活動や複雑な自然界の現象にしばしば現れる。このシミュレーション結果にべき乗分布が見られたことが、すぐにモデルの人間活動としての正しさを立証するものではない。しかし、少なくとも、べき乗分布を再現していない不完全なモデルをより分けるフィルタはパスしているとは言える。この上で、下記のようにモデルを検討していくことで、人間の複雑さやスケールフリーネットワークについて理解を深めていくことが我々の目的の1つである。

比較のため、ランダムなコミュニケーションのみ用いたシミュレーション結果を図-13に示した。組織構造や履歴が用いられない場合、べき乗分布にはならず、ガウス分布と同様、入次数が速やかに減衰していることが分かる。これによりランダムなコミュニケーションモデルだけでは、不十分であると言える。

まとめ

トップダウンの戦略的な意思決定による組織変更がコミュニケーションネットワークに与える影響を代表的なネットワーク分析の指標を用いて示した。

従来、企業組織におけるマトリクス構造等については、ビジネススクールでのケーススタディ的な検討が行われてきたのみで、定量的な解析は行われていなかった。ここでは、単純な指標ではあるが、電子メールのトランザクションという大量に機械的に入手可能なデータを用いて、定量的に組織変更の効果を解析することができた。今後の課題としては、もっと複雑な指標も用いてよりビジネスに直結した解析を行うことがあげられる。

また、スケールフリーネットワークの性質が、観測データとシミュレーション結果の双方に見られた。このよ

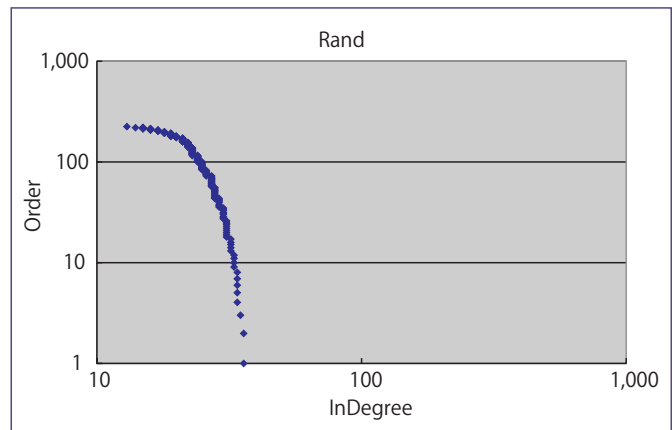


図-13 ランダム選択のみのシミュレーションによって得られた入次数の分布

うなネットワーク自体の性質とそれが企業活動に及ぼす影響についても今後検討していきたい。

参考文献

- 1) Carley, K. and Krackhardt, D. : A PCANS Model of Structure in Organizations, Proceedings of the 1998 International Symposium on Command and Control Research and Technology, Monterey, CA (June 1998).
- 2) アルバート=ラズロ・バラバシ, 新ネットワーク思考: 世界のしくみを読み解く, 青木 薫(訳), NHK 出版 (2002).
- 3) Watts, D. J. : Small Worlds — The Dynamics of Networks between Order and Randomness, Princeton University Press, Princeton, NJ (1999).
- 4) UCINET, <http://www.analytictech.com/>
- 5) Itoh T., Yamaguchi Y., Ikehata Y. and Kajinaga Y. : Hierarchical Data Visualization Using a Fast Rectangle-Packing Algorithm, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.10, No.3, pp.302-313 (2004).
- 6) Mizuta, H. and Yamagata, Y. : Agent-based Simulation for Economic and Environmental Studies, Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) 2253, Springer, pp.142-152 (2001).

(平成 20 年 1 月 7 日 受付)

水田秀行(正会員)
E28193@jp.ibm.com

1997 年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。同年日本 IBM (株) 入社。東京基礎研究所でエージェントによる複雑系社会学や組織解析等 SSME (Service Science, Management, and Engineering) に関連した研究に従事。ACM 会員。